



サンショウウオの形態変化を引き起こす

分子メカニズムの一端を解明

研究成果のポイント

- ・ 捕食者であるヤゴ・被食者であるオタマジャクシを用いることで、サンショウウオの形態変化を誘導し、その際に発現する遺伝子を網羅的に解読した。
- ・ 捕食者によって引き起こされる形態変化は、被食者によって引き起こされる形態変化の約5倍の遺伝子の発現変化が起こっていることを明らかにした。
- ・ 異なる形態変化でも共通の分子機構が関係していることが明らかになった。
- ・ 本研究の結果は、生物がどのように生態系の影響を受けるか、また生物の形態形成がどのように起こり進化してきたかを明らかにする上で重要な知見である。

研究成果の概要

北海道に生息するエゾサンショウウオの幼生は、環境に応じて柔軟に形態を変化させることが知られています。被食者であるオタマジャクシと共存する場合は、頭部が巨大化し捕食に有利な攻撃型の形態を示します（図1A）。一方で、捕食者であるヤゴと共存するときは尻尾と外鰓^{がいきい}（注1）が発達した防御に特化した形態を見せます（図1B）。このような異なった姿へと変身する背景にはどのようなメカニズムがあるのでしょうか？我々は、このような形態変化がどのような遺伝子によって制御されているかを明らかにするため、網羅的な遺伝子発現解析を行いました。解析の結果、捕食者によって引き起こされる形態変化は、被食者によって引き起こされる形態変化の約5倍の遺伝子の発現変化が起こっていること、異なる形態変化間で異なる遺伝子発現の変化が起こるだけでなく、共通の遺伝子発現の変化も生じていることが明らかになりました。従って、このような形態変化は、独立に進化してきたのではなく、すでに持っている形態変化の能力を流用することで得られたのではないかと考えられます。

（注1）表皮から体外へ突出する糸状、樹枝状、羽状などの鰓（えら）。有尾両生類や一部魚類（肺魚など）の幼生で見られる。

論文発表の概要

研究論文名 : Transcriptome analysis of predator- and prey-induced phenotypic plasticity in the Hokkaido salamander (*Hynobius retardatus*) (捕食者・被食者によって引き起こされるサンショウウオの表現型可塑性についての網羅的遺伝子発現解析)

著者 : 氏名 (所属) 松波 雅俊^{1,2}, 北野 潤³, 岸田 治⁴, 道前 洋史⁵, 三浦 徹², 西村 欣也¹
(¹北海道大学大学院水産科学研究院, ²北海道大学大学院地球環境科学研究院, ³国立遺伝学研究所, ⁴北海道大学北方生物圏フィールド科学センター, ⁵北里大学)

公表雑誌 : Molecular Ecology

公表日 : 日本時間 (現地時間) 2015 年 6 月 12 日 (金) 午前 0 時 30 分 (英国時間 6 月 11 日 午後 4 時 30 分)

研究成果の概要

(背景)

生物の中には環境に応じて、柔軟にその形態を変化させる能力を持つものが存在します。北海道に生息するエゾサンショウウオの幼生は捕食者であるヤゴと共存するときは尻尾と外鰓が発達した防御に特化した形態に変身します。一方で、被食者であるオタマジャクシと共存する場合は、頭部が巨大化し捕食に有利な攻撃型の形態を示します。このような形態変化は、その生息環境にあわせて柔軟に制御されていることが知られていますが、どのような遺伝子や分子機構がこのような形態変化を制御しているかはわかっていませんでした。そこで今回、形態変化が起こる過程でどのような遺伝子の発現が変動しているかを知るために次世代シーケンサー (大規模塩基配列解読装置) と呼ばれる新技術を用いて網羅的に遺伝子の発現変化を調べました。

(研究手法)

まず、野外でエゾサンショウウオの卵・オタマジャクシ・ヤゴを採集し、実験室での形態変化の誘導実験を行いました。誘導実験を行う過程で、様々な組織から経時的に遺伝子 (RNA) を抽出しました。次に、抽出した遺伝子に対して次世代シーケンサー (大規模塩基配列解読装置) と呼ばれる新技術を用いることで、これまではほぼ不可能であった網羅的な塩基配列の解読に成功しました。その結果得られた大規模な塩基配列情報を、大型計算機 (スーパーコンピュータ) を用いて解析し、遺伝子の発現量の変化がどのように起こっているかを調べました。

(研究成果)

発現解析の結果、以下の2点が明らかになりました。1) 防御型における発現変動遺伝子数は、攻撃型における発現変動遺伝子数より、約5倍多いことがわかりました (図2)。攻撃型では頭部の形態のみが変化するのに対して、防御型では尻尾・外鰓など様々な形態変化が起こります。従って、防御型では攻撃型に比べて多くの形態変化が引き起こされるため、この発現変動遺伝子数の違いは、それを反映しているのではないかと考えられます。2) 脳において活性酸素関連の機能を持つ遺伝子は、攻撃型・防御型でともに発現量が上昇していました。生物が代謝量を上昇させるとき、より多くのエネルギーを作り出すために酸素の消費量が上昇します。形態が変化する際には、形態を改変するためにより多くのエネルギーを作り出す必要があり、そのために酸素の消費に必要な活性酸素関連遺

伝子の発現が上昇したと考えられます。これらの結果に加えて、形態が変化する末梢組織では総じて、組織の形成に関連する遺伝子の発現が上昇していました。これは、今回の網羅的遺伝子発現解析で、正しく発現が変動している遺伝子を同定することができたことを意味しています。

今回、異なる形態変化を引き起こす過程でそれぞれの形態変化に特有の分子機構と共通の分子機構が存在することが示されました。先行研究において尾高が高くなる防御型形態は広く両生類全般で見られるのに対して、頭部が大きくなる攻撃型形態は有尾両生類でしか報告されていません。従って、防御型形態変化はより祖先的な形質であり、両生類の祖先で獲得されたと予想されます。一方、攻撃型形態変化は有尾両生類が他の両生類と分岐してから初めて獲得された形質であると考えられます。これらの事実と今回の結果から、これまで存在している分子機構がある程度流用されたため (co-option)、異なる形態変化が起こる過程で発現変動遺伝子の共有が観察され、その上でさらに各形態変化特有の遺伝子発現の変化が獲得され新たな形態変化の能力が進化した可能性があることがわかりました。

(今後への期待)

本研究では、これまで難しいとされていた野外生物の網羅的な遺伝子発現解析に成功し、両生類の形態変化の分子機構の一端を解明しました。研究の結果、得られた塩基配列情報は、両生類の進化を調べることに非常に役に立ちます。これまでよくわかっていなかった両生類の形態変化の分子機構がわかったことで、このような形態変化の能力がどのように進化してきたかという問題に新たな知見が提供されました。今後は、今回、明らかになった分子機構が他の生物でも共通に見られるかを調べることで、さらに形態変化の進化がどのように起こるかの理解が深まるのではないかと期待されます。

お問い合わせ先

所属・職・氏名：北海道大学大学院地球環境科学研究院 学術研究員 松波 雅俊 (まつなみ まさとし)
TEL：011-706-2225 FAX：011-706-2225 E-mail：mmatsunami@ees.hokudai.ac.jp
ホームページ：http://researchmap.jp/mm

所属・職・氏名：北海道大学大学院地球環境科学研究院 准教授 三浦 徹 (みうら とおる)
TEL：011-706-4524 FAX：011-706-4524 E-mail：miu@ees.hokudai.ac.jp
ホームページ：http://noah.ees.hokudai.ac.jp/~miu/miura_lab_japanese.htmlatsunami/

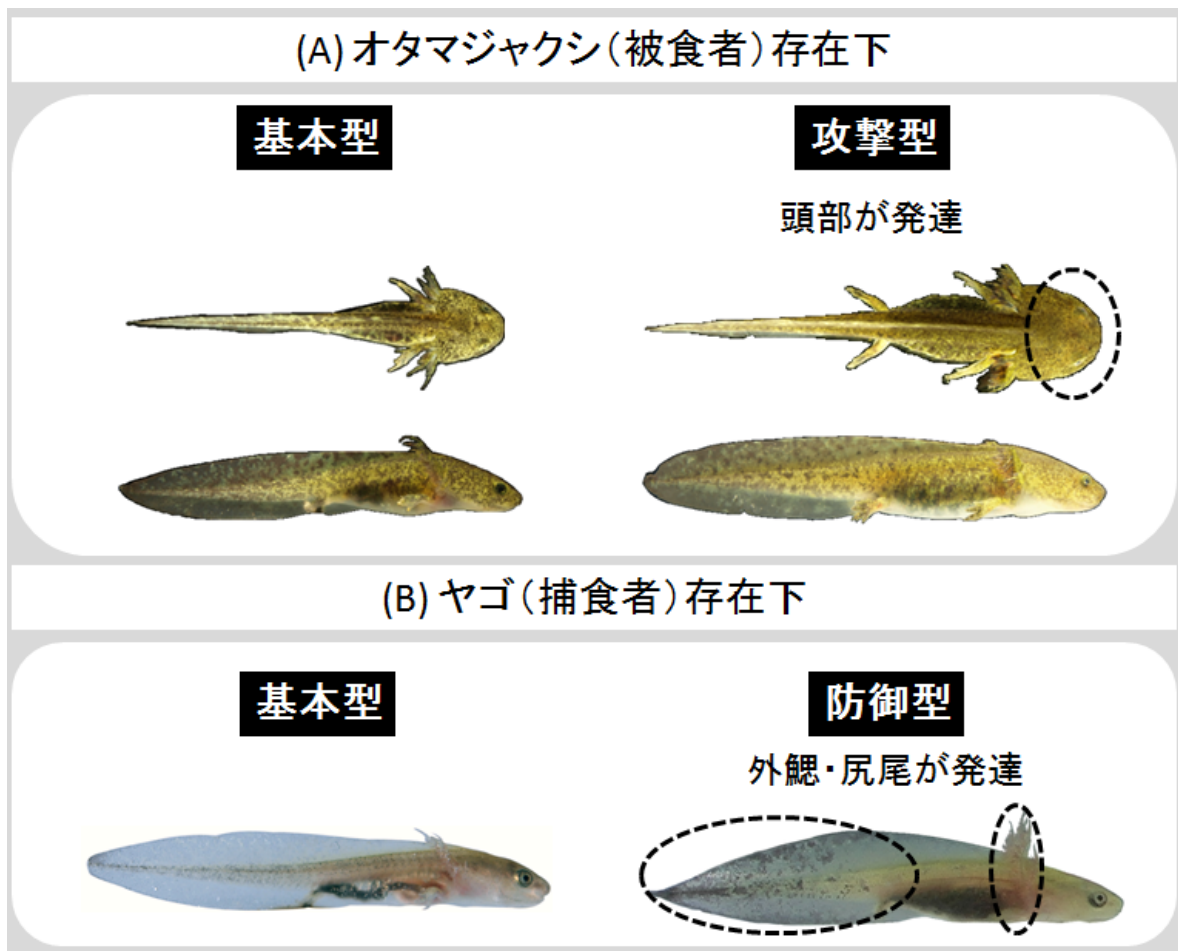


図1. 被食者・捕食者によって誘導されるエゾサンショウウオ幼生の形態変化。

(A) 被食者であるオタマジャクシによって誘導される攻撃型の個体は捕食に有利なように頭部が発達する。(B) 捕食者であるヤゴによって誘導される防御型の個体は、天敵から身を守るために外鰓と尻尾が発達する。

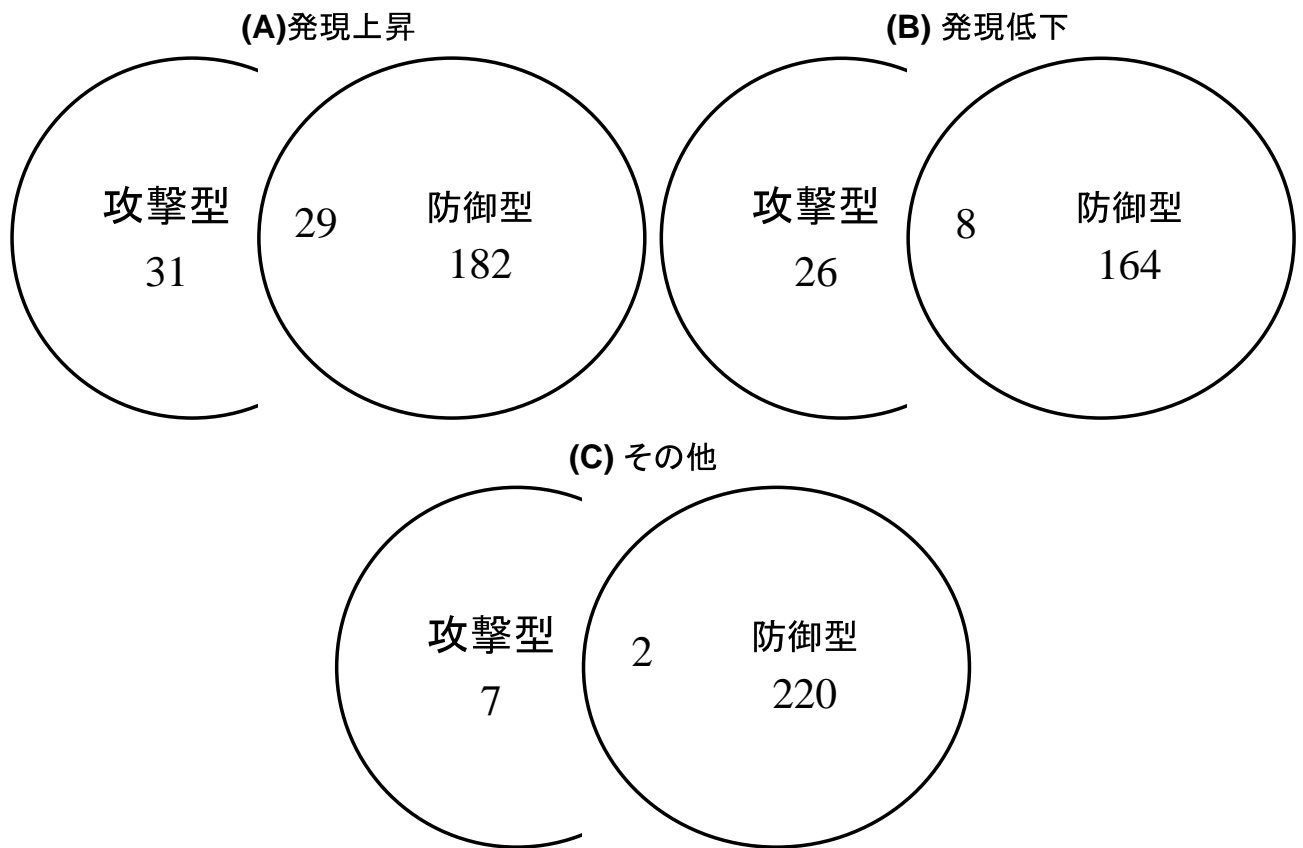


図2. 脳における発現変動遺伝子数。

発現が統計的に有意に変動している遺伝子とそのパターンから (A) 常に発現上昇, (B) 常に発現低下, (C) その他に分類し, 2つの形態変化誘導時にどれだけ共通の遺伝子発現の変化が見られるかを調べた。全ての比較で, 防御型で発現量に変化する遺伝子数が攻撃型より多い。

※発表論文中的の図を改変して引用