

北里大学大学院海洋生命科学研究科

論文内容要旨

フグ目フグ科およびハリセンボン科魚類の水族
館での繁殖に関する研究

土井 啓行

平成 28 年 1 月

フグ目魚類は世界中の温帯から熱帯水域に分布し、10科400種以上からなる多様な形態および生活史を示すグループである。硬骨魚類の中では最も特化したグループとされ、遺伝学的にも無駄な配列の削除によってゲノムサイズがほ乳類の約8分の1しかないことなど極めて特異的で、なかでもフグ科魚類 Tetraodontidae はゲノム科学のモデル生物として注目されている。フグ科魚類はフグ目魚類 Tetraodontiformes のなかで唯一、熱帯の汽水域、淡水域に進出した属を含み、海産魚の淡水適応進化を知る上でも好例でもある。さらに、フグ科魚類が沈性粘着卵を産卵するのに対して、本科に最も近縁とされるハリセンボン科魚類 Diodontidae の多くが分離浮性卵を産卵するなど、フグ科およびハリセンボン科魚類は産卵生態等の適応進化の研究対象としても興味深い。一般にフグ目魚類は養殖が盛んなトラフグ *Takifugu rubripes* や飼育が容易なクサフグ *Ta. niphobles* など、一部のフグ科魚類を除けば産卵生態や初期発育の情報が乏しく、上述した適応進化の研究には障壁となっている。一方、下関市はトラフグに関する産業が最も盛んであることから、下関市立しものせき水族館・海響館（以下、海響館と呼ぶ）でも展示の一つの柱としてフグ目魚類の収集を行っている。しかしながら多くのフグ目魚類は入手が困難で、展示の維持のために水族館内での人工繁殖が望まれている。

このような背景の下、海響館では飼育設備を利用して様々な展示種の繁殖に挑戦しており、フグ目魚類についても、30種において自然ないし人工授精での受精卵を取得している。本研究では、その中の19種について仔稚魚を育成することができた。すなわち、海響館において育成したフグ目魚類のうち、重要な水産資源となっているフグ科トラフグ *Takifugu* 属5種の発育、淡水適応したフグ科 *Tetraodon* 属5種および *Carinotetraodon* 属3種の発育、そしてハリセンボン科4属（*Allomycterus* 属、イシガキフグ *Chilomycterus* 属、メイトイシガキフグ *Cyclichthys* 属、ハリセンボン *Diodon* 属）8種の産卵を記録し、フグ目フグ科およびハリセンボン科魚類の生態的および適応進化的特徴の一端を明らかにしたもので、成果の概要は以下の通りである。

1. フグ科トラフグ属5種の産卵および発育

フグ科トラフグ属には25種が知られ、フグ毒（tetrodotoxin）を有するにもかかわらず多くの種が食用種となっている。トラフグについては、比較的古くから種苗生産と養殖が行われているが、その他の種では初期生活史の詳細は必ずしも明らかではないため、クサフグ、ヒガンフグ *Ta. pardalis*、コモンフグ *Ta. poecilinotus*、シヨウサイフグ *Ta. snyderi*、ゴマフグ *Ta. stictonotus* の5種について人工授精を行って初期発育過程を観察した。

すべての種において卵は1mm前後の球形で沈性粘着卵であった。ヒガンフグでは黒色素胞が腹部のほぼ全面に多数散在し、ゴマフグでは腹部、卵黄上にわずかに散在していた。コモンフグでは黒色素胞よりも黄色素胞が体全体に優先していた。肛門後方に黒色素胞が顕著であればクサフグ、黄色素胞が顕著であればシヨウサイフグと識別できた。魚体全体における黄色素胞および赤色素胞の出現は、5種のなかで前期仔魚期、後期仔魚期、稚魚期を通してコモンフグおよびシヨウサイフグが最も高密度であった。

仔魚期の成長速度はヒガンフグが若干速く、他はほぼ同様であった。稚魚期以降はゴマ

フグ、ヒガンフグの成長が速く、ショウサイフグが中間で、クサフグおよびコモンフグは遅かった。また、トラフグで報告されているような飼育中の噛み合いによる尾鰭欠損はクサフグ、ゴマフグでは認められず、コモンフグではふ化後35日前後で一時的に、ヒガンフグではふ化後25日前後より継続して顕著に、ショウサイフグではふ化後60日前後より継続して認められた。コモンフグおよびショウサイフグでは人影に対して顕著な逃避行動が認められたのに対し、ヒガンフグでは逆に人に接近してくる行動が観察された。

以上のように、トラフグ属 5 種では成魚のサイズが大きい魚種は成長が速かった。噛み合い行動についてはヒガンフグ、ショウサイフグ、コモンフグの順にその傾向が強く認められ、また、逃避行動がコモンフグおよびショウサイフグで顕著であった。これらの相違は繁殖時期、仔稚魚の生息環境など生態的な違いに起因する可能性がある。

2. 東南アジア産汽水淡水フグ科 8 種の産卵と初期発育

フグ科 27 属 184 種のうち 4 属 27 種が東南アジア、アフリカ、南アメリカの熱帯淡水域に生息している。海産魚類が淡水域に進出する場合、しばしば大卵少産化と卵保護という繁殖戦略をとる。しかし、そのような観点からの淡水フグ類の繁殖生態はほとんど調査されてこなかったことから、東南アジア産汽水淡水フグ類 8 種 *Tetraodon biocellatus*, *Te. cochinchinensis*, *Te. cutcutia*, *Te. palembangensis*, *Te. turgidus*, *Carinotetraodon irrubescens*, *Ca. lorteti*, および *Ca. travancoricus* の産卵生態と仔稚魚の発育を観察した。

8 種のうち、汽水で産卵したのは *Te. biocellatus* のみで、その他 7 種は淡水で産卵した。産卵戦略について 3 タイプが観察された。すなわち、*Te. cochinchinensis*, *Te. cutcutia*, *Te. palembangensis*, *Te. turgidus* は産卵基質として投入した円筒内底面で一層にまとめて産卵し、雄がそれを保護した。*Ca. travancoricus* は水草やネットの間に少数産卵し、雄がそれを保護した。*Te. biocellatus* は底砂の上に産卵、*Ca. irrubescens*, *Ca. lorteti* は水草等の周辺の底砂に卵をばらまき、保護を行わなかった。*Te. biocellatus* を除く *Tetraodon* 4 種はより大きな卵を産み、卵を保護しかつ成長が速かったが、*Te. biocellatus* は最も小さな卵を産み、卵保護を行わなかった。一方、*Carinotetraodon* 3 種は *Tetraodon* 属と比較すると卵径も小さく成長速度も遅かったが、*Ca. irrubescens* の卵は最も小さく 1mm 以下であった。*Ca. travancoricus* のみは卵を保護した。

仔稚魚は成長の速いグループ (*Te. cochinchinensis*, *Te. cutcutia*, *Te. palembangensis*, *Te. turgidus*) と遅いグループ (*Te. biocellatus*, *Ca. irrubescens*, *Ca. lorteti*, *Ca. travancoricus*) に分けられた。前者の速い成長のグループの *Tetraodon* 属 4 種は成魚サイズが大きいことが知られている。

上述したように、汽水淡水域に生息するフグ科魚類のように二次的に淡水適応した魚類は、一般に大卵を少数産卵し、それを保護する傾向があるとされる。本研究で、8 種の卵径および成長を比較したところ、大きな卵を産卵する種は、卵を保護し、成長が速い傾向にあったが、一部の魚種では海産のトラフグ属 5 種のように卵径約 1mm の卵を産卵し、雄による保護は観察されなかった。一方、東南アジア産汽水淡水フグ科 8 種においても速い成長のグループは成魚サイズが大きく、トラフグ属 5 種と同じ傾向を示した。これら繁殖戦略の違いは、淡水環境における仔魚の餌サイズや捕食圧に関わる可能性がある。フグ類の淡水環境への適応をより良く理解するためには、さらなる環境情報や生態的な知見の集積が必要である。

3. ハリセンボン科魚類 8 種の産卵および初期発生

ハリセンボン科魚類は熱帯域および温帯域に7属17種2亜種が分布する。フグ科魚類とは対照的に、ハリセンボン科魚類の既報種は分離浮性卵を産卵し、仔稚魚あるいは若魚は外洋水域に移行するとされている。また、ふ化仔魚の頭部および躯幹部は厚い外膜“vesicular dermal sac”（または“pliable shell”）で覆われていることが報告されている。

そこで、ハリセンボン科4属8種、すなわち *Allomycterus pilatus*, *Chilomycterus antennatus*, イシガキフグ *Ch. reticulatus*, *Ch. schoepfi*, メイタイシガキフグ *Cyclichthys orbicularis*, ハリセンボン *Diodon holocanthus*, ネズミフグ *D. hystrix*, *D. nithemerus* が水槽内で産卵したので、その卵の性状および発生の進んだ6種のふ化仔魚を観察した。

観察した8種すべてにおいて、親魚雌の腹部は産卵数日前に膨らみ、産卵後24時間内に親魚雌の腹部が縮小した。*Ch. antennatus*, イシガキフグ, *Ch. schoepfi*, メイタイシガキフグ, ハリセンボン, ネズミフグの6種の卵は既報のように分離浮性卵であったが、オーストラリア南部からニュージーランドにかけた狭い範囲に分布する *A. pilatus* および *D. nithemerus* の2種は、既報の記述とは異なり、沈性粘着卵を産出した。8種のうち、*Ch. antennatus* とイシガキフグの卵は未受精卵であった。水族館においては、同一水槽内で複数種を混合飼育することがあるため、親魚の観察および育成した仔稚魚の形態から同定を行う必要があるが、6種の受精卵は発生が進み、育成することにより種を確実に同定することができた。

6種とも卵は球形で、ふ化仔魚の頭部および躯幹部は厚い外膜“vesicular dermal sac”で覆われていた。メイタイシガキフグについては、その後も詳細な観察を続け、ふ化後17日に各鰭条が完成、背面に棘原基が出現し、ふ化後39日の全長20.8 mmの稚魚体の棘は不動となった。

以上のように、ハリセンボン科魚類においては、すべての種において仔魚の頭部と躯幹部が“vesicular dermal sac”に覆われていること、*A. pilatus* と *D. nithemerus* の2種を除く6種で分離浮性卵を産卵することが確認できた。フグ目魚類においては、マンボウ科 Molidae, ハコフグ科 Ostraciidae およびギマ科 Triacanthidae 魚類が分離浮性卵を産むとされている。さらに、マンボウ科やハコフグ科魚類は、ハリセンボン科魚類と同様に仔魚の頭部と躯幹部が“vesicular dermal sac”に覆われている。しかしながら、ハリセンボン科魚類に最も近縁なグループはフグ科魚類とされており、マンボウ科やハコフグ科魚類とはむしろ離れた類縁関係にあるため、卵の性状や仔魚形質におけるこれら類似は、浮遊生活をするための適応と収斂の結果である可能性を示している。一方、例外的に沈性粘着卵を産むことが確認された *A. pilatus* および *D. nithemerus* の分布範囲は限定的である。他のハリセンボン科魚類の多くは世界中の熱帯から温帯域に広く分布することから、2種の卵が沈性粘着であることと、その分布域の狭さとの間に関連性があることが示唆される。

本研究で明らかになったフグ科およびハリセンボン科魚類の産卵生態、仔稚魚期の行動や発育の違いは、日常的な水族館業務における飼育観察を通して判明したことである。また、自然界における仔稚魚の生態的相違を反映し、これら魚類の適応進化のあり方を示唆している。産卵生態等の野外調査を計画する上でも、貴重な指針となると考えられる。以上、水族館における繁殖の取り組みは、希少魚の増殖に資するだけでなく、重要水産資源魚種の生態解明や魚類の適応進化過程解明の一助になる。