

第1 課題「海洋生物」研究プロジェクト

年度計画管理番号：(81, 82, 83の4, 84の1, 86の4, 93, 94, 98, 99)

## 平成19年度研究成果報告書

研究プロジェクト名

「海洋生態系の解明とその資源の持続的有効利用」



プロジェクトリーダー

奥田 一雄

(大学院黒潮圏海洋科学研究科)

平成20年4月21日

## I. 本研究の背景

高知大学の研究に関する中期目標には、「地域社会を振興し貢献する研究を目指すと同時に、地域の特色や研究者の個性を活かした独創的な研究を推進し、種々の研究分野の融合を図りつつ、世界水準の成果を生み出す研究拠点の形成を目指す」ことが掲げられている。その目的を達成するための措置・計画の中で、海洋に関わる研究が本学にとって重点的に取り組む課題の1つであると位置づけられている。このような中期目標・計画の下で、本学は海洋を中心とする部局横断型の研究プロジェクトを策定し、年度計画研究として平成16年度からスタートした。

現在本学では、4本の年度計画研究が継続実施され、そのうちの1つが本海洋生物研究プロジェクト、すなわち「海洋生態系の解明とその資源の持続的有効利用」である。本海洋生物研究プロジェクトは平成19年度で4年目が終了し、平成20年度からは法人化第1期中期目標・計画の総括部分に入るという節目となる。全体的なプロジェクト研究の内容の概要は、去る平成18年3月2日に開催された「黒潮圏海洋科学研究科外部評価」で発表され、すでに第三者評価を受けた。また、平成19年11月21—22日には、本海洋生物プロジェクトが主催する国際ワークショップ（日台比：黒潮ワークショップ in 高知）を開催して成果の一部を発表し、さらに密な国際連携のもとで本研究を発展させるための基盤を固めた。

黒潮は世界で最大規模の海流の1つであり、それゆえ、高知県の気候・風土・動植物相はこの黒潮暖流から大きな影響と恵みを受けている。現代文明と産業の発展は地下資源の大量消費に支えられてきているが、一方では、環境破壊や地球温暖化等の大きな問題をもたらしている。本海洋生物研究プロジェクトは、黒潮のもつ持続性と潜在力に注目し、「海洋生態系を解明し、その資源を持続的に有効利用する方法と方策」を研究する。そして、その研究成果を、自然の持続的な循環システムを基盤とする21世紀型社会への転換・確立に結びつけていこうというものである。

本研究プロジェクトは、これまでのように狭い専門領域の研究者のみで組織されているのではなく、様々な専門分野の研究者が集まって構成されている異分野融合型の学際的プロジェクトである。このように全く新しい切り口で黒潮圏の環境保全と資源の持続的有効利用を実現することは、高知大学に課せられた極めて重要な研究課題の一つであるとともに、新規の学問分野の創造につながることも期待される。

## II. 本研究の目的・目標

黒潮はフィリピン東南部から発し、台湾、南西諸島を経、高知県沿岸に達する。本研究では、この広大な黒潮流域圏に3つの研究フィールドと相互に異なる研究視点をもつサブテーマを設定した。

栄養塩類の乏しい黒潮暖流沿岸域では、サンゴ礁が生物生産の中心を担っているが、近

年、そのサンゴ礁群落が激減してきている。1つ目の研究視点として、サンゴ礁生態系における生物相互作用を明らかにする。また、海は河川、ひいては山と連関している。黒潮につながる四万十川は自然を残す数少ない河川であり、生物生産の大きな包容力と生物多様性を保有している。その四万十川流域における人間と自然の共生のありかたを研究するのが2つ目の研究視点である。一方、海を巡る最近の国際関係や社会、経済に目を転ずると、国連海洋法条約では、海底地下資源や生物資源などは沿岸国が管轄・所有することが謳われている。しかし、これらの資源は黒潮に沿ったフィリピン、台湾、中国および本邦を含む黒潮圏島嶼域に連続して分布する。3つ目の研究視点では、黒潮圏の海洋資源と海洋環境をこれらの国々の間でどのように統合的に保全し、利用していくべきかの共通認識と方策を研究する。

本研究プロジェクトで扱う「海洋生物」に関する研究チームは、上記で述べたとおり、高知県の周辺海域をはじめとした黒潮圏における特徴的な3つのフィールド、すなわち「サンゴ群生域」・「四万十川河口域」・そして「島嶼地域」の生態系を、生態学・微生物学・生理学・分子生物学・遺伝学・病理学・高分子有機化学・天然物生理活性物質化学等の様々な分野の自然科学者のみならず、人文・社会科学の研究者も加えて組織されている。本プロジェクトは、黒潮圏の生態系における多様な生物群集の生業（なりわい）を明らかにするという基礎的な研究の側面を持つ一方で、様々な物質を介した生物相互作用を明らかにすることで、そのなかに隠された未知の有用生物や生理活性物質の発見とその有効利用が期待できるという応用研究の側面もある。また、黒潮を共有する諸国の沿岸域における生態系の変化と社会経済的インパクトの相互関係を調査し、比較的データが豊富な温帯域と、十分ではない亜熱帯・熱帯域の態様を均等の視点で分析できる学術情報を集積したデータベースを構築し広範な利用にも資する。

本プロジェクトは様々な専門分野の研究者が集まって構成されている異分野融合型・文理統合型の研究組織で進められている。このことが基盤となり、従来型の学問分野を越えて俯瞰的視野から様々な事象を追究する高知大学独特の新しい学問分野、すなわち「黒潮圏総合科学」が創造され、これからの人類の持続的発展に必須の研究を推進する中核となっていくことが期待される。

平成19年度の本「海洋生物」プロジェクトは、当初設定された研究目的と目標を第2フェーズへと深化させ、これを達成するために、研究組織を再構築し、研究ターゲットに照準を合わせた小課題を新規に設定した。すなわち、本「海洋生物」プロジェクトは従来通り3つの小課題研究からなるが、各小課題は次に述べるように、メリハリをつけてモデルチェンジを行った。

小課題研究1では、サブリーダーが交代し、これまでに明らかにしてきたサンゴ生態系の生物相互作用の成果を発展させるため、今後は物質レベルで詳細に分析する体制をとった。小課題研究2は、新規に応募してきた研究者を3名参画させたことに伴い、2名の研究員の入れ替えを行った。これにより、異なった視点で研究を進展させた。小課題研究3では、新規応募者の参画に伴って1名の研究員を入れ換えた。これまでに築いた3つの国際的研究交流拠点と現地研究調査地を基礎にし、研究を第2フェーズへ発展させる基盤を

築いた。

従って、平成19年度の本海洋生物プロジェクトは以下の3つの課題研究で構成し、これまでの3年間の成果を踏まえたプロジェクト研究を実施した。

- (1) 「分子基盤に基づいた海洋生態系の解明と環境保全・水産業への応用」
- (2) 「四万十川と黒潮の交錯圏における人間と自然との共生に関する研究」
- (3) 「新海洋秩序の形成へ向けた黒潮圏島嶼諸国の統合的資源管理」

#### 課題研究 1

平成18年度までの3か年で実施した「サンゴ礁海域の多様な生物群集の相互作用および物質循環に関する研究」は、サンゴを中心とした物質循環やサンゴの病態に関するきわめて有用な知見を与えた。また、生態系のもつ経済価値の評価も進んでいる。それゆえ、これらの海洋生態系に関する理解をより深化させることが、今後の課題であると考えた。サンゴ礁海域の生態系で観察・発見された現象の本質を理解するためには、相互作用に介在する物質を分子レベルで解析することが必須である。生態系への深い理解は、環境保全や海を場とした産業への応用にも不可欠である。そこで、平成19年度からの研究では、サンゴ礁海域を含む海洋生態系における生物間相互作用の物質・分子レベルでの解明を指向したものに展開することとした。また、自然科学的研究で得られた成果を具体的にどのように社会へ還元していくかについて、社会科学的アプローチから具体的な方策を探求する。

#### 課題研究 2

四万十川の保有する生物生産の包容力と多様性の原因として、足摺岬にぶつかる黒潮による渦流生成と四万十川流域から供給される栄養塩類供給に焦点を当て、四万十川流域を縦軸に、黒潮流域を横軸にした交差圏全体が自然と人が共生している環境という理解の下に、その因果関係を自然科学的および社会科学的に明らかにすることを目的とする。これまでに、四万十川からの沿岸域への栄養塩の供給による河口域から沿岸域にかけての生物生産への影響を、ヒノキ林から河川に流出する養分動態、河口域に生育する海産水草「コアマモ」の現存量、スジアオノリ生殖型と生育地点との関係、および河口域における動物プランクトンの季節変化と水平・鉛直分布等を明らかにしてきた。本年度では、特に河口域に注目し、四万十川流域の山地から沿岸までを一つのシステムとしてとらえ、河口域の生物再生産機構に対する河川水と黒潮の混合の影響を解明する。さらに、土佐湾と同様、多くの河川が流入するが閉鎖的な有明海と生物生産力について比較し、開放的な土佐湾の特異性を見出す。

#### 課題研究 3

当課題研究「新海洋」は、第1フェーズ（平成16-18年度）の日台比3国共同研究の準備を終え、前年度から第2フェーズ（平成19-21年度）に着手している。前年度は協定締結機関（フィリピン：フィリピン大学、ビコール大学、農業省漁業・水産資源局、及び台湾：

国立中山大学)の関係者を高知大学へ招聘し、ワークショップ(WS)を開催した。このWSで、1)黒潮圏域諸国の海洋環境をめぐる社会経済動向、2)国連海洋法条約に関連する海洋保全の取り組み状況、3)藻場を中心とした研究の系譜と成果の整序を通し、今後の共同研究の方向性に関わる意見交換を行った。一連の成果は、現在、プロシーディングスとして取りまとめ中で、『黒潮圏科学』(特集号)として刊行予定である。またこのWSと並行して日台比に設定している調査地の定期・定点観察を実施した。平成20年度は、5つの構成課題ごとに文献検索及び現地の漁家経済調査を中心とした社会科学研究と、藻場を対象とした生態系の潜水観察による自然科学調査を行い、これまでの経年変化のデータベースを拡充させ、比較考察を深める計画である。平成19年には国立中山大学で第2回WSを開催し成果の相互評価を行う計画が具体化している。フィリピンにおいても、国際シンポジウムや現地セミナーを実施し、積極的に学術情報の収集と発信に努める。

### III. 本研究の成果(総括)

#### 課題研究1

サンゴの産生する粘液の主成分の化学構造がほぼ明らかとなり、サンゴ種により糖鎖構造に違いがあることが判明してきた。この粘液を増殖基質とする細菌類がサンゴ近傍で多くなっているが、サンゴ種によって近傍に生息している最近の種類が異なることも示された。特に、サンゴの白化現象への関与が疑われる一部の殺藻細菌がサンゴ粘液により増殖が抑制されていること興味深い知見である。さらに、魚に対するワクチンや薬剤の開発の基礎研究として、ノカルディア症をターゲットとして感染実験を行い病理組織学的観察により解析した。一方、与論島をモデル地域とした研究では、近年問題となっているサンゴ(礁)の劣化が、さとうきび農業の化学肥料や家畜排せつ物が海域を富栄養化させていることと大きく関連している可能性が高いことを指摘すると共に、農業環境政策によりこの問題へ対処する方策を検討した。3月には与論島にて全研究者と地元住民が参加するミニシンポを開催し、研究成果の地元への還元に努めた。これを受け、次年度早々に高知大学・与論町・住民代表3者による連絡協議会を立ち上げる予定となっている。

#### 課題研究2

足摺半島周辺海域から四万十川河口域までの海洋動物の再生産と河川上流からの栄養塩の供給との関係を明らかにすることを目的とした。土佐湾中央部では本研究同様に多くの熱帯性種を含む多様な仔稚魚群集が形成されており、土佐湾においても、黒潮のような外洋性水塊が接近する場合、その湾口部内外における仔稚魚群集に違いが生じていた。河口域では、スジアオノリの生殖型により分布が異なり、無性生殖型が汽水域河口部、有性生殖型が汽水域上流部での分布様式が明らかにできた。河口域の優占種であるヨコヤアナジャコは典型的な懸濁物食者であった。セジロムラサキエビがヨコヤアナジャコの巣穴を利用する絶対共生者であることが分かった。比較のために、仁淀川沖の浅海における貝類群

集相を明らかにした。高知県の気候や地勢上の特徴が、森林生態系の物質動態や河川への養分供給に果たす役割を明らかにするために、林外雨、林内雨、土壌溶液および渓流水の水質調査を行い、降水や大気降下物による森林生態系への養分流入および森林から河川への養分の流出を比較・検討した。下流域河床では、ヤナギ林の発達の過程で林内に細粒物質の堆積が進行し、それがヤナギ林からエノキ林への遷移を促進した。ヤナギ林が定着した原因は、河床の砂利採取などの人為的な攪乱による流路の水位の低下と洪水の頻度の低下によるものと考えられる。

### 課題研究 3

高知と黒潮で結ぶ諸国と協働し、フィリピンにおける海洋保護区 (MPA) 内の藻場に限定的ではあるが、1) 自然科学の見地からその現況と差異を上述の問題意識で比較調分析する生態環境の観察調査と、2) 現地の住民の保護区への働きかけについて社会科学の方法による調査を継続した。理系・社系両者の結果を融合的に検討し、環黒潮環境の適切な保護対策への基礎情報と再生・回復への道筋を、具体的に調査地を定め、当該国の関係大学と協定を締結し進めた。本課題は、科学研究費補助金 (基盤研究 B : 平成 17~19 年度) 「黒潮圏島嶼沿岸域の藻場の消長と人為的インパクトの社会制御」(代表者: 諸岡慶昇) 及び同補助金 (基盤研究 B : 平成 19~21 年度) 「黒潮沿岸における海中林保全メカニズムの再検討: 保護区の再生機能と住民の協働」(代表者: 奥田一雄: 平成 19~21 年度) を一体的に充当し、これまでの探索調査で得られた成果の社会化を図った。

## IV. 課題研究のタイトル・構成及び研究組織

○課題研究 1 「分子基盤に基づいた海洋生態系の解明と環境保全・水産業への応用」

サブリーダー: 黒潮圏海洋科学研究科 大谷和弘

- 1 A. サンゴ粘液中の生物活性低分子物質の化学的解明および化学物質のサンゴへのインパクト (代表者: 大谷和弘)
- 1 B. サンゴ粘液の抗菌作用とサンゴの白化・疾病防除機構との関係 (代表者: 深見公雄)
- 1 C. 海洋生物の疾病に対する病原因子の解明 (代表者: 大島俊一郎)
- 1 D. 海洋生態系の経済評価とその保全・利用に関するシステム構築 (代表者: 新保輝幸)

○課題研究 2 「四万十川と黒潮の交錯圏における人間と自然との共生に関する研究」

サブリーダー: 海洋生物教育研究センター 木下 泉

- 2 A. 河川と土佐湾での生物生産力との関係 (河口域~海域) (代表者: 木下 泉)
- 2 B. 四万十川河口汽水域におけるカイアシ類群の生態学的解明 (下流域~河口域) (代表者: 上田拓史)

- 2 C. 河口域におけるスジアオノリの生活史の解明（下流域～河口域）（代表者：平岡雅規）
- 2 D. 四万十川流域での栄養塩の動態と森林との関係（上流域～中流域）（代表者：田中壮太）
- 2 E. 四万十川での河口域の生物生産力の要因へのアプローチ（河口域）（代表者：伊谷 行）
- 2 F. 四万十川河口域における河床地形と植生の動態（上流域～河口域）（代表者：石川愼吾）

○課題研究3 「新海洋秩序の形成へ向けた黒潮圏島嶼諸国の統合的資源管理」

サブリーダー：黒潮圏海洋科学研究科 諸岡慶昇

- 3 A. 黒潮圏諸国における海洋社会経済システムの国際比較（代表者：諸岡慶昇）
- 3 B. 黒潮圏における海洋生物資源利用形態の比較分析（代表者：山岡耕作）
- 3 C. 前近代・黒潮島嶼諸国における秩序形成の萌芽（代表者：吉尾 寛）
- 3 D. 黒潮流域における藻場の特徴と藻類の生理生態学的比較考察（代表者：峯 一郎）
- 3 E. 黒潮圏におけるコモンズ管理の変遷（代表者：飯國芳明）

## V. 課題研究成果のまとめ

○課題研究1 「分子基盤に基づいた海洋生態系の解明と環境保全・水産業への応用」

1 A. サンゴ粘液中の生物活性低分子物質の化学的解明および化学物質のサンゴへのインパクト（代表者：大谷和弘）

(1) 目的

サンゴは粘液を分泌することで、流土などの微粒子の排除などサンゴ表面のクリーニング、低潮時の乾燥からの保護、温度や塩分の変化に対する防御、餌の捕獲などを行っていると考えられている。一方で、分泌された粘液は、微生物の生育基質やそこに生息する生物の餌になっており、これがサンゴを取り巻く生態系の基礎生産を担っているといわれる。バイオマスとしてのサンゴ粘液の研究は非常に盛んに行われているが、化学物質としてのサンゴ粘液については不明な点が多い。またサンゴの分泌する粘液は、課題 1-B における深見らの研究において明らかとなりつつあるように、周辺の微生物の生育に影響を与えているなど、サンゴを取り巻く生態系に多大な影響を与えていることが示唆されている。しかしこれらの生物活性についても、何が活性を示しているのかはまったく不明である。そこで本研究では、サンゴの分泌する粘液に着目し、その化学分析を行い物質レベルでの解明を目指すとともに、その生物活性について検討してきた。

サンゴの分泌する粘液が示す粘性の主体は、ムチン質といわれる糖タンパク質であるといわれている。しかしこれを直接証明した例は少なく、わずかに Peter Meikle らによりスギノキミドリイシ (*Acropora formosa*) の粘液のオリゴ糖鎖がムチン型糖鎖であることが報告されているのみである。むしろ、「サンゴの粘液」はサンゴが分泌する粘性の成分を総称したものであり、ムチン型の糖タンパク質のみならず、低分子の脂質やほかの有機化合

物を含んでいる。しかし粘液の粘性を示す主体はムチン型糖タンパク質であると考えて間違いなさそうである。また、ムチン型糖タンパク質は分泌液中に含まれる重量も圧倒的に多いと推定される。高知県西南部のサンゴ群落の優占種のひとつであるクシハダミドリイシ (*Acropora hyacinthus*) の産生する粘液の構造の詳細を明らかにしてきた。本年度は、種によるムチン質の差異について検討するため、同地域に生育するエンタクミドリイシ (*Acropora solitaryensis*) の粘液ムチン質について検討するとともに、ムチン質と同時に分泌されていると考えられる低分子化合物の化学的な解明にも着手した。また、与論島の調査で次第に明らかとなってきた陸域から海域への化学物質の流入について、その実態を物質レベルで解明することを目的に、現地調査を中心とした研究を展開する。特に、海域への物質の流れの解明の糸口をつかむため、肥料や農薬の調査を行うのに必要な関係機関との連携を模索した。

## (2) 研究成果の概要

### (要約)

エンタクミドリイシの分泌する粘液は、クシハダミドリイシと類似の主鎖構造を有していることが明らかになったが、ムチンの分子表面を特徴付ける糖鎖部分には大きな違いが見られた。最も大きな違いは、クシハダミドリイシやスギノキミドリイシに見られた D-Arabinose 末端を持つ糖鎖が、エンタクミドリイシには認められなかったことである。この特異な糖鎖は、刺胞動物のムチン質を特徴付けるものと考えていたが、今回の結果から必ずしも刺胞動物すべてが持つものではないことが明らかとなった。

### (実験方法)

#### サンゴ粘液の採集

高知県大月町西泊の水深 1~2m のサンゴ群落海域で、エンタクミドリイシ (*Acropora solitaryensis*) を採取し、50ml の人工海水をいれたチューブにサンゴ 3-5g をいれ、4 時間放置し粘液を放出させた。粘液を含む海水は No. 2 濾紙で吸引濾過し、さらに濾液を No. 5C 濾紙で吸引濾過、最終的に 0.20  $\mu$ m のメンブレンフィルターでろ過をしたものを粘液溶液とした。

粘液溶液の透析 (試験試料の調製) 粘液溶液を分画分子量 12,000~14,000 の透析チューブ (幅 40 mm×長さ 25 cm) に粘液溶液を入れ、24 時間ごとに蒸留水を交換しながら 4°C で 4 日間透析した。透析終了後、内液を凍結乾燥し粘液高分子画分を得た。この高分子画分を、以下の化学分析および生物活性試験に使用した。

#### 中性糖、アミノ糖、ウロン酸含量の測定

中性糖含量は、フェノール-硫酸法を用いて D-glucose を標品として検量線を作成し、D-glucose 換算量で求めた。アミノ糖含量は、Blix らの方法に従い、D-glucosamine を標品として検量線を作成し、D-glucosamine 換算量として求めた。ウロン酸含量は、カルバゾール-硫酸法により D-galacturonic acid を標品として検量線を作成し、D-galacturonic acid 換算量として求めた。



## タンパク質含量の測定

タンパク質含量は、Lowry-Folin 法で測定されることが知られている。本研究では、標準タンパク質として BSA (牛血清アルブミン) を用いて検量線を作成し、粘液高分子画分に含まれるタンパク質含量を測定した。

## アミノ酸分析

アミノ酸分析は、Bidligneyer らの方法に準じて以下のように行った。メタノールで洗浄し乾燥したガラスのサンプルチューブ ( $\Phi 6 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ ) にアミノ酸混合標準液 H 型試験試料 ( $50 \mu\text{L}$ ) または  $5 \text{ mg/mL}$  に調整した試験試料 ( $100 \mu\text{L}$ ) を取り、遠心濃縮機で減圧乾固した。次いでサンプルチューブを、 $6 \text{ mol/L HCl}$  ( $500 \mu\text{L}$ ) を入れたバイアルに挿入し、減圧密封後、アルミブロックで  $1 \text{ 時間 } 150^\circ \text{C}$  で加熱した。その後室温まで空冷し、常圧にもどした後、各チューブにメタノール、 $\text{H}_2\text{O}$ 、トリエチルアミン (TEA) を  $7:2:1$  に混合した溶液を  $20 \text{ mL}$  加えアルカリ性とした後、再度減圧乾固した。各チューブの残渣にメタノール:水:TEA:PITC (フェニルイソチオシアネート) を  $7:1:1:1$  に混合した溶液を  $20 \text{ mL}$  加え、 $20 \text{ 分}$  室温で反応させフェニルチオカルバミル誘導体とした後、減圧乾固した。各チューブに Pico-Tag 液を標品には  $500 \mu\text{L}$ 、試験試料には  $200 \mu\text{L}$  加え、パラフィルムで覆い、超音波処理により結晶を破砕した。HPLC 分析には、 $0.45 \text{ mm}$  のフィルター (Millipore Cosmonice Filter W, Milipore) で濾過をした溶液を  $10 \text{ mL}$  (標品) および  $5 \text{ mL}$  (試験試料) 注入し分析した。

## 糖組成分析

糖組成分析は、試験試料をアルジトールアセテートに誘導したものを、GC で標品と比較することにより行った。標品 (L-フコース、D-マンノース、D-キシロース、D-グルコース、D-アラビノース、D-ガラクトース、D-N-アセチルグルコサミン、各  $1 \text{ mg}$ ) を水 ( $500 \text{ mL}$ ) に溶解し、テトラヒドロほう酸ナトリウムを約  $5 \text{ mg}$  加え、室温で  $1 \text{ 時間}$  放置した。反応終了後、反応液に酢酸を泡が出なくなるまで少しずつ加えて過剰な試薬を分解し、エバポレーターで減圧下溶媒を留去した。次いで、残渣にメタノールを約  $200 \text{ mL}$  加え減圧下乾固させる操作を  $3 \text{ 回}$  行い、ホウ酸を除いた。生成したアルジトールを減圧下乾燥させた後、無水酢酸 ( $100 \text{ mL}$ )、ピリジン ( $100 \text{ mL}$ ) を加え、密栓してドライブロックで  $120^\circ \text{C}$  に加熱した。反応終了後、水 ( $400 \text{ mL}$ ) を加え、ヘキサン ( $200 \text{ mL}$ ) で抽出した。ヘキサン層は水 ( $400 \text{ mL}$ ) で  $2 \text{ 回}$  洗浄し、GC の検体とした。試験試料は還元操作に先立って、以下のように加水分解した。試験試料 ( $1 \text{ mg}$ ) をリアクティブバイアルにとり、 $2 \text{ mol/L TFA}$  ( $500 \text{ mL}$ ) を加え溶解し、密栓後ドライブロックで  $120^\circ \text{C}$ 、 $2 \text{ 時間}$  加熱した。反応液は空気気流下乾固し、減圧乾燥機にて乾燥させた。残渣は、標品と同様に還元、アセチル化し、GC 試料へと誘導した。

## ゲルろ過

試験試料の分子量分布は、高速ゲルろ過クロマトグラフィーを用いて測定した。まず、

分子量既知のプルランを標品として用いて検量線を作成した。標品として分子量 5,800, 12,200, 23,700, 48,000, 100,000, 186,000, 380,000, 800,000 のプルランおよび Blue Dextran (分子量 2,000,000) を用い、それぞれ 5.0 mg/mL に溶解したものを 50 mL 導入し、分子量と溶出時間から検量線を求めた。次に、同様の条件で試験試料を 5.0 mg/mL の濃度に調製して 50 mL を導入し、溶出時間より分子量を推定した。また、Separose CL-4B を用いたゲルろ過により、粘液高分子画分を分子量の違いにより分画し、3種の分子量分布を持つ画分 (ASM-1~3) に分画した。それぞれの画分は、高速ゲルろ過 (HPGPC) により、単一のバンドを与え分子量分布が均一であることを確認した。以下の実験は、最も分子量が大きな ASM-1 について行った。

#### 粘液糖タンパクの還元的アルカリ分解

ASM-1 (25 mg) を 50 mmol/L の NaOH を含む 1.0 mol/L の NaBH<sub>4</sub> 水溶液 (1 mL) にとかし、密栓をして 45°C で 16 時間反応させた。反応後、酢酸を加え過剰の試薬を分解した後 Amberlite IR-12 (H<sup>+</sup>) により Na<sup>+</sup> を除いた。ついで、反応液を凍結乾燥したのち残渣にメタノール (5 mL × 5) を加え減圧下濃縮することでホウ酸を除去した。濃縮残渣は再度水に溶解した後、Amberlite IR-120 (Na<sup>+</sup>) により、分解物中に存在する硫酸エステル残基を Na<sup>+</sup>型とした。

#### オリゴ糖鎖の分離

上記の操作で得られた分解物は、Amicon PM-10 および AM-2 による限外ろ過法で、分子量 1 万以上の ASM-1a、分子量 2,000~10,000 の ASM-1b、2000 以下の ASM-1c に分画した。回収率はそれぞれ、2.5%、39%、58.5%であった。オリゴ糖を含む画分である ASM-1c は、順相および逆相系の HPLC を用いて以下のように精製し、構造解析に用いた。ASM-1c を逆相系 HPLC (ODS, 溶媒:水) を用いて I~V に分画した。分画 I は、無機イオン性物質でありこれ以上の分離は行わなかった。分画 II~V は、それぞれ Polyamine-II カラムを用いた HPLC (溶媒:70%アセトニトリル) による精製を行い、各オリゴ糖 (Oligo-1~12) を単離した。

#### オリゴ糖の糖組成分析

オリゴ糖 (50-1000 mg) を用いて前述と同様の方法で行った。

#### オリゴ糖のメチル化分析

オリゴ糖 (50-1000 mg) に 2 mol/L <sup>t</sup>BuOK/DMSO (1 mL) を加え、超音波処理した後室温で 30 分放置した。これに氷冷下ヨードメチルを加え 24 時間攪拌した。水を加え反応を停止し塩化メチレンで抽出し、完全メチル化体を得た。これを 2 mol/L 硫酸で加水分解を行い中和した後、を水 (500 mL) に溶解し、テトラヒドロほう酸ナトリウムを約 5 mg 加え、室温で 1 時間放置した。反応終了後、反応液に酢酸を少しずつ加えて過剰な試薬を分解し、エバポレーターで減圧下溶媒を留去した。次いで、残渣にメタノールを約 200 mL 加え減圧下乾固させる操作を 3 回繰り返しホウ酸を除いた。生成したアルジトールを減圧下乾燥させ、無水酢酸 (100 mL)、ピリジン (100 mL) を加え、密栓してドライブロックで 120 °C 加

熱した。反応終了後、水（400 mL）を加え、ヘキサン（200 mL）で抽出した。ヘキサン層は水（400 mL）で2回洗浄し、GCの検体とした。試験試料は還元操作に先立って、以下のように加水分解した。試験試料（1 mg）をリアクティブバイアルにとり、2 mol/L TFA（500 mL）を加え溶解し、密栓後ドライブロックで120 ° C、2時間加熱した。反応液は空気気流下で乾固し、減圧乾燥機にて乾燥させた。残渣は、標品と同様に還元、アセチル化し、GC試料へと誘導した。

（結果・考察）

高知県大月町西泊で採集したエンタクミドリイシの粘液は、ゲルろ過により3成分に分離された。ここでは、最も分子量の大きな画分ASM-1について、詳細な構造解析を行うこととした。一般にムチン型糖タンパク質は100万を超える非常に大きな分子であることが知られており、今回構造解析を行った画分は分子量200万以上と推定される。この分子は、長い繰り返し構造を持つコアタンパクとThrまたはSerの側鎖水酸基に結合した多数のオリゴ糖鎖からなると考えられたので、まず全体のアミノ酸分析ならびに糖組成分析を行い、次にオリゴ糖鎖の構造解析を行うこととした。

アミノ酸分析は、試験試料を加水分解後PITC（フェニルイソチオシアネート）を用いPTCアミノ酸に誘導体化し、HPLCで分析することにより行った。粘液高分子画分試料1 mgあたりの各アミノ酸重量およびアミノ酸の組成割合は表1のようになった。アミノ酸分析によると、粘液高分子画分子量におけるアミノ酸含量は30.4%となった。またアミノ酸の組成はGln(またはGlu)やLysを多く含み、糖鎖結合にかかわるSerやThrはそれぞれ7.5%、6.2%であった。

表1. ASM-1のアミノ酸組成

アミノ酸	アミノ酸の組成割合 (%)
Asx	8.1
Glx	18.5
Ser	7.5
Gly	4.7
His	1.0
Thr	6.2
Ala	2.2
Arg	1.0
Pro	5.3
Tyr	5.2
Val	3.1
Met	0.9
Ile	1.9
Cys	6.8
Leu	9.0
Phe	4.2
Lys	14.4
Total	100.0

糖の組成分析は、試験試料を加水分解後アルジトールアセテートに誘導し、GCにより行

った。得られた結果を表 2 に示す。N-アセチルガラクトサミン含量が 37.1 % と多かった。しかし、アセチル化処理によって、N-アセチルガラクトサミンおよびガラクトサミン、両方の含量が検出された。ついで、フコース、マンノース、ガラクトースが多く検出された。

表 1. ASM-1 の糖組成

Gly cose	溶出時間 (min)	糖の組成割合 (%)
L-Fucose	7.98	32.0
D-Xylose	9.48	trace
D-N-Acetylgalactosamine (D-Galactosamine を含む)	9.64	37.1
D-Mannose	13.28	15.6
D-Glucose	16.27	3.2
D-Galactose	16.66	12.1

オリゴ糖鎖は、糖タンパクをアルカリ条件下水素化ホウ素ナトリウムで処理することで、還元末端をアルジトールアセテートに還元しつつ Thr または Ser との間のグリコシド結合のみを選択的に切り出せることが知られている。そこでこの反応を粘液糖タンパクに適用し、オリゴ糖糖鎖の切り出しを試みた。その結果糖鎖のほぼ 80% 以上を切り出すことに成功した。切り出したオリゴ糖鎖については、逆相系 HPLC により分画を行った後、イソプロピルアミノ系のカラムにより精製し 12 種のオリゴ糖鎖を単離することに成功した。これらを、完全メチル化体に誘導し、加水分解後アルジトールアセテートに変換し、GC-MS による分析を行った。あわせて、切り出したオリゴ糖を直接 LC-MS で解析した結果を合わせ、12 種のオリゴ糖のうち 7 種の糖鎖の構造解析に成功した。その結果を図 1 に示す。

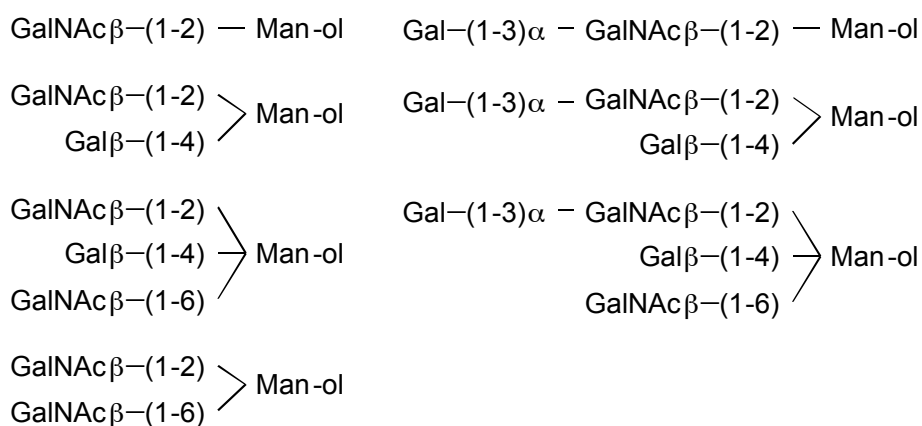


図 1. ASM-1 に含まれるムチン型糖鎖 (構造解析の終了した 7 種のみを示す)

昨年度の研究で、スギノキミドリイシには陸上動物には認められない特異な糖鎖である D 型のアラビノースを含む糖鎖が含まれており、これらの糖鎖はサンゴあるいは刺胞動物を特徴づけるものである可能性が高いと述べたが、エンタクミドリイシのムチン質には D 型のアラビノースそのものが検出されず、多くの糖鎖はアラビノースの代わりに  $\alpha$ Gal を末端に有していることが判明した。同海域に生息する近縁種の間でこのように大きな差異が認

められることから、ムチン質糖鎖の変異はかなり大きなものであることが推定される。

サンゴ粘液の主成分であるムチン型糖タンパク質の構造を詳細に検討し、陸上動物には見られない特異な糖鎖構造を有していることが明らかとなった。ムチンは粘膜の保護のみならず、生物間や細胞間の認識に深く関与することが明らかとなりつつある。サンゴの産生するムチンを含む粘液については、サンゴ表面の保護が主たる目的といわれているが、昨年度われわれは、自然免疫における異物認識分子である Toll 様レセプターによりサンゴのムチンが認識されることを見出している。したがって、サンゴ粘液は単に物理的にサンゴの表面を保護しているだけではなく、他の生物種に物質認識を介した作用を与えていると考えられる。事実、本年度深見らは、サンゴ近傍の粘液を含む海水中と、サンゴから離れた海水中では同じ海域にありながら微生物群集の組成が異なっていることを見出している。また、サンゴ食貝類では、サンゴの種によりそれを捕食する貝種に偏りがあることが観察されており、これらの貝におけるサンゴ種の認識にも関与している可能性がある。サンゴ食魚類においても同様の偏好が認められることも、同じ理由かもしれない。今後は、サンゴ種による粘液糖タンパクの構造の差異を明らかにし、微生物、貝類、魚類などに対する影響を確認していきたい。

### (3) 平成 19 年度の研究業績

#### ○学術論文

1. Inhibitory effects of edible marine algae on degranulation of RBL-2H3 cells and mouse eosinophils. TAKASHI KIMIYA, KAZUHIRO OHTANI, SETSUKO SATOH, YUKO ABE, YOSHIHIKO OGITA, HIROHISA KAWAKITA, HIDEYUKI HAMADA, YUKO KONISHI, SATOSHI KUBOTA, AKIRA TOMINAGA, *Fisheries Sci.*, 掲載決定

#### ○学会発表

1. 小西裕子・大谷和弘・河口徳一・野田哲生・富永明. 新たな *in vivo* 大腸炎モデルの確立と抗炎症作用物質の探索. 第 10 回マリンバイオテクノロジー学会大会, 山形大学(山形). 2007 年 5 月 27 日.
2. 阿部玲佳・木宮隆・田口尚弘・大谷和弘・富永明. アレルギー誘発試験におけるハバノリ多糖体画分による好酸球遊走の抑制. 第 10 回マリンバイオテクノロジー学会大会, 山形大学(山形). 2007 年 5 月 27 日.
3. 大谷和弘・藤井輝之・大西彬央・久保田賢・阿部祐子. 海藻のメラニン産生抑制活性. 第 10 回マリンバイオテクノロジー学会大会, 山形大学(山形). 2007 年 5 月 27 日.
4. 阿部玲佳・田口尚弘・大谷和弘・富永明. ハバノリ多糖体画分による好酸球遊走の抑制. 第 6 回四国免疫フォーラム, 愛媛大学(松山). 2007 年 5 月 27 日.
5. 木原智香・大谷和弘・久保田賢. 宗田節の健康機能性の探索. 平成 20 年度日本水産学会春季大会, 東海大学(静岡市). 2008 年 3 月 30 日.

#### ○著書

1. 大谷和弘「植物と共に生きるヒト」高橋正征・久保田賢・飯國芳明編『黒潮圏科学の魅力ー人と自然の「新しい」共生をめざしてー』（バイオシティ），2007.

## 1 B. サンゴ粘液の抗菌作用とサンゴの白化・疾病防除機構との関係（研究代表者：深見 公雄）

### （1）目的

サンゴ群生海域は、通常貧栄養な海域であるにもかかわらず、生物の多様性が高く、生物量が多いことも知られている。サンゴは褐虫藻の光合成により同化した物質の約40～60%を粘液等の有機物の形で体外に排出しているといわれている（Davies, 1984）。特に、物理的的刺激などを受けた際には多量の粘液を分泌する事が知られており（Fukami, 1994a）、乾燥や堆積物の付着、生物の付着などのストレスから自らの体を守っていると考えられている（Meikle *et al.*, 1988）。特別なストレスを受けない場合でも、サンゴは常に粘液を体外に放出しており、粘液をはじめとするサンゴ分泌物は、貧栄養なサンゴ群生海域に生息する細菌の増殖基質や甲殻類あるいは魚類などの餌料として、生態系を支える重要なエネルギー源であることが示唆されている（Herndl and Velimirov, 1986; Fukami, 1994b）。

これまでの我々の研究から、サンゴのごく近傍における有機物濃度が周辺海水中に比較して常に高いこと、またそれに伴いサンゴの近傍では細菌の分布密度も常に高いことなどが明かとなってきた。このことは、サンゴの分泌有機物が間違いなく周辺海域に生息する細菌群集の増殖基質として働いていることを示すものである。しかし一方で、予備的な研究から、サンゴ近傍の細菌群の群集組成はサンゴからやや離れた周辺海域とは異なっていること、またその違いには季節性がありそうなことなどが分かってきた。このことは、サンゴの分泌有機物は、周辺海水中の微生物群集に対して、分泌密度のみならず群集組成の面でも大きな影響を及ぼしていることを示唆するものである。

ところで近年、白化や病気によるサンゴ礁の衰退が大きな問題となっており、サンゴの白化には高水温や低塩分・紫外線など環境の物理的要因のみならず、細菌の影響の可能性も指摘されている（Sutherland *et al.*, 2004; Pantos and Bythell 2007）。また、実際にサンゴ表面に存在する細菌群集の組成が周辺海水と異なっていることが示唆されている（Webster and Bourne, 2007）。サンゴの生産・分泌する粘液は通常細菌の良好な増殖基質であると考えられているが（Fukami, 1994a）、一方でサンゴ粘液には自身の体を細菌の感染から守るべく、細菌の増殖を抑制していることが示唆されている（Koh, 1997）。このことは、サンゴの排出する粘液が、増殖基質として働くのみならず、ある種の細菌には忌避物質あるいは増殖阻害物質となっていることが予想される。

サンゴは、種により、また同じ種でも生息場所や季節あるいは環境ストレスの有無等により、粘液等の分泌量やその化学組成が異なることが予想され、サンゴ粘液の細菌に与える影響は季節や場所によって変化することが予想される。しかしながら、サンゴ近傍における細菌群集の組成についてはほとんど知見がなく、サンゴの分泌物がサンゴ近傍の細菌に与える影響についてもほとんど明らかとなっていない。

そこで本研究では、造礁性イシサンゴ類をはじめとするサンゴが群生している高知県の

南西部に位置する大月町西泊周辺海域および同県須崎市の横浪林海実験所周辺の海域をモデル海域として選び、同海において優占種の 1 つである *Acropora hyacinthus* および *A. formosa* 近傍の海水および現場周辺海水を定期的に採取し、栄養塩や有機物濃度を調べるとともに、細菌数ならびに細菌群集組成を調べることで、サンゴ分泌物が周辺海水中の細菌群集組成に与える影響とその変動を明らかにすることを目的とした。

## (2) 研究成果の概要

### 1. 細菌の増殖基質としてのサンゴの分泌有機物

(要約)

高知県大月町西泊および同県須崎市横浪林海実験所のサンゴ群生海域において、優占サンゴ種の *Acropora hyacinthus* および *A. formosa* 各群体から 5cm 以内の近傍と 5m 以上はなれた周辺海水をそれぞれ定期的に採取し、これらの試水中の細菌数および細菌群集組成を調べた。その結果、周辺海水中の細菌密度は平均  $3.33(\pm 0.15) \times 10^5$  cells/ml であったのに対し、サンゴ近傍の細菌密度は  $5.62(\pm 0.23) \times 10^5$  cells/ml となり、両サンゴ種ともにその近傍で周辺海水中よりも有意 ( $P < 0.05$ ) に高いことがわかった。また海水中の有機物濃度の増加する 7・8 月に細菌密度も高くなっていた。これらのことから、サンゴ近傍ではサンゴの生産・分泌した有機物を利用して細菌が増殖しており、これまでの結果と同様、サンゴの分泌有機物が細菌群集の増殖基質となっていることが改めて示された。

調査は、高知県大月町西泊および高知県須崎市横浪林海実験所の周辺海域で行った。両海域の定点において、水温・塩分・溶存酸素濃度等の物理・化学的環境を継続して調べた。また、現場での優占種であるクシハダミドリイシ (*Acropora hyacinthus*) とスギノキミドリイシ (*Acropora formosa*) をそれぞれ 3 群体ずつ選び、タグをつけて毎回同じ群体の周辺で試料採取を行った。両サンゴ種の 3 群体それぞれのごく近傍 (5 cm 以内)、および 5 m 以内にサンゴが見られない場所の海水を、先端に小さなカップを取り付けたプラスチックリンジを用い、シュノーケリングにより水の層を乱さないように注意しながら採取し、実験室に持ち帰った。試水は採取後直ちに GF/F フィルターでろ過し、分析まで凍結保存した。凍結融解後、試水中の有機物 (溶存態有機窒素 : DON・同リン : DOP) 栄養塩 (溶存態無機窒素 : DIN・同リン : DIP) 濃度、ならびに細菌数を測定した。

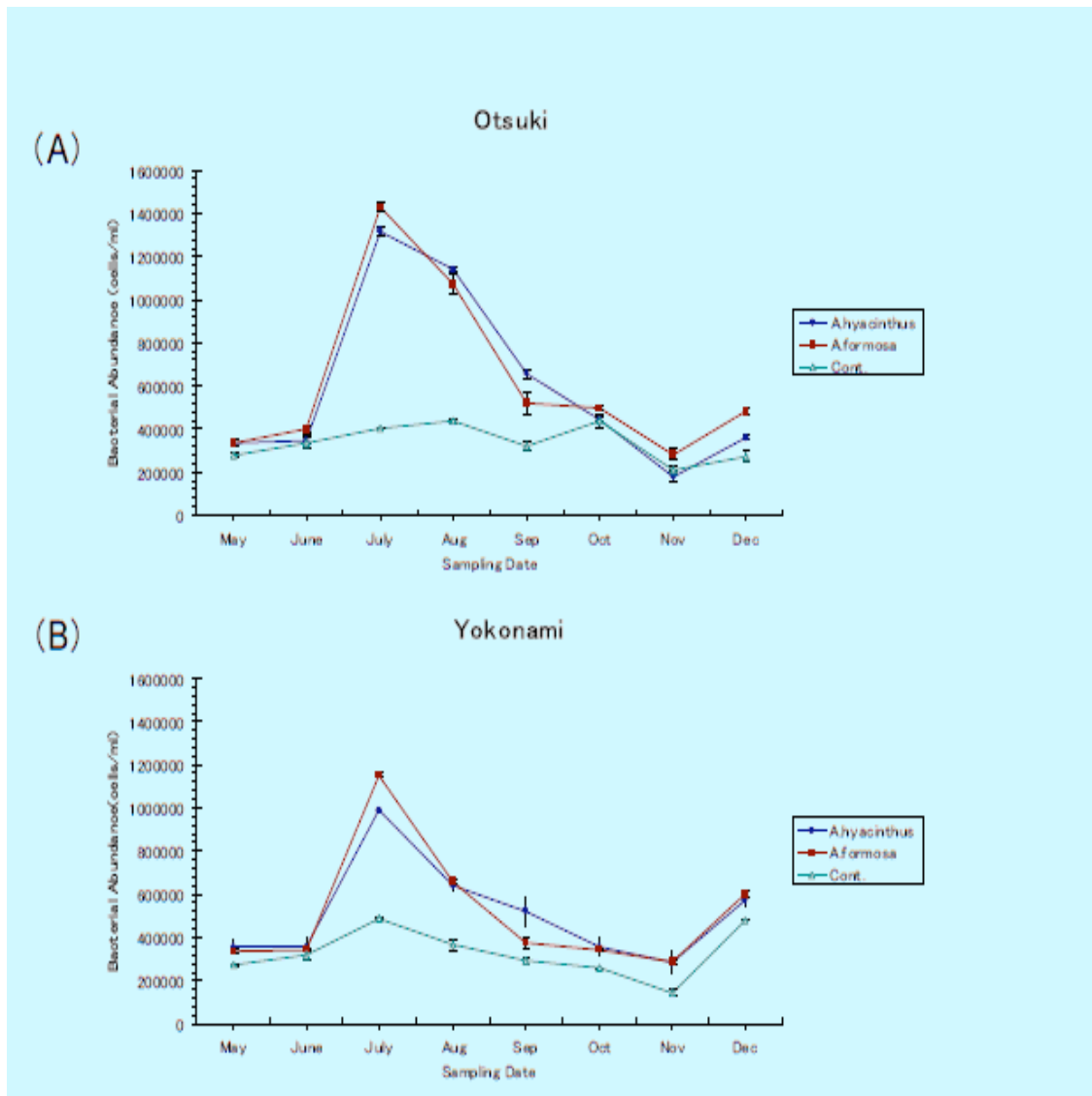


Fig. 1. 2007年5月から12月にかけて計数された *A. hyacinthus* および *A. formosa* 近傍ならびに周辺海水 (Control) 中の細菌密度の季節変動. (A): 大月町, (B) 横浪林海実験所.

2007年5月から2007年12月の8ヶ月間に採取された *A. hyacinthus* および *A. formosa* 近傍ならびに周辺海水 (Control) 中の細菌数の比較した結果 (Fig. 1A), 大月町西泊における細菌密度は、周辺海水で  $2.09 \sim 4.05$  (平均  $3.84 \pm \text{SD} 1.87$ )  $\times 10^5$  cell/ml の範囲で変動し、最低値 ( $2.09 \times 10^5$  cell/ml) は11月、最高値 ( $4.05 \times 10^5$  cell/ml) は7月に観測されたものの、それほど大きな季節変動は観測されなかった。それに対して *A. hyacinthus* 近傍では  $1.82 \sim 13.2$  (平均  $5.98 \pm \text{SD} 1.62$ )  $\times 10^5$  cell/ml の範囲で変動し、最低値 ( $1.82 \times 10^5$  cell/ml) は11月、最高値 ( $1.32 \times 10^6$  cell/ml) は7月に観測された。同様に *A. formosa* 近傍では  $2.85 \sim 14.3$  (平均  $6.29 \pm \text{SD} 1.25$ )  $\times 10^5$  cell/ml の範囲で変動し、最低値 ( $2.85 \times 10^5$  cell/ml) は11月、最高値 ( $1.43 \times 10^6$  cell/ml) は7月に観測された。いずれの場合にも、周辺海水中では細菌密度はほとんど一定だったのに対し、サンゴ近傍では一ヶ月近く変動し



た。また、サンゴ近傍では7・8月に細菌密度が高くなる傾向が見られた (Fig. 1A)。

横浪林海実験所における細菌密度は、周辺海水で  $1.41 \sim 4.89$  (平均  $3.28 \pm \text{SD } 1.13$ )  $\times 10^5$  cell/ml の範囲で変動し、大月町西泊での観測結果と同様に、最低値 ( $1.41 \times 10^5$  cell/ml) は11月、最高値 ( $4.89 \times 10^5$  cell/ml) は7月に観測された (Fig. 1B)。大月町西泊の観測結果と同様に *A. hyacinthus* 近傍では  $2.82 \sim 9.89$  (平均  $5.10 \pm \text{SD } 3.47$ )  $\times 10^5$  cell/ml の範囲で変動し、最低値 ( $2.82 \times 10^5$  cell/ml) は11月、最高値 ( $9.89 \times 10^5$  cell/ml) は7月に観測された。同様に *A. formosa* 近傍では  $2.87 \sim 11.5$  (平均  $6.29 \pm \text{SD } 1.25$ )  $\times 10^5$  cell/ml の範囲で変動し、最低値 ( $2.87 \times 10^5$  cell/ml) は11月、最高値 ( $1.15 \times 10^6$  cell/ml) は7月に観測された。横浪林海実験所においてもサンゴ近傍では周辺海域に比べ大きな変動があり、大月町西泊と同様に7・8月に細菌密度が高くなる傾向が見られた (Fig. 1B)。

大月町西泊および横浪林海実験所のいずれの地点においても、*A. hyacinthus* 近傍と *A. formosa* 近傍では細菌密度にそれほど大きな違いは見られず、サンゴの種類による大きな違いはなかった (Fig. 1A, B)。

このときの溶存態有機炭素 (DOC) 濃度を調べたところ、大月町西泊では、周辺海水中で平均  $1.21 (\pm \text{SD } 1.21)$  mg-C/L, *A. hyacinthus* 近傍で平均  $1.41 (\pm \text{SD } 1.30)$  mg-C/L, *A. formosa* 近傍で平均  $1.45 (\pm \text{SD } 1.50)$  mg-C/L となり、8月に高くなり、11月に低くなる傾向が見られた。横浪林海実験所では、周辺海水で平均  $1.29 (\pm \text{SD } 1.16)$  mg-C/L, *A. hyacinthus* 近傍で平均  $1.46 (\pm \text{SD } 1.34)$  mg-C/L, *A. formosa* 近傍で平均  $1.39 (\pm \text{SD } 1.22)$  mg-C/L となり、大月町西泊と同様7月・8月に増加し、10月・11月に低下する傾向が見られた。同様に溶存態有機窒素 (DON) 濃度は、大月町西泊では、周辺海水で平均  $22.2 (\pm \text{SD } 10.36)$   $\mu\text{M}$ , *A. hyacinthus* 近傍で平均  $23.5 (\pm \text{SD } 7.53)$   $\mu\text{M}$ , *A. formosa* 近傍で平均  $22.6 (\pm \text{SD } 8.47)$   $\mu\text{M}$  となり、DOC 濃度とは異なり7月・8月に少なくなり10月・11月で高くなる傾向が見られた。横浪林海実験所前の海域では、DON 濃度が周辺海水で平均  $24.2 (\pm \text{SD } 7.82)$   $\mu\text{M}$ , *A. hyacinthus* 近傍で平均  $24.4 (\pm \text{SD } 8.77)$   $\mu\text{M}$ , *A. formosa* 近傍で平均  $25.4 (\pm \text{SD } 7.91)$   $\mu\text{M}$  となり、大月町西泊と同様9~11月に増加する傾向が見られた。溶存態有機リン (DOP) の平均濃度は、大月町西泊では、周辺海水・*A. hyacinthus* 近傍・*A. formosa* 近傍で、それぞれ  $0.51 (\pm \text{SD } 0.66)$   $\mu\text{M}$ ・ $0.66 (\pm \text{SD } 0.84)$   $\mu\text{M}$ ・ $0.58 (\pm \text{SD } 0.67)$   $\mu\text{M}$ , 同じく横浪林海実験所前で、 $0.17 (\pm \text{SD } 0.23)$   $\mu\text{M}$ ・ $0.29 (\pm \text{SD } 0.41)$   $\mu\text{M}$ ・ $0.27 (\pm \text{SD } 0.38)$   $\mu\text{M}$  となり、いずれも6~8月にサンゴ近傍で高くなる傾向が見られた。

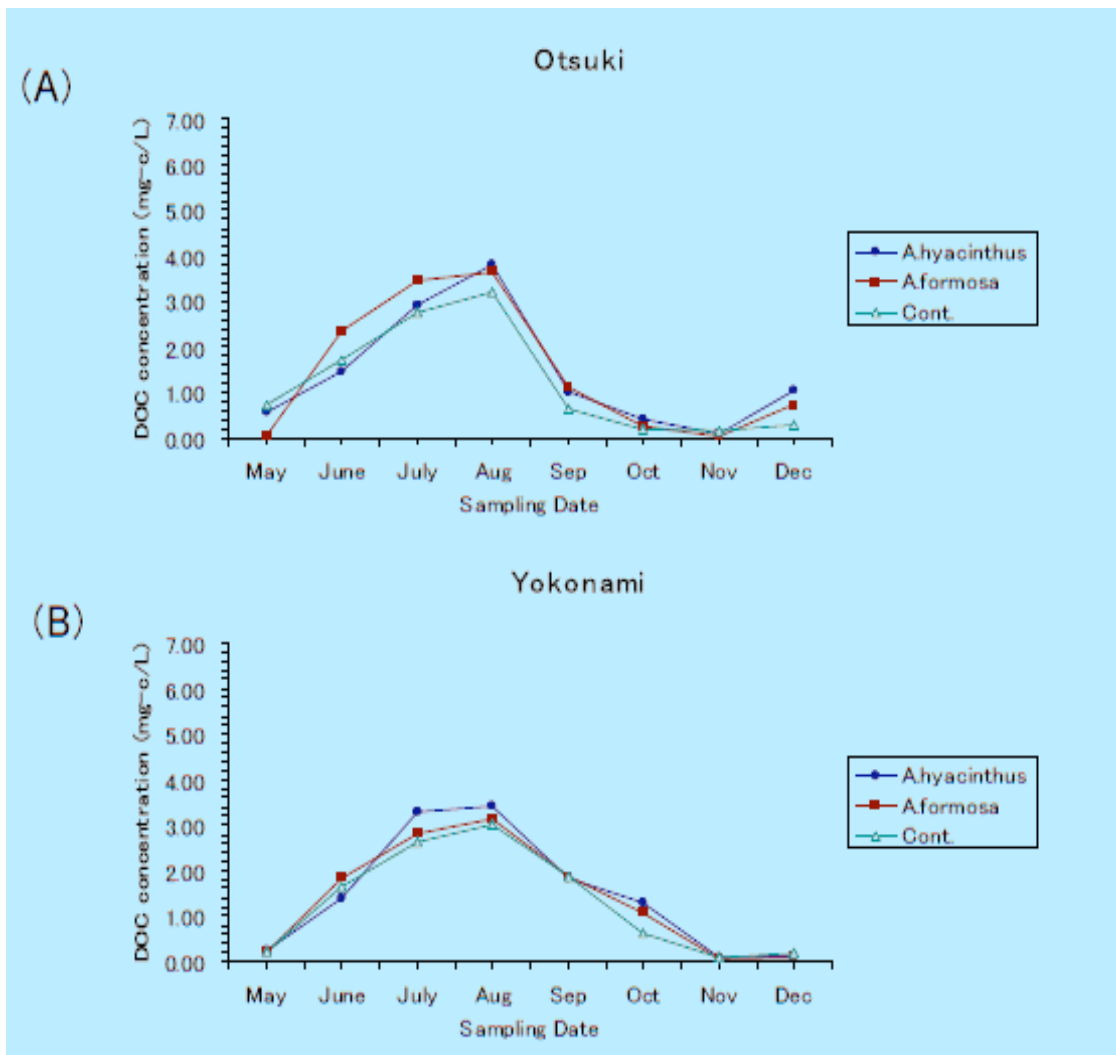


Fig. 2. 2007年5月から12月にかけて測定された *A. hyacinthus* および *A. formosa* 近傍ならびに周辺海水 (Control) 中の DOC の濃度の季節変動. (A) : 大月町, (B) 横浪林海実験所.

一方、無機栄養塩の溶存態無機窒素 (DIN) 濃度を測定したところ、大月町西泊では、周辺海水・*A. hyacinthus* 近傍・*A. hyacinthus* 近傍で、それぞれ平均  $1.39 (\pm SD1.20) \mu M$ ・ $2.18 (\pm SD1.65) \mu M$ ・ $2.19 (\pm SD1.63) \mu M$ 、同様に横浪林海実験所前では、平均  $1.51 (\pm SD0.96) \mu M$ ・ $1.98 (\pm SD1.36) \mu M$ ・ $2.08 (\pm SD1.09) \mu M$  となり、いずれの場所でもサンゴ近傍では周辺海水に比べやや大きく変動し、濃度も高くなる傾向が見られた。

このように DOC・DON・DOP として測定された溶存態有機物の濃度は、サンゴの種類やサンゴ近傍と周辺海水において大きな差は見られなかったものの、DIN は周辺海水中と比較するとサンゴ近傍でやや高い傾向が見られた。

本研究で得られた現場海域での結果から、大月町西泊および横浪林海実験所のいずれにおいても、また *A. hyacinthus*, *A. formosa* のいずれの種においても、細菌密度は周辺海水に比べサンゴ近傍で高くなる傾向が見られた。特に7月・8月に両者の差が大きくなることが示され、この時期には、DOC や DIN の濃度も同様に高くなる傾向が見られた。亜熱帯では夏季にサンゴの一次生産が活発になることが報告されている (Halfar *et al.*, 2005)。大

月町西泊や横浪林海実験所においても夏季には、サンゴの生産・分泌する有機物が増加することで DOC の値が高くなり、これらを細菌が増殖基質として利用し増えているため、サンゴ近傍で周辺海水に比べ細菌密度が増加したものと考えられた。その結果、細菌の有機物の分解により、DIN 濃度が増加していることが考えられた。

ところで、DOC や DOP の濃度は 10・11 月には非常に低い値に低下しており、細菌数も少ないにも関わらず、DON は逆に 10・11 月に増加していた。このことから、海水中に分布している溶存態有機物の C・N・P 比が季節により大きく変動していることが示唆され、その原因としてサンゴ生産・分泌する有機物の量だけでなく化学組成が変化していることが考えられた。

このように、サンゴ近傍における有機物の化学組成が季節によって変化している可能性が示唆されたため、必ずしも全ての細菌群集がサンゴ分泌物を利用して同調的に増加しているとは限らない可能性が考えられた。そこで次に、DGGE 法を用いて、細菌群集をサンゴ近傍および周辺海水と比較することで、細菌群集がサンゴ分泌物によりどのような影響を受けているのかについて調べた。

## 2. サンゴの粘液が細菌群集組成に与える影響

(要約)

サンゴのごく近傍および周辺海水中の細菌群集組成を DGGE 法により調べたところ、両者のバンドパターンの間にはしばしば大きく異なることが分かった。その中には、サンゴの近傍にしか現れず周辺海水中には見られないバンド、逆に周辺海水中には存在するにもかかわらずサンゴの近傍では見られないバンド、またサンゴの種類によって異なり、*A. hyacinthus* の近傍のみで見られるもの見られないもの、あるいは *A. formosa* の近傍のみで見られるもの見られないものなど、いくつかのパターンがあることが明らかとなった。このことから、サンゴの分泌する粘液等の有機物は、周辺海水中の細菌群集組成に大きな影響を及ぼしていることが示唆された。

昨年度および今年度の研究結果により、サンゴの粘液は周辺海域の細菌群集に対する重要な増殖基質であることが明らかとなった。しかし一方で、サンゴの粘液には抗菌物質としての役割があることも予想されている。このことは、周辺海水中に分布する細菌群集の中に、粘液によって増殖を促進されるものと抑制されるものが存在する可能性を示唆するものである。また、ある細菌はサンゴに誘引されるものの、逆に、粘液を嫌う細菌に対しては忌避作用を示すことが考えられ、粘液がサンゴ群生海域の細菌群集に量的な側面のみならず質的な面、すなわち群集組成に大きな影響を及ぼしていることが予想される。ここでは高知県須崎市の横浪林海実験所前の海域における現場周辺海水とサンゴ近傍の細菌数および細菌群集組成を調べ、サンゴの粘液が周辺海水中の細菌の群集組成に与える影響について明らかにしようとした。

前項と同様、高知県大月町西泊および高知県須崎市横浪林海実験所の周辺海域で、周囲約 5m 以内にサンゴが存在しない場所の表層水と現場海域で優占種である *A. hyacinthus* および *A. formosa* 群体の枝元から 5cm 以内の海水を採取した。孔径 0.2  $\mu$ m Millipore Filter

で試水をろ過して細菌細胞を濾過・捕集し、DNA 抽出したのち PCR により増幅したあと電気泳動を行い、DGGE 法で細菌群集組成を解析した。

2007 年 5 月から 2007 年 12 月の 8 ヶ月間に合計 8 回採取された試水について、*A. hyacinthus*・*A. formosa* それぞれの近傍ならびに周辺海水中 (Control) の細菌群集組成を DGGE 法で解析したところ、11 月を除くほとんどの試水でサンゴ近傍と周辺海水中とは異なるバンドパターンが確認され、両者の間には細菌の群集組成の違いがあることが明らかとなった (Fig. 3)。すなわち、周辺海水中と比較して、サンゴ近傍で増加または減少している細菌群が存在することが明らかとなった。また、*A. hyacinthus*, *A. formosa* いずれのサンゴ種においても試料採取した異なる 3 群体間には DGGE のバンドパターンに大きな違いは見られず、サンゴの個体による差はそれほど大きくないことが分かった。

各月のサンゴ近傍と周辺海水における細菌群集組成を詳細に見たところ、7 月・9 月・10 月で特に大きな違いが見られた。横浪林海実験所の 7 月の試料は台風の直後に採取されたものであるが、他の月に比べて多い 11 本 (C1~C11) の特徴的なバンドが確認された (Fig. 4)。*A. hyacinthus* 近傍および *A. formosa* 近傍で周辺海水では見られないバンド C1~5 および C11 が確認されたのに対し、周辺海水には存在するにもかかわらずサンゴ近傍では見られないバンド C6~10 が確認された (Fig. 4)。また、*A. hyacinthus* 近傍でバンド C1~3・5・11 が確認できるのに対し、*A. formosa* 近傍では確認することが出来ず、サンゴ種間でも違いが見られた (Fig. 4)。

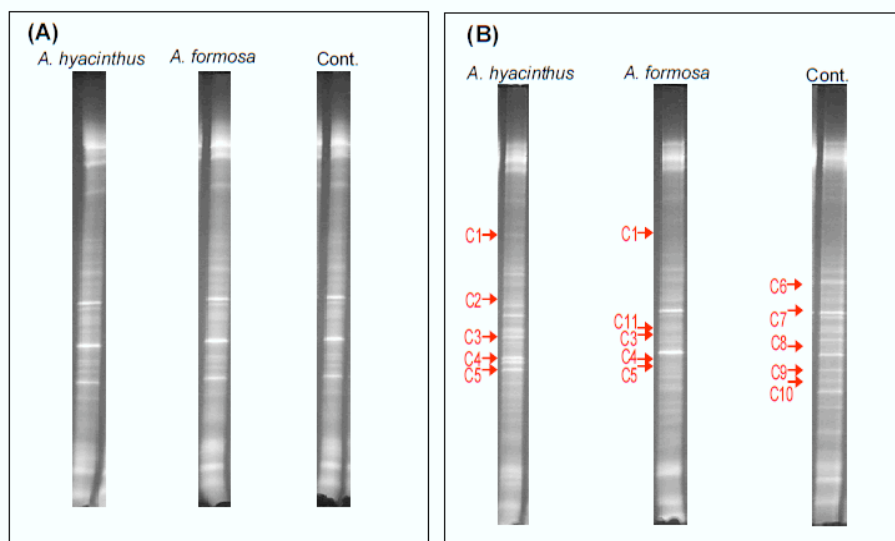


Fig. 3. 2007 年 7 月に採取されたサンゴ (*A. hyacinthus* および *A. formosa*) 近傍および周辺海水 (Cont.) 中の電気泳動パターンの比較. (A) 大月町, (B) 横浪.

2007 年 9 月には大月町西泊でサンゴに白化が見られた。その時には 13 本 (E1~E13) の特徴的なバンドが確認でき (Fig. 5), *A. hyacinthus* 近傍および *A. formosa* 近傍でのみ観察されたバンド (E1~5・11) や、逆にサンゴ近傍では見られないバンド (E6~11) が確認された (Fig. 5)。またバンド E1・3・5・12 は、*A. hyacinthus* 近傍で確認できたのに対し *A. formosa*

近傍では確認できず、サンゴ種間でも違いが見られることが明かとなった。

また、同じサンゴ種を大月町と横浪で比較したところ、全ての月で生息地域の違いによる細菌群集組成の違いを確認することが出来た。

このように、DGGE法による電気泳動のバンドパターン結果から、周辺海水と比較してサンゴ近傍で多く見られる細菌、またほとんど見られない細菌の二群がいることが明らかとなった。このことは、サンゴの分泌有機物を増殖基質として利用して増殖している細菌と、逆に粘液の抗菌作用等により増殖を抑制されている細菌が存在することを示唆している。さらに、*A. hyacinthus*・*A. formosa* 両種でバンドパターンに違いが見られたこと、あるいは同じサンゴ種であっても生息海域による違いも見られたことから、サンゴの種や生息環境によって粘液の成分組成等が異なり、そのため細菌に与える影響が異なることが考えられた。

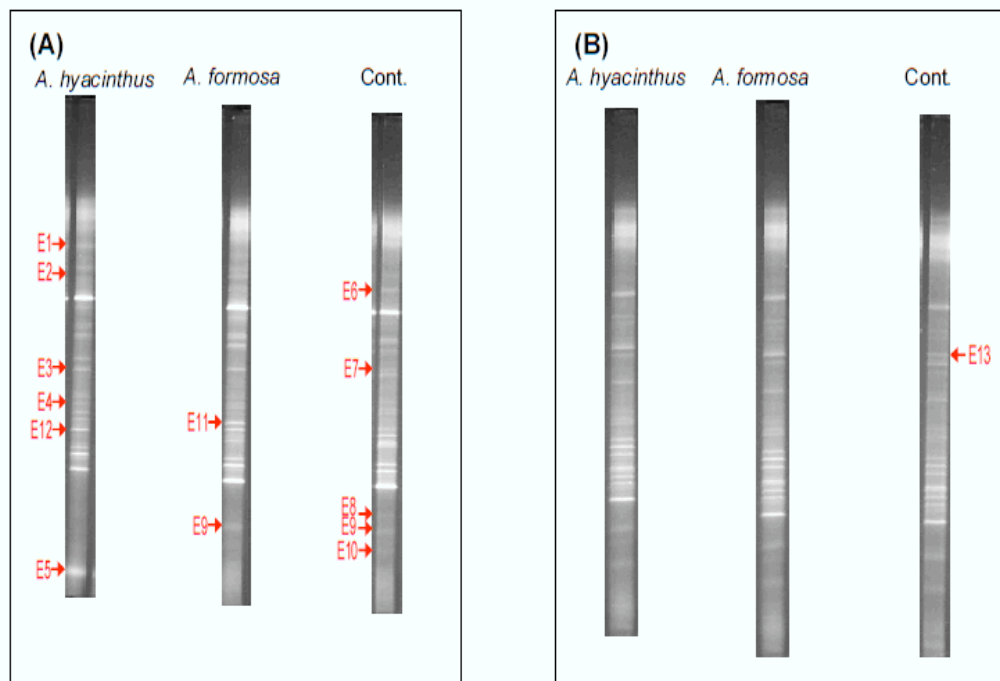


Fig. 4. 2007年9月に採取されたサンゴ (*A. hyacinthus* および *A. formosa*) 近傍および周辺海水 (Cont.) 中の電気泳動パターンの比較. (A) 大月町, (B) 横浪.

### 3. 白化の原因となる細菌の粘液に対する感受性

(要約)

富栄養化した内湾で普遍的に見られる渦鞭毛藻殺滅細菌が貧栄養なサンゴ群生海域においても分布しており、褐虫藻に対して殺滅効果のある菌株が分離された。これらを水槽で飼育したサンゴに接種すると、2日程度でサンゴ部位約80%が白化することが明らかとなった。一方、これらの褐虫藻殺滅細菌はサンゴの分泌する粘液に対してあまり良好な増殖を示さず、どちらかという増殖が抑制されていることが分かった。これらの結果は、サン

ゴと細菌類が粘液を介して複雑な相互作用を保っていることを示唆するものである。

1998年に世界的な規模でサンゴの白化が発生して以来、世界各地で、サンゴの白化や疾病が原因となり、サンゴ礁の衰退が大きな問題となっている。サンゴの白化は、サンゴ体内に共生している渦鞭毛藻の一種である褐虫藻(*Symbiodinium* spp.)が何らかの原因でサンゴの体外へ消失する現象であり、水温ストレス等が主な原因とされている。しかしながら近年、周辺海水中に生息する細菌類が白化の原因の一つとなっているとの指摘があり、多くの研究が開始されている。我々は長年、富栄養化した内湾海域において赤潮の原因となる渦鞭毛藻の増殖を著しく抑制あるいは殺滅する細菌(殺藻細菌)の研究を実施してきた。褐虫藻は赤潮原因藻と比較的近い分類学的位置にいることから、このような褐虫藻殺滅細菌が貧栄養なサンゴ生息海域にも分布しており、それらがサンゴ白化の一要因となっているのではないかと考え、褐虫藻の増殖を著しく阻害する細菌の探索と分離、白化の要因としての可能性、さらにはサンゴ粘液によるサンゴの感染防御について調べた。

高知県大月町西泊のサンゴ群生海域において、定期的に海水試料を採取し、現場のサンゴから集めた褐虫藻およびタイプカルチャーをアッセイ藻に用い、48穴マイクロプレートを用いた常法(Fig. 5) (Fukami et al., 1995)により *Symbiodinium* 殺滅細菌の計数を行った。その結果、分布密度は秋季に増加し、最大で400-500 cells/Lの殺藻細菌がサンゴ群生海域に分布していることが世界に先駆けて明らかになった (Fig. 6)。

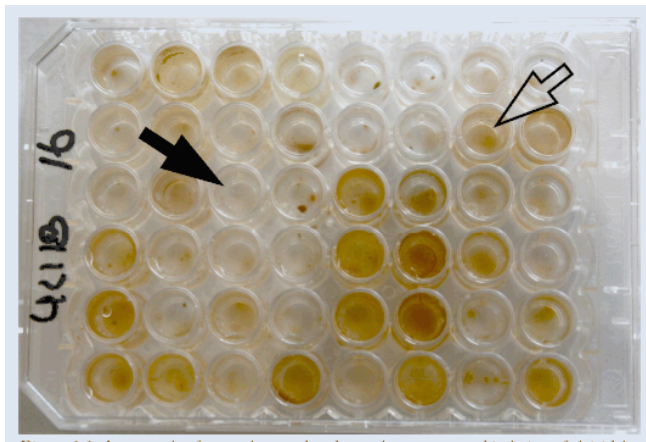


Fig. 5. 48穴マイクロプレート法により得られた、褐虫藻殺滅細菌が存在するウェル(黒い矢印)。殺藻活性が見られないウェルには褐色に増殖した褐虫藻が見られる。増殖阻害の場合には褐色が薄くなる(白い矢印)。

殺藻活性が見られたウェルから細菌を分離し、二次スクリーニングを実施した結果、褐虫藻に対して強い殺滅活性を示す細菌株が合計20株分離された。これらについて、16S rRNAの塩基配列に基づく分類学的位置を解析したところ、Alphaproteobacteriaが3株、Gammaproteobacteriaが11株、特定することができなかったものが6株であった。

このうち特に強い殺藻活性を示した1B株について、水槽を用いたサンゴへの感染実験を実施した。大月町周辺海域で優占している *A. hyacinthus* および *A. formosa* を水槽で飼育し、約1週間馴致させたあと、水温環境を25°Cおよび30°Cに設定し、それぞれ殺藻細菌

1B株を初期密度  $10^4$  cells/mL となるように接種して実験を開始した。その結果、実験開始後 53 時間で、殺藻細菌を接種した実験系ではサンゴ群体の約 80%が白化したのに対し、細菌を接種しない実験系では、25°C・30°Cいずれの培養温度においてもサンゴの白化はごく僅かに留まることが明らかとなった (Fig. 7)。

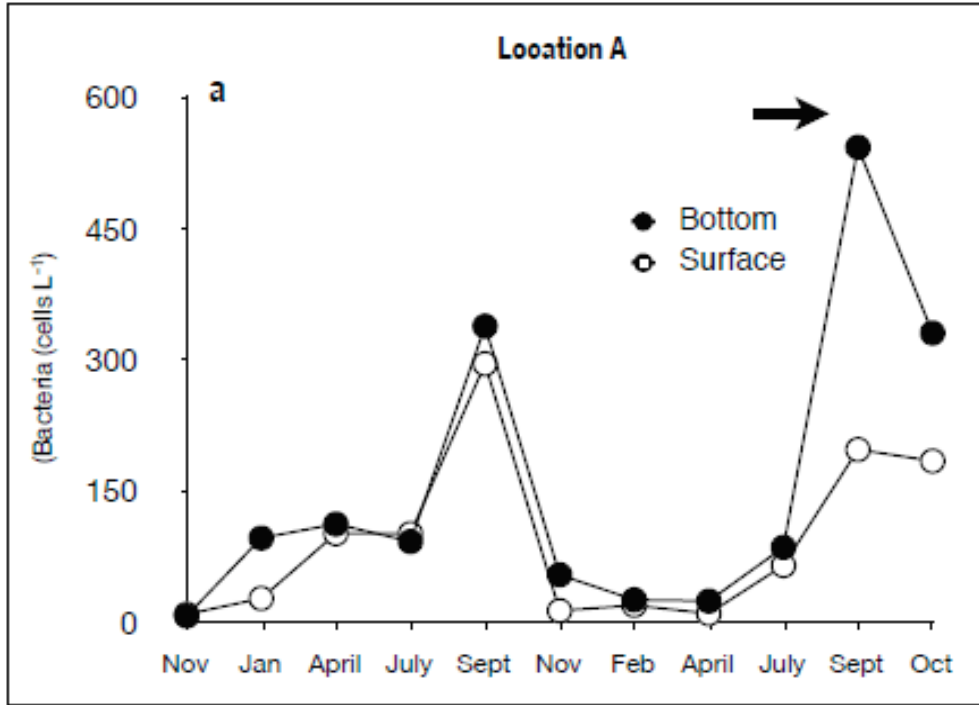


Fig. 6. 大月町のサンゴが群生している定点付近(表層および底層)における褐虫藻殺滅細菌の分布密度とその季節的変動。

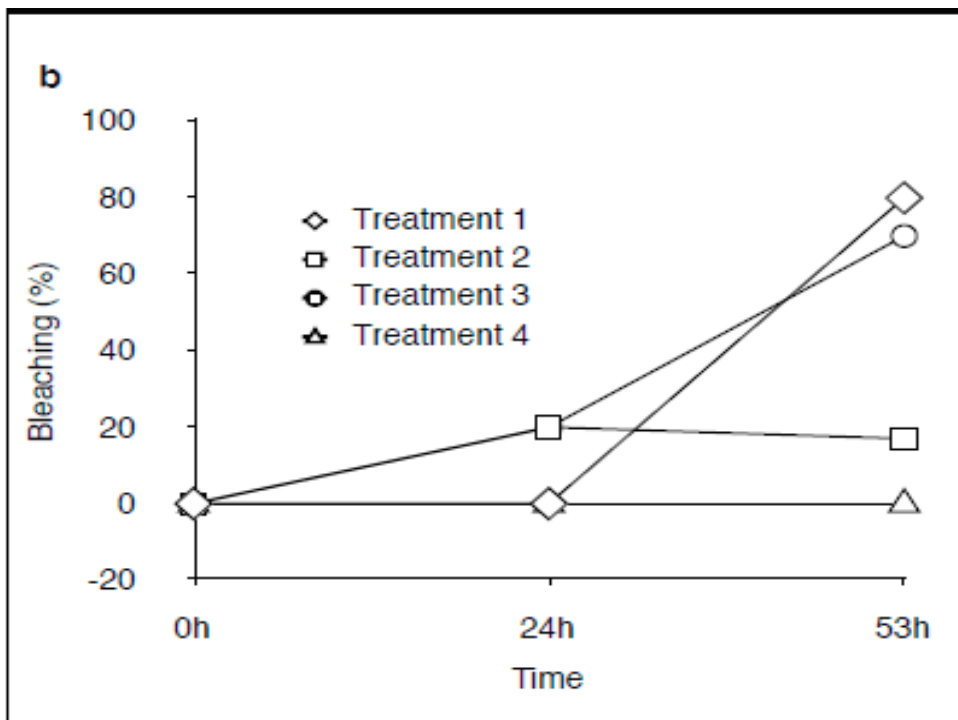


Fig. 7. 水槽で飼育した *A. hyacinthus* に褐虫藻殺滅細菌 1B 株を接種し、53 時間培養した時の、サンゴの部位に占める白化部の割合. Treatment 1:細菌接種, 30°C, Treatment 2:細菌非接種, 30°C, Treatment 3:細菌接種, 25°C, Treatment 4:細菌非接種, 25°C.

以上の結果は、サンゴ生育海域に分布している褐虫藻殺滅細菌が、サンゴの白化に重大な影響を及ぼしていることを強く示唆するものである。

ところが興味深いことに、多くの細菌にとって良好な増殖基質であるサンゴの粘液が、このような褐虫藻殺滅細菌にとってはそれほど有効な基質ではないことが分かった。大月町の現場から *A. hyacinthus* および *A. formosa* を採取し、室内にてガラスロートの上にサンゴの小片を載せてしばらく放置することで、サンゴの粘液を集めた。これらの粘液はできるだけ少量の滅菌海水で随時洗浄しながら乾燥しないように注意した。サンゴの採取後 2 時間以内に粘液の採取を終了し、粘液を含んだ海水を目合い 10 $\mu$ m・5 $\mu$ m のネットおよび GF/C(1.2 $\mu$ m)・GF/F(0.8 $\mu$ m) のガラスフィルターで順次ろ過し、最終的に 0.22 $\mu$ m のミリポアフィルターでろ過滅菌した。これらの溶液には約 20  $\mu$ g-C/L の溶存態有機炭素が含まれていたため、同程度の DOC を含む FeTY ペプトン培地を調製し、それぞれの溶液に褐虫藻殺滅細菌 1B 株を接種し、経時的にその増殖を濁度計で追跡した。

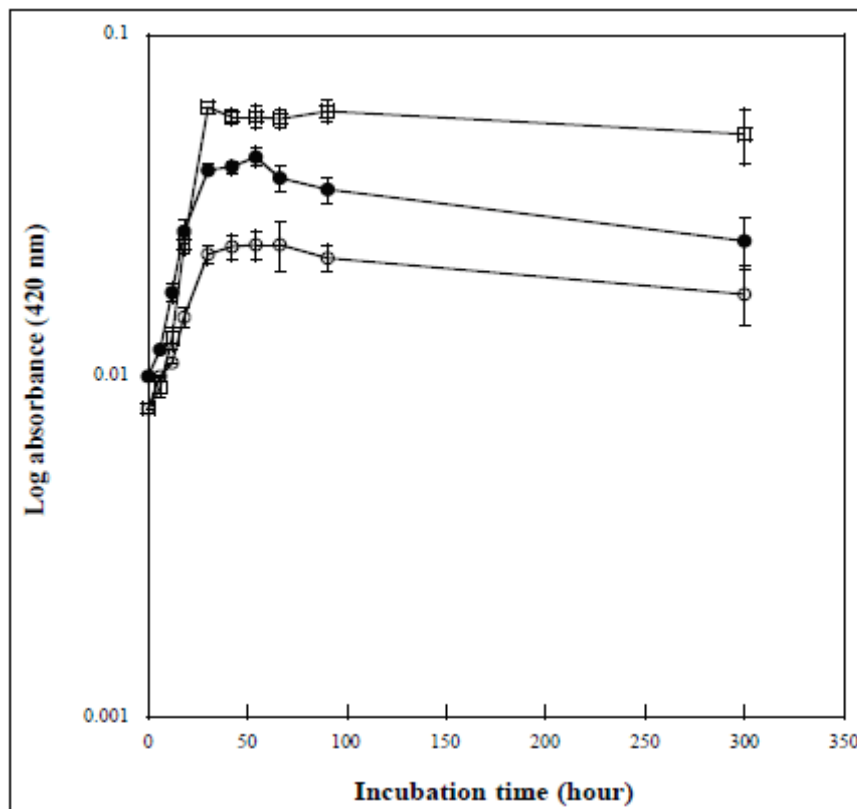


Fig. 8. *A. hyacinthus* および *A. formosa* から採取した粘液および同程度の有機炭素量に調製した FeTY ペプトン培地中での、褐虫藻殺滅細菌 1B 株の増殖。

その結果、対照実験として用いた、殺藻細菌ではない通常の海洋細菌株では、サンゴ粘液でも FeTY 培地でもほとんどその増殖は差が見られなかったのに対し、褐虫藻殺滅細菌 1B



株では、両サンゴ種の粘液ともに FeTY 培地での増殖と比較して有意にその増殖が抑制されることが分かった (Fig. 8).

これらの結果は、サンゴにとって白化の原因となる可能性のあるような殺藻細菌は、他の細菌群が増殖基質として利用しているサンゴの粘液に対して抑制されている可能性を示唆するものであり、周辺海水中に生息する細菌群とサンゴとの間には複雑で微妙な相互関係が存在することを強く示したものである。

### (3) 平成 19 年度の研究業績

#### ○学術論文

1. Fukami, K., Y. Tateda, K. Kurosawa, Y. Suzuki, Y. Ikeda, S. Sugioka, and G. Wattayakorn. 2007. Carbon flux as microbial biomass for evaluating potential CO<sub>2</sub> fixation in mangrove ecosystems. In: Greenhouse gas and carbon balances in mangrove coastal ecosystems, (eds.) Y. Tateda et al., Gendai Tosho, Kanagawa, Japan. Pp. 27-31.
2. Mohapatra, B. R., and K. Fukami. 2007. Chemical detection of prey bacteria by the marine heterotrophic nanoflagellate *Jakoba libera*. Basic Appl. Ecol., 8: 475-481. 松田篤志・西島敏隆・深見公雄・足立真佐雄. 2007. リン制限下において水温が有毒渦鞭毛藻 *Alexandrium catenella* の麻痺性貝毒量ならびに毒成分組成に及ぼす影響. 日本プランクトン学会報, 54: 92-98.
3. De, J., N. Ramaiah, N. B. Bhosle, A. Garg, L. Vardanyan, V. L. Nagle, and K. Fukami. 2007. Potential of Mercury-Resistant Marine Bacteria for Detoxification of Chemicals of Environmental Concern. Microbes Environ., 22: 336-345.
4. Keshavmurthy, S., K. Fukami, and E. Nakao. 2007. Algicidal bacteria in a high-latitude coral community and their effect on zooxanthellae (*Symbiodinium* spp.) isolated from the coral *Acropora formosa*. Galaxea, JCRS, 9: 13-21.

#### ○著書

1. 深見公雄. 2007. 黒潮の恵みって本当?—“海の砂漠”とよばれる黒潮の正体, 高知大学ラジオ公開講座読本 LIBERATION, Vol. 2「農学・環境」, 高知大学, 高知. pp. 48-62.
2. 深見公雄. 2007. 2-4 生態系のバランスと人為的インパクト—環境保全の考え方とその問題点, 黒潮圏科学の魅力. 高橋正征・久保田 賢・飯國芳明 (編), ビオシティ, 東京. pp. 92-101.

#### ○学会発表

1. 深見 公雄・玉置寛・大江孝輔・田中壮太. 森林土壌から河川への栄養塩供給, 日本水産学会 (春期大会) 東京都 2007 年 3 月 28 日.
2. FUKAMI, K・S. Keshavmurthy・Y. Matoba・Y. Iwata. Effects of Mucus Produced and Released by Coral on Bacterial Community in Ambient Seawater. 日本微生物生態学会 愛媛県 2007 年 9 月 16 日
3. 深見 公雄・KESHAVMURTHY Shashank・中尾絵津子. サンゴ群生海域における褐虫藻殺滅細菌の分布とサンゴの白化原因としての可能性. 日本水産学会 北海道 2007 年 9 月 26

日

4. 吉本典生・深見 公雄・大関直幸・高橋正征. 海洋深層水と表層水を様々な比率で混合した海中での有害プランクトンの増殖. 海洋深層水利用学会 北海道 2007年10月4日

#### ○報道

2007. 5. 23. 高知新聞, 「国に生態系保全の環境施策求める」, 深見公雄

2007. 8. 13. 高知新聞, 「アユ増える仁淀川に一土佐市清流再生シンポ」, 深見公雄

2007. 8. 29. 高知新聞, 「黒潮の恵み 科学的に紹介」, 深見公雄

#### ○学部資金獲得

2007年度 海洋深層水利用学会 「学術研究」, 1080千円 (代表)

### 1 C. 海洋生物の疾病に対する病原因子の解明 (代表者: 大島俊一郎)

#### (1) 研究目的

ノカルジア症は、1967年に三重県の養殖場でブリやカンパチに発生し、次第に西日本の養殖場に広がった。その後、まもなく本感染症は沈静化されたが、90年代から再び本感染症の流行が報告され、我が国の主要海産魚であるブリ養殖に大きな被害を出している。本感染症の原因細菌である *Nocardia seriolae* の薬剤感受性・性状検査・感染機構・免疫学的研究は一部行われているが、本症の研究は他の魚病細菌と比較して明らかに少ない。

そこで、本研究ではまず、臓器における病変の観察を行うために、感染魚の解剖を行い臓器の写真を撮影した。また、腎臓における本菌の増殖・集積を判断するために、結節の観察による判断だけでなく腎臓をホモジナイズすることによって生菌数の変化についても検討した。

さらに、実験感染魚より各種臓器を摘出し病理組織学的観察を行った。

#### (2) 研究成果の概要

##### (要約)

本研究ではノカルディア症原因菌 *Nocardia seriolae* を平均体重66gのブリ筋肉内に接種後、腎臓中の生菌数ならびに病理組織学的観察を行った。実験感染魚は感染4日後より死亡が認められ、腎臓中の生菌数は感染5日後まで増加したのち、一定の菌数で推移した。病理組織学的観察の結果、感染4日後より、結節様構造物が腎臓ならびに脾臓で観察されたが、結節の形態が、自然感染で認められるものとは異なっていた。

##### (方法)

供試菌は、平板 BHI (NaCl 濃度 0.5%) 培地を用いて 25°C で 7 日間培養した。使用する菌株は、ノカルジア症感染魚の脳から分離した N-2926 株を用いた。供試魚として、ブリを使用した。感染方法として筋肉注射法を用いた。まず、乾熱滅菌したガラスビーズ入り小試験管に菌体を取り摩砕した。次に PBS に懸濁し 0.5mg/ml となるように調整した。供試魚に

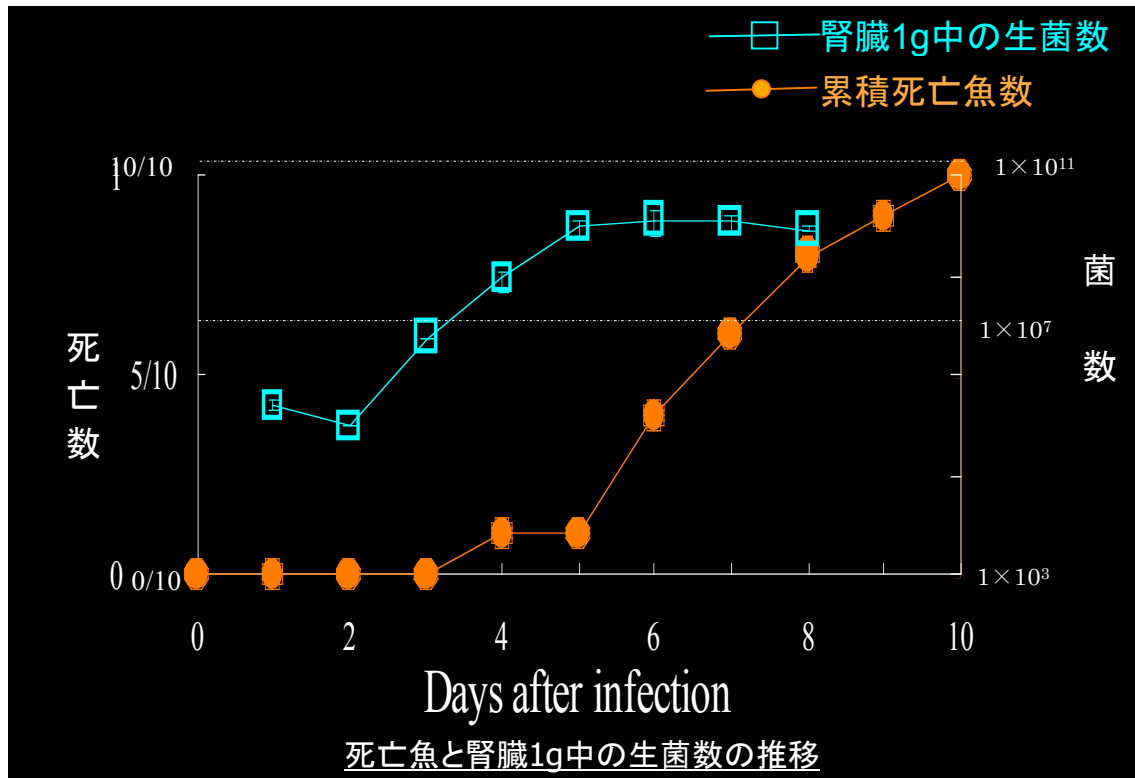
は、片側に 0.1ml ずつ筋肉へ接種した。

サンプリングについては、毎日 1 尾ずつサンプリングし、感染 8 日後まで行った。サンプリングは、水槽から取り出した後すぐに麻酔をかけた。ヘパリン処理した 1ml シリンジを用いて約 1ml 採血を行った。その後、菌分離を行うために 50  $\mu$ l を平板 BHI (NaCl 濃度 0.5%) 培地に塗抹した。解剖写真については、下腹部の体表、尾鰭の付根、注射部位、エラ、脾臓、および腎臓の写真を撮影した。また、このほかに感染実験期間中に異常が認められた部位については、その時以降から撮影を行っていくようにした。

菌分離は、脾臓と腎臓から BHI (NaCl 濃度 0.5%) 平板培地を用い、特に腎臓では 1% 小川培地ももちいて菌分離を行った。腎臓における生菌数の測定は、腎臓を採取し PBS を加えてホモジナイズした。次に、平板 BHI (NaCl 濃度 0.5%) 培地に 50  $\mu$ l を塗抹した。

本実験における菌の培養は、25°C で行った。全ての処理が終わった後に、エラ・心臓・腎臓・脾臓・肝臓・脳・下腹部・筋肉を取り出し 10%ホルマリン溶液を用いて固定した。固定後、定法に従ってパラフィン切片を作製し、H・E を施して観察した。

## 結果



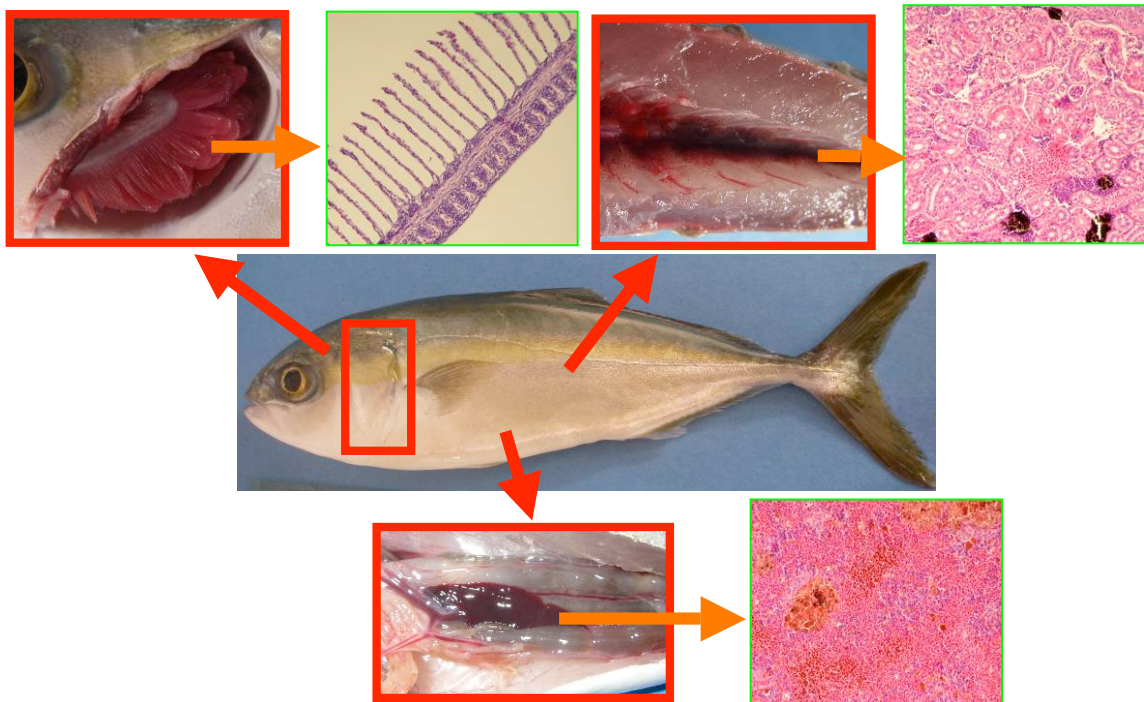
N-2926 株を用いた感染実験における死亡魚の推移を上図に示した。死亡魚数は、感染 6 日後から増加し始め感染 10 日後までに全ての個体が死亡した。また、腎臓 1g あたりの生菌数を測定した結果、感染 5 日後まで生菌数は増加し、その後は一定の菌数が保たれた。

ブリに感染し発症した本症の特徴的な症状を以下に示した。

ノカルディア症の特徴的な症状 (ブリ)



実験感染前のブリの各種臓器（ブリ）



感染魚を解剖した結果、鰓では感染 5 日後、脾臓では感染 4 日後、腎臓では感染 5 日後からハッキリとした小白点が観察された。また、感染 8 日後の腎臓と脾臓に形成された結節をニクロム線で触ると硬かった。感染 10 日後の死魚を解剖した際には、心房と肝臓にも

小白点の形成が確認された。

実験感染魚の病理組織学的観察の結果、鰓では感染5日後の個体に鰓基部の組織の増成が観察された。また、脾臓では感染4日後より脾臓内部に肉芽腫様構造物が認められ、その後、ハッキリとした肉芽腫に成長した。この傾向は腎臓でも同じであった。

実験感染魚で認められた肉芽腫は、自然感染魚で認められたものと明らかに異なった。

今後、実験感染において自然感染で認められる肉芽腫を再現する為、接種菌濃度、菌株、飼育水温等、各種検討が必要である。

実験感染系の確立は、ワクチン開発や薬剤の開発に欠かせない為、今回の情報をもとに引き続き実験感染系の確立に向けた研究を進めていきたいと考えている。

### (3) 研究業績

#### ○原著論文

1. Stationary phase culture supernatant containing membrane vesicles induced immunity to rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* fry syndrome. *Vaccine*, 25, 561-569, 2007, M. Aoki, M. Kondo, Y. Nakatsuka, K. Kawai, S. Oshima
2. Characterization of cleavage sites and protease activity in the polyprotein precursor of Japanese marine aquabornavirus and expression analysis of generated protein by VP4 protease activity in four distinct cell lines. *Archives of Virology*, 152(6), 1103-14, 2007, M. Imajoh, T. Goto, and S. Oshima
3. Effect of total replacement of dietary fish meal by low fluoride krill (*Euphausia superba*) meal on growth performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in fresh water. *Aquaculture*, 266, 219-225, 2007, B. Yoshitomi, M. Aoki, S. Oshima
4. Characterization of a new fibroblast cell line from a tail fin of red sea bream and phylogenetic relationships of a recent RSIV isolate in Japan. *Virus Research*, 126, 45-52, 2007, M. Imajoh, T. Ikawa, S. Oshima
5. Glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase of *Edwardsiella tarda* has protective antigenicity against infection of *Vibrio anguillarum* in Japanese flounder. *Diseases of Aquatic Organisms*, 75, 217-220, 2007, Y. Liu, S. Oshima, K. Kawai.
6. Isolation and characterization of virulent yellowtail ascite virus. *Microbiology and Immunology* 51(4), 397-406, 2007, T. Hirayama, I. Nagano, H. Shinmoto, K. Yagyu, and S. Oshima

#### ○著書・総説

1. 黒潮圏科学の魅力 「魚類養殖における食糧の安定供給の鍵は？」  
142-151、2007年、バイオシティ 著者：大嶋 俊一郎

#### ○学会発表

1. 日本ウイルス学会 演題名：魚類イリドウイルスのワクチン開発に関する研究. 新

元一、井川拓也、今城雅之、大嶋俊一郎

2. 日本ウイルス学会 演題名：マダイイリドウイルスのゼブラフィッシュ感染モデルについて。 今城雅之、井川拓也、大嶋俊一郎

3. 日本水産学会 演題名：ブリ類結節症原因細菌を用いた実験感染。 永野一郎、井上靖子、川合研児、大嶋俊一郎

#### ○外部資金

科研費，基盤B タイトル：魚類エドワジェラ症原因菌 GAPDH の抗原構造と免疫賦活能に関する研究 2,900 千円 (分担)

受託研究，シーズ発掘試験 科学技術振興機構 タイトル：主要海産魚に感染するイリドウイルスワクチンの開発 2,000 千円 (代表)

### 1 D. サンゴ群集生態系の保全と持続的利用に関わる社会・経済的手段の検討 (研究代表者：新保 輝幸)

#### (1) 研究目的

造礁サンゴ群集とその関連生態系 (以下サンゴ群集生態系) は、熱帯・亜熱帯の浅海域の生物多様性・生物生産性の基盤とも言える地位にあり、自然界におけるその重要性が多くの論者によって指摘されている。翻ってサンゴ群集生態系の人間社会にとっての意味を考えると、水産資源の涵養や遺伝資源としての価値、学問・教育上の価値のみならず、そこに生息する多様な生物は多くの訪問客を惹きつける。特に近年、我が国においてスキューバ・ダイビングをはじめとする海洋性レジャーが盛んになるにつれて、サンゴ群集生態系の生物多様性はレクリエーション資源としての重要性を増している。多くのダイバーがサンゴの海を訪れ、それらの地域ではダイビング関連産業が地域にとって大きな地位を占めるようになった。

サンゴ礁劣化の原因として高水温による白化現象やオニヒトデの食害が人口に膾炙しているが、土木工事や農畜産業・生活起源の物質の陸域からの流入もまた大きな問題になるのである。その他にも、漁業や観光産業等による過剰利用、埋め立て工事、破壊的漁業やサンゴ採集等、世界各地で人間活動に起因するサンゴ群集生態系の劣化が起り、海域の生物多様性がダメージを受けている。

このような状況を受け、多くの政府組織や NPO/NGO がサンゴ群集生態系の保全を目的とした活動を展開している。たとえば黒潮圏のフィリピンでは、海洋保護区 (Marine Protect Area; MPA) が政府の主導で各地に設立されているし、わが国においても、環境省主導の自然再生事業等の枠組でサンゴの保全・再生の試みが始まっている。

しかしながら、サンゴ群集生態系の保全には、自然科学的な側面からの研究とそれに基づいた対策のみでは不十分である。サンゴの海は、ある意味誰もが自由に利用できるオープン・アクセス資源としての側面を持ち、過剰な利用によって資源が荒廃しやすい。また絶海の無人島でもない限り、利用しなくとも人間活動の影響によって資源が劣化しやすい。このような資源を持続的に利用していくためには、資源の状態を常にモニタリングし、資

源が荒廃しないよう調整を行う社会的な仕組みの存在が望まれる。

そこで本課題では、サンゴ群集の発達した海域の自然生態系と人間活動の関係の実態を把握し、生態系の保全と持続的利用を進めるためにはどのような対策が必要かを、自然科学者と連携して科学的根拠に基づき考察する。そのために、サンゴ群集生態系の過剰利用や劣化、利用主体間のコンフリクトが問題になっている地域（およびそのような問題をうまく解決しつつある地域）においてフィールドワークを行い、現地の実態を把握する共に、望ましい利用調整と保全のあり方を検討する。

## （2）研究成果の概要

本年度は、科研費等も導入して研究グループを組織し、各地域のサンゴ群集の発達した海の利用と保全の実態、特に海中の生態系への人為的インパクトとその社会的な制御の方向をめぐって調査・研究を行った。また、サンゴの海の自然資源の経済評価手法の方法論に関して、基礎的研究を行った。それらの概要は、以下の通りである。

### （要約）

1. 鹿児島県与論島のサンゴ礁劣化の要因について、研究グループを組織して自然科学・社会科学の両面から調査・分析した。その結果、さとうきび農業の化学肥料や家畜排せつ物が地下水や海域を富栄養化させており、サンゴ礁の劣化とも大きく関連している可能性が高いことを指摘すると共に、農業環境政策によりこの問題へ対処する方策を検討した。またサンゴ礁保全に対する地域住民の合意形成に寄与するために、今年度は2回（この3年で7回）ミニシンポを開催した。その甲斐もあり、平成20年度には地元でこの問題に対処するための協議会を立ち上げるために、準備委員会が発足することになった。
2. サンゴの海の経済価値の評価手法の検討・開発と実際の適用を行った。第一に、高知県柏島周辺海域のサンゴの海の経済価値を、CVMにより評価すると共に、支払行動方程式を推定してそのWTPの規定要因を分析した。第二に、サンゴの海のレクリエーション便益を評価する新しい手法を提案すると共に、その手法を実際に適用し、その方法論上の意義や問題点を検討した。

## 1. 鹿児島県与論島におけるサンゴ群集生態系の劣化と再生：地域社会との関係から

### （概要）

与論島（鹿児島県大島郡与論町）は、1998年に起こった世界的な白化現象の折、サンゴ礁に大きなダメージを受けた。その影響は、地域住民によるリーフでの生業的な水産物採取、漁業、海洋レジャー産業に及んでおり、危機意識を高めた地域住民と行政が一丸となってサンゴ礁の再生プロジェクトを立ち上げつつある。サンゴ礁の現地方言を冠してウルプロジェクトと呼ばれるこのプロジェクトには、利害が対立しがちな漁協とダイビング業者が協力してあたっている。

新保は、平成16～18年度の科研費「サンゴの海のワイズユースをめざして：海洋環境資源の最適利用と資源管理に関する生物学的・社会科学的研究」を受けたことを契機に、野

島哲（九州大学理学府臨海実験所）、深見公雄（大学院黒潮圏海洋科学研究科）、緒方賢一、松本充郎、中澤純治（人文学部社会経済学科）らと共同研究のグループを形成し、サンゴ礁の現況やその再生可能性、サンゴ礁の劣化のメカニズム、サンゴ礁劣化に関係していると思われる陸域の人間活動とその制御の可能性などについて、調査・研究を行い、このウルプロジェクトの運動を側面から支援してきた。本年度も、この年度計画実施経費（新保・深見）や人文学部長裁量経費（緒方・松本・中澤）などにより、この研究を継続してきた。

共同研究者の野島は、サンゴ修復に関する技術的なサポートを行っている。その方法であるが、造礁サンゴの卵や稚サンゴは黒潮に乗って流れており、潮あたりのいい海域にある種の基板を設置し、サンゴの幼生を着底させ、それをダメージを受けた海域に設置していくことによってサンゴの再生を速めるというものである。単に他の海域からサンゴを移植しただけでは海域の生物多様性を乱すという問題があり、生態系を乱さないよう、このような方法をとる必要がある。平成17年度～19年度にかけて、野島を中心に、与論島周辺のサンゴ礁の現状調査及びサンゴ礁再生のための調査として、1) 与論島周辺のサンゴ礁の生息サンゴ被度調査、2) 定着板を用いた与論島のサンゴ礁への稚サンゴの加入状況、3) 優占するサンゴ種の個体群構造調査、4) 1、2歳サンゴ密度調査、5) セラミック着床具への稚サンゴの定着状況調査を行った。その結果、与論島へのここ1、2年のサンゴ定着量は沖縄本島、奄美大島等と同じく、非常に少ないが、3～6歳の稚サンゴは沖縄本島等と比べ多くなっていることが分かった。また、セラミックにも7個に1個から10個に1個の割合で稚サンゴの定着が確認され、与論島のサンゴ礁再生に向けて多少なりとも期待が持てることがあきらかになった。

またサンゴの白化現象は、単に高い海水温のみが原因になるのではなく、陸域からの栄養塩や化学物質、赤土の流入等のサンゴのストレス要因が白化を促進することが分かっている。同じく共同研究者の深見公雄（大学院黒潮圏海洋科学研究科）は、与論島の沿岸海域へ流入している陸水およびその影響を受けていると思われる沿岸海域の水質環境を調査すると共に、栄養塩の負荷がサンゴへ与える影響について実験室内の実験で検証している。

このような自然科学的調査と並行して、新保は、共同研究者の緒方賢一・松本充郎（共に人文学部社会経済学科）とともに、陸域の経済活動がサンゴ群集生態系に与える影響とその社会的制御に関して研究している。現段階では、サトウキビ農業とそれに関連する土地改良事業、畜産、生活排水等が、水質環境を通してサンゴに影響を及ぼしている可能性について、実態調査とその分析を行っている。新保は特に、さとうきび農業へ投入される化学肥料が、地下水・陸水等を通して海域を富栄養化させているという可能性に着目し、その施肥をどのようにコントロールしていけるのかという観点から調査・検討を行った。今年度はそれらの成果の現段階について学会に報告していくと共に、論文等の形で公表した（業績[3][4][7][8]、および次項1-2)。すなわち、その上で、(1)農水省の「農地・水・環境保全向上対策」が環境農業政策の一つとして、化学肥料の施用に伴う環境負荷を削減するという政策を行っているが、それが与論島のさとうきび農業に関しては機能していないこと(今後も機能させることは難しいこと)、(2)この問題には環境リスクの順応的管理という観点が重要であること、(3)そのような視点を取り入れた環境農業政策を行っていくことが重要であること、等を指摘した。



これらの結果は、現地で中間報告会を行い、地域住民に対し説明するとともに、調査・研究への協力を呼びかけた。すなわち、『与論島ミニシンポジウムーウル・プロジェクト支援プログラム中間報告ー』として、2007年11月26日に『与論島のサンゴ再生と水質保全』、2008年2月28日に『与論島のサンゴ再生と環境保全』と題した研究の中間報告会を行い、意見交流等を行った（主催：高知大学・鹿児島県、共催：奄美群島広域事務組合・与論町、企画・協力：（財）自然環境研究センター）（業績[10][11]）。サンゴ礁に対する陸域の影響の制御については、法的な規制を含むさまざまな政策的対応が考えられる。しかし、調査・分析の結果、富栄養化物質の排出源の可能性のあるのは、通常の規制では「裾切り」されるごく小規模な主体が大部分であることが分かっており、政府・自治体による指令・統制型アプローチは困難であると考えられる。地域コミュニティ内で何らかの自発的協定を結び、地域住民の自主的取組を促すことが肝要であるが、そのために必要な地域社会の合意形成をサポートするためにも、このような研究成果の逐次的なアナウンスは重要であると位置づけている。

このような、地域の喫緊の課題に対応し、その成果を地域住民に地道に還元していく研究の進め方の甲斐もあり、平成20年度からは、このような問題に町として本格的に対処する協議会を設立する運びとなり、その準備委員会が立ち上げられることとなった。新保や深見らもその構成メンバーとして参画する予定である。

## 1-2. 与論島におけるサンゴ礁保全と地下水等の富栄養化問題ーさとうきび農業に注目して

—<sup>1)</sup>

### 1) はじめに

与論島は、琉球列島のほぼ中央、奄美諸島の南端に位置する隆起珊瑚礁の平坦な島で、主立った河川はなく、いわゆる「低島」の特徴を備えている。隆起珊瑚礁は基盤岩を多孔性の石灰岩が取り巻く形になっており、極めて透水性が高い。この地質的な特徴は二つの重要な帰結をもたらす。第一に、周辺の海水が地下水盆に入り込み、淡水はこの海水の上に比重の差でレンズ状に浮くような形で存在する（いわゆる淡水レンズ）<sup>2)</sup>。境界領域は汽水状態になっており、過剰な地下水の汲み上げがあると、容易に塩水が混入するという非常に不安定な形で地下水が存在している。第二に、透水性の高い土壤のため降雨は滞りなく地下に浸透し地下水となるが、有人島嶼においてはこれはすなわち集水域と人間の生活域が一致していることになり、生活域における農畜産業・生活起源の物質が容易に地下水に混入する傾向があることを意味している。南西諸島では、化学肥料多投入型のさとうきび農業や畜産が盛んな地域が多く、その影響が懸念されている<sup>3)</sup>。

与論島の周囲は、ほぼ環状にサンゴ礁のリーフで取り囲まれ、「東洋の海に浮かび輝く一個の真珠」と賞される美しいサンゴの海を誇っていた。その周辺海域は奄美群島国定公園にも指定され、大白化直前の平成9年度で年間7万人のオーダーの観光客を集めていた。

---

1) 本節は新保 [12] を改稿したものである。

2) 淡水レンズの説明に関しては、中西エラー! 参照元が見つかりません。を参照。

3) このような南西諸島における「低島」の地下水が陥りやすい問題については、日本農業大学宮古亜熱帯農場の中西康博氏にご教示いただいた。

しかし 1998 年の世界的な大白化の折、与論島のサンゴ礁も大きな打撃を受け、2007 年現在、未だ遅々として回復しない状況である<sup>4)</sup>。98 年の白化現象の直接の引き金が高海水温であることはほぼ間違いない。しかし、白化後長期間回復の兆しがみえないこともあり、その他の環境ストレスが副要因として関与しているのではないかとの疑いがもたれている。陸域側の要因として、富栄養化した陸水が海域の水質に影響を及ぼし、サンゴの生息環境を悪化させている可能性が指摘されている。

与論島は集水域と生活域が一致しており、地下水が富栄養化しやすい条件を持っている。与論島においても、さとうきび農業と畜産が共にさかんであり、昭和 50 年代以降、地下水の富栄養化が問題化している。また透水性の高い地質条件下では、逆に富栄養化した地下水が周辺海域に影響を及ぼしやすい。さらに飲料水を地下水に頼る与論島では、地下水の富栄養化はそれ自体人間の健康に悪影響を及ぼす可能性があり、重大な問題である。

本稿では、自然条件の類似する南西諸島の他の島嶼の事例も参照しつつ、さとうきび農業や畜産と、地下水等の富栄養化問題の関連を検討する。その上で、国の新しいさとうきび政策と農地・水・環境保全向上対策の内容を概観し、与論島のサンゴ礁および地下水の保全との関連でその問題点を考察する。

## 2) サンゴの白化現象と環境ストレス

1997 年にオーストラリア・グレートバリアリーフを襲った大規模な白化現象は、1998 年にかけて世界中に広がり、各地に発生した高水温の海水塊は日本にも達して南西諸島をはじめとする各地のサンゴ礁を白化させ、特に沖縄本島西岸部では壊滅的な打撃を与えた<sup>5)</sup>。この世界的な大白化を契機にサンゴ礁の危機は一躍世間の耳目を集めることとなった。

造礁サンゴは、体内に褐虫藻を共生させ、その光合成の代謝産物を利用できるという有利性を持ち、そのため熱帯・亜熱帯域の光が多く貧栄養な海域で卓越する。しかし、シルト流入等で海水の透明度が下がったり、サンゴの上に直接赤土等が堆積したりすると、光合成に支障が出てサンゴは大きなダメージを被る。高水温をはじめとするさまざまな原因でサンゴが大きなストレスを受けると褐虫藻が体外に排出され、そのような状態が一定期間続くとサンゴ本体も死に至る。いわゆるサンゴの白化現象である。

サンゴに対する環境負荷として、他にも海水の富栄養化や懸濁、界面活性剤（合成洗剤等に含まれている）や農薬の流入等が知られている<sup>6)</sup>。このような環境ストレスの累積によってもサンゴの白化は起こり、土木工事や農畜産業・生活起源の物質の陸域からの流入等、人間活動の影響もまた大きな問題になる。一般のマスコミでは、白化の原因として単に高海水温のみが強調されることが多いが、人間活動による環境負荷も同時に問題になるという点は、銘記すべきである。見方を変えれば、サンゴの海に対する人為的インパクトをコントロールし、サンゴに対する環境負荷を適正な水準まで引き下げることができれば、海水温が上昇した場合のサンゴの白化を最小限に食い止めることができる可能性がある。

---

4) 野島 [10] 参照。

5) 環境省・日本サンゴ礁学会編 [5] 参照。

6) 中野 [8] 参照。

### 3) 与論島のサンゴ群集の劣化と富栄養化問題

野島〔10〕による 2005-6 年の造礁サンゴの現状調査によると、与論島周辺にほぼまんべんなく設置した 16 の調査地点の内、茶花港北側礁縁において 50%を超えた以外は、いずれの地点も 5-10%程度と造礁サンゴの被度は「非常に低い」状態であった。

しかし平田・大迫〔4〕は 1967 年に野島の調査地点とほぼ重なる 8 カ所を調査し、被度の記載こそないが、「サンゴ礁上面をほとんどおおいつくさんばかりに生育している」、「エダサンゴ類の密林」、「礁面は大半が隙間なくテーブルサンゴ型造礁サンゴで覆われる」等の表現でサンゴが密生している様子を描写し、与論島のサンゴ礁を「単に奄美群島中最高であるというだけでなく、琉球をも含めた南西諸島全体を代表する」ものであると結論づけている。

また 90-92 年の環境庁の第 4 回自然環境保全基礎調査の結果によれば、与論島の礁池は「奄美群島で最大」で、「かつては枝状ミドリイシ」の群集が広がっていたと思われるが、「回復は不良」であり、「北岸の寺崎に被度 IV の枝状ミドリイシ」35.2ha の分布が見られ、「百合ヶ浜を中心として被度+の場所が 776.8ha あり、これは与論島のサンゴ群集 1,121.4ha の 69.2%を占め」ている<sup>7)</sup>。礁縁に関しては「回復は未だ十分でなく、被度 III, IV は 0.5%にすぎず、被度 I, II が 73.1%を占め」ている。奄美海域は 1970 年代にオニヒトデが大発生し、サンゴに大きな被害を与えており、回復云々の文言はその被害からの回復を指すのであろう<sup>8)</sup>。

1967 年、90-92 年時の調査結果と比較すると、98 年の大白化後の 2005-6 年の調査時には与論島のサンゴ群集が大きく衰退していることがわかる。また数量的な判断はつかないが、描写から判断すると 1967 年の調査時から 90-92 年の調査の間でもサンゴ礁の衰退があったことがうかがえる。島民からの聞き取り調査では、この間ずっと少しずつサンゴが減ってきたが、この 10 年で著しく悪化したことが指摘されているが、以上の科学的調査の結果は島民の生活からの認識を裏付けるものである。

与論島では、地域住民が日常的にリーフ内の礁池に入り会って水産物をとるという「おかずとり」的な慣習が現在に至るまで続いており、地域住民もサンゴ礁の海を非常に重要視していて、サンゴ礁の衰退に関しては一般の地域住民も非常に危機感を持っている。島の生活の中でサンゴ礁の変化を通時的に見続けてきた島民の中には、劣化の原因に関しても、この間の島内の変化と結びつけて様々な意見を持っている<sup>9)</sup>。たとえば、昔は島の大きな部分を覆っていた森林が土地改良事業等によりほぼ切り開かれて農地になっているが、そのような森林の減少との関係を指摘する島民もいる。土地改良事業に関しては、事業が行われるのに並行して農地での地下水利用が高まり、地下水脈が変化して海中での地下水の湧水が減少したことの影響を指摘する声もある。また与論島の海岸部の、シュバナ、浜ヒルガオ、草トベラ、モンパの木、リュウゼツラン、アダンといった特有の海岸植生が近

7) 藤原〔2〕参照。また、被度+: 5%未満, I: 5-25%, II: 25-50%, III: 50-75%, IV: 75-100%である。

8) 環境省・日本サンゴ礁学会編〔5〕参照。

9) 町役場、島民に対するヒアリングの他、2005 年 2 月 28 日に行われたウルプロジェクト（後述）に関する意見交換会で示された意見等に拠る。

年護岸工事等により減少しているが、これとサンゴ礁の劣化を結びつけ、海岸植生の回復を訴える運動もある<sup>10)</sup>。その他にもお決まりの工事現場からの赤土流出や生活排水の問題も懸念されている。これらは島民の生活実感のレベルの仮説であり、それぞれ科学的にはあり得る話だが、きちんとした科学的調査によってサンゴ礁劣化との関係が示されているわけではない。しかし、大規模な白化現象の直接的な引き金が高海水温であるにしろ、何らかの環境ストレスが副要因として関与している蓋然性はかなり高いであろう。

そのような中、深見〔3〕は2005年10月から陸水（表層水および地下水）5地点、海水13地点の採水調査を継続する中で、陸水の採水ポイントでは窒素・リンといった富栄養化物質の濃度が（有機態・無機態ともに）かなり高くなっており、海水に関してもポイントによっては通常のサンゴ礁海域の数十倍のオーダーで富栄養化物質の濃度が高くなっているという結果を見出し、サンゴ礁劣化と関連している可能性があることを指摘している<sup>11)</sup>。ただし、このオーダーの富栄養化がサンゴ礁にどのような影響を与えるかは未だよくわかっておらず、サンゴ礁劣化との関係は不分明である。

先述の通り与論島では、昭和50年代以降、地下水の富栄養化が問題化している。上記の深見の観測結果もこのような問題と無関係ではないはずである。また透水性の高い地質条件は、逆に富栄養化した地下水が周辺海域に影響を及ぼしやすいということでもある。むろん人間活動によって自然界に排出された富栄養化物質は、与論島のような絶海の孤島では速やかに海水に希釈されるため、量のオーダーとしてどの程度サンゴ礁劣化と結びついているかという点は今後さらなる検討が必要である。

まず現在、与論島の地下水は、どの程度富栄養化しているのだろうか。最新の主要水道水源の検査結果は表1の通りである<sup>12)</sup>。水道法による水質基準が10mg/L以下であるから、これらの数値は相当に高いと考えてよい。次に、その年次変化は図1の通りである。昭和59年の段階ですでに相当硝酸性窒素濃度がかかなり高くなっており、年度によっては一部水源で水道水の水質基準を超過していることが分かる。また、平成12年までは水道の蛇口水の硝酸性窒素濃度も相当の水準であるが、平成13年度以降は低下している。これは与論町において平成13年度から稼働している海水の淡水化プラントによるものである。すわなち、淡水化プラントで処理して窒素分を除去することにより、水道水として供給されるレベルでは、2~2.5mg/L前後（平成18年の最新の検査結果では2.5mg/L）（浄水（役場水道課蛇口））にまで抑えられているのである。

---

10) パンフレット「愛・平和・ちゅら島 ヨロン島の蘇生」より。

11) 深見〔3〕参照。

12) ただし、硝酸性窒素濃度が高い一部水源は、使用が中止されている。

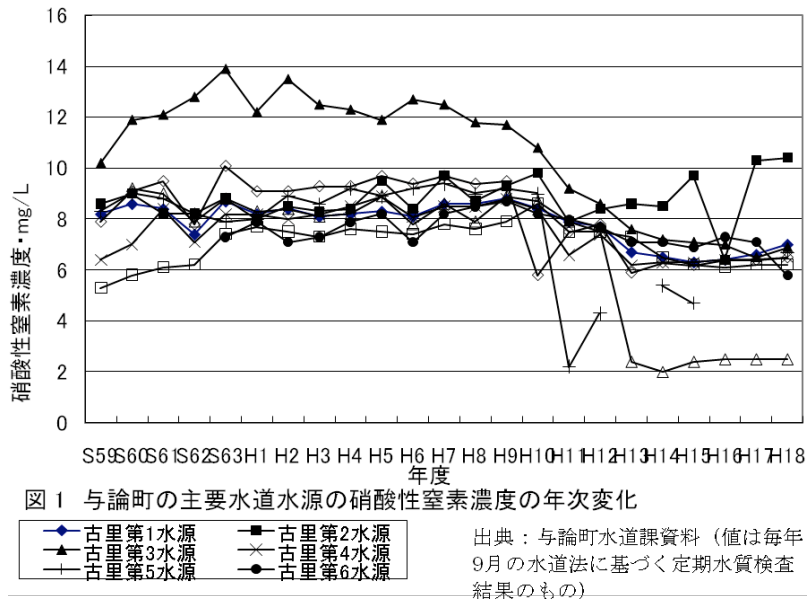


表1 水道水源の硝酸性窒素濃度  
(検査期日：H18.9/27-10/17)

水源	硝酸性窒素濃度	水源	硝酸性窒素濃度
古里第1	7	古里第5	6.7
古里第2	10.4	古里第6	5.8
古里第3	6.9	麦屋第1	6.2
古里第4	6.5	麦屋第2	6.5

(単位：mg/L)

このような地下水の富栄養化は、どの程度まで年代を遡るのだろうか。与論町水道課に残る古い資料を参照すると、ごくごく断片的な検査結果であるが、昭和50年5月の古里第1～第4、立長、麦屋、那間水源の硝酸性窒素濃度は0.09～0.18mg/Lという通常の汚染されていない地下水のレベルにとどまっており、また昭和53年4月の水道給水栓の検査結果も0.005mg/Lとごく低い値である。昭和54年8月の検査結果は、古里第1～第3、麦屋、那間水源で7.5mg/Lという高い数値を示し、それ以降、数値は変動しつつも高い水準に張り付いている。

与論島の地下水質について調べた川迫他エラー！参照元が見つかりません。は、昭和58年度～平成2年度の水道法に基づく上水道精密試験結果の経年変化を分析し、窒素濃度が1.0mg/Lを超え始めた時期を昭和43年と推定し、「与論島の化成肥料の施肥量が急増した時期とほぼ一致」するとして、「化成肥料の使用量の増加」が地下水の硝酸性窒素濃度増加の要因の一つであることを指摘している。しかし、この富栄養化時期の推定は、たかだか数年分、しかも一つの水源のデータのみから計算した窒素濃度上昇率を過去にのぼす形で推定しているため、その妥当性に関しては注意が必要である。また畜産や生活排水の状況との関係も分析されておらず、それらの要因との関係も依然疑われる。

同様の地下水の富栄養化問題を抱える沖縄県の宮古島では、昭和63年に「宮古島地下水質保全対策協議会」が立ち上げられ、そこをベースに地元研究者をはじめとする関係主

体が長期に渡って共同して調査・研究が進められた<sup>13)</sup>。その中で宮古島の地形・地質条件が天然のライシメータをなすということを利用して、地上の活動と地下水の関係が究明され、肥料、家畜ふん尿、生活排水等が主要な窒素源となって地下水に影響を及ぼしていることが明らかにされた<sup>14)</sup>。その結果を元に、さとうきび農業の施肥方法の改善（施肥時期の調整や緩効性肥料への切替）、家畜排せつ物対策（野積み、素掘り等不適切な管理の解消と堆肥化处理推進）、生活排水処理対策（地下浸透処理から下水道処理への切替推進）などの面で提言がなされた。対策は基本的に市民や農業者に対する啓蒙が主たる手段となっており、その推進には多くの困難があるようだが、結果として近年は硝酸性窒素濃度に関して若干の改善がみられるようになってきている。それは、長期間継続する詳細な地下水水質関係の調査と、その各年度ごとの公表、そしてそれらのデータをもとにした啓蒙活動という、地道な科学的調査と啓蒙のプロセスが一定の効果を上げているのだろう。

#### 4) 与論島の富栄養化物質排出源の検討

中西は、宮古島の地下水へ窒素負荷を与える主要な排出源とし化学肥料、家畜ふん尿、生活排水の3つを指摘している。また、与論島の窒素収支を概算した中澤〔9〕は人・牛・化学肥料を窒素源として考えた場合、年間301tの余剰窒素が発生していると言っている。

与論島の場合、総人口は5731人、世帯数2087戸であり（2005年国勢調査）、その1/3が茶花地区に集住している。生活排水の処理状況は、2004年度末で、汚水処理人口普及率は33.5%であり（当時の人口は5823人）、残りは地下浸透等の形で生活排水を環境中に排出していると考えられる。汚水処理の内訳は農業集落排水施設で940人、集落排水が整備されていない地域は合併処理浄化槽により1009人がカバーされている。合併浄化槽に関しては国家補助事業を導入して整備を進めており、2006年3月現在処理人口は1763人まで増加している。生活排水処理については、着実な進展が見られると言えるだろう。

農畜産業であるが、900戸の農家の内、専業275戸、兼業522戸、残り103戸は自給的農家である（2005年農林業センサス）。1戸あたり平均耕地面積は1.1haで、経営規模1ha以下の農家は422戸である<sup>15)</sup>。農地利用は2005年でさとうきび畑が59.1%（545ha）を占めている（図2）。図3、4でさとうきびの収穫面積と家畜（主に繁殖牛）飼養頭数を見ると、この20年間でさとうきびの生産が低下し、家畜の飼養頭数が増加していることがわかる<sup>16)</sup>。しかし、家畜排せつ物の処理については、すでに家畜等排せつ物処理法が存在する。10頭以上を飼養する農家に関しては適切な処理や管理が法的に義務づけられており、すでに対策がなされている。また「裾切り」されている9頭以下飼養農家に関しても、与論島では

---

13) この段落の記述は、中西エラー！参照元が見つかりません。を参照。

14) 中西エラー！参照元が見つかりません。によれば98年度で肥料35.6%、家畜ふん尿31.4%、生活排水16.4%という寄与率になっている。

15) 以下特に断りのない限り、与論島の農業関係の統計数値は与論町産業課『与論町産業（農業・水産）の概要 平成18年度』に拠る。

16) 図2で1985年に89haだった飼料畑が2005年には300haまで拡大しているのもそのためであろう。

町営の堆肥センターが整備され有効に運用されており、一定の道筋がついている<sup>17)</sup>。最後にさとうきび農業に関しては、鹿児島県が策定した「環境保全型農業の達成目標と推進方策」(1998年)に基づき化学肥料の2割削減が目標化され、施肥基準等により適正な施肥管理が行政から呼びかけられている。だが、どの程度の削減がなされているか、その効果は不明である。さとうきび農業の施肥管理に関しては、より実効的な対策が求められるだろう。

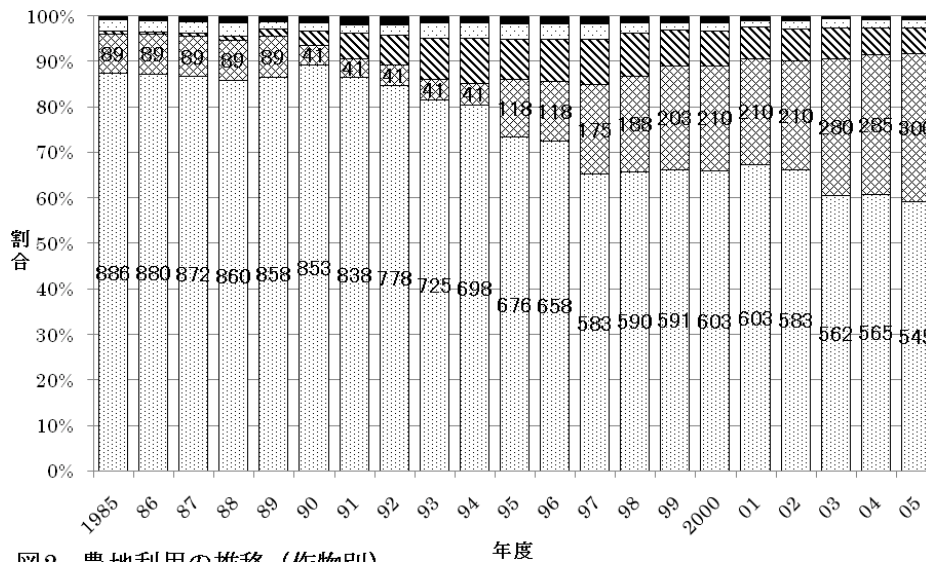


図2 農地利用の推移 (作物別)

註：帯グラフは下から順にサトウキビ、飼料畑、サトイモ、インゲン、花卉。グラフ内の数値はそれぞれサトウキビ畑、飼料畑の面積 (ha)

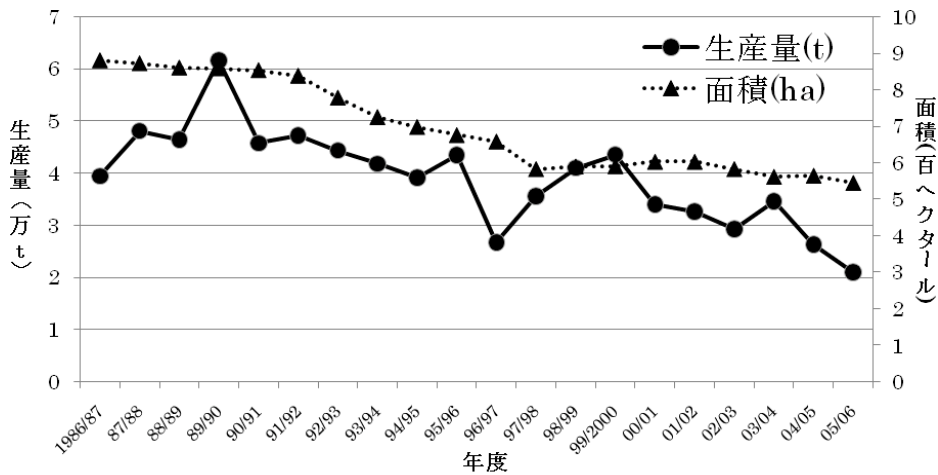


図3 与論島のサトウキビの収穫面積および生産量の推移

17) 詳細は、緒方エラー! 参照元が見つかりません。を参照.

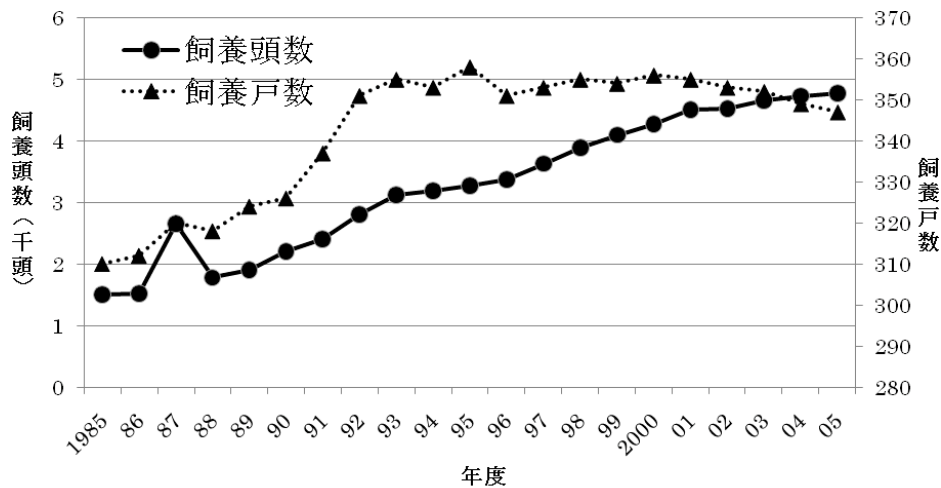


図4 与論島の家畜（仔牛・成牛・山羊）の飼養戸数と頭数

5) 「国のさとうきび政策の見直し」活用の可能性<sup>18)</sup>

さとうきびは、与論島がそうであるように、特定の地域において、その関連産業とともに地域の経済社会において重要な位置を占める基幹作物となっている。多くの場合、それらの地域では自然条件の面から代替作物が乏しく、また零細な農家が多かったため、農家経済の安定等を政策目標とする価格支持と全量買い上げの仕組みが長く維持されてきた。農業政策全体が価格政策から構造政策へシフトする中、さとうきび生産に関しても「市場原理の一層の導入や関連産業も含めたコスト削減の推進」が必要であるとの観点から、この2007/08年産のものから砂糖及び甘味資源作物政策が大きく変更されることになった。すなわち、最低生産者価格が廃止され、生産者の収入は、精糖会社が支払う「取引価格」と国（独立行政法人農畜産業振興機構）が支払う「さとうきび品目別経営安定対策」の交付金の合計となる。「取引価格」は、砂糖の市場価格によって変動する販売収入を生産者と製糖業者が案分することによって決定されるが、その額は現行の生産コストと比べてかなり低い水準になると予想される。経営安定対策の交付金は標準的な生産コストとの差を埋めるものとされ、当面3年間は16,320円/tで固定される。「取引価格」+交付金で現行の生産者収入の水準を確保しようというものだが、ここで問題になるのは経営安定対策の対象要件である。すなわち、(1)認定農業者等、(2)今後、認定農業者等となることが期待される者として、一定の作業規模を有する者、(3)-(i)一定の作業規模を有する共同利用組織に参加している者、(3)-(ii) (1)(2)の者、一定の作業規模を有する受託組織等に基幹作業を委託している者のみが対象となる<sup>19)</sup>。また、そのほかにも、地域の生産者等の組織において、中期的な生産見通しとその実現に向けた取組計画を作成していること、環境規範を遵守することが求められている。

18) 国の新しいさとうきび政策に関しては農水省HPの「さとうきび政策の見直しについて～市場動向を反映した取引価格の形成と新たな経営安定対策」平成19年4月23日版の他、新井〔1〕を参考にした。

19) 「一定の作業規模」とは、個人1ha、組織4.5ha。



現実問題として、さとうきび経営の継続のためには、この「経営安定対策」交付金の受給が必要になる。この3年間は特例期間として、「地域の生産農家の1/2以上が参加して、受託組織等の生産体制の核となる担い手の育成を行うことを目的とする組織に参加する者」も「経営安定対策」の対象となるが、それ以降は、小規模農家は、認定農業者になるか、経営規模を拡大して面積要件を満たすか、要件を満たす生産組織に参加ないし作業委託をするか、あるいはさとうきび農業から撤退するかの選択を迫られることになるだろう<sup>20)</sup>。農家を、大規模機械化経営、あるいは地域で共同して機械作業を行う生産組織へ誘導する政策意図が存在するものと思われる。

同時に、農地・水・環境保全向上対策も本格実施される。さとうきび農業で主になるのは、「営農活動への支援」の区分であろう。これは、(1)相当程度のまとまりをもって、化学肥料や化学合成農薬を原則5割以上低減する先進的取組(エコファーマーの認定を受ける必要がある)や、(2)地域全体の農業者による環境負荷低減に向けた共同の取組に対し、営農支援という形で交付金を支払う仕組みである<sup>21)</sup>。

だが与論島のさとうきび農業においてこの制度がどの程度活用し得るかという点には疑問符がつく。与論町さとうきび振興会などが発行している『さとうきび栽培ごよみ』によると土作りのため堆肥は2t/10aの施用が推奨されているが、この量の堆肥の購入・運搬・散布に要する費用は与論島の場合約2万6千円であり、3千円/10aという交付金額が十分なインセンティブとして働きうるかは疑問である。その上、さとうきびは伸長旺盛期に多量の窒素を要求し、その時期の施肥量が収量に大きな影響を及ぼすため、堆肥施用の場合も化学肥料の施用が推奨されている(堆肥施用はあくまで土作りという位置づけである)。また作型として一度植え付けられたさとうきびは収穫後も2度3度と株出で栽培が継続されるため、その間は大規模な堆肥散布は困難であり、施肥は化学肥料が中心となる。化学肥料に大きく依存している現在のさとうきび栽培の技術体系下で化学肥料の5割削減が可能かどうかは不分明である。

さとうきび農業の地下水や海域への負荷を低減するためには、施肥方法の改善、例えば施肥時期・回数、1回あたり施肥量を調整する、緩効性肥料に切り替える等の方法で、雨水による化学肥料の地下への浸透や水系への流出を最小化する方法が有効である<sup>22)</sup>。さとうきびは伸長旺盛期に大量の窒素を吸収して急速に成長するが、収穫前の時期には糖の蓄積を促すため土壤中に窒素肥料が残っていないことが望ましい。このような施肥方法の改善は、さとうきびの生理特性にも適っている。肥料分の流出を最小化することができれば施肥量自体も抑えることができる。ただ、その削減量が5割に届くか否かはまったく別の問題であることには注意を要する。

---

20) 小規模農家が多い与論島では現状のままでは8割以上の農家が経営安定対策の対象外になるため、(3) - (i)の区分の集落営農組織に経理を一元化することでこの政策変更に対応する方向である。

21) (1)の「相当程度のまとまり」の基準は、1)各作物ごとに見て集落の生産者のおおむね5割以上、2)作物全体で見ると集落等の作付面積の2割以上、かつ生産者の3割以上、のいずれかである(「まとまり要件」)。また(2)は(1)が前提になる。

22) 中西エラー! 参照元が見つかりません。参照

このようなさとうきびの栽培特性と、与論島で起こっているようなさとうきび農業の外部不経済の実態を考えると、農地・水・環境保全向上対策の「営農活動への支援」の基準や支援水準はいかにも硬直的である。特に原則5割以上減という一律の基準では、細やかな施肥管理により環境へ放出される窒素分を減少させるという方向へ誘導するのは難しい。

最後に、「農地・水・環境保全向上」と言う時、農地に連なる環境・生態系としてどのような範囲が視野に入っているかという点はこの対策の大きな疑問点である。先述の通り、低島で集約的なさとうきび農業を行うと、地下水や海域に大きな影響を及ぼす。この場合影響は「外部」に及ぶが、対策の射程は、生態系と言っても農業生産に直接役立つ農地や水路・ため池等から構成される農地生態系にとどまっておらず、例えば周辺海域の沿岸生態系やそのステークホルダーには十分には届いていないように見受けられる。「共同活動(資源保全)への支援」は文字通り農業生産に役立つ諸資源の保全を目的にしているが、「営農活動への支援」の区分は農業の外部不経済の低減を意識した対策が想定されている。後者は一種の環境支払の側面があると考えられるが、その場合、外部不経済を被る者とのコミュニケーションや生態系のモニタリングの仕組み等がないと、農業サイドの独りよがりな対策に陥る危険性が高い。例えば化学肥料原則5割減という基準の妥当性も周囲への影響を検討しない限りわからないし、より汚染削減コストが少ない営農の改善方法が存在する可能性もあるだろう。周辺生態系のステークホルダーや専門家に開かれ、かつ営農改善方法についても柔軟に変更することが可能なやり方が望ましい。国は価格支持政策や土地改良事業等を通してさとうきび農業を地域の基幹産業として育ててきた経緯があり、経営安定対策による誘導を含め、外部不経済対策についても一定の役割を果たすことが望まれる。

## 6) おわりに

与論島ではサンゴ礁劣化に対する危機意識を強めた地域住民と行政が一丸となって2005年にサンゴ礁の再生プロジェクトを立ち上げた。サンゴ礁の現地方言を冠しウルプロジェクトと呼ばれるこのプロジェクトでは、利害が対立しがちな漁協とダイビング業者も協力して活動を行っている。活動内容は、リーフチェックやサンゴ食巻貝・オニヒトデの駆除、地元の子供達への環境教育、前出野島〔10〕のサンゴ礁再生調査への協力といったことが主要なものである。実際の活動に携わるのは、現在のところ漁業や観光、ダイビングの関係者を中心にごく少人数である。だが先述の通り、一般住民によるリーフ内での日常的・生活的漁業が根付いており、サンゴの海に対し一般住民も強固な愛着・誇り、利害を有している。ウルプロジェクトの活動や参加主体を農家を含むより広い範囲に広げていくことは可能であろう。その際に、農家・行政と連携し、「農地・水・環境保全向上対策」的な制度を用いることにより、より効果的な対策をとることができる可能性がある。地域に開かれた外部不経済対策の仕組みが望まれる。

## 2. サンゴの海の自然資源の経済評価手法の方法論の検討

サンゴの海の持続的利用を可能にする資源管理の仕組みを形成するには、地域のステークホルダーの間の合意形成が、最も重要であり、かつ困難な点である。地域における地道

な努力が重要になるが、単にステークホルダー間の利害調整のみで、解決可能な問題でもない。サンゴ群集の発達した海は、いわば日本の縁辺部に存在するが、その主たる「享受者」は実は都市住民である。これは単に、スキューバ・ダイビング等で直接的にそれらの海を楽しむ人間には都市生活者が多いということの意味するだけでない。多くの都市住民が、たとえその地を訪問することがなくとも、その自然に価値を見出し、保全を熱望していることを見逃してはならないのである。近年、多くの地域の自然環境保全は、地元の熱意と努力に加えて、都市住民側のサポートを得る形で成立しており、隠れたステークホルダーとして彼らがサンゴの海に対して抱く「価値」をすくい上げる必要があり、それは必ずしもダイビング客の数のみによって測られるものではない。

サンゴの海の経済価値には、たとえばダイビング業や関連する観光産業の収益といった直接的に計測可能な価値と、その海を直接には利用しないが多くの人間が価値を見出しているという間接的な経済価値の二種類がある。近年の環境経済学の進歩はこの後者の価値を計測する CVM(Contingent Valuation Method)や TCM(Travel Cost Method)などの手法を発展させてきた。これらの手法による経済評価は、近年、公共事業の事前・事後評価等の形で、政府の政策決定過程にも用いられている。環境省は近年サンゴ礁の保全・再生事業に力を入れており、妥当な政策費用の算定に関して、このような方法論が適用されていく可能性が高い。

しかし CVM 等、これらの方法論は、まだまだ発展途上の分野であり、特に海や河川の環境の評価に関して妥当な評価を行うためには、さまざまな方法論的課題をクリアする必要がある。

以上の問題意識に基づく研究の、本年度における成果は下記の通りである。

第一に、高知県柏島周辺海域のサンゴの海を事例に、CVM を実際に適用し、その経済価値を貨幣尺度で評価すると共に、支払行動方程式を推定して、その WTP (Willingness To Pay; WTP) の規定要因の特徴を分析した (業績[1])。

第二に、サンゴの海のレクリエーション便益を評価する新しい手法を提案すると共に、その手法を実際に適用してみて、その方法論上の意義や問題点を検討した (業績[2])。すなわち、仮想状況行動法(Contingent Behavior; CB)の一つのバリエーションとして、回答者の居住地からの旅費を示し、その条件の下でレクリエーション地を訪れる頻度を尋ねることにより、訪問による消費者余剰を評価するという方法を提案し、高知県柏島周辺海域のサンゴの海のレクリエーション便益評価に実際に適用した。調査により収集したデータから旅行頻度方程式を推定し消費者余剰額を計算すると共に、その方程式を用いた計量経済学的検討を通してこの手法の方法論上の問題点を析出し、改善方向を提案した。

#### 【引用文献】

- [1] 新井祥穂「沖縄におけるサトウキビ関連政策と農家の対応—新価格制度の考察—」『農村と都市をむすぶ』56巻12号(2006), 35-45.
- [2] 藤原秀一「サンゴ礁海域調査結果の解析」『第4回自然環境保全基礎調査 海域生物環境調査報告書(干潟, 藻場, サンゴ礁調査) 第3巻 サンゴ礁』環境庁自然保護局, 1994年, 31-48.

- [3] 深見公雄「与論島周辺海域の水質環境と流入陸水がそれに与える影響」新保輝幸『サンゴの海のワイズユースをめざして：海洋環境資源の最適利用と資源管理に関する生物学的・社会科学的研究』（平成16-18年度科研報告書），2007年，51-69.
- [4] 平田国雄・大迫暢光「与論島の珊瑚礁」（財）海中公園センター『奄美群島自然公園予定地基本調査書』鹿児島県，1968年，333-354.
- [5] 環境省・日本サンゴ礁学会編（2004）『日本のサンゴ礁』自然環境研究センター，375頁.
- [6] 川迫倫子・川島月夫・米澤守光・北園正人「鹿児島県の地下水質について（第4報）－離島地域与論島－」『鹿児島県衛生研究所報』27（1991），57-81.
- [7] 中西康博編著『サンゴの島の地下水保全－「水危機の世紀」を迎えて－』宮古島地下水保全対策協議会，2002年，182頁.
- [8] 中野義勝「造礁サンゴの環境負荷への生理生態的反応に関わる研究の概観」中森亨編『日本におけるサンゴ礁研究I』日本サンゴ礁学会，2002年，43-49.
- [9] 中澤純治「鹿児島県与論島における窒素収支の試算」『2006年度高知大学人文学部研究プロジェクト研究成果報告書』，2007年，19-21.
- [10] 野島哲「与論島のサンゴ礁の現状と再生に向けた取り組み」新保輝幸『サンゴの海のワイズユースをめざして：海洋環境資源の最適利用と資源管理に関する生物学的・社会科学的研究』（平成16-18年度科研報告書），2007年，40-50.
- [11] 緒方賢一「循環型社会の形成と農業一家畜排せつ物処理を中心に」『高知論叢』86（2006），75-103.
- [12] 新保輝幸「鹿児島県与論島におけるサンゴ礁保全と地下水等の富栄養化問題－サトウキビ農業に注目して－」『農林業問題研究』44（1），2008年，掲載決定.

#### (4) 研究業績

##### ○原著論文

- [1] 新保輝幸「サンゴの海の生物多様性の経済評価－高知県柏島の海を事例として－」『農林業問題研究』43（1），42-47，2007.
- [2] 新保輝幸「高知県柏島の「サンゴの海」のレクリエーション便益の評価－仮想状況行動法(Contingent Behavior)とCVMの融合手法の提案と検討－」『二〇〇七年度日本農業経済学会論文集』，339-346，2007.
- [3] 新保輝幸「鹿児島県与論島におけるサンゴ礁保全と地下水等の富栄養化問題－サトウキビ農業に注目して－」『農林業問題研究』44（1），掲載決定，2008.

##### ○著書・総説

- [4] 新保輝幸「サンゴの海のワイズユースを考える」高橋正征・久保田賢・飯国芳明編『黒潮圏科学の魅力－人と自然の「新しい」共生をめざして－』（バイオシティ），102-113，2007.
- [5] 諸岡慶昇・新保輝幸・奥田一雄・山岡耕作・飯国芳明・関田諭子・原口展子・婁小波・ジン・タナンゴナン・安延久美「黒潮圏沿岸域における藻場を中心とした海洋資源管理と環境保全：フィリピンの海洋保護政策と沿岸環境(1)」『黒潮圏科学(Kuroshio Science)』1（1），35-50.

##### ○学会発表

- [6] 原田幸子・婁小波・新保輝幸・石田恭子「沿岸域のダイビング利用と管理問題－沖縄県座間味村を事例として－」第20回日本沿岸域学会研究討論会（2007年7月5日，北九州市

門司港 門司生涯学習センター第1会場), 2007.

[7] 新保輝幸「鹿児島県与論島におけるサンゴ礁保全と地下水等の富栄養化問題—サトウキビ農業に注目して—」第56回 地域農林経済学会大会, 2006.

[8] 新保輝幸「地域社会による生態リスク管理と農業環境政策—鹿児島県与論島のさとうキビ農業とサンゴ礁保全—」2008年度日本農業経済学会大会(2008年3月28日, 宇都宮大学峰キャンパス), 2008.

#### 【国際ワークショップ講演】

[9] Shinbo, T., "Wise-use of "Coral Sea": a case of the Kashiwajima Island in Kochi, Japan" Japan, Taiwan and the Philippines Joint KUROSHIO Workshop in Kochi: Recent Changes in the Seaweed Ecosystem along Kuroshio Current: Towards Collaborative Rehabilitation of the "Cradle of Fishes," Kochi University, 2007/11/21-22.

#### ○報道

・「高知大 与論で水質環境研究 アンモニア数値の結果も 「他の地域に比べて栄養値高い」 サンゴ生育への影響懸念」『奄美新聞』, 2008年2月7日.

・「サンゴ礁の衰退 海域の富栄養化が起因 与論ウルプロジェクト 家畜排せつ物適正処理を 高知大2氏中間報告 島挙げ水質改善も必要」『南海日日新聞』, 2008年3月1日.

#### ○外部資金

・新保輝幸(研究分担者)「黒潮圏島嶼沿岸域の藻場の消長と人為的インパクトの社会的制御」(研究代表者: 諸岡慶昇) 文科省科研費 基盤研究(B), 2005-07年, 3年間で1560万円(平成19年度直接経費430万円、間接経費129万円).

・新保輝幸(研究分担者)「エコロジカルリスク管理と自然再生」(研究代表者: 浅野耕太) 文科省科研費 特定領域研究「持続可能な発展の重層的ガバナンス」, 2006-11年, 6年間で6540万円(平成19年度1170万円、うち新保への分担金80万円).

・新保輝幸(研究分担者)「黒潮沿岸における海中林保全メカニズムの再検討—保護区の再生機能と住民の共同—」(研究代表者: 奥田一雄) 文科省科研費 基盤研究(B), 2008-10年, 3年間で1550万円(平成19年度直接経費720万円、間接経費216万円).

#### ○その他

##### 【講演】

[10] 新保輝幸「サンゴの島の地下水保全を考える」『与論島ミニシンポジウム 与論島のサンゴ再生と水質保全—ウル・プロジェクト支援プログラム中間報告—』 与論町防災センター(鹿児島県大島郡与論町), 2007年11月26日.

[11] 新保輝幸「趣旨説明」『与論島ミニシンポジウム 与論島のサンゴ再生と環境保全—ウ

ル・プロジェクト支援プログラム中間報告一』 与論町防災センター（鹿児島県大島郡与論町），2008年2月28日.

## ○課題研究2 「四万十川と黒潮の交錯圏における人間と自然との共生に関する研究」

### 2 A. 河川と土佐湾での生物生産力との関係（河口域～海域）（代表者：木下 泉）

#### (1) 目的

黒潮のような大規模な暖流が接岸する海域は、海流の影響が小さい海域に比べて複雑かつ特殊な海洋構造が形成され、それに対応した魚類群集が形成されると想定される。堀木(1992)は、和歌山県沿岸域において、接岸する黒潮の影響と魚類プランクトンの分布について考察しているものの、このような条件下における魚類初期資源と海洋構造の関係に着目した研究事例は他に見当たらない。

足摺半島は四国の西南端付近の太平洋側に約10km突出した半島で、その先端付近には黒潮が接岸する(Akiyama, 1993)。また、当半島から約20km北側には四国最長(196km)の四万十川が流入している(Katto, 1986)。足摺岬周辺の沿岸域は、沿岸のサンゴ群落に依存する熱帯性種を多く含む1,000種以上の魚種が生息している(平田ら, 1996; 中坊ほか, 2001)。さらに、当海域は沿岸および沖合性魚種を対象とした漁業も盛んである(中坊ら, 2001)。このような豊富な魚類群集の成立には、接岸する黒潮の関与が想定されるものの、形成過程については明らかでない。

本研究では黒潮が接岸する特殊な条件下にある足摺岬周辺海域において、魚類初期資源に着目し、水平分布特性と海洋物理環境との関連を明らかにすることを目的とした。

(3) 土佐湾中央部では本研究同様に多くの熱帯性種を含む多様な仔稚魚群集が形成されており、黒潮の影響は湾奥部にまである程度波及しているといえる。しかし、湾口部にあたる足摺岬周辺では岬先端部付近が外洋系と内湾系水塊の境界となっており、それぞれに対応した仔稚魚群集が形成されていた。このように、土佐湾のような開放的な湾においても、黒潮のような外洋性水塊が接近する場合、その湾口部内外における仔稚魚群集に違いが生じることが明らかとされた。

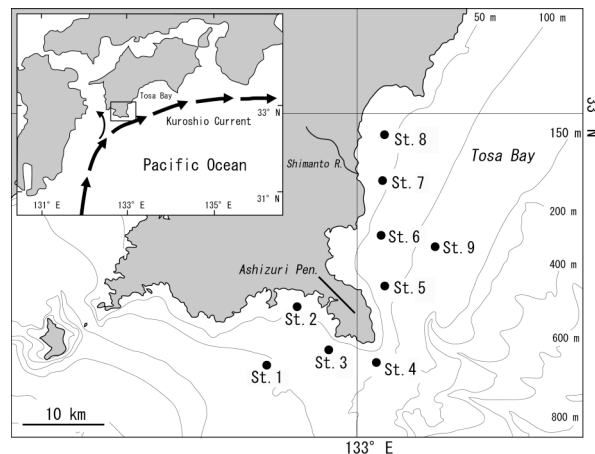


Fig. 1 Map showing the study sites where larvae were collected from May 2002 to April 2003.

#### 材料と方法

2002年5月から2003年4月に毎月1回の頻度でFig. 1に示した各定点において稚魚ネット（口径1.3m, 網目0.5mm）を用いて仔稚魚を採集した。このうち、St.1～4は足摺岬の西側海域、他の地点は東側海域に相当する。また、St.1と9は東西それぞれの沖合いの調査定

点である。曳網方法は水深 50 m 未満の St.2, St.7, St.8 では水深 30 m から、他の定点では 50 m から表層までの傾斜曳きとし（9 月は設備都合により表, 中, 底層の階段曳きとした）、船速は約 2 kn, 曳網時間は平均約 8 分であった。また、網口中央に設置した濾水計により濾水量を算出した（平均 441 m<sup>3</sup>）。全定点において STD（Alec 電子, AST500-p）で塩分と水温を表層から底層付近まで連続測定した。なお、2003 年 2 月の St.10 は強い波浪のために調査できなかった。

採集物は船上にて約 10%海水ホルマリン溶液で固定して持ち帰り、仔稚魚を選別後、種査定、計数し、濾水量から個体数密度（尾/1000m<sup>3</sup>）を換算した。さらに、全魚種について、検体ごとに 100 個体を上限として、Kendall et al. (1984) に従って発育段階を記録するとともに体長（Body length）を計測した。科名および配列は Nelson (2006) に、属名、種名は中坊 (2000) に準拠した。また、中坊 (2000) を参考に、出現種を成魚の分布域によって熱帯性種（南西諸島以南にも分布）と温帯性種（分布は九州以北にほぼ限定）に区分し、1 タクサ中に両者を包含するために区分できなかったものを不明とした。

調査定点間の仔稚魚群集の比較にあたっては、各定点の魚種別平均個体数密度を対数変換（Ln (X+1)）し、Morishita (1959) の類似度指数（C<sub>λ</sub>）を求め、これに基づくデンドログラムをマウントフォード法によって作成した。

## （2）研究成果の概要

### 海洋物理環境

調査海域全域において測定された水温は 16.5~29.2℃、塩分は 23.7~34.8psu の間にあった。各地点の塩分と水温の経月変化をみると（Fig.2）、足摺岬の先端から西側に位置する St.1~4 はいずれも類似した時空間的変動を示し、岬先端より東側の St.5~9 に比べて多雨期にあたる 6~9 月の表層付近の塩分が高い一方で、12~3 月の水温がわずかに高い特徴にあった。さらに、岬の東側の定点のうち、St.7 と 8 は他の定点よりも表層付近の塩分が低い期間が長く、特に四万十川河口沖に位置する St.6 の表層付近はほぼ周年を通じて 34.0 psu 以下と低鹹であった。なお、海上保安庁の海洋速報によると、調査期間中における足摺岬から黒潮流軸までの距離は、概ね 20~30M と接岸傾向にあったものの、8 月に 50M、3 月以降は 60~90M とやや離岸していた。



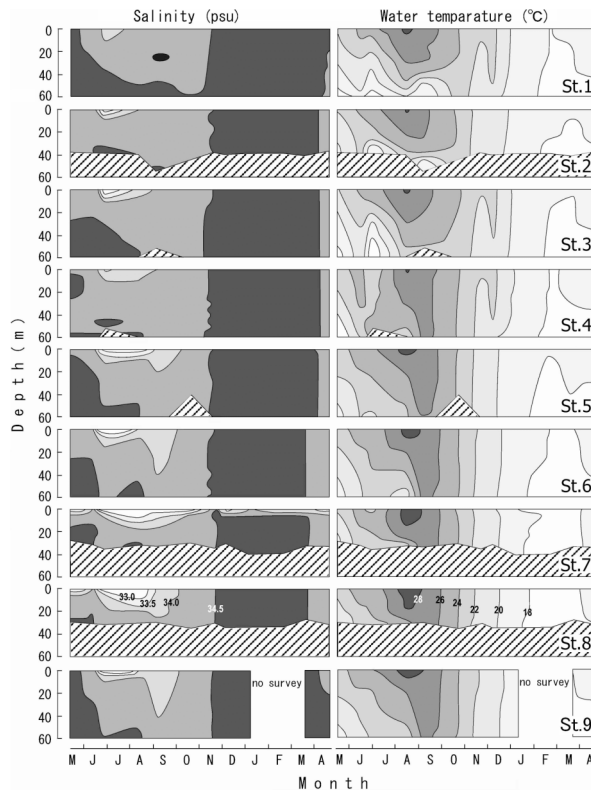


Fig. 2 Monthly changes of vertical profiles of salinities and water temperature in each study site from May 2002 to April 2003.

### 出現種

本調査期間中、総計 120 科 318 種以上、85,846 個体の魚類仔稚魚が採集された。個体数頻度および体長 (BL) と発育段階の範囲を Table. 1 に示した。採集された魚種のほぼ全ては前屈曲期から後屈曲期にあった。採集魚種のうち、最も優占したのはカタクチイワシ *Engraulis japonicus* で全体の 61.45 % を占めた。次いで、マイワシ *Sardinops melanostictus* (4.85 %), ハゼ科 *Gobiidae* (4.53 %), ウルメイワシ *Etrumeus teres* (4.44 %), アジ科 *Carangidae* (2.33 %), ハダカイワシ科 *Mictophidae* (1.98 %), テンジクダイ属 *Apogon* (1.59 %), サバ属 *Scomber* (1.18 %), マアジ *Trachurus japonicus* (0.97 %), ネズツポ科 *Callionymidae* (0.90%) と続き、これら優占 10 種で全体の 84 % を占めた。

出現種には岩礁性 (カサゴ *Sebastes marmoratus*, テンジクダイ属等), 汽水・内湾性 (シロギス *Sillago japonica*, クロサギ *Gerres equulus* 等), 沿岸表層性 (カタクチイワシ, ウルメイワシ等), 沖合表層性 (シイラ *Coryphaena hippurus*, ソウダガツオ属 *Auxis* 等), 中深層性 (オニハダカ属 *Cyclothone*, ハダカイワシ科等) の魚種が含まれていた。また、熱帯性種が総出現種の 57% (182 種) を占めた一方、九州以北に分布する温帯性種は 15% (49 種) に留まった。

### 季節変化

種数と個体数密度の季節変化を Fig. 3 に示す。種数は 5 月 (67 種) から 8 月 (154 種) に増加し、以降減少し、2 月には最低の 35 種となった。熱帯性種は総種数と同様に夏季に多く冬季に少ない変動を示した一方、温帯性種は冬季に若干増加する傾向にあった。また、個体数密度をみると、熱帯性種は夏季に高く、冬季に低い傾向にあり、温帯性種は 5 月および 11~4 月に高値を示し、夏季は相対的に低かった。

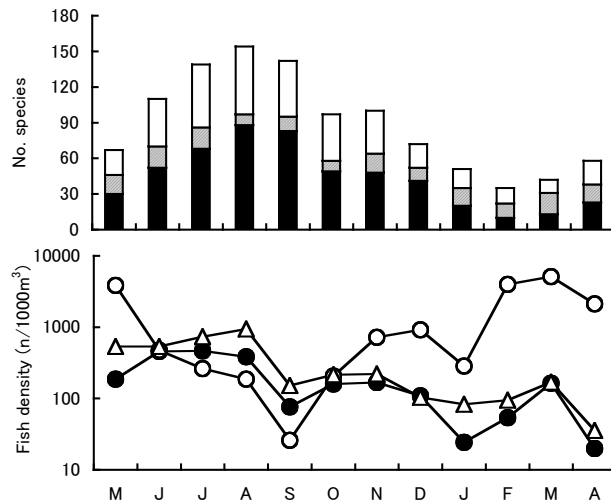


Fig.3 Monthly changes in the number of species and fish density of the coastal area around Ashizuri peninsula between May 2002 and April 2003. Solid area and circle: tropical species; Oblique area and open circle: temperate species; Open area and triangle: indeterminate species.

### 水平分布

各定点間の仔稚魚群集の類似度 ( $C\lambda$ )に基づくクラスター分析の結果 (Fig. 4), 仔稚魚相は足摺岬の東西それぞれに位置する定点のグループに分けられ, それぞれのグループは西側海域で沿岸 (St. 2-3) と沖合 (St. 1), 東側海域で土佐湾湾奥部 (St. 7, 8) と湾口付近 (St. 5, 6, 9) のサブグループを形成した.

#### 主要魚種の時空間的出現様式

各月上旬位 10 タクサのうち, 属以下まで査定できた計 31 タクサについて, 仔稚魚相の相違が認められた岬東西の海域で出現様式を検討した結果, その出現様式は以下の 3 グループに分けられた.

グループ A: 足摺岬の西側海域 (St.1-4) に偏って出現する (Fig. 5). キビナゴ *Sparatelloides gracilis*, ヨコエソ *Sigmops gracile*, トミハダカ属 *Lampanyctus*, ススキハダカ属 *Myctophum*, ナガハダカ属 *Symbolophorus*, テンジクダイ属, チダイ *Evynnis japonica*, ササノハベラ属 *Pseudolabrus*, ソウダガツオ属, サバ属 *Scomber*, ガンゾウビラメ属 *Pseudorhombus* がこれに含まれる. このうち, ヨコエソは特に沖合の定点 (St. 1) に, テンジクダイ属は西側海域最浅の St. 2 に特に高頻度で出現し, その他の魚種は概ね St. 3 と 4 に分布が集中していた. 出現時期は魚種により異なり, キビナゴ, テンジクダイ属, ソウダガツオ属は 6~7 月に, ヨコエソ, トミハダカ属, チダイ, ササノハベラ属は 10~11 月に, ススキハダカ属, ナガハダカ属, ガンゾウビラメ属は 3~5 月に最多であった.

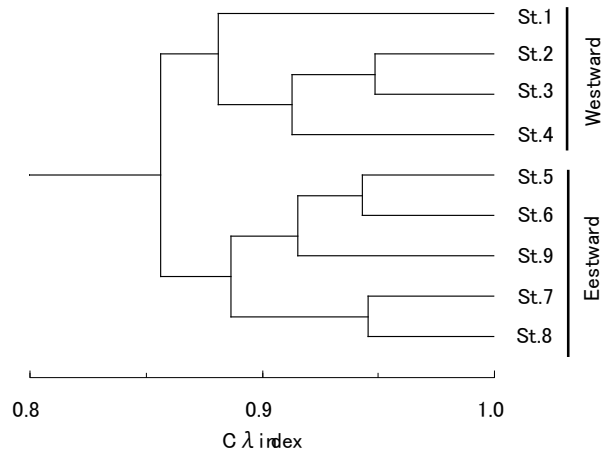


Fig. 4 Dendrograms of the  $C\lambda$  (Morishita's index of  $C\lambda$ ) of the larval community in each stations. The dendrogram was constructed using the Mountford method.

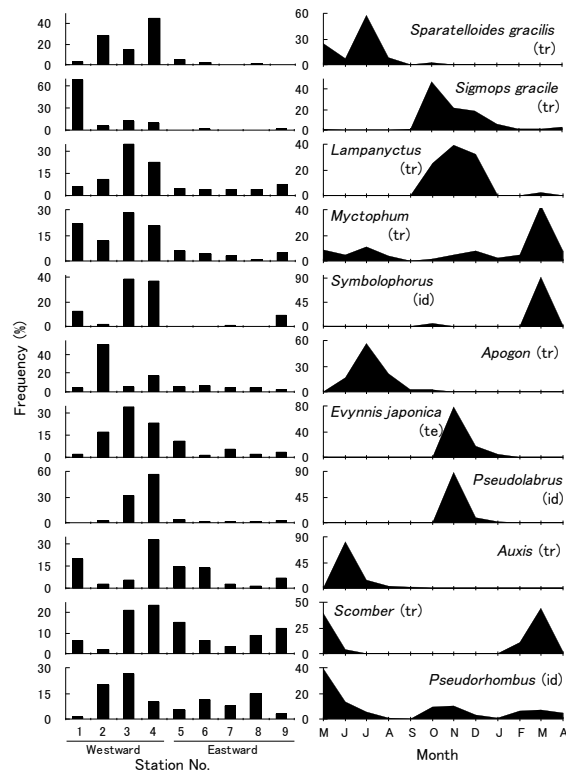


Fig. 5 Monthly and spatial occurrence of 11 dominant taxa (group A). Adult distribution were indicated in the parenthesis as follows: tr=tropical; te=temperate; id=indeterminable.

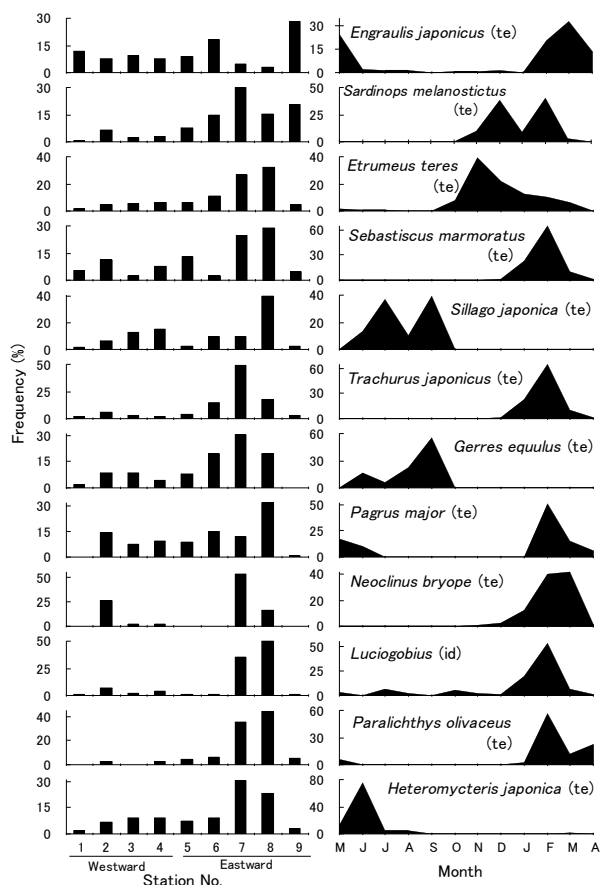


Fig. 6 Monthly and spatial occurrence of 12 dominant taxa (group B). Otherwise same as in Fig. 5.

グループ B：足摺岬の東側海域 (St. 5-9) に偏って出現する (Fig. 6)。カタクチイワシ、マイワシ、ウルメイワシ、カサゴ、シロギス、マアジ *Trachurus japonicus*、クロサギ、マダイ *Pagrus major*、コケギンボ *Neoclinus bryope*、ミミズハゼ属 *Luciogobius*、ヒラメ *Paralichthys olivaceus*、ササウシノシタ *Hetero-*

*mycteris japonica* がこれに含まれる。カタクチイワシは沖合の定点 (St. 9) に卓越していたものの、他種は St.7 と 8 に集中する傾向にあった。出現盛期はシロギス、クロサギ、ササウシノシタの 3 種は 7~9 月であったものの、大半は秋季~早春季 (11~3 月) にピークがあった。

グループ C：調査対象域のほぼ全域に明瞭な偏りがなく出現する (Fig. 7)。オニハダカ属 *Cyclothone*、ヤベウキエソ *Vinciguerria nimbaria*、サイウオ属 *Bregmaceros*、カナガシラ属 *Lepidotrigla*、オキヒイラギ *Leiognathus rivulatus*、イサキ *Parapristipoma trilineatum*、ワニギス属 *Champsodon*、アラメガレイ *Tarphops oligolepis* がこれに含まれる。このうち、イサキとアラメガレイは St. 3-5 に多い傾向にあった。出現時期は、オキヒイラギ、イサキ、アラメガレイは 6 月を中心とした夏季に出現しており、オニハダカ属、ヤベウキエソ、カナガシラ属は 11~12 月をピークとする秋~冬季に出現した。

#### 考察

本邦における仔稚魚群集の把握を目的とした研究事例の殆どは、表層水平曳きを中心とした採集方法で実施されている (e.g. 千田, 1962; 松田, 1969; 小沢・塚原, 1971; 福田, 1984;

堀木, 1992; 加納ほか, 2002). しかし, 沖山(1965)は魚種による出現深度の相違を指摘しており, 表層曳きのみでは当該水域の仔稚魚群集を的確に把握し難い. 一方, 本研究では傾斜曳きにより中層以浅に分布する仔稚魚を満遍なく採集しており, 従前の研究事例に比べ, 仔稚魚相を的確に把握できていると判断される.

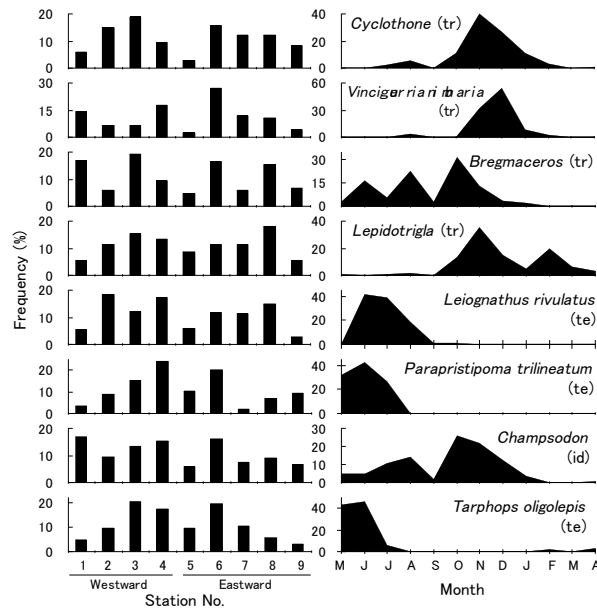


Fig. 7 Monthly and spatial occurrence of 8 dominant taxa (group C). Otherwise same as in Fig. 5.

傾斜曳きあるいは層別採集による研究事例について年間を通した確認種数をみると, 女川湾で 72 種 (川端・大森, 1993), 佐渡海峡で 69 種 (沖山, 1965), 土佐湾中央部沿岸域で 328 種 (鐘, 2003) とある. このように, 本研究と鐘 (2003) による確認種数は卓越しており, 土佐湾中央~南西端付近には極めて多様な仔稚魚群集が形成されているといえる. 本研究における総出現種数の 57% は熱帯性種であり, 鐘(2003)においても多くの熱帯性種が確認されている. また, 調査時の水温は川端・大森(1993)と沖山(1965)では約 5~25°C であるのに対し, 土佐湾では約 16~30°C と明らかに高い. したがって, 土佐湾における仔稚魚群集の多様さは, 暖環境を形成する黒潮との関連性が強いといえる. ただし, 確認された殆どの熱帯性種については土佐湾周辺における再生産に関する情報が乏しく, これらが周辺海域で発生したのか, あるいは黒潮によって南方から輸送されてきたのかについては不明であり, 今後の精査が望まれる.

本研究におけるカタクチイワシの優占は, 本邦温帯域各地の数多くの研究事例 (例えば, 千田 (1962), 沖山 (1965) 松田 (1969), 小沢・塚原 (1971), 福田 (1984), 堀木 (1992), 川端・大森 (1993), 加納ほか (2002) など) と共通していた. 一方で, 土佐湾中央部沿岸における調査結果 (鐘, 2003) と比較すると, カタクチイワシ, ウルメイワシ, マイワシ, ハゼ科, アジ科, ネズッコ科など, 陸棚以浅の生息種の優占は共通したものの, 中深層性のハダカイワシ科やヨコエソ科などの構成比が土佐湾中央部に比べて著しく高かった. 本研究の調査海域は土佐湾中央部沿岸に比べて海底地形が急峻であり, 沖合約 10km で水深 400m に達する箇所もある (Fig. 1). 足摺岬周辺の沿岸域は陸棚が沿岸寄りにあるために中深層性種の仔稚魚が出現しやすい立地条件にあると推察される.

本研究における確認種数は5月以降増加し、8月に最多となり、その後減少した (Fig. 3). この傾向は特に熱帯性魚種で顕著であり、多くの熱帯性魚種が高水温期にふ化あるいは南方より輸送されてきた様子が窺える. 一方で、個体数密度は熱帯性種については種数と同様の変動を示したのに対し、温帯性種は5月および11~4月に高くなっていた. これは、本研究の採集総量の6割を占めたカタクチイワシ、さらに優占第2位のマイワシと4位のウルメイワシがこの時期に増加するためである (Fig. 6).

調査定点間の水温と塩分は、足摺岬を挟んで西側の海域 (豊後水道側) が東側 (土佐湾側) に比べて夏~秋期に高鹹であり、冬季にやや高温であった (Fig. 2). 黒潮は足摺岬南西沖で北側に分岐し、東側海域に貫入する暖水舌を平均周期9.5日の高頻度で形成する (黒田, 1991; Akiyama, 1993). このように、足摺岬西側海域は外洋系の水塊の影響を強く受ける海域のために、高鹹かつ高温であったと推察される. 一方で、土佐湾側は St.7 沿岸に四国有数規模の河川である四万十川が流入しており、このため降水量の多い夏~秋季には低鹹となり、西側海域よりも黒潮水塊の進入の程度が小さいために冬季に低温となったと推察される. 以上のように、調査海域の海洋環境の特性は足摺岬の東西で二分され、東側は外洋性、西側は沿岸性の性質が強いと解釈できる. 東西海域において仔稚魚群集に認められた相違 (Fig.4) は、このような物理特性を反映しているといえよう. 堀木(1992)は足摺岬と同様に黒潮が接岸する潮岬周辺海域の仔稚魚群集と海洋特性の関係について調査し、黒潮由来の外洋性水塊と瀬戸内海由来の沿岸性水塊が形成されており、仔稚魚群集もそれに対応して変化すると結論しており、本研究の結果と一致する.

優占種について東西の分布を見てみると、西側海域に偏るグループ A では熱帯性種が11種中7種を占め、東側海域に偏るグループ B では12種中10種が温帯性種であった (Fig. 5, 6). また、東西の偏りが不明瞭なグループ C は、8種中4種が熱帯性種、3種が温帯性種であった (Fig. 7). さらに、グループ A にはヨコエソやハダカイワシ科3種の中深層性の魚種が散見される一方で、グループ B は主に陸棚以浅に生息する種に占められていた. 以上より、足摺岬を境に東側では熱帯性種および中深層性種、各西側では温帯性種および浅海性種が多く出現するといえる.

グループごとの出現時期に着目すると、グループ B では優占種の大半が晩秋~早春期に集中する一方で、他グループは冬季の出現頻度が相対的に低い傾向が読み取れる. これは、グループ B は低水温期においても再生産しうる温帯性種が多く、他グループは低水温期には再生産の難しい熱帯性種が多く含まれることから説明できよう.

各グループにおける優占種各種の出現動向を詳しく見ると、グループ A においては、多くが St. 3 と 4 の出現割合が高いのに対し、ヨコエソは沖合の St. 1、テンジクダイ属は西側海域で最も浅い St. 2 で突出している. ヨコエソとテンジクダイ属は、それぞれ中深層と岩礁帯の浅い水域を主な生息場所としており、これらの仔魚の集積は成魚の生息環境との関連性が連想される. ただし、ヨコエソと同様の中深層性であるハダカイワシ科3種は沖合よりも足摺岬先端付近の沿岸側に多く、両者の再生産場所、あるいは黒潮分岐流による輸送様式が異なる可能性が示唆された.

グループ B の大半は、四万十川の流入による陸水の影響が強い St. 7 と 8 (Fig. 2) に多く出現しており、これらは内湾性の海域に多い魚種と推察される. 本調査海域の沿岸部の

大部分は岩礁帯であるが、St 6~8 の沿岸には砂浜海岸も発達しており、さらに St. 7 の沿岸には周辺海域で最も広大な汽水域がある。これらを勘案すると、砂浜海岸や内湾を主な生息場所や産卵場所とするシロギス、クロサギ、ヒラメ（岡村・尼岡編, 1997, 落合・田中, 1998）の当水域の集積に関しては、再生産場所との関連性が強いと言えそうである。一方で、カタクチイワシは B グループの他種とは異なり、足摺岬東側海域の沖合に突出して出現しており、カタクチイワシは土佐湾内の沖合いに主な産卵場がある様子が窺える。

土佐湾は奥行き約 50km に対し、開口部が 120km と開放的な湾である。土佐湾中央部では本研究同様に多くの熱帯性種を含む多様な仔稚魚群集が形成されており（鐘, 2003）、黒潮の影響は湾奥部にまである程度波及しているといえる。しかし、湾口部にあたる足摺岬周辺では岬先端部付近が外洋系と内湾系水塊の境界となっており、それぞれに対応した仔稚魚群集が形成されていた。このように、土佐湾のような開放的な湾においても、黒潮のような外洋性水塊が接近する場合、その湾口部内外における仔稚魚群集に違いが生じることが明らかとされた。

Table 1 List of ichthyoplankton collected by a larvae net (1.3 m mouth-diameter, 0.5 mm mesh-aperutre) on the coastal area around Ashizuri Peninsula between May 2002 and April 2003. Developmental stage were indicated as follows: y=yolk-sac larvae; pr=preflexion larvae; f=flexion larvae; po=postflexion larvae; j=juvenile. (numerical percentage). Adult distribution were indicated as follows: tr=tropical; te=temperate; id=indeterminable. +=less than 0.005%

Species	%	Range of SL (mm)	Stages	Adult distribution	Species	%	Range of SL (mm)	Stages	Adult distribution
Muraenidae					Trachipteridae				
Muraenidae	0.01	19.1-168.5	pr	id	Trachipteridae	+	5.8	pr-f	id
Ophichthidae					Bregmacerotidae				
Ophichthidae	0.03	5.1-15.3	pr	id	<i>Bregmaceros</i>	0.47	1.5-11.4	pr-po	tr
Muraenesocidae					Moridae				
Muraenesocidae	+	24.9	pr	id	<i>Laemonema nana</i>	0.02	1.9-8.8	pr-po	te
Congridae					<i>Laemonema</i>	+	9.3	po	te
Congridae	+	5.4-19.5	pr	id	<i>Physiculus</i>	+	4.7	pr	id
Nettastomatidae					Moridae	0.01	2.2-3.5	pr	id
Nettastomatidae	+	7.6-10.1	pr	id	Carapidae				
Anguilliformes	0.03	4.5-11.7	pr	id	Carapidae	+	5.9-24.8	pr	id
Engraulidae					Ophidiidae				
<i>Engraulis japonicus</i>	61.45	2.2-18.5	y-po	te	<i>Neobythites sivicolus</i>	0.02	2.7-7.0	pr	tr
Clupeidae					<i>Siremo imberbis</i>	0.03	2.3-8.7	pr-po	tr
<i>Etrumeus teres</i>	4.44	3.5-18.2	y-po	te	Ophidiidae	0.02	3.1-8.0	pr	id
<i>Sardinella zunasi</i>	+	4.2-6	pr	tr	Bythitidae				
<i>Sardinops melanostictus</i>	4.85	2.9-18.6	pr	te	Bythitidae	+	8.5-13.4	pr-po	id
<i>Sparatelloides gracilis</i>	0.66	3.3-14.2	pr-po	tr	Lophiidae				
Gonorynchidae					<i>Lophioides</i>	0.01	2.3-2.9	pr	id
<i>Gonorynchus abbreviatus</i>	0.01	4.1-17.1	pr-po	tr	<i>Lophiomus setigerus</i>	+	2.7-5.2	pr-f	tr
Microstomatidae					Lophiidae	0.01	2.4-2.8	pr	id
Microstomatidae	+	4.9	pr	id	Antennariidae				
Osmeridae					Antennariidae	+	2.9	pr	tr
<i>Plecoglossus altivelis altivelis</i>	0.01	5.0-8.1	pr	te	Ogcocephalidae				
Gonostomatidae					Ogcocephalidae	+	2.1-3.4	pr-po	id
<i>Cyclothone acclinidens</i>	+	4.0-7.9	pr-po	tr	Mugilidae				
<i>C. alba</i>	0.02	4.2-10.6	pr-po	tr	<i>Mugil cephalus cephalus</i>	0.01	2.0-4.7	pr-f	tr
<i>Cyclothone</i>	0.16	2.6-9.7	pr-po	tr	Exocoetidae				
<i>Diplophos orientalis</i>	+	10.5-20	pr-po	tr	<i>Cypselurus cyanopterus</i>	+	13.1	j	tr
<i>Diplophos</i>	+	14.0	pr	tr	<i>C. heterurus doederleini</i>	+	4.5	po	tr
<i>Gonostoma atlanticum</i>	+	7.7	po	tr	<i>C. naresii</i>	+	3.2-4.0	po	tr
<i>Stigmops gracile</i>	0.17	3.7-10.3	pr-po	tr	<i>C. pinnatibarbus japonicus</i>	+	4.6-5.0	po	tr
<i>Stigmops</i>	+	4.2	pr	tr	<i>C. poecilopterus</i>	0.01	3.5-4.3	po	tr
Gonostomatidae	0.02	2.8-6.4	pr	tr	<i>Hirundichthys oxycephalus</i>	+	4.8	po	tr
Sternoptychidae					<i>Hirundichthys</i>	0.01	4.0-4.5	po	tr
<i>Maurolicus japonicus</i>	+	4.7-5.6	pr	tr	<i>Oxyporhamphus convexus convexus</i>	+	4.9-10.8	po	tr
Phosichthyidae					<i>Parexocoetus mento mento</i>	+	2.6	po	tr
<i>Pollichthys maui</i>	0.01	4.6-7.7	pr-po	tr	Hemiramphidae				
<i>Vinci guerrina nimbaria</i>	0.09	3.3-14.5	pr-po	tr	<i>Hyporhamphus sajori</i>	+	7.8	po	te
<i>Vinci guerrina</i>	0.02	3.7-7.7	pr-po	tr	Trachichthyidae				
Stomiidae					<i>Aulotrachichthys</i>	0.01	2.2-3.9	pr	id
<i>Chauliodus</i>	+	8.0-8.3	pr	tr	Trachichthyidae	+	2.2-3.9	pr	id
<i>Stomias affinis</i>	+	6.3-13.7	pr-po	tr	Berycidae				
<i>Stomias nebulosus</i>	+	8.0-9.6	pr-f	tr	Berycidae	0.01	2.2-3.8	pr	id
<i>Photonectes</i>	0.01	6.7-11.6	pr-po	tr	Holocentridae				
Astronesthinidae	+	6.7	pr	tr	<i>Myripristis</i>	0.06	1.9-6.1	pr-po	tr
Melanostomiinae	0.06	4.7-10.0	pr-f	tr	Holocentridae	0.02	2.3-4.6	pr	tr
Stomiinae	+	4.8-8.4	pr	tr	Syngnathidae				
Aulopidae					<i>Doryrhamphus</i>	0.01	3.6-9.3	pr-po	tr
<i>Aulopus japonicus</i>	0.03	2.4-8.0	pr-po	tr	Syngnathinae	0.01	7.9-28.3	po	id
Synodontidae					Aulostomidae				
<i>Saurida elongata</i>	0.01	3.1-3.6	pr	tr	<i>Aulostomus chinensis</i>	+	4.9	y	tr
<i>S. gracilis</i>	+	3.6	pr	tr	Fistulariidae				
<i>Saurida</i>	0.10	2.1-6.9	pr-f	tr	<i>Fistularia petimba</i>	0.01	2.8-10.6	pr	tr
<i>Synodus</i>	+	2.7-6.8	pr	tr	<i>Fistularia</i>	+	5.5-11.0	pr	tr
<i>Trachinocephalus myops</i>	0.01	3.6-7.1	pr	tr	Macroramphosidae				
Synodontidae	+	2.1-3.9	pr	id	<i>Macroramphosus scolpax</i>	0.01	2.3-7.9	pr-po	tr
Notosudidae					Scorpaenidae				
<i>Scopelosaurus maui</i>	+	15.9	po	tr	<i>Minous monodactylus</i>	0.03	1.9-4.5	pr-po	tr
<i>Scopelosaurus</i>	0.02	4.3-17.5	pr-po	tr	<i>Minous</i>	0.01	2.6-4.5	pr-po	tr
Paralepididae					<i>Sebastiscus marmoratus</i>	0.33	2.7-6.3	pr-f	te
<i>Lestrolepis prolixum</i>	+	5.5-10.5	pr	tr	Scorpaeninae	0.26	1.4-8.1	pr-j	id
<i>L. japonica</i>	+	13.2	f	tr	Tetraroginae	0.03	2.1-5.7	pr-f	id
<i>Lestrolepis</i>	+	12.2	pr	tr	Scorpaenidae	0.03	1.5-2.9	pr	id
Paralepididae	0.01	3.8-9.4	pr-po	tr	Aploactinidae				
Myctophidae					Aploactinidae	+	4.2-5.3	f-po	id
<i>Benthoema</i>	+	5.5-6.0	po	tr	Triglidae				
<i>Diogenichthys atlanticus</i>	+	4.3-5.0	pr	tr	<i>Chelidonichthys spinosus</i>	+	11.0	j	te
<i>Hygophum reinhardtii</i>	+	8.4	f	te	<i>Lepidotrigla</i>	0.28	2.3-8.8	pr-j	tr
<i>Lamppanyctus</i>	0.49	2.6-10.3	pr-po	tr	Peristediidae				
<i>Myctophum</i>	0.23	2.6-10.0	pr-po	tr	Peristediidae	+	5.3	pr	id
<i>Notolychnus valdiviae</i>	+	5.3	po	tr	Platycephalidae				
<i>Symbolophorus</i>	0.28	3.4-8.4	pr-f	id	Platycephalidae	0.19	1.9-8.8	pr-j	id
Myctophidae	1.98	2.3-9.4	pr-j	id					



Table 1. Continued.

Species	%	Range of SL (mm)	Stages	Adult distribution	Species	%	Range of SL (mm)	Stages	Adult distribution
Hoplichthyidae					Lutjanidae	0.02	2.2-5.9	pr-f	id
<i>Hoplichthys</i>	+	3.3-6.8	pr	id	Caesionidae				
Cottidae					Caesionidae	+	5.1-5.5	f-po	tr
<i>Pseudoblenius</i>	+	5.2	pr	te	Gerreidae				
Moronidae					<i>Gerres equulus</i>	0.05	3.5-8.6	pr-po	te
<i>Lateolabrax japonicus</i>	0.01	3.2-8.7	y-f	te	Haemulidae				
<i>L. latus</i>	0.01	3.4-6.2	y-pr	te	<i>Diagramma pictum</i>	0.01	2.7-5.1	pr-f	tr
Acropomatidae					<i>Hapalogenys</i>	+	2.4-5.0	pr	te
<i>Acropoma japonicum</i>	+	3.1-3.8	pr	tr	<i>Papristipoma trilineatum</i>	0.47	2.1-6.7	pr-po	te
<i>Doederleinia berycoides</i>	0.01	2.6-3	pr	tr	Haemulidae	+	2.8-3.3	pr	id
<i>Malakichthys</i>	+	3.2	pr	id	Nemipteridae				
<i>Synagrops philippinensis</i>	+	5.5-11.2	po-j	tr	Nemipteridae	0.15	2.0-5.1	pr-f	tr
<i>Synagrops</i>	0.06	2.2-9.2	pr-po	tr	Lethrinidae				
Acropomatidae	+	3.6-3.8	pr	id	<i>Lethrinus</i>	0.01	3.3-5.8	pr-po	tr
Symphysanodontidae					Lethrinidae	0.01	2.9-4.7	pr-po	id
<i>Symphysanodon katayamai</i>	+	2.5	pr	tr	Sparidae				
Serranidae					<i>Acanthopagrus latus</i>	0.02	2.5-5.6	pr-f	te
<i>Caprodon schlegelii</i>	+	5.0-7.4	f-po	tr	<i>A. schlegelii</i>	0.01	3.4-5.6	pr-po	te
<i>Chelidoperca</i>	0.04	2.0-4.3	pr	tr	<i>Eynnys japonica</i>	0.47	2.0-10	pr-po	te
<i>Epinephelus</i>	0.04	2.2-6.6	pr-f	id	<i>Pagrus major</i>	0.17	2.3-9.8	pr-po	te
<i>Plectropomus</i>	0.01	2.1-4.7	pr	tr	<i>Sparus sarba</i>	+	6.2	po	tr
<i>Sacura margaritacea</i>	+	4.9-6.7	po	te	Sparidae	+	2.9	pr	id
Anthiinae	0.39	1.9-7.6	pr-j	id	Sciaenidae				
Epinephelinae	+	3.8-5.2	pr-f	id	<i>Argyrosomus japonicus</i>	0.01	2.2-3.6	pr	tr
Serranidae	0.06	1.6-4.9	pr-po	id	<i>Nibea mitsukurii</i>	0.08	1.9-4.9	pr-f	te
Callanthiidae					<i>Pennahia argentana</i>	0.01	2.1-3.0	pr	te
<i>Callanthias japonicus</i>	0.01	2.2-4.0	pr	tr	Sciaenidae	+	4.0	pr	id
Pseudochromidae					Mullidae				
Pseudochromidae	0.01	2.6-5.6	pr-po	tr	Mulliidae	0.24	1.7-8.8	pr-j	id
Plesiopidae					Pempheridae				
<i>Plesiops</i>	0.05	2.7-8.4	pr-po	tr	<i>Pempheris japonica</i>	0.02	1.9-4	pr	tr
Plesiopidae	0.01	2.8-6.5	pr-po	tr	<i>P. schwenkii</i>	0.01	3.5-5.4	pr-f	tr
Opistognathidae					Pempheridae	+	2.7	pr	id
Opistognathidae	0.16	2.1-7.9	pr-po	id	Glaucosomatidae				
Priacanthidae					<i>Glaucosoma hebraicum</i>	0.01	2.8-3.8	pr	tr
<i>Priacanthus macracanthus</i>	0.01	2-4	pr-f	tr	Monodactylidae				
<i>Priacanthus</i>	+	2.1-3.1	pr	id	<i>Monodactylus argenteus</i>	+	2.4	pr	tr
Priacanthidae	0.01	1.8-3.3	pr	id	Kyphosidae				
Apogonidae					<i>Girella leonina</i>	0.01	4.7-5.8	pr	tr
<i>Apogon cathetogramma</i>	+	4.7-5.5	f-po	tr	<i>G. punctata</i>	0.02	3.0-11.0	pr-po	te
<i>A. kiensis</i>	0.01	5.4-8.0	po-j	tr	<i>Kyphosus vaigiensis</i>	+	7.1	po	tr
<i>A. lineatus</i>	0.01	3.1-7.2	pr-po	tr	<i>Kyphosus</i>	+	2.5-3.7	pr	tr
<i>A. niger</i>	+	8.2	j	tr	<i>Labracoglossa argentiventris</i>	0.03	2.6-4.8	pr	te
<i>A. semilineatus</i>	0.03	3.8-8.6	pr-j	tr	<i>Microcanthus strigatus</i>	0.01	2.6-4.6	pr-f	tr
<i>Apogon</i>	1.59	2.1-9.2	pr-j	tr	Chaetodontidae				
<i>Foa</i>	0.01	2.9-4.7	pr-f	tr	<i>Chaetodon</i>	0.01	2.2-4.8	pr-f	tr
<i>Gymnapogon</i>	0.01	2.3-4.9	pr	tr	Chaetodontidae	+	3.3-7.5	pr-po	tr
<i>Pseudamia</i>	+	2.8-3.8	pr-f	tr	Pomacanthidae				
Apogonidae	0.04	2.0-5.8	pr-j	id	Pomacanthidae	+	2.6-4.2	pr	tr
Sillaginidae					Teraponidae				
<i>Sillago japonica</i>	0.08	2.5-8.4	pr-po	te	<i>Rhyncopelates oxyrhynchus</i>	0.01	2.7-3.5	pr	tr
Malacanthidae					<i>Terapon jarbua</i>	0.18	1.7-8.1	pr-j	tr
<i>Branchiostegus</i>	0.07	2.0-7.6	pr-po	id	Oplegnathidae				
Scombroptidae					<i>Oplegnathus fasciatus</i>	+	3.4-7.5	pr-po	te
<i>Scombrops boops</i>	0.01	4.4-6.6	pr-f	te	<i>Oplegnathus</i>	+	4.1	pr	id
Coryphaenidae					Cirrhitidae				
<i>Coryphaena hippurus</i>	0.05	3.5-9.5	y-po	tr	Cirrhitidae	+	5.2-6.3	f-po	tr
Carangidae					Cheilodactylidae				
<i>Seriola quinqueradiata</i>	0.01	2.3-5.8	pr-F	te	<i>Goniistius zebra</i>	+	5.4	pr	te
<i>Trachurus japonicus</i>	0.97	1.9-6.9	pr-f	te	<i>G. zonatus</i>	0.06	2.5-5.9	pr	tr
Carangidae	2.33	2.3-9.8	pr-po	id	Cepolidae				
Menidae					<i>Acanthocephala krusensternii</i>	0.09	1.8-5.2	pr	tr
<i>Mene maculata</i>	0.01	2.7-4.7	pr-po	tr	<i>A. limbata</i>	0.02	2.1-9.4	pr-po	te
Leiognathidae					<i>Acanthocephala</i>	+	2.3-2.4	pr	id
<i>Leiognathus rivulatus</i>	0.24	1.5-6.3	pr-po	te	<i>Cepola schlegelii</i>	0.02	2.4-3.6	pr	tr
Bramidae					Pomacentridae				
<i>Brama japonica</i>	+	4.2-5.2	pr	te	<i>Abudefduf vaigiensis</i>	0.01	4.5-11.0	po-j	tr
<i>Brama</i>	+	3.3-4.1	pr-f	id	<i>Abudefduf</i>	+	3.2-4.0	pr	tr
Bramidae	0.01	2.8-4.0	pr	id	<i>Chromis</i>	0.12	2.0-4.5	pr-po	tr
Emmelichthyidae					<i>Plectroglyphidodon</i>	+	3.7	po	tr
<i>Emmelichthys struhsakeri</i>	0.05	2.4-5.3	pr-f	tr	<i>Pomacentrus</i>	0.37	2.0-7.7	pr-po	tr
Lutjanidae					Pomacentridae	0.07	2.1-3.9	pr-f	id
<i>Lutjanus</i>	0.01	2.8-5.2	pr-po	tr	Labridae				
<i>Paracaesio</i>	0.01	4.1-4.4	pr	tr	<i>Cirrhitilabrus temminckii</i>	+	4.0	po	tr

Table.1 continued.

Species	%	Range of SL (mm)	Stages	Adult distribution	Species	%	Range of SL (mm)	Stages	Adult distribution
<i>Cirrhitlabrus</i>	+	4.3-6.5	po	tr	Trichuriidae				
<i>Cheilinus</i>	+	4.5-6.0	po	tr	<i>Benthodesmus elongatus</i>	0.01	6.7-8.1	pr	tr
<i>Halichoeres</i>	+	4.9-6.4	f-po	id	<i>B. tenuis</i>	+	15.3	f	tr
<i>Pseudolabrus</i>	0.19	2.3-8.5	pr-po	id	<i>Trichiurus japonicus</i>	0.05	4.8-12.6	y-pr	tr
<i>Stethojulis</i>	+	4.5-6.4	po	tr	Trichiuridae	+	4.9	pr	tr
<i>Thalassoma</i>	+	4.0-6.9	po	tr	Scombridae				
<i>Xyrichtys</i>	+	7.9-14.1	po-j	tr	<i>Auxis</i>	0.88	2.0-7.9	pr-po	tr
Labridae	0.14	2.3-9.1	pr-po	id	<i>Euthynnus affinis</i>	+	6.9	f	tr
Scaridae					<i>Gymnosarda unicolor</i>	+	4.6	pr	tr
Scaridae	0.01	3.9-7.9	f-po	id	<i>Katsuwonus pelamis</i>	0.01	4.4-7.9	pr-po	tr
Champsodontidae					<i>Sarda orientalis</i>	+	4.3-5.5	pr-f	tr
<i>Champsodon</i>	0.33	2.0-7.4	y-po	id	<i>Scomber</i>	1.18	2.2-15.8	pr-po	tr
Pinguipedidae					<i>Thunnus albacares</i>	+	4.9-6.6	pr-po	tr
<i>Parapercis pulchella</i>	+	1.9-4.4	pr-f	tr	<i>T. obesus</i>	+	4.3	pr	tr
<i>P. sexfasciata</i>	0.02	2.3-5.8	pr-po	tr	<i>Thunnus</i>	+	3.3	pr	tr
<i>P. snyderi</i>	0.10	2.2-6.0	pr-po	tr	Scombridae	+	3.9	pr	id
<i>Parapercis</i>	0.02	2.0-5.7	pr-po	id	Centrolophidae				
Trichonotidae					<i>Psenopsis anomala</i>	0.02	2.3-6.6	pr-po	tr
<i>Trichonotus setiger</i>	+	7.8-15.6	po	tr	Centrolophidae	0.03	2.1-5.9	pr	id
<i>Trichonotus</i>	+	6.0	pr	id	Nomeidae				
Creediidae					<i>Psenes maculatus</i>	0.02	2.9-5.7	pr-po	tr
<i>Limnichthys fasciatus</i>	+	10.5	po	tr	<i>Psenes</i>	0.02	2.4-5.3	pr-po	tr
<i>L. nitidus</i>	+	13.0	po	tr	Nomeidae	+	3.4	pr	tr
Percophidae					Tetragonuridae				
<i>Acanthaphritis unoorum</i>	+	3.4	pr	tr	<i>Tetragonurus</i>	+	3.6-3.9	pr	tr
<i>Acanthaphritis</i>	+	3.5	pr	tr	Caproidae				
Hemerocoetinae	0.01	2.5-4.8	pr	id	<i>Antigonia rubescens</i>	+	3.2	pr	tr
Percophidae	+	4.5	pr	id	<i>Antigonia</i>	+	2.7	pr	tr
Ammodytidae					Paralichthyidae				
<i>Embolichthys mitsukurii</i>	0.02	4.1-9.5	pr-po	tr	<i>Paralichthys olivaceus</i>	0.07	2.6-9.6	pr-po	te
Uranoscopidae					<i>Pseudorhombus arsuis</i>	0.05	2.7-9	pr-po	tr
<i>Uranoscopus</i>	0.01	1.6-3.9	pr	id	<i>P. pentophthalmus</i>	+	8.5	po	tr
Tripterygiidae					<i>Pseudorhombus</i>	0.54	2.0-9.5	pr-po	id
<i>Enneapterygius theostomus</i>	0.01	3.9-7.6	pr-po	tr	<i>Tarphops oligolepis</i>	0.29	2.4-8.4	pr-po	te
<i>Springerichthys bapturnus</i>	+	5.4-7.2	pr-f	tr	Paralichthyidae	0.04	2.1-4.8	pr	id
Tripterygiidae	0.01	3.4-8.9	pr-po	tr	Pleuronectidae				
Blenniidae					<i>Pleuronichthys cornutus</i>	+	3.1-4.0	pr	te
<i>Entomacrodus</i>	0.01	3.2-4.8	pr-f	tr	Bothidae				
<i>Omobranchus fasciolatoceps</i>	+	3.3-4.1	pr	te	<i>Arnoglossus</i>	+	5.1-14.1	pr-po	id
<i>O. elegans</i>	+	3.5-6.5	pr-po	te	<i>Chascanopsetta</i>	+	8.7	po	tr
<i>Omobranchus</i>	0.01	2.7-8.6	pr-po	id	<i>Engyprosopon grandisquama</i>	+	5.4	pr	te
<i>Parablennius yatabei</i>	0.06	2.3-7.0	pr-po	te	<i>Engyprosopon</i>	0.11	2.6-14.8	pr-po	id
<i>Petroscirtes breviceps</i>	0.01	2.8-14.3	pr-j	tr	<i>Psettina gigantea</i>	+	5.1-9.3	pr-po	tr
<i>Petroscirtes</i>	+	3.3-4.4	pr	id	<i>P. tosana</i>	+	10.1	po	te
<i>Scartella emarginata</i>	0.01	2.6-8.5	pr-po	te	<i>Tosarhombus octoculatus</i>	+	8.8-18.2	po	tr
Salarini	+	4.8-6.3	pr-po	tr	Bothidae	0.19	1.6-7.7	pr-f	id
Blenniidae	0.01	2.2-3.5	pr	id	Samaridae				
Chaenopsidae					<i>Samariscus</i>	0.04	2.2-5.9	pr-po	id
<i>Neoclinus bryope</i>	0.12	4.1-8.3	pr-f	te	Soleidae				
Gobiesocidae					<i>Aseraggodes</i>	0.04	1.7-5.3	pr-po	tr
Gobiesocidae	0.02	3.1-5.4	pr-po	id	<i>Heteromycteris japonica</i>	0.50	1.6-6.2	pr-po	tr
Callionymidae					Soleidae	0.01	3.2-3.7	pr	id
Callionymidae	0.90	1.4-6.4	pr-po	id	Cynoglossidae				
Gobiidae					<i>Cynoglossus itinus</i>	0.03	3.4-11.3	pr-po	tr
<i>Bathygobius</i>	+	3.0-7.4	po	tr	<i>C. gracilis</i>	0.04	3.8-10.5	pr-po	tr
<i>Luciogobius</i>	0.18	2.4-7.6	pr-po	id	<i>Cynoglossus</i>	+	2.8-8.8	pr	tr
<i>Taenioides</i>	+	5.6	po	id	<i>Paraplagusia bilineata</i>	+	7.9	pr	tr
Gobiidae	4.53	1.5-7.5	pr-po	id	<i>P. japonica</i>	+	8.3-8.6	pr	tr
Microdesmidae					<i>Symphurus orientalis</i>	+	3.4-6.8	pr	te
<i>Gunnellichthys</i>	0.01	3.2-8.4	pr-po	tr	<i>Symphurus</i>	+	4.9-8.9	pr	id
Ptereleotridae					Cynoglossidae	0.12	1.8-7.6	pr	id
Ptereleotridae	0.02	3.4-10.7	pr-po	tr	Monacanthidae				
Siganidae					<i>Aluterus</i>	+	2.7-3.5	pr	te
<i>Siganus</i>	0.02	3.7-10.3	pr-j	tr	<i>Rudarius ercodes</i>	0.01	2.6-4.3	pr-po	te
Acanthuridae					<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	0.04	2.1-25.9	pr-j	te
<i>Naso</i>	+	5.0	pr	tr	Monacanthidae	0.09	1.9-3.4	pr	id
Acanthidae	0.01	2.0-2.9	pr	tr	Tetraodontidae				
Sphyracnidae					Tetraodontidae	0.07	1.6-6.0	pr-f	id
<i>Sphyracna pinguis</i>	+	5.4-6.8	f	te	Unidentified	1.91	-	-	id
<i>Sphyracna</i>	0.13	2.1-12.8	pr-po	id					
Gempylidae									
<i>Diplospinus multistriatus</i>	+	7.2	pr	tr					
<i>Ruvettus pretiosus</i>	+	5.1-7.1	pr-f	tr					
Gempylidae	0.09	2.3-5.5	pr	tr					

## 引用文献

- Akiyama, H. and Saitoh, S. (1993) The Kyucho in Sukumo Bay induced by Kuroshio warm filament intrusion. *J. Oceanogr.* 49:667-682.
- Fukuda, Y. (1984) Fish larvae from the surface layers in the southern part of Bungo Cannel. 大分水試調研報, 11: 9-32 (in Japanese).
- Hirata, T., Yamakawa, T., Iwata, A., Manabe, S., Hiramatsu, W. and Ohnishi, N. (1996) Fish fauna

- of Kashiwa-jima Island, Kochi prefecture, Japan. Bull. Mar. Sci. Fish. Kochi Univ. 16:1-177 (in Japanese with English abstract).
- Horiki, N. 1992. Community composition of fish eggs and larvae in the Kii Channel and adjacent waters in relation to oceanographic characteristics. Nippon Suisan Gakkaishi, 58(6):1007-1013 (in Japanese with English abstract).
- Kanou, K., Arayama, K., Imai, H., Kanazawa, K., Koike, T. and Kohno, H. (2002) Seasonal and spatial changes in the larval and juvenile fish fauna in surface waters of Tokyo Bay, central Japan. La mer, 40: 11-27 (in Japanese with English abstract).
- Kawabata, A. and Oomori, M. (1993) Spatiotemporal distribution of planktonic larval fish in Onagawa Bay. Bull. Tohoku. Natl. Fsh. Res. Inst. 55:53-64 (in Japanese with English abstract)
- Katto, J. 1986. The common sense about rivers and the Shimanto River. Tosa no Shizen, 42:6-7.
- Kendall, A. W., Jr., Ahlstrom, E. H. and Moser, H. G. (1984) Early life history stages of fishes and their characters. In: Ontogeny and systematics of fishes, eds. Moser, H. G., Richards, W. J., Cohen, D. M., Fahay, M. P., Kendall, A. W. Jr. and Richardson, S. L., Am. Soc. Ichthyol. Herpetol., Spec. Publ., 1, 11-22.
- 黒田広樹. 1991. 豊後水道域における黒潮分岐流の派生. 南西外海の資源・海洋研究, 7: 1-8.
- 松田星二. 1969. 南西海区に出現する魚卵・稚魚の研究 I. 南西海区水研研報, 2: 49-83.
- Morishita, M. (1959) Measuring of interspecific association and similarity between communities. Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ. Ser. E. (Biol.), 3:65-80.
- 中坊徹次編. 2000. 日本産魚類検索 全種の同定 第2版. 東海大学出版会, 東京, lvi+1748pp.
- 中坊徹次・町田吉彦・山岡耕作・西田清徳編. 2001. 以布利黒潮の魚. 大阪海遊館, 大阪, 300pp.
- Nelson, J. S. (2006) Fishes of the world 4th edition. John Wiley & Sons, Hoboken, xix+601pp.
- 落合明・田中克, 1998. 魚類学 (下) 改訂版. 恒星社厚生閣, 東京, 1139pp.
- 岡村収・尼岡邦夫編. 1997. 山溪カラー名鑑日本の淡水魚. 山と溪谷社, 東京. 783pp.
- 沖山宗雄. 1965. 佐渡海峡に出現する魚卵・仔稚に関する予察的研究. 日水研報告, 15:13-37.
- 小沢貴和・塚原博. 1971. 東支那海とその隣接海域における表層性幼稚魚の分布について. 魚雑, 18(3): 139-146.
- Senta, T. (1962) Studies on the occurrence of eggs and larvae of fishes in adjacent waters to Oki Island II. The seasonal abundance. Jap. J. Ecol. 12: 163-166 (in Japanese with English abstract).
- Zhong, J. (2003) Study on immigration mechanism of fish larvae into the inlet as their nurseries. 愛媛大学連合大学院博士論文 (in Japanese with English abstract).

#### 研究業績

- 1) 原著論文
  - 2) 著書・総説
  - 3) 学会発表
1. 神殿尚宏・木下泉: 土佐湾におけるハモ卵の分布. 稚魚研究会, 東京, 2007年12月15日.

2. 東健作・平賀洋之・木下泉・高橋勇夫. 河口域と海域におけるアユ仔魚の形態と発育の比較. 日本水産学会春季大会, 静岡, 2008年3月29日.
3. 和吾郎・木下泉・深見公雄: 四万十川の栄養塩供給とそれが注ぐ土佐湾西部沿岸海域の基礎生産との関わり. 2007年度日本海洋学会秋季大会, 沖縄県西原町, 2007年9月

#### 4) 報道

- 高知新聞, 2007.2.6, 「アカメ生活史を解明した男」, 木下泉  
高知新聞, 2007.7.1, 「アカメ産卵場を探れ!!」, 木下泉  
高知新聞, 2007.2.6, 「アカメ生活史を解明した男」, 木下泉  
高知新聞, 2008.1.19 「アカメ長距離を移動!?', 木下泉  
高知放送, 2007.7.1, 「アカメ産卵場を探れ!!」, 木下泉

#### 5) 外部資金

- 科学研究補助金基盤研究(A), 黒潮と日本の魚類相: ベルトコンベアーか障壁か, 約 205 千円 (分担)  
学長裁量経費, 土佐湾沿岸域における環境変動に対応する海洋環境のモニタリングおよびそのデータベース構築, 1,123 千円(代表)  
学長裁量経費, 高知県における河川・海洋間の物質循環解明と有用天然化合物の探査, 200 千円 (分担)  
学内共同研究プロジェクト, 海洋生態系の解明とその資源の持続的有効利用: 四万十川と黒潮の交錯圏における人間と自然との共生に関する研究, 1,150 千円(代表)  
学外共同研究, 土佐湾における魚類の再生産構造, 286 千円(代表)

## 2 B. 四万十川河口汽水域におけるカイアシ類群の生態学的解明 (下流域~河口域) (代表者: 上田拓史)

### 目的

仔稚魚の重要な餌となるカイアシ類動物プランクトンの四万十川河口感潮域における主要種は内湾性種および汽水性種であることが過去の研究 (坂口, 2006) によって明らかにされてきた. 本研究では, これらのカイアシ類の動態を調べ, その密度変動の要因と河口外のカイアシ類密度との比較を行うことを目的とした. 調査期間前の 2005 年 9 月の台風によって, 古くから四万十川河口を大きく塞いでいた砂州が消失し, 調査期間中の 2006 年 11 月に再び形成されるという事態が発生した. 河口砂州は河口内の環境に大きな影響を及ぼしていると考えられることから, 本研究ではとくに河口砂州の消失・再形成との関連に注目して解析を行った.

(3) 2006 年から 2007 年にかけて四万十川河口感潮域にて採集した動物プランクトンサンプルを分析した結果, 優占カイアシ類の密度は, 水温, 降水量, 河口砂州の有無によって影響されることが示唆され, その影響の大きさはカイアシ類種によって異なることが示された. 河口内のカイアシ類密度は, 河口砂州消失時は海域の約 2 倍, 砂州形成後は約 8 倍に

なり、動物プランクトン食性仔稚魚にとって河口内が栄養豊かな場所であることが示された。

## 方法

動物プランクトンの採集は、2006年4月から2007年5月まで毎月1回、船外機付川舟を使い、四万十川河口感潮域全体に設けた定点 C2, C3, C4, C5, C6, および、これら本流域に加えてコアモ群集が繁茂している大島裏水道部の定点 S の計 6 点で行った (図 1)。

各採集点では Compact Aqua Sonar (Aqua-Lung 製) で測深後、プランクトンネット (口径 30 cm, 側長 120 cm, 目合 100  $\mu\text{m}$ ) を使用して底近くから鉛直曳きした。ネットの開口部には濾水計 (離合社 プランクトンネット用ろ水計 5571-A) を取り付け、濾水量を測定した。採集したサンプルは採集後直ちに中性ホルマリンで固定した。水温、塩分はハンディー S-C-T メーター (YSI Model 30) を用い、表層から底層まで 0.5 m 間隔で測定した。2006年4月の Sta. 6, S, 2007年4月の S は欠測した。サンプルは研究室で沈殿、濃縮させた後、全量か、または濾水量の 70 L 以上を検鏡できるように 1/2~1/8 量にプランクトン分割器を用いて分割した。40 倍または 100 倍の生物顕微鏡下で動物プランクトンの同定、計数を行った。多く見られるカイアシ類 (ノープリウスを除く) は種で分類した。

## 結果

### 水温・塩分

感潮域の最下流点 C2 と最上流点 C6 の 0 m 表層と 3 m 層の水温を図 2 に示した。水温は 3 月から 8 月にかけて上昇し、8 月から 3 月にかけて下降した。最低水温は 10.6 $^{\circ}\text{C}$  (2007年3月 C6, 表層), 最高水温は 28.9 $^{\circ}\text{C}$  (2006年8月 C2, 3.5~7 m 層) であった。9 月に見られる一時的な水温低下は降雨によるもので、15 $^{\circ}\text{C}$  を下回る低水温期は 12 月から 3 月までであった。10 月から 3 月まで底層のほうが水温は高く、0~3m 層間の

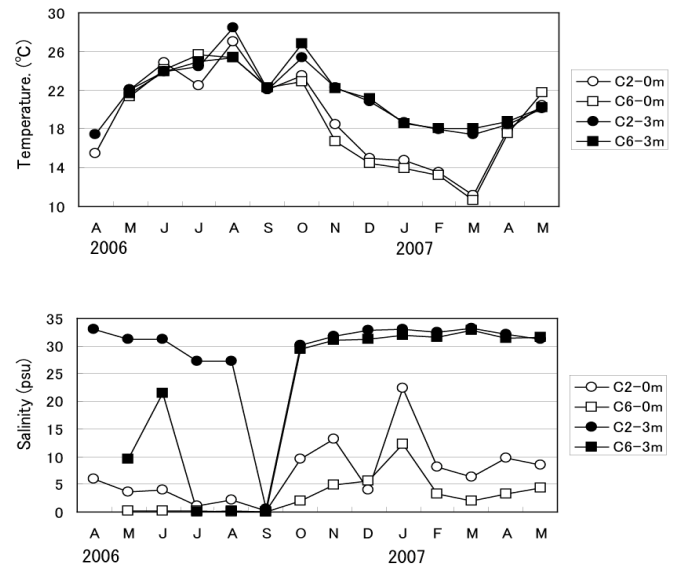


図2. 四万十川河口域定点C2, C6における2006年4月から2007年5月までの0m層と3m層の水温(上)と塩分(下)

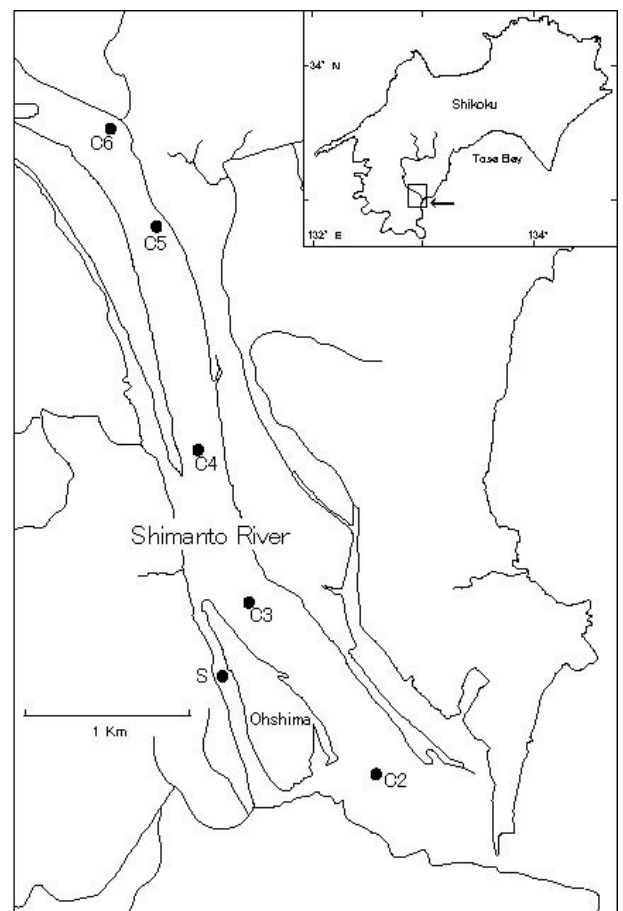


図1. 四万十川感潮域動物プランクトン調査定点図。

水温格差は3月C6で最大7.4℃に達した。

塩分は0(8月C6表層など)から33.7 psu(2006年4月C2, 8.5 m)まで変化した。河口域の塩分は雨量に大きく依存する。調査前10日間の四万十川流域の積算雨量は、2006年6月から9月までがおおむね100~220 mLで大きく、それ以外の月は約50 mL以下で、とくに2007年1月は少なく21 mLであった(図3)。表層塩分は、雨量の少なかった2007年1月を除き、下流部C2では14 psu以下、上流部C6では6 psu以下であった(図2)。3 m層では、雨量の多かった2006年9月を除き、C2で常に27 psu以上であったが、C6では多雨量期間であった7~9月を通して塩分0であった。

#### カイアシ類の密度と分布

調査期間中の動物プランクトン平均密度(各採集点の密度と水深から計算した水域全体の平均密度の全月平均)は35.6 個体/Lで、そのうちカイアシ類は76.8%を占めた。カイアシ類の月別最高平均密度は2007年4月の105.3 個体/L、最低平均密度は2006年5月の1.1 個体/Lであった(図3)。2006年4月から12月の9ヶ月間平均密度は5.7 個体/Lだったが、2007年以降増加し、2007年1月から5月の5ヶ月間平均密度は前年の11.6倍、66.3 個体/Lになった。

カイアシ類を属別に見ると、全月平均で *Oithona* 属が最も多く、平均密度は全カイアシ類の84%を占めた。本属

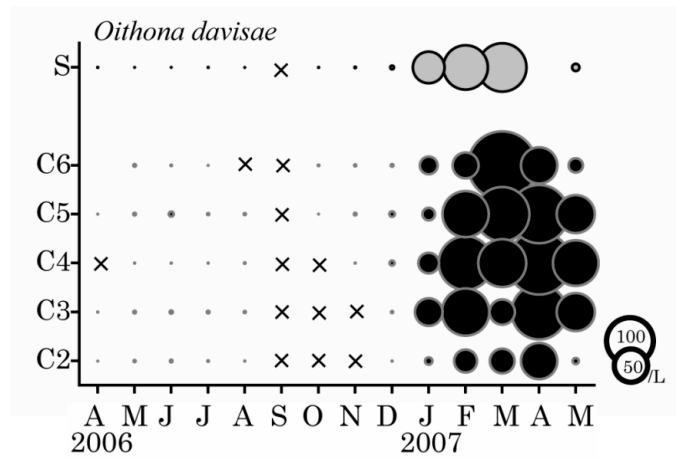


図4. 2006年4月から2007年5月までの四万十川感潮域における *Oithona davisae* の分布. ×は密度0を示す。

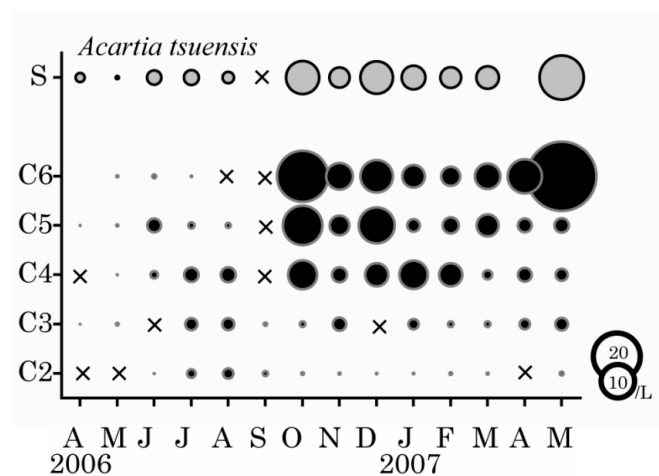


図5. 2006年4月から2007年5月までの四万十川感潮域における *Acartia tsuensis* の分布. ×は密度0を示す。

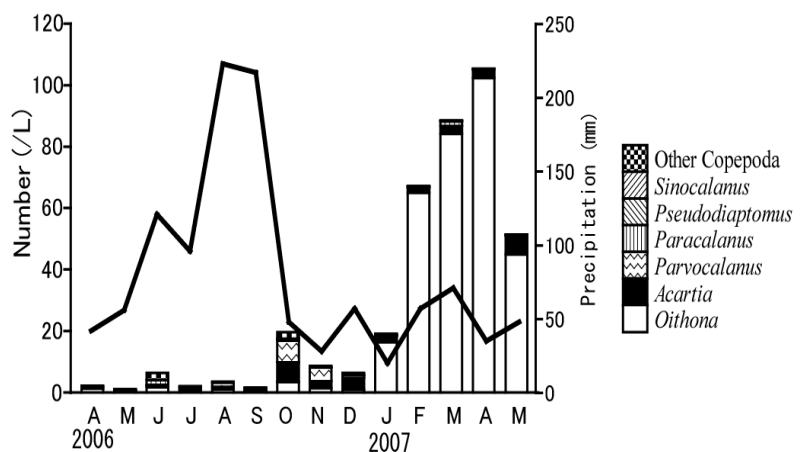


図3. 2006年4月から2007年5月までの四万十川感潮域におけるカイアシ類プランクトン密度、属組成および調査日前10日間の四万十川市の積算雨量

は2006年4月から12月までは平均0.2~3.4個体/Lであったのに対し、2007年に入ってから急激に高密度になり、2007年4月には102個体/Lに達した。Oithona属に次いでAcartia属が多く、平均密度は全カイアシ類の7.7%、2006年7月と12月には最優占属になった。全カイアシ類平均密度の3.9%を占めたParvocalanus属が3番目に多く、2006年8月から11月に優占したが、2007年2月以降は出現しなかった。

種別にみると、最優占したOithona属は富栄養内湾種O. davisae 1種がほとんどを占めた(属全月平均密度の97%)。したがって、O. davisaeの季節変化は図3のOithona属全体と同じである。本種は、本州から九州の閉鎖的内湾や汽水域に優占する種で、京都府舞鶴湾では暖水期に優占することが知られている(Ueda, 1991)。しかし、本調査域では暖水期を含む2006年4月から11月まで1.0個体/L未満で少なく、河口砂州が形成された後の11月以降から調査終了時の冷水期に急激な増加が見られた。密度が高かった2007年2月から5月では、感潮域上流部で高密度になった3月を除き、中流部C4で最も密度が多くなった(図4)。

Acartia属はほとんど汽水性種Acartia tsuensis 1種から占められた(同上99%)。四万十川感潮域では2006年9月まで密度が低く、河口砂州が形成された10月に増え、冬期一旦減少傾向が見られたが、最終調査月の2007年5月にC6で最大密度40.6個体/Lに達した(図5)。高密度期間中、個体群は感潮域中~上流部では多かったが、下流部の密度は各月とも非常に低かった。

Parvocalanus属は富栄養内湾種P. crassirostris 1種からなる。本流域に出現したのは2006年4月から2007年1月までで、10月、11月に高密度になった(図6)。Oithona davisaeが低密度であった2006年12月までは最優占種であった。2006年7月から9月までは感潮域下流部に多く分布したが、10月には上流部で高密度になった。12月は感潮域全域にほぼ均等に分布した。

### 考察

カイアシ類密度は、2006年4月から12月が全体的に低く、2007年1月から5月はOithona davisaeの増加によって高くなった。四万十川河口感潮域における1987年の調査(坂口, 2002)では前10日間の積算雨量が多い調査日にはカイアシ類密度が低くなる関係がみられ、大雨による増水がプランクトンを海へ押し流したと考えられた。本調査でも6月から9月までの低密度は雨量が多かったことが一因していると考えられる。しかし、それ以前の4、5月の低密度や、それ以降の高密度は、雨量と

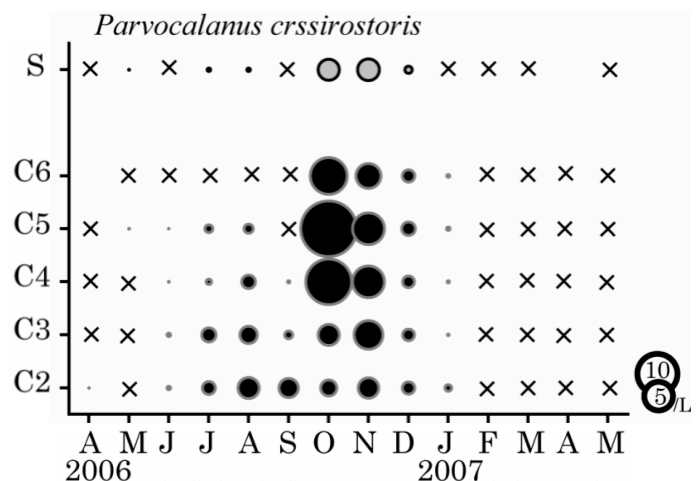


図6. 2006年4月から2007年5月までの四万十川感潮域におけるParvocalanus crassirostrisの分布。×は密度0を示す。

の関係で説明することは難しい。

四万十川河口汽水域の最優占種 *Oithona davisae* は *Parvocalanus crassirostris* と同じ強内湾性温暖種である。舞鶴湾ではこの 2 種はともに夏に優占し、冬に減少する季節変化が見られている (Ueda, 1991)。同様に 1987 年の四万十川河口域では、2 種が夏に多く見られる暖水種特有の季節変化を示した。しかし、本調査での季節変化は 2 種の間で大きく異なった。*P. crassirostris* は本調査と 1987 年の平均密度、季節変化に大きな違いはなかった一方、*O. davisae* は 2006 年では高水温期の夏に密度が低く、低水温期の 1 月以降の冬に高密度になるという逆の季節的変化を示した。水温はカイアシ類の季節変化に影響する最も重要な条件の一つであるが、*O. davisae* の 2006 年の季節変化は水温以外の要因を考えなくてはならない。Ueda (1991) は舞鶴湾で *O. davisae* の密度と唯一相関するのがクロロフィル量であることから、本種が高密度になる最大の理由は餌の多さにあると考察した。四万十川河口域の 2006 年の場合、*O. davisae* が増え始めたのは河口砂州が再形成された翌月からである。河口砂州が形成されることで水の閉鎖性が強まって河口内外の水の交換が悪くなり、その結果、懸濁物の蓄積と分解、富栄養度の上昇、植物プランクトンの増加といった過程が、*O. davisae* 増加に繋がったのではないかと推察できる。河口砂州が再形成された 10 月から *O. davisae* が高密度になった 1 月までの 2 ヶ月間は、本種にとっての好条件が整うまでに要する期間であったと考えられる。

一方、同じ強内湾の *P. crassirostris* は東京湾では 11, 12 月 (穴久保・村野, 1991)、長崎県平戸島志々伎湾では 8~10 月 (上田, 1980, 1982)、舞鶴湾では 8~12 月 (Ueda, 1991)、有明海湾奥部では 9~11 月 (上田・門出, 2006) にそれぞれ増加していることから、内湾域では夏の最高水温期から冬前までの期間に増加する種であるといえる。したがって、四万十川感潮域で 2006 年 10~11 月に高密度になったのは、この種本来の季節変化パターンである。1987 年では雨量が多かった 9, 10 月は少なく、その前の 8 月が最大密度になったが、2006 年では、8, 9 月の雨量が多く、そのために高密度月が 10 月まで遅れたのではないかと考えられる。

*Acartia tsuensis* は本州中部からフィリピンにまで分布する暖水種である。四万十川では調査開始した 2006 年 4 月から 9 月まで低密度であったが、そのうち 6~9 月は雨量が多かったことが低密度の要因としてあげられる。10 月以降の高密度になったのは、小雨と高水温という条件が揃ったためであろう。しかし、雨量、水温が同じ条件にあった 2006 年 4~5 月と 2007 年 4~5 月を比較すると、後者のほうがはるかに高い密度になった。両年の環境の大きな違いとして河口砂州の有無があるが、*A. tsuensis* は河口砂州から最も離れた上流側に多く分布する種であり、河口砂州の有無が上流の個体群密度にまで影響するかどうかは疑問が残る。

佐藤 (2006) によれば、2004 年 8 月から 2005 年 4 月に四万十川河口沖南東約 3 km の場所 (水深約 20 m) で目合 100  $\mu\text{m}$  のプランクトンネット 10 m 鉛直曳きにより採集されたカイアシ類の年間平均密度は 5.9 個体/L であった。本河口に砂州がなかった 2006 年 8~10 月のカイアシ類平均密度 11.6 個体/L は上記海域の約 2 倍、河口砂州が再形成された 11 月から 4 月の平均密度 49.2 個体/L は約 8 倍である。

四万十川河口汽水域は海から遡上してくるアユ仔稚魚や沿岸魚などの様々な仔稚魚の重要



な成育場となっている（高橋ら，1990；Fujita et al., 2002）．四万十川の主要な漁業資源であるアユの資源量は遡上してくる仔稚魚数によって決まる（水野ら，1958；川那部，1970）．したがって，アユ仔魚の生残に影響する餌環境は，アユ資源量に影響することが考えられる（八木ら，2006）．四万十川では，孵化したアユ仔魚の大部分は海域まで流下せず河口内の汽水域に留まって成長することが最近の研究で明らかにされた（Jamali, 2007）．これら四万十川河口内の仔魚は海域の同日齢のものより成長が良いことが知られている（高橋ら，1990）．坂口（未発表）は，河口内で採集されたアユ仔魚 19 個体の消化管内容物を調べ，全個体が *Oithona davisae*, *Paracalanus parvus* s.l., *Sinocalanus tenellus*, *Acartia tsuensis* などのカイアシ類のみを摂食していたことを観察している．こうしたことから，四万十川河口感潮域のカイアシ類群集は，本河川の魚類仔稚魚の重要な餌資源であり，四万十川生態系を支える重要な生物群集であるといえる．

## 引用文献

- 穴久保隆・村野正昭，1991．東京湾における動物プランクトンの季節変化．東京水産大学研報，78：145-165．
- Fujita, S., I. Kinoshita, I. Takahashi & K. Azuma, 2002. Species composition and seasonal occurrence of fish larvae and juveniles the Shimanto Estuary, Japan. *Fisheries Science.*, 68：364-370.
- Jamali, E. A. H. A., 2007. Study on larval migration of amphidromous ayu in inlets and estuaries. Doctoral thesis, Graduate School of Kuroshio Science, Kochi University.
- 川那部浩哉，1970．アユの社会構造と生産Ⅱ－15年の変化をみて－．日本生態学会誌，20：144-151．
- 水野信彦・川那部浩哉・宮地伝三郎・森主一・児玉浩憲・大串竜一・日下部有信・古屋八重子，1958．川の魚の生活Ⅰ．コイ科4種の生活史を中心にして．京大大学生理生態学業績，1-48pp.
- 坂口穂子，2006．四万十川河口汽水域における浮遊性カイアシ類の分布と季節変化．愛媛大学理学部生物地球圏科学科2005年度卒業論文．
- 佐藤彰勇，2006．足摺岬周辺の動物プランクトンとくにカイアシ類の分布と季節変化．愛媛大学理学部生物地球圏科学科2005年度卒業論文．
- 高橋勇夫・木下泉・東健作・藤田真二・田中克，1990．四万十川河口内に出現するアユ仔魚．日本水産学会誌，56（6）：871-878．
- 上田拓史，1980．志々伎湾の動物プランクトンに関する研究－Ⅰ．1975年4月から8月までの動物プランクトンの組成と橈脚類の分布．西海区水産研究所研究報告，(54)：171-194．
- 上田拓史，1982．志々伎湾の動物プランクトンに関する研究－Ⅱ．1975年9月から1976年4月までの動物プランクトン群集，特に内湾性橈脚類の分布特性について．西海区水産研究所研究報告，(58)：1-22．
- Ueda, H., 1991. Horizontal distribution of planktonic copepods in inlet waters. Proc. 4th Intern. Conf. Copepoda ; Bull. Plankton Soc. Jpn, Spec., Vol., 143-160.
- 上田拓史・門出倫子，2006．有明海の動物プランクトン，とくにカイアシ類の長期変動．

海洋と生物, 28(6) : 611-617.

八木佑太・美藤千穂・船越徹・木下泉・高橋勇夫, 2006. 土佐湾沿岸域におけるアユ仔魚の分布および食性. 日本水産学会誌, 72 (2) : 1057-1067.

## 研究業績

### 1) 原著論文

Nishibe, Y., Koizumi, Y. & Ueda, H.: Spatio-Temporal Variation of Copepod Community Structure in the Bungo Channel, Japan. "Chemical Pollution and Environmental Changes", ed. by S. Tanabe, et al., Universal Academy Press, Tokyo, Japan, pp. 401-404, 2007

大塚攻・上田拓史・岩渕雅輝・伊東宏・徐浩榮・坂口穂子・平野和夫・木村妙子・上野大輔：移入種か，在来種か？：清水港から記載された浮遊性カイアシ類の1種の導入の可能性を検証する．日本プランクトン学会報，54: 30-38, 2007

Yasui, K., M. Urata, N. Yamaguchi, H. Ueda & Y. Henmi: Laboratory culture of oriental lancelet *Branchiostoma belcheri*. Zoological Science, 24: 514-520, 2007

Ueda, H. & K. Sakaki : Effects of turbation of the lancelet *Branchiostoma japonicum* (Cephalochordata) on sediment condition: laboratory observation. Plankton and Benthos Research, 2: 155-160, 2007

El-Sherbiny, M.M. & H. Ueda : Redescription of the poorly known calanoid copepod *Pontella karachiensis* Fazal-Ur-Rehman, 1973 from the Red Sea with notes on its feeding habits. Plankton and Benthos Research, 3: 10-17, 2007

El-Sherbiny, M.M. & H. Ueda : Redescription of the poorly known calanoid copepod *Pontella karachiensis* Fazal-Ur-Rehman, 1973 from the Red Sea with notes on its feeding habits. *Plankton and Benthos Research*, 3: 10-17, 2007

### 2) 著書・総説

### 3) 学会発表

坂口穂子・上田拓史・大塚攻・田中克・徐浩榮・尹良湖：日本と韓国の汽水性カイアシ類相の比較. 2007年日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会，横浜，2007年9月

### 4) 報道

### 5) 外部資金

学長裁量経費，高知県における河川.海洋間の物質循環解明と有用天然化合物の探査，200千円（分担）

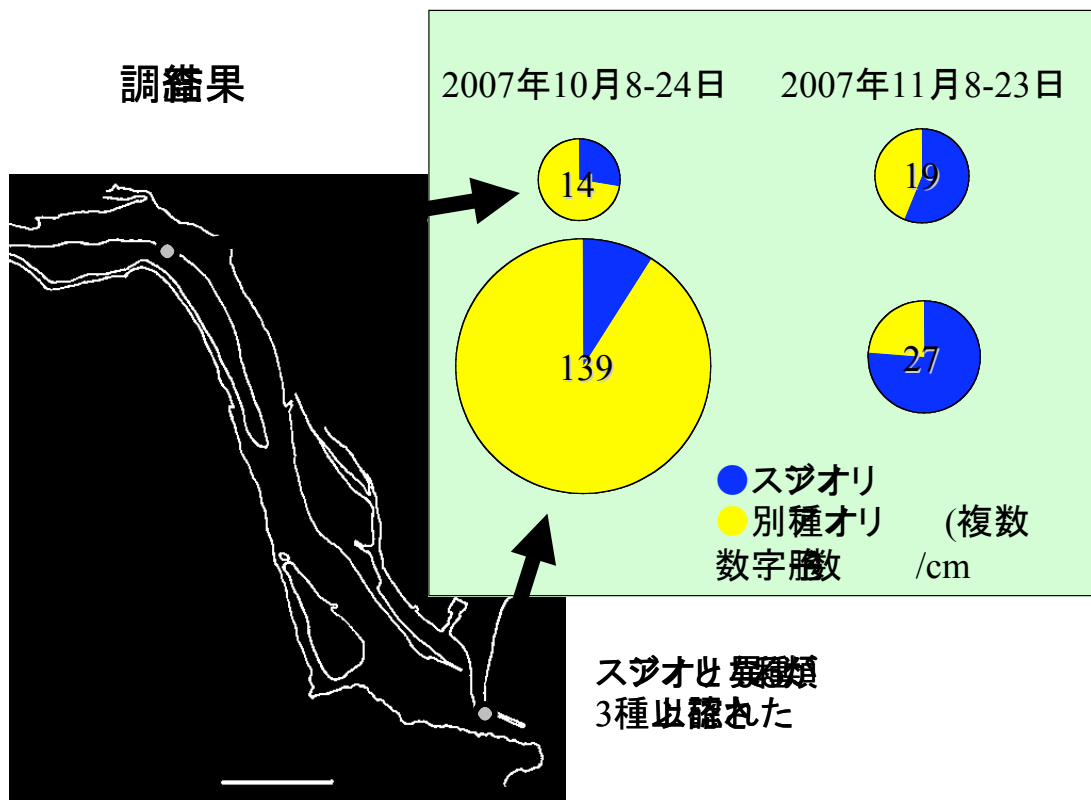
## 2 C. 河口域におけるスジアオノリの生活史の解明（下流域～河口域）（代表者：平岡雅規）

### 目的

四万十川河口に生育するスジアオノリの生殖機構を明らかにする．そのために，スジアオノ

リ藻体から実験室内で胞子を放出させ、性別判別を行うとともに、四万十川流域の無性および有性生殖の分布を明らかにする。また、四万十川産スジアオノリにおける生殖型による分布を野外実験および室内培養によって解明する。

(3) 2004～2006 年度の野外調査から、四万十川河口域では、スジアオノリの生殖型により分布が異なることがわかってきた。すなわち、無性生殖型が汽水域河口部、有性生殖型が汽水水域上流部に分布した。この分布様式がどのように維持されているのかを明らかにするには、各生殖型それぞれについて、1. 胞子の供給、2. 生長および成熟生理特性の調査が必要と考えられた。今年度 2007 年はスジアオノリ胞子の供給状況を調査した。2007 年 10 月 8～24 日および 11 月 8～23 日に、上流部 St.1 と河口部 St.4 のアオノリが生育する 2 地点においてクレモナ糸を設置し、この糸に付着してきたアオノリ胞子を実験室内で培養して育



た。数 cm に生長してきたアオノリの藻体形態、細胞観、形成される胞子の種類から、種同定を行なった。その結果を右図に示す。円グラフの数字はクレモナ糸 1cm 当たり発生したアオノリの芽生え数を表している。10 月では、スジアオノリを含むアオノリ類がまだ調査地では肉眼では確認できない状態であったが、胞子供給は流部 St1 より河口部 St4 で多く、周辺では生育していないスジアオノリとは異なる別種アオノリの胞子付着が確認された。11 月には、周辺にスジアオノリの生育がみられ、胞子供給量もスジアオノリのほうが別種アオノリを上回っていた。現在、着生したスジアオノリの生殖型の詳細を分析中である。

## 研究業績

### 1) 原著論文

S. Shimada, N. Yokoyama, S. Arai & M. Hiraoka 2008. Phylogeography of the genus *Ulva* (Ulvophyceae, Chlorophyta), with special reference to the Japanese freshwater and brackish taxa J. Appl. Phycol.

## 2) 著書・総説

## 3) 学会発表

田中幸記・田井野清也・原口展子・平岡雅規 高知県西部海域における藻場の分布と季節変化 日本藻類学会第 32 回大会 2008 年 3 月 東京

平岡雅規 アオサ属の異種間交雑—接合型の遺伝について 日本藻類学会第 32 回大会 2008 年 3 月 東京

徳山彰秀・平岡雅規 吉野川産アオノリ 2 種の生長に及ぼす温度と塩分の影響 日本藻類学会第 32 回大会 2008 年 3 月 東京

## 4) 報道

2008 年 3 月 4 日高知新聞「スジアオノリ陸上実験」

2008 年 3 月 28 日高知新聞「室戸市の「ぷちも」認定」

## 5) 外部資金

「海藻種苗安定生産に関する研究」室戸岬東漁協との共同研究 115 万円(代表)

「深層水を使用した海藻種苗生産に関する研究」株式会社海の研究舎との共同研究 20 万円(代表)

「海藻類の胞子の採取, 育苗, 成体育成」大恵商事株式会社との共同研究 10 万円(代表)

「海藻類の胞子採取, 育苗, 成体育成」四国土建株式会社との共同研究 140 万(代表)

「人工藻礁設置による褐藻類繁茂促進に関する研究」四国開発株式会社との共同研究 33 万円(代表)

「土佐湾におけるカーボイドによるカジメ等藻類の着生試験」大阪ガスケミカル株式会社 35 万円(代表)



内にある土佐七色の里の駐車場の端で行っている。ヒノキ林、竹林とは、直線距離で約 300 m 離れている。

ヒノキ林では 2006 年 3 月 29 日に、竹林では 2007 年 5 月 23 日に調査プロットを設け、土壌調査・試料採取を行った。土壌試料は、一般理化学性分析に供試した。調査プロット内に、林内雨採水装置を 5 反復で、また土壌溶液採水装置を表面から 10 cm (土壌溶液 1) と 30 cm (土壌溶液 2) に 3 反復で設置した。また、土佐七色の里に、林外雨採水装置 (2 反復) と降水量モニタリングのため、転倒ます式雨量計 (Daiki, DIK-0201) を設置した。さらに、ヒノキ林の斜面の下を流れる溪流から、溪流水の試料を採取した。

それぞれの水試料は、2 週間に 1 回、ポリタンク内の水量を記録し、その一部を分析用試料としてポリ瓶に取り、実験室に持ち帰って分析した。

## 結果と考察

### 林外雨, 林内雨, 土壌溶液の水量と主な気象イベント

調査期間中の林外雨量とヒノキ林の林内雨量, 主な台風と高知市内で観測された黄砂の発生日数を図 2 に示した。降水の特徴として, 2006 年には, 4 月 10 日から 11 日にかけて

377 mm の降水があったこと, 2007 年の春季から梅雨期にかけて降水量が非常に少なかったことがあげられる。台風は, 2007 年には 4 号が高知県に上陸した。また 2006 年には 10 号と 13 号, 2007 年には 5 号が九州地方に上陸し, その際, 高知県にかなり接近した。黄砂は, 2006 年には計 12 日, 2007 年には 11 日観測された。

### 林外雨, 林内雨, 土壌溶液の水質

図 3 に試料の pH と電気伝導度 (EC) の推移を示した。土壌溶液は, 1 と 2 であまり差がなかったので, 1 の結果のみを示す。

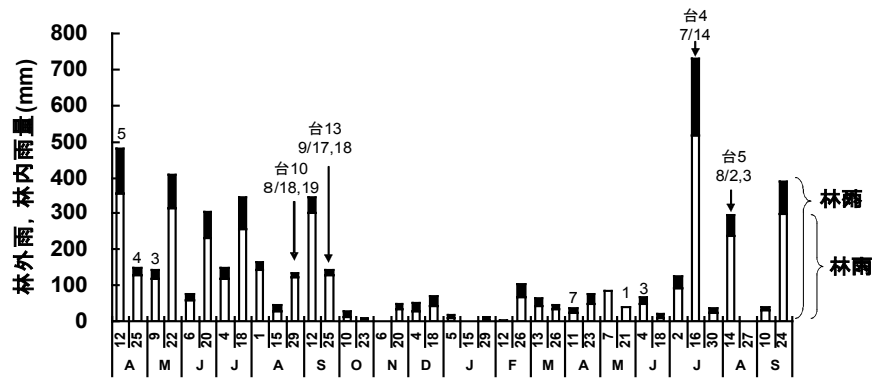


図 2. 林外雨とヒノキ林の林内雨量。横軸は試料採取日, 台は高知県に接近または上陸した台風を, 棒上の数字は, 高知市において黄砂が観測された日数を示す。

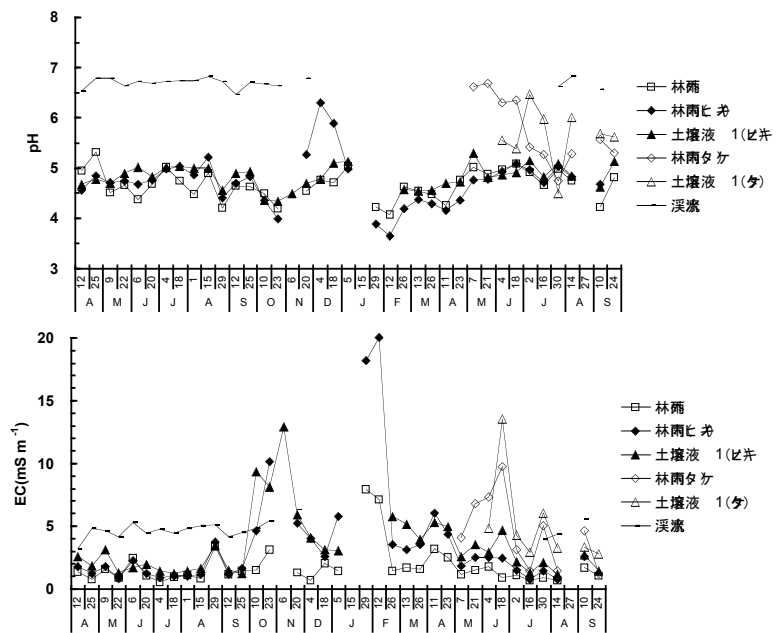


図 3. pH と EC の推移。グラフが途切れているのは, 降水がなかった, あるいは水量が少なく試料が採取できなかったため。

ヒノキ林では、pH は、夏季には、林外雨の方が林内雨と土壤溶液より低いが、冬季から春季には、林外雨の方が高い傾向がみられた。EC は、夏季には試料間にほとんど差がなく、いずれも低い値であったが、冬季から春季にかけては、林内雨と土壤溶液の方が林外雨より高かった。冬季には、降水量が少なく、上述のように北西モンスーンの影響を受けるため、大陸由来の酸性物質を含んだ乾性降水物の樹冠への沈着の影響が強く現れたと考えられる。溶存イオン濃度の推移は、EC と類似しており、おおむね土壤溶液 > 林内雨 > 林外雨の順であった。土壤溶液では、 $K^+$ 、 $Ca^{2+}$  濃度は、調査期間を通じて、土壤溶液 1 > 土壤溶液 2 だったが、その他のイオン種に明瞭な差はみられなかった。また、2006 年の秋季には、林内雨の pH、林内雨と土壤溶液の EC、溶存イオン濃度が非常に高い値となった。特に林内雨の  $K^+$  は、土壤溶液と比べても高い濃度であった。このような現象は、落葉期の葉からの塩基の溶脱が原因であると推察される。

一方、竹林の林内雨、土壤溶液の pH、EC、溶存イオン濃度は、林外雨やヒノキ林の林内雨、土壤溶液に比べて高い値であった。これらは、6 月から 7 月にかけて林内雨の方が土壤溶液より高く、8 月以降は土壤溶液の方が高かった。5 月下旬から 6 月初旬頃、竹の葉が黄化し落葉がみられたことから、ヒノキ林と同様に、葉からの養分の溶脱が原因であると考えられた。また、7 月までに落葉は終わったが、葉が地表面を埋め尽くしていたので、林内雨での増加に続くような形で、土壤溶液で高くなったと推察される。

渓流水は、概して、pH、EC、溶存イオン濃度とも変動は小さく、ヒノキや竹の落葉期を除けば、他の試料に比べて高い値を示した。

図 4 には、林外雨による海塩、非海塩由来の  $Ca^{2+}$ 、 $SO_4^{2-}-S$  の負荷量を示した。台風時の試料では、海塩由来成分の割合が非常に高かった。しかし、台風が高知県に接近した 2006 年 8 月 29 日、9 月 25 日、2007 年 8 月 14 日の試料に比べて、台風が実際に高知県に上陸

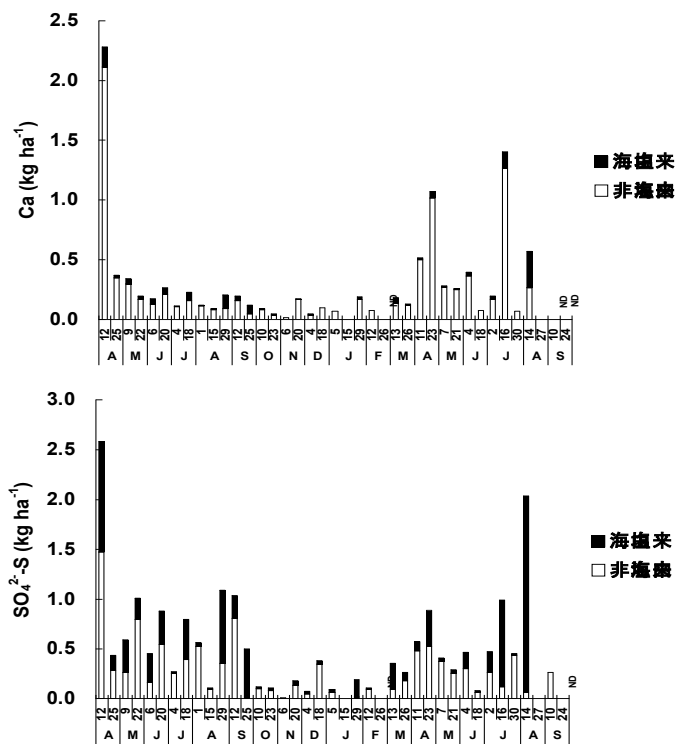


図 4. 林外雨による海塩由来、非海塩由来の  $Ca$ 、 $SO_4^{2-}-S$  の負荷量。ND：分析せず。

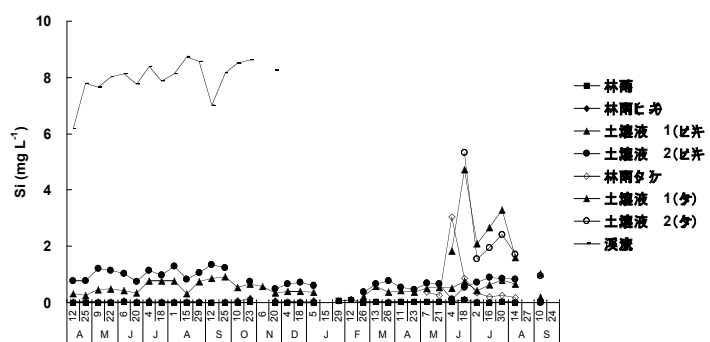


図 5. 溶液中のケイ素濃度。グラフが途切れているのは、降水がなかった、あるいは水量が少なく試料が採取できなかったため。

した 2007 年 7 月 16 日の試料の方が、図に示した  $\text{Ca}^{2+}$  だけでなく、 $\text{K}^+$  や  $\text{Mg}^{2+}$  についても海塩由来成分の割合が低かった。このような結果は、台風接近時には、海水の巻き上げにより海塩由来成分が増加するが、台風上陸時には、付近の土壌までもが巻き上げられ、降水として森林に負荷されていることを示唆している。一方、冬季から春季にかけては、非海塩由来の成分の割合が高いため、大陸由来の物質の寄与が大きいと考えられる。なお、このような季節ごとの傾向とは別に、1 日におよそ 50~100 mm を超えるような降水が記録された時に採取した試料では、海塩の割合が高い傾向がみられた。

最後に、ケイ素濃度の推移を、図 5 に示した。溶存イオン濃度とは異なり、林外雨と渓流水、さらにヒノキ林の林内雨と土壌溶液のケイ素濃度は、比較的一定の値で推移しており、渓流水  $\gg$  土壌溶液 2  $\gg$  土壌溶液 1  $\gg$  林内雨  $\gg$  林外雨の順に濃度は高かった。負荷量としてみた場合、林外雨や林内雨では水量にそれほど依存せず、比較的一定の値であったのに対し、土壌溶液では水量により大きな変動がみられた。このことは、降水が土壌を浸透する際に、何らかの給源からケイ素が一定の速度で負荷されていることを示唆しているため、今後その機構を解明していきたいと考えている。一方、竹林のケイ素濃度は、非常に高い値であり、変動も大きかった。上で述べた pH, EC, 溶存イオン濃度の推移も含めて、このような結果が落葉期のみにもみられる現象なのかどうかは、今後見定める必要がある。

以上のように、ヒノキ林におけるモニタリング結果は、はじめに述べた高知県の地勢・気候的特徴を反映していると考えられる。また、ヒノキ林と竹林を同時に比較することにより、竹林拡大による物質動態への影響をも明らかにできるものと期待している。本研究の目的を達成できるように、今後もモニタリングを継続する予定である。

## 研究業績

### 1) 原著論文

### 2) 著書・総説

田中壮太 2007: 高知県のいの町成山のヒノキ林と竹林における物質動態. 黒潮圏科学, 1(2), 印刷中

### 3) 学会発表

竹中未来, 田中壮太, 岩崎貢三, 木下泉: 有明海の六角川河口と諫早湾における底質土の諸性質, 2007 年度日本土壌肥料学会関西支部講演会, 27, 広島, 2007 年 12 月 7 日

Norhaidi YUNUS, Sota TANAKA, Atsushi TORII, Yoshiyuki INAGAKI, Katsutoshi, SAKURAI: Soil nutrient fluxes in Hinoki (*Chamaecyparis obtuse*) forest in comparison with invaded Bamboo (*Phyllostachys pubescens*) site at Naruyama, Kochi prefecture, Japan, 2007 年度日本土壌肥料学会関西支部講演会, 34, 広島, 2007 年 12 月 7 日

### 4) 報道

### 5) 外部資金

平成 19 年度特別教育研究経費「黒潮流域圏総合科学」の創成 -生物資源再生産機構の解明と環境保全型食糧生産システムの構築-, 代表者深見公雄 分担金 50 万円



## 2 E. 四万十川での河口域の生物生産力の要因へのアプローチ（河口域）（代表者：伊谷 行）

### 目的

四万十川河口干潟には、十脚甲殻類のヨコヤアナジャコ *Upogebia yokoyai* が優占する。本種は干潟に深さ 1 m ほどの Y 字型の巣穴をつくり、密に分布することから、エコシステムエンジニアとして河口生態系に大きな影響を与えていると考えられる。本年度は採餌生態の研究から本種が生態系に与える影響のタイプを推定する。また、本種の巣穴により他の生物の生息場所が創出される。これまで生態の知られていない巣穴共生者の巣穴への依存度を室内実験により推定する。また、視野を河口域から沿岸域に広げ、仁淀川沖の浅海（水深 10 - 30 m）における底生生物群集相の解明に着手する。

(3) 四万十川河口域のベントスの優占種であるヨコヤアナジャコについて、四万十川河口域の個体の胃内容物粒子を測定した結果、典型的な懸濁物食者であることが分かった。巣穴からはセジロムラサキエビが採集されるが、室内実験の結果、本種が積極的にヨコヤアナジャコの巣穴を利用する絶対共生者であることが分かった。仁淀川沖の浅海における貝類群集相を明らかにした。

### 調査期間

2007 年 6 月 2-3 日 四万十川河口干潟（予備調査）

2007 年 8 月 1-2 日 四万十川河口干潟（台風のため実施できず）

2008 年 2 月 22-24 日 四万十川河口干潟（ヨコヤアナジャコの採集）

2008 年 10 月 23-24 日 四万十川河口干潟（ヨコヤアナジャコの巣穴共生者の採集）

### ヨコヤアナジャコの採餌生態

四万十川河口干潟よりヨコヤアナジャコを採集し、胃内容物の無機物粒子サイズを測定した結果、中央粒径の平均値が  $2.61 \mu\text{m}$  であり、海外の甲殻類を対象とした研究例を参照すると、懸濁物食者に当てはまる。また、満ち潮時の干潟の水中懸濁物粒子では、中央粒径の平均値が  $3.44 \mu\text{m}$  であり、また堆積物の粒子サイズはそれらより大きいため、積極的に堆積物食を行っているとは考えられず、ヨコヤアナジャコを典型的な懸濁物食者であると見なすことができる。

懸濁物食者のエコシステムエンジニアとしての効果は、底質の安定化と水質浄化（懸濁粒子の除去）であり、四万十川河口域の生物生産に直接的・間接的に大きく関与しているコアマモに負の影響を与えることはない。一方、スナモグリ科に属するアナジャコ類は、堆積物食を行い、底質の流動化と堆積物の巻き上げにより、アマモ類に負の影響を与えることが知られているが、調査地にはほとんど分布しない。従って、四万十川河口域に分布するコアマモの消長に関して、エコシステムエンジニアであるアナジャコ下目甲殻類による負の影響は、ほとんど考慮しなくて良いこととなる。

### ヨコヤアナジャコの巣穴共生者の生態

四万十川河口域においては、ヨコヤアナジャコの巣穴からはセジロムラサキエビ *Athanas japonicus* とクボミテッポウエビ *Stenolpheops anacanthus* が採集された。クボミテッポウエビはアナジャコ類の巣穴から採集された個体に基づいて新種記載され、巣穴共生者であるこ

とは明らかになっている。一方、セジロムラサキエビは転石下の水たまりに住む種であるとされていて、本種がどれほどアナジャコ類の巣穴に依存しているかどうかは明らかになっていない。

そこで、ヨコヤアナジャコを住ませた人工巣穴（透明なビニールチューブ）と何も入っていない人工巣穴を水槽に1つずつ配置して、セジロムラサキエビに選択させたところ、ヨコヤアナジャコの入った巣穴を選んだ個体が17個体、ヨコヤアナジャコが入っていない巣穴を選んだ個体が0個体となり、有意にヨコヤアナジャコの入った巣穴を選択していた（二項検定,  $p < 0.0001$ ）。単に水たまりとして巣穴を利用するわけではなく、ヨコヤアナジャコの住む巣穴を選択していることから、調査地のセジロムラサキエビの個体群は、ヨコヤアナジャコに依存する絶対共生者であると考えられる。

### 仁淀川河口沖合の貝類相の解明

総合研究センター海洋生物研究教育施設の調査船を用いて、仁淀川河口沖、水深10 m, 20 m, 30 mの海底にてドレッジにより採集した。ドレッジの大きさは幅50 cmであり、500 mを10分間かけて曳いたため、調査面積は250平方メートルとなる。メッシュサイズは4 mmである。採集日は2007年4月26日、5月16日、6月11日、7月18日、8月9日、9月12日である。

39科87種（二枚貝43種、巻貝43種、頭足類1種）が採集された。個体数では、水深20 mのサンプルが多いが、種数では水深30 mのサンプルで最も種の多様性が高い。クラスター解析およびMDSによる多変量解析では、貝類群集は水深により特徴づけられ、季節変化の影響は比較的強くはなかったが、個体数の推移では夏期よりも春期に個体数が多かった。

各水深の底生貝類群集を特徴づける種は、水深10 mでは、ヒメカノコアサリ *Veremolpa micra*, ミゾガイ *Siliqua pulchella*, バカガイ *Mactra chinensis* であり、水深20 mでは、マツヤマワスレ *Callista chinensis* とヒメカノコアサリであり、水深30 mでは、サザナミガイ *Lyonsia ventricosa*, マダラチゴトリガイ *Laevicardium undatopictum*, マツヤマワスレ, マクラガイ *Oliva mustelina* であった。

今後は、優占種の個体群動態に関して、仁淀川沖の地点で明らかにし、さらに物部川と四万十川沖の底生生物群集の比較を行うことによって、河川の生産性、沿岸域プランクトンの生産性と底生生物の生産性の関連性を明らかにしたい。

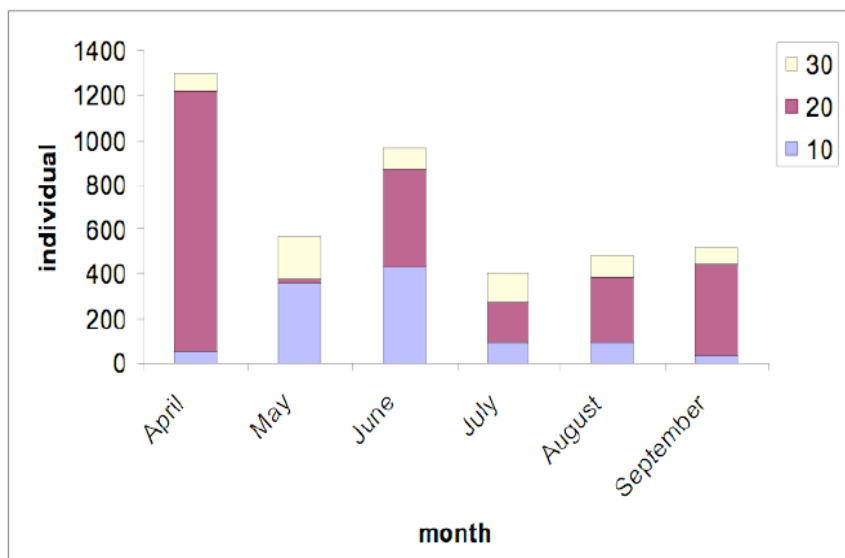


図1 底生貝類の個体数の推移

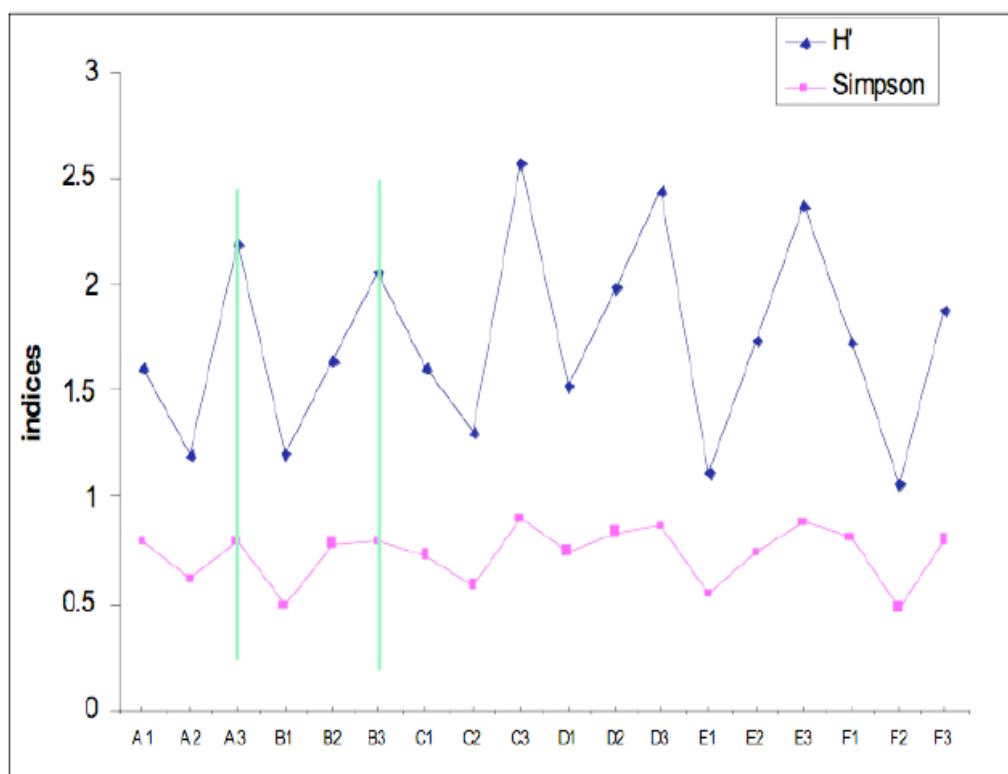


図2 底生貝類の多様度指数の推移

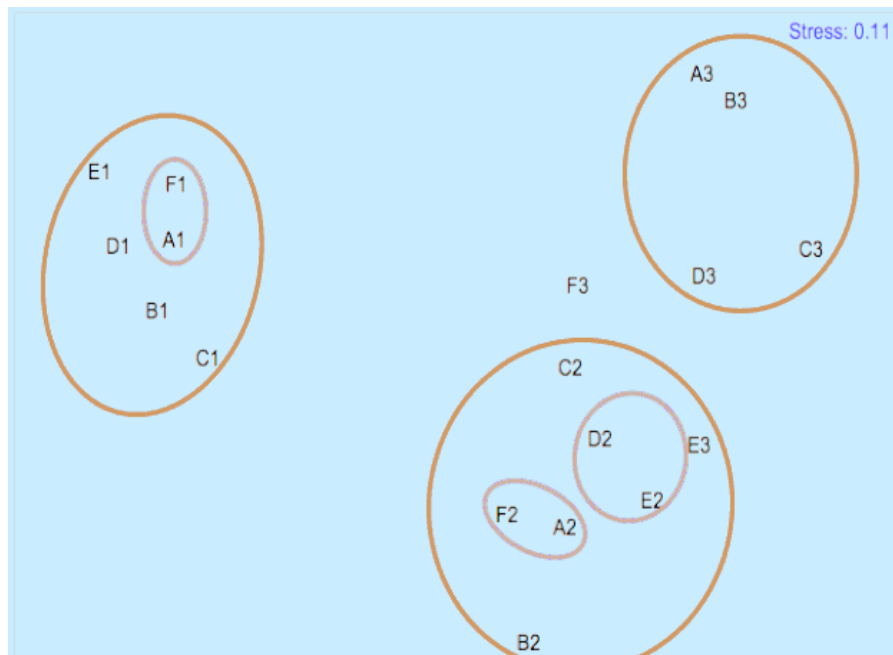


図3 底生貝類群集の多変量解析

## 研究業績

### 1) 原著論文

Nara, M., Akiyama, H. and Itani, G. (2008): Macrosymbiotic association of myid bivalves *Cryptomya* with thalassinidean shrimps: examples from modern and Pleistocene tidal flats of Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, in press.

### 2) 著書・総説

伊谷行(2008): 干潟の巣穴をめぐる様々な共生。「寄生・共生」, 石橋信義・名和行文編, 東海大学出版会, 2008年7月発行予定.

### 3) 学会発表

伊谷行・吉田侑祐. ヨコヤアナジャコに付着共生する二枚貝マゴコロガイの採餌生態. 生物系三学会大会中国四国支部会, 鳥取大学. 2007年5月19-20日.

伊谷行・楳葉顕信. 宿主の脱皮に対する腹部寄生性エビヤドリムシ類の戦略. 日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会, 横浜市立大学. 2007年9月21-24日.

### 4) 報道

### 5) 外部資金

伊谷行(代表)「干潟における巣穴内共生関係の自然史学的研究」 科学研究費補助金若手スタートアップ, 文部科学省, 2006-2007年度, 計249万円.

伊谷行(代表)「干潟の生物多様性と水質浄化機能を理解するweb教材の作成」 クリタ水・環境科学振興財団研究助成金, (財)クリタ水・環境科学振興財団, 2006-2007年度, 計40万円.

伊谷行(分担)「高知市総合調査」, 受託研究, 高知市, 2007年度, 22万円.

## 2 F. 四万十川河口域における河床地形と植生の動態（上流域～河口域）（代表者：石川慎吾）

目的

近年、日本の多くの河川で河床の樹林化の進行が報告されている（清水ほか 2000）。樹林化の進行に伴って起きる現象として、流路が固定することによる深掘れの進行、高水敷の安定化の進行などの河状の変化が関連していることが指摘されている（例えば、Kohri et al. 2002）。このような、河川本来の変動幅から外れた樹林化の進行は、河川固有の景観構造を変化させるとともに、動植物にとっての生息・生育地をも変質させ、河川固有の生態系を消失させていることが指摘されている（辻本 1999）。

四万十川においても、すでに石川（2004）が報告しているように、河口から約 10 ～13 km の区間にある入田地区の右岸河床において、樹林化の進行が著しい。本研究では、四万十川下流域の樹林化の開始時期とその進行過程を明らかにするとともに、それに関わる河状の変化がどのようなものであったかを明らかにすることを目的とした。

(3) 本研究では四万十川下流域の河口から 10.2 ～13.0 km 区間の右岸の砂礫堆を調査対象とした（図 1）。図 1 は 2007 年の植生図であるが、ここには河床横断測量地点と横断面の左岸からの距離を示している。調査対象とした砂礫堆の下流側には瀬が発達し、四万十川では最大のアユの産卵場になっている。瀬の上流側では左岸側に渚が形成され、河床勾配は緩やかである。右岸側の河床には裸地が広く形成されているが、流路から離れた部分の低水敷ではアカメヤナギやオオタチヤナギなどのヤナギ林が長さ約 2 km、幅約 150～200 m にわたって発達している。現在、最も発達したヤナギ林では樹高は 15 m 程度であり、一部にはエノキやムクノキなどが侵入している。高水敷との境界部には水たまりや湿地が形成され、ミズユキノシタ、タコノアシ等の絶滅危惧種が生育している。また、高水敷のマダケ林などを中心にして、絶滅危惧種のマイヅルテンナンショウが 1 万個体以上生育しているのが発見された。我が国最大の個体群を有する本種の自生地として注目を集め、その保全を目的とした NPO も結成されている。

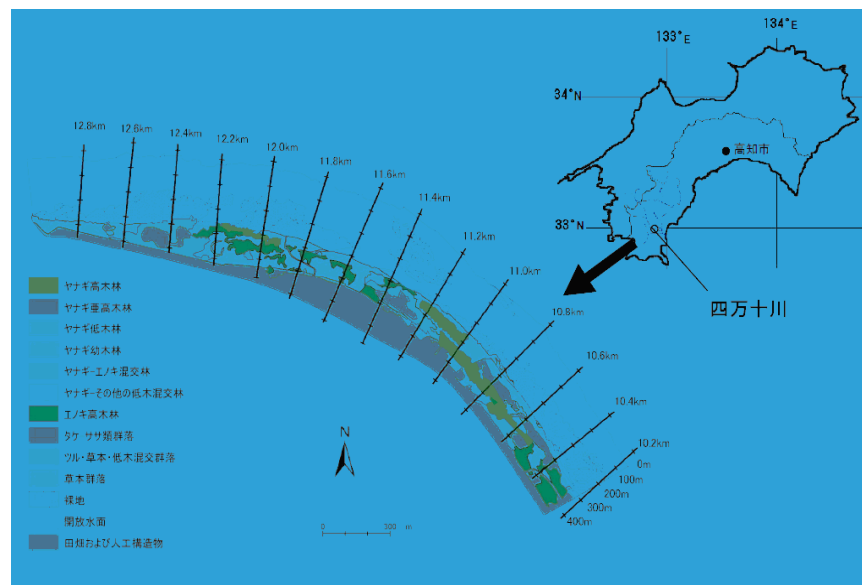
この地域における年平均気温と年平均降水量の平年値（1987～2007 年の 20 年間）は、それぞれ 16.5 °C、

2764 mm である（観測地は N32° 59.4' E132° 55.2' 標高 8m. 気象庁ホームページ <http://www.jma.go.jp/jma/>）。

### 方法

空中写真判読と植生図の作成

過去約 40 年間に



おける河床内の植生変遷を明らかにするため、1966年、1974年、1981年、1987年、1995年、2002年、2005年の空中写真を用いて地被状態の判読を行った。

地被状態を1) ヤナギ高木林、2) ヤナギ亜高木林、3) ヤナギ低木林、4) ヤナギ幼木林、5) ヤナギ-エノキ混交林、6) ヤナギ・その他の混交低木林、7) エノキ高木林、8) タケ-ササ類群落、9) ツル・草本・低木混交群落、10) 草本群落、11) 裸地、12) 開放水面、13) 田畑および人工構造物の13に分類し、相観植生図を作成した。この図をもとにESRI社製Arc GIS 8.2を用いて各群落型の面積を求めた。現地調査をもとに、ヤナギ林を高木林(樹高12m以上)、亜高木林(樹高8~12m)、低木林(4~8m)、幼木林(4m以下)に分類した。2007年の植生図は、2005年の空中写真をもとにして、現地調査で細部を補正しながら作成した。

## 地形的変化と水位変動

### 水位変動

現在のヤナギ林が定着した時期を明らかにするために、国土交通省が具同第二水位・流量観測所および具同水位・流量観測所で連続観測を測定している水位データ(<http://www.river.go.jp>)を用いて、過去約50年間の4~5月の平均水位、年間平均水位、冠水頻度、年間最高水位を求めた。具同第二水位・流量観測所は本調査地の標高とほぼ同じであるので、水位データは補正をせずに使用した。1986年4月以前には具同第二観測所で水位観測が行われていなかったため、具同観測所のデータを使用した。このとき具同第二観測所との具同観測所の水位の差を以下の方法で修正した。まず、1986年から2005年までの具同第二観測所と具同観測所の各月の水位差の平均を求めた。1986年以前の具同観測所の各月の水位にこの水位差を加算し、これを各年各月の具同第二観測所の水位とした。また、具同観測所は汽水域にあり、水位観測値が潮位の影響を受ける可能性があるため、2004年の具同と具同第二観測所の水位データと、気象庁の潮汐・海面水位のデータ(<http://www.jma.go.jp/jp/choi/>)を元にその影響の有無を検証したところ、潮汐の影響は極めてわずかであり、補正の必要はないと判断された。また、調査範囲の最下流部は河口からの距離10.2 kmで、具同第二観測所(約12.5 km)からはやや離れている。河川の縦断勾配による河床高の差を考慮して、以下のような方法で2002年当時の水面の標高を求めた。まず、2002年の空中写真を判読して左岸から水際までの距離を求め、それと同年の横断面図を照合し、水際の標高を読み取った。これによって調査地域の河床勾配の上流から下流への変化を求め、10.2 km から11.4 km の200 m ごとの水位の修正を行った。

### ヤナギの定着年代の推定と河床地形の変化

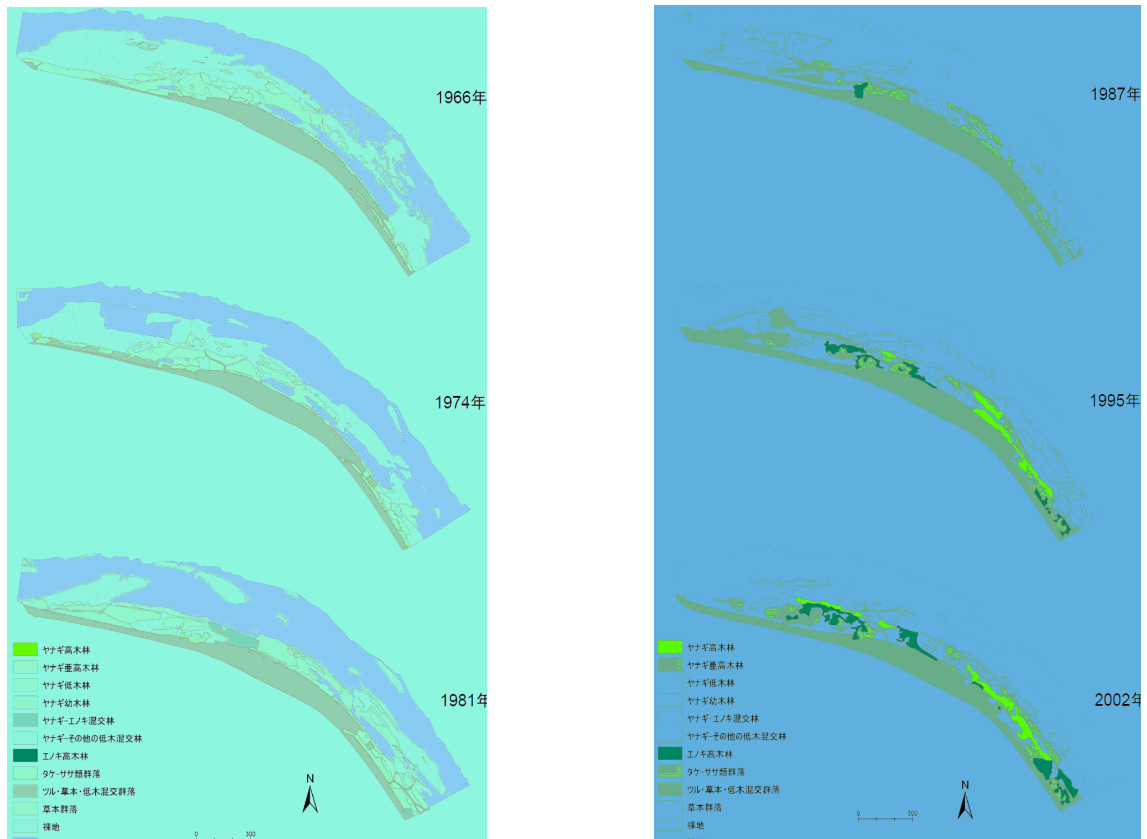
ヤナギ定着時期の水際を次の方法で求めた。ヤナギ類の定着しやすい条件として、年間を通して攪乱が少ないことが必要であるため、まず冠水頻度と最高水位のデータから、年間を通して攪乱が少ない年を選定した。ヤナギの種子散布時期にあたる4~5月の平均水位と調査区間の河床断面図(200 m ごとに測量断面が設置されている)から、平均水位 $\pm 0.5$  m の範囲を抽出し、これをヤナギ類が定着した可能性の高い範囲とした。抽出した年代と最も年代の近い植生図上にヤナギが定着可能であった範囲をオーバーレイした。定着した可能性の高かった年代以降の植生図には、その年代に定着した可能性がある群落を区別して示した。

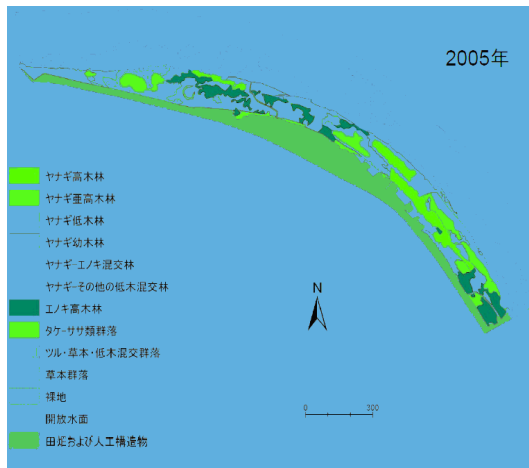
## 結果

### 植生変遷

#### 地被状態の経年変化

図 2-1, 2-2, 2-3 に相観植生図を示す. 以下に述べる位置の記述には河口からの距離を km で, 左岸からの距離を m で記した. 1966 年には調査地中央 (11.2~11.6 km の 300 m, 400 m 付近, および 12.0 km の 450 m 付近, 12.2 km の 300 m 付近) にヤナギ幼木林が成立しているのみで, 大部分は裸地や草本群落であった (図 2-1). 1974 年には 1966 年のヤナギ幼木林の一部が低木林やヤナギ・その他の低木混交林に変遷した. 中央のヤナギ林 (11.0~12.2 km) は流路に平行に下流方向に拡大した. 下流部 (10.4 km の 400 m 付近) でもヤナギの低木林や幼木林が定着した. 1981 年には下流部 (10.2~10.6 km) のヤナギ低木林が拡大し, 1974 年に中央にあった水たまりは消失した. 消失したワンドよりやや上流部 (11.6~11.8 km) ではヤナギ低木林がヤナギ-エノキ混交林に変遷していた. 1987 年には, 10.6 から 11.4 km にかけて, ヤナギ亜高木林が確認された (図 2-2). 11.6 から 12.2 km ではエノキ林やヤナギ-エノキ混交林が拡大した. 12.4 から 13.0 km では 1966 年から 1987 年にかけて草本群落やツル性植物・草本・低木の混交群落の出現と消失が繰り返されており, このような変動は 2007 年まで続いた. 1990 年代になるとヤナギ高木林やエノキ高木林の面積が拡大し, 1995 年には下流部から中流部 (10.2~10.6 km, 11.6 km 付近, 11.8~12.2 km) の広範囲にわたって, 流路から離れた位置でエノキ高木林が増加した. 下流部のヤナギ亜高木林が高木林に発達しており, 場所によっては (10.8~11.2 km) ヤナギ-エノキ混交林も拡大した. 1995 年から 2002 年にかけては特にエノキ高木林の拡大が著しかった.





### 面積変化

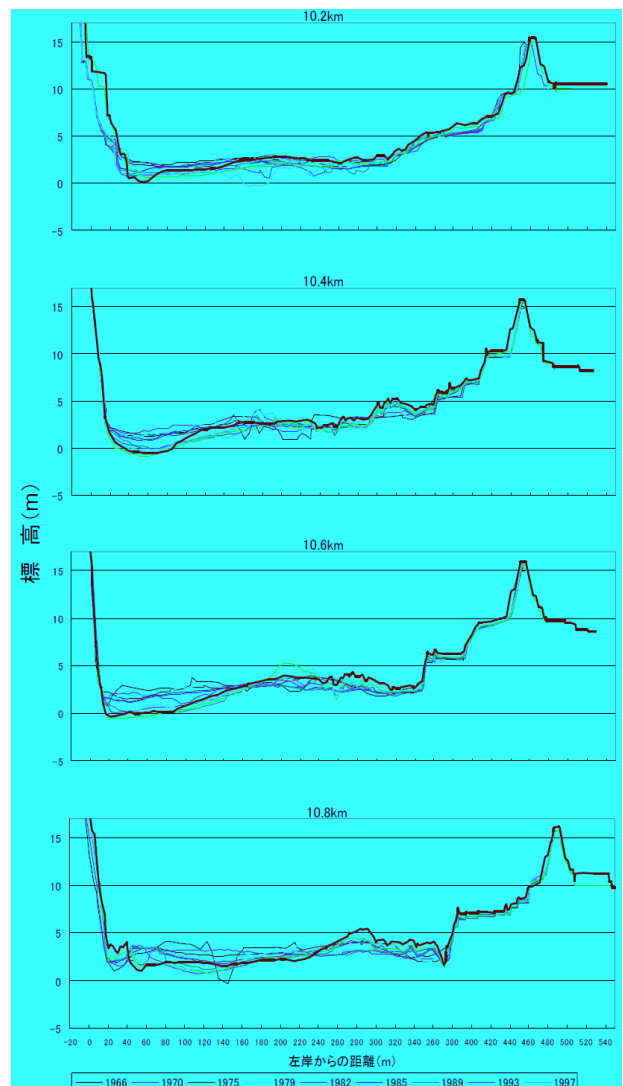
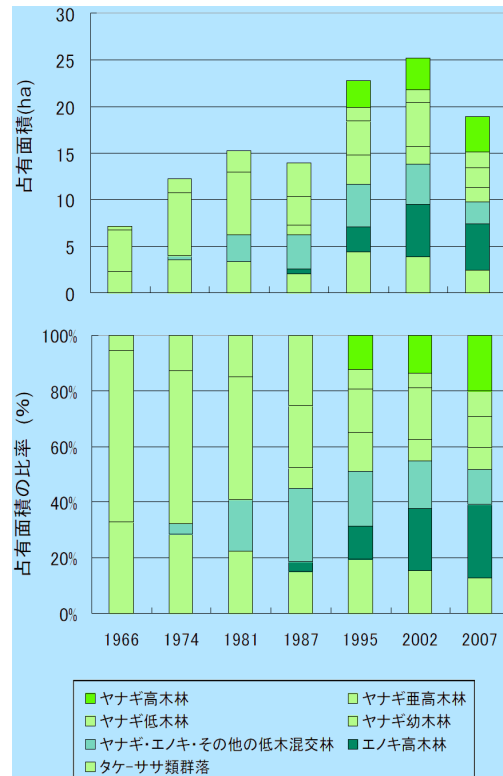
相観植生図から求めた各群落の占有面積変化を図3に示す。なお、空中写真の撮影時期が同じ季節でないこと、一部の空中写真の撮影日時がわからないことから、季節によって大幅に変化する開放水面、裸地、草本群落の面積は図から省き、樹林面積のみの変遷をみるために田畑および人工構造物も省いた。相観植生図では、ヤナギとその他の低木混交林とヤナギ・エノキ混交林を分けたが、図3ではこの2つの群落をまとめてヤナギ・エノキ・その他の低木混交林として扱った。

木本群落の面積は1966年から2002年にかけて一貫して増加傾向を示した。1981年から2002年にかけて高木林と亜高木林の比率が高くなった。逆に低木林と幼木林の面積比率は1987年から1995年にかけて減少傾向を示した。1995年から2002年にかけて亜高木林と高木林の比率はほぼ横ばいであったが、エノキ林の面積は増加していた。2002年から2007年にかけて高木林と亜高木林の面積比率が増加した。

### 四万十川に成立するヤナギ林の定着年代と河川環境との関連性

#### 河床横断地形の変遷

1966年から2005年における河床の地形変動の例として、10.2~10.8km間の河床横断形状を図4に示す。全体に左岸側の流路が低下し、中央部や右岸側の砂礫堆が上昇していること





が見て取れる。左岸側の流路の低下は 10.4 km と 10.6 km で特に著しい。右岸側で特に上昇している場所はヤナギ林が定着した場所と一致する。図には示していないが、上流側の 11.8 ～12.8 km 地点ではこのような河床の比高の増大は明らかでなかった。

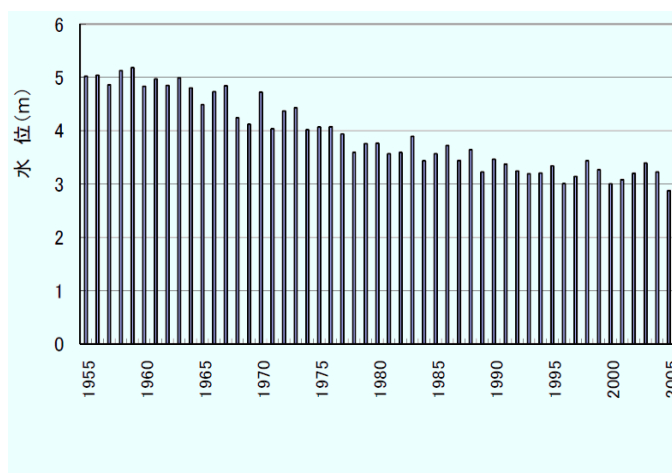
### 水位と冠水頻度

ヤナギは 4 月か 5 月にかけて定着するので、1955～2005 年までの 4～5 月の平均水位を求めた (図 5)。4～5 月の平均水位は年を追うごとに低くなり、1977 年以降はすべての年で平均水位 4 m 以下になった。

各年度の 6 m 以上、7 m 以上の水位を記録した日数を図 6 に示す。1967 年を境にしてそれ以降に水位の高い日数の頻度が低下した。

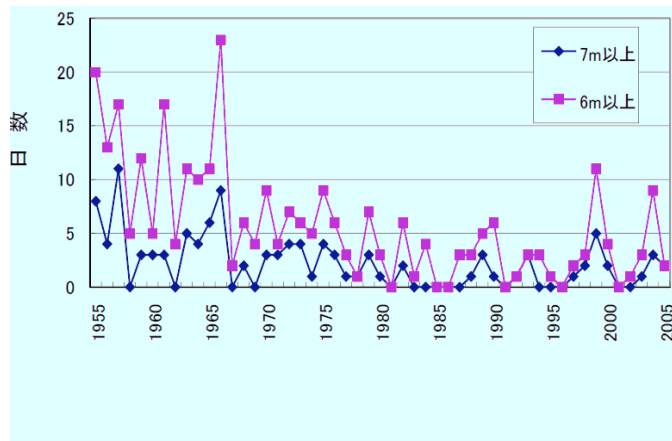
### ヤナギ林の定着年代

ヤナギ林が定着した位置が、その定着年代に実際に定着可能な立地であったのかを確かめた結果の一例を図 7 に示す。10.6 km から 10.8 km 地点のヤナギ低木林、幼木林の成立位置は 1986 年の定着可能位置とよく一致していた。これ以外の場所でも植生の変遷 (図 2) がヤナギ林の定着可能な場所の変化に対応していることが示された。



### ヤナギ林からエノキ林への遷移

ヤナギが定着して成長していく過程で、いくつかの場所でヤナギ-エノキ混交林に変遷していた (図 2)。1966 年に裸地 (11.0 km の 300 m 地点)、草本群落 (11.2 km の 270 m 地点)、解放水面 (11.8 km の 330 m 地点) であった場所が、2002 年にはヤナギ-エノキ混交林に変化している箇所を選び、群落の変化と比高の変化を調べた結果を図 8 に示す。



調査したすべての箇所でヤナギ幼木林からヤナギ低木林、亜高木林、ヤナギ高木林と発達し、2002 年にはすべてヤナギ-エノキ混交林に遷移した。2005 年には 11.0 km、11.2 km 地点は人為的な伐採の影響で草本群落とヤナギ高木林に変化した。11.8 km 330 m 付近ではエノキ純林に遷移していた。いずれの地点においても樹林化の進行に伴って比高が増加し、ヤナギ林からヤナギ-エノキ混交林に遷移していた。

植生調査を行ったヤナギ林とエノキ林の群落高と比高の関係を図 9 に示す。ヤナギ林では群落高が増大するに従って立地の比高も大きくなった。ヤナギ林とエノキ林の立地の比高を比較すると、明らかにエノキ林の立地の方が比高の大きな場所にあることが見て取れ

る。

## 考察

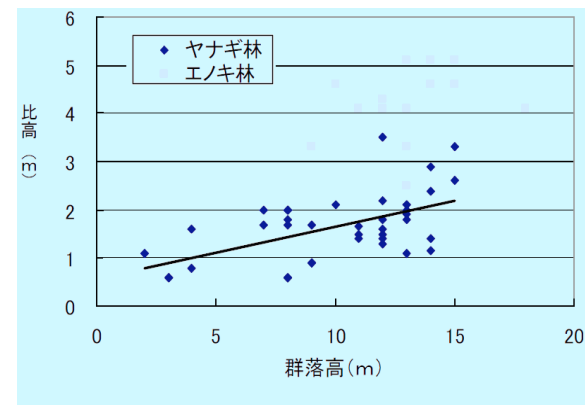
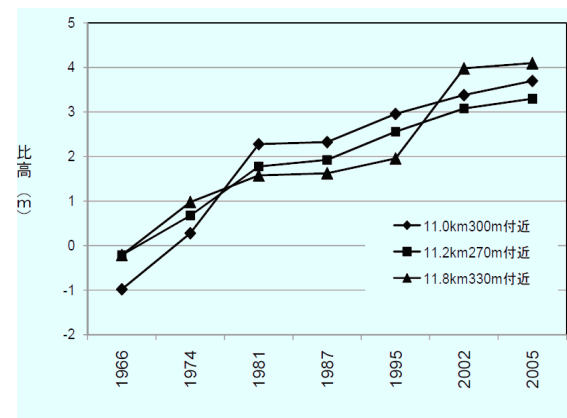
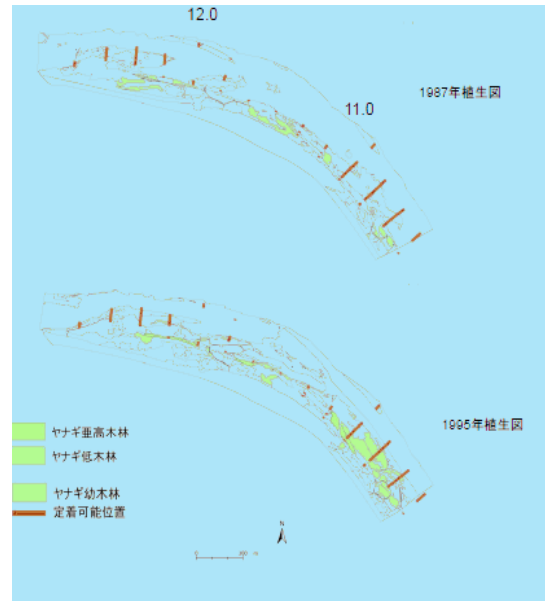
### 樹林化の原因

1980年代以降に樹林化が急激に進行した理由は、1960年代後半から1970年代にかけて定着したヤナギが垂高木林から高木林へ発達したことである。ヤナギ類は4~5月に種子を風散布する。種子は河床の広い範囲に散布されるが、これが発芽し、さらにその実生が生存してゆくためには立地の表層に適度な水分が必要である。ヤナギ類は発芽から2, 3年の個体は小さく、砂礫の移動によって流失してしまうことが多い。しかし、成長に伴って根が良く伸長して流されにくくなり、洪水への耐性を増大させるとともに、増水時に掃流物質を捕捉して立地の比高を増大させる。

つまりヤナギ林が発達したのは、1967年以降のヤナギの定着時期である4~5月の水位が実生の定着に適していたこと、その後の洪水や増水による攪乱頻度の極端な減少が実生の流失頻度を低下させたことが、最大の原因であるといえる。洪水流量は河川生態系の動態と変動を規定する最も主要な要素であり、河川地形の変化を直接的に支配するのは流水と土砂である(山本 2004)。つまり流量の減少と攪乱頻度の低下は礫の動きをおさえ、ヤナギの実生が定着し、成長することを可能にしたと考えられる。1960年代後半からの水位の低下は河床の砂利採取が原因である。高度経済成長(1950年代後半から1970年代前半)をピークとして多量の川砂利の採取が行われ、四万十川においても砂利採取を行っていた1980年まで、水位の低下が確認された。つまり、四万十川下流部における河床の樹林化を招いた大きな原因は人為的な河床の改変であった可能性が高い。

本研究調査地における樹林地の遷移には2タイプが認められた。一つはヤナギが侵入・定着したあと、比高が増大して攪乱頻度が低下し、エノキ林に遷移した林分である。もう一つは高燥立地に侵入したツル性植物やアキニレやアカメガシワなどの低木林を経てエノキ林に変遷した林分がある。後者は人為的な影響が大きい、前者は河川の動的な環境が生み出した河川特有の植生動態であるといえる。

ヤナギ類は流水面からの比高の小さな湿性立地に定着し、その後、群落の発達とともに



洪水時に流送される土砂を捕捉して堆積させるので、群落の成長に伴い、周辺の立地を数メートルも上昇させることが知られている（岡部ほか 1996）。一方、エノキの種子は一次休眠性があり、湿潤状態で保存された場合にのみ休眠が解除されることから、乾燥しやすい河原の裸地や植生の乏しい高燥立地で発芽できる可能性は低い（比嘉ほか 2006）。しかし、ヤナギがすでに林床を被っている立地では、林内の湿潤条件は裸地に比べはるかに良好であるので、エノキの種子はヤナギ林の中で発芽して定着する可能性が高い。さらに、エノキの実生には耐陰性があることが報告されている（達・大沢 1992）ので、ある程度暗くなったヤナギ林内の林床においても成長が可能である。両種が上記のような生態学的特性をもつことが、ヤナギ林からエノキ林への遷移が進行する理由として考えられる。

#### 河床の樹林化がアユの産卵場へ及ぼす影響

樹林化が進行している砂礫堆の直下流には四万十川で最大のアユの産卵場がある。樹林化と連動している河状の変化には、河床の複断面化、すなわち流路の固定と深掘れ、高水敷の比高の増大と安定化が関連している。このうち、流路の固定が瀬の狭小化を招いていることは空中写真からも確認されており、これが結果的にアユの産卵場の減少につながったと考えられる。更に、樹林化によって河床の粗度が上昇し、植物群落の内部には洪水時に細粒な浮流物質や掃流物質の堆積が促進された。ヤナギ林からエノキ林への遷移もこの過程で進行したと考えられたが、細粒物質の堆積は河床の物質の移動にも影響を与えており、アユの産卵場への礫の供給状況にも変化があったことが推察される。上記のような河状の変化はすべて連動しており、四万十川が本来有していた河川特有の生態系をとりもどすためには、河床の複断面化を解消させて本来の動態をとりもどすことが不可欠である。本調査地ではそのような視点を持った自然再生事業が始まっているが、今回の研究で樹林化のプロセスを復元できたことで、自然再生事業を進めていく上で有効な示唆を与えることができると思う。

#### 引用文献

- 比嘉基紀・石川慎吾・三宅尚 2006. 河川砂礫堆上の高燥立地への侵入・定着過程にかかわるアキニレ・エノキ・ムクノキの生態学的特性. 植生学会誌 23:89-103.
- 石川慎吾. 2004. 四万十川下流域の河辺植生. 海洋と生物, 26 : 516-521.
- Kohri, M., Kamada, M., Yuuki, T., Okabe, T. & Nakagoshi, N. (2002) Expansion of *Elaeagnus umbellata* on a gravel bar in the Naka River, Shikoku, Japan. Pl. Sp. Biol., 17:25-36.
- 中村太士 1995. 河畔域における森林と河川の相互作用. 日本生態学会誌, 45:295-300.
- 岡部健士・鎌田磨人・林 雅隆・板東礼子 1996. 砂州上の植生と河状履歴の相互関係. 徳島大学工学部研究報告, 41:25-38.
- 清水義彦・小葉竹重機・岡田理志・新船隆行・岩崎工 2000. 洪水攪乱によるハリエンジュの破壊・再生と河道内樹林化について. 河川技術に関する論文集, 6:59-64.
- 辻本哲郎 1999. 河川の自然復元・目標景観. 応用生態工学, 2:7-14.

### ○課題研究3 「新海洋秩序の形成へ向けた黒潮圏島嶼諸国の統合的資源管理」

当課題研究においては、参画メンバー全員がそれぞれの専門性を活かし、まさしく全員こぞって当該学際的プロジェクトを推進・実施してきている。それゆえ、まず本年度の当課題研究全体の成果の概要を総括的に報告し、それに続いて各メンバーの個別サブ課題の報告を記載する。

#### 1. 研究の目的と背景

##### 1) 研究の目的

多くの人の目につかないまま劣化する一方の藻場を中心とした海洋生態系を、黒潮を共有する日本・台湾・フィリピンと協働しどう保護し保全するかという観点から、沿岸環境問題を考察する。このために、1) 熱帯産に蚕食される高知沿岸の藻場と環状に結ぶ黒潮沿岸の現況を比較精査し、種の同定等を通し環境の変化と再生機能を考察し、2) 異なる社会経済や歴史背景下で、沿岸住民の藻場へ向ける関心、環境変化への認識、保全への取り組み方を比較考察し、それを軸に地域住民の参加行動と一体化した保護のメカニズムを再検討し高知より発信する。

##### 2) 研究の背景に関わる新たな知見

後述するように当課題では過去3年間の成果を踏まえ、平成19年11月下旬に高知大学で、台湾及びフィリピンから共同研究の関係者を招き、日台比の合同ワークショップを開いた。テーマは、「黒潮沿岸域における藻場生態系の動態変化 (Recent Changes in the Seaweed Ecosystem along the Kuroshio Current: Towards Collaborative Rehabilitation of the 'Cradle of Fishes') とし、藻場をめぐる沿岸環境の現況と劣化傾向を強めているその環境の保護へ向けた各国の取り組みの現況と海洋資源の利用秩序について意見を交換した。その報告から、高知の藻場の経年変化について成果の一端を照会する。原口展子・関田諭子両名による本報告は、海洋と生物(Aquabiology 160, Vol. 27-No. 5)内の「土佐湾沿岸における水温上昇と藻場の変化 (Relationship between seaweed beds and seawater temperature in the Tosa Bay)」及び第19回国際海藻シンポジウム(XIXth International Seaweed Symposium)での発表「Distribution changes and growth characteristics in low temperature of two species in Sargassum beds of Kochi prefecture, Japan」に依拠している。

「藻場」(seaweed beds and seagrass beds)は、大型の海草・藻類の群落を指す。主な藻場には、コンブ科 (Eisenia, Ecklonia and Laminaria species) からなる海中林(Kelp forest)とホンダワラ類(Sargassum species)からなるガラモ場、海産顕花植物のアマモ類 (Zostera species)からなるアマモ場(Zostera beds)がある。藻場は、海産動物の成育場、沿岸の一次生産者および沿岸生態系の保全の上で大きな役割を果たしている。

近年、地球温暖化が主な原因と考えられる海水温上昇が進行し、藻場構成種の衰退や変化、すなわち日本列島沿岸部での温帯性種の衰退と熱帯性種の分布拡大が生じている。本

研究では、このような藻場の変化を高知県沿岸のホンダワラ類を例に紹介する。

### 1. 日本沿岸とフィリピン沿岸のホンダワラ類の共通性

ホンダワラ類はフィリピン沿岸にも多く生育しており、28種が報告されている。これらのホンダワラ類はすべて熱帯性であり、そのうちの8種が南西諸島に、4種が高知県沿岸に生育している。このような共通種の出現には黒潮の存在が大きく関係している。黒潮はフィリピンと日本をつなぐ大規模な暖流であり、両沿岸域にはホンダワラ類以外にも共通の海藻・藻類が南西諸島を中心に多く存在する。しかし近年、フィリピンに生育する熱帯性の海藻・藻類が南西諸島以外の日本列島沿岸でも多く見られるようになった。このような現象は、地球温暖化による海水温上昇の影響が大きいと推察されている。

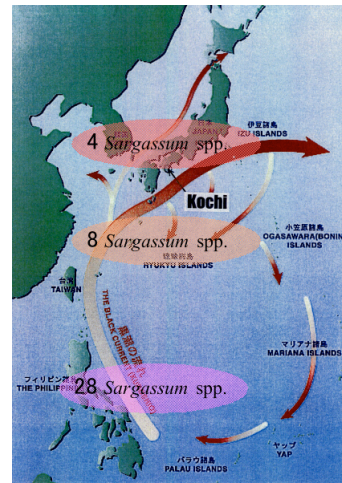


図1 黒潮の流れと熱帯性ホンダワラ類との関係

### 2. 日本のホンダワラ類

ホンダワラ類は褐藻綱(Phaeophyta)、ヒバマタ目(Fucales)に属する大型海藻で、日本沿岸に広く分布している。ホンダワラ類は沿岸岩礁域に「ガラモ場」(Sargassum beds, Garamoba in Japanese)と呼ばれる藻場を形成する。ガラモ場は多種のホンダワラ類で構成されており、一種が衰退しても、他のホンダワラ類が生育することで群落は維持できることから、多様性の高い藻場と言える。また、ホンダワラ類は仮根(holdfast)、茎(stem)、主枝(main branch)、葉(leaf)、気胞(vesicle)から構成され、これらの形態的特徴を基に分類される。

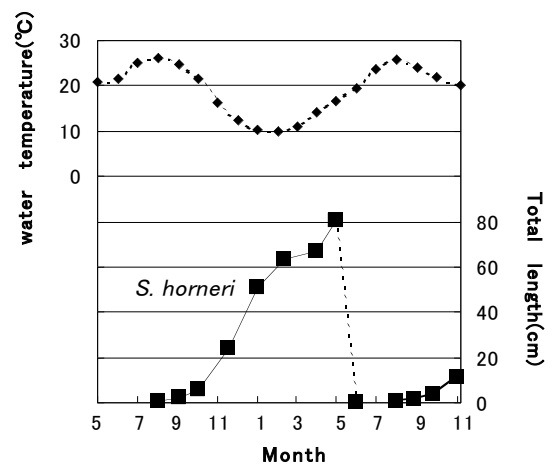


図2 水温の季節変化とアカモクの葉長との関係

日本には60種のホンダワラ類が生育しており、そのほとんどが温帯性種である。日本のホンダワラ類の生長は、水温の季節変化に影響を受ける。アカモク(*S. horneri*)を例に挙げると、25°C以上の夏季の高水温期には生長が緩慢となり、秋季の水温下降期には生長が著しく増加し、10°C前後の冬季の低水温期には再び生長が緩慢となり、春季の水温上昇期には成熟に向かって再び生長する。このように、日本沿岸におけるホンダ

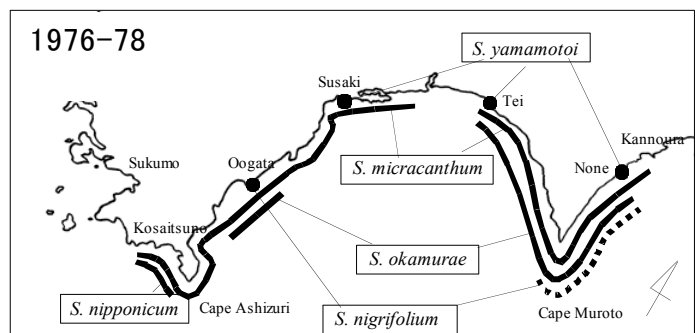


図3 1970年代の高知県沿岸におけるガラモ場の分布状況とその優占種  
 — 密生、..... 点生、□ 温帯性ホンダワラ類

ワラ類の生長の季節変化は水温の季節変化に大きく関係している。

### 3. 高知県沿岸のガラモ場の分布変化

高知県は日本の南西部に位置し、足摺岬と室戸岬からなる半円状の土佐湾を有する。高知県沿岸では、1970年代から1990年代（～現在）にかけてガラモ場の構成種が変化している。つまり、温帯性種が衰退し、熱帯性種に置き換わりつつある。本章では、1970年代、1980年代および1990年代における高知県沿岸の藻場分布の変化を紹介する。

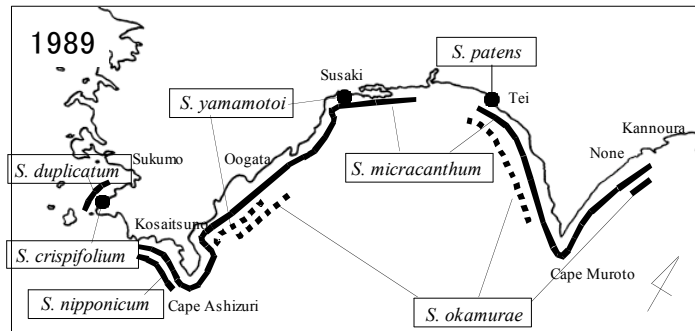


図4 1980年代の高知県沿岸におけるガラモ場の分布状況とその優占種

— 密生, ..... 点生, [---] 温帯性ホンダワラ類, [ ] 熱帯性ホンダワラ類

#### 3.1. 1970年代の高知県沿岸のガラモ場分布

1970年代の高知県沿岸のガラモ場分布は、図3に示した通り、温帯性のホンダワラ類が優占して繁茂していた。特に、トゲモク (*Sargassum micracanthum*), ヒラネジモク (*Sargassum okamurae*)が広く分布していた。

#### 3.2. 1980年代の高知県沿岸のガラモ場分布

1980年代については、土佐湾内では温帯性のホンダワラ類が優占して繁茂していたが、高知県西部海域においては熱帯性のホンダワラ類、フタエモク (*S. duplicatum*), コブクロモク (*S. crispifolium*)が優占し始めるようになった。熱帯性のホンダワラ類が優占するようになった高知県西部海域は、黒潮の影響を強く受ける、高知県沿岸で最も温暖な海域である。

#### 3.3. 1990年代の高知県沿岸のガラモ場分布

1990年代については、明らかな分布変化が認められた。1980年代までは温帯性ホンダワラ類のトゲモクとヒラネジモクが土佐湾内で優占して繁茂していたが、1990年代にはこれらの種の分布が疎らとなった。一方、熱帯性ホンダワラ類のフタエモクの分布範囲が土佐湾内においも拡大した。1990年代以降、フタエモクは高知県沿岸でしばしば見受けられるホンダワラ類となった。

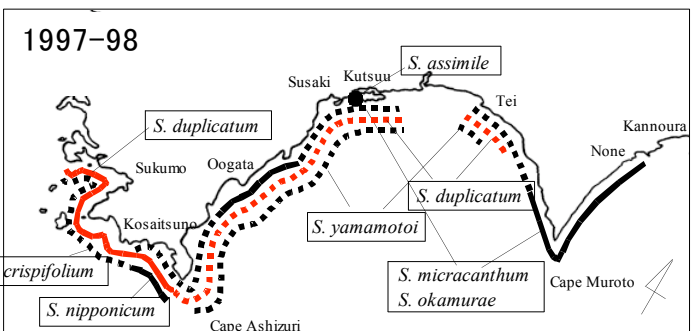


図5 1990年代の高知県沿岸におけるガラモ場の分布状況とその優占種

— 密生, ..... 点生, [---] 温帯性ホンダワラ類, [ ] 熱帯性ホンダワラ類, — 赤線— フタエモクの分布状況

### 4. ホンダワラ類の分布の衰退と拡大の例

#### 4.1. ヒラネジモクの衰退

温帯性ホンダワラ類のヒラネジモクは1980年代まで土佐湾内において優占して繁茂していた種である。右図は土佐湾内の同海域における1985年および2005年のヒラネジモクの分布状況を示した写真である。1985年においてヒラネジモクは大群落を形成していたが、2005年ではその群落はほぼ消失していた。また、2005年の調査では、熱帯性ホンダワラ類のフタエモクの生育が確認された。この結果は一部を示したものであるが、ヒラネジモクの分布が衰退していることが示唆された。

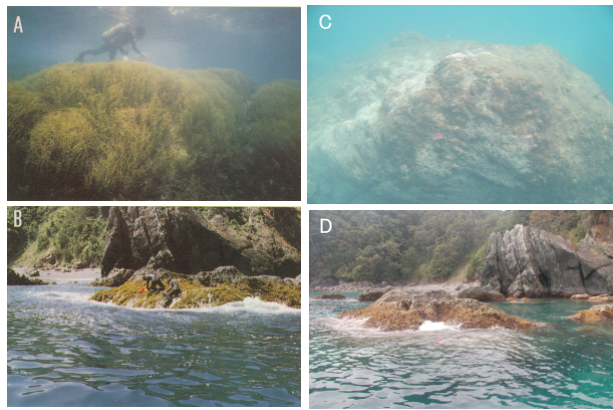


図6 高知県沿岸の同海域におけるヒラネジモクの生育状況  
A,B: 1985年, C,D: 2005年

#### 4.2. フタエモクの分布拡大

フタエモクは高知県沿岸域において1980年代から現在にかけて分布が拡大している熱帯性ホンダワラ類である。右図は、高知県西部同海域、同時期におけるフタエモクの水平分布状況を示したものである。1997年において、フタエモクは大藤島東岸と桐島西岸に点在しているに過ぎなかった。一方、2005年では、その分布が拡大した。フタエモクは大藤島南西岸での新たな生育が確認され、桐島沿岸でもその分布範囲が拡大した。また、2005年には桐島東岸において、フタエモク以外の熱帯性ホンダワラ類、キレバモク (*S. alternato-pinnatum*) およびマジリモク (*S. carpophyllum*) の生育も確認された。1997年と2005年とのホンダワラ類の水平分布調査の比較より、フタエモクおよび他の熱帯性ホンダワラ類の分布が拡大していることが明らかとなった。

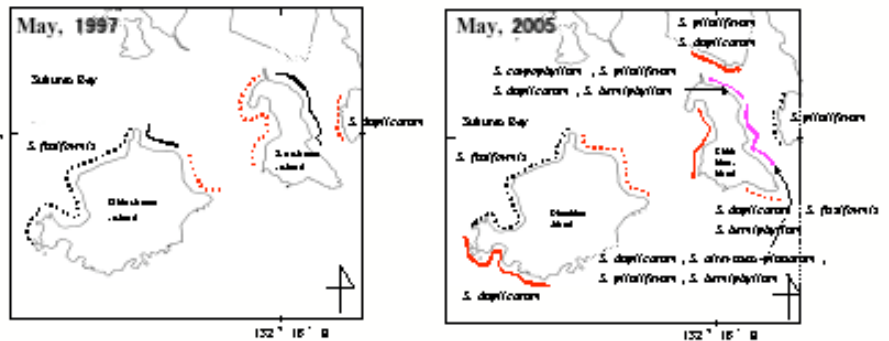


図7 高知県西部同海域・同時期におけるガラモ場の分布とその優占種  
— 密生, ..... 点生,  
— フタエモク, — その他の熱帯性ホンダワラ類

#### 5. 分布変化が生じた要因

##### 5.1. 水温上昇

近年、高知県沿岸では水温上昇が顕著である。右図は1970年代、1980年代および1990年代の水温の季節変化である。1990年代の水温は、1970年代および1980年代に比べて高い値を示している。特に、冬季の水温の上昇が顕著である。冬季の水温上昇は、熱帯性ホンダワラ類の越冬を容易にしたと考えられ、これ

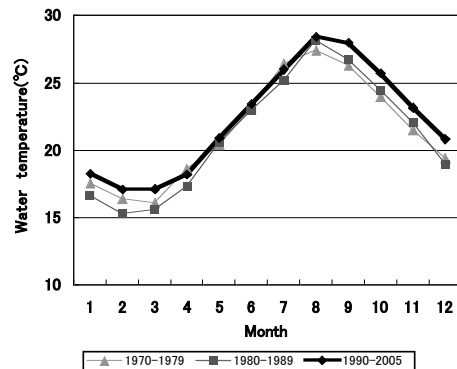


図8 高知県沿岸域の水温の季節変化

が1990年代以降の熱帯性ホンダワラ類の分布拡大につながったと考えられる。低水温下での生育特性に着目した温帯性ホンダワラ類と熱帯性ホンダワラ類の培養実験では、温帯性のホンダワラ類の生長率は10-20℃下でほとんど違いが認められなかったが、熱帯性のホンダワラ類の生長率は10-13℃下で温度の上昇とともに増加し、14℃以上ではほぼ一定となり、その値は温帯性のものより高かった。培養実験結果は、温帯性種と熱帯性種との明らかな温度に対する生育特性の違いを示すものであった。これはホンダワラの分布を規制する要因として温度が大きく関係していることを示唆しており、水温上昇の進行は、藻場の構成種の変化、すなわち温帯性種の衰退と熱帯性種の分布の拡大を加速させると考えられる。

## 5.2. 磯焼け (Barren ground)

1990年代以降、高知県沿岸ではウニ類による磯焼け現象が拡大している。磯焼けとは、浅海の岩礁・転石域において海藻群落が著しく衰退もしくは消失して貧植生状態になる現象を指す。磯焼けの拡大は、水産資源の減少も招き沿岸漁業に大きな影響を与える。既存の温帯性ホンダワラ類の衰退は、磯焼けの拡大も原因のひとつと考えられる。その一方、新規に加入してきた熱帯性ホンダワラ類に視点を当てて考えると、熱帯性ホンダワラ類が生育できる基盤が増加し、そのことでより定着しやすくなったのではないかと推察できる。しかし、磯焼けと熱帯性ホンダワラ類の分布拡大との因果関係を明らかにすることができておらず、今後も調査研究をしていく必要がある。

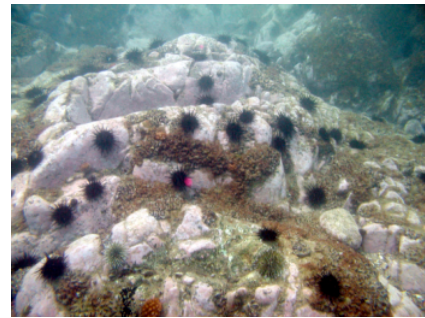


図9 磯焼けの起きている海域

## 小 括

藻場は、沿岸の生態系を支える海の森林とも言うべきかけがえのない重要な役割を果たしてきた。これは日本沿岸だけでなく、フィリピン、台湾においても同様である。言うまでもなく、海草・藻場の分布は、海を通してつながっている。特に黒潮は日本列島と台湾、フィリピン海域を貫流する大河の如き潮の流れであり、我々は太古の昔からさまざま形でその恩恵を受けてきた。近年の地球温暖化現象は、この黒潮の営為にかつてない変化をもたらしている。この論考では、日本沿岸でも熱帯性の海草・藻類が多く見られるようになった現況をとりあげた。この変化は、黒潮の縁辺に位置する高知県の沿岸で1990年代以降に顕在化し、近年は、藻場の構成種の変化と軌を一にするかのような磯焼けの拡がりも指摘されている。いま黒潮の縁辺で起きている藻場を中心とする劇的な変化の実態を的確に把握し、その背景や因果関係を追求することは、筆者らにとって重要な課題だと受け止めている。そのためにも黒潮の大河で日本列島とつながっている台湾やフィリピンの海草・藻類の生態を調べていくことは、今後の日本沿岸に対する影響を評価する上で大切である。今後も台湾、フィリピンの研究者とも連携を深めつつ、広範な視点から調査を続けていきたい。



## 2. これまでの経緯と平成19年度の成果概要

### 1) これまでの経緯と調査研究の位置づけ

本研究では、高知と黒潮で結ぶ諸国と協働し、フィリピンにおけるMPA内の藻場に限定したのではあるが、1)自然科学の見地からその現況と差異を上述の問題意識で比較調分析する生態環境の観察調査と、2)現地の住民の保護区への働きかけについて社会科学の方法による調査を継続している。その理系・社系両者の結果を融合的に検討し、環黒潮環境の適切な保護対策への基礎情報と再生・回復への道筋を、具体的に調査地を定め、当該国の関係大学と協定を締結し進めてきた。

本課題は、現在進行中の「中期計画」（平成16～21年度）に沿って推進中である。全6年を前期（平成16～18年度）と後期（平成19～21年度）に2区分し、前期では研究推進の基盤を固め、後期では黒潮圏3国の沿岸調査に基づく学術情報の比較考察に当てる。平成19年度は後期の初年度であるので、高知及びフィリピンでの調査を継続しつつ、これまで遅滞していた台湾に重点を移すこととし、現地の国立中山大学と連携し共同研究を実施した。

### 2) 平成19年度の成果概要

高知大学部局横断プロジェクト研究：年度計画実施経費「新海洋」と、文部科学省科学研究費補助金（基盤研究B：平成17～19年度）「黒潮圏島嶼沿岸域の藻場の消長と人為的インパクトの社会制御」（代表者：諸岡慶昇）及び同補助金（基盤研究B：平成19～21年度）「黒潮沿岸における海中林保全メカニズムの再検討：保護区の再生機能と住民の協働」（代表者：奥田一雄：平成19～21年度）を一体的に充当し、下記の計画を実施した。

#### (1) フィリピン及び台湾調査

高知での年間を通じた調査に加え、平成19年度は前年度に続き以下の班編成で7調査を実施した。

##### ①第6次フィリピン調査

平成19年8月5～13日にかけて社系チーム（3名：諸岡・新保・タナンゴナン）及び魚類生態チーム（2名：山岡・小栗）で南部ルソン調査地の夏期調査を行った。

##### ②第7次フィリピン調査

平成19年8月15～31日にかけて藻場生態チーム（2名：奥田・関田）と学生（アレックス・木原・）で南部ルソン調査地の夏期調査を行った。

##### ③第8次フィリピン調査

平成19年8月15～31日にかけて社系チーム（2名：諸岡・合崎）で北部ルソン調査地の夏期調査を行った。

##### ④第3次台湾調査

平成19年9月13～18日にかけてチーム編成（5名：諸岡・奥田・峯・新保・黄）で台湾の緑島調査を行った。

##### ⑤第9次フィリピン調査

平成19年9月25～10月8日にかけてチーム編成（2名：諸岡・富永）と学生（3名：

長野・千葉・酒井) で南部ルソン調査地の夏期調査を行った。

⑥第10次フィリピン調査

平成20年2月11～25日にかけて社系チーム(4名: 諸岡・新保) と学生(チェリル) で南部・北部両ルソン調査地の春期調査を行った。

⑦第11次フィリピン調査

平成20年3月3～12日にかけて藻場生態チーム(3名: 奥田・関田・石川) で北部ルソン調査地の春期調査を行った。

## (2) 日台比合同ワークショップの開催

「新海洋」プロジェクトに着手後4年めに当たるところから、中間評価と今後の計画を策定するため、日台比3国の合同ワークショップを、高知大学メディアの森ホールで平成19年11月21～23日にかけて開催した。同ワークショップの統一テーマは、「Recent Changes in the Seaweed Ecosystem along the Kuroshio Current - Towards Collaborative Rehabilitation of the ‘Cradle of Fishes’ -」とし、解題と10課題報告を受け、総合討論と現地視察(黒潮実感センター)を行った。台湾から2名、フィリピンから8名を招聘し、高知大学の関係者を含め45名が出席した。ワークショップの全容は、プロシーディングスとして刊行する(印刷中)。

## (3) 国際交流協定の協議及び締結

以下の3ケースを対象に協議及び締結を行った。

- ①前年度に行った国立中山大学(台湾)と大学間協定の協議を締結した(平成19年5月14日)。
- ②農業省漁業・水産資源局と部局間協定を締結した(平成19年8月24日)。
- ③ハバナ大学(キューバ)と部局間協定を締結した(平成20年3月24日)。

## (4) 人材育成及び連携強化関連の招聘

A: 黒潮圏研究の連携強化のために下記の8名を招聘した。

- ①V. ソリマン(ビコール大学助教授)  
文科省海外ロンパク制度合格。次年度より受け入れ。
- ②A. カマヤ(ビコール大学修士1年)  
日本学生支援機構: 特別聴講生(5月～3月)
- ③W. カンポス(フィリピン大学ビサヤ校助教授)
- ④H. モック(台湾: 国立中山大学海洋研究所教授)
- ⑤T. リー(同上)
- ⑥R. ブラデシナ(パルティド州立大学社会経済学部助教授)
- ⑦A. エンカルナシオン(農業省漁業・水産資源局研究員: 現東京海洋大学)
- ⑧S. ジェガシーサン(ムダ農業開発公団顧問)

B: 国際感覚醸成のため下記の3名の学生を海外調査(フィリピン)に参加させ、3名

の学部学生に見聞を広げる機会を与えた。

- ①小栗 聡介（農学部栽培漁業学科4年）
- ②木原 智香（同上）
- ③永野 一郎（当科大学院生博士2年）
- ④当課題とは直結しないが、協定締結に伴い中野恵理（人文学部国際コミュニケーション学科3年）のフィリピン大学経済学部留学[私費]、及び千葉慶一郎・酒井洵子（人文学部社会経済学科3年）が調査に同行した。

#### (6) 現地セミナーの開催

- ①台湾：国立中山大学（「黒潮沿岸域の藻場（諸岡・奥田・峯・新保）」（9月14日）
- ②ビコール大学（「免疫における分子認識と海洋生物資源による免疫反応の調整（富永）」（9月27日）

### 3. 各小課題の研究概要

#### 3 A. 黒潮圏諸国における海洋社会経済システムの国際比較（代表者：諸岡慶昇）

##### (1) 目的

黒潮沿岸の藻場を中心とした沿岸生態系の劣化に強く影響している人為的インパクトに対し、現地で取られている海洋保護区（Marine Protected Area:MPA）近在の事例調査を通し、越境し波及する環境問題に対処する方途を考察する。その解析結果に基づいて、秩序ある持続的資源管理へ向けた新たな海洋政策に学術的知見を提示する。

##### (2) 研究成果の概要

日本・台湾・フィリピンの関係者を招き、高知大学で開催したワークショップの検討結果と今後の共同研究の展開方向は以下のようである。

#### Summary Report on the Joint Kuroshio Workshop

21-23 November, 2007

#### Introduction

At the initiative of the Graduate School of Kuroshio Science the first multi-country workshop on various aspects relating to and affecting the Kuroshio Current and the regions it transverses was held at the Asakura Campus of Kochi University from 21 to 22 November, 2007.

In recent years there has been increasing concern over the impact of internal factors, typically a result of human intervention and activity in both the sea and land and external factors, such as climatic change and global warming, impacting on the ecological health of the marine environment of the Kuroshio Current. A growing body of research evidence suggests a continuing deterioration of this delicate

ecosystem which will eventually adversely affect the economic and physical well being of coastal communities, particularly those dependent on the resources of the marine environment.

The three countries involved were Japan, Taiwan and the Philippines, a part of all of which directly border along the flow of the Kuroshio. These three countries represent the temperate, sub-tropical and tropical zones of the Kuroshio respectively. This first step towards establishing research collaboration by way of convening the Workshop is in recognition that in order to be effective strategies for rehabilitation and conservation must transcend national borders.

The primary content of the Workshop was the presentation of a number of technical papers and consequent discussions on various aspects relating to situational conditions and changes in the marine ecosystem in the regions affected by the Kuroshio. The underlying theme and purpose was to lay the foundations for a multi-country research collaboration effort aimed towards providing scientific information necessary for policies and strategies required for the protection, rehabilitation and conservation of the marine ecosystem in the whole Kuroshio region.

## **2. Significance of the Kuroshio Current**

Of the three countries bordering the Kuroshio it is without question that its historic, cultural, physical and socio-economic significance is greatest in Japan. Its seaweed beds constitute important breeding and nursery grounds for fish making it being referred to as the "Cradle of Fishes". Its flow transports with it rich marine resources which have been referred to as the "blessings of the Kuroshio" which have historically been the basis of the economy of the coastal communities especially in the southern parts of Japan. Awareness of the Kuroshio in Japan stretches back many centuries and in some regions such as Kochi Prefecture is believed to have influenced the economy, lifestyles, foods and culture of the local people besides also having an effect on the natural environment. Consequently, we find that there exists a great appreciation and awareness of the need to conserve and sustain this important economic and historical resource and heritage. This has logically led to a large and growing body of scientific research over a long period and culminating recently, in 1984, with the establishment of a dedicated multi-disciplinary Faculty of Kuroshio Science at Kochi University.

'Kuroshio awareness' is somewhat less significant in Taiwan as compared to Japan owing possibly to a relatively more recent history of development and a comparatively shorter tradition of research institutions. However, realization of its importance as an economic resource and a source of both marine produce and recreational activity with much economic spin-offs has been on the rise in recent years. Consequently there is also already a considerable body of advanced research

output and growing interest in scientific research in various aspects of the marine sciences in the Kuroshio current. This favourable situation, even if not as extensive as in Japanese research institutions, is well advanced and forms a good base for research collaboration.

The situation is rather different in the Philippines. Although the eastern seaboard of the Philippines is the source of the Kuroshio, being the area in which the upwelling of the current occurs, it in itself bears no significant or special meaning to the region or the coastal communities. Technically it is considered as little more than an offshoot of the North Equatorial Current. Exploitation of marine resources in this region of the Philippines constitutes a vital and important source of the livelihood of coastal communities but compared to Japan and Taiwan the most distinguishing feature would be the greatly different socio-economic status of the coastal communities with low levels of income, an essentially subsistence based economy and poor physical and social infrastructure. As a result the issues arising concerning the interaction of man and the marine environment are rather more basic and deal much with the day to day livelihood issues of the people. Consequently, research undertaken locally thus far relates more directly to such issues.

## **2. Overview of the Workshop**

Ten technical papers were presented on the first day of the Workshop and covered a very diverse range of topics as can be seen from the list of presented papers. When viewed as a whole the diversity of topics presented in these papers indicate the very great complexity of issues in technical and socio-economic dimensions that face the regions of the Kuroshio. Further, the topics covered by the papers presented show that the nature of issues concerning developments in the Kuroshio vary considerably from country to country. Japan lies at one end of this spectrum with Taiwan closely placed, whereas issues of present concern in the Philippines are rather different and would place it at the other. This is largely a consequence of the different status and level of the socio-economic conditions in the countries involved as well as those of their coastal communities in regions adjacent to the Kuroshio. As a consequence also, the status and scope of research activities and outputs relating to the Kuroshio region in Japan and Taiwan are considerably well advanced both in scope and depth. This contrasts with the Phillipines where the current research status appears to be more basic and comparatively broad in the coverage of issues.

The Workshop was convened with very specific objectives and expected outputs as follows:

- i. to understand the present status of the seaweed ecosystem;
- ii. to identify the problems and constraints; and
- iii. to identify priority collaborative study areas aimed at providing

recommendations and

strategies for seaweed-based ecosystem rehabilitation and protection.

However, given the constraints of time as well as the range of topics that could be reasonably covered in a workshop such as this it has to be recognized that the actual attainment of the objectives in (i) to (iii) above could only be partially met. It appears that the real achievement of the Workshop in this initial stage of joint multi-country discussion was in creating an awareness that:

- i. the rehabilitation and conservation of the marine ecosystem of the Kuroshio will be to the mutual benefit of all three countries along its flow;
- ii. inter-country collaboration in a program of scientific research will yield valuable scientific data required for formulating rehabilitation and conservation strategies; and,
- iii. the sustainability of the marine ecosystem of the Kuroshio will ultimately depend on how all three countries concerned, given different institutional and resource conditions, can effectively address both country specific issues affecting the health of the marine ecosystem within national boundaries as well as collaborate on matters requiring joint action on a trans-national level.

### **3. Summary of Discussions**

The detailed record of discussions undertaken after the presentation of the ten scientific papers is provided at a later section of these Proceedings. The following is a concise summary of the major topics and issues discussed based on the detailed discussions:

#### i. Deterioration of the Marine Environment with special reference to seaweed beds

Deterioration of the marine environment along the Kuroshio have been observed in all three countries. This could be a consequence of internal factors, i. e., a result of human intervention and activities, and external factors such as climate change and global warming. It is presumed in the context of this Workshop that remedial and rehabilitation efforts can only be implemented for internal factors.

A common phenomenon in all three countries is the increase of barren areas devoid of marine flora, in particular seaweed and seagrass beds. In Japan this is referred to as *isoyake* wherein seaweed beds no longer grow resulting in areas of barren rock. The term 'beach scorch' is also commonly applied. This is of major concern in all three countries as these seaweed beds constitute the breeding and nursery grounds for fish and other marine fauna, and continued destruction would have serious consequences.

The causes of the *isoyake* or beach scorch phenomenon have not been fully researched but are believed to be very varied based on early observations. Among the factors suggested are:

- ◆ Grazing by sea-urchins and other seaweed feeding marine fauna. In addition, species of tropical marine fauna including herbivorous weed feeders not previously recorded have been found in temperate areas and this could be a result of rising ocean temperatures from global warming. However, high ocean temperatures cannot explain the *isoyake* phenomenon in the Philippines owing to previously existing high temperature conditions there.
- ◆ Eutrophication caused by human activities may be one factor contributory to the decline and loss of seaweed beds. However, its level and significance needs to be clarified by research as in many conditions eutrophic seawater can be favourable to the growth of seaweeds owing to the presence of dissolved nutrients. It may be simplistic to suggest a direct relationship between eutrophication and loss of seaweed beds.
- ◆ A clearer relationship between human activities on land and their negative impact on seaweed beds can be assumed for all three countries. In particular is the effect of soil runoff into the sea resulting from land based activities. Deforestation and land clearing in the hinterland as well as coastal dredging of rivers for sand construction material was noted to be an especially important factor in the Philippines. In all three countries coastal reclamation work and the spread of urban and industrial development into coastal zones have been observed to decrease the transparency of seawater. This results in reduced photosynthetic efficiency which adversely affects weed growth.
- ◆ Over exploitation of many types of marine fauna and flora by coastal fisher communities for livelihood purposes can be considered contributory in the Philippines.
- ◆ The impact of increasing tourism related activities in the marine areas on the health and sustainability of the overall marine ecosystem, including seaweed beds needs to be better researched. This is particularly so in the case of Japan and Taiwan where recreational use of the ocean for diving and leisure is rapidly increasing and believed to be exerting pressure on the marine environment.
- ◆ In Taiwan typhoons have been observed to be causing damage to seaweed beds as the course of the Kuroshio lies directly in the path of typhoons. Increasing severity of typhoons possibly as a result of climate change is also noted.

## ii. Marine Protected Areas in Relation to Conservation and Rehabilitation

Increasing pressure on the use of the marine environment and exploitation of marine resources is common to all three countries. There have been instituted a

number of approaches and initiatives towards the protection and conservation of marine environments through establishing Marine Protected Areas (MPAs), national and local marine parks as well as special conservation areas. The organization and institutional structure of these vary from country to country.

- ◆ In Japan and Taiwan, in addition to commercial fishing, there is increasing demand for recreational use such as ecotourism and diving which pits the interest of local fishermen against tourists and local businesses dependent on tourist patronage. Japan has a well developed network of national and semi-national marine parks with rules governing their use. In addition there are examples of initiatives undertaken by local fishermen's associations to regulate tourism activities which can be a viable model of a type of MPA to accommodate the different interests of fishermen and tourists such as that in Kashiwa-jima in Japan. In addition, in some areas of Japan fishermen's associations are active in working to rehabilitate seaweed beds. In Taiwan, MPAs are seen to be a government responsibility to fund and manage with little voluntary participation from local fishermen's associations. This approach has also been shown to be effective as demonstrated by the experience of Green Island.
- ◆ The Philippines has a large number of MPAs of various types of organization. Some are established by local governments, others by concerned NGOs and still others by local universities as a component in research projects. For the majority, the concern in the Philippines is protection from over exploitation of fishery resources and destructive fishing methods. The effectiveness of these MPAs has not been well studied and often adequate resources for proper monitoring and enforcement of regulations may be lacking.
- ◆ The effectiveness of MPAs and marine parks as part of a strategy for conservation and rehabilitation may be different according to country. Both Japan and Taiwan, besides having higher levels of income and socio-economic development, also have well developed institutional frameworks in place to support efforts at conservation. The situation is much less favorable in the Philippines.

### iii. Initiation of Joint Studies and Inter-Country Collaboration

As a starting point for joint studies and inter-country collaboration towards rehabilitation, conservation and better marine environmental management in all of the regions bordering on the Kuroshio Current it was unanimously agreed that the topic of seaweed and seagrass beds be adopted first. This in view of the fact that deterioration of seaweed and seagrass beds is a problem common to all three countries. With this agreement the following additional points were noted:



- ◆ The key persons to initiate this first phase of studies were selected as follows:
  - a. Professor Hin-Kiu Mok, National Sun Yat Sen University, Taiwan.
  - b. Dr. Kazuo Okada, GSKS, Kochi University, Japan.
  - c. Dr. Victor S. Soliman, Bicol University, Philippines.
- ◆ The actual research topic relating to seaweed beds would be developed by the above three key person through joint consultation. It is also desirable that as far as possible common research methodologies be adopted by all researchers.
- ◆ The existing organisational framework for joint studies is considered adequate for future collaborative work. Kochi University has concluded agreements with the relevant Philippine universities and state organizations which permit short-term assignments of Japanese scientists and students to undertake research with Phillipine counterparts. No formal agreements to support the collaboration are required in the case of collaboration with the National Sun Yat Sen University, Taiwan.

#### iv. Workshop in 2008

A periodic evaluation mechanism to allow the presentation and discussion of on-going research needs to be put in place. For a start, an annual Workshop could be such a mechanism. The kind offer to host the next Workshop at State Zhongshan University I Taiwan was well received by the Workshop participants.

上記がワークショップの総括サマリーである。1) 越境して波及する藻場を中心とした沿岸環境の劣化に協働し対策を講じるために共同研究を連携し進めること、2) それぞれの国や機関で収集蓄積されている学術情報の交換を通しノウハウを分かち合うこと、3) 沿岸環境を保護するために実施に移されている海洋保護区 (Marine Protected Area:MPA) を事例に、海洋生態の観察と周縁漁村の調査を進め、今後の展開課題を考察すること、4) 平成 20 年 12 月に、第 2 回のワークショップを台湾の国立中山大学 (高雄市) で開催することの合意を得た。

#### (1) 学術論文

(査読有り)

1. Casiwan, C. B. and Y. Morooka (2007) Can the use of hybrid rice improve farmers' yield and income in the Philippines? Japanese Journal of Farm Management, 45-1, 94-98.
2. Tanaka, S., M.E.B. Wasli, L. Seman, A. Jee, J. J. Kendawang, K. Sakurai and Y. Morooka (2007) Ecological study on site selection for shifting cultivation by the Iban of Sarawak, Malaysia: A case study in the Mujong River area, Tropics, 16-4, The Japan Society of Tropical Ecology, 357-371.

3. Tanaka, S., M.E.B. Wasli, T. Kotegawa, L. Seman, A. Jee, J. J. Kendawang, K. Sakurai and Y. Morooka (2007) Soil properties of secondary forests under shifting cultivation by the Iban of Sarawak, Malaysia in relation to vegetation condition, *Tropics*, 16-4, The Japan Society of Tropical Ecology, 385-398.

(査読無し)

4. Wilder, M. N., N. T. Phuong, T. N. Hai, T. T. T. Hien, T. V. Bui, D. T. T. Huong, V. N. Son, Y. Morooka and Y. Fukuda (2007') Development, dissemination and evaluation of freshwater prawn seed production and culture technology in the Mekong Delta Region of Vietnam, *JIRCAS Working Report*, 55, Japan International Research Center for Agricultural Sciences, 47-56.
5. 諸岡慶昇、新保輝幸、奥田一雄、山岡耕作、飯国芳明、関田諭子、原口展子、婁小波、ジン・タナンゴナン、安延久美 (2007) 黒潮圏沿岸域における藻場を中心とした海洋資源管理と環境保全: フィリピンの海洋保護政策と沿岸環境、『黒潮圏科学』、1-1、35-50.
6. 吉倉紳一、村井政徳、E. リスタンコ、諸岡慶昇 (2008) レイテ島・ギンサウゴン村の大規模山体崩壊: 岩屑なだれ災害調査の概要、『黒潮圏科学』 1-2、120-126.

(4) 著書

1. 諸岡慶昇 (2007) 「緑の革命」に学ぶ共生社会への示唆、高橋・久保田・飯国編『黒潮圏科学の魅力』、64-71.
2. 諸岡慶昇 (2007) 隣の国からみた黒潮環境、『リベラシオン: 農学・環境』(高知大学ラジオ公開講座読本 第2巻)、中島出版、63-80.

(4) その他 (書評)

1. 諸岡慶昇 (2007) 昭和農業技術研究会編『昭和農業技術史への証言』(第5集)、『開発学研究』 18-1、日本国際開発学界、59-60.
2. 諸岡慶昇 アジア諸国へ向ける JA 次の一手 (2007)、『月刊 JA』(9月号)、全国農業協同組合中央会、6-7.
3. Morooka, Y. (2007) Are the views of our youth about developing countries changing? (2007), *Farming Japan*, 41-4, Farming Japan Ltd., pp. 4-6.

(5) 外部資金獲得

- ・文部科学省科学研究費補助金 (基盤研究 B: 平成 17~19 年度: 代表者・諸岡慶昇) 「黒潮圏島嶼沿岸域の藻場の消長と人為的インパクトの社会制御」うち平成 19 年度は 430 万円。
- ・国際農林水産業研究センター委託事業 「熱帯・亜熱帯島嶼における持続的作物生産のための環境管理技術の開発」、平成 19 年度は 140 万円。

### 3-B 「黒潮圏における海洋生物資源利用形態の比較分析」(代表者: 山岡耕作)

(1) 目的

フィリピンから南西日本沿岸に多くの稚魚が黒潮により運ばれてくる。しかし、その具体的な状況を把握した研究はほとんど見られない。本研究ではフィリピンにおける珊瑚礁池内における海草藻場を含めた生息場所の魚類相及び個体数をセンサス調査すると同時

に、高知県横浪半島の中央部に加入してくるチョウチョウウオ類稚魚の加入パターンを明らかにすることを目的とする。

## (2) 研究成果の概要

### 1) ルソン島東南部ビコール州サンミゲル島海草藻場における魚類相と個体数密度調査

ルソン島東南部ビコール州タバコ市のサンミゲル島にて、400mのラインセンサス法とコドラート法により、主にアマモ場に出現する魚類の生息状況の調査を行った。アマモ場からは8科10種の魚類が観察されたがその個体数密度は極めて低く0.175 個体/平米出会った。それに対して、アマモ場周辺に散在する小型のパッチリーフでは15科31種が観察され、個体数密度は11.67 個体/平米とアマモ場の約6.7倍の値を示した。アマモ場内に散在する小型パッチリーフの生態学的意義について考察をおこなった。

## 結果

### 1) ラインセンサス法

- ①：底質は砂であり、岸から20m～200m地点、及び340m～360m地点に帯状にアマモ場が形成されていた（図1）。
- ②：場所によりアマモの種が異なるようで、25m～60m地点には長さが50cm以上の種が分布し、61m～105m地点には20cm～30cmの種が、その他の場所では10cm以下の長さの短い種が生育していた。
- ③：センサス域からは8科10種の魚類が出現したが、平均生息密度は0.175/平米と極めて低かった。

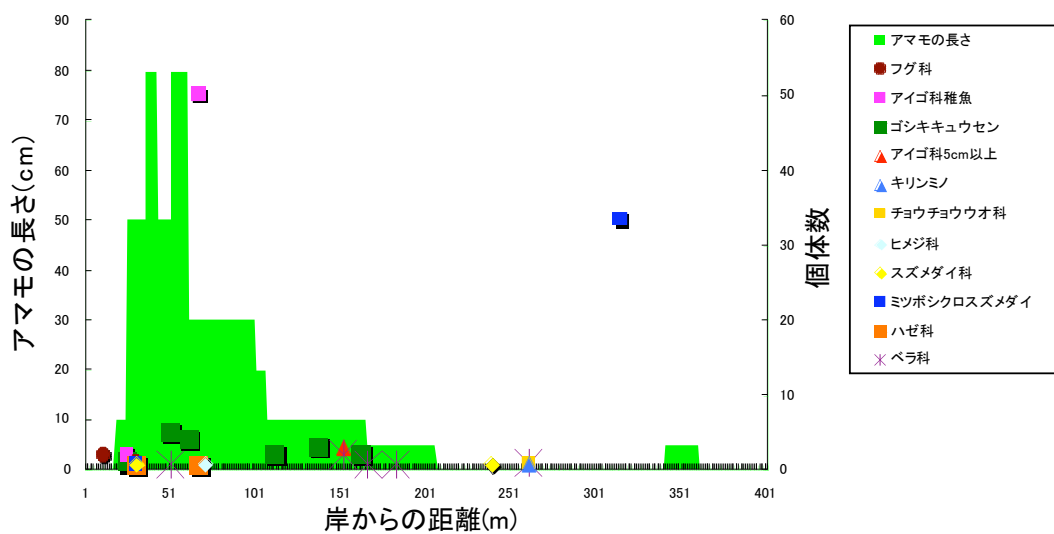
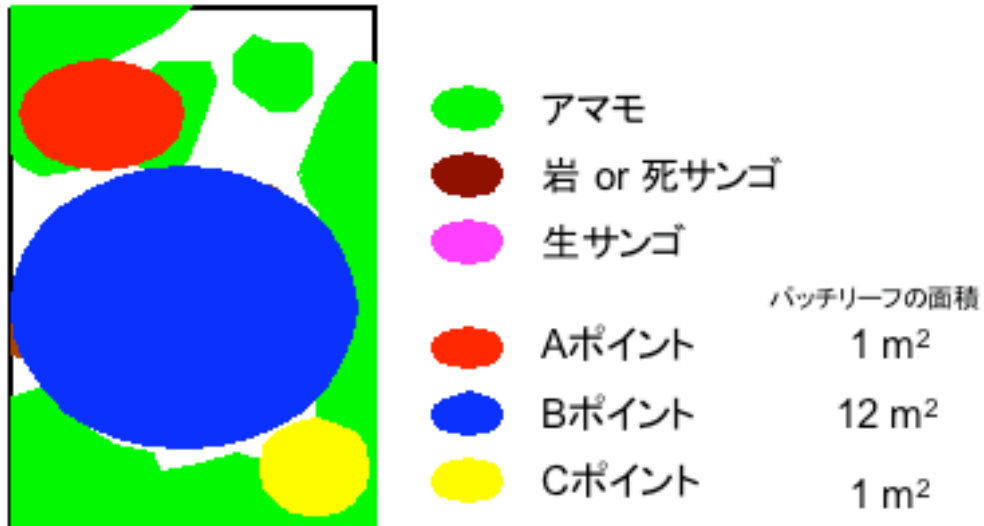


図1. 岸から沖に向っての底性形質と魚類相

表 1. パッチリーフのコードラートセンサス

魚種	各ポイントの魚種別個体数					
	A		B		C	
	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目
1 チークスポット・カージナルフィッシュ	31	24	310	240	9	9
2 ヤライシモチ	1	1	3	1	1	1
3 キンセンイシモチ	1		8	20		
4 リュウキュウヤライシモチ		1	39	28		2
5 シルバーラインド・カージナル			8	1		
6 テンジクダイ科稚魚			11			
7 ミツボシクロスズメ	1	3	1	10		
8 シリキルリスズメ			1	1		
9 スズメダイ		1	1	1		
10 シマタレクチベウ科稚魚	1	1	1	1		
11 ベウ科稚魚	1		2	2	1	
12 ベウ科			1	1		
13 カザリキュウセン			1			
14 ゴシキキュウセン					1	1
15 ツノダシ			2	1		
16 ナメラヤッコ			1		1	
17 アミアイゴ			2		1	1
18 シモフリアイゴ						1
19 キツネウオ					1	
20 ヨコシマタマガシラ	1	1				
21 ハクセンタマガシラ	1					
22 ガンモンハタ			1			
23 ウケクチイットウダイ			1	1		
24 アカマンカサ					1	
25 ハゼ科			2			
26 ムツノメモンガラ			1			
27 ウツボ科					1	
28 インドヒメジ			2	1		
29 フダイ科稚魚			2	2		
30 ハナミノカサゴ		1			1	
31 キリンミノ					1	
計31種 総個体数	38	33	401	315	15	15
コードラート全体の総個体数1回目	454					
コードラート全体の総個体数2回目	363					



5 m 図2 パッチリーフのコードラート

④：観察されたこれらの内、アイゴ科稚魚とゴシキキュウセン *Halichoeres richimondi* はアマモ域のみから観察された。アイゴ科稚魚は常に群れを形成したのに対して、ゴシキキュウセンは群れを形成することはなかった。

⑤：その他特徴的な点としては、ミツボシクロスズメダイ *Dascyllus rimaculatus* は点在するイシサンゴ群体やソフトコーラルに集団で観察された。

## (2) コドラート法

- ①: コドラート内で15科31種の魚類が観察され、2回の調査の平均個体数密度は11.67/平米であった(表1及び図2)。
- ②: 沖縄海域でもみられないチークスポットカーディナルフィッシュ *Apogon chrysopomus* が優占し(300個体前後)、次いでリュウキュウヤライイシモチ *Cheilodipterus macrodon*, キンセンイシモチ *Apogon properuptus* のテンジクダイ科の仲間が多く観察された。
- ③: コドラート内の中心に位置し最大の岩礁であるB岩礁で最大の個体数が観察された。
- ④: ダイの仲間はミツボシクロズメダイには体表に傷のある個体が目立った。

## 2: 横浪林海実験所前海面におけるチョウチョウウオ科稚魚の着底パターンとサンゴ群体の選択性

チョウチョウウオ科のトノサマダイとミスジチョウチョウウオの稚魚について、横浪林海実験所への加入機構の調査を行った。前者では全長約12ミリ、後者では約17ミリで各個体別々にイシサンゴ類に加入し、それぞれふ化後約29日、36日であった(図3)。着底後の成長は、前者が0.25mm/day、後者が0.34mm/dayであった。加入時については月齢との明確な関係はみられなかった。両種とも、加入基質としてはスギノキミドリイシを好む傾向を示した。

>

結果:

- ①: 耳石の分析により得られた着底サイズはトノサマダイで全長約12ミリ、ミスジチョウチョウウオで約17ミリであった。
- ②: 着底後の初期成長率はトノサマダイで約0.25mm/day、ミスジチョウチョウウオで約0.34mm/dayであった。
- ③: 耳石の分析により求めたふ化日から着底までの期間は、トノサマダイでは約29日、ミスジチョウチョウウオでは約36日であった。
- ④: 着底後初期の2種のサンゴ群体間の移動性は弱く、全長21ミリ以上になるとサンゴ群体間の移動性が強くなった。
- ⑤: 着底盛期はトノサマダイで6月下旬から9月下旬、ミスジチョウチョウウオでは少しそれより遅れ7月中旬から11月中旬であった。
- ⑥: トノサマダイの耳石分析より求めた着底日と連日観察採集により求めた着底日において、月齢との明確な同調性は認められなかった。
- ⑦: 同日、同サンゴ群体に着底した個体の93%は1個体であり、単独で着底することが示唆された。
- ⑧: トノサマダイとミスジチョウチョウウオの稚魚は枝の長い形態を示すスギノキミドリイシを着底基質として好むことが明らかとなった。

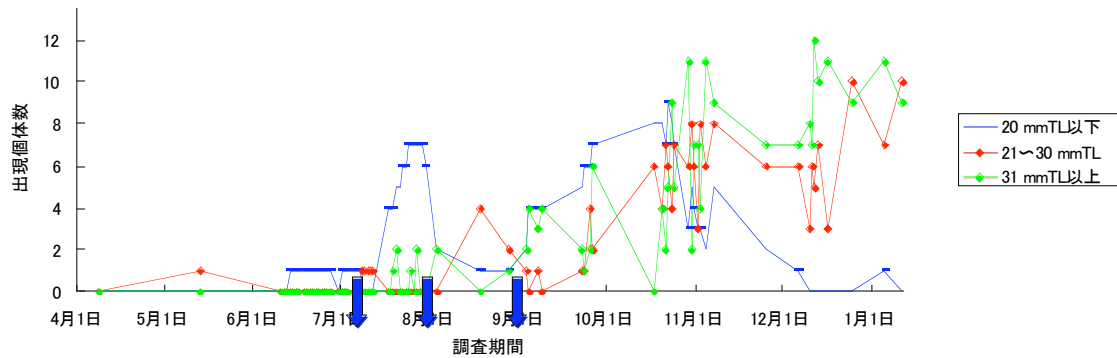


図3 ミスジチョウチョウウオにおけるサイズ別出現個体数  
矢印は風がは接近した時を示す

### 3：フィリピン北端バタン島における魚類相と個体数密度調査

フィリピン北端のバーシー海峡に位置し、台湾及び八重山地方からも至近距離にあり、黒潮の影響を直接的に受けているバタン島にて、魚類相とラインセンサス法による個体数密度を調べた。バタン島西岸のMPA内では、46科170種の魚類が観察された。水深3mから5m域に設置した100m（200平米）のラインセンサスからは15科26種248個体（成魚103個体、稚魚145個体）の魚類が出現した。センサス調査地域の底質は岩礁域であるため、種数、個体数とも多くはなかった。

結果：

- ①：八重山地方から400キロの距離に位置するフィリピン北端の島バタン島にて、魚類相と個体数密度を2008年3月上旬に調査した。
- ②：海洋保護区(MPA)では2回の潜水観察により46科170種の魚種が観察された。
- ③：海洋保護区内の水深3mから5m域において、100mのラインを設置し、その両側各1m幅内にみられる魚類をセンサスした。
- ④：センサスにより、15科26種の魚類が観察された。そのうち成魚が103個体、稚魚が145個体であった。

### 4) 研究業績

#### (1) 原著論文

1：諸岡慶昇・新保輝幸・奥田一雄・山岡耕作・飯國芳明・関田諭子・原口展子・婁小波・

タナンゴナン・安延久美、黒潮圏沿岸域における藻場を中心とした海洋資源管理と環境保全：フィリピンの海洋保護政策と沿岸環境（1）、黒潮圏科学1：35-50(2007).

2：山岡耕作、新たな研究教育施設「横浪林海実験所」の紹介と展望、黒潮圏科学1：51-55(2007).

(2) 著書・総説：なし

(3) 学会発表

1：市場康之・山岡耕作・平田智法・平田しおり、土佐湾・横浪半島におけるイシサンゴ類2種へのチョウチョウオ科稚魚の加入パターン、日本魚類学会年会（札幌市）10月5日～8日

2：Oguri, S., Hirata, T., Hirata, S., Ichiba, Y., Yamada, H. and Yamaoka, K., Settlement pattern and habitat selection of chaetodontid juveniles in Tosa Bay, western Japan, International Symposium on Fish Biodiversity (Tokyo), March 3~4th 2008

(4) 報道

該当なし

(5) 外部資金

該当なし

### 3 C. 前近代・黒潮島嶼諸国における秩序形成の萌芽（代表者：吉尾 寛）

(1) 目的

16世紀から19世紀を中心に黒潮島嶼諸国間の人的交流の具体を明らかにすることを通して、「新海洋秩序」形成に関わる前近代の萌芽の歴史的特質を考察する。前年度の研究成果（台湾をめぐる黒潮の認知の歴史過程，黒潮をこえる船舶の航海時期の特徴と気象との関係）を，特定科研の研究会ならびに国際学会で報告し，それを通して，黒潮が(1)東アジア海域交流の「秩序形成」に影響をもたらす最大の自然要因の1つであること，(2)造船・航海技術の変遷・進歩に対して重要な客観的役割を果たしたことを確認した。他方，台湾東南沿海部の「原住民」の海洋文化（とくに黒潮イメージ）に関する史料も順調に集積できた。

(2) 研究成果の概要

平成19年度も、特定領域科研費（「東アジアの海域交流と日本伝統文化の形成—寧波を焦点とする学際的創生—」平成21年度まで。以下《にんぷろ》と略称）による作業と連繫させ研究を進めた。この点《にんぷろ》においては「環境」の視点が重要視されるようになり，それにともなって，吉尾の論及する「黒潮」の役割（航海の時節と海流・気象の関係，特定海域・海流と信仰の関係など）も注目されるようになった。

前年度の成果「台湾海流考——漢籍が表す台湾をめぐる海流と〈黒潮〉遭遇——」（『海南史学』44 2006.8）においては以下のように指摘していた：明・清王朝と琉球との間を往来したいわゆる「封舟」（冊封船）は毎回旧暦6月頃（中国福州→琉球那覇）と同11月

頃（那覇→福州）に往・復異なる航路をとって航行した。この時節的特徴は、台湾北方の黒潮を風の力（方向）を利用して越えようとする船乗りの判断によるもので、彼らは黒潮（「黒溝」）に接近した際船上で儀式も行った、と。以上の内容は、従前の共同巡検報告を含めた「東アジア海域交流史研究における黒潮の視点」として特定科研報告会（2007.2.10.長崎歴史文化博物館）においても発表し、関係者の少なからぬ注目をあびた。

本年度《にんぷろ》は、20以上の研究班を横断する研究計画〈東アジア海域史の理論化〉（目的：南アジア・東南アジア海域世界，地中海海域世界との比較・差別化）を立ち上げ、班代表津野倫明とともに吉尾も参加を要請された。とくに吉尾には黒潮圏交流史の成果をもとに〈環境〉・〈台湾〉・〈海流の認知〉をキーワードにして研究することが課せられた。2008年3月1-2日には高知大学でワークショップを行い，専著の編集項目が策定された。

さらには，東海大学・造船班主催のワークショップでも研究報告を行った。文理融合ワークショップ「日中交流における琉球進貢船とその周辺」（2007.9.12.東海大学社会教育センター 三保研修館）において「中国史料から見た〈黒潮〉の諸相」と題して発表した。まさに東アジア前近代史の造船技術と海洋自然環境の関係について文理融合的討論を行った貴重な試みであった。進貢船（「封舟」）の模船が現在の海洋・気象情報により作られた人工的環境の中でどのように進むのかという実験の結果に対し（造船班），吉尾は明清時代の冊封使の航海日記に記載された，台湾北方海域における風の向きの季節的变化を紹介し，相互討論の中で，当代の6月（南西風）・11月（北東風）が「封舟」の機能性からみても黒潮（「黒溝」）を越える最も適切な時節であったことが確認された。

一方，東アジア海域世界の前近代・国際秩序に関して海外で報告を行った。現在《にんぷろ》参加者を中心に，16世紀から19世紀にかけて「冊封・朝貢体制」から「互市（体制）」（朝貢体制の原理を保ちながらも実際には対等的交易が拡大する）へ移行し，かつこの移行は海域世界にとどまらずモンゴル等の内陸地域との関係においても進んだという見解が定着しつつある。吉尾は自身の黒潮研究を含めて，こうした動向を「隆慶和議をめぐる近年の日本の分析視点」と題し，2008年3月18-19日河合文化教育研究所・北京大学共催「第6回学術共同討論会—シルクロードと東西文化交流—」（中国新疆ウイグル自治区・石河子大学）において紹介し，中国の西域研究者の注目をあびた。

以上の研究活動を通して，「前近代・黒潮島嶼諸国における秩序形成の萌芽」に関しては次のような知見が得られた。(1)黒潮は，東アジア海域世界において自然環境が「秩序形成」にもたらす影響を考える場合の，最大の対象である。(2)黒潮は，造船・航海技術の変遷・進歩に対して重要な客観的役割を果たした。

〈黒潮〉への関心が学界の中で徐々に高まるのにもない，吉尾の本研究課題のコア研究＝黒潮認知の歴史過程に関する考察の意義も客観的に高まったと考えられるが，しかしながら，平成19年度の当初に立てた計画——高雄～猫鼻頭・鷲鑿鼻～台東に分布生活する雅美族等の「原住民」に焦点をあて，彼らの文化（歌謡・伝承・説話等）に映る黒潮のイメージについて考察する——は，上記《にんぷろ》に関する作業が先行したため，逆に史料収集の域に留まった。

即ち，2008年2月4-7日台湾台北市で史料を調査した。目的は，①前年度19世紀以前を対象に調査したことをふまえて，20世紀前半の日本統治時代の史料を調査する。②（東



部沿海・島嶼地区の) 原住民, および海洋信仰の史料に重点を置く。台湾国立図書館台北分館と台湾故宮博物院善本室において, 産業(漁業)と気象に絞り, 日本の統治時期の関係雑誌 500 頁程度を写真撮影した。また, 台湾史専門書店において, 日本統治時期の台南県(台湾海峡側の黒潮影響沿海部)の史料叢書 25 冊, 媽祖を含む海洋信仰の専門書 10 冊, 台湾中山大学との共同研究に関わる蘭嶼・緑島等の地理専門書, 同地域の原住民の生活文化に関する研究書 11 冊を購入した。その数は, 前年度までに収集した分と合わせると, 台湾地方史料・研究図書 150 種以上, 四国地区で入手困難のものを多数保有するにいたった。

なお, 本年度吉尾を代表とする科研費研究「日本・中国・台湾の研究者による中国民衆運動の史実集積と動態分析」が立ち上がり, 明清時代の台湾周辺で活動した「海寇」の史実集積は項目の 1 つをなしている。データベースサーバー(吉尾構築)を高知大学に設置するとともに, 関西大学松浦章教授, 台湾海洋大学卞鳳圭教授との間で集積工程を策定した。今後この成果も本研究課題, とくに「秩序形成の萌芽」の研究に役立てたいと考える。

### (3) 研究業績

#### 1) 原著論文: なし

2) 著書・総説: 共編『近世東アジアと黒潮圏交流—国際共同研究会報告書—』(2008 年 3 月 上記・特定領域研究「東アジア海域における黒潮圏交流の総合的研究」の共同成果)

#### 3) 学会発表:

1. 中国史料から見た〈黒潮〉の諸相(特定領域科研・にんぷろ海域班文理融合ワークショップ「日中交流における琉球進貢船とその周辺」2008 年 9 月 12 日 東海大学社会教育センター 三保研修館)

2. 「隆慶和議をめぐる近年の日本の分析視点」(河合文化教育研究所・北京大学共催「第 6 回学術共同討論会—シルクロードと東西文化交流—」2008 年 3 月 17-18 日 中国新疆ウイグル自治区・石河子大学)

#### 4) 報道: なし

#### 5) 外部資金:

① 基盤研究(A)「日本・中国・台湾の研究者による中国民衆運動の史実集積と動態分析」(代表: 本人 総額: 直接経費(代表: 吉尾) 7,000,000 円、間接経費 2,100,000 円 期間: 平成 19-22 年度 19202021)。

② 特定領域研究「東アジアの海域交流と日本伝統文化の形成」の「東アジア海域における黒潮圏交流の総合的研究」(代表: 津野倫明 分担者: 本人 総額: 直接経費 5,800,000 円 期間: 平成 17-21 年度)。高知大学分 440 万円、吉尾分 140 万円。

③ 平成 19 年度人文学部学部長裁量経費による共同研究「臨海地域における戦争と海洋政策の比較研究」(代表: 小幡尚 分担者: 本人 総額: 直接経費 1,000,000 円)、吉尾分 40 万円。

### 3 D. 黒潮流域における藻場の特徴と藻類の生理生態学的比較考察(代表者: 峯 一郎)

## (1) 目的

周辺の生物の生活の場所および有用海藻が生育する場所として重要な黒潮流域の藻場が形成される仕組みを明らかにする目的で以下の3つの研究を行う。

- ① 流域の藻類植生の水平的分布の特徴を調べる：黒潮流域各地沿岸における海藻植生の種構成や群落構造の特徴を、現地調査と文献調査により明らかにし、各流域の物理化学的要因との関連を考察する。
- ② 標本と培養株の作出しデータベース化する：現地調査により得られた試料により、さく葉標本、液浸標本および単藻培養株を作成し、黒潮圏生物データベース（黒潮圏海洋科学研究科）に登録・公開し、各種生物学的研究に利用可能なデータとして内外の研究者との共有を図る。
- ③ 培養条件における各種の藻類の成長発達の生理学的、細胞生物学的な特性を調べる：得られた培養株の室内培養実験により栄養成長、生殖成長に影響を与える生理学的、細胞生物学的要因を調べる。

## (2) 研究成果の概要

高知県と台湾で海藻を採集し、さく葉標本を作成した。また、一部は生きたまま実験室に持ち帰り、単藻培養株の作成を試みた。また、台湾中山大学における黒潮に関連する国際シンポジウムに参加し、現地の海藻研究者と共同研究の打合せを行った。

### <海藻採集>

2007年6月20日（水）～21日（木）に高知県土佐清水市竜串および松尾にてスキングダイビングにて海藻を採集した。

2007年9月13日（木）～18日（火）に台湾を訪れ、中山大学 Asia-Pacific Ocean Research Center（高雄）での打合せのあと、9月15日（土）、16日（日）に台湾東部沖にある緑島に渡り、柴口、朝日温泉、石朗で、Boodleia, Boergesenia, Chaetomorpha, Enteromorpha, Ulva, Valonia, Padina, Gigartina, Caulacanthus, Procamium 属の一種と思われるもの、および未同定種の海藻を採集した。

### <標本・培養株の作成>

現地でさく葉標本を作成し、本学に持ち帰り乾燥処理を行った。

これらの標本について、現在種の同定を検討しており、その後、黒潮圏生物データベースに登録、公開の予定である。

採集された海藻のいくつかを生きたまま本学実験室に持ち帰り、洗浄処理後、栄養強化海水中に移して粗培養を行い、成長部位（成長点）あるいは生殖細胞からの培養株の作成を試みた。現在、数株の粗培養株が生残している。今後は、再度現地からの生体材料を入手し、培養株の作成を実施する必要がある。

### <台湾の黒潮関連分野の研究者との交流>

黒潮圏海洋科学研究科 奥田教授、諸岡教授、新保准教授と共に2007年9月14日（金）に中山大学 Asia-Pacific Ocean Research Center を訪れ、Hin-Kiu Mok 教授、Tse-Min Lee

教授らと、当プロジェクトの研究計画について会談し、今後共同して研究を進めていくことが確認された。

その一環として、2007年12月4日（火）～5日（水）に同 Center で開催された国際シンポジウム「Symposium of Kuroshio Current-related Studies」において招待講演を行うと共に、外国人参加者と台湾の主な参加者とともに、黒潮関連分野の研究の推進について意見交換を行い、今後、日台比の「黒潮三角海域」の協働により研究を進めていく、という今後の目標が確認された。

また、同 Center の唯一の海藻研究者である Lee 教授と海藻の研究に関して研究協力を進めて行くことを確認し、具体的には採集された海藻の種の同定や標本の提供などを協力して行っていく予定である。

#### （４）研究業績

##### 1) 原著論文

・ Mine I, Okuda K (2007) Fine structure of cell wall surfaces in the giant-cellular xanthophycean alga *Vaucheria terrestris*. *Planta* 225: 1135-1146

・ Mine I, Takezaki N, Sekida S, Okuda K (2007) Cell wall extensibility during branch formation in the xanthophycean alga *Vaucheria terrestris*. *Planta* 226: 971-979

##### 2) 著書・総説

・ Ichiro Mine, Diedrik Menzel & Kazuo Okuda. 2008. Mophegenesis in Giant-celled Algae. *International Review of Cell and Molecular Biology*, Volume 266, chapter two, pages 37 - 83,

##### 3) 学会発表

1. Ichiro Mine. Biological Interactions during life history of seaweed. Symposium of Kuroshio Current-related Studies. December 4-5, 2007. Auditorium, College of Marine Science, National Sun Yat-sen University, Kaohsiung, Taiwan.

2. 峯一朗・尾里博和・奥田一雄：「緑藻ハネモの先端成長部位形成と原形質流動」, 日本藻類学会第31回大会, 神戸市, 2007年3月

3. 峯一朗・奥田一雄：「黄緑藻フシナシミドロの枝形成部位における細胞壁構造の変化」, 日本植物学会中国四国支部第64回大会, 鳥取 (2007) 5月20日

4. 峯一朗・奥田一雄：「黄緑藻フシナシミドロの成長部位の細胞微細構造」, 日本植物学会第71回大会, 野田 (2007) 9月6日

5. 峯一朗・大坪壮太郎・李坤鵬・奥田一雄：「海産緑藻バロニアにおける細胞壁の剥離」, 日本藻類学会第32回大会, 東京・品川 (2008) 3月23日

##### 4) 報道 (なし)

##### 5) 外部資金

### 3 E. 黒潮圏におけるコモンズ管理の変遷 (代表者：飯國芳明)

#### (1) 目的

黒潮圏における山・川・海を対象に、共通資源である自然資源（野草資源・水資源・海洋資源等）の所有・管理・利用の展開を整理するとともに、産業構造の変化や環境意識の高まりに対応した新しい管理・利用の要請とそこから生じる社会的緊張関係に関する研究を継続して考察する。本年度は、特に高知で行った森林と沿岸環境をめぐるコモンズ論の調査研究を、台湾の踏査結果と比較考察し、黒潮環境を共有する両国の基本的経済理念の差異を考察する。

## （２）研究成果の概要

国内外のコモンズにおける資源管理を調査し、前近代に成立したコモンズが未だに法制度の中に合理的に位置づけられていない現実を明らかにした。また、このことから、近代法におけるコモンズ問題が未だに解決されておらず、近年のコモンズ論のように共に利用・管理することから広がる可能性だけを強調するのではなく、近代法の制度の中でコモンズの位置づけを再整理する必要性を明らかにした。

本年度は、コモンズにおける資源管理を国内外において展開した。国内では、山村の資源管理をエコロジカルリスクの観点から捉え直し、絶滅危惧種などが二次的自然において保全される場合、これを保全するための自然管理の仕組みとともに社会的な権利関係の再編方向を検討した。また、海外では、2008年に1月にボルネオ島の山間地域を視察し、3月には台湾における山間地域の資源管理に関わる調査を実施した。いずれの地域においても、先住民族が利用していたコモンズを侵略国であるイギリス（ボルネオ島）や日本（台湾）が近代法によって分離・分断してきた。現代ではそうした侵略の反省に立って、先住民族の権利を重視する立場に転換している。しかし、先住民族による山間地域の土地利用はいずれの地域においても過剰利用の傾向にあり、先住民族の権利と環境保全の間に軋轢が生じている。同時に、先住民族側は現在の権利付与が十分でないとの認識がある。こうした状況は、前近代に成立していたコモンズがいずれの地域においてものシステムにうまく移行できなかったことを示すものである。現在盛んに議論されているコモンズ論は共に利用・管理することへの可能性だけを強調する傾向が強いが、ボルネオや台湾の事例は、前近代のコモンズ問題すら解決できていない近代国家の法体系の限界を示すものとして注目される。また、日本においても利用者が激減した中で残存する入会権が新たな環境保全や土地利用を阻害する局面が明らかになっており、コモンズと近代法の関係は少なくとも東アジア共通の問題として捉える必要性が明らかになった。また、コモンズの再編には、共を支える規範が不可欠であり、その規範形成は社会関係資本（social capital）によって促される点を検討した。

## （４）研究業績

### 1) 原著論文

1. Microfinance programs and social capital formation: the present scenario in a rural village of Bangladesh, K.Saharia, Y.Iiguni, 2007, The International Journal of Applied Economics and Finance 1 (2): 97-104

### 2) 著書・総説

1. 「食料純輸入国の農政デザイン」. 共著 (飯國芳明, 増田佳昭), 2007 年 3 月, 「農林業問題研究」 pp. 352-354.
2. 「自給率向上をめざす国民的合意」飯國芳明, 2007 年 8 月, 「農業と経済」 pp. 106-112
3. 「空間創出型放牧」の展開と可能性」、飯國芳明, 2007 年 6 月, 「日本農業研究シリーズ 農業資源の保全と有効利用」, 財) 日本農業研究所, pp. 265-296
4. 「高知県森林環境税～これまでとこれから～」飯國芳明, 2008 年 1 月 全国森林環境税創設促進議員連盟「第 14 回定期総会」資料. pp. 23-37.

3) 学会発表

無し

4) 報道

1. 「森を守る 森を活かす(3)」イタビュー記事, 2008 年 3 月 3 日, 西日本新聞.
- 5) 外部資金 (科研費, 共同研究費, 受託研究, その他のソース別に金額を記載) 特定領域研究 (公募研究) (H19-H23) 「持続可能な発展の重層的環境ガバナンス」リスクマネジメント班, 800 千円.

## VI. 研究業績一覧

### 海洋生物研究プロジェクトチーム

課 題	原著論文	著書・総説	学会発表	報道	獲得外資(千円)	参加者数
1A	1	1	5	0	0	1
1B	4	2	4	3	1,080	1
1C	6	1	3	0	4,900	1
1D	3	2	3	2	800	1
2A	0	0	3	5	491	1
2B	6	0	1	0	0	1
2C	1	0	3	2	3,530	1
2D	0	1	2	0	500	1
2E	1	1	2	0	3,110	1
2F	0	0	0	0	0	1
3A	6	5	0	0	5,700	1
3B	2	0	2	0	0	1
3C	0	1	2	0	8,400	1
3D	2	1	4	0	0	1
3E	1	4	0	1	800	1
合 計	33	19	34	11	29,311	15

課題	科学研究費	共同研究費	受託研究費	その他	合計(千円)
1A	0	0	0	0	0
1B	0	0	0	1,080	1,080
1C	2,900	0	2,000	0	4,900
1D	800	0	0	0	800
2A	205	286	0	0	491
2B	0	0	0	0	0
2C	0	3,180	350	0	3,530
2D	0	0	0	500	500
2E	2,490	0	220	400	3,110
2F	0	0	0	0	0
3A	4,300	0	1,400	0	5,700
3B	0	0	0	0	0
3C	8,400	0	0	0	8,400
3D	0	0	0	0	0
3E	800	0	0	0	800
合計	19,895	3,466	3,970	1,980	29,311