

令和 2 年 7 月 1 日現在

機関番号：11101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K15189

研究課題名（和文）飛翔能力の退化が甲虫の種多様性の緯度勾配に与える影響

研究課題名（英文）The effect of the loss of flight on latitudinal gradient in beetle diversity

研究代表者

池田 紘士 (Ikeda, Hiroshi)

弘前大学・農学生命科学部・准教授

研究者番号：00508880

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：“低緯度で温暖な地域ほど種多様性が高い”という緯度勾配パターンは広く知られているが、このパターンをもたらす要因は未解明である。本研究では、温帯の森林に生息する甲虫の種多様性の緯度勾配をもたらす要因について明らかにするため、低緯度と高緯度の地域の集団間での遺伝分化を調べた。その結果、低緯度に比べて高緯度で、集団間でより遺伝的に分化しているという、逆のパターンが存在することが明らかにされた。現在よりもより寒冷だった氷期には、高緯度地域のほうが森林のような環境はより限られた場所のみ存在しており、生息環境が限られて不連続であったために、遺伝分化が進んだのだと考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、生物多様性の緯度勾配パターンが形成される要因を調べることを目的とした研究である。熱帯のほうが生物多様性が高いことは広く知られ、研究もされているが、温帯での生物多様性をもたらす要因については十分な研究がされていない。本研究によって、温帯では過去の気候変動の影響を受けて集団間の分化が生じ、むしろより高緯度において種分化が生じやすい場合があることを示唆する結果を得た。よって本研究は、温帯の生物多様性創出過程に関する新たな視点を与えるものである。

研究成果の概要（英文）：Although latitudinal clines of species diversity are widely documented, the processes driving the latitudinal pattern are still a matter of debate. Here, we examined the genetic differentiation patterns among populations using beetle species living in temperate forests, and compared the patterns between low and high latitude areas to elucidate the process driving the latitudinal pattern. Our study showed that the populations were more genetically differentiated in high latitude area than in low latitude area. Forest areas were limited to several refugia during the glacial periods in high latitude area, and thus the genetic differentiation pattern in that area would be mainly due to the limited and isolated habitats during the glacial periods.

研究分野：進化生態学

キーワード：種分化 緯度勾配

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

種多様性に関して多くの分類群で知られている経験則として、“低緯度地域ほど種多様性が高い”というものがある。この経験則は有名であるが、その形成要因については議論がされているものの結論は出ていない(e.g. Allen et al. 2006; Jablonski et al. 2006; Weir & Schluter 2007)。生物はこれまでに約 200 万種が記載されているが、昆虫綱はその半数の 100 万種を占める、種多様性の高い分類群である(Grimaldi & Engel 2005)。なかでも甲虫目は、35 万種を占め、全ての生物の中で最も種多様性の高い目である。この甲虫目の種多様性の形成要因についても古くからいくつかの仮説が提唱されてきたが、いまだ議論が続いており(e.g. Farrell 1998; Ribera et al. 2001; Hunt et al. 2007; Papadopoulou et al. 2009; Ikeda et al. 2012)、多くの要因がかかわってきたと考えられるものの、結論は出ていない。

### 2. 研究の目的

本研究では、温帯に生息する甲虫の種多様性の緯度勾配をもたらす要因について明らかにするため、異所的種分化をもたらす要因である集団間の遺伝分化を、低緯度と高緯度の地域間で比較した。

### 3. 研究の方法

日本は主として温帯域に位置する南北に長い島国であり、緯度と生物の種分化の関係を調べる上で適している。緯度勾配パターンを明らかにするため、分布範囲が南北に広く、比較的容易に採集可能な甲虫分類群の複数種を対象とした。日本に広く分布するブナ林に生息する樹上性の甲虫と、森林内の池や湖といった水域に隔離的に分布する水生の甲虫を主な対象として研究を行った。特に東北地方では、氷河期にはブナの分布域は非常に限られ、ごく少数の逃避地のみ生息していたことが知られており、そのためそこに生息する樹上性の甲虫も、地理的隔離によって遺伝子流動が制限され、逃避地の間で異所的種分化につながるような遺伝分化が生じてきた可能性が高い。また、森林内の水域は地理的に隔離されており、そのような環境に生息する甲虫も集団間で遺伝子流動が制限され、遺伝分化が生じてきたこと予想される。これらの甲虫について北海道から中部地方にかけて、数十地点を採集地として選定して採集を行い、遺伝子解析に用いた。

異所的種分化につながる集団間の遺伝分化の程度を明らかにするため、集団間の分化をみるのに適した複数の遺伝子領域の塩基配列を解読した。ミトコンドリアの COI 領域および核の Wg 領域や CAD 領域を対象とした。既存のプライマーで増幅できなかった場合には新たにプライマーを作成して解析に用いた。集団間の遺伝分化を調べるため、ARLEQUIN プログラム(Excoffier et al. 2005)を用いて地理的距離と遺伝的距離の関係を調べ、高緯度地域と低緯度地域の間で比較した。また、BEAST プログラム(Drummond et al. 2012)を用いて系統樹を構築して年代推定を行い、氷河期と間氷期の気候変動による分布範囲の変遷が隔離と遺伝分化に与えた影響についても検討した。

### 4. 研究成果

森林に生息するジョウカイボン科について、東北地方と中部地方の種間で集団間の遺伝分化の程度を、ミトコンドリアの COI 領域を解読して比較したところ、東北地方の種では遺伝分化がみられたのに対し、中部地方の種では遺伝分化はみられなかった。これは、低緯度に比べて高緯度で、集団間でより遺伝的に分化しているという傾向を示しており、種多様性の緯度勾配の一般的なパターンとは逆のパターンが存在することが、本研究で明らかにされた。現在よりもより寒冷だった氷期には、高緯度地域のほうが森林のような環境はより限られた場所のみ存在しており、生息環境が限られて不連続であったために、このような遺伝分化が進んできたのだと考えられる。

さらにジョウカイボン科 9 種について、ミトコンドリアの COI 領域と核の Wg 領域で系統樹を構築した結果、そのうちの 2 種において、東北地方北部の一部の地域から得られた個体に関し、COI のハプロタイプが種間で完全に一致したが、それ以外の地域ではそのような傾向はみられなかった。また、Wg 領域についてはそのような傾向はみられなかった。このことから、これらの種間では、一部の地域において交雑に伴うミトコンドリアの遺伝子浸透が生じていることが明らかになった。東北地方では現在はブナ林は連続的に分布しているが、氷期にはごく限られた逃避地に隔離的に存在していたことがわかっており、過去における生息環境の不連続な分布が種分化に寄与していると考えられる。これらの結果は、たとえ現在の分布が連続的であっても、過去の生息環境の不連続性に伴う隔離が十分であれば、進化や種分化をもたらすことを示している。

また、水生の甲虫として、ゲンゴロウ科のメススジゲンゴロウに関し、ミトコンドリアの COI 領域と核の CAD 領域を用いて系統樹の構築を行ったところ、信頼性の高い系統樹を得ることができ、北海道と本州の 2 つの集団に大きく分かれることがわかった。さらに遺伝子データをもとに集団間の遺伝分化を北海道と本州で比較したところ、北海道のほうが集団間で遺伝的に分化していた。このことは、水生の甲虫では生息する水場の不連続性が集団間の分化に影響するが、水場環境の不連続性自体は緯度に対応して変わるわけではないため、低緯度のほうが集団間で遺伝的に分化しやすいという緯度に対応した遺伝分化のパターンは必ずしもみられないことが

わかった。

<引用文献>

Allen, A. P., Gillooly, J. F., Savage, V. M., & Brown, J. H. (2006). Kinetic effects of temperature on rates of genetic divergence and speciation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(24), 9130–9135.

Jablonski, D., Roy, K., & Valentine, J. W. (2006). Out of the tropics: Evolutionary dynamics of the latitudinal diversity gradient. *Science*, 314, 102–106.

Weir, J. T., & Schluter, D. (2007). The latitudinal gradient in recent speciation and extinction rates of birds and mammals. *Science*, 315, 1574–1576.

Grimaldi, D., & Engel, M. S. (2005) *Evolution of the Insects*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.

Farrell, B. D. (1998) "Inordinate fondness" explained: why are there so many beetles?. *Science*, 281, 555–559.

Ribera, I., Barraclough, T. G. & Vogler, A. P. (2001) The effect of habitat type on speciation rates and range movements in aquatic beetles: inferences from species-level phylogenies. *Molecular Ecology* 10, 721–735.

Hunt, T. et al. (2007) A comprehensive phylogeny of beetles reveals the evolutionary origins of a superradiation. *Science* 318, 1913–1916.

Papadopoulou, A., Anastasiou, I., Keskin, B. & Vogler, A. P. (2009) Comparative phylogeography of tenebrionid beetles in the Aegean archipelago: the effect of dispersal ability and habitat preference. *Molecular Ecology* 18, 2503–2517.

Ikeda, H., Nishikawa, M., & Sota, T. (2012) Loss of flight promotes beetle diversification, *Nature Communications*, 3, 648.

Excoffier, L. G., Laval, L. G., & Schneider, S. (2005). Arlequin ver.3.0: An integrated software package for population genetics data analysis. *Evolutionary Bioinformatics Online*, 1, 47–50.

Drummond, A. J., Suchard, M. A., Xie, D., & Rambaut, A. (2012) Bayesian phylogenetics with BEAUti and the BEAST 1.7. *Molecular Biology and Evolution*, 29, 1969–1973.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Akihiro Kimura, Hiroshi Ikeda
2. 発表標題 The effects of distribution change of beech forest after the last glacial period on community composition and geographic genetic differentiation of arboreal insects
3. 学会等名 International Research Workshop on XTBG and Department of Biology
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木村 彰宏, 池田 紘士
2. 発表標題 最終氷期後の分布変遷によってブナ林の樹上性昆虫に生じた遺伝子浸透
3. 学会等名 第50回種生物学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木村 彰宏, 池田 紘士
2. 発表標題 氷期後の分布拡大が樹上性昆虫の遺伝的分化に与える影響
3. 学会等名 第63回日本生態学会東北地区会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木村 彰宏, 池田 紘士
2. 発表標題 最終氷期後の分布拡大による二次的接触がブナ林の樹上性昆虫に与える影響
3. 学会等名 第66回日本生態学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 清川僚, 池田紘士
2. 発表標題 メスジゲンゴロウにみられる性的二型形質の進化パターン
3. 学会等名 第63回日本生態学会東北地区会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 清川僚, 池田紘士
2. 発表標題 メスジゲンゴロウでは雄のハラスメントが雌の性的二型形質の進化を駆動したのか？
3. 学会等名 第66回日本生態学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木村彰宏, 池田紘士
2. 発表標題 氷期後のブナの分布変遷が樹上性昆虫の群集構成と遺伝的分化に与える影響
3. 学会等名 第65回日本生態学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木村彰宏, 池田紘士
2. 発表標題 氷期後の二次的接触が温帯林の昆虫に与える影響：寒冷地と温暖地の比較
3. 学会等名 第67回日本生態学会大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----