

令和 2 年 6 月 4 日現在

機関番号：12605

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K17706

研究課題名(和文) 溪流に生息する両生類幼生の幼生期間と変態サイズにおける表現型の可塑性の意義

研究課題名(英文) Evolutional meaning of phenotypic plasticity in age and size at metamorphosis of stream amphibian larvae

研究代表者

岩井 紀子 (Iwai, Noriko)

東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：50630638

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：溪流に生息する両生類幼生が示す表現型の可塑性が、どのような変態戦略に基づいて進化したのか理解することを大目的とし、溪流性が止水性か、および越冬の有無という生態的特性の異なる複数種の幼生を飼育した。飼育結果をモデル化し、パラメータと各種の生態とを比較した結果、溪流・止水や越冬の有無だけで変態戦略が決まっていなかったことが明らかとなった。水域と陸域の成長率、生存率さらにはその季節変化を考慮したモデルが必要であると考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生活史の進化の理解においては、生活史の移行タイミングの決定機構の解明が不可欠である。両生類における変態は、生活史の移行の中でも劇的な変化を伴う事象であり、その戦略の理解が望まれてきた。しかし、1980年代を最後に新しいモデルは提唱されておらず、研究は停滞してきた。本研究は変態戦略の新しいモデルを提唱することで、生活史の進化研究にブレイクスルーをもたらすものである。

研究成果の概要(英文)：Evolutional meaning of phenotypic plasticity in age and size at metamorphosis of stream amphibian larvae was examined by rearing multiple tadpole species. I established a model to explain the metamorphosing strategies by ecological characteristics of each species such as stream dwelling or pond species, and with or without hibernation. The parameters of the model, however, did not reflect the ecological characteristics, indicating that we need to include other factors to the future models such as growth rate and survival rate both in aquatic and terrestrial stages.

研究分野：生活史の進化

キーワード：変態戦略 カエル 生活史

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

生活史の進化の理解においては、生活史の移行タイミングの決定機構の解明が不可欠である。両生類における変態は、生活史の移行の中でも劇的な変化を伴う事象であり、その戦略の理解が望まれてきた。しかし、Wilbur and Collins (1973)が提唱した基本的な変態事象の捉え方(図1)に、Werner (1986)が種間比較の考えを加えて以降、新しいモデルは提唱されておらず、研究は停滞してきている。これらの理論モデルは変態事象の大枠を理解するには適しているが、実際の最適変態戦略を算出することはできない。また、前者は種内変異、後者は種間の戦略の相違に主眼を置いており、統合されていない点が問題であった。そこで、本研究では、これらを統合した全く新しい数理モデルを提唱し、飼育実験の結果を合わせることで実証を試みる。

両生類幼生の幼生期間と変態サイズにおける表現型の可塑性がもつ意義は、これまで一時的な水体を中心に研究がなされ、乾燥による水体の消失に対応するためと考えられてきた。一方、溪流は永続的な水体であるため、そこに生息する種の表現型の可塑性は、独特の進化を遂げている可能性がある。特に、越冬は溪流性の幼生に多く見られる戦略である一方、溪流においても越冬しない戦略をとる種も見られる。そこで、モデルの実証の際には、溪流性と止水性、越冬の有無といった生態の異なる幼生を飼育し、各種の生態によって戦略が異なることを、パラメータの相違によって説明する。

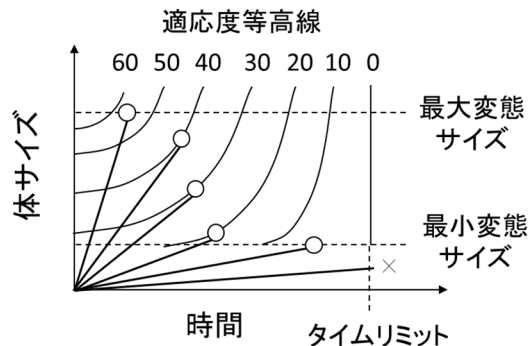


図1. 当年変態する種の幼生期間 - 変態サイズ決定の概念図

2. 研究の目的

本研究は、溪流に生息する両生類幼生が示す表現型の可塑性が、どのような変態戦略に基づいて進化したのか理解することを大目的とする。各種の変態戦略をモデルによって表し、パラメータを比較することで、水体の種類、越冬の有無等の各種の生態によって、変態戦略の相違を説明する。

3. 研究の方法

溪流性越冬有の幼生として、オットンガエル、ツチガエル、越冬無としてアマミハナサキガエル、カジカガエル、タゴガエル、比較のために止水性越冬無としてニホンアカガエル、エゾアカガエルの飼育を行なった。成長速度に変異を持たせるため、食物量を数段階に操作した。変態まで飼育し、幼生期間と変態サイズを記録した。

変態戦略のモデルとしては、成長曲線と適応度等高線との交点が最適変態点であると考えた。成長曲線は、実際の成長データを Gompertz の成長曲線に当てはめ、最小二乗法によりパラメータを決定した。

$$W(t) = A \times \exp(-\exp(-eK_u(t - T_i)))$$

適応度等高線は、変態サイズ S 、幼生期間 T それぞれが適応度 F に与える影響のパラメータをそれぞれ a 、 b として、以下のような式を仮定した。

$$F = S^a \times e^{-bT}$$

これらの交点を計算すると、最適変態点は

$$T_o = \frac{\log \frac{a}{b} + \log K_u + 1}{eK_u} + T_i \quad S_o = A \exp(-\exp(\log \frac{b}{aK_u} - 1))$$

となり、 a/b の関数となった。計算上の最適変態点と実際の変態点が最も近くなるように、各種について a/b を求めた。

4. 研究成果

飼育実験の結果、タゴガエルは変態が早く、成長曲線を描くために十分な成長軌跡が得られなかったことから、解析から外した。その他の種については全てデータが得られ、モデルに当てはめた結果、パラメータ a/b はオットンガエルは 151、ツチガエルは 328、アマミハナサキガエルは 1111、カジカガエルは 64、ニホンアカガエルは 1106、エゾアカガエルは 383 となった。これらの結果を生態と比較したところ、変態を急がなくてよい溪流性や越冬有の種は必ずしも高い a/b (低い b) ではなかった。溪流・止水や越冬の有無以外の要因として、夏の長さや変態後の成長量なども考慮したが、どれも全てを説明することはなかった。そのため、モデルを複雑にし、水域と陸域の成長率と生存率、さらにはその季節変化を考慮していく必要があることが明らかとなった。

本研究の考え方により、これまで停滞していた変態戦略モデルを全く新しい角度から統合し、各個体の成長速度のばらつきを考慮しつつ、種間の戦略の相違を反映させることが可能となった。この枠組みを用いると、今後適応度等高線の関係式を改良することで様々な生態的特性を持った種の変態戦略を説明するモデルにつながると考えられる。これまで停滞していた変態戦略の研究において全く新しいモデルを提唱したことから、生活史の進化研究にブレイクスルーを

もたらしたといえる。

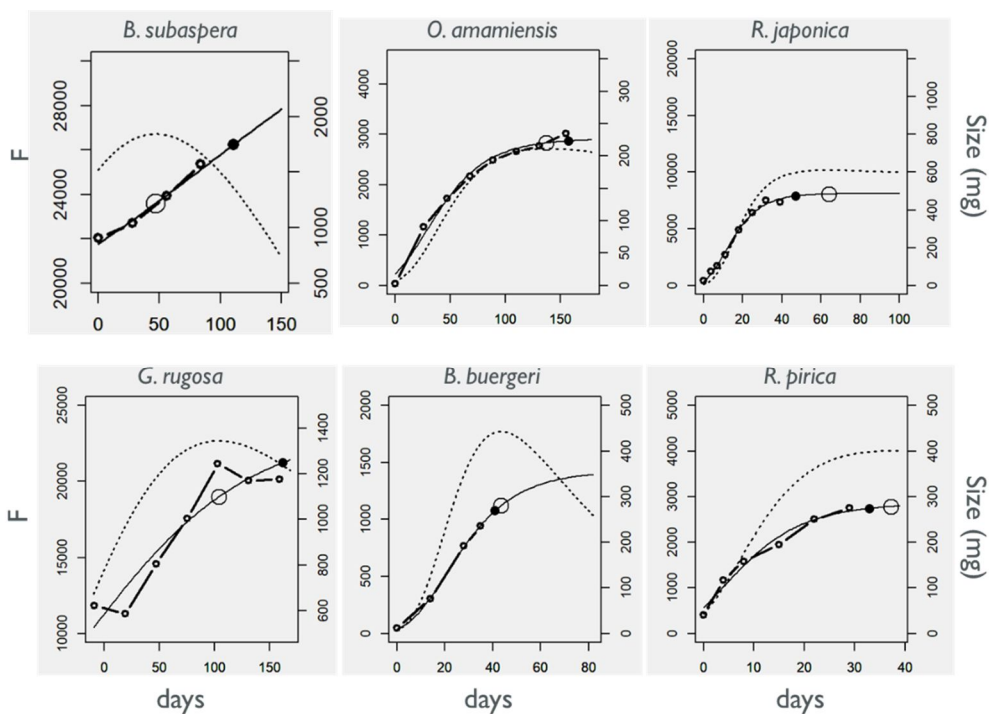


図2. 飼育を行なった6種のオタマジャクシにおける解析結果. 変態サイズが中央値であった個体について、Gompertzの成長曲線(実線)、適応度曲線(点線)、計算上の最適変態点(○)、実際の変態点(□)を示した.

<引用文献>

Werner, E. E. 1986. Amphibian metamorphosis: growth rate, predation risk, and the optimal size at transformation. *The American Naturalist* **128**(3):319-341.

Wilbur, H. M. and J. P. Collins. 1973. Ecological aspects of amphibian metamorphosis. *Science* **182**:1305-1314.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Takahara T, Iwai N, Yasumiba K, Igawa T	4. 巻 39
2. 論文標題 Comparison of the detection of 3 endangered frog species by eDNA and acoustic surveys across three seasons	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Freshwater Science	6. 最初と最後の頁 18-27
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1086/707365	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Komine H, Fukasawa K, Akasaka M, Watari Y, Iwai N, Kaji K	4. 巻 310
2. 論文標題 Rapid behavioural responses of native frogs caused by past predation pressure from invasive mongooses	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Zoology	6. 最初と最後の頁 126-134
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1111/jzo.12734	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Iwai N, Yasumiba K, Takahara T	4. 巻 6
2. 論文標題 Efficacy of environmental DNA to detect and quantify stream tadpoles of <i>Odorrana splendida</i>	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Royal Society Open Science	6. 最初と最後の頁 181798
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi.org/10.1098/rsos.181798	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Iwai N, Yasumiba K, Akasaka M	4. 巻 74
2. 論文標題 Calling site preferences of three co-occurring endangered frog species on Amami-Oshima Island	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Herpetologica	6. 最初と最後の頁 199-206
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi.org/10.1655/HERPETOLOGICA-D-17-00064.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Iwai N	4. 巻 44
2. 論文標題 Estimating tadpole-detection rates using visual field surveys: effects of survey time, tadpole species, and tadpole density.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Wildlife Research	6. 最初と最後の頁 147-152
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1071/WR16147	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Iwai N, Akasaka M, Kadoya T, Ishida S, Aoki T, Higuchi S, and Takamura N	4. 巻 8
2. 論文標題 Examination of the link between life stages uncovered the mechanisms by which habitat characteristics affect odonates.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Ecosphere	6. 最初と最後の頁 e01930
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1002/ecs2.1930	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Iwai N	4. 巻 68
2. 論文標題 Relationship between chorusing activity and number of oviposition events in the Otton Frog.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Animal Biology	6. 最初と最後の頁 105-111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1163/15707563-17000143	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 N Iwai
2. 発表標題 Metamorphosing strategy of stream tadpoles
3. 学会等名 World Congress of Herpetology 9 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩井紀子
2. 発表標題 無尾目幼生 4 種の変態戦略の比較
3. 学会等名 日本爬虫両棲類学会第58回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩井紀子・永井弓子・休場聖美
2. 発表標題 オットンガエルの7年間にわたる標識再捕調査結果
3. 学会等名 日本爬虫両棲類学会第57回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 休場聖美・岩井紀子
2. 発表標題 アマミスシカワガエルにおける繁殖コール頻度のピークと個体群間比較
3. 学会等名 日本爬虫両棲類学会第57回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岩井紀子・休場聖美
2. 発表標題 アマミスシカワガエルにおける変態サイズと成体サイズの地域間比較.
3. 学会等名 日本生態学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岩井紀子・休場聖美・井川武・高原輝彦
2. 発表標題 アマミシカワガエルの幼生密度および発育段階と環境DNA濃度の季節変化
3. 学会等名 日本爬虫両棲類学会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 カエル探偵団、松島野枝、藤田宏之、吉川夏彦、岩井紀子、中津元樹、福山欣司	4. 発行年 2020年
2. 出版社 文一総合出版	5. 総ページ数 88
3. 書名 見つけて検索！日本のカエルフィールドガイド	

1. 著者名 九州両生爬虫類研究会	4. 発行年 2019年
2. 出版社 東海大学出版部	5. 総ページ数 251
3. 書名 九州・奄美・沖縄の両生爬虫類	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----