

# ウーパールーパーだより

～アホロートル研究・調査活動報告～

Vol **1.3**

特集1 (祝) はるらぼ設立！

特集2 アホロートルの栄養と成長の関係性とは？

特集3 昆虫の栄養と成長の関係性の調査報告



Presented by  
ウーパールーパー研究室・はるらぼ



編：杉山 遥



## ご挨拶と注意点

こんにちは！ 本書を手にとって下さり誠にありがとうございます！

杉山ラボ会報誌 "ウーパールーパーだより" では、我々が得たアホロートルや生き物に関する最新の科学的知見を、所謂科学雑誌のテイストでお届け致します。

諸科学雑誌への掲載前の情報を、プレプリント (仮掲載) 的に我々が編纂した内容となります。

昨今は、研究が論文化されるまでに時間を要し、かつプレプリントでさえも高品質を求められ、小規模の研究を世に伝えたくても、なかなか思うようにその機会を与えられないという大きな問題を抱えております。

この問題は、大手学術雑誌編集部の商業主義的な側面もはらんでおりまして、内容の是非だけの問題では無くなってきているのが現状です。世の中のすばらしい研究が、そんな理由で未だに埋もれており、日の目を見ていないケースも沢山見受けられます。

なので、研究者は時にもっとフットワークを軽くし、知見を世に出すべき側面もあるのではないかな、と、我々は考えております。

その代わり、新たなことが分かった場合は即座に訂正し、情報を適宜更新していく責任もあると認識しております。

尚、本誌発行の目的は、あくまで教育・学術・科学的知見の公表を主としております。

なので、やや難解な表現や専門的な用語も散見されます。その点、事前のご理解をお願い致します。

残念ながら、一般的に出回っているような、ウーパールーパーの飼育教本・解説書ではございません。

適宜インターネット検索や参考文献のチェックをしつつ、楽しみながら勉強していただけたら幸いです。

また、まだまだ現在検討中の内容や、低予算のため未実施な調査などもございます。

その点どうぞご容赦ください。

また、掲載された研究内容は、現状は非常に小規模なものであり、有名大学や企業様とはまだまだ比較にはならないクオリティなので、レベルが低いと憤慨すること無きよう、皆様どうぞ手柔らかにお願い致します。

「こんな可能性もあるんだ、ふーん、面白いじゃん？」程度のスタンスで、生暖かい目で見て下さいますと幸いです。

参考文献の抜けや、大前提となっている背景の説明不足などもあるかもしれませんが、それらを全て補填するには正直な所マンパワーの限界もございますので、その点もご容赦いただけましたら幸いです。

**対象: 全ての科学、生き物好きの皆様 (ただし ちょっと内容は難しめ)**

## 本誌における知見の利用、および著作権について

個人飼育への適応は ok ですが、大規模な商業利用は NG です。

### クリエイティブ・コモンズ・ライセンス 表示:非営利-改変禁止 (CC BY-NC-ND)

※ 原作者のクレジット（氏名、作品タイトルなど）を表示し、かつ非営利目的であり、そして元の作品を改変しないことを主な条件に、作品を自由に再配布できる CC ライセンス。

はるラボでは、作者名とクレジット（出典等）を明示すれば、非営利目的に限り引用を認めております。

一部、部外秘 (confidential) な内容につきましては、雑誌内に明言を避けている場合がございます。

今後、学術誌に掲載されたり、何等かの技術に公式に転用される場合に備え、このような対応をさせていただいておりますので、ご理解いただきますようお願い致します。

個人飼育レベルで詳細を知りたいという方には、別途杉山から可能な限りご説明させていただきます。

本文に記載の G メール、または Twitter の DM にてご一報ください。

## 免責事項・再度お願い

尚、本誌における知見の個人利用に関しましては、大変申し訳ございませんが、あくまでも自己責任でのご対応・ご検討をお願い致します。これは我々への問い合わせの有無には関係ございません。お問い合わせをいただいた際も、注意点やリスクを説明し、必ず自己責任での適用および同意書への記載をお願いさせていただきます。

自分の可愛い飼育個体のことは、どうぞ飼い主様自ら責任を持って守ってあげてください。

試験内容によっては、小さな個体には負担をかけてしまう試験内容もありますので、どうぞ十分にご注意下さい。

この場を借りて、改めて注意喚起をさせていただきますが、**本誌は、飼育テクニックを伝える本ではございません。あくまでも生物・科学読本・報告書の類になります。**

また、我々杉山ラボのチームは、科学に覚えがある集団であり、生き物の飼育に関してはまだまだ勉強中です。その点、どうぞご理解下さい。

ラボメンバーは不肖杉山の声掛けで集まり、本業ではない中で時間を費やし、様々な検討を行って下さっております。残念ながら、両生類学者はまだメンバーにはおらず、まだまだ知識が不十分な点はございますが、皆精一杯知人などを総動員して下さっておりますので、両生類の専門家でないからといって、メンバーへの悪口などはどうぞお控え下さいますようお願い致します。メンバーの詳細やプロジェクトに賭ける想いなどにつきましては、今後も本誌にて更新して参りますので、是非とも推しメンを決めて頂けましたら幸いです。

絶対皆喜びます。宜しくお願い致します。

## 目次 Table Of Contents

- ・ 特集 1: 広報\_\_はるらぼ設立・第 1 回活動報告書 . . . p.4-6
  
- ・ 特集 2: 最新報告-1\_\_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\_\_  
Exploring growth regulatory factor and environment for Axolotl, *Ambystoma mexicanum* . . . p.7-17
  
- ・ 特集 3: 最新報告-2\_\_昆虫の成長・生育はアミノ酸依存的に制御される\_\_  
Insect growth can be regulated by amino acids. . . p.18-22
  
- ・ 奥付 . . . p.23



# 特集 1: 広報

## 第 1 回 ウーパールーパー研究室

### “はるらぼ・はるらぼ 2nd” 活動報告書 (～2022/4/1)

杉山 遥 (PN) <sup>1</sup>

<sup>1</sup>ウーパールーパー研究室 “はるらぼ 2nd”

Haruka Sugiyama (PN) <sup>1</sup>

<sup>1</sup> HAL\_Lab\_Axolotl\_2nd

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

since 2020～ (@lab\_new2)

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

## 主任研究者 (杉山) の来歴・個人研究室設立の経緯

### 来歴

杉山 遥: 男性 1987 年生れ (報告書作成時 34 歳)

幼少時代より研究者を志す。2020 年 3 月博士号 (理学・生物学) 取得。2020 年私立大学の実習担当講師 (非常勤) を経て、2021 年～ 製薬会社研究員・ポスドク (非常勤) を経て現在こっそりポスドク (無給) と企業研究員を掛け持ちしている。現在半導体関連の研究に関わりつつ、価値観のアップデートと研究界での生き残りに精を出している。

杉山の価値観の変遷の一端は、本誌最初の “**ご挨拶と注意点**” の項をご参照下さい。

### 研究室設立の経緯

2018 年～ 知人に紹介されたことで、ウーパールーパーの飼育に興味を持つ。

2019 年～ アカデミアでの将来性の低さに絶望し、個人研究活動に触れたことで、自らもその可能性を考えるようになる。自身の研究経験・知識を活かしてウーパールーパーの生態や成長メカニズムについて自室に研究設備を設置し、金欠と飼育地獄に追われながら日夜研究に励んでいる。

- ・ 2019～2020: “はるらぼ” の事実上設立・運営開始、
- ・ 2021～: アカウントを統合して “はるらぼ・2nd” と命名した。

## はるらぼ関係者・共同研究者一覧 (2022/5/1 更新)

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

高橋 慶・・・専門学生, 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

萩原 和晃・・・社会人, 企業研究開発職, 共同研究員; 研究技術主任

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

横江 諠衛・・・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

九条 薫 (PN)・・・B4, 法学部所属, 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・・・D3, 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。

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。

尚、vol 1.2 まで、関係者として紹介した 狩本 ジョゼ (PN) 様ですが、現在非常にご多忙のため、2022 年 5 月より、不定期で補助的な研究へのご助言・アドバイス中心のご参加ということになります。

また、本誌掲載の結果に関しては、同氏の活動へのご参加以前に得られた検証結果を掲載しております。

## 現在の取り組み・成果

以下の研究テーマについて取り組んでいる。

ウーパールーパーだより vol1, 1.2 にて、いくつかの研究内容について報告する。

- ・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に関する研究
- ・アホロートルの睡眠と成長に関する研究・概日リズムに関する行動観察
- ・異種との混泳、生存競争と成長の関係性
- ・魚類 (グッピー)、昆虫との相関 (ショウジョウバエ、フタホシコオロギ、アメリカザリガニ など)
- ・他、腸内フローラ・腸内細菌 と生育の関係に関する調査 など

## 発表・報告など

### ・雑誌・著書・文献 (杉山名義での業績のみ)

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

- 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.

Exploring growth regulatory factor and environment for Axolotl, *Ambystoma mexicanum*

著: 杉山 遥 (PN)

- 昆虫の成長・生育はアミノ酸依存的に制御される. Insect growth can be regulated by amino acids.

著: 杉山 遥 (PN)

### ・研究発表

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) のメンバーらによる研究会、“FBS ドクター発表会”にて 2022/2/12 (土)・2022/2/19 (土) に研究内容について紹介の機会を得た。

## 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)

## 創設者の語り

当研究室はまだ発足して短いですが、今後もこのような個人研究で地道に長く研究活動を続けていきたいと考えている。更なる共同研究も是非とも大歓迎である。

著者の杉山は、将来的には本研究室を発展させ、知育として論理的思考を培い研究を行う塾などの機関を開講することで低迷している日本のサイエンスを盛り返すことに尽力したいと考えている。今後、参加者の皆様が、企業側から見て積極的に採用したくなるような人材として完成されるような社会を作りたい。

また余談だが、宝くじで億が当たったら、大学で研究を一生続けてみたいという想いもひそかに持っている。それだけ研究に対する高いモチベーションを持っていると自負している。

ちなみに、個人研究を開始した背景は決して前向きな事情ばかりでは無い。著者の杉山は、大学において堅実に研究活動を行ってきたが、自分の現状 (賞なし、共著少、出身大学も中堅で明確なオファーもなし) を踏まえるとアカデミア環境で生計を立てていく才能は無いと考え、非常に苦悩してきた。勿論正式なテニユアトラックのような実質終身雇用の機会があれば挑戦したいと考えていたが 34 歳という年齢が現実的な足枷となっている。杉山はどうか自身の経歴とトーク力を活かして、民間企業でもある程度の適正がありそうなので、どうか生計を立てられそうで助かっている。資金源はおおよそ杉山の給与から補填されているので、研究に寄与したことのある方々は戦慄するかもしれないが、それでも前向きに取り組む意思を忘れずに活動していきたいので、この報告書をご覧になった方々は、是非とも生暖かく応援して下さい幸いです。

# 特集 2: 最新報告-1

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

Exploring growth regulatory factor and environment for Axolotl,  
*Ambystoma mexicanum*

杉山 遥 (PN)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ウーパールーパー研究室 “はるらぼ 2nd”

Haruka Sugiyama (PN)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> HAL\_Lab\_Axolotl\_2nd

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

since 2020~ (@lab\_new2)

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

## 導入 Introduction

ウーパールーパーとして知られるメキシコサンショウウオ (*Ambystoma mexicanum*; 以下、アホロートル) は、愛玩動物として現在多くの人々に親しまれている。一方で野生種の数自体は、度重なる開発や地殻変動を経て、昨今の環境汚染などが原因となり、絶滅の危機に瀕している (Susan, 1997; 渡辺 2018)。この種の保全を目的として、多くの活動家や NPO 法人や研究者の方々が、その種の保全のために動いている (渡部, 2018)。しかしながら、アホロートルの生態には未解明な部分も多く、完全な保全の達成までには多くの課題が残っているのが現況であると考えられる。

そこで当研究室では、アホロートルの生育に必要な因子について再度詳細な理解を深めることを目指し、**1) 底砂・ソイルの影響、2) 水中の鉱物 (ミネラル) の影響、3) 生育に必要と考えられる栄養成分のスクリーニング、4) 多種または同種との混泳の影響および生育密度** などの要因について注目した (図 1)。

これらの検討の結果、飼育環境が成長へ及ぼす影響や摂食環境および睡眠の重要性など、従来の飼育では理解が曖昧であった多くの要因が積み重なって生育に影響を与えている可能性が示唆された。

本論文では、当研究室オープン時からの様々な検討によって得られた結果に基づき、アホロートルの成長・生育に必要な因子の可能性のある成分・環境について報告する。

## 結果・考察 Results and Discussions

### 1. 底砂（ソイル）および飼育水が生育に及ぼす影響（2022/4/25 一部、追記・修正）

筆者はまず、現状で一般的な飼育方法の改善点について議論することにした（図 2-3）。例えば、底砂（ソイル）の有無、砂の誤飲・誤食についての議論が飼育者界限の中で議論がある。加えて、アホロートルの免疫力の低さ等の問題から、塩化ナトリウムを加え汽水程度の濃度の高ミネラル飼育水での飼育が海外では推奨されている（Susan. 1997; Loh. 2015; Cecilia. 2009）。これらの背景を踏まえ、それらの条件が生育に及ぼす影響について定量を行った。

国内における飼育の現状として、底砂を引かない所謂“ベアタンク”と言われる系が流行りとなっている。一方で、海外ではアクアテラリウム下での飼育が主流となっている。これを踏まえ、これらの二条件下での 120 日間における生育率について比較・定量を行った。その結果、底砂およびソイル存在下における生育率は、ベアタンクよりも優位に高くなることが明らかとなった（図 2）。尚、底砂の詳細な成分分析は今後の課題であるが、今回用いたソイルは赤土や火山灰に由来しているとされており、底砂はゼオライトなどの火山岩が用いられている事が多々見受けられる。これらの砂や土は、実際の自然環境を想定すると、炭素 C、ケイ素 Si、アルミニウム Al、鉄 Fe、カルシウム Ca、カリウム K、ナトリウム Na、マグネシウム Mg、マンガン Mn、リン P、硫黄 S、チタン Ti などを含んでいると推察され、生存に必要な栄養素を多分に含んでいる（雪印種苗株式会社\_畜産技術情報>土壌の構成元素\_2007-2014）。そこで、ここまで得られた結果と併せると、アホロートルは水底から溶け出した土壌成分を吸収することで成長が促進された可能性が考えられた。これに加えて、アホロートルの食砂の習性は、実は一部で言われているような“誤飲・誤食”だけではなく、必要な栄養成分の摂取を戦略的に行っている可能性もあるのかもしれないと推察された（これはあくまで、ソイルなどのように粒のきめ細かな物に限って有効な考察である）。また、この食砂や食土に該当するような行動は、一部の鳥類や軟体動物・昆虫類などに見られるものである（清水 伸彦 他. 胃石を持つ鳥・持たない鳥\_群馬県立自然史博物館; コトバンク>砂嚢）。このことから、アホロートルにおいても同様の戦略をある程度備えている可能性も考えても良いのかもしれない。ともすれば砂の誤飲という物は、この生存戦略としての食砂の習性が災いし、軽石などの大きな粒を飲み込んでしまう、まさに不慮の事故の結果であるのかもしれない。

尚、この点においては、本改訂版にて、より慎重な表現を用いるよう慎重に修正を行っている。

また、土壌成分の溶け出しや経口摂取による栄養吸収だけでなく、底砂があることにより歩行のしやすさによる適切な筋肉の発達なども、成長率の向上にある程度貢献していることが考えられた。

次に先行研究に基づき、高ミネラル飼育水が実際に発生・成長率に影響するかどうか検証を行った（Kristen. 2016.）。その結果、0.2-0.3% の範囲の塩水では安定的に飼育することが可能であり、かつ成長率の優位な向上が確認できた。一方で、塩水浴治療として推奨される 0.4-0.5% という塩濃度では、あまり長期的には飼育できず、鰓の委縮や粘膜異常などの症状が見られた。これらのことから、塩水（1% ~）に近くなるにつれて、健康状態に支障をきたすことが示唆された。実際の飼育環境および自然環境下においても、汽水域の範囲を超えない 0.2-0.3% という塩水条件は硬水と同等と考えることができ、硬水環境下においてアホロートルは安定的に成長できることが示唆された。

飼育下において、中性の水質環境がアホロートルの生育にとっては好ましいとされていることから、ソ

イルが亜硝酸塩を吸着させる役割も重要であることが再認識された。塩水下では、砂に吸着された汚れ等がナトリウムイオン等と置換することが言われており、底砂が存在することで塩分濃度の過剰な上昇をうまく妨げ、水質を安定させていることも考えられた。

## 2. アホロートルの成長に必要な栄養素のスクリーニング

ここまでの検討から、生育によって有効な飼育条件が明らかになった。次に我々は、飼育下のアホロートルと自然界でのアホロートルの大きさの違いに注目し、その違いを生む可能性のある因子の同定を目指してスクリーニングを行った（図 1; 3-4）。

成長促進に関わる候補因子として、アミノ酸（タンパク質；コラーゲン）、脂質、糖質、成長因子、 $\beta$  グルカンであるパラミロン、ビタミン B 群・D 群、鉄イオン、亜鉛イオン、長鎖不飽和脂肪酸 (DHA)、ダイズイソフラボン、整腸成分（グレリン）、ポリフェノールおよび睡眠ホルモン（メラトニン）に注目した。それぞれの成分および阻害剤を粉末とし、経口投与にて与えた。睡眠条件の誘導には暗所での飼育を行った（材料と手法を参照）。

アミノ酸を摂取させる方法として、抽出した牡蠣エキス (NIPRO. 2019)、コラーゲンサプリメント（必須アミノ酸を全て含有）およびグルタミン酸ナトリウム（味の素）に注目し餌に加えて投与した。また下流の mTOR シグナルの阻害にはラパマイシンを用いた (Robert. 2017.)。また、脂質および糖質の影響の確認には、餌と混ぜたブドウ糖を与えた。また、それぞれの効果の阻害剤として、ベザトールおよびメトグルコを用いた。成長因子には hGF（ヒト成長因子）を用いた。また、抗酸化作用がある成分として知られるポリフェノールを摂取させ、成長効率の向上を図るためにカカオ粉末を用いた (早田邦康. 2011)。同様にダイズイソフラボンにも注目し、ダイズ粉末を与える群も用意した (南東北病院グループ. 2012)。その他、健康成分として知られる  $\beta$  グルカンを摂取させ、免疫力 UP によって成長促進が起こるかを確認するために、ユーグレナ（ミドリムシ）粉末を与えた群も用意した (Jeffrey. 2021)。これらの効果の長所を併せるため、カキエキスに加えてマルチビタミンや鉄・亜鉛イオンおよび DHA を加えた栄養カクテル餌も用意した。また、体内時計と睡眠および成長因子の関係に注目し、睡眠ホルモンとして知られるメラトニンを摂取させる条件の設定も行った (田畑. 1986; 大川. 2007; 飯郷. 2011; 小田. 2015; 後藤. 2019)。また、糖代謝を促進するとされる硫黄呼吸という現象にも注目し、一部のブドウ糖摂取群に硫黄を併せて摂取させた (Takaaki. 2017)。これらの実験群は、120 日後に成長率の比較を行った。

検討の結果、栄養を追加した試験群では、ブドウ糖付加および暗所飼育以外の条件で、有意な成長促進の顕著な上昇が見られた。しかし、ブドウ糖と高ミネラル条件として 0.3% 塩水のみ条件がある程度の成長向上を見せたことから、糖質もある程度の成長促進効果があることが考えられる。これに加え、硫黄呼吸を誘導した場合は、有意な成長率の向上が見られたことから、アホロートルにおける糖代謝の重要性が明らかとなった。これは、糖吸収阻害剤を投与した場合の成長抑制効果からも肯定された。脂質および脂肪の摂取についても、阻害剤による有意な成長阻害効果から、その成長における重要性が示唆された。また、アミノ酸接種による成長率向上と、阻害剤による効果から、mTOR シグナルの重要性が肯定された。メラトニンによる睡眠促進が顕著に成長を促進したことから、アホロートルにおいても睡眠が重要であることが示唆された他、摂食のタイミングによって成長効率が大きく異なる可能性が示唆された (小田. 2015)。

### 3. 混泳が成長に与える影響の解析

ここまでの研究から、アミノ酸・糖質・脂質の効率良い摂取が成長にとって重要であることが明らかとなった。そこで最後に、生育密度と異種混泳による成長への影響に注目した。アホロートルと同じネオテニーとしての潜在能力を持つエゾサンショウウオにおいて、異種混泳を行うことで頭部が肥大した表現型を示すことが知られている (Sasaki. 1937; 若原 正己. 2006. 道前 洋史. 2007)。これに注目し、アホロートルとエゾサンショウウオの混泳および同種混泳を行った際の成長率比較を検討した。これに加え、生育密度と成長率の関係性についても確認を行った (図 5)

検討の結果、エゾサンショウウオと混泳して飼育した経験を経た個体は、同族のみで同様の密度で飼育された条件よりも優位な成長肥大を示した。尚、この時エゾサンショウウオとの共食いは見られなかった。また、密度が高い状態、すなわち水槽のサイズに対して生体数が過密になると、生育が顕著に抑制されることも示唆された。多くの同種と共存すると成長抑制が見られる一方で、異種との混泳が起こると成長促進が見られることを踏まえて考えると、進化の過程では近縁種と共存していたが、自種を効率的に生存させるために競合相手よりも体を大きくする機構を得ることで生存競争に勝利した結果、現在のメキシコサンショウウオとして定着したことが考えられた。

### 総括 Conclusion

今回の調査から、アホロートルの生育に必要な環境因子や成長に必要な因子が明らかとなった。実際、メキシコの湖の歴史については古くからの記録に基づいて議論されており、河川の氾濫などによって、付近の土壌や塩水湖と淡水湖の混合が何度も起こっていることも分かっている (Susan. 1997)。その結果、ソイルや高ミネラル水の広い湖の中で、魚等の動物性の栄養源を確保し、あのような巨大な野生種としての表現型を確立してきたことが推察できる。今回の結果を活かし、より野生種 (原種) に近い個体の表現型を得ることで、絶滅が危惧されるアホロートルの保全に役立ていけることを切に願う。

## 材料と手法 Materials and Methods

本研究には、メキシコサンショウウオ（ウーパールーパー）を用いた。

成長実験には 3-5 cm の幼体を用い写真を撮影後、画像解析ソフト Image J (Color FootPrint) にて測定を行った。

高ミネラル水には、瀬戸内海産の荒塩を用いて調整を行った。(100g 当たり NaCl 94.0g、MgCl<sub>2</sub> 150mg)。

給餌は週 2-3 回、ZT および CT15-17（午後 9-11 時）に必ず行った他、栄養試験の際には、餌中に混合した粉末成分を経口投与にて摂取させた。実験群への給餌の頻度は一定に合わせた。

エゾサンショウウオ幼生との混泳の際は、基本的には対照群と共に淡水条件で混泳を行った。

睡眠実験群の誘導の際は、暗所にて飼育を行った。また、給餌の際にはメラトニンの経口投与を行った。

メラトニンの原材料であるセロトニンを生合成させるために、食事のタイミングには 2-3hr 程度の期間、光を当てている。

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

## 出典 References

渡部 久. 2018. ソチミルコにおけるウーパールーパーの保護. アミーゴ会だより 2018 年 7 月. 1-2. (<http://www.mex-jpn-amigo.org/>)

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

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

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

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

Robert A. Saxton and David M. Sabatini. 2017. mTOR Signaling in Growth, Metabolism, and Disease. *Cell* 168, March 9. Elsevier Inc. 960-976.

NIPRO. 2019. 各種栄養成分を豊富に含む完全食品『牡蠣エキス』の効用を考える. すこやかネット. 12月号. <https://www.nipro.co.jp/sukoyakanet/201912/>

Jie Xu, Joseph L Messina. 2009. Crosstalk between growth hormone and insulin signaling. *Vitam Horm.* 2009;80:125-53. doi: 10.1016/S0083-6729(08)00606-7.

南東北病院グループ. 2012. 女性に嬉しい栄養素 大豆イソフラボンでトラブル予防. 広報誌 健康倶楽部. 2012年9月号. [https://www.minamitohoku.or.jp/kenkokanri/201209/soy\\_isoflavone.html](https://www.minamitohoku.or.jp/kenkokanri/201209/soy_isoflavone.html)

Jeffrey Comer, Molly Bassette, Riley Burghart, Mayme Loyd, Susumu Ishiguro, Ettayapuram Ramaprasad Azhagiya Singam, Ariela Vergara-Jaque, Ayaka Nakashima, Kengo Suzuki, Brian V. Geisbrecht, Masaaki Tamura. 2021. Beta-1,3 Oligoglucans Specifically Bind to Immune Receptor CD28 and May Enhance T Cell Activation. *Int J Mol Sci.* 2021 Mar; 22(6): 3124. Published online Mar 18. doi: 10.3390/ijms22063124

並木 隆雄. 2016. 六君子湯のメカニズム【成長ホルモン分泌物質グレリンを増加させることで、摂食増進などに効果を発揮】 No.4814 (2016年07月30日発行) P.59.

新井 誠人, 松村 倫明, 吉川 正治, 今関 文夫, 横須賀 収. 2011. 機能性ディスペプシアに対する六君子湯の有用性の検討: エビデンス確立に向けて. *日薬理誌 (Folia Pharmacol. Jpn.)* 137. 18~21.

Takaaki Akaike, Tomoaki Ida, Fan-Yan Wei, Motohiro Nishida, Yoshito Kumagai, Md Morshedul Alam, Hideshi Ihara, Tomohiro Sawa, Tetsuro Matsunaga, Shingo Kasamatsu, Akiyuki Nishimura, Masanobu Morita, Kazuhito Tomizawa, Akira Nishimura, Satoshi Watanabe, Kenji Inaba, Hiroshi Shima, Nobuhiro Tanuma, Minkyung Jung, Shigemoto Fujii, Yasuo Watanabe, Masaki Ohmuraya, Péter Nagy, Martin Feelisch, Jon M Fukuto, Hozumi Motohashi. 2017. Cysteinyl-tRNA synthetase governs cysteine polysulfidation and mitochondrial bioenergetics. *Nat Commun.* Oct 27;8(1):1177. doi: 10.1038/s41467-017-01311-y.

早田邦康. 2011. がん病態と栄養成分-ポリアミン、脂肪酸、ポリフェノールについて-静脈経腸栄養 Vol.26 No.5. 1211-1220

Sasaki, M. and H. Nakamura. 1937. Relation of endocrine system to neoteny and skin pigmentation in a salamander, *Hynobius lichenatus* Boulder. *Annot Zool Japon* 16:81-97.

若原 正己. 2006. ところ変われば頭でっかち

エゾサンショウウオの表現型可塑性-そのしなやかな生存戦略.

季刊生命誌 49号 BIOHISTORY 2006: [https://www.brh.co.jp/publication/journal/049/research\\_11\\_2](https://www.brh.co.jp/publication/journal/049/research_11_2)

道前 洋史, 若原 正己. 2007. エゾサンショウウオの適応的な表現型可塑性—「頭でっかち型」  
日本生態学会誌 57 : 33 - 39

大川 匡子. 2007. 第3章 健康なくらしに寄与する光 2 光の治療的応用—光による生体リズム調節—(平成19年9月5日, 文部科学省科学技術・学術審議会・資源調査分科会報告書—光資源を活用し、創造する科学技術の振興—持続可能な「光の世紀」に向けて—)

[https://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu3/toushin/attach/1333542.htm](https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu3/toushin/attach/1333542.htm)

飯郷 雅之. 2011. メラトニン研究の歴史. 時間生物学 (時間生物学会). Vol. 17, No. 1. P23-34

後藤 伸子. 2019. 糖代謝における睡眠の重要性. 慶應保健研究(慶應義塾大学保健管理センター), 37(1), 023 - 028, 2019

田 畑 満 生. 1986. 魚類のサーカディアンリズムと松果体. 動物生理. Vol.3, No.3. p103-112

小田 裕昭. 2015. 不規則な摂食タイミングが肝臓概日時計異常とコレステロール代謝異常を導く分子メカニズムの解析. オレオサイエンス(Japan Oil Chemists' Society). 第15巻第2号. P13-19

畜産技術情報>土壌の構成元素\_2007-2014. 雪印種苗株式会社.

<https://livestock.snowseed.co.jp/public/571f58cc/571f58cc60278cea/571f58cc306e69cb621051437d20#:~:text=%E5%9C%9F%E5%A3%8C%E4%B8%AD%E3%81%AB%E3%81%AF%E3%82%B1%E3%82%A4%E7%B4%A0,%E6%88%90%E5%88%86%E5%85%83%E7%B4%A0%E3%81%A8%E3%81%84%E3%81%84%E3%81%BE%E3%81%99%E3%80%82>

清水 伸彦. 胃石を持つ鳥・持たない鳥\_群馬県立自然史博物館.

[http://www.gmnh.pref.gunma.jp/wp-content/uploads/report2020\\_2-24.pdf](http://www.gmnh.pref.gunma.jp/wp-content/uploads/report2020_2-24.pdf)

コトバンク>砂囊

<https://kotobank.jp/word/%E7%A0%82%E5%9A%A2-69447>

## 謝辞 Acknowledgments

本研究をまとめるにあたり、高橋 慶 様、SNS などの複数の媒体で情報提供下さった皆様、並びに同業者の皆様等、多くの方々のお力添えがありました。この場を借りて改めて心より御礼申し上げます。

今回の杉山研としての最初の仕事、決して私一人によるものではなく、ひとえに皆様のご協力の賜物であると存じます。本当にありがとうございました。そして、杉山研が更に発展することを切に祈ります。

**目的：アホロートルの成長メカニズムについて明らかにする。**  
**意義：生態を理解することで、絶滅から救う糸口が掴める。**



野生下→体長40cm以上  
(飼育下では30cm程度)

<実験課題>  
アホロートルの成長にとって  
必要な因子は何か？

↓

<実験内容>  
成長率を定量して同定する

図1: 本研究の目的・意義

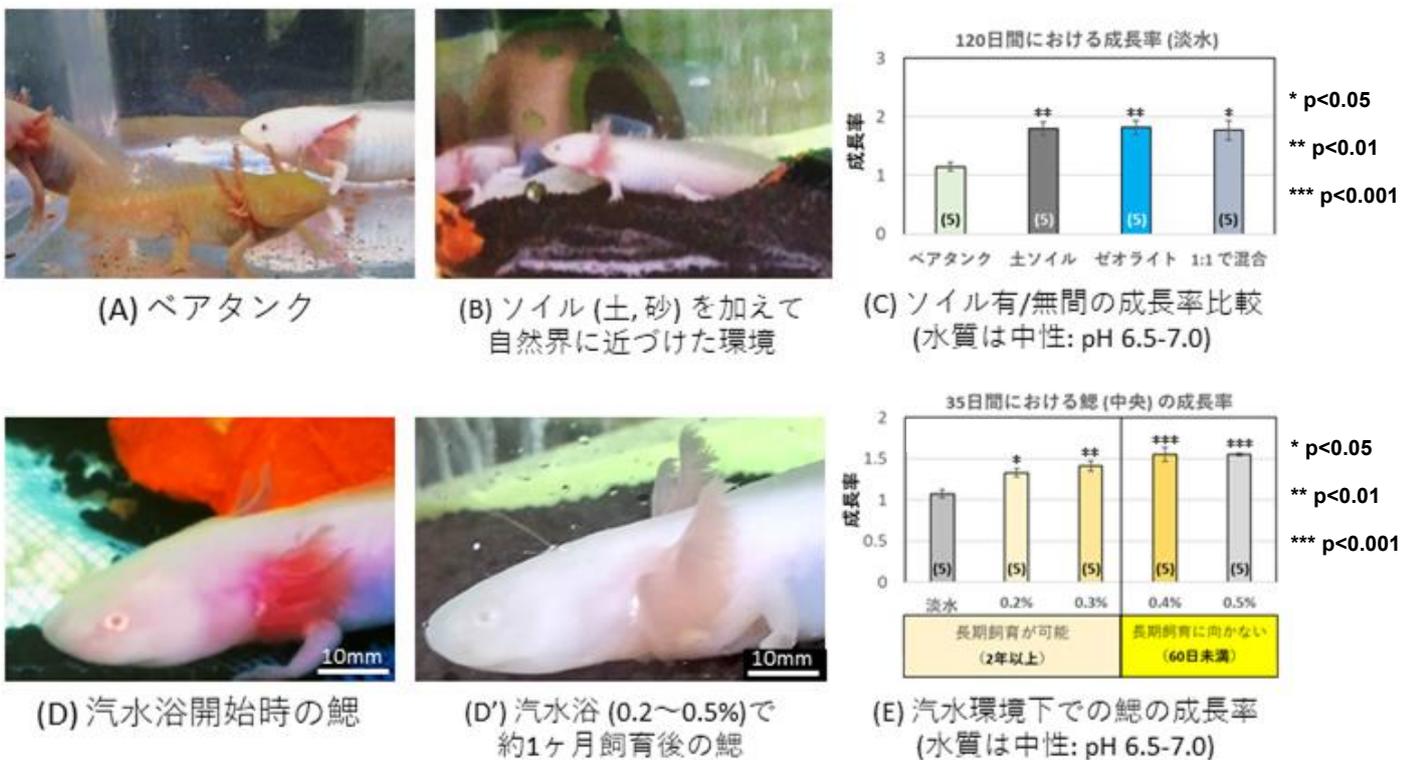


図2: 生育に適した飼育(生育)環境の探索



図3: 成長に必要な因子のスクリーニング

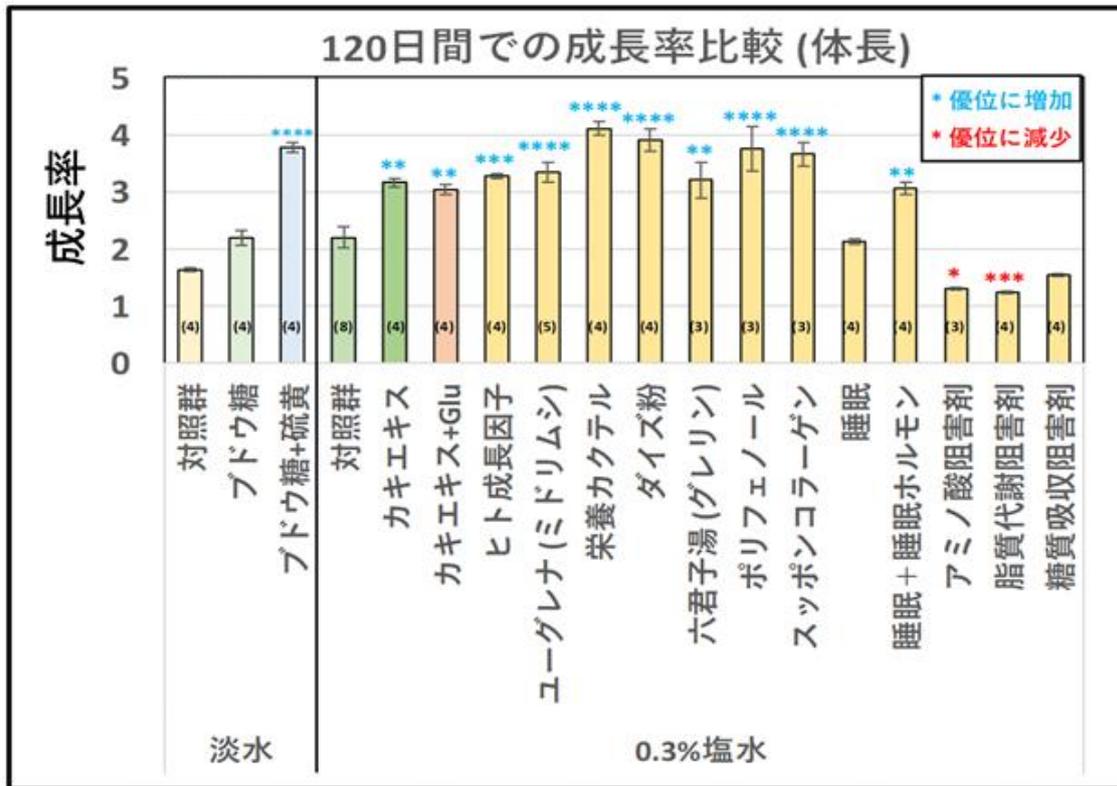


図4: スクリーニングの定量結果・統計解析

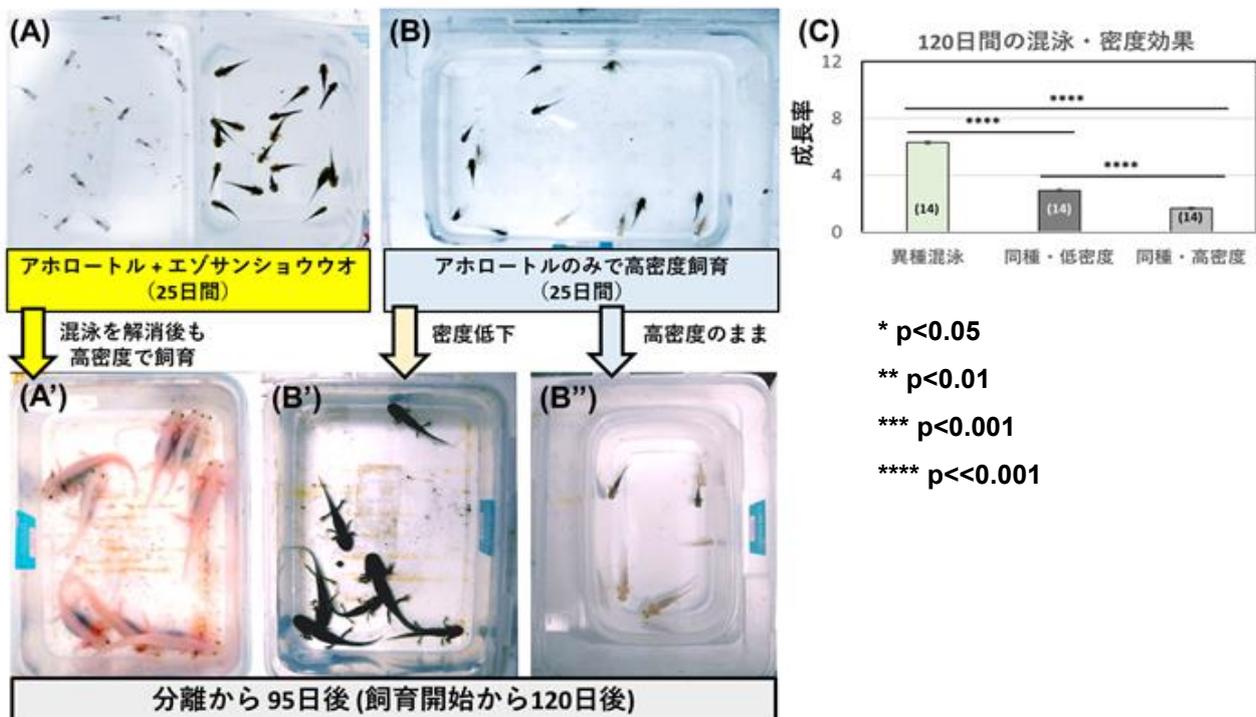


図5: 異種混泳および生育密度が成長に与える影響

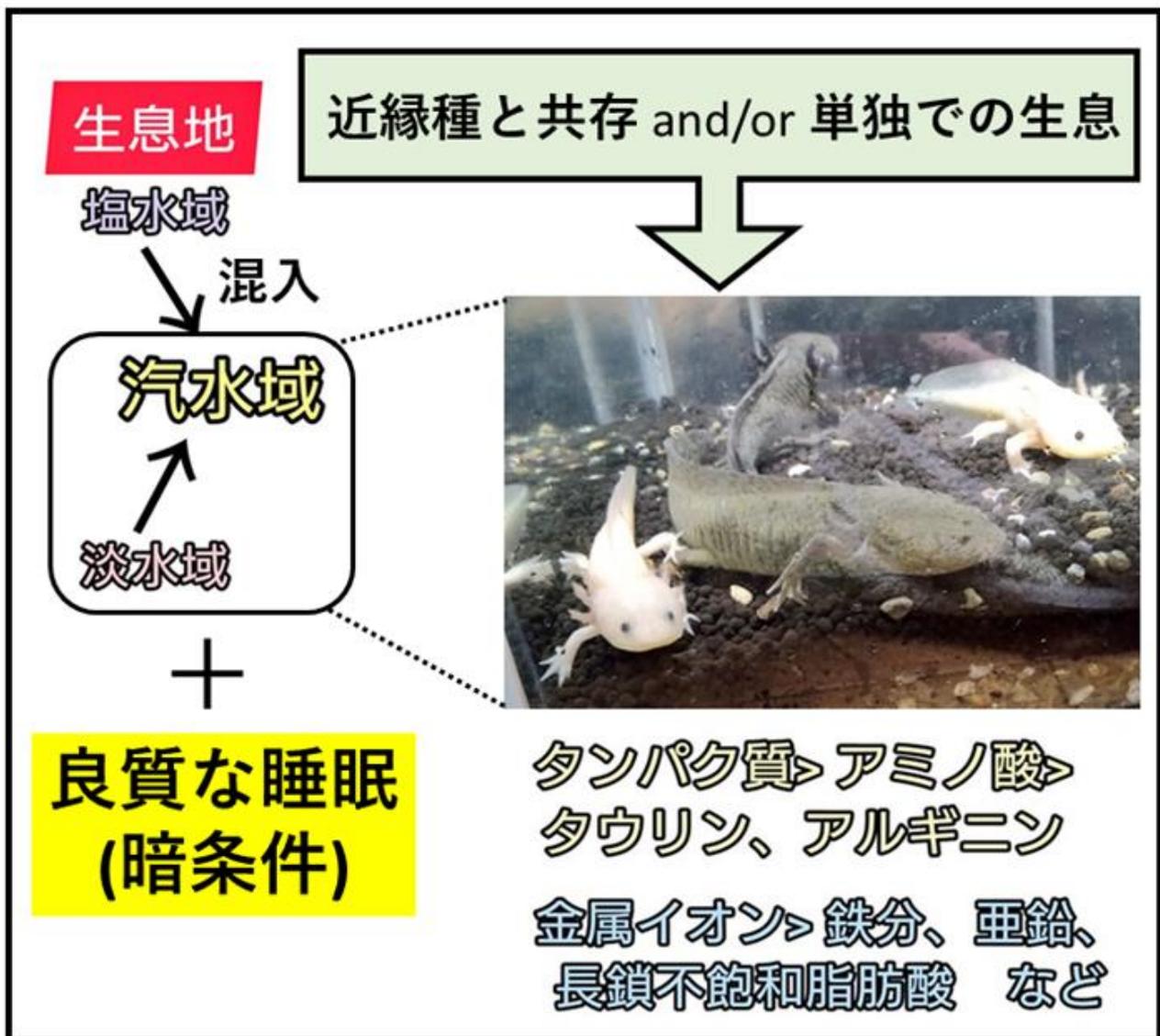


図6: まとめ; アホロートルの成長に必要な因子群

## 特集 3：最新報告-2

### 昆虫の成長・生育はアミノ酸依存的に制御される

#### Insect growth can be regulated by amino acids.

杉山 遥 (PN)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ウーパールーパー研究室 “はるらぼ 2nd”

Haruka Sugiyama (PN)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> HAL\_Lab\_Axolotl\_2nd

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

since 2020~ (@lab\_new2)

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

## 導入 Introduction

昨今の食糧危機に端を発し、昆虫食に対して注目が集まっている（水野. 2016）。特に直翅目であるフタホシコオロギは、大きな個体であることもあり、乾燥粉末状態での利用等が検討されている（三戸. 2020）。そこで我々は、アホロートルを用いた栄養と成長に関する知見を活かし、昆虫の成長に必要な因子の探索を目指した。我々の研究および複数の文献から、アミノ酸代謝に関わるシグナルを伝達および糖質・脂質に関するインスリン/インスリン様シグナルの下流に位置する因子である Target of Rapamycin (TOR) が昆虫における栄養感知と成長制御に関わることが考えられたため、これに注目し今回の研究を行った（篠原. 2021; Miki. 2020; Eisuke. 2020; Ayuko; Mirai. 2018; Xu. 2015）。

## 結果・考察 Results and Discussions

### 1. 直翅目不完全変態昆虫の成長に対するアミノ酸の貢献度

筆者はまずフタホシコオロギ (*Gryllus bimaculatus*) に注目し、孵化直後の段階から、対照群、エサに牡蠣粉末および牡蠣粉末+グルタミン酸の3条件で比較を行い、生育率の違いについて比較を行った(図1)。検討の結果、アミノ酸を多く与えた条件では、フタホシコオロギの顕著な成長促進（脱皮頻度の上昇）が見られたことから。フタホシコオロギの TOR の活性化による成長率促進が起こることが考えられた。

しかし、グルタミン酸添加条件では、塩の浸透圧などの影響もあるためか、途中で致死する個体が数匹見られた。この条件での成長率の高さが、致死による密度低下に起因するかどうか、今後更なる詳細な解析が必要である。

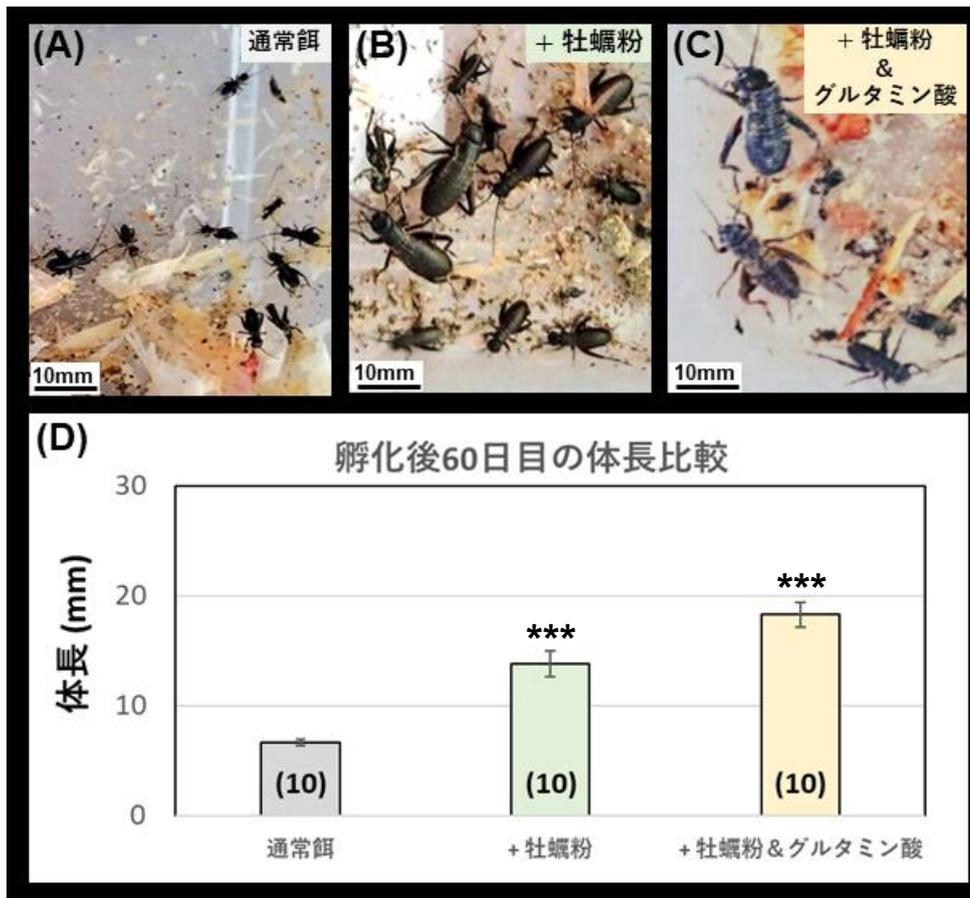


図1:栄養依存的なフタホシコオロギの生育率

## 2. 双翅目完全変態昆虫の成長に対するアミノ酸の貢献度

先程までの検討では不完全変態昆虫に関する調査を行ったため、文献 (Eisuke. 2020; Ayuko; Mirai. 2018; Xu. 2015) を参考に、より進化的な昆虫であるショウジョウバエを用いた解析を行った。

検討の結果、低栄養条件、過密飼育、およびラパマイシン投与によるアミノ酸代謝に関わる TOR 経路の阻害条件 (本誌特集 2. 結果と考察 2. 参照) で、通常条件より小さな個体が確認できた。一方で、牡蠣粉およびコラーゲン粉末を添加した条件では、個体の顕著な肥大が見られた (図 2. (A))。尚、ショウジョウバエにおいて、腸や生殖器は栄養の感知に関わっているという報告が見られる (Eisuke. 2020; Ayuko; Mirai. 2018; Xu. 2015)。我々の腹部の大きさの定量結果からも、低栄養条件における成長抑制に加え、栄養状態の悪化を生育中に感知し、羽化の際に個体の生存を優先した可能性が考えられた (図 2. (B)-(C))。このような条件において、高アミノ酸条件における子孫数の増大、および低栄養条件または TOR 阻害における子孫数減少が確認された (図 2. (D)) ことから、生殖器が栄養状態 (特にアミノ酸) を感知し、妊性を最適化している可能性が考えられた。

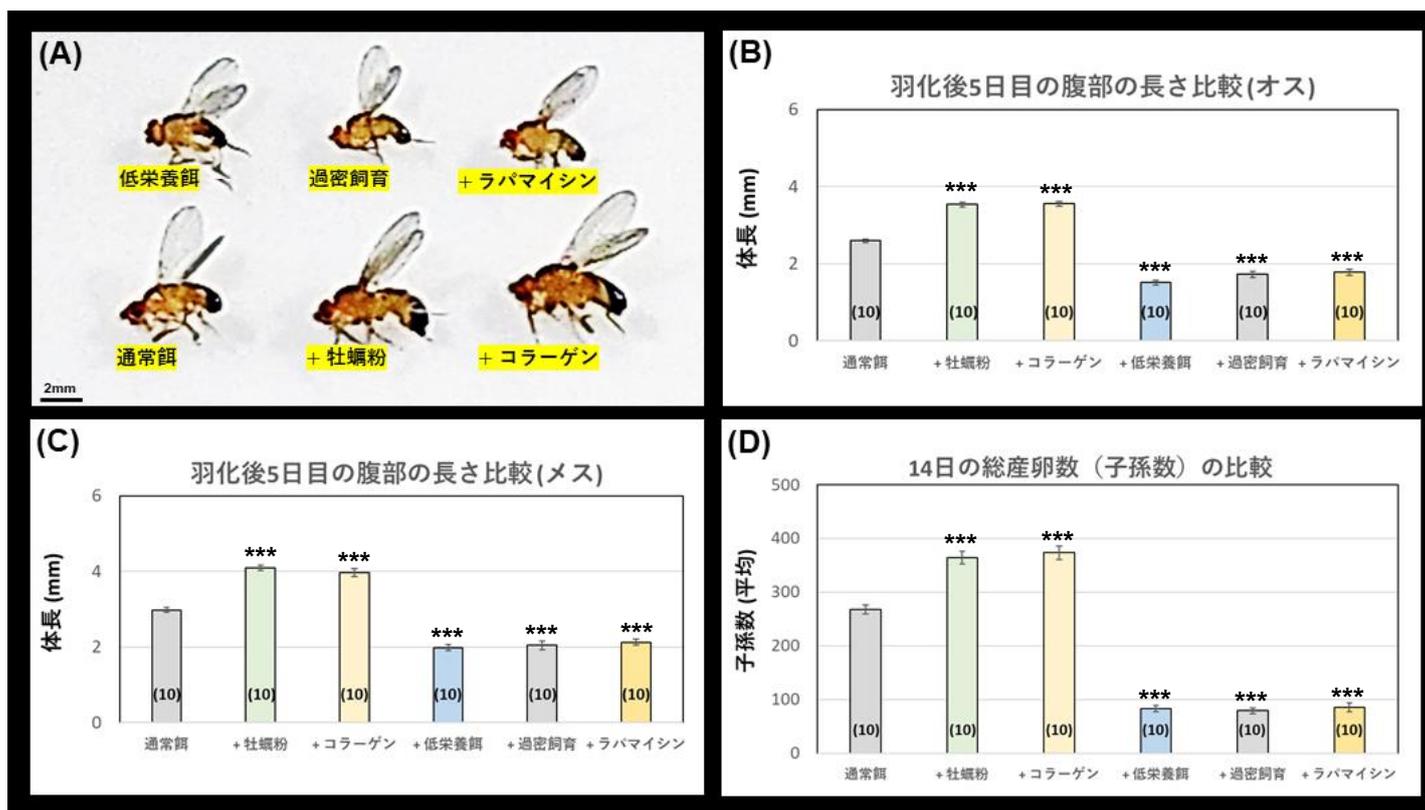


図2: ショウジョウバエにおける栄養依存的な生育率および妊性

\* p<0.05  
 \*\* p<0.01  
 \*\*\* p<0.001

## 総括 Conclusion

今回の調査結果から、我々がアホロートルの研究に用いている試薬や食品が、昆虫の生育の制御にも有用であることが明らかになった。アミノ酸のシグナルが個体の肥大成長を促進することから、鰹節や魚類、牡蠣粉末を積極的に用いることで昆虫食への積極的な適用が期待できる。

今回の知見および実験系を活かし、より大きな個体を得るための詳細な薬剤および食品スクリーニングを行っていきたい。

## 支援・寄付のお願い We Need Donation.

はるらぼでは、共同研究者および研究へのご支援を心よりお待ちしております。少額のご支援やカルキ抜きなどのご提供など、お心づけを頂ければ皆も大変喜びます。

今後も、大学や民間などの縛りに捕らわれず、柔軟で先進的な研究活動を行えるよう、最大限努めて参ります。どうぞ皆様、応援の程何卒宜しく願い申し上げます。

はるらぼ関係者一同

## 材料と手法 Materials and Methods

各昆虫の飼育において、日長条件は LD12:12 条件で行った。

フタホシコオロギの生育にはマウス用の固形餌（オリエンタル酵母 マウス・ラット・ハムスター用 MF（基礎資料））および削り節を混合して用いた。ショウジョウバエの飼育には文献等に記載されている国立遺伝学研究所等が公開している組成に基づいて作成した（Ayuko; Mirai. 2018 他）。

ショウジョウバエの飼育時は、オスとメスを 15 匹ずつバイアルに混合した。過密飼育には 60 匹ずつの親バエを入れることで、通常の 4 倍量の産卵数となるように設定を行った。

ショウジョウバエの各餌条件設定の際は、餌作製時に粉末状にした各成分（カキ粉末、コラーゲンサブリ粉末およびラパマイシン錠剤）を混合した。

低栄養餌は、水、寒天、防腐剤を除く内容物を通常の 1/3 の分量にて混合した。

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

### ショウジョウバエ子孫数の定量

- 1). 羽化から間もないオス個体 15 匹とおよびメス個体 5 匹を、培養用バイアルに混合する（オス:メス = 3:1）。
- 2). 翌日から 48 時間で交尾・産卵させる。
- 3). 新しい培養用バイアルに親バエを移動させ、同様に 48 時間産卵させる。
- 4). 産卵後、親バエを除去し、2 週間の総子孫数を数える。\*この時、孫世代を誤って数えないように、この期間内までで終わらせる。

## 出典 References

水野 壮. 2016. 現代の昆虫食の価値—ヨーロッパおよび日本を事例に—The Value of Modern Entomophagy in the Case of Europe and Japan. 国際交流研究 : 国際交流学部紀要 18 巻. 159 – 178.

三戸 太郎. 渡邊 崇人. 岡部 慎司. 2020. 持続可能な次世代タンパク質源としての食用コオロギ. 生物工学. 第 98 巻. 第 1 号. P44-45.

Taiki Miki, Tsugumichi Shinohara, Silvia Chafino, Sumihare Noji, and Kenji Tomioka. 2020. Photoperiod and temperature separately regulate nymphal development through JH and insulin/TOR signaling pathways in an insect. Proc Natl Acad Sci USA. Mar 10; 117(10): 5525–5531.

篠原 従道. 富岡 憲治. 2021. タンボコオロギにおける光周期と温度による幼虫発育の制御機構. 比較. 生理生化学総説. Vol. 38, No. 1. P38-44

Ayuko Kubo; Mirai Matsuka, Ryunosuke Minami, Fumika Kimura, Rumi Sakata-Niitsu, Akihiko Kokuryo, Kiichiro Taniguchi, Takashi Adachi-Yamada, Hideki Nakagoshi. 2018. Nutrient conditions sensed by the reproductive organ during development optimize male fecundity in *Drosophila*. Genes to Cells. Jul;23(7): 557-567.

Xu, J., Anciro, A. L., & Palli, S. R. 2015. Nutrition regulation of male accessory gland growth and maturation in *Tribolium castaneum*. Scientific Reports, 5, 10567. P1-11

Eisuke Imura, Yuko Shimada-Niwa, Takashi Nishimura, Sebastian Hu-ckesfeld, Philipp Schlege, Yuya Ohhara, Shu Kondo, Hiromu Tanimoto, Albert Cardona, Michael J. Pankratz, and Ryusuke Niw. 2020. The Corazonin-PTTH Neuronal Axis Controls SystemicBody Growth by Regulating Basal Ecdysteroid Biosynthesis in *Drosophila melanogaster*. Current Biology30, 2156–2165. June 8.

## 謝辞 Acknowledgments

本研究をまとめるにあたり、多くの昆虫学者の方々のご助言・お力添えがありました。この場を借りて、改めて心より御礼申し上げます。誠にありがとうございました。

杉山研は、アホロートルの研究のみならず、今回のような社会に有益な知見を得るための研究も積極的に行って参ります。今後ともご愛顧の程、何卒宜しくお願い致します。

# 奥付

## ウーパールーパーだより vol 1.3

発行日 初版 vol 1.0 2022/4/14

改訂版 vol 1.2 2022/4/25

改訂版 vol 1.3 2022/5/1 (これ以降 vol 1. の内容には変更無しの予定)

編集・著者 杉山 遥 (PN; Ph.D)

表紙写真撮影者 同上

発行元 ウーパールーパー研究室 “はるらぼ 2nd”, HAL\_Lab\_Axolotl\_2<sup>nd</sup> (@lab\_new2)

問い合わせ先 [sugiyama.haruka.axotl@gmail.com](mailto:sugiyama.haruka.axotl@gmail.com) または Twitter の DM へ

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

# 次号もお楽しみに！

by ラボメンバー同



ウーパールーパー研究室・はるらぼ

[sugiyama.haruka.axo1tl@gmail.com](mailto:sugiyama.haruka.axo1tl@gmail.com)

since 2020~ (@lab\_new2)

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



※注意

本誌の許可なき改変・商業利用は、  
我々は一切認めておりません。

