



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Body size shrinkage of a ground-dwelling beetle under global warming
Author(s)	古澤, 惇平
Description	この博士論文の全文は利用可能日以降に公開されます。
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(環境科学)
Dissertation Number	甲第16728号
Issue Date	2026-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16728
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99573
Type	doctoral thesis
File Information	FURUSAWA_Jumpei_abstract.pdf, 論文内容の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士（環境科学）

氏 名 古澤 惇平

学 位 論 文 題 名

Body size shrinkage of a ground-dwelling beetle under global warming

(温暖化進行下の徘徊性甲虫の体サイズ縮小に関する研究)

昆虫類は、送粉や分解など重要な生態系機能を担う存在である。われわれ人間社会は、無数の恩恵を昆虫類から受け取っている。しかし、現在、地球上の昆虫類のおよそ40%以上が絶滅の危機に瀕していることが最近報告された。そして、その絶滅リスクの上昇をもたらす主要因は、温暖化をはじめとした地球気候変動である。したがって、温暖化に対する昆虫の応答を解明することは必要不可欠な課題である。これまで、多様な生物群における普遍性の高い温暖化応答として分布シフトやフェノロジー変化が主に着目され、検証されてきた。しかし近年、第三の温暖化応答として、体サイズ縮小という現象が注目を集めている。体サイズは、生存や繁殖に関与する根本的な機能形質であり、その縮小は、集団の存続にも大きく影響することが考えられる。そのため、温暖化にともなう体サイズ変化のパターンやそれに寄与する要因を明らかにすることは、重要な課題である。しかし、地球温暖化進行下の野外における昆虫の体サイズ変化パターンを長期的に検証したこれまでの研究は限られており、さらには以下の限界点がある。第一に、種をまたいだ解像度の粗いスケールでの解析が主であったこと。第二に、同一種であってもごく限定的な地点数での検証に留まっていたことである。このため、同一種内の局所集団間で体サイズ変化のパターンに共通性がみられるかなど、より精細な解像度と広域空間スケールでの実態は明らかにされていない。一般に、局所集団間で温度上昇に対する応答は遺伝的に異なることがしばしばある。また、局所的な環境要因の違いが体サイズ変化のパターンに影響する可能性がある。しかし、こうした局所集団間での遺伝構造の違いや環境要因の違いの有無と、温暖化進行下の長期的な体サイズ変化パターンの関係が統合的に検証されてきたことはこれまでにない。結果として、温暖化進行下の野外において体サイズ変化に寄与する要因の理解は進んでいない。

そこで本研究は、地球温暖化にともなう昆虫の体サイズ変化の広域パターンおよび局所集団間での空間変異を明らかにし、体サイズ変化に寄与する要因を推定することを目的とした。手法として、標本から形態形質情報・分子情報を取得するミュゼオミクスと現生個体の飼育実験という2つのアプローチを採用し、それを統合した。ミュゼオミクスにより、長期的な体サイズ変化を復元するとともに、局所集団間の遺伝構造の違いの有無やその時間変化の推定にまで迫ることができる。そして飼育実験で、対象種の温度上昇に対する生存や生育速度といった基本的な生理応答と、現生集団間の温度上昇に対する応答の違いの有無を検証することができる。これらを通して、局所集団間での体サイズ変化パターンの変異を明らかにし、パターン形成に対する生理応答と遺伝的応答の寄与を

推定する。本研究では、対象種として甲虫目オサムシ科クロツヤヒラタゴミムシ(*Synuchus cycloderus*) (以下、クロツヤ)を用いた。本種は森林の優占種であり、国内多地点において過去18年間に収集された標本が利用可能な適材種である。

第2章では、クロツヤの温度上昇に対する生理応答を明らかにした。クロツヤの成虫と幼虫を2つの温度条件（コントロールと高温）で飼育し、成虫では生存、幼虫では生存、成長速度、遺伝子発現を温度間で比較した。飼育実験の結果、成虫と幼虫ともに高温条件下で生存が低下することがわかった。また、幼虫では高温条件下で成長速度が上昇することがわかった。先行研究において「高温下で生育→生育期間が短縮→成虫体サイズが小型化」という共通性の高いパターン（温度-サイズ則）が知られており、クロツヤにおいても生育期の温度上昇によって生理的に成虫が小型化することが示唆された。遺伝子発現の比較では、幼虫のRNA-seqを実施し、得られたリードを独自に構築したドラフトゲノムへマッピングすることで、発現変動遺伝子の探索を行った。その結果、幼虫において、高温条件下で有意に発現量が変化する遺伝子が検出され、温度上昇に対して遺伝子発現レベルでの応答の実態についてもみえてきた。

第3章では、温暖化進行下における局所集団間での体サイズ変化パターンの空間変異を明らかにし、体サイズ変化に寄与する環境要因の推定を行った。また、集団間での遺伝構造の違いの有無の推定と、現生集団間での温度上昇に対する応答の違いの有無を検証した。環境省「モニタリングサイト1000」の調査により、北海道苫小牧から和歌山までの国内南北7地点で2004-2021年の18年間にわたって収集されたクロツヤの標本計1,777個体の体サイズを測定した。時系列モデル解析によって、体サイズ変化パターンに対する気温と植生被度の影響を調べた。その結果、7地点のうち5地点で体サイズが縮小するという共通性の高いパターンがみられた。一方で、体サイズ変化パターンには集団間での変異もあり、2地点で体サイズが増大傾向であり、縮小傾向があった1地点も後半時期に増大傾向に転じていた。また、体サイズが一貫して縮小していた地点では、気温が体サイズに有意に負の効果を持つことが示されたのに対し、体サイズが増大していた2地点では植生被度が体サイズに有意に負の影響を与えていることがわかった。そして、7地点のうち3地点に由来する計96個体の標本からDNAを抽出し、集団間での遺伝構造の違いの有無を推定した。加えて、温度条件（コントロールと高温）を操作した飼育実験によって、苫小牧、仙台、和歌山の3集団のクロツヤ成虫において、温度上昇に対する遺伝子発現レベルでの応答に違いがあるかを調べた。その結果、集団間で明確な遺伝構造の違いはみられなかった。また、3つの集団間で温度上昇に対して有意に発現が異なる遺伝子はほとんどみつからず、遺伝子発現レベルでの応答に集団間の違いはないことが示唆された。

以上のことから、クロツヤにおいては、温暖化進行下で体サイズ縮小が広域で共通してみられることが明らかになった。そして、温度上昇に対する生理応答として小型化が駆動されることが示唆された。現生集団間で温度上昇に対する応答が異ならなかったことを踏まえると、この体サイズ縮小には生理応答が主として寄与している可能性が高い。このような生理的応答は、一部の集団で体サイズが縮小ではなく反転して増大する傾向と局所環境としての植生被度が影響していることについてもよく説明すると考えられる。すなわち、地球温暖化に対して広域での体サイズ縮小は存在するが、その一方で、局所的な環境要因の状態によってはその傾向を反転させる場合もあるということである。したがって、地球温暖化に対する体サイズ縮小を理解するためには、広域スケールと局所スケールを組み合わせたアプローチが有効である。