

2026年1月23日

報道機関 各位

国立大学法人東北大学

暑さの継続時間に応じて異なる遺伝子応答 —ヤモリを用いて順応とストレス応答の違いを 遺伝子レベルで説明—

【発表のポイント】

- 爬虫類などの外温動物^(注1)は気候変動に対して脆弱であると考えられており、多くの種が絶滅の危機に瀕しています。
- ソメワケササクレヤモリを対象に期間の異なる複数の温度条件で遺伝子発現とその制御の違いを全ゲノム網羅的に調査しました。
- 数時間レベルの気温の急激な変化に対する応答と数十日にわたる長期的な温度環境への順化では関与する遺伝子の機能的な特徴が異なることがわかりました。
- 本研究は、外温動物が新たな温度環境に対して順応していく際の時系列的なプロセスを理解する上での基礎的な知見を提供します。

【概要】

温度に晒される時間は温度に対する応答を形作る上で重要な要因の一つであると考えられますが、時間による分子的な応答メカニズムの違いは爬虫類において十分に理解されていませんでした。

東北大学大学院生命科学研究科の坂本芙久大学院生（研究当時。現：自然環境研究センター研究員）、河田雅圭教授（研究当時。現：東北大学総長特命教授）らの研究グループは、アンタナナリボ大学の Félix Rakotondraparany 博士と共同で、ソメワケササクレヤモリを対象に異なる時間スケールの環境温度の変化が生物に与える影響を分子レベルで調査しました。結果、数時間の急激で極端な温度変化が既知の熱ストレス応答を誘導する一方で、数十日にわたる温度処理は免疫等に関わる遺伝子の発現を変化させることを明らかにしました。さらに、遺伝子発現を調節する転写因子^(注2)の挙動が温度の持続時間によって変化することが示唆され、遺伝子発現制御の時間的な変化を介してストレス応答から順化への移行が起こる可能性が示されました。本成果は、温暖化に対する外温動物の順化能力の理解を深め、保全対策の立案に貢献します。

本研究の成果は、1月17日付で Molecular Ecology 誌に掲載されました。

【詳細な説明】

研究の背景

気候変動は生物多様性損失の直接的な要因の一つであり、生物は猛暑日などの極端現象から年々進行する気温上昇までさまざまな時間スケールの温度変化にさらされています。特に、体温を外部環境に依存する爬虫類などの外温動物は、温度変化の影響を直接受けやすく、気候変動に対して脆弱であると考えられています。温度に対する生物の反応を適切に理解するためには時間の影響を考慮することが重要であると考えられますが、爬虫類においては温度変化の持続時間の違いが分子応答にどのような影響を及ぼすのかについての知見はほとんどありませんでした。

本研究グループは、爬虫類の新たなモデル生物種として注目されるマダガスカル原産のソメワケササクレヤモリ (*Paroedura picta*) (図1) を対象とし、異なる時間スケールの温度変化に対する応答の違いを分子レベルで明らかにすることを目的としました。全ゲノム網羅的な遺伝子発現解析とクロマチン構造解析により、温度応答を形作る遺伝子調節メカニズムへの理解を深めることを目指しました。

今回の取り組み

本研究ではまず、環境温度に対する応答の違いが本種に存在するのかどうかを行動実験により調査しました。本種を異なる2つの温度(25°Cと30°C)で飼育し、それぞれの個体群で選好温度(個体が自ら選択する体温)、活動下限温度、活動上限温度(それぞれ、活動可能な温度の下限と上限の指標)、様々な体温における走行速度を測定しました。結果、30°C飼育個体では25°C飼育個体と比較して活動下限温度、活動上限最高温度が有意に高くなっていました(図2)。さらに、25°Cで飼育した個体は低温側で走行速度が高かったのに対し、30°Cで飼育した個体は高温でより高いパフォーマンスを示しました。これらの知見は、本種が環境温度に順応して生理機能を可塑的に調整できる能力を持つことを示しています。

続いて、異なる時間スケールの温度処理が分子レベルで異なる影響を及ぼすのかを明らかにするために、短期(30°Cおよび37°Cで4時間)および長期(30°Cで50日以上)の温度処理群における遺伝子の発現とオープンクロマチン領域^(注3)の変化を25°C対照群と比較して検出しました。肝臓において、長期の温度処理による発現変動遺伝子の半数以上は短期の温度処理による発現変動遺伝子と重複しておらず、温度処理の時間によって応答する遺伝子が異なることが示されました(図3)。さらに発現変動遺伝子の機能的な特徴も異なっており、短期の極端な温度変化(37°Cで4時間)は既知の熱ストレス応答を誘導したのに対し、長期間の温度処理における発現変動遺伝子には免疫機能に関わる遺伝子が多く含まれていました。オープンクロマチン領域の情報を用いた

解析の結果、肝臓では一部の転写因子において、温度処理による予想占有率（転写因子が結合しているゲノム領域の割合）の変化の方向が短期と長期で異なっていました。以上の結果は、一過的な温度ストレスに対する応答と、新たな温度環境への順応が異なる遺伝子の働きによって形成され、温度の持続時間に応じた遺伝子制御の変化がこの移行に寄与していることを示唆しています。

今後の展開

本研究は、温度の持続期間に応じて分子応答の様式が変化することを示し、外温動物が新たな温度環境に順応していく際の時系列的なプロセスを理解するための基礎的な知見を提供しました。今後、より細かな時間スケールで温度応答を追跡することにより、急性的な熱ストレス応答から長期的な順応への移行過程をより詳細に理解できると期待されます。また、本研究で検出された分子レベルの変化が、活動温度範囲や運動能力といった個体レベルの生理機能・行動特性にどのように影響を与えるのかを結びつけることも重要な課題です。分子から個体に至るプロセスを統合的に捉えることで、外温動物の温度に対する順化能力を包括的に理解できるようになると考えられます。



図 1. ソメワケササクレヤモリ (*Paroedura picta*)。

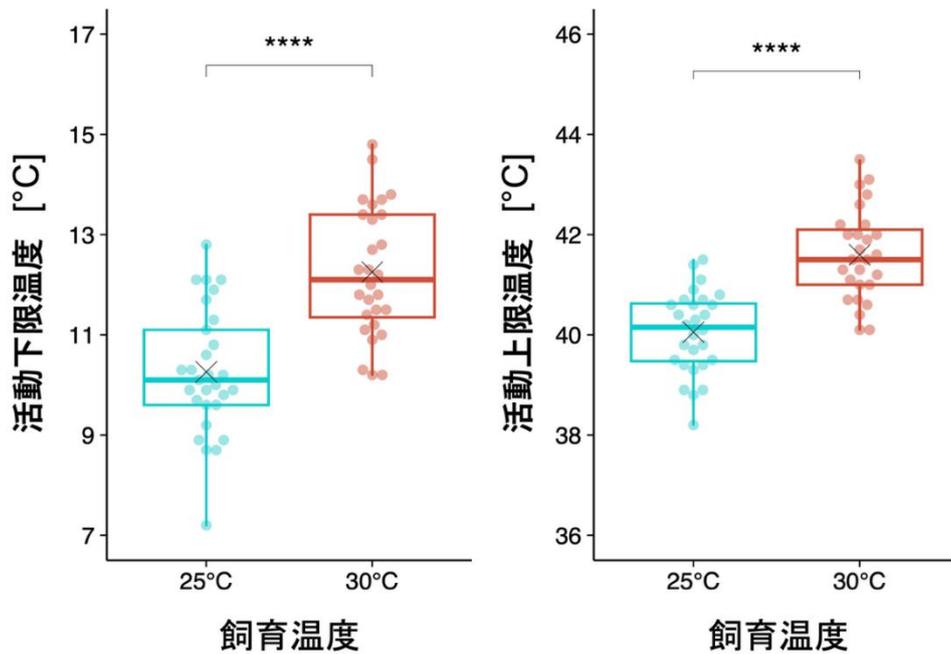


図 2. 25°C 飼育個体（青）と 30°C 飼育個体（赤）における活動下限温度（左）、活動上限温度（右）。

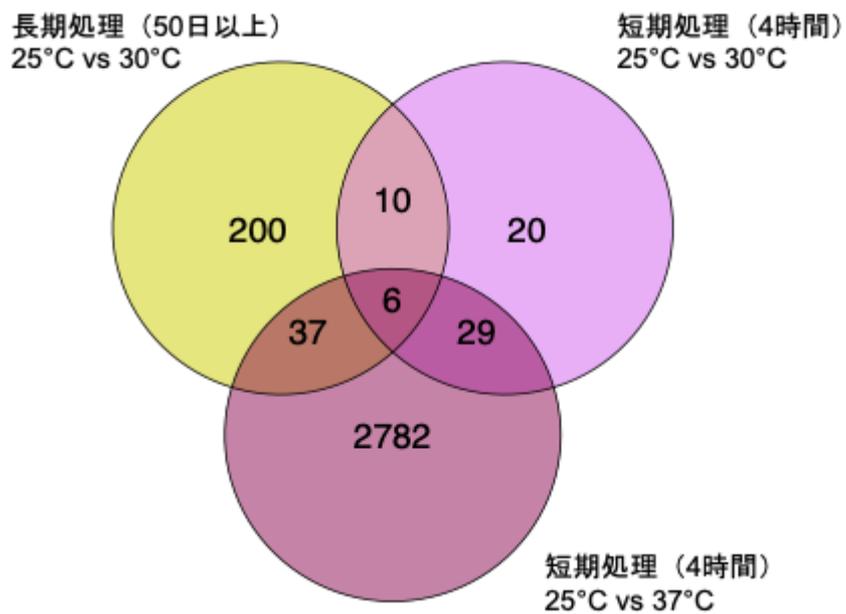


図 3. 肝臓における発現変動遺伝子。短期（4 時間）と長期（50 日以上）で温度処理（30°C または 37°C）した際のコントロール（25°C）に対する発現変動遺伝子の数と条件間で共通に検出された遺伝子数を示した。

【謝辞】

本研究は、Mention Zoologie et Biodiversité Animale (MZBA), Faculty of Sciences, University of Antananarivo, Madagascar との科学研究協力協定に基づいて実施されました。本研究は、JSPS 科研費 (JP16H05767 および JP19KK0184)、ヒューマン・フロンティア・サイエンス・プログラム (HFSP) の研究助成金 (RGP0030/2020)、JSPS 特別研究員奨励費 (JP23KJ0139)、東北大学学際高等研究教育院の研究奨励費の支援を受けて行われました。本論文は「東北大学 2025 年度オープンアクセス推進のための APC 支援事業」の支援を受け Open Access となっています。

【用語説明】

注1. 外温動物：体温調節を外部の熱源に依存する動物。

注2. 転写因子：DNA に結合して、遺伝子が「どれくらい働くか（発現するか）」を調節するタンパク質

注3. オープンクロマチン領域：クロマチン（DNA とタンパク質が結合した複合体）構造が緩み、DNA へのアクセス性が高くなっている領域。遺伝子発現の調節が活発に行われると考えられる。

【論文情報】

タイトル：Molecular Responses to Temperature Changes Across Timescales in the Madagascar Ground Gecko (*Paroedura picta*)

著者：

Fuku Sakamoto, Shunsuke Kanamori, Félix Rakotondraparany, Takashi Makino, Masakado Kawata* (*責任著者)

*責任著者：河田雅圭; 東北大学大学院生命科学研究科進化生物分野 教授
(現・東北大学教養教育院 総長特命教授)

掲載誌：Molecular Ecology

DOI：10.1111/mec.70245

URL：<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/mec.70245>

【問い合わせ先】

（研究に関すること）

東北大学教養教育院

総長特命教授 河田 雅圭

TEL: 022-795-4974

Email: kawata@tohoku.ac.jp

（報道に関すること）

東北大学大学院生命科学研究科広報室

高橋さやか

TEL: 022-217-6193

Email: lifsci-pr@grp.tohoku.ac.jp