

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	福家 悠介
論文題目	Evolutionary origins of the endemic ichthyofauna in Inle Lake, an ancient lake in Myanmar (ミャンマーの古代湖・インレー湖における固有淡水魚類の起源)		
(論文内容の要旨)			
<p>古代湖は、その固有な生物相の進化を対象として種分化や群集形成のプロセスを探求する絶好の場として注目されてきた。島の生物地理学の理論において、古代湖や島嶼のような孤立した環境の種多様性は、種プールである「大陸」からの移住、および「島内」での種分化と絶滅の動態によって説明される。この理論において、種数は移住と地域内での種分化の両方によって増大するのに対して、固有種の割合は、移住による遺伝子流動がある程度制限されることで生じる異所的種分化、そして、さらに制限された状況で生じうる放散によって増加する。古代湖の群集形成に関する実証研究の多くは、放散に焦点を当てており、継続的な移住が存在する場合の固有性の形成プロセスに着目した研究はほとんどない。</p> <p>東南アジア大陸部唯一の古代湖であるインレー湖はミャンマーの生物多様性ホットスポットのひとつである。インレー湖の魚類相は、周辺地域から移住してきた広域分布種と、地理的隔離を経て異所的に分化した固有種によって構成されたと想定されている。本論文では、インレー湖の魚類相をモデルに、固有種の進化的起源の解明を通して、周辺地域からの継続的な移住のもとで地域生物相の固有性が形成される生物地理学的・生態学的プロセスを明らかにすることを目的とした。</p> <p>まず、第 2 章では東南アジアの広域に分布する近縁種から派生した固有種、第 3 章では属レベルで本地域に固有な種の進化的起源を推定した。それぞれに対して、ミトコンドリア DNA 配列データ、MIG-seq 法で取得した核ゲノムワイドな一塩基多型データ、および形態データに基づく解析を行った。その結果、タイワンドジョウ科の固有種 (<i>Channa harcourtbutleri</i>) には、それぞれ主に湖と周辺河川に出現する遺伝的・形態的に分化した 2 系統が存在し、一方は広域分布の近縁種から前期更新世に分岐し、他方は後期更新世に近縁種の再侵入と二次的接触により生じたと推定された (第 2 章)。2 系統の共存にはそれぞれ異なる環境への局所適応が寄与していると考えられた。次に、コイ科の固有種 (<i>Microrasbora rubescens</i>) では、遺伝的に分化した 3 つの地域系統が見いだされたが、系統間で明瞭な形態的差異はなかった (第 3 章)。本種は止水環境に強く依存するため、ニッチ保守性が約 300 万年という時間スケールで河川を通じた集団間の遺伝的交</p>			

流を制限し、形態的分化を伴わない集団分化を促進したと推測される。

第 4 章では、固有種網羅的に近縁種との分岐年代および集団分化の開始時期を推定することにより、固有魚類相の成立に影響を与えた移住と地域内多様化の時間スケールとその要因を考察した。23 種の固有種のみトゲノムデータから、インレー湖周辺域への移住は中新世から更新世の幅広いレンジで継続的に生じたことが示唆された。ゲノムワイド塩基多型データに基づく集団解析から、鮮新世から更新世に生じた固有種 7 種群における地域内分化が見いだされた。地域内分化の程度とパターンは分散能力やハビタットのような各種の生態学的特性によって説明されると考えられた。

以上をもとに、第 5 章では、インレー湖における魚類相形成プロセスを島の生物地理学の理論および他の古代湖における群集形成プロセスと比較しながら総括した。インレー湖とその周辺域のユニークな魚類相は、継続的な移住とその後の異所的種分化によって蓄積されたと推定された。さらに、一部の固有種においては、地域内分化および異なる環境への局所適応が遺伝的多様性の創出と維持に寄与していると考えられた。

(論文審査の結果の要旨)

生物多様性科学の主要課題の一つである生物群集の形成過程を深く理解するために、生物地理学的「島」、つまり海洋島、高山、湖など、境界が比較的明確な地域での研究は重要な役割をもつ。10 万年以上の歴史をもつ湖である古代湖は、そのような研究の場の一つである。申請者は、古代湖の中でもこれまであまり注目されてこなかった群集タイプをもつ湖に着目し、分子系統学、集団遺伝学、および形態学からのアプローチによって複合的な群集形成パターンを解きほぐし、生物多様性の起源や維持機構のより深い理解を得ることを目的に本研究を行った。

申請者が研究対象としたのは、東南アジア大陸部唯一の古代湖であるインレー湖（ミャンマー）の淡水魚類相である。この魚類相は多様な分類群を含み、10 余種の広域分布種と約 20 種の固有種からなる。申請者は、主にインレー湖とその周辺域（インレー地域）から得られた多数の標本を用い、詳細な遺伝学的・形態学的解析を行うことにより、しばしば注目される「適応放散」とは異なるタイプの種多様化過程、つまり周辺地域からの複数回の移住と地域内での種分化が複雑に組み合わさった「非放散」型の群集形成過程の解明に取り組んだ。そのために本論文では次世代シーケンシング技術が有効に活用され、核ゲノムワイドの一塩基多型データやミトコンドリア全ゲノムデータを用いた大規模な系統地理・集団遺伝学的解析が行われた。

本論文第 2 章では東南アジアの広域に分布する近縁種から派生した固有種について、また第 3 章では属レベルで本地域に固有な種について、それぞれの進化的起源が明らかにされた。第 2 章では、タイワンドジョウ科の固有種に遺伝的・形態的に分化した 2 系統が存在し、両者が異なる時期に侵入した近縁種から派生したことを明らかにした。また両系統がそれぞれ異なる環境に局所適応することによって共存している可能性が示された。第 3 章では、小型のコイ科固有種において、形態的には差異が見られないが約 300 万年前の分化に相当する大きな遺伝的分化を伴う 3 つの地域集団が存在することを明らかにした。この隠蔽的な集団分化については、本種の生態・形態的特性に基づき、低い分散能力とニッチ保守性による興味深い説明がなされている。

第 4 章では、固有種をほぼ網羅する 23 種について、近縁種との分岐年代と集団分化の開始時期が推定され、固有魚類相の成立に影響を与えた移住と地域内多様化の時間スケールが包括的に明らかにされている。インレー地域への移住は中新世から更新世の幅広い期間に継続的に生じ、また地域内に広域分布する種の集団分化は、鮮新世から更新世にかけて生じたと推定された。さらに地域内の分化パターンや程度は分散能力や利用生息環境のような種の生態学的特性によって説明できる可能性が示された。第 5 章では、以上を総括して、「島の生物地理学」の理論や他の古代湖と比較しながら、「中程度に隔離された島」としてのインレー湖における魚類相形成過程が論じられている。

本論文は、これまでほとんど注目されてこなかった地域・群集タイプに焦点を当て、

大規模な分子遺伝学的解析を実現することにより、インレー地域の複合的な魚類相形成パターンとその要因に関して、新規性の高い、まとまった知見を得るに至った。本論文は、固有性に富む群集の多様な形成機構の理解に大きく貢献するとともに、当地域の生物多様性保全にも貢献する知見を提供するものである。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、令和5年1月24日に論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： _____ 年 _____ 月 _____ 日以降