

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2014～2016

課題番号：26304007

研究課題名(和文) ミャンマーの古代湖・インレー湖における固有魚類の現状，起源，および保全

研究課題名(英文) The origin, current status, and conservation of the endemic fishes of Inle Lake, an ancient lake in Myanmar

研究代表者

渡辺 勝敏 (Watanabe, Katsutoshi)

京都大学・理学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：00324955

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,400,000円

研究成果の概要(和文)：東南アジアの代表的な古代湖であるインレー湖(ミャンマー)の魚類相とその起源に関する研究を行った。4回の野外調査の結果、湖周辺域を含む計68地点から19科49種が確認された。その約4割は侵略的外来種を含む外来種であり、また固有種2種は絶滅かそれに近い状況にあることがわかった。コイ属やタイワンドジョウ属等の固有種の系統的起源を分子系統学的手法により明らかにし、インレー湖の魚類相の生物地理的な位置付けに関する重要な知見を得た。確認魚類の地理分布情報と写真、DNAバーコーディング情報等をウェブデータベース(FIMSEA)で公開した。

研究成果の概要(英文)：The origins and current status of the unique freshwater fish fauna of Inle Lake, Myanmar, were investigated. During our four field surveys in 2014-2016, we collected 49 species belonging to 19 families from 68 sites around the lake. About 40% of them were non-indigenous species, including highly invasive ones; and two endemic species appear to have become extinct. Molecular phylogenetic analysis of the origins of endemic species (e.g., *Cyprinus* and *Channa*) provided insights into the formation of the fauna of the lake, including its ancient origin and interactions with the surrounding areas. The data on the specimens (e.g., collection sites, photographs, and DNA barcoding) are available via the FIMSEA web database.

研究分野：進化生物学

キーワード：インレー湖 ミャンマー 淡水魚類 固有種 古代湖 外来種 分子系統 種間交雑

## 1. 研究開始当初の背景

世界には、およそ 10 万年以上にわたり存続する「古代湖」が 20 前後知られており、固有な生物相を擁する古代湖は、進化の実験場として格好の研究対象とされてきた。東南アジア大陸部には、ミャンマー中東部に、古代湖とされるインレー湖 (Inle Lake) が存在する。インレー湖の生物相については、20 世紀初頭に N. アナンデルが調査を行い、多くの固有種の存在を明らかにした。しかし本湖は世界の古代湖の中でも最も科学的調査が立ち遅れている湖の一つであった。

インレー湖はシャン高原に位置する縦長 (長径約 20 km) の山上湖 (海拔約 900 m) であり、タンルウィン川 (怒江) 水系に属する。表面積は約 120 km<sup>2</sup>、水深は最深部でも約 4 m と浅く、本来透明度が高い湖である。本湖からは、アナンデル以降の散発的な調査を含め、10 種以上の固有種を含む 30 余種の在来淡水魚が記録されていた。しかし近年本格的な生物インベントリー調査や生息現状、生態等の詳細な研究はなされていなかった。

インレー湖は東南アジア地域にありながら、コイ属 *Cyprinus* やナマズ属 *Silurus* といった東アジア要素を有しており、これら淡水魚類の系統的起源は、東・東南アジア大陸部の淡水魚類相の形成史・生物地理を論じる上で重要である。一方、近年、インレー湖にはティラピアをはじめとする多くの外来魚の養殖・放流が行われており、これらにともなう外来種の在来種に与える影響が深く懸念されていた。同時に、農業や周辺開発などによる水質悪化の生物多様性への影響も懸念される状況にある。さらに同湖の大きく変化する環境のもと、インレー湖で発達してきた独自の漁業形態や漁具・漁法を含む伝統文化においても、さまざまな変化が見られる状況が知られていた。

以上の背景の中、インレー湖の在来種 (特に固有種) および外来種の現状に関して、包括的な調査・研究を行う必要性が高いと考えた。

## 2. 研究の目的

本研究は、国内外の研究者協力者とともに、現地調査と分子遺伝学的手法によって、以下の 3 つの柱で研究を進め、インレー湖の魚類群集における在来種と外来種の現状、および在来種、特に固有種の系統・生物地理学的起源を明らかにすることを目的とした。それによりインレー湖の学術的・生物資源的価値を顕在化、発信することで、今後の同湖の生物多様性保全・再生に貢献することを目指した。

### (1) 在来魚種の現状の解明

インレー湖と周辺河川において、魚類の重

点的採集を行い、現時点における在来魚種の生息状況を明らかにする。得られた標本を公的機関に保存するとともに、標本、遺伝子配列、および写真等の情報を、将来にわたる学術資料として、ウェブデータベース (FiMSEA) を核に発信する。

### (2) 外来魚種の現状の解明

上記の調査において、外来魚種の現状を明らかにし、学術資料の保管とデータベースにおける情報発信を行う。

### (3) 在来種、特に固有種の系統・生物地理的起源の解明と外来種の移入経路の推定

DNA バーコーディング登録を進めるとともに、東アジアおよび東南アジアに生息するそれぞれの近縁種のデータを加えて分子系統解析を行うことにより、インレー湖在来種の系統的位置および分岐年代推定を行い、同湖の魚類相の成立史を考察する。

また外来種の分布や遺伝的特徴から、移入経路の推定を行う。

## 3. 研究の方法

### (1) 研究・協力体制

国内の研究組織に加え、タイ・カセサート大学の研究者、またミャンマーの NGO である FREDA、自然資源環境保全省森林局および同局インレー湖自然保護管理室の協力を得て、野外調査、標本の持ち出し、および遺伝資源利用等を行った。

### (2) 野外調査

計 4 回の野外調査を、タイ研究者を含めて延べ 12 名で実施した: 2014 年 9 月~10 月 (約 3 週間)、2015 年 10 月~11 月 (約 3 週間)、2016 年 3 月 (約 2 週間)、および 2017 年 6 月~7 月 (約 1 週間)。

調査は、インレー湖内および周辺の流入、流出河川、下流ダム湖において実施し、野外 (計 43 地点) および市場等 (計 25 地点) において、魚類の採集、購入を行った。

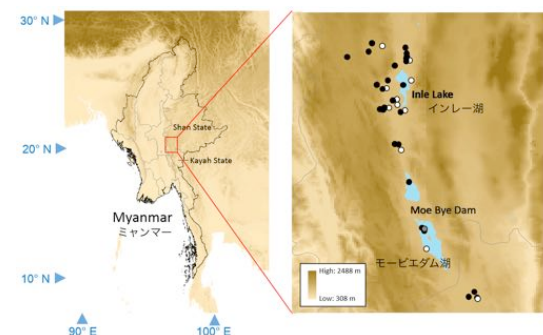


図 1. インレー湖周辺の地図と採集地点。黒丸は野外調査地、白丸は市場等 (Kano et al., 2016①より)。

### (3) 分類学的調査

得られた魚類標本について、現地で標本整理番号の付与、生鮮写真の撮影、DNA 分析用試料の採取、展鱗、およびホルマリン固定を行った。現地で仮同定を行った後、カセサート大学にて分類学的精査を行い、正式な標本登録を行った。その際、京都大学で行った DNA 分析結果も参考にした。

### (4) 分子系統学的解析

京都大学において、種あたり 16 個体以上をめどに、ミトコンドリア DNA (mtDNA) の COI 遺伝子領域 (約 640 塩基対) に基づく DNA バーコーディング情報を取得し、国際 DNA データベースおよびバーコーディングシステムに登録した (LC189568-LC190411)。

分子系統解析は、COI に加え、mtDNA シトクローム *b* 領域などを加えて、インレー湖および東南アジア各地のサンプルやデータを用いて行った。コイ属に関しては mtDNA 全ゲノムを解読した。

### (5) データ発信

魚類標本の採集データ、写真、DNA 塩基配列情報、一部標本の 3D-CT スキャン画像などは、東南アジア淡水魚類データベース FimSEA (<http://ffish.asia>) に登録し、公開した。

在来および外来魚類の現状に関してとりまとめ、論文公表、プレスリリースするとともに、啓発用のクリアフォルダーを作成した。

## 4. 研究成果

### (1) 在来および外来魚類の生息現状

本調査により、10 目 19 科 39 属 49 種に関する計 948 件 (2120 個体) の生息情報を得た (<http://ffish.asia/INLE2016>; <http://ffish.asia/INLE2016-3D>)。

このうち、12 属の 13 種がインレー湖および周辺水系の固有種であると判断された。一方、16 属 17 種以上が外来種と判断された。これらすべてについて、代表的な複数個体の DNA バーコーディングデータを取得し、国際データベースで公開した。

分布が知られている種のうち、2 種の固有種 (*Systomus compressiformis*; *Silurus burmanensis*) については、重点的な情報収集と採集努力にも関わらず、標本や確実な生息情報を得ることができなかった。これらの種の生態・生息環境や聞き込み情報も踏まえ、両種は絶滅、あるいはそれに近い状況にあると推察された。

また小型のコイ科固有種 (*Celestichthys erythromicron*, *Sawbwa resplendens*) などの分布が、明らかに以前よりも狭まっていることが研究協力者の情報からわかった。近年の渇水や水質汚染に加え、ティラピアをはじめとする外来種の被害の影響が強く懸念される。

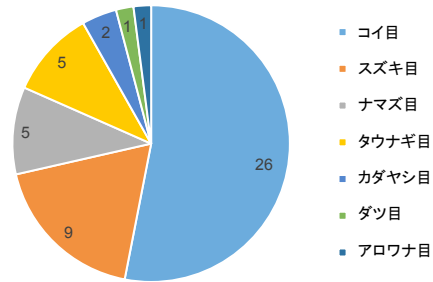


図 2. インレー湖の魚類の目別組成 (Kano et al. 2016①より)

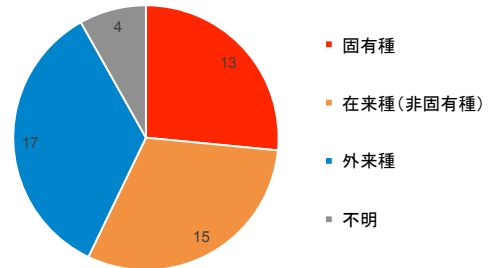


図 3. インレー湖の魚類相の在来性および外来性 (Kano et al. 2016①より)

### (2) 固有種・在来種の起源

固有種の中でも東アジア要素として興味深く、水産・文化的にも価値の高いコイ科コイ属の 1 種 *Cyprinus intha* の属内の系統的位置を、mtDNA ゲノムおよび部分塩基配列情報に基づいて推定した。その結果、本種はコイ属の最も基部に位置し、約 5 百万年前に他の種から分化した固有な系統であることがわかった。このことは東南アジアと東アジアの魚類相の分岐が生じた後に部分的な交流があったことを示唆するが、その時代は中新世から鮮新世に遡る古いものである。

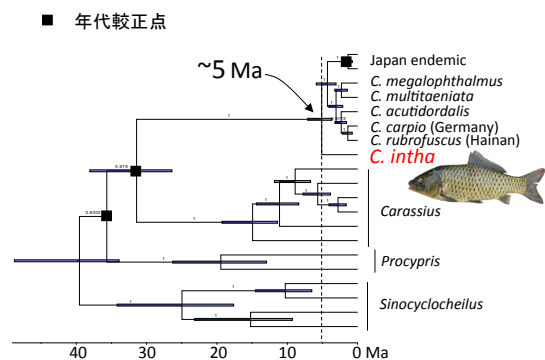


図 4. コイ属固有種およびその近縁種の系統 (Mabuchi et al. 未発表データ)

コイ属のほかに、タイワンドジョウ科の固有種 *Channa harcourtbutleri*、広域分布種タウナギ科タウナギ *Monopterus javanensis* などについて、近縁種や同種のサンプルを広く比較した。その結果、インレー湖の周囲に、固有系統と広域分布の系統が重複して存在することがわかった。このことは、古い起源をもつインレー湖の固有魚類相が、周囲の水系と交流を持ちながら維持されてきたことを示唆する。また一部は人為移植の影響の可能性も示唆された。

### (3) 外来種による導入経路

インレー湖の魚類群集のうち、外来種が約4割、17種以上を占めることがわかった。外来種のほとんどが東南アジアに分布する種であるが、東アジア（ソウギョ、コイ養殖系統）およびアフリカ原産の種（アフリカヒレナマズ、ティラピア）も含まれていた。これらは東南アジアで流通しているものが持ち込まれたと考えられる。

インレー湖の周辺域では、東アジアに分布するコイ *Cyprinus rubrofuscus* (従来 *C. cyprinus*) に起源をもつ養殖系統が多く見られる。両者は大きく分化した mtDNA を有し、また側線鱗数を中心に、外部形態によって区別することができるが、中間的な形態的特徴をもつ個体も見られた。形態的特徴と mtDNA の関係を調べたところ、両種の交雑が強く示唆される個体が複数検出された。核ゲノム遺伝子標識に基づく解析が必要だが、養殖系統による固有種への遺伝的攪乱が生じている可能性がきわめて高い。

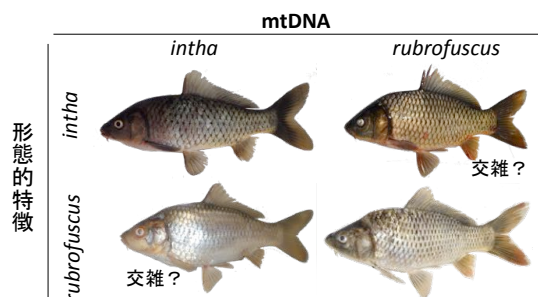


図5. コイ属の固有種と養殖品種の交雑例（推定）

### (4) 情報発信

本研究の成果の基本となる在来および外来魚類の生息現状に関して、論文 (Kano et al. 2016①: Biodivers Data J) およびデータベース (<http://ffish.asia/INLE2016>) を通じて公開した。これらは京都大学と九州大学を通じてプレスリリースされ、インターネットニュースなどにも掲載された。また、インレー湖周辺域をはじめとするミャンマー国内での啓発利用のために、魚類相とその現状を紹介するクリアフォルダーを作成した。第49回日本魚類学会年会では、「東南アジア淡水

魚類研究のこれまでとこれから」と題するセッションを主催し、本プロジェクトの成果を東南アジアにおける淡水魚類研究の中に位置づけ、関連研究者とともに課題と今後の展開に関して議論を行った。

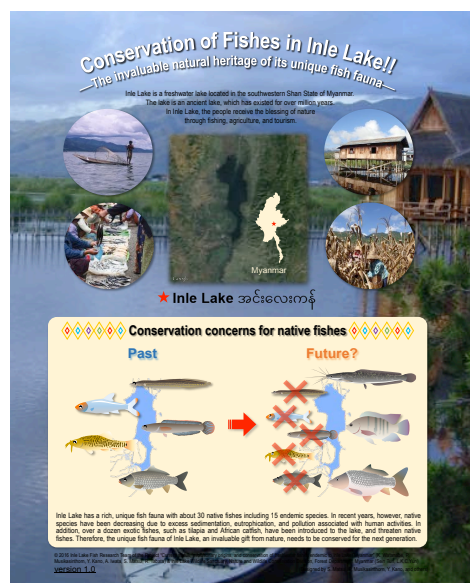
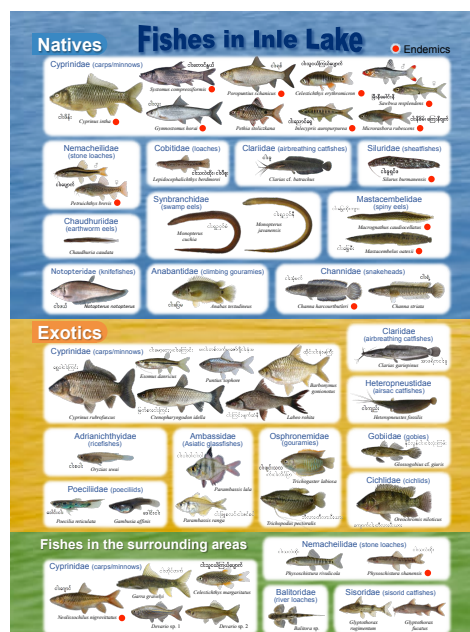


図6. インレー湖の魚類を紹介する啓発用クリアフォルダー

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計2件)

- ① Kano Y, Musikasinthorn P, Iwata A, Watanabe K (10番目; 責任著者), ほか6名 (2016) A dataset of fishes in and around Inle Lake, an ancient lake of Myanmar, with DNA barcoding, photo images and CT/3D models. Biodiversity

Data Journal 4: e10539 【査読有】  
DOI: 10.3897/BDJ.4.e10539

- ② Kano Y (責任著者), Dudgeon D, Nam S, Samejima H, Watanabe K (5番目), ほか15名 (2016) Impacts of dams and global warming on fish biodiversity in the Indo-Burma hotspot. PLoS ONE 11: e0160151 【査読有】  
<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0160151>

[学会発表] (計4件)

- ① 鹿野雄一 (2017/3/16) 水力発電ダムと温暖化が東南アジアの淡水魚類多様性に与える影響. 第64回日本生態学会大会 (早稲田大学・東京都新宿区)
- ② 鹿野雄一 (2016/9/25) 地球温暖化とダム建設が東南アジアの淡水魚類多様性に与える影響. 第49回日本魚類学会年会 (岐阜大学・岐阜県岐阜市)
- ③ 渡辺勝敏・プラチヤー ムシカシントン・鹿野雄一・馬淵浩司・松井彰子・田畑諒一・岩田明久 (2016/9/25) ミャンマー・インレー湖の固有魚類相の起源と現状. 第49回日本魚類学会年会 (岐阜大学・岐阜県岐阜市)
- ④ 渡辺勝敏・プラチヤー ムシカシントン・鹿野雄一・馬淵浩司・松井彰子・岩田明久 (2015/9/6) ミャンマーの古代湖・インレー湖における固有魚類の現状、起源、および保全に関する研究プロジェクト. 第48回日本魚類学会年会 (近畿大学奈良キャンパス・奈良県奈良市).

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ウェブデータベース Fishes of Mainland Southeast Asia: <http://ffish.asia>

京都大学・研究成果:

[http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research\\_results/2016/161109\\_2.html](http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research_results/2016/161109_2.html)

九州大学・研究成果:

<https://www.kyushu-u.ac.jp/ja/researches/view/65>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡辺 勝敏 (WATANABE, Katsutoshi)  
京都大学・大学院理学研究科・准教授  
研究者番号: 00324955

(2) 研究分担者

鹿野 雄一 (KANO, Yuichi)  
九州大学・持続可能な社会のための決断科学センター・准教授  
研究者番号: 60467876

(3) 連携研究者

岩田 明久 (IWATA, Akihisa)  
京都大学・大学院アジア・アフリカ地域研究研究科・教授  
研究者番号: 20303878

(4) 研究協力者

MUSIKASINTHORN, Prachya  
カセサート大学・水産学部・助教授 (タイ)