

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
 (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

(独) 水産総合研究センター

瀬戸内海区水産研究所 生産環境部 藻場・干潟環境研究室
 堀 正和

<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
 生産環境部 藻場・干潟環境研究室 島袋寛盛
 山北剛久
 山田勝雅※
 吉田吾郎
 浜口昌巳

(※現所属：千葉県水産総合研究センター東京湾漁業研究所)

広島大学大学院生物圏科学研究科 小路 淳
 水野健一郎
 福田温史

平成21～22年度累計予算額：9,699千円（うち、平成22年度予算額：4,500千円）

予算額は、間接経費を含む。

〔要旨〕本課題では藻場の生物多様性・生物生産の保持機能と漁業資源供給サービスの持続的利用にむけて、藻場の魚類生産の定量評価とその時空間変異性を解明し、環境変動を考慮したモデル解析により生態系サービスの将来予測を行うことを目的とした。まず全国各地のアマモ場において、アマモ群落、底生生物群集、魚類群集の広域調査を行った。次に海水温を数段階に変化させた操作実験により、温暖化の進行とともに変化するアマモ群落の構造と生産速度の変化の検証を行った。野外調査の結果、低緯度ほど魚類生産は餌生物である底生生物群集を介して制限されており、一方で高緯度ほどアマモ場の群落構造を介して制限される傾向が確認された。そのため、藻場の魚類生産への影響には、物理環境が魚類の生産過程に直接影響する場合に加え、物理環境が魚類の生息場所である藻場群落の構造や餌料生物となる藻場の小型無脊椎動物相を変化させ、その結果として魚類生産に波及する間接的影響も働くことが推測された。そこで、これらの結果を踏まえた新たな野外調査を行い、環境変動が生息場所の変化を介して魚類生産に及ぼす間接的影響が派生するプロセスの緯度間変異を解明するために共分散構造解析を行った。また、操作実験の結果では低温区においてわずかな海水温変化でもアマモ草体の形態と生産速度が変化すること、高温区ほど成長に差が出る前に早急に草体が枯死するため生残率として差が生じることが示された。最後にこれらの結果からアマモ群落パラメータと魚類生産パラメータの関係を水温の関

数として表し、その積をさらにアマモ群落の持続性を示す関数で補正した生態系サービスモデルを考案し、温暖化予測シナリオに沿ったシミュレーションを行った。その結果、瀬戸内海および東北海域に高魚類生産ゾーンが形成されたが、温暖化の進行によって瀬戸内海海域のアマモ場の群落構造の縮小および不安定化が生じ、魚類生産は高いにもかかわらず瀬戸内海海域の高生産ゾーンが崩壊するパターンが認められた。

[キーワード] 温暖化影響、アマモ場、生態系サービス、生物多様性、生態系機能

1. はじめに

藻場は沿岸生態系の重要な構成要素であり、栄養塩固定や生物生産など様々な生態系サービスを発揮している。沿岸域は海洋で最も単位面積当たりの生物多様性と生態系機能の高い海域であり、藻場のほかにもサンゴ礁やマングローブ林など、高い生態系サービスを有する生態系を含んでいる。海洋面積に占める沿岸域の割合はわずか9%にすぎないが、海洋の総一次生産量の1/4を沿岸域が担っている (Duarte and Cebrian 1996)。沿岸域の生態系サービスの価値は単位面積当たり外洋域の16倍であり、全面積に換算した場合でも外洋域の1.5倍を有している (Costanza et al. 1997)。藻場は全沿岸域面積の12%程度でしかなく、全海洋面積に換算すると1%に満たないにもかかわらず、単位面積当たりの生態系サービスの価値は熱帯雨林の10倍と高いために、海洋面積の91%を占める外洋域と同等程度の総合的価値を有していることになる。

沿岸域は陸域と海洋の中間に位置するエコトーンであり、双方からの影響が複合的に作用することで生態系が成立している。そのため、沿岸域は温暖化に伴う様々な環境変動の影響を受けやすい特徴を有する。海水温上昇・pH変化・海面上昇など海洋からの影響に加え、陸水流入量変化・気候変化など局所的な陸域変化の影響も強く受ける。陸域からの河川流入を介した影響では、水質汚染など、さまざまな人為的要因による環境の劣化も生じやすい。藻場生態系に関する報告では、80年代から90年代初頭における藻場の主要な減少要因は人為的破壊・水質汚染であることが報告されている (Short & Wyllie-Echeverria 1996)。このような人為的破壊の影響は温暖化との複合効果によって大幅に助長されることが報告されており (Harley et al. 2006)、今後の温暖化の進行に伴い、早急な藻場の保全再生が急務とされている (堀ら2007)。

古来より沿岸漁業が営まれてきたわが国では、古くから藻場が海洋生物にとって重要な生息場所であることが認識されてきた。例えば藻場が多く存在していた瀬戸内海では、19世紀頃にはすでに農商務省が国の見解として藻場の重要性を認識し、海洋生物の好繁殖地、稚魚育成・水族生物の生息場所の好適地と位置づけている (農林水産省 1979)。1909年には瀬戸内海漁業制限規程が制定され、藻場を破壊・消失するような漁具の使用を禁止している。以降、その認識は現在まで受け継がれ、国内に限らず世界でも同様に藻場の生息場所としての価値を評価する試みが多く行われているが、残念ながら定量的に価値評価された例は未だ殆どないのが現状である。Costanza et al. (1997) で算定された藻場の生態系サービスの価値にも生息場所としての価値は含まれておらず、そのほとんどが栄養塩循環としての価値である。水産資源の供給や生物多様性の保持など、いまだ世界的にも定性的にしか評価されていない生態系サービスの価値が的確にかつ定量的に評価されれば、その正確な価値は従来よりさらに高くなることが容易に想像される。これまでの我々の調査結果では、その価値は状況によって従来の価値の約130%~300%程度になることが予

測されている（小路 2009、堀ら 2009）。

このように我々人類にとって重要度の高い藻場生態系であるが、その過剰利用によって大きく衰退の一途をたどっている。現状でも世界で10億人以上の人が主要な動物性タンパク源を漁業に頼っているため（Millennium Ecosystem Assessment 2005）、食料供給サービス利用の影響は今後も藻場を含む沿岸生態系の変化を引き起こしそうである。また、地球温暖化に代表される大規模環境変動が顕在化しつつある現状では、環境変動と人為的效果との複合効果が生態系サービスの劣化をさらに助長させることが予想される。その場合、将来的に現在と同様の生態系サービスが得られることは期待できそうにない。したがって藻場の生態系サービスの定量化とその時空間変異性（時系列変化と地域変異）を解明し、生態系サービスの変動の将来予測をおこなうことは、沿岸域の生態系機能研究だけでなく、現在の環境科学において重要なテーマの一つであると考えられる。

2. 研究目的

地球温暖化による環境変動が藻場の魚類生産に及ぼす影響は、物理環境が魚類の生物生産過程に直接影響する場合に加え、物理環境が魚類の生息場所である藻場群落の構造や生物相を変化させ、その結果として間接的に影響する場合の2通りが想定される（図1）。

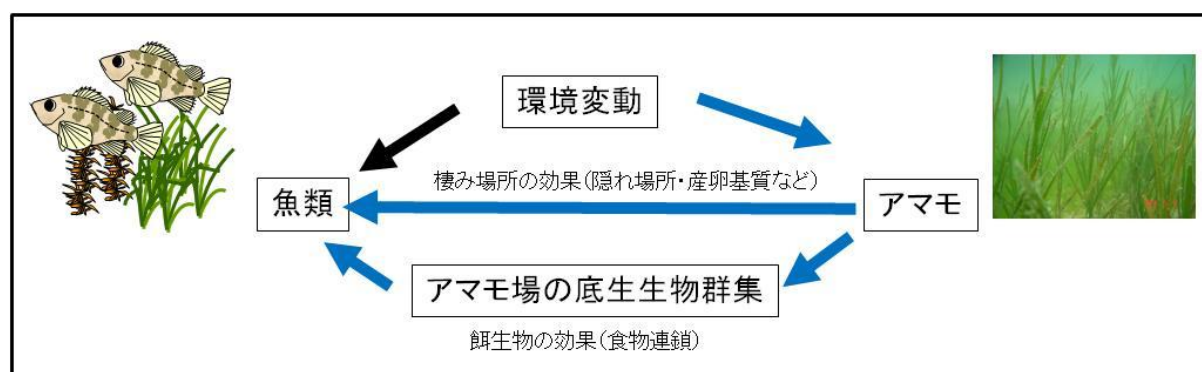


図1. 環境変動が魚類生産に及ぼす直接効果および間接効果の模式図。矢印（黒）が直接効果、矢印（青）が間接効果を示す。

特に、アマモ場などの特定の成育場に強く依存して成長する稚魚の場合、生息場所の物理環境や餌環境は成魚以上に重要となる。本サブテーマでは環境変動が生息場所の変化を介して魚類生産に及ぼす間接的影響を定量化し、その間接的影響が派生するプロセスの緯度間変異を解明することを目的としている。具体的には、以下の項目別に調査・解析を行う。

（1）アマモ場生物群集構造の地域間変異の把握（2009年度）

魚類生産の緯度（海域）間変異に影響するアマモ場群落構造や生物群集構造などの生物環境要因をサブテーマ（1）－（2）と同様の全国調査地点において収集し、その変異性の把握を行うとともに、以下の項目（3）の解析に用いる生物パラメータの選定を行う

（2）海水温変化がアマモ群落に及ぼす影響の検証（2009-2010年度）

環境変動に伴うアマモ群落構造・生産量の変化を定量化するために、地球温暖化を想定した海

水温操作実験を行い、以下の項目（４）におけるモデル作成に使用する物理環境パラメータの範囲を推定する。

（３）アマモ群落が魚類生産に及ぼす影響とそのプロセスの緯度間変異の解明（2009-2010年度）

藻場の群落構造や生産量は環境条件によって変異し、また藻場を生息場所とする魚類群集やそれらの魚類の餌生物となる底生生物群集の種構成や現存量も変異する。そこで、項目（１）のデータを用いて、環境変動の間接的影響が魚類生産に波及するプロセスの環境条件の異なる緯度（海域）間変異を解明する。

（４）環境変動に伴う魚類生産の至適環境の変動解析（2010年度）

以上の項目（１）－（３）で得られた結果と、サブテーマ（１）－（２）で取り組んでいる直接的影響の定量データとをあわせることにより、藻場が有する魚類生産（生態系サービス）への環境変動の効果を予測するモデルの作成を行う。このモデルを用いて地球温暖化のシナリオに沿ったシミュレーションにより、藻場の環境変動に伴う魚類生産機能の時空間変動を解析し、至適生産環境の空間配置と温暖化に伴う空間配置の変化を予測する。

３．研究方法

（１）アマモ場生物群集構造の地域間変異の把握（2009年度）

サブテーマ（１）－（２）と同様の全国調査海域のうち、図2に示す８つの海域を本サブテーマの重点調査海域に選定した。重点海域の選定基準として、すべての全国調査地点で予備調査を行い、その調査結果から、海草の草体、海草群落内に生息する底生生物（以下、小型無脊椎動物に限定する）群集、海草群落内に集する魚類群集の３者関係の解析が可能な十分量のサンプルが収集できる海域としている。



図2. 本課題の重点調査海域.

次に各重点調査海域において、海草藻場の面積に合わせて１点～３点の調査範囲を設定し、調査範囲の大きさによって４点から６点の繰り返しができるよう調査点を配置した。この各調査点を対象に、各調査海域のアマモ繁茂期（海域によって異なる）に海草群落・小型無脊椎動物群集・魚類群集のセット採集を行った。まず各調査点のアマモ群落において、囲った際の面積が50㎡になるように設計した小型巻網を使い、群落内のい集魚類の定量採集を行った。次に巻き網採集を行った場所内において25cm×25cmのコドラート（方形枠）とメッシュネットを用いてアマモの坪

刈りを行い、アマモ草体地上部と葉上動物群集を採集した。さらに、坪刈りを行った場所に直径15cmの底質コアラーを底質15cmの深さまで差込み、アマモ草体地下部および内在動物群集の採集を行った。アマモ草体地上部・葉上動物群集サンプルおよびアマモ草体地下部・内在動物群集サンプルは現地で凍結処理を行った後に研究室内で草体と小型無脊椎動物（葉上動物＋内在動物）群集を分離して同定・計測を行い、また魚類群集サンプルは5%海水ホルマリン固定処理を行った後に室内で同定・計測作業を行った。これらのデータを用いて、日本列島太平洋岸の北部から南部に至る海草群落構造・底生生物群集構造・魚類群集の緯度間変異の傾向を調べ、またすべてのデータを以下の項目（3）の解析に使用した。なお、結果では緯度間での群集構造の違いを比較しやすいよう、多年生のアマモ（*Zostera marina*）が単一で形成している同質の藻場を有する海域間での変異の傾向を示している。

（2）海水温変化がアマモ群落に及ぼす影響の検証（2009-2010年度）

一般に地球温暖化の進行とともに変化する沿岸域の環境要因のうち、海草の形質に影響を及ぼす物理環境要因としては海水温上昇、水面上昇（水圧と光条件の変化）、淡水流入（塩分・栄養塩濃度の変化：堀ら2008）、嵐の頻発（流速・波浪の変化）、酸性化（pHの変化）などが考えられている（Harley et al. 2006）。日本列島太平洋岸を主な調査対象に、緯度間でのアマモ場群落構造の空間変異と環境変動による群落構造の変化を予測する本サブテーマの空間スケールでは、上記の環境要因のうち海水温の緯度間勾配が群落構造の緯度間変異と関連することが予想される。そこで、環境変動に伴うアマモ群落構造・生産量の変化を定量化し、以下の項目（4）におけるモデル作成に使用するために、地球温暖化を想定した海水温操作実験を以下の手順で行った。まず全国調査地点のうち、2009年夏期に現在のアマモの南限である鹿児島湾から一年生アマモの花株（鹿児島湾内のアマモはすべて一年生の生活史を呈すると言われている）に加え、将来の温暖化により南限となることが予想される瀬戸内海西部の優占生活史である多年生アマモの花株を採集した。これらを株ごとに屋外水槽設備で培養し（図3）、秋期に成熟後の種子を株別に回収した。次に回収した種子を株別にポット播種し、同じ飼育条件に設定した培養水槽内で発芽させ、同株由来の実生アマモ株を得た。また同株由来の検証のために各実生株から葉片を切り取り、マイクロサテライトマーカーによる遺伝子解析（島袋ら、未発表）を行った。この実生株を株分けし、同じ条件の底質土を入れた小型ポットに一株ずつ移植した実生株ポットを作成した。次に30Lパンライト水槽に昇温機を設置した実験区を室内に4基作り、海水温条件を石垣海域、鹿児島海域、宮崎海域、瀬戸内海西部海域に併せて4段階の海水温勾配に設定した（図4）。この海水温勾配実験区において、4段階すべての実験区に各海域由来の実生株をいれ、また同株由来の実生株ポットが4段階すべての実験区に含まれるように配置した。実験はアマモの成長期にあたる3月～7月にかけて行い、自然日光条件下でその後の成長速度、形態、および生残率の計測を行った。この実験により検証する作業仮説は以下の3つである；①分布南限の鹿児島湾の実生株はさらなる水温上昇に耐えられるか、②鹿児島湾の実生株は宮崎海域、瀬戸内海西部海域の海水温条件でも生育できるか、③瀬戸内海西部の実生株はさらなる水温上昇でも生育できるか、さらに鹿児島湾の実生株の形態に変化するか。



図3. 屋外水槽による株別の種子回収および実生育成

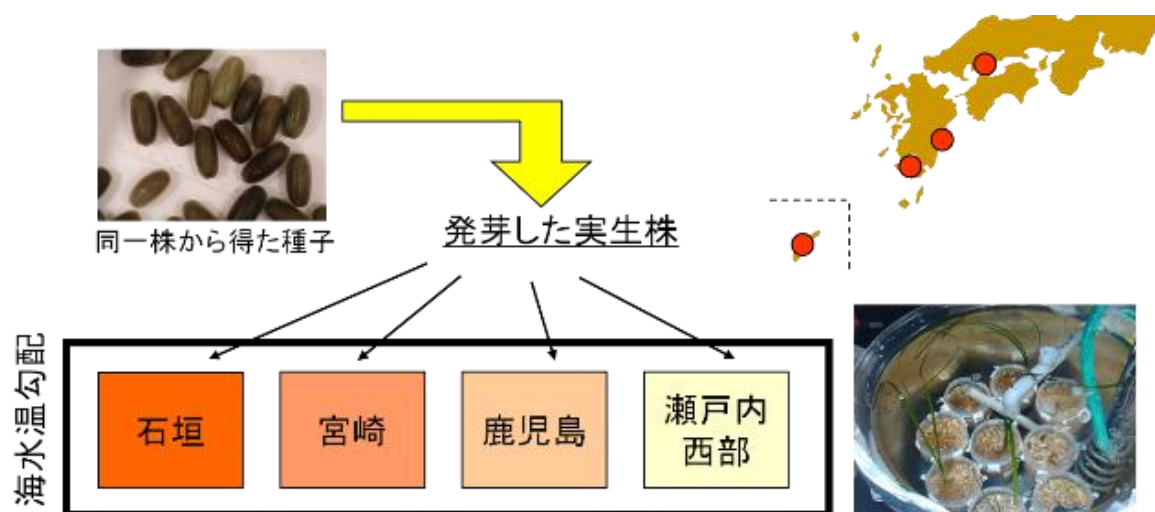
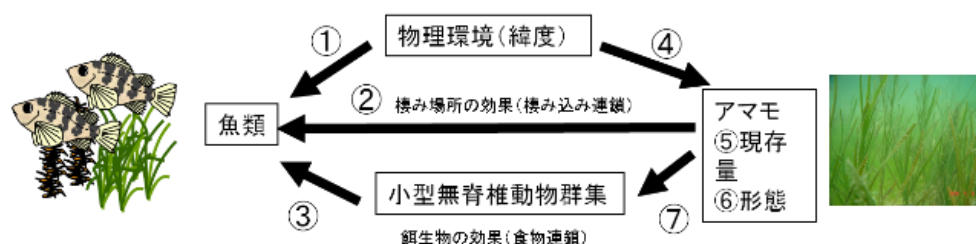


図4. 海水温勾配実験の概要図

(3) アマモ群落が魚類生産に及ぼす影響とそのプロセスの緯度間変異の解明 (2009-2010年度)

全国の重点調査海域(図2)において、2009年－2010年に行った魚類相調査、アマモ群落構造調査、および小型無脊椎動物群集調査のデータを用いて、アマモ場・小型無脊椎動物群集・魚類の3者間の因果関係を推定するための共分散構造解析を行った。物理環境から魚類生産への直接的影響、および物理環境がアマモ群落構造および小型無脊椎動物群集を介した魚類生産への間接的影響を示すモデルを8つ選定した(図5)。魚類および小型無脊椎動物群集のパラメータとしてはともに単位面積当たりの現存量・個体数を用い、アマモ群落構造のパラメータとしては、アマモの一次生産性の指標としての単位面積当たりの現存量と総株数、群落の形態の指標として草体の分岐数、葉数、葉長、および葉面積を用いた。各海域の野外調査データをこれらのモデルに当てはめ、約 10^6 回のシミュレーションによりBIC(ベイズ情報量基準)で各海域の最適モデルを選択した。なお、解析にはSPSS社のAMOS6.0を用いている。



魚類の現存量を説明するモデル

- モデル1: ①
 モデル2: ⑤→②
 モデル3: ⑥→②
 モデル4: ③
 モデル5: ⑤→⑦→③
 モデル6: ⑥→⑦→③
 モデル7: ④→⑤→⑦→③
 モデル8: ④→⑥→⑦→③

図5. 共分散構造分析に用いたモデルのパス図。物理環境から魚類生産へ至る複数の経路をそれぞれモデルとして表している。

(4) 環境変動に伴う魚類生産の至適環境の変動解析 (2010年度)

本サブテーマの項目(1)～(3)の結果により、魚類生産はアマモ群落や小型無脊椎動物群集によって制限されうること、将来的な環境変動によりアマモ群落構造の変化や群落そのものの消長が生じることが明らかとなった。そこで、サブテーマ1-(2)による環境変動の魚類生産への直接的影響を示す定量データ、本課題の調査①で得られた2010年度のデータおよび2009年度のデータを用い、アマモ場の魚類生産指標を示す以下の単純な関数を作成した。

$$F_i(t) = \frac{f_i(t) * g_i(t)}{S_i(t)}$$

$F_i(t)$ は海域 i における時間 t の生態系サービス（魚類生産）指標を示し、 $f_i(t)$ は海域 i における時間 t の水温下での対象魚種（メバル）の生産量を示している。これに海域 i におけるアマモ場の魚類生産への間接効果の関数を示す $g_i(t)$ を掛け合わせ、群落の変動性を示す $S_i(t)$ で補正している。ここで $g_i(t)$ は①の解析で明らかとなった、海域ごとに異なるアマモ群落パラメータと魚類生産パラメータの関係を示す水温の関数であり、 $S_i(t)$ は群落面積の消長の指標として群落面積の年変化の変動係数（CV）をさらに算術平均で割った関数としている。つまり、この値が小さいほど群落は安定しているとみなすことができる。したがって、生態系サービス指標は、環境が直接作用する魚類生産の変化と、アマモ場という生息場所を介した間接的作用の積で決まり、さらに生態系サービスの価値はその安定性によって補正される、という構造をとっている。この関数を用いて、各海域の生態系サービスの変動をシミュレーションし、50年後の各海域の値、および100年後の各海域の値を比較した。なお、シミュレーションの計算手順は図6のとおりである。

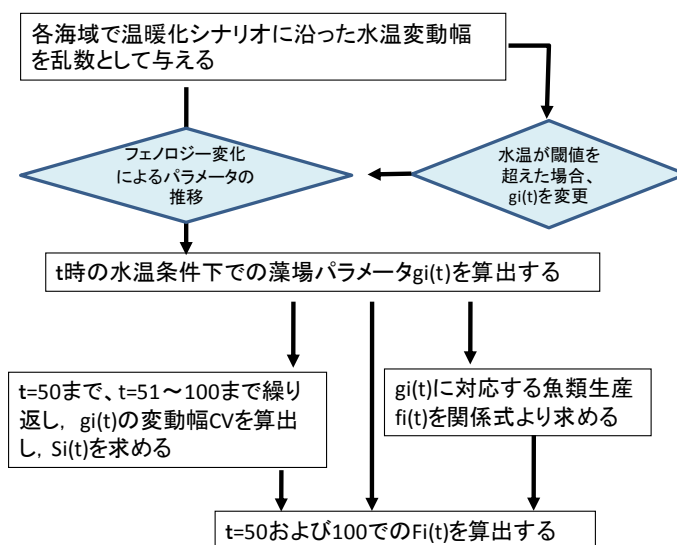


図6. シミュレーションの解析手順

気象庁の地球温暖化予測第7報のB1シナリオでは、本課題のシミュレーション対象海域である南西諸島～北海道東部太平洋岸の多くの海域で100年後の水温上昇が+1.4度とされており、東北地方のみ低温傾向となっている。また、同海域の過去100年間の水温変動が+0.7度～+1.3度と今後100年の水温変動と類似した上昇幅を示していることから、桑原ら（2006）と同様に今後100年の水温上昇を便宜上直線的に生じると設定し、すべての海域で本直線の傾きに従って水温上昇が生じると仮定した。この水温設定を基準に、まず各海域に50年後までの平均海水温が+0.7度（東北海域は+0.3度）、100年後までの平均海水温が+1.4度（東北海域は+0.6度）となるよう海水温に変動を乱数として与えた。次にこの海水温条件下で各パラメータの計算を毎年行うが、例えば対象の海域*i*の海水温が隣接する海域*j*の海水温を上回る（あるいは下回る）場合は、藻場と魚類生産の計算には対象海域の $g_i(t)$ ではなく隣接海域の $g_j(t)$ を用いている（図7）。

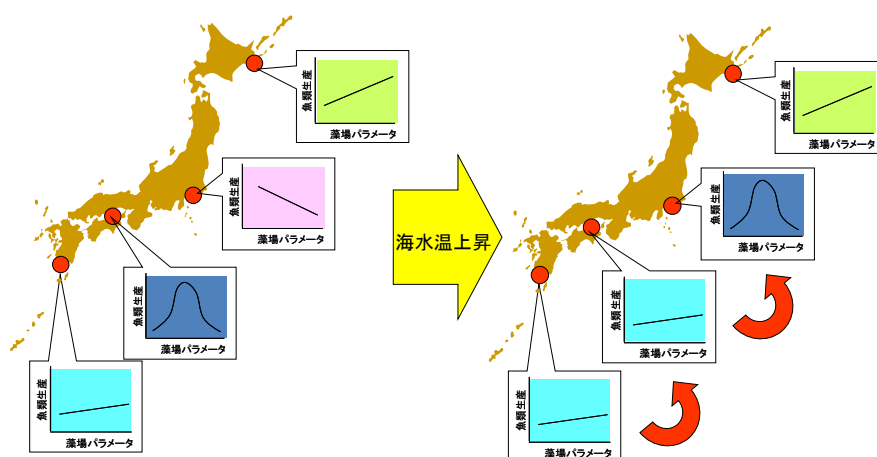


図7. $g_i(t)$ の計算イメージ。藻場と魚類生産の関係式は各海域によって異なるため、海水温が隣接した海域の値に到達した場合は、隣接海域の関係式により計算を行っている。

4. 結果・考察

（１）アマモ場生物群集構造の地域間変異の把握

多年生アマモ群落を有する海域を対象に行った小型巻き網による魚類定量採集の結果では、現存量は高緯度の北海道東部で多く、その他の地域は同様に少ない傾向にあった（図8）。ただし、水深間での現存量変化の傾向は調査海域間で異なり、瀬戸内海西部および北海道東部では浅い水深帯ほど多く、東京湾では逆に深い水深帯ほど多い傾向が見られた。また、面積あたりの種数においては、瀬戸内海西部のW1海域が高い値を示したが、それを除けばほぼ高緯度から低緯度にかけて減少する傾向を示した。各海域内の水深勾配にそった傾向では、瀬戸内海西部と北海道東部において浅い水深帯ほど種数が多い傾向が見られた。瀬戸内海西部および北海道東部では、魚類の現存量が高い群落ほど種数も多い傾向が確認された（瀬戸内海西部： $R=0.523$ 、 $P=0.149$ 、北海道東部： $R=0.856$ 、 $P=0.003$ 、2海域総計： $R=0.813$ 、 $P<0.0001$ ）。

次にアマモの群落構造に関しては、現存量（多年生アマモにおいてはIzumi and Hattori (1982)の生産量/現存量比=4が全国に適用できるとされているため、生産量ともみなせる）は地上部、地下部とも明瞭な地域差は確認されなかったが、地上部で瀬戸内海西部と北海道東部が東京湾より多く、地下部で瀬戸内海西部と東京湾が北海道より多い傾向が確認された（図9）。

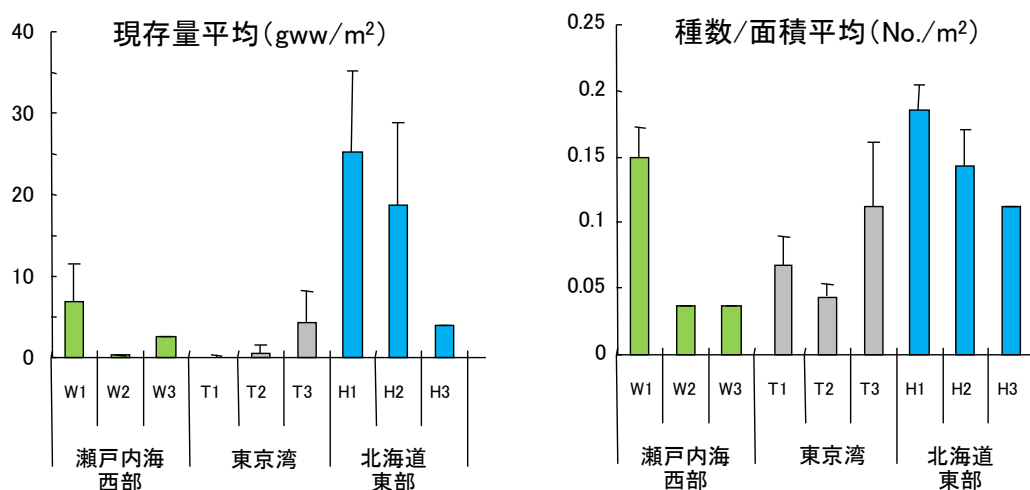


図8. 調査海域のうち、多年生アマモ群落を有する調査海域（南方域：瀬戸内海西部、北方域：北海道東部、中間域：東京湾）間における魚類相の比較。各調査海域内で水深の異なる群落間でも採集を行っており、1がアマモの分布水深のうち上部に形成されている群落、2がアマモの分布水深の中心付近の群落、3がアマモの分布水深の下部の群落を対象としている。

そのため、地上部と地下部の比率では、北海道東部が地上部の割合が高く、逆に東京湾で地下部の割合が高くなっているといえる。一般に流動条件が厳しい環境ほど地下部伸張・地上部小型化の傾向が見られるので（吉田ら 2007）、北海道東部の流動環境が静穏であるその一方、東京湾の流動環境は相対的に激しいことが予想される。

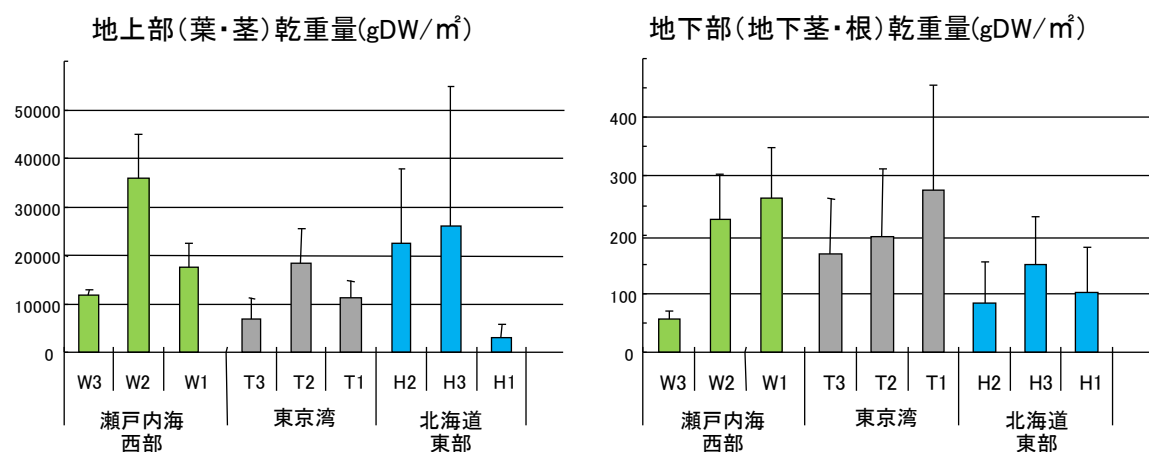


図9. 各海域のアマモ地上部および地下部の現存量。各調査海域内の調査地記号は魚類相調査と同様。

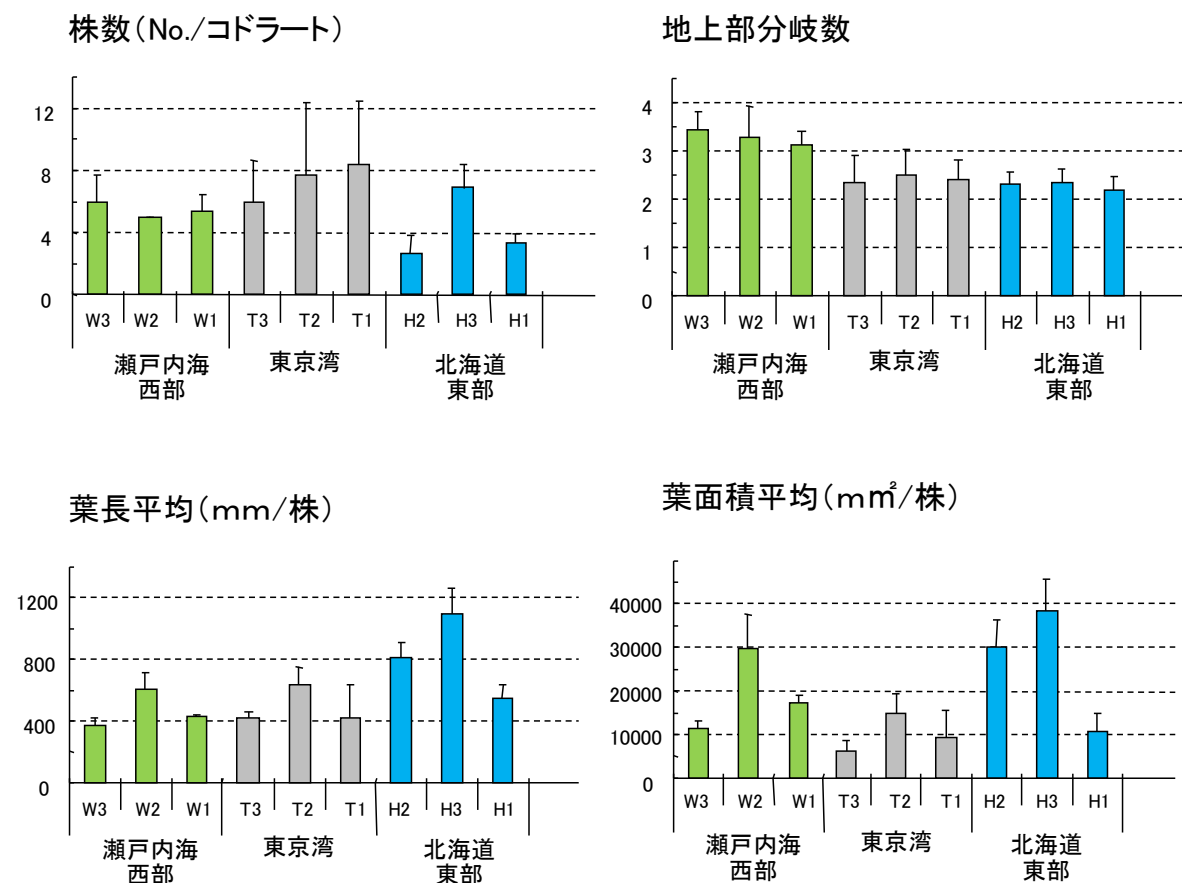


図10. 各海域におけるアマモ群落の形態指標の比較。各調査海域内の調査地記号は魚類相調査と同様。

次にアマモの形態形質では、有意な差ではないが株数において北海道東部で瀬戸内海西部および東京湾より多くなる傾向があり、葉長では北海道東部で他海域より大きい傾向が見られた（図

10)。次に地上部の分岐数においては低緯度ほど値が大きくなる勾配がみられ、各海域内での水深帯間では殆ど変異がなかった。また、葉面積では平均値で見ると東京湾で小さく、次いで瀬戸内海西部、北海道東部の順に大きくなる傾向が見られた。これらのアマモ群落の形態に関する結果を総合的に解釈すると、東京湾では流速環境が激しいためか、群落の定着に重要な地下部が相対的に大きく発達し、葉面積の小さい細身の地上部が数多く直立する群落となるため、群落内に空隙が少ない密生した構造になっていると考えられる。また北海道東部では葉面積と葉長の大きい大型の地上部が発達する一方で株数は多くならないため、群落上部はキャノピーが形成されるものの、群落下部では空隙が生じていることがうかがえる。そして瀬戸内海においては、東京湾と北海道東部の中間か、やや東京湾の群落に類似した群落構造を呈していると考えられる。ただし、これらの形態は水深帯間の群落構造の変異も大きいため、その水深間の変異によって調査海域間の変異がマスクされている。このことは、これらの形態形質が水深間や調査地間など局所的な変異がある物理環境（流速、光、塩分等）によって制限されている可能性を示唆している。

その一方で、分岐数のみ水深間での変異が殆どなく、北方の北海道東部から南方の瀬戸内海西部までの緯度勾配に沿った調査地間の変異が見られた。分岐の形成過程について瀬戸内海西部で野外観察を行ったところ、分岐はアマモの成長が最も良い繁茂期前期に形成されており、その形成は新葉が葉鞘の内側から出現する際に新葉と同時に葉鞘部が伸長することにより生じていたことが推測された。アマモの成長速度は水温にも制限されることから（例えばHemminga and Duarte 2000）、おそらく、海水温等の大域的な物理環境の緯度間勾配によって変異が生じている可能性が考えられる。

また、小型無脊椎動物群集においては、全海域総計で葉上動物は59種、内在動物は69種が確認された。葉上動物では、株あたりの種数に明瞭な海域間での差は確認できなかったが、高緯度ほど個体数密度が高くなる傾向が見出され、特に北海道東部のH3地点で他海域の数倍～数十倍の味密度を示した(図11)。その一方、内在動物では、株当たりの種数に海域間での差があり、南方の海域ほど多くなる傾向が見られた。また個体数密度においても、北方の北海道東部で他海域より低い傾向があり、葉上動物の個体数密度と逆のパターンが確認された。これらの結果は、小型無脊椎動物群集構造とアマモ群落の現存量・群落構造との関係に関するいくつかの仮説を示唆していると考えられる。その一つとして、葉上動物は地上部の形態・構造が大きく株密度が低い群落を好み、内在動物は地下部が大きく株密度の高い群落を好むことがあげられる。葉上動物の個体数密度が高かった北海道東部では、アマモ群落は地上部が大きく群落内に空隙を有する構造を示し、葉上動物の生息場所としての葉面積が大きいことに加え、群落内部まで適度な流速が到達することで葉上動物の移動分散や、葉上動物の餌資源となる付着藻類・浮遊性懸濁物の供給が群落内にまで及び、そのために葉上動物に好適な群落構造になっていると考えられる。その反面、内在動物の個体数密度が高かった東京湾では、アマモ群落は地下部の大きい構造を示し、地下部が底質を抑えて複雑な地下構造を作り出すことで内在動物の生息場所が安定的に提供することに加え、枯死脱落した地上部や地下部が餌資源として供給されることが考えられる。

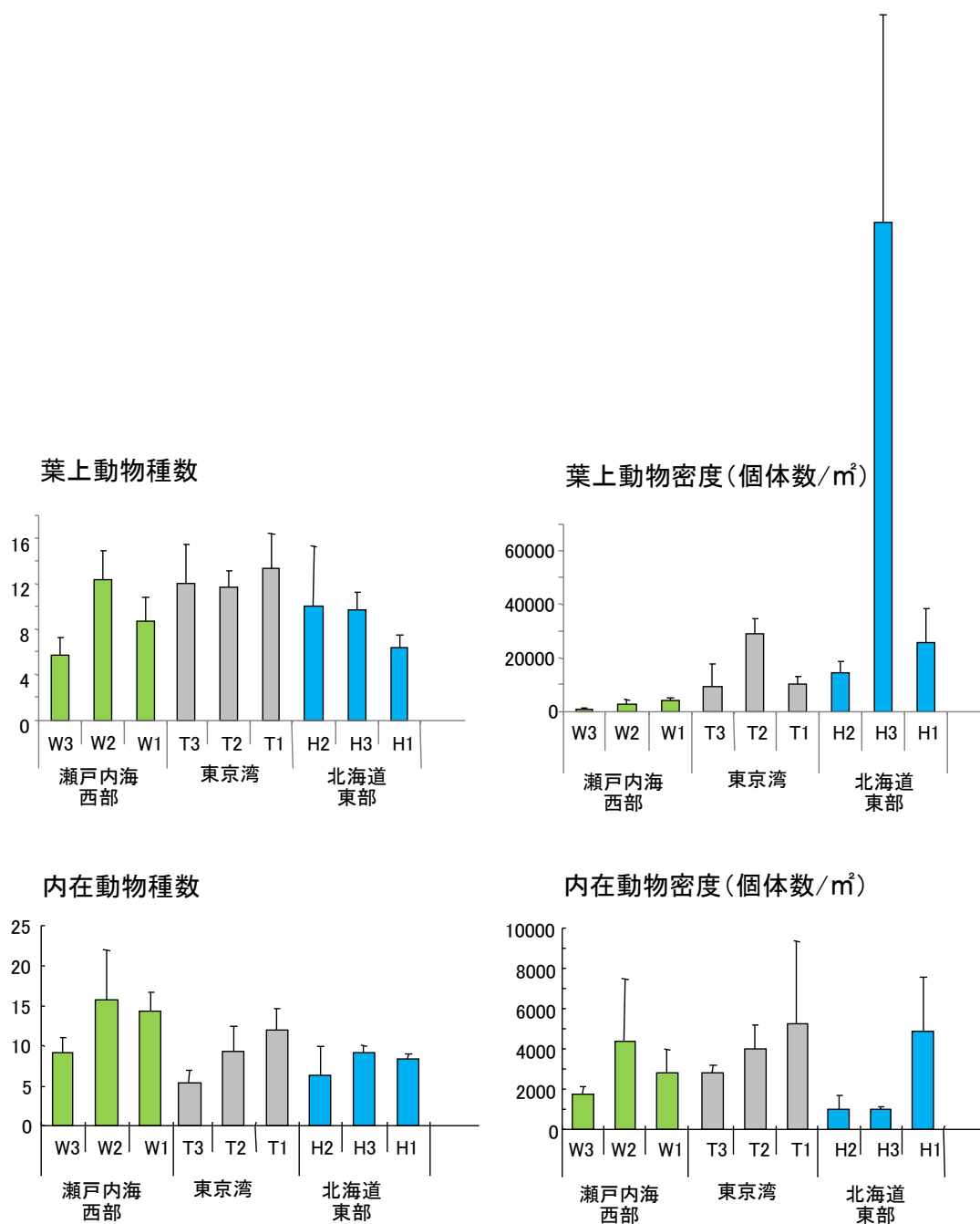


図11. 各海域における小型無脊椎動物（上段：葉上動物、下段：内在動物）の種数と密度の比較。各調査海域内の調査地記号は魚類相調査と同様。

一般に魚類に対する藻場の生息場所の効果は、産卵・付着基質や滞在場所、あるいは捕食者や物理的攪乱からの逃避場所などといった住環境（住み込み連鎖）の提供の効果と（図1）、餌となる小型無脊椎動物群集などといった食環境（食物連鎖）の提供の効果の双方の影響が挙げられている（向井 1995、Hemminga and Duarte 2000、Williams and Heck 2001、Larkum et al. 2007）。今回の結果では、北海道東部のような形態・構造が大きい株密度が低く、地下部の小さいアマモ群落は、立体構造を形成しつつ、その内部に生息可能な空隙を有しているため、遊泳性の魚類

にとっては生息場所として好適であろう。また餌資源となる葉上動物も多いことから、住み込み連鎖、食物連鎖の双方の観点から相対的に優れているように見えてしまう。しかしながら、海草群落構造の利用形式は魚種や小型無脊椎動物種によって異なり（Hori et al. 2009）、東京湾や瀬戸内海のような群落構造であっても、アマモ場は他の生態系よりも高い生物多様性を保持し、魚類生産を保障していることが分かっている（堀ら 2009）。そこで以下の項目（3）では、アマモ場の群落構造から魚類生産まで影響が及ぶプロセスを解明し、住み込み連鎖と食物連鎖の相対的重要性やその調査海域間での変異性について解析を行った。

（2）海水温変化がアマモ群落に及ぼす影響の検証（2009-2010年度）

アマモの操作実験では、まず播種後に2010年1月～2月にかけてすべての調査海域のアマモ種子から実生の発芽が確認された。その後順調に育った実生株を用いた実験の結果、3月から4月にかけては鹿児島湾産の実生株、瀬戸内海産の実生株はともに鹿児島湾、宮崎、瀬戸内海西部の水槽で順調に生育をし、一方で石垣の海水温変化を模倣した水槽では枯死しなかったものの、殆ど成長しなかった。この時、一年生の生活史を呈するアマモから採集した種子由来の鹿児島湾の実生株はすべての実験区において一年生の生活史を示す花株形態で成長し、また多年生の生活史を呈するアマモから採集した種子由来の瀬戸内海の実生株でも、すべての実験区において多年生の生活史を示す栄養株形態で成長した。このことは、少なくとも実生の段階では海水温変化に反応して形態を変化させないことを示唆している。次に4月から5月にかけての期間においては、鹿児島湾の実生株はその一年生の生活史のために衰弱をはじめ、瀬戸内海区および鹿児島湾で生存しているものの成長が確認されず、石垣区および宮崎区で完全に枯死した。また、瀬戸内海の実生株においても、石垣区および宮崎区で完全に枯死し、鹿児島区で成長が確認されなくなった一方で、瀬戸内海区では順調に生育していた。最後に6月から7月にかけての期間においては、鹿児島湾の一年生の実生株はすべて消失したが、瀬戸内海区においておそらく分枝による栄養株の成長が確認された。また、瀬戸内海の多年生の実生株は瀬戸内海区にのみ生育し、他の実験区ではすべて枯死した。これらの結果は、鹿児島湾産の一年生実生株は、低温変化時に多年生へと生活史を変化させる可塑性を若干保持している一方で、瀬戸内海産の多年生実生株では高温変化時に一年生型への可塑的な形態形質変化が生じず、その結果アマモの分布南限の海水温条件では枯死してしまうことを示唆している。

一般的に鹿児島湾の一年生の生活史を有するアマモは夏期の高水温を避けるために発達したと考えられており、閉鎖的な鹿児島湾の地形（唯一の湾口は南方の方角に開いており、そこはアマモの分布限界水温より高い）によって周囲から長年隔離されている経緯がある。おそらく、鹿児島湾と瀬戸内海の実生株間で可塑性に関する遺伝的な差異があることが想像される。したがって、以下の作業仮説には、①分布南限の鹿児島湾の実生株はさらなる水温上昇に耐えられるか ⇒ 耐えられない、②鹿児島湾の実生株は宮崎海域、瀬戸内海西部海域の海水温条件でも生育できるか ⇒ 瀬戸内海域の海水温条件で生育可能なうえに状況によっては形質を変化させることも考えられる、③瀬戸内海西部の実生株はさらなる水温上昇でも生育できるか、さらに鹿児島湾の実生株の形態に変化するか ⇒ 生育は不可能であり、鹿児島湾の実生株の形態も不可能である、と答えることが妥当である。したがって今後温暖化が進行した際、アマモの分布域の北上に伴い鹿児島湾周辺のアマモ場が消失するだけでなく、瀬戸内海周辺のアマモ場も一年生の生活史に

シフトすることなく消失する可能性がある。また、鹿児島湾のアマモと瀬戸内海のアマモは遺伝的に相当距離があるため（斉藤ら 2007）、鹿児島湾のアマモを瀬戸内に移植すれば良いという話にはならない。本結果から鹿児島湾と瀬戸内海のアマモ間で形態可塑性に遺伝的差異が生じている可能性が示唆されたが、個々の遺伝子型はそれぞれの生息場所独自の環境下において選択圧を受けて変異し、独自の多様性を形成している。したがって異なる環境下に移植しても、成長・生残できるかどうかは不明である。

（３）アマモ群落が魚類生産に及ぼす影響とそのプロセスの緯度間変異の解明（2009-2010年度）

項目（１）の野外調査の結果を元に、本項目での解析に用いたパラメータをすべて組み込んだ Basicパス（Full model）を図12に示す。アマモ群落のパラメータとして現存量、株数のほかに形態形質を示す分岐数、葉数、葉長、葉面積を組み入れた。それぞれのパラメータが直接魚類量に影響する場合（すみ場所の効果）、底生生物に影響する場合（アマモから底生生物への棲み場所の効果）、さらに底生生物を介して魚類量に間接的に影響する場合（餌生物の効果）を表現し、物理環境の総合値としての緯度や海水温はすべてのコンパートメントに影響するように設定した。このモデルに項目（１）のデータを当てはめ、調査海域ごとに最適モデルを選択した結果を以下に示す。

Basicパス（Full Model）

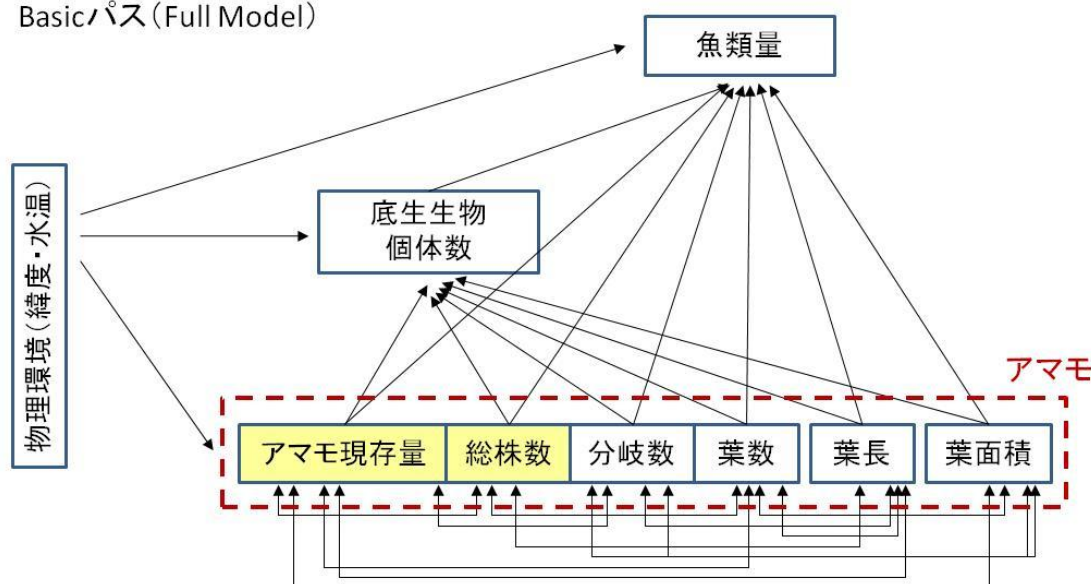


図12. 物理環境およびアマモ群落が魚類生産に影響を及ぼすプロセスの推定に用いたBasicパス（フルモデル）。

多年生アマモの南限に近い瀬戸内海では、魚類現存量は総株数や分岐数と負の相関を持ち、葉面積と小型無脊椎動物群集を介して正の相関を持っていた。この解析では、多重共線性のためにアマモ群落の現存量と葉長は葉面積で代表されているため、群落構造からのすみ場所の効果としては、群落構造が小さいほど魚類現存量が多いという解釈も可能である。その一方で葉面積・現存量・葉長が大きいほど小型無脊椎動物の個体数は増加し、小型無脊椎動物の個体数と魚類現存量に正の相関があることから、餌生物の効果としては、群落が大きいほどその効果が大きくなるこ

とが考えられる。これらすみ場所と餌生物の双方の効果を総合的に解釈すれば、おそらく瀬戸内海では、小型無脊椎動物にとって好適な群落構造の大きく密生したパッチがあり、そのパッチが不連続に点在することで単位面積当たりの総株数が低くなり、群落構造が小さくなるようなアマモ場が現在の魚類現存量を維持していることが推測される。

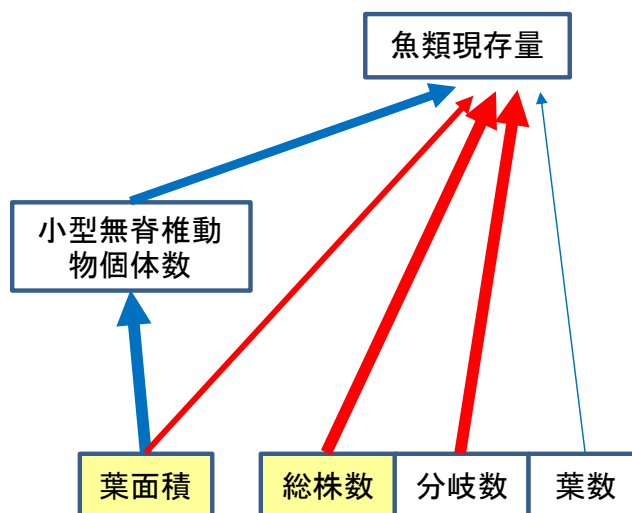


図13. 瀬戸内海西部を対象とした共分散構造解析の解析結果の模式図。矢印および残っている説明変数は解析により最適と判断された有意なプロセスを示している。矢印（青）が正の関係、矢印（赤）が負の関係を示し、矢印の太さは標準化係数（寄与）の大きさを表している。

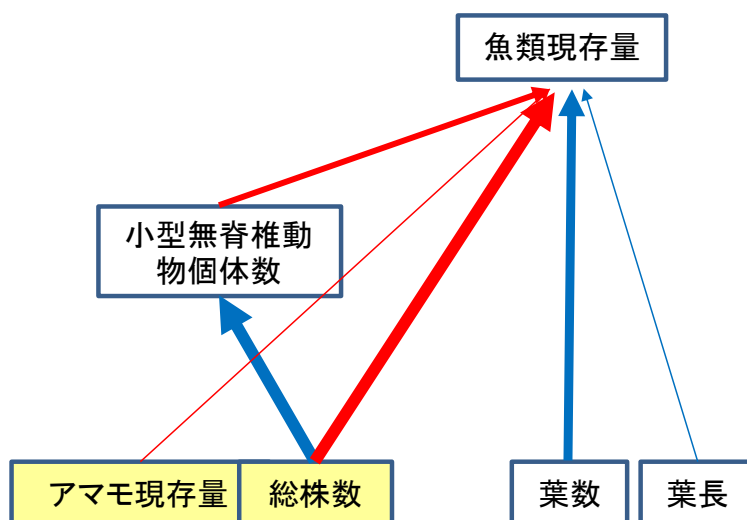


図14. 北海道東部を対象とした共分散構造解析の解析結果の模式図。矢印および残っている説明変数は解析により最適と判断された有意なプロセスを示している。矢印の色と太さの基準は図13と同様。

次に冷温帯に位置する北海道東部では、魚類現存量は総株数と強い負の相関を持ち、葉長・葉数といった形態形質の説明変数と正の相関を持っていた（図14）。また、総株数は小型無脊椎動物の個体数に対して強い正の相関を持っていたが、小型無脊椎動物個体数は魚類現存量と弱い負の相関を持っていた。したがってこれらの結果を総合的に解釈すると、魚類へのアマモ群落の影響は住み場所の効果が強く、群落構造が大きく株密度が疎である群落が魚類にとって好適であることを示していると思われる。その一方、餌生物の効果は相対的に重要でないことが考えられる。項目（1）の野外調査の結果では北海道東部は魚類の餌となる葉上動物が格段に多かったことから、おそらく餌資源が豊富にあるために制限要因とならなかった可能性が考えられる。

また北海道東部と瀬戸内海西部の中間付近に位置する東京湾では、アマモの群落構造は小型無脊椎動物の個体数と魚類現存量の双方にそれぞれ独立して影響を与えており、いずれも正の相関を持っていた（図15）。この解析では、多重共線性のためにアマモ群落の葉長・葉面積は現存量で代表されているため、群落構造からのすみ場所の効果として、群落構造が大きいほうが小型無脊椎動物に好適であることを示している。また、魚類現存量とその餌料生物に位置付けた小型無脊椎動物個体数との間に関連が見られなかった一因として、東京湾では餌料生物との位置づけが正確でなかったことが考えられる。本サブテーマにおいて東京湾で採集された魚類のうち、現存量の多かった主要種に占める動物プランクトン食の浮魚類か底生魚類の仔稚魚の割合が他海域より高かった。そのため、分岐数など、すみ場所としての質を決めるアマモ群落の形態形質との関連が相対的に強く表れたとも考えられる。

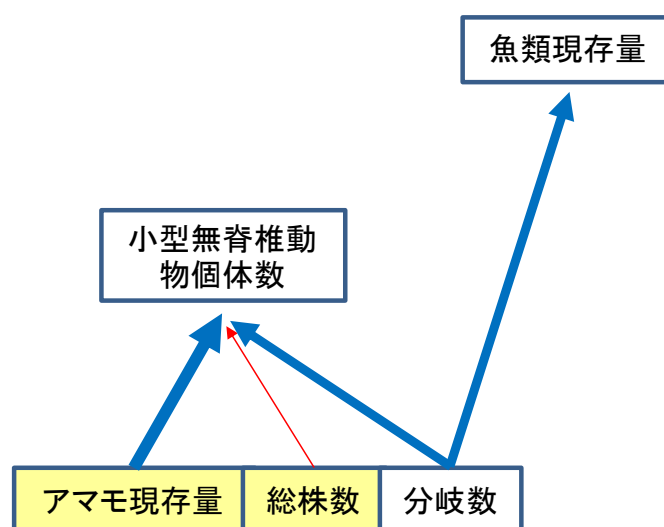


図15. 東京湾を対象とした共分散構造解析の解析結果の模式図。矢印および残っている説明変数は解析により最適と判断された有意なプロセスを示している。矢印の色と太さの基準は図13と同様。

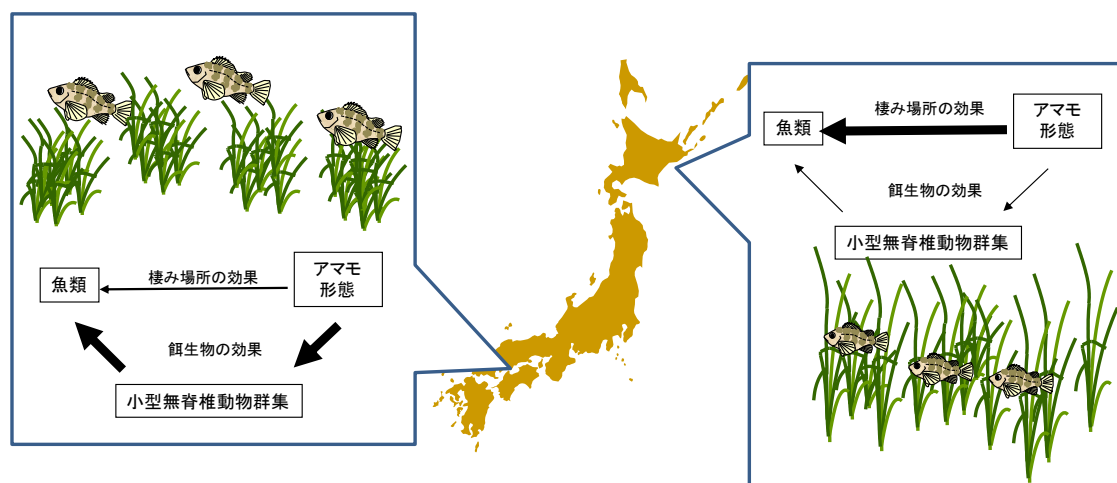


図16. 解析結果から推定されたアマモ群落の魚類群集への影響とそのプロセスの緯度間変異

これら各調査海域のアマモ群落から魚類生産への影響を総括すると、多年生のアマモ場ではアマモ群落構造自体の南北の緯度勾配の影響もあり、北方ほどアマモ群落構造からの直接的な住み場所の効果が魚類生産を制限し、南方ほど小型無脊椎動物群集など餌生物の効果が魚類生産を制限する傾向があると推測される（図16）。また全国共通の傾向として、これまでアマモ場の健全性の指標として使われ、高いと良いとされていた株密度（単位面積当たりの総株数）は、魚類まで含めた場合はむしろ低いほうが良いことを本結果は示唆している。今後はこの南北のアマモ群落と魚類生産の関係を一つの仮説として詳細な調査・検証を行い、藻場の高い生物生産と生物多様性保持機能のメカニズム解明を行う必要がある。

（４）環境変動に伴う魚類生産の至適環境の変動解析（2010年度）

各重点調査海域においてメバル類を対象に生態系サービス指標による計算を行った結果、現在～50年後にかけては瀬戸内海西部海域および東北海域にメバルの高生産ゾーンが形成されることが推定された。瀬戸内海西部海域ではメバル類自体の直接的な生産速度の高さの寄与が大きく、東北海域では生息場所であるアマモ場の影響 $g_i(t)$ およびその変動性 $S_i(t)$ の安定的な寄与が大きいが計算過程から推測された。

メバル類と類似した分布域を示し、同様に稚魚期を藻場で過ごすと言われるヒラメやマダイについても、温暖化にともなう分布域の変化から予測された研究において東北海域で高生産ゾーンが形成されることが推定されており、また稚魚期の生息場所であるアマモ群落も東北海域で増加することが推定されている（桑原ら 2006）。その一方で、瀬戸内海海域ではヒラメ・マダイ・アマモのいずれも現状維持か減少することが言われており、本サブテーマの計算結果と予測が異なる。おそらく、特に沿岸の底生魚類は浮魚類のように水温変化にそって臨機応変に分布を変化させることが困難なため、生息分布域が変化する水温に到達した際でも忽然と姿を消すわけではなく、その条件下でも生産を行いながら減少していくと考えられる。温暖化の場合は海水温上昇により個体の生理活性が上昇するため、期間的成長・生産速度が増加することがあっても不思議ではない。本サブテーマでは、実験と詳細な野外調査から求められた直接的な水温と生産量の関係

式を計算に用いているため、その現象が再現されたと考えている。さらには、各重点調査海域で水温変化に伴う生産量変化を予測することで分布域の変化も間接的に表現している（すなわち生産量=0となれば分布していないことになる）。

しかしながら、次の50年後～100年後の計算では、東北海域の高生産ゾーンのみ残存し、瀬戸内海西部海域の高生産ゾーンは急激に崩壊する結果になった。その原因として、時間の経過とともに瀬戸内海西部海域のアマモ場の群落構造が変化して $g_i(t)$ が縮小し、同時に変動性も増加して $S_i(t)$ が大きくなったことが計算結果から示唆された。つまり、メバル類が高水温で死亡するなどの理由によって直接的な生産自体が急激に失われるというよりは、生息場所の縮小から不安定化によって生態系サービスが崩壊することを示唆していると考えられる。既存研究にこれらの点を加味できたことは、本サブテーマの新規成果であると言える。

以上の成果をまとめると、現状でのアマモ場の魚類生産の「至適環境」は東北～北海道東部海域であり、メバル類に限定すればその「至適環境」は瀬戸内海海域および東北海域であることが推測された。ただし、今後の環境変動下における「至適環境」は、現在と同じく東北～北海道東部であると思われるが、メバル類に限れば東北太平洋岸海域であると言える。しかしながら、本年度末におきた東日本大地震に伴う津波により、本研究の調査海域を含め、東北沿岸の殆どのアマモ場は消失してしまったため、すでに「至適環境」とは呼べなくなってしまった。温暖化の影響が小さい東北海域では、沿岸生態系のカタストロフィーからの回復に関するモニタリング調査と再生計画が優先的研究項目であり、魚類生産・多様性の「至適環境」を復興させる取り組みが重要であると思われる。

一方、アマモの分布南方に位置する瀬戸内海西部では、水温上昇の傾向が顕在化しつつある。最近10年間でも、アマモの生息海水温域を逸脱する時期が出現するようになった。そのためか、いくつかの海域においてはアマモが減少し、一方で熱帯性の小型海草種の増加が確認されている。さらに、降水量の減少や降雨の集中化による利用可能な陸水由来の栄養塩の減少、植物プランクトンの増減を介した水質変化に加え、突発的な陸水流入は藻場だけでなく干潟や他の沿岸生態系にとって大きな物理的攪乱となっている。このようなアマモ場のさらなる衰退は沿岸域の物質循環や生物生産などの生態系機能・サービスのさらなる喪失を意味する。今後もモニタリング調査とともにアマモ場衰退の原因究明とその対策、さらに変動予測に関する研究を継続する必要がある。

5. 本研究により得られた成果

（1）科学的意義

一般に、環境の変動が微弱であっても植物のフェノロジーの変化が生じることで生物間相互作用の変化が生じ、関わりを持つ多くの他の生物に少なからずの影響を及ぼすことが言われており、沿岸域の生物群集を対象とした事例も報告されている（堀 2009）。本研究で対象としたアマモ場生物群集でも同様の現象が懸念される。対象の魚類に対する水温変化の影響が弱くとも、生息環境であるアマモと小型無脊椎動物群集への影響が強ければ間接効果が働き、魚類生産に大きな変化をもたらすかもしれない。環境変動の影響の直接効果（生理的）と間接効果（生物間相互作用）を分離して評価できる本研究を進めることで、その影響の一端を解明することに貢献できると考えている。

また、環境変動に対する漁業生産機能の変動を評価する手法として、機能の時系列変化を表現した頑強性（健全性）に関するパラメータを加味して評価する手法であることが本研究の大きな特徴である。機能の頑強性に関しては一生態系サービス評価において重要とされつつも評価の困難さから扱われてこなかった要因である。一般に生態系サービスは社会科学（経済学）的観点からの試算と自然科学（生態学）的観点からの試算の2つの方向性があり、前者では価値の時系列に伴う劣化を表すものとして経済的割引率が用いられる。その一方、後者では生態学的価値に対する経済的割引率と同等の変数として確立した評価手法がなく、この機能の頑強性はその手法の一つに相当すると考えることができる。今後の解析ではこの手法を雛形に、自然科学的観点から第二世代の生態系サービス評価手法の作成が期待できる。

（２）環境政策への貢献

本研究の成果をもとにした一般普及書「浅海域の生態系サービス：海の恵みと持続的利用」を本課題の研究代表者と編集・執筆し、本年度末にすでに刊行されている。今後は、この書籍の広報・普及に努めるとともに、学会や専門誌での論文発表を積極的に行う予定である。また、国内の産官学の関係者が集う2010年度の全国アマモサミット（鹿児島県指宿市）において、本課題の研究成果を基盤に基調講演を行い、アマモ場の生態系サービスとその持続的利用に向けたアマモ場の保全・再生のあり方について本課題の研究成果を基盤に基調講演を行った。その反響として、水産庁の藻場・干潟に関する生態系保全関連事業を実施しているいくつかの団体から、本課題の成果に基づく事業計画の見直しに関する打診を受けている。また、環境省重要生態系監視モニタリング事業（沿岸域）、水産庁生物多様性総合保全事業、水産庁地球温暖化対策推進費など関連する事業の実施において本課題の成果を反映させている。

6. 引用文献

- Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburge, S. Naeem, R.V. O'Neill, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton and M. van den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.
- Duarte, C.M. and J. Cebrian. 1996. The fate of marine autotrophic production. *Limnology and Oceanography* 41: 1758-1766.
- Harley, C.D.G., A.R. Hughes, K.M. Hultgren, B.G. Miner, C.J. B. Sorte, C.S. Thornber, L.F. Rodriguez, L. Tomanek and S.L. Williams. 2006. The impacts of climate change in coastal marine ecosystems. *Ecology Letters* 9: 228-241.
- Hemminga, M.A. and C.M. Duarte. 2000. *Seagrass Ecology*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- 堀正和 2009. 相互作用の変異性と群集動態. シリーズ群集生態学3：生物間ネットワークを紐とく（大串隆之・近藤倫生・難波利幸編）、京都大学学術出版会、93-122.
- 堀正和・吉田吾郎・樽谷賢治・小路淳・浜口昌巳 2008. 瀬戸内海西部における地球温暖化と沿岸域保全への取り組み. 長期生態系モニタリングの現状と課題—温暖化影響と生態系応答—、国立環境研究所地球環境研究センター編、独立行政法人国立環境研究所、p. 103-104.
- 堀正和・吉田吾郎・浜口昌巳 2009. 内海域ガラモ場の生物群集構造解析並びに生態系機能評価. 水

- 産庁委託藻場資源調査等推進事業最終成果報告書. 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・上村了美・仲岡雅裕 (2007) 内海性浅海域の保全・持続的利用に向けた生態系機能研究の重要性. 日本ベントス学会誌 62: 46-51.
- Hori, M., T. Suzuki, Y. Monthum, T. Srisombat, Y. Tanaka, M. Nakaoka and H. Mukai. 2009. High seagrass diversity and canopy-height increase associated fish diversity and abundance. Marine Biology 156: 1447-1458.
- Iizumi, H. and A. Hattori. 1982. Growth and organic production of eelgrass (*Zostera marina* L.) in temperate waters of the Pacific Coast of Japan. III. The kinetics of nitrogen uptake. Aquatic Botany 12: 245-256.
- 桑原久実・明田定満・小林聡・竹下彰・山下洋・城戸勝利 (2006) 温暖化によるわが国水産生物の分布域の変化予測. 地球環境 11: 49-57.
- Larkum, A.W.D., R.J. Orth and C.M. Duarte. 2007. Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation. Springer, Dordrecht, Netherlands.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and Human Well-being: General Synthesis, Island Press (Japanese Edition, 2007, Ohm-Sha, translated by 21st COE Committee of Yokohama National University).
- 向井宏 1995. 海のベントス群集と棲み場所の構造—棲み場所との相互作用からベントス群集を考える. 竹門康弘編著「シリーズ共生の生態学7: 棲み場所の生態学」、平凡社、p.172-222.
- 農林水産省 1979. 農林水産省百年史. 上巻 明治編. 農林水産省、p.747.
- 斉藤憲治・加藤由美子・重信裕哉・田中法生 2007. アマモ類の遺伝的多様性の解析調査. 水産庁委託生物多様性に配慮したアマモ場造成技術開発調査事業報告書. 独立行政法人水産総合研究センター東北水産研究所、139-193.
- 小路淳 2009. 内海域ガラモ場の仔稚魚育成場としての生物学的機能の定量時評価法の開発. 水産庁委託藻場資源調査等推進事業最終成果報告書. 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.
- Short, F. T. and S. Wyllie-Echeverria 1996. Natural and human-induced disturbance of seagrasses. Environmental Conservation, 23: 17-27.
- 吉田吾郎・堀正和・浜口昌巳・星加章・高杉由夫・谷本照巳. 2007. アマモ場の生態的特徴と機能に関する調査. 水産庁委託生物多様性に配慮したアマモ場造成技術開発調査事業報告書. 独立行政法人水産総合研究センター東北水産研究所、197-218.
- Williams, S.L. and K.L. Heck, Jr. 2001. Seagrass community ecology. In Marine Community Ecology, eds. M.D. Bertness, S.D. Gaines and M.E. Hay, Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, 317-338.

7. 国際共同研究等の状況

国際共同研究計画：熱帯海草藻場における海草群落と底生生物群集・魚類群集との関係評価、協力案件：タイ国南部アングマン海沿岸の海草藻場保全再生プロジェクト、
 カウンターパート名・所属・国名：Yaowalk Monthum博士、カセサート大学水産学部・タイ国、参

加・連携状況：現地予備調査の実施、

国際的な位置づけ：International Seagrass Biological Workshop公認プロジェクト

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

〈論文（査読あり）〉

特に記載すべき事項はない

〈その他誌上発表（査読なし）〉

- 1) 堀正和：日本水産学会誌、32、5、125-132(2009)

「魚介類生産の場としての浅海域の生態系サービス：Ⅰ 定量的生産研究の手法と現状：Ⅰ - 1. 生物生産と生物多様性」

- 2) 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、恒星社厚生閣、11-25(2011)

「第1章 浅海域の生態系サービス：生物生産と生物多様性の役割（執筆担当：堀正和）」

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) 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：2009年度日本水産学会秋季大会（2009）

「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」（アブストラクト提出済み）

- 2) 水野健一郎・小路淳・上村泰洋・堀正和・大竹二雄・森本充：2009年度日本水産学会秋季大会（2009）

「藻場の魚類生産の広域的解析2。魚類群集の広域比較」（アブストラクト提出済み）

- 3) 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：2009年度日本水産学会秋季大会（2009）

「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」（アブストラクト提出済み）

- 4) 堀正和：2010年度日本水産学会春季大会（2010）

「魚介類生産の場としての浅海域の生態系サービス：生物生産と生物多様性」（アブストラクト提出済み）

- 5) 堀正和・山田勝雅・島袋寛盛・吉田吾郎・浜口昌巳・小路淳：2010年度日本水産学会秋季大会（2010）

「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」（アブストラクト提出済み）

- 6) 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：2010年度日本水産学会秋季大会（2010）

「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」（アブストラクト提出済み）

- 7) 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：2010年度日本水産学会秋季大会（2010）

「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～」（アブストラクト提出済み）

8) 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：2010年度日本水産学会秋季大会（2010）

「藻場の魚類生産の広域的解析-10。魚類群集の広域比較-2010」（アブストラクト提出済み）

（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（2010年3月26日、日本大学生物資源学部本館、平成22年度日本水産学会公開シンポジウム（小路 淳、堀 正和ほか3名）、観客70名）

（５）マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない

（６）その他

特に記載すべき事項はない