

RF-0907 藻場の生態系サービスの経済的価値評価：魚類生産の「原単位」から「日本一」を探る

(1) 魚類生産による経済的価値の算出および広域的解析

広島大学

大学院生物圏科学研究科 附属瀬戸内圏フィールド科学教育研究センター 竹原ステーション
小路 淳

<研究協力者>

独立行政法人 水産総合研究センター

瀬戸内海区水産研究所 堀 正和・浜口昌己・吉田吾郎・島袋寛盛・山田勝雅・山北剛久・
川根昌子・小畑泰弘・河野悌昌
宮古栽培漁業センター 青野英明・野田 勉
東北区水産研究所 高見秀輝
西海区水産研究所 町口裕二・栗原健夫

北海道大学 北方生物圏フィールド科学センター 厚岸臨海実験所 仲岡雅裕・渡辺健太郎

東京大学大気海洋研究所 国際沿岸海洋研究センター 大竹二雄・黒沢正隆

東北大学 大学院農学研究科 生物資源科学専攻 南 卓志

石巻専修大学 理工学部 生物生産工学科 玉置 仁

京都大学

フィールド科学教育研究センター 舞鶴水産実験所 山下 洋、益田玲爾
大学院情報学研究科 社会情報学専攻 生物圏情報学講座 三田村啓理

広島大学

大学院生物圏科学研究科 附属瀬戸内圏フィールド科学教育研究センター 竹原ステーション
上村泰洋・岩本有司・森田拓真・水野健一郎・木下 光・年藤俊一・毛利紀恵

生物生産学部 竹原ステーション 千葉裕介・仲 美穂・福田温史・久保田光・中野 光

愛媛大学 沿岸環境科学研究センター 濱岡秀樹

宮城県水産高校 森本 充

千葉県水産総合研究センター 東京湾漁業研究所 漁場環境研究室 梶山 誠

岡山県水産試験場 元谷 剛、草加耕司、鳥井正也

広島県栽培漁業協会 平川浩司、水呉 浩

香川県水産試験場 藤原宗弘、山本昌幸

大分県農林水産研究センター 水産試験場 三代和樹

熊本県水産研究センター 資源研究部 荒木希世

鹿児島県水産技術開発センター 佐々木謙介

鹿児島県大隅地域振興局 農林水産部林務水産課水産係 和田 実

宮城県漁業協同組合 宮戸西部支所 尾形一男・鈴木せつ子

広島県芸南漁業協同組合 福本 悟・保手濱 昭二

広島県大崎内浦漁業協同組合 奥本英壯・中村富士雄

水圏リサーチ株式会社 梶田 淳

有限会社 フクダ海洋企画 福田民治

Leibniz Institute for Marine Sciences, IFM-GEOMAR, Germany, Catriona Clemmesen, Christoph Petereit, Philipp Schubert, Thorsten Reusch

Research Program Coordinator, Estuarine and Coastal Science Laboratory, Department of State

Lands, Oregon, USA, Steven Rumrill

Hatfield Marine Science Center, Oregon State University / NOAA Northwest Fisheries Research Center, USA, Richard D Brodeur, Thomas P Hurst

University of Maryland Center for Environmental Science, Edward Houde, David Secor, Elizabeth North

Department of Fishery Biology, Faculty of Fisheries, Kasetsart University, Jantana Pariboon

Borneo Marine Research Institute, University of Malaysia, Sabah, Malaysia, Masaru Tanaka

平成21～22年度累計予算額：12,531千円（うち、平成22年度予算額：6,030千円）

予算額は、間接経費を含む。

〔要旨〕藻場における魚類生産の定量評価と広域的解析を目的として、全国サイト（広域サイト）における魚類採集、集中調査サイト（瀬戸内海：コアサイト）における継続採集および飼育実験における成長至適水温の探索を実施した。全国調査の結果、魚種数と個体密度の空間変動については明瞭な傾向が認められなかったが、バイオマスは南で少なく北（北海道、東北）で多い傾向が認められた。また、単位面積あたり魚類バイオマスと種数の間には正の相関関係が認められた。魚類生産速度の広域比較を実施するためのモデル種としたシロメバルの個体密度およびバイオマスは、瀬戸内海と仙台湾において大きかった。シロメバル仔稚魚の成長様式は全国で3つのパターンに大別された。これらのうち、北日本、瀬戸内タイプに比べて南日本タイプが高成長を示した。水温、塩分、餌料生物密度、植生（アマモ株密度、葉長）などの環境条件のうち、シロメバル仔稚魚の成長速度に最も強く影響する要因は、水温であった。コアサイトにおける高頻度サンプリングにより、優占種シロメバルが2月に全長約20 mmで藻場へ来遊し、5月下旬に全長約60 mmに成長することが明らかとなった。耳石日周輪を用いて各個体・1日ごとに推定した成長速度をもとに、瀬戸内海中央部のアマモ場におけるメバル稚魚の生産速度は約140 g/ha/年と推定された。この値は、シロメバル1種のみでの生産により生み出されるアマモ場の供給サービスの経済価値が少なくとも70万円/ha/年であることを意味する。特筆すべき成果は、①これまで研究事例がきわめて乏しかった水圏生態系の供給サービス（魚類生産）を高頻度サンプリングにより定量評価しその

経済的価値を試算したこと、②全く同一の手法で全国サイトにおけるサンプリングを実施し、魚類群集の種多様性と生産構造について、過去にない広い空間スケールで定量評価したこと、③フィールド調査と飼育実験を組み合わせ、地球温暖化による環境変動が魚類の分布、成長に与える直接・間接的影響を評価するための基礎的知見を提供したことである。

[キーワード] アマモ場、魚類生産、生態系サービス、広域比較、地球温暖化

1. はじめに

生態系に備わった機能のうち人類が享受できる価値の部分を示す「生態系サービス」は、各生態系の重要性を定量的に評価するために必須の尺度である。地球上の生態系ごとの経済価値を算出したCostanzaら¹⁾の研究によると、熱帯雨林（0.2万ドル/ha/年）をはじめとする陸域や淡水域（湖・川：0.8万ドル/ha/年）に比べて藻場・干潟の生態系サービスははるかに高く、全ての生態系のなかでトップクラス（1.9-2.3万ドル/ha/年）であると見積もられている（図1-1-1）。しかしながら、上記の推定値には生物生産の主要構成要素である魚類の生産は含まれていない。これは、1次生産（光合成）や、1次消費者（動物プランクトン）およびベントス（底生動物）類に比べて、高い移動能力が備わった魚類の生産過程を定量的に評価することが困難であることに起因する。

本研究の調査フィールドとなる藻場は魚類の「ゆりかご」（産卵・成育の場）として重要と認識されながら、その根拠となる科学的・定量データが存在しない現状は、早急に改善されなければならない。近年申請者らが開発した魚類の成育場における生産（メバル、スズキ）の定量評価手法による予備的な試算結果を、先述のCostanzaら¹⁾の推定値に加えると、藻場の生態系サービス（資源供給サービス）の経済価値は大幅に上昇することが想定される（図1-1-1）。開発済みの定量評価手法を本研究に導入して、広域フィールド調査およびコアサイトにおける集中調査を実施することにより、推定値の普遍性・変動性を確認し、世界における浅海域生態系の生態系サービス研究分野をリードする成果が得られるものと強く期待される。

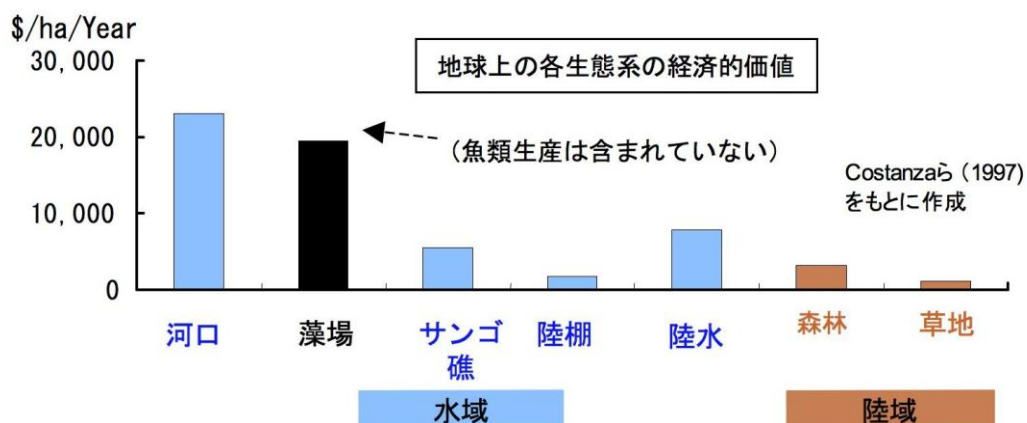


図1-1-1

地球上のさまざまな生態系が生み出す生態系サービスの経済価値の比較。藻場生態系の生態系サービスは、河口域のそれと並んで、地球上の生態系の中でトップクラスの経済価値を生み出すと推定されているが、魚類生産はこの値に含まれていない。

本研究では、藻場の資源供給サービスの推定と、その経済価値の試算の具体例を示すために、コアサイトとして位置づけた瀬戸内海のアマモ場において高頻度サンプリングを実施する。過去の研究においては、藻場における魚類に関する情報の多くは、種組成、個体密度、バイオマスの記述にとどまり、それらの時空間変動の調査・追跡や生産速度の推定はほとんどなされてこなかった。例えば、これまで多用されてきたスキューバ潜水による観察では、小型個体の見落としが生じるとともに、濁度が高い内湾域の藻場では推定誤差が大きくなる。研究代表者等は、藻場の調査研究において魚類を「見る手法」から「獲る手法」へと発想を転換し、現存する魚類の体長、個体密度、バイオマスを全て記録するとともに、その時空間変動を追跡する方法で魚類生産の定量評価に取り組んでいる。さらに、魚類の成長速度を個体・日レベルで評価することが可能なツール（耳石日周リング解析）を応用することにより、高い精度で魚類生産速度を推定する手法を確立した（図1-1-2）。本研究ではこれらの手法を応用し、高頻度での定量サンプリングを通じて、温帯域アマモ場の優占種でありかつ水産業上重要な資源生物であるシロメバルを題材として、藻場における魚類生産速度（重量/ha/年）を推定し、その経済価値（円/ha/年）の試算を行う。さらに、シロメバルが我が国温帯域のアマモ場に広域分布することを利用して、生産速度の南北比較と、変動を左右する要因の探索を実施する。本研究により、藻場の生態系サービスのうち、これまでブラックボックスであった魚類生産（供給サービス）の定量評価を比較的高い精度で実施することが可能となる。全ての生態系サービス（基盤サービス、調整サービス、供給サービス、および文化サービス）を包括的に定量評価したうえで、浅海域の生態系サービスの総合評価を達成するための手法を提供することにも本研究は貢献しうる。



図1-1-2

藻場の生態系サービスの主要構成要素であるにもかかわらずブラックボックスであった魚類生産（供給サービス）の定量推定手法を準備段階で確立し、本研究に応用する（上段）。

供給サービスの定量評価および経済価値試算を通じて、生態系サービス（基盤、調整、供給および文化サービス）の総合評価の達成に貢献することも、本研究の最終的なゴールの一つである。

アマモ場を構成するアマモ（*Zostera marina*）は海産の種子植物で、波あたりが穏やかな砂泥質の沿岸水域に密生する（図1-1-3）。アマモ場は炭素の固定・循環、栄養塩循環などの役割を担うだけでなく、高い一次・二次生産力を有し、魚類をはじめとする高次捕食者の現存量や種多様性が高い生態系でもある。隣接する砂泥域などの植生のない生態系・生息圏に比べて、魚類の種

数と個体数がアマモ場において多いということが世界各地で実証されてきた¹⁾。さらには、魚類のなかでもとりわけ幼期の個体にとって重要な生活の場と位置づけられており、これらの種のなかには水産業上重要なものを多く含むため、水産資源育成の場としても古くから注目されてきた³⁻⁵⁾。すなわち、アマモ場は調整サービス、供給サービス、文化サービスおよび基盤サービスなどの多面的な生態系サービスの提供を通じて人類の生活に多大な貢献をしている（図1-1-3）。しかしながら、過去に行われてきた研究の大部分は、藻場に出現する魚類の種リストや食性情報などの定性的知見にとどまっており、個体密度やバイオマス、さらにはそれらの時空間変動および生産速度（魚類生産：供給サービス）などを定量的に評価した知見はほとんど無いのが現状である。本研究では、これらのなかで、魚類資源を生産する場としてのアマモ場の生態系サービス（供給サービス）を主な対象とする。全国規模の広い空間スケールでの魚類群集構造の時空間変動解析、魚類生産を高めうる藻場の環境条件の特性の探索、アマモ場の優占種であるシロメバルの生産により生み出される経済価値の試算などを目的として野外調査と飼育実験を実施した。



図1-1-3

さまざまな生態系サービスを生み出すアマモ場(左)およびアマモの写真(中央)。アマモ場が生み出す生態系サービスのうち、供給サービスに含まれる魚類生産に関する定量的知見が非常に少ない現状にある。

我が国においては、高度経済成長期以降に急速に進んだ沿岸海域の埋め立て、開発の影響もあって、1978年～1991年の13年間で2077haのアマモ場が失われた。風波が静かで内湾に形成されるアマモ場は、沿岸海域の中でも埋め立て、開発の主要な対象とされてきた経緯がある。瀬戸内海では、アマモ場を生活史の一部の時期に利用する魚類の資源量が過去に比べて減少したことが明らかになっており、アマモ場面積の減少が、水産資源の生産（供給サービス）を低下させた一因となっていることが推察される。さらには、先述の調整サービス（水質浄化、窒素固定など）の低下にともなって生じる損失（人間活動への負の影響）も大きいことが予想される。このように、多様な生態系サービスを生み出すアマモ場の保全が、生態系や、ひいては人類にとって重要であるとの認識が高まり、その保全や回復が叫ばれる一方で、資源生物の生産構造に関する定量的知見は、世界的に見てもいまだに非常に少ない状況にある。

日本は南北に広い国土を持ち、亜熱帯から亜寒帯までの多様な気候区分を含んでいる。さらに、周辺海域を流れる海域には物理・生物的性状が異なる暖流（黒潮、対馬海流）と寒流（親潮）が卓越するため、同じ緯度に位置していても沿岸（水中）生態系の生物群集が陸上生態系の区分とは大きく異なる場合も存在しうる（図1-1-4）。水中生態系における様々な物理、生物環境条件の

うち、藻場の魚類群集や生産構造に影響を及ぼす要因を明らかにするためには、様々な環境条件（緯度）や海流条件のもとで広域的な調査を実施することが不可欠であるが、我が国沿岸域フィールドにはそのような条件が整っているといえる。

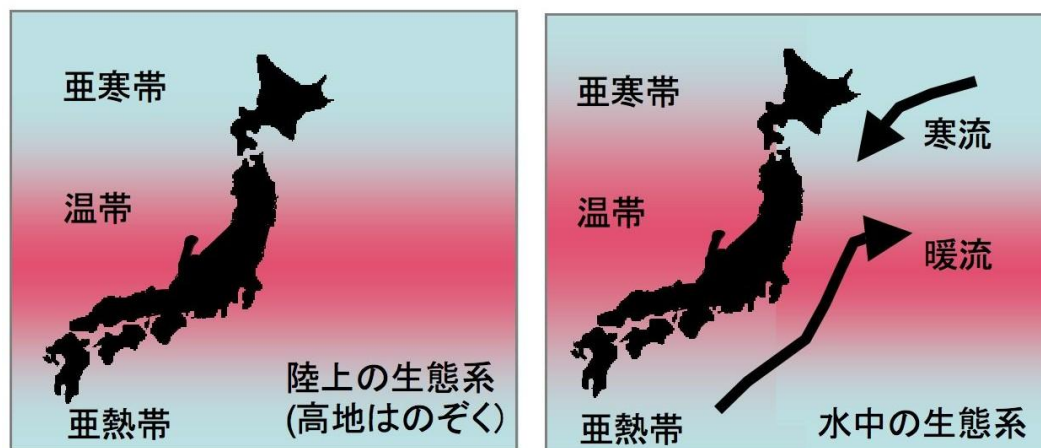


図1-1-4

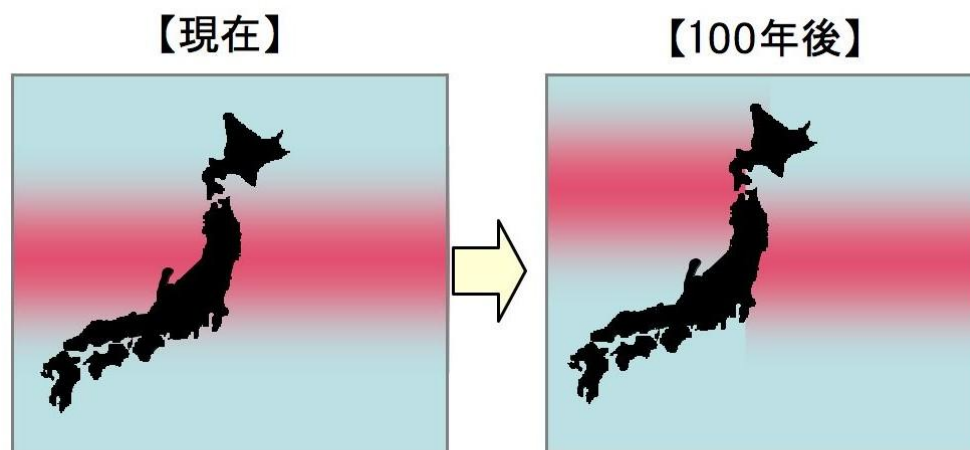
陸上と水中での気候区分が異なることを示す模式図。水中では、海流の影響により、同緯度であっても陸上とは異なった気候区分が存在し、とくに東北地方太平洋側付近における魚類群集構造の空間変動にも影響しているものと想定される。

本研究は、地球温暖化の影響を評価・予測するために必要な環境・生物データの収集も実施する。我が国周辺海域において、現在から100年後における海水温がおよそ2-3℃上昇する可能性が、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）により提唱されている。一般に魚類には成長や繁殖に適した水温（至適水温）が存在するため、地球温暖化にともなう海水温上昇の影響により、魚種によっては分布域が北上することや、産卵期が変化するシミュレーションの結果も示されている⁶⁾。我が国温帯域の浅海域に形成されるアマモ場においては、現在のところ温帯性の魚類が優占するケースが多いことから、地球温暖化の進行ともなって沿岸海域の水温も上昇した場合には、これら主要な優占魚種の分布域の北上や魚類群集構造の変化が想定される（図1-1-5）。本研究では、「（1）全国サイトにおける調査」と「（3）飼育条件下におけるシロメバル仔稚魚の環境変動に対する応答の精査」の実施により、地球温暖化が沿岸生態系の魚類群集、生産構造に与える影響の予測を実施する。

一般に魚類は、比較的短いタイムスパン（昼夜、季節、年）で異なる生態系間を移動し、複数の各生態系から栄養を獲得しているケースが多い。したがって、各生態系（藻場、干潟、岩礁など）における魚類生産構造を定量的に把握するためには、対象種とそれを取りまく生物群集で構成される栄養フローの解析と、捕食者へと流れる栄養の起源の解明が不可欠である。そのためには、餌となる生物や物質が生産されるメカニズムを明らかにし、捕食-被捕食関係を通じて魚種の生産に寄与する各生態系の貢献度を算出することや、ある生態系への依存度が特定の時期にきわめて高くなる魚種をターゲットにして生産過程の定量把握を実施することなどが、上記の課題を克服する鍵となりうる。そこで本研究では、生活史初期に藻場へ強く依存するという生態的側面を備え、主要餌料生物が浮遊動物プランクトンにほぼ限定される（本文の結果を参照）メバル属魚

類の仔稚魚（Fig. 1-1-2）を魚類生産速度推定のモデル種として位置づける。

以上のような課題の実施を通じて、今後の国家的課題とされる環境政策、特に沿岸生態系および生物資源の保全や持続的利用を効果的に推進するために不可欠な施策に対して基礎的・定量的知見を得ることも可能となる。



高生産ゾーンが極側へシフト

図1-1-5

地球温暖化にともなう海水温の上昇により生じる可能性のある、我が国周辺海域の魚類生産構造への影響を模式的に示した図。IPCCによって、約100年後に我が国周辺の海水温が2-3℃上昇する可能性が指摘されている。

2. 研究目的

本課題では、藻場における魚類生産の定量評価とその変動に影響を及ぼす環境要因の探索を広域的に実施すること、ならびに地球温暖化にともなう変動予測を実施することを目的として、以下の4点を当初の研究課題として掲げた。

①藻場における魚類生産速度の定量評価

単位面積あたりの魚類生産力とそれによってうみだされる経済的価値の算出
（コアサイト：瀬戸内海）

②藻場の「日本一」を探索する

魚類生産速度の変動を左右する環境条件（物理および生物的要因）を探索する。

③藻場の「南北差」を把握する

全国および世界に設けたサイトにおける調査を通じて、魚類生産の南北変異の把握とその環境要因（水温、日長など）を探索する。

④藻場の「将来像」を予測する

地球温暖化に伴う水温上昇・海面上昇などの環境変動が藻場の魚類生産機構とそこから生みだされる経済的価値に与える影響をシミュレーションする。

上記の課題を推進するために、2009および2010年度に（１）全国サイトにおけるフィールド調査、（２）コアサイトにおける集中的フィールド調査および（３）我が国の温帯域藻場における優占魚種であるシロメバルを研究材料として、環境変動に対する生物学的パラメータ（成長、日間接餌量および成長効率）の応答の精査を実施した。本課題は、2つの小課題（１：魚類生産による経済的価値の算出および広域的解析；２「至適生産環境」の特定および地球温暖化に伴う経済的価値の変動シミュレーションにより構成される。小課題１）では、全国サイトにおける広域調査とコアサイトにおける集中調査に基づいて、さまざまな環境条件のもとにおける魚類群集構造の時空間変動を解析するとともに、温帯域藻場における優占種であるシロメバルにスポットを当てて、その出現動態、食性、成長などの生物学パラメータの調査、さらには年間生産速度およびその経済的価値の試算を実施した。これらの結果をもとに、地球温暖化の影響が魚類生産構造および生態系サービス（供給サービス）に与える影響を予測することが最終目的の一つである。小課題（１）では、この影響評価のうち、主として環境変動による直接的影響の評価を対象とする。水温などの物理的環境要因の変動が魚類の生物学的パラメータに与える影響がこれにあたる。いっぽう、小課題（２）では、地球温暖化の影響が物理および生物学的環境要因の変動を通じて、魚類生産に与える間接的影響の評価を目的にしている。例えば、水温や照度等の物理学的環境条件の変動が、魚類の生息場であるアマモ場の立体構造（株密度や葉長）の変動を通じて、魚類の個体密度、成長、被食死亡などに与える影響の解析、予測がこれに相当する（図2-1-1）。

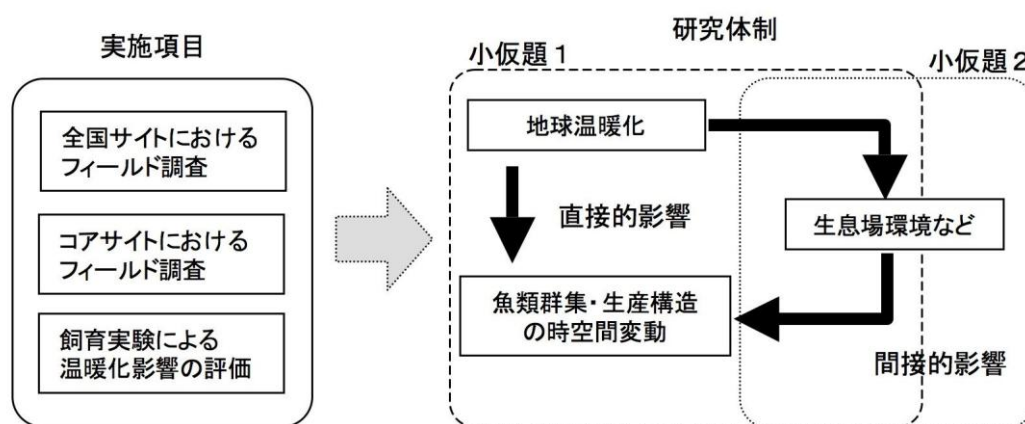


図2-1-1

本研究の実施項目および研究実施体制。小仮題１では地球温暖化による直接的影響および間接的影響の評価を部分的に、小仮題２では間接的影響の評価を中心に実施する。

3. 研究方法

(1) 全国サイトにおける魚類群集・生産構造の広域解析

1) 魚類群集構造の広域比較

アマモは我が国において鹿児島県から北海道まで広域的に分布し、海草藻場を構成する植物の優占種となっている。本調査では、2009～2010年度の調査サイトとして、北海道から沖縄県までに合計20点を設けた(図3-1-1)。沖縄においては海草藻場の主要構成種がウミシヨウブなど他のアマモ類であったが、広義のアマモ場(アマモ類により構成される海草藻場)として本研究では調査サイトに加えた。一部のサイトにおいては、アマモ以外にコアマモやタチアマモが混生している場合もあったが、サンプリングを実施したエリアはアマモのみで構成される海草藻場であった。各サイトの名称は以下のとおりである(図3-1-1)。北海道(厚岸)、岩手(葉の木、赤浜、吉里吉里、大槌湾)、宮城(石巻、奥松島)、千葉(富津)、京都(宮津)、和歌山(串本)、岡山(日生)、広島(竹原、大崎上島)、山口(周防大島)、香川(小豆島)、熊本(天草)、鹿児島(鹿屋、垂水、指宿)、沖縄(石垣)。各サイトの緯度および経度を表3-1-1に、現地の写真を図3-1-2に示す。

図3-1-1
魚類採集と環境データの収集を実施した全国の調査サイト。サイト番号および地名は以下の通り。1:厚岸、2:葉の木、3:赤浜、4:吉里吉里、5:大槌湾、6:石巻、7:奥松島、8:富津、9:宮津、10:串本、11:日生、12:竹原、13:大崎上島、14:周防大島、15:小豆島、16:天草、17:鹿屋、18:垂水、19:指宿、20:石垣。番号12、13(▲)は瀬戸内海のコアサイトを示す。

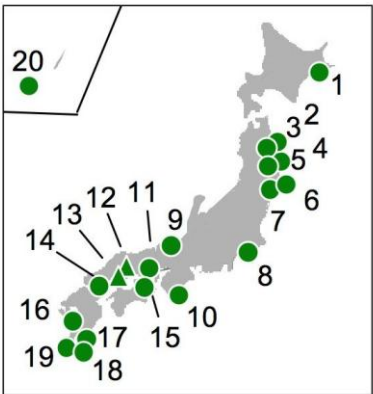


表3-1-1 全国の調査サイトの緯度、経度

サイト番号	都道府県	サイト名	緯度(N)	経度(E)	サイト番号	都道府県	サイト名	緯度(N)	経度(E)
1	北海道	厚岸	43.000	144.930	11	岡山	日生	34.300	134.300
2	岩手	葉の木	39.600	141.970	12	広島	竹原	34.319	132.941
3	岩手	赤前	39.530	141.950	13	広島	大崎上島	34.300	132.930
4	岩手	吉里吉里	39.370	141.940	14	山口	周防大島	33.942	132.405
5	岩手	大槌湾	39.190	141.940	15	香川	小豆島	34.470	134.187
6	宮城	万石浦	38.420	141.380	16	熊本	天草	32.577	130.414
7	宮城	奥松島	38.333	141.146	17	鹿児島	鹿屋	31.220	130.700
8	千葉	富津	35.320	139.800	18	鹿児島	垂水	31.461	130.701
9	京都	宮津	35.330	135.200	19	鹿児島	指宿	31.300	130.590
10	和歌山	串本	33.280	135.790	20	沖縄	石垣	24.487	124.229



図3-1-2
全国の調査サイト．定点番号は図3-1-1および表3-1-1の番号に対応する．

各サイトにおいて物理および生物環境項目の測定を実施した。対象とした項目は、水温、塩分アマモの繁茂状況（葉長・株密度）、動物プランクトンの個体密度・種組成、葉上動物の個体密度・バイオマス・種組成、魚類の個体密度・バイオマス・種組成である。全国サイトにおける魚類群集構造の広域比較のための調査は、2009年および2010年度に実施したが、主としてより多くのサイトでの調査を同一年内に実施した2010年度のデータを魚類群集構造の解析および広域比較に用いた。2010年度における各サイトでの調査の実施時期は異なったが、両年度ともアマモ類の繁茂期である4-8月の間で水温が15-25℃となる時期を選定し、水温による魚類群集構造への影響を軽減するようつとめた。

調査時にはデジタル水温計もしくは棒状温度計を用いて表層水の水温を測定した。塩分については各サイトにおいて表層水をバケツ等により約1000ml採取し、実験室に持ち帰ったのち多項目水質計（有線直読式水温・塩分・深度計、ACTD-DF、アレック電子製）を用いて測定した。アマモの繁茂状況については一辺50 cmの正方形の区画（図3-1-3）を原則として4ヶ所設け、株密度と葉長を測定した。

動物プランクトンの採集を口径30 cm、目合い0.1 mmのプランクトンネット（図3-1-4）により行った。アマモ場とその周辺において1回につき5～10 mの距離を約1 m/秒の速度で人力により曳網し、採集物を10%海水ホルマリンで固定して持ち帰った。実験室において、動物プランクトンを可能な限り細かい分類群まで同定したのち、分類群ごとに個体数の計数を行った。プランクトンネットの網口に取り付けた濾水計の回転数をもとに濾水量を算出し、採集された動物プランクトンを1m³あたりの個体数に換算した。

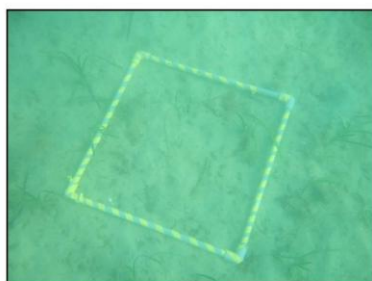


図3-1-3

アマモの繁茂状況を調べるために用いた1辺50cmのコドラート。



図3-1-4

餌料生物の採集に用いたプランクトンネット。

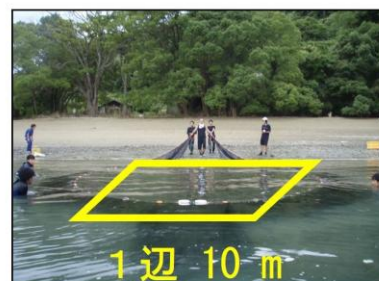


図3-1-5

魚類サンプリングの実施風景。1辺10mのエリアを囲んだ。

葉上動物の採集を、網口30×40 cmの長方形、目合い0.1 mmの葉上動物採集ネットを用いて行った。アマモ群落のなかを約1 m/秒の速さで人力により原則として10 m曳網し、採集物を10%海水ホルマリンで固定して持ち帰った。実験室において、葉上動物を可能な限り細かい分類群まで同定したのち、分類群ごとに個体数の計数と湿重量の計測を行った。現場における曳網距離と網口面積をもとに濾水量を算出し、採集された葉上動物の1 m³あたりの個体数およびバイオマスに換算した。

魚類の採集には、目合い4 mmの巻き網を用いて各サイトにおいて100 m²のエリア（1辺10 mの正

方形)内に分布する魚類をすべて捕獲する方法での採集を4ヶ所で実施した(図3-1-5)。魚類に対する調査者の影響を最小限に抑えるため、網を設置する際には調査船を用いずに人力で行った。容積約0.5 m³のプラスチック製容器に巻き網を収容し、調査者1-2名が上記エリアのアマモ場を網で囲むよう、フィンを用いて泳ぎながら設置した。網の設置が終了したのち、陸上から人力により網を曳いた。採集物を陸上にて選別し、魚類を10%海水ホルマリンで固定して持ち帰った。実験室において魚類幼期個体および成魚の外部形態^{7, 8)}にもとづいて、可能な限り細かい分類群まで魚類を同定した。各個体の全長(Total Length: TL、mm)を電子ノギスにより0.1 mm単位まで計測した。分類群ごとに個体数の計数と湿重量の測定を行い、曳網面積をもとに100 m²あたりの魚類個体密度、バイオマスを算出した。

各サイトにおける魚類群集に関する情報をもとに、クラスター解析による調査サイト区分を試みた。環境要因の影響をなるべく均一にするため、アマモの繁茂状況が十分でなかった鹿児島県の2サイトは解析から除いた。各サイトにおける魚類の出現/不在データをもとに類似度Bray-Curtis指数を求め、Ward法により調査地点のグループ分けを行った。

2) 優占種シロメバル仔稚魚の成長速度の広域比較

a. 対象種としたシロメバルについて

我が国の温帯域アマモ場には多種の魚類が生息する。近年の瀬戸内海中央部のアマモ場における魚類群集の周年サンプリングでは、1年間で約70種の魚類の出現が確認されている⁵⁾(毛利ら、未発表)。本節では、温帯域アマモ場における優占種であり、水産資源としても重要なメバル類のうち、コアサイトおよび周辺海域のアマモ場における優占種であるシロメバル*Sebastes cheni*を対象として、成長速度の広域比較を実施した。なお、シロメバルはフサカサゴ科に属する沿岸性魚類で、もともと1種(メバル)であったものが近年Kai and Nakabo⁹⁾により新たに3種(アカメバル*S. inermis*、クロメバル*S. ventricosus*、シロメバル*S. cheni*)に区分されたうちの1種である(図3-2-1)。瀬戸内海をはじめとする我が国の沿岸域において水産業上重要な種であり、様々な漁業で漁獲されていると同時に、遊漁の対象としても重要な魚種であるため、その生産が比較的高い経済価値を生み出す魚種といえる(図3-2-2)。

図3-2-1

左：2005年に1種から3種へと区分されたメバル。上段からアカメバル、クロメバル、シロメバル。
右：アマモ場を群泳するシロメバル幼魚





図3-2-2

メバル類は各地で重要な漁獲対象種となっている一方で、レジャー(釣り)の対象種としても人気が高いため、メバル類の生産は供給、文化サービスなどに結びつき、高い経済的価値を生み出す。左：宮城県塩釜魚市場における水揚げ物、中央：瀬戸内海で漁獲された個体、右：瀬戸内海で釣り上げられたシロメバル。

シロメバルは岩手県中部から九州南部および朝鮮半島南部まで広域的に分布する⁸⁾。瀬戸内海中央部の藻場では早春から夏期にかけて優占種となり、食物連鎖を通じた栄養フローや魚類生産の中心的存在であることが近年実施された周年調査により報告されている¹⁰⁾。12月から1月にかけて全長5-6 mmで産出された仔魚は、浮遊生活期を経て全長約20 mmでアマモ場やガラモ場へ移入し一定期間を過ごした後、他の生息場へと移動することが明らかとなっている⁵⁾。藻場へ移入した後の全長20-70 mmの時期のシロメバルの主な餌料生物はカイアシ類などの浮遊性動物プランクトンであり、全長70 mm以上ではヨコエビ、ワレカラ、アミ類などといった、より大型の付着・底生性甲殻類が主食となることが報告されている⁵⁾。メバル類の稚魚期における成長については、シロメバルが種として認識される以前にメバル(メバル属3種複合群)を対象にした研究結果はあるものの¹¹⁾、シロメバルの成長に関する研究事例はない。本節では、日本沿岸に広域分布し、藻場の魚類生産の主要な構成要素であるシロメバルを題材として、成長の広域比較と、成長に影響する環境要因の探索を行う。さらに、本節で得られたフィールドにおける分布密度データと成長データを、次節においてシロメバル稚魚の生産速度が高い藻場が立地する地域とその環境要因の探索を実施するための基礎資料とする。

b. フィールド調査

前節(1)魚類群集構造の広域比較)における魚類群集の調査を実施した全国サイトのうち、シロメバルの分布が確認された8サイトにおいて2010年にサンプリングと物理・生物環境条件の調査を実施した。対象となった調査サイトは、宮城(石巻、奥松島)、千葉(富津)、京都(宮津)、広島(竹原、大崎上島)、山口(周防大島)、熊本(天草)である(図3-2-3)。各サイトにおける調査実施日、採集されたシロメバルの個体数、全長範囲および耳石日周輪により推定された産仔日の範囲を表3-2-1に示す。

シロメバル仔稚魚の成長の広域比較を実施するに際して、サイト間での季節変動の影響を可能な限り排除するために、調査期間は各サイトにおけるアマモ繁茂期に設定し、さらにこの期間のうち2010年5-6月に採集された個体のみを成長解析の対象とした。各地点において巻き網(目合

い5 mm) を用いて10 m四方のエリア (面積100 m²) を囲み、その内部に分布する魚類を全て捕獲する方法の採集を各サイトで原則として4回実施した。さらに、手網、小型曳き網など多様な方法により、これら8つのサイトにおいてシロメバルを可能な限り多く集めることを目的として採集を追加実施した (図3-2-3)。採集されたメバル属稚魚を95%エタノール中に保存して持ち帰った。各地点において、表層水の水温・塩分測定を行った。

図3-2-3

2010年にシロメバル仔稚魚を採集することができた8ヶ所のサイト；宮城 (石巻、奥松島)、千葉 (富津)、京都 (宮津)、広島 (竹原、大崎上島)、山口 (周防大島)、熊本 (天草)。

右側の写真は、シロメバルの解析サンプル数を増やすために実施した巻き網以外の採集具を用いたサンプリング。上段が手網、下段が小型曳き網による採集風景。



表3-2-1.

各サイトにおける調査実施日、採集されたシロメバルの個体数、全長範囲および耳石日周輪により推定された日令の範囲

都道府県	採集地点	採集日	N	全長(mm)	日齢
宮城県	石巻	6/1	126	30.6—44.2	109—149
	奥松島	6/3	32	34.8—49.6	114—154
京都府	宮津	6/21	24	43.9—73.5	84—160
千葉県	富津	6/15	22	56.9—81.0	116—177
広島県	竹原	5/11	39	36.2—48.8	99—131
	大崎上島	5/11	25	30.3—57.0	77—130
山口県	周防大島	5/24	75	44.2—61.2	117—153
熊本県	天草	5/26	25	49.2—64.7	124—155

宮城県の2サイトでは7月にもサンプリングを実施しシロメバル稚魚を採集したが、全サンプリングサイトでの採集日を5、6月に統一するため、ここでは解析から除外した。採集された魚類のなかから、現場においてメバル属魚類を選別し90%エタノール中に保存して持ち帰った。実験室においてKai and Nakabo⁹⁾に従って種同定を行い、シロメバル仔稚魚の全長 (TL、mm) を電子ノギスで0.1 mm単位まで測定した。個体数の計数とあわせて、電子天秤を用いて体重の測定を行い、シロメバルの採集尾数と曳網面積にもとづいて、100 m²あたりの分布密度を算出した。

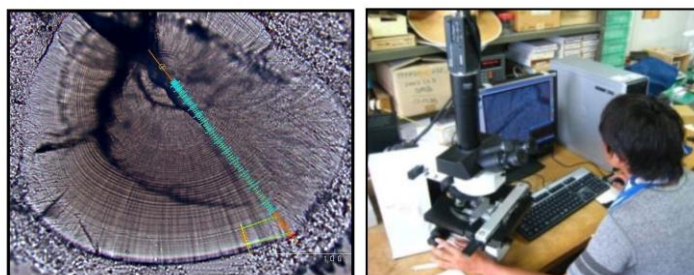
c. 成長解析

各サイトにおいて採集されたシロメバル稚魚から30個体を上限としてランダムにサンプルを抽出し、成長解析の試料として用いた。さらに、耳石最大半径 (Maximum Otolith Radius: R_m , mm) と採集時の全長 (Total Length at Catch: L_c , mm) の関係式を構築するために、本調査で得られた最小全長よりも小さい個体 (全長範囲 6.0-11.9 mm TL、N=23) を解析に追加した。これらの小型個体は、2009年12月～2月にコアサイト (竹原、広島) 付近で丸形稚魚ネット (口径0.6 m、目合い0.5 mm) を用いて採集された。丸形稚魚ネットを海底付近から水面まで、約0.5 m/秒の速度で巻き上げながら、船側約2 knotで曳網した。採集物を船上において90%エタノールで保存して持ち帰った。実験室において実態顕微鏡下で仔稚魚を選別し、浮遊生活期における外部形態⁷⁾に従ってメバル属仔稚魚を同定した。浮遊生活期のメバル属仔稚魚3種を外部形態から識別する方法は未確立であるが、生後間もない仔魚期における耳石最大長径-全長関係の種間差は無視できる程度と考えられることから、ここでは3種をまとめて扱った。

図3-2-4.

左: シロメバル仔稚魚の成長解析に用いた耳石 (礫石) の日周リング。1日に一本の輪紋が形成されることから、産仔日から採集日までの成長速度を日単位、個体レベルで逆算推定することが可能である。

右: パソコンに直結されている画像解析システム。耳石解析専用ソフトウェアにより成長解析を行う。



実態顕微鏡下で頭部から耳石 (礫石: れきせき、図3-2-4) を摘出し、スライドガラス上にエポキシ系樹脂で包埋した。中心部付近の輪紋の観察が可能となるよう、ラッピングフィルム (#2000～10000) を用いて研磨した。耳石日周輪計測システム (ラトック・システムエンジニアリング社、図3-2-4) を用いて光学顕微鏡下で日周輪¹¹⁾の計数と輪紋間隔の計測を耳石の長軸方向において行った。 L_c と R_m の関係は以下の直線式で表された。

$$L_c = 7.139 R_m + 3.338 \quad (n=103, \quad r^2=0.968, \quad P<0.0001: \text{図3-2-5})$$

シロメバルの産仔日から採集日までの成長履歴を逆算推定するために、Biological Intercept 法¹²⁾を応用した。以下の関係式にもとづいて*i*日齢での全長 (L_i , mm) を個体ごとに逆算推定した。

$$L_i = L_c + (R_i - R_c) (L_c - L_0) (R_c - R_0)^{-1}$$

ここで、 L_c は採集時の全長 (Total Length at Catch, mm)、 R_i は産仔から*i*日目の耳石最大半径

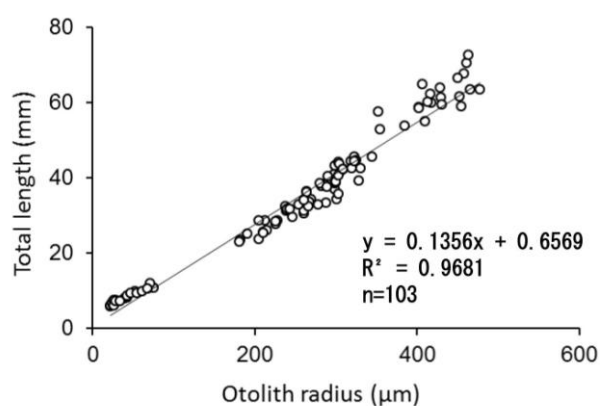
(mm)、 R_c は採集時の耳石最大半径 (Maximum Otolith Radius at Capture、mm)、 L_c は採集時の全長、 L_0 は産仔時の全長 (6.2 mm: Plaza et al. 2001)、 R_0 は産仔時の耳石最大半径 (各個体において測定) である。産仔後*i*日目における日間成長速度 G_d (Daily absolute growth rate: mm/d) を次式により算出した。

$$G_d = \frac{L_{i+1} - L_i}{\Delta t}$$

成長速度に対するサイト内での産仔日の影響を可能なかぎり排除するために、解析に必要な個体数を十分に確保でき、さらに解析個体の大部分を占めた12月下旬から2月上旬産まれの個体を成長解析に用いた。

図3-2-5.

シロメバル仔稚魚の(耳石: 礫石)最大半径 (Otolith radius、 μm) と全長 (Total length、mm) の関係。全長範囲6.0–72.8 mmの計103個体について解析を行った結果、両者の関係を直線式で表した場合の相関係数が最も高かった。この関係式をもとに、過去の成長軌跡の逆算推定を行った。

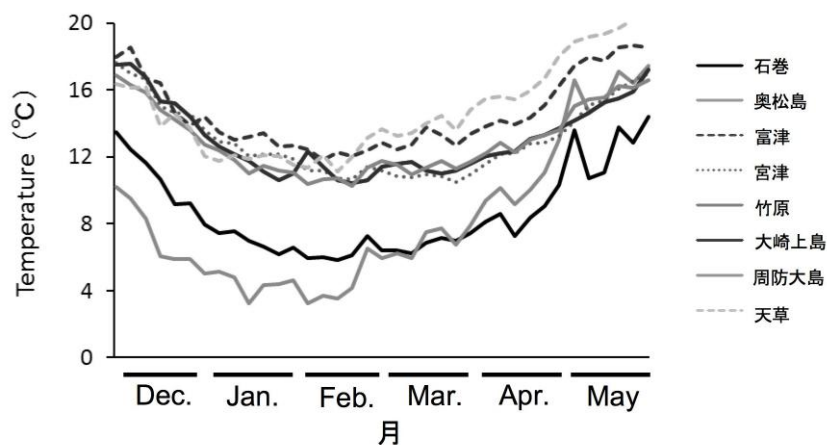


d. 成長に影響をおよぼす環境要因の探索

シロメバルの浮遊期間 (産仔日から全長20 mmに達するまでの期間) における平均日間成長 (G_{20} 、mm/d) および採集日の直近5日間の平均日間成長 (G_5 、mm/d) を算出した。さまざまな魚種の初期成長に最も強く影響する環境要因の一つである水温¹³⁾の影響を解析した。各サイトに隣接する海域に設けられた観測ブイなどから得られた日別水温 (図3-2-6) をもとに、シロメバルが浮遊生活期に経験した平均水温 (T_{20}) および採集時の水温と、 G_5 の関係を調べた。

図3-2-6.

シロメバル仔稚魚を採集した各調査サイトの最寄りの観測ブイより得られた水温の季節変化。各地のデータは水産試験場などの資料をもとに作成した。



3) 優占種シロメバル仔稚魚の分布密度、餌料環境、生産速度の広域比較

前節2)「魚類群集構造の広域比較」におけるシロメバルの成長解析を実施したサイトにおいて、巻き網を用いた同様の方法でシロメバル採集を実施した。採集された魚類のなかから、現場においてメバル属魚類を選別し90%エタノール中に10%海水ホルマリンで固定して持ち帰った。実験室においてKai and Nakabo⁹⁾に従って種同定を行い、シロメバル仔稚魚の全長を電子ノギスで0.1 mm単位まで測定した。個体数の計数とあわせて電子天秤を用いて体重の測定を行い、藻場面積100 m²あたりのシロメバル分布密度およびバイオマスを算出した。

餌料生物環境を調べるために網口に濾水計を取り付けたプランクトンネット（口径30 cm、目合い0.1 mm）による餌料生物採集を行った。プランクトンネットはアマモ場内の水深約1 mのエリアで毎秒約0.5 mの速さで約5 m曳網した。採集物を5%海水ホルマリンで固定した。実験室において、各サイトから15個体（計8サイトから120個体）を上限としてシロメバル仔稚魚の胃内容物観察を実施した。実態顕微鏡下でシロメバルの魚体から胃を摘出し、その中に含まれる餌料生物の種同定、計数、体各部の長さを測定した。藻場来遊期のシロメバル仔稚魚の主要餌料生物であるカイアシ類については、可能な限り細かい分類群まで同定したのち、接眼マイクロメータもしくは対物マイクロメーターを用いて体長を測定した。さまざまな分類群の動物プランクトンについて調べられている体長-体重関係式にもとづいて、シロメバル稚魚の個体ごとの胃内容物重量（湿重量）を算出した。さらに、調査サイトごとにシロメバル稚魚の摂餌個体率（%：摂餌していた個体の数/調査尾数×100）、シロメバル稚魚1尾あたり胃内餌生物個体数、体重あたり胃内餌生物重量を算出した。

（2）コアサイトにおける魚類群集・生産構造の精査

4) 魚類群集の季節変化

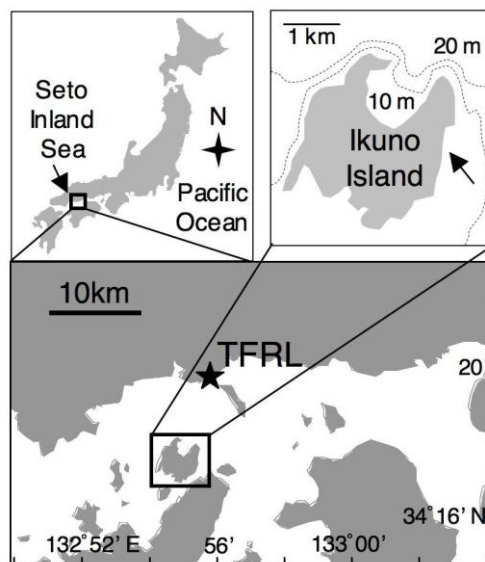
本研究では、瀬戸内海中央部をコアサイトとして魚類生産速度の推定を実施している。コアサイト周辺海域における魚類群集構造の季節変化を把握する目的で、全国サイトのうちの1ヶ所である大崎上島のアマモ場における魚類群集の周年サンプリングを実施した。瀬戸内海の年間漁業生産速度（養殖を除く）は約20トン/km²/年で、世界的に見ても最も高い水準にある¹⁴⁾。しかしながら、近年イカナゴや異体類等の底生魚類、貝類、カニ・エビ類の漁獲量は継続的に減少しており、その要因として浅海域の埋め立てや開発の影響が指摘されている¹⁵⁾。瀬戸内海で漁獲される魚類のなかには、藻場を生活史の一部の段階で利用する種が多く含まれているため、藻場の保全や、藻場に生息する魚類群集の把握、再生産メカニズムの研究は、資源供給サービス（水産資源）の持続的利用を達成するためにも不可欠な課題である。

月1回の魚類サンプリングを、生野島（広島県大崎上島町）の東岸に形成されるアマモ場（図3-4-1）において実施した。調査の開始時期は本研究の開始以前である2008年8月であるが、年間を通じたサンプリングの継続には費用と労力を要するため、2009年度に実施した調査との季節変

動の比較資料として、2008年度に得られた試料も解析対象とした。生野島の人口は約30人で、東岸には民家はほとんど無いため、調査地のアマモ場に対する人為的攪乱の影響は少ないと考えた。アマモ場の植生のなかでアマモ (*Zostera marina*) が優占種であり、波打ち際付近の浅い水深帯の一部にコアマモ (*Zostera japonica*) が繁茂する。アマモ場におけるアマモの平均株密度は年内でおよそ42-75本/㎡の範囲で変動する(結果を参照)。アマモ場の広がりには海岸線に沿って(南北方向に)約400m、沖に向かって(東西方向に)約150mである。アマモ場およびその縁辺域の底質は主として砂および泥で構成されている。

図3-4-1.

アマモ場における魚類群集の季節変化を調査した瀬戸内海中央部の生野島(広島県大崎上島町)。TFRLは広島大学竹原水産実験所を示す。



魚類の採集方法は、全国サイトにおけるものとほぼ同様とした。各月に1回、物理および生物環境項目の測定を実施した。対象とした項目は、水温、塩分アマモの繁茂状況(葉長、株密度)、動物プランクトンの個体密度・種組成、魚類の個体密度・バイオマス・種組成である。調査時には棒状温度計を用いて表層水の水温を測定した。塩分については、各調査日において表層水を約500ml採取し、実験室に持ち帰ったのち多項目水質計(有線直読式水温・塩分・深度計、ACTD-DF、アレック電子製)を用いて測定した。アマモの繁茂状況については一辺50 cmの正方形コドラートを用いて原則として4ヶ所以上で株密度と葉長を測定した。

動物プランクトンの採集を口径30 cm、目合い0.1 mmのプランクトンネットにより行った。アマモ場とその周辺において1回につき5~10 mの距離を約1 m/秒の速度で人力により曳網し、採集物を10%海水ホルマリンで固定して持ち帰った。実験室において、動物プランクトンを可能な限り細かい分類群まで同定したのち、分類群ごとに個体数の計数を行った。プランクトンネットの網口に取り付けた濾水計の回転数をもとに濾水量を算出し、採集された動物プランクトンを1m³あたりの個体数に換算した。

魚類の採集には、目合い4 mmの巻き網を用いて各サイトにおいて100 m²のエリア(1辺10 mの正方形)内に分布する魚類をすべて捕獲する方法での採集を4ヶ所で行った(詳しい方法は、前項(1)全国サイトにおける魚類群集・生産構造の広域解析で詳述)。採集物を現場にて選別し、魚類を10%海水ホルマリンで固定して持ち帰った。実験室において外部形態^{7, 8)}に従って可能な限り細かい分類群まで魚類を同定した。各個体の全長(Total Length: TL, mm)を電子ノギスによ

り0.1 mm単位まで計測した。分類群ごとに個体数の計数と湿重量の測定を行い、曳網面積をもとに100 m²あたりの魚類個体密度、バイオマスを算出した。

5) 優占種シロメバル仔稚魚の藻場への加入機構

瀬戸内海中央部のコアサイトではシロメバルが藻場の優占種であり、魚類生産の中心的役割を担っていることは先に述べた。シロメバルが全生活史を通じて藻場に生息するわけではなく、産仔されたのち全長約20 mmに達するまでの間は浅海域において他の多くの魚種と同様に浮遊生活を経ていると考えられている。一般に、ある生態系・生息圏における生物生産機構を解明するためには、その生態系・生息圏への幼生の加入機構を把握することが重要であると考えられている¹⁶⁾。藻場のシロメバルを例にとった場合、沖合における浮遊生活期を送っている仔魚の藻場への加入機構を明らかにすることは、藻場におけるシロメバルの生産過程の定量把握のために重要な情報を提供する。そこで、瀬戸内海に設けた本研究のコアサイトの一つである竹原（広島県竹原市沖の阿波島）のサイトに隣接する浅海域における浮遊仔魚の出現動態を調査することを目的とした。さらに、シロメバルとその近縁種であるカサゴの出現動態を比較することにより、浅海域成育場への加入機構を2種間で対比させた。

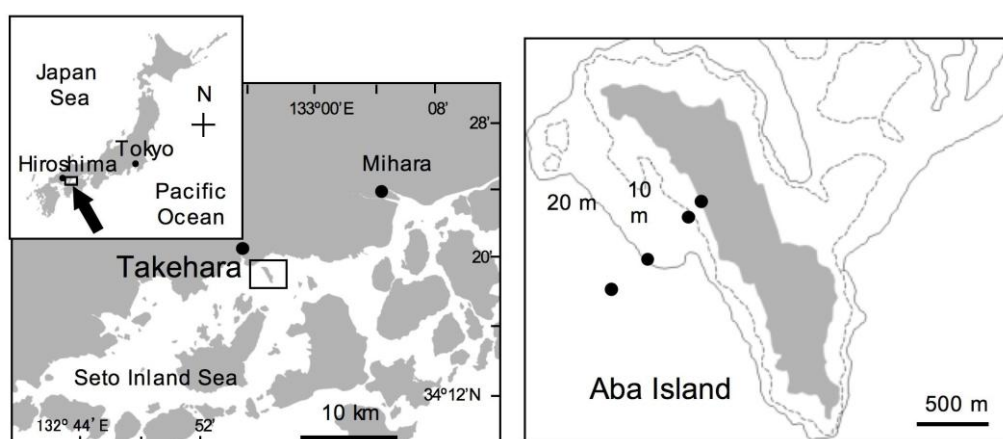


図3-5-1.

藻場へのメバル仔稚魚の加入機構を調査するために、浮遊仔魚の周年サンプリングを実施した阿波島西方海域（広島県竹原市沖）。写真は採集に用いた口径60cm、目合い0.5mmの丸形稚魚ネット。



本研究のコアサイトが位置する瀬戸内海中央部の阿波島西岸アマモ場の沖合いに調査ラインを設けた（図3-5-1）。阿波島西岸から沖合に向かって、水深約5、10、20、30 mの4定点を設置した。これら4定点において、2009年12月～2010年11月の間に物理環境項目の測定と魚類プランクトンの採集を毎月1回の頻度で実施した。魚類プランクトンの採集には網口に濾水計を取り付けた丸形稚

魚ネット（口径60 cm、目合い0.5 m：図3-5-1）を用いて、各地点において船速約2ノットで曳網しながら、ローラーによりネットを約50 cm/秒の速度で巻き上げる方法で、3分～5分間の傾斜曳きを1定点につき1回行った。船上において採集物からクラゲ類などのゼラチン質捕食者を取りのぞいた後、95%エタノールで保存して持ち帰った。実験室において魚類プランクトンを選別し、魚類幼期個体の外部形態⁷⁾に従って可能なかぎり細かい分類群まで同定した。種ごとに選別したのち、個体数の計数と全長の測定を実施した。接眼もしくは対物マイクロメーターを用いて、全長を0.1 mm単位まで測定した。ネットに取り付けた濾水計の測定値（25-95 m³、平均61.5 m³）にもとづいて、稚魚ネットにより採集された魚類プランクトンの分布密度を1000m³あたりの個体数に換算した。

魚類プランクトンの採集時には各定点において表層水をバケツにより採水し、水温を測定した。塩分測定のために表層海水を約1000 ml持ち帰り、実験室において多項目水質計（有線直読式水温・塩分・深度計、ACTD-DF、アレック電子製）を用いて測定した。

各月に採集された魚類プランクトンの種組成、個体数をもとに、Shannon-Wienwerの多様性指数（H'）を算出した。さらに、本調査海域に隣接する瀬戸内海中央部の燧灘（ひうちなだ）において過去に実施された同様の調査方法による魚類プランクトンの採集結果¹⁷⁾と本研究との間で、採集された魚種の比較を行った。燧灘は瀬戸内海中央部に位置し、島が少ない灘部であるのに対し、本研究の調査地である阿波島の西方海域（備後・芸予瀬戸～安芸灘）周辺は島が多く海岸線が複雑な地形を有している。ここでは、調査を実施した年代が異なるものの、灘部（燧灘）と島嶼部（備後・芸予瀬戸～安芸灘：本研究）における魚類プランクトンの種組成を比較するという観点からも考察を加えた。さらに、阿波島においては先行研究¹⁰⁾により、調査エリアに隣接する藻場における魚類群集の季節変化が明らかにされている。隣接する2つの異なる生息域における魚類群集や同一魚種内での体長組成の比較などを通じて、浮遊生活期から藻場生活期へと主要な生息場を移行する過程の魚類の生活史について、特にシロメバルとその近縁種であるカサゴについて比較した。

6) 優占種シロメバル仔稚魚の生産機構および経済的価値の算出

a. 野外調査

シロメバル稚魚は藻場生活期の初期に浮遊性動物プランクトンを専食する（本項の結果を参照）。さらに、シロメバル稚魚の主要餌料となる浮遊性動物プランクトンの餌料生物は植物プランクトンである。したがって、シロメバル稚魚の生産によって生み出される生態系サービスには、水産資源としてのシロメバル稚魚そのものの生産（供給サービス）と有機物除去・水質浄化など（調整サービス）の2つの領域が含まれるものとして想定した。シロメバル生産により生み出される調整サービスとその経済価値を定量評価するためには、シロメバル稚魚の摂食量、成長速度、餌起源の貢献度などを定量評価する必要がある。そこで、まずその第一段階として、野外で採集されるシロメバル稚魚の胃内容物調査と筋肉の安定同位体比分析により、主要な餌料生物の特定と、餌起源の貢献度評価を実施する。シロメバル生産により生み出される供給サービスについては、瀬戸内海で取引される人工種苗の価格を用いて簡便かつ直接的な手法で経済的価値の試算を

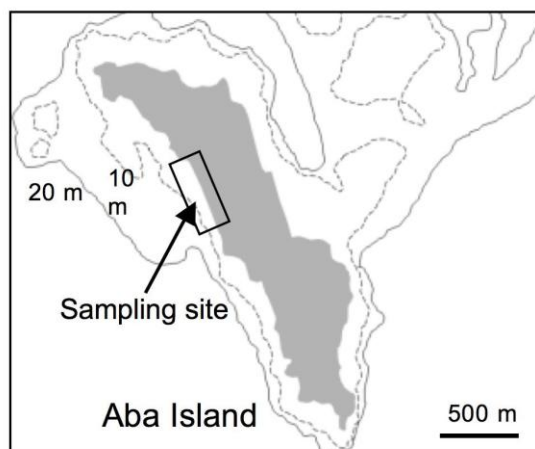
行う。

コアサイトとして位置づけた瀬戸内海中央部（広島県竹原市沖）の阿波島（図3-6-1：人為的影響が少ない無人島）において連続サンプリングを実施し、優占種であるシロメバル仔稚魚の生産速度の推定を実施した。阿波島の西岸には約2 kmの砂浜海岸があり、この沖にアマモ場が存在する。アマモ場の植生は、春期から夏期にかけてアマモ *Zostera marina* が優占し、その平均株密度は約20-160 /m² の間で変動することが報告されている¹⁰⁾。

2009年2-6月に1-2週に1回の頻度で魚類採集と環境項目（水温、塩分、アマモ株密度・葉長、餌料プランクトン・ベントス分布密度・バイオマス）の調査を実施した。アマモ場で採集された魚類のうち優占種であったシロメバル仔稚魚の生産過程を推定するために個体密度、成長、死亡率の変動を解析した。

図3-6-1.

シロメバル仔稚魚の高頻度サンプリングを実施した阿波島西岸のアマモ場（広島県竹原市沖）。無人島である阿波島の西岸には約2 kmの砂浜海岸があり、この沖にアマモ場が存在する。アマモ場の植生はアマモ *Zostera marina* が優占する。



魚類の採集には小型巻き網（目合い4mm）を用いて、主に大潮時の日中の干潮時刻の前後2時間（潮位50-150cm）に100m²のエリア内の魚類を全て捕獲する方法で実施した。1回の調査につき原則的に4回の採集を実施した。得られた採集物を現場にて10%海水ホルマリンで固定して実験室に持ち帰り、魚種の同定、体長・体重測定、主ごとの個体数、湿重量の測定を実施した。メバル類の外部形態⁹⁾および魚類全般の外部形態^{7, 8)}に従って可能な限り細かい分類群まで同定を行った。シロメバル仔稚魚については、アマモ場における分布密度、バイオマスを、100m²あたり個体数および重量に換算した。

b. 耳石解析

成長解析を目的として一部の個体をエタノール中に保存して実験室に持ち帰り耳石解析に供した。1回の調査につき20個体を上限として解析に供した。実態顕微鏡下で頭部より右側の耳石を摘出して洗浄したのち、スライドガラス上でエポキシ樹脂に包埋して2000番ペーパーおよびラッピングフィルムにより中心部付近が見えるようになるまで研磨した。耳石解析システムに接続された光学顕微鏡を用いて400-1000倍で観察し、耳石の中心部付近から縁辺部に向かって日周リングの計数と輪紋間隔の測定を実施した。輪紋数をもとにして個体ごとのふ化日とふ化から採集日までの平均日間成長率（mm/d）を推定した。耳石解析を行わなかった個体の日齢を推定するために、各サンプリング日についてシロメバルの全長と日齢の関係式を構築した。さらに、個体ごと、日

齢ごとの成長過程を把握するために、Biological Intercept法を応用し、ふ化日・コホートごとの成長過程を比較した。

c. シロメバル稚魚の年間生産速度の推定とその経済価値の試算

採集されたシロメバル仔稚魚を同一時期発生群（コホート）に区分するために産仔日を用いた。魚類の幼期個体を題材とした先行研究¹⁸⁻²⁰⁾で一般的に用いられる期間の長さに従って、シロメバル仔稚魚を10日ごとの同一産仔時期コホートに区分した。各コホートはアルファベット文字を用いて、12月12-21日産まれのコホートAから2月20-29日産まれまでのHコホートまで、8つのコホートに区分できた。各コホートのバイオマス季節変動を追跡し、それぞれの最大値の合計をシロメバル稚魚の年間生産速度とした。さらに、増養殖のための種苗として人工的に生産されたシロメバル稚魚の単価（50-300円/尾）²¹⁾をもとにして、単位面積あたりの藻場におけるシロメバル稚魚年間生産の経済価値を試算した。

コアサイトにおける魚類生産速度の推定精度を高めるために、2007年から継続して実施している調査の結果（2007年冬-2009年春）と比較を行った。2009年と同様に、2007および2008年にも2-月の間に毎月1-4回の野外調査を実施した。採集されたメバル属魚類をホルマリンもしくはエタノール中に保存して実験室に持ち帰り解析に供した。

d. 胃内容物調査と安定同位体比分析による餌起源の推定

藻場生活期のシロメバル稚魚の食性を把握するために、各調査日に5-10個体をサンプリングし胃内容物調査に用いた。実態顕微鏡下で魚体から胃を摘出し、枝付き針などを用いて胃内容物を取り出した。光学顕微鏡を併用して胃内容物の種同定、個体数計数、体サイズ測定を行った。胃内餌生物の個体数割合と、シロメバル稚魚1尾あたりの胃内餌生物個体数を算出した。

炭素安定同位体比（ $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ ）および窒素安定同位体比（ $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ）の測定を、シロメバル稚魚と1歳魚の合計30尾について行った。稚魚については、全長20-50 mmまで10 mmごとに5個体ずつを測定に供した。シロメバル稚魚、1歳魚が捕食する可能性のある餌料生物種を可能な限り多種にわたってサンプリングし、安定同位体比分析の試料とした。対象とした餌料生物群とそのサンプル数は、以下の通りである。カイアシ類（N=3）、懸濁態有機物（N=4）、十脚目甲殻類（N=6）、底生微細藻類（N=2）。カイアシ類は目合い0.25 mmのプランクトンネットにより調査海域周辺の3ヶ所において採集された。懸濁態有機物は調査海域周辺の6ヶ所において水面直下の海水を200マイクロフィルターにより濾過することにより大型動物プランクトンを除去したのち、Whatman GF/C glass-fiber filtersにより濾過した。全ての分析試料は、-30度で保存したのち、Nagata and Miyajimaの方法²²⁾に従って乾燥・粉末化した。

炭素・窒素安定同位体比は、元素分析装置と接続された質量分析計により測定した。同位体比は以下の式により表される。

$$\delta X = (R_{\text{sample}}/R_{\text{standard}} - 1) \times 1000$$

ここでは、 δX はパーミル単位での同位対比 ($\delta^{13}\text{C}$ or $\delta^{15}\text{N}$) であり、 $R = {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$ or ${}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}$ である。大気中の窒素とPeeDee化石をそれぞれ窒素、炭素のスタンダードとして用いた。同位体分析の誤差は、炭素、窒素いずれについても0.28‰以内であった。シロメバル稚魚の全長20-50 mmについては、全長10 mmクラスごとに窒素、炭素安定同位対比の平均値（および標準偏差）を求めた。

7) 稚魚期～成魚期までの生活史段階を通じた年間生産速度の推定

a. 調査地および調査方法

前節3) では藻場における優占種シロメバルの主として藻場来遊直後の時期における生産速度の推定を行った。瀬戸内海ではメバル類の種苗が水産増養殖の現場において売買されていることから、その価格をもとにして藻場で成長した天然稚魚個体群の経済価値を算出した。しかしながら、藻場における魚類生産を供給サービスとしてとらえた場合、水産資源として漁獲加入する段階でのバイオマスをもとに生産速度やその経済価値を評価することも重要である。したがって本節では、稚魚期およびそれ以降の生活史段階における成長・死亡（減耗）率の推定を行い、藻場来遊後の比較的長期間（数ヶ月単位）にわたる稚魚の生産過程の評価と、漁獲データをもとにした各年齢における生産量とその経済価値の試算を試みる。

シロメバルが主要な生息場とする藻場は、アマモ場とガラモ場に大別される。瀬戸内海では一般に、アマモ場は夏期に繁茂し、ガラモ場は冬期に繁茂する。シロメバルが浮遊生活期を終えて藻場へと来遊する季節には、アマモの繁茂が不十分な場合が多い。このような場合は、ガラモ場もシロメバル稚魚にとって初期の重要な生息場となりうる。本研究では、これまでアマモ場をシロメバル仔稚魚の重要な生息場として位置づけてきた。調査研究をするうえで、魚類の定量サンプリングを実施しやすいアマモ場はガラモ場に比べてより好適なフィールドである。しかしながら、本節では、少し視点を変えてガラモ場もシロメバル仔稚魚の生息場として重要であるとの視点から、異質の藻場生態系（アマモ場、ガラモ場）のシロメバル生産の場としての重要性を評価することを試みる。その際に、アマモ場とガラモ場では繁茂する時期が異なる特性をもとに、どのような植生により構成される藻場がシロメバルの生産性を高めうるかを検討する。沿岸域の生態系保全、生物生産の持続的利用をはかるうえで、異なる生態系を共存させる取り組みは、生態系間を移動する能力が高い魚類資源を対象とする場合には極めて重要である。しかしながら、これまでの研究事例のほとんどは、単一の生態系のみを対象としている。本研究を推進するなかで、シロメバルをはじめとする魚類の移動能力が大きいため、複数の生態系の共存が、資源の保全のためにはきわめて重要であるとの実感が強くなった。ここで述べる内容は、今後我が国の沿岸域における生態系や生物多様性、資源生物の保全や持続的利用を推進するうえで、極めて重要なコンセプトになるものと考えているため、多少の紙面を割いて提案したい。

魚類の採集と環境条件の測定は、広島県竹原市沖の阿波島西岸で実施した。調査地や調査方法に関する詳細は前項3) で既に述べた。シロメバル稚魚の減耗率（死亡率）を推定するために、1-2週間に1回の頻度で実施した魚類サンプリングにより得られたデータを用いた。現場において巻き網を用いてシロメバル仔稚魚を採集し、選別したのち90%エタノール中に保存して実験室に

持ち帰った。

b. 稚魚期の後期における死亡率推定

実験室においてシロメバル仔稚魚の全長、体重測定を行い、藻場面積100 m²あたりのシロメバル稚魚分布密度とバイオマスを算出した。稚魚の頭部から耳石（右側の礫石）を実態顕微鏡下で摘出し、モニターに接続した光学顕微鏡を用いて400-1000倍で耳石日周リングの輪紋数をカウントした。各採集日につき20個体を上限として耳石解析を実施した。各採集日についてシロメバル仔稚魚の日齢-全長関係を構築し、耳石解析を実施しなかった個体の日齢推定のために利用した。個体ごとの産仔日を用いて、10日ごとの同一時期発生群（コホート）に区分した。産仔時期は12月中旬から3月下旬の間であった。

各コホートについて、各調査日における分布密度を算出したのち、分布密度最大日以降の時期における分布密度の減少過程に指数関数モデルをあてはめた。解析に十分な分布密度データが得られた合計5つのコホートを死亡率推定に用いた。フィールドにおけるアマモ、ガラモの繁茂状況をもとにして、ガラモ場依存期（全長約20-50 mm：3-5月）およびアマモ場依存期（全長約50-80 mm：6-8月）のそれぞれ3ヶ月について、日間死亡係数を求めた。

c. 漁獲加入期までの年齢ごとのバイオマスおよび経済価値の試算

フィールドにおける稚魚の分布密度データをもとに、単位面積当たりの藻場で生産されるシロメバルの漁獲加入までの各年齢における個体数、バイオマスの変動過程のシミュレーションおよび各年齢におけるバイオマス、経済価値の推定を実施した。稚魚期以降のシロメバル死亡率は成長に伴う変化が少なくと仮定して、フィールドで得られた死亡率の平均値（0.060）を稚魚期から1歳までの死亡率とした。1歳以降の死亡率については、漁獲データおよび既往文献²³⁾におけるサイズ、年齢組成をもとに0.002とした。漁獲加入後の魚体単価（約1000円/kg：市場年報、2008）をもとに各年齢におけるバイオマスを貨幣価値に換算した。

（3）飼育条件下におけるシロメバル仔稚魚の環境変動に対する応答の精査

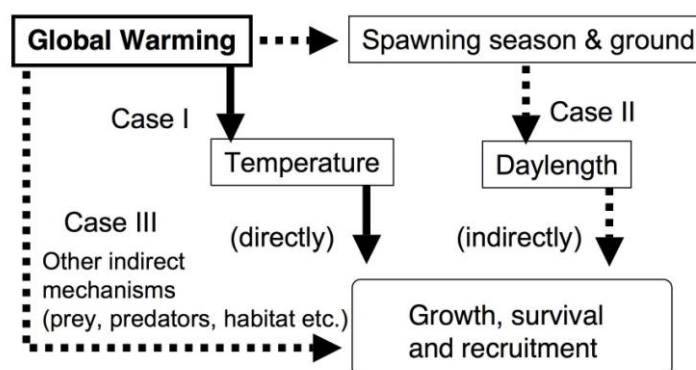
世界各地において、非常に多くの研究者によって、地球温暖化にともなう環境変動が魚類の生理・生態、生活史、資源変動等に与える影響を評価・予測する努力が行われている。それらの研究は地球上のさまざまな魚種や生態系、気候区分に及んでおり、多くの知見が蓄積されている^{6、24-27)}。物理環境条件のなかでは、温度（魚類の場合、水温）が魚類の初期成長に最も強く影響する要因と考えられてきた。それは、魚類の生活史初期における最も重要な死亡要因が被食であり、水温変動による成長速度への影響を通じて、被食にさらされる期間が変動するというプロセスや、水温が仔稚魚の遊泳行動に影響して瞬間的な被食の危険性が変化するというより直接的なプロセスが作用するためである^{28、29)}。水温と成長の変動を通じた魚類の初期生残過程、資源・個体群変動に関するテーマは多くの研究者の注目を惹きつけてきた。

水温変動が魚類の成長に与える影響は、多くの場合ドーム型であることが知られている。一般的に、生息環境中の水温上昇に伴って魚類の成長速度も上昇するが、成長に適した水温範囲の間に限定され、それ以上の水温条件下では、成長速度は水温上昇に伴って低下する。このように、成長至適水温よりも高い水温条件を経験することは、魚類の成長、生残にとっては負の効果をもたらすと考えられている。したがって、地球温暖化に伴う水温の上昇は、魚類の生活史初期における成長、生残、さらには資源への加入プロセスに影響する可能性を秘めている。

地球温暖化による水温変動が、魚類の生活史初期における成長、生残への影響を通じて、個体群や資源に与える間接・直接的影響について模式的に示したのが図3-8-1である。水温の変動は、直接的に魚類の成長への影響を通じて個体群や資源に影響する（ケース1）。間接的な影響としては、対象魚種の分布域や産卵期の変動を通じた影響（ケース2）、対象種とそれを取りまく生息環境（藻場の場合、植生など）、餌料生物や捕食者のバイオマス・種構成・分布など、対象となる魚類以外の生物への影響を通じたもの（ケース3）などが挙げられる。ケース3を扱うためには複数の種からなる複雑なメカニズムの解析が必要となるためここでは割愛し、単一種と環境条件の関係が主な解析対象となるケース1、ケース2を扱う。

図3-8-1.

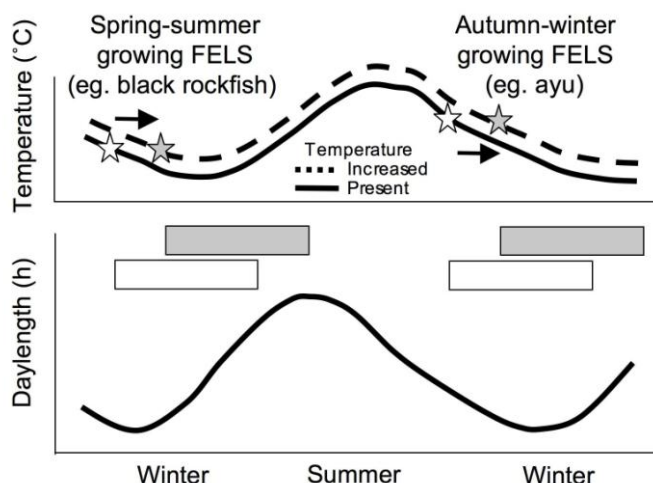
地球温暖化に伴う水温上昇が魚類資源に対して及ぼしうる直接・間接的影響に関する模式図。水温の上昇により、直接的に魚類の個体成長、個体群や資源に影響するケース（Case I）以外に、間接的なものとして、対象魚種の分布域や産卵期の変動を通じた影響（Case II）、対象種とそれを取りまく生息環境（藻場の植生）、餌料生物や捕食者のバイオマス・種構成・分布など、対象となる魚類以外への影響を通じたもの（Case III）などが想定される。



ケース1に関しては、藻場の優占種シロメバルを題材として、水温が日間摂食量、成長効率に与える影響を、水温をコントロールした飼育条件下で精査し、シロメバルの個体維持にとって生理学的に適した至適水温を探索する。ケース2に関しては、日長変動の影響が初期成長に与える影響を解析する。一般に、魚類は環境条件の変動に対して産卵期や分布域を変動させることのできる柔軟な側面も備えている。水温上昇を回避して産卵期や分布域が変化した場合、卵やふ化仔魚は元来と同様の水温環境下で成長することになる。しかしながら、産卵期や分布域を変化させた場合、仔稚魚が経験する日長が異なる可能性が生じる（ケース2）。特に高緯度地域においては、時期の変化による日長の変化が大きい（産卵時期の変化による日長への影響：図3-8-2）。

図3-8-2.

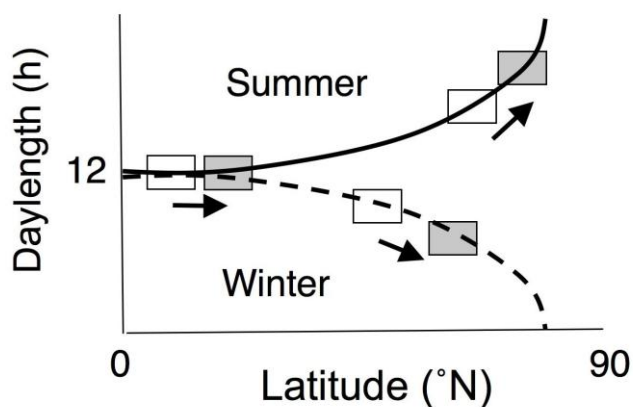
地球温暖化に伴う水温上昇に対し、魚類が高水温時期を回避して産卵期を変化させた場合に日長が変動することを示す模式図。上段の図において、白抜き星印は温暖化前、灰色の星印は温暖化後の産卵期をそれぞれ示す。下段の図において白抜きの四角は温暖化前、灰色の四角は温暖化後にそれぞれ仔稚魚が成長する時期を示し、仔稚魚の経験する日長が変化することが分かる。さらに、このような変動は、高緯度地域においてより顕著となる。



さらには、高水温を回避して、産卵場や生息場所が高緯度側（北半球の場合、北極方向）へシフトすることが、多くの魚類において予測・報告されている^{6, 24-27)}。温暖化に伴って、生息場や産卵場が高緯度地域へ移動する際にも、日長の変動が付随する。高緯度地域では低緯度地域に比べて、夏に長日で、冬には短日である（産卵場所の変化による日長への影響：図3-8-3）。様々な魚種において、日長の変動は魚類の摂餌、成長を変化させることが明らかとなっている^{30, 31)}。このように、水温の上昇は、魚類の産卵・分布域を変化させることにより魚類が初期に経験する日長を変動させ、初期の成長、被食の危険を左右して個体群、資源への加入プロセスを変動させるものと想定される。

図3-8-3.

地球温暖化に伴う水温上昇に対し、魚類が高水温域を回避して極方向へと分布域や産卵場を移動させた場合に日長が変動することを示す模式図。実線が夏至、破線が冬至を示し、白抜き四角が温暖化前、灰色四角が温暖化後を示す。冬至と夏至とでは北上することによる日長変化の効果が正反対で、夏至には長日化、冬至には短日化する。さらにこの影響は、低緯度地域に比べて高緯度地域でより顕著となることも大きな特徴である。



日長の変動が、産卵期や成長の時期の変化を通じて魚類の個体群、資源への加入プロセスに与える影響を評価する際に、「影響が生じる季節」という側面を考慮する必要がある。夏に成長する魚類と冬期に成長する魚種とでは、分布域や産卵期の変化の影響が、正反対（あるいは対照的）となる可能性がある。生息環境中の水温が上昇した場合、適水温のなかで産卵を継続するために、

産卵期を変化させる。たとえば、本研究の主要対象種であるシロメバルの場合、北太平洋西部に主要分布域をもち産仔期の中心は1月（水温下降期であり、最低水温期は3月）であるために、水温が上昇した場合には産仔期が（産仔の至適水温が存在する場合は）全体的に遅くなる可能性が高い。産仔期が遅れた場合、産まれた仔稚魚は、地球温暖化による影響が生じる前よりも長い日長条件のもとで成長することになる（図3-8-2の夏期）。ここでは、シロメバルのように、春期から夏期にかけて仔稚魚が成長する魚種を「夏期成長魚」とよぶ。

これとは対照的に、秋期から冬期にかけて仔稚魚が成長する魚種をここでは「冬期成長魚」とよぶ。アユ*Plecoglossus altivelis altivelis*は我が国沿岸域に広く分布する両側回遊性の魚類で、秋期に産卵し、仔稚魚は冬期に浅海域を生息場とする³²⁾。地球温暖化により水温が上昇した場合、高水温を回避するために産卵期が遅くなり、高水温化する前に比べて仔魚期は短い日長条件のもとで成長する可能性が高い（図3-8-2の冬期）。このような、水温を軸とした温暖化への対応が生じ、さらにはそれが種（産卵期）間で異なる場合には、魚類の幼期個体が経験する水温はそれまでと変わらない場合においても、経験する日長が変化するために、成長差が生じることが、さらには、種間（異なる産卵期の間）でその影響が対照的となることが予想される。

もう一つの視点である、極方向への移動についても、地球温暖化の影響が種間（異なる産卵期の間）で対照的となる可能性が高い。北半球では、既に多くの魚種において地球温暖化の影響によると考えられる分布域、産卵場の北上が報告されている。さらにこの影響は、今後大きくなるものと想定されている。本項では、この北上の影響が、魚類の産卵期（仔稚魚が成長するシーズン）の違いによって対照的となりうる点に注目する（図3-8-3）

北半球において、「夏期成長魚」は北上するほど経験日長が長くなる。これとは逆に、「冬期成長魚」は北上するほど経験日長が短くなる。仔稚魚の成長速度が日長に左右されると仮定した場合、高水温を回避して北上することによる影響は、仔稚魚が成長する季節の違い（成長する時期が夏か冬か）によりきわめて対照的となりうる。さらにその影響は、高緯度地域において、より顕著となるのも大きな特徴である。（ただしここでは、解析・考察を簡略化するために日長以外の環境条件は同一と仮定している点に注意が必要）。

これまでのところ、地球温暖化が魚類資源に与える影響について、水温やCO₂濃度の変化など個体への直接的影響を予測・評価した事例は数多く存在するものの、産卵・分布域、産卵・成長時期の変動などを考慮して複合的に考察した事例はほとんど無い。本項では、1）水温と日長の影響を包括的に評価するために、飼育条件下におけるシロメバル仔稚魚の日間摂餌量、成長効率に対する水温変動の影響の精査と、2）日長変動に対する成長の応答およびその魚種間比較を、「夏期成長魚」であるシロメバルと「冬期成長魚」であるアユを飼育条件下において対比させることにより行った。

8）シロメバル仔稚魚の日間摂食量、成長効率に水温が与える影響

個体間の体サイズのばらつきの影響を軽減するために、人工的にふ化飼育されたシロメバル仔稚魚を実験に用いた。広島県栽培漁業センターの飼育水槽からシロメバル稚魚（平均全長21.33 mm、標準偏差0.18）を広島大学大学院生物圏科学研究科附属瀬戸内圏フィールド科学教育研究センター竹原ステーションへ搬送した。黒色ポリカーボネイト製の100 L水槽3面に収容し、水温を1.0℃

/日以内の範囲で変動させ目的の3水温区（14、16、18℃）を設定し飼育実験を開始した。シロメバル仔稚魚の実験開始時における収容密度は500尾/水槽とした。天然濾過海水を約100%/日の換水率で循環させ、各水槽にエアレーションを施した。シロメバル仔稚魚には配合餌料を1日に4回飽食させた。

シロメバル仔稚魚の胃外排出速度を求めるために、飽食後に給餌を停止した状態で胃内容物の排出過程を追跡した。胃外排出速度の測定は、日本沿岸域のアマモ場でシロメバル仔稚魚が成長する時期の水温を考慮して3区（14、16、18℃）設定した。算出された胃外排出速度は日間摂餌量、成長効率の推定にも用いた。各水温区で、シロメバル仔稚魚（1回あたり約10個体）の昼夜連続（24h）サンプリングを1-2時間おきに実施した。実態顕微鏡下でシロメバルの魚体から枝付き針などを用いて胃および胃内容物を摘出し、スライドガラスに乗せたままオーブンをを用いて60℃で48時間乾燥させた。胃内容物重量指数（ I ）を以下の式で各個体について求め、サンプリング回ごとの平均値を算出した。

$$I = 100 * W_g * W_b^{-1}$$

ここでは、 W_g は胃内容物の乾燥重量、 W_b はシロメバル仔稚魚の体重の乾燥重量である。

さらに、給餌条件下における胃内容物重量指数の平均値の日内変動を追跡するために、上記の給餌停止条件下とは別に、各水温区において約10個体のシロメバル仔稚魚を1時間間隔で24時間連続サンプリングした。給餌停止条件下と同じ方法で、胃内容物重量指数の平均値を各水温区、サンプリング回について算出した。

シロメバル仔稚魚の日間摂餌量（ C : 体重に対する重量割合）の推定は、Elliott & Persson (1978) のmodel³³⁾を用いて、以下の式により3水温区について行った。

$$C = (I_t - I_0 e^{-Rt}) R_t (1 - e^{-Rt})^{-1}$$

ここでは、 C は時間0から t の間における摂食量、 I_0 と I_t は時間0と t における胃内容物重量指数の平均値、 R は瞬間胃外排出速度である。瞬間胃外排出速度は R 給餌停止期間における胃内容物重量指数の減少過程（指数関数モデル）にもとづいて、次式より算出された。

$$R = t^{-1} L_n (I_0 I_t^{-1})$$

1日あたりの合計摂食量（日間摂食量）を求めるために、上記で求められた各時間インターバルの摂食量（ C ）の24時間の総和を用いた。4週間の飼育実験期間を通じた粗成長効率（ E ）を以下の式により求めた。

$$E = 100 * G_{28} C_{28}^{-1}$$

ここでは G_{28} は28日間でのシロメバル乾燥重量の増加量、 C_{28} は28日間の合計摂食量である。

9) 日長変動に対する成長の応答およびその魚種間比較

夏期成長魚（シロメバル仔稚魚）の成長に対する日長の影響を評価するために、飼育魚を用いた実験を行った。先述の広島県栽培漁業センターで育成されたシロメバルを広島大学竹原ステーションへ搬送し、100 L黒色ポリカーボネイト水槽6面に収容した。各水槽を黒色ビニールシートで覆うことにより外部からの光の侵入を遮断し、内部に蛍光灯を設置した。タイマーを用いて6区の光周期を設定した（明期：暗期＝0：24、6：18、8：16、12：12、15：9、24：0 時間）。水温は6水槽とも同一（ $16 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ ）とした。水槽にはエアレーションを施し、配合餌料を1日に4回飽食させた。実験開始から28日後に各水槽から20個体ずつサンプリングし、電子ノギスを用いて全長を0.1 mm単位まで測定するとともに、電子天秤により体重を0.1 mg単位まで測定した。

冬期成長魚として、アユをシロメバルとの比較対象種に選定した。広島県栽培漁業センターで育成されたアユ仔稚魚（全長 49.32 ± 0.44 mm）を広島大学竹原ステーションに搬送し、100 L黒色ポリカーボネイト水槽6面に収容した。飼育水温は $15.0 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ とした。水温以外の飼育条件、サンプリング方法は、シロメバルの場合と同一とした。

4. 結果・考察

（1）全国サイトにおける魚類群集・生産構造の広域解析

1) 魚類群集構造の広域比較

a. 環境条件

各地点の水温は12.5（日生）～22.3℃（宮津）、塩分は6.8（赤前）～32.7（串本）の間であった（図4-1-1）。アマモの平均葉長±標準偏差（SD）は 390.1 ± 121.6 （指宿）～ 1963.3 ± 153.5 mm（厚岸）の間にあった。各サイトにおけるアマモの葉長と緯度の間には有意な正の相関関係が存在し（ $n=13$ 、 $R^2=0.535$ 、 $P<0.05$ ：図4-1-2）、サイト間でアマモ葉長の変動はあるものの、高緯度地域ほど葉長が長い傾向が認められた。アマモの平均株密度は 16.0 ± 18.8 （指宿）～ 76.8 ± 15.3 本/ m^2 （厚岸）の間で変動した。アマモ葉長の場合とは異なり、アマモ株密度には全国的な傾向は認められなかった。

2010年度に実施した全国調査では、39科82種に属する計4910個体の魚類が採集された。サイトおよび地域によって、個体密度およびバイオマス（表4-1-1）による優占種が異なった。魚種数は3種（鹿屋：藻場が衰退しておりサンプリング実施1回のみ）～13.8±4.2種（串本）の間で変動した。個体密度は10個体/100 m^2 （鹿屋：同上）～311.5±168.5 個体/100 m^2 （葉の木）の間で変動した。バイオマスは18.6 g/100 m^2 （鹿屋：同上）～厚岸（1832.9±672.3 g/100 m^2 ）の間で変動した。

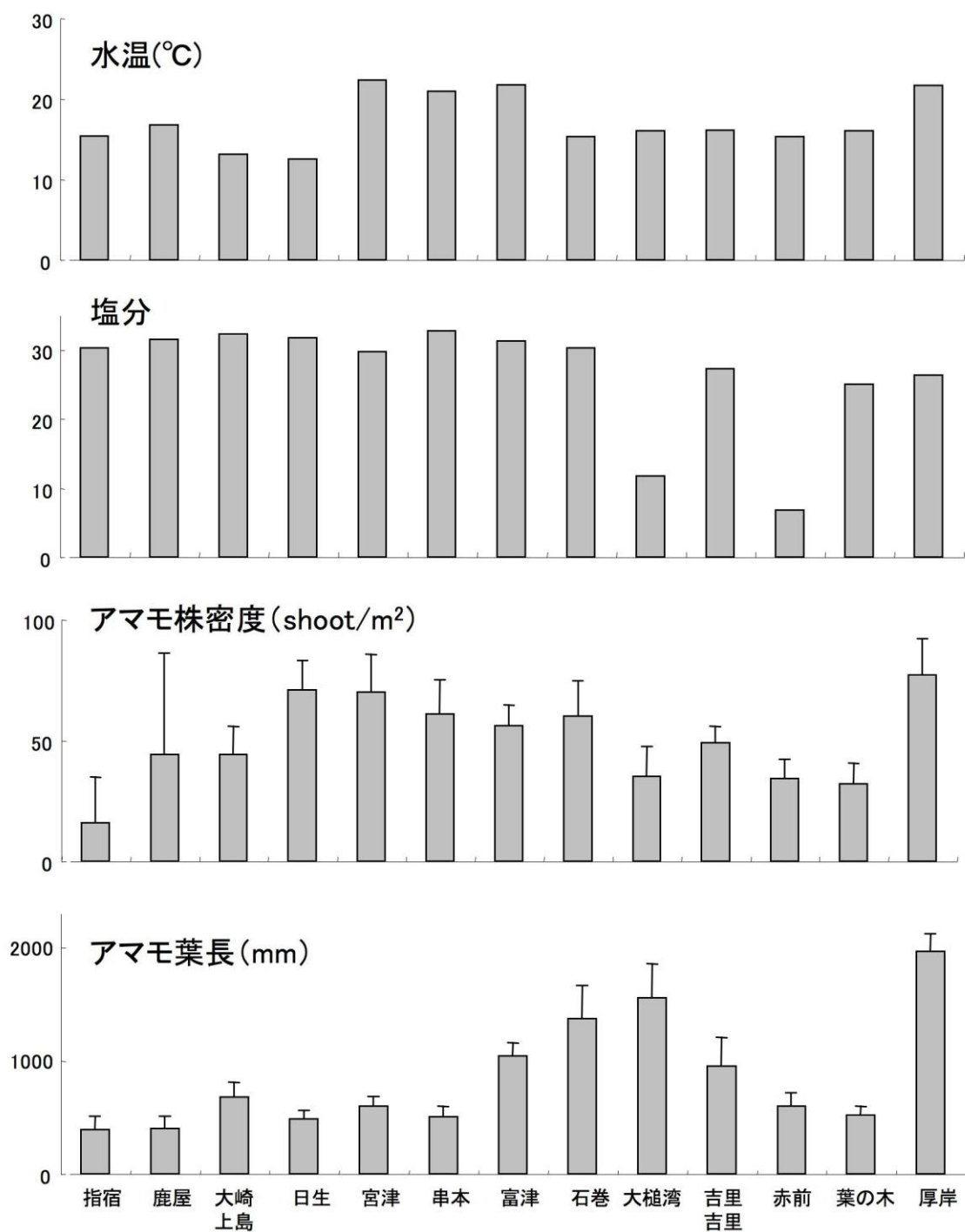


図4-1-1.

2010年に魚類採集を実施した全国サイトの水温、塩分、アマモ株密度、アマモ葉長。バーは標準偏差を示す。

各サイトにおける100 m²あたり魚類バイオマスと緯度の間に有意な正の相関関係が認められ（ $n=13$ 、 $R^2=0.419$ 、 $P<0.05$ 、図4-1-3）、高緯度地域ほど魚類のバイオマスが高いという傾向を示した。一方、各サイトにおける魚種数および個体数と緯度の間には相関関係は認められなかった。各サイトにおける魚種数と100 m²あたり魚類バイオマスの間にも有意な正の相関関係が認められ（ $n=13$ 、 $R^2=0.387$ 、 $P<0.05$ 、図4-1-4）、アマモ場における魚類の種多様性とバイオマスに関連があることが示唆された。

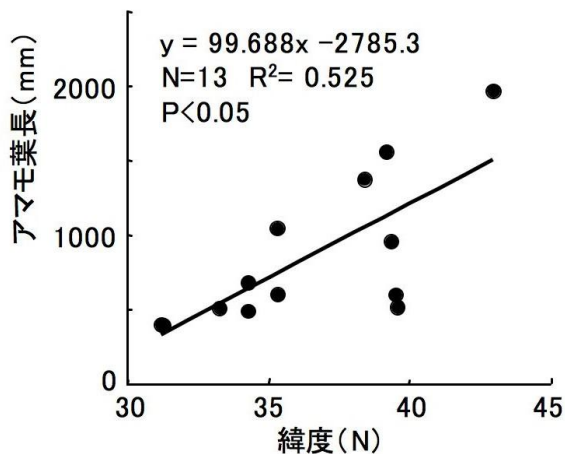


図4-1-2.

各サイトの緯度とアマモ葉長の関係。両者の間には、有意な正の相関関係が認められ、高緯度地域ほどアマモの葉長が長い傾向にあった。

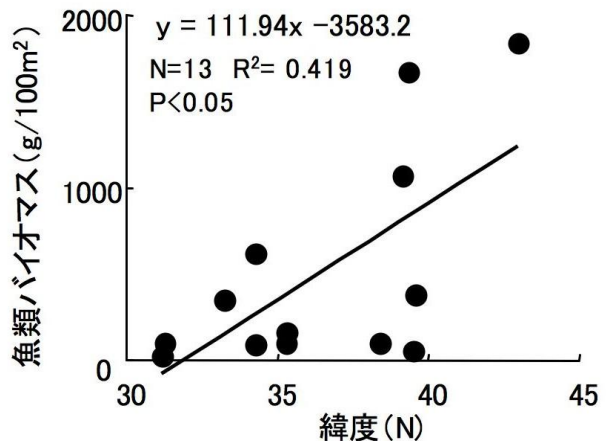
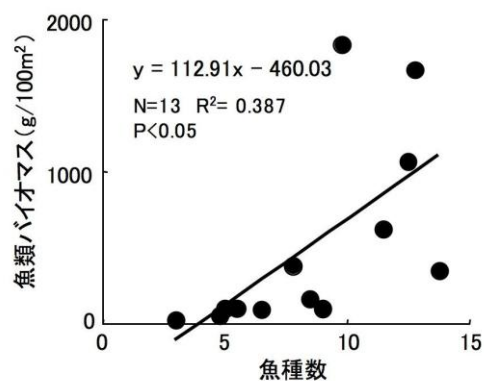


図4-1-3.

各サイトの緯度と魚類バイオマスの関係。両者の間には、有意な正の相関関係が認められ、高緯度地域ほど魚類バイオマスが大きい傾向が認められた。

図4-1-4.

各サイトの魚種数と魚類バイオマスの関係。両者の間には、有意な正の相関関係が認められ、魚類バイオマス（生産速度の指標）が大きい藻場では、魚種の多様性も高いことが明らかとなった。



魚類群集構造をもとに地域区分を行った結果、大きく分けて3つのグループに大別された。そのグループとは、竹原・日生・宮津・串本・富津・石巻を含む東北以南グループ、岩手県の4地点を含む東北北部グループ、厚岸からなる北海道グループであった（図4-1-5）。

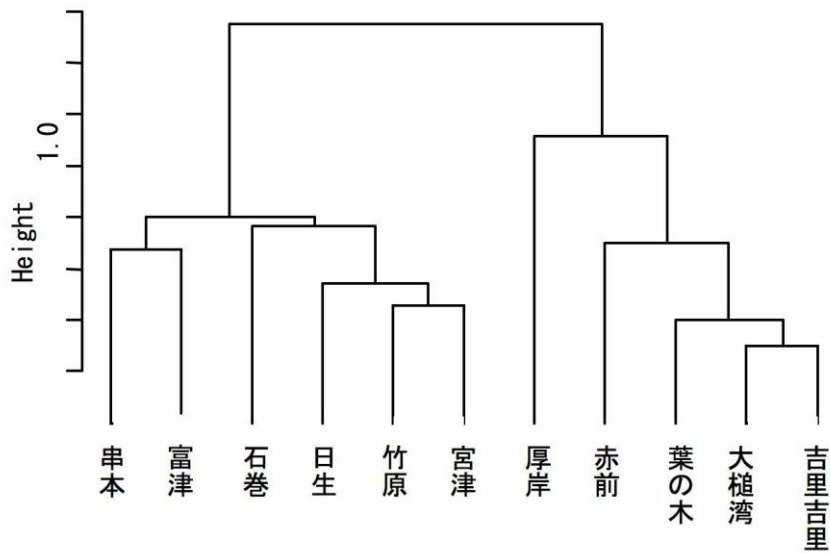


図4-1-5.
各サイトにおける魚種の出現状況にもとづくクラスター解析の結果。北海道と岩手をひとまとまりとするグループとそれ以外の2つの大きなクラスターに区分された。

表4-1-1.
2010年に全国サイトで採集された魚類の100m²あたり個体密度（N）およびバイオマス（W:g）。

	指宿		鹿屋		大崎上島		日生		宮津		串本		富津		石巻		大槌湾		吉里吉里		赤前		葉の木		厚岸		
	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	
Hexagrammos otakii					5.0	12.2	0.8	0.5									1.0	4.9	0.3	0.7			0.3	41.3			
Hexagrammos agrammus							0.5	20.1															0.3	35.0			
Alectis indicus											0.3	0.2				1.0	5.0	0.5	112.5								
Plecoglossus altivelis altivelis			1.0	0.2	0.8	1.1																					
Blenniidae spp.							0.5	0.1																			
Ditrema spp.					0.5	17.5			4.5	22.1	8.0	95.6	10.5	53.4			11.5	458.4	60.5	1426.1			0.3	12.8			
Pseudoblennius cottoides					3.3	2.6	12.3	2.0	2.8	5.1	0.3	1.8	0.3	0.9	3.5	3.5	8.3	27.3	17.3	16.9			22.8	15.8			
Cottidea sp.															0.5	1.4			0.8	10.5	3.3	3.9	0.8	4.6			
Pseudoblennius sp.3											0.5	3.7					1.0	4.1									
Gymnocanthus detritus																					0.3	0.3				1.3	189.5
Ocmectes modestus																											
Engraulis japonicus											0.3	0.2															
Sphyræna japonica											0.3	1.0															
Kareius bicoloratus															0.5	0.1											
Pleuronectes schrenki																									1.8	27.9	
Liopsetta pinnifasciata																								0.8	73.4		
Limanda yokohamae							0.3	0.0	0.3	1.7							1.5	46.2	1.0	33.8							
Verasper moseri																			0.3	8.1							
Rudarius ercodes					12.8	10.6	0.3	0.1	0.5	1.9	1.5	10.0															
Sillago japonica			7.0	14.8		0.3	0.4																				
Hypomesus pretiosus japonicus																									0.8	1.8	
Hypomesus spp.																								0.3	0.0		
Aulichthys japonicus																	0.5	1.7	7.8	30.2							
Gerres oyena		1.0	0.3								0.5	0.4															
Blennius cirrhosus																	5.8	17.9	0.5	1.6	1.5	2.4	3.3	4.0			
Zoarces elongatus																									1.3	8.3	
Tribolodon hakonensis																									2.5	752.0	
Tribolodon taczanowskii																	1.0	45.6					0.5	28.3			
Pictosus lineatus											0.3	14.4															
Oncorhynchus keta																					1.8	1.9					
Zebrias zebra											0.3	3.9															
Lateolabrax japonicus		34.0	6.5				0.3	0.0					1.0	3.9													
Acanthopagrus schlegelii							0.3	6.7																			
Sparus sarba											3.3	4.0	6.8	7.0													
Opisthocentrus ocellatus																			0.3	0.1			21.0	6.2	0.5	1.6	
Zoarchias glaber					0.3	0.2																					
Opisthocentrus tenuis																	6.3	48.6	21.8	46.6			45.0	35.9			
Ermogrammus hexagrammus															1.8	8.4											
Pholidapus dybowskii																									27.5	180.8	
Goniistius zonatus											0.3	5.2															
Pallasina barbata																	1.8	0.5	1.5	0.5							
Gasterosteus aculeatus																								0.3	0.5		
Pungitius pungitius type1																								36.3	32.9		
Pungitius pungitius type2																								0.3	0.3		
Pholis nebulosa							0.3	0.9									0.5	0.6	0.5	7.4	2.5	10.5					
Pholis crassipinna															4.5	19.8	0.5	2.8	1.8	16.7	2.8	19.5	1.5	12.8	26.5	289.6	
Pholis picta																	0.3	3.2	0.8	4.9				15.5	210.6		

シロメバル稚魚の全長範囲は調査サイト間で異なり、北日本（宮城）で小さく、京都（宮津）と千葉（富津）を除けば、おおむね南日本で大きい傾向にあった（図4-2-1）。各サイトにおいて採集されたシロメバル仔稚魚の全長範囲は宮城の石巻で30.6-44.2 mm TL、奥松島で34.8-49.6 mm TL、京都（宮津）で43.9-73.5 mm TL、千葉（富津）で56.9-81.0 mm TL、広島竹原で36.2-48.8 mm TL、大崎上島で30.3-57.0 mm TL、山口（周防大島）で44.2-61.2 mm TL、熊本（天草）で49.2-64.7 mm TLであった（表3-2-1）。

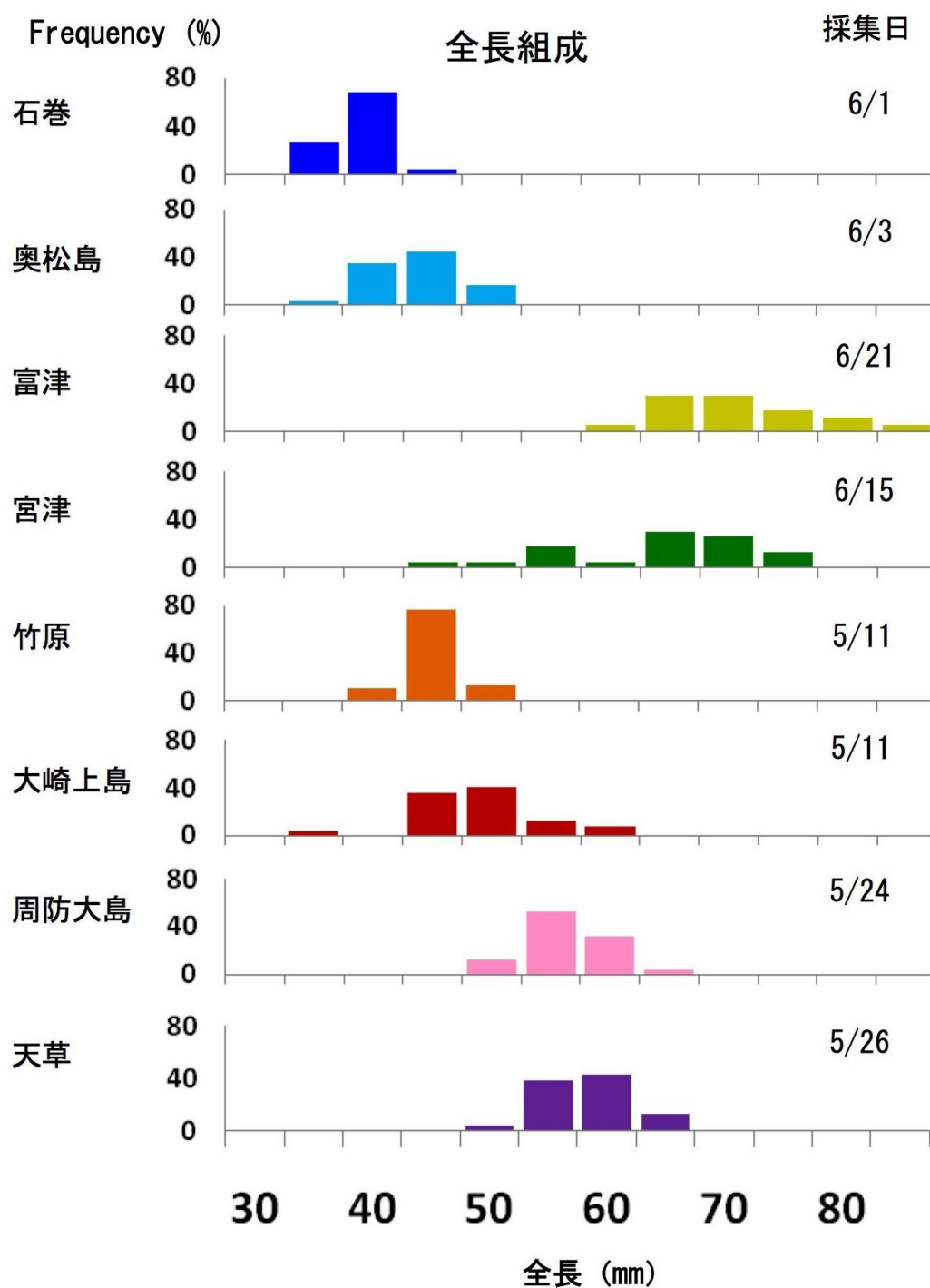


図4-2-1.

各サイトにおいて採集されたシロメバル仔稚魚の全長組成。採集場所により、全長組成は異なったが、後述する産仔日組成（図4-2-2）のサイト間差は比較的小さかった。

採集されたシロメバル各個体の耳石日周輪をもとに逆算推定された産仔日は、2009年12月21日から2010年3月30日の間にあった（図4-2-2）。全解析個体のうち、93.7 %が12月下旬から2月上旬の間に集中して産仔されていた。各サイトにおいて採集されたシロメバル仔稚魚の産仔後日齢

は宮城の石巻で109-149日、奥松島で114-154日、京都（宮津）で84-160日、千葉（富津）で116-177日、広島竹原で99-131日、大崎上島で77-130日、山口（周防大島）で117-153日、熊本（天草）で124-155日であった（表3-2-1）。

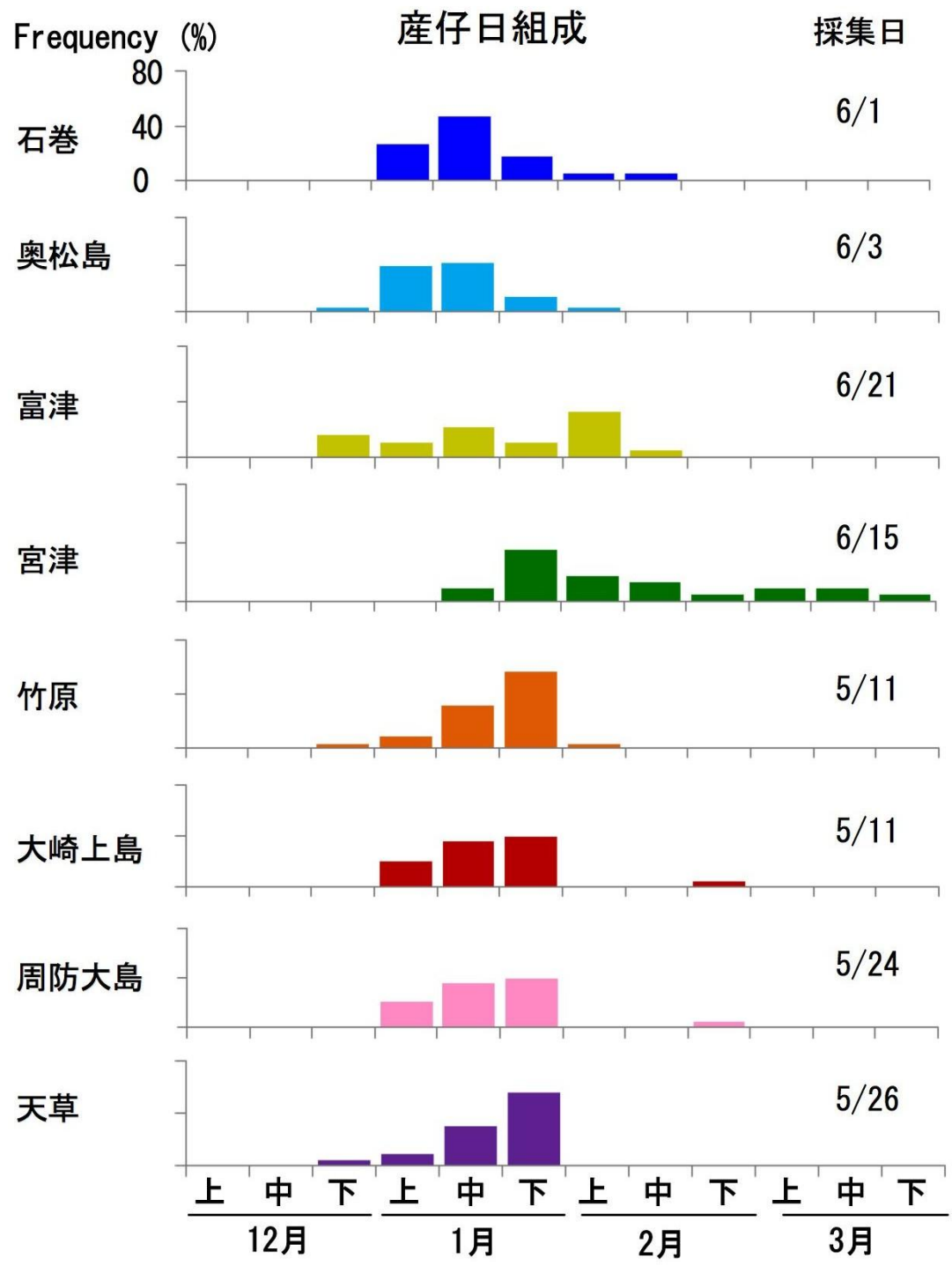


図4-2-2.
各サイトにおいて採集されたシロメバル仔稚魚の産仔日組成。採集場所により、先述の全長組成（図4-2-1）は異なったが、産仔日組成のサイト間差は比較的小さかった。

全国のサイトにおいて採集されたシロメバル仔稚魚の成長履歴は3つのパターンに大別された(図4-2-3)。産仔日から採集日までのほぼ全期間を通じて、宮城の2サイト(石巻、奥松島)では同日齢での推定全長が他サイトに比べて小さかった。これに対し、千葉(富津)、京都(宮津)、熊本(天草)では産仔日から採集日までの間を通じて他サイトよりも全長が大きかった。広島(竹原)の2サイト(竹原、大崎上島)および山口(周防大島)では、上記2タイプのほぼ中間型を示し、産仔後しばらくの成長過程は千葉・京都・熊本と同様であったが、その後の全長の増加傾向が頭打ちとなり、その傾向は特に竹原において明瞭であった。

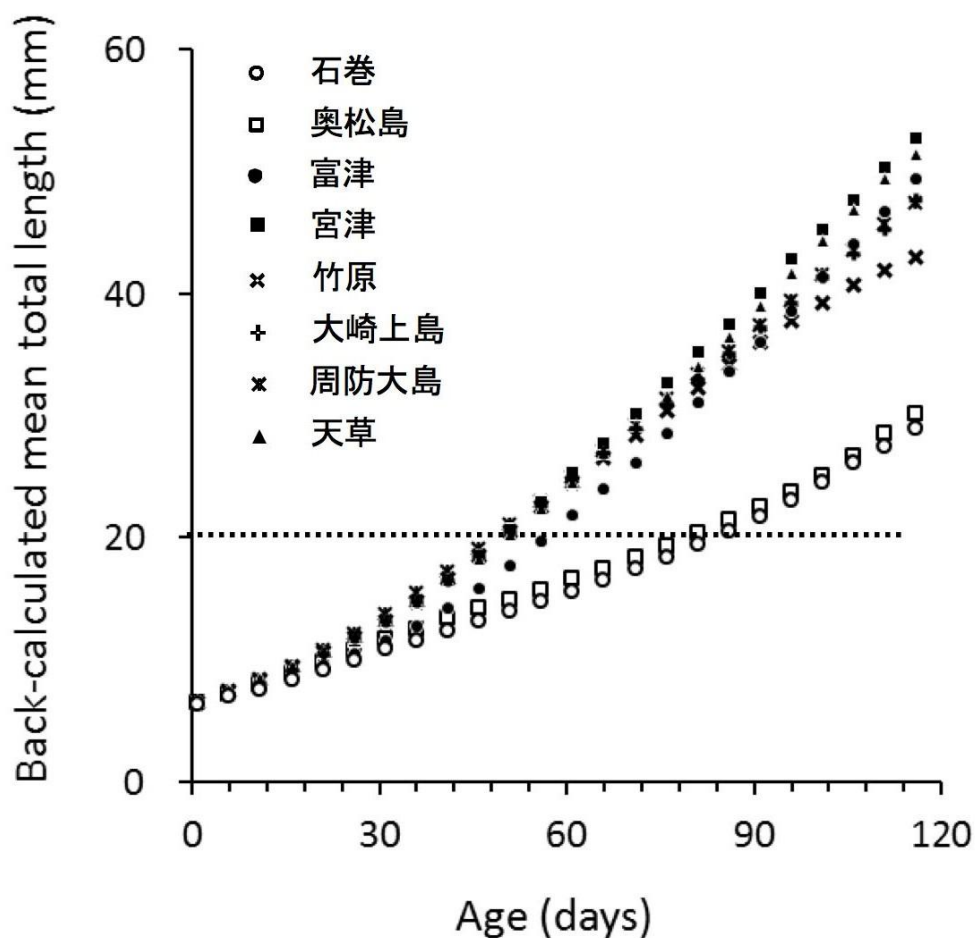


図4-2-3.

耳石日周リングをもとに逆算推定されたシロメバル仔稚魚の各日齢における全長。破線はシロメバルが藻場へ移入する全長(20 mm)を示す。北日本の2サイト(石巻、奥松島：いずれも宮城県)における全長が30日齢以降に他のサイトに比べて小さかった。

成長履歴の違いを反映して、各サイトで採集されたシロメバル稚魚の浮遊期間の日数(産仔から藻場来遊：全長20 mm到達日までの日数)もサイト間で異なった。各サイトにおける浮遊期間の平均日数(±標準偏差)は、宮城の石巻で 87.1 ± 10.5 日、奥松島で 82.8 ± 13.2 日、京都(宮津)で 52.5 ± 5.2 日、千葉(富津)で 52.7 ± 6.3 日、広島(竹原)で 52.6 ± 5.7 日、大崎上島で 52.7 ± 4.9 日、山口(周防大島)で 51.2 ± 4.9 日、熊本(天草)で 59.4 ± 3.9 日であった(表4-2-1)。宮城県の2サイトでは、他サイトに比べて浮遊期間の日数が約1ヶ月長かった。

表4-2-1.

耳石日周リングをもとに推定された各サイトにおけるシロメバル稚魚の平均浮遊日数。既往知見および本研究の成果にもとづいて、産仔日から藻場来遊日(全長20 mmに到達した日)までの日数を浮遊期間とした。

サイト名	平均浮遊期間(日)
石巻	87.1
奥松島	82.8
富津	52.7
宮津	52.5
竹原	52.6
大崎上島	52.7
周防大島	51.2
天草	59.4

産仔日から採集日までの平均日間成長速度の変動パターンをもとに、シロメバルの成長パターンはより明瞭に3タイプに区分することが可能であった(図4-2-4)。産仔日からおよそ20日間における成長速度には、成長解析を実施した8サイト間で0.1-0.2 mm/dの範囲でばらつきが認められたものの、日齢の増加に伴って直線的に日間成長速度が増加した点において共通していた。20日齢以降にサイト間での成長パターンの差が明瞭になった。宮城の2サイト(石巻、奥松島)では、約20日齢から60日齢にかけて日間成長速度が約0.20-0.15 mm/dへと低下したのち、その後約0.35 mm/dへと増加したが、採集日までの期間を通じて一貫して他サイトよりも低い日間成長速度を示した。他の6サイトにおいては約20日齢から60日齢にかけて日間成長速度が約0.2から0.4 mm/dへと直線的に増加した。60日齢以降は、京都(宮津)、千葉(富津)、熊本(天草)の3サイトにおいては、日間成長速度の増加がやや頭打ちとなり、採集日までの期間を通じて日間成長速度は約0.45から0.55 mm/dに増加した。一方、広島(竹原、大崎上島)および山口(周防大島)においては、約60日齢まで先述の3サイト(京都、千葉、熊本)と同様の日間成長速度の増加傾向を示したのち、日間成長速度が約0.4 mm/dでほぼ横ばいとなった。

以上の傾向をもとに、シロメバルの成長パターンを以下の3つに区分した。

- ①北日本型 : 初期に低成長、後期に加速
- ②中南日本型 : 初期に高成長、後期に停滞
- ③瀬戸内型 : 初期・後期を通じて高成長

各サイトに隣接する海域に設けられた観測ブイより得られた水温データ(図3-2-6)をもとに、各サイトで採集されたシロメバル稚魚が浮遊期間に経験した平均日間経験水温を推定した。各サイトにおける浮遊期間の平均経験水温(±標準偏差)は、石巻($6.7 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$)、奥松島($5.6 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$)、宮津($11.1 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$)、富津($12.6 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$)、竹原($11.2 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$)、大崎上島($11.2 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$)、周防大島($11.1 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$)、天草($12.5 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$)であった。これら浮遊期間の経験水温と、シロメバルの浮遊期間(産仔日から全長20 mmに達するまでの期間)における平均日間成長速度(G_{20} , mm/d)の間には有意な正の相関関係が認められ(図4-2-5)、水温がシロメバルの浮遊生活期における成長速度、浮遊期間の長さに強く影響を及ぼす環境要因であることが明らかとなった。

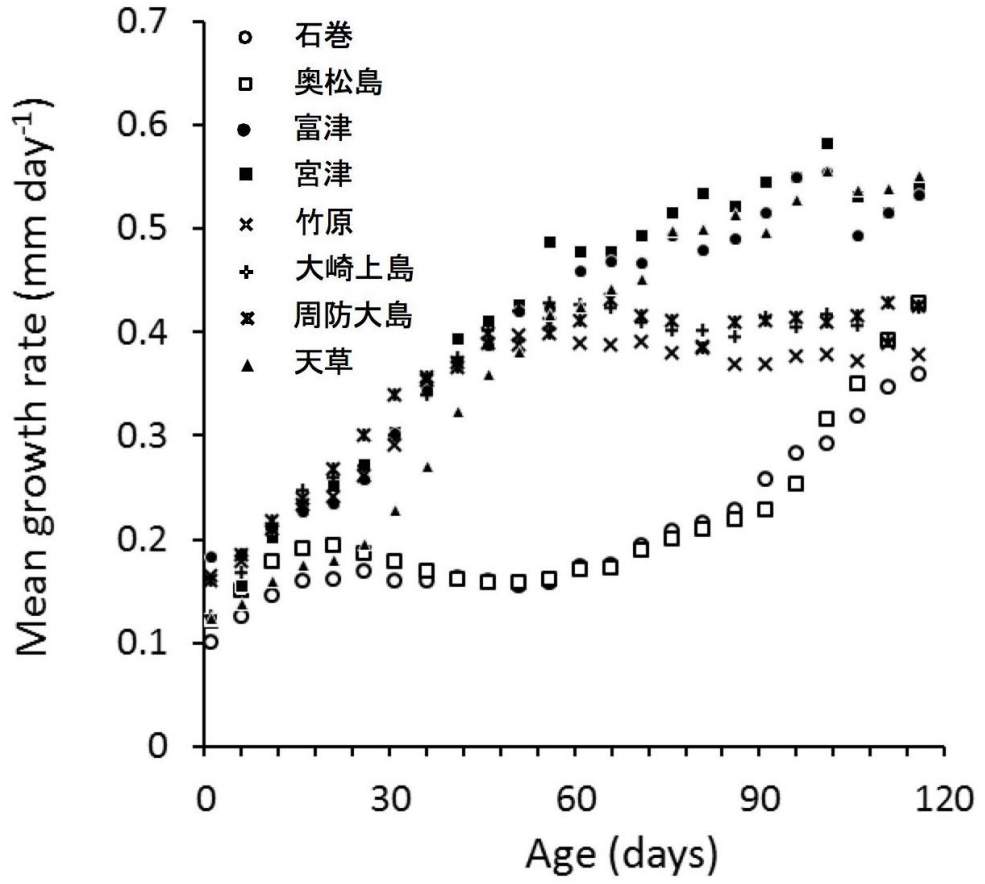
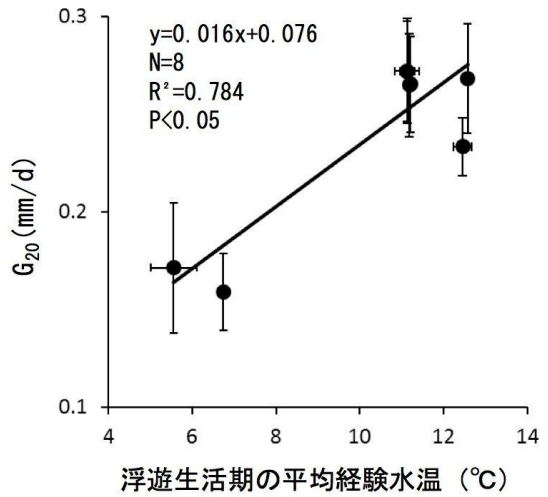


図4-2-4.
耳石日周リングをもとに逆算推定されたシロメバル仔稚魚の各日齢における日間成長速度 (mm/d) のサイト間比較。各サイトにおける成長パターンをもとに、以下の3つに区分した。①北日本型、②中南日本型、③瀬戸内型(本文を参照)。

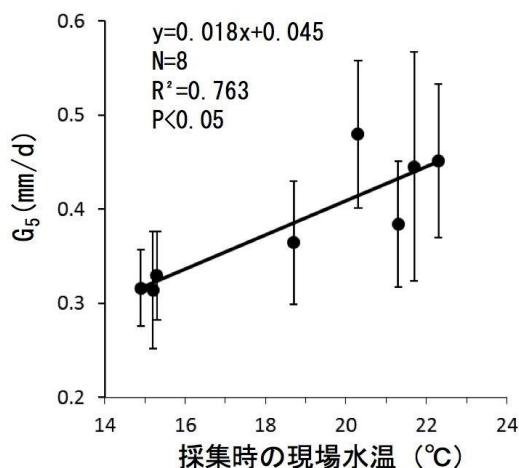
図4-2-5.
各サイトにおけるシロメバル仔稚魚の浮遊生活期（産仔から藻場移入：全長20 mmまで）の平均日間成長速度 (G_{20} 、mm/d) と経験水温の関係。経験水温は、各サイトに隣接する海域の観測ブイによる水温データのうち、産仔日から藻場移入日までの平均値を用いた。



各サイトにおけるサンプリング実施時の水温は以下のとおりであった：石巻（15.3℃）、奥松島（21.3℃）、富津（21.7℃）、宮津（22.3℃）、竹原（14.9℃）、大崎上島（15.2℃）、周防大島（18.7℃）、天草（20.3℃）。これらサンプリング実施日における各サイトの水温と、シロ

メバル採集日の直近5日間の平均日間成長 (G_5 , mm/d) の間には、有意な正の相関関係が認められた (図4-2-6)。先述の浮遊生活期に加えて、藻場生活期においても水温がシロメバルの成長速度を左右する重要な環境要因の一つであることが明らかとなった。

図4-2-6.
各サイトにおけるシロメバル仔稚魚の採集日直近の5日間における平均日間成長速度 (G_5 , mm/d) とサンプリング時の現場水温の関係。

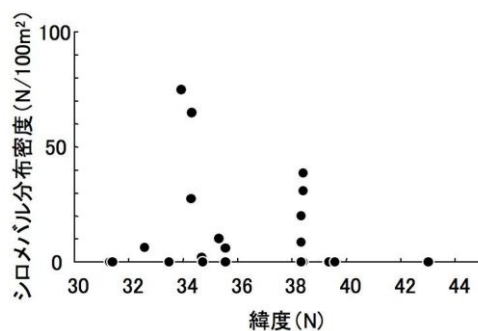


3) 優占種シロメバル仔稚魚の分布密度、餌料環境、生産速度の広域比較

a. シロメバル仔稚魚の分布密度

2010年度に調査を実施したサイトのなかで、シロメバル稚魚の分布密度は、広島（竹原、大崎上島）、山口（周防大島）および宮城（石巻）で高く、富津、宮津、天草で低かった (図4-3-1)。胃内容物解析には用いなかったものの、定量サンプリングを実施した全ての調査日のデータを図にプロットしているため、調査サイト数よりも多いデータが示されている。分布密度の最大値は75.0 尾/100 m²で、周防大島（山口）において得られた。65.0 尾/100 m²（阿波島：広島）、38.7 および31.0 尾/100 m²（石巻：宮城）、27.5 尾/100 m²（生野島：広島）、20.0 尾/100 m²（奥松島：宮城）がこれに次いだ。分布密度が高いサイトは瀬戸内海（山口、広島）および仙台湾（宮城）に集中していたが、これら以外では富津（千葉：10.3 尾/100 m²）、天草（熊本：6.3 尾/100 m²）、宮津（京都：6.0 尾/100 m²）などにおける分布密度が比較的高かった。水温をはじめとする環境条件とシロメバル個体密度との間に、相関関係は見いだされなかった。

図4-3-1.
各サイトの緯度に対するシロメバル仔稚魚の分布密度プロット。複数日サンプリングを実施したサイトのデータも含まれているため、サイト数（8ヶ所）よりもプロットの数が多い。



b. 胃内容物および餌料生物環境

胃内容物解析に用いたシロメバル稚魚の大部分の胃内には餌料生物が認められた。各サイトにおける摂餌率（摂餌していたシロメバル仔稚魚の個体数割合：％）はいずれのサイトにおいても高く、石巻、奥松島、富津、宮津、竹原、大崎上島、周防大島、天草でそれぞれ100％、93.3％、93.3％、100％、100％、100％、100％であった。全サイトを通じた摂餌個体率は97.5％であった。

解析したほとんどのシロメバル稚魚において胃に餌料生物が充満していた。胃内容物中にはカイアシ類、アミ類、ワレカラ類などが比較的高い割合で出現したが、その組成はサイトによって異なった（図4-3-2）。シロメバル稚魚1尾あたりの胃内餌料生物個体数（±SD）は石巻、奥松島、富津、宮津、竹原、大崎上島、周防大島、天草でそれぞれ、409.8（±136.2）、473.0（±263.2）、255.7（±186.0）、115.9（±248.4）、356.4（±79.5）、316.9（±173.0）、64.9（±29.0）、49.1（±50.1）個であり、石巻、奥松島、竹原、大崎上島で比較的高い値を示した。胃内容物中のカイアシ類の個体数が、各サイトにおける胃内容物個体数の多寡に強く影響していた。

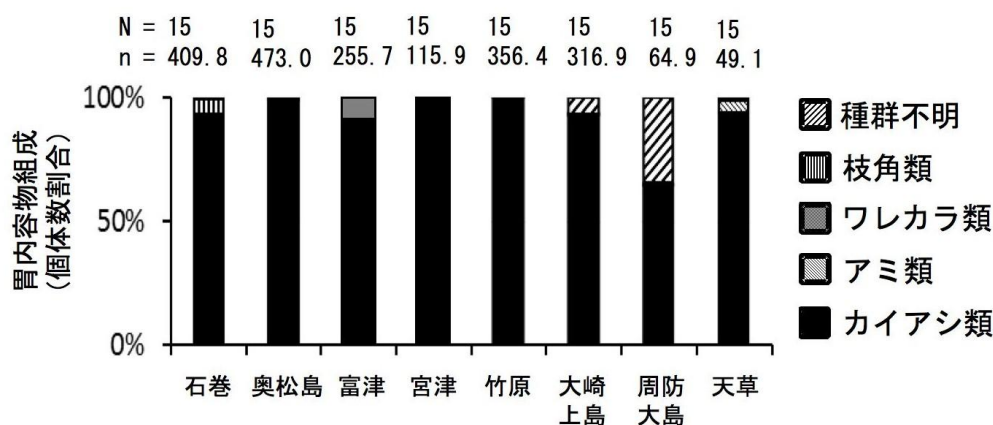


図4-3-2.

各サイトにおいて採集されたシロメバル仔稚魚の胃内容物の個体数にもとづく割合。図の上のNは解析個体数、nはシロメバル1尾あたりの胃内餌料生物個体数の平均値。

胃内容物重量（±SD）は石巻、奥松島、富津、宮津、竹原、大崎上島、周防大島、天草でそれぞれ1.33（±0.56）、1.53（±0.90）、0.80（±0.61）、20.27（±17.97）、1.82（±0.47）、1.35（±0.67）、0.12（±0.01）、0.18（±0.22）mgであり、胃内容物個体数の場合とは異なり、胃内容物重量では富津が他に比べて高い値を示した。シロメバル稚魚の体重あたりに換算したシロメバル稚魚胃内容物重量も、富津において最も高い値となった（図4-3-3）。これは、他サイトにくらべて、富津においてより大型の甲殻類が多数摂餌されていたためである。

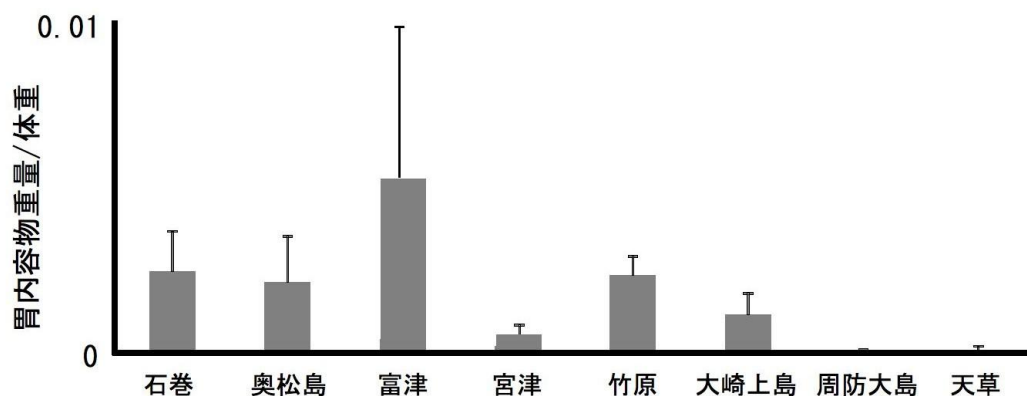


図4-3-3.

各サイトにおいて採集されたシロメバル仔稚魚の胃内容物重量の体重に対する割合。バーは標準偏差を示す。

プランクトンネットによる餌料生物環境調査を実施したサイトは、石巻、奥松島、富津、宮津、竹原、大崎上島の6ヶ所である。これらのサイトで採集された動物プランクトンはカイアシ類、アミ類、ミジンコ類、ヨコエビ類などで構成された。サイト間で動物プランクトンの優占種は異なっていたが、カイアシ類は全てのサイトにおいて優占していた（図4-3-4）。動物プランクトンの分布密度は、石巻、奥松島、富津、宮津、竹原、大崎上島でそれぞれ26972.7 個体/m³、3077.0個体/m³、10165.4個体/m³、596.4個体/m³、2086.6 個体/m²、13839.0個体/m³であった（図4-3-4上段に数字で示す）。

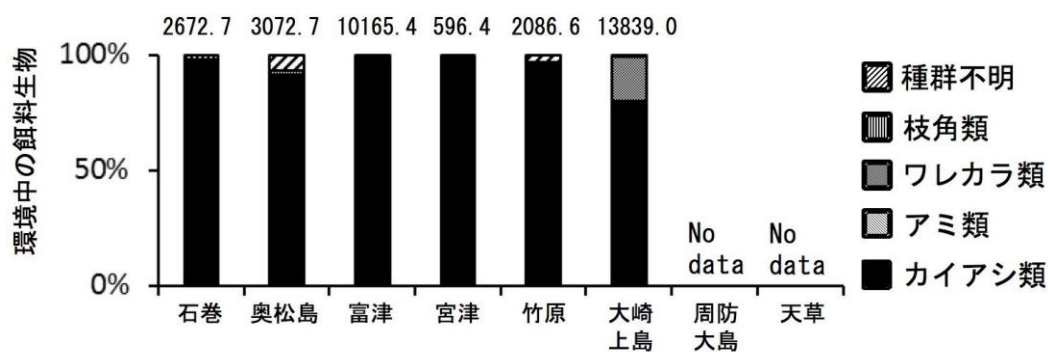


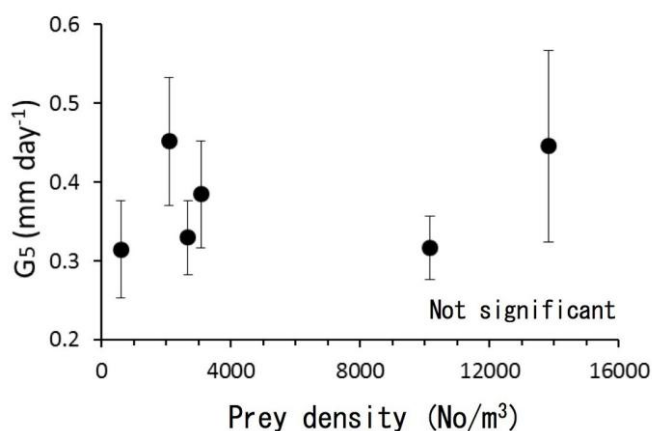
図4-3-4.

各サイトにおいてプランクトンネットにより採集された環境中の動物プランクトンの個体数にもとづく割合（棒グラフ）および分布密度（上段の数字:1 m³あたり分布密度）

各サイトにおける動物プランクトン分布密度と先述の採集日から直近5日間のシロメバル稚魚日間成長速度 (G_5 , mm/d) の間には、有意な相関関係は認められなかった（図4-3-5）。以上の結果から、水温が藻場におけるシロメバル稚魚の成長速度に最も強く影響する環境要因のうちの一

つであると考えられた。水温以外の要因としては、生息環境（アマモの繁茂状況）の変動や、シロメバル自身の分布密度やバイオマスの変動により生じる密度効果の影響も今後の検討課題の一つであろう。

図4-3-5.
各サイトにおける環境中の餌料生物分布密度に対するシロメバルの採集直近5日間の日間成長速度（ G_5 , mm/d）のプロット。両者の間に有意な相関関係は認められなかった。



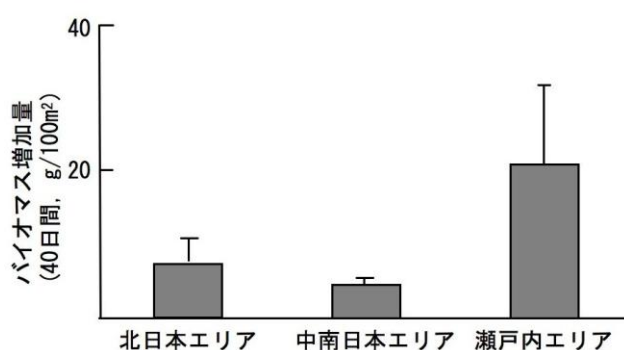
c. 全国サイトにおけるシロメバル稚魚生産速度の試算と比較

全国サイトにおけるシロメバル稚魚分布密度、成長速度、環境条件などに関して実施した調査の結果を総合して、全国サイトにおけるシロメバル稚魚生産速度の試算と比較を行う。各地域によるデータの精度を高めるために、シロメバル仔稚魚の調査サイトを前節「（2）優占種シロメバル仔稚魚の成長速度の広域比較」での区分にしたがって以下の3エリアに区分した。

- ①北日本エリア（石巻、奥松島）
- ②中南日本エリア（富津、宮津、天草）
- ③瀬戸内エリア（竹原、大崎上島、周防大島）

ここでは、藻場におけるシロメバル仔稚魚の死亡率はサイト間で異ならないという仮定のもとに、各サイトにおけるバイオマス（調査日）と日間成長速度にもとづいて、藻場来遊後40日間のバイオマス増加量の相対的比較を行った。この結果によると、瀬戸内海エリアにおけるバイオマス増加量が最も大きく、中南日本エリア、北日本エリアの順でこれに次いだ（図4-3-6）。中南日本エリアではシロメバル稚魚の成長速度が3エリアで最も高かったものの、現存個体密度がより大きかった瀬戸内海エリアのバイオマス増加量が中南日本エリアのそれを上回った。北日本エリアでは現存個体密度（バイオマス）が大きかったものの成長速度が低かったため、バイオマス増加速度は3つのエリアのなかで中間の値となった。

図4-3-6.
3つのエリアにおけるシロメバル生産速度の比較。藻場来遊日から40日間のバイオマス増加量（g/100m²）を算出した。



(2) コアサイトにおける魚類群集・生産構造の精査

4) 魚類群集の季節変化

調査サイトとなった生野島東岸のアマモ場における水温は、最低の12℃（1月）から最高の27.5℃（9月）の間で変動した（図4-4-1、A）。塩分は、最低の30.8（9月）から最高の33.1（4月）の間で変動した（図4-4-1、A）。アマモの1 m²あたり平均株密度（±標準偏差）は、最低の42.0±10.6 /m²（1月）から最高の75±11.5 /m²（6月）の間で変動した（図4-4-1、B）。平均葉長は、最低の356.3±110.4 mm（2月）から最高の873.3±42.1 mm（8月）の間で変動した（図4-4-1、C）。アマモの平均株密度、平均葉長に対する調査月の影響は有意であった（Kruskal-Wallis test、株密度：P=0.047；葉長：P=0.002）。

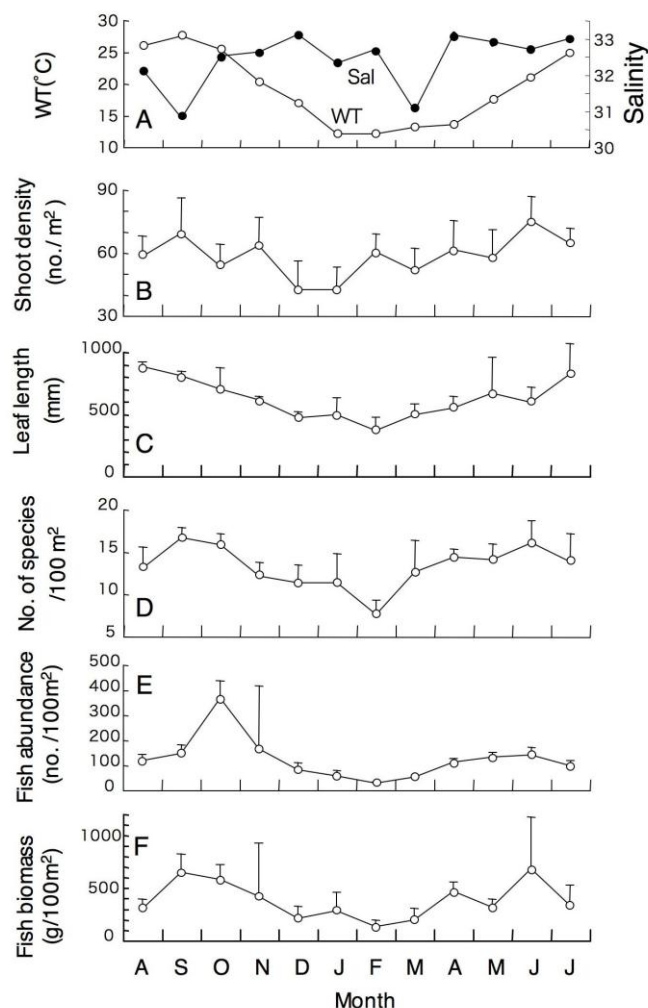


図4-4-1.

コアサイトの一つである生野島東岸（広島県大崎上島町）のアマモ場において実施した周年サンプリングによる水温、塩分（A）、アマモ株密度（B）、アマモ葉長（C）、魚類種数（D）、個体密度（E）、バイオマス（F）の季節変化。縦棒は標準偏差を示す。

表4-4-1.

コアサイトの一つである生野島東岸（広島県大崎上島町）のアマモ場において実施した周年サンプリングにより得られた魚類の種ごとの出現時期、個体数および重量による割合と全体に示すそれらの順位、全長範囲および平均全長（標準偏差：SD）。

Family	Species	Month of capture	No. of ind.		Weight (g)		Total Length (mm)	
			Total	Rank	Total	Rank	Range	Mean (SD)
Clupeidae	<i>Sardinella zunasi</i>	Dec	1		3.8		80.2	80.2
Engraulidae	<i>Engraulis japonica</i>	Oct,Dec	73		113.7		42.2-89.8	62.8(9.1)
Plotosidae	<i>Plotosus lineatus</i>	Sep,Nov	496	4	1010.0	6	54.9-176	65(25.6)
Plecoglossidae	<i>Plecoglossus altivelis altivelis</i>	Mar	29		21.1		42.2-58.7	48.8(3.6)
Hemirhamphidae	<i>Hyporhamphus sajori</i>	Oct,Nov	9		146.6		186.8-220	198.3(15.2)
Aulorhynchidae	<i>Aulichthys japonicus</i>	Jan-Apr,Jul,Nov,Dec	76		181.5		81.5-137.2	108.4(15.2)
Syngnathidae	<i>Urocampus nanus</i>	Apr,May,Oct	9		1.4		36.2-105.8	89.1(26.5)
	<i>Syngnathus schlegeli</i>	Jan-Dec	132	10	226.9		65.3-238.9	168(28.7)
	<i>Hippocampus coronatus</i>	Feb,May-Jul,Sep-Dec	13		7.7		24.5-63.2	42(10.8)
Scorpaenidae	<i>Sebastes marmoratus</i>	Jun,Sep,Oct	6		37.5		69.9-99.9	84.9(21.2)
	<i>Sebastes inermis</i>	Mar-Oct	126		974.1	7	21.2-147.6	63.7(31.1)
	<i>Sebastes ventriosus</i>	Mar-Dec	177	8	666.6		31.9-132.9	60.7(11.2)
	<i>Sebastes cheni</i>	Jan,Mar-Dec	995	2	3115.2	1	21.8-76.2	55.7(12.9)
	<i>Sebastes oblongus</i>	Jun-Sep	21		61.5		37.1-111	56.2(15.5)
	<i>Sebastes longispinis</i>	Mar	1		0.4			28.5
	<i>Sebastes hubbsi</i>	Sep	1		119.6			115.0
Synanceiidae	<i>Inimicus japonicus</i>	Jun	1		5.1			59.4
Tetrarogidae	<i>Hypodytes rubripinnis</i>	Jan-Nov	51		528.6		44.4-105	82.8(10.4)
Hexagrammidae	<i>Hexagrammos agrammus</i>	Jan-Apr,Jun,Jul,Sep	40		714.8	10	45.2-217.4	87.2(47.8)
	<i>Hexagrammos otakii</i>	Apr-Jun,Sep	39		255.9		41.2-123.9	71.2(19.9)
Cottidae	<i>Pseudoblennius cottoides</i>	Jan,Mar-Nov	139	8	344.7		27.5-115.9	57.7(19.7)
Percichthyidae	<i>Lateolabrax japonicus</i>	Jan,May-Jul,Nov	5		1148.9	5	48-271.1	158.4(106.1)
Sillaginidae	<i>Sillago japonica</i>	Mar,Oct,Nov	145	9	27.7		23.8-63	30.6(6.1)
Carangidae	<i>Trachurus japonicus</i>	Nov	2		95.0		158-179	168.5(14.8)
Sparidae	<i>Acanthopagrus schlegelii</i>	Jul-Sep	295	5	240.9		18.3-82	36.8(13.3)
	<i>Pagrus major</i>	Aug-Dec	13		177.4		45-110.3	77.3(23)
Girellidae	<i>Girella punctata</i>	Jul	2		1.8		36.1-41.9	39(4.1)
Embiotocidae	<i>Ditrema temminckii pacificum</i>	Jan-Nov	217	7	1992.3	3	48.4-205.6	90.4(31.9)
	<i>Ditrema viride</i>	Apr,Jun	17		92.9		46.9-122.4	62(21.5)
	<i>Ditrema jordani</i>	Jun	18		47.5		51.7-63.9	58.1(3.9)
Mugilidae	<i>Mugil cephalus</i>	Apr,May,Jul-Sep	27		46.5		29.4-80	38.7(12.3)
	<i>Chelon macrolepis</i>	Jan	1		10.4			105.2
Labridae	<i>Halichoeres poecilopterus</i>	Jun,Sep	4		352.6		22.3-101	50.3(44)
	<i>Halichoeres tenuispinnis</i>	Sep	2		17.4		34-87	60.5(37.5)
Pholididae	<i>Pholis nebulosa</i>	May	1		2.4			92.2
Blenniidae	<i>Petroscirtes breviceps</i>	Jan,Feb,May,Aug,Oct-Dec	41		65.1		28.8-83	51.8(14.1)
Callionymidae	<i>Callionymidae</i>	Apr-Jun,Dec	8		13.8		30.1-79.2	51.7(20.4)
	<i>Repomucenus beniteguri</i>	May,Jun,Sep,Oct	15		243.3		58.2-158	110.1(31.9)
	<i>Repomucenus ornatipinnis</i>	Jan,Sep-Nov	11		127.4		28.9-148	103(42.6)
Gobiidae	<i>Luciogobius guttatus</i>	Feb	1		0.5			44.9
	<i>Chaenogobius annularis</i>	Jan	1		1.1			49.6
	<i>Chaenogobius heptacanthus</i>	Jan-Aug,Oct-Dec	88		58.7		28-60.1	46.6(7.5)
	<i>Pterogobius elapoides</i>	Mar-Jun,Aug,Sep	23		102.3		51.1-93	74.9(12.6)
	<i>Favonigobius gymnauchen</i>	Jan-Dec	726	3	575.9		19.1-69.8	43.7(11.9)
	<i>Acentrogobius pflaumii</i>	Jan-Dec	272	6	417.5		27.9-77	53.7(12.7)
	<i>Tridentiger trigonocephalus</i>	Jan-Aug,Nov,Dec	68		120.8		30.3-84.6	50.8(12.3)
Pleuronectidae	<i>Pleuronichthys cornutus</i>	Jun	1		11.2			102.2
Monacanthidae	<i>Rudarius ercodes</i>	Jan-Dec	1263	1	1344.7	4	11-54.9	35.2(8.5)
	<i>Thamnaconus modestus</i>	Jul-Sep,Nov,Dec	22		763.0	9	42.1-163.1	121.4(45.8)
	<i>Stephanolepis cirrifer</i>	Oct	4		80.0			97.3
Tetraodontidae	<i>Takifugu pardalis</i>	Jan-Jul,Sep-Dec	54		2052.2	2	14.3-195.9	118.7(49.6)
	<i>Takifugu poecilonotus</i>	Jan,Mar,Aug,Oct-Dec	18		171.4		24-124.5	81.7(18.6)
	<i>Takifugu niphobles</i>	Jan-Aug,Oct	85		814.9	8	22-129	70.7(19.6)

12ヶ月間の調査により、合計27科53分類群に属する5,585個体の魚類が採集された(表4-4-1)。個体数において優占した魚類(および全体に占めるその個体数割合)は、多いものから順にアミメハギ *Rudarius ercodes* (21.5%)、シロメバル *Sebastes cheni* (16.9%)、ヒメハゼ *Favonigobius gymnauchen* (12.3%)、ゴンズイ *Plotosus lineatus* (8.4%)、クロダイ *Acanthopagrus schlegelii* (5.0%)であった。重量において優占した魚類(および全体に占めるその重量割合)は、多いものから順にシロメバル *S. cheni* (15.8%)、ヒガンフグ *Takifugu pardalis* (10.4%)、マタナゴ、*Ditrema temminckii pacificum* (10.1%)、アミメハギ *R. ercodes* (6.8%)、スズキ *Lateolabrax japonicus* (5.8%)であった。

全ての月に採集されたものは、ヨウジウオ *Syngnathus schlegelii*、マタナゴ *D. temminckii pacificum*、ヒメハゼ *F. gymnauchen*、スジハゼ *Acentrogobius pflaumi*、アミメハギ *R. ercodes* であった。11ヶ月間採集されたものは、シロメバル *Sebastes cheni*、ハオコゼ *Hypodytes rubripinnis*、ニクハゼ *Chaenogobius heptacanthus*、ヒガンフグ *T. pardalis* であった。アサヒアナハゼ *Pseudoblennius cottoides* とアカオビシマハゼ *Tridentiger trigonocephalus* は10ヶ月間採集された。長期間にわたって採集されたこれらの魚種は、出現種のなかでも比較的藻場に対する依存度が高い(依存期間が比較的長い)魚種であると考えられた。

採集された魚類の平均種数(±標準偏差)は、最低の $7.5 \pm 1.7 / 100 \text{ m}^2$ (2月)から最高の $16.5 \pm 1.3 / 100 \text{ m}^2$ (9月)の間で変動した(図4-4-1、D)。採集された魚類の平均個体密度(±標準偏差)は14.6倍の変動を示し、最低は $25.0 \pm 5.8 / 100 \text{ m}^2$ (2月)、最高は $365.8 \pm 69.4 / 100 \text{ m}^2$ (10月)であった(図4-4-1、E)。採集された魚類の平均バイオマス(±標準偏差)は、最低の $115.5 \pm 71.8 \text{ g} / 100 \text{ m}^2$ (2月)から最高の $672.6 \pm 485.0 \text{ g} / 100 \text{ m}^2$ (6月)の間で変動した(図4-4-1、F)。月ごとの平均種数(Kruskal-Wallis test、 $P=0.007$)、魚類個体数($P=0.0002$)および魚類バイオマス($P=0.0038$)に対するサンプリング実施月の影響は有意であった。

調査を開始した8月から順に、個体数で優占した種の変化を総括する。8月：クロダイ、9月：シロメバル、10月：アミメハギ、11月：ゴンズイ、12-3月：ヒメハゼ、4-5月：シロメバル、6月：マタナゴ、7月：クロダイ、(図4-4-2)。これに対し、重量で優占した種の変化は、以下のとおりであった。総括する。8-9月：シロメバル、10月：アミメハギ、11月：ゴンズイ、12月：シロメバル、1月：ヒガンフグ、2月：ヒメハゼ、3月：ヒガンフグ、4月：マタナゴ、5月：シロメバル、6月：スズキ、7月：マタナゴ、(図4-4-3)。

図4-4-2.
生野島東岸(広島県大崎上島町)のアマモ場において実施した周年サンプリングにより採集された魚類の個体数割合の季節変化。

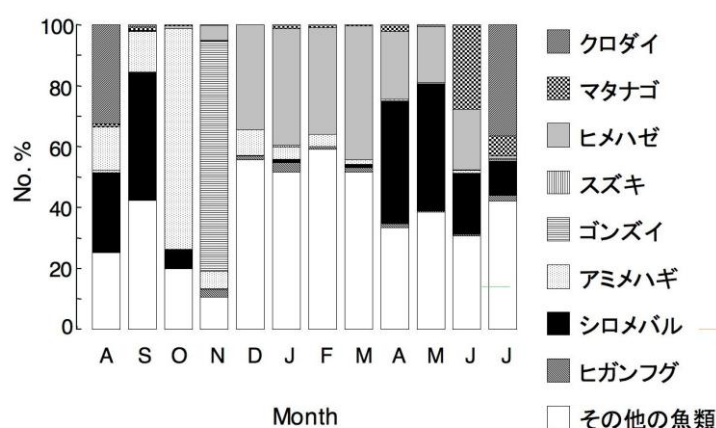
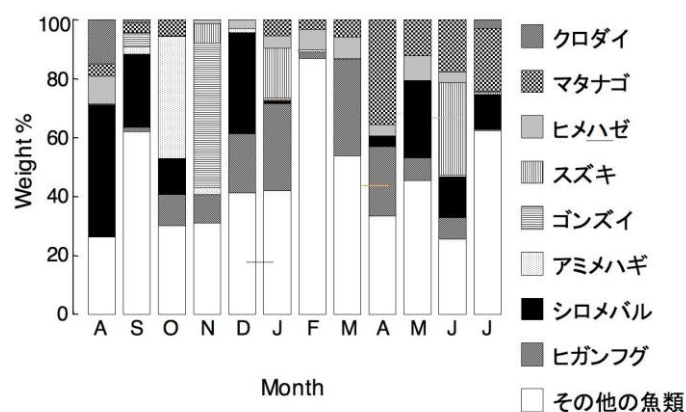


図4-4-3.
生野島東岸（広島県大崎上島町）のアマモ場において実施した周年サンプリングにより採集された魚類の重量割合の季節変化。



本調査地（生野島）の近傍（北東に約3 km）に位置する阿波島においては、アマモ場・ガラモ場が季節的に入れ替わる混生藻場に出現する魚類の調査結果が既に報告されている¹⁰⁾。阿波島で実施された調査の方法は、本研究と全く同じもので、同型の巻き網による魚類サンプリング（毎月4回）が毎月1回行われた。その結果によると、42分類群に属する合計3,363個体の魚類が採集されている。これに比べて、本研究においては、同じサンプリング努力であっても、より多様で多くの魚類が採集されたことになる。さらに古い調査結果としては、1952-1953年に本調査海域と同様に瀬戸内海の奥部に位置する岡山県笠岡湾のアマモ場において実施された周年調査の結果が存在する³⁾。サンプリング努力量が本研究とは異なるため直接的な比較には注意を要するが、笠岡湾における周年調査で個体数において優占した魚類（およびその個体数割合）は、多い者から順にスジハゼ *A. pflaumi* (23.5%)、スズキ *L. japonicus* (19.9%)、メバル属（アカメバル、クロメバル、シロメバルの3種が混在している可能性がある）*Sebastes* spp. (18.3%)、カサゴ *S. schlegeli* (7.7%) およびニクハゼ *C. heptacanthus* (5.6%) であった。これら笠岡湾における個体数での優占種は、本調査（生野島）において個体数もしくは重量において優占した魚種と同様のものではなかった。

5) 優占種シロメバル仔稚魚の藻場への加入機構

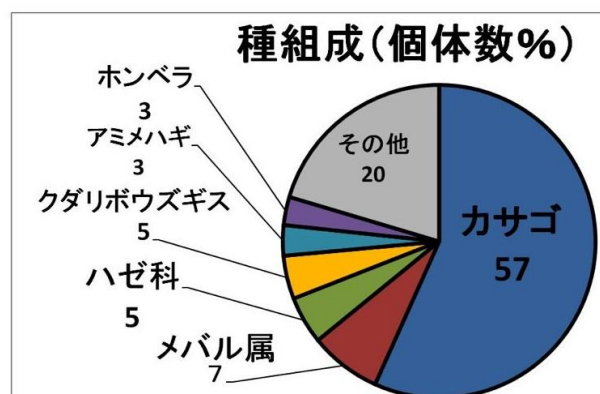
a. 藻場の沖合における物理環境の季節変化

調査を実施した阿波島西方海域の4定点における平均水温（±標準偏差）は最低の10.9(±0.1)℃（2月）から最高の27.1(±0.8)℃（9月）の間で変動した。同一の調査月内における定点間の水温差は、8月に最大(1.5℃)となったが、これ以外の月では定点間の差は小さかった。平均塩分（±標準偏差）は最低の31.0(±0.1: 10月)から最高の32.8(±1.7: 3月)の間で変動した。同一の調査月内における定点間の塩分差は1月に最大(3.1)となった。水温に比べて、塩分の季節変動は小さく、同一月内の定点間における変動は比較的大きかった。

b. 藻場の沖合における魚類プランクトンの種組成

1年間のサンプリングにより、24科34属37分類群、計451個体の魚類が採集された。これらのうちのほとんどが浮遊生活期の個体であった。科ごとの個体数割合で最も多かったのはフサカサゴ科(68%)で、ハゼ科(6%)、テンジクダイ科(5%)、カワハギ科(4%)、ベラ科(3%)、その他(14%)の順でこれに次いだ。科内の出現種数が最も多かったのはハゼ科(5種)で、次いでフサカサゴ科(3種)、ヨウジウオ科(3種)の順であった。ハゼ科のなかには種レベルまで同定できないものが多く含まれており、体の黒色素胞の配列にもとづいて便宜上3つのタイプ(Type A、B、C)に区分した。種ごとの個体数割合で最も多かったのはカサゴ(57%)で、メバル属spp.(7%)、ハゼ科Type B(5%)、クダリボウズギス属spp.(5%)、アミメハギ(3%)、ホンベラ(3%)がこれに次いだ(図4-5-1)。

図4-5-1.
コアサイトのアマモ場に隣接する浅海域において1年間実施した稚魚ネットによる採集により得られた魚類プランクトンの個体数にもとづく組成。



c. 採集された魚類プランクトンの種数、分布密度、多様度指数の季節変化

各月に採集された魚類プランクトンの種数は、最小であった4月(1種)から最大であった9月(15種)の間で15倍の変動を示した(図4-5-2上段)。採集された魚類プランクトンの1000m³あたりの分布密度は最大が4月、最小が11月で、年内で約20倍の変動を示した(図4-5-2中段)。1年を通じて分布密度の変化をみた場合、種数が比較的少なかった2-4月の時期に分布密度の急増が認められた。種数が比較的多かった6月および9-10月には、分布密度は比較的低く、種数と分布密度がともに高い値となる時期は存在しなかった。同一の月内において、種数と分布密度の定点間での差は、いずれも大きくなかった。各月における多様度指数(H')は最低の0.22(4月)から最高の3.56(9月)の間で変動した(図4-5-2下段)。多様度の季節変化は種数の季節変化と概ね対応した。

d. 優占種の季節変化

全体に占める個体数割合における優上位種の出現時期は、カサゴが12-6月、メバル属spp.が1-4月、ハゼ科Type Bが6-11月、クダリボウズギス属spp.とアミメハギが8-10月であった。カサゴの出現時期は7ヶ月間で、今回得られた魚種の中では最長であった。冬期から春期にかけてはカサゴ、メバル属spp.が、夏期から秋期にかけてはハゼ科Type B、クダリボウズギス属spp.、アミメハギが優占した。1000m³あたりの分布密度からみた出現ピーク時期は、カサゴが5月、メバル属spp.

が1月、ハゼ科Type Bが6月、クダリボウズギス属spp. が10月、アミメハギが8月であった。

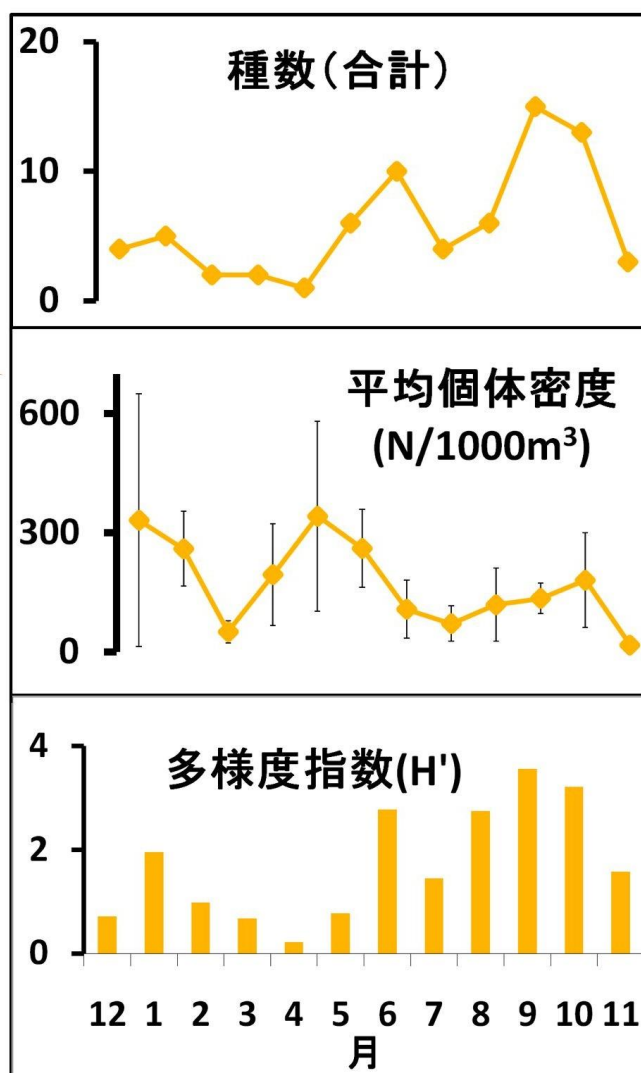


図4-5-2.

コアサイトのアマモ場に隣接する浅海域において稚魚ネットにより採集された魚類プランクトン月ごとの合計種数(上段)、平均個体密度(中段)、多様度指数(下段)。

e. 本調査海域（島岨部：備後芸予瀬戸～安芸灘）と灘部（燧灘）の間での海域間比較

先述した本調査における優占種の組成と、過去に燧灘で実施された同様の調査¹⁷⁾との間で、優占種との比較を行う。燧灘における優占種を科ごとにまとめた場合、個体数において最も多かったものから順にニシン科（32%）、ハゼ科（25%）、イカナゴ科（11%）、アジ科（10%）、テンジクダイ（8%）、フサカサゴ科（2%）であった（図4-5-3）。本調査では、ニシン科仔稚魚は全く採集されず、燧灘において2%にとどまったフサカサゴ科が本調査では68%で最も高い割合であるなど（図4-5-1）、これら2つの海域間で魚種組成が大きく異なった。この種組成の違いには、それぞれの海域およびその周辺での各魚種の産卵の有無が深く関わっていると考えられる。

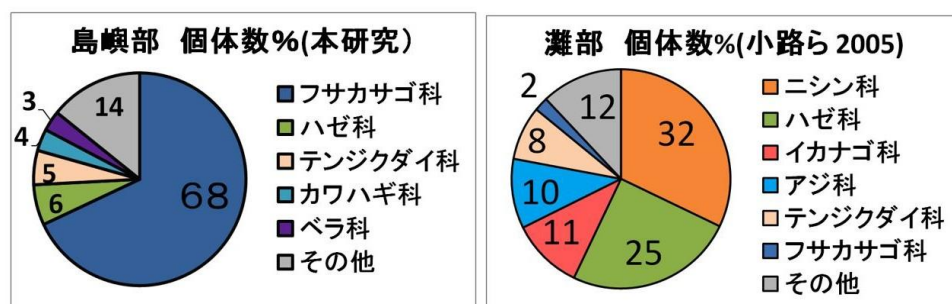


図4-5-3.

瀬戸内海の島嶼部(本調査)と灘部(過去の研究)において実施された魚類プランクトン調査による優占種の比較. 分類群数が多いため科ごとにまとめて扱った. 円グラフ中の数字は個体数にもとづく割合を示す.

f. 藻場と浅海域(浮遊生態系)の生態系間比較

本調査結果と隣接する藻場において実施された魚類サンプリングで得られた情報を統合して、藻場とその沖合(浅海域の漂泳生態系)の間で、魚類群集の生態系間比較を行う。本調査域に隣接する阿波島の藻場(アマモ・ガラモ混生藻場)における優占上位種の個体数割合は、多いものから順にシロメバル(76%)、ヒメハゼ(13%)、ハオコゼ(5%)、クサフグ(4%)、アミメハギ(2%)であった(図4-5-4)

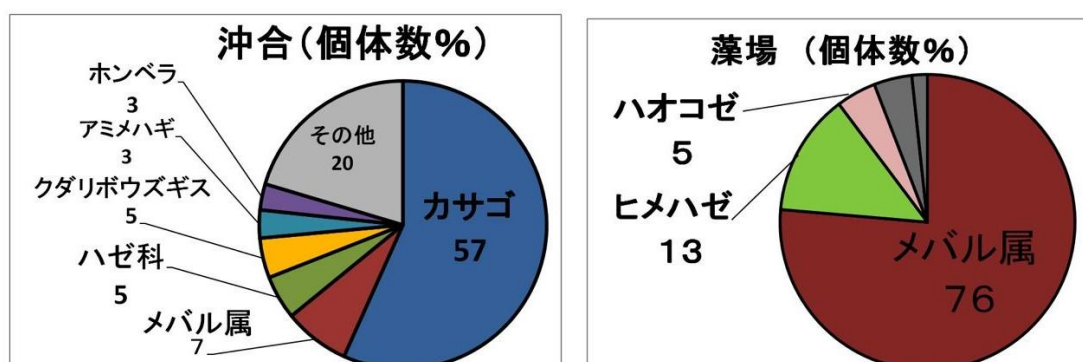


図4-5-4.

本調査結果(沖合)と、隣接する藻場において実施された周年サンプリング¹⁰⁾により得られた魚類の個体数割合の比較. 分類群数が多いため、属・科レベルの分類群で一まとめにして扱った.

本研究の主要対象種と位置づけられているシロメバルについては、浮遊生活期の種同定が困難であるものの、藻場へと来遊する時期の前には近傍海域で浮遊生活を経ていることが裏付けられた。これに対し、沖合における優占種であり、出現期間が長かったカサゴについては、藻場では全く採集されていない点は、これら2種が同じフサカサゴ科魚類である点を考慮すると非常に興味深い。

本調査では概ね産仔直後と思われる全長2.0 mm台から全長5.0 mmまでのカサゴ仔魚が多数採集

されたものの、藻場においてはカサゴ仔魚、稚魚がいずれも全く採集されなかった。これに対し、シロメバル仔魚は産仔直後と思われる全長2.0 mm台から全長7.0 mmまでの個体が沖合いで多数採集されるとともに、藻場においては全長15 mm以上の個体が広い体長範囲にわたって採集された(図4-5-5)。

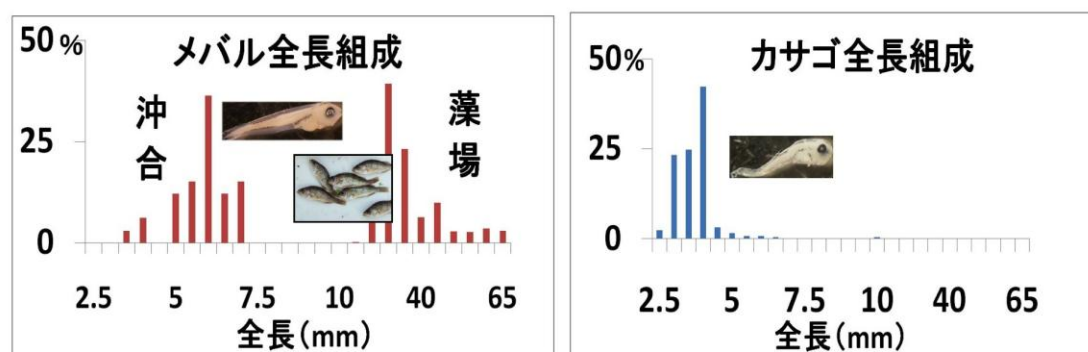


図4-5-5.

コアサイト周辺において採集されたシロメバル、カサゴの体長組成の比較。両種とも浮遊生活期の仔魚は稚魚ネットにより多数採集されたが、稚魚期以降の個体は、シロメバルのみが採集され、カサゴは採集されなかった。

以上のことは、カサゴ、シロメバルの浅海域成育場への加入機構の特性を示している可能性が高い。カサゴ、シロメバルはいずれも同じフサカサゴ科に属する近縁種であり、ともに近隣海域で産卵（産仔）し、稚魚期の生息場へ移動する前に浮遊生活期を経る。カサゴの産卵期がシロメバルに比べて長いという差は認められるものの、浮遊生活期にこれら2種の仔魚が同時期、同エリアで採集されるのは、産仔から浮遊生活期にかけての時期における生活史特性に共通点が存在することを示している。

しかしその後、浮遊生活期から稚魚期にかけて、これら2種の生活史に違いが生じる。シロメバルは浮遊生活期から稚魚期への移行期に藻場へ来遊し、全長約20 mmの時期から数ヶ月間にわたって浅海域の藻場を主要な生息場の一つとする。これに対し、カサゴは浮遊生活期から稚魚期への移行期に、藻場以外への生息場へと移動するものと想定される。これまで実施してきた魚類採集や潜水による目視観察を通じて、カサゴ稚魚や成魚が藻場分布することは確認できなかった。以上のことは、シロメバルとは異なり、カサゴが藻場以外の生態系・生息場（岩礁域など）への嗜好性・選択性を示すこと、さらには、シロメバルとの嗜好性・選択性の違いが明瞭になる時期が稚魚期の前後であることを示唆している。飼育されたシロメバル稚魚およびカサゴ稚魚を用いて予備的に実施した底質選択実験ではシロメバル稚魚が藻場に対して、カサゴ稚魚が岩礁性の底質に対して稚魚期の特定の時期に強い嗜好性を示すことが明らかとなっている（千葉ら、未発表）。藻場がシロメバルにとって重要な生態系であることは過去にも指摘されてきたが、本研究では、沖合域からの加入機構を含めて生息場の利用パターンを近縁種と比較することにより、シロメバル稚魚と藻場との結びつきが強いことが確認された（図4-5-6）。

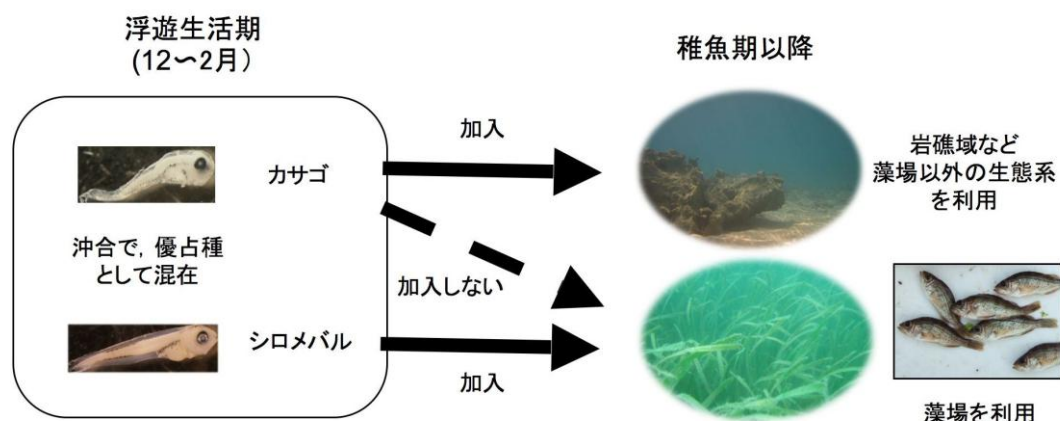


図4-5-6.

シロメバル、カサゴの浮遊生活期から稚魚期への移行期における生息場（選択性）の移行過程に関する模式図。浮遊生活期には両種は沖合で優占種として出現するが、稚魚期にはシロメバルは藻場を、カサゴは藻場以外の生態系（岩礁域など）をそれぞれ主な生息場とするため、稚魚期を境として両者には生息場の分離が生じる。

6) 優占種シロメバル仔稚魚の生産機構および経済的価値の算出

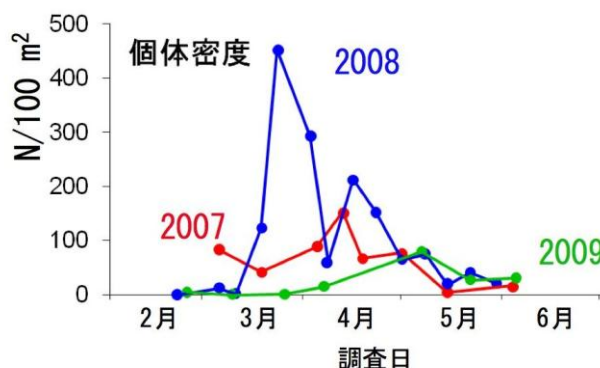
瀬戸内海の藻場では、冬期から夏期にかけてシロメバルが魚類群集のなかで優占することが知られている^{5, 10)}。全長約20 mmの稚魚期の初期のシロメバルは、2月下旬から3月上旬頃に沖合から藻場へ来遊し、夏期までに藻場で全長約70 mmに成長する。藻場への依存度が高まる時期を過ぎたのち、夏期の水温などの環境条件に影響されて藻場を離れ、岩礁など他の生息場へ移動するものと考えられている^{34, 35)}。したがって、稚魚が藻場へ来遊する時期から、藻場を離れるまでの時期における成長過程を追跡することは、藻場におけるシロメバルの年間生産速度の正確な推定にとって重要な要素である。安定同位体比分析などの生化学的分析手法とあわせた食性解析が、最近さまざまな魚種や生態系に対して応用されるようになってきたが、これらの手法はシロメバル生産に対する餌生物の貢献度を知ることに応用可能である。栄養フローの解析と併せてシロメバル稚魚の生産過程を理解することは、藻場の生態系サービスの2つの要素（供給サービスと調整サービス）の評価にも大きく貢献する。

調査期間中の優占種は3年ともメバル属3種（アカメバル、クロメバル、シロメバル）で、そのなかでもシロメバルが個体数、湿重量割合において最大であった。シロメバル仔稚魚は2月から6月まで比較的多く採集されたが、その出現動向には年変動が認められた。個体密度は2008年、2007年、2009年の順に高く、本課題を実施した2009年は過去3年間で最低の個体密度であった（図4-6-1）。しかしその一方で、6月上旬における個体密度には年間差が小さく、3年とも約20個体/100m²であった。以上の結果は、藻場に来遊する時期および来遊直後におけるシロメバル稚魚の個体密度の年変動は大きい、それに比べて藻場来遊から数ヶ月後の個体密度は安定していることを示している。この背景には、空間的に限られた藻場を生息場として利用することによる密度依存効果の影響が想定される。上記のシロメバル稚魚分布密度（20個体/100m²）、バイオマスおよび1尾あたり

の価格をもとに藻場1haあたりシロメバル年間生産量は12-60万円/ha/年と算出された。

図4-6-1.

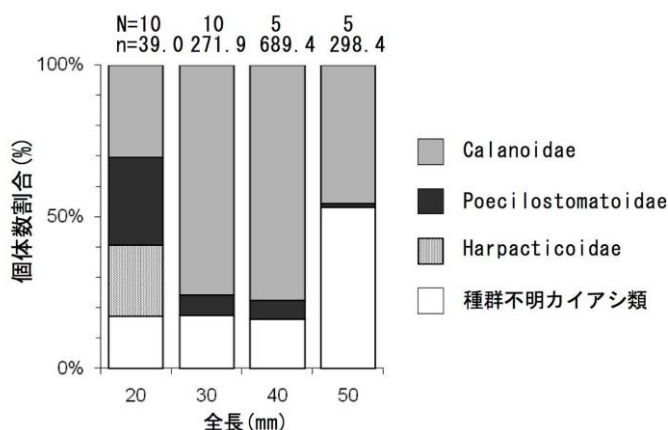
コアサイトの阿波島(広島県竹原市沖)のアマモ場において実施した連続サンプリングによるシロメバル仔稚魚の分布密度の変化。比較対象として2007、2008年度のデータも併記。



シロメバル稚魚の胃内容物の大部分はカイアシ類であった。カイアシ類のなかでは、Calanoidae (うち80%以上が*Paracalanus parvus*)、Poecilostomatoidae (*Corecaeus affinis*)、Harpacticoidaeの個体数割合が高かった(図4-6-2)。科以下のレベルまで同定されたカイアシ類のうち、カラヌス目は、調査したシロメバル稚魚の全ての全長区分を通じて最も高い割合で出現した。シロメバル稚魚1尾あたりの平均(標準偏差)餌生物個体数は、全長20-30 mmクラスで38.0 (±13.0)個であったが、全長40-50 mmクラスでは689.4 (±240.5)個へと増加したのち、全長50-60 mmクラスでは298.4 (±186.4)個へと減少した。

図4-6-2.

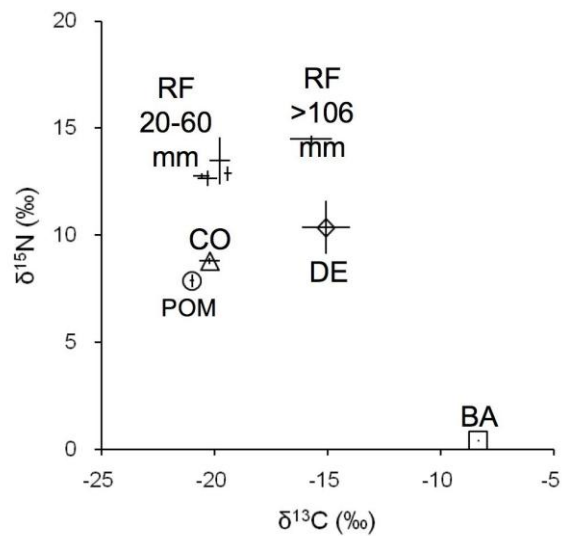
コアサイトの阿波島(広島県竹原市沖)のアマモ場において採集されたシロメバル仔稚魚の胃内容物の個体数割合。Nは調査尾数を、nはシロメバル仔稚魚1尾あたりの胃内餌生物個体数を示す。



シロメバル仔稚魚の全長20-60 mmの範囲での筋肉中における炭素安定同位体比の平均値は、 $\delta^{13}\text{C}$ は-21.1 から-19.1 の間で、窒素安定同位体比の平均値は12.2から14.6の間であった。炭素安定同位体比の平均値は、カイアシ類(-20.2)や懸濁態有機物(-21.0)の平均値に近かった(図4-6-3)。シロメバル1歳魚(>106 mm TL)の炭素及び窒素安定同位体比の平均値は、それぞれ-15.7、14.5であった。シロメバル1歳魚の炭素安定同位体比の平均値は、シロメバル稚魚のそれよりも高い値であり、十脚目甲殻類の値(-15.1)に近かった。

図4-6-3.

シロメバル仔稚魚およびその餌料生物として可能性のある生物の炭素・窒素安定同位体比分析の結果。RF:シロメバル、CO:カイアシ類、POM:懸濁態有機物(植物プランクトン)、DE:葉上甲殻類、BA:底生微細藻類。バーは標準偏差を示す。

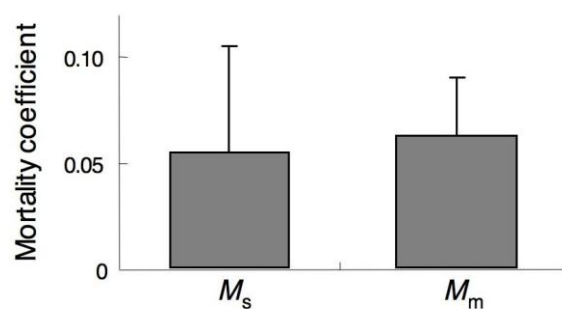


7) 稚魚から成魚までの生活史段階を通じた年間生産速度の推定

合計8,281尾のシロメバル仔稚魚がアマモ場、ガラモ場におけるサンプリングにより採集された。シロメバル仔稚魚の分布密度は2月から3月にかけて急増し、3月下旬に最高密度となった。2月下旬には全長約20 mmであったが、5月には全長約50 mmに成長した。シロメバル仔稚魚のふ化日は12月13日から3月13日の間に分布した。稚魚期における死亡率（減耗率および±標準偏差）は、アマモ場依存期およびガラモ場依存期にそれぞれ 0.054 ± 0.041 、 0.062 ± 0.028 と推定された（図4-7-1）。シロメバル稚魚では体サイズが大型化するほど遊泳能力が増すため、生活史のより後期に相当するアマモ場依存期の減耗率がガラモ場依存期のそれよりも若干低い値となったのは妥当な結果である。

図4-7-1.

アマモ場 (M_s) とガラモ場 (M_m) におけるシロメバル稚魚の減耗係数。フィールドにおけるサンプリングにより算出した現存シロメバル稚魚の日齢ごと分布密度の減少過程から死亡係数を推定した。



上記の減耗率を用いて、ガラモ場およびアマモ場が存在する場合・しない場合の条件設定をもとに、以下の4つのケースに関するシロメバル稚魚の減耗過程のシミュレーションを実施した。

- ケース① ガラモ場、アマモ場がいずれも存在する
- ケース② ガラモ場のみ存在し、アマモ場が存在しない
- ケース③ ガラモ場が存在せず、アマモ場のみ存在する
- ケース④ ガラモ場、アマモ場がいずれも存在しない

なお、生後1年目の夏まではシロメバルが藻場に対して強い依存性を示すため、藻場からの逸出はないものと仮定した。

解析の結果、シロメバル当歳魚の減耗は、アマモ場、ガラモ場がともに存在するケース①において最小であり、両者がともに存在しないケース④において最大となった（図4-7-2）。さらに、アマモ場、ガラモ場のいずれか1方だけが存在する2つのケースについては、ガラモ場生活期の減耗係数（ M_m ）がアマモ場生活期のそれ（ M_a ）に比べて高いため、ガラモ場のみ存在する場合（ケース③）における減耗が、アマモ場のみ存在する場合（ケース②）に比べて小さくなるものと予測された。シロメバルにとって、ガラモ場、アマモ場の両方が共存することが、初期の生残を高めるうえでよりよい生息環境と言える。しかし仮に、アマモ場、ガラモ場のどちらか一方のみを保全、造成する必要がある場合には、シロメバル仔稚魚の生残をより高めうるのはガラモ場かも知れない。しかしながら、生態系は単一の種に利用されるわけではなく、そこには多種多様な生物が生息している。種の構成や目的、さらには生物群集や生態系に与えるインパクトを考慮して生息場を保全、管理することの重要性が高いことは言うまでもない。

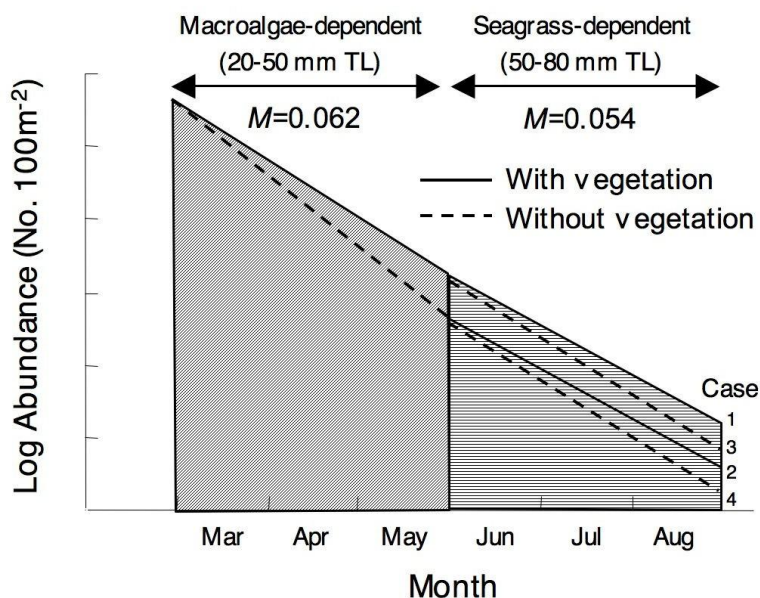


図4-7-2.

アマモ場とガラモ場

コアサイト周辺のアマモ場、ガラモ場を利用する時期のシロメバル仔稚魚の減耗過程に関する概念図。いくつかの仮定を設けた。i) シロメバル当歳魚が全長20-50 mmで3-5月にガラモ場、全長50-80 mmで6-8月にアマモ場を利用する。ii) 体長が十分に大きいため飢餓や輸送で死亡する確率は極めて低く、被食が主要な減耗要因である。iii) 藻場に強く依存した生活をする時期であるため、藻場からの逸出はなく、巻き網による採集の効率も100%である。生息場の環境をアマモ場、ガラモ場の有無によって、本文中に示した①から④までの4つの場合に分けた。ガラモ場生活期の減耗係数（ M_m ）がアマモ場生活期のそれ（ M_a ）に比べて高いため、ケース②よりもケース③の生残率が高くなると予測された。

フィールドで推定した稚魚の現存尾数および稚魚期の死亡率、1歳魚以上の時期の死亡率²³⁾をもとにして、稚魚期以降のシロメバルの生残曲線を作成した（図4-7-3）。産まれた年の夏期におけるシロメバル稚魚の現存尾数（約12,000尾/ha）を初期尾数とした。各年齢における資源尾数の

推定値は指数関数的に減少したが、個体あたりの体重は年齢とともに増加するため、各生活史段階におけるバイオマスは2歳において最大となった。1歳、2歳、3歳、4歳におけるバイオマス（年間シロメバル生産）は、それぞれ1,070 kg/ha、1,590 kg/ha、1,400 kg/ha、1,010 kg/haと推定された。メバル類 1 kgあたりの販売価格（約1,000円）²¹⁾をもとに算出した各生活史段階における貨幣価値は、稚魚で約70万円/ha/年、1歳で約107万円/ha/年、2歳で約159万円/ha/年、3歳で約140万円/ha/年、4歳で約101万円/ha/年となり、2歳で収穫した際の経済価値が最大であると推定された（図4-7-1）。

図4-7-3.
シロメバルの稚魚期および1歳以上の各年齢における単位面積あたり分布密度の減少過程.

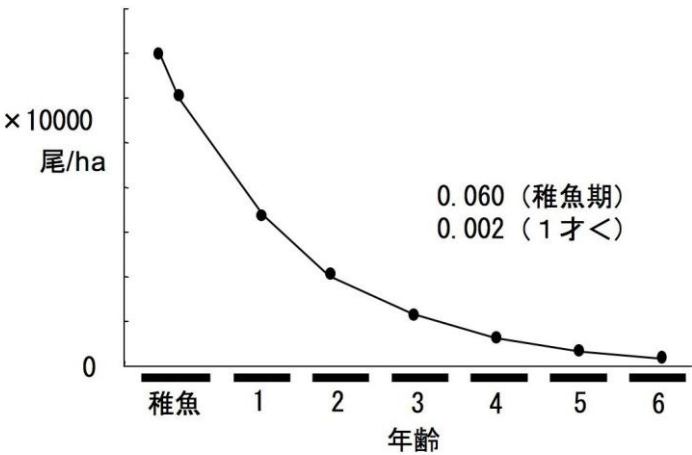


表4-7-1.
シロメバルの稚魚期および1歳以上の各年齢におけるバイオマスにもとづく経済価値の試算結果.
単位面積あたり分布密度および各生活史段階での個体体重をもとにバイオマスを算出し、これに市場価格をかけて各生活史段階の経済価値とした。2歳で収穫する際の価値が最も高いと想定された。ここでは、単純に水産資源(供給サービス)としての価値のみを対象としている。

生活史段階	貨幣価値（円/ha/年）
稚魚	70 万円
1 歳	107 万円
2 歳	159 万円
3 歳	140 万円
4 歳	101 万円

（3）飼育条件下におけるシロメバル仔稚魚の環境変動に対する応答の精査

8）シロメバル仔稚魚の日間摂食量、成長効率に水温が与える影響

a. シロメバル仔稚魚の摂餌リズム

飼育条件下におけるシロメバル仔稚魚には、日周期に対応した摂餌リズムが認められた。設定した3水温区全てにおいて、日出後に胃内容物重量指数が上昇し、日没前後に高い値となり、夜間に低下する傾向が認められた（図4-8-1）。以上のことから、シロメバルは、他の多くの魚種と同様に、仔稚魚期にはおもに日中に摂餌活動を行い夜間には休止するdaylight feederであることが

明らかとなった。

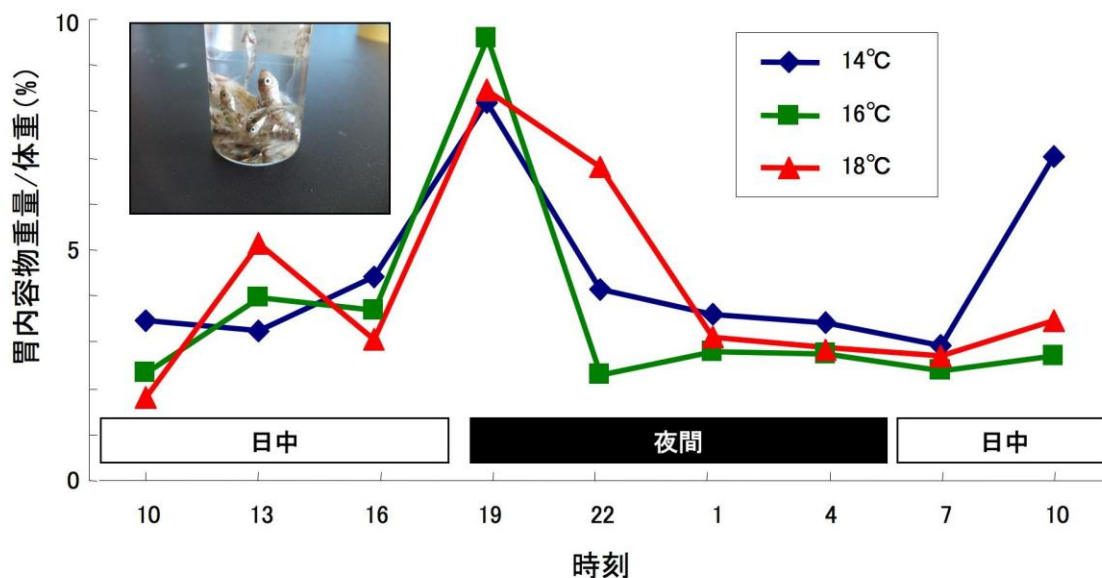


図4-8-1.

飼育条件下におけるシロメバル稚魚の24時間連続サンプリングにより得られた、胃内容物重量指数（胃内容物重量/体重×100）の時間変化。水温3区(14、16、18℃)で実験を行った。

b. シロメバル仔稚魚の胃外排出速度

各水温区における給餌停止期間中における胃内容物重量指数の低下過程は、以下の指数関数式により回帰された。

$$14^{\circ}\text{C区} : Y = 0.0649e^{-0.0748x}$$

$$16^{\circ}\text{C区} : Y = 0.0559e^{-0.0867x}$$

$$18^{\circ}\text{C区} : Y = 0.0798e^{-0.1046x}$$

これにもとづいて、各水温区における胃外排出速度の推定値は以下の通りとなり、高水温条件下において高い値となった。

$$14^{\circ}\text{C区} : 0.0748$$

$$16^{\circ}\text{C区} : 0.0867$$

$$18^{\circ}\text{C区} : 0.1046$$

c. シロメバル仔稚魚の日間摂食量と粗成長効率

推定された胃外排出速度と先述の式にもとづいて、時間あたりの瞬間摂食速量を求めた。3水温区すべてにおいて時間あたり摂食量は日中に高く、夜間に低い値であった（Fig. 4-8-2上段）。さらに、時間あたりの摂食量の累積値をサンプリング時間ごとにとりまとめたグラフ（Fig. 4-8-2下段）によれば、1日のうち16-19時の間の累積摂食量の増加がもっとも顕著であることが明瞭である。以上のことから、シロメバル仔稚魚は日没からその前の時間帯に1日のうちで単位時間あた

り最も多く摂餌をすることが示唆された。このような特性は他の多くの魚種においても報告されており、シロメバル仔稚魚は日中に摂餌活動が活発となるdaylight feederではあるが、1日のうちのある時間帯に集中した摂餌活動を行うタイプといえる。

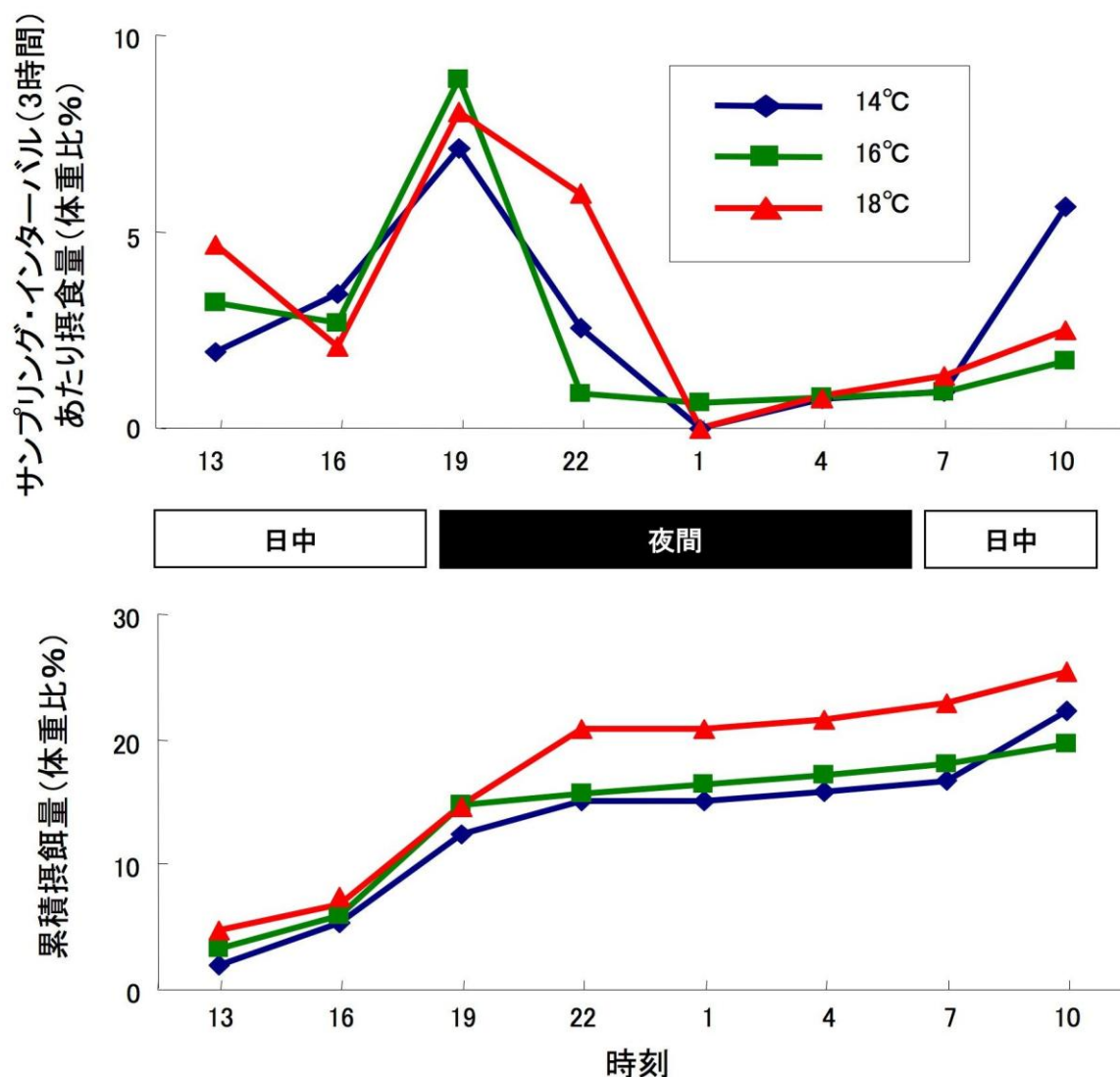


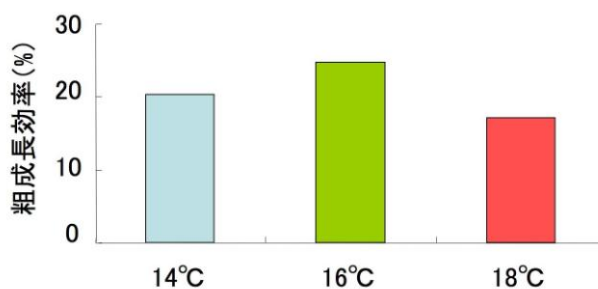
図4-8-2.

飼育条件下におけるシロメバル稚魚の24時間連続サンプリングにより推定された、サンプリングインターバル(3時間)あたり摂食量(体重比%)の時間変化(上段)およびそれらを足し合わせた累積摂食量の時間変化(下段)。水温3区(14、16、18°C)で推定した。

時間あたりの瞬間摂食量を24時間分合計した日間摂食量は、18°C、14°C、16°Cの順に高かったが、水温間での大きな差は認められず、いずれの水温区においても体重の約20%と推定された。28日の実験期間を通じた体重増加量と摂食量から求めた粗成長効率は、14°C区で20.3%、16°C区で24.7%、18°C区で17.2%となった。今回実験した水温は3区に限定されているが、16°C区において最も高かった粗成長効率と水温の間にはドーム型の関係が得られた(図4-8-3)。

図4-8-2.

飼育条件下において推定されたシロメバル仔稚魚の粗成長効率. 実験期間(4週間)における合計摂食量を体重増加量で除して求めた. 水温3区(14、16、18℃)で推定した.



9) 日長変動に対する成長の応答およびその魚種間比較

日長をコントロールした4週間の実験期間におけるシロメバルの成長は、完全暗条件（日長0時間）のもとで最も遅く、完全明条件（日長24時間）のもとで最も速かった。日長(L 、時間)の変動が日間成長速度(G 、mm/d)に与える影響は統計的に有意であり、日長が長いほど日間成長速度が速い傾向が認められた。飼育条件下における日長と日間成長速度の関係は以下の式により回帰された。

アユにおいても、完全明条件（日長24時間）のもとで最も速かったが、完全暗条件（日長0時間）のもとでの成長速度は明期6時間の飼育条件に次いで遅かった。日長(L 、時間)の変動が日間成長速度(G 、mm/d)に与える影響は統計的に有意であり、日長が長いほど日間成長速度が速い傾向が認められた。飼育条件下における日長と日間成長速度の関係は以下の式により回帰された。

シロメバル : $G = 0.0055L + 0.285$, $R^2 = 0.845$, $P < 0.001$

アユ : $G = 0.0121L + 0.419$, $R^2 = 0.720$, $P < 0.005$

(図4-9-1)

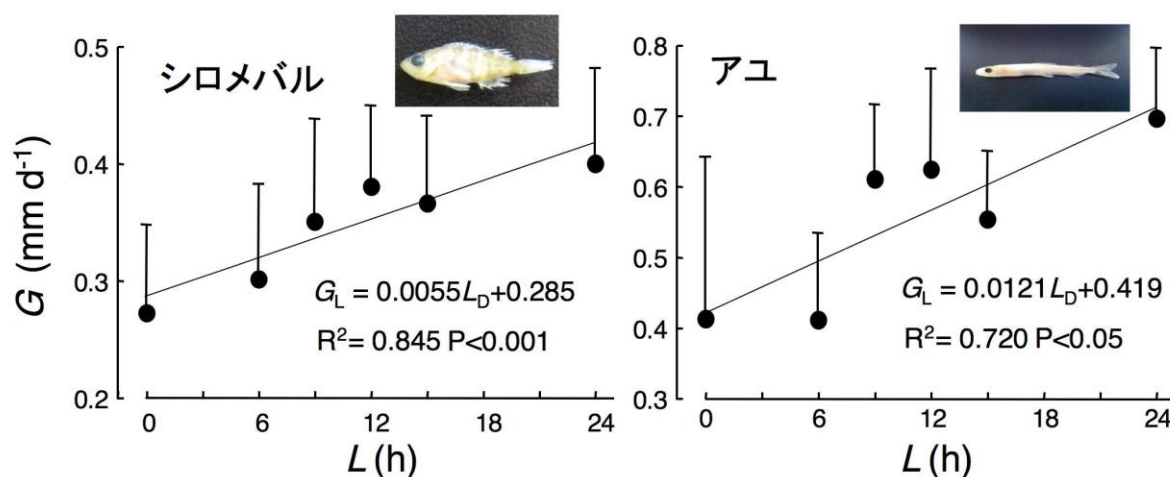


図4-9-1.

飼育条件下における日長（明るい時間の長さ： L 、hour）の変動がシロメバル稚魚（左）およびアユ稚魚（右）の日間成長速度(G 、mm/d)に与える影響. 水温1区、日長6区で4週間の飼育を実施した. 日長変動が両種の成長に有意な影響を及ぼし、長日条件下での成長が速かった.

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

国内外における広域的なフィールド調査と飼育実験を通じて、定量的知見が世界的にもきわめて少なかった移動性資源（魚類）の群集構造の空間変動、生産プロセスの定量評価を行った。研究開始当初の目的として以下4点を掲げ、それぞれに対してとくに「定量的評価」「広域的比較」「長期変動予測」の3つの視点を持ちつつ研究を実施した。

- ①藻場における魚類生産速度の定量評価
- ②藻場の「日本一」を探索する
- ③藻場の「南北差」を把握する
- ④藻場の「将来像」を予測する

得られた成果には、国内にとどまらず国際的にも先進的・独創的なものが含まれている。上記の目的と対応させて以下に総括する。

- ①については、コアサイトにおける連続サンプリングにより、シロメバル（温帯域アマモ場の優占魚種）の生産速度とその経済価値を定量評価した
- ②については、同一のサンプリング手法による全国サイトでの調査により、北日本（北海道・岩手）と瀬戸内海で魚類の種多様性とバイオマスが大きいことを明らかにした。また、優占種シロメバルの生産速度は瀬戸内海エリアで高いことを定量的に明らかにした。
- ③については、魚類の生息環境の要因として重要なアマモの葉長に緯度間勾配（北で長い）が存在し、これに対応して魚類のバイオマスも南北で変動することを明らかにした。
- ④については、地球温暖化に伴う水温上昇がシロメバルの成長効率に作用すること（直接的影響）を明らかにした。さらに、適水温となる季節や場所での産卵を継続した場合に生じうる間接的影響についても評価した。産卵・初期成長の季節が異なるシロメバル（夏期成長魚）とアユ（冬期成長魚）を対比させることにより、魚種（産卵・生長の季節）の違いによって、地球温暖化の影響が異なる可能性を示した。

(2) 環境政策への貢献

【藻場の生態系サービスのブラック・ボックス＝供給サービスを定量評価した】

地球上のさまざまな生態系のうち、浅海域（藻場、河口）がもたらす生態系サービスは最も高い経済価値を生み出すと推定されている。しかしながら、藻場の生物生産（供給サービス）の主要な構成要素である魚類の生産を定量評価した事例はこれまで世界的に見てもほとんど無かった。本研究により、藻場の生態系サービスお経済的価値はCostanzaらが推定した値よりも少なくとも35%程度高いと推定される。温帯域藻場の優占魚類の生産過程の定量評価を実施した点は、本研究の最も中心的な成果であるとともに、世界的にも先駆的事例であり、浅海域の生物生産力の指標として今後の環境政策において不可欠な科学的根拠として利用されるものと期待される。

【生物多様性が高いとされる日本沿岸域において、魚種多様性の南北勾配を見いだした】

これまで、我が国の藻場における魚類分布調査はスキューバダイビングや非定量的漁具（トラップなど）を用いた観察・採集が中心であったため、地域間で魚類群集を定量的に比較することが不可能であった。本研究では、全国20ヶ所に設けた調査サイトで同一の手法による調査を実施したことにより、魚類の種構成、分布密度、バイオマスを全国的視野で比較することのできる定量的データを得た。魚類群集解析に用いたクラスター解析により、同じ東北地区でも宮城と岩手の魚類群集構造は異なり、宮城は瀬戸内海に、岩手は北海道に近い群集構造となっているなど、魚類群集構造の地域特性が明らかになった。

【海洋保護区：MPAの選定などに重要な定量的データを充実させた】

前項にも関連し、本研究では、とくに北日本の北海道（厚岸）と岩手（大槌）、瀬戸内海の広島（竹原、大崎上島）で魚類の種多様性とバイオマスが大きいことが明らかとなった。沿岸生態系保全を全国一斉に実施するのは困難であるため、特定の地域を優先的に進める必要が生じた場合には、本研究成果に含まれる各地の魚類群集構造の特性や、その南北勾配が、不可欠な情報源となるであろう。

【地球温暖化による魚類への影響は、種（の特性）に依存するため、広い視点が必要】

我が国のみならず世界的にみても、地球温暖化による生物への影響に関する研究は、直接的影響を中心に進められている（水温、CO₂濃度など）。本研究では、水温などの物理的環境要因の直接的影響に加えて、生息環境（アマモ場）の変動を介した間接的影響や、高水温化を魚類が回避するために産卵期や産卵場を低水温側へ変化させた場合に生じる日長変動の影響に着目するなど、複合的・間接的要因に関しても検討を行った。とくに、産卵期が異なる魚種を対比させることにより、温暖化の影響は魚種間で異なる可能性が高いことを示した。「温暖化すれば、北半球の生物がみなそろって北上する」わけではない。今後、温暖化の影響評価に関する研究が実施される際に、多様な生物種、生態系について広い観点から取り組みがなされるよう、本成果が少しでも貢献できれば幸いである。

6. 引用文献

- 1) Costanza, R., Ad'Arge, R., de Groot, R., Faber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neil, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., van den Belt, M. (1997) The values of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253-260.
- 2) Heck, K.L., Hays, G. and Orth, R.J. (2003) Critical evaluation of the nursery role hypothesis for seagrass meadows. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 253 123-136.
- 3) 布施慎一郎 (1962) アマモ場における動物群集. 生理生態 11, 1-22.
- 4) 日本水産学会(編) (1981) 藻場・海中林- 水産学シリーズ38. 恒星社厚生閣、東京.
- 5) 小路 淳 (2009) 藻場とさかな- 魚類生産学入門- ベルソブックス032-、成山堂書店、東京.

- 6) 独立行政法人・水産総合研究センター(編著) (2009) 地球温暖化とさかな：水産総合研究センター叢書、成山堂書店、東京.
- 7) 沖山宗雄 (1988) 日本産稚魚図鑑、東海大学学術出版会、東京.
- 8) 中坊徹次 (1995) 日本産魚類検索- 全種の同定、東海大学出版会、東京.
- 9) Kai, Y. and Nakabo, T. (2005) Taxonomic review of the *Sebastes inermis* species complex (Scorpaeniformes: Scorpaenidae). *Ichthyological Research* 55、 238-259.
- 10) Kamimura, Y. and Shoji, J. (2009) Seasonal changes in the fish assemblages in a mixed vegetation area of seagrass and macroalgae in the central Seto Inland Sea. *Aquaculture Sci.*、 57、 233-241.
- 11) Plaza, G.、Katayama, S. and Omori, M. (2001) Otolith microstructure of the black rockfish, *Sebastes inermis*. *Mar. Biol.* 139、 797-805.
- 12) Campana, S.E. (1990) How reliable are growth back-calculations based on otolith? *Can. J Fish. Aquat. Sci.* 47、 2219-2227.
- 13) Houde, E.D. (2008) Emerging from Hjort's shadow. *J. Northw. Atlantic Fish. Sci.* 41、 53-70.
- 14) 岡市友利、小森星児、中西 弘 (編) (1996) 瀬戸内海の生物資源と環境、恒星社厚生閣、東京.
- 15) 山下 洋 (2007) 水産資源の再生を考える. 瀬戸内海を里海にー新たな視点による再生方策ー (瀬戸内海研究会議編) 恒星社厚生閣、東京. 2007、 17-28.
- 16) Beck, M.W.、Heck, K.L.、Able, K.W.、Childers, D.L.、Eggleston, D.B.、Gillanders, B.M.、Halpern, B.、Hays, C.G.、Hoshino, K.、Minello, T.J.、Orth, R.J.、Sheridan, P.F.、and Weinstein, M.P. (2001) The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates. *BioScience* 51、 633-641.
- 17) 小路 淳、前原 務、武智昭彦、谷川貴之、村田憲之、田中 克 (2002) 瀬戸内海中央部の燧灘において採集された仔稚魚. 日本水産学会誌 68、 835-842.
- 18) Secor, D.H. and Houde, E.D. (1995) Temperature effects on the timing of striped bass egg production, larval viability, and recruitment potential in the Patuxent River (Chesapeake Bay). *Estuaries* 18、 527-544.
- 19) Rooker, J.R.、Holt, S.A.、Holt, G.J. and Fuiman, L.A. (1999) Spatial and temporal variability in growth, mortality, and recruitment potential of postsettlement red drum, *Sciaenops ocellatus*, in a subtropical estuary. *Fish. Bull.* 97、 581-590.
- 20) Shoji, J. and Tanaka, M. (2007) Growth and mortality of larval and juvenile Japanese seaperch *Lateolabrax japonicus* in relation to seasonal changes in temperature and prey abundance in the Chikugo estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 73、 423-430.
- 21) Fisheries Research Agency (2008) Summary of annual production, purchase and release of juveniles for sea-farming in Japan, FY2008. Fisheries Research Agency、 Yokohama、 pp. 1-414.
- 22) 永田 俊、宮島利宏 (2008) 流域環境評価と安定同位体- 水循環から生態系まで. 京都大学学術出版会、京都.

- 23) 横川浩治、井口政紀、山賀賢一 (1992) 播磨灘南部沿岸海域におけるメバルの年齢、成長、および肥満度. 水産増殖 40、235-240.
- 24) Frank, K. T., Perry, R. I. and Drinkwater, K. F. (1990) Predicted response of Northwest Atlantic invertebrate and fish stocks to CO₂ induced climate change. *Transactions of American Fisheries Society* 119、353-365.
- 25) Drinkwater, K. F. (2005) The response of Atlantic cod (*Gadus morhua*) to future climate change. *ICES Journal of Marine Science* 62、1327-1337.
- 26) Rose, G. A. (2005) On distributional responses of North Atlantic fish to climate change. *ICES Journal of Marine Science* 62、1360-1374.
- 27) Hare, J. A. and Able, K. W. (2007) Mechanistic links between climate and fisheries along the east coast of the United States: explaining population outbursts of Atlantic croaker (*Micropogonias undulatus*). *Fisheries Oceanography* 16、31-45.
- 28) Houde, E. D. (1987) Fish early life dynamics and recruitment variability. *American Fisheries Society Symposium* 2、17-29.
- 29) Takasuka, A, Oozeki, Y. and Aoki, I. (2007) Optimal growth temperature hypothesis: why do anchovy flourish and sardine collapse or vice versa under the same ocean regime? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*、64、768-776.
- 30) Dowd, C. E. and Houde, E. D. (1980) Combined Effects of Prey Concentration and Photoperiod on Survival and Growth of Larval Sea Bream, *Archosargus rhomboidalis* (Sparidae). *Marine Ecology Progress Series* 3、181-185.
- 31) Boehlert, G. W. (1981) The effects of photoperiod and temperature on laboratory growth of juvenile *Sebastes diploproa* and a comparison with growth in the field. *Fishery Bulletin* 79、789-794.
- 32) Senta, T. and Kinoshita, I. (1985) Larval and Juvenile fishes occurring in surf zones of western Japan. *Trans. Am. Fish. Soci.* 114、609-618.
- 33) Elliott, J. M. and Persson, L. (1978) The estimation of daily rates of food consumption for fish. *Journal of Animal Ecology* 47、977-991.
- 35) Boehlert, G. W. and Yoklavich, M. M. (1983) Effects of temperature、ration、and fish size on growth of juvenile black rockfish、*Sebastes melanops*. *Env. Bio. Fish.* 8、17-28.
- 36) Love, M. S.、Carr, M. H. and Haldorson, L. J. (1991) The ecology of substrate-associated juveniles of the genus *Sebastes*. *Env. Bio. Fish.* 30、225-243.

7. 国際共同研究等の状況

生物生産力の高い浅海域生態系をフィールドとした国際共同研究を以下の機関、研究者と実施している。全地球規模での広域比較を達成するために、調査フィールド拠点を熱帯から亜寒帯に現在のところ5ヶ所設けている。

米国西岸（オレゴン州～カリフォルニア州）は、我が国沿岸域の大部分が属する温帯域と同じ

気候区分であっても、異なる海流システムが卓越する（我が国温帯域は暖流、米国西岸では寒流が卓越）点に着目したオリジナルな視点から生態系比較研究を実施している。すでに2009、2010年度には現地調査を実施し、2011年度にも約1週間の現地調査を行う予定である。本研究推進費およびその前段階での研究実施内容に先方が興味を持ったのを受けて協力体制が急速に深まり、本推進費による研究期間終了後も定期的に調査に行くことを計画している。

米国西岸に加えて、タイでの協同調査には2010年度に学部生が同行した。ドイツ（バルト海）での調査は2008年から継続して実施しており、2011年度には大学院生が同行する予定である（2011年9月中旬）。

各地での共同研究・調査に参加するという目的に加えて、国際的視野を持つ学生・研究者の育成にも貢献できるよう努めている。（ただし、学生、院生の外国旅費全てを本推進費から支出しているわけではない）

< 協力相手の研究機関、カウンターパート >

Leibniz Institute for Marine Sciences、IFM-GEOMAR、Germany、Catriona Clemmesen、Christoph Petereit、Philipp Schubert、Thorsten Reusch

Research Program Coordinator、Estuarine and Coastal Science Laboratory、Department of State

Lands、Oregon、USA、Steven Rumrill

Hatfield Marine Science Center、Oregon State University / NOAA Northwest Fisheries Research Center、USA、Richard D Brodeur、Thomas P Hurst

University of Maryland Center for Environmental Science、Edward Houde、David Secor、Elizabeth North

Department of Fishery Biology、Faculty of Fisheries、Kasetsart University、Jantana Pariboon

Borneo Marine Research Institute、University of Malaysia、Sabah、Malaysia、Masaru Tanaka

< 参考図 > 国際共同研究を実施している現地での様子

全地球的規模での生態系研究への発展を目指して 海外5サイト：亜寒帯～熱帯まで広域的にカバー



8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) Jun SHOJI、Shun-ichi TOSHITO、Ken-ichiro MIZUNO、Yasuhiro KAMIMURA、Masakazu HORI、Koji HIRAKAWA: ICES Journal of Marine Science（受理済み、印刷中）

“Possible effects of global warming on fish recruitment: shifts in spawning season and latitudinal distribution can alter growth of fish early life stages through the changes in daytime”

（参考：以下2件はすでに投稿済みで、受理に向けた修正を査読者・エディターとの間で行っている論文）

- 2) Yasuhiro KAMIMURA、Akihide KASAI and Jun SHOJI: Aquatic Ecology

Production and prey source of juvenile black rockfish *Sebastes cheni* in a mixed vegetation area of seagrass and macroalgae off Aba Island, central Seto Inland Sea, Japan: an estimation of the economic value of a fish nursery.

- 3) Hikari KINOSHITA、Yasuhiro KAMIMURA、Ken-ichiro MIZUNO and Jun SHOJI: Bulletin of Japanese Society of Fisheries Oceanography.

“Vulnerability of juvenile fish to piscivorous fish predators increases during nighttime in a seagrass bed in the central Seto Inland Sea, Japan”

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 小路 淳著：藻場とさかな - 魚類生産学入門-（ベルソープックス032）、成山堂書店、東京。1-178（2009）

- 2) International Council for the Exploration of the Sea CM (Conference Manuscript: 国際会議プロシーディングス、査読なし) T-09、1-5（2009）

「Cohort-specific mortality of black rockfish *Sebastes cheni* larvae and juveniles in the Seto Inland Sea: implications for conservation of seagrass and macroalgae habitats (Jun Shoji、Yasuhiro Kamimura、Ken-ichiro Mizuno、and Hikari Kinoshita)」

- 3) 瀬戸内海、56、49-53（2009）

「稚魚の「ゆりかご」藻場の生物学的機能を定量評価するメソコスム実験（小路 淳）」

- 4) 日本水産学会誌、76、1086-1099（2010）

「魚介類生産の場としての浅海域の生態系サービス（山下 洋、仲岡雅裕、河村知彦、堀 正和、小路 淳）」

5) 日本水産学会誌、76、 1088 (2010)

「I-2 魚類生産（小路 淳）」

6) 生物圏科学、49、7-20 (2010)

「瀬戸内海安芸灘の浅海魚類相－ ホシササノハベラとホシノハゼの分布に注目して－ （坂井陽一、越智雄一郎、坪井美由紀、門田 立、清水則雄、小路 淳、松本一範、馬淵浩司、国吉久人、大塚 攻、橋本博明）」

7) 塚本勝巳編：魚類生態学の基礎、恒星社厚生閣、214-222 (2010)

「第19章 捕食と被食（執筆担当：小路 淳）」

8) 小路 淳・堀 正和・山下 洋編：浅海域の生態系サービス－ 海の恵みと持続的利用、26-37 (2011、3月25日)

「第2章 魚類生産からみた生態系サービス（執筆担当：小路 淳）」

(2) 口頭発表（学会等）

<国際学会>

1) Jun SHOJI、 Yasuhiro KAMIMURA、 Ken-ichiro MIZUNO、 and Hikari KINOSHITA。 Cohort-specific mortality of black rockfish *Sebastes cheni* larvae and juveniles in the Seto Inland Sea: implications for conservation of seagrass and macroalgae habitats。 International Council for the Exploration of the Sea Annual Meeting、 Estrel Convention Center、 Berlin、 Germany、 23 September 2009。

2) Jun SHOJI、 Yasuhiro KAMIMURA、 Ken-ichiro MIZUNO and Shun-ichi TOSHITO。 Fish production in seagrass habitat under global warming: effects of temperature on early growth and production of a dominant species、 black rockfish、 in temperate waters of the western North Pacific。

PICES Annual Meeting、 28 Oct 2009、 Jeju Convention Center、 Korea。

3) Yasuhiro KAMIMURA、 Jun SHOJI。 Estimation of cohort-specific mortality of larval and juvenile black rockfish in a macro-algae habitat in the central Seto Inland Sea。 PICES Annual Meeting、 28 Oct 2009、 Jeju Convention Center、 Korea。

4) Jun SHOJI、 Yasuhiro KAMIMURA、 Ken-ichiro MIZUNO、 Hikari KINOSHITA and Kie MOHRI。 Ecosystem functions of vegetated areas as fish nursery in temperate waters: phenology of seagrass、 macro-algae and early growth of rockfish。 Coastal and Estuarine Research Federation Biannual Meeting、 Oregon Convention Center、 Portland、 USA。 5 November 2009。

5) Jun SHOJI、 Yuji IWAMOTO、 Masaru TANAKA。 Cohort-specific mortality of larvae and juveniles of an estuarine-dependent fish、 Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*): A comparison between artificial and natural habitats。 Workshop on understanding and quantifying mortality in pelagic、 early life stages of marine organisms: experiments、 observations and models。 Inspire Conference Center、 Aberdeen、 Scotland、 19 March 2010。

6) Jun SHOJI、 Masakazu HORI、 Yasuhiro KAMIMURA、 Ken-ichiro MIZUNO and Shun-ichi TOSHITO。

Fish production in coastal habitats under global warming: spatio-temporal variability in early growth of a dominant species, black rockfish, in seagrass beds. International Symposium on “Climate Change Effects on Fish and Fisheries: Forecasting Impacts, Assessing Ecosystem Responses, and Evaluating Management Strategies. Sendai International Center, Sendai, Japan, 26 April 2010.

7) Jun SHOJI, Hikari KINOSHITA, Shun-ichi TOSHITO, Yasuhiro KAMIMURA. Is seagrass bed a safe nursery? - nighttime predation rate, size- and growth-selective survival of rockfish juveniles and possible effects of the global warming. 35th Annual Larval Fish Conference. Coastline Conference and Event Center, Wilmington, North Carolina, USA, 22-27 May 2011 (採択決定)。

8) Jun SHOJI and Yasuhiro KAMIMURA. Co-existence of seagrass and algae beds enhances young-of-the-year rockfish *Sebastes cheni* production: toward a habitat conservation based on the phenology of fishery resources and vegetation. 2nd International Symposium on Integrated Coastal Zone Management, Tyholmen Hotel and Thon Hotel, Arendal, Norway, 3-7 July 2011 (採択決定)。

<国内学会>

9) 堀 正和・吉田吾郎・浜口昌巳、小路 淳、山北剛久・渡辺健太郎、仲岡雅裕、平成21年度日本水産学会秋季大会（2009年10月1日）、岩手県民情報交流センター・アイーナ、藻場の魚類生産の広域的解析1 藻場と魚類の空間分布解析。

10) 水野健一郎・小路 淳・上村泰洋、堀 正和、大竹二雄、森本 充、平成 21 年度日本水産学会秋季大会（2009 年 10 月 1 日）、岩手県民情報交流センター・アイーナ、藻場の魚類生産の広域的解析 2 魚類群集の広域比較。

11) 水野健一郎・上村泰洋、山下 洋、堀 正和・銭谷 弘、高見秀輝、玉置 仁・小路 淳、平成 21 年度日本水産学会秋季大会（2009 年 10 月 1 日）、岩手県民情報交流センター・アイーナ、藻場の魚類生産の広域的解析 3 優占種シロメバル仔稚魚の成長の南北比較。

12) 上村泰洋・小路 淳、平成 21 年度日本水産学会秋季大会（2009 年 10 月 1 日）、岩手県民情報交流センター・アイーナ、藻場の魚類生産の広域的解析 4 瀬戸内海中央部のアマモ・ガラモ混生藻場におけるメバル属仔稚魚の成長の年間変動。

13) 年藤俊一・小路 淳、平川浩司、平成 21 年度日本水産学会秋季大会（2009 年 10 月 1 日）、岩手県民情報交流センター・アイーナ、藻場の魚類生産の広域的解析 5。シロメバル仔稚魚の成長至適水温の探索。

14) 木下 光・上村泰洋・水野健一郎・小路 淳、平成 21 年度日本水産学会秋季大会（2009 年 10 月 1 日）、岩手県民情報交流センター・アイーナ、藻場の魚類生産の広域的解析 6。夜間のガラモ場の被食シェルター機能。

15) 毛利紀恵・上村泰洋・水野健一郎・木下 光・年藤俊一・小路 淳、平成 21 年度日本水産学会秋季大会（2009 年 10 月 1 日）、岩手県民情報交流センター・アイーナ、藻場の魚類生産の広域的解析 7 瀬戸内海中央部のアマモ場における魚類相の季節変化～アマモ・ガラモ混生藻場との比較～。

16) 岩本有司・小路 淳。広島湾太田川河口域の人工・天然河川間におけるスズキ仔稚魚のコホート別減耗率比較。平成 21 年度日本水産学会秋季大会（2009 年 10 月 2 日）、岩手県民情報交

流センター・アイーナ、盛岡市。

17) 上村泰洋・小路 淳。瀬戸内海中央部の藻場におけるシロメバル仔稚魚成長の3年間比較。2009年度水産海洋学会研究発表大会、長崎大学、長崎市、2009年11月19日。

18) 水野健一郎・上村泰洋・小路 淳、銭谷 弘、山下 洋、高見秀輝。シロメバル仔稚魚の成長選択的生残：仙台湾と瀬戸内海の比較。平成22年度日本水産学会春季大会、日本大学生物資源学部、藤沢市、2010年3月29日。

19) 木下 光・上村泰洋・水野健一郎・小路 淳。夜間のガラモ場におけるメバル属稚魚のサイズ選択的被食。平成22年度日本水産学会春季大会、日本大学生物資源学部、藤沢市、2010年3月29日。

20) 小路 淳・福田温史・水野健一郎・上村泰洋、堀 正和、山下 洋、高見秀輝。藻場の魚類生産の広域的解析-8 日本三景付近における生態系サービス比較の試み。平成22年度日本水産学会秋季大会、京都大学総合人間学部、京都市、2010年9月24日。

21) 堀 正和・山田勝雅・島袋寛盛・吉田吾郎・浜口昌巳、小路 淳。藻場の魚類生産の広域的解析-9 アマモ・小型無脊椎動物・魚類の緯度間解析。平成22年度日本水産学会秋季大会、京都大学総合人間学部、京都市、2010年9月24日。

22) 福田温史・水野健一郎・上村泰洋・小路 淳、堀 正和、仲岡雅裕、野田 勉、大竹二雄、森本 充、高見秀輝、山下 洋。藻場の魚類生産の広域的解析-10 魚類群集の広域比較-2010年。平成22年度日本水産学会秋季大会、京都大学総合人間学部、京都市、2010年9月24日。

23) 水野健一郎・上村泰洋・福田温史・小路 淳、堀 正和、森本 充、玉置 仁、山下 洋、梶山誠、荒木希世。藻場の魚類生産の広域的解析-11 優占種シロメバル仔稚魚の成長の南北比較～2010年の結果。平成22年度日本水産学会秋季大会、京都大学総合人間学部、京都市、2010年9月24日。

24) 毛利紀恵・年藤俊一・木下 光・水野健一郎・上村泰洋・小路 淳。藻場の魚類生産の広域的解析-12 異なる生態系間でのシロメバル稚魚の成長比較。平成22年度日本水産学会秋季大会、京都大学総合人間学部、京都市、2010年9月24日。

25) 年藤俊一・水野健一郎・上村泰洋・小路 淳、平川浩司。藻場の魚類生産の広域的解析-13 地球温暖化が魚類の初期成長に及ぼしうる間接的影響：産卵期・分布域の変化にともなう日長変化の評価。平成22年度日本水産学会秋季大会、京都大学総合人間学部、京都市、2010年9月24日。

26) 木下 光・上村泰洋・水野健一郎・小路 淳。藻場の魚類生産の広域的解析-14 アマモ場における魚類相の昼夜・季節変化にもとづく稚魚への捕食圧の評価。平成22年度日本水産学会秋季大会、京都大学総合人間学部、京都市、2010年9月24日。

27) 上村泰洋・水野健一郎・木下 光・毛利紀恵・小路 淳。藻場の魚類生産の広域的解析-15 瀬戸内海中央部の藻場におけるシロメバル稚魚の成長選択的生残。平成22年度日本水産学会秋季大会、京都大学総合人間学部、京都市、2010年9月24日。

28) 森田拓真・岩本有司・小路 淳。広島湾北部沿岸海域・河口域におけるキチヌ仔稚魚の生息環境～成長、食性、潜在的捕食者の比較～。平成22年度日本水産学会秋季大会、京都大学総合人間学部、京都市、2010年9月24日。

29) 千葉裕介・仲 美穂・福田温史・上村泰洋・小路 淳。瀬戸内中央部の藻場に隣接する浅海域における浮遊仔魚の出現。平成22年度日本水産学会秋季大会、京都大学総合人間学部、京都市、2010年9月24日。

30) 小路 淳・年藤俊一・水野健一郎・福田温史・上村泰洋。地球温暖化が藻場の魚類生産に

与える影響の包括的評価：産卵期、分布域、成長変動からのアプローチ。第22回魚類生態研究会、2011年2月11日、長崎県島原共同研修センター、島原市。

31) 堀 正和、田中義幸、宮島利宏、小路 淳、吉田吾郎・浜口昌巳。沿岸域の景観多様性と魚類生産力の関係評価。平成23年度日本水産学会春季大会、東京海洋大学、東京都、2011年3月30日（講演要旨のみ）。

32) 水野健一郎・上村泰洋・毛利紀恵・福田温史・木下 光、森本 充、小路 淳。藻場の優占種シロメバル稚魚の成長選択的生残～瀬戸内海と仙台湾の比較～。平成23年度日本水産学会春季大会、東京海洋大学、東京都、2011年3月28日（講演要旨のみ）。

33) 渡邊春隆・三田村啓理・市川光太郎・横田高士・至田佳晃・小路 淳・上村泰洋・森田拓真・木下 光・荒井修亮。バイオテレメトリー新技術を用いた水圏生物研究2 瀬戸内海生野島沿岸におけるアカメバル成魚のアマモ場利用。平成23年度日本水産学会春季大会、東京海洋大学、東京都、2011年3月28日（講演要旨のみ）。

34) 市川光太郎・三田村啓理・渡邊春隆・横田高士・荒井修亮・至田佳晃・新家富雄・小路 淳。バイオテレメトリー新技術を用いた水圏生物研究3 高精度音響測位システムの開発。平成23年度日本水産学会春季大会、東京海洋大学、東京都、2011年3月28日（講演要旨のみ）。

35) 三田村啓理・市川光太郎・至田佳晃・渡邊春隆・横田高士・小路 淳・新家富雄・荒井修亮。バイオテレメトリー新技術を用いた水圏生物研究4 新技術の開発とアカメバルの移動モニタリング。平成23年度日本水産学会春季大会、東京海洋大学、東京都、2011年3月28日（講演要旨のみ）。

36) 上村泰洋・小路 淳。強い成長選択と高い減耗率の一致～藻場来遊後のシロメバル稚魚における事例～。平成23年度日本水産学会春季大会、東京海洋大学、東京都、2011年3月28日（講演要旨のみ）。

（3）出願特許

特に記載すべき事項はない

（4）シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

1) 「魚介類生産の場としての浅海域の生態系サービス」、平成22年度日本水産学会春季大会シンポジウム（2010年3月26日、日本大学生物資源学部、藤沢市、観客180名）、小路 淳（研究代表者）・堀 正和（研究分担者）が企画責任者として主催。

2) 「藻場の機能評価と再生」、水産海洋地域研究集会・第10回広島湾研究集会（2009年12月18日、広島県情報プラザ、広島市、観客60名）、広島大学「里海」創生プロジェクトセンターメンバーとして主（共）催。

3) 「広島湾など瀬戸内海における栄養塩の動向と生物生産」、水産海洋地域研究集会 第11回広島湾研究集会（2010年12月17日、広島県情報プラザ、広島市、観客77名）、広島大学「里海」創生プロジェクトセンターメンバーとして主（共）催。

（5）マスコミ等への公表・報道等

1) 中国新聞 2009年7月18日。2009年7月18日～8月30日。「夏休みこどもスペシャルー身近な海から世界の海へ」を共催。広島市こども文化科学館、広島市。（「豊かな里海・瀬戸内海ものがたり」のなかで①くじらが泳いでいた海、②人々の暮らし、③これからの瀬戸内海などを出展）

2) 小路 淳。2011年3月15日。第2回 愛媛県大三島漁協におけるオニオコゼ種苗放流の期待と将来「“いつも二人三脚” 漁業者と栽培漁業技術者の挑戦」。豊かな海、23、31-35。（藻場を中心とする浅海域生態系の保全による水産資源の回復に関するコメントを業界機関誌に掲載）

3) 小路 淳。2011年3月25日。「浅海域の生態系サービスー海の恵みと持続的利用（水産学シリーズ169）」（小路 淳、堀 正和、山下 洋 編）、恒星社厚生閣、東京、150頁。我が国において極めて事例の少ない、水域生態系の生態系サービスの定量評価にむけた手引き書ともなる書籍を、編者の1人として出版した。

（6）その他

<研究協力者の受賞>

1) 最優秀プレゼンテーション賞（26名中1位）、2009年度広島大学生物生産学部水産生物科学コース卒業研究発表会、木下 光（研究協力者）、「藻場の被食シェルター機能の昼夜比較：夜でも藻場はゆりかごか?」、2010年2月18日。

2) 最優秀プレゼンテーション賞（20名中1位）、2010年度広島大学生物生産学部水産生物科学コース卒業研究発表会、福田温史（研究協力者）、「藻場の魚類群集の広域比較：種多様性とバイオマスに見出された相関関係」、2011年2月18日。

<シンポジウム・招待講演>

3) 小路 淳。5。稚魚の「ゆりかご」藻場～魚類生産の場としての機能の定量評価～。藻場の機能をどのように評価するか?～最先端の手法と成果に関するシンポジウム～。2009年10月8日。長崎県農協会館、長崎市。

4) 小路 淳、第10回広島湾研究集会シンポジウム「藻場の機能評価と再生」、広島県情報プラザ、広島市。2009年12月18日、4。稚魚の「ゆりかご」としての藻場の機能の定量評価。

5) 小路 淳、I 定量的生産研究の手法と現状 I-2 魚類生産。平成22年度日本水産学会春季大会シンポジウム「魚介類生産の場としての浅海域の生態系サービス」、日本大学生物資源学部、藤沢市、2010年3月26日。

6) 小路 淳。魚類の“ゆりかご”としての藻場機能の広域的解析。公開シンポジウム「森里海連環と地球的課題」。国際高等研究所、京都府木津川市、聴衆100名、2010年9月25日。

7) 小路 淳。広島湾・太田川河口域周辺が魚類生産に果たす役割。第11回広島湾研究集会「広

島湾など瀬戸内海における栄養塩の動向と生物生産」広島県情報プラザ多目的ホール、広島市、聴衆 150 名、2010 年 12 月 17 日。

8) 小路 淳。人から見た河口域、魚から見た河口域。「有明海森里海連環再生研究会」、国際高等研究所、木津川市、聴衆 50 名、2011 年 3 月 5 日。

<セミナー・講演 | 海外>

9) Jun SHOJI。魚類成育場としての藻場の生態的機能の評価に関する講演を行った。タイトル：「Evaluation of ecological functions of vegetated habitats as fish nursery」、Leibniz Institute for Marine Sciences、IFM-GEOMAR、Germany、2009年9月2日。聴衆30名。

10) Jun SHOJI。沿岸域の人工的環境と自然環境における魚類の初期死亡・加入変動に関する講演を行った。タイトル：「Cohort-specific mortality of estuarine-dependent fish larvae and juveniles: A comparison between artificial and natural rivers」University of Quebec at Chicoutimi、Canada、2009年12月10日。聴衆30名。

11) Jun SHOJI。魚類生産の場としての藻場の生態学的機能の緯度間比較に関する講演を行った。タイトル：「Evaluation of ecological function of seagrass beds as fish nursery: Latitudinal comparison of rockfish *Sebastes cheni* production in the western North Pacific」Leibniz Institute for Marine Sciences、IFM-GEOMAR、Germany、2010年8月24日、聴衆40名。

<セミナー・講演 | 国内>

12) 小路 淳。魚の「ゆりかご」としての藻場の生態学的機能評価の試み。富山県水産試験場所内セミナー、富山県滑川市、聴衆20名、2010年11月5日。

13) 小路 淳。魚の「ゆりかご」藻場の生態学的機能の定量評価：広域的・長期的視点から。「北方生物圏フィールド科学センター講演会」北海道大学水産学部、聴衆50名、函館市、2010年9月29日。

14) 小路 淳。耳石解析システムを用いた魚類生産速度の解析。独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所、聴衆20名、2010年9月14日。

15) 小路 淳。魚類生産の場としての藻場の役割。独立行政法人水産総合研究センター西海区水産研究所石垣支所、聴衆30名、2010年8月24日。

16) 小路 淳。稚魚の「ゆりかご」藻場の魚類生産の場としての機能の評価。独立行政法人水産総合研究センター厚岸栽培漁業センター、厚岸町、聴衆20名、2010年8月4日。

17) 小路 淳。藻場の水産資源がうみだす生態系サービス。独立行政法人水産総合研究センター宮古栽培漁業センター、岩手県宮古市、聴衆15名、2010年3月4日。

18) 小路 淳。藻場の魚類生産にもとづく生態系サービス評価の試み、京都大学情報学セミナー、2010年2月8日、京都大学大学院情報学研究科、京都市。聴衆30名。

<ポスター発表 | 国際学会>

19) Yuji IWAMOTO and Jun SHOJI. Cohort-specific survival of larvae and juveniles of an estuarine-dependent fish, Japanese seabass *Lateolabrax japonicus*: comparison between artificial and natural habitats. The International Council for the Exploration of the Sea (ICES) Annual Science Conference, Gdansk Music and Congress Centre, Gdansk, Poland, 20 September 2011 (採択決定)。

20) Yasuhiro KAMIMURA and Jun SHOJI. Cohort-specific mortality and growth-selective survival of juvenile black rockfish *Sebastes cheni*: does habitat complexity decrease predation? The International Council for the Exploration of the Sea Annual Science Conference, Gdansk Music and Congress Centre, Gdansk, Poland, 20 September 2011 (採択決定)。

21) Jun SHOJI, Ken-ichiro MIZUNO, Yasuhiro KAMIMURA, Atsushi FUKUTA, Shun-ichi TOSHITO and Hikari KINOSHITA. A north-south comparison of abundance, growth and mortality of juvenile black rockfish *Sebastes cheni* in seagrass beds around Japan. The International Council for the Exploration of the Sea Annual Science Conference, Gdansk Music and Congress Centre, Gdansk, Poland, 20 September 2011 (採択決定)。

22) Atsushi Sogabe, Hideki Hamaoka, Atsushi Fukuta, Jun Shoji, Koji Omori. Does the paternal uptake of embryonic nutrients lead the sexual difference in the trophic position? Application of stable isotope analysis. The Syngnathid Biology International Symposium, Sven Loven Centre for Marine Research, Kristineberg, Sweden, 26 April 2011。

23) Ken-ichiro MIZUNO, Yasuhiro KAMIMURA and Jun SHOJI. Effect of temperature on growth of black rockfish *Sebastes cheni* juveniles in seagrass and macroalgae beds. PICES Annual Meeting, Oregon Convention Center, Portland, USA, 23 October 2010。

24) Takuma MORITA, Yuji IWAMOTO and Jun SHOJI. Significance of estuarine habitat as nursery for yellowfin sea bream *Acanthopagrus latus*: comparison of feeding, growth and possible predators for larvae and juveniles in two habitats around Ohta River estuary northern Hiroshima Bay, Japan. PICES Annual Meeting, Oregon Convention Center, Portland, USA, 23 October 2010。

25) Yasuhiro KAMIMURA and Jun SHOJI. Effects of environmental conditions on growth-selective survival of juvenile black rockfish *Sebastes cheni* in a vegetated habitat in the central Seto Inland Sea, Japan. PICES Annual Meeting, Oregon Convention Center, Portland, USA, 23 October 2010。

26) Jun SHOJI, Syun-ichi TOSHITO, Ken-ichiro MIZUNO and Yasuhiro KAMIMURA. Possible effects of the global warming on fish early life stages: shift in spawning season and latitudinal distribution can alter growth of juvenile fishes through the changes in daytime length. PICES Annual Meeting, Oregon Convention Center, Portland, USA, 23 October 2010。

<ポスター発表 | 国内学会>

27) 毛利紀恵・上村泰洋・水野健一郎・木下 光・年藤俊一・小路 淳。瀬戸内海中央部のア

マモ場における優占魚種の出現と成長。平成 22 年度日本水産学会春季大会、日本大学生物資源学部、藤沢市、2010 年 3 月 29 日。

28) 年藤俊一・上村泰洋・水野健一郎・小路 淳、平川浩司。シロメバル仔稚魚の初期成長に水温が及ぼす影響。平成 22 年度日本水産学会春季大会、日本大学生物資源学部、藤沢市、2010 年 3 月 27 日。

29) 岩崎貞治・上村泰洋・平井香太郎・毛利紀恵・木下 光・小路 淳。浅海域における生物調査のフィールド教育への応用。平成 22 年度日本水産学会秋季大会、京都大学総合人間学部、京都市、2010 年 9 月 24 日。

30) 小路 淳、山本昌幸。浅海域の生物多様性と生産：藻場と砂浜域における魚類群集構造の比較。2010 年度日本水産海洋学会研究発表大会。東京海洋大学、東京都、2010 年 11 月 20 日。

31) 千葉 裕介・仲 美穂・福田 温史・上村 泰洋・小路 淳。瀬戸内海島嶼部の藻場に隣接する浅海域における浮遊仔魚の出現。平成 23 年度日本水産学会春季大会、東京海洋大学、東京都、2011 年 3 月 29 日（講演要旨のみ）。

32) 福田温史・上村泰洋、堀 正和、小路 淳。アマモ場の魚類群集構造にもとづく地域区分の試み。平成 23 年度日本水産学会春季大会、東京海洋大学、東京都、2011 年 3 月 29 日（講演要旨のみ）。

33) 年藤俊一・水野健一郎・上村泰洋・毛利紀恵、平川浩司、野田 勉・青野英明、山下 洋、小路 淳。シロメバル仔稚魚の成長に水温が与える影響の南北比較：天然および飼育魚による検討。平成 23 年度日本水産学会春季大会、東京海洋大学、東京都、2011 年 3 月 29 日（講演要旨のみ）。