

46-22 地球温暖化に対するメダカの短期的・長期的応答に関する予備的研究

新潟大学理学部自然環境科学科・山平 寿智 (yamahira@env.sc.niigata-u.ac.jp)

1. 研究の目的

変温動物では、外界の温度に従ってあらゆる代謝/生理速度が変化する。地球温暖化による生息環境の温度上昇も変温動物の様々な代謝/生理過程に影響を及ぼすため、野外での生活史パターンを大きく変えてしまうと予想される。しかし、その変化を正確に評価・予測するためには、個々の個体の代謝/生理速度の可塑的变化 (= 短期的変化) に加え、気候環境への適応進化による集団の遺伝的变化 (= 長期的変化) を勘案せねばならない。本研究は、温暖化に対する変温動物の生活史パターンの短期的 (可塑的) 応答ならびに長期的 (進化的) 応答を、野生のメダカ *Oryzias latipes* をモデルシステムとして実証的に評価・予測することを目的とする。

2. 研究の方法

2.1 気候変化に対する表現型形質の可塑的応答の解明

青森 (青森市馬屋尻), 新潟 (白根市鍋湯), および福井 (敦賀市榎曲) の3集団から野生メダカを採集し、実験室内で交配させた。得られた受精卵/稚魚を20~32の6段階の水温で発生/飼育し、各水温環境下における様々な生活史形質 (孵化サイズ, 成長速度, 繁殖開始サイズ, および卵生産速度) ならびに形態形質 (脊椎骨形質) の表現型値を測定した。また、各個体の表現型および遺伝子型における性判別を行った。

2.2 緯度の異なる集団間の遺伝的変異の解析に基づく気候適応の実体解明

青森, 新潟, および福井の3集団間で、発生/飼育水温に対する上記生活史形質の反応基準 (ある環境要因 (ここでは水温) を様々に変化させた時に同一の遺伝子型が示す表現型の値を結んで得られる曲線) を、量的遺伝学的に解析・比較した。

2.3 気候環境間の個体の移植とその長期モニタリングに基づく適応進化の動態予測

青森, 新潟, および福井の3集団それぞれについて、水温に対する孵化サイズならびに (稚魚期の) 成長速度の反応基準を、各家族 (= 両親を同じくする兄弟姉妹のグループ) ごとに求め比較した。また、上記3地点で毎月1回定量採集を行い、体サイズ分

布および生殖腺重量の季節変化から、野外における各集団の生活史パターンを調べ比較した。さらに、青森から採集してきた野生個体を新潟の実験池に移植し、温暖化を模倣した環境中での生活史形質の遺伝的变化ならびにそれに伴う生活史パターンの変化を、現在モニタリング中である。

3. 研究の成果

3.1 気候変化に対する表現型形質の可塑的応答の解明

測定した全ての生活史形質 (孵化サイズ, 成長速度, 繁殖開始サイズ, および卵生産速度) が、水温に有意に影響を受けていることがわかった (図1)。孵化サイズならびに繁殖開始サイズは、どの集団においても、高温で発生/飼育するほど小さくなる傾向が見られた。一方、成長速度ならびに卵生産速度の反応基準は、どの集団とも28もしくは32でピー

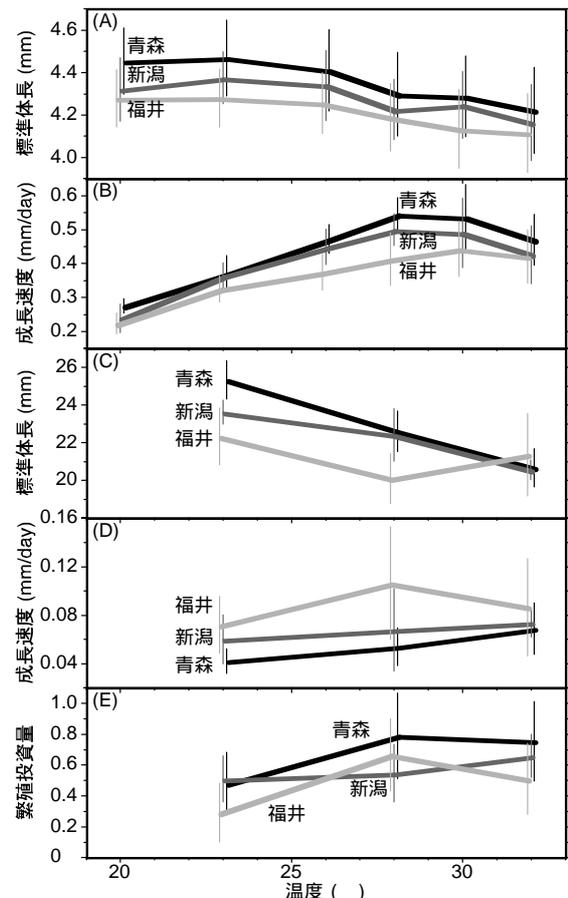


図1 緯度の異なる3集団における水温に対する (A) 孵化サイズ, (B) 繁殖開始前の成長速度, (C) 繁殖開始サイズ, (D) 繁殖開始後の成長速度, および (E) 卵投資量の反応基準

クとなる山型を呈する傾向にあったが、その形は集団特異的でもあった。また、高温で発生した個体ほど腹椎骨数が少なくなり、故に総脊椎骨数が少なくなることもわかった。

水温に対する反応基準の形が個々の形質により様々に異なるという事実は、温暖化のような生息環境の温度変化に対するこれら形質群の変化のベクトルが、水温変化のレンジに依存することを意味している。すなわち、低温領域における温暖化と高温領域における温暖化では、各形質の変化の方向と程度が全く異なると考えられる。また、水温に対する反応基準の形が集団特異的である形質については、同じレンジの温度変化に対しても、その反応の仕方が集団ごとに異なることが予想される。

また、発生水温が高いほど、遺伝的にはメスであるにも関わらず表現型ではオスである個体の割合が増すことがわかった。これは、温暖化による生息環境の温度上昇によって各個体の性発現が攪乱され、集団の性比が偏る可能性を示唆している。

3.2 緯度の異なる集団間の遺伝的変異の解析に基づく気候適応の実体解明

どの生活史形質の反応基準も、集団間でその高さが有意に異なっていた(図1)：どの水温環境の下でも、高緯度の集団ほど、孵化サイズが大きい、稚魚期の成長が速い、繁殖開始サイズが大きい、卵生産速度が速い、そして繁殖開始後の成長が遅い傾向にあった。これはすなわち、高緯度のメダカほど稚魚期の成長は速いが成熟が遅く、また成熟後の成長は著しく頭打ちになるが卵生産能力が高いという遺伝的特性を有することを示す。反対に、低緯度のメダカは稚魚期の成長は遅いが早熟で、また成熟後もコンスタントに成長を続けるが卵生産能力が低い傾向にある。

本研究で取り上げた形質は、いずれも個体の生存や繁殖といった適応度成分に密接に関係する形質である。よって、水温に対する反応基準の形あるいは位置が集団間で異なるという事実は、その差が、各集団がさらされた環境への適応進化により形成されたことを示唆している。観察された成長/繁殖スケジュールの集団間変異は、各緯度の気候環境、特にローカルな季節性に対する適応進化を反映していると考えられた：高緯度では成長/繁殖期間が短いので、当歳魚(0+)は成長に、越年魚(1+)は繁殖にそれぞれ専念するのが適応的である。一方、反応基準がピークとなる水温に集団間で差が無いという事実は、ローカルな平均温度は気候適応の淘汰要因として重要でないことを強く示唆している。

3.3 気候環境間の個体の移植とその長期モニタリングに基づく適応進化の動態予測

どの集団においても、水温に対する孵化サイズならびに(稚魚期の)成長速度の反応基準は、家族間で垂直方向に有意に変異していた。この集団内の遺伝的変異は、地球温暖化などの生息環境の温度レンジの変化に対して、適応進化が実際に起こるための素材が存在していることを意味している。この素材をもとに、集団の平均的な性質が、少ない世代の中で急速に変化していく可能性は高い。また、野生集団のモニタリングの結果、高緯度の集団ほど短い期間に繁殖が集中して行われ、当歳魚(0+)も短い期間に一気に大きく成長する傾向にあることがわかった(図2)。この事実は、上記3.2の予測とも一致しており、過去における気候適応を反映していると考えられた。

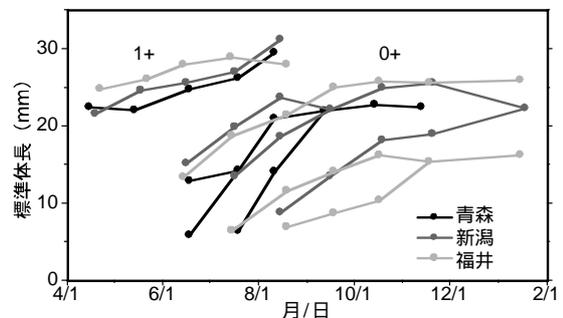


図2 緯度の異なる3集団の野外での成長曲線

4. 今後の課題

地球温暖化に伴う変温動物の各地域集団の生活史パターンの変化を予測するには、生活史形質の可塑的变化だけでなく、適応進化による遺伝的変化をも勘案せねばならないことを本研究の成果は強く訴える。今後は、本研究やさらなる実験の結果をパラメータとしたコンピュータシミュレーションを行うなどして、予測される変化を数値化する必要があるだろう。また、温暖化の影響を実際に評価する上でその中核をなすのは、長期モニタリングである。3.3のような調査・実験を長期に継続する必要性は、殊の外高いと言えよう。

5. 成果文献

- Takehana, Y., et al. 2003: Geographic variation and diversity of the cytochrome *b* gene in Japanese wild populations of medaka, *Oryzias latipes*. *Zool. Sci.* 20, 1279-1291.
- Shinomiya, A., et al. 2004: Field survey of sex-reversals in the medaka, *Oryzias latipes*. *Zool. Sci.*, in press.