

論文の内容の要旨

水圏生物科学 専攻

平成 20 年度博士課程 進学

氏 名 萩原 聖士

指導教員名 塚本 勝巳

論文題目 熱帯ウナギの降海回遊と産卵に関する生理生態学的研究

ウナギ属魚類 (以下, ウナギ) の研究は温帯ウナギを中心に進んできており, 熱帯ウナギの研究は遅れている. 系統的に古いとされる熱帯ウナギの研究は, ウナギという生物の本質的理解を大きく進める. 本研究では熱帯ウナギの *Anguilla celebesensis* と *A. marmorata* を主な対象とし, 生活史イベントの中でも重要な降海回遊と産卵に関する生理学的・生態学的基礎知見を集積することを目的とした.

1. 分布と成長

2009 年 2, 11, 12 月, 2010 年 1, 5, 7, 10 月, インドネシア・スラウェシ島のポソ川下流, ポソ湖, ポソ湖流入河川, トミニ湾流入河川, トヲリ湾に流入するラ川で延縄, 鰻筒, 電気ショッカー, 叉手網を用いて定着期のウナギ 157 個体を採集した (非回遊群). また, ポソ湖流出口では築により 104 個体を採集した. これらは降海回遊を開始した個体とみなした (回遊群). 形態学・分子遺伝学的形質により, *A. celebesensis* 99 個体, *A. marmorata* 157 個体, *A. bicolor pacifica* 4 個体, *A. interioris* 1 個体の 4 種・亜種に同定した. *A. marmorata*

はポソ川下流 (94%), ポソ湖内 (93%), トミニ湾流入河川 (100%), ラ川 (92%) で優占した。一方 *A. celebesensis* はポソ湖流入河川 (64%) に多く, ポソ湖内 (4%) ではわずかであり, 他の場所では出現しなかった。耳石 Sr/Ca 比を調べたところ, *A. celebesensis* では海ウナギが 1 個体のみ出現し, 大多数は川ウナギであった。*A. marmorata* はポソ川下流で採集した 17 個体のうち 9 個体が河口ウナギ, 6 個体が海ウナギだった。これらの結果から, 種により生息域の利用状況が異なると考えられた。

A. celebesensis の性比は著しく雌 (99%) に偏った。*A. marmorata* の性比も全体では雌 (73%) に偏ったが, 場所別にみるとポソ湖, ポソ湖流入河川, ラ川では雌が 95 ~ 100% と優占したのに対し, ポソ川下流とトミニ湾流入河川では雄がそれぞれ 77, 87% と優占した。これより, 雌雄でも生息域の利用状況が異なると考えられた。

耳石の透明帯・不透明帯の周期性の解析から輪紋が年輪であることを確認した。*A. celebesensis* の雌 (333 - 1083 mm) は 3 - 11 歳, 雄 (349 mm) は 3 歳, *A. marmorata* の雌 (182 - 1630 mm) は 2 - 23 歳, 雄 (198 - 690 mm) は 2 - 7 歳だった。*A. celebesensis* の雌の成長率は 98.9 ± 15.8 mm/年, 雄は 99.7 mm/年, *A. marmorata* の雌は 95.0 ± 19.2 mm/年, 雄は 83.6 ± 12.4 mm/年だった。*A. marmorata* の雌雄の成長率を同年齢群ごとに比較すると, 非回遊群の 5, 6, 7 歳で雌の成長率が有意に高かった。2 種の成長率を比較すると回遊群の 8 歳で *A. marmorata* の成長率が有意に高かった。

2. 降海回遊魚の生物学的特徴

回遊群の種組成は 10 ~ 2 月には *A. celebesensis* が 76 ~ 92% と大半を占めたが, 5 月と 7 月には *A. celebesensis* は出現せず, *A. marmorata* がそれぞれ 96, 100% を占めた。種同定していない年間降海個体数のデータから種毎の降海時期を推定すると, *A. celebesensis* は 11 ~ 2 月に多く降海し, *A. marmorata* の降海は 5 月頃をピークとしてほぼ周年に亘ることがわかった。

降海全長・年齢は, *A. celebesensis* の雌では 585 - 1083 (785.2 ± 114.9) mm で 5 - 11 (7.5 ± 1.6) 歳であったのに対し, *A. marmorata* の雌は 800 - 1630 (1132.2 ± 173.7) mm で 7 - 23 (11.6 ± 3.3) 歳と, より大型高齢であった。

銀化の進行にしたがって銀化段階を Y1, Y2, S1, S2 に分類した。肥満度 (K), 眼径指数

(EI), 胸鰭長指数 (FI), 生殖腺指数 (GSI), 肝臓指数 (HSI), 消化管指数 (DSI), 鰾指数 (SSI), 心臓指数 (CSI) を用いて主成分分析を行ったところ, *A. celebesensis* では Y1 と Y2 の間で劇的に形態・生理的变化が起こり, Y2 以降は大きな変化は無いと判断されたが, *A. marmorata* ではこの変化は銀化の進行に伴い緩やかに生じることが分かった.

回遊群と非回遊群の形態・生理的パラメータを比較したところ, 2 種とも降海に伴い眼径, 胸鰭長, 生殖腺, 肝臓, 鰾, 心臓が増大し, 消化管が退縮することが分かった. *A. celebesensis* の非回遊群はすべて Y1 で, 回遊群には Y2 (58%), S1 (20%), S2 (22%) が出現した. *A. marmorata* では非回遊群に Y1 (67%) と Y2 (33%), 回遊群には Y2 (65%) と S1 (35%) が出現した. これらの結果から, 降海に伴って銀化, 視覚, 浮力調節, 循環機能など海洋回遊への機能的適応と産卵に向けた生殖腺の発達が平行して起こることが分かった.

3. 成熟とホルモン動態

A. celebesensis の回遊群の最大卵群卵径 ($392.2 \pm 49.3 \mu\text{m}$) は *A. marmorata* のそれ ($229.8 \pm 35.5 \mu\text{m}$) に比べて大きかった. 生殖腺の組織観察を行ったところ *A. celebesensis* の回遊群では, 油球期のものが 3%, 第一次卵黄球期が 36%, 第二次卵黄球期が 61% と, 大多数が卵黄形成期まで発達が進んでいたが, *A. marmorata* では油球期が 81% と大部分を占め, 第一次卵黄形成期は 19% であった. *A. celebesensis* の降海時の成熟度は, *A. japonica*, *A. anguilla*, *A. rostrata*, *A. australis* などの温帯ウナギに比べても著しく高いことが分かった.

孕卵数は *A. celebesensis* (585 - 1083 mm) が 1,881,600 - 11,465,400 粒, *A. marmorata* (800 - 1630 mm) は 10,060,120 - 57,711,360 粒と推定され, *A. marmorata* の孕卵数は温帯ウナギに比べても著しく多いことが分かった.

脳下垂体での生殖腺刺激ホルモン (FSH β と LH β) mRNA の発現量を Real-time PCR 法により, 性ステロイド (テストステロン: T, 11-ケトテストステロン: 11-KT, エストラジオール 17 β : E2) 血中量を時間分解蛍光測定法により測定した. 2 種とも降海に伴い FSH と LH が上昇した. 卵発達段階ごとに見ると, *A. celebesensis* では FSH は油球期から上昇し, LH は第一次卵黄球期になってはじめて上昇したのに対し, *A. marmorata* では FSH と LH は同調して油球期に上昇した. 2 種とも T と 11-KT は降海に伴い上昇したが, E2 は *A. celebesensis* では上昇し, *A. marmorata* では減少した. 卵発達段階ごとに見ると, *A. celebesensis* では 11-KT

は油球期から上昇して卵黄形成期にも高いレベルを維持し、E2 は卵黄形成期において高いレベルだった。 *A. marmorata* では 11-KT は第一次卵黄球期になって始めて上昇し、E2 に有意な変化は無かった。 これら降海と成熟に伴う生殖腺刺激ホルモンと性ステロイドの動態は、 *A. celebesensis* では温帯ウナギと概ね同様であったが、 *A. marmorata* では LH, 11-KT, E2 の挙動が異なっていた。

4. 産卵親魚の生物学的特徴

マリアナ諸島西方海域において 2008 年 6 月, 2009 年 6 月, 2010 年 8 月に中層トロールで採集した *A. marmorata* の雌 2 個体 (F-1, F-2), 雄 2 個体 (M-1, M-2) の生物学的特徴を調べた。 F-1 は全長 1223 mm で 12 歳, F-2 は全長 996 mm で 13 歳, M-1 は全長 623 mm で 6 歳, M-2 は全長 457 mm で 6 歳であった。 mtDNA 調節領域の塩基配列を調べたところ, 4 個体とも北太平洋集団の個体と 99%以上相同であったことから, 北太平洋集団の産卵親魚と判断された。 これらは腹側まで黒化し, 降海中の個体には見られなかった S2 になっていたことから, 海洋回遊中に銀化がさらに進行するものと考えられた。 F-1 の卵巣には排卵後濾胞が観察されたことから明らかに産卵後の個体と判断された。 また, 2 個体とも河川で採集された個体の最大卵群卵径と生殖腺全長指数 (GW/TL^3) の近似式から大きく外れたこともこれらが産卵経験個体であることを示唆した。 さらに F-2 の孕卵数 (残卵数) を推定したところ, わずか 481,789 粒であり, 河川で採集された個体の全長と孕卵数の近似式から得られる推定総孕卵数 (16,889,501 粒) との差より, 既に卵巣卵の約 97%を産卵した後である可能性がある。 一方, 最大卵群卵径は F-1 が 488.2 μm , F-2 が 699.8 μm で, 2 個体とも卵黄形成期の卵母細胞を持っており, 且つ卵径の頻度分布が双峰型であったことから, 今後も産卵を行うことが示唆された。 LH, T, 11-KT, E2, DHP の測定値は, 河川内の平均値よりも 1.1 ~ 6.2 倍高く, 次回の産卵に向けて卵発達途上の生理状態と推察された。

本研究ではこれまで全く報告のなかった熱帯ウナギの分布, 成長, 降海, 成熟, 産卵に関する知見を数多く集積した。 これらの新知見はウナギ全体の理解を大きく進め, 世界的に減少を続けるウナギ資源の保全に寄与する基礎情報となる。