文部科学省選定 （平成 29 年度～令和元年度）
私立大学研究ブランディング事業

瀬戸内海しまなみ沿岸生態系に眠る多面的機能の解明と産業支援・教育

事業成果報告書

令和２年３月

福山大学

私立大学研究ブランディング事業終了報告書の刊行にあたって

福山大学　学長　松田　文子

福山大学は、備後地域の産学官民連携を推進し、地域の教育資源を最大限に活用して学生の人間性を高め、地域で活躍し、地域から国際社会につながる「未来創造人」を育成することを大学のブランディング戦略としています。この戦略を研究の切り口から具現化するものとして、全学的なディスカッションとコンペティション、さらに地域企業、自治体、およびステークホルダーとの議論を経て、平成 28 年度に、持続的な地域社会構築に向けての研究プロジェクト「瀬戸内の里山・里海学」をスタートさせました。その中から特に里海に関わる部分を抽出したテーマ「瀬戸内海しまなみ沿岸生態系に眠る多面的機能の解明と産業支援・教育」にて平成 29 年度の文部科学省研究ブランディング事業に応募し、5 年間の事業として採択されました（ただし文部科学省の事情により、後にすべての採択事業が令和元年度で補助金終了となりましたので、本学では、残りの 2 年については法人の支援により継続予定です）。本報告書は、補助金対象となった 3 年間の取り組みをまとめたものです。今後の発展に向け、ご意見、ご批判をいただければ幸いです。

さて、福山市は瀬戸内海の中央に位置し、南西部の鞆の浦港が万葉の時代より潮待ちの港として知られるように、満潮時に東西から流入する潮が合流する潮汐の干満差が瀬戸内海で最も大きいという特有の自然環境を持っています。さらに、しまなみの多島海を有することから、他地域と比較して藻場や干潟が発達した沿岸域が多く、その生態系は比類ない地域の特色となっています。この沿岸生態系は様々の有益な機能（生態系サービス）を持つことが知られていますが、未だその理解は限定的です。他方、とりわけ戦後の高度成長期以降、環境負荷の増大等から、藻場や干潟の著しい減少と劣化が起こっており、私たちはその恵みを理解し活かし切れないうちに急速にそれらを失いつつあります。里海と里山は命のつながりとして表裏一体であり、里海の衰退は里山の衰退･劣化でもあります。他方で、人口の東京一極集中による地方の急速な人口減少に対して地方創生は喫緊の課題であり、地方の魅力を向上し若年層の大都市圏への流出を抑制する対策も必須です。

そのようなわけで、備後圏域唯一の私立総合大学である本学は、持続可能な地域の発展のために、強い決意の下に、地域の温かいご支援とご協力を得ながらこのプロジェクト研究に取り組んでいます。教員だけでなく、学生もたくさん目を輝かせてこのプロジェクトに参加し、成長しています。また、ご支援いただいております地方自治体、地域の企業、他大学等の研究者の方々には、心から感謝の意を表しますと共に、引き続きのご支援･ご協力をよろしくお願いいたします。

私立大学研究ブランディング事業報告書

目次

巻頭言

計画 ･･･ 1

研究報告書

① 沿岸生態系の解明･･･ 5

バイオロギングを用いた動物の行動計測と
環境 DNA 分析による生態情報による生態系機能の解明･････････ 6

直接観察および環境 DNA に基づく
沿岸生態系における魚類相の解明 ･････････････････････････ 11

海中探査ロボットシステムの開発 ･････････････････････････････ 15

藻場環境観測システムの開発 ･････････････････････････････････ 22

藻場探査システム：藻場生態系観察用 ROV の開発･･････････････ 31

② 産業・教育支援･･･ 35

シロギス養殖技術の開発･･ 36

AI を用いた自発給餌システムの開発 ･･････････････････････････････40

海洋資源の有効利用性の検討･･････････････････････････････････････ 44

赤潮防除への活用を目指した殺藻細菌及び殺藻物質の探索･････････ 49

水族館を活用した里山・里海生態系学習に関する
科学コミュニケーションツールの開発 ･････････････････････ 53

③ 沿岸生態系の持続可能性 57

瀬戸内海沿岸の干潟・藻場および河川に生息する魚類および
両生類の遺伝的集団構造および遺伝的多様性の解明･･････････････ 58

瀬戸内海沿岸域の藻場生態系における海藻類の種構成
および系統地理的解析 ･････････････････････････････････････ 63

衛星画像藻場分布･･･ 67

環境 DNA に基づく森海連環分析 ･･････････････････････････････････ 71

実績 ･･･ 72

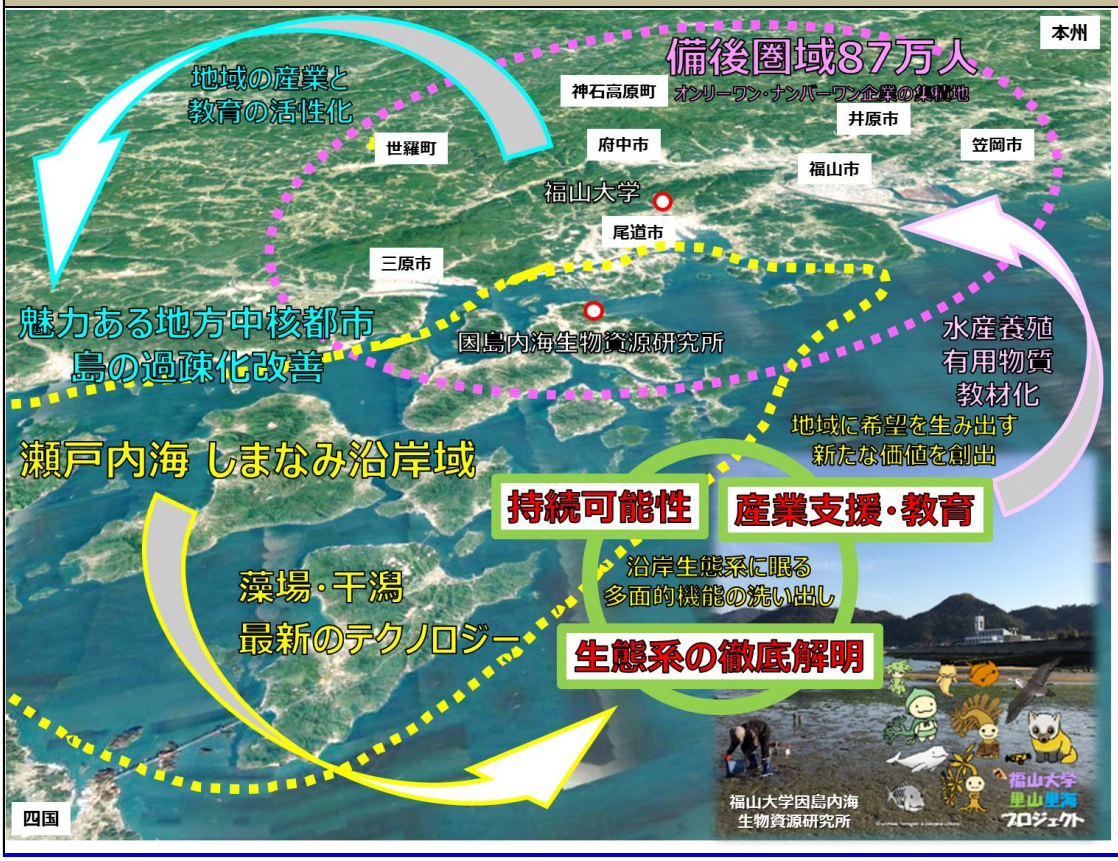
私立大学研究ブランディング事業報告書

計画

【概要】

学校法人番号	341009	学校法人名	福山大学		
大学名	福山大学				
主たる所在地	広島県福山市東村町字三蔵985-1				
事業名	瀬戸内海　しまなみ沿岸生態系に眠る多面的機能の解明と産業支援・教育				
申請タイプ	タイプA	支援期間	5年	収容定員	4513人
参画組織	生命工学部・工学部・工学研究科・グリーンサイエンス研究センター・内海生物資源研究所・安全安心防災教育研究センター				
審査希望分野	人文･社会系		理工･情報系		生物･医歯系 ○
事業概要	瀬戸内海中央部・芸予諸島の周辺浅海域を舞台に、先端技術を用いて藻場・干潟および周辺生態系を解明し、沿岸生態系に眠る多面的機能を洗い出すことで、新産業創出に資する知見を得ると共に、備後圏域の産業の活性化と島の過疎化改善を目指す。また、沿岸生態系の恩恵を未来永劫享受するための人と自然の共生システムを構築する。本成果に基づき、本学を沿岸生態系の研究と教育の拠点とし大学ブランド力を向上させる。				

イメージ図



【大学の将来ビジョン】

「地域社会に広く開かれた大学として、学問にのみ偏重するのではなく、真理を愛し、道理を実践する知行合一の教育によって、人間性を尊重し、調和的な人格陶冶を目指す全人教育を行う」という建学の精神に基づき、地域で唯一の総合大学である本学は、備後地域の知の拠点として地域と共に育ち、持続可能な地域創生に貢献する大学であり続けねばならない。そのために、本学の長期ビジョンを、「備後圏域の産学官民を一層推進し、地域の教育資源を最大限に活用して人間性を高め、地域を愛し、地域で活躍し、地域から国際社会にもつながる未来創造人を育成する」としている。研究面では、本学が、この備後圏域に新たな希望を生み出していくことができるような価値を創造していかなければならない。

【自大学、外部環境、社会情勢等に係る現状・課題の分析】

本学は、約 87 万人の人口を有する備後圏域（イメージ図の 6 市 2 町）の地方中核都市 福山市に立地する。福山市は瀬戸内海のちょうど中央に位置し、南西部の鞆の浦港が万葉の時代より潮待ちの港として知られるように、満潮時に東西から流入する潮が合流する場所に存在する。したがって、福山市の周辺海域は潮汐における干満の差が瀬戸内海で最も大きいという特有の自然環境を持つ。また、島が多く典型的な多島海を有することから、他地域と比較して沿岸域が顕著に多いのも特徴である。必然的に藻場や干潟が発達し、これらの生態系は比類ない地域の特色となっている。これまでの研究で、藻場・干潟生態系は、人の生活に有益な様々な機能（生態系サービス）を有することが明らかにされてきた（たとえば、水質の浄化、生物多様性の保全、海岸線の保全、環境学習、そして保養等；水産庁）。これら沿岸生態系は単位面積当たりの生態系サービスが地球上で最も多く、熱帯雨林をはるかにしのぐとも言われており、近年でも有害バクテリアの除去など新しい沿岸域の機能が発見され続けている。このことから、これらの生態系には人の福利に資する多くの未知の機能が眠っていると考えられる。しかしながら、藻場・干潟生態系の理解は、調査技術の制約により、極めて限定的であり、その生態系サービスは充分に理解されているとは言えない。戦後の高度経済成長期には、工業発展による沿岸開発で瀬戸内海沿岸域への負荷が増大し、藻場と干潟の数は著しく減少してきた。そして、地球規模での気候変動も沿岸生態系に深刻な影響を与えつつある。すなわち、私たちは藻場や干潟の恵みを理解せず、活かしきれないうちに急速に失いつつある現状に直面している。

一方で、人口の東京一極集中が止まらず、地方は急速な人口減少による存続の危機にあり、大学でも国公立大学志望の増加、大都市圏の大規模私立大学への集中により地方私大への志望者の減少が社会的課題となっている。このような中、地方創生は喫緊の課題であり、地方の魅力を向上し若年層の大都市圏への流出を抑制する対策が必要である。本学の所在する備後圏域はグローバルニッチなオンリーワン、ナンバーワンの中小企業が多く、古くから産業の盛んな地域として知られているが、企業トップの高齢化、後継者の減少により存続に対す

る危機感が高まっている。以上の課題に対し、本備後圏域 唯一の私立総合大学である本学は、

・ 備後圏域の顕在、潜在する魅力、資産を最大限に活用し地域の魅力を拡大すること、
・ 地域の特色のある高等教育力を向上することで地元進学率を増加させて学生の流出を抑制すること、
・ 産学連携による地元企業、経済の活性化により卒業生の進路を拡大し地元定着率を増大させること

を使命として、本事業を計画した。本学内海生物資源研究所やグリーンサイエンス研究センターには、しまなみ沿岸域の生態学や水産養殖学の実績がある。全学的にも学際的研究プロジェクト瀬戸内の里山・里海学～生態系、資源利用と経済循環、そして文化～（後述）を推進している。以上の実績の上に立ち、地域の特色を活かした沿岸生態系の解明と産業支援・教育を、大学のブランドとして打ち出すための研究テーマに選択した。

2 学部 5 学科、そして 3 付属研究施設の研究者が参画する。3 つの研究テーマの内容と期待される成果は以下の通りである。本事業は、瀬戸内の里山・里海学～生態系、資源利用と経済循環、そして文化～（後述）を発展させるもので、全学的な優先課題として適切である。また、本研究は、備後圏域と島嶼における地域経済・社会の発展、産業支援の成功による雇用の創出と U ターン・I ターンの促進、そして地域に根付く里海文化の新しい展開につながることから、本事業の趣旨に則ったテーマである。3 つの研究は年次計画から鑑み、いずれも実現可能である。本研究により、地域産業と教育の活性化に資する新しい知見が得られることが期待される。

【期待される研究成果】

【①生態系の解明】

高速 DNA 塩基配列決定機である次世代シークエンサー(研究設備 1)と、リアルタイム PCR 装置(研究設備 2)を用いた環境 DNA 分析や動物の食性分析(糞・胃内容物の DNA 分析)から、藻場と干潟の生物相（動物、植物、プランクトン、バクテリア等）とその関係性（食物連鎖）を網羅的に明らかにする。また、動物に小型の計測装置を付けて行動や生息環境を計測するバイオロギングや、自律的に水中を探索するロボットを用いて藻場を観察し、海洋生物の実態を調査する。これらの研究から、生物と生物の間の未知の関係性が明らかになり、藻場・干潟に生息するシロギス、アサリなど水産養殖種を中心に生物間相互作用を理解することができる。藻場・干潟の生物多様性メカニズムの解明は、多くの魚介類を育成するための基盤となる生態系サービスを提供する。自律水中ロボットは、藻場に絡みつかない流線型タイプのものを開発し、環境モニタリングの新たなツールとする。同時に、栄養塩類等の水質や水温などの環境データを測定し、養殖や持続可能性の研究に活かす。

【②産業・教育支援】

②-1 養殖業：シロギスの養殖では、①で得られた生息海域の物理・生物環境のデータを採卵や飼育技術にフィードバックし、効率的かつ先駆的な養殖技術を開発する。その中で、人工知能を用いた自発給餌システムや環境シミュレーションに基づく養殖環境制御システムを活用し、最終的にはシロギスとしては大型である 25 ㎝、150g の養殖魚を 1 年半で 2 万尾生産する技術を確立する。大型シロギスの単価は 3000 円/kg と高価であり（通常単価 1500 円/kg）、2 万尾の生産により 900 万円の水揚げとなる。その 5 倍の末端価格である 4500 万円が経済効果として予想される。ノリの養殖では、ノリ養殖場周辺における栄養塩濃度や植物プランクトンの動態に基づき（①）、色落ちを引き起こす機構を解明し、東日本や九州よりも 1 枚 2 円ほどの安値で売買される瀬戸内海のノリの単価を上げ、年間 5 億枚を生産する広島・岡山県のノリ養殖業の経済を活性化させる。アサリの養殖では、アサリとその食害を及ぼす海洋動物の生態データから（①）、最適な養殖方法を検討する。

②-2 有用物質の探索：藻場・干潟生態系で大量に生産される種を対象に、その生物とそれを栄養源として利用する微生物が産生する物質を探索する。従来の培養ベースの分析に加えて、次世代シークエンサーを利用した“培養を必要としない分析”を行い、新規有用物質を発見する。具体的には、主にアオサとその周辺微生物が産生する物質を調査し（①）、抗酸化性物質や糖質等の機能性成分の有効利用法を探る。また、植物プランクトンを効率的に食べるバクテリアを探索し（①）、赤潮やノリの色落ちを防除する効率的な殺藻細菌とその有用物質を見つける。有用物質の構造解析や成分の網羅的分析・同定には、質量分析計(研究設備 3)を使う。

②-3 教育：藻場や干潟の生態系解明や産業支援に関する研究に焦点を当て、水族館を活用した展示活動だけでなく出前水族館や ICT を用いた遠隔授業などの情報発信活動を行い、プロジェクトの成果やホットな話題について社会一般に周知することで、瀬戸内海の豊かな環境資源を次世代に引き継ぐ活動へと発展させる。また、内海生物資源研究所周辺の藻場や干潟を利用した実体験型環境学習を、小中学校や高校、一般対象に行うこと、そして、福山駅前 福山大学宮路茂記念館でセミナーを行うことで、地域資源の重要性と魅力を発信する。最終的には、瀬戸内海 しまなみ沿岸生態系研究の教材化により、本学の特色ある教育の一つとすることで、地域資源を活用した本学学生の成長につなげる。

【③沿岸生態系の持続可能性】

本研究により、DNA 情報に基づく藻場と干潟に生育・生息する藻類や魚類の集団構造・保全単位が明らかとなる。特に、藻場の優占種であるアカモクや、藻場を生息の場とするアミメハギやメバル、そして干潟を代表するトビハゼについて研究を進める。また、人、森、干潟、藻場、海の生態系のつながりを明らかにするために、衛星を用いた人、森、藻場の分布調査、および、陸域の森林生態系の生物多様性を調査する。後者については、アカネズミ等の森林に適応した動物の糞を対象に食性分析を行う。このことで、藻場と干潟を維持するために必要な陸域の環境および人の利用方法を明らかにする。

私立大学研究ブランディング事業報告書

①沿岸生態系の解明

代表：渡辺伸一

班員：阪本憲司・内田博志・仲嶋一・池岡宏・田中聡・伍賀正典・沖俊任

要旨：藻場・干潟の生物多様性メカニズムの解明は、多くの魚介類を育成するための基盤となる生態系サービスを提供する。研究テーマ「①沿岸生態系の解明」では、次世代シークエンサーを用いた環境 DNA 分析や捕食者の食性分析から藻場と干潟の生物相とその関係性（食物連鎖）を網羅的に明らかにすることを目指した。また、沿岸環境の計測手法として、動物に小型の計測装置を付けて行動や生息環境を計測するバイオロギングや、自律的に水中を探索する海中ロボットシステムなどを用いた観測手法の開発を目指し、以下の 4 つの成果から、しまなみ沿岸生態系を解明するために必要な解析手法の開発が達成された。

【渡辺】バイオロギングによる動物の行動と環境計測ならびに DNA メタバーコーディング法による食性分析により、海鳥や大型魚類などの生態系の要となる高次捕食者を中心とした食物連鎖を分析した。これらの手法を組み合わせることで高次捕食者と強い相互作用を持つ種の特定と環境変化が与える捕食者の行動への影響を評価することができた。

【阪本】藻場の魚類相をたも網による採取に加え、環境 DNA 分析により調査した。その結果、たも網採取と環境 DNA 分析を組み合わせることで、より詳細な調査が可能になることが示され、各地点において 22－37 種の魚類を確認・検出した。また、対象地域の魚類相の相違を地点間で比較することができた。

【内田・仲嶋・池岡】藻場に生息する魚類を観察する海中ロボットシステムの開発を目指した。場所や形状が不定な藻場を効率的に探索し、海水の濁りや複雑形状の海底が存在する環境下での観察に対応可能なシステムを実現するため、1)海中ロボットシステム、2)海中音響ビーコン／通信システム、3)人工知能を用いた自動航行技術の 3 つのサブテーマで取り組んだ。

【田中・伍賀・仲嶋】藻場中の環境を明らかにするため、各種センサを搭載した海底カメラを開発した。開発した海底カメラにより、藻場中の海流の三次元的な流れを測定し、海中の透明度の変化を測定した。また、生物を認識して生物相の変化を調べ、赤潮などの警報を行う機能の実現を目指した。

【沖】藻場の生態系観察を行うことのできる潜水ロボットを開発した。開発した潜水ロボットには撮影機能と基本的な移動機能のほか、スラスタに頼らない中間浮力の確保や姿勢制御システムを搭載した。水槽実験において潜水ロボットのデータを解析し、さらに実環境への投入を目指した。

研究報告書

１.テーマ名　　「①沿岸生態系の解明」

２.研究課題名　「バイオロギングを用いた動物の行動計測と
環境 DNA 分析による生態情報による生態系機能の解明」

３.研究者名　　生命工学部 海洋生物科学科・渡辺伸一

４.研究協力者　工学研究科生命工学専攻博士前期課程：松井健介
海洋生物科学科４年：石黒直生・伊藤幸平・大西和斗・
鎌田耕平・小林智貴・工藤慶大・佐藤央章・佐藤拓人・
濵口幸岐・廣瀬友明・安田皓輝・渡辺卓

５.研究目的

私立大学研究ブランディング事業課題では、しまなみ沿岸生態系の解明を一つの目的としている。そのためには、沿岸生態系の要となる高次捕食者の行動様式を明らかにすることが重要である。本研究では、瀬戸内海の大型魚類（ナルトビエイ・クロダイ）と瀬戸内海の島嶼で繁殖する海鳥（オオミズナギドリ）、大型節足動物であるカブトガニを対象にバイオロギングを用いた行動計測を行った。バイオロギングとは、小型の記録計を動物に取り付けて、動物の行動や環境を計測する手法である。記録計に搭載されたセンサにより、目的に応じたさまざまな調査が可能となる。本研究では、以下に示す 3 種類の記録計を使用することで、各種の行動と環境計測を行った。GPS・加速度・地磁気センサを内蔵した記録計を用いて、海鳥の移動経路から採餌海域を特定する。また、加速度センサのデータから、海鳥の飛翔、魚類の遊泳、カブトガニの歩行などの行動を調べ、主要な採餌海域の特定や活動周期について調査した。深度・温度・塩分センサを内蔵した記録計を用いて、海洋環境の計測を行った。瀬戸内海には大小の河川が流入することで沿岸の水温や塩分は季節や降雨により劇的に変動する。こうした海洋環境の変化を調べるため、汽水環境に棲む魚類に記録計を付けて調査した。ビデオカメラをオオミズナギドリ、ナルトビエイ、クロダイに付けて高次捕食者が遭遇した魚類相および海洋環境を調査した。

以上のようなバイオロギングによる行動計測に加えて、次世代シーケンサーを用いた DNA メタバーコーディング法を用いた食性分析を行い、それらの結果を比較することで沿岸生態系における種間の相互作用を調べた。DNA メタバーコ

ーディング法を用いた食性分析に関する他の研究については、③沿岸生態系の持続可能性の報告（佐藤：クサフグやシロギスの食性分析）を参照されたい。以上の成果を包括して、高次捕食者を中心としたしまなみ沿岸生態系の解明を目指した。

６.研究成果

（１） 瀬戸内海島嶼で繁殖する海鳥（オオミズナギドリ）の繁殖生態

GPS・加速度記録計により、瀬戸内海で繁殖するオオミズナギドリの採餌行動を調べた結果、太平洋や日本海で繁殖する集団と比較して、飛翔率が著しく低く､採餌海域が繁殖島の周囲 50km 以内と極端に狭いことが明らかになった。

胃内容物分析およびビデオカメラで採餌行動を観察した結果、海面付近を泳ぐ浮き魚類を捕食するだけでなく、底引き網漁船の投棄魚である底魚類を頻繁に捕食することが明らかになった（図 1)。瀬戸内海の繁殖集団の繁殖成功率は他地域と比べて低く、浮き魚類に比べて脂質が少ない底魚類を給餌した結果、雛の成長や生存に悪影響を与えていることが示唆された。

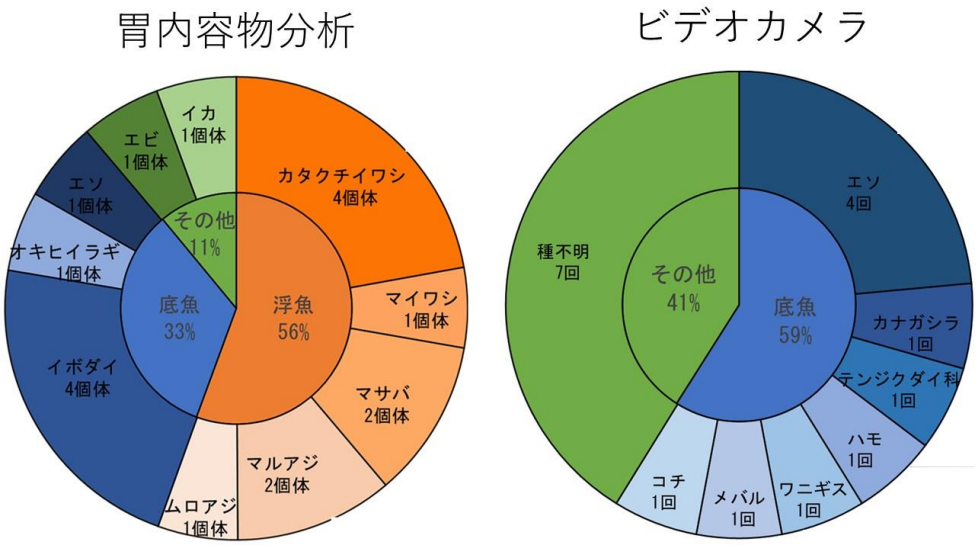


図 1。オオミズナギドリの胃内容物分析とビデオカメラにより特定した魚類の捕食頻度の比較

（２）ナルトビエイの遊泳・摂餌行動

加速度・地磁気記録計により、ナルトビエイの行動を詳細に調べた結果、一日の 9 割以上を遊泳に費やし、その遊泳行動は水面から海底までの滑空遊泳と海底から水面までの羽ばたき遊泳を繰り返す行動を続けることが明らかになった。また、本種は海底の二枚貝類を短時間のうちに掘り返して、つぎの餌場へと移動していることが明らかになった。こうした採餌行動は夜間の満潮時に浅

瀬で多く見られたが、日中は深場へ移動して採餌した。

深度・塩分記録計により、夏季の大雨と沿岸域の海洋環境への影響を調べた。その結果、降雨後 2-4 時間後に水温と塩分躍層が形成され、その 12 時間後まで躍層が維持されることが明らかになった。また、それ以降、躍層は徐々に消失するが、湾内環境では低塩分状況が継続することが明らかになった（図 2)。

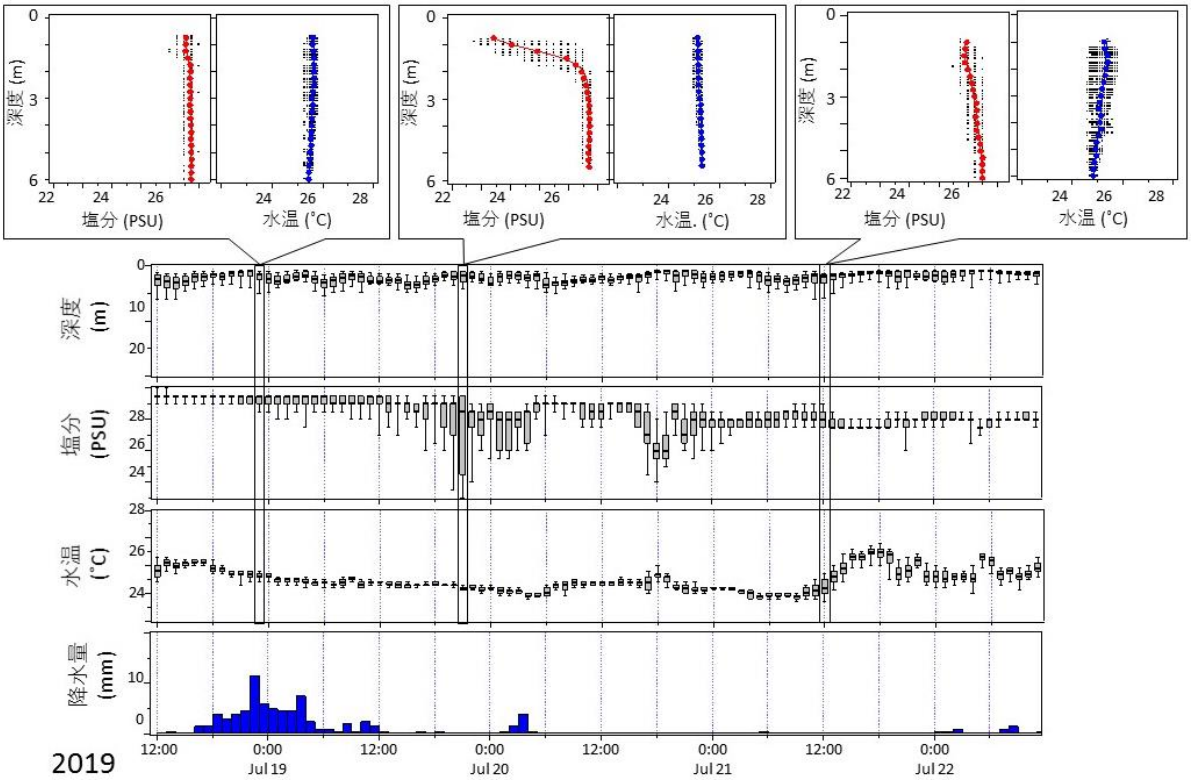


図 2。ナルトビエイに装着した記録計で計測した深度・塩分・水温と降水量の比較

（3）汽水域におけるクロダイの採餌行動と動物相の比較

深度・塩分記録計により、河川下流域の水温・塩分躍層を調べた結果、河川下流域の水温と塩分は淡水の流入と潮汐に応じた海水の流入により大きく変動することが明らかになった。

ビデオカメラをクロダイに付けて河底の動物相を調べ、さらに胃内容物からクロダイの食性を分析した。その結果、河底にはマガキやフジツボといった海産固着生物が多く存在しており、クロダイはそれを食べることで河川域に定住していることが考えられた。また、環境 DNA 分析により魚類相を調べた結果、純淡水魚 16 種を含む計 44 種の魚種を検出することができた。一方、クロダイに取り付けたビデオカメラにより撮影された魚種はわずか 6 種でその約 8 割がクロダイだった（図 3)。よって、網羅的に魚類相を調べるためには環境 DNA 分析が有効といえる。しかし、ビデオカメラによる撮影頻度は環境 DNA 分析の結果とは異なり、クロダイによる選択性が影響すると考えられ、撮影頻度の高

かった魚類と相互作用をもつことが考えられる。

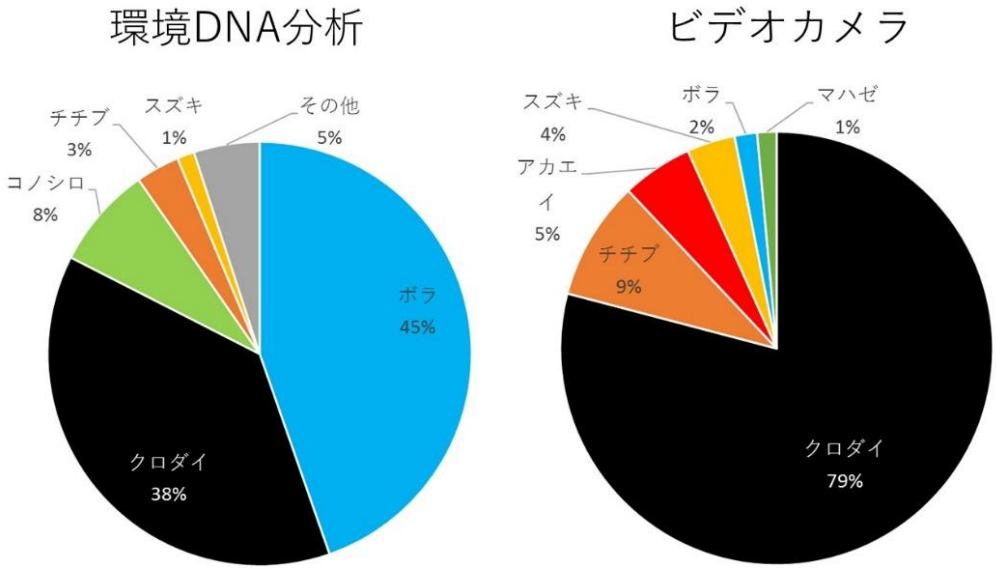


図 3。広島市太田川下流域における魚類相：環境 DNA 分析によるリード数とクロダイに装着したビデオカメラによる撮影頻度の比較

（4）カブトガニの活動・繁殖周期

加速度記録計により、カブトガニの活動周期を調べた結果、カブトガニの活動は季節的な影響を受け、夏季（5－10 月）に活動し、それ以外の時期は水深 10m 程度の浅海の砂泥域で休眠することが明らかになった。また、夏季になるとカブトガニは夜間の満潮時に活発に活動するという概日周期を示した。一方、満月と新月の前後では昼の満潮時にも活動するという概潮汐周期へと活動周期が切り替わることが明らかになった（図 4）。これは 7 月の大潮の前後で産卵するという本種の繁殖周期との関係が示唆された。

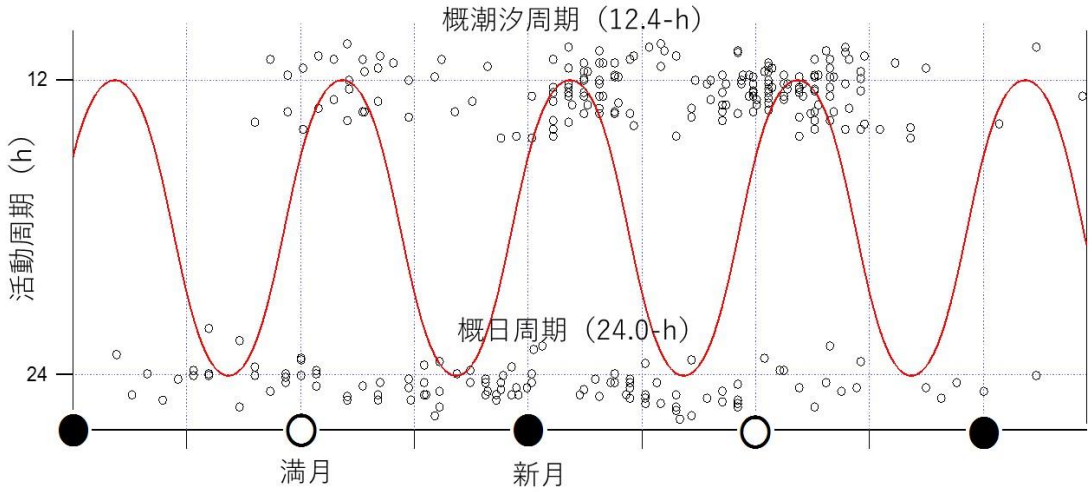


図 4。加速度記録計で計測したカブトガニの活動周期の周期的交代

休眠期の生息地（越冬地）を知ることは容易ではないため、環境 DNA 分析により本種の生息場所を特定する手法の考案を目指した。H30 年度までにカブトガニを飼育した水槽水からリアルタイム PCR によりカブトガニ DNA を検出する手法を考案し、R01 年度では野外での適用を目指した実験を行った。また、干潟に生息するカブトガニ幼生から糞を採集し、顕微鏡観察と次世代シーケンサーを用いた DNA メタバーコーディング解析により餌種を特定した。その結果、両手法ともに環形動物と節足動物の出現頻度が高かった。また、DNA 解析では、顕微鏡観察では検出できなかった紐型動物などの動物門の捕食を確認し、環形動物や節足動物を中心にカブトガニ幼生が多様な底生生物を捕食することが明らかになった（図 5）。

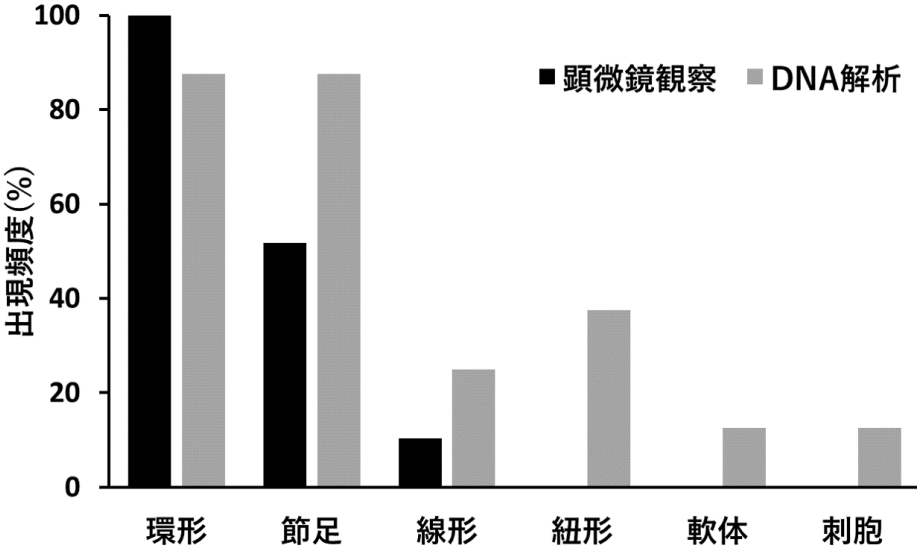


図 5。DNA メタバーコーディングと顕微鏡観察によるカブトガニ幼生の食性分析

７. 今後の研究計画

各研究成果については、学術雑誌への投稿論文を執筆中である。さらに今後の計画として、R01 年度に確立することができた DNA メタバーコーディングによるカブトガニの食性分析と太田川流域の魚類相調査の手法をさらに発展させて実験を予定している。カブトガニの食性分析では、成体も含めて成長段階による食性の変化について調査する予定である。また、同様の手法を他種へも適用し、オオミズナギドリやナルトビエイの食性の解明を目指した実験を計画している。環境 DNA 分析では、太田川下流域におけるクロダイの研究で開発した魚類相調査を松永湾内で行ったナルトビエイの研究へも適用し、ナルトビエイと強い相互作用をもつ魚類の特定に向けた分析を計画している。以上の成果を包括して、高次捕食者を中心としたしまなみ沿岸生態系の食物網の解明を目指したい。

研究報告書

１.テーマ名　　「①沿岸生態系の解明」

２.研究課題名　「直接観察および環境 DNA に基づく
沿岸生態系における魚類相の解明」

３.研究者名　　生命工学部 海洋生物科学科・阪本憲司

４.研究協力者　　株式会社 日本総合科学・海洋生物科学科４年：竹原龍之介

５.研究目的

私立大学研究ブランディング事業課題では、しまなみ沿岸生態系の解明を一つの目的としている。そのためには、沿岸生態系の生物相を明らかにすることが重要である。本研究では、芸予諸島海域における藻場の魚類を対象とした。本研究の対象である藻場は第一次生産の場であり、様々な生物の成育場や産卵場、索餌場等として沿岸域の生態系に大きく貢献している。芸予諸島海域は、それぞれの島によって地形や底質、水深等に違いが見られ、それに伴って各島の藻場環境も変化している。芸予諸島海域の魚類相を調べることは、当海域の生物多様性を知るうえで重要である。ただし、魚類の全てを採取するのは困難であり、当海域の魚類相を網羅的に調べるには限界がある。そこで本研究では、たも網による採取に加え、次世代シーケンサーによる環境 DNA 分析を行うことで、当海域における藻場の魚類相の詳細な調査を試みた。広島県因島・大浜海岸の藻場において、5～12 月の期間にたも網を用いて魚類を採取した。また、9 月 27 日には因島の他に、愛媛県の大島、大三島および伯方島の藻場において海水１Ｌを採水し、シリンジを用いた加圧濾過によるステリベクス手法により環境 DNA 分析用の試料を得た。MiFish プライマーを用いて 1st PCR を行い、試料ごとに異なる INDEX プライマーセットを用いて 2nd PCR を行い、次世代シーケンサーで DNA 分析を行った。

６.研究成果

調査結果を、表 1 および表 2 に示す。まず、たも網による採取では、因島・大浜海岸において 5 月に 17 種、7 月に 16 種、9 月に 15 種、11 月に 13 種が採取された。また、9 月に大三島で 12 種、大三島で 12 種および伯方島で 5 種が採取された。つぎに、環境 DNA 分析によって、因島・大浜海岸において 5 月（5/31）

に 13 種、7 月（7/18）に 12 種、9 月（9/30）に 29 種、11 月（11/11）に 21 種、12 月（12/12）に 16 種が検出された。また、9 月（9/27）に大島、大三島および伯方島において、それぞれ 10 種、25 種および 20 種が検出された。

たも網と環境 DNA の結果を総合すると、例えば、広島県因島・大浜海岸では、ゴンズイが 9～12 月に採取あるいは検出された。また、ナベカ、アカオビシマハゼが 5～11 月に採取あるいは検出された。さらに、アゴハゼ、アミメハギが 7～11 月に採取あるいは検出された。他方、ボラ、クロダイ、クサフグが 5～12 月の全期間を通して採取あるいは検出された。一方、ヨウジウオ、タツノオトシゴ、メバル属の多くは、たも網で採取されたものの、環境 DNA では検出されなかった。これに対し、マダイやシロギスのような遊泳力の高い魚種が環境 DNA によって検出され、たも網で捕獲困難な魚種の調査に適していると考えられた。このことから、たも網採取と環境 DNA 分析を組み合わせることで、より詳細な調査が可能になることが示された。

さらに、因島では「オキザヨリ、キチヌ、シマイサキ、イソギンポ、アゴハゼ」の 5 種が、大島では「オニオコゼ」の 1 種が、大三島では「カタクチイワシ、トウゴロウイワシ、メバル属の 1 種、マダイ、ホンベラ、アイナメ、マハゼ、ドロメ」の 8 種が、伯方島では「メダカ、コチ科の一種、ブリ、ハタタテヌメリ、ヒメハゼ」の 5 種」が特異的に検出され、環境 DNA 分析によって魚類相の相違を地点間で比較することが可能であることが示された。

７.今後の研究計画

令和元年度の研究結果は、5～12 月の魚類相に限られているため、今後は周年変化を明らかにしたい。また、魚類相から捉えた芸予諸島海域の生物多様性を評価するために、今後は瀬戸内海の他海域（紀伊水道や豊後水道など）に加え、太平洋、日本海および東シナ海などの魚類相も併せて分析を行いたい。

表１．広島県因島大浜海岸の藻場における魚類相（2019年）

因島（大浜海岸）			5 月	7月	9月	11月	12月
ニシン目							
ニシン科	サッパ属	サッパ	↔		↔	↔	
	コノシロ属	コノシロ	↔		↔		↔
カタクチイワシ科	カタクチイワシ属	カタクチイワシ	↔				
ナマズ目							
ゴンズイ科	ゴンズイ属	ゴンズイ			↔	★	↔
トゲウオ目							
ヨウジウオ科	オクヨウジ属	オクヨウジ	★	★	↔ ★		
	ヨウジウオ属	ヨウジウオ	★	★			
	タツノオトシゴ属	サンゴタツ		★	↔		
		タツノオトシゴ			★		
ボラ目							
ボラ科	ボラ属	ボラ	↔	★	↔ ★	★	↔
	メナダ属	メナダ	↔		↔	↔	
カダヤシ目							
カダヤシ科	カダヤシ属	カダヤシ				↔	
ダツ目							
サヨリ科	サヨリ属	サヨリ			↔		↔
ダツ科	テンジクダツ属	オキザヨリ			↔		
スズキ目							
メバル科	カサゴ属	カサゴ			↔		
	メバル属	メバル属の一種	↔	↔			↔
		クロソイ	★				
		クロメバル		★			
		シロメバル	★	★			
		タケノコメバル	★				
		ムラソイ	★		★		
ハオコゼ科	ハオコゼ属	ハオコゼ	★	★		★	
スズキ科	スズキ属	スズキ	↔	↔	↔		
ハタ科	マハタ属	キジハタ					↔
ハリゴチ科	コチ属	マゴチ			★		
タイ科	クロダイ属	クロダイ	↔	★	↔	★	↔
		キチヌ			↔	↔	
	マダイ属	マダイ				↔	↔
キス科	キス属	シロギス			↔	↔	↔
ウミタナゴ科	ウミタナゴ属	アオタナゴ		↔	↔	↔	↔
シマイサキ科	シマイサキ属	シマイサキ			↔	★	
ベラ科	コブダイ属	コブダイ		★			↔
	キュウセン属	キュウセン		↔ ★	↔		
	ホンベラ属	ホンベラ			★		
アイナメ科	アイナメ属	アイナメ	↔	↔			↔
		クジメ	★	★			
カジカ科	イダテンカジカ属	イダテンカジカ	★				
	サラサカジカ属	サラサカジカ	★				
	アナハゼ属	キリンアナハゼ	★	★			
		アナハゼ	★				
タウエガジ科	ダイナンギンポ属	ダイナンギンポ			↔	↔	
		ベニツケギンポ	★	★			
イソギンポ科	イソギンポ属	イソギンポ			↔ ★	↔ ★	
	ナベカ属	イダテンギンポ			↔		
		ナベカ	↔ ★	↔ ★	↔	↔ ★	
ネズッポ科	ネズッポ属	ネズミゴチ			★		
		セトヌメリ			↔		
ハゼ科	ミミズハゼ属	ミミズハゼ	★		★		
		イソミミズハゼ				★	
	チチブ属	アカオビシマハゼ	↔ ★	↔	↔ ★	★	
		チチブ			↔	↔	
	キララハゼ属	スジハゼ			↔	↔	
	ヒメハゼ属	ヒメハゼ			★	↔ ★	
	アゴハゼ属	アゴハゼ		↔	↔	★	
アイゴ科	アイゴ属	アイゴ	↔		↔ ★	↔	
カレイ目							
カレイ科	メイタガレイ属	ホンメイタ				↔	
	イシガレイ属	イシガレイ				↔	
フグ目							
カワハギ科	アミメハギ属	アミメハギ		↔ ★	★	★	
	ウマヅラハギ属	ウマヅラハギ		↔			↔
フグ科	トラフグ属	ナシフグ					↔
		シマフグ			↔	↔	↔
		クサフグ	↔ ★	↔ ★	↔ ★	↔ ★	↔
たも網採取			17種	16種	15種	13種	
環境DNA分析			13種	12種	29種	21種	16種
総種数			27種	23種	37種	27種	16種

↔ 環境DNA分析

★ たも網採取(5,7,9,11月)

表２．広島県因島(大浜)、愛媛県大島(吉海)、愛媛県大三島(大見)および愛媛県伯方島(北浦)の藻場における魚類相（2019年）

環境DNA分析（9月）			因島 大浜	大島 吉海	大三島 大見	伯方島 北浦
ニシン目						
ニシン科	サッパ属	サッパ	↔		↔	↔
	コノシロ属	コノシロ	↔			↔
カタクチイワシ科	カタクチイワシ属	カタクチイワシ			↔	
ナマズ目						
ゴンズイ科	ゴンズイ属	ゴンズイ	↔	↔		
トゲウオ目						
ヨウジウオ科	オクヨウジ属	オクヨウジ	↔★			
	ヨウジウオ属	ヨウジウオ			★	
	タツノオトシゴ属	サンゴタツ	↔		★	
		タツノオトシゴ	★		★	★
ボラ目						
ボラ科	ボラ属	ボラ	↔★	↔	↔	↔
	メナダ属	メナダ	↔	↔		↔
トウゴロウイワシ目						
トウゴロウイワシ科	ギンイソイワシ属	トウゴロウイワシ			↔	
ダツ目						
メダカ科	メダカ属	メダカ				↔
サヨリ科	サヨリ属	サヨリ	↔	↔	↔	
	テンジクダツ属	オキザヨリ	↔			
スズキ目						
メバル科	カサゴ属	カサゴ	↔	↔	↔	
	メバル属	メバル属の一種			↔★	
		アカメバル			★	
		シロメバル			★	
		タケノコメバル			★	
		ムラソイ	★			
オニオコゼ科	オニオコゼ属	オニオコゼ		↔		
コチ科		コチ科の一種				↔
ハリゴチ科	コチ属	マゴチ	★			
スズキ科	スズキ属	スズキ	↔		↔	↔
アジ科	ブリ属	ブリ				↔
タイ科	クロダイ属	クロダイ	↔	↔	↔	↔
		キチヌ	↔			
	マダイ属	マダイ			↔	
キス科	キス属	シロギス	↔	↔	↔	↔
ウミタナゴ科	ウミタナゴ属	アオタナゴ	↔		↔	↔
シマイサキ科	シマイサキ属	シマイサキ	↔		★	
ベラ科	キュウセン属	キュウセン	↔★			
	ホンベラ属	ホンベラ	★		↔	
アイナメ科	アイナメ属	アイナメ			↔	
カジカ科	アナハゼ属	アサヒアナハゼ			★	
タウエガジ科	ダイナンギンポ属	ダイナンギンポ	↔		↔	
イソギンポ科	イソギンポ属	イソギンポ	↔★			
	ナベカ属	イダテンギンポ	↔			↔
		ナベカ	↔	↔	↔	
	ハタタテギンポ属	ニジギンポ			★	
ネズッポ科	ネズッポ属	ハタタテヌメリ				↔
		ネズミゴチ	★			
		セトヌメリ	↔		↔	↔
ハゼ科	ミミズハゼ属	ミミズハゼ	★			
	マハゼ属	マハゼ			↔	
	チチブ属	アカオビシマハゼ	↔★			↔
		チチブ	↔			
	キララハゼ属	スジハゼ	↔		↔	↔
	ヒメハゼ属	ヒメハゼ	★			↔★
	アゴハゼ属	アゴハゼ	↔			
		ドロメ			↔★	
アイゴ科	アイゴ属	アイゴ	↔★		↔★	★
カレイ目						
カレイ科	イシガレイ属	イシガレイ			↔	↔
フグ目						
カワハギ科	アミメハギ属	アミメハギ	★		↔	↔★
フグ科	トラフグ属	シマフグ	↔		↔	
		クサフグ	↔★	↔	↔	↔★
たも網採取			15種		12種	5種
環境DNA分析			29種	10種	25種	20種
総種数			37種	10種	34種	22種

↔ 環境DNA分析

★ たも網採取（因島，大三島，伯方島）

研究報告書

１.テーマ名　　「①沿岸生態系の解明」

２.研究課題名　「海中探査ロボットシステムの開発」

３.研究者名　　工学部 機械システム工学科・　内田博志
　　工学部 スマートシステム学科・仲嶋　一
　　工学部 情報工学科・　　池岡　宏

４.研究協力者　スマートシステム学科４年　藤本貴大、松若泰大

５.目的

藻場に生息する魚類の観察を目的とする海中ロボットシステムを開発する。場所や形状が不定である藻場を効率的に探索し、海水の濁りや複雑形状の海底が存在する環境下での観察に対応可能なシステムとする。

海中、海上、上空から多角的・多元的な探索を行う海中探査ロボットシステムを実現する。この概念図を図１に示す。

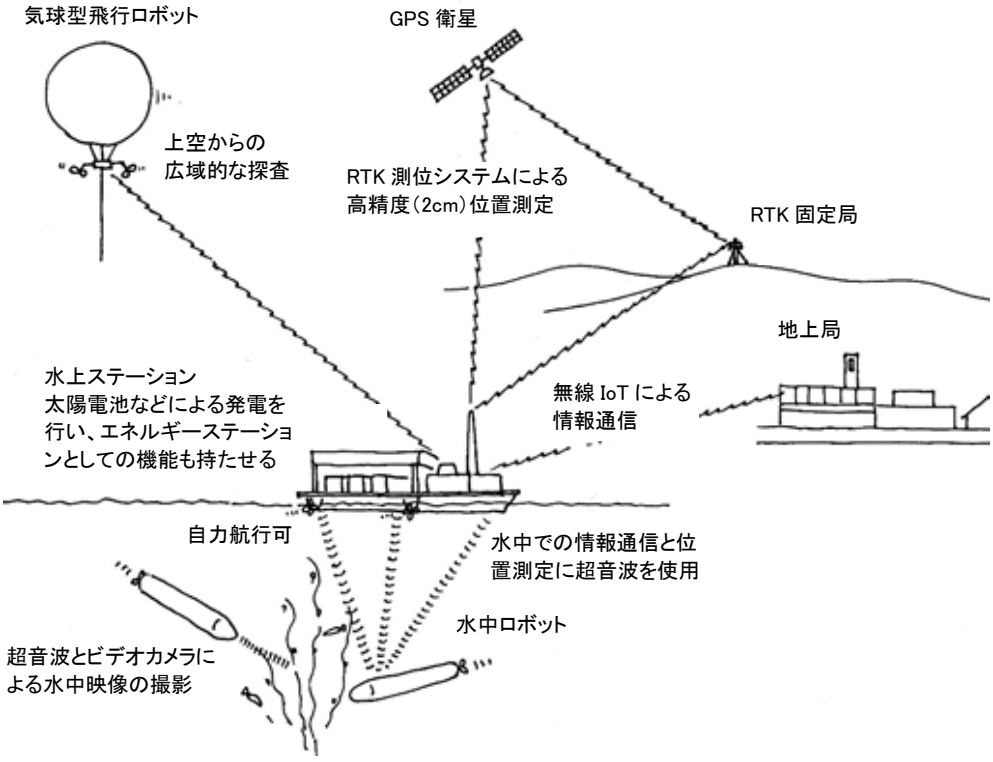


図 1. 海中ロボットシステムの概念図

本研究課題は以下の 3 つのサブテーマで進めている。

1)　海中ロボットシステム

2)　海中音響ビーコン／通信システム

3)　人工知能を用いた自動航行技術

以下に、それぞれのこれまでの研究成果を述べる。

６.海中ロボットシステム

６．１．　海中・海上ロボット

海中ロボットは、藻場の中を移動することを想定して、自由度の高い小型紡錘形状とし、スラスタは、藻への絡みなどを防止するため、プロペラが大きく露出しない形とした。またラダーは設けず、ロボットの 5～6 自由度を 3 軸の推進器で制御する非ホロノミック系として捉えることとした。

図 2-1 に初期型として製作した海中ロボットを示す。このロボットは、スラスタとしてホビー用水中モーターを流用した物であったが、推進力が弱く運動性能に欠け、またスラスタ内部への水漏れを原因とする動作不良をしばしば生じた。このため新たに、家庭用や産業用の小型ポンプをスラスタとして利用した改良型の海中ロボットを製作した（図 2-2）。

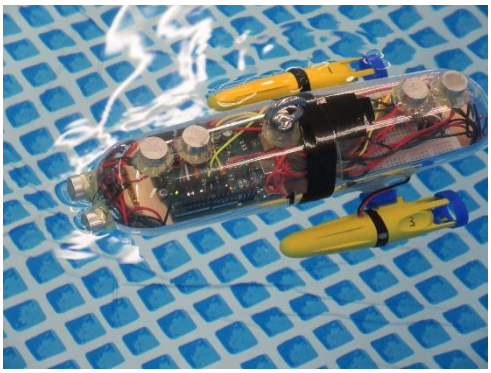


図 2-1. 初期型海中ロボット

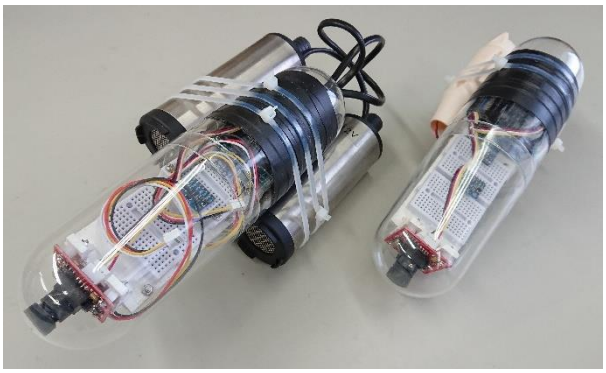


図 2-2. 改良型海中ロボット

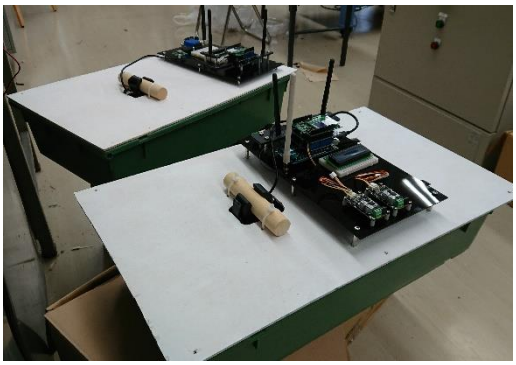


図 2-3. 海上ロボット（甲板側）

図 2-4. 海上ロボット（船底側）

図 2-3 および図 2-4 に、海中ロボットと連動させる海上ロボットの写真を示す。この海上ロボットは、長距離無線通信モジュールや IoT モジュールを備え、地上局との直接通信やインターネットを介してのデータ伝送が可能な構成としている。また RTK 測位システムやみちびき対応 GPS を備え、海上ロボットの高精度な位置同定を可能としている。底部には大小 2 つのアクリル製ドームを備え、その内部に 360 度カメラと小型デジタルカメラを配置している。これらは、海面から海中の藻場を探索することや、海中ロボットの位置測定を行うことを目的とするものである。

６．２．空撮による藻場情報取得

海中ロボットによる海中の自律探索では、ロボットにあらかじめ藻場の地図情報を与えておくことにより、より確実で効率的な藻場探査が期待できる。そこで気球を用いて、海面の空撮写真から藻場が判別できるかを確認するための実験を、福山大学内海生物資源研究所東側の海岸付近で行った。

図 3-1. 生の空撮写真

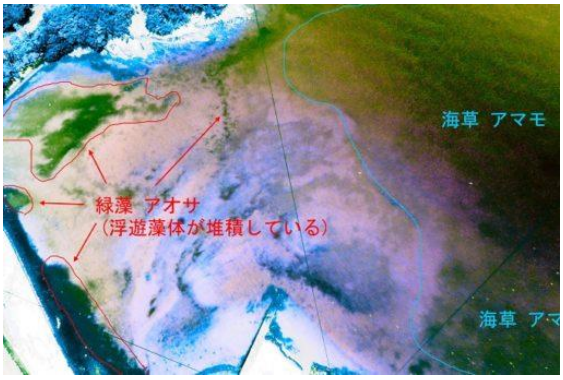


図 3-2. 画像処理による藻場領域の強調

図 3-3. 赤外線カメラによる空撮写真

図 3-1 は、気球を約 120m の高さまで上げたときの、通常のデジタルカメラによる空撮写真である。浅瀬の一部に藻場らしきものが見えるものの、海底の深さが一定以上の領域では全体に海面の青緑色が広がっており、藻場の位置が判然としない。そこで画像の微妙な色の違いを強調するため、画像処理手法の一つであるカラースワッピングを施したところ、藻場と海底の砂地の部分が異なる色となり、藻場の範囲が比較的明瞭に判別できる画像となった（図 3-2）。アオサ藻体は不定形で、アマモは線状の葉を持つが、そのような形状の違いも幾分確認できている。

次に、通常のカメラを改造して製作した赤外線カメラを用いた空撮を行った。図 3-3 は、図 3-1 と同じ海岸部を、この赤外線カメラで空撮したものである（画像処理によりモノクロ化したもの)。水中では青緑色領域以外の光は減衰が大きく、海面はほぼ黒一色となるが、植物は赤外線を強く反射する性質があるため、白色に近い色となって現れる。海面上に見られる白い筋状の部分は枯死して海底から抜けたアマモが海面を浮遊しているものである。

このように、通常の写真では判別しにくいアマモの浮遊物が、赤外線写真では明瞭に判別できる。海藻や海草が抜けて海面を浮遊する「流れ藻」は、種々の海洋動物の生息場所として海洋生物学における重要な研究対象の一つであり、赤外線空撮は、流れ藻研究に貢献する観測手段として有望である。

７.海中音響ビーコン／通信システム

透明度の低い水中の伝搬では光を含む電磁波の使用が不可能であり音波がもっぱら用いられ、情報通信においても唯一の手段である。このため、情報通信を兼ねた位置特定ビーコンシステムの構築を最終目標とした。

７．１．システムコンセプト

システムの概念図を図 4-1 に示す。海中機器、母船搭載機器は同等の送受信機能を持つことを想定しており、複数の圧電トランスデューサーからなる送受信素子アレイと信号処理ユニットからなる。ロボットと母船は間欠的に音響信号をやり取りし、情報の伝達を行うと同時に、その到来方向を推定して互いの位置確認を行う。このため、送受信機はビーコンでありかつ通信機でもある。藻場では海底や岩礁、海面など多くの反射体が近接して存在し、マルチパスによる遅延広がりにより信号劣化を引き起こすため、ロボット側と母船側の送受信機は広がり角の狭いビームで相互に音響信号を伝送し合うことが好ましい。一方、個々の送受信素子アレイにとって送受信相手の機器がどの方位に存在しているかは不特定であるため、送受信素子アレイを水平円周上に複数の素子を

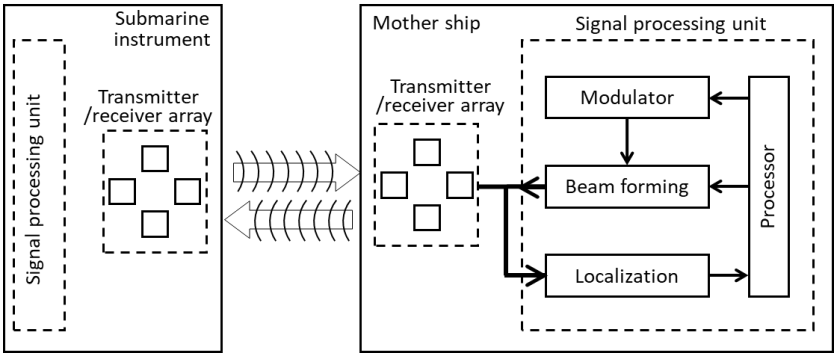


図 4-1　ビーコン／通信システムの基本構成図

図 4-2　送受信機

配置した構成とし、移相器によって個々の素子へ入力する信号の遅れ時間を制御することで角度選択性の高い狭角の音響ビームを形成しつつ、全方位に掃引することとした。図では 4 方位に素子を配置しているが、各素子の発信音響波が干渉しなければならないため、個々の素子の広がり角によって配列の個数を設定する必要がある。なお、藻場観測において母船は海中ロボットに追随して移動するものとし、ロボットの動作水深を 5m 以浅として通信距離を 10m と設置した。一般の海洋通信では伝搬減衰を考慮して搬送周波数を数 10kHz とする例が多いが、 上述のように近距離であるため、通信帯域、方向探査分解能を考慮して 200kHz 前後の周波数を用いることとした。200kHz であれば、10m における伝搬損失は約 0.3 程度に抑えられる。

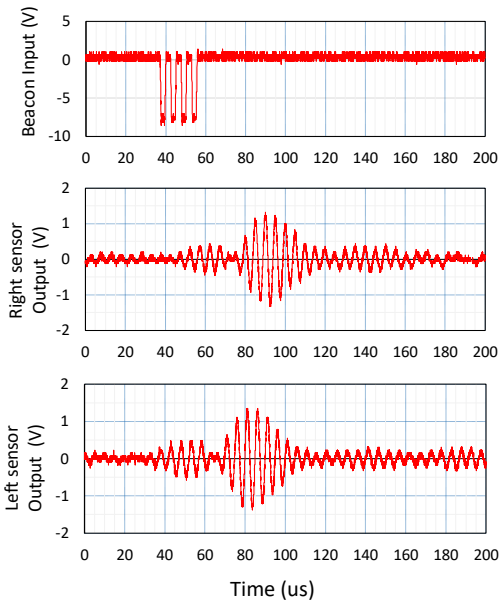


図 5-1　波形

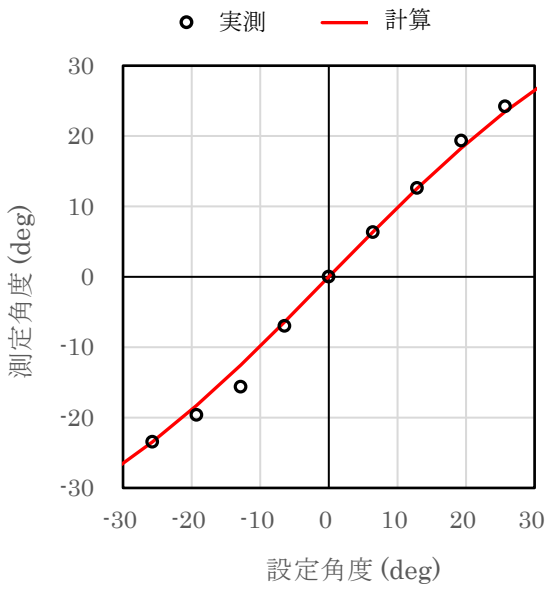


図 5-2　方向探査結果

７。２。基本モジュールの試作と特性評価

基礎評価として、バースト信号の発信機と 2 個のアレイ受信機を試作し、方向探査性能の評価を行った。図 4-2 に試作した送受信機を示す。入手性の良さから、周波数 200kHz のソナー送受信機を用い、ソナー波の入出射端に近接して拡散用の金属球面を設けた。アレイ受信の間隔 200mm とし、その垂直 2 等分線を中心軸として送信機の角度位置を到達時間差から演算した。図 5-1 に送信モジュールを中心軸上で距離 500mm に置いた場合の各受信モジュールの受信信号と送信モジュールの駆動信号を示す。マルチパスによる干渉の影響を除去するため、4 周期駆動して 64 周期分休止するバースト信号とした。受信信号間には若干の時間差があるが、これはモジュールの作製誤差による固定の誤差成分と考えられ、この時間差を固定のオフセットとして除去している。また、

図では駆動に対して直後に受信信号が表れているように見えるが、実際は伝搬遅れによりバースト繰り返し周期の 1 周期遅れの信号が観察されている。波束の前に小さな波束が観測されるが、これはソナーへの直接波で、拡散用半球からの反射波は半球とソナーとの距離 50mm での伝搬遅れ約 33μs を以って観測されている。

図 5-2 に送信機の位置を変化させ、各位置において両受信機出力波形の時間差から算出した到来方位を示す。到達時間差は最大の相互相関を得る時間差としている。到来方位の計算は平面波を仮定しているが、測定では送受信間の距離が近いため送信機の設定角度位置に対して到来角度の計算値は直線にならずＳ字カーブを描く。実測データから得られるこのシステムの推定精度は約 0.9°、10m の距離で約 150mm の推定位置誤差であり、十分な精度が得られることが確認された。

８. 藻場探索のための人工知能を用いた自動航行

海中に点在する藻場を、手動操作による水中ドローンで探索した場合、非常に多くの時間と人的コストを要する。そこで、水中ドローンによる藻場探索を支援する人工知能（AI）の開発を試みた。なお、AI は藻場認識、藻場探索の二つの能力を必要とするため、これらを別々に開発することにした。

藻場認識用 AI の開発にあたって、まず利用可能なアルゴリズムの調査を行った。一般に画像認識には、CNN ベースのニューラルネットを用いることなるが、後に述べる藻場探索用 AI との連携に際し、シンプルな CNN だけでは情報の質・量としては心もとない。従って、画像中の藻場の位置を取得可能な方式を調査した。画像中の物体位置を矩形単位で認識する方法と、オブジェクトの形状単位で認識する方法がある。前者の方式で有用性が確認されているアルゴリズムとして Yolo がある。なお、Yolo も複数のバージョンがあるが、今回は利用実績のある Yolo V3 を用いて検証を行うことにした。加えて、オブジェクト形状の認識アルゴリズムとして、Mask R-CNN があるが、学習データの準備に時間を要している。

並行して、水中ドローンの藻場探索を行うための航行支援用 AI の基礎学習が可能なシミュレーション環境を容易にした（図 6-1）。水中ドローンには、藻場認識センサおよび一方向だけ距離推定可能なセンサを仮定した。基礎実験にあたってマップは、ランダムな凹凸を持つ地形に加え、やはりランダムに配置した藻場の存在する海中を探索する AI の学習を行った。報酬設計において、藻場探索成功時にプラス、地形や岩への衝突および時間経過でマイナスとなるよう設計。また、海中の様子を再現するにあたり、海洋メッシュデータ（約 10m 間隔）を使って地形再現を試みた。まずは、一般的な強化学習（アルゴリズムに

は PPO を採用）で試みたが、十分な精度が得られなかった。そこで、人間の手動操作をベースに学習を行う模倣学習も試みたが、1 万ステップでの学習比較の場合、地面や岩への衝突回数が、7.6 回から 3.6 回に改善したものの、藻場探索能力の大きな改善は見られなかった（図 6-2）。やはり局所的な画像や距離のデータだけでは、学習がうまく進まない可能性が高い。予め藻場の生育位置や環境等の情報を考慮した学習が必要と思われる。

今後は、藻場認識 AI の完成および藻場探索 AI への入力情報の検討を行う必要がある。

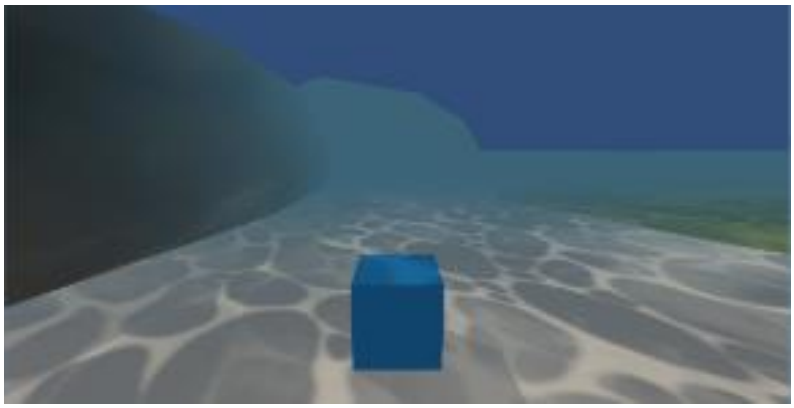


図 6-1 藻場探索ｼﾐｭﾚｰﾀ

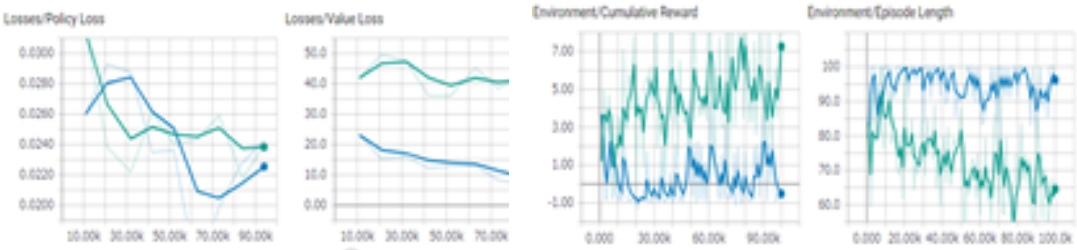


図 6-2 藻場探索 AI（強化学習）の学習回数に応じた能力変化。左から累積報酬,ｴﾋﾟｿｰﾄﾞ長,学習ﾃﾞｰﾀの損失,検証ﾃﾞｰﾀの損失 ： 学習を２回実施(緑、青)

研究報告書

１.テーマ名　　「①沿岸生態系の解明」

２.研究課題名　「藻場環境観測システムの開発」

３.研究者名　　工学部 スマートシステム学科・田中聡・伍賀正典・仲嶋一

４.研究協力者　　スマートシステム学科４年　桑田　航平、村上　祐紀

５.研究目的

瀬戸内海周辺において里山と里海により連携的に維持されている生態を解明することで、海の生産性を高めることを目的とした研究として、「しまなみ沿岸生態系の解明」の研究が３年間にわたって行われた。筆者らは瀬戸内海の海中で春夏秋冬の年サイクルで消長する海藻の集まりである藻場の役割の解明がそこに暮らす生物の誕生から生育に大きな役割を果たしているとみて、藻場の中の環境を明らかにするために観測機器の開発を行った。なかでも、各種センサを搭載した海底カメラ(Sea Bedded Cam)を中心に開発を行い、２０１８年度は１号機[1]（図１）、２０１９年度は２号機（図２）を製作してその機能テストを行った[2]。さらに、2019 年秋より小型化とインテリジェント化を目指した３号機の開発も進めている。この海底カメラは藻場の中の様子をステレオ動画として長時間にわたって記録し、特に藻場の中における海流の三次元的な流れを測定し、海中の透明度の変化を測定する。また、生物を認識して生物相の変化を調べ、赤潮などの警報を行う機能の実現を目指している。こうした機能を

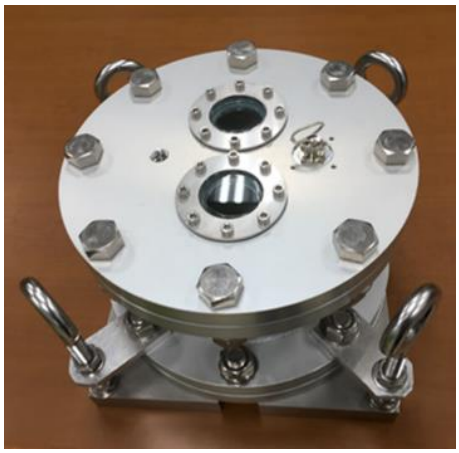


図１　海底カメラ１号機

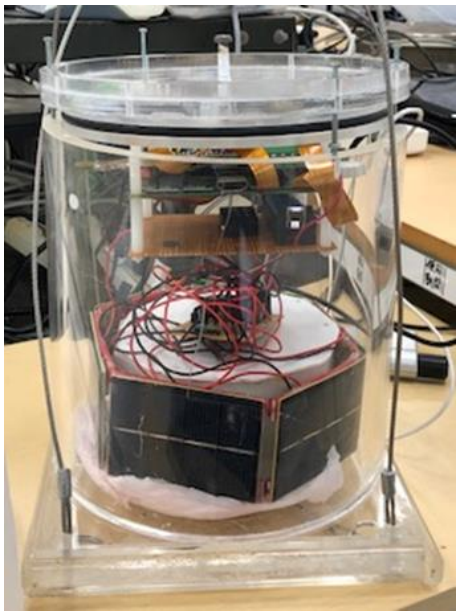


図２　海底カメラ２号機

実現するために、AI 技術を用いたオブジェクト認識技術の導入を目指しており、２０１９年度は海底の藻場における藻の画像認識を行っている。さらには、認識した情報を海底カメラから無線通信によって基地局に情報伝送するために、LPWA(省電力遠距離無線)を用いた伝送システムの開発を行っている。２０２０年度は開発したシステムを実際の現場で運用を行うことから、運用技術を高めて効率的な運用を行えるようにすることも重要な研究目標である。

６.研究成果

６.１. 海底カメラに求められる機能　[2][3]

藻場観測という目的を達成するために海底カメラに求められる機能を表１にまとめた。

表１　藻場観測で必要な情報

No	観測項目	観測結果の影響
1	海流（方向、流速）	藻場の移動に影響
2	水温（面、鉛直データ）	生物相の変化に大きく関わっている
3	水圧（水深）	
4	塩分濃度(面、垂直データ)	
5	透明度（面、鉛直データ）	海水の循環とプランクトンの消長
6	栄養塩	
7	クロロフィル測定	プロファイル測定は赤潮の予測に有効
8	上空の風向・風速	海流に影響
9	植生の変化（海中、沿岸）	

今回の海底カメラでは主に画像解析を用いて海中を観測することを目指している。測定ターゲットは表１の１－５の項目の観測を主とし、６、７については食性研究や赤潮対策としてニーズがあるが、センサ部分の小型化のハードルが高いので将来的な課題とした。また、８、９については海上システムに搭載することを計画している。

海底カメラ１号機の本体はアルミ製であるが、水圧や海流に耐えるために肉厚があり、円筒部の直径が 380 mm と大きいため、その浮力も大きく、沈めるためのバラストを装着して総重量 40 kg と重い.この重さのため、海底への設置は図３のようなワイヤとロープにより吊り下げて引き上げ回収を行うなど運用の負荷が大きい。また鏡面のため海面から見ても目立つことから、盗難のリスクもある。

２０１８年度の海底カメラ１号機の試験運用の結果見えてきた運用課題と対策を表２にまとめた。

表２　運用上の課題

No	運用課題	対策
1	海中では電波が届かない 無線通信ができない	スタンドアローンで運用し、定期的なメンテナンスを行うため、メンテナンスの容易化設計をする.
2	海底から海上へのケーブル接続は荒天時に破損	
3	海底に長期間（１週間以上）置くと付着生物により機能が劣化、停止する.	
4	海水の腐食性が高く金属には対策が必要	海水耐食性、対候性の高い材料を用いる.
5	強い紫外線照射によるプラスチックの劣化	
6	盗難や故意の破損の危険	管理しやすい場所への設置.監視の強化 単価の削減
7	強い海流に流される	潮流に対する抵抗の小さい形状
8	外部温度変化による結露	乾燥剤の利用

瀬戸内海の海深は最大でも 30 ｍであるが実際に魚類が生息する藻場は浅いところに多いことから、1 号機の仕様としていた 30 ｍの耐水圧性能は実際には 10 ｍ程度でも実用になると考えられる。そこで２号機ではアクリル製の円筒容器を用い、蓋（フタ）を O リングで封止した。海底カメラに必要な耐水性能は目標の水深において１週間以上の間漏水がないことが求められており、短時間の潜水のみの海中ドローンに比べて高い製作精度が必要だといえる。

次に、瀬戸内海の海中は透明度が極めて低く、植物プランクトンによる緑色に濁った海中では視界が数ｍしかない。また、海底は砂漠化が進んでおり、自力で移動している魚類をとらえることは少ない。一転して冬場には透明度が急速に改善して多くの海藻の繁茂を海面からも見ることができるようになるものの視界は 10 ｍ程度である。海底カメラでは３次元での画像計測を行うためにステレオカメラを搭載しているが、距離方向の分解能は 10 ｍ程度で十分であることから、カメラ間隔を人間の視覚に合わせて 60 ｍｍと狭くしても十分に深度計算が可能である。このことは、人間の両眼の感覚と一致するので、観測者が肉眼で海中を３D 画像で観察する感覚に近い点が有用である。

表３　サブシステム一覧と開発状況（２０１９年度末）

No	サブシステム名	機能概要	開発進捗
1	海底カメラ本体（海底カメラ外装）	１号機円筒状アルミ容器とステンレス製バラスト ２号機３号機　アクリル円筒容器	改良中
2	ステレオカメラシステム	海底に沈めるカメラ及び録画機能・制御機能 エッジAI搭載	改良中 開発中
3	海上システム(流速系)	船上から投入する流速計及びGPSロガ 海上の気温、気圧（リファレンス)、GPS位置情報を記録する。	開発完了
4	海水温計（HOBO Logger)	海水温の垂直プロファイル測定	運用に課題あり 再設計
5	画像データ処理システム	ポストプロセスのためのソフトウエア オブジェクトトラッキング等の画像解析	改良
6	画像データベース	取得データおよび解析した画像データの管理　のためのデータベース	未開発
7	オブジェクト認識	海中にある藻や魚などのオブジェクトを画像から認識し、トラッキングする	開発中
8	LPWA(省電力長距離無線)	海上に設置された観測ステーションから陸上にある基地局にデータを送信する。 （海中のカメラから海上観測ステーションまでの通信は超音波による)	アンテナ高の低い通信に課題あり
9	海中ドローン	藻場の状態や観測機器の状態を観測し、観測機器の運用を補助する	位置・方向の特定に課題
10	3Dビューア	海底カメラのステレオ画像をヘッドマウントディスプレイで表示する	開発完了

６.２. 海底カメラのサブシステム

実際に海でカメラを運用するためには海底カメラ本体のみでは不十分であり、周辺システムの開発が必要であった。海底カメラ本体及び周辺機能をサブシステムとして、その機能を表３にまとめ、２０１９年度までの開発の進捗状況を示す。ソフトウエア関係については動作環境に合わせて高速化し、ユーザが利用しやすいように改善しつづける必要がある。

６.３. 海底カメラ２号機の製作

海底カメラで長時間の運用を行うためには、回路を含めた電子回路全体の消費電力を抑制する必要があるため１号機では Raspberry Pi3 を２台使用して２つのカメラを接続していたが,カメラ入力が２つ使用できる Raspberry Pi CM3＋IO board を用いることにより２つのカメラを同時に接続し、ソフトウエアも２カメラ画像を保存できるようにしたために消費電力が半減させることができた。(図３)

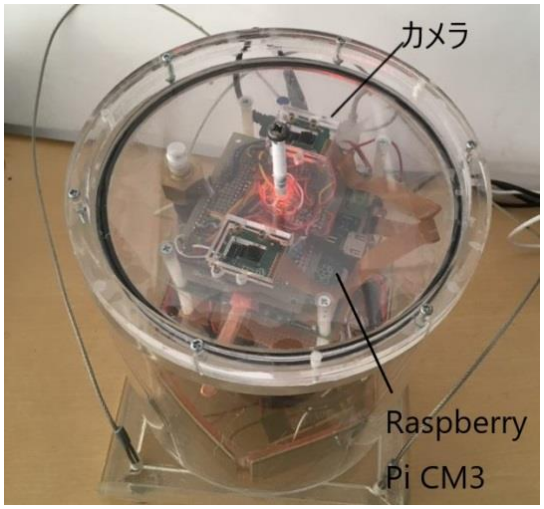


図３　２号機カメラ部

長時間運用のためには大容量のバッテリを搭載する必要がある。本システムの消費電力は約３W であるため１日の運用には3000mAHx3.7V のリチウムイオン電池 30 個程度必要であり、１週間の運用には相当数のバッテリを搭載しなければならない。これを本体内に搭載すると本体の体積が大きくなり浮力が増す。それに対応するためにバラストを重くするならば総重量が増えて１号機のように扱いが困難になる。２号機ではこの問題を容器の外に接続した外部バッテリで対応する。外部バッテリは円筒状の耐水容器にリチウムイオン電池を数個ずつ搭載したものを本体の周辺に同時に沈めて使用する。外部バッテリは本体と同時に沈め、また回収する。

浅い海中であれば太陽光が届くため太陽光による発電で運用時間を少しでも延長できることが期待される。２号機では実験的に 1.2W（標準太陽光の下での値）のパネルを６枚搭載してその合成出力を測定した（図 3)。測定結果を図 4 に示す。この実験では海底カメラを海底と水面の間を往復させて発電出力を測定している。実験時は曇りであったが日照が時間的に変化しているものの、水面と４ｍではおよそ半分の出力さがある。理論計算によるとこの発電システムでは１日の日中の発電電力は海底カメラ２号機を１０分から２０分程度動作させることができる程度の発電量となる見込みである。

海底カメラ１号機の独自の課題としてカメラの画面に懸架のためのワイヤが写りこむために画面が制約されてしまうという問題があった。これを解決するために図４のように本体下部に懸架用のワイヤを取り付けて２本のロープで誘導しながら沈める方法をもちいた。浮力のバランスによりカメラの取り付けられた上部が上を向くことができる。

６.４. 筐体設計

第１次観測器の耐圧筐体を以下の仕様にて設計した。観測器には海水流速計測用のステレオカメラ、潮位測定用の水圧計、海水温計測用の温度計、方位計測用の磁気センサを搭載する。ステレオカメラは基線長を 100mm で設計されており、流速を水深毎に測定することを考慮して上方を視線方向とする。また、カメラの画角は広角方向（基線方向）で全角 61°であり、カメラとガラス面の距離は 5 mm 以下に設置する。開発された処理回路系及びセンサの収納に必要な内部寸法は、対角 200 mm 以上、高さ 150 mm 以上である。

磁気センサを使用することから筐体材料は非磁性であることが必要であり、軽量化のためアルミニウムとした。設計の簡単化のために JIS のフランジ設計を流用し、円筒胴を差込溶接式フランジと閉止フランジにて密閉する構造を選択した。円筒の片側の閉止フランジにセンサを配置して上方に向けて設置する構造とし、上下方向を安定に設置するため反センサ側の底面にバラストとして非磁性ステンレス製の板を取り付けることとした。

筐体内寸は、上記内部測定回路の寸法制約より直径 200 mm、高さ 150 mm 以上であるため、円筒胴の選定とてフランジへの溶接を考慮して肉厚 6.5 mm の規格品である内径 203.3 mm、外径 216.3 mm、の A5052 パイプの切り出しとし、それに適合する、JIS B2220 5K 200A フランジを選定した。圧力－温度基準によると使用温度-20～120 では最高使用圧力は 0.7 MPa（水深 70 m 相当）である。センサ窓のフロート板ガラスの長期許容応力は設計水深 20 m では安全係数 5 となるが、海藻の生息する 10m 以浅では 10 以上となる。2 次以降の設計では、軽量化、低価格化のための最適化を行っている。図１に、設計した耐圧筐体の写真を示したが。気中重量はアルミ筐体 18.5kg、ステンレスバラスト 27kg、総重量 45.5kg である。また、内容積 4.7ℓ から、水中重量は 30.5kg である。

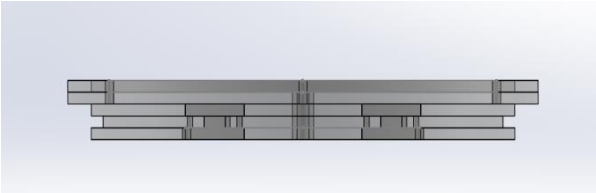


図４　２号機容器フタ

図５　海中の藻の画像例

２号機は筒状のアクリル容器を採用している。円筒部に高さ 200ｍｍ外形 200mm 厚さ 10mm のアクリルパイプを用いており、１０倍安全率を見込んでも５気圧（水深 50 ｍ）が期待できる。上部フタ（センサ部）は図４のような 5～8mm 厚のアクリル板を５枚重ねた構造となっており、円筒部と同等の耐圧が期待できるものの、0 リング部分の耐圧次第である。内部機器のメンテナンス等によりフタ部分を開け閉めするとことにより水密性能は劣化し、締め付けの良し悪しにより期待した性能が発揮できず、漏水する場合もみられた。きちんとフタの部分を密着させて入れるためにはフタの円周にあるボルトホールでねじ止めするが密閉度が高いので大気中でも容易ではない。フタの中心に空いている穴は空気を抜くためのドレーンである。また、フタを開く場合にも 0 リングの摩擦によりかなりの力が必要である。フタのボルトホールとは違う場所にフタを引き抜くための専用のねじ穴を用意している。

アクリル容器の総重量は 3.25kg であるが、浮力が 7.436kg と大きいことから、海底に沈めるために６kgのステンレス板でできたバラスト（重り）を海底カメラの底部に取り付けている。

６．５．CNN による藻の認識

海底カメラでは藻場の中で海中を移動する物体を認識する技術が求められている。藻場内での対象は海そう（本稿では海藻と海草を含めて表現する）および生物さらに海底および海面さらには海中の浮遊物体であるが、当面は海そうとその他という分類を目標とする。瀬戸内海の海水は混濁して視界は数メートルという場合もあり、図５のように海中における画像にはもやがかかったようにかすんで不鮮明であるが、そのような中にあってもある程度の分類結果と位置情報を得る必要がある。そのために図６のような CNN(Convolutional Neural Network)の学習機能を利用する。

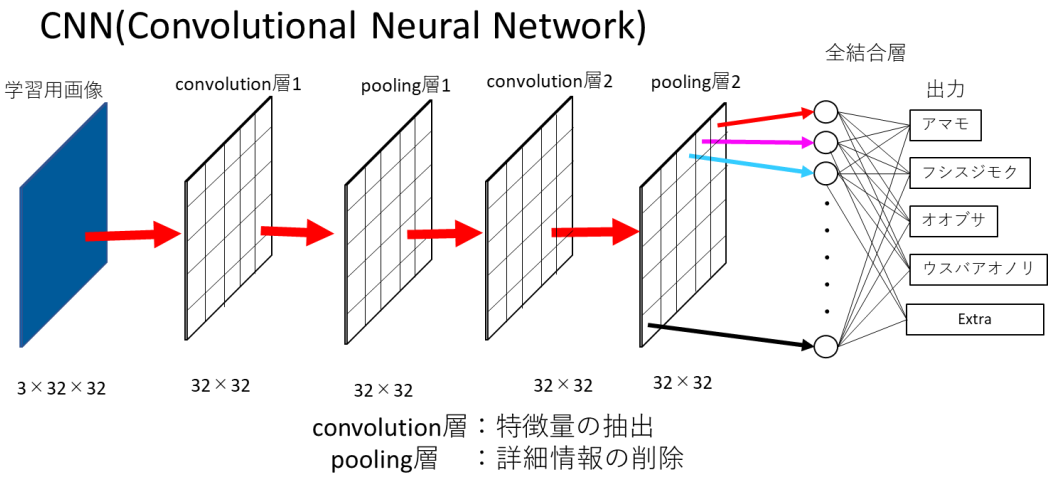


図６　学習に用いた CNN

広島県尾道市の因島周辺の海域で撮影した４種類の海そう画像を用いて学習したCNNを用いて海そうおよび海底の岩場や海中の泡、海底カメラのロープといった海そう以外の画像（図７）を追加して学習を行い、テスト画像を用いて推論を行った結果を表４に示す[3][4]。 なお、学習画像を増やすために、画像の90度180度、270度の回転およびノイズの追加によるN増しを行うことで認識率がどのように違うか調べたところ表４の２のノイズのない場合が最も認識率が高かった。

表４　海そう認識率

No	学習画像 N増し処理	学習枚数 (枚)	学習回数(回)	認識率(%)
1	なし	900	200	60.4
2	回転	2100	200	79.6
3	回転&ガウスノイズ	4200	200	79.5
4	回転&ごま塩ノイズ	4200	150	79.2
5	回転&ガウス&ごま塩	6300	100	77.2

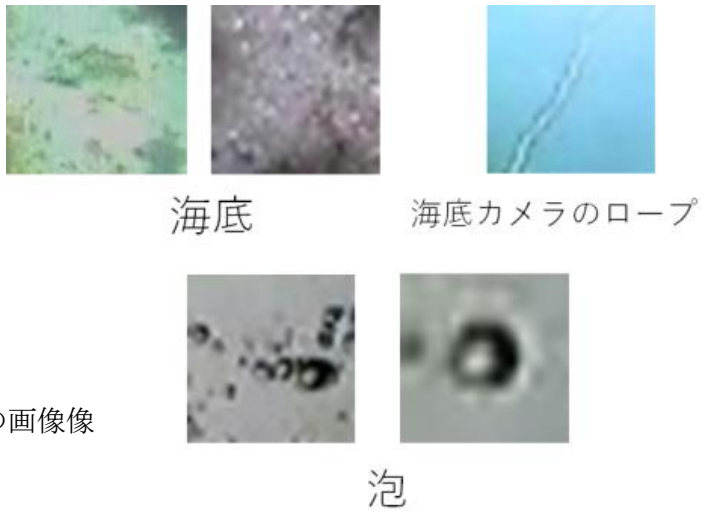


図７　海そう以外の画像像

６．６．カメラの姿勢推定

カメラの撮影方向は海底カメラの z 軸の方向に固定されており、海底カメラの姿勢に関する情報の取得が必要である。そのため、図８に示す 6 軸方向の加速度と 3 軸方向の地磁気を計測可能なセンサを導入し、海底カメラの姿勢をリアルタイムで計測している。あらかじめ地磁気と姿勢を照らし合わせ指標をとり、角加速度の値を積分した値との相関を計算することで姿勢推定が可能とな

る。この計測にも処理速度が要求されるために、専用マイコンでの処理を行うなどの改良が必要である。

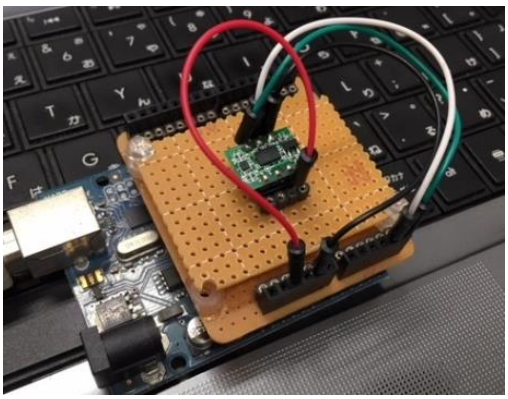


図８　９軸加速度・地磁気センサ

■参考文献

[1]2017 年度進捗報告テーマ①-③　藻場環境観測システムの開発
2018 年度進捗報告テーマ①-③　藻場環境観測システムの開発
https://www.fukuyama-u.com/project/project_branding/

[2] 田中 聡他、「藻場観測のための海底カメラの開発」,福山大学工学部紀要 第 41 巻 2018 年 2 月.

[3]田中　聡他,「瀬戸内海の藻場探査を行う海底カメラの運用に関する研究」,福山大学工学部紀要,第 42 巻 2020 年 2 月.

[4]桑田他, “CNN を用いた海藻画像の分類に関する研究”, 第 28 回計測自動制御学会中国支部学術講演会、2c-2,pp.43-44.2019 年 11 月 23 日.

研究報告書

１.テーマ名　　「①沿岸生態系の解明」

２.研究課題名　「藻場探査システム：藻場生態系観察用 ROV の開発」

３.研究者名　　工学部 スマートシステム学科・沖俊任

４.研究協力者　　無し

５.研究目的

私立大学研究ブランディング事業課題では、浅海域における藻場が多様な生物の「ゆりかご」として機能していることに着目し、そこでの生態系を知ることで、豊かで持続的な生物圏と生物資源の保育を可能にすることを目指している。そのための第一には、藻場を直接観察することが大事となる。この作業をスキューバダイビングなど人力で行うことも考えられるが重労働である。そこで、図１に示すような有線潜水ロボット（ROV ： Remote Operating Vehicle, いわゆる海中ドローン）を用いることで、水中に潜ることなく安全に、母船から生物群にストレスを与えることなく観察できることが期待される。しかし一般に市販されている ROV は、小型化や安価のためにスラスタによる噴水流で推進と沈降浮上を行っている。このため、この噴水流に頼ることなく水中で静止することは困難であり生物や環境にストレスを与える可能性があること、藻場のある海底付近で噴水流により巻き上げられた砂等がスラスタに巻き込まれ動作不能となる可能性があるなどの問題がある。

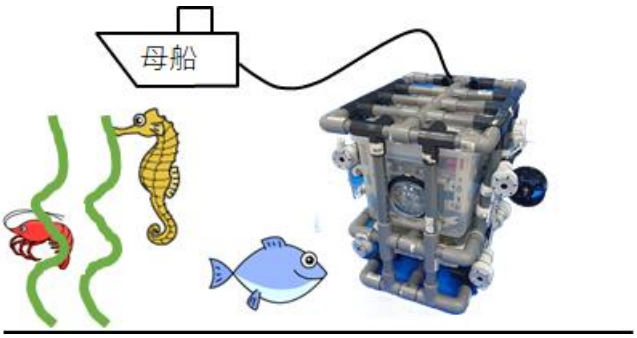


図１ ROV のイメージ

このことを踏まえ、本研究では浅海域の藻場で生態系の観察ができる ROV を開発する。この ROV には、一般に市販されている ROV の移動や動画撮影の機能（【要求】（ア））に加えて静的なバランス機能が求められる（【要求】（イ））。これには、大型の ROV で用いられている機構のように、魚の浮袋のような機構と錘の移動による重心移動で対応できる。前者は、ROV の筐体の体積はそのま

まに重量が重くなれば沈降し軽くなれば浮上する。この重さの変化は海水などを筐体に出し入れすることで実現できる。もちろん、錘によりあらかじめ中性浮力付近に浮力を調整するが、この誤差や塩分濃度の違いによる浮力の違いも補正することができる。

この操縦は簡単な方が望ましい。しかし一般に ROV はそれに搭載されているカメラからの画像を頼りに操縦する。しかし市販の ROV ではテザー（ケーブル）や本体が水から受ける抵抗や重力のため直進すら困難である。このことから、開発する ROV では操縦の自律的サポート機能を付加する（【要求】（ウ））。

開発する ROV では、開発費抑制のため安価なマイコンを母船と ROV それぞれに搭載し分散処理する。しかしこれは、AD 変換器や PWM 信号発生は容易でないため、この部分は組込みマイコンを用いる。これらを統合するできるだけ簡単に行う必要がある。（【要求】（エ））。

開発する ROV は重くなることが想像できる。これを桟橋と船、船と海等の間で移動させるが、前かがみでの作業となり危険を伴う。そこで、簡易なクレーンを準備する（【要求】（オ））。また、実環境での実験に先立ち、機能試験には、福山大学工学部の実験水槽で行う。

生態系観察のための ROV には高精度・高機能な撮影機能も求められる。今回の開発では移動とバランスなどに注力し、画像は簡易なものとする。

【要求】

(ア)一般に市販されている ROV の移動や動画撮影の機能

(イ)潮流のないとき、静的（噴水流に頼らず）に水平と深度を調整できる。

(ウ)進行方向や深度は自律的に補正できる。

(エ)複数のマイコンの連携を容易に行う必要がある。

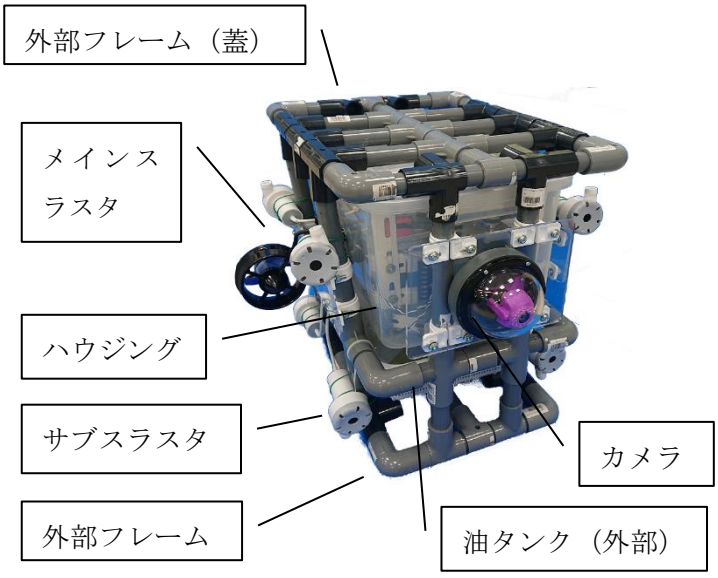
(オ)簡易なクレーンを準備する。

次節に本研究で開発した ROV を示す。

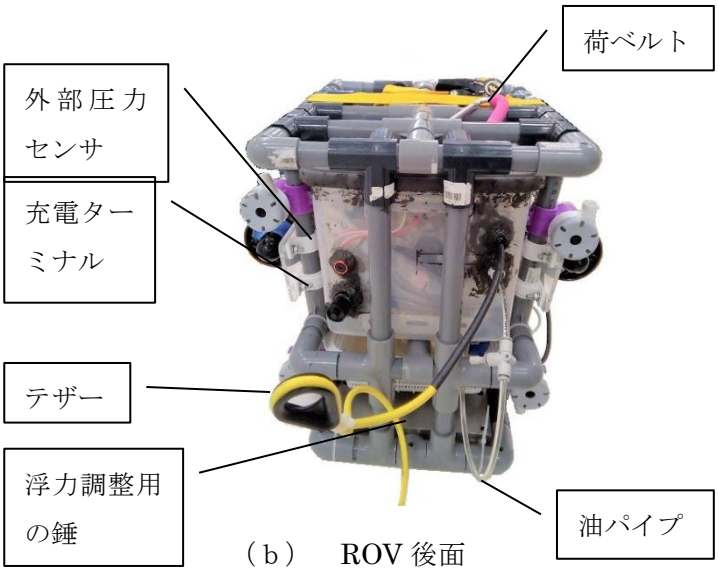
６. 研究成果

開発した ROV の外観を図２に示し、ハウジング内部の構造を図３に示す

【要求】(ア)に対し、メインスラスタで前後進とヨー軸（ROV の中心をとおる上下方向の軸）回りの旋回を担っている。また、カメラで撮影ができる。サブスラスタは小型のポンプであり、浮上・沈降と同時にロール軸（ROV の中心をとおる前後方向の軸）とピッチ軸（ROV の中心をとおる左右方向の軸）の旋回を行うことができる。

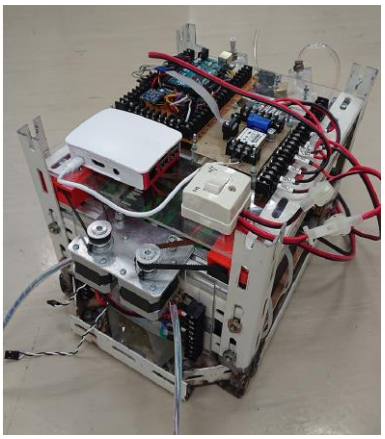


（a）　ROV 前面

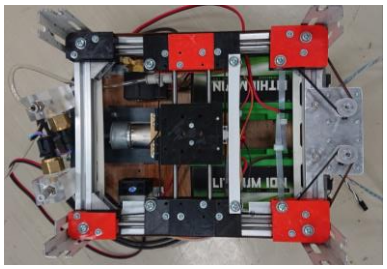


（b）　ROV 後面

図２　ROV 本体の外観



（a）　全体図と制御層（最上部）



（b）水平バランス層

（c）ポンプ+電源層

(d) 油タンク（内部）

図３　ハウジング内の構造

【要求】(イ)について、サブサラスタでは静的な静止ができないため、沈降・浮上については、ハウジング内の油タンク（外部）の油をポンプで油タンク（内部）に送ることでハウジングとその内部の重さが重くなることで沈降し、油を油タンク（外部）に送ることで浮上する。また、ロール軸とピッチ軸の旋回は水平バランス層の錘の移動による重心移動で制御する。

【要求】(ウ)について、直進については、制御層に搭載した地磁気センサによ

図４　操作画面（左）と ROS 上の機能ネットワーク（右）

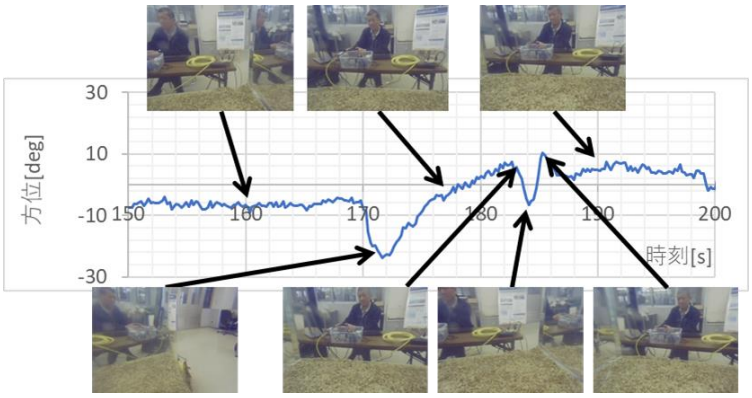


図５　メインスラスタによる手動制御結果（実験水槽）

図６　クレーンを用いた
海中への投入

り ROV の正面に対して磁北を検出し、これと移動すべき方向との差が小さくなるようメインスラスタを駆動することにより補正しいる。深度は外部圧力センサで計測した水圧から水深を算出し、指定した水深との差が小さくなるようポンプとサブスラスタを駆動し補正している。

【要求】(エ)についは ROS(Robot Operating System)を用いている。これにより、ユーザインターフェース（操作画面）（図４左）、マイコン間の通信と機能ネットワークの構築（図４右）、データの記録（図５）が容易となった。

【要求】(オ)についは、軽トラックに搭載できるクレーン（図６）を準備した。

７. 今後の研究計画

今年度は藻場生態系観察用 ROV の機能のうち、主に移動に関する部分について開発を行い開発に必要な基礎的知見を得た。しかし実環境では波の影響を大きく受けることを確認した。次年度以降では、撮影の高度化、および、波の影響を受けにくい ROV 本体の開発を行う予定である。

私立大学研究ブランディング事業報告書

②産業・教育支援

代表：有瀧真人

班員：池岡宏、伊澤康一、倉掛昌裕、北口博隆、水上雅晴

要旨:本事業は、瀬戸内海中央部 芸予諸島を舞台に、周辺浅海域における生態系（しまなみ沿岸生態系）の多面的機能を明らかにし、その機能を応用した持続可能な産業の展開から、経済的な活力と若者にとって魅力のある地方中核都市圏の創出や島嶼社会の活性化へ繋げることを目的としている。本テーマ②産業・教育支援では、①生態系の解明で得られた知見を、水産養殖業や有用物質の発見といった産業へ直結する研究に応用するとともに、環境教育で社会へ還元し、以下の 5 つの成果を得た。【有瀧】シロギスの養殖では、このプロジェクトで得られた生息海域の物理・生物環境のデータを採卵技術にフィードバックし、飼育条件下における産卵状況と卵質を明らかにした。またこれらの成果をもとに産卵コントロールによる効率的かつ先駆的な養殖技術を開発した。
【池岡・伊澤】一方、養殖のハード開発では、人工知能を用いた自発給餌システムや環境シミュレーションに基づく養殖環境制御システムを活用し、シロギスとしては大型である 25 ㎝、150g の養殖魚を 1 年半で量産する技術を確立した。【倉掛】有用物質の探索では、藻場・干潟生態系で大量に生産される種を対象に、その生体成分の有効利用法を開発した。具体的には、アオサ等に含まれる多糖類の分解酵素を生産する微生物を探索し、その酵素によるオリゴ糖等の有用物質への変換法、その生体に含まれる抗酸化性物質等の機能性成分の有効利用性について検討した。【北口】また、赤潮やノリの色落ちの原因となる微細藻類を殺滅する細菌を探索・分離し、殺藻細菌の殺藻物質産生機構の解析を行った。さらに、殺藻細菌を用いた赤潮防除法についての検討を行った。
【水上】藻場や干潟の生態系解明や産業支援に関する研究に焦点を当て、水族館を活用した展示活動だけでなく出前水族館や ICT を用いた遠隔授業などの情報発信活動を行なった。プロジェクトの成果やホットな話題については、社会一般に周知することで（科学コミュニケーション）、瀬戸内海の豊かな環境資源を次世代に引き継ぐ活動へと発展させた。また、内海生物資源研究所周辺の藻場や干潟を利用した実体験型環境学習を、小学校や一般対象に行い、地域資源の重要性と魅力を発信した。これらの実践により、瀬戸内海 しまなみ沿岸生態系研究を教材化し、本学の特色ある教育の一つとすることで、地域資源を活用した教育による学生の成長へ繋げることができた。

１．テーマ名　「②産業・教育支援」

２．研究課題名　「シロギス養殖技術の開発」
（１）飼育状況がシロギスの産卵状況に及ぼす影響
（２）シロギスの卵質評価
（３）シロギスの短日化による産卵抑制の効果

３．研究者名　生命工学部　海洋生物科学科・有瀧真人

４．研究協力者

内海生物資源研究所　技術職員
藤川　稔晃
生命工学部　海洋生物科学科　4 年生
岩佐　海斗、今井　俊介、西原　徹、森川　将大、齋藤　大、出口竣悟、杉山　智哉

５．研究目的と方法
（１）飼育状況がシロギスの産卵状況に及ぼす影響
多くの魚種で水温や日長などの環境要因が産卵の開始や終了及び卵径に強く影響することが明らかにされている。しかしシロギスに関する研究は少なく、本種の産卵状況がどのような機序で変動しているかは不明な部分が多い。そこで今回は、由来（天然魚、人工魚、年齢、サイズ）の異なる親魚群の産卵状況を把握するとともに、水温と日長がこれらにどのような影響を与えているか検討した。親魚群はそれぞれ、産卵開始後、水温、産卵数、卵径、油球径を毎日測定、観察した。日長時間は日の出・日の入りマップ（hinode.pics/state/code/34）から入手した。
（２）シロギスの卵質評価
海産魚類の種苗生産では、卵の質が飼育に大きく影響するとされている。しかし、卵質の評価手法については未解明な点が多く残されている。これまで、卵質の一般的な指標としては、受精率、発眼率、孵化率、大きさ、比重、pH、色調、孵化仔魚の絶食生残指率（SAI）などが用いられていたが、飼育結果に直結するメルクマールは明らかにされていない。そこで、我々は産卵期の長いシロギスをモデルに親魚の由来や産卵期ごとに受精率、孵化率及び SAI を指標として、それぞれの卵質を検討した。産卵期間中、それぞれ親魚群ごとに、受精率、孵化率、SAI を用いて卵質の評価指数（評価項目の値/全親魚群の全期間の平均値）を算出した。

（3）シロギスの短日化による産卵抑制の効果

福山大学ではシロギスの養殖技術の開発に取り組んでいるが、産卵に伴う成長停滞が大きな課題として挙げられている。一方、ブリやイシダイなど多くの魚種では水温や日長などの飼育環境を制御することによって産卵をコントロールできることが明らかとなっている。シロギスにおいても水温や日長で産卵状況が変わると報告されているものの、その詳細については解明されていない。そこで本研究では、シロギスの産卵状況をコントロールする技術を確立する目的で、日長制御による産卵抑制と終了について検討した。試験は、産卵を抑制するために明期 11 時間、暗期 13 時間に短日化したもの（試験 1）と、産卵終了要因を確認するために明期 9 時間、暗期 15 時間に短日化したもの（試験 2）の 2 回実施した。それぞれ、自然日長の対照区を設け産卵状況を比較した。

6．研究成果

（1）飼育状況がシロギスの産卵状況に及ぼす影響

シロギスの産卵は概ね 18～22℃の間で開始し、魚体サイズの大きなものほど早く始まった。環境を操作した早期採卵群では通常群に比べ産卵開始は 20 日以上早く、本種の産卵は水温によって大きく影響されることが明らかとなった。一方、産卵の終了はどの親魚群も概ね同様で、日長が 12 時間を下回る秋分の日を過ぎたあたりに集中した（図 1）。このときの水温は産卵開始の水温を上回る 23～24℃であることから、シロギスは短日化によって産卵が終わると考えられる。各親魚群の卵径と油球径は 2 歳魚が 0.64～0.65mm、0.16mm、1 歳魚が 0.62mm、0.15～0.16mm と魚体の小さな群で小型化する傾向が認められた。また全ての群で水温と卵径には強い負の相関性があり、水温が低いと大きな卵を高いと小さな卵を産むことが確認された。

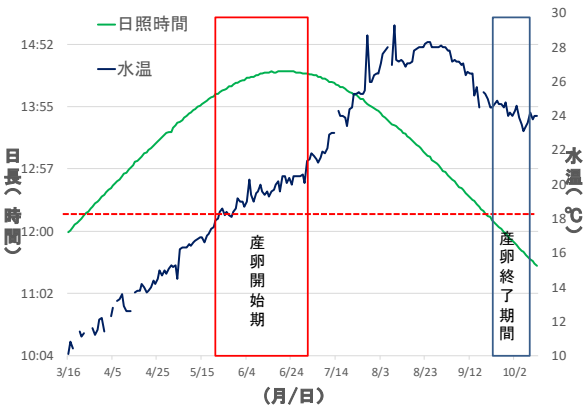


図1 シロギスにおける産卵開始と終了の環境

（2）シロギスの卵質評価

シロギスでは、どの親魚群でも相対的に前期の卵質が良く、後期では低下する傾向が顕著であった。また、早期採卵群の卵質は他の 4 群に比べて明らかに低く、さらに産卵期の進行につれて急激に低下していった。これは、水温調整により通常より 1 ヶ月以上早く産卵させたストレスが卵質に大きな影響を及ぼしていると考えられる。また、天然親魚群は、2 年以上人工環境下で養成した魚を用いており、長期間の飼育や加齢が卵質の低下を引き起こした可能性が示唆される（図２）。

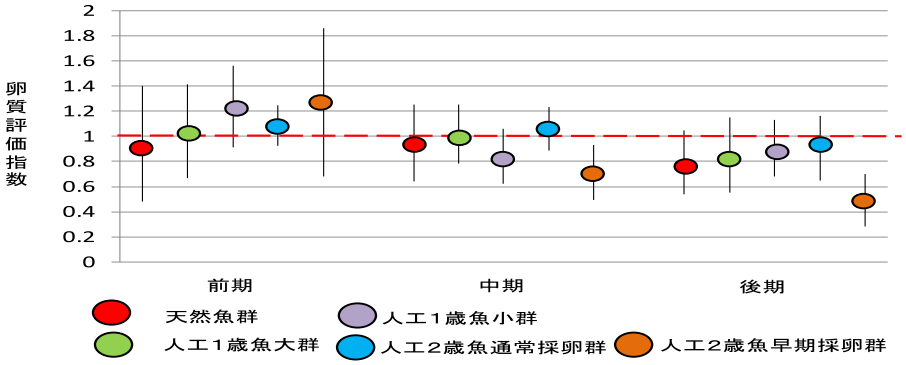


図２　各親魚群の卵質とその推移

（３）シロギスの短日化による産卵抑制の効果

試験 1：自然日長区は 5 月 19 日（明期 14 時間 3 分、水温 18.9℃）に、短日化区は 5 月 25 日（明期 11 時間、19.3℃）にそれぞれ産卵が開始し差はなかった。このことからシロギスは日長に関係なく水温が 19℃前後になると産卵を開始すると考えられた。一方、自然日長区、短日化区の♀1 匹あたりの産卵量の平均値は、前者が 9600±1000 粒/日、短日化区が 6500±700 粒/日と有意な差がみられた。以上のことから産卵量の抑制には日長が大きく影響することが明らかとなった。

試験 2：自然日長区では日長の短日化や水温の低下とともに産卵量は減少し、秋分の日を過ぎた直後の 10 月 15 日（水温 24.2℃、日照時間 11 時間 23 分）に産卵が終了した。しかし、冬至の日長より短日化した試験区では、日長を 11 時間から 9 時間に短くした直後は一時的に産卵量が減少したものの、水温の上昇とともに再び産卵量は増加し、対照区よりも 1 ヶ月ほど遅い 11 月 12 日（水温 20.7℃、日照時間 9 時間）まで産卵は継続した。これらのことから産卵の終了は水温や日長の断続的な低下や短日化が影響しており、絶対的な数値で制御されていない可能性が強く示唆された。さらに産卵終了後の生殖腺重量を測定

した結果、短日化区よりも自然日長区の方が倍近く重かった。このことから日長は生殖腺を発達させるうえで重要な要因となることが考えられた（図３）。

７．今後の研究計画

（１）～（３）の取り組みから、シロギスは１）自然水温では５月から９月までの概ね 100 日間産卵すること、２）卵質は産卵期の前半で良いこと、３）日

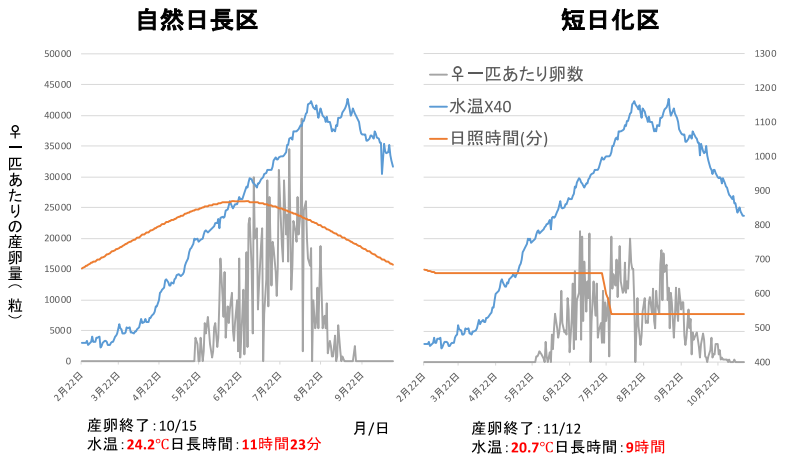


図３　日長操作による産卵状況の変化

長と水温によって産卵のコントロールが可能であることが明らかとなった。今後は、この成果を用いて良質な卵を安定して任意に採卵できる技術を確立する。また、養殖技術開発の過程で人工環境下のシロギスは天然魚に比べて、1.5 倍ほど早く成長することや水温が 15℃以上でないと成長しないことが確認されている。したがって、産卵のコントロールによって早期に採卵・飼育し、春～秋の成長限界以上の水温帯で成長促進を促すことにより、さらなる高成長が見込める。一方、成長促進は成熟の早期化を伴い、成熟・産卵による成長停滞が大きな問題となっている。この課題に関しては、日長操作による産卵抑制が効果的であると考えられるため、取り組みを計画している。

得られた成果は、民間と連携して実証化を検討する目的で本州より水温が高く、シロギスの成長が促進される沖縄の施設での養殖試験として着手を始めた。今後は実証試験で発生する課題を基礎的な知見を重ねることで解決するとともに、福山大学で得られた成果をフィードバックする予定である。

１．テーマ名　「②産業・教育支援」

２．研究課題名「AI を用いた自発給餌システムの開発」
（１）AI の開発
（２）水槽環境シミュレーションモデルの開発

３．研究者名　　工学部 情報工学科・池岡宏
　　工学部 建築学科・伊澤康一

４．研究協力者
工学部　情報工学科　4 年生
黒木春樹
工学部　建築学科　4 年生
漆原啓太

５．研究目的
開発課題として「質」（体長 25cm 以上のテッポウギス）と「量」（稚魚期減耗解消）の双方に加えて、給餌量の必要最小化が求められている。本研究では、それらの課題を「AI を用いた自発給餌システム」によって解決することに着目した。具体的には、「教師データ」を使って人工知能学習を進め、魚が餌を“食べたいときに・食べたいだけ・食べることができる”「自発給餌システム」を構築することを将来目標としている。
本システムの開発は、「AI の開発」と「水槽環境シミュレーションモデルの開発」の２つによって構成されている。「AI の開発」をサブタスク A とし、「水槽環境シミュレーションモデルの開発」をサブタスク B として研究を行なった。

６．研究成果
（１）AI の開発（サブタスク A：池岡）
養殖用「自発給餌システム」の開発にあたって、開発および検証のしやすさから機能的独立性を考慮し「画像入力部」「画像認識部」「給餌器制御部」「給餌器作動部」の四つにシスムを分割し、開発作業を進めることにした。自発給餌システムの内、「画像入力部」のカメラおよび「給餌器作動部」は水槽近く、それ以外は水槽より離れた場所に設置し、水槽付近における作業性・設置性を考えるとともに、PC の水濡れ防止を考慮した。
「画像入力部」には、カメラで撮影するタスク、画像データをリモート PC へ伝送するタスクがある。前者は偏光フィルタを用いることで水面反射の影響を

低減する設計方針を採用する。またデータ伝送タスクについてリアルタイム給餌制御が可能な HDMI 無線伝送について検証を行った。

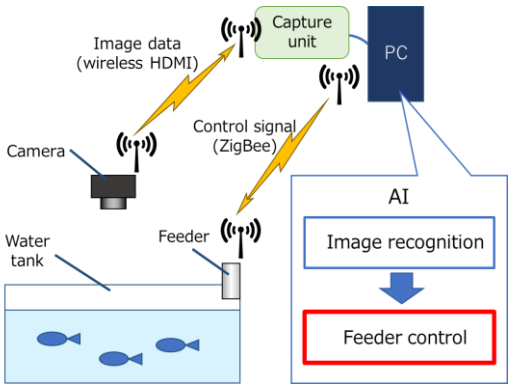


図 1　システム概要

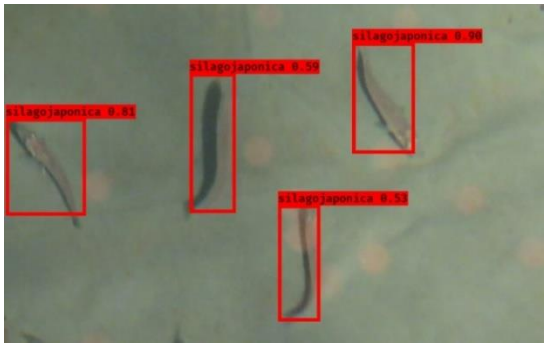


図 2　YOLOv3 によるシロギス位置認識

「画像認識部」では、画像データからシロギスの位置情報については、YOLOv3 アルゴリズムを用いることで、取得できることが分かった（図 2）。加えて、サイズや頭部位置については Mask R-CNN アルゴリズムを使うことを、食欲については、フラッシュライトによる反応を見ることで取得する方法を検討した。

表 1　報酬設計一覧

Conditions for rewarding	Reward
Increased average fish size	+0.2
Reduced variance in fish size	+0.05
Occurrence of cannibalism	-1
The passage of time	-0.001

表 2　シミュレーション・パラメータ

Parameter	Value
Max steps	5.0×10^{6}
Number of units	64
Number of layers	2
Learning rate	0.0003
Discount Factor	0.99

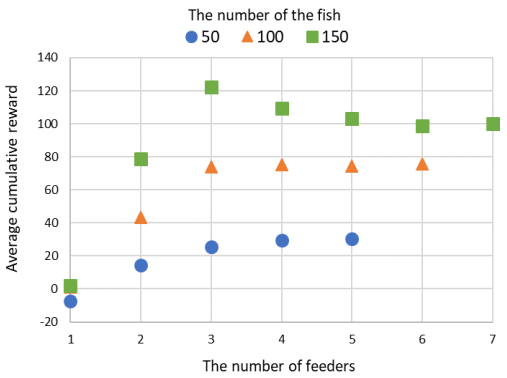


図 3 平均累積報酬

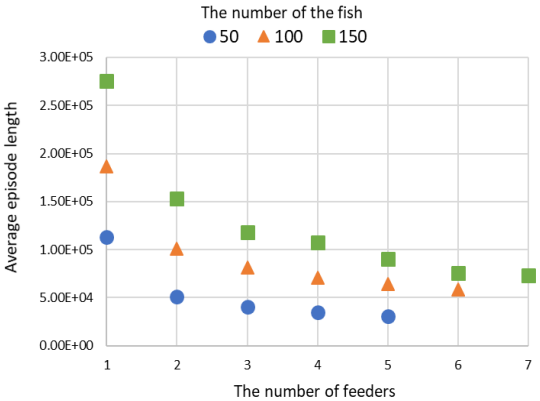


図 4　平均エピソード長

「給餌器制御部」では、どのタイミングで且つどの給餌器を作動させるかを決定する。AI には、深層強化学習のアルゴリズムである PPO（Proximal Policy Optimization Algorithms）を採用し、報酬設計および学習パラメータを表 1 および表 2 に示すように設定した。給餌器の台数をパラメータとし、学習結果（報酬

および経過時間）が飽和することを確認することで、AI の学習の成否を確認した（図 3、4）。なお本学習は、シロギス養殖の実環境を模した養殖シミュレータを開発し、その上で実施した（図 5）。

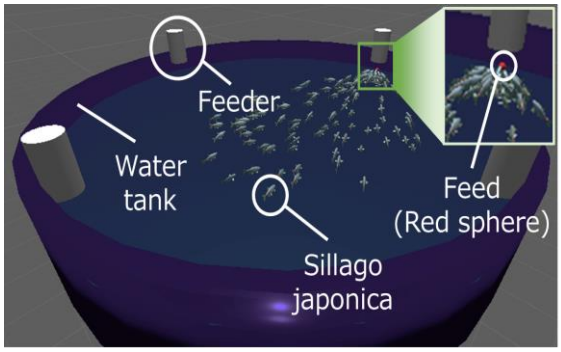


図 5　シロギス養殖のシミュレーション環境

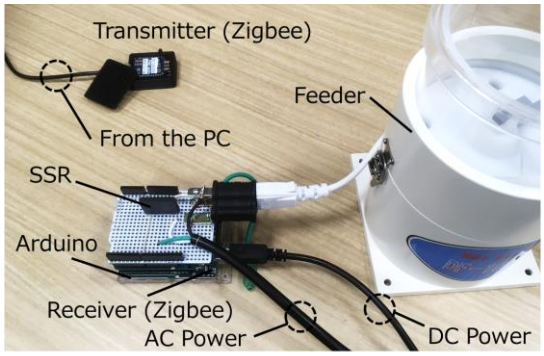


図 6　給餌器動作部のハードウェア構成

「給餌器作動部」は、PC 上の AI の指示に従い、給餌器近くのマイコン（Arudino）が SSR（ソリッド・ステート・リレー）を通して給餌器を通電させることで、給餌器が動作する。なお、 PC・マイコン間の通信には、ZigBee 無線を利用した。実際に開発した装置を図 6 に示す。

（２）水槽環境シミュレーションモデルの開発（サブタスク B：伊澤）

本タスクでは、水槽環境を実測し、実測値に基づきシミュレーションモデルを構築することを目的とした。実測値と計算値の双方を、サブタスク A と連携して AI 学習に用いるとともに、実水槽環境の環境制御に用いる準備を行なった。

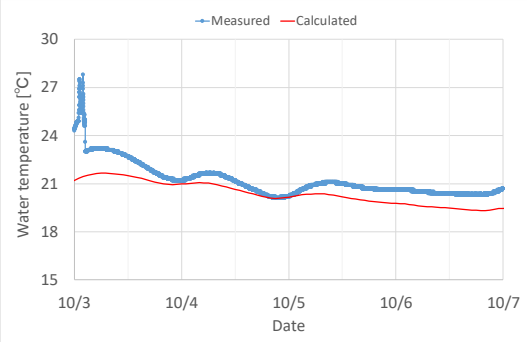


図 7　水槽水温（実測値と計算値）

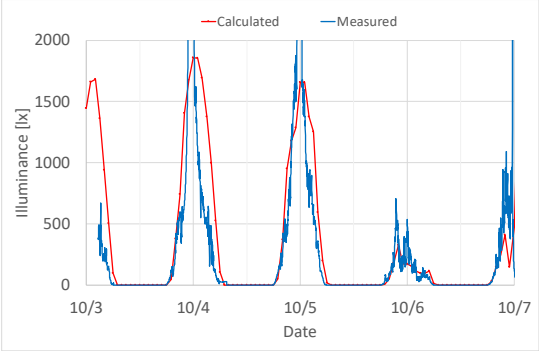


図 8　水槽水面照度（実測値と計算値）

2017 年度は、AI 連携で用いる「水槽環境システムの水温・照度シミュレーションモデル」の構築を目的として、気象データ（日射量・外気温）を用いることで水槽水温（熱環境）と水槽水上面照度（光環境）を計算予測できる簡易シミュレーションモデルを構築した（図 7、 図 8）。

2018 年度は、ディープラーニングの「教師データ」として魚の画像データ（動

画・静止画）が必要であり、撮影のための実験系を構築した。水中用 CCD カメラおよび水面用デジタルビデオによる映像撮影を実施した。撮影したシロギスの画像データを使って、サブタスク A で人工知能学習（ディープラーニング）を開始した。

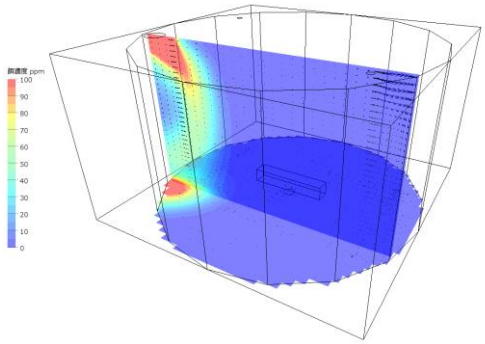


図 9　餌濃度分布（１トン水槽）

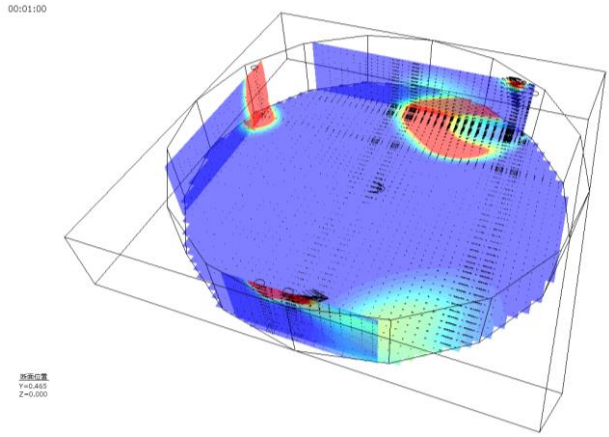


図 10　餌濃度分布（２０トン水槽）

2019 年度は、魚の成長に合わせて、餌の粒径を小さいものから大きなものへ変更しながら与える「グラデーション給餌」のアイディアを試行するための準備として、餌の粒径ごとの重力沈降速度や拡散性状を、数値解析によって明らかにした（図 9、 図 10）。また、次年度に「対照区実験」（人工知能ありの実験区と人工知能なしの対照区の比較実験）を実施できるように水中照度計測系等を構築した。

７．今後の研究計画

（１）AI の開発（サブタスク A：池岡）

「画像認識部」については実用性を考慮すると位置情報を含めさらなる高精度な認識能力が求められる。十分な量の教師データを作成し、AI の学習に多くの時間を割く必要がある。加えて、「画像認識部」の AI は処理負荷が大きいため、リアルタイム処理できるように高速化の工夫が必要であろう。並行して、水面の反射等を考慮した光学系細部の検討やカメラパラメータの決定も行う必要がある。続いて、システム全体の統合テストにより、実環境下での利用に耐えうるか検証を行う。最終的には、「自発給餌システム」と「環境制御システム」の相互連携を実現する予定である。

（２）水槽環境シミュレーションモデルの開発（サブタスク B：伊澤）

画像測定系と温度・照度測定系を内海研水槽に設置して対照区実験を実施し、「測定データ」と「魚の成長」の関係を解明するとともに、大量の教師データを入手して人工知能の精度向上に寄与したいと考えている。

１．テーマ名　「②産業・教育支援」

２．研究課題名　「海洋資源の有効利用性の検討」
（１）アオサ等からの有用物質の探索
（２）糖転移酵素によるキチンからのオリゴ糖の合成
（３）酵素法による海藻類多糖類からの有用糖質の生産

３．研究者名 生命工学部 海洋生物科学科・倉掛昌裕

４．研究協力者

工学研究科生命工学専攻　大学院生（博士前期課程）
天井 裕可里
生命工学部　海洋生物科学科　４年
堀井 朝日、三浦 明久、小西 瑞希、池平 佳歩、上廣 元基、
塚原 悠斗、大塚 尚樹、門田 和也、石本 圭亮

５．研究目的
（１）アオサ等からの有用物質の探索
アオサはアオサ科アオサ属の海藻であり、海の富栄養化などが原因で大量繁殖することで緑潮（グリーンタイド）を発生させ、自然環境、漁業、観光へ影響を及ぼす。アオサはアオノリの代用品、家畜の飼料や農作物の肥料、バイオマス等へ利用できるが、その多くは未利用の状況である。アオサ成分の有効利用としてポリフェノールなどの抗酸化性、蛋白質の分解物ペプチドの機能性、多糖類の分解による生成糖類の利用性について検討する。その他に瀬戸内の海産物についても検討する。
（２）糖転移酵素によるキチンからのオリゴ糖の合成
カニやエビ殻等の成分であるキチンは N-アセチルグルコサミンがβ-1、4 結合した多糖である。キチン分解酵素系の中で N-アセチルグルコサミンを遊離させるβ-N-アセチルヘキソサミニダーゼには糖転移作用を有するものもあり、新規オリゴ糖の合成が期待できる。本研究では土壌よりキチン分解菌の分離を行い、糖転移性を有するβ-N-アセチルヘキソサミニダーゼを探索し、新規のオリゴ糖の合成について検討する。
（３）酵素法による海藻類多糖類からの有用糖質の生産
海藻由来の多糖類は陸上植物と異なりウロン酸等を含みヘテロなものが多い。アルギン酸等への高活性分解酵素を探索し、多糖類からのオリゴ糖等の糖類の生産能および生成糖類について検討する。

６．研究成果

（１）アオサ等からの有用物質の探索

1）0.5%アオサ平板培地を用い土壌からのアオサ分解菌の分離を行い、113 株を分離した。各菌株を 0.5%アオサの液体培地で培養し、アオサ分解活性を測定したところ、比較的高活性の 6 株が得られた（図 1)。最も高活性の K14 株はカビ類であったので、カビの酵素生産に都合の良い固体培養を行った。その結果、固体培養後の抽出液の酵素活性は 0.81 U/ml と高活性となり、小麦フスマ 1g 当たりの酵素生産量は 8.1 U/g となった。硫安塩析により粗酵素を調製し、アオサに作用させたところ、アオサ 1g 当たり 206mg の還元糖が得られ、主な生成糖はセルロース由来のグルコースであることがわかった。また液体培養にてアオサを分解する K14 株の酵素系としてλ-カラギナーゼおよびセルラーゼが認められた。

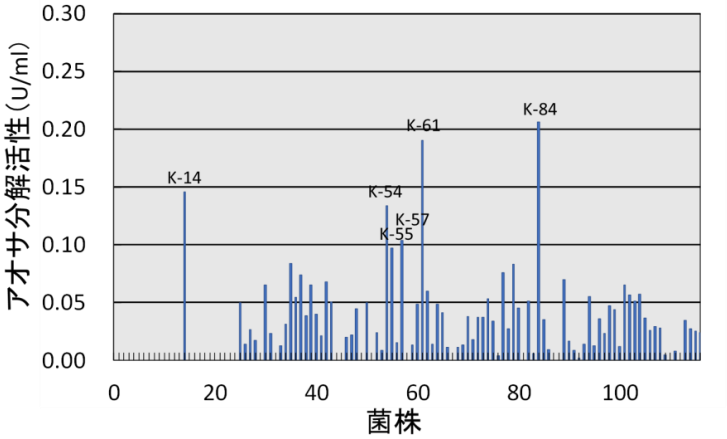


図１　分離菌株の液体培養液の酵素活性

2）広島産等の焼き海苔試料（紅藻類アマノリ属）のポリフェノール含量は高いもので 100g 当たり 700～800 mg 程度であるのに対し、変色し品質劣化した海苔はその半分程度となった。また SOD 様活性の IC50 値はポリフェノール含量と相関し、抗酸化性が高いことがわかった。図２に焼き海苔の SOD 様活性を示した。

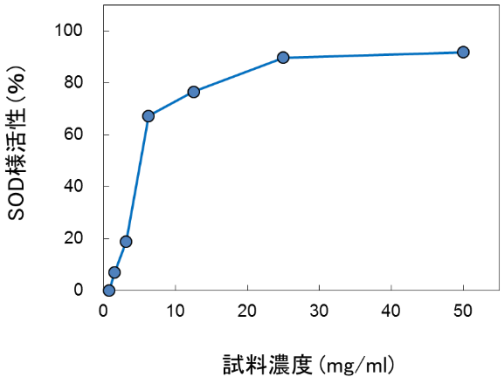


図２　焼海苔の SOD 様活性と試料濃度との関係

次に食品用酵素のプロテアーゼアマノ SD（天野エンザイム㈱）を、25 mg/ml の試料に対し pH 6、40℃で作用させタンパク質を分解し、その生成ペプチドの血圧上昇抑制効果を示すアンジオテンシン変換酵素（ACE）阻害活性を調べた。プ

ロテアーゼ処理した時の遊離ペプチド量は 200～400 mg/g 程度と試料によって大きく異なった。しかし、いずれの品質の海苔からの遊離ペプチドとも同程度の ACE 阻害活性を有することがわかった。

（２）糖転移酵素によるキチンからのオリゴ糖の合成

土壌よりキチン分解菌の分離を行ったところ、高活性の β-N-アセチルヘキソサミニダーゼを有する *Bacillus* sp. CH11 株が得られた。CH11 株を 0.5%キチン、0.2%酵母エキスの液体培地 100ml（500ml 三角フラスコ）にて、130rpm、30℃で 3 日間培養し酵素の生産を行った。培養ろ液から硫安塩析により粗酵素溶液を調製し、ゲルろ過のセファデックス G-25 カラム（ファルマシア㈱）および陰イオン交換クロマトグラフィーのスーパーQ トヨパールカラム（東ソー㈱）により酵素精製を行った。酵素の分子量は 90kDa と見積もられ、最適 pH は 7 付近、安定 pH は 6～8、最適温度は 40℃付近、安定温度は 40℃以下であった。

図 3 は CH11 株精製酵素を 2% N, N'-ジアセチルキトビオースに 24 時間反応させた時の反応液の HPLC チャートを示したものである。反応前の基質 2 糖類の N, N'-ジアセチルキトビオースの分解により、反応後では遊離した単糖の N-アセチルグルコサミンの他に、基質に糖転移した 3 糖のトリアセチルキトトリオースが検出された。受容体としてエチレングリコールを加えたとき、N-アセチルグルコサミンが糖転移した転移糖ピークが N-アセチルグルコサミンおよびエチレングリコールのピークの間に検出された。

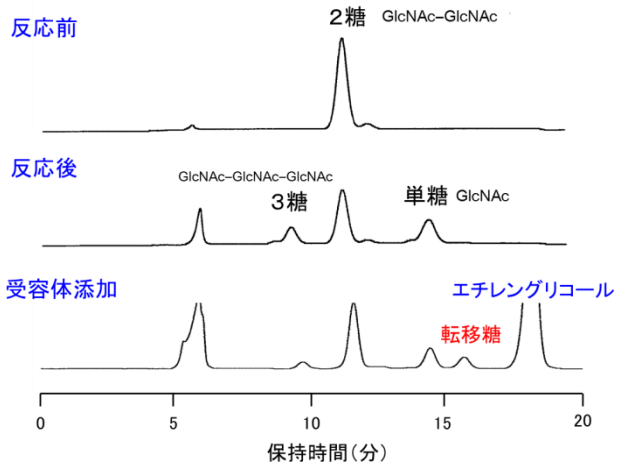


図３　CH11 株酵素の糖転移性

表 1 は、N, N'-ジアセチルキトビオースに受容体として各アルコール類および糖アルコールを添加し反応させたときの糖転移性についてまとめたものである。HPLC 分析にて高さ 2000 μV 以上の比較的大きな転移糖ピークが検出された場合には○印、それ以下のわずかなものには△印とした。1 価アルコール類では、炭素数 2 までのメタノールおよびエタノールへの糖転移が認められたが、両末端に水酸基をもつ 2 価アルコール類では、炭素数 5 のペンタン

表１　CH11 株酵素の糖転移反応における受容体特異性

	受容体	糖転移
1価アルコール類	メタノール	○
	エタノール	○
	1-プロパノール	×
	2-プロパノール	×
	n-ブタノール	×

	受容体	糖転移
2価アルコール類	エチレングリコール	○
	プロパンジオール	○
	ブタンジオール	○
	ペンタンジオール	○
	グリセリン	△
糖アルコール類	エリスリトール	○
	キシリトール	△
	ソルビトール	×
	マンニトール	×

ジオールまで高い糖転移性を示した。糖アルコールでは、エリスリトールおよびキシリトールに糖転移性が認められた。なお単糖、2 糖類およびポリフェノール類では、いずれも糖転移はほとんど認められなかった。

新たに土壌より糖転移酵素の探索を行ったところ、かび類 A34 株酵素に高い糖転移性が認められ、N, N'-ジアセチルキトビオースへの作用において 3～5 糖の転移糖が得られた。

（３）酵素法による海藻類多糖類からの有用糖質の生産

1%アルギン酸平板培地にてアルギン酸分解菌の土壌からの分離を行った結果、高活性のアルギン酸リアーゼを生産する *Paenibacillus* sp. S29 株が得られた。酵素を精製し、その性質について調べたところ、分子量は 32 kDa で、最適 pH は 8.7 付近、安定 pH は 5.6～8.8、最適温度は 50℃付近、安定温度は 40℃以下であった。S29 株酵素はアルギン酸の構造体でグルロン酸が多い poly G およびマンヌロン酸が多い poly M に作用し、特に poly M に対する分解性が高かった。アルギン酸に作用させたところ、261mg の還元糖が生成した。図 4 に示すようにその主生成糖は単糖（DP 1 ）であるが 2 - 6 糖（DP2 - 6）のオリゴ糖も検出された。

さらに土壌からアルギン酸分解菌の分離を行った結果、細菌 30 株、放線菌 165 株、カビ 7 株の計 202 株が得られた。1%アルギン酸培地での液体培養において多くの菌株培養液に酵素活性が認められたが、比較的高活性である 5 株を選択し、アルギン酸、グルクロン酸、マンノース、グルコースを炭素源として液体培養を行ったところ、放線菌 H159 および H160 株でアルギン酸培地にてそれぞれ 0.697 および 0.875U/ml と比較的高い活性が認められた。

別にκ-カラギナーゼ生産菌の探索を行ったところ、カラギーナンゲル消化性の高い細菌 Y35 株酵素が得られ、その酵素生産条件について検討している。

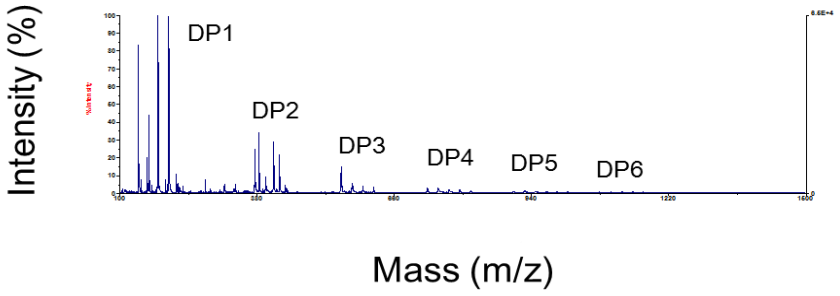


図４　S29 株酵素によるアルギン酸分解物の MS 分析

７．今後の研究計画

（１）アオサ等からの有用物質の探索

高活性のアオサ分解酵素の探索を続け、その酵素分解物の分析を行う。アオサ以外の海藻類についても抗酸化性、タンパク質分解ペプチド等の機能性について調べ、有用性について評価する。

（２）糖転移酵素によるキチンからのオリゴ糖の合成

キチン関連の糖転移酵素の探索を続け、高活性や糖転移反応での受容体特異性を有する酵素を開発する。また糖転移反応を利用したオリゴ糖や配糖体の合成について検討する。

（３）酵素法による海藻類多糖類からの有用糖質の生産

アルギン酸、カラギーナン等多糖類の分解酵素の探索を続け、それら多糖類からの糖生産性等について評価する。

１．テーマ名　「②産業・教育支援」

２．研究課題名　「赤潮防除への活用を目指した殺藻細菌及び殺藻物質の探索」
（１）沿岸域からの殺藻細菌の分離
（２）殺藻細菌の殺藻機構の解明
（３）殺藻細菌を活用した赤潮の防除法の検討

３．研究者名　生命工学部 海洋生物科学科・北口博隆

４．研究協力者
工学研究科生命工学専攻　大学院生（博士前期課程）
益　七瀬

５．研究目的
赤潮の発生は里海の生物生息環境悪化に繋がるが、赤潮原因藻を殺滅する細菌（殺藻細菌）が環境中に存在することが知られており、殺藻細菌は赤潮の消長に関わる生物的要因として注目される。本研究では、藻場、干潟等の沿岸域から殺藻細菌を分離し、これらの場が水質浄化だけではなく生物的にも赤潮の発生抑制に寄与していることを明らかにすることを目的とする。さらに、分離した殺藻細菌の殺藻機構を解析し、殺藻細菌を活用した赤潮の防除法の検討を行う。これらにより、藻場・干潟生態系における微生物の重要性と、里海の維持への微生物利用に関する新たな知見が得られることが期待される

６．研究成果
（１）沿岸域からの殺藻細菌の分離
沿岸域及び沖合における水産重要種の移動に重要な働きを持つことが知られる流れ藻を対象に殺藻細菌の分離を行った。
2018 年 4 月から 11 月の間に因島および伯方島、生口島周辺海域で採取した流れ藻の構成海藻 13 種 51 個体について付着細菌の計数・分離を行った。分離細菌約 2、000 株について、赤潮原因渦鞭毛藻カレニア・ミキモトイおよびヘテロカプサ・サーキュラリスカーマ、赤潮原因ラフィド藻シャットネラ・アンティカに対する殺藻活性を二者培養により判定し、殺藻活性を示す分離株について、16SrDNA に基づく分子分類を行った。その結果、採取した流れ藻 51 個体の内 7 個体（約 14%）から赤潮原因藻を殺藻する細菌が得られ、そのうちカレニアを殺藻するものは 2 菌株、ヘテロカプサを殺藻するものは 3 菌株、シャットネラを殺藻するものは 9 菌株で、すべてを殺藻するものは 1 菌株であった。分離菌

の 16SrDNA による分子分類を行ったところ、本研究により分離した殺藻細菌 12 菌株には、これまでに殺藻細菌として報告があるガンマプロテオバクテリア綱アルテロモナス属、シュードアルテロモナス属、ビブリオ属細菌に近縁な菌株に加え、これまでに殺藻細菌としての報告のないアルファプロテオバクテリア綱ナウテラ属およびブレオガニア属細菌に近縁な菌株が存在することが明らかとなった（表 1)。

これらの結果より、赤潮非発生海域では流れ藻に付着する殺藻細菌は低密度であると考えられたが、流れ藻には多様な細菌が付着しているため、未知の殺藻細菌の分離源として利用できることが示唆された。

表1　採取した流れ藻から分離した殺藻細菌株

調査日	海藻種名・海草種名	個体番号	株番号	最も相同性の高かった種	殺藻性		
					Km	Hc	Ca
6月18日	シダモク	6-9	Sfi-6-1	*Pseudoaleromonas* 属	○	○	○
8月3日	ヒジキ	8-2	Sfu-8-1	*Pseudoaleromonas* 属	×	×	○
			Sfu-8-2	*Vibrio* 属	×	×	○
			Sfu-8-3	*Pseudoaleromonas* 属	×	×	○
			Sfu-8-4	ND	×	×	○
		8-3	Sfu-8-5	*Pseudoaleromonas* 属	×	×	○
			Sfu-8-6	*Pseudoaleromonas* 属	×	×	○
			Sfu-8-7	*Vibrio* 属	×	×	○
	ミル	8-5	Cfr-8-1	*Alteromonas* 属	×	○	×
		8-6	Cfr-8-2	*Nautella* 属	×	○	×
	ウミトラノオ	8-9	Sth-8-1	*Alteromonas* 属	×	×	○
9月27日	アマモ	9-1	Zma-9-1	*Breoghania* 属	○	×	ND

ND: Not Determined

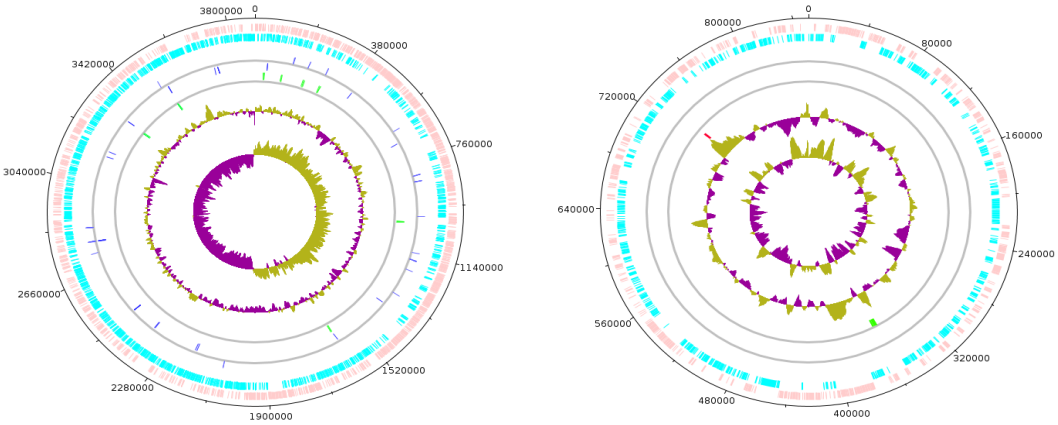
（２）殺藻細菌の殺藻機構の解明

瀬戸内海をはじめ日本の多くの内湾海域では、珪藻の増殖によって栄養塩が枯渇することによる養殖ノリの色落ちが生じ、漁家経済に深刻な打撃を与えている。本研究では、ノリ養殖に色落ち被害を及ぼす珪藻を殺藻するシュードアルテロモナス属細菌 A25 株を対象として、殺藻機構の解析を行った。

黄色コロニーを形成する A25 株野生株を継代培養中に得られた白色コロニーを示す変異株が、スケレトネマ属珪藻 NIES-324 株に対する殺藻活性が野生株に対して著しく低いことを見出した。これまでの研究から A25 野生株では細胞表面近くに殺藻物質が存在すると予想されたため、A25 野生株と変異株のペリプラズム画分抽出液の殺藻活性およびプロテアーゼ活性を比較した。野生株では対数増殖後期になると殺藻活性も顕著に高くなり、プロテアーゼ活性は約 6 倍になるのに対し、変異株では対数増殖後期になってもプロテアーゼ活性は対数

増殖期とほとんど変わらず、対数増殖後期の殺藻活性は野生株に比べて弱いことが判明した。これらの結果は、A25 野生株は対数増殖後期に栄養の取り込みの機構を変化させ、その一環として殺藻物質を産生し殺藻を行うが、A25 変異株では、A25 野生株の対数増殖後期で起こるような変化が起きていないことを示唆する。

殺藻活性の発現に関する遺伝子の探索のため、A25 野生株の全ゲノム配列を解析した結果、同株の染色体は 2 つの環状 DNA からなることが明らかとなった（図 1）。次世代シークエンサーからの出力データ（DRA008772）、および A25 野生株の全ゲノム配列（AP021846-AP021847）は DDBJ に登録した。



染色体 1 ：3、887、303 bp　　染色体 2 ：850、536 bp

図 1　*Pseudoalteromonas* sp. A25 株のゲノムマップ.

表 2　*Pseudoalteromonas* sp. A25 株野生株と変異株の染色体における変異

染色体番号	塩基番号	変異箇所に存在する遺伝子など(F:順鎖、R:相補鎖)	上流に存在する遺伝子	下流に存在する遺伝子
1	228248		Oel1	fabR
1	236101	F:hypothetical protein		
1	410090	F:wecA 2		
1	626523	F:hypothetical protein		
1	642661	F:hypothetical protein		
1	694031	R:acriflavin resistance protein		
1	721211	F:hypothetical protein		
1	1615317		5S ribosomal RNA	hypothetical protein
1	1615377		5S ribosomal RNA	hypothetical protein
1	1933572		MFS transporter	hypothetical protein
1	2253003	R:hypothentical protein		
1	2392072		hypotheticai protein	cystathionine beta-lyase
1	2521851	F:hypothetical protein		
1	2608326	F:hypothetital protein		
1	2633411		hypothetical protein	TonB-dependent receptor
1	2714099	F:glnD		
1	3005409		histidine kinase	TonB-dependent receptor
1	3032625	F:hypothetical protein		
1	3189084	R:hypoyhetical protein		
1	3333512	R:ompR		
1	3499923		mccF	hypothetical protein
1	3628830	R:hypothetical protein		
1	3703527	F:priA		
1	3741654	R:tuf 2		
1	3785304	F:integrase		
1	3835287	R:hypothetical protein		
1	3866747	R:atpG		
2	532	F:DUF1338 domain-containing protein		
2	555187	R:ltaE		
2	700951	R:N-formylglutamate amidohydrolase		

A25 野生株を参照とした変異株の変異箇所は、染色体 1 で 27 か所、染色体 2 で 3 か所の計 30 か所であった（表 2）。そのうち変異場所に CDS が存在するものは 22 か所であり、その中で仮想タンパク質は 11 か所であった。A25 株の染色体 1 には、A25 株の近縁種 A28 株の殺藻効果の一因とされるセリンプロテアーゼ（EspI）遺伝子に類似する CDS が見つかったが、その部位の周辺には変異は存在しなかった。一方、変異が起きた CDS の中には転写調節因子をコードする ompR が存在した。

これらの結果から、A25 変異株は殺藻物質あるいはその産生系そのものではなく、その発現調節系の異常によって殺藻活性が著しく低いと考えられた。今後、ompR によって制御される遺伝子群の解析により、殺藻物質産生機構が明らかになることが期待される。

（３）殺藻細菌を活用した赤潮の防除法の検討

殺藻細菌を生物農薬的に使用することにより「環境にやさしい」赤潮対策を実現することが期待されるが、殺藻細菌を開放系である海洋において高密度に維持する手法の開発が不可欠である。本研究では高分子ゲルに細菌を固定化する包括固定化法に着目し、担体の材料として食品分野で利用されているゲル化剤であるアルギン酸の利用について検討した。

殺藻細菌として、貝養殖に甚大な被害をもたらしてきた渦鞭毛藻ヘテロカプサ・サーキュラリスカーマを殺藻する細菌 EHK-1 株を用いた。EHK-1 株をアルギン酸ナトリウムゲル（終濃度 2.5%）に固定化し（1.5×10^{7} cells/粒）、ヘテロカプサ・サーキュラリスカーマ OA-1 株培養液に添加して殺藻効果を検討した。その結果、EHK-1 株密度を 1.5×10^{6} cells/ml 以上に保つことで殺藻効果が得られることを示した。また、10 ℓの SWM-Ⅲ培地に OA-1 株を 1.0×10^{3} cells/ml になるように接種した 30 cm 水槽に EHK-1 株固定化担体 100 ml を添加した濾過器を設置し、モーターを作動して担体を流動させたところ、EHK-1 担体添加区では 1 日目から OA-1 株は減少し、2 日目には 2.5×10^{2} cells/ml、3 日目には 50 cells/ml となった。

これらの結果から、アルギン酸ナトリウム濃度 2.5%で殺藻細菌を包括固定化することで、流動条件下でも赤潮原因藻の殺藻に利用できる可能性が示された。しかし、アルギン酸ナトリウム単独で作製した担体は耐久性が低いため、長期の使用に際しては増粘多糖剤の添加など、担体作製材料を再検討する必要があると考えられた。

１．テーマ名　「②産業・教育支援」

２．研究課題名　「水族館を活用した里山・里海生態系学習に関する科学コミュニケーションツールの開発」

３．研究者名　生命工学部　海洋生物科学科・水上雅晴

４．研究協力者

生命工学部　海洋生物科学科　4 年生
藤原　拓視
平成 29 年度　学芸員養成課程 15 名
平成 30 年度　学芸員養成課程 14 名
令和元年度　学芸員養成課程 17 名

５．研究目的

藻場や干潟の生態系解明や産業支援に焦点を当て、大学附属内海生物資　源研究所（以下、研究所）の水族館を活用した展示活動だけでなく出前水族館やICT を用いた遠隔授業などの情報発信活動を行い、プロジェクトの成果やホットな話題について社会一般に周知することで（科学コミュニケーション）、瀬戸内海の豊かな環境資源を次世代に引き継ぐ活動へと発展させる。また、研究所周辺の藻場や干潟を利用した実体験型環境学習を、小中学校や高校、一般対象に行うこと、最終的には瀬戸内海しまなみ沿岸生態系研究の教材化により、本学の特色ある教育の一つとすることで、地域資源を活用した本学学生の成長につなげる。

６．研究成果

平成 30 年度および令和元年度の海洋生物科学科卒業研究のテーマとして、4 年次生 3 名が、本プロジェクトに関わる水族館内での展示活動を行った。水族館の 3 トン研究水槽では、藻場・干潟域を再現した干満を定期的に繰り返す潮汐水槽展示のため、アマモ育成用の照明器具や造波用の水中ポンプ類を設置し、アマモやコアマモなどの海草類やトビハゼ、アミメハギなど藻場や干潟に生息する小型生物を展示した。また、しまなみテッポウギスプロジェクトの紹介のため、養殖されたシロギスに関わる展示活動を行った（図 1）。

平成 29 年 11 月 11、12 日に福山市のリム・ふくやま 7 階のものづくり交流館で開催された「じばさんフェア 2017」において、研究所と会場をインターネット回線で中継し、「シロギスについて」と「藻場・干潟について」の内容で各

15 分間、研究所内のシロギス養殖水槽や水族館のライブ映像を交えながら来場者に解説する遠隔講座を実施した（図 2）。アンケートの結果から、ほとんどの参加者が講座内容のしまなみテッポウギスプロジェクトや藻場・干潟に対して理解や関心を示した反面、「音声が聞き取りにくい」、「内容が子どもには難しい」など、技術改善や対象者への配慮を求める意見が多くみられた。また、講座参加後に興味を持った内容には、水族館での飼育体験や養殖体験など、親子で体験できる参加型の学習プログラムや子ども向けの環境学習についての意見が多かった。

平成 30 年 9 月 10 日に尾道市環境学習推進事業「ふるさと海辺教室」の一環として、本学科学芸員養成課程の 4 年生が主体となり、尾道市立山波小学校 4 年生児童 50 名を対象に、水族館での生物観察を交えた環境学習を実施した。また、施設前の大浜海岸の干潟と磯で野外観察を行い、最後に海岸の清掃活動を行った。児童を対象に活動前後の意識変化についても調査し、事前の「家庭で環境を守るために気を付けていること」と活動後の「環境を守るために自分たちができること」のアンケート結果から、ポイ捨てしない、ゴミ拾いなど当日午後の海岸清掃活動の影響が強く認められた（図 5、6）。また、担任教諭へのアンケートからは「教室や教科書での学習内容と現場での学びが結びつき、現場で実感したことで知識が確実なものとなった」との意見が聞き取れ、水族館を活用した実体験型環境学習の有効性が示唆された。同様に、令和元年 9 月 18 日には尾道市立重井、西藤、美木原小学校の 4 年生児童 65 名を対象に、干潟・藻場環境の重要性と海洋プラスチックごみ問題に関するふるさと海辺教室を実施し、PDCA に基づくプログラム開発と学生が主体となる水族館を活用した環境教育の有効性が評価された（図 3）。

令和元年 10 月 20 日には福山市リサイクルプラザにて開催された「ふくやま環境フェスタ 2019」に出前水族館と藻場・干潟環境展示の一部を出展し、2、000 名以上の来場者に対して学生が主体となり、水辺環境の重要性や海洋ごみ問題に関する展示・啓発活動を行い、高い評価を受けた（図 4）。

以上のことから、ICT を活用した遠隔講座や出前授業は、今後因島キャンパスでの発展を計画しているフィールドを活用した体験型学習の導入や事前学習として有効であることが示唆された。さらに、体験型学習の運営スタッフとして本学科学生を動員することは、日頃の学習成果を自己評価させ、学習意欲の向上に非常に有効で、地域資源を活用した本学学生の成長につながることが確認された。しかし、参加者の満足度を得るためには、プログラムを精査し、技術構築を踏まえた指導側の時間と労力の必要性も明らかとなった。また、プロジェクトを紹介する水族館内の展示活動は、幅広い年齢層に合わせた展示作製の難しさと継続した開発の必要性が示唆された。

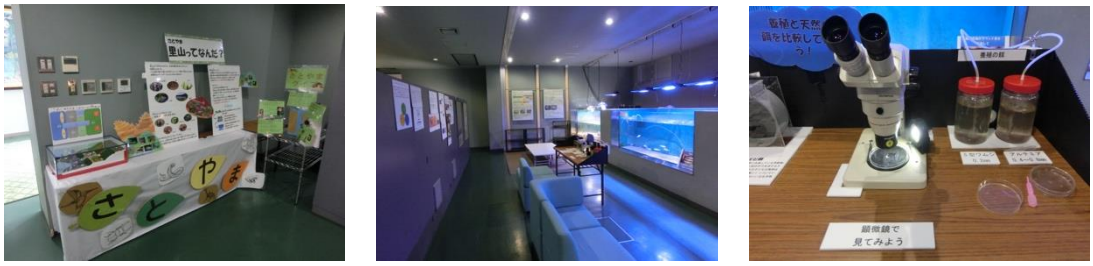


図 1．4 年次生によるプロジェクトに関する卒業研究展示.

図 2．じばさんフェア 2017 で実施した遠隔講座.

図 3．水族館展示を活用した小学 4 年生対象のふるさと海辺教室.

図 4．ふくやま環境フェスタ 2019 に出展した出前水族館.

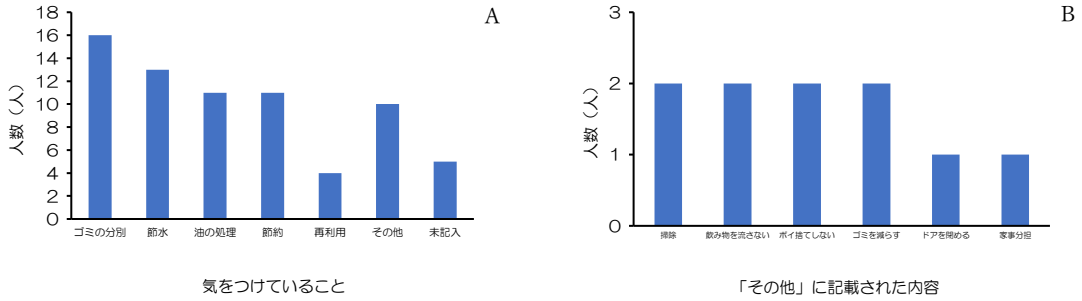


図 5. 児童が家庭で環境を守るために気を付けていること（活動前）.

A：記述された主な意見、B：その他の意見.

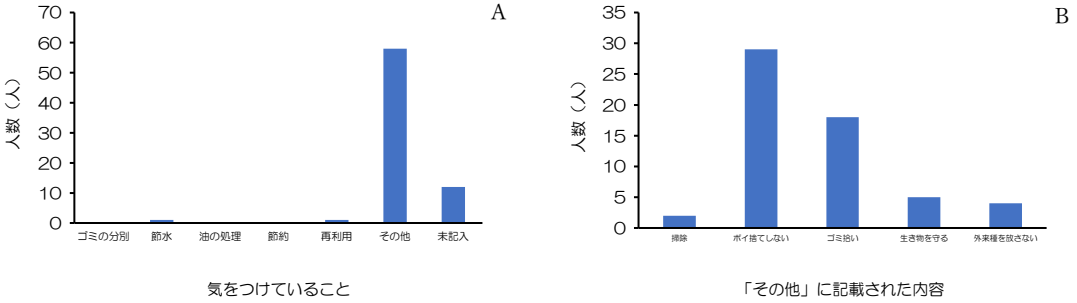


図 6. 環境を守るために自分たちができること（活動後）.

A：記述された主な意見、B：その他の意見.

7．今後の研究計画

（1）内海生物資源研究所水族館を活用したブランディング研究展示の継続

水族館では 4 年生の卒業研究による藻場・干潟生態系を中心とした展示活動を継続し、大学で取り組むブランディング研究について社会一般に周知しながら、アンケート調査を実施して各展示効果について検証する。

（2）地域社会連携教育の実施

引き続き、水族館展示を活用した出前授業や遠隔授業、体験型学習などの地域社会連携型教育を実施して展示や活動の学習効果について検証し、プログラム化する。福山市や尾道市と連携した里山里海生態系サービスをテーマにした遠隔授業や体験型学習を展開することで、瀬戸内海の豊かな環境資源を次世代に引き継ぐ活動へと発展させ、より効果的な科学コミュニケーション手法について検討する。

私立大学研究ブランディング事業報告書

③沿岸生態系の持続可能性

代表：佐藤淳
班員：阪本憲司、山岸幸正、関田隆一

要旨：しまなみ沿岸生態系は豊かな生物多様性が維持される全国的に見てもまれで貴重な自然環境である。生態系の恩恵を次世代に引き継ぎ、未来永劫維持するためには、その動態に影響を与える要因を明らかにしなければならない。研究テーマ「③沿岸生態系の持続可能性」では、瀬戸内海しまなみ沿岸域に生息・生育する魚類や藻類の集団遺伝構造に基づく保全単位の設定、豊かな生物多様性を維持する藻場の分布調査とそれを容易にするテクノロジーの開発、そして沿岸生態系に影響を与える陸域生態系のメカニズムの解明に焦点を当てた研究を行い、以下の 4 つの成果を得た。【阪本】準絶滅危惧種および絶滅危惧種に指定されている魚類と両生類及び藻場に生息する魚類を対象にミトコンドリア DNA に基づく解析を行い、集団遺伝構造を明らかにすることで、保全単位の設定および絶滅リスク評価に必要な知見を得た。特に地域固有の遺伝的特徴や地域間の遺伝子流動を多数検出し、遺伝的多様性に基づく保全の必要性を示唆した。【山岸】因島における海藻類の年次変動を調査し、全体として藻類の種数が減少していること、褐藻類が減少する一方、紅藻類が増加していることを明らかにした。さらに、流れ藻の主要な藻類である褐藻類アカモクについてミトコンドリア DNA に基づき集団遺伝構造を明らかにし、本種の保全に資するデータを得た。【関田】しまなみ沿岸域の藻場分布を識別するために、地球観測衛星により、海と植生を表すパラメータの季節変化を調査した。また藻場を識別する解析アルゴリズムを構築して米国の Landsat-8 と欧州の Sentinel-2 からのデータで藻場を識別し、現地観測により精度を求めた。これまで太陽光の吸収・散乱を補正する技法から、精度 66%で藻場の検出ができるようになった。【佐藤】次世代シークエンサーを活用した森の野ネズミの食性分析法と水を対象とした環境 DNA 分析法を確立し、因島の野ネズミが森林の持続可能性に関与すること、森を起源とする生物の痕跡が沿岸域まで流れていること、そして沿岸域に生息する魚類が動物プランクトンに依存していることを明らかにし、森と海の連環を示唆する結果を得た。以上の 4 つの成果から、しまなみ沿岸生態系を維持するために必要な、瀬戸内海を平面的にみる横のつながり（集団遺伝構造と藻場の分布）と陸域と海域を垂直的にみる縦のつながり（森海連環）に関する重要な知見の獲得と新しい解析手法の開発が達成された。

研究報告書

１.テーマ名　　「③沿岸生態系の持続可能性」

２.研究課題名　　「瀬戸内海沿岸の干潟・藻場および河川に生息する魚類および両生類の遺伝的集団構造および遺伝的多様性の解明」

３.研究者名　　生命工学部 海洋生物科学科・阪本憲司

４.研究協力者　　株式会社 日本総合科学、工学研究科生命工学専攻博士前期課程：釜坂 稜、海洋生物科学科４年：池田恵里花・北村智哉・久米琳太朗・高尾清人・深坂成也・内濱将希・岡村将吾・池永直人・河野雅也・副島春菜・高村洸介・翠 剛

５．研究目的と成果

（１）トビハゼのミトコンドリア DNA に基づく遺伝的集団構造の解析

トビハゼが生息の場としている干潟は、港湾施設やコンビナート造成、農地造成などの大規模な埋め立てによって減少しており、その影響で本種は準絶滅危惧種に指定されている。本研究では、瀬戸内海を中心に、日本各地に生息する本種のミトコンドリア DNA 非遺伝子領域(D-loop)および遺伝子領域（ND5）の塩基配列に基づく遺伝的集団構造を明らかにし、保全単位の設定および絶滅リスク評価のための情報を得ることを目的とした。まず、D-loop 領域における解析の結果、全国 23 地点、計 256 サンプルから、78 種類のハプロタイプが検出された。ハプロタイプ多様度は平均 0.9084 と非常に高く、多くの地点で 0.8 以上の高い数値を示したが、芦田川・Green Park・御荘湾・佐敷干潟の 4 地点では 0.7 以下であった。*Fst* 値から、瀬戸内海沿岸域と「御荘湾・鹿島・伊万里湾・佐敷干潟・羽地内海・揖斐川・江戸川の 7 地点」において、遺伝的分化の程度が大きいことが明らかとなった（表 1)。つぎに、ND5 領域の解析の結果、全国 10 地点、82 個体から 33 種類のハプロタイプが検出された。ハプロタイプ多様度は平均 0.906 であり、多くの地点で 0.800 以上であったが、佐賀県伊万里湾のみ 0.600 と低い値であった。*Fst* 値から、佐賀県伊万里湾を基準とした場合に、瀬戸内海の各地点間で 0.18 以上の大きな遺伝的分化がみられた（表２)。以上のように、多くの地点で固有のハプロタイプが複数検出されたことから、トビハゼの保全を実施する際には、各地に固有の個体群が生息することを考慮し、保全活動の細分化を行うとともに、生息地点ごとの適切な保全が求められる。

表１　トビハゼのミトコンドリアDNA非遺伝子領域（D-loop）解析による各地点間の*Fst*値

	広島県						岡山県		山口県		愛媛県			福岡県	高知県	佐賀県		沖縄県		三重県	東京都
	芦田川	藤井川	Green Park	羽原川	新　川	沼田川	大島川	高梁川	佐波川	木屋川	中山川	加茂川	国領川	曽根干潟	御荘湾	鹿　島	伊万里湾	佐敷干潟	羽地内海	掛麦川	江戸川
芦田川	—																				
藤井川	-0.01	—																			
Green Park	-0.01	0.02	—																		
羽原川	-0.03	0.01	0.01	—																	
新　川	-0.03	0.005	-0.02	-0.03	—																
沼田川	-0.0004	-0.01	0.03	0.02	0.04	—															
大島川	-0.01	0.03	0.02	-0.02	0.0002	-0.009	—														
高梁川	-0.05	-0.03	-0.02	-0.01	-0.01	-0.02	0.009	—													
佐波川	-0.02	0.03	-0.05	0.001	-0.01	0.04	0.01	0.008	—												
木屋川	0.01	0.08	-0.01	-0.01	0.02	0.07	0.007	0.02	0.05	—											
中山川	0.01	-0.007	0.04	0.04	0.05	0.002	0.03	-0.002	0.05	0.12	—										
加茂川	-0.02	-0.009	-0.03	0.002	-0.03	-0.0009	0.01	-0.02	-0.04	0.05	0.01	—									
国領川	-0.06	-0.006	-0.03	-0.06	-0.03	-0.02	-0.06	-0.02	-0.06	-0.03	0.01	-0.03	—								
曽根干潟	-0.07	-0.05	-0.04	-0.05	0.01	-0.03	-0.03	-0.07	-0.02	-0.02	-0.02	-0.08	-0.03	—							
御荘湾	0.71	0.69	0.68	0.68	0.705	0.66	0.71	0.68	0.61	0.71	0.75	0.71	0.59	0.66	—						
鹿　島	0.28	0.29	0.22	0.29	0.29	0.301	0.35	0.26	0.18	0.36	0.36	0.11	0.14	0.26	0.42	—					
伊万里湾	0.38	0.38	0.31	0.38	0.38	0.36	0.43	-0.002	0.27	0.44	0.45	0.19	0.308	0.35	0.44	-0.08	—				
佐敷干潟	0.57	0.58	0.57	0.55	0.55	0.54	0.57	0.54	0.48	0.508	0.61	0.39	0.406	0.51	0.95	0.62	0.68	—			
羽地内海	0.68	0.54	0.54	0.51	0.53	0.52	0.54	0.52	0.501	0.55	0.57	0.42	0.42	0.48	0.85	0.59	0.64	0.68	—		
掛麦川	0.88	0.55	0.42	0.53	0.44	0.53	0.57	0.49	0.34	0.6	0.61	0.27	0.4	0.48	0.86	0.109	0.21	0.88	0.53	—	
江戸川	0.304	0.33	0.2	0.33	0.22	0.33	0.36	0.31	0.13	0.407	0.39	0.11	0.23	0.28	0.61	-0.004	0.08	0.68	0.64	0.13	—

（２）アミメハギのミトコンドリアDNAに基づく遺伝的集団構造の解析

表２　トビハゼのミトコンドリアDNA遺伝子領域（ND5）解析による各地点間の*Fst*値

	広島県					岡山県	愛媛県	山口県	佐賀県	
	芦田川	藤井川	Green Park	羽原川	新　川	高梁川	中山川	木屋川	鹿　島	伊万里湾
芦田川	—									
藤井川	-0.04	—								
Green Park	-0.02	-0.03	—							
羽原川	-0.07	-0.06	-0.06	—						
新　川	0.1	0.06	-0.09	0	—					
高梁川	-0.06	-0.02	-0.01	-0.04	0.1	—				
中山川	-0.06	-0.04	0.06	-0.03	0.22	-0.03	—			
木屋川	0	0	-0.07	-0.05	-0.02	-0.01	0.09	—		
鹿　島	0.15	0.14	0.13	0.15	0.13	0.15	0.17	0.13	—	
伊万里湾	0.32	0.25	0.18	0.26	0.18	0.29	0.39	0.21	0.09	—

アミメハギは、稚魚期に流れ藻に付随する習性があり、20 mm前後で沿岸の藻場へと移動する。また、付着卵を産むことにより卵で拡散せず、遊泳力も低く、水産利用を目的とした種苗生産や放流などがされていないため、人為的な遺伝的攪乱の可能性が低い。本研究では、本種のD-loop領域における塩基配列を分析することで、瀬戸内海芸予諸島における遺伝的集団構造の解明を試みた。2017-2018年に芸予諸島東部海域の藻場、および流れ藻から採取した個体（計135個体）から、68種類のハプロタイプが検出された（図１）。

今回解析した流れ藻に付随していた本種のハプロタイプの内、大三島～伯方島間で採集したものから大浜のHap8が検出され、志度湾と大三島～伯方島間で採集したものから折古ノ浜と高松のHap19が検出された。このことか

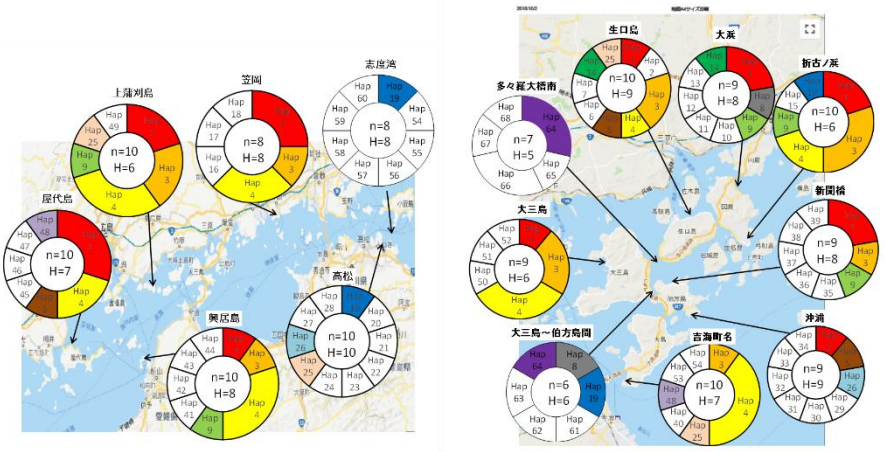


図１　各地の藻場および流れ藻に付随していたアミメハギのハプロタイプ

ら、流れ藻による本種の分布拡大とそれに伴う遺伝子流動が示唆された。このことを踏まえ、2019-2020 年に流れ藻付随個体の解析を継続し、その起源を推察した。因島【大浜・八重子島・折古ノ浜・重井】、大三島、伯方島、大島の藻場で採取した個体と、流れ藻から採取された多々羅大橋下、多々羅大橋南、鼻栗瀬戸の流れ藻付随個体の DNA を解析した結果、75 種類のハプロタイプが検出された（図２と図３）。流れ藻に付随していた個体のハプロタイプは、多々羅大橋下で 1 種、多々羅大橋南で 12 種、鼻栗瀬戸で 16 種であった。多々羅大橋南と鼻栗瀬戸で採集した流れ藻には、因島各地のハプロタイプと共通するものが 5 種確認され、因島の藻場由来の可能性が考えられた。一方、多々羅大橋下で 1 種検出されたハプロタイプはどの藻場とも共通しておらず、調査海域以外の藻場に由来していることが示唆された。

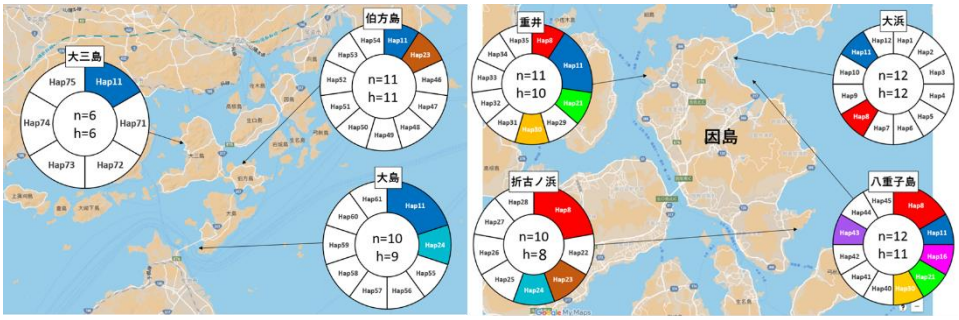


図2　各地の藻場で採取したアミメハギのハプロタイプ

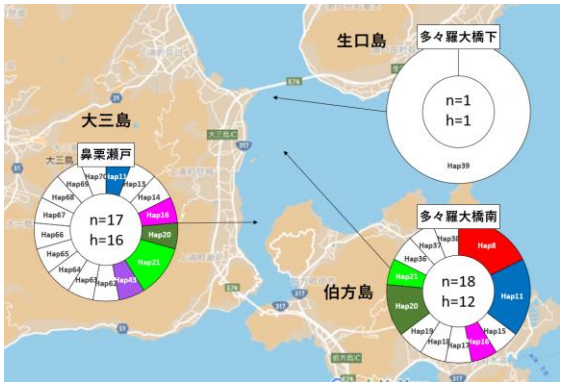


図３　流れ藻に付随していたアミメハギのハプロタイプ

（３）カワムツのミトコンドリア DNA に基づく遺伝的集団構造の解析

カワムツは、河川改修や水質悪化など河川環境の人為的改変の影響により個体数と生息域が減少し、地域によっては絶滅危惧種に指定されている。また、水質悪化にも弱く水質汚濁の指標生物として利用されている。本種の遺伝的集団構造を明らかにすることは、生息域における保全を検討する上で重要な知見となる。本研究では、西日本における本種の遺伝的集団構造の解明を試みた。

2017～2018 年に、広島県 福山市の【山南川・本谷川】、三原市の【御調川・天王川】、東広島市の椋梨川、兵庫県 豊岡市の三椒川、山口県 柳井市の鷹の巣川、愛媛県 西条市の妙之谷川、高知県 長岡郡の吉野川、大分県 臼杵市の西深田川、津久見市の小園川および熊本県 入江村の下払川においてサンプル採取し

た。DNA 解析結果から，大きく 2 つのクレードが得られた（図４）。結果から、本種の遺伝的集団構造と瀬戸内海の地史に関連性が窺えた。

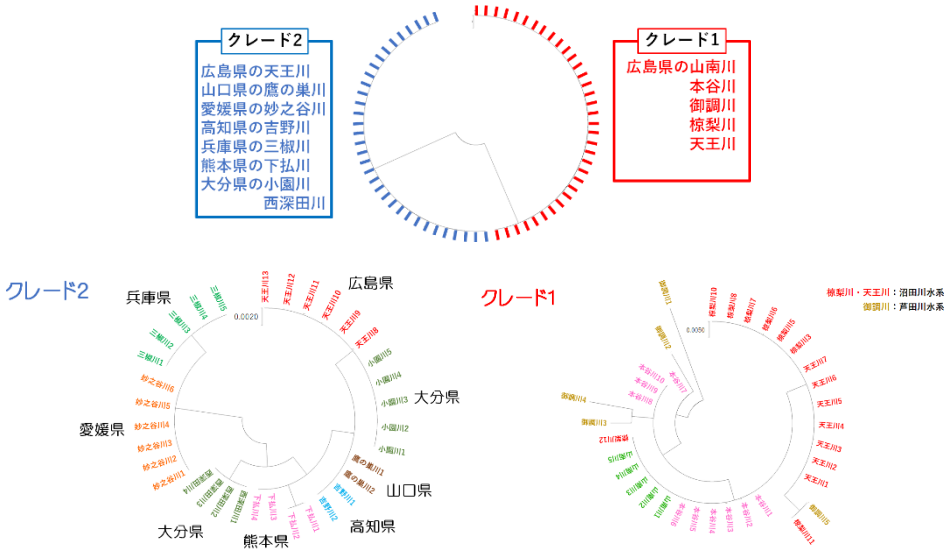


図４　西日本におけるカワムツの D-loop 解析に基づく系統樹

2019-2020 年に、広島県の芦田川水系と沼田川水系、および島根県の江の川水系を中心に、西日本各地を含めた遺伝的集団構造の解析を行った。調査河川は、東から長野県・茂都計川、岡山県・笹ヶ瀬川、滋賀県・野洲川、芦田川水系【6 地点】、沼田川水系【2 地点】、江の川水系【4 地点】の 15 地点とした。DNA 解析の結果、91 個体中 86 種類のハプロタイプが検出された。分子系統樹において“江の川水系・沼田川水系・茂都計川・野洲川”と“芦田川水系・笹ヶ瀬川”の 2 つに大きく分かれた。沼田川水系と江の川水系のクラスターに琵琶湖に注ぐ野洲川が含まれたことは、湖産アユの両水系への放流時に、カワムツが混在していた可能性が考えられる。一方、芦田川水系と岡山県・笹ヶ瀬川は同じクレードに入り、起源を共にすることが示唆された。

（４）広島県に生息するカスミサンショウウオ *Hynobius* 属の遺伝的集団構造

広島県大崎上島の *Hynobius* 属は、アキサンショウウオ *H. akiensis*（以下アキ）とされている。2018 年 6 月から 2019 年 6 月にかけて大崎上島で調査をし、島内の異なる環境の 2 地点(A:湿地,B:岩盤を流れる細流の溜まり)から *Hynobius* 属の新生息地を発見した。地点 A（3 月，6 月）では成体・卵嚢・幼生、地点 B（6 月）では幼生が見られた。この 2 地点の *Hynobius* 属と、広島県・岡山県で採取したアキおよびセトウチサンショウウオ（以下セトウチ）の外部形態や繁殖生態の比較と DNA 分析（mtDNA 16S rRNA）を行った。その結果、大崎上島の 2 地点は単系統となり、他種とは遺伝的差異を示した。地点 A の成体については外部形態（尾の形状，後肢趾型）と産卵様式にセトウチとの類似性が見られたが、卵嚢

中の卵数はアキとセトウチ何れよりも多い傾向にあった（片卵 70～150）。今回発見した 2 地点の個体群は、DNA 分析の結果、アキとは遺伝的に異なっていたことから、大崎上島内において遺伝的に異なる 2 集団の存在が示唆された。

（５）西日本におけるアカハライモリの形態と遺伝的差異

アカハライモリは、環境省のレッドデータにおいて準絶滅危惧種に指定されている。また、千葉県と埼玉県では、「最も絶滅が危惧される種」に指定されている。このことから、都市近郊地域では水域環境悪化などの影響を受けていることが懸念される。今後、他地域でも同様の影響が予想され、本種の保全対策が求められること必至である。そこで本研究では、広島県を中心とした西日本における本種の形態的・遺伝的差異をもとに、保全を検討する上での知見を得ることを目的とした。

兵庫県から長崎県に掛けて西日本の広範囲 50 地点で調査を行い、計 148 個体を採捕した。採捕した個体は、体サイズの計測、腹面模様を記録し、雌雄別、地域別にそれらを比較した。なお、覆面模様は、その特徴から「Type Ⅰ～Type Ⅴ」に分けて判別した。また、ミトコンドリア DNA の *Cyt b* 遺伝子領域の塩基配列に基づいて系統解析を行った。全長/尾長、尾長/尾高、全長/後肢の長さを雌雄別にみると、すべての測定項目で有意差が認められた。このことから、これらの項目は雌雄判別に有効であることが明らかとなった。また、兵庫県（篠山種族）の個体群と各地域の個体群を比較すると、兵庫県と広島県（瀬戸内海沿岸域、島嶼域）の個体群で、雌雄ともに全長/尾長に有意差が認められた。さらに、腹面模様においては、標高が高くなるにつれて Type Ⅴの割合が増加し、標高が低くなるにつれて TypeⅠ，Ⅱの割合が増加する傾向にあることが示された。一方、DNA 解析の結果から、すべての地点間における遺伝的分化の程度は小さく、顕著な遺伝的な差異は認められなかった。一方、周防大島と呉市（野呂山）の個体においては、多少の遺伝的分化がみられ、地理的隔離の影響が考えられた。

７．今後の研究計画

今後も引き続き、瀬戸内海域に特徴的な生態系である干潟や藻場（流れ藻を含む）に生息する魚介類（トビハゼ、アミメハギなど）、里山の河川に生息する魚類（カワムツなど）、ならびに里山の雑木林に生息する両生類（カスミサンショウウオ種群、アカハライモリなど）を対象に、遺伝的集団構造と遺伝的多様性を明らかにしたい。そして対象生物の保全・管理に関する知見を収集すると共に、瀬戸内海域の地史と共に生物史を明らかにしていきたい。

研究報告書

１.テーマ名　　「③沿岸生態系の持続可能性」

２.研究課題名　「瀬戸内海沿岸域の藻場生態系における海藻類の種構成および系統地理的解析」

３.研究者名　　生命工学部 海洋生物科学科・山岸幸正

４.研究協力者　　海洋生物科学科 4 年 江畑大生、鈴木哲平、芹川智祐、西沢琢登、松原拓也、米田創樹

５.研究目的

海藻類は繁茂していわゆる「藻場」を形成し、沿岸の生物多様性の維持に重要な機能を持つと考えられている。本研究では、瀬戸内海の藻場の状況把握や維持機構の理解に貢献するために、次の２つの研究を実施した。（１）藻場調査：しまなみ海域における藻場の現状を把握することを目的とし、因島八重子島および福山市鞆町玉津島を調査地として海岸に生育する海藻の全種類を調べるとともに、平成 30 年度以降は因島に調査ラインを設定して海藻種の被度（面積）を計測し、定量的な状況も調べた。さらに過去の調査データと比較して藻場の経年変化傾向を示した。（２）アカモクの系統地理的解析：藻場を形成する海藻種内にどのような地理的系統集団が存在するのかを明らかにすることを目的とし、藻場や流れ藻の優占種である褐藻アカモクを対象として、しまなみ海域各地からアカモク個体を採集し、*cox3* ハプロタイプおよびマイクロサテライトにより集団の遺伝的構成を比較した。

６.研究成果

（１）藻場の状況調査

藻場の海藻全種の調査では、因島八重子島では本研究期間および過去（2005 年度～2016 年度にかけて）の調査により緑藻 43 種、褐藻 61 種、紅藻 137 種、合計 241 種の海藻が記録され、福山市鞆町では 2017 年度および過去（2006 年度）の調査により、緑藻 26 種、褐藻 35 種、紅藻 84 種、合計 145 種の海藻が記録された。因島は藻場の海藻の種多様性が高いことが示されたが、年度ごとの種数では 2009 年度の 194 種をピークに 2016 年度の最小 139 種まで減少傾向がみられ、季節的には夏の減少が顕著であるなど、近年の種多様性の低下が示されている。

鞆町においても 2006 年度の 129 種から 2017 年度の 114 種に減少していた。

因島八重子島における海藻の定量調査では、八重子島の調査ライン上に 50 cm 角コドラートを 11 カ所あてて、コドラート内にみられた海藻の種名と被度（面積、%）を計測する方法で、2018 年および 2019 年の 5 月または 6 月に実施し、同じ方法で計測した 2008 年 6 月のデータとの比較を行った。その結果（表 1)、海藻種数はいずれの年もほぼ同じであったのに対して、海藻の量を表す各コドラートの被度の合計（被度総和）は 2008 年の 694 に比べて、2018 年（479）と 2019 年（611）は減少したことが明らかとなった。このことは、藻場の状況を評価するためには、種数だけではなく、被度のような定量的な尺度が必要であることを示している。

表 1.　因島の調査ライン上にみられた海藻の種数および各コドラートで計測された被度(%)の総和．ヒジキとクロメの被度総和を括弧で示した

	種数				被度総和		
	2008年	2018年	2019年		2008年	2018年	2019年
全海藻	44	43	43	全海藻	694	479	611
緑藻	6	7	6	緑藻	28	129	26
褐藻	17	12	10	褐藻	376	120	92
				(ヒジキ)	(195)	(53)	(15)
				(クロメ)	(104)	(0)	(0)
紅藻	21	24	27	紅藻	290	230	493

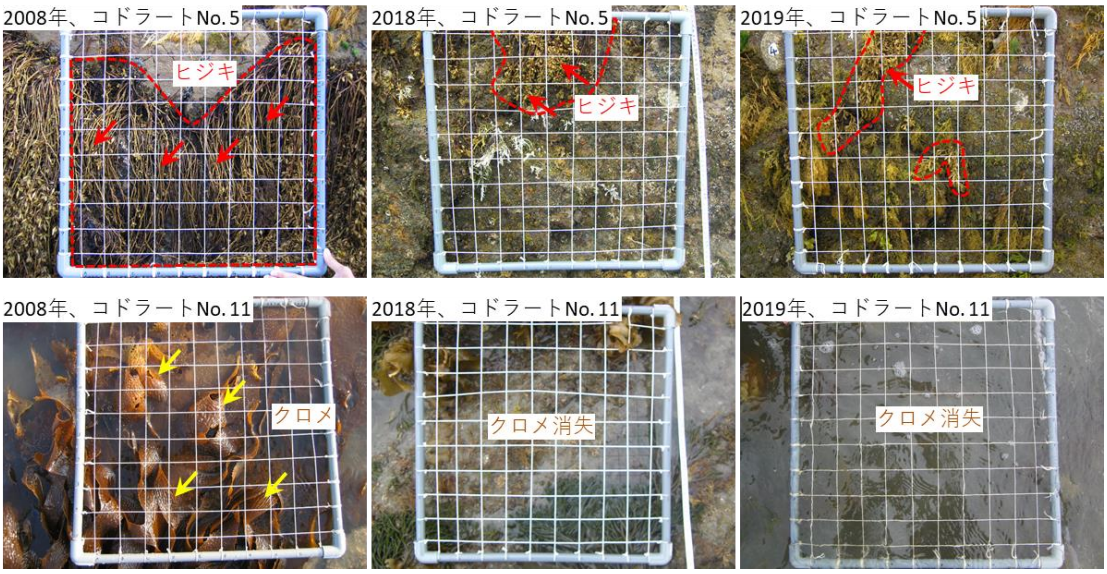


図 1.　因島の調査ラインにおける褐藻ヒジキとクロメの被度の経年変化

以下のように緑藻、褐藻、紅藻に着目すると経年変化傾向がさらに明確になる。緑藻は種数および被度がわずかであり（表 1、2018 年は一時的にエゾミルが繁

殖したため被度が高くなった)、藻場への影響は小さい。一方褐藻は、2008 年には種数および被度が高く、大型で多年生のヒジキ（被度総和 195）やクロメ（被度総和 104）の密な群落がみられ（表 1、図 1)、藻場形成において重要なグループといえる。しかし、褐藻は最近 2 年間で種数および被度とも顕著に減少しており、ヒジキの被度は大きく減少し、クロメは八重子島から消失してしまっており（表 1、図 1)、褐藻の減少が著しいことが明らかとなった。紅藻は褐藻とは異なり、2008 年に対して近年は種数が増加し、被度は 2018 に減少したが 2019 年に著しく増加し（表 1)、年による変動が大きかった。紅藻の増加の要因としては、上部を覆っていたヒジキやクロメの減少に伴い下草となっていた小型の紅藻が多く計測されたことや、2019 年には例年よりやや高く推移した春の海水温などの環境要因で多くの紅藻種の生育が良かったことが考えられる。藻場を保全する上では、大型で長期間安定した群落を作る褐藻と、年による変動が大きいが種数が多く下草として広い範囲を占める紅藻の生育を保つ必要があるだろう。

（2）アカモクの系統地理的解析

しまなみ島嶼部の 15 カ所、本州の 1 カ所、四国の 2 カ所からアカモク個体を採集して解析に用いた。*cox*3 解析の結果、本海域から瀬戸内海既知のハプロタイプ 1、13、18 がみられたほか、新規のハプロタイプが 3 つ見つかった（図 2)。

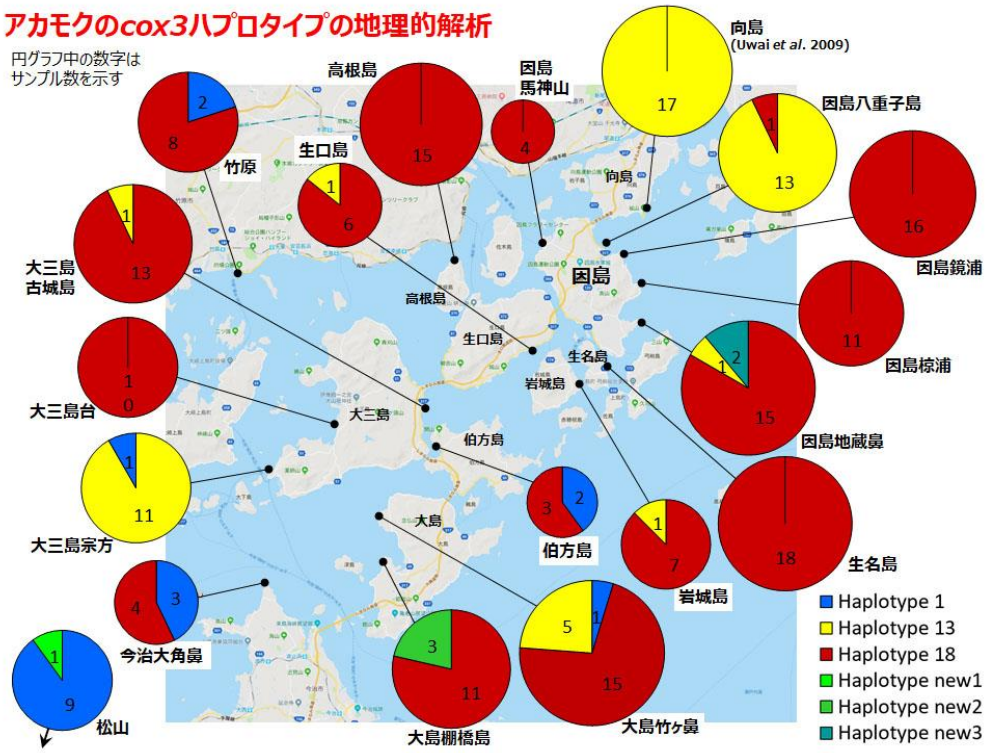


図 2. しまなみ海域周辺のアカモクの *cox*3 ハプロタイプの分布

各地点では優占するハプロタイプの種類に違いがみられた。ハプロタイプ 18 は因島（八重子島を除く）、生名島、岩城島、生口島、高根島、大三島（宗方を除く）、大島など、多くの地域で優占し、本海域の主要なタイプであると考えられる。一方ハプロタイプ 13 は因島八重子島、大三島宗方の限定的な集団で優占していた。同じ因島の中の八重子島とそれ以外の地点、そして同じ大三島の中の宗方とそれ以外の地点で優占するハプロタイプが明瞭に異なることは、これらの集団間で遺伝子の交流が制限されていることが考えられる。*cox*3 は母系遺伝するミトコンドリア遺伝子であることから、アカモクでは少なくとも母親由来の遺伝子における交流に制限があると考えられる。この理由として、アカモクの雌が作る卵は大形で遊泳性がないことから遠くに分散する能力が低く、短い距離の川や砂地などでも卵が越えられない障壁になっているのかもしれない。一方、しまなみ南部付近では、四国松山に多くみられるハプロタイプ 1 が今治、大島、大三島宗方、伯方島などに点在していることから、海峡を越えて長距離の遺伝子の分散が生じていることが示唆される。このような分散は、流れ藻となったアカモクによりもたらされた可能性が考えられる。本研究の結果、アカモクは小さな繁殖集団を形成しうることが示され、保全単位の設定には距離的な基準ではなく、分子マーカーによる遺伝的な違いの確認が必要となる。

*cox*3 より多型性が高く詳細な地理的解析が期待されるマイクロサテライト解析では、Kubo *et al.* (2017; J. Appl. Phycol.) の開発した領域について多型が認められ、かつアリル判別が容易な領域の選定と最適な実験条件設定を検討した。その結果、適切な実験条件下で少なくとも ACA09、ACA 18、ACA 26 の領域が有効であることがわかり、各地のアカモクのアリルの決定を進めている。

７. 今後の研究計画

因島八重子島はしまなみ海域の藻場のモデル地点として今後も海藻の構成種および量についてモニタリングを継続していきたい。本研究で設定した 5～6 月にヒジキおよび多くの紅藻が生育する藻場の調査に加えて、2～4 月頃に大規模に発達するアカモクなどの褐藻ホンダワラ類の藻場についても、ドローンによる空撮などを利用して面積や個体数などを記録することを試みたい。

しまなみ海域周辺のアカモクの系統解析により、距離が近い地点間でも遺伝的交流が起こりにくい場合がある一方、流れ藻が関与するなどで長距離の遺伝子の移動が起こる場合もあることが示唆されたことは興味深い。今後さらにアカモクの繁殖集団の範囲の解析や、流れ藻の解析により流れ藻による分散の可能性についても明らかにしたい。また、藻場を構成する種のうち、1 年生のアカモクとは異なる多年生のヒジキなどがどのような集団を形成しているのかについても調べていきたい。

研究報告書

１.テーマ名　　「③沿岸生態系の持続可能性」

２.研究課題名　「衛星画像藻場分布」

３.研究者名　　工学部 スマートシステム学科・関田隆一

４.研究協力者　工学研究科　電子・電気工学専攻１年　勝部雄介

５.研究目的と計画

私立大学研究ブランディング事業課題では、しまなみ沿岸生態系を持続可能とすることを一つの目的としており、里海の豊かさを、持続可能性を伴って維持するには、海の状態やその植生を表すパラメータについて季節や経年変化を計測することが不可欠となる。本研究は地球観測衛星によるリモートセンシングデータから瀬戸内海の藻場の分布状況を精度付きで観測し、里海の豊さとその経時変化を定量的に把握するものである。

目的を達成するための 2017 年度からの研究計画は以下の流れである。

① リモートセンシングと沿岸観測の現状を知る（2017、2018 上期）
② 地球観測衛星データから藻場を識別する解析技法の研究（2018～）
③ リモートセンシングの位置付けと対象衛星の研究（2018､2019）
④ 地球観測衛星データ収集、解析及び現地観測による検証（2018～）
⑤ 藻場増減要因の研究とモデル化に向けた考察（2019～）
⑥ 藻場の持続的発展に向けた陸域の活動と藻場増減モデル化（2020～）

後述するが、開始から 2 年間で藻場解析技法を構築したが、精度が 60%と低いことが課題として 2019 年度に残った。上記④～⑥の実行として、以下 3 項目を 2019 年度から行う研究目標とし、特に 2019 年度はⅢを達成するために必要なⅠとⅡを実行することとした。

I.　地球観測衛星データから藻場を識別する解析精度の向上
II.　藻場増減に影響を及ぼす主要なパラメータの特定
III.　陸域の活動及び自然環境による藻場増減モデル化

６. 研究成果

（１）研究計画①と③の成果

海洋リモートセンシング研究は、グローバルな気象変動を解明する大気と水の循環が主であり、一地域に絞って沿岸域のデータ解析を行う研究は少ない。海洋観測に比べて沿岸域観測に困難が加わる点は以下の 2 点である。

- ✓ 複雑な地形の沿岸域を解析するため「高解像度の画像」が必要
- ✓ 川からの土砂による影響を知るため「高い波長の分解能画像」が必要

現在、沿岸域観測に適した地球観測衛星がなく、陸域用地球観測衛星のデータを使わざるを得ない。その中で広島上空の周回頻度が高く、データを無料で得られるアメリカの Landsat-8 と欧州の Sentinel-2 を選定した。2018 年度は Landsat-8 データ（30m 画素）が画像補正済という理由で使用したが、2019 年 2 月以降、消散係数比を算出できず、この課題を解決できない。そこで後述する相対大気補正により Sentinel-2 衛星データ（10m 画素）も活用可能となったことと、解析上の技術課題がないこと、毎月 1 回程度は晴天の因島周辺データを得られることから、現在は Sentinel-2 を使っている。

（２）研究計画②の成果

本研究では広島大学の研究成果を基に、Bottom Index（BI）による藻場分布解析技法について MATLAB 上でアルゴリズムを構築した。BI は Lyzenga が提案した技法で、異なる 2 バンド（青と緑）の画像を比演算し、両バンド画像の間で反射率が異なる藻類を抽出するもので、その原理を図 1 に示す。

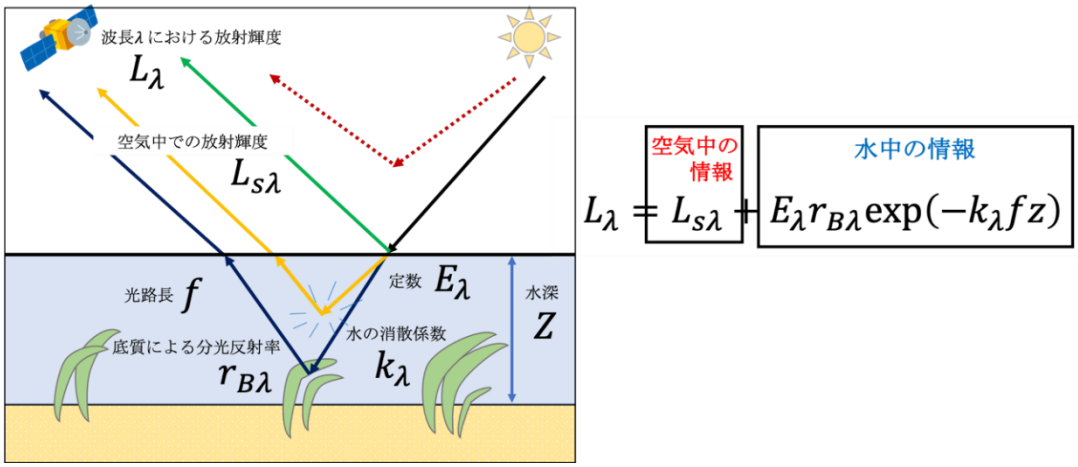


図１　地球観測衛星センサーが検出する放射輝度による藻場識別の原理

（３）2019 年度の研究成果

５の目標 I として、2018 年度までの藻場解析精度 60%を環境省の解析精度 71%を越えるまで向上させることとした。以下 3 項目に取り組んだ。

(1) 大気補正

2018 年度は、デジタル画像で最も暗く写る画素を引く簡易な大気補正法（暗画素法）であった。これに時間的に不変と仮定できる海表面の反射率が、異なった大気下において線形となる理論に基づいて相対的に大気の影響を除去する相対大気補正法を追加で適用した。

(2) 海中補正

a. 重要パラメータである消散係数比の算出が衛星データ撮像日によりばらつく。そこで消散係数比算出の基本に戻り、目視で一様な砂地を確認できる箇所を選び、その中で生口島北　島の駅「しまなみ」前においてばらつきが小さくなると判明し、消散係数比を再解析している。

b. 先行研究成果から「塩分が低く濁り度が高い海域は、藻の生育度が低く、地球観測衛星で識別が困難」という仮説を立てた。仮説立証の一環で、地球観測衛星データの赤バンドと青バンドの反射率比で塩分を、赤バンドの反射率で濁り度を推定することとした。この推定精度は、現地観測及び広島県水産海洋技術センターのデータで検証中である。

(3) Lyzenga の式の修正

上記②-b を反映して、塩分 32.5‰以下、濁り度 1.5FTU 以上の沿岸域で BI の閾値を下げれば、これまで識別できなかった藻場を識別できる。この塩分と濁り度の閾値とアルゴリズムへの反映は研究中である。

表１に地球観測衛星データの取得状況と現地観測データ取得状況をまとめる。Sentinel-2 データとして図２－１に 2019 年 12 月 25 日、図２－２に 2020 年 2 月 18 日撮像データによる藻場識別解析結果、図２－３に同 2 月 18 日撮像データによる塩分推定、図２－４に濁り度推定の結果を示す。

現在、前述した相対大気補正の追加で、藻場識別解析精度は 66%まで向上している。図２－１と図２－２により藻場の季節変化が良くわかる。現状、図２－１に示す①、⑤、⑩、⑫は藻場があるのに識別できない。また図２－３と図２－４は考察中であるが、前述の仮説を実証し切れていない。塩分と濁り度の推定を詳細化して、前述 4 点の藻場を識別し、解析精度を 80%まで向上したい。

７. 今後の研究計画

2020 年度の研究は以下のとおりで、前述した研究目標 I~Ⅲを達成する。

① 塩分・濁り度の推定を確立し、藻場生育度との相関を分析（研究目標Ⅱ）

② 塩分と濁り度を反映する Lyzenga の式による独自の解析アルゴリズムを確立し、藻場識別精度 71%以上を達成（研究目標Ⅰ）

③ 陸域の活動（因島の一大産業である造船会社の活動をメインとする）と藻場

生育の相関を分析し、藻場増減をモデル化（研究目標Ⅲ）

この①と②により、地球観測衛星データによる藻場識別の独自解析技法をアメリカ航空宇宙学会へ学術論文投稿し、更に全成果をアメリカ航空宇宙学会の Science and Technology Forum and Exposition2021 で発表する。

表１　藻場識別データ取得状況

年	月	Landsat-8	Sentinel-2	現地観測	解析精度		濁り度推定	塩分推定	海洋データ取得	備考（合わないポイント）
					Landsat-8	Sentinel-2				
2018	4	○	○		63%（2019・3比較） 56%（2019・5比較）	56%（2019・3比較） 56%（2019・5比較）				4,5,9,11,13,15
	10	○	○	○	60%（2018・10比較） 57%（2018・12比較）	60%（2018・10比較）				1,4,10,11,12,14
	12			○						
2019	2	×		○						
	3		○	○		69%（2019・3比較）				1,3,4,10,12
	4	×								
	5	×	○	○		67%（2019・5比較）	○	○		1,5,10,11,12,16
	6		○			67%（2019・5比較）				1,5,6,10,12,15
	7			○						
	10			○						
	11								○	
	12		○	○		61%（2019・12比較）	○	○		2,6,7,9,10,11,12
2020	1	×								
	2		○	○			○	○	○	

合わないポイント　赤：実際は藻場があるのに解析結果では無しと判断　青：実際は藻場がないのに解析結果では有りと判断

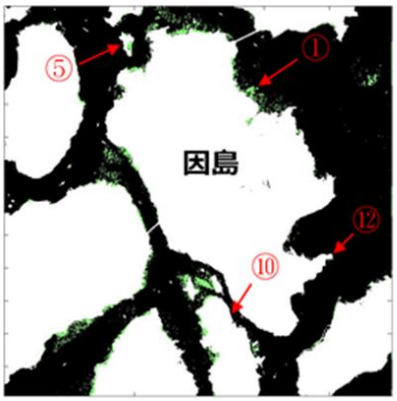


図２－１　藻場識別結果(2019 年 12 月 25 日)

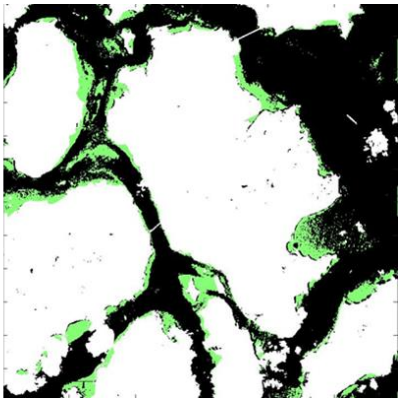


図２－２　藻場識別結果(2020 年 2 月 18 日)

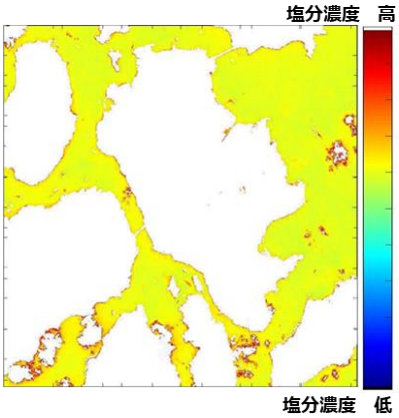


図２－３　塩分推定結果(2019 年 12 月 25 日)

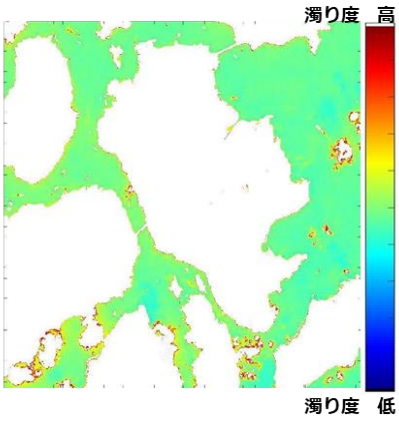


図２－４　濁り度推定結果(2020 年 2 月 18 日)

研究報告書

１.テーマ名　　「③沿岸生態系の持続可能性」

２.研究課題名　　「環境 DNA に基づく森海連環分析」

３.研究者名　　生命工学部 生物工学科・佐藤淳

４.研究協力者　　生物工学科 4 年 大月優弥、高橋司、横山隼也、吉本孝

５.研究目的

本研究では生物多様性が豊かなしまなみ沿岸生態系を維持するためにはどのような陸域側の自然環境が求められるのかを解明することを目的とした。第一に、島嶼森林生態系を解明するため、糞を対象に次世代シークエンサーを用いた DNA メタバーコーディング分析を行い、野ネズミを中心とした食物網の解明を目指した。同時に、イルミナ社の次世代シークエンサーMiSeq の利用に関わる実験手技とバイオインフォマティクスの確立を試みた。第二の目標として、因島椋浦町に焦点を当てて、森の野ネズミの食性分析、陸域から海域に流れ出る水サンプルの環境 DNA 分析、そして沿岸域に生息する魚類の食性分析を通して、森と海の生態系の連環を探った。

６.研究成果

H29 年度には、北海道の雨龍研究林に同所的に生息するアカネズミ（*Apodemus speciosus*）とヒメネズミ（*Apodemus argenteus*）という 2 種類の野ネズミの糞を対象として、DNA メタバーコーディング法で食性を分析した。その結果、季節を通して 2 種が採餌植物について食い分けを行っていることが明らかとなった（Sato et al., 2018）。つまり、アカネズミはブナ科の植物（おそらくはドングリ）を独占し、ヒメネズミはそれを避けるように多様な植物を利用していることが明らかとなった（図 1）。このようなニッチ分割が 2 種の共存を支えるメカニズムであると考えられる。本研究は、次世代シークエンサーを用いてアカネズミ属 2 種の食性を分析した初めての研究であり、野ネズミの食性分析手法（サンプリング、DNA 抽出、次世代シークエンス分析、バイオインフォマティクス）を確立すると共に、多くの問題点を指摘した。手法の詳細と問題点については、H31-R1 年度に佐藤（2019）で報告した。

H30 年度には、瀬戸内海島嶼に生息するアカネズミを対象として同様の食性分析を行った（Sato et al., 2019）。この研究では植物だけではなく、無脊椎動物の食性についても評価を行った。分析の結果、植物食性については、北海道のアカネズミと同様にブナ科の植物を高頻度で採餌していることが明らかとなり、それと同時にバラ科（クサイチゴ）などの北海道では見られなかった食性も観察された（図 2 上段）。アカネズミには秋にドングリを土の中や葉の下側に隠してため込み、それを利用することで冬を越す習性がある。北海道と瀬戸内の両地域において高頻度で検出されたブナ科の植物（ドングリ）は種として生きるために必要な採餌品目であることが示唆される。一方で、バラ科に見られるように、地域ごとに柔軟に食性の幅を広げているようである。さらに無脊椎動物食性については、ヤガ科の蛾を高頻度で採餌していることが明らかとなった（図 2 下段；ノミバエは体長数 mm のハエで、糞を好むことから採餌品目とはみなさなかった）。ヤガ科の中には果実吸蛾類に分類される蛾が含まれている。果樹園の多い瀬戸内海島嶼においてアカネズミが果実吸蛾類を食べるということは本種に果樹園被害抑制効果がある

図1

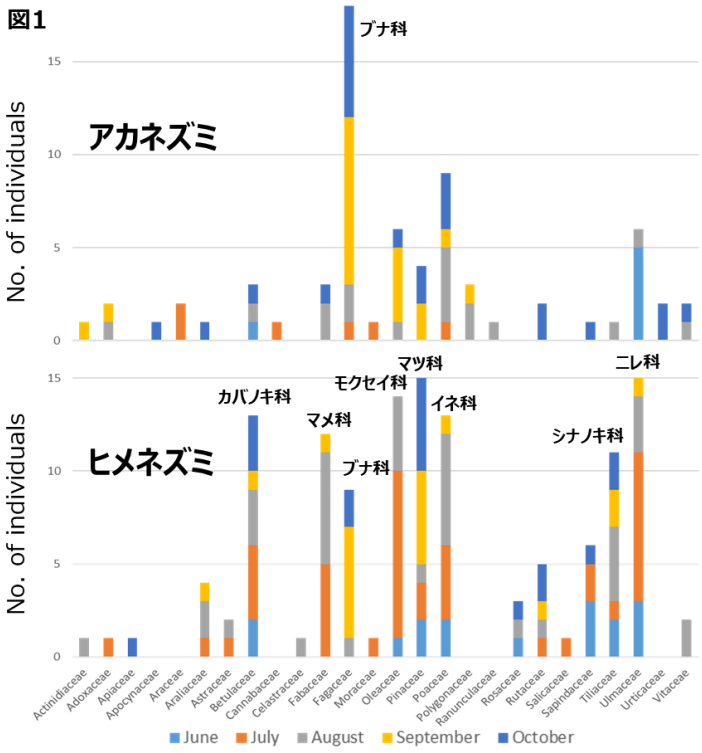
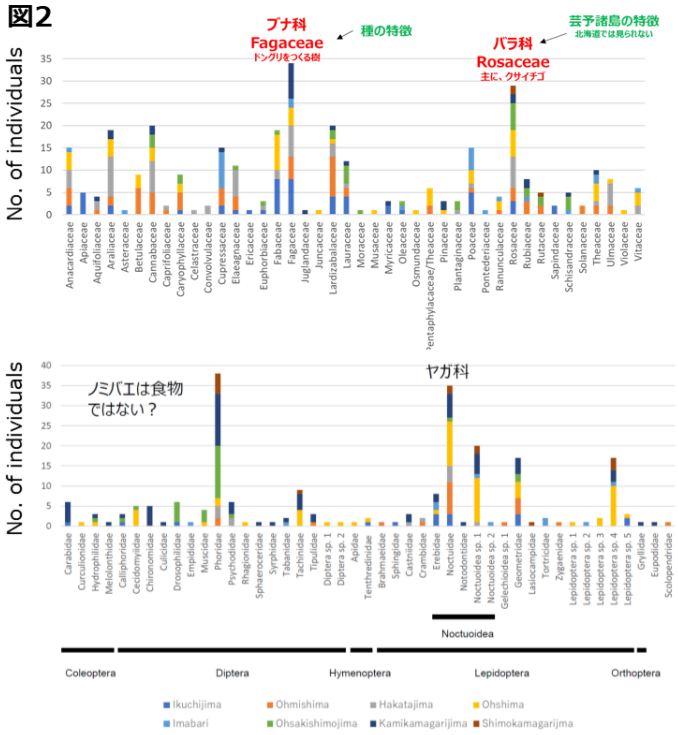


図2

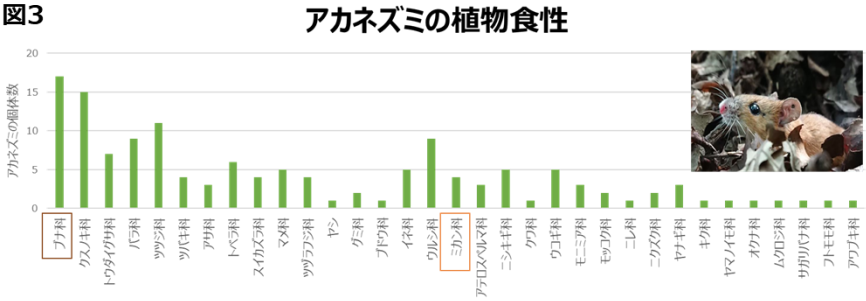


ことを示唆する。本研究成果も H31-R1 年度に佐藤（2019）で紹介した。

さらに、次世代シークエンサーをより一層、哺乳類学の分野に浸透させることを目的として、次世代シークエンサーを活用した哺乳類のゲノム系統学、集団ゲノミクス、環境 DNA、そして上述の食性分析の原理と研究事例を紹介した（佐藤&木下,2020）。

H31-R1 年度に新たに森海連環を解明するための調査を行った。検証した仮説は「ドングリをつける落葉樹の葉が落ちることで腐植土が形成され、それが雨で沿岸域まで流れ水辺の魚を育てる重要な栄養分となる」である。まず、因島椋浦町に焦点を当てて、山側の森林におけるアカネズミの食性を上記と同様に分析したところ、本種がドングリを作るアベマキ（ブナ科）に依存することが明らかとなった（図 3）。

図3



これまでの研究成果を踏まえると、アカネズミは、いずれの地域でもドングリを作るブナ科の植物に依存していると言える。秋に貯めたドングリはそのすべてが食べられるわけではなく、一部は芽生えて次世代のブナ科の木に生育する。つまり、アカネズミはドングリの分散を介して森林生態系の持続可能性に関与していると言うことができる。一方で、椋浦町で栽培しているミカンを数個体のアカネズミが採餌しており、アカネズミには果樹園被害をもたらす側面もあることが示唆された（図 3）。

落葉樹であるアベマキの痕跡が沿岸域まで流れているかを検証するために、沿岸域から水サンプルを採取して環境 DNA 分析を行った（6～7 月）。アカネズミの植物食性分析で用いた分子マーカーを採用した。その結果、アベマキが検出植物の上位に出現した（図 4）。このことは、陸域側からアベマキの何らかの痕跡が沿岸域まで流れていることを示唆する。陸域側から流れ出る栄養分が植物及び動物プランクトンなどの繁殖を促進し、海の生態系を下支えしているものと推測する。

図4. 環境DNA（植物）

リード数	検出種 和名
43593	クスノキ
6730	クヌギ（アベマキ）
5162	ツヅラフジ科の1種
4851	ニシキギ科の1種
3849	ムクノキ
1744	ヒサカキ属の1種
1189	エノキ属の1種
1184	セイロンニッケイ
1183	マメ科の1種
970	トチバニンジン
791	ネンジュモ目の1種
695	クレマチス属の1種
486	サッサフラス
478	クズ
463	ツバキ科の1種
419	シベリアニレ
417	ノグルミ属の1種
284	モンゴリナラ
232	カラスムギ属の1種
216	アカメガシワ
166	オオバイチジク
160	シラカシ
.	.
.	.
.	.
59	オレンジ

環境DNA分析では植物と同時に魚類の検出も行った。その結果、しまなみ沿岸域でよく見られる魚種が検出された（図 5）。その中で、トラフグ属のクサフグ（*Takifugu niphobles*）とシロギス属のシロギス（*Sillago japonica*）を、因島大橋記念公園付近で、砂浜からの投げ釣り及び船釣りで採集し、その胃内容物の DNA メタバーコーディング分析を通して食性を調査した。その結果、クサフグ、シロギス共に端脚類（主にドロクダムシ）などの動物プランクトンに依存していることが明らかとなった（図 6、7）。これらの動物プランクトンの個体群動態が陸域からの栄養分に依存していると推測している。

図5. 環境DNA（魚類）

リード数	検出種 和名
3379	トラフグ属（フグ科）
1130	メナダ属（ボラ科）
941	ボラ（ボラ科）
903	サヨリ属（サヨリ科）
827	アイナメ属（アイナメ科）
827	クロダイ属（タイ科）
653	ミミズハゼ（ハゼ科）
356	マダイ属（タイ科）
244	ウミタナゴ科
243	シロギス属（キス科）
146	スズキ（スズキ科）
105	?
91	メバル属（メバル科）
83	オコゼ類（オニオコゼ科）
63	ヨシノボリ属（ハゼ科）
50	?
31	ミミズハゼ属（ハゼ科）

図6. クサフグの食性

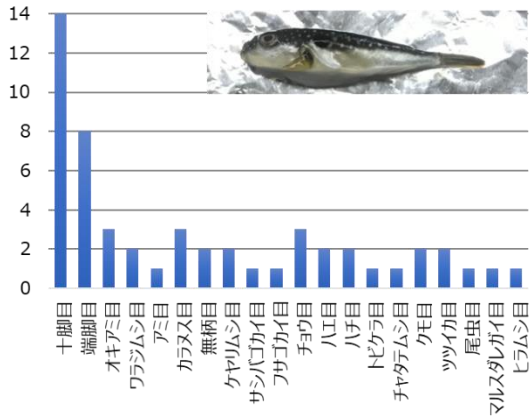
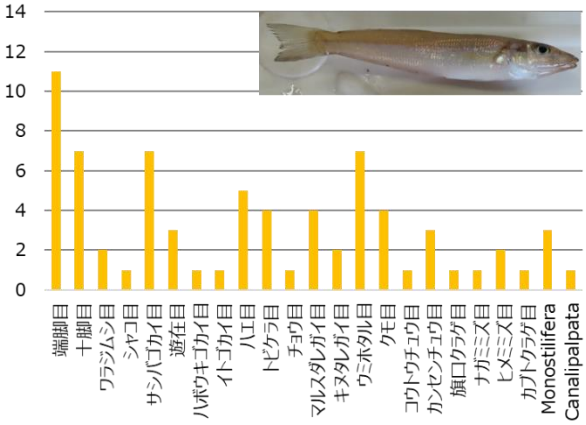


図7. シロギスの食性



7. 今後の研究計画

以上、森林生態系における野ネズミの働きは、しまなみ沿岸生態系における生物多様性に大きな影響を与えることが示唆された。たとえば、ミカン畑に若干の害をもたらすアカネズミを駆除するとどのような影響が予想されるだろうか？ごく単純に考えると、「森が持続せず、栄養分が海に流れ込まず、海の生態系は崩壊する」。今後は、季節による環境 DNA の量的変動や植物プランクトンの動態を調査することで、この森海連環仮説をさらに検証しなければならない。本研究では、同時に次世代シークエンサーによる DNA メタバーコーディング法（環境 DNA や食性分析）を確立し、学内の利用者で実験やバイオインフォマティクスの手順を共有した。しかしながら、バーコーディングマーカーの妥当性など検討すべき問題点は多い。今後の研究では、調査地の対象生物に適切な新規マーカーの開発を行っていきたい。

実績

Ａ．研究発表

１．　論文　※審査のあるもの　　18 編

有瀧真人

1）アカアマダイ人工種苗に発現する形態異常

豊村晃丞、水田篤、松浦光宏、中西健二、有瀧真人

水産増殖　65 (2):117-124（2017 年 6 月）

内容 : アカアマダイ人工種苗に発現する形態の類別化、および骨格の詳細観察を行った。形態異常は体幹部の変形、鰓蓋の欠損、頭部の陥没、口部の異常、鼻孔隔皮の欠損の 5 タイプに区分できた。鰓蓋の欠損、頭部の陥没および口部の異常は併発する個体が多く見られ、かつ左右体側のどちらかに偏って発現する傾向が強かった。さらに、上記異常発現の左右性は頭部の傾きの左右性と強い関連性があった。一方、体幹部の変形を起こしていた個体は、全て鰾が未開鰾であった。このことから、本種における鰓蓋の欠損、頭部の陥没および口部の異常は頭部の傾き、体幹部の変形は鰾形成の不全と、それぞれ異なる原因により発現していると考えられた。

池岡宏

1) Development of simulator for efficient aquaculture of Sillago japonica using reinforcement learning

Haruki Kuroki，Hiroshi Ikeoka，Koichi Isawa

Proceeding of International Conference on Image Processing and Robotics (ICIPRob), 4 pages (Best student paper award).（2020 年 3 月）

内容 : シロギス養殖のための自発給餌システムを構築するために，給餌器制御用 AI の基礎学習を目的としたシミュレータを開発した．加えて，その可用性について検証を行った．なお，画像認識用 AI と給餌器制御用 AI を分離・開発することで，本 AI はシロギスの位置やサイズといった少ない入力値で学習が可能となり，シミュレータ上の学習結果をそのまま実環境で利用できることが大きな特徴となっている．

北口博隆

1）Draft genome sequence of *Pseudoalteromonas* sp. strain A25, a bacterium with algicidal activity against diatoms.

Kitagauchi H, Masu N, Fujii K, and Mitsutani A

Microbiology Resource Announcement 8:e01254-19 (2019-11)
内容：珪藻殺藻細菌 *Pseudoalteromonas* sp. A25 株の全ゲノム解析を行った。2 つのコンティグからなる 4,737,839 bp の塩基配列が得られ、その GC 含量は 42.1%であり、アノテーションの結果 3,961 のコーディング配列, 28 の rRNA 遺伝子,89 の tRNA 遺伝子が確認された。

倉掛昌裕

1) Enzymatic properties of alginate lyase from *Paenibacillus* sp. S29.
Masahiro Kurakake, Yuhei Kitagawa, Atsushi Okazaki, Kazuyuki Shimizu
Applied Biochemistry and Biotechnology, 183: 1455-1464 (2017)
内容：土壌からの分離した *Paenibacillus* sp. S29 株アルギン酸リアーゼは、分子量は 32 kDa で、最適 pH は 8.7 付近、安定 pH は 5.6～8.8 であった。最適温度は 50℃付近で、40℃以下で安定であった。アルギン酸の poly G および poly M に作用し、特に poly M に対する分解性が高かった。アルギン酸に作用させたところ、261mg の還元糖が生成し、その主生成糖の単糖（DP１）の他に 2 - 6 糖（DP2 - 6）のオリゴ糖も検出された。

2) Characteristics of an β-N-acetylhexosaminidase from *Bacillus* sp. CH11, including its transglycosylation activity.
Masahiro Kurakake, Yukari Amai, Mizuki Konishi, Kaho Ikehira
Journal of Food Science, 83: 08-1214 (2018)
内容： *Bacillus* sp. CH11 株 N-アセチルヘキソサミニダーゼの最適 pH は 7 付近で、安定 pH は 6～8、最適温度は 40℃付近で、安定温度は 40℃以下であった。ジアセチルキトビオースを基質とし糖転移性を有し、特に両末端に水酸基をもつ 2 価アルコール類に対し、炭素数 5 のペンタンジオールまで高い糖転移性を示した。またグリセリン、エリスリトール、キシリトールに糖転移性が認められ、キシリトールへの転移糖は 1-O-β-N-アセチルグルコサミニルキシリトールであった。

阪本憲司

1) 瀬戸内海中央海域におけるカサゴの遺伝的集団構造
阪本憲司・田中久典
福山大学内海生物資源研究所報告 30: 1–6 (2020 年 2 月)
内容：瀬戸内海中央海域の芸予諸島を中心に、ミトコンドリア DNA の D-loop 領域に基づいた本種の遺伝的集団構造を分析した。ハプロタイプ多様度は h=0.9661 となり、遺伝的多様性の高さが窺えた。また、Fst 検定の結

果、遺伝的分化の程度は小さく、今回調査を行った芸予諸島海域においては１つの集団であることが示唆された。

2) 環境 DNA 分析による広島県因島の藻場の魚類相
阪本憲司
日本生物地理学会会報 74: 3-7 (2019 年 12 月)
内容：瀬戸内海・因島周辺のアマモ場およびガラモ場における魚類相を、環境 DNA 分析によって調べた。その結果、アマモ場の大浜海岸およびガラモ場の重井海岸において、8 月ではそれぞれ 5 目 10 科 12 種および 3 目 8 科 9 種が検出された。また、11 月ではそれぞれ 4 目 12 科 15 種および 4 目 11 科 16 種が検出された。8 月と 11 月に検出された魚種に違いが見られ、季節に伴う魚類相の変化を検出できた。

3) 異なる塩分下におけるメバル類の高温耐性
阪本憲司・品川良樹
福山大学内海生物資源研究所報告 29: 7–11 (2019 年 2 月)
内容：アカメバル *S. inermis* 、クロメバル *S. ventricosus* およびシロメバル *S. cheni* の 3 種について、異なる塩分下における高温耐性の種間差の有無を調べた。その結果、各塩分下における高温耐性に、種間差は認められなかった。このことから、メバル類の種苗生産や養殖、活魚輸送などの際に、取り留めて種による高温耐性の差異を考慮する必要が無いことが明らかとなった。

4) 潮間帯に生息するハゼ類の高温および低温耐性
阪本憲司・宮崎恭平
日本生物地理学会会報 (72): 124-128 (2018 年 2 月)
内容：潮間帯に生息しているハゼ類（アカオビシマハゼ，アゴハゼ，ヒメハゼおよびトビハゼ）の，高温および低温耐性を調べた。高温耐性実験では，トビハゼが実験終了時まで全ての個体が生存し，他のハゼ類よりも比較的高い高温耐性が認められた。また、低温耐性実験では，アゴハゼとトビハゼが実験終了時まで全ての個体が生存し，比較的高い低温耐性が認められた。本結果から，供試したハゼ類 4 種の温度耐性に明確な種間差が認められた。

佐藤淳

1) Dietary niche partitioning between sympatric wood mouse species (Muridae: *Apodemus*) revealed by DNA meta-barcoding analysis.
Sato JJ, Shimada T, Kyogoku D, Komura T, Uemura S, Saitoh T, and Isagi Y

Journal of Mammalogy 99 (4): 952–964. (2018 年 6 月)
内容：次世代シークエンサーを用いた DNA メタバーコーディング法により、北海道に同所的に生息するアカネズミとヒメネズミの食性を調査し、両種の異なる植物食性が明らかとなり、ニッチ分割が同所性を可能にしていることを明らかにした。本研究は、日本の野ネズミを対象に、糞 3 粒から食性を明らかにした点で画期的である。

2) Potentials and pitfalls of the DNA metabarcoding analyses for the dietary study of the large Japanese wood mouse *Apodemus speciosus* on Seto Inland Sea islands
Sato JJ, Kyogoku D, Komura T, Inamori C, Maeda K, Yamaguchi Y, and Isagi Y
Mammal Study 44(4): 221-231. (2019 年 10 月)
内容：瀬戸内海島嶼のアカネズミを対象に次世代シークエンサーを用いた DNA メタバーコーディングによる食性分析を行い、上記、Sato *et al.* (2018)と同様にブナ科の植物がアカネズミの基本的な食物であることが明らかになったことに加え、本温帯域ではバラ科の植物も多く餌とされていることが明らかとなった。また、果実吸蛾類を多く含むヤガ科の蛾が動物食として多く検出され、果樹園の多い瀬戸内海島嶼における農業被害抑制機能が示唆された。さらに、本論文では、未だ発展途上の DNA メタバーコーディング法による分析の注意点を議論した。

3) 次世代シークエンス時代の哺乳類学～初学者への誘い～
佐藤淳、木下豪太
哺乳類科学（2020 年 印刷中）
内容：次世代シークエンサーを活用したゲノム系統学、集団ゲノミクス、環境 DNA、食性分析の手法の原理と哺乳類を対象とした事例研究を解説した。

山岸幸正

1) *Neochondria* gen. nov. (Rhodomelaceae, Rhodophyta), a segregate of *Chondria*, including *N. ammophila* sp. nov. and *N. nidifica* comb. nov.
Sutti, S., Tani, M., Yamagishi, Y., Abe, T., Miller, K. A. and Kogame, K.
Phycologia 57: 262-272. (2018 年 3 月)
内容：しまなみ海域の藻場にも生育する紅藻ホソヤナギノリは、これまでヤナギノリ属 *Chondria* に所属する *C. tenuissima* とされていたが、本研究において因島および福山を含む日本各地の標本の分子系統解析および形態観察により分類を再検討した結果、本種はヤナギノリ属とは系統的に異

なる新属 *Neochondria* 属であるとし、新種 *N. ammophila* として発表した。

渡辺伸一

1) 飼育下におけるクロダイの遊泳深度および活動量の日周変化
津行篤士，渡辺伸一
福山大学内海生物資源研究所報告 28: 1-7 (2018)
内容：福山大学附属水族館（マリンバイオセンター）の大水槽で深度・加速度センサー内蔵の超音波発信器を用いて、クロダイの行動計測を行った。一般化線形モデルを用いて遊泳深度と活動量の周期性について分析した結果、実験魚の行動には明確な日周性が見られた。以上の手法は、飼育下の魚類の行動計測を行う上で有効なだけでなく、野外における生態解明を目的とした研究においても応用が期待される。

2) 小型電気伝導度ロガーを用いた汽水域における広塩性魚の経験塩分の測定
渡辺伸一, 松井健介, 木原涼
比較生理生化学 36：64-71 (2019)
内容：近年開発された小型の電気伝導度ロガーを河川下流域の魚類（クロダイ）に装着して、魚類が経験する塩分を記録する手法について紹介した。上記の手法は、劇的に変動する汽水域の塩分環境を時間空間的に高精度で計測する手法として期待される。

3) Niche partitioning of sympatric penguins by leapfrog foraging appears to be resilient to climate change.
Clewlow HL, Takahashi A, Watanabe S, Votier SC, Downie R, Ratcliffe N. Journal of Animal Ecology 88: 223-235 (2019)
内容：南極半島に生息するペンギン類（アデリーペンギンとヒゲペンギン）に GPS データロガーを装着し、各種の採餌海域の重複から種間競争とニッチ分割について調査した。その結果、時間的に採餌海域を分けることで両種が競争を回避していることが明らかになり、気候変動の影響により種間競争が激化し、両種の個体数が減少することが示唆された。本研究は、これまで定量的な調査が不十分だった南極海のペンギン類から GPS データロガーを用いることで定量的な情報を収集し、気象変動の影響について考察した点において画期的である。

4) 生物情報収集アプリ（バイオーム：Biome）を用いた瀬戸内海中央部因島大浜海岸における沿岸動物リストの作成
渡辺伸一
福山大学内海生物資源研究所報告　30：7-18 (2020)

内容：人工知能（AI）を用いた生物種判定および生物情報のデータベース化を行うスマートフォン・アプリを学生実験で使用し、沿岸生物の生物情報を効率よく収集する手法について紹介した。上記の手法は、効果的に生物情報が得られ、将来的に沿岸域の生物多様性の保全に貢献することが期待された。また、上記の実習により、生物分類の基礎及びデータベース化の意義を理解する上での学習効果が得られた。

5) 岡山県笠岡市神島干潟に放流したカブトガニ幼生の個体群組成と成長
渡辺伸一，吉川颯，東川洸二郎，森信敏，惣路紀通
保全生態学研究（2020 年 投稿中）
内容：岡山県笠岡市の干潟で絶滅危惧種であるカブトガニ幼生の体サイズを計測し、個体群組成と成長率を推定した。また、飼育下で飼育した個体の成長率と比較した結果、干潟における成長率が高いことが示された。以上の内容は、干潟の環境評価と効果的な保全対策を講じる上でも有用な知見となることが期待される。

２． 報文 ※報告書等審査のないもの 19 報

有瀧真人

1) テッポウギスの安定生産に向けての現状と課題～産卵状況～
藤川稔晃、末石芳幸、岩佐海斗、有瀧真人
福山大学生命工学部年報、17: 33-47（2018 年 12 月）
内容：内容：シロギスの産卵は概ね 18～22℃の間で開始し、魚体サイズの大きなものほど早く始まった。環境を操作した早期採卵群では通常群に比べ産卵開始は 20 日以上早く、本種の産卵は水温によって大きく影響されることが明らかとなった。一方、産卵の終了はどの親魚群も概ね同様で、日長が 12 時間を下回る秋分の日を過ぎたあたりに集中した。このときの水温は産卵開始の水温を上回る 23～24℃であることから、シロギスは短日化によって産卵が終わると考えられる。

伊澤康一

1) 水槽環境システム解析モデルの基礎的検討―瀬戸内の里山・里海学に関連して
伊澤康一
福山大学安全安心防災教育研究センター平成２６年度～平成２８年度活動

報告書 pp.28-33（2017 年 2 月）.

内容：里山・里海の資源利用と経済循環を目指して水産資源次世代養殖システムの開発に取り組み始めた。本研究では、水槽環境システムを対象にして、水温分布均一化や無駄のない給餌、速やかな残餌排出等を検討するための基本となる水温計算・濃度計算・CFD 解析の基本モデルを作成した。今後、より詳細な運用方法や水温等の実測データに基づき、解析モデルの精度を向上させるとともに、逆解析を活用し、システムの効率化を図る。

2) シロギス養殖水槽環境システムの水温・照度計算モデルの構築

漆原啓太

福山大学工学部建築学科卒業研究梗概集, 第 36 号 pp.9-12（2018 年 3 月）.

内容： 本研究では、気象データを用いることで光環境と熱環境を推測できるシミュレーションモデルを構築することを目的とした。まず、因島にある水槽環境システムを対象にして、光環境（照度）と熱環境（水温）を検討するために基本となる実測データを作成することを試みた。次いで、気象データを用いて、エネルギー収支解析により水温計算モデルの作成をした。最後に、昼光率と発光効率を用いた照度計算モデルを作成した。

3) シロギス養殖水槽環境システムのおける水温・照度シミュレーションモデルの構築

伊澤康一

2018 年度版福山大学研究成果発表集 p.57（2018 年 6 月）.

内容：本研究では、モデルベース開発で用いる「水槽環境システムの水温・照度シミュレーションモデル」の構築を試みた。水槽環境システムは建築環境システムとアナロジーの関係にあることから、養殖システムに対して建築環境設備学のアプローチを適用できる。福山大学内海生物資源研究所にある養殖水槽の水温や室内照度を簡易実測し、実測値に基づいて水槽環境システムをモデル化して水槽水温と水槽水上面照度の簡易予測を可能とした。

4) シロギス養殖水槽環境システムにおける水温・照度シミュレーションモデルの構築

伊澤康一

福山大学安全安心防災教育研究センター平成２９年度活動報告書 pp.42-45（2018 年 9 月）.

内容：本開発では、シロギスが減耗せずに餌を良く食べ体長が大きくなる好条件の養殖水槽環境パラメータを人工知能によって明らかにし、その好条件をより効率的に達成するためのシステム運用方法をモデルベース開発によって明らかにすることを目標としている。本研究では、水槽環境システムの

水温・照度シミュレーションモデルを構築し、気象データを用いることで熱環境と光環境の簡易予測を可能とした。

5) CFD 解析によるグラデーション給餌の検討―瀬戸内里海の次世代養殖システムの開発研究―
伊澤康一
2019 年度版福山大学研究成果発表集 p.54（2019 年 6 月）.
内容 :「質」（体長 25cm 以上のテッポウギス）と「量」（稚魚期減耗解消）の双方の開発課題を、「自発給餌システム」によって解決することに着目している。本研究では、将来的に、魚の成長に合わせて、餌の粒径を小さいものから大きなものへ変更しながら与える「グラデーション給餌」のアイディアを試行するための準備として、餌の粒径ごとの重力沈降速度や拡散性状を、数値解析によって検討した。

6) CFD 解析によるグラデーション給餌の検討―瀬戸内里海の次世代養殖システムの開発研究―
伊澤康一
福山大学安全安心防災教育研究センター平成３０年度活動報告書 pp.31-32（2019 年 9 月）.
内容 : 本開発では、シロギスが餌を良く食べ体長が大きくなる好条件の養殖水槽環境パラメータを人工知能によって明らかにし、その好条件の環境制御方法をモデルベース開発によって明らかにすることを目標としている。本研究では、魚の成長に合わせて餌の粒径を小さいものから大きなものへと変更しながら与える「グラデーション給餌」のアイディアの予備検討として、餌の粒径ごとの重力沈降速度や拡散性状を数値解析によって明らかにした。

沖俊任

1) 藻場における生態観察用 ROV の開発～構造～
沖　俊任
福山大学工学部紀要、第 43 巻、pp.27-32 （2020）
内容 : 浅海域の藻場での生態系観察を目的に静的な浮力調整機能と姿勢調整機能を有する小型の ROV（Remotely Operated Vehicle）を開発している。本文では、この ROV の構成要素と理論的な能力について報告している。

2) 藻場における生態観察用 ROV の開発～ROS による制御系と動作検証～
沖　俊任
福山大学工学部紀要、第 43 巻、 99.33-38 （2020）
内容 : 浅海域の藻場での生態系観察を目的に静的な浮力調整機能と姿勢調整機能を有する小型の ROV（Remotely Operated Vehicle）を開発している。

本文では、この ROV の用い方と手動制御結果について報告している。

佐藤淳

1）野ネズミの糞中 DNA の分析から生態系を探る
佐藤淳
環境と測定技術 46: 8-16.（2019 年 9 月）
内容：次世代シークエンサーMiSeq を用いた DNA メタバーコーディングによる野ネズミの食性分析の手法と研究事例を解説した。

田中聡

1） 瀬戸内海の藻場探査を行う海底カメラの運用に関する研究
田中　聡、仲嶋　一、伍賀正典
福山大学工学部紀要、pp15-18 第 43 巻 2020 年 3 月
内容：藻場のある海底に沈めて海流、水温、水深等を観測する海底カメラ２号機を開発した。同１号機の運用から得られた知見に基づいて、省電力化や軽量化とカメラ性能を改善するとともに運用方法について改善した。本稿では海底カメラ２号機において改善された機能と運用方法について述べる。

仲嶋一

1） 藻場観測機用海中音響ビーコン／通信システムの検討
仲嶋一、松若泰大
福山大学工学部紀要、43、1-6、2020 年 3 月
内容：藻場探査機器に搭載し、機器の位置特定や情報通信を音響波で行う音響ビーコン／通信システムについて、そのコンセプトと基本特性評価結果を報告した。

水上雅晴

1） 学芸員養成課程履修生による博学連携教育における ICT 活用プログラムの構築
水上雅晴
平成 29 年度福山大学助成金活用教育研究実践報告書（第 6 集）p2-3（2018 年 4 月）
内容：平成 29 年 11 月 11、12 日に福山市のリム・ふくやま 7 階のものづくり交流館で開催された「じばさんフェア 2017」において、研究所と会場をインターネット回線で中継し、「シロギスについて」と「藻場・干潟につい

て」の内容で各 15 分間、研究所内のシロギス養殖水槽や水族館のライブ映像を交えながら来場者に解説する遠隔講座を実施した。アンケートの結果から、ほとんどの参加者が講座内容のしまなみテッポウギスプロジェクトや藻場・干潟に対して理解や関心を示した反面、「音声が聞き取りにくい」、「内容が子どもには難しい」など、技術改善や対象者への配慮を求める意見が多くみられた。また、講座参加後に興味を持った内容には、水族館での飼育体験や養殖体験など、親子で体験できる参加型の学習プログラムや子ども向けの環境学習についての意見が多く伺え、ICT を活用した遠隔講座や出前授業は、フィールドを活用した体験型学習の導入や事前学習として有効であることが示唆された。

山岸幸正

1) 福山産養殖ノリの色落ち藻体の形態的特徴
山岸幸正・藤井啓子・三輪泰彦
福山大学生命工学部研究年報 16: 31-42.（2018 年 2 月）
内容：養殖スサビノリ（海苔）の品質低下をもたらす色落ちの特性を明らかにするために、福山市田島産養殖ノリの通常のノリと色落ちしたノリの形態観察を行った。色落ちノリでは色が薄くなるだけではなく、色落ちが進行するほど葉緑体の直径が小さくなることを示した。

2) 因島および福山の海藻相の 10 年間の変化について
山岸幸正・三輪泰彦
福山大学生命工学部研究年報 18: 35-47.（2019 年 12 月）
内容：因島八重子島では 2005 年度から 2016 年度まで、福山市鞆町玉津島では 2006 年度および 2017 年度に海藻相調査を行った結果、それぞれ 241 種、145 種、両地点合計 250 種の海藻が生育することを明らかにした。いずれの地点においても、海藻種数は近年減少傾向にあり、海藻相が変化していると考えられた。

3) 製鋼スラグを用いた海洋牧場基盤の創造
田辺和康・三輪泰彦・山岸幸正・祖父江梅夫・笹本博彦
第 13 回環境地盤工学シンポジウム発表論文集 115-118.（2019 年 9 月）
内容：藻場を構成する海藻の生育に必要な栄養素として鉄に着目し、鉄鋼スラグとフルボ酸鉄を基盤に用いて豊かな藻場の再生と創出をはかることを目的とし、福山市および尾道市の海岸に基盤を設置して、ヒジキ、ワカメ、アマモの生育を調べた。

渡辺伸一

1) お知らせ　第 13 回　日本バイオロギング研究会シンポジウム
渡辺伸一
バイオロギング研究会会報 129: 5 (2017)

2) 第 13 回 日本バイオロギング研究会シンポジウム「10 年後のバイオロギング－バイオロギングはどう発展するのか？－」（福山大会）
渡辺伸一（実行委員長、2017 年 11 月、広島県福山市）

3) 学会報告　第 13 回　日本バイオロギング研究会シンポジウム
渡辺伸一
バイオロギング研究会会報 136: 6-7 (2017)

３．　学会発表　60 件

有瀧真人

1) 「しまなみテッポウギスプロジェクト」これまでとこれから
有瀧真人、藤川稔晃
平成 29 年度日本水産増殖学会（2017 年 11 月南予）

2) シロギスの人工種苗生産における課題：形態異常と共喰いについて
藤川稔晃、隈村僚太、末石芳幸、有瀧真人
平成 29 年度日本水産学会中国・四国支部例会（2017 年 12 月岡山）

3) シロギスの産卵状況に影響する環境要因
藤川稔晃、岩佐海斗、今井俊介、木下大己、有瀧真人
平成 30 年度日本水産学会春季大会（2018 年 3 月東京）

4) 養殖でシロギスを瀬戸内の名産に ～しまなみテッポウギスプロジェクト～
有瀧真人
平成 30 年度第 2 回日本水産学会水産増殖懇話会講演会（2018 年 9 月東広島）

5) 大型シロギスの効率的な養殖にむけて（1）～養殖シロギス大型化への取り組みと課題～
藤川稔晃、大瀧一登、占部侑子、有瀧真人
平成 30 年度日本水産学会秋季大会（2018 年 9 月東広島）

6) 大型シロギスの効率的な養殖にむけて（1）～飼育シロギス仔稚魚の骨格異常におけるストレス－コルチゾル系関与の可能性～

鶴巻祐介、藤川稔晃、南　卓志、有瀧真人、田川正朋
平成 30 年度日本水産学会秋季大会（2018 年 9 月東広島）

7) 大型シロギスの効率的な養殖にむけて (3) ～天然シロギスの血中コルチゾル濃度解析～
加瀬俊平、田川正朋、有瀧真人、莚平裕次、征矢野清
平成 30 年度日本水産学会秋季大会（2018 年 9 月東広島）

8) 大型シロギスの効率的な養殖にむけて (4) ～しまなみテッポウギスを社会へ届けるために～
大瀧一登、占部侑子、藤川稔晃、有瀧真人
平成 30 年度日本水産学会秋季大会（2018 年 9 月東広島）

9) コウライアカシタビラメの発育と変態異常
有瀧真人、原田樹、山本隼也、坂井美律
平成 31 年度日本水産学会春季大会（2019 年 3 月東京）

10) シロギス人工種苗における鰾及び脊椎骨の形成と形態異常
藤川稔晃、森川 将大、有瀧真人
平成 31 年度日本水産学会春季大会（2019 年 3 月東京）

11) 大型シロギスの効率的な養殖にむけて（5）～シロギスの産卵制御と終了要因についての検討～
藤川稔晃、西原徹、征矢野清、有瀧真人
令和元年度日本水産学会秋季大会（2019 年 9 月福井）

12) 大型シロギスの効率的な養殖にむけて（6）～ストレスによるコルチゾルが短躯症を誘起する可能性～
鶴巻佑介、藤川稔晃、南卓志、有瀧真人、宇治督、風藤行紀、田川正朋
令和元年度日本水産学会秋季大会（2019 年 9 月福井）

池岡宏

1) 黒木春樹，池岡宏，“人工知能を活用した自発給餌システムによるシロギス養殖の高効率化および低コスト化に関する検討”，情報科学技術フォーラム（FIT）pp.295-296，2019-8.

伊澤康一

1) 伊澤康一：シロギス養殖水槽環境システムにおける水温・照度の簡易シミュレーションモデルの構築，太陽／風力エネルギー講演論文集（松江）pp.247-250, 2018 年 11 月.
2) 伊澤康一・池岡宏：瀬戸内里海の次世代養殖システムの開発研究―ＣＦＤ解析によるグラデーション給餌の検討―、日本太陽エネルギー学会講演論文集

（2019）（青森）pp.226-227,　2019 年 10 月.

北口博隆

1）殺藻細菌の包括固定化に用いる多糖類ゲルの検討
北口博隆、永吉昂輝、益七瀬、藤井啓子、満谷淳
平成 30 年度日本水産学会春季大会（東京）要旨集 p.75 (2018-3)

倉掛昌裕

1）*Bacillus* sp.CH11 株N-アセチルヘキソサミニダーゼの酵素的性質
倉掛 昌裕、天井 裕可里、小西 瑞希、池平 佳歩
日本農芸化学会 2017 年度大会（京都）要旨集 p.1600（2017-3-19）
2) カビ由来アオサ分解酵素の性質について
倉掛 昌裕，堀井 朝日，三浦 明久
日本食品科学工学会 第 64 回大会（神奈川）要旨集 p.106（2017-8-29）.
3）糖転移作用を有する N-アセチルヘキソサミニダーゼの探索
天井 裕可里、倉掛 昌裕
日本農芸化学会 2018 年度大会（名古屋）要旨集 p.831（2018-3-16）
4) 品質の異なる海苔の機能性について
中野茉優子，板倉圭佑，倉掛昌裕
日本食品科学工学会 第 65 回大会（仙台）要旨集、p.112（2018-8-24）
5) 分離菌 A34 株 N-アセチルヘキソサミニダーゼの糖転移作用
天井 裕可里、倉掛 昌裕
日本農芸化学会 2019 年度大会（東京）要旨集 p.590（2019-3-24）
6) κ-カラギナーゼ生産菌の分離およびその酵素の性質
倉掛 昌裕、石本 圭亮、山岡 美桜、筒井 荘周、長岡 洋大
第 71 回（2019 年）日本生物工学会大会（岡山）要旨集 p.279（2019-9-18）

阪本憲司

1）瀬戸内海におけるトビハゼの遺伝的集団構造
阪本憲司・徳永隆史・中野優作・高木基裕
平成 29 年度 日本魚類学会大会（2017 年 9 月）
2）シロギスの体サイズが異なる個体の産卵状況の推定
中根康介・阪本憲司・南卓志
平成 30 年度 日本水産学会春季大会（2018 年 3 月）
3）飼育下におけるメバル類の自然交雑
阪本憲司・戸田慎平・野口大毅・田中麻衣・南卓志

平成 30 年度 日本水産学会春季大会（2018 年 3 月）

4) 母系解析によるシロギスの産卵期推定法の検討
中根康介・阪本憲司・南卓志
平成 31 年度 日本水産学会秋季大会（2018 年 9 月）

5) カワムツの遺伝的集団構造
阪本憲司・北村智哉・岡村将吾・池永直人・田中麻衣・野口大毅
令和元年度 魚類自然史研究会（2019 年 10 月）

6) 広島県大崎上島の *Hynobius* 属
釜坂稜・河野雅也・髙村洸介・副島春菜・大川博志・阪本憲司
令和元年度 日本爬虫両棲類学会年会（2019 年 11 月）

佐藤淳

1) 瀬戸内の里山・里海の生態系機能の解明に向けた研究拠点の形成.
佐藤淳
第 111 回岡山県医用工学研究会（2017 年 6 月 16 日 岡山）

2) 環境 DNA を用いたカブトガニの分布調査：岡山県笠岡湾における研究事例
渡辺卓、渡辺伸一、佐藤淳、東川洸二郎、森信敏、惣路紀通
日本カブトガニを守る会総会（2017 年 8 月、笠岡）

3) 野ネズミが摂取するタンニンの由来：DNA メタバーコーディングと糞中プロリン含有率を用いて
島田卓哉、佐藤淳、齊藤隆、秋元佑香、小野寺緑也
日本生態学会第 65 回全国大会（2018 年 3 月 札幌、要旨集 I02-05）

4) DNA メタバーコーディングで探るアカネズミの食性の普遍性と多様性に与える時空間要因
佐藤淳、島田卓哉、京極大助、小村健人、植村滋、山口泰典、齊藤隆、井鷺裕司
第一回環境 DNA 学会東京大会（2018 年 9 月 29-30 日、東京、要旨集 p.13）

5) しまなみ沿岸生態系の持続可能性と遺伝学の応用
佐藤淳
しまなみと多島海～島嶼研究の 2 国間国際シンポジウム～（2019 年 4 月 20 日、福山、要旨集 p. 8）

6) アカネズミから森林生態系を探る～DNA メタバーコーディングによる食性分析～
佐藤淳
日本哺乳類学会 2019 年度大会（2019 年 9 月 18 日、東京、要旨集 p. 70）

7) 北海道に生息する 3 種の野ネズミの共存メカニズムの解明

渡邊佳奈、齊藤隆、佐藤淳、島田卓哉
日本哺乳類学会 2019 年度大会（2019 年 9 月 18 日、東京、要旨集 p. 116.【ポスター優秀賞受賞】）

8) 瀬戸内海の島々に生息するアカネズミの食性と森と海の生態系の連環を探る
佐藤淳、大月優弥、吉本孝
第二回環境 DNA 学会神戸大会（2019 年 11 月 3-4 日、神戸、要旨集 p.5）.

9) 野ネズミ 3 種の共存メカニズムの解明：DNA メタバーコーディング法による食性分析
渡邊佳奈、齊藤隆、佐藤淳、島田卓哉
2019 年度日本生態学会北海道地区大会（2019 年 11 月 30 日、苫小牧）

10) 森海連環の解明を目指した環境 DNA 分析
佐藤淳、大月優弥、吉本孝
日本生態学会第 67 回全国大会（2020 年 3 月、名古屋、要旨集 C02-04).

11) 野ネズミ 3 種の共存メカニズムの解明：DNA メタバーコーディング法による食性分析の視点
渡邊佳奈、齊藤隆、佐藤淳、島田卓哉（2020）
日本生態学会第 67 回全国大会（2020 年 3 月、名古屋、要旨集 P1-PA-036).

関田隆一

1) Satellite Remote Sensing Data Analysis for Sustainable Growth Model of the Seagrass Beds in Seto Inland Sea,
Yuuske Katsube, Ryuichi Sekita,
32nd International Symposium on Space Technology and Science 査読付き国際学会（2019 年 6 月 19 日, 日本航空宇宙学会 福井）

2) 瀬戸内海の藻場を識別するリモートセンシングデータ解析.
関田隆一
電気学会、2019 年度計測研究会（2019 年 7 月 5 日 東京、電気学会研究資料, Vol.2019, No.24, pp 13-18）

3) 瀬戸内海沿岸域の藻場分布状況を知る地球観測衛星データの定量解析
勝部雄介、関田隆一
第 27 回瀬戸内海研究フォーラム in 広島（2019 年 9 月 6 日 瀬戸内海環境保全協会、広島）

田中聡

1) 海底カメラによる海中観測実験

田中　聡、伍賀正典、仲嶋　一
令和元年度福山大学研究成果発表会,令和元年 6 月 26 日

2) 海底カメラのための同期性能を向上させたステレオカメラシステム
田中　聡
令和元年（第 70 回）電気・情報関連学会中国支部連合大会,　R19-22-03-02,2019 年 10 月 26 日.

3) CNN を用いた海藻画像の分類に関する研究
桑田 航平、田中 聡
第 28 回計測自動制御学会中国支部学術講演会、pp.43-44、2019 年 11 月

4) 海底カメラにおけるオブジェクト分類に関する研究
桑田 航平、田中 聡
2020 年度電子情報通信学会総合大会、D-12-13、2020 年 3 月

水上雅晴

1) 大学附属水族館を活用した学芸員養成教育と学生が主体となった里山・里海教育プログラムの実施
水上雅晴、高田浩二
平成 31 年度日本水産学会春季大会（東京）要旨集 p.64（2019.3.26-29）

山岸幸正

1) 広島県東部の海藻相と約 10 年間の変化傾向.
山岸幸正・田中美希・卜部公伸・向井寛治・三輪泰彦
日本藻類学会第 42 回大会（2018 年 3 月、仙台、要旨集 p. 79）

2) 瀬戸内海中央部に生育するアカモク集団の *cox*3 による地理的解析
島山岸幸正・下園隼仁・井町拓巳・松岡美希・細谷匠平・寺尾剛史・前田亜喜良・三輪泰彦
日本藻類学会第 43 回大会（2019 年 3 月、京都、要旨集 p. 53）

3) しまなみ海域に生育する褐藻アカモク集団の系統地理的解析
山岸幸正・松原拓也・西沢琢登・芹川智祐・三輪泰彦
第 27 回（令和元年度）瀬戸内海研究フォーラム in 広島（2019 年 9 月、広島、要旨集 p. 4-45）

4) 瀬戸内海中央部のアカモクの *cox*3 およびマイクロサテライトによる個体群解析
山岸幸正・松原拓也・芹川智祐・西沢琢登・野口大毅・三輪泰彦
日本藻類学会第 44 回大会（2020 年 3 月、鹿児島、要旨集 p. 41）

渡辺伸一

1) ナルトビエイが撮影した広島県松永湾の魚類相
石黒直生，廣瀬友明，岩本遼，松井健介，渡辺伸一
第 13 回日本バイオロギング研究会シンポジウム（ポスター発表、2017 年 8 月、福山市）

2) ナルトビエイが撮影した広島県松永湾の魚類相と海底環境
石黒直生，松井健介，岩本遼，渡辺伸一
平成 30 年度日本水産学会春季大会（口頭発表、2018 年 3 月、東京）

3) 瀬戸内海のオオミズナギドリの食性と摂餌行動
大西和斗，松井健介，渡辺伸一
平成 30 年度日本水産学会春季大会（口頭発表、2018 年 3 月、東京）

4) Monitoring and conservation of coastal environment from bio-logging data on keystone species in the ecosystem of Seto-Inland Sea
Watanabe S
The second regional symposium of Sustainability Initiative in the Marginal Seas of South and East Asia (SIMSEA) 2018 (2018 年 11 月, Manila, Philippines)

5) Semilunar periodic alternation of activity rhythms in the tri-spine horseshoe crab *Tachypleus tridentatus*
Watanabe S
The 4th International Workshop on the Science and Conservation of Horseshoe Crabs (Oral, 2019 年 11 月, Qinzhou & Beihai, China)

6) カブトガニの活動リズム : 概日リズムから概潮汐リズムへの半月周期の交代
渡辺伸一
第 15 回日本バイオロギング研究会シンポジウム（口頭発表、2019 年 9 月、東京）

7) 汽水域におけるクロダイの経験塩分の測定
安田皓輝，松井健介，渡辺伸一
第 15 回日本バイオロギング研究会シンポジウム（口頭発表、2019 年 9 月、東京）

8) 広島市太田川放水路におけるクロダイの淡水域利用の日周変化
安田皓輝，松井健介，渡辺伸一
令和２年度日本水産学会春季大会（口頭発表、2020 年 3 月、東京）

9) ナルトビエイの経験塩分から測定した広島県福山市松永湾の塩分環境の変化
渡辺伸一，鎌田耕平，小林智貴，工藤慶大，濵口幸岐，安田皓輝，松井健介
令和２年度日本水産学会春季大会（口頭発表、2020 年 3 月、東京）

Ｂ．著書　　9 冊

有瀧真人

1）魚の形は飼育環境で変わる　形態異常はなぜ起こるのか
有瀧真人、田川正朋、征矢野清
恒星社厚生閣　東京、PP114（2017 年 6 月）.

2）「しまなみテッポウギス」の種苗生産と養殖試験
有瀧真人、大瀧一登、占部侑子、藤川稔晁
養殖ビジネス、緑書房　東京、P50-54（2019 年 1 月）.

3）「しまなみテッポウギス」の商品開発と販売
有瀧真人、大瀧一登、占部侑子、藤川稔晁
養殖ビジネス、緑書房　東京、P53-56（2019 年 2 月）.

4）養殖でシロギスを瀬戸内の名産に 〜しまなみテッポウギスプロジェクト〜
有瀧真人
月刊海洋、海洋出版株式会社　東京、P292-297（2019 年 6 月）.

阪本憲司

1）福島の淡水域における放射能汚染と魚類に及ぼす影響〜フナの環境適応能力に与える放射線被曝の影響〜
阪本憲司・中嶋正道
月刊海洋、海洋出版株式会社、東京、p. 67-70（2018 年）

2）福島の淡水域における放射能汚染と魚類に及ぼす影響〜ギンブナに対する低線量放射性セシウム長期被曝の影響についての組織学的検証〜
平井俊朗・小川智史・柴田安司・阪本憲司・原将樹・中嶋正道
月刊海洋、海洋出版株式会社、東京、p. 53-60（2018 年）

渡辺伸一

1) カブトガニは一年の半分も冬眠する
渡辺伸一
バイオロギングで新発見！動物たちの謎を追え
（佐藤克文監修、あかね書房、2018 年）.

2) Activity rhythm of the tri-spine horseshoe crab *Tachypleus tridentatus* in the Seto Inland Sea, western Japan, monitored with acceleration data-loggers
Watanabe S, Oyamada S, Mizuta K, Azumakawa K, Morinobu S, Souji S
Biology and Conservation of Horseshoe crabs (Springer, 2021 年出版予定)

3) Genetic structure of the tri-spine horseshoe crab in Seto Inland Sea, Japan: Is the

current population at Kasaoka, the eastern part, native or re-established?
Watanabe S, Sato JJ, Kawazu K, Horinouchi E, Nishida S, Azumakawa K, Morinobu S, Souji S
Biology and Conservation of Horseshoe crabs (Springer, 2021 年出版予定)

Ｃ．獲得した研究費（外部資金）

有瀧真人

1) 受託研究（株式会社　アペックスインターナショナル）: 大型シロギス養殖に関わる実証性の検討、有瀧真人、2018、2019 年　25 万円
2) 受託研究（株式会社　クラハシ）: 沖縄県伊平屋島養殖施設におけるシロギス養殖の検証、有瀧真人、2019 年　50 万円

池岡宏

1) 一般財団法人昭特科学振興財団，50 万円，黒木，池岡，伊澤，有瀧，藤川，2019 年 10 月～2020 年 3 月

北口博隆

1）科研費 挑戦的萌芽研究「海洋細菌の活性を利用したアポトーシスの誘導によるノリ色落ち原因珪藻の防除技術開発」（課題番号 16K12625）平成 26 年度～28 年度（研究分担者）
2）公益財団法人サタケ技術振興財団研究助成金 平成 31 年/令和元年度（研究代表者）

阪本憲司

1）共同研究費（株式会社 日本総合科学）環境 DNA 分析による藻場魚類相調査の実証実験および藻場における DNA 抽出・検出技術の開発（2018 年、300 千円）
2）共同研究費（株式会社 日本総合科学）環境 DNA 分析による藻場魚類相調査の実証実験および藻場における DNA 抽出・検出技術の開発（2019 年、200 千円）

佐藤淳

1）H30-R3 年度 文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究（C）（H30 年度 1,100

千円、H31-R1 年度 1,200 千円、R2 年度 600 千円、R3 年度 500 千円）．アカネズミゲノム情報から瀬戸内海の古代河川が残した足跡をたどる（研究代表者 佐藤淳）．

2) H30 年度 受託研究 一般社団法人 アニマルパスウェイと友の会（310 千円）．富士山スバルラインが野生齧歯類の遺伝的多様性に与える影響の解明（研究代表者 佐藤淳）．

3) H31-R3 年度 文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究（B）（H31-R1 年度 2,500 千円、R2 年度未定、R3 年度未定）．堅果の豊凶と野ネズミの個体数変動パターン：食性解析に基づく栄養学的アプローチ（研究分担者 佐藤淳、研究代表者 森林総合研究所 島田卓哉）

渡辺伸一

1) 科学研究費補助金（若手研究 B）ナルトビエイの行動計測による二枚貝類等の食害防除対策と沿岸生態系の影響評価（代表）（2014 年～2017 年度、2017 年度の助成金額：60 万円）

2) 東京大学大気海洋研究所共同利用研究（外来研究員）バイオロギング技術をもちいた瀬戸内海の海洋動物の行動と沿岸環境モニタリング（2019 年度、助成金額：20 万円）

D．その他

福山大学研究推進委員会

1) 2017～2019 年度福山大学研究成果発表会、エフピコ RIM

2) じばさんフェア 2017～2109、エフピコ RIM

3) 2017 年大学院 FD「瀬戸内海しまなみ沿岸生態系に眠る多面的機能の解明と産業支援・教育」研究計画について、福山大学、2018 年 3 月

4) 2018 年度大学院 FD「福山大学ブランディング推進のための研究プロジェクト」成果報告会、福山大学、2019 年 3 月

有瀧真人

1) じばさんフェア 2018：しまなみテッポウギスプロジェクトの紹介、有瀧真人、2018 年 11 月 18 日

2) 私立大学研究ブランデイング事業に関わる研究発表と情報交換会、藤川稔晃、2018 年 12 月 1 日 福山大学内海生物資源研究所

北口博隆

1) 殺藻細菌 *Pseudoalteromonas* sp. A25 株の野生株と変異株の殺藻活性の比較
益七瀬、北口博隆、満谷淳
令和元年度日本水産学会中国・四国支部例会（広島）要旨集 p.27 (2019-10)

阪本憲司

1) 福山大学公開講座
瀬戸内海は、生物の宝庫!! ～里山・里海にみる、ふるさとの自然～
阪本憲司
三原市中央公会堂（2018 年 9 月）
2) 福山大学公開講座
瀬戸内海は、生物の宝庫!! ～里山・里海にみる、ふるさとの自然～
阪本憲司
福山大学 1 号館大講義室（2018 年 9 月）

佐藤淳

1) 環境 DNA と NGS
佐藤淳
第 1 回 福山大学 NGS を学ぶ会（2018 年 10 月 15 日、福山）
2) DNA メタバーコーディングによる動物の食性分析.
佐藤淳
私立大学研究ブランデイング事業に関わる研究発表と情報交換会（2018 年 12 月 1 日、因島）
3) Setouchi Satoyama-Satoumi Research Project of FUKUYAMA UNIVERSITY
Sato JJ
International Symposium of Island Research (14 December 2018, Mokpo National University, South Korea)
4) 多島海に学ぶ里山・里海学と私たちの未来
佐藤淳
2019 年度福山大学研究成果発表会（2019 年 6 月 26 日 福山）.
5) 多島海に学ぶ里山・里海学と私たちの未来
佐藤淳
第二回瀬戸水研海産無脊椎動物研究センターと福山大学との共同ゼミナー

ル～第二回しまなみゼミ～（2019 年 8 月 23 日、因島）

6) Education and Research of Department of Biotechnology, FUKUYAMA UNIVERSITY
Sato JJ
Seminar (5 December 2019, Laos National University, Faculty of Agriculture).

関田隆一

1) 里海の藻場探査プロジェクト　衛星画像藻場分布
関田隆一
府中☆産業博（2019 年 5 月 11、12 日、府中）

2) 里海の藻場探査プロジェクト　衛星画像藻場分布
関田隆一
2019 年度福山大学研究成果発表会（2019 年 6 月 26 日 福山）.

3) 瀬戸内海沿岸域の藻場分布状況を知る地球観測衛星データの定量解析
関田隆一
じばさんフェア２０１９（2019 年 11 月 16、17 日、福山）

水上雅晴

1) 因島キャンパスを中継した遠隔講座によるブランディング研究の紹介
水上雅晴
じばさんフェア 2017（2017 年 11 月 11、12 日、福山）

2) 藻場の生き物たち
水上雅晴
じばさんフェア 2018（2018 年 11 月 17、18 日、福山）

3) 藻場や干潟の生物と UV レジンを用いた標本づくり教室
水上雅晴
じばさんフェア 2019（2019 年 11 月 16、17 日、福山）

4) 福山大学　出前水族館
水上雅晴
ふくやま環境フェスタ 2019（2019 年 10 月 20 日、福山）

渡辺伸一

1) 環境 DNA を用いたカブトガニの分布調査：岡山県笠岡湾における研究事例
渡辺卓，渡辺伸一，佐藤淳，東川洸二郎，森信敏，惣路紀通
日本カブトガニを守る会 2017 年度総会（ポスター発表、2017 年 8 月、岡山

県笠岡市）

2) 瀬戸内海のオオミズナギドリの食性と採餌環境
松井健介，大西和斗，渡辺伸一
日韓オオミズナギドリ生態・保全研究集会（口頭発表、2018 年 3 月、千葉県柏市）

3) 山口県ハンドウ島におけるアマツバメの親鳥の帰巣頻度と雛の糞数の変化
深見萌、松井健介、渡辺伸一
日韓オオミズナギドリ生態・保全研究集会（2018 年 3 月、千葉県柏市）

Ｅ．メディア

特別企画 中国地域経済をリードする企業・大学、財界、Vol.66、No.20（2018 年）

進学コンパス、山陰中央新報（2017 年～2019 年）

大学徹底研究　広島県の大学へ行こう、中国新聞（2017～2019 年）

有瀧真人

1) Wink 福山・備後：しまなみテッポウギスプロジェクト　VOL.1 、7 月号、2017 年 6 月 25 日
2) Wink 福山・備後：しまなみテッポウギスプロジェクト　VOL.2 、8 月号、2017 年 7 月 25 日
3) Wink 福山・備後：しまなみテッポウギスプロジェクト　VOL.3 、9 月号、2017 年 8 月 25 日
4) 読売新聞：「テッポウギス　養殖技術開発中」、2017 年 8 月 30 日（水）
5) Wink 福山・備後：しまなみテッポウギスプロジェクト　VOL.4、 10 月号、2017 年 9 月 25 日
6) Wink 福山・備後：しまなみテッポウギスプロジェクト　VOL.5 、11 月号 、2017 年 10 月 25 日
7) NHK 総合：お好みワイド　「しまなみテッポウギスプロジェクト：福山大学」、2017 年 11 月 10 日
8) Wink 福山・備後：「しまなみテッポウギスプロジェクト」成果発表会＆試食会、2017 年 12 月 7 日
9) 中国新聞：「テッポウギス養殖挑戦」、2017 年 11 月 21 日
10) 読売新聞：「養殖シロギスとろっとうまい！！歯ごたえもあるゾ」、2017 年 12 月 8 日

11)中国新聞：「養殖シロギス 40 人試食」、2017 年 12 月 8 日
12)広島ホーム TV：J ステーション　「福山大のシロギス養殖プロジェクト」、平成、2017 年 12 月 14 日
13)みなと新聞：「大型シロギス周年供給へ沖縄県の漁協福山大と連携 20 年春にも初出荷」、2018 年 9 月 11 日
14)中国新聞：「一目でわかるおいしい数値　福山大学試食・測定で基準作成」、2019 年 7 月 29 日
15)びんご経済レポート：「福山大学が廻鮮寿司しまなみと共同研究」2019 年 8 月 10 日号
16)Wink 福山・備後：「魚の旨味を数値化！？美味しさを科学する」、9 月号、2019 年 8 月 25 日
17)日本経済新聞：魚のおいしさ「見える化」福山大学と廻鮮寿司しまなみ 2019 年 10 月 11 日
18)中国放送テレビ：「福山大学発の養殖キス　ブランド化に挑戦」、2019 年 11 月 6 日
19)広島ホームテレビ:J ステーション　「刺身のおいしさグラフ化しました　福山大×寿司店の取り組み」、2019 年 11 月 18 日
20)中国放送テレビ：「ぶら島太朗の海魅人に会いたい！養殖シロギスを探せ！」、21)2019 年 11 月 29 日
21)経済レポート：「沖縄でシロギスを量産化」2019 年 10 月 1 日
22)日本経済新聞：キス沖縄で養殖　水産卸のクラハシ、福山大と、2020 年 1 月 21 日

池岡宏
1) 黒木春樹,キャンパスレポータによる学生の研究紹介として中国新聞掲載予定（取材終了済）

阪本憲司
1) 福山大学公開講座 瀬戸内海は、生物の宝庫!! ～里山・里海にみる、ふるさとの自然～. 山陽新聞（2018 年 9 月 23 日）

佐藤淳
1) DNA の視点から里山の生態系を解き明かす. 中国新聞（2018 年 11 月 23 日 28 面）
2) 食べ分けて森で共存. 朝日新聞（2019 年 1 月 17 日科学面）Web 版「森に住むよく似た小ネズミ、2 種が共存できる秘密は？」：

https://www.asahi.com/articles/ASM185WJSM18ULBJ014.html

仲嶋一

1) 「中国新聞 LEADERS 倶楽部」通信 Vol.27「地域資源の発掘・研究に尽力」、中国新聞（2017 年 9 月 21 日）
2) レーザー「地域の未来創造」、日刊工業新聞（2017 年 12 月 1 日）
3) 「福山大学ブランディング推進のための研究プロジェクトが採択！」、福山大学学報第 154 号（2017 年 12 月）
4) 「瀬戸内地域の生態系研究・調査が研究ブランディング事業に採択」、備後経済レポート（2018 年 1 月 10 日）
5) 地域共創の現場㉔「養殖・ワイン･･･里山・里海を活かす」、教育学術新聞（2018 年 2 月 7 日）
6) 「福山大学ブランディング推進のための 研究プロジェクト経過報告について」、福山大学学報第 160 号（2019 年 4 月）

水上雅晴

1) 瀬戸内海の生物守ろう 因島で 3 小 大学生と考える．中国新聞（2019 年 9 月 19 日 24 面）
2) 美木原小 4 年生ら 因島で環境学習． 朝日新聞瓦版みつきたにゅーす No.078（2019 年 9 月 20 日 1-2 面）
3) 西藤小 4 年生ら 因島で環境学習．朝日新聞瓦版 ASA 松永だより No.239（2019 年 9 月 20 日 1-2 面）
4) 環境学習推進事業 ふるさと海辺教室．広報おのみち 10 月号 No.1057（2019 年 10 月 10 日 32 面）
5))環境を守ろう！ ふるさと海辺教室． 日本財団 海と日本 in 広島ホームページ（2019 年 10 月 3 日）
https://hiroshima.uminohi.jp/report/環境を守ろう%ef%bc%81「ふるさと海辺教室」/

渡辺伸一

1) 「奇跡の海」の生き物たち　オオミズナギドリ
朝日新聞（2017 年 6 月 10 日）
2) 海洋生物の研究、体験入学会の様子について
SUMMER WIND RADIO 2017（RCC ラジオ、2017 年 7 月 16 日）
3) アカエイによるカブトガニ卵の捕食行動について
ニュースただいま佐賀（NHK 佐賀放送局、2017 年 9 月 15 日、27 日）

4) 世界をリードする日本の力「バイオロギング」
夕刊フジ（産経新聞社、2017 年 11 月 19 日）
5) Putting Sensors on Oceangoing Birds Could Improve Weather Forecasting
National Geographic com. (2018 年 3 月 19 日公開)
https://video.nationalgeographic.com/video/news/00000162-3ecf-d433-ad73-bfffbad70000
6) 瀬戸内海におけるバイオロギング調査
世界の何だコレ！？ミステリー（フジテレビジョン、2018 年 10 月 4 日）
7) バイオロギングの 1 分）
1 分のチカラ「映像のチカラを探る！」（テレビ新広島、2018 年 10 月 12 日）
8) 瀬戸内海における野生動物の生態調査
地球派宣言（広島ホームテレビ、2018 年 11 月 14 日）
9) オオミズナギドリの巣穴を掘り返すイノシシ
中国新聞（2019 年 4 月 22 日）

福山大学
FUKUYAMA UNIVERSITY