

博士論文審査の結果の要旨

氏名	上木 岳
学位名	博士（理学）
学位番号	甲 第 142 号
論文題目	共生から紐解くクワガタムシ科の進化生物学的研究
論文審査委員	主査 東城 幸治 市野 隆雄 柴田 直樹 松本 卓也 久保田 耕平 （東京大学）

(博士論文審査の結果の要旨)

本論文は、クワガタムシ科昆虫、共生酵母、宿主植物そして腐朽菌といった四者が関わる複雑な生物種間関係性に着目し、分子系統解析を駆使した興味深い系統進化・進化生態学的研究である。論文は以下のような3章構成となっており、それぞれの章が独立した研究論文として評価される高質の内容となっている。さらに、各章の関係性に言及した学位論文全体の導入（ジェネラル・イントロダクション）、各章の議論を受けた総合考察（ジェネラル・ディスカッション）が設けられ、論文全体のオリジナリティが明確に整理されている。

第1章ではクワガタムシ科広汎を対象とした分子系統解析と共生酵母の関係性に焦点が当てられている。日本産クワガタムシ科を網羅する野外サンプリングを自ら行い、採取した試料の体内から共生酵母を単離・培養し、両者の分子系統解析を実施している。いずれも複数の遺伝子領域を対象とした頑健な解析データを基盤とした考察がなされている。特に、日本産クワガタムシ類は原始的系統から派生的系統に至るまでの多様な系統を含んでおり、そして様々な腐朽菌の利用が確認されていることや、幼虫が棲み場所・餌として利用する樹木（宿主植物の樹種）に関する情報が豊富である。こうしたクワガタムシ科昆虫における豊富な生態情報の蓄積は日本産種群に特化した特徴であり、また著者自身の豊富なフィールドワークの経験に裏打ちされた知見があってこそ成し遂げられたような研究であり、高いオリジナリティが認められる。これらの知見を最大限に活用した解析と考察の結果、クワガタムシ科内において、共生酵母の垂直伝播も水平伝播も生じてきたことが究明された。また、特殊な生態をもつ原始系統においては、共生酵母を有さない種群の存在も明らかとなり、垂直伝播や水平伝播が生じてきた背景についても詳細に議論されている。

第1章の内容を受け、第2章では、系統的に離れたクワガタムシ間での共生酵母を共有する現象に着目し、水平伝播がどのようにして生じてきたのかについて、日本列島と朝鮮半島のルリクワガタ類（それぞれ、ニシコルリクワガタとチョウセンルリクワガタ）、オニクワガタ類（対馬のキンオニクワガタ）に焦点を当てて、その進化的プロセスを詳細に考察した。その結果、朝鮮半島のチョウセンルリクワガタから日本列島（中国地方）のニシコルリクワガタへの直接的な共生酵母の水平伝播ではなく、過去の気候変動環境下においてこれら両種と分布域が重複し、かつ生態学的ニッチ（ハビタット選考性）が重複するキンオニクワガタを介した水平伝播であった可能性が強く示唆された。チョウセンルリクワガタとニシコルリクワガタの2種は、MaxEntを用いた生態ニッチモデル解析においても過去の分布域は重ならず、そのような状況下において対馬にも分布するキンオニクワガタを介することで、分布域としては互いに重複した可能性の低い（現在も異所的に分布する）ルリクワガタ種間での共生酵母の水平的伝播が生じてきた可能性を示唆した。また、実験室内での操作実験として、人為的に共生酵母の置換が可能であることも検証しており、仮に出会うことができるような種間では、野外でも同様の共生酵母の水平伝播が生じてきた可能性を示唆するものである。

第3章では、ハビタットが特定の環境に限定されるクワガタムシに焦点を当てられている。

ブナにはほぼ完全に依存した生活史をもつヒメオオクワガタと、その宿主植物であるブナの共進化プロセスの解明に取り組まれた。ヒメオオクワガタのほぼ全ての地域集団を網羅するような膨大なサンプリングとその遺伝子解析の結果は、ブナの地域集団間の遺伝構造と互によく合致した系統関係をもつことが示され、極めて強く深い関係が構築されてきたことが究明された。双方の生態ニッチモデル解析においても、第四紀の気候変動の影響を共に受けながら、その結果として酷似した系統地理・系統進化史をもつに至ったことが詳細に議論されている。

また、種や系統として特定の共生酵母を保有せずに（特定の共生酵母の垂直伝播を行わずに）、同じ環境に生息している他のクワガタ種が利用している共生酵母を二次的に取り込むことで利用するような特殊な事例としてノコギリクワガタの存在を明らかにし、クワガタムシ類内でも系統により多様な生物間相互作用が進化してきたことが明らかとなった。いずれのパートも独自の視点から深掘りされた研究であり、得られた知見が相まってより興味深い議論へと深掘りされた進化生態学の醍醐味が凝縮された論文となっている。

第2・3章の成果は既に国際誌上で公表されており、第1章の成果も十分に国際的な専門誌上での論文公表が可能である内容である。以上のことから、本研究論文は博士の学位論文の価値を十分に満たすものと評価する。

(公表主要論文名)

Gaku Ueki, Sheng-Nan Zhang, Xue-Jiao Zhu, Xiu-Jun Wen, Koji Tojo, Kôhei Kubota (2021)

Lateral transmission of yeast symbionts among Lucanid beetle taxa.

Frontiers in Microbiology, Volume 12, Article 794904. DOI:10.3389/fmicb.2021.794904

Gaku Ueki, Koji Tojo (2023) The phylogeography of the stag beetle *Dorcus montivagus* (Coleoptera, Lucanidae): Comparison with the phylogeography of its specific host tree, the Japanese beech *Fagus crenata*.

Entomological Science, Volume 26, Issue 1, e12535. DOI: 10.1111/ens.12535