

平成 23 年度

バイオリギングの沿岸域総合管理への適用に関する調査研究

報告書

平成 24 年 3 月

海洋政策研究財団

(財団法人 シップ・アンド・オーシャン財団)

はじめに

「沿岸域の総合的管理」や「水産資源の保存管理」などの課題は、人々の生活や健康に密接に関係していることから、日本の海洋基本法（2007）の施策の中に組み込まれている。これらの課題については、これまで国、地方自治体、漁業組合、水産研究所、大学などのレベルで、それぞれの目的に応じて個別に取り組んできた。しかし、水産資源を合理的に管理し、沿岸域を総合的に管理していくには、個々の研究を総括して、包括的に取り組むことが不可欠である。これらの課題を解決するには、新しい視点からの調査研究が待ち望まれてきた。

バイオリギングサイエンス（生物装着型行動・環境計測システム科学）は、日本が独自に開発した世界最先端のシステム科学であり、海洋動物が自分の行動と生息環境の情報を動物自身が収集するという画期的な手法である。近年、この手法を用いて得られた情報を「沿岸域の総合的管理」や「水産資源の保存管理」などに活用していくことが期待されるようになってきた。海洋政策研究財団では、このバイオリギング手法を用いて収集した情報をもとに、「沿岸域の総合的管理」や「水産資源の保存管理」の課題の解決に有効であることを提示すると同時に、この世界最先端の科学技術を海洋研究に応用し、優れた成果をあげることにより、海洋基本法のもう一つの施策である「海洋科学技術に関する研究開発の推進等」にも貢献することを目指した。

今年度は、東京湾とその流入河川の小櫃川に生息しているスズキ (*Lateolabrax japonicus*) を対象に、バイオリギング手法を用いて行動特性と生息環境に関する調査研究を実施し、基本的な観測システムを確立することができた。この観測システムで得られたデータを解析した結果、海域で繁殖するスズキが、沿岸域、汽水域、河川域などの様々なハビタット（生息域）を利用しているとともに、幅広い塩分濃度の環境に迅速に適応していることが明らかになった。これらの科学的な知見から、東京湾に生息する水産資源の重要種であるスズキの資源管理や彼らの環境保全を考える上で、東京湾やその流入河川を含めた一体的な沿岸域総合管理の必要性が不可欠であることが認識された。また、本事業で得られた研究成果を2012年3月1日に東京大学弥生講堂で開催したシンポジウム「バイオリギングの沿岸域総合管理への応用—東京湾から考える」で発表し、水産関係者、環境関係者、報道関係者、海洋研究者、学生、一般の市民の方々と、様々な視点から将来に向けた海洋政策への応用について有益な議論を行うことができた。

本報告書では、東京湾ならびに小櫃川の地政学的な情報を整理し、これらの海域におけるスズキの行動特性と環境選択に関する成果をまとめるとともに、上記のシンポジウムでの議論を踏まえ、「沿岸域の総合的管理」や「水産資源の保存管理」への応用について今後の方向性を検討した。2012年は海洋基本法が制定されてから5年目を迎え、海洋基本法のもとでこれまで実施してきた活動の整理と見直しを図り、新たな法制度へ

の整備に向けた年である。本事業を通じて得られた成果を整理し、新たな海洋基本法の制定作業に向けて有効な情報を提供することができれば幸いである。

本事業を遂行するに当たり、バイオリギング委員会の内藤靖彦・委員長（国立極地研究所名誉教授）をはじめ、故寺崎誠（三洋テクノマリン株式会社生物生態研究所長）・青木一郎（東京大学農学生命科学研究科教授）・佐藤克文（東京大学大気海洋研究所准教授）・小松輝久（東京大学大気海洋研究所准教授）委員には一方ならぬご尽力をいただいた。調査では、東京大学大気海洋研究所の佐藤克文・准教授とその研究室の大学院生、三洋テクノマリン株式会社の新沢 丘理事、水嶋康一郎研究員とそのスタッフ、千葉県水産試験場の庄司紀彦主任研究員、千葉県の金田漁港、牛込漁港、久津間漁港の各組合長とその関係者に大変お世話になった。関係者の皆様に心からお礼申し上げる。

本調査研究事業が、「沿岸域の総合管理」に関心を持たれている関係者に広く理解され、今後とも様々な立場からご支援ならびにご協力をいただくことができれば幸いである。

平成 24 年 3 月

海 洋 政 策 研 究 財 団
会 長 秋 山 昌 廣

バイオロギングの沿岸域総合管理への適用に関する調査研究

研究メンバー

寺島紘士	海洋政策研究財団	常務理事	
*宮崎信之	海洋政策研究財団	政策研究グループ	主任研究員
大川 光	海洋政策研究財団	企画グループ	グループ長代理
田上英明	海洋政策研究財団	政策研究グループ	研究員
河津静花	海洋政策研究財団	政策研究グループ	研究員
島田絵美	海洋政策研究財団	海技研究グループ	国際チーム

(*:プロジェクトリーダー)

以上

目次

はじめに

バイオリギングの沿岸域総合管理への適用に関する調査研究メンバー一覧

第1章 事業の概要	7
1 背景と目的	7
2 研究内容	8
3 研究体制	14
第2章 調査研究内容	15
1 バイオリギングの沿岸域総合管理への適用に関する情報の整理	15
2 バイオリギング調査研究手法に関する水槽予備実験及びフィールド調査	27
3 小櫃川におけるスズキの生息域利用調査	37
第3章 社会教育活動	46
1 シンポジウムの開催	46
2 学会発表	47
第4章 まとめ	50
謝辞	56
参考文献	56

第1章 事業の概要

1 背景と目的

国連海洋法は1982年に採択され、1994年に発効した。日本政府は国連海洋法を1996年に批准し、その後10年を経て海洋基本法を2007年に制定・施行した。これを受けて、2008年には「海洋基本計画」が閣議決定され、様々な方面で具体的な活動が見られるようになった。この海洋基本法には12の施策が制定されており、その中の施策を実施する上で、本調査研究事業が取り扱っているバイオリギング手法は重要な役割を果たすものと考えられる。なかでも、「沿岸域の総合管理」、「海洋生物多様性の確保」、「海洋環境の保全」、「海洋科学技術の開発の推進」、「海洋調査の推進」、「海洋に関する国民の理解の増進と人材育成」の課題の解決に、この新しい手法が大いに役立つことが期待されている。

日本の科学技術がこの海洋の分野で世界を主導していくには、独自のアイデアで設計した機器を開発し、その機器を使用して、これまで誰も踏み込んだことのない未知の世界を調査研究していくことが不可欠である。近年、日本におけるバイオリギング手法の発達とその技術開発の促進が、国連海洋法の第61条「生物資源の保存」、第62条「生物資源の利用」、第143条「海洋の科学的調査」、第145条「海洋環境の保護」などに関係した課題を解決していくのに大きな役割を果たすものと期待されるようになってきた。同時に、国内外の研究者の理解や協力の基に、日本国内だけではなく世界各国の沿岸域の調査研究にもこのバイオリギング手法を広げることができるようになり、国際的なネットワーク体制が徐々に形成されつつある。日本から生まれたこのバイオリギング手法が、世界の海洋問題を解決するのに有力な情報を提供でき、国際的な協調関係の確立に大きな役割を果たす時代を迎えるようになった。

本調査研究事業では、上記の幾つかの重要な課題の中から「沿岸域の総合管理」に焦点を絞って、この課題の解決に向けたバイオリギング手法の応用を模索する。日本の表玄関の東京に近接する東京湾を調査海域として選択し、この世界最先端の技術を駆使して、近年、漁獲が安定しているだけでなく、スポーツフィッシングの対象種としても注目を浴びているスズキを対象に調査研究を実施した。特に、東京湾とその流入河川を一体的に管理するのに必要な情報を収集するために、この高性能なデータロガーを海洋生物に装着し、生物の視線から彼らの行動とその環境情報を収集することを目的とした。これと並行して、カメラロガーも生物に装着し、データロガーで得られた行動特性や環境情報をカメラ稼働で検証することに取り組んだ。

2 研究内容

以下に、当該事業の研究内容を概説した。

(1) 東京湾

東京湾（水面面積：約 1,380km²）の流域面積は、約 9,261km²で日本の国土面積の約 2%にすぎないが、その流域人口は約 2,900 万人（日本の人口の約 23%）と高い。また、小櫃川、多摩川、隅田川、荒川、江戸川、鶴見川などの多くの周辺河川と結びついており、経済活動の活発化に伴い 1960 年代以降、近郊の都市からこれらの河川を通じて大量の生活排水、農業排水、工業排水などが流入し、環境の悪化を引き起こしてきた。さらに、埋め立て事業などが東京湾の形態を少しずつ変えてきただけでなく、羽田空港の再開発やアクアラインの建設などにより、産業構造もかつての水産業主体から物流拠点としての総合的な産業立地域へと変革を遂げてきた。将来に向けて、開発と利用を環境との調和を図りながら東京湾及び周辺域の新しい管理システムを立案・推進していくことが求められている。

近年、東京都、千葉県、神奈川県などの地方自治体や関係機関などによる環境保全への貢献は勿論のこと、市民の環境保全への意識の向上と活動により徐々に環境が改善されるようになってきた。しかし、これまで東京湾に関する調査研究は、日本の漁業や海運・物流の拠点の中心としての視点からのみならず、生物多様性の保護、生態系の保全、海洋環境の保全、自然環境の再生などの視点から、国、地方自治体、漁業組合、水産研究所、大学などのレベルで実施されてきたが、全体を包括的に捉える総合的な調査・研究は不十分であった。特に、東京湾とその流入河川を含む沿岸域を総合的に管理していくには、個々の研究を総括して、包括的に取り組むことが不可欠であり、これらの課題を解決するには、新しい視点からの調査研究が待ち望まれている。そこで、本調査事業では、東京湾を調査サイトとして実施した。

(2) バイオロギング手法

バイオロギング手法は、自然界に生息する生物に小型の記録計を装着し、生物自身が自らの行動とその環境情報を収集することができる優れた科学技術である。私たちの研究チームは、それぞれの研究目的に応じて、独自の機器を開発・利用し、調査研究を展開し、その成果は 80 編を超える学術論文として発表してきた。最近では、生物への負担を極力軽減するために小型化に取り組み、世界最小の機器（ORI380-D 3GT：水深、水温、3 次元加速度を記録）、塩分ロガー（塩分、水温、水深を記録）、カメラロガーなどの開発に成功した。これらの優れた機器を用いることによって、鯨類、鰭脚類、海牛類、海亀類の大型生物だけでなく、海鳥類や魚類の小型生物にまで、様々な対象生物に広く

応用し、潜水行動、採餌行動、ハビタット選択、環境選択、エネルギー収支など観点から多くの研究成果をあげることができるようになった (Aoki et al., 2007, 2011 and 2012, Kudo et al., 2007, Watanuki et al., 2007, 2009, Watanabe et al. 2008, 2009, 2012, Narasaki et al., 2009, Suzuki et al., 2009, Kawatsu et al., 2010, Kikuchi et al., 2010, 2011, Shiomi et al., 2010, Matsumura, et al., 2011, Matsumura et al., 2011, Tanoue et al., 2011)。これまで技術開発と調査研究のノウハウを生かして、本事業では、東京湾のスズキに世界最先端のバイオロギング手法を用いて、「沿岸域総合管理」に資する調査研究を実施した。

(3) スズキ (*Lateolabrax japonicus*)

スズキは海域、汽水域、河川域の様々な環境を巧みに利用していることが予想されており、「沿岸域の総合管理」を実行していくには極めて重要な生物である。庄司ら (2002) によれば、本種の全国の総漁獲量は 1953 年 (4,226 トン) 以降増加傾向を示し、1978 年には最高値の 11,570 トンを記録した。その後、年間の漁獲量は 5,000 トンから 9,000 トン年の間を推移していた。本種の漁獲量は千葉県が全国一で、千葉県で水揚げされたうち 85% (1958 年から 1997 年までの平均値) が東京湾で捕獲されてきた。この種類は、成長に伴い名称が異なり、コッパ (幼魚)、ハクラ (15cm 以下)、セイゴ (15-40cm)、フッコ (40-60cm)、スズキ (60cm 以上) と呼ばれ、出世魚として知られている。焼き魚やフレンチおよびイタリアンの食材としても利用されており、重要な漁獲資源である。一方、近年の釣りブームによりスポーツフィッシングの対象種として脚光を浴びるようになった。1999 年に実施した 732 隻の遊魚船を対象にしたアンケート調査では、92 隻が遊魚にかかわり、年間の乗船者数は 49,500 人と推定された (尾崎・庄司, 2001)。このように、スズキは漁業対象種としての価値があるだけでなく、遊魚としての価値も高い。このように、スズキは漁獲資源や遊魚資源として価値が高いだけでなく、海洋生態系の重要種でもあることから、本事業の調査研究の指標種として用いた。

上記の情報を精査して、本事業では、バイオロギングシステムを用いた調査の対象生物としてスズキを取り上げて、東京湾の千葉県沿岸部と小櫃川で調査研究を実施することとした。

3. 調査研究要約

海洋生物資源の合理的な利用・管理、海洋生態系の保全・管理、海洋教育の促進と人材育成等を見据えた沿岸域管理を達成するには、生態系の代表的な種類を対象に、合理的な管理に関する有効な情報を収集することが重要である。これまでの資源管理のアプローチは、漁獲量としての議論や解析が主流であり、生物の個体情報は考慮されてこなかった。しかし、こうした解析手法には限界があり、個体の行動の特徴等の基礎データと併せて解決策を探ることが必要である。本事業では、野生動物独自の行動を考慮した解析のツール

であるバイオリギング手法を用いて、東京湾で漁獲される代表的な生物であるスズキの海域・汽水域・河川域の利用状況と環境変化に応じた行動を把握し、ハビタットの利用形態や環境選択性を整理することを目指した。具体的には、塩分や深度別水温等の環境データを取得するとともに、スズキの海域・汽水域・河川域における遊泳行動、摂餌行動、各生息域間の移動行動等について解析し、湾内の水塊の特徴とスズキの行動特性との関係、塩分濃度と行動特性との関係等を検討する。

同時に、東京湾とその流入河川の地政学的な特徴や環境状況の資料を収集して、「沿岸域の総合管理」に向けた政策立案に有効な活動を模索した。その一連の活動のひとつとして、3月1日に東京大学弥生講堂で、海洋政策研究財団の主催、東京大学生命科学研究科の後援によるシンポジウム「バイオリギングの沿岸域総合管理への応用—東京湾から考える」を開催した（図1.2.1）。このシンポジウムには、120名を超える研究機関の専門家、企業の関係者、学生、マスメディアのスタッフ、一般の人々など、様々な分野の方々が出席し、情報交換を行った（図1.2.2）。

【調査域】

海域調査：調査は千葉県牛込漁港を基点として行った。牛込漁港は千葉県木更津市に位置し、周辺の牛込海岸は春～夏季に潮干狩り場として利用されている。北部には東京電力袖ヶ浦火力発電所があり、取水口付近でスズキの小型個体が多数目撃されている。南部には小櫃川が流れ、河口付近に干潟（盤洲干潟）を形成している。

河口域調査：小櫃川河口域を基点として行った。盤洲干潟沖はベイト（イワシ、コノシロ等）を追って群れで南下回遊する大型個体が釣れる場所として知られている。

【現地調査の協力体制】

調査を行うにあたり、三洋テクノマリン株式会社には計画立案・現地調査・水槽実験に関する調査用具の調達にご協力頂いた。東京大学大気海洋研究所には計画立案・現地調査・ロガー等調査用具の調達・データ解析についてご協力頂いた。千葉県水産総合研究センターには情報提供とセンターでの水槽実験にご協力頂いた。海域調査、牛込漁港での水槽実験については牛込漁業協同組合（以下、漁協）にご協力頂いた。河口域調査については小櫃川漁協、小櫃川河川組合、久津間漁協、金田漁協、江川漁協にご協力頂いた。シーバス船船長（OASYS 篠宮氏）には釣り人の立場から情報提供をいただいた。

【調査時期（野外）】

海域における野外調査は第1期(5月下旬～7月上旬)と第2期(11月中旬～12月上旬)に分けて実施した。解析結果は、次章の佐藤克文(2012)の報告書に掲載されている。また、河川における野外調査を10月下旬に実施した。解析結果は、次章の田上英明

(2012) の報告書に掲載されている。

野外の放流調査では、底曳網船(第1回調査)ならびにルアーフィッシング(第2回以降の調査)により漁獲されたスズキを用いて、魚体サイズによってデータロガー(3軸の加速度または2軸の加速度)、塩分ロガー、ビデオロガー、ピンガーのいずれかを装着し、放流した。データロガー装着個体は24~48時間、塩分ロガー装着個体は(長期記録が可能であるため)48~96時間の放流実験を行った。野外放流実験の一連の作業(探索—釣り—計測—麻酔—装着—放流—回収)については、関係者の協力により実施した(図1.2.3)。

【調査時期(水槽実験)】

データロガー装着の影響や装着プロトコルの確立のため、野外調査の準備段階としての水槽実験を、上記の海域調査第1期と平行して行うこととした。また、スズキの採餌行動時の加速度波形を調べるため、データロガーに加えてビデオカメラによる行動観察を行うことを目的に、3~10トンの大型水槽の借用、実験水温のコントロール等が可能な千葉県水産総合研究センターにおける水槽実験を、12月上旬に実施した(図2.10)。解析結果は、次章の佐藤克文(2012)の報告書に掲載されている。



図 1.2.1 シンポジウムの様子

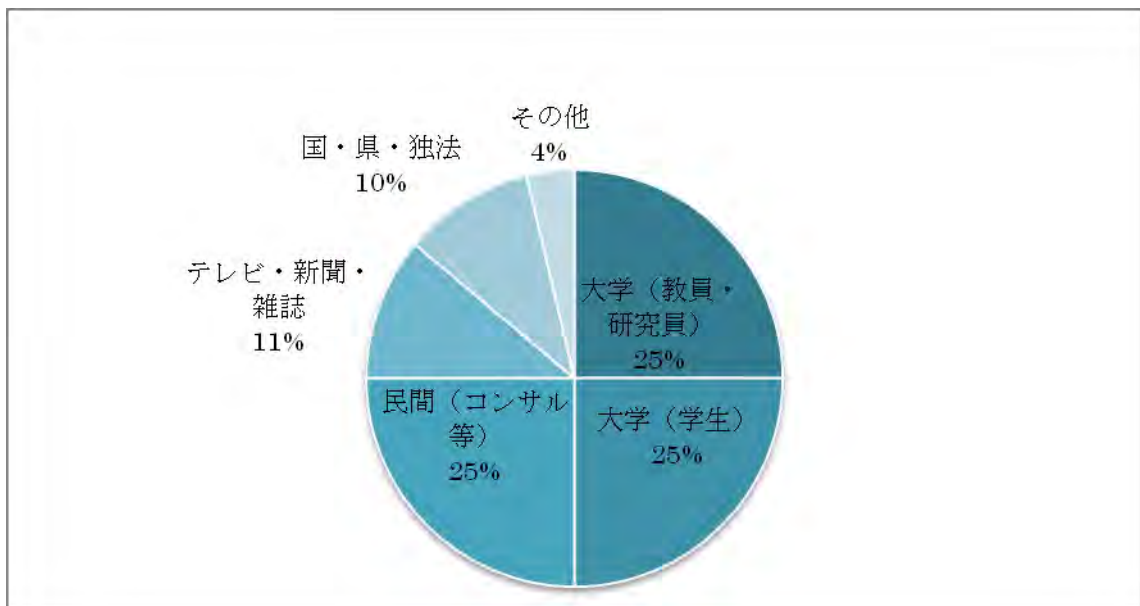


図 1.2.2 シンポジウム参加者の割合（財団職員除く）

a)



b)



b)



d)



e)



図 1.2.3 野外放流実験一連作業の様子

- a) 釣りによりサンプルとなるスズキ（供試魚）を漁獲
- b) 供試魚にロガーの取り付け
- c) 放流後、船に設置したピンガー受信機で供試魚を追跡
- d) 切り離され浮上したロガーを陸と船の両方から探査
- e) 船でロガーを回収

3 研究体制

「バイオロギングの沿岸域総合管理への適用に関する調査研究委員会」を設置し、3回の委員会を開催した。

委員会の構成は、以下のとおりである。

敬称略・五十音順

委員	青木一郎	東京大学農学生命科学研究科	教授
委員	小松輝久	東京大学大気海洋研究所	准教授
委員	佐藤克文	東京大学大気海洋研究所	准教授
委員	寺崎 誠	三洋テクノマリン株式会社	生物生態研究所長 東京大学名誉教授 (2011年8月逝去)
委員長	内藤靖彦	国立極地研究所	名誉教授

オブザーバー：

新沢 丘	三洋テクノマリン株式会社	理事
水島康一郎	三洋テクノマリン株式会社	研究員

第2章 調査研究内容

1 バイオロギングの沿岸域総合管理への適用に関する情報の整理

1.1 法律に関する情報の整理

東京湾でバイオロギング調査を実施するにあたり、考慮しなければならない法律、許可項目は以下のとおりである。

1) 港湾法

昭和25年5月公布、最終改正平成23年12月。環境の保全に配慮しつつ、港湾の秩序ある整備と適正な運営を図るとともに、航路を開発し、かつ保全することを目的として制定された。港湾区域内等で工事・作業または行事等を行う場合、海上保安部及び港湾管理者の許可が必要となる。

2) 港則法

昭和23年7月公布、最終改正平成21年7月。港内における船舶交通の安全と港内の整頓を図ることを目的として制定された。港湾区域内等で工事・作業または行事等を行う場合、海上保安部及び港湾管理者の許可が必要となる。

3) 海上安全交通法

昭和47年7月公布、最終改正平成21年7月。船舶交通が輻輳する海域における船舶交通の安全を図ることを目的として制定された。航路またはその周辺海域で工事や作業を行う場合、海上保安部の許可が必要となる。

4) 電波法

昭和25年5月公布、最終改正平成23年6月。電波の公平かつ能率的な利用を確保することによって、公共の福祉を増進することを目的として制定された。電波の使用等に違反がある場合、この法律により罰せられる。

5) 特別採捕許可

漁業権のある区域で生物を捕獲する際、地先の県水産または自然保護課等の許可が必要となる。関係漁協等の同意を前提に1年間有効。東京湾での調査においては海域によって東京都・千葉県・神奈川県海面漁業調整規則に基づいた特別採捕許可申請を各都県に行う必要がある。

1.2 調査域の地質学的・生態学的情報の整理

調査は東京湾および小櫃川において実施した。小櫃川は水源を千葉県鴨川市清澄山に持ち東京湾に注ぐ(図2.1.1)。流路延長88km、流域面積267km²、千葉県君津市、袖ヶ浦市、木更津市を流域とする二級河川である。小櫃川の水は富津市においても飲水として利用されている。上流部は比較的堅固な第三紀層や第四紀前期の地層からできており、上流部から中流部にかけて著しく蛇行している(図2.1.2)。上流部には亀山ダムを擁

する。亀山ダムは昭和 45 年の豪雨をきっかけに建設された多目的ダムである。昭和 52 年にダムが完成し、54年に湛水され千葉県最大規模の人工湖である亀山湖が誕生した。下流部が洪水に見舞われることがなくなった一方で、河口まで流下する河川水が少なくなったため、河川水によって運ばれる砂泥も少なくなり、海岸線が海からの侵食を受けるようになったと推測されるが、ダムの土砂管理により盤洲干潟（後述）に土砂が堆積しなくなった等の問題が発生していないか千葉県県土整備部河川整備課に尋ねたところ、特に把握していないとの回答を得た。亀山ダムの堆砂状況について、表 2.1.1、図 2.1.3 に示した。

東京湾の湾口部に近い河口部には、小櫃川が上流から多量の土砂を運んでできた後浜（三角州、中洲）と前浜（干潟）があり、盤洲干潟を形成している。盤洲干潟は東京湾岸 170km のうち自然の海岸線をもつ唯一の砂質干潟であり、塩生植物、海浜生物の貴重な生息地となっている。

小櫃川上流部には、ウグイ、ヨシノボリ、シマドジョウなど房総山地の川を代表する淡水魚が生息している。中流部（小櫃橋付近）にはウグイ、オイカワ、ニゴイ等が生息している。河口から 8km 上流にある小櫃堰付近には、海からアユ、ボラ、スズキ、ウナギ、マハゼ等が遡上するが、魚道が不完全なためここで足止めされると言われている。河口部（汽水域）にはハゼの仲間が 15 種以上生息し、中州付近の浅瀬や感潮クリークは、ボラ、スズキ、ハゼ類の稚魚の成育場として重要である。

また、海苔の養殖もさかんである。なお、一生を淡水で過ごす純淡水魚は小櫃川ではギバチ、トウヨシノボリ、スナヤツメ等 23 種が記録されている。小櫃堰が魚類相に与える影響として、①遡上が妨げられている（堰の東端に幅 1.5m ほどの魚道が設置されているが、1m 以上に及ぶ落差のある場所があり、ウナギやヨシノボリなど一部の魚種を除き遡上困難、堰を境にして降河はできても遡上はできないと思われる）②湛水化（小櫃堰の上流から万年橋にかけては流速が遅く湛水化が著しいため、富栄養化がかなり進んでいる）という報告がある。

東京湾は関東平野の南部中央部を占め、南に位置する幅 5～10km の浦賀水道を通じて太平洋にひらいている。浦賀水道北部の最も狭い富津岬—観音崎を結ぶ線以北を、ふつう東京湾（または内湾）という。東京湾と周辺の地形を図 2.4 に示す。東京湾内湾の水深は最も深いところで 50m 程度であるが、浦賀水道南部には水深 500m 以上に達する東京海底谷が形成されている。海底谷は相模トラフに合流しており、メガマウスやミツクリザメなど、世界的に貴重な深海魚が捕獲されることがある。

1.3 東京湾の生物相・漁獲に関する情報の整理

国立環境研究所が発行している研究成果によると、東京湾における単位努力量当り漁獲量（CPUE：ここでは 1 曳網当りの漁獲量）について、2007 年（平成 19 年）は前年までに引き続き個体数ベースでは低水準、重量ベースでは大型魚類の寄与による高水準が

続いていた。種別にはアズマニシキガイの顕著な増加が見られたものの、漁業者による自主的な禁漁が2年以上続いているシャコの回復が弱く、甲殻類の減少が目立った。軟体動物はコウイカが前年より微増したほかは総じて低水準であった。魚類はスズキ、テンジクダイを除いて前年より更に減少するなど低水準のままであった。板鰓類はホシザメが減少傾向、コモンスベが内湾全域に分布を拡大させている可能性が示唆された。2008年は大型魚類のうちアカエイ以外の種が減少、板鰓類ではホシザメが減少傾向にあった。8月と11月に貧酸素水塊が見られ、例年同様湾奥から湾中央部にかけて形成されていたが、貧酸素水塊が存在する水域においても生物が見られたことが特徴的であった。ただし、生物相の単調化がみとめられた。ホシザメの食性調査からはエビ・カニ類の摂餌重量割合が増加、ヤドカリ類の摂餌重量割合が減少していることが判明した。2009年は底棲魚介類の種数が前年に比べて減少したほか、個体数では魚類と甲殻類が低水準となり、貝類とウニ類が増加していた。シャコの回復は見られず、貝類ではムラサキイガイ、頭足類ではコウイカが高水準であったが、他種は低水準であり、全体的に生物相が単調化しつつあるようだった。板鰓類ではホシザメの産仔数の減少、性成熟に関する異常が発見された。2010年は底棲魚介類の種数が前年に比べてやや増加したが、経年的には減少傾向にあると結論づけられた。個体数 CPUE と重量 CPUE が顕著に増加したものの、主にコベルトフネガイという二枚貝の激増が原因とみられた。個体数 CPUE では魚類と甲殻類が低水準のままであり、重量 CPUE では魚類が増加したが甲殻類が減少しており、漁獲対象種は依然低水準のままであると推測された。

また、東京湾の生物について、千葉県水産研究センターへのヒアリング結果を以下に記す。

- ・ 冬季の急激な水温低下が見られなくなり、ノリの生産量に影響を与えている
- ・ サメ類はドチザメ、ホシザメが増加している
- ・ トビエイが増加しており、アオヤギ、アサリ、トリガイを選択的に捕食している
- ・ コウイカはここ2～3年のうちに急増した
- ・ 平成21年は4・5・8・9・10月にスズキ専門の漁が行われた
- ・ 平成22年はクラゲが多く見られたがスズキも豊漁であった
- ・ 平成23年は富津でスズキがあまり見られなかった

千葉県の平成21年度魚種別総漁獲量割合はスズキ58%、コウイカ22%、マコガレイ8%、フグ類4%、トリガイ・コチ・ナマコ・ヒラメ・その他カレイが各1%であった。月別魚種別漁獲量の推移を見ると、4月がスズキの漁獲量のピークであり、1400トン近くの漁獲があった。次いで10月(約850トン)、9月(約750トン)に漁獲量が多かった。11月以降はコウイカが漁獲の大半を占めた。平均単価は年間を通してコウイカがスズキを上回った。

同じく平成22年度は、スズキ46.4%、コウイカ26.5%、マコガレイ5.2%、ヒラメ2.9%、フグ類2.7%、トリガイ2.5%、コチ1.4%、その他カレイ1.3%、ナマコ1.1%

であった。8月がスズキの漁獲量のピークであり、約1400トンの漁獲があった。次いで9・11月（約800トン）、6月（約500トン）に漁獲量が多かった。12月以降はコウイカが漁獲の大半を占めた。平均単価は年間を通してコウイカがスズキを上回った。

1.3 スズキの基本情報の整理

庄司ら（2002）によれば、スズキの全国の総漁獲量は1953年（4,226トン）以降増加傾向を示し、1978年には最高値の11,570トンを記録した（図2.1.5）。その後、年間の漁獲量は5,000トンから9,000トンの間を推移していた。本種の漁獲量は千葉県が全国一で、千葉県で水揚げされたうち85%（1958年から1997年までの平均値）が東京湾で捕獲されてきた（図2.1.6）。このようにスズキは日本の沿岸域の重要な漁獲種としてだけでなく、東京湾における重要な漁獲種としても注目されている。

スズキの生態的知見について、神奈川県水産総合研究所HPを参考に以下にまとめた。本種は日本各地～南シナ海の海水・汽水域に生息する重要水産物である。秋から冬にかけて外海に面した沿岸の岩礁地帯で産卵し、卵は徐々に分離して浮遊する。水温14℃前後、4日半くらいで孵化する。孵化した仔魚は約2ヶ月間浮遊生活を送り、2～3月に15cmくらい（セイゴ）になると岸寄りの藻場や河川に入る。海で生活する稚魚は4月にアマモ場に移り、カイアシ類や枝角類などの動物プランクトンやユスリカ幼虫、多毛類、エビ類の幼生等を摂食し、秋に20cm前後になるまで過ごす。10～11月頃からアマモ場を離れやや深い藻場周辺の深みに移動する。川で生活する稚魚は2～3月に河口で40～50日過ごし4月頃に川へ入る。動物プランクトンを摂食し、秋には川を下り始める。

東京湾においては主に湾口部で産卵が行われると推測されている。また、三浦半島沿岸部・内房沿岸部の浅場、富津岬沖、観音崎沖やその周辺海域においても卵の出現が見られる。春から秋にかけては多摩川、荒川、江戸川などの下流域に東京湾からの遡上魚が生息するとされるが、汽水域だけではなく純淡水域にも出現が見られ、海から最も遠距離での出現例としては利根川河口より154km上流の利根大堰で確認されている。盤洲干潟、富津干潟のアマモ場や湾内の浅場（干潟）が稚魚の生育場となっている。

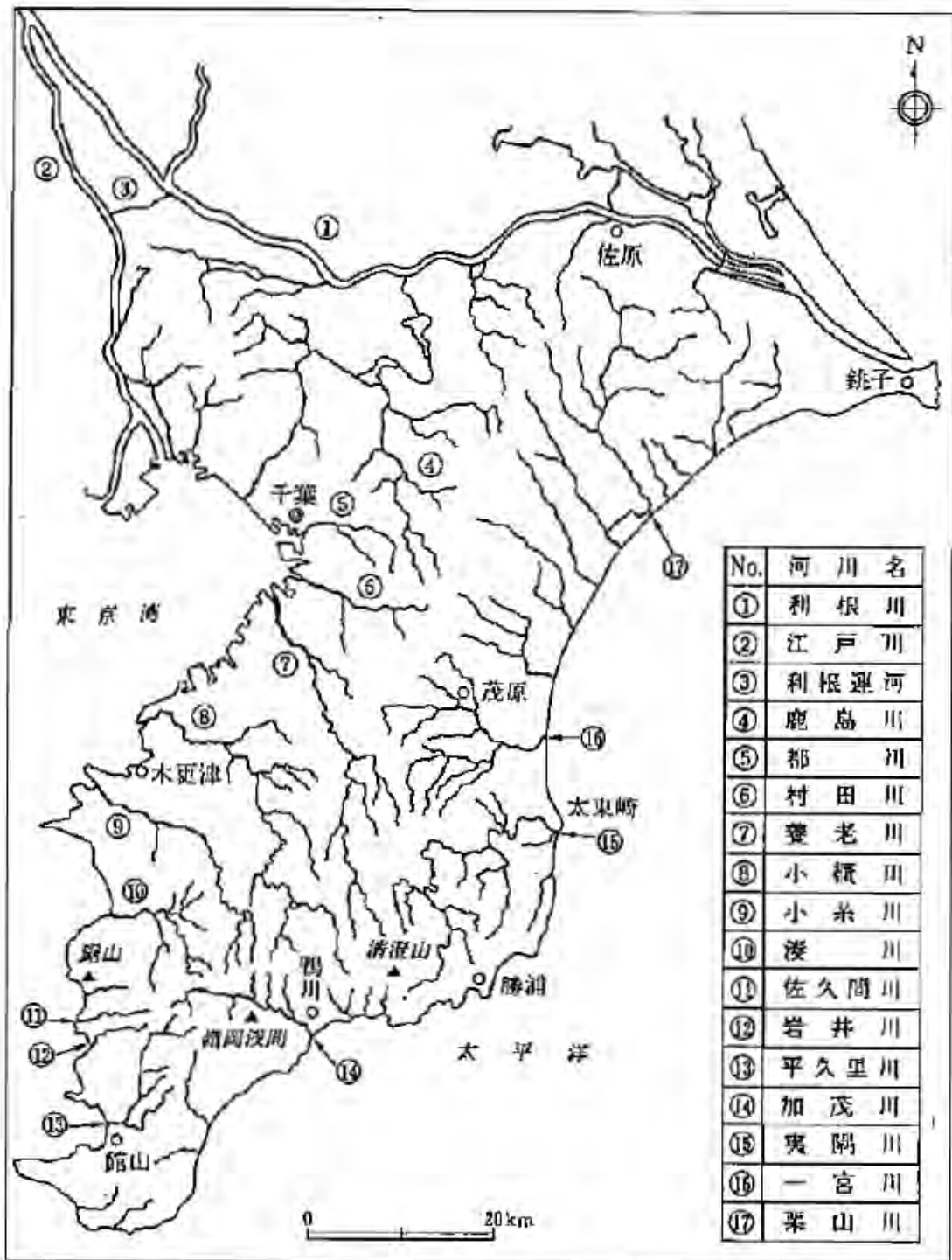


図 2.1.1 千葉県の河川



図 2.1.2 小櫃川と周辺域の特徴

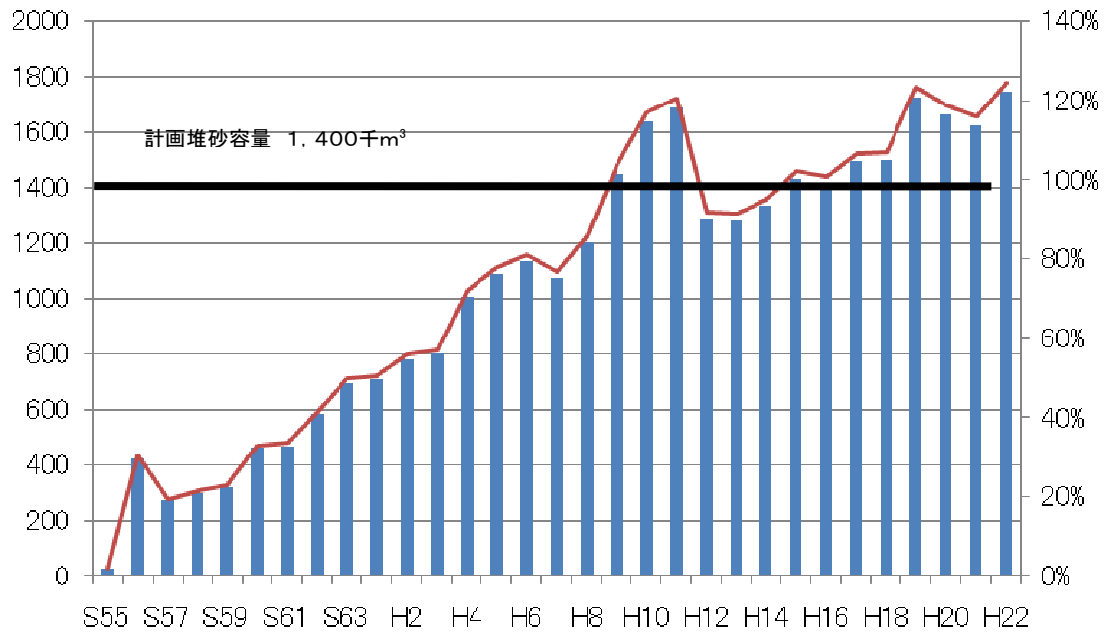


図 2.1.3 亀山ダムの堆砂状況（千葉県県土整備部 河川整備課提供）

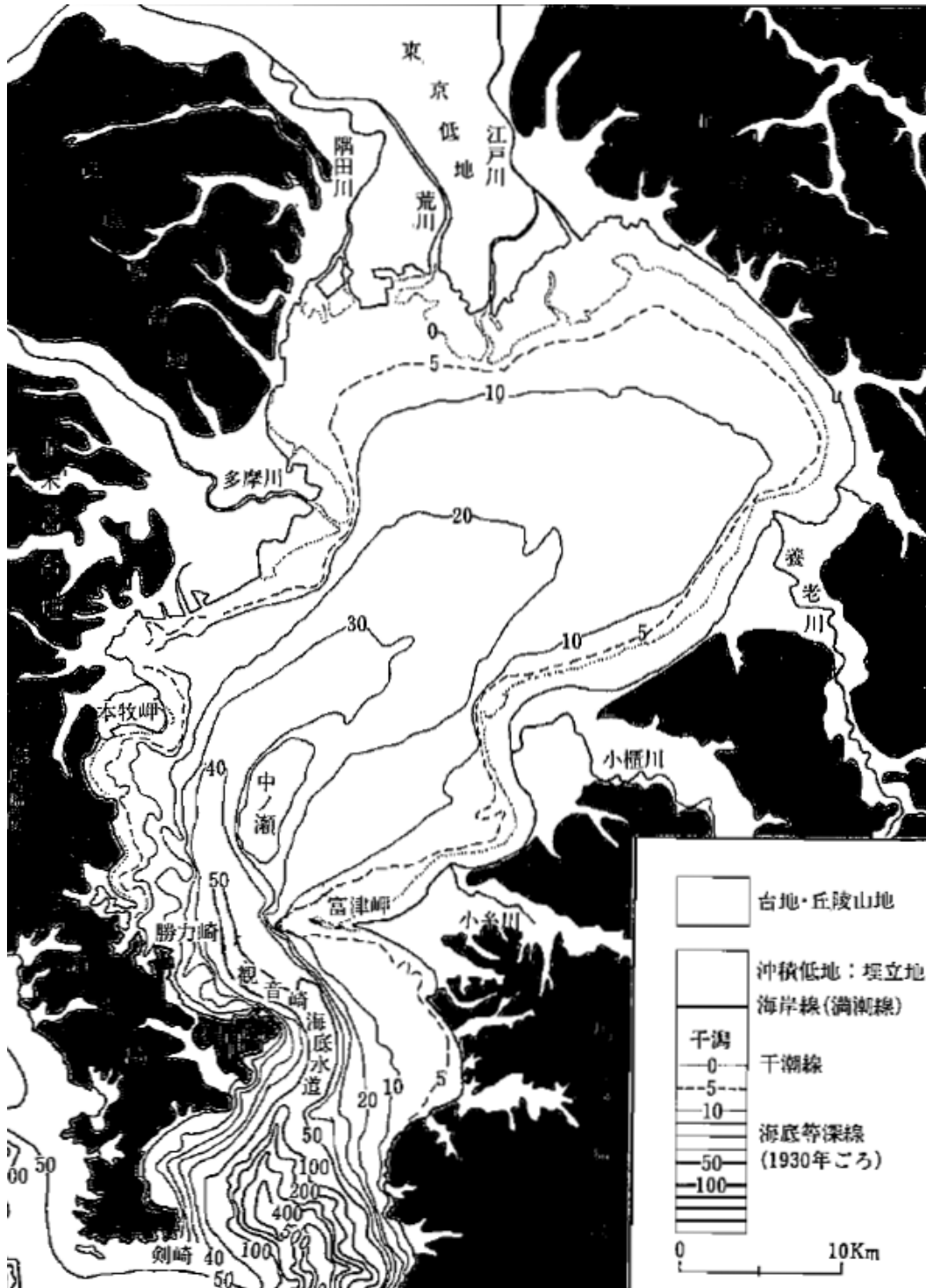


図 2.1.4 東京湾と周辺の地形

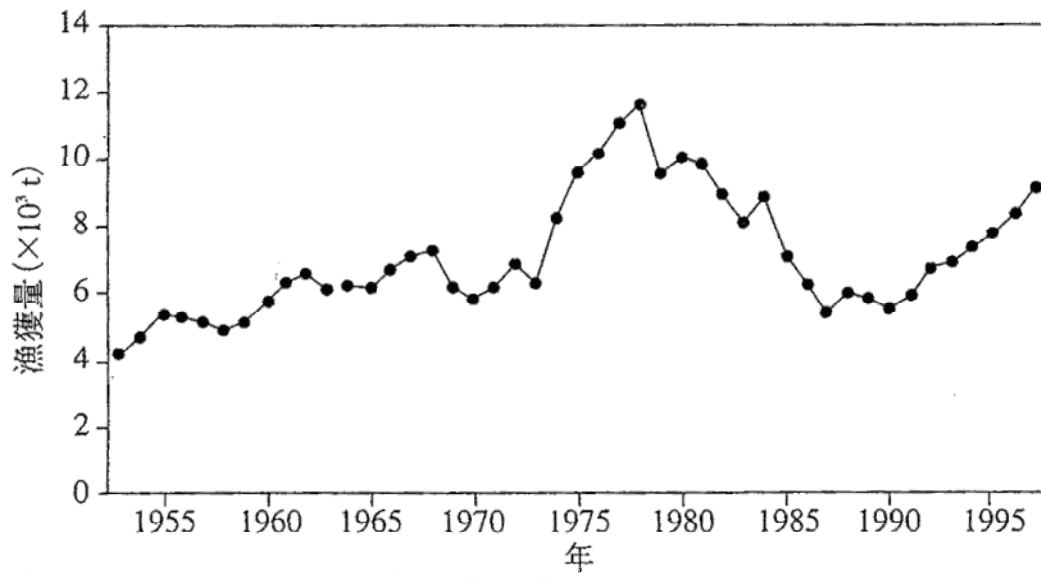


図 2.1.5 全国のスズキ総漁獲量の推移 (庄司ら、2002)

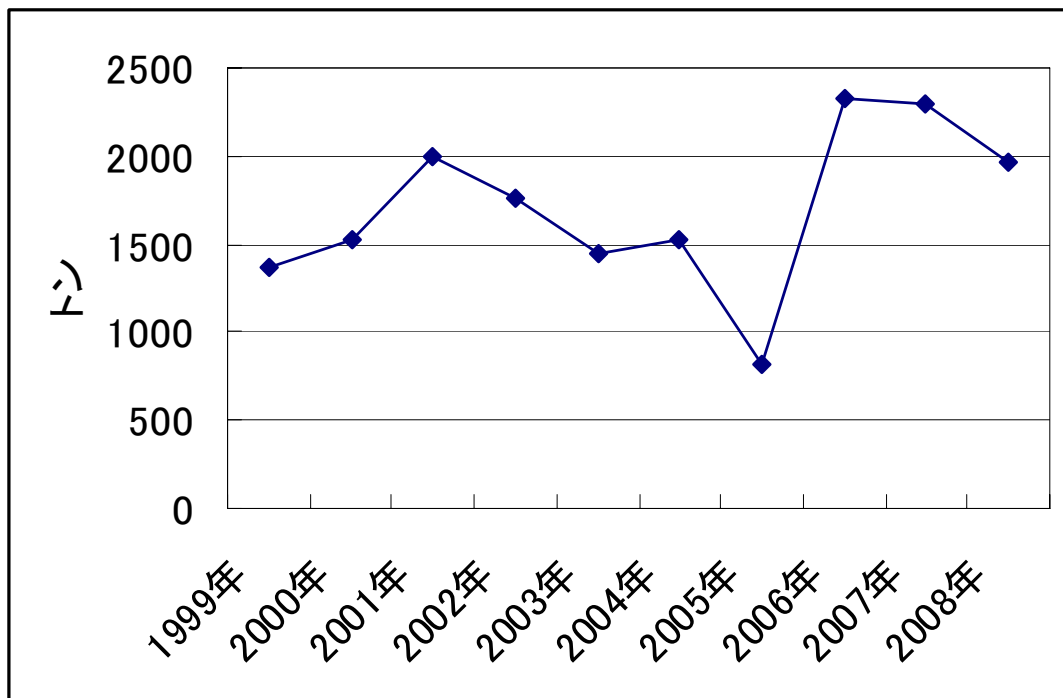


図 2.1.6 東京湾（内湾）におけるスズキ漁獲量
資料) 千葉農林水産統計年報もとに作成

表 2.1.1 亀山ダムの堆砂状況（千葉県県土整備部 河川整備課提供）

年 度	(千m3)		堆砂率
	年間堆砂量	累計堆砂量	
S55	28	28	2%
S56	396	424	30%
S57	-153	271	19%
S58	27	298	21%
S59	23	321	23%
S60	140	461	33%
S61	9	470	34%
S62	114	584	42%
S63	111	695	50%
H元	14	709	51%
H2	74	783	56%
H3	16	799	57%
H4	208	1007	72%
H5	83	1090	78%
H6	44	1134	81%
H7	-60	1074	77%
H8	127	1201	86%
H9	248	1449	104%
H10	190	1639	117%
H11	50	1689	121%
H12	-402	1287	92%
H13	-7	1280	91%
H14	53	1333	95%
H15	98	1431	102%
H16	-22	1409	101%
H17	83	1492	107%
H18	7	1499	107%
H19	227	1726	123%
H20	-64	1662	119%
H21	-41	1621	116%
H22	123	1744	125%

表 2.1.2 銘柄別 CPUE から見た 2001 年の季節分布

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
スズキ	南部	南部東側沿岸から北部沿岸へ徐々に分布が移動					北部・南部に継続して分布			北部沖合い、富津岬北側沿岸		
フッコ	南部		南部から北部沿岸へ徐々に分布が移動				北部沖合い、南部に分布			北部沖合い、富津岬北側沿岸		
セイゴ	南部、北部沿岸		富津岬北、北部沿岸	北部に分散			北部の分布縮小、分散		北部沖合い、富津岬北側			

資料) 加藤・池上 (2004) をもとに作成

2 バイオロギング調査研究手法に関する水槽予備実験及びフィールド調査

東京大学大気海洋研究所 佐藤克文

2.1 はじめに

スズキ *Lateolabrax japonicus* は日本各地に分布し、その生息水域は河川や河口、湾内などの沿岸海域に及んでいる。スズキは東京湾においては小型底引き網や巻き網により漁獲されており、カレイ類やマアナゴと並んで水産資源上重要な魚種である。東京湾で操業する小型底引き網漁船の CPUE によると、近年スズキ漁獲量が増加していることや、季節的に湾内の漁場分布が変化することが示されているが、個体の詳しい行動パターンは明らかにされていない。スズキ成魚の野外環境下における行動パターンを探る手段として、動物搭載型記録計を用いたバイオロギング手法が有望である。そこで、本研究ではスズキにバイオロギング手法を導入するための水槽予備実験とフィールド調査を実施した。

今年度の調査においては、主に塩分データロガーと加速度データロガーを用いて、次に述べる2つの点を明らかにすることを目的に実験を行った。まず、スズキは海水性両側回遊魚であることが知られているが、海水と淡水の間をどれくらいの頻度で行き来し、海水ないし淡水にどの程度の期間とどまるのかということとはわかっていない。そこで、動物搭載型の塩分データロガー（電気伝導度・深度・温度）を用いて、個体が経験する塩分（電気伝導度）や温度を連続的に測定し、それぞれの環境パラメータに応じてスズキがどの程度の鉛直移動を行うのか、どの深度に滞在するのかといった実態を把握することを最初の目的とした。もう一つの目的は、スズキの採餌生態を明らかにすることにある。動物搭載型の加速度データロガー（加速度・深度・温度）を用いることにより、個体の遊泳努力量（尾ひれを振る頻度）や吸引採餌イベントを測定できることが期待できる。また、近年開発された小型ビデオカメラも併用することにより、採餌イベントや個体を取り巻く微環境も把握できる可能性がある。これらの目的を達成するために、以下に記す水槽実験とフィールド調査を実施した。

(1) 水槽実験

バイオロギング手法を用いたフィールド調査を実現するためには、いかに装置を魚体に取り付けるか、すなわち、最も負荷の少ない装着方法を工夫する必要がある。また、得られたデータを解釈するためには、観察可能な水槽内で装置を取り付けた個体を飼育し、様々な行動パターンとデータロガーによって得られるデータとの対応関係を把握する必要がある。そこで、まずは、水槽内においてスズキへのデータロガーの装着方法、浮力体の影響、魚類の異常行動、加速度と行動の関係等を把握するための予備実験を実施した。また、野外調査の後、採餌行動を撮影するための追加の水槽実験を実施した。

- ① データロガー装着に伴う遊泳行動への影響評価
- ② 加速度時系列データによる遊泳、休息、採餌等の行動把握の可能性を探る

(2) フィールド（東京湾）調査

5月～12月の間に、東京湾内のスズキにデータロガーを取り付け、深度・水温・加速度・塩分・動画データを取得した。得られたデータを解析し、以下の点に注目して考察した。

①スズキに塩分ロガーを搭載し、スズキの鉛直移動パターンと塩分環境の対応関係を探る。

②加速度計とビデオカメラにより、採餌行動をはじめとしたいくつもの行動要素をモニタリングし、潮汐などの外部環境との対応関係を把握する。

2.2 実施経過

①平成23年5月26日～28日 水槽予備実験および野外放流実験

千葉県富津市沖の海域で操業する底引き網漁船により漁獲されたスズキを、千葉県袖ヶ浦市にある牛込漁港に設置した円形水槽（250リットル）に移送した。5千分の1に希釈した2-フェノキシエタノールを用いて麻酔を施し、加速度データロガーを3尾に装着した。ロガー装着の際、まず生分解性縫合糸（エムソープ、松田医科工業）を用いて、第一背鰭前方に滑り止めネットを縫い付けた。その後、ネットにロガーを結束バンドで装着した（図2.2.1）。加速度データロガーには3つの軸があり（図2.2.2）、それぞれ左右方向（X軸）、前後方向（Y軸）、背腹方向（Z軸）の加速度を記録するように個体に取り付けた。

野外放流用の1個体には、タイマーと切り離しケーブルで構成される自動切り離し装置も取り付けた。装置を取り付けた後、スズキを水槽に戻し、装着による影響を1日観察した。3尾を用いて水槽実験の行動観察を行い、データロガーによる加速度時系列データも同時に得た。データ長は17時間から43時間であった。

水槽実験に用いた個体のうち1尾を野外に放流し、加速度データを取得した。放流は東京湾の千葉県側の盤州干潟沿岸で実施した（図2.2.3：○が放流した海域）。野外に放流した際は、放流して4時間が経過した後に装置が魚体から切り離され水面に浮かぶ。水面に浮かんだ装置から発信される電波を指向性のあるアンテナで受信することで方角を推測し、小型船で現場に向かって回収した。

②平成23年6月8日 野外放流実験

2尾に加速度データロガーをつけて放流し、2尾から装置を回収し、4時間および6時間の加速度データを取得した。基本的な調査プロトコルは前回（5月26日～28日）の放流実験を踏襲したが、底引き網ではなくルアー釣りによって魚体を確保した。以降、

すべての野外放流実験において、ルアー釣りにより魚体を入手した。

③平成23年6月15日～16日 野外放流実験

1尾に加速度データロガーをつけて放流し、装置を回収することで23時間の加速度データを取得した。

④平成23年6月23日～25日 野外放流実験

1尾に加速度データロガー、もう1尾に塩分データロガーをつけて放流し、両個体から装置を回収した。47時間の加速度データおよび2時間の塩分・深度データを取得した。

⑤平成23年6月30日～7月4日 野外放流実験

1尾に加速度データロガーと塩分ロガー、もう1尾に塩分データロガーをつけて放流し、両個体から装置を回収した。29時間の加速度・塩分・深度データおよび54時間の塩分・深度データを取得した。

⑥平成23年11月2日～12月23日 野外放流実験

計11尾に装置をつけて放流し、内10尾から装置を回収した。加速度データロガーと塩分ロガーのデータを6尾より、加速度データロガーとビデオロガーのデータを3尾より、そしてプロペラ付き加速度データを1尾より得た。なお5月から7月の調査では48時間以上の装着においてデータロガーが途中で脱落する傾向が見られた。そこで、11月2日から12月23日の調査では生分解性縫合糸ではなく、結束バンドを直接魚体に通し、滑り止めネットを固定した。

2.3 水槽実験結果

スズキ3尾に加速度データロガーを装着した後、牛込漁港に設置した水槽内において飼育し、数時間の行動観察を行うと共に、データロガーによる計80時間の遊泳行動データを取得した。データロガーを装着したスズキは水槽内でほとんど動かず、その場に定位置する行動が大半を占めていた。また、条件を変えてデータロガーを装着した（データロガー+浮力体、データロガーのみ）が、行動にほとんど差は見られなかった。何度か餌（殻を割ったアサリ）を与えたものの、観察している間に採餌行動は見られなかった。しかし、翌日の観察では与えた餌が水槽内にほとんど見られなかったことから、夜間から明け方にかけて、採餌行動を行っていたと思われる。装置を取り付けた直後は浮力体の影響により頭を下にして体軸が斜め45°程度傾いていたが、時間経過と共に体軸角度も修正されていった。体軸角度修正後は遊泳行動が乱れるといった事は観察されなかった。

水槽予備実験により、他の魚種で用いられてきた方法、すなわち縫合糸により滑り止めメッシュを第一背鰭前方の皮膚に縫い付けることで装置を魚体に取り付ける手法がスズキにも応用できることが確認できた。また、装置を取り付ける時にかけた麻酔の影響が短時間（約1～3時間）でほぼなくなることが確認された。

スズキの浸透圧調整能力について調べる目的で、海水中で捕獲された個体を1/3海水や淡水に曝し、経過時間ごとに採血して血漿浸透圧や血漿Na濃度を測定した。血漿浸透圧の推移を示す図2.2.4によると、海水暴露群と1/3海水暴露群では、捕獲時と同様の値をとり続けたのに対し、淡水暴露群では血漿浸透圧が5日後まで低い値を推移した。

血漿Na濃度の推移を示す図2.2.5によると、淡水暴露群の値が低い値をとったが、3日後から5日後にかけて元の値に戻った。海水中で捕獲されたスズキはおそらく海水の塩分濃度に順応しており、これを1/3海水にいれても血漿浸透圧や血漿Na濃度は正常な範囲内に維持できるのだろう。一方、淡水に入れてしまうとそれまでの値を維持できず、血漿Na濃度を正常な値に戻すための順応には3日から5日を要するものと考えられる。

2.4 フィールド調査結果

5月から12月の間にフィールド調査により、計18尾に各種データロガー（加速度データロガー、塩分データロガー、ビデオロガー）を装着し、うち17尾から装置を回収しデータを取得することが出来た。

産卵のために母川に回帰するシロザケといった魚類の場合、漁業によって再捕獲することでデータロガーを回収する方法が用いられてきた。一方、ほとんどの魚類では再捕獲が期待できないため、タイマーを用いた切り離しシステムを用いて一定時間が経過したところで魚類から装置を切り離し、海面に浮かんだ状態の装置から発せられる電波を受信することにより、装置を回収するという方法が用いられてきた。今回の試みにより、東京湾に生息するスズキにも、この手法が応用できることが確認できた。沿岸の高台から電波を受信して大まかな方角を見積もり、船舶にその情報を伝えることで速やかに装置を発見し回収するというやり方により、高い割合（18尾中17尾より回収）で装置を回収することができた。唯一回収できなかった個体は、長期間データを取得する目的で、1週間後に個体から装置を切り離すように設定して放流した。しかし、電波を受信できず、木更津市の中之島大橋、富津岬の灯台、鋸山、東京観音像、州崎灯台などから受信を試みたが、電波を確認できなかった。東京湾から装置が流れ出た可能性も考え、伊豆諸島の大島（三原山標高560m）でも受信作業を行ったが、電波は確認できなかった。切り離し後、浮上の途中で海中の障害物に引っかかってしまった可能性が考えられる。

第 1 回目の野外実験では底引き網によって捕獲された個体をフィールド実験に用いた。得られたデータによると、個体は大部分の時間を不活発に過ごし、深度 1m 程に留まる傾向が見られた。しかし、2 回目以降ルアー釣りによって捕獲した個体を用いたところ、連続的に上下方向に往復運動する活発な行動が見られた。また底引き網で捕獲された個体を用いた予備水槽実験では、胃内容物を吐き出す個体も見られた。底引き網で捕獲された個体は弱っており、本来の行動を示さなかったと判断されたことから、以降はルアー釣りによって捕獲した個体をフィールド実験に用いた。

塩分ロガーを用いたフィールド実験では、はじめはわずか 2 時間のデータであったが、徐々に装着時間を延ばしていき、最終的には 94 時間（約 4 日間）に至る長時間データを得ることが出来た。塩分ロガーを装着した個体数は 6 月に 2 個体、11 月に 6 個体であった。塩分ロガーから得られたデータによると、個体が鉛直移動したときに塩分が変化する以外に、滞在深度に変わりが無い場合でも塩分が変化していく様子が見られた（図 2.2.6）。おそらく水平移動により塩分が異なる水塊を移動したことを反映していると考えられる。

図 2.2.7 に、ある個体の経験した水温と塩分および 3 時間ごとの平均滞在深度を示す。このデータが得られた夏には、温度躍層が発達しており、個体は躍層のやや上に滞在していた。放流 3 日目には淡水の影響が強い水域に突入し、塩分 11psu (1/3 海水) を経験した。しかし、平均滞在深度は最も塩分が低い表層よりもいくらか深くなった。

塩分ロガーによるデータが得られた全個体の記録によると、海水で放流した個体の一部が河川水の影響を受ける水域に入り、経験した塩分の最も低い値は 1/3 海水に相当する 11psu であった。浸透圧調整能力を調べる目的で行った水槽実験の結果とも考え合わせると、海水に順応したスズキは一時的に 1/3 海水を経験する程度なら、血漿中の浸透圧や Na 濃度を維持できるが、それよりも低い塩分濃度に進入するためには生理的順応に時間と生理的コストがかかるため、そのような塩分変化をもたらす鉛直方向ないし水平方向の移動を避けている可能性が考えられる。今後、塩分データロガーをより長期間装着するフィールド実験、あるいは、海水で捕獲した個体を河川で放流する、または反対に淡水で捕獲した個体を海で放流し、その後の行動パターンをモニタリングするといった実験を行うことで、塩分環境に対応した本種の行動様式を理解することができるものと期待できる。

今回フィールド調査によって得られた加速度データには、振幅が大きく高周波な変動（バーストイベント）が見られた（図 2.2.8 における 3 軸の加速度で時々振幅が大きく変動している箇所）。これは、獲物（おそらく小魚）をめがけて突進し、捕食する一連の行動を示していると思われる。

バーストが本当に採餌行動に関係していることを確認するために、ビデオ映像に採餌

の瞬間が映っていることを期待したが、残念ながら今回野外で得られたビデオ画像には採餌行動は撮影されていなかった。そこで、加速度ロガーをつけた魚が泳ぐ水槽にカタクチイワシを入れ、採餌行動を観察するとともに、採餌行動に対応した加速度波形を抽出した。スズキはカタクチイワシを捕食する際、瞬間的に口を大きく開けて陰圧によってイワシを吸い込んだ（サクションフィーディング）。その様子を水中ビデオカメラで撮影したところ（図 2.2.9 参照）、1 秒間に 30 フレーム撮影するカメラで撮影した映像の 6 から 7 フレームでサクションフィーディングが完結していた。これにより、採餌行動に対応した動きは 4~5Hz であることがわかった。

水槽実験により、バーストが採餌に関連することがわかったが、加速度変動の振幅と周波数のみに着目して採餌行動の抽出を試みたところ、採餌以外にも体を震わせる行動や突進行動などに起因する加速度変化も謝ってバーストとして検出されてしまうことがわかった。今後、さらに解析を進めることにより、より正確に採餌行動を抽出するためのアルゴリズムに改良していく必要がある。

現時点で、抽出された全バースト行動 ($n = 53$) と潮汐の関係を見たところ、相対的に下げ潮時、とくに、夜間の下げ潮時に多くのバースト行動が生じていることがわかった。しかし、バーストと関連しているのが潮汐周期なのか昼夜の違いなのかを判別することはできなかった。今後、より長期間、少なくとも 10 日以上データを得ることにより、バーストと関係するのが潮汐なのかそれとも日周変化なのかを明らかにできるであろう。



図 2.2.1 ロガーを取り付けたスズキ

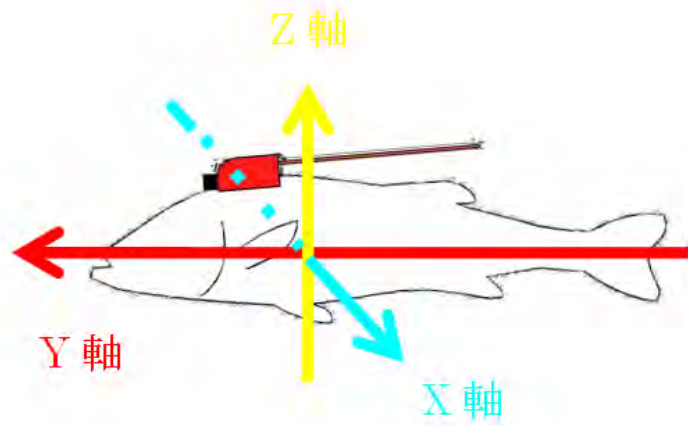


図 2. 2. 3 3 軸の説明

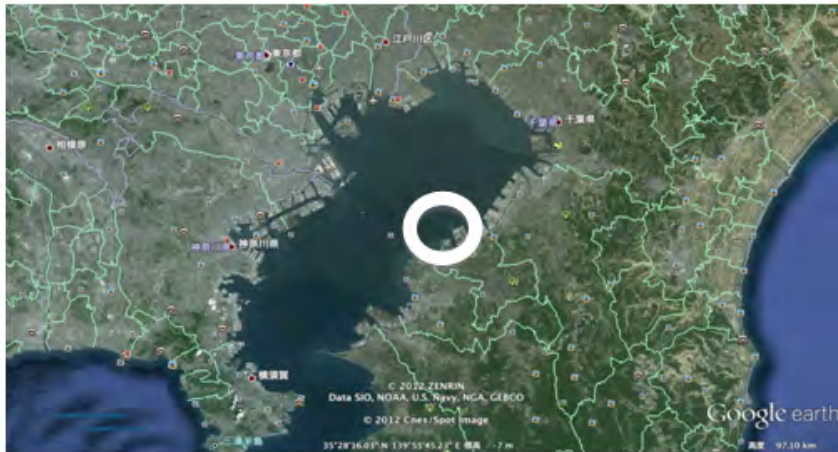


図 2. 2. 4 調査域 (放流点)

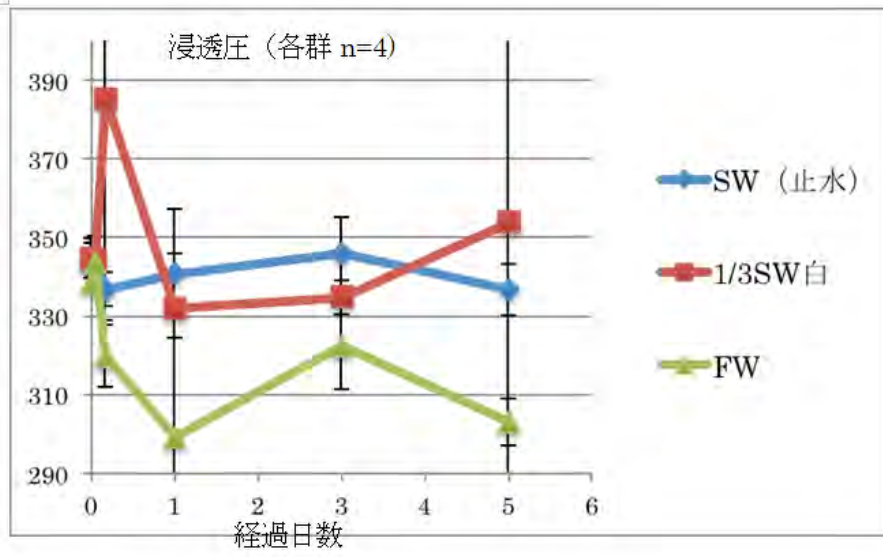


図 2.2.5 浸透厚の経過

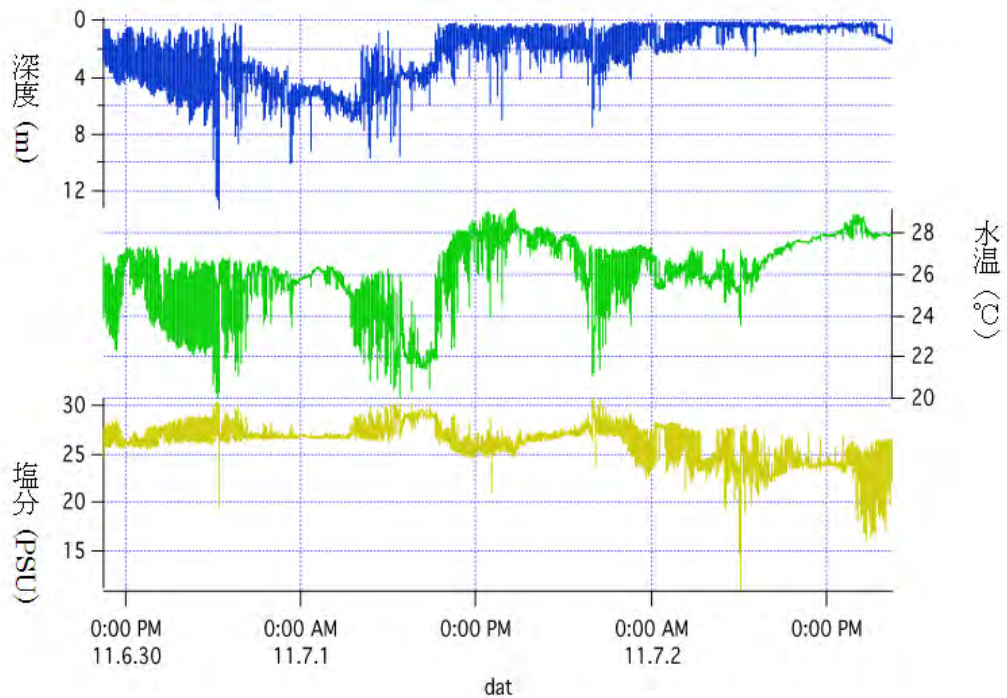


図 2.2.6 遊泳深度、水温、塩分の変化

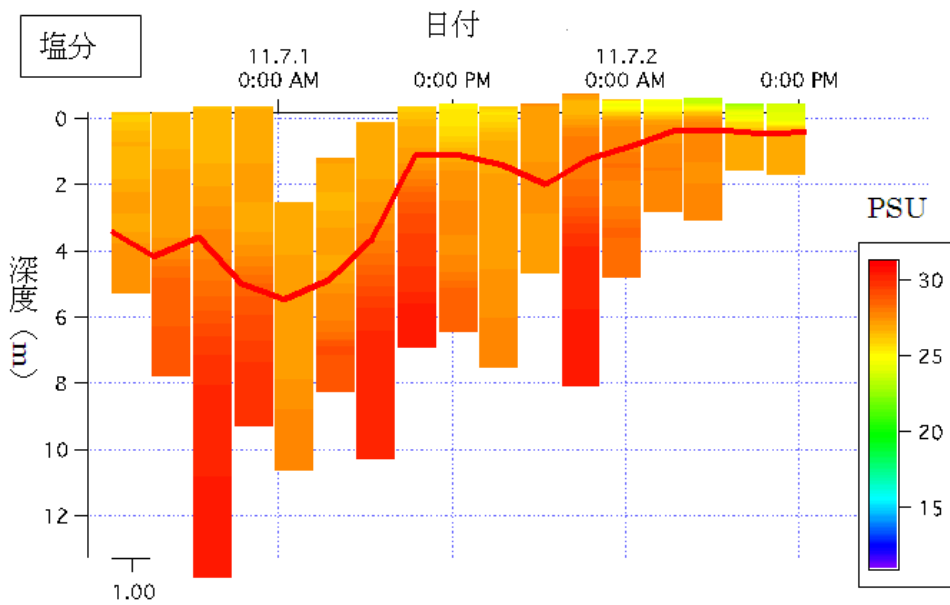
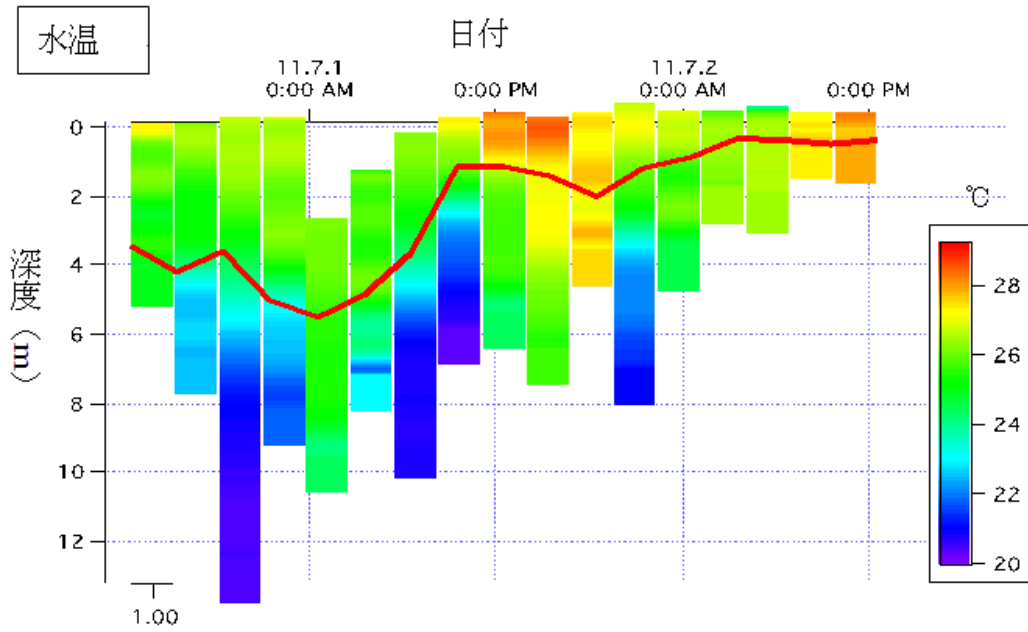


図 2.2.7 水温・塩分の3時間平均変動

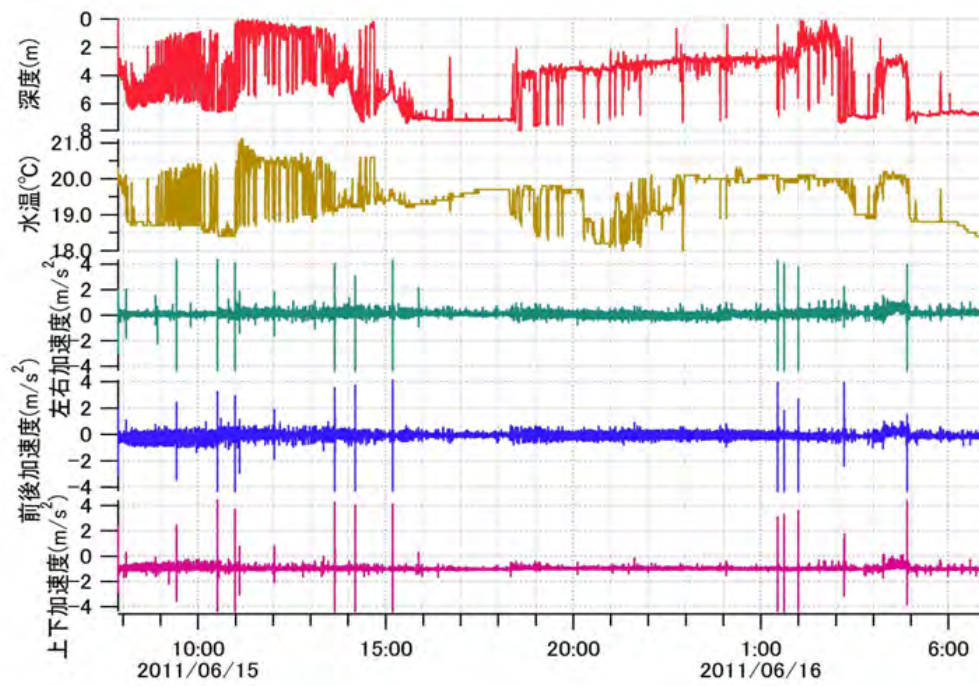


図 2.2.8 遊泳深度、水温、3軸の加速度の変動

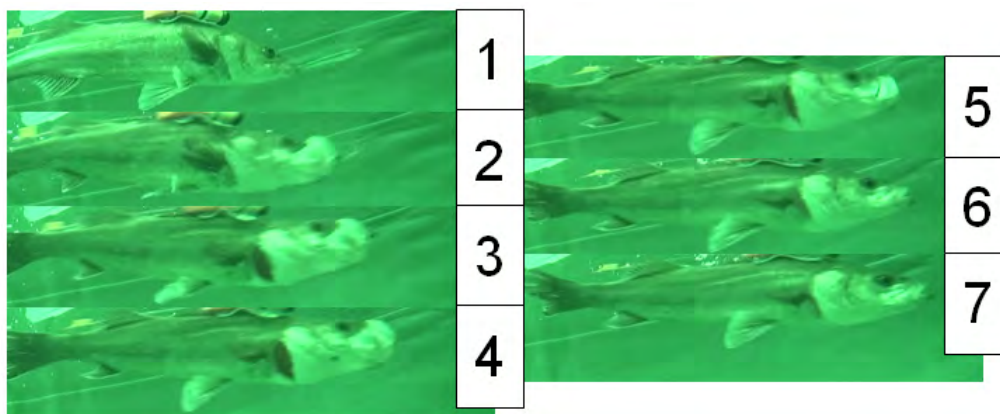


図 2.2.9 採餌行動の記録

3 小櫃川におけるスズキの生息域利用調査

田上英明(海洋政策研究財団)・森友彦・宮田直幸・佐藤克文(東京大学大気海洋研究所)・水島康一郎・新沢丘(三洋テクノマリン)・河津静花・宮崎信之(海洋政策研究財団)

3.1 緒言

昭和 60 年から平成 16 年に亘る東京湾内の主要魚種の漁獲量変動によると カレイ、アナゴ、トリガイの漁獲量は減少傾向にあるもののスズキは平成 7 年以降、高水準に推移している。東京湾の全体の漁獲総量が減少傾向にあり、漁業経営の維持が困難とされている今日において、スズキは、東京湾の漁業を支えるうえで欠かすことができない魚種のひとつとなっている。

東京湾の魚類資源を持続的に利用していくために、これまで多くの取り組みがなされているが、その先進的取り組みのひとつとして、東京内湾の小型底びき網漁業の資源管理がある。小型底びき網漁業は海域のスズキの漁獲方法のひとつでもあり、漁業調整規制や許可条件のどの公的な規制の他に、休業期や休業時間、漁具の制限など漁業者自らが実施している規制を設けている。

平成 19 年度から平成 23 年度には、千葉県東京湾小型底びき網漁業包括的資源回復計画が実施され、漁獲努力量の削減、資源の積極的培養、漁場環境の保全など措置が講じられている。その進行管理は、千葉県が主体となり、地元の漁業者、海区漁業調整委員会とともに行われ、千葉県が水産庁との協議調整を行っている。

上記のような取り組みは、地域と県、国が一体となった取り組みとして高く評価されるが、その対象域は、海域に限定されているものが多く、河川や陸を含めた沿岸域全体に目を向けた取り組みはほとんどない。スズキは、海域だけ一生を終える個体群だけでなく、河口、河川を行き来する個体群もあるということが知られている。この行動がスズキの資源量の維持に重要な役割を果たしていると考えられており、(例えば、稚魚期に河川に入った個体群は、その後の成長率が高い。スズキは落ちアユを食べに河口に集まる等) スズキのような河川と海を行き来するような魚種については、海域だけを管理するのではなく、その生活史全体を考慮した一体的管理が必要と考えられる。しかし、沿岸域は、漁業、養殖、漁港、港湾など利用が錯綜しており、それらの区域の管理主体者がそれぞれ異なっているため、客観的なデータをもとに利用調整が必要となる。そのデータとして最も重要なデータとしてスズキの生息域利用状況がある。スズキを持続的に利用していくためには、スズキがどのような場所でどのような生活をしているかを把握し、その情報をもとにそれぞれの主体者が一体となり利用調整や保全について協議していく必要があるだろう。

そこで本研究では、沿岸域におけるスズキの総合的管理を行うために必要不可欠となるスズキの生息域利用状況を調べるための手法として、昼夜連続して対象生物の目線から環境と行動を同時に記録できるバイオリギングの適用について検討することとした。

3.2. 材料と方法

調査は、2011年10月24日～29日に千葉県小櫃川流域とその周辺海域で実施した。小櫃川は、千葉県を流れ東京湾に注ぐ二級河川である。流路延長88kmは、千葉県内では利根川に次いで2番目に長い川である。房総丘陵の清澄山系が水源で、君津市、袖ヶ浦市、木更津市を蛇行しながら貫流し、木更津市北部で東京湾に注ぐ。上流部には、亀山ダムがあり、ダム湖はブラックバスの有名な釣り場となっている。中流部には、取水のための堰があり、河口付近では東京湾内で最大規模となる1,400haの広さの盤州干潟を形成され、その周辺には漁港や港湾がある。

調査に使用したタグは2種類である。ひとつは、東京大学バイオリソロジープロジェクトとリトルレオナルド社により開発された水温・塩分ロガーと3軸加速度ロガーをロガー回収システム（浮力体、切り離し装置、VHF発信機から構成）に搭載したタグ、もうひとつは、上記のタグにビデオカメラと音響ピンガーを加えたタグである。それぞれ3個体ずつタグを生分解性の糸で供試魚の背中に縫い付け、千葉県小櫃川の河口域（木更津市）から上流1kmの範囲で放流した。その後、事前に設定した時間で、タグが回収システムにより供試魚から切り離され、水面に浮かび上がる。前者のタグは、放流から約24時間後に高台からVHF信号確認し、船で信号を捕捉しながら回収した（以下、24時間調査）。後者のタグは、放流から4時間から6時間後のタグの切り離しの予定時間まで音響ピンガーの信号をボートに設置した受信機で捕捉しながら追跡し回収した（以下、追跡調査）。なお、スズキの調査とほぼ同時にSTDを用いた塩分調査を実施した。

ロガーデータの解析には、時系列解析ソフトIgorを用いた。また、周波数解析や行動分類のための統計にはIgorのアドインソフトであるエソグラファーを使用した。

3.3. 結果

【小櫃川の塩分調査】

河口域の表層は、19.1PSU、底層は30.8、500m上流では表層6.5、底層28.7、1km以上上流では表層1.9、底層5.0であった。潮の満ち引きにもよるが、河口では表層と底層で塩分が大きく異なっており、上流ではその差はほとんどなく、表層、底層ともにほぼ淡水であった。

【24時間調査】

放流した3個体の供試魚に取り付けたロガーは、それぞれ異なる場所で回収された。最初に放流したロガーAは、小櫃川河口から上流約3kmの河川区域で回収された。

ロガー記録によると供試魚は、放流3時間後、水深2mよりも深く遊泳し、時より0.3mまで浮上した（図2.3.1）。その際の水温は約7℃、塩分は約23PSUで大きな変動はみられなかった。その後、遊泳深度は浅くなり、水深と水温の変動がほとんどない状態になった。

その塩分に変動がある期間があり、供試魚が水温と水深が変わらないが塩分が異なる場所を利用していることを検出することができた。その後、7時間程度、水温が18℃から19℃前後の値でほとんど変動がなく、塩分も約0.7PSUで一定となった。ロガーが回収された場所が河川であったため、この期間、供試魚は河川域を利用していたことを示している。

次に放流した供試魚が装着していたロガーBは、小櫃川から10km以上離れた君津市の港湾区域で回収された。

その際のロガー記録によると供試魚は、放流から6時間程度は、水深3mから0.5m付近を繰り返し遊泳しており、その時の塩分は、18PSUから29PSUの範囲を変動していた(図2.3.2)。その後、遊泳深度の変動は続いたが、水温も塩分も一定の状態が続いた。ロガーが回収された場所が海域であったため、この期間は、供試魚が海域を利用していたことを示している。

最後に放流した供試魚が装着していたロガーCは、小櫃川の河口にある見立漁港で回収された。その際のロガー記録によると11時頃、供試魚の加速度に大きな変動がみられた(図2.3.3)。その際に、河口域でスポーツフィッシングをしていた人がロガーのついた供試魚を回収し、再放流したという情報があった。また、午前5時以降に、ロガーが漁港の船着き場(陸上)で回収されたので、供試魚が再度、漁獲された可能性がある。

【スズキ追跡調査】

河口から1km上流で放流した供試魚は、放流点から100m以内に留まった。河口から600mで放流した2個体の供試魚は、放流直後に200m以上下流に移動し、その後、上流、下流と繰り返し移動した。繰り返し移動した場所は、釣りのポイントとなっており、船から周りを見渡すと、この日は平日に関わらず、その周辺には釣り人が集まっていた。

ロガーには、供試魚の遊泳水深の範囲が、0.3m~2.0mであったことが記録されていた(図4)。また、放流後の2時間の塩分は、20PSUから10PSUまで徐々に減少した。その際のビデオカメラの映像には、スズキが群れになっている状況が映っており、種を判別することはできないがスズキよりも小さいサイズと考えられる魚も映っていた。その後、40分程度、塩分が15PSU程度で安定した後、遊泳水深が0.5mよりも浅くなり、その際の塩分は15PSUよりも低くなった。その時のビデオカメラの映像には、他のスズキは映っておらず、警戒しているように水面を見上げている映像があり、陸地で釣りをしている人も映っていた。その後、遊泳水深は1mよりも深くなり、塩分が20PSUよりも高くなった。記録時間全体に亘り、加速度には、餌等を見つけて急速に追いかけたり、餌を吸い込んだりする行動に関係すると考えられるバーストがみられた。

3.4 考察

本研究では沿岸域のスズキの総合管理に必要となるスズキの生活域利用状況を調べる科学的調査法としてバイオリギングの適用を検討した。その結果、バイオリギングによる行

動・環境計測法を用いることで、管理の基本情報となる環境選択性や摂餌リズムを解明できる可能性が示唆された。ここでは、スズキの生息域利用状況をより詳しく把握するための解析方法を検討するため、24時間調査において河口上流3kmまで遡上した供試魚のデータを用いて論議することにする。さらに、それらデータをもとに、本研究で対象区域にした小櫃川と周辺海域において、今後、スズキの総合管理を行うために協議することが必要と考えられる事柄について整理することとする。

3.4.1 生息域利用状況の把握のためのデータの解析方法について

【塩分ロガーデータの解析】

河川で回収されたタグAのロガーデータを示した図2.3.1から、塩分が頻繁に変動していることがわかった。これは、スズキが海水域と淡水域を行き来していることから起きているものであることが考える。河川域で回収されたロガーAの塩分のデータについて、詳しくみていくために淡水と海水との行き来する周期をスペクトル解析によって定量的に示した(図2.3.5)。

この図からみてとれるように、この個体においては、周期性がある期間と無い期間があり、それらの期間を6つのフェイズに分けた。それぞれの継続期間とその時の平均サイクルは、フェイズ1では、継続期間が94.3分、変動の平均サイクルは4分、次のフェイズ3では継続時間が108分、サイクルが5.4分、フェイズ5では、継続期間が他の2つと比べ6時間と長く、サイクルは2.2分と短くなっているという特徴があった。このことから塩分ロガーを用いることで浸透圧調整に関わる行動を記録できる可能性があることがわかった。

【塩分が異なる場合の行動の違い】

次にこれら塩分環境が異なる場所での活動量の違いを定量的に示すために、尾鰭の振動周期を調べ、k-mean法で分類した。その結果、3つの波形をカテゴリー分類することができた(図2.3.6)。サイクルが0.8秒付近にピークがあるものをCategory1、1.0秒付近にあるものをCategory2、1.3秒付近にあるものをCategory3として、それぞれのカテゴリーが10分の間に占める割合を時系列で表した(図2.3.7)。その結果、この供試魚は活発に尾鰭を振っている時と、休んでいる時とに分かれることが示され、塩分の変動がある際は尾鰭の振動も活発で、変動が少ない際は、尾鰭の振動もゆっくりしている傾向がみられた。フェイズ2とフェイズ6は、比較的活動が活発ではない期間と考えられるが、フェイズ2に比べ、フェイズ6ではCategory2の占める割合が大きかった。これは、昼夜の違いや潮の満ち引きに関係しているものであるか、あるいは、採餌行動の違い、あるいは、海水と淡水の密度の違いによる浮力の影響が行動に表れたのかもしれない。

【水温・塩分別のバースト検出】

水温と塩分の違いによる採餌行動の違いを調べるため、加速度がバーストした際の水温和塩分を抽出した(図 2.3.8)。その結果、高温、高塩分の海水と思われる場所において摂餌イベントがあると同時に、低温低塩分の河川域でもスズキは摂餌を行っている可能性が示された。

【モニタリングに向けて】

上記の議論により、生息域利用調査にバイオロギングを適用することの有効性が示された。今後、スズキの生態を詳しく解明し、生息域利用状況を長期的なモニタリングが必要となる。そのためには、データの記録時間を延ばすために、行動分類をカテゴリー化すること、さらに、スズキの主な生息域と考えられる場所に設置型の音響受信装置等を置くこと等を検討する必要がある。

3.4.2 小櫃川と周辺海域におけるスズキの総合的管理について

本研究では動物搭載型の行動・環境記録装置、特に世界で初めて開発された塩分ロガーを使ってスズキの生息域利用調査を試みた。その結果、ロガーが管理主体の異なる河川域、港湾域、漁港域で回収され、その際のロガーの記録から、スズキのそれぞれの地域を利用している可能性が示された。このことから各管理主体が連携した一体的管理が必要であることがわかった。また、音響ピンガーによるスズキの追跡や、ビデオカメラの映像、24時間の調査の結果から 河口域では、スズキは釣り人に遭遇する可能性が高く、漁業が行われている海域だけでなく、河口や河川においても漁獲圧も高い可能性があることがわかった。海のスズキは漁業者が主体となって管理しているが、河川のスズキについては、漁業権の設定がなされていない。スポーツフィッシングでは、キャッチ・アンド・リリースをモットーとしている場合が多いので、釣った後のスズキを致命的な状況まで放置しておくことは考え難いが、継続してスズキ釣りを楽しむためにもアユやウナギのように、河口・河川域におけるスズキにおいても漁業権の設定等についての取り組みを協議する余地があることが考えられる。さらに、スズキは海水の場所だけでなく、淡水の場所でも採餌している可能性が示された。小櫃川の上流には外来種であるブラックバスの釣り場がある。もし、ダムの放水時にブラックバスが下流域まで分布域を広げた場合、スズキと餌場が競合する恐れがある。今後、スズキを持続的に利用していくためには、流域全体での管理が求められる。

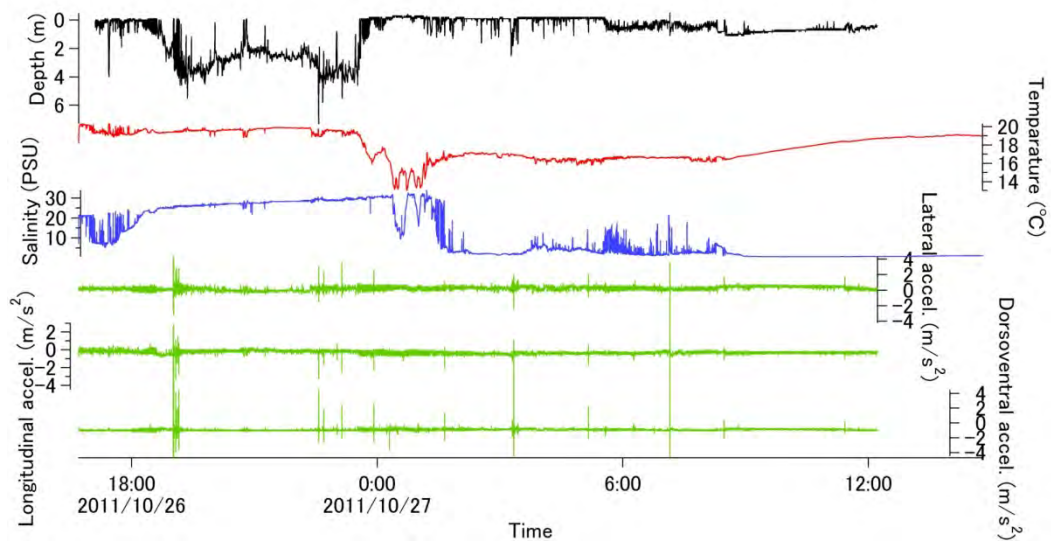


図 2.3.1 小櫃川河口から上流約 3km の河川区域で回収されたロガーの記録

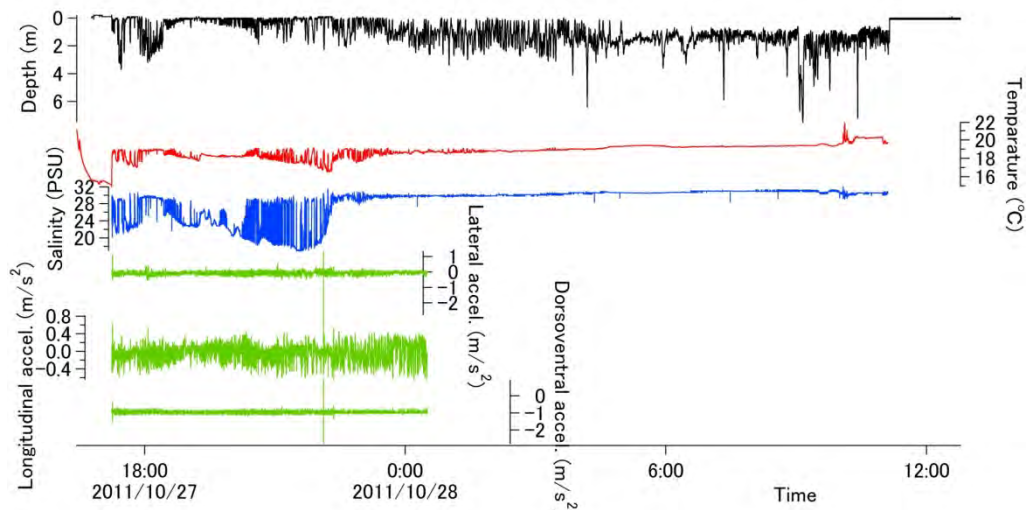


図 2.3.2 君津市の港湾区域で回収されたロガーの記録

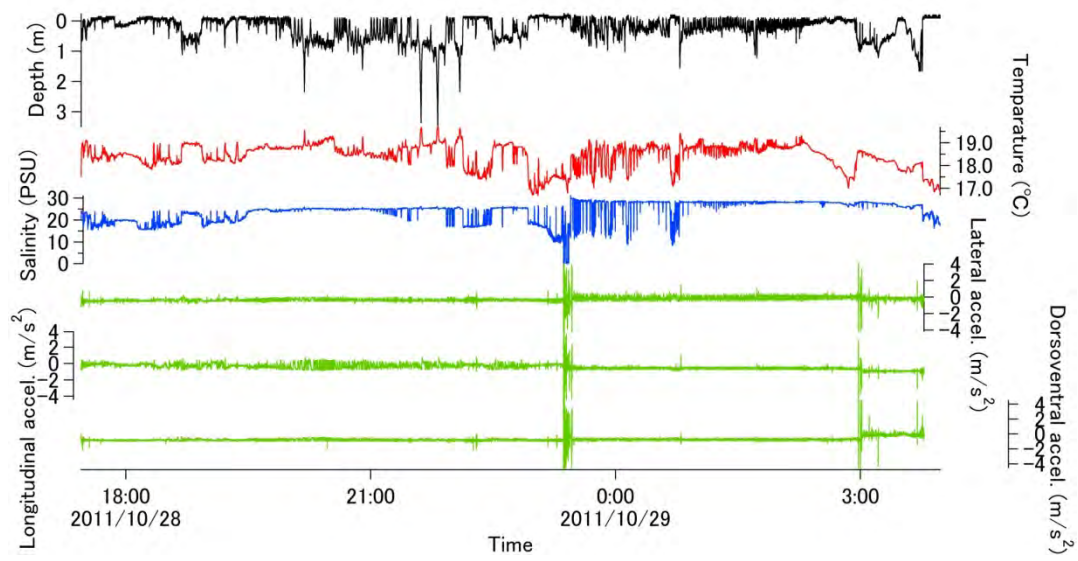


図 2.3.3 小櫃川の河口にある見立漁港で回収されたロガーの記録

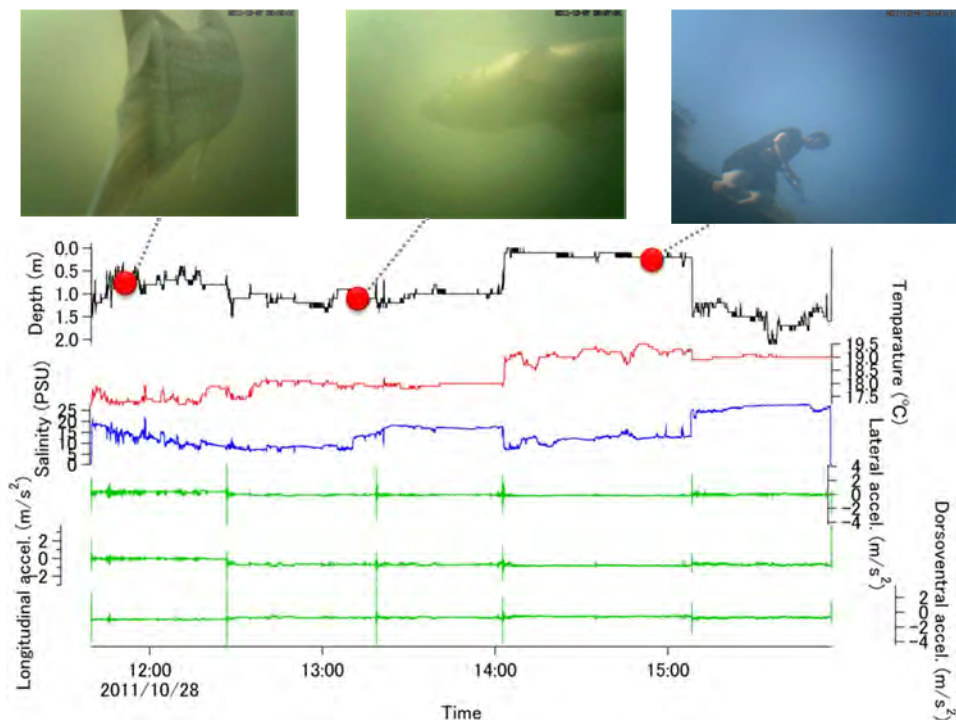


図 2.3.4 音響ピンガーで追跡した回収したタグ F のロガーの記録

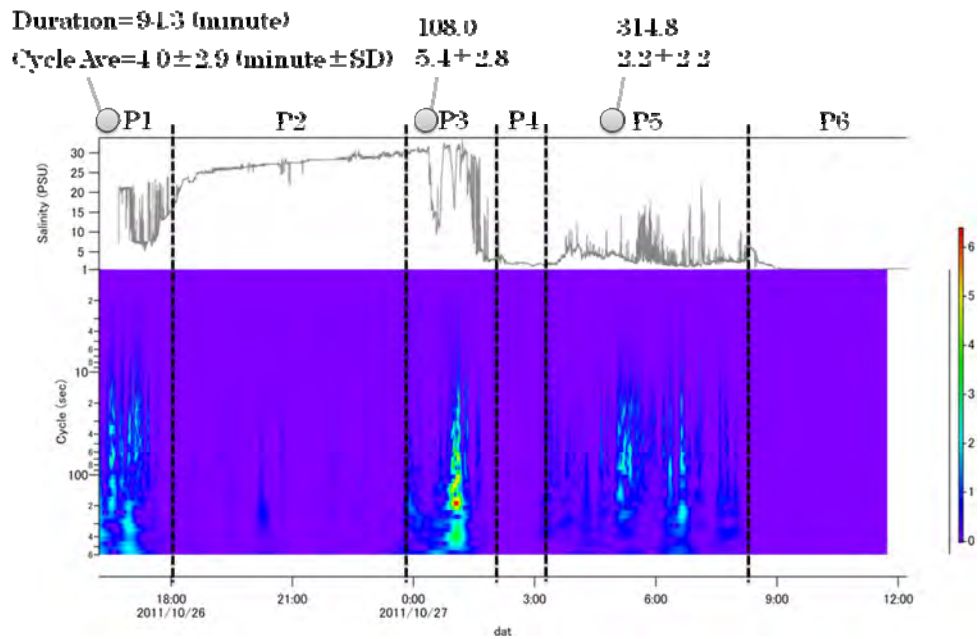


図 2.3.5 河川域で回収されたタグ A の塩分周期

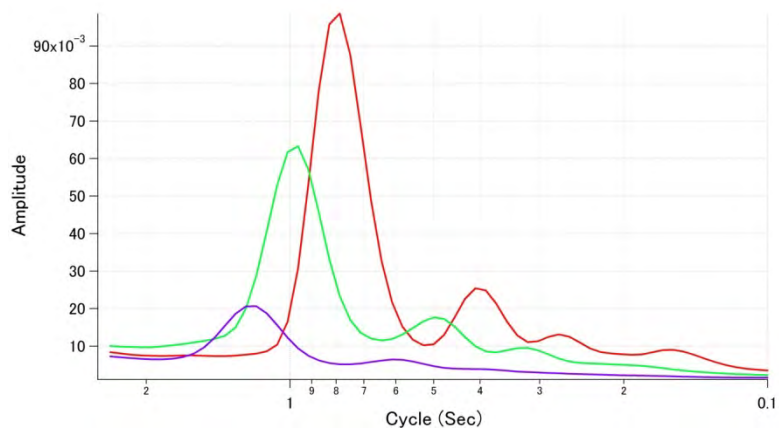


図 2.3.6 河川域で回収されたタグ A の尾鰭の振動周期を調べ、k-mean 法でカテゴリー分類した 3 つの波形

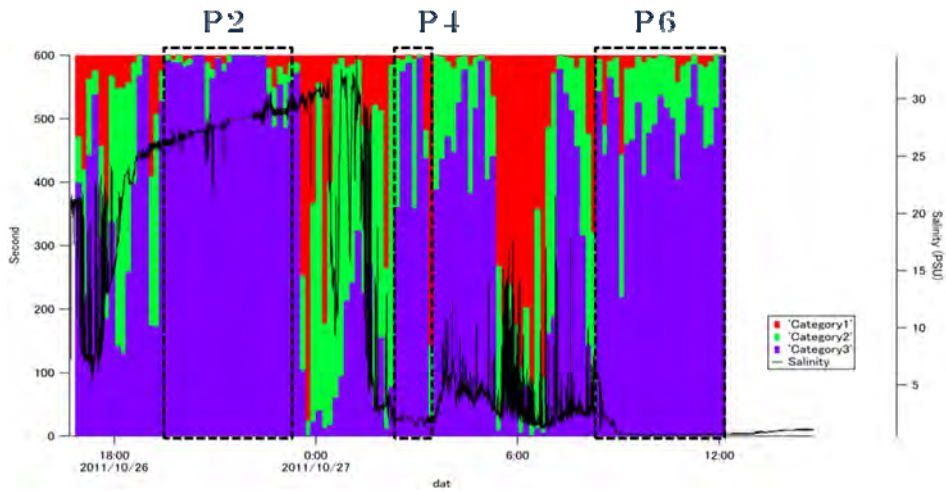


図 2.3.7 河川域で回収されたタグ A の尾鰭の振動周期を k-mean 法でカテゴリー分類した 3 つの波形が 10 分間に占める割合の時系列変化と塩分との関係

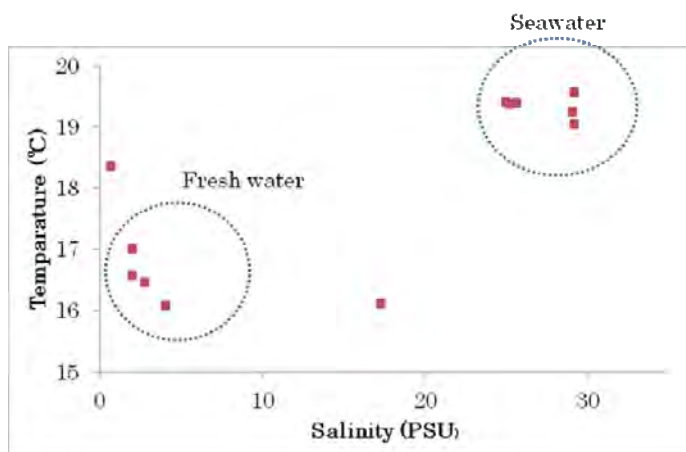


図 2.3.8 河川域で回収されたタグ A の加速度バースト記録と水温・塩分の関係

第3章 社会教育活動

1 シンポジウムの開催

本事業で実施した調査研究の成果を広く社会に伝達するために、平成23年3月1日に、東京大学の弥生講堂でシンポジウム「沿岸域の総合管理へのバイオリギング手法への応用—東京湾から考える」を開催した（参照：図2）。このシンポジウムは、I. 開会の挨拶、II. 基調講演、III. 研究報告、IV. パネルディスカッション、V. 閉会の挨拶の5部で構成され、聴衆の方々が、シンポジウムの内容を深く理解できるように企画した。

第I部の秋山昌廣・海洋政策研究財団会長の開会の挨拶では、今回のシンポジウムが海洋政策研究財団の主催、東京大学農学生命科学研究科の後援による開催され関係者へのお礼と、シンポジウムの意義や重要性について簡潔に述べた。

第II部の基調講演では、寺島紘士・海洋政策研究財団常務理事と内藤靖彦・国立極地研究所名誉教授のお二人が発表された。寺島常務理事は海洋基本法が制定された経緯、海洋基本法の内容の概説し、沿岸域総合管理への応用に向けた重要性について述べた。内藤名誉教授は、バイオリギングサイエンスが生まれた経緯、バイオリギング手法で明らかになってきた代表的な科学的知見を紹介し、大学院生や若手研究者のこの分野への参加を呼び掛けた。

第III部の研究発表では、山川卓・東京大学農学生命科学研究科准教授、佐藤克文・東京大学大気海洋研究所准教授、小松輝久・東京大学大気海洋研究所准教授の3名により発表された。山川卓・准教授は、東京湾における底棲魚介類のマクロ動態について、自身の研究室が1977年から継続して調査してきた資料を基に報告し、大型生物の生物量には大きな変化が見られないが、主要な種類の変遷が起きていることを報告した。また、近年、スズキやアカエイの個体数が増加していることを指摘した。佐藤・准教授は、東京湾のスズキの行動と環境選択に関する調査の概要を説明し、森・大気海洋研究所大学院生は、バイオリギング手法を用いて、スズキの採餌行動を水槽実験で確認し、野生のスズキのデータから、スズキが昼夜にわたって採餌行動をしていることを報告した。また、宮田・大気海洋研究所大学院生は、バイオリギング手法を用いて、海域・汽水域・河川域を移動しているスズキの海水適応の生理学的な特徴について紹介した。田上・海洋政策研究財団研究員は、沿岸域総合管理には社会科学と自然科学の知見を基にしたアプローチの重要性を指摘し、バイオリギング手法を用いて、実際に小櫃川で放流したスズキが、河川域・汽水域・海域の間を活発に行動していることを明らかにし、東京湾を総合的に管理していくには、河川域・汽水域・海域の一体的管理の重要性を指摘した。小松輝久・准教授は、バイオリギング手法を用いて、東京湾のアカエイの行動の基本パターンを整理し、行動や環境選択に関する予備的な調査結果を紹介した。

第V部の研究発表では、パネラーとして青木一郎・東京大学農学生命科学研究科教授、小松輝久・准教授、佐藤克文・准教授、寺島紘士・常務理事、内藤靖彦・名誉教授が

参加し、宮崎信之・海洋政策研究財団主任研究員の司会で進行した。最初に、青木教授が研究発表の内容を総括した。それを受けて、各パネラーはそれぞれの専門家に立場から「沿岸域の総合管理へのバイオリギング手法への応用」について、自らの意見を述べ、議論を深めた。

第 VI 部の閉会の挨拶では、青木教授より、本シンポジウムの目的の重要性と発表内容で明らかになった新しい知見の意義を評価し、本シンポジウムの成果を生かして新しい「沿岸域総合管理」の体制が確立することを期待すると述べた。

以上、この会議には、120 名を超える水産関係者、研究者、一般市民、学生などが参加した。会議では、本事業で得られた最新の科学的な情報を基に、様々な視点から意見交換が行われ、将来へ向けた有意義な議論をすることができた。

2 学会発表

平成 24 年 3 月 26 日～30 日に開催された平成 24 年度日本水産学会春季大会において当該事業の結果 2 報発表した。その要旨を以下に示す。

発表 1)

【題目】

バイオリギングの沿岸域総合管理への応用①
- 加速度記録計を用いたスズキの採餌行動の抽出 -

【講演者】

- 森 友彦・宮田直幸(東大大海研)・田上英明(OPRF)・新沢 丘・水島康一郎(三洋テクノマリン)・池上直也・庄司紀彦(千葉水総セ)・佐藤克文(東大大海研)・宮崎信之(OPRF)
-

【目的】

スズキ (*Lateolabrax japonicus*) は日本の沿岸域に分布しており、水産資源上の重要種であるため、これまでにその生態に関して多くの報告がなされているが、採餌行動に関する報告は少ない。本研究では、スズキに加速度記録計を装着し、飼育下での行動情報を基に、野生個体で得られた記録から採餌行動を抽出し、本種の行動特性を解析した。

【方法】

2011 年 12 月に千葉県南房総市の水産総合研究センターで水槽実験を行った。東京湾の盤州干潟で釣獲した供試魚 5 尾 (SL 360 - 609 mm) に加速度記録計 (ORI400-D3GT、リトルレオナルド社製) を装着し、3 t 円形水槽内 (水深 1 m) にて水中ビデオカメラを用いて行動を観察した。飼育期間中は毎日生きたカタクチイワシを餌料として与えた。

野外調査は、2011年11月から12月に盤州干潟から富津沖にかけての海域で釣獲した供試魚9尾(SL 438 - 654 mm)に加速度記録計を装着し、釣獲地点で放流した。放流後24時間及び48時間後に、海面に浮上した記録計を回収し、データ解析を行った。

【結果】

水槽実験では計14回のロガー装着を行い、約2週間にわたり遊泳行動データを記録した。ビデオカメラの映像から定位、あくび、突進、採餌などの行動が観察された。特に採餌は急激な口の開閉に起因する吸引により行われ(suction feeding)、捕食後にも3~4回ほど口を開閉する様子が観察された。また、餌生物への接近方法や捕食直前の突進行動の有無など採餌行動に複数のパターンが観察された。いずれの場合にも、採餌の瞬間には背腹方向の加速度データに9 Hz前後の特徴的な波形が検出され、その有効性が確かめられた。

野外調査では合計約400時間の遊泳行動データが得られた。水槽実験の結果を基に、加速度波形による行動分類を行った結果、野外放流した個体から採餌行動を抽出することに成功し、本種は昼夜とも採餌し、昼のほうが夜よりもその頻度が高いことが明らかになった。

発表2)

【題目】

バイオロギングの沿岸域総合管理への応用②

ー小櫃川におけるスズキの行動・生息環境計測の試みー

【講演者】

○田上英明(OPRF)・森友彦・宮田直幸・佐藤克文(東大大海研)・水島康一郎・新沢丘(三洋テクノ)・河津静花・宮崎信之(OPRF)

【目的】

スズキ(*Lateolabrax japonicus*)は、海域、汽水域、河川域を利用していることが知られている。行政境を超えた水域を生息地としているスズキのような種については、沿岸域総合管理の視点でその生態を捉え、資源を管理する必要がある。しかし、このように移動性の高い魚種については、彼らが選択する生息環境を詳細に調べることは困難である。そこで本研究では、動物搭載型行動・環境記録器(以下、ロガー)を開発するとともに、スズキにロガーを装着し、彼らの行動と生息環境を野外で計測することを目的に実験を行った。

【方法】

2011年10月に千葉県小櫃川において、スズキ3個体(SL:52.3~57.5 cm)を用いて実験を行った。東京大学バイオリギングプロジェクトとリトルレオナルド社により開発された水温・塩分ロガーと3軸加速度ロガーをロガー回収システム(浮力体、切り離し装置、VHF発信機から構成)に搭載し、それらを生分解性の糸で供試魚の背中に縫い付け、小櫃川の河口域(木更津市)に放流した。その後、事前に設定した時間で、ロガーが搭載された回収システムが、供試魚から切り離され、水面に浮かび上がる。高台からVHF信号確認し、船で信号を捕捉しながらロガーを回収した。

【結果】

3つのロガーは、それぞれ管理主体の異なる場所で回収された。ロガーAは、河川上流4 km付近、ロガーBは河口から10 km以上離れた君津市の港湾海域、ロガーCは、河口の航路付近で遊魚者に釣りあげられ、再放流された後、隣接する漁港で回収された。回収した3つのロガーから合計60時間の水温、塩分、遊泳深度、加速度の時系列データが得られた。それぞれの記録には、異なった水域環境が記録されており、特に、ロガーAには、汽水、海水、淡水での行動とそれぞれの環境情報が記録されていた。また、全てのロガー記録から採餌等の際に現れるバーストが記録されており、本研究の行動・環境計測法を用いることで、魚本来の動きをできる限り妨げることなく、管理の基本情報として重要な環境選択性や摂餌リズムを解明できる可能性があることが示唆された。

第4章 まとめ

本事業の成果をまとめるにあたって、図4.1に示したフローチャートに基づいて議論を展開していくことにする。

1. バイオロギング委員会は、バイオロギング研究の専門家2人（内藤靖彦・国立極地研究所・名誉教授、佐藤克文・東京大学大気海洋研究所・准教授）、水産資源学の専門家1人（青木一郎・東京大学農学生命科学研究科・教授）、海洋生態学の専門家1人（小松輝久・東京大学大気海洋研究所・准教授）、および環境アセスメントの専門家1人（寺崎誠・三洋テクノマリン株式会社・生物生態研究所長、8月逝去）の合計5人の有識者により構成された。

(1) 第1回のバイオロギング委員会は2011年4月21日に開催され、委員会では、事務局から提出した本事業の目的、実施計画、実施内容、調査スケジュールなどを含む事業の全体計画についてご議論を頂き、各委員のご意見を生かして実質的な事業計画を立案し、調査を開始した（図4.1参照）。

(2) 第2回のバイオロギング委員会は2011年9月22日に開催され、委員会では、調査前期で得られた成果を発表するとともに、調査実施上で直面している技術的な問題点を事務局から報告した。各委員からは、中間報告では調査は計画通りに進行していることから、当初の調査計画をより強力に推進するようにコメントを頂くと同時に、問題点の解決についても建設的なご意見を頂いた。

(3) 第3回のバイオロギング委員会は2012年3月6日に開催され、委員会では、本事業が計画通りに実施され、優れた成果が得られたとの評価を得た。また、今年度の成果を生かして、さらなる調査研究を実施するようにとのご意見を頂いた。

以上、上記の3回の委員会での意見交換ならびに議論を踏まえて、本事業が円滑に展開された。

2. 本事業では、実施前に事業に関係した情報を収集し、調査サイトとして東京湾とその流入河川である小櫃川を選択し、対象生物としてスズキを選択し、調査計画を立案し、実施した。次にその理由と特徴について下記に示す。

(1) 東京湾は日本の表玄関で海上物流の拠点であるとともに、東京都、千葉県、神奈川県に囲まれ、日本全国の人口の約1/10の人々の生活と密接に関係した重要な海域である。また、東京湾は、周辺河川から生活排水が流入するだけでなく、隣接している工場からも廃液が排水されることから、バブル経済以降その環境の悪化が指摘されたが、近年、関係者の努力によりその環境状況が改善されつつある海域といえる。また、東京湾に関しては多くの研究成果が蓄積していることから、モデルを考えるには適した調査サイトであると言える。

(2) 東京湾に注ぐ小櫃川は、房総丘陵の清澄山系が水源で、千葉県の木更津市、袖

ヶ浦市、君津市を蛇行しながら貫流する二級河川（流路延長：88km、流域面積：267km²）として知られている。小櫃川は住民の飲料水、農業用水、工業用水の水源として利用されているだけでなく、河口域に日本最大級の砂質干潟である盤州干潟（面積：1,400ha）があり、東京湾沿岸域の環境保全や生物生産にも大きな影響を与える河川である。

（3）スズキは、刺身、焼き魚、フランス料理のムニエルなど、高級魚として価値が高いだけでなく、曳きが強いことなどからスポーツフィッシングの対象種としても釣り人の関心が高い種類である。本種の漁獲量は千葉県が全国一で、千葉県で水揚げされたうち85%（1958年から1997年までの平均値）が東京湾で捕獲されてきた。1977年以降東京大学が国立環境研究所と共同で実施している海洋生物の生物量モニタリング調査によると、スズキは捕獲量だけでなくCPUE（努力量当たりの捕獲量）も高レベルにあることから、本種を永続的に利用することができる資源管理が求められている。スズキは東京湾で生まれ、沿岸域のみならず周辺の流入河川にも生息域を拡大していることから、東京湾や流入河川における水産資源管理や環境保全を考えていくには、もっとも相応しい種類と言える。

以上の情報などを基に、本事業では東京湾ならびに小櫃川におけるスズキを対象に、ハビタットの利用や環境選択について調査を実施した。

4. 本事業では、世界最先端のバイオリギング手法を用いて、東京湾ならびに小櫃川におけるスズキを対象に、ハビタットの利用や環境選択について調査を実施した。

採取したスズキについては、麻酔後、体長、体重などの計測、外部観察、写真撮影を行った後、種類の確認、成長段階の判別、健康体か否かの判定等を行った。この中から、調査に相応しい体長50-70cmの健康な個体を選別して、調査の目的に応じてデータロガー（加速度データロガー、塩分データロガー、ビデオロガーなど）やVHF発信機を装着した。同時にタイマー付きの自動切り離し装置を付して、決められた時刻に魚体からロガーが切り離され、海面に浮上したロガーをVHF受信機で探索し、回収した。特に、東京湾で採取されたスズキに、世界最小で高性能なデータロガー（ORI380-D3GT）、世界で初めて開発された小型で高性能な塩分ロガー（DTC）、小型の高性能なカメラロガー（DSL）を装着して、詳細な水中行動の情報や生息環境情報を収集した。この手法は、将来の沿岸域の調査研究に一石を投じるものと、関係者の間では注目された。東京湾ならびに小櫃川で実施したスズキの野外放流実験、および千葉県水産試験場で実施した水槽実験の結果について次に示した。

（1）各種データロガーを大型のスズキ（TL：50-70cm）に装着し、装着後4-94時間後に自動切り離し装置が作動し、魚体から切り離され、水面に浮上してきたロガーを回収するシステム系を立ち上げた。一連のバイオリギング・システムはほぼ完璧に作動し、野生のスズキの遊泳行動と生息環境の情報を収集することができた。このバイオリギングを用いた観測システムは、体長50-70cmのスズキが東京湾のみならず、小櫃川での遊

泳行動も記録するとともに、海域・汽水域・河川域の様々な塩分濃度の環境域を移動している行動も明らかにした。特に、世界で初めて開発された小型の塩分ロガーはその威力を十分に発揮し、興味深い環境情報を収集した。このように、本事業で用いたバイオリギング手法による観測システムは、スズキのように海域・汽水域・河川域に生息している魚の行動・環境計測に有効であり、この手法は日本国内のみならず世界の「通し回遊魚（海と川を回遊する魚）」の行動・環境計測にも有効であることが証明された。

(2) 本事業で確立した一連のバイオリギング手法を用いて、野生のスズキ対象に野外放流実験を実施した。調査は5月-12月にかけて、東京湾の東部沿岸域（18個体）と小櫃川の河川域（6個体）で実施した。最初の放流実験では底曳網船で捕獲したスズキを用いたが、体が網で擦れて弱っていたので、その後はルアーフィッシングで捕獲した個体を放流実験及び水槽実験にそれぞれ23個体と13個体を用いた。各種のデータロガー（加速度データロガー、塩分データロガー、ビデオロガー）をスズキに装着し、沿岸域では17尾回収し、回収率は94%であった。河川域では6尾の全てを回収し、回収率は100%であった。同時に、千葉県水産試験場協力を得て、試験場的水槽（直径：3m、水深：2m）で、80時間にわたる遊泳行動に関する水槽実験を実施し、スズキの麻酔からの回復過程、ロガー装着による影響、採餌行動、浸透圧適用などに関する調査を実施した。

(3) 海域での放流実験で回収した17個体のうち16個体からデータロガーを回収した。ロガーの記録の解析から、採餌に関係したバースト（加速度の急速な変化）が記録された。後述する水槽実験の結果から、スズキは餌を suction feeding（吸い込み型捕食法）で採餌していることが明らかになり、その際に3軸の加速度にバースト行動が記録されていた。放流個体の行動を分析すると、このバースト行動は、昼夜に確認されたことから、スズキは昼夜に関係なく採餌行動をしていることが明らかになった。

(4) 小櫃川流域での放流実験で用いた3個体（A, B, C）には世界で初めて開発された小型の塩分ロガーとデータロガー（D3GT）を装着し、小櫃川河口域から1km上流で放流し、24時間後に回収した。A個体は24時間後河口域から3km上流で回収した。B個体は河口域から10km以上離れた君津市の湾港海域で、C個体は河口域の航路付近で遊魚者に釣りあげられ、再放流された後に、隣接する漁港付近で回収された。これらの個体の塩分濃度、水深、水温、3軸の加速度の解析により、スズキは淡水から海水まで広範囲の塩分濃度に適応する能力を保持していることが世界で初めて検証された。また、海水・汽水・河川水でも、昼夜によるバースト行動が記録されていることから、これらの水域で、昼夜にわたり採餌行動をしていたことが示唆された。同時に、別の3個体（D, E, F）にはビデオロガーとピンガー（音響発信機）を装着し、小櫃川河口域から600m-1kmの上流で放流し、4時間後に回収した。いずれの個体も小櫃川の放流地点周辺を遊泳し、河川域で回収された。これらの個体に装着したビデオロガーには、仲間のスズキが群れで行動している画像が記録されていた。また、水面を見上げている画像や陸

地で釣りをしている人も記録されていた。

(5) 千葉県水産試験場などの協力を得て水槽実験では、①ロガーを装着した際のスズキへの影響、②麻酔による影響、③野生のスズキの遊泳行動にみられる幾つかの行動パターン、④塩分濃度の変化に応じた生理学的な特徴、などを明らかにするために実施した。ロガー装着の影響については、データロガー装着直後は体軸が 45 度傾いていたが、時間とともに体軸角度が修正され、1-3 時間後には遊泳行動に乱れは観察されなかった。また、麻酔の影響も 1-3 時間後のなくなることが確認された。これらのことから、個体により多少差異があるが、麻酔でスズキの行動を鎮静化し、データロガー装着後に覚醒させ、放流した際には、1-3 時間後から、正常な行動をすることが確認された。したがって、放流個体から回収されたロガーのデータを解析するには、この点を考慮する必要がある。次に、採餌行動を検証するために、水槽中にスズキの餌となるカタクチイワシなどを入れて、水槽内にビデオカメラを設置し、捕食のシーンを撮影し、その時の 3 軸の加速度の記録を解析した。その結果、スズキは餌を suction feeding (吸い込み型捕食法) で採餌していることが明らかになり、その際に 3 軸の加速度にバースト行動が記録されていた。海水、1/3 海水、淡水の 3 つの環境下での血漿浸透圧や血漿 Na 濃度を測定し、時間の変化とともにスズキの塩分濃度に対する生理的な適応能力について調査した。その結果、海水暴露群と 1/3 海水暴露群では、海域で捕獲時と同様な値をとり続けたのに対し、淡水暴露群では血漿浸透圧や血漿 Na 濃度が 5 日後まで低い値を推移した。このことから、スズキは、海域から河川域へ移動する際には、塩分濃度が海水の 1/3 程度であれば瞬時に適応し行動することができるが、淡水域に適応するには多少時間がかかることが推察された。

5. 本事業で得られた科学的知見を基盤に海洋政策立案への有効な情報をまとめると、次のように整理できる。

(1) 東京湾のスズキは、流入河川である小櫃川にも移動し、採餌行動をしていることが明らかになった。しかも、個体によっては、海域だけでなく河川域や汽水域の間を頻繁に移動していることが推察された。したがって、東京湾の主要な漁獲資源であるスズキを合理的に管理するには、東京湾のみならず周辺の流入河川の保全も視野に入れた総合的な対策を構築していくことが重要である。それにもかかわらず、彼らの生息域は、既存の漁業法 (1949 年制定)、港湾法 (1950 年)、海岸法 (1956 年)、河川法 (1946 年) など、それぞれの目的に応じた複数の法制度にモザイク状に管理されており、実情に合った法制度が必ずしも十分に機能していない。本事業では、漁業やスポーツフィッシングの価値が高く、海域・汽水域・河川域を利用しているスズキの水産資源の管理や生息環境の保全を考える上では、これまでの漁業法、港湾法、海岸法、河川法などの様々な目的に応じて制定された法制度によりモザイク状に管理するのではなく、海洋基本法 (2007 年) のもとでの「沿岸域の総合管理」を中心に陸域と沿岸域の一体的管理を目指

して、政策を立案することが重要である。この視点は、東京湾のみならず他の海域の沿岸域総合管理にも応用することが可能である。したがって、本事業で得られた科学的知見を基盤にした「陸域・河川域・沿岸域の一体的管理モデル」を提唱し、新しい視点から機能的な「沿岸域の総合管理」の施策を提示していくことが極めて重要である。

(2) 本事業では、このバイオリギング手法を用いて収集した情報をもとに、東京湾ならびに流入河川の一体的管理の重要性を指摘し、「沿岸域の総合管理」や「水産資源の保存管理」の課題の解決に有効な一連のシステム科学を提示することが可能になった。東京湾など沿岸域に生息している海洋生物の行動情報や環境情報のみならず、生態学的情報や大気・海洋との相互関係情報、さらには人間生活に密接な人文科学的情報などを組み込むことにより、よりバランスのとれた魅力的な「沿岸域総合管理」をデザインすることが可能になると考えられる。

(3) 世界最先端の科学技術であるバイオリギング手法を海洋研究に応用し、優れた成果をあげることにより、海洋基本法の施策である「海洋科学技術に関する研究開発の推進等」にも大きく貢献できる。そして、この科学技術をさらに促進することにより、将来に向けて新しい海洋産業の創出が期待できる。実際、本事業で用いたバイオリギング・システムに関係した機器を開発・販売しているリトルレオナルド社は、国内外から製作の要請が高まり、供給が間に合わない状況におかれている。将来、このバイオリギング手法が、国内外の「沿岸域総合管理」だけではなく、「海洋保護区の管理」や「排他的経済水域の管理」に利用されることにより、その需要が益々高まることが予想される。本事業の成果を国内外に積極的に発信することで、バイオリギングサイエンスの魅力が多くの人々に理解され、技術の開発が強力に推進されることによって、海洋産業の発展や雇用創出に大きく貢献するものと考えられる。

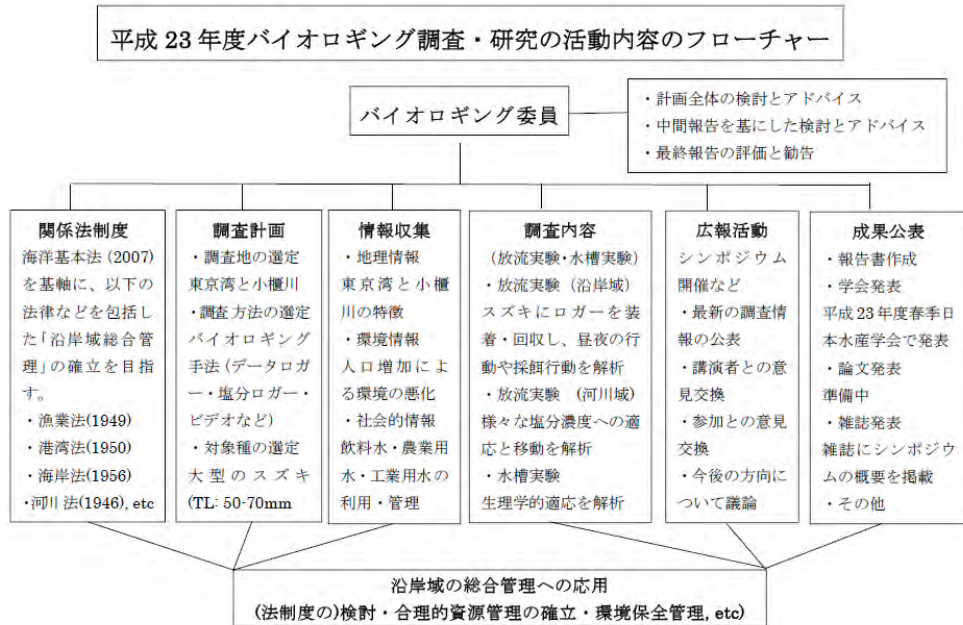


図 4.1. バイオリギング調査研究事業の活動内容のフローチャート

謝辞

本事業を実施するにあたり、内藤靖彦・委員長(国立極地研究所名誉教授)をはじめ、故寺崎誠(三洋テクノマリン株式会社生物生態研究所長)・青木一郎(東京大学農学生命科学研究科教授)・佐藤克文(東京大学大気海洋研究所准教授)・小松輝久(東京大学大気海洋研究所准教授)委員には一方ならぬご尽力をいただきました。また、本調査では、東京大学大気海洋研究所の佐藤克文・准教授とその研究室の大学院生、三洋テクノマリン株式会社の故寺崎 誠・生物生態研究所長、新沢 丘理事、水嶋康一郎研究員とそのスタッフ、千葉県水産試験場の庄司紀彦主任研究員、千葉県の金田漁港、牛込漁港、久津間漁港の各組合長とその関係者に大変お世話になりました。関係者の皆様に心からお礼申し上げます。

参考文献

- Aoki, K., Amano, M., Yoshioka, M., Mori, K., Tokuda, D., Miyazaki, N. 2007. Diel diving behavior of sperm whales off Japan. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 349: 277-287.
- Aoki, K., Watanabe, Y., Crocker, D. E. Patrick Robinson, W., Biuw, M., Costa, D. P. Miyazaki, Fedak, M. A., Miller, P. J. O.. 2011. Northern elephant seals adjust gliding and stroking patterns with changes in buoyancy: validation of at-sea metrics of body density. *Journal Experimental Biology*, 214: 2973-2987.
- Aoki, K., Amano, A., Mori, K., Kubodera, T., Miyazaki, N. 2012. Active hunting by deep-diving sperm whales: 3D dive profiles and manoeuvres during bursts of speed. 2012. *Marine Ecology Progress Series*, 444: 289-301. With supplement of 7 pages.
- 盤洲干潟をまもる会 2006. 小櫃川流域の自然 うらべ書房、p31.
- 千葉県環境部自然保護課 1988. 小櫃川河口域自然環境学術調査報告書
- 千葉県環境生活部自然保護課 2003. 平成 14 年度千葉県自然環境保全学術調査報告書
- 環境省 水生生物保全環境基準類型指定専門委員会第 11 回資料
- 国立環境研究所 2010. 国立環境研究所年報(平成 19~22 年度) 課題名: 東京湾における底棲魚介類群集の動態に関する長期モニタリング
- 貝塚爽平編 1993. 東京湾の地形・地質と水 築地書館、pp1-19.
- Kawatsu S., Sato K., Watanabe Y., Hyodo S., Breves J.P., Fox B.K., Grau E.G. and Miyazaki N. 2010. A new method to calibrate attachment angles of data loggers in swimming sharks, *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2010, 732586, 6pp. doi:10.1155/2010/732586.

- Kikuchi, M., da Silva, V. M. F. Rosas, F. C. W. and Miyazaki, N. 2010. Application of acceleration data loggers to classify the behavior of captive Amazonian manatees (*Trichechus inunguis*). 2010. Coastal Marine Science, 34(1):24-30.
- Kikuchi, M., da Silva, V. M. F. Rosas, F. C. W. Souza, D. Miyazaki, N. 2011. The implications of turning behavior performed by Amazonian manatees after release into the wild. J. Ethol. DOI 10.1007/s10164-0011-0290-0.
- Kodama, K., Aoki, I., Smizu M., Taniuchi T. 2002. Long-term changes in the assemblage of demersal fishes and invertebrates in relation to environmental variations in Tokyo Bay, Japan. Fisheries Management and Ecology, 9: 303-313.
- 近藤精造監修 1992. 千葉の自然をたずねて築地書館、p284.
- Kudo, T., Tanaka, H., Watanebe, Y., Naito, Y., Otomo, T., Miyazaki, N. 2007. Use of fish-borne camera to study Chum salmon homing behavior in response to coastal features. Aquatic Biology, 1(1): 85-90.
- 前田四郎監修、浅賀正義編 1993. 新・千葉県地学のガイド 千葉県の地質とそのおいたちコロナ社、p336.
- Narazaki, T., Sato, K., Abernathy, K. J., Marshall, G. J., Miyazaki, N. 2009. Sea turtles compensate deflection of heading at the sea surface during directional travel. Journal of Experimental Biology. 212:4019-4026.
- 農林水産省 千葉農林水産統計年報（平成12～21年度）
<http://www.fishing-oasis.com/map.html>
- おびつ川通信
<http://homepage3.nifty.com/szk-nrys/html/inoti.htm>
- Shiomi, K., Narasaki, T., Sato, K., Shimatani, K., Arai, N., Ponganis, P. L., Miyazaki, N. 2010. Data-processing artefacts in three-dimensional dive path reconstruction from geomagnetic and acceleration data. Aquatic Biology, 8: 299-304.
- 庄司紀彦、尾崎真澄 2001. 千葉県水産試験所研究報告, 57: 173-179.
- 庄司紀彦、佐藤圭介、尾崎真澄 2002. 資源の分布と利用実態, page 9-20. スズキと生物多様性（田中克・木下泉 編）水産学シリーズ131, 恒星社厚生閣 pp. 155.
- 須賀潮美 沿岸域総合管理に活用 バイオロギング エコ・リポーター 70 月刊ダイバー
- Suzuki, I., Naito, Y., Folkow, L.P., Miyazaki, N., Blix A. S. 2009. Validation of a device for accurate timing of feeding events in marine

- mammals. *Polar Biology.*, 32: 667-671.
- 鈴木欣也ほか 2009. 君津の自然 うらべ書房、p131.
- Tanoue, H., Komatsu, T., Tujino, T., Suzuki, I., Watanabe, M., Goto, H.
Miyazaki, N. 2012. *Fisheries Science.*, (in press).
- 東京都 HP <http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/water/attachement/稚魚等.pdf>
東京都島嶼農林水産総合センターHP
<http://www.ifarc.metro.tokyo.jp/27,948,55,226.html>
- 渡辺泰輔 1965. 東京湾におけるスズキ卵の分布生態について、*日本水産学会誌*, 31(8)、
pp 585-590.
- Watanabe, Y., Wei, Q., Yang, D., Chen, X, Du H., Yang J., Sato, K., Naito,
Y., Miyazaki, N. 2008. Swimming behavior in relation to buoyancy in an
open swimbladder fish, the Chinese sturgeon. *Journal of Zoology*, 275:
381-390.
- Watanabe, Y., Lydersen, C., Sato, K., Naito, Y., Miyazaki, N., Kovacs, KM.
2009. Diving behavior and swimming style of nursing bearded seal pups.
Marine Ecology Progress Series, 380: 287-294.
- Watanabe, Y., Wei, Q., Du, H., Li, L. Miyazaki, N. 2012. Anomalies in the
swimming behavior of Chinese sturgeon: preliminary evidence for
anthropogenic impacts. *Environmental Biology of Fishes* (in press)
- Watanuki, Y., Takahashi, A., Daunt F., Sato, K., Miyazaki, N. Wanless, S.
2007. Underwater images from bird-borne cameras provide clue to poor
breeding success of Shags in 2005. *2007. British Birds*, 100: 466-470.
- Watanuki, Y., Daut, F., Takahashi, A., Newell, M., Wanless, S., Sato, K.,
Miyazaki, N. 2008. Microhabitat use and prey capture of a bottom-feeding
top predator, the European shag, shown by camera loggers. *Marine Ecology
Progress Series*, 356: 283-293.