

ウーパールーパーだより Vol 3.0

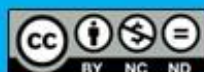
～アホロートル研究・調査活動報告～

特集1 アホロートルと近縁種について学ぶ!

特集2 生育環境の保全・再生のために必要なこと.



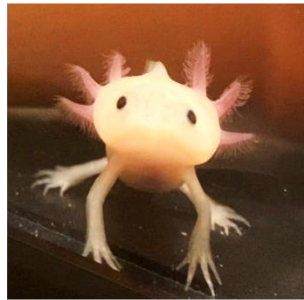
Presented by
ウーパールーパー研究室・はるらぼ



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)

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)





はるらば活動紹介ページ！

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

note: https://note.com/lab_new2

Twitter: https://twitter.com/lab_new2

HP: 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: はるらばって何？

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



沢山の個体を維持しています。

《 🚑 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

杉山 遥 (筆者) の Gmail アドレス → 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

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。ほんわかった文体・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 誼衡・・・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 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

【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¹, 杉山 遙¹ (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¹, F.N 三太子¹, 萩原 和晃¹, 枝豆 やみん¹, あすみ悠¹ (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¹, あすみ 悠¹, 枝豆 やみん¹, 萩原 和晃¹ (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¹; ○杉山 遙¹ (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¹ (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い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 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

Note: 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

【研究者ポータルサイト research map】

https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/edit

【総説】

メキシコサラマンダー およびトラフサンショウウオ科の 近縁種における生態・生息環境に関する調査報告

報告日: 2023 年 12 月 31 日

著: 杉山 遥* (Ph. D)¹; 枝豆 やみん**¹; 竜岡 龍騎 (外部研究員)**¹, 阿保郎 太郎¹ (ファーム管理),
萩原 和晃¹, FN 三太子¹, あすみ 悠¹

※ 責任著者, 監修・最終著者 ** Equal contribution (責任著者に相当する貢献度の共著者)



所属: ¹アホロートルルーパー研究室_はるらぼ
since 2020~

sugiyama.haruka.axolotl@gmail.com

X (旧 Twitter): 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



協賛企業: サイマン SciMoun (株)



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



導入 Introduction

当研究グループでは、メキシコサラマンダー *Ambystoma mexicanum* (以下、アホロートル) 野生種 の過去の生態や最適な成育環境について研究を行ってきた。また調査の中で、過去にアホロートルにおける汽水環境の重要性に関する研究報告を行い、数を大きく減少させる前のアホロートル野生種は周期的な汽水環境の中で生きてきた可能性について提唱してきた。

また [日本動物学会 第94回大会 2023](#) において アホロートル生育における汽水環境の重要性について、[第46回日本分子生物学会年会](#) において 水質と免疫について、それぞれ研究発表・報告を実施した。

こうした我々の活動の中で、以下のような疑問が浮かんた。

疑問 1). 当ラボがアホロートル飼育において提唱している、“汽水飼育＋休塩日モデル” 着想のきっかけともなった、メキシコ植民地化以前の時代における塩湖からの氾濫と塩水の流入のような環境変化の実際の周期や頻度を明らかにすることで、より飼育環境技術を向上させることが可能なのではないか？

疑問 2). 実際に疑問 1 のような周期的な環境の変化がある場合、繁殖誘導や孵化等に影響を与えるような塩分濃度や pH、水温などの環境因子についてより明確にできるのではないか？

そこで我々は、上記の疑問について明らかにするため、これまでの振り返りを含め可能な範囲で更なる調査・研究を実施した。以下、精査した情報 および 新たに得られた知見について報告したく思う。

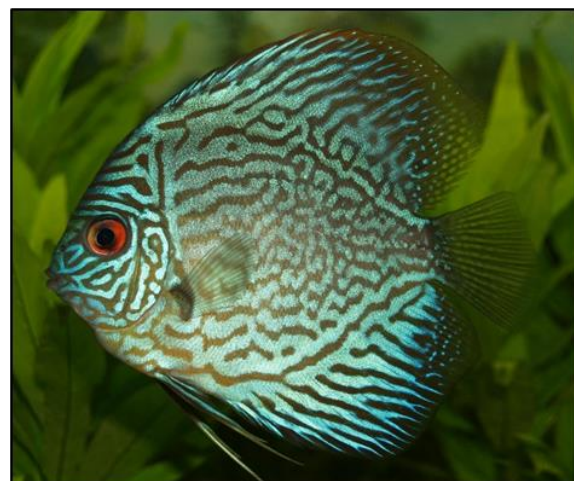
熱帯地域に棲む生物を取り巻く環境

多くの動植物を取り巻く環境として、乾季、雨季の変化は特徴的である。特に熱帯及び亜熱帯の環境においては乾季による水温の上昇をはじめ、熱帯雨林の木々の落葉(腐葉土)による各腐植酸から pH は 3~4 まで下がる流域も多い。そこから雨季の急激なスコールに晒された河川は水位の上昇に伴い水温の低下、pH の上昇など極端な変化が発生すると知られている。この時、特に南米原産の魚類で繁殖行動が促されるのではないかとアクアリウム界隈では噂され、実際に試しているブリーダーも居るとされている。例えば、ペラ垂目の魚類である *Pterophyllum* 属や *Symphysodon* 属(シクリッド科 *Cichlidae*: 別名 カウスズメ科)などは通常、pH6.0~7.0 の弱酸性から中性寄りの水質を好むとされるが、繁殖開始時には pH6.0、体着時(交尾)には pH5.0、孵化時 pH5.5 と、繁殖や卵の孵化時には若干酸性寄りの低めの pH を推奨される例が見られる。これはシムフィソドン等に代表されるシクリッド科が前述の熱帯の環境に自生していることに基づいているといえる。[1]

このような例を踏まえ、我々が報告したアホロートルがかつて周期的な汽水環境下で生活していた可能性に基づいた汽水飼育モデルは、彼らの生育だけでなく繁殖サイクルと飼育環境(水温・水質・pH)の変動との相関を明らかにすることで更に洗練させることが可能であると考えられた。これは、野生下のアホロートルにとってより望ましい(特に過去に反映していた時代の)自然環境の状態がどのようなものであったか?という疑問を解明することである程度達成できると想定された。

尚、メキシコにおける熱帯気候については右図のようになる。ユカタン半島南部にのみ、弱い乾期の存在する熱帯雨林気候(Am)が見られる。熱帯雨林気候(Af)はテワンテペク地峡北部にのみ存在し、詳細は後述するがメキシコ市・ソチミルコ周辺の気候は 6~9 月(初夏~夏)の最大気温を除いてあまり違いは見られず、日本の方が約 0.8% と若干湿度は高い傾向にあるため、この情報と火山の配置、メキシコに自生する植物の情報やチナンパ農法等で作られるマメ類やトマト・カボチャ・リュウゼツラン・サボテンなどの植物を元に考えると、かつてのソチミルコ湖の環境は高 pH というわけではなく、比較的安定的に弱酸~中性寄りの環境であった可能性が推測される。これは、当ラボ推奨の飼育条件である弱酸~中性(pH6.8~7.5)と相関があるといえる。

このような情報を収集・精査することで、野生下のアホロートルがいかなる環境で孵化→成長→繁殖のサイクルを行ってきたか明らかにしたく思う。



シクリッド科・シムフィソドン属 *Symphysodon*
参照 <https://ja.wikipedia.org/wiki/ペラ垂目>



【水の硬度と水質】

アホロートルと汽水環境については、前述のとおり過去に報告を行った。歴史的なメキシコ市周辺の水環境等の知見に基づき、当時のアホロートルが生息していたであろう水質について、硬度が高く Mg, Ca, K 等の無機イオンを含む水かつ、周期的に塩湖から水が流入することで汽水環境となっていた可能性に注目し、実際にそれを肯定する知見の多くを報告するに至っている。その上で皆様は、実際のメキシコにおける水環境は歴史的にも現状もどのような状態・状況なのかというのは非常に興味深い部分であると思われるため、ここで改めて整理してみたく思う。(図 1-1, 1-2, 文献[3]. 参照)

複数の定義が見られるが、大まかには以下の目安が世界的にも存在している。

水の硬度 ≡ マグネシウム (Mg) + カルシウム (Ca) の含有量 (+ カリウム(K)) の含有率を指す場合が多い。

※ ナトリウム (Na) は含まない。

以下、Na の含有率と水質に関する定義を示す。

<Water salinity (生活用水に溶けている塩分量, 硬度 等を意味する言葉, 本項では塩分濃度の意味.)>

- ・淡水 (fresh water) 塩分濃度 0.05% 未満
- ・飲用可能な水 (淡水, marginal water) 塩分濃度 0.05～0.1% 程度
- ・汽水 (Brackish water) 塩分濃度 0.1～0.2% (～0.5% とする場合もあり.)
- ・食塩水 (Saline) 塩分濃度 0.2～1.0%
- ・高濃度食塩水 塩分濃度 1.0～3.5%
- ・飽和食塩水 (Brine) 塩分濃度 3.5% 超 (醤油, 海水レベル)

<WHO による飲料水の水質ガイドライン>

- ・軟水・・・硬度 ～120mg/l
- ・硬水・・・硬度 120～180mg/l
- ・超硬水・・・硬度 180mg/l

<水源・水質・水脈>

大陸が形成されていく上で、海中に含まれる火山灰やれき・砂や泥が蓄積することで地層が形作られることは大前提にあり、この過程で海水や雨水が閉じ込められることで汽水性の湖や塩湖 (湖: lake, lagoon) が形成される他、特に湾岸沿いにおいて、海水が地層方大陸へ侵入することで塩分を多く含む地下水の層が作られる。

また、淡水域でも同様の現象が起こり、これらの塩水の水脈と淡水性の水脈は、大陸の中で入り混じっている。

<水源・水質・水脈>

大陸が形成されていく上で、海中に含まれる火山灰やれき・砂や泥が蓄積することで地層が形作られることは大前提にあり、この過程で海水や雨水が閉じ込められることで汽水性の湖や塩湖 (湖: lake, lagoon) が形成される他、特に湾岸沿いにおいて、海水が地層方大陸へ侵入することで塩分を多く含む地下水の層が作られる。

また、淡水域でも同様の現象が起こり、これらの塩水の水脈と淡水性の水脈は、大陸の中で入り混じっている。

<アメリカ・メキシコの水脈における水の硬度の例>

メキシコ盆地の表層水脈における Mg, Ca 含有率に着目した硬度については、中程度の軟水～硬水の範囲に含まれるが、Na を含めると陽イオン (カチオン) の層含有率は高い傾向を示している。(湖の水自体の硬度はこれよりも高くなり、場所によっては塩分濃度も高くなる。) また他の例として、アメリカ・メキシコの河川 (コロラド川) 等では、500mg/l を超える Ca を含むとされ、軟水である日本の 10 倍以上の硬度を示す。このように、米国・メキシコは非常に高硬度の水域と一部塩分濃度の高い水源が存在し、スペインによる植民地化前のメキシコでは淡水・汽水・塩水の湖が複数存在していたとされている。

Table 1. Water Salinity 淡水・汽水・塩水の定義

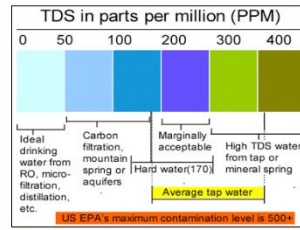
Salinity Status	Salinity (‰)	Salinity (ppt)	Use
Fresh	< 0.05	< 0.5	Drinking and all irrigation
Marginal	0.05 – 0.1	0.5 – 1	Most irrigation, adverse effects on ecosystems become apparent
Brackish	0.1 – 0.2	1 – 2	Irrigation certain crops only; useful for most stock
Saline	0.2 – 1.0	2 – 10	Useful for most livestock
Highly Saline	1.0 – 3.5	10 – 35	Very saline groundwater, limited use for certain livestock
Brine	> 3.5	> 35	Seawater; some mining and industrial uses exist

Source: Department of Water, Government of Western Australia

Acceptable Salinity in Drinking Water Ppm - DemionHuber

飲用可能な水 (淡水)
汽水
食塩水
高濃度食塩水
飽和塩水

TDS: Total Dissolved Solid (総溶解固形分) の略称



Classification	TDS concentration (kg/m³)
Freshwater	<1
Brackish water	1–10
Saltwater	10–30
Brine	>30

Source: (Masters and Ela 2008)

Water classification by total dissolved solid (TDS) concentration
Water class/typical by total dissolved solid (TDS) concentration | Download Table (researchgate.net)

mg/Lとppmの変換式

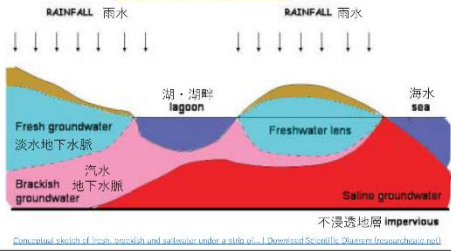
$$1 \text{ mg/L} = 1 \text{ ppm}$$

$$1 \text{ mg/L} = 1.0 \times 10^6 \text{ ppt}$$

pptからppmへの変換表

ppt	ppm
1	0.000001
10	0.00001
100	0.0001
1000	0.001
10000	0.01
100000	0.1
10 ⁶	1
10 ⁷	10
10 ⁸	100
10 ⁹	1000
10 ¹⁰	10000

水源・水脈と水質について



汽水水源に含まれる塩類の含有量の例1

Table 1. Example of brackish water composition from different locations.

Parameter	unit	Palmas, Canary Islands, Spain [16]	Rewari, India	Benandarab New South Wales, Australia [17,18]	Duckum, Texas, USA [5]
Arsenic (As)	mg/L	—	—	<0.005	—
Boron (B)	mg/L	—	—	0.21	—
Calcium (Ca)	mg/L	124	84	142.1	263
Chloride (Cl)	mg/L	1,009.6	1,220	1,483	670
Fluoride (F)	mg/L	0.0	11.1	<0.1	—
Iron (Fe)	mg/L	0.0	0.03	28.87	—
Magnesium (Mg)	mg/L	138.87	79	192	141
Manganese (Mn)	mg/L	—	—	0.5	—
Nitrate (NO ₃ ⁻)	mg/L	416.3	0.69	<1.0	—
Nitrite (NO ₂ ⁻)	mg/L	—	—	<0.1	—
Potassium (K)	mg/L	33.2	—	19.2	—
Sodium (Na)	mg/L	910.0	1,310	1,125	589
Sulphate (SO ₄ ²⁻)	mg/L	569.1	1,172	340	1,329
SiO ₂	mg/L	33	—	—	70
HCO ₃ ⁻	mg/L	677.9	976	—	227
Total hardness (CaCO ₃)	mg/L	—	534	1,146	—
pH	—	7.7	7.3	6.7	7.4
TDS	mg/L	3,912	3,668	3,400	3,314

Comparison of Constituents for Brackish Water Desalination Systems (researchgate.net)

Classification	EC in dS/m	EC in µS/CM	mM NaCl	ppt	ppm	mg CL-/L	Application
Fresh Water	0.8	800	8	0.5	500	280	Drinking water
Slightly brackish	1.7	1700	17	1	1000	600	Irrigation water
Medium brackish	1.7 - 8	1700 - 8000	17-80	1-5	1000 - 5000	600 - 2800	
Brackish	8 - 25	8000 - 25000	80-250	5 - 15	5000 - 15000	2800 - 9000	
Strong brackish	25 - 58	25000 - 58000	250 - 580	15 - 35	15000 - 35000	9000 - 18000	
Sea water	58	58000	580	35	35000	18000	
"Brine"	> 58	>58000	>580	>35	>35,000	>18000	

Wadden sea water - ~40 dS/m

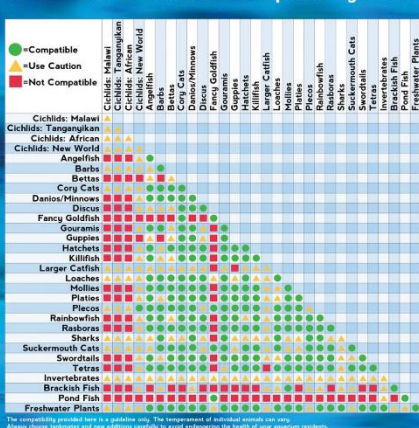
Units legend

Unit	Definition	Water class	Electrical conductivity dS/m	Salt concentration mg/L	Type of water
dS/m	deciSiemens per metre	Non-saline	<0.7	<500	Drinking and irrigation water
µS/CM	microSiemens/cm	Slightly saline	0.7 - 2	500-1500	Irrigation water
mM NaCl	mili Molar sodium chloride	Moderately saline	2 - 10	1500-7000	Primary drainage water and groundwater
ppt	parts per thousand	Highly saline	10-25	7000-15 000	Secondary drainage water and groundwater
ppm	parts per million	Very highly saline	>25	15 000-35 000	Very saline groundwater
mg CL-/L	Magnesium chloride per litre	Brine	>45	>45 000	Seawater

Salinization - wocatpedia.net

水生生物に適した水質について

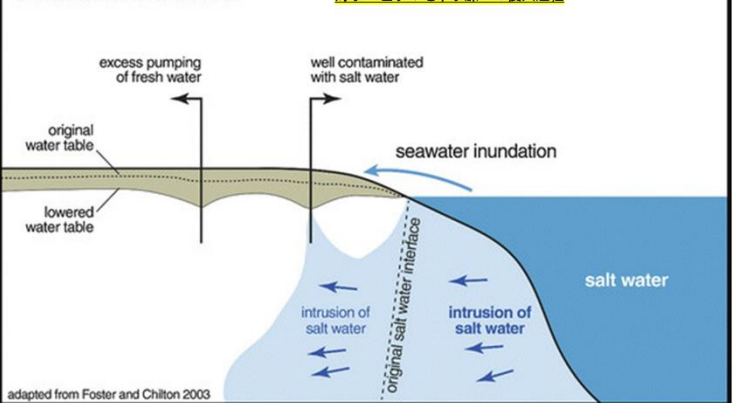
Freshwater & Brackish Compatibility Chart



Freshwater & Brackish Fish Compatibility Chart | Chart infographic: Fresh water, Compatibility chart (infinitesimally.com.au)

Seawater intrusion

海水・塩水の地下水脈への侵入過程



adapted from Foster and Chilton 2003

5.5 Process leading to salinization of fresh groundwater in coastal... | Download Scientific Diagram (researchgate.net)

図 1-1: 飲料水・水質・水源の定義・関連情報など

硬水の定義

硬水の定義は、水1000ml中に溶けているカルシウムやマグネシウムの金属イオン含有量が一定数値を超えているかです。含有量を表わした数値を「硬度」と呼び、硬度の計算式は、硬度＝（カルシウム量mg/l×2.5）＋（マグネシウム量mg/l×4）となります。

WHO（世界保健機関）の基準では、硬度が120mg/L以上を「硬水」と分類しています。

60mg/L未満

軟水

60から120mg/L未満

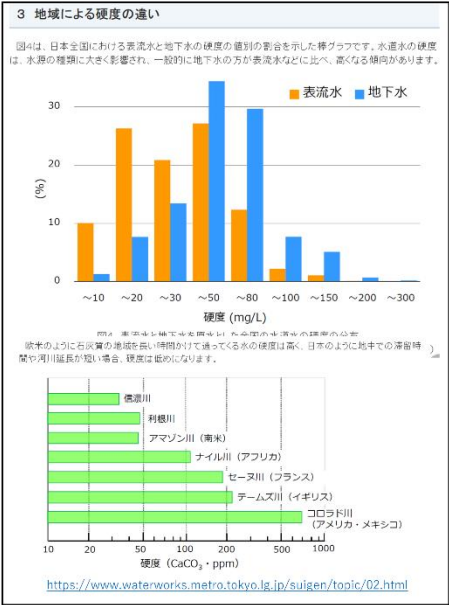
中程度の軟水

120から180mg/L未満

硬水

180mg/L以上

非常に硬水



水の硬度 ≡ マグネシウム (Mg) + カルシウム (Ca) の含有量

WHO（世界保健機構）の「飲料水水質ガイドライン」による基準

硬度 60mg/ℓ・・・軟水

硬度 60～120mg/ℓ・・・中程度の軟水

硬度 120mg/ℓ～180mg/ℓ・・・硬水

≡ 硬度 180mg/ℓ・・・超硬水

ID	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)
2	14.81	18.71	31.00	6.05	71.59	6.3
3	19.04	11.77	19.40	3.74	43.63	7.8
4	19.04	96.85	161.53	31.47	67.92	9.2
5	10.58	48.76	81.19	15.79	108.66	4.2
max	19.04	96.85	161.53	31.47	108.66	9.2
min	10.58	11.77	31.00	6.05	43.63	4.2
average	15.87 ± 4.05	44.02 ± 38.71	73.28 ± 64.66	14.25 ± 12.61	72.95 ± 26.85	6.88 ± 2.14

Concentrations of Ca 2+ , Mg 2+ , Na + , K + , SO 4 2- and NO 3 - ions of water samples from the wells with higher fluoride ion content, located in the Valley of Mexico basin.

メキシコ盆地 傾向として硬度は高い

https://www.researchgate.net/figure/Concentrations-of-Ca-2-Mg-2-Na-K-SO-4-2-and-NO-3-ions-of-water-samples_tbl2_333908630

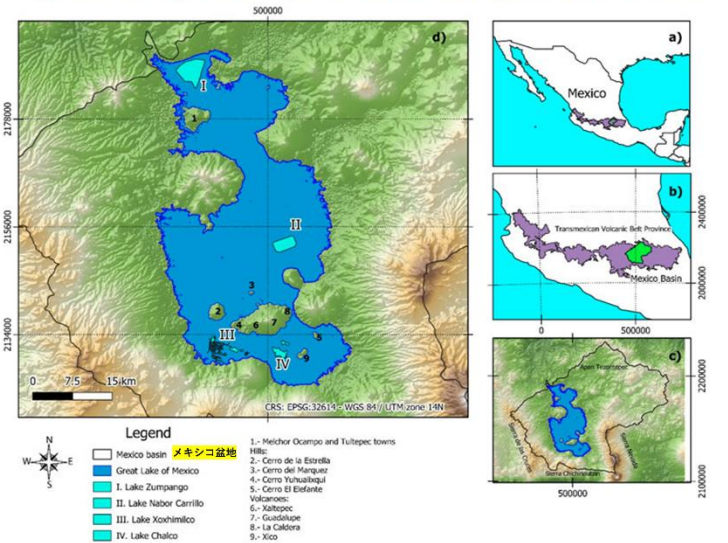
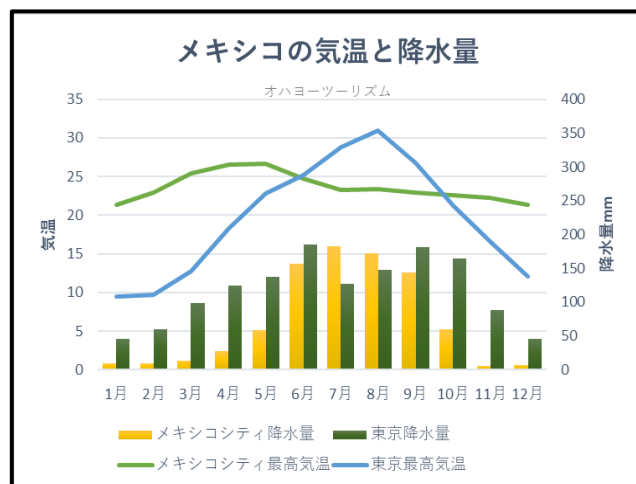


図 1-2: 飲料水・水質・水源の定義・関連情報など

アホロートルにおける汽水環境の重要性に関する再考察

アホロートルと汽水関係の重要性については、以前に当ラボで報告した通りである。(図 2-3, 文献[9]. 参照)

かつてのアホロートルの生息環境（メキシコがスペイン統治下になる以前）には、淡水湖と塩水湖・汽水湖が乱立し、湖の定期的な氾濫によって塩分濃度の変動が見られていたことが推察される。あくまで、その頻度については推測の範囲を出ない部分もあるものの、現在の記録の範疇で降雨量を見ると**毎年夏(6～9月)になると降水量が増加することから、夏場になると氾濫→淡水域と塩水・汽水域が混ざることによって汽水域の増加→雨が続くことで次第に塩分濃度は低下する**という推移が見られ、**10月～5月には水量・水域が変化し辛く塩分濃度の上昇へと繋がる**という流れが想定される。



繁殖サイクルに注目すると、気温や水質の変化によって影響を受けることが飼育化の個体では示唆されており、メキシコにおいても若干だが気温が低下する 10～3 月頃には塩分濃度の変化が起きにくい (図 12. 参照) ことから、塩分濃度がやや高い中でもアホロートルは繁殖・産卵が可能であることが推察される。更に、生後 1 ヶ月程度を経過すると汽水への適応性は十分に発揮されるという我々の知見から、気温が上昇し塩分濃度が低下する時期には、孵化した幼若個体の生育が進んでいくことが推察される。(補足図 1, 2. 参照)

一方、氾濫が起こる時には、植物の破片や土壌成分の流入が起こることで、pH の変化等も見られることが考えられ **夏場の氾濫→大量の水と土壌成分の流入→雨が続くことで pH は上昇しつつも極端には変化しない**という推移が見られ、**10月～5月には水量・水域が変化し辛く pH の変化へと繋がる**という流れが想定される。すなわち、塩分濃度の変化と pH 変化による酸性/アルカリ性への傾倒は同時期に生じうる可能性があるといえる。

こうした考察を持つ一方で、孵化～数週間での汽水への適応や水質の変化の影響等については、我々も十分な知見を得ていなかったため、今回新たに調査を実施している。(図 5～7. 参照)

Ambystoma mexicanum の生息地は 淡水湖と塩湖が何度も混ざりあっていた

The Axolotl Newsletter

Issue number 26 Fall, 1997

Mexico Valley c. 1519

Brackish Water

Fresh Water

Marshes

Chinampas

Causeway

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) 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

環境	成長率 (平均)	サンプルサイズ (n)
ペアタンク	~1.2	5
土ソイル	~1.8	5
ゼオライト	~1.9	5
1:1で混合	~1.8	5

(C) ソイル有/無間の成長率比較
(水質は中性: 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

(杉山 ほか, 2022-2023)

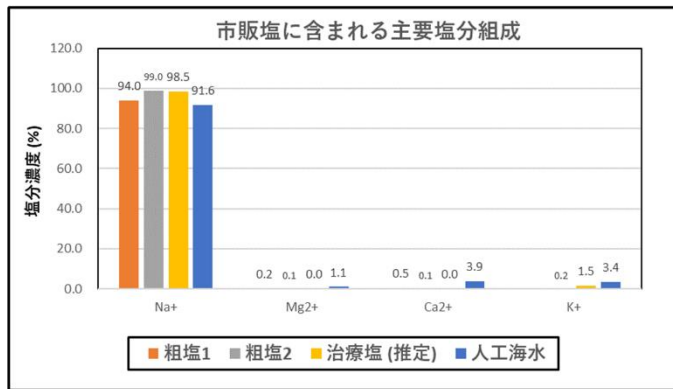
環境	成長率 (Ratio)
淡水	~3.0
粗塩 0.15%	~4.5
粗塩 0.3%	~4.8
Na:K:Mg:Ca = 1:1:1:1 (0.2%)	~6.5
Na:K:Mg:Ca = 10:1:1:1 (0.2%)	~6.8

塩類の添加 → 成長促進効果

図 2: メキシコラサマンダー (*Ambystoma mexicanum*) における汽水環境の重要性

CC BY NC ND

はるらぼ!
HAL lab.axolotl



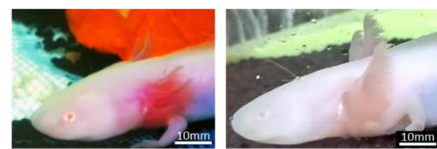
(B) <ミネラル含有水飼育に用いる粗塩例>

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%

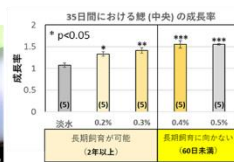
塩楽 瀬戸内の塩 国産塩
(塩楽)

<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) 汽水浴開始時の鰻

(C') 汽水浴 (0.2~0.5%) で
約1ヶ月飼育後の鰻



(D) 汽水環境下での鰻の成長率
(水質は中性: pH 6.5-7.0)

図1 (C)~(D) (杉山, 2022)

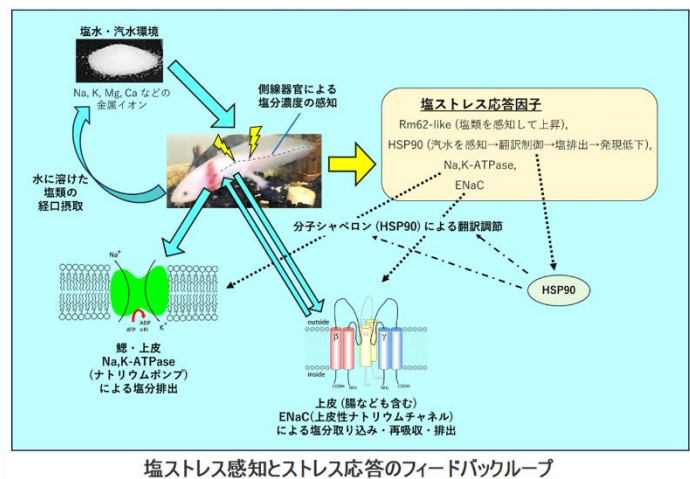
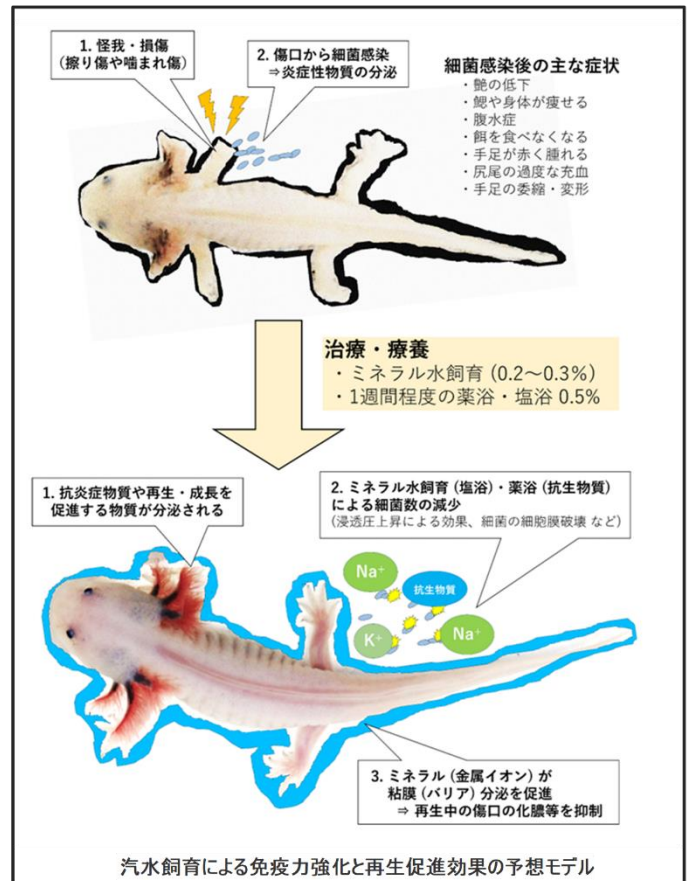
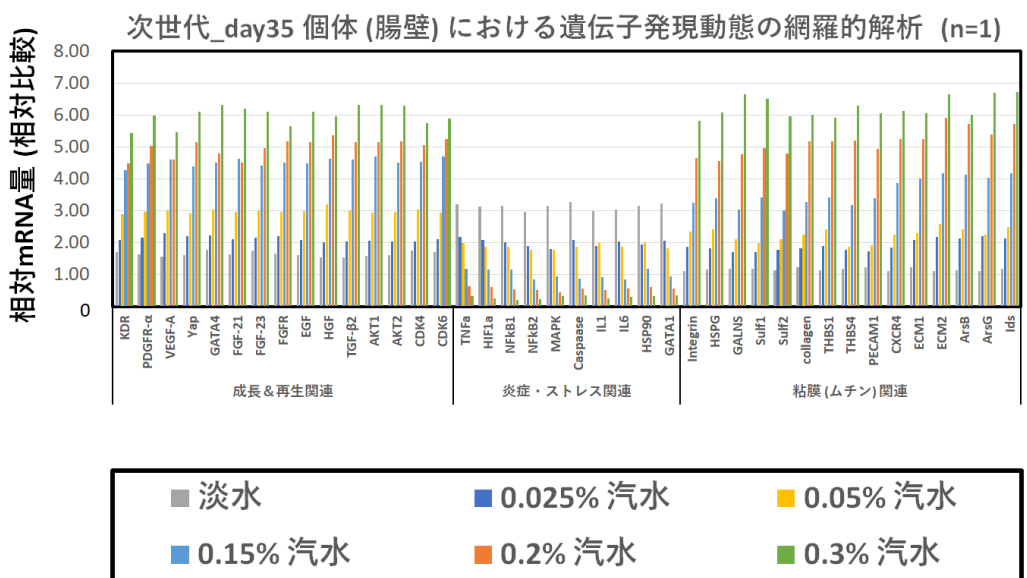
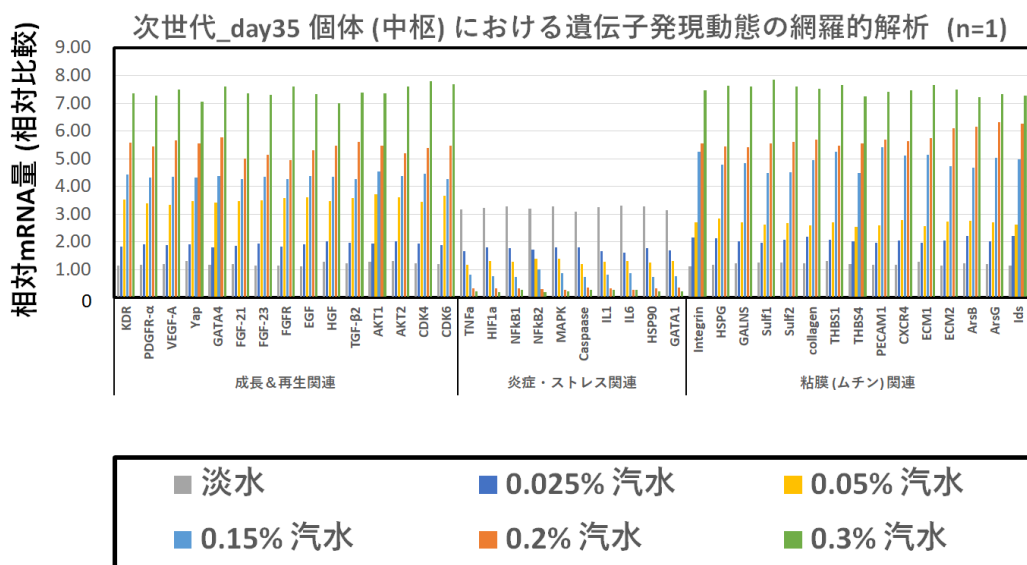
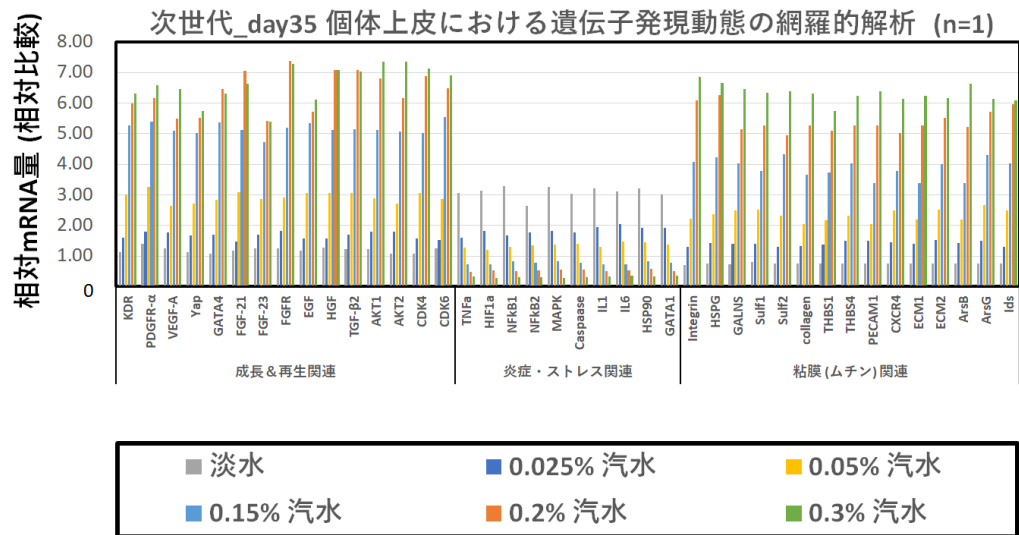
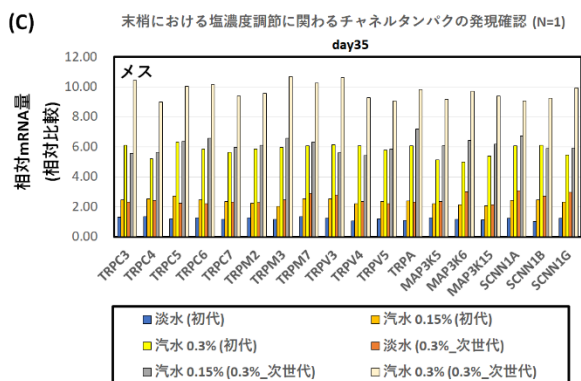
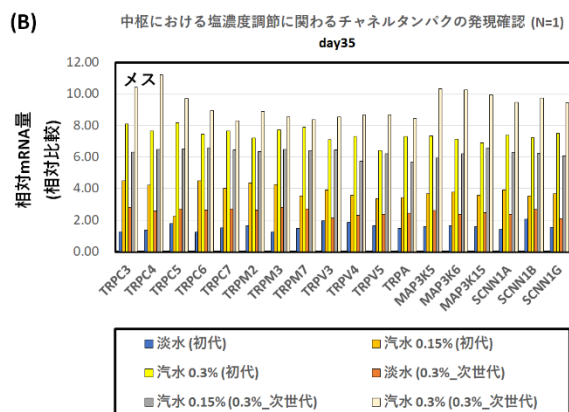
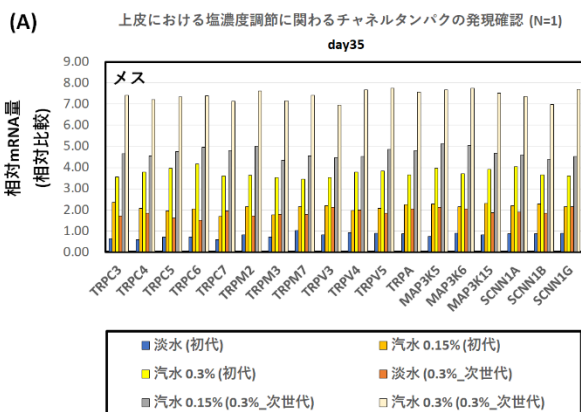
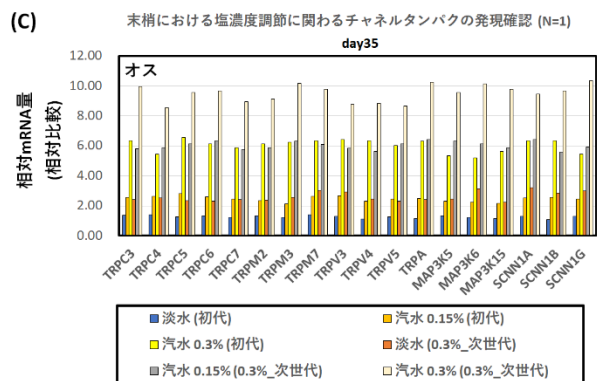
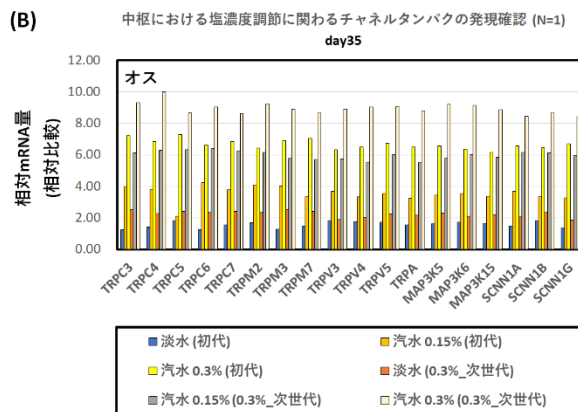
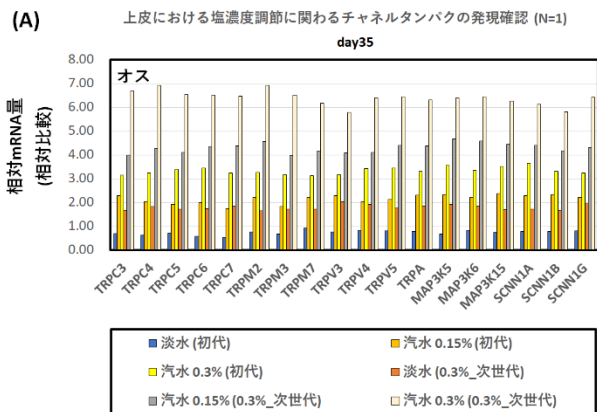


図 3: メキシコラサマンダー (*Ambystoma mexicanum*) における汽水環境の重要性 2



補足図 1-1: 汽水飼育次世代個体の遺伝子の発現動態



補足図 1-2: 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

塩分濃度変化や pH 変化は繁殖誘導と関係がある

前述で取り上げた、夏場の河川の氾濫やその影響による冬場の塩分上昇・pH 低下が繁殖にどのような影響があるのかを明らかにするため、過去に実施した塩分濃度や塩分濃度変化に依存的な繁殖促進作用について、pH 変化の影響がどのように見られるのか更に深掘してみた。

過去の検討結果から、

- ・ 0.5% を超える塩分濃度では、アホロートルの繁殖効率が低下する。
- ・ 汽水濃度が急激に変動する際、繁殖が顕著に誘導される。

ことが明らかとなっていたが、同様に 産卵誘導にも最適 pH があるようで、

- ・ 飼育下では中性 (pH6.5~8.0) の範囲内が好ましい。
- ・ pH 急変により、繁殖が顕著に誘導される。

ことが明らかとなった。

本結果から、水温が低下し降水量が低下する冬場～春先において、pH が変化しやすくなることを踏まえると、本結果と産卵時期との相関があることが示唆された。

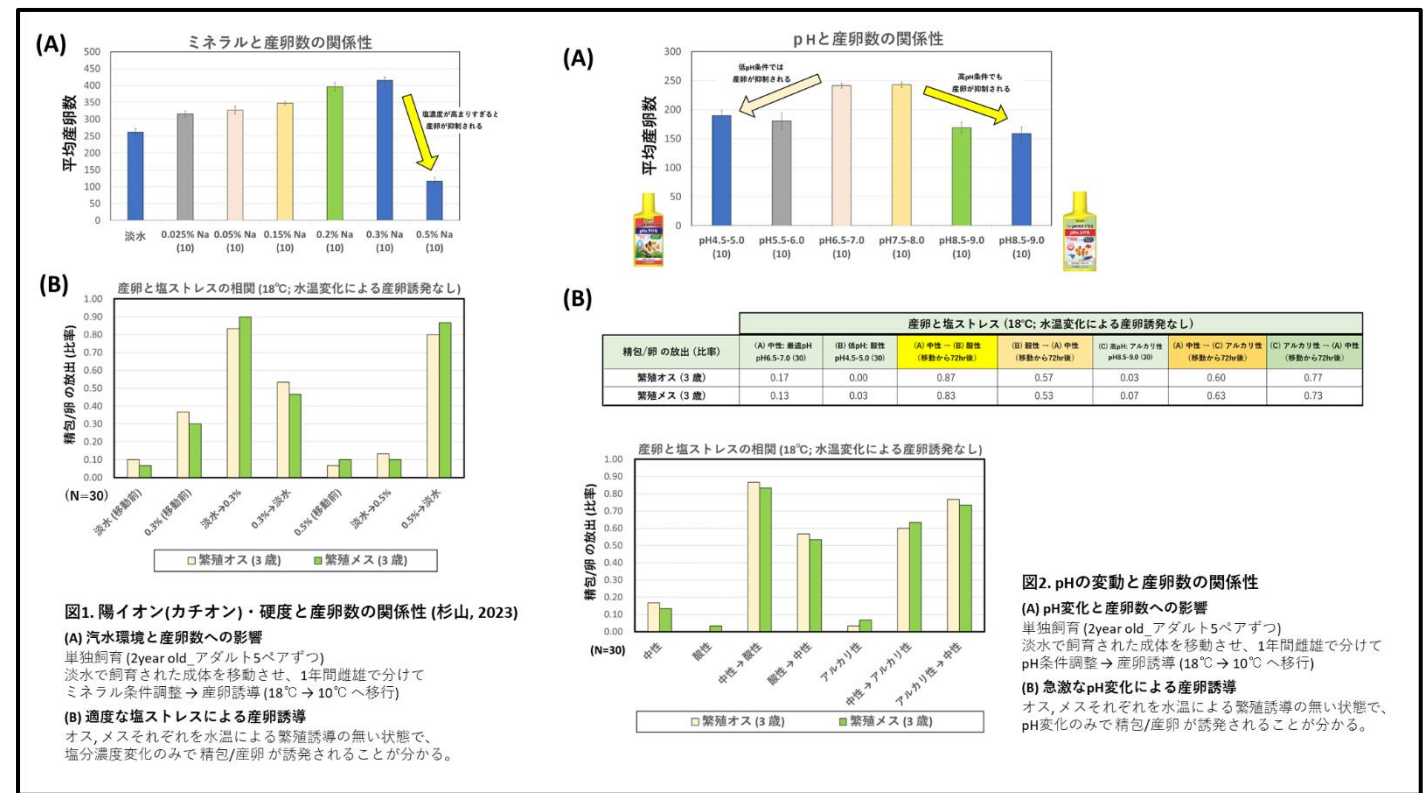


図 4: 飼育下のアホロートルにおける塩分濃度変化や pH 変化の影響による繁殖誘導

メキシコサラマンダーの汽水への適応度には生育時期において若干の違いが見られる

ここまでの調査において、汽水環境や pH の変動についてある程度明らかになったが、卵の孵化や幼若個体 (針子) の生育にとって適切な塩分濃度や pH の値についても明らかにした。(表 1, 図 5~7. 参照)

休塩日を設定しないベアタンク飼育時は、水の硬度自体は低くなる一方、底砂による塩類や亜硝酸塩等の吸着が起こらないことから、水質の変化が強く見られやすくなっている傾向がある。その為か、底砂がある際の方が水の硬度は高くなりがちであるものの、水中の Na 濃度が低くなりがちであることで、ベアタンクの方がアホートルの許容できる塩分濃度自体はやや低くなる傾向にある。

産卵時には淡水～最大 0.4% 程度までの塩濃度が許容範囲であり、前述の仮説のように塩分濃度がある程度高くても、産卵は可能であることが分かる。一方で、孵化の際～針子の時期は 0.1% 前後が許容範囲であり、あまり高い塩分濃度での長期生育は望ましくない傾向が見られる。一度 3cm 程度まで成長する day30 以降まで成長すると、その許容範囲が少し広がるが、個体によってはまだ 0.15% 程度を好む個体も見られる。一度 10cm 以上の亜成体まで成長すれば比較的許容範囲は広くなり、0.2% 前後でも問題なく生育可能となることが分かった。

これらの知見から、かつての彼らの生息地において、季節によって変化する降水量と水質の変化に適応した生育サイクルを形成していたことを踏まえて考えると、**秋口から立冬の塩分濃度が高め かつ 低水温になる時期にかけて性成熟 → 繁殖 → 気温の上昇してくる春先に産卵 → 夏になり降水量が増えて湖が氾濫する時期に孵化 → 塩分濃度が低い時期に成長 → 秋口から塩分濃度が上昇してくる中でも問題ない状態にまで育つことで安定する**といったサイクルが考えられた。

表 1: メキシコサラマンダーの生育時毎における汽水への適応度の若干の違い一覧

	ベアタンク時 (硬度低め)	底砂有り時 (硬度高め)
産卵時 (成体)	淡水～0.30%	淡水～0.40%
卵の孵化 (9割以上)	淡水～0.10%	淡水～0.15%
day30～60 (幼体)	0.10～0.15%	0.10～0.25%
day120以降 (亜成体以降)	0.10～0.20%	0.10～0.30%

※ いずれも底砂 (ゼオライト + 黒玉土) がある方が安定する



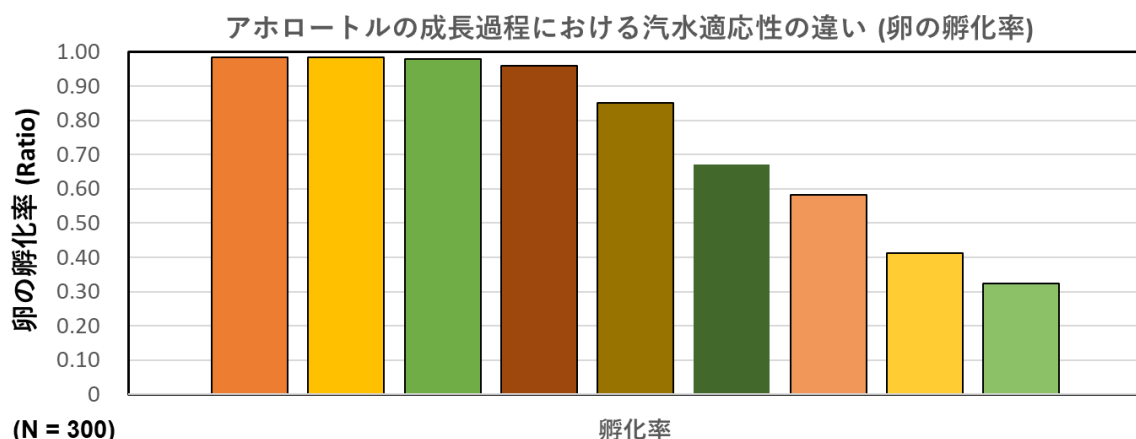
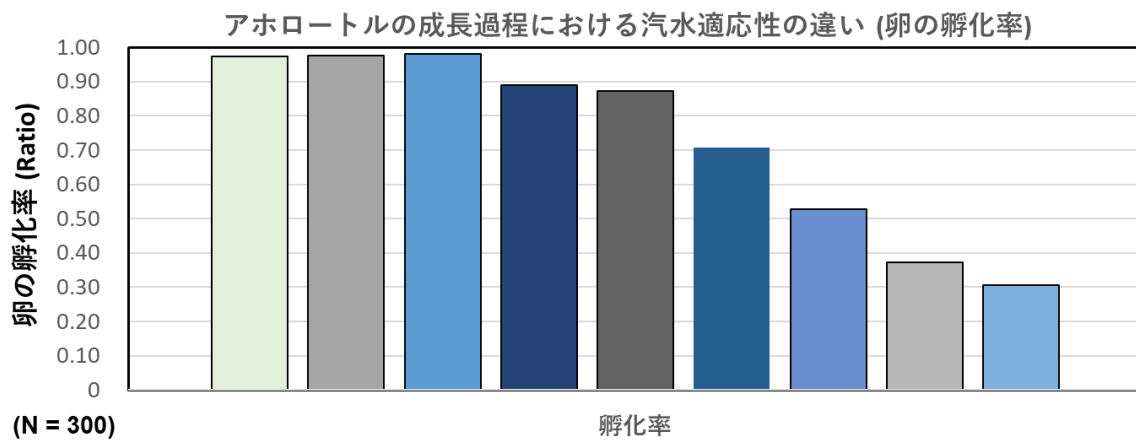
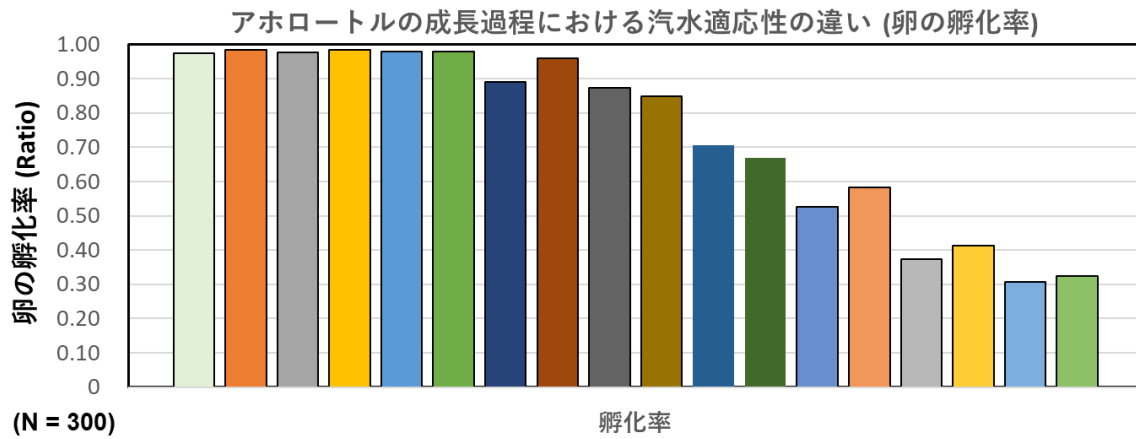


図 5: メキシコサラマンダーの生育時毎における汽水への適応度の若干の違い 1

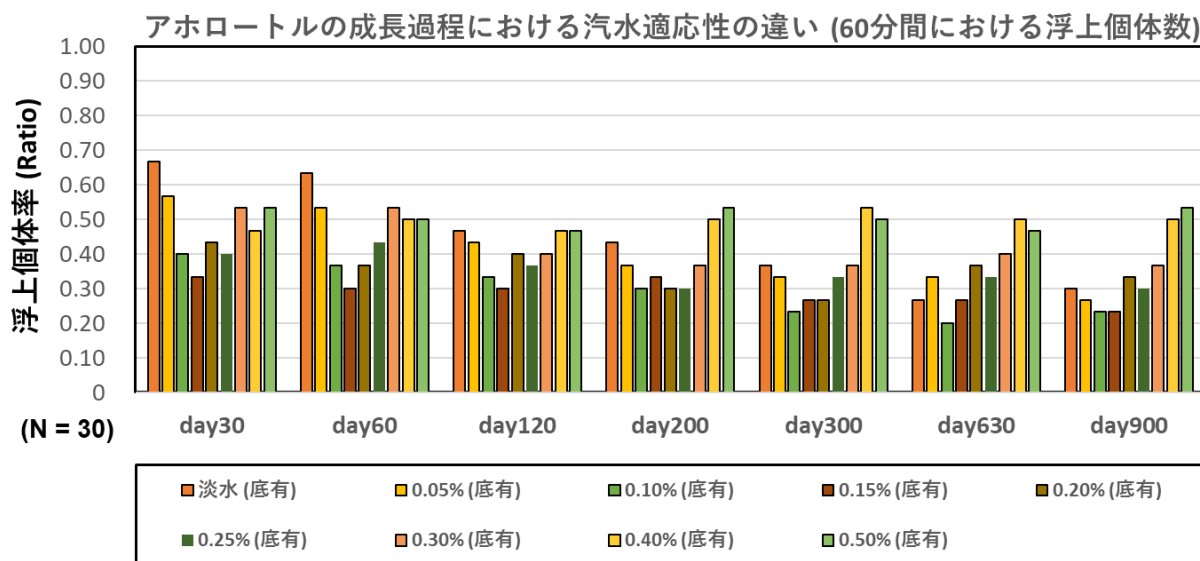
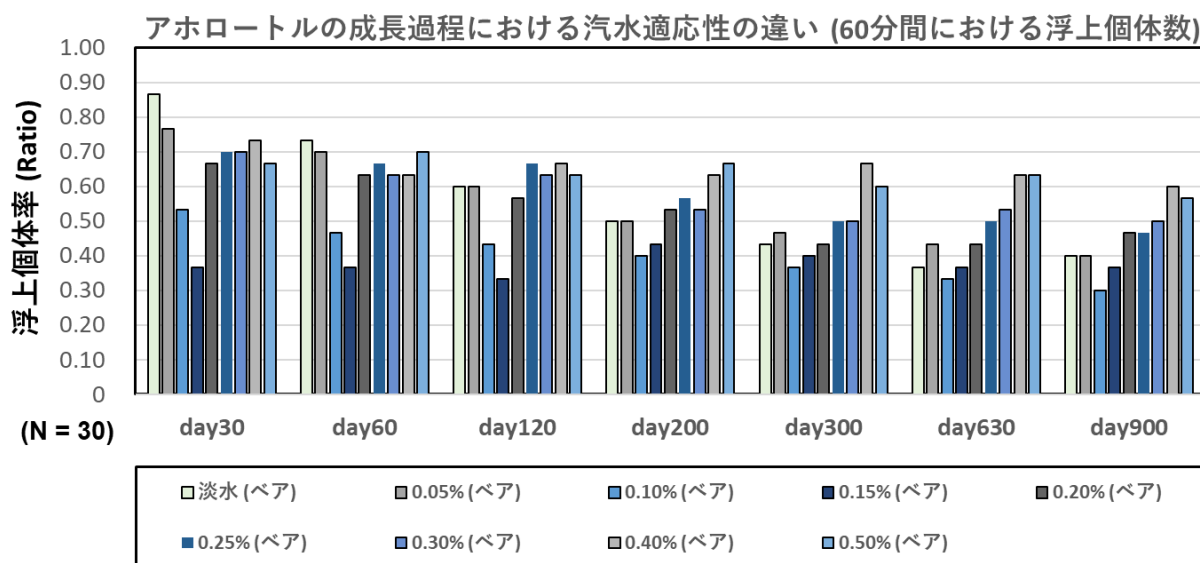
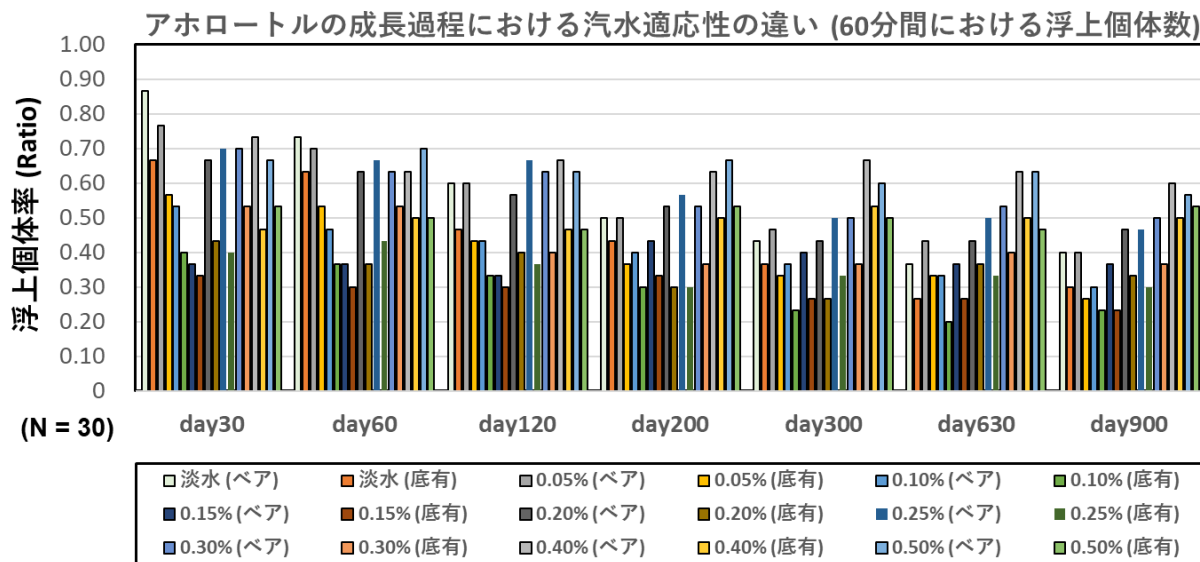


図 6: メキシコサラマンダーの生育時毎における汽水への適応度の若干の違い 2

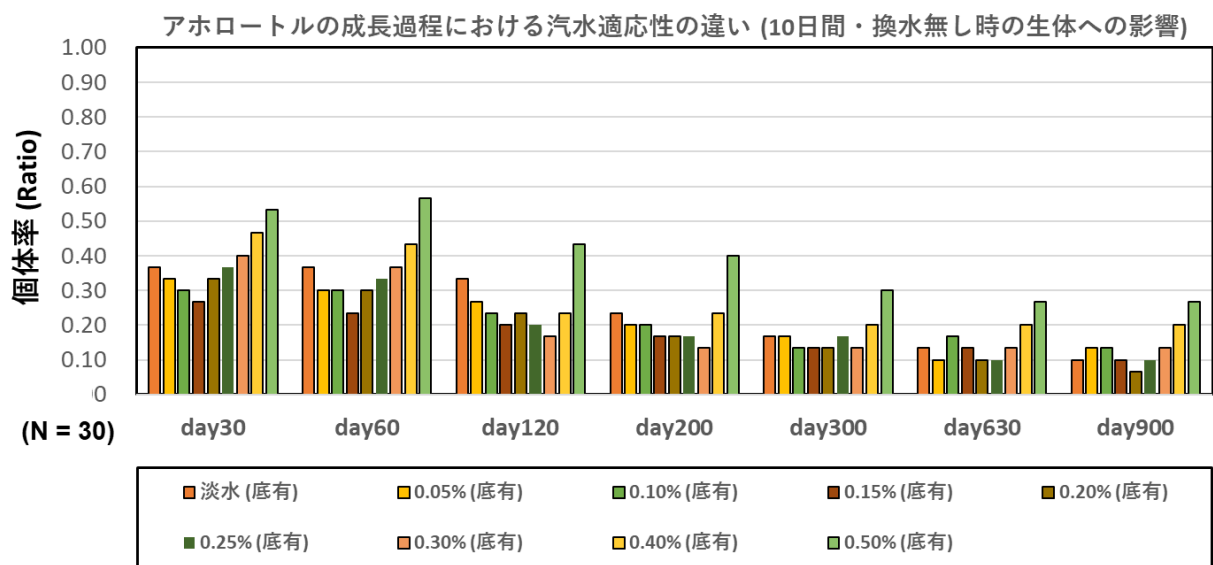
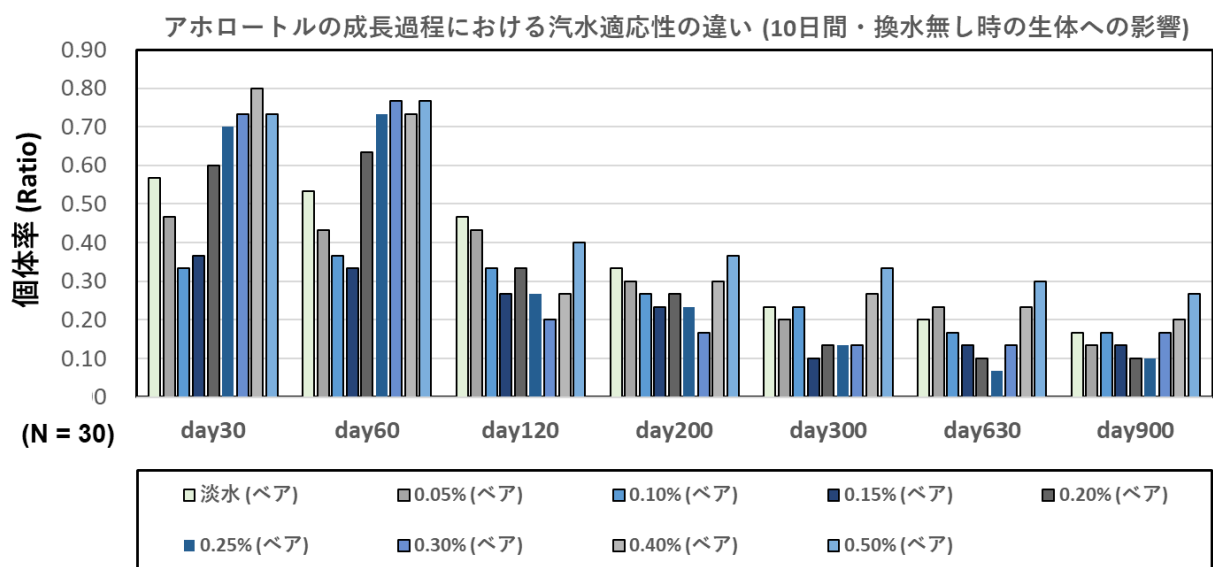
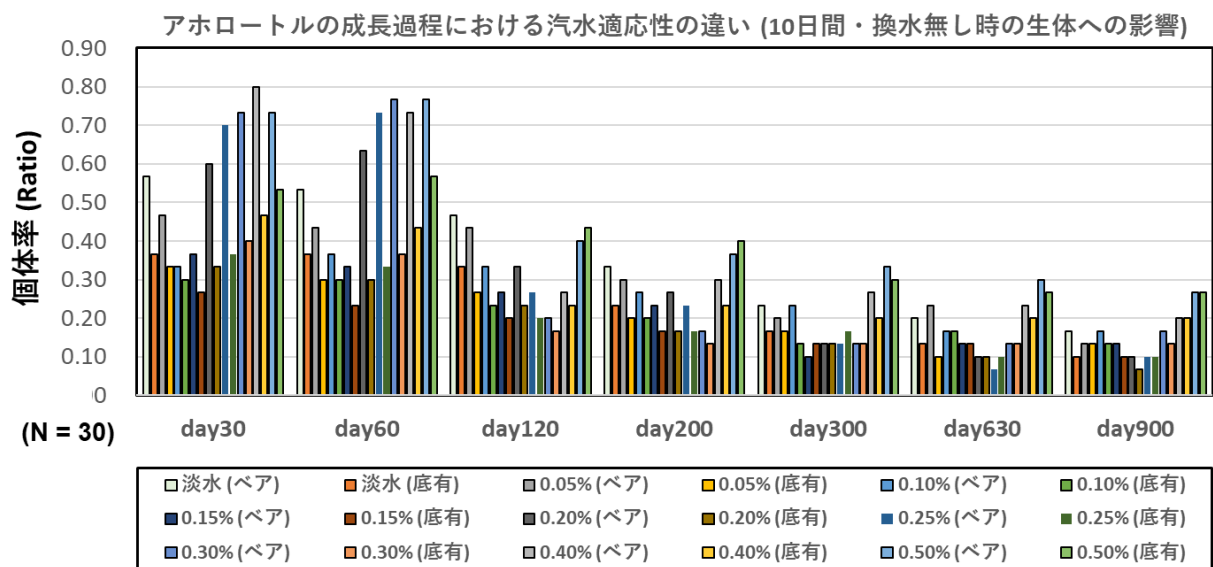


図 7: メキシコサラマンダーの生育時毎における汽水への適応度の若干の違い 3

飲料用ミネラルウォーターを用いた飼育水の検討

ここまで、硬水・汽水環境に関してここまでその有効性を述べてきたが、市販の硬水から汽水を作成することで、底材による硬度調整をせずにベアタンク下で、より安定した飼育環境を作成できる可能性が考えられた。(勿論、ある程度変動していることが有用である側面もあるが。。)

そこで、当ラボ由来の一部のアホロートルの系統管理を依頼しているファームにて、以下に示す市販のミネラルウォーター [3] の中から幾つかを選出し、ベアタンク下で 120 日間の検討 (day30~day120) を行った実施結果が得られている連絡があったため、その結果について公開したく思う。

- ・ 軟水・・・南アルプスの天然水 (30.0mg/L)、クリスタルガイザー (38.0mg/L)
- ・ 硬水・・・エビアン (304.0mg/L)、ヴィッテル (768.0mg/L)、コントレックス (1468.0mg/L)

120日間における成長率			
60cm水槽 (Gex マリーナ60cm). 上部型フィルター (デュアルクリーン) + 投げ込みフィルター (ロカボーイL). 餌: ひかりウーパールーパー (給餌: 3-5cm では小粒2-3個相当 (毎日), 7-10cmでは 小粒5-10個相当 (3日毎), 10cm異常では大粒5個 (3日毎). 換水頻度: 3日毎に1/2ずつ換水, 周期的な汽水濃度変動はさせずに実施. 淡水飼育系統を使用.			
軟水	南アルプスの天然水 (30.0mg/L; 約0.001%相当)	クリスタルガイザー (38.0mg/L; 約0.001%相当)	以上
	2.37 ± 0.07	2.47 ± 0.08	
軟水汽水 (Na添加)	南アルプスの天然水 (30.0mg/L; 約0.001%相当) + 0.15% Na	クリスタルガイザー (38.0mg/L; 約0.001%相当) + 0.15% Na	
	6.37 ± 0.44	6.00 ± 0.56	
硬水	エビアン (304.0mg/L; 約0.01%相当)	ヴィッテル (768.0mg/L; 約0.025%相当)	コントレックス (1468.0mg/L; 約0.05%相当)
	3.49 ± 0.09	3.81 ± 0.15	3.90 ± 0.10
軟水汽水 (Na添加)	エビアン (304.0mg/L; 約0.01%相当) + 0.15% Na	ヴィッテル (768.0mg/L; 約0.025%相当) + 0.15% Na	コントレックス (1468.0mg/L; 約0.05%相当) + 0.15% Na
	6.56 ± 0.09	7.20 ± 0.15	7.27 ± 0.10

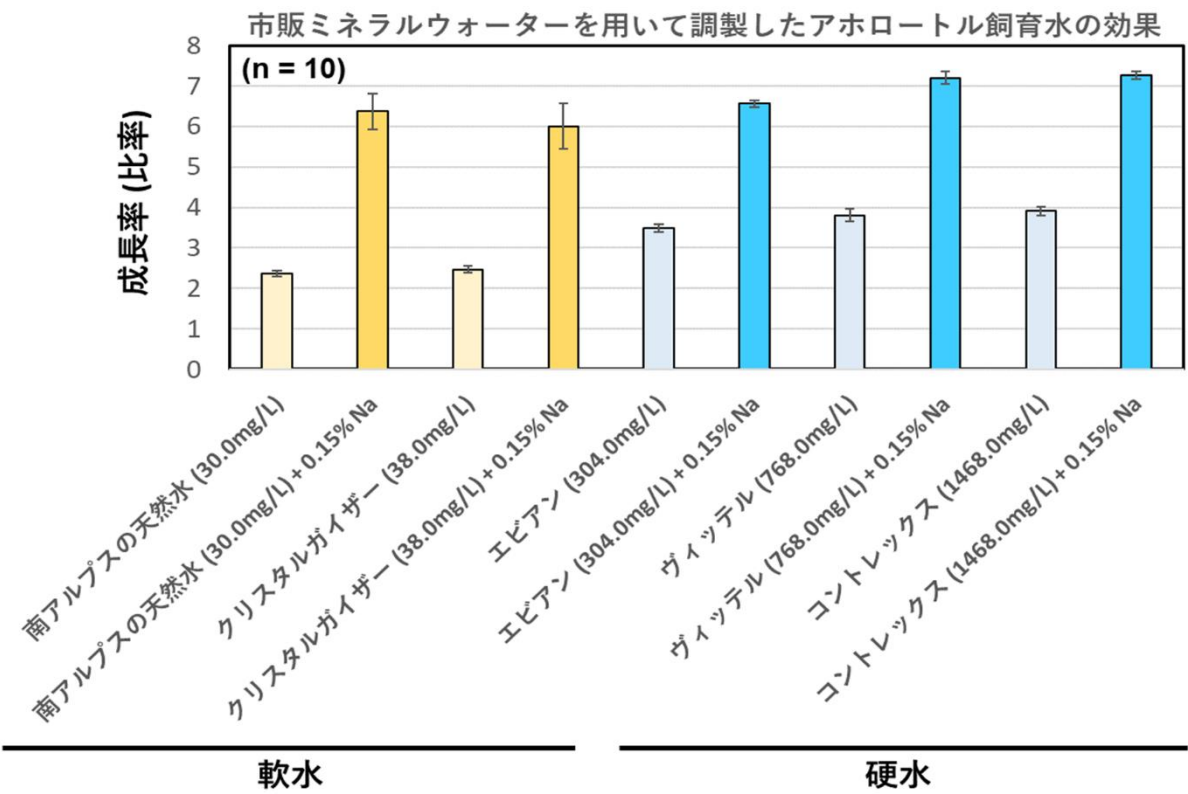


図 8: 市販のミネラルウォーター製品を用いたアホロートルの飼育検討 (ファームからの報告)

※ 系統は, 淡水飼育系統 (リュウシ x4、マーブル x3、ブラック x3) を使用.

アホロートルの生息地・生息環境 (水温・水質 等) と免疫力の相関に関する考察

【アホロートルの免疫力は非常に低い】

先行研究やこれまでの我々の報告から、アホロートルは胸腺が小さく、白血球の働き (獲得免疫、細胞性免疫) が非常に弱いことが明らかとなっている。(図 9-1, 9-2, 9-4. 参照.)

詳細な症状と対策の例は、当ラボ所属の研究技術員 F.N. 三太子 氏の調査発表 (23 年_第 46 回分子生物学会年会) にて公表・共有した内容を参考にいただければ幸いです。(図 9-1. 下表を参照.)

これらの知見を踏まえると、免疫力の低いアホロートルがかつてその種を繁栄させることが出来ていた主要な理由として、以下の 2 点の仮説を立てることができる。

- 1). かつての生息地が時々汽水 (+硬水) 環境になることで、病原微生物 (特に菌類・藻類) の発生・増殖が抑制されていた / 殆ど自生していなかった。
- 2). 生息地の月間平均気温が $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 程度と寒暖差が小さく (図 12. 参照.)、極端な菌類の繁殖が起こりづらかった。
→ 極端な低水温/高水温が長期化せず、温度ストレス負荷・神経障害・慢性炎症などの状態になりにくかった。

本項では、これまでに得られた知見や様々な情報を踏まえ、上記仮説の可能性について色々な角度から詳細に考察し
たく思う。

(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>	エロモナス属	腸炎症の原因菌
	<i>F. columnare</i>	カラムナリス属	腸炎症の原因菌
	<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
	<i>Vibrio vulnificus</i>	腸炎ビブリオ	牡蠣食しの原因 (好塩性菌)
グラム陽性細菌	<i>Campylobacter jejuni</i>	カンピロバクター属	肉類に付着 (耐塩性菌)
	<i>Staphylococcus aureus</i>	黄色ブドウ球菌属	皮膚の化膿・腐敗など (耐塩性菌)
	<i>Streptococcus iniae</i>	レンサ球菌属	魚球虫出、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>	枯草菌属	濾過バクテリア
	<i>C. pediculus</i>	コッコネイス属	緑藻類
	<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>	分枝酵母	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	
	<i>A. prolifer</i>		
	<i>A. proliferoides</i>	ウタカビ属 (網膜類)	
	<i>A. racemosa</i>		水質浄化、増えすぎると水カビの原因
	<i>A. cochlioides</i>	アファノマイセス属 (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)

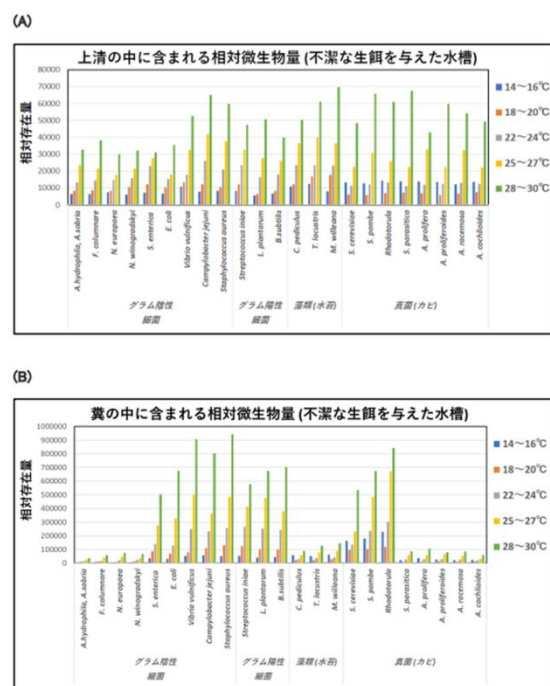
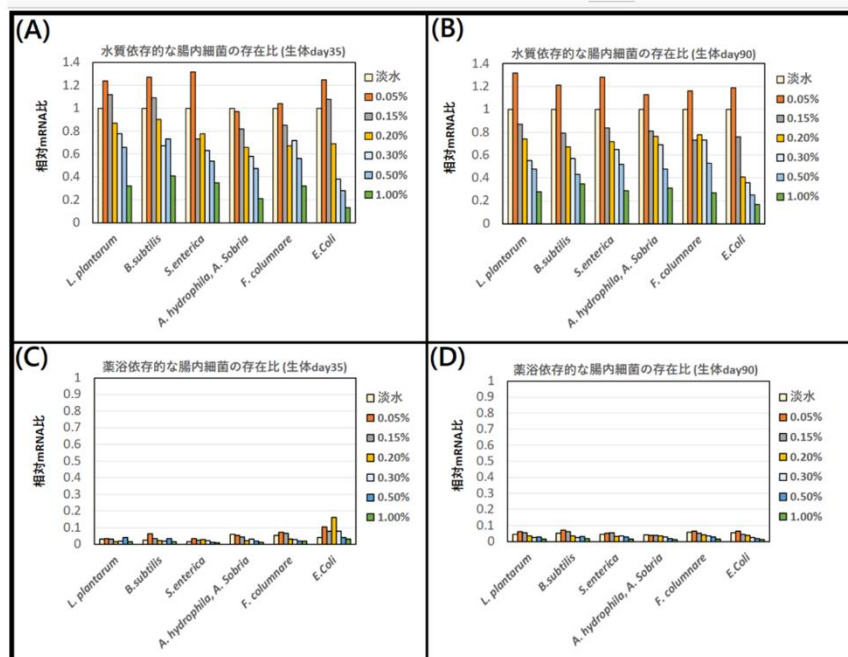
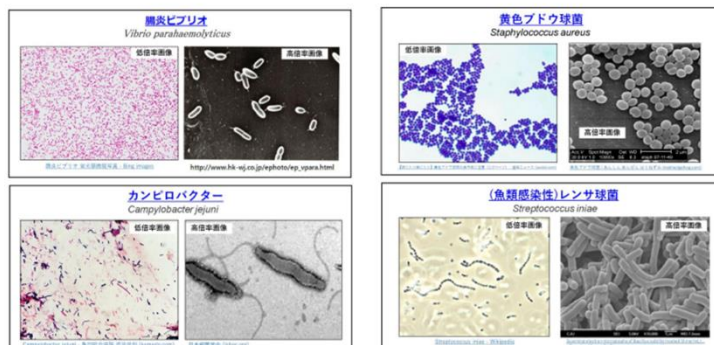


図 9-2: アホロートルにおける疾患と治療の例 2
(杉山, 萩原 ほか, 2023)

【低水温起因の転覆病 (並行覚異常) と 低水温下における汽水・硬水環境の関係性・重要性】

低水温環境下では神経系異常から転覆病を発症する例が知られている。

水温の急変 (18℃→12℃) により、産卵誘導等も起こるが、まれに転覆病を発症する個体が見られる。

浮上するプカプカ病にも、胃腸内のガスに起因するものと浮袋 (肺) の調節障害等の複数の要因があり、転覆病もこれと同じように中枢神経系起因のものと末梢神経起因のものが想定される。特に冬場へ移行する中での急激な水温低下に伴った末梢神経起因と思しき平衡機能障害は、運動機能低下・筋力低下・痩せ等の症状を伴う。

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。



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、呼吸時に頸が動く。
対処:絶食・換水を継続。

<2022 年 4 月 14 日>



全身に力がなく、依然として頸呼吸。
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 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。



https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/41583752

アホロートルにおける転覆病・平衡覚異常 (杉山 ほか, 2022)

図 9-3: アホロートルにおける疾患と治療の例 3

中枢神経系の病態により発症する平衡機能障害は注視方向性眼振や他の神経症状を伴う。主に小脳や脳幹など体平衡に関係する部分の異常による循環障害（脳血管障害など）、変性疾患、腫瘍などがある。中枢系の病態に認められるめまいは軽症ではあるが持続性である。

おそらく、冬場に見られるアホロートルの体調不良は、

- ・ 1). 水棲微生物の均衡が崩れてカビ・コケなどの割合が増えることによる水質悪化や有機物分解不良によるアンモニア増加 → 感染症症状や毒素による・炎症症状・各種ストレス応答の発生
- ・ 2). 水温変化や感染症による中枢・末梢神経障害 → 全身の機能低下（酷い場合は平衡覚異常からの転覆）や消化不良・栄養失調・筋力低下・痩せなどの代謝系の異常

という流れで生じていることが推察される。

これらの知見・考察から、硬水・汽水: 免疫力強化に加え、神経活動の活性化 (イオン)、浮力の確保による負担の軽減により、こうした低水温時に生じうる末梢神経障害による運動機能低下や平衡覚異常が常に軽減されていることが考えられた。

孵化後は特に免疫力の補助と平衡覚の制御が重要となってくることから、適度な硬水・汽水環境が重要であることが改めて肯定されたといえる。

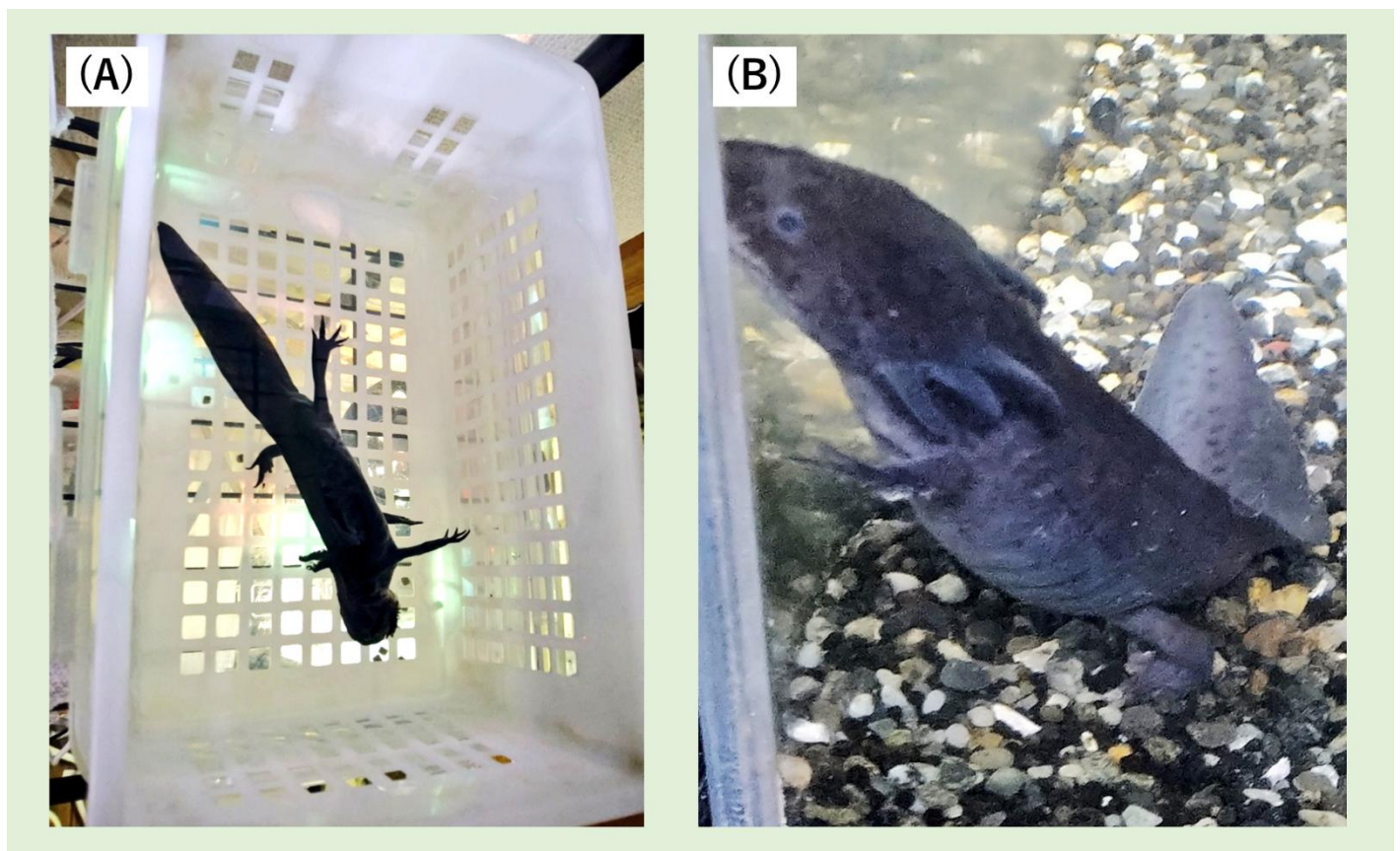


図 9-4: アホロートルにおける疾患と治療の例 3

- (A). アカミミガメ用のライトの余熱で少し水温を改善しつつ塩薬浴法 (杉山, 2022) にて治療を実施。この個体の場合、後ろ脚を突っ張っており神経障害の疑いが見られた。
- (B). 10～14 日程度の治療で無事に沈めるまでに回復できる。

【アホロートルの水温感知能力と低水温/高水温への適応】 [8-9]

免疫力の弱さとそれでもかつて種が繁栄できていた理由について考える上で、アホロートルの性質についてより詳細に理解していくことが必要である。

巷の飼育に関する情報にアクセスすると、“アホロートルは低水温 (15～18℃) を好む” という曖昧な情報が確認できる一方で、“27℃を超えなければ大丈夫” などの記載も見られる。

そこで、アホロートル飼育時の適正水温について再度整理し、生息地における彼らの適正水温について考察したく思う。

長浜バイオ大が 2023 年 5 月に発表した、“アホロートルにおける温度感受性 TRPV1 (一過性の電位感受性イオンチャネル) の閾値が 30℃付近であり、その温度付近では暑く感じている” という知見 (図 9-3 左. 参照.) を踏まえると、アホロートルの低水温適応は 30℃付近の水温域が閾値であることにも起因すると考えることができる。

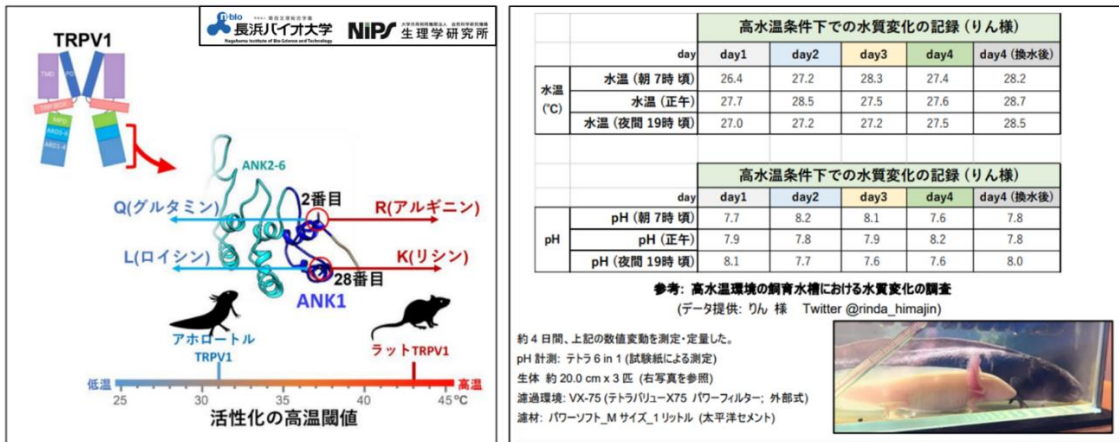
また、過去の当ラボにおける調査の結果から、この閾値の範囲内であれば 27℃を超える水温であっても問題なく生育可能であることが明らかとなっている。

長期的な高水温状態のデメリットは、1). 上記のアホロートル TRPV1 チャネルの閾値の問題で、25℃を超えてくるとストレスに感じる個体が出現し始める点 や、2). 低免疫力のアホロートルに対して増えすぎる細菌・菌類 (図 9-2. 参照.)、3). 水中の溶存酸素量の低下、4). 代謝が亢進することで感染症時の炎症症状の進行が早まる などが挙げられる。

一方で、低水温状態が長期化することのデメリットには、1). 水温が 18℃を下回ると濾過バクテリアの機能が低下し (図 9-2. 参照)、水中に遊離するアンモニアが増えやすくなる危険がある 他、2). 一方で、菌類 (カビ)・藻類 (コケ) の活性が他の細菌類と比較してあまり低下しないことで、水槽内の微生物フローラ・細菌叢が乱れてしまい、水カビ病によって皮膚が溶ける・爛れるような症状を発症するリスクが高まる (図 9-2. 参照)、3). 2 のような菌類の活性に起因して、後述するような神経障害による平衡覚の損傷 (おそらく性水温耐性を持つ病原微生物)、4). 代謝が低下することで、細胞増殖による損傷再生等の回復力が低下し、病原体からうけたダメージ量を回復力が下回ってしまう、5). 食欲が低下することで栄養が足りずに体力が減少しやすく、体体温存のために活性が低下し、5℃を切ると 休眠状態になって衰弱していく などが挙げられる。

従って前述した、かつてのアホロートル繁栄理由に関する仮説について振り返ってみても、“水温と病原微生物のバランス” という観点においては、概ね矛盾なく説明することができるといえる。

また、日本の飼育下での飼育難易度の高さは、水の硬度や塩分の不足・水温の変動幅の大きさ (夏、冬) による、菌類・苔の活性の急変やこれらの病原性微生物の品種が元々の生息地と異なっている点に起因していることが推察される。



【長浜バイオ大学】「サンショウウオの仲間の生息地選択の仕組みを解明」… 国際科学誌「Nature Communications」に掲載 - 大学プレスセンター (u-presscenter.jp) [release_saitoh_20230509.pdf \(nagahama-i-bio.ac.jp\)](#)

ウバルバ 飼育水槽の濾過環境と水質管理・維持について
杉山 遼, 萩原 和晃, 枝豆 やみん, りん
2023年2月25日

図 9-5: アホロートル水温感受性と高水温への適応について



両生類保全活動から見る生息環境の開発・水質汚染がアホロートルに及ぼす影響

【メキシコサラマンダーの保全活動】 [8-9]

これまでも述べてきたが、メキシコサラマンダーの個体数はメキシコの土地開発や埋め立て・外来種の侵入による環境破壊や汚染が原因でその個体数を大きく減少させ、1975年のワシントン条約発効時からワシントン条約附属書IIにその存在が明記されている。現在は絶滅危惧種として、捕獲・収集・輸出・販売が禁止されている。

尚、現在アメリカ国内の流通種は、研究機関における累代系統 (CB, トウブタイガーサラマンダー: *Ambystoma tigrinum* との混血種が主) である。その一方で、日本やメキシコ国内で流通する個体の中には一部、規制をうける以前に流通・輸入された野生種の累代系統と上記のような混血の累代系統が存在するとされている。

メキシコ国内においても、在来種を守るための活動は行われてきており、1993年、メキシコ政府はメキシコサラマンダーの生息地を守るために、広さ約214ヘクタールの「ソチミルコ・エコロジーパーク&植物市場」を保護区に指定した。一方で、メキシコ国立自治大学 (UNAM) の研究によると、1996年には1平方キロあたり1000匹も生息していたメキシコサラマンダーは現在、同面積あたり0.3匹まで激減しているとされる。こうした現状から、メキシコ国立自治大学は、イギリス・ケント大学 (University of Kent) の助力を得てメキシコサラマンダーの保護活動に尽力している。

また2021年4月には、メキシコ国立自治大学の研究者が、飼育下にあるメキシコサラマンダーを一時的に放流するための池を設置し11組のペアを放流したと公表した。それらの内、計7組が卵を無事に孵化させ、生き延びた幼体も無事に生育していると報告された。尚、2022年2月16日、ソチミルコ (Xochimilco) の保護施設において、アホロートルの保護啓発イベントが開催されている。

一方で、こうした保護活動の裏でメキシコの水問題 (生活用水・飲料水も含む) は深刻であり、下水処理場からの汚染や都市化の影響により、同地域の大半が危険にさらされている状況は今も変わらないのが実状であり、野生のアホロートルにとって良い環境への回復にまで中々至っていないのが現状である。



図 10: メキシコ・ソチミルコにおけるアホロートルの保全活動

【日本国内における 絶滅危惧種 オオサンショウウオ (*Andrias japonicus*) 保全活動】 [8-9]

オオサンショウウオ (*Andrias japonicus*) は国内でも最大級の有尾両生類であり、全長 150cm・体重 45 kg にまで到達することが知られている。約 3500 万年前の地層から全く姿形の変わらない化石が発見されており、生きた化石とも呼ばれている。夜行性で、基本的には単独行動で生活する。

また、飼育下では 50～70 年に及ぶことが明らかになっている。特に、2002 年に死亡した広島県産の 150.5cm の個体が公式記録上の最大値であり、現在は 広島市・安佐動物公園 動物科学館に標本展示されている。

(杉山も見に行きました。補足図 3. 参照)

尚、成熟には非常に長期間を要し、世界で唯一継続的な繁殖実績がある前述の安佐動物公園 では、飼育下繁殖の個体が 16 歳 9 ヶ月で産卵に成功したという記録がある。

オオサンショウウオは、標高 400～1000m ほどの山岳地帯に流れる沢や清流の淀んだ部分に生息しており、20℃を下回るような低水温を好む。また、繁殖の誘導には 6～7℃ 程度の低水温化が必要不可欠である。

分布としては、岐阜県以西の本州・四国・九州地方が主な分布域であったものの、北海道と沖縄の除き現在では日本全土に広く分佈しているとされている。

過去には食用とされることもあったが、河川改修やダム・堰堤建設による生息地の破壊、近畿地方の一部では人為的に食用に移入されたチュウゴクオオサンショウウオ (*Andrias davidianus*) との競合・遺伝子汚染などにより、生息数は減少しており、現在は天然記念物に指定されている。日本では 1927 年に和良村(現:郡上市)の和良川および支流(1932 年に八幡町の鬼谷川水系、1933 年に大和町の小間見川水系が追加)、川上村と中和村、八束村、湯原町(現:真庭市)、院内町(現:宇佐市)と湯布院町(現:由布市)がそれぞれ「オオサンショウウオ生息地」として国の天然記念物、1951 年に種として国の天然記念物、1952 年に特別天然記念物に指定された経緯を持つ。



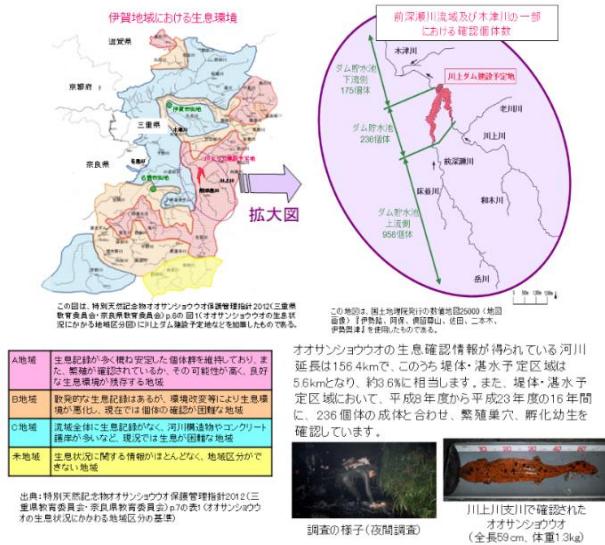
日本では賀茂川水系のオオサンショウウオに対しミトコンドリア DNA の分子系統学的解析を行った結果、本種および本種とオオサンショウウオの種間雑種が含まれていることが判明した。その後、交雑種は広島県佐伯区でも発見されたという報告があるが、おそらく雑種自体は全国に多く分布している可能性があり、その正確な個体数や存在比は現状不明瞭である。

オオサンショウウオの保全活動は全国の自治体や NPO が中心となって実施しており、例えば 三重県・伊賀周辺においてオオサンショウウオの生息記録が多く、概ね安定した個体群が維持され、良好な生息環境が広い範囲に存在していることが明らかになっており、ダム (この近辺であれば、例えば 川上ダム) の開発により堤体や貯水池を建設・設置する過程で生息地が奪われ、今後彼らの個体数が減少してしまわないような対応が求められます。

(A)

伊賀地域にはオオサンショウウオの生息環境が広範囲に存在

伊賀地域は、三重県内でもオオサンショウウオの生息記録が多く、概ね安定した個体群が維持され、良好な生息環境が広い範囲に存在しています。

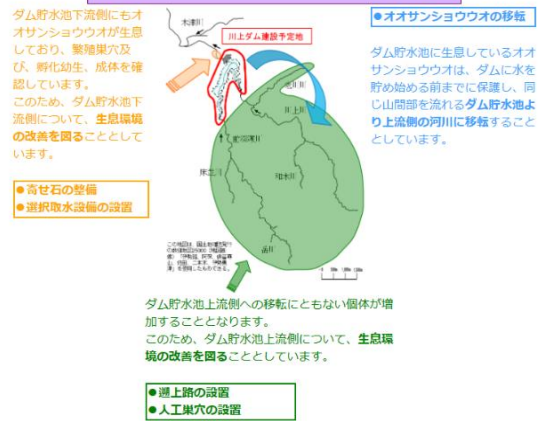


オオサンショウウオに関する環境保全対策 (water.go.jp)

環境保全対策の取り組み

- (1) ダム堤体ができる場所やダムにより水が貯まる場所（以下「ダム貯水池」という。）に生息するオオサンショウウオの生息環境は減少しますが、前深瀬川上流域及び伊賀地域にあるオオサンショウウオの生息環境は引き続き維持します。
- (2) 川上ダムの建設によりオオサンショウウオの生息環境が一部減少してしまうことから、川上ダムでは環境保全対策を実施することとします。
- (3) 全ての保全対策については学識者の指導・助言を得ながら実施することとしています。

オオサンショウウオの環境保全対策の概要



(B)

蒜山高原・湯原温泉
はんぎきセンター様
(2023年3月)



広島市安佐動物園
動物科学館様
(2023年11月)



補足図 3: オオサンショウウオの保全活動関連情報

現在絶滅の危機に瀕している メキシコサラマンダー *Ambystoma mexicanum* (以下、アホロートル) であるが、その数が激減している背景には **1). 土地開発の影響や観光地化などによる水質汚染、2). 生息地自体の減少** などが背景にある。そこで我々はこれまで、彼らの適切な成育環境について明らかにするべく、過去の文献・資料を参考に、スペイン統治より以前の時代～現在に至るまでのメキシコにおける水質や地質、それらを適応した農業などに幅広く注目し、その知見を飼育環境に適用できないか検討を行ってきた。その過程で、簡易型ビオトープによる生育検討も実施・報告している。

以下、これまでに得られた情報や新たな補足情報を踏まえ、アホロートルにとって望ましい生育環境について再度改めて考えていきたいと思う。

【アホロートルの原産地・ソチミルコ】

アホロートル生息地である湖のあるソチミルコ（スペイン語: Xochimilco）は、メキシコの首都メキシコシティ内にある 16 の管轄区域（demarcaciones territoriales、2016 年までは行政区（delegaciones）と呼ばれた）の一つ。メキシコシティ中心部からは南へ 28Km 離れている。

【ソチミルコ湖】

植民地時代、当局はソチミルコ湖におけるチナンパ農法の繁栄を支えた土木事業に対しては関心を示さなかったため、1609 年には大洪水が起こっている。ソチミルコはメキシコシティとは湖を使った水運で緊密に結ばれていた。ソチミルコは、東の方の町からメキシコシティへ、トラヒネラ（trajineras, 小舟）で向かう際の中継地でもあった。16 世紀半ばにはソチミルコ湖はテスココ湖などメキシコ盆地の他の湖から孤立し始めたため、ソチミルコとメキシコシティの間の水運は運河（Viga）が中心となった。1989 年に、ソチミルコ生態学公園が、危機に瀕する動植物を保存するための 215 ヘクタールの自然公園を設立した。

【メキシコ・チナンパにおける農業で生産される作物・家畜】

チナンパとは?：チナンパは、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収量の大きい農法である。

アステカ時代のテノチティトランの周囲で行われていたことでも知られ、総面積は 9,000 ヘクタールに及ぶと推定されている。チナンパ農法は、たえず灌漑されると同時に多くの養分を含んだ泥で栽培するので集約的に高い収穫を得ることができた。チナンパの跡地から、多くの種類の作物を栽培した痕跡が見つかっている。

また、ソチミルコでは現在でもこの農法が残されている。

豆類, トマト, チリペッパー, カボチャ(squash), サンザシ, ウチワサボテン, アマランサス (ヒユ), トウモロコシ, リュウゼツラン, サルビアなどの花類

小規模な動物や肉の生産、鶏、七面鳥、闘鶏、豚、ウサギ、羊

※ 尚、メソアメリカの文明では農業の最適な肥料として人糞が重要視されていた。アステカのチナンパも同様であり、人糞も含んだ様々な廃棄物を肥料として再利用することで、高い生産性を持っていた。

※ **メソアメリカ**: メキシコおよび中央アメリカ北西部とほぼ重複する地域において、共通的な特徴をもった農耕文化ないし様々な高度文明（マヤ、テオティワカン、アステカなど）が繁栄した文化領域を指し、パウル・キルヒホフの文化要素の分布研究により定義された。

地理的には、北はメキシコのパヌコ川からシナロア川あたりまで、南はホンジュラスのモタグア河口あたりからコスタリカのニコヤ湾あたりまでであるが、この境界線は歴史的に一定していたわけではない。



参照: [Chinampas, Floating Gardens of Ancient Mexico – Mexico Unexplained](#), [Chinampa - Wikipedia](#)

図 11: 古代アステカ文明における“チナンパ”農法とその名残

【メキシコの平均気温・湿度 および 日本との比較】

実はメキシコ・ソチミルコと日本の気温は、6～9月（初夏～夏）を除いてあまり違いは見られない。
湿度もメキシコシティと日本全国平均値との間であまり大きな違いが見られないが、日本の方が 約 0.8% と若干湿度は高い傾向にある。

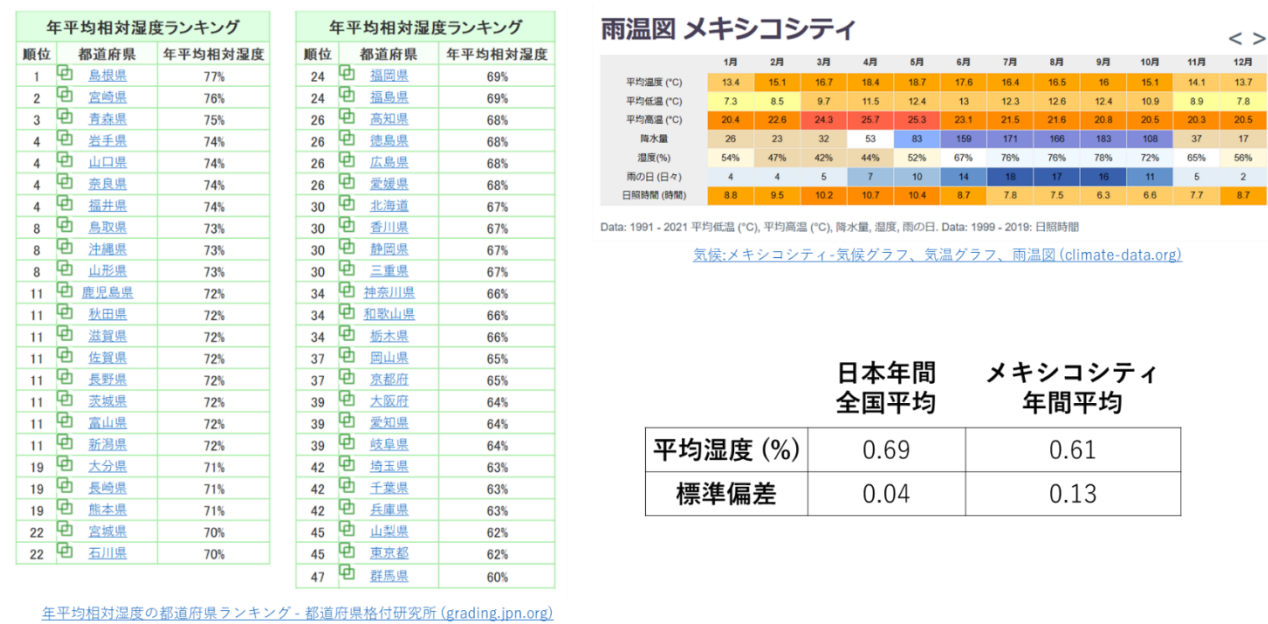
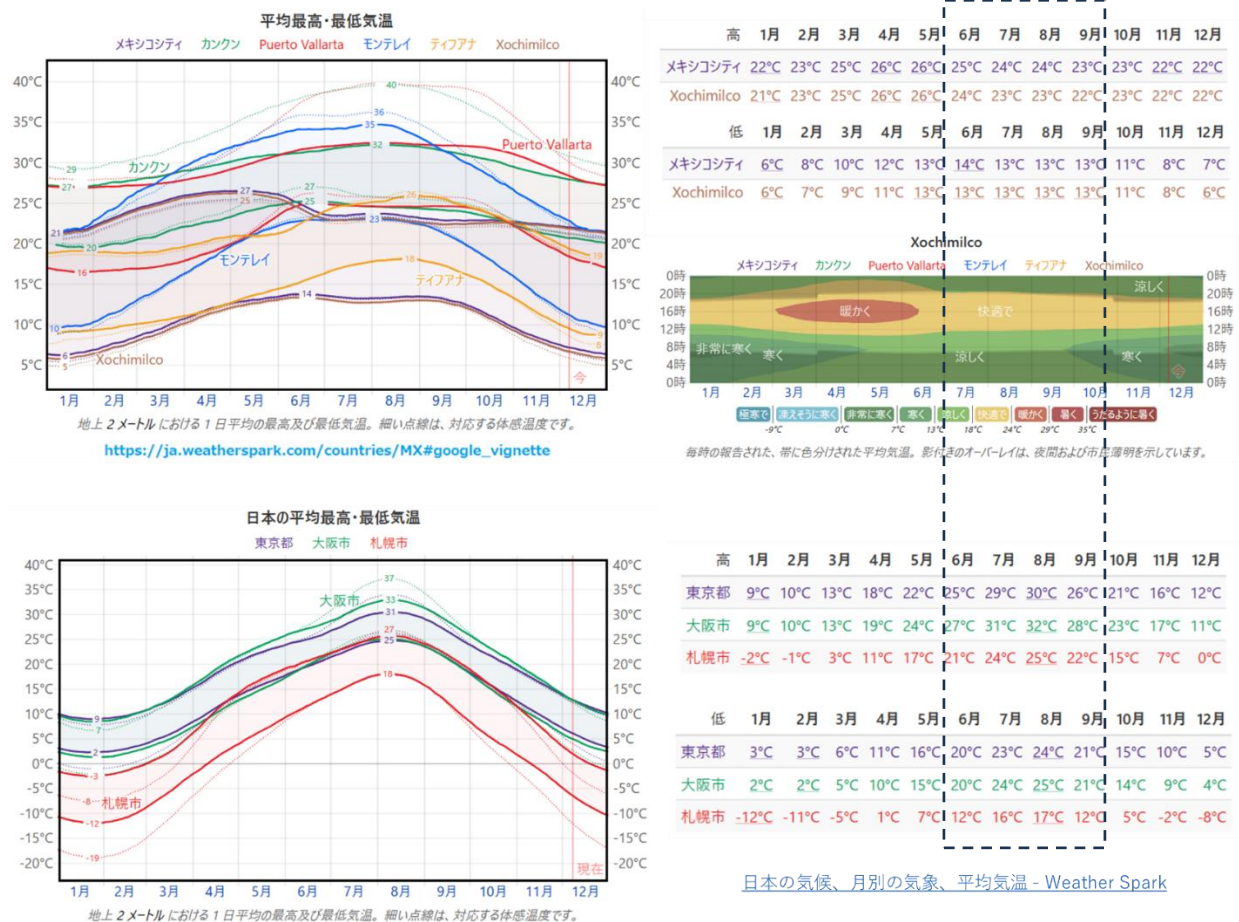
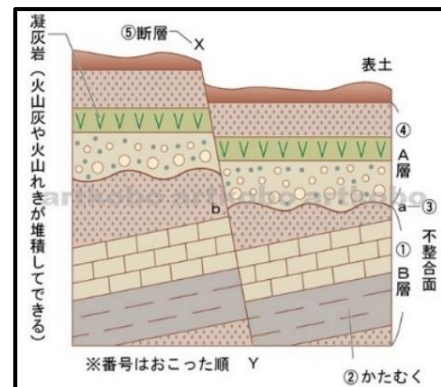


図 12: メキシコ・日本における気温・湿度の変動に関する情報



【地質・土壌の性質 など】

アメリカ-メキシコの地形は、起源を辿ると海面の隆起によって形成された大陸である。砂やレキなどが堆積するとほぼ水平に近い海底の地形ができ、これらが隆起して形成された海岸（隆起海岸）に見られる遠浅の海岸では、波は沖のほうで磯波になって砕け海底の土砂を削りとる。この土砂は波で運ばれて陸寄りに堆積し海岸沿いに沿岸州と呼ばれる細長い島を形成する。この沿岸州と陸地とのあいだには、ラグーン（潟湖）とよばれる浅い湖ができる。特にメキシコ湾岸部には岩石層が多くみられることが知られている。メキシコにはこのラグーンが数か所確認されており、また塩分や鉱物を多く含む土壌であることや大陸の成り立ちと塩湖・汽水湖の分布の間に相関があることが推察される。



こうして形成されたメキシコの比較的単純な構造の地層に、火山活動（ポポカテペトル山）などに代表される火山活動による火山灰や火山岩等の層が加えられた地質であるとされている。

こうした大陸の成り立ちから、海面隆起によって形成された地層に、火山由来の土壌が加えられた地層が形成されており、湾岸部と中央部、火山との距離等によって地質が異なることも知られている。

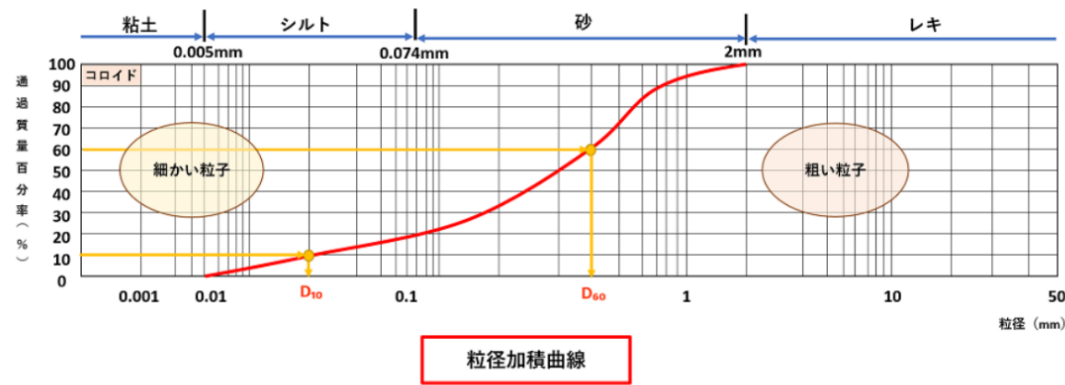
メキシコの火山灰および火成岩から由来した土壌は全国土の 1/4 を占める。寒帯，暖帯，半乾燥帯，乾燥帯，熱帯，湿潤熱帯などに、また海拔 0~5,747m、気温は 7~27℃、年雨量は 50~4,500mm の地域のに広く分布している。一次鉱物（粘土層～シルト層）には角せん石・輝石・石英・クリストバライト（石英の高温結晶型）・磁鉄鉱・ラブラドライト・火山ガラス等のケイ酸を含む鉱物が挙げられ、粘土鉱物はカオリン鉱物（ケイ酸塩鉱物の一種）にアロフェン（アルミニウム ケイ酸塩を含む粘土でできた準鉱物）やギブサイト（ギブス石（ぎぶすせき、gibbsite）とは、水酸化アルミニウム（ $\text{Al}(\text{OH})_3$ ）よりなる鉱物（水酸化鉱物）。ボーキサイト（アルミニウム鉱石）を構成する主要鉱物の 1 つ）を含んでいるものが多い（硬水の要因）。

また有機物含量が高い。層の位置にも左右されるが、 $\text{pH}4.0\sim8.2$ であり 酸性～弱アルカリ性 と幅が広い。

メキシコの土壌は AC 型 または ABC 型 (A 層 (作土), B 層 (下層土, 心土), C 層 (基層)) の土壌であり、土性は SL, SiL, CL, L (砂 → 軽度の粘土状) である とされる。

現在、アボカドの栽培が年間を通して行えるのはこの肥沃な土壌環境のおかげとされる。

土壌の性質を表す用語



土の分類	粒径
粘土	0.005mm以下
シルト	0.005mm～0.074mm
砂	0.074mm～2mm
レキ（礫）	2mm～

参照: [粘性土・シルト・砂質土の判断基準（違い）かんたんチェック！（chansato.com）](https://chansato.com)

図 13: 土の分類とその粒子径について

土壌層位 (層になっている土壌における各層の分類): 一般的に主要な土壌層位は 5 種類あり、O 層（表土）、A 層（作土）、B 層（下層土、心土）、C 層（基層）、R 層（岩石層）。多くの場合、土壌には A 層、B 層、C 層の 3 つがある土壌が多い。

土の性質と言う一般的な意味の他に、土壌学分野では特定の意味を持っている。土には、砂分が多くさらさらしている性状のものから粘土分が多くて粘りつくものまで、様々なものがある。こうした性質のことを土質と呼ぶが、その尺度には 日本農学会法と国際法の 2 通りがあり、現在は両方が使われている。

農学会法； 砂土 (S), 砂壤土 (S L), 壤土 (L), 埴壤土 (C L), 埴土 (C) の 5 区分 (砂状↔粘土状)

国際法； S, L S, S L, Si L, L, S C L, C L, Si C L, Si C, Li C, S C, H C の 12 区分

土性を別な表現で大まかに区分したもの:

細粒質—中粒質—粗粒質—礫質、あるいは 微粒質—細粒質—中粒質—粗粒質—礫質、
強粘質—粘質—壤質—砂質、等の様々な表現による区分法がある。

なお、礫とは径 2 mm 以上の石を意味し、土性の判定はこの礫を除いた土について行う。

土壌の性質と地域差

北部：乾燥地・半乾燥地で砂漠地帯が多く、耕種農業には灌漑が欠かせない。水利投資をすれば広い農地を持つことができるため、企業的な大規模経営体が多い。畜産、とうもろこし、トマトの生産が盛ん。

中央 (サカブやメキシコシティ、ソチミルコを含む)：緯度としては熱帯地域だが、高地であるため温暖で湿潤。メキシコシティの北西に位置するパヒオ地域には、肥沃な農地が広がる一方で中山間地もあり、複雑な地形と多様な農業形態を有する。畜産、さとうきび、果実、アボカドの生産が盛ん。

南部：熱帯湿潤な気候で、小規模農家による天水農業が主体。コーヒー、カカオ等の永年性作物の生産が盛ん。ユカタン半島やメキシコ湾岸ではヤシ油の生産が盛ん。

ユートリックカンビソル (Eutric Cambisols)

メキシコを含む亜湿潤・湿潤環境下で、石灰質堆積岩地帯の丘陵地や急峻地に浅い土壌として出現する。レキ層に含まれる土壌である。火山灰等もこうした土壌成分の中に含まれる場合もあるがその限りではない。

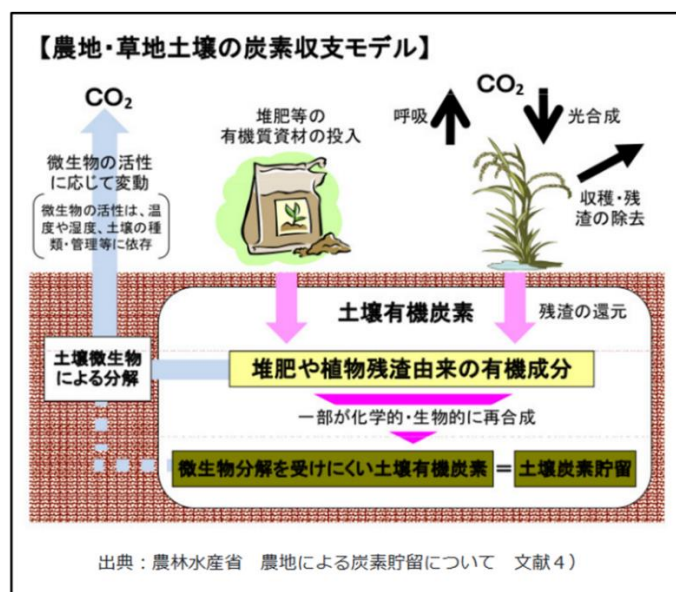
※ カンビソル: 比較的未熟な土壌のこと。

土壌内が水分不飽和であることと地温が比較的高いことから、微生物による有機物分解が進行するため有機物の蓄積量が比較的小さく、二酸化炭素放出源 (土壌呼吸) になりがちである。

尚、この二酸化炭素は植物の光合成にも利用されるが、大気の温室効果ももたらすという負の側面も持っている。



土壌呼吸：土から発生する二酸化炭素 (常陽新聞連載「ふしぎを追って」)
(情報：農業と環境 No.119 2010.3) (affrc.go.jp)



土壌に二酸化炭素CO₂を貯留する方法について |
[Green Easy1 \(green-ez1.com\)](http://GreenEasy1.green-ez1.com)

図 14: 土壌から放出される CO₂ (土壌呼吸) のメリット・デメリット

※ メリット: 大気中に CO₂ が放出され、植物の光合成の源になる (上図の左)。

※ デメリット: 炭素源が残らず放出ばかりされてしまうと土壌に栄養が残らない (理想は上図の右側)。
また、温室効果ガスが大気中に増えてしまう原因ともなり得る。

【メキシコの自生植物 (一例)】

チナンパによる土壌・水質への影響は前提として、自生している植物の落ち葉が土壌や水中へ加わることで有機物が分解されることで水質や栄養状態に影響を与えることが考えられる。



図 15. (参照: [Plants of the World Online](#) | [Kew Science](#))

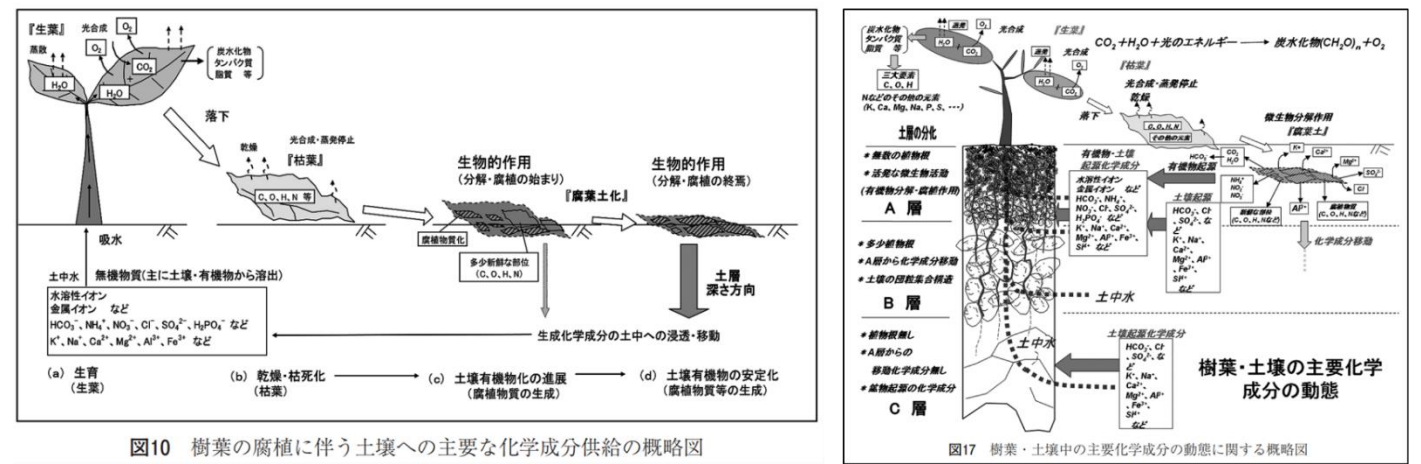


図 16. (参照: [植物性有機物の分解に伴う土壌の化学成分組成の動態に関する考察](#))

【サトイモ科の根・葉に含まれる成分の例・・・これらの成分が水中に沈むことで溶出する】

栄養成分名称	100gあたりの栄養成分含有量	栄養成分名称	100gあたりの栄養成分含有量
タンパク質	1.5g	銅	0.15mg
炭水化物	13.1g	マンガン	0.19mg
カリウム	640mg	ビタミンB1	0.07mg
リン	55mg	ビタミンB2	0.02mg
鉄分	0.5mg	ビタミンC	6mg
亜鉛	0.3mg	食物繊維	2.3g
かゆみ成分	シュウ酸カルシウム	ぬめり成分	マンナン, ガラクタン (水溶性食物繊維)

図 17. (参照: [里芋 | 野菜の図鑑 web \(yasaizukan.net\)](#))

【パロサントの根・葉に含まれる成分の例・・・これらの成分が水中に沈むことで溶出する】

植物名: パロサント (<i>Bursera graveolens</i>) バラ類 Rosids, ムクロジ目 Sapindales, カンラン科 Burseraceae		
成分を含む部位: 葉・樹脂・果実の皮 (分解時のpH: 酸性)		
成分	作用・効能	構造
テルペン類 (リモネン)	強い抗酸化作用 (活性酸素の中和) 中枢神経の鎮静作用 (ヒト), 腫瘍抑制効果 (ヒト)	
テルピネオール (Terpineol)	抗炎症、抗菌、抗酸化作用 (ヒト)	

図 18. (参照: [カンラン | 山科植物資料館 \(yamashina-botanical.com\)](#))

[ミルキーな香り放つ、パロサントの使い方ガイド。置くだけでもインテリアとして活躍！ | kurashi-no](#)

【マメ科の根・葉に含まれる成分の例・・・これらの成分が水中に沈むことで溶出する】

食品詳細		成分		説明	
【出典：日本食品標準成分表（八訂）増補2023年】		成分名		説明	
食品番号：06010 食品群名/食品名：野菜類/いんげんまめ/さやいんげん/若ざや/生 英名：VEGETABLES/Kidney beans/"Sayaingen", immature pods, raw 学名：Phaseolus vulgaris		不溶性食物繊維		セルロース 植物の細胞壁を構成する不溶性の非でんぷん性多糖類 ヘミセルロース 同上のセルロース以外の成分 リグニン 植物の細胞壁に含まれる芳香族フェノール性化合物 キチン カニ等甲殻類の殻やキノコ等菌類の細胞壁を構成する多糖類 キトサン キチンに加工処理を施して作った多糖類	
01.一般成分表-無機質-ビタミン類		水溶性食物繊維		ペクチン 植物の細胞壁を構成している粘性のある複合多糖類（不溶性もあり） ガム質 植物分泌液、グアーメー等に含まれる粘性のある多糖類 グルコマンナン こんにゃくに含まれる粘性のある多糖類 β-グルカン キノコ類や酵母菌に含まれる粘性のある多糖類 イヌリン ごぼう、きくいち等の根科植物の根に含まれる単糖の重合体 アガロース タンブク等の紅藻類に含まれる多糖類で、寒天の主成分 カラギーナン コトニー等の紅藻類に含まれる硫酸基を持つ多糖類 アルギン酸ナトリウム コンブ等の褐藻類に含まれる粘性のある多糖類 フコイダイン コンブ、ワカメ、モズク等の褐藻類の結晶物を構成する多糖類 難消化性デキストリン でんぷんを加水分解して低分子化し、難消化性の成分を分離して精製したもの	
【注意】μgは、百万分の一グラムを表す。 【注意】可食部 100 gあたりの数値。 重量換算		マメ類に含まれる機能性成分		効能・作用	
成分名		ビタミンE		フラボノール (flavone)：白・黄・イソフラボン -ダイゼイン (daidzein) -ゲニステイン (genistein) -グリシチン (glycitein) カテキン (catechin) ルチン (rutin) サポニン (saponin) レシチン (lecithin)	
たんぱく質		ビタミンB1		抗酸化作用による活性酸素除去 動脈硬化や心臓病の予防 免疫力の増強 抗アレルギー作用 血糖の保護 発がん物質の活性化抑制	
エネルギー		ビタミンB2		界面活性作用 溶血作用 コレステロール 過酸化脂質の低下作用 抗がん作用 脂肪の乳化作用	
水分		ナイアシン			
たんぱく質		ビタミンB6			
たんぱく質		ビタミンB12			
たんぱく質		葉酸			
たんぱく質		パントテン酸			
たんぱく質		ピオチン			
たんぱく質		ビタミンC			
たんぱく質		アルコロール			
たんぱく質		食塩相当量			

図 19. (参照: [野菜類/いんげんまめ/さやいんげん/若ざや/生 - 01.一般成分表-無機質-ビタミン類 \(mext.go.jp\)](#))

[豆の主な機能性成分 | 公益財団法人 日本豆類協会 \(mame.or.jp\)](#)



【トマトの根・葉に含まれる成分の例・・・これらの成分が水中に沈むことで溶出する】

食品詳細			01.一般成分表-無機質-ビタミン類		
食品番号：06182 食品群名/食品名：野菜類/（トマト類）/赤色トマト/果実/生 英名：VEGETABLES/Tomatoes/fruit, raw 学名：Lycopersicon esculentum			（注釈）μgは、百万分の一グラムを表す。 （注釈）可食部 100 g当たりの数値。		
成分名	値	単位	有機酸	灰分	レチノール
炭水化物	3	%			(0)
エネルギー	20	kcal			μg
水分	83	g			α-カロテン
たんばく質	94.0	g			β-カロテン
たんばく質	0.5	g			β-クリプトキサンチン
たんばく質	0.7	g			β-カロテン当量
たんばく質	0.1	g			レチノール活性当量
たんばく質	0.1	g			ビタミンD
たんばく質	0.1	g			α-トコフェロール
たんばく質	0.1	g			β-トコフェロール
たんばく質	0.1	g			γ-トコフェロール
たんばく質	0.1	g			δ-トコフェロール
たんばく質	0.1	g			ビタミンK
たんばく質	0.1	g			ビタミンB1
たんばく質	0.1	g			ビタミンB2
たんばく質	0.1	g			ナイアシン
たんばく質	0.1	g			ナイアシン当量
たんばく質	0.1	g			ビタミンB6
たんばく質	0.1	g			ビタミンB12
たんばく質	0.1	g			葉酸
たんばく質	0.1	g			パントテン酸
たんばく質	0.1	g			ピオチン
たんばく質	0.1	g			ビタミンC
たんばく質	0.1	g			アルコール
たんばく質	0.1	g			食塩相当量

図 20. (参照: 野菜類/（トマト類）/赤色トマト/果実/生 - 01.一般成分表-無機質-ビタミン類 (mext.go.jp))

【リュウゼツランの根・葉に含まれる成分の例・・・これらの成分が水中に沈むことで溶出する】

リュウゼツラン	含有成分	
(<i>Agave americana</i> var. <i>marginata</i>)	ビタミンC	エストロゲン様インフラボノイド
分類	ビタミンE	アルカロイド
植物界 Plantae	ビタミンA	
被子植物 angiosperms	カルシウム	
単子葉類 monocots	マグネシウム	
キジカクシ目 Asparagales	鉄分	
キジカクシ科 Asparagaceae	カリウム	
リュウゼツラン亜科 Agavoideae	亜鉛	
リュウゼツラン属 Agave	食物繊維	

リュウゼツラン属 - Wikipedia

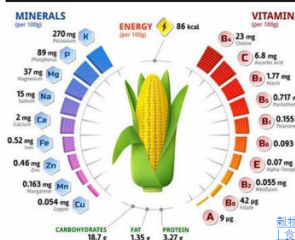
リュウゼツランについて解説します。 | 理想の生活 (sulf.jp)

図 21.

【トウモロコシに含まれる成分の例・・・これらの成分が水中に沈むことで溶出する】

食品詳細			01.一般成分表-無機質-ビタミン類		
食品番号：01131 食品群名/食品名：穀類/とうもろこし/玄穀/黄色種 英名：CEREALS/Corn/whole grain, yellow kernel, raw 学名：Zea mays			（注釈）μgは、百万分の一グラムを表す。 （注釈）可食部 100 g当たりの数値。		
成分名	値	単位	有機酸	灰分	レチノール
炭水化物	0	%			(0)
エネルギー	341	kcal			μg
水分	1441	g			α-カロテン
たんばく質	14.5	g			β-カロテン
たんばく質	(7.4)	g			β-クリプトキサンチン
たんばく質	8.6	g			β-カロテン当量
たんばく質	(4.5)	g			レチノール活性当量
たんばく質	(0)	g			ビタミンD
たんばく質	5.0	g			α-トコフェロール
たんばく質	71.2	g			β-トコフェロール
たんばく質	64.8	g			γ-トコフェロール
たんばく質	63.3	g			δ-トコフェロール
たんばく質	9.0	g			ビタミンK
たんばく質	-	g			ビタミンB1
たんばく質	70.6	g			ビタミンB2
たんばく質	-	g			ナイアシン
たんばく質	-	g			ナイアシン当量
たんばく質	-	g			ビタミンB6
たんばく質	-	g			ビタミンB12
たんばく質	-	g			葉酸
たんばく質	-	g			パントテン酸
たんばく質	-	g			ピオチン
たんばく質	-	g			ビタミンC
たんばく質	-	g			アルコール
たんばく質	-	g			食塩相当量

穀類/とうもろこし/玄穀/黄色種 - 01.一般成分表-無機質-ビタミン類 (mext.go.jp)



穀物？それとも野菜？ビタミン類も豊富なとうもろこしの栄養と効能
【食・料理】オリーブオイルをひとまわし (olive-hitomawashi.com)

図 22.

【当ラボにおける簡易ビオトープによる飼育とその効果 (pH, 水質, 成長率 ほか健康など)】

過去、我々はチナンパやこれらの自生植物による影響を考慮しつつ、入手しやすい植物を用いて飼育水槽中へ沈めることで 長辺 75cm 衣装ケースを用いた簡易的な小型のビオトープを作成し、アホロートルの飼育検討を実施した。(図 23. 参照.) そこで、前述のアホロートルを取り巻く環境やその変化を踏まえつつ、ビオトープ飼育の効果について再度考察したく思う。

ビオトープによる試験開始時、実際のメキシコに自生している植物と一致させることが難しかったため、ある程度安価に入手可能な観葉植物のゲッキツの葉・オオカナダモ等を中心に (図 23 (B). 参照.)、生物濾過の強化・亜硝酸塩+硝酸塩の分解・消費による窒素源の循環促進 → 枯れた植物の堆積による底材中への有機酸成分の生成・蓄積による成長・生育の活性化 (図 16. 参照.) という二段階での効果を期待して検証を行った。ビオトープへ投入したゲッキツに含まれる有効成分については 図 23. の表中に示しているが、フラボノイド・カロチノイド・リモノイド等、生体にとっても有益である報告のある成分が葉や茎に含有していることが分かっており、分解されることで水が pH が弱酸性になることが分っている。

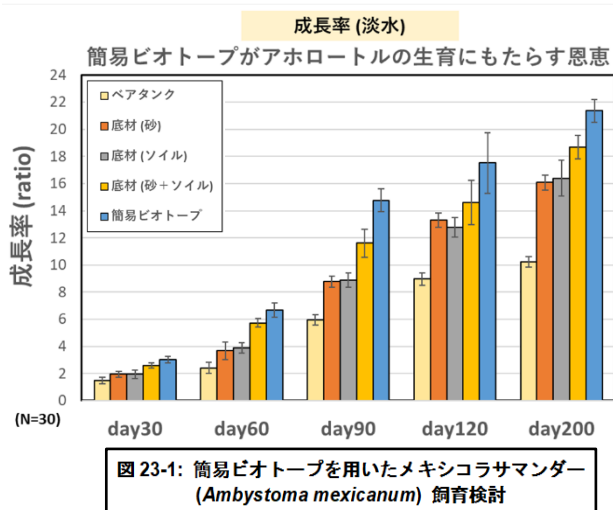
一方で、実際のソチミルコ周辺環境に自生している植物 (フィンデンドロン, パロサント, リュウゼツラン; 図 15. 参照.) やチナンパ農作による農産物 (図 17-22. 参照.) の根・茎から溶出される成分として、ビタミン A・B・C・D・食物繊維・鉄分・ポリフェノール (フラバノール) 等が挙げられる。ただし、チナンパでは幅広い種類の植物を栽培していたとされているためこの限りではないことが推察される。

尚、植物の葉・茎にはヨウ素を含むことが多いため、チナンパが盛んな時代に水中に溶出したヨウ素の濃度は、チナンパの規模が縮小した後では大きく減少してしまったであろうことが伺える。

また、現在の流通系統におけるアホロートルの甲状腺刺激ホルモン (TSH) の放出不全に見える形質は、チナンパ由来の水中のヨウ素濃度が高かったであろう頃に野生下で確立した形質が、溶出するヨウ素量が減少して変態が誘導される閾値を下回ったことで、更に固定化されたまま保持されていると推察できる。

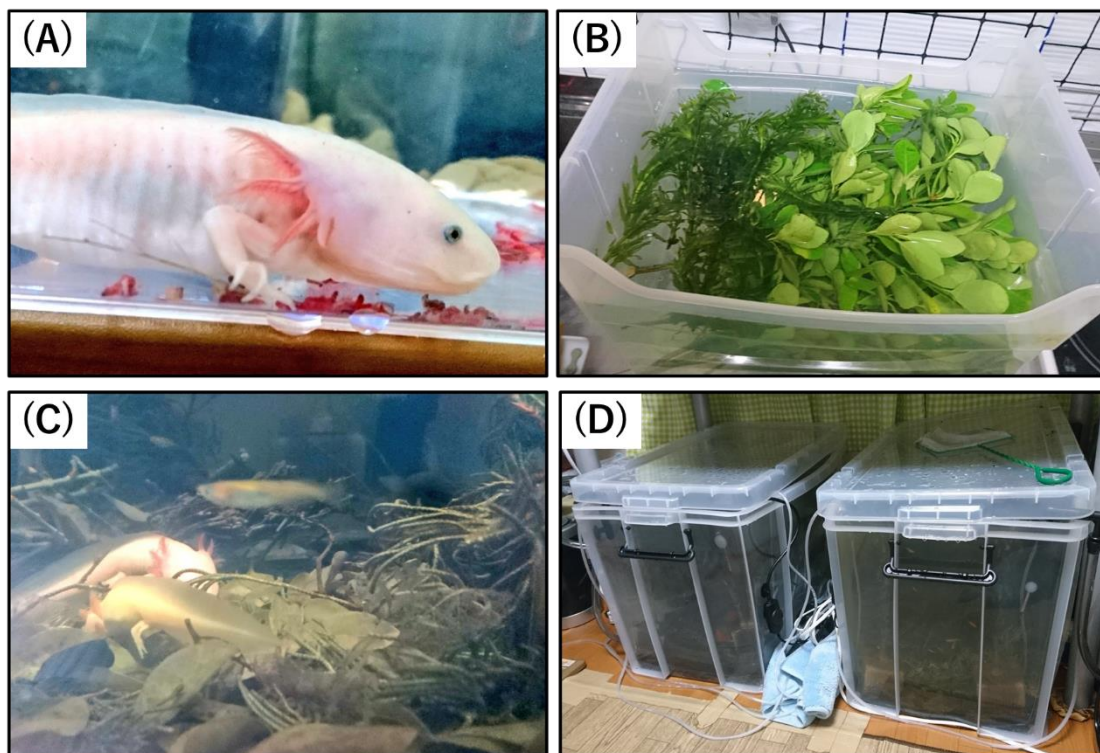
簡易ビオトープによるアホロートル飼育検討を 1~2 年程度継続した結果、以下のような傾向が見られた。

- ・投入した植物は、しばらくは枯れず、生葉として成長しながら水槽内に若干広がっていく。
- ・底砂のみの環境とは異なり、落葉の下に潜り込んで巣を形成する。
- ・落葉は、生き餌として投入したメダカやヌマエビ、掃除役のスネイル・タニシの巣や餌として機能する。
- ・フィルター濾過やエアー無しでは濾過が十分に働かず、pH や TDS の値が上昇していく。
→ 落葉が濾過バクテリアや小動物によって分解されていることが示唆された。
- ・水草類が増殖することで影が形成され、生育の補助に役立っていた。
- ・ビオトープの環境下では、それ以外の条件下よりも成長率が若干向上する傾向がある。



このように、植物の性質は原産地とはおそらく異なるものの、ビオトープの状態にすることで多くの有用な成分が水中へと溶出し、それらをアホロートルが経口摂取することで栄養とする事へと繋がるのが推察された。一方で、ヨウ素の蓄積や雑菌による感染症のリスクが懸念されたが、少なくとも約 700 日間の継続後において、変態の予兆や他の比較条件を超える健康上の影響は確認できなかった。

今回の検討において、完全なフィルター濾過無しで運用可能な飼育環境の作製は達成できなかったが、少なくとも生息地における豊かな自然環境とチナンパと共にあった土壌や水源の状態を部分的にでも再現できた点で有用であったと結論づけておく。



使用植物: ゲッキツ (月橘, <i>Murraya paniculata</i>) ミカン科ゲッキツ属の常緑小高木の柑橘類, 観葉植物		
成分を含む部位: 葉・果実の皮 (分解時の pH: 弱酸性)		
成分	作用・効能	構造
フラボノイド	抗炎症作用 (ヒト)	ナリンギン ヘスペリジン タンゲレチン ノビレチン
カロテノイド類	活性酸素除去作用 = 抗酸化作用 (ヒト)	β-クリプトキサンチン
クマリン類	血流を改善する効果, 抗菌効果 (ヒト)	オーラプテン
テルペン類	中枢神経の鎮静作用 (ヒト), 腫瘍抑制効果 (ヒト)	リモネン β-ピネン
リモノイド類 (苦味成分)	腫瘍抑制効果 (げっ歯類), 食欲増進作用 (ヒト), 食欲抑制作用 (昆虫)	リモニン

図 23-2: 簡易ビオトープを用いたアホロートルの飼育検討に用いた植物と溶出する有効成分

野生下のアホロートル数の減少と生息環境における環境汚染の関係性に関する考察

アホロートルの野生個体の減少の要因として、生息地周辺の土地開発によるそもそもの生息域である湖の埋め立てによる減少と共に、開発時の排水や観光地化したことによる生活・産業汚染水の排出による水質の悪化も要因として挙げられる。

アホロートルは水棲生物の中でも明確なウロコのようなものを持たず、上皮に張り巡らされた分泌粘膜で防御をしている。そのため化学物質・薬品への感受性が硬骨魚類と比較すると高く皮膚が敏感であるとされ、組織の炎症や粘膜の過剰分泌が起こり、酷い場合には体を掻く行動や石等に擦り付ける行動を示す場合もある。通常の魚用薬を魚類用に設定された濃度でアホロートル治療に用いてしまうと、感染症症状の進行が進んでいる個体においては、その寿命を早めてしまう可能性すらあり、この特性が薬品による感染症治療法の確立を大きく妨げてきた。

しかしながら、感染源となる細菌類（主にグラム陰性菌）の多くは、塩類に対する高い耐性を持ち 0.3~0.5% の塩浴治療のみでは十分な効果が得られないという問題があった。

そこで我々はこれまで、オキシリン酸やポピドンヨードによる薬浴治療のための最適濃度検討を実施し、一般のご家庭でも安定して治療を実施できる手法を確立するに至った。現在は、その普及と更なる最適化に努めている。

本項では、このような化学物質に対する耐性と曝露した際に示す症状について調査することで、工業廃水や生活排水 および 市販のアクアリウム用品がアホロートルに及ぼす詳細な影響や最適濃度について明らかにし、今後の生息環境の改善における一つの目安・指針を確立することを目指す。

【化学薬品・生活排水・水質汚染がアホロートルに与える影響】

化学成分がアホロートルに与える影響について解明する一旦として、以下の化学物質

- ・水道水のカルキ（塩素消毒液）および カルキ抜き（チオ硫酸ナトリウム、重金属除去剤）
- ・魚用治療薬（メチレンブルー、オキシリン酸、ポピドンヨード）
- ・食器洗い用の洗剤・泡石鹼
- ・水質調整剤（濾過バクテリア剤）・両生類用サプリ液

を彼らに与え、異変を示す割合について記録を行った。（補足図 4-1. 参照）

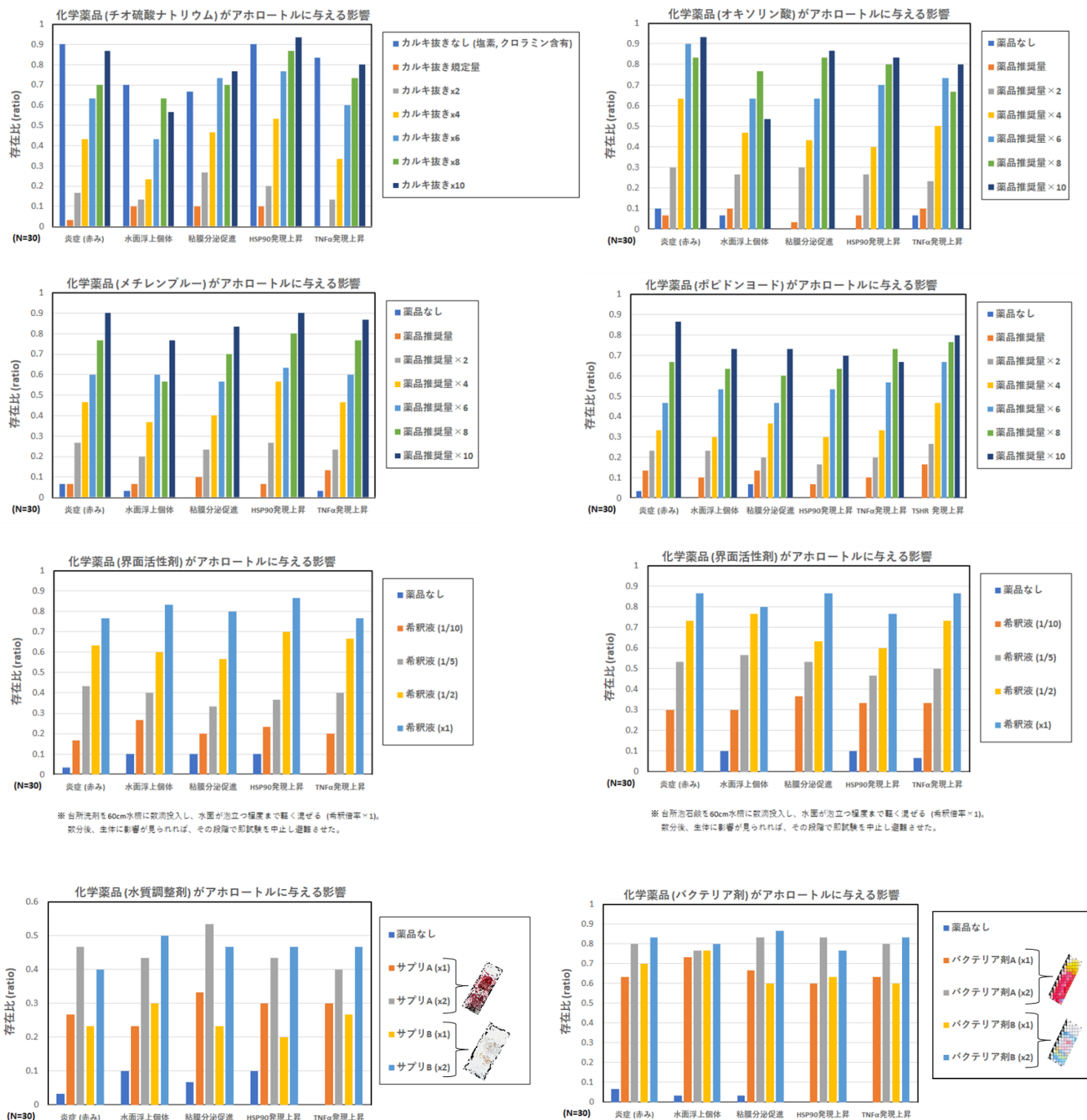
今回の調査に用いた個体は、ある程度耐性が高くなった成体（アダルト個体）とした。また、調査中に明確な異変が確認された個体は直ちに該当個体の調査を終了して回収し、汚染のない清潔な水で繰り返し洗浄後、回復させるように処置を施した。

尚、今回の調査に用いた個体は、2023 年末 現在も健康に生存している。

検討の結果、製品毎に閾値は異なったものの、規定量を超えた濃度の薬品に晒されることで、全身に赤身を帯びる炎症や鰓の不具合による水上浮上による呼吸 および 粘膜分泌量の増加（過剰分泌）等の症状を示した。特に界面活性剤は、日常生活で用いる量の 1/10 程度を水に混ぜるだけで、アクアリウム用品を高い濃度で用いた際と同様の強い反応を示したことから、以下に生活排水が彼らの生活を脅かすものであるか想像に容易いといえる。また魚用のサプリメント液は巷に広がっており、有用であるとの声も散見されるが一方で、これらの薬品の中に一般的に含まれる成分として、塩分濃度や硬度を上昇させるために食塩や鉱物（麦飯石やゼオライト等の粉末、カキ殻粉末等の炭酸カルシウム粉末）・重金属のキレート剤・クエン酸・ビタミン C などが含まれている場合が多い。従って、底材や汽水飼育等を導入している場合には逆に有効成分の過剰投与となって、今回の調査のように成体の負担となってしまうことにも繋がってしまうといえる。これらのサプリメントを使用される際は、水槽立ち上げ時や月に 1 回等、使用料や頻度を巧く調整する事を推奨する。

こうした傾向は、バクテリア剤でも顕著であり、炎症を引き起こす病原ともなり得る微生物を水中に加えること自体が、免疫力の低さが問題であるアホロートルにどれ程強く影響するかは想像に容易いであろう。基本的にアホロートル水槽の立ち上げ時、市販のバクテリア剤を使用することは避けることを推奨したく思う。

アダルト個体 (18~20cm 程度) が化学物質に対して示す応答



補足図 4-1: 化学薬品がアホロートルへ及ぼす影響

【プラスチック製品がアホロートルに与える影響】

少し話は変わるが、プラスチック製品も水棲生物の生息環境を脅かす要因として近年注目が集まっている。

ポリ乳酸 PLA などの自然界で分解される生分解性プラスチックが普及し始めている一方で、これまでに用いられていった一般的な石油製プラスチック類 (アクリル、ポリプロピレン、ポリスチレン、ポリビニル類 (PVA・PVC)、ポリカーボネード 等) のタンクや包装の破片が河川や海へと流出し細かく裁断されながらも分解されないまま漂流し、魚類等の体内に蓄積することで生命活動に影響を及ぼし、ひいてはそれを摂食した人間の健康被害にまでつながることが問題となっている。(マイクロプラスチックの問題; 補足図 4-2 (A) 左. 参照.)

同様に、これらのプラスチック加工時において成形性を向上させるために加える添加剤・可塑剤が、細かく裁断されて水中を漂う中で溶出し、それらの成分が一部の生物の生殖能力や生育に影響を与える可能性に対する懸念が一部で議論され、影響の少ない薬品を選出・開発して使用するよう適正化する検討がなされてきた。(“環境ホルモン”の問題; 補足図 4-2 (A) 右. 参照.)

またこれらの問題とは別に、アホロートルの飼育時にプラスチック水槽を用いると、表面の凹凸の問題もあり病原微生物や藻類・コケ等が生着・増殖しやすいため、免疫力の低いアホロートルにとって有害である水質の急変や感染症リスクが高まることが示唆されてきた。

こうした背景から、これらのプラスチック製品がアホロートルの健康状態に及ぼす影響について調査を実施した。(補足図 4-2 (B). 参照.)

調査の結果、プラスチック製の飼育容器・水槽での飼育を行うと、炎症や粘膜異常などの症状がガラス水槽を使用した場合と比較して顕著に増加することが明らかとなった。この現象は、薬浴による消毒やUVによる滅菌処理を実施することである程度緩和されたものの、やはりプラスチックの容器 (特に本来アクアリウム用途でないプラスチック製の容器) はガラス水槽を用いた飼育時と比較して、生体に微弱ながら影響を与える傾向が見られた。今回の検討において、水温や換水頻度を統一したことから、これが容器由来の化学成分であるか否かは確定できないものの、やはり水を入れる用途で製造されていない容器を用いることで、成体が望まない何らかの成分が溶出し、それが若干ながら成体に影響を与えてしまう可能性は否定できないように思われる。

今回の調査結果を踏まえると、プラスチック製品を含む化学製品や薬品使用する上で、環境や生体へ配慮し十分に注意して使用する必要があるといえる。ラボスケールの規模でも有意な影響が示されていることから、現実に野生下のアホロートルが健康に生育しかつての繁栄を取り戻すためには、まだまだ多くの課題が残されていると言わざるを得ない。

(A)

マイクロプラスチック問題とプラスチック加工時に加えられる添加剤・環境ホルモンの問題

プラスチックにもともと含まれる有害化学物質の暴露が増える

もともとプラスチックに入っている化学物質
飲食物にプラスチック容器を使うことによる直接的暴露
マイクロ化し、溶け出し、魚類の脂肪に蓄積したものの間接的暴露

海水中に浮いている有害化学物質
マイクロプラスチック+有害化学物質
マイクロプラスチックは排泄されるが有害化学物質の一部は身体に蓄積する

Analysis of Microplastics in Human Feces Reveals a Correlation between Fecal Microplastics and Inflammatory Bowel Disease Status
Zohar Yan, Yaeli Lin, Peng Zhang, Fuming Zhang*, Honggang Ren, and Yan Zhang*

【専門家の解説】プラスチックが拡散する有害化学物質 - 国際環境NGOグリーンピース (greenpeace.org)

プラスチックに含有する有害物・・・マイクロプラスチック + 添加剤

■フタル酸エステル

名称/略号	分子量	沸点 (°C)	水への溶解性 (mg/L)	特徴	主な用途
フタル酸ジメチル DMP	194	282	430	相溶性良好	ニトロセルロース樹脂可塑剤および有機過酸化物の希釈剤
フタル酸ジエチル DEP	222	298	1500	相溶性良好	酢酸セルロース・メタクリル酸・酢酸ビニル・ポリスチレンの希釈剤
フタル酸ジブチル DBP	278	339	10(25°C)	相溶性、加工性、耐油性良好	塗料、接着剤、印刷インキ、セラミックス、オレフィン用重合触媒
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル DEHP	390	386	0.003	相溶性、可塑性、耐熱安定性、耐酸化性、低温特性良好	床材、壁紙、一般フィルム、シート等
フタル酸ジイソノル DINP	419	403	0.0006	耐毒性、耐燃性、ペースト・ソル媒安定性良好	フィルム、シート、高級レザー、電線
フタル酸ジイソデシル DIDP	446	420	0.0002	低揮発性、耐熱老化性良好	電線、車内及び家具用レザー、シャワーカーテン、床材等
フタル酸ブチルベンジル BBP	312	370	2.7	相溶性、耐熱・耐水性良好	床壁用タイル、塗料用、ペースト用、人造皮革・室内装飾品用

*常温 20°C

■フタル酸エステル以外

名称/略号	分子量	沸点 (°C)	水への溶解性 (mg/L)	特徴	主な用途
アジピン酸ジ-2-エチルヘキシル DOA	371	335	0.0032 (22°C)	耐毒性、プラスチックの粘度安定性良好	電圧シート、ゴム加工、潤滑油
アジピン酸ジイソノル DINA	427	> 250	0.00022	耐毒性、揮発性、耐熱性良好	食品包装用フィルム、接着剤の調整剤
アゼライン酸ジオクチル DOZ	413	220-245 (0.53kPa)	不溶	潤滑油	フィルムおよび合成ゴム等の耐毒性可塑剤、合成潤滑油
セバシン酸ジオクチル DOS	427	376	不溶	耐毒性良好	合成潤滑油、グリース、フィルムおよび合成ゴム等の耐毒性可塑剤
リン酸トリクレシル TCP	368	420	0.1 (25°C)	耐毒性良好	農業用フィルム、フェノール・エポキシ樹脂、各種エンブラ等の難燃性可塑剤、難燃性潤滑油、電気絶縁剤
アセチン酸トリブチル ATBC	402	200 (4torr)	5	耐毒性、極低温特性、潤滑性、粘性性良好	食品包装用フィルム、ペースト・ソル、潤滑油
トリメチトリブチル TOTM	547	414	0.00039 (25°C)	相溶性、加工性良好	耐熱電線被覆材、自動車内装材

*常温 20°C

プラスチックケース (ポリプロピレン、ポリスチレン製)

ポリスチレン製品が出来るまで | 日本スチレン工業会 (jsia.jp)

W512206 ▶ Sigma-Aldrich

フタル酸ジエチル (添加剤)

別名: アノソール、ベンゼン-1,2-ジカルボン酸ジエチル、DEP

化学式: CCOC(=O)C1=CC=CC=C1C(=O)OCC

CAS番号: 84-66-2 分子量: 222.24

Beilstein: 1912500 EC Number: 201-550-6

MDL番号: MFCD00009111 PubChem Substance ID: 24902063

NACRES: NA.21

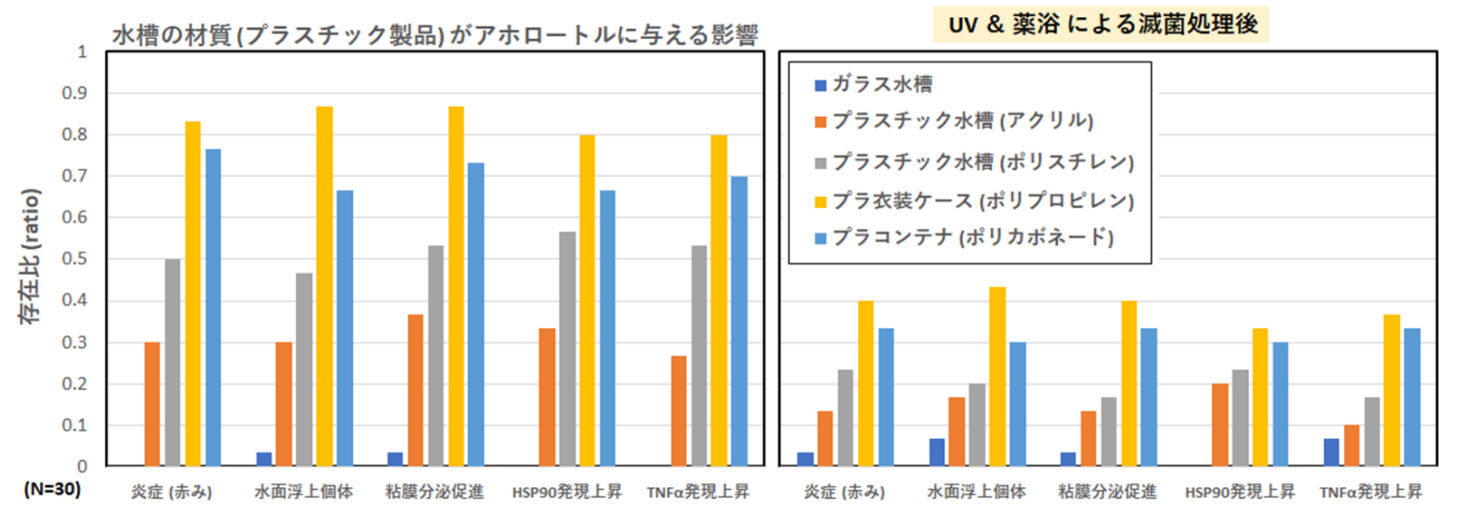
フタル酸ジエチル ≥ 99% | Sigma-Aldrich (sigmaaldrich.com)

射出成形: 基礎知識 (成形材料) | 技術情報 | MISUMI-VONA (misumi-ec.com)

主な樹脂 (プラスチック) ・ 添加剤一覧 | 樹脂成形エキスパート | キーエンス (keyence.co.jp)

添加剤ガイドブック | 第3回 成形性改良剤の選定と評価方法、上まな使い方 (tenkazai.com)

(B) アダルト個体 (18~20cm 程度) がプラスチック製品に対して示す応答



補足図 4-2: プラスチック製品がアホロートルへ及ぼす影響

【近縁種アンダーソンサラマンダー・タイガーサラマンダーとの比較】

メキシコサラマンダー (*Ambystoma mexicanum*) の近縁種のアホロートルには、アンダーソンサラマンダー (*Ambystoma andersoni*) や 先述の タイガーサラマンダー (トウブタイガーサラマンダー: *Ambystoma tigrinum*) などが存在し、一部の近縁種において全身のゲノム配列の解析結果によって共通の祖先等も明らかとなっている (図 28-1. 参照.)

一般に流通しているアホロートルの品種には以下に示すような品種が存在し、野生型体色のマーブルを含め、白色個体のリューススティック等の様々な品種が存在する。
現在世界の研究機関で流通している個体には、上記のタイガーサラマンダーとの交雑が明らかとなっている一方で、日本国内で一般に流通している個体の中には未だ野生型に近い系統が残っているとされる。

標準系統 (交雑していない、広義には野生型の系統)

マーブル
(野生型体色)

リューススティック
(一部色素欠乏)

ブラック
(メラニン過剰)

アルビノ系統

アルビノ

ゴールデン

イエロー

(杉山. 2023)

edn3 (第三染色体上) 遺伝子は黒色体色制御に関わる

WT

dd; actb2:Edn3 F0

dd

※ Edn3: Endothelin-3

White locus corresponds to edn3. (A) Mapping of white mutant phenotype... | Download Scientific Diagram (researchgate.net)

Axolotl *tyr* gene (第七染色体上) 遺伝子の変異遺伝子 *tyr*^a (下図 C の領域の欠損) をホモ接合で持つ個体はアルビノ体色になる。
またこの遺伝子領域は、交雑時のタイガーサラマンダー由来である可能性が高い。

基本的に変異遺伝子をホモ接合で持たなければ
マーブル以外の異常体色にはならない。

Table of colour variants

D/D } dark
D/d } dark

M/M } no effect
M/m } effect

A/A } no effect
A/a } effect

AX/AX } no effect
AX/ax } effect

d/d = white
m/m = melano
a/a = albino
ax/ax = axanthic

Acts on iridophores

Acts on melanophores

Acts on xanthophores

Axolotls - Genetics and Colour

Figure 2. Albino results from a mutation in tiger salamander *tyr*. (A) SNPs identified in the *tyr* 3' UTR of WT axolotls, albino axolotls, and wild caught tiger salamanders. (B) FISH and genetic mapping localizes *tyr* to the distal tip of linkage group 7. (C) Genomic structure of *tyr*. (D) WT and TALEN-targeted *tyr* mosaic larva, phenocopying the albino mutant. Scale bar: 5 mm.

White locus corresponds to edn3. (A) Mapping of white mutant phenotype... | Download Scientific Diagram (researchgate.net)

B. PCR Primers used for *tyr* 5' RACE.

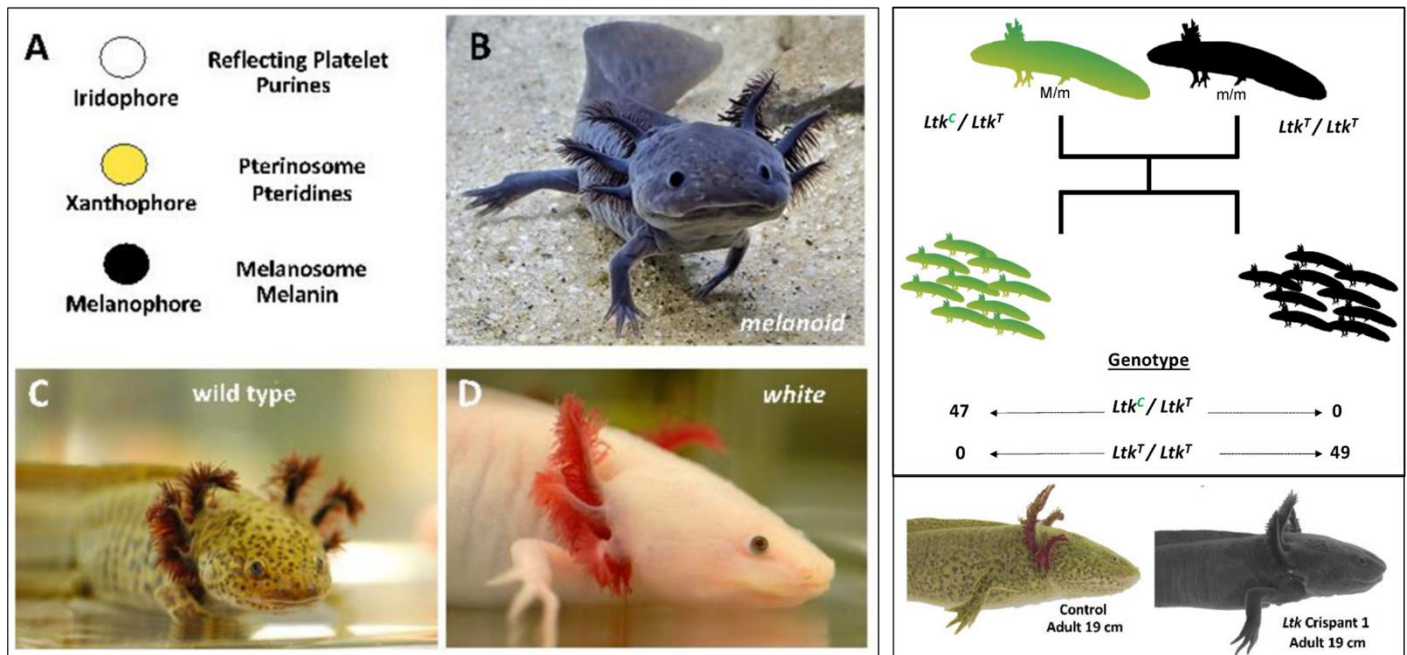
Primer ID	Primer Sequence	Reference Sequence
OCA1_GSP3.2	CAATCCAAGTACAGGAATAGCAAAC	GenBank
OCA1_GSP3.3	ACTTATAGACCGGTTTGCTATTCCT	Locus KU684456

※ *tyr*: tyrosinase [Ambystoma mexicanum tyrosinase gene, complete cds - Nucleotide - NCBI (nih.gov)]

図 24: メキシコサラマンダー (*Ambystoma mexicanum*) 系統の関連情報 1

CC BY NC ND

はるらぼ!
HAL lab.axolotl



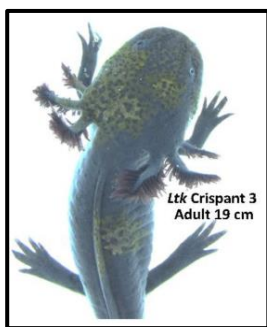
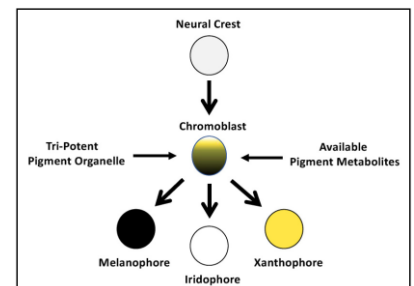
※ *Ltk* (*Leukocyte Tyrosine Kinase*) gene: 変異型 (Ltk^T) ホモ接合体は、メラニン過剰 (ブラック) 体色となる。

[Mirindi et al., [Genes \(Basel\)](#), 2023 Apr; 14(4): 904. Published online 2023 Apr 13. doi: [10.3390/genes14040904](#)]

図 25: メキシコラサマンダー (*Ambystoma mexicanum*) 系統の関連情報 2

【野生型体色を構成する色素 (右模式図を参照)】

- ・ **イリドフォア (虹色素細胞)** ... 実際の色素は無く、光の反射で蛍光が見える (金環、ラメ)。
- ・ **キサントフォア (黄色素細胞)** ... 黄色。メラノフォア近傍で存在し、斑模様を形成する。
- ・ **メラノフォア (黒色素細胞)** ... 黒色。メラノフォア同士で隣接する。
- ・ **クロモブラスト (色素芽細胞)** ... 上記 3 つの色素細胞の元となる細胞 (胚発生過程での神経管由来の細胞)



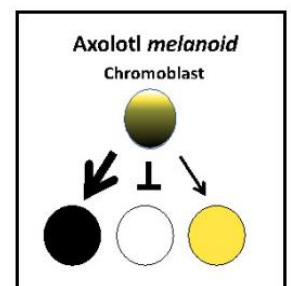
尚、受精卵の時期にゲノム編集 (CrispR-Cas9) によって *Ltk* の配列を本来と異なる状態へと改変することで、メラノフォアの存在比が圧倒的に増大し、イリドフォア (金環) が消失する。

改変箇所によってはモザイク状にキサントフォアが多く点在するような個体が誕生する (左図参照; Mirindi et al., 2023)。また同個体では片目のみイリドフォアが目の金環で確認できる。

野生型の *Ltk* とメラニン過剰となる変異型 Ltk^T では、数か所に点在する塩基の置換 (SNP: 一塩基多型) によるアミノ酸の変異が見られており、ゲノム編集を加えた影響でキサントフォアが見られない部位では、変異型の Ltk^T と同様に *Ltk* のうち野生型体色制御に必要な領域が失われている可

能性が高いといえる。一方で、野生型体色の胚とメラノイドの胚における *Ltk* の発現レベルには大きな差が見られないことから、変異型 Ltk^T と *Ltk* では発現するクロモブラストからの色素細胞への分化の運命決定の優先度が異なることが考えられた。特に、左写真のようなキサントフォアが中心のモザイク状の変異が見られることから、右のモデル図のように、変異型 Ltk^T を発現したクロモブラストではメラノフォアへの分化が最優先となり、次いでキサントフォアへ分化することが推察された。一方で、イリドフォア (金環、ラメ) へ分化しないような機構が働いている可能性が考えられた。

尚、前提事項として、野生型の個体においては、クロモブラストは均一に 3 種類の色素細胞へ分化できる能力を持っていることは明らかとなっている (Mirindi et al., 2023)。



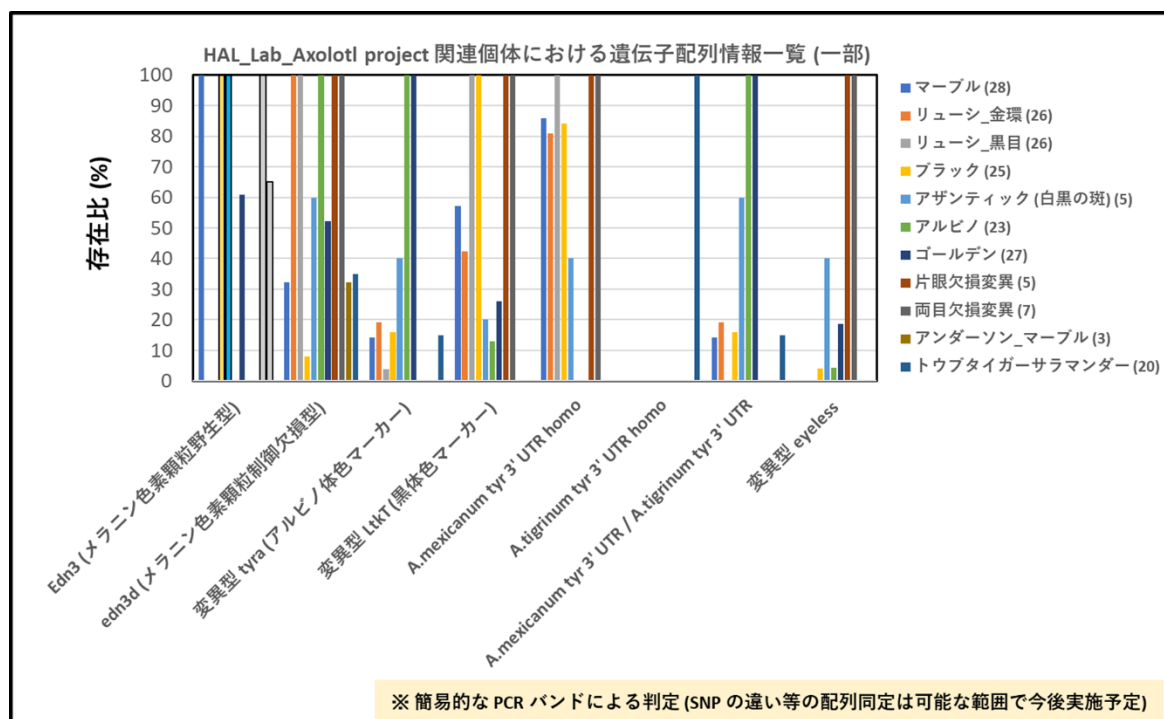
Mutant Gene List



Albino (a).	Anemic (an).	Axanthic (ax).
Cardiac Non-function (c).	Eyeless (e).	Fluid Imbalance (f).
Gill Lethal (g).	Hand Lethal (h).	London Lethal (l).
Melanoid (m).	Microphthalmic(mi).	Pindhead (pi).
Lethal (r).	Short Toes (s).	Spastic (sp).
Stasis (st).	Twisted Gills (t).	Vasodilatation (v).
White (d).	Lethal (x).	

<https://ambystoma.uky.edu/axolotl-research2/12-educationresources/9-mutant-genes>

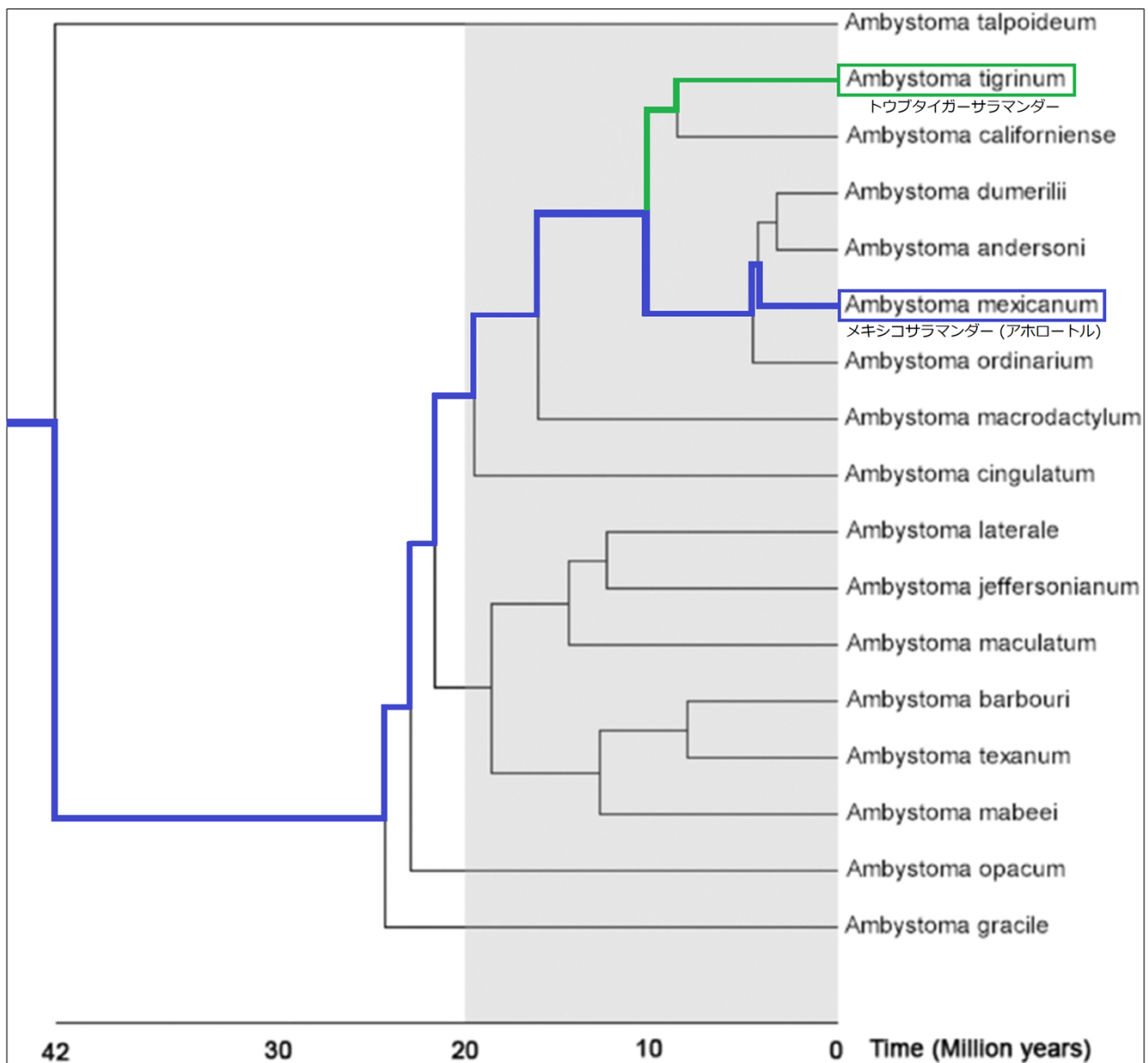
図 26: アホロートルにおける突然変異形質リスト (既存報告されたもの)



	Edn3 (メラニン色素顆粒野生型)	edn3 ^d (メラニン色素顆粒制御欠損型)	変異型 tyra ^a (アルビノ体色マーカー)	変異型 Ltk ^b (黒体色マーカー)
マール (28)	100.0	32.1	14.3	57.1
リュウシ_金環 (26)	0.0	100.0	19.2	42.3
リュウシ_黒目 (26)	0.0	100.0	3.8	100.0
ブラック (25)	100.0	8.0	16.0	100.0
アザンティック (白黒の斑) (5)	100.0	60.0	40.0	20.0
アルビノ (23)	0.0	100.0	100.0	13.0
ゴールデン (27)	60.9	52.2	100.0	25.9
片眼欠損変異 (5)	0.0	100.0	0.0	100.0
両目欠損変異 (7)	0.0	100.0	0.0	100.0
アンダーソン_マール (3)	100.0	32.1	0.0	0.0
トウブタイガーサラマンダー (20)	65.0	35.0	15.0	0.0

	A.mexicanum tyr 3' UTR homo	A.tigrinum tyr 3' UTR homo	A.mexicanum tyr 3' UTR / A.tigrinum tyr 3' UTR	変異型 eyeless
マール (28)	85.7	0.0	14.3	0.0
リュウシ_金環 (26)	80.8	0.0	19.2	0.0
リュウシ_黒目 (26)	100.0	0.0	0.0	0.0
ブラック (25)	84.0	0.0	16.0	4.0
アザンティック (白黒の斑) (5)	40.0	0.0	60.0	40.0
アルビノ (23)	0.0	0.0	100.0	4.3
ゴールデン (27)	0.0	0.0	100.0	18.5
片眼欠損変異 (5)	100.0	0.0	0.0	100.0
両目欠損変異 (7)	100.0	0.0	0.0	100.0
アンダーソン_マール (3)	0.0	0.0	0.0	0.0
トウブタイガーサラマンダー (20)	0.0	100.0	15.0	0.0

図 27: HAL_Lab_Axolotl project 関連個体における遺伝子配列情報一覧 (一部)



(Melissa et al., 2018)

https://www.researchgate.net/publication/329547761_Miniscule_differences_between_sex_chromosomes_in_the_giant_genome_of_a_salamander

図 28-1: タイガーサラマンダー種 (*Ambystoma tigrinum*, *Ambystoma mavortium*) 1

全身のゲノム配列の比較により、メキシコサラマンダー (*Ambystoma mexicanum*) とタイガーサラマンダー (*Ambystoma tigrinum*) が共通祖先から種分化しており近縁であることが分かる。実際、形態や習性なども近い点が多く見られ、交雑による雑種がアメリカにおけるアホロートルの研究用の累代飼育系統として数を増やしていることから、これら二種は近縁かつ生態が近いといえる。(図 28-2. 参照)

とはいえ、種としてはやや離れた位置に居ることからも、現状は細かな性質の違いが見られることを考慮する必要があることが推察される。



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://amphibiansandreptiles.org/ambystoma-tigrinum)



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://amphibiansandreptiles.org/ambystoma-mavortium)



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 28-2: タイガーサラマンダー種 (*Ambystoma tigrinum*, *Ambystoma mavortium*) 2

(A)-(B) トウブタイガーサラマンダーの成体 (上陸個体)

(C) 幼体の形態 (アホロートルに類似した外見・生態をしている)

(D)-(E) オビタイガーサラマンダーの成体 (上陸個体)

(F) 幼体の形態 (アホロートルに類似した外見・生態をしている)

(G) タイガーサラマンダー種におけるネオテニーの例 (トウブとオビの混血か); メキシコ湾で発見された個体.

我々は、共同研究者である 竜岡氏 (PN) の協力を得ることで、近縁種であるトウブタイガーサラマンダーやアンダーソンサラマンダーにおける様々な情報やアホロートルにおける我々の調査との比較検討等を行った。

飼育時の傾向として、タイガーサラマンダーは塩類に対しても抵抗性は低くなく、実際に野生個体はアメリカ大陸に広く分布し、地下水脈や運河・湾岸等の水質を見ると塩分濃度や硬度が非常に高い領域にも沢山分布していることと相関しているとのこと。(図 29. 参照.)

また実際の形態を見ても、成長過程および上陸後共に、目立つ黄色味がかった対象や模様を除く形態は非常に共通点が多く、生息様式にはあまり大きな違いが無いようである。(図 28-2, 図 29-1. 参照.)

一方、飼育時の傾向として、アンダーソンサラマンダーは対照的に塩分を好まず、彼らの生息するザカブ湖周辺は淡水の水脈が広がっており、Na を多くは含まない淡水かつ硬水の水質であることが伺える。(図 29. 参照.)

実際の形態を見ると、メキシコサラマンダーの野生型体色 (マーブル) とともに非常に共通点が多く、生息様式においても殆ど大きな違いが見られない点において タイガーサラマンダーと共通している。(図 28-2, 図 29-1. 参照.)

尚、竜岡氏の協力の元、メキシコサラマンダーにおける我々の調査結果と比較可能な近縁種の飼育検討結果について抽出し、アンダーソンサラマンダーやタイガーサラマンダーとの性質比較を実施したため、本研究・調査報告の締めくくりとして共有したく思う。(図 30～38. 参照.)

メキシコサラマンダーの場合		
	ベアタンク時 (硬度低め)	底砂有り時 (硬度高め)
産卵時 (成体)	淡水～0.30%	淡水～0.40%
卵の孵化 (9割以上)	淡水～0.10%	淡水～0.15%
day30～60 (幼体)	0.10～0.15%	0.10～0.25%
day120以降 (亜成体以降)	0.10～0.20%	0.10～0.30%
※ いずれも底砂 (ゼオライト + 黒玉土) がある方が安定する		

アンダーソンサラマンダーの場合		
	ベアタンク時 (硬度低め)	底砂有り時 (硬度高め)
産卵時 (成体)	淡水～0.20%	
卵の孵化 (9割以上)	淡水	
day30～60 (幼体)	0.05～0.10%	0.05～0.15%
day120以降 (亜成体以降)	0.05～0.15%	0.05～0.20%
※ いずれも底砂 (ゼオライト + 黒玉土) がある方が安定する		

トウブタイガーサラマンダーの場合		
	ベアタンク時 (硬度低め)	底砂有り時 (硬度高め)
産卵時 (成体)	淡水～0.50%	淡水～0.50%
卵の孵化 (9割以上)	淡水～0.25%	淡水～0.30%
day30～60 (幼体)	0.20～0.40%	0.20～0.50%
day120以降 (亜成体以降)	0.20～0.40%	0.20～0.50%
※ いずれも底砂 (ゼオライト + 黒玉土) がある方が安定する		

左図にて、詳細な調査結果を一つにまとめた内容を示す。
これらの傾向を見ると、やはりアンダーソンサラマンダーはメキシコサラマンダーと比較して耐塩性はやや劣る一方で、タイガーサラマンダーは比較的塩分濃度が高い状態でもある程度耐久することができる印象を受けた。
これらは勿論個体差や原産地、累代化 (CB) の有無等の要因の影響を受けるが、少なくともこれらの近縁 3 種は、かれらの原産地と思われる生息地環境に合わせて若干異なる性質を示し、大陸の移動による地殻変動・人為的な移動などによって生殖隔離や逆の交雑による種の多様化等を経て、現在のようにある程度固定化されたものであると推察できる。

近年、タイガーサラマンダーにおいても、飼育や釣り餌に用いるオビタイガーサラマンダーと野生種のトウブタイガーサラマンダーの交雑が起こり、強靱かつ無秩序にその生息域を拡大す

る雑種として環境を脅かしていることが報告されている。(図 28-2 (G). 参照.)
こうした外来種問題も、環境汚染による環境破壊の一種であり、アホロートルの種の減少に今後更に影響を与える可能性が十分にあることから、生体を取り扱う人間一人一人がこうした問題を認識し、むやみな放流や逃亡が起こることがないように厳重な対策 (餌としての使用の規制、不妊の品種の流通など) を施していく必要があると言えるだろう。

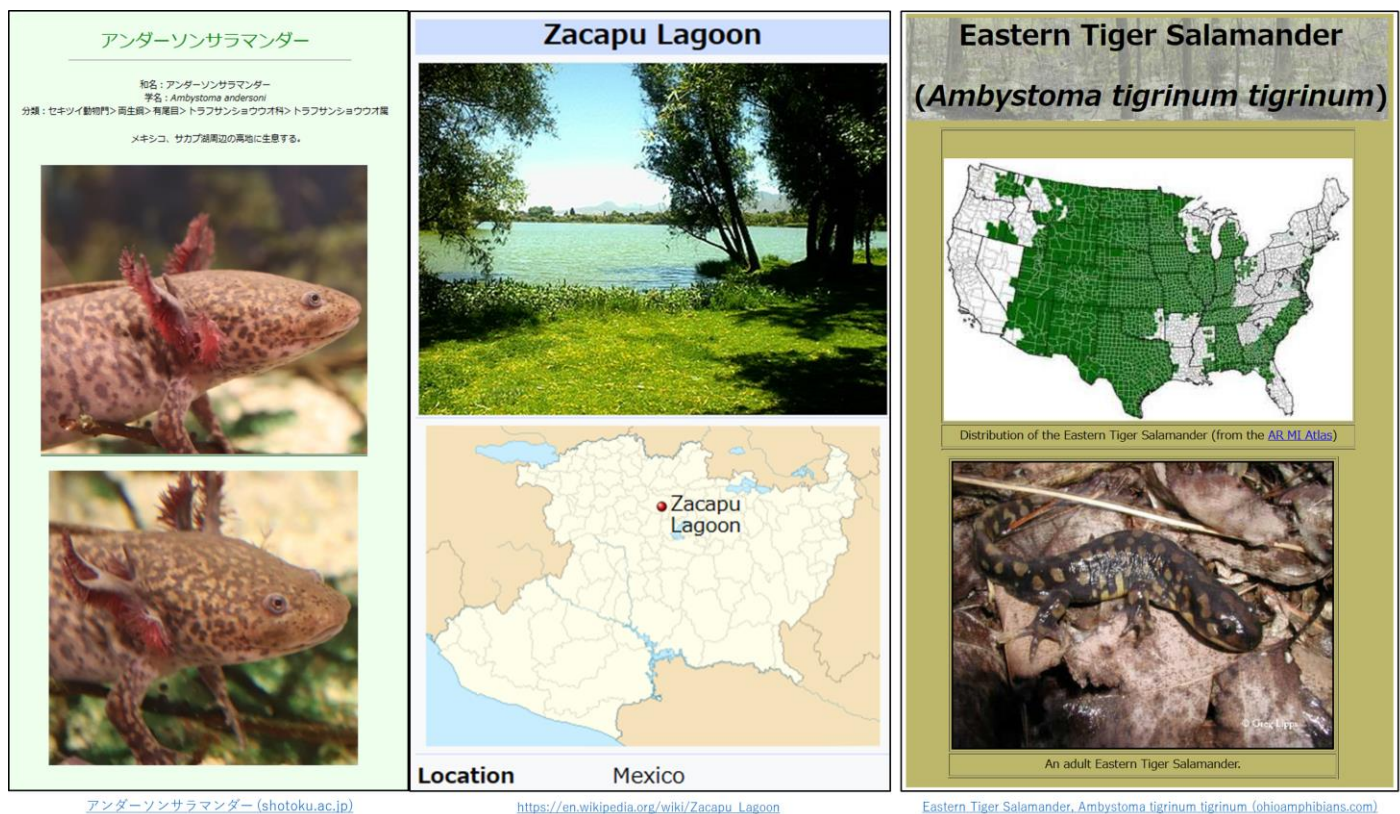


図 29-1: アホロートル近縁種の生息域の比較 1

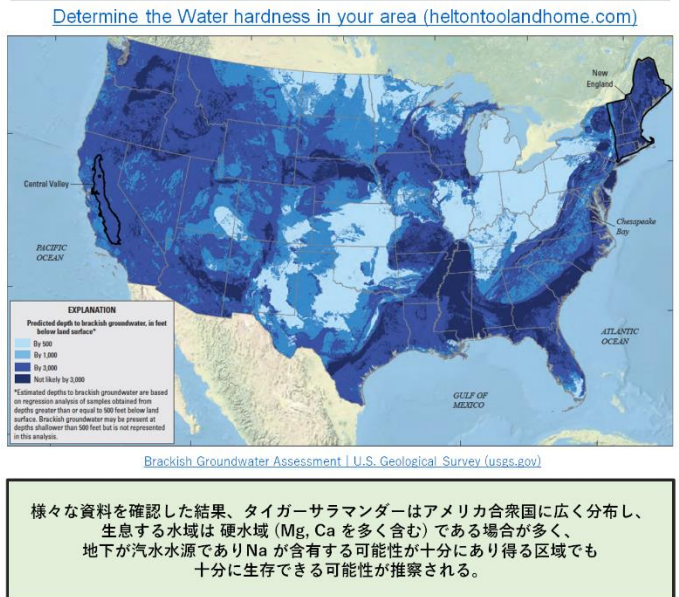
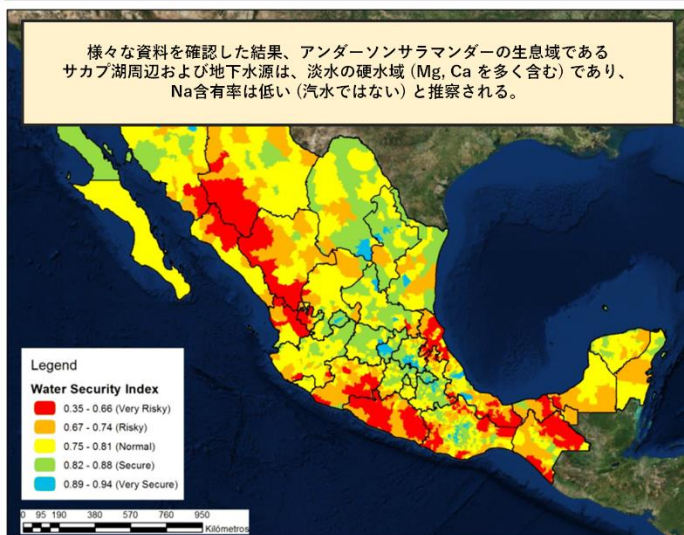
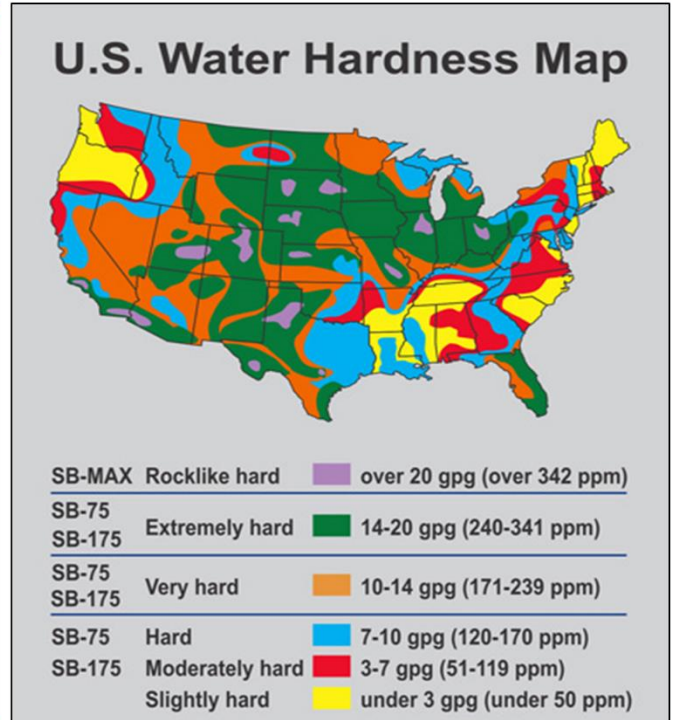
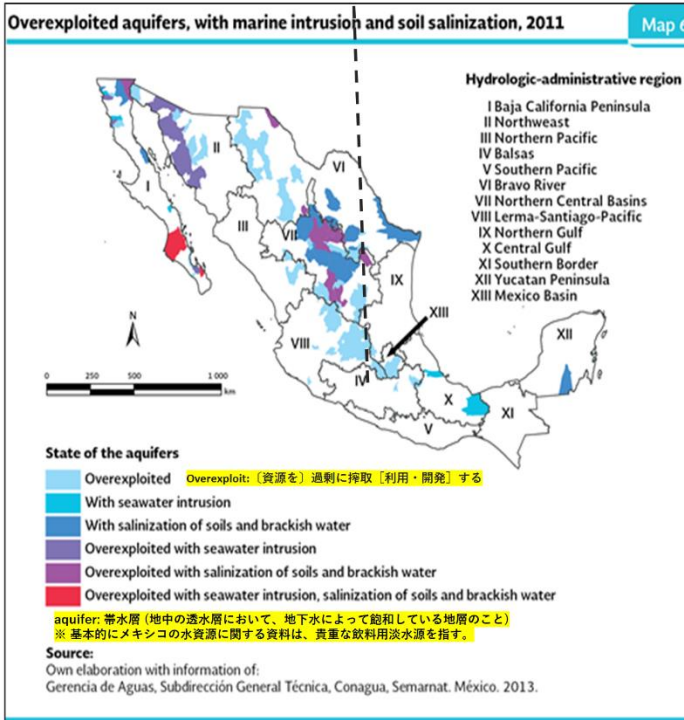
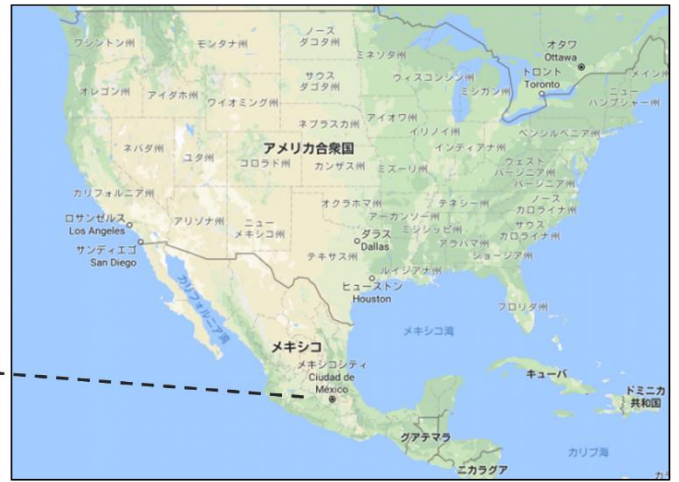


図 29-2: アホロートル近縁種の生息域の比較 2

表 2: メキシコサラマンダーおよび近縁種による水の硬度への適応度の比較

軟水	南アルプスの天然水 (30.0mg/L)	クリスタルガイザー (38.0mg/L)
軟水汽水 (Na添加)	南アルプスの天然水 (30.0mg/L) + 0.15% Na	クリスタルガイザー (38.0mg/L) + 0.15% Na

硬水	エビアン (304.0mg/L)	ヴィッテル (768.0mg/L)	コントレックス (1468.0mg/L)
軟水汽水 (Na添加)	エビアン (304.0mg/L) + 0.15% Na	ヴィッテル (768.0mg/L) + 0.15% Na	コントレックス (1468.0mg/L) + 0.15% Na

120日間における成長率			
60cm水槽 (Gex マリーナ60cm), 上部型フィルター (デュアルクリーン) + 投げ込みフィルター (ロカボーイL). 餌: ひかりワーパーブルーバー (給餌: 3-5cm では小粒2-3個相当 (毎日), 7-10cm では 小粒5-10個相当 (3日毎), 10cm以上では大粒5個 (3日毎). 換水頻度: 3日毎に1/2ずつ換水, 周期的な汽水温度変動はさせずに実施. 淡水飼育系統 (リュウシュ4, マープルx3, ブラックx3) を使用.			
軟水	南アルプスの天然水 (30.0mg/L; 約0.001%相当)	クリスタルガイザー (38.0mg/L; 約0.001%相当)	
	2.37 ± 0.07	2.47 ± 0.09	
軟水汽水 (Na添加)	南アルプスの天然水 (30.0mg/L; 約0.001%相当) + 0.15% Na	クリスタルガイザー (38.0mg/L; 約0.001%相当) + 0.15% Na	
	6.37 ± 0.44	6.00 ± 0.56	
硬水	エビアン (304.0mg/L; 約0.01%相当)	ヴィッテル (768.0mg/L; 約0.025%相当)	コントレックス (1468.0mg/L; 約0.05%相当)
	3.49 ± 0.09	3.81 ± 0.15	3.90 ± 0.10
軟水汽水 (Na添加)	エビアン (304.0mg/L; 約0.01%相当) + 0.15% Na	ヴィッテル (768.0mg/L; 約0.025%相当) + 0.15% Na	コントレックス (1468.0mg/L; 約0.05%相当) + 0.15% Na
	6.56 ± 0.09	7.20 ± 0.15	7.27 ± 0.10

120日間における成長率			
60cm水槽 (Gex マリーナ60cm), 上部型フィルター (デュアルクリーン) + 投げ込みフィルター (ロカボーイL). 餌: ひかりワーパーブルーバー (給餌: 3-5cm では小粒2-3個相当 (毎日), 7-10cm では 小粒5-10個相当 (3日毎), 10cm以上では大粒5個 (3日毎). 換水頻度: 3日毎に1/2ずつ換水, 周期的な汽水温度変動はさせずに実施. 淡水飼育系統 (アルビノx5, ゴールデンx5) を使用.			
軟水	南アルプスの天然水 (30.0mg/L; 約0.001%相当)	クリスタルガイザー (38.0mg/L; 約0.001%相当)	
	2.58 ± 0.11	2.85 ± 0.36	
軟水汽水 (Na添加)	南アルプスの天然水 (30.0mg/L; 約0.001%相当) + 0.15% Na	クリスタルガイザー (38.0mg/L; 約0.001%相当) + 0.15% Na	
	6.58 ± 0.11	6.64 ± 0.45	
硬水	エビアン (304.0mg/L; 約0.01%相当)	ヴィッテル (768.0mg/L; 約0.025%相当)	コントレックス (1468.0mg/L; 約0.05%相当)
	3.46 ± 0.31	3.85 ± 0.11	4.04 ± 0.38
軟水汽水 (Na添加)	エビアン (304.0mg/L; 約0.01%相当) + 0.15% Na	ヴィッテル (768.0mg/L; 約0.025%相当) + 0.15% Na	コントレックス (1468.0mg/L; 約0.05%相当) + 0.15% Na
	6.76 ± 0.08	7.34 ± 0.48	7.49 ± 0.27

120日間における成長率			
60cm水槽 (Gex マリーナ60cm), 上部型フィルター (デュアルクリーン) + 投げ込みフィルター (ロカボーイL). 餌: ひかりワーパーブルーバー (給餌: 3-5cm では小粒2-3個相当 (毎日), 7-10cm では 小粒5-10個相当 (3日毎), 10cm以上では大粒5個 (3日毎). 換水頻度: 3日毎に1/2ずつ換水, 周期的な汽水温度変動はさせずに実施. 淡水・硬水飼育系統を使用. (タイガーサラマンダー)			
軟水	南アルプスの天然水 (30.0mg/L; 約0.001%相当)	クリスタルガイザー (38.0mg/L; 約0.001%相当)	
	4.78 ± 0.36	4.82 ± 0.26	
軟水汽水 (Na添加)	南アルプスの天然水 (30.0mg/L; 約0.001%相当) + 0.15% Na	クリスタルガイザー (38.0mg/L; 約0.001%相当) + 0.15% Na	
	7.00 ± 0.12	7.49 ± 0.29	
硬水	エビアン (304.0mg/L; 約0.01%相当)	ヴィッテル (768.0mg/L; 約0.025%相当)	コントレックス (1468.0mg/L; 約0.05%相当)
	5.63 ± 0.16	6.71 ± 0.53	7.33 ± 0.25
軟水汽水 (Na添加)	エビアン (304.0mg/L; 約0.01%相当) + 0.15% Na	ヴィッテル (768.0mg/L; 約0.025%相当) + 0.15% Na	コントレックス (1468.0mg/L; 約0.05%相当) + 0.15% Na
	8.82 ± 0.64	9.66 ± 0.34	10.45 ± 0.38

120日間における成長率			
60cm水槽 (Gex マリーナ60cm), 上部型フィルター (デュアルクリーン) + 投げ込みフィルター (ロカボーイL). 餌: ひかりワーパーブルーバー (給餌: 3-5cm では小粒2-3個相当 (毎日), 7-10cm では 小粒5-10個相当 (3日毎), 10cm以上では大粒5個 (3日毎). 換水頻度: 3日毎に1/2ずつ換水, 周期的な汽水温度変動はさせずに実施. 淡水飼育系統 (アンダーソンメキシコサラマンダー; いずれもマープル) を使用.			
軟水	南アルプスの天然水 (30.0mg/L; 約0.001%相当)	クリスタルガイザー (38.0mg/L; 約0.001%相当)	
	2.58 ± 0.12	2.68 ± 0.14	
軟水汽水 (Na添加)	南アルプスの天然水 (30.0mg/L; 約0.001%相当) + 0.15% Na	クリスタルガイザー (38.0mg/L; 約0.001%相当) + 0.15% Na	
	3.49 ± 0.12	3.85 ± 0.23	
硬水	エビアン (304.0mg/L; 約0.01%相当)	ヴィッテル (768.0mg/L; 約0.025%相当)	コントレックス (1468.0mg/L; 約0.05%相当)
	3.00 ± 0.16	5.19 ± 0.15	6.25 ± 0.35
軟水汽水 (Na添加)	エビアン (304.0mg/L; 約0.01%相当) + 0.15% Na	ヴィッテル (768.0mg/L; 約0.025%相当) + 0.15% Na	コントレックス (1468.0mg/L; 約0.05%相当) + 0.15% Na
	3.60 ± 0.17	3.12 ± 0.34	3.80 ± 0.48



120日間における成長率			
60cm水槽 (Gex マリーナ60cm), 上部型フィルター (デュアルクリーン) + 投げ込みフィルター (ロカボーイL). 餌: ひかりワーパーブルーバー (給餌: 3-5cm では小粒2-3個相当 (毎日), 7-10cm では 小粒5-10個相当 (3日毎), 10cm以上では大粒5個 (3日毎). 換水頻度: 3日毎に1/2ずつ換水, 周期的な汽水温度変動はさせずに実施. 淡水飼育系統 (アンダーソンメキシコサラマンダー; いずれもマープル) を使用.			
軟水	南アルプスの天然水 (30.0mg/L; 約0.001%相当)	クリスタルガイザー (38.0mg/L; 約0.001%相当)	
	2.74 ± 0.28	2.76 ± 0.13	
軟水汽水 (Na添加)	南アルプスの天然水 (30.0mg/L; 約0.001%相当) + 0.15% Na	クリスタルガイザー (38.0mg/L; 約0.001%相当) + 0.15% Na	
	5.97 ± 0.41	6.30 ± 0.43	
硬水	エビアン (304.0mg/L; 約0.01%相当)	ヴィッテル (768.0mg/L; 約0.025%相当)	コントレックス (1468.0mg/L; 約0.05%相当)
	3.34 ± 0.15	3.75 ± 0.32	4.25 ± 0.47
軟水汽水 (Na添加)	エビアン (304.0mg/L; 約0.01%相当) + 0.15% Na	ヴィッテル (768.0mg/L; 約0.025%相当) + 0.15% Na	コントレックス (1468.0mg/L; 約0.05%相当) + 0.15% Na
	6.45 ± 0.40	7.02 ± 0.52	7.23 ± 0.77



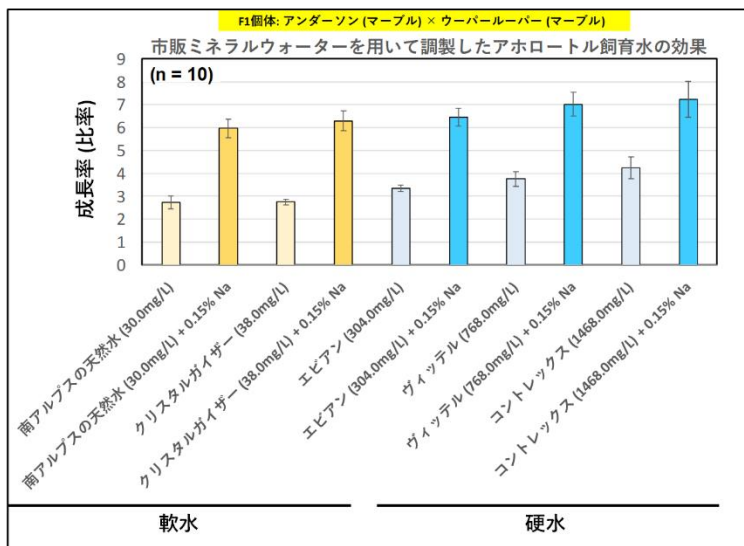
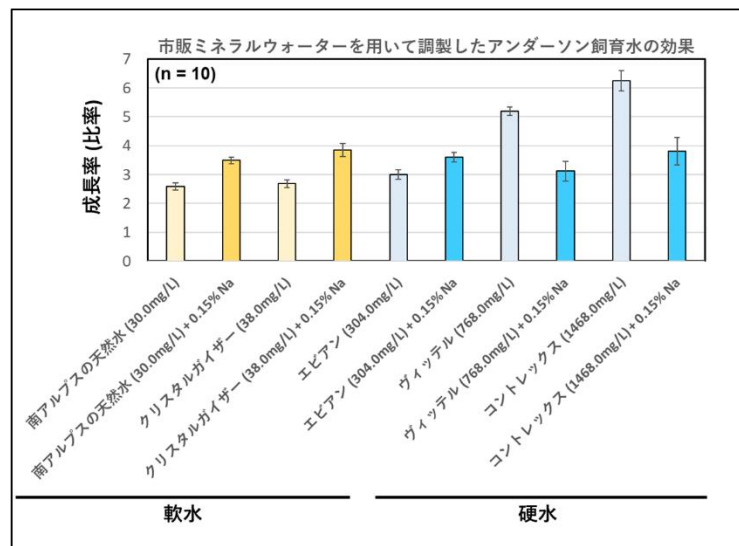
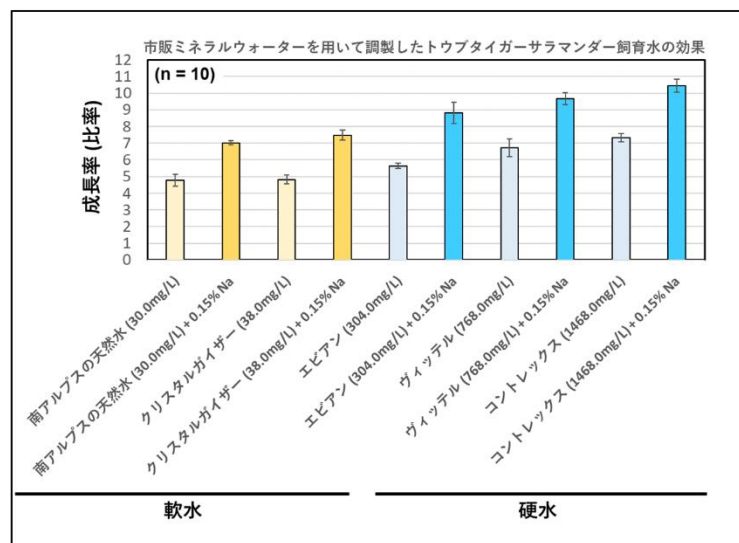
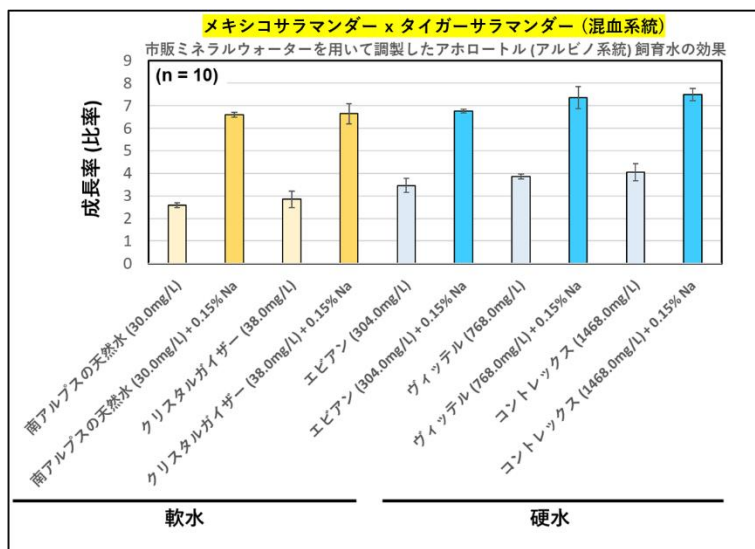
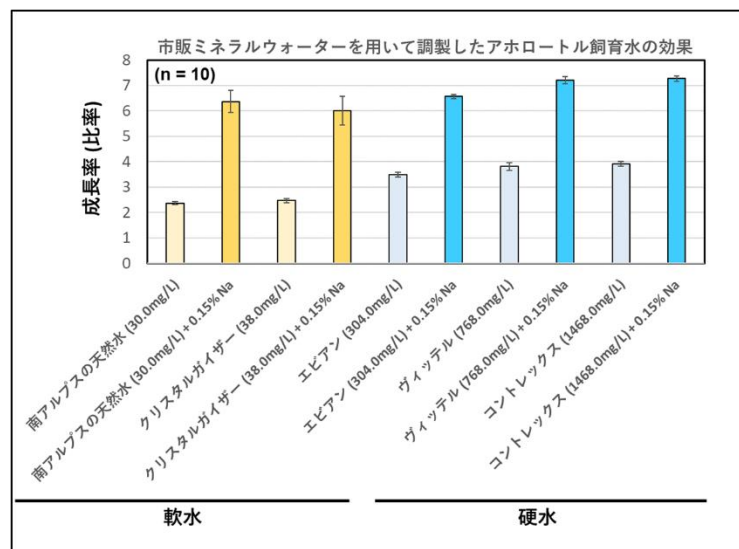


図 30: 市販のミネラルウォーター製品を用いた アホロートル (交雑系統) および 近縁種 (累代飼育系統) の飼育検討 (ファーム および 共同研究者からの報告)

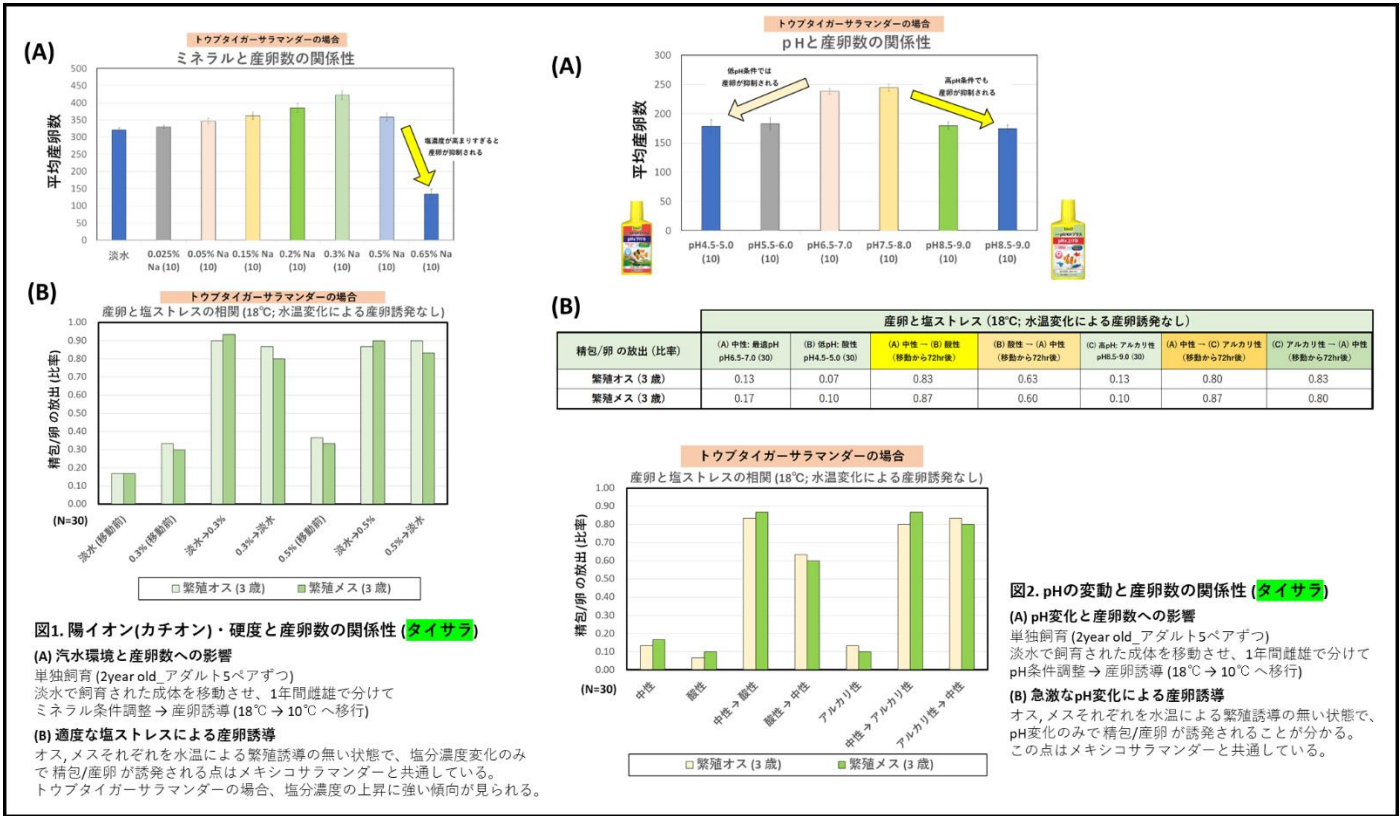


図 31: 飼育下のトウブタイガーサラマンダーにおける塩分濃度変化や pH 変化の影響による繁殖誘導

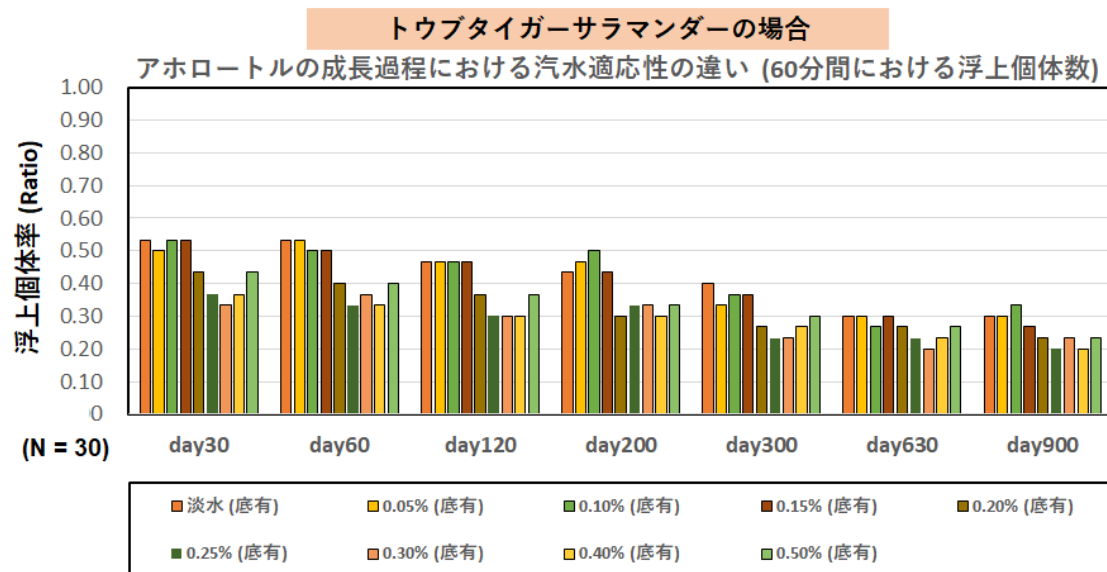
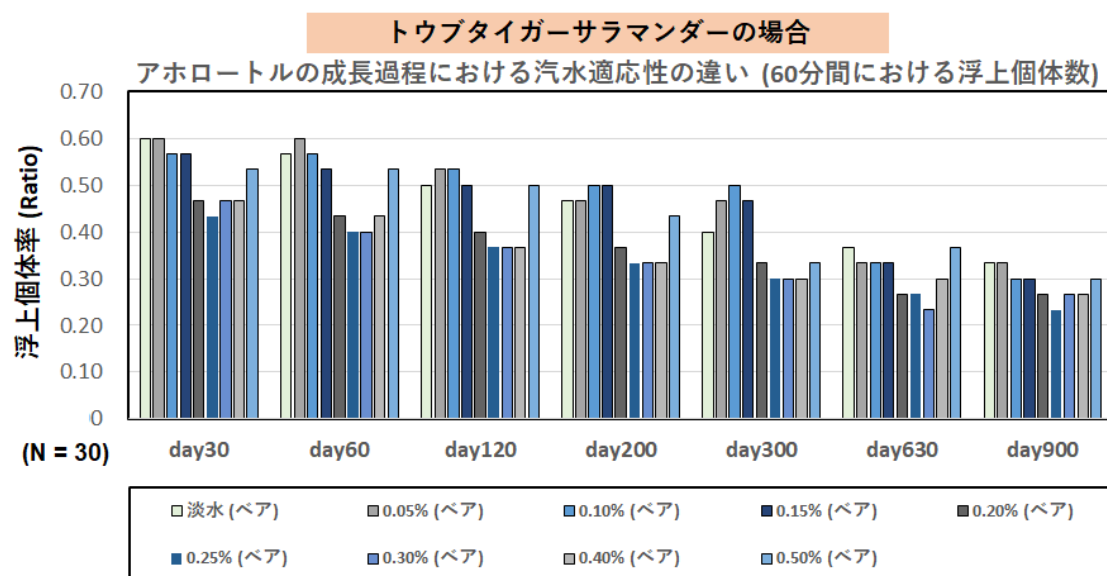
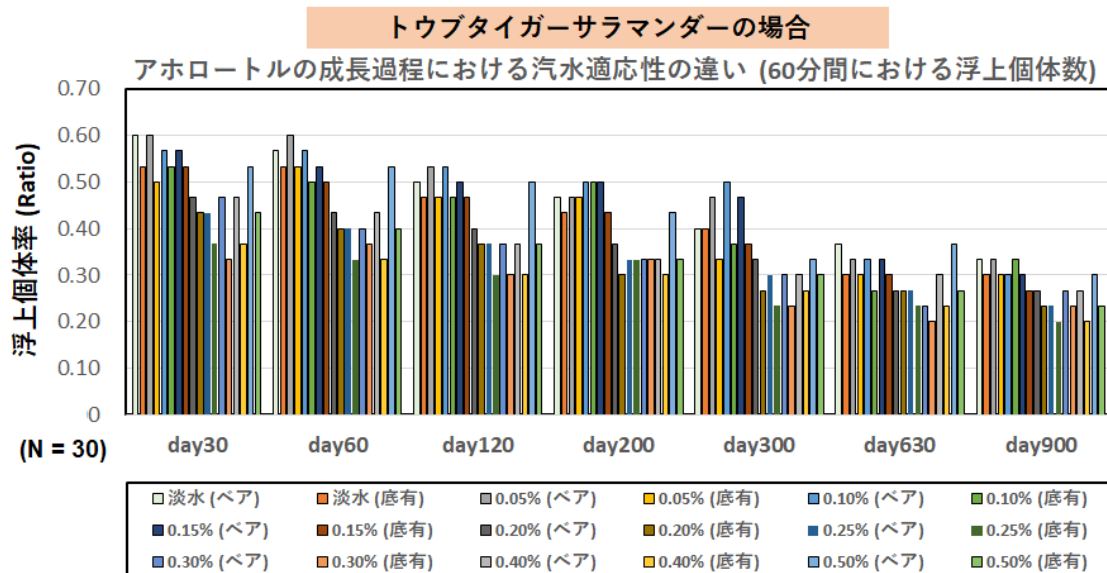


図 32: トウブタイガーサラマンダーの生育時毎における汽水への適応度の若干の違い 1

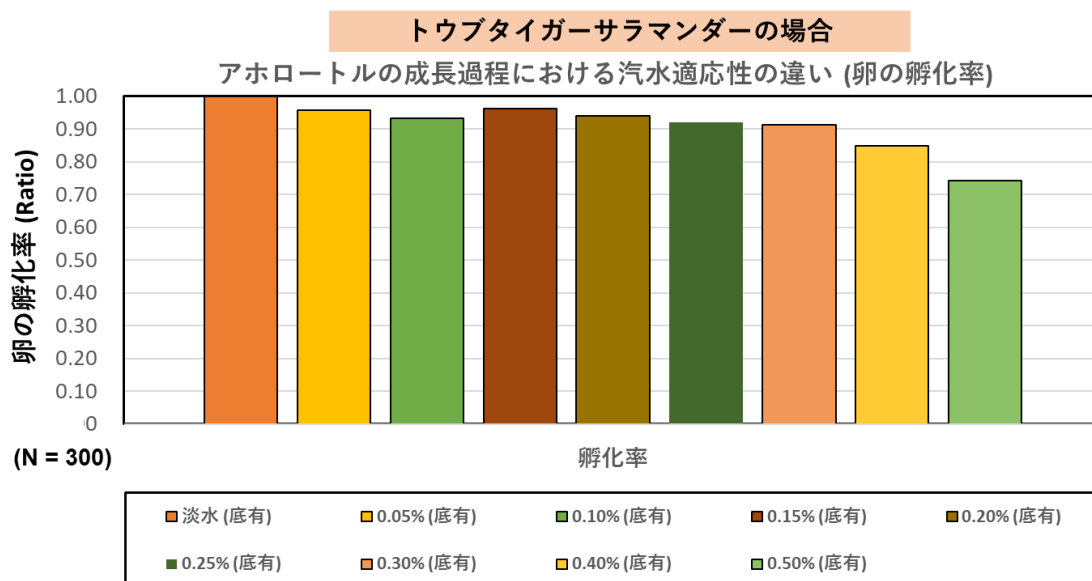
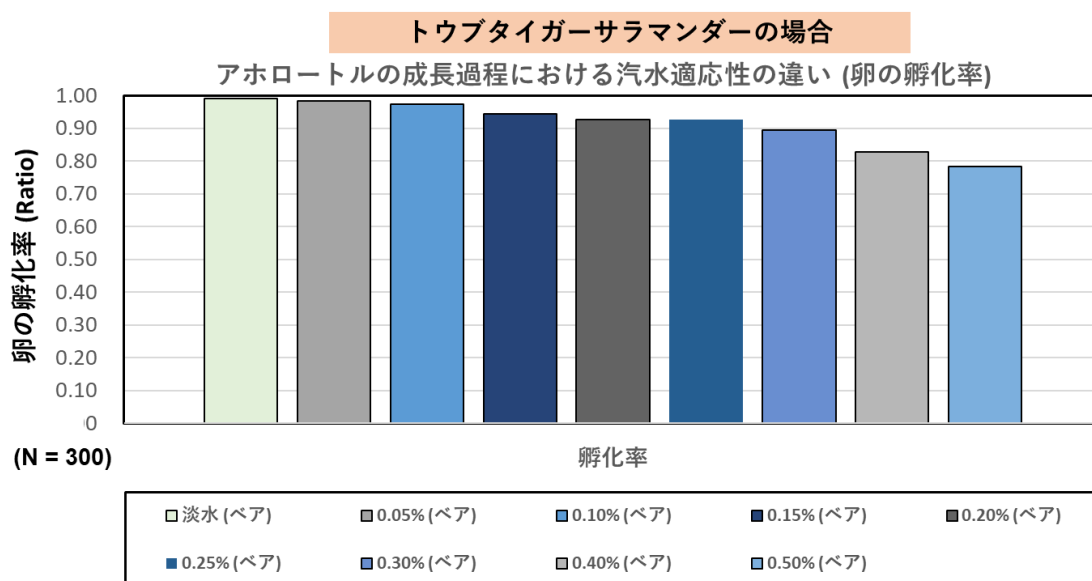
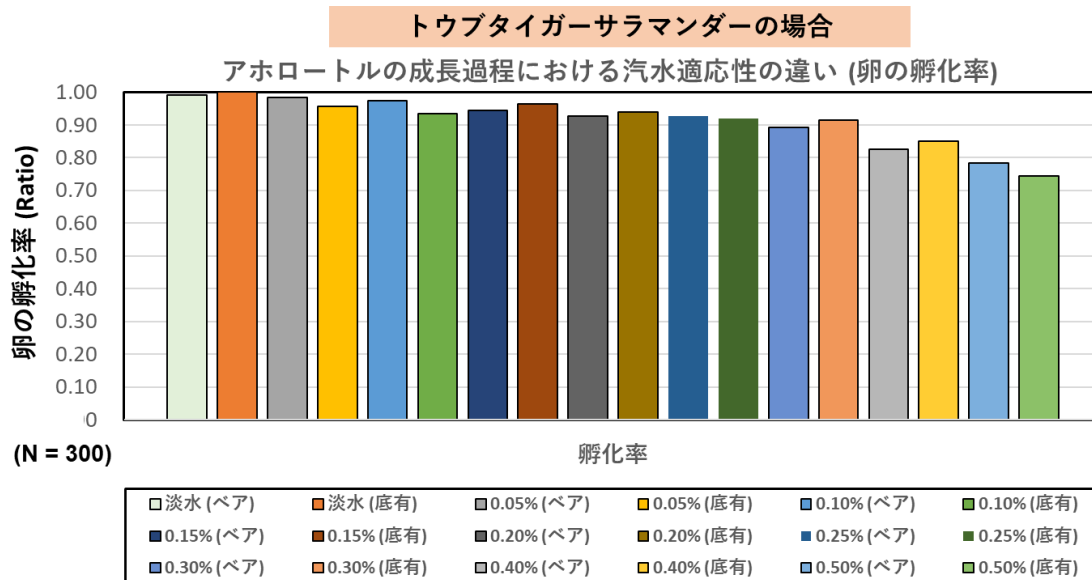


図 33: トウブタイガーサラマンダーの生育時毎における汽水への適応度の若干の違い 2

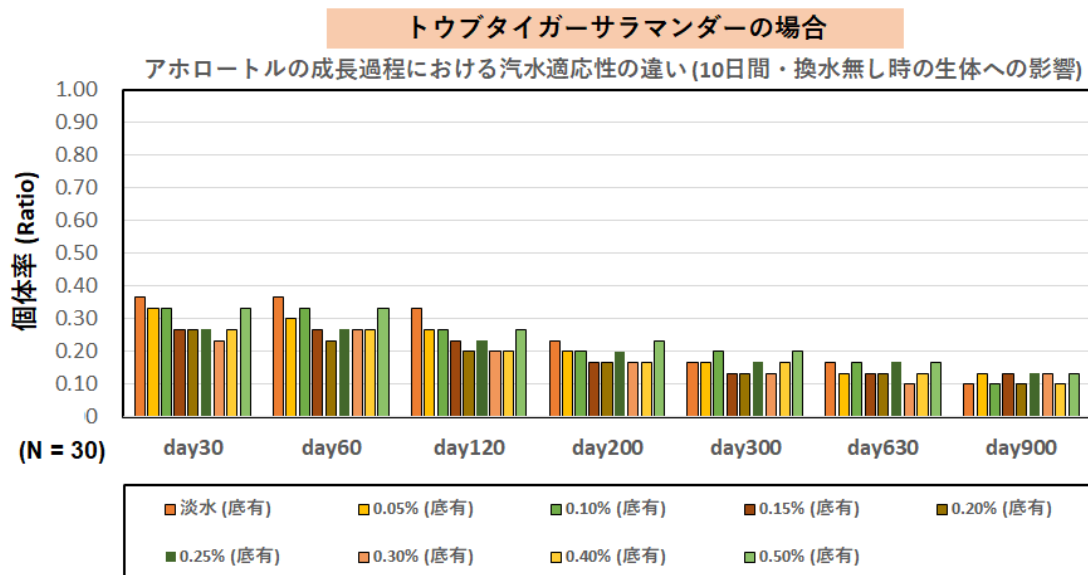
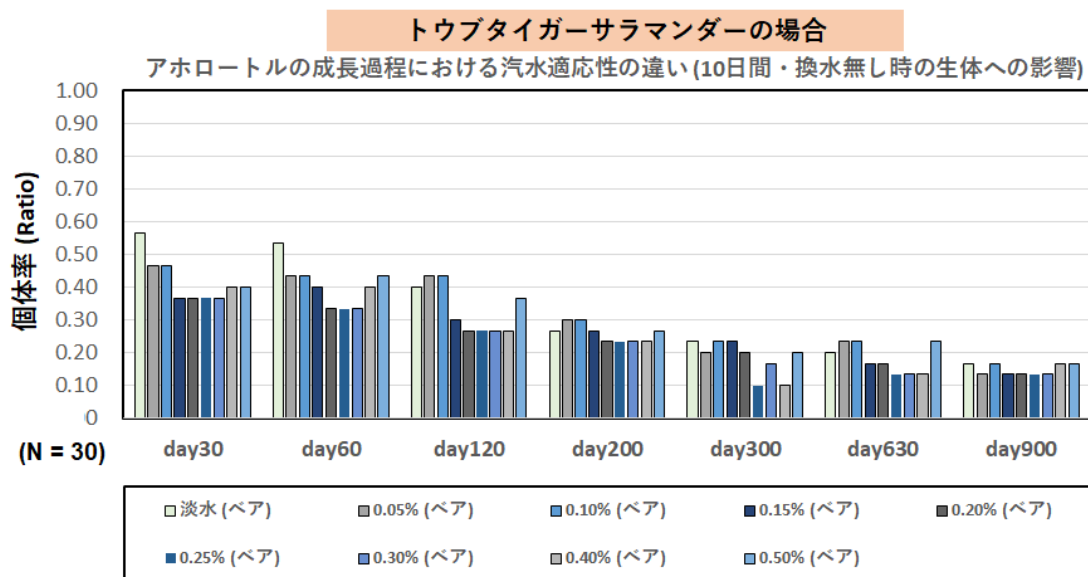
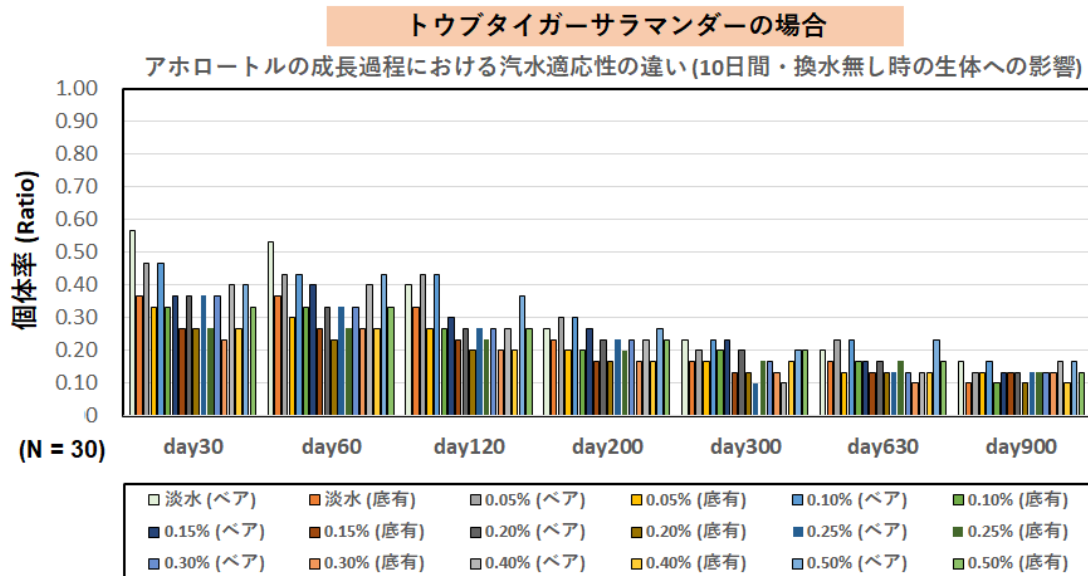


図 34: トウブタイガーサラマンダーの生育時毎における汽水への適応度の若干の違い 3

表 3: トウブタイガーサラマンダーの生育時毎における汽水への適応度の若干の違い一覧

	トウブタイガーサラマンダーの場合	
	ベアタンク時 (硬度低め)	底砂有り時 (硬度高め)
産卵時 (成体)	淡水～0.50%	淡水～0.50%
卵の孵化 (9割以上)	淡水～0.25%	淡水～0.30%
day30～60 (幼体)	0.20～0.40%	0.20～0.50%
day120以降 (亜成体以降)	0.20～0.40%	0.20～0.50%
※ いずれも底砂 (ゼオライト + 黒玉土) がある方が安定する		

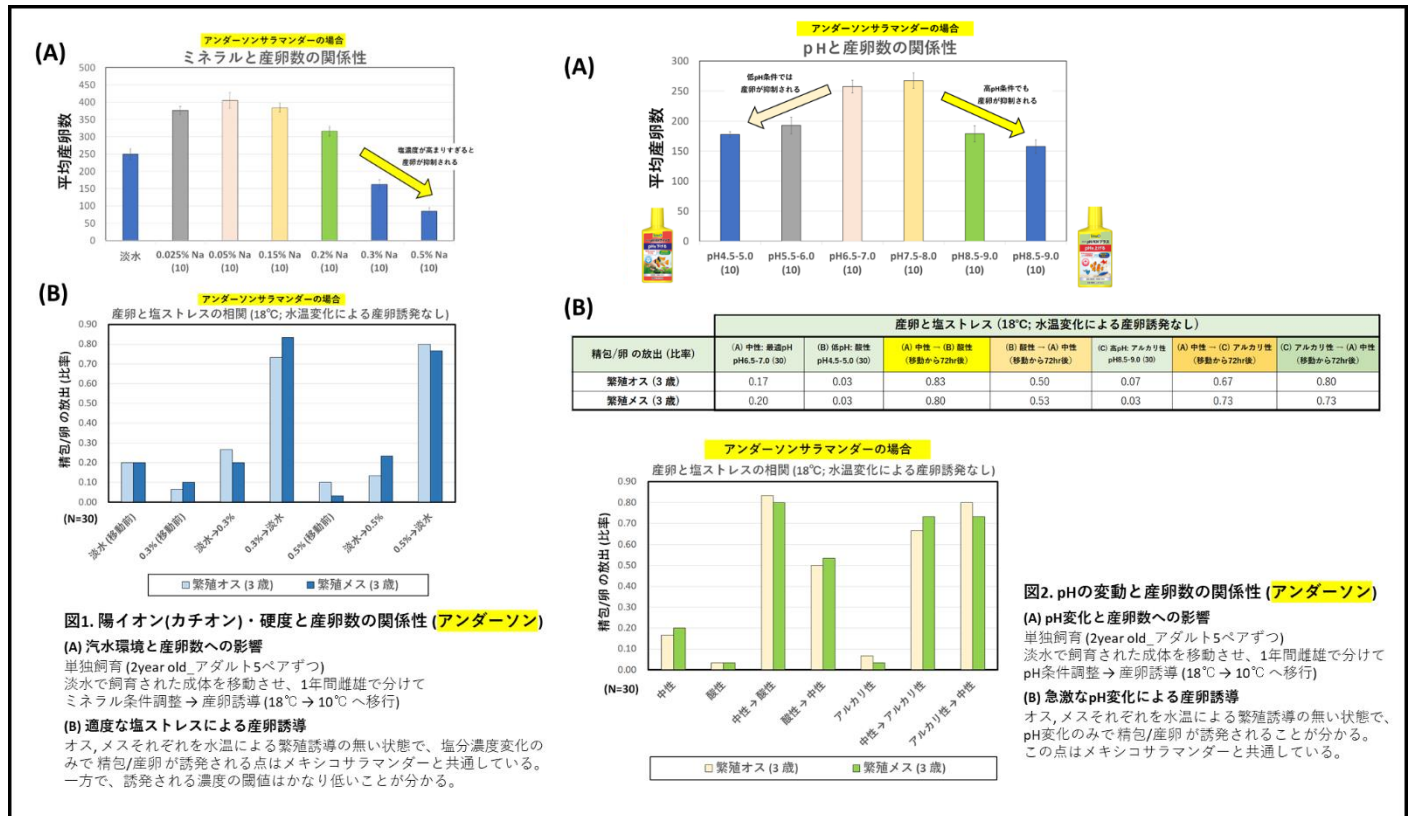


図 35: 飼育下のアホロートルにおける塩分濃度変化や pH 変化の影響による繁殖誘導

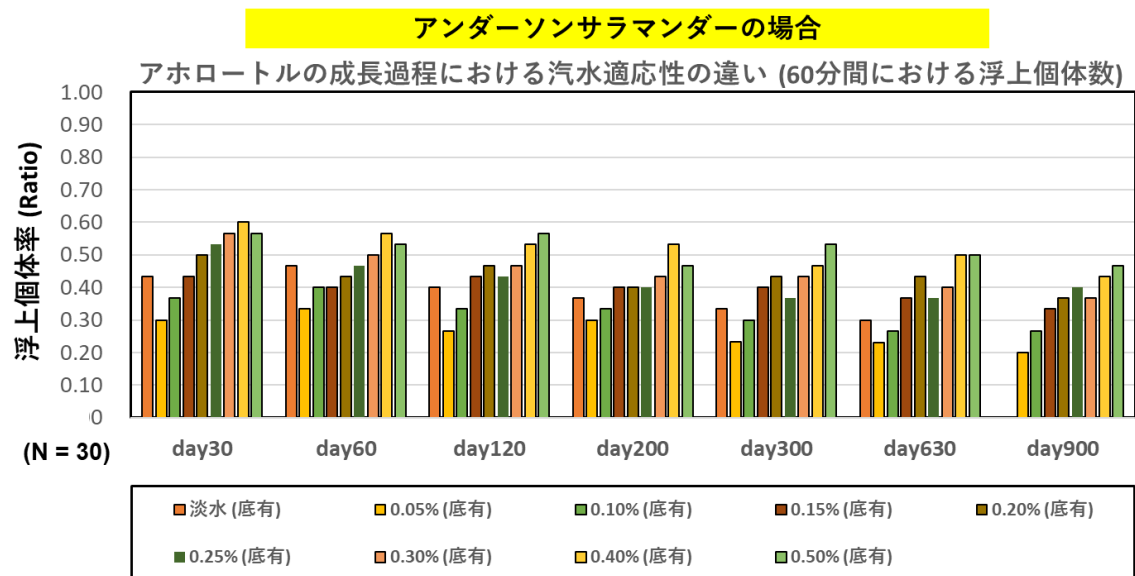
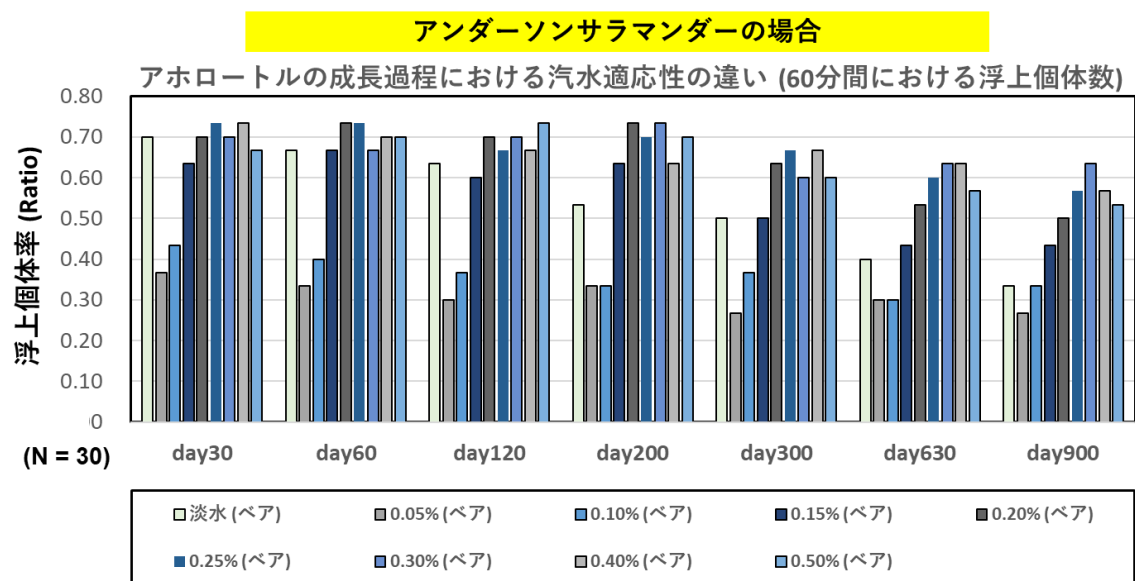
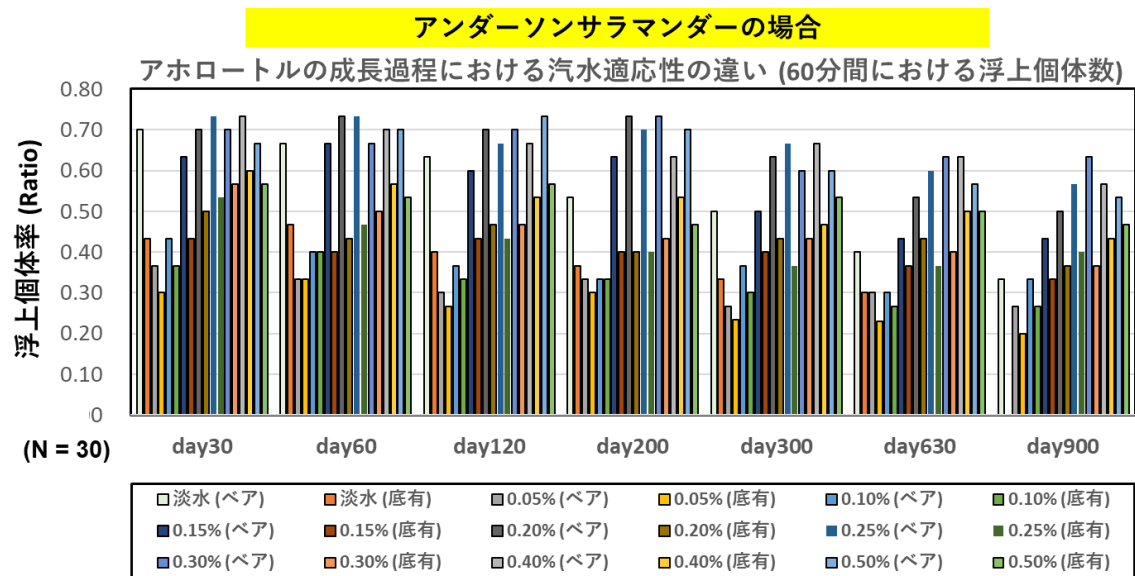


図 36: アンダーソンサラマンダーの生育時毎における汽水への適応度の若干の違い 1

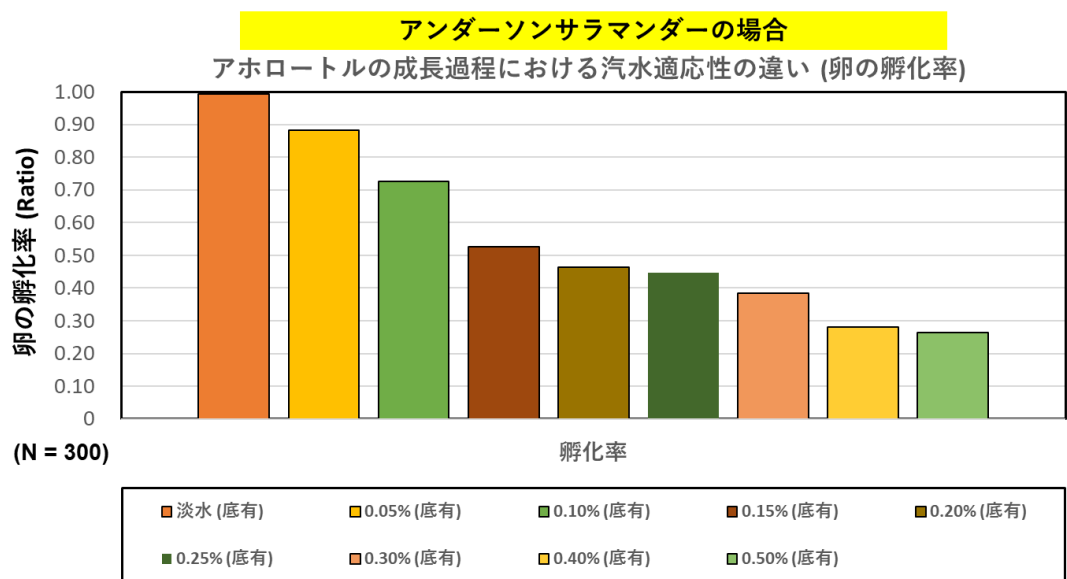
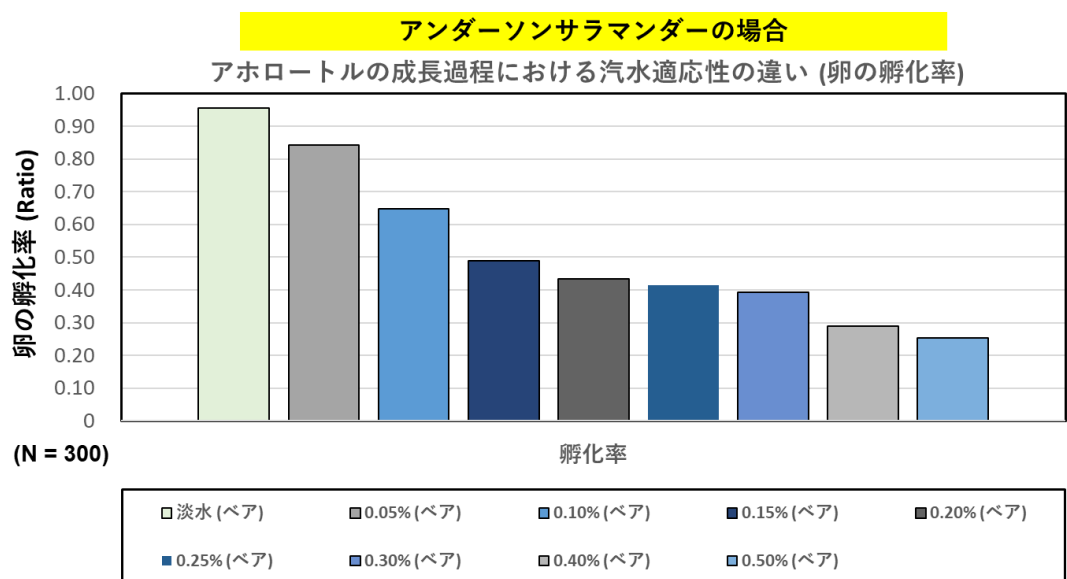
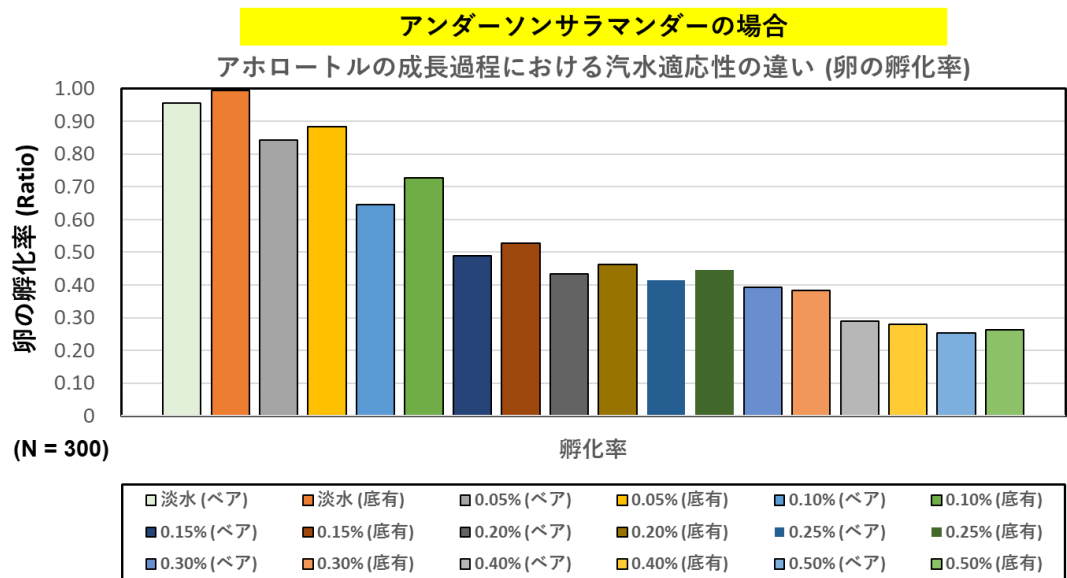


図 37: アンダーソンサラマンダーの生育時毎における汽水への適応度の若干の違い 2

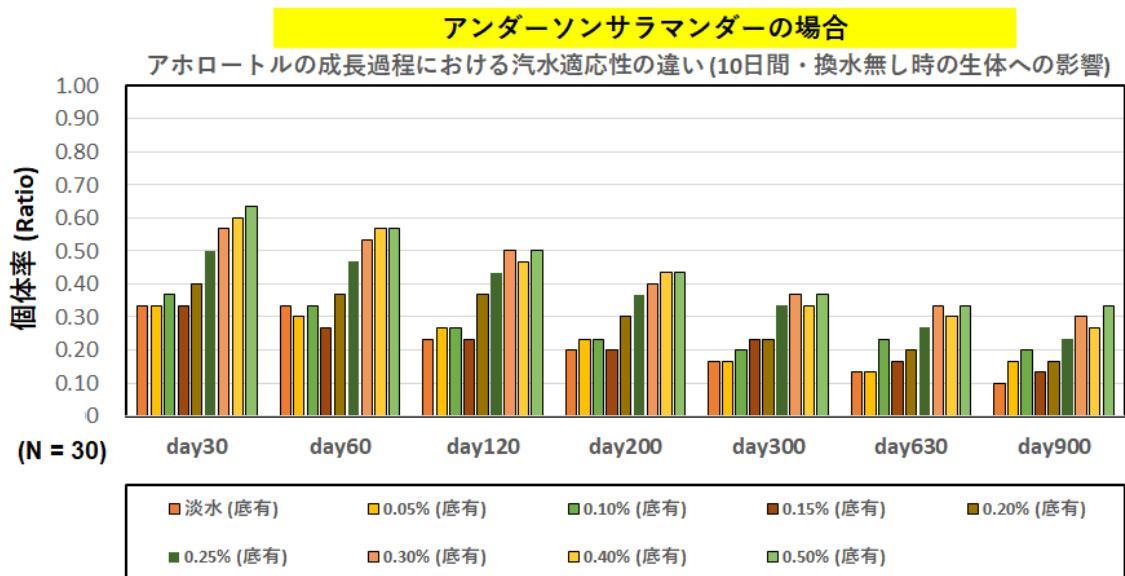
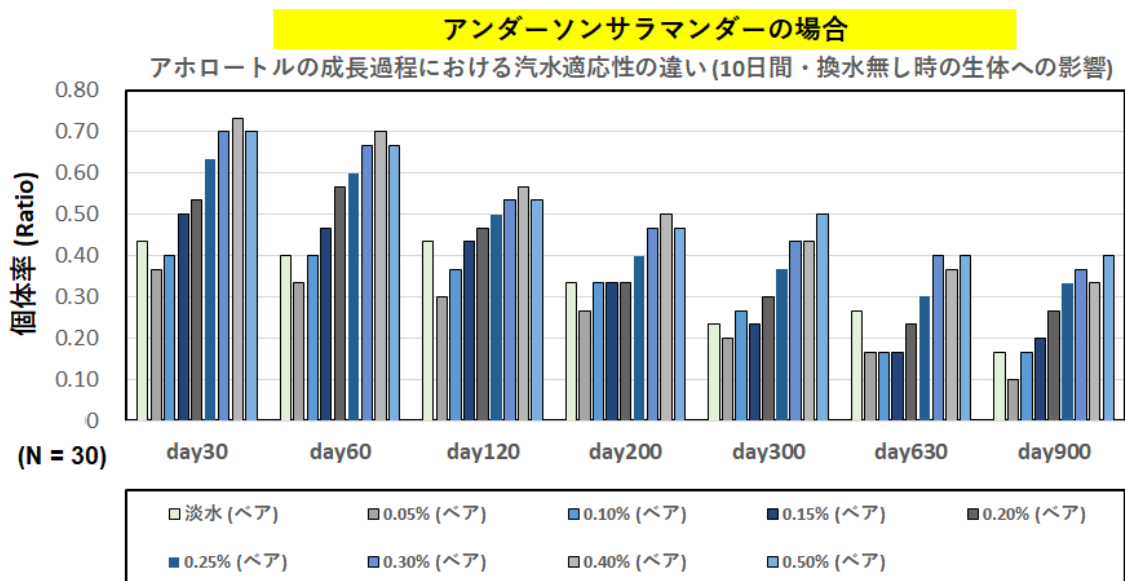
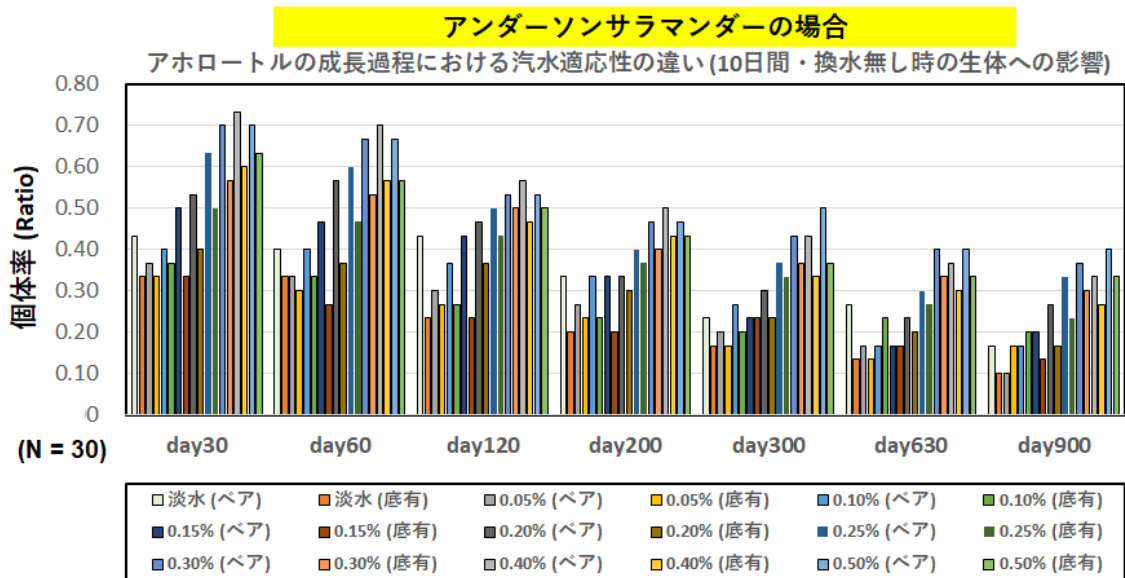


図 38: アンダーソンサラマンダーの生育時毎における汽水への適応度の若干の違い 3

表 4: メキシコサラマンダーの生育時毎における汽水への適応度の若干の違い一覧

	アンダーソンサラマンダーの場合	
	ベアタンク時 (硬度低め)	底砂有り時 (硬度高め)
産卵時 (成体)	淡水～0.20%	
卵の孵化 (9割以上)	淡水	
day30～60 (幼体)	0.05～0.10%	0.05～0.15%
day120以降 (亜成体以降)	0.05～0.15%	0.05～0.20%

※ いずれも底砂 (ゼオライト + 黒玉土) がある方が安定する

総括 Conclusion

ここまでの知見から、アホロートルを取り巻く状況について、以下のような図で示すことができる。

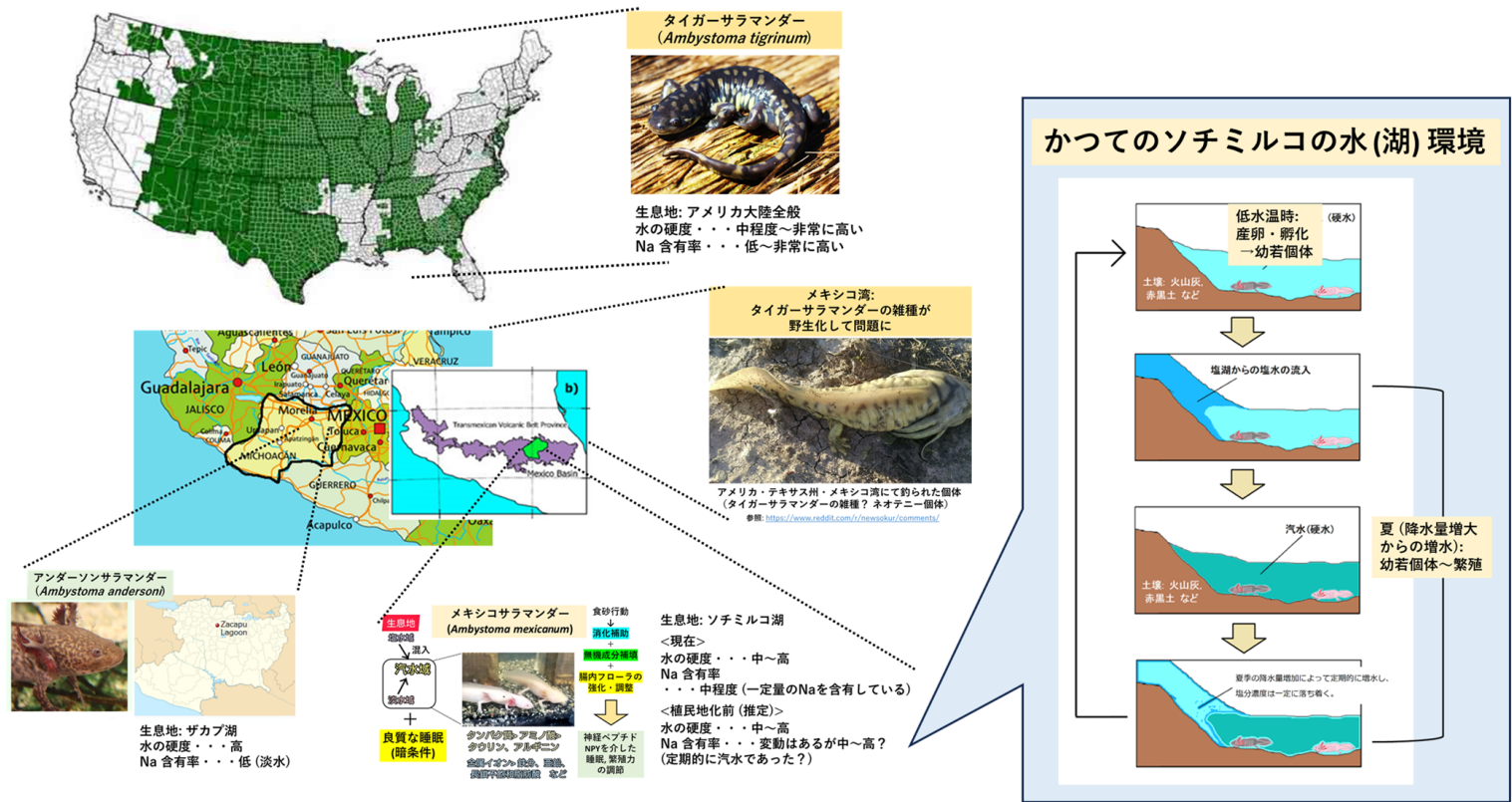


図 39: トラフサンショウウオ科三種の分布と生態に関する知見まとめ図

- ・アホロートル原産地のソチミルコ湖は、かつては淡水→塩湖水が循環していた。
- ・アホロートルの生育には、硬度の高い 淡水 → 汽水 (0.3%) が適度に循環する環境が望ましく、産卵～生育時期毎に Na (すなわち塩分) の最適濃度が異なることが示唆された。
- ・ある程度生育した個体において、彼らの免疫力 (特にカビ類への) の低さを、こうした硬度の高い水環境や Na の含有率の高い時期のある水環境が補ってきた可能性が高い。

	ベアタンク時 (硬度低め)	底砂有り時 (硬度高め)
産卵時 (成体)	淡水～0.30%	淡水～0.40%
卵の孵化 (9割以上)	淡水～0.10%	淡水～0.15%
day30～60 (幼体)	0.10～0.15%	0.10～0.25%
day120以降 (亜成体以降)	0.10～0.20%	0.10～0.30%

- ・塩の最適濃度が異なることや、水中の感染源が一定になる必要がある問題から、水の循環は必要不可欠であったと考えられる。
- ・現在、ソチミルコ湖のあるメキシコ市水環境は開発や水のせき止め、一部観光地化による排水の垂れ流しなどで、非常に悪くなってきており、言わばヘドロ溜まりのようになっている。
- ・現在でもかつてのように塩分濃度は高めではあるが、水の入れ替えが起こりにくく、当時よりも塩分濃度が継続して高いままの可能性が高い。
- ・生息地における水の循環がかつてより損なわれ、野生個体数が減少する現在の水条件は総合的に彼らには適していない可能性が高い。(→ 現在の環境を模倣した飼育手法には注意が必要.)

詳細まとめスライド: https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/44384055

謝辞 Acknowledgments

今回の調査ですが、その内容が多岐に渡る中で、当初の目的であったアホロートルの飼育手法の根拠の取集や実際の生息地の環境に関する情報収集、ラボスケールでの一部追加検証や過去結果の再解析等に端を発し、近縁種における性質を調査するにまで至り、総説の位置づけであったもののここまでの大容量となってしまいました。この点、ちょっと反省です。。。

しかしながら我々は、今回の一連の内容は、アホロートルについて理解し今後の保全活動に繋げていくという点においては非常に有用な情報が詰まった貴重な論文としてまとめ上げることができたと考えております。

今回の執筆のきっかけとなった やみん 様、今回近縁種について共同調査および情報共有下さった竜岡 様、いつも子孫や余剰系統の管理をして下さっている阿保郎 様、他サポートメンバーや共同研究者の皆様、2023 年も本当に大変お世話になりました。

来年 2024 年からも、更なる飛躍を目指し活動して参ります。どうぞ今後とも、当ラボの活動のご支援・応援の程、何卒宜しくお願い申し上げます。

ウーパールーパー研究室_はるらぼ

代表研究者

メキシコサンショウウオ生態研究部

主任研究者

杉山 遥

【参考文献】

[1] ベラ亜目・熱帯地域に生息する熱帯魚

[ベラ亜目 - Wikipedia](#)

[ディスカス - Wikipedia](#)

[熱帯魚の王様ディスカスの飼育&繁殖法！ミルクで子育てするって本当！？ | FISH PARADISE \(fish-paradise.com\)](#)

[【成果が出る】ディスカス繁殖時の水質調整方法についてくわしく解説 - DISCUS NOTE \(discusmilk.com\)](#)

[2] 熱帯雨林

[熱帯淡水魚のための水化学 \(mongabay.com\)](#)

[メキシコ - Wikipedia](#)

[3] ミネラルウォーター

[ミネラルウォーターのおすすめランキング 29 選。硬水と軟水の特徴についても解説 \(sakidori.co\)](#)

[ミネラルウォーターの硬度一覧！硬水・軟水ランキング | 暮らしの葉 \(43better.com\)](#)

[ミネラルウォーターの硬度比較一覧。硬水\(301mg/L 以上\)@コントレックスやペリエなど超硬水は海外勢だけと思いきや日本の銘柄も意外と。 | ちょっとディープなミネラルウォーターのお話。硬水？軟水？効果と成分 \(lovelysselect.com\)](#)

[4] 水棲生物の転覆病・平衡覚異常

[日本動物薬品株式会社 | 金魚の病気について \(jpd-nd.com\)](#)

[金魚が浮く・沈む | 転覆病と便秘・消化不良の関係と対処法とは | 東京アクアガーデン \(t-aquagarden.com\)](#)

[金魚がひっくり返る！転覆病の治療方法、予防方法について | ジェックス \(gex-fp.co.jp\)](#)

[転覆病の主な2つの原因と薬を使った治し方について | 金魚どっどこむ \(kinngyo.com\)](#)

(まとめ) ウパ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 Doi. https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/41583752

<https://ja.wikipedia.org/wiki/平衡感覚>

[平衡機能障害 | 神経病院 | 東京都立病院機構 \(tmhp.jp\)](#)

[末梢神経障害 \(まっしょうしんけいしょうがい\)とは | 済生会 \(saiseikai.or.jp\)](#)

[5] メキシコにおける農業

古代アステカ文明・チナンパ農法

[チナンパ - Wikipedia](#)

[Chinampas, Floating Gardens of Ancient Mexico – Mexico Unexplained](#)

[チナンパ：生産性が高く、生態学的に健全な古代の農場 \(greelane.com\)](#)

[Chinampa - Wikipedia](#)

[The Aztecs - Google Books](#)

[カンラン科 - Wikipedia](#)

[カンラン | 山科植物資料館 \(yamashina-botanical.com\)](#)

[フィロデンドロン - Wikipedia](#)

[Cucurbita - Wikipedia](#)

現在のメキシコにおける農林水産業概況・植物について

[mexico_gaikyou.pdf \(maff.go.jp\)](#)

[メキシコの気候、月別の気象、平均気温 - Weather Spark](#)

[メキシコ旅行ベストシーズンは乾季（11月・12月・1月・2月・3月・4月）おすすめ季節と旅費の安い時期・](#)

[月別の気温 - 旅行ブログオハヨーリズム | お出かけ・観光・ホテル紹介 \(ohayotourism.com\)](#)

[気候:メキシコシティ-気候グラフ、気温グラフ、雨温図 \(climate-data.org\)](#)

[日本の気候、月別の気象、平均気温 - Weather Spark](#)

[年平均相対湿度の都道府県ランキング - 都道府県格付研究所 \(grading.jp.org\)](#)

[マメ科 - Wikipedia](#)

[豆の栄養 | 公益財団法人 日本豆類協会 \(mame.or.jp\)](#)

[トマト | 成分情報 | わかさの秘密 \(wakasa.jp\)](#)

[ビオチンとは？健康への効果や摂取量、白髪への影響について解説 \(ic-clinic.com\)](#)

[穀類/とうもろこし/玄穀/黄色種 - 01.一般成分表-無機質-ビタミン類 \(mext.go.jp\)](#)

[メキシコの信じられないほどの木、植物、花、そしてそれらを見つける場所 - 2023 \(yourtripagent.com\)](#)

[メキシコの農業 | 中南米の農業 | 大学の世界展開力強化事業 | 東京農業大学 \(nodai.ac.jp\)](#)

[メキシコ原産の花 | かぎけん花図鑑 \(flower-db.com\)](#)

[穀物？それとも野菜？ビタミン類も豊富なとうもろこしの栄養と効能 | 食・料理 | オリーブオイルをひとまわし](#)

[リュウゼツラン属 - Wikipedia](#)

[リュウゼツランについて解説します。 | 理想の生活 \(sulf.jp\)](#)

[アオノリュウゼツラン-旬の薬草 \(toho-u.ac.jp\)](#)

[ミルキーな香り放つ、パロサントの使い方ガイド。置くだけでもインテリアとして活躍！ | kurashi-no](#)

[野菜類/（トマト類）/赤色トマト/果実/生 - 01.一般成分表-無機質-ビタミン類 \(mext.go.jp\)](#)

[Plants of the World Online | Kew Science](#)

[mexico | Plants of the World Online | Kew Science](#)

米国の土壌関連情報

[米国の地理の概要 - 自然環境 | About THE USA | アメリカンセンターJAPAN \(americancenterjapan.com\)](#)

[メキシコ・カリフォルニア半島コモンドウ地域における灌漑農地の土壌塩類化の実態と要因解析](#)

[6] 土壌の性質・ビオトープ作製

[植物性有機物の分解に伴う土壌の化学成分組成の動態に関する考察](#)

[里芋 | 野菜の図鑑 web \(yasaizukan.net\)](#)

[冷温帯林における落葉の分解過程と菌類群集](#)

<https://lovegreen.net/gardening/p35233/>

[ゲッキツ - Wikipedia](#) [リモネン - Wikipedia](#)

[フリーラジカルとは？体に与える影響や活性酸素との違いについて簡単に解説 | 新谷酵素公式通販 \(shinyakoso.com\)](#)

[活性酸素の中の「フリーラジカル」とは？ | スキンケア大学 \(skincare-univ.com\)](#)

[10482-56-1・ \$\alpha\$ -テルピネオール・ \$\alpha\$ -Terpineol・204-08821【詳細情報】 | 試薬-富士フイルム和光純薬 \(fujifilm.com\)](#)

[テルピネオール - Wikipedia](#) [SDS W01W0120-0882JGHEJP.pdf \(fujifilm.com\)](#)

[メチルエチルケトン - Wikipedia](#)

[職場のあんぜんサイト: 化学物質: メチルエチルケトン \(mhlw.go.jp\)](#)

[柑橘類中の機能成分 | からだサポート研究所 \(arkray.co.jp\)](#)

[カロテノイド | 成分情報 | わかさの秘密 \(wakasa.jp\)](#)

[クマリン | 成分情報 | わかさの秘密 \(wakasa.jp\)](#)

[かんきつの成分 | 佐賀みかん | JA グループ佐賀](#)

[赤橙色の色素からビタミン A ができる](#)

[ポリフェノールとは何か？フラボノイド類](#)

[\$\beta\$ -クリプトキサンチン - Wikipedia](#) [ノビレチン - Wikipedia](#)

[みかんの育て方 | 栽培ポイント、肥料の与え方は？注意すべき病気は？ - HORTI ~ホルティ~ by GreenSnap](#)

[永久凍土分布域の 土壌にみる環境変化](#)

[土壌呼吸: 土から発生する二酸化炭素 \(常陽新聞連載「ふしぎを追って」\) \(情報: 農業と環境 No.119 2010.3\) \(affrc.go.jp\)](#)

[土壌に二酸化炭素 CO₂ を貯留する方法について | Green Easy1 \(green-ez1.com\)](#)

[米国の地理の概要 - 自然環境 | About THE USA | アメリカンセンターJAPAN \(americancenterjapan.com\)](#)

[メキシコの火山灰から由来した土壌の地理的分布と特徴 | 文献情報 | J-GLOBAL 科学技術総合リンクセンター \(ist.go.jp\)](#)

[粘土鉱物の構造と化学](#)

[カオリナイト - Wikipedia](#)

[ギブス石 - Wikipedia](#)

[土質、土性、砂壤質、埴土、細粒質、強粘質、粗粒質、礫質 | 農業研究本部 | 北海道立総合研究機構 \(hro.or.jp\)](#)

[土壌層位 - Wikipedia](#)

[Web 教材イラスト図版工房 / r cc 地層から読みとる大地の変化 24 \(art-kobo.co.jp\)](#)

[林試研報 Bull. For. & For. Prod. Res. Inst. No. 337, 198 337-5.pdf \(affrc.go.jp\)](#)

[一次鉱物・二次鉱物 | 土壌中の珪酸塩鉱物・酸化物鉱物・粘土鉱物 \(biopapyrus.jp\)](#)

<https://www.youtube.com/watch?si=dTLDICBGowS95Djz&v=UwWWutntio&feature=youtu.be>

[ポポカテペトル山 - Wikipedia](#)

[世界の地質案内 メキシコ: ポポカテプ火山 \[地質情報ポータルサイト\] \(web-gis.jp\)](#)

[熱帯土壌概説 \(12\)](#)

[7] 魚類・両生類の体色問題

[カラーメダカ - Wikipedia](#)

[分子内分泌学研究室 - 両生類の体色調節 \(google.com\)](#)

[8] その他 両性類関連情報・保全活動関連

[オオサンショウウオ - Wikipedia](#) [サンショウウオ - Wikipedia](#)

[オオサンショウウオ／京都府ホームページ \(pref.kyoto.jp\)](#)

[はんだきセンター | 観光スポット | 岡山観光 WEB【公式】 - 岡山県の観光・旅行情報ならココ！ \(okayama-kanko.jp\)](#)

[はんだきセンター | 湯原の観光スポット | 真庭観光 WEB \(maniwa.or.jp\)](#)

[オオサンショウウオ | 動物園の仲間たち | 東山動植物園 \(city.nagoya.jp\)](#)

[野生オオサンショウウオの調査 | オフィシャルブログ | 東山動植物園 \(city.nagoya.jp\)](#)

[オオサンショウウオ生息調査 | オフィシャルブログ | 東山動植物園 \(city.nagoya.jp\)](#)

[絶滅危惧のサラマンダーを救えるか、紙幣にもなったメキシコ文化を象徴する生物 - basswave.jp](#)

[ウーパールーパーが2年で絶滅の危機か、科学者らが再生に尽力 | ロイター \(reuters.com\)](#)

[住み家なきメキシコの象徴 ウーパールーパーの危機 - 日本経済新聞 \(nikkei.com\)](#)

[2022/02/18 ロイター通信「黒いウーパールーパーを放流、メキシコ」Video Ad \(youtube.com\)](#)

[ウーパールーパーを守ろう! メキシコで保護イベント 写真 12 枚 国際ニュース : AFPBB News](#)

[「水の怪獣」ウーパールーパーが絶滅の危機に、メキシコ 写真 16 枚 国際ニュース : AFPBB News](#)

[絶滅危惧のサラマンダーを救えるか、メキシコ文化を象徴する生物 | ナショナル ジオグラフィック日本版サイト](#)

[チュウゴクオオサンショウウオ - Wikipedia](#)

[9] メキシコサラマンダー

【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

杉山 遥 ほか 2023 年 10 月 28 日 Doi. https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/43901721

[Axolotls - Genetics and Colour](#)

[ウーパールーパーの飼い方・簡単に飼うポイントを考える | 東京アクアガーデン \(t-aquagarden.com\)](#)

[White locus corresponds to edn3. \(A\) Mapping of white mutant phenotype... | Download Scientific Diagram \(researchgate.net\)](#)

[A color atlas of pigment genes in the Mexican axolotl \(Ambystoma mexicanum\) - ScienceDirect](#)

Identification of Mutant Genes and Introgressed Tiger Salamander DNA in the Laboratory Axolotl, Ambystoma mexicanum.

Ryan et al., Sci. Rep. 2016.

Doi. https://www.researchgate.net/publication/313090474_Identification_of_Mutant_Genes_and_Introgressed_Tiger_Salamander_DNA_in_the_Laboratory_Axolotl_Ambystoma_mexicanum?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6Ii9kaXJlY3QiLCJwYXJldjoiX2RpcmVjdCJ9fQ

黒体色変異 (melanoid) 関連

Mirindi et al., [Genes \(Basel\)](#). 2023 Apr; 14(4): 904. Published online 2023 Apr 13. doi: [10.3390/genes14040904](https://doi.org/10.3390/genes14040904)

[Leukocyte Tyrosine Kinase \(Ltk\) Is the Mendelian Determinant of the Axolotl Melanoid Color Variant - PMC](#)

Axolotl *Leukocyte Tyrosine Kinase (Ltk) gene* (第 14 染色体上)

[Ltk \[nr\]Alk \[hs\]AMEX60DD301011957.5 at chr14q:290814202-290972889](#)

[Ltk \[nr\]Alk \[hs\]AMEX60DD301011957.6 at chr14q:290814215-290972889](#)

[Ltk \[nr\]Alk \[hs\]AMEX60DD301011957.7 at chr14q:290973071-291080681](#)

[Ltk \[nr\]Alk \[hs\]AMEX60DD103011957.1 at chr14q:290813408-290897684](#)



[Ltk \[nr\]|Alk \[hs\]|AMEX60DD103011957.2 at chr14q:290813416-290897684](#)

[Ltk \[nr\]|Alk \[hs\]|AMEX60DD301011957.3 at chr14q:290813421-290897684](#)

[Ltk \[nr\]|Alk \[hs\]|AMEX60DD301011957.4 at chr14q:290813436-290988495](#)

Axolotl edn3 gene (第三染色体上)

[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=chr3p%3A317673530%2D318184771&hgside=69715_5uEAztFlj0qCx310CTXrTpTbcU5J)

[bin/hgTracks?db=ambMex60DD&lastVirtModeType=default&lastVirtModeExtraState=&virtModeType=default&virtMode=0&nonVirtPosition=&position=chr3p%3A317673530%2D318184771&hgside=69715_5uEAztFlj0qCx310CTXrTpTbcU5J](https://genome.axolotl-omics.org/cgi-bin/hgTracks?db=ambMex60DD&lastVirtModeType=default&lastVirtModeExtraState=&virtModeType=default&virtMode=0&nonVirtPosition=&position=chr3p%3A317673530%2D318184771&hgside=69715_5uEAztFlj0qCx310CTXrTpTbcU5J)

Axolotl tyr (tyrosinase) gene (第七染色体上)

[Loc108792810 \[nr\]|Tyr \[hs\]|AMEX60DD301050174.1 at chr7q:1076695326-1076710469](#)

[Tyr|AMEX60DD301050174.2 at chr7q:1076695403-1076946417](#)

[Tyr|AMEX60DD301050174.3 at chr7q:1076936316-1076946417](#)

[Tyr3|AMEX60DD201011946.3 at chr14q:287179469-287226726](#)

[Tyr \[hs\]|AMEX60DD301049620.2 at chr7q:857710461-857937634](#)

[Tyr3|AMEX60DD301011946.1 at chr14q:286505452-287226726](#)

[Tyr3|AMEX60DD201011946.2 at chr14q:286505577-287226726](#)

[Tyrp1|AMEX60DD301043361.1 at chr6p:1225534073-1225543009](#)

[Tyrp1|AMEX60DD301043361.2 at chr6p:1225534111-1225543009](#)

[Tyr \[hs\]|AMEX60DD301049620.1 at chr7q:857710461-857937634](#)

[Tyr \[hs\]|AMEX60DD201049620.3 at chr7q:857710473-857937499](#)

[Loc100158309 \[nr\]|Tyr \[hs\]|AMEX60DD201050173.1 at chr7q:1076183016-1076278310](#)

[Loc100158309 \[nr\]|Tyr \[hs\]|AMEX60DD201050173.2 at chr7q:1076183016-1076278310](#)

[Tyr|AMEX60DD301050176.1 at chr7q:1077558977-1077575341](#)

[41598_2017_59_MOESM1_ESM.pdf \(springer.com\)](#)

[Ambystoma mexicanum tyrosinase gene, complete cds - Nucleotide - NCBI \(nih.gov\)](#)

[10] アンダーソンサラマンダー

[アンダーソンサラマンダー Ambystoma andersoni 【アクアフィールド】熱帯魚・水草の通信販売 | 商品詳細 \(aquafield.jp\)](#)

[Taxonomy browser \(Ambystoma andersoni\) \(nih.gov\)](#)

メキシコ・サカプ湖に生息

[Zacapu - Wikipedia](#)

[Zacapu Lagoon - Wikipedia](#)

[Mexico Map - Guide of the World](#)

[11] タイガーサラマンダー

[Eastern Tiger Salamander, Ambystoma tigrinum tigrinum \(ohioamphibians.com\)](#)

https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/43949012

[12] メキシコ・水の硬度 (Mg, Ca)・塩分 (Na) 含有率・水質に関する定義など

[State level water security indices in Mexico | Sustainable Earth Reviews | Full Text \(biomedcentral.com\)](#)

[Water | Free Full-Text | Evaluation of Precipitation Estimates CMORPH-CRT on Regions of Mexico with Different Climates \(mdpi.com\)](#)

[帯水層 - Wikipedia](#)



http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12eng/06_agua/cap6_2.html

[Water security index at the municipal level | Download Scientific Diagram \(researchgate.net\)](#)

[水ストレスとは・意味 | 世界のソーシャルグッドなアイデアマガジン | IDEAS FOR GOOD](#)

[Conceptual sketch of fresh, brackish and saltwater under a strip of... | Download Scientific Diagram \(researchgate.net\)](#)

[Composition of Initial Feed Brackish Water \(BW\) and Sea Water \(SW\) and... | Download Table \(researchgate.net\)](#)

[Acceptable Salinity in Drinking Water Ppm - DemionnHuber](#)

[TDS って一体何？TDS と成分を知って自分にあった水を選びましょう！ | ウォーターサーバー比較@ランキング \(flair-water.jp\)](#)

[塩水 - Wikipedia](#)

[Water classification by total dissolved solid \(TDS\) concentration | Download Table \(researchgate.net\)](#)

[Classification of saline water - Salt Farm Foundation \(salineagricultureworldwide.com\)](#)

[Water Quality in Mexico - Dataset - waterdata \(wbwaterdata.org\)](#)

[5.5 Process leading to salinization of fresh groundwater in coastal... | Download Scientific Diagram \(researchgate.net\)](#)

https://www.researchgate.net/publication/266325152_Drinking_Water_Quality_in_a_Mexico_City_University_Community_Perception_and_Preferences

https://www.researchgate.net/figure/Concentrations-of-Ca-2-Mg-2-Na-K-SO-4-2-and-NO-3-ions-of-water-samples_tbl2_333908630

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2023.1217343/full>

<https://www.waterworks.metro.tokyo.lg.jp/suigen/topic/02.html>

[ppm と mg/L の変換 \(換算\)・違い・読み方【1ppm は何 mg/L？1mg/L は何 ppm？ピーピーエム】 | おでかけラボ \(net-business888.com\)](#)

[ppt から ppm への変換| 数値変換 \(rapidtables.org\)](#)

[0000195447.pdf \(mhlw.go.jp\)](#)

[硬水の特徴とは | 硬水を飲み続けることの健康への影響や軟水との違い | SHINE+ 暮らしを磨く \(shinewater.jp\)](#)

[13] アメリカ合衆国・水の硬度 (Mg, Ca)・塩分 (Na) 含有率

[Determine the Water hardness in your area \(heltontoolandhome.com\)](#)

[United States Water Hardness - Water Control Corporation \(watercontrolinc.com\)](#)

[水硬度を mg / L で GPG に変換する方法 🌀 科学人気のマルチメディア・ポータル. 2023 \(science19.com\)](#)

[Comparison of Configurations for High-Recovery Inland Desalination Systems \(researchgate.net\)](#)

奥付

ウーパールーパーだより vol 3.0

発行日・・・ 2023/12/31

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 または Twitter の DM へ

Twitter URL https://twitter.com/lab_new2 (@lab_new2)



良く学び、良く知ろう。

by 杉山 遥



ウーパールーパー研究室・はるらぼ

sugiyama.haruka.axolti@gmail.com

since 2020～ (@lab_new2)

Twitter(X): 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。

