HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	特殊な産卵特性に関連するキアンコウ初期生活史の生残戦略
Author(s)	石川, 智也
Description	この博士論文の全文は利用可能日以降に公開されます。利用可能日以前の閲覧方法は https://www.lib.hokudai.ac.jp/dissertations/copy-guides/ をご参照ください。
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(水産科学)
Dissertation Number	甲第16702号
Issue Date	2026-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16702
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99547
Type	doctoral thesis
File Information	Tomoya_Ishikawa_abstract.pdf, 論文内容の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称：博士（水産科学）　　氏名：石川　智也

学 位 論 文 題 目
特殊な産卵特性に関連するキアンコウ初期生活史の生残戦略

【はじめに】

海産硬骨魚類の多くは小型の子を多産し，内的自然増加率を高くする繁殖戦略をとっている．特に卵仔稚魚は小型であるために遊泳速度がないか微弱であるために餌獲得能力と被食回避能力が低く，生残に不適切な環境から逃避する能力も低い．この生活期初期の高死亡率は「初期減耗」と呼ばれており，その年変動は個体群変動の主要因と考えられている．また初期減耗に及ぼす影響は，魚種や個体群によって異なる．そのため初期減耗を低下させるための生残戦略を，種や個体群ごとに解明・理解することは，適切な資源利用・保全施策を実現するための最も重要な課題のひとつである．

キアンコウは東アジア温帯部の沿岸域に生息する大型底生魚類で，底曳網や刺網によって漁獲・食用利用されている．また本邦太平洋北部海域では比較的漁獲量も多いことから，資源量の動向がモニターされている．本種の産卵生態は特有で，浮遊性のゼラチン質卵塊（以下，卵帯）を産むため，容易に卵の分散や被食回避に役立つことは想像できる．しかし卵帯からのふ出前後の具体的な初期減耗過程はほとんど未詳である．そのため本研究は，キアンコウの卵帯および中の胚の形態学的特徴の記載（第I・II・III章），卵帯内の発生過程と水温の関係（第II章），卵帯内で成育する期間（第II章），野外で卵帯が成育する時期を決定する要因（第III章）といった生物学的基礎情報と，卵帯の受動輸送特性（第III章），卵帯のゼラチン質膜の機能（第IV章）といった生残戦略にまつわる調査を総合的に実施し，卵帯を産むという産卵特性が本種の生残にどのような役割を果たしているのか議論した．

【材料と方法】

津軽海峡青森県下北半島沿岸部において，産卵期にあたる 5–7 月にプランクトンネットを曳網して仔魚の出現状況を把握し，卵帯を捜索・採集した．採集した卵帯の一部は飼育実験に供した．また，北海道函館市周辺海域において 6 月に漁獲された成魚を飼養した．

卵帯および卵の形態学的特徴　卵帯がどのような形態で産出されているのか知るため，飼育管理下で雌成魚が産出した卵帯の形態測定を行った．雌成魚は容量 4 トンの水槽に収容し，水温 13℃塩分 32 で管理した．産出した卵帯は水槽から引き揚げ，長さ，長さを 8 等分するように 7 か所の幅，重さ，体積および卵数を測定した．次に，どのような形態で海洋に存在しているのかを把握するため，野外で卵帯の出現状況を調査した．下北半島沿岸部では卵帯の漂着状況を記録し，発見時の長さや形状を記録した．

卵の種同定基準に沿った形態的特徴と，卵発生過程を知るために，人工授精と野外採集で得られた卵を後述の適水温範囲内で管理し，先行研究が同属種で定めた発育段階区分に沿って形態を記録した．

卵帯内で成育する期間および適水温範囲　これまで，卵膜からのふ化と，卵帯からふ出する現象の区別が曖昧で，本種初期生活史のイベントの時系列やふ化直後仔魚の形態が統一されておらず，混乱した状況であった．そこで，卵膜からのふ化から卵帯生活期終了までの時系列の整理とその間の仔魚の形態変化をまとめる調査を行った．野外採集した卵帯のうち，卵発生初期の卵帯を後述の適水温範囲内 4 水温区で管理し，卵帯からふ出した仔魚をエタノール溶液で固定した．また，5–7 月に青森県周辺海域でプランクトンネットを用いてキアンコウ仔魚を採集・固定した．これらの仔魚を実体顕微鏡下で観察し，先行研究が定めた発育段階に準拠して判別した．

野外採集した卵帯のうち，卵発生初期の卵帯を 9–24℃の 6 水温区で卵帯からふ出するまで管理し，形態異常を起こさず生残した仔魚の割合を算出した．

野外における産卵条件および卵帯生活期　キアンコウの産卵期は地域差が大きい．そのためどのような条件がこの地域差に影響をおよぼし，卵帯内で成育する期間を推定するため，野外調査で採集された卵帯の産卵日とふ出日の推定を行った．調査は 2022 年の 5–7 月に青森県下北郡風間浦村沿岸域で 1 日 2 回，2 地点で卵帯を捜索・採集し，卵帯内の胚の発育段階を記録した．現場で測定した水温をもとに，飼育実験で得られた水温と発生速度の関係から，産卵日とふ出日を推定した．

卵帯の受動輸送特性　卵帯の特殊な形状がもたらす受動輸送特性を理解するために，陸奥湾湾口部において卵帯を GPS 機能付きドローンで追跡した．北海道大学附属練習船うしお丸航行中に卵帯を通算 4 つ発見し，約 30 m 距離を保った状態で，真上からドローンで撮影 1 件につき約 15 分間追跡した．ドローンの飛行軌跡と卵帯の映像，うしお丸の自動気象観測装置による 1 分ごとの平均風向風速と，ADCP による水深 10 m 層の流向流速を記録した．

卵帯膜の環境ストレス防御機能　腹足類や頭足類で確認されているような，非生物学的なストレスに対して，卵塊のゼラチン質膜が中の胚を守る機能を卵帯が有しているのか知るため，飼育実験を行った．一時的な低塩分暴露に対する耐性を調べるため，3 つの処理区を設けた（塩分 16 一定，開始から 45 時間または 90 時間塩分 16 に暴露して常態塩分 32 に戻す）．各区ふ化後 5 日目までの生残率と成長率を，卵帯に包まれた卵と人為的に膜をはがした卵粒で比較した．

卵帯膜を介した酸素交換方法　両生類，腹足類および頭足類のゼラチン質卵塊で報告されている内部の貧酸素化，それに伴う成長・生残の悪化が卵帯でも起きているのか知るため，飼育実験を行った．卵帯膜を除去した各発育段階の卵仔魚 30 個体をろ過人工海水で満たした容量約 130 mL のガラス瓶に入れ，ガラス瓶に貼ったセンサーを介して溶存酸素量を 9 時間間隔で 2 回測定した．2 回の測定値の差を，卵仔魚を入れずに測定して求めたブランク値で補正し，1 個体あたりの酸素消費速度を算出した．

ふ化直前卵またはふ出直前仔魚の卵帯を 2–3 cm 四方の切片に切り分け，容量約 200 mL の人工海水が入った瓶に 1 枚ずつ収容し，通気を行うか否かによって 72 時間の生残率に差が生じるか調べた．また，ふ出直前仔魚の試験では，24 時間経過時点で通気をいったん止め，真上からの映像を撮影し，仔魚の動きに差があるか動作解析ソフトである KINOVEA を用いて解析した．

卵帯膜の超微細構造　上記の試験で得られた結果が生じたメカニズムを知るために，卵帯膜表面の超微細構造を走査型電子顕微鏡で観察した．親魚が養成中に産んで 1 日経過した卵帯，野外で採集した胚体期の卵を有する卵帯，および同開口前仔魚の計 3 卵帯を一度冷凍・解凍した後に，t-ブチルアルコール凍結観察法で固定，オスミウムコーティングを施して観察した．

【結果と考察】

卵帯および卵の形態学的特徴　卵帯は卵巣の形状を反映した細長いシート状で，約 2 cm 間隔でしわが縦走するという特徴を有した．産出卵帯の長さは既往知見と合わせて，6–12 m の範囲で確認できた．卵は球形または低い扁平率の楕円球形をしており，卵径は 1.8 mm 前後であった．卵の形態は，極めて狭い囲卵腔，単一で無色透明な卵黄，特殊な構造が無い卵膜，1 個か分裂した 2，3 個の油球で特徴づけられた．卵発生過程は後期に黒色色素が頭部，腹腔沿い，尾部を中心に濃密に形成され，全体に黒っぽくなることで特徴づけられた．胚は尾部が曲がり，脊索部が卵を 0.6 周した頃にふ化し，ふ化仔魚は脊索長約 2.5 mm，未開口，上記の部位に濃密な黒色色素叢が確認された．

卵帯内で成育する期間および適水温範囲　プランクトンネット調査で最も多く出現した発育段階と，飼育実験でふ出のピークがみられた発育段階は共通し，卵黄がふ化時の 2 割ほどまで減少し，腹鰭の著しい伸長，正の浮力から中性浮力への転換が起きた直後の仔魚期であった．また，半数以上が形態異常を起こさず卵帯からふ出できる水温範囲は 12–23℃と推定された．この水温を適水温範囲と定め，13–21℃の 4 水温区で胚発生速度を記録したところ，高水温であるほど発生が速く進行し，受精からふ化までに 88–196 時間，受精から卵帯からのふ出に 184–388 時間要した．

野外における産卵条件および卵帯生活期　風間浦村沿岸域では卵帯の出現状況から，産卵は 5 月中旬から 7 月末まで行われ，仔魚は 6 月初旬から 8 月初旬にかけてふ出し，野外環境下の卵帯生活期は 8–17 日間と推定された．産卵時の海表面水温は 11–20℃と推定され，適水温範囲に近かった．既往知見による東シナ海や日本海南西部における産卵期と気象庁の海表面水温情報を照合すると，海表面水温が 11–20℃であることが本種の産卵期を規定していると考えられた．産卵日組成に対して月齢や日長による明瞭な影響は無いと考えられ，既往知見と合わせて本種の産卵条件をまとめると，冬季から夏季にかけての昇温期間中に，海底水温 6–16℃で海表面水温 11–20℃の海域と推定された．

卵帯の受動輸送特性　3 件の追跡はいずれも干潮 1 時間前から干潮時にかけて実施され，陸奥湾の湾外方面（北方）へ輸送された．水深 10 m 層の流速（m/s）に対する卵帯の移動速度（m/s）の比の平均値は，平均流速 0.08 m/s，0.16 m/s，0.27 m/s の試行で 1.42，0.67，0.67 となり，干潮時で流速が遅く流向が不安定な試行を除く 2 件の追跡で，卵帯は流速の 7 割程度に減速されて輸送された．また現場の流速や風速が変化しても卵帯の速度は変化しなかったことから，現場の海流よりも減速しつつ輸送されることで，産卵場である沿岸域に留まる機能を有する可能性がある．

卵帯膜の環境ストレス防御機能　胚の生残率や成長率は，卵帯膜を人為的に除去することで塩分変化の負の影響を強く受けるようになったことから，卵帯膜は塩分変化から胚を守る機能があることが示唆された．卵帯は不適な環境に曝されても膜と内部の液体を介して，受けるストレスを急性から慢性にすることで胚を守る．また，卵帯膜は中の液体を漏出させず，24 時間の干出を経ても胚の死亡を防いだ．しかし 24 時間の高温暴露は有意に生残率を低下させたことから，高温への防御機能は認められなかった．これらの結果から，卵帯のゼラチン質膜はいくつかの沿岸域で生息する際に生じると想定される環境ストレスから胚を守る役割があると示された．

卵帯膜を介した酸素交換方法　卵帯生活期の卵・仔魚の酸素消費量は，同様の水温帯で，同様の体サイズの他の硬骨魚類で測定された値と近く，卵帯内の極めて狭い空間に合わせた呼吸をしているとはいえなかった．酸素消費量が最も低い卵期の値をもとに計算しても，卵帯内の酸素は約 1 時間半で使い切ると推定され，卵帯膜を介して卵帯内への酸素供給は盛んにおこなわれていることが示唆された．卵帯管理の際の通気の有無の影響を調べたところ，ふ化前後の実験区では無通気条件で有意に生残率が低下した．よって通気による乱流が卵帯膜を介した卵帯内への酸素供給を高めていると考えられた．一方でふ出直前の仔魚の実験区では通気の有無は生残率に影響しなかった．仔魚の行動を解析すると，無通気条件下の方が頻繁かつ速く動いており，酸素消費量が増えた仔魚期では，内部で仔魚が動くことで生じる内部の乱流も卵帯膜を介した卵帯内への酸素供給を高めていると推察された．

卵帯膜の超微細構造　625 倍までの比較的低倍率の視野では，卵帯膜に内部の液体と外部の海水を循環させるための小孔のような構造はみられず，平滑な表面構造をとっていた．12,600–37,700 倍の高倍率の視野では，卵帯膜は主に繊維構造で構成されており，繊維構造の中に水分を保持して形成される，ハイドロゲルの一種であると考えられ，固体と液体両方の性質を併せ持つことが示唆された．卵帯膜が小孔の無いハイドロゲルであることは上記の卵帯膜の試験において，外部の急激な塩分変動下でも内部の塩分変動を緩慢にする機能，干出時でも内部の液体を漏出させない機能，濃度勾配により膜を介した内部へ酸素を供給する機能が働いた可能性を示唆する．また，胚の発生が進むほど繊維が太くなり粒状物質に変化していたことから，ふ出に向けて溶解しながら構造が変化していると予想された．

まとめ　卵帯を産むというキアンコウの特殊な産卵特性に関連する本種の生残戦略として，①分離浮性卵のように遠隔地への輸送を前提とするよりも，沈性卵および付着卵のように受精卵から摂餌開始期直前まで産卵場である沿岸域に留まりやすい輸送過程を経ること，②沿岸域で受けうるストレスを卵帯膜で軽減するといった防御機能，③ゼラチン質卵塊は内部が貧酸素環境に陥りやすいという欠点を，海表面で生じる乱流によって解消しているといった点を提唱する．