

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成30年6月20日現在

機関番号：82101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K07545

研究課題名(和文) データロガーを用いた日本在来コイの琵琶湖沖合における行動パターンの解明

研究課題名(英文) Behavioral patterns of Japanese native common carp in offshore water of Lake Biwa: a bio-logging approach to the study of deep lake fish

研究代表者

馬淵 浩司 (Mabuchi, Kohji)

国立研究開発法人国立環境研究所・生物・生態系環境研究センター・主任研究員

研究者番号：50401295

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：日本の河川・湖沼には外国から導入されたコイが蔓延しているが、琵琶湖の沖合深層には例外的に高頻度で日本在来コイが残存している。琵琶湖で在来コイが残存している理由のひとつとして、深場での効率的な遊泳能力など沖合深層への特異な適応が予想される。そこで本研究では、動物装着型の行動記録計を装着したコイの沖合放流により、導入コイと在来コイの沖合深層における遊泳行動の違いについて調べた。11個体から得られたデータを解析した結果、在来コイは深層と表層を頻繁に行き来し、深層から浮上した後でも中性浮力を失わない一方で、導入コイは一度水深約40m以深に行くと浮力を失い、湖底から浮上できにくくなることが判明した。

研究成果の概要(英文)：Native population of common carp (*Cyprinus carpio*) has been widely endangered in Japan by the introduction of Eurasian strain. However, deep offshore water of Lake Biwa, the largest freshwater body in Japan, contains a relatively pure native population. Why does the native strain of common carp remain only in the Lake Biwa? One of the reasons may be its special adaptations to deep-water life, such as effective swimming in deep water. To confirm the possibility, I examined the swimming behavior of both strains in Lake Biwa using miniature animal-attached accelerometers. The obtained data from 11 fish demonstrated the difference in swimming behavior between the two strains as follows. The native carp frequently moved up and down in the water column without losing neutral buoyancy in shallow water even after coming back from deep water. However, the introduced carp lost its neutral buoyancy once it moved down to about 40 meters: it could hardly swim up from the bottom after that.

研究分野：魚類分子生態学

キーワード：日本在来コイ 琵琶湖 バイオロギング

1. 研究開始当初の背景

日本列島にはユーラシア大陸のコイとはミトコンドリア (mt) DNA の塩基配列で明瞭に区別される日本在来のコイが生息することが、研究代表者らによるこれまでの研究により判明している (引用文献、)。しかし、国内の水系では、このようなコイは少数派であり、どこの湖沼・河川でも 50%以上の個体は、大陸由来の導入系統の mtDNA ハプロタイプを持っている (引用文献)。大陸に由来する養殖コイが盛んに放流されてきた (引用文献) ことを考慮すると当然の結果だが、日本在来のコイは世界的にも貴重な自然遺産・遺伝資源であることを考えると、大いに憂慮すべき事態である。

一方、琵琶湖の全域から 700 個体以上のコイを収集し、研究代表者らが開発した簡易判別法 (引用文献) で mtDNA を調べたところ、冬期に沖合 20m 以深から捕獲されるコイでは、80%以上の個体が日本在来のハプロタイプを保有しており (引用文献)、さらに、7 個 (7 ローカス) の核 DNA マーカー (引用文献) で導入系統との交雑状況を調べたところ、ほとんどの個体が比較的純粋に近い在来系統の個体であることが分かった (2013 年度日本魚類学会年会で発表)。以上の結果から、琵琶湖の 20m 以深の個体群は、純粋に近い日本在来コイが例外的に多数残存する保全上貴重な個体群であることが判明した。琵琶湖における養殖コイの放流は、記録上では明治 24 年 (西暦 1891) に始まり (引用文献)、コイヘルペスの蔓延で大量斃死が起こった 2004 年まで盛んに行われていた。琵琶湖には、100 年以上にわたる養殖コイの放流の歴史がありながら、その深層では、現在でも純粋に近い日本在来コイの個体群が維持されていることになる。

在来系統が琵琶湖で維持されてきた要因としては、まず繁殖生態の違いが考えられる。琵琶湖では在来・導入コイのどちらも沿岸の植物帯で産卵を行うが、交雑が進行していない事実から、両者間には産卵の時期や場所に違いがある可能性が考えられる。研究代表者らは本報告の研究と平行して、複数年にわたって様々な場所・時期において産着卵を採集し、さらに DNA 系統判別することにより、この仮説の検証を進めている。

琵琶湖において在来コイが残存している理由としては、非繁殖期 (秋～冬) における行動・生態についても検討が必要である。とくに、周年を通して沿岸の浅場で過ごす導入コイとは異なり、冬期の在来コイは最深で 100m を越える沖合深層部で生活しており (冬期に深層を曳くイサザ網漁で体長 30cm 以下の小型個体が混獲される)、このような生息場所の違いが、両者間の生態ニッチ上の競合を緩和していると考えられる。

導入コイは深層で捕獲されないという事実から、在来コイには、深層という特殊な環

境での生活に必要な適応的な形質・能力が備わっていると考えられる。実際、研究代表者らが琵琶湖産コイの形態解析を行った結果、在来コイは導入コイより体型が魚雷型に近く、かつ、鰾 (うきぶくろ) の気道弁が太く発達していることが判明した (引用文献)。これらの特徴から、在来コイは導入コイと比べて活発に遊泳し、深淺方向の移動も得意 (より具体的には、水圧の高い深層に潜った後でも鰾中の気体を保持して浮力を維持できる) ことが予想される。

琵琶湖の在来コイが、実際に秋冬期の沖合で深淺移動を伴う活発な遊泳を行い、かつ、浮力の保持能力に優れているかを確認することは、一般的には浅い水域に生息するコイの深層適応として進化的生物学的に興味深い。また、この課題は、保全生物学上も重要である。実は近年の琵琶湖では、暖冬の年に起こる深層の低酸素化が問題となっており、この影響を正しく把握するためにも、在来コイの沖合深層での生活実態の解明は急務となっているからである。一方、このように重要な課題でありながら、広大な沖合深層でのコイの行動は、直接観察することがほぼ不可能なために解明は全く進んでいなかったというのが本研究の開始前の状況であった。

2. 研究の目的

そこで本研究では、琵琶湖に残存する日本在来コイの (とくに 30cm 以上の大型個体の) 非繁殖期 (秋～冬) における沖合深層での行動を動物装着型の小型データロガーを用いて解明することを目的とした。ロガーに記録された運動・環境データを解析することにより、実際の遊泳行動の様子を把握するだけでなく、浮力保持能力を検討することも目標とした。

3. 研究の方法

琵琶湖沖合で、データロガー付きの在来・導入コイを放流し、放流後 5 日間のデータを比較することにより在来コイの遊泳行動および浮力保持能力を調べた。解析に用いたコイは、春から夏に繁殖のために沿岸域の浅場に来遊したものを捕獲し、DNA マーカー (引用文献) で在来度 (導入コイとの交雑度) を確認して秋・冬期の放流実験まで畜養池で休ませた。データロガーは、水深、水温、速度、3 軸加速度を記録するものを用い、放流から 5 日後に自動で魚体から切り離され水面に浮上したものを電波発信機からの電波を頼りに探索して回収した。放流は非繁殖期の秋と冬に一度ずつ行った。一度の放流実験では基本的に、在来コイ (導入コイとの交雑度が低いもの) 1 個体と導入コイ 1 個体を同時に琵琶湖中央部の同地点から放流することとし、1 年で 4 個体、3 年で 12 個体のデータを取得する計画とした。ロガーに記録されて

いたデータの比較解析を行うことにより、在来・導入コイの遊泳行動・浮力調節能力の違いを検討した。

4. 研究成果

3年で11個体からのデータを獲得した。データロガーが回収できない事例(切り離し設定時刻を過ぎて陸上から電波が検出できない:おそらく水中にとどまったまま)が散発し、埋め合わせの追加放流実験を行ってやっと11個体のデータを獲得したが、2年目以降には畜養池の不調で放流前に在来コイが死亡するトラブルもあり、最終的には在来コイ2個体、導入コイ9個体のデータ取得となった。在来コイのデータが少ないが、上記11個体の運動・環境データの比較から以下の傾向を読み取った。

まず、温度成層の残る秋期(9-10月)の放流実験では、在来コイも導入コイも水温の高い浅い水深で遊泳したが、表層の水温が深層と同程度に低下する冬期(11-2月)には、どちらも数十mを越える深層に進出した。その際、在来コイは表層から深層までの移動を活発に繰り返したが、導入コイは、一度湖底に達するとほぼ二度と表層に戻らなかった。また、冬期の在来コイのデータについて、3軸加速度から割り出した遊泳努力(尾鰭を振るピッチ)と潜行・浮上時の実際の遊泳速度とを照合した結果、在来コイは深層への潜行を繰り返した後でも、表層に戻ると中性浮力を回復する(つまり浮力保持能力をもつ)様子が読み取れた。

以上の研究結果から、琵琶湖に残存する在来コイは、体型や鰾系の形態から推測されるように、冬期の沖合深層では深淺移動を伴う活発な遊泳活動を行っており、それを可能とする浮力保持能力も備えていることが示唆された。在来コイの例数が少ないため、今後このデータを増やしていく必要があるが、本研究により、在来コイの深層での動きについて初めて科学的知見が得られた意義は大きい。この知見に基づく今後の研究展開は、活発な遊泳活動の意義(頻繁な深淺移動は何のため?)を解明する方向に進むだろう。本研究では試験的に、一部の大型コイにカメラを搭載し、少なくとも浅場では良好な画像が取れることを確認した。今後は、照明付きのカメラを搭載するなどして、在来コイが深層で何をしているかを画像データから解明していく調査を計画している。

<引用文献>

Mabuchi, K., H. Senou, T. Suzuki, and M. Nishida. 2005. Discovery of an ancient lineage of *Cyprinus carpio* from Lake Biwa, central Japan, based on mtDNA sequence data, with reference to possible multiple origins of koi. *Journal of Fish Biology*, 66: 1516-1528.

Mabuchi, K., M. Miya, H. Senou, T. Suzuki and M. Nishida. 2006. Complete mitochondrial DNA sequence of the Lake Biwa wild strain of common carp (*Cyprinus carpio* L.): further evidence for an ancient origin. *Aquaculture*, 257: 68-77.

Mabuchi, K., H. Senou, and M. Nishida. 2008. Mitochondrial DNA analysis reveals cryptic large-scale invasion of non-native genotypes of common carp *Cyprinus carpio* in Japan. *Molecular Ecology*, 17: 796-809.

丸山為蔵・藤井一則・木島利通・前田弘也. 1987. 外国産新魚種の導入経過. 水産庁研究部資源課. 東京. 157pp.

馬淵浩司・西田 睦. 2006. PCR法を用いた琵琶湖産野生型コイのミトコンドリアDNAの簡易識別法. *水産育種*, 35: 19-23.

馬淵浩司・瀬能 宏・武島弘彦・中井克樹・西田 睦. 2010. 琵琶湖におけるコイの日本在来 mtDNA ハプロタイプの分布. *魚類学雑誌*, 57: 1-12.

Mabuchi, K., H. Song, H. Takeshima, and M. Nishida. 2012. A set of SNPs near or within STR regions useful for discriminating native Lake Biwa and introduced "Eurasian" strains of common carp. *Conservation Genetics Resources*, 4: 649-652.

滋賀県水産試験場. 1915. 琵琶湖水産調査報告 第3巻. 196 pp.

Atsumi K., H. Y. Song, H. Senou, K. Inoue, and K. Mabuchi. 2017. Morphological features of an endangered Japanese strain of *Cyprinus carpio*: reconstruction based on seven SNP markers. *Journal of Fish Biology*, 90: 936-953.

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)

馬淵浩司・松崎慎一郎. 2017. 日本の自然水域のコイ: 在来コイの現状と導入コイの脅威. *魚類学雑誌*, 64: 213-218. (査読あり)

Atsumi K., H. Y. Song, H. Senou, K. Inoue, and K. Mabuchi. 2017. Morphological features of an endangered Japanese strain of *Cyprinus carpio*: reconstruction based on seven SNP markers. *Journal of Fish Biology*, 90: 936-953. (査読あり)

[学会発表](計9件)

吉田誠・馬淵浩司・佐藤克文. 琵琶湖におけるコイ2型の浮力調節能力の違いに対応した採餌戦略. 日本生態学会第65回大会. 2018年.

馬淵浩司. 琵琶湖で生き残った日本在来コイ - その保全に向けて -. 平成29年度びわ湖セミナー(招待講演). 2018年.

吉田誠・馬淵浩司・佐藤克文. 琵琶湖沖合におけるコイの遊泳行動と摂餌様式. 第13回日本バイオロギング研究会シンポジウム. 2017年.

馬淵浩司. 日本在来コイの現状と琵琶湖における生態調査. 第20回自然系調査研究機関連絡会議 調査研究・活動事例発表会. 2017年.

吉田誠・馬淵浩司・小玉将史・井上広滋・佐藤克文. 琵琶湖沖合におけるコイの採餌行動: 動物搭載型ビデオで観察された多様な摂餌パターン. 2017年度日本魚類学会年会. 2017年.

馬淵浩司. 日本の河川におけるコイ養殖品種の現況. 2017年度日本魚類学会市民公開講座(招待講演). 2017年.

吉田誠・馬淵浩司・井上広滋・佐藤克文. 琵琶湖沖合における日本在来および導入コイの遊泳行動. 2016年度日本魚類学会年会. 2016年.

馬淵浩司. コイは外来種か? 最新のDNA研究から見えてきたこと. 2016年度日本魚類学会市民公開講座(招待講演). 2016年.

渥美圭佑・馬淵浩司・瀬能宏・井上広滋. 琵琶湖内にみられるコイの体形の地域間変異. 日本生態学会第63回大会. 2016年.

〔図書〕(計1件)

馬淵浩司. 2018. コイ目コイ科コイ亜科コイ属コイ. 中坊徹次(編). pp.88-89. 小学館の図鑑Z 日本魚類館. 小学館.

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

馬淵 浩司 (MABUCHI KOHJI)

国立研究開発法人国立環境研究所・生物・生態系環境研究センター・主任研究員

研究者番号: 50401295

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし