

## 2023 年 当ラボメンバーの初学会参加記念 SP

### 総説: ウーパールーパー / 虫・魚の飼育係 ②

#### 💡 Topics 💡

ウパールパレスキュー活動案内・報告

感染症対策 (再掲載)

治療方法のご案内 (再掲載)

汽水飼育に関する調査報告 (一部、最新報告)

水槽内・底砂に潜む微生物・腸内細菌 (一部、再掲載)

噛み合い行動とその原因・集団生活 (一部、最新報告)

@CUNEflash



2023/11/18 初版

編: 杉山 遥

# ウーパールーパー写真集 (2023)



全ての画像・文章について無許可の商業利用を禁じます！  
 クリエイティブ・コモンズ・ライセンス・非営利・改変禁止 (CC-BY-NC-ND)



## 目次 (2023/11/18)

青: ラボ案内・番外編

黄色: 飼育案内

緑: 研究・調査報告

- ・ **ウーパールーパー写真集 2023**
- ・ **2023 年\_はるらぼ 活動報告**
- ・ **【はるらぼ活動に賭ける想い 2023】**
  
- ・ **ウパルパ 119 番・無料治療相談のご案内**  
ウーパールーパー研究室\_はるらぼ 2023 年 2 月 27 日

## 2023 年年末のホットな話題 (飼育系統問題 & 学会報告)

- ・ **【今後の展開】累代飼育メキシコサラマンダー系統の遺伝子型の精査 および 近縁アンビストーマ種における生理学的応答の調査**  
杉山 遥 2023 年 11 月 6 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者
- ・ **アホロートル感染症対策と治療相談に関する活動報告**  
F.N. 三太子, 杉山 遥 2023 年 11 月 11 日 最終著者, 責任著者
- ・ **メキシコサラマンダーにおける病原生物に対する応答性と治療可塑性に関する調査報告**  
杉山 遥, F.N. 三太子, 萩原 和晃, 枝豆 やみん, あすみ悠  
2023 年 11 月 11 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

## 飼育方法・水質・病気について

- ・ **ウーパールーパー飼育案内\_Part.1 (再掲載)**  
杉山 遥 2023 年 2 月 4 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者
- ・ **ウーパールーパー飼育案内\_Part.2 (再掲載)**  
杉山 遥 2023 年 2 月 18 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者
- ・ **アホロートルの飼育・治療最新情報 (再掲載)**  
杉山 遥 2022 年 12 月 25 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者
- ・ **アホロートル飼育水槽における濾過環境の重要性 (再掲載)**  
杉山 遥 2022 年 9 月 26 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者
- ・ **濾過環境の仕組みと pH や水質の維持, 濾材の重要性 (再掲載)**  
杉山 遥, 萩原 和晃, 枝豆 やみん, りん 2023 年 2 月 25 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者
- ・ **メキシコサンショウウオの生活環における汽水環境の重要性**  
杉山 遥, あすみ 悠, 萩原 和晃, 枝豆 やみん, Fuzzy navel 三太子  
2023 年 10 月 28 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

## 底砂問題 × 腸内細菌

- ・ **土壌成分と生育\_ウーパールーパー研究報告** (再掲載)  
高橋 慶, 杉山 遥 2022年8月 最終著者, 責任著者
- ・ **腸内細菌と成長制御について\_ウーパールーパー研究報告** (再掲載)  
杉山 遥 2022年10月31日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者
- ・ **腸内乳酸菌と神経ペプチドNPYと睡眠・成長\_ウーパールーパー研究報告** (再掲載)  
杉山 遥 2023年2月4日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者
- ・ **メキシコサラマンダーの腸内環境と成長制御** (再掲載)  
杉山 遥 2023年3月26日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

## 上陸化について (過密環境 & 水質悪化 によるストレス → 上陸化 の前提情報)

- ・ **ネオテニーの上陸化制御に関わる因子\_ウーパールーパー研究報告** (再掲載)  
杉山 遥, 久木崎 玲美 2022年11月 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

## 多頭飼育下 における 他個体認識 & 攻撃行動制御 & 成長制御機構

- ・ **メキシコサンショウウオにおける多頭飼育\_他個体認識**  
杉山 遥 2022年5月 筆頭著者, 最終著者, 責任著者
- ・ **メキシコサンショウウオにおける攻撃行動制御機に関する調査報告**  
杉山 遥 2023年10月1日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者
- ・ **メキシコサンショウウオにおける密度効果と異種混泳による成長制御機構に関する調査報告**  
杉山 遥, あすみ 悠, 横江 諒衡 2023年10月16日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者



# はるらぼ活動紹介ページ！

NPO 研究グループ HAL\_Lab\_Axolotl

2020年より、正式に HAL Lab として  
本格的に研究活動を開始。



g-mail: [sugiyama.haruka.axolotl@gmail.com](mailto:sugiyama.haruka.axolotl@gmail.com)

note: [https://note.com/lab\\_new2](https://note.com/lab_new2)

Twitter: [https://twitter.com/lab\\_new2](https://twitter.com/lab_new2)

HP: [https://drive.google.com/file/d/1g4avrtK0FIS78II\\_595yk\\_OKFL\\_u1xgt/view](https://drive.google.com/file/d/1g4avrtK0FIS78II_595yk_OKFL_u1xgt/view)

代表: 杉山 遥 (すぎやま はるか; ペンネーム); Ph.D 理学 (生物学)

## Q: はるらぼって何？

2020年に正式発足されたNPO 研究チームです。

ウーパールーパーの生態や習性について研究しています。

## Q: 何故ウーパールーパー？

メキシコのソチミルコ湖に生息するメキシコサラマンダーは、現在ペットとしてウーパールーパーという名で親しまれている一方で、野生種は絶滅危惧に瀕しています。これは由々しきことです。そこで、我々はこれに注目し、ラボスケールでの生態を研究することで、個体数を増やす糸口を掴みたいと考え、NPO (非営利) の研究チームとしての活動を開始することになりました。

## Q: このHPは？

ズバリ、一緒に調査をしてみませんか？というお誘いと当ラボのご紹介です！

## ウーパールーパーって、可愛いですよ☆



## 現在の主な取り組み

- ・ウーパールーパー (アホロートル) の飼育条件のアップデート
- ・アホロートルの栄養と成長制御機構の解明
- ・生存競争・生育密度と成長の関係性
- ・魚類における未知の成長制御・発生調節機構の解明
- ・昆虫との相関 (主にショウジョウバエ、フタホシコオロギ)
- ・両生類の腸内フローラと成長制御に関する調査



## はるらぼ関係者・共同研究者一覧 (2023/11/18 更新)

### ウーパールーパー部門

杉山 遥 (PN)・・・ポストドク(無給), 企業の技術研究員, 当研究室の主任研究者 (Principal Investigator)

専門: 分子生物学、遺伝学、分子遺伝学 (ショウジョウバエ)、発生生物学 (形態形成, 幹細胞分化制御)、  
時間生物学、行動生物学、動物生理学、高分子、半導体

萩原 和晃・・・社会人, 企業研究開発職, 共同研究員; 飼育技術調査部長

専門: 自動車 ECU (Electronic Control Unit; 電子制御部品) 開発, 生物行動観察・撮影

F. N. 三太子 <https://twitter.com/CUNEflash>・・・ウーパールーパーのレスキュー広報担当・治療相談窓口

多忙な杉山の代理として、押しかけウパレスキュー活動 <https://twitter.com/CUNEflash/status/1579226396488265728> を依頼しております。ほんわかした文体・ツイートの雰囲気反して、杉山が信頼できる、仕事のできる方なのでご安心を。

### 魚類部門

あすみ 悠 (HN)・・・共同研究員

専門: IT 関連, メダカ関連の飼育・観察

枝豆 やみん (HN)・・・研究開発職に勤務. 共同研究員; 熱帯魚研究部 (22/8/21 より新規立ち上げ)

専門: アクアリウム, 熱帯魚を複数の種類飼育された実績を持つ。

### 昆虫・節足動物部門

杉山 遥 (PN)・・・昆虫を専門としていた杉山が兼任。

横江 諠衡・・・D2, 共同研究員; 商品開発担当

専門: 宇宙線研究、小動物の生育観察

### 案件創出・調査部門・運営監修など担当の皆様

高橋 慶・・・加入当時専門学生 (現在は社会人として活躍中), 共同研究員; 基盤技術探索・情報調査担当

専門: 鉄道関連、生物飼育・観察

九条 薫 (PN)・・・共同研究者

専門: 骨格標本作製

永田 一将・・・D3, 研究資金支援者; ラボコンサルティング担当

専門: 物性物理学

大泉 祐介・・・加入当時 D3 (現在社会人), 研究広報支援者; ここまでの活動に際し、幾つもの繋がりを作って下さいました。

専門: 分子生物学, エピジェネティクス, 分裂酵母, ゲノム進化、大型類人猿 など

久木崎 玲美・・・社会人, 共同研究者. 両生類の陸上化に関する調査をお願いしています。

はるらぼサポーターズ (はるサポ)・・・調査補助・分析・他、グッズ作製等 (多岐に渡る)。

他、知己の研究者の皆様、両生類・爬虫類飼育者の皆様、アクアリストの皆様、他 Twitter フォロワーの皆様 など、

(定期参加・不定期参加を問わず) 詳細を記載していない多くの方々のご支援も頂戴しつつ、日々研究活動を行っております。

アホロートルの積極的な布教も、このラボのもう一つの目標です。

2023年10月末より、株式会社 (申請中) サイマン 様 (宇宙開発・ロボット開発を目指す会社とのこと) が公式サポーターに加わって下さいました。今後、当ラボも可能な範囲で相互に研究開発に協力して参ります。

※ PN: ペンネーム      HN: ハンドルネーム (SNS 上などでも使用されているお名前)

## 活動&成果報告・寄付など (詳細は [https://researchmap.jp/HAL\\_lab\\_Axolotl](https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl) へ)

### ・論文・総説

メキシコサラマンダーにおける病原生物に対する応答性と治療可塑性に関する調査報告

【23年\_日本分子生物学会②】

杉山 遥, F.N. 三太子, 萩原 和晃, 枝豆 やみん, あすみ悠 2023年11月11日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

アホロートル感染症対策と治療相談に関する活動報告【23年\_日本分子生物学会①】

F.N. 三太子, 杉山 遥 2023年11月11日 最終著者, 責任著者

【今後の展開】累代飼育メキシコサラマンダー系統の遺伝子型の精査 および 近縁アンピストーマ種における生理学的応答の調査

杉山 遥 2023年11月6日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

【研究報告】メキシコサンショウウオの生活環における汽水環境の重要性

杉山 遥, あすみ 悠, 萩原 和晃, 枝豆 やみん, Fuzzy navel 三太子

2023年10月28日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

メキシコサンショウウオにおける密度効果と 異種混泳による成長制御機構に関する調査報告

杉山 遥, あすみ 悠, 横江 誼衡 2023年10月16日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

【口頭発表】メキシコサンショウウオの生活環 における汽水環境の重要性

(日本動物学会\_第94回\_山形大会 (2023) 2023年9月9日)

杉山 遥 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

改良メダカの背曲がり個体から産出される子個体への遺伝

あすみ 悠, 杉山 遥 2023年9月2日 筆頭著者, 責任著者

【最新版】メキシコサンショウウオにおける攻撃行動制御機に関する調査報告

(23/10/1 ver.3.1 一部補足事項を記載)\_ウーパールーパー研究報告

杉山 遥 2023年8月29日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

【発表練習\_第2回】メキシコサンショウウオの生活環における 汽水環境の重要性

杉山 遥 2023年8月26日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

【研究発表】メキシコサンショウウオの生活環における汽水環境の重要性

杉山 遥 ほか 2023年8月12日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

増刊号 (訂正箇所 + 更新記事のまとめ) ウーパールーパー / 虫・魚の飼育係 vol.X

杉山 遥 ほか 2023年5月5日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

【改訂版】総説: ウーパールーパー / 虫・魚の飼育係 ~飼育の最新情報・学術データまとめ~

杉山 遥 ほか 2023年4月19日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

【改訂版】メキシコサンショウウオ等の栄養と成長に関する最新報告\_(初稿) 2022/10/2

杉山 遥 2023年4月19日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

【改訂版】ネオテニーの上陸化制御に関わる因子\_ウーパールーパー研究報告 (初稿 22/11/1)

杉山 遥, 久木崎 玲美 2023 年 4 月 5 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

【最新版】メキシコサラマンダーの腸内環境と成長制御 (23/3/25 開催\_FBS 博士勉強会)

杉山 遥 2023 年 3 月 26 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

【改訂版】腸内細菌と成長制御について\_ウーパールーパー研究報告 (初稿: 22/10/31)

杉山 遥 2023 年 3 月 26 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

(まとめ) ウパールパに良い水質や治療情報・病気の再発リスクなど

杉山 遥 2023 年 3 月 1 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

ウパールパ飼育水槽の濾過環境と水質管理・維持について

杉山 遥, 萩原 和晃, 枝豆 やみん, りん 2023 年 2 月 25 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

ウーパールーパー飼育案内\_Part.2

杉山 遥 2023 年 2 月 18 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

成長に不可欠な因子の探索・次世代の表現型解析 (孵化後 50 日目)\_ウーパールーパー研究報告

杉山 遥 2023 年 2 月 8 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

腸内乳酸菌と神経ペプチド NPY と睡眠・成長\_ウーパールーパー研究報告

杉山 遥 2023 年 2 月 4 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

ウーパールーパー飼育案内\_Part.1

杉山 遥 2023 年 2 月 4 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

ウーパールーパー研究室はるらぼ・新年集会・目標発表

杉山 遥 2023 年 1 月 20, 22 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

アホロートルの飼育・治療最新情報

杉山 遥 2022 年 12 月 25 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

ネオテニーの上陸化制御に関わる因子\_ウーパールーパー研究報告

杉山 遥, 久木崎 玲美 2022 年 11 月 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

両生類・魚類の”睡眠”と体色制御/メキシコサンショウウオにおけるあくびの習性

杉山遥, あすみ 悠, 枝豆やみん, うにゃぎ 2022 年 11 月 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

腸内細菌と成長制御について\_ウーパールーパー研究報告

杉山 遥 2022 年 10 月 31 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

メキシコサンショウウオ等の栄養と成長に関する最新報告\_ウーパールーパー研究報告

杉山 遥 2022 年 10 月 2 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

メキシコサンショウウオの味覚\_ウーパールーパー研究報告

杉山 遥 2022 年 10 月 2 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

アホロートル飼育水槽における濾過環境の重要性

杉山 遥 2022 年 9 月 26 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

土壌成分と生育\_ウーパールーパー研究報告

高橋 慶, 杉山 遥 2022年8月 最終著者, 責任著者

ウーパールーパーの睡眠 (FBS 博士勉強会・研究発表資料)

杉山 遥 はるらぼ会報誌・ウーパールーパーだより vol 2.1 2022年6月 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

総説: メキシコサンショウウオにおける多頭飼育\_他個体認識

杉山 遥 2022年5月 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

経過報告: アホロートルにおける睡眠・成長・概日リズムを制御する遺伝子群の網羅的解析

杉山 遥 はるらぼ会報誌・ウーパールーパーだより vol 2.0, 2.1 2022年5月 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

アホロートルにおける睡眠と成長および概日リズムの関係性

萩原 和晃, 杉山 遥 はるらぼ会報誌・ウーパールーパーだより vol 2.0, 2.1 2022年5月 最終著者, 責任著者

昆虫の成長・生育はアミノ酸依存的に制御される。

杉山 遥 はるらぼ会報誌・ウーパールーパーだより vol 1.0, 1.2, 1.3

2022年4月 筆頭著者, 最終著者

メキシコサンショウウオの成長・生育を制御する因子の探索。

杉山 遥 はるらぼ会報誌・ウーパールーパーだより vol 1.0, 1.2, 1.3

2022年4月 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

総説: ウーパールーパー / 虫・魚の飼育係 ～飼育の最新情報・学術データまとめ～

著, 編纂, 監修: 杉山 遥 2023年2月 25日

はるらぼ会報誌・ウーパールーパーだより vol 2.1

著, 杉山 遥, 萩原 和晃 編纂, 監修: 杉山 遥 2022年6月

はるらぼ会報誌・ウーパールーパーだより vol 2.0

著, 杉山 遥, 萩原 和晃 編纂, 監修: 杉山 遥 2022年5月

コラム集・総説: ウーパールーパーの飼育係

著, 編纂, 監修: 杉山 遥 2022年5月

はるらぼ会報誌・ウーパールーパーだより vol 1.0, 1.2, 1.3

著, 編纂, 監修, 杉山 遥ウーパールーパー研究室\_はるらぼ 2022年4月

## ・書籍等出版物

総説: ウーパールーパー / 虫・魚の飼育係 ② (2023年 当ラボメンバーの初学会参加記念 SP)

著, 編纂, 監修: 杉山 遥 ほか

2023年11月18日

増刊号 (訂正箇所 + 更新記事のまとめ) ウーパールーパー / 虫・魚の飼育係 vol.X

著, 編纂, 監修: 杉山 遥 ほか

2023年5月5日

総説: ウーパールーパー / 虫・魚の飼育係 ~飼育の最新情報・学術データまとめ~

著, 編纂, 監修: 杉山 遥

2023年2月25日 (同年4月19日, 改訂)

はるらぼ会報誌・ウーパールーパーだより vol 2.1

著, 杉山 遥, 萩原 和晃 編纂, 監修: 杉山 遥

2022年6月

はるらぼ会報誌・ウーパールーパーだより vol 2.0

著, 杉山 遥, 萩原 和晃 編纂, 監修: 杉山 遥

2022年5月

コラム集・総説: ウーパールーパーの飼育係

著, 編纂, 監修: 杉山 遥

2022年5月

はるらぼ会報誌・ウーパールーパーだより vol 1.0, 1.2, 1.3

著, 編纂, 監修, 杉山 遥

ウーパールーパー研究室\_はるらぼ 2022年4月

## ・研究発表

### ・第46回日本分子生物学会年会 <https://www2.aeplan.co.jp/mbsj2022/>

1P-761\_\_アホロートル感染症対策と治療相談に関する活動報告

Report on Activities Related to Axolotl (*Ambystoma mexicanum*) Infection Control and Treatment Counseling

○F.N. 三太子<sup>1</sup>, 杉山 遙<sup>1</sup> (1. NPO 研究グループ\_ウーパールーパー研究室\_はるらぼ)

1P-762\_\_メキシコサラマンダーにおける病原生物に対する応答性と治療可塑性に関する調査報告

Report on Responsiveness and Therapeutic Plasticity to Pathogenic Organisms in Mexican Salamanders, *Ambystoma mexicanum*.

○杉山 遙<sup>1</sup>, F.N 三太子<sup>1</sup>, 萩原 和晃<sup>1</sup>, 枝豆 やみん<sup>1</sup>, あすみ悠<sup>1</sup> (1. NPO 研究グループ\_ウーパールーパー研究室\_はるらぼ)

### ・日本動物学会\_第94回\_山形大会 <http://www.zoology.or.jp/annual-meeting/3/>

3F0930 (両生類・生理)\_\_メキシコサンショウウオの生活環における汽水環境の重要性

○杉山 遙<sup>1</sup>, あすみ 悠<sup>1</sup>, 枝豆 やみん<sup>1</sup>, 萩原 和晃<sup>1</sup> (1. NPO 研究グループ\_ウーパールーパー研究室\_はるらぼ)

### ・第45回日本分子生物学会年会 <https://www2.aeplan.co.jp/mbsj2022/>

3P-693\_\_メキシコサラマンダーの睡眠機構と制御に関する調査報告 Progress Reports of Sleeping Mechanisms and Regulation of Axolotl, *Ambystoma mexicanum*

萩原 和晃<sup>1</sup>; ○杉山 遙<sup>1</sup> (1. NPO 研究グループ\_ウーパールーパー研究室\_はるらぼ)

3P-694\_\_メキシコサラマンダーの他個体認識能力・色覚認識能力に関する行動解析

Behavioral analysis of ability to recognize other individuals and color vision recognition of Axolotl, *Ambystoma mexicanum*

杉山 遙<sup>1</sup> (1. NPO 研究グループ\_ウーパールーパー研究室\_はるらぼ)

### ・大阪大学大学院生命機能研究科 (フロンティアバイオサイエンス; FBS) “ドクター発表会” および “オープン勉強会” における発表

2022/2/12 (土)・2022/2/19 (土)・2022/5/15 (日)・2022/6/4 (土)・2022/11/12 (土)

2023/8/12 (土)・8/26 (土)・2023/10/28 (土)・2023/11/18 (土)・2023/11/19 (日)

## ・予算状況

- ・予算: 2019 年度: 約 1,000,000 円 (給与より補填, 内訳: 生体購入, 設備設置費用, 設備維持費)
- ・予算: 2020 年度: 約 1,200,000 円 (給与より補填, 内訳: 生体購入, 設備設置費用, 設備維持費)
- ・予算: 2021 年度: 約 1,200,000 円 (給与, 一部支援金 (永田様). 内訳: 生体購入, 設備設置費用, 設備維持費)
- ・予算: 2022 年度: 約 1,320,000 円 (給与より補填, 内訳: 生体購入, 設備設置費用, 設備維持費, 分析依頼費 等)
- ・予算: 2023 年度: 約 1,300,000 円 (給与より補填, 内訳: 生体購入, 設備設置費用, 設備維持費, 分析依頼費 等)
- ・予算計画: 2024 年度: 約 1,532,000 円 (給与・一部支援金より補填, 内訳: 生体購入, 設備設置費用, 設備維持費, 分析依頼費 等)

## ・寄付・寄贈など

2022/5/29 研究員の萩原様より、実態顕微鏡・大型モニター等、分析機器をご寄贈いただきました。

2022/11/1 サポーターの方々のご協力により、はるらぼ第二事務所が開設されました。

2023/6/5 サポーターの方々のご協力により、120 cm アクリル水槽をご寄贈頂きました。

2022~2023 年 関連書籍のご共有下さった皆様より、書籍代としてご寄付を頂戴しました (上記支援金を含む)。

## 【はるらぼ活動に賭ける想い】

杉山 遥 (Ph.D)

2023/11/18

折角なので、私の現在の活動に賭ける想いを改めて記事にさせていただきます。

私は、生物学の博士号を持った研究者の端くれです。私が発足したウーパールーパー研究室はるらぼでは現在、大学や行政・一般企業のような大きな母体を持たず、非営利団体(NPO)として、絶滅の危機に瀕しているメキシコサンショウウオを保護・保全するため、現在十分には明らかになっていない生態を調査・研究活動を行っています。我々の研究チームの構成員は、現役の研究者の方々や有志の一般の方々など多岐に渡ります。加えて、研究成果を自分たちで刊行した会報誌にて報告をし、広く人々に知ってもらう広報活動も行っております。今年度は、その研究成果を分子生物学会・年会 2022 にて発表することが決定しております。

これに加え、改良メダカブームに端を発し、遺伝子汚染などで問題になっているメダカの生態や行動についても調査・研究を行うことで、今後の対策や在来種の保全につなげていく活動を行っています。

こうした活動の中で、ウーパールーパーやメダカのこと多くの方々に理解してもらい、保全・保護のための輪を広げていきたいと考えています。

そこで、これらの研究活動・広報において、研究に必要な一定の資金（資材（新たな実験のための水槽）購入やインフラ導入など）や、今後の学会発表参加費、イベントのための運営費、施設のレンタル費用などに充てる資金を、本当にごく少額でも問題ありませんので、是非ともご支援いただきたく存じます。

現在、直接的な寄付への誘導は望ましくない風潮がございますので、ご支援が可能な方は是非とも Twitter の DM または [sugiyama.haruka.axolt@gmail.com](mailto:sugiyama.haruka.axolt@gmail.com) 宛てに一報下さいましたら幸いです。

前述でも軽く触れましたが、活動の背景には、やはり生き物を守りたいという強い想いがあります。

そのためにはしっかりとした研究活動による生態の理解が必要不可欠です。しかしながら、現在の日本の研究界隈では、“選択と集中” の考え方が横行しており、より生産的かつ強い勢力にのみ公的予算や企業助成が集中し、環境保全や時間がかかるが経済的なリターンの少ない純粋な基礎研究活動への金銭的な補助が非常に少なく、雇用も安定しておりません。多くの同業者の方も、その現状を嘆き、研究活動から離れしてしまった方も何人もおります。私も生活に困り、大学を離れて企業にて研究職で生計を立ててています。その傍ら、ウーパールーパーやメダカなどの多くの生き物達の悲惨な現状を知りました。所謂現代社会において “役に立つ研究課題” ではないために、生き物の保護・環境保全活動自体は各所で話題にはなりつつも、実際にはスポットが十分には当たっていないのが現実であり、人員も予算も十分には割かれていないのが現状です。行政の活動も、ふたを開けてみると実態がともなっておりません。

そこで、研究者であるが機関に属していない我々のような人間たちの知恵を結集し、これらの生き物たちの保護・保全をする活動を行うべく、行政にも民会にも属さない第三勢力として結集し、“はるらぼ” を発足しました。一般の方々の活動への理解をまずは必要としたため、現在は研究・調査活動の傍ら、身近なペットとしてのウーパールーパーやメダカの生態を理解し、正しい知識で飼育してもらうことを一つの柱としています。正しい理解が、きっと生き物達の未来、ひいては我々人類の未来を明るくすることと信じております。

活動報告の詳細は以下の URL からご確認下さい。

**Twitter (X):** [https://twitter.com/lab\\_new2](https://twitter.com/lab_new2)

**Note:** [https://note.com/lab\\_new2/n/n60f6fda600fd](https://note.com/lab_new2/n/n60f6fda600fd)

**活動紹介ページ:** [https://drive.google.com/file/d/1g4avrtK0FIS78II\\_595yk\\_OKFL\\_u1xgt/view](https://drive.google.com/file/d/1g4avrtK0FIS78II_595yk_OKFL_u1xgt/view)

**【研究者ポータルサイト research map】**

[https://researchmap.jp/HAL\\_lab\\_Axolotl/published\\_papers/edit](https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/edit)

# ≪ 🚑 ウパールパ 119 番、無料相談窓口 🚑 ≧

by ウーパールーパー研究室\_はるらぼ



皆様、ウパールパの飼育でお困りではありませんか？

「外鰓やヒレに元気がない。。。」

「餌を食べない/吐き戻す。。。」

「飼育方法って、これで合ってるのかな・・・？」

「みんな違うアドバイスをするから判断に困る。。。」

「SNS で相談すると、お説教が怖い。。。」

「もっとウパールパのことを知りたい！」

そんなウパの相棒の皆様、ご安心下さい！

私杉山にご相談いただけましたら、無料で誠心誠意、

ご相談に乗らせていただきます<(\_ \_)>

もし体調不良が気になるウパちゃんの情報などがございましたら、

そちらも是非是非お気軽にご相談下さい♪

## 【お問い合わせ先】

Twitter フォロー → DM でのお問い合わせ

ウパ研\_はるらぼ Twitter リンク: [https://twitter.com/lab\\_new2](https://twitter.com/lab_new2)

杉山 遥 (筆者) の Gmail アドレス → [sugiyama.haruka.axolti@gmail.com](mailto:sugiyama.haruka.axolti@gmail.com)

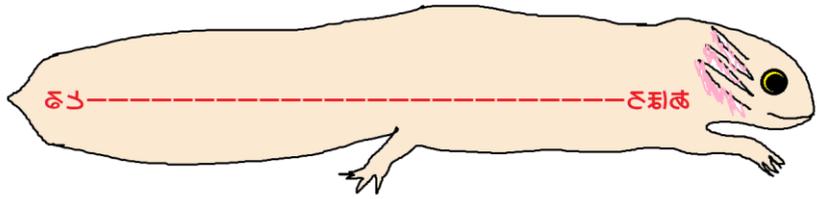
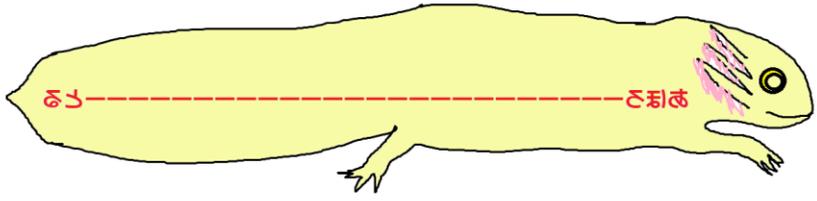
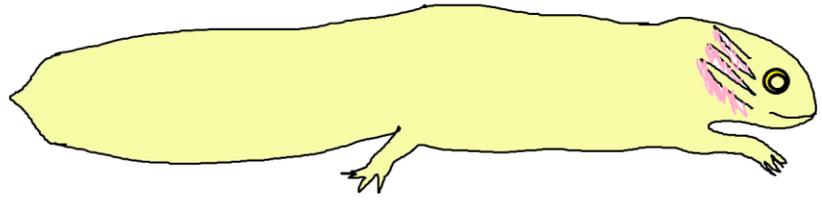
## 【飼育・治療に関する情報】

杉山 遥 の research map ページ + 論文ダウンロードフォーム作製 (2023/2 月～)

当然、全記事・論文も取得無料で閲覧可能です。

杉山 遥 research map (日本学術振興会\_研究者ポータルサイト):

[https://researchmap.jp/HAL\\_lab\\_Axolotl](https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl)



# 【新規テーマ展開】

累代飼育メキシコサラマンダー系統の遺伝子型の精査

および 近縁アンビストーマ種における生理学的応答の調査

報告日: 2023 年 11 月 6 日

著: 杉山 遥 (Ph. D)<sup>1</sup>



所属: <sup>1</sup>ウーパールーパー研究室\_はるらぼ

since 2020~

[sugiyama.haruka.axolti@gmail.com](mailto:sugiyama.haruka.axolti@gmail.com)

X (旧 Twitter): [https://twitter.com/lab\\_new2](https://twitter.com/lab_new2) (@lab\_new2)

研究者ポータルサイト Research map

[https://researchmap.jp/HAL\\_lab\\_Axolotl?lang=ja](https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl?lang=ja)



協賛企業: サイマン SciMoun (株)



<https://www.sdherps.org/>



<https://www.sdherps.org/>



※ CC-BY-NC-ND; 本文献の許可なき商業利用、無断転載・改変の一切を禁止します。



## 【課題: アホロートルの汽水適応と品種や累代化の影響】

当ラボの最新報告として、汽水環境の重要性についての研究発表・報告を致しました。

### 【研究報告】メキシコサンショウウオの生活環における汽水環境の重要性 (2023年10月28日)

杉山 遥 (Haruka Sugiyama) [https://researchmap.jp/HAL\\_lab\\_Axolotl/published\\_papers/43901721](https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/43901721)



本テーマで杉山が解説している理屈としましては、メキシコサラマンダーの本来持つ汽水依存の免疫力が累代飼育や系統化の中で低減し、現在の日本の淡水飼育では一層巧く発揮できておらず、総合的には弱体化したと考えているという内容です。

本テーマの公開後、以下のような趣旨のご指摘があったので簡単にまとめました。

- 1). “系統化の影響で結果的に汽水適応してしまっていないのか?”
- 2). “現在の品種化されているウーパールーパーは小型化等や累代飼育の安定化に際して、近縁種のタイガーサラマンダー (*Ambystoma tigrinum*) 等と交雑されたとされているが、メキシコサンショウウオとして論理展開しているのか?”

これらは本当にありがたいご指摘で、実際我々が今後気にかけるべき課題として、実は議題に挙がっていた内容でした。

現在のウパルパ系統に含まれる可能性がある近縁種の遺伝情報については、科学論文上でも正直不明瞭な場合が殆どです。

当ラボも、実際の所、現在ゲノムブラウザーのデータベース上に公開されているゲノム情報に従って調査を行っています。

分子生物学全般の昔からの課題でもありますが、ウパルパに限らず、細胞株でもマウスやラットでも、研究で用いる系統として用いられている物はゲノムが読まれつつも野生種との違いは考慮されない部分も正直あります。

また、研究施設ごとに累代する過程で少しずつ遺伝的に差異が生まれてしまったり、そもそもの入手の起源の違いによる遺伝的差異が生じることで、再現性が得られない要因になることも、望ましくないものの実際の所は多々あります。

我々は、複数の業者様から入手した個体を複数の N 数で使用するなど、普段から配慮して参りました。

現状、アンダーソン等の近縁種で mRNA について調査した結果はありますが、タイガーサラマンダー達については未実施です。

今回のご指摘を踏まえ、今後の活動の中で鋭意調査していく予定です。予算計画にこれらの新しいテーマも導入していきたいと再編成中です。

今後の展開として、以下の2つが挙げられます。

- ・1)メキシコ以外のアホロートル近縁種や他のネオテニー種における汽水への適応能力や関連する遺伝子配列の比較  
→ 進化や分布、汽水適応の起源について解明したい
- ・2)各研究機関が取扱うアホロートルの系統の起源の調査  
→ 実際の実現は難しいが、研究機関のアホロートルにおけるゲノムの差異が分かれば、現在の論文に用いられている系統における遺伝的なメキシコサラマンダーの存在比率をある程度判定することができる

内容2に関して、両生類研究者の先生 [佐藤 伸 (さとう あきら) 准教授] より情報提供いただきました。

佐藤 伸 (Akira Satou) - マイポータル - researchmap

[https://researchmap.jp/limb\\_lab](https://researchmap.jp/limb_lab)

[https://soran.cc.okayama-u.ac.jp/html/1e825fabd3bbb90274506e4da22f6611\\_ja.html](https://soran.cc.okayama-u.ac.jp/html/1e825fabd3bbb90274506e4da22f6611_ja.html)

- ・日本国内で流通している個体は、野生型のメキシコサラマンダーである可能性が高い。  
(勿論、混血の可能性もあり得る。)
- ・広島大を含めた研究機関で用いられている系統は、アメリカ由来のタイガーサラマンダー種との混血の可能性がある  
(一部の論文でも取り扱いあり)。  
とのことです。

当ラボでは総合的に判断し、混血の可能性もある、程度の言及に留めることにします。

世界中の研究機関では、あらゆる生物の形態や分布・交配の有無の調査による系統分類や、遺伝子解析による分子的生物学的な分類 [全身のゲノム配列比較, ミトコンドリア DNA (全長や部分的配列), ミトコンドリア アミノアシル tRNA 合成酵素 (mt-ARS), 18S rDNA などの比較] をされており、アホロートルや近縁種も分類学的には現状ある程度区分けは既に報告されています。

尚、48種のアンビストーマ種について、2018年の文献にてゲノムが既に読まれた結果が得られているという報告が見られます (Melissa et al., 2018)。

下記で参照した系統樹は、この結果や過去のあらゆる研究に基づいた系統樹であり、信憑性はある程度あると言えます。

このゲノム解析の結果は、オンラインのデータベースに記録された配列情報と専用のアプリ・ツールを用いることで自由に見ることができることから、今後の当ラボにおける研究にも順次適用して参ります。

(下記の文献 および 系統樹を参照)

[https://www.researchgate.net/publication/329547761\\_Miniscule\\_differences\\_between\\_sex\\_chromosomes\\_in\\_the\\_giant\\_genome\\_of\\_a\\_salamander](https://www.researchgate.net/publication/329547761_Miniscule_differences_between_sex_chromosomes_in_the_giant_genome_of_a_salamander)

本文献を含め、我々がデータベース上で確認したアホロートルの情報は、タイガーサラマンダーと交雑されて品種化されたメキシコサンショウウオを用いている物の結果を挙げており [メキシコサンショウウオ (メキシコサンショウウオ × タイガーサラマンダー) との表記あり]、純粋な野生種の配列情報に違いないと確信できる解析情報(および ゲノム配列解析に関する論文)は私の確認した範囲では見られませんでした。

どうやら海外の研究機関では、タイガーサラマンダーとの交雑種である可能性がある流通個体を起源とした研究用の系統を用いて分析を実施していたようです。ゲノムのデータベースは、混血の結果である可能性が高く、その点に今後注意が必要です。

国内の研究機関でも、こうした系統を用いている所があると推察されます。

今後、この点はよく留意していきたいと思います。

ひとまず我々が直近すぐに実施できることは、

今後の文献発表時、

"本検討に用いた系統は国内流通個体由来であり、海外からワシントン条約による規制以前の時代に野生型が持ち込まれ、累代飼育された系統である可能性が高い。

しかし、研究機関ではタイガーサラマンダーとの混血種を用いている可能性があるため、我々が使用している系統にも混血種が含まれる可能性がある。"

という旨を "材料と手法" の欄に明記すること

と言えます。

また、あらゆる可能性を考慮し、“標準系統” という簡単な表記に留める場合もありそうです。

むしろ、それ以上の事は、直には手が打てないというのが現状です。

## 【タイガーサラマンダーや他のアンビストーマの仲間について】

恥ずかしながら、メキシコサラマンダー以外のアンビストーマ属には当ラボではまだまだ疎いので、以下、少しだけ整理してみます。

どうやら、提供いただいた情報や、我々の文献調査によると、淡水の硬水域に生息していると推察されます。一方で、一部の種類はメキシコにも分布しているため、汽水適応できる可能性は十分にあります。とはいえ彼らは北アメリカ全域に生息するため、硬水は好むものの、少なくとも現在においては汽水環境がなくとも問題なく生息可能な免疫力であると考えられます。

また、これらのアンビストーマの仲間の一部は、ネオテニー（幼形成熟）化し、アホロートルとして生育している物もいるようです。また、後述するこれらのアンビストーマの仲間の雑種が野生化し、生態系を乱してしまう問題も深刻なようです。

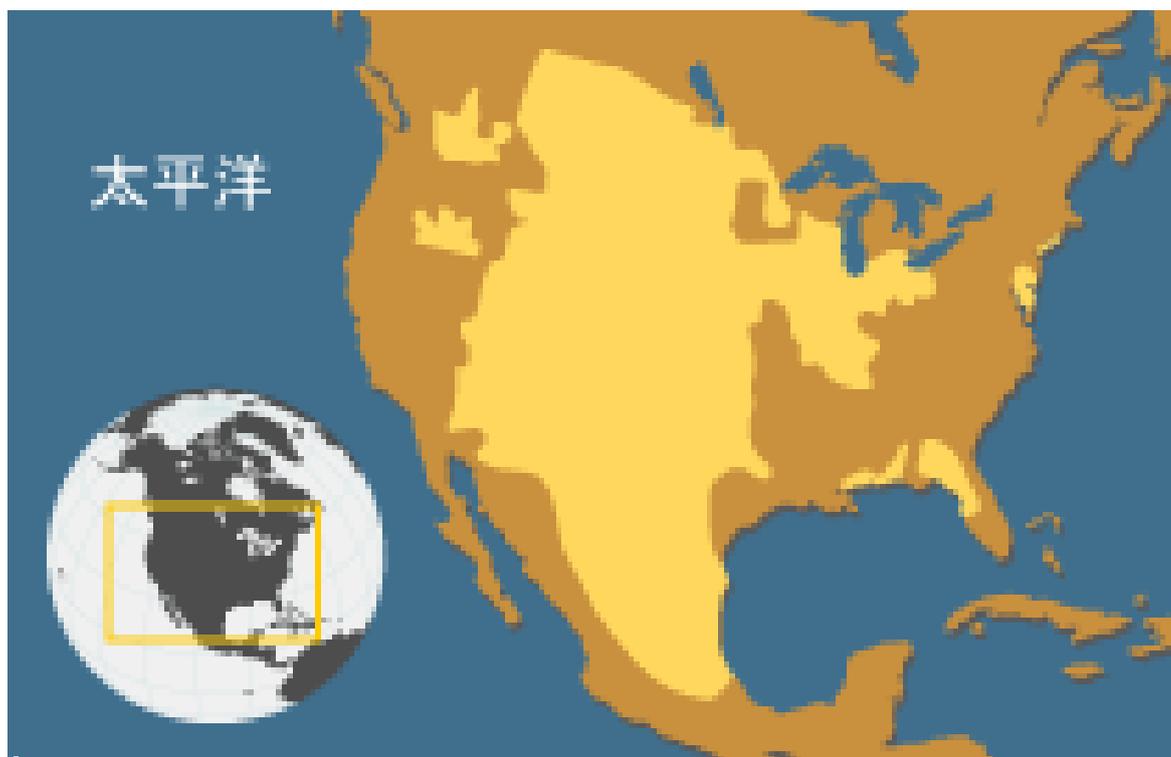
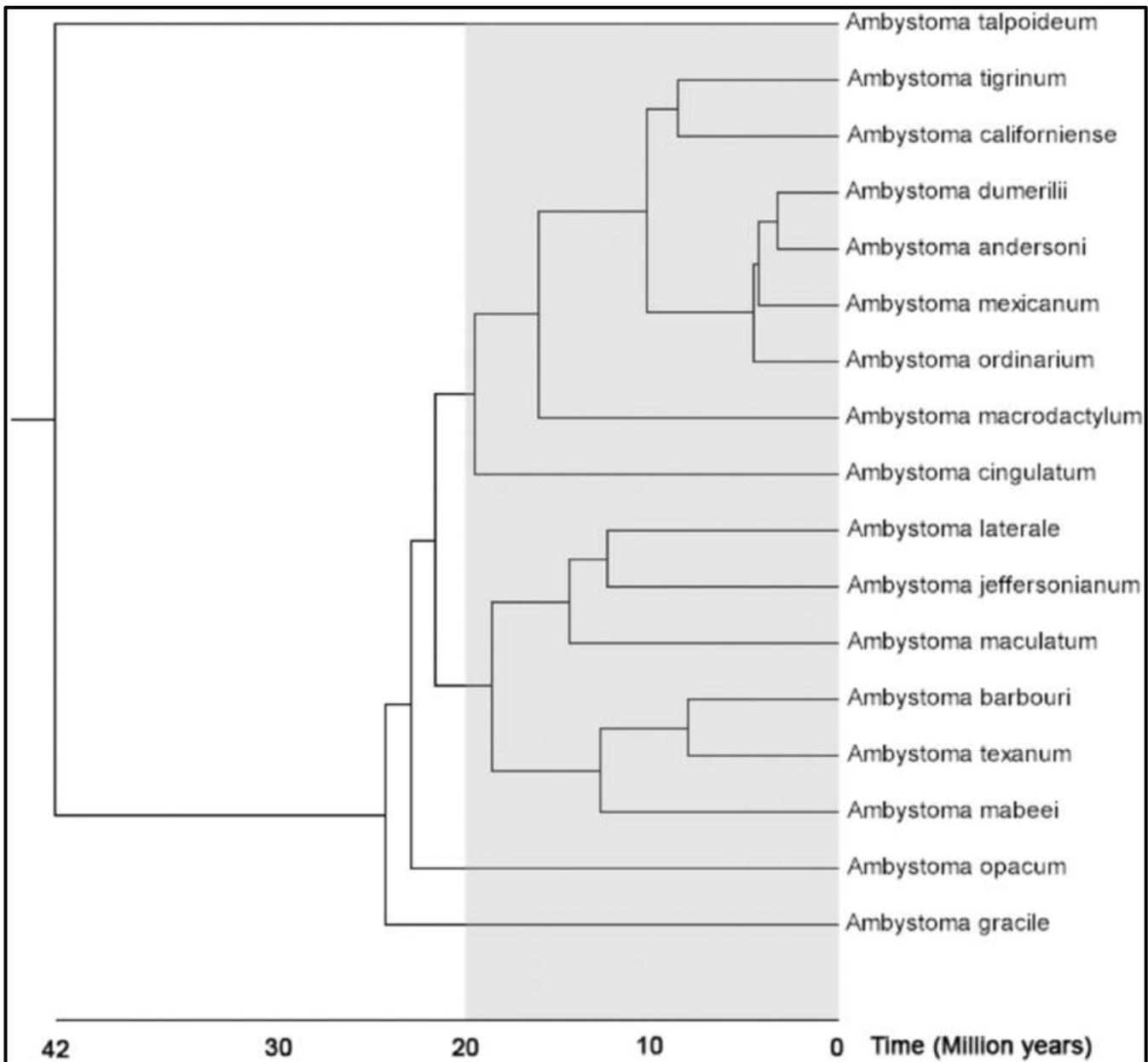


図: タイガーサラマンダーの仲間の生息分布

[https://natgeo.nikkeibp.co.jp/nng/article/20141218/429025/?ST=m\\_column](https://natgeo.nikkeibp.co.jp/nng/article/20141218/429025/?ST=m_column)

これらの情報から、メキシコサラマンダーとタイガーサラマンダーの仲間では、塩分の感知や排出等の機構が大きく違っている可能性が推察されます。

従って今後、生息地・分布等の生態関連の情報や遺伝学的な情報に基づいて順次調査をしていきたいと考えます。



(Melissa et al., 2018)

[https://www.researchgate.net/publication/329547761\\_Miniscule\\_differences\\_between\\_sex\\_chromosomes\\_in\\_the\\_giant\\_genome\\_of\\_a\\_salamander](https://www.researchgate.net/publication/329547761_Miniscule_differences_between_sex_chromosomes_in_the_giant_genome_of_a_salamander)

分子系統樹を見ると、交雑したと言いつつ、トウブタイガーサラマンダー(*Ambystoma tigrinum*)とはやや離れた所に位置しているのが分かります。

これを踏まえると、研究機関で累代飼育された混血のアホートル達であっても、全ての行動や生理的な応答においてタイガーサラマンダーの性質に引っ張られた挙動を示すとは考えにくいでしょう。

今後の研究活動の中で、これらの疑問を順次調査していきたく思います。

巧く行けば、メキシコサラマンダーが汽水に特異的に適応し得ることを示すことにもつながると思われます。

逆に、他のアンビストーマもある程度汽水適応しうるならば、流通しているメキシコサラマンダーや、他の雑種との適応能力の違いについて比較してみるのも非常に面白いテーマ展開になると思われます。



トウブタイガーサラマンダー  
(*Ambystoma tigrinum*)

参照: [Eastern Tiger Salamander \(Ambystoma tigrinum\) - Amphibians and Reptiles of South Dakota \(sdherps.org\)](http://sdherps.org)



オビタイガーサラマンダー  
(*Ambystoma mavortium*)



参照: [Western Tiger Salamander \(Ambystoma mavortium\) - Amphibians and Reptiles of South Dakota \(sdherps.org\)](http://sdherps.org)

図: タイガーサラマンダー種 (*Ambystoma tigrinum*, *Ambystoma mavortium*) の例



アメリカ・テキサス州・メキシコ湾にて釣られた個体  
(タイガーサラマンダーの雑種? ネオテニー個体)

参照: <https://www.reddit.com/r/newsokur/comments/>

図: タイガーサラマンダー種におけるネオテニーの例

これらの新たなテーマから得られた知見が、我々の研究を更に後押ししてくれることが大いに期待されますので、皆様どうぞご期待下さいませようお願い致します。

[AmphibiaWeb - Ambystomatidaeamphibiaweb.org](http://AmphibiaWeb - Ambystomatidaeamphibiaweb.org)

[タイガーサラマンダーnatgeo.nikkeibp.co.jp](http://タイガーサラマンダーnatgeo.nikkeibp.co.jp)

[オビタイガーサラマンダーwww.city.sapporo.jp](http://オビタイガーサラマンダーwww.city.sapporo.jp)

一応、タイガーサラマンダーのネオテニーが汽水・塩水に適応したであろう記録が残っています。

[アメリカ・テキサス州のメキシコ湾で、釣り人が謎の生物を釣り上げる サンショウウオの一種？Posted in r/newsokur by u/\[deleted\] • 12 points and 5 commentwww.reddit.com](http://アメリカ・テキサス州のメキシコ湾で、釣り人が謎の生物を釣り上げる サンショウウオの一種？Posted in r/newsokur by u/[deleted] • 12 points and 5 commentwww.reddit.com)

現在淡水域にも広く分布するタイガーサラマンダーが汽水適応できるのであれば、メキシコサラマンダーの汽水適応もある程度証明できそうですね。

また、もう一つの可能性として、実はこうした汽水適応個体がメキシコサラマンダーや他のアンビストーマのうちの汽水適応した品種との(ともすれば複数との)混血雑種として生まれ、ネオテニー化し、親同様に汽水適応した可能性も十分にあると考えられます。

これに関連した内容として、タイガーサラマンダーの異なる種類が混血し、巨大化するすることで在来種を脅かしているという報告も見られています (Maureen et al., 2009)。

<https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.0902252106>

<https://shinka3.exblog.jp/11855150/>

尚、これは特に杉山の私見ですが、進化的な背景で複数の交雑が自然界で繰り返し行われた結果、現在のアンビストーマ種の野生種として確立した種類がいるとしたら、ゲノムの配列による区分けだけではやや遠慮の品種であると判別できてしまう可能性は十分にあると思われれます。

また逆の考え方として、タイガーサラマンダーを含むアンビストーマの仲間が、淡水と汽水いずれにも問題なく適応することが出来た場合、これらアンビストーマの仲間のうち、メキシコサラマンダーのみ淡水適応が苦手である、という考え方もできるかもしれません。

これも非常に面白い仮説ですね。

## 【今後の研究的なアプローチ】

今後のメキシコサラマンダーとタイガーサラマンダーとの生理学的な比較については以下のアプローチを考えています。

- ・調査項目: 国内で流通しているタイガーサラマンダー系統について、汽水適応の有無について、汽水飼育やストレス応答、イオンチャネル等について調査する。
- ・調査対象: 上陸したアダルト個体、ネオテニー個体、幼生個体それぞれの違いについて、トウブタイガーサラマンダーやオビタイガーサラマンダー等、国内流通している系統や雑種個体について、順次調査・比較する。

## 【研究計画 (おそらく検証自体は外部委託)】

おそらく野生型である国内メキシコサラマンダー  
トウブタイガーサラマンダー  
オビタイガーサラマンダー  
メキシコサラマンダーとタイガーサラマンダーの混血(F1)個体  
トウブとオビの混血(F1)個体  
幼生とセミアダルト、上陸成体  
→ 野生種(WC)と累代個体(CB)それぞれで比較する  
(混血はおそらくCBのみで検証可能か)

## 【関連文献】

### はるらぼ報告・汽水飼育関連

- ・note 記事: [https://note.com/lab\\_new2/n/n0b609d5d9f27](https://note.com/lab_new2/n/n0b609d5d9f27)
- ・メキシコサンショウウオの生活環における 汽水環境の重要性  
杉山 遥, あすみ 悠, 萩原 和晃, 枝豆 やみん, Fuzzy navel 三太子  
2023年10月28日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者  
Doi. [https://researchmap.jp/HAL\\_lab\\_Axolotl/published\\_papers/43901721](https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/43901721)

### サンショウウオの系統・分類

- ・[istage.jst.go.jp/article/plmorphol1989/15/1/15\\_1\\_40/pdf](http://istage.jst.go.jp/article/plmorphol1989/15/1/15_1_40/pdf)
- ・[分子系統解析に基づく分類 | 日本大百科全書 \(japanknowledge.com\)](http://japanknowledge.com)
- ・[分子系統解析の最前線 \(jst.go.jp\)](http://jst.go.jp)
- ・[日本産サンショウウオ類の分類と系統進化に関する研究](#)
- ・[ADW: Ambystoma: CLASSIFICATION \(animaldiversity.org\)](http://animaldiversity.org)
- ・[Ambystomatidae - Wikipedia](#)
- ・[トラフサンショウウオ科 - Wikipedia](#)
- ・[Ambystomatidae - an overview | ScienceDirect Topics](#)
- ・[https://www.researchgate.net/publication/329547761\\_Miniscale\\_differences\\_between\\_sex\\_chromosomes\\_in\\_the\\_giant\\_genome\\_of\\_a\\_salamander](https://www.researchgate.net/publication/329547761_Miniscale_differences_between_sex_chromosomes_in_the_giant_genome_of_a_salamander)
- ・[Salamander Paedomorphosis: Linking Thyroid Hormone to Life History and Life Cycle Evolution - ScienceDirect](#)

### タイガーサラマンダーの混血問題

- ・<https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.0902252106>
- ・<https://shinka3.exblog.jp/11855150/>



## 【23年\_日本分子生物学会年会\_発表内容①】

### アホロートル感染症対策と治療相談に関する活動報告

## Report on Activities Related to Axolotl (*Ambystoma mexicanum*) Infection Control and Treatment Counseling

報告日: 2023/11/11 [発表日: 2023/12/6 (A3325)]

著: Fuzzy navel 三太子<sup>1</sup>; 杉山 遥 (Ph. D)<sup>1</sup>

所属:<sup>1</sup> ウーパールーパー研究室\_はるらぼ (since 2020~)

[sugiyama.haruka.axolotl@gmail.com](mailto:sugiyama.haruka.axolotl@gmail.com)

研究者ポータルサイト Research map [https://researchmap.jp/HAL\\_lab\\_Axolotl?lang=ja](https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl?lang=ja)

X (旧 Twitter): [https://twitter.com/lab\\_new2](https://twitter.com/lab_new2) (@lab\_new2)

協賛企業: サイマン SciMoun (株)

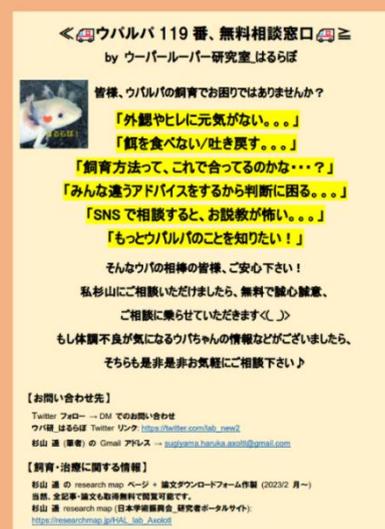
### 【要旨】

メキシコ原産のサンショウウオであるメキシコサラマンダー (*Ambystoma mexicanum*, 以下、アホロートル) は、現在絶滅の危機に瀕しています。愛玩動物として広く知られているアホロートルの品種は、日本国内では ”ウーパールーパー” として有名ですが、その生態についてはまだまだ未解明な部分が多いのが現状です。アホロートルにとって最適な成育環境を考えるうえで、感染症や免疫機構は非常に重要となってきます。アホロートルは飼育下の個体であっても免疫が脆弱であることが知られており、一度体調を崩してしまうと一般飼育者では適切な対処が難しい部分が大いにあります。そこで我々は、2022年10月より本格的に一般飼育者への相談窓口を開設し、体調不良や取り扱いに悩む飼育者の方々への助力になるべく活動をして参りました。[1]

約1年間という短期間ではありましたが、多くの方々からの相談を受け、私と代表の杉山の2人で受けた総依頼数は100件を超え、**鰭の充血・鰓の欠け・皮膚の浮腫・感染細菌が形成したシスト・脱調等の重篤な症状**を示していた多くのアホロートルを無事に回復させることに成功致しました。我々の推奨するこれらの症状に対する治療法として、汽水環境での飼育と低濃度オキシソリン酸薬浴

(+イソジン; ポピドンヨード) による治療法を確立・公表し、治療相談内でも多くの方に普及させていただきました。[2-4]

本発表では、これらの知見について皆様と共有し、研究室での飼育個体やご自宅の大切な飼育個体における細菌感染症等に悩む方々のお力になれることを切に願います。





# アホロートル感染症対策と治療相談に関する活動報告

Report on Activities Related to Axolotl (*Ambystoma mexicanum*)  
Infection Control and Treatment Counseling

○ F. N. 三太子<sup>1</sup>; 杉山 遥<sup>1</sup> (1. NPO研究グループ\_ウーパールーパー研究室\_はるらぼ)



E-mail address [sugiyama.haruka.axolotl@gmail.com](mailto:sugiyama.haruka.axolotl@gmail.com)

Twitter URL [https://twitter.com/lab\\_new2](https://twitter.com/lab_new2)

**アホロートル = ウーパールーパーとは?**

メキシコサラマンダー (*Ambystoma mexicanum*)  
の国内流通個体です (一部、他種と混血の説あり)

原産地: メキシコ (ソチミルコ湖)  
最大体長: 20~25cm  
幼形成熟 (ネオテニー) の形態を取れる  
寿命は20年以上 (変態・上陸すると10年程度に。。。)  
強み: 少々水質変化はへっちゃら  
弱点: 細菌感染、カビ (免疫反応がアフリカツメガエルの半分以下)  
※ 現在は絶滅の危機 (原因: 都市開発や埋め立てによる生息地減少)



(杉山 ほか, 2022-2023)

**種の保全に向けた生態調査・研究活動**

アホロートルを救いたい! → 2020年当ラボによる調査・研究活動を開始!  
・汽水・硬水飼育の開発 (23年9月, 日本動物学会にて報告(杉山))  
・飼育・治療相談への無償対応 (主に発表者が担当)  
・薬浴治療法の確立や感染原因に関する調査 (杉山)  
・他、睡眠や共生の仕組みなど続々研究内容を報告中。

**参考1: 水槽内に存在する微生物一覧 (アホロートルの病気の原因たち)**

性質・種類	学名	属・分類	備考
グラム陰性細菌	<i>A. hydrophila</i> , <i>A. sobria</i>	エロモナス属	感染症の原因菌
	<i>F. columnare</i>	カラムナリス属	感染症の原因菌
	<i>N. europaea</i>	ニトロソモナス属	アンモニア硝化菌
	<i>N. winogradskyi</i>	ニトロバクター属	亜硝酸酸化菌
	<i>S. enterica</i>	サルモネラ属	腸内細菌
	<i>E. coli</i>	大腸菌	腸内細菌
グラム陰性細菌	<i>Vibrio vulnificus</i>	腸炎ビブリオ	吐き戻しの原因 (好塩細菌)
	<i>Campylobacter jejuni</i>	カンピロバクター属	肉類に付着 (耐塩細菌)
	<i>Staphylococcus aureus</i>	黄色ブドウ球菌	皮膚の化膿・癩など (耐塩細菌)
	<i>Streptococcus iniae</i>	レンサ球菌	膿球突出、腎臓や脾臓の腫れ、心外膜炎など
藻類 (水苔)	<i>L. plantarum</i>	乳酸菌	腸内細菌
	<i>B. subtilis</i>	枯草菌	漬物バクテリア
	<i>C. pediculus</i>	コッコネイス属	桂藻類
真菌 (カビ)	<i>T. lacustris</i>	テトラスポラ属	桂藻類
	<i>M. willemsii</i>	ミクススポラ属	糸状菌類
	<i>S. cerevisiae</i>	出芽酵母	パン酵母
	<i>S. pombe</i>	分岐酵母	ビール酵母
真菌 (カビ)	<i>Rhodotorula</i>	赤色酵母	赤色酵母
	<i>S. parasitica</i>	ミスカビ属	
	<i>A. proliferans</i>	ワタカビ属 (卵菌類)	水質浄化、増えすぎると水カビ病の原因
	<i>A. racemosa</i>		
	<i>A. cochlioides</i>	アファノマイセス属 (糸状菌類)	

(杉山 ほか, 2022-2023)

**これまでの飼育・治療相談内容 & 各種対応**

症状	件数	主な要因	対策・治療方針
裂傷・傷 など	35	混泳個体同士の攻撃・誤食 水槽中の設置物による損傷	繁殖期 (低水温) の解消・オスの隔離 飼育水槽への仕切り・単独飼育化 角のある石や表面の粗い土管などの除去 ろ過装置の吸入口へのスポンジカバー装着
炎症・赤み 浮腫・腹水症	38	過不足によるアンモニア中毒 アンモニア分解物 (亜硝酸塩) 中毒 細菌・ウイルス・寄生虫感染 に対する免疫応答	【グラム陰性菌による感染症】 汽水飼育・オキシリン酸薬による治療 【他の要因による感染症】 汽水飼育・ポビドンヨード薬による治療 濾過環境強化や換水頻度を増やすことで 根本的な要因を除去できる → 水槽内の微生物叢の改善 汽水環境は亜硝酸塩の影響を緩和する 【例外】 ウオジラミ・イカリムシ 等の甲殻類の仲間 による寄生は生餌の魚経由で感染する → ジフルベンズロン水和剤 (ポウフラ農薬) の添加による治療のみが有効である
ぶかぶか病 転覆	52	消化不良 (特にデンプン質) による消化器管へのガス蓄積 腸内細菌叢異常によるガス蓄積 浮袋・肺の異常 (浮力制御の不良)	【腸内洗浄】 ・繊維質の多いアカムシやイトミミズ ・治療薬に浸した餌 (食べやすいもの) 水温を+2°C 程度上昇させる → 代謝の向上 淡水飼育であれば汽水飼育へ切り替える 汽水飼育であれば淡水飼育へ切り替える
鰓や身体の痩せ 餌の吐き戻し	34	寄生虫による栄養失調 腸内フローラ異常からの摂食障害 腸管腫瘍による摂食障害 各種ストレス起因の変態誘導	感染症を優先し治療期間中は断食させる 水質を良質に保つことで機能回復を優先する 食欲が改善すれば毎日少量ずつ与えていく ※ 改善しない場合は腫瘍の可能性あり → 病院に早急に受診させる

合計 159 件 ※ 各症状には重複あり

**参考2: 汽水飼育 + オキシリン酸薬・ポビドンヨード浴  
による感染症治療 & 免疫力の強化**



**【参考文献】**

1. 杉山 遥. (2023). ウパルパ 119 番・無料治療相談のご案内
2. 杉山 遥. (2023). ウパルパに良い水質や治療情報・病気の再発リスクなど
3. 杉山 遥. (2023). ウパルパ 飼育案内\_Part.1 & 2 & 治療案内 (最新)
4. 杉山 遥. (2023).メキシコサンショウウオの生活環における汽水環境の重要 (日本動物学会\_第 94 回\_山形大会性)





## 【23年\_日本分子生物学会年会\_発表内容②】

### メキシコサラマンダーにおける病原生物に対する応答性と治療可塑性に関する調査報告

### Report on Responsiveness and Therapeutic Plasticity to Pathogenic Organisms in Mexican Salamanders, *Ambystoma mexicanum*.

報告日: 2023/11/11 [発表日: 2023/12/6 (A3326)]

著: 杉山 遥<sup>1</sup>, F.N 三太子<sup>1</sup>, 萩原 和晃<sup>1</sup>, 枝豆 やみん<sup>1</sup>, あすみ悠<sup>1</sup>

所属:<sup>1</sup>ウーパールーパー研究室\_はるらぼ (since 2020~)

[sugiyama.haruka.axolti@gmail.com](mailto:sugiyama.haruka.axolti@gmail.com)

研究者ポータルサイト Research map [https://researchmap.jp/HAL\\_lab\\_Axolotl?lang=ja](https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl?lang=ja)

X (旧 Twitter): [https://twitter.com/lab\\_new2](https://twitter.com/lab_new2) (@lab\_new2)

協賛企業: サイマン SciMoun (株)

**【要旨】** メキシコ原産のサンショウウオであるメキシコサラマンダー (*Ambystoma mexicanum*, 以下、アホロートル) は、現在絶滅の危機に瀕している。その一方で、世界中で愛玩動物として広く流通しているアホロートルの品種 “ウーパールーパー” が有名であるものの、原種の個体数の減少や生息環境の歴史的な変化に伴い、その生態については未解明な部分が多いのが現状である。アホロートルにとって最適な成育環境を考えるうえで、感染症や免疫機構は非常に重要となってくる。アホロートルは飼育下の個体であっても免疫が脆弱であることが知られており、我々の調査結果においても水質(硬度や pH)の変化に対する抵抗性の高さに反して、水質悪化に伴って発生する耐塩性を示す腸炎ビブリオ (*Vibrio parahaemolyticus*) などの病原微生物自体への抵抗性が低いことが示唆されている。また、アホロートルは特に真菌類や耐塩性細菌等からの影響を受けやすく、対処が遅れることで早ければ数週間以内に亡くなってしまう可能性があることが明らかとなった。[1-3] 尚、これらの脆弱性が発現される際、鰓の矮小化や手足の充血等の炎症症状が見られるが、初期症状を示した段階から 2 週間~1 ヶ月以内に適切な対処をすれば、高い再生力で回復する可能性が十分にある(治療可塑性)。しかし、治療可塑性のある期間を過ぎてしまうと、感染症が進行することで粘膜分泌能が著しく低下し、免疫力の更なる低下が生じることで組織の化膿や壊死が進行し回復不能な段階まで進行してしまう。加えて、この時のストレスが引き金となることで間脳視床下部-脳下垂体-甲状腺までのホルモン分泌誘導による疑似的な変態誘導が起こり、鰓呼吸不全や甲状腺ホルモン分泌による代謝過剰による痩せの悪化等が進行し、最終的には死に至ることになることも明らかとした。

本発表では、これらの知見について皆様と共有し、野生種の適切な保全や飼育個体の健康管理に関する手がかりとなることを切に望む。

## 【参考文献】

1. 【改訂版】総説: ウーパールーパー / 虫・魚の飼育係 ~飼育の最新情報・学術データまとめ~

杉山 遥 ほか. 2023 年 4 月 19 日. Doi. [https://researchmap.jp/HAL\\_lab\\_Axolotl/published\\_papers/41527304](https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/41527304)

2). **Axolotl Immunology: Lymphocytes, Cytokines, and Allergic Incompatibility Reactions**

Cohen et al. (1994). Axolotl Newsletter Number 23.

3). **Immunologic Responses in the Axolotl, *Siredon Mexicanum***

Ching et al. (1967). J Immunol July 1, 99 (1) 191-200; <https://www.jimmunol.org/content/99/1/191>



# メキシコサラマンダーにおける病原生物に対する 応答性と治療可塑性に関する調査報告

A3326



## Report on Responsiveness and Therapeutic Plasticity to Pathogenic Organisms in Mexican Salamanders, *Ambystoma mexicanum*.



○ 杉山 遥<sup>1</sup>, F.N三太子<sup>1</sup>, 萩原 和晃<sup>1</sup>, 枝豆 やみん<sup>1</sup>, あすみ悠<sup>1</sup>  
(1. NPO研究グループ\_ウーパールーパー研究室\_はるらぼ)

E-mail address [sujiyama.haruka.axolti@gmail.com](mailto:sujiyama.haruka.axolti@gmail.com)

Twitter URL [https://twitter.com/lab\\_new2](https://twitter.com/lab_new2)

### *Ambystoma mexicanum* の生息地は 淡水湖と塩湖が何度も混ざりあった

#### The Axolotl Newsletter

Issue number 26 Fall, 1997

#### Contents

Axolotl Newsletter Number 26 p.16

which they called the Laguna de Mexico. In addition, a causeway or dike crossing from north to south through Tlahuac separated Xochimilco from Chalco Sanders, et al., 1979). During the Aztec period nearly the entire Xochimilco-Chalco basin was devoted to chinampas horticulture, as was the Laguna de Mexico around Tenochtitlan. Also, as a result of the Aztec waterworks, saline water was largely prevented from entering the southern lakes, even during periods of flood (Armillas, 1971). Thus the habitat of the axolotl was significantly affected during the period of the Aztec empire in at least two ways: first, by the spread of the chinampas, which involved the construction of ditches and islands; and second, by the construction of waterworks which controlled water levels and prevented the incursion of salt water into the axolotl habitat; its habitat may have been enlarged as well by the expansion of fresh water horticulture into the district around Tenochtitlan. The impact that these historical changes had on the species can only be speculated upon. The chinampas system and the Aztec waterworks were at their peak when the Spanish Conquistadors arrived in 1519. What

(参考: The Axolotl news letter. 1997)

### *Ambystoma mexicanum* の生育・成長には 硬水・汽水環境が望ましい

(A) ベアタンク

(B) ソイル(土,砂)を加えて自然界に近づけた環境

120日間における成長率(淡水)

成長率

ベアタンク ソイル セオライト 1:1で混合

(C) ソイル有/無間の成長率比較(水量は中性: pH 6.5-7.0)

検証開始前のサイズ 20~30mm

Scale bars: 50mm

淡水 day200

汽水(粗塩 0.15%) day200

汽水飼育下におけるアホロートルの成長率(day200)

塩類の添加 → 成長促進効果

成長率 (Ratio)

淡水 粗塩 0.15% 粗塩 0.3% Na:K:Mg:Ca = 10:1:1 (0.2%) Na:K:Mg:Ca = 10:1:1 (0.2%)

(杉山 ほか, 2022-2023)

### *Ambystoma mexicanum* は他の両生類と 比較して免疫力が低い傾向にある

Immunological feature	<i>Xenopus</i>	<i>Axolotl</i>
Thymus morphology: cortex/medulla	defined	undefined
Spleen morphology: red/white pulp	defined	undefined
Graft rejection (thymectomy)	acute (abrogated)	chronic (abrogated)
In vitro MLR (thymectomized)	strong (abrogated)	poor (0)
T-cell mitogen response	good (FBS or BSA) good (BSA)	poor (FBS)
B-cell mitogen response (LPS)	modest	modest (BSA or FBS)
PIIA response	good	good (BSA or FBS)
Antibody response (thymectomized)	good (restricted diversity)	poor (limited diversity)
Isozyme switching (thymectomized)	yes (IgT <sup>+</sup> )	no
Affinity maturation	modest	none
MHC class II antigens	B cells, T cells, thymocytes thymocyte areas of thymic stroma	B cells, T cells, erythrocytes, thymic stroma, endometrial epithelium, skin glands, brain
MHC class I antigens	ubiquitous cell surface	chain on erythrocytes

(参照: Ching et al., 1967 & Cohen et al., 1994)

#### <治療のタイミングと再発率>

- 炎症(充血)発見の時点で塩浴・薬浴治療(計100匹:聞き取り調査含む)
  - 5~7日 → 1/21
  - 10~14日 → 0/18
  - 18~21日 → 0/19
  - 25~30日 → 13/20
  - 60日以上 → 18/22
- 炎症(充血)確認後も塩浴・薬浴なし
  - 30日以上放置 → 健康せ(38匹/56匹)
    - ここで30日間治療(38匹)後、再発率
      - 5~7日 → 4/8
      - 10~14日 → 4/7
      - 18~21日 → 7/11
      - 25~30日 → 5/6
      - 60日以上 → 6/6
  - 60日以上放置 → 身体も痩せ(46匹/52匹)
    - ここで30日間治療(46匹)後、再発率
      - 5~7日 → 8/9
      - 10~14日 → 10/11
      - 18~21日 → 8/8
      - 25~30日 → 9/9
      - 60日以上 → 9/9

#### <細菌感染・発症のプロセス(推定)>

感染 → 炎症マーカー増加 → 腸機能低下 → 嚥下不全(巧く呑み込めない) → 衰弱死(痩せ)

### *Ambystoma mexicanum* は汽水・硬水の 環境下で免疫力を補っていた可能性がある

(B) 損傷・失血等の影響で不健康なセミアダルト  
約200日目(依頼にて治療を引き受けた個体)

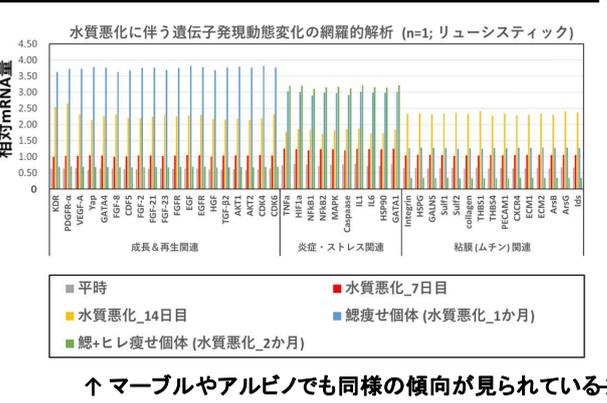
手の欠け  
脚の血色が悪い  
四肢の曲がり

手の再生  
脚に十分な血流  
四肢の回復

(B') 一週間程度の薬浴 + 0.3%ミネ水中での長期飼育(100日間)によって健康な状態にまで回復した例

※ ミネ水 = Na, K, Mg, Ca を一定の比率で含む汽水

### *Ambystoma mexicanum* の水質悪化に伴った 再生・ストレス応答・粘膜炎因子の発現動態



### *Ambystoma mexicanum* は生育環境が悪化することで ストレス応答を示し 疑似的に変態を進行させてしまう

#### 水質悪化時のメキシコサラマンダー(リュース)における甲状腺ホルモン関連の分泌量の相対比較

遺伝子発現量 (相対mRNA発現量)

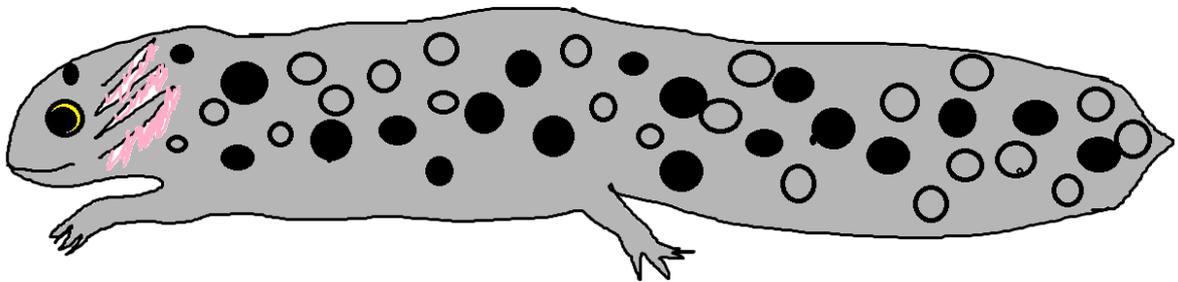
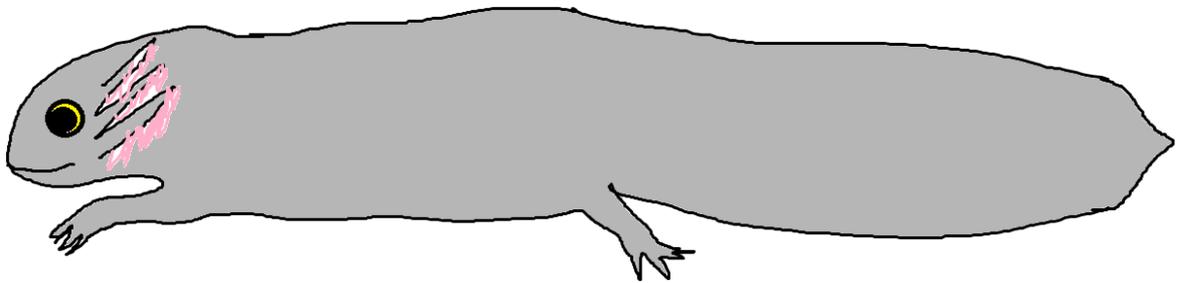
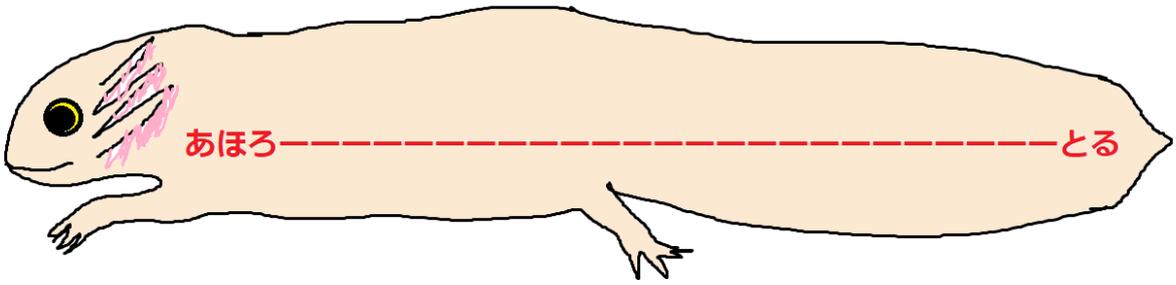
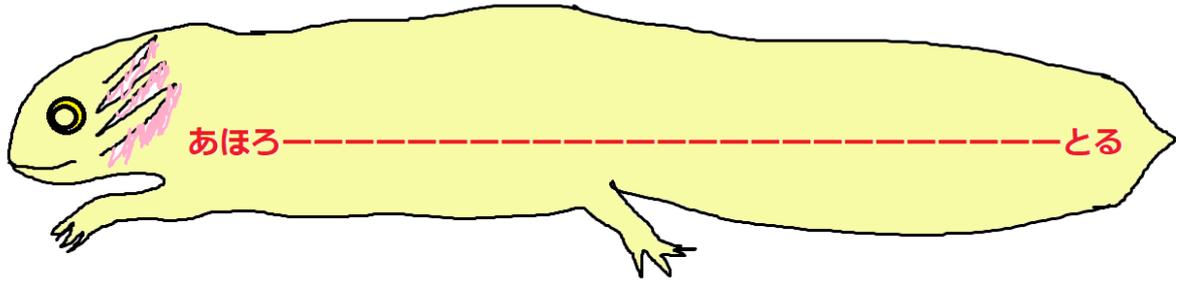
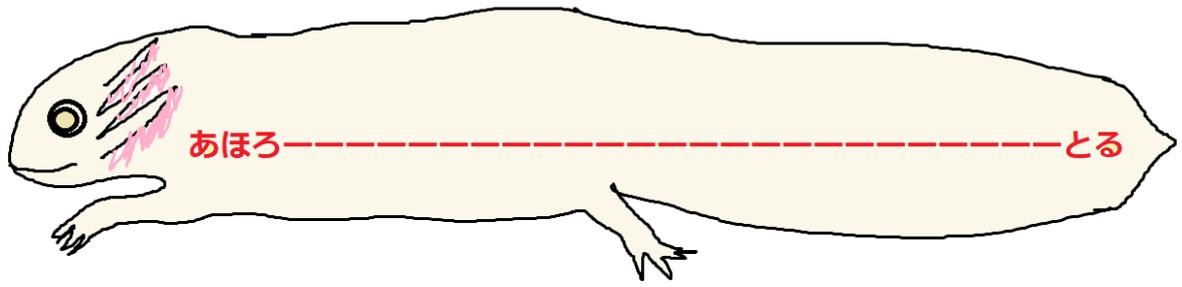
THRH (TSH放出ホルモン)受容体 THRH (TSH放出ホルモン)受容体  
TSH (甲状腺刺激ホルモン) TSH (甲状腺刺激ホルモン)受容体  
TSHR (甲状腺刺激ホルモン)受容体 TR (甲状腺ホルモン)受容体  
GnRH (性腺刺激ホルモン)受容体 GnRH (性腺刺激ホルモン)受容体

#### <環境悪化によるストレスと変態促進の機構>

水質汚染 → 感染症など → ストレス応答・炎症 → 壊死(鰓+ヒレ) and/or ストレスにより変態促進 → ※ TSHR, GnRH, GnRHR 等が上昇 → 鰓機能低下で酸欠 → 窒息 and/or 生体機能低下・死亡

治療が有効なライン





# <ウーパールーパー飼育案内>

## ウーパールーパーを飼おう！ (23/1/20)

著: 杉山 遥 (Ph.D; 詳細調査・本記事の主な執筆者) <sup>1\*</sup> <sup>\*\*</sup>

所属: <sup>1</sup>ウーパールーパー研究室はるらぼ

詳細: <sup>\*</sup>主任研究者 <sup>\*\*</sup>責任著者

【参考: ウーパールーパー (アホロートル) とは?】・・・2022/6/1

学名: メキシコサラマンダー (*Ambystoma mexicanum*)

### ウーパールーパーの生態

**分類** ● 両性綱有尾目トラフサンショウウオ科トラフサンショウウオ属  
● 有尾類

**別名** ● アホロートル  
● メキシコサラマンダー

幼体のまま成長  
||  
幼形成熟 (ネオテニー)

そとえら  
**外鰓**

**特徴** 再生能力が高い  
7日～40日程度  
手足のみならず臓器や目も

**絶滅危惧IA類 (CR) に指定されている**  
↳ 生息地の減少・水質悪化・外来種の食害  
**野生の個体はわずか100匹程度**

**原産地** メキシコ・ソチミルコ湖

**体の色** 品種改良により5種  
リューシスティック・・・ピンクがかった白・黒目  
アルビノ・・・ピンクがかった白・赤目  
ゴールデン・・・黄色  
マーブル・・・黒褐色の斑点  
ブラック・・・黒

**生活環境** 生涯水中  
変態すれば陸上生活のケースも  
少しずつ陸に慣らす  
甲状腺ホルモンを注射

**寿命**  
通常10年以上  
陸生化すると3～5年に短くなる

<https://ikimall.ikimonopal.jp/blog/post-1504/>



# 愛玩動物としてのウーパールーパー

## 野生型 (WT)

マーブル



リューススティック



ブラック



## アルビノ系統

アルビノ



ゴールデン



イエロー



【参考: ウパールパを入手しよう】・・・2023/1/20



## 1). 生体の準備と飼育方法

入手方法:

- ・ ペットショップ
- ・ ホームセンター
- ・ インターネット販売
  - オークションサイト (ヤフオク, メルカリ, ジモティー など)
  - オンラインショップ
    - ・ チャーム 様: <https://www.shopping-charm.jp/>  
品揃え豊富
    - ・ AMAZON (アマゾン) 様: [https://www.amazon.co.jp/ref=nav\\_logo](https://www.amazon.co.jp/ref=nav_logo)  
必要な備品はここで揃います。
    - ・ 楽天市場 様: <https://www.rakuten.co.jp/>  
意外な掘り出し物も
    - ・ うぱるぱ屋 様: <http://www.uparupaya.com/>  
有名店・保護活動も積極的にされています！
    - ・ ウーパールーパーNET 様: <https://www.dog7.net/>  
店主の方がとても親切で、良心的な価格です。

## 2). 生体を手に入れたら

- ・ 針子・稚魚 (孵化直後～孵化後1ヶ月程度)



動く餌を好むので、ミジンコや生きたブラインシュリンプを与えると良い。

冷凍したブラインシュリンプや砕いた顆粒エサも食べなくは無いが、生きている餌の方が食いつきは良い。



・ 体長 2～3cm 程度



冷凍アカムシや冷凍ブラインシュリンプを好む。咀嚼に困難な様子をしめしたら、細かく切って与えると良い。この時期に動かない餌を探させるようにすると、成長しても落ちた餌を拾うように育つ可能性がアップする。

・ 体長 5～7cm 程度



小さいサイズの顆粒エサは食べることができる。冷凍の生餌と併用しつつ、顆粒エサに慣れさせていきたい時期。餌をある程度与えてないと、他の個体に噛みつきやすい時期であるため、混泳時の他個体との接し方に日々注意したい。

・ 体長 10～15cm 程度



雌雄差が見え始めるタイミング。顔や体つきの個性が出始める。

・ 体長 18～25cm 程度



4～10 か月でこの大きさになる。性成熟し、繁殖が可能になる大きさ。

・ 体長 30cm 以上



水槽内では、ここで成長を止めてしまう個体が多い。体表に凸凹が発生するが、特に異常ではない。

## ウーパールーパーの繁殖方法 [1-4]

### 【繁殖の準備 1: 成熟したオスとメスの準備】

繁殖に際して、1～3年目の成熟個体(体調は18～25cm程度に成長した個体)を準備する必要がある。外部生殖器は、

冬～春～秋という涼しい季節の方がより発達しており、繁殖に適したのも低水温の時期であることが知られている。

- ・ オスの特徴: 真っすぐな身体, 排泄口の周辺にある生殖腺が丸く大きい
- ・ メスの特徴: 丸みを帯びた身体, 排泄口の周辺にある生殖腺が小さい

**オスの場合**

成熟したウーパールーパーのオスは後ろ足の付け根に膨らみが出てきます。いわゆるキンタマがあります。

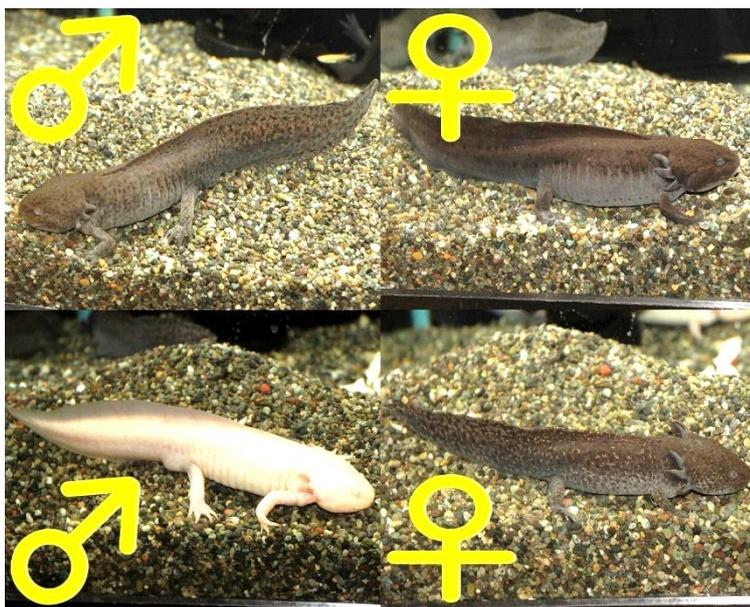
写真の子はまだ10cmくらいのヤングサイズなので成熟に伴いもっと膨らみは大きくなります。



**メスの場合**

対してメスだと後ろ足の付け根が全く膨らみません。

オスは膨れてくるので容易に判別しやすいのですが、成熟していないウーパールーパーはまだ膨らむ可能性があるためメスだと断言するのは難しいところがあります。



参考写真: ウーパールーパーの雌雄の判別方法 (←文献[1], 文献[2]→)



### 【繁殖の準備 2: 繁殖(ペアの形成)の準備】

繁殖用の水槽を用意し、健康な成熟したオスとメスを選択し、飼育容器に入れてつがい(ペア)にする。この時、水槽はある程度の広さがあるようにし、水槽の底にはオスの精包が固定しやすいように凹凸がある方が好ましい。メスがオスの精包を受け取ると産卵を開始し、100～600個程度の卵を周辺に産み付ける。

交尾していない場合でも、無精卵を産卵可能であるが、30～50個程度と、受精した時より数が少なく孵化はしない。

**※ 尚、卵や孵化した幼生は、決して自然界に放流しないこと!**

繁殖に際して、栄養状態や飼育水の状態(水温、硬度(イオン濃度)、pH)等の影響があるため、繁殖が巧く進まない場合は水質や影響状態を含めた飼育環境を変えることで解決できる場合がある。

参考写真: オスが放出した精包 (文献[3])



### 【繁殖の準備 3: 繁殖開始】

22/11/20～, 22/12/29 (画像追加)

ウーパールーパーの繁殖行動は、まずメスがオスを刺激する所から開始される。オスの体の上に乗ったり、下に潜ったり、後方から突っいたりなどの身体的に刺激を与える。オスは頭部の先で、メスの腹部を後ろや底から軽くたたくことによって、メスに交尾を訴え始める (交尾ダンス)。このような行動を複数回行いながら、オスは飼育容器の底などに精包を産みつけていく。この時、飼育容器の底は滑らないように凹凸があったほうが滞りなく放出される。メスからの刺激の後、オスはこの時に精包を複数(～15 個程度)放出する。オスはメスの後ろを追いかけて、メスが総排泄口から精包を拾い上げて、体内に入れるように促す。メスが精包取り込んでから数時間後には、メスは底にくっついて精包を探して体内に取り込む。この時、通常、メスはすべての精包を使用しない。また、1匹のオスから出た精包を複数のメス(5匹程度まで)でそれぞれ使用する場合もあり、一度に複数のメスが同時に産卵するのはこれが原因である。

交尾終了後、基本的には12～20時間後にメスが産卵を開始する。メスは通常 1～3 日間 かけて周辺の障害物や水草等に卵を産み付けていく。尚、産卵を数回経験したメスの方が安定して受精卵を産卵できると言われている。



※ 繁殖後は、両親の体調が消耗していることから、回復させるためにもすぐには再度ペアにしないように注意すること。

参考: 水草などに産卵された卵の様子: 写真提供: かなこ 様 (Twitter @kanarin0922)

## 【孵化した幼生の飼育の方法】

202211/29～

18℃～20℃下、ミネ水※ 飼育条件下で初の孵化個体です。(3年目にして初孵化に成功しました！)  
他条件も、続々と繁殖に成功しつつありますので、乞うご期待！

※ 0.15～0.3% の汽水で継続的または周期的に飼育する、当独自の手法 (詳細は後述)。

はるらぼ Twitter アカウントに定期的に投稿する生育記録を、こちらに公表しつつ、生育に関する結果を定期的に追記していきます。



参考写真: 汽水飼育 (ミネ水飼育法) 個体の第1世代が孵化するまで。  
22/12/12 着々と孵化を開始していく。



## 【孵化した幼生の飼育の方法】

202212/12～

尚、孵化した稚魚(幼生)は、十分なエアレーションをしてあげながら、毎日水替えで対応していく。大きなフィルターでの濾過を行うと、濾過器に詰まってしまう場合もあり、非常にリスクと思われる。餌に関してですが、可能であれば動く飼料(ブラインシュリンプやミジンコなど)を用意してあげることを推奨する。(一応、冷凍ブラインシュリンプでも育成は可能ですが食べ残しが多いのが難点かも。)

活ブラインシュリンプの調達には、孵化器と卵が必要であり、それぞれ事前に準備しておく必要がある。ブラインシュリンプの孵化のさせ方の詳細は、[文献 5, 6] を参照のこと。



参考写真: 汽水飼育(ミネ水飼育法) 個体の第1世代の育成(202212/12～)  
22/12/15 孵化が完了した個体たち。

### 参考文献

- ・1) 即繁殖を狙えるウーパー! ; Remix 様 HP <https://remix-net.co.jp/?p=585708>
- ・2) ウーパールーパーの雌雄の見分け方; [アクアハーミット様](#) HP (←クリックでリンク先へ)
- ・3) Mexican Axolotl: A God In Danger <https://www.uw360.asia/mexican-axolotl-a-god-in-danger/>
- ・4) ウーパールーパーの繁殖; ウーパールーパー.net <https://mars7.net/>
- ・5) 活ブラインシュリンプは孵化が面倒? <https://suisanrin.com/brainshrimp>
- ・6) トロピカ様>小さな魚の餌! ブラインシュリンプの孵化と増やし方・魚への与え方を解説  
<https://tropica.jp/2018/12/03/post-24472/>



## <ウーパールーパー飼育案内>

### ウーパールーパーを飼おう！ Part.2 (23/2/18)

著: 杉山 遥 (Ph.D; 詳細調査・本記事の主な執筆者) <sup>1\*</sup><sup>\*\*</sup>

所属: <sup>1</sup>ウーパールーパー研究室はるらぼ

詳細: \*主任研究者 \*\*責任著者



## 【参考: ウパルパ水槽を立ち上げよう】・・・23/2/18

皆様は、ウパルパ水槽をどのような構成にするか、非常に悩まれていると思われる。

当ラボでは、全ての試験個体に以下のような構成で飼育を実施しており、長期的に安定した環境で飼育を継続できている実績もあるので、ぜひご参考にしたいただければ幸いです。

### 飼育時の構成の例

#### 用いる水槽

GEX マリーナ幅 60cm 水槽 MR600BKST-N ガラス水槽

60cm 水槽

容量: 約 57L

ガラス厚: 3mm

サイズ: 約幅 600mm×奥行 300mm×高さ 360mm



#### 用いるメインフィルター (ろ過機)

・Gex メガパワー6090・・・適合水槽: 60～90cm(60～160L)

または

・Gex デュアルクリーン 600 (DC-600)・・・適合水槽: 60cm(60L)



#### 飼育水

・カルキを抜いた水道水 または 0.15～0.3% の塩水 (汽水); 当ラボでは ミネラル含有水＝”ミネ水” と呼称) [7-8]

→ 二週間毎に 淡水～0.3% の濃度を変動させる (休塩日を設ける) と、

より健康的に飼育が可能 (当ラボ調べ)。[8]



#### 用いるサブ(補助)フィルター

・ロカボーイ M～L x1～2 個



※ 実は、ビタミン剤入りの安価で単純なカルキ抜きがウパには良い。

例: コトブキエ芸\_カルキ抜き



<ミネラル含有水飼育に用いる粗塩例>

国産原料100% あら塩の恵み (関東塩業)

塩業 瀬戸内の塩 国産塩 (塩業)



<組成>  
・塩化ナトリウム 94.0%  
・他陽イオン 5.0～6.0%  
・マグネシウム 0.15%

<組成>  
・塩化ナトリウム 95.0%  
・他、ナトリウム 4.0～5.0%  
・カルシウム 0.06%  
・マグネシウム 0.073%  
・カリウム 0.09～0.16%

#### 使用する底材 (ソイル, 砂, 砂利)・・・計 20kg 程度を推奨

- ・アクア用の土・ソイル [9～11L(kg)]
- ・アクア用のソイル [5～8L(kg)]
- ・アクア用の砂利 [3～5L(kg)]

・エアポンプ+エアチューブ



## ウーパーパーのお迎えと飼育の開始

水槽の準備が出来たら、次は生体を準備します。

尚、生体の購入に関しては、

ラボ論文の“飼育案内\_1 (杉山, 2023) [https://researchmap.jp/HAL\\_lab\\_Axolotl/published\\_papers/41322801](https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/41322801)”を参照のこと。[9]

前述の **60cm 水槽の構成であれば、最大 5~6 匹までは問題なく飼育可能**である (当ラボにおける検証結果)。

### 1). 水槽をあらかじめ立ち上げておき、2~3 日程度おいて水質を安定させる。

& 入手したウパールパをその間にタッパーなどの容器に入れておき、3~5 日の間 薬浴し、健康な状態にする。

※ 薬浴の推奨条件: “グリーンFゴールドリキッド” の規定量の 1/5 量を添加、かつ 毎日水替える。[8]

↓

### 2). 水槽の水質が安定し、ウパの薬浴が完了したら、ゆっくりと生体を投入する。

※ 2-1). 餌を水槽内で与える場合は、2~3 日毎に食べるだけ与える。(生餌の場合は、生体をタッパーへ移動して与える。)

※ 推奨水温: 18~20°C, 推奨 pH: 6.8~7.5

(常に 25°C を超える場合は、飼育水の白濁りや pH 変動、生体の充血・炎症などの症状に常に注意を払う。)

↓

### 3). 週 1~2 回程度水替える。

※ ミネ水(汽水)飼育の場合は、前述の休塩日を設けながら水替えを実施することが望ましい。

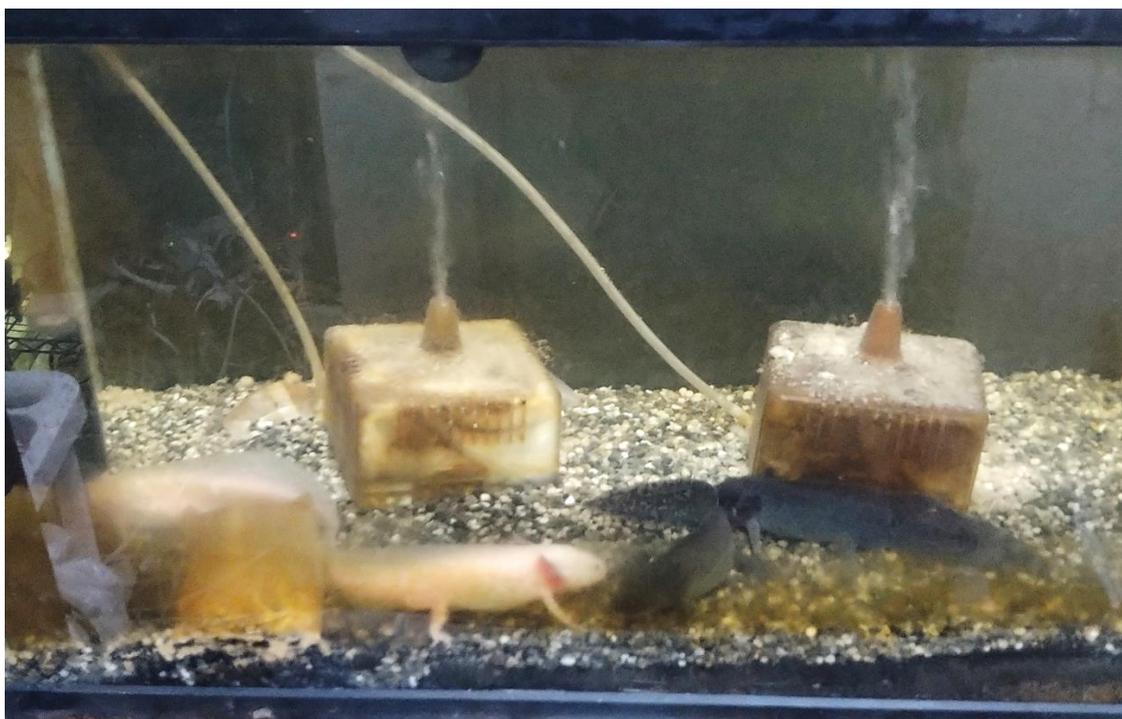
※ 生体の鰓や尻尾が痩せてきたら水質悪化や体長不良のサインなので注意！[8]

↓

### 4). フィルター交換・フィルター掃除や底砂の掃除は、月に一回程度実施する。

※ 数年に 1 回程度、底材を新しいものと入れ替える/次足すと良い。

※ 基本的に 2).-4). の繰り返し



参考: はるらぼ構成の飼育水槽の状態 (ウパールパもすくすく元気！)

## 効率的な水替えのテクニック

水替え作業は非常に大変であるが、ここで作業を簡略化するテクニックについて紹介したい。

以下、左写真のようなバスポンプ <https://www.kohnan-eshop.com/shop/g/g4548927023710/> を用いることで、バケツリレーをせずとも、バケツや風呂場などに汲み置きした水を右写真のように水槽へ直接注ぐことができる。同様に、水槽側から水を汲みだすことも可能である。



**参考：バスポンプを使えば、より効率的に水替えが可能！**

換水時の水の汲み出しの際は、バスポンプのヘッドを以下の写真のような洗濯ネット（粗目）で包むと、底材や汚れで詰まるのを避けつつ、汚れを効率的に回収することが可能である。



例：SP 洗濯ネット 粗目メッシュ 角型 大（東和産業）

## 参考文献

- ・1) 即繁殖を狙えるウーパー！; Remix 様 HP <https://remix-net.co.jp/?p=585708>
- ・2) ウーパールーパーの雌雄の見分け方; [アクアハーミット様](#) HP (←クリックでリンク先へ)
- ・3) Mexican Axolotl: A God In Danger <https://www.uw360.asia/mexican-axolotl-a-god-in-danger/>
- ・4) ウーパールーパーの繁殖; ウーパールーパー.net <https://mars7.net/>
- ・5) 活ブラインシュリンプは孵化が面倒? <https://suisanrin.com/brainshrimp>
- ・6) トロピカ様>小さな魚の餌!ブラインシュリンプの孵化と増やし方・魚への与え方を解説  
<https://tropica.jp/2018/12/03/post-24472/>
- ・7) 杉山 遥 > 2022年4月\_メキシコサンショウウオの成長・生育を制御する因子の探索.  
はるらぼ会報誌・ウーパールーパーだより vol 1.0, 1.2,1.3  
[https://researchmap.jp/HAL\\_lab\\_Axolotl/published\\_papers/41303617](https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/41303617)
- ・8) 杉山 遥 > 2022年12月25日\_アホートルの飼育・治療最新情報  
[https://researchmap.jp/HAL\\_lab\\_Axolotl/published\\_papers/41322797](https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/41322797)
- ・9) 杉山 遥 > 23年2月4日\_ウーパールーパー飼育案内\_Part.1  
[https://researchmap.jp/HAL\\_lab\\_Axolotl/published\\_papers/41322801](https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/41322801)

# <ウーパールーパー研究報告>

## アホロートルの飼育・治療最新情報

著: 杉山 遥 (Ph.D; 詳細調査・本記事の主な執筆者)<sup>1\*</sup>、あすみ悠 (ミネ水の追検証)<sup>1</sup>、  
萩原 和晃 (pH 変化調査)<sup>1</sup>、枝豆やみん (薬浴の追検証)<sup>1</sup>

所属: <sup>1</sup>ウーパールーパー研究室はるらぼ

詳細: \*主任研究者 \*\*責任著者

### はるらぼ式ミネラル含有水飼育法 および 薬浴法のおさらい 2022/9/19

過去の記事にて、ミネ水飼育法(0.2~0.3% 汽水飼育)※ および はるらぼ式薬浴について紹介したところ、実際に試して下さった方々が40名近く(2022/9/19 現在...Twitter 18人, 他 筆者友人および知人を含む19人; 計37名)おられました。実際に効果があったという方が非常に多かったため、詳細を以下に再掲載致します。更に、薬浴についてはイソジン浴による滅菌も実施したことから、今回そちらの知見も併せて、薬浴治療に関する最新報告をこちらに掲載させていただきます。

※ 尚、薬浴治療関連は、情報掲載の都合上、本特集の後半・第8章~になります。

#### トピック 1: ミネ水の組成

はるらぼでは、“ミネ水”の作製に際し、瀬戸内海産の荒塩を用いて調整を行っている。

比率としては、100g 当たりにおいて、塩化ナトリウム NaCl 94.0g、塩化マグネシウム MgCl<sub>2</sub> 150mg、塩化カルシウム CaCl<sub>2</sub> 等を含む。この塩を、カルキ抜きをした水道水に混合し、0.2-0.3% (塩化ナトリウムを100%と想定した場合の理論値)に調整する。

濃度計算は、以下のリンク先のサイトなどでも簡易的に行える。

→ 金魚病気: 塩浴時の塩の量の計算

[https://xn--48jwgy65k6z7bz7j.com/kingyo\\_tips/salt\\_calc](https://xn--48jwgy65k6z7bz7j.com/kingyo_tips/salt_calc)

尚、使用感として、塩化ナトリウム100%よりも、微弱でも他のミネラルを含む方が生体の調子は良い印象があるが、統計的な根拠は弱いため参考程度で。ミネラルの比率を変えることで、生体の成長・生育等に対してどのような変化があるのかについては、今後はるらぼでも鋭意調査していく方針である。

<ミネラル含有水飼育に用いる粗塩例>

国産原料100% あら塩の恵み  
(関東塩業)



<組成>

- ・塩化ナトリウム 94.0%
- ・他陽イオン 5.0~6.0%
- ・マグネシウム 0.15%

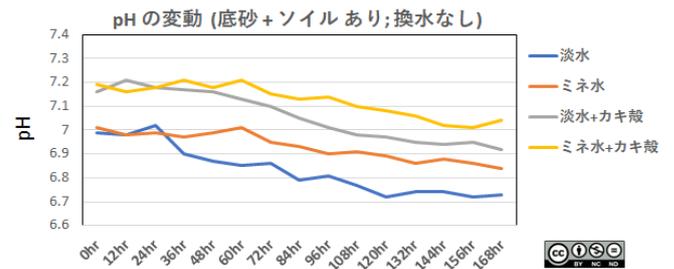
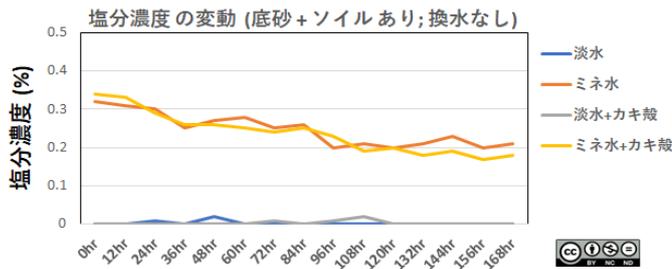
塩業 瀬戸内の塩 国産塩  
(塩業)



<組成>

- ・塩化ナトリウム 95.0%
- ・他、ナトリウム 4.0~5.0%
- ・カルシウム 0.06%
- ・マグネシウム 0.073%
- ・カリウム 0.09~0.16%

尚余談だが、ソイル・砂が入っていると、それらの吸着効果から、塩分濃度が時間経過と共にある程度低下することで、マイルドな効果になっているというメリットがあることが明らかになっている。



特に、底砂の主成分であるゼオライトにはイオン交換作用があり、既に底砂に吸着されたアンモニウムイオン ( $\text{NH}_4^+$ ) と新たに加えたミネ水中で塩が水に溶けて生じたナトリウムイオン ( $\text{Na}^+$ ) の交換反応が起こることで、水質が一時的に悪化することがあるため、ミネ水での飼育の際はこまめな水替え (週 1~2 回) を実施するか、同日に半量水替え後から数分~数時間後に再度全量換水するとより水質を安定に保つ事が可能である。

また、ミネ水条件下では、淡水条件と比較して pH の低下 (酸化) も緩和されることが明らかになっている。詳細は参考文献の はるらぼ note 記事 ([https://note.com/lab\\_new2/n/n00721bcab68e](https://note.com/lab_new2/n/n00721bcab68e)) などをご参照のこと。

尚、pH 関連の調査には、当ラボ所属研究員の 萩原 技術主任 を中心に、参考データを随時取得中である。濾材と pH 維持・調節に関する調査・研究も現在実施中。こちらも追って結果を報告する予定である。

ミネ水飼育に関する検証動画: 当ラボメンバー あすみ 悠 氏による検証報告 (YouTube 動画):

<https://www.youtube.com/watch?v=xDMi3p90xYA>

参照: 濾材の吸着特性について (主にゼオライト・イオン交換反応関連)

- <https://t-aquagarden.com/column/zeolites>
- [https://nuce.aesj.or.jp/\\_media/clwt:2\\_%E5%90%B8%E7%9D%80%E3%83%87%E3%83%BC%E3%82%BF\\_%E3%82%BC%E3%82%AA%E3%83%A9%E3%82%A4%E3%83%88\\_4.28.pdf](https://nuce.aesj.or.jp/_media/clwt:2_%E5%90%B8%E7%9D%80%E3%83%87%E3%83%BC%E3%82%BF_%E3%82%BC%E3%82%AA%E3%83%A9%E3%82%A4%E3%83%88_4.28.pdf)
- <https://www.aquarium-favorite.com/entry/zeolite/>
- <https://kingsbiscuit.exblog.jp/31117762/>
- <https://horti.jp/26045>

## トピック 2: ミネ水の効果から見出される希望

以下のまとめ図でも明らかなように、ミネ水飼育 や後述する はるらぼ式薬浴 の併用によって、損傷や感染症の症状を示す個体が健康な状態へと回復することが可能である。とはいえ、全ての個体にそれが保証されている訳ではない点にはご留意を。

とはいえ、わずかでも回復することに希望が見出せるならば、アホロートル飼育者の我々にとって、大きな希望であると言えるのではないだろうか。

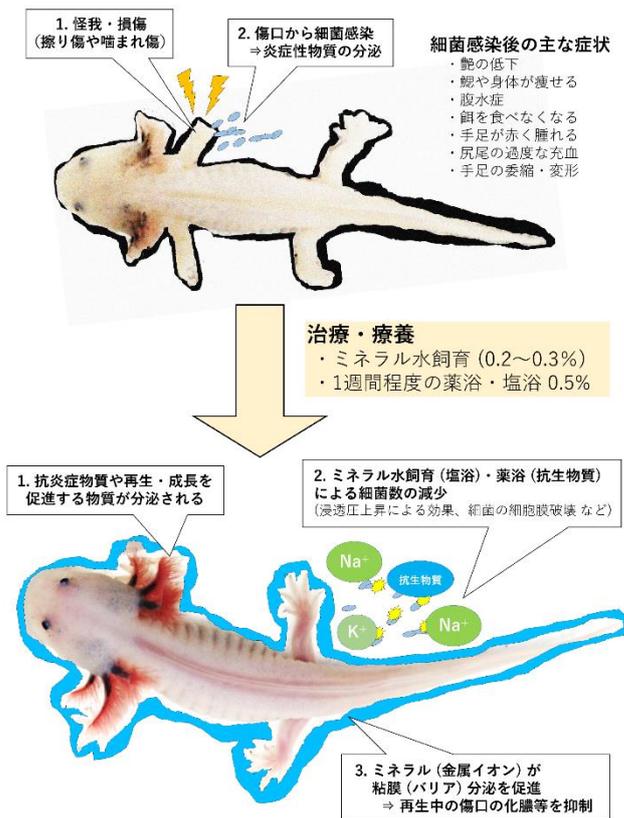
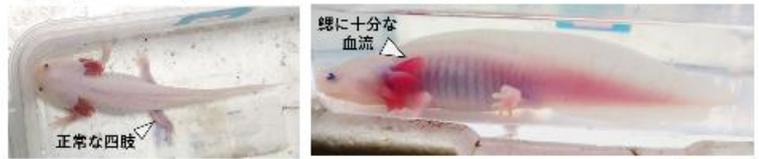


図9: 予想モデル図; 汽水条件・薬浴にがもたらす感染症治療・損傷部位の治療促進効果

CC BY NC ND 許可なき転載・改変および商業利用禁止

(A) 健康な成体 300日目



(B) 損傷・失血等の影響で不健康なセミアダルト 約200日目 (依頼にて治療を引き受けた個体)



(B') 一週間程度の薬浴\* + 0.3%ミネ水中での長期飼育 (100日間) によって健康な状態にまで回復した例



図1: ミネ水飼育および薬浴による治療と再生・成長促進効果

\* 1/5000 オキシリン酸 (グリーンFゴールドリキッド) + 1/200インジン浴で、最長1週間程度なら継続投与が可能。

\*\* 各スケールバー: 25mm

## 参考: ミネ水 および 薬浴の効果

### トピック 3: ミネラル水飼育と塩浴の明確な違い [https://note.com/lab\\_new2/n/n89567912a9c7](https://note.com/lab_new2/n/n89567912a9c7)

本当に極稀にはあるものの、ミネ水飼育法普及に際して、塩浴を長期間するのは危険等の指摘があったりする。確かに淡水で飼うと単純に認識している状態で塩を使うのは、知識があまり無い故に不安に感じてしまうかもしれないが、ミネ水 ≠ 塩浴で、安心・安全な手法である。尚、前述のとおり、40人近くからの実践報告と有用性に関する朗報が届いており、ある程度安全性・有用性が保証されている。

**塩水浴（塩浴）の定義:** ウーパールーパーの浸透圧である **0.65%** に近づけることで、弱った身体への負担軽減や滅菌効果などを期待した手法を指す。

尚、エロモナス菌や真菌（カビ類）が死滅する目安の濃度は **0.50%** とのこと（以下、参照 2-1）。

ミネ水に用いる **0.05~0.3%** の塩分濃度は、所謂汽水に該当し、魚水槽用の岩塩や塩タブレットが **0.1%** になるように売られている。

#### 製品例 [\(画像をクリックすると製品詳細を確認可能\)](#)



吉田飼料 水も健やかに保つ岩塩



水作 塩タブレット

つまり、ある程度の塩を添加する手法は、既にアクアリウム界で普及していることが分かる。ちなみに、はるらぼがこれまで主に参考にしてきたのは、海外で用いられている **Holtfreter' solotion** (通称、ホルトフレーター)\* である。

\* [Holtfreter's solution | Wikiwand Holtfreter's solution is a balanced salt solution that was de www.wikiwand.com](#)

このホルトフレーターのような塩・ミネラル（一般家庭なら前述で示した粗塩で効果は十分）を用いることで、飼育水への塩分添加による成長促進や免疫力向上、除菌効果などが期待できる。

また、生育地がかつて塩湖と淡水湖が混ざり合っていたとされており、汽水条件で生息していた可能性があり、当ラボでも汽水適応に関連するデータは既に得られている（次章 ”ミネ水による成長・再生促進効果” を参照のこと）。

この点で、日本のサンショウウオたちとウーパールーパーは大きく異なっており、淡水適応はしていない可能性が高いと考えられ、むしろ淡水飼育はウパに無理をさせていることも懸念される。

一方で、当ラボにおける検証により、日本のイモリ・サンショウウオ類は塩に弱いのを確認しました。**0.2%**でも呼吸しづらそうな様子を示した。(“ミネ水による成長・再生促進効果”を参照のこと)

このように、調査を進めていく中で、他の日本産両生類とウーパールーパーは同列に語ってはいけない可能性すら出てきてしまっている。今後この点について更に留意して必要がある。

尚余談だが、塩水が腐りやすいみたいな話をたまに耳にするが、我々の調査の結果から、

- ・淡水 → 微生物がまんべんなく増える。
- ・塩水 → 微生物を抑制するが、耐塩菌やカビ・コケ等の耐塩性のある微生物がバイオフィーム下で生き残る。

というのがおそらく正しいと考えられる(後述の アホロートル飼育水槽におけるバクテリアの存在比、水温と微生物の増殖率の違いの中で根拠となる結果が得られている。要参照のこと。)

#### 参照 1: 汽水の定義

- ・フジクリーン工業株式会社> 水の話> 汽水域: [www.fujiclean.co.jp](http://www.fujiclean.co.jp)
- ・汽水域 – Wikipedia: [ja.m.wikipedia.org](http://ja.m.wikipedia.org)

#### 参照 2: 両生類の浸透圧と塩水浴

- ・カエル情報室\_専門獣医師による飼育と病気の解説> 両生類の塩水浴について解説: <https://exoroom.jp/kaeru/2021/12/18/ennsuiyoku/>
- ・うぱるぱ屋> 塩浴: <http://www.uparupaya.com/blog/2017/03/post-61.php>
- ・<https://xn--qckxbxdtib.com/sick/enyoku/>



## トピック 4: ミネ水による成長・再生促進効果

以下に、ウーパールーパーだより Vol 1.3 ([https://drive.google.com/file/d/1DuwEjMVBZiCRTXLzx\\_xfjvpl4FKe46ml/view](https://drive.google.com/file/d/1DuwEjMVBZiCRTXLzx_xfjvpl4FKe46ml/view)) にも掲載したミネ水効果について、更に詳細な調査を継続した結果について幾つか示す。

詳細な機序については現在調査継続中であるが、これまでの研究結果から、成長・再生に関する因子の発現上昇や、塩分上昇に合わせたイオンチャネルの発現上昇など、損傷時の抗菌作用を示す炎症物質・ストレス応答因子の発現上昇などが、ミネ水条件下で顕著に促進されていることが明らかになっている。これらの知見は、ミネ水飼育が損傷部の成長・再生促進だけでなく、患部の抗菌作用・ストレス応答作用等と併せてアホロートルを守るように作用することを大きく肯定する結果であるといえる。尚、ヌメリの元であるムコ多糖類を主成分としたムチンの分泌促進も確認されているため、これら含めてアホロートルの生態解明の大きな一歩となったと考えている。

また、塩分調節に関するイオンチャネルに関する遺伝子発現が通常時からある程度確認でき、塩分濃度上昇へのある程度の適応が可能であることから、メキシコのかつての地形に関する先行文献や記録でも言われているように、元々の生息地がある時期は汽水環境であった可能性が高いことを踏まえると、メキシコサンショウウオの原種がかつて汽水適応するように進化したと考えられる。アホロートルの汽水適応については、追加調査を既に完了しているため、興味のある皆様は是非とも“ウーパールーパーと日本産サンショウウオの耐塩性の違い”の項について確認されたい。

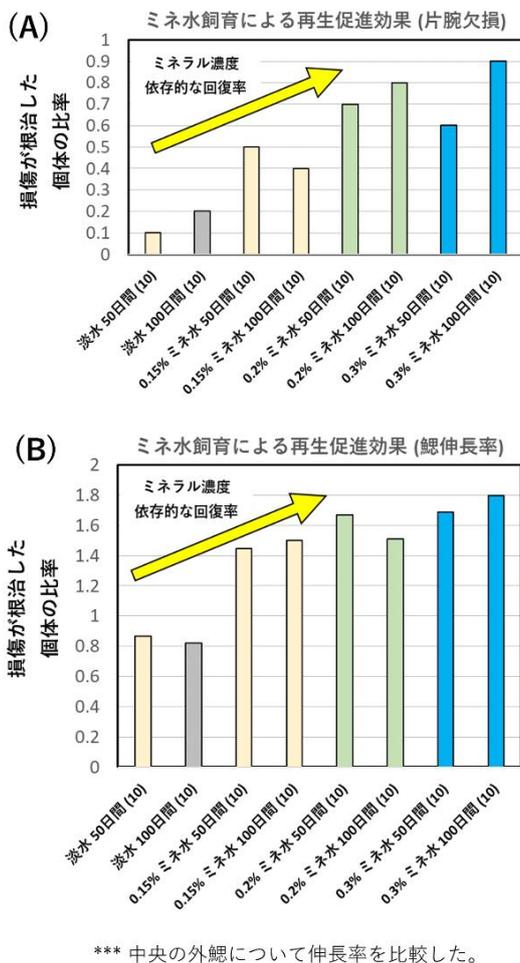


図4: 再生促進効果の定量 (約200日目～)

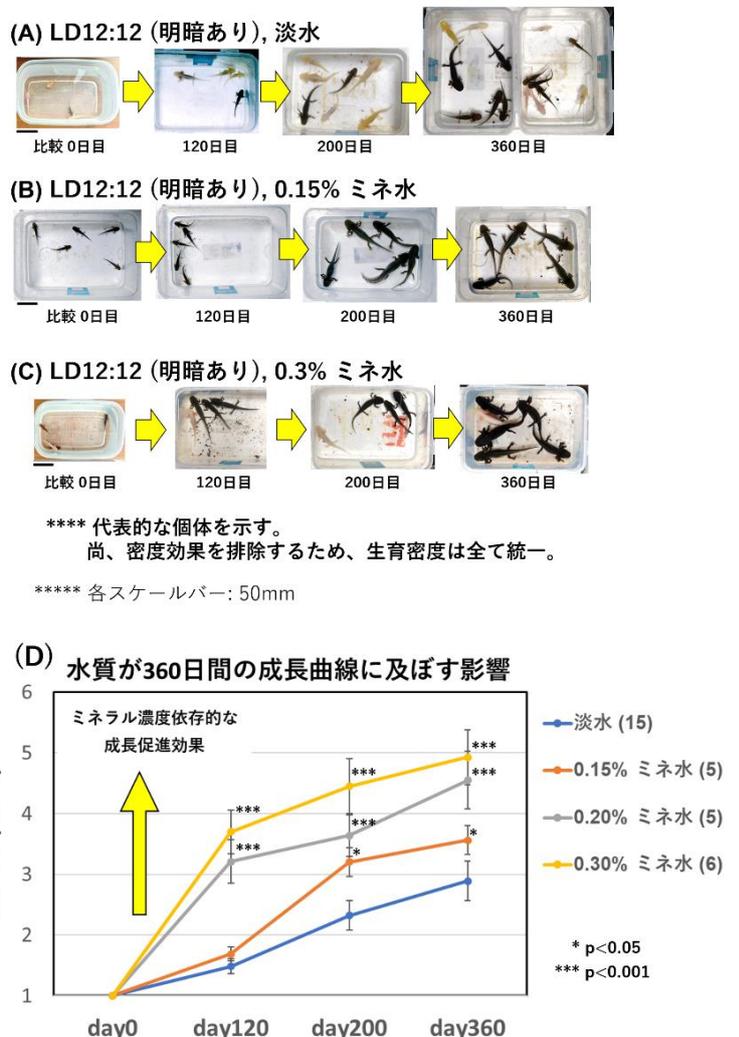
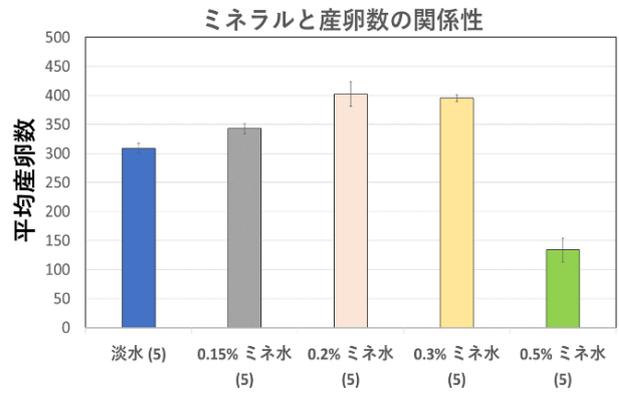


図5: 飼育水へのミネラル添加による成長促進効果



許可なき転載・改変  
および 商業利用禁止

尚、ミネラル水存在での産卵数を比較すると、0.2~0.3%下では産卵数が上昇するものの、0.5%まで上昇させてしまうと産卵数が減少するという結果が見られたため、本来の生態として塩分濃度が高い環境下になると産卵することを避けるような性質があると思われる。



流れ: 淡水中で飼育された成体を移動  
→ 1年間雌雄で分けてミネラル条件調整 → 産卵誘導  
単独飼育 → 繁殖誘導後にペアで混泳 (2year old\_アダルト5ペア)

図3: 飼育水へのミネラル添加が妊性 (繁殖力) に与える影響

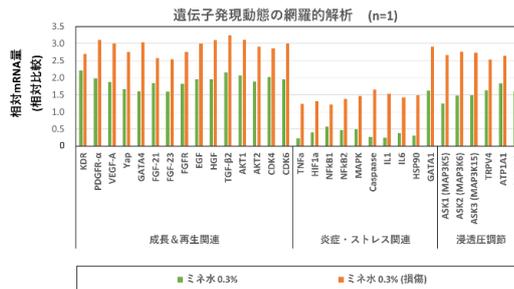
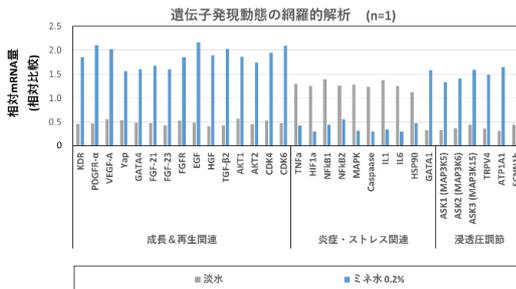
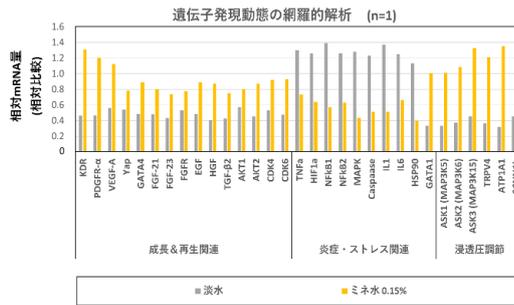
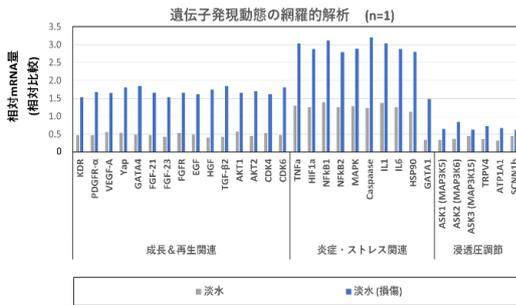
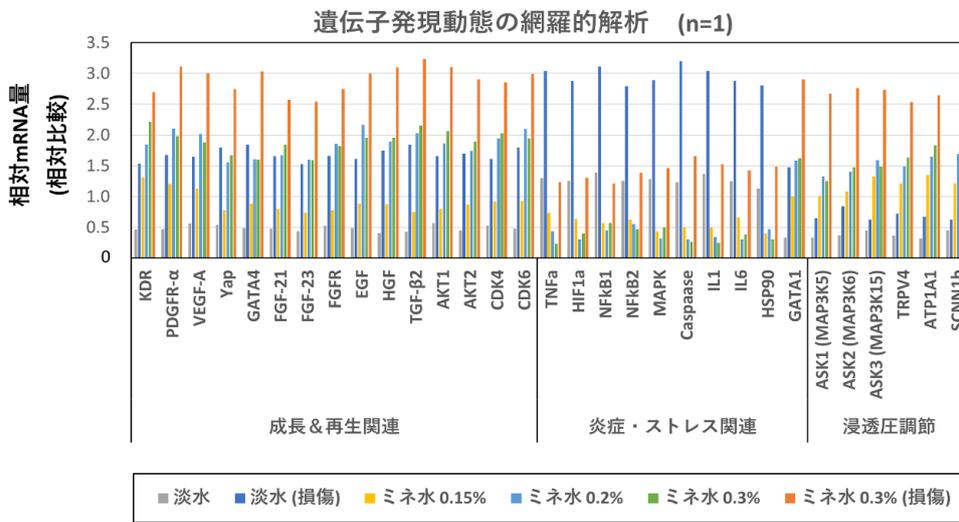


図6: 成長・再生・炎症・浸透圧調節に関連する遺伝子発現動態の網羅的解析



### 遺伝子発現動態の網羅的解析 (n=1)

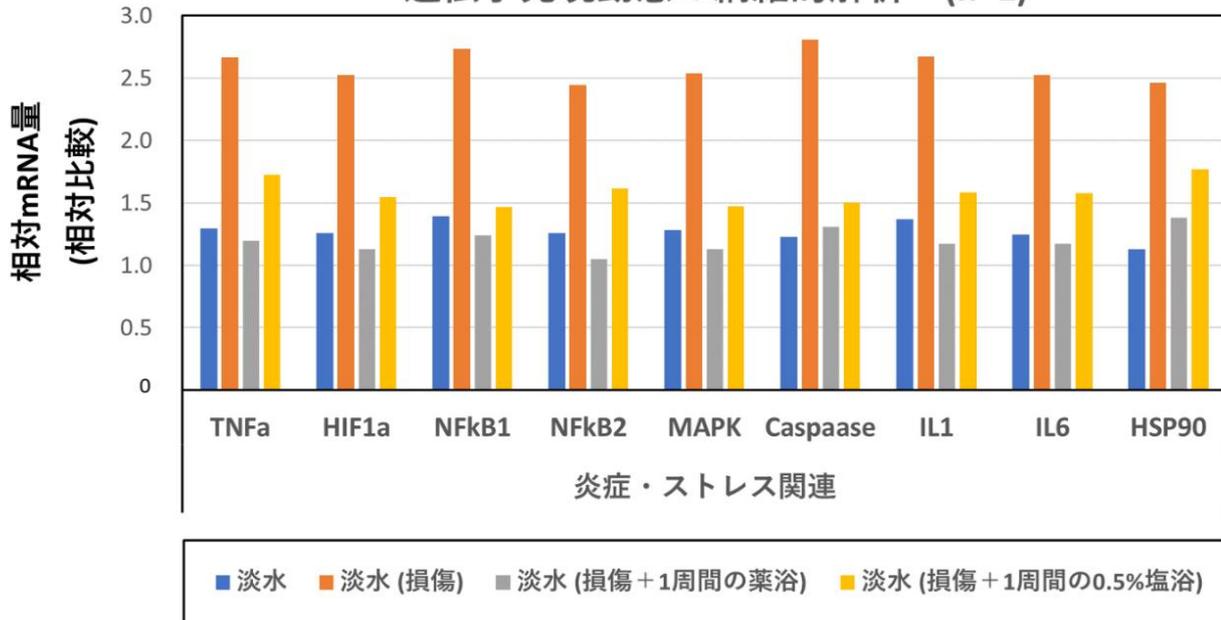


図7: 薬浴処置後の炎症関連遺伝子発現動態

### 遺伝子発現動態の網羅的解析 (n=1)

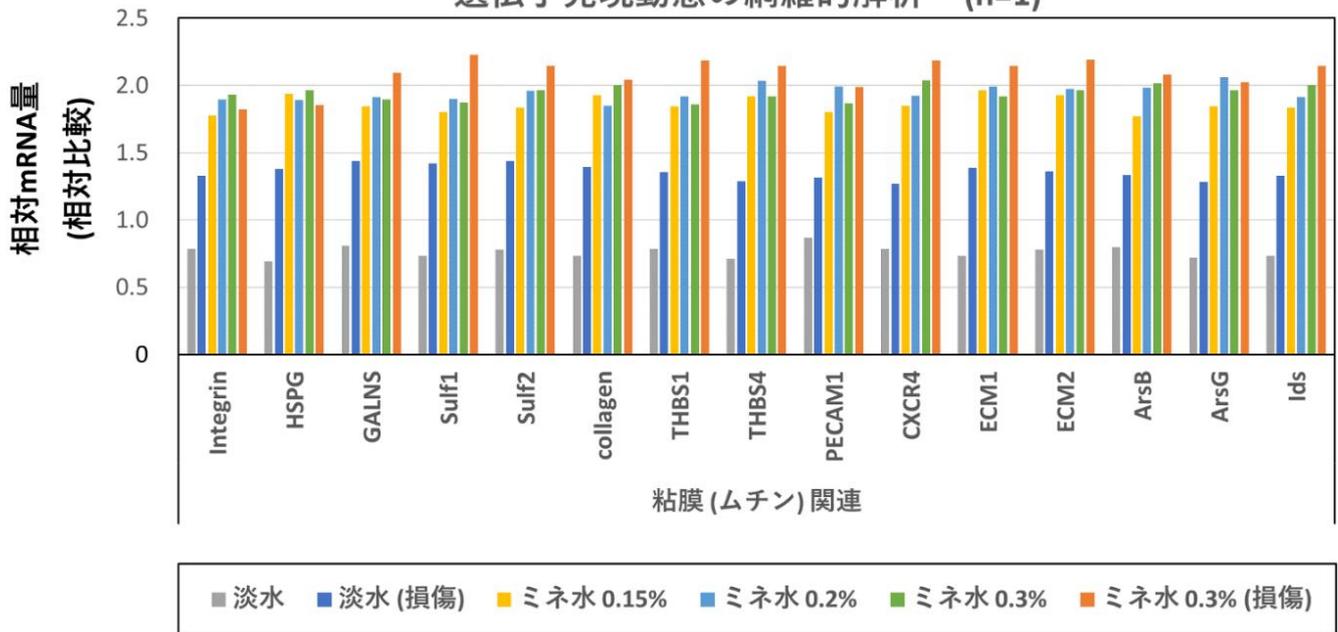


図8: 薬浴処置後の炎症関連遺伝子発現動態



許可なき転載・改変  
および 商業利用禁止



# トピック 5: ウーパールーパーと日本産サンショウウオの耐塩性の違い

[https://note.com/lab\\_new2/n/nba72c752737f](https://note.com/lab_new2/n/nba72c752737f)

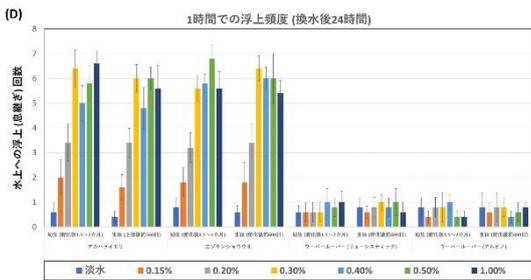
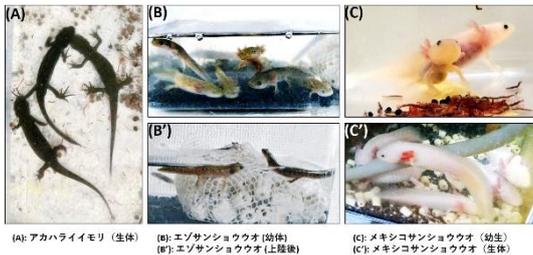
アホロートルが汽水適応の結果、ミネ水の飼育に適していることをより科学的に明確にするため、日本のイモリ・サンショウウオ類とウパの耐塩性がどの程度異なるのか調査した結果について示す。

下図に示すように、汽水環境（ミネ水 0.2~0.3%）~1.0% の塩水条件下での日本産サンショウウオとウパの適応度の違いについて比較をしてみた。

結果を見ていただくと明白で、イモリやエゾサンショウウオはまともに呼吸ができず、何度も息継ぎをする結果となっている。

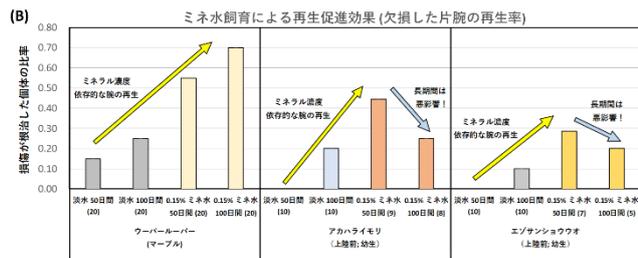
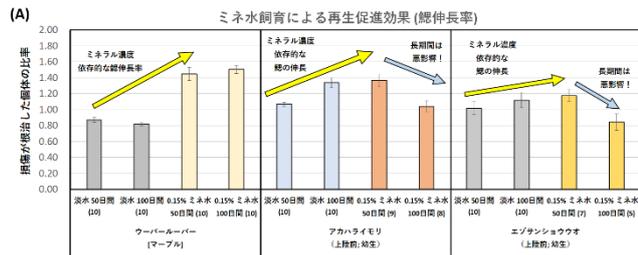
塩分が高いと溶存酸素量が低下することもあり (参考 <https://www.xylem-analytics.jp/blog/affecting-do-measurement-part2/>)、呼吸がし辛いことが一因であると考えられる。これに加え本来晒されることのない塩分に触れていることが大きなストレスになっていることが考えられる。

ミネ水による成長・再生促進効果も、日本産サンショウウオ類にもある程度は見られてはいるが、一定以上の濃度に長期間晒されると、逆に皮膚が荒れてしまうのかあまり効果が得られていない。



補足図1: イモリ・サンショウウオ類の塩水適応に関する調査結果 ①

許可なき転載・改変および商業利用禁止



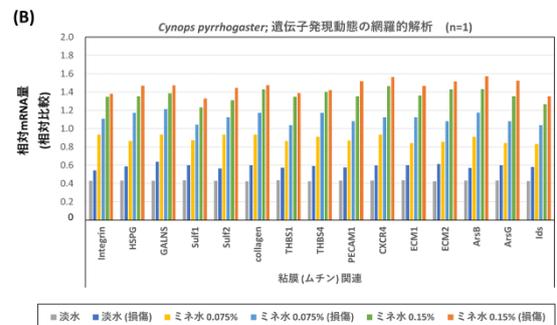
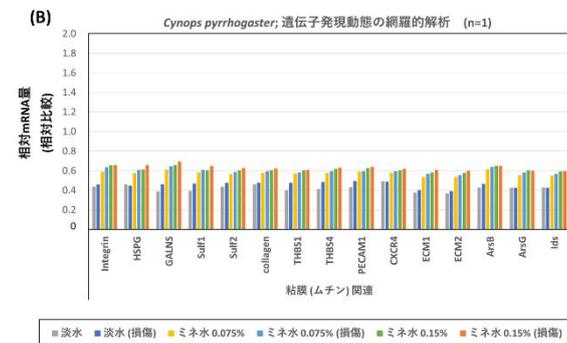
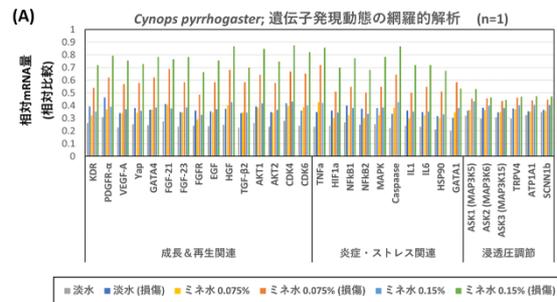
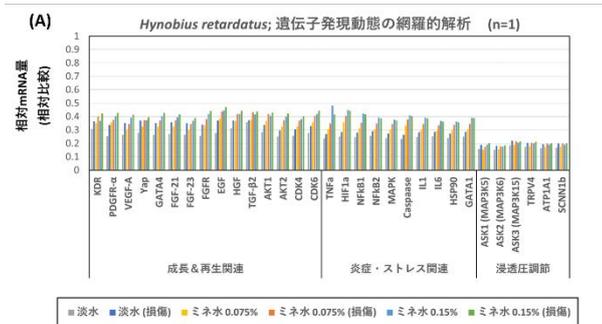
補足図2: イモリ・サンショウウオ類の塩水適応に関する調査結果 ②

許可なき転載・改変および商業利用禁止



どうやら日本産サンショウウオの耐塩性の低さについては、浸透圧を調節するために働く塩を輸送する因子群がウパと比較してあまり高くないことや、仮に塩水条件下になってもウパのように塩水に適応しようとして塩輸送体に関連する遺伝子の発現が上昇しないことが原因であるようである。

この主題に関しては、まだまだ調査不足の点多々あるため、今後も更に調査を継続していく必要があるといえる。乞うご期待。



補足図3: イモリ・サンショウウオ類の塩水適応に関する調査結果④

補足図3: イモリ・サンショウウオ類の塩水適応に関する調査結果③

許可なき転載・改変および商業利用禁止

許可なき転載・改変および商業利用禁止

参照: はるらぼ note 関連記事

- ・ ミネラル水によるウーパールーパーの回復・再生促進効果まとめ [https://note.com/lab\\_new2/n/n028ad96a7a49](https://note.com/lab_new2/n/n028ad96a7a49)
- ・ ウーパールーパーのミネラル飼育水槽における pH&塩分濃度の変動について [https://note.com/lab\\_new2/n/n00721bcab68e](https://note.com/lab_new2/n/n00721bcab68e)
- ・ 続報: ミネラル水によるウーパールーパーの回復・再生促進効果まとめ [https://note.com/lab\\_new2/n/nc388a68d2419](https://note.com/lab_new2/n/nc388a68d2419)
- ・ ミネラル水飼育と塩浴の明確な違い [https://note.com/lab\\_new2/n/n89567912a9c7](https://note.com/lab_new2/n/n89567912a9c7)
- ・ ウーパールーパーと日本産サンショウウオの耐塩性の違い [https://note.com/lab\\_new2/n/nba72c752737f](https://note.com/lab_new2/n/nba72c752737f)



## トピック 6: アホロートル飼育水槽におけるバクテリアの存在比

筆者は、腸内環境や水槽内バクテリアの調査の過程で、飼育水内で生息・増殖しているバクテリアについて調査依頼・分析を実施し、その結果の一部を公開している。

表1: 飼育水 (上清) 中で確認できた微生物リスト

性質・種類	学名	属・分類	備考
グラム陰性細菌	<i>A. hydrophila</i> , <i>A. sobria</i>	エロモナス類	感染症の原因菌
	<i>F. columnare</i>	カラムナリス類	感染症の原因菌
	<i>N. europaea</i>	ニトロソモナス類	アンモニア硝化菌
	<i>N. winogradskyi</i>	ニトロバクター類	亜硝酸酸化菌
	<i>S. enterica</i>	サルモネラ類	腸内細菌
グラム陽性細菌	<i>E. coli</i>	大腸菌	腸内細菌
	<i>L. plantarum</i>	乳酸菌	腸内細菌
藻類 (水苔)	<i>B. subtilis</i>	枯草菌類	濾過バクテリア
	<i>C. pediculus</i>	コッコネイス属	珪藻類
藻類 (水苔)	<i>T. lacustris</i>	テトラスポラ属	緑藻類
	<i>M. willeana</i>	ミクロスポラ属	糸状緑藻類
真菌 (カビ)	<i>S. cerevisiae</i>	出芽酵母	パン酵母
	<i>S. pombe</i>	分裂酵母	ビール酵母
	<i>Rhodotorula</i>	赤色酵母	赤色酵母
	<i>S. parasitica</i>	ミズカビ属	水質浄化、増えすぎると水カビ病の原因
	<i>A. proliferans</i>	ワタカビ属 (卵菌類)	
	<i>A. proliferoides</i>		
	<i>A. racemosa</i>		
<i>A. cochlioides</i>	アフファノマイセス属 (糸状菌類)		

詳細の内容は、後述の関連記事にも記載しているが、水槽の大半がグラム陰性細菌を中心としたバクテリア(細菌)や菌類(カビ)類で占められており、腸内細菌としても作用する乳酸菌の一種である *L. plantarum* などの一部のグラム陽性細菌も見られる(表1参照)。

※ 尚、土壌中でも同様のバクテリアが確認できている。

回収した飼育水に餌のペレットを投入すると、通常の淡水条件下では12時間程度で微生物が増殖して白濁してしまう。このように、非常に水槽の飼育水に生息している微生物達の増殖速度は思った以上に速いが、汽水条件や塩水条件では塩分濃度依存的に微生物の増殖率を顕著に抑制できることが示唆されている(表2参照)。

- ・オキシリン酸 → グラム陰性菌および一部のグラム陽性菌に有効
- ・メチレンブルー → グラム陽性菌に有効
- ・ペニシリン → グラム陰性の球菌およびグラム陽性菌に有効
- ・イソジジン(ポビドンヨード) → グラム陽性菌, グラム陰性菌, 結核菌, 真菌, 一部のウイルス等広範囲の微生物に対して有効

表2: 飼育水中のバクテリア増殖に起因する水の濁りに関する調査

	餌ペレット添加後 12hr			餌ペレット添加後 24hr			餌ペレット添加後 48hr		
	透明	半透明	白濁	透明	半透明	白濁	透明	半透明	白濁
淡水			○			○			○
0.15% ミネ水		○				○			○
0.2% ミネ水		○				○			○
0.3% ミネ水	○				○				○
0.5% ミネ水	○				○				○
1.0% 塩水	○				○			○	
3.0% 塩水	○			○			○		
8.0% 塩水	○			○			○		

### 【検証条件】

- ・新品のタッパー容量 2.6L(室温は18-20°C)
- ※ 生体抜き, 飼育水を2Lずつ回収, 塩水は淡水水槽由来の水を塩分濃度0%として新たに塩を添加して作製した。
- ・ひかりウーパールーパー小粒の10粒を添加

### 【結果・考察】

- ・餌の溶解だけでなく分解が見られると、一気に白濁する傾向が見られる。
  - －炭水化物などを分解する水中の好気性バクテリア(バシラス類; 乳酸菌類や古葉菌類)が増加したと推察される。
- ・本結果からも改めて、塩浴がバクテリアに対して強い殺菌効果があることが分かる。
- ・また本結果から、ミネラル水飼育はバクテリアの過剰な増殖を抑制し、水質の急激な悪化を抑制する効果があることが推察された。

## トピック 7: 水温と微生物の増殖率の違い [https://note.com/lab\\_new2/n/na18fbf071527](https://note.com/lab_new2/n/na18fbf071527)

水温依存的な飼育水の汚染や、水槽内微生物の存在比等については未解明な点が多いことから、淡水・ミネ水共に、水温上昇と微生物の比率や増殖率への影響について調査を行った。

具体的には、前述の条件に加えて更に、飼育水の温度条件を何点が調整し、増殖した微生物の存在比を比較した。その結果、水温が低い時でもカビ・コケ類は他のバクテリアと比較して安定して増えており、水温上昇に伴ってその比率がある程度均衡を保つようになることが明らかになった。

本結果から、所謂塩水が腐りやすいというのは、このようなカビやコケ類や耐塩菌のストレス応答によるバイオフィルムの生成によって微生物の存在がより可視化しやすくなってしまふことに起因すると考えられる。

実際は、比率が異なるだけで、汽水条件では全体的に微生物量が減少することには大きく変わりはないと言える。

以下、詳細な結果について順次示す（次頁: 図 1, 2 参照）。

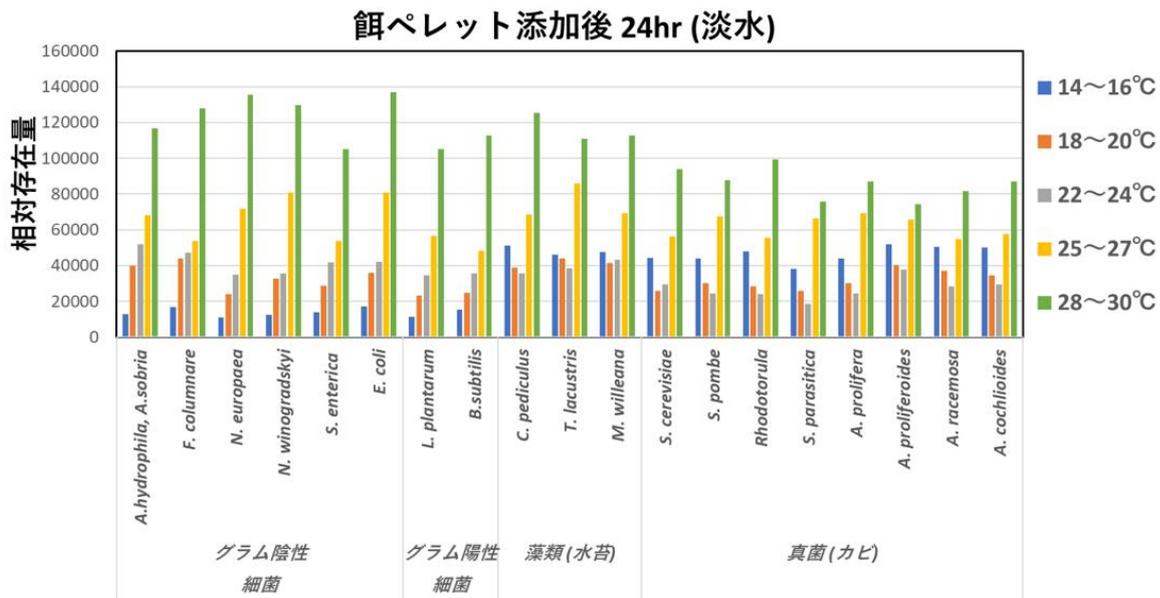


図1: 飼育水内微生物増殖の温度依存性 (淡水)

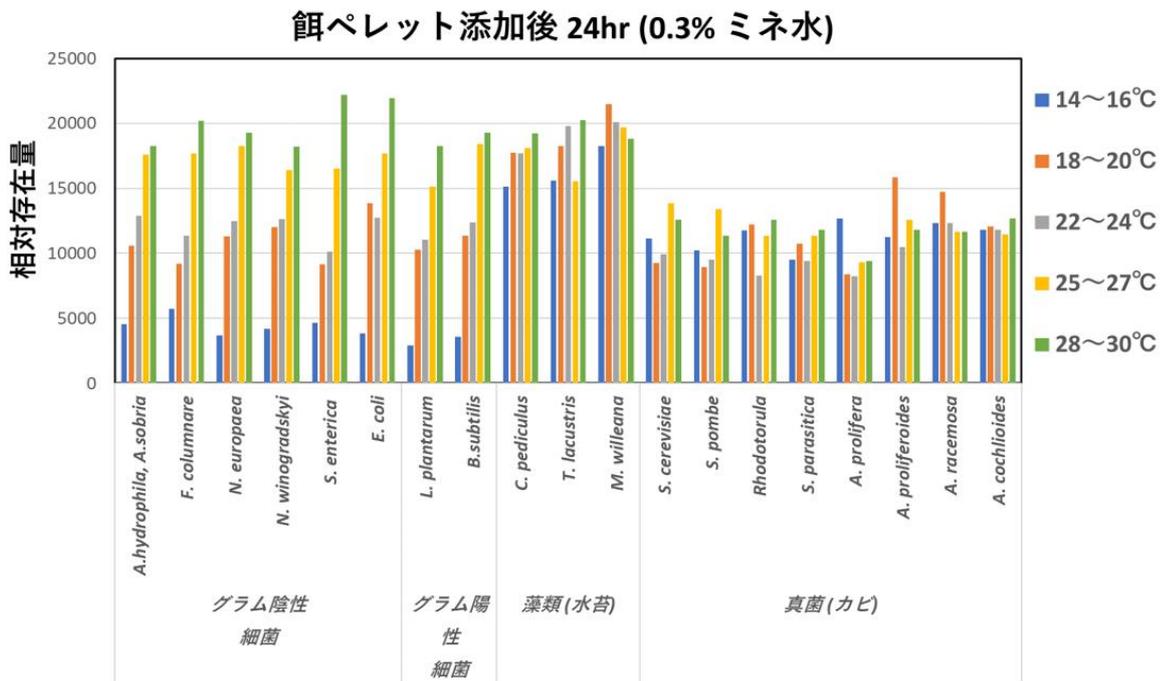


図2: 飼育水内微生物増殖の温度依存性 (汽水)

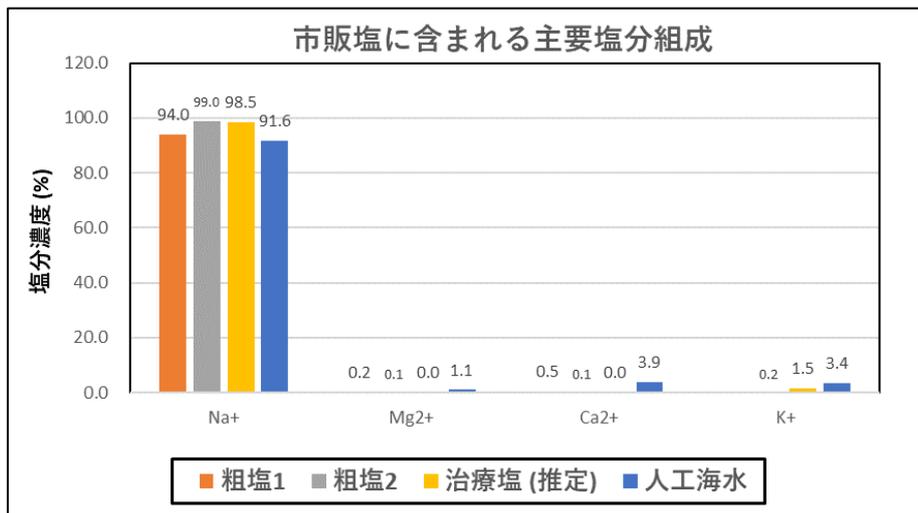


許可なき転載・改変 および 商業利用禁止

汽水飼育（ミネ水）による飼育の本質はどこにあるのだろうか？

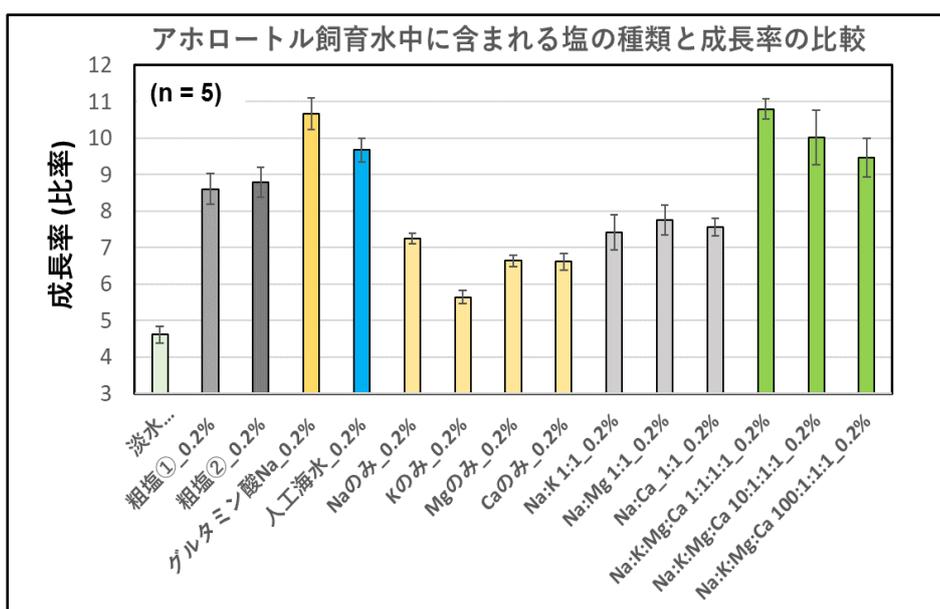
以下のように、既存の塩を扱った製品の中には主に、ナトリウム Na, マグネシウム Mg, カルシウム Ca, カリウム K が含まれていることが分かっており、その組成の一例を見てみると、その 90% が Na であることが分かる（以下のグラフ参照）。

汽水飼育後の効果に関しては、前述のように Na の貢献度が非常に大きいことは推察されるが、他の金属イオンは果たしてどの程度重要なのだろうか？ 逆に、Na の弊害は無いのだろうか？ 当ラボはその疑問についても調査を継続して実施している。



参照：既存の塩に含まれる金属イオン類の存在比

その調査の一環として、当ラボでは複数の比率で、より良い飼育水中に含まれる金属イオンの比率について検証した（下図）。検証の結果、粗塩や人工海水のように、ナトリウム約 90% の環境に微量の K, Mg, Ca を含む条件で非常に良く生育することが明らかになった。更に Na: K: Ca: Mg を 1:1:1:1 の比率で混在した条件が高い成長率を示している。人工海水は塩の比率が製品毎に若干異なるため、必ずしもこれらの結果通りになるとは限らないが、粗塩は塩の組成が記載されている物が多いため、微量の他成分を含む製品を是非とも採用していただければと思う。尚、この比率 1:1:1:1 のミネ水を“ミネ水 4th”と命名した。



参照：飼育水中に含まれる塩の種類と比率依存性な成長率の比較

VARIABLES	M
Temperature	37
pH	8.6
Tot. Alk.	500
Phenolph. Alk.	20.0
Tot. Hardness	326
Ca <sup>++</sup> Hardness	116
Mg <sup>++</sup> Hardness	212
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (1)	12.0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (1)	411
OH <sup>-</sup> (1)	0
Cl <sup>-</sup>	198
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	95
Ca <sup>++</sup> (2)	47
Mg <sup>++</sup> (2)	52
Na <sup>+</sup> and K <sup>+</sup> (3)	169
SiO <sub>2</sub>	89
Tot. Solids	946
Susp. Solids	161.0
Dis. Solids	785
K <sub>23</sub>	1392
Total Colif.	>2000
Faecal Colif.	>2000
Faecal Strept.	600

水の硬度（水 1000ml に対する無機イオンの含有量）に関して簡単に解説すると、WHO(世界保健機関)の基準では、

- 硬度が 0～60mg/l 未満を「軟水」
- 60～120mg/l 未満を「中程度の軟水」
- 120～180mg/l 未満を「硬水」
- 180mg/l 以上を「非常な硬水」

と設定されている。メキシコ市内の水は硬水であるとされており、現在で詳細は不明瞭ではあるものの、メキシコサラマンダーも汽水環境で生存していたと考えられている。

ちなみに左表は、メキシコ市内の水道水の組成の一例であるが、pH が 7.5、Mg, Ca の硬度は硬水の範囲に該当する濃度で含まれている。また、Na, K の含有率も高いことが分かる。

水道に結晶ができる程であるとされ、そのまま飲料用での使用には向かない。

(January, 1997, Microbiological study of drinking water in Mexico)

これらの知見から、メキシコサラマンダーの生育にとって、やや硬水の環境、かつ Na, Ca, K, Mg が一定の比率で存在する条件が好ましい可能性があり、検証結果ともある程度一致することが分かる。

ちなみに、前頁グラフ中のグルタミン酸ナトリウムの効果に関しては、アミノ酸としての成長促進効果も合わさっていると考えられる。

## 参考文献・情報

- <https://1023world.net/aqua/salt-ingredient.html>
- <https://www.jiafe.or.jp/merumaga/topics/20150227.pdf>
- [http://sabbaticallleave.blogspot.com/2017/02/blog-post\\_27.html](http://sabbaticallleave.blogspot.com/2017/02/blog-post_27.html)
- <https://www.mexperience.com/bottled-water-in-mexico/>
- <https://www.2hraquarist.com/blogs/ph-kh-gh-tds/how-to-read-local-water-reports>
- [https://www.researchgate.net/publication/26474503\\_Preliminary\\_study\\_of\\_selected\\_drinking\\_water\\_samples\\_in\\_Mexico\\_City](https://www.researchgate.net/publication/26474503_Preliminary_study_of_selected_drinking_water_samples_in_Mexico_City)
- <https://mexicoct.com/blog/agua/>
- <https://www.evian.co.jp/mineral/hardsoftwater.html>
- <https://www.carbotecnia.info/learning-center/water-chemistry/hardness-water/?lang=en>

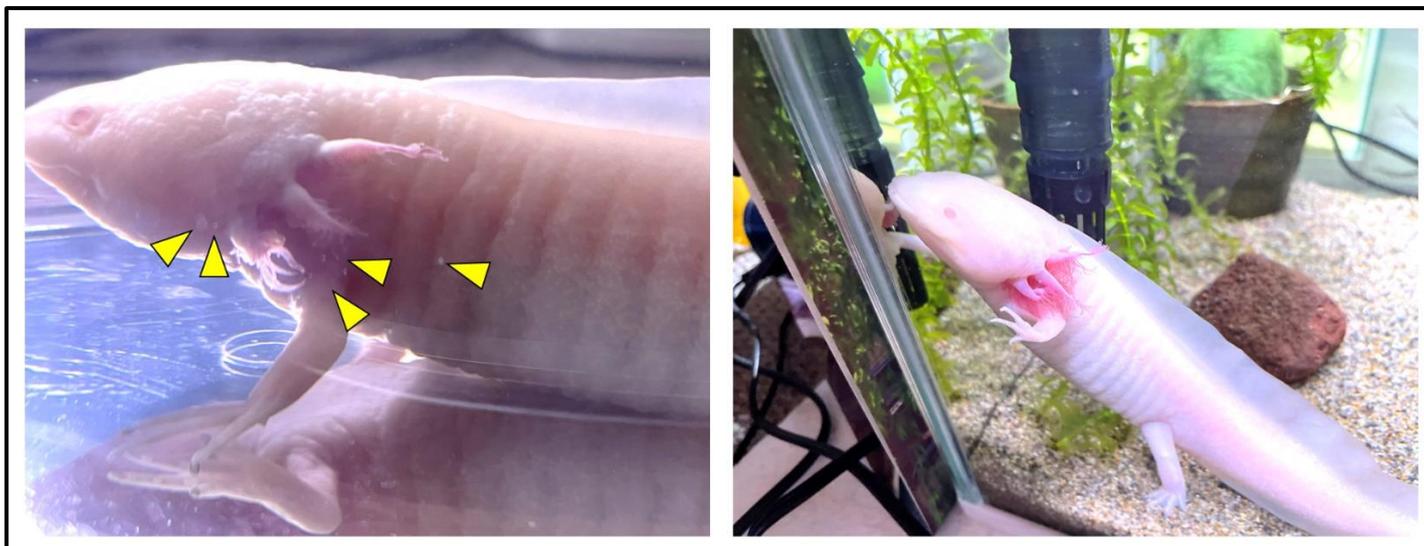
## 水槽への Mg 添加の有用性に関する情報提供

- ラマシーザリガニ様 (Twitter ID: @catemacoensis, HP: [crayfish.blog](http://crayfish.blog))



## 汽水飼育で巧く飼育できない事例 (22/12/25 追記)

汽水飼育について、メリットを多く挙げてきたが、一部、汽水飼育で体調不良を示した個体が見られているとの報告を頂戴した。下の提供写真では、汽水飼育導入から数日後に水泡や充血のような現象が見られている (黄色矢頭)。おそらく塩分濃度による pH 変化や耐塩菌の発生により、生育環境が変化したこと起因と思われる。こうした症状は、以下で紹介する“休塩日”を実施することで解消できることが多い。



参考写真: 汽水飼育導入時に異変を示した個体  
(写真提供: 野良猫「ソーソー」様; Twitter: @HbMunp)

## “休塩日”の実施とその有効性に関する調査 (2022/10/7～)

これまでの当ラボの研究から、汽水（ミネ水）によるウーパールーパーの飼育によって、バクテリアや菌類・カビの過剰増殖を抑制し、また亜硝酸塩による窒息を阻害することで、より健康的な個体の状態を維持できることが明らかになってきた。

一方で汽水是必ずしも万能ではないことも分かってきており、汽水飼育を行っていたにも関わらず、**尻尾や手足の充血、鰓や身体**の痩せ、**プカプカ病**のような腸内でのガス発生による浮遊、などの症状を示す個体も少なからず確認されている。

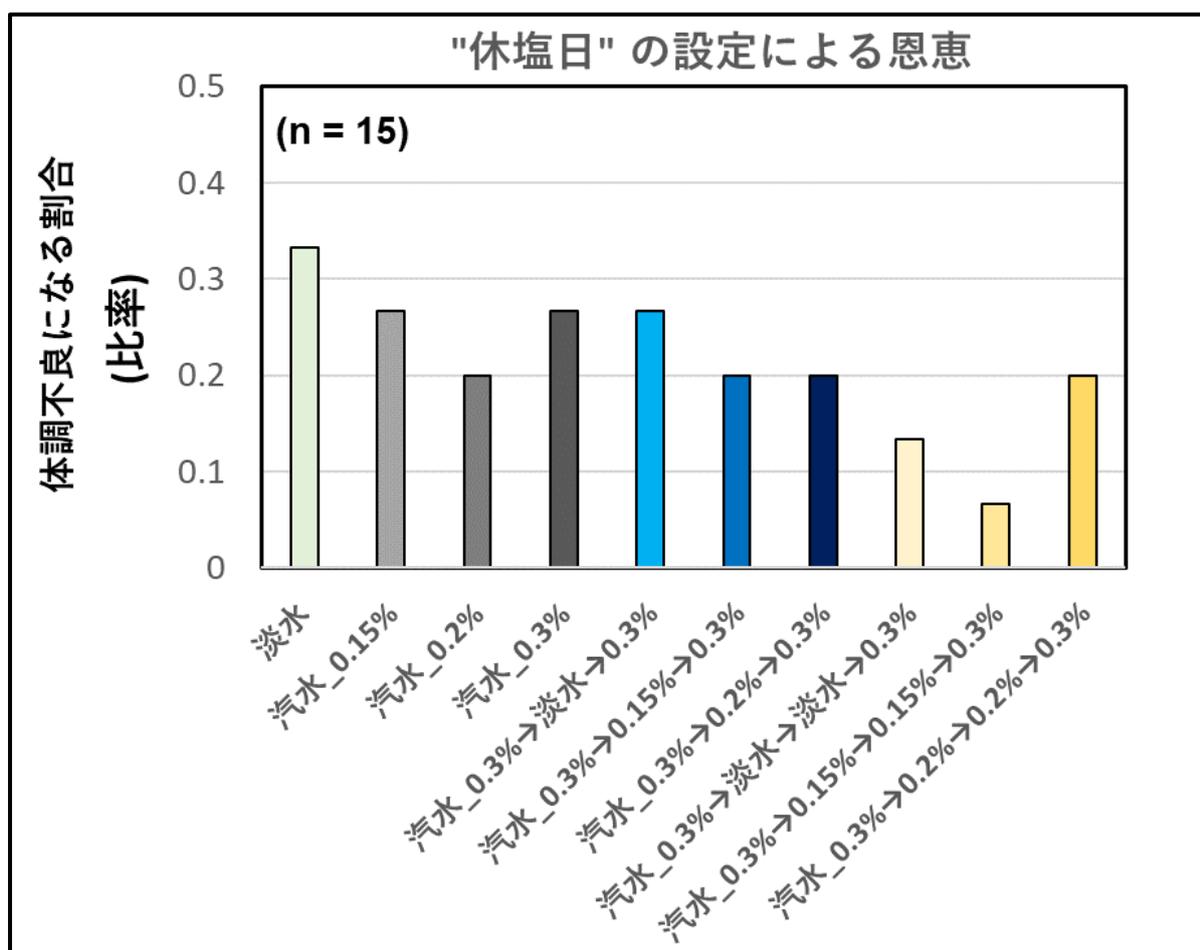
当然、飼育時の濾過不足 や 換水頻度の低さ、耐塩性の微生物の発生 などの複数の体調不良の要因も考えられるため、必ずしも汽水環境が飼育にとって不十分であるとは明言できない。

複数の外部飼育者へ依頼の下、水槽に5匹で混泳し、約1年間継続的に飼育を行った経過について結果、以下のような調査結果が得られた。

### 飼育環境

[水替え頻度: 7日に1回, 20±2℃ 条件下, 60cm 水槽 (GEX マリーナ SLIM MR600BKS), 水替え無し, 生体 (約 10~12cm x 5 体), 上部フィルター (GEX AQUA FILTER デュアルクリーン), 床材: GEX ピュアソイル+ゼオライト]

餌: ひかりウーパールーパー小粒 x 5~10 粒/匹 (2日毎)]



参考: ウーパールーパーの汽水飼育時における塩分濃度と体調不良が起こる割合

幾つかの条件の中で、**周期的な塩分濃度低下を行う“休塩日”を実施した結果、約14日周期で塩分濃度を低下させることで、長期飼育の中で体調不良が起こりにくなる**という結果が得られた。



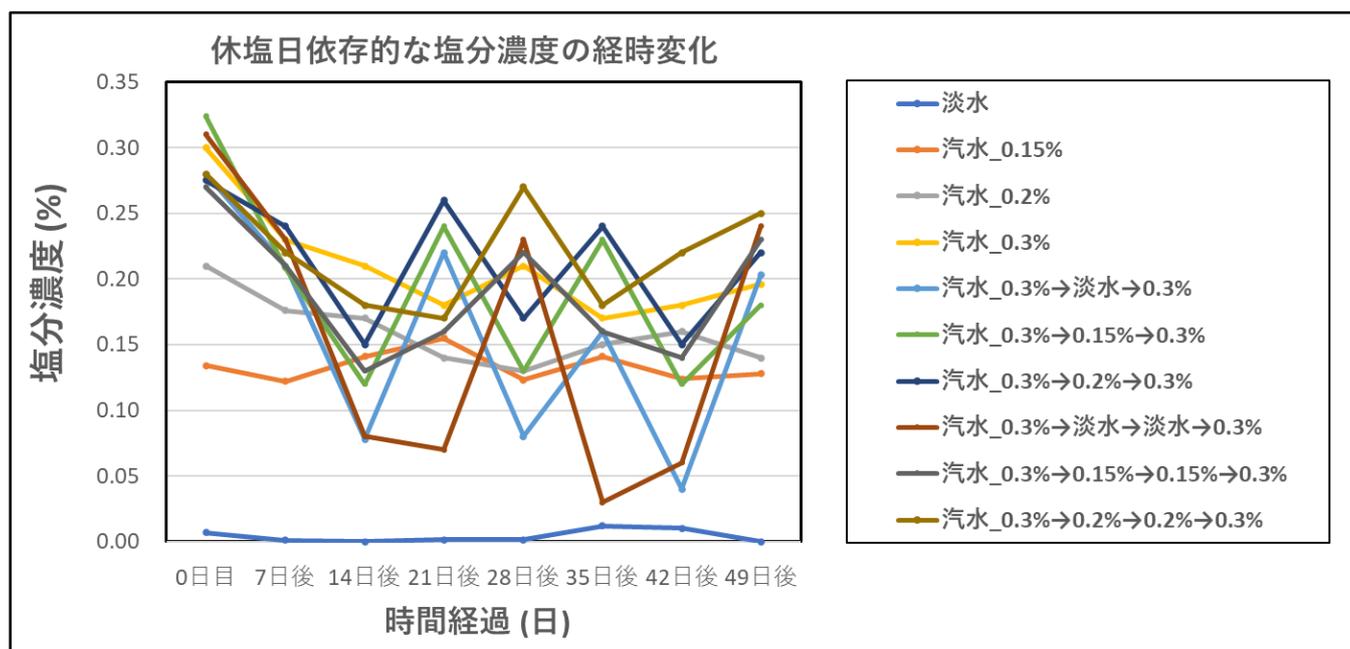
更に、水槽の中で実際に起こっている現象の一つとして、塩分濃度が緩やかな勾配で変動できる条件が、14日間かけて塩分濃度を低下させる“休塩日”を設けた際であることが分かった。

底砂や濾材にNaが吸着されることで、ある程度塩分濃度は低下するが、時々塩分濃度をそれよりも飼育水作製の段階で低く設定して調製することで、耐塩菌などの繁殖を抑制したり、感染症を誘導したりすることを結果的に効率的に抑制できると考えられる。また、かといって淡水にしてしまうと、そのことが逆に負担をかけてしまう場合もある印象である。仮に、汽水が体質に合わない個体が混在していたとしても、このような“休塩日”を設けることで、そのような個体の負担を結果的に軽減することができるという副次的な効果も期待できる。

表: ウーパールーパーの汽水飼育時における水槽内の塩分濃度の変動

day	休塩日依存的な 塩分濃度 (%) の経時変化							
	0日目	7日後	14日後	21日後	28日後	35日後	42日後	49日後
淡水	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
汽水_0.15%	0.13	0.12	0.14	0.16	0.12	0.14	0.12	0.13
汽水_0.2%	0.21	0.18	0.17	0.14	0.13	0.15	0.16	0.14
汽水_0.3%	0.30	0.23	0.21	0.18	0.21	0.17	0.18	0.20
汽水_0.3%→淡水→0.3%	0.28	0.21	0.08	0.22	0.08	0.16	0.04	0.20
汽水_0.3%→0.15%→0.3%	0.32	0.21	0.12	0.24	0.13	0.23	0.12	0.18
汽水_0.3%→0.2%→0.3%	0.28	0.24	0.15	0.26	0.17	0.24	0.15	0.22
汽水_0.3%→淡水→淡水→0.3%	<b>0.31</b>	<b>0.23</b>	<b>0.08</b>	<b>0.07</b>	<b>0.23</b>	<b>0.03</b>	<b>0.06</b>	<b>0.24</b>
汽水_0.3%→0.15%→0.15%→0.3%	<b>0.27</b>	<b>0.21</b>	<b>0.13</b>	<b>0.12</b>	<b>0.22</b>	<b>0.16</b>	<b>0.14</b>	<b>0.23</b>
汽水_0.3%→0.2%→0.2%→0.3%	0.28	0.22	0.18	0.17	0.27	0.18	0.22	0.25

(20±2°C 条件下), 60cm 水槽 (GEX マリーナ SLIM MR600BKS),  
7日毎に水替え (水替え前に測定, 生体 (約10~12cm x 5体),  
床材: GEX ピュアソイル+ゼオライト,  
上部フィルター (GEX AQUA FILTER デュアルクリーン),  
餌: ひかりウーパールーパー小粒 x 5~10粒/匹 (2日毎)



参考: ウーパールーパーの汽水飼育時における水槽内の塩分濃度の変動

## 参照 1: はるらぼ note 関連記事

- ・ ウパの水槽に棲む微生物たち [https://note.com/lab\\_new2/n/nb8948dc23f01](https://note.com/lab_new2/n/nb8948dc23f01)
- ・ ウパ飼育における濾過環境の重要性 [https://note.com/lab\\_new2/n/n49027f4aa81a](https://note.com/lab_new2/n/n49027f4aa81a)
- ・ クーラーの常時稼働について [https://note.com/lab\\_new2/n/n05103e6b1ec8](https://note.com/lab_new2/n/n05103e6b1ec8)
- ・ 水温と微生物について [https://note.com/lab\\_new2/n/na18fbf071527](https://note.com/lab_new2/n/na18fbf071527)

## 参照 2: 水槽内のろ過バクテリアについて

- ・ ろ過に関する研究－バクテリアについて【GEX Lab.より】  
<https://www.gex-fp.co.jp/fish/blog/labo/product-development/gex-lab-20200501/>
- ・ 水質に関する研究－有機物分解のメカニズム(2/2)【GEX Lab.より】  
<https://www.gex-fp.co.jp/fish/blog/labo/study-case/20200429-2/>

## ※ 関連データ掲載先

- ・ ミネラル水によるウーパールーパーの回復・再生促進効果まとめ  
[https://note.com/lab\\_new2/n/n028ad96a7a49](https://note.com/lab_new2/n/n028ad96a7a49)
- ・ 続報: ミネラル水によるウーパールーパーの回復・再生促進効果まとめ  
[https://note.com/lab\\_new2/n/nc388a68d2419](https://note.com/lab_new2/n/nc388a68d2419)
- ・ ミネ水飼育・薬浴治療後の関連遺伝子動態解析結果まとめ  
<https://drive.google.com/file/d/1ZKoNExokkg6mqPkDrir29f5OEPsChIQi/view?usp=sharing>

## 参考文献

Susan T. Duhon. 1997. The Axolotl and its Naïve Habitat—Yesterday and Today. Axolotl Newsletter Number (Jordan Hall 407 Bloomington, IN 47405). 26. p14-17.

Cecilia Robles Mendoza. Claudia Elizabeth García Basilio. Ruth Cecilia Vanegas Pérez. 2009. Maintenance media for the axolotl *Ambystoma mexicanum* juveniles (Amphibia: Caudata). *Hidrobiológica* 19 (3): 205-210

R. Loh, BSc, BVMS, MPhil, MANZCVS, CertAqV. 2015. Common Disease Conditions in Axolotls. World Small Animal Veterinary Association World Congress Proceedings (The Fish Vet, Perth, WA, Australia).  
<https://www.vin.com/apputil/content/defaultadv1.aspx?id=7259254&pid=14365&print=1>

Kristen Meiler. 2016. Effect Of Salinity On Embryonic Axolotl Development. Proceedings of The National Conference On Undergraduate Research (NCUR). University of North Carolina Asheville Asheville, North Carolina April 7-9. p1209-1219



## トピック 8: アホートルの薬浴治療

アホートルには薬浴はご法度と言われる。しかし、はるらぼでの検討では、必ずしもその通りでは無いという結果が得られている。基本的に当ラボが用いているのは、日本動物薬品株式会社様 [http://www.jpnd.com/n\\_jpd/product/yakuhin.html](http://www.jpnd.com/n_jpd/product/yakuhin.html) から販売されている、“グリーンFゴールド・リキッド”である。



我々の検討から、添加濃度を調整することで、生体に負担をあまりかけることなく、長期的に薬浴することが可能であることが分かっている。

2021年7月頃、当ラボの設備拡大時期において新たに導入した生体の中に、後にレッドレッグ症のような炎症の症状を示す個体があり、感染速度・進行速度が非常に早く、多くの個体が体調を崩すという事態に見舞われた。

これにより、杉山は非常に頭を悩ませ、生体に負担をかけない、かつ効果的に治療をする必要に迫られた。

先ほど出典に挙げたような記事を生物種問わず読み漁り、色々検討の結果、以下の条件ならば5-7日程度なら問題なく元気に過ごせることが分かった。ただし、あまりに疾患が悪化し、今にも亡くなりそうな個体には負担になってしまう可能性があるため、試す場合は迅速かつ慎重に行って欲しい。薬浴が負担と言われている風潮には、濃度の設定ミスによる急死や危篤状態の個体へのドメとなったような事例も含まれているのでは無いだろうか。

尚最近では、新たな個体を迎えた際は、この方法を3日以上適用することで、外部から病気が持ち込まれることの無いように注意・予防処置を施している。

### 治療情報 1: はるらぼ式、アホートル用グリーンFゴールド・リキッド溶液調整

飼育時には、2.6リットルのプラスチック弁当箱に薬液を2~4滴添加・混合後に生体を移動するという運用方法をしている。

大体規定量の1/5なら、ある程度生体の体力が温存されていれば、5-7日間処置が可能。

目安としては: **10リットルの水に対して10-12滴・約2ml程度 → 約2.6リットルの水中に2-4滴・約0.25-0.5ml程度** 。

※ 規定量は、大体1/1000に薬液を希釈; 10リットルに対して、約80滴・10ml添加するので、大体上記の計算になる。

※ はるらぼにおける、約20個体への使用実績からの希釈設定になります。正確な比計算ではありませんのでご注意ください。

※ もし、著しく調子の悪い個体であれば、10リットルに対して8滴程度までは減らしても効果はあるかとは思いますが、一気に濃度を上げずに、数日毎に少しずつ濃度を上昇させるような対応をした方が生体への負担が少しでも軽くなるかとは思われます。

※ 当ラボ所属の枝豆やみん氏から、グラム陽性菌の治療に関して一部裏取り・追加検証をしていただきました。どうやら、**3~5日以上継続して治療を施した方が、あらゆる発生ステージのバクテリア(特にエロモナス菌)に対しても有効である** ようである。

## 治療情報 2: はるらぼ式 イソジン浴 濃度調整

オキシリン酸だけでは十分な回復が見込まれない時、感染症に関する最後の手段がある。

それが**イソジン浴** (参照: <http://papakazu.blog.fc2.com/blog-entry-37.html>) である。イソジンに含まれるポビドンヨード (参照 <https://www.isodine.jp/>) による幅広い殺菌力 (参照 <https://omorimachi.com/pcr/isodine/>) を利用し、強靱な微生物達を一気にやっつけるという戦略である。



製品情報: (左画像にハイパーリンクあり)

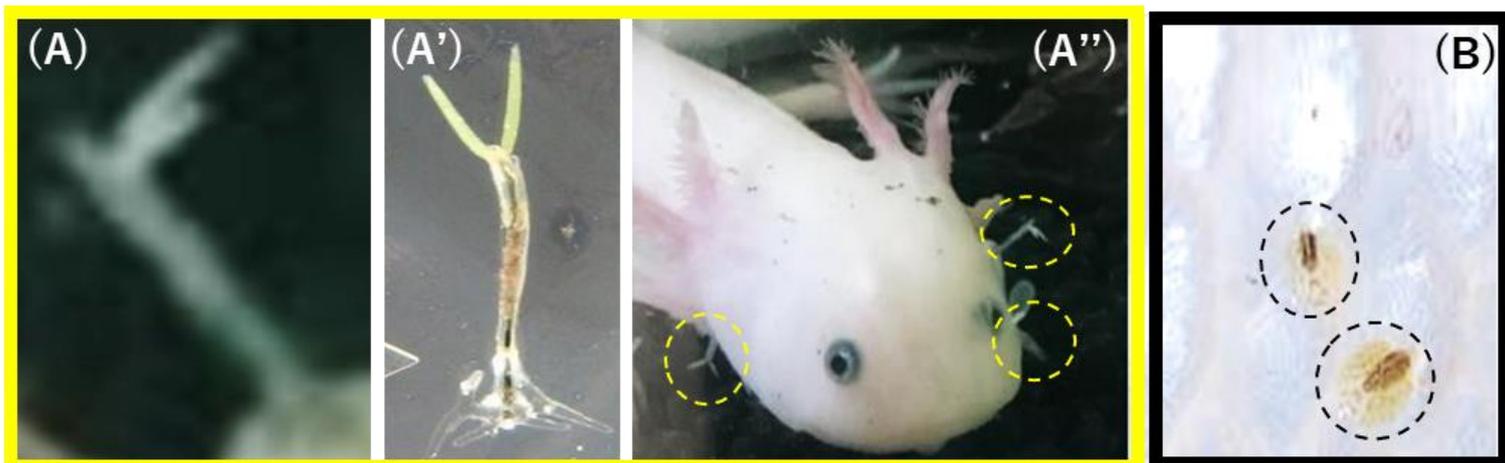
※ ポビドンヨード詳細: <https://www.kenei-pharm.com/cms/wp-content/uploads/2018/06/0d401a0029415b60699e1b7e5f1ab8fc.pdf>

### はるらぼ式イソジン浴処方

左写真の製品を 1/200 にまで希釈して使用 (生体に負担がかかるので長くても 12~24 時間の間が望ましい)。

## 治療情報 3: イカリムシ・ウオジラミ感染時の治療・対処法

厄介な病気の一つに、イカリムシ症およびウオジラミ症がある。これらは甲殻類 (エビ・カニ) の仲間であり、産卵から交配を水槽の中で繰り返して、寄生できそうな生体に刺さることでその体液を吸い取り成長する。それ自体はそこまで深刻ではないものの、刺された所が化膿し、細菌感染を併発するという恐ろしい弊害をもたらしてしまう。しかも、エビ・カニの仲間ということもあり、抗生物質が一切効かず駆除することが不可能である。塩水も、卵には効かないため通常はお手上げ状態である。基本的に、購入した際に保有している場合が多く、筆者も一度甚大な被害にあっている。ウーパールーパーの飼育をやめようかと思った程に戦いは壮絶を極めた。



参考 1: アホロートルに寄生したイカリムシ (A-A''; 黄点線囲み), 魚に寄生したウオジラミ (B; 黒点線囲み; 参照: チャーム様)

ウオジラミ写真引用先: [https://images.shopping-charm.jp/UserArea/docs/fishdisease\\_rs.html](https://images.shopping-charm.jp/UserArea/docs/fishdisease_rs.html)





## カネショウ 殺虫剤 デミリン水和剤 100G (アグロカネショウ)

### 組成

有効成分: ジフルベンズロン  
[1-(4-クロロフェニル)-3-(2,6-ジフルオロベンゾイル)尿素] 23.5%  
その他成分: 鋳物質微粉、  
界面活性剂等〔PRTR・1種 ポリ(オキシエチレン)  
=ノニルフェニルエーテル1.0%〕 76.5%

登録番号: 第16864号  
性状: 類白色水和性粉末63 $\mu$ m以下

### 参考 2: イカリムシ・ウオジラミ等、甲殻類系の寄生虫に有効な治療薬の例 (デミリン水和剤)

これらの確実な駆除には、デミリンという農薬にも用いられる薬品が有効である。一般に入手可能であるが、粉塵が舞うため、水に混ぜる際に吸気などをしないように注意をして欲しい。

このデミリンの粉末は水には溶けないため、あらかじめ水に混ぜ、希釈したものを何段階かに分けて希釈すると良い。1000倍希釈であり、かなり薄い濃度でも効果が見られる。家庭用の電子天秤等で秤量後、何段階か希釈すると効率的である。ミネ水と併用し、1~2か月継続すれば、ほぼ再発の可能性は無い。不安であれば3~4か月継続すると良いかも。ただし、体調を崩した個体に関しては、デミリンを除去した環境へとなるべく早く移動させる点に注意。

参考 1: TOKYO\_AQUA\_GARDEN 様 >コラム・アクアリウムのすべて>金魚の寄生虫と対処法!

種類と対策を解説! 季節の変わり目は特に注意! [https://t-aquagarden.com/column/goldfish\\_parasite](https://t-aquagarden.com/column/goldfish_parasite)

参考 2: 川合観賞魚へようこそ\_錦鯉、金魚、熱帯魚の病気の治療法:

<http://www.katch.ne.jp/~koikawai/help.htm>

参考 3: <http://farmer803.blog.fc2.com/blog-entry-587.html>



### 参考 3: 治療したアホートル×2匹の経過観察 (約 1ヶ月)

治療の流れ: イカリムシの外科的除去 (目視で除去できる限り; 左側写真) → 0.5% 塩浴 + 1/5000 オキシリン酸薬浴 (約 12 時間) → ミネ水 (0.2% 汽水) 飼育 約 1ヶ月 (右側写真) → 1匹は完治。炎症と衰弱が酷いもう1個体は外科的除去から8日後に死亡。

### 治療当時の記録 (一部抜粋; 2020年 1月頃～)

**20/1/12** 二匹のウパのイカリムシ症が発覚。治療しなければ。。。

**20/1/21** ピンセットでとってすぐに再発してしまう。これは以前に拝見したデミリンを試してみよう!

**20/1/28** デミリンが届いたので、さっそく入れてみました!

比率としては、1000リットルに1g (つまり1000倍希釈) らしいので、かなり薄くても効きますね...

水槽が20から30リットル程度なので0.02g入れるべきですが、精密な秤が無いため2gの粉を100倍に予め希釈し、この希釈液を2g水槽に入れました。

デミリンの100倍希釈液2gは大体小さじ1杯分が目安(らしい)。水槽に活性炭入りフィルターが入ってるけど、フィルターの中も効いて欲しいのと、マイルドに効いてほしいのでそのまま行きます!

**20/2/3**

デミリン投与から約6日目。イカリムシが駆除し切れない。薬剤が活性炭フィルターに吸着されたことが原因と考えられる。そこで、半分水替え後、フィルターを外してからデミリン再投与! ソイルと水替だけで、どうか持ちこたえてもらおう。

**20/2/9**

飼育の近況です。最善を尽くしましたが、イカリムシ寄生部の感染症のためか、炎症が酷かった方が亡くなりました。二匹の内、もう一匹は時間経過の末、無事に一命をとりとめました (デミリン処置は1ヶ月継続)。

**20/2/5～20/3/21**

イカリムシの外科的治療痕の早期回復・感染症予防のため、過去の文献・論文等を頼りに、**塩水飼育 (ハルトフレーターズ塩飼育)** を模した手法; **0.15% 汽水飼育\*** をデミリン治療と併せて試してみました。常時塩浴の効果があったためか、傷の治りも早く、炎症もすぐに収まりました。この操作に関しては、以下の文献1-3が主な参考になっています。メキシコサンショウウオの生息地が汽水環境であった可能性も報告があるので、ダメ元で試した結果、無事に回復して本当によかった。。。“ウパが薬に弱い” というのも眉唾なのかも?

文献 1: Susan T. Duhon. 1997. The Axolotl and its Naïve Habitat—Yesterday and Today. Axolotl Newsletter Number (Jordan Hall 407 Bloomington, IN 47405). 26. p14-17.

文献 2: Cecilia Robles Mendoza. Claudia Elizabeth García Basilio. Ruth Cecilia Vanegas Pérez. 2009. Maintenance media for the axolotl *Ambystoma mexicanum* juveniles (Amphibia: Caudata). *Hidrobiológica* 19 (3): 205-210

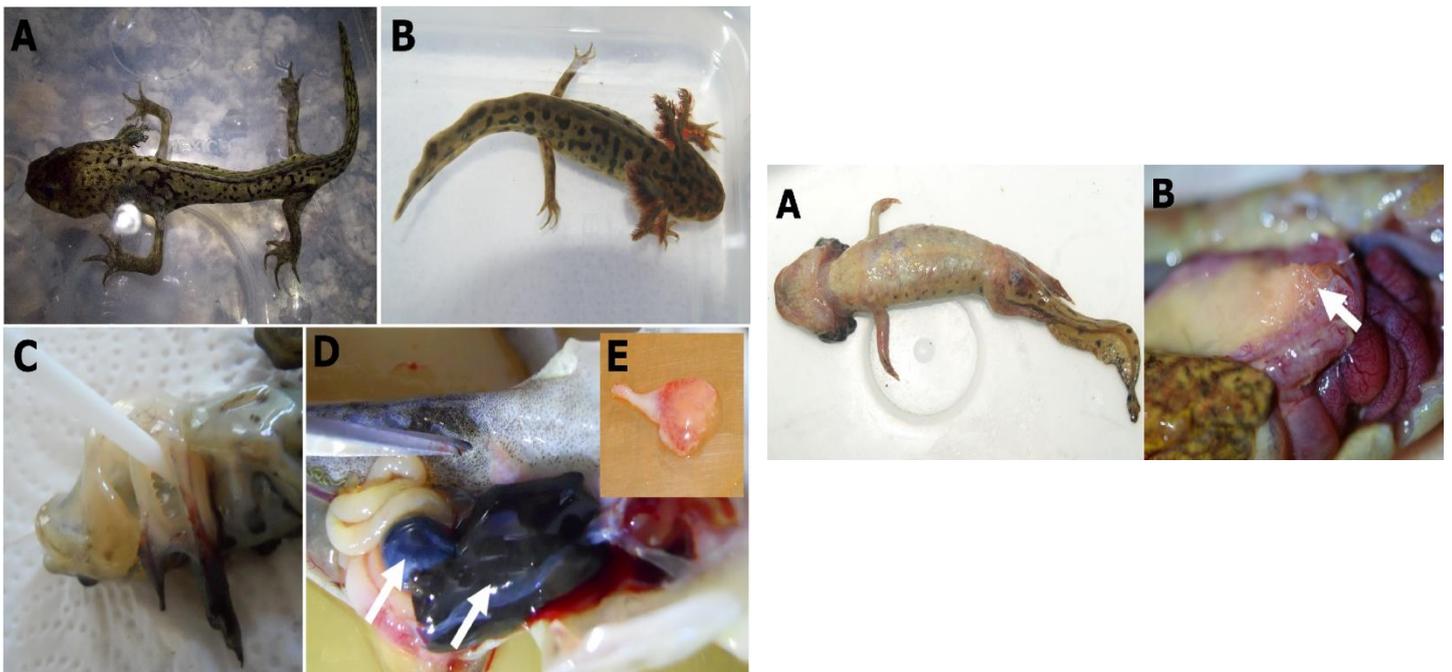
文献 3: R. Loh, BSc, BVMS, MPhil, MANZCVS, CertAqV. 2015. Common Disease Conditions in Axolotls. World Small Animal Veterinary Association World Congress Proceedings (The Fish Vet, Perth, WA, Australia). <https://www.vin.com/apputil/content/defaultadv1.aspx?id=7259254&pid=14365&print=1>

\* これが、後日、“はるらぼ” と “ミネ水” 誕生のきっかけとなっていきます。



## 【注意喚起！ 線虫類寄生の危険性について】 22/11/1

以前の記事で、ウーパールーパーの“痩せる”症状の原因として細菌感染を取り上げたが、線虫 (*Hedruris*) のような寄生虫が原因となってしまう場合がある。ミズミズのように無害な品種も存在するが、一部は生体に寄生し、疾患や死亡の原因となってしまうため注意が必要である。以下の参考文献[1] などで取り上げられているのは *Hedruris siredonis* という線虫の一種 (全体像; 参考文献[4]) であり、体内で卵が孵化し、宿主の腸管に棲みついてイカリムシのように組織に噛みつき、体液を吸いつつその傷口から感染症を引き起こしてしまうとのことである。同様の、魚類・両生類に寄生する線虫類の報告が上がっており、淡水魚に感染する線虫の仲間 (文献[6]) や、カエル類に寄生する仲間 (文献[7]) などの報告も見られている。危険な線虫類の一例として、カマヌスという吸血線虫の仲間も知られており、これらが発生して痩せた個体が多く確認された場合は、水槽をリセットする または 廃棄する処置を行った方が良いとも言われている。(文献[8])



参照: *Hedruris siredonis* に寄生されたアホロートル [1; A] および 体内潜伏の様子 [1; D, E]



参照: *Hedruris siredonis* の全体像 [4] および 各器官の拡大図 [5]

## 参考文献

- 1) C. Michaels 他 (2016); **Environmental Science> Fatal parasitosis caused by Hedruris siredonis (Nematoda) Baird, 1858 in the Alchichica salamander Ambystoma taylori Brandon, Maruska and Rumph 1982** <https://www.semanticscholar.org/paper/Fatal-parasitosis-caused-by-Hedruris-siredonis-1858-Michaels-D%C3%ADaz/5cd7fcf603ea085e153b29cf91bc782f716eb127>
- 2) **Hedruris siredonis-1** [https://www.google.com/search?q=Hedruris+siredonis&rlz=1C1QABZ\\_jaJP919JP919&sxsrf=ALiCzsbaw5aRh0IjcgBR3XENkjp9kkUzBQ:1668692469089&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjK2e\\_uq7X7AhVIM94KHWgPAboQ\\_AUoAXoECAIQAw&biw=1707&bih=812&dpr=1.13#imgrc=PzmHUFuNXH2-mM](https://www.google.com/search?q=Hedruris+siredonis&rlz=1C1QABZ_jaJP919JP919&sxsrf=ALiCzsbaw5aRh0IjcgBR3XENkjp9kkUzBQ:1668692469089&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjK2e_uq7X7AhVIM94KHWgPAboQ_AUoAXoECAIQAw&biw=1707&bih=812&dpr=1.13#imgrc=PzmHUFuNXH2-mM)
- 3) **Hedruris siredonis-2** [https://eol.org/pages/1019571/articles?locale\\_code=show\\_all](https://eol.org/pages/1019571/articles?locale_code=show_all)
- 4) **Hedruris siredonis-3** <https://www.wikidata.org/wiki/Q83371513>
- 5) **Hedruris siredonis-4** [https://www.researchgate.net/publication/309570665\\_A\\_new\\_species\\_of\\_Hedruris\\_Nitzsch\\_1821\\_Nematoda\\_Hedruridae\\_parasitic\\_in\\_the\\_freshwater\\_fish\\_Oligosarcus\\_jenynsii\\_Gunther\\_1864\\_Characidae\\_from\\_Argentina](https://www.researchgate.net/publication/309570665_A_new_species_of_Hedruris_Nitzsch_1821_Nematoda_Hedruridae_parasitic_in_the_freshwater_fish_Oligosarcus_jenynsii_Gunther_1864_Characidae_from_Argentina)
- 6) 嶋津 武 (1998). 日本産淡水魚類の線虫類:総説 \* 長野県短期大学紀要第 53 号  
1-19 頁 1998 年 12 月 Journal of Nagano Prefectural College, No. 53, pp. 1-19, December  
[https://u-nagano.repo.nii.ac.jp/?action=repository\\_action\\_common\\_download&item\\_id=289&item\\_no=1&attribute\\_id=22&file\\_no=1](https://u-nagano.repo.nii.ac.jp/?action=repository_action_common_download&item_id=289&item_no=1&attribute_id=22&file_no=1)
- 7) 浅川 満彦 (2007). 日本産カエル類に寄生する線虫類の保全医学的なコメント  
酪農学園大学紀要 別刷 第 31 卷 第 2 号  
[https://rakuno.repo.nii.ac.jp/?action=repository\\_action\\_common\\_download&item\\_id=4519&item\\_no=1&attribute\\_id=21&file\\_no=1](https://rakuno.repo.nii.ac.jp/?action=repository_action_common_download&item_id=4519&item_no=1&attribute_id=21&file_no=1)
- 8) トロピカ様 HP> 熱帯魚につく寄生虫の種類と治療方法 <https://tropica.jp/2018/03/04/12402/>

## 治療報告 1: ともちん様

### 【ウーパールーパーの状態】

リュースティック黒目をホームセンターで購入。4 cmほどで後ろ足が生えかけていた。前足の指先に黒っぽい綿埃のような汚れが付着している。

### 【飼育方法】

5ℓの発泡容器で全換水。水温、20℃前後。毎回、容器にヌルヌルした汚れあるためスポンジで擦り洗いする。

### 【薬浴に至った経緯】

餌は朝に赤虫 3 本程度。排便は毎日出ていたがぶかぶか病になり、腹を上にして浮かんでしまう。32 cm 水槽、ファンを使用して水温を 20℃～17℃にする。

ぶかぶか病は改善されたが足の粘膜の汚れや水槽内に白い汚れが多く見られる。

はるさんに相談したところ、薬浴を勧められる。

### 【薬浴方法】

参考:はるらぼ式、アホロートル用グリーン F・リキッド(以下、薬)溶液調整

ダイソーの密閉容器、2.6 リットルにウーパールーパーと共に塩水 0.3%(以下、ミネ水)の飼育水を入れる。

飼育水を 100ml ほどカップに取り、薬を 2 滴入れて30分おき 4 回に分けて投入。

水換えは毎日、同じ容器・組成のものを用意して、網などで移動させる。

## 【薬浴の実施】

6/9 〈薬浴 1 日目〉

塩水 0.3%へ。夕方から薬浴開始。

6/10 〈薬浴 2 日目〉

ウパの様子は、いつもよりじっとしている。朝の赤虫は食欲旺盛。排便あり。夕方、こちらに寄ってくる様子がないので夕分のペレットは与えず。

指先の粘膜の汚れの部分がかさぶたのように黒っぽく変化している。水の沈澱汚れもない。

6/11 〈薬浴 3 日目〉

指先の汚れはほとんど無くなっている。後ろ足に僅かに残っている程度。朝の赤虫、食欲旺盛、排便あり、元気に泳ぐ姿が見られる。

夕分のペレット 2 粒与える。

はるさんに薬浴終了のタイミングについてアドバイスをいただく。

6/12 〈薬浴 4 日目(最終日)〉

指先の汚れなくなったため朝の水替え時より薬浴終了。  
食欲、排便共に異常なし。元気に泳いでいる。

6/13 〈薬浴終了後〜〉

水底の粘膜汚れがなくなっている。食欲、排便ともに良好。

## 【まとめ】

はるらぼ式の薬浴方法により購入時から起きていた粘膜異常(水カビ?)が改善された。体内にまだ菌が潜伏しているとすれば免疫低下やストレスにより再発する可能性もあるため、今後も粘膜の汚れやぷかぷか病などの異常があれば早めに薬浴を行う。成長に合わせて薬の濃度も上げていく必要性もあるかもしれない。

## 【オマケ】

以降もミネ水、砂利を使用した飼育を行う。水質悪化防止やストレス軽減のため水草も使用してみる。水草に関しては pH、硬度、水温、光量に注意して育成する。

治療報告 2: 武庫川女子大学薬学部\_吉田 綾香 様(ph.D 薬学)



ウーパールーパー ブラック(ひじき)

2021年4月 孵化

体長 17cm(2022年4月時点)

----飼育環境(発病時)----

40cm 水槽、単独飼育

スリムフィルター(活性炭フィルター1+バクテリアフィルター1)

ソイルなし

週に一回の換水とフィルター清掃

餌:ウーパールーパーの主食、冷凍赤虫

<2022年1月19日>



生まれつき右手・右足に奇形あり。  
この時は左右のエラサイズに違いはない。

<2022年3月1日>



左右のエラの成長サイズに違いが出始める。  
保持姿勢や遊泳姿勢に異常なし。

<2022年4月7日>



餌を食べなくなる。

強制的に給餌しても吐き出す。

上半身の保持ができなくなる。遊泳時に傾く。

※数日前に、紫色のカビのようなものが水槽の底に生えていた

対処:毎日換水し、絶食を始める。

<2022年4月11日>



絶食3日目。全身の姿勢保持ができなくなる。  
排泄あり。

対処:絶食・換水を継続。

<2022年4月13日>



安静時も姿勢保持ができない。  
時折、発作のように水槽中をのたうちまわる。  
上半身の保持ができず、呼吸時に顎が動く。

対処:絶食・換水を継続。

<2022年4月14日>



全身に力がなく、依然として顎呼吸。  
グリーンFゴールドリキッドを購入。  
対処: フィルターを撤去し、換水、薬浴を開始。  
絶食は継続

----薬浴スケジュール----

4/14: 1/20 を添加。

4/15: 換水して 1/15 を添加。

4/16: 換水して 1/10 を添加。5 日間継続

-----

<2022年4月15日>



薬浴2日目。  
上半身の保持ができるようになった。  
若干の顎呼吸。

対処:スケジュール通り薬浴を継続。

<2022年4月20日>



薬浴7日目。  
全身の姿勢保持が正常になる。  
自発的に餌を食べることができるようになった。  
呼吸も正常になる。

対処:薬浴終了。毎日 1/3 換水を続ける。

<2022年5月10日>



エラの左右差が目立たなくなってきた。  
食欲・呼吸・姿勢に異常なし。



### 治療報告 3: みかんかん DX 様

8/24 購入 大きさ約 8cm 黒

8/26 ぶかぶか病かも?と気付く

8/27 汽水飼育開始→ぶかぶかには効果なし 左側を上にして体をくの字に曲げて水面に浮いていたり、ひっくり返っていたり。

9/11 薬(グリーン F ゴールドリキッド)による治療開始 既定(水 5l に対し 5ml)の 1/5(水 5l に対し 1ml)の濃度

9/12 早速効果が出る。明らかに浮くスピードが遅くなっている。まだしっぽの方から浮き上がるが、横倒しにはならなくなる。  
1/5 濃度で治療継続。



9/13 ほぼ浮かなくなる。時々尻が浮いている感じはあるものの、ウーパールーパー本来?(先住リュウシと似たような)動き方になる。1/5 濃度で治療継続



9/14 治療終了。汽水で飼育。

9/15 今のところ異常は見られず。

## 餌

8/24-9/11 3-4日に1度冷凍赤虫を5-10匹程度。

9/12- 毎日冷凍赤虫を1/4キューブ程度

いずれも完食。食欲あり。治療前は食べた後に浮きが大きくなる感じが見られた。

## 水換え

8/24-26 毎日10l(水道水にカルキ抜きをいれたもの)全交換

8/27-9/10 毎日5lずつ(水道水にカルキ抜きと塩を入れたもの)交換。ヌルヌルが酷くなったら全交換。途中でろ過装置(GEX サイレントフロー)を付ける。

9/11-13 毎日5l薬浴。全交換

9/14- 汽水。毎日3リットル交換。様子見中。

## 治療報告 4: 黎羅 様

引っ越し前の状態 (健康な個体)。



22/4/2 これまで実家で飼育していたが、別の場所へ引っ越し。

引っ越した事によるストレスからか、食欲がいまいちな状況が続く。エラが短くなる。



22/4/19 夜、嘔吐

はるラボの杉山遥さんへ相談→汽水飼育を教えて頂く。また、石を吐き出そうとしてるのではないかとということで、もともと敷いていた砂利をもっと粒が小さい砂利にすることに。体調を考慮してしばらくの間断食。



22/4/29 塩タブレットを使用して汽水飼育開始。砂利を大磯砂細目に変更。



22/5/7 汽水飼育にしてから初めての水替え・餌やりを実施した。  
餌はアカムシの食いつきはよかったが人工餌はいまいち。

22/5/23 引っ越し前と比べると量は少ないが、人工餌も食べるようになる。



22/5/29 引っ越し前と同量の人工餌を食べれるようになった。  
排便するようになる。体調が回復してきたようだ。



22/6/19 粗塩を使用して0.3%での汽水飼育開始

食欲が増し、さらに人工餌を食べてくれるようになった。エラも長くフサフサになる。体調完全回復。



## ウーパールーパーの水カビ病治療記録

2022/09/24 枝豆やみん

### 1. 記録の目的

飼育中のウーパールーパーにおいて、ろ過システムの不備が原因と推測される水カビ病の発生が観察された。その際、粘液の付着か水カビ病かの判別に始まり、治療方法の検討に非常に難儀した。

水棲の生体にとっては比較的メジャーな病気であるがウーパールーパーについては詳しい治療法や判別方法を見つけることが難しく、今後も同様のケースが発生することが考えられるため記録を残す。

### 2. 水カビ病の目視による判別

飼育下のウーパールーパーは外鰓に水カビ病を患った。当初は繊維質を目視できず、半日程度の時間をおいて組織の発達を待ち、患部の拡大、及び末端の繊維質を確認したことで水カビ病と断定した。(詳細は 3.治療の時系列を参照)

### 3. 治療の時系列

2022/08/20 17:30 頃

左の外鰓、2番目の末端にワタ上の物体を確認。(Fig.1)

同日 24 時頃までに外傷による粘液分泌か水カビ病か判断がつかなかった為様子見。



Fig.1 発症当初に確認した患部

外鰓の形が僅かながら残っているのが確認できる

2022/08/21 08:30 頃

ワタの拡大及び半透明のモヤを確認。(Fig.2) 末端に繊維質も観察でき、水カビ病と断定。



Fig.2 発症翌日の様子

前日と比べ、半日程度で大きく拡大しているのがわかる

同日 10:00 頃

水温管理の為飼育水槽に 4L のプラケースを浮かべ、グリーン F リキッド(Fig.3)を規定量 (10mL/12L)の 1/3(約 1ml)を投与し、経過を観察。(Fig.4) 薬浴中は絶食とした。



Fig.3 グリーン F リキッド

(日本動物薬品 株式会社 [http://www.jpnd.com/n\\_jpd/product/vakuhin.html](http://www.jpnd.com/n_jpd/product/vakuhin.html) より引用)

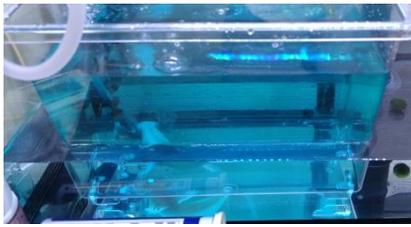


Fig.4 飼育水槽内に浮かべたプラケース

規定量 1/3 のグリーン F リキッド投与の為薄い青に染まっている。エアレーションも行っている

また水温はゼンスイ社製クーラーZC-100 $\alpha$ で 22°Cに設定した。20年余りの熱帯魚飼育においてこれまでの飼育水温であった 21°C以下では水カビの進行が早く、逆に 25°C以上で遅くなる経験があった為だが、急激な設定水温の変更は治療中に余計なストレスを与える為少ない水温変化とした。

同時に濾過槽の洗浄を実施。詳細は 4.推定される原因を参照。

同日 13:30 頃

プラケース内で排泄した為スポイトで糞を吸い出したところ患部のワタが剥離。(Fig.5)



Fig.5 剥離したワタ

外縁部に繊維質が見られ、色に濃淡がある。患部から綺麗に剥がれ、残りも無かった。

同日 16:00 頃

数時間おいてワタの再発、再拡大も見られなかった(Fig.6)為薬剤の濃度を規定量の 1/6 に変更。



Fig.6 ワタが剥離した後の患部  
外鰓が患部のみ消失していることがわかる

2022/08/22~23

再発も見られない為薬剤を日ごとに薄めていく。水カビ病の発生は外傷による場合であることも考慮し、他の細菌性、真菌性の予防を兼ねて 72 時間以上の薬浴を実施した。

2022/08/24

薬浴を終了し、リセット済みの飼育環境へ生体を戻した。(Fig.7)

その後 1 カ月経過した 09/24 現在も再発はしておらず、薬浴での水カビ病治療は成功したと考える。



Fig.7 飼育環境へ戻したウーパールーパー

余談

代表的なエロモナスやウーディニウムを含め、体表に作用する原因菌は 3~7 日のサイクルで世代交代しているとアクアリウムの飼育界隈で言われており、詳細な記録はないものの薬浴=1 週間が一般化している。このことから個人的に浮遊性で未発症の病気を予防する場合は最低 3 日程度のトリートメントが良いと考えている。

#### 4. 推定される原因

本生体は 2022/07/18 に体長 8cm 程度で導入し、飼育環境は低硬度の純淡水、水温はゼンスイ社製 ZC-100 $\alpha$  及びヒーターにて水温 20 $\pm$ 1 $^{\circ}$ C で設定していた。餌は朝晩 2 回、キョーリン社 ひかり ウーパールーパー小粒を 3~5 粒、キョーリン社 クリーン赤虫を冷水で解凍し 1/4 程度の一口サイズに再冷凍したものをピンセットで与えている。水換えはテトラ社 6in1 で計測した栄養塩の結果から頻度と水量を調整し、概ね週に一度、10~20L 程度である。濾過システムはオーバーフローを採用しており、ろ材容量は 10L 程度、主にカミハタ社 バイオボールを用いている。

水カビ病発生時にリセットした濾過槽(Fig.8)から、水カビに覆われた赤虫 1 本が見つかった。直前に濾過槽のデトリタス吸い出しを行っており、これにより巻き上げられた水カビの破片が飼育水槽内に流入、生体に付着したことが主原因と推測される。また前述の通り水カビは 21 $^{\circ}$ C 以下の低水温で進行が早くなると考えられ、クーラーにより 20 $^{\circ}$ C 前後に維持されていたことも一因と考えられる。

これらのことから、再発防止策として①設定水温を 22 $^{\circ}$ C に変更、②オーバーフローの排水パイプに園芸用ネットを設置し濾過槽への赤虫落下を防ぎ、対策とした。



Fig.8 リセットした濾過槽

右の排水パイプの直後から赤虫が見つかった

#### 5. まとめ

いざ治療しようとするネット情報の多くが「ウーパールーパーに薬浴は厳禁」としていることが多く、検索上位に来るのはまとめサイトばかりで意図的に治療法を明記することを避けているかのようなものばかりであった。私個人の経験上、薬浴は短期決戦、徐々に薬剤濃度を上げるより一発目で効かせて抜いていく方が治療の成功率(=生体の生存率)が高かったことから同様の手法を採ったが、塩浴、薬浴どちらも具体的な濃度を記している記録がなかなか無かったことに加え、両生類での治療は初めてであった為ワタが落ちるまで不安が絶えなかったことを覚えている。

この記録が役に立たないに越したことはないが、万が一の際に参考になれば幸いである。

# <ウーパールーパー研究報告>

## アホートル飼育水槽における濾過環境の重要性 (2022/9/26)

著: 杉山 遥 (Ph.D; 詳細調査・本記事の主な執筆者) <sup>1\*</sup>\*\*

所属: <sup>1</sup>ウーパールーパー研究室はらば

詳細: \*主任研究者 \*\*責任著者

ウーパールーパーの飼育において、高頻度の水替えは最も手間のかかる作業であるといえる。正直いば、水替え頻度をもっと少なくできれば、こんなに楽なことは無いのである。しかしながら、結論から先に述べると、当ラボにおける検証結果に基づく結論として、**自然濾過力は確かに水質の保持には重要であるが、ウーパールーパーが健康に育つ上ではそれだけでは不十分であり、常に水中に浮遊しているゴミやバクテリアがフィルターに吸着されている必要がある**、と現在杉山は結論づけている。

過去の杉山は、どうにか水替え頻度の手間を減らせないと悩んだ。そこで、淡水飼育、かつ、ブラックウォーターのピオトープに十分なナカリスを投入し、十分な量のフルボ酸(水中で分解された葉っぱ等)の産生やソイルをしきつめることで肥沃な泥を作り、濾過バクテリアによる自然濾過の力を借りることでフィルターによる濾過不要な水槽の環境を整え、水替え頻度を極限まで下げようと検証したのである(図 1: (A)-(A"))。

この時設定した条件は、メダカや金魚であれば、最早おつりが来るような最高の生育環境かと思われる。尚、水温は 18-20℃で常に保持していた。

しかしながら、一週間もしない内にウパの鰓がどんどん痩せていき、明らかに血色も悪くなっていったのである(図 1: (B), (C))。

ちなみに、このリュウシさんは 9 カ月目くらいの個体で、18cm 近いアダルトサイズにまで成長していたが、鰓が痩せ気味であったため濾過環境の見直しを目的として、このような**巨大ピオトープ (140L 水槽: 天馬 フタ式収納 ロックス 押入れ用 740-3L クリア 幅 44×奥行 74×高さ 43cm)** を作製した。だがそれでも、想定していた程の効果は得られなかったのである。

画像を見て頂けば明白だが、これだけの広さがありながら、しかも単独飼育だというのに日を追うごとに体調が悪そうなみすぼらしい見た目へと日々変化していったのである。この飼育面積・容積で一体何が汚染されるというのだろうか、と、当時の杉山は発狂したものである。常識的に考えると、透き通った水と安定した土壌環境が整ったはずの水槽内で、アホートルがどんどん弱っていくのである。どうしてもその事実に納得が行かなかったのを覚えている。

このままにもしておけないため、次の対策として、投げ込みフィルター中型サイズを 6-8 個投入して、自然濾過力を補助することにした。しかし、それでもあまり効果が無かったため、GEX メガパワー6090 という外部フィルターを設置するに至った(図 1: (D))。その後、これまでの状況が嘘のように鰓が回復し、今までの試行錯誤の無意味さを思い知らされるという結果となったのである(図 1: (E)-(G))。

知人や幾つかのアクアリウムに関する情報サイトでも、**“アホートルは水を著しく汚すため、外部フィルターなどの高い濾過環境が必要不可欠である”** という解説が為されている [ ] もの、外部フィルター導入前、pH 計や水質確認の指示薬等・濁度計等を用いて水質を確認した際に得られた結果は、濁度は非常に低く pH も 6.8~7.2 の間で安定していた(確かに時間経過に連れて、次第に上昇傾向ではあったが...)。この点から見れば、水は殆ど汚れてなどいないのではないか?と当時考えていた。

尚、導入と重複する、**我々の結論として、自然濾過力は確かに水質の保持には重要であるが、ウーパールーパーが健康に育つ上ではそれだけでは不十分であり、常に水中に浮遊しているゴミやバクテリアがフィルターに吸着されている必要がある、と現在は考えている。**

それが何故なのか、その理由については現在も調査中である。



しかしながら、少なくとも 当ラボが提唱する 0.3% の塩水を用いる “ミネ水飼育法” において、水が汚れ始めるまでの時間に圧倒的な差が見られることから、水中に浮遊しているバクテリアの発生が汽水（薄い塩水）環境によって抑制される可能性があることに加え、ミネラルによる生育促進・鰓の伸長促進効果のおかげも相まって、より健康的にアホロートル達を飼育することができているといえる。

またここまで述べた内容と重複するが、当ラボの調査において水槽内には様々な微生物が存在することを明らかとし、過去の章でも報告しているが、非常に種類が多く水温によっては増殖率が非常に高くなることもあるため、状況によってはアホロートルには負担が大きい可能性もある。飼育水中に遊離・浮遊している微生物の集団を、濾過フィルターで一機に吸着することがアホロートルらのストレスを軽減する上でどうしても必要不可欠であるのかもしれない。





図 1: フィルターの濾過力 >> 自然濾過力 であることを思い知らされる。

## 参考: アホロートルの体調の異変のサインと再発率

以下の表に示す症状がほんのわずかでも見かけられたら、水質異常や感染症の影響で、アホロートルがダメージを受けているサインです。毎日の観察の中で、これらの諸症状に気づいたら、早急な塩浴と薬浴を！ 平時からのミネ水飼育が健康で強いウパを育てます。それでも症状が深刻な場合は動物病院で診察を受けて下さい。

表: アホロートルを飼育する上で常に意識したい症状一覧

(初期)	(進行後)
・ 鰓やヒレの痩せ、ヒレのザラザラ	・ ガリガリに痩せてくる
・ 血管が浮き出る	(変態と見間違いが、体長関係なく起こる)
赤→炎症	・ はだが黒ずむ、ヒレの穴あき
・ 粘膜が手足から出てくる	・ 血管が浮き出る
・ 餌を食べない・吐き出す	黒→浮腫・壊死
・ 暴れる・泳ぎ回る	・ フラフラする・コケる

(はるらぼ調べ: 内外併せて総個体数 76 匹分の結果)

### <治療のタイミングと再発率>

・ 炎症 (充血) 発見の段階で塩浴・薬浴治療 (計100匹; 聞き取り調査含む)

気づいて (再発率)

5~7日 → 1/21  
10~14日 → 0/18  
18~21日 → 5/19  
25~30日 → 13/20  
60日以上 → 18/22

・ 炎症 (充血) 確認後も塩浴・薬浴なし

30日以上放置 → 鰓痩せ (38匹/56匹)

ここで30日間治療 (38匹) 後、再発率

5~7日 → 4/8  
10~14日 → 4/7  
18~21日 → 7/11  
25~30日 → 5/6  
60日以上 → 6/6

60日以上放置 → 身体も痩せ (46匹/52匹)

ここで30日間治療 (46匹) 後、再発率

5~7日 → 8/9  
10~14日 → 10/11  
18~21日 → 8/8  
25~30日 → 9/9  
60日以上 → 9/9

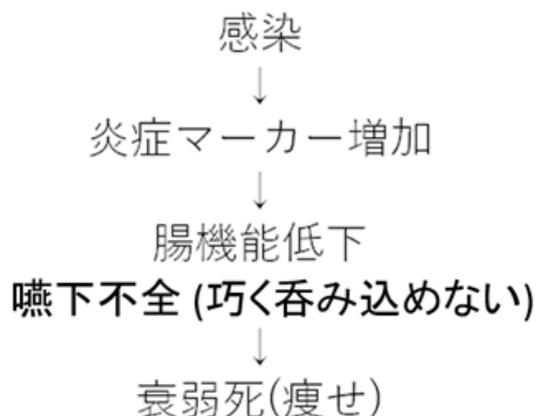
・ エラ痩せ、身体痩せ

※ 原因 → 摂食障害、腸の機能低下 (餌の吐き戻し、下痢等を伴う)

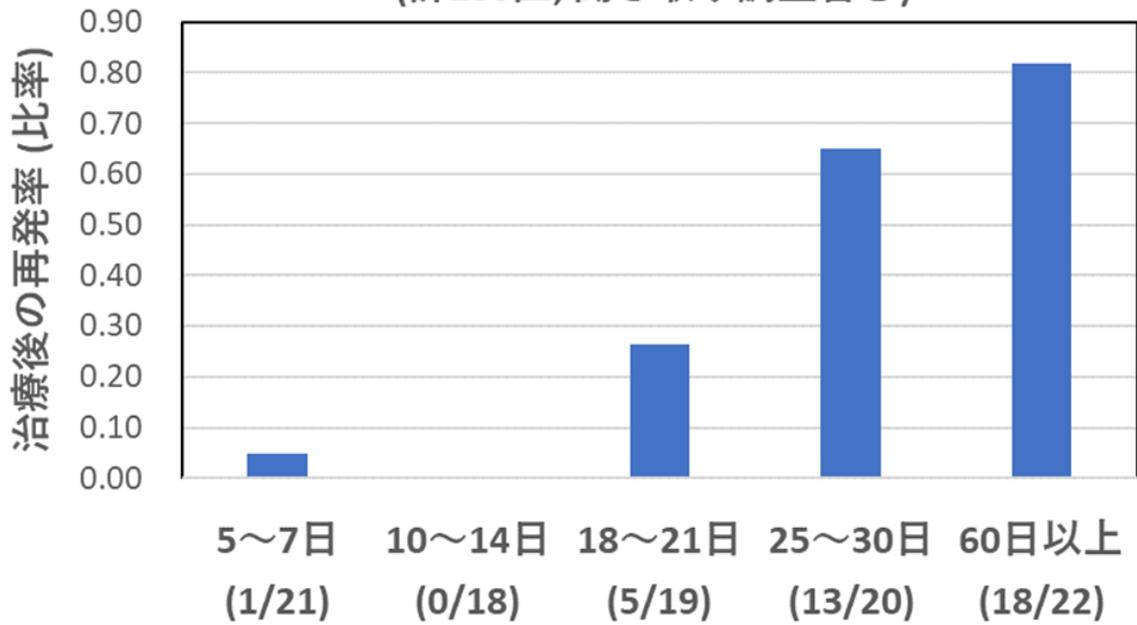
一方で、突然死 (外見に異常少) の個体も確認できる。

5~7cm の個体で抹消機能を確認 (qPCR)

### <細菌感染・発症のプロセス (推定)>



炎症 (充血) 発見の段階で塩浴・薬浴治療  
(計100匹; 聞き取り調査含む)



炎症 (充血) 確認後も塩浴・薬浴なし

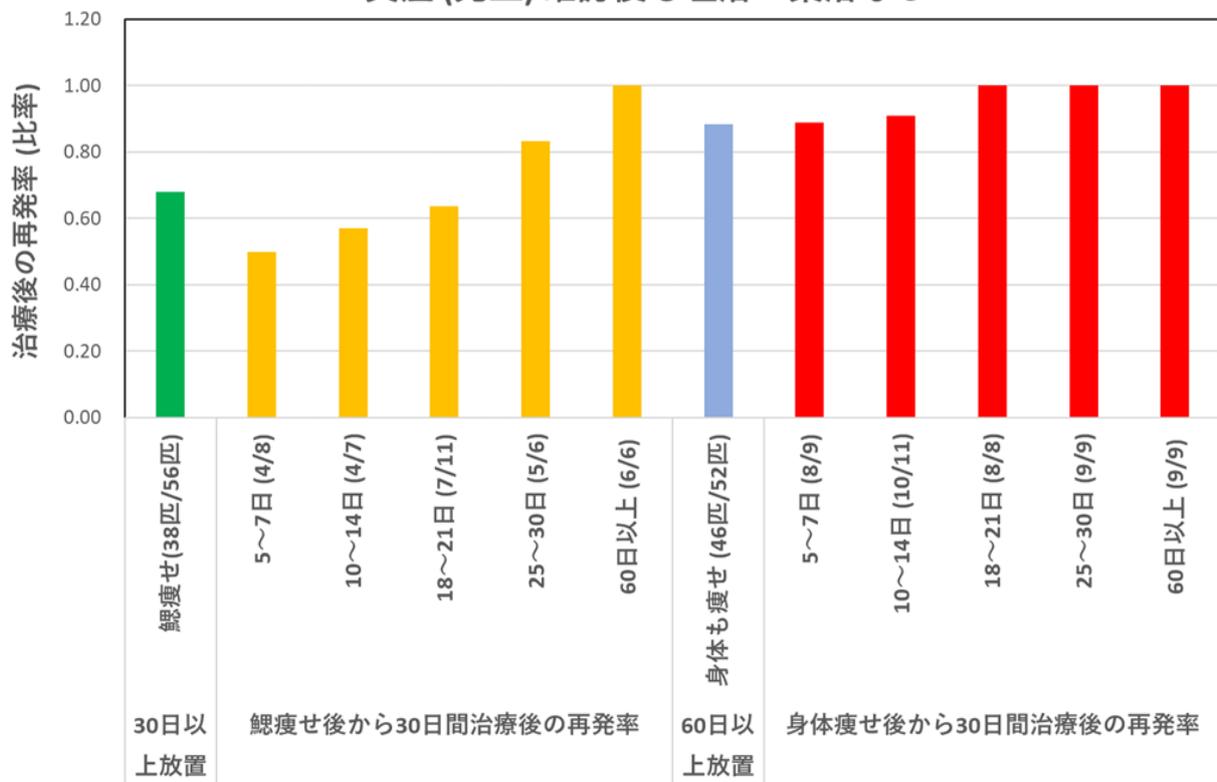


図 2: 治療のタイミングが遅れるとその分回復できる可能性が低下する

参考: 飼育に役立つ機器・測定装置など

# GEX メガパワー 6090 水槽用外部

## 適合水槽: 60~90cm (60~160L)



**メガパワー独自のろ槽構造 フルボトムアップろ過システム**

飼育水を一気にろ槽底部へ。底からろ過槽全面を使い水を押し上げます。この独自のフルボトムアップろ過システムでろ過材、ろ過槽をフルに活用できるのです。

●メガパワー-6090, 8012, 1215の場合

- メガパワー 独自のろ過**  
魚の排泄物や飼育水の細かいゴミを取る。ろ過リサイクルも効果。飼育水をきれいにする。  
交換の目安: 約1ヶ月に1回
- メガカーボン 脱色ろ過**  
硝化菌の活性を高め硝化を促進。すばやく臭気・飼育水の有機物を脱色。  
交換の目安: 約1ヶ月に1回
- メガスポンジ 物理・生物ろ過**  
メガマドモのろ材をさらに併用。物理ろ過と生物ろ過の両方に効果。汚れを吸着し、飼育水をきれいにする。  
交換の目安: 約1ヶ月に1回
- メガバイオ 脱色・生物ろ過**  
ろ過バクテリアが大量繁殖。アンモニア・硝酸塩と有機物を分解。無臭化・無色化も効果的。  
交換の目安: 約1ヶ月に1回
- メガリフィル 脱色・生物ろ過**  
魚糞のろ過リング形状で飼育水の底層部が多く水がよみ通る。過剰なリフィルの消費が少なく、大型に専断。交換も簡単。

理想的な水の流れて、抜群のろ過能力を発揮する円形状のボディを採用。

[https://item.rakuten.co.jp/discountaqua/10000073/?scid=af\\_pc\\_etc&sc2id=af\\_113\\_0\\_10001868&gclid=Cj0KCQjwsrWZBhC4ARIsAGGUJurdweaMQUqZZEoqwwMXh8zMeZvy](https://item.rakuten.co.jp/discountaqua/10000073/?scid=af_pc_etc&sc2id=af_113_0_10001868&gclid=Cj0KCQjwsrWZBhC4ARIsAGGUJurdweaMQUqZZEoqwwMXh8zMeZvy)

**デジタルpH計**  
日本語説明書付  
0.01pH単位計測対応

### 【検査機関も愛用】



<https://item.rakuten.co.jp/berykoko/10000360/?si>

KRK(笠原理化学工業)

### 濁度・色度センサー

**ZERO 校正** → **測定** → **濁度・色度表示**

CAL キーを押す → MEAS キーを押す → 表示 10秒後

モード切換えで最小0.1→0.01度の切換え表示

MODE ボタンを押すと小数表示が切り替わる

標準測定	切換え測定
TURB. 1.0 COLOR 1.0	TURB. 0.00 COLOR 0.00
小数点1桁表示 0.0~50.0度	小数点2桁表示 0.00~9.99度

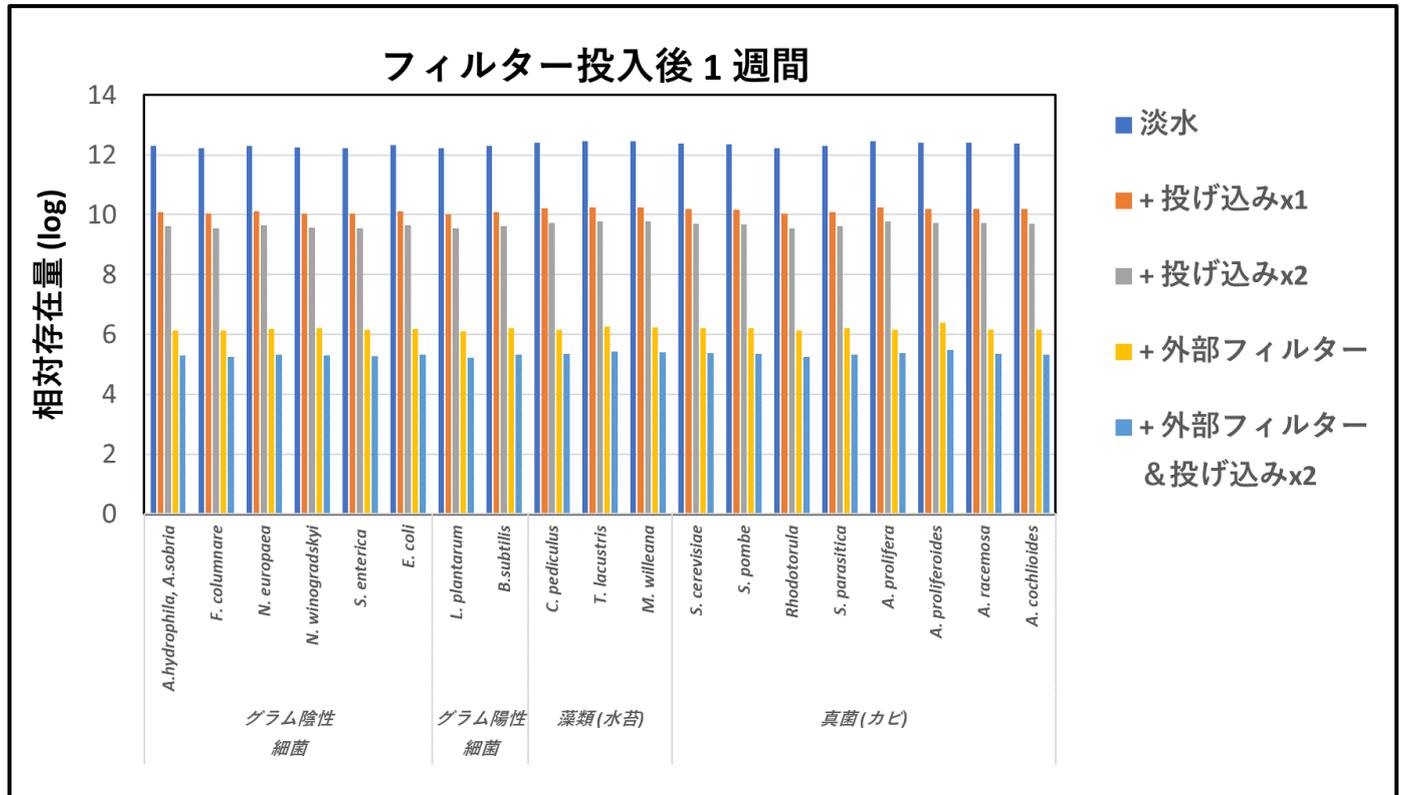
アズワン品番 1-8673-01 寸法(mm) 48×32×320

<https://www.monotaro.com/g/00255827/?displayId=25>



## トピック 1: 濾過力と浮遊微生物量の相関

尚、濾過条件と浮遊バクテリア量の変化について比較を行った所、以下に示すように外部フィルターの効果が絶大であることが明らかになった。これらの結果から、外部フィルターによる水中の遊離バクテリアの吸入量がいかに強いのか、前述までの結果と併せて良く理解していただけるかと思う。尚、外部フィルターと投げ込みフィルター（ロカボーイ L）x2個の組み合わせによって、更に濾過効率を上げることが出来ることも明らかになったため、フィルターの併用は飼育水の濾過にとって非常に有効であることも分かる。



### 実験条件の詳細

上清の菌叢を回収 → バクテリアの 16S rDNA, 真菌類の 18S rDNA を増幅 → バンドの濃さで比較  
 水 50ml を 3-5 本回収 → 遠心 2,000xg で 5 分間遠心 → 十分な沈殿が得られたら ok  
 18~20°C, 淡水条件で飼育, 1 週間水替え無し → フィルター 設置 → 1 週間後分析 (60mm 生体x3 匹)

### 用いた水槽



GEX マリーナ幅 60cm 水槽 MR600BKST-N ガラス水槽

60cm 水槽

容量: 約 57L

ガラス厚: 3mm

サイズ: 約幅 600mm × 奥行 300mm × 高さ 360mm

### 用いたフィルター

- ・Gex メガパワー-6090
- ・ロカボーイ L



## トピック 2: アホロートルの免疫力は低い?

両性類の免疫力については、これまでに色々な議論が交わされている。近年、両生類の免疫力と再生力の関連性に免疫力が重要であることも明らかになってきた[1-3]。ミネ水の効果として再生力の強化と免疫力強化の両立が見られており、これらの報告も汽水条件の重要性を大きく肯定しているといえる (ウーパールーパーの飼育係 Vol 3.0 参照)。

しかしながら、過去の文献において、アフリカツメガエル (*Xenopus*) と比較してリンパ球の働きが弱いという報告が見られており [左表参照; 4-5]、飼育下でのバクテリア繁殖の影響を強く受けてしまうことが推察される。

(※免疫に関するまとめは、文献[6]を参照。)

Immunological feature	<i>Xenopus</i>	<i>Axolotl</i>
Thymus morphology: cortex/medulla	defined	undefined
Spleen morphology: red/white pulp	defined	undefined
Graft rejection (thymectomy)	acute (abrogated)	chronic (abrogated)
<i>In vitro</i> MLR (thymectomy)	strong (abrogated)	poor (?)
T-cell mitogen response	good (FBS <sup>2</sup> or BSA) good (BSA)	poor (FBS)
B-cell mitogen response (LPS)	modest	modest (BSA or FBS)
PMA response	good	good (BSA or FBS)
Antibody response (thymectomy)	good (restricted diversity) poor (thymus dependent)	poor (limited diversity) enhanced (SRBC/HRBC) <sup>3</sup>
Isotype switching (thymectomy)	yes no (IgY) <sup>4</sup>	no
Affinity maturation	modest	none
MHC class II antigens	B cells, T cells, thymocytes thymocyte areas of thymic stroma	B cells, T cells, erythrocytes, thymic stroma, endodermal epithelium, skin glands, brain
MHC class I antigens	ubiquitous cell surface	a chain on erythrocytes

<sup>1</sup> adapted from Kaufman et al., 1991  
<sup>2</sup> Refers to protein source in culture medium (BSA = bovine serum albumin; FBS = fetal bovine serum)  
<sup>3</sup> SRBC = sheep red blood cells; HRBC = horse red blood cells  
<sup>4</sup> Du Pasquier & Wabl, 1977

## 参照

- 1) Immunity in salamander regeneration: Where are we standing and where are we headed? > Airais et al. (2020), published: 14 September <https://anatomypubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/dvdy.251>
- 2) Identification of immune and non-immune cells in regenerating axolotl limbs by single-cell sequencing > Rodgers et al. (2020), <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0014482720303967>
- 3) Advancements to the Axolotl Model for Regeneration and Aging > Vieira et al. (2020), Gerontology; 66:212–222. <https://www.karger.com/Article/FullText/504294>
- 4) Axolotl Immunology: Lymphocytes, Cytokines, and Allpincompatibility Reactions > Cohen et al. (1994) > Axolotl Newsletter Number 23 [https://ambystoma.uky.edu/genetic-stock-center/newsletters/Older\\_archive/Issues-13-23/archive/issue23/24-33cohen%20koniski.pdf](https://ambystoma.uky.edu/genetic-stock-center/newsletters/Older_archive/Issues-13-23/archive/issue23/24-33cohen%20koniski.pdf)
- 5) Immunologic Responses in the Axolotl, *Siredon Mexicanum* > Ching et al. (1967), J Immunol July 1, 99 (1) 191-200; <https://www.jimmunol.org/content/99/1/191>
- 6) 獲得免疫における細胞性免疫とは？液性免疫との違いも詳しく解説！ <https://www.macrophil.co.jp/special/1564/>



## 濾過環境の仕組みと pH や水質の維持, 濾材の重要性

関連 Note 記事: [https://note.com/lab\\_new2/n/nef2cee869027](https://note.com/lab_new2/n/nef2cee869027)

著: 杉山 遥 (Ph.D)<sup>1\*</sup>,<sup>\*\*</sup>; 萩原 和晃 (牡蠣殻 pH 調査)<sup>1\*\*\*</sup>; 枝豆 やみん (一部監修)<sup>1\*\*\*</sup>; りん (pH 情報提供)<sup>\*\*\*</sup>

所属: <sup>1</sup>ウーパールーパー研究室はらば

詳細: \*主任研究者 \*\*責任著者 \*\*\*data 提供者

皆様、飼育環境には気をつけていますか？

当ラボの調査結果としては、硬水・汽水環境(ミネ水※)+強いフィルターろ過の構成が好ましいと報告してきました。また、週一程度の頻度で水換え、月1のフィルター掃除をするとより一層安心であるとも、一部お伝えしてきました。

世話が行き届かないと、ともすれば以下の過去記事のような惨事になり得ます…。

分析は不十分ですが、トラブルの原因として色々な可能性が挙げられました。

Note 過去記事: [https://note.com/lab\\_new2/n/nc8d6f2b09b8d](https://note.com/lab_new2/n/nc8d6f2b09b8d)

ウーパールーパーの飼育水槽における苔発生との格闘 2022年7月15日

そんなこんなで、今回は、幾つかの飼育相談や治療相談から見てきた、ウーパールーパーの飼育個体が体調を崩しやすい条件と原因について、今回は簡単に紹介していきます！さて、皆様の飼育環境はいかがでしょうか…？

### 1. 水槽に関する各用語のおさらい [1-27]

今回の報告を読むに当たって、水質に関する用語についておさらいしましょう。

pH・・・Potential Hydrogen. 水素イオン指数。

水溶液にどれだけの割合で水素イオンが電離しているか(溶けているか)を示す値。

pHは0~14の数値で表され、pH7を中性とし、7より小さい場合は酸性、大きい場合はアルカリ性となる。

※ 水槽内の pH が減少するのは、生息している微生物の酸性する有機酸や硝化細菌類の出す亜硝酸塩や硝酸塩が増大することに起因する。

逆に pH の上昇は水中のアンモニア量や水中に含まれるミネラル量(硬度)の増大に起因する。

※ 水中が酸性に傾いている時、水素イオン(H<sup>+</sup>)が発生するため pH が高くなり、生体の食べ残しや糞等の有機物から産生されるアンモニア(NH<sub>3</sub>)がアンモニウムイオン(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)となり水に溶解するようになる。[10]

一方で、水中がアルカリ性に傾いている時は、水中の水酸基(OH<sup>-</sup>)が増大しているため、水素と水酸基が反応して水(H<sub>2</sub>O)を発生させる反応が起こり、アンモニウムイオンは水素イオンを放出してアンモニアとなる。

※ アンモニア自体には毒性があり、あまり水槽内に多く含まれるのは好ましくない。すなわち、水槽の pH が上昇した際に、水中に多くアンモニウムイオンが溶解しているとアンモニア量が急激増大し、生体に大きなダメージを与えてしまうので注意が必要である。

※ アンモニアが水に溶解したタイミングでは水酸基(OH<sup>-</sup>)が増大し、アルカリ性(pH上昇)の方向へ傾く。

一方で、アンモニウムイオンは水中に溶けると水素イオン(H<sup>+</sup>)を発生させるため、pHは低下し酸性を示す。

※ このようなイオン化反応が水中では常に一定の平衡状態を保っており、水質がある程度一定に保持されている。



KH・・・炭酸塩硬度. アルカリ度 (水の硬度 ≡ 溶けている金属イオンの程度) を表す指標。

飼育水に含まれるミネラルと二酸化炭素から生成される  $\text{HCO}_3^-$  を測定している。

GH・・・総硬度. カルシウムイオン( $\text{Ca}^{2+}$ ) とマグネシウムイオン( $\text{Mg}^{2+}$ )の合計量から示される値。

※ 水中のミネラルは、生体や水槽内の微生物によって常に一定量消費されているため、pH と KH, GH の増減はある程度連動している場合が多い。

硝化サイクル・・・水中に発生する有機物が分解者 (硝化バクテリア類) によって分解され、毒性が低い硝酸へと変換される一連の流れ。[4, 15]

#### ■硝化サイクル

アンモニア (猛毒) → 亜硝酸塩 (毒性強) → 硝酸塩 (ほぼ無害)

#### 硝化バクテリア類

- ・ アンモニア酸化バクテリア: ニトロソモナス (*Nitrosomonas europaea*) [5, 16, 17]  
→ アンモニアを酸化して亜硝酸を産生する。
- ・ 亜硝酸酸化バクテリア: ニトロバクター (*Nitrobacter winogradskyi*) [14, 17]  
→ 亜硝酸を酸化して硝酸を産生する。
- ・ 脱窒菌 [16, 18]  
→ 有機物を利用して増殖する従属栄養細菌 かつ 通性嫌気性細菌の総称。水槽の濾材が密な所でも生息できる。好氣的 (酸素が十分に水中に溶けている) 条件下では水中の遊離酸素を利用する一方で、溶存酸素量が不足した際 (嫌気条件) は、亜硝酸イオン ( $\text{NO}_2^-$ ) や 硝酸イオン ( $\text{NO}_3^-$ ) に結合している酸素を用いて呼吸を行う。
- ・ 脱窒: 脱窒菌類の嫌気状態の呼吸の性質を利用して、水中 (水底材に含まれる) の硝酸イオンを、亜硝酸イオンを経て窒素 ( $\text{N}_2$ ) に変換する作用。水槽中でこの作用を利用することで、残留した硝酸塩を減らすことが出来る。

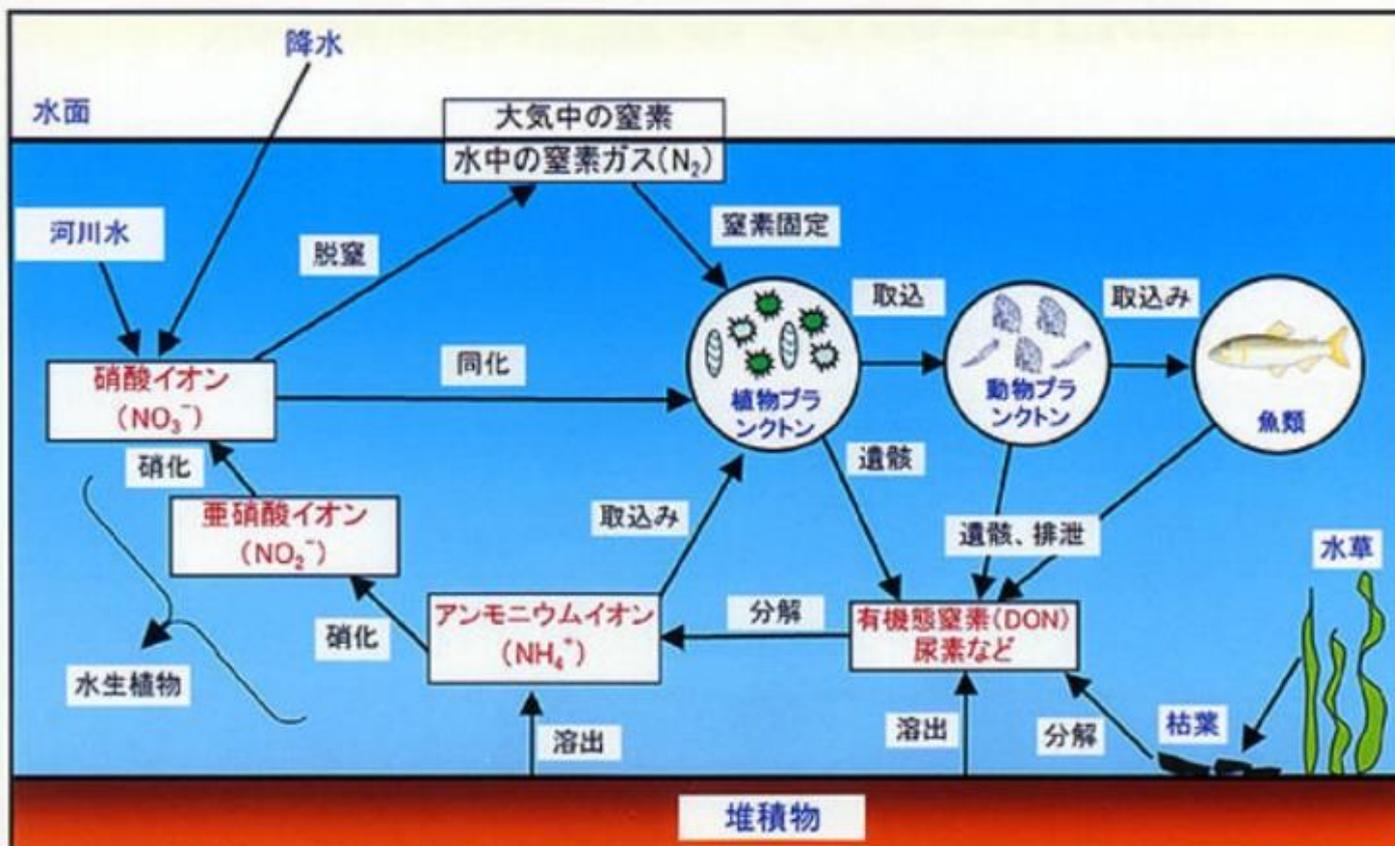


図 湖沼における窒素循環の模式図

## 金属イオン (濾剤や水中に含まれ、生体や濾過バクテリアの生命活動に利用される。)

・ Na<sup>+</sup>: ナトリウムイオン ・ K<sup>+</sup>: カリウムイオン ・ Ca<sup>2+</sup>: カルシウムイオン ・ Mg<sup>2+</sup>: マグネシウムイオン

## 濾材・床材(多孔子)・・・[11, 13]

濾材表面の孔子の中で、前述の濾過バクテリア類が生息し、窒素源の濾過を行う。

また、無機成分がごく少量水中へと溶出し、水のミネラル含有率≒硬度 (KH, GH) を少し上昇させる作用を持つ。

### ・ゼオライト (沸石; 化学式 $Mn+1/n(AlO_2)-(SiO_2)_x \cdot yH_2O$ )

規則的なチャンネル(管状細孔)とキャビティ(空洞)を有する剛直な陰イオン性の骨格からなるアルカリまたはアルカリ土類金属を含む含水アルミノケイ酸塩類全般を指す。以下の優先順位で陽イオンを吸着する作用がある。

組成: (アルカリ性; 組成: ケイ素 Si, アルミニウム Al, 鉄 Fe, カルシウム Ca, カリウム K, ナトリウム Na, マグネシウム Mg, マンガン Mn)

#### ■陽イオン交換優先順位 (ゼオライト)

Cs → Rb → K → NH<sub>4</sub> → Ba → Sr → Na → Ca → Fe → Al → Mg → Li

交換優先順位からナトリウム (Na) よりも、アンモニウムイオン (NH<sub>4</sub>) を優先的に吸着することが分かります。

### ・ソイル (黒土, 赤土)

- 黒土: 弱酸性の土壌。

組成: 火山灰 (ケイ素 Si, アルミニウム Al など) + 枯れた植物 (タンパク質, 炭水化物, 脂質, 葉緑素に含まれる ヨウ素 I)

- 赤土: 弱酸性～弱アルカリ性の土壌。

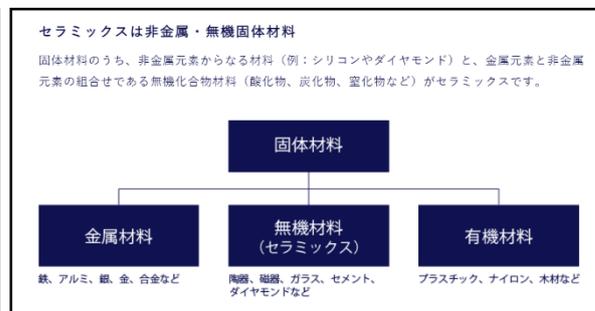
組成: 火山灰 (塩素イオン Cl<sup>-</sup>, 硝酸イオン, 亜硝酸イオン, 硫酸イオン SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, 重炭酸イオン HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, アンモニウムイオン NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, 鉄 Fe, カルシウム Ca, カリウム K, ナトリウム Na, マグネシウム Mg)

### ・セラミック製リング濾材; 表面に多くの孔子があり、濾過バクテリアや汚れの吸着効果等を持つ濾材 (例は右下)。

セラミックス: 非金属・無機固体材料全般 (いわゆる陶磁器などの焼き物もセラミックスに含まれる) [20]

### ・牡蠣殻・貝殻; 主成分は炭酸カルシウム (CaCO<sub>3</sub>) [21]

作用: セラミック同様、表面に多くの孔子があり、濾過バクテリアや汚れ・無機イオンの吸着効果等を持つ。



セラミックスの特徴

金属・プラスチックと比べて…

- ・硬くてもろい・摩耗しにくい
- ・耐熱性がある
- ・腐食に強い

組成: 90%以上が炭酸カルシウム (CaCO<sub>3</sub>), 窒素 N<sub>2</sub> 0.09%, リン酸 H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 0.1%, カリウム K 0.03%, マグネシウム Mg 0.2%, 珪酸 Si 0.48%, 鉄 Fe 1,750ppm 等

### ・活性炭; 石炭やヤシ殻などの炭素物質を原料とし、高温でガスや薬品と反応させて作られる網目状の微細孔 (直径 10~200Å ※10Å=1nm, 壁の表面積 (500~2500 m<sup>2</sup>/g)) を持つ炭素の総称。 [22]

作用: 活性炭は、水道水中の塩素, アンモニア性窒素, 界面活性剤 (陰イオンを生じるタイプ), 農薬等に含有される水中の有害物質や悪臭 (臭気物質等) を吸着・除去し、水の濁りを低減させて水を透明にする。

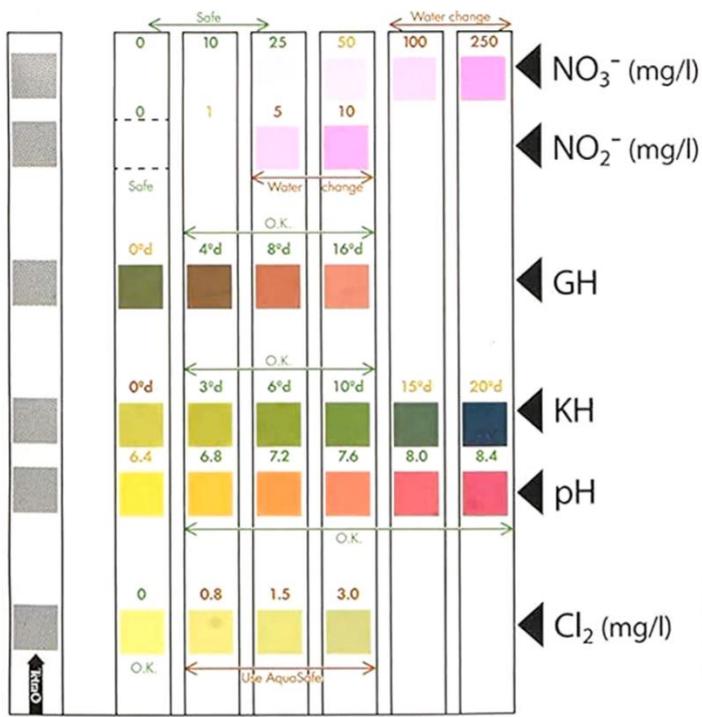
組成: 90%以上が炭素。一部の炭素は、酸素・水素との化合物となっている。また、灰分は原料固有の成分で

## 濾過方法・フィルター

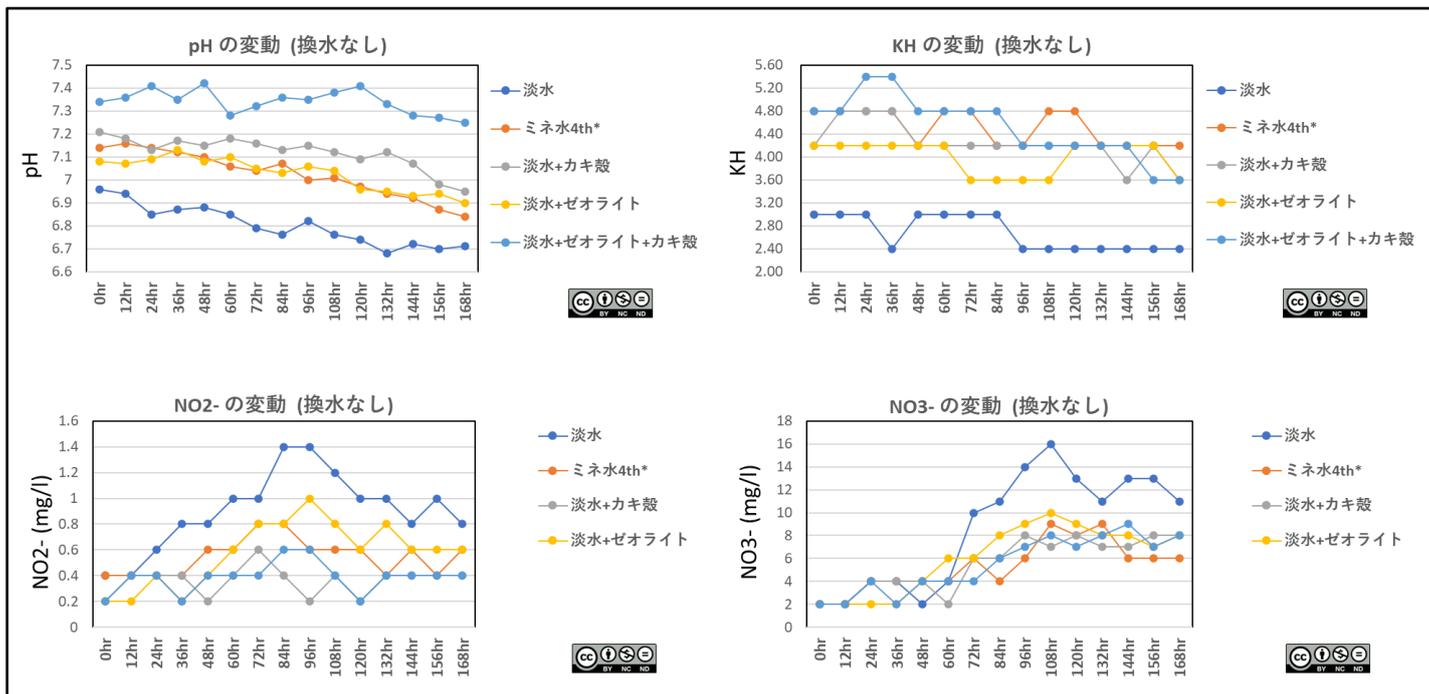
- ・ 外部フィルター: 外部のタンク状の構造の中で、物理的なフィルター濾過と生息している微生物による生物濾過を並行可能。
- ・ 上部フィルター: 上部設置型のフィルター。原理は外部式と類似であるが、濾過力は外部式と比較するとやや劣る。
- ・ 投げ込み式フィルター: 所謂ブクブク。安価で設置は楽であるが、濾過効果は限定的。ウパルパに対しては濾過不足。

# はらぼ式の水槽構成における水質変化に関する調査結果

本項では、当ラボの推奨している飼育水槽の構成および飼育水における水質の変動について調査を行った結果について示す。  
 検討の結果、汽水飼育やカキ殻でも一定の pH・GH の維持効果があるが、ゼオライトと併用することでより高い効果が得られた。



	<b>弱酸性を好む熱帯魚</b> 代表種 ネオンテトラ・エンゼルフィッシュ・ディスカス 水温目安 24~28℃ pH 値 6~7 総硬度目安 6~8° d GH 炭酸塩硬度目安 3~4° d KH	熱帯性 弱酸性
	<b>弱アルカリ性を好む熱帯魚</b> 代表種 グッピー・プラティ・ソードテール 水温目安 24~28℃ pH 値 7~8 総硬度目安 8~16° d GH 炭酸塩硬度目安 6~10° d KH	熱帯性 弱アルカリ性
	<b>弱アルカリ性を好む冷水性淡水魚</b> 代表種 金魚・鯉・メダカ・タナゴ 水温目安 15~30℃ pH 値 7~8 総硬度目安 10~20° d GH 炭酸塩硬度目安 8~14° d KH	冷水性 弱アルカリ性
	<b>アルカリ性を好む熱帯魚</b> 代表種 ビーコックシクリッド・フロントーサ 水温目安 24~28℃ pH 値 8.0~9.0 総硬度目安 8~18° d GH 炭酸塩硬度目安 6~12° d KH	熱帯性 アルカリ性
	<b>アルカリ性を好む熱帯性海水魚</b> 代表種 カクレクマノミ・ルリスメダイ・ヤッコ各種 水温目安 22~26℃ pH 値 8~8.5 総硬度目安 とても高い 炭酸塩硬度目安 8~10° d KH	熱帯性 アルカリ性



参考: 水質試験紙 (テトラ 6 in 1) による飼育水槽の水質変化の調査 (右上は文献 [6-8] より引用)

調査数: N = 5 ずつ。

水替え後 12hr 後から測定開始 (水が綺麗な状態から開始)

替水無で、7 日間、上記の数値変動を測定・定量した。

" \*ミネ水 4th: Na, K, Mg, Ca = 1:1:1:1 (0.3%) "

水温: 18~20℃, 水槽: GEX マリーナ 60.0cm 水槽

飼育: 生体 (12~15cm) x 2 匹

ベアタンク + 外部フィルター (GEX メガパワー6090)

## 2. 水槽の状態と水質管理の注意点 [12-13]

### [危険な例 1]

#### 【狭い水槽＋外掛けフィルター】

のような構成はウーパールーパーに悪い可能性が高い。

1. 濾過力が足りない
2. バクテリアが酸を出して pH が下がる or アンモニアで残り pH が上がる
3. 皮膚が特に酸にダメージを受ける
4. 細菌感染症になる
5. 気づかず放置になる
6. 免疫力が低いので手遅れに...

となる可能性が想定される。

これは、濾過力が低すぎると、生体由来の排泄物で雑菌が増えるためである。

勿論、水槽が安定していても、濾過バクテリアが酸を生み出すので、ちゃんと水換えや管理をしないと pH がまた低くなる。

この事象自体は、砂や石を入れて、カルシウム等の無機イオンを補ったりすることでもやや抑制することができる。

いわゆる KH 値（水中に溶けている炭酸カルシウムイオン；硬度の指標）の最適化という作業である。

すなわち、ちゃんとした環境であっても、水槽の管理自体が行き届いていないと生体に良くないと言える。

ろ過不足よりは多少安全・・・といった所であろうか。

### [危険な例 2]

#### 【オーバーフロー水槽の設置等の過剰なる過をしたり、水を変えずに長期間放置した場合...】

濾過は促進され、濾過サイクル自体は回る

↓

しかし、濾過が進みすぎて大量の硝酸が蓄積する

↓

(pH が低くなり肌荒れ)

↓

細菌感染症になる

(濾材にいる有益なる過バクテリアも、勿論増えすぎると免疫系に刺激になる場合も有り得る)

↓

気づかず放置になる

↓

免疫力が低いので手遅れになる

となり得ますね。

### [危険な例 3]

#### 【塩分やミネラル調整を誤った場合】

既存の添加剤やサプリには、麦飯石の粉末や塩化ナトリウム等の塩分を含む。

また、外部フィルターにも塩分がヘッド口と一緒に蓄積する場合もある。

すなわち、掃除を全くしなかったり、サプリやミネラルに頼りすぎると、水の硬度や塩分濃度の過剰な上昇が起こる場合もあるかもしれないと言える。

定期的に、

- ・汽水飼育なら定期的に塩分を測定する (月 1)
- ・定期的な全替水(特に汽水の場合は週 1 回以上)
- ・定期的に塩分濃度を半分以下にする(2 週間毎)
- ・定期的なフィルター掃除 (月 1 くらい?)
- ・ヘドロの除去などする (月 1 回~2 か月に 1 回)
- ・カルキ抜きやサプリ液に塩分が含まれる場合があるので、
  - 単独で効果が強い製品とミネラル水を併用しない
  - 併用する場合は 0.2% 以下まで添加する塩分濃度を下げる

等の対処をすると、より安心かもしれない。

市販サプリの場合、(未記載でも) 希釈すると塩分が 0.05~0.1% 程度になるように調整されている場合が多いため、汽水と併用の際は 高くても 0.15~0.2% の塩の追加に留めておきたい。

余談ではあるが、過去の調査の中で、

水の硬度補助としての牡蠣殻による pH 上昇効果が、CaCO<sub>3</sub> が溶出するから、というのは本当? という疑問について調査を行ってきた。

アルカリ化で pH を上げるとされる牡蠣殻であるが勿論、粉末や断片ならば 一部 Ca が補填される可能性はあれど、一部検証の結果、pH をそこまで上昇させる程の効果は無さそうという結果が得られた。

石灰石単体を濾過剤として用いても pH を上昇させる効果は余り強くない。

→ すなわち、牡蠣殻の構造・凹凸のある貝殻表面の持つ吸着力も共に重要な要素である。と考察している。

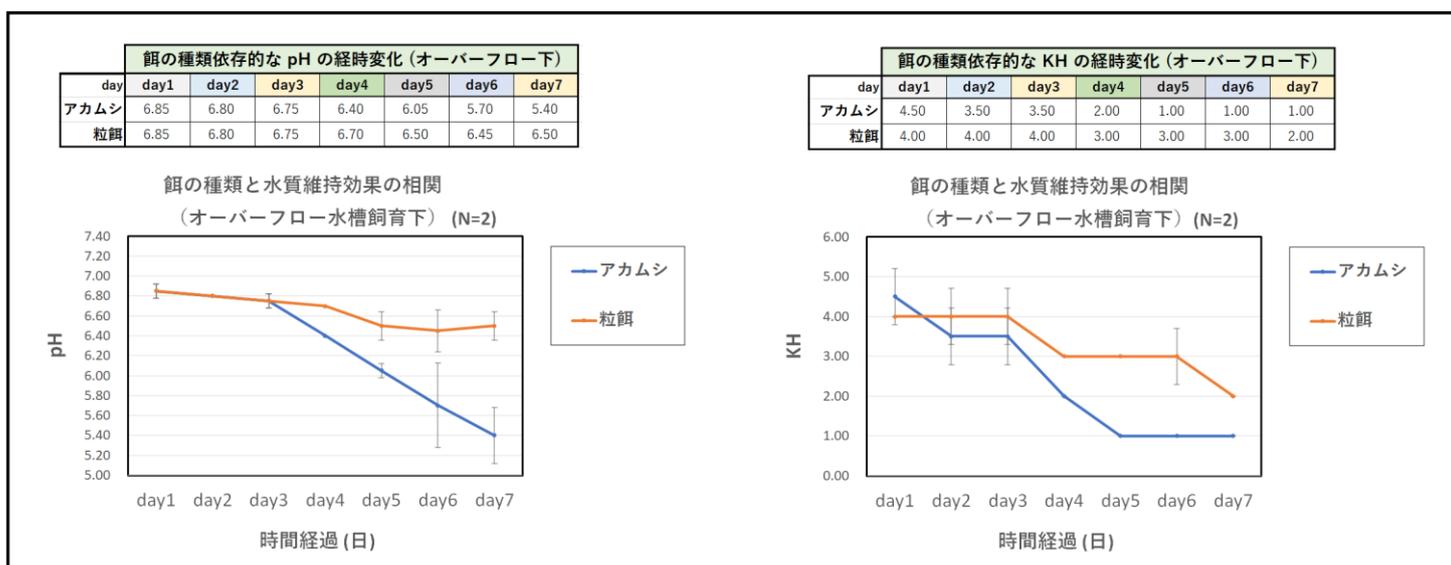
尚、以降に示す “トピックの 3” において、先程の余談にて取り上げた調査結果の詳細を紹介したいと思う。

## 調査依頼結果: オーバーフローによる過剰濾過環境下での飼育検討

今回、当ラボメンバーである枝豆やみん氏が、汽水飼育（ミネ水）の導入と併せて、オーバーフロー濾過の条件にてウラルパの飼育を検討されており、ウラルパの飼育水槽への直接投入は基本 NG とされている生餌、特に飼育水槽への投入は基本的に非推奨であるアカムシを投入した際の水質変化を記録して下さいのため、本項にて詳細したいと思う。

尚、検討の結果、アカムシを水槽内に直接添加後、pH や KH が数日後に急激に低下することが明らかになった。これは、オーバーフローの濾過槽内で急激な濾過を行った結果、残留した餌や糞等に含まれる有機物が急激に濾過されることで硝化サイクルが回り、飼育水中に含まれる硝酸イオンの含有量が増大したことに起因すると考えられた。水の硬度 KH に関しても、水中に含まれる無機イオンが過剰濾過と並行して顕著に消費された結果、pH の減少と並行して顕著に低下することが考えられた。pH の急激な変動が見られながらも、ヶ月の期間、無事に生体は生育しており、特に生体に悪影響は見られないとのこと。

これらの結果から、実際は pH の変動や低 pH 自体はアホロートルの生育には大きな影響を与えない可能性が示唆された。本結果や他の方々からの情報提供を踏まえ、中性付近の pH の安定化・維持がアホロートルの生育にとって必須な要素では無い可能性について、本論文の後半にて、改めて解説したいと思う。



### 参考: オーバーフローによる過剰濾過環境下における飼育水槽の水質変化の調査 (データ提供: 枝豆やみん 研究員 Twitter @yamin\_Beans)

調査数: N = 2 ずつ。

水替え後 12hr 後から測定開始 (水が綺麗な状態から開始),

替水無で、7 日間、上記の数値変動を測定・定量した。

汽水 (ミネ水) 飼育 0.25~0.30%

水温: 20~22°C, 水槽: 45.0cm スリム水槽

水換え頻度: 週 1 回

(真水で塩分濃度調整後、足し抜きで水換え)

アカムシ: ミニキューブ, 粒餌: ひかりウーパールーパー(粒)

pH 計測: Fukurow2, KH: Sera\_淡水海水両用 KH テスト

飼育期間: 約 7 カ月 (約 8.0cm→約 20cm まで成長した。)

※ 汽水飼育 7 か月間にて、約 2.5 倍も成長したことが分かる。

※ 尚、水質確認時: 生体 約 20.0 cm x 1 匹 (右写真を参照)

濾過環境: オーバーフロー※ [9]

※ オーバーフロー式の濾過: フロー管と呼ばれる配管の作用により、水槽内の水位を常に一定に保つことができるろ過方式のこと。



### 3. 牡蠣殻やサンゴ石は、本当に炭酸カルシウム塩 $\text{HCO}_3^-$ (KH) として pH を低下させるのか？

次に、水の硬度補助としての牡蠣殻による pH 上昇効果が、 $\text{CaCO}_3$  が溶出するから、というのは本当？という疑問について追究した。経緯としては、炭酸カルシウム  $\text{CaCO}_3$  自体は水への溶解度が非常に低く、本当に通説のように水中に  $\text{Ca}^{2+}$  を溶出されるのか？ [24] という疑問が浮かび、今回の調査の実施に至っている。研究員の萩原氏を含む複数名での調査を実施した。

以下、萩原 和晃 研究員 による調査報告の結果を示す。



## iBowl 5.0Pro による pH 測定

- ・微アルカリろ材
- ・石灰石
- ・牡蠣殻



外部フィルターに各ろ材をセットし、測定を行った

## 微アルカリろ材



- 測定期間7日
- pH6.7→pH6.5



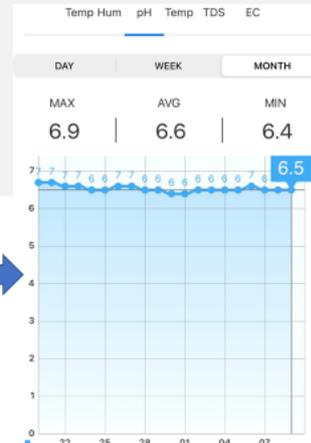
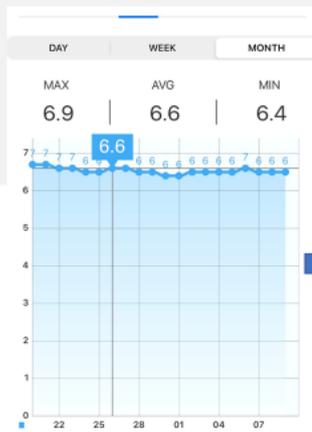
## 石灰石(500g)

※セット内容のご紹介！※



3種類セットで500gお届け！

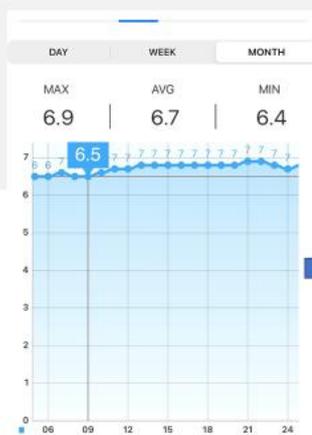
- 測定期間14日
- pH6.6→pH6.5



## 牡蠣殻(50g×5袋)



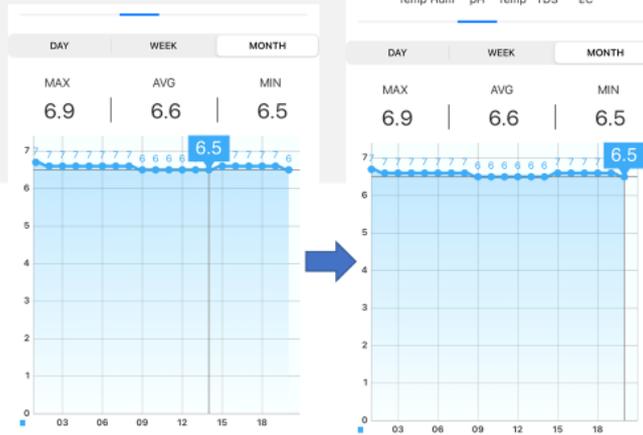
- 測定期間14日
- pH6.5→pH6.9



## サンゴ石(500g)



- 測定期間6日
- pH6.5→pH6.5

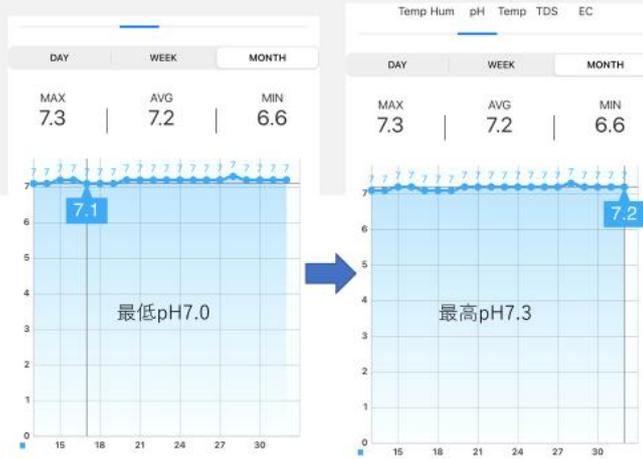


## 校正後

## 牡蠣殻(50g × 5袋)



- 測定期間14日
- pH7.0→pH7.3



## 校正後

## 吸着系多機能リングろ材(700g)



- 測定期間7日
- pH7.0→pH7.3



校正後

吸着系多機能リングろ材(700g)  
マグロの切り落としを餌として  
入れた



- 測定期間2日
- pH7.2→pH6.7



通常のタブレット状の餌ではpHは下がらなかったが、  
マグロの切り落としを餌として入れた場合は明らかにpHが下がった

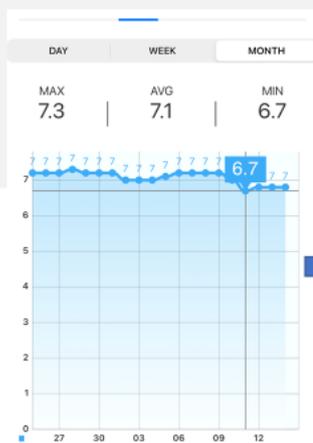
→ 枝豆 やみん 氏 のアカムシ投与の結果と類似傾向か。

校正後

吸着系多機能リングろ材(700g)  
マグロの切り落としを餌として  
入れた後



- 測定期間2日
- pH6.7→pH6.8



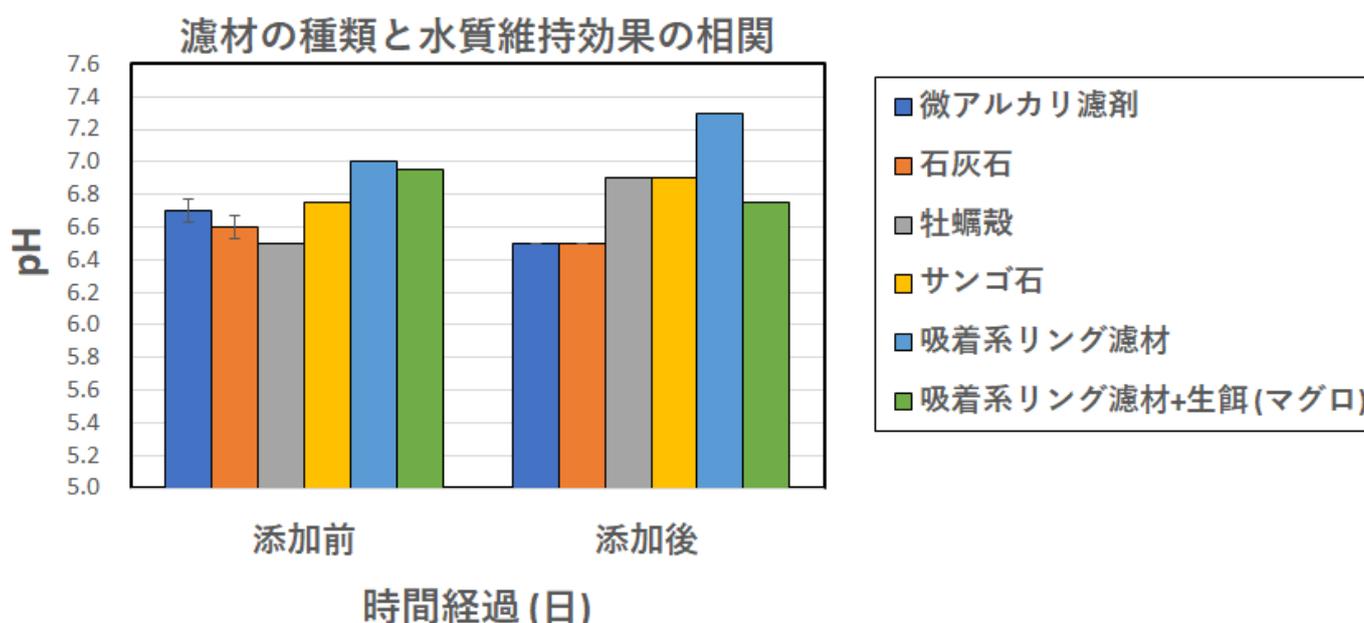
マグロの切り落としを入れた後、2日で若干改善

検討の結果、石灰石単独をフィルターへと導入した場合と、牡蠣殻を同程度の量フィルターへと導入した場合で、pH への影響が顕著に異なることが明らかとなった。

全体的な傾向として、多孔子を持つリング濾材は、添加から7～14日経過することで0.2～0.4程pHを上昇させることから、多孔子によるアンモニア類に対する吸着効果によるpHの調整効果が高いことが推察された。

こうした吸着効果は、牡蠣殻効果の産業的利用意義としても古くから捉えられており、今回比較した石灰石と組成成分が近く、水への溶解度や硬度への影響が同程度であることを想定すると、(あくまで組成が近い場合において) 貝殻の持つ多孔子による吸着効果は、石灰石の主成分である炭酸カルシウムによる水の硬度の調整効果よりも優先的にpHの調整に関与している可能性が考えられた。尚、今回の調査条件下における水の実際の硬度(KH, GH)に関しても、再度調査することで、本調査結果・考察の再度の裏付けをする予定である。

	添加前	添加後
微アルカリ濾剤	6.7	6.5
石灰石	6.6	6.5
牡蠣殻	6.5	6.9
サンゴ石	6.8	6.9
吸着系リング濾材	7.0	7.3
吸着系リング濾材+生餌(マグロ)	7.0	6.8



参考: 萩原 研究員による濾材と水質維持効果に関する調査結果まとめ

#### 4. アホロートルの水温と pH は、本当にアホロートルに重要なのか？

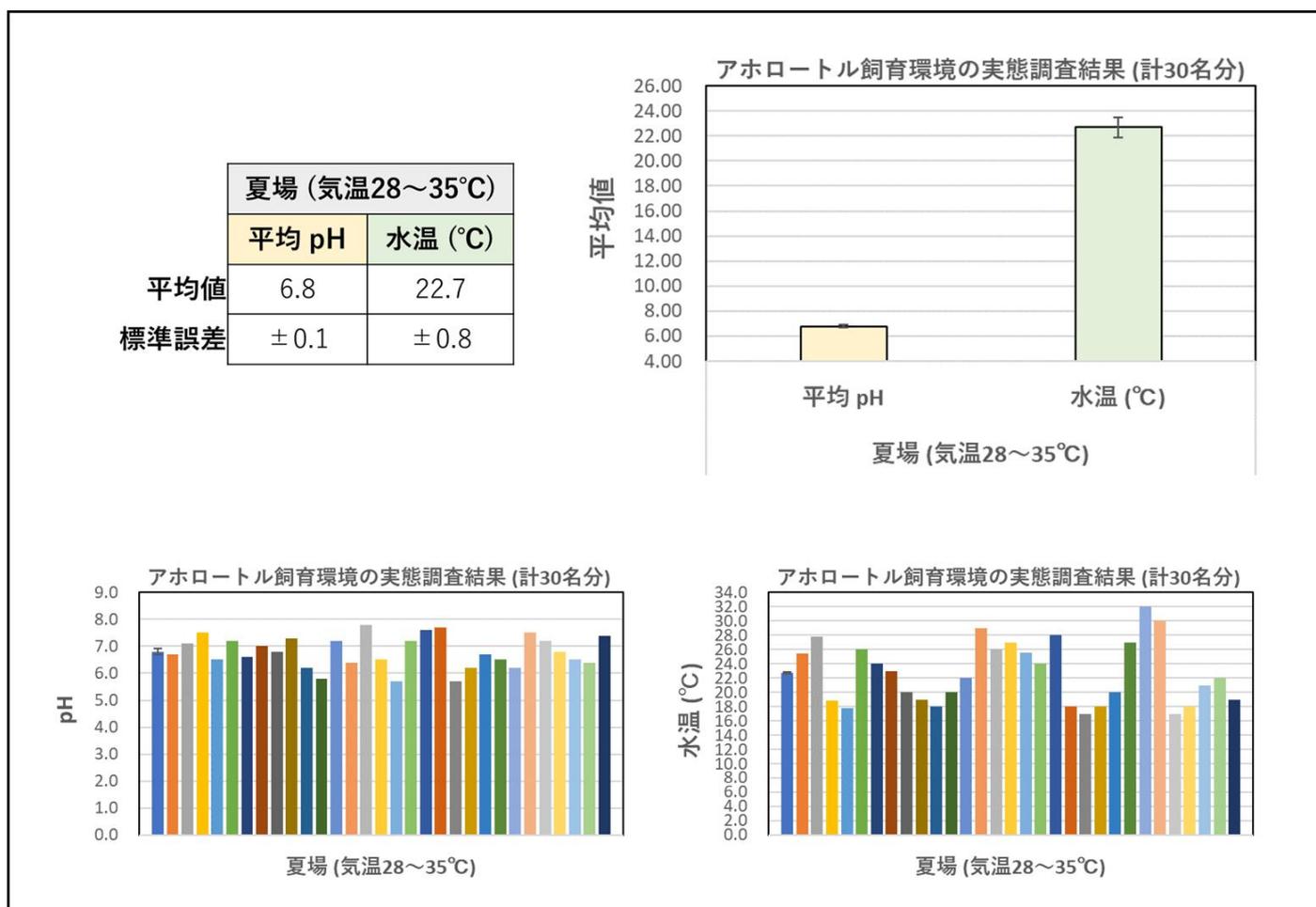
過去に当ラポでは、Twitter を含むメディアにて、飼育環境に関する情報提供を依頼したことがあるが、提供いただいた情報の中で、通説とは異なる面白い報告も見られている。

本項では、ウーパールーパーにとって重要であると巷で言われている、“**低水温**” および “**やや高めの pH (弱アルカリ性)**” という条件の真偽の判断に一石を投じたいと思う。

##### 提供情報の集計結果 (計 30 人)

集計の結果、日本の夏、特に近年は気温が高い中で生育環境として、ファンや空調によって平均約 23°C で維持されていることが明らかとなった。また、pH も 6.8 と、平均的には中性であることが明らかとなった。今回の集計結果に含まれる多くの個体が基本的には問題なく飼育されており、一部繁殖を成功させているご家庭も含まれている。一方で、その内訳をみると、30°C 付近まで到達している方もおられれば、pH 6 代を切ってしまう方もおられ、これまでに言われていたウーパールーパーの水温や pH 管理に関する考え方に疑問を感じざるを得ない。

すなわち、実は pH が高くても水温が高くてもそれほど彼らにとっては問題が無いのでは無いのだろうか？



参考: 夏場を実施したアンケート (結果の一部) による飼育水槽の平均 pH および水温の集計結果

## りん様からの提供情報 および それに基づく考察

これらの飼育水の水質調査の過程で、非常に面白い報告が得られたため、こちらで取り上げたいと思う。

調査の結果、時間帯に関わらず水温とが非常に高く、りん様曰く水替え前には水面に苔状の油膜が確認されたとのことで、pHも8付近と非常に高いという結果が得られた。一方で、生育は順調、かつ大きな不調なども見られずに順調に生育してきたとのことであった。これらの結果から、多少の個体差はあれど、水温自体はウーパールーパーにとっては重要でないことが示唆された。過去の調査結果から、水温が高くなると水槽内の微生物の増殖率が增大することが明らかになっており [12, 13]、今回の結果を踏まえるとpHが低下し、水の濁りや細菌感染症なども見られることが想定された。しかしながら、pHはむしろ上昇傾向にあり、そのような環境下では水の硬度も高くなっている可能性があり、フィルター内外に発生している水苔類の持つ抗菌成分が生死を問わずに水槽内に多く抽出され、その結果水温が高いにも関わらず生体の健康には問題がなかったと考えられた。

ちなみに、硬水環境では、より植物由来の抗菌成分が抽出されるという報告もあることから、同様の効果が水苔類に対しても見られる可能性は十分にあると考えられる。この効果は、水槽の土壌に蓄積されたフルボ酸・フミン酸や無機成分等の生成・蓄積にも関与している可能性が考えられた。また、水温が高くなると植物内の成分が抽出されやすくなることから、一連の効果を更に後押ししているのかもしれない。[12-13, 25-27]

		高水温条件下での水質変化の記録 (りん様)				
day		day1	day2	day3	day4	day4 (換水後)
水温 (°C)	水温 (朝 7時頃)	26.4	27.2	28.3	27.4	28.2
	水温 (正午)	27.7	28.5	27.5	27.6	28.7
	水温 (夜間 19時頃)	27.0	27.2	27.2	27.5	28.5
		高水温条件下での水質変化の記録 (りん様)				
day		day1	day2	day3	day4	day4 (換水後)
pH	pH (朝 7時頃)	7.7	8.2	8.1	7.6	7.8
	pH (正午)	7.9	7.8	7.9	8.2	7.8
	pH (夜間 19時頃)	8.1	7.7	7.6	7.6	8.0

### 参考: 高水温環境の飼育水槽における水質変化の調査

(データ提供: りん様 Twitter @rinda\_himajin)

約4日間、上記の数値変動を測定・定量した。

pH計測: テトラ6 in 1 (試験紙による測定)

生体 約20.0 cm x 3匹 (右写真を参照)

濾過環境: VX-75 (テトラパリュウ-X75 パワーフィルター; 外部式)

濾材: パワーソフト\_M サイズ\_1リットル (太平洋セメント)



## 5. 総括

ここまでの調査結果・考察を踏まえると、水温の高さによるウーパールーパーの不調は、あくまでも発生した雑菌の及ぼす影響で(細菌感染)あり、pHも急激な変動さえ見られなければ、例えば低くても生体にとっては大きな影響が見られないのかもしれない。ウーパールーパーもといメキシコサンショウウオの耐久性の高さに驚くと同時に、既存のウパールパ飼育に関する様々な情報の不正確さが蔓延している問題を再認識するに至った。今回の調査結果が皆さまのお役に少しでも立つ事を切に願う。

## 参考文献

- 1). pH について>[株式会社トーケミ](#)
- 2). KH について>[株式会社セラジャパン](#)
- 3). KH, GH について>[ビーシュリンプの専門店](#)
- 4). 硝化サイクルについて>[アクアリウム情報メディアサイト「トロピカ」](#)
- 5). 硝化バクテリア類: [ニトロソモナス属](#)
- 6) [https://sera.co.jp/?page\\_id=1284](https://sera.co.jp/?page_id=1284)
- 7) <https://www.precoprecopreco.com/2018/02/blog-post.html>
- 8) <https://hoboking.exblog.jp/23142168/>
- 9) [https://t-aquagarden.com/column/of\\_aquarium](https://t-aquagarden.com/column/of_aquarium)
- 10) 科学通信\_コラム\_分子で地球を読む\_No.25 [https://www.jamstec.go.jp/biogeochem/pdf/kagaku\\_87\\_12.pdf](https://www.jamstec.go.jp/biogeochem/pdf/kagaku_87_12.pdf)
- 11) 杉山 遥>2022 年 10 月 31 日\_\_[腸内細菌と成長制御について\\_ウーパールーパー研究報告](#)  
[https://researchmap.jp/HAL\\_lab\\_Axolotl/published\\_papers/41322789](https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/41322789)
- 12) 杉山 遥>2022 年 9 月 26 日\_\_[アホロートル飼育水槽における濾過環境の重要性](#)  
[https://researchmap.jp/HAL\\_lab\\_Axolotl/published\\_papers/41322790](https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/41322790)
- 13) 杉山 遥>2022 年 12 月 25 日\_\_[アホロートルの飼育・治療最新情報](#)  
[https://researchmap.jp/HAL\\_lab\\_Axolotl/published\\_papers/41322797](https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/41322797)
- 14) ヤクルト中央研究所\_菌の図鑑\_ニトロバクター  
<https://institute.yakult.co.jp/bacteria/4221/>
- 15) <https://aquarium.piapia.work/ill-tell-you-about-the-nitric-cycle-and-the-bacteria-make-the-fish-where-they-can-live/>
- 16) ヤクルト中央研究所\_菌の図鑑\_用語解説  
<https://institute.yakult.co.jp/bacteria/note.php#18>
- 17) 光合成辞典  
<https://photosyn.jp/pwiki/index.php?%E3%82%A2%E3%83%B3%E3%83%A2%E3%83%8B%E3%82%A2%E9%85%B8%E5%8C%96%E7%B4%B0%E8%8F%8C>
- 18) 水槽管理について\_有限会社 翠水\_最新の水生生物飼育法・フコイダン・ニ価の鉄・マイクロナノバブラー  
<https://www.suisui52.co.jp/management/33902.html#:~:text=%E8%84%B1%E7%AA%92%E8%8F%8C%E3%81%AF%E6%9C%89%E6%A9%9F%E7%89%A9%E3%82%92.%E8%84%B1%E7%AA%92%E3%81%AE%E7%9B%AE%E7%9A%84%E3%81%A7%E3%81%99%E3%80%82>
- 19) 環境研ニニ百科 (第 50 号)\_湖沼における窒素の循環  
[https://www.ies.or.jp/publicity\\_j/mini\\_hyakka/50/mini50.html](https://www.ies.or.jp/publicity_j/mini_hyakka/50/mini50.html)
- 20) Ceramic Academy\_course 01\_セラミック材料基礎講座・入門編  
<https://www.ngk.co.jp/academy/course01/00.html#:~:text=%E3%82%BB%E3%83%A9%E3%83%9F%E3%83%83%E3%82%AF%E3%82%B9%E3%81%AF%E9%9D%9E%E9%87%91%E5%B1%9E%E3%83%BB%E7%84%A1%E6%A9%9F.%E7%89%A9%E3%81%AA%E3%81%A9%EF%BC%89%E3%81%8C%E3%82%BB%E3%83%A9%E3%83%9F%E3%83%83%E3%82%AF%E3%82%B9%E3%81%A7%E3%81%99%E3%80%82>
- 21) フジクリーン株式会社\_海と山を繋ぐ生態系 <https://www.mlit.go.jp/kowan/recycle/2/13.pdf>
- 22) 株式会社クラレ\_環境ソリューション事業部\_活性炭入門 <http://www.kuraray-c.co.jp/activecarbon/about/>
- 23) 大阪ガスケミカル株式会社\_活性炭事業部 <https://www.ogc.co.jp/shirasagi/usage/liquid-treatment.html#>
- 24) You-iggy\_炭酸カルシウム <https://www.you-iggy.com/ja/chemical-substances/calcium-carbonate/>
- 25) 池 晶子 他 (2017)\_日本食品微生物学会雑誌\_緑茶の抗菌効果に及ぼす水の硬度の影響  
Jpn. J. Food Microbiol., 34(1), 7-12 [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsfm/34/1/34\\_7/ pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsfm/34/1/34_7/ pdf)
- 26) 浅川義範\_苔類の生理活性物質\_J-stage\_Vol. 22\_No.8  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/kagakutoseibutsu1962/22/8/22\\_8\\_495/ pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/kagakutoseibutsu1962/22/8/22_8_495/ pdf)
- 27) <https://happymoss.com/blog/happymoss/kiji625/>



以下、経験豊富なアクアリストでもある 枝豆 やみん 氏 による解説記事を掲載させていただきます。

尚、次頁に掲載する記事は、当ラボにおける知見や結果・推奨条件と一致しない点もいくつか見られます。しかしながら、ウパールパの飼育環境に関して、“意見を偏らせないためにも是非ともご参考になれば” という杉山の思いから、そのまま掲載する判断に至りました。是非ともご一瞥の程、宜しくお願い致します。

# 〈ウーパールーパー研究報告〉

## メキシコサンショウウオの生活環における 汽水環境の重要性

報告日: 2023/10/28

著: 杉山 遥 (Ph. D)<sup>1</sup>, あすみ 悠<sup>1</sup>, 萩原 和晃<sup>1</sup>, 枝豆 やみん<sup>1</sup>, Fuzzy navel 三太子<sup>1</sup>



所属: <sup>1</sup>ウーパールーパー研究室\_はるらぼ

since 2020~

[sugiyama.haruka.axolti@gmail.com](mailto:sugiyama.haruka.axolti@gmail.com)

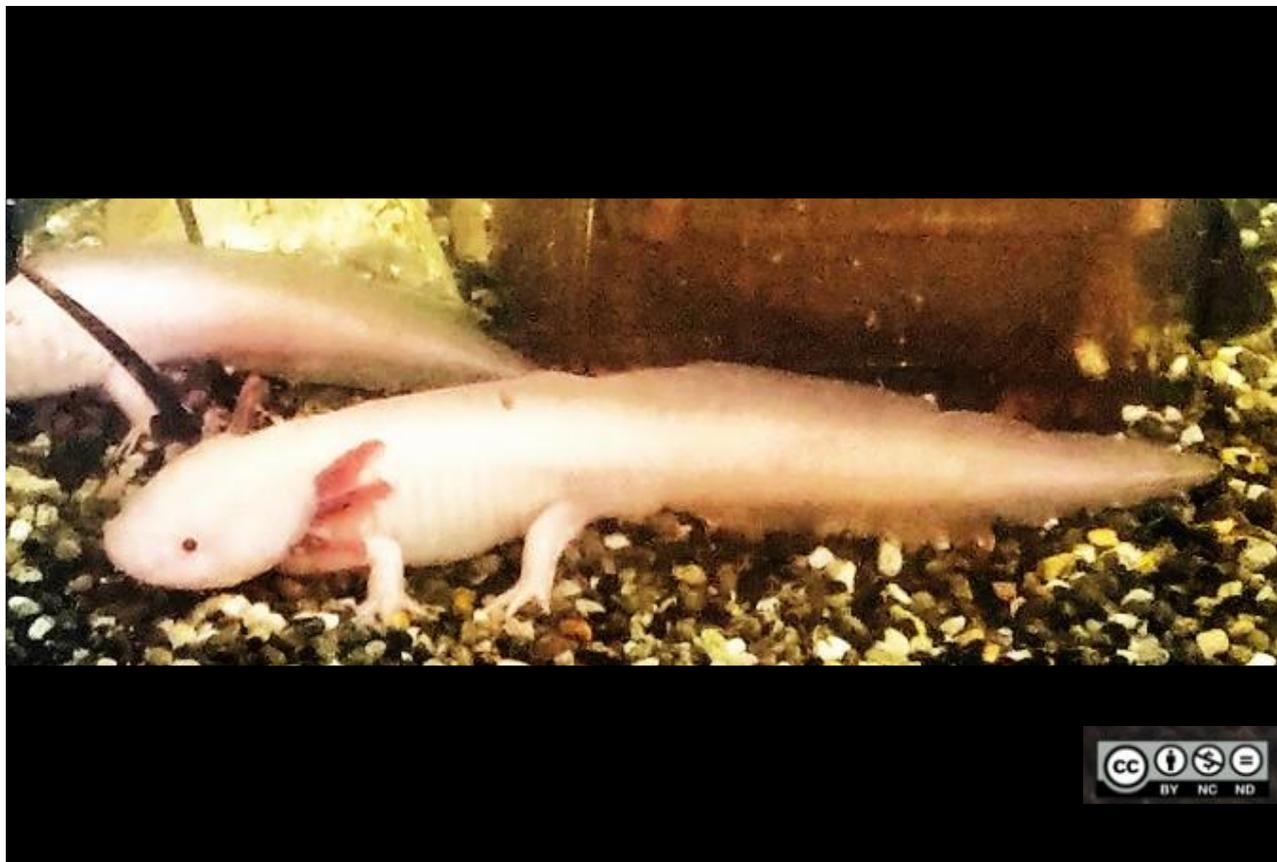
X (旧 Twitter): [https://twitter.com/lab\\_new2](https://twitter.com/lab_new2) (@lab\_new2)

研究者ポータルサイト Research map

[https://researchmap.jp/HAL\\_lab\\_Axolotl?lang=ja](https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl?lang=ja)



協賛企業: サイマン SciMoun (株)



※ CC-BY-NC-ND; 本文献の許可なき商業利用、無断転載・改変の一切を禁止します。



## 要旨 Abstract

- ・ ウーパールーパーとして知られるメキシコサンショウウオ (*Ambystoma mexicanum*; 以下、アホロートル) は、愛玩動物として現在多くの人々に親しまれている一方で、野生種の数自体は度重なる開発や地殻変動を経て、昨今の環境汚染などが原因となり絶滅の危機に瀕している。
- ・ アホロートルの生育に適した水の構成成分は、多くの Na と少量の K, Mg, Ca 等の 金属陽イオン (カチオン) を含む硬水であり、飼育下においても硬水環境下でより高い成長率を示す。
- ・ アホロートルは免疫力が低く、真菌類 (カビ) や一部の雑菌に対する抵抗性が弱いため、一定以上の頻度で換水が必要であり、この性質が野生種の衰退にも繋がっている可能性が高い。
- ・ かつてのメキシコにおいて、河川の氾濫により塩湖と淡水湖が混ざり合うことで、周期的な汽水と淡水のサイクルが生じていた可能性が高い。その結果、メキシコサンショウウオは適度な頻度で塩分との接触を行うことが可能であったと考えられる。
- ・ アホロートルは、飼育下において 0.15~0.3% の汽水環境下で健康に生育する。また汽水環境下では、胚~亜成体までの成長が顕著に促進される。
- ・ 汽水環境は、アホロートルにおいて抗炎症作用と粘膜成分 (ムチン) の分泌を促進し、健康被害をもたらす真菌類 (カビ) や雑菌から身を守る。
- ・ 汽水環境では、換水刺激によるアホロートル整腸作用がより顕著に促進される。
- ・ 汽水適応の能力はアホロートル類固有のものであり、日本の淡水・軟水環境に適応したイモリ・サンショウウオ類ではあまり長い時間適応することができない。
- ・ 汽水環境で生育した個体の情報は、次世代にも伝達し、より汽水に適応した状態を取るようになる。

## 導入 Introduction

ウーパールーパーとして知られるメキシコサンショウウオ (*Ambystoma mexicanum*; 以下、アホロートル) は、愛玩動物として現在多くの人々に親しまれている一方で、野生種の数自体は度重なる開発や地殻変動を経て、昨今の環境汚染などが原因となり絶滅の危機に瀕している。

アホロートルがかつて生息していた地域は地殻変動やメキシコの植民地化が起こった時代を経て、当時の原型をあまり留めておらず、当時の生態系を正確に知ることは非常に困難である。

これは、アホロートルの保全・再繁栄において大きな問題点であり、少ない情報や手がかり、飼育個体を用いた調査によって最適な環境を推測することが急務であった。そこで当研究チームでは、当時のアホロートルの生息環境を模した飼育水槽 (ビオトープ) の作製を目指し検討を行っている。[1]

本研究において、アホロートルの生育に適したより最良の環境・水質を明らかにすべく、過去に着目した汽水と生育の関係性についてより内容を発展させた。

以下、その内容について報告したく思う。

## 結果と考察 Result & discussions

### アホロートルの生育において硬水・汽水の環境がより成長・生育に適している

これまでの調査の中で、現在のメキシコの水質は 水道水を含め Na, K, Mg, Ca 等の金属陽イオン (カチオン) を含む硬水であることが分かっており、火山活動が起こっていた土壌環境であることがこの硬水環境を後押ししているといえる。また、かつてのメキシコにおいて、河川の氾濫により塩湖と淡水湖が混ざり合うことで、周期的な低濃度の塩分と淡水のサイクルが生じていた可能性が高いことから、メキシコサンショウウオは適度な頻度で塩分との接触があったと考えられる。(図 1. 参照) また、アホロートルは前提として塩類に対して高い嗜好性を示し、側線器官等で水に溶けた塩類を感知すると積極的に近寄る報告があり、当チームでも同様の知見が得られている。(補足図 3-1, 3-2. 参照)

これらの調査結果を踏まえ、汽水・硬水の環境でのアホロートル飼育の最適条件について検討を行ってきた。情報が少ない中、汽水環境・硬水環境を目指すための条件を探するため、水に溶解してカチオンを発生する塩類を用いて、濃度や比率を調整する検証を実施する中で、汽水濃度 0.15~0.3% の条件となるように Na, K, Mg, Ca 単独または比率を変えながら成長率について比較を行った。検討の結果、Na の含有量が約 9 割と極少量の K, Mg, Ca を含む飼育水が最もアホロートルの生育に適していることを明らかとした。この組成は、市販されている粗塩や海水魚用の人工海水とよく似た比率であり、安価に再現することができることも明らかとなった。(図 2~図 4, 文献 [1]. 参照) 今回設定された汽水飼育の手法は、底材添加による水中に含有されるミネラル量の調整 (図 17 (A), 補足図 1~2. 参照) と併用することでより高い効果を示す。この手法の併せ技を、我々は **“ミネラル含有水 (ミネ水) 飼育法”** と呼称し、SNS 等を介して普及に努めている。

### アホロートルは汽水条件下において免疫力が向上しストレスが緩和される

前述の野生種のアホロートルの絶滅要因として、現在の原産地であるソチミルコ湖の観光地化と汚染などが挙げられるが、そもその前提としてアホロートルの免疫力の脆弱さが挙げられる。淡水下では、濾過バクテリア以外の水棲微生物や雑菌類の増殖率が高いことが分かっており、淡水飼育下 (特に軟水条件下) のアホロートルはストレスを強く感じ、炎症性物質を多く出すことが多い傾向がある。一方で、ミネ水飼育下ではこれらのストレス応答が顕著に抑制され、飼育水中の雑菌増殖もある程度抑制される他、成長促進効果や生殖能力 (妊性) の向上に加え損傷再生についても有効であることが明らかとなった。(図 4. ~7. 参照) また汽水環境下では、換水刺激による整腸作用も淡水下より活性化される。(図 6. 参照) これに加え、汽水環境下では粘膜の形成に関わるヌメリ成分 (ムチン) の分泌も促進され、身体の保護機能がより向上していることも判明した。このように汽水環境下におけるアホロートルは、一部の耐塩性の微生物を除く感染源の増殖抑制効果と、ムチンによる物理的な防御の効果、損傷再生活性化などの複数の要因によって総合的に免疫力を高めていることが示唆された。(図 8. ~12, 14. ~16, 補足図 5. 参照) これは、**淡水・軟水飼育下におけるアホロートルの免疫力の低さが、そもそも本来は汽水・硬水環境下で生育することに適している生物であることに起因している**ことが推察された。

こうした汽水適応する性質はアホロートル類特異的であるようで、日本国内種である アカハライモリ (*Cynops pyrrhogaster*) や エゾサンショウウオ (*Hynobius retardatus*) と比較すると、アホロートルが生育可能な汽水条件であっても呼吸がし辛いのか、彼らは頻りに浮上して水面から酸素を取り込むような行動を示す。これは幼少期でも変態後でも共通した性質であり、幼少期の鰓呼吸と変態後の皮膚呼吸+肺呼吸との間に大きな差異は見られない。また鰓の伸長や損傷再生においても、アホロートルにとって有用な濃度・期間での汽水条件下であるにも関わらず、日本産サンショウウオでは逆に効果が低減してしまうことが明らかとなった。(補足図 12~13. 参照) これらの調査結果から、汽水に適応する特質はアホロートル類特異的なものであることがより明確になったといえる。

しかし、これらの免疫効果にも限界があり、塩類にも高い耐性を示す食中毒バクテリアとして知られる腸炎ビブリオ・カンピロバクター・黄色ブドウ球菌・レンサ球菌 [4] 等は腸内にも潜伏し、アホロートルに重篤なダメージを与えてしまう。

尚、これらの食中毒性微生物の侵入経路は、本来アホロートルの摂取し得ない市販の魚介類の刺身や動物の肉類の切り身

(生, 未加熱品) などの可能性が極めて高いため、基本的には与えないことが推奨される。どうしても与えたい場合は、十分に加熱する(63°C30分、または75°C1分(食品衛生法 [7])) または 淡水と1%以上の塩水の両方で順番にしっかりと洗浄し、身に付着した雑菌類や寄生虫などをしっかり除去することが必要である。淡水と塩水両方で洗浄することで、各々に耐性を持つ雑菌類を餌上からある程度引き剥がすことが可能となる。(補足図 5. 参照)

## アホロートルに対する汽水の効果も一定の塩分濃度を超えると逆に悪化する

ここまで、アホロートルの生育における汽水の恩恵について示してきたが、一方で塩類濃度が0.5%と高くなりすぎると、成長抑制効果・妊性低下・排泄異常・再生抑制などの異常が出てしまうことも示唆された。(図4(D), 図13(A), 補足図4-7, 補足図6. 参照) このように、確かに汽水環境下ではストレスは長期的には緩和されるものの、関連因子の発現動態について調査した結果、塩分濃度が一定以上の値になってしまうと、逆にイオンチャンネルや輸送体を介した塩排出の働きや塩ストレスへの応答が生じてしまうことが示唆された。(図10~12, 補足図4. 参照) 塩ストレス応答を感知する因子について明らかにするため、より詳細な調査を行った所、オオムギのHVD1, ショウジョウバエDDX5(Rm62 = p68) 相同因子のmRNAの高い発現が確認された。この時の塩分は側線器官で感知しており、側線器官を何等かの理由で損傷した個体においてはその応答性が顕著に低下する。(補足図4-6~4-7. 参照) また、調査の結果、塩ストレス応答には長期的にある程度作用するものと、短時間で発現が変動するものがあり、簡易評価時に低発現を示した因子のうち短時間のみ高発現を示していた物も見られた。特に分子シャペロン(タンパク質の翻訳調節に関わる因子)として知られるストレス応答因子HSP90は淡水環境下では一定の発現レベルを示しており、汽水投入後に数時間毎に段階的に発現が低下していく傾向を示した。また、アホロートルRm62の発現は数時間で一気に上昇し、その後24hr以上高発現のまま保持されていることが明らかとなった。一方、塩類の輸送に関わる因子(上皮性ナトリウムチャンネルENaC, ナトリウムポンプNa<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPase)の発現は他と異なり、時間経過と共に少しずつ上昇していき約12hrで強度が安定するという傾向を示した。これらの因子の挙動は、上皮・中枢・末梢で共に、若干の挙動の違いは見られつつも殆ど同様の挙動であった。(補足図4-6. 参照)

これらの知見から、汽水環境は確かにアホロートルにとっては有効であるものの、汽水のまま長期間維持されることで塩分濃度が一定以上まで上昇してしまうとかえって彼らの負担にもなり得ることが明らかとなった。

ここで思い返したいのは、推測されたかつてのメキシコの環境である。メキシコでは塩湖と淡水湖が氾濫によって混ざり合うことがしばしば起こっていた可能性があることから、こうした現象を踏まえ塩ストレスを示した個体(補足図4-1. 参照)の状態を改善させる または 塩ストレスの発生を未然に防ぐために、周期的に飼育水槽中の汽水濃度を低下させるという手法を開発するに至った。実際に飼育下において、2週間毎の周期的な塩分濃度変化を与えた個体では、継続的に汽水飼育を施した個体と比較して、ストレス応答の症状が顕著に緩和されることが明らかとなった。(図13(B). 参照)

これらの検証結果から、汽水環境であってもアホロートルは少なからず塩ストレスは感じており、個体によっては長期的に継続して汽水に晒されることが良くない場合がある一方で、汽水と淡水が周期的に変動する環境下では、その恩恵をより強く受けられることが示唆された。加えて、一部の雑菌に対する抵抗性の異常な低さに反して、アホロートルがこれまで生き残ってきた理由として、前述の免疫力強化に加えて定期的に水質(水の塩分濃度・硬度)が変動することで、塩ストレスを低減させつつ雑菌量を顕著に減少させられる点も影響していた可能性が考えられた。これは、先述の塩水と淡水の両方で洗浄することで得られる抗菌・滅菌効果が結果的に自然界でも再現されていたと解釈することができる。

## 汽水適応した性質は次世代にも継承される (2022 年 12 月下旬から継続して調査中)

ここまでの調査において、

- 1) アホロートルは汽水適応する
- 2) アホロートルは汽水環境下で免疫力が向上する (i.e. 淡水下では免疫力が不十分である)
- 3) アホロートルの成長・生育において 汽水・硬水の環境の方が総合的には望ましい (過去の原産地環境 (推定) の模倣)
- 4) アホロートルの汽水適応は種固有の特質である
- 5) 長期的に汽水環境に長く浸りすぎたり 至適な塩分濃度を超過してしまったりすると逆効果になる場合がある
- 6) アホロートルは 原産地と同様に成育環境下において周期的に汽水と淡水が入れ替わることが重要である

という知見を明らかにしてきた。

ここで一つ疑問となるのは、こうした汽水適応は次の世代にどの程度継承されるのか、という点である。

我々はこれまで、汽水飼育と同時並行して、汽水環境を経験した個体の次世代を系統化できるかの検討を実施しており、無事に汽水飼育経験個体次世代の繁殖に成功した。(2022 年 12 月下旬～)

以下、汽水飼育次世代個体の詳細な調査を実施し、淡水飼育で維持されたアホロートル系統との比較検討結果について示す。

調査の結果、day120 までの成長率について比較した所、淡水飼育系統と比較して、淡水条件下でも 約 2 倍を超える高い成長率を示し、淡水飼育系統の 0.3% 汽水飼育個体と比較しても約 1.5 倍の成長率の向上が確認され、成長・再生に関連する因子の発現上昇やストレス応答因子発現の緩和との相関も見られた。(補足図 7～8. 参照)

これらの結果を踏まえ、汽水飼育の次世代個体は、淡水の中の微弱なカチオン類も効率的に取り込める可能性が推察されたため、カチオン類の輸送に関わる因子に着目し、先述の ENaC や TRP (一過性受容体電位型) イオンチャネル の発現について調査を実施した。検討の結果、汽水飼育の次世代個体におけるカチオン輸送体関連の発現亢進が見られことから、上記の考察と合致することが示唆された。(図 9～11. 参照)

ここまでの調査結果から、アホロートルにおいて汽水適応によって得られた表現型は、次世代に後成遺伝 (エピジェネティック) な制御で遺伝し、生息地の塩分濃度が若干高くなってしまってもある程度までは世代交代の中で適応できる可能性があることが示唆された。このように、汽水適応は一代限りのものでなく複数の世代を経てより洗練されることが推察された。

またおそらく、このアホロートルの性質を踏まえると、逆に野生下においては生息地の淡水化が生じた場合、短期的には発現量が増加したカチオン輸送体群による取り込み・排出作用の亢進によって対応し、長期的には世代交代を経て新たに遺伝子発現量を低減させる等の調整によって淡水へと適応しようとする生態であったと考えられた。

## 総括 Conclusion

ここまでの知見をまとめると、以下のように述べるができる。(図 17, 補足図 4-9. 参照)

- 1) アホロートルは汽水適応する
- 2) アホロートルは汽水環境下で免疫力が向上する (i.e. 淡水下では免疫力が不十分である)
- 3) アホロートルの成長・生育において 汽水・硬水の環境の方が総合的には望ましい (過去の原産地環境 (推定) の模倣)
- 4) アホロートルの汽水適応は種固有の特質である
- 5) 長期的に汽水環境に長く浸りすぎたり 至適な塩分濃度を超過してしまったりすると逆効果になる場合がある
- 6) アホロートルは 原産地と同様に成育環境下において周期的に汽水と淡水が入れ替わることが重要である
- 7) アホロートルの汽水適応の情報は次世代に遺伝されることで更に汽水環境で生息しやすいよう洗練されていく

今回得られた知見に基づき、汽水飼育系統を長期的に維持することで汽水環境の更なる長所や問題点について明らかにし、野生種により近い生育環境下で育つ系統を作出することにより、アホロートルの種の保全に繋がる手がかりを掴めるよう今後も鋭意調査を進めていきたいと思う。

## 材料と手法 Materials & Methods

本研究には、メキシコサンショウウオ(ウーパールーパー)を用いた。

飼育条件は、一部を除き下記 URL にて掲載済みの文献 [1]

([https://researchmap.jp/HAL\\_lab\\_Axolotl/published\\_papers/41476744](https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/41476744)) と同様の条件にて実施している。

### 明暗条件

適切な成長制御・体内の概日リズムを保持するため、LD12:12 [明期: ZT0 (午前 6 時)~ / 暗期: ZT12 (18 時)~] の日周リズムで飼育を実施した。

### 飼育水の条件

飼育時の水温は、通常は 18~22°C, 繁殖モード誘導時は 18°C → 8°C (5 日間) → 18°C (5 日間) という処理を施した。今回は行動への影響を加味し、全ての飼育・調査において淡水飼育条件で統一した。

水質: 淡水環境; pH6.7 (平均値), KH4.8~5.4

### 飼育条件の設定

- ・飼育水槽: GEX\_マリーナ60cm水槽 (60×30×36cm MR600BKST-N 269467)
- ・集団 (低密度) 飼育...例外除き、水槽中に 5 個体を投入し、常に他個体と接する環境とした。
- ・飼育温度...基本的に 18~20°C
- ・換水量: 8~9 割
- ・換水頻度: 週 1~2 回 (比較条件間では統一した)

### 関連因子の調査・遺伝子解析(依頼分析)

着目した各因子の遺伝子について、SANTA CRUZ Axolotl Genome browser (<https://genome.axolotl-omics.org/>) にてアホロートルにおいて該当する相同因子について、調査個体の体組織を一部回収後、関連組織にて-80~-140°C 下で凍結保存・保管し、同組織または外部への依頼分析という形で順次調査を実施した。

### 給餌条件

給餌は週 2-3 回、ZT および CT13-15(午後 7~9 時)に行った。

薬剤投与の際には、餌中に混合した粉末成分を経口投与にて摂取させた。

### 成長過程の記録・撮影

成長実験には 30-50mm の幼体を用い写真を撮影後、その後定量比較に用いるタイミング (撮影開始から 30, 60, 90, 120, 200, 360 日後) における成長後個体の撮影像と共に、画像解析ソフト Image J (Color FootPrint) にて測定を行った。飼育時の水槽は、本実験にて用いる個体では全てタイミングを統一し、成長過程に合わせて飼育水槽を大きくしていく方式を取った。

### 各集計結果の統計解析

統計解析には、Graphpad Prism ver.6 を用いて One Way ANOVA; turkey test, \*p<0.05 にて有意差解析を行った。

## 謝辞 Acknowledgments

本研究をまとめるにあたり、多くの研究者の皆様、サポーターの方々等のご助言・お力添えがありました。この場を借りて、改めて心より御礼申し上げます。誠にありがとうございました。

2023 年にて、関連オンライン著書の公開や、寄付金への返礼品としてのハードカバー書籍の販売が無事に達成できました。これらの成果は、SNS フォロワーの方々を含む全ての支持者の皆様あつての結果であると確信しております。改めて心より感謝致します。

新たにスポンサーの打診を下さいました、**サイマン (株) 様** にも、この場を借りて改めて厚く御礼申し上げます。また常々、当ラボにおける活動に協力して下さっている **横江様、あすみ様、やみん様、萩原様、三太子様** には本当に感謝しても感謝しきれません。皆様常々本当にお世話になっております。

当ラボの活動 3 年目もいよいよ残す所僅かとなり、学会発表を目指して更に多忙を極めております。季節も秋に移り変わり、肌寒いころ合いになって参りましたが、そんな季節の変化ニモ負ケルこと無く、日々研究活動に邁進する所存です。今後とも、当ラボによる活動へのご愛顧の程、皆様 何卒宜しく願い申し上げます。

# The Axolotl Newsletter

Issue number 26

Fall, 1997

参考資料 1

## Contents



p.16

The *Axolotl Newsletter* is prepared at the Indiana University Axolotl Colony, Bloomington, Indiana 47405. The Newsletter is distributed free of charge and is supported, in part, by funds from the National Science Foundation. **This Newsletter should not be regarded as a publication. Cite only with specific permission of the author of the article.**

### I.U. Axolotl Colony

Director: George M. Malacinski  
 Assistant Director: Susan T. Duhon  
 Curator: Sandra J. Borland  
 Editor, *Axolotl Newsletter*: Susan T. Duhon

The Axolotl and its Native Habitat —  
 Yesterday and Today  
*Susan T. Duhon* ..... 14

### Axolotl Newsletter Number 26

which they called the Laguna de Mexico. In addition, a causeway or dike crossing from north to south through Tlahuac separated Xochimilco from Chalco (Sanders, et al., 1979).

During the Aztec period nearly the entire Xochimilco-Chalco basin was devoted to chinampas horticulture, as was the Laguna de Mexico around Tenochtitlan. Also, as a result of the Aztec waterworks, saline water was largely prevented from entering the southern lakes, even during periods of flood (Armillas, 1971).

Thus the habitat of the axolotl was significantly affected during the period of the Aztec empire in at least two ways: first, by the spread of the chinampas, which involved the construction of ditches and islands, and second, by the construction of waterworks which controlled water levels and prevented the incursion of salt water into the axolotl habitat. Its habitat may have been enlarged as well by the expansion of fresh water horticulture into the district around Tenochtitlan. The impact that these historical changes had on the species can only be speculated upon.

The chinampas system and the Aztec waterworks were at their peak when the Spanish Conquistadors arrived in 1519. What

VARIABLES	M
Temperature	37
pH	8.6
Tot. Alk.	500
Phenolph. Alk.	20.0
Tot. Hardness	326
Ca <sup>++</sup> Hardness	116
Mg <sup>++</sup> Hardness	212
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (1)	12.0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (1)	411
OH <sup>-</sup> (1)	0
Cl <sup>-</sup>	198
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	95
Ca <sup>++</sup> (2)	47
Mg <sup>++</sup> (2)	52
Na <sup>+</sup> and K <sup>+</sup> (3)	169
SiO <sub>2</sub>	89
Tot. Solids	946
Susp. Solids	161.0
Dis. Solids	785
K <sub>23</sub>	1392
Total Colif.	>2000
Faecal Colif.	>2000
Faecal Strept.	600

水の硬度 (水 1000ml に対する無機イオンの含有量) に関して簡単に解説すると、

WHO (世界保健機関) の基準では、

- ・ 硬度が 0~60mg/l 未満を「軟水」
- ・ 60~120mg/l 未満を「中程度の軟水」
- ・ 120~180mg/l 未満を「硬水」
- ・ 180mg/l 以上を「非常な硬水」

と設定されている。メキシコ市内の水は硬水であるとされており、現在で詳細は不明瞭ではあるものの、メキシコサラマンダーも汽水環境で生存していたと考えられている。

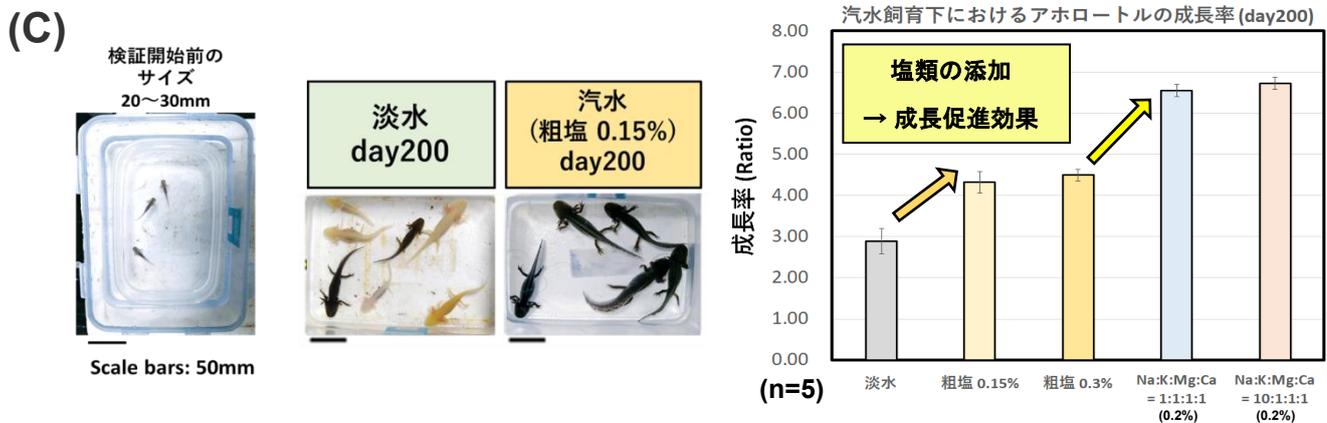
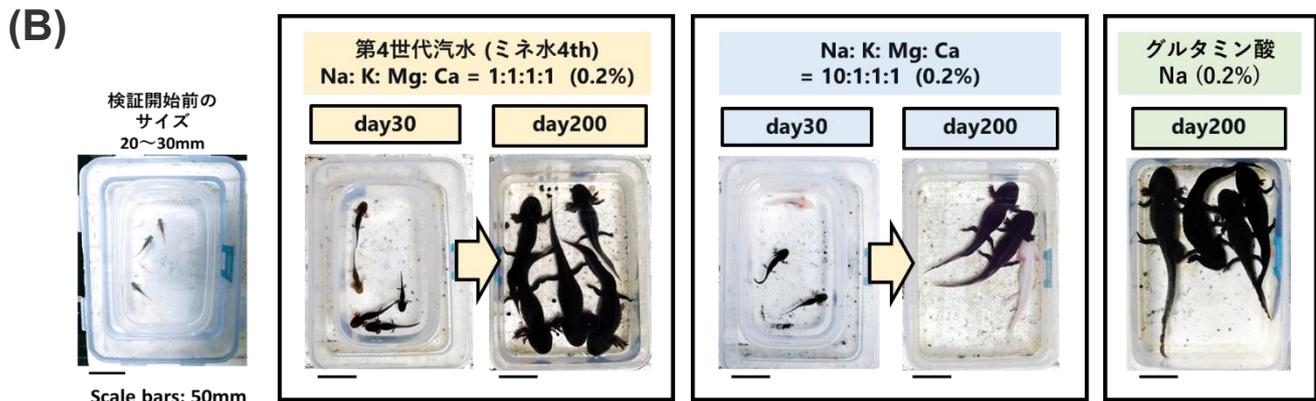
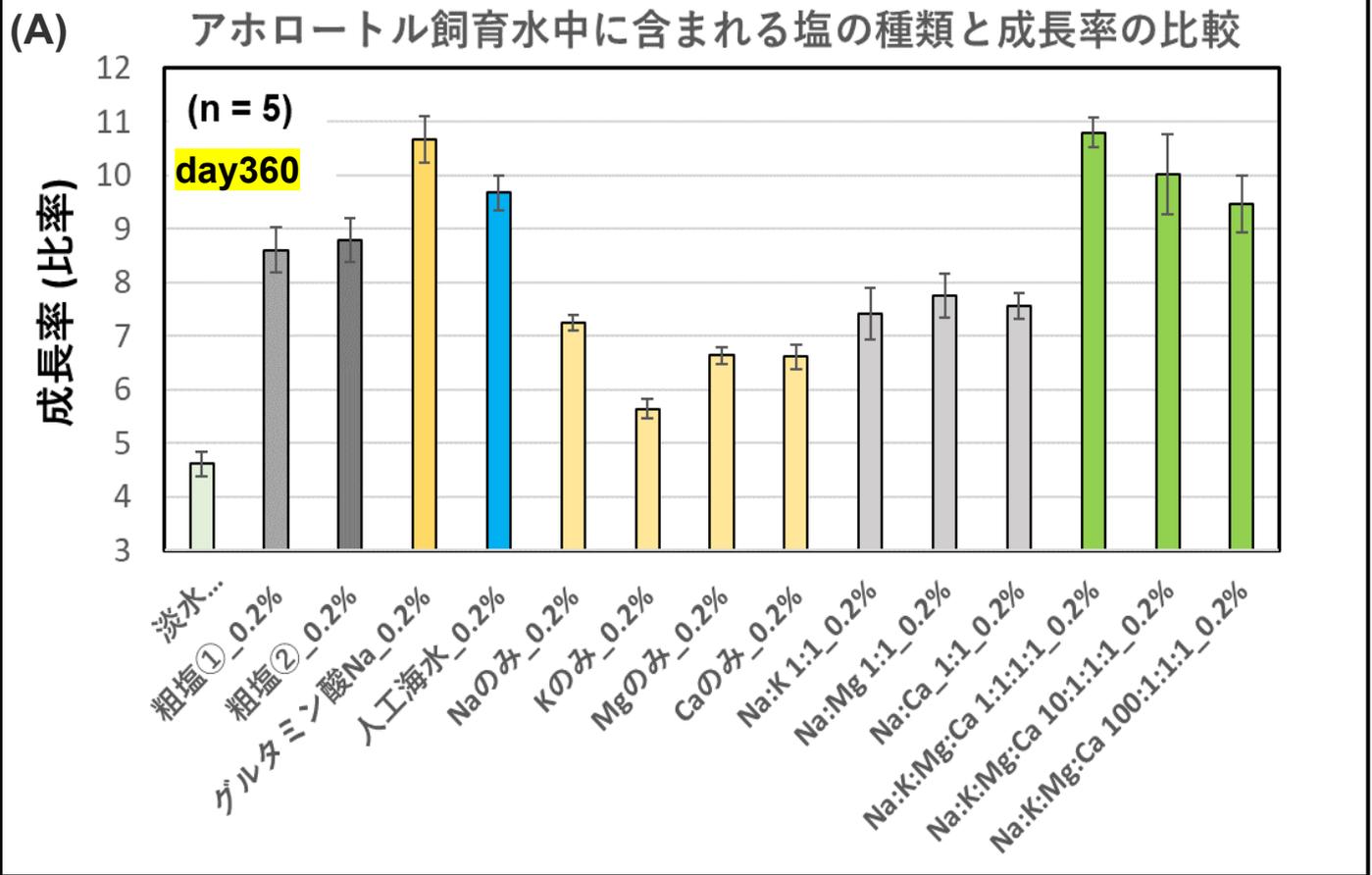
ちなみに左表は、メキシコ市内の水道水の組成の一例であるが、pH が 7.5、Mg, Ca の硬度は硬水の範囲に該当する濃度で含まれている。また、Na, K の含有率も高いことが分かる。

水道に結晶ができる程であるとされ、そのまま飲料用での使用には向かない。

(January, 1997, *Microbiological study of drinking water in Mexico*)

参考資料 2

図 1: 野生のアホロートルの生育には汽水・硬水の環境が好ましい。



アホロートルの成長・生育において、塩類の種類が豊富な方が短期的には有効だが (B, C)、長期的にみると、ナトリウム (Na) の比率が圧倒的に高い場合でも十分な効果がある (A)。

図 2: 塩類を添加することでアホロートルの成長は促進される。

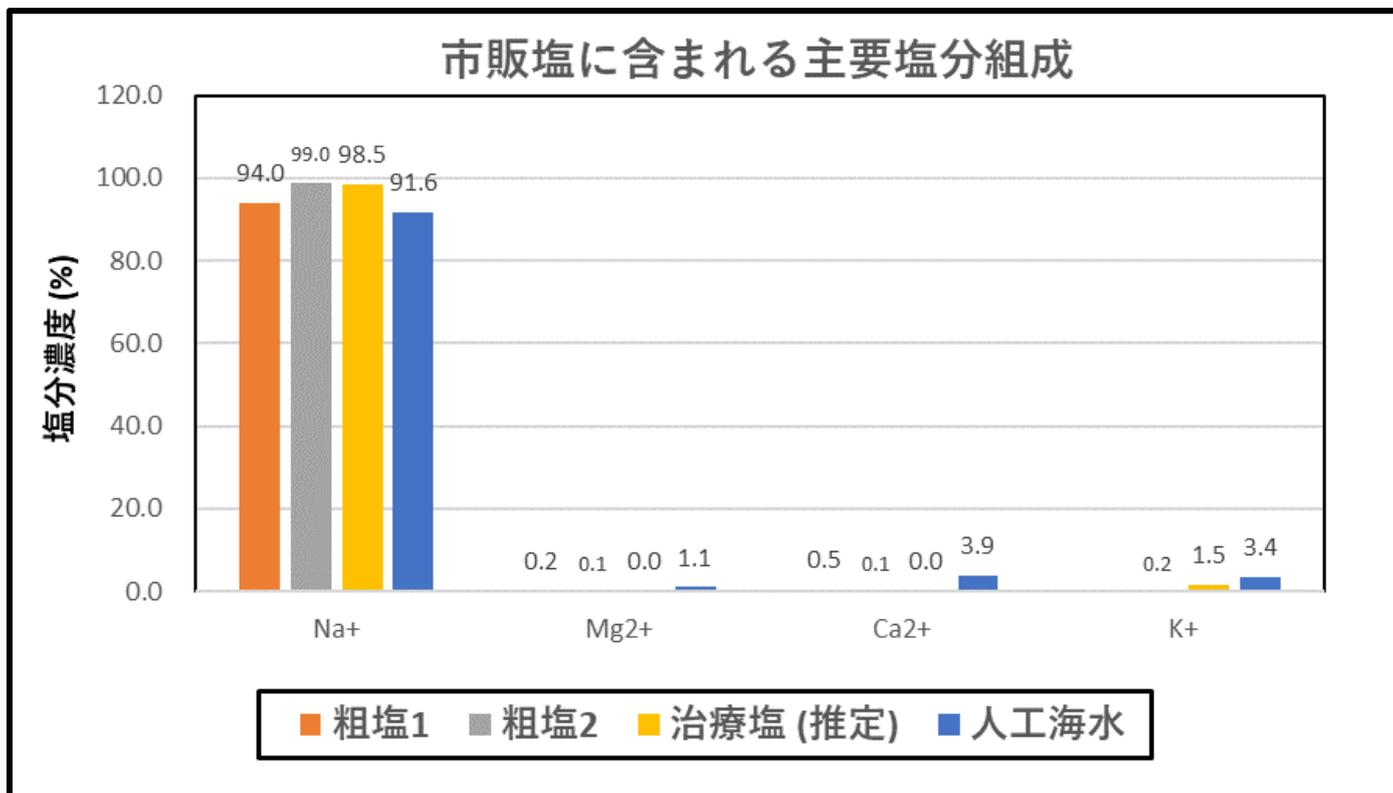


図 3: ナトリウムと微量の他塩類がアホロートルの成長の鍵になる。



(B) <ミネラル含有水飼育に用いる粗塩例>

国産原料100% あら塩の恵み  
(関東塩業)

<組成>

- ・塩化ナトリウム 94.0%
- ・他陽イオン 5.0~6.0%
- ・マグネシウム 0.15%

塩楽 瀬戸内の塩 国産塩  
(塩楽)

<組成>

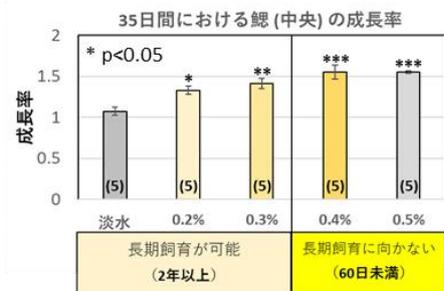
- ・塩化ナトリウム 95.0%
- ・他、ナトリウム 4.0~5.0%
- ・カルシウム 0.06%
- ・マグネシウム 0.073%
- ・カリウム 0.09~0.16%



(c) 汽水浴開始時の鯉



(c') 汽水浴 (0.2~0.5%) で約1ヶ月飼育後の鯉



(D) 汽水環境下での鯉の成長率 (水質は中性: pH 6.5-7.0)

図1 (C)~(D) (杉山, 2022)

図 4: 当ラボが推奨する汽水 (ミネ水) 飼育法と成長促進効果

検証開始前の  
サイズ  
20~30mm

淡水  
day360

0.025% 汽水  
day360

0.05% 汽水  
day360



0.15% 汽水  
day360

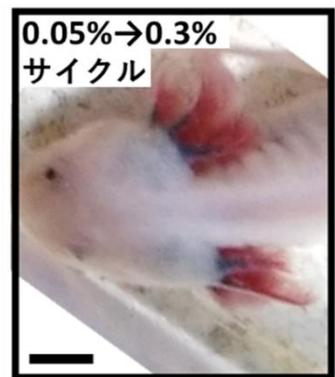
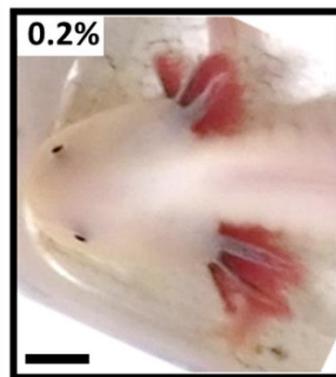
0.2% 汽水  
day360

0.3% 汽水  
day360

休塩日サイクル  
0.05%→0.3%  
day360



Scale bars: 50mm

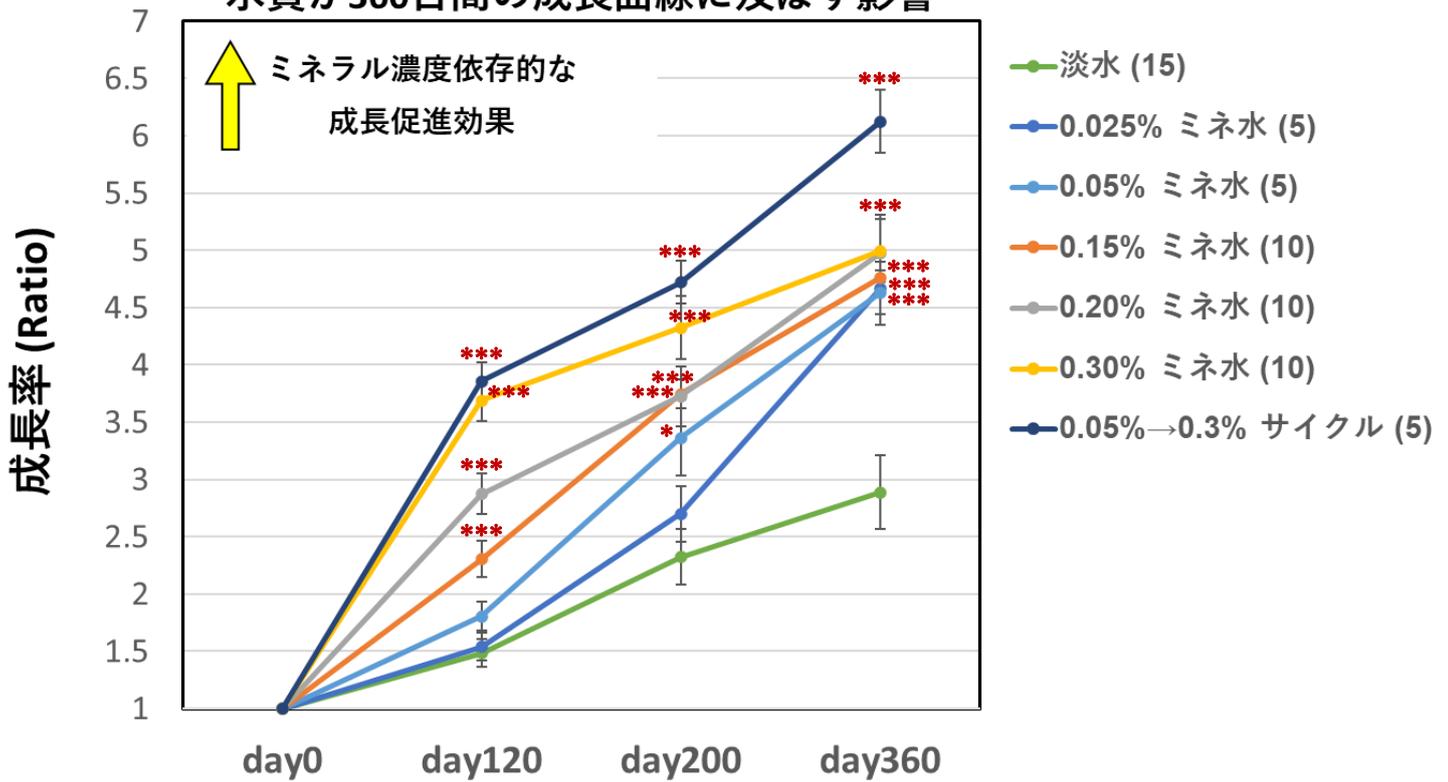


Scale bars: 10mm

図 5: 汽水 (ミネ水) 飼育個体 (360 日目) の成長率比較

## 体長の相対的な変化率を比較

水質が360日間の成長曲線に及ぼす影響



One way ANOVA; turkey test

1	2	3	4	5	6	7
淡水	0.025% ミネ水	0.05% ミネ水	0.15% ミネ水	0.20% ミネ水	0.30% ミネ水	0.05% →0.3% サイクル

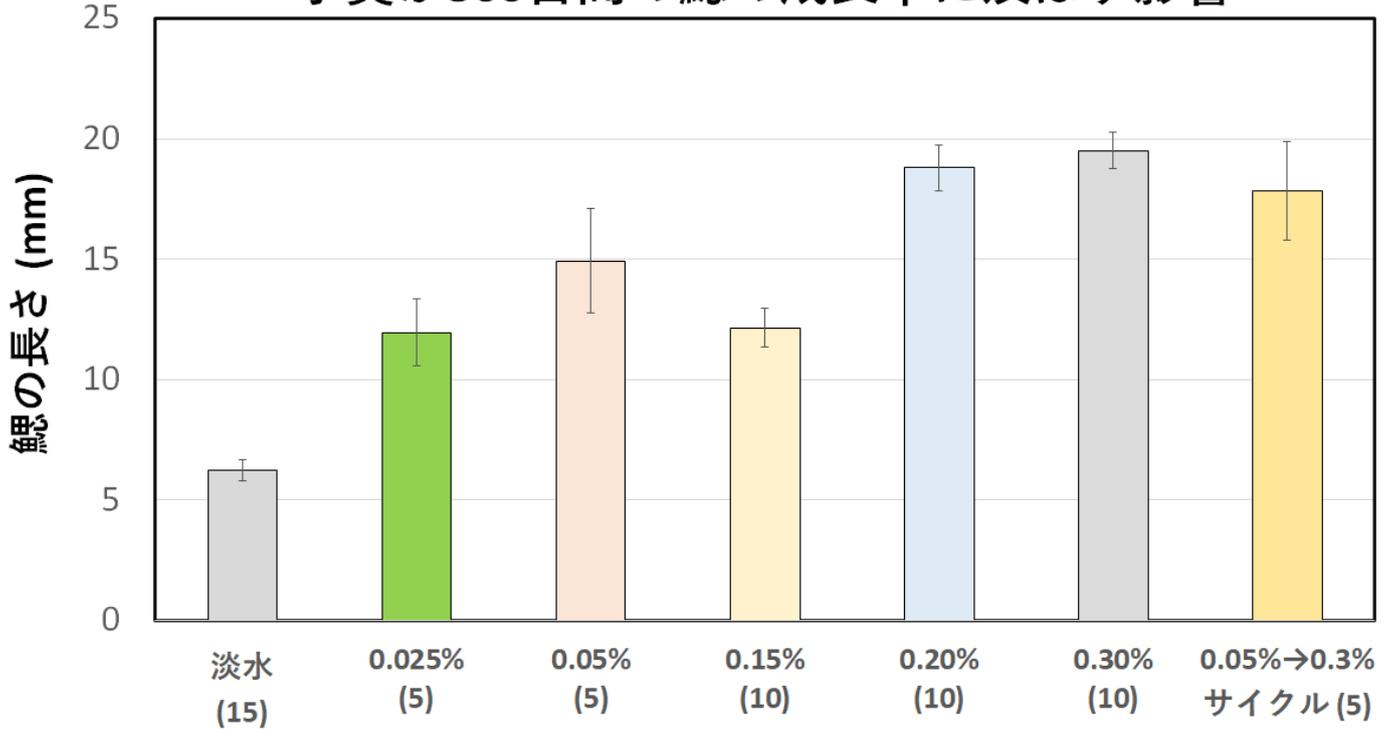
\*\*\*  $p < 0.01$     \*  $p < 0.05$

p=0.05	day120	day200	day360
1-2	n.s.	n.s.	***
1-3	n.s.	*	***
1-4	***	***	***
1-5	***	***	***
1-6	***	***	***
1-7	***	***	***

図 6: ミネ水飼育個体が示す成長曲線

(A)

### 水質が360日間の鰓の成長率に及ぼす影響



(B)

### 水質が360日間の頭幅の成長に及ぼす影響

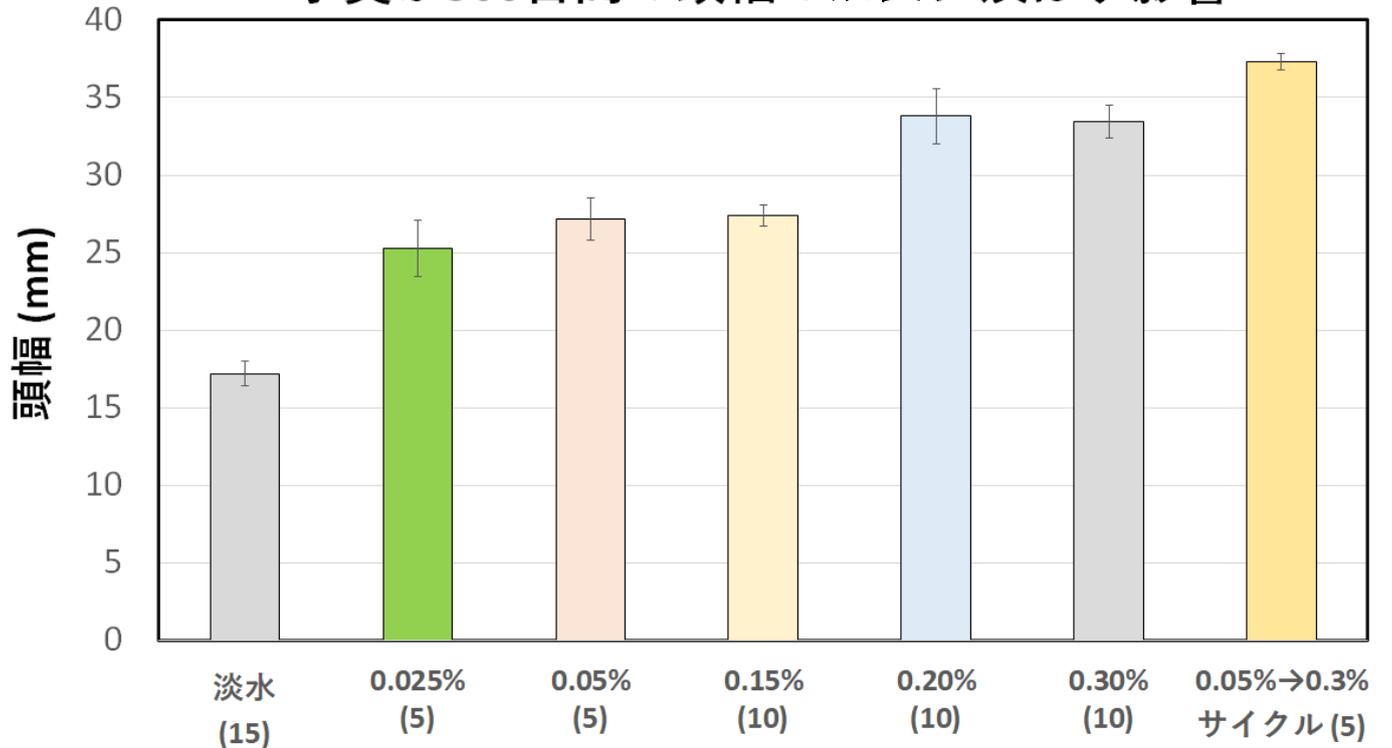


図 7: ミネラル依存的な身体の部位の成長率

損傷が根治した  
個体の比率

ミネ水飼育による再生促進効果 (片腕欠損)

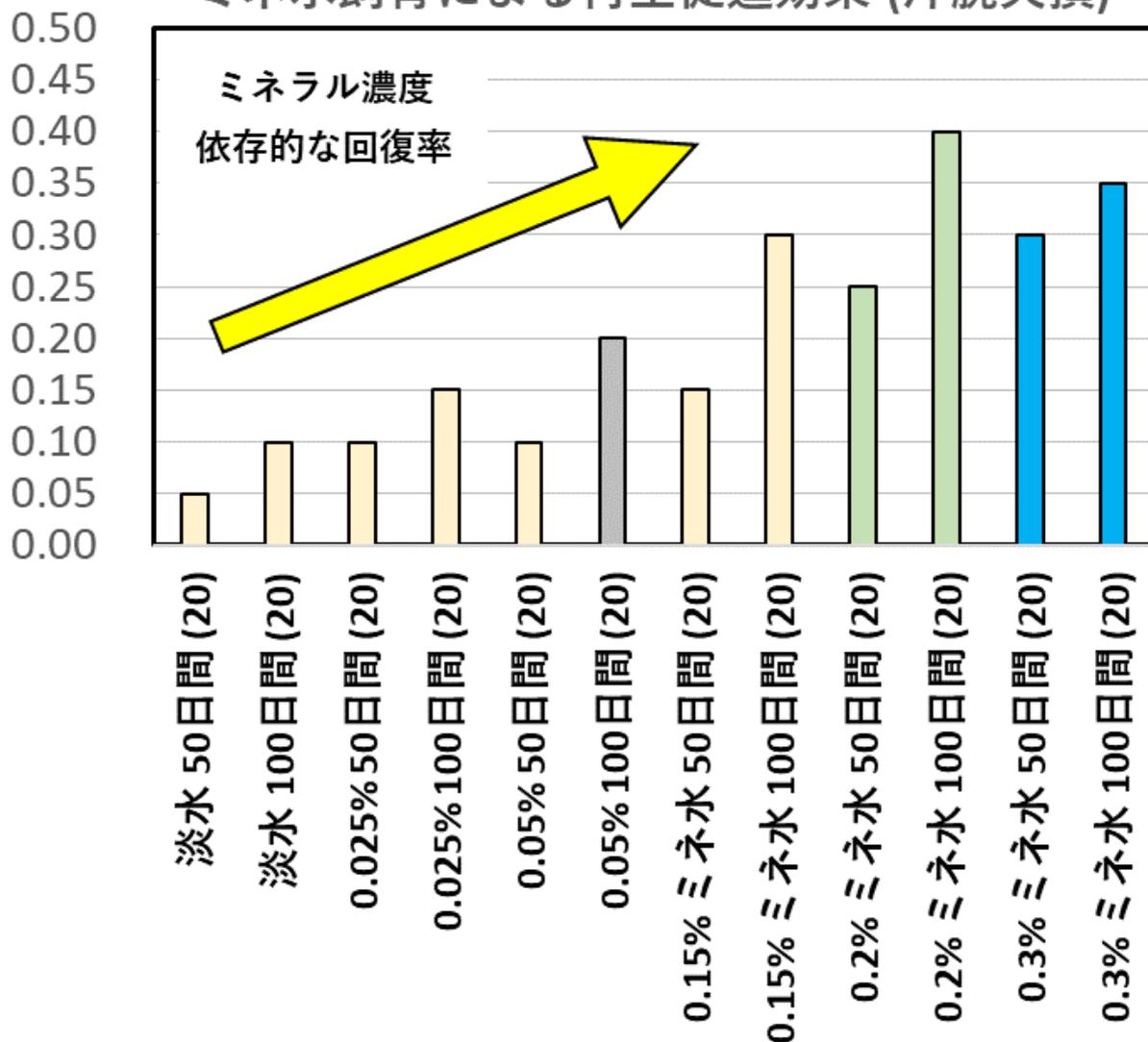


図 8: 汽水飼育による再生促進効果-1

(A) 健康な成体 300日目



(B) 損傷・失血等の影響で不健康なセミアダルト 約200日目 (依頼にて治療を引き受けた個体)



(B') 一週間程度の薬浴\* + 0.3%ミネ水中での長期飼育 (100日間) によって健康な状態にまで回復した例



\* 1/5000 オキシリン酸 (グリーンFゴールドリキッド) + 1/200イソジン 浴 で、最長1週間程度なら継続投与が可能。

\*\* 各スケールバー: 25mm

図 9: 汽水飼育による再生促進効果-2 (杉山, 2022)

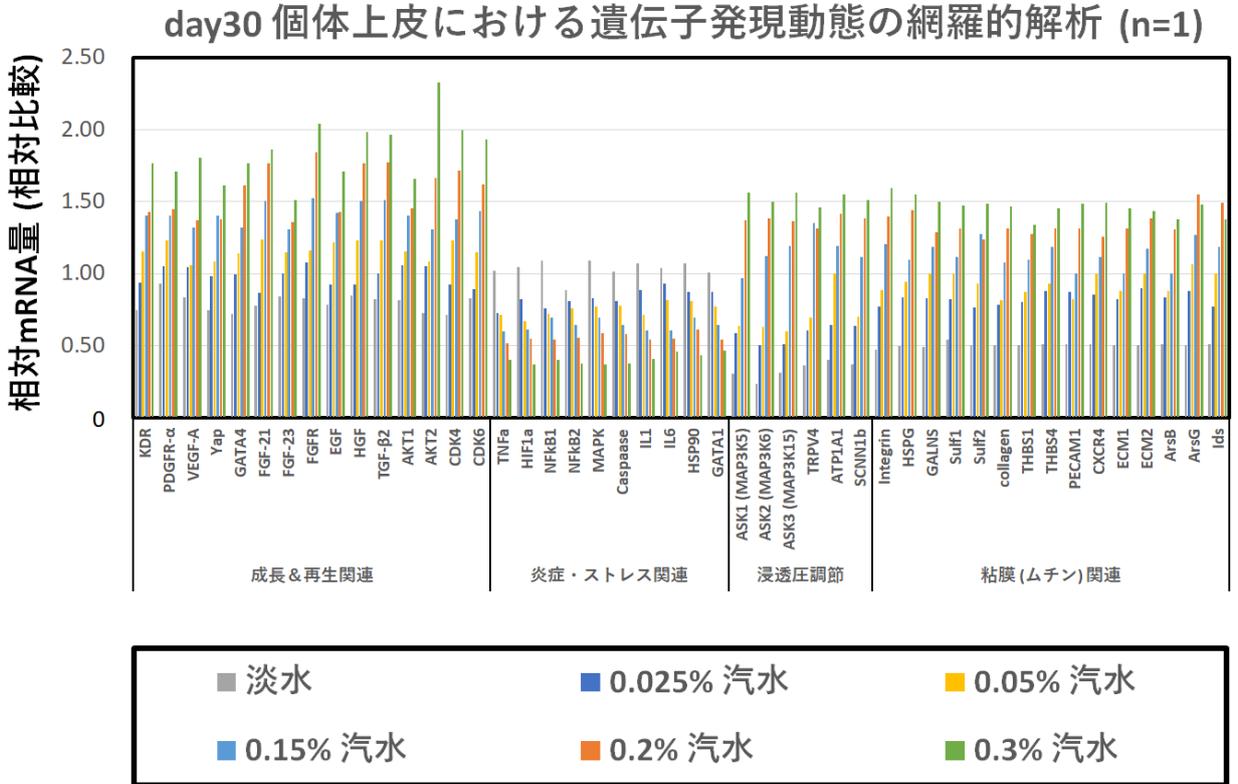
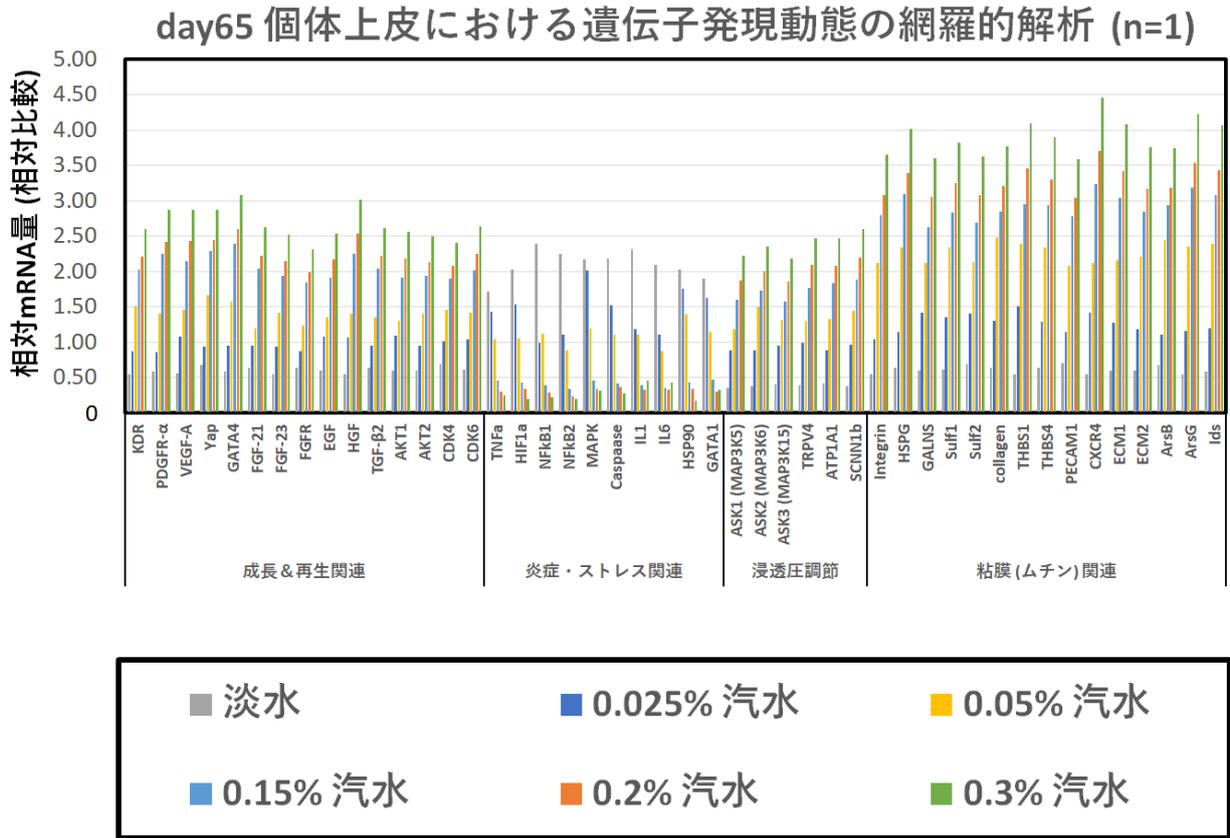


図 10: メキシコサンショウウオの汽水飼育条件下における各因子の発現動態解析-1

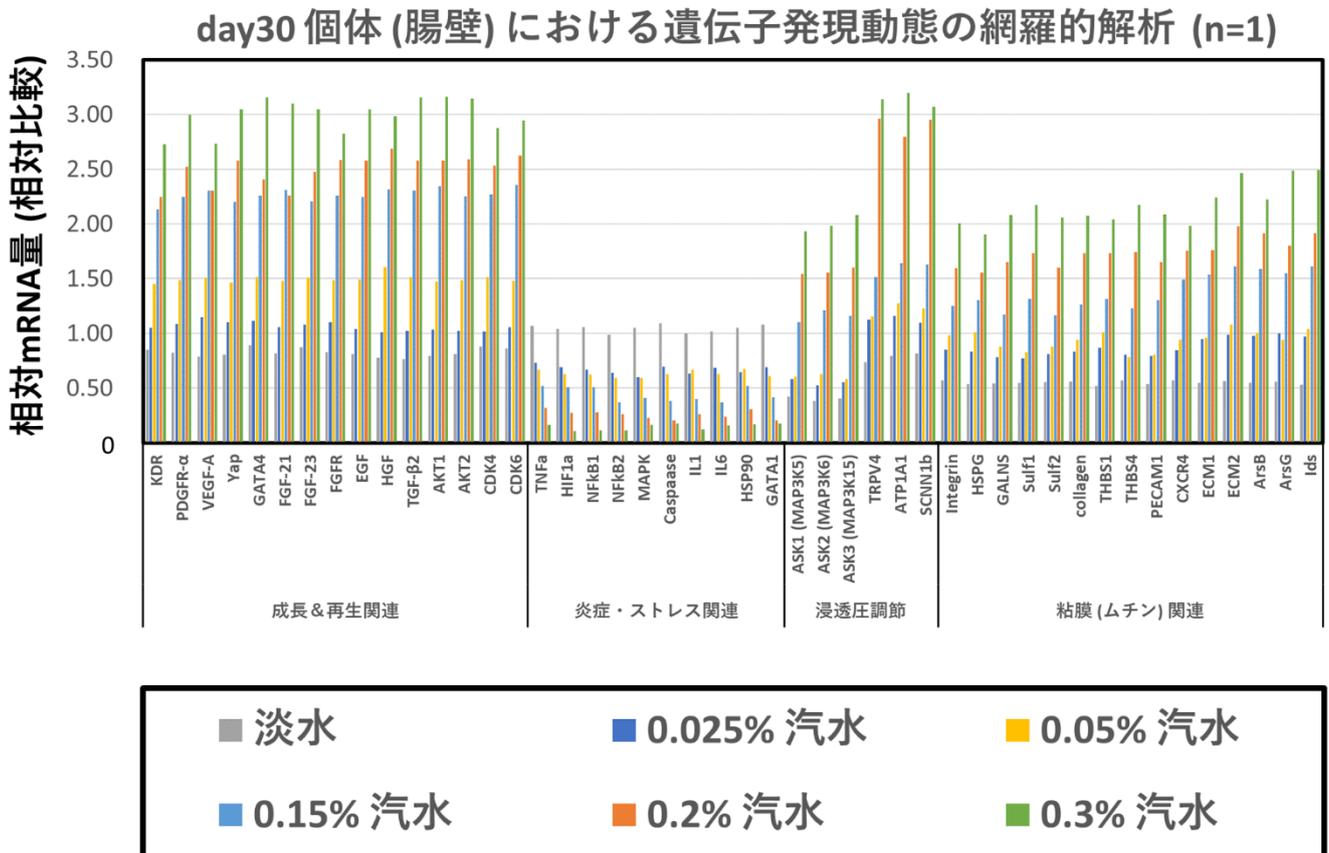
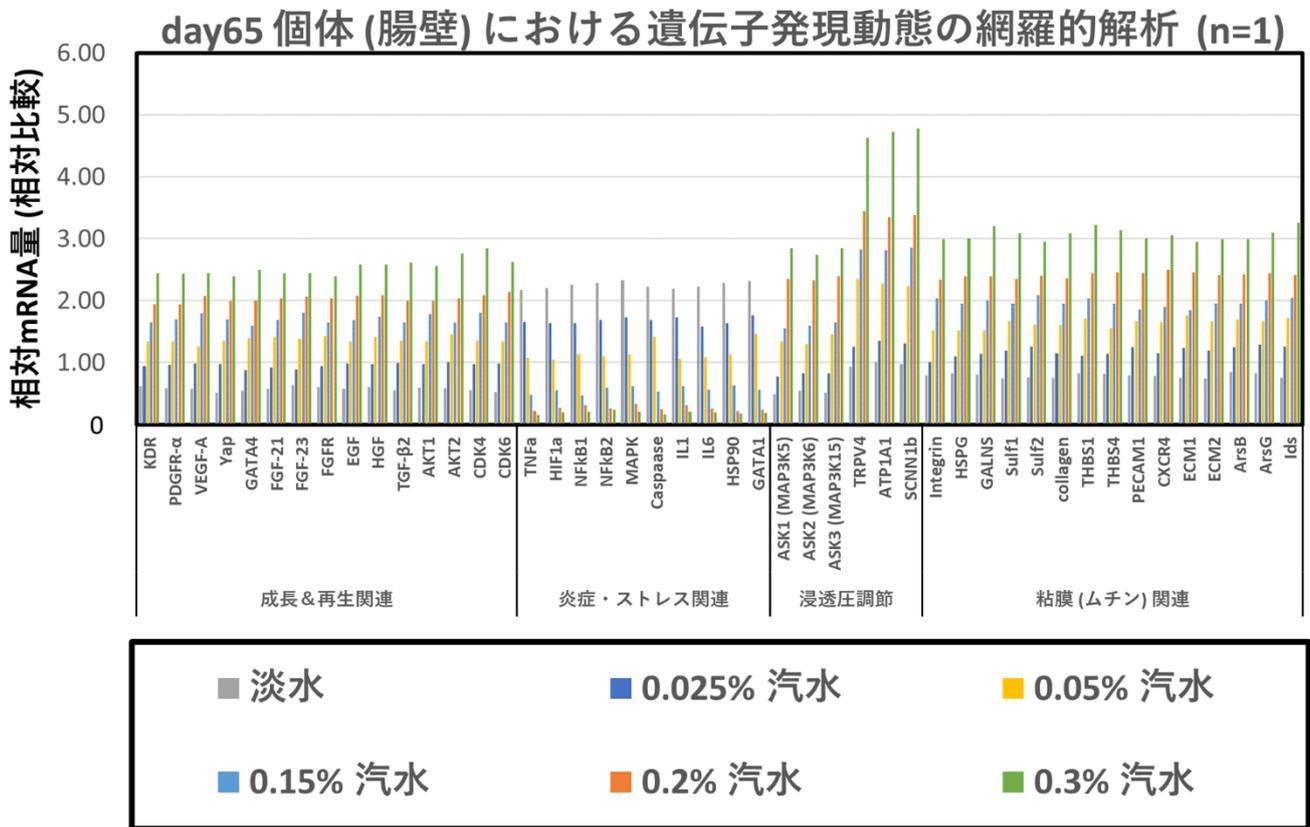
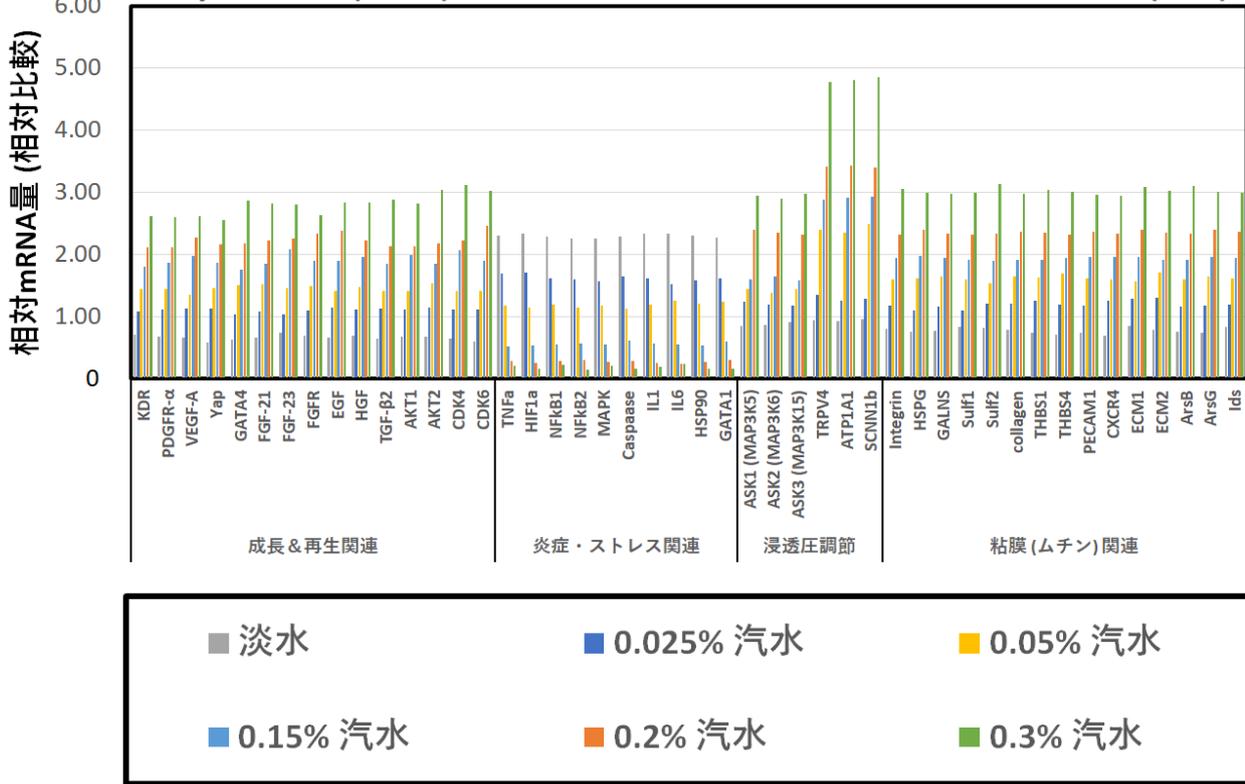


図 11: メキシコサンショウウオの汽水飼育条件下における各因子の発現動態解析-2

day65 個体 (中枢) における遺伝子発現動態の網羅的解析 (n=1)



day30 個体 (中枢) における遺伝子発現動態の網羅的解析 (n=1)

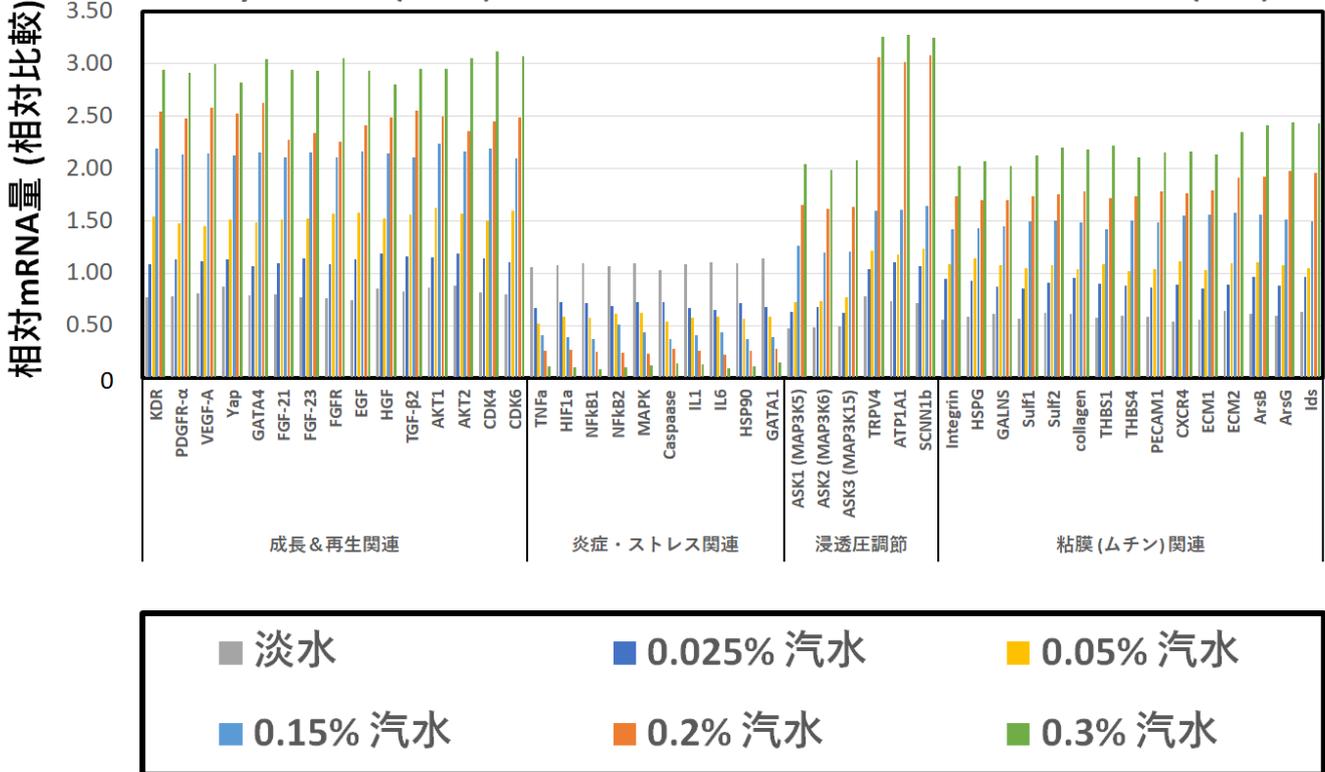
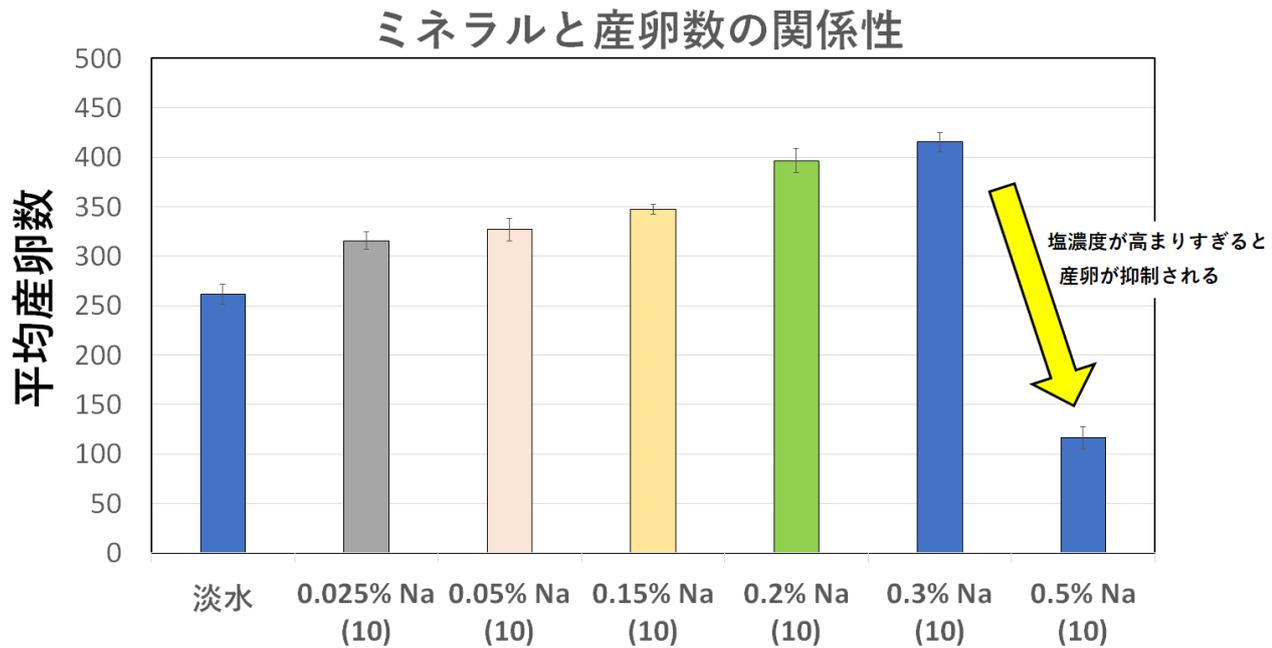


図 12: メキシコサンショウウオの汽水飼育条件下における各因子の発現動態解析-3

**(A) 汽水飼育と生殖能力 (妊性) について**



**(B) 汽水飼育下における“休塩日”設定が生育環境をより安定化させる。**

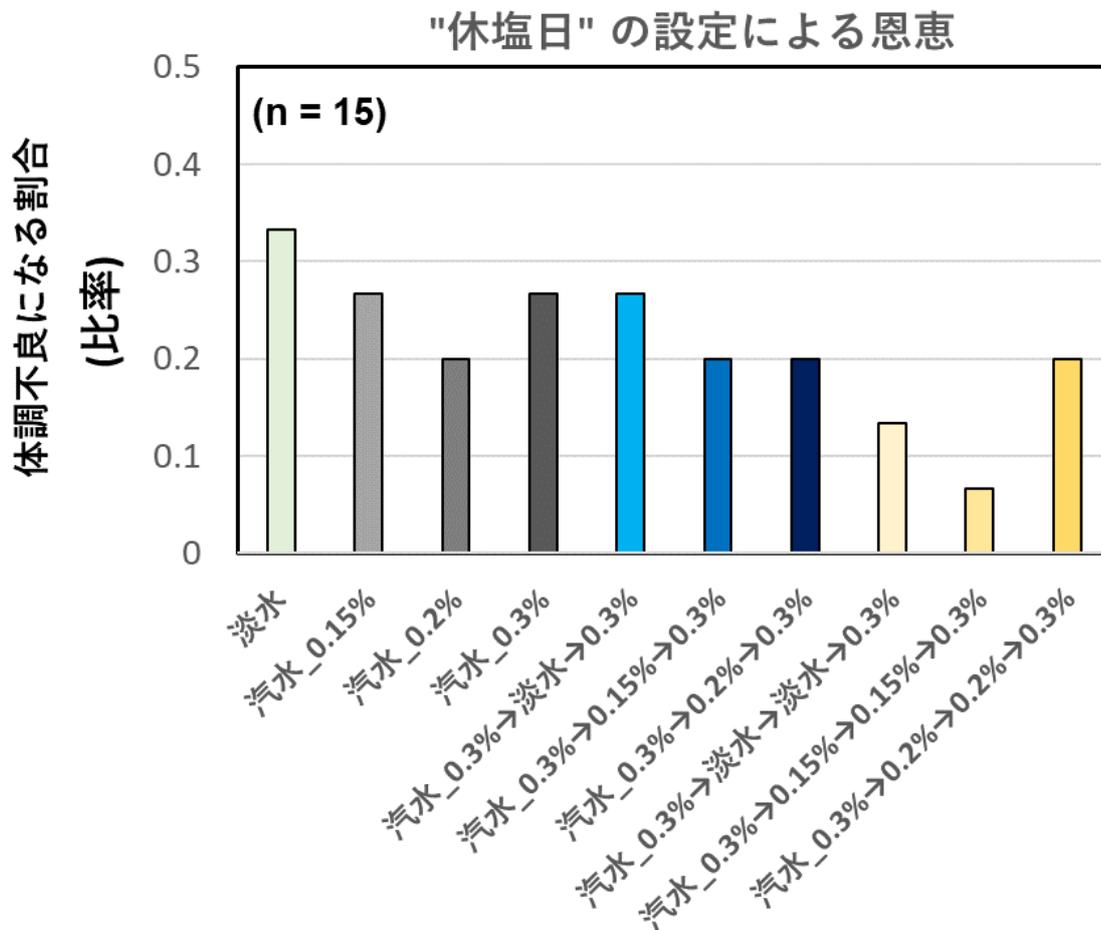


図 13: アホロートルも高い塩分濃度に対してはストレスを感じてしまう。

(A)

性質・種類	学名	属・分類	備考
グラム陰性細菌	<i>A. hydrophila</i> , <i>A. sobria</i>	エロモナス類	感染症の原因菌
	<i>F. columnare</i>	カラムナリス類	感染症の原因菌
	<i>N. europaea</i>	ニトロソモナス類	アンモニア硝化菌
	<i>N. winogradskyi</i>	ニトロバクター類	亜硝酸酸化菌
	<i>S. enterica</i>	サルモネラ類	腸内細菌
	<i>E. coli</i>	大腸菌	腸内細菌
グラム陽性細菌	<i>L. plantarum</i>	乳酸菌	腸内細菌
	<i>B. subtilis</i>	枯草菌類	濾過バクテリア
藻類(水苔)	<i>C. pediculus</i>	コッコネイス属	珪藻類
	<i>T. lacustris</i>	テトラスポラ属	緑藻類
	<i>M. willeana</i>	ミクロスポラ属	糸状緑藻類
真菌(カビ)	<i>S. cerevisiae</i>	出芽酵母	パン酵母
	<i>S. pombe</i>	分裂酵母	ビール酵母
	<i>Rhodotorula</i>	赤色酵母	赤色酵母
	<i>S. parasitica</i>	ミズカビ属	水質浄化, 増えすぎると 水カビ病の原因
	<i>A. proliferans</i>	ワタカビ属(卵菌類)	
	<i>A. proliferoides</i>		
	<i>A. racemosa</i>		
<i>A. cochlioides</i>	アフアノマイセス属(糸状菌類)		

当ラボの飼育環境にて確認できた微生物の一部; 依頼分析で 18SrDNA にて存在を確認

(B)

	餌ペレット添加後 12hr				餌ペレット添加後 24hr				餌ペレット添後 48hr		
	透明	半透明	白濁		透明	半透明	白濁		透明	半透明	白濁
淡水			○	淡水			○	淡水			○
0.15% ミネ水		○		0.15% ミネ水			○	0.15% ミネ水			○
0.2% ミネ水		○		0.2% ミネ水			○	0.2% ミネ水			○
0.3% ミネ水	○			0.3% ミネ水		○		0.3% ミネ水			○
0.5% ミネ水	○			0.5% ミネ水		○		0.5% ミネ水			○
1.0% 塩水	○			1.0% 塩水		○		1.0% 塩水		○	
3.0% 塩水	○			3.0% 塩水	○			3.0% 塩水	○		
8.0% 塩水	○			8.0% 塩水	○			8.0% 塩水	○		
<ul style="list-style-type: none"> <li>・新品のタッパー容量 2.6L (生体抜き, 飼育水を2L ずつ回収, 塩水はミネ水に新たに塩を添加して作製した)</li> <li>・ひかりウーパールーパー小粒の10粒を添加</li> <li>・餌の溶解だけでなく分解が見られると、一気に白濁する傾向が見られる。 = 炭水化物などを分解する水中の好気バクテリア (バシラス類; 乳酸菌類や古葉菌類) が増加</li> <li>・本結果からも、塩浴がバクテリアに対して強い殺菌効果があり、ミネラル水とは異なる意味合いであることが分かる。</li> </ul>											
※ 生体抜き, 飼育水を2L ずつ回収, 塩水は淡水水槽由来の水を塩分濃度0%としてに新たに塩を添加して作製した。											

図 14: 汽水条件下におけるアホロートル水槽・腸内のバクテリア環境-1

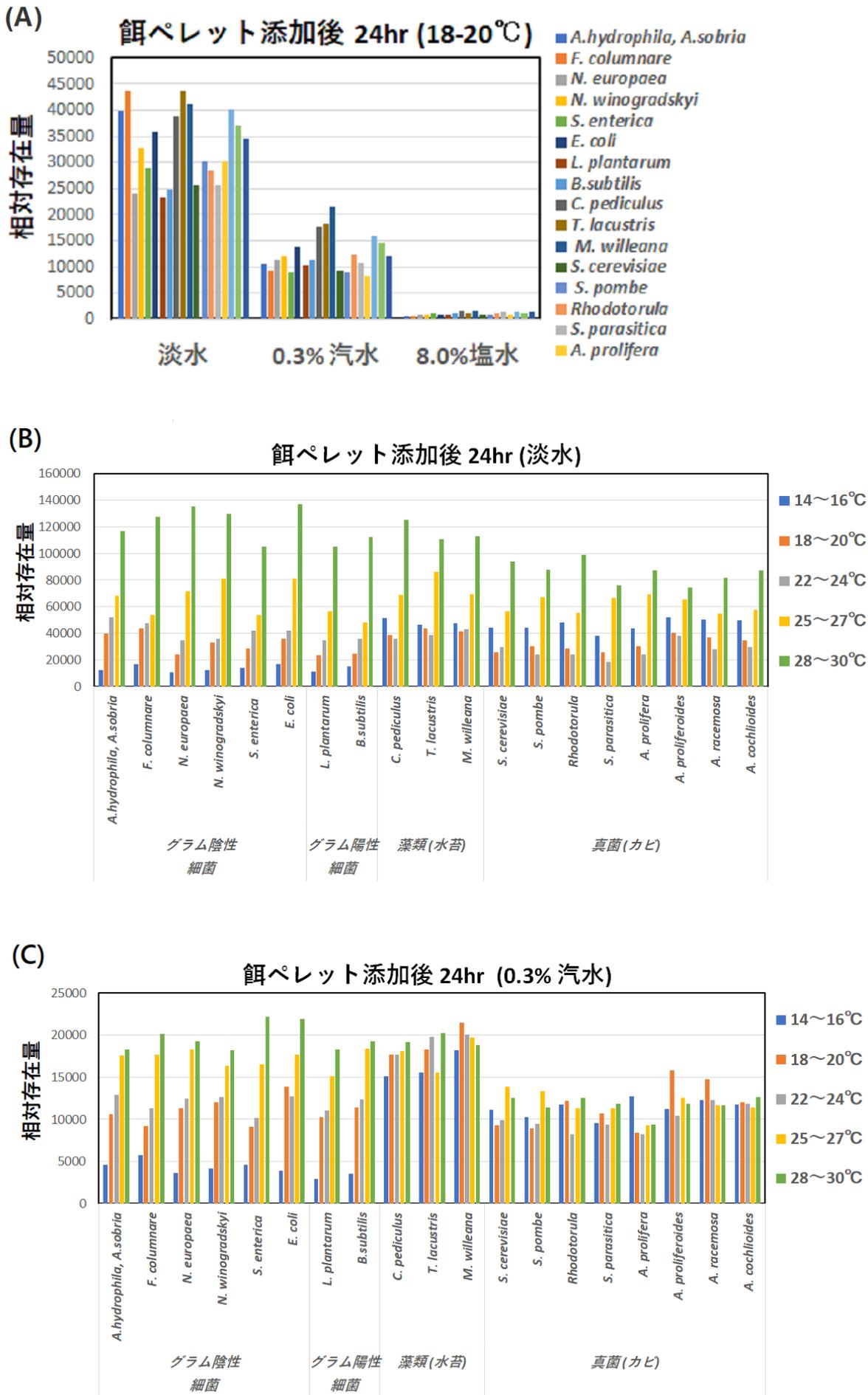


図 15: 汽水条件下におけるアホートル水槽・腸内のバクテリア環境-2

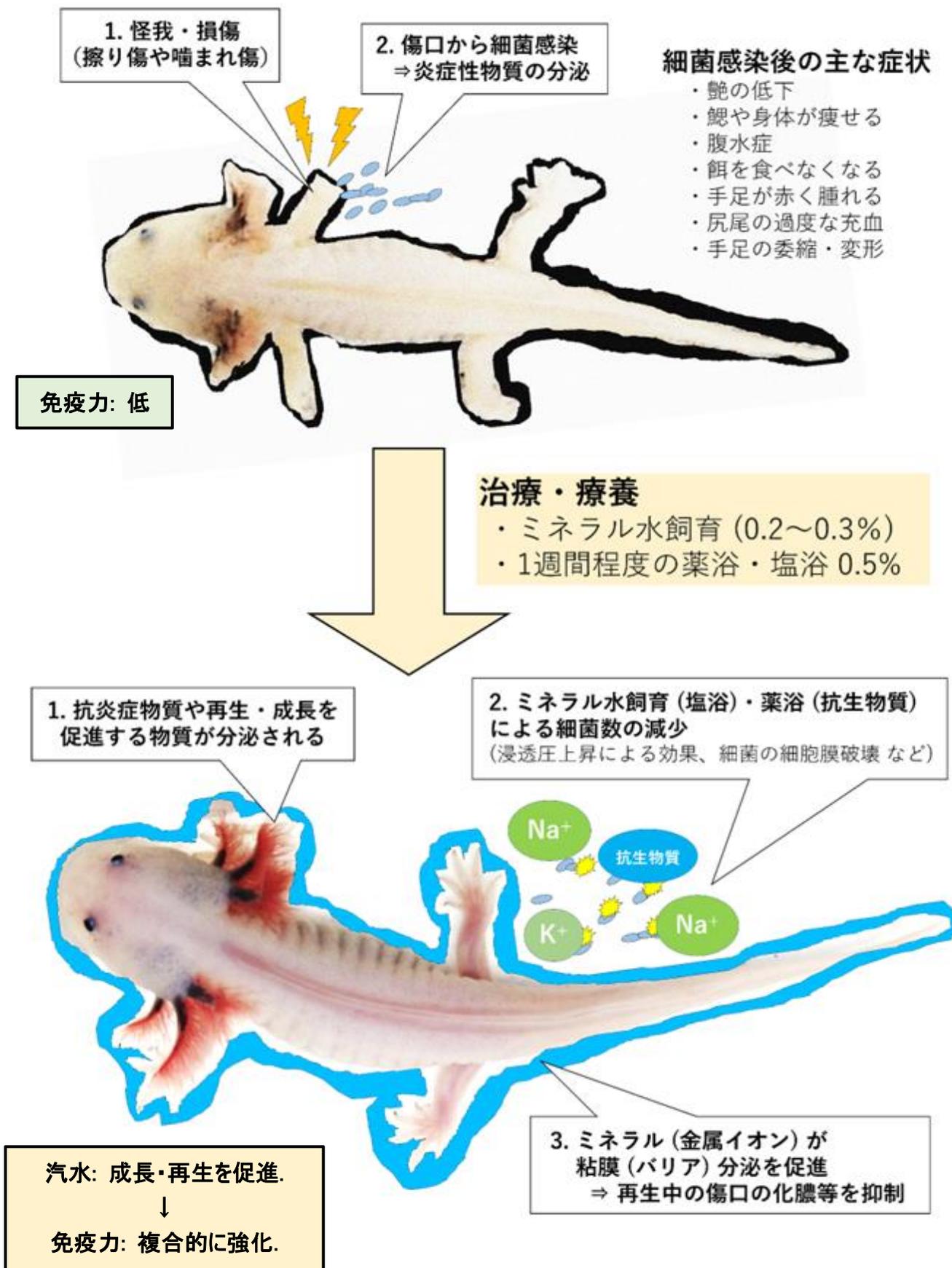


図 16: 汽水飼育による免疫力強化と再生促進効果の予想モデル

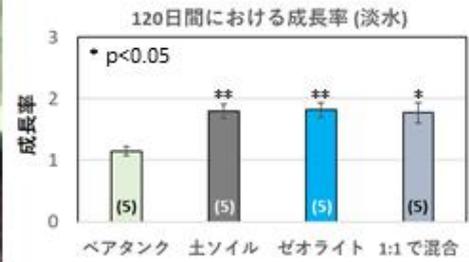
(A) 水の硬度に影響する底砂環境は腸内細菌と共に生育にとって重要である  
(杉山, 2023)



(A) ペアタンク



(B) ソイル (土, 砂) を加えて自然界に近づけた環境



(C) ソイル有/無間の成長率比較 (水質は中性: pH 6.5-7.0)

(B) アホロートルに適した水質予想モデル

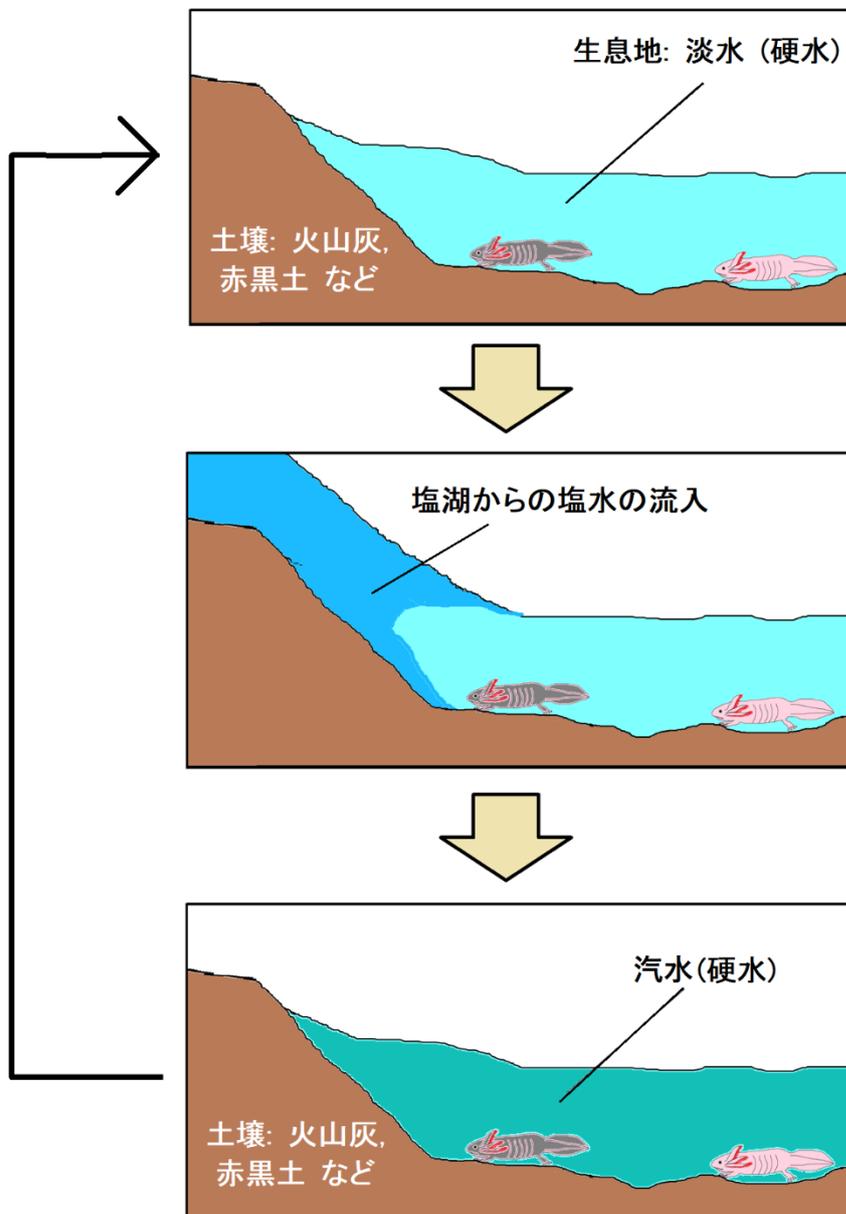
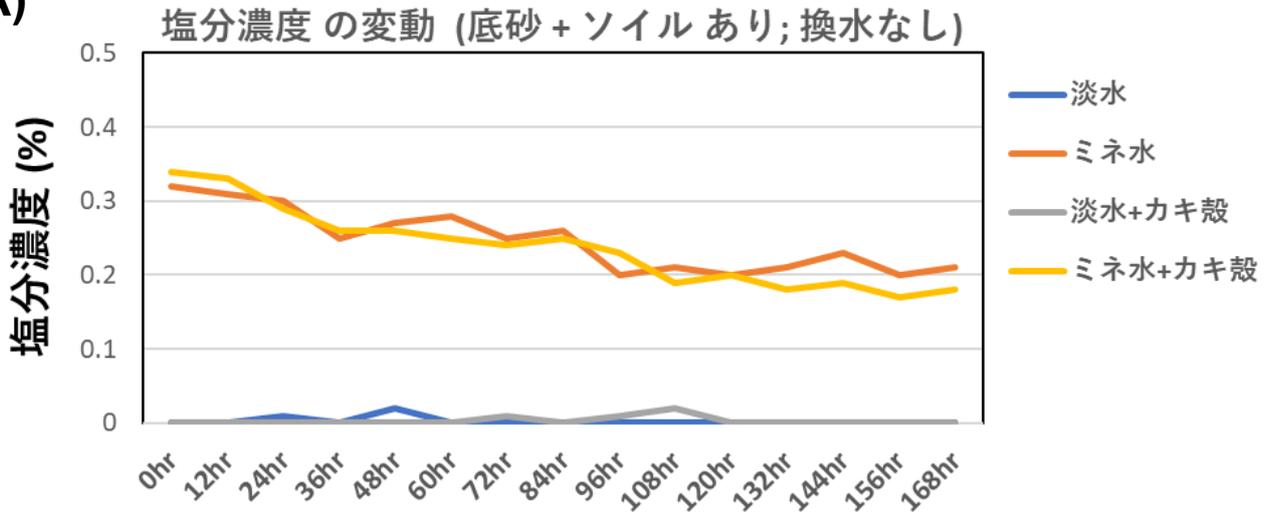


図 17: アホロートルに適した水質・水の硬度を制御する環境とその変動

(A)

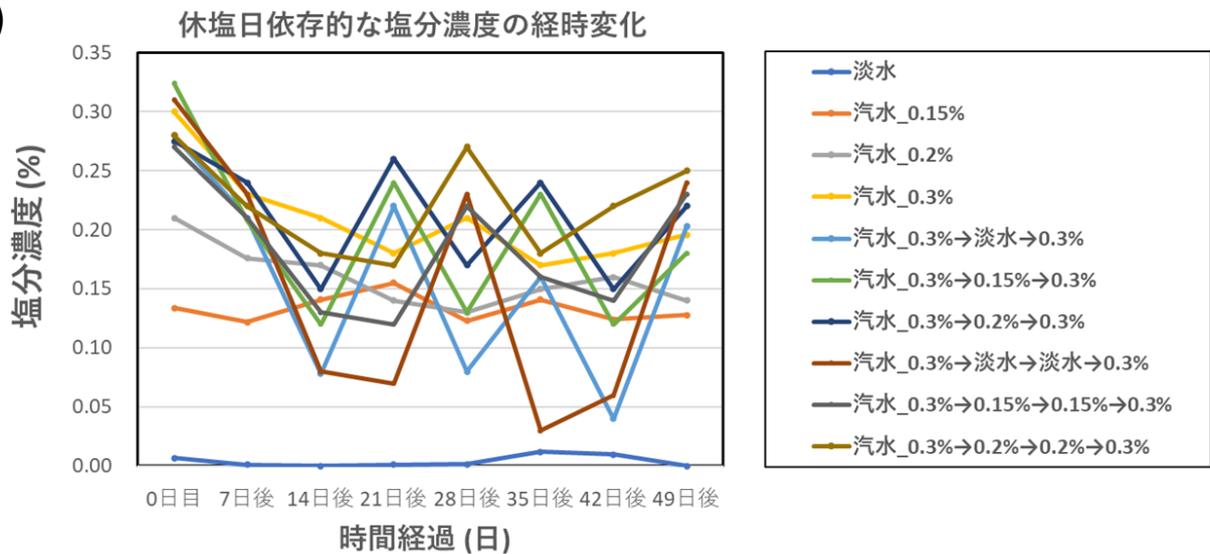


(B)

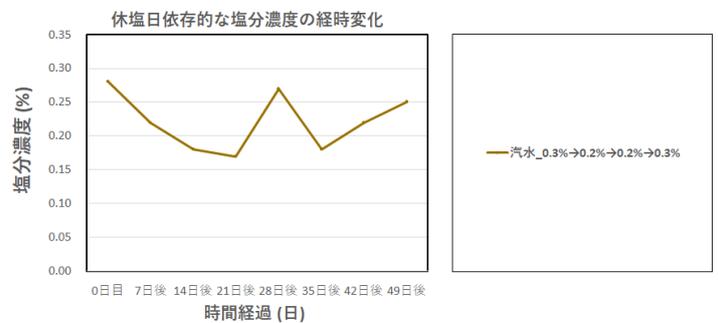
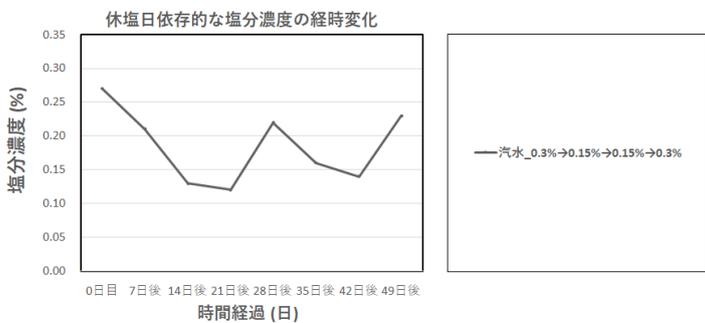
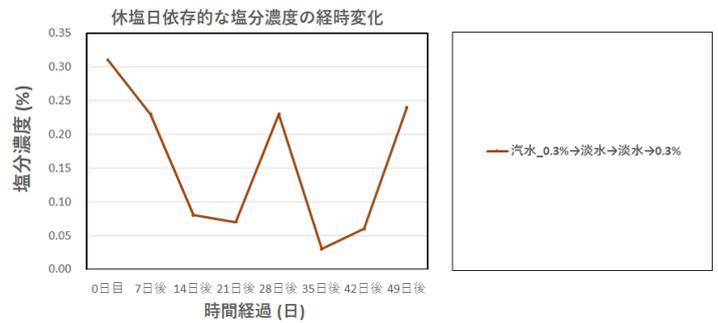
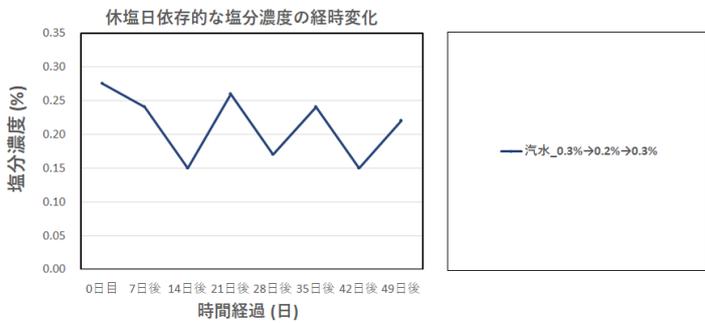
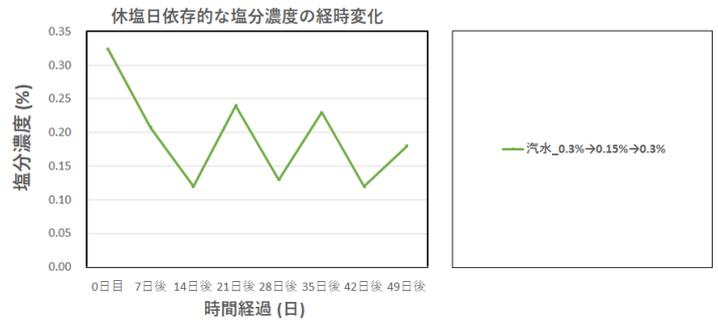
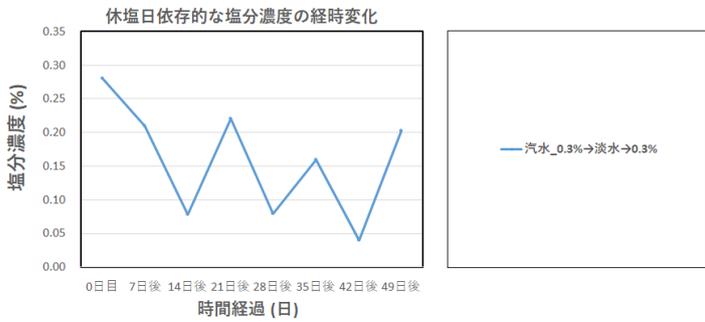
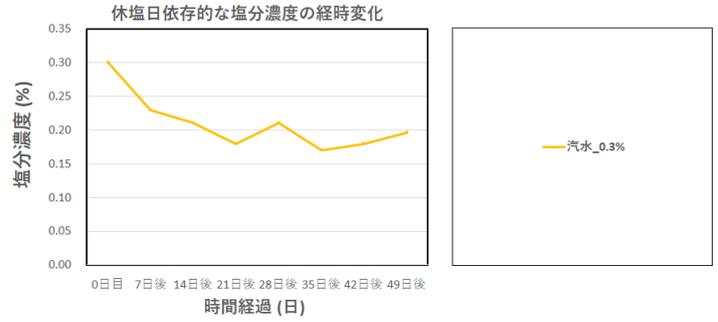
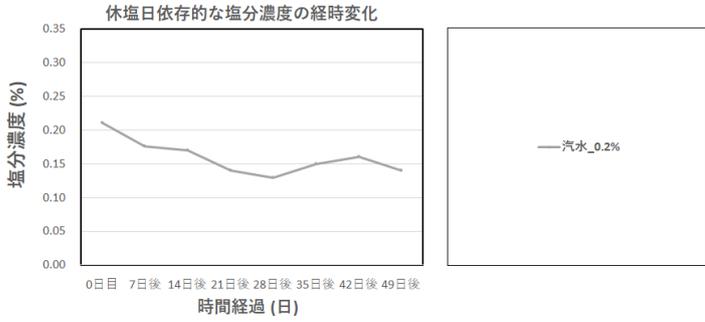
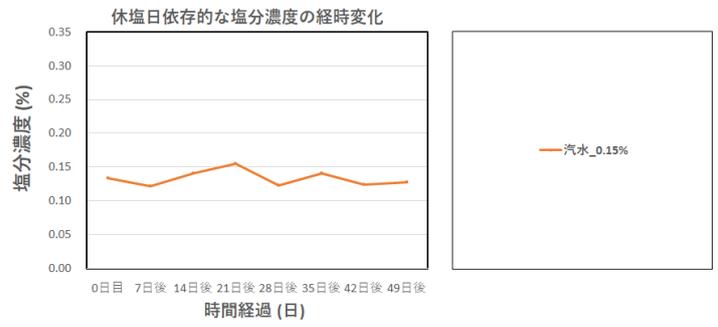
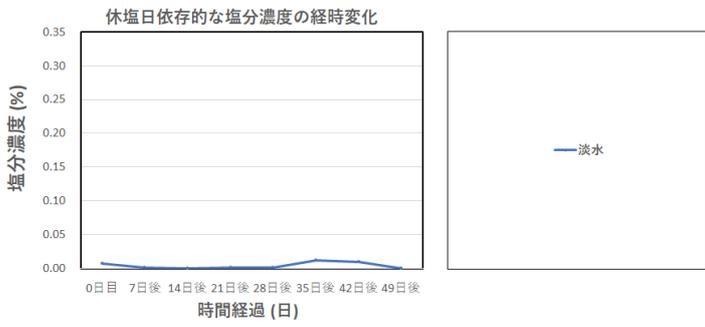
休塩日依存的な 塩分濃度 (%) の経時変化								
day	0日目	7日後	14日後	21日後	28日後	35日後	42日後	49日後
淡水	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
汽水_0.15%	0.13	0.12	0.14	0.16	0.12	0.14	0.12	0.13
汽水_0.2%	0.21	0.18	0.17	0.14	0.13	0.15	0.16	0.14
汽水_0.3%	0.30	0.23	0.21	0.18	0.21	0.17	0.18	0.20
汽水_0.3%→淡水→0.3%	0.28	0.21	0.08	0.22	0.08	0.16	0.04	0.20
汽水_0.3%→0.15%→0.3%	0.32	0.21	0.12	0.24	0.13	0.23	0.12	0.18
汽水_0.3%→0.2%→0.3%	0.28	0.24	0.15	0.26	0.17	0.24	0.15	0.22
汽水_0.3%→淡水→淡水→0.3%	<b>0.31</b>	<b>0.23</b>	<b>0.08</b>	<b>0.07</b>	<b>0.23</b>	<b>0.03</b>	<b>0.06</b>	<b>0.24</b>
汽水_0.3%→0.15%→0.15%→0.3%	<b>0.27</b>	<b>0.21</b>	<b>0.13</b>	<b>0.12</b>	<b>0.22</b>	<b>0.16</b>	<b>0.14</b>	<b>0.23</b>
汽水_0.3%→0.2%→0.2%→0.3%	0.28	0.22	0.18	0.17	0.27	0.18	0.22	0.25

(20±2°C 条件下), 60cm 水槽 (GEX マリーナ SLIM MR600BKS),  
 7日毎に水替え (水替え前に測定, 生体 (約10~12cm x 5体),  
 床材: GEX ビュアソイル+ゼオライト,  
 上部フィルター (GEX AQUA FILTER デュアルクリーン),  
 餌: ひかりウーパールーパー小粒 x 5~10粒/匹 (2日毎)

(C)



補足図 1: 底砂や貝類の小孔への吸着効果による塩分濃度の変動

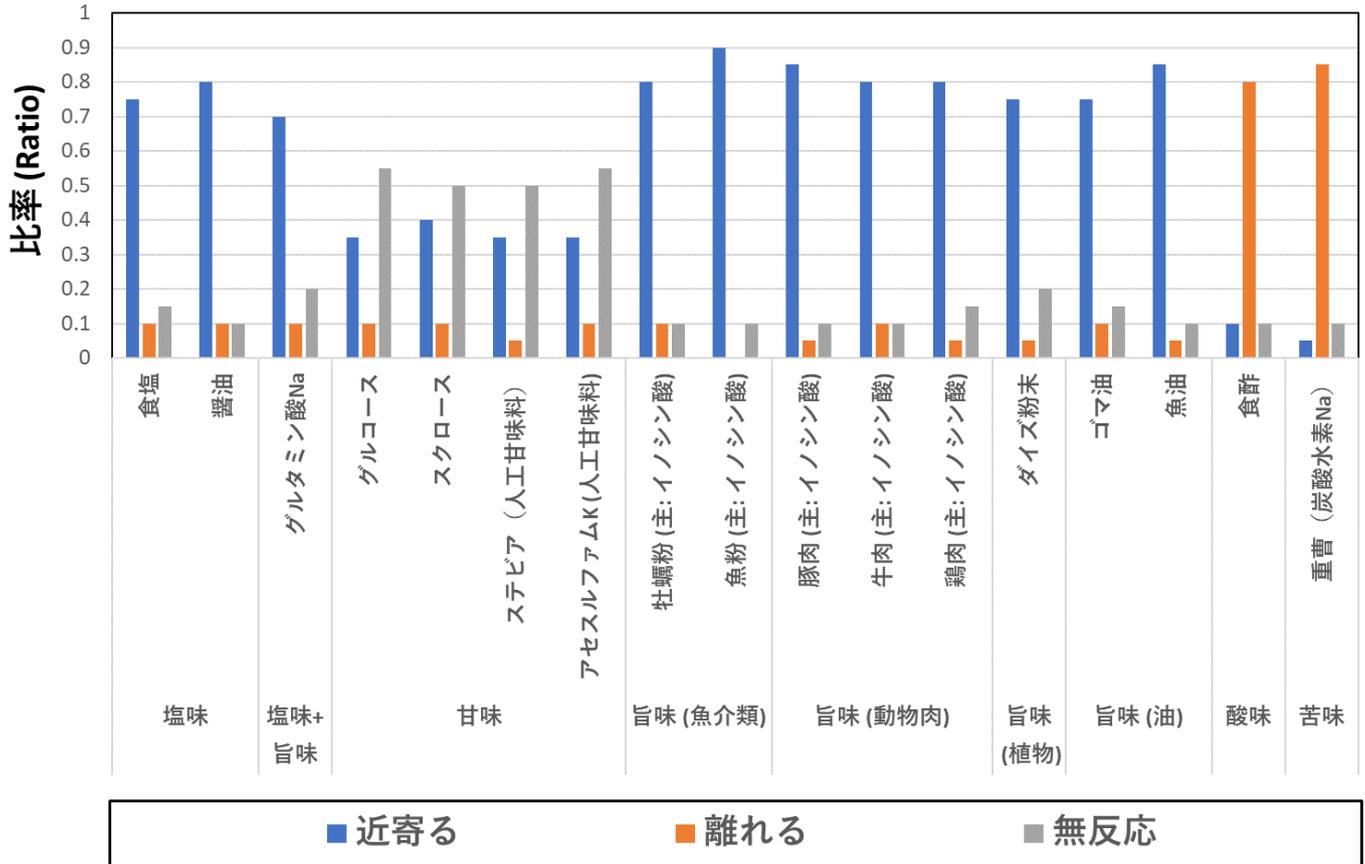


補足図 2: 底砂や貝類の小孔への吸着効果による塩分濃度の変動-2



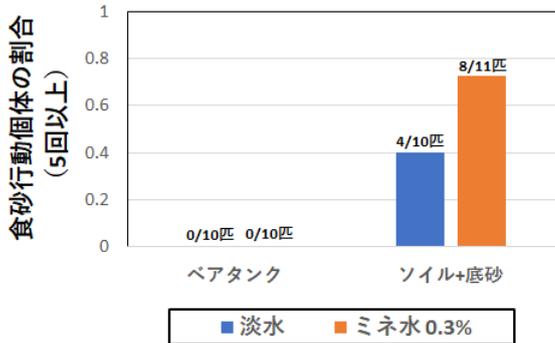
(A)

### 化学成分投入後30分間のアホロートルの行動



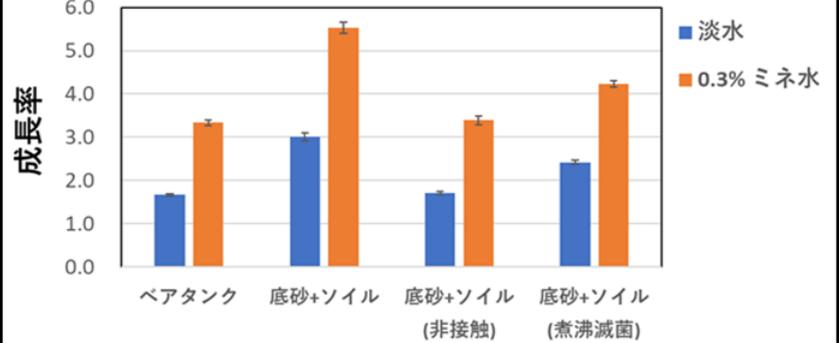
(B)

### 飼育下のアホロートルにおける食砂行動の観察 (24hr)



(C)

### 水質が成長率に与える影響 (day200)



補足図 3-1: アホロートルは塩味に対して高い嗜好性を示す 1.

(D)

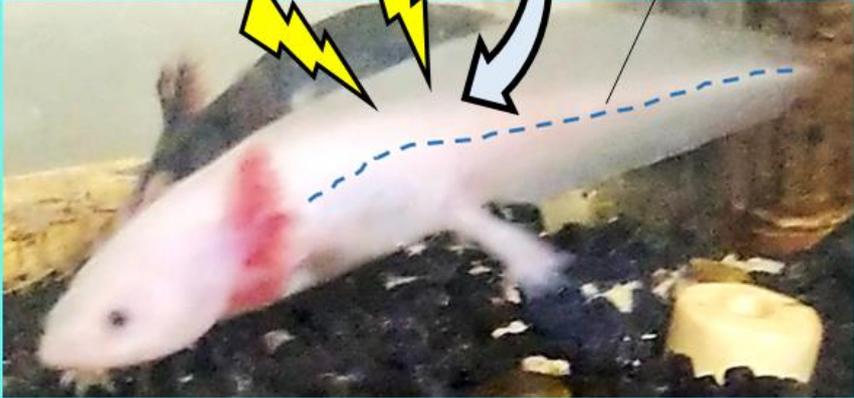
**塩が水に溶ける.**



Na, K, Mg, Ca など  
金属イオンになる.

**側線器官:**  
獲物の動きや  
微弱な電位の感知

**塩味の  
摂取**



**参考:** [アホロートル \(メキシコサンショウウオ\)](#)  
- [静岡大学理学部生物科学科 \(shizuoka.ac.jp\)](#)

補足図 3-2: アホロートルは塩味に対して高い嗜好性を示す 2.

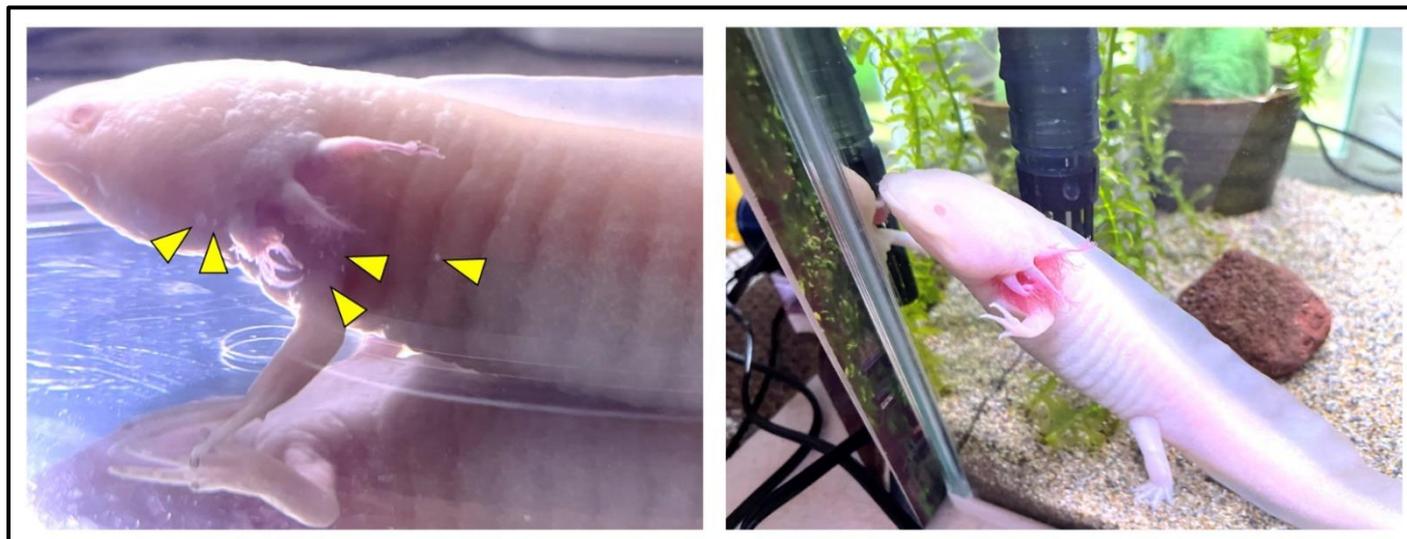
(A) 事例 1: 0.3% 汽水飼育にて水泡? のようなイボが形成された。

→ 薬浴後、飼育水を 0.15%~淡水へ濃度を下げ、2 週間周期の汽水環境へ戻すことで解消された。



(B) 事例 2: 0.3% 汽水飼育にて、(A) と同様の水泡のようなイボが形成された。

→ 淡水 + 底材による水の硬度の補強によって症状が解消された。



これらの症状は、汽水環境でも数を減らすことのできない雑菌や真菌類がコロニーや嚢胞を形成することで見られる症状である。このような症状に対しては、淡水へ戻すことで浸透圧を低下させたり、日々の換水で嚢胞からの次世代が消失するまで経過を見るなどの対処が有効である場合が多い。

こうした耐塩細菌や耐塩菌は、刺身などの生餌などに多く付着しているため、与える際には注意が必要である。

## 補足図 4-1: 耐塩細菌・真菌類の発生が生体に及ぼす影響

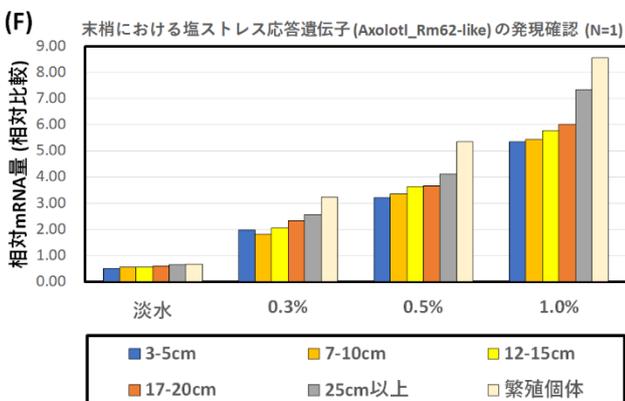
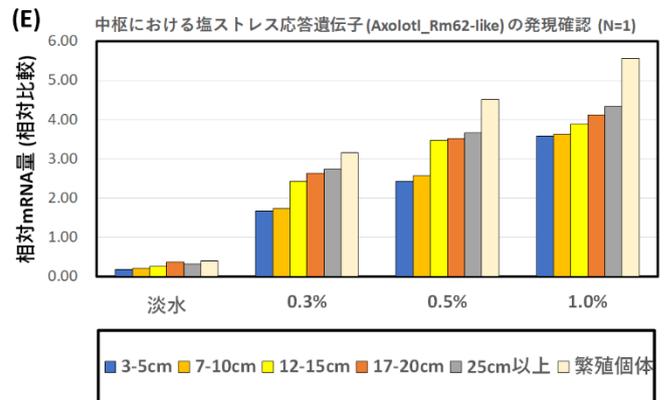
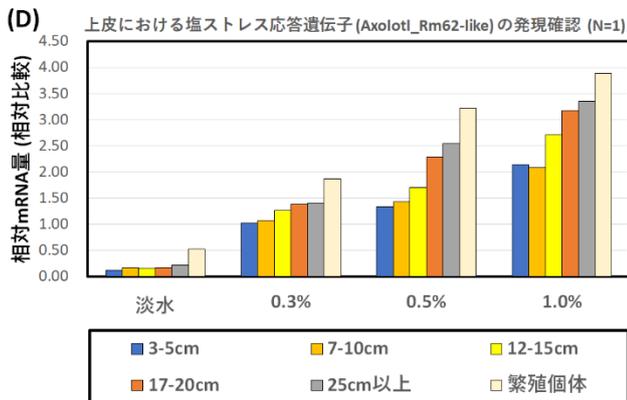
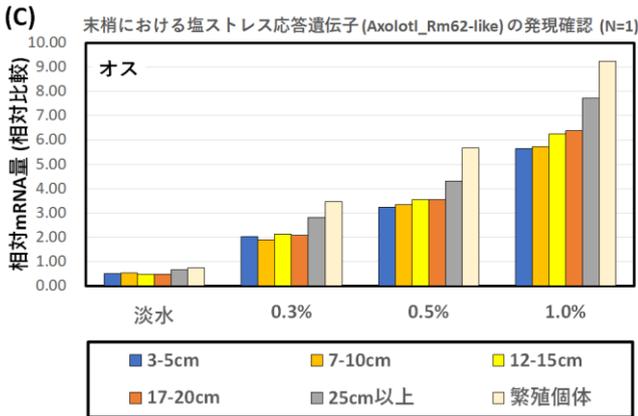
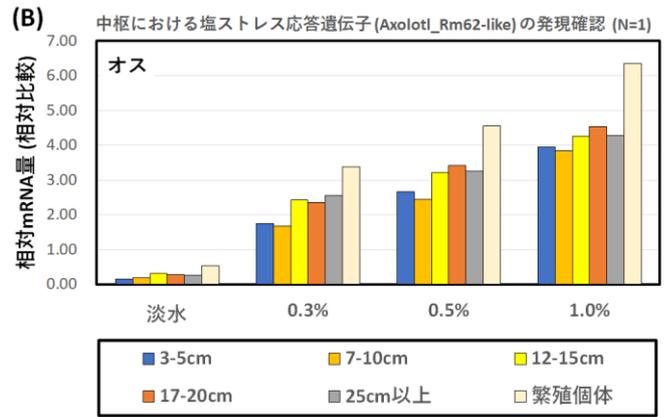
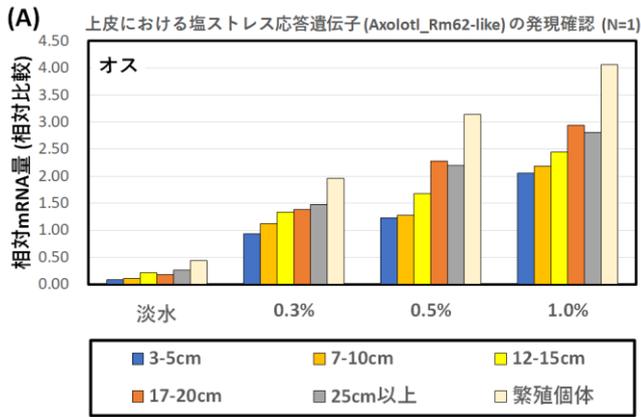


## オオムギ HVD1 遺伝子 (RNA 安定化による塩ストレス応答)

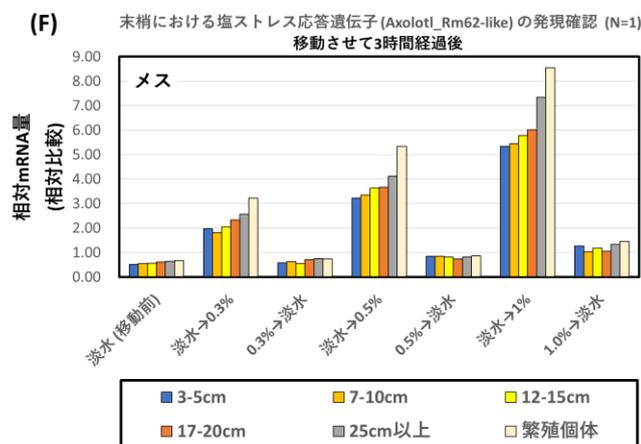
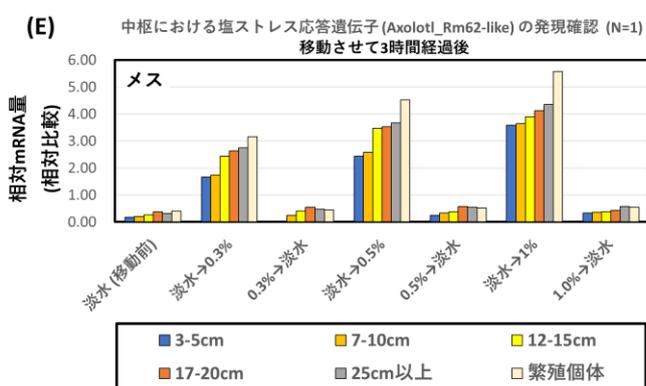
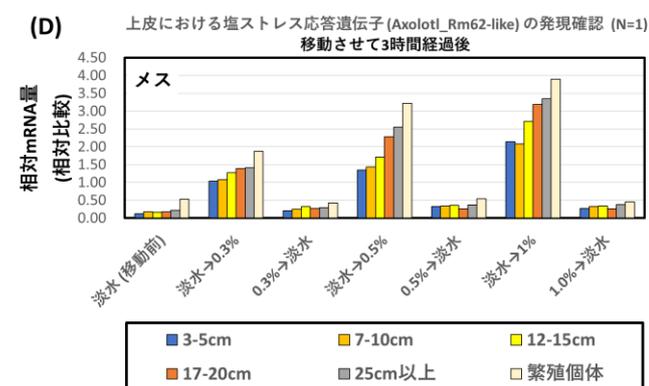
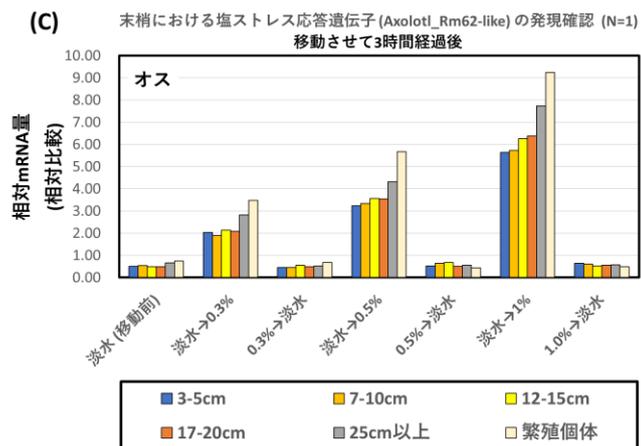
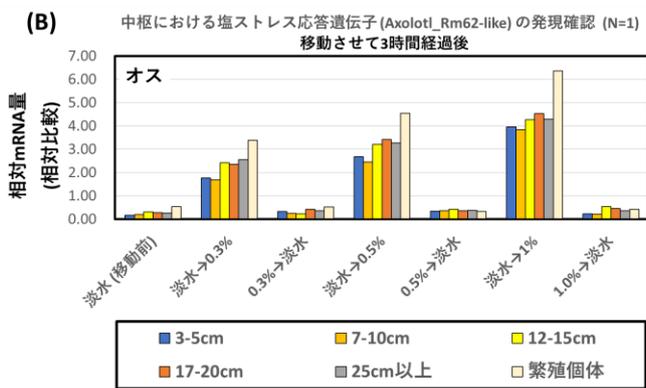
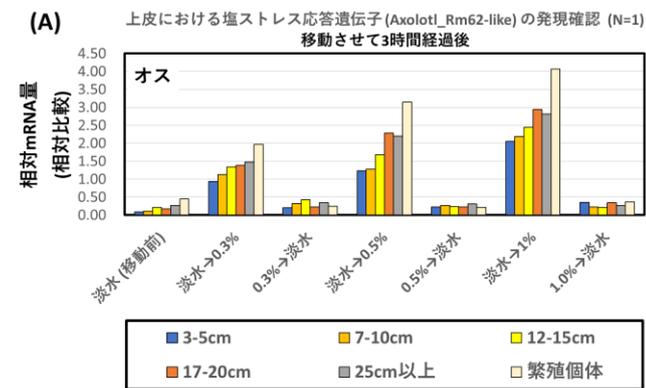
CGCCCGGGCAGGTATTTCTTATCGCTTCCCCCTTCCTCCCCCATGGCTTCCCTCCTCACGCTCCCGTCC  
CTCTCCCTCTCCAGCCCCAGCGGGCGGCTCGCGCCCGCGCTCCGGCTCCGCGCCGCTTCCGCTGCTGG  
GCGCTCGGCCGCAGGTGGGCGGGCGCCGCGCGGCCATCGCGTCGCCAACTCCGTGCTCAGCGAGCA  
CGCCTTCAAGCGCCTCGGGCTCGGGCGCGGCAGCGACGAGGATGAGGACGGGTACGGGAGCGACC  
AGGAGGGGCCCCGCCGCGTGGAGGGGACAAGGATGAGCTCGCCATTTCCAGGCTCGGCCTCCCCGCC  
AGCTCGTCGCCACCCTCGAGAAGCGCGGAATTACCCACCTTTCCCATCCAGAGGGGTGATTGATTCCA  
GCACTTGAGGGCCGTGACCTGATTGCAAGAGCAAAGACTGGAAGTGGAAAGACGCTAGCCTTTGGTATACC  
CATGATCAAGCAAATAATCGAGCAGGACGAAGGGCGGACTCCCGGGCGAGGTGCTATTCCGAGAGCTTTGG  
TCCTTGACCCACTAGAGAGTTGGCTAAACAAGTTGAGAAAGAAATTATGGAATCAGCGCCAAAGCTTAGTAC  
AGTGTGTGTTTATGGTGGTGTATCATATAATACCAGCAGAATGCACTCTCCCGTGGTGTGATGTTGTCGTA  
GGAAGTCCAGGTGCGCTAATTGATTTGATAACGGTGGAAGTCTTCAGTTGGGAGAAGTAAGGTATCTGGTC  
CTTGATGAGGCTGACCAGATGCTTGCAGTTGGATTTGAAGAAGATGTGGAACAATATTGCAACAGCTGCCA  
GCTGAACGACAAAGCATGCTTTTTCTGCGACCATGCCTAGTTGGGTGAAGAAATTGTCTAGGCGGTACTTG  
AATAATCCTTTGACAATTGATTTGGTTGGCGATCAAGATGAAAAATTAGCTGAAGGAATCAAAGTCTTTGCTATT  
CCACTCACAACGACTTCAAAGCGCACCATTCTTAGTGATCTCATTACGGTATATGCAAAGGGTGGGAAAATA  
TTGTTTTCACTCGGACAAAACGGGATGCAGACGAGGTATCATTAGCATTGACAACCAAGTATTGCGTCTGAGG  
CGCTTCATGGTGATATTTACAACATCAGCGTGAGAGGACATTAATGGTTTTCCGCCAAGGGAAATTTACTGT  
GCTTGTGGCCACTGATGTTGCTTCTCGTGGTCTTGATATACCCAATGTTGATTTGATTATTCATTATGAGTTGC  
CAAATGACCCGAGACTTTTTGTTTCATCGTTCTGGACGCACTGGACGAGCAGGGAAAGCAGGAAATGCAATC  
TTAATGTTTACAACCAATCAGCGAAGGACAGTTAAATCACTTGAACGTGATGTTGGGTGCAAATTTGAGTTTAT  
TGGCCACCTACAATGGAAGAAGTACTGGATTCATCTGCAGAGCATGTCATTGCTACTCTGCGAGGTGTGCA  
CCCCGAGTCGATTCAATACTTTGTTCCAGCGGCTGAGAGACTAAGCCAAGAAGTACTAGGACCTACTGCTCTTGC  
TTCTGCATTGGCACATCTGAGTGGATTTTCTCAGCCACCTTCTTACGTTCCCTGATTAGCCATGAGCAGGGA  
TCGGTGACACTACAATAACCAGGGATCCAGAATATGCAAGAGGCTTCTTTTTCTCCTAGATCTGTCACCGGTT  
TTCTGTCTGATGTCTCTCCATCTGCTGCTGATGCAGTTGGAAAATATACCTAATAGCAGATGAGAGGGTCCA  
AGGAGCAGTCTTTGATTTACCCGAGGAGATTGCAAAGGATCTGCTTACCATGGAAGTGCACCCAGGAAACAC  
CTTGAGCAAAGTAACAAAGCTGCCGGTGTGCAAGATGATGGCCCTGCTACTGATTCTTACGGCCGATTCTC  
AAACTCAGACCGGGTCTAGGAACCGGCGGGGGTTCGTCCAGGGGCGGTATGGGTGGCGGCTCAAGAGG  
ACGTGGTGGTTGGACTCTGATGAAGGATTCCGTCGTGGTGGCAGGAGCTCCAGCAGACCTGACAACGAC  
ATTTGGTCAGATGATGACTTTTCAGGTGGTGGTGCAGAGAAGATCAAACCGTTCGTCATCCCCCAGCGGTGG  
CCGCTCGTCCTATGGTGGGCGTGGTGGCTCGTCATCCTTCGGTGACAGATCCTCCTCCTT

関連情報 <https://patents.google.com/patent/JP2002034576A/ja>

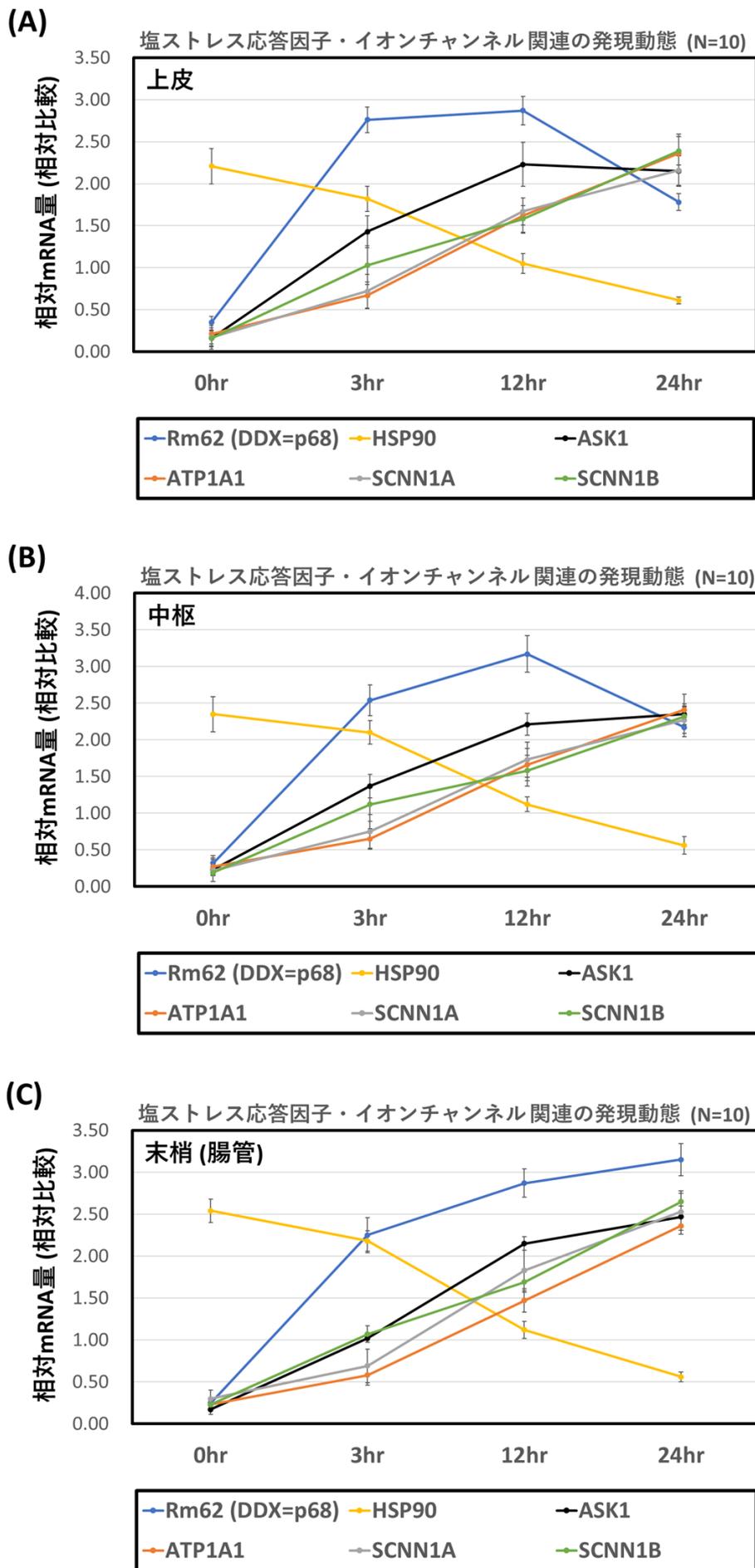
## 補足図 4-3: 塩ストレス応答関連遺伝子の発現確認



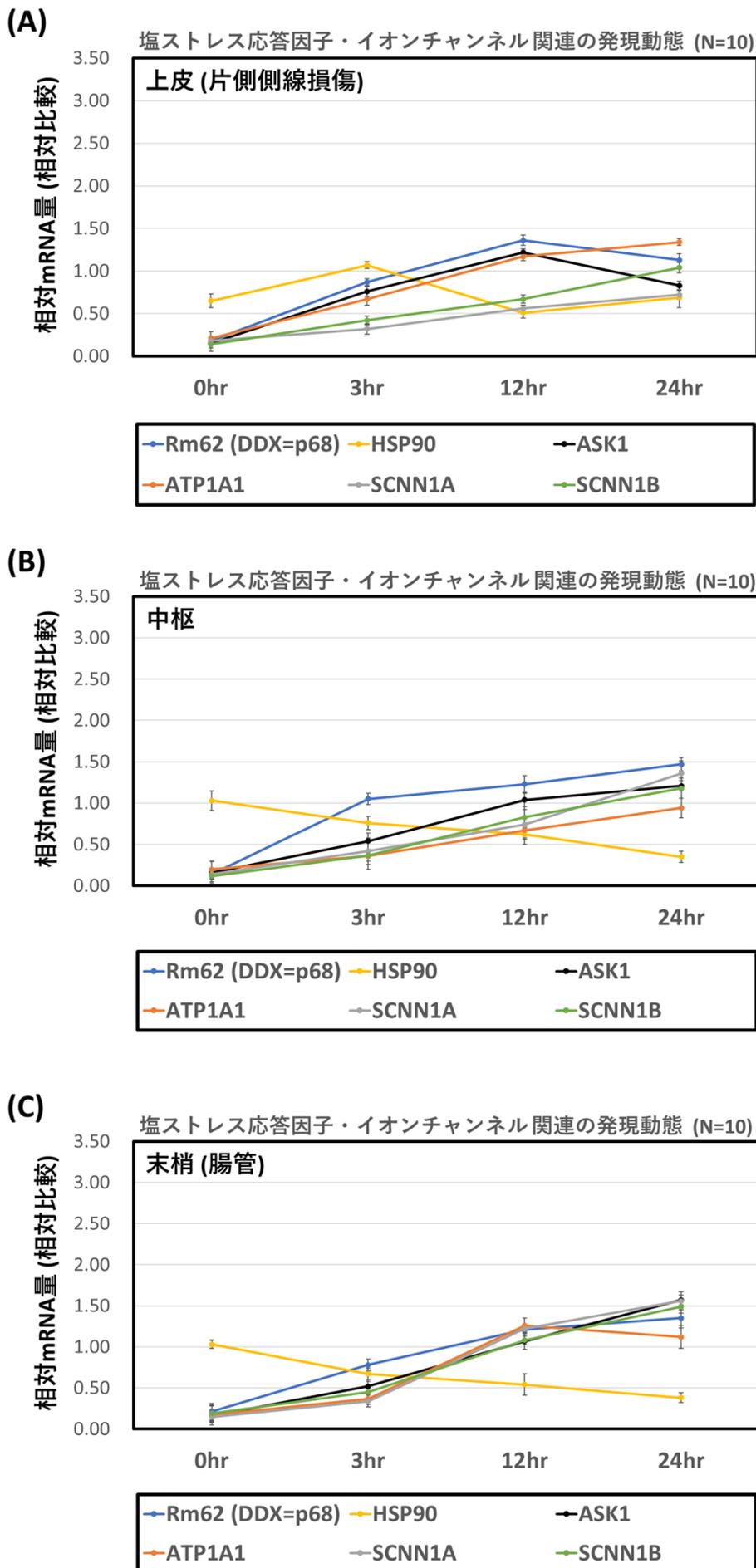
補足図 4-4: 塩ストレス応答関連遺伝子の発現確認 (汽水移動後 12hr 後に解析)



補足図 4-5: 塩ストレス応答後の恒常性制御 1 (淡水, 汽水への移動後 3hr 後に解析)

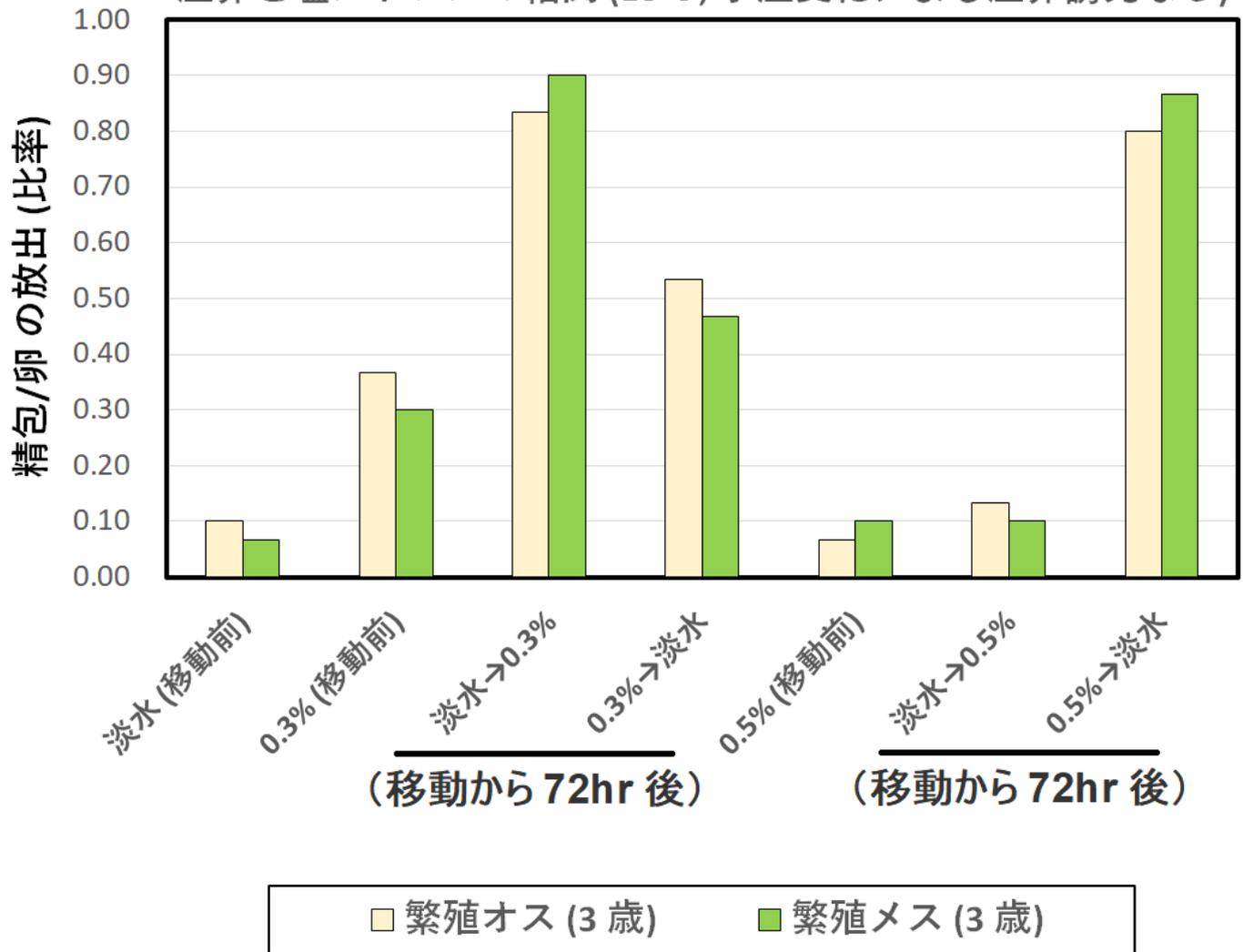


補足図 4-6: 塩ストレス応答因子の変動・経時変化

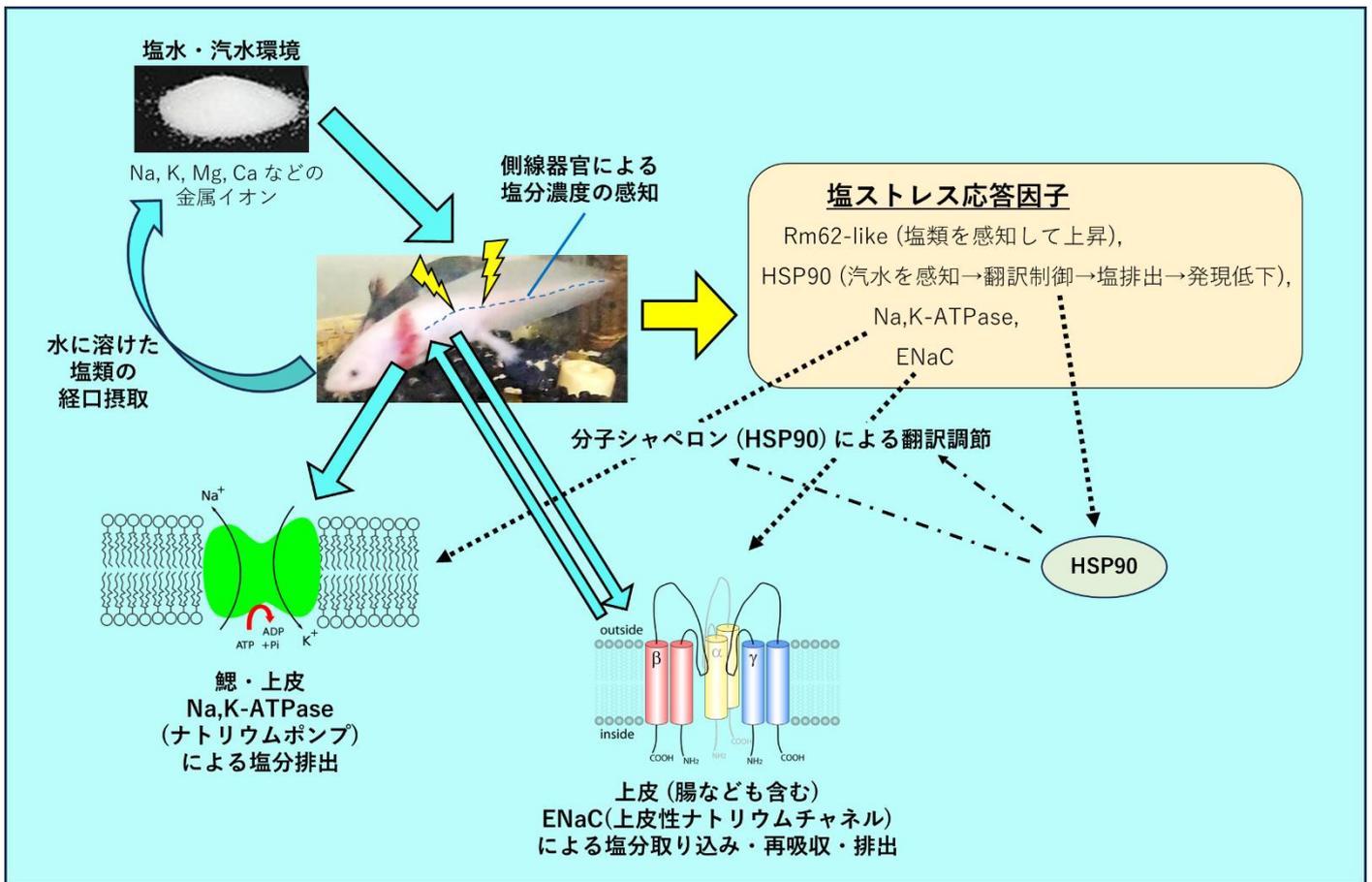


補足図 4-7: 側線器官を損傷した個体における塩ストレスへの応答性

産卵と塩ストレスの相関 (18°C; 水温変化による産卵誘発なし)



補足図 4-8: 塩ストレスと産卵制御の関係性



補足図 4-9: 塩ストレス感知とストレス応答のフィードバックループ

(A) 健康な頃 (アカムシや固形餌で飼育)



(B) 衛生的に良くなかったと思われるマグロを摂食した場合 (数か月経過後)



(C) 類似の症状を発現した生体の腸内環境および水槽の底材に棲む微生物一覧

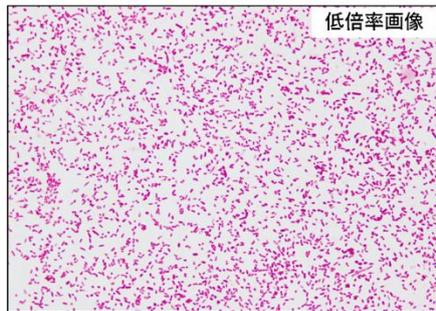
性質・種類	学名	属・分類	備考
グラム陰性細菌	<i>A. hydrophila</i> , <i>A. sobria</i>	エロモナス類	感染症の原因菌
	<i>F. columnare</i>	カラムナリス類	感染症の原因菌
	<i>N. europaea</i>	ニトロソモナス類	アンモニア硝化菌
	<i>N. winogradskyi</i>	ニトロバクター類	亜硝酸酸化菌
	<i>S. enterica</i>	サルモネラ類	腸内細菌
	<i>E. coli</i>	大腸菌	腸内細菌
	<i>Vibrio vulnificus</i>	腸炎ビブリオ	吐き戻しの原因 (好塩細菌)
	<i>Campylobacter jejuni</i>	カンピロバクター類	肉類に付着 (耐塩細菌)
グラム陽性細菌	<i>Staphylococcus aureus</i>	黄色ブドウ球菌類	皮膚の化膿・嘔吐など (耐塩細菌)
	<i>Streptococcus iniae</i>	レンサ球菌	眼球突出、腎臓や脾臓の腫れ、心外膜炎など
	<i>L. plantarum</i>	乳酸菌	腸内細菌
藻類 (水苔)	<i>B. subtilis</i>	枯草菌類	濾過バクテリア
	<i>C. pediculus</i>	コッコネイス属	珪藻類
	<i>T. lacustris</i>	テトラスポラ属	緑藻類
真菌 (カビ)	<i>M. willeana</i>	ミクロスポラ属	糸状緑藻類
	<i>S. cerevisiae</i>	出芽酵母	パン酵母
	<i>S. pombe</i>	分裂酵母	ビール酵母
	<i>Rhodotorula</i>	赤色酵母	赤色酵母
	<i>S. parasitica</i>	ミズカビ属	水質浄化、 増えすぎると 水カビ病の原因
	<i>A. proliferata</i>	ワタカビ属 (卵菌類)	
	<i>A. proliferoides</i>		
<i>A. racemosa</i>			
<i>A. cochlioides</i>	アフアノマイセス属 (糸状菌類)		

市販の刺身から検出される有害な雑菌類 (塩にも強い)

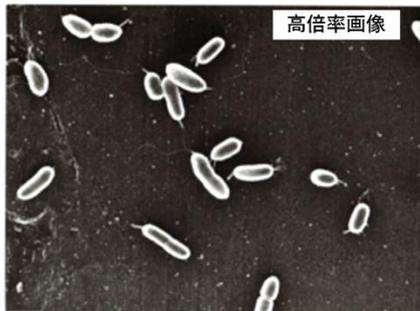
補足図 5-1: 生餌由来の耐塩性の雑菌による感染症・腸内環境の乱れ\_1

### 腸炎ビブリオ

*Vibrio parahaemolyticus*



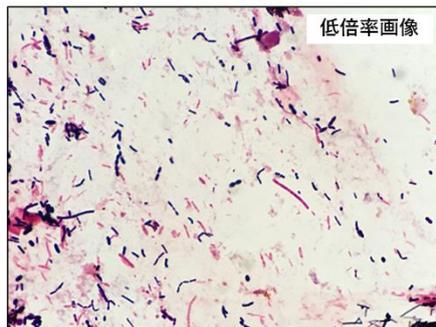
腸炎ビブリオ 蛍光顕微鏡写真 - Bing images



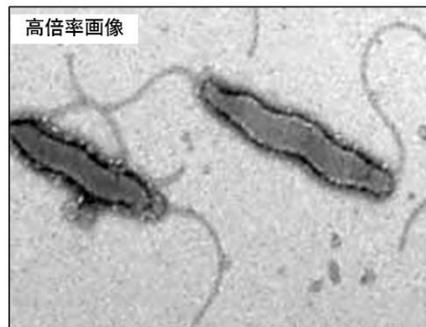
[http://www.hk-wj.co.jp/epphoto/ep\\_vpara.html](http://www.hk-wj.co.jp/epphoto/ep_vpara.html)

### カンピロバクター

*Campylobacter jejuni*



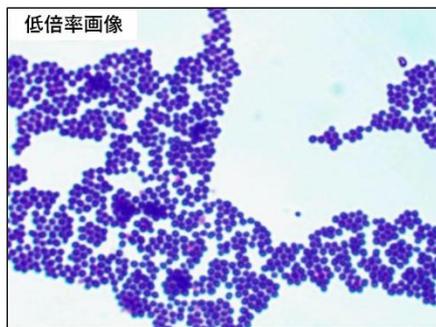
Campylobacter jejuni - 亀田総合病院 感染症科 (kameda.com)



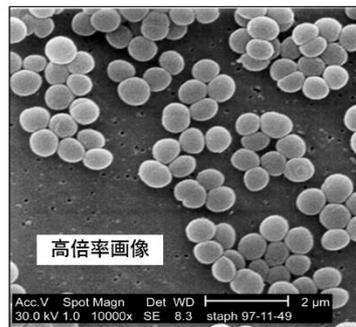
日本細菌学会 (jsbac.org)

### 黄色ブドウ球菌

*Staphylococcus aureus*



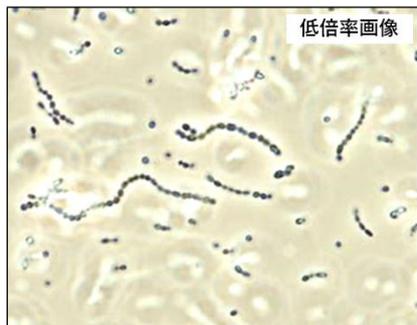
【激に入り顔に入り】黄色ブドウ球菌の鼻中身に注意。(1/2ページ) - 産経ニュース (sankei.com)



黄色ブドウ球菌 | あんしん あんぜん はりねずみ (riskhedgehog.com)

### (魚類感染性)レンサ球菌

*Streptococcus iniae*



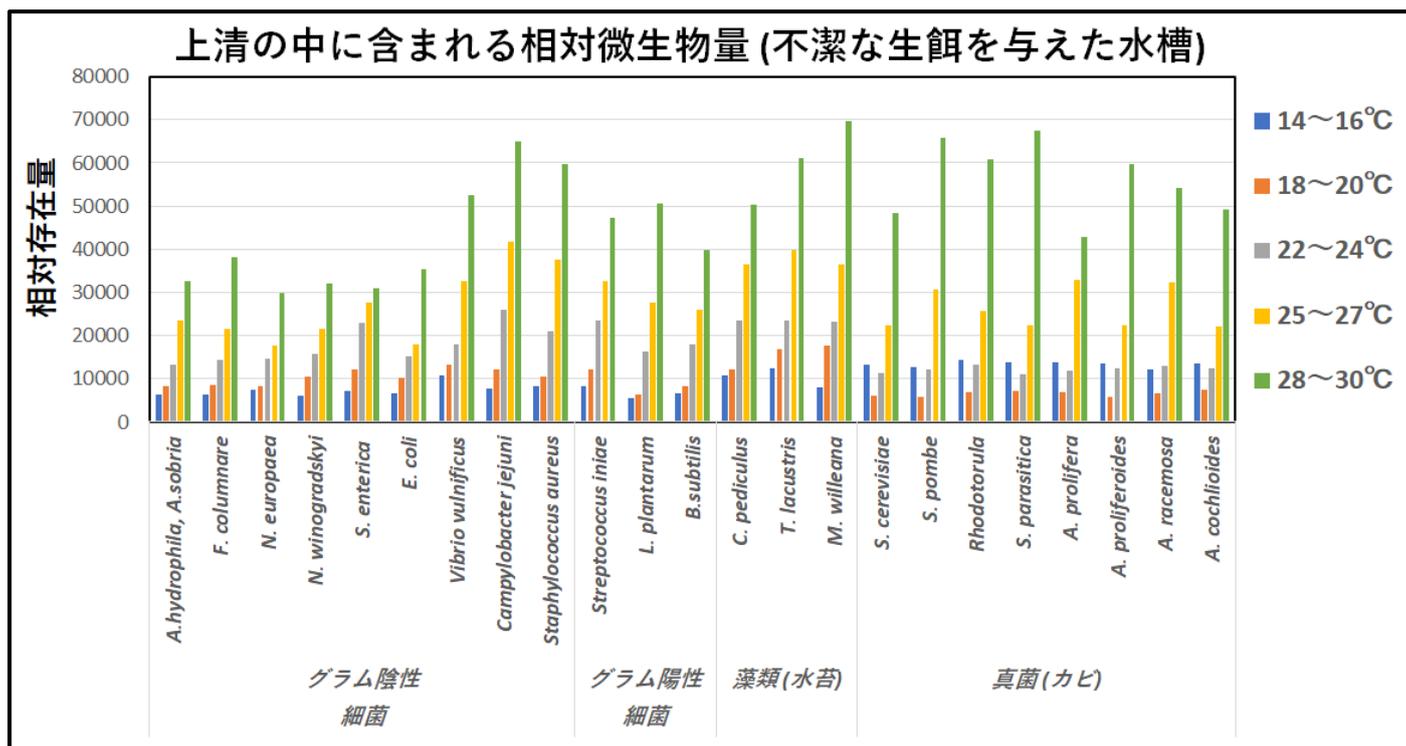
Streptococcus iniae - Wikipedia



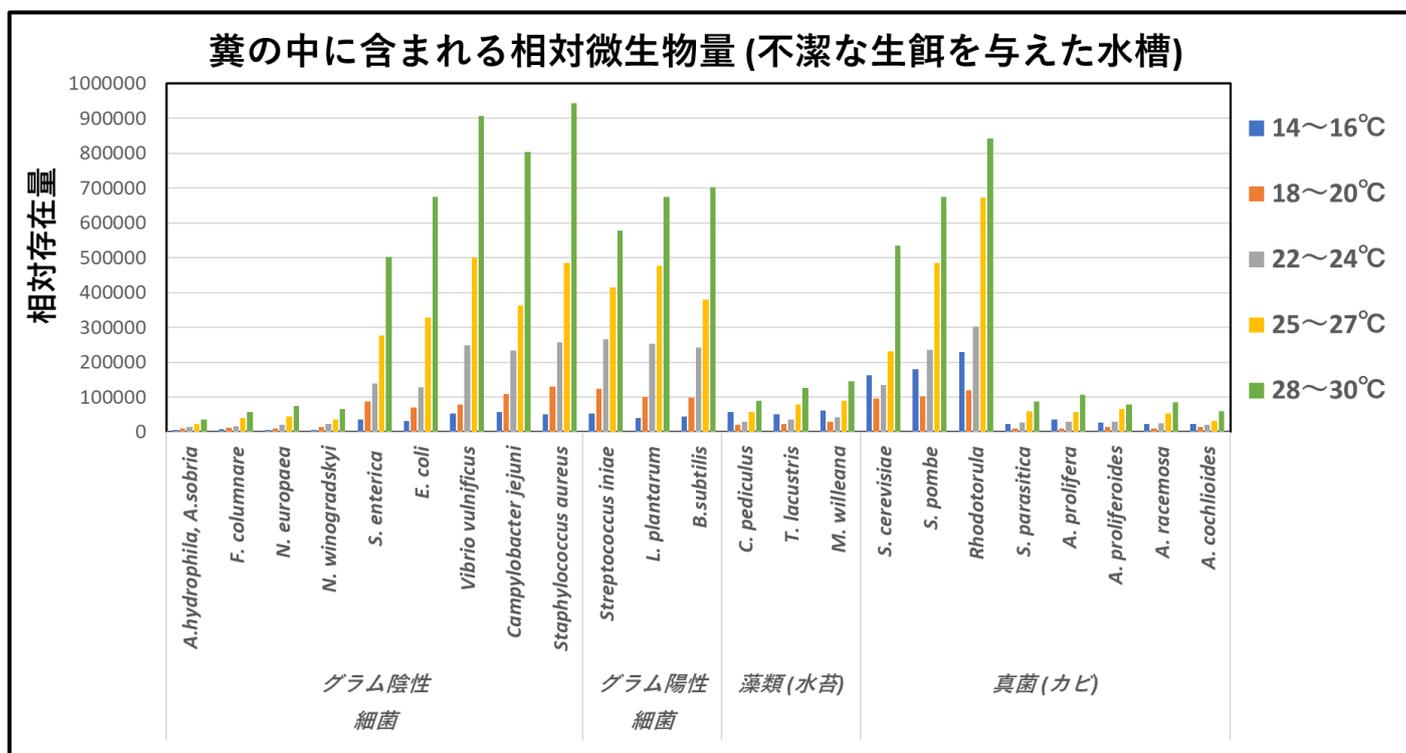
Scanning electron micrographs of Bacillus subtilis treated (8 mg/ml)... | Download Scientific Diagram (researchgate.net)

補足図 5-2: 生餌由来の耐塩性の雑菌の顕微鏡写真画像 (参考資料)

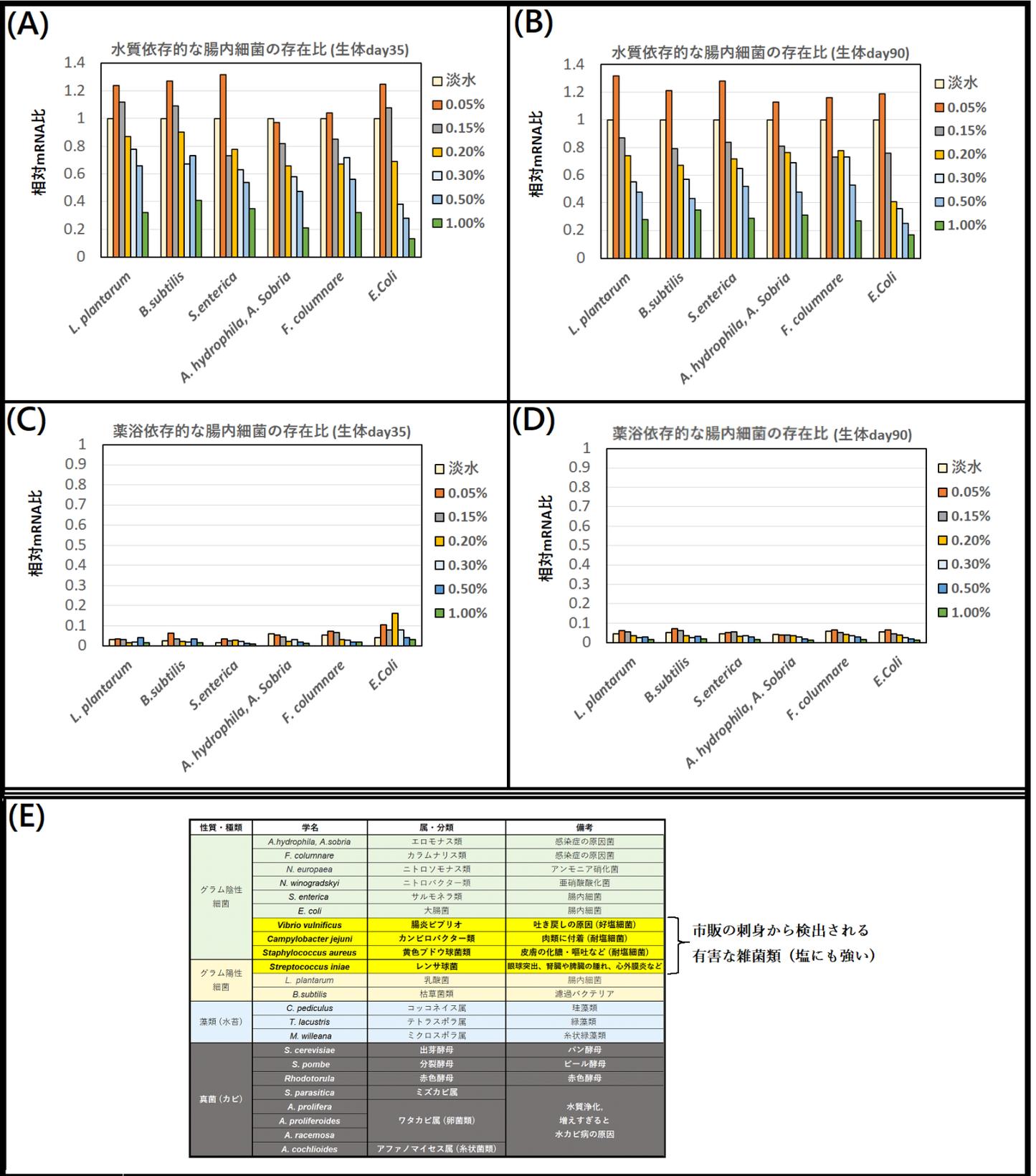
(A)



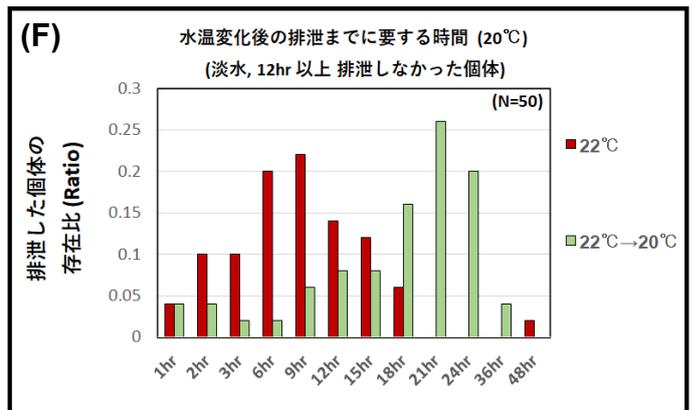
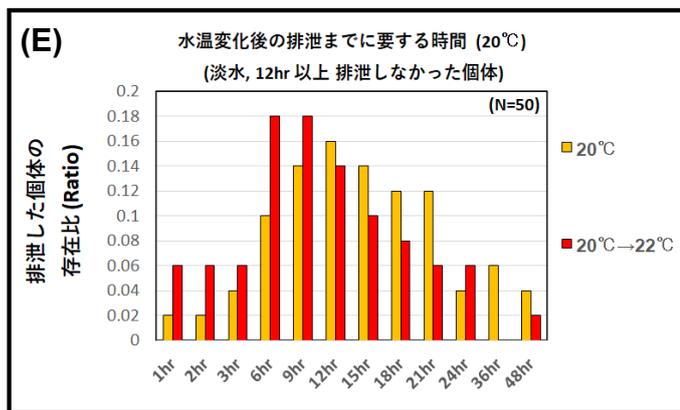
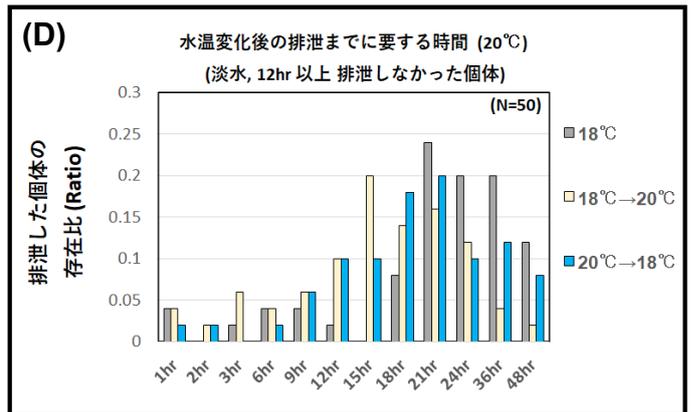
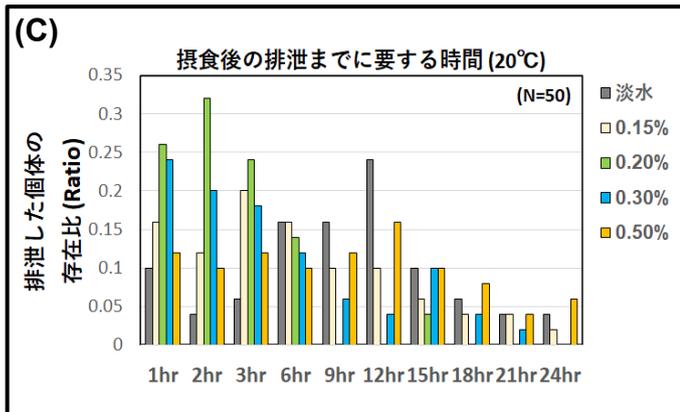
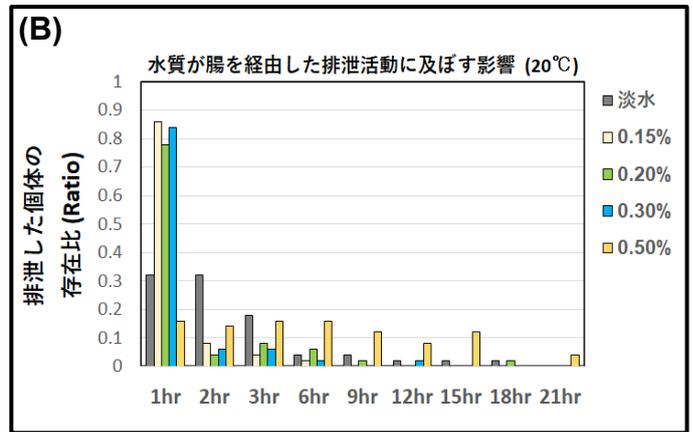
(B)



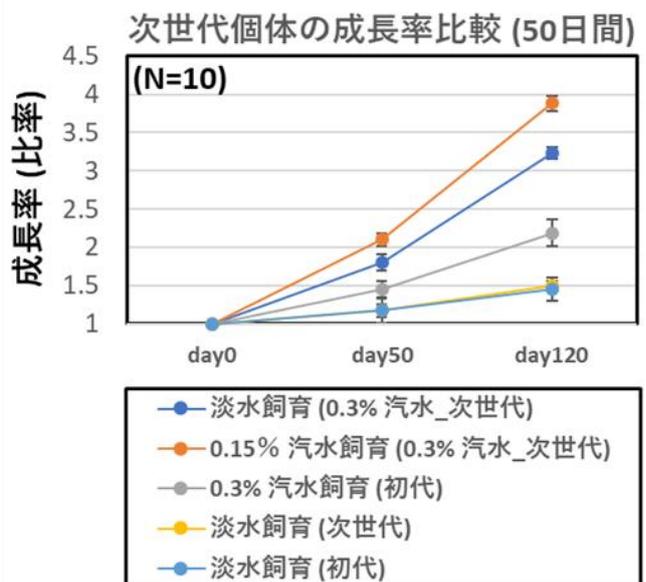
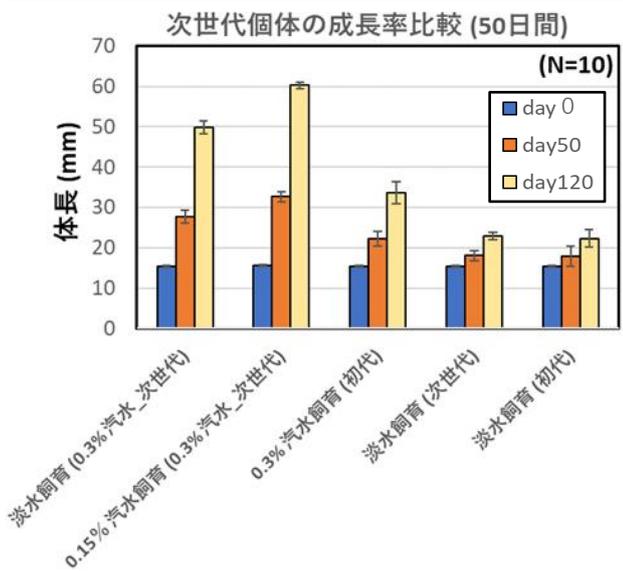
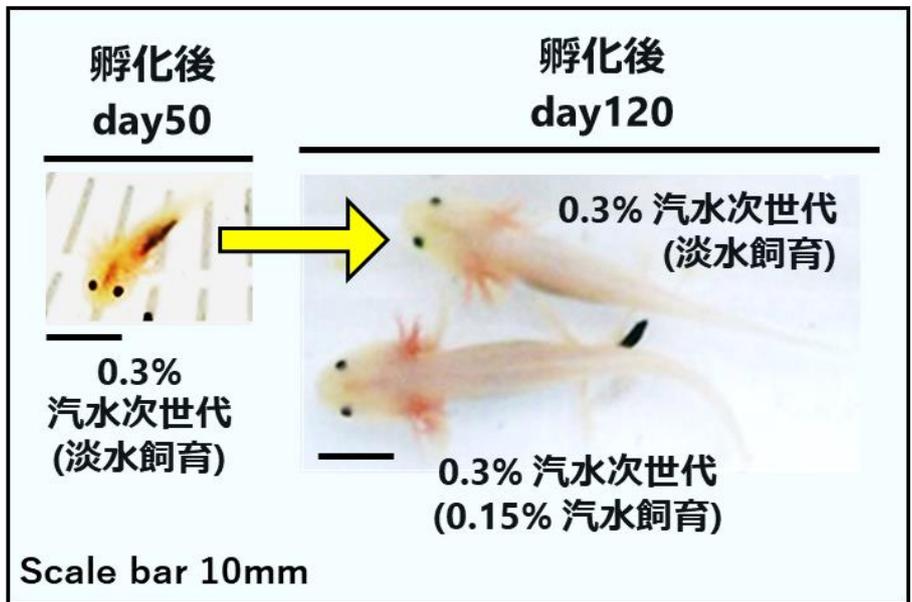
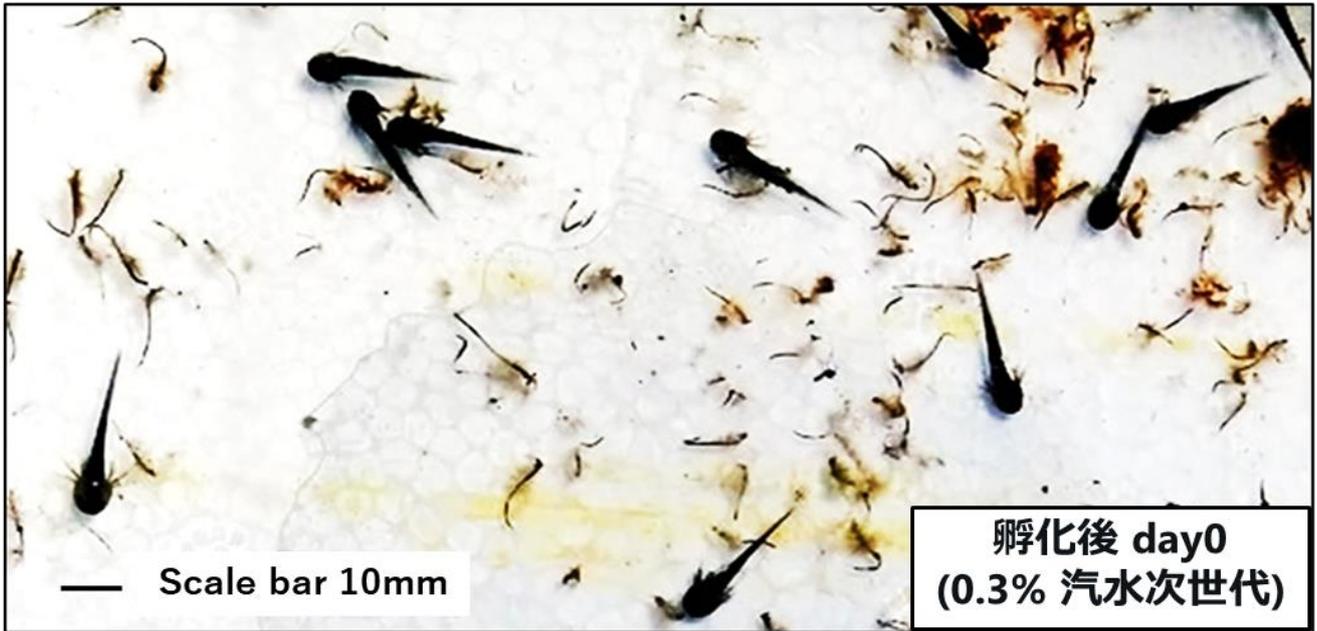
補足図 5-3: 飼育水槽における生餌由来の耐塩性の雑菌の存在率・存在比



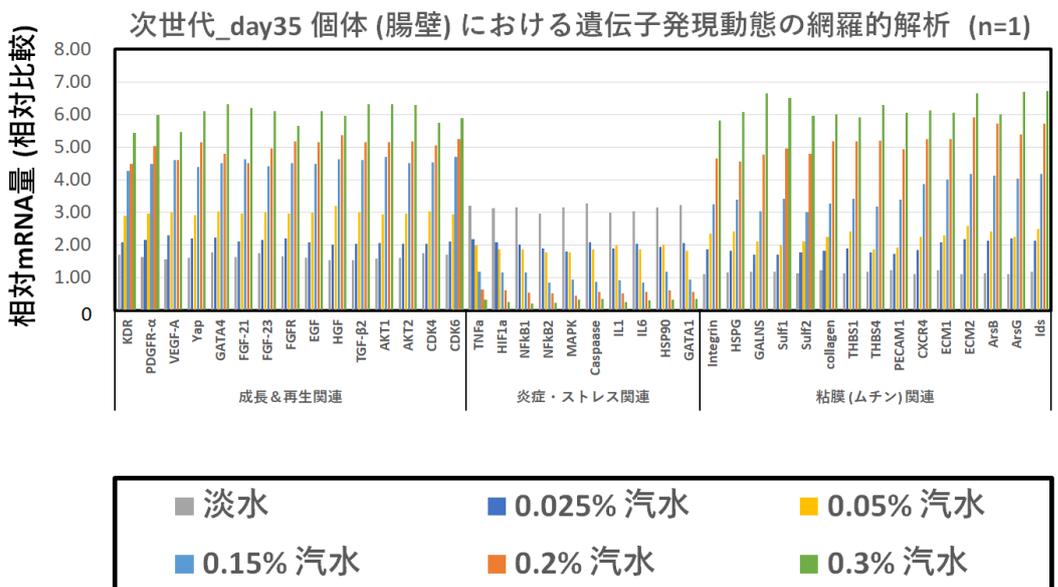
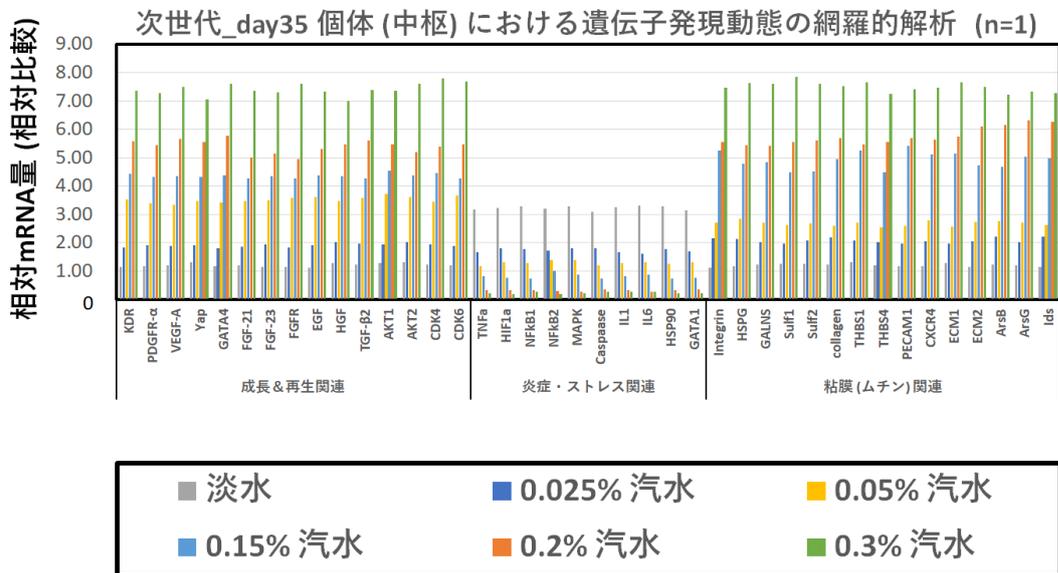
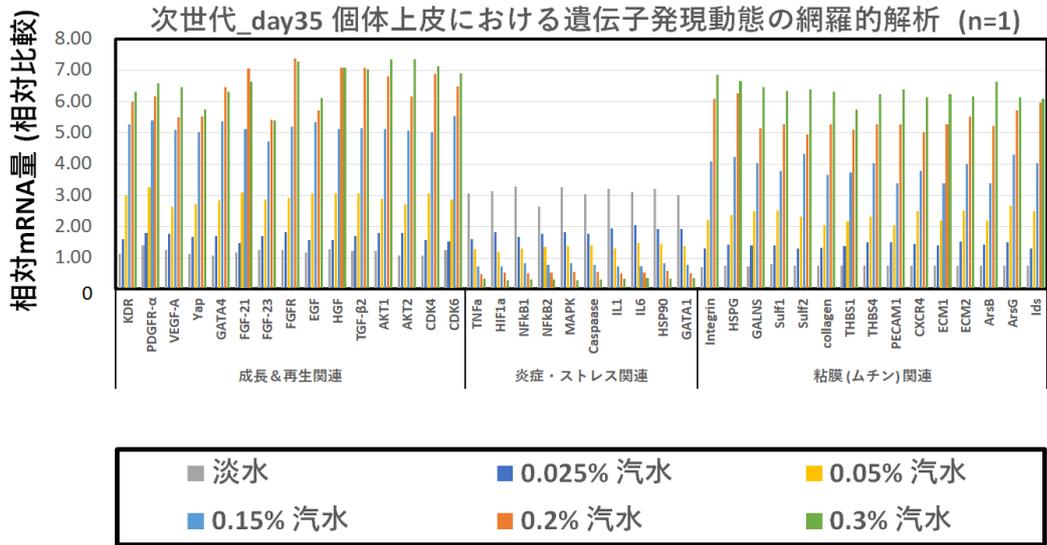
補足図 5-3: アホートルの腸内における耐塩菌の塩分濃度依存的な存在比



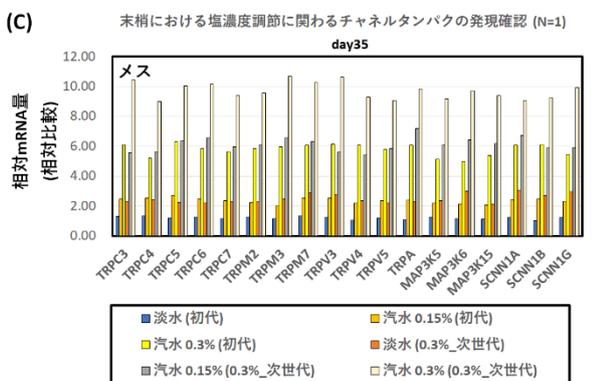
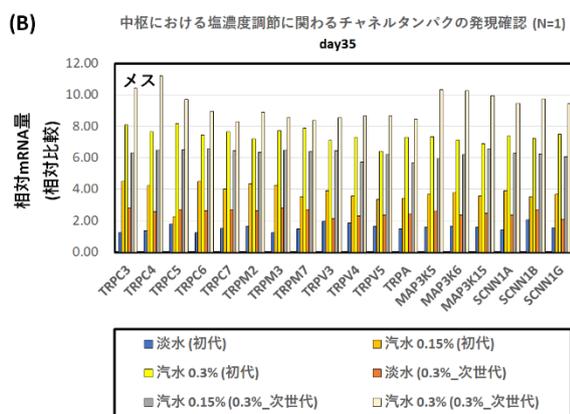
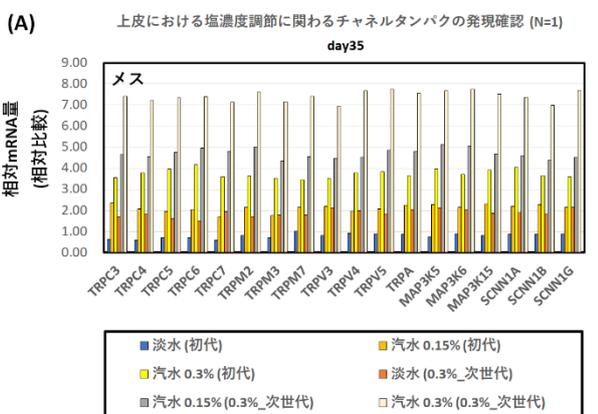
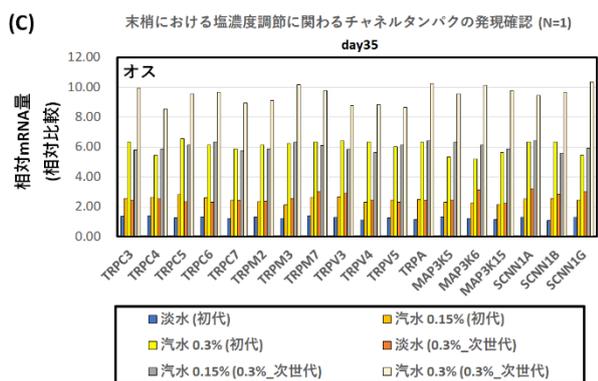
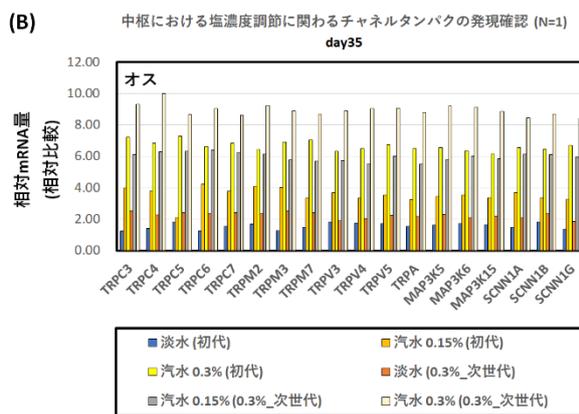
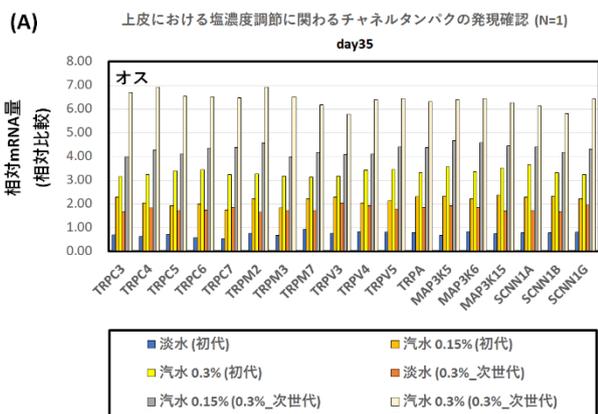
補足図 6: 換水刺激および汽水条件によって活性化される整腸作用



補足図 7: 汽水飼育次世代個体の成長率



補足図 8: 汽水飼育次世代個体の遺伝子の発現動態



補足図 9: 汽水飼育個体における塩分調節に関わる因子の発現動態

# 因子 1. TRP チャンネル

Transient receptor potential (TRP) チャンネルは、6 回膜貫通領域を有する TRP タンパク質群のホモあるいはヘテロ 4 量体によりなる多様な陽イオンチャンネルである。TRP チャンネルの活性化開口は、温度、機械刺激、痛み、酸-塩基といった種々の物理化学的刺激によって惹起され、多くが高い Na<sup>+</sup> および Ca<sup>2+</sup> 透過能を示す。**様々な組織に TRP チャンネルは分布するが、中枢・末梢神経系において高発現する。**神経機能に重要な役割を果たす TRP チャンネルがいくつか存在しており、それらの機能障害は、神経変性疾患や精神疾患など様々な病気に関連している。

羊土社: 実験医学 2014 年 3 月号 Vol.32 No.4

## TRP チャンネルで感じるしくみ, 動かすしくみ

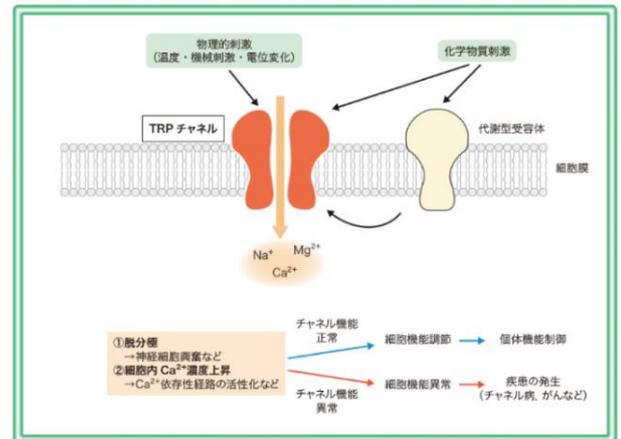
熱や痛みのセンサー機構解明と創薬の期待 富永真琴/企画

2014 年 02 月 20 日発行 B5 判 135 ページ

ISBN 978-4-7581-0125-7

・ <https://www.yodosha.co.jp/jikkenigaku/book/9784758101257/504.html>

- ・ [TRP チャンネルがさまざまな刺激に応答できる仕組み](#)
- ・ [Transient receptor potential チャンネル - 脳科学辞典 \(neuroinf.jp\)](#)



概念図 1 TRP チャンネルの機能 実験医学 2014年3月号 Vol.32 No.4

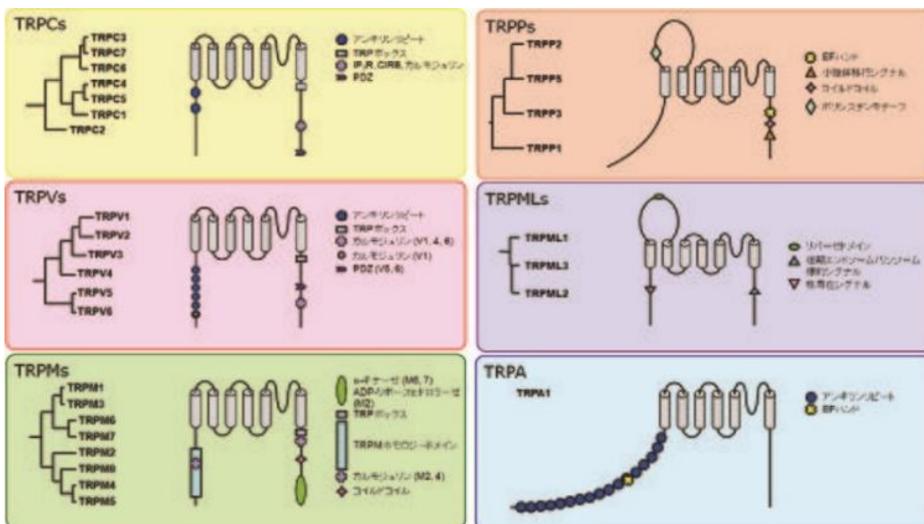
## TRPV によるアホロートルの熱感知に関する論文

Shogo. H et al., Nature Communications (2023)

<https://www.nature.com/articles/s41467-023-38051-1>

## TRP タンパク質の種類・・・7つのサブファミリー (メキシコサラマンダーでは 4 種類確認)

- ・ TRPC (canonical)・・・[Axolotl database](#)
- ・ TRPM (melastatin)・・・[Axolotl database](#)
- ・ TRPV (vanilloid)・・・[Axolotl database](#)
- ・ TRPML (mucolipin)・・・Axolotl database では確認できず。
- ・ TRPP (polycystin)・・・Axolotl database では確認できず。
- ・ TPRA (ankyrin)・・・[Axolotl database](#)
- ・ TRPN (nompC : no mechanoreceptor potential C)・・・Axolotl database では確認できず。



補足図 10: メキシコサンショウウオにおける TRP チャンネルの発現について

## 因子 2. ENaC (上皮性ナトリウムチャネル)

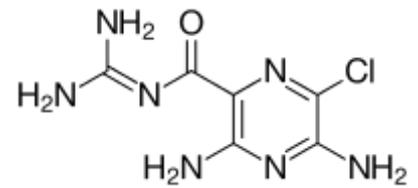
上皮性ナトリウムチャネル

(Epithelial sodium channel、略称: ENaC)

= アミロライド (右の構造式) 感受性ナトリウムチャネル

(amiloride-sensitive sodium channel)

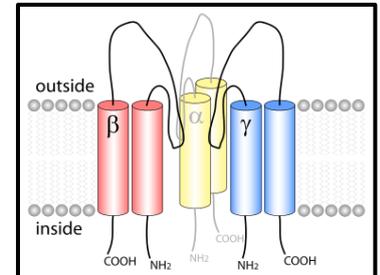
[上皮性ナトリウムチャネル - Wikipedia](#)



膜に結合したイオンチャネルで、ナトリウムイオン ( $\text{Na}^+$ ) を選択的に透過させる。

3つの相同なサブユニット、 $\alpha$  (または  $\delta$ )、 $\beta$ 、 $\gamma$  から構成されるヘテロ三量体のタンパク質。

サブユニットとコードする遺伝子: SCNN1A、SCNN1B、SCNN1G、SCNN1D



### 機能

- ・主に腎臓のネフロン集合管でのナトリウムイオンの再吸収に関与している。
- ・密着した上皮細胞の頂端膜に発現し、利尿作用のある遮断薬アミロライドに対する高い親和性を示す。
  - 体の塩分と水分の恒常性の維持に必須である、能動的な  $\text{Na}^+$  再吸収の最初期段階を媒介する。
- ・脊椎動物では、腎臓、腸、肺、汗腺でナトリウムの再吸収を制御する。
- ・味覚にも関与あり。

### Axolotl genome browser (<https://genome.axolotl-omics.org/>)

Axolotl\_SCNN1A

- ・ [database 1](#)
- ・ [database 2](#)

Axolotl\_SCNN1B

- ・ [database 1](#)
- ・ [database 2](#)

Axolotl\_SCNN1G

- ・ [database 1](#)

※ Axolotl\_SCNN1D は存在せず。

### 補足図 11: メキシコサンショウウオにおける ENaC (上皮性ナトリウムチャネル) の発現について



(A): アカハライモリ (生体)



(B): エゾサンショウウオ (幼体)



(B'): エゾサンショウウオ (上陸後)

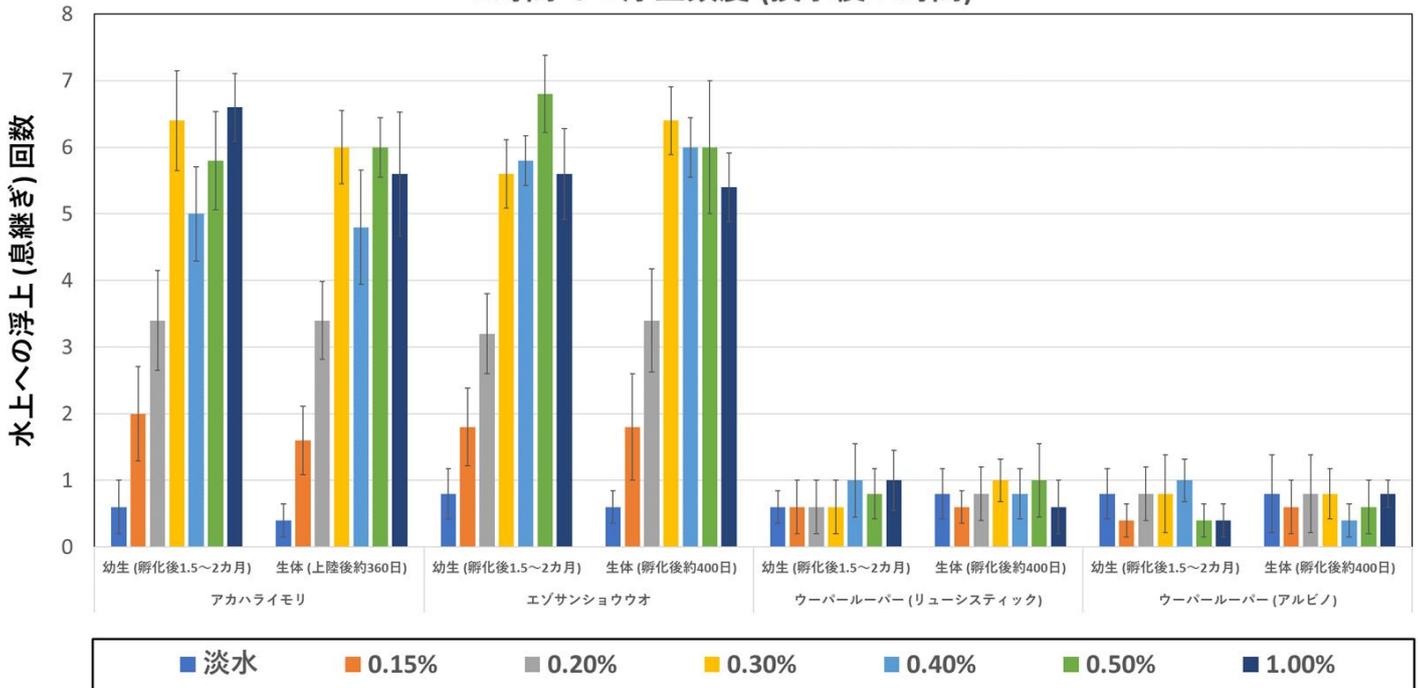


(C): メキシコサンショウウオ (幼生)



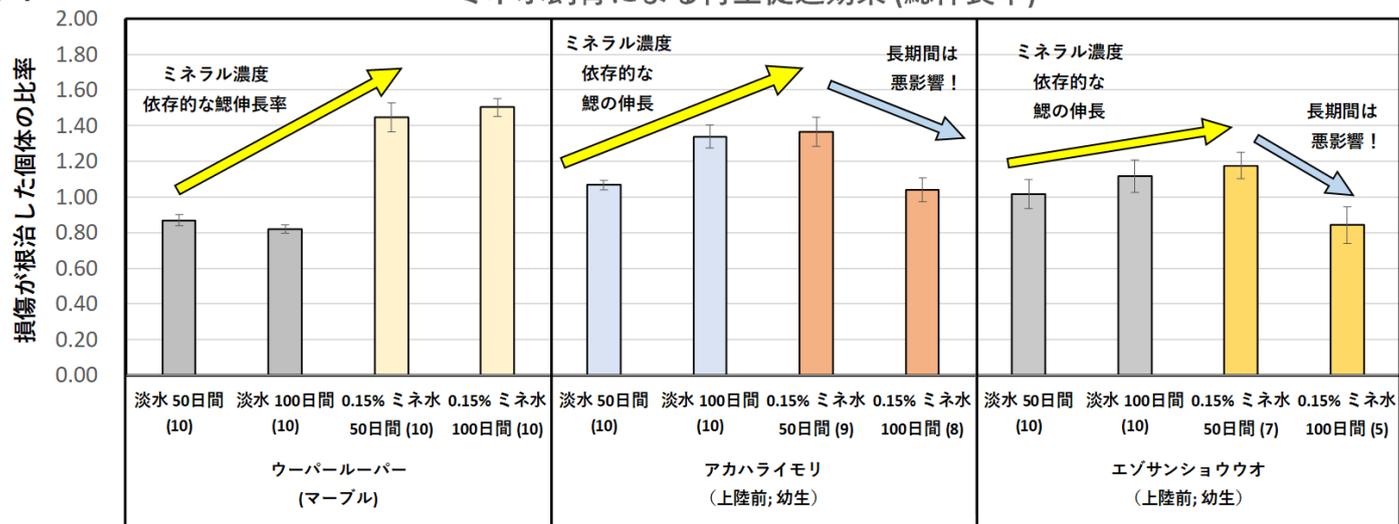
(C'): メキシコサンショウウオ (生体)

(D) 1時間での浮上頻度 (換水後24時間)

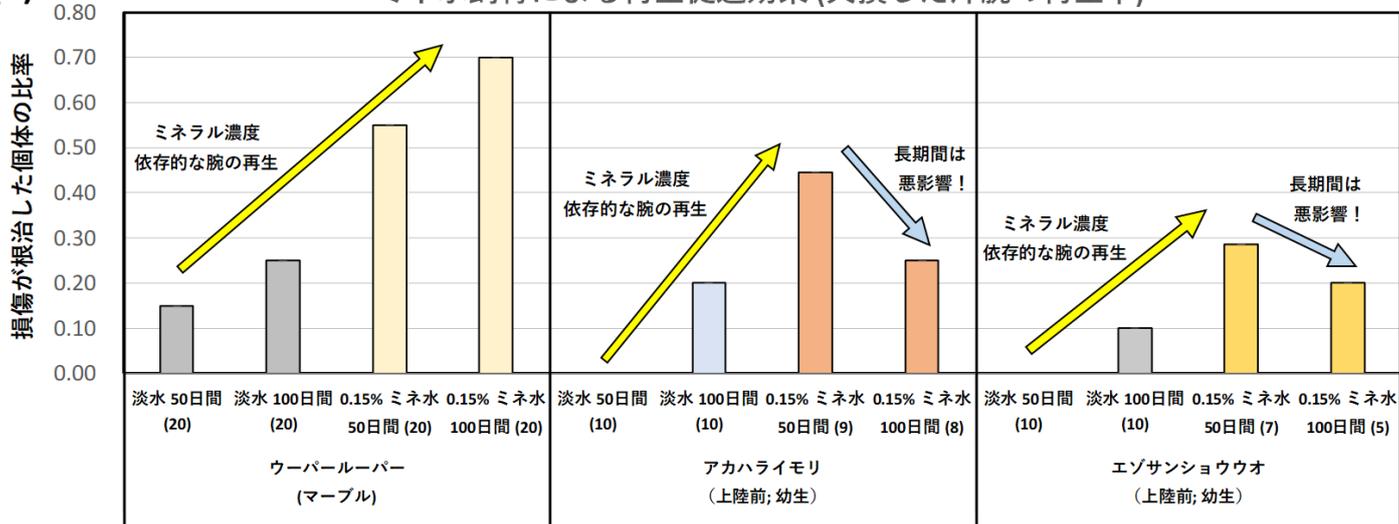


補足図 12: イモリ・サンショウウオ類の塩水適応に関する調査結果 ①

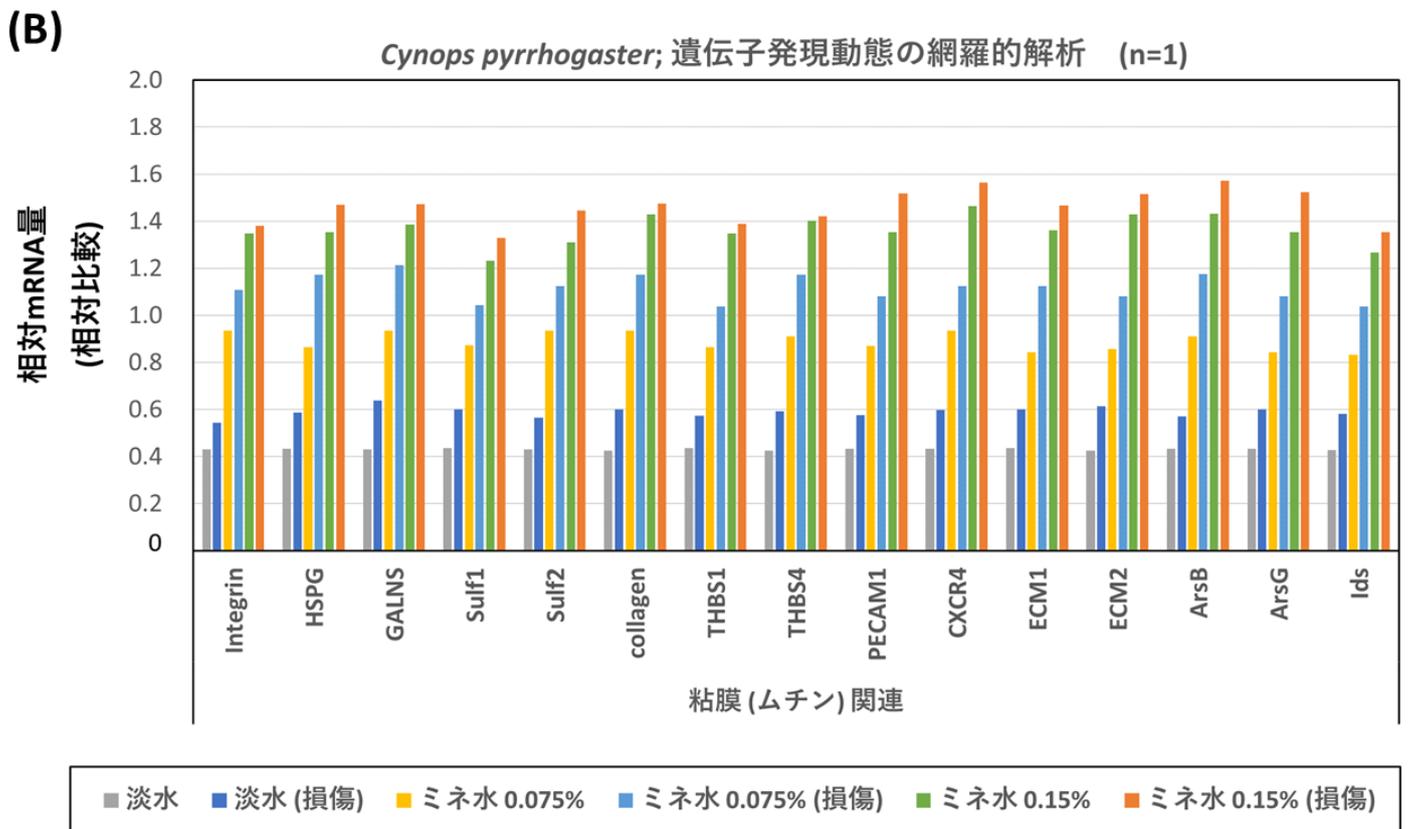
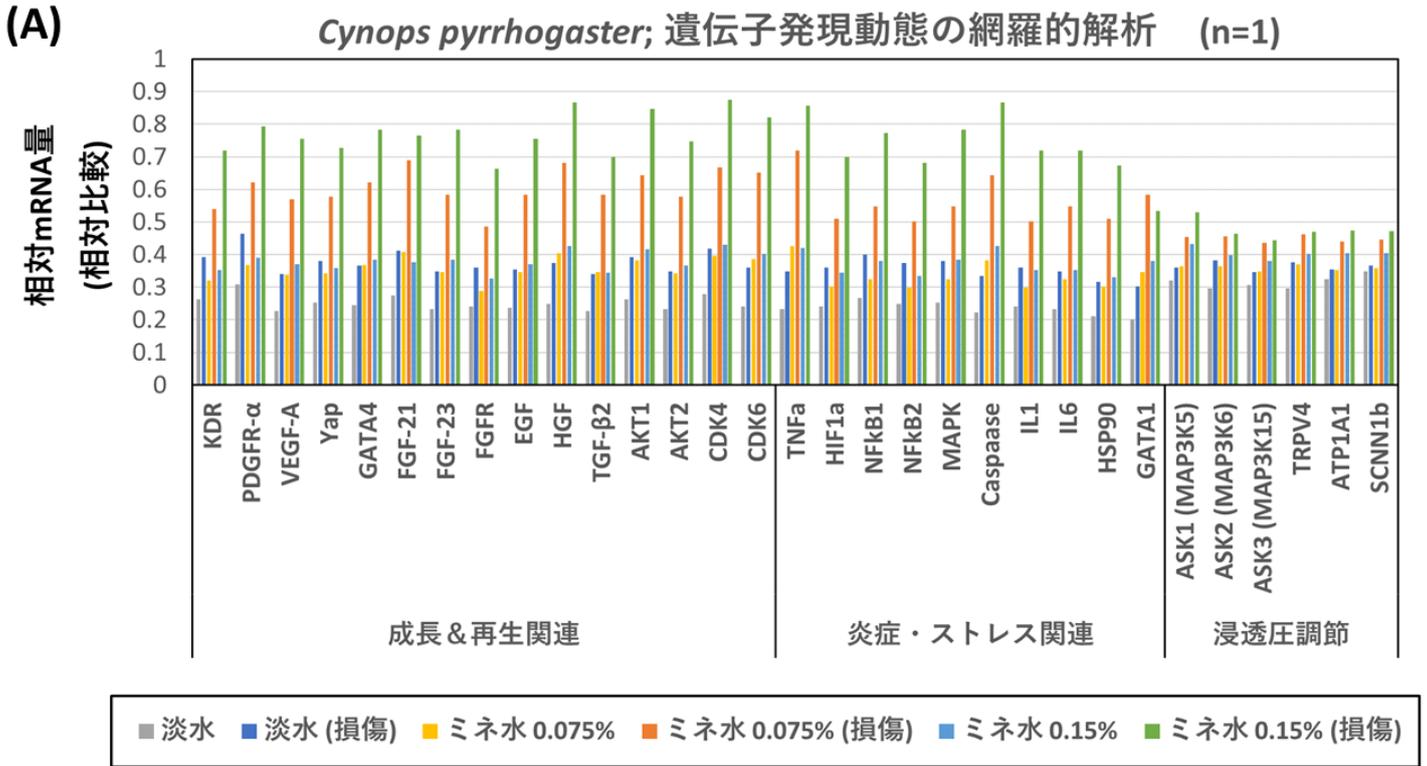
(A) ミネ水飼育による再生促進効果 (鰓伸長率)



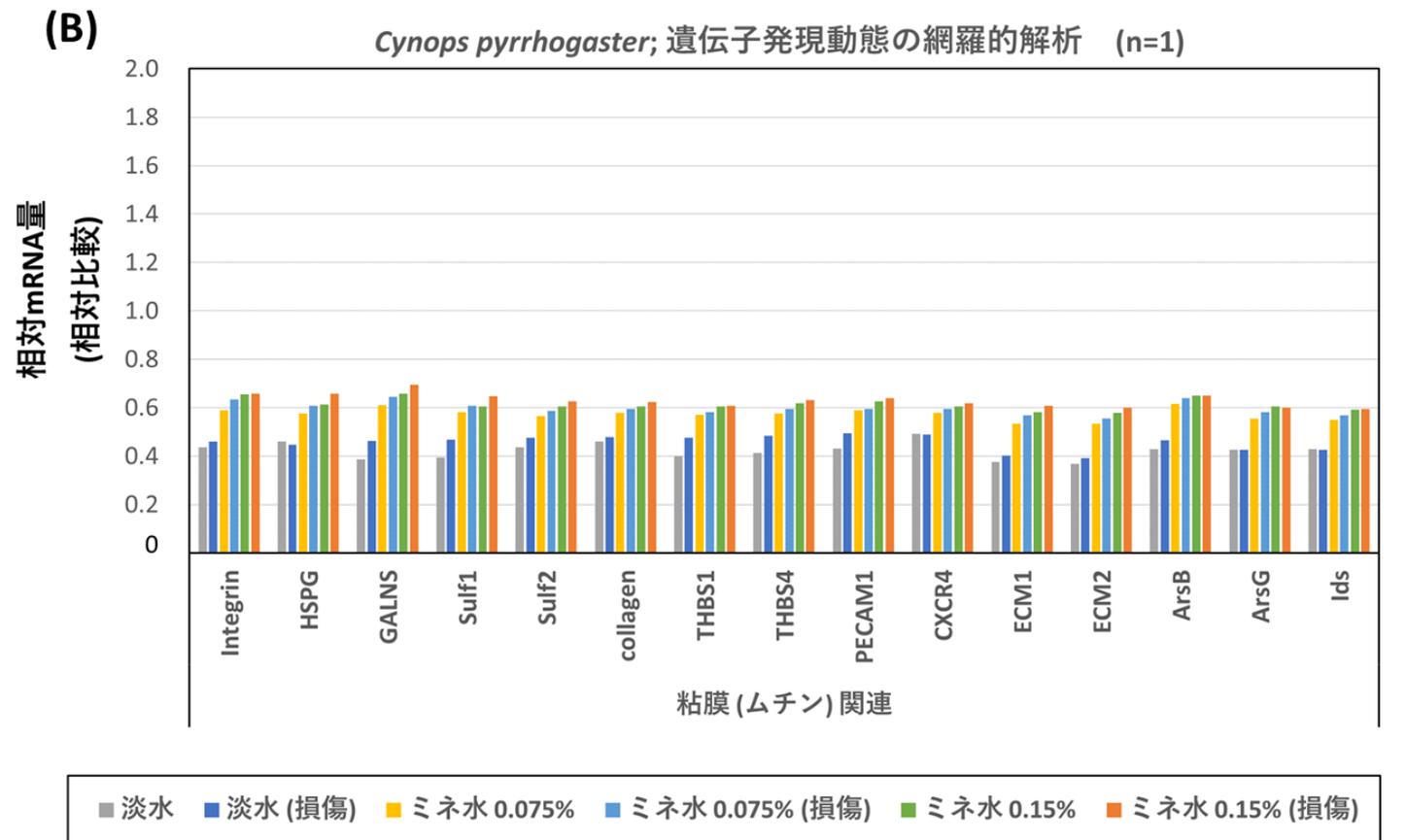
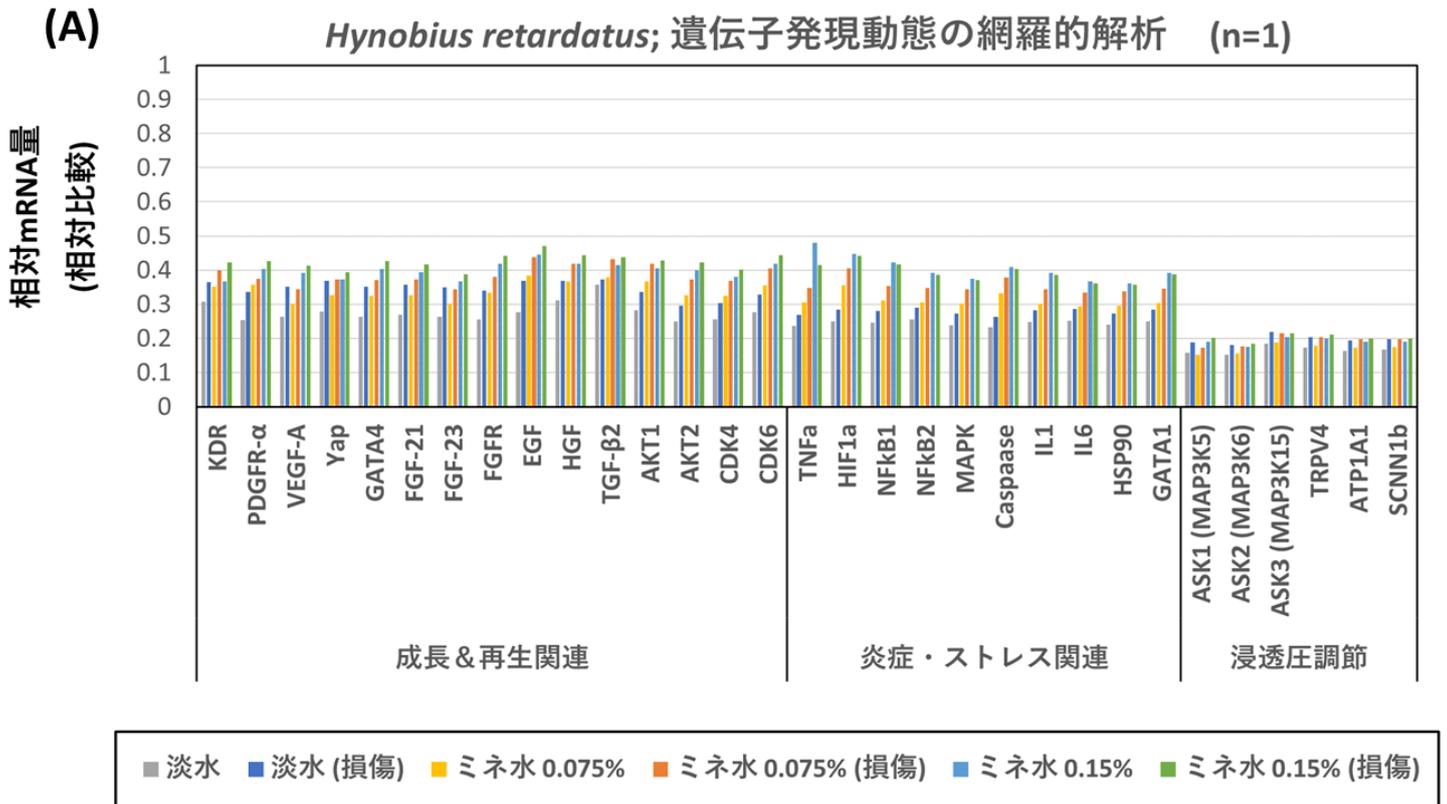
(B) ミネ水飼育による再生促進効果 (欠損した片腕の再生率)



補足図 13: イモリ・サンショウウオ類の塩水適応に関する調査結果 ②



補足図 14: イモリ・サンショウウオ類の塩水適応に関する調査結果 ③



補足図 15: イモリ・サンショウウオ類の塩水適応に関する調査結果 ④

## 参考文献 References

### [1] アホロートルの生息地と塩の効果

【改訂版】総説: ウーパールーパー / 虫・魚の飼育係 ～飼育の最新情報・学術データまとめ～

杉山 遥 ほか 2023年4月19日. Doi. [https://researchmap.jp/HAL\\_lab\\_Axolotl/published\\_papers/41527304](https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/41527304)

【研究発表】メキシコサンショウウオの生活環における汽水環境の重要性

杉山 遥 2023年8月12日. Doi. [https://researchmap.jp/HAL\\_lab\\_Axolotl/published\\_papers/43071118](https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/43071118)

アホロートルの飼育・治療最新情報

杉山 遥 2022年12月25日. Doi. [https://researchmap.jp/HAL\\_lab\\_Axolotl/published\\_papers/edit?limit=20&start=21](https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/edit?limit=20&start=21)

メキシコサンショウウオの成長・生育を制御する因子の探索.

> はるらぼ会報誌・ウーパールーパーだより vol 1.0, 1.2, 1.3

杉山 遥 2022年4月. Doi. [https://researchmap.jp/HAL\\_lab\\_Axolotl/published\\_papers/41303617](https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/41303617)

渡部 久. 2018.ソチミルコにおけるウーパールーパーの保護.アミーゴ会だより

2018年7月. 1-2. <http://www.mex-jpn-amigo.org/>

Susan T. Duhon. 1997. The Axolotl and its Naïve Habitat—Yesterday and Today. Axolotl Newsletter Number (Jordan Hall 407 Bloomington, IN 47405). 26. p14-17.

Cecilia Robles Mendoza. Claudia Elizabeth García Basilio. Ruth Cecilia Vanegas Pérez. 2009. Maintenance media for the axolotl *Ambystoma mexicanum* juveniles (Amphibia: Caudata). *Hidrobiológica* 19 (3): 205-210

R. Loh, BSc, BVMS, MPhil, MANZCVS, CertAqV. 2015. Common Disease Conditions in Axolotls. World Small Animal Veterinary Association World Congress Proceedings (The Fish Vet, Perth, WA, Australia). <https://www.vin.com/apputil/content/defaultadv1.aspx?id=7259254&pid=14365&print=1>

Kristen Meiler. 2016. Effect Of Salinity On Embryonic Axolotl Development. Proceedings of The National Conference On Undergraduate Research (NCUR). University of North Carolina Asheville Asheville, North Carolina April 7-9. p1209-1219

## [2] 塩ストレス応答関連因子

### ***Drosophila* Rm62 (p68: RNA helicase)**

<https://flybase.org/reports/FBgn0003261.html>

<https://www.uniprot.org/uniprotkb/A0A0B4K6T7/entry>

<https://string-db.org/network/7227.FBpp0078301>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5977223/>

<https://www.sdbonline.org/sites/fly/genebrief/rm62.htm>

オオムギ HVD1 遺伝子 (RNA 安定化による塩ストレス応答)

<https://patents.google.com/patent/JP2002034576A/ja>

### **Ddx5 DEAD box helicase 5 (mouse)**

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/13207>

<https://www.uniprot.org/citations/18923150>

<https://www.ptglab.co.jp/products/DDX5,p68-Antibody-10804-1-AP.htm>

<https://www.informatics.jax.org/marker/MGI:105037>

### **Axolotl Ddx5 (RNA helicase)**

[Ab205\\_0121330 \[nr\]|Ddx5 \[hs\]|AMEX60DDU001010528.1 at C0091322:43079-43451](#)

[Ddx5|AMEX60DD102031103.4 at chr3q:1134886835-1134901345](#)

[Lypa\\_23c009910 \[nr\]|Ddx5 \[hs\]|AMEX60DD102031103.7 at chr3q:1134886835-1134901345](#)

[Ddx5|AMEX60DD301031103.8 at chr3q:1134886841-1134901345](#)

[Ddx5|AMEX60DD301031103.1 at chr3q:1134886783-1134901345](#)

[Ddx5 \[nr\]|AMEX60DD103031103.2 at chr3q:1134886833-1134900265](#)

[Ddx5|AMEX60DD301031103.3 at chr3q:1134886833-1134901345](#)

[Ddx5|AMEX60DD301031103.5 at chr3q:1134886835-1134901345](#)

[Ddx5|AMEX60DD301031103.6 at chr3q:1134886835-1134901345](#)

### **ナトリウムポンプ (Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPase)**

[\\_pdf \(jst.go.jp\)](#)

[The ion channels and transporters gene expression profile indicates a shift in excitability and metabolisms during malignant progression of Follicular Lymphoma | Scientific Reports \(nature.com\)](#)

[ATP1A1 Gene - GeneCards | AT1A1 Protein | AT1A1 Antibody](#)

### **Gene (AT1A1)**

[Atp1a1|AMEX60DD201046820.1 at chr7p:25783485-25795887](#)

[Atp1a1.l \[nr\]|Atp1a1 \[hs\]|AMEX60DD201046821.1 at chr7p:25797999-25804340](#)

[Loc100564542 \[nr\]|Atp1a1 \[hs\]|AMEX60DD301046822.1 at chr7p:26396900-26497791](#)

[Atp1a1.l \[nr\]|Atp1a1 \[hs\]|AMEX60DD103046825.4 at chr7p:27410663-27444615](#)

[Atp1a1.s \[nr\]|Atp1a1 \[hs\]|AMEX60DD103046825.5 at chr7p:27410777-27446317](#)

[Atp1a1.l \[nr\]|Atp1a1 \[hs\]|AMEX60DD301046823.1 at chr7p:26498062-26558400](#)

[Atp1a1.s \[nr\]|Atp1a1 \[hs\]|AMEX60DD301046823.2 at chr7p:26498483-26558400](#)

[Atp1a1.l \[nr\]|Atp1a1 \[hs\]|AMEX60DD102046825.3 at chr7p:27410643-27468901](#)

[Atp1a1 \[hs\]|AMEX60DD102046884.5 at chr7p:48673209-48919028](#)

[Loc100564542 \[nr\]|Atp1a1 \[hs\]|AMEX60DD201046884.6 at chr7p:48673312-48919028](#)



[Atp1a1.l \[nr\] | Atp1a1 \[hs\] | AMEX60DD301046825.1 at chr7p:27410633-27468901](#)

[Atp1a1.l \[nr\] | Atp1a1 \[hs\] | AMEX60DD103046825.2 at chr7p:27410636-27485429](#)

[Atp1a1 | AMEX60DD201046884.1 at chr7p:48673195-48919028](#)

[Atp1a1 | AMEX60DD201046884.2 at chr7p:48673199-48919028](#)

[Atp1a1 | AMEX60DD201046884.3 at chr7p:48673202-48919028](#)

[Atp1a1 | AMEX60DD201046884.4 at chr7p:48673209-48919028](#)

### **ASK (Apoptosis Signal-regulating Kinase 1)**

[JST 基礎研究報告会 Abstract \(msd-life-science-foundation.or.jp\)](#)

### [3] アホロートルの腸内細菌

【改訂版】腸内細菌と成長制御について\_ウーパールーパー研究報告 (初稿: 22/10/31)

杉山 遥 2023年3月26日. Doi. [https://researchmap.jp/HAL\\_lab\\_Axolotl/published\\_papers/41322789](https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/41322789)

### [4] 食中毒に関わるバクテリア類

#### 雑菌による食中毒

・[http://www.fureaikan.net/syokuinfo/01consumer/con02/con02\\_02/pdf/con02\\_02a.pdf](http://www.fureaikan.net/syokuinfo/01consumer/con02/con02_02/pdf/con02_02a.pdf)

#### ヒスタミン食中毒

・[文献 1](#)

#### 腸炎ビブリオ

・<https://www.kenko-kenbi.or.jp/columns/food/2015/>

・<https://www.niid.go.jp/niid/ja/kansennohanashi/438-vibrio-enteritis.html>

・<https://www.fukushihoken.metro.tokyo.lg.jp/shokuhin/micro/tyouen.html>

・<https://jsbac.org/youkoso/vibrioVulnificus.html>

#### カンピロバクター類

・<http://www.mac.or.jp/mail/060601/02.shtml>

・<https://www.niid.go.jp/niid/ja/diseases/sa/spiruria/392-encyclopedia/385-campylobacter-intro.html>

・<https://www.city.sasebo.lg.jp/hokenhukusi/seikat/2019campy1.html>

#### 黄色ブドウ球菌

・文献 1 <https://jsbac.org/youkoso/staphylococcus.html>

・[文献 2](#)

・[文献 3](#)

#### レンサ球菌症

・[https://www.www2.bioscience.co.jp/gyobyou/?page\\_id=36](https://www.www2.bioscience.co.jp/gyobyou/?page_id=36)

#### アニサキス

・[文献 1](#)

・[文献 2](#)

・<https://www.nishiyama-naika.com/anisakis/>

#### クドア・セブテンpunkタータ

・<http://www.iph.osaka.jp/s008/030/010/010/480/20180404182933.html>

#### 乳酸菌と塩分

・[Taro10-食塩別漬物13.PDF \(pref.iwate.jp\)](#)

## [5] TRP チャンネル: 参考文献

- 1) B. Nilius & G. Owsianik : *Genome Biol.*, 12, 218(2011).
- 2) F. H. Yu, V. Yarov-Yarovoy, G. A. Gutman & W. A. Catterall : *Pharmacol. Rev.*, 57, 387(2005).
- 3) D. J. Cosens & A. Manning : *Nature*, 224, 285(1969).
- 4) C. Montell & G. M. Rubin : *Neuron*, 2, 1313(1989).
- 5) M. Gees, B. Colsoul & B. Nilius : *Cold Spring Harb. Perspect. in Biol.*, 2, a003962(2010).
- 6) D. E. Clapham : *Nature*, 426, 517(2003).
- 7) K. Venkatachalam & C. Montell : *Annu. Rev. Biochem.*, 76, 387(2007).
- 8) T. Numata, D. Kozai, N. Takahashi, K. Kato, Y. Uriu, S. Yamamoto, T. Kaneko, T. Shinmoto & Y. Mori : *Seikagaku*, 81, 962(2009).
- 9) A. Szallasi, D. N. Cortright, C. A. Blum & S. R. Eid : *Nat. Rev. Drug Discov.*, 6, 357(2007).
- 10) J. Yao, B. Liu & F. Qin : *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 108, 11109 (2011).
- 11) M. Li, Y. Yu & J. Yang : *Adv. Exp. Med. Biol.*, 704, 1(2011).
- 12) J. Kalia & K. J. Swartz : *Sci. Rep.*, 3, 1523(2013).
- 13) Liao et al. : *Nature*, 504, 107(2013).
- 14) Cao et al. : *Nature*, 504, 113(2013).
- 15) M. Ihara, S. Hamamoto, Y. Miyanoiri, M. Takeda, M. Kainosho, I. Yabe, N. Uozumi & A. Yamashita : *J. Biol. Chem.*, 288, 15303(2013).
- 16) C. P. Palmer, X. L. Zhou, J. Lin, S. H. Loukin, C. Kung & Y. Saimi : *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 98, 7801(2001).
- 17) Z. Su, X. Zhou, S. H. Loukin, Y. Saimi & C. Kung : *J. Membr. Biol.*, 227, 141(2009).
- 18) X. L. Zhou, S. H. Loukin, R. Coria, C. Kung & Y. Saimi : *Eur. Biophys. J.*, 34, 413(2005).

## [6] ENaC: 参考文献

1. Noreng, Sigrid; Bharadwaj, Arpita; Posert, Richard; Yoshioka, Craig; Bacongus, Isabelle (2018-09-25). "Structure of the human epithelial sodium channel by cryo-electron microscopy". *eLife* **7**:e39340. doi:10.7554/eLife.39340. ISSN 2050-084X.
2. "Epithelial sodium channel (ENaC) family: Phylogeny, structure-function, tissue distribution, and associated inherited diseases.". *Gene* **579** (2): 95–132. (Jan 2016). doi:10.1016/j.gene.2015.12.061. PMC 4756657. PMID 26772908.
3. "Molecular properties of epithelial, amiloride-blockable Na<sup>+</sup> channels". *FASEB Journal* **8** (8): 522–8. (May 1994). doi:10.1096/fasebj.8.8.8181670. PMID 8181670.
4. "Phylogenetic characterization of the epithelial Na<sup>+</sup> channel (ENaC) family". *Molecular Membrane Biology* **13** (3): 149–57. (1996). doi:10.3109/09687689609160591. PMID 8905643.
5. "Molecular cloning and functional expression of a novel amiloride-sensitive Na<sup>+</sup> channel". *The Journal of Biological Chemistry* **270** (46): 27411–4. (Nov 1995). doi:10.1074/jbc.270.46.27411. PMID 7499195.
6. "Expression of epithelial sodium channel (ENaC) and CFTR in the human epidermis and epidermal appendages". *Histochemistry and Cell Biology* **147** (6): 733–748. (January 2017). doi:10.1007/s00418-016-1535-3. PMID 28130590.
7. "Epithelial sodium channels (ENaC) are uniformly distributed on motile cilia in the oviduct and the respiratory airways". *Histochemistry and Cell Biology* **137** (3): 339–53. (March 2012). doi:10.1007/s00418-011-0904-1. PMID 22207244.
8. "Localization of epithelial sodium channel (ENaC) and CFTR in the germinal epithelium of the testis, Sertoli cells, and spermatozoa". *Journal of Molecular Histology* **49** (2): 195–208. (February 2018). doi:10.1007/s10735-018-9759-2. PMID 29453757.
9. "+channels (ENaC) in vasopressin magnocellular neurosecretory neurons in the rat supraoptic nucleus". *The Journal of Physiology* **595** (17): 5857–5874. (September 2017). doi:10.1113/JP274856. PMC 5577521. PMID 28714095.
10. "Epithelial sodium channel: a ligand-gated channel?". *Nephron Physiology* **96** (2): 37–41. (2004). doi:10.1159/000076406. PMID 14988660.
11. "Ptychotropism as a cutaneous feature of the CHILD syndrome". *Journal of the American Academy of Dermatology* **23** (4 Pt 1): 763–6. (Oct 1990). doi:10.1016/0190-9622(90)70285-p. PMID 2229513.
12. "ASIC and ENaC type sodium channels: Conformational states and the structures of the ion selectivity filters". *FEBS Journal* **284** (4): 525–545. (2017). doi:10.1111/febs.13840. PMID 27580245.
13. "Functional domains of the epithelial sodium channel". *Journal of the American Society of Nephrology* **16** (11): 3175–81. (Nov 2005). doi:10.1681/ASN.2005050456. PMID 16192417.
14. "Identification of the roles of conserved charged residues in the extracellular domain of an epithelial sodium channel (ENaC) subunit by alanine mutagenesis". *American Journal of Physiology. Renal Physiology* **300** (4): F887–97. (Apr 2011). doi:10.1152/ajprenal.00648.2010. PMID 21209000.
15. Noreng, Sigrid; Bharadwaj, Arpita; Posert, Richard; Yoshioka, Craig; Bacongus, Isabelle (2018-09-25). "Structure of the human epithelial sodium channel by cryo-electron microscopy". *eLife* **7**: e39340. doi:10.7554/eLife.39340. ISSN 2050-084X.
16. "Structure of acid-sensing ion channel 1 at 1.9 Å resolution and low pH". *Nature* **449** (7160): 316–322. (2007). doi:10.1038/nature06163. PMID 17882215.
17. "Conserved charged residues at the surface and interface of epithelial sodium channel subunits--roles in cell surface expression and the sodium self-inhibition response". *The FEBS Journal* **281** (8): 2097–111. (Apr 2014). doi:10.1111/febs.12765. PMID 24571549.

18. "Membrane topology of the amiloride-sensitive epithelial sodium channel". *The Journal of Biological Chemistry* **269** (39): 24379–83. (Sep 1994). [PMID 7929098](#).
19. "[ATP-gated P2X Receptor Cation Channel \(P2X Receptor\) Family](#)". *Functional and Phylogenetic Classification of Membrane Transport Proteins*. Saier Lab. Group, UCSD and SDSC. 2019 年 11 月 19 日閲覧。
20. "[Phylogenetic characterization of transport protein superfamilies: superiority of SuperfamilyTree programs over those based on multiple alignments](#)". *J. Mol. Microbiol. Biotechnol.* **21** (3–4): 83–96. (2011). [doi:10.1159/000334611](#). [PMC 3290041](#). [PMID 22286036](#).
21. "Gene structure of the human amiloride-sensitive epithelial sodium channel beta subunit". *Biochemical and Biophysical Research Communications* **252** (1): 208–13. (Nov 1998). [doi:10.1006/bbrc.1998.9625](#). [PMID 9813171](#).
22. "Increased airway epithelial Na<sup>+</sup> absorption produces cystic fibrosis-like lung disease in mice". *Nature Medicine* **10** (5): 487–93. (May 2004). [doi:10.1038/nm1028](#). [PMID 15077107](#).
23. "[Transgenic hCFTR expression fails to correct β-ENaC mouse lung disease](#)". *American Journal of Physiology. Lung Cellular and Molecular Physiology* **302** (2): L238-47. (January 2012). [doi:10.1152/ajplung.00083.2011](#). [PMC 3349361](#). [PMID 22003093](#).
24. "Ion transporting proteins of human bronchial epithelium". *Journal of Cellular Biochemistry* **113** (2): 426–32. (Feb 2012). [doi:10.1002/jcb.23393](#). [PMID 21975871](#).
25. [Ion Channel Diseases](#)

## Axolotl SCNN1A

[Enac \[nr\]Scnn1a \[hs\]AMEX60DDU001000376.4 at C0004172:108543-332503](#)

[Enac \[nr\]Scnn1a \[hs\]AMEX60DDU001000376.8 at C0004172:111344-332503](#)

[Enac \[nr\]Scnn1a \[hs\]AMEX60DDU001000376.10 at C0004172:129477-332503](#)

[Enac \[nr\]Scnn1a \[hs\]AMEX60DDU001000376.1 at C0004172:22097-216718](#)

[Enac \[nr\]Scnn1a \[hs\]AMEX60DDU001000376.2 at C0004172:108488-332503](#)

[Enac \[nr\]Scnn1a \[hs\]AMEX60DDU001000376.3 at C0004172:108504-332503](#)

[Enac \[nr\]Scnn1a \[hs\]AMEX60DDU001000376.5 at C0004172:108684-332503](#)

[Enac \[nr\]Scnn1a \[hs\]AMEX60DDU001000376.6 at C0004172:108686-332503](#)

[Enac \[nr\]Scnn1a \[hs\]AMEX60DDU001000376.7 at C0004172:108824-332503](#)

[Enac \[nr\]Scnn1a \[hs\]AMEX60DDU001000376.9 at C0004172:129414-332503](#)

[Enac \[nr\]Scnn1a \[hs\]AMEX60DDU001000376.12 at C0004172:138984-332503](#)

[Enac \[nr\]Scnn1a \[hs\]AMEX60DDU001000376.13 at C0004172:159940-332503](#)

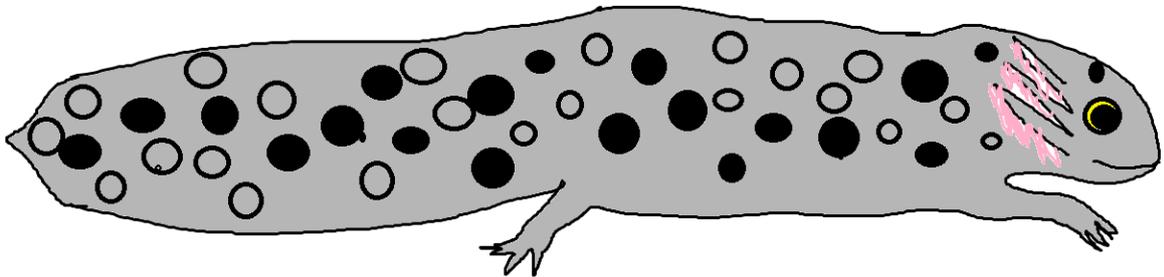
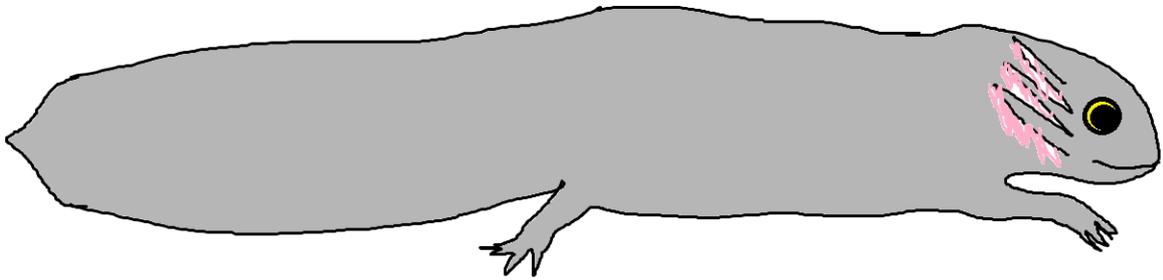
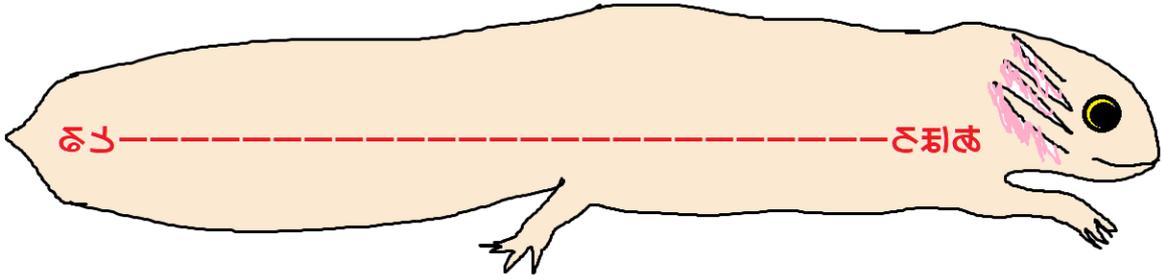
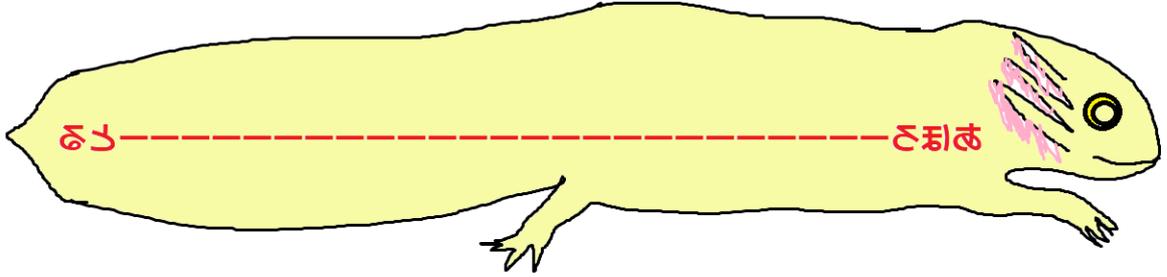
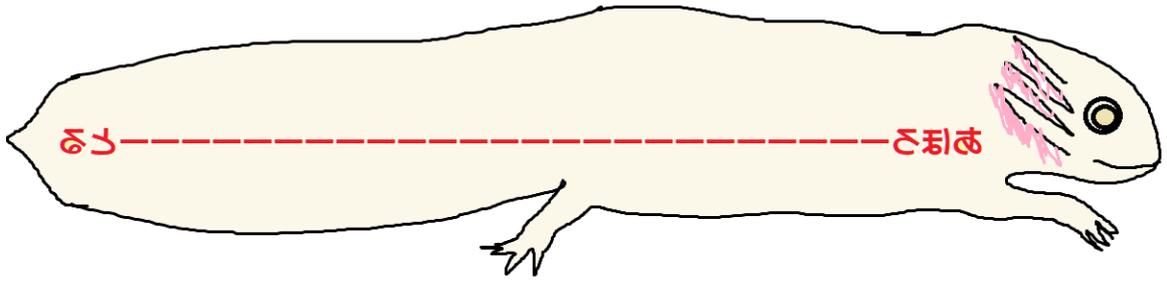
[Dr999\\_pmt02691 \[nr\]Scnn1a \[hs\]AMEX60DD201051246.1 at chr8p:443762650-443913016](#)

## [7] 食品衛生関連

・[食品](#) | [厚生労働省 \(mhlw.go.jp\)](#)

・[食品衛生法](#) | [e-Gov 法令検索](#)





# <ウーパールーパー研究報告>

アホロートルのフミン酸、フルボ酸及び葉の分解者との関係 22/8/27

著: 高橋 慶 監修: 杉山 遥

## 実験目的

アホロートルの生息地であるソチミルコではチナンパ(水草を集め、その上に泥を乗せることで野菜を育てる)農法 [1] が行われており、その周囲を住処としているため水槽内で再現することによりアホロートルの健康の維持、増進をはかるため。

## 実験内容

水草の代わりに柿の葉を 5 枚入れ、観察する。

外鰓の長さを確認する。

非常に良い、良い、悪い、非常に悪いをそれぞれ 4~1 として 2 月 23 日からの 30 日間観察する。

※柿の葉を利用した理由

水草などの植物が腐り、分解されていく過程を柿の葉を使用することにより早く再現出来、植物から抽出されるフミン酸 [2] 及びフルボ酸 [3] を多く含むため。

## 使用したもの

ソイル(supple soil スーパーパウダー)

スポンジフィルター(xy-2835)

柿の葉(自然採取:農薬の使用無し)

カルキ抜き剤(コトブキ工業 500 ビタミン入り)

水槽(GEX サイレント fit400)

## 仮説 (効果に対する期待)

ソイルと柿の葉によりフルボ酸、フミン酸。柿の葉から分解者が生まれることにより現地の元の水を再現することにより、ストレスをかけにくい育成ができ、体調、外鰓共に良い方向に進むのでは無いだろうか。



実験期間 2022年2月23日～3月23日

日付	ウパ1	ウパ2	ウパ3	水温	餌	その他
2022.2.23	1	0	-2	13.5	×	
24	2	0	-1	14	○	
25	2	1	-1	13.5	×	
26	2	1	-1	13.5	○	ウパ3が左前足欠損
27	2	1	-1	15	×	
28	2	1	-1	15.5	○	ウパ3欠損部にカビ
3. 1	2	1	-1	14.5	×	ウパ3カビの一部が取れる。 壁面にコケが発生
2	2	2	-1	15	○	
3	2	2	-1	14.5	×	
4	2	2	-1	15	○	
5	2	2	-1	15	×	
6	2	2	-1	15	○	
7	2	2	-1	15	×	
8	2	2	-1	15.5	○	
9	2	2	-1	15	×	
10	2	2	-1	16	○	
11	2	2	-1	17	×	
12	2	2	-1	16.5	○	スポンジフィルターの掃除 水草のコケ取り
13	2	2	-1	17	×	
14	2	2	-1	17	○	
15	2	2	-1	17.5	×	
16	2	2	-1	17.5	○	
17	2	2	-1	17.5	×	
18	2	2	-1	18	○	
19	1	2	-1	18	×	
20	2	2	-1	19.5	○	
21	2	2	-1	20.5	×	
22	2	2	-1	20	○	
23	2	2	-1	19	×	



## 観察結果

実験中の餌を食べる量は実験開始前と同様によく食べ、外観も綺麗であったことから、チナンパ農法の再現は飼育下において有用であった。

また、チナンパ農法においてウーパールーパー隠れ家としてだけでなく、植物から抽出される成分の影響により住みやすい環境であったと予想できる。

## 結果を踏まえ

今回の実験では植物を分解するバクテリアとの関係性は分からなかった。

また、ブラックウォーターを希釈して使用した時の結果とあまり変わらないことから、飼育の手軽さから見てブラックウォーターを用いるほうが適していると感じた。

今後の実験としては、流木と水草を使用し、餌を魚やエビに変えることでチナンパ農法とウーパールーパーとの関係性についてより詳しく調べていきたい。

## 参考文献

### チナンパ（ティナンパ）農法 [1]

- ・[http://www.y-history.net/appendix/wh0204-007\\_2.html](http://www.y-history.net/appendix/wh0204-007_2.html)
- ・<https://www.kankyo-ryokka.com/blog/hydroponic-history01/>
- ・<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%81%E3%83%8A%E3%83%B3%E3%83%91>

### フミン酸（腐植酸） [2]

- ・株式会社 日本フルボ酸総合研究所 <https://furubo.net/fulvic/>
- ・<http://www.telnite.co.jp/recruit/img/huminreview.pdf>

### フルボ酸 [3]

- ・株式会社 日本フルボ酸総合研究所 <https://furubo.net/fulvic/>
- ・<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%95%E3%83%AB%E3%83%9C%E9%85%B8>



# ＜ウーパールーパー研究報告＞

## 底砂・ソイルの主成分と土壤微生物・腸内細菌と生育について (22/9/1, 10/31, 23/3/26 改定)

著: 杉山 遥 (Ph.D; 詳細調査・本記事の主な執筆者)<sup>1\*</sup>; 高橋 慶 (フルボ酸・フミン酸に関する調査報告)<sup>1</sup>

所属: <sup>1</sup>ウーパールーパー研究室はるらぼ

詳細: \*主任研究者 \*\*責任著者

以前、当ラボでは“アホロートル (ウパ) の成長に必要な因子の探索”という研究内容を報告した (参照: はるらぼ会報雑誌・ウーパールーパーだより Vol 1.3 ([https://drive.google.com/file/d/1DuwEjMVBZiCRTLzX\\_xfjvpl4FKe46mI/view](https://drive.google.com/file/d/1DuwEjMVBZiCRTLzX_xfjvpl4FKe46mI/view)))。

今回はこれに付随して、土壤由来の成分の重要性について触れている。

### 1. ソイルや底砂に含まれる無機成分の重要性

当ラボ会報誌 **ウーパールーパーだより Vol 1.3**

([https://drive.google.com/file/d/1DuwEjMVBZiCRTLzX\\_xfjvpl4FKe46mI/view](https://drive.google.com/file/d/1DuwEjMVBZiCRTLzX_xfjvpl4FKe46mI/view)) の本文中でも、ウパの成長における底砂やソイルの重要性について触れているが、これまでの分析・解析の中で 濾過バクテリア と 無機イオンを含む無機栄養素 (炭素 C、ケイ素 Si、アルミニウム Al、鉄 Fe、カルシウム Ca、カリウム K、ナトリウム Na、マグネシウム Mg、マンガン Mn、リン P、硫黄 S、少量のヨウ素 I など) を含んでいることが明らかになってきた。

ソイルの主成分には、黒土【弱酸性; 組成: 火山灰 (ケイ素 Si, アルミニウム Al など) + 枯れた植物 (タンパク質, 炭水化物, 脂質, 葉緑素に含まれる ヨウ素 I)】や 赤土【弱酸性~弱アルカリ性; 組成: 火山灰 (塩素イオン Cl<sup>-</sup>, 硝酸イオン, 亜硝酸イオン, 硫酸イオン SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, 重炭酸イオン HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, アンモニウムイオン NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, 鉄 Fe, カルシウム Ca, カリウム K, ナトリウム Na, マグネシウム Mg)】が挙げられる。一方で、砂や砂利の主成分としては、ゼオライト (アルカリ性; 組成: ケイ素 Si, アルミニウム Al, 鉄 Fe, カルシウム Ca, カリウム K, ナトリウム Na, マグネシウム Mg, マンガン Mn) 等が挙げられる。このように、上記のような無機成分が水槽中の床材には多く含まれる。これは、天然の土壤成分とも一致しており、自然環境に近い状態を再現できているといえる。[5]

表 1 粘土鉱物の陽イオン交換容量

粘土鉱物	理想式	陽イオン交換容量 (eq/kg)
パーミキュライト	$K_{1.1}Al_{2.3}Si_{5.7}Al_{0.3}Fe_{0.7}Mg_{4.3}O_{20}(OH)_4$	1.0~1.5
モンモリロナイト	$K_{0.8}Al_{0.3}Si_{7.7}Al_{2.4}Fe_{0.9}Mg_{0.3}O_{20}(OH)_4$	0.7~1.2
緑泥石	$Fe_2Mg_4(OH)_{10}Si_4Al_2O_{20}(OH)_4$	0.1~0.4
アタパルジャイト	$Mg_3Si_4O_{20}(OH)_2(H_2O)_8$	0.2
ハロイサイト	$Si_4Al_2O_{10}(OH)_2(H_2O)_4$	0.05~0.5
カオリナイト	$Si_4Al_2O_{10}(OH)_8$	0.03~0.15

表 2 植物体および土壌中の元素 (Bower 内)

元素	植物中 %	土壌中 %	元素	植物中 mg/kg	土壌中 mg/kg
C	45.4	2.0	Mn	630	850
O	41.0	49.0	Al	550	71000
H	5.5	—	Si	220	330000
N	3.0	0.10	Zn	160	50
Ca	1.8	1.37	Fe	140	38000
K	1.4	1.40	B	50	10
S	0.34	0.007	Sr	26	300
Mg	0.32	0.50	Pb	20	100
P	0.23	0.065	Cu	14	20
Ns	0.12	0.63	Ni	2.7	40
			Pb	2.7	10
			V	1.6	100
			Ti	1.0	5000
			Mo	0.9	2

表 3 土壌の組成\* (乾燥土壌中の ppm)

元素	平均	範囲	元素	平均	範囲
Ag	0.1	0.01~5	Mg	5,000	900~6,000
Al	71,000	10,000~90,000	Mn	800	100~4,000
As	6	0.1~40	Mo	2	0.2~5
B	10	2~100	N	1,900	300~2,500
Ba	500	100~1,000	Na	6,300	700~7,500
Be	6	0.1~40	Ni	40	10~1,000
Br	5	1~10	O	490,000	
C	20,000	7,000~500,000	P	650	2~200
Ca	13,700	7,000~500,000	Pb	10	10~25
Cl	0.06	0.01~0.7	Ra	8 × 10 <sup>-7</sup>	3~30 × 10 <sup>-7</sup>
Co	50		Rb	300	20~600
Ce	100		S	700	30~900
Cr	8	1~40	Sb	2	2~10 <sup>2</sup>
Cu	100	9~3,000	Se	7	10~25
Cs	6	0.3~25	Sn	0.2	0.01~2
Fe	20	2~100	Si	350,000	250,000~350,000
Ga	200	36~300	Sm	10	2~200
Ge	38,000	7,000~500,000	Sr	300	50~1,000
Hf	30	4~300	Te	5	0.1~15
I	1	1~50	Tl	5,000	1,000~10,000
Ir	6	0.01~0.3	Ti	0.1	
Hg	0.03		U	1	0.9~9
K	1	5	V	100	20~500
La	14,000	400~20,000	V	50	25~250
Li	30	1~5,000	Zn	50	10~300
Lu	30	7~200	Zr	300	60~2,000

\* 最近の古い土壌は計算から除外された。Ag, Be, Cl, Ce, Cs, Ge, Hf, Hg, La, Sb, Sn, Tl および U は、データが十分少ないため除外された。

表 9 生物体中の元素の存在量 (乾燥試料中の ppm)

元素	海藻	貝子植物	魚類*	哺乳動物*
Ag	0.28	0.06	11?	0.005
Al	62	550	10	<3
As	30	0.2	1.1	0.2
Au	0.012	<0.00045	0.0003	<0.009
B	120	50	20	<2
Ba	31	14		2.3
Be	(試液中 0.1)	<0.1		
Br		0.06	0.04?	
Br	740	15	400	4
C	345,000	454,000	475,000	484,000
Ca	11,500	18,000	20,000	85,000
Cd	0.4	0.64	3	
Ca		<34		0.47
Cl	4,700	2,000	6,000	3,200
Co	0.7	0.48	0.5	0.3
Cr	1.3	0.23	0.2	<0.3
Cs	0.067	0.2		0.06
Cu	11	14	8	2.4
Eu		0.021		
F	4.5	0.5	1,400	500
Fe	690	140	50	160
Ga	0.5	0.05	0.15?	
Ge			0.3?	
H	41,000	55,000	68,000	66,000
Hg	0.03	0.015	0.3?	0.05
I	1,500	0.4	1	0.43
K	52,000	14,000	12,000	7,500
La	10	0.085	0.016	0.09
Li	5.4	0.1		<0.02
Mg	5,200	3,200	1,200	1,000
Mn	53	630	0.8	0.2
Mo	0.45	0.9	1	<1
N	15,000	30,000	114,000	87,000
Na	33,000	1,200	8,000	7,300
Nb				
Nd		<24		
Ni	3	2.7	1	<1
O	470,000	410,000	290,000	186,000

表 8 生物体の主な構成元素の含有率順序

水中動物 (みじんこ期)  
O>H>C>N>Cl>Na>K>S,P>Ca>Mg  
陸上植物 (牧草)  
O>C>H>N>P>Ca>K>S>Mg>Cl  
哺乳動物 (ヒト)  
O>C>H>N>Ca>S>P>Na>K>Cl>Mg

表 11 海洋生物による海水からの元素の濃縮率\*

元素	プランクトン	海藻	元素	プランクトン	海藻
Ag	210	240	La		8,300
Al	25,000	1,550	Li		8?
As		2,500	Mg	0.59	0.96
Au		270	Mn	9,400	6,500
B		6.6	Mo	25	11
Ba	120	260	N	19,000	7,500
Br		2.8	Na	0.14	0.78
Ca	5	7.2	Ni	1,700	140
Cd	910	890	P	15,000	10,000
Cl	1	0.062	Pb	41,000	70,000
Co	4,600	650	Ra	4,500	370
Cr	17,000	6,500	Rb		15
Cs		33	S	1.7	3.4
Cu	17,000	920	Si	17,000	120
F		0.86	Sn	2,900	92
Ge	87,000	17,000	Sr	8	44
Ga	12,000	4,200	Ti	20,000	3,000
Hg		250	V	620	250
I	1,200	6,200	W		87
K		34	Zn	65,000	3,400

\* 濃縮率 = 新鮮な生物中の濃度/海水中の濃度

参照: 土壌中に含まれる無機成分の濃度・存在比について [5]



らば独自の飼育法として、ゼオライト + ソイル + 砂利 (または セラミック製のリング濾材) を 1:1:1 の比率で混合し、層状にした構造にする ことで非常にクリアな透明な水の状態を維持することが可能であることが明らかになっている。

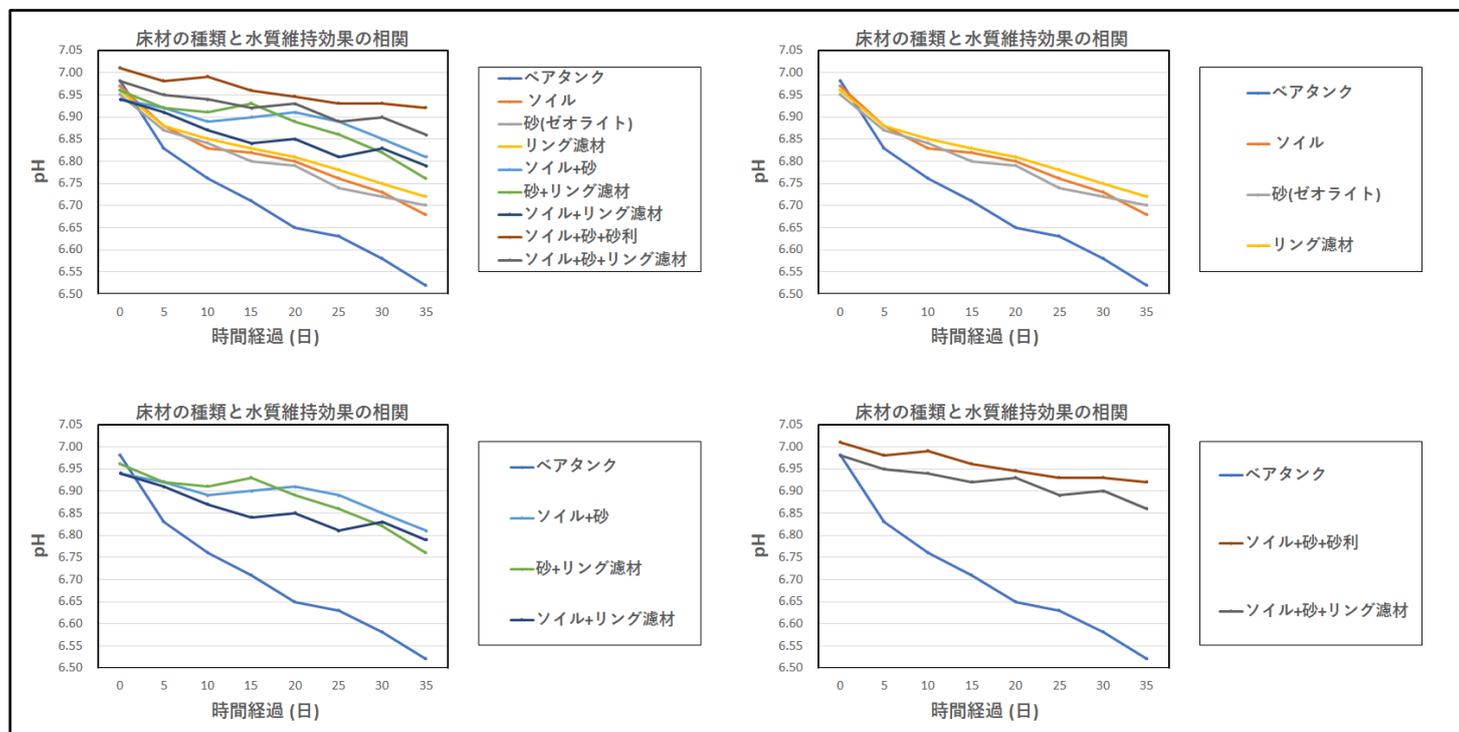
現在は、この条件が最も水が濁らず水質も安定していることから、飼育者の皆様にもオススメである。

下表およびグラフにて、前述の手法の有効性や水質管理における床材の重要性に関する過去の調査結果を示す。

表: 床材(底材・濾材) 毎の示す水質維持効果の比較

day	底材依存的な pH の経時変化							
	直後	5日後	10日後	15日後	20日後	25日後	30日後	35日後
ベアタンク	6.98	6.83	6.76	6.71	6.65	6.63	6.58	6.52
ソイル	6.97	6.88	6.83	6.82	6.80	6.76	6.73	6.68
砂(ゼオライト)	6.95	6.87	6.84	6.80	6.79	6.74	6.72	6.70
砂利	7.02	6.98	6.95	6.94	6.92	6.92	6.87	6.83
リング濾材	6.96	6.88	6.85	6.83	6.81	6.78	6.75	6.72
ソイル+砂	6.94	6.92	6.89	6.90	6.91	6.89	6.85	6.81
砂+リング濾材	6.96	6.92	6.91	6.93	6.89	6.86	6.82	6.76
ソイル+リング濾材	6.94	6.91	6.87	6.84	6.85	6.81	6.83	6.79
ソイル+砂+リング濾材	6.98	6.95	6.94	6.92	6.93	6.89	6.90	6.86
ソイル+砂+砂利	7.01	6.98	6.99	6.96	6.95	6.93	6.93	6.92

(20±2°C 条件下), 60cm 水槽 (GEX マリーナ SLIM MR600BKS),  
 汽水0.15%条件下, 水替え無し, 生体 (約10~12cm x 5体),  
 上部フィルター (GEX AQUA FILTER デュアルクリーン)  
 餌: ひかりウーパールーパー小粒 x 5~10粒/匹 (2日毎)



参考: 床材の組成に依存的な水質保持効果の経時変化



これに関連して、自然界の水質では“フミン酸 [2]※”“フルボ酸 [3] ※※”という植物や土壌由来の有機酸が動植物の生育にとっても重要であることが知られており、ウパボ所属の 高橋研究員 もフルボ酸の重要性について報告をして下さっています。

同氏は、ウパの生息地におけるフルボ酸の供給源は、古代メキシコのアステカ文明で行われていた農法である“チナンパ農法 [1] ※※※”であることを指摘しています。（以下、**Note 記事** [https://note.com/lab\\_new2/n/n8456ea0a67a3](https://note.com/lab_new2/n/n8456ea0a67a3) または、後述の同氏による**調査報告書** を参照のこと）。

※ **フミン酸**: 有機物質、特に植物の分解で作られられる。アルカリ(塩基性)水溶液に可溶性アルカリ性の物質を含む。天然のフミン酸は以下の3つのような生成のされ方をする。一時的なキレート効果(遊離したイオンと結合して沈殿・抑制する作用)や pH 干渉作用(水溶液中で遊離したイオンと化学的に平衡して緩衝する作用)はあるものの、後述するフルボ酸には劣る。

### フミン酸の生成課程

- ① 動植物の遺体が地表の土壌中において土壌微生物によって分解・変成から更に合成等を経て生成される。
- ② 古代の動植物が地中に埋もれ石炭化の初期で、炭化があまり進まない段階で生成される。
- ③ 古代の動植物が一度石炭化された後、風化が進む段階で生成される。

※※ **フルボ酸**: 森林や土壌の中に存在する有機酸の一つで、植物にミネラルを補給する役目を担っている。フミン酸と異なり、酸性溶液に可溶性酸性物質である。土壌界では非常に希少価値が高い。キレート効果 や pH 干渉作用 はフミン酸よりも非常に高いとされる。フルボ酸は、前述のフミン酸を含む“天然の腐敗物質(フューミン)”の極々一部である希少成分という位置づけの存在である。

※※※ **チナンパ農法**: 沼地の表面の厚い水草層を切り取り、敷物のように積み重ねてつくった浮島の上に湖底の泥を盛り上げて作った湖上の畑のようなものを利用する農法のこと。このチナンパは、フローティングガーデンとも呼ばれ、かつてのアステカ文明の首都であるテノチティラトンの周辺(ウパの生息地としても知られる現在のソチミルコに位置する)で行われていた。

チナンパの跡地からは豆、カボチャ、サンザシ、ウチワサボテンなど、多くの種類の作物を栽培した痕跡が見つかっています。現在でもメキシコで行われている農法です。チナンパにおいて、作物の根は水に浸かるものの、植物でできた浮島は、水草と泥でできている為、現代のような水耕栽培の基準とは異なっていることが分かる。

## 2. 腸内細菌の重要性

これに付随して、はらばでは腸内細菌 [4] が成長に及ぼす影響や、pH の重要性、生育環境の影響などについても調査を続けております。

ヒトやマウスは勿論のこと、爬虫類や魚類においても腸内細菌の重要性については注目が集まっており、いくつかの報告も見られていることに加え、腸内細菌を強化するという効果を銘打った商品も販売されています。

現在の研究の中で、このように底砂やソイルに含まれるバクテリアの一部が腸内細菌として機能している可能性があることが分かってきております。また、後述の高橋研究員の報告書の中でも触れられていますが、植物成分の溶け出した飼育水である“ブラックウォーター”の中での飼育による生育促進効果について、その一因に腸内細菌の存在があることが示唆されています。

これまでの調査の中で、底砂を食べる食砂行動をする個体の方が成長が早い傾向があることや、底砂・ソイルのバクテリアを滅菌することで生育が大きく抑制されたことなどの結果が明らかになりました。これらの知見から、フミン酸・フルボ酸に加えて腸内細菌がウパの生育にとって非常に重要なことが分かります。今後とも、続報にご期待下さい。

### 注意喚起！：床材の選別と食砂による腸閉塞のリスク (22/10/31 追記)

ここまで、底材に含まれる無機成分やそこに生息する微生物のメリット、食砂行動によってそれらを摂取する重要性について多くの知見を挙げてきた。

しかしながら、時には底材の排泄が巧く行かず腸閉塞を起こしてしまう個体が出現することも懸念される。



基本的に、健康な個体であれば、適度な床材の摂取と排泄を巧く行い、摂取した床材は排泄に至るまでの間消化を色々な面で補助できる潜在能力を持っている。その一方で、何等かのストレスを抱えた個体（例：発情期のオス、空腹の個体、水質管理や騒音などで気が立っている個体 等）は本来の許容量以上の床材を飲み込んでしまい、腸閉塞を発症してしまうようである。

以下の写真提供者の飼育個体の場合、ペアタンクから砂利を敷いた環境への移動後、大量の砂利を食べ続けた後に後腸-肛門の間で詰まってしまい、数日間に渡り毎日排泄を余儀なくされてしまったとのことであった。

本個体における今回のトラブル発生因子の可能性は、1) これまでに床材の無い環境で育った、2) 砂利を食べつつけていることへの発見が遅れた という2点が挙げられる。



参考：食べ過ぎた砂利で腸閉塞が起こってしまった例

写真提供：みかんかん DX 様 (Twitter @DX85577140)

ウーパールーパーを飼育している際に重要な点として、ひとえに〇〇が効く、△△はダメ！ と断じるのはやや早計である場合があることである。

汽水(ミネ水)環境下での飼育も合わない個体も居る可能性があるし、今回のように本来の習性が悪く作用した結果として床材を過剰摂取してしまう個体も今回取り上げた個体のように当然存在し得えます。

何より大事なことは、我が子の性格や健康状態、普段のちょっとした挙動や習性・異変にとつて、如何にちゃんと気がつけるかにかかっているように思います。

床材の誤食・暴食が心配な場合は、**より粒の小さく細かいもの、棘の少ない丸い形状をした物** を選定することをオススメします。または、**袋入りのリング濾材など、直接的に個体が口にするできないような床材** を敷くようにするとより安全です。



袋入りリング濾材の例: GEX メガリング  
楽天市場 (↑画像クリックでリンク先へ)



杉山がオススメのソイル: GEX ピュアソイル ブラック  
楽天市場 (↑画像クリックでリンク先へ)



図1: ウーパールーパーの様々な飼育環境

(A) ソイル (土) (B) 底砂 (砂利) (C) ソイルと底砂の混合 (D) ペアタンク  
(E)-(E') ビオトープ → ブラックウォーターになるまで継続

水質が成長率に与える影響 (day200)

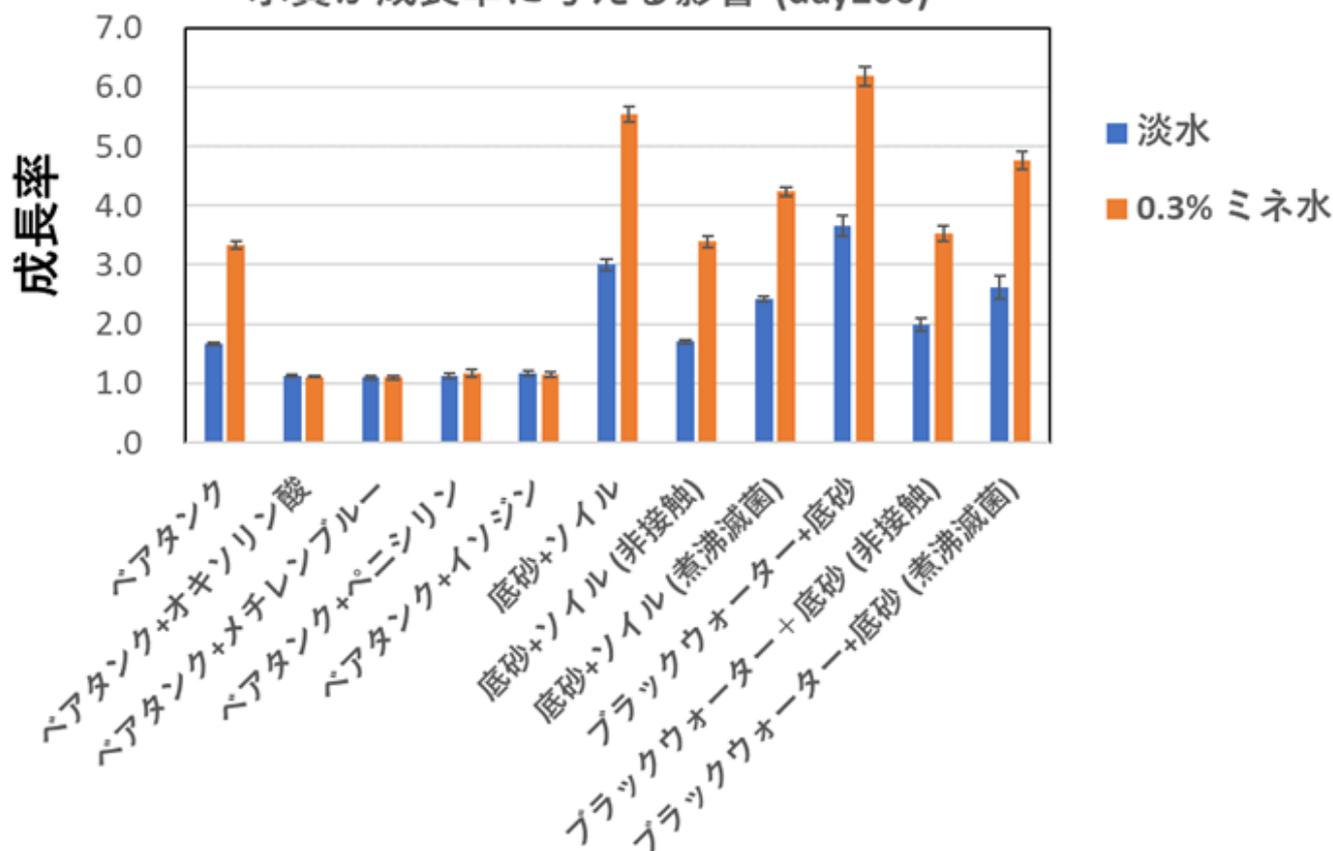


図2: 飼育水槽の水質が成長率に与える影響

飼育水槽にバクテリアが不在であると成長が著しく阻害される。同様に、底砂と直接接していないと成長率が低下する。

飼育下のアホロートルにおける食砂行動の観察 (24hr)

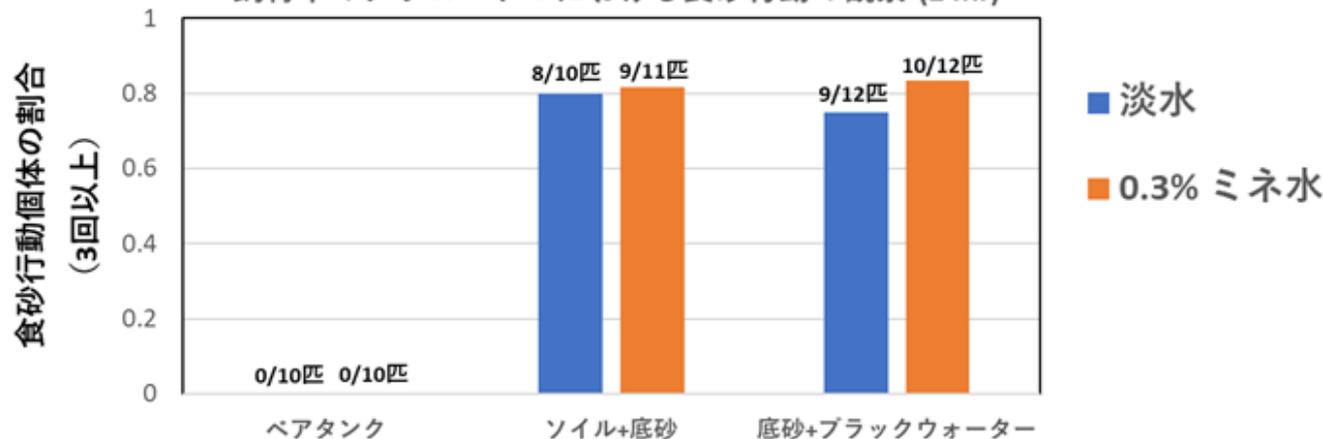


図3: 底砂と触れているアホロートルは食砂行動を示す

ソイルと触れている個体は複数回の食砂行動を示したことから、底砂を摂取することは生育を促進している可能性が示唆された。



#### 図4:アホロートルの成長は腸内環境依存的に調節されている

腸内細菌を強化することで、顕著な成長促進が確認できた。

一方で、腸内細菌が死滅するような餌・飼育水の条件下では殆ど生育できないことが分かる。

#### 関連 はるらぼ note 記事

- ・ ウーパー水槽の床材の工夫 [https://note.com/lab\\_new2/n/n7684060a95c2](https://note.com/lab_new2/n/n7684060a95c2)
- ・ ウーパーウーパーは、汽水と底砂ですくすく育つ！ [https://note.com/lab\\_new2/n/nb89bb1877096](https://note.com/lab_new2/n/nb89bb1877096)
- ・ ウパの生育における土壌成分の重要性 [https://note.com/lab\\_new2/n/n8456ea0a67a3](https://note.com/lab_new2/n/n8456ea0a67a3)

## 出典

### チナンパ (ティナンパ) 農法 [1]

- <https://ulabo.com/a11.php>
- [http://www.y-history.net/appendix/wh0204-007\\_2.html](http://www.y-history.net/appendix/wh0204-007_2.html)
- <https://www.kankyo-ryokka.com/blog/hydroponic-history01/>
- <https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%81%E3%83%8A%E3%83%B3%E3%83%91>

### フミン酸 (腐植酸) [2]

- 株式会社 日本フルボ酸総合研究所 <https://furubo.net/fulvic/>
- <http://www.telnite.co.jp/recruit/img/huminreview.pdf>

### フルボ酸 [3]

- 株式会社 日本フルボ酸総合研究所 <https://furubo.net/fulvic/>
- <https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%95%E3%83%AB%E3%83%9C%E9%85%B8>

### 腸内細菌 [4]

- 厚生労働省 e-ヘルスネット <https://www.e-healthnet.mhlw.go.jp/information/food/e-05-003.html>
- 大塚製薬株式会社 <https://www.otsuka.co.jp/health-and-illness/fiber/for-body/intestinal-flora/>
- J-stage 魚類の腸内細菌叢 (日本水産学会) [https://www.jstage.jst.go.jp/article/suisan/78/4/78\\_WA1783-4/\\_article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/suisan/78/4/78_WA1783-4/_article/-char/ja/)
- <第 36 回 山崎賞> 魚類の腸内細菌叢の探索 <https://gakusyu.shizuoka-c.ed.jp/science/sonota/ronnbunshu/R1/193156.pdf>
- 爬虫類腸内細菌強化を狙った製品例: <爬虫類倶楽部> 腸内細菌用添加剤 <https://hachikura.cart.fc2.com/ca0/12527/p-r-s/>

### 土壌成分の組成 [5]

- ソイル および 黒土, 赤土 について
  - <https://horti.jp/13228>
  - <https://agripick.com/1721>
  - <https://mizukusasuisou.com/qa2-9/>
  - <https://www.pref.kagoshima.jp/ah14/kurashi-kankyo/sumai/reform/documents/kokuhai1-4.pdf>
  - <https://www.10-40.jp/column.jp/detail.php?co=156>
  - <http://www.nda.ac.jp/~yamaguch/5.pdf>
  - <https://kotobank.jp/word/%E8%B5%A4%E5%9C%9F-422717>
- ゼオライト (沸石; 化学式  $M_{n+1}m(AIO_2)_x(SiO_2)_y \cdot yH_2O$ ) について
  - <https://metoree.com/categories/2610/>
  - <https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%BC%E3%82%AA%E3%83%A9%E3%82%A4%E3%83%88>
  - [http://www.landbell.jp/images/pdf/bell-lite\\_kiso.pdf](http://www.landbell.jp/images/pdf/bell-lite_kiso.pdf)
  - <http://www.zeolite-ia.com/zeolite.html>
- 畜産技術情報 > 土壌の構成元素 <https://livestock.snowseed.co.jp/public/571f58cc/571f58cc60278cea/571f58cc306e69cb621051437d20>
- J-stage > 科学教育 > [https://www.jstage.jst.go.jp/article/kagakukyouiku/20/3/20\\_KJ00003480090/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/kagakukyouiku/20/3/20_KJ00003480090/_pdf)
- 土壌分析結果の見方 ~知っていると思場状態のイメージが湧くポイントとは~ 技術研究所 篠田 英史  
<https://www.snowseed.co.jp/wp/wp-content/uploads/seednews/386-03.pdf>



# <ウーパールーパー研究報告>

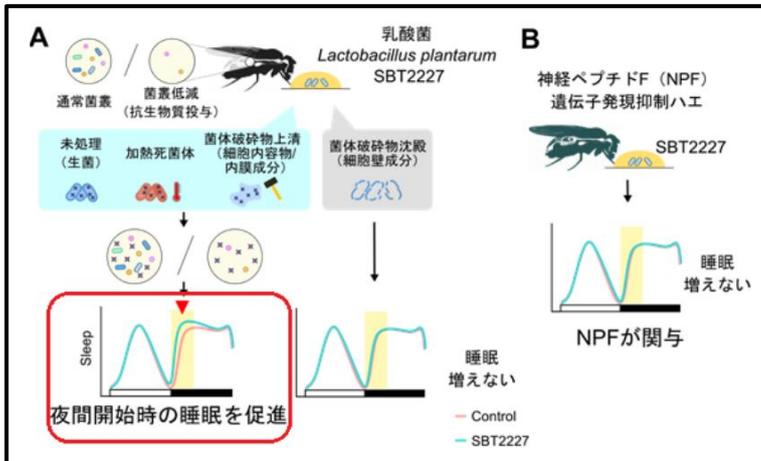
## 2023 最新報告: ウパの睡眠と成長のメカニズムに関する調査

著: 杉山 遥<sup>1\*,\*\*</sup> 23/1/24 (計画), 22/2/4 (結果報告)

所属: <sup>1</sup>ウーパールーパー研究室はるらぼ

詳細: \*主任研究者 \*\*責任著者

神経ペプチド NPY (ショウジョウバエの NPF) に注目。  
また、乳酸菌と NPY が睡眠導入に重要との文献あり。



(Taro Ko et al., *iScience*, 2022)

<https://www.cell.com/action/showPdf?pii=S2589-0042%2822%2900898-7>

ショウジョウバエにおいて、メス側の産卵促進にオスの交尾刺激(精液成分の導入)からの NPY (NPF) 放出促進→生殖幹細胞の分裂促進→最終的に産卵数の増大へと繋がる?

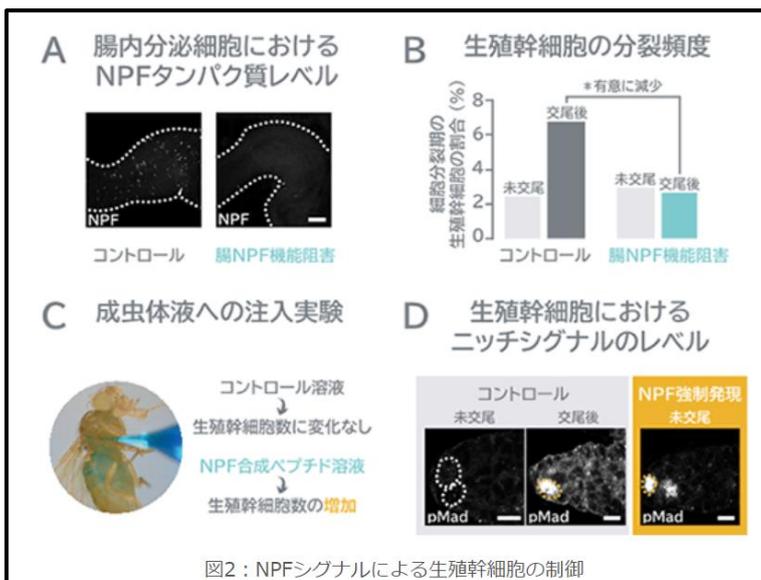


図2: NPFシグナルによる生殖幹細胞の制御

(Ameku et al., *PLOS Biol*, 2016)

<https://journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.2005004>



## 予想される睡眠促進の作用機序

底材を食べる → 乳酸菌摂取 → NPY と共に作用 → 睡眠促進 → 成長促進

床材や糞の中にラクチプランチバチルス プランタラム (*Lactiplantibacillus plantarum*) が含まれる。  
乳酸菌が死んでいても効果がある。

## 予想される産卵促進の作用機序

メス側の産卵促進にオスの交尾刺激(精液成分の導入)からの NPY (NPF) 放出促進 → 生殖幹細胞の分裂促進 → 最終的に産卵数の増大へと繋がる？

## 検証内容 (薄字は未検証)

- ・飼育水, 床材, 糞の中の菌種を確認  
→ *Lactiplantibacillus plantarum* の 16SRDNA を確認 (過去 data を確認)
- ・食砂あり/なしの成長率と併せて評価
- ・糖質摂取や硫黄呼吸との関連も併せて考える。
- ・過去の、乳酸菌投与の検証結果とも併せて考える。
- ・メラトニンや抗ヒスタミン剤の投与時に NPY および NPY 受容体は増えるのか? (パラレルに作用?)
- ・成長率の高い個体において、メラトニン受容体の発現と NPY, NPY 受容体の発現は高くなるか?
- ・NPY 神経分泌に合わせて、性成熟は促進されるか?
- ・睡眠誘導によって子孫数が増えるが、そのとき NPY の分泌量は増えるのか?

## 検証結果

- ・ショウジョウバエ NPF と同様の効果が、アホロートルにおける相同因子である NPY でも確認された。
- ・過去結果 (22 年 9/1 報告) にて、乳酸菌の経口投与による腸内細菌付与によって、成長率が有意に促進されることを明らかにしており、本結果との相関があるといえる。
- ・上記の過去報告において、食砂行動をする個体が行わない個体と比較して顕著に高い成長率を示すことを踏まえると、アホロートルは土壌から乳酸菌を摂取することで NPY と共に作用し、睡眠や繁殖を制御している可能性が高いことが考えられた。

## 今後の課題

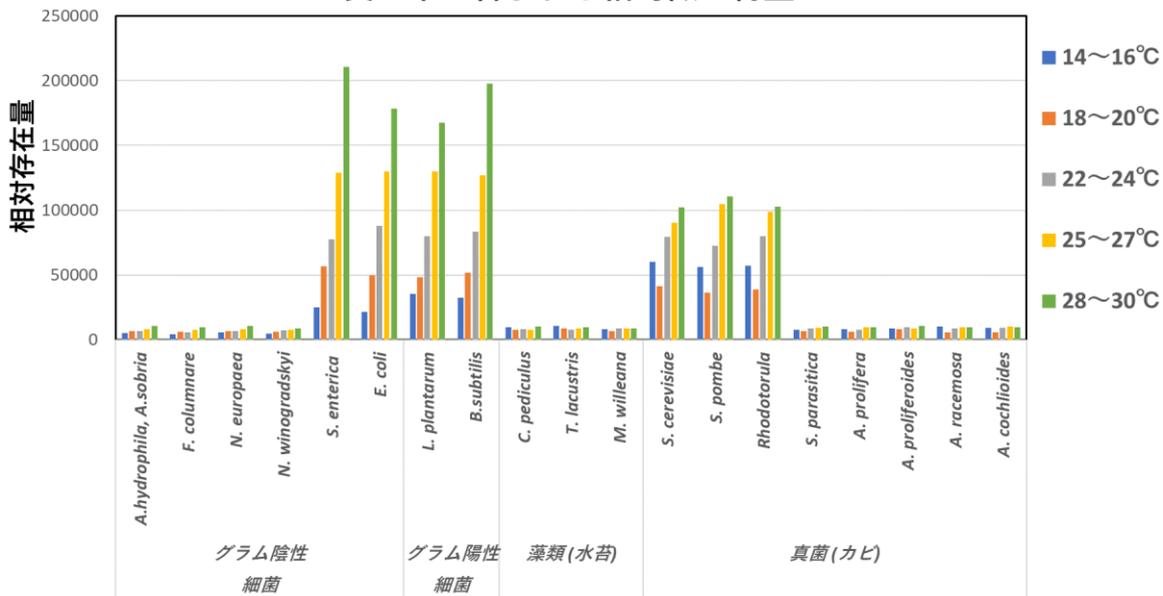
- ・メダカやフタホシコオロギにおける機序の調査
- ・NPY と栄養の直接的な制御関係の解析



淡水		水替え後7日目		糞を水で濾し、菌叢を回収 → バクテリアの 16S rDNA, 真菌類の 18S rDNA を増幅 → バンドの濃さで比較				
				糞を回収し、水で懸濁 → 遠心2,000xgで5分間遠心 → 十分な沈殿が得られたらok				
性質・種類	学名	属・分類	備考	14~16°C	18~20°C	22~24°C	25~27°C	28~30°C
グラム陰性細菌	<i>A. hydrophila, A. sobria</i>	エロモナス類	感染症の原因菌	5414	6838	6737	8123	10948
	<i>F. columnare</i>	カラムナリス類	感染症の原因菌	4534	6284	5982	7837	9745
	<i>N. europaea</i>	ニトロソモナス類	アンモニア硝化菌	6057	6753	7032	8448	10747
	<i>N. winogradskyi</i>	ニトロバクター類	亜硝酸酸化菌	5028	6472	7106	7829	8749
	<i>S. enterica</i>	サルモネラ類	腸内細菌	25235	56839	77568	129155	210472
	<i>E. coli</i>	大腸菌	腸内細菌	21453	50021	87735	130034	178372
グラム陽性細菌	<i>L. plantarum</i>	乳酸菌	腸内細菌	35253	48573	79945	129765	167385
	<i>B. subtilis</i>	枯草菌類	濾過バクテリア	32427	52034	83479	126797	197472
藻類(水苔)	<i>C. pediculus</i>	コッコネイス属	珪藻類	9832	7657	8321	7835	10277
	<i>T. lacustris</i>	テトラスポラ属	緑藻類	10588	8934	7937	8932	9754
	<i>M. willeana</i>	ミクロスポラ属	糸状緑藻類	8057	6738	8765	8636	9035
真菌(カビ)	<i>S. cerevisiae</i>	出芽酵母	パン酵母	60231	41583	79324	90356	102314
	<i>S. pombe</i>	分裂酵母	ビール酵母	56345	36332	72395	104725	110538
	<i>Rhodotorula</i>	赤色酵母	赤色酵母	57277	38779	80238	98564	102956
	<i>S. parasitica</i>	ミズカビ属	水質浄化, 増えすぎると水カビ病の原因	7853	6657	8744	9305	10482
	<i>A. proliferans</i>	ワタカビ属(卵菌類)		8234	6533	7684	9758	9832
	<i>A. proliferoides</i>			9035	8234	9757	8947	10675
	<i>A. racemosa</i>			10324	5663	8954	9748	9957
	<i>A. cochlioides</i>			9208	6043	9295	10244	9758

約 10cm の個体 2 個体; 60cm 水槽+外部フィルター+砂&ソイル, 餌 [ヒカリウーパールーパー小粒 5 粒ずつ)を 2 日目と 4 日目に水槽外で与えた]

糞の中に含まれる相対微生物量

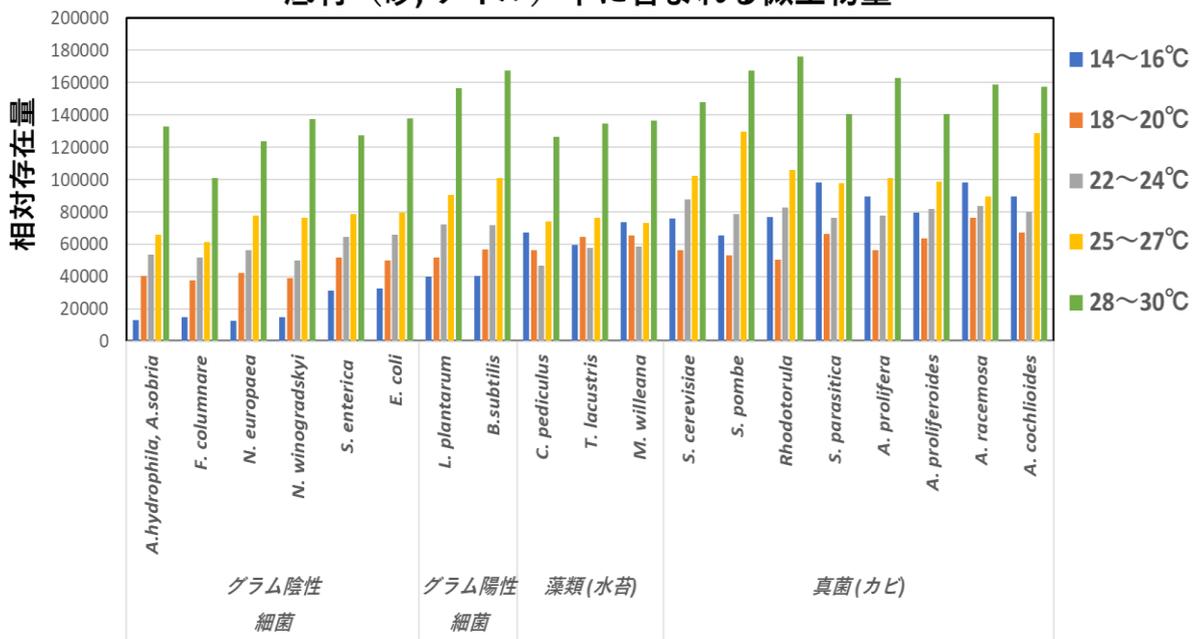


参考 1: 糞の中に含まれる腸内細菌のうち乳酸菌 (*L. plantarum*) の存在する割合

淡水		水替え後7日目		底砂・ソイルを水で濾し菌叢を回収 → バクテリアの 16S rDNA, 真菌類の 18S rDNA を増幅 → バンドの濃さで比較				
				底砂を回収し、水への懸濁液を回収 → 遠心2,000xgで5分間遠心 → 十分な沈殿が得られたらok				
性質・種類	学名	属・分類	備考	14~16°C	18~20°C	22~24°C	25~27°C	28~30°C
グラム陰性細菌	<i>A. hydrophila, A. sobria</i>	エロモナス類	感染症の原因菌	13058	40183	53475	65738	132655
	<i>F. columnare</i>	カラムナリス類	感染症の原因菌	14757	37725	51749	61274	100743
	<i>N. europaea</i>	ニトロソモナス類	アンモニア硝化菌	12353	41954	56362	77839	123765
	<i>N. winogradskyi</i>	ニトロバクター類	亜硝酸酸化菌	14627	38829	49766	76465	137273
	<i>S. enterica</i>	サルモネラ類	腸内細菌	31047	51837	64372	78546	127375
グラム陽性細菌	<i>E. coli</i>	大腸菌	腸内細菌	32472	49835	65643	79470	137732
	<i>L. plantarum</i>	乳酸菌	腸内細菌	39746	51746	72038	90275	156362
藻類(水苔)	<i>B. subtilis</i>	枯草菌類	濾過バクテリア	40175	56729	71563	100854	167366
	<i>C. pediculus</i>	コッコネイス属	珪藻類	67324	56375	46572	73826	126273
藻類(水苔)	<i>T. lacustris</i>	テトラスポラ属	緑藻類	59375	64647	57465	76462	134756
	<i>M. willeana</i>	ミクロスポラ属	糸状緑藻類	73628	65378	58358	72945	136365
真菌(カビ)	<i>S. cerevisiae</i>	出芽酵母	パン酵母	75675	56372	87636	102357	147575
	<i>S. pombe</i>	分裂酵母	ビール酵母	65538	53243	78736	129676	167362
	<i>Rhodotorula</i>	赤色酵母	赤色酵母	76653	50384	82674	105958	175896
	<i>S. parasitica</i>	ミズカビ属	水質浄化, 増えすぎると水カビ病の原因	98378	66372	76465	97576	140476
	<i>A. proliferans</i>	ワタカビ属(卵菌類)		89465	56489	77462	100682	162757
	<i>A. proliferoides</i>			79286	63748	81759	98575	140476
	<i>A. racemosa</i>			98365	76462	83563	89476	158576
	<i>A. cochlioides</i>			アファノマイセス属(糸状菌類)	89732	67080	79865	128462

約 10cm の個体 2 個体; 60cm 水槽+外部フィルター+砂&ソイル, 餌 [ヒカリウーパールーパー小粒 5 粒ずつ] を 2 日目と 4 日目に水槽外で与えた]

底材 (砂, ソイル) 中に含まれる微生物量

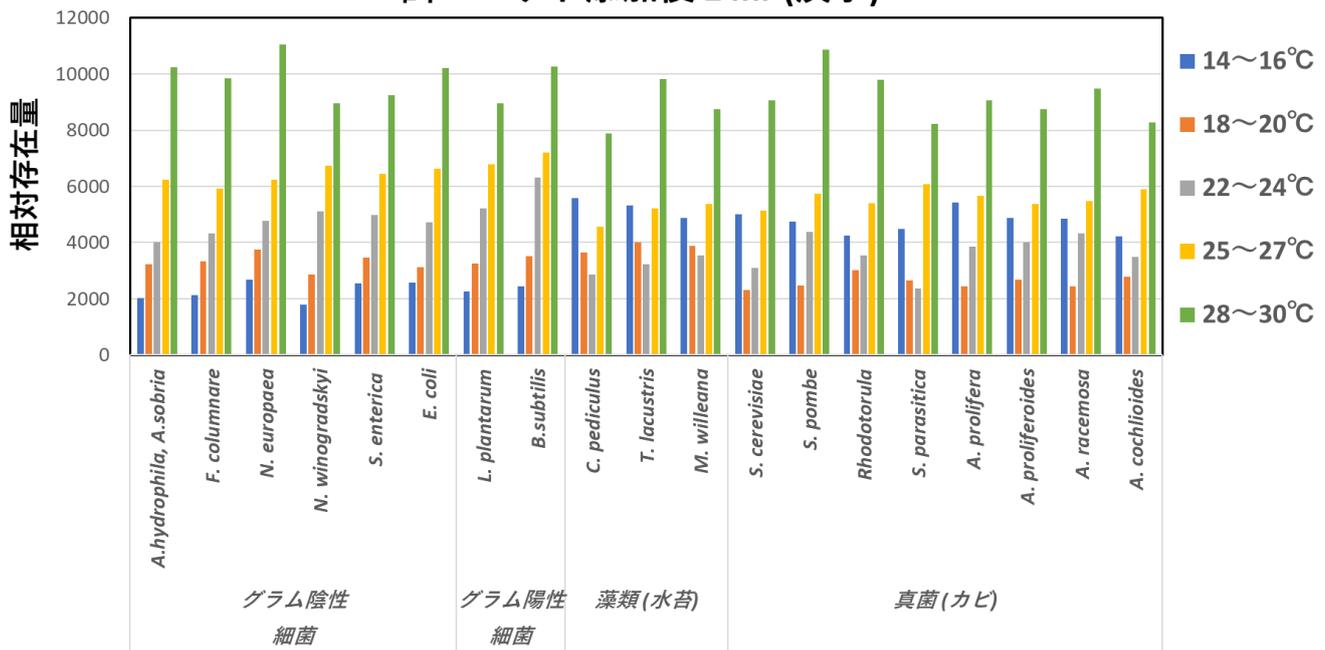


参考 2: 底材 (砂, ソイル) 中に含まれる腸内細菌のうち乳酸菌 (*L. plantarum*) の存在する割合

淡水		水替え後7日目		上清の菌叢を回収 → バクテリアの 16S rDNA, 真菌類の 18S rDNA を増幅 → バンドの濃さで比較					
		水50mlを3-5本回収 → 遠心2,000xgで5分間遠心 → 十分な沈殿が得られたらok							
性質・種類	学名	属・分類	備考	14~16°C	18~20°C	22~24°C	25~27°C	28~30°C	
グラム陰性細菌	<i>A. hydrophila, A. sobria</i>	エロモナス類	感染症の原因菌	2031	3238	4023	6234	10235	
	<i>F. columnare</i>	カラムナリス類	感染症の原因菌	2132	3321	4325	5927	9847	
	<i>N. europaea</i>	ニトロソモナス類	アンモニア硝化菌	2666	3757	4758	6235	11057	
	<i>N. winogradskyi</i>	ニトロバクター類	亜硝酸酸化菌	1781	2874	5102	6723	8957	
	<i>S. enterica</i>	サルモネラ類	腸内細菌	2537	3453	4985	6445	9237	
グラム陽性細菌	<i>E. coli</i>	大腸菌	腸内細菌	2579	3126	4726	6630	10202	
	<i>L. plantarum</i>	乳酸菌	腸内細菌	2260	3246	5223	6793	8946	
藻類(水苔)	<i>B. subtilis</i>	枯草菌類	濾過バクテリア	2454	3523	6321	7195	10273	
	<i>C. pediculus</i>	コッコネイス属	珪藻類	5582	3657	2859	4572	7893	
藻類(水苔)	<i>T. lacustris</i>	テトラスポラ属	緑藻類	5315	4012	3215	5207	9820	
	<i>M. willeana</i>	ミクロスポラ属	糸状緑藻類	4876	3874	3532	5368	8746	
	<i>S. cerevisiae</i>	出芽酵母	パン酵母	5015	2301	3105	5124	9053	
真菌(カビ)	<i>S. pombe</i>	分裂酵母	ビール酵母	4733	2464	4375	5737	10856	
	<i>Rhodotorula</i>	赤色酵母		4238	3028	3532	5394	9783	
	<i>S. parasitica</i>	ミスカビ属	水質浄化, 増えすぎると水カビ病の原因	4475	2657	2356	6077	8234	
	<i>A. prolifer</i>	ワタカビ属(卵菌類)		5426	2442	3863	5673	9052	
	<i>A. proliferoides</i>			4872	2673	4012	5385	8747	
	<i>A. racemosa</i>			4849	2452	4321	5472	9472	
	<i>A. cochlioides</i>	アフアノマイセス属(糸状菌類)		4210	2785	3493	5883	8275	

約 10cm の個体 2 個体; 60cm 水槽+外部フィルター+砂&ソイル,  
餌 [ヒカリウーパールーパー小粒 5 粒ずつ)を 2 日目と 4 日目に水槽外で与えた]

餌ペレット添加後 24hr (淡水)



参考 3: 飼育水の中に含まれる腸内細菌のうち乳酸菌 (*L. plantarum*) の存在する割合

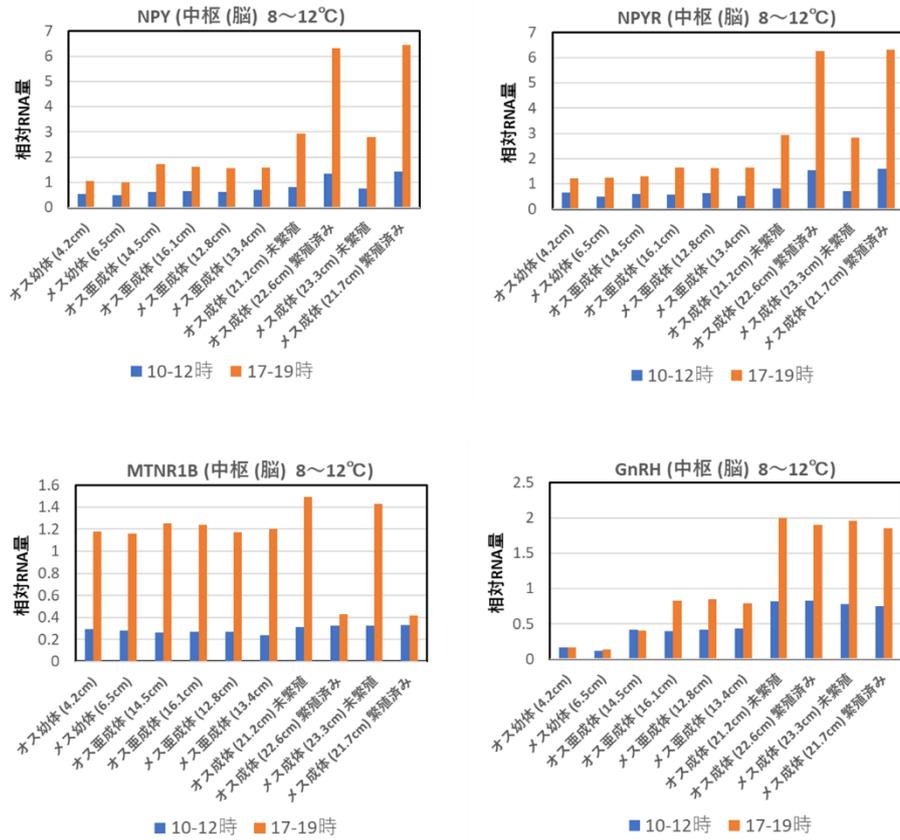


図 1: 産卵誘導時 (低温) の中枢における NPY および 関連因子 mRNA の相対発現量の比較

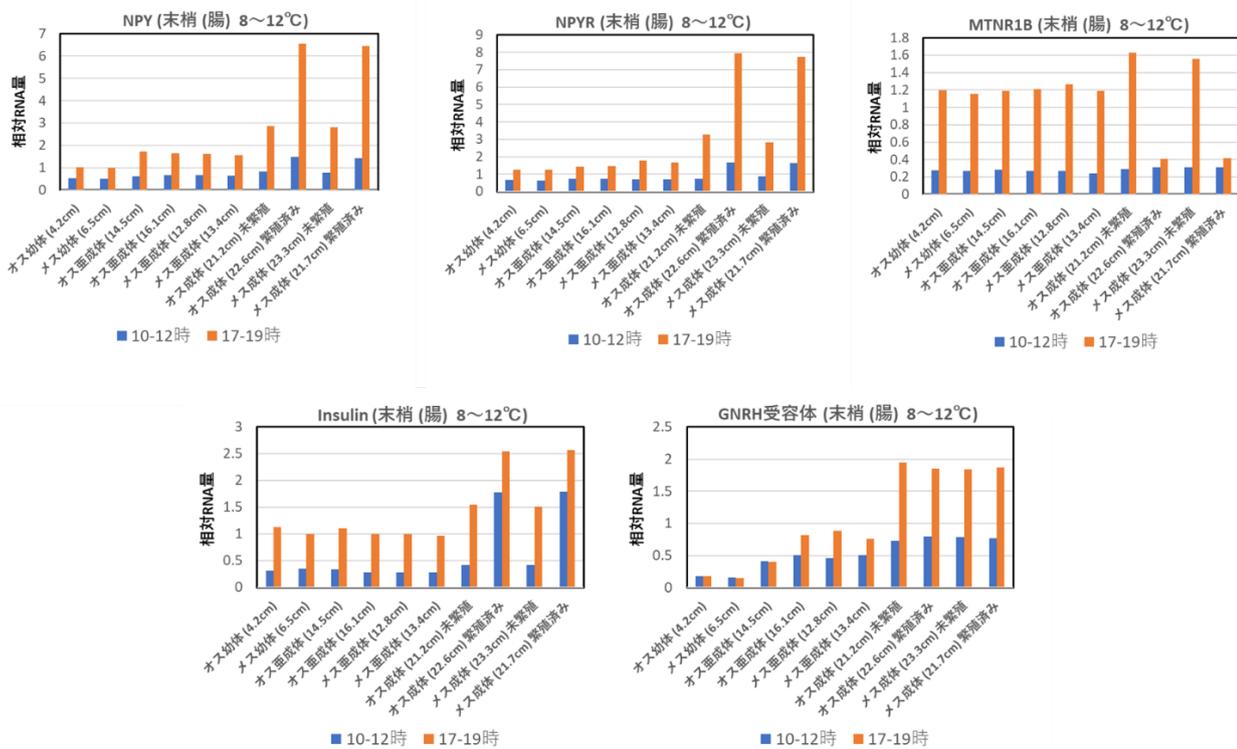


図 2: 産卵誘導時 (低温) の末梢 (胃、腸) における NPY および 関連因子 mRNA の相対発現量の比較

## 参考文献 (アホロートル NPY 関連)

### 乳酸菌 NPY と睡眠誘導

<https://www.meg-snow.com/news/files/dabd0cb6db9420dd0695ea0fd36661da.pdf>

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35811846/>

### 乳酸菌; ラクチプランチバチルス プランタラム (*Lactiplantibacillus plantarum*)

[https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genome/?term=Lactobacillus%20plantarum\[Organism\]&cmd=DetailsSearch](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genome/?term=Lactobacillus%20plantarum[Organism]&cmd=DetailsSearch)

<https://research.wur.nl/en/datasets/lactiplantibacillus-plantarum-16s-ribosomal-rna-gene-partial-sequ>

<https://www.mdpi.com/2674-1334/1/3/12/pdf>

### *Drosophila* NPF

[https://www.amed.go.jp/news/release\\_20180925.html](https://www.amed.go.jp/news/release_20180925.html)

<https://journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.2005004>

<https://www.uniprot.org/uniprotkb/Q9VET0/entry>

### NPF receptor: NPFR vs human ortholog NPY2R

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene?Db=gene&Cmd=DetailsSearch&Term=40754>

### mouse NPY and NPY2R

<https://www.informatics.jax.org/marker/MGI:97374>

<https://www.informatics.jax.org/marker/MGI:108418s>

### *Axolotl* NPY

[https://genome.axolotl-omics.org/cgi-bin/hgTracks?hgtgroup\\_map\\_close=0&hgtgroup\\_genes\\_close=0&hgtgroup\\_rna\\_close=0&hgtgroup\\_up\\_regulation\\_close=0&hgtgroup\\_assembly\\_close=0&hgsid=69715\\_5uEAztFlj0qCx310CTXrTpTbcU5J&position=NPY&hgt.positionInput=NPY&hgt.jump=go&db=ambMex60DD&c=chr1p&l=999&r=2000&pix=950&dinkL=2.0&dinkR=2.0](https://genome.axolotl-omics.org/cgi-bin/hgTracks?hgtgroup_map_close=0&hgtgroup_genes_close=0&hgtgroup_rna_close=0&hgtgroup_up_regulation_close=0&hgtgroup_assembly_close=0&hgsid=69715_5uEAztFlj0qCx310CTXrTpTbcU5J&position=NPY&hgt.positionInput=NPY&hgt.jump=go&db=ambMex60DD&c=chr1p&l=999&r=2000&pix=950&dinkL=2.0&dinkR=2.0)

### *Axolotl* NPY2R

[https://genome.axolotl-omics.org/cgi-bin/hgTracks?hgtgroup\\_map\\_close=0&hgtgroup\\_genes\\_close=0&hgtgroup\\_rna\\_close=0&hgtgroup\\_up\\_regulation\\_close=0&hgtgroup\\_assembly\\_close=0&hgsid=69715\\_5uEAztFlj0qCx310CTXrTpTbcU5J&position=NPY2R&hgt.positionInput=NPY2R&hgt.jump=go&db=ambMex60DD&c=chr1p&l=999&r=2000&pix=950&dinkL=2.0&dinkR=2.0](https://genome.axolotl-omics.org/cgi-bin/hgTracks?hgtgroup_map_close=0&hgtgroup_genes_close=0&hgtgroup_rna_close=0&hgtgroup_up_regulation_close=0&hgtgroup_assembly_close=0&hgsid=69715_5uEAztFlj0qCx310CTXrTpTbcU5J&position=NPY2R&hgt.positionInput=NPY2R&hgt.jump=go&db=ambMex60DD&c=chr1p&l=999&r=2000&pix=950&dinkL=2.0&dinkR=2.0)

### Male female sex differentiation

[https://ambystoma.uky.edu/genetic-stock-center/newsletters/Issues-2016-](https://ambystoma.uky.edu/genetic-stock-center/newsletters/Issues-2016-2018/Axolotl_Newsletter_2017.pdf)

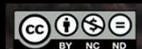
[2018/Axolotl\\_Newsletter\\_2017.pdf](https://ambystoma.uky.edu/genetic-stock-center/newsletters/Issues-2016-2018/Axolotl_Newsletter_2017.pdf)



## FBS\_Ph.D 勉強会・研究発表 ～メキシコサラマンダーにおける 腸内細菌と成長制御～



CC-BY-NC-ND;  
本資料の許可なき  
改変・売買・再配布禁止.



2023/3/25

杉山 遥 (Ph D)\*

\*ウーパールーパー研究室はるらぼ HAL\_Lab\_Axolotl



## ウーパールーパー(アホロートル)とは？

学名: メキシコサラマンダー (*Ambystoma mexicanum*)

### ウーパールーパーの生態

**分類** ● 両性綱有尾目トラフサンショウウオ科トラフサンショウウオ属  
● 有尾類

**別名** ● アホロートル  
● メキシコサラマンダー

幼体のまま成長  
||  
幼形成熟(ネオテニー)



そとえら  
外鰓

**特徴** 再生能力が高い  
7日～40日程度  
手足のみならず臓器や目も

絶滅危惧1A類(CR)に指定されている

↳ 生息地の減少・水質悪化・外来種の食害  
野生の個体はわずか100匹程度

**原産地** メキシコ・ソチミルコ湖

**体の色** 品種改良により5種

リユーススティック…ピンクがかった白・黒目  
アルビノ…ピンクがかった白・赤目  
ゴールデン…黄色  
マーブル…黒褐色の斑点  
ブラック…黒

**生活環境** 生涯水中

変態すれば陸上生活のケースも

少しずつ陸に  
慣らす

甲状腺ホルモン  
を注射

**寿命**

通常10年以上  
陸生化すると3～5年に短くなる

<https://ikimall.ikimonopal.jp/blog/post-1504/>

ウーパールーパー(アホロートル)とは？

学名: メキシコサラマンダー (*Ambystoma mexicanum*)



<https://ikimall.ikimonopal.jp/blog/post-1504/>

愛玩動物としてのウーパールーパー

野生型 (WT)

マーブル



リューススティック



ブラック



アルビノ系統

アルビノ



ゴールデン

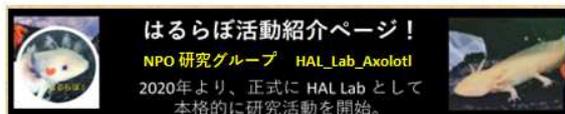


イエロー



## NPO: ウーパールーパー研究室・はるらぼ

2020年より、正式に HAL Lab として本格的に研究活動を開始。



[https://twitter.com/lab\\_new2](https://twitter.com/lab_new2)

ウーパールーパーって、  
可愛いですよね☆



## 自己紹介

### 来歴

杉山 遥: 男性 1987年生れ (35歳)  
 幼少時代より研究者を志す  
 ~2017年 学士・修士 (ショウジョウバエ → ES/iPS細胞)  
 2020年 3月 博士号 (理学・生物学) 取得  
 2020年 ポスドク (非常勤) + 私大の実習担当講師 (非常勤)  
 2021年~ 製薬会社研究員・ポスドク (非常勤) → (無給)  
 2022年 ポスドク (無給) + 一部上場企業の研究職

### NPO設立の経緯

2018年~ ウーパールーパーの飼育に興味を持つ  
 2019年~ 知人との話の中で、海外で実例のある個人研究活動に触れ、自らもその可能性を考えるようになる。  
 2019~2020 “はるらぼ” の事実上設立・運営開始。  
 2021年より本格始動, 複数の研究報告・発表を達成。  
 2022年 **第45回 分子生物学会年会 (幕張メッセ) にて2演題を発表**  
 2023年 **これまでの研究内容や飼育案内を書籍化・公表開始**

## 何故ウーパールーパーなのか？

睡眠や成長制御の関連遺伝子や作用機序等、  
アホロートルでは殆ど解明されていない。  
(研究テーマのブルーオーシャン)

また、昨今の環境保全や SDGs の観点からも、  
テーマ推進の価値が非常に高いと考えている。

目的：アホロートルの成長メカニズムについて明らかにする。  
意義：生態を理解することで、絶滅から救う糸口が掴める。



野生下→体長40cm以上  
(飼育下では30cm程度)

<実験課題>  
アホロートルの成長にとって  
必要な因子は何か？



<実験内容>  
成長率を定量して同定する

## ウーパールーパー研究室・はるらぼ

### 現在の主な取り組み (メキシコサンショウウオ生態研究部)

- ・ウーパールーパー (アホロートル) の飼育条件のアップデート
- ・アホロートルの栄養と成長制御機構の解明
- ・生存競争・生育密度と成長の関係性
- ・魚類における未知の成長制御・発生調節機構の解明
- ・昆虫との相関 (主にショウジョウバエ、フタホシコオロギ)
- ・**両生類の腸内フローラと成長制御に関する調査**



もはや家主の居場所はありません



沢山の個体を維持しています。

## 生育・成長に適した飼育(生育)環境の調査



(A) ペアタンク (=底砂なし)



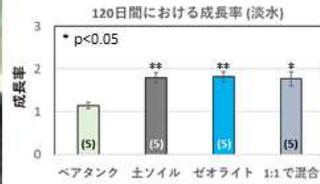
(B) ソイル(土,砂)を加えて自然界に近づけた環境



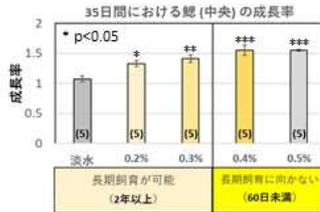
(D) 汽水浴開始時の鯰



(D') 汽水浴(0.2~0.5%)で約1ヶ月飼育後の鯰



(C) ソイル有/無間の成長率比較 (水質は中性: pH 6.5-7.0)



(E) 汽水環境下での鯰の成長率 (水質は中性: pH 6.5-7.0)

→ 2022年末～ 汽水飼育次世代が無事誕生。調査開始!

## 成長制御に重要な因子のスクリーニング

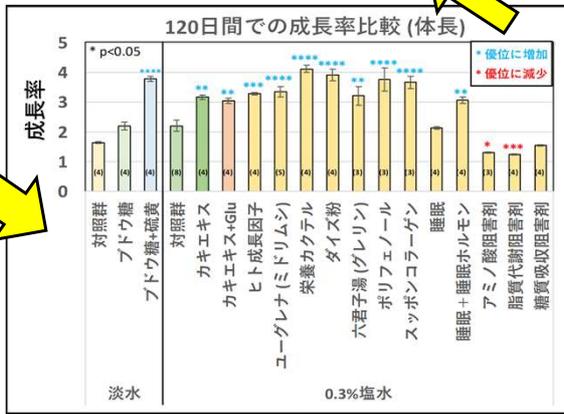
タンパク質(アミノ酸), 脂質(脂肪), 糖質等に注目

ビタミンB, D群, グリシン, アルギニン, 鉄分, 亜鉛など



カキ粉末

グルタミン酸Na (要は"味の素")



## 異種混泳および生育密度が成長に与える影響

**(A)** アホロートル+エゾサンショウウオ (25日間)  
混泳を解消後も高密度で飼育

**(B)** アホロートルのみで高密度飼育 (25日間)  
密度低下 (1/8) → 高密度のまま (A' と同密度)

分離から95日後 (飼育開始から120日後)

**(A')** 高密度のまま維持 (1/2)

**(B')** 密度を更に1/4 (1/32)

**(A'')** 密度を下げる (1/32)

分離から335日後 (飼育開始から360日後)

異種混泳による成長促進

可塑性が残っており、時間をかけて(A)の条件に追いつく。

可塑性が失われ、成長率が大きく低下してしまう。

アホロートルの成長を制御する因子の探索

参考: 異種混泳・生育密度はアホロートルの成長・生育に影響を及ぼす

参照: エゾサンショウウオの環境依存的な多型

若原正己 北海道大学大学院生命科学院生命科学専攻  
[https://www.brh.co.jp/publication/journal/049/research\\_11\\_2](https://www.brh.co.jp/publication/journal/049/research_11_2)

## 異種混泳・飼育密度 最新報告

### 飼育開始から630日目; 約21ヶ月 (分離から605日目)

ウーパールーパー 単独飼育

エゾサンショウウオと混泳した個体

#### 生育には底面積の広さが重要

成長に重要なのは水深? or 底面積?

縦長 (メスシリンダー) 横広 (コンテナ) 横広深底 (水槽)

#### アホロートル (ウーパールーパー) の場合

生後1ヶ月 30~60日間

最終成長期 最終サイズ 300mm 付近

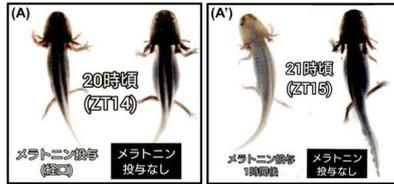
成長率 臨界サイズ 40~60mm 付近

発生時間 約400日間

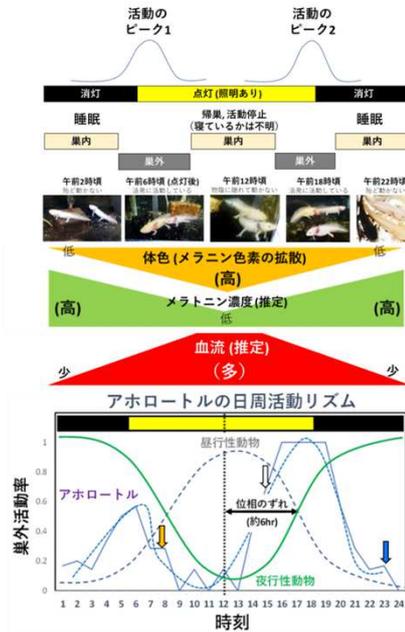
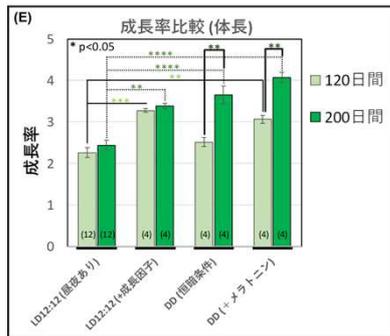
参考: ウーパールーパーの生育密度依存的な成長制御に関する可塑性モデル図

## 前回の発表: ウーパールーパーの睡眠

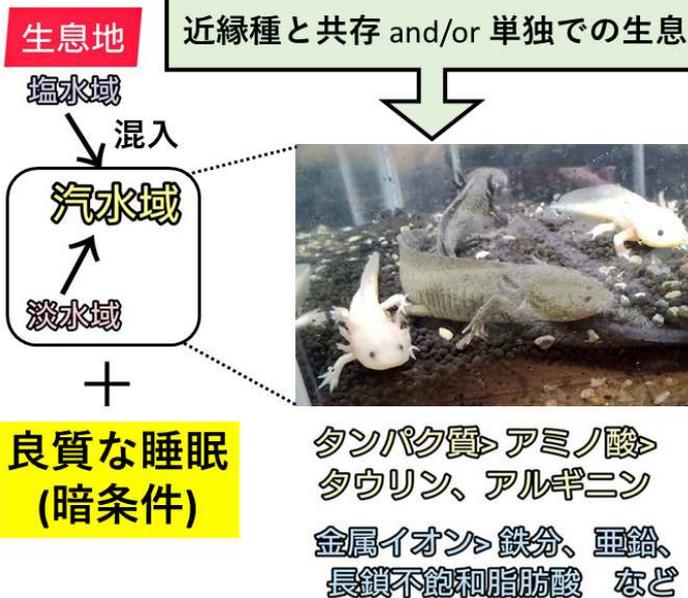
アホロートルは睡眠導入因子メラトニンに反応する



\* 2-3mg 程度を経口摂取させた。



## これまでの知見のまとめ



## 書籍・会報誌 編纂および情報発信

研究論文のまとめ  
・ 研究の公知化



一般飼育者向けの案内を含む  
総説・情報共有



➡ 2023年3月～ **フルカラー冊子の販売開始!** (¥3000～6500)

## 当ラボの無料記事掲載ページ

2022年末、  
研究者ポータルサイト Researchmap のページを開設!  
[https://researchmap.jp/HAL\\_lab\\_Axolot/](https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolot/)

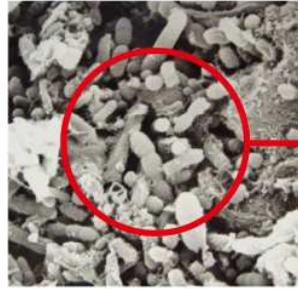


“論文・著作物”のタブから、当ラボ全ての  
関連記事・論文の無料ダウンロード・引用が可能。

# 今回のテーマ メキシコサンショウウオにおける腸の活動

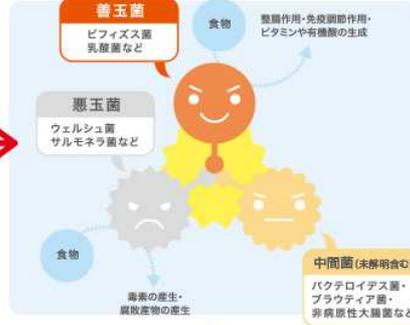
## 腸内フローラ(フロラ = 腸内細菌叢)

私たちの腸の中には数百~千種類、数百兆個以上の細菌がすんでおり、これらの腸内細菌は特に小腸の終わりから大腸にかけて多くすみ着いています。腸内細菌はそれぞれに小さな集合体をつくってお互いのバランスを取っていると考えられ、それを植物が群れている様子になぞらえて「フローラ(植物相)」と呼んでいます。



成人の糞便菌叢の電子顕微鏡写真

### 【腸内細菌の関係】



**POINT!** 腸内細菌叢は善玉菌、悪玉菌および中間菌のせめぎあいです。

森永乳業HP <https://bifidus.jp/relation/>

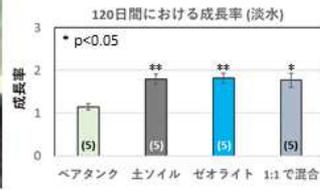
## 生育・成長に適した飼育(生育)環境の調査



(A) ペアタンク  
(= 底砂なし)



(B) ソイル(土, 砂)を加えて  
自然界に近づけた環境



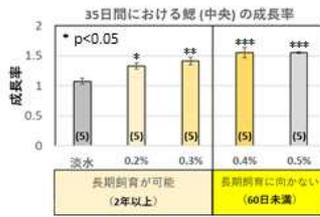
(C) ソイル有/無間の成長率比較  
(水質は中性: pH 6.5-7.0)



(D) 汽水浴開始時の鯉



(D') 汽水浴(0.2~0.5%)で  
約1ヶ月飼育後の鯉



(E) 汽水環境下での鯉の成長率  
(水質は中性: pH 6.5-7.0)

**→ 2022年末～ 汽水飼育次世代が無事誕生。調査開始!**

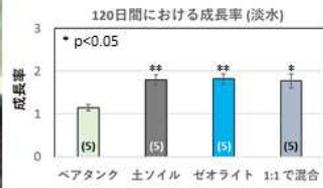
## 生育・成長に適した飼育(生育)環境の調査



(A) ペアタンク  
(=底砂なし)



(B) ソイル(土, 砂)を加えて  
自然界に近づけた環境



(C) ソイル有/無間の成長率比較  
(水質は中性: pH 6.5-7.0)

**底砂あり・・・成長促進**

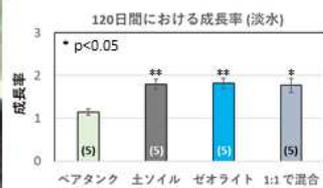
## 生育・成長に適した飼育(生育)環境の調査



(A) ペアタンク  
(=底砂なし)



(B) ソイル(土, 砂)を加えて  
自然界に近づけた環境



(C) ソイル有/無間の成長率比較  
(水質は中性: pH 6.5-7.0)

**底砂あり・・・成長促進**

何故？

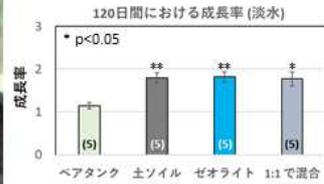
## 生育・成長に適した飼育(生育)環境の調査



(A) ペアタンク  
(=底砂なし)



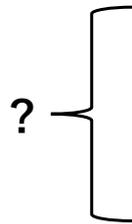
(B) ソイル(土, 砂) を加えて  
自然界に近づけた環境



(C) ソイル有/無間の成長率比較  
(水質は中性: pH 6.5-7.0)

## 底砂あり・・・成長促進

何故？



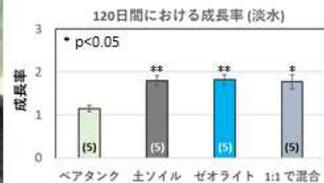
## 生育・成長に適した飼育(生育)環境の調査



(A) ペアタンク  
(=底砂なし)



(B) ソイル(土, 砂) を加えて  
自然界に近づけた環境



(C) ソイル有/無間の成長率比較  
(水質は中性: pH 6.5-7.0)

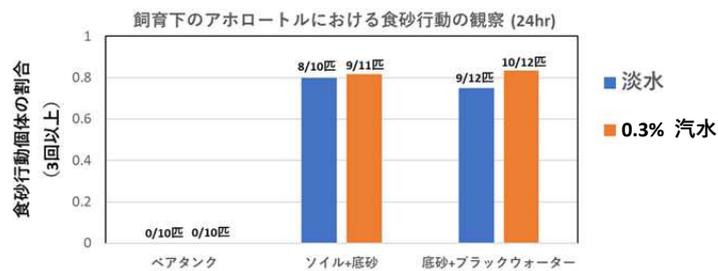


図3: 底砂と触れているアホロートルは食砂行動を示す  
ソイルと触れている個体は複数回の食砂行動を示したことから、  
底砂を摂取することは生育を促進している可能性が示唆された。

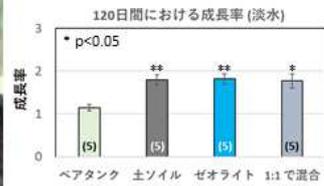
## 生育・成長に適した飼育(生育)環境の調査



(A) ペアタンク  
(=底砂なし)



(B) ソイル(土, 砂)を加えて  
自然界に近づけた環境



(C) ソイル有/無間の成長率比較  
(水質は中性: pH 6.5-7.0)

### 底砂あり・・・成長促進

何故? { 食砂行動

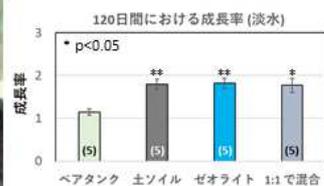
## 生育・成長に適した飼育(生育)環境の調査



(A) ペアタンク  
(=底砂なし)



(B) ソイル(土, 砂)を加えて  
自然界に近づけた環境



(C) ソイル有/無間の成長率比較  
(水質は中性: pH 6.5-7.0)

### 底砂あり・・・成長促進

何故? { 食砂行動 → 物理的な餌の消化補助

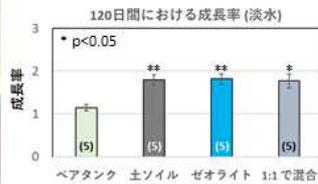
## 生育・成長に適した飼育(生育)環境の調査



(A) ペアタンク (=底砂なし)



(B) ソイル(土,砂)を加えて自然界に近づけた環境



(C) ソイル有/無間の成長率比較 (水質は中性: pH 6.5-7.0)

## 底砂あり・・・成長促進

何故？

食砂行動

- 砂の無機成分を摂取
- 物理的な餌の消化補助
- 砂上の腸内細菌を補填

## 底砂中に含まれる無機成分(ミネラル)は生育に必要

### The Axolotl Newsletter

Issue number 26 Fall, 1997

The Axolotl Newsletter is prepared at the Indiana University Axolotl Colony, Bloomington, Indiana 47405. The Newsletter is distributed free of charge and is supported, in part, by funds from the National Science Foundation. **This Newsletter should not be regarded as a publication. Cite only with specific permission of the author of the article.**

**L.U. Axolotl Colony**  
 Director: George M. Malacinski  
 Assistant Director: Susan T. Duhon  
 Curator: Sandra J. Borland  
 Editor, Axolotl Newsletter: Susan T. Duhon

The Axolotl and its Native Habitat — Yesterday and Today  
 Susan T. Duhon..... 14

### Contents

Axolotl Newsletter Number 26 p.16

which they called the Laguna de Mexico. In addition, a causeway or dike crossing from north to south through Tlahuac separated Xochimilco from Chalco (Sanders, et al., 1979). During the Aztec period nearly the entire Xochimilco-Chalco basin was devoted to chinampas horticulture, as was the Laguna de Mexico around Tenochtitlan. Also, as a result of the Aztec waterworks, saline water was largely prevented from entering the southern lakes, even during periods of flood (Armillas, 1971).

Thus the habitat of the axolotl was significantly affected during the period of the Aztec empire in at least two ways: first, by the spread of the chinampas, which involved the construction of ditches and canals, and second, by the construction of waterworks which controlled water levels and prevented the intrusion of salt water from the axolotl habitat. Its habitat may have been enlarged as well by the expansion of fresh water horticulture into the district around Tenochtitlan. The impact that these historical changes had on the species can only be speculated upon.

The chinampas system and the Aztec waterworks were at their peak when the Spanish Conquistadores arrived in 1519. What

水の硬度 (水 1000ml に対する無機イオンの含有量) に関して簡単に解説すると、

VHWC (世界保健機関) の基準では、

- 硬度が 0~60mg/l 未満が「軟水」
- 60~120mg/l 未満が「中程度の軟水」
- 120~180mg/l 未満が「硬水」
- 180mg/l 以上が「非常に硬水」

と設定されている。メキシコ市内の水は硬水であるとされており、現在で詳細は不明確ではあるものの、メキシコラングラーも汽水環境で生存していたと考えられている。

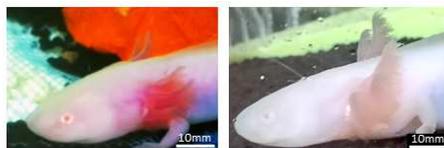
ちなみに左表は、メキシコ市内の水硬度の組成の一側であるが、pH が 7.5、Mg、Ca の硬度は硬水の範囲に該当する硬度で含まれている。また、Na、K の含有率も高いことが分かる。

水硬度に結晶ができる程度であるとされ、そのまま飲料用での使用には向かない。

(January, 1997, Microbiological study of drinking water in Mexico)

図 1: 野生のアホロートルの生育には汽水・硬水の環境が好ましい

粘土鉱物	理想式	陽イオン交換容量 (eq/kg)
パーミキュライト	$K_{1.1}Al_2Si_2Al_{1.2}Fe_{0.4}Mg_{0.4}O_8(OH)_4$	1.0~1.5
モンモリロナイト	$K_{0.4}Al_2Si_2Al_{1.4}Fe_{0.4}Mg_{0.4}O_8(OH)_4$	0.7~1.2
緑泥石	$Fe_2Mg_4(OH)_{12}Si_4Al_2O_{20}(OH)_4$	0.1~0.4
アタルジャイト	$Mg_2Si_4O_{10}(OH)_2(H_2O)_4$	0.2
ハロイサイト	$Si_4Al_2O_{10}(OH)_2(H_2O)_4$	0.05~0.5
カオリナイト	$Si_2Al_2O_5(OH)_4$	0.03~0.15



(D) 汽水浴開始時の鰓 (D') 汽水浴 (0.2~0.5%) で約1ヶ月飼育後の鰓

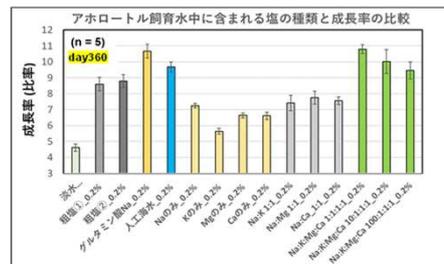
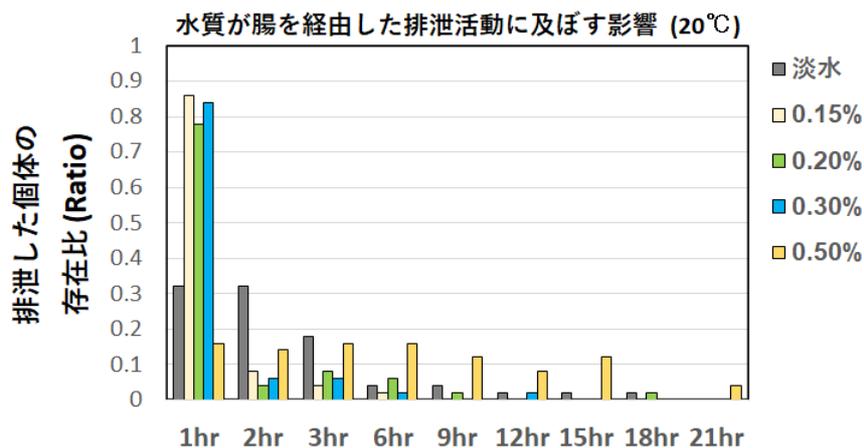


図 2: 塩類を添加することでアホロートルの成長は促進される。

## 汽水・硬水環境は メキシコサラマンダーの腸機能を活性化する

汽水環境 (0.15~0.3%), 高水温, 換水刺激

↓  
排便 (腸活) 促進効果を示す。



## 底砂・底泥の中には**ヒューミン(腐食酸)**と **分解者(濾過バクテリア・真菌類・藻類など)**が存在する

### フルボ酸は有限資源?

フルボ酸は、自然界では微量にしか生産されない貴重な資源で、通常は腐植土層に多く存在します。

腐植土層とは、森林生態系において地上部の動植物により生産された有機物が堆積し、微生物により分解されて土状になったものです。

自然界では1cm形成するのに100年の時間を要します。尚、厳密には土ではありません。

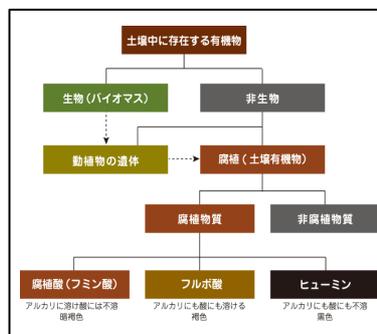


この腐植土の中で、微量にしか生産されないものが「フルボ酸」です。

### 【フルボ酸とフミン酸の違い】

フルボ酸とフミン酸はともに腐植物質(ヒューミン)といわれ、有機物質、特に植物の分解で作り出されます。どちらもキレート力(つかむ力)がありますが、その能力には濃度の差があり、フルボ酸がキレート能力でミネラルやアミノ酸を選び、さらに過剰なミネラルを排出する働きがあることに比べ、フミン酸には一過性のキレート能力しかありません。

- A: フミン酸  
アルカリ水溶液に可溶するアルカリ物質で、色素が濃く暗褐色物質といわれる。
- B: フルボ酸  
酸性溶液中に可溶性物質で、土壌界では「金にも勝る物質」と言われるほど希少価値が高く、黄金色に輝く黄金物質。キレート力にも優れ、フミン酸に比べ効果が高い。



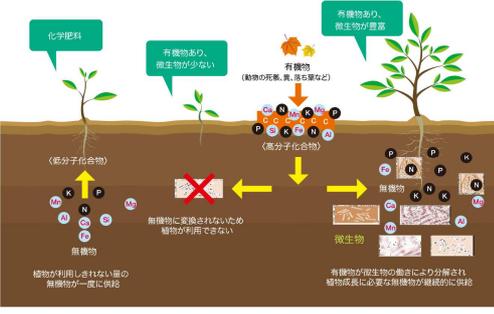
<https://furubo.net/fulvic/>

フミン酸・フルボ酸とは | 株式会社ケーツーコミュニケーションズ (keitwo.co.jp)

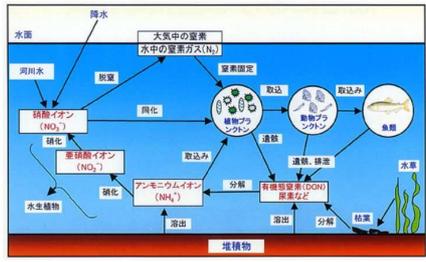
底砂・底泥の中には**ヒューミン(腐食酸)**と**分解者(濾過バクテリア・真菌類・藻類など)**が存在する

土壌においても水中においても、微生物が有機物を分解し、無機イオンや窒素源を生成し、自然界で循環させる働きを持つ。

土壌微生物による有機物の分解



水中の硝化バクテリアを介した有機物分解後の窒素源の循環



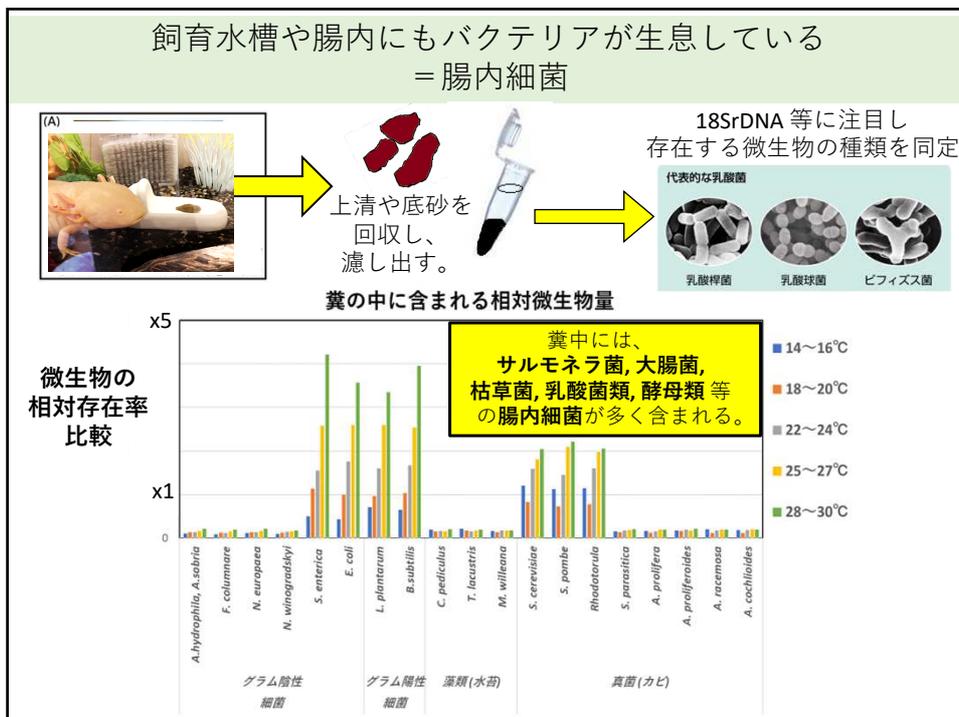
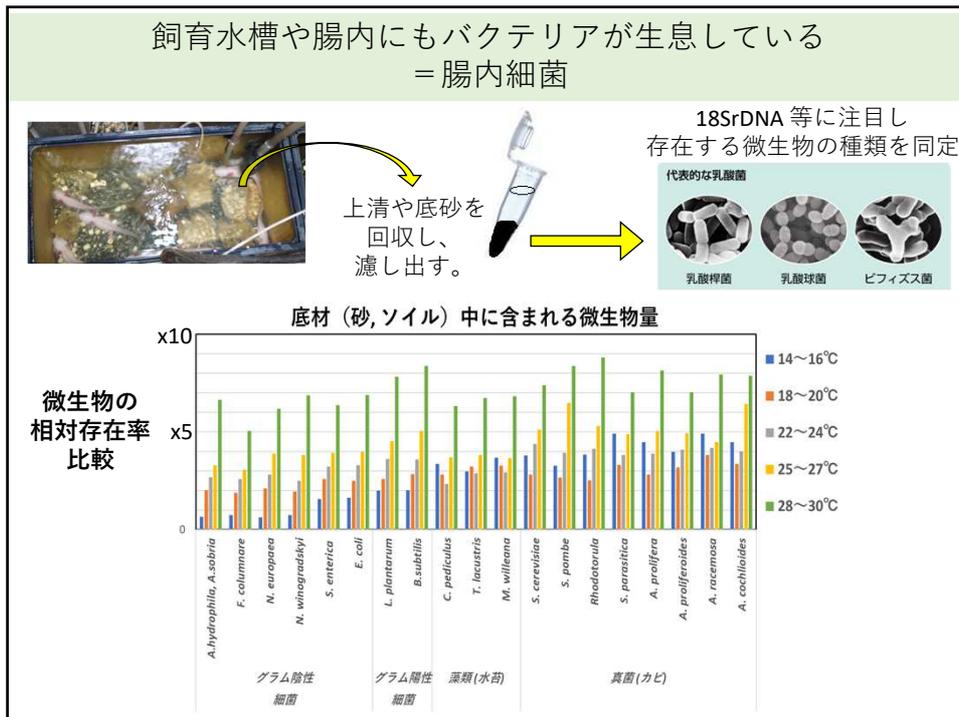
立命館大学活動報  
<https://www.ritsumeai.ac.jp/research/radiant/gastronomy/story5.html/>

湖沼における窒素循環の模式図

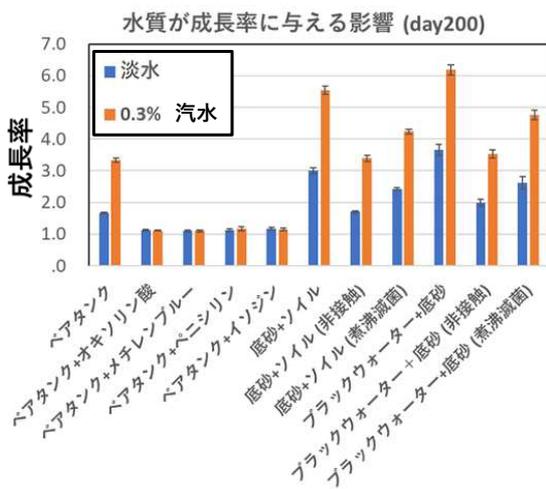
飼育水槽や腸内にもバクテリアが生息している  
 = 腸内細菌

性質・種類	学名	属・分類	備考
グラム陰性細菌	<i>A. hydrophila, A. sobria</i>	エロモナス類	感染症の原因菌
	<i>F. columnare</i>	カラムナリス類	感染症の原因菌
	<i>N. europaea</i>	ニトロソモナス類	アンモニア硝化菌
	<i>N. winogradskyi</i>	ニトロバクター類	亜硝酸酸化菌
	<i>S. enterica, E. coli</i>	サルモネラ類, 大腸菌	腸内細菌
グラム陽性細菌	<i>L. plantarum</i>	乳酸菌	腸内細菌
	<i>B. subtilis</i>	枯草菌類	濾過バクテリア
藻類(水苔)	<i>C. pediculus</i>	コッコネイス属	珪藻類
	<i>T. lacustris</i>	テトラスボラ属	緑藻類
	<i>M. willeana</i>	ミクロスボラ属	糸状緑藻類
真菌(カビ)	<i>S. cerevisiae</i>	出芽酵母	パン酵母
	<i>S. pombe</i>	分裂酵母	ビール酵母
	<i>Rhodotorula</i>	赤色酵母	赤色酵母
	<i>S. parasitica</i>	ミスカビ属	水質浄化, 増えすぎると水カビ病の原因
	<i>A. proliferata</i>	ワタカビ属(卵菌類)	
	<i>A. proliferoides</i>		
	<i>A. racemosa</i>		
<i>A. cochlioides</i>	アフアノマイセス属(糸状菌類)		

当ラボの飼育環境にて確認できた微生物の一部; 依頼分析で 18SrDNA にて存在を確認。



腸内細菌を抗生剤等で殺菌すると生育率が低下する



**グリーンFゴールド・リキッド**

主成分: オキシリン酸

多くのグラム陰性菌と大半のグラム陽性菌に対して殺菌効果を示す。



**【第3類医薬品】イソジンうがい薬C**

- 組成
- ・ポビドンヨード 0.35 %
  - ・エタノール
  - ・グリセリン
  - ・メントール 他

**図2: 飼育水槽の水質が成長率に与える影響**  
飼育水槽にバクテリアが不在であると成長が著しく阻害される。同様に、底砂と直接接していないと成長率が低下する。

**VPVI (ポビドンヨード)**

ウイルスや細菌・真菌に対して殺ウイルス効果・殺菌効果がある。

腸内活動の活性化によって成長率が向上する (23/3/26 写差し替え)

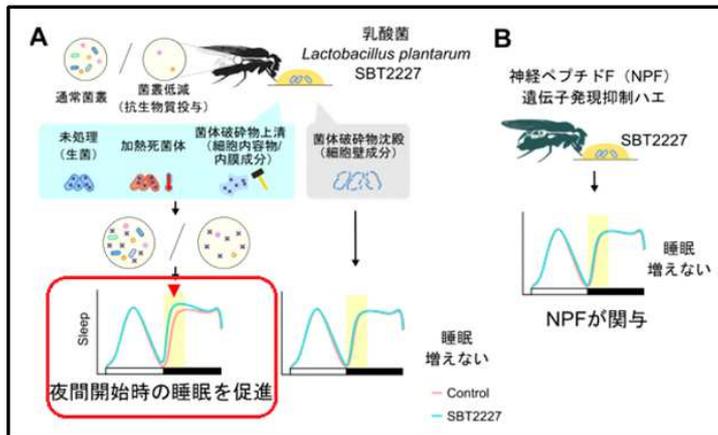


各スケールバー: 50mm

- ・オキシリン酸 → グラム陰性菌 および一部のグラム陽性菌に有効
- ・メチレンブルー → グラム陽性菌に有効
- ・ペニシリン → グラム陰性の球菌 およびグラム陽性菌に有効
- ・イソジン (ポビドンヨード) → グラム陽性菌, グラム陰性菌, 結核菌, 真菌, 一部のウイルス等 広範囲の微生物に対して有効

## ショウジョウバエにおける神経ペプチド NPF と腸内乳酸菌の関係性

神経ペプチド NPY (ショウジョウバエの NPF) に注目。  
また、乳酸菌と NPY が睡眠導入に重要との文献あり。

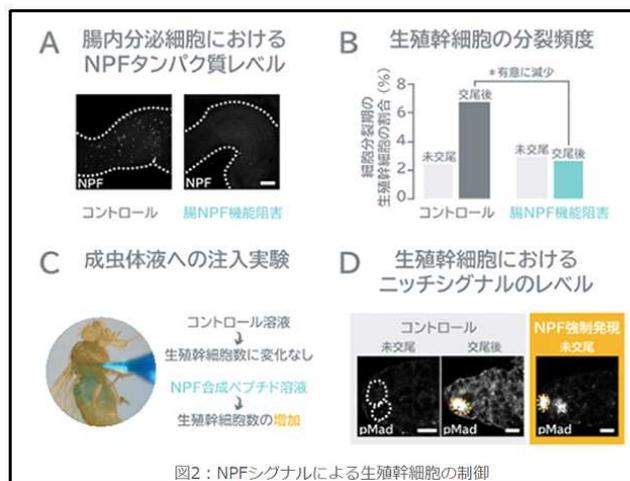


(Taro Ko et al., *iScience*, 2022)

<https://www.cell.com/action/showPdf?pii=S2589-0042%2822%2900898-7>

## ショウジョウバエにおける神経ペプチド NPF と腸内乳酸菌の関係性

ショウジョウバエにおいて、メス側の産卵促進にオスの交尾刺激(精液成分の導入)からの NPY (NPF) 放出促進 → 生殖幹細胞の分裂促進 → 最終的に産卵数の増大へと繋がる？



(Ameku et al., *PLOS Biol*, 2016)

<https://journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.2005004>

## メキシコサラマンダーにおける神経ペプチド NPY と睡眠 および 腸内乳酸菌の関係性

### 予想される睡眠促進の作用機序

底材を食べる → 乳酸菌摂取 → NPYと共に作用 → 睡眠促進 → 成長促進  
 床材や糞の中にラクチプランチバチルス プランタラム (*Lactiplantibacillus plantarum*) が含まれる。乳酸菌が死んでいても効果がある。

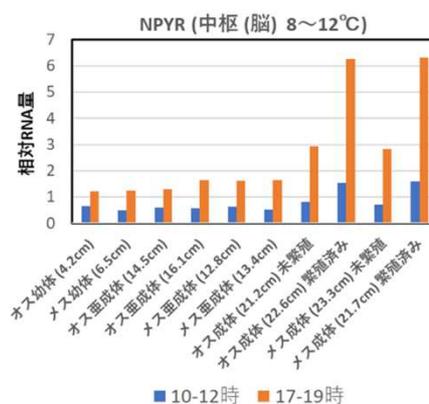
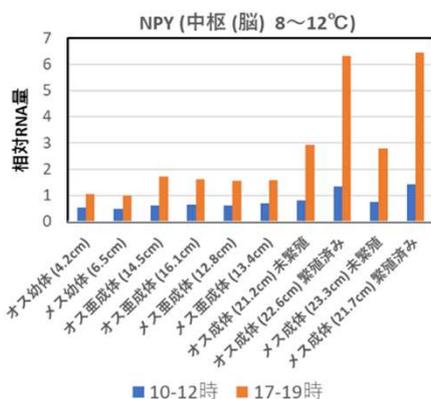
### 予想される産卵促進の作用機序

メス側の産卵促進にオスの交尾刺激(精液成分の導入)からのNPY (NPF) 放出促進  
 → 生殖幹細胞の分裂促進 → 最終的に産卵数の増大へと繋がる？

### 検証内容

- ・過去の、乳酸菌投与の検証結果と、腸内乳酸菌の存在比の結果を併せて考える。
- ・成長率の高い個体中で、メラトニン受容体の発現とNPY, NPY受容体の発現は高くなるか？
- ・NPY神経分泌に合わせて、性成熟は促進されるか？
- ・睡眠誘導によって子孫数が増えるが、そのときNPYの分泌量は増えるのか？

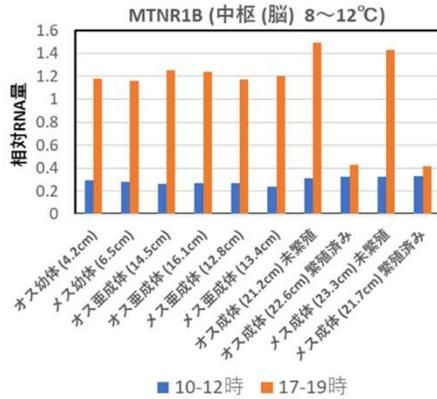
## メキシコサラマンダーにおける神経ペプチド NPY と睡眠 および 腸内乳酸菌の関係性



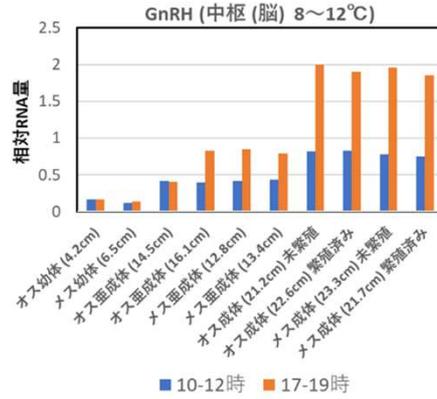
産卵誘導時(低温)の中枢におけるNPYおよび関連因子mRNAの相対発現量の比較

## メキシコサラマンダーにおける神経ペプチド NPY と睡眠 および 腸内乳酸菌の関係性

### 睡眠導入因子メラトニンの特異的受容体

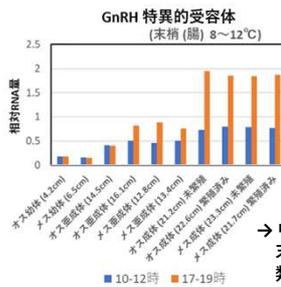
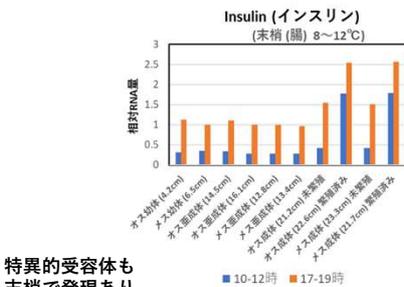
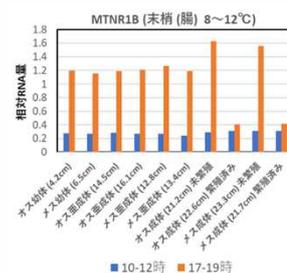
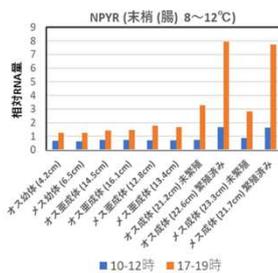
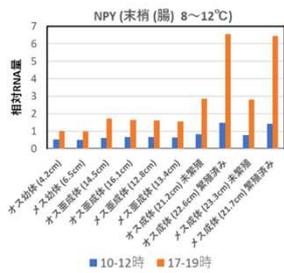


### 生腺刺激ホルモン放出ホルモン



産卵誘導時(低温)の中枢におけるNPYおよび関連因子mRNAの相対発現量の比較

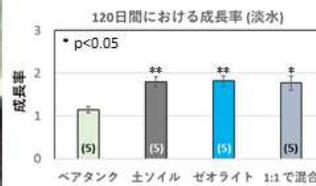
## メキシコサラマンダーの産卵誘導時(低温)の末梢(胃、腸、卵巣)における NPY および 関連因子mRNAの相対発現量の比較



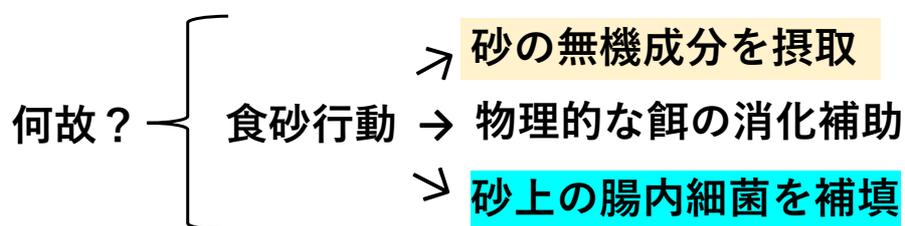
特異的受容体も末梢で発現あり

→ 中枢の間脳視床下部や、末梢(性腺)においても、類似の発現パターンを示す。

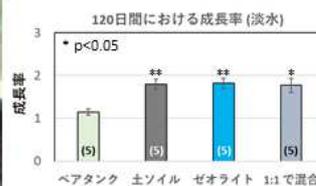
## 底砂追加による成長促進効果の正体

(A) ペアタンク  
(=底砂なし)(B) ソイル(土, 砂)を加えて  
自然界に近づけた環境(C) ソイル有/無間の成長率比較  
(水質は中性: pH 6.5-7.0)

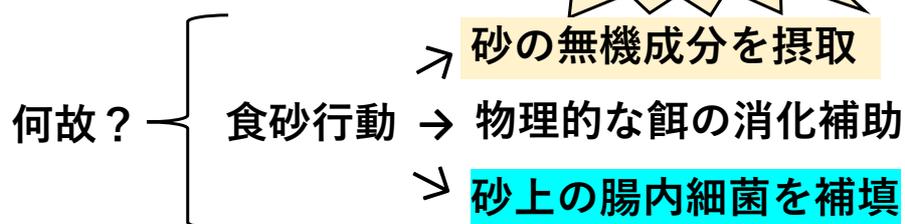
## 底砂あり・・・成長促進



## 底砂追加による成長促進効果の正体

(A) ペアタンク  
(=底砂なし)(B) ソイル(土, 砂)を加えて  
自然界に近づけた環境(C) ソイル有/無間の成長率比較  
(水質は中性: pH 6.5-7.0)

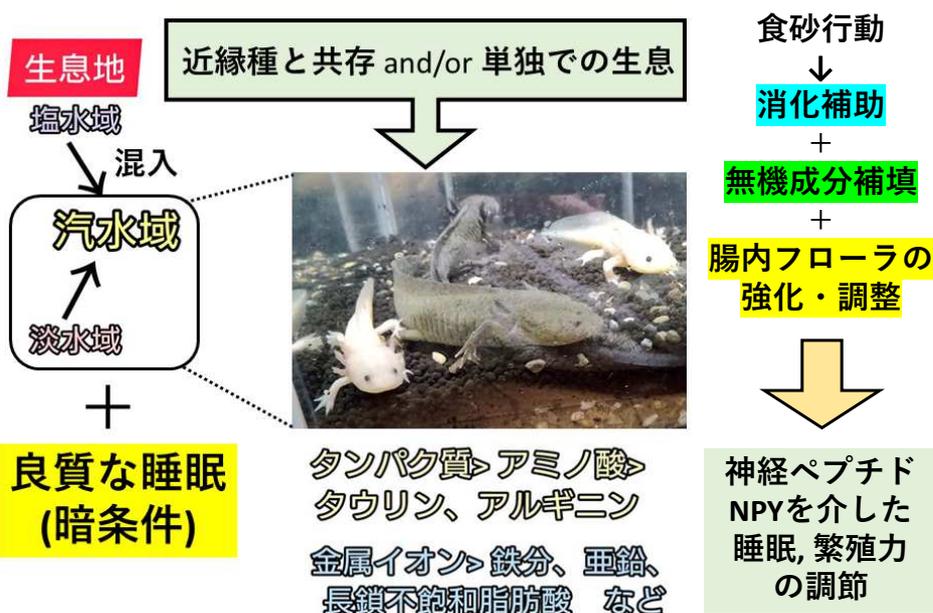
## 底砂あり・・・成長促進 相乗効果！



## まとめ: メキシコサラマンダーの腸内環境と成長制御

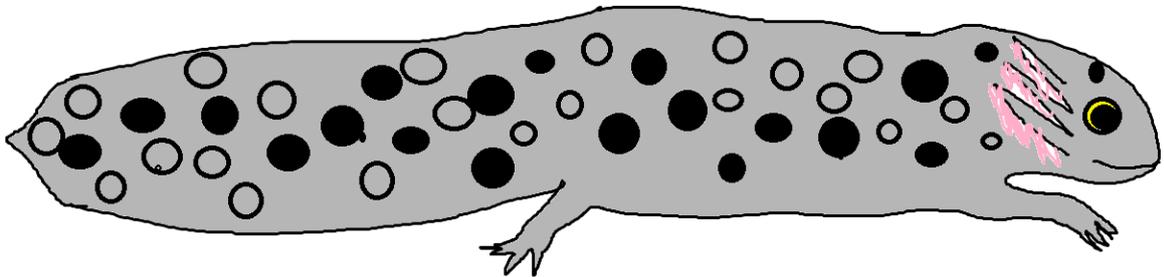
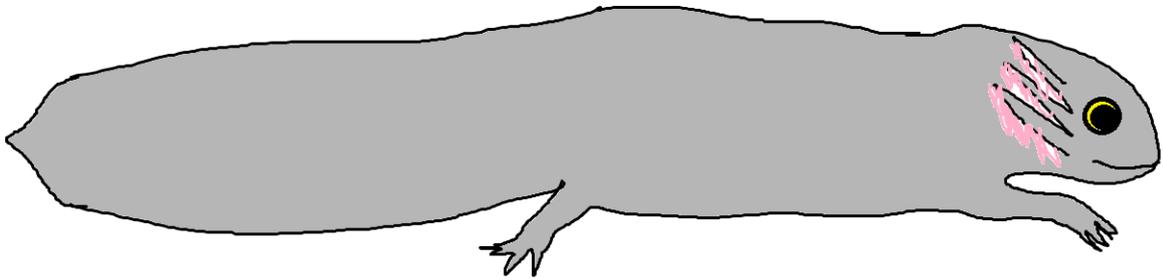
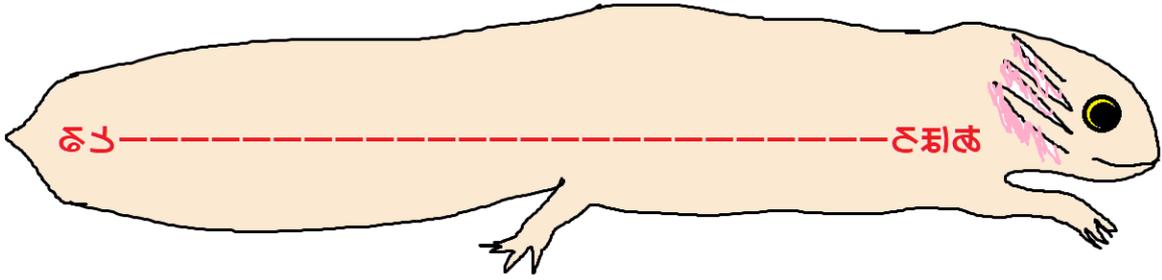
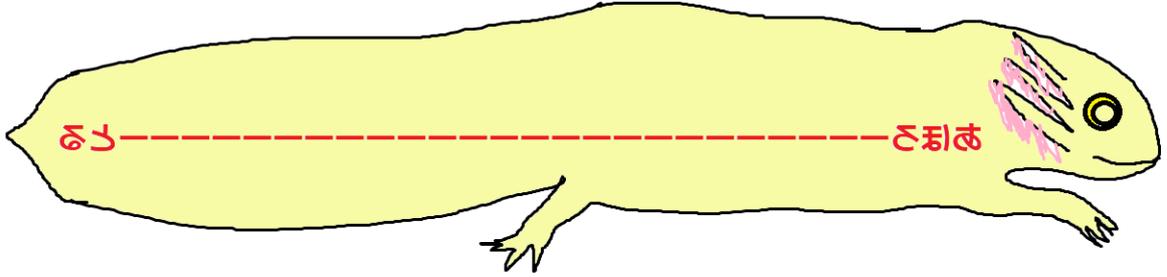
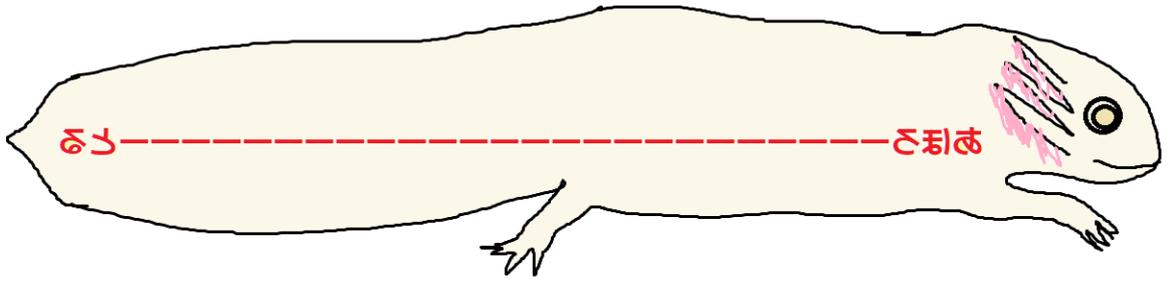
- ・メキシコサラマンダーはかつての生息地にて、硬水かつ汽水の環境で育ってきた可能性がある。
- ・食砂行動は、物理的な消化の補助効果以外にも、副次的な効果があることが分かった。
- ・底砂を食べることで、消化の補助に加え、底砂や泥から Si, Fe, Zn, P, Na, Ca などの無機成分を摂取している。
- ・食砂行動によって、底砂に付着する乳酸菌類などの腸内細菌を定期的に摂取し、腸内細菌叢を安定化させている。
- ・神経ペプチドである NPY を駆使して、摂取した乳酸菌類との相乗効果によって睡眠の制御による生育調節や性成熟、生殖細胞数の調節による繁殖力の制御を行っている。

## これまでの知見のまとめ2



CC-BY-NC-ND;  
本資料の許可なき改変・売買・再配布禁止.





# <ウーパールーパー研究報告>

## ネオテニーの上陸化を誘導する因子 Part.1 (22/11/1 → 23/4/5 更新)

著: 杉山 遥 (Ph.D; 詳細調査・本記事の主な執筆者)<sup>1\*,\*\*</sup>; 久木崎 玲美 (上陸化に関する調査)<sup>1</sup>

所属: <sup>1</sup>ウーパールーパー研究室はらば

詳細: \*主任研究者 \*\*責任著者

ウーパールーパーは幼形成熟をする、所謂“ネオテニー”と呼ばれる形態を取る両生類として知られている。一方で、時折、ウーパールーパーの上陸化個体も見られることがあり、その両生類としての潜在能力が未だ残っていることが分かる。当ラボでも、このネオテニーの変態について調査を行ってきた。尚今回、当ラボが変態個体に関して取り上げるきっかけとなったのは、久木崎 研究員 からの写真情報の提供から始まり、同氏にはこの場で改めて心からの感謝の意を表したいと思う。尚、本記事の執筆に際し、**参考文献 [1-49]** を参照しつつ幾つかの調査・研究を進めた。

### 1. 有尾両生類の変態と上陸化

通常の有尾両生類の様子について、以下の参考資料を紹介したい (図 1 (A)~(C))。

通常の両生類では、成長に伴って、体内の甲状腺ホルモン T4 の急激な放出が甲状腺刺激ホルモン TSH によって誘導されることで変態が促進され (図 1 (B))、上陸化が進むことで成体へと変態を果たすのである (図 1 (C))。この過程で、平坦な構造の眼から瞼を持った球体の眼へと変化が起こり、鰓が委縮して鰓呼吸から肺呼吸への移行することで、陸上での生育に適した身体の構造へと変化していく。非常によく出来た機構であるといえる。



図 1: 有尾両生類 (アカハライモリ) の変態・上陸化の過程

### 2. ネオテニー (幼形成熟種) の特徴と変態する可能性

通常のネオテニー、すなわち幼形成熟個体は、幼体の特徴を持ったまま性成熟が行えるような分子機構を持ち、図 2 (A) の状態を保持している。しかし、メキシコサラマンダー、アンダーソンサラマンダー等のネオテニーの仲間も、現在も変態可能な潜在能力を持っており、ある特定の条件下では図 1 のアカハライモリの示すような変態過程を辿る場合もあることが分かっている (図 2 (B)~(D))。

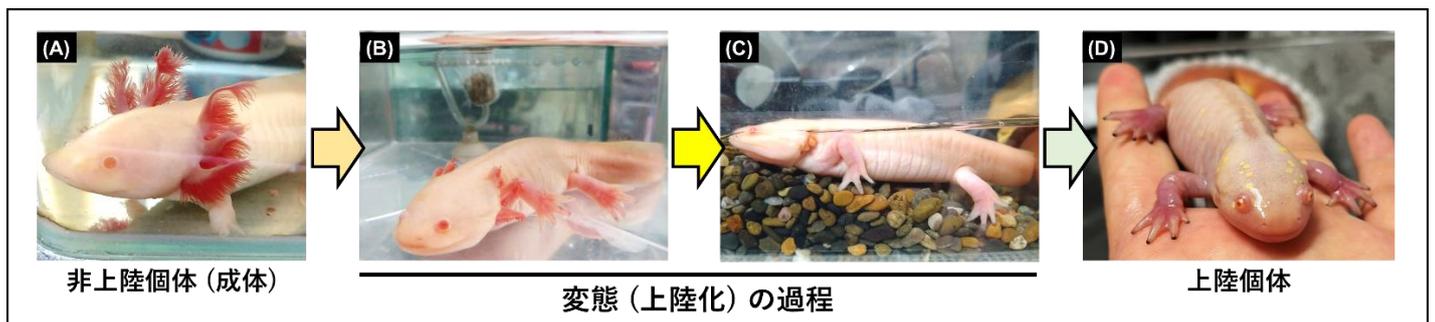


図 2: アホロートルの変態・上陸化の過程 (画像提供: 久木崎 研究員)



### 3. ネオテニーの変態と原因因子の特定

ネオテニーが通常変態できない理由は諸説あるが、メキシコサラマンダーの場合は、甲状腺ホルモンの放出に関する異常であるとされており、甲状腺ホルモンの制御に関する経路や機構について理解し、遺伝学的・生理学的な制御機構の調査を実施することが急務であった。

当ラボでの調査・研究に差し当たって、変態と甲状腺ホルモンに関する幾つかの文献から制御モデル図を選定した物を例に挙げる。

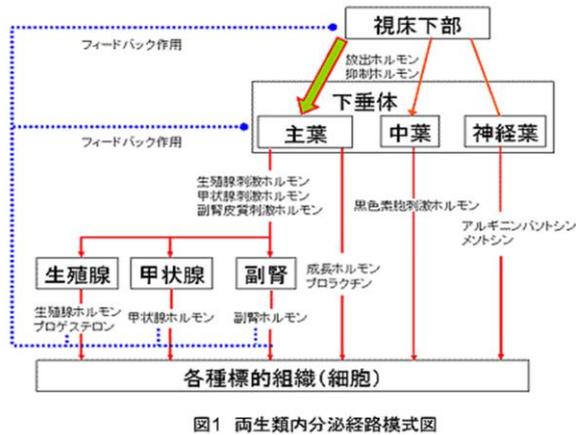


図1 両生類内分泌経路模式図

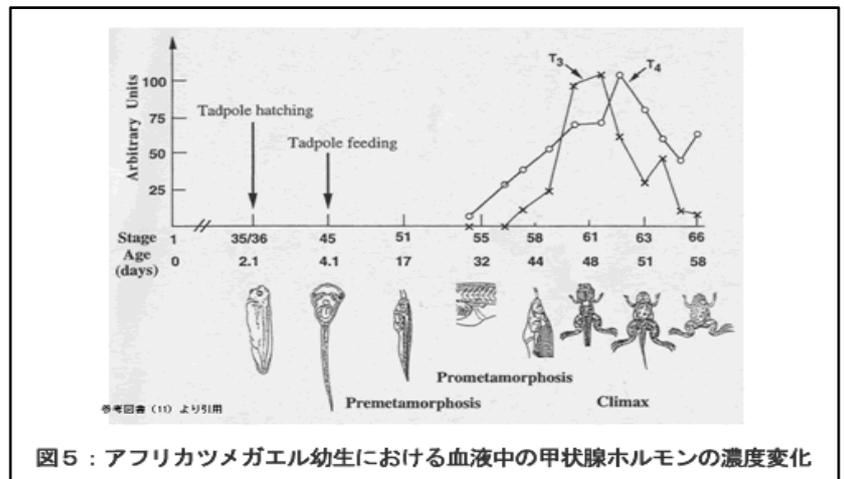
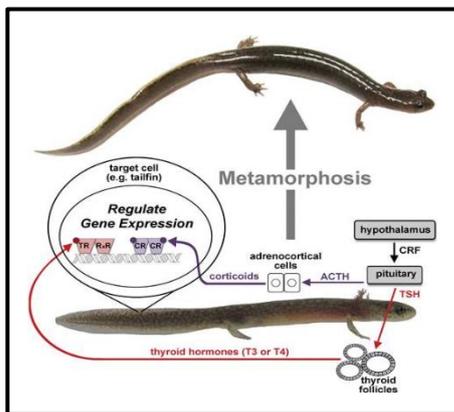


図5 : アフリカツメガエル幼生における血液中の甲状腺ホルモンの濃度変化

Official Endocrine Disruption Website

化学物質の内分泌かく乱作用に関する情報提供サイト

[https://www.env.go.jp/chemi/end/endocrine/1guide/detail\\_a1-3.html](https://www.env.go.jp/chemi/end/endocrine/1guide/detail_a1-3.html)

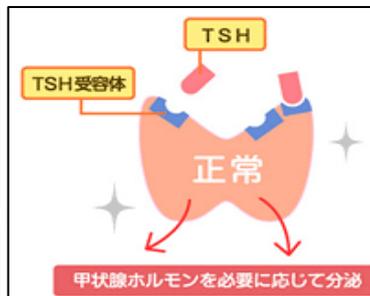


※ PRL: プロラクチン (哺乳類催乳ホルモン)

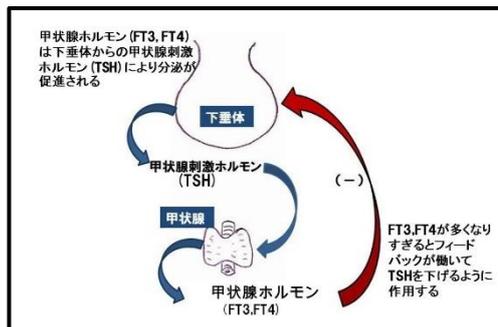
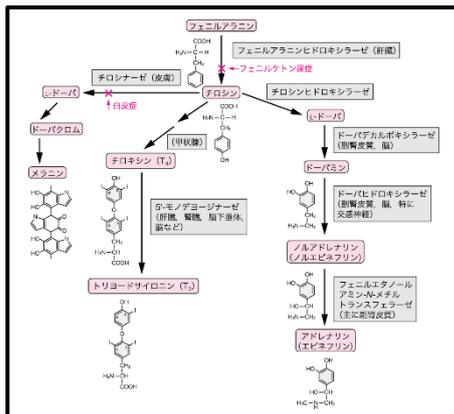
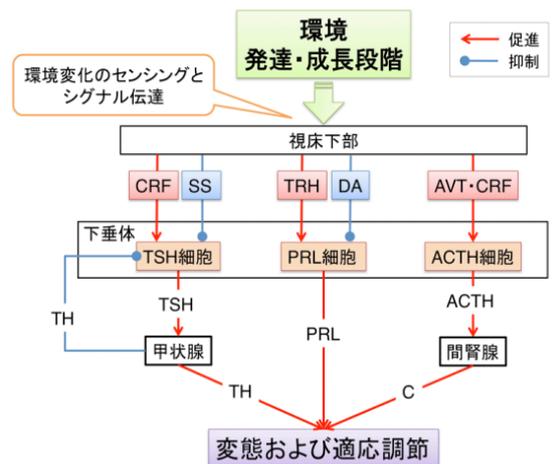
→ 両生類では変態・上陸を抑制する

ACTH: 副腎皮質刺激ホルモン

GnRH: 性腺刺激ホルモン放出ホルモン



甲状腺ホルモンを必要に応じて分泌



甲状腺ホルモン (FT3, FT4) は下垂体からの甲状腺刺激ホルモン (TSH) により分泌が促進される

FT3, FT4が多くなるとフィードバックが働いてTSHを下げるように作用する

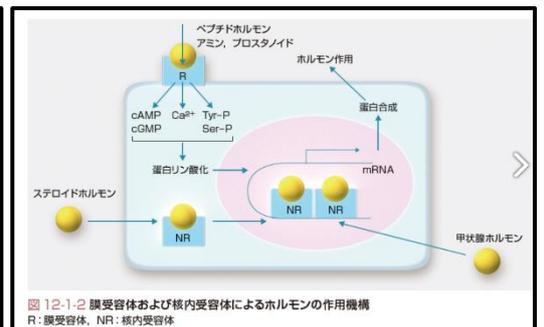


図 12-1-2 膜受容体および核内受容体によるホルモンの作用機構

図 3: 参考資料; 両生類の甲状腺ホルモン制御と代謝制御に関する情報

これらの知見に基づき、メキシコサラマンダーにおける変態制御機構の予想モデル図 (次頁 図 4) を作製し、メキシコサラマンダーやアカハライモリを含む両生類を用いて、変態過程における甲状腺ホルモン制御や成熟化に関わる遺伝子発現に関して、qRT-PCR による遺伝子発現の解析を実施することで、上陸化の原因やネオテニーとしての特徴を制御している因子の特定を試みた。

調査の結果、変態できるメキシコサラマンダーの個体では、通常変態する両生類と同程度に TSH の発現上昇が不安定ながら見られている一方、やはりネオテニーの特徴を示す個体では、変態可能な亜成体 (10cm 程度の大きさの個体) では非常に発現が低いことが分かった。また、やや変態しやすいとも言われるアンダーソンサラマンダーでは、TSH の発現量がメキシコサラマンダーよりも若干高い傾向があることが明らかとなった。

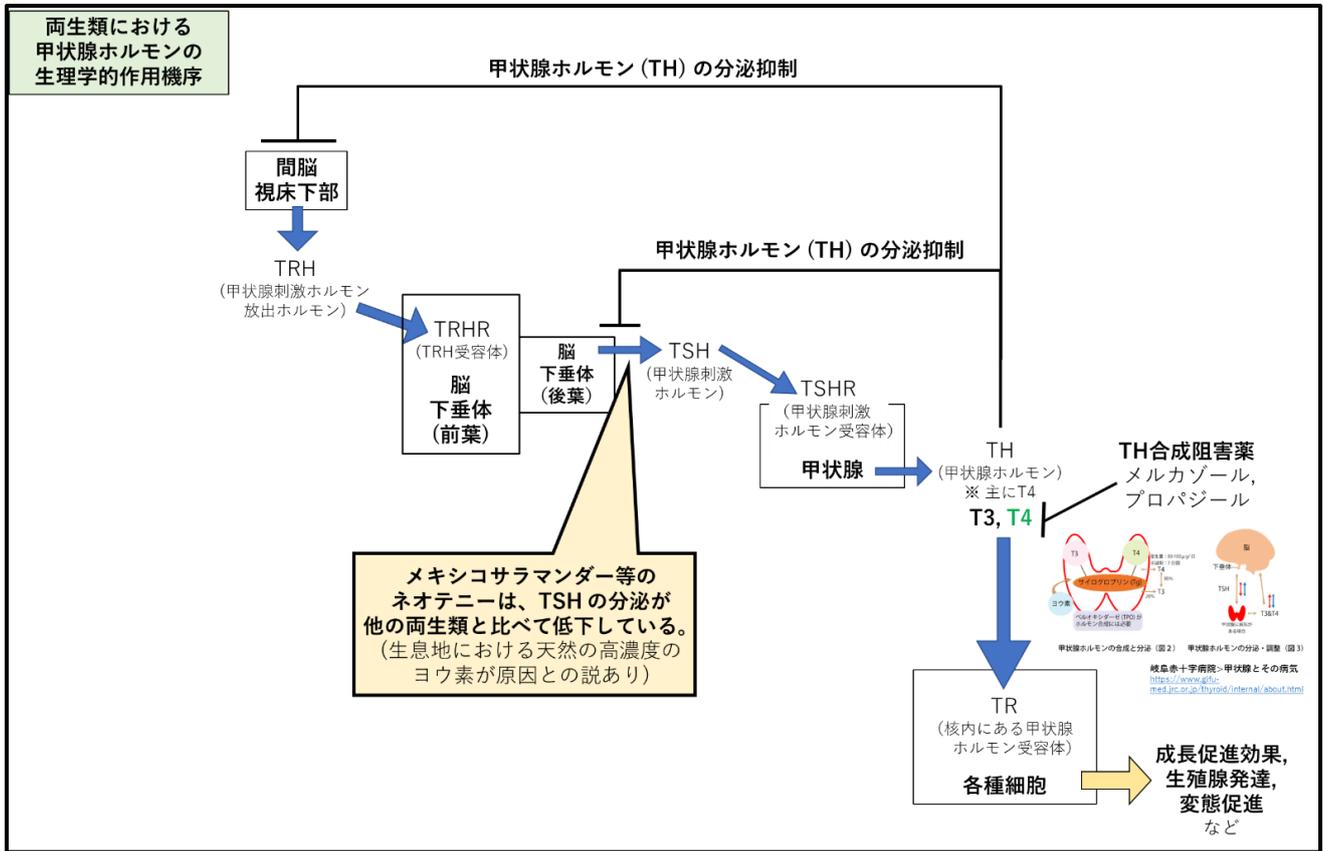


図 4: ネオテニー(幼形成熟)個体と甲状腺ホルモンの制御機構の推定モデル図

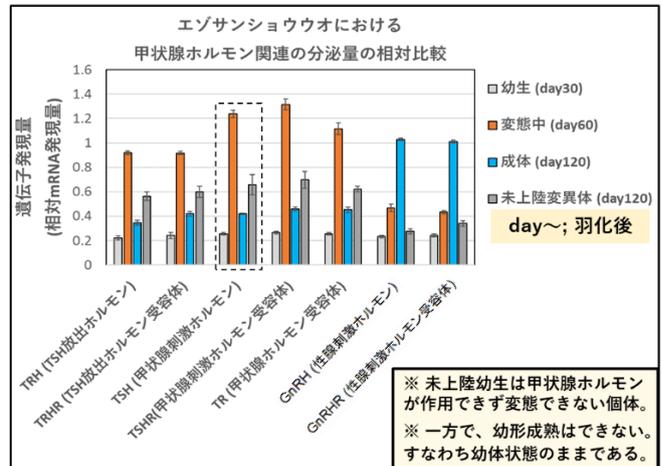
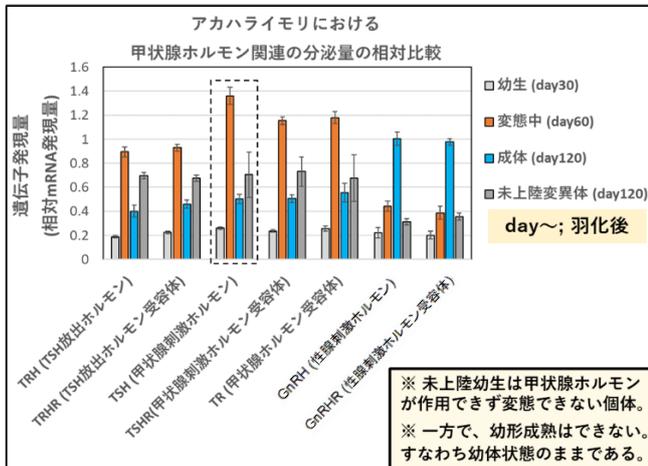
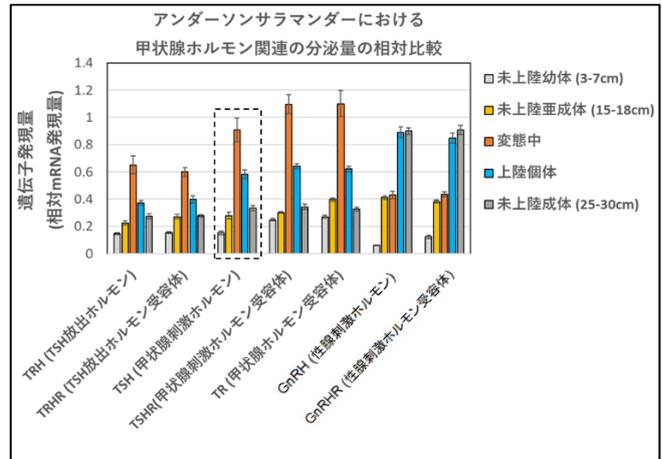
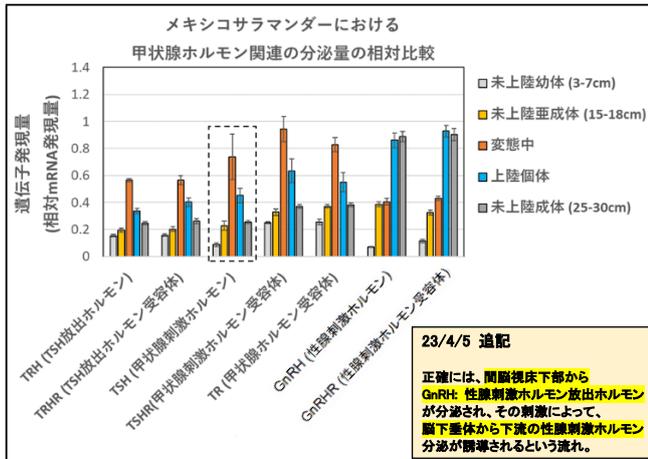


図 5: 上陸個体と幼形成熟する個体における 甲状腺刺激ホルモン (TSH) および 甲状腺ホルモン (主に T4) 分泌量の (推定) 比較

#### 4. 甲状腺ホルモン阻害はネオテニーの成熟化を抑制する

当ラボの研究では、前述の 図 4 において、甲状腺ホルモン阻害剤であるプロパジールを投与する検討を実施した実績がある。

【はらば会報誌・ウーパールーパーだより vol 2.1\_2022/6/5 <https://drive.google.com/file/d/1CU7Afs67mGaX1DC9v1kachExWjliqUFZ/view>

> 杉山; 萩原 著> アホロートルにおける睡眠と成長および概日リズムの関係性 Relationship between sleeping, growth, and circadian rhythm in the Axolotl, *Ambystoma mexicanum*】において、明暗条件における成長率の比較と併せて、成熟化の抑制(すなわち下流の成長ホルモン (GF) 経路の阻害) 効果を確認する検討時にこのプロパジールを用いた (図 6)。

プロパジールを投与した個体は、恒暗条件 (DD) および DD+メラトニンによる睡眠促進条件 がもたらす成長促進効果を大きく抑制し、本来成体または亜成体まで成長可能な 120 日経過後にも、5cm 程度までしか成長していないという表現型を示した。



図 6: プロパジールによる甲状腺ホルモン阻害はアホロートルの成長・成熟化を大きく抑制する

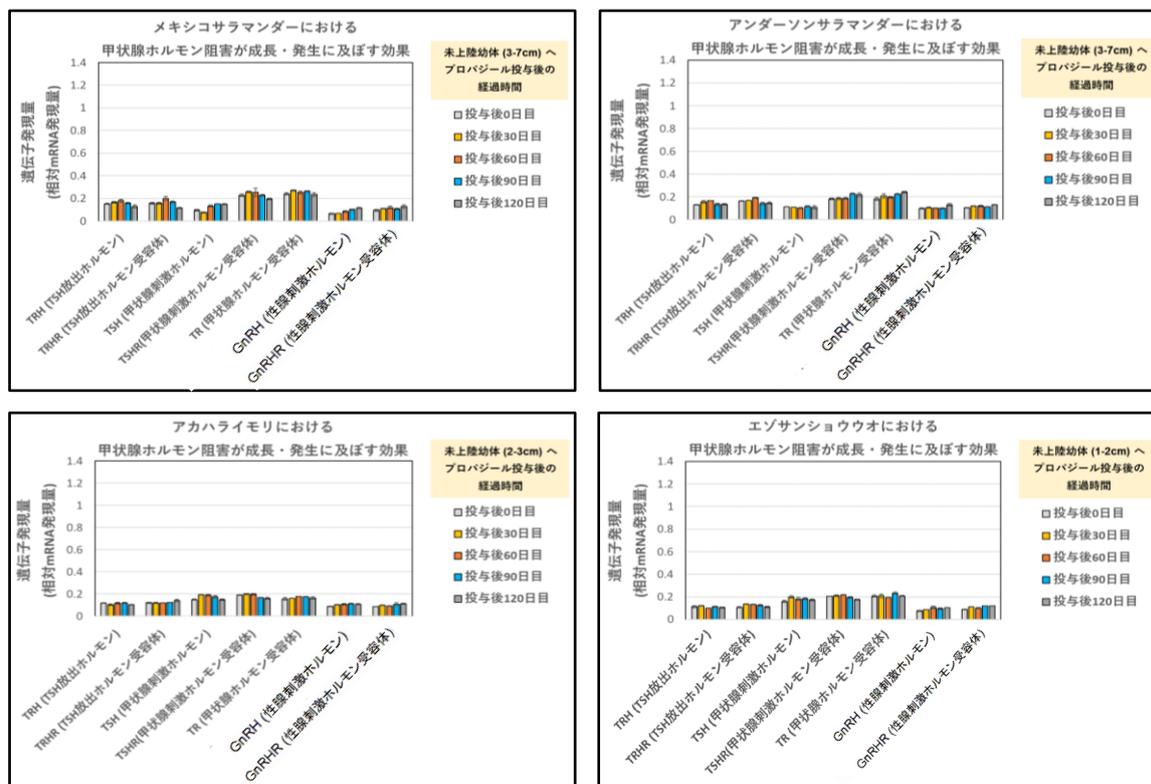


図 7: プロパジールによる甲状腺ホルモン阻害はネオテニー以外の有尻両生類の成長・成熟化であっても大きく抑制する

## 5. 水槽に含まれるヨウ素がネオテニー飼育個体に与える影響 & 意図的に変態させる方法（非推奨）

複数の文献や情報に基づいて考えると、メキシコの原種がネオテニーとなった経緯として、水中のヨウ素の濃度が元は高く TSH 非依存的な甲状腺ホルモン分泌が起こっていたが、環境の変化によって水中のヨウ素濃度が低下したことで、TSH の濃度上昇によって促進される甲状腺ホルモン分泌促進（甲状腺ホルモンシャワー）が起こりにくくなったことに起因する可能性がある。 [A, E, F, G]

水槽の中のヨウ素がどの程度変態へ影響を与えるかについては、現在当ラボでも詳細を調査中であるが、先行文献 [A] や当ラボで得られた知見から、**TSH による甲状腺ホルモンシャワーが巧く起こらない事に変態が進行せず、ネオテニーとしての性質が発揮される可能性が高い** ことから、**通常の飼育の中でヨウ素の濃度や変態への影響をあまり考慮する必要はない**と思われる。

※ 尚、一部の餌や汽水飼育に用いる粗塩中に、海藻が含まれており、ヨウ素を摂取する可能性があるものの、それだけでは変態が誘導された例を当ラボでは確認できていない。現状の汽水飼育（ミネ水）給餌の状況で変態が促進された個体が見られていないため、今後、要検証の課題である。

これらの観点から、**体内で一過的な甲状腺ホルモンの放出が適切に達成されない限り、変態へと移行する可能性は低い**と言える。

尚、変態を意図的に誘導する場合は、直接甲状腺ホルモンを何等かの方法で生体へと投与する必要があり、以下に示すような手順で変態されることが可能であるとされている。 [B-D]

### 変態の誘導 [C, D]

- ・ 前提として、10cm 程度の亜成体～成体で行うこと（一部、3 年経過後の成体で自然変態したとの報告もある）。
- ・ 0.02% の 甲状腺ホルモン（サイロキシン T4 = チロキシン）溶液を数 ml 程、飼育水中へ投入して飼育する。
- ・ 0.005% の T4 を 0.5ml 程、シリンジ（注射器）にて注射し、皮下投与する。

※ **甲状腺ホルモン投与の際、一度に多くの量を与えずにすぎると変態が早まるが一方、生体に負荷が大きくなる** 点に注意！

※ これとは別に、**近縁種のタイガーサラマンダー\* の甲状腺移植による変態誘導（甲状腺分泌量を増やす）という手法も存在する。**

\* *Ambystoma tigrinum*

- トウブタイガーサラマンダー <https://www2.hkr.ne.jp/~rieokun/saramand/imori/ambytiger.htm>
- オビタイガーサラマンダー <https://www2.hkr.ne.jp/~rieokun/saramand/imori/ambyoobitiger.htm>

### 変態後の様子 [C, D]

- ・ 鰓と鰭が 1 ヶ月程度で、次第に小さくなってなくなる。
- ・ 骨格全体が小さくなり、頭が卵型になる。
- ・ まぶたが形成され、眼が球体の構造となることで視力が向上する。
- ・ 皮膚の粘性が無くなり角質化し、体の表面に模様ができる（リューススティック や アルビノ個体では分かりにくい）。

とはいえ、**変態はネオテニーであるメキシコサラマンダーには非常に大きな負荷を与える可能性がある** ため、もし実践される場合は **自己責任のもと、投与量に最大限の注意を払うこと**、**シリンジ投与の方は針の消毒や自身のケガが無いよう細心の注意を払って作業すること** を推奨する。

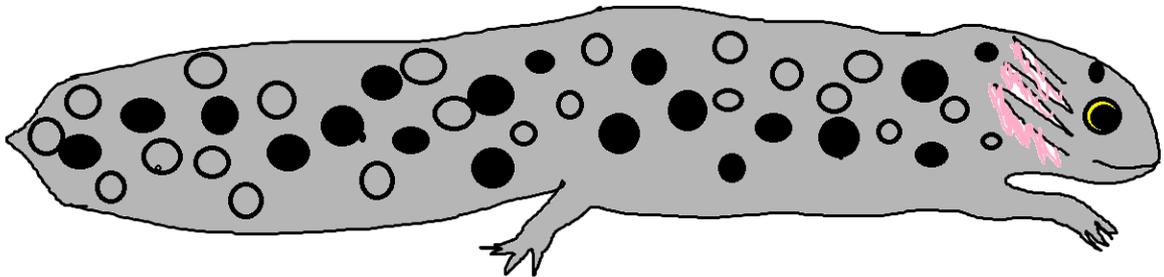
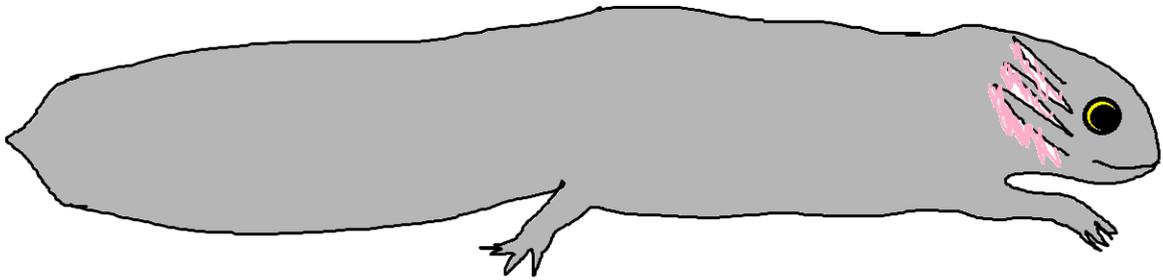
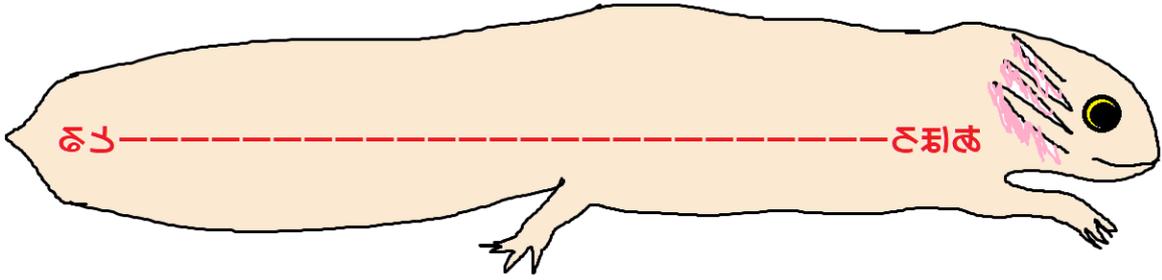
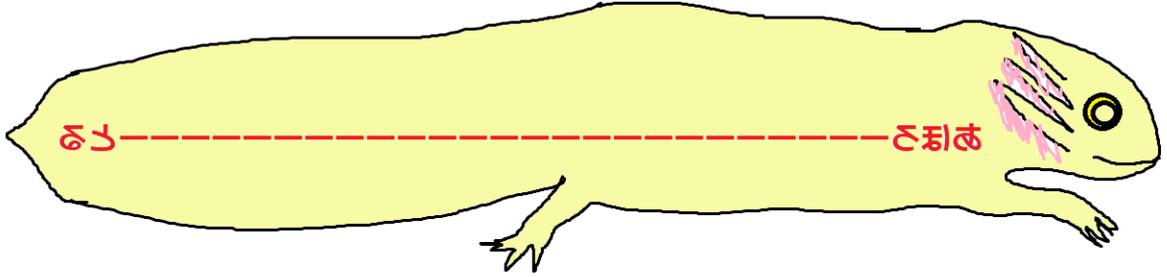
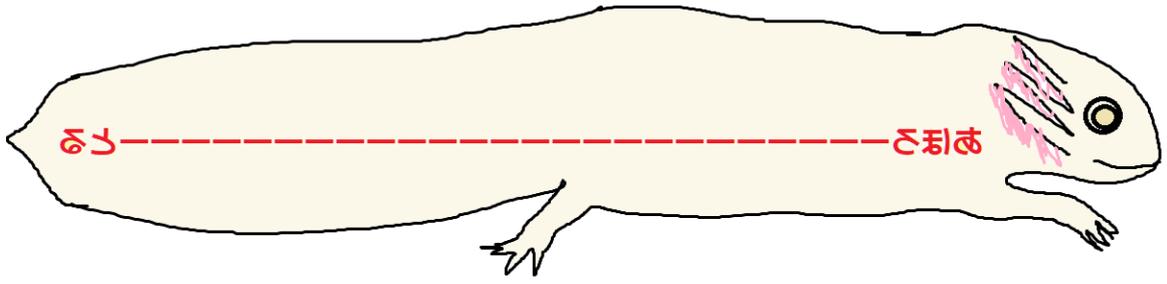
## メキシコサラマンダーの変態に関する参照記事

- ・ A) Hasumi Virtual Lab for Salamanders 様 HP  
[http://www5d.biglobe.ne.jp/~hasumi/faq/s\\_a8.html](http://www5d.biglobe.ne.jp/~hasumi/faq/s_a8.html)
- ・ B) ウーパールーパーラボ様 HP\_\_ウーパールーパーの体>ウーパールーパーの変態\_\_date :2009.12.28  
(writer :syogunpv :44097) <https://ulabo.com/b12.php>
- ・ C) 阿部泰宜様 HP>「ウーパールーパーの生態について」  
<http://oo.spokon.net/yasu/u-pa/u-pa-3.htm>
- ・ D) ウーパールーパーの説明書様 HP  
<https://xn--gck9da7hrdbbb.xyz/archives/723>
- ・ E) 百科事典マイペディア > 「アホロートル」  
<https://kotobank.jp/word/%E3%82%A2%E3%83%9B%E3%83%AD%E3%83%BC%E3%83%88%E3%83%AB-27078>
- ・ F) ウーパールーパー情報室 | 専門獣医師による飼育と病気の解説  
<https://kotobank.jp/word/%E3%82%A2%E3%83%9B%E3%83%AD%E3%83%BC%E3%83%88%E3%83%AB-27078>
- ・ G) 爬虫類両生類データベース  
<https://reptiles-amphibian.info/ambystoma-mexicanum-evolution/>

## 参考文献: 甲状腺ホルモン, 両生類の変態, ネオテニー 関連

- 1) <http://tmuanimalecology.blog.fc2.com/blog-entry-697.html>
- 2) <http://hynobius.sakura.ne.jp/index.html>
- 3) <https://wwp.shizuoka.ac.jp/bio-okada/theme/metamorphosis/>
- 4) <file:///C:/Users/saida/Downloads/Honbun-3763.pdf>
- 5) <https://wwp.shizuoka.ac.jp/bio-okada/theme/metamorphosis/>
- 6) [https://www.env.go.jp/chemi/end/endocrine/1guide/detail\\_a1-3.html](https://www.env.go.jp/chemi/end/endocrine/1guide/detail_a1-3.html)
- 7) <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780123859792000083>
- 8) <https://bioone.org/journals/copeia/volume-104/issue-1/OT-15-269/An-Integrative-Endocrine-Model-for-the-Evolution-of-Developmental-Timing/10.1643/OT-15-269.short>
- 9) <https://kanri.nkdesk.com/hifuka/ste2.php>
- 10) <https://medlineplus.gov/genetics/gene/mc2r/>
- 11) <https://www.nutri.co.jp/nutrition/keywords/ch2-3/keyword7/>
- 12) [https://www.jstage.jst.go.jp/article/nl2008jsce/42/158/42\\_60/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/nl2008jsce/42/158/42_60/_pdf/-char/ja)
- 13) <http://harecoco.net/thyroid/01.html>
- 14) <https://www.suehiro-iin.com/arekore/sp/2017/11/post-172.html>
- 15) <https://kotobank.jp/word/%E3%83%9B%E3%83%AB%E3%83%A2%E3%83%B3%E3%81%AE%E4%BD%9C%E7%94%A8%E6%A9%9F%E5%BA%8F-2098854>
- 16) [https://patients.eisai.jp/kojosengan-hhc/about/about01\\_03.html](https://patients.eisai.jp/kojosengan-hhc/about/about01_03.html)
- 17) <https://i.kawasaki-m.ac.jp/jsce/191212-28-01/JJCE28-1-22-44.pdf>
- 18) [https://www.jstage.jst.go.jp/article/nl2001jsce1975/25/95/25\\_95\\_30/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/nl2001jsce1975/25/95/25_95_30/_pdf/-char/ja)
- 19) [https://www2.lib.hokudai.ac.jp/gakui/2001/5777\\_kanki.pdf](https://www2.lib.hokudai.ac.jp/gakui/2001/5777_kanki.pdf)
- 20) [https://www.gifu-med.jrc.or.jp/thyroid/internal/hyperthyroidism\\_cure.html](https://www.gifu-med.jrc.or.jp/thyroid/internal/hyperthyroidism_cure.html)
- 21) <https://ikimall.ikimonopal.jp/blog/post-1504/>
- 22) <https://seseragi-store.jp/blogs/%E3%83%8B%E3%83%A5%E3%83%BC%E3%82%B9/%E3%82%A6%E3%83%BC%E3%83%91%E3%83%BC%E3%83%AB%E3%83%BC%E3%83%91%E3%83%BC%E3%81%AE%E9%A3%BC%E8%82%B2%E3%81%AB%E3%81%A4%E3%81%84%E3%81%A6>
- 23) <https://ulabo.com/b12.php>
- 24) <https://reptiles-amphibian.info/ambystoma-mexicanum-evolution/>
- 25) <https://avaportrail.wordpress.com/2013/06/25/%E3%82%A6%E3%83%BC%E3%83%91%E3%83%BC%E3%81%AE%E5%90%8D%E7%A7%B0/>
- 26) <https://www.gifu-med.jrc.or.jp/thyroid/internal/about.html>
- 27) [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jirm/64/5/64\\_864/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jirm/64/5/64_864/_pdf)
- 28) [https://www.jstage.jst.go.jp/article/ymj/57/5/57\\_5\\_145/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/ymj/57/5/57_5_145/_pdf)
- 29) <https://webview.isho.jp/journal/detail/abs/10.11477/mf.1431100322>
- 30) <https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-11671080>
- 31) Kikuyama S et al. International Review of Cytology, 145 (1993).
- 32) Denver RJ. Current Topics in Developmental Biology, 103, pp. 195-227 (2013).
- 33) Okada R et al. Gen Comp Endocrinol, 135, 42-50 (2004).
- 34) Ito Y et al. Gen Comp Endocrinol, 138, 218-227 (2004).
- 35) Okada R et al. Ann N Y Acad Sci, 1163, 262-270 (2009).
- 36) Okada R et al. Gen Comp Endocrinol, 150, 437-444 (2007).
- 37) Matsuda K et al. Gen Comp Endocrinol, 168, 280-286 (2010).
- 38) Nakajima K et al. Gen Comp Endocrinol, 89, 11-16 (1993).
- 39) Yazawa T et al. Gen Comp Endocrinol, 113, 302-311 (1999).
- 40) Mosconi G et al. Gen Comp Endocrinol, 126, 261-268 (2002).

- 41) Melmed S, Polonsky KS, et al: Hormones and hormone action. In: Williams Textbook of Endocrinology, 12th ed, pp3-99, [Elsevier](#) Saunders, Philadelphia, 2011.
- Jameson JL, DeGroot LJ: Principles of endocrinology and hormone signaling. In: Endocrinology, 6th ed, pp3-14, Elsevier, Amsterdam, 2010.
- 42) Kikuyama, S., Kawamura, K., Tanaka, S., Yamamoto, K., 1993. Aspects of amphibian metamorphosis: hormonal control, in: Jeon, W.J., Jarvik, J. (Eds.), International Review of Cytology. Academic Press, New York.
- 43) Denver, R.J., 2013. Chapter Seven – Neuroendocrinology of Amphibian Metamorphosis, in: Shi, Y.-B. (Ed.), Current Topics in Developmental Biology, Animal Metamorphosis. Academic Press, pp. 195–227.
- 44) Okada, R., Yamamoto, K., Koda, A., Ito, Y., Hayashi, H., Tanaka, S., Hanaoka, Y., Kikuyama, S., 2004. Development of radioimmunoassay for bullfrog thyroid-stimulating hormone (TSH): effects of hypothalamic releasing hormones on the release of TSH from the pituitary in vitro. Gen. Comp. Endocrinol. 135, 42–50.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ygcen.2003.09.001>
- 45) Okada, R., Ito, Y., Kaneko, M., Yamamoto, K., Chartrel, N., Conlon, J. M., Vaudry, H., Kikuyama, S., 2005. Frog corticotropin-releasing hormone (CRH): isolation, molecular cloning, and biological activity. Ann. N. Y. Acad. 1040, 150–155. <http://dx.doi.org/10.1196/annals.1327.019>
- 46) Okada, R., Yamamoto, K., Hasunuma, I., Asahina, J., Kikuyama, S., 2016. Arginine vasotocin is the major adrenocorticotrophic hormone-releasing factor in the bullfrog *Rana catesbeiana*. Gen. Comp. Endocrinol. 237, 121–130. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ygcen.2016.08.014>
- 47) <http://gecko0912.web.fc2.com/HP3/index9c.htm>
- 48) <https://nazology.net/archives/101212/2>
- 49) [http://www5d.biglobe.ne.jp/~hasumi/faq/s\\_a8.html](http://www5d.biglobe.ne.jp/~hasumi/faq/s_a8.html)



# ＜総説: アホートルの多頭飼育について＞

著: 杉山 遥 (Ph.D; 詳細調査・本記事の主な執筆者) <sup>1\*</sup>, <sup>\*\*</sup>

所属: <sup>1</sup>ウーパールーパー研究室はるらぼ

詳細: \*主任研究者 \*\*責任著者

**概要: アホートルの多頭飼育・他個体の認識について科学的に理解を深めよう** 2022/5/14

飼育界限において、ウーパールーパー（アホートル）の飼育では混泳はご法度、などと言われている。[1-3] 筆者も、かつてペットショップなどで店員の方と話すと、多頭飼育は危険であるが相性もある、と言われていた。しかしながら、当ラボでは、栄養と成長の機構解明の研究を行う中で、複数の個体による結果収集・統計学的解析を必要としており、多頭飼育でなければ管理が難しい問題を抱えている。ペットの飼育においても、色々な色の個体を一緒に飼って、水槽をより煌びやかにしたいという方も多々おられると思う。そこで、多頭飼育に不安を感じている方々への参考情報提供として、当ラボにおける多頭飼育の影響について得られている結果について共有したいと思う。

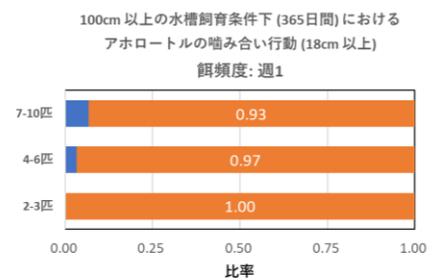
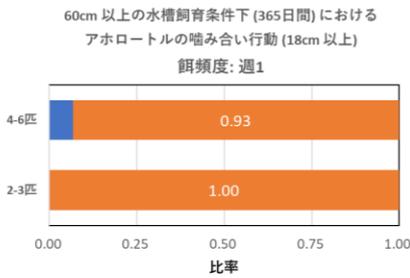
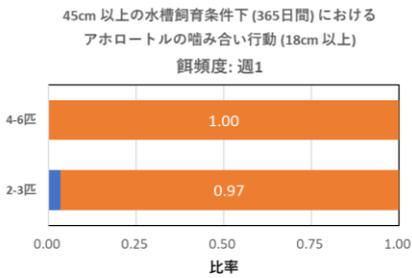
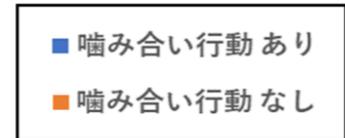
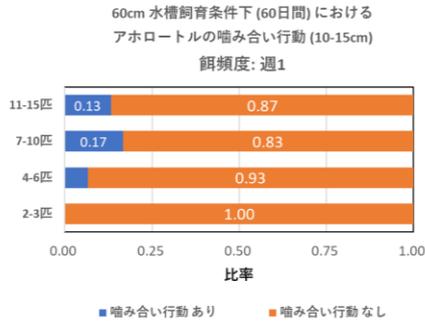
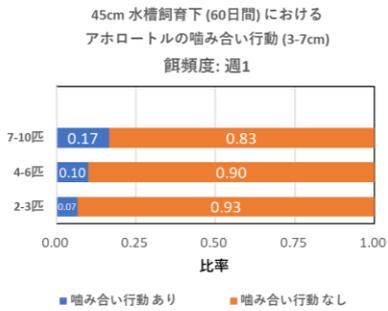
## トピック 1: アホートルの多頭飼育と噛み合い行動

これまでの我々の検討から、多頭飼育はそれほどリスクではないことが明らかになってきた。以下の結果に示すように、やや小さな個体を低餌頻度(週一回程度)にて過密飼育すると、2割未満の個体が噛み合い行動を示した。特に、個体が小さいころにこの傾向が見られたが、成長するにつれて殆ど噛み合いも示さなくなることが分かった。

これらの結果は、餌を週3回程度まで上げると殆ど見られなくなることが分かった。すなわち、水槽に2-3匹程度混泳させる程度であれば、餌頻度や水替え頻度をある程度確保していれば、噛み合い行動は殆ど起こさないことが推察された。

今回示した結果が、飼育者の方々のわずかな希望にでもなれば幸いである。





### 参考: 多頭飼育と噛み合い行動の比率に関する集計結果

尚、今回調査した条件では、色に関する条件は揃えていないが、マーブルやリュース、ブラックなど野生型に近い個体が大半を占めており、1/5 程度アルビノ系統の個体も含まれている。しかしながら、他個体から噛まれてしまった個体の色については法則性が見いだせなかった。そこで、色認識と噛み合いについても更に詳細な解析を行いつつ、次の項にて考察を行う。

## トピック 2: アホートルの色認識と噛み合い行動 (2022/5/16-18, 25 追記, データ追加など修正)

魚類や両生類は目が扁平である構造から、あまり相手をくっきりとした像で捉えることはできず、像がぼやけていると言われている。[4-5] また、先程の項において、アホートルが色認識を行っているかどうかという疑問が浮かんだが、これについては実は明らかになっていなかった。また、はるらぼでは、アホートルや昆虫の睡眠や体内時計の制御に関わる様々な遺伝子について解析を行っており、アホートルの光受容細胞についても調査を実施した。更に魚類や両生類においても、目から受容された光が体内時計の制御に関わっていることが明らかになっており [6-7]、生物種によっては青色波長域の光が特に時計の制御には重要であるとされているため、アホートルにも同様の機構や色認識に関するタンパク質の発現があるかどうか確認を行った。

**調査の結果、マウスやヒト・魚類などにおいて網膜や脳において光を受容する神経細胞で発現があるとされる OPN3, OPN5 [15-16] の相同因子 (働きがこれらの生物種と全く同じとは限らない) については発現を確認したが、色を感知する視細胞 (錐体細胞) で発現するとされるタンパク質 (OPN1LW(赤 565nm), OPN1MW(緑 535nm), OPN1SW(青 440nm)) については遺伝子の配列自体が確認できなかった。[17] では、アホートルは色認識が全くできないか? という複数の詳細な調査の中で、議論の余地が出てきた。ただし、トラフグ由来の OPN3 は、培養細胞中でビタミン A 誘導体と反応することで、青色感受性、緑色感受性光受容タンパク質の合成に疑似的に関与する可能性があることが分かっている。[18] これに加え、ヒトの OPN3 はエンセファロプシンと呼ばれ、ヒトにおいては青色光の受容に関与していると考えられている。また、OPN5 は、ヒトにおいては紫外光・紫色光を受容できることが分かっている。[19-20] すなわち、アホートルは日中、OPN3 で主に青色光を受容し、OPN5 にて紫外線・紫色光を受容する。実際に、我々の調査の中でも、アホートルは青色光を好む傾向があるようで、青色 LED を照射するとそちらの方に高い関心を示していた。ちなみに青色光・紫色光 (波長域:380-430 nm) ・紫外光の 3 色の光は波長域が一部重複しており、ヒトを含むいくつもの生物の体内時計のリセットに用いられている。[21-24]**

これらの参考文献における知見を踏まえ、青色光とそれ以外の光を暗期に 2 時間程度照射し、アホートルの光に対する応答性・行動に違いが見られるかどうか、実際に追加調査を行った (参考 2-3)。その結果、幅広い波長の光を含む可視光 (ハロゲンランプ) の照射・青色光 (LED)・UV (紫外線ライト) では、野生型 (リュースティック)・アルビノ に関係なく光の照射方向から反対側へ移動し、忌避するような行動を示した。一方で、紫外線ライト の照射にはあまり反応を示さなかった。ちなみに、両目形成不全の個体 (eyeless) や 飼育の過程で両目が傷ついてしまった個体などでは、光への応答性が顕著に低下した。ちなみに、各条件における波長域は、可視光 (ハロゲンランプ 350nm~3500nm)、青色 LED (460~500nm)、紫外光 = UV (UVA: 320-400nm + UVB: 280-320nm)、赤外線 (780nm-1000nm) となっている。

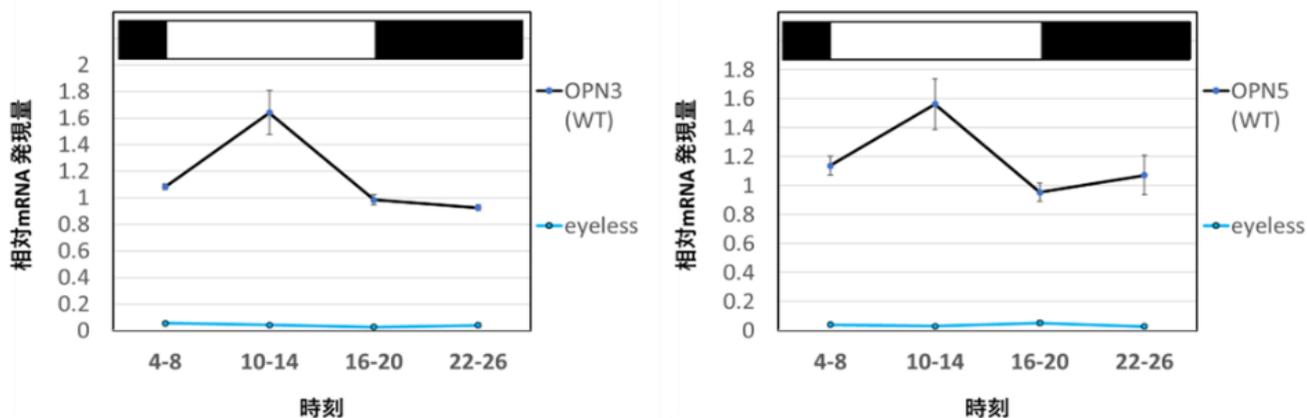
**今回の追加調査において、アホートルは青色光や紫光に反応し、長時間の照射を行うと逃避反応を示した。これらの結果から、アホートルの体内時計のリセットにおいて青色光や紫外光が用いられている可能性が高いと考えられる。尚、体内時計の振動に関しては、後述の参照 3 を見ていただくとより明解に理解できるかと思う。**

逆に、他の波長域の色については、日中はあまり感知できずに夜間はモノクロに見えることが考えられ、体色が白いからといってアホートル間ではそれ程大きな影響が無いことが推察された。

ここまでの内容を踏まえて、一部で実しやかに言われているように **"アルビノやゴールデンという野生型と比較して目立つ体色であることで、同居している他個体から狙われて攻撃を受ける"** という主張は、現状の判断材料のみではやや無理がある と杉山は考えている。ただし、自然界において、色分解能の高い鳥類からの標的に遭うという意味であれば間違っていない。



また、アホロートル同士は、上記で示すように（たとえ色が認識できていたとしても）互いの映像がぼやけて見えており、そもそも視覚を頼って相手に標的を合わせていない可能性が高いといえる。尚、遺伝子を含めた詳細な解析は追って行うが、現状の観察結果収集・統計解析においては、**色が白い個体が集中的に他個体から狙われるといった傾向は見られなかった**（参考 2-4）。この結果も、今回の考察を肯定する材料であると言える。

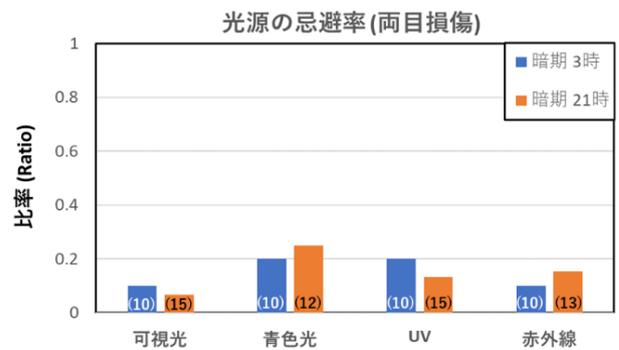
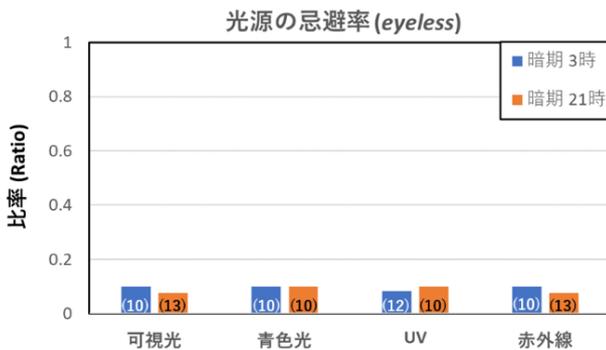
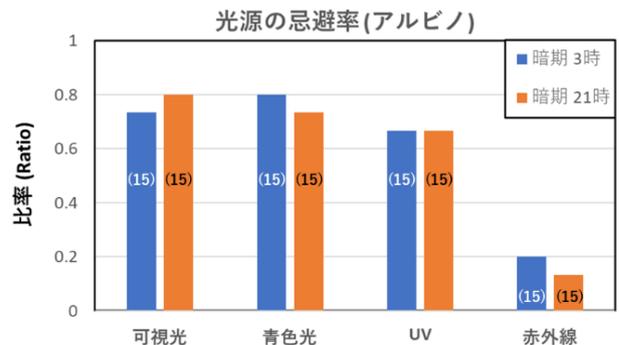
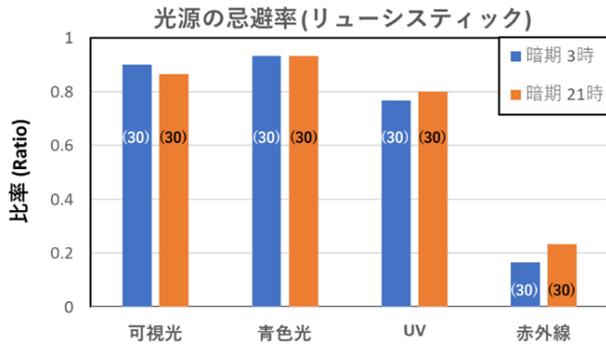
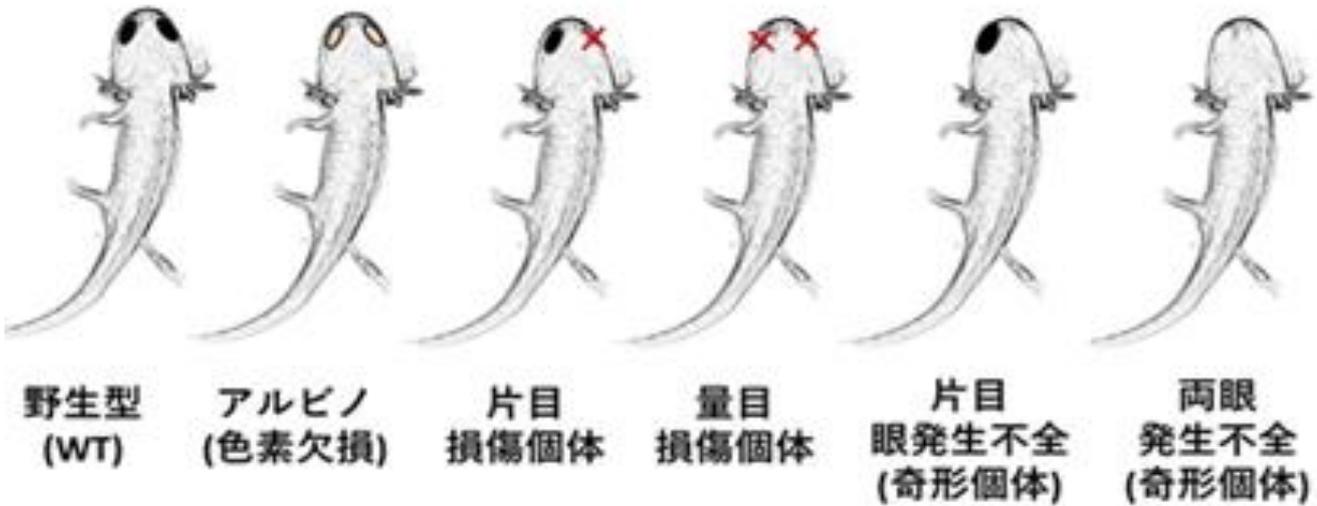


**参考 2-1: 当ラボにおける 0.5~2cm の個体（幼生）での光受容タンパク質 OPN3,5 の発現に関する解析結果**

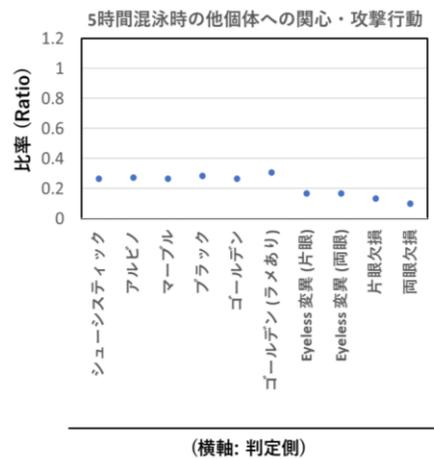
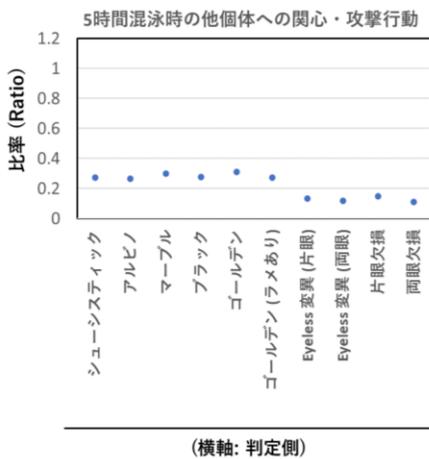
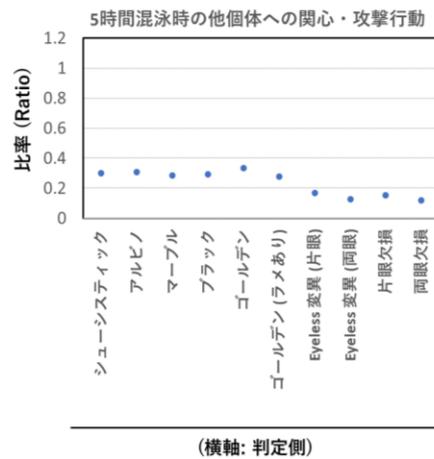
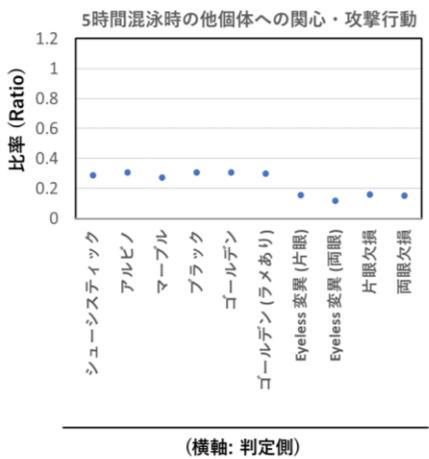
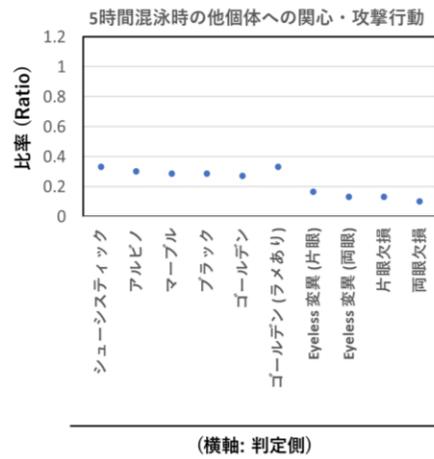
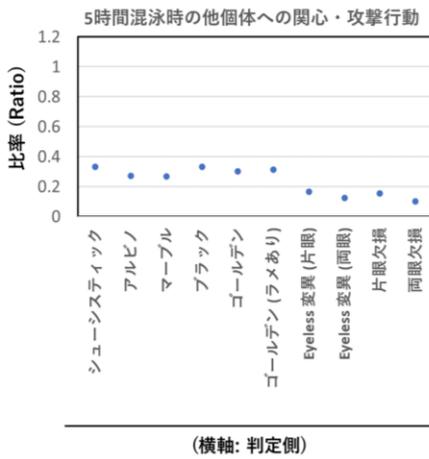
※ 本調査には、残念ながら無くなってしまった幼体を複数ご提供いただき、リアルタイム PCR によって遺伝子発現の解析を実施している。

**参照 2-2: 遺伝子・ゲノム・mRNA (転写産物) 配列情報 [8]**

# アホロートルの眼の特徴モデル



参考 2-3: 当ラボにおける 0.5~2cm の個体 (幼生) での品種間における光の種類への応答性の比較 (2 時間照射している間に、各個体が光から逃げる割合を比較した。一部、外部の方々にも依頼の上、集計・解析した。)



参考 2-4 (A): 色と個体認識・関心・攻撃行動との相関 (2022/5/25 結果更新)

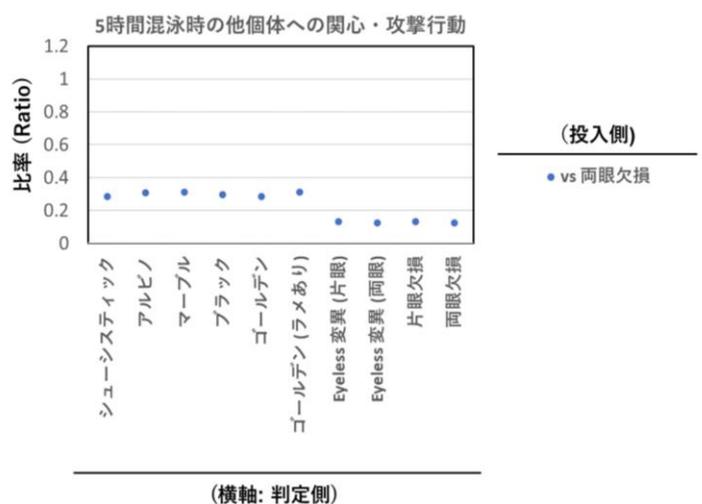
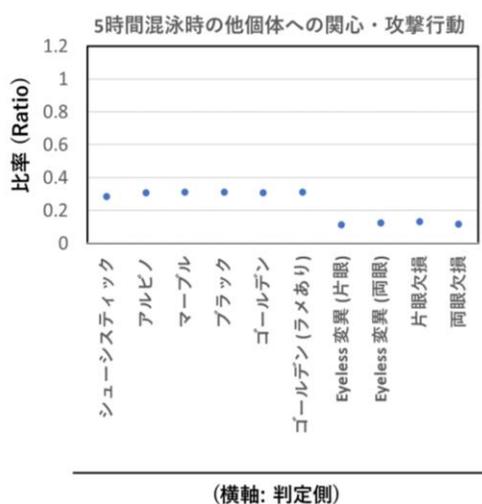
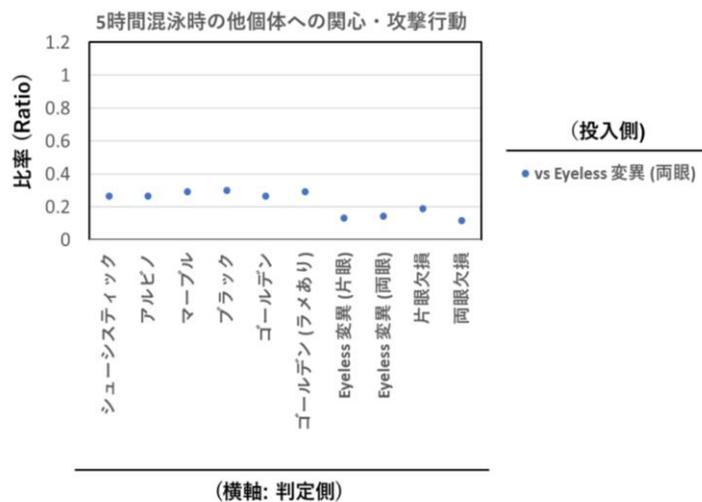
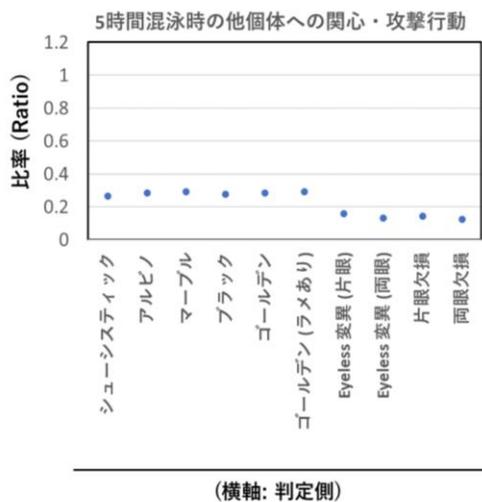
7-10cm 程度の個体. 5-8 ペア. タッパー内に 1vs1 で 5 時間混泳.

【試験の流れ】 vs 側 の個体に対して横軸側の個体をそと投入 → 反応を見る

※ 相手への頭突き・標的を定めてからの噛みつき・視線を向けるなど、対象への意図的な行動のいずれか または 複数、5 時間の中で複数回行った場合に関心ありとする。

※ この時、上から投入された際の物体の動きに反応して飛びつかないように、投入する側の個体または物体を網でそとすくいあげた後、ゆっくりと投入した。



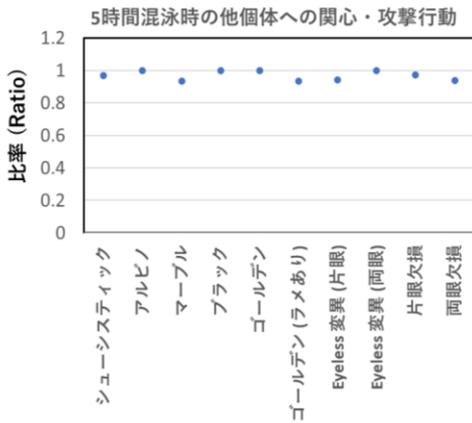


参考 2-4 (B): 色と個体認識・関心・攻撃行動との相関 (2022/5/25 結果更新)

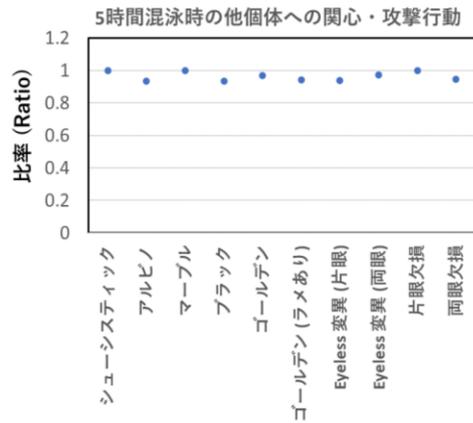
7-10cm 程度の個体. 5-8 ペア. タッパー内に 1vs1 で 5 時間混泳.

【試験の流れ】 vs 側 の個体に対して横軸側の個体をそと投入 → 反応を見る

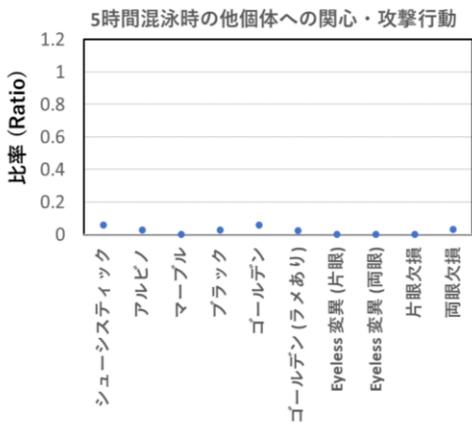
※ 詳細は 2-4 (A) と同様。最初から機能的な眼を持っていない変異体 (Eyeless 変異体) や、眼を損傷してしまい視力が低下した個体を用いて、視力が正常な個体との違いについて確認を行っている。



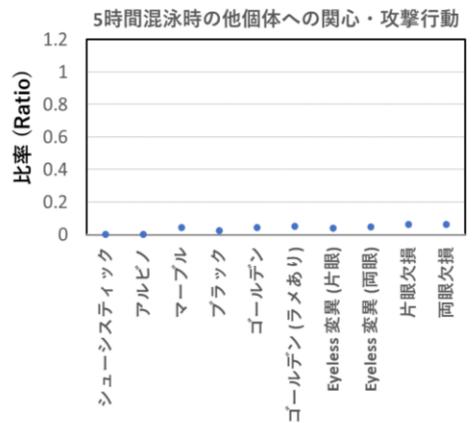
(横軸: 判定側)



(横軸: 判定側)



(横軸: 判定側)



(横軸: 判定側)

### 参考 2-4 (C): 色と個体認識・関心・攻撃行動との相関 (2022/5/25 結果更新)

7-10cm 程度の個体. 5-8 ペア. タッパー内に 1vs1 で 5 時間混泳.

【試験の流れ】 vs 側 の個体に対して横軸側の個体をそと投入 → 反応を見る

※ 餌や砂・ソイルなど、生体では無いものを投入した時の反応について確認を行った。

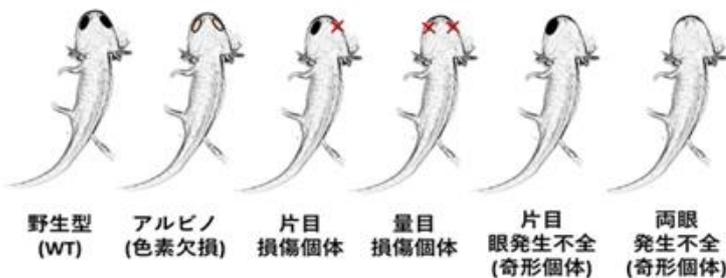
やはり、餌に対しては視覚が不十分でも反応しており、アホロートルにおける嗅覚の重要性が示唆された。

### トピック 3: アホロートルにおける光受容と体内時計の制御

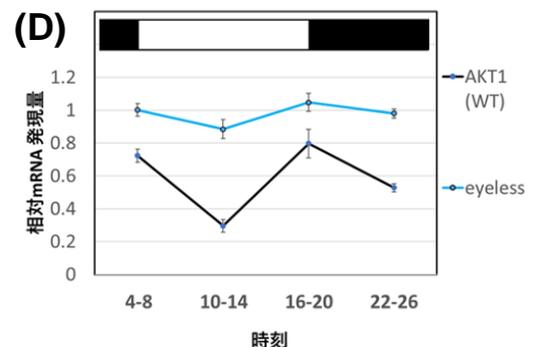
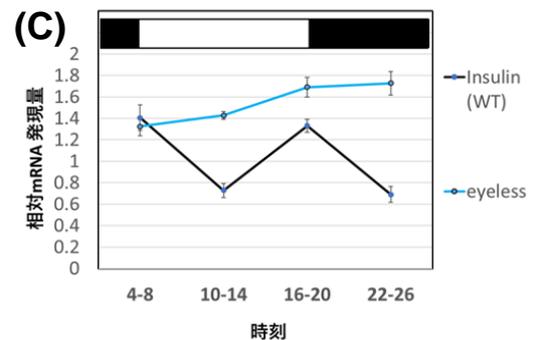
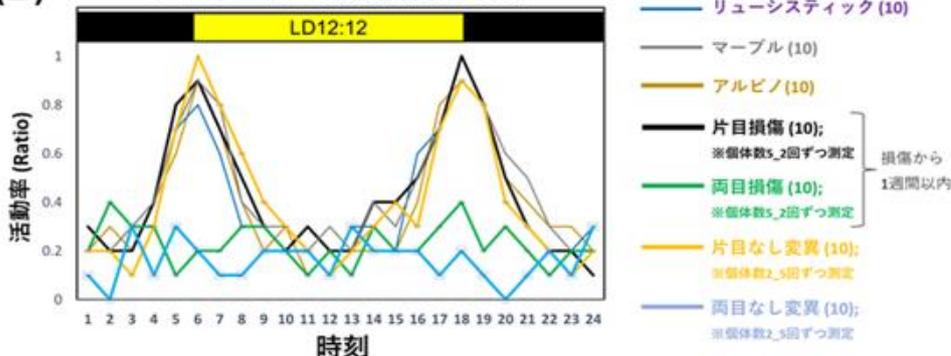
当ラボにおける調査の結果、アホロートルは夜明けと日が沈む薄暗い時間帯に行動を開始することが分かってきた(下図 (B))。これについては近日中に詳細報告を予定している。また我々の調査結果から、視力が完全に失われてしまった個体では、光の情報が適切に受容できず、体内時計の調節に関わる遺伝子の発現に異常が起こることが明らかになっている(詳細は追って報告予定)。一方で、アルビノバックグラウンドの個体における解析結果を見ても、リューススティックやマーブルのような、ある程度色素を持っている品種と同様の活動リズムを示した(下図 (A)-(B))。このことから、色素を欠損しているアルビノ個体も、光を受容する能力を失わず保持していることが推察された。アホロートルが、“色に関する認識能力が元々あまり高くなく、光を十分に受容可能である”ことに基づいて考えると、活動リズム制御の観点で見れば、アルビノ個体は目を失っている条件の個体と比べると、日常の活動にはあまり障害を持ってはおらず、体内時計の制御もある程度ちゃんと行えているので、大きな疾患やリスクもなく生きられる可能性が高いと言える。また、参考 2-3 における結果を見ても、アルビノ個体も可視光、青色光 および 紫外光への応答性を示していることから、アルビノ個体は光を十分に受け取ることができていることが推察できる。

ま参考 2 および 3 にて示した一連の結果からも、“アルビノは他の品種と比較して視力がとても弱いのでストレスを感じやすい”説はあまり根拠がないことのように思われる。どちらかと言えば、“変態していないアホロートル自体、光の感知能力はある程度ある一方、同程度にくっきり映像を見えるような視力自体は持っていない”可能性が高いため、アルビノ個体における眼のメラニン色素欠損自体は彼らの生活リズム自体にはあまり影響は無い”と推測できるであろう。

(A) アホロートルの眼の特徴モデル



(B) アホロートルの日周活動リズム



参考 3: アホロートルにおける光受容と活動リズム制御およびインスリン分泌について

逆に両目が傷ついてしまった個体や eyeless 変異体は、一切光を検知できないので体内時計が制御できない可能性が高く、非常にストレスを感じている可能性がある。我々の調査結果からも、インスリンなどの代謝に関わる因子の合成・分泌も野生型と比較して異常に上昇する（下図 (C)-(D)）ことから、内分泌的には人間の糖尿病・内分泌疾患などに近い症状を示している可能性があるので、更に調査を継続し、詳細については改めて追加報告したいと思う。

尚、次ページにて、アルビノに関する考察について補足を行ったので、良ければ一瞥の程お願いしたい (2022/5/15 追記)。

## 参照: ヒトなどのアルビノ症に関する補足 (2022/5/15 追記)

先程、アホロートルのアルビノについて触れたが、ヒトの場合のアルビノについても念のため再度おさらいしておきたい。

白子症（アルビノ albinism）とは、全身または目でのメラニン黒色色素が生まれつき不足している状態であり、全身で起こっている場合は眼皮膚白子症、眼だけ不足している場合には眼白子症と呼称される。メラニン色素は網膜色素上皮と呼ばれる領域にも局在し、目が像を結ぶ上で重要であるとされている。アルビノの方々は、視細胞の集合している領域である黄斑が正常に形成されない（黄斑低形成）ために弱視になり、成人しても視力は 0.95-0.5 程度と低い。また、羞明（極端に光を眩しく感じる症状）や、眼が振動する症状（眼振）を示すという。[11-13]

しかし、夜間の光感知にも関わるタンパク質である OPN3, OPN5 を主に発現し、色に関する視細胞を発現していない可能性の高いアホロートルにおいて、日中の強い光を受容しない以上、やはりアルビノ変異体であってもあまり他の品種と視力差は無い可能性が考えられた。

また近年、マウス（遺伝子改変マウス PKAchu）を用いた研究において、

“網膜を構成する神経細胞群の多くが光に応答し、光受容タンパク質非依存的に、環状 AMP 依存性キナーゼ（PKA）を活性化する現象を示す。一方で、一種類の桿体細胞（光の感知のみを行い、色は識別できない細胞。暗闇における案順応において主に機能する）でのみ 光が消えたタイミングで PKA を活性化する。”

という結果が明らかとなったことから、夜間から夜明けにおける暗闇条件下での光の情報伝達が、光受容タンパク質非依存的に十分行える可能性があると考えられた。すなわちアホロートルが、光応答による行動の制御や体内時計のリセット・光情報の脳や全身への伝達を十分に機能させるために、一般的な脊椎動物の持つ光受容細胞を介した機構を用いなくても問題ない可能性も十分にあるのである。つまり、**たとえアホロートルのアルビノも他品種も目が悪くても、PKA を介した機構をもっているならば、光の情報を元に体内時計を制御できるので特に問題はない、という可能性も十分に考えられるということである。**[14]

## トピック 4: はるらぼにおける密度・混泳効果に関する研究

なお余談ではあるが、はるらぼでは、高密度の多頭飼育は成長に対して抑制的に作用することを明らかにした。また、2-5cmの個体を、高密度条件で1ヶ月程度の期間飼育しても、成長の可塑性は残されており、密度条件の改善（飼育面積を倍以上にまで拡大すること）によって成長が再開することが明らかになった。

逆に、密度が高い条件では成長を抑制することで、噛み合いや餌の取り合いなどのリスク回避の対応をすることが考えられた。

またこれに加え、密度に応じて二型（多種のオタマジャクシと共存する条件下では頭が倍以上に大きな個体が出現する）を示すエゾサンショウウオというサンショウウオ [9-10] と混泳飼育した条件では、その影響を受けてなのか、密度の影響を無視して顕著に成長・肥大が促進された。このことからアホロートルは、自分たちとは異なる品種の個体が存在する時、自身の成長を促進することで自らが優位に立てるように制御していることが考えられた。尚、これらの知見は世界初であり、はるらぼチームにおける追加調査についても改めて報告する機会を得たいと考えている。

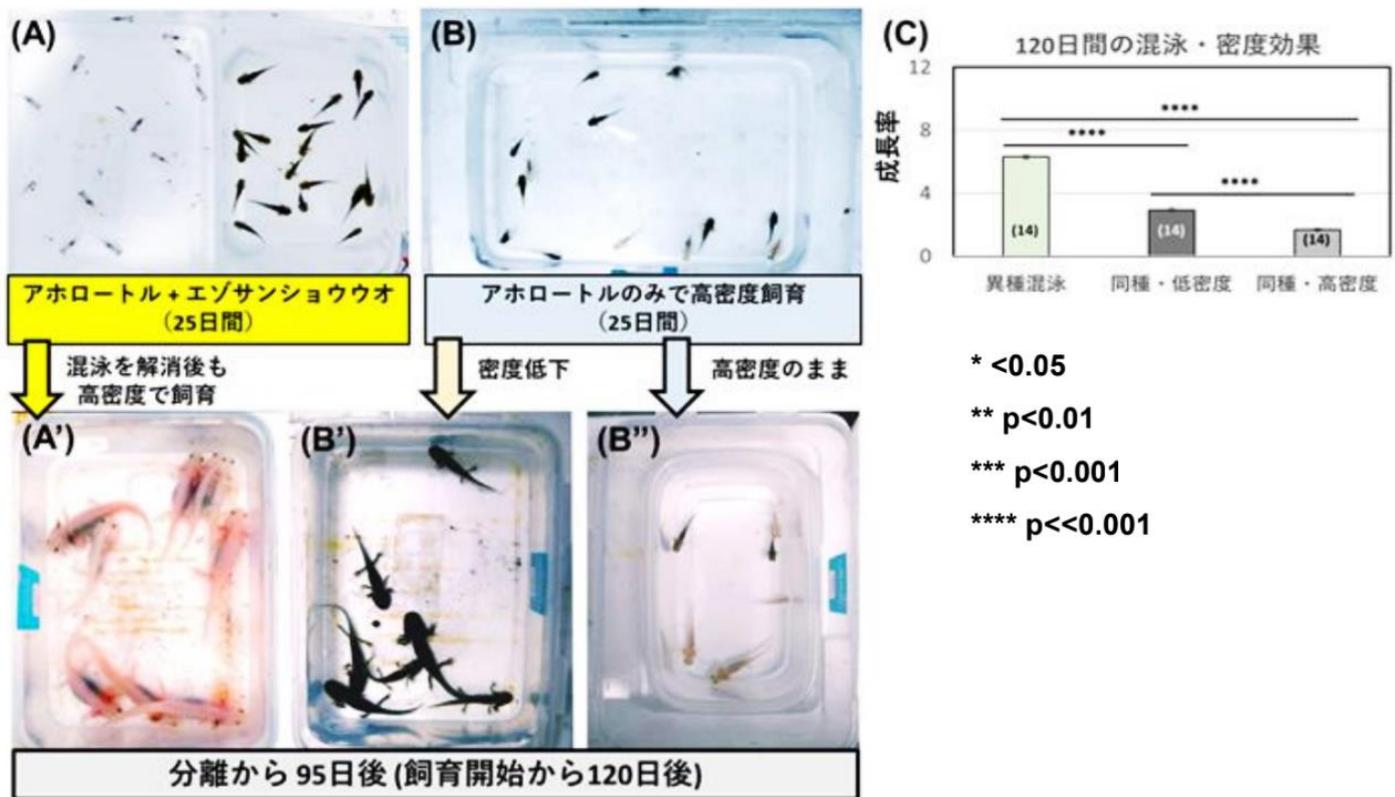


図5: 異種混泳および生育密度が成長に与える影響

参考: ウーパールーパーだより vol. 1.3 (2021-2022) より

[https://drive.google.com/file/d/1DuwEjMVBZiCRTXLzx\\_xfjvpl4FKKe46mI/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1DuwEjMVBZiCRTXLzx_xfjvpl4FKKe46mI/view?usp=sharing)

### 余談

尚、余談ではあるが、調査の裏付け確認のために情報収集を行うにつれ、いかに人々が科学的な根拠なく不正確な情報を流布させているかというのを感じて非常に嘆かわしく思った。何より、”それっぽい” 話が一番危険であるように思う。

読者のあなたやご家族は、あまり根拠のない効果をうたった薬やドリンク・情報商材を購入してはいないだろうか？ 非科学的な情報の拡散は、これと同様の問題をはらんでいるのではないだろうか。

## 出典

- 1). <https://www.aquahermit.com/uparupas>
- 2). <https://xn--gckxbxdtib.com/how-to/tatougai/>
- 3). <https://note.com/0707note/n/n54e4c3d375d6>
- 4). [https://www.santen.co.jp/ja/healthcare/eye/eyecare/wonders/fish\\_eye.jsp](https://www.santen.co.jp/ja/healthcare/eye/eyecare/wonders/fish_eye.jsp)
- 5). <https://fishsearch.net/%E9%AD%A%E3%81%AE%E8%A6%96%E5%8A%9B/>
- 6). 佐藤 恵太 他 (2019). 総説「光受容体」Opn5 が示す多様な分子機能. 生物物理 59 (3). 132-136. DOI: 10.2142/biophys. 59. 132. [https://www.jstage.jst.go.jp/article/biophys/59/3/59\\_132/pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/biophys/59/3/59_132/pdf)
- 7). Wayne I. L. Davies 他 (2021). Distinct Opsin 3 (Opn3) Expression in the Developing Nervous System during Mammalian Embryogenesis. eNeuro 20 August, 8 (5) ENEURO.0141-21.2021; DOI: <https://doi.org/10.1523/ENEURO.0141-21.2021>
- 8). Sergej Nowoshilow 他 (2018). The axolotl genome and the evolution of key tissue formation regulators. Nature. Jul;559(7712):E2. doi: 10.1038/s41586-018-0141-z.
- 9) 若原 正己. 2006. ところ変われば頭でっかち  
エゾサンショウウオの表現型可塑性-そのしなやかな生存戦略.  
季刊生命誌 49 号 BIOHISTORY 2006:  
[https://www.brh.co.jp/publication/journal/049/research\\_11\\_2](https://www.brh.co.jp/publication/journal/049/research_11_2)
- 10) 道前 洋史. 若原 正己. 2007. エゾサンショウウオの適応的な表現型可塑性—「頭でっかち型」  
日本生態学会誌 57:33 – 39
- 11) 日本小児科学会記事 [http://www.japo-web.jp/info\\_ippan\\_page.php?id=page08](http://www.japo-web.jp/info_ippan_page.php?id=page08)
- 12). 矢吹 康夫 (2014). 一人でアルビノの多様性を語る. 応用社会学研究. No.56. 177.  
[file:///C:/Users/saida/Downloads/AN00026486\\_56\\_17.pdf](file:///C:/Users/saida/Downloads/AN00026486_56_17.pdf)
- 13). 水野 有武 (2000). 網膜色素上皮細胞. 比較眼科 19, 43–47, 教育講演  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscvo/19/0/19\\_43/pdf/-char/en](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscvo/19/0/19_43/pdf/-char/en)
- 14). Shinya Sato. (2020). Rhodopsin-mediated light-off-induced protein kinase A activation in mouse rod photoreceptor cells. PNAS. October 12, 17 (43) 26996-27003 |  
<https://doi.org/10.1073/pnas.2009164117>
- 15). 羽鳥 恵 (2013). 光受容体メラノプシンに対する阻害薬の同定および視覚以外の光応答にわたる影響の解析. ライフサイエンス新着論文レビュー. (米国 Salk Institute for Biological Studies, Regulatory Biology Laboratory)  
DOI: 10.7875/first.author.2013.110 <http://first.lifesciencedb.jp/archives/7595>
- 16). 小柳 光正 他. (2014). “非視覚”型光受容タンパク質 Opn3 とその GPCR 研究への応用. ファルマシア. Vol.50 No.9. P. 893-895.
- 17). 花井 修次. (2009). 時計遺伝子. 産業技術総合研究所 生物機能工学研究部門 生物時計研究グループ.  
[https://staff.aist.go.jp/s-hanai/clock\\_gene.html](https://staff.aist.go.jp/s-hanai/clock_gene.html)
- 18). 小島 慧一. (2021). Vol. 141, No. 10 YAKUGAKU ZASSHI 141, 1155-1160. 光受容タンパク質・ロドプシンの生物物理化学研究. [https://www.jstage.jst.go.jp/article/yakushi/141/10/141\\_21-00144/pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/yakushi/141/10/141_21-00144/pdf)



- 19). [https://www.jstage.jst.go.jp/article/yakushi/141/10/141\\_21-00144/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/yakushi/141/10/141_21-00144/_pdf)
- 20). [https://www.jstage.jst.go.jp/article/kagakutoseibutsu/50/5/50\\_325/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/kagakutoseibutsu/50/5/50_325/_pdf/-char/ja)
- 21). <https://kenko.sawai.co.jp/theme/202003.html>
- 22). [https://brightlight-store.ovtp.net/topics2/post\\_16.html](https://brightlight-store.ovtp.net/topics2/post_16.html)
- 23). [https://www.aist.go.jp/Portals/0/resource\\_images/aist\\_j/aistinfo/science\\_cafe/pdf/ev20071220\\_3.pdf](https://www.aist.go.jp/Portals/0/resource_images/aist_j/aistinfo/science_cafe/pdf/ev20071220_3.pdf)



# 〈ウーパールーパー研究報告〉

## メキシコサンショウウオにおける攻撃行動制御機に関する調査報告

Ver.3.1 (最新版)

報告日: 2023/8/28 (Ver.1 & Ver.2), 同年 8/29 更新 (Ver.3), 同年 10/1 更新 (Ver.3.1)

著: 杉山 遥 (Ph. D)<sup>1</sup>

[sugiyama.haruka.axolti@gmail.com](mailto:sugiyama.haruka.axolti@gmail.com)

所属: <sup>1</sup>ウーパールーパー研究室\_はるらぼ

since 2020~

X (旧 Twitter): [https://twitter.com/lab\\_new2](https://twitter.com/lab_new2) (@lab\_new2)

研究者ポータルサイト Research map

[https://researchmap.jp/HAL\\_lab\\_Axolotl?lang=ja](https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl?lang=ja)



※ CC-BY-NC-ND; 本文献の許可なき商業利用、無断転載・改変の一切を禁止します。

## 概要 Abstract

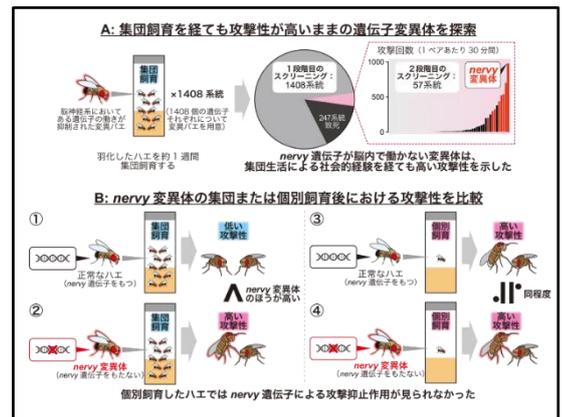
- ・アホートルは幼少期や繁殖期のオスは攻撃性を示し、集団の密度が高まるとその攻撃性が強まる傾向が見られる。
- ・ショウジョウバエ *Nervy* 遺伝子 [1] (マウス *MTG8* [2]) に着目  
→ 発現する集団飼育個体で、攻撃性の低下に因ると報告あり。

### A neurogenetic mechanism of experience-dependent suppression of aggression

Kenichi *et al.* (2022). *SCIENCE ADVANCES*.. Vol 8, Issue 36.

DOI: [10.1126/sciadv.abg3203](https://doi.org/10.1126/sciadv.abg3203)

[社会経験に応じて過度な攻撃を抑える脳内の「ブレーキ」をハエの研究から発見 - 東京大学 大学院理学系研究科・理学部 \(u-tokyo.ac.jp\)](#)



- ・アホートルには、類似の遺伝子 **MTGR1, 2** および **相同因子 MTG8** が共に発現している。[3]
- ・アホートルにおいてもセロトニン受容体の発現が確認できる。[5]
- ・単独飼育と比較して、集団飼育時にアホートル *MTGR* の発現 (特に生後 60 日まで) は非常に高く、時間経過と共に他の攻撃行動抑制因子として知られる因子と発現強度が入れ替わりになる。
- ・異種混泳での成長促進や密度依存的な成長制御 [13] と *MTGR* の発現動態に一部相関が見られた。
- ・セロトニンによる攻撃性の制御に加え、攻撃の制御や逃避行動に関わる因子の発現とも相関が見られた。[10-11]
- ・集団になると、逃避行動を示す集団から追いやられる可能性のある個体は、上陸化が促進される可能性がある。

## 導入 Intriduction

ウーパールーパーとして知られるメキシコサンショウウオ (以下、アホロートル) は、基本的に単独飼育が推奨されている。これは集団になると噛み合い行動等を起こす場合があり、傷口からの感染症や共食いのリスクがあるためであるとされてきた。しかしながら、当ラボにおける先行研究では、アホロートルは互いを嗅覚や側線等で感知する一方で、他個体に対して攻撃行動 [4] を示す割合は、たとえ過密な条件であってもせいぜい 2 割程度にとどまり、巷で囁かれている程狂暴ではないといえる [14]。一方で、異種混泳を行った際は、密度効果を無視して成長が過剰に促進される機構があることも明らかとなっている [13]。これらの当ラボにおける先行報告から、アホロートルは他個体を認識した上で、攻撃を抑制または回避するような行動制御を中枢神経系を介して行っている可能性が推察されたため調査を実施した。

攻撃的な行動を司る神経伝達物質にセロトニン (5-ヒドロキシトリプタミン、5-HT) が知られており、このセロトニンも単に濃度が増減することで攻撃が制御するだけでなく、状況や生活環境に応じて攻撃誘導にも抑制にも作用することが明らかとなっている [5]。また、攻撃抑制に関する因子として、ショウジョウバエの *Nervy* 遺伝子 [1] (相同因子: マウス *MTG8* [2], アホロートル *MTGR1, 2* [3]) に着目し、集団飼育時や異種混泳時等における攻撃行動とこれらの因子の相関について調査した。その結果、集団飼育の過程で、幼若な時期 (day0~60) とそれ以降、繁殖誘導条件下ではそれぞれ *MTGR* やセロトニン特異的受容体 (*HTR3*) の発現が入れ替わるように変化し、亜成体 (day120 頃) からは同程度の発現強度で発現が一定レベルに維持されることが明らかとなった。この傾向は、異種混泳条件でも同程度に顕著であり、

成長初期には *MTGR* の高い発現によってセロトニンによって誘導される周囲への攻撃行動の衝動を抑制し、成長が経過する中でセロトニンによる攻撃性は活性化と抑制が混在することで平衡状態となることが示唆された。実際に、セロトニンのシグナルを活性化または抑制することで、アホロートルの行動が変化する結果が得られている。グラニセトロン塩酸塩 (5-HT<sub>3</sub> 受容体拮抗薬) を経口投与された個体群は特に幼少期や繁殖期における攻撃性が顕著に抑制された。一方で、脳内のセロトニン量を増加させることでセロトニンの効果を強める薬剤である、トリフルオロメチルベンゼン誘導体の一種であるフルオキシセチンを与えると、同様のタイミングにおける攻撃性が顕著に上昇するという結果が得られた。

こうした集団における攻撃性と併せて、逃避行動を取る個体や積極的な行動を示さず安静にしている個体が混在して見られることが分かった。まず攻撃性の高い個体では、攻撃性を抑制する因子である *Nr2e1* [10] の発現が低い一方で、活発な行動 (逃避行動時などの運動性に関与) に繋がる因子 *USP46* [12] の高い発現が見られた。逃避行動を示す個体では、甲状腺ホルモン制御が活性化することに加え、*Nr2e1* と *USP46* が共に非常に高い発現を示し、一部の個体が上陸することが明らかとなった。これらのいずれとも異なり、低応答性を示した個体では中枢神経系における *Nr2e1* の発現が顕著に高くなり行動が抑制されている一方、*USP46* や甲状腺制御に関連する因子の発現が成長しても継続的に低いまま維持される (すなわち活動量が低下し、成長が抑制される) という結果を示した。

これらの研究結果から、アホロートルは単独行動個体の方が集団個体と比較して、攻撃行動を制御する因子の発現が顕著に抑制されている傾向があることが明らかとなった。一方で、集団の中では主に 3 つの行動タイプに分かれる傾向があり、集団の中で逃避する傾向のある小集団は積極的に上陸する傾向があることが示唆された。また、特に縄張りに異種が移入してきた際には成長が過剰に活性化される一方で、攻撃性に関する制御機構が強く作用し、実際に攻撃行動に移行することが無いよう制御されていることが分かった。

今回の報告の中で、これらの調査結果について可能な限り詳細に報告し、アホロートル生態や生息地について理解を深めたいと思う。

## 材料と手法 **Materials & Methods**

本研究には、メキシコサンショウウオ(ウーパールーパー)を用いた。

### 明暗条件

適切な成長制御・体内の概日リズムを保持するため、LD12:12 (明期: ZT0 (午前 6 時)~ / 暗期: ZT12 (18 時)~) の日周リズムで飼育を実施した。

攻撃行動に関連するセロトニンを十分に生合成・分泌させるためにも、上記の明暗周期での管理を徹底した。

### 飼育水の条件

飼育時の水温は、通常は 18~22°C, 繁殖モード誘導時は 18°C → 8°C (5 日間) → 18°C (5 日間) という処理を施した。今回は行動への影響を加味し、全ての飼育・調査において淡水飼育条件で統一した。

水質: 淡水環境; pH6.7 (平均値), KH4.8~5.4

### 飼育密度の設定

飼育水槽: GEX\_マリーナ60cm水槽 (60×30×36cm MR600BKST-N 269467)

- ・ 単独飼育...上記水槽中に 1 個体を投入し、常に単独で生育する環境とした。
- ・ 集団 (低密度) 飼育...上記水槽中に 6 個体を投入し、常に他個体と接する環境とした。
- ・ 集団 (高密度) 飼育...ポリ容器 (25cm×18cm×9.5cm; <https://jp.daisonet.com/products/4549131590630>) に 10~14 個体相当の飼育密度を設定し、成長に応じて生育に支障のない程度に高い密度を維持した。

#### (上記飼育水槽の約 4 倍程度の密度)

- ・ 異種混泳...上記の高密度飼育と同様だが、半数がエゾサンショウウオ (*Hynobius retardatus*) となっている。
- ・ 過密飼育...定義は明確ではないが、上記のポリ容器に 14 個体程度を上限に、多くの個体で過密にした状態。

### 給餌条件

給餌は週 2-3 回、ZT および CT13-15(午後 7~9 時)に必ず行った。

薬剤投与の際には、餌中に混合した粉末成分を経口投与にて摂取させた。

### 成長過程の記録・撮影

成長実験には 30-50mm の幼体を用い写真を撮影後、その後定量比較に用いるタイミング (撮影開始から 30, 60, 90, 120, 200, 360 日後) における成長後個体の撮影像と共に、画像解析ソフト Image J (Color FootPrint) にて測定を行った。飼育時の水槽は、本実験にて用いる個体では全てタイミングを統一し、成長過程に合わせて飼育水槽を大きくしていく方式を取った。

### 闘争/逃避行動の観察

行動観察の行動; day0~day30 までの間、飼育水槽の観察・撮影を実施し、以下の行動の頻度について確認を行った。

攻撃(闘争)行動; 相手への強い突進・噛みつき行動 (食砂や周辺への攻撃なども含む)

求愛行動; 相手に対して顔をこすりつける、顔で身体をつつくなど、排卵誘発する行動。

逃避行動; 攻撃を受ける、受けないに関わらず、他個体から距離を置く行動。

無反応・無応答; 他個体に影響されず、あまり積極的に行動を示さない状態。

※ 行動観察の際の逃避行動が過剰に誘発されないように、生体の状態; 四肢や眼の欠損, 突然変異などが無いように注意して飼育・観察を継続的に実施した。損傷が起こりそうな際は速やかに観察を中断し、生体を回収し一定以上の時間隔離した。

### 各集計結果の統計解析



統計解析には、Graphpad Prism ver.6 を用いて One Way ANOVA; turkey test, \* $p < 0.05$  にて有意差解析を行った。

## **結果と考察 Result & discussions**

### **集団飼育時の他個体に対する応答性(行動)の解析**

飼育界限の中でアホートルを集団飼育したの他個体への攻撃行動へのリスクについて議論があるが、過去の当ラボにおける調査の結果から、集団としての攻撃行動の比率は、過密飼育条件 (材料と手法 Materials & Methods 参照) であっても 20% 未満であることが分かっている。[13-14]

今回、過去の調査に加え、高密度と低密度の条件にて 360 日間調査を実施したところ、生後間もなくは殆どが無反応であり、生後 30~60 日頃の期間では攻撃的な個体だけでなく反応性の薄い個体と逃避する行動をする個体に均等に分離する傾向を示したが、成長に伴って互いの行動に対して大きな反応を示さない“無反応”の個体が過半数を示すという結果が得られた。(図 1 参照)

### **集団飼育時における遺伝子 MTGR1, MTGR2 等の攻撃行動制御に関連する因子の発現動態**

アホートルにおいて、集団行動時に攻撃性が抑制されている傾向があることは明らかとなったが、行動がどのように抑制されているのかについては報告が見られないため、ショウジョウバエにおいて攻撃行動の抑制に関与するとされる Nery 遺伝子の相同因子である MTGR1 および MTGR2 や、攻撃性・攻撃性の抑制など複数の効果を示す神経伝達物質として知られるセロトニンの特異的受容体である HTR3、ヒトにおける攻撃性・反社会的行動の抑制因子とされる MAOA 等に注目し、中枢神経におけるこれらの因子の遺伝子発現動態について、成長ステージに沿って RT-qPCR 法を用いた経時的な定量を行った。(図 2 参照)

定量の結果、集団飼育を行っている個体群では傾向として、検討開始 day0~day90 まで MTGR1, MTGR2 の発現が高く、HTR3 や MAOA の発現は相対的には低い傾向を示すが、day200 以降になると発現の傾向が全く反対の傾向を示すようになった。(図 2. (A) 参照) 一方で、単独飼育における遺伝子発現は、集団飼育時と比較して相対的に低い傾向を示した。(図 2. (B) 参照)

### **高密度飼育時 および 異種混泳条件下における関連因子の発現動態**

当ラボの先行研究において、飼育密度が高い条件では成長が有意に抑制を受けることが明らかとなっている。(材料と手法 Materials & Methods 参照) これに加え、エゾサンショウウオ (*Hynobius retardatus*) が半数を示すような異種混泳環境下では、こうした密度効果による成長抑制を無視できる程に成長が有意に促進される。この成長促進の要因として、各種成長因子やストレス応答因子の発現活性化が挙げられ、特に異種と併せて密集する環境下に置かれることで強いストレスを感じ、成長を促進することで競争に勝利するような応答が起こると考えられた。(参考 1. 参照) [13]

異種混泳を 25 日間行った個体は、体の成長率の可塑性がギリギリ発揮される 生後 60~90 日のタイミングを超えても MTGR1, 2 の発現が非常に高いという傾向を示すが、これは高密度飼育条件下でも同様の傾向があり、更に異種混泳を経験した個体では MTGR1, 2 の発現がより長期間持続されることが分かった。一方で、密度を低下させるために、可塑性が発揮されるタイミングでより広い水槽へ移動させて一定期間飼育すると、MTGR1, 2 の発現が相対的に有意に低下することが明らかとなった。更に、HTR3 の発現動態を比較すると、低密度下においた個体群では相対的に有意に発現が低下していることも分かった。すなわち、少なくとも密度が低下した条件では、セロトニンによる攻撃性の誘発/抑制が共に、密度の高い集団で生育した際と比べ、全体的に機能低下を起していることが考えられた。

## アホーロトルにおいて MTGR1, 2 は攻撃誘発因子としての機能は見られるか？

ここまでの結果を踏まえると、以下のような機序・制御機構が想定される。

- 1). 生育初期の段階では、セロトニンによる攻撃性をその特異的受容体である HTR3 を一定に保つことで抑制しつつ、Nervy 遺伝子相同因子 MTGR によって抑制するよう作用させることで攻撃性を抑制している。
  - 2). 抑制性のセロトニンニューロンと MTGR を成長時期によって段々と切り替えることで、成長初期にはセロトニンによる過剰な攻撃行動を抑制し、ある程度成熟したところでは攻撃と抑制を同程度に制御できるように遷移していく。
- 以下、セロトニン経路に関する特異的な阻害剤を経口投与することで、時期特異性や反応特性について追加調査を実施した。

## アホーロトルにおける MTG8 の発現動態とその役割 (23/8/30 追記)

MTGR の役割については明らかになったことから、MTG8 の役割についても新たに調査を実施した。(補足図 2. 参照) その結果、MTGR1, 2 と比較してやや発現動態や発現強度が異なり、全体的に発現強度が低く、MTG1, 2 や HTR3 の発現が入れ替わるタイミングの境目にかけてそのピークを示すことが明らかとなった。

従って、アホーロトルにおける MTG8 は、MTG1, 2 とセロトニンの拮抗するタイミングにて、攻撃性が強く発揮されすぎないように抑制的に機能している可能性が示唆された。

## セロトニン拮抗阻害薬を用いた攻撃行動制御の時期特異性に関する調査

セロトニンの時期特異性や効果について、以下の二種類の薬剤を経口投与することで時期特異的な影響を確認した。

- ・グラニセトロン塩酸塩錠 → セロトニンの効果は抑制される。
- ・選択的セロトニン再取り込み阻害薬 (SSRI) フルオキセチン → 脳内のセロトニン量は増加する。

## 仮説 → 検証 (図 4. 参照)

- ・幼い時 → セロトニンは攻撃性に関与？ (通常は MTGR によって抑制されている)
- ・成長後、繁殖時 → セロトニンは攻撃抑制にも関与 (平衡状態のため見かけ上穏やかに見える)

検討の結果、グラニセトロンを経口投与した個体 (セロトニンの効果抑制) は雌雄共に攻撃性の抑制が見られた一方で、フルオキセチンを経口投与した個体 (脳内におけるセロトニンの効果活性化) は雌雄共に攻撃性の顕著な活性化が確認された。本結果から、上記仮説のうち幼体の場合は想定通りの効果を示す一方で、成熟個体においては (攻撃行動を余り示さないメス個体であっても)、セロトニンの効果 抑制 / 活性化 共に影響を受けているという傾向が見られた。これらの傾向から、セロトニンは攻撃性の抑制にも活性化にも関与し、互いに干渉しあうことで行動の出力としては見かけ上穏やかに見えている可能性が示唆された。

更に詳細な機構を明らかにするため、以下の因子群に更に注目し、遺伝子解析を実施した。(補足図 1. 参照)

- ・ストレス刺激によるセロトニン放出に関わる因子 [19-25]: Pet1, KIF17, Tph1, SLC6A4, Gchfr, Kcnj3, Drd2
- ・慢性的ストレスからの忌避行動に関わる因子 [26-32]: TLR4, TLR2, IL-1R, MAGL, COX-1, PTGER

検討の結果、闘争行動個体群は、セロトニン放出に関わる因子群 (Pet1, KIF17, Tph1, SLC6A4, Gchfr, Kcnj3, Drd2) の発現が特に幼生期に非常に高く、逃避行動を示す集団では慢性ストレスからの忌避行動に関わる因子群 (TLR4, TLR2, IL-1R, MAGL, COX-1, PTGER) の発現が特に幼生期に高い傾向を示した。一方で、低応答の個体群では全体的に発現量が低い傾向を示した。

## 闘争・逃避行動の制御とストレス応答に起因した変態制御

前述したように、集団飼育のアホロートルは、闘争を積極的に行う個体、逃避する個体、あまり攻防には関与しない個体の3つのタイプに分かれている傾向が見られる。特に幼体においては雌雄差も見られない。(図 5-1. (A). 参照)

加えて、逃避行動を積極的に行う個体の半数程度が変態する可能性を持つことが示唆された(図 5-1. (B). 参照)

これらの傾向から、3つのタイプの個体が時間経過に伴ってどのように成熟していくのか? 変態するのか? について、当ラボの先行研究 [18] なども踏まえて更に詳細な解析を行った。

その結果、闘争行動を示す個体では攻撃行動促進因子として知られる USP46 [12] の高い発現がみられた。一方で、攻撃行動の抑制に関わる Nr2e1 [10] このような個体では、従来のウーパールーパーのネオテニーとしての性質を保ち、成熟化しても甲状腺刺激ホルモンの活性が低いままであるという特徴が見られた。(図 5-2. (A). 参照)

次に、低応答性の個体の場合、基本的にはネオテニーの性質を示すものの Nr2e1 の発現強度が非常に高く、応答性の低い性質との相関が見られた。(図 5-2. (B). 参照) 更に、逃避行動を示す個体における遺伝子発現を確認すると、成長に従って甲状腺ホルモン制御に関わる因子が活性化し、逃避行動と攻撃行動が共に活性化し、ストレスの高さと変態促進による逃避応答が確認できた。(図 5-2. (C). 参照)

これらの一連の反応から、攻撃行動を示す個体はネオテニーとして自らの縄張りを守る一方で、逃避行動を示す個体は非常に高いストレスを感じて逃避し、場合によっては上陸しようとする事が分かった。一方で応答性の低い個体は、攻撃性が著しく抑制され、いわば“心を無”にして“空気”のようにして生息していることが示唆された。

## **総括 Conclusion**

今回の調査結果から、以下の事が明らかとなった。

- 1). 幼少期はセロトニンによる攻撃行動が促進されるが、MTGRによって抑制を受ける。
- 2). 成長過程の中で、セロトニン経路によって活性化と抑制の二方向からの制御を受けるようになる。
- 3). セロトニンの感受性の違いによって、集団の中で更に、闘争/逃避 行動を示す個体 および 低応答個体の3つの小集団に分割される。
- 4). 逃避行動を示す個体の一部では、他の応答性の個体群と比較して、変態・上陸化が促進される。

導入でも述べたように、飼育界限では噛み合い行動についての議論が時々見られるが、幼少期の攻撃性は中枢神経系におけるセロトニンによって活性化を受け一方で、MTGR やセロトニン受容体を介したシグナル伝達によって過剰にならないように調節を受けていることを今回ご理解いただけたら幸いである。

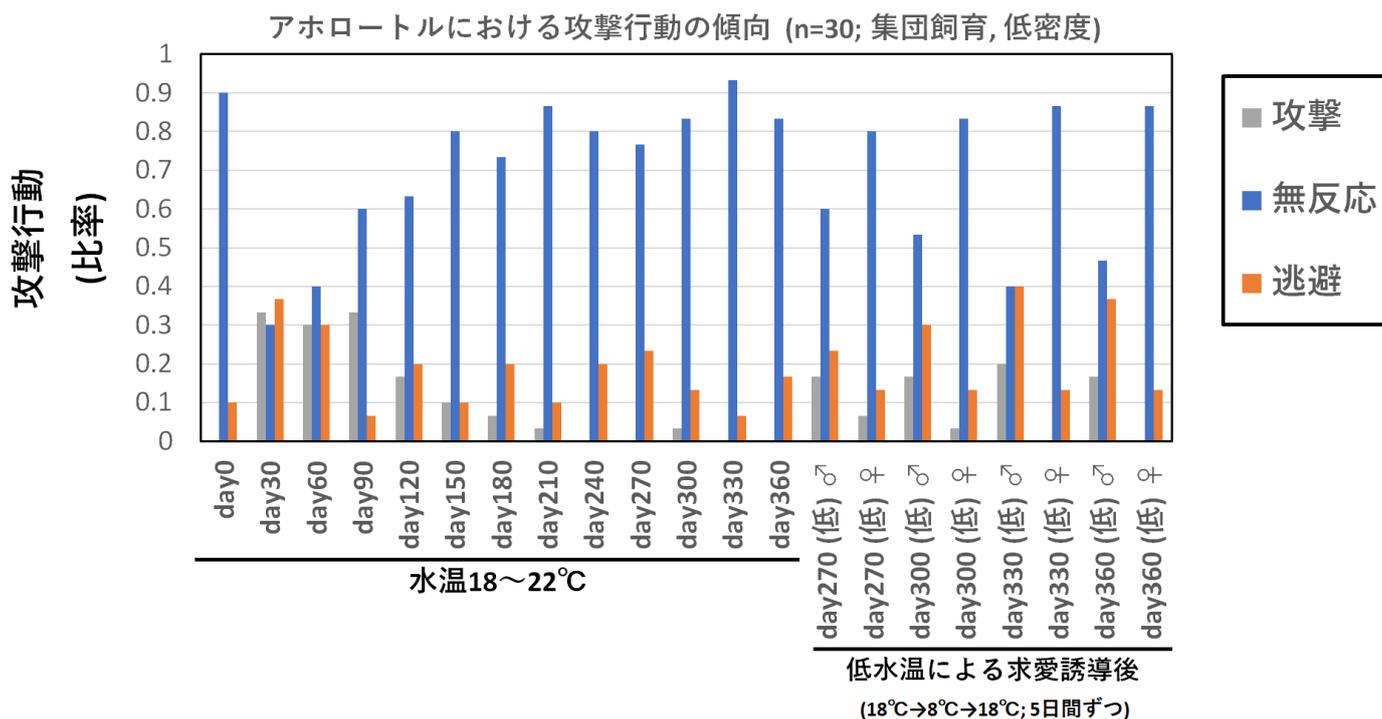
しかし一方で、集団飼育下では、幼少期に見られる攻撃性やその後の性格形成への影響を完全に排除することが難しい場合もあることが推察される。従って、どうしても不安がある方は、飼育密度を下げることで集団適応を回避するように調節されると安心かもしれない。

## **謝辞 Acknowledgments**

本研究をまとめるにあたり、多くの研究者の皆様、サポーターの方々等のご助言・お力添えがありました。この場を借りて、改めて心より御礼申し上げます。誠にありがとうございました。

当ラボにおける活動は、今年（本論文発表時点）で3年目に突入し、益々多忙を極めておりますが、夏の暑さや台風にも負けずに研究活動に邁進する所存です。今後ともご愛顧の程、何卒宜しくお願い致します。

(A) 集団飼育時の攻撃行動 (低密度) … 材料と手法: 低密度条件 × 5 セット 相当



(B) 集団飼育時の攻撃行動 (高密度) … 材料と手法: 高密度条件 10 匹 × 3 セット 相当

(上記 (A) の 4 倍程度の密度)

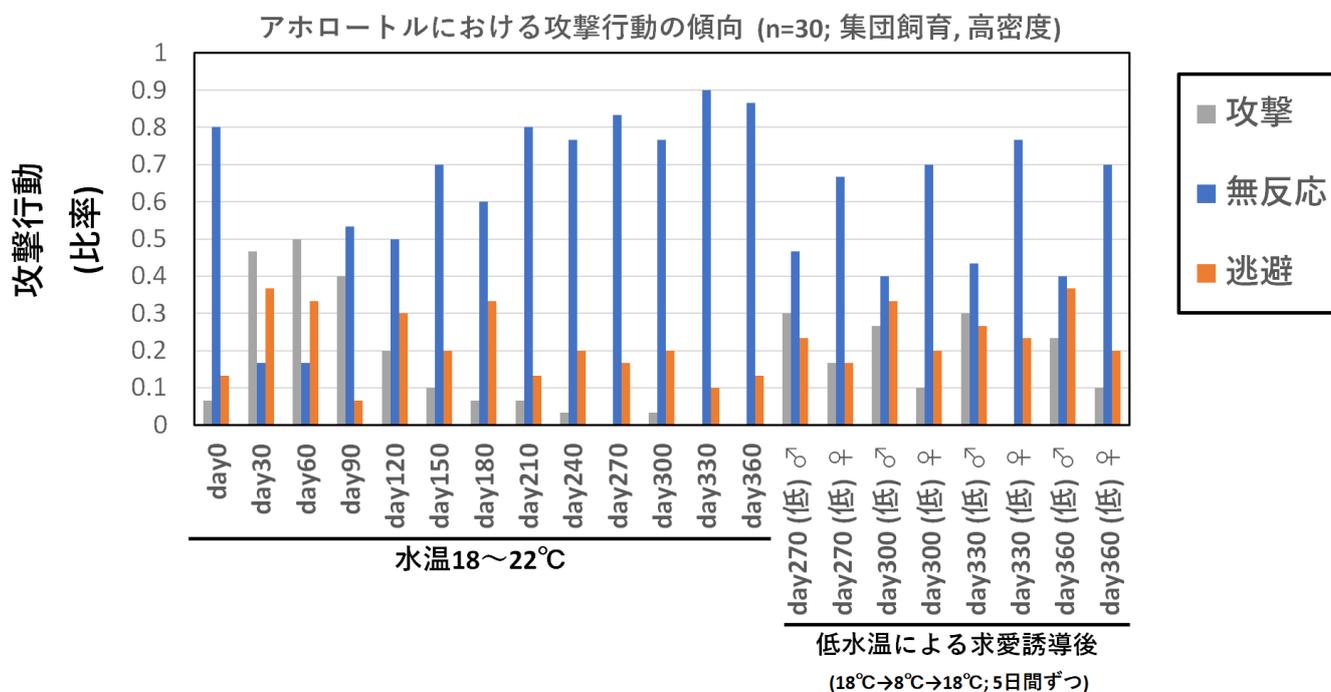
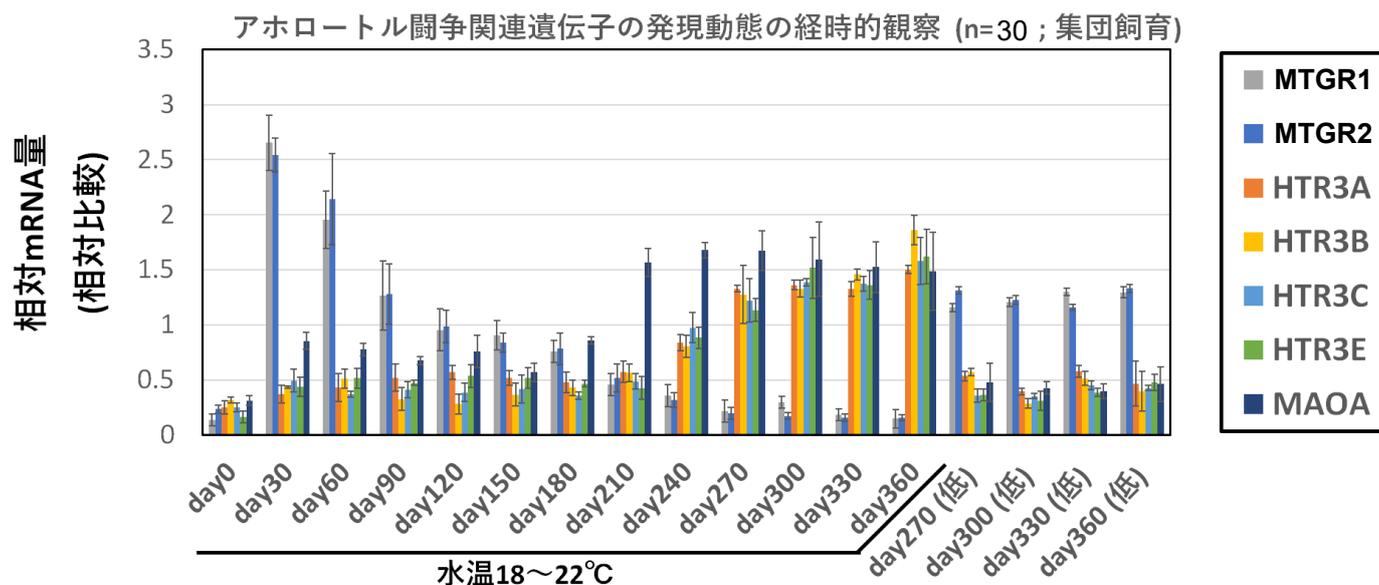


図 1: アホロートルの攻撃行動の習性について (成長過程 + 密度効果)

## (A) 集団飼育時における Neryy 遺伝子相同因子 MTGR1 & 2 の発現動態

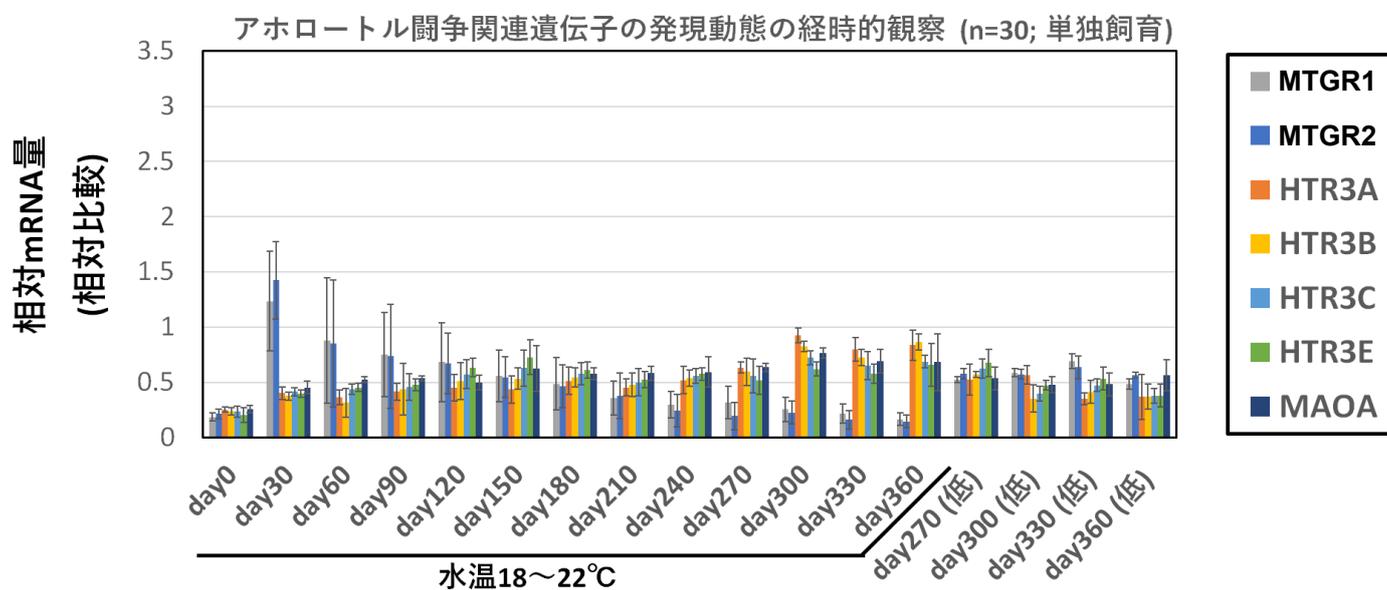


各 stage 付近 (±24hr) において、危篤となった個体の中枢神経系から mRNA を収集し、technical triplicate で比較した。

(収集できた mRNA が特に幼体ではやや少ないこともあり、試料は N=1~2 程度の mRNA を併せて逆転写して用いた。)

低水温による求愛誘導後 (18°C→8°C→18°C; 5日間ずつ)

## (B) 単独飼育時における Neryy 遺伝子相同因子 MTGR1 & 2 の発現動態



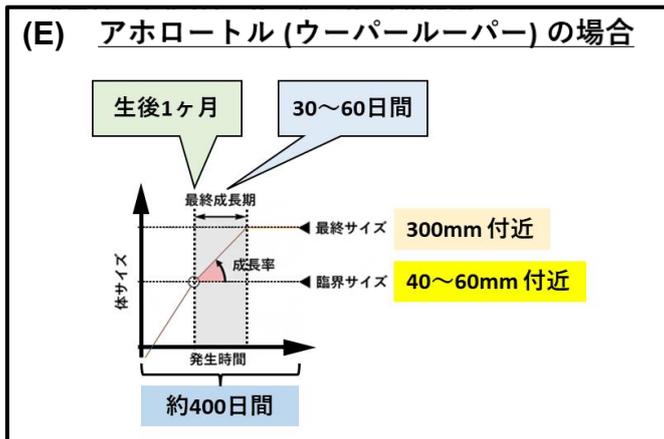
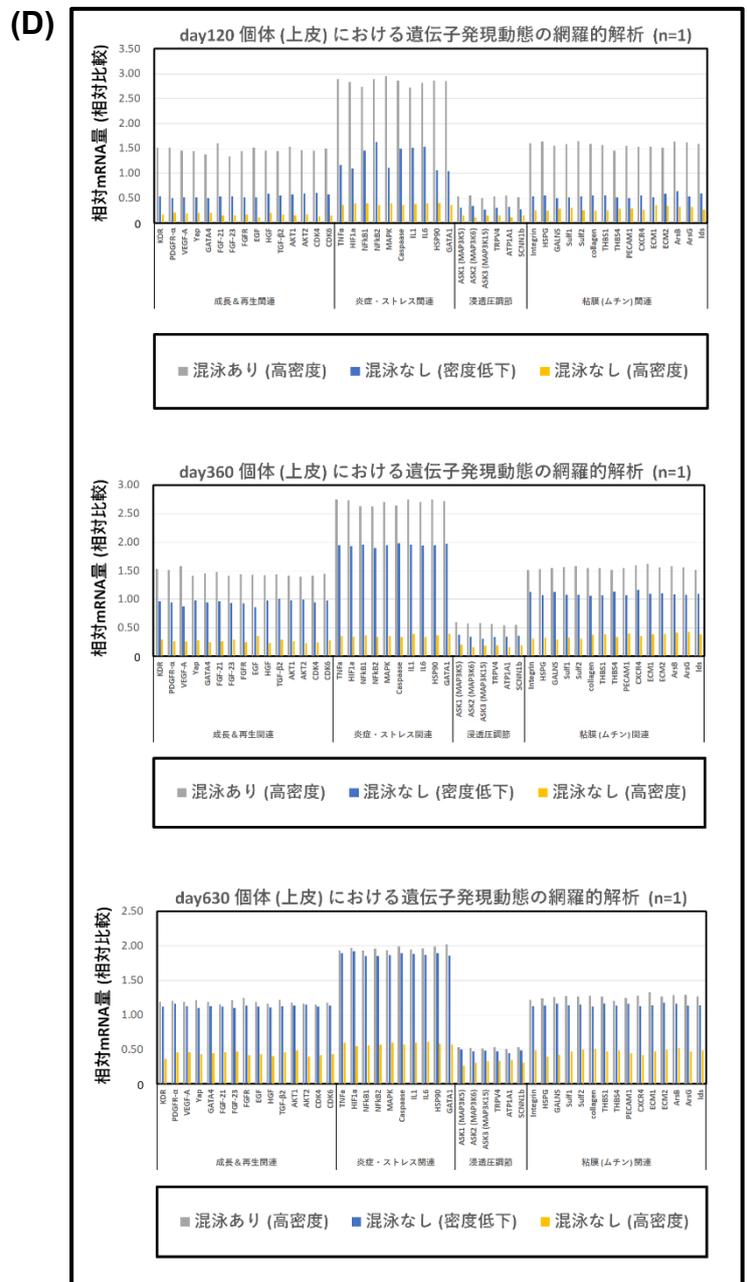
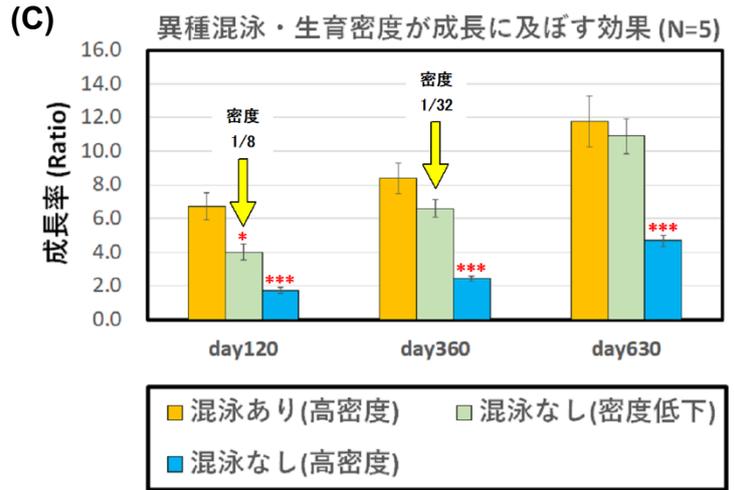
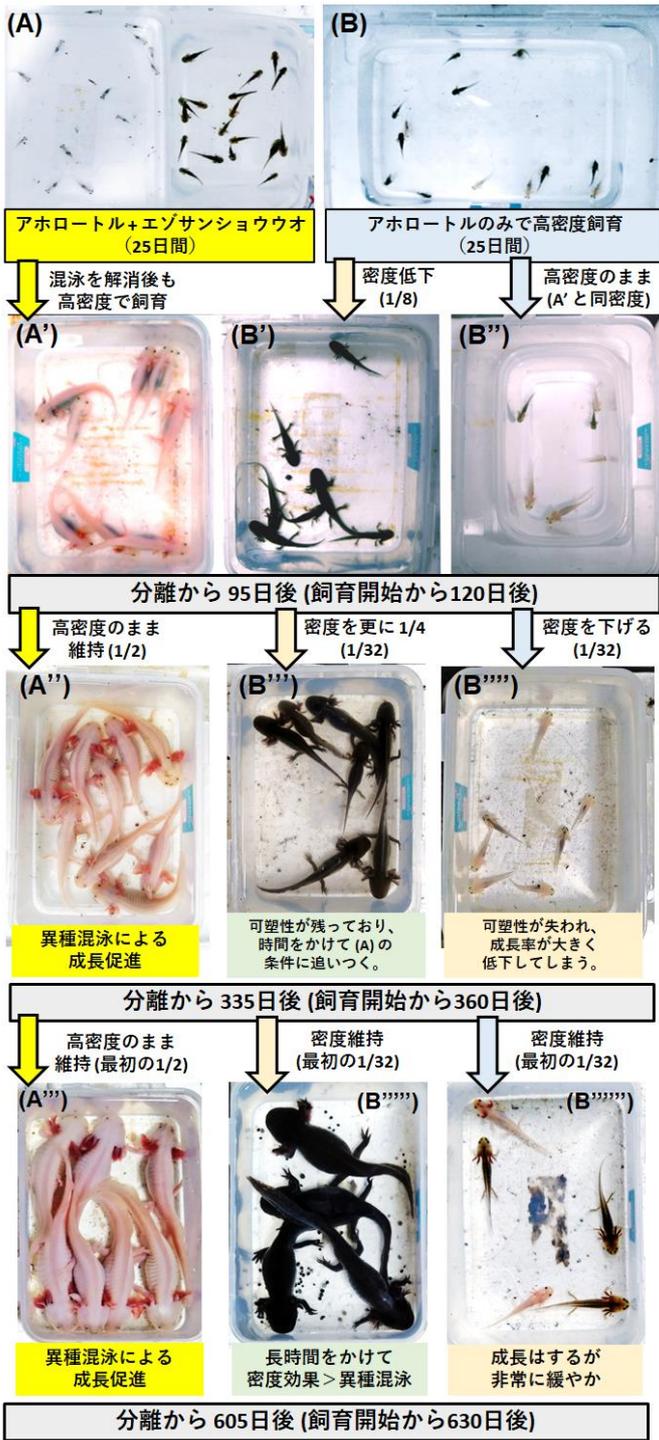
各 stage 付近 (±24hr) において、危篤となった個体の中枢神経系から mRNA を収集し、technical triplicate で比較した。

(収集できた mRNA が特に幼体ではやや少ないこともあり、試料は N=1~2 程度の mRNA を併せて逆転写して用いた。)

低水温による求愛誘導後 (18°C→8°C→18°C; 5日間ずつ)

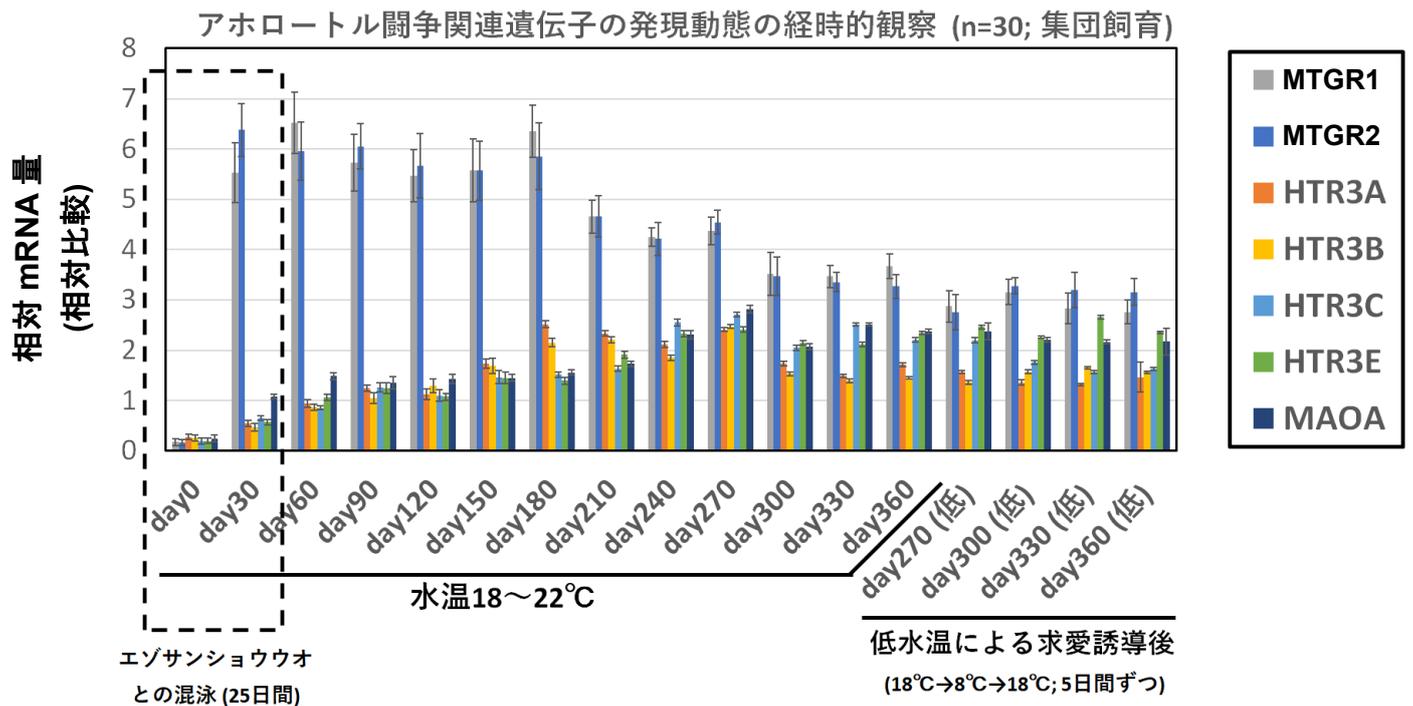
図 2: ショウジョウバエ Neryy 遺伝子に相同のアホロートル因子 MTGR1, 2 の発現動態

疑問: 異種混泳による成長促進時、攻撃性関連遺伝子の発現はどのように変化するのか?



参考 1: 異種混泳による成長促進機構

(A) 異種混泳飼育時における Nervy 遺伝子相同因子 MTGR1&2 の発現動態



(B) 高密度飼育時における Nervy 遺伝子相同因子 MTGR1&2 の発現動態

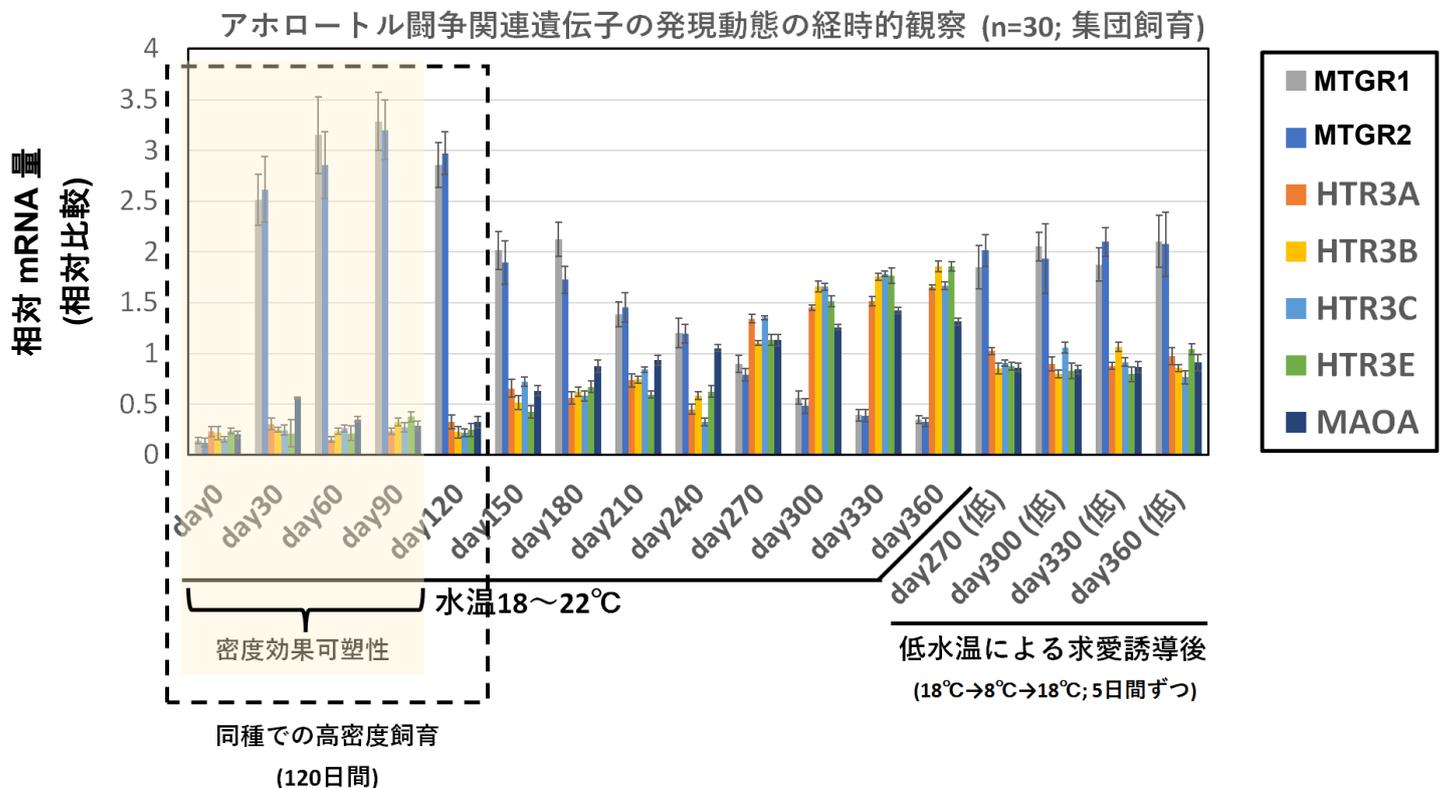


図 3-1: 異種混泳および密度効果による成長促進時の攻撃性因子の発現動態 1

(C) 密度可塑性発揮時における Neryv 遺伝子相同因子 MTGR1&2 の発現動態

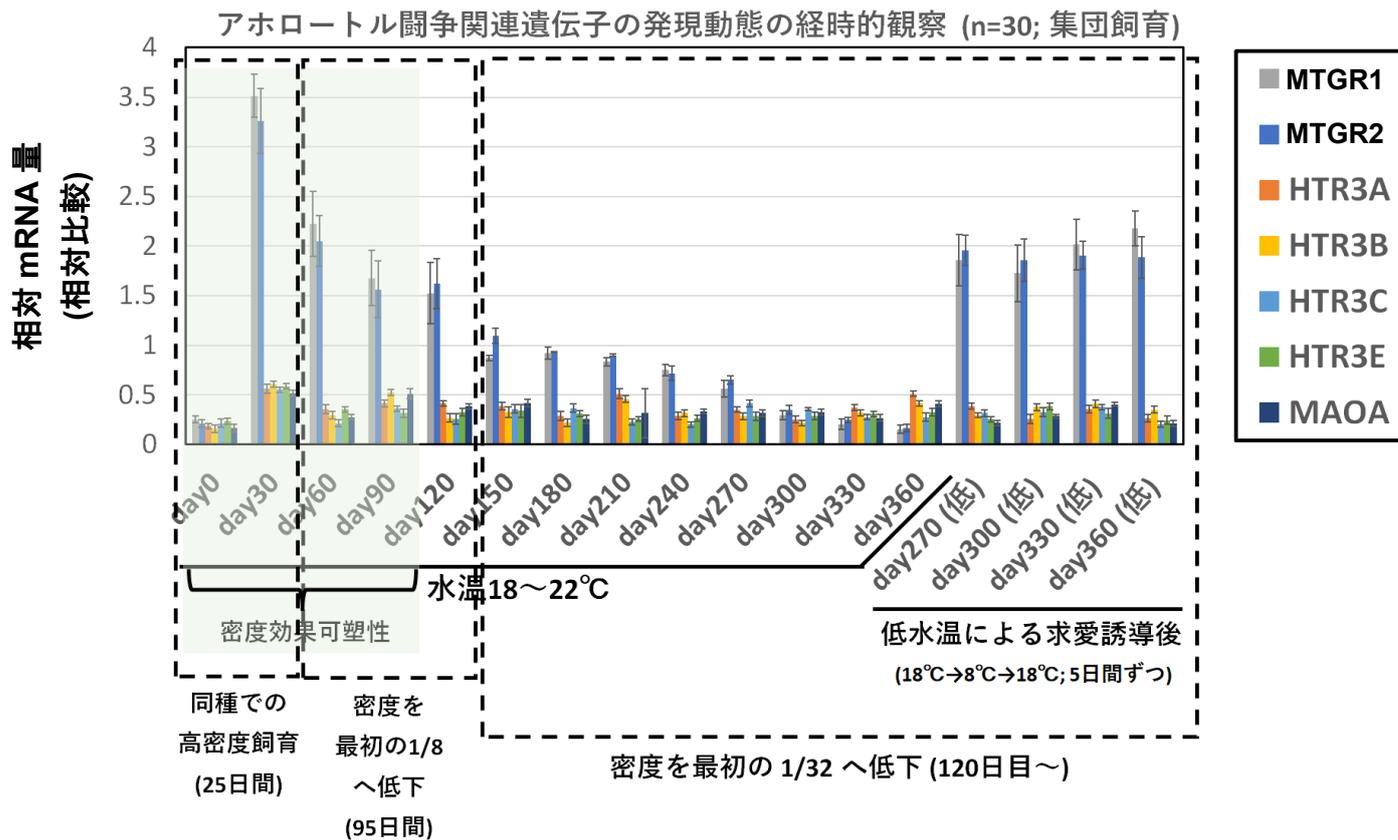


図 3-2: 異種混泳および密度効果による成長促進時の攻撃性因子の発現動態 2

## 疑問 2: MTGR もアホロートルで攻撃抑制因子として働く?

→ セロトニンによる攻撃性を、最初は受容体ある HTR3 を一定に保つことで抑制しつつ、MTGR によって抑制するよう作用させることで攻撃性を抑制している。

抑制性のセロトニンニューロンと MTGR を成長時期によって段々と切り替えることが考えられ、成長初期にはセロトニンによる過剰な攻撃行動を抑制し、ある程度成熟したところでは攻撃と抑制を同程度に制御できるように遷移していく制御機構が推察された。

## 疑問 3: セロトニン拮抗阻害薬の効果が時期によって異なるのでは?

→ 以下の二種類の薬剤を経口投与し、時期特異的な影響を確認する。

- ・グラニセトロン塩酸塩錠 → セロトニンの効果は抑制される
- ・選択的セロトニン再取り込み阻害薬 (SSRI) フルオキセチン → 脳内のセロトニン量は増加する

## 仮説 → 検証

- ・幼い時 → セロトニンは攻撃性に関与? (通常は MTGR によって抑制されている) → おそらく想定の効果あり。
- ・成長後, 繁殖時 → セロトニンは攻撃抑制にも関与 (平衡状態のため見かけ上穏やかに見える) → 仮説通りの傾向。

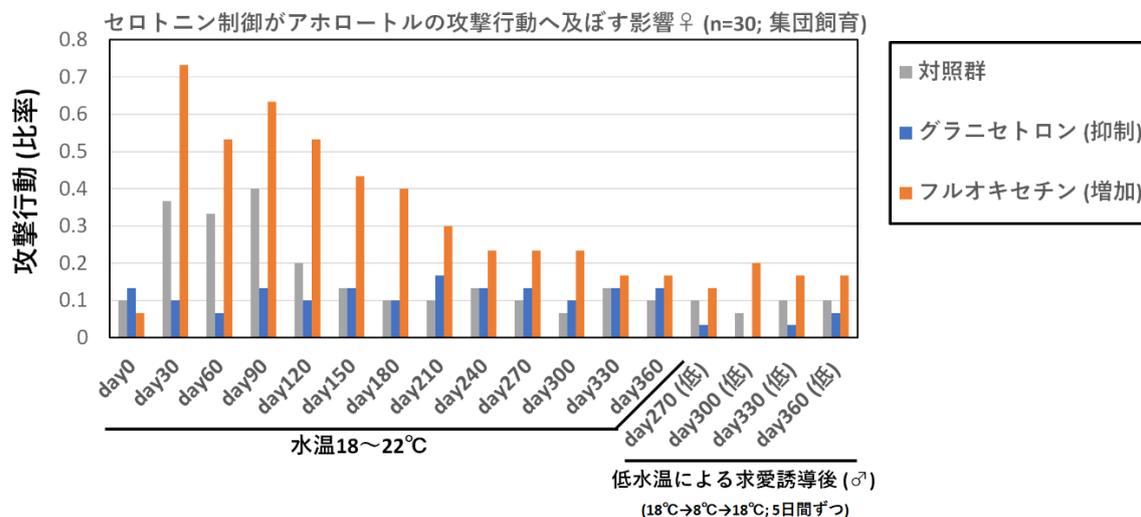
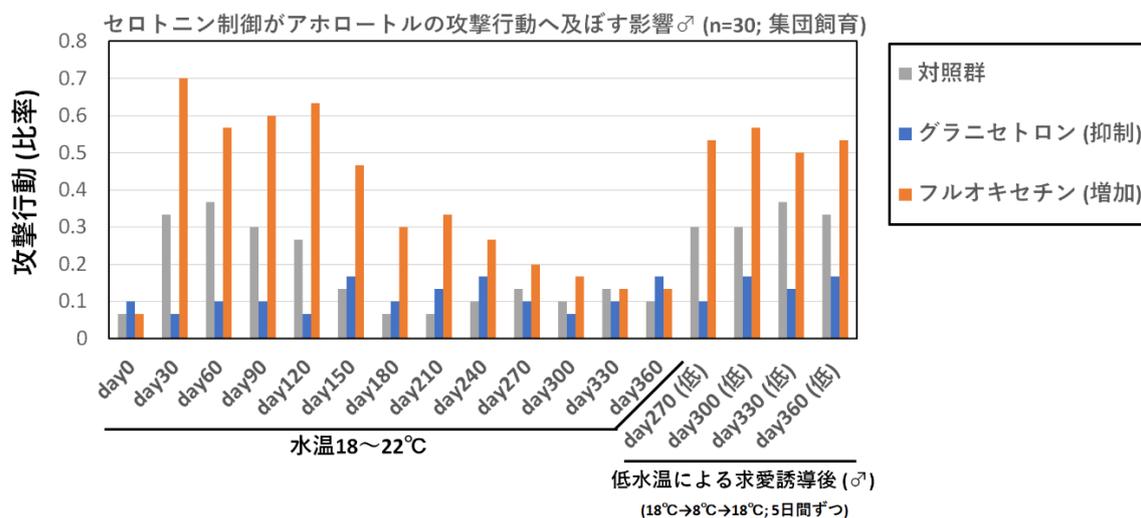
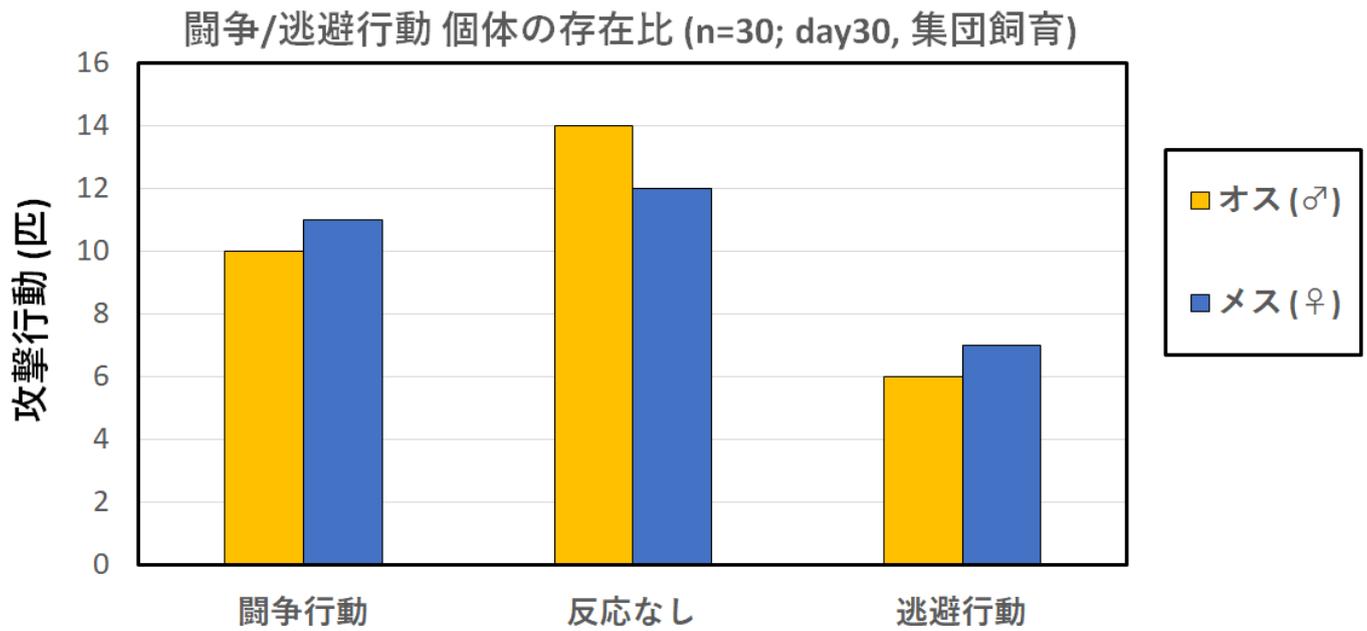


図 4: セロトニン制御による攻撃行動への影響の調査

(A)



(B)

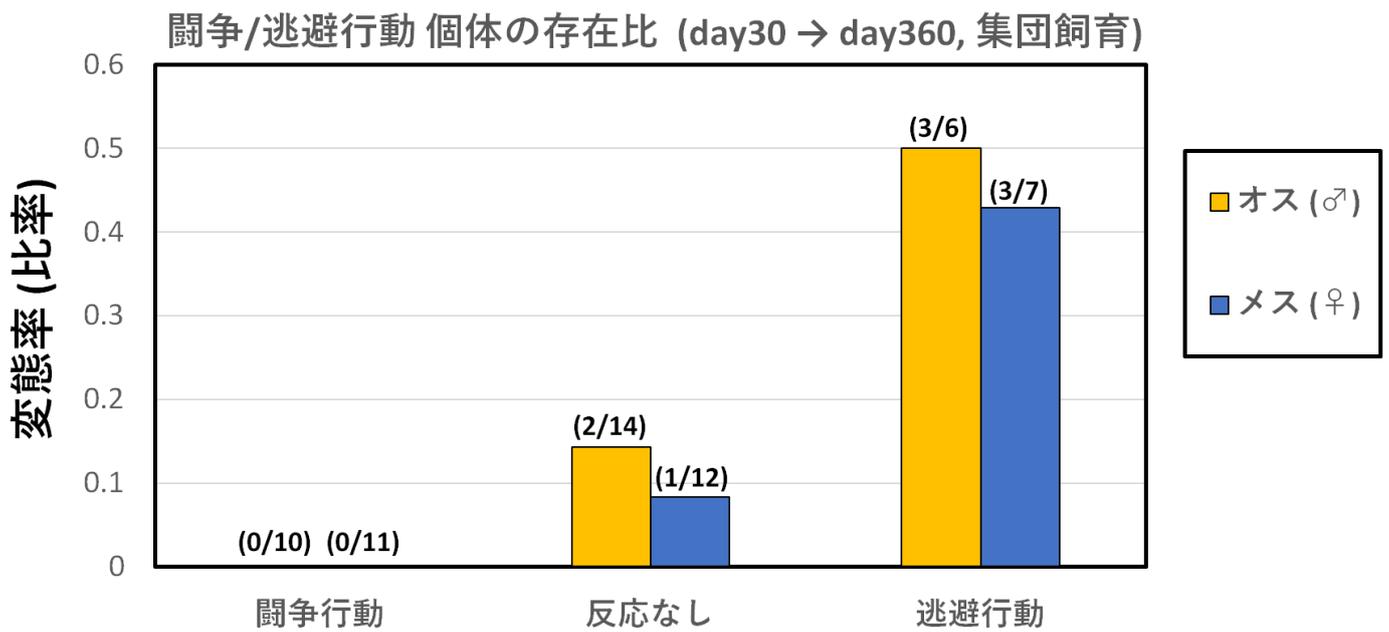


図 5-1: 闘争/逃避行動と成熟化・上陸化促進の関係性 (18~22°C) 1

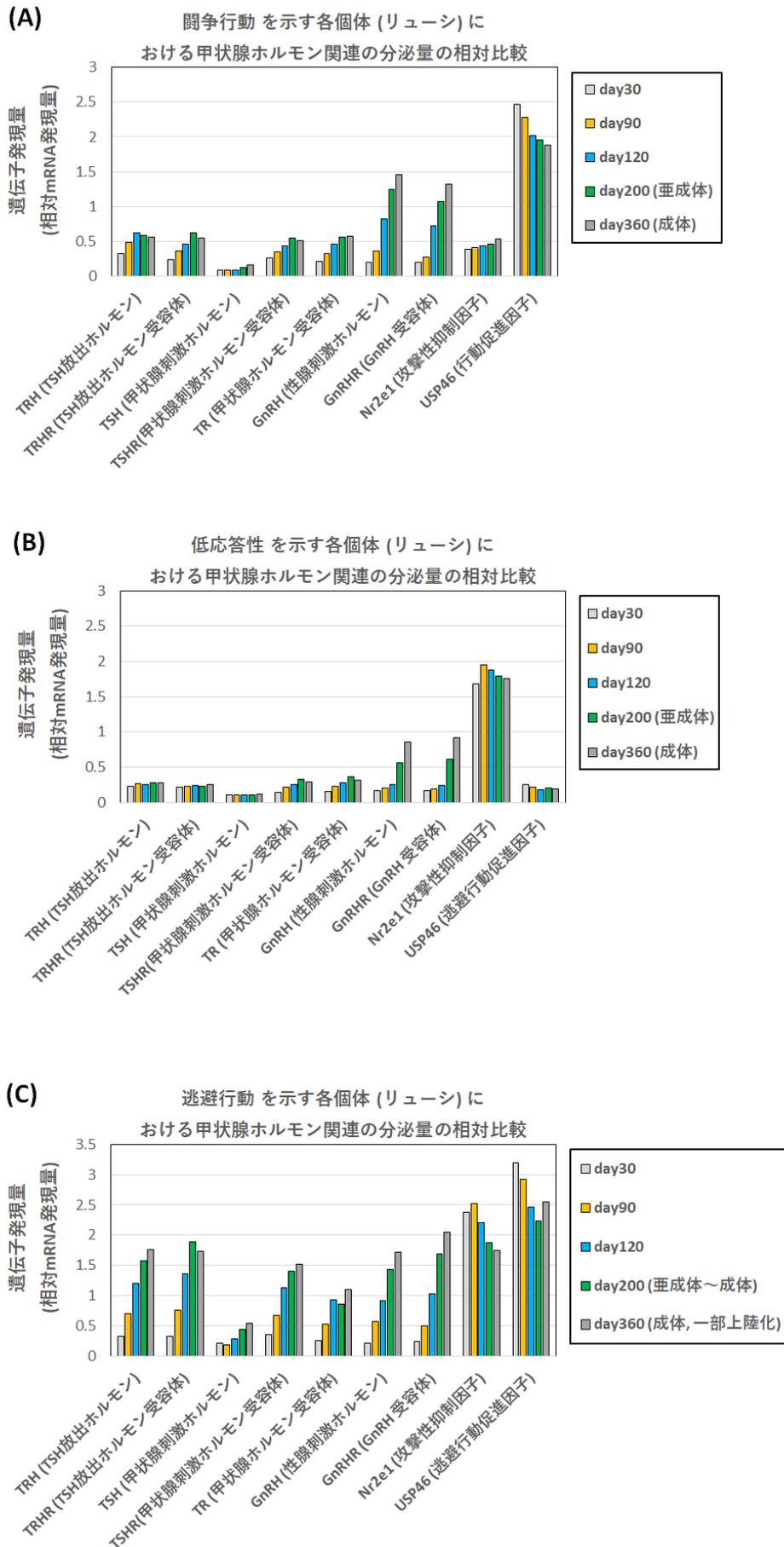


図 5-2: 闘争/逃避行動と成熟化・上陸化促進の関係性 (18~22°C) 2

< 単独生活個体 >



VS

< 集団生活するアホロートル >



幼少期: MTGR1, 2 > セロトニン受容体  
成育に伴い... MTGR1, 2 < セロトニン受容体

攻撃性誘発因子の活性

単独 < 集団

セロトニンの効果: 幼少期は攻撃性に関与し、成長後は攻撃性の抑制にも作用し、集団生活での均衡を保つ?

成育密度効果: 密度が高い方が、攻撃性が一層強まる?  
→ その分強く抑制されるよう制御を受ける。

< 異種混泳個体群 >



異種混泳条件下では、  
・ 成長促進 (成長過剰)  
・ 攻撃性上昇  
・ それに伴う攻撃性の抑制  
といった防御応答が起こる。

< 集団生活において発生する3つの行動型 >



攻撃性が高い個体  
・ 高い行動力  
・ 水中生活を維持

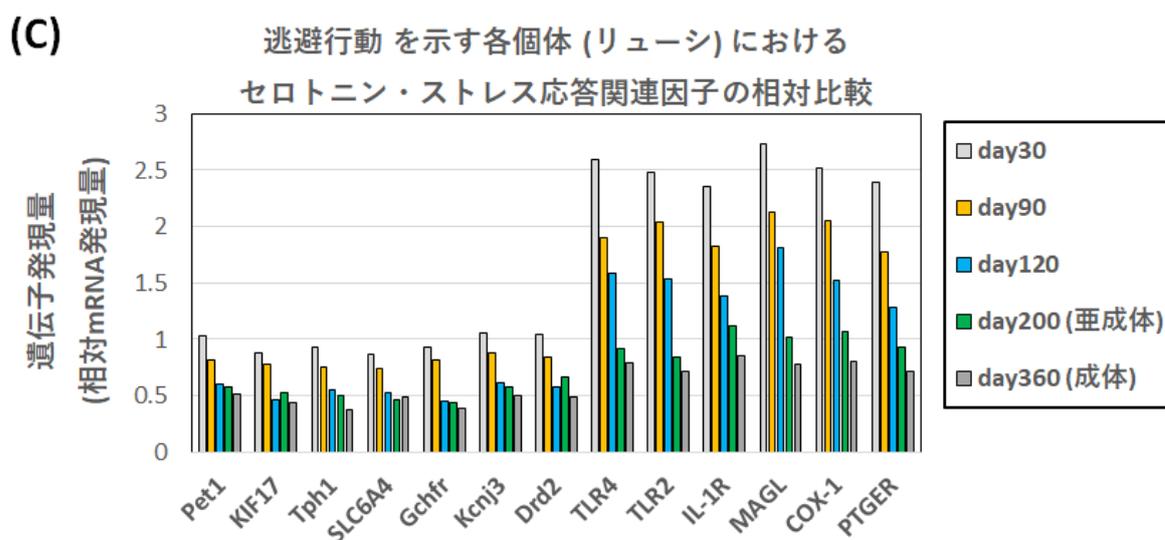
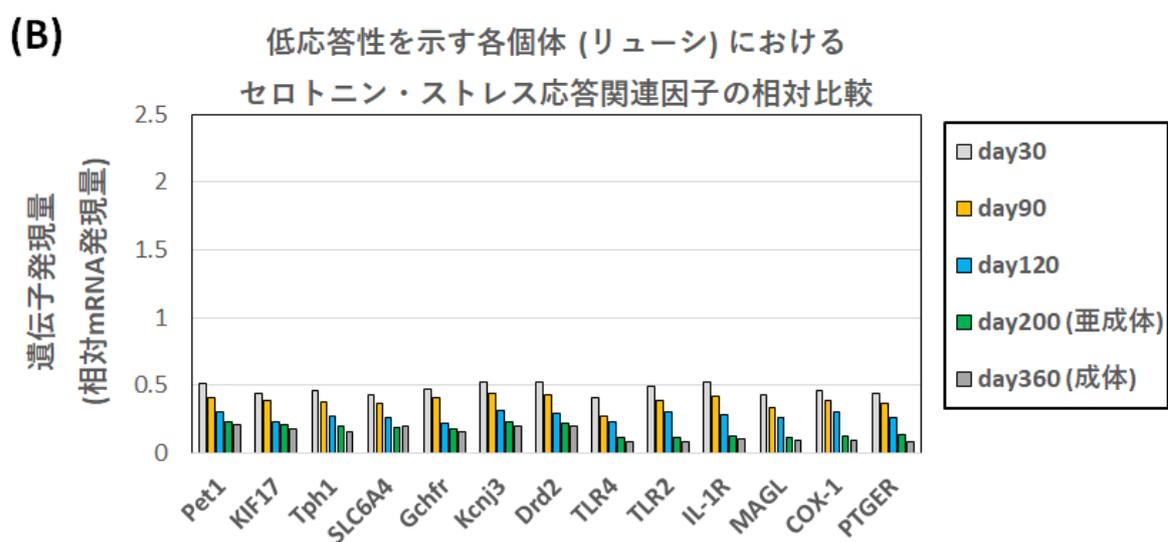
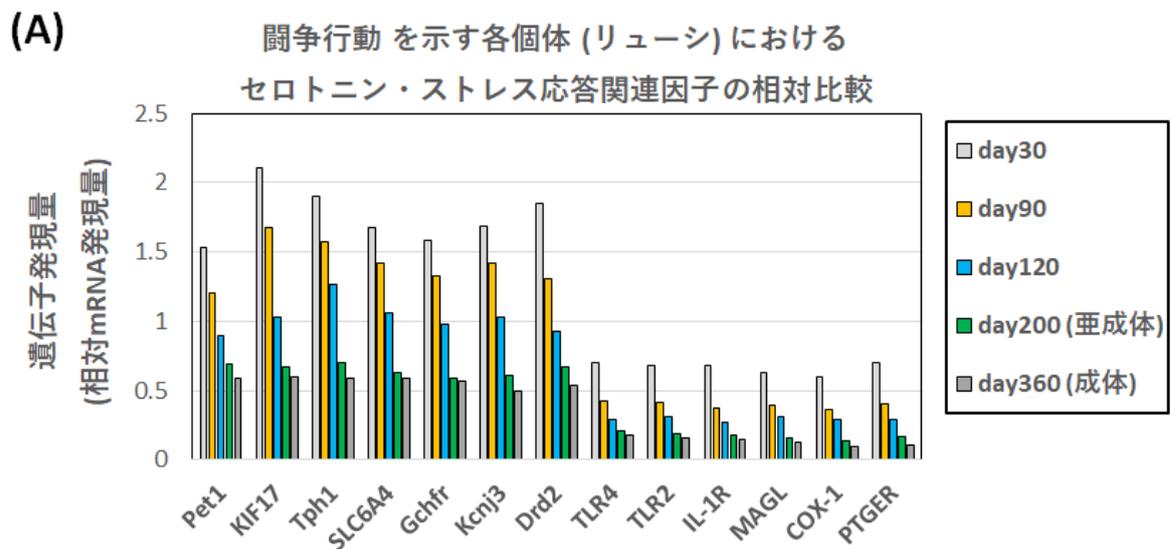


周囲に影響されない個体  
・ じっとしている  
・ 攻撃性は抑制されている  
・ 水中生活を維持



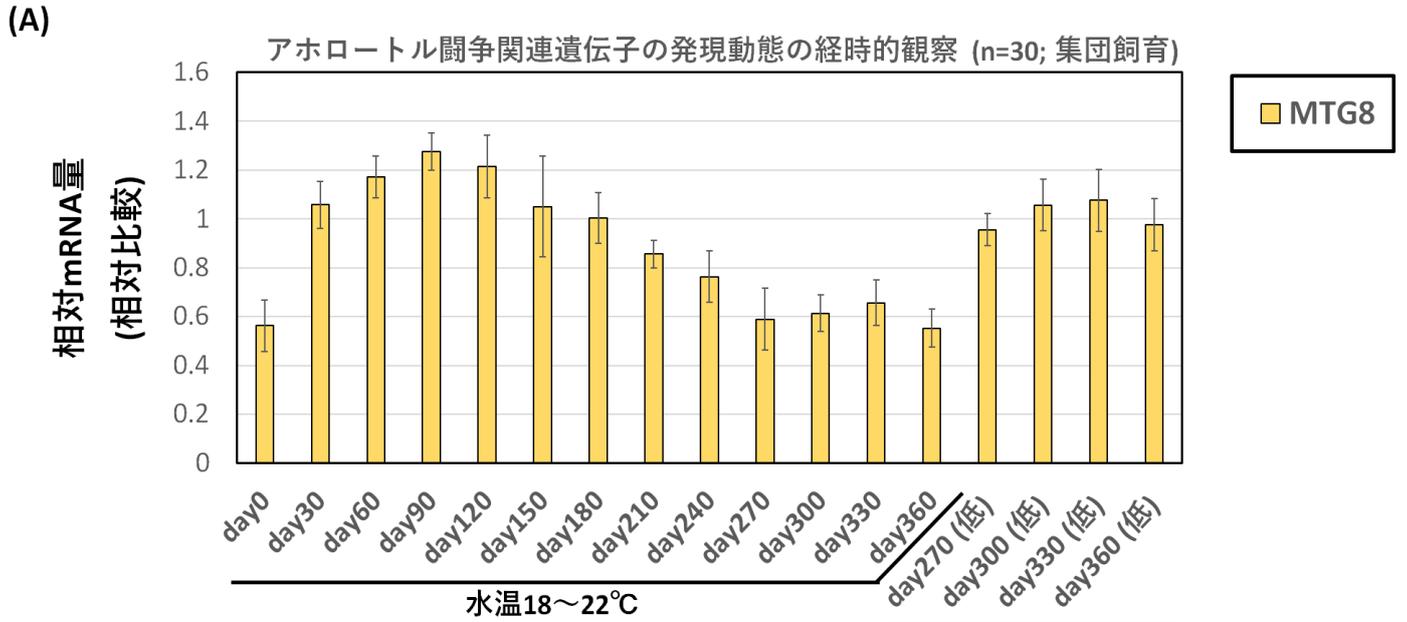
逃避行動を取る個体  
・ 一定以上の行動力  
・ 上陸する場合あり

図 6: アホロートルにおける攻撃行動の制御と闘争/逃避行動の相関モデル図



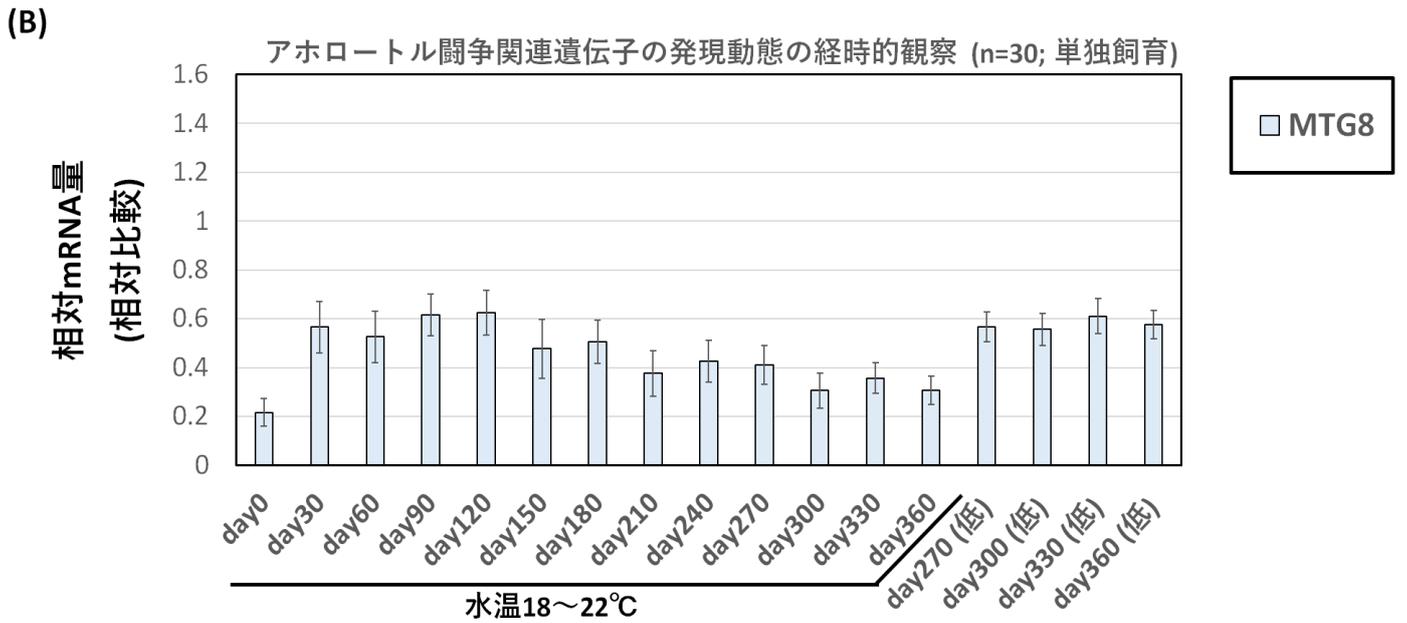
- ・ ストレス刺激によるセロトニン放出に関わる因子: Pet1, KIF17, Tph1, SLC6A4, Gchfr, Kcnj3, Drd2
- ・ 慢性的ストレスからの忌避行動に関わる因子: TLR4, TLR2, IL-1R, MAGL, COX-1, PTGER

補足図 1: アホロートルにおけるストレス応答性制御機構の追加調査



各stage付近 (±24hr) において、危篤となった個体の中枢神経系から mRNAを収集し、technical triplicate で比較した。

低水温による求愛誘導後 (18°C→8°C→18°C; 5日間ずつ)



各stage付近 (±24hr) において、危篤となった個体の中枢神経系から mRNAを収集し、technical triplicate で比較した。

低水温による求愛誘導後 (18°C→8°C→18°C; 5日間ずつ)

補足図 2: アホロートルにおける MTG8 発現動態の追加調査

## 参考文献 References

### [1] *Drosophila Nervy* gene

[東大など、社会経験に応じて過度な攻撃を抑える脳内の「ブレーキ」をハエの研究から発見 - 日本経済新聞 \(nikkei.com\) 01\\_202209061508.pdf \(nikkei.co.jp\)](#)

[社会経験に応じて過度な攻撃を抑える脳内の「ブレーキ」をハエの研究から発見 - 東京大学 大学院理学系研究科・理学部 \(u-tokyo.ac.jp\)](#)

### **A neurogenetic mechanism of experience-dependent suppression of aggression**

**SCIENCE ADVANCES** . Sep 2022. Vol 8, Issue 36. DOI: [10.1126/sciadv.abg3203](https://doi.org/10.1126/sciadv.abg3203)

[A neurogenetic mechanism of experience-dependent suppression of aggression | Science Advances](#)

**[2] MTG8:** Nervy, a *Drosophila* homolog of the mammalian **MTG8** proto-oncogene, was identified in a yeast interaction screen as a Plexin A-interacting protein.

[Sdbonline.org https://www.sdbonline.org/sites/fly/hjmmuller/nervy1.htm](#)

[Nervy - Society for Developmental Biology Nervy \(sdbonline.org\)](#)

[Nervy Links Protein Kinase A to Plexin-Mediated Semaphorin Repulsion | Science](#)

[The expression and function of MTGR/ETO family proteins during neurogenesis - ScienceDirect](#)

[Drosophila melanogaster nervy \(nvy\), transcript variant A, mRNA - Nucleotide - NCBI \(nih.gov\)](#)

[RUNX1T1 RUNX1 partner transcriptional co-repressor 1 \[Homo sapiens \(human\)\] - Gene - NCBI \(nih.gov\)](#)

### **[3] Axolotl ortholog: Axolotl-MTGR1, 2-like (MTGR = Myeloid Translocation Gene-Related), MTG8**

#### **MTGR1**

[Cbfa2t2|AMEX60DD102028456.4 at chr3p:807639642-807969080](#)

[Cbfa2t2|AMEX60DD201028456.1 at chr3p:807507047-807950883](#)

[Cbfa2t2|AMEX60DD201028456.2 at chr3p:807615540-807969080](#)

[Cbfa2t2|AMEX60DD201028456.3 at chr3p:807639634-807969080](#)

[Cbfa2t2|AMEX60DD301028456.5 at chr3p:807639647-807950883](#)

[Cbfa2t2|AMEX60DD102028456.6 at chr3p:807639717-807969080](#)

[Cbfa2t2|AMEX60DD201028456.7 at chr3p:807639717-807969080](#)

[Cbfa2t2|AMEX60DD201028456.8 at chr3p:807639721-807969080](#)

#### **MTGR2**

[Cbfa2t3|AMEX60DD201017110.4 at chr1q:87221306-87275347](#)

[Cbfa2t3|AMEX60DD201017110.2 at chr1q:87120156-87275347](#)

[Cbfa2t3|AMEX60DD301017110.3 at chr1q:87121322-87232224](#)

[Cbfa2t3|AMEX60DD301017110.1 at chr1q:86750991-87275347](#)

[Cbfa2t3|AMEX60DD201017110.5 at chr1q:87243680-87275347](#)

#### **Axolotl MTG8**

[Runx1t1|AMEX60DD201040096.1 at chr5q:807983904-808169662](#)

[Runx1t1|AMEX60DD301040096.3 at chr5q:807983977-808169662](#)

[Runx1t1|AMEX60DD301040096.4 at chr5q:807983981-808168837](#)

[Runx1t1|AMEX60DD201040096.2 at chr5q:807983974-808090216](#)

#### [4] 攻撃行動

[KAKEN — 研究課題をさがす | 衝動的攻撃行動を生み出す内分泌および脳内環境の解析 \(KAKENHI-PROJECT-17790144\) \(nii.ac.jp\)](#)

#### [5] セロトニン(5-ヒドロキシトリプタミン、5-HT)

哺乳類の体内全体に広く分布しており、胃腸管のクロム親和性細胞内およびセロトニン作動性ニューロン内で L-トリプトファンから合成される。ドーパミンやノルアドレナリンを制御し、精神を安定させる働きや攻撃性を抑制する作用を持っている。

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/fpj/149/1/149\\_27/pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/fpj/149/1/149_27/pdf/-char/ja)

[セロトニン受容体 \(sigmaaldrich.com\)](#) [セロトニン受容体 - Wikipedia](#)

セロトニン受容体 (攻撃性を抑制する場合もある) … HTR3A, HTR3B, HTR3C, HTR3D, HTR3E

[https://en.wikipedia.org/wiki/5-HT3\\_receptor#:~:text=The%20genes%20encoding%20human%205-HT%20%20receptors%20are,5-HT%20%20C%20%205-HT%20%20D%20and%205-HT%20%20E%20subunits](https://en.wikipedia.org/wiki/5-HT3_receptor#:~:text=The%20genes%20encoding%20human%205-HT%20%20receptors%20are,5-HT%20%20C%20%205-HT%20%20D%20and%205-HT%20%20E%20subunits).

#### アホロートル HTR3

[Dr999\\_pmt18419 \[nr\]||Htr3a \[hs\]||AMEX60DD201017791.3 at chr1q:405861641-406241897](#)

[Dr999\\_pmt18419 \[nr\]||Htr3e \[hs\]||AMEX60DD201017791.6 at chr1q:405865095-406390167](#)

[Loc102350588 \[nr\]||Htr3a \[hs\]||AMEX60DD201053676.4 at chr9p:82418192-82424448](#)

[Loc115099600 \[nr\]||Htr3e \[hs\]||AMEX60DD301001486.1 at chr10p:661901120-661984894](#)

[Loc115099600 \[nr\]||Htr3c \[hs\]||AMEX60DD301001486.2 at chr10p:661901994-661984894](#)

[Uy3\\_01476 \[nr\]||Htr3e \[hs\]||AMEX60DD102017798.2 at chr1q:407769414-408225034](#)

[Htr3b.l \[nr\]||Htr3b \[hs\]||AMEX60DD301053679.3 at chr9p:82778348-82788715](#)

[Htr3b.l \[nr\]||Htr3b \[hs\]||AMEX60DD102053679.4 at chr9p:82778349-82788715](#)

[Dr999\\_pmt18419 \[nr\]||Htr3e \[hs\]||AMEX60DD201017791.1 at chr1q:405861616-406390130](#)

[Dr999\\_pmt18419 \[nr\]||Htr3e \[hs\]||AMEX60DD201017791.2 at chr1q:405861619-406390167](#)

[Loc108793906 \[nr\]||Htr3e \[hs\]||AMEX60DD201017791.4 at chr1q:405861659-406390130](#)

[Dr999\\_pmt18419 \[nr\]||Htr3e \[hs\]||AMEX60DD201017791.5 at chr1q:405865095-406389476](#)

[Dr999\\_pmt18419 \[nr\]||Htr3a \[hs\]||AMEX60DD301017798.1 at chr1q:407764834-408225034](#)

[Loc108697235 \[nr\]||Htr3a \[hs\]||AMEX60DD201053676.3 at chr9p:82418176-82521130](#)

[Htr3b.l \[nr\]||Htr3b \[hs\]||AMEX60DD201053679.1 at chr9p:82778345-82788715](#)

[Htr3b.l \[nr\]||Htr3b \[hs\]||AMEX60DD201053679.2 at chr9p:82778345-82788715](#)

[Htr3b.l \[nr\]||Htr3b \[hs\]||AMEX60DD101053679.5 at chr9p:82778349-82788715](#)

[Htr3b.l \[nr\]||Htr3b \[hs\]||AMEX60DD201053679.6 at chr9p:82778350-82895423](#)

[Htr3b.l \[nr\]||Htr3b \[hs\]||AMEX60DD301053679.7 at chr9p:82778527-83096794](#)

#### [6] セロトニン受容体拮抗阻害薬 → 脳内でのセロトニンの作用を抑制する

グラニセトロン塩酸塩錠: [5-HT3 受容体拮抗薬 - 処方薬の種類 | MEDLEY\(メドレー\)](#)

#### [7] 選択的セロトニン再取り込み阻害薬 (SSRI) → 脳内のセロトニン量は増加する → セロトニンの効果は亢進する

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%81%B8%E6%8A%9E%E7%9A%84%E3%82%BB%E3%83%AD%E3%83%88%E3%83%8B%E3%83%B3%E5%86%8D%E5%8F%96%E3%82%8A%E8%BE%BC%E3%81%BF%E9%98%BB%E5%AE%B3%E8%96%AC>

フルオキセチン(トリフルオロメチルベンゼン誘導体)

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%95%E3%83%AB%E3%82%AA%E3%82%AD%E3%82%BB%E3%83%81%E3%83%B3>

## [8] 攻撃行動遺伝子 ヒト MAOA

[犯罪を起こしやすい、攻撃的な遺伝子「MAOA」 | 初めての遺伝子検査 \(first-genetic-testing.com\)](#)

[Abnormal Behavior Associated with a Point Mutation in the Structural Gene for Monoamine Oxidase A | Science](#)

## Axolotl MAOA

[Loc103774741 \[nr|Maoa \[hs\]AMEX60DD201047104.1 at chr7p:150817825-150819700](#)

[Loc115092336 \[nr|Maoa \[hs\]AMEX60DD102047599.2 at chr7p:439419426-439919333](#)

[Loc115092336 \[nr|Maoa \[hs\]AMEX60DD301047599.1 at chr7p:439419168-439919333](#)

## [9] クロルブルマジン(マウスの鎮静剤) → 中枢神経に作用し、マウスの行動を抑制する。

[マウスの自発運動を長時間自動的に評価する方法を開発 | 東京大学大学院農学生命科学研究科・農学部 \(u-tokyo.ac.jp\)](#)

## [10] その他の攻撃抑制因子: *Nr2e1* 遺伝子 (マウス)

[【神経科学】ショウジョウバエの攻撃行動を遺伝的に制御する機構 | Nature Communications | Nature Portfolio \(natureasia.com\)](#)

[Nr2e1|AMEX60DD201034056.1 at chr4p:901144784-901309708](#)

[Nr2e1|AMEX60DD102034056.4 at chr4p:901144831-901233270](#)

[Nr2e1|AMEX60DD201034056.2 at chr4p:901144796-901233270](#)

[Nr2e1|AMEX60DD301034056.3 at chr4p:901144814-901309708](#)

## [11] ショウジョウバエにおいて痛みによる逃避行動を抑制する因子 “*belly role (bero; CG9336)*”

→ Axolotl に相同因子・配列はみられない。

[痛みを抑制する新しい調節機構を発見 | 医療技術ニュース - MONOist \(itmedia.co.jp\)](#)

<https://flybase.org/reports/FBgn0032897>

Ref. Kai et. Al. (2023), *Genetics and Genomics Neuroscience*. Doi: <https://doi.org/10.7554/eLife.83856>

Gene locus: [Drosophila melanogaster chromosome 2L - Nucleotide - NCBI \(nih.gov\)](#)

```
cccaaaccttgagtcgattcattattcagaggatttgcgctggagctgcgctattgcccgtgttacaaccaccaacgccacacaattcagacgtgcagcagacatcgttgacggcgg  
ttgataatcgtgcctgacttaaaaaaaaaaatcgttttcgaaaagcaattcccacactcgaagtattcgcgaaaatggtgtccgctctgaaatgcagtttggccgtggccgttatgatcagct  
ggctgttcgggtgctgtggttgcgaaagtgtgggctgtgaaaattgtatttaacggagtgctcaaggagagccagctgacggaaaactaagaaaatttataagacaaaatttcaacgg  
ctattatgtagaaccgttctataaaacatttttctattatacatttttctcgatccttttttatacaaatattagcagaaatgtagatttaaaataaatacaaatattgtttatcacctaactgaa  
gtctattcctgggaccgaccaaagctccttcttctgctcctcaaaagtcttttagactgtgattatattaaggcgttttatactgtagattttatccatataactaatacatatfaatccatgcctatat  
cccatagcctacgcatcaagtgtaccagtgagctccctcacaatgcccaagtgtgacctgaagtgcgaggtgatgagacgttgcgctgactgctccaggatcggacccccacgc  
tacctgcagaacttctccccctcggaaacgcccactggttgcatagaagaagaccctcgaaacgggtgagttcacagtccttaggactatcatattgtagtactataacataggaagaaa  
acacaatctaagattcataaatcagcaaaaactgagaagaaaactctatgattcctcattattaagctagaaatagcgcaattaagcaatacaagcccctgagatcatcgagaaaaatc  
gggtgtattagctctgatgctgctgaatatttcgctacctgatttcagacgttacttttcccttcgacgtgatttctagtcacttttttgcgtctattttccagcaattacatacaaatgagag  
cttaattcgttttctgtaaaaaataataatgacaggagcagagagagaatgcccgaagctccgagctattcagactatcaaaactagcatttctgaatttattacaaggcagatcggccgataa  
attaatcctgcacaaatattgtgatcgtttttgatcgtttttgaacgccaagccaatcagctcgtatctagtaatttatacagaggaatcaaaacaaaagtgtgagaaaaatcgcacattga  
gataacagggcaacgaattatgttcatcgaggtgtgaagcaaatgttgatcttttcttgacaataaaactacaggttttgactgaataaaataagcaattaacaagtatccgaagccaa  
aggtaaatgggtcattcagcaaccccaaccagagaaagtgtggcccaattgctcatcaaaccaacaatttgcctcattccagtgccggacatccgcagatcgtgaggagctg  
ctacttcggggacatcaacaatccaagctggctccagctccctctatgccgttcgtaagcagctgggctgctgcaaccaaggacgagtgcaacggatcctcctcctcctg  
gccccatcggcgagccatcctgctctctcggcgtggctcgtcgtcgtgcttagatcttaactagctagtaaatcctgtgctgtagtatttaacgatcgttctctggaatttctctaaatt  
gttttaataataaatgcacgacgaatggttgcatagcaacatgccaaact
```

## [12] USP46 gene (マウスにおいて無動運動を制御する; 逃避行動等を活性化?)

[https://www.nagoya-u.ac.jp/about-nu//public-relations/researchinfo/upload\\_images/20090525\\_agr.pdf](https://www.nagoya-u.ac.jp/about-nu//public-relations/researchinfo/upload_images/20090525_agr.pdf)

KAKEN — 研究課題をさがす | マウスをモデルとした精神疾患へのアプローチ (KAKENHI-PROJECT-22248033) (nii.ac.jp)

### Axolotl Usp46 gene

[Usp46|AMEX60DD301045565.5 at chr6q:1071355056-1071785793](#)

[Usp46|AMEX60DD301045565.6 at chr6q:1071355081-1071785793](#)

[Loc109927996 \[nr\]|Usp46 \[hs\]|AMEX60DD201045565.1 at chr6q:1071354896-1071785793](#)

[Usp46|AMEX60DD201045565.2 at chr6q:1071354930-1071785793](#)

[Usp46|AMEX60DD201045565.3 at chr6q:1071354930-1071785793](#)

[Loc109927996 \[nr\]|Usp46 \[hs\]|AMEX60DD201045565.4 at chr6q:1071354930-1071785793](#)

## [13] アホロートルにおける密度と成長の関係性に関する調査報告

【改訂版】メキシコサンショウウオ等の栄養と成長に関する最新報告\_(初稿) 2022/10/2

杉山 遥. 2023年4月19日(改定版).

Doi. [https://researchmap.jp/HAL\\_lab\\_Axolotl/published\\_papers/41527304](https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/41527304)

## [14] アホロートルの多頭飼育について

総説: メキシコサンショウウオにおける多頭飼育\_他個体認識

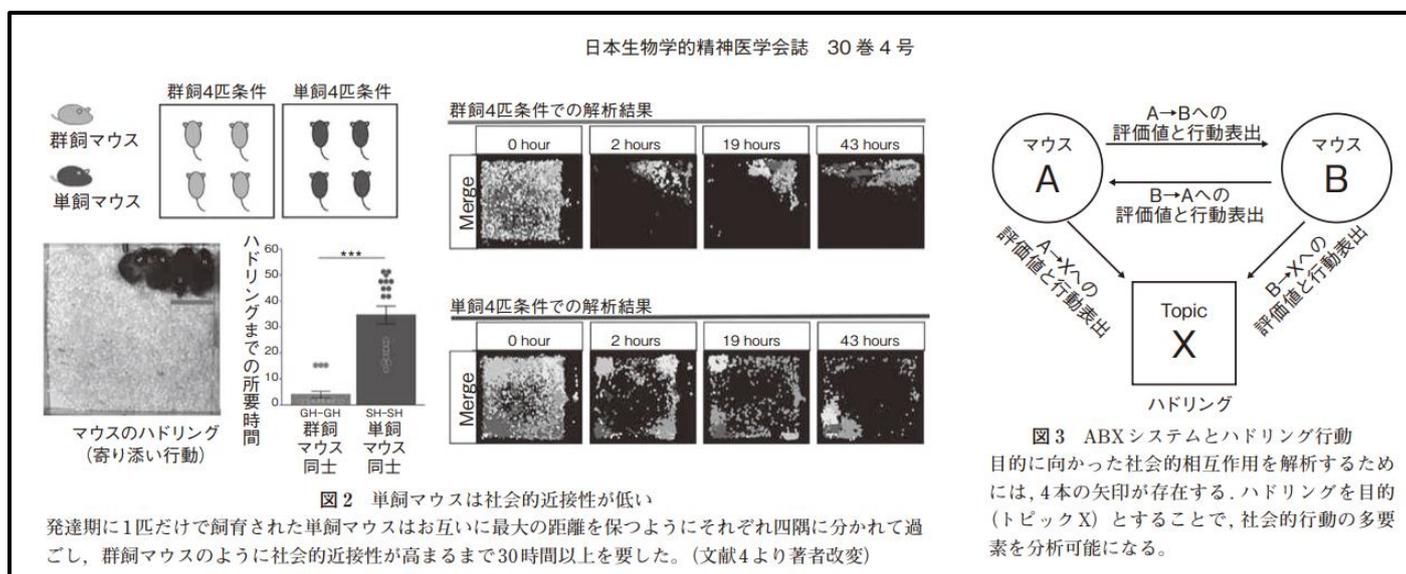
杉山 遥. 2022年5月. Doi. [https://researchmap.jp/HAL\\_lab\\_Axolotl/published\\_papers/41322786](https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/41322786)

## [15] 4. マウスの集団内社会行動の客観定量分析

> 特集 2: 社会行動とその障害の客観定量化—表情, 発話特徴, 行動の定量分析を通じた基礎と臨床の融合

掛山 正心 & 藤原 昌也. (2019). 日本生物学的精神医学会誌 30(4):182-186,

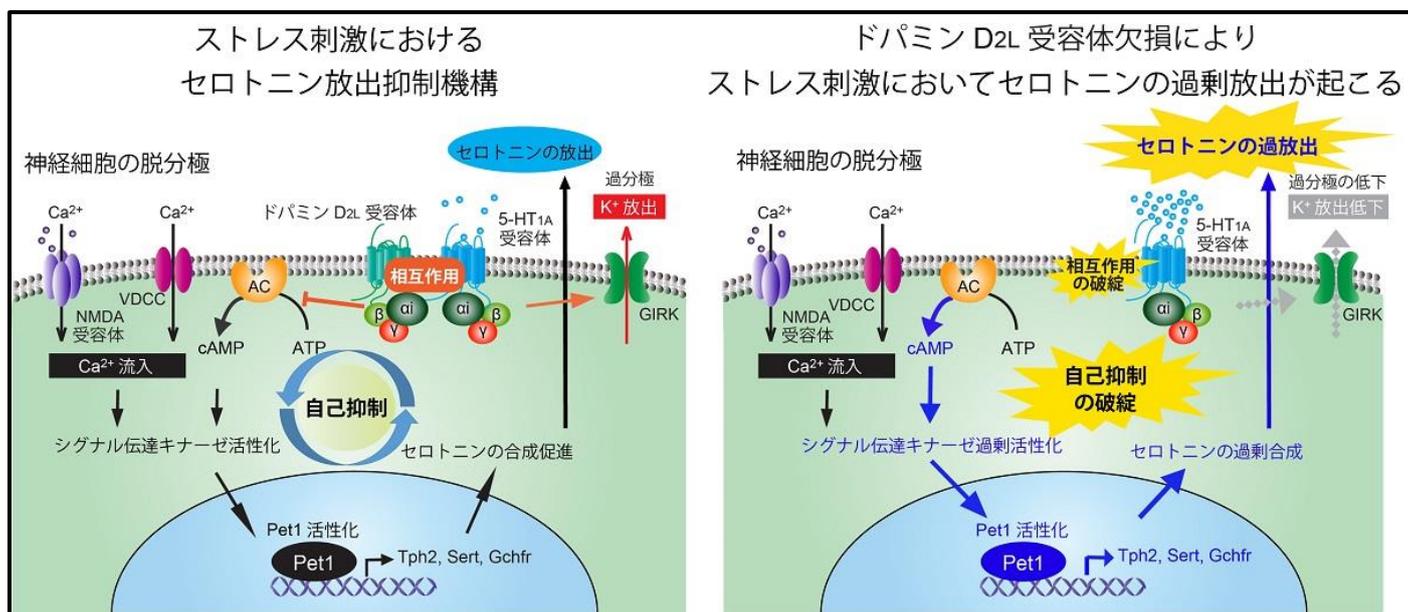
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsbjpp/30/4/30\\_182/pdf-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsbjpp/30/4/30_182/pdf-char/ja)



[16] ドパミン D2L 受容体は 5HT1A と相互作用することで、ストレス刺激を受けた際にセロトニンを放出を誘導する。  
 Norifumi et al., (2019). *Journal of Neuroscience*. in press. doi: 10.1523/JNEUROSCI.0079-19.

熊本大学発生医学研究所\_ニュースプレス

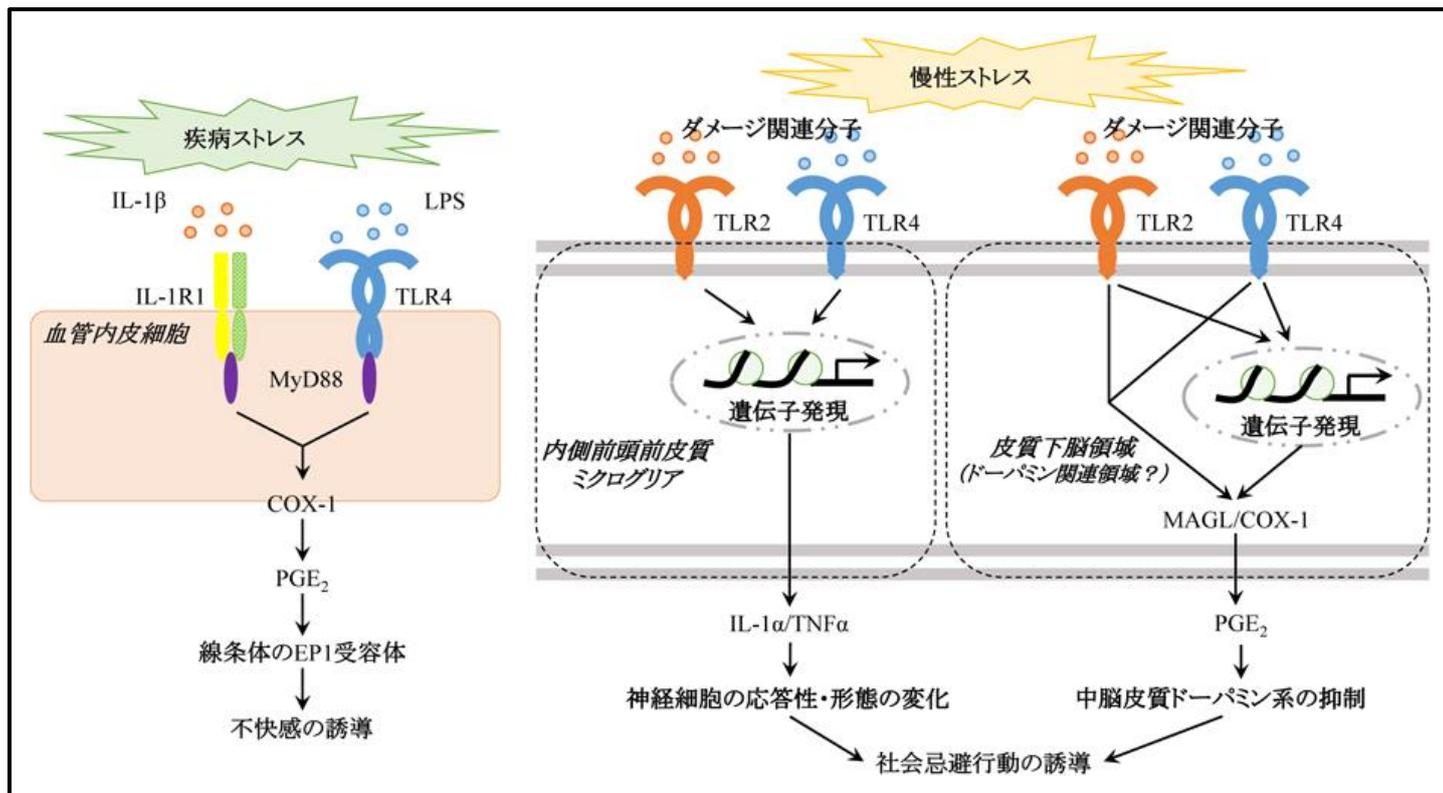
[ドパミン D2L 受容体異常はセロトニン神経 5-HT1A 受容体の機能低下により精神ストレス脆弱性を引き起こす](http://www.kumamoto-u.ac.jp)  
 - 熊本大学発生医学研究所 (kumamoto-u.ac.jp)



[17] 疾病ストレスと非感染性の慢性ストレスによるうつ様行動の誘導における TLR の役割

北岡 志保 他., (2020). ストレスによる情動変容における Toll 様受容体の役割 *Journal of Japanese Biochemical Society* 92(3): 458-461. doi:10.14952/SEIKAGAKU.2020.920458

<https://seikagaku.jbsoc.or.jp/10.14952/SEIKAGAKU.2020.920458/data/index.html>



[18] アホロートルの上陸化について

【改訂版】ネオテニーの上陸化制御に関わる因子\_ウーパールーパー研究報告 (初稿 22/11/1)

杉山 遥, 久木崎 玲美

2023年4月5日. Doi. [https://researchmap.jp/HAL\\_lab\\_Axolotl/published\\_papers/41330950](https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/41330950)

## セロトニン制御機構・ストレス応答関連遺伝子群

Pet1 [19]

[Pet-1 は一生の異なる段階でセロトニン作動性機能を制御するために必要である | 文献情報 | J-GLOBAL 科学技術総合リンクセンター \(jst.go.jp\)](#)

Pet1 遺伝子

[Pet100|AMEX60DD102031613.5 at chr3q:1350349166-1350494945](#)

[Loc115081149 \[nr\]|Pet100 \[hs\]|AMEX60DD301031613.4 at chr3q:1350349163-1350500044](#)

[Pet117|AMEX60DD301034771.8 at chr4q:86387472-86780805](#)

[Loc114468213 \[nr\]|Pet100 \[hs\]|AMEX60DD201031613.1 at chr3q:1350349116-1350500044](#)

NMDA 型グルタミン酸受容体 [20]

[NMDA 型グルタミン酸受容体 - Wikipedia](#)

[https://www.istage.ist.go.jp/article/isbpjpp/30/3/30\\_101/\\_pdf](https://www.istage.ist.go.jp/article/isbpjpp/30/3/30_101/_pdf)

キネシンスーパーファミリータンパク 17 (Kinesin superfamily protein 17: KIF17)

[Bn2614\\_locus3 \[nr\]|Kif17 \[hs\]|AMEX60DDU001026468.1 at C0160272:5081-6699](#)

[Kif17 \[nr\]|AMEX60DDU001040527.1 at C0211228:15460-46008](#)

[Kif17|AMEX60DD301038729.1 at chr5p:1220089460-1220257603](#)

[Kif17 \[nr\]|AMEX60DD301038730.1 at chr5p:1220320261-1220425767](#)

[Kif17|AMEX60DD201051492.1 at chr8p:578768652-579536952](#)

[Kif17|AMEX60DD301051492.2 at chr8p:578768731-579536952](#)

[Celaphus\\_00014730 \[nr\]|Kif17 \[hs\]|AMEX60DD201051494.1 at chr8p:579706032-579708504](#)

[Bn2614\\_locus3 \[nr\]|Kif17 \[hs\]|AMEX60DD301051499.1 at chr8p:581198758-581200391](#)

[Dnts\\_026603 \[nr\]|Kif17 \[hs\]|AMEX60DD301038730.2 at chr5p:1220320261-1221693957](#)

[Rohu\\_004744 \[nr\]|Kif17 \[hs\]|AMEX60DD301038730.3 at chr5p:1221506973-1221720357](#)

[Kif17 \[nr\]|AMEX60DD301051491.1 at chr8p:578302442-578620593](#)

[Kif17 \[nr\]|AMEX60DD301051491.4 at chr8p:578302471-578620593](#)

Tph (トリプトファンヒドロキシラーゼ) [21]

<https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-17K08540/>

Human Tph2

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/AY098914?report=GenBank>

Zebrafish (*Danio rerio*) Tph2

<https://zfin.org/ZDB-GENE-040624-4>

Axolotl Tph1

[Tph1|AMEX60DD301004665.1 at chr11q:287591525-287842719](#)

[Aftph|AMEX60DD301035618.1 at chr4q:573636420-574460036](#)

[Aftph|AMEX60DD301035618.2 at chr4q:573636420-574460036](#)

[Aftph|AMEX60DD301035618.3 at chr4q:573636420-574460036](#)

[Aftph|AMEX60DD201035618.4 at chr4q:573636420-574460036](#)

[Aftph|AMEX60DD301035618.5 at chr4q:573636420-574308330](#)

## SERT (セロトニントランスポーター) [22]

[SERT \(hiroshima-u.ac.jp\)](http://hiroshima-u.ac.jp)

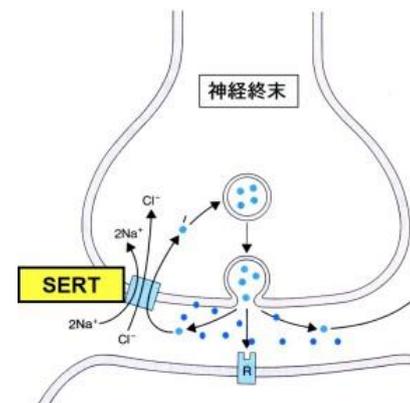
遺伝子 SLC6A4

[Llap\\_20918 \[nr\]|Slc6a4 \[hs\]|AMEX60DD301000820.1 at chr10p:321537016-321591128](#)

[Slc6a4|AMEX60DD201054806.3 at chr9q:96683903-97086714](#)

[Slc6a4|AMEX60DD201054806.1 at chr9q:96683903-97086714](#)

[Slc6a4|AMEX60DD301054806.2 at chr9q:96683903-97086714](#)



## Gchfr (GTPシクロヒドロラーゼ1フィードバック調節タンパク質) [23]

[https://www.iichi.ac.jp/jspr/meeting\\_folder/2019\\_34th/jspr2019\\_program.pdf](https://www.iichi.ac.jp/jspr/meeting_folder/2019_34th/jspr2019_program.pdf)

<https://patents.google.com/patent/JP2015508281A/ja>

Axlotl Gchfr

[sequence](#)

## GIRK (G 蛋白質活性型内向整流性カリウムチャンネル) [24]

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsbjpp/22/4/22\\_263/pdf-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsbjpp/22/4/22_263/pdf-char/ja)

<https://patentimages.storage.googleapis.com/6d/b0/77/80e6658891fb49/JPO2013099808A1.pdf>

Mouse GIRK (Kcnj3; GIRK1; Kcnf3; Kcnj1; GIRK-1; Kir3.1)

[Kcnj3 potassium inwardly-rectifying channel, subfamily J, member 3](#)

[\[Mus musculus \(house mouse\)\] - Gene - NCBI \(nih.gov\)](#)

Axlotl Kcnj3

[Loc114664399 \[nr\]|Kcnj3 \[hs\]|AMEX60DDU001032424.1 at C0181751:19058-23612](#)

[Loc114664399 \[nr\]|Kcnj3 \[hs\]|AMEX60DDU001032424.2 at C0181751:19111-23612](#)

[Loc114664399 \[nr\]|Kcnj3 \[hs\]|AMEX60DDU001032424.3 at C0181751:19136-23612](#)

[Kcnj3 \[hs\]|AMEX60DD201055838.1 at chr9q:579413463-579436322](#)

[Loc115481662 \[nr\]|Kcnj3 \[hs\]|AMEX60DD201009979.1 at chr13q:260253725-260480824](#)

[Loc115481662 \[nr\]|Kcnj3 \[hs\]|AMEX60DD201009979.2 at chr13q:260253735-260480824](#)

[Loc107704014 \[nr\]|Kcnj3 \[hs\]|AMEX60DD201009979.3 at chr13q:260253791-260480824](#)

[Loc107704014 \[nr\]|Kcnj3 \[hs\]|AMEX60DD201009979.4 at chr13q:260254545-260480824](#)

[Kcnj3|AMEX60DD201055840.1 at chr9q:579719232-580003046](#)

[Kcnj3|AMEX60DD201055840.2 at chr9q:579929027-580003046](#)

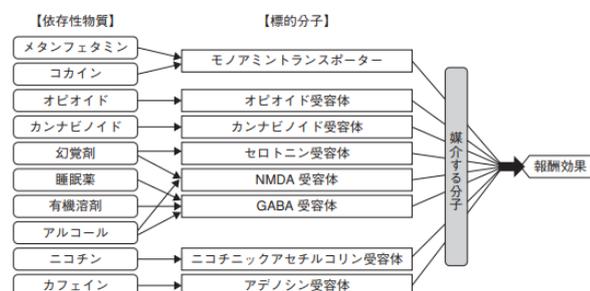


図1 報酬系に影響を与える依存性物質とその標的分子

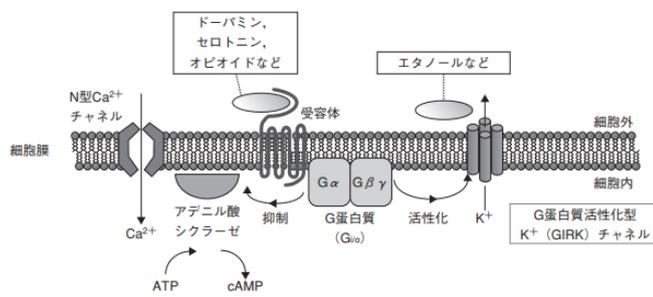


図2 GIRKチャンネルによる依存性物質のシグナル伝達

## DRD2 (Dopamine D2 Receptor) [25]

Human DRD2

[Dopamine D2 Receptor gene - Gene - NCBI \(nih.gov\)](#)

Axlotl Drd2

[Drd2|AMEX60DDU001003696.1 at C0019223:209180-251317](#)

[Drd2|AMEX60DDU001003696.2 at C0019223:209191-251317](#)

[Drd2|AMEX60DDU001003696.3 at C0019223:228447-251317](#)

[Drd2|AMEX60DD201053692.1 at chr9p:88974527-88980041](#)

[Drd2|AMEX60DDU001003699.1 at C0019225:164299-164841](#)

TLR4 (Toll-like receptor 4) [26]

[TLR4 - Wikipedia](#) [jstage.jst.go.jp/article/fpj/144/4/144\\_167/pdf](http://jstage.jst.go.jp/article/fpj/144/4/144_167/pdf)

<https://www.bing.com/search?q=TLR4+&qs=n&form=QBRE&sp=-1&ghc=1&lq=0&pg=tlr4+&sc=10-5&sk=&cvid=31A095B0D9214AF6A29C4081DD826557&qhsh=0&qhacc=0&qhpl=>

[日本糖尿病学会誌第 54 巻第 7 号 \(jst.go.jp\)](#)

Axolotl TLR4

[https://genome.axolotl-omics.org/cgi-bin/hgTracks?db=ambMex60DD&lastVirtModeType=default&lastVirtModeExtraState=&virtModeType=default&virtMode=0&nonVirtPosition=&position=chr6p%3A239432451%2D239432669&hsid=69715\\_5uEazfJl0qCx310CTXtpTbcU5J](https://genome.axolotl-omics.org/cgi-bin/hgTracks?db=ambMex60DD&lastVirtModeType=default&lastVirtModeExtraState=&virtModeType=default&virtMode=0&nonVirtPosition=&position=chr6p%3A239432451%2D239432669&hsid=69715_5uEazfJl0qCx310CTXtpTbcU5J)

IL-1R (インターロイキン 1 受容体) [27]

<https://www.bing.com/search?pglt=41&q=IL1R&cvid=8e8de353063c4c8da22794ac73f1d896&aqs=edge..69i57j0l8.6236j0j1&FORM=ANNTA1&PC=DCTS>

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/yakushi/133/6/133\\_13-00064/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/yakushi/133/6/133_13-00064/_pdf/-char/ja)

[Interleukin 1 receptor, type I - Wikipedia](#)

[The IL-1 receptor signaling pathway - PubMed \(nih.gov\)](#)

[Il1rap|AMEX60DD301003195.2 at chr10q:492523634-492580714](#)

[Dr999\\_pmt01044 \[nr\]||Il1rapl2 \[hs\]|AMEX60DD201037282.1 at chr5p:260867876-260885683](#)

[Loc103300433 \[nr\]||Il1rapl2 \[hs\]|AMEX60DD201037283.1 at chr5p:261122341-261254331](#)

[Dv515\\_00007127 \[nr\]||Il1rapl2 \[hs\]|AMEX60DD201037288.1 at chr5p:262398831-262843882](#)

[Loc104080477 \[nr\]||Il1rapl2 \[hs\]|AMEX60DD201037289.1 at chr5p:262657506-262742815](#)

[Loc102945219 \[nr\]||Il1r1 \[hs\]|AMEX60DD102048109.6 at chr7p:752042048-752352082](#)

[Loc115469120 \[nr\]||Il1r1 \[hs\]|AMEX60DD201048109.13 at chr7p:752042239-752353976](#)

[Il1rap|AMEX60DD201003195.1 at chr10q:492436064-493076853](#)

[Il1r2|AMEX60DD201047866.1 at chr7p:615974993-616084861](#)

[Il1r1|AMEX60DD301048108.1 at chr7p:751219755-751646615](#)

[Loc115469120 \[nr\]||Il1r1 \[hs\]|AMEX60DD301048109.1 at chr7p:752041961-752353976](#)

[Loc115469120 \[nr\]||Il1r1 \[hs\]|AMEX60DD301048109.2 at chr7p:752041961-752353976](#)

[Loc115469120 \[nr\]||Il1r1 \[hs\]|AMEX60DD301048109.3 at chr7p:752042019-752353976](#)

[Loc115469120 \[nr\]||Il1r1 \[hs\]|AMEX60DD301048109.4 at chr7p:752042041-752353976](#)

[Loc115469120 \[nr\]||Il1r1 \[hs\]|AMEX60DD102048109.5 at chr7p:752042048-752352082](#)

[Loc115469120 \[nr\]||Il1r1 \[hs\]|AMEX60DD301048109.7 at chr7p:752042151-752353976](#)

[Loc115469120 \[nr\]||Il1r1 \[hs\]|AMEX60DD102048109.8 at chr7p:752042186-752352082](#)

[Loc115469120 \[nr\]||Il1r1 \[hs\]|AMEX60DD301048109.9 at chr7p:752042216-752350023](#)

[Loc115469120 \[nr\]||Il1r1 \[hs\]|AMEX60DD301048109.10 at chr7p:752042216-752353976](#)

[Loc115469120 \[nr\]||Il1r1 \[hs\]|AMEX60DD201048109.11 at chr7p:752042228-752353976](#)

[Loc115469120 \[nr\]||Il1r1 \[hs\]|AMEX60DD301048109.12 at chr7p:752042239-752353976](#)

[Loc115469120 \[nr\]||Il1r1 \[hs\]|AMEX60DD201048111.1 at chr7p:752684297-753121692](#)

[Loc115469120 \[nr\]||Il1r1 \[hs\]|AMEX60DD201048111.2 at chr7p:752686110-753121692](#)

[Loc115469120 \[nr\]||Il1r1 \[hs\]|AMEX60DD201048111.3 at chr7p:752686110-753121692](#)



## TLR2 (Toll-like-receptor 2) [28]

[https://www.bing.com/search?q=Toll-like-receptor+type2&qs=n&form=QBRE&sp=-1&fq=0&pg=toll-like-receptor+type2&sc=8-24&sk=&cvid=948EDAF1DE2D4F578E12DE7616DE0EDE&ghsh=0&ghacc=0&ghpl=Toll-like receptor 2 - Wikipedia](https://www.bing.com/search?q=Toll-like-receptor+type2&qs=n&form=QBRE&sp=-1&fq=0&pg=toll-like-receptor+type2&sc=8-24&sk=&cvid=948EDAF1DE2D4F578E12DE7616DE0EDE&ghsh=0&ghacc=0&ghpl=Toll-like+receptor+2+-+Wikipedia)

### Axolotl TLR2

[Tlr2 \[hs\]AMEX60DD301045076.2 at chr6q:747124426-747153116](#)

[Tlr2\[AMEX60DD201045076.3 at chr6q:747124435-747184326](#)

[Loc115458293 \[nr\]Tlr2 \[hs\]AMEX60DD301015195.1 at chr1p:781677788-781765868](#)

[Loc115458293 \[nr\]Tlr2 \[hs\]AMEX60DD201015195.2 at chr1p:781677887-781765868](#)

[Tlr21 \[nr\]Tlr3 \[hs\]AMEX60DD301018080.1 at chr1q:513449262-513475491](#)

[Loc106886850 \[nr\]Tlr2 \[hs\]AMEX60DD301026420.1 at chr3p:28982421-29009492](#)

[Loc106886850 \[nr\]Tlr2 \[hs\]AMEX60DD301026420.2 at chr3p:28982640-29009492](#)

[Tlr22a \[nr\]Tlr8 \[hs\]AMEX60DD201027746.1 at chr3p:560941761-560949908](#)

[Loc115476667 \[nr\]Tlr2 \[hs\]AMEX60DD301030278.1 at chr3q:742286941-742329805](#)

[Tlr2 \[hs\]AMEX60DD301045076.1 at chr6q:747124236-747184326](#)

## TLR4 (Toll-like-receptor 4) [29]

[TLR4 - Wikipedia](#)

### Axolotl TLR4

[https://genome.axolotl-omics.org/cgi-](https://genome.axolotl-omics.org/cgi-bin/hgTracks?db=ambMex60DD&lastVirtModeType=default&lastVirtModeExtraState=&virtModeType=default&virtMode=0&nonVirtPosition=&position=chr8p%3A239432451%2D239432669&hgside=69715_5uEAztFij0qCx310CTXrTpTbcU5J)

[bin/hgTracks?db=ambMex60DD&lastVirtModeType=default&lastVirtModeExtraState=&virtModeType=default&virtMode=0&nonVirtPosition=&position=chr8p%3A239432451%2D239432669&hgside=69715\\_5uEAztFij0qCx310CTXrTpTbcU5J](https://genome.axolotl-omics.org/cgi-bin/hgTracks?db=ambMex60DD&lastVirtModeType=default&lastVirtModeExtraState=&virtModeType=default&virtMode=0&nonVirtPosition=&position=chr8p%3A239432451%2D239432669&hgside=69715_5uEAztFij0qCx310CTXrTpTbcU5J)

## MAGL; MGLL; MGL (monoacylglycerol lipase) [30]

<https://seikagaku.jbsoc.or.jp/10.14952/SEIKAGAKU.2020.920458/data/index.html>

[https://www.jsbp.org/publication/32-1/05\\_.pdf](https://www.jsbp.org/publication/32-1/05_.pdf)

<https://cir.nii.ac.jp/crid/1390846609813477632>

<https://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/bitstream/2433/253438/2/dseik00435.pdf>

<https://bibgraph.hpccr.jp/abst/pubmed/31772309>

[MGLL Gene - GeneCards | MGLL Protein | MGLL Antibody](#)

[Selective blockade of 2-arachidonoylglycerol hydrolysis produces cannabinoid behavioral effects - PubMed \(nih.gov\)](#)

### Axolotl MGLL

[Mgll\[AMEX60DD301023389.4 at chr2q:107880883-108381320](#)

[Mgll\[AMEX60DD201023389.3 at chr2q:107880654-108381320](#)

[Mgll\[AMEX60DD301023389.1 at chr2q:107880502-108381320](#)

[Mgll\[AMEX60DD301023389.2 at chr2q:107880597-108381320](#)

COX-1; MTCO1 (Cytochrome c oxidase I) [31]

[Cytochrome c oxidase subunit I - Wikipedia](#)

[https://www.istage.ist.go.jp/article/jsir1981/19/2/19\\_2\\_69/pdf](https://www.istage.ist.go.jp/article/jsir1981/19/2/19_2_69/pdf)

[https://www.istage.ist.go.jp/article/yakushi/131/3/131\\_3\\_347/pdf-char/ja](https://www.istage.ist.go.jp/article/yakushi/131/3/131_3_347/pdf-char/ja)

[bing.com/ck/a?!&p=b8c022875b2abb1aJmldHM9MTY5MzAwODAwMCZpZ3VpZD0wZjE5ZTI3MzY0MTU3LTU5MDgtMzhiNi1lZDNhNTIvZDY4NWEmW5zaWQ9NTI0Mw&ptn=3&hsh=3&fclid=0f19e273-5357-6908-38b6-ed3a522d685a&psq=MGCL+COX-](https://www.bing.com/ck/a?!&p=b8c022875b2abb1aJmldHM9MTY5MzAwODAwMCZpZ3VpZD0wZjE5ZTI3MzY0MTU3LTU5MDgtMzhiNi1lZDNhNTIvZDY4NWEmW5zaWQ9NTI0Mw&ptn=3&hsh=3&fclid=0f19e273-5357-6908-38b6-ed3a522d685a&psq=MGCL+COX-)

[1&u=a1aHR0cHM6Ly9hYnV5YW5lWWhhbmFzaGkua3VuaS1uYWthLmNvbS80MTI2&ntb=1](https://www.bing.com/ck/a?!&p=2004efe9bc4b9336JmldHM9MTY5MzAwODAwMCZpZ3VpZD0wZjE5ZTI3MzY0MTU3LTU5MDgtMzhiNi1lZDNhNTIvZDY4NWEmW5zaWQ9NTI0Mw&ptn=3&hsh=3&fclid=0f19e273-5357-6908-38b6-ed3a522d685a&psq=PGE2&u=a1aHR0cHM6Ly9hYnV5YW5lWWhhbmFzaGkua3VuaS1uYWthLmNvbS80MTI2&ntb=1)

Axolotl MTCO1

[https://genome.axolotl-omics.org/cgi-bin/hgTracks?db=ambMex60DD&lastVirtModeType=default&lastVirtModeExtraState=&virtModeType=default&virtMode=0&nonVirtPosition=&position=chr6p%3A239432451%2D239432669&hsid=69715\\_5uEAzFI0cCx310CTXTpTbcU5J](https://genome.axolotl-omics.org/cgi-bin/hgTracks?db=ambMex60DD&lastVirtModeType=default&lastVirtModeExtraState=&virtModeType=default&virtMode=0&nonVirtPosition=&position=chr6p%3A239432451%2D239432669&hsid=69715_5uEAzFI0cCx310CTXTpTbcU5J)

PGE (プロスタグランジン E) 受容体; EP; PTGER [32]

[プロスタグランジン E2 - Wikipedia](#)

<https://www.bing.com/search?q=PGE2&qs=n&form=QBRE&sp=-1&ghc=1&lq=0&pq=pge2&sc=10->

[4&sk=&cvid=5067DB3D24AB4233A5D420E21D0495F6&ghsh=0&ghacc=0&ghpl=](https://www.bing.com/ck/a?!&p=2004efe9bc4b9336JmldHM9MTY5MzAwODAwMCZpZ3VpZD0wZjE5ZTI3MzY0MTU3LTU5MDgtMzhiNi1lZDNhNTIvZDY4NWEmW5zaWQ9NTI0Mw&ptn=3&hsh=3&fclid=0f19e273-5357-6908-38b6-ed3a522d685a&psq=PGE2&u=a1aHR0cHM6Ly9hYnV5YW5lWWhhbmFzaGkua3VuaS1uYWthLmNvbS80MTI2&ntb=1)

[bing.com/ck/a?!&p=2004efe9bc4b9336JmldHM9MTY5MzAwODAwMCZpZ3VpZD0wZjE5ZTI3MzY0MTU3LTU5MDgtMzhiNi1lZDNhNTIvZDY4NWEmW5zaWQ9NTI0Mw&ptn=3&hsh=3&fclid=0f19](https://www.bing.com/ck/a?!&p=2004efe9bc4b9336JmldHM9MTY5MzAwODAwMCZpZ3VpZD0wZjE5ZTI3MzY0MTU3LTU5MDgtMzhiNi1lZDNhNTIvZDY4NWEmW5zaWQ9NTI0Mw&ptn=3&hsh=3&fclid=0f19e273-5357-6908-38b6-ed3a522d685a&psq=PGE2&u=a1aHR0cHM6Ly9hYnV5YW5lWWhhbmFzaGkua3VuaS1uYWthLmNvbS80MTI2&ntb=1)

[e273-5357-6908-38b6-ed3a522d685a&psq=PGE2&u=a1aHR0cHM6Ly9hYnV5YW5lWWhhbmFzaGkua3VuaS1uYWthLmNvbS80MTI2&ntb=1](https://en.wikipedia.org/wiki/Prostaglandin_EP2_receptor)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Prostaglandin\\_EP2\\_receptor](https://en.wikipedia.org/wiki/Prostaglandin_EP2_receptor)

<https://kaken.nii.ac.jp/en/file/KAKENHI-PLANNED-15H05904/15H05904seika.pdf>

<https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-19K16510/>

<https://academic-accelerator.com/Manuscript-Generator/jp/Prostaglandin-E3>

<https://bsd.neuroinf.jp/wiki/%E3%83%97%E3%83%AD%E3%82%B9%E3%82%BF%E3%82%B0%E3%83%A9%E3%83%B3%E3%82%B8%E3%83%B3>

Axolotl PTGER

[Ptger3.s \[nr\]|Ptger3 \[hs\]|AMEX60DD301019273.2 at chr1q:1129938422-1130049937](#)

[Ptger3|AMEX60DD301019273.1 at chr1q:1129837284-1130049937](#)

[Ptger1 \[nr\]|Ptgfr \[hs\]|AMEX60DD201031715.1 at chr3q:1382904334-1383018773](#)

[Ptger1 \[nr\]|Ptgfr \[hs\]|AMEX60DD102031715.2 at chr3q:1382931376-1383018773](#)

[Ptger4|AMEX60DD301041959.1 at chr6p:359634117-359665650](#)

[Ptger4|AMEX60DD301041959.2 at chr6p:359634221-359665650](#)

# 〈ウーパールーパー研究報告〉

## メキシコサンショウウオにおける密度効果と 異種混泳による成長制御機構に関する調査報告

報告日: 2023/10/16

著: 杉山 遥 (Ph. D)<sup>1</sup>, あすみ 悠<sup>1</sup>, 横江 誼衡<sup>1</sup>  
[sugiyama.haruka.axolti@gmail.com](mailto:sugiyama.haruka.axolti@gmail.com)

所属:<sup>1</sup>ウーパールーパー研究室\_はるらぼ  
since 2020~

X (旧 Twitter): [https://twitter.com/lab\\_new2](https://twitter.com/lab_new2) (@lab\_new2)

研究者ポータルサイト Research map

[https://researchmap.jp/HAL\\_lab\\_Axolotl?lang=ja](https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl?lang=ja)



※ CC-BY-NC-ND; 本文献の許可なき商業利用、無断転載・改変の一切を禁止します。

## 概要 Abstract

- ・生物の成長率は、成長可塑性のある期間において、生育密度等の環境因子によって制御されている。[3]
- ・アホーートルの成長率は、生後 90 日間の生育密度依存的にある程度決定される。[1-2]
- ・集団生活をするアホーートルは、単独で生育する個体と比較して、セロトニン分泌や行動促進因子として知られる USP46 による攻撃性の活性化と MTG, MTGR、攻撃行動抑制に関わる因子 Nr2e1 等を介した抑制が両立することで外見上の平静な状態を保っており、生育の過程でこれらの関連因子の発現動態を変化させる。その結果として、闘争型・逃避型・静観(無反応)型の三つの行動型に分かれていく。[1]
- ・アホーートルは、周囲の個体の存在を側線器官 [4] で感知し、摂食量を制御することで成長の速度を調整している。
- ・過密条件で生育したアホーートルは個体の生存を優先し、摂食量の減少に伴う代謝の抑制、ミオスタチン [5] 活性化による筋組織の発達抑制が起こることで成長率を低下させる。
- ・一方で、異種混泳されたアホーートルは、過密条件で生育した場合であっても摂食量が低下することがなく、筋肥大・成長に関わるステロイドホルモンの活性化やミオスタチンの抑制が起こることで生育が顕著に促進される。[5-6]
- ・密度効果による成長抑制や異種混泳による成長活性化は、薬剤の経口投与によるセロトニン分泌の制御や筋肥大の制御によってある程度再現することが可能である。[7-11]
- ・脳幹から分泌されたセロトニンの血中への分泌・放出は、闘争/逃避行動の制御のみならず、夜間に松果体において睡眠導入因子メラトニンへと変換されることで、適切な睡眠の制御とそれに伴う成長促進にも影響を与える。[2]
- ・先行研究 [1-2] および 本研究により、アホーートルの集団生活時における側線器官による感知に伴った成長制御や、異種との共存時における睡眠誘導に伴った成長促進による防衛応答までに至る一連の制御機構が明らかとなった。

## 導入 Intriduction

ウーパールーパーとして知られるメキシコサンショウウオ (以下、アホロートル) は、基本的に単独飼育が推奨されている。これは集団における噛み合い行動とそれに伴った傷口からの感染症や共食いのリスクがあるためであるとされてきた。しかしながら、当ラボにおける調査により、アホロートルは側線器官を介した他個体認識を経て中枢神経系を介した攻撃を抑制 または回避するような行動制御を行うことで、攻撃行動の割合を 2 割以下に留めるよう調節していることが明らかとなった。更に、集団生活してるアホロートルは主に 3 つの行動タイプ [闘争型・逃避型・静観(無反応)型] に分かれる傾向があり、集団の中で逃避する傾向のある小集団は積極的に上陸する傾向があることが示唆された。こうした集団生活における攻撃行動の制御は、セロトニン分泌による攻撃行動の促進と行動促進因子として知られる USP46 による攻撃性の活性化や、MTGR, MTG8, Nr2e1 等に代表される行動抑制因子の発現が両立することで成立し得る。このように、集団での生育の過程でこれらの関連因子の発現動態を時期に合わせて変動させ、外見上の平静な状態を保つことで、同族間で互いに対して危害を加える可能性を最小限に留めていることが示唆された。[1-3]

こうした集団における互いの認識や集団適応のためには、周囲の個体の存在を側線器官 [3-4] で感知することが想定され、実際に側線器官の欠損個体では集団適応能力の低下が見られることが明らかとなった。この側線器官による生育環境の感知は、過去の調査や飼育者の方々への聞き取り調査によって明らかとなっている、飼育個体における飼育時の密度依存的な生育速度・生育率の調節機構と相関があることが示唆された。これに加えて、飼育下の個体における密度依存的な摂食量と成長率の相関が見られることから、生育時の密度を感知して摂食量を調整する機構が作用していることが考えられた。特に、過密条件で生育したアホロートルは個体の生存を優先し、摂食量の減少に伴う代謝の抑制が見られた。こうした過密環境で育った個体は、筋肉の過剰発達の抑制にも関わるミオスタチン [5] の活性化により、筋組織の発達抑制が起こることで成長率を低下させることも明らかとなった。このような、密度環境が生育に対して影響を与える例は他の生物種でも多くの報告が見られており [3]、本知見によりアホロートルでも同様の影響を与えることが明らかになったといえる。

一方で、アホロートルとエゾサンショウウオのような異種と混泳させることで、上記のような密度上昇に伴った成長抑制の効果を無視して成長促進が起こることが示唆されていたが、その詳細な機構がこれまで未解明であった。[1-2] 今回我々が調査を実施した結果、異種との混泳時に限り、例え過密条件で生育した場合でも摂食量やそれに伴ったインスリン・TOR 等の栄養に関する因子の発現低下が生じないことが示唆された。更に、脂肪の分解・糖新生を介して筋肥大・成長にも関わるステロイドホルモン(糖質コルチコイド = グルココルチコイド) 受容体の活性化や前述のミオスタチン発現の抑制が起こり、同種との低密度条件下での集団生活時以上に各アホロートル個体の肥大・成長が顕著に促進されることが明らかとなった。[5-6]このような異種混泳による成長活性化は、ミオスタチンによる筋成長抑制効果を阻害することで達成できると仮定し、ステロイドホルモン剤やカカオポリフェノールであるフラバノールに代表されるエピカテキン類等の筋成長促進効果の報告がある成分の経口投与を実施した。その結果、セロトニン分泌の制御や筋肥大の制御を行うことで再現された。[7-11]

当ラボにおける先行研究において、アホロートルの睡眠に伴った成長促進が明らかとなっており、その本質は睡眠時のメラトニン分泌と各成長因子、成長ホルモン (GF) 分泌の促進であることを報告した。[1-2] このメラトニンの前駆物質として、先述の検討時における闘争/逃避行動に関わるセロトニンの存在があることから、集団行動制御のために血中に分泌されたセロトニンが変換される可能性を想定し、セロトニン制御に関わる薬剤 (抑制: グラニセトロン、促進: フルオキセチン) による成長制御の可否を検討した。検討の結果、明暗周期が明確に存在する際は、脳幹から分泌されたセロトニンの血中への分泌・放出は、闘争/逃避行動の制御のみならず、夜間に松果体において睡眠導入因子メラトニンへと変換されることで、適切な睡眠の制御とそれに伴う成長促進にも影響を与えることが明らかとなった。

先行研究 [1-2] におけるアホロートル集団適応 および 本研究における密度効果・異種混泳効果の知見により、アホロートルの集団生活時における側線器官による感知に伴った成長制御や、異種との共存時における睡眠誘導に伴った成長促進による防衛応答までに至る一連の制御機構を明らかにすることができた。今回の報告の中で、これらの調査結果について可能な限り詳細に報告し、アホロートルの生態や生息地について更に理解を深めたいと思う。

## 材料と手法 **Materials & Methods**

本研究には、メキシコサンショウウオ(ウーパールーパー)を用いた。  
飼育条件は、一部を除き文献 [1] と同様の条件にて実施している。

### 明暗条件

適切な成長制御・体内の概日リズムを保持するため、LD12:12 [明期: ZT0 (午前 6 時)~ / 暗期: ZT12 (18 時)~] の日周リズムで飼育を実施した。  
攻撃行動に関連するセロトニンを十分に生成・分泌させるためにも、上記の明暗周期での管理を徹底した。

### 飼育水の条件

飼育時の水温は、通常は 18~22°C, 繁殖モード誘導時は 18°C → 8°C (5 日間) → 18°C (5 日間) という処理を施した。  
今回は行動への影響を加味し、全ての飼育・調査において淡水飼育条件で統一した。  
水質: 淡水環境; pH6.7 (平均値), KH4.8~5.4

### 飼育密度の設定

飼育水槽: GEX\_マリーナ60cm水槽 (60×30×36cm MR600BKST—N 269467)

- ・ 単独飼育・・・水槽中に 1 個体を投入し、常に単独で生育する環境とした。
- ・ 集団 (低密度) 飼育・・・水槽中に 6 個体を投入し、常に他個体と接する環境とした。
- ・ 集団 (高密度) 飼育・・・ポリ容器 (25cm×18cm×9.5cm; <https://jp.daisonet.com/products/4549131590630>) に 10~14 個体相当の飼育密度を設定し、成長に応じて生育に支障のない程度に高い密度を維持した。
- ・ 異種混泳・・・上記の高密度飼育と同様だが、半数がエゾサンショウウオ (*Hynobius retardatus*) となっている。
- ・ 過密飼育・・・定義は明確ではないが、上記のポリ容器に 14 個体程度を上限に、多くの個体で過密にした状態。

### 給餌条件

給餌は週 2-3 回、ZT および CT13-15(午後 7~9 時)に必ず行った。  
薬剤投与の際には、餌中に混合した粉末成分を経口投与にて摂取させた。

### 成長過程の記録・撮影

成長実験には 30-50mm の幼体を用い写真を撮影後、その後定量比較に用いるタイミング (撮影開始から 30, 60, 90, 120, 200, 360 日後) における成長後個体の撮影像と共に、画像解析ソフト Image J (Color FootPrint) にて測定を行った。飼育時の水槽は、本実験にて用いる個体では全てタイミングを統一し、成長過程に合わせて飼育水槽を大きくしていく方式を取った。

### 闘争/逃避行動の観察

行動観察の行動; day0~day30 までの間、飼育水槽の観察・撮影を実施し、以下の行動の頻度について確認を行った。  
攻撃(闘争)行動; 相手への強い突進・噛みつき行動 (食砂や周辺への攻撃なども含む)  
求愛行動; 相手に対して顔をこすりつける、顔で身体をつつくなど、排卵誘発する行動。  
逃避行動: 攻撃を受ける、受けないに関わらず、他個体から距離を置く行動。  
無反応・無応答: 他個体に影響されず、あまり積極的に行動を示さない状態。  
※ 行動観察の際の逃避行動が過剰に誘発されないように、生体の状態; 四肢や眼の欠損, 突然変異などが無いように注意して飼育・観察を継続的に実施した。損傷が起こりそうな際は速やかに観察を中断し、生体を回収し一定以上の時間隔離した。

### 各集計結果の統計解析

統計解析には、Graphpad Prism ver.6 を用いて One Way ANOVA; turkey test, \*p<0.05 にて有意差解析を行った。



## 結果と考察 Result & discussions

### アホロートルは生育密度依存的に成長制御の速度を制御する

多くの生物では、生育環境に影響して成長速度を調節したり、遺伝子発現を変化させることでその形態を変化させることが知られている。トノサマバッタやサバクトビバッタのような直翅目の昆虫は、生育密度の影響で従来の穏やかな成育形態(孤独相)ではなく群生相という翅が大きく飛翔に適した形態へと変貌し、農業へ甚大な被害を与える場合がある。また、一部の甲虫類では飼育密度によって顎や角が小型化することが知られている。[3] 当ラボの調査においても、飼育密度によって、カブトムシ (*Trypoxylus dichotomus*) や キイロショウジョウバエ (*Drosophila melanogaster*)、フタホシオコログ (*Gryllus bimaculatus*) などの昆虫類の生育に影響を与えるという結果が得られている。また、メダカ (*Oryzias latipes* var) において、飼育密度が高くなることで背曲がり異常の表現型を示すこともあることが分かっており、当ラボのあすみ 悠 研究員を中心にその詳細な機構について現在も調査を実施している。(補足図 1~4. 参照)

今回、アホロートルの生育密度と成長の関係性を調査するに際し、飼育水槽 (または容器) の影響について調査を実施した。この際、水深と底面積のいずれが重要であるかを確認するため、通常の 60cm 水槽 (材料と手法. 参照) と比較対照として、同等の水深はあるが底面積が約 1/800 であるメスシリンダーと、底面積は水槽と同等だが水深が約 1/2.5 であるコンテナをそれぞれ用いた飼育を実施した。検討の結果、水深と底面積の内、底面積が 60cm 水槽と同等であるコンテナを用いた方がより近い成長率を示したことから、生育においては底面積の広さの方が重要であることが明らかとなった。(図 1. 参照)

この底面積の感知に関する詳細な機構については明確に示せてはいないものの、餌や他個体の認識において側線器官による感知の関与が挙げられている [1-4] ため、同様の感知機構が底面積の広さについて感知するように作用している可能性が考えられた。(図 8-1~8-3. 参照)

## 異種混泳による成長促進効果, 成熟化の促進, 妊性向上 および 他個体への応答性の向上.

日本国内の在来種であるエゾサンショウウオ (*Hynobius retardatus*) は、環境依存的に幼形成熟 (ネオテニー) になることが知られており、幼体の頃はアホロートルに酷似している。また前述の例と同様、生育環境に応じて2型を示すことが知られている。[2] 特にアカガエルのような異種と共存する環境に置かれることで、頭が肥大化した形態になり(“大食い”形態) 摂食が促進されるようになる。(図 2. 参照) そこで、同じくネオテニーであるアホロートルでも異種と混泳することで同様の頭部肥大化現象が見られると予測し、幼体期の生育様式の酷似している前述のエゾサンショウウオと混泳させ、その影響について確認を行った。同時並行で、生育密度を早期に変化させることで成長率に関する可塑性が残る時期がどのタイミングであるかの調査も実施している。(材料と手法 & 図 3. 参照)

検討の結果、以下のような知見が得られた。

- ・ 同種との混泳 (多頭飼育) で生育密度を低いまま維持していると、成長が著しく抑制される。(図 3-1. & 図 6. 参照)
- ・ 同種との混泳 (多頭飼育) で、水槽の底面積を広くすることで、生育密度を生後 1ヶ月の状態から混泳を開始し、開始後 30~60 日の間に低下させると成長速度は抑制を受けない。すなわち、成長の可塑性は生後 30~90 日の期間は保持されている。(図 3-1. & 図 6~7. 参照)
- ・ 同数のエゾサンショウウオと幼生期に混泳させた結果、同種・低密度飼育の個体と比較して、成長率が有意に高くなる。また、このような肥大成長促進個体の生殖能力 (妊性) も顕著に高くなった。(図 3-1. & 図 5~図 6. 参照)
- ・ これらの混泳個体における関連遺伝子発現動態は、上皮・中枢・末梢共に以下のようなようになった。(図 4-1~4-3. 参照)
  - ✓ 成長・再生に関わる因子および粘膜分泌に関わる因子は、同種との飼育密度が高くなると大きく低減する。
  - ✓ 炎症に関する因子も、同種との高密度飼育条件下では顕著に低下している。
  - ✓ 異種混泳時は、密度が高い場合であっても、各因子は同種・低密度条件個体と同等以上の発現強度を示す。
- ・ 異種混泳個体は、側線器官による感知力 [4] が向上する。
- ・ 異種混泳個体を経験した個体は、他個体への攻撃性が向上し、餌への応答性の若干の向上が確認できた。また、異種を飼育した飼育水ではあまり影響がみられないことから、異種が行動時に示す微小な電流等を側線器官で感知していると考えられた。(図 8-1~8-2. 参照)
- ・ 異種混泳個体は、セロトニンへの応答性が同種との低密度飼育個体と比較して顕著に高く、攻撃性がやや高めな個体が多く確認された。(図 9. 参照)
- ・ 意図的にセロトニン分泌量を制御した結果、セロトニン阻害個体は成長を抑制され、セロトニン分泌促進個体では成長が顕著に活性化された。(補足図 5. 参照)
- ・ 明暗周期を調査した結果、同種の高密度飼育下では活動量が低下する一方、異種混泳個体では逆に活動量が顕著に増大し、同種の低密度個体と比較しても摂食量が有意に増加する。(図 10~11. 参照)

今回得られた多くの知見から、アホロートルにおける密度効果 および 異種混泳による成長促進効果の制御機構について、以下のように考察することができる。

- ・ 通常、密度が高い状況になると、他個体が活動時に放出する微小電位を感知し、活動量を低下させることで摂食量を低減して代謝を大きく低下させることで、生育を抑制することで集団生活に適応しようとする。
- ・ 異種 (よそ者) の存在を側線で感知すると、逆に活動量を増加させて、摂食量や代謝を活性化させることで生育を促進させ、成長を早めることで自らの生息域を保持しようとする。

## 異種混泳時の成長促進の本質は筋肉の肥大成長化である

異種混泳による成長活性化の効果については、

**側線器官による他個体感知力の活性化 → 活動量上昇 → 採餌行動の促進 → 代謝と成長の亢進**

という一連の流れが明らかとなった。

そこで、異種混泳時に生じている成長制御の本質について更に調査を進めた。(図 12. 参照)

調査の結果、アホートル活動が活性化する 18 時前後 から (図 10 & 文献 [2]. 参照) 夜間にかけて、睡眠に関わるメラトニン受容体 (MTNR1B) の発現上昇や、腸内乳酸菌による代謝亢進と妊性の向上に関わる NPY の受容体 (NPYR) の高い発現を示すことが明らかとなった。これらの結果や、フルオキセチン経口投与によるセロトニン分泌促進個体における成長率が、メラトニンや抗ヒスタミン剤投与による睡眠促進時と同等であった結果 (補足図 5. 参照) を踏まえると、脳幹由来のセロトニンから夜間の松果体中でのメラトニンへの変換に繋がり、良質な睡眠を摂取することに繋がる結果、成長が顕著に促進される機構が考えられた。

また、インスリンとその特異的受容体や、副腎皮質で合成・分泌されることで全身の臓器における無機金属イオンの取り込み・再吸収に関わるステロイドホルモンである硬質コルチコイド (ミネラルコルチコイド) とその特異的受容体 (MR) [8] の発現も同様の発現上昇を示していた。

更に、異種混泳個体では、これらの因子が更に有意に高くなることも明らかとなった。(図 12-1~12-2. 参照)

先述の伝子発現動態の調査において、ストレス応答因子として知られる HSP90 の発現が見られた。この HSP90 および HSP70 は分子シャペロンとして、副腎皮質から分泌され脂肪の分解や糖新生・免疫の強化に関わるステロイドホルモンとして知られる糖質コルチコイド (グルココルチコイド) の分泌に関与することが知られている。[6-7] また、糖質コルチコイドの特異的受容体 (GR) の発現が、夜間 (特に異種混泳個体で顕著) に顕著であり、HSP90 および HSP70 との関連性が示唆された。(図 12-3. 参照) 一方で、同種と高密度条件下で生育した個体では、筋肉の成長を抑制するミオスタチン (MSTN) の発現が顕著に亢進していることを踏まえると、異種混泳個体では筋肉の分解や肥大成長が積極的に起こっている可能性が考えられた。

これらの結果を踏まえ、異種混泳による成長の活性化時に筋肥大が起こっている可能性が想定されたことから、筋肉成長に有効とされる成分の経口投与を実施することで成長率について比較・定量を実施した。(図 13~17. 参照)

以下、検討結果および考察について列挙する。

- ・ 筋肉増強剤として知られるアナボリックステロイドとして、オキシメロン および アンドリオール [6] を投与した結果、未投与群と比較して有意な肥大・成長が確認できた。(図 13. 参照)
- ・ 筋肉成長抑制に作用するミオスタチンの阻害に関わるとされる成分、3-ヒドロキシ-3-メチル酪酸 (HMB) [10] およびクレアチン [9] を投与した結果、未投与群と比較して有意な肥大・成長が確認できた。(図 14. 参照)  
またクレアチンは、アルギニン・グリシン・メチオニンの 3 種類のアミノ酸から合成されることが明らかとなっている [9] が、グリシン・アルギニン または 2 つの同時投与の結果、クレアチン投与と同等の効果を示した。(図 15. 参照)
- ・ カカオポリフェノールであるフラバノールは、血流の活性化によって筋成長・肥大に繋がるとされていることから [11]、クレアチンや HMB と同等の効果があると予想し投与を実施した所、効果が発揮される時期に若干のズレは見られるものの、未投与群と比較して有意な肥大・成長が確認できた。(図 15. 参照)  
本結果は、ヒト成長因子 (hGF) の摂取時と同等の成長促進効果であることも明らかとなっている。(図 15. 参照)
- ・ 上記の経口投与によって成長肥大した個体は、投与無し個体と比較して有意に高い妊性を示した。(図 16. 参照)
- ・ これらの筋肥大促進個体では、夜間のミオスタチン発現低下や糖質コルチコイドの発現促進を示し、これらの表現型は異種混泳条件に匹敵することが明らかとなった。(図 17-1~17-3. 参照)

## 総括 Conclusion

文献 [1] および 本研究によって得られた知見に基づき、アホロートルの集団生活自の制御機構について総括する。詳細は、以下のまとめ および 図解にて示す。(図 18. 参照)

前回の調査結果から、以下の事が明らかとなっている。

- 1). 幼少期はセロトニンによる攻撃行動が促進されるが、MTGR によって抑制を受ける。
- 2). 成長過程の中で、セロトニン経路によって活性化と抑制の二方向からの制御を受けるようになる。
- 3). セロトニンの感受性の違いによって、集団の中で更に、闘争/逃避 行動を示す個体 および 低応答個体の 3つの小集団に分割される。
- 4). 逃避行動を示す個体の一部では、他の応答性の個体群と比較して、変態・上陸化が促進される。

今回の調査結果から、アホロートルの生育時の密度環境と異種混泳時の応答について、以下の事が明らかとなった。

- 5). アホロートルは側線器官で、周囲の個体の活動や個体数、生育地の広さ等を感じることによって摂食量を調節し、成長速度を最適化している。
- 6). 同種が周囲に沢山居るような環境では、睡眠状態が悪く、摂食量や代謝の低下と筋組織の発達阻害による成長抑制がかかることで、周囲の個体との餌の取り合いにならないように調節している。
- 7). 一方で、異種が自分の領域に紛れて繁栄しそうになると、起床時の活動量を増大させつつ夜間には良質な睡眠を摂ることで、餌の摂取量を増やしつつ筋組織の肥大成長を促進させることで対抗しようとする。
- 8). 異種が紛れることでセロトニンの分泌量が増大することで攻撃性が高まるが、夜間に松果体で睡眠因子であるメラトニンに変換されることで成長を効率化するように作用している。

今回の調査の中で、アホロートルがメキシコで繁栄した背景に、異種混泳時の採餌行動活性化や筋肥大促進のような行動・性質の変化があった可能性が感じられた。

また、原種の成体が 40cm 超であることを踏まえると、攻撃性に関与するセロトニンを巧く利用した良質な睡眠の確保により、筋肉ムキムキの巨大なアホロートルが他種を寄せ付けないように闊歩していた当時の光景が目には浮かび、現在の絶滅危惧の状態から過去の繁栄を取り戻すためにも、本知見を可能な限り役立てたいと改めて感じた。

## 謝辞 Acknowledgments

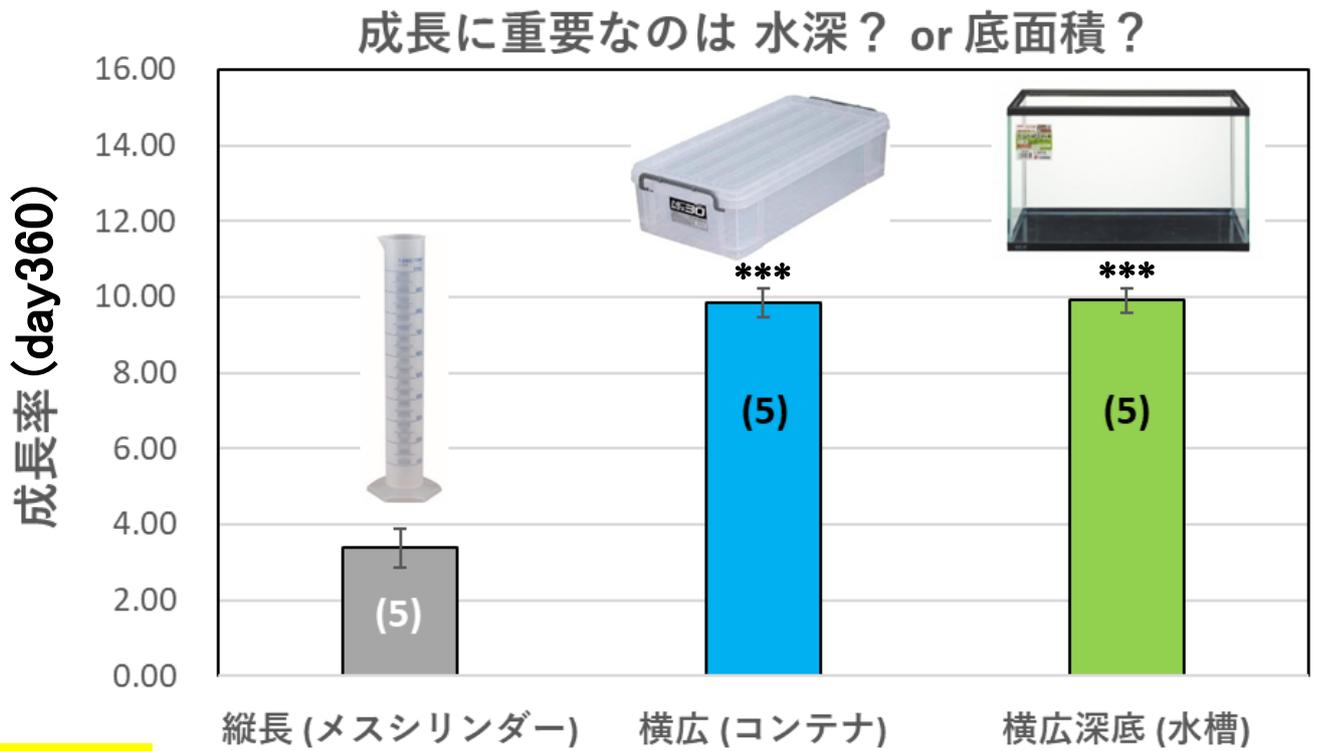
本研究をまとめるにあたり、多くの研究者の皆様、サポーターの方々等のご助言・お力添えがありました。この場を借りて、改めて心より御礼申し上げます。誠にありがとうございました。

また常々、当ラボにおける活動に協力して下さっている横江様、あすみ様、やみん様、萩原様、三太子様には本当に感謝しても感謝しきれません。皆様常々本当にお世話になっております。

当ラボの活動 3 年目もいよいよ残す所僅かとなり、学会発表を目指して更に多忙を極めております。季節も秋に移り変わり、肌寒いころ合いになって参りましたが、そんな季節の変化にも負ケルこと無く、日々研究活動に邁進する所存です。今後ともご愛顧の程、何卒宜しくお願い致します。

表 1: 飼育条件と生育率の相関を調査するための実験条件

		縦長 (メスシリンダー)	横広 (コンテナ)	横広深底 (水槽)
		[3023-5441] トラスコ中山 メスシリンダー 1000ml MS1000	JEJアステージ 収納ボックス 日本製 NC ボックス #30 積み重ね	GEX マリーナ 幅 60cm 水槽スリム ブラック MR600BK
容器サイズ		φ61x3.14xH400 (mm)	619×277×H155 (mm)	600×275×H360 (mm)
アホロートル (0.3%ミネ水)	開始日 (mm); n=5	2.47	2.55	2.51
	day360 (mm); n=5	8.35	25.15	24.90
	成長率 (5匹の平均値の比較)	3.39	9.86	9.92
容器外見				



\*\*\* p<0.001

図 1: アホロートルの生育には水深よりも底面積の広さの方が重要である

# 参照: エゾサンショウウオ の環境依存的な多型



若原正己 北海道大学大学院生命科学院  
生命科学専攻

[https://www.brh.co.jp/publication/journal/049/research\\_11\\_2](https://www.brh.co.jp/publication/journal/049/research_11_2)



図2: アホロートルにもエゾサンショウウオのような二型が存在するのかわ?

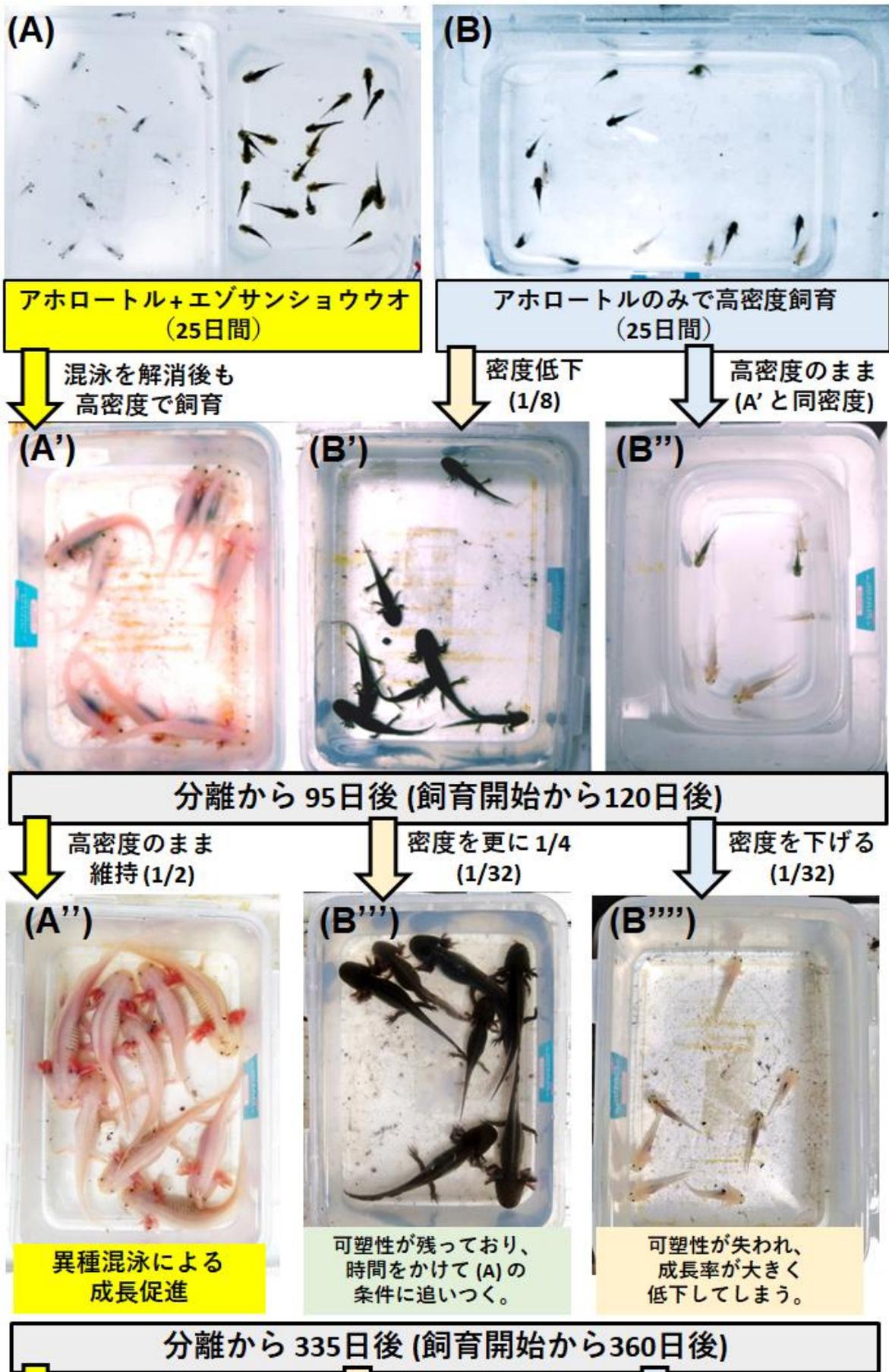


図 3-1: 異種混泳によってアホロートルの成長が促進される 1

分離から 335日後 (飼育開始から360日後)

高密度のまま  
維持 (最初の1/2)



異種混泳による  
成長促進

密度維持  
(最初の1/32)



長時間をかけて  
密度効果 > 異種混泳

密度維持  
(最初の1/32)



成長はするが  
非常に緩やか

分離から 605日後 (飼育開始から630日後)

異種混泳・生育密度が成長に及ぼす効果 (N=5)

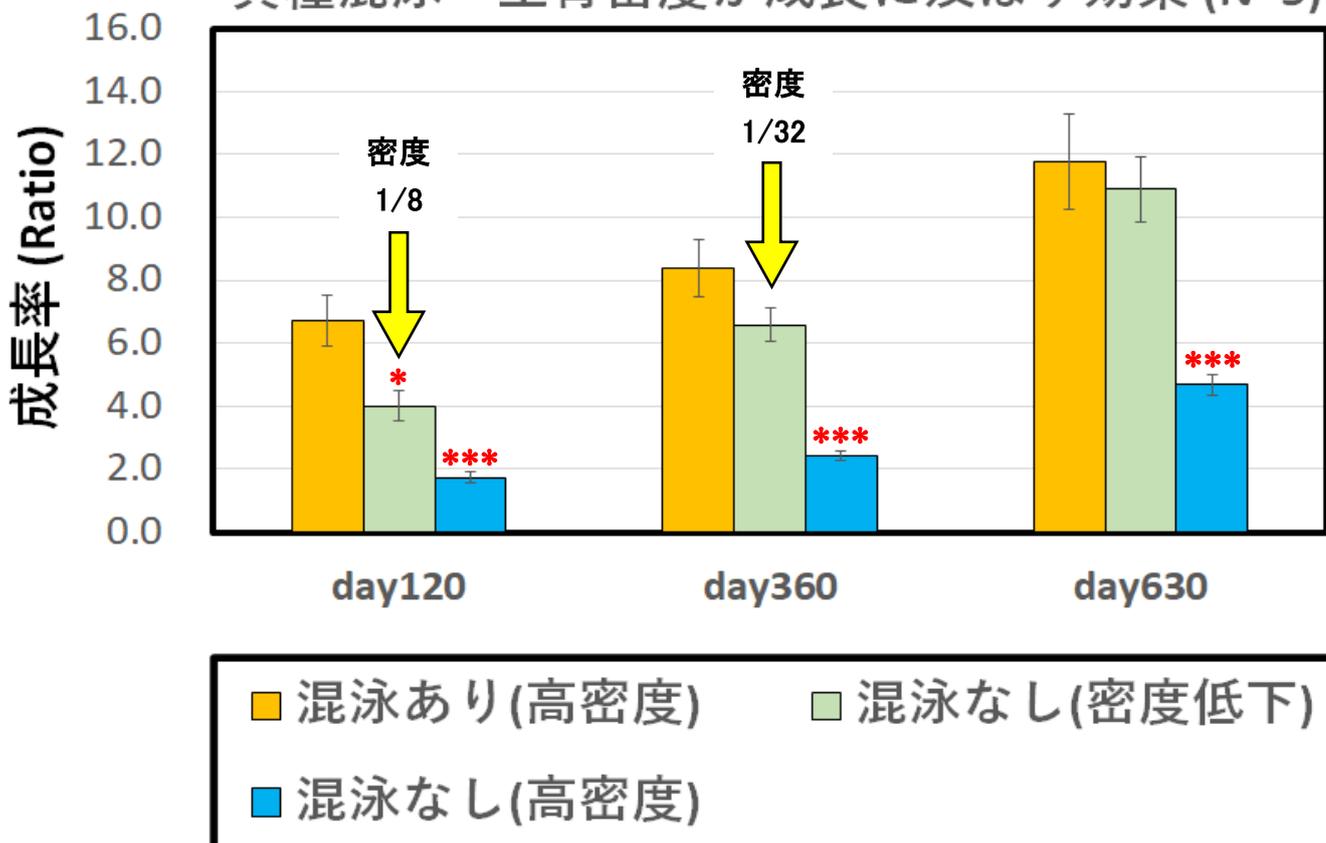


図 3-2: 異種混泳によってアホロートルの成長が促進される 2

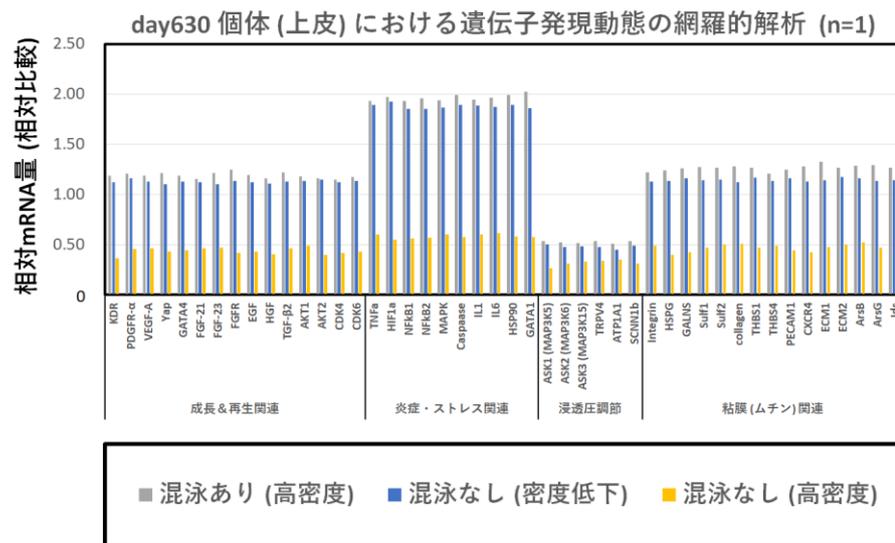
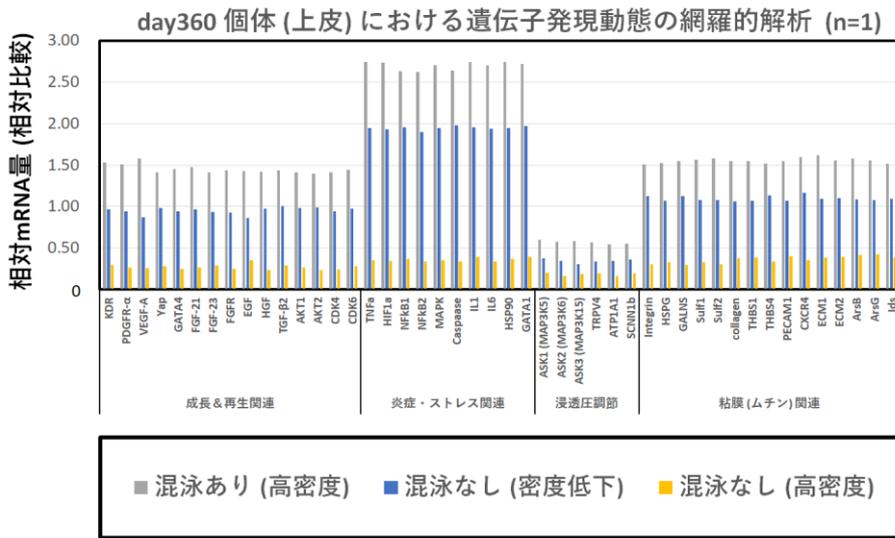
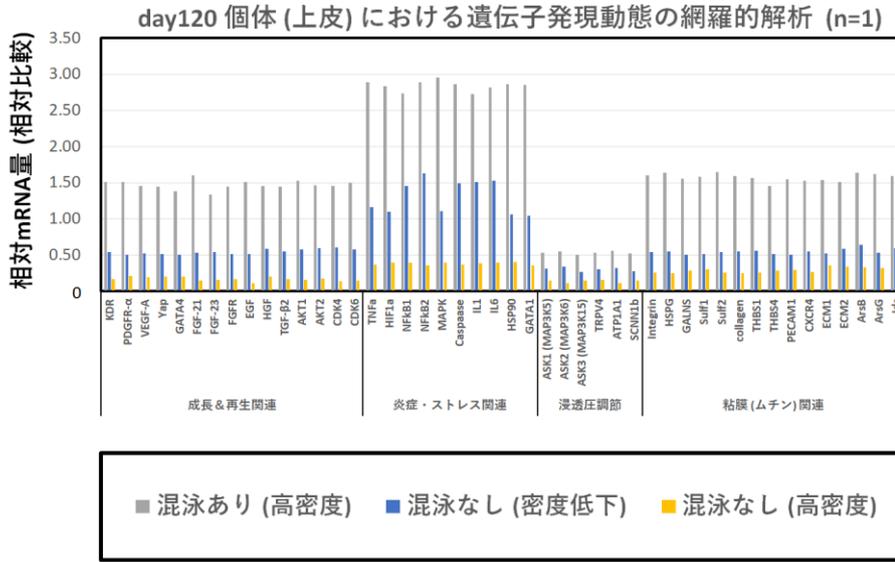


図 4-1: 混泳効果・密度効果による成長制御に関わる遺伝子群 1 (淡水, 18~20℃)

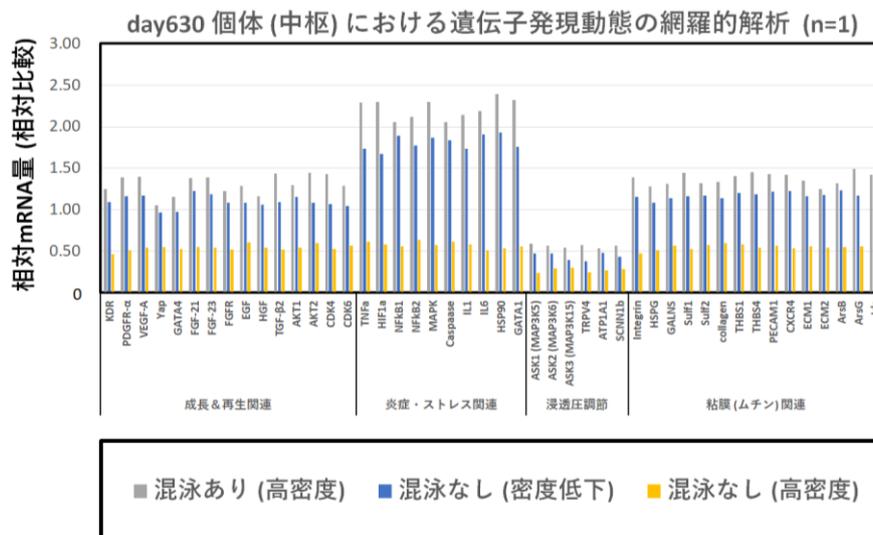
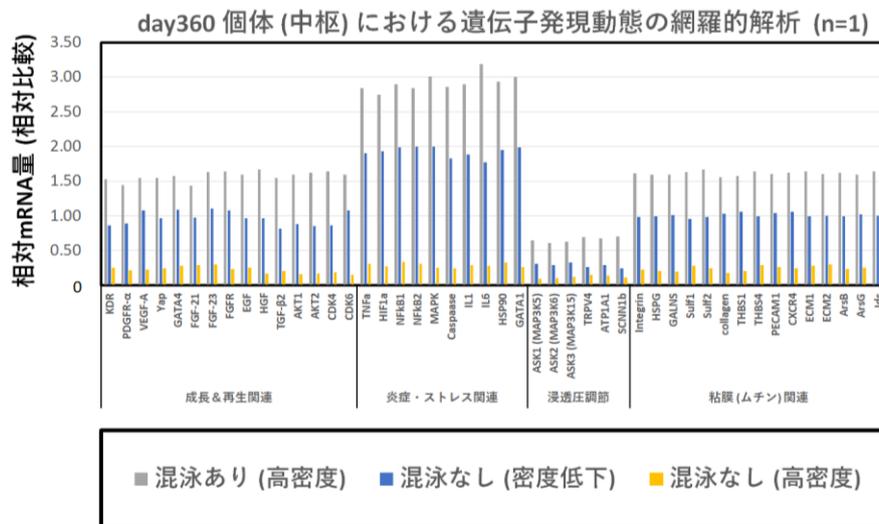
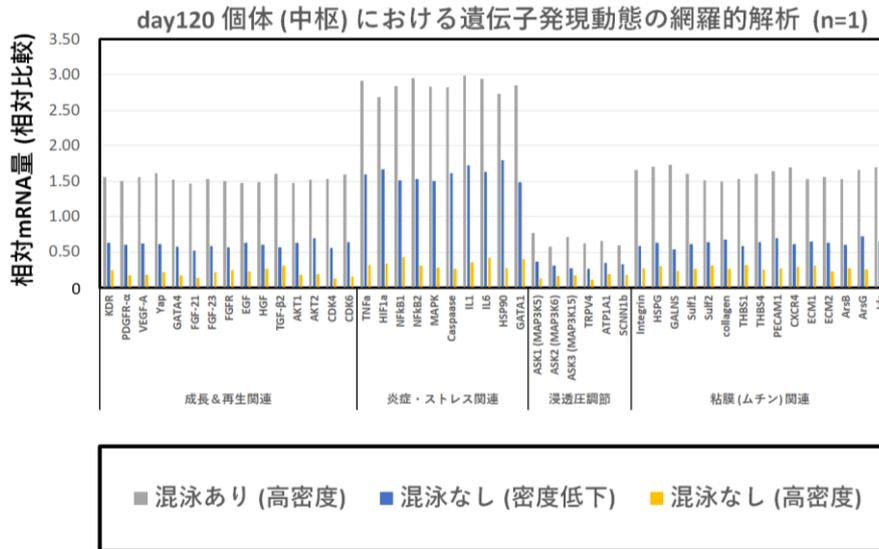


図 4-2: 混泳効果・密度効果による成長制御に関わる遺伝子群 2 (淡水, 18~20℃)

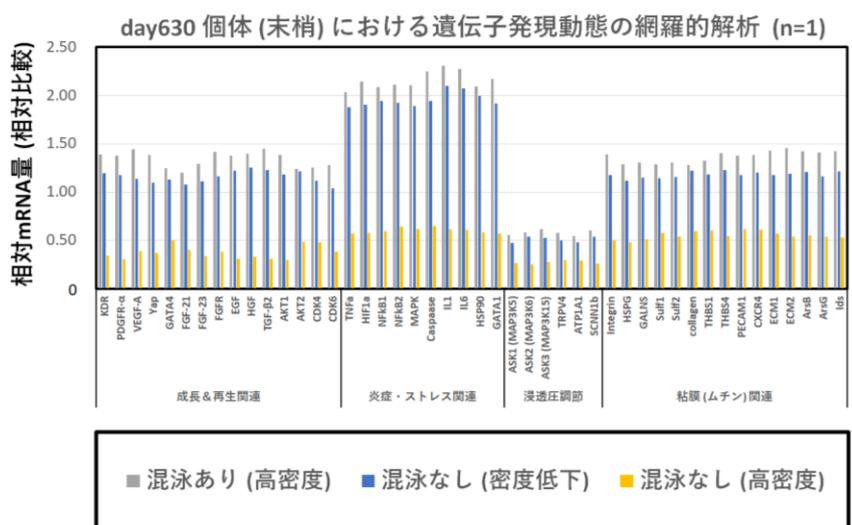
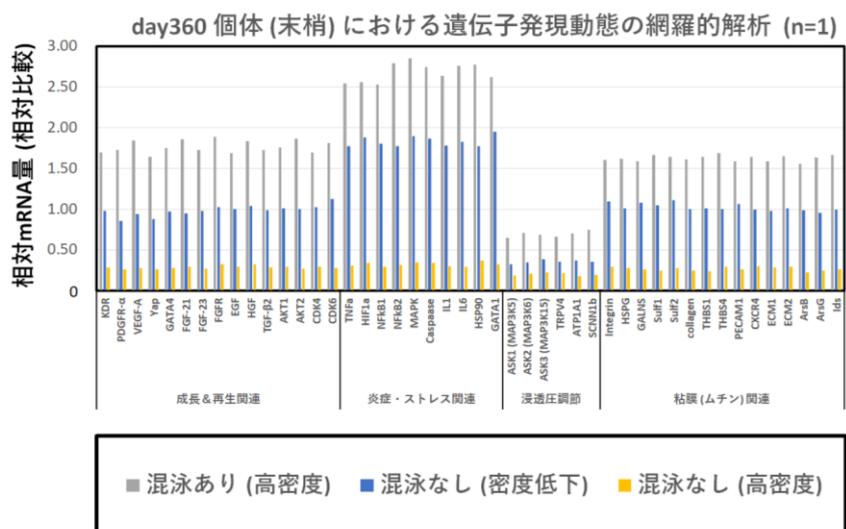
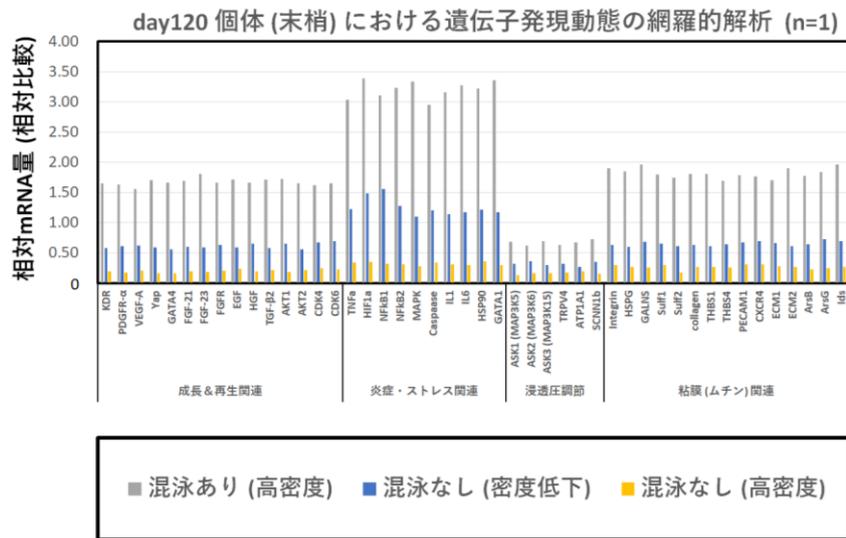


図 4-3: 混泳効果・密度効果による成長制御に関わる遺伝子群 3 (淡水, 18~20℃)

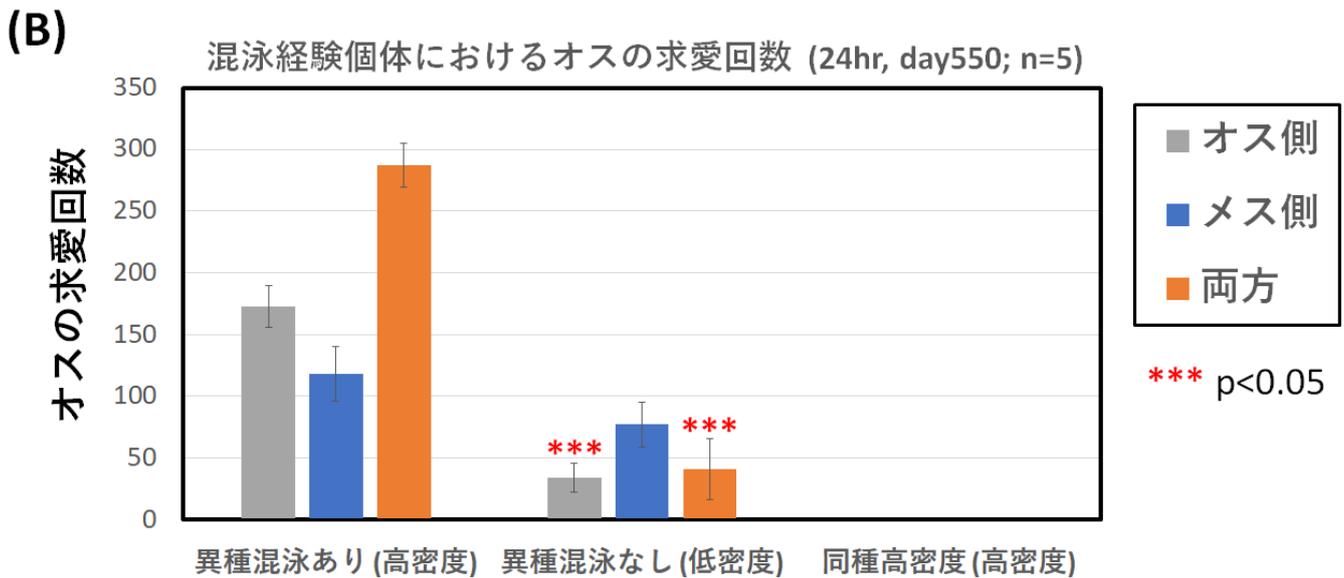
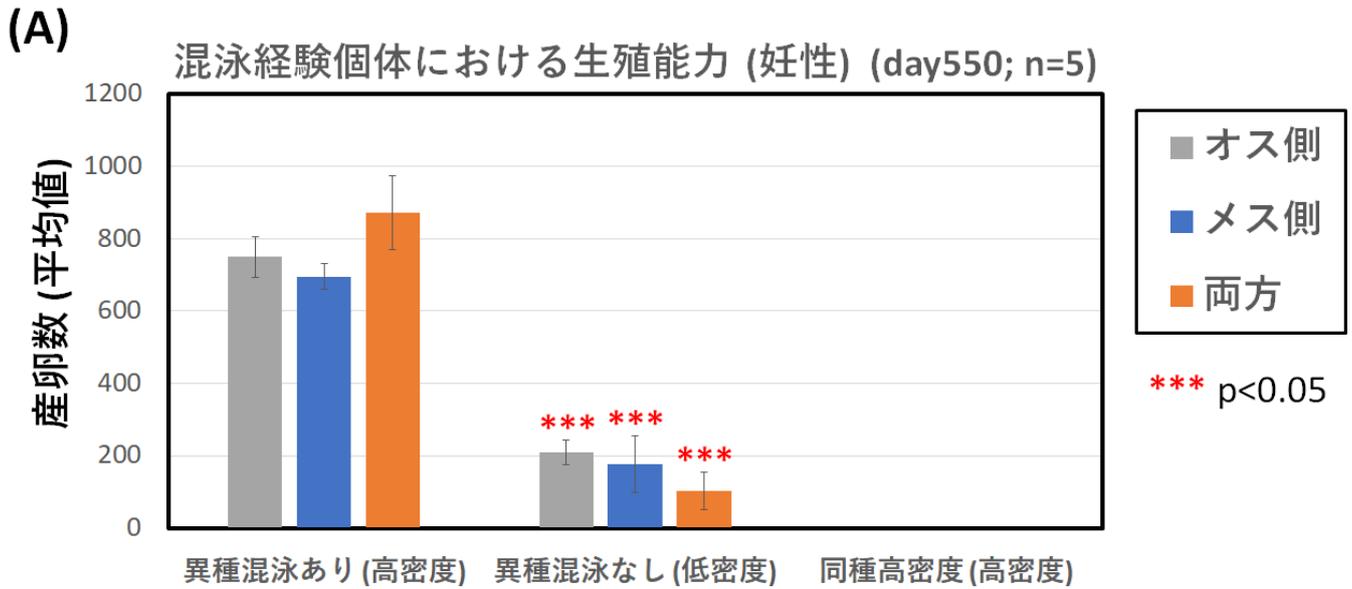


図 5: 異種混泳経験個体は生殖能力が向上する

※下記の結果は、到着時の個体の stage が基本的に4cm付近であることから day30とし、その地点からの成長比較をしています。  
 なので実験開始〇〇日目、と書きかえるなら、30日間を引いた値となります。

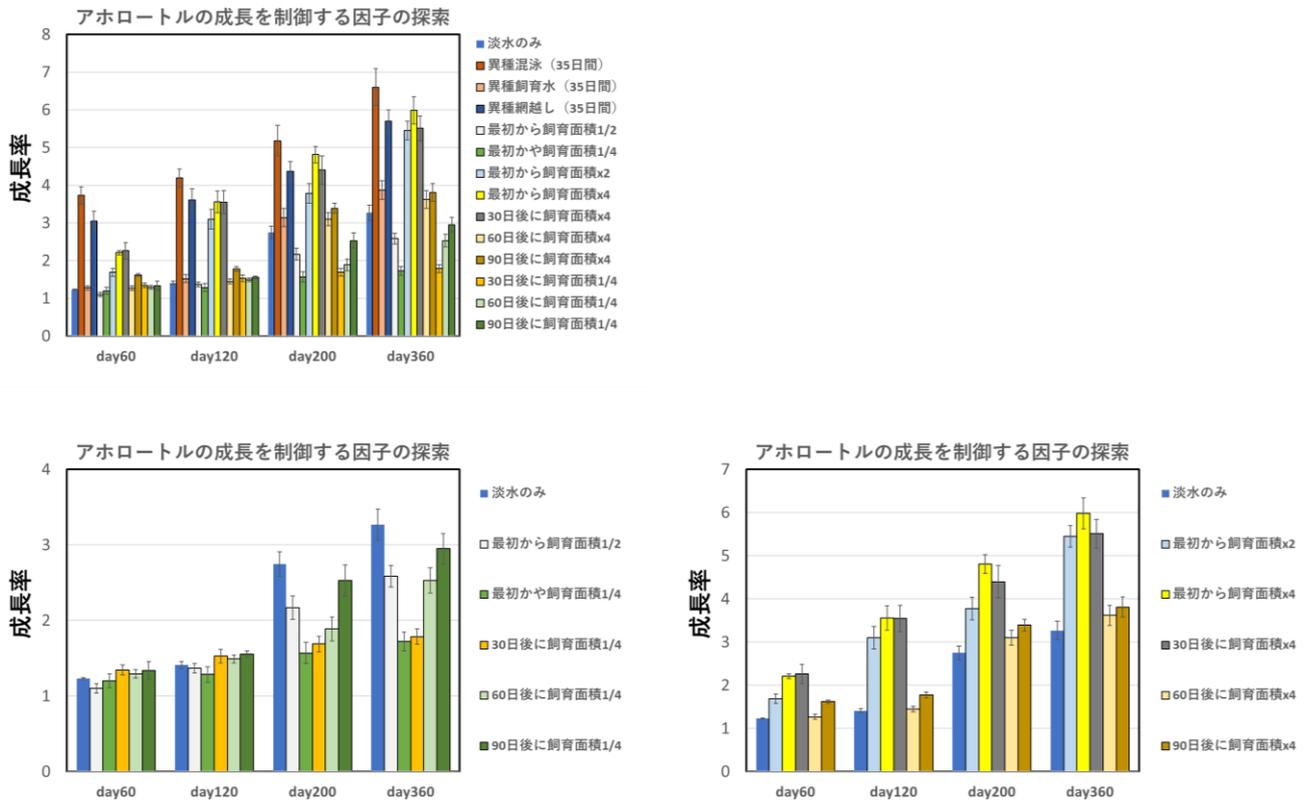


図 6: アホロートルの成長制御の可塑性はいつまで残っているのか？

成長制御の可塑性が残っている可能性のある時期:

生後 1 ヶ月、40mm 付近の stage 到達後 から 30 日目~60 日目の間の約 1 ヶ月

生育環境が固定されて一定の大きさになると、成長率が微調整される？

疑問・・・決定因子は何？水圧？どのように感知している？

参照

- ・ 理化学研究所>大阪大学>サイズ進化の法則を発見
  - 性成熟のタイミングと体の大きさの密接な関係ー(2019).  
[https://www.riken.jp/press/2019/20191125\\_1/](https://www.riken.jp/press/2019/20191125_1/)
- ・ Frisch and Revelle. (1970). *Science* 169, 397-399.

動物の最終的な体の大きさは、以下の三つの変数によって決まる。

- ・ 性成熟の開始に必要な最低サイズである「臨界サイズ」
- ・ 臨界サイズに到達してから実際に成長が停止するまでの「最終成長期間」
- ・ 最終成長期における「成長率」

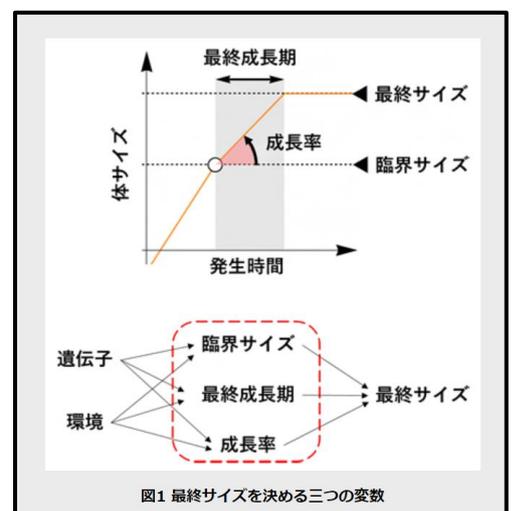


図1 最終サイズを決める三つの変数

## アホロートル (ウーパールーパー) の場合

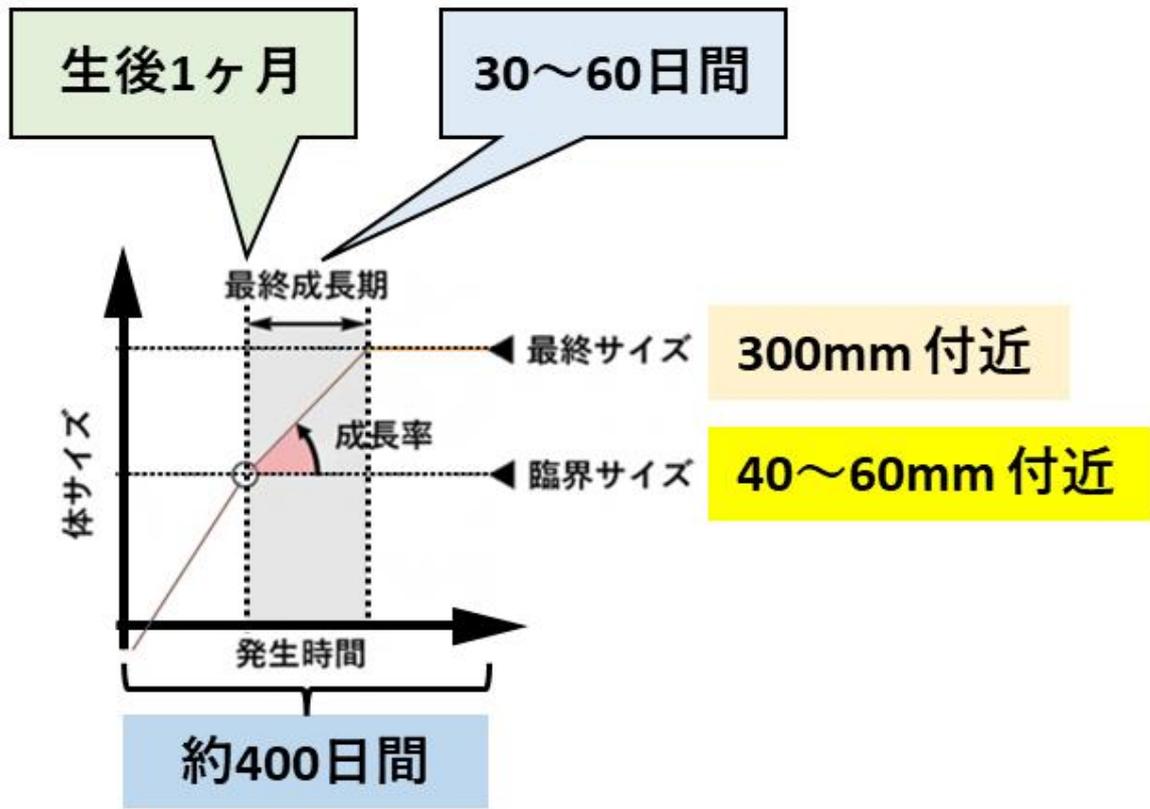


図 7: ウーパールーパーの生育密度依存的な成長制御に関する可塑性モデル図

ここまでのアホロートルの成長制御に関する複数の調査の結果、アホロートルの成長の可塑性は生後1ヶ月から2か月程度である可能性が高く、その臨界となる大きさが40～60mmであり、この期間に至るまでの間にこのサイズの圏内に到達している個体であれば、生育面積が広くなることや十分な栄養を確保することで再び成長を再開できる可能性がある、と考えることができる。

# 疑問: アホロートルは、どの器官で、どのように密度を感知するのか?

**塩が水に溶ける。**



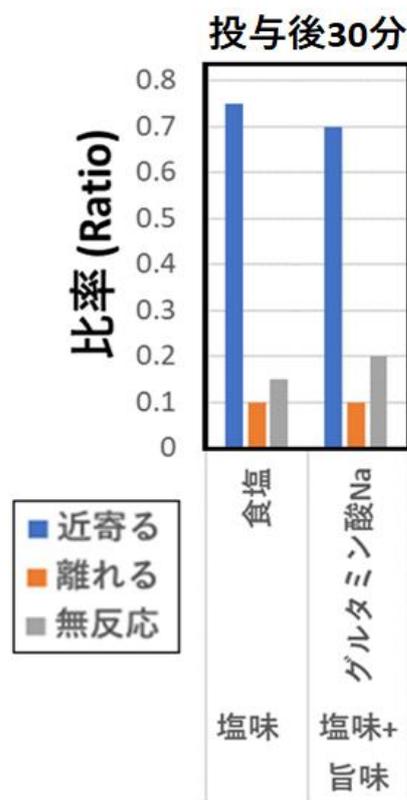
Na, K, Mg, Ca など  
金属イオンになる。

**側線器官:**  
獲物の動きや  
微弱な電位の感知

**塩味の  
摂取**



参考: アホロートル (メキシコサンショウウオ)  
- 静岡大学理学部生物科学科 (shizuoka.ac.jp)



参考: 側線器官による音・振動・電位の感知 (杉山, 2023)

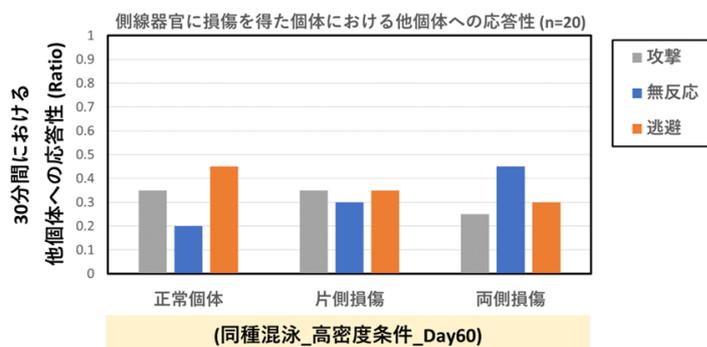
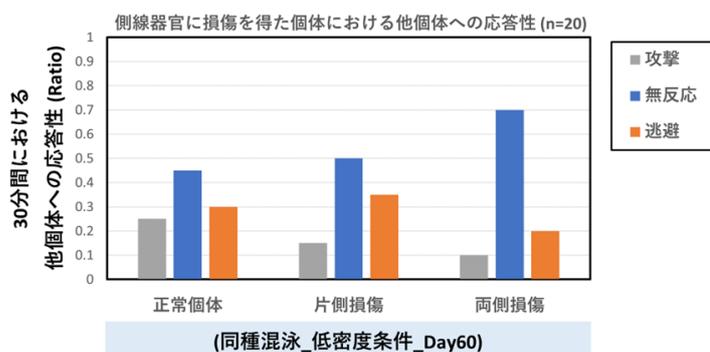
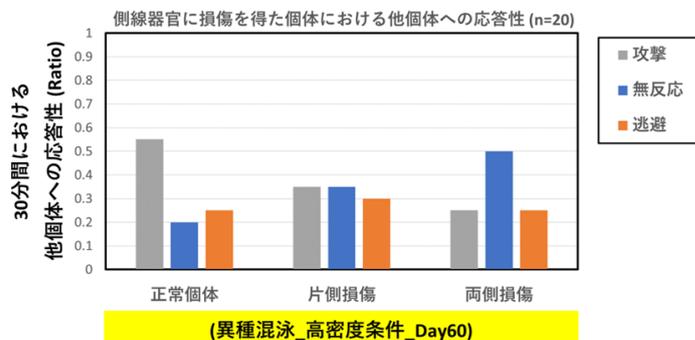
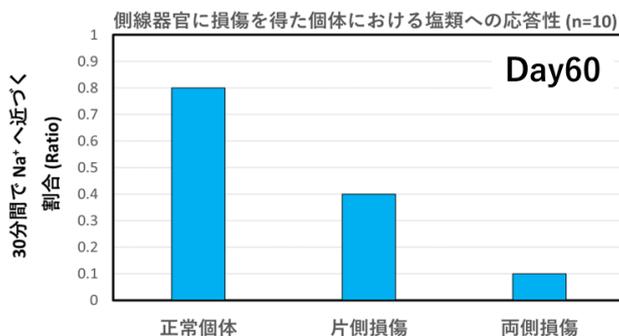


図 8-1: 側線器官による感知に対して飼育密度・混泳効果が及ぼす影響 1 (淡水, 18~20℃)

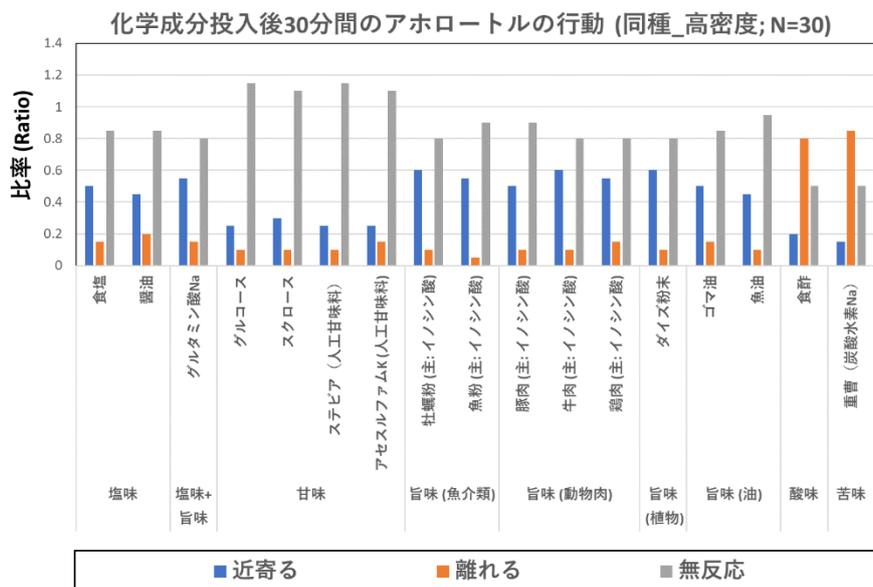
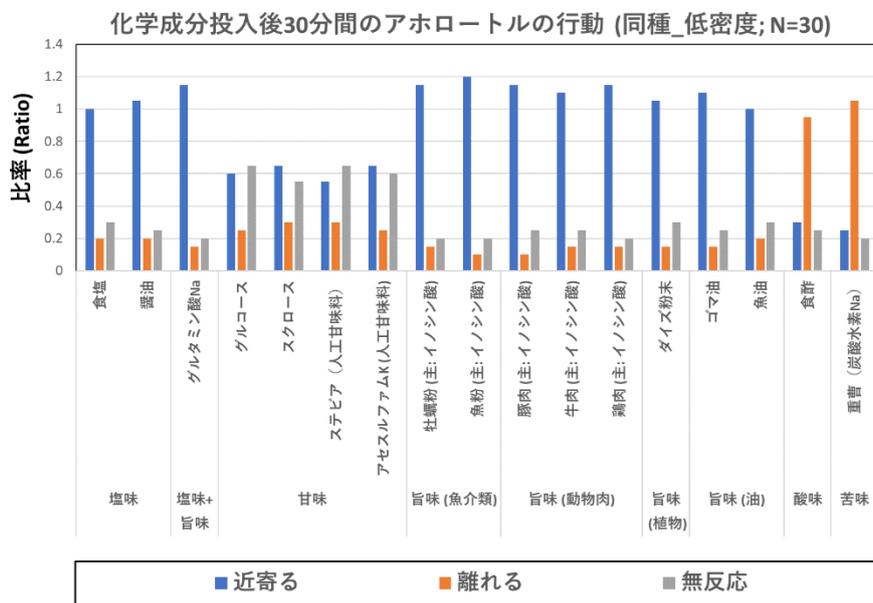
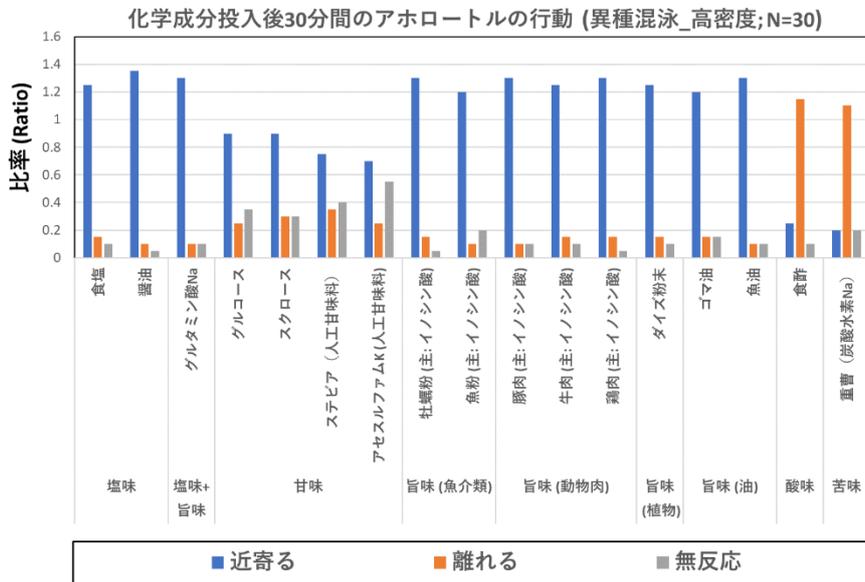


図 8-2: 側線器官による感知に対して飼育密度・混泳効果が及ぼす影響 2 (淡水, 18~20°C)

## アホロートルの成長を制御する因子の探索

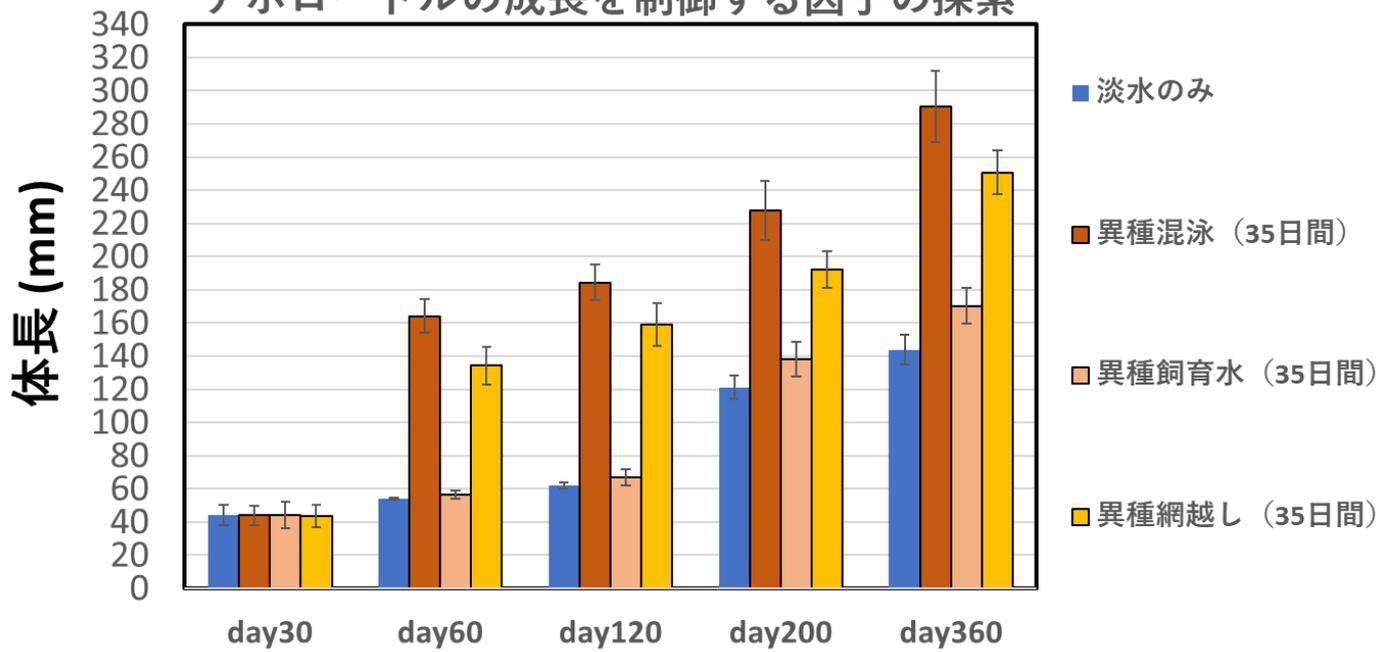


図 8-3: 側線器官による感知に対して飼育密度・混泳効果が及ぼす影響 3 (淡水, 18~20°C; N=5)

エゾサンショウウオから出る成分を感知している訳ではなく、動きや電位で同種と見分けている可能性あり。

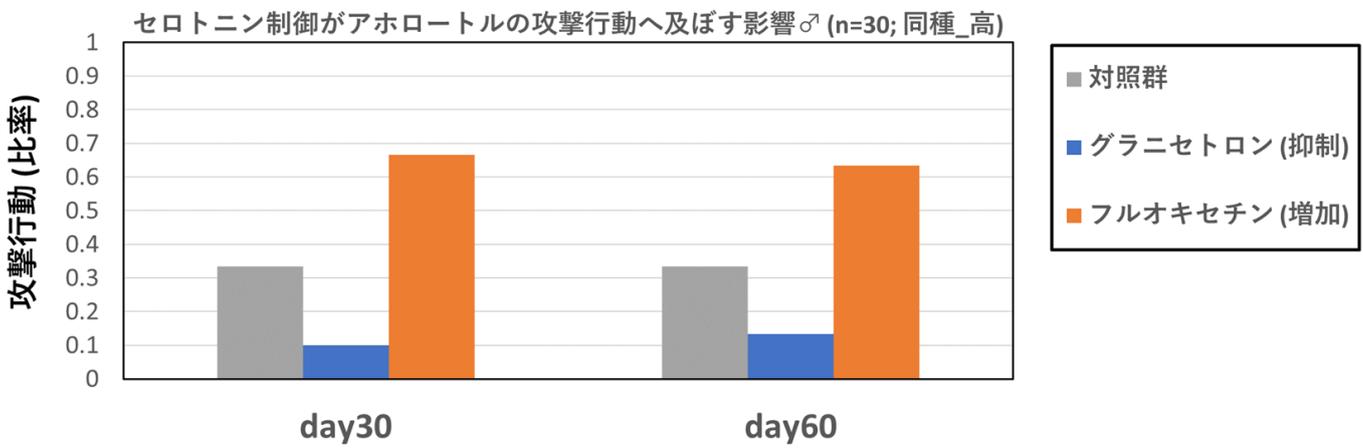
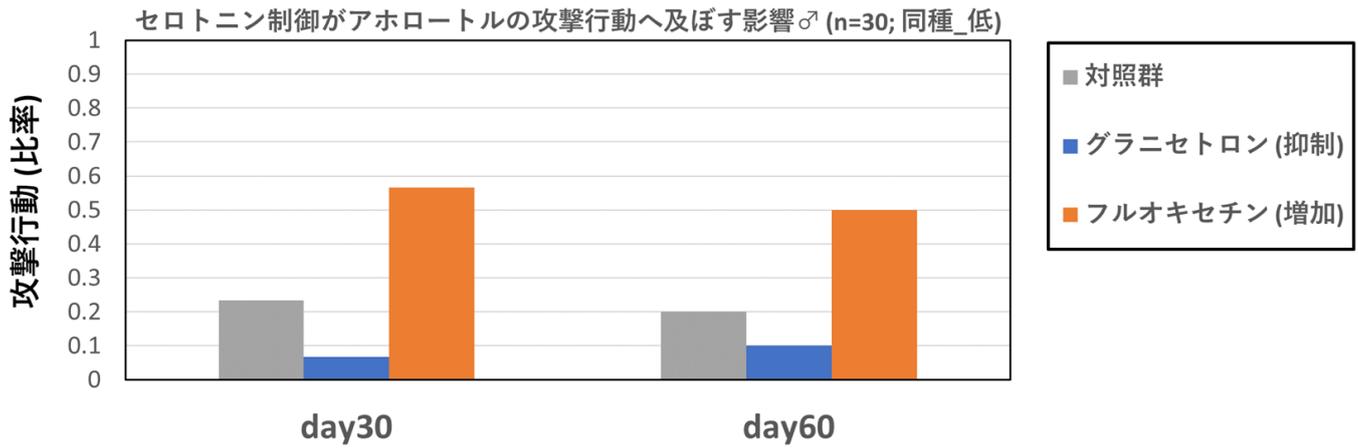
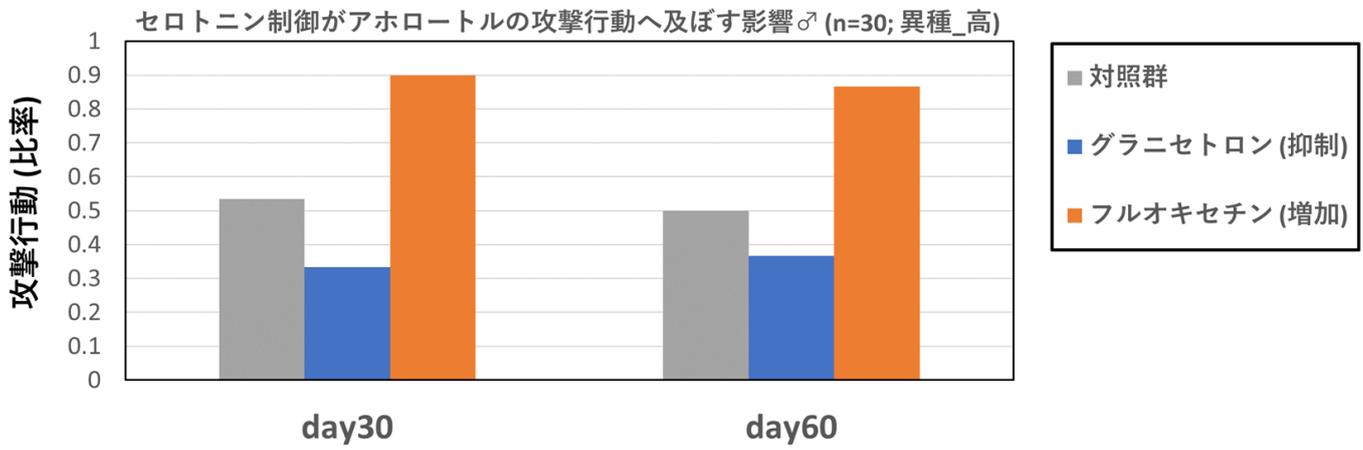
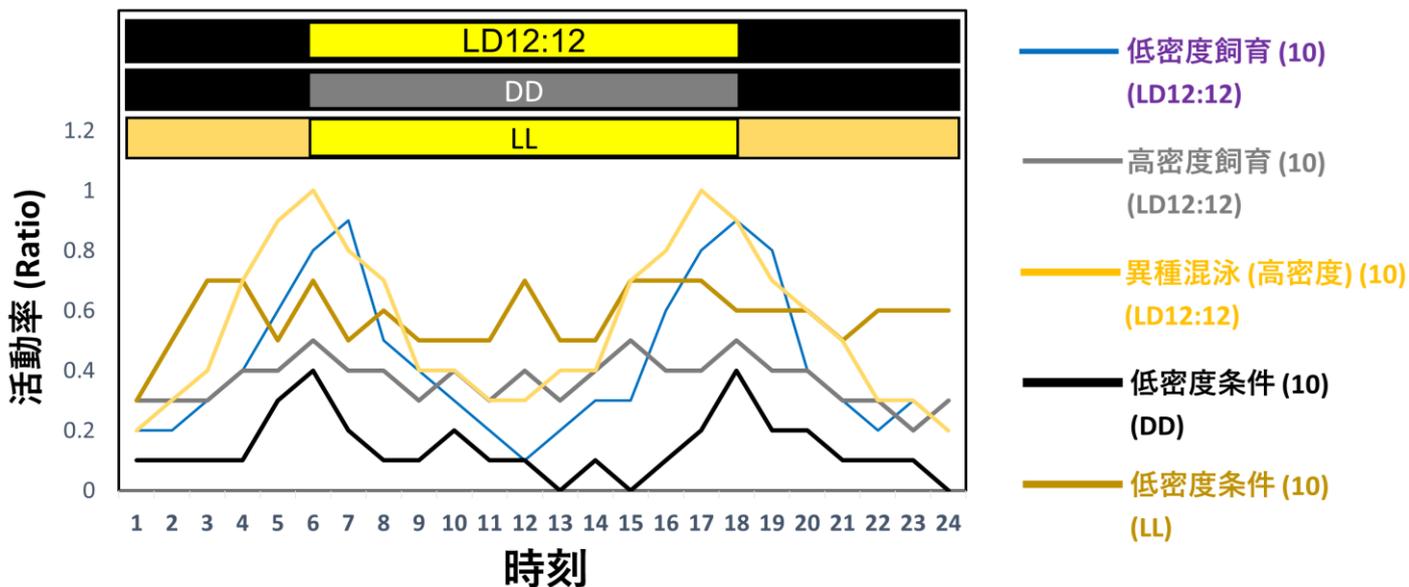
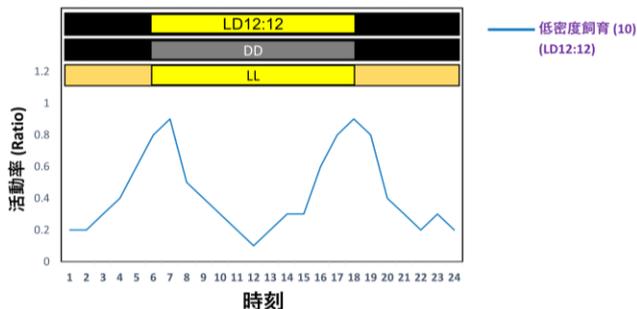


図 9: 高密度条件下ではセロトニンによる攻撃性がより強く発揮される (淡水, 18~20℃)

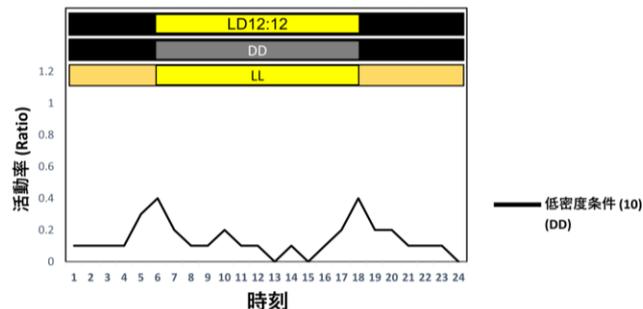
# 密度条件別のアホロートルの日周活動リズム



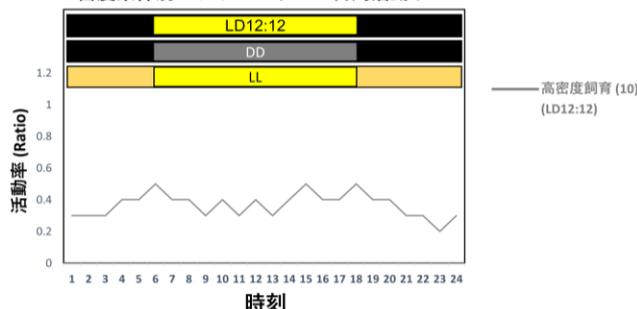
密度条件別のアホロートルの日周活動リズム



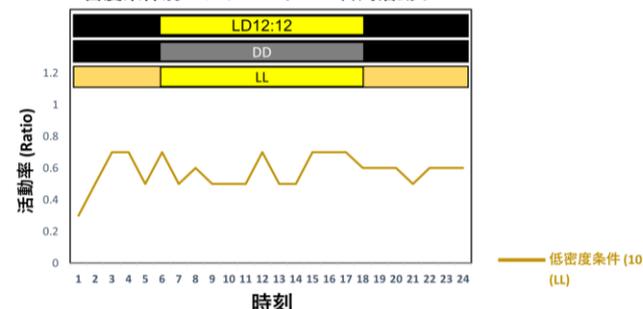
密度条件別のアホロートルの日周活動リズム



密度条件別のアホロートルの日周活動リズム



密度条件別のアホロートルの日周活動リズム



密度条件別のアホロートルの日周活動リズム

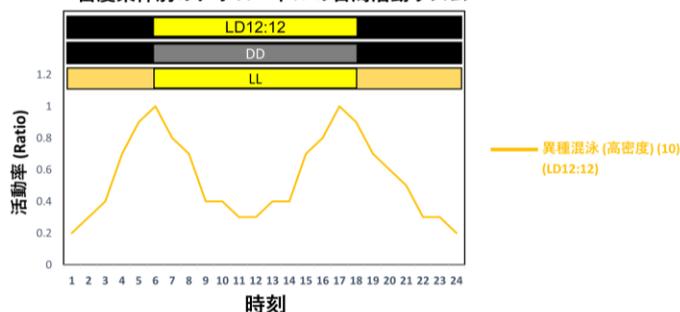
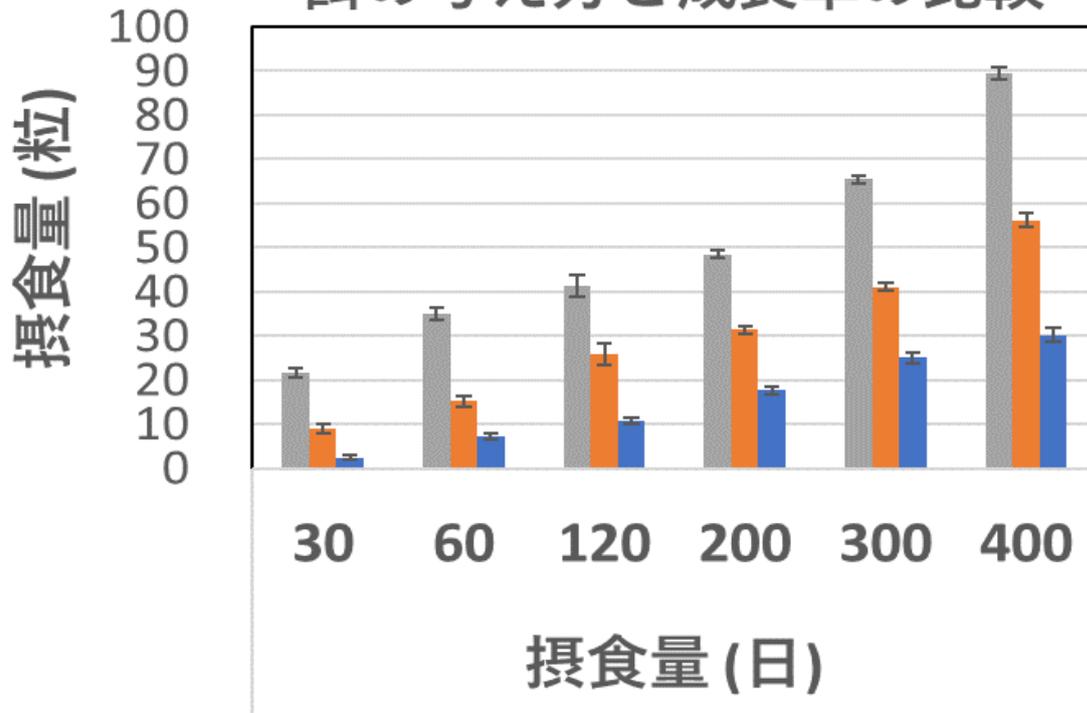


図 10: 密度別のアホロートルの日周活動リズム

## 餌の与え方と成長率の比較



■ 異種混泳\_高密度 ■ 同種\_低密度 ■ 同種\_高密度

図 11: 密度別の摂食行動の観察記録

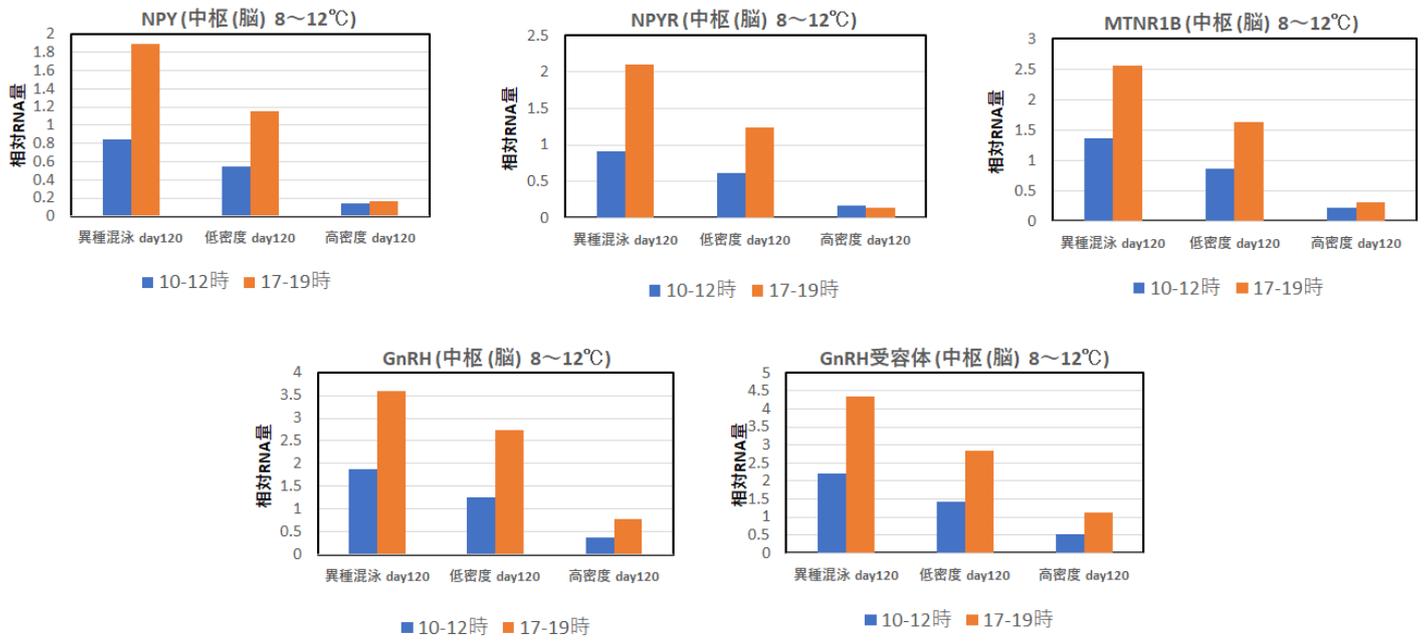


図 12-1: 異種混泳個体における睡眠・成長関連因子の発現動態の解析 1 (中枢)

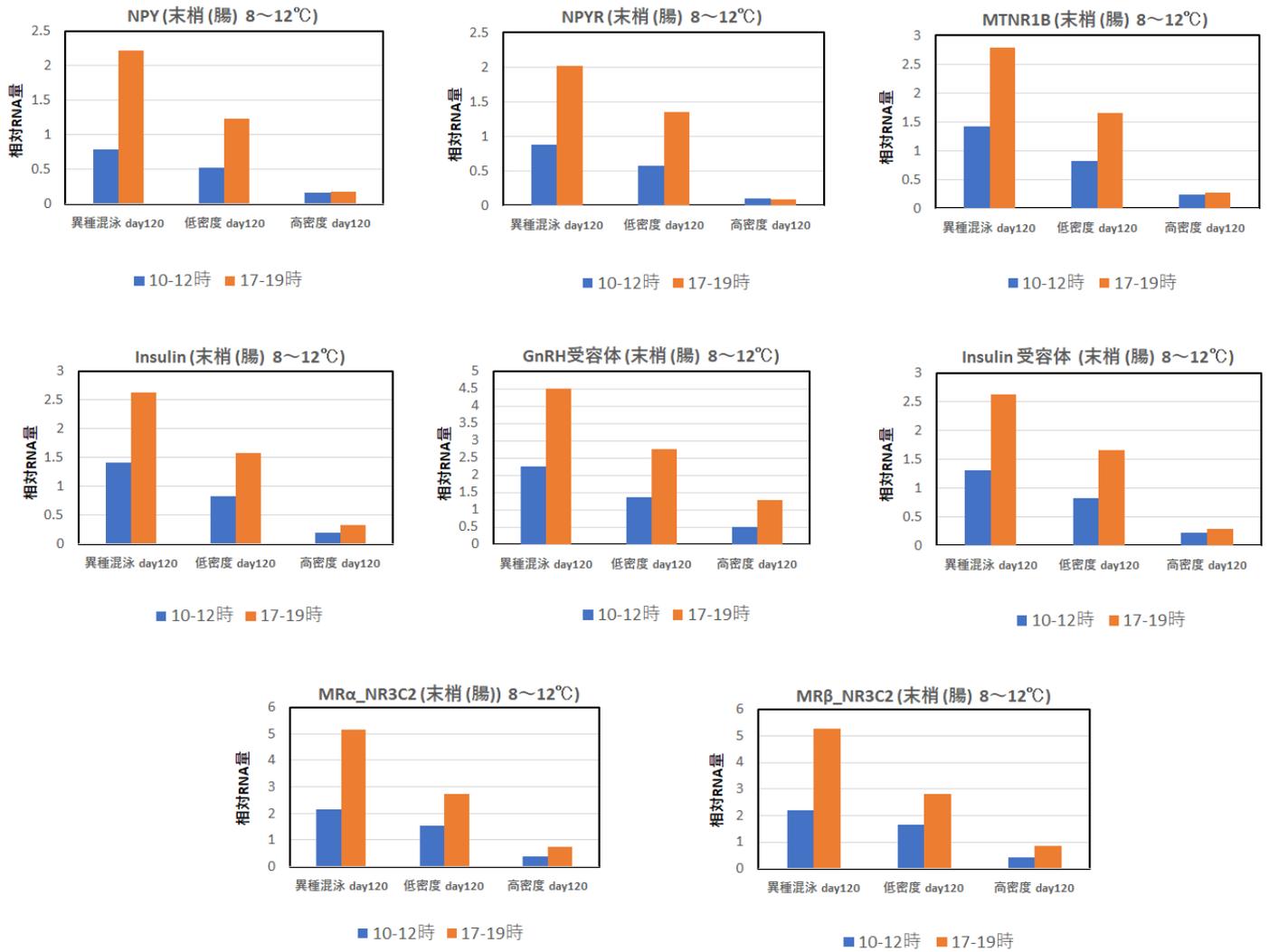


図 12-2: 異種混泳個体における睡眠・成長関連因子の発現動態の解析 2 (末梢)

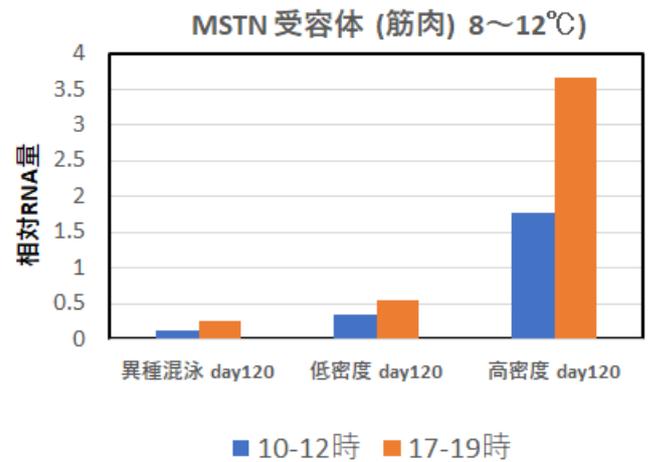
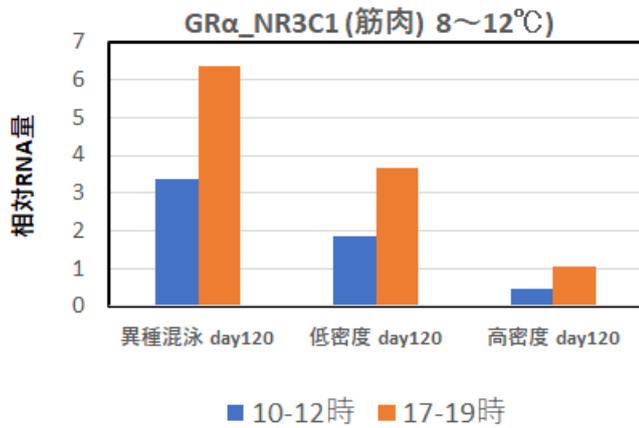
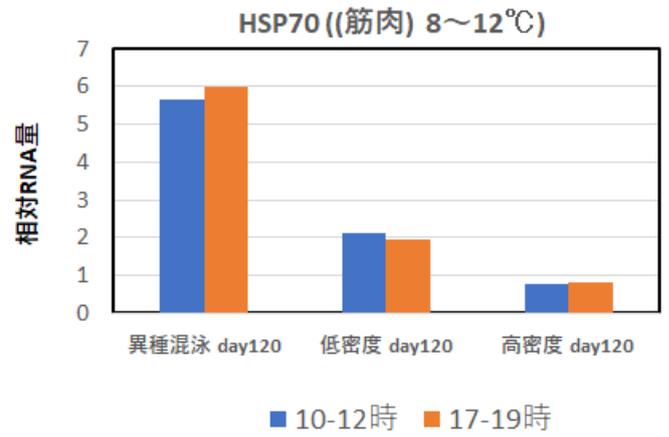
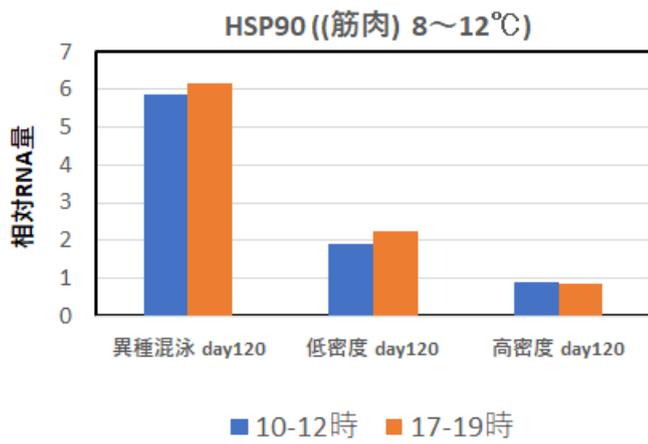
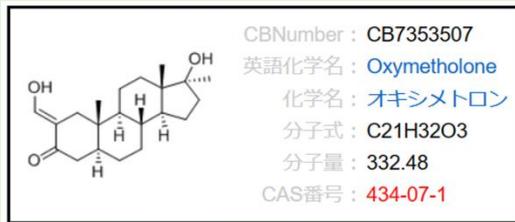
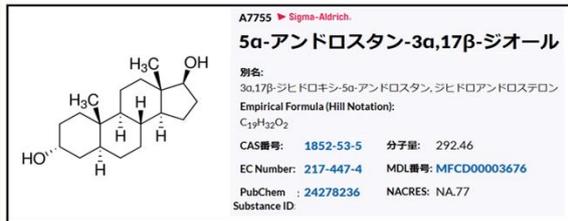


図 12-3: 異種混泳個体における筋肉の成長に関わる因子の発現動態の解析 3 (筋肉)



[オキシメトロン | 434-07-1 \(chemicalbook.com\)](http://chemicalbook.com)



[5α-アンドロスタン-3α,17β-ジオール | Sigma-Aldrich \(sigmaaldrich.com\)](http://sigmaaldrich.com)

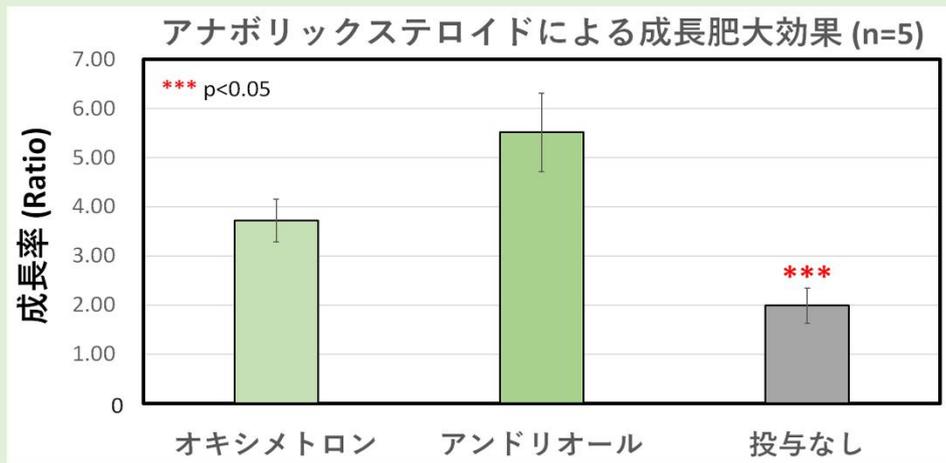
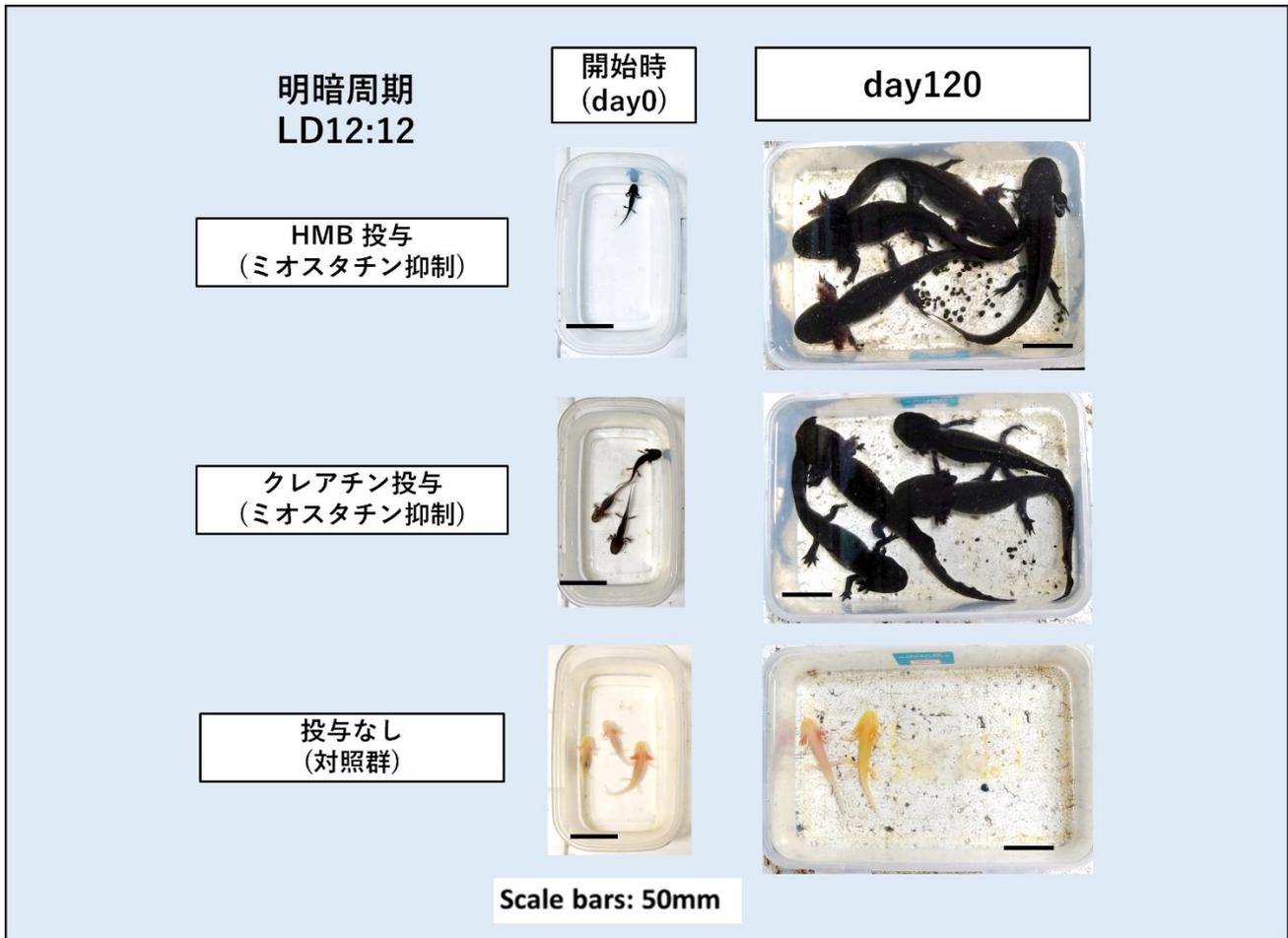
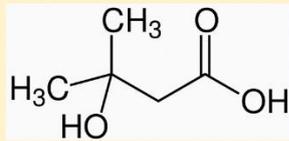


図 13: アナボリックステロイドの成長肥大効果 (LD12:12)



### 3-ヒドロキシ-3-メチル酪酸 (HMB)



Empirical Formula (Hill Notation):

C<sub>5</sub>H<sub>10</sub>O<sub>3</sub>

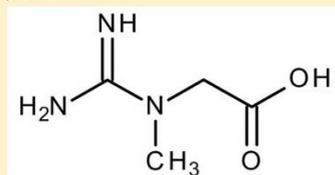
CAS番号: 625-08-1

Beilstein: 1743952

分子量: 118.13

[β-ヒドロキシイソ吉草酸 ≥95.0% \(T\) | Sigma-Aldrich \(sigmaaldrich.com\)](#)

### クレアチン



化学式	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> N <sub>3</sub> O <sub>2</sub>
モル質量	131.13 g/mol
融点	303 °C (分解)
CAS登録番号	57-00-1
EC番号	200-306-6

[クレアチン-水和物 MSDS - 841470 - Merck \(merckmillipore.com\)](#)

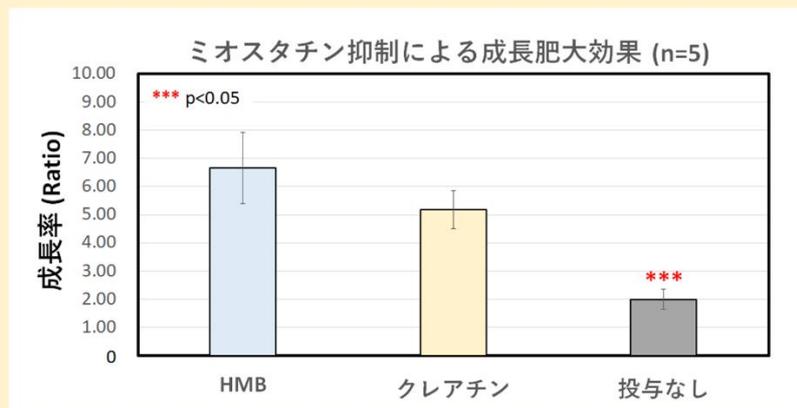


図 14: ミオスタチン阻害による成長肥大効果 (LD12:12)

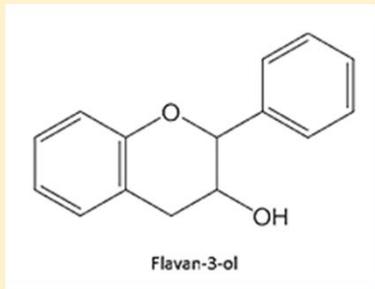


### フラバノール (フラバン-3-オール)

化学式: C<sub>15</sub>H<sub>14</sub>O<sub>2</sub>

モル質量: 226.27 g/mol

精密質量: 226.09937966



[フラバン-3-オール - Wikipedia](#)

Q3 「カカオポリフェノール」はどのようなものですか? | チョコレート・ココア健康講座 | 日本チョコレート・ココア協会 (chocolate-cocoa.com)

ポリフェノールとフラボノイドとフラバノールの関係 - カカオとアサイーのウェルビヨンド (Well Beyond)ヘルシーチョコレートで健康ダイエット&アンチエイジング (cacao-healthy-chocolate.com)

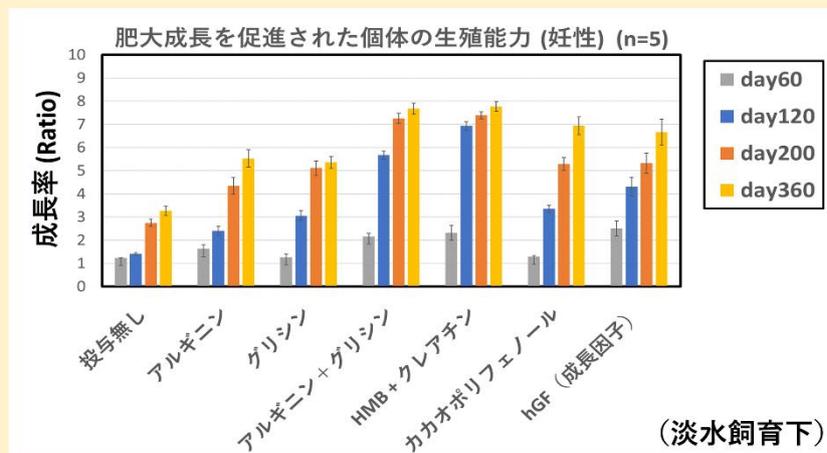
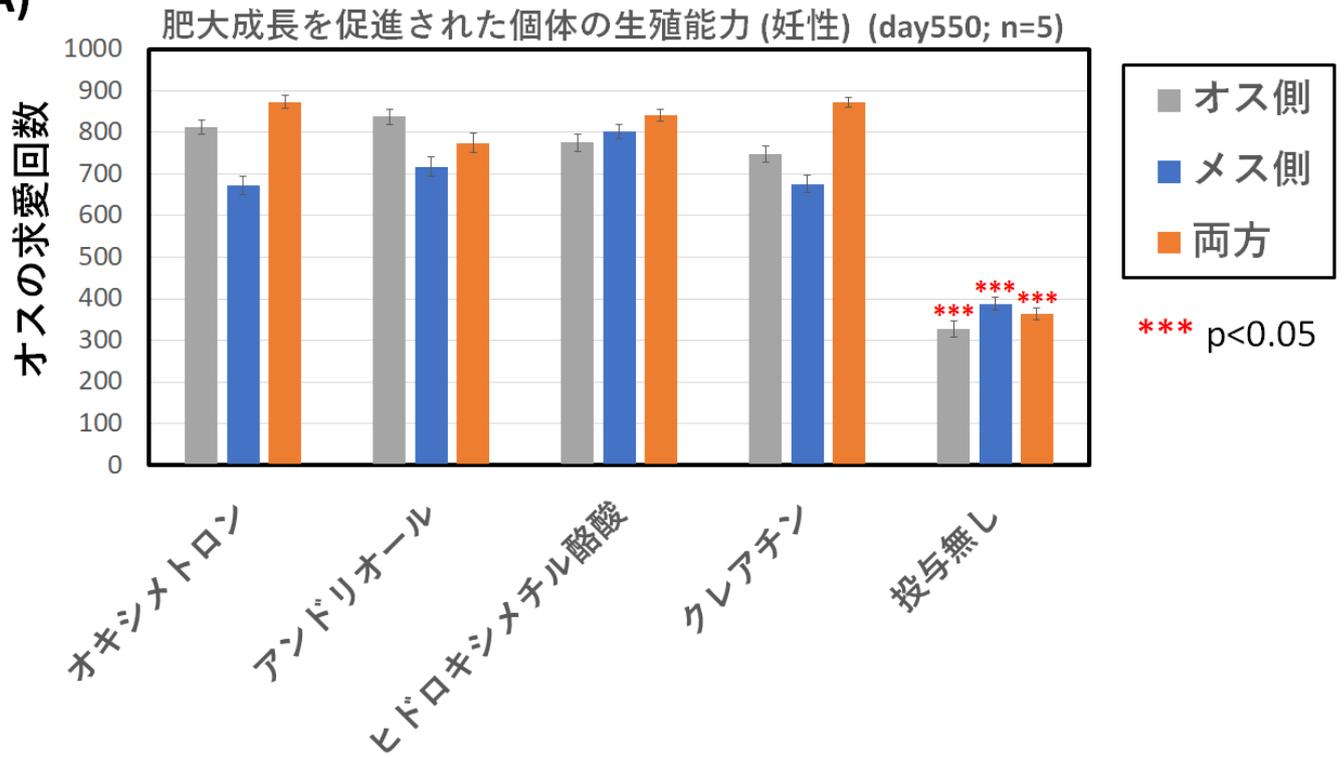


図 15: カカオポリフェノール (エピカテキン) による成長肥大効果 (LD12:12)

(A)



(B)

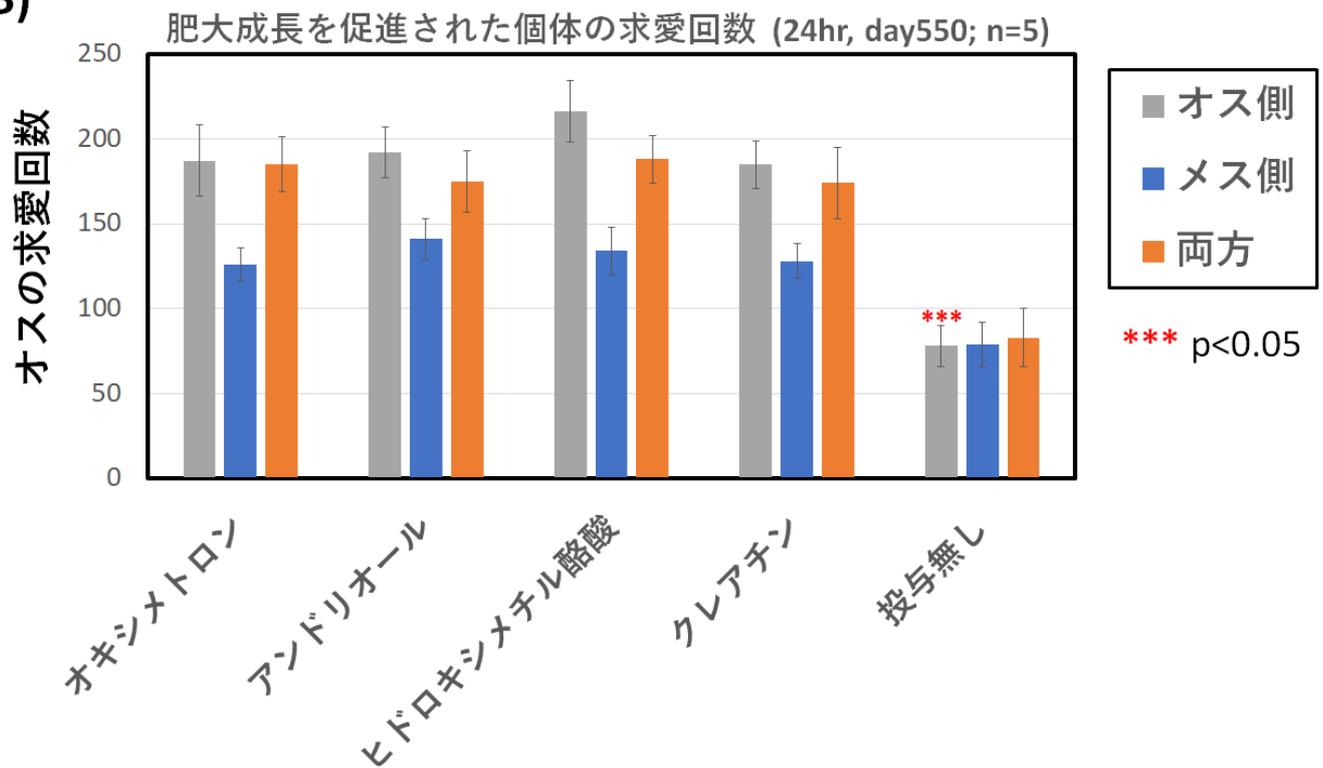


図 16: ステロイドホルモン投与による筋肥大成長個体は生殖能力が向上する

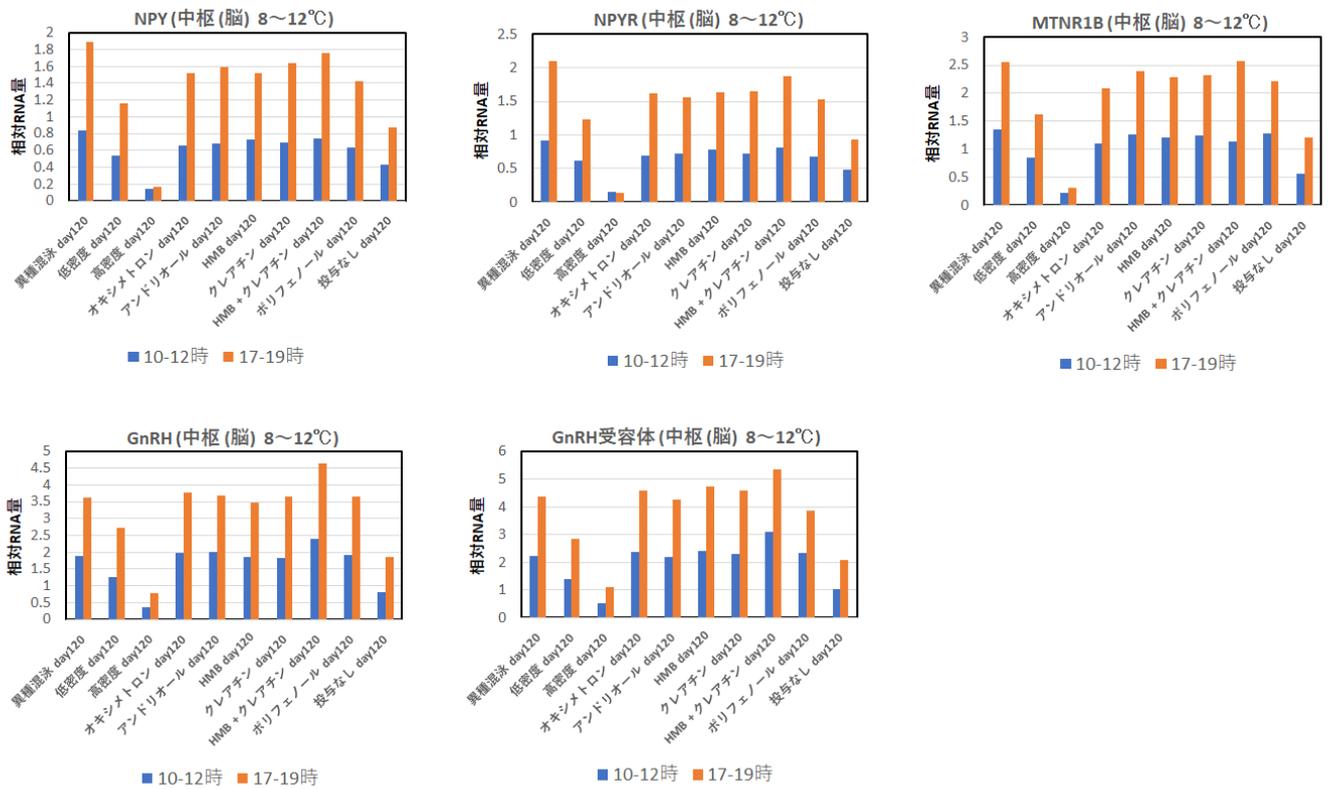


図 17-1: 肥大成長個体における睡眠・成長関連因子の発現動態の解析 1 (中枢)

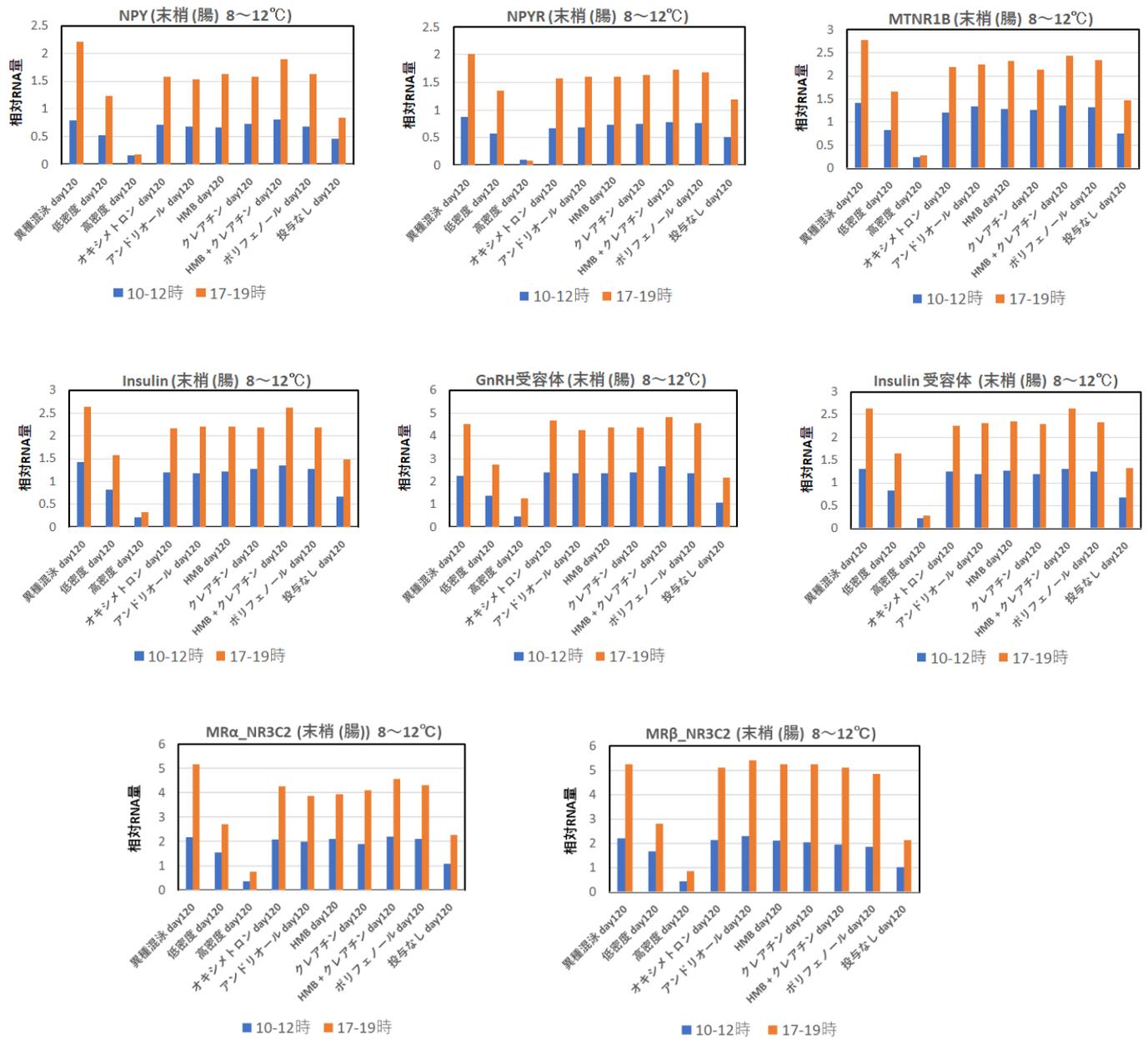


図 17-2: 肥大成長個体における睡眠・成長関連因子の発現動態の解析 2 (末梢)

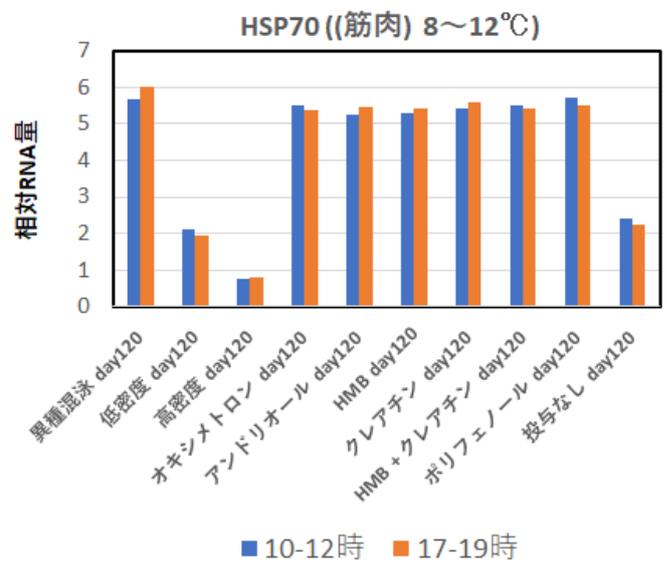
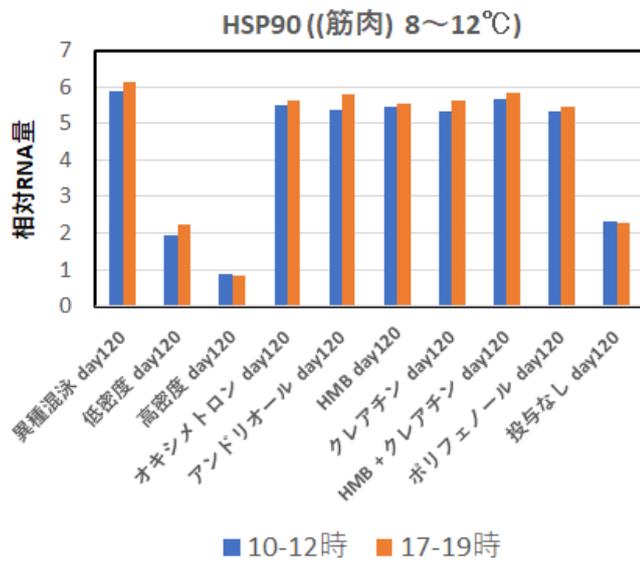
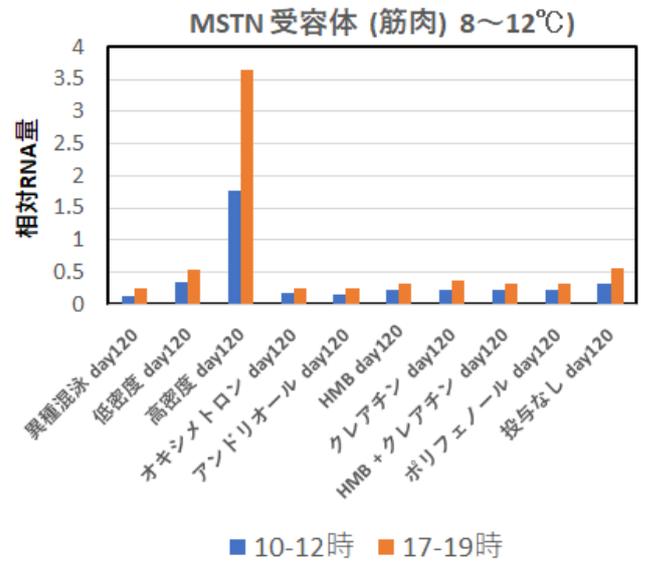
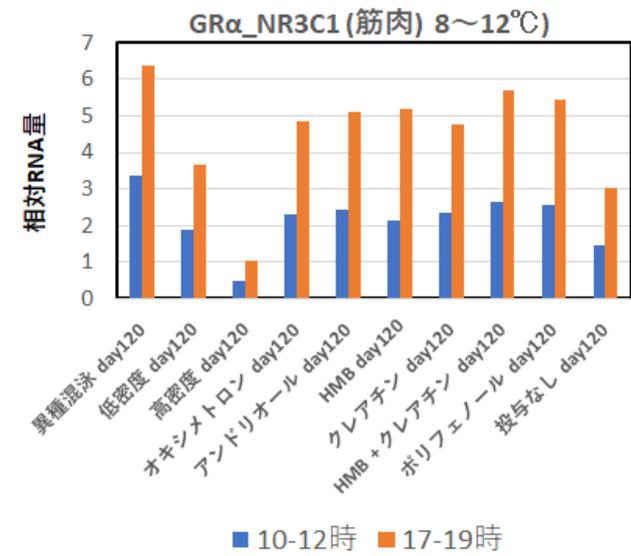


図 17-3: 肥大成長個体における筋肉の成長に関わる因子の発現動態の解析 3 (筋肉)

<単独生活個体>



各因子の  
発現強度  
単独<集団

セロトニンの効果: 幼少期は攻撃性に関与し、成長後は攻撃性の抑制にも作用し、集団生活での均衡を保つ?

成育密度効果: 密度が高い方が、攻撃性が一層強まる?  
→ その分強く抑制されるよう制御を受ける。

<集団生活するアホロートル>



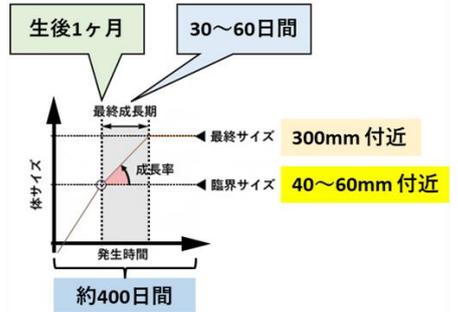
幼少期: MTG1, 2 > セロトニン受容体  
成育に伴い... MTG1, 2 < セロトニン受容体

VS

側線器官による  
他個体の感知・応答



成育密度の感知・成長速度の調整に関する可塑性: 生後から90~120日



<異種混泳個体群>



異種混泳条件下では、  
・攻撃性上昇  
・それに伴う攻撃性の抑制  
・摂食用増大・筋肥大の促進  
(HSP90, 70, 糖質コルチコイド受容体の活性化)  
→ 成長促進 (成長過剰)  
といった防御応答が起こる。

<"よそ者"が居る環境で起こること>

他の種類の  
サンショウウオさん



異種混泳開始時

- ・やや攻撃性が高まる
- ・共食いの訳ではない
- ・側線器官で異種を感知 (飼育水の成分ではなく異種の持つ電位等に反応?)

食欲増進・成長促進

- ・摂食量が増大
- ・成長率が早い
- ・HSP70, 90, 糖質コルチコイド等の筋肥大に関わる因子の活性化

<集団生活において発生する3つの行動型>



攻撃性が高い個体  
・高い行動力  
・水中生活を維持



周囲に影響されない個体  
・じっとしている  
・攻撃性は抑制されている  
・水中生活を維持



逃避行動を取る個体  
・一定以上の行動力  
・上陸化する場合あり

集団飼育下で変態誘導された個体。

→ 外鰓が短くなり、肺呼吸へ移行していく。



高密度条件 (水槽: 狭)

成長はするが  
非常に緩やか



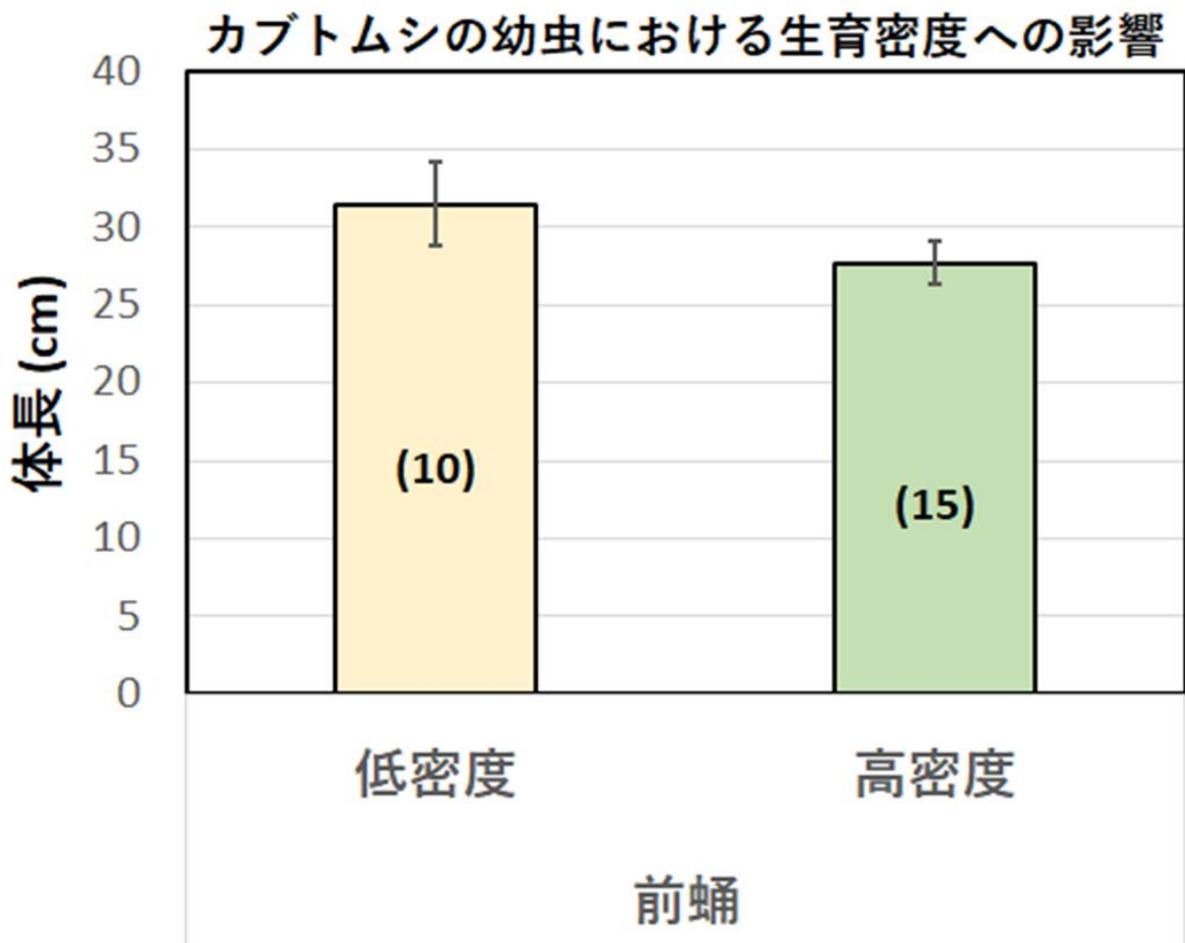
異種混泳による  
成長促進

図 18: アホロートルにおける密度効果依存的な肥大成長制御機構モデル図

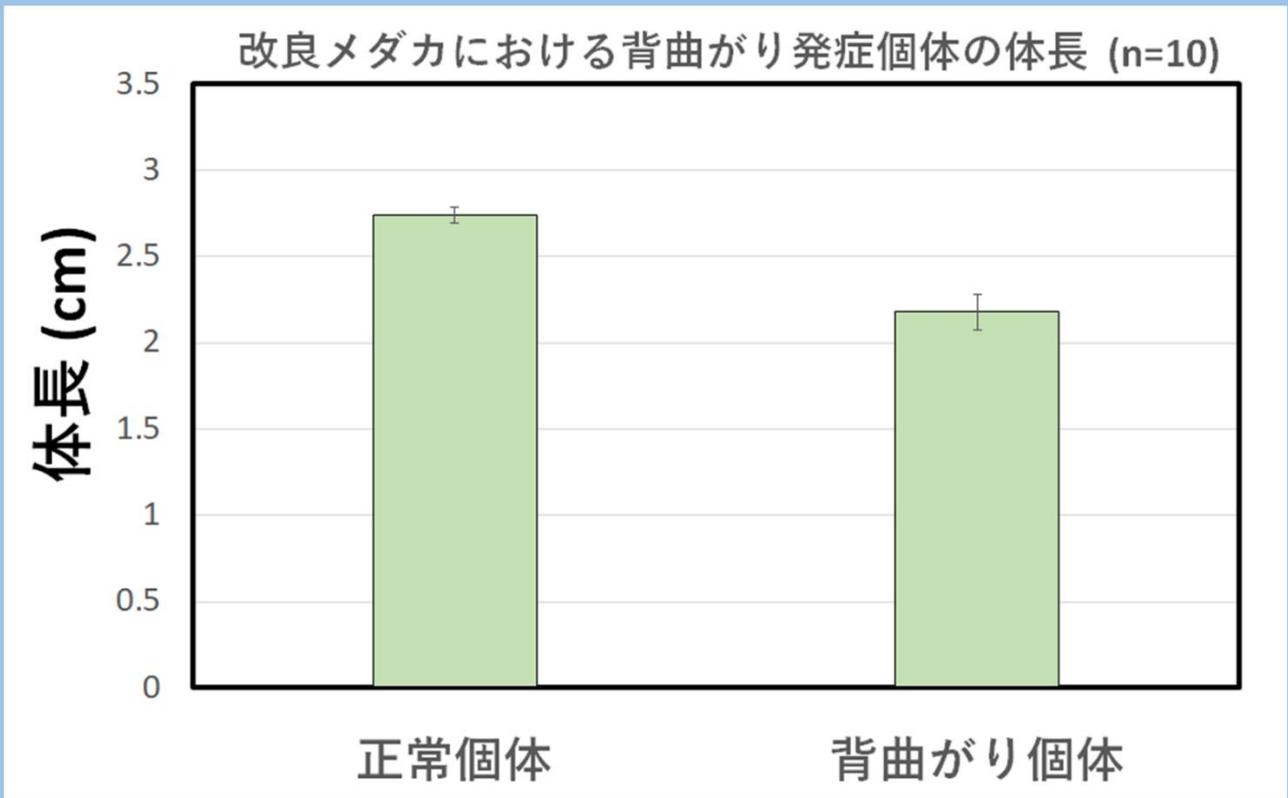
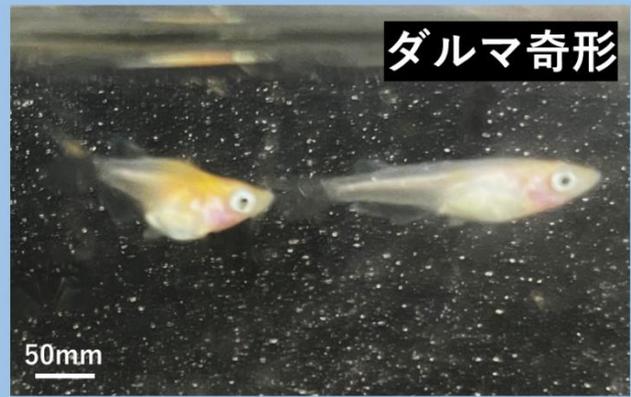
低密度



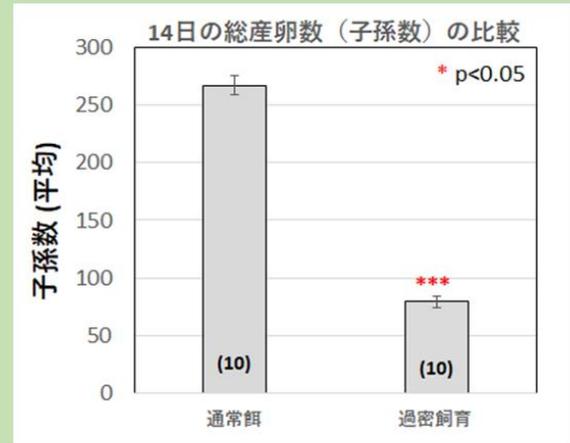
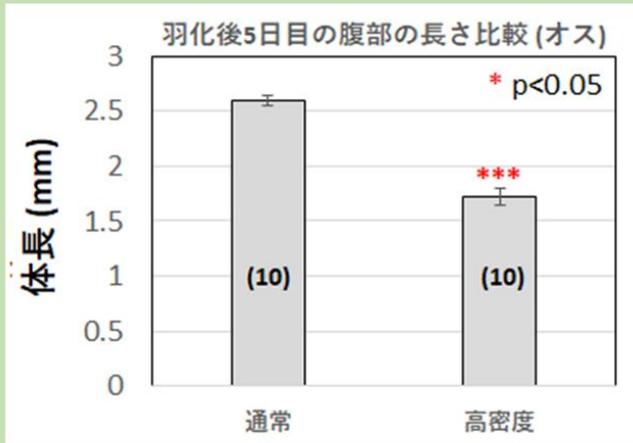
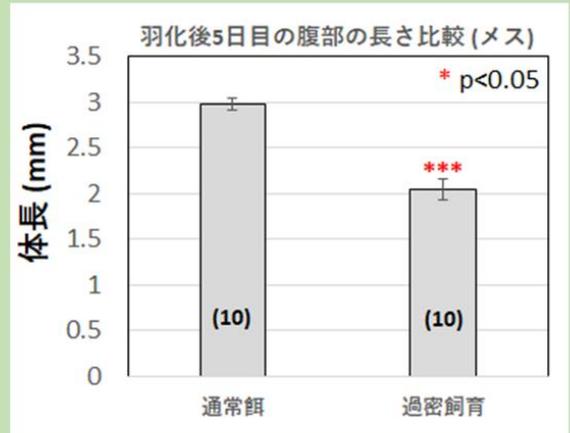
高密度



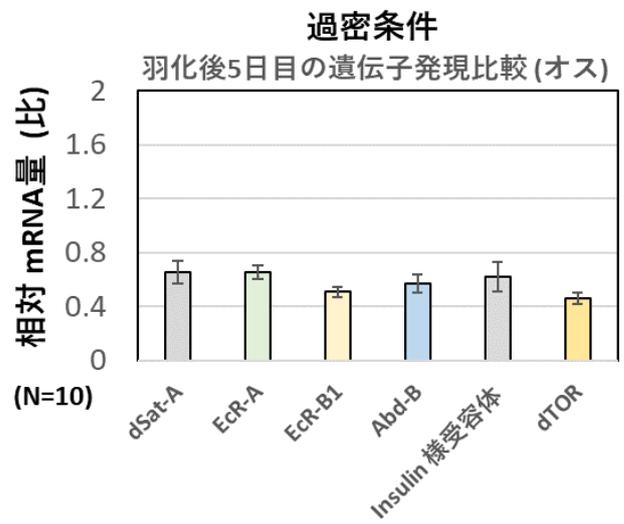
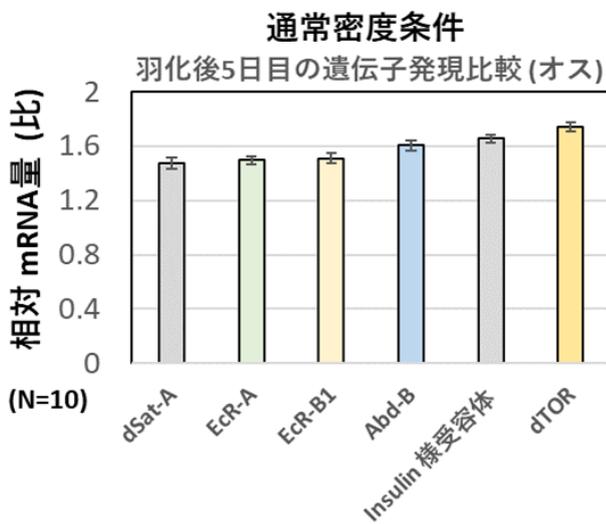
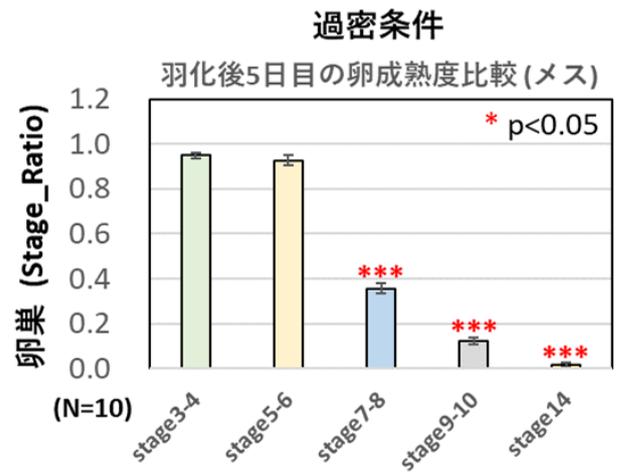
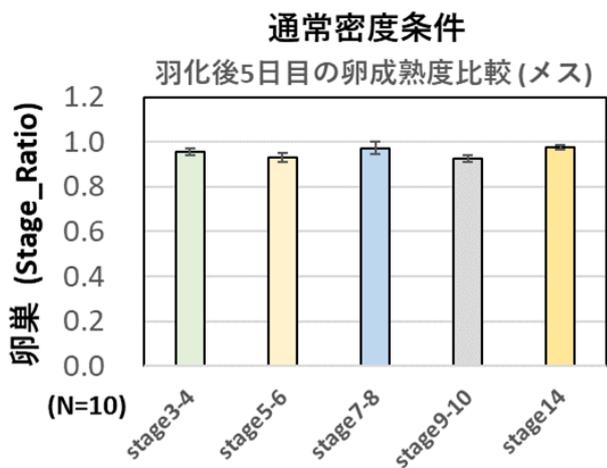
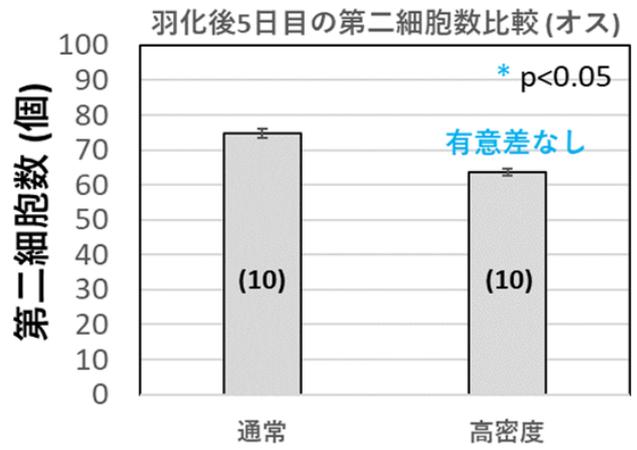
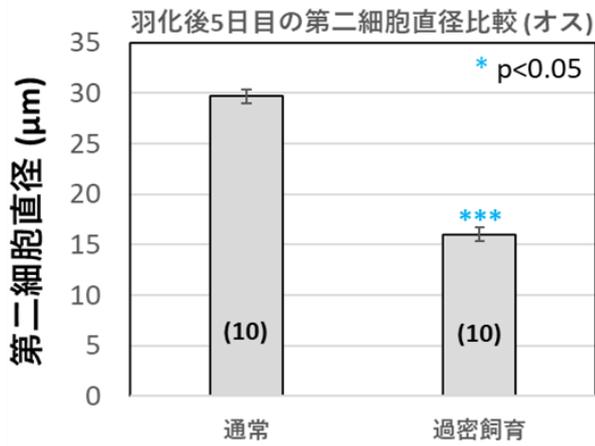
補足図 1: カブトムシにおける密効果が成長率に及ぼす影響



補足図 2: 高密度飼育によって発症するメダカの背曲がり



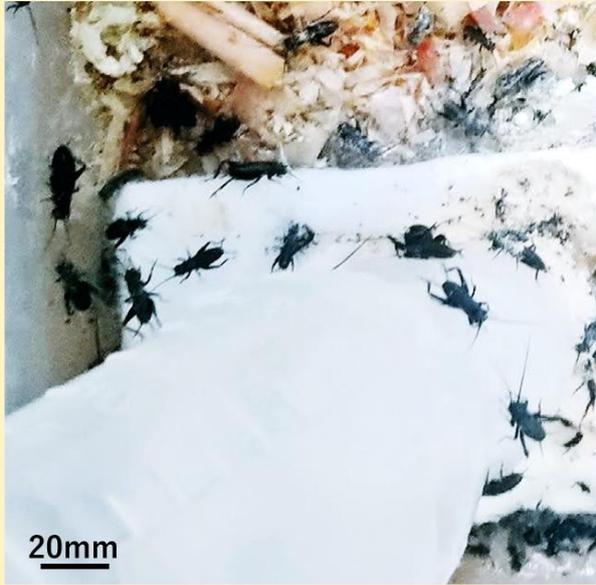
補足図 3-1: 高密度飼育に発症するキロショウジョウバエの成長不全・妊性低下 1



補足図 3-2: 高密度飼育に発症するキロシウジョウバエの成長不全・妊性低下 2

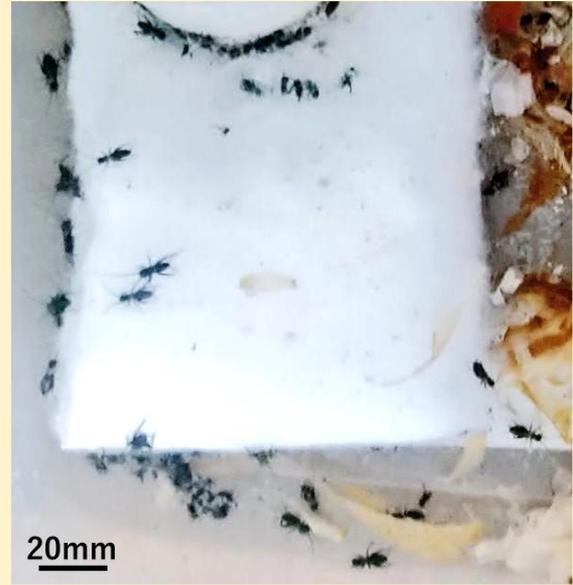
# day30 (25°C)

## 低密度飼育

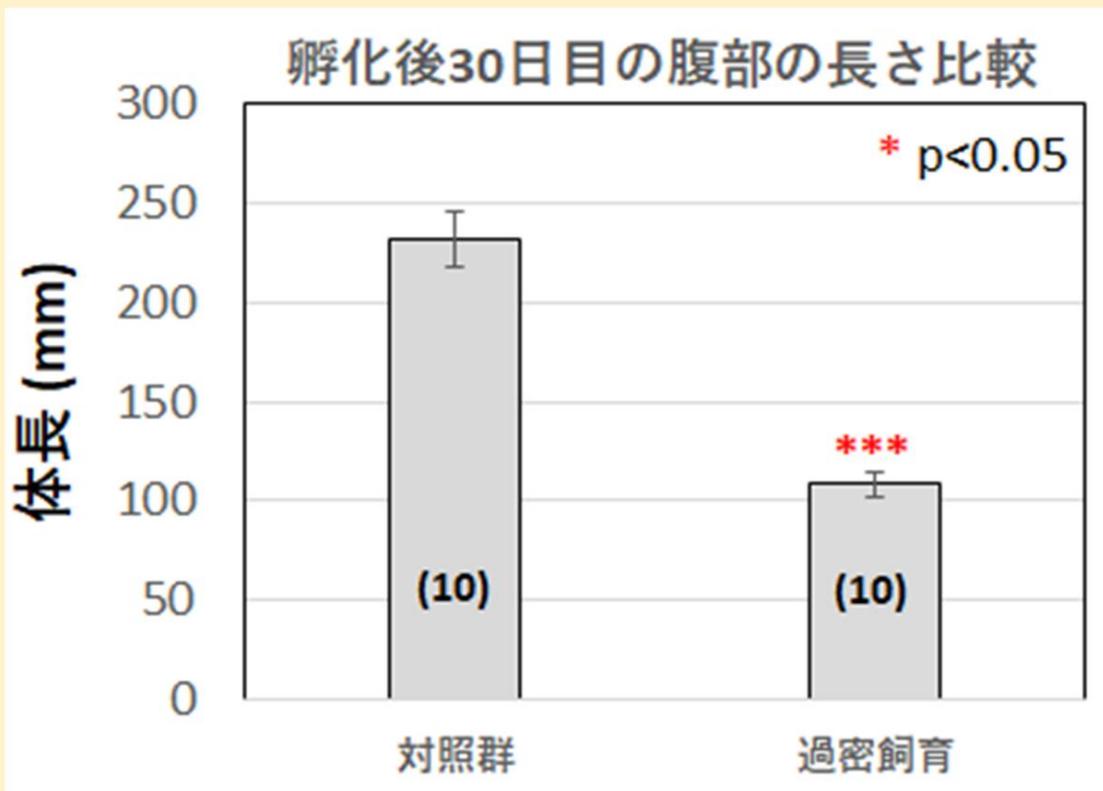


156mm×156mm×83mm  
100個体

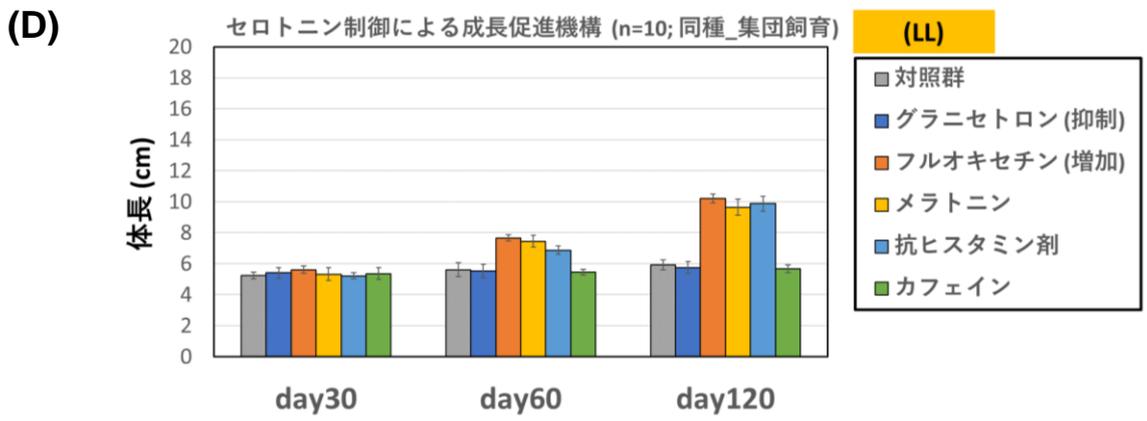
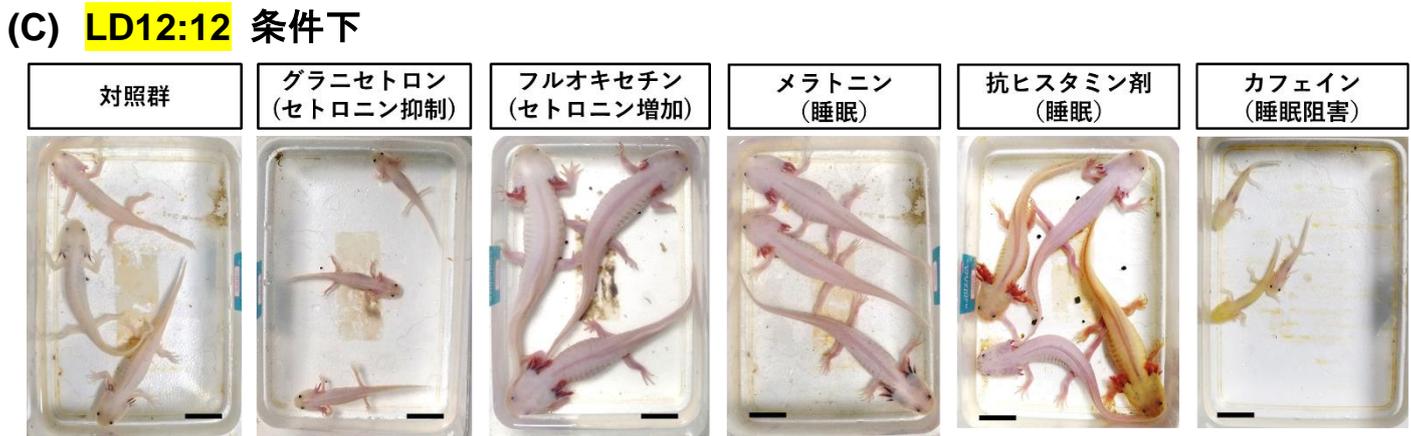
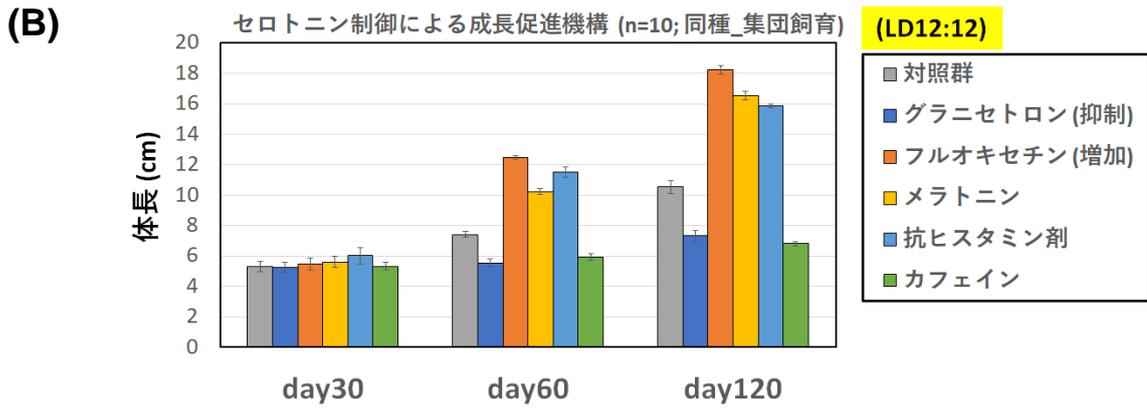
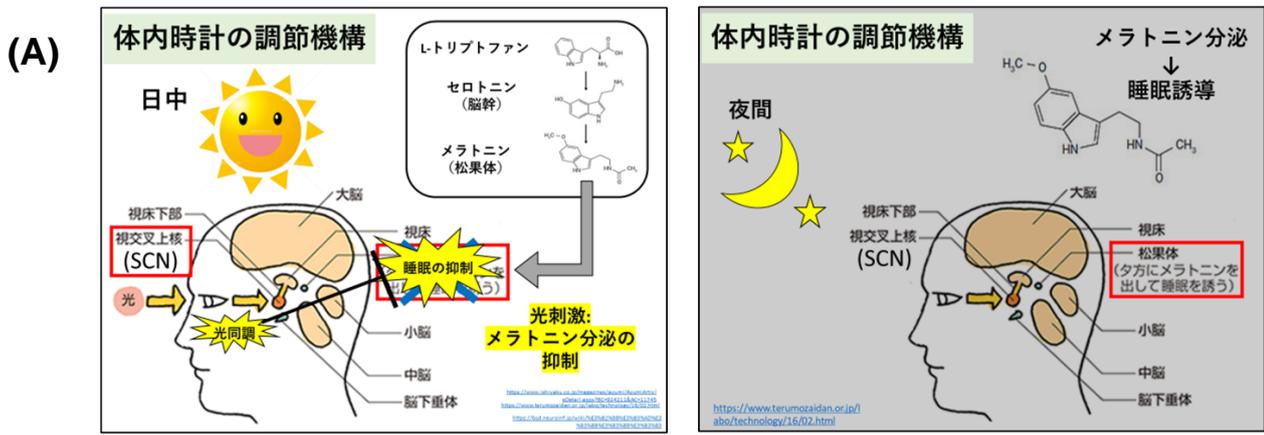
## 高密度飼育



80mm×80mm×53mm  
200個体 (密度約4倍)



補足図 4: 高密度飼育に発症するフタホシコオロギの成長不全・妊性低下



補足図 5: セロトニン制御による疑似的な異種混泳効果の再現

## 参考文献 References

### [1] 集団生活するアホートルの示す攻撃性と関連因子

【最新版】メキシコサンショウウオにおける攻撃行動制御機に関する調査報告 (ver.3) \_\_ウーパールーパー研究報告  
杉山 遥

2023年8月29日. Doi. [https://researchmap.jp/HAL\\_lab\\_Axolotl/published\\_papers/43232027](https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/43232027)

### [2] アホートルの異種混泳・集団飼育に関する報告

【改訂版】総説: ウーパールーパー / 虫・魚の飼育係 ~飼育の最新情報・学術データまとめ~  
杉山 遥 ほか

2023年4月19日. Doi. [https://researchmap.jp/HAL\\_lab\\_Axolotl/published\\_papers/41527304](https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/41527304)

### [3] 密度効果と成長・奇形等に関する文献

[サイズ進化の法則を発見 | 理化学研究所 \(riken.jp\)](#)

[Optimal Scaling of Critical Size for Metamorphosis in the Genus Drosophila: iScience \(cell.com\)](#)

[密度効果 - Wikipedia](#)

[器官サイズの左右差を抑制する仕組み | 理化学研究所 \(riken.jp\)](#)

[個体群の成長\(成長曲線\)と密度効果 | バイオハック ch \(manabu-biology.com\)](#)

【研究成果】昆虫の個体数密度に依存して姿・行動を変える能力に関係する遺伝子の同定 | 広島大学 (hiroshima-u.ac.jp)

改良メダカ「背曲がり」個体から子個体への遺伝に関する研究① ~目的と背景~ | NPO 共同研究員「あすみ悠」Asumi\_39 (note.com)

比較生理生化学\_技術ノート>生物の体サイズとアロメトリー: エネルギー代謝量と体サイズ

八木 光晴 & 及川 信. (2008). Vol. 25, No.2. Doi. [04 技術ノート\(68-72\).pwd \(jst.go.jp\)](https://doi.org/10.1139/jst-2008-004)

飼育密度の違いが豚の発育性・産肉性および脂肪組織と筋肉の脂肪酸組成に及ぼす影響

山田 未知 ほか. (2003). 6月. 日豚会誌. 40巻. 2号.

Doi. [jstage.jst.go.jp/article/youton1987/40/2/40\\_2\\_65/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/youton1987/40/2/40_2_65/_pdf/-char/ja)

モンシロチョウの幼虫密度が発育に及ぼす影響について

森本 尚武. (1960). 日本応用動物昆虫学会誌. 第4巻. 第3号.

Doi. [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjaez1957/4/3/4\\_3\\_153/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjaez1957/4/3/4_3_153/_pdf/-char/ja)

ニジマスにおける飼育密度と飼料効率の関係

石原 学 & 森 竜也. (2019). 水産研究部

Doi. [https://www.pref.tochigi.lg.jp/g65/documents/kennkyuhoukoku02\\_04.pdf](https://www.pref.tochigi.lg.jp/g65/documents/kennkyuhoukoku02_04.pdf)

甲虫の性特異的な武器形質発現における幼若ホルモンの役割

後藤 寛貴. (2015). 比較内分泌学. Vol. 41. No. 154

Doi. [jstage.jst.go.jp/article/nl2008jsce/41/154/41\\_25/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/nl2008jsce/41/154/41_25/_pdf/-char/ja)

マナマコ種苗の成長におよぼす飼育密度の影響

畑中 宏之. (1994). 水産増殖. 44巻. 2号.

Doi. [https://www.jstage.jst.go.jp/article/aquaculturesci1953/44/2/44\\_2\\_141/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/aquaculturesci1953/44/2/44_2_141/_pdf/-char/ja)

トノサマバッタの生態と防除. 大阪府立環境農林水産総合研究所研究報告\_第2号.

田中 寛. (2015). 大阪府立環農水研報 2:1~8

Doi. [https://www.jstage.jst.go.jp/article/knsk/2/0/2\\_1/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/knsk/2/0/2_1/_pdf/-char/ja)



#### [4] 側線器官による感知について

[サカナが持つ第六感『側線』のナゾ 振動の他に電気も感知できる？ | TSURINEWS](#)

[ゼブラフィッシュ側線器官のパターン形成メカニズム](#)

和田 浩則 (2020) 比較内分泌学. Vol. 46 No. 169. Doi. [JSCE-CE2020\\_46\\_16 \(jst.go.jp\)](#)

[KAKEN — 研究課題をさがす | 水流を受容する感覚器「感丘」の多様性とその進化 \(KAKENHI-PROJECT-19J13664\) \(nii.ac.jp\)](#)

#### [5] ミオスタチン

[ゲノム編集で肉厚に改良したマダイ、販売可能に...京大と近大が共同開発 : 読売新聞 \(yomiuri.co.jp\)](#)

[大注目！筋肉が作りだすミオスタチンなどのマイオカインの健康効果 | NHK 健康チャンネル](#)

[ミオスタチン | 筋肉の成長を妨げるそのメカニズムと対策 - Fitmo \(oliva.style\)](#)

[筋肉の成長を邪魔するミオスタチンの分泌をおさえよう - BodykeLIVE\(ボディークライブ\) \(bodyke-live.com\)](#)

[ミオスタチン/マイオスタチン\(Myostatin/GDF-8 :Growth Differentiation Factor-8\)測定キット: 酸化ストレス/アンチエイジング関連マーカー【日本老化制御研究所】\(jaica.com\)](#)

[馬の資料室\(日高育成牧場\): サラブレッドの骨格筋の運動特性とミオスタチン遺伝子型 \(jra.jp\)](#)

骨格筋肥大と萎縮におけるミオスタチンの役割

川田 茂雄 (2003). 東京大学博士論文. (報告番号: 甲 17773).

Doi. <http://gakui.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/cgi-bin/gazo.cgi?no=117773>

#### Axolotl myostatin

[https://genome.axolotl-omics.org/cgi-](https://genome.axolotl-omics.org/cgi-bin/hgTracks?db=ambMex60DD&lastVirtModeType=default&lastVirtModeExtraState=&virtModeType=default&virtMode=0&nonVirtPosition=&position=chr9q%3A228294791%2D228336701&hgid=69715_5uEAztFij0qCx310CTXrTpTbcU5J)

[bin/hgTracks?db=ambMex60DD&lastVirtModeType=default&lastVirtModeExtraState=&virtModeType=default&virtMode=0&nonVirtPosition=&position=chr9q%3A228294791%2D228336701&hgid=69715\\_5uEAztFij0qCx310CTXrTpTbcU5J](https://genome.axolotl-omics.org/cgi-bin/hgTracks?db=ambMex60DD&lastVirtModeType=default&lastVirtModeExtraState=&virtModeType=default&virtMode=0&nonVirtPosition=&position=chr9q%3A228294791%2D228336701&hgid=69715_5uEAztFij0qCx310CTXrTpTbcU5J)

#### [6] ステロイドホルモン関連

[ステロイド - 脳科学辞典 \(neuroinf.jp\)](#)

[ステロイドホルモン - Wikipedia](#) [ステロイドホルモン \(kusuri-jouhou.com\)](#)

[ステロイドホルモン\(すてろいどほるもん\)とは? 意味や使い方 - コトバンク \(kotobank.jp\)](#)

[ステロイドの筋肉増強効果とは? 副作用にも注意するべし! - Fitmo \(oliva.style\)](#)

[オキシメロン | 434-07-1 \(chemicalbook.com\)](#)

[5 \$\alpha\$ -アンドロスタン-3 \$\alpha\$ ,17 \$\beta\$ -ジオール | Sigma-Aldrich \(sigmaaldrich.com\)](#)

糖質コルチコイド: [グルココルチコイド - 脳科学辞典 \(neuroinf.jp\)](#)

硬質コルチコイド: [糖質コルチコイド - Wikipedia](#)

昆虫ステロイドホルモン (エクジステロイド = エクダイソン)

・ カイコガ: [https://www.jstage.jst.go.jp/article/konchubiotec/77/2/77\\_2\\_111/pdf-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/konchubiotec/77/2/77_2_111/pdf-char/ja)

・ ショウジョウバエ: [jstage.jst.go.jp/article/kagakutoseibutsu/54/7/54\\_508/pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/kagakutoseibutsu/54/7/54_508/pdf)

#### [7] 糖質コルチコイド受容体\_Glucocorticoid Receptor; GR (NR3C1)・・・GR $\alpha$

[糖質コルチコイド受容体 - Wikipedia](#) [jstage.jst.go.jp/article/jsir1981/20/6/20\\_6\\_657/pdf-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsir1981/20/6/20_6_657/pdf-char/ja)

#### Axolotl GR

[Gr \[nr\]Nr3c1 \[hs\]AMEX60DD201028813.1 at chr3q:136502768-137153131](#)

[Gr \[nr\]Nr3c1 \[hs\]AMEX60DD301028813.2 at chr3q:136549749-137153131](#)

[Gr \[nr\]Nr3c1 \[hs\]AMEX60DD201028813.3 at chr3q:136573697-137153131](#)

[Gr \[nr\]Nr3c1 \[hs\]AMEX60DD301028813.4 at chr3q:136574897-137153131](#)



## [8] 鉱質コルチコイド受容体\_Mineralocorticoid Receptor; MR (NR3C2)・・・MR $\alpha$ , MR $\beta$

[鉱質コルチコイド受容体拮抗薬 - Wikipedia](#)

[総説 吾郷ほか.indd \(jst.go.jp\)](#)

[jstage.jst.go.jp/article/jsir1981/20/6/20\\_6\\_657/pdf/-char/ja](#)

[Nr3c2|AMEX60DD201045020.2 at chr6q:710542063-711386990](#)

[Nr3c2|AMEX60DD201045020.5 at chr6q:712196781-712820340](#)

[Nr3c2|AMEX60DD201045020.1 at chr6q:710533268-711565991](#)

[Nr3c2|AMEX60DD102045020.3 at chr6q:710544665-712820340](#)

[Nr3c2|AMEX60DD201045020.4 at chr6q:712196677-712820340](#)

## [9] クレアチン

[クレアチン-水合物 MSDS - 841470 - Merck \(merckmillipore.com\)](#)

[ミオスタチンの抑制にはクレアチンとHMBが効果的！？新事実みつかる！ \(xn--fdke1a6g.com\)](#)

[ハードな運動の際エネルギー源となるクレアチン | マイプロテイン \(myprotein.jp\)](#)

## [10] 3-ヒドロキシ-3-メチル酪酸 (HMB)

[HMB | 栄養改善データベース | アボット \(nutritionmatters.jp\)](#)

[\$\beta\$ -ヒドロキシイソ吉草酸  \$\geq\$ 95.0% \(T\) | Sigma-Aldrich \(sigmaaldrich.com\)](#)

## [11] エピカテキン・フラバノール

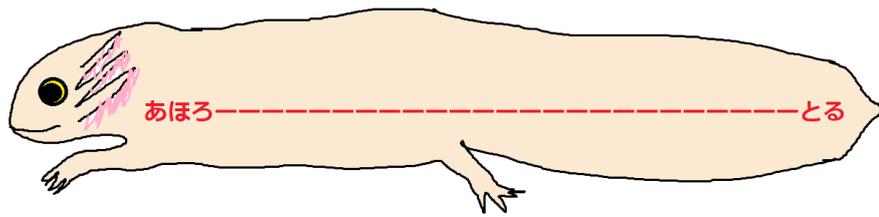
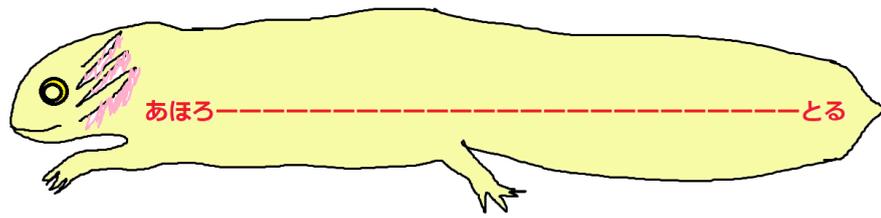
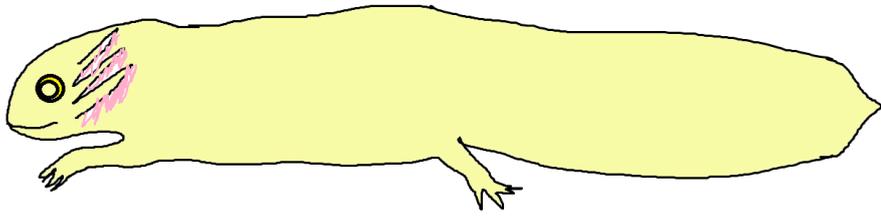
[フラバン-3-オール - Wikipedia](#)

[エピカテキンとは？チョコレート以外に含む食品★サプリの副作用は？ | ナゼナニコミチ \(nazenani-komichi.net\)](#)

[Q3 「カカオポリフェノール」はどのようなものですか？ | チョコレート・ココア健康講座 | 日本チョコレート・ココア協会 \(chocolate-cocoa.com\)](#)

[ポリフェノールとフラボノイドとフラバノールの関係 - カカオとアサイーのウェルビヨンド\(Well Beyond\)ヘルシーチョコレートで健康ダイエット&アンチエイジング \(cacao-healthy-chocolate.com\)](#)

[10.【資料9:柴田\(重\)構成員】時間栄養について \(mhlw.go.jp\)](#)



# 奥付

総説: ウーパールーパー / 虫・魚の飼育係 ②  
2023 年 当ラボメンバーの初学会参加記念 SP

発行日・・・ 2023/11/18

編集・著者 杉山 遥 (PN; Ph.D) ほか

発行元 ウーパールーパー研究室\_はるらぼ, HAL\_Lab\_Axolotl

問い合わせ先 [sugiyama.haruka.axolotl@gmail.com](mailto:sugiyama.haruka.axolotl@gmail.com) または Twitter の DM へ

Twitter URL : [https://twitter.com/lab\\_new2](https://twitter.com/lab_new2) (@lab\_new2)



# 良く学び、良く知ろう。

by 杉山 遥



@kanarin0922

## ウーパールーパー研究室・はるらぼ

[sugiyama.haruka.axolti@gmail.com](mailto:sugiyama.haruka.axolti@gmail.com)

since 2020~ (@lab\_new2)

Twitter(X): [https://twitter.com/lab\\_new2](https://twitter.com/lab_new2)



※注意

本誌の許可なき改変・商業利用は、  
我々は一切認めておりません。

