HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Degeneration of vision in trechine beetles colonizing subterranean environments [an abstract of entire text]
Author(s)	丹伊田, 拓磨
Description	この博士論文全文の閲覧方法については、以下のサイトをご参照ください。 https://www.lib.hokudai.ac.jp/dissertations/copy-guides/
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(環境科学)
Dissertation Number	甲第15718号
Issue Date	2024-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/91891
Type	doctoral thesis
File Information	Takuma_Niida_summary.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 内 容 の 要 約

博士（環境科学）　　氏 名　丹伊田拓磨

学 位 論 文 題 名

Degeneration of vision in trechine beetles colonizing subterranean environments
（地下環境へ進出したチビゴミムシ類における視覚の退化に関する研究）

序論

生物が新しい環境へ進出した時、どのような遺伝的な変化が生じるのだろうか？これは進化生物学における重要な問いの一つである。この問いに答えるためのアプローチのひとつとして地上から地下環境へ進出した生物の研究が行われてきた。地下性生物では、不用となった眼や色素の退化が古くから知られており、近年では、ゲノムシーケンス技術の発展によって、形態の退化に関連した遺伝的な変化についても調べられている。例えば、洞窟に生息する魚類では、視覚に関わる遺伝子のタンパク質コード領域内に機能を損なう変異が蓄積しており、これらの遺伝子は偽遺伝子化していることが分かっている。

地下環境には魚類だけでなく、複眼が退化した昆虫類も生息している。世界各地から多様な分類群に属する約3000種の地下性昆虫が知られている。しかし地下性昆虫では遺伝子の退化について研究された例が少ない。地下性昆虫は一般に小さく、また多くの標本が入手しづらいため、ゲノム情報の取得、整備が進んでいなかったことが、研究例が少ない原因のひとつであると考えられる。

そこで私は、新しい地下性生物の研究対象として、地下環境に生息するチビゴミムシ類（昆虫網；甲虫目；チビゴミムシ亜科）に着目した。本研究では、洞窟性のチビゴミムシ2種、地表に近い地下浅層性のチビゴミムシ1種、比較として地表性のチビゴミムシ2種を対象に、ドラフトゲノム配列を取得した。これらのゲノム配列をデータベースとし、昆虫の視覚に関わる遺伝子24個が存在しているか検索し、偽遺伝子化の有無を判定した。それに加えて、地下進出が複数回生じたというチビゴミムシ類の特徴を生かして、独立に地下進出した系統間で、退化している遺伝子は共通しているのか検証した。これらにより、地下性チビゴミムシ類の視覚に関わる遺伝子の退化と、遺伝子の退化における共通性について明らかにすることを本博士論文の目的とした。

第1章

地下環境には、洞窟といった深い地下層だけでなく、地表付近に位置し礫や泥が混じった地下浅層も含まれる。地下浅層に生息する昆虫には、複眼がその構造を保たないほどに退化しているものがいるが、それらの光受容能も退化しているのかについては、十分に検証されてこなかった。そこで第1章では、北海道夕張山系の地下浅層に生息し、痕跡的な複眼を持つズンドウメクラチビゴミ

ムシ*Trechiama kuznetsovi*を対象とし、成虫の光受容能は保存されているのか、あるいは退化しているのか明らかにすることを目的とした。本種の成虫からDNAとRNAを抽出した後、次世代シーケンサー（NovaSeq 6000）によりショートリード配列を取得した。このショートリード配列をソフトウェア（PlatanusやTrinity）によりアセンブルし、光受容タンパク質をコードする*opsin*遺伝子の有無や選択圧について調べた。また行動実験により、赤色光・緑色光・青色光・紫外光に対する成虫の光走性についても調べた。その結果、ズンドウメクラチビゴミムシは、長波長オプシン遺伝子と紫外波長オプシン遺伝子を保持し、それらの遺伝子は機能的な制約を受けていることが示された。また成虫は紫外波長の光に対して負の光走性を持つことが示された。このことから地下浅層に生息するズンドウメクラチビゴミムシは、複眼の構造が外見上縮小しているが、光受容能を保持していると考えられる。

第2章

洞窟は、外界からの光が全く届かない環境であり、そこに生息する多くの昆虫は複眼を完全に消失している。洞窟性昆虫は、主に甲虫目の科で見られ、世界各地に分布していることが分かっている。しかし、洞窟性昆虫において利用可能なゲノム情報は存在しておらず、遺伝子の退化についてはほとんど研究されてこなかった。そこで第2章では、愛媛県や三重県の石灰洞窟に生息し、完全に複眼を消失しているアシナガメクラチビゴミムシ*Nipponaphaenops erraticus*とヒラケメクラチビゴミムシ*Kurasawatrechus hirakei hirakei*を対象に、光受容能や光伝達能、像形成能といった視覚に関わる遺伝子が退化しているのか明らかにすることを目的とした。これらの種と比較するために、第1章で用いたズンドウメクラチビゴミムシ、地表性のオンタケナガチビゴミムシ*Trechiama lewisi*とフタボシチビゴミムシ*Blemus discus*も対象にした。第1章と同様に、各種の成虫からDNAとRNAを抽出した後、次世代シーケンサー（NovaSeq 6000）によりショートリード配列を取得した。このショートリード配列をソフトウェア（PlatanusやTrinity）によりアセンブルした。その後、視覚に関わる遺伝子をTBLASTNにより探索し、EXONERATEによりタンパク質をコードするエキソン領域を推定した。このエキソン領域内に、遺伝子の機能を消失させるフレームシフトや未成熟終止コドンが存在するかを調べた。その結果、地表性のチビゴミムシ類ではほとんどの遺伝子が保存されているのに対して、地下浅層性のズンドウメクラチビゴミムシでは像形成能に関わる遺伝子がゲノム中から消失または偽遺伝子化していることが示された。洞窟性のアシナガメクラチビゴミムシやヒラケメクラチビゴミムシでは、光受容能や光伝達能、像形成能に関わる遺伝子がゲノム中から消失または偽遺伝子化していることが示された。さらに、独立に地下環境へ進出した洞窟性のチビゴミムシ2種では、光受容に関わる*opsin*遺伝子や像形成能に関わる*cardinal*遺伝子などが共通して退化していることが分かった。このことから洞窟に生息するチビゴミムシ類では視覚に関わる遺伝子が退化していることが示された。

総合考察

本博士論文によって、地下浅層性のズンドウメクラチビゴミムシでは像形成能に関わる遺伝子が退化し、洞窟性のチビゴミムシ類では像形成能だけでなく、光受容能と光伝達能に関わる遺伝子も退化していることが分かった。さらに独立に地下進出した系統でも、同じ遺伝子が退化していると

いう共通性がみられた。これには、視覚のみの機能を持つ遺伝子は退化しやすく、視覚以外の機能も持つ遺伝子は退化しにくいという遺伝子の多面発現の効果が影響しているかもしれない。今後の展望として、チビゴミムシ類以外の地下性昆虫でもゲノム情報が蓄積されることで、様々な分類群を対象に、遺伝子の退化と多面発現の程度の関連についての検証が進むことが期待される。