

2010. 6

特集号



国立大学法人 高知大学学報

(題字：相良祐輔学長)

高知大学学位授与記録第四十一号

総務課広報室発行

本学は、次の者に博士（学術）の学位を授与したので、高知大学学位規則第15条に基づき、その論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

 *
 *
 *
 *
 *

高知大学学報

本学は、次の者に博士（学術）の学位を授与したので、学位規則（昭和28年文部省令第9号）第8条の規定に基づき、その論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

目 次

学位記番号	氏 名	学 位 論 文 の 題 目	ページ
甲黒博第 12号	山田 ちはる	高知県浦ノ内湾における外来種ミドリガイの生態学的特性	1
甲黒博第 13号	八木 佑太	有明海における魚類の成育場に関する研究	6
甲黒博第 14号	原口 展子	高知県沿岸に生育するホンダワラ類の分布変化と温度に対する生育特性	10
甲黒博第 15号	永野 一郎	Analytical studies on the infection of yellowtail pseudotuberculosis -How to perceive disease phenomenon- ブリ類結節症に関する分析的研究 一病気現象の帰納的分析による論理的評価の提言一	16
甲黒博第 16号	中出 美代	Foundations and experimental research for strategies to promote the movement entitled "Early to Bed,Early to Rise, and Don't Forget Your Breakfast" -A study of the effects of tryptophan and vitamin B6 content in breakfast and sun exposure- 「早ね・早おき・朝ごはん」推進のための方策に関する基礎及び実証研究 朝食におけるトリプトファン・ビタミンB6および太陽光暴露効果の検証一	22
甲黒博第 17号	CHERYLL CASIWAN LAUNIO	Economic Valuation of Marine Management Areas :Case Studies in Lagonoy Gulf and Claveria Bay,Philippines (海洋管理区の経済価値:フィリピンにおけるラゴノイ及びクラベリア湾の事例研究)	26

学位記番号	氏 名	学 位 論 文 の 題 目	ページ
乙総黒博第2号	土井 敏男	水族館飼育下でのケツギヨの個体発生および初期生活史	32
乙総黒博第3号	松田 篤志	有毒渦鞭毛藻 <i>Alexandrium catenellano</i> の麻痺性貝毒生産に関する生理・生態学的研究	35
乙総黒博第4号	VICTOR SALCEDO SOLIMAN	Ecology and Population Dynamics of Siganids (Teleostei: Siganidae) in Lagonoy Gulf, Philippines	40
乙総黒博第5号	BAST FELIX	Comparative Ecophysiology and Phylogeography of <i>Monostroma</i> (Monostromataceae, Chlorophyta) in Southern Japan	44

ふりがな	やまだ
氏名(本籍)	山田 ちはる (島根県)
学位の種類	博士(学術)
学位記番号	甲黒博第12号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位授与年月日	平成22年3月23日
学位論文題目	高知県浦ノ内湾における外来種ミドリイガイの生態学的特性
発表誌名	山田ちはる・伊谷行・上田拓史：高知県浦ノ内湾におけるミドリイガイの生息場所利用と水平分布. <i>Sessile Organisms</i> , 27 Yamada, C., G. Itani and H. Asama : Utilization of the non-indigenous green mussel <i>Perna viridis</i> , by the native pinnotherid crab <i>Arcothera sinensis</i> in Uranouchi Inlet, Kochi, Japan. <i>Crustacean Research</i> , 38
	審査委員 主査 教授 上田 拓史 副査 準教授 伊谷 行 副査 準教授 田中 壮太

論文の内容の要旨

本研究は、熱帯性の二枚貝ミドリイガイ *Perna viridis* が日本に移入し増加していることを受け、外来種の管理と在来種の保全を目的として、浦ノ内湾におけるミドリイガイの生態学的特性を明らかにした。

浦ノ内湾におけるミドリイガイの水平分布および生息場所利用の調査から、ミドリイガイが人工護岸だけではなく自然海岸にも生息していること、また、常に水面下にある養殖筏のフロート下面には、高密度にミドリイガイが付着しており、浦ノ内湾の個体群の7割近くが筏に付着することが明らかになった。また、内湾域との比較を行うために、外洋に面した岩礁における貝類相と浅海底の貝類相を明らかにした。その結果、ミドリイガイと競合する在来種はヒバリガイモドキ *Hormomya mutabilis* とクジャクガイ *Septifer bilocularis* であると考えられた(第1章)。なお、浅海底調査の結果は、土佐湾の水深や底質と貝類相の関係を定量的に明らかにした初めての研究であり、ダムによる流砂の減少や海砂利採取の環境問題と関連づけても考察された。

ミドリイガイの加入プロセスを明らかにするために不可欠である、幼生形態によるイガイ類の種の識別を行うためには、これまで幼生形態の知られていなかった在来種の幼生形態の記載が肝要となる。そこで、ミドリイガイと競合する在来種のヒバリガイモドキとクジャクガイの幼生の各ステージを人工授精と幼生の飼育により採集し、光学顕微鏡とSEM観察によって幼生形態を明らかにした。ヒバリガイモドキは *Hormomya* 属の初知見となり、クジャクガイは *Septifer* 属で初めてとなる小卵型幼生の記述となった。既往の文献とあわせて、西南日本におけるイガイ科の幼生同定検索表を完成させた(第2章)。

論文の内容の要旨

浦ノ内湾におけるミドリイガイの生殖周期を調査し、繁殖期が主に夏期であることを明らかにした。同時に、在来種であるヒバリガイモドキ、クジャクガイ、ムラサキインコ *S. virgatus*、外来種のコウロエンカワヒバリガイ *Xenostrobus securis* の生殖周期を調査し、いずれも繁殖期がおおむね夏期であることを明らかにした。この結果は、プランクトンサンプルを用いてミドリイガイ幼生を同定する際に、他のイガイ類の幼生と識別する必要があることを示した（第3章）。

浦ノ内湾におけるミドリイガイの成長について、標識個体の成長と個体群調査から明らかにし、夏期には原産地に匹敵する成長速度であること、潮間帯よりも潮下帯において成長速度が速いこと、冬期の越冬可否が水温および齢により異なること、相対成長式が潮間帯と潮下帯で異なることを明らかにした。また、湾口部においてミドリイガイの加入が2度あることが明らかになった（第4章）。

一般に、移入種の分布拡大には移入先で天敵から解放されること（ERH：天敵解放仮説）が関与していることがある。浦ノ内湾においてイガイ類の寄生者であるオオシロピンノ *Arotheres sinensis* の寄生率を比較することによって、ミドリイガイの日本における増加がERHによっても説明可能であることを示唆した（第5章）。

論文審査の結果の要旨

外来生物（移入生物）は、固有の生態系に影響を与えることが懸念されており、種の多様性の減少により、また、直接、産業に悪影響を与えることにより、人類にとって重大な脅威となっている。日本では、平成 16 年に外来生物法が公布され、飼育や運搬、輸入などを制限する「特定外来生物」を選定したが、情報不足のため、海洋生物は含まれていない。山田ちはる氏が研究対象としたミドリイガイ *Perna viridis* は「要注意外来生物（被害に係る一定の知見があり、引き続き指定の適否について検討する外来生物）」としてリストされている十数種の海洋生物のうちのひとつである。ミドリイガイはイガイ科に属する熱帯原産の外来性の二枚貝であり、世界中の熱帯～暖温帯域に移入していることが知られている。これまで日本では、本種の発見に関する報告は多数あるものの、生態学的研究は相模湾と沖縄における知見に限られていた。山田ちはる氏は、近年、土佐湾の浦ノ内湾に本種が多産し、越冬しているという自身による予備的観察を起点として、在来性のイガイ類への影響の有無を終始念頭におきつつ、本種の生息場所、繁殖周期、成長、種間関係（寄生）について明らかにした。以上のような環境問題を背景としてミドリイガイを研究対象とした山田ちはる氏の発想は、黒潮圏科学としてふさわしい。

まず、1 章では、浦ノ内湾におけるミドリイガイの分布特性を、湾口、湾奥といった空間的位置と、それぞれの場所における付着基質の種類に着目して定量調査を行った。その結果、ミドリイガイが浦ノ内湾内に広く分布し、人工護岸だけではなく自然海岸にも同程度生息していることを明らかにした。日本により以前から移入しているムラサキイガイでは人工基質への付着がほとんどであり自然海岸への定着は稀であることとは対照的である。

また、同時に在来イガイ類の調査も行っており、ミドリイガイと分布が重なり空間をめぐる競争関係にある在来種がヒバリガイモドキとクジャクガイであることが明らかした。本章の結果は、自然海岸に分布する日本在来のイガイ類や付着生物群集に、ミドリイガイの影響が及ぶことを示唆した貴重な成果であり、本章をもとにした論文は学術誌 *Sessile Organisms* に印刷中となっている。

第 2 章では、浦ノ内湾におけるミドリイガイの繁殖周期を明らかにし、同所的に分布する他のイガイ類の繁殖期と重複するの否かを検討した。その結果、ミドリイガイでは夏の繁殖ピークに加え晩秋に弱い繁殖ピークがある可能性があることを発見した。

論文審査の結果の要旨

フロリダや香港など熱帯域の移入地で同様の 2 度の繁殖ピークが確認されているが、これまで日本では相模湾において、夏のピークのみであることが報告されていた。従って、黒潮の影響を強く受ける浦ノ内湾では、より熱帯域に近い生息環境である可能性が示唆された。また、在来種であるヒバリガイモドキ、クジャクガイ、ムラサキインコの繁殖周期を同時に調査することによって、いずれも繁殖期がおおむね夏期であることを明らかにした。この結果は、在来種とミドリイガイが浮遊幼生期や着底期において、空間や餌をめぐる競争関係になる可能性があることを示している。先述のムラサキイガイでは繁殖期が春でありこのような懸念は生じなかったことから、ミドリイガイはムラサキイガイ以上のインパクトを持つ外来種であると言えるだろう。

第 3 章では、浦ノ内湾におけるミドリイガイの成長量を実験により明らかにした。これまで日本では、沖縄でカゴにミドリイガイを複数個体入れて筏に垂下させる方法、相模湾で岩礁に生息する個体の成長阻害輪を利用した個体群解析法によって、本種の成長が調べられたがその結果は大きく異なっており、それが方法の違いによるのか緯度の違いによるのか判然としていなかった。本章では、個体識別を行うことにより個体ごとの成長を筏への垂下個体と岩礁個体の両方で同時に記録しており、その方法は精緻である。調査の結果、筏への垂下（潮下帯環境）のほうが、岩礁潮間帯よりも成長が良いこと、浦ノ内湾における成長量は沖縄と同程度で相模湾より大きいことが明らかにした。さらに、小型個体ほど成長量が大きく、夏期の成長量が原産地に匹敵するほど大きいことが分かった。在来イガイ類のほとんどが小型であり、ミドリイガイほど早い成長を行う種はいないことから、自然生態系における空間をめぐる競争や餌をめぐる競争において、ミドリイガイが在来種より優位であることを示唆している。

第 4 章では、浦ノ内湾におけるミドリイガイの寄生者の有無を調査した。このアイディアは、天敵開放仮説（ERH）として近年新しく提唱されているものであり、ミドリイガイが新天地である日本において、原産地で受けている寄生による影響から解放されることにより適応度が上昇しているか否かを検討したものである。その結果、日本では、原産地でミドリイガイに寄生するカクレガニ類 *Arcotheres placunae* は分布しておらず、その寄生から解放されていること、日本に分布する同属のオオシロピンノ *A. sinensis* が寄生するが、その寄生率はきわめて低いことを明らかにした。つまり、現状ではミドリイガイはカクレガニ類からの寄生に関して、天敵開放の状態にある。一方、オオシロピンノは宿主特異性が低く、様々な二枚貝類を宿主とするカクレガニで、ミドリイガイの増加に伴い、ミドリイガイを利用する個体も増える可能性があり、今後、新たな天敵となる可能性がある。本研究による、外来種問題を扱ううえで寄生者の寄生率の変遷について

論文審査の結果の要旨

注目すべきであるという提言は新たな視点であり、本章をもとにした論文は、国際学術誌 *Crustacean Research* に掲載され、高い評価を得ている。

ここまでの章により、すでにミドリイガイが日本に定着し、在来の生態系に影響を与える可能性が高いことが明らかとなった。そこで、山田ちはる氏は、今後、本種の着底プロセスの研究が必須であると考え、第5章ではミドリイガイと競合する在来種のヒバリガイモドキとクジャクガイの幼生形態の記載を行った。その結果、浦ノ内湾においてミドリイガイの浮遊期幼生や着底稚貝を在来種と識別することができるようになり、後進の研究者が詳細な生態学的研究を行う素地をつくった。さらに、ヒバリガイモドキについては *Hormomya* 属から初の幼生記載となり、クジャクガイについては *Septifer* 属から初の小卵型の幼生の記載となったことは、イガイ科の幼生形態の進化を考えるうえでも、きわめて重要な成果となった。本章は、山田ちはる氏が広い視野にたって多方面から研究を進める能力があることを示している。

本論文が外来種の生態学的研究として価値が高いことは明らかであるが、本研究対象のミドリイガイが黒潮源流域を原産地とする食用種であることから、本成果が今後、「黒潮圏科学」として文理融合型の研究に発展することもまた明らかである。また、ミドリイガイの原産地における知見はインドやマレーシアなどに偏っているため、本研究のような緻密な研究がフィリピンで行われると、黒潮の上流と下流における比較研究に発展することが期待される。以上のように、本論文は黒潮圏海洋科学専攻の学位取得にあたり十分な内容であることが確認された。

ふりがな	やぎ ゆうた
氏名（本籍）	八木 佑太（静岡県）
学位の種類	博士（学術）
学位記番号	甲黒博第13号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位授与年月日	平成22年3月23日
学位論文題目	有明海における魚類の成育場に関する研究
発表誌名	Yuta Yagi, Izumi Kinoshita, Shinji Fujita, Hiroshi Ueda, Daisuke Aoyama. Comparison of early life histories of <i>two</i> <i>Cynoglossus</i> species in the innerestuary of Ariake Bay, Japan. Ichthyological Research. DOI 10.1007/s10228-009-0109-y
	審査委員 主査 教授 木下 泉 副査 教授 上田 拓史 副査 教授 飯國 芳明

論文の内容の要旨

有明海は、全国随一の干満差、それに伴う広大な干潟域、高濁度水塊、および数多の特産生物（大陸からの遺存種かつ国内での固有種）を持つ世界でも有数のユニークな内湾である。その有明海では、近年、諫早湾締め切り工事に代表されるような自然環境の人為的改変が進行しつつある。このような現状から、干潟生態系の保全において、魚類成育場としての総括的な評価の必要性が認知されており、その検討が急務の課題となっている。本研究では、有明海の湾奥部河口域が有する魚類成育場としての重要性を明確にするために、浮遊期から着底期魚類について総括的な調査を行った。その中でまず、有明海においてどのような水域、環境が魚類の成育場となるのかを把握するために、環境の異なる水域間にて、物理環境と浮遊期から着底期にかけての仔稚魚相を比較した。次に、湾奥部河口域の魚類成育場としての役割を明らかにするために、特産種と準特産種および別系群の魚類初期生活史を明らかにした。さらに、2003年より続く調査結果に基づき、有明海湾奥部における仔稚魚の年変動とその要因についての検討を行った。

物理環境を水域間で比較すると、湾奥部河口域の環境は低塩分、高濁度および強混合で特徴付けられ、湾中央部の河口域、沖合域および諫早湾とは著しく異なっていた。浮遊期および着底期仔稚魚の種数と密度は、諫早湾や沖合に比べ、河口域で高い値を示したが、河口域間で仔稚魚相を比較すると、湾奥部河口域では有明海に特徴的な魚類の仔稚魚が卓越して出現する点で、湾中央部の河口域とは異なっていた。湾奥部河口域では、その周辺水

論文の内容の要旨

域で産卵する特産種仔稚魚とともに、沖合で産卵するイヌノシタ属およびニベ科などの仔稚魚も多く出現した。それら仔稚魚の初期生活史を精査した結果、仔稚魚はごく浮遊期から湾奥部河口域周辺に集合していたが、その成育場は近縁種間において、空間的に多少異なることが明らかとなり、その要因として、潮汐に伴う鉛直的な分布様式の違いが示唆された。さらに、仔稚魚の食性をみると、同時期に同所的に出現する種間においても、主食とする餌生物が異なることが観察され、成育場の餌環境をうまく利用し、種間における競合を避けている可能性が考えられた。また、仔稚魚の初期生態を河口域間で比較した結果、湾奥部の河川間においても、仔稚魚の食性や成長が異なることが示され、これには河川間における餌環境の違いが関与していると思われる。仔稚魚の年変動をみると、魚種間およびごく近隣の河川間においても、その変動様式は異なることが明らかとなり、これらのことは、魚類成育場として河川間に違いがみられることを示している。

以上のことから、有明海において、魚類の成育場は河口域に形成されることが明らかとなり、特に、特産種と準特産種および別系群にとって、高濁度水塊が発達する湾奥部河口域こそが極めて重要で必然的な成育場であることが示された。

論文審査結果の要旨

申請者・八木佑太君の学位論文は、世界有数の潮位差、さらに本邦最大の干潟域を有する有明海において、河口域における魚類、特に特産種の成育場の重要性を明らかにした。その内容を以下に要約する。

有明海では、近年、諫早湾締め切り工事に代表されるような自然環境の人為的改変が進行しつつある。このような現状から、干潟生態系の保全において、魚類成育場としての総括的な評価の必要性が認知されており、その検討が急務の課題となっている。本研究では、有明海の湾奥部河口域が有する魚類成育場としての重要性を明確にするために、浮遊期から着底期魚類について総括的な調査を行った。その中でまず、有明海においてどのような水域、環境が魚類の成育場となるのかを把握するために、環境の異なる水域間にて、物理環境と浮遊期から着底期にかけての仔稚魚相を比較した。次に、湾奥部河口域の魚類成育場としての役割を明らかにするために、特産種と準特産種および別系群の魚類初期生活史を明らかにした。さらに、2003年より続く調査結果に基づき、有明海湾奥部における仔稚魚の年変動とその要因についての検討を行った。

物理環境を水域間で比較すると、湾奥部河口域の環境は低塩分、高濁度および強混合で特徴付けられ、湾中央部の河口域、沖合域および諫早湾とは著しく異なっていた。浮遊期および着底期仔稚魚の種数と密度は、諫早湾や沖合に比べ、河口域で高い値を示したが、河口域間で仔稚魚相を比較すると、湾奥部河口域では有明海に特徴的な魚類の仔稚魚が卓越して出現する点で、湾中央部の河口域とは異なっていた。湾奥部河口域では、その周辺水域で産卵する特産種仔稚魚とともに、沖合で産卵するイヌノシタ属およびニベ科などの仔稚魚も多く出現した。

それら仔稚魚の初期生活史を精査した結果、仔稚魚はごく浮遊期から湾奥部河口域周辺に集合していたが、その成育場は近縁種間において、空間的に多少異なることが明らかとなり、その要因として、潮汐に伴う鉛直的な分布様式の違いが示唆された。さらに、仔稚魚の食性をみると、同時期に同所的に出現する種間においても、主食とする餌生物が異なることが観察され、成育場の餌環境をうまく利用し、種間における競合を避けている可能性が考えられた。また、仔稚魚の初期生態を河口域間で比較した結果、湾奥部の河川間においても、仔稚魚の食性や成長が異なることが示され、これには河川間における餌環境の違いが関与していると思われる。

仔稚魚の年変動をみると、魚種間およびごく近隣の河川間においても、その変動様式は異なることが明らかとなり、これらのことは、魚類成育場として河川間に違いがみられることを示している。

以上のことから、有明海において、魚類の成育場は河口域に形成されることが明らかとなり、特に、特産種と準特産種および別系群にとって、高濁度水塊が発達する湾奥部河口域こそが極めて重要で必然的な成育場であることが示された。

以上、有明海における魚類の成育場は河口域に形成されることが明らかとなり、特に、特産種と準特産種および別系群にとって、高濁度水塊が発達する湾奥部河口域こそが極めて重要で必然的な成育場であることが示された。本研究は、湾奥河口域が本魚類の成育場としての機能を正しく把握し、本邦特有な有明海を再生するための今後の重要な基礎研究となり得、既に国内の関係機関に高く評価されているところである。

論文審査結果の要旨

さらに、平成 22 年 1 月 20 日に開催された公開審査会で効果的な発表を行い、質問へも適切に対応できた。また、申請者は、本論文内容の一部から、査読システムのある学術雑誌に、2009 年 11 月に 1 報を公表し、2010 年 1 月に 1 報掲載受理、さらに 1 報を投稿し現在査読下にある。

以上から、黒潮圏での特異かつ重要な海域における魚類の再生産を扱った申請者の提出論文は博士論文としての水準に十分に達していると考えられた。

ふりがな	はらぐちひろこ
氏名(本籍)	原口 展子 (鹿児島県)
学位の種類	博士(学術)
学位記番号	甲黒博第14号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位授与年月日	平成22年3月23日
学位論文題目	高知県沿岸に生育するホンダワラ類の分布変化と温度に対する生育特性
発表誌名	「Field and culture study of the temperature related growth rates of the temperate <i>Sargassum</i> species, <i>Sargassum Okamurae</i> Yoshida and <i>S. micracanthum</i> (Kützting) Endlicher (Fucales, Phaeophyceae) in Tosa Bay, southern Japan,」 Hiroko Haraguchi, Masanori Hiraoka, Noboru Murase, Zenji Imoto and Kazuo Okuda Algal Resources
	審査委員 主査 教授 奥田 一雄 副査 教授 平岡 雅規 副査 教授 木下 泉

論文の内容の要旨

ホンダワラ類は、褐藻綱ヒバマタ目に属する大型海藻で、沿岸岩礁域にガラモ場と呼ばれる藻場を形成する。近年、ガラモ場構成種が変化していることが指摘されているが、具体的な種組成の変化や分布に関する報告は少ない。そこで本研究では、過去の報告から、どのような種が衰退し、その一方でどのような種が優占してきたかという分布の変化を年代ごとにまとめるとともに、高知県沿岸の現在のガラモ場を調査した。また、高知県沿岸の温帯性ホンダワラ類と熱帯性ホンダワラ類のそれぞれにおいて、季節消長と成熟時期を明らかにするため、フィールド調査を実施し、さらに培養実験によって温度に対する生育特性を明らかにした。

高知県沿岸では、1970年代から1980年代まで、温帯性種のヒラネジモクおよびトゲモクが優占して繁茂していたが、1990年代以降、熱帯性種のフタエモクが土佐湾内でも繁茂するようになっていくことがわかった。2002年の調査から、土佐湾中央部の荻崎では、フタエモク、キレバモクおよびマジリモクの熱帯性ホンダワラ類で構成されるガラモ場が確認された。キレバモクおよびマジリモクについては、土佐湾内で初めて生育が確認された。2005年に調査した土佐湾中央部の須崎市神島では、温帯性種のヒラネジモクの大群落が1980年代まで存在していたが、完全に消失したことがわかった。2005年に調査した高知県西部の宿毛湾沿岸では、熱帯性種のフクエモクが顕著に繁茂し、1997年の調査と比較すると、フタエモクの分布範囲が拡大し、密生地が増加したことが明らかとなった。また、1997年の調査では確認できなかった、熱帯性種のキレバモクおよびマジリモクが点在することもわかった。1990年代以降、水温上昇が顕著であることから、水温

論文の内容の要旨

上昇が温帯性種の衰退と熱帯性種の分布拡大に関係していることが示唆された。

フィールド調査の結果から、温帯性種のヒラネジモクは、最高水温時期に最大全長に達し、1986年に同海域で調査された報告よりも1ヶ月早かった。しかし、最高水温時期に最大全長に達したことは過去の報告と一致した。つまり、最高水温期が過去報告より1ヶ月早かったため、最大全長期にずれが生じたものと考えられた。同じ温帯性種のトゲモクは、12月に卵を放出し、1983年に同海域で調査された報告より1ヶ月遅かった。これは、8~10月の高水温期に一時的に生長が停滞し、その後再び生長して最大全長に達したためであると考えられた。培養実験の結果から、高水温期のトゲモクの生長率は高水温下で低下することが明らかとなった。一方、熱帯性種のフタエモクでは、フィールド調査より、継続的に群落が形成されていることがわかった。また、低水温下の培養実験から、14℃以上になると生長率が高い位置で一定となった。温帯性種と比較すると、熱帯性種の生長率は14℃以上で温帯性種のそれより高いことが明らかとなった。以上のことから、高知県沿岸は熱帯性種が生育しやすい水温環境に変化していることが示唆された。

論文審査結果の要旨

ホンダワラ類は、褐藻綱ヒバマタ目ホンダワラ科に属する大型海藻で、温帯域から熱帯域にかけて世界中に広く分布している。これらのホンダワラ類は、沿岸域でガラモ場と呼ばれる濃密な群落を形成し、多様な生物を育む生態系を支えることや沿岸域の主要な一次生産者として重要な役割を果たしている。

申請者が研究フィールドとして選んだ高知県は室戸岬と足摺岬の間にある南南東に開いた半円状の土佐湾を有し、日本近海の最大の暖流である黒潮が九州南部から足摺岬、室戸岬南沖を潮岬へと東流している。黒潮の流路やそれに伴う湾内の海水流動は、海藻植生に影響を与える。温帯性と熱帯性の海藻が混在する土佐湾は、温帯と熱帯の境界域といわれている。

高知県沿岸には、15種以上のホンダワラ類が生育しているが、近年、ガラモ場を含む藻場の衰退や磯焼け地帯の発生などが報告されるようになった。特に、ホンダワラ類については、ガラモ場構成種の変化が指摘されるようになり、それと同時期に、水温上昇も報告されるようになった。このような気候変動に伴う環境変化により、動植物の分布変化やそれらの季節的な活動の変化が地球規模で生じており、高知県下においても同様な現象が進行していると考えられる。しかし、その規模や進行状況についての報告は少ない。また、水温上昇が海洋生物に与える影響についてはほとんど明らかにされていない。

申請者は、ホンダワラ類に焦点をあて、今までになされたガラモ場を含む藻場調査の資料を基に、過去約30年間のガラモ場の分布変化をまとめるとともに、現況の藻場についてフィールド調査を行ない、どのような種が衰退し、どのような種の分布が拡大しているかを明らかにしている。また、衰退している種および分布を拡大している種について、フィールド調査により季節消長を把握するとともに、詳細な温度条件下での培養実験を実施し、生長と温度との関係を明らかにしている。

学位論文は全体が5章で組み立てられており、第1章の緒言以外のそれぞれの章の内容は概略以下のとおりである。

ホンダワラ類の分布変化

藻場調査の資料をまとめた結果、1970年代から1990年代を通して、ガラモ場の優占種に変化が生じていた。1970年代では、高知県沿岸に形成するガラモ場優占種はすべて温帯性種であり、特に、ヒラネジモクおよびトゲモクが広範囲に渡って濃密な群落を形成していた。1980年代では、高知県西部海域において、熱帯性種のフタエモクおよびコブクロモクが優占するようになった。1990年代では、1970年代および1980年代同様、ヒラネジモクおよびトゲモクが最も優占して繁茂していたが、これらを含む温帯性種は衰退傾向を示した。一方、1990年代では、熱帯性のホンダワラ類の分布が拡大した。特に、フタエモクは、1980年代には西部海域でのみ優占していたが、1990年代では土佐湾内でも広く生育しているという結果を得ている。

1990年代以降のホンダワラ類の衰退や分布の拡大の現状を把握するため、フィールド調査を行なった結果、2000年代に入った現在においても、その傾向は継続されている。土佐湾中央部の荻崎地先では、ガラモ場を形成していたホンダワラ類4種のうち、3種が熱帯性ホンダワラ類のフタエモク、キレバモクおよびマジリモクであった。フタエモクは1960年代頃から生育が確認されており、土佐湾近海にもともと自生していた種と考えられる。キレバモクおよびマジリモクは、本

論文審査結果の要旨

調査により、土佐湾内で初めて生育が確認された種であった。土佐湾中央部の神島沿岸では、1985年から1986年に、ヒラネジモクの大群落が形成されていたが、2005年の調査では、その大群落は消失していることがわかった。ヒラネジモクの生育は確認されたが、群落を形成するほどではなく、本種の衰退が顕著に現れていた。また、同調査では、1980年代の調査では確認されていなかった、フタエモクの生育が確認された。高知県西部の大藤島および桐島沿岸では、1997年と2005年のガラモ場の分布調査を比較した結果、フタエモクの分布範囲が拡大し、キレバモクおよびマジリモクの新規加入が確認された。このような温帯性種の衰退と熱帯性種の分布拡大は、水温上昇に関係していると考えられる。これらの結果から本論文では、高知県沿岸5箇所の水温変動をまとめ、すべての地点で水温が上昇傾向にあり、特に、秋季から冬季にかけての水温上昇が1990年代以降顕著であったことを示している。また、この水温上昇の時期と温帯性種の衰退および熱帯性種の分布の拡大時期はほぼ一致していたという結果を得ている。

温帯性ホンダワラ類の温度に対する生育特性

この章では、現在生育している温帯性ホンダワラ類のヒラネジモクおよびトゲモクの季節消長をフィールド調査によって明らかにし、過去の報告と比較している。また、温度と生長との関係を明らかにするために、培養実験によって、10月に採集した藻体を用いて生育適温および生育上限温度を、3月に採集した藻体を用いて生育適温および低水温下の生育特性を調べている。

2007年から2008年に渡ってヒラネジモクおよびトゲモクの季節消長を調べた結果、両種の最大全長時期もしくは成熟時期が約20年前の報告と異なっていることが判明したという結果を得ている。ヒラネジモクにおいては、本研究が行われた2007-2008年では、最高水温を記録した8月に最大全長に達し、卵放出は9月から12月であった。それに対し、1986年の報告によれば、10月に最大全長に達し、卵放出は10月から12月であった。つまり、現在のヒラネジモクの最大全長時期と卵放出時期は、20年前よりも約1ヶ月早まっていることが明らかになった。しかし、最大全長に達した時期と成熟開始時期が最高水温期であったことは、本研究が行われた2007-2008年と1986年の両年で一致する。つまり、最高水温期が両年で異なったため、最大全長に達した時期と成熟開始時期がシフトしたと考察している。

一方、トゲモクにおいては、本研究が行われた2007-2008年では、12月に最大全長に達し、卵放出は12月から1月に起こった。それに対し、1983年に行われた調査報告によれば、卵放出は11月から12月であった。つまり、現在のトゲモクの卵放出時期は、20数年前よりも約1ヶ月遅くなっていることがわかった。本研究では、トゲモクは、8月から10月に一時的に伸長を停滞させ、その伸長停滞期の後、再び伸長し、12月に最大全長に達することを示した。しかし、1983年の報告によれば、トゲモクには夏季における一時的な生長停滞は認められなかった。トゲモクが夏季の高水温下で生長抑制が起こるといった特性をもつと考えるならば、1983年の夏季は高水温による生長抑制が起こらず、トゲモクの成長にとって適当な温度条件であったと考えられる。つまり、本研究が行われた2007-2008年では、トゲモクの生長が抑制される高水温の期間があったことで、最大全長に達する時期が遅れたと考えられる。また、これがトゲモクの伸長期から成熟期への転換時期のタイミングに影響を及ぼした可能性があることを指摘している。

高水温期の10月に採集したヒラネジモクおよびトゲモクを培養し、両種の藻体の温度に対する生長率を比較している。ヒラネジモクでは15~30℃の広範囲で高い成長率を示したが、トゲモク

論文審査結果の要旨

は 20℃以上で成長率が低下した。この結果は、フィールドにおいて、水温が 25～30℃であった 8 月から 10 月の間、トゲモクの生長が緩慢であったことに一致する。このことは、高水温がこの時期のトゲモクの生長を抑制していたことを示唆し、日本沿岸に生育するホンダワラ類の多くは、急生長期の後に成熟することが知られているので、ヒラネジモクおよびトゲモクの成熟時期がシフトしたことは、最大全長に達した時期がシフトしたことに起因すると考察している。また、本研究で観察された最大全長や成熟時期のシフトは、日長が変化したにも関わらず引き起こされたことから、高知県沿岸に生育するヒラネジモクおよびトゲモクの季節性を決定する主要な要因として、温度がかなり影響していると考察している。

培養実験により、生育上限温度は、ヒラネジモクで 32℃、トゲモクで 31℃であったという結果を得ている。これらの結果は、過去に報告された数種のホンダワラ類の生育上限温度と同じかそれより高かった。特に、高知県沿岸のトゲモクの生育上限温度は山口県産のそれよりも 4℃高かった。トゲモクは 2 つの成熟時期、春に成熟するタイプと秋に成熟するタイプがある。高知県産のトゲモクは高水温期に成熟に向けて生長するが、山口県産のトゲモクは夏季の高水温期前の冬から春にかけて成熟する。それゆえ、秋に成熟するトゲモクは、春に成熟するトゲモクに比べ、高温に対する耐性を有していると考察している。

10～20℃の低水温下での培養実験結果から、両種の生長率には大きな違いが認められず、生長率はヒラネジモクで $1.4 \pm 0.0 \sim 2.6 \pm 0.1\%$ per day, トゲモクで $0.5 \pm 0.1 \sim 2.2 \pm 0.1\%$ per day であったという結果を得ている。

このように、本研究で、同群落内における藻体の生育適温が季節によって異なることを明らかにしている。低水温期に採集された 3 月藻体と高水温期に採集された 10 月藻体を培養すると、3 月藻体の方が 10 月藻体よりの生育適温が高かった。培養実験に用いた 3 月藻体は、残存した茎から萌出した新生主枝であり、これらの藻体は水温上昇とともに生長することから、フィールドで低水温に曝されているものの、水温上昇に伴って生長する性質を備えていると推察している。

熱帯性ホンダワラ類の温度に対する生育特性

近年、高知県沿岸で分布が拡大傾向にある熱帯性ホンダワラ類については基礎的な知見が極めて少ない。そこで本論文では、熱帯性ホンダワラ類の季節消長を明らかにするために、フタエモク、キレバモクおよびマジリモクを対象としたフィールド調査を実施している。また、温度と生長との関係を明らかにするために、培養実験によって、フタエモクの冬季採集藻体を用いて、生育適温および低水温下の生育特性を、発芽体を用いて、生育適温を調べている。

フタエモク、キレバモクおよびマジリモクのフィールド調査から、これら 3 種は一時的ではなく、継続して群落を形成しているという結果を得ている。既存の群落内で再生産が行なわれ、継続的にその群落が維持されていることを明らかにしている。成熟時期は、フタエモクで 6 月から 7 月、キレバモクで 7 月から 8 月、マジリモクで 6 月であり、比較的水温が高い時期に成熟することが明らかとなった。また、これら 3 種は、伸長停滞期、伸長期、成熟期、脱落期といった生長様式を有しており、日本沿岸に生育する温帯性ホンダワラ類とほぼ同様であったという結果を得ている。

10～20℃の低水温下での培養実験結果から、フタエモクは、10～13℃では、水温の上昇とともに生長率が増加したが、14℃以上になると生長率が一定となった。フタエモクの生長率は、10～13℃

論文審査結果の要旨

の範囲内で $0.6 \pm 0.0 \sim 2.0 \pm 0.3\%$ per day であり、温帯性種の両種のそれとほぼ同様であった。しかし、 14°C 以上では、生長率が約 3% per day となり、温帯性種のそれより高い値を示した。 14°C 以上で、温帯性種の生長率よりも熱帯性種のそれの方が高いという培養実験結果を踏まえ、実際に 1990 年代および 2000 年代の高知県沿岸における冬季水温の平均が 15°C 以上であったことと、本研究で計測した水温データでも最低値が 14°C 以上であったことから、高知県沿岸は温帯性ホンダワラ類よりも熱帯性ホンダワラ類の方が生育しやすい環境に変化しつつあると考察している。

フタエモクの発芽体の培養実験から、生育適温は 25°C および 30°C であるという結果を得ている。これは、日本沿岸に生育する温帯性ホンダワラ類の発芽体の生育適温よりやや高い傾向を示した。しかし、熱帯域に生育するホンダワラ類の発芽体の生育適温は、本研究より低い傾向を示した。上記のことを総合すると、いずれの場合でも発芽体の生育適温と成熟時期の水温とが一致することから、発芽体の生育適温は、温帯性種および熱帯性種を問わず、成熟時期の水温に強く依存しているという考察を行っている。

最終章の総合考察では、熱帯性種の分布拡大は、水温上昇と相関して起こっていることを論理的に明らかにしている。温帯性種の衰退については、水温上昇と藻食性動物の摂食活動が複雑に関係して生じていると推察し、また、水温上昇は藻食性動物の摂食量にも深く関係しており、特に、冬季水温の上昇は藻食性魚類の摂食活動が年間を通して継続される可能性を示唆している。藻食性魚類の摂食活動が激しい、夏季から秋季にかけて、大型藻体で存在するヒラネジモクやトゲモクのような温帯性種は捕食の対象にされやすいと考え、このことが温帯性種の衰退に拍車をかけていると推察している。一方で、熱帯性種の分布が拡大できたのは、温帯性種の衰退によって、付着基盤が容易に確保できるようになったこともひとつの要因とし、温帯性種が衰退したことで、多くの基質が露呈したことと水温上昇によって生育に適した環境になったこととの相乗効果が、熱帯性ホンダワラ類の分布拡大および新規加入を加速させていると考察している。申請者は、本研究により得られた知見を今後の藻場構成種の変化予測や環境変化に適した藻場造成を行なうための基礎にしたいと締めくくっている。

本論文は、30 年前から現在までに行われた高知県沿岸の藻場調査の報告を丹念に調査し、年代毎に温帯性種の衰退と熱帯性種の参入の傾向を明らかにし、実際のフィールド調査により、その事実を確かめた。また、実験室内の緻密な培養実験の結果を踏まえ、フィールド調査で得られた温帯性種および熱帯性種の季節消長と海水温との密接な関係を実証した。このように、実際の生態と培養による生育特性を関連づけてホンダワラ類の分布の変化を説明する研究は、申請者の高いオリジナリティを示すものであり、学位論文の核心部分として高く評価できる。また、本論文は、地球規模の気候変動による生態系の変化を反映する結果を得ており、自然と人間との共生を考える黒潮圏科学に関連し、今後取り組むべき重要な課題を提起する内容を含んでいると位置づけられる。

ふりがな	ながのいちろう
氏名（本籍）	永野 一郎（高知県）
学位の種類	博士（学術）
学位記番号	甲黒博第 15 号
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位授与年月日	平成 22 年 3 月 23 日
学位論文題目	<i>Analytical studies on the infection of yellowtail pseudotuberculosis</i> —How to perceive disease phenomenon— ブリ類結節症に関する分析的研究 —病気現象の帰納的分析による論理的評価の提言—
発表誌名	Repeatable immersion infection with <i>Photobacterium damsela</i> subsp. <i>piscicida</i> reproducing clinical signs and moderate mortality. Ichiro Nagano, Seiko Inoue, Kenji Kawai, Syun-ichirou Oshima. <i>Fisheries Science</i> . 75 : 707–714. 2009
	審査委員 主査 教授 大島俊一郎 副査 教授 飯國 芳明 副査 准教授 久保田 賢 副査 教授 川合 研兒

論文の内容の要旨

ブリ類結節症は臓器の結節様構造物形成を特徴とする細菌性疾病である。初めて発生後 30 年以上経過するが感染機構は未解明であり、ワクチン開発に向けても課題が多い。本研究では、感染機構解明に必須な自然感染を再現しうる実験感染法を確立し、これをもとに菌の侵入経路や感染魚の死亡機序を明らかにしようとした。また、ワクチン効果の不安定性について感染機構の観点から分析した。

はじめに、自然感染魚の組織観察により病理変化を確認した。つぎに、同様の症状を示し反復的に自然な死亡状況が再現できる実験感染方法を検討した。注射法、浸漬法および経口法で感染を行い死亡率と病理を比較したところ、注射法と浸漬法で感染が成立し、浸漬法が自然感染と近似する病理を再現した。菌の毒力については、対数期と定常期の培養菌を比較したところ、いずれの菌を用いた場合でも自然感染と同様の症状を示したが、対数期の菌のほうが高い毒力を示した。また、生菌染色法で分析したところ、定常期には外膜に損傷があるとされる菌が多く含まれていた。以上の結果から、自然感染を再現する方法として浸漬感染法が適切で、反復性を得るには使用菌の培養時間を厳密にすべきであることが明らかになった。

原因菌の感染経路については、まず菌の海水中における生存性から検討した。人工海水ではわずかな栄養分の存在で長時間生存し、滅菌沿岸海水では 120 時間以上の飢餓に耐えた。この飢餓菌は浸漬感染で毒力を保持していたことから、本菌は自然海水中で長期間宿主への感染能力を保持することが明らかになった。

海水中での菌の生存能および浸漬感染の実験結果から、宿主への侵入部位は外皮系の組織と推定した。そこで、浸漬感染ブリの菌付着分布を調べたところ、鰓に多くの菌が認められた。

論文の内容の要旨

さらに、鰓および内部臓器の菌数変化と死亡の推移を比較したところ、感染早期には鰓で菌数増加が認められた。以上のことから、鰓が主侵入経路および増殖部位と推定された。

最後に、注射ワクチンの免疫効果発現の有無を、本菌の感染機構から分析した。異なる体重のブリを免疫後感染させたところ、小型魚で生残率が低かった。免疫魚と非免疫魚について魚体内の菌数変化を比較したところ、感染初期から死亡期前期までの菌数変化に違いは認められなかったが、死亡期後期の免疫魚で菌数が早く減少する傾向が示された。以上の結果から、注射法による免疫には、感染進行中の魚体内で菌数を減少させる生体防御の助長効果があることが示された。本免疫法による効果は魚の成長に左右され、小型魚では鰓での菌増殖と酸素欠乏を抑制できず効果はないが、中型魚ではこの段階を乗り越え、体内での菌との攻防段階で菌の増殖を抑える効果があると考えられる。したがって、小型魚では菌の侵入を防ぐ防御策が必要であるとの結論に至った。

本研究では、自然感染をほぼ再現できる実験感染を確立した。この方法を用いて感染機構を推定し、ワクチン効果の不安定性を実験的に解明した。最終章で述べたように、この結果は、単にブリ類結節症の実態解明とワクチン開発を検討したものではなく、多くの魚類感染症の研究について取り組み方を提案するものである。

論文審査結果の要旨

獲得漁業の衰退にともない養殖業が飛躍的に発展し、世界の養殖魚介類の生産量はこの15年で2倍以上になった。一般に、養殖業の成長は海洋水産資源にかかる圧力を軽減し、水産資源の持続可能な獲得に貢献していると考えられているが、実際の養殖業には多くの解決すべき問題点がある。

たとえば、養殖される魚種のほとんどは肉食性であり、餌の大部分は野生魚介類でまかなわれており、養殖業が間接的には獲得漁業と変わらないことを示している。また、養殖の仕組みによっては次代を担う野生幼魚の捕獲や周辺環境への作用を通じて獲得漁業の漁獲量に影響をおよぼすこともある。養殖業に内在する問題はすでに養殖に直接関連した分野のみから解決できるものではなく、養殖業が世界の魚介類供給に持続的に貢献し続けるためには、養殖システムが生態系に内包されていることを認識し、養殖形態がもたらす作用をあらゆる見地から分析、予測した上で総合的に問題点を解決することが求められる。しかし、養殖に関する研究分野は経済的な利害と直結することから、即時的な作用の対価を迫及する傾向が強く、研究姿勢そのものが「作用 - 効果」の一方向に傾倒しており、産業的かつ主観的であることから総合的な分析を期待できないという基本的な問題点がある。

即時的な作用対効果を求める傾向が強い研究分野のひとつに病理学である。養殖業の歴史は魚病との戦いの歴史であり、疾病のほとんどはウイルス、細菌、寄生虫によりもたらされる感染症である。感染症の多くは致死性が高く養殖経営を強烈に圧迫する。したがって、現在の養殖魚に関する病理学的研究のおもな方向性は防疫技術の開発に向けられている。とくに、ワクチン開発に関わる研究が盛んであり、養殖場で確認されたすべての致死性病原体に関して何らかの形で研究が進行しているといっても過言ではない。我が国においてもウイルス症と細菌症を中心にワクチン開発研究が行われており、すでに3種の病原体に対してワクチンが実用化されている。しかし、アユにおいてはビブリオ病に対するワクチンの普及と同時期に細菌性冷水病が報告されるようになった。ブリにおいては連鎖球菌症による被害がワクチンで軽減されたのちにノカルディア症による被害が増大した。さらに、マダイイリドウイルス症においてはワクチン効果が十分でない事例が多く認められている。普及したワクチンと続いて発生した現象との関連性は明らかでなく、現行の病理学的研究姿勢では分析することもできない。なぜなら、魚病には迅速な対応が要求されるためワクチン開発研究に着手したときには、病原体の生態学的な位置づけや感染機構など基本的な情報が欠落しているからである。ある致死性の病原体に対して即時的な効果が得られる防疫法をすばやく提示することは確かに必要である。

しかし、持続可能な養殖業の確立を実現するためには、病気現象を総合的に捉えて病気との対峙方法による将来的な作用の分析や予測を可能とすることも必要である。

本研究は、病理学において求められる「早急な予防技術開発」と「総合的に疾病の作用を理解する」という一見相反する研究課題について、共通項を模索し新たな病理学的研究姿勢を提案した。すなわち、宿主 - 病原体の1対1の関係性を一般的な病理学的手法を用いて研究した場合においても、帰納的分析姿勢を保つことで予防技術の開発と疾病の総理解につながることを示した。共通項として「実験的感染方法の確立」を提案し、例として取り上げた病原体の実験的感染法の確立までの過程一連と応用結果から得られた結論から、持続可能な養殖業の実現に病理学で貢献するための新たな研究姿勢を提案した。ブリ類に発生する類結節症は、臓器の結節様構造物形成を特徴とする細菌性疾病である。初めて発生後すでに40年以上が経過するが生態学的に

論文審査結果の要旨

未解明であり、予防技術開発に向けても課題が多い典型的な魚病の一例である。

第1章では、自然感染魚の病理変化を感染の程度と状況で比較観察した。生残魚と死魚の病理組織比較から、生残魚では鰓のみに症状(菌の集落)が出現し、死魚では鰓の症状に加えて臓器の結節様構造物も形成されることが分かった。これより、類結節症は進行過程の一部に鰓から臓器への病原菌拡散過程を含んでいると推察した。稚魚と成魚の外観比較を行ったところ、稚魚の死魚が口や鰓蓋を開けていたことに対して成魚ではこのような症状が認められなかった。また、組織観察では、成魚において結節様構造物が顕著に認められた。以上の結果から、体力ない稚魚が類結節症に感染した場合鰓を攻撃された早期の段階で死に至り(急性)、体力のある成魚であった場合臓器に原因菌が侵攻した感染後期の攻防で破れ死に至る(亜急性)と考えられた。

第2章では、自然感染の症状に類似した症状が得られる実験感染方法は原因菌本来の感染経路を近似するものであると仮説を立てて、自然感染の症状を再現できる実験感染法を検討した。すなわち、人為的感染法の代表である腹腔内注射法を対照におき、菌液を腸管内に送り込む経口法と菌液を添加した海水中で魚を遊泳させる浸漬法を検討した。注射法と浸漬法では、実験魚に死亡が発生し原因菌が再分離されたことから感染の成立を認めたが、経口法では感染が成立しなかった。注射法と浸漬法で感染した魚の病理を観察したところ、浸漬法において自然感染と類似する症状の再現が認められた。すなわち、感染数日後から体色の黒化と食欲不振などの変化が認められ、死亡直前には水底で動かなくなる様子が観察された。さらに、死亡魚の病理組織観察から、腎臓と脾臓に結節様構造物の形成と鰓における菌の集落形成が認められた。

第3章では浸漬感染法の適性について反復性という観点から検討を行った。対数増殖期の菌と定常期の菌を用いて感染実験を行ったところ、いずれの菌を用いた場合においても自然感染と同様の症状が再現されたが、対数増殖期の菌のほうが高い毒性を示した。生菌染色法による分析から、定常期には外膜に損傷があるとされる菌が多く含まれていることが明らかになった。以上のことから、自然感染の症状を再現する感染方法として浸漬法が適切であるが、毒性において反復性を得るためには使用菌の培養時間を厳密にすべきであることが明らかになった。類結節症の分析に用いる手段として浸漬感染法が再現性と反復性において有効であることが示された。しかし、浸漬感染法の成立は類結節症原因菌が海水を介して宿主に感染できることを仮定している。そこで、第4章では本菌の海水中における生存性と毒性の維持について検討した。人工海水中に菌を添加した場合短時間で菌が検出されなくなったが、わずかに栄養成分を添加した人工海水中では菌は増殖し結果的に長期間生存した。類結節症の発生が沿岸域の養殖場付近に集中していることを考慮して、滅菌した沿岸海水における生存性を調べたところ、初期添加菌数を維持したまま菌数の増減なく長期間の飢餓に耐えた。沿岸海水で飢餓させた菌の感染性を浸漬感染法で分析したところ、長期にわたり感染性と毒性を保持していることが明らかになった。以上のことから、類結節症原因菌は自然界水中で長期間感染能力を維持し、海水を介した宿主への感染が可能であることが示された。よって、類結節症の感染機構解明手段として浸漬感染法を用いることが、菌の生態学的にも妥当であることが明らかになった。

感染魚症状の進行過程・部位を観察した結果と浸漬感染法が適正であることが示されたことから、類結節症原因菌の宿主への侵入部位は外皮系の組織であると推定した。そこで、第5章では浸漬感染処理を行ったブリの口吻部、鰭、体表、鰓の菌付着分布を調べたところ、鰓に多くの菌が認められた。さらに、鰓、血液、腎臓、脾臓の経時的な菌数変化と死亡の推移を比較したところ、

論文審査結果の要旨

感染直後から鰓において菌数の増加を認めた。感染時間が経過するにつれて、血液、腎臓、脾臓において菌数が著しく増加したが、血液における菌の検出頻度が低いことと各部位における菌数増加傾向から、血液は菌の拡散経路であるが主要な増殖部位ではないと判断した。各部位の菌数が最大になる直前に最初の死亡が認められたことから、宿主の死亡要因が体内における菌数増加であることが示された。また、総合的に鰓が主要な侵入経路であり増殖部位でもあると推定された。そこで、侵入経路として鰓が占める割合を、侵入経路として考えられる他の外皮系部位のひとつである体表と比較した。鰓表面にのみ感染処理を行った群と体表にのみ感染処理を行った群において死亡率を比較したところ、いずれの群においても死亡が認められたが、鰓のみに感染処理を行った群において死亡率が高かった。以上のことから、類結節症原因菌の感染経路が少なくとも2箇所あることが示され、鰓の侵入経路として占める割合は体表よりも高いことが明らかになった。

最後に、第6章ではホルマリン不活化ワクチンの有効性を浸漬感染法により評価した。異なる体重のブリを注射免疫した後に感染させたところ、小型魚で生残率が低かった。同様の傾向は経口免疫した魚においても認められた。感染後の菌数変化を注射免疫した魚と非免疫の魚と比較したところ、感染初期から死亡期前期までの菌数変化に違いは認められなかった。しかし、死亡期後期において、免疫魚体内において菌数が早く減少する傾向が示された。以上の結果から、注射法による免疫には、感染進行中の魚体内で菌数を減少させる成体防御の助長効果があることが示された。ホルマリン不活化ワクチンの注射法による接種は急性の類結節症には効果を発揮せず、亜急性においては効果を発揮すると考えられた。

本研究では、客観的にある疾病を理解し情報を蓄積したうえで実験感染方法を確立することが、一次的な疾病対策だけでなく総合的に疾病と付き合っていくための手段に結びつくことを提唱し実践したものである。理論と実験的検証により構築された類結節症の実験感染方法は、40年以上も明らかにされなかった原因菌の感染機構を分析する手段となり、不安定性が指摘されていたホルマリン不活化ワクチンの有効性を科学的に分析することを可能にした。得られた結果は、類結節症に対する適正な防疫手段を講じる布石となりうる。

本研究により、類結節症においては実験感染法が確立され、その過程で原因菌の詳細な情報が得られた。また、実際に感染経路の推定を行い、主要な感染経路が鰓であることを提示した。これらの結果は、類結節症原因菌の生態学的位置づけや疾病発生の根源的な要因の追求に貢献すると考えられる。科学的根拠に基づく実験感染法の確立が、養殖現場で問題となる種々の病原体において実現すれば、その過程で病原体の由来や生態学的な位置づけも解明されることが考えられる。各種病原体の理解は、疾病間のつながりや総合的な病気現象との関わり方などの生態学的研究に応用可能であることが期待される。本研究は単に類結節症の実態解明とワクチン開発を検討したものではなく、多くの魚類感染症の研究について将来を見据えた新たな取り組み方を提案したものである。

学位申請者の永野一郎氏は、2003年北海道大学を卒業（水産学士）後、本大学の農学研究科修士課程に進学し、2006年に修士号（農学修士）を取得している。

申請者は、学会発表、発表論文数などの学位取得要件を満たしており、博士論文の内容も我が国の主要養殖魚ブリで産業的に大きな問題となっている類結節症を取り上げ、複数の新しい知見を見出した。また、本研究を1つの事例とし、今後、持続可能な養殖を実現していく為のあるべ

論文審査結果の要旨

き研究姿勢についても提案した。

本博士論文は、持続可能な養殖を実現させる為に必須の知見を多く含み、本委員会の委員全員が一致して博士（学術）の学位を与うるに相応しいと判断し、合格とした。

ふりがな	なかで みよ
氏名（本籍）	中出 美代（高知県）
学位の種類	博士（学術）
学位記番号	甲黒博第16号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位授与年月日	平成22年3月23日
学位論文題目	Foundations and experimental research for strategies to promote the movement entitled “ Early to Bed, Early to Rise, and Don’t Forget Your Breakfast” —A study of the effects of tryptophan and vitamin B6 content in breakfast and sun exposure—
発表誌名	Effect of meal habits and alcohol/cigarette consumption on Morningness-Eveningness preference and sleep habits by Japanese female students aged 18-29 : Nakade, M., Takeuchi, H., Kurotani, M., Harada, T. : Journal of Physiological Anthropology, Vol.28, (p.83 –p.90) 2009.04 An integrated effect of protein intake at breakfast and morning exposure to sunlight on the circadian typology in Japanese infants aged 2-6 years : Nakade, M., Takeuchi, H., Taniwaki, N., Noji, T., Harada, T. : Journal of physiological Anthropology, Vol.28, (p.239-p.245) 2009.10
	審査委員 主査 教授 原田 哲夫 副査 教授 奥田 一雄 副査 准教授 久保田 賢

論文の内容の要旨

In the ongoing 24 hr commercialization of Japanese society, there is fear of worsening mental and physical health in children. Previous studies lead to the first hypothesis that breakfast consumption of tryptophan, which is the material for creating serotonin, coupled with exposure to sunlight, may shift young children to more morning-typed via a high level of morning serotonin synthesis in the brain acting as an inner zeitgeber. During the night, serotonin is known to be converted to the sleep inducing agent, melatonin. Tryptophan, together with the coenzyme vitamin B6, may help in the synthesis of tryptophan into serotonin and then into melatonin at night, leading to good sleep health for children. The current research consists of the following four parts, challenging the above two hypotheses from an epidemiological point of view.

1. The first part looked at meal habits and alcohol/cigarette consumption related to morningness-eveningness (ME) score and sleep health in female college students. Results

論文の内容の要旨

showed that breakfast and smoking act as a temporal entrainment cue and phase-delaying agent for the circadian clock, respectively.

2. The second part focused on the relationship between protein intake from breakfast and exposure to sunlight in the morning. Results showed that a high protein breakfast coupled with exposure to sunlight significantly shifted 2-8 year old Japanese children to morning-types and improved their sleep health.

3. In the third part, a tryptophan index and vitamin B6 index were estimated and used for correlation analysis in 2-8 year old Japanese children. Both indices showed positive correlations with ME scores and a sleep quality index. Correlations were enhanced by exposure to sunlight after breakfast.

4. The fourth part was an intervention study conducted on University soccer club members to examine the effectiveness of tryptophan and vitamin B6 intake with breakfast followed by exposure to sunlight. Participants were divided into three groups (G1: no intervention; G2: improvement of breakfast; G3: improvement of breakfast + exposure to sunlight after breakfast). The month-long double interventions shifted G3 group participants to evening-typed, leading to an improvement in nutrition.

As a strategy for 'Early to Bed, Early to Rise and Don't Forget Your Breakfast', this may be an effective method for dietary education that comprehensively considers improvement in diet and morning-typed lifestyle including breakfast content and light environment

論文審査結果の要旨

本論文は疫学的手法のうち、質問紙調査（乳幼児対象）と介入実験（大学生運動部員対象）を用い、「朝食におけるトリプトファンとビタミン B6 摂取とその後の太陽光暴露が、子どもたちを朝型に変え、睡眠健康と精神衛生を増進させる」という仮説を検証した。本論文は 4 部から構成されている。

第 1 部では女子大学生を対象に質問紙調査を行い、朝食の摂取が生活リズムを朝型に導き、朝型化を通して睡眠の質を向上させるという仮説を、支持する結果が得られた。研究結果は日本生理人類学会公式機関紙である *Journal of Physiological Anthropology*(2009)に原著論文として掲載済みである。

第 2 部では、朝食でタンパク質を多く含む主菜（納豆や卵、干魚など）を摂取し、その後保育園や幼稚園に到着するまでの間に 30 分以上太陽光暴露すると、有意に朝型の生活リズムになることを、6 歳児までの幼児を対象とした質問紙結果で示した。この調査結果は「朝食でのトリプトファン摂取とその後の太陽光暴露により、セロトニン（抗うつ剤）合成が松果体活発に行われ、午前中の脳髄セロトニン濃度の高まりが高い精神衛生と内的同調因子となって体内時計の位相前進すなわち、朝型生活リズムを作り出す。」という生理学的メカニズムにおける仮説を支持した。この部分も同様に *Journal of Physiological Anthropology*(2009)に原著論文として掲載済みである。

第 3 部前半では朝食内容からトリプトファン摂取量指数を求める方法の改編版を作成し、この新指数を使用して、朝食のトリプトファン摂取の効果を検証した。また、朝食で摂取したトリプトファンがセロトニンに合成される際に、その合成を補酵素として助けることが先行研究によって明らかとなっているビタミン B6 の摂取量指数の算出法もトリプトファン指数算出法になって開発した。従来のトリプトファン摂取量算出方法(Harada *et al.*, 2007)に比較して、指数計算の基になる朝食の内容をより具体的に聞いた点、乳幼児の朝食の摂取量を考慮した点、質問紙項目から選択された食材を実際に日本の乳幼児によって最も高頻度に摂取されている実際にあり得るメニューにあてはめて計算した点などでより実態に近いトリプトファン量が計算できるよう改善された。従来の指数を使った場合と比べ、睡眠の質、精神衛生、朝型夜型度などさまざまな生活リズム関連形質への影響がより明確に表すことが出来た。今後は実際に摂食した朝食メニューから直接計算したトリプトファン量とこの質問紙への回答から得られた指数との整合性を検討する必要があるが、質問紙調査によってかなり高い精度でトリプトファン摂取量を評価できることが期待できる。

第 3 部後半では、この改善を加えた新しい指数を使い、朝食でのトリプトファンやビタミン B6 摂取、及びその後の太陽光暴露によって朝型化と精神衛生度の改善が見られるかどうかの検証を幼児対象の質問紙調査により行い、これを支持する結果を得た。第 3 部は、日本睡眠学会公式機関紙 *Sleep and Biological Rhythms* に原著論文として投稿中である。

第 3 部までの結果のみでは、因果関係について議論が出来ないこともあり、フィールド介入実験の必要性が残される。第 4 部では、朝食の内容とその後の光暴露によって本当に睡眠覚醒リズムの位相前進（朝型化）とそれに伴う精神衛生の改善がもたらされるかについて、フィールド介入実験を行って検証した。本来ならば、脳内セロトニン濃度や血中メラトニン濃度が成人の 5-10 倍に達する 3-8 歳児を対象に検証を行うべきところであるが、倫理上の配慮から、大学運動部（高知大学サッカー部）の協力を得て行われた。2008 年 11 月の 1 カ月間、運動部員を 3 つの

論文審査結果の要旨

グループに概日タイプの分布が等しくなるように、朝型群、中間型群、夜型群のそれぞれを乱数表に従い3グループにランダムに分けた。

3つのグループは無介入群（介入期間睡眠日誌をつけるのみ）、朝食介入群（朝食でタンパク源とビタミン B6 を多く含む食材を取るよう口頭で要請：具体的には“納豆、バナナ”を勧める。毎日朝食の内容と睡眠日誌をつけるよう要請した。）、朝食と光暴露介入群（朝食でタンパク源とビタミン B6 を摂った後、太陽光に暴露するよう介入、具体的には“納豆、バナナ”を食べて外へ出るよう勧める。毎日朝食の内容とその後に太陽光暴露したかどうかをつけるよう要請した。）であった。

介入期間の直前と介入期間終了の1カ月後に睡眠・生活リズムに関する質問紙、栄養摂取調査表を中心とする総合質問紙調査を行い、介入の効果を評価した。また、事後の質問紙から、朝食で摂取したトリプトファン摂取量指数とその他の生活リズム関連項目との相関分析を事前と事後の変化量データにより行った。この介入実験に伴う質問紙調査は記名式で行われた。朝食と光暴露介入群でのみ、事後に生活リズムの規則性が顕著に高まり、精神衛生度の改善が見られ、睡眠の質が顕著に高まった。また、相関分析の結果、もともと夜型を示した研究協力者達において、介入時の1カ月間の朝食トリプトファン摂取量が高いほど、朝型夜型度の変化量（朝型への変化量）が高いという明瞭な正の相関関係がみられた。これらの結果は、朝食でのトリプトファン摂取とその後の太陽光暴露がセロトニン合成を通して、生活リズムを朝型化し、精神衛生を高めるという因果関係を支持した。

第5部では、第4部までの知見を「早寝、早起き、朝ごはん」運動の科学的根拠とし、今後の子供達への健康教育や啓蒙に生かせる可能性について議論している。

このように、本論文は「トリプトファン—セロトニン—メラトニン代謝系と睡眠覚醒リズムの位相前進＝朝型化と精神衛生の改善」についての冒頭に述べた仮説を健全な子ども（乳幼児を含む）で検証しようとした初めての研究であり、この点で当該分野に新しい知見を与えただけでなく、子どもたちの健康教育の科学的根拠となり得る。また、黒潮圏科学の見地から見ても、黒潮の恵みとしての魚介類や新鮮な野菜など、高知の豊かな食材が朝食に用いられ、子ども達の朝型生活の促進に伴って、心と体の健康やそれにつながる学力向上に貢献できる可能性を本研究は示しており、まさに黒潮圏科学の範疇における境界領域的研究と言え、黒潮圏海洋科学研究科専攻として博士（学術）の学位を授与するにふさわしいものと判断できる。

ふりがな 氏名（本籍） 学位の種類 学位記番号 学位授与の要件 学位授与年月日 学位論文題目 発表誌名	ちえりる かしわん らうにゆ CHERYLL CASIWAN LAUNIO（フィリピン） 博士（学術） 甲黒博第17号 学位規則第4条第1項該当 平成22年3月23日 Economic Valuation of Marine Management Areas : Case Studies in Lagonoy Gulf and Claveria Bay, Philippines（海洋管区の経済価値：フィリピンにおけるラゴノイ及びクラベリア湾の事例研究） 発表誌名 <u>Launio., C.C., H. Aizaki and Y. Morooka.</u> 2009. Understanding Factors Considered by Fishermen in Marine Protected Area(MPA)Planning and Management : Case Study of Claveria, Philippines. Journal of Applied Sciences 9(21) : 3850-3856 <u>Launio. C.C., G. O. Redondo, J. C. Beltran and Y. Morooka.</u> 2008. Adoption and Spatial Diversity of Later Generation Modern Rice Varieties in the Philippines. Agronomy Journal 100(5) : 1380-1389 <u>Launio. C.C., and Y. Morooka.</u> 2007. Can the Use of Hybrid rice Improve Farmer'sYield and Income in the Philippines? Japanese Journal of Farm Management 45(1) : 94-98 <div style="text-align: right;"> 審査委員 主査 教授 諸岡 慶昇 副査 教授 飯國 芳明 副査 教授 新保 輝幸 副査 教授 奥田 一雄 </div>
論文の内容の要旨	
<p>Degraded coastal environment, critical fisheries habitats, and depleted fishery mainly characterize the Philippine marine ecosystems. Using spatial management options such as establishing marine protected areas (MPAs), and legislating coastal zones have emerged to be major management tools. This research attempted to understand the economic value of such management options from the point of view of local residents. Two study sites were chosen: Claveria, an open bay in Northern Luzon where MPA is in the process of being established, and a fish aggregating device (FAD) programme has lately been introduced in the municipal waters; and Lagonoy gulf, in Southern Luzon where MPAs are well established and FADs associated with ringnet and purse-seine operations are commonly deployed and privately owned. We explored the use of stated preference techniques, perception surveys and cost-benefit analyses in the following component studies:</p>	

論文の内容の要旨

1.Socioeconomic status and perceptions of small-scale fishermen on the value of marine resources and protected areas. The socioeconomic status and livelihoods of the local

stakeholders, and their attitudes and perceptions on marine resource values and conservation were examined in both study areas. Fishery profile based on primary and secondary data were also assembled as basis of determining the consumptive use value of the fisheries.

2.Understanding Factors Considered by Fishermen in MPA Planning and Management: Case Study of Claveria. Using choice experiment, factors fishermen value or consider in MPA management were studied. Results showed that factors such as MPA size and number of patrol days accorded significance in fishermen choice behavior. Respondents were not willing to trade-off the benefit of an uncertain fish catch with the definite cost of increased MPA size or number of patrol days.

3.Value of Marine Reserve by Local Residents: Willingness to Work(WTW) and Willingness to Pay(WTP) in San Miguel Island. Using contingent valuation method, we investigated the local residents'conservation value of the San Miguel Island MPA. We surveyed 435 respondents in three villages and used non-parametric and parametric methods to estimate average WTW and WTP. Using the mean daily income to impute the monetary equivalent of WTW, the result is more than 10 times higher than the estimated mean WTP elicited through referendum approach. Policy implications include: (1)considering use of voluntary labor as management option for MPAs and (2)establishing 'own village' MPAs may increase residents'conservation value.

4.Implications of Managing FAD-based Fishery on Marine Resource Conservation.FAD use is a relevant related policy question impacting both conservation and economic development in the study areas. Thus, we also conducted socioeconomic dimensions and policy analysis of FAD or *payao*-based fishery in both study areas.

We initially conclude that spatial management options such as MPAs have positive economic value from the point of local residents. Local residents and fishermen are generally willing to contribute labor for maintaining marine reserves. On the other hand, the short-runeconomic value of FAD-based fishery cannot be overemphasized. The long-run dynamics of MPAs and FADs in a single fishing ground, however, warrant further investigation.

論文審査結果の要旨

以下の諸点について論文の査読と口頭試問による審査を行った。

1. 海洋保護をめぐる状況認識

熱帯地域の沿岸域は、周辺海藻・海草藻場やヤングローブ林、サンゴ礁と一体的に、生物生産性・生物多様性が共に高い生態系の基盤となり、水産資源を涵養して地域住民の漁業生産を支えている。本研究で対象とする黒潮海流に対面するフィリピン・ルソン島の東海岸一帯もその典型のひとつであるが、沿岸域に点在する漁村の経済は農業部門と同様厳しい現況にあり、ほぼ 40% 強が貧困ライン上にある。特に漁村は、商業的漁業の進展による過剰漁獲や、沿岸域で局地的に進む開発、浚渫工事、違法漁業などにより、総体として海洋資源が劣化し、漁業生産も低下傾向を強めている。加えて近年の地球温暖化に起因すると見られる気候変動、とりわけ台風の頻度と強度は多大の被害を頻発させ、人為的自然的双方の強い影響下にある。

フィリピン政府はこの事態を重視し、漁業生産の維持・回復、生態系の機能や生物多様性の保護を目的とした海洋保護区 (MPA) の設置を全国的規模で推進し、次世代に資源をつなぐ持続的漁業生産と取り組んでいる。その政策的対応は早く、1970 年代には MPA の初発の試みが見られ、その後 1990 年代のいわゆる国連環境サミットを契機に、地域住民参加型の MPA が全国で展開してきた。さまざまな保護活動に伴う法整備を背景に、2005 年現在、その数は 1,300 ケ所に及ぶと見られるが、禁漁区域の設定や、設置された保護区内で頻発する違法漁業の監視、管理といった諸活動の困難さから、機能的な MPA は 20% 程度と見られている。

同国の MPA をめぐる諸状況を、学位申請者は正確に把握し認識していると判断される。

2. 研究の意義

本学位論文は、フィリピンの漁村を広く特徴づける社会経済事情下で、海洋保護に MPA を中心に取り組む 2 地域の漁村を対象とし、住民の沿岸環境問題への関心、保護へ向ける意向、具体的な取り組み行動と参加態度など経済行動の内面に光をあて、MPA を中心とした沿岸環境の経済価値を解析・評価した成果である。漁村居住者の環境問題への認識の程度、オープンアクセスであった漁場に保護区が敷かれ漁業が制約されることへの心情 (賛意、不服、不満)、漁業所得の変化に伴う家計の動きなどを経済分析の対象に織り込み、保護区のあり方を探る本研究は、環境問題が今世紀の最優先課題とされる今日、極めて意義ある研究課題である、またその解析結果は、後述するように、劣化する一方の同国沿岸生態系の保護・保全に有効な示唆を与える内容となっている。

3. 調査対象地の適合性：特に黒潮海流との関連

本論文の対象地は、黒潮の源流域に所在する南部ルソンのラゴノイ湾と、北部ルソンを離岸し北上するカガヤン峡谷州に位置するクラベリア湾の 2 漁村である。ラゴノイ湾は東海岸を代表する珊瑚礁があり藻場も魚種も豊富な沿岸域として知られるが、地域開発の影響を受け藻場の生態系に顕著な劣化が見られる。それに対処するため、1990 年代後期に MPA が地域住民の合意で設置され、ほぼ 15 年が立つ。一方のクラベリア湾は、経済開発が遅滞した州に所在し漁業の生業も細いが、生態系の劣化と沿岸環境の保全へ向けラグーン (礁湖) で MPA 設置の取り組みが進められている。

論文審査結果の要旨

現地を審査員も踏査しており、両調査地は代表性を保証する諸条件を具備している。

4. 分析方法の特徴

分析方法は、基本的に近年の環境経済学の選択モデル（Choice Model）法に依拠している。統計学的手法を援用し標本抽出の代表性や解析結果の検証を行う内容は、大きく3つの方法論で構成されている。

(1) MPA の経験が浅いクラベリア湾の村では、調査に対する漁家（戸主）の調査への抵抗感を緩和する意図から、図（チャート）を多用した調査表に基づくコンジョイント分析法が適用されている。

(2) 比較的経験年数が高いラゴノイ湾のサンミゲル島5村（分析ではサグロン村を中心にラウイス、ピシタ3村）から比例無作為法で445戸を選定し、表明選好法（CVM）を適用し、MPA の経済価値の評価を行った。調査村では、前段で詳細な漁家経済調査を実施し、母集団から無作為による標本抽出を行い、住民、特に漁家を中心に、MPA へ向ける意向や態度を、監視などの役務（WTW）や支払意思額（WTP）の両面から環境の経済価値評価が試みられている。

(3) MPA の設置により受ける漁場の制約を緩和するため、保護区外に敷設されたパヤオ（Payao：浮き魚礁）の現況を解析するため、4町に居住するパヤオの所有者を特定しそのリストより任意に100戸抽出・調査し、コンジョイント法が適用されている。

なお、調査票は英語で内容を調査員と確認後、現地語に翻訳し（クラベリアではイロカノ語、ラゴノイではビコール語）、事前に調査員の研修を行い、ひと組み2人の構成で3段階（センサス調査・フォーカスグループ面談調査、選択モデル調査、浮き魚礁調査）に渡る調査が2007～09年にかけて実施されている。

フィリピン出身者で無ければ、この種の社会経済データは収集できない。また分析方法も新たなジャンルであり、特にMPAへの応用はユニークで同国における先行研究の1つに位置すると考えられる。

5. 漁村社会構造への分析視点

第2章及び第3章には、北部・南部両ルソンにおける2つの調査村の社会経済的特徴（人口規模、生活経済、貧困の度合い、漁業の現況、漁具・漁法、海洋保護への関心、MPAへの認識や保護へ向ける意向、態度を規定する属性等）の考察結果が論述されている。両村のデータから漁村の厳しい経済レベルが明示されたが、そうした困窮した生活基盤にもかかわらず、多くの漁民は海洋資源の保護が極めて重要であることを認識していること、教育（就学の程度）や所得水準が高い層でその意識が高いこと、各戸の資源賦存の状態が違うが、中でも教育、家族規模、兼業機会の有無が属性として強く働いていることが示され、漁村の社会構造が描き出されている。センサス調査に依拠した漁村の社会構造分析は、当国ではまだ事例に限られている点で特筆される。

6. MPA 設置に関与する属性考察

第4章では、MPAの面積規模（広さ）、期待漁獲量、監視作業への役務の組み合わせチャートを用いコンジョイント分析がなされた。標本のサイズや調査への回答者の理解度や属性の設定に課題を残すが、漁民はMPAの広さに強い関心を持ち、また監視への労役にも一定の賛意を表し

論文審査結果の要旨

ている。しかし期待漁獲量のように不確定な属性に対しては強い抵抗感を持つことが分かる。調査村では海岸線から 200m を目安として礁湖の保護を行っているが、村内には船外機を持たない人力走行の舟（バンカ）で生計をたてる漁家も多く、保護区の拡張には慎重である。MPA の設定にあたってはその設置によって制約を受ける漁場の面的規模に住民の強い抵抗感がある。MPA の推進に取り組む多くの事例が機能的ではない根底には、漁村の低位停滞的な経済状態が反映されていることが、この調査研究で明示されている。

7. MPA の経済価値評価

CVM はさまざまなメリットを持つが、問題点としてある仮想的状況に対する支払意思額を直接尋ねる場合、消費者が自分の効用の変化分に対し値付けし一般的には貨幣尺度で表すことに不慣れである。ここでは、地域住民が抱く価値額を調べるために、MPA に対する労働意思量（WTW）と支払意思額（WTP）の評価を、サンプルを調査村ごとに分け両者を比較する方法が取られた点に特徴がある。地域住民主体の MPA 管理は、情報面や監視コストの面でさまざまな優位性が認められるが、利害関係者の合意が前提となるため、コミュニティのサイズが大きくなると多彩で困難な問題が発生する。船外機を備えた漁船を所有する漁民とそうでない漁民間で階層分化の兆しが見られる処も少なくない。

そうした実情を示すデータを世帯調査やフォーカスグループ法で丹念に精査し、CVM による精度の高い実証分析結果を提示している。

8. パヤオ（浮き魚礁）の特性評価

他方、現地には MPA で漁場が制約されるため、パヤオ（浮き魚礁）が区域外に設置されその数を急速に増やしているという実情がある。そのパヤオの実態に光をあて、所有者にコンジョイント分析の質問表で提示した案に賛成しなかった時にどのような状況に回答者が陥るかが検討されている。結果は、パヤオ漁ができないよりは、多少の登録料を払い、一定の禁漁期間が設けられるという回答者（漁民）にとっては損失が最小限になる規制状況を受け入れる選択結果が示されている。パヤオ漁法ができなくなると所得がどの程度減少するかは明示的に示されていないが、その損失所得がある程度大きいので一定額までの登録料を支払うことは受け入れる意向が読みとれる。また、規制される漁具の種類についても、規制が強くなることでパヤオ漁法による収入が減ることになると考えられることから、漁具への規制は避けたいとの意向も示唆されている点で注目される。この分析は、データ収集の困難さもあって多くの課題を残しているが、MPA との関連で今後よりモデルの精緻化が望まれる。

9. 政策的含意

終章にあたる第 8 章は総括に当てられているが、特に両村への助言は以下のようなようである。クラベリア村では、(1) MPA を軌道に乗せるためには、保護区外での養殖漁業を含む漁法の改善方途や、(2) 長期的視点からは持続的な資源利用を実感できる教育投資の必要性が示唆されている。また MPA の取り組みに経験が長いラゴノイ湾の事例では、(1) MPA の設置によって不利益を被る漁家を特定し、それを補償する対応策が緊要であること、(2) 若年層（～15 歳）の教育、特に

論文審査結果の要旨

環境保護への啓蒙が重要であること、(3) 副業を含め雇用機会の創出が必要であることが、MPAの実効性をより高める政策課題であることを示唆している。

上述の通り、本論文は対象地が黒潮沿岸域に位置するだけでなく、MPAを中心とした沿岸生態系の保全・保護活動に経済学から光を当てた貴重な成果である。周到な大数調査と適用された選択モデルは、方法の有効性と合わせ、実証研究に新たな基礎的知見を提供している。

ふりがな 氏名（本籍） 学位の種類 学位記番号 学位授与の要件 学位授与年月日 学位論文題目 発表誌名	どい としお 土井 敏男（兵庫県） 博士（学術） 乙総黒博第2号 学位規則第4条第1項該当 平成22年2月14日 水族館飼育下でのケツギョの個体発生および初期生活史 摂餌開始期のケツギョ飼育仔魚専食性 土井敏男・青山茂，水産増殖， 52(3)，221-229，2004 Ontogeny of the mandarinfish <i>Siniperca chuatsi</i> (Perciformes : Sinipercidae)reared in aquarium (水族館飼育下におけるケツギョの 個体発生) Toshio Doi・Shigeru Aoyama・Izumi Kinoshita， Ichthyological Research，51：337-342，2004 Early Development of the Digestive System and Digestive Enzyme Activity of Reared Mandarinfish <i>Siniperca chuatsi</i> (Perciformes : Sinipercidae)（飼育下におけるケツギョの消化器官および消化酵素 活性の初期発達） Toshio Doi，Aquaculture Science，53(4)：425 -431，2005 審査委員 主査 教授 木下 泉 副査 教授 山岡 耕作 副査 教授 富永 明
論文の内容の要旨	
<p>中国大陸特産のスズキ亜目淡水魚ケツギョは、古くから漢詩や書画の題材に用いられ、高級食用魚として水産業上重要な種であるが、天然資源は減少している。本種は中国で養殖され、その技術に関する知見は多少ある。しかしながら、分類学的には帰属先の科さえも確定していない上に、その強い魚食性のため食物連鎖の頂点に立つ種であるにも関わらず、その生態学的知見、特に初期生活史についてはほとんど不明である。本研究では、中国との友好協定下で得た個体を水族館で飼育し、繁殖させることに成功し、その結果、得た卵・仔稚魚を用いて、ケツギョの個体発生および初期生活史を明らかにすることを目的とした。</p> <p>本論文は、以下のように6章から成り、第1章では研究の背景および目的を記した。</p> <p>第2章では、通常人工催熟で養殖される本種を、水槽飼育下で自然産卵させて観察した。本種が毎年4月上旬から8月下旬（水温20-26℃）の長期間にわたり産卵すること、1個体が2-4万粒を多回産卵（2歳魚，21-24cmBL）することを明らかにした。また、1歳魚（約12cmBL）でも産卵・放精可能なことを確認した。</p> <p>第3章では、卵および仔稚魚の外部形態およびそれらの成長を記載した。本種は16日で</p>	

論文の内容の要旨

約 15mmBL の稚魚期に達する非常に早い成長を示した。また、淡水スズキ亜目魚類の中では特殊な、浮遊し易い分離沈性卵、顕著な頭部棘要素、背鰭棘条の早期完成といった個体発生の特徴を有することを明らかにした。

第 4 章では、摂餌生態について観察し、摂餌開始期騰（ふ化後 5 日目、約 5mmBL）は、口径より小さいプランクトン類を食べず、他種の仔魚（時に自身の全長より長い）を食べる強い魚類専食性を示すことを確認し、餌の認識は視覚によることを推察した。一方、飢餓耐性は低かった。仔魚後期、稚魚は、引き続き魚類専食性を示し、自身の体長の 60-100%の体長の仔魚を捕食した。遊泳・摂餌行動は、発育が進むにつれて操縦性を増し、より効率的に変化した。共食いは、主に稚魚期以降に生じたが、地種への捕食に比べて積極的なものではなかった。

第 5 章では、魚類専食性への適応を推察するため、内部形態の個体発生を調べた。消化器官の形態的および組織学的観察を行い、仔魚期前半（約 9mmBL 以下）では口腔や胃盲嚢などの量的発達が見られ、仔魚期後半（約 10mmBL 以上）では引き続き起こる量的発達とともに、胃腺や幽門垂などの成魚型消化器官の形成による機能的発達が起こることを明らかにした。透明化二重染色による骨格系の観察により、摂餌開始期（約 5mmBL）の時点ですでに仔魚捕食に必要な顎・咽頭部の軟骨や歯が出現し、仔魚後期（約 9mmBL）には新たな摂餌・遊泳関連要素の出現、骨化の開始、大型化が顕著に進み、15mmBL 以上の稚魚ではほとんどの骨要素が出揃い、骨化が進んでほぼ完成形になることを明らかにした。

第 6 章では、第 2-5 章を踏まえ、天然水域での彼らの初期生活史の推測を含め、総合的な考察を行った。すなわち、本種は、摂餌開始期から大型の仔魚を摂餌し、速い初期成長を示すが、それは、それぞれの発達段階における魚類専食に適した内臓、骨格、行動の発達によることが示唆された。

論文審査の結果の要旨

ユーラシア大陸陸水域に広く分布し、中国では古くから漢詩や書画の題材にされ、高級魚として水産業上重要な種であるケツギョは、分類学的にはその帰属先の科さえも確定していない上に、その生態、特に初期生活史についてはほとんど不明であった。申請者・土井敏男氏の学位論文は、中国との友好協定下で得た個体を水族館で飼育し、繁殖させることに成功し、その結果、得た卵・仔稚魚を用いて、ケツギョの個体発生と初期生活史を明らかにした。その内容を以下に要約する。

本論文は、以下のように6章から成り、第1章では研究の背景および目的を記した。

第2章では、通常人工催熟で養殖される本種を、水槽飼育下で自然産卵させて観察し、本種が毎年4-8月の間に、1個体が2歳魚で2-4万粒を多回産卵した。

第3章では、卵と仔稚魚の外部形態およびそれらの成長を記載した。本種は16日間で約15 mm BLの稚魚期に達する早い成長を示した。また、淡水魚類の中では特殊な、浮遊し易い分離沈性卵、顕著な頭部棘要素、背鰭棘条の早期完成という特異性を有することを明らかにした。

第4章では、摂餌生態について観察し、摂餌開始期では、プランクトン類を食べず、他種の仔魚を食べる強い魚類専食性を示すことを確認した。また、餌の認識は視覚によることを推察した。仔魚後期-稚魚期も引き続いて魚類専食性を示し、自身の体長の60-100%の体長の仔魚を捕食した。さらに、主に稚魚期以降に共食いが生じた。

第5章では、魚類専食性への適応を推察するため、内部形態の個体発生を調べた。消化器官の形態的および組織学的観察を行い、仔魚期前半では口腔や胃盲嚢の発達により、仔魚期後半ではそれらの量的発達とともに、胃腺や幽門垂を備えた成魚型消化器官の形成による機能的に発達することを明らかにした。次に、摂餌開始期に既に仔魚捕食に必要な顎・咽頭部の軟骨や歯が出現すること、仔魚後期から新たな摂餌・遊泳関連要素の出現、骨化の開始、大型化が顕著に進むこと、稚魚期ではほとんどの骨化が進んでほぼ完成することを明らかにした。

第6章では、第2-5章を踏まえ、天然水域での彼らの初期生活史および生活戦略の推測およびその特異な個体発生から近縁種との類縁関係を含めた総合的な考察を行った。

以上、ユーラシア大陸に広く分布するケツギョの個体発生の全貌を明らかにでき、さらには全く謎であった天然水域での初期生活史にも言及することができた。

平成22年2月11日に開催された公開審査会で効果的な発表を行い、質問へも適切に対応できた。また、申請者は、本論文内容の一部から、査読システムのある学術雑誌に、既に3報を公表している。

従って、黒潮圏での生物学的かつ産業的きわめて興味深い魚種の再生産を扱った申請者の提出論文は博士論文としての水準に十分に達していると考えられた。

ふりがな	まつだあつし
氏名(本籍)	松田 篤志 (熊本県)
学位の種類	博士(学術)
学位記番号	乙総黒博第3号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位授与年月日	平成22年2月14日
学位論文題目	有毒渦鞭毛 <i>Alexandrium catenella</i> の麻痺性貝毒生産に関する生理・生態学的研究
発表誌名	Effects of nitrogen deficiency on the PSP production by <i>Alexandrium catenella</i> under axenic cultures, Matsuda A・Nishijima T・Fukami K, In: Yasumoto T, Oshima Y, Fukuyo Y(eds). <i>Harmful and Toxic Algal Blooms</i> . Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Paris・305-308・1996 有毒渦鞭毛 <i>Alexandrium catenella</i> の増殖に及ぼす窒素・リン栄養塩の影響、松田篤志・西島敏隆・深見公雄, 日本水産学会誌・65(5)・847-855, 1999年9月 有毒渦鞭毛 <i>Alexandrium catenella</i> の増殖に及ぼすB群ビタミンの影響、松田篤志・西島敏隆・深見公雄・足立真佐雄, 日本水産学会誌・67(4)・658-663, 2001年7月 リン制限下における <i>Alexandrium catenella</i> の増殖の動力学および麻痺性貝毒生産、松田篤志・西島敏隆・深見公雄・足立真佐雄, 日本水産学会誌・72(2)・193-200, 2006年3月 窒素・リン制限下において水温が有毒渦鞭毛 <i>Alexandrium catenella</i> の麻痺性貝毒量ならびに毒成分組成に及ぼす影響、松田篤志・西島敏隆・深見公雄・足立真佐雄, 日本プランクトン学会報・54(2)・92-98・2007年9月
	審査委員 主査 教授 平岡 雅規 副査 教授 深見 公雄 副査 教授 富永 明

論文の内容の要旨

Alexandrium catenella は、麻痺性貝毒を生産する有毒渦鞭毛藻である。本藻を摂食した二枚貝は毒化し、致死率の高い食中毒を引き起こすことから、食品衛生、水産業上問題となっている。対策として本藻の出現・貝類の毒化を予測することが望まれるが、そのためには、水藻の増殖特性、麻痺性貝毒生産特性を解明し、現場海域での生態を理解する必要がある。しかしながら、これまでの知見は十分とはいえない。そこで、本研究は、*A. catenella* の増殖特性および毒生産に及ぼす環境要因の影響を培養試験により明らかにした。得られた結果は、以下に要約される。

論文の内容の要旨

増殖生理特性：増殖に及ぼす物理・化学的環境要因の影響について試験した。

本藻は水温 15～20℃でよい増殖が得られ、30℃では増殖できなかったが、比増殖速度が非常に低いものの 10℃でも増殖可能であった。光強度については、 $56 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上 ($192 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ まで試験) でよい増殖が得られた。

本藻は、無機態窒素・リンの利用に関しては、他の沿岸性の植物プランクトンと競合した場合、不利になると予想された。しかしながらリン源としてオルトリン酸以外に無機態・有機態リンを幅広く利用することが可能であった。

以上の結果から、本藻は、オルトリン酸が枯渇した水温 15～20℃の環境条件下では、有機態リン源を利用し増殖することで他種との競合から抜け出し、赤潮を形成、二枚貝を毒化すると考えられた。

麻痺性貝毒生産特性：麻痺性貝毒生産特性に及ぼす物理・化学的環境要因の影響を調べた。細胞内の麻痺性貝毒量は HPLC を用いて分析した。

水温の影響について試験を行ったところ、至適増殖水温 (20℃) よりも低水温下 (10℃) で毒量が最大となった。光強度との関係では、至適光強度に相当する $80 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で毒量は最大に達したが、さらに光強度が大きくなると毒量は減少した。

細胞内の毒量は、窒素制限下での培養で明らかに減少した。毒量は、比増殖速度、細胞内窒素含量の減少とともに $4.2\text{fmol}/\text{cell}$ へと低下した。

一方、リン制限下では、細胞内の毒量は比増殖速度及び細胞内リン含量が減少するにつれて顕著に増大した。細胞内のリンが著しく不足していると考えられる低比増殖速度下での毒量は $92.3\text{fmol}/\text{cell}$ と、栄養塩が豊富な条件下での毒量と比較して約 4～6 倍高かった。

窒素・リンともに制限された条件下では、15℃での細胞内の毒量は 20℃とほぼ変わらなかったことから、15～20℃では水温よりも細胞内の栄養塩状態が毒量に大きな影響を及ぼしていることが明らかとなった。また、低水温下 (10℃) では、窒素・リン制限下においても細胞内の毒量が高くなることが示唆された。

以上のように、本藻の単位細胞あたりの毒量は、水温、光強度及び栄養塩制限によって著しく変動することが明らかとなり、水温 15～20℃でリン供給量が非常に少なく、海水交換率あるいは捕食者による摂食圧が小さい海域では、細胞内がリン制限となった本藻が高細胞密度となり、貝類が毒化しやすいと考えられた。

本研究で明らかとなった *A. catenella* の増殖特性および麻痺性貝毒生産特性は、海域の麻痺性貝毒量の変動を解明する上で有用であると共に、貝類毒化・赤潮発生の中期的な予測に役立つと期待される。

論文審査の結果の要旨

Alexandrium catenella は、麻痺性貝毒を生産する有毒渦鞭毛藻である。本藻を摂食して毒化した二枚貝を人が食べると死亡率の高い食中毒を引き起こす。毒量が規制値を超えると、出荷は自主的に規制され、水産業での経済的損失は極めて大きい。このため、本藻による二枚貝の毒化を予知・予測し、二枚貝の毒化を回避することが強く望まれている。さらに、本藻は西日本の沿岸域において赤潮を形成することもあり、本藻による赤潮発生の予知・予防対策も求められている。

これまでの現場モニタリング調査の結果から、二枚貝の毒力は本藻の細胞密度とは必ずしも一致しないことが報告されており、その原因の一つとして細胞内の麻痺性貝毒量が環境条件により変動することが疑われている。このため二枚貝の毒化を的確に予知・予測するためには、原因生物である本藻の細胞密度の変動と共に細胞内の麻痺性貝毒量の変動を明らかにする必要があると考えられる。しかし、本藻は分離・培養、特に無菌培養が困難であったことに加え、完全人工培養液では増殖が悪いことから、増殖特性・栄養要求・毒生産特性については、まだ十分に明らかにされていない。

そこで本研究は、生理・生態の面のみならず食品衛生の面からも貝類毒化の予知・予測並びに赤潮の予防策を講じる上で基礎となる、*A. catenella* の増殖生理特性および麻痺性貝毒生産特性を明らかにしようとした。その結果、以下のことが明らかとなった。

1. 増殖に及ぼす物理的環境要因の影響及び栄養塩類利用特性

本藻の増殖に適した水温は、15～20℃であった。また、30℃では増殖できなかったが、10℃では比増殖速度が非常に低いものの増殖可能であった。塩分については25～34 PSU、光強度については、実験を行った $192 \mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$ までの範囲では、 $56 \mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$ 以上でよい増殖が得られた。

セレン等の金属を添加した培地を開発し、本藻の増殖に及ぼす無機態窒素・リン濃度の影響を調べたところ、増殖の半飽和定数は、硝酸態窒素で $7.7 \mu\text{M}$ 、アンモニア態窒素で $3.3 \mu\text{M}$ 、無機態リンで $0.72 \mu\text{M}$ と、沿岸海域に生息する代表的な珪藻類や他の赤潮鞭毛藻と比較して高い値であった。また、本藻の最大比増殖速度は $0.47\sim 0.55/\text{day}$ と、他のプランクトンよりも低かった。本藻は、試験を行った尿素やアミノ酸のような有機態窒素はほとんど増殖に利用できない一方で、リン源に関してはオルトリン酸以外に無機態・有機態リンを幅広く増殖に利用可能であった。以上の結果から、本藻は無機態窒素・リンの利用をめぐる珪藻類や他の赤潮鞭毛藻との競合には不利であるものの、比較的低栄養な海域の表層付近のようにオルトリン酸がほとんど枯渇しているような海域においては、有機態リンをはじめ種々のリン源が利用可能であることから、それらを利用できない種との競合に優位に立てると考えられた。

本藻は他の多くの沿岸赤潮プランクトンと同様に、ビタミン B_{12} を増殖に必須に要求することが明らかになった。ビタミン B_{12} の増殖の半飽和定数は 0.22 ng/L 、最大比増殖速度は $0.55/\text{day}$ 、最小細胞内ビタミン B_{12} 含量は 0.65 fg/cell と算出された。本藻の最大比増殖速度と増殖の半飽和定数を他の赤潮プランクトンと比較した結果、本藻は、高ビタミン B_{12} 濃度下では、多くの場合他種よりも不利であるが、低ビタミン B_{12} 濃度下では他のプランクトンよりも優位に増殖可能な場合もあることが考えられた。他の赤潮プランクトンとの競合を考えると、本藻は高ビタミン B_{12} 濃度下よりも低ビタミン B_{12} 濃度下が有利であると推察された。

2. 麻痺性貝毒生産に及ぼす物理環境要因の影響

水温の影響について試験を行ったところ、細胞当たりの毒量は増殖至適水温の20℃ではなく

論文審査の結果の要旨

10℃のような低水温下で最大値を示すことが分かった。10℃では細胞体積が増大したうえ、細胞体積あたりの総毒量が最も高くなった。このため、細胞当たりの総毒量は10℃で 72.9 ± 2.0 fmol/cellという最大値が得られた。

水温を20℃に保ち光強度との関係を調べたところ、至適光強度の $80 \mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$ で細胞当たりの総毒量は最大となり、 25.0 ± 1.6 fmol/cellに達したが、それ以上光強度が大きくなると毒量は逆に減少した。

同様に水温を20℃に保ち塩分の影響について調べたところ、35 PSUで毒量が最も高く 25.0 ± 1.6 fmol/cellを示したが、試験を行った塩分19~40 PSUの範囲では、細胞当たりの毒量は塩分によりそれほど大きく変動することはなかった。

本藻は、主要な毒成分として GTX5, C1+C2, 微量成分として GTX1+4, C4 を含んでいた。細胞内の毒組成比は、水温及び光強度によりやや変動したものの、物理環境条件あるいは増殖段階によりあまり変化することはなく、ほぼ一定であった。

3. 麻痺性貝毒生産に及ぼす窒素・リン制限の影響

本藻の生息する沿岸表層環境でしばしば見られる窒素・リン制限下での本藻の増殖動力学及び麻痺性貝毒生産を半連続培養試験で明らかにした。

20℃・窒素制限下での最大比増殖速度、最小細胞内窒素含量はそれぞれ 0.66/day, 6.99 pmol/cell と算出された。細胞当たりの総毒量は、窒素制限が厳しくなるにつれて明らかに減少し、細胞内窒素含量が最小に近いときに 4.6 fmol/cell と最も低くなった。また、細胞当たりの総毒量と細胞内窒素含量の間にはほぼ一次の直線関係が認められた。このことから、細胞内が窒素制限状態にあるときには、単位細胞あたりの総毒量は、栄養塩類が十分に存在する条件下よりも低くなることが明らかとなった。

20℃・リン制限下での最大比増殖速度、最小細胞内リン含量はそれぞれ 0.79/day, 0.28 pmol/cell と算出された。細胞あたりの総毒量は、窒素制限の時とは異なり、リン制限が厳しくなるにつれて顕著に増大し、細胞内リン含量が最小に近いときに 92.3 fmol/cell と最も高くなった。この値は、栄養塩が豊富な条件下でのものと比較して約 4 倍高かった。このことから、単位時間あたりのリン供給量が小さくリン制限下にあり、かつ捕食圧や死滅等が低い現場海域においては、細胞密度はそれほど高くなくても、海域中の麻痺性貝毒量は増大する可能性があると考えられた。

水温条件を 10・15・20℃に変化させ、それぞれ窒素あるいはリン制限下での半連続培養試験を行い細胞当たりの総毒量を測定したところ、窒素制限下では、20℃で 3.8 fmol/cell, 15℃で 5.0 fmol/cell とほぼ同じであったが、10℃では 19.1 fmol/cell と増加した。リン制限下でも、20℃で 64.1 fmol/cell, 15℃で 61.0 fmol/cell とほぼ同じであったが、10℃では 104.2 fmol/cell となり、培養試験の結果の中で最も高かった。

これらのことから、本藻は水温および細胞内の窒素・リン含量により細胞あたりの総毒量を大きく変動させており、低温かつ細胞内がリン制限状態にあるときに、細胞あたりの総毒量が著しく増加する傾向にあることが明らかになった。

以上、本研究で明らかとなった *A. catenella* の増殖生理特性、麻痺性貝毒生産特性から、本藻により二枚貝が毒化しやすい環境条件として以下の2つの条件が考えられた。

論文審査の結果の要旨

① *A. catenella* が大量に増殖する環境条件

水温 15～20℃で、オルトリン酸はほぼ枯渇しているものの有機態のリン源が存在する環境では、本藻は他種との競合から抜け出し、赤潮を形成するほど大量に増殖できると考えられた。このような場合には、栄養塩類が十分にあるため本藻の細胞密度は極めて高いことから、海域に存在する麻痺性貝毒量は非常に多くなり、二枚貝は毒化し、蓄積される毒量も高くなると考えられる。

さらに、本藻の大量増殖後のリン枯渇時には、本藻の細胞内がリン制限状態となることで細胞内毒量が高くなるため、細胞密度に変化がなくても、あるいは細胞密度が減少傾向にあったとしても、海水中の麻痺性貝毒量は高いまま保たれ、二枚貝に蓄積される毒量に変化がないあるいは上昇する可能性が推察された。

② 細胞内がリン制限状態にありかつ *A. catenella* の細胞密度が高くなる条件

水温 15～20℃でリン供給量が非常に少なく、海水交換率が小さいあるいは捕食圧や死滅率が小さいために海域から除去される本藻の細胞数が少ない場合、細胞当たりの毒量が非常に高くなるため、細胞密度はそれほど高くないものの海域に存在する麻痺性貝毒量は多くなり、二枚貝に蓄積される毒量は高くなると考えられた。このような条件下では、他の条件よりも少ない細胞密度で二枚貝中の麻痺性貝毒量が規制値を超え、毒化する可能性があると考えられた。

本研究から、*A. catenella* の増殖特性、栄養要求および麻痺性貝毒生産特性が詳細に明らかにされた。さらに、細胞密度の変動と細胞内の毒量の変動を総合的に検討・考察することで、本藻により二枚貝が毒化しやすい2つの環境条件を明らかにすることができた。これらの成果は、本藻による貝類毒化・赤潮発生の中期的な予測に役立つとともに、食品衛生の面からも、海域の麻痺性貝毒量の変動を解明する上で有用であると考えられる。現場海域での環境モニタリング調査の結果と、本研究で明らかとなった本藻が赤潮を形成しやすい環境条件、二枚貝に供給される麻痺性貝毒量が多くなる環境条件を総合的に考慮し、検証・修正を重ねることで、今後、本藻による赤潮形成・二枚貝の毒化を正確に予知・予測することが可能になると期待される。

このように、本論文は、これまでほとんど知見の得られていなかった有毒渦鞭毛藻 *Alexandrium catenella* の麻痺性貝毒生産に関する増殖生理と毒生産の関係について明らかにするとともに、食品衛生の面からも考察したものであり、異分野融合を目指した「黒潮圏科学」の面からも特筆に値する。このため全審査員一致して、本論文が本専攻の博士の学位に十分値するものであると判定した。

<p>ふりがな 氏名（本籍） 学位の種類 学位記番号 学位授与の要件 学位授与年月日 学位論文題目 発表誌名</p>	<p>びくたー さるせど そりまん VICTOR SALCEDO SOLIMAN 博士（学術） 乙総黒博第4号 学位規則第4条第1項該当 平成22年2月14日 Ecology and Population Dynamics(Teleostei: Siganidae) in Lagonoy Guff, Philippines Soloman, V.S., Yamada, H., and Yamaoka, K. 2009. Validation of daily sagittal increments in the golden-spotted rabbitfish <i>Siganus guttatus</i> (Bloch) using known-age larvae and juveniles. <i>Journal of Applied Ichthyology</i>, 25(4):438-441. Soloman, V.S., and Yamaoka, K. 2009. Assessment of the fishery of siganid juveniles caught by bagnet in Lagonoy Guff, northeastern Philippines. <i>Journal of Applied Ichthyology</i>. Soloman, V.S., Yamada, H., and Yamaoka, K. Early life traits of spiny siganid <i>Siganus spinus</i> Linnaeus inferred from otolith microstructure;, <i>Journal of Applied Ichthyology</i>.</p> <p style="text-align: right;">審査委員 主査 教授 山岡 耕作 副査 教授 大島俊一郎 副査 教授 大谷 和弘</p>
論文の内容の要旨	
<p>Early life-history of coral reef fishes exerts significant influence on their population dynamics. This assertion has been explored in the dissertation from otolith-inferred early life traits and settlement strategy of three siganid species (Family Siganidae) in five papers. The study site is Lagonoy Gulf, southeastern Philippines. Daily periodicity of otolith increment was validated in hatchery-reared known-age <i>Siganus guttatus</i> larvae and juveniles. Fish stock dynamics was investigated by an assessment of the fishery of siganid juveniles caught by bagnet. Seven species of siganid juveniles were identified from the catch. Bagnet caught 49% of total annual siganid juvenile catch which disrupted settlement because catch was equivalent to almost the whole night-setting young fish. Specimens of <i>Siganus canaliculatus</i> and <i>Siganus spinus</i> examined were from the gut of <i>Katsuwonus pelamis</i> caught 120 km offshore to settled juveniles caught 5-100 m from shoreline. <i>S. canaliculatus</i> settled at the age of 19.4 ± 0.8 days and size of 25.83 ± 0.15 mm SL (mean \pm SE; n = 85). <i>S. spinus</i> settled at $19.9.4 \pm 0.1$ days old with size of 30.5 ± 0.12 mm SL (mean \pm SE; n = 86). Seine net caught post-settled siganid juveniles that composed 51%</p>	

論文の内容の要旨

of total annual siganid juvenile catch. Stock dynamics of the species is highly lunar-periodic where highest volume of juveniles move to the coast on and 1-2 days about the new moon in April and May, summer months in the Philippines. Their early settlement and short first feeding indicate the urgency to reach coast within that narrow window of time. Their daily settlement weight data (2001-2008) showed remarkable strict lunar-temporal coherence despite significant continuous catch decline. The findings suggest that settlement volume is in direct relation to their early life traits in the sense that the young fishes shall have attained an optimum combination of the life traits at the time of mass settlement.

論文審査の結果の要旨

学位申請者の Victor Salcedo Soliman 氏は、1983年ピコール大学を卒業（水産学士）後、セントラルルソンステイト大学の修士課程に進学し、1994年に修士号（学術修士）を得ている。研究歴としては1991年以来26編の論文を公表し、この内の5報が今回の学位申請と直接関係するものである。国際誌である *Journal of Applied Ichthyology* に3報が発表又は印刷中等の状況にあり、本専攻論文博士学位取得要件を満たしている。印刷中及び受理については、編集委員長の Harald Rosenthal 博士より公式の受理通知が届いている。

本学位論文の研究対象であるアイゴ科魚類は、我国ではそれほど経済面で重要視されないが、熱帯亜熱帯域においては、動物性タンパク源として重要な位置を占めている。その食性が植食性であり、動物性タンパクを餌として与える必要がないため、黒潮圏総合科学専攻が目指す持続型社会創成にとって相応しい研究対象でもある。

本論文を構成する調査及び研究は全てフィリピンルソン島ピコール地域にあるラゴノイ湾、その中でも特にアルバイ州の東に位置するサンミゲル島周辺で行なわれたものである。本湾はルソン島北西岸にあるリングエン湾、ピサヤ地方のセブ島とともにアイゴ類稚魚の3大産地として有名であった。しかし、近年他の2カ所ではアイゴ科稚魚の漁獲が乱獲の為に見られなくなり、ラゴノイ湾はアイゴ科稚魚にとって復活の為に最後の聖地となった。

本論文は7章より構成され、内容は以下の通りである。

第一章は、ラゴノイ湾におけるアイゴ漁業に関連する種多様性が取り上げられている。本湾からは480種の魚類が報告され、その内の131種が藻場と何らかの関係を有し、238種がサンゴ礁性魚類である。主な構成種は、チョウチョウウオ科19種、フエフキダイ科18種、スズメダイ科17種、アイゴ科14種となるが、これらの中で漁業という視点で見ると、アイゴ科が最も種数の多い魚類と見ることができる。本湾では年間に約560トンのアイゴ類の漁獲が有り、その内60トンを幼稚魚が占める。しかし、近年特に幼稚魚の漁獲量が顕著に減少している。本章では、湾全体のアイゴ稚魚漁獲量の90%を占めるサンミゲル島でのアイゴ漁業の位置づけ、漁獲量の季節的変動などを扱い、稚魚及び成熟前の成魚が乱獲されている点を指摘した。

第二章は、バグネット（夜間に光でサンゴ礁に加入直前の稚魚を寄せて漁獲する小型巻網の一種）で獲れるアイゴ科稚魚の漁獲量評価を扱っている。アイゴ類稚魚を対象とする漁業は長い歴史を持っているが、これまで漁獲が資源に及ぼす影響評価は全く行なわれて来なかった。ここではそれぞれ漁獲量の78%、8%、3%を占めるシモフリアイゴ、アミアイゴ、ハナアイゴの3種に焦点を絞り調査を行った。全漁獲量は2001年から2004年にかけて急激に変化し、175トンから65トンと半分以下に減少した。漁獲量ばかりでなく **CPUE**（単位努力当たり漁獲量）も顕著に減少した。漁獲は一般的に周年見られるが、4月、5月の夏期が中心であった。

第三章は、アイゴ科3種（シモフリアイゴ、アミアイゴ、ハナアイゴ）の乱獲の現状を、漁獲物の体調組成から分析したものである。その結果、漁獲死亡と自然死亡の値は高く、漁獲圧が極めて強いことが明らかとなった。3種の実際の漁獲率は持続的漁獲率を34%から64%超過していた。一般的に漁獲サイズも成熟サイズより小さかった。4月、5月の稚魚が多く漁獲される時期には、大型の成熟個体も多く漁獲されていた。近い将来、このような乱獲傾向が是正されるとは思われず、危機低状況は続くと思われる。

論文審査の結果の要旨

第四章は、日齢がわかっているゴマアイゴの耳石の扁平石における日輪形成の確認を行なったものである。本種はアイゴの中で最も売買価格が高い。パナイ島イロイロ市にある東南アジア漁業開発センターから得た0日齢から35日齢までの標本を分析した結果、毎日1本ずつ形成されることが確認された。又最初の日輪はふ化後2日目に形成されることも明らかとなった。この事実が確認されたのは、アイゴ科では世界で初めてである。この知見は、今後未知の部分の多いアイゴ類の初期生態を解明する上で、極めて重要な情報になるであろう。

第五章は、耳石の微細構造から推測されるアミアイゴの初期生態を扱ったものである。用いた標本は、2008年夏にサンミゲル島のサンゴ礁の礁縁部の外でバグネットで漁獲された稚魚、同島の浅い海草群落にて囲い網で漁獲された稚魚、ラゴノイ湾の湾口から東へ70キロの地点で、曳き縄によって漁獲されたカツオの胃内容物から得られた着底前と考えられる稚魚、の3群によって構成される。耳石には核、ふ化輪、最初の摂食を示す輪、着底時に形成された輪が認められた。日輪から推測されるそれぞれの場所から採集された稚魚の平均日輪数は、礁縁部22.1、海草帯21.7、カツオ胃内容物20.6となった。それぞれの標本の中で最も若い日齢の個体は、18日齢、19日齢、17日齢であり、着底輪は認められなかった。各日輪間の間隔の減少と不透明さの変化から、59%の個体は20日齢で着底したと考えられる。着底過程では、新月又はその周辺の時期に礁縁部から海藻帯に先ず入り、その後海草群落に落ち着く。浮遊期間が短いことと新月の時期がアイゴ類の加入戦略にとって必須の条件と考えられる。

第六章では、シモフリアイゴの耳石日輪から見た生活史と加入量推定を論じている。本研究の為の加入量に関する情報は、2005年から2008年にかけて、ラゴノイ湾全体において海草群落で囲い網によって得られた漁獲量を日毎に纏めたものを基本としている。本種の浮遊期間は16日間と短く、3日齢時には最初の摂食を行っていた。着底時期は日輪19.7、その際の標準体長は28.6mmであった。着底時期の推定はアミアイゴの場合と同じく、各日輪間の間隔の減少と耳石の透明さの変化から行なった。大部分の個体は、4月、5月に着底時期の周辺（誤差1～2日）で漁獲され、その平均日齢は20.6であった。加入過程はアミアイゴと同様であり、加入時期は月齢に極めて強く影響され、新月時の夜間に加入は起こった。加入量が激減した近年でも、加入量と月齢の関係は明確である。

第七章は、第一章から第六章までを纏め、総合論議を行なった部分である。加入時期は月齢に極めて深く関係し、対捕食者対策としても、最も暗い新月時の、岸へ向けての潮汐流の早い時間帯が最適である。9年間のラゴノイ湾における漁獲量モニタリング調査により、加入量の激減が起こっていることが明らかとなった。原因として、成熟個体、未成熟個体そして稚魚の乱獲、高い自然死亡率を指摘することができる。フィリピンで最後に残されたアイゴ類稚魚の漁場を回復させる為には、資源管理に責任のある機関は、稚魚の漁獲禁止と合理的な成魚に対する資源管理型漁業を、真剣に考えるべきであると本論文は結ばれている。

上記の様に、発表論文数などの論文博士の学位取得要件を満たす他、論文内容も植食性のアイゴ類の持続的資源管理型漁業を発展させる為に必須の知見を多く含み、本専攻の博士の学位を与えるに相応しいと判断できる。本委員会は全員一致で合格とした。

ふりがな 氏名（本籍） 学位の種類 学位記番号 学位授与の要件 学位授与年月日 学位論文題目 発表誌名	ばーすと ふえりつくす BAST FELIX 博士（学術） 乙総黒博第5号 学位規則第4条第1項該当 平成22年3月5日 Comparative Ecophysiology and Phylogeography of <i>Monostroma</i> (Monostromataceae, Chlorophyta) in Southern Japan. Spatiotemporal sex ratios of a dioecious marine green alga <i>Monostroma latissimm</i> (Kutz.) Wittr. Bast, F., Hiraoka, M. and Okuda, K. (2009) International Journal on Algae, Vol. 11, Issue 2, Pp141-150 Seasonality and thallus ontogeny of edible seaweed <i>Monostroma latissimm</i> (Kutzing) Wittrock (Chlorophyta, Monostromataceae) from Tosa Bay, Kochi, Japan. Bast, F., Shimada, S., Hiraoka M. and Okuda, K. (2009), Hydrobiologia, Vol. 630, No. 1, Pp161-167 Asexual life history by biflagellate zooids in <i>Monostroma latissimm</i> (Ulotrichales). Bast, F., Shimada, S., Hiraoka M. and Okuda, K. (2009), Aquatic Botany, Article in press <p style="text-align: right;">審査委員 主査 教授 奥田 一雄 副査 准教授 久保田 賢 副査 准教授 関田 諭子</p>
論文の内容の要旨	
<p>Monostroma species, an important edible green algae in Japan, are ubiquitous and abundant in marine and estuarine intertidal zones where they provide habitats and nutrients to the meiofauna. On the basis of unique life history and thallus ontogeny patterns, mating tests and the homology of first internal transcribed spacer sequences (nrDNA ITS), <i>Monostroma</i> sp. naturally occurring at Uranouchi Inlet, Kochi Pref. and commercially cultivated at the Shimanto River estuary, Kochi Pref. were conclusively identified as <i>Monostroma latissimum</i> (Kuetzing) Wittrock. Seasonal fluctuations in thallus length were found to be distinctive to the habitat where the strain grows and re-occur annually. Cytological investigation on the gametangial ontogeny revealed that gametogenesis in <i>M. latissimum</i> occurs in patches along apical regions of fronds and the gametes release by dehiscence of gametangia, leading to the disintegration of thalli. The overall primary sex ratio of <i>M. latissimum</i> has been found to be about 1:1 which is likely to reflect Fisherian selection. Asexually reproducing <i>M. latissimum</i> is discovered at a low</p>	

論文の内容の要旨

saline habitat and this strain is found to have similar ITS sequences with that of the sexually reproducing strain. *Monostroma* sp. distributed along Kuroshio Coast of Japan were found to be cross fertilizing and have similar sequences for the gene encoding small subunit of ribosome (nrDNA 18S), however, a substantial variance was observed in ITS sequences. Phylogenetic systematics of Monostromataceae has been investigated using nrDNA ITS, 18S sequences and a combined data matrix.

論文審査の結果の要旨

ヒトエグサ属の種は、世界中の沿岸海域および汽水域に広く豊富に分布し、周囲の種々の動物の住処や食料を供給しており、また日本では、食用に利用される重要な有用海藻である。

申請者は、高知県沿岸で採集したヒロハノヒトエグサ (*Monostroma latissimum*) を本論文の基本的な材料として用い、生態調査による季節消長をはじめとし、培養実験をベースとした生殖や、個体発生、生活史に関する研究をしている。さらに、DNA バーコーディングや mRNA の二次構造解析などに基づき、分子系統学的手法を用いた研究も行っている。このような研究の結果から、以下の 11 項目にわたる主要な新知見を得ている。

1. 天然および養殖されている藻体は有性生殖するタイプであるのに対し、土佐湾から新たに発見した藻体が無性生殖するタイプであった。しかし、両方のタイプは同種であり、いずれも *Monostroma latissimum* (Kützinger) Wittrock と同定される。
2. 藻体の長さに基づく季節消長のパターンは生育地に特有であり、また、毎年繰り返される。
3. 藻体の出現と衰退は高塩分濃度で早期に起こったことから、塩分濃度は孢子体の成熟または配偶体の老化に影響を及ぼすことが示唆される。
4. 配偶子形成は藻体周縁部において不連続的に起こり、配偶子は配偶子嚢細胞壁の裂開によって配偶子後端からまっすぐに放出され、その結果として、その藻体部分が崩壊する。
5. 基本的な性比は約 1:1 であることから、自然選択における野生型遺伝子の優勢 (Fisher の優勢仮説) を反映している。
6. 生活史型、藻体の発生様式、配偶子嚢の形態形成、分子系統学的解析の結果を総合すると、*Monostroma latissimum* は *Monostroma oxyspermum* (マキヒトエ) に進化的に最も近縁である。
7. 生活史型はヒトエグサ科の種の分類のための有効な基準形質とはいえない。
8. 黒潮沿岸の各地に分布するヒトエグサ属の種の間で、生育地にかかわらず交配が可能であり、また、18S 核リボソーム DNA (nrDNA) 遺伝子の塩基配列は保存されている。しかし、高頻度に変異するといわれている ITS1 領域の塩基配列には本質的な変異があることから、種形成は同所的に起こったことが示唆される。
9. 分子系統学的解析から、*Ulvopsis* 属はヒトエグサ科よりも *Gomontia* 科に所属すべきである。
10. 現在一般に Ulvophyceae (アオサ綱) の中で Ulotrichales (ヒビミドロ目) と Ulvales (アオサ目) を区別しているのは人為分類である。
11. 高位の分類群における系統関係を明らかにする上で、5.8S nrDNA 遺伝子の解析は有効である。

学位論文は全体が 8 つの章で組み立てられており、第 1 章の緒言と第 8 章の抄録を

論文審査の結果の要旨

除く2章から7章が主な研究成果となっている。なお、2章、4章および5章は、申請者が参考論文としているそれぞれ3報の学会誌掲載論文の内容を踏まえて記載されている。それぞれの章の内容は概略以下の通りである

緒言では、研究の背景、目的、何をどこまで明らかにするかについて、用いる手法を含めて詳細に解説している。

高知県沿岸における食用種ヒロハノヒトエグサの季節消長と個体発生

土佐湾の海浜および汽水域の異なる3つの地点において、2005年11月から2007年7月までの間、各生育地の環境とヒロハノヒトエグサの季節消長を調査している。また、これら生育地の異なる藻体株を種レベルで同定するため、培養実験がなされ、また、ITS1領域のDNA塩基配列の解析を行っている。これらの調査と実験から、天然藻体株と四万十川河口で養殖されている藻体株の間で、お互いに配偶子が交配すること、また、双方のITS1領域の塩基配列が一致するという結果を得ている。藻体長の季節消長は両株で異なるが、双方ともに冬季に繁茂し、夏期に枯れる調査結果を得ている。高塩分濃度の生育環境で藻体の出現と衰退が早まることから、塩分濃度が胞子体の成熟または配偶体の成長と生存に影響していると考察している

潮間帯緑藻ヒロハノヒトエグサの配偶子囊の形態形成

成熟した雌雄異株のヒロハノヒトエグサの配偶体における配偶子囊の発達過程を光学顕微鏡で調べている。形態の異なる2つのタイプが存在したが、これらはお互いに無作為に交配する集団であるという結果を得ている。藻体周縁部の栄養細胞がそのまま配偶子囊に分化して膨潤し、その中で色素体が分裂して眼点をもった多数の配偶子が形成される。配偶子の放出は暗黒条件から強光条件に移すことで誘導され、配偶子囊の裂開によって同調的に起こるという結果を得ている。

雌雄異株ヒロハノヒトエグサの空間的時間的な性比について

環境条件が介在する性比は、生物共通に受容されるメカニズムの一つであり、子孫の性質に影響を及ぼすが、藻類において、この点を明らかにした実験上の証拠はほとんどない。異なる生育地と異なる季節における野外のヒロハノヒトエグサの性比の変動を調べている。生育地と季節によらず、すべての場合で性比は約1:1であるという結果を得ている。このことから、自然界における雄性または雌性の配偶体の生存に差異をもたらすような影響を与える環境要因は存在しないという考察をしている。

ヒロハノヒトエグサにおける2本鞭毛遊走細胞による無性生殖

高知県宇佐でヒロハノヒトエグサの無性生殖株を発見し、その発生と核ITS領域の塩基配列を調べている。無性生殖株は2本鞭毛をもち、負の走光性を示す遊走細胞を放出し、直立体に発達する発生様式をもつという結果を得ている。無性生殖株の発生

論文審査の結果の要旨

様式と ITS 領域の塩基配列が有性生殖株と一致することから、これら同種の異なる株においては、性の進化にかかわらず、ITS 領域の塩基配列が維持されていると示唆している。また、ITS 領域の塩基配列を用い、ヒロハノヒトエグサと他のヒトエグサ科の種の間で系統学的な位置づけについて考察している。

ヒトエグサ科藻類の交配群内に多様性の存在を示す DNA バーコード分析

ヒトエグサ科の種は世界中に分布する共通の潮間帯藻類からなっている。また、土佐湾に生育するヒトエグサ属藻類は、形態測定と交配試験によって生物学的に同じ種からなっている。しかし、地理的に分散した種間相互交配の能力とその系統地理学的な知見に関する報告はない。申請者は、高頻度に変異する nrDNA の ITS1 領域の一次および二次構造を用いた DNA バーコード解析により、ヒロハノヒトエグサーヒトエグサ群 (*Monostroma latissimum-nitidum* complex) は、同所的な種の出現による進化が起こったか、または、系統内で対立遺伝子が不完全に淘汰されたことを示唆している。ヒロハノヒトエグサーヒトエグサ群には、保存性の高い 18S nrDNA 遺伝子の塩基配列に有意の多様性がないことから、同所的に種形成が起こったと考察している。

分子系統学に基づくヒトエグサ科の分類学的再検討

世界中の潮間帯沿岸および汽水域に広く分布し、一層の細胞層からなる体制をもつもののその形態が異なる緑藻類は、いままでヒトエグサ科の一科に所属すると考えられてきた。しかし、この考えはヒトエグサ科に系統学的多様性があるという認識を妨げてきた。申請者は、5つの異なる分子データ (ITS1, ITS2, 5.8S リボゾーム遺伝子, 18S nrDNA 遺伝子, *rbcL* 葉緑体 DNA 遺伝子) を用いてヒトエグサ科藻類の系統関係を調べている。分子系統学的解析により、生活史の中に *Codiolum* 様の胞子体ステージをもつヒトエグサ科藻類はヒビミドロ目 (Ulotrichales) 内の3つの遺伝集団に入るという結果を得ている。また、ヒビミドロ目とアオサ目 (Ulvales) を区別している現在の分類は人為的であり、ヒビミドロ目とアオサ目ともに複数の系統群を含む可能性があるという結果を得ている。その上で、いままで見過ごされてきた 5.8S 遺伝子は高位の系統関係を解析する有効な遺伝子領域であると提案している。

最終章では、本論文で申請者が行った生態学的、生理学的、分子系統学的研究のそれぞれの新知見の抄録を記載し、研究成果の活用および将来展望を述べている。

本論文は、高知県沿岸のヒロハノヒトエグサを中心として、野外調査と培養実験を通じた生理生態学的研究および分子生物学的手法を用いた種分類学的研究を行い、多面的なアプローチからヒトエグサ属の種の理解を深めている。特に、有性生殖株に加えて無性生殖株の存在を明らかにし、双方の株が同種であるという結果を見いだしたことは本論文の核心部分であり、また、その結果を踏まえてヒトエグサ科全体の分類体系を再検討する研究に繋げていることは特筆に値する。ヒトエグサ科藻類は高知県

論文審査の結果の要旨

沿岸だけではなく全世界に広く分布し、また、養殖して食用に供されることから、本論文の生態学的および系統学的研究成果は生態系の維持とその理解に寄与し、自然と人間との共生を目指す黒潮圏科学に関連する内容を含んでいると考えられる。