

課題名 4E-1102 藻場の資源供給サービスの定量・経済評価と時空間変動解析による
沿岸管理方策の提案

課題代表者名 小路 淳 (広島大学 大学院生物圏科学研究科 竹原ステーション 准教授)

研究実施期間 平成23～25年度

累計予算額 104,226千円(うち25年度32,161千円)
予算額は、間接経費を含む。

本研究のキーワード アマモ場、生態系サービス、魚類群集、ステークホルダー、南北比較

研究体制

- (1) 藻場を構成する植物群落の現存量、空間構造および経済的価値の定量的解析(北海道大学)
- (2) 間接的供給サービスとしての甲殻類の群集・生産構造と時空間変動の解析(東京農業大学)
- (3) 藻場における魚類群集および食物網の時空間変動解析(広島大学)
- (4) 藻場の生物群集および生産構造を規定する環境要因の探索(独立行政法人水産総合研究センター)

研究協力機関

東北大学、石巻専修大学、東京大学、福井県立大学、京都大学、愛媛大学、Leibniz Institute for Marine Sciences (Germany)、Hatfield Marine Science Center (USA)、University of Maryland Center for Environmental Science (USA)、Kasetsart University (Thailand)、宮城県水産高校、千葉県水産総合研究センター、岡山県水産試験場、香川県水産試験場、大分県農林水産研究センター、鹿児島県水産技術開発センター、鹿児島県大隅地域振興局、宮城県漁業協同組合、広島県栽培漁業協会、広島県芸南漁業協同組合、広島県大崎内浦漁業協同組合、タジマラボ、水圏リサーチ株式会社、有限会社フクダ海洋企画

研究概要

1. はじめに(研究背景等)

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(1997: Nature誌)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・干潟など浅海域の生態系サービスははるかに高く、全ての生態系でトップクラス(1.9-2.3万ドル/ha/年)であると見積もられている。しかしながら、上記の推定値には生産の主要構成要素である魚類生産は含まれていない。これは、1次生産(光合成)や、1次捕食者(動物プランクトン)およびベントス(底生動物)に比べて、移動能力の高い魚類の定量評価が困難であることに起因する。「浅海域生態系サービス総合評価の達成」に向け、水産生物(供給サービス)生産の定量評価の達成に世界中で期待がかけられている。さらに、広い気候区分にわたって分布するアマモ場が生み出す生態系サービスの質や量は、地域によって大きく異なり、また人類による利用方法も多様であることが予測される。本研究では、広域的・長期的視野にたつて藻場の資源供給サービスの定量・経済評価を行う。したがって、これら生態系サービスを利用する人々(ステークホルダー)と生態系の関わりの解析を広域的視野で実施することも重要である。そのためには、沿岸生態系の物理・化学・生物学的プロセスを詳細に把握するためのフィールド調査に加えて、沿岸域の社会構造を理解するための人文科学的手法も不可欠となる。そこで本研究では、沿岸生態系の必要な構成要素であり高い生態系サービスを生み出すアマモ場を対象として、自然科学・人文科学的手法を融合させたアプローチによる生態系サービスの包括的調査とステークホルダーの広域比較という独自の切り口から、総合的な調査を実施し、地域ごとに異なることが予想される生態系サービスの利用実態に応じた沿岸管理方策の提案をめざす。

2. 研究開発目的

本研究は4つのサブテーマで構成され、互いに連携しながら広域的・長期的視野にたつて藻場の資源供給サービスの定量・経済評価を行うとともに、資源生物生産の場である沿岸域の管理方策の提案を行うことを目標として、沿岸域を構成する各生態系の関連や貢献度の解析を実施する。

サブテーマ(1)では、魚類の生息場となる藻場の立体構造の時空間変動を、計量魚探を用いて定量的に把握し、魚類、甲殻類、環境条件との関係解析に用いることを目的として、コアサイト(道東・瀬戸内海)を中心に藻場群落の構造解析を実施する。得られた現場観測データに基づいて、アマモ場における炭素固定が生み出す経済価値を試算する。

サブテーマ(2)では、藻場における甲殻類の群集構造および生産構造の解析を実施し、その結果をもとにコアサイト2ヶ所の食物網構造を比較する。魚類の食性調査により餌資源として重要な甲殻類の格付けを行い、最終年度に実施する経済価値算出の根拠とする。

サブテーマ(3)では、優占種を中心とした魚類の群集構造、生産構造および食物網解析をサブテーマ(2)と連携して実施する。漁獲対象となる水産業上重要種に加えて非漁獲対象種の生産構造も解析し、藻場の植物群落構造、餌生物(甲殻類)の時空間変動との関係解析に供する。また、アマモ場における水産資源生物を中心とした供給サービスに加えて、文化サービス、調整サービスなどの経済価値評価を可能な限り包括的に実施するとともに、それぞれのサービスを享受する主要なステークホルダーの構造分析とあわせて、コアサイトを中心としたエリアで空間比較を行う。

サブテーマ(4)では、他のサブテーマとの連携・既存知見収集・野外調査にもとづいて、コアサイトにおける物理・生物環境データの収集と解析を行い、植物群落が作り出す景観構造(生物環境)と水質・地形(物理環境)が資源生物の生産に伴う供給サービスに与える影響の長期変動解析を実施する。また、中間評価会議において指摘された文化サービスの経済価値評価を試みる。

3. 研究開発の方法

(1) 藻場を構成する植物群落の現存量、空間構造および経済的価値の定量的解析

本研究のコアサイトに選定した能取湖(北海道網走市)と生野島沿岸域(広島県竹原市)の北部・東部海域において小型計量魚群探知機を用いてアマモ場の音響計測を行った。調査は、能取湖においては2012年・2013年ともに6月・10月に、生野島においては2011年11月、2012年・2013年ともに5月・7月・9月・11月に行った。両海域ともに設置したトランセクトラインを航走して音響情報を取得し、繁茂状況の確認のため、任意の地点で水中カメラによる目視観察やCTDによる海洋環境の観測を行った。調査によって得られた音響情報から、アマモ場の厚さや分布の有無を抽出し、空間統計解析手法(クリギング)を用いて季節ごとに分布面積の推定を行った。生野島沿岸域においては、推定された分布面積から、アマモ場が生み出す生態系サービスのうちの調整サービスにあたる炭素吸収量と炭素固定量の試算と経済価値評価を行った。

(2) 間接的供給サービスとしての甲殻類の群集・生産構造と時空間変動の解析

2010年度までに実施してきた調査データの補填及び拡充を目的に、2011年5月から2014年3月までの間、能取湖(北海道網走市)、野付湾(北海道別海町)、九九鳴浜、舞根湾(宮城県気仙沼市)、および生野島(広島県竹原市)において、アマモ場の構造、アマモ場のベントス群集、および魚類胃内容物の全て、あるいはいずれかに関するデータを収集した。特にアマモ場の構造把握に関しては、2010年度までの調査によって長期及び短期的なスケールでの時空間変異が推察された能取湖において、2013年6月から10月にかけて毎月1~数回の詳細な調査を実施した。能取湖のアマモ場にはアマモとスゲアマモが同所的に生育しており、以下、能取湖の両種を同時に表現する場合は海草と表現する。潜水することで50 cm×50 cm または25 cm×25 cmの一定面積の海草を採集(坪刈り)した。海草種ごとの形態(葉長、葉数、株密度、枯死部重量など)や葉端の付着藻類量を、海草集塊のタイプ(半径3 m以上または半径1.0 m未満の集塊、それぞれの集塊の中央または外側)ごとに計測した。ベントスおよび魚類の採集に関しては全ての調査地で実施し、被せ網(80×80×高さ80 cm、目合1 mm)、北太平洋標準プランクトンネット(口径45 cm、目合い0.33 mm)、地曳き網(間口150×50 cm、目合3 mm)の全て、あるいはいずれかを用いて行った。採集された魚類の胃内容物を調べ、2010年度までに描いてきた各調査地の食物網図の因果関係に修正を加えた。また本研究期間中に、この食物網図を元にして藻場ベントスの間接的な供給サービス(以下、間接的供給サービス)を推算した。この計算にあたって、2002年から2012年までの

11年間に能取湖の海草藻場で漁獲された全ての漁獲対象魚種の生産額を西網走漁業協同組合に保管されていた出荷伝票から計算し、各藻場ベントスに対する各漁獲対象魚種の依存度をもとに間接的供給サービスを試算した。

(3) 藻場における魚類群集および食物網の時空間変動解析

2010年度までの研究により、コアサイト(北海道能取湖、瀬戸内海生野島)における魚類群集と食物網構造を明らかにした。1年目にはアマモ繁茂期(夏期)の魚類群集の構造に関する基礎的データの収集を行い、2年目には優占する魚類の食性とそれらを取り巻くエネルギーフローに注目して、魚類群集構造の地域特性をサイト間で比較した。2013年度には、コアサイトにおける魚類群集構造の季節変動を解析するために、コアサイトにおいて季節別(春・夏・秋・冬)に調査を実施した(能取湖では冬期に結氷して調査が不可能なため、春・夏・秋の3回)。これまで全国各地のアマモ場において実施している魚類採集と同様に、各調査地のアマモ場内において100 m²(10×10 m)のエリア4箇所を実施した。採集された魚類を10%海水ホルマリンで固定して持ち帰った。魚類の採集とあわせて調査地におけるアマモの繁茂状態を調査した。1辺50 cmの方形枠を用いてアマモの株密度を4箇所以上で測定した。一箇所あたり数本のアマモを採取し葉長を現場で計測した。調査時には水温および塩分の測定もあわせて行った。採集された魚類を実験室において選別し、魚種ごとの個体数、湿重量を測定した。電子ノギスを用いて各魚類の全長を0.1 mm単位まで測定した。調査面積をもとにして魚類の種数、個体密度、湿重量を100 m²あたりに換算した。魚類の胃内容物を可能な限り細かい分類群まで同定し、個体数および重量による割合を算出した。得られたデータを、他のサブテーマによる成果と統合して、アマモ場の生態系サービスの経済価値を包括的に評価するとともに、南北コアサイト間での質的な比較を試みた。

さらに本サブテーマでは、自然科学および社会科学の統合によるアプローチ通じた生態系サービスと社会のつながりの分析を実施した。上記コアサイトにおいて、アマモ場および生態系サービスの管理政策を評価・考察する際には、地勢や文化的な特性の違いを考慮する必要があるという仮説のもと、ステークホルダー(以下、SH)分析を現地ヒアリングにもとづいて進めた。地勢的な特性として、海域では気候、海流、流水の有無など海洋環境条件の違いがあると予想される。また陸域では、背後人口や後背地の面積、アクセス性などの地勢的条件の違いが考えられる。また、市場規模や産業規模などの経済・社会的条件の違いが考えられる。さらに、藻場自体を経済活動に利用することや、海水浴文化の浸透など文化的条件の違いが考えられる。また、生息する魚類の産卵時期や場所などの違いが、漁業の漁期や対象漁獲種類などに影響を及ぼすなど、藻場の周辺で活動するステークホルダー間の利害構造に影響を与えることが予想される。

(4) 藻場の生物群集および生産構造を規定する環境要因の探索

北海道海域および瀬戸内海海域は、我が国周辺に分布する藻場の中でもアマモ場面積が最も多い海域であり、北海道海域においてアマモ場の分布が集中する道東海域、瀬戸内海海域の安芸灘海域にコアサイトが設置されている。アマモ場という藻場のタイプでは同様であるとはいえ、両海域間でアマモ場を構成する種および生物群集構造は大きく異なり、道東はコアアマモ・アマモ・スゲアマモからなる冷温帯～亜寒帯の生物群集、瀬戸内海はウミヒルモ・コアアマモ・アマモからなる温帯の生物群集で構成されている。また、アマモ場周囲の景観構造も異なり、原生の自然が多く残る天然海岸の道東、人工護岸の多い瀬戸内海、となっている。

すべてのサブテーマで2010年度までに得られた成果を統合した結果、生物群集の違いは魚類や大型無脊椎動物類で顕著に表れており、道東コアサイトでは漁業対象種である大型の魚食性魚類の現存量が高いのに対し、瀬戸内海コアサイトでは漁獲対象種の現存量は少なく、相対的に釣魚としての利用が高い魚種が確認され、文化的サービスへの寄与が高いことが推定された。そこで本調査期間中の2013年度には、コアサイトを中心に2012年度に実施したアマモ場群落と生態系サービスの時空間変動解析を拡張し、①道東コアサイトにおいてアマモ場の供給サービスを担うホッカイエビの資源量変化とアマモ場に関する長期・広域な時空間変動解析を行い、その変動を規定する環境要因(パッチ状のアマモ場面積の分布)を特定すること、②瀬戸内海コアサイトにおいて文化サービスの定量試算を行い、供給サービスとの多寡を比較するとともに、その変動を規定する環境要因を特定すること(アマモ場の面積の変動と利用形態)を目的とした。

さらに、温暖化等によって北上することが懸念される他海域の藻場に関して空間変動要因の探索と将来予測に関する考察を行うために、③南方域におけるアマモ場の空間分布に関する情報収集と現地調査を行った。最後に、日本全域を対象にアマモ場の生態系サービスの総合評価とその地域変異を明らかにするために、④調整サービス、供給・文化サービスとアマモ場密度との関係を解析するとともに、生態系サービス間のトレードオフ関係から生態系サービスの空間変異の要因を考察した。

①道東コアサイトにおける供給サービスの時空間変動解析:道東コアサイトの能取湖を対象に、まず2010年度に作成した時系列データを用いて衛星画像からアマモ場分布面積と配置の長期変遷を再現することを試みた。能取湖は元来、塩分濃度の低い典型的な海跡湖であったが、1975年に湖口部が人工的に削り取られ、それに伴

い海水交換が頻繁に行われるようになり、湖内の塩分濃度が大きく変化したことが知られている。ホッケイエビの生息環境であるアマモ場は、開削前は湖口部周辺に限って分布するのみであったのが、この水質環境の変化に伴い、分布を湖内へと拡大していったと推定されている。おそらく、アマモの群落構造もそれに伴い大きく変化していたと考えられる。そこで、昨年度に作成した時空間データのうち、開削直後から現在までの変遷を追えるよう、1970年代～2010年までを解析の対象とした。長期解析に使用可能な衛星画像としてLandsat画像を用い、アマモ場の分布抽出では群落構造を2段階(最も密生してパッチ構造が殆ど見られない群落、明瞭なパッチ構造で非連続な分布を示す群落)に分けて行った。

次に、再現された過去のアマモ場分布から年ごとに密生群落、パッチ状群落別に面積を集計し、1978年から記録されているホッケイエビ漁獲量との回帰関係を調べた。ホッケイエビは雄性先熟であり、0歳が未成熟個体、1歳が雄個体、2歳以上で雌個体となり、漁獲されるホッケイエビはほぼすべてが雌個体である。本サブテーマの初年度の解析結果から、年齢ごとに好適なアマモ群落が異なり、体長の小さい未成熟個体ほど密生した群落を好み、大きい雌個体ほどパッチ状群落を好む傾向があることが分かっている。そこでホッケイエビ漁獲量との回帰関係では、密生群落のみの面積、パッチ状群落のみの面積、両群落の合計面積、の3つの条件別に行った。

②瀬戸内海戸内海コアサイトにおける文化サービスの時空間変異の解析:コアサイトの瀬戸内海全域を対象に、アマモ場が有する釣り場としての経済価値を試算した。まず瀬戸内海の釣り情報が掲載されている釣り情報誌約80冊を調べたところ、アマモ場を釣り場として明確に使用する対象種はメバル、アオリイカ、スズキの3種が候補として挙げられた。そこでこの3種を対象種に選定し、上記の釣り情報誌から種別の釣り場の位置、釣り人の数、釣り人の居住地、使用されている釣具情報をGIS上でデータ化した。次に釣り場の位置情報とアマモ場分布情報を重ね合わせ、釣り場から半径100m以内にアマモ場が含まれる釣り場を選出し、選出した釣り場の各種情報をアマモ場の釣り場としての経済価値試算に用いた。釣り場の選出に用いたアマモ場分布情報は、時間変異を比較するために1980年後半から1990年に聞き取り調査で集計されたアマモ分布図(環境省第4回自然環境保全基礎調査で作成されたもの)、および2008年～2010年の人工衛星画像から抽出されたアマモ分布図(水産庁地球温暖化推進費委託事業「藻場・干潟等の炭素吸収源評価と吸収機能向上技術の開発」で作成されたもの)の2つの年代を用いている。

経済価値の試算は、各魚種の各釣り場別に計算を行い、その釣り場に訪れたのべ釣り人数、釣具の平均価格、居住地からその釣り場までにかかる平均旅行費用から計算し、その釣り場のアマモ場面積で割ってアマモ場単位面積(ha)当たりの価値として算出した。この各魚種、各釣り場別の経済価値を瀬戸内海内の経済価値の空間変異を解明するために県単位で集計し、各県が有するアマモ場の単位面積当たりの平均価値として試算した。

③南方域におけるアマモ場の空間分布に関する情報収集と現地調査:広義の意味では、アマモ場はアマモという温帯種で構成された藻場だけでなく、他の近縁種や熱帯性の海草類で構成された藻場も含まれる。前者のアマモとその近縁種で構成された狭義の温帯性アマモ場が我が国のアマモ場面積の9割以上を占め、その分布は北海道から鹿児島湾となっている。今後の温暖化に伴い、海水温の上昇や変動に伴い、温帯性アマモ場の南限が北上することが懸念されている。また、温帯性アマモ場が消失した後、熱帯性アマモ場へ置換することが予想されているが、熱帯性アマモ場の分布は南西諸島域に散らばる島嶼群に離散的に散らばるため、熱帯性アマモ場の北上・置換がスムーズに行われるのか疑問視する意見もある。そこで、温帯域アマモ場と熱帯域アマモ場の境界に位置する南西諸島～ベトナム南部にかけてアマモ場の種組成と分布に関する情報収集・現地調査を行った。また、現地調査を行った海域ではできる限りアマモ場に生息する動物群集のサンプルも収集し、アマモ場への寄与を確認するために安定同位体比分析を行った。

④調整サービス、供給・文化サービスの地域変異:コアサイトおよび全国サイトを対象にすべてのサブテーマで調査された魚類データ・アマモ場データを集計するとともに、既存知見から生態系サービスの指標に利用可能なデータの収集を行った。これらのデータから、アマモ場の調整サービスの指標となるアマモ成長量、供給サービス(漁業資源)・文化サービス(遊漁)の指標となる魚類現存量をサイト別に選出し、各サイトのアマモ群落構造の関係を調べた。最後に、アマモ成長量と魚類現存量の関係を示す散布図から、調整サービスと供給・文化サービスの関係について考察を行った。

4. 結果及び考察

(1)藻場を構成する植物群落の現存量、空間構造および経済的価値の定量的解析

音響情報から得られたアマモ場の厚さは、両海域において各年ともに繁茂期である5・6月が最大となり、衰退期である10・11月が最小となった。また、推定された分布面積においても繁茂期が最大、衰退期が最小となった。音響計測手法を用いることで、アマモ場の生活史に沿った季節変動の定量化・可視化を行うことが可能となった。

調査海域のうち、生野島では北部・東部間で、能取湖では北西部・東部間などでアマモ場の分布特性の違いを確認した。この分布特性の違いは、水深分布や海底の傾斜、波の強弱などの環境の違いにより見られたと考えられる。生野島沿岸域における炭素吸収量と炭素固定量の季節変動についても、繁茂期に最大、衰退期に最小の値をとった。炭素吸収量について、繁茂期である5月はポイント(単位面積)あたりの値とエリア(分布面積)の値の両方のバイオマスが最大であったために、高い炭素吸収量になったと考えられる。炭素固定量について、単位面積当たりの炭素固定量は東部より北部のほうが高い値を示していた。これは、北部海域が半閉鎖的な内湾域で、アマモ場バイオマスが大きく、かつ湾外に流れ出るアマモ草体が少ないことから、同じ海域内への固定が多く、高い値を示したと考えられる。東部海域においては、開けた沿岸域で、海域内のアマモ場バイオマスが少なく、かつ湾外に流出するアマモ草体が多くなったために、同じ海域内への固定が少なくなったと考えられる。

(2) 間接的供給サービスとしての甲殻類の群集・生産構造と時空間変動の解析

能取湖において重点的にアマモ場(以下、本項では海草藻場と記す)の年間および季節変化を調査した結果、藻場を構成する海草種(アマモまたはスゲアマモ)によって生態系機能が異なることが推察された。まず、海草の種構成には季節変化があり、2012年度の秋の調査で増加していたアマモは、2013年度夏までに減少しており、藻場の種組成には季節変動のみならず年変動も大きいことが窺えた。さらに、それぞれの海草種の構造も大きく変化していた。例えば株密度(単位面積あたりの株数)に関しては、スゲアマモは7月の夏枯れ以降に劇的に低下し、秋になっても回復しなかったが、アマモの株密度には変化が乏しかった。また、それぞれの海草種に付着している珪藻などの藻類量にも顕著な差が見られ、スゲアマモにおける付着量はアマモよりも遥かに多かった。藻場で優占するベントスは甲殻類(ホッコイエビ、イサザアミ類、コツブムシ類等)であった。それらベントス量と海草構造の関係性を解析した結果、ベントス種ごとに生息量の多い構造は異なることが明らかになった。例えばホッコイエビはアマモよりもスゲアマモに多く、大きな海草集塊よりも小さい集塊に多く、集塊の中央よりも縁に多かったが、この傾向は他の種では一致していなかった。これらの解析結果は、藻場を構成する海草種によって、藻場がもたらす生態系機能が異なることを意味しており、調査あるいは保全対象とするベントス種ごとに重要な藻場構造は異なることが推察された。

能取湖、野付湾、生野島における食物網の因果関係データを補足した結果、全体としては昨年度までに描いた関係が維持された。ただし、データの補填によって、地域差や魚種間で捕食している(依存している)ベントス種の微細な差がより明確に検出された。例えば竹原では、魚類に捕食されている餌種は能取湖よりも遥かに少なく、50%以上を1餌種に依存する魚類が4種おり、多くの魚類において利用する餌種は少なかった。一方、能取湖では逆の傾向が観察され、多くの魚類が、多様な餌種を少量ずつ利用していた。これは藻場内の「食う一食われる」の関係が地域ごとに異なることを意味している。

能取湖を例に食物網の因果関係から、主要ベントスの供給サービスを算定した。2002年から2012年までの海草藻場で漁獲された全ての魚種の平均の年生産額を調査したところ、コマイは1,690千円、カレイ類が14,470千円であった。また、ホッコイエビは魚類に捕食されるベントスであるが、それ自体も漁獲種で平均生産額は57,290千円だった。計算式に基づいて、間接的供給サービスを計算することで、市場に流通しないベントスの経済価値を算出した。ホッコイエビに関しては捕食者である魚類生産に寄与していた額は257千円であり、ホッコイエビのみの生産額より遥かに少なかった。しかし、その他の海草藻場における主要ベントスのうち、市場価値がない、すなわち(1)式における第1項(Y)が0円であるアミ類、コツブムシ類に対して計算した結果、アミ類は年間で約2千万円、コツブムシ類は約1千8百万円の生産量に寄与していると推算された。この間接的な供給サービスとしての金額は、依存度を捕食者の胃内容物における餌ベントス種の重量率から求めているため、他の基準(カロリーベースなど)を用いて計算した場合など、金額自体は変わりうる。しかし、この計算が意味することは、藻場がもたらす供給サービスを算出する場合、市場に流通する魚種の生産量から算出される価値だけでは、真の供給サービスを過小評価しうることであり、これが最も重要な本計算の意義である。

(3) 藻場における魚類群集および食物網の時空間変動解析

能取湖では結氷する冬期を除いて春期(5月)、夏期(8月)、秋期(11月)にフィールド調査を実施した。水温は7~24℃の間で季節変動を示し夏期に高かったが、塩分は30前後で推移した。生野島では、春期(4月)、夏期(7月)、秋期(10月)、冬期(1月)にフィールド調査を実施した。水温は12~24℃の間で季節変動を示し、塩分は31-33の間で推移した。アマモの株密度、葉長は両サイトにおいて夏期(能取湖では8月、生野島では7月)に増大し、冬期(能取湖では5月:結氷のため冬期データ無し、生野島では1月)に低かった。採集された魚類のうち、重量において優占種となった魚種でかつ供給サービス(水産資源)として重要なものは、能取湖においてウグイ、ギスカジカ、クロガシラガレイ、クロガレイ、クロソイ、コマイ、シロザケ、チカ、ヌマガレイ、ワカサギ、生野島においてアイナメ、アカメバル、ウマヅラハギ、ウミタナゴ科 spp.、カサゴ、カワハギ、キュウセン、クロメバル、シロメバル、タケノコメバル、マアナゴ、ヨロイメバルであった。胃内容物解析により、能取湖ではエゾイサザアミやコツブム

シ、生野島ではカイアシ類、アミ類、ヨコエビ類がこれら魚類群集の主要な餌生物として利用されていることが明らかとなった。

現地で実施したヒアリング調査から、藻場の各機能に対するSHを抽出した結果、能取湖と生野島ではSH数に顕著な差が見られた。能取湖域ではSH数が少なく、利害関係構造が比較的シンプルであり、藻場の資源供給サービスと、干潟域での文化サービスに関わりのあるSHが多いことが明らかとなった。これに対し、大崎上島では、供給・文化・調整・基盤という全ての要素に対する多様なSHが存在し、また関心を示していた。能取湖に比べるとSHの数が多く利害関係構造も複雑なことから、SHの競合が多いことが分かった。藻場の生態系サービスのなかでは文化サービスの規模が大きく、「海に親しむ」という文化も醸成されていることが明らかとなった。これらの結果を比較すると、北海道の能取湖と瀬戸内海の生野島では、生態系サービスの違いがSHの利害関係構造や文化の違いを生み出していることが推察された。

(4) 藻場の生物群集および生産構造を規定する環境要因の探索

道東コアサイトにおける供給サービスの時空間変動解析において、1970年代からのLandsat画像で能取湖アマモ場を確認したところ、1979年、1981年、1987年、1989年、1990年、1991年、1999年、2000年～2010年までの画像が本解析に利用可能であった。そこでアマモ場分布面積の抽出を行ったところ、1979年～1990年頃までは順調に増加傾向にあることが推定された。その後1999年から2000年の2年間は分布面積の減少に加え、密生群落が大幅に減少してパッチ状群落の割合が多くなる傾向を示した。2001年から2003年の間は分布面積の回復とともに密生群落の増加が確認できるが、その後の2004年以降は分布面積と密生群落/パッチ状群落の割合がともに大きく変動する傾向が推定された。このアマモ場面積の時系列変化とホッケイエビ年間漁獲量との関係を調べた結果、アマモ場全体面積と弱い関係を示すものの、パッチ状群落の面積と有意な関係を持つことが明らかになった。この結果は、供給サービスとしてのホッケイエビ漁獲量の長期時系列変化・広域空間分布はパッチ状群落の面積で説明が可能であることを示している。

瀬戸内海コアサイトにおける文化サービスの時空間変異の解析において、釣り情報誌から得られたメバル、アオリイカ、スズキの各釣り場の数は、メバルが4248地点、アオリイカが2767地点、スズキが2486地点存在した。これを県別に集計すると、メバルは広島県、香川県で多く、スズキは兵庫県、徳島県、香川県、アオリイカは香川県、広島県、兵庫県で相対的に多い傾向が確認された。まず近年のアマモ場分布状況を用いて釣り場の半径100m圏内のアマモ場の有無を確認したところ、メバルでは85%以上の釣り場にアマモ場が含まれていることが明らかとなった。スズキでは60%弱程度、アオリイカの釣り場はアマモが含まれる割合が最も高く、90%以上であった。次に魚種別に使用される釣り道具について釣り情報誌から集計を行ったところ、スズキが最も高く、アオリイカ・メバルで同程度であった。これら3種はスポーツフィッシングの範疇に含まれつつあり、レジャーとして楽しむ中高年層(エキスパート)を対象とした釣り道具が多く、そのため単価も高く設定されているようであった。そこで釣り情報誌に加えて各地の釣具店において子供から大人まで初心者を対象としたファミリー向け(ビギナー用)釣り道具についても魚種別に集計を行い、その平均値を算出したところ10倍近い開きが確認された。各釣り場に訪れた釣り人の年代層までは確認できなかったため、訪れた釣り人の割合(ビギナー/エキスパート)を1:1と仮定し、以後の解析では両者のさらに平均値を釣具価格として計算している。また、各釣り場に訪れる釣り人の平均旅費を、釣り人の居住地から釣り場までのガソリン代+高速代金として算出し、渡船が必要な釣り場ではそこに渡船代を加算した。その結果、全府県平均で5000円程度であったが、メバル釣りの場合は若干ながら旅費が高く遠征する傾向にあること、岡山県や香川県、愛媛県で他府県より高額となっている傾向が確認された。

これらの値を用い、アマモ場1ヘクタール当たりの経済価値を算出した結果、その価値は地域によって大きく異なった。大阪府、兵庫県で他県より圧倒的に価値が高い傾向があり、他県間では大きな違いは生じなかった。その第一の理由として、大都市近郊はのべ釣り人数が圧倒的に多かったことがあげられる。この結果は、必ずしも藻場面積の多い、生態系機能(調整サービス・供給サービス)が高い海域が文化サービスの経済価値も高くなるわけではないことを示唆している。面積が小さくとも、都市近郊のアマモ場は文化サービスの観点から重要となる一例を示していると考えられる。

また、同様の手順で1990年のアマモ場分布状況を用いて試算した結果、全体の傾向としては2010年より経済価値が低くなる傾向にあったが、各府県間の価値の相対的な多寡は2010年と類似していた。文化サービスの経済価値の時空間変異の要因として、第一にアマモ場面積が990年から2010年で約1.5倍程度に増加していることがあげられる。その一方、ステーキホルダーに関わる要因としてスポーツフィッシングの普及率、移動コストの軽減、釣り人口の変化などが考えられる。

瀬戸内海のアマモ場は1ヘクタール当たりの漁業生産額が平均で30万円程度とする文献や、100万円程度とする文献もある。上述の文化サービスの試算はあくまで岸から釣行可能な釣り場に限定しており、むしろ主力である遊漁船による沖の釣り場は含めていない。それにもかかわらず、コアサイト選定の仮定どおり、供給サービスを上回る経済価値が試算される結果となった。

南方域におけるアマモ場の空間分布に関する情報収集と現地調査においては、温帯性アマモ場と熱帯性アマモ場の境界線が鹿児島湾と奄美大島の間に存在するため、まず温帯性アマモ場の南限である鹿児島湾南部および熱帯性アマモ場の北限である奄美大島でアマモ場の現地調査を行った。その結果、温帯性アマモ場の南限藻場はアマモ単独で構成されており、熱帯性のアマモの侵入は確認されなかった。また、熱帯性アマモ場の北限の奄美大島全島で分布を確認したところ、過去の分布調査時より大幅に減少していることが明らかになった。奄美大島には熱帯性海草類のうち小型種および中型種が成育することが確認されていたが、特に中型種の現存量と分布面積の減少が著しく、北部の一部の海岸でパッチ状群落が確認されるのみであった。

その他の情報を含め収集結果をまとめてみると、おそらく温暖化に伴う熱帯性アマモ場の北上は急激には起こりにくいことが考えられる。まず、小型種・中型種の熱帯性アマモ場の北限となる奄美大島では著しくアマモ場が減少しており、鹿児島湾への熱帯性海草類の供給源としては、現状では不十分である。まずは、沖縄本島周辺海域より奄美大島への海草類の供給が必須となりそうである。また、石垣島周辺海域への大型種の供給源となるフィリピン・ベトナム海域では、北部の熱帯性アマモ場の減少が著しく、おそらく石垣島周辺とフィリピン・ベトナム中南部の間が空隙になりつつあることが明らかとなった。現状では、石垣島周辺の熱帯性アマモ場は良好な状態にあったが、周辺海域との交流がきわめて少ないことが想定される。したがって、西日本海域では温暖化による温帯性アマモ場から熱帯性アマモ場への置換は起こりにくく、海草藻場が消失する可能性のほうが高いように思われる。

5. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

音響計測手法をアマモ場の計測に用いることで、分布域が広域にわたるアマモ場の情報を、短期間で迅速かつ簡便に取得することが可能となった。これまでに汎用されてきた潜水観察をとまなう現場観測では、ダイバーが複数の定点で時間をかけて情報を収集する必要があった。これに対し、本研究で開発した手法では、実働2日間の調査を年複数回行うことで季節変動を定量化および可視化することが可能になった。このような簡便な手法はコスト、労力、さらには安全性の面からも今後のニーズ拡大が期待でき、全国の他の藻場の計測にも応用できると考えられる。さらには、2011年に他研究によりアマモ場の植物体の現存量に基づいて炭素固定速度を推定することになったことを受けて、本手法をもとにアマモ場の生態系サービスの経済価値のうち、最も重要な構成要素の一つである調整サービスを試算することが可能となった点は非常に意義深い。

アマモ場そのものの時空間的な動態、さらに藻場内に生息する生物群集との因果関係が複雑かつ多様であることが明確となった。この結果は、保全する藻場の生態系機能や藻場生物の対象の設定は明確にされるべきであり、その保全する対象によって保全計画は修正されうることを意味している。さらに、食物網を詳細に解析することによって明確化された主要な栄養フローから、餌としてのベントスの貢献度を明確に定量化した。特に、アミ類やコツブムシ類などの藻場内の優占種である一方で、市場価値のない甲殻類は、魚類の餌資源として重要な分類群であるにもかかわらず、その価値は正当に評価されてこなかった。藻場からもたらされる供給サービスを市場価値のみで評価することは明らかな過小評価であり、被食者としての貢献度からも間接的に算出することの意義を明確にした。

魚類群集構造が南北で異なることを明らかにするとともに、さらにその季節変動を解析することにより、我が国沿岸のアマモ場のなかで最も種の多様性と生産性が高いエリアの魚類群集構造を明らかにした。既往知見では、藻場の生態系サービスの最も重要な構成要素は調整サービス(炭素固定)とされてきたが、供給サービス(魚介類の生産)の経済価値評価はこれまでなされてこなかった。本研究により、藻場の生物群集においてバイオマスで優占する魚類やエビ類など水産資源として重要な生物の生物量と季節変動を定量評価し、経済価値の試算につなげたことは、これまでに無い研究成果であり、生態系サービスの包括的評価に大きく貢献するものである。

コアサイトの一つである北海道のアマモ場における供給サービスとして重要な北海エビ資源の変動を、長期データ解析にもとづいてアマモ場の面積により説明可能であることを明らかにした。一方、供給サービスの絶対量が少ないと予測された瀬戸内海においては、遊漁が生み出す経済価値(文化サービス)が極めて高いことを明らかにした。また、地球温暖化に伴う海水温の上昇に則したアマモ場の分布状況の変化を予測した。さらに、豊富な現場調査データに基づいて、生態系サービス間のトレードオフ関係も明らかにした。以上の知見は、沿岸海域の生態系サービスの包括的評価と持続的利用を進めるにあたって、これまでに無くかつ今後必要不可欠な情報を含んでいる。

(2) 環境政策への貢献

＜行政が既に活用した成果＞

環境省の有識者会議は、2014年5月に日本の排他的経済水域内で生物学や生態学の観点から重要な場所を「重要海域」として選定した(2014年5月10日、中国新聞他に掲載)。その中に含まれる本研究の調査サイト(瀬戸内海、広島県大崎上島北部)周辺域に関する生物データを、本研究チームが提供してきたことが、今回の選定につながった。

＜行政が活用することが見込まれる成果＞

研究スタート時に設定した仮説のとおり、アマモ場という同じ生態系であっても地域により生態系サービスの質や量、人間との関わり方が異なることが明らかとなった。生態系サービスを構成する調整・供給・文化および基盤サービスの量や構成割合は地域によって異なる実情は、同じアマモ場であっても利用や管理の方針を地域ごとに柔軟に変える必要性が極めて高いことを示している。本研究は自然科学および人文科学的手法を融合させることを念頭に置いて開始された研究課題であった。コアサイトの1つである北海道では、漁業や遊漁に関連する供給サービス(水産資源)へのSHの依存度が高い。環境変動(温暖化や突発的な気象条件)による藻場への影響や、藻場管理政策の失敗が周辺住民に対しても大きく影響してしまう可能性を秘めている点を考慮して政策選定する必要がある。さらには、SH間の関係の地域差を考慮することも重要である。SH同士の交流が活発な方が生態系を管理しやすいと考えられやすいが、現実にはその正反対の状況に陥る可能性があるためである。北海道のような事例においては、後背地を含めた農業・牧畜に関わるSHも政策を進める上で関わりが深く、水質汚濁に関する直接的なSHである漁業者や農業者のみでは、利害関係の調整を効果的に進めることは不可能であり、対象域の行政機関などが第三者の立場から科学的知見に基づいた調整を行う必要があると考える。これに対して、瀬戸内海では、藻場が有する機能に関わるSHの数も多く、またそれぞれの関心事項も拡散的であり、利害構造がより複雑である。当地域においては、漁業や遊漁といった水産資源の利用(供給・文化サービス)のみならず、シーカヤック、漁業体験や農業体験、地域住民を対象とした海の教室なども行われており、文化サービスについても幅広く活用されていることが特徴的である。その他にも、アマモの直接利用(石風呂と呼ばれる地域の伝統サウナ)や海水浴の利用率の高さも特徴的であり、海に親しむ文化が醸成されてきた歴史的背景がある。瀬戸内海沿岸地域では、藻場に関係するSH数が多いことに加え、その利害構造自体も複雑であり、SHの藻場機能ごとの関心および利害関係をカバーできるような、柔軟できめ細やかな方策を選定する必要があると提案できる。

国連環境計画では2011年に生態系サービスの持続的利用と生物多様性との調和に向けて生態系サービス間のトレードオフを管理することを提唱しており、この提唱がなされた文献に沿えば、本結果のトレードオフの形態は生態系サービスが脆弱化していることを意味している。片方のサービスを増加させようとした場合、その増加がわずかであってももう一方のサービスが急激に減少してしまうためである。その原因としては、藻場が小規模化・単純化していることがあげられる。埋立て等の影響により広範囲に分布できる浅場が減少し、北海道を除く他の海域では島影や湾奥などに小規模な群落が断続的に続く状態にある。そのため、本来のアマモ場は株密度の高い群落から低い群落まで、すべての遷移段階がモザイク状に広範囲に形成される一方で、現実のアマモ場は株密度が高い群落か、あるいは低い群落と遷移段階が離散的に分布し、それぞれが出現と消失を繰り返している状態にある。この場合、個々のアマモ場は特定の生態系サービスしか発揮することができない。したがって今後我が国が目指すアマモ場の管理としては、すべての遷移段階が同所的に存在する景観多様性の高いアマモ場を再生することにあり、またそのような状態にある現存アマモ場を重点的に保全していくことにあることを、本結果は示唆していると考えている。

6. 研究成果の主な発表状況

(1) 主な誌上発表

＜査読付き論文＞

- 1) Y. KAMIMURA, A. KASAI and J. SHOJI: Aquatic Ecology, 45, 367-376 (2011)
“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”
- 2) J. SHOJI, S. TOSHITO, K. MIZUNO, Y. KAMIMURA, M. HORI, K. HIRAKAWA: ICES J Mar Sci. 68, 1165-1169 (2011)

- “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”
- 3) 小路 淳: 浅海域の生態系サービス—海の恵みと持続的利用(小路 淳、堀 正和、山下 洋 編)、恒星社厚生閣、東京、pp26-37 (2011)「魚類生産からみた生態系サービス」
 - 4) Y. KAMIMURA, K. MIZUNO, T. NODA, K. HIRAKAWA, H. TAMAKI and J. SHOJI: Aquaculture Science 60, 413-416 (2012)“Validation of daily periodicity of otolith increment formation and application for analysis of early growth of wild juvenile black rockfish *Sebastes cheni*”
 - 5) Y. KAMIMURA and J. SHOJI: Erlend Moksness, Einar Dahl and Josianne Støttrup (Eds.), Global Challenges in Integrated Coastal Zone Management, Wiley-Blackwell, West Sussex, UK, pp.61-68 (2012).“A combination of seagrass and macroalgae beds enhances young-of-the-year rockfish *Sebastes cheni* production: toward a habitat conservation based on the phenology of fishery resources and vegetation”
 - 6) A. SOGABE, K. MOHRI and J. SHOJI: Ichthyological Research 59, 223-229 (2012)
“Reproductive seasonality of the seaweed pipefish *Syngnathus schlegeli* (Syngnathidae) in the Seto Inland Sea, Japan”
 - 7) H. KINOSHITA, Y. KAMIMURA, K. HIRAI, K. MIZUNO, Y. IWAMOTO and J. SHOJI: Bulletin of Japanese Society of Fisheries Oceanography 76, 24-30 (2012)
“Vulnerability of juvenile fish to piscivorous fish predators increases during nighttime in a seagrass bed in the central Seto Inland Sea, Japan”
 - 8) Y. KAMIMURA, M. KAWANE, M. HAMAGUCGI and J. SHOJI: Ichthyol Res, doi: 10.1007/s10228-013-0381-8 (2013)
“Age and growth of three rockfish species, *Sebastes inermis*, *S. ventricosus* and *S. cheni*, in the central Seto Inland Sea, Japan”
 - 9) H. KINOSHITA, Y. KAMIMURA, K. MIZUNO and J. SHOJI: ICES Journal of Marine Science, doi: 10.1093/icesjms/fst033 (2013)
“Nighttime predation on post-settlement Japanese black rockfish *Sebastes cheni* in a macroalgal bed: effect of body length on predation rate”
 - 10) Y. KAMIMURA and J. SHOJI: Estuarine, Coastal and Shelf Science, 129, 86-93 (2013)
“Does macroalgal vegetation cover influence post-settlement survival and recruitment potential of juvenile black rockfish *Sebastes cheni*?”
 - 11) K. MOHRI, Y. KAMIMURA, K. MIZUNO, H. KINOSHITA, S. TOSHITO and J. SHOJI: Aquaculture Science 61, 215-220 (2013)
“Seasonal changes in the fish assemblage in a seagrass bed in the central Seto Inland Sea”
 - 12) 遊佐貴志、千葉晋: 日本ベントス学会誌(印刷中)
「北海道東部の藻場におけるアミ類種組成の空間変異」

<その他誌上発表(査読なし)>

- 1) 小路 淳: 豊かな海、23、31-35(2011)
「いつも二人三脚 漁業者と栽培漁業技術者の挑戦 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」
- 2) Nakaoka, M, K. Lee, X. Huang, T. Almonte, JS Bujang, W Kiswara, RA Rappe, SM Yaakub, MP Prabhalaran, MK AbuHena, P Zhang, A Prathep, M. Hori, M Fortes: S. Nakao, T. Yahara, T. Nakashizuka (eds) Integrative Observations and Assessments (Ecological Research Monographs / Asia-Pacific Biodiversity Observation Network), Springer, in press, (2014)
“Regional comparison of the ecosystem services from seagrass beds in Asia”.
- 3) 堀 正和: 環境情報科学、43、印刷中 (2014)
「沿岸域における生態系サービスの持続的利用と生物多様性保全の調和に向けて」
- 4) 小路 淳: 水産海洋学入門 海洋生物資源の持続的利用(水産海洋学会編)、講談社、東京pp201-210 (2014)
「沿岸域の複合生態系」

(2) 主な口頭発表(学会等)

- 1) J. SHOJI, H. KINOSHITA, S. TOSHITO, Y. KAMIMURA: 35th Annual Larval Fish Conference, Coastline Conference and Event Center, Wilmington, North Carolina, USA, 2011
“Is seagrass bed a safe nursery? – nighttime predation rate, size- and growth-selective survival of rockfish juveniles and possible effects of the global warming”.
- 2) J. SHOJI: International Long-Term Ecological Research Network (ILTER) Annual Meeting 2011, Hokkaido University, Sapporo, Japan, 2011
“Latitudinal comparison of fish community structure and production in seagrass beds in the western North Pacific”
- 3) J. SHOJI: International Workshop on Growth–survival paradigm in early life stages of fish: theory, advance, synthesis, and future, Fisheries Research Agency, Yokohama, Japan, 2001
“Cross-system and taxonomic comparison of growth and survival mechanisms”
- 4) A. Fukuta, Y. Kamimura, M. Hori, H. Kinoshita, K. Mizuno, M. Morimoto, T. Ohtake, J. Shoji: 50th Estuarine, Coastal and Shelf Science Association Conference: Today's science for tomorrow's Management 2012, Venice, Italy (2012)
“Effects of *Tsunami* in March 2011 on fish community and production in seagrass beds in coastal area of the western North Pacific”
- 5) Y. KAMIMURA, J. SHOJI: 36th Annual Larval Fish Conference, Osøyro, Norway (2012)
“How habitat complexity affects cohort specific mortality and growth-selective survival of *Sebastes* juveniles in macroalgal bed?”
- 6) P. SIROIS, A. TAKASUKA, D. ROBERT, J. HOJI, I. AOKI, L. Fortier, Y. Oozeki: 36th Annual Larval Fish Conference, Osøyro, Norway (2012)
“Size- or growth-selective mortality during early life history of fishes: publication bias and the need for a new conceptual framework”
- 7) J. SHOJI, K. MIZUNO, Y. KAMIMURA: 36th Annual Larval Fish Conference, Osøyro, Norway (2012)
“Predation or density-dependence? A latitudinal comparison of sources of mortality of post-settlement black rockfish in seagrass bed”
- 8) T. NODA, Y. NAGAKURA, D. SHIMIZU, H. AONO, H. OKOUCHI, M. HAMAGUCHI, A. FUKUTA, Y. KAMIMURA, J. SHOJI: PICES 2012 Annual Meeting: Effects of natural and anthropogenic stressors in the North Pacific ecosystems: Scientific challenges and possible solutions, Hiroshima, Japan (2012)
“Impact of the tsunami from the Great East Japan Earthquake on seagrass beds and fish assemblages in Miyako Bay”
- 9) S. SONOKI, Y. MORITA, J. SHOJI, K. MIYASHITA: PICES 2012 Annual Meeting: Effects of natural and anthropogenic stressors in the North Pacific ecosystems: Scientific challenges and possible solutions, Hiroshima, Japan (2012)
“Monitoring seasonal variations in a seagrass bed by an acoustics method”
- 10) J. SHOJI, A. FUKUTA, P. SCHUBERT, A. CHAPMAN, T. HAUKEBØ: 37th Annual Larval Fish Conference, Miami, USA (2013)
“Variability in predation risk of juvenile fishes in seagrass beds evaluated from piscivorous fish biomass and predation rates from tropical to subarctic zones”
- 11) J. SHOJI: Workshop on Human-Environmental Security in Asia-Pacific Ring of Fire: Water-Energy-Food Nexus, University of North Carolina, Chapel Hill, NC, USA (2014年3月)
“Water-food NEXUS in coastal ecosystems”

7. 研究者略歴

課題代表者: 小路 淳

京都大学農学部卒業、農学博士、現在、広島大学大学院生物圏科学研究科准教授

研究分担者

1) 宮下 和士

北海道大学水産部卒業、現在、北海道大学北方生物圏フィールド科学センター教授

2) 千葉 晋

北海道大学水産学部卒業、現在、東京農業大学生物産業学部教授

3) 小路 淳
同上

4) 堀 正和
北海道大学水産学部卒業、現在、独立行政法人水産総合研究センター主任研究員

4E-1102 藻場の資源供給サービスの定量・経済評価と時空間変動解析による 沿岸管理方策の提案

(1) 藻場を構成する植物群落の現存量、空間構造および経済的価値の定量的解析

北海道大学

北方圏フィールド科学センター

宮下和士

平成23～25年度累計予算額：22,499千円

(うち、平成25年度予算額：6,000千円)

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

アマモ場は沿岸生態系において主要な一次生産の場で、水質浄化、生物多様性の維持など多様な機能を持つ。近年アマモ場を含む藻場の衰退が問題視されており、保全対策の検討にはアマモ場の定量的な把握が必要である。そこで、本研究では音響計測手法を用いて藻場構造の季節変動のモニタリングを行い、現存量や分布面積などを定量化した。調査は能取湖(北海道網走市)において2012年と2013年の6月・10月の計4回、生野島沿岸域(広島県大崎上島町)において2011年11月から2014年2月の間に10回それぞれ季節ごとに実施した。調査海域に設定したラインを航走し、小型計量魚群探知機(KCE-300、ソニック社製)を用いて音響情報を取得した。音響解析ソフトEchoview(Myriax社製)を用いてアマモ場を抽出し、得られた情報をもとに空間統計解析(クリギング)を行いアマモ場の厚さ・分布面積を推定した。また、生野島沿岸域においてはアマモ場の分布面積から得られる炭素固定量・吸収量を瀬戸内海区水産研究所の2011年の報告データより算出した。調査海域では能取湖ではスゲアマモ(*Zostera caespitosa*)が生野島沿岸域ではアマモ(*Zostera marina*)が優先して分布していた。音響計測手法を用いて得られたアマモ場の厚さは、能取湖では6月に最大、10月に最小で、生野島では5月に最大、11月に最小となり、推定された分布面積においても同様の変動が見られ、従来のアマモの生活史に沿った結果となった。生野島沿岸域における最大の炭素吸収量は2012年5月で 327.73kg-C d^{-1} 、最大の炭素固定量は2013年5月で 481.84kg-C d^{-1} であった。

[キーワード]

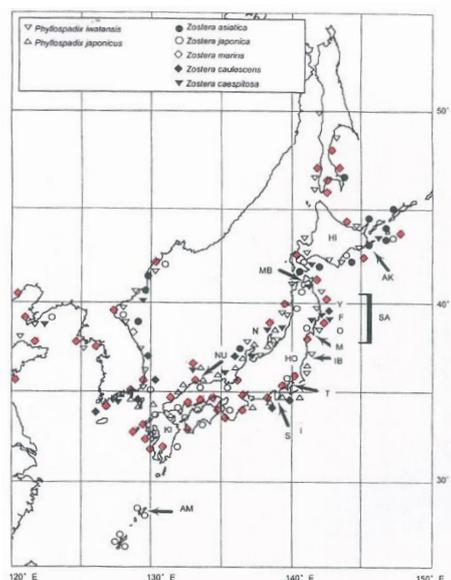
計量魚群探知機、アマモ場、季節変動、生態系サービス、炭素固定量

1. はじめに

アマモ科植物は、日本の沿岸域において、北海道から沖縄までの広範囲の内湾の水深10m以浅の砂地・砂泥地の海底に生息し、密集して繁茂することによりアマモ場を形成する¹⁾。日本沿岸のア

マモ科植物は春から初夏にかけて最も繁茂し、秋から冬にかけて衰退し、また増加するという生活史をとる。アマモ場は、その生産力の高さから、沿岸生態系において重要な海域である。光合成などの炭素固定による一次生産の場²⁾としての機能、枯れたアマモ草体が海底に堆積することによる栄養循環³⁾の機能、魚介類の産卵場⁴⁾、仔稚魚の成育・棲息場や隠れ場所⁵⁾としての機能に加え、近年では釣りなどのレジャーや環境学習の場として機能し大きな役割を果たすなど、様々な生態系サービスを持つ。アマモ場を含む沿岸域は、地球上においてその面積の割合が少ないにも関わらず、地球上の生態系サービスの価値のうち約3割を担っている⁶⁾。沿岸域の生態系サービスの中でも、アマモ場を含む藻場の生態系サービスはサンゴ礁の3倍もあると言われているが、生態系サービスに関する学術研究が少なく、藻場に関する情報が不足しているのが現状である⁷⁾。日本においては30年間で約4割の藻場が沿岸造成や環境の変化により消失したという報告⁸⁾もされており、藻場の重要性を早急に周知する必要がある。アマモ場の生態系サービスは、アマモ場そのものの分布状況の季節変動によって大きく機能や生物相が異なるという特徴を持つ⁹⁾。また、これまで算出されているアマモ場生態系サービスのほとんどは単位面積やアマモ乾燥重量あたりの数値であり¹⁰⁾¹¹⁾、分布面積あたりで算出されている例は少ない。アマモ場分布の季節変動を観測するためには、季節ごとにその分布をモニタリングする必要がある。アマモ場の重要性を明白にする上で、基礎となるアマモ場の分布状況の季節変動やバイオマスを明らかにすることが必要である¹²⁾¹³⁾。

これまでアマモ場の分布面積の推定のためには、直接的手法と間接的手法の両方が用いられてきた。アマモ場における直接的手法は、ツボ刈り¹⁴⁾や潜水¹⁵⁾などに代表されている。直接草体をサンプリングできることや、目視で分布状況が確認できるなど利点があるが、マンパワーに頼るため、多大な労力と時間を要することや、観測地点が少なかった場合、推定精度が低下することが欠点となっている。間接的手法では航空写真や衛星写真¹⁶⁾が用いられている。広範囲にわたりアマモ場の分布を観測することが可能だが、1度写真を撮影するためのコストが高いことや、衛星の位置によっては年数回の撮影しかできないこと、海水の濁度や水深、天候に依存することが問題となっていた。このため、広範囲に分布し、かつ短期間で大きな季節変動が見られるアマモ場の詳細なモニタリングを行うにあたり、より効率的かつ広範囲に適用可能で、詳細な情報を持続的に調査可能な手法の確立が必要とされている。



図(1)-1 日本沿岸のアマモ科植物分布図。
赤色で着色してある場所にはアマモ
(*Zostera marina*)が分布している。

2. 研究開発目的

本研究では、生野島沿岸域(広島県大崎上島町)と能取湖(北海道網走市)において、迅速かつ定量的にアマモ場の分布を計測することが可能な音響手法を用い、アマモ場の分布面積の季節変動を推定することを目的とした。また、生野島沿岸域においては、得られた分布面積の情報から、アマモ場が持つ基盤サービスの一部である炭素吸収量と炭素固定量を試算した。

3. 研究開発方法

本研究では、能取湖(北海道網走市)と生野島沿岸域(広島県竹原市)の北部・東部海域において小型計量魚群探知機を用いてアマモ場の音響計測を行った。調査は、能取湖においては2012年・2013年ともに6月・10月に計4回、生野島においては2011年11月、2012年2013年ともに5月・7月・9月・11月に加え、2014年2月に計10回行った。両海域ともに設置したトランセクトラインを航走して音響情報を取得し、繁茂状況の確認のため、任意の地点で水中カメラによる目視観察や、電気伝導度、温度、水深を同時観測するための機器（CTD）による海洋環境の観測を行った。

音響計測手法は、超音波パルスを水中に発射し、海底や魚群から反射されたエコーによって海中の構造を可視化するものである。計量魚群探知機を用いた音響計測手法は、これまでさまざまな魚種やプランクトンなどの資源量推定や生態の把握に用いられている。近年では、藻場においても応用されており¹⁷⁾¹⁸⁾、音響計測手法を用いて計測を行い、藻場の分布面積を推定している。超音波は海水とは異なる物質に対して反射し、魚類においては気体で満たされている鰾に最も強い反射を示す¹⁹⁾。アマモは葉の内部に空気間隙が存在する¹⁾ため、この気泡や草体そのものに超音波が反射することでアマモ場の音響計測が可能となる。音響手法の特性上、海面近くではエコーが散乱するために音響散乱層ができる。本研究では表層から90cmを除いた音響情報を用いた。また、超音波を発する際のパルス角により、海底直上に探知不能な領域であるデッドゾーンが存在する²⁰⁾。デッドゾーンは以下の式から算出される。

$$h=d(1-\cos(\theta/2))+c\tau/2$$

h は海底からの探知不能領域の高さ (m)、 d は水深(m)、 θ はビーム角(°)、 c は音速(m/s)、 τ はパルス幅 (s) である。この計算式によって算出された本研究で用いる計量魚群探知機のデッドゾーンは45cmであったため、本研究では45cm以下の反応は除いて解析を行った。

能取湖においては、浅場のアマモ場で音響散乱層とアマモ場の反応が一体化している海域が一部見られたため、船上からの目視で得られた情報と合わせて、音響的に解析可能であった前後のアマモ場の分布状況と同一であると仮定して分布面積を推定した。また、生野島東部海域はフェリー航路となっており、調査船から300～500 mほどの距離で1時間に複数回のフェリーの航行が見られた。フェリー航行後に受けた横揺れなどの波の影響を避けるため、調査中一時的に停船した時間や、波を受けた時間の音響情報は除いて解析を行った。

取得した音響データはEchoview4.9 (Myriax社) を用い、アマモ場の反応を抽出した。アマモ場を含む海域のエコーグラムは、海水、アマモ場、海底の3つに分かれ、それぞれ異なる反射強度を示

す。エコーグラムの反応からアマモ場の反応を抽出するために、アマモ場が分布する部分のエコーグラムから反射強度を抽出し、ヒストグラムを描くことで、アマモ場の反応であると思われる反射強度の範囲を明らかにし、その範囲をアマモ場の反応とした。アマモ場の反応から、位置情報、アマモ場の高さなどの情報を水平距離で2mごとに抽出した。アマモの分布水深や目視により得られた情報を考慮して、能取湖では水深5m以深、生野島では水深10m以深のデータは抽出するデータには含まなかった。また、海底のデッドゾーンの影響を考慮し、海底の反射が最も強かった場所から45cm以上の範囲を探知不能域とし、この区域よりも上に存在する反応に対して解析を行った。また、藻場内に生息するのは、仔稚魚類などのごく小さな魚である⁹⁾²¹⁾ことから、鰈による音響反射に寄与する影響は微量であり、アマモ場の反射強度の内部に埋もれるものと考え、魚類の反応は無視して解析を行った。

抽出したアマモ場の音響情報は、ArcGIS 10.1 (ESRI社) を用い、位置情報からアマモ場の有無とアマモ場の厚さを地図上にマッピングした。また、アマモ場の厚さのヒストグラムと分布水深のヒストグラムを作成した。アマモ場の厚さは、Tukeyの方法を用いて季節および海域ごとに有意な差が見られたかどうか検定をかけた。また、空間補間法の一つであるクリギングを用いてライン間のアマモ場分布を補間し、アマモ場の分布面積を推定した。分布面積の推定は地図上へのマッピングと同様にArcGIS 10.1 (ESRI社) を用いた。クリギングは、ある観測地点において観測された値から、空間的自己共分散を用いて観測値のない地点における推定値を求めるものである²²⁾。クリギングの通常式を以下に示す。

$$Z^*(S_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(S_i)$$

S_0 は予測位置、 λ_i は*i*番目の位置における観測値の不明な加重、 $Z(S_i)$ は*i*番目における観測値、 N は計測値の数である。クリギングでは、観測値に対する推定値を求めるために、観測地点の周囲に分布するほかの観測値の重み付き平均を利用する。通常の重み付き平均法と異なるのは、横軸に観測地点からの距離を、縦軸に共分散関数により得られた空間的隔たりに対する観測値の相違度をとることで得られるバリオグラムを重みとして使用する点である。バリオグラムが上昇を続け、一定になる地点までの範囲をレンジと呼び、推定値が空間的に依存する範囲を示す。バリオグラムがレンジに達した部分をシルと呼び、データ全体の分散の値に近くなる。ナゲットは、観測地点間の距離が0のとき0の値をとる。観測地点間の距離が無限に小さい場合、ナゲット効果を起こし、0よりも大きい値をとる。この場合、バリオグラムのY軸の切片がナゲットの値となる。ナゲットからシルまでの間の部分をパーシャルシルと呼ぶ。バリオグラムを重み付き平均としてデータ観測を行った区間を多数の点の集合体として全体における平均値を推定するとき、バリオグラムを決める定数(レンジ、シル、ナゲット)、加重、推定誤差がどのような関係であるかで示される²³⁾。本研究では、調査海域におけるアマモ場の厚さを推定するための常クリギング(Ordinary Kriging)と、調査海域におけるアマモ場構造の存在の有無を推定する確率クリギング(Probably Kriging)を用いた。常クリギングから推定されたアマモ場の厚さから確率クリギングから推定されたアマモ場が存在する海域のみを抽出し、アマモ場の分布推定面積とした。

本研究で調査を行った生野島周辺の海域では、様々な大学または研究機関によって調査が行われており、瀬戸内海区水産研究所も生野島周辺を調査サイトとして利用する機関の一つである。

瀬戸内海区水産研究所による藻場・干潟などの炭素吸収量に関する報告書では、本調査海域と同じ生野島周辺海域において単位面積当たりの1日のアマモ場の炭素吸収量と炭素固定量が算出されている。炭素吸収量は生産量とも呼ばれるもので、一般的には単位面積当たりの乾燥重量における1日当たりの生産量 ($\text{gdw m}^{-2} \text{d}^{-1}$) で示される。瀬戸内海区水産研究所による、本研究で調査を行ったのと同様の海域のアマモ場から得られた炭素吸収量の値を表(1)-1に示す。炭素固定量は、吸収量から流出量を引いたものである。

瀬戸内海区水産研究所による、本研究で調査を行ったのと同じ海域のアマモ場から得られた炭素固定量の値を表(1)-2に示す。瀬戸内海区水産研究所の実験では、衰退期(11月)と繁茂期(6月)と年間平均のアマモ場の単位面積当たりの生産量が算出されている。本研究では、アマモ場炭素吸収量の季節変動を明らかにするため、この結果を用いて炭素吸収量の試算を行った。試算に用いた式を以下に示す。

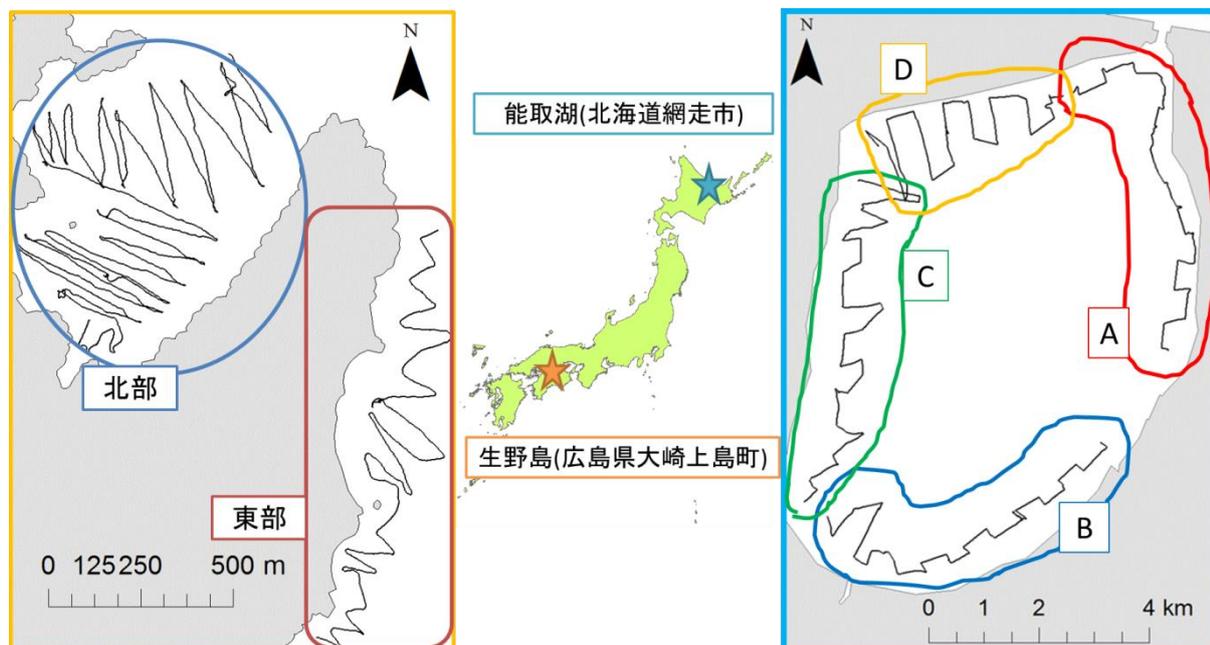
$$\text{炭素吸収量}(\text{gdw m}^{-2} \text{d}^{-1}) = \text{季節ごとの単位面積当たりのアマモ成長量}(\text{gdw m}^{-2} \text{d}^{-1}) \times \text{アマモ草体の炭素含有度}$$

9月および11月は衰退期の値を、5月は繁茂期の値を、7月は年間平均の値を用いた。アマモの1日における単位面積と乾燥重量あたりの成長量($\text{gdw m}^{-2} \text{d}^{-1}$)のうち、アマモの草体の炭素含有度の年平均である32.3%²⁴⁾が炭素量であるとして炭素吸収量を把握した。把握できた1日における単位面積当たりの炭素吸収量から、分布面積あたりの炭素吸収量を算出した。

炭素固定量の算出のために、単位面積当たりの乾燥重量における1日当たりの生産量($\text{gdw m}^{-2} \text{d}^{-1}$)と、同海域における藻場外に流出する草体の量($\text{gdw m}^{-2} \text{d}^{-1}$)を使用した。試算に用いた式を以下に示す。

$$\text{炭素固定量} (\text{gdw m}^{-2} \text{d}^{-1}) = (\text{海域ごとの単位面積当たりのアマモ生産量}(\text{gdw m}^{-2} \text{d}^{-1}) - \text{藻場外に流出する草体量}(\text{gdw m}^{-2} \text{d}^{-1})) \times \text{アマモ草体の炭素含有度}$$

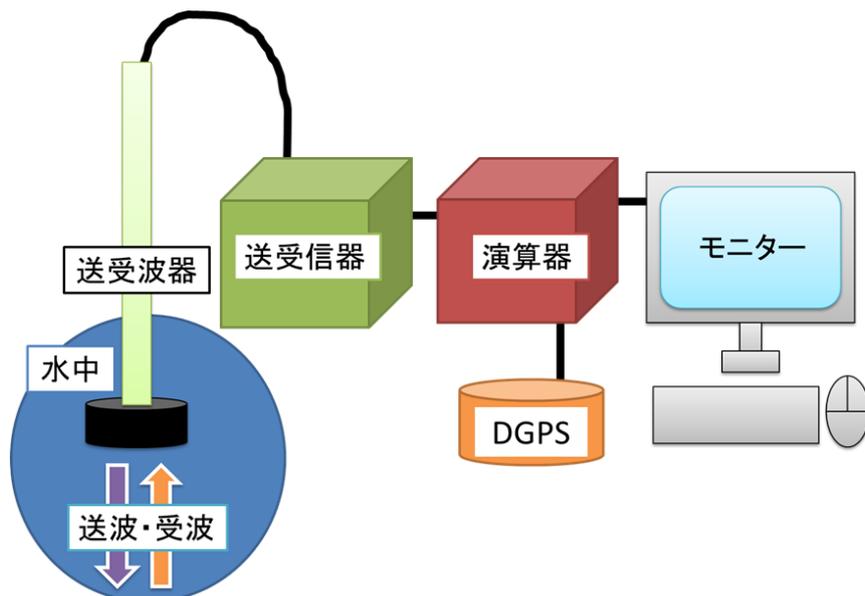
それぞれ、北部海域は密なアマモ場、東部海域は疎なアマモ場と定義づけされている。これらの値をそれぞれの海域に当てはめて算出した。アマモ場が分布する海域のみに固定される炭素量を明らかにするため、生産量から藻場外に流出する草体の量 ($\text{gdw m}^{-2} \text{d}^{-1}$) を除いて算出を行った。藻場外に流出する草体は、アマモの葉が脱落することで水面に浮き、流れ藻となることで、風や波に運ばれて藻場外に流出するものを指す²³⁾。流出する草体においても、他海域において枯死し、草体が海底に堆積し分解されることで有機炭素となり他海域に固定される。また、炭素吸収量と同様に、アマモの炭素含有度である32.3%を考慮して1日における単位面積当たりの炭素固定量を把握し、推定された分布面積あたりの炭素吸収量を算出した。



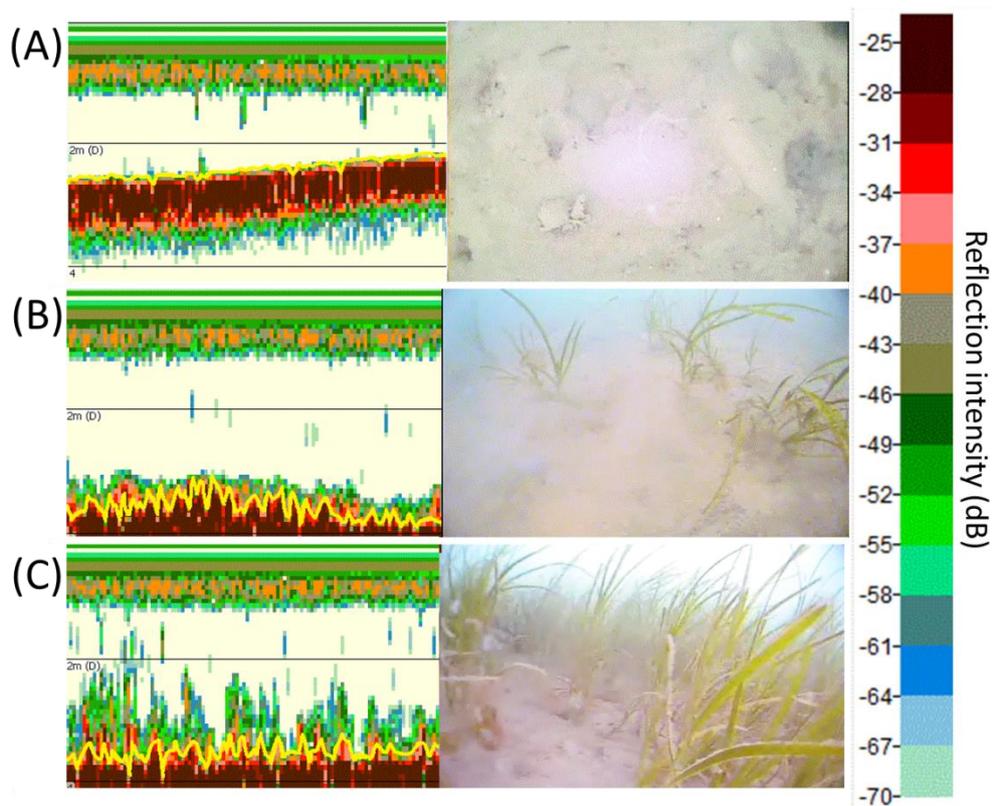
図(1)-2 本研究の調査地である能取湖(右)と生野島(左)の拡大図と、実際に調査で航走したトランセクトライン。生野島は内湾の北部海域と沿岸の東部海域。能取湖は湖口付近から時計回りに4つのエリアに区分した。



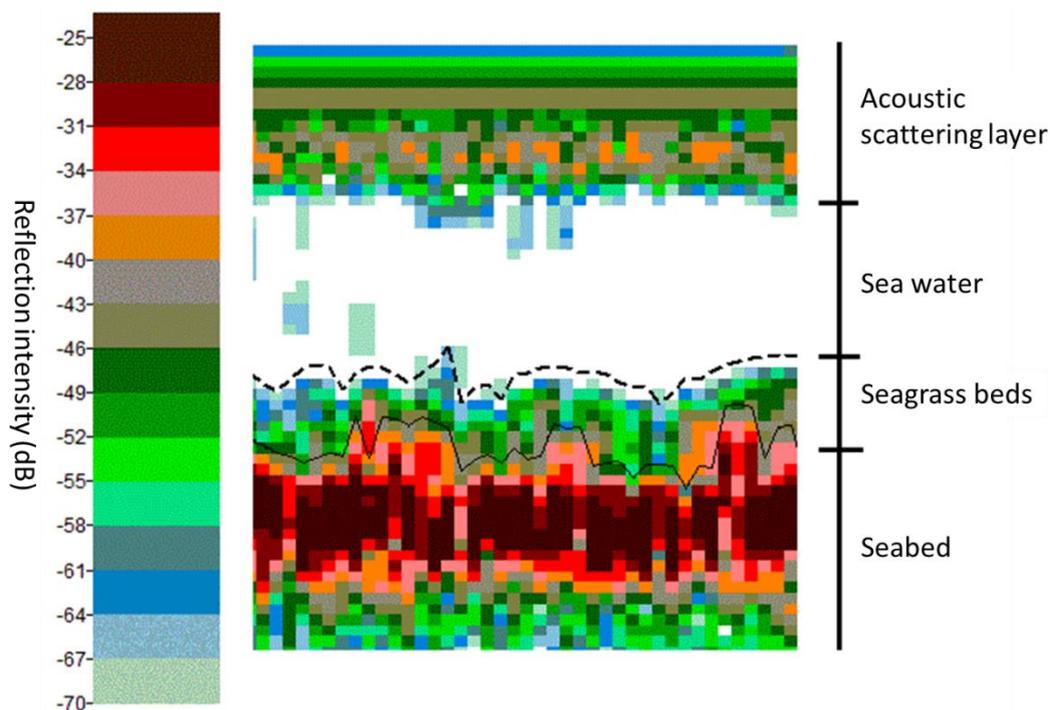
図(1)-3 小型計量魚群探知機KCE-300(120kHz, 株式会社ソニック社)。左から、T-182B型送受波器(8kg)、SR-87型送受信器(25kg)、PRC-58型演算器(5.4kg)。



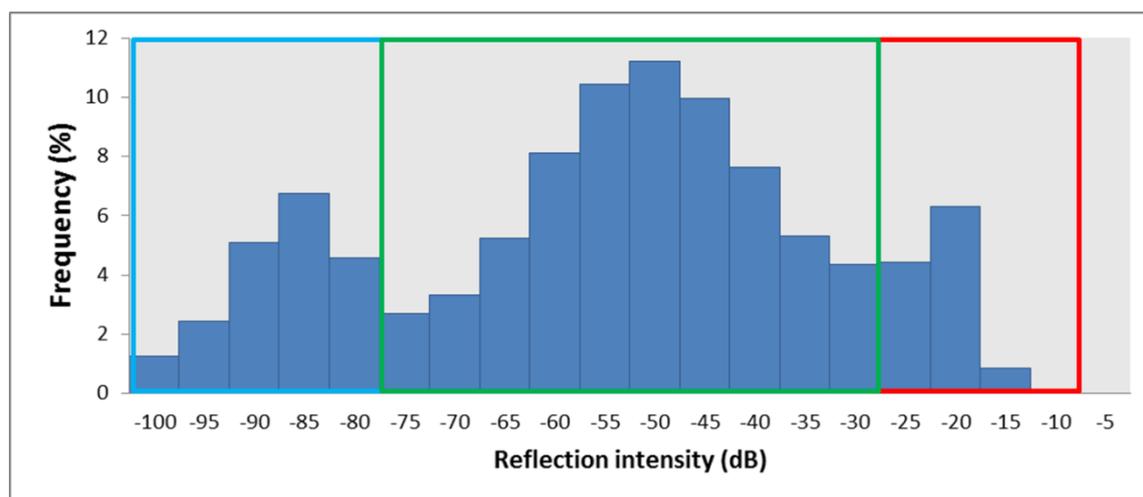
図(1)-4 実際に調査する際の小型計量魚群探知機の接続。位置情報を取得するためにDGPS、エコーグラムを表示するために市販のモニター、計測開始および終了や設定変更の際にキーボードとマウスを使用する。



図(1)-5 音響計測手法によって得られたエコーグラムと、同じ地点の水中カメラによる目視観察で得られた画像の一部。エコーグラム中の黄色実線は海底を示す。図右は反射強度(dB)。(A) アマモ場が見られない地点 (B) 薄いアマモ場が見られた地点 (C) 密集したアマモ場が見られた地点。



図(1)-6 アマモ場の反応が見られた地点のエコーグラム。図左のカラーバーは反射強度(dB)を示す。エコーグラムは上から、水面付近で音波が散乱することにより生じる音響散乱層、海水、アマモ場、海底を示している。実線で示しているのは解析可能な範囲の下端で、海底の反射が最も強い場所から、判別不能範囲のデッドゾーンである45cmの範囲を加えている。破線で示しているのはアマモ場の反応の上端である。



図(1)-7 アマモ場の反応が見られた区間の反射強度(dB)のヒストグラム。青色で囲んでいるのは海水、赤色で囲んでいるのは海底の反応である。ヒストグラムが谷を形成している場所の反射強度を、それぞれ藻場の上端および下端の範囲とした。

表(1)-1 生野島周辺海域におけるアマモの単位面積あたりの乾燥重量における1日あたりの生産量($\text{gdw m}^{-2} \text{d}^{-1}$)。衰退期は11月の、繁茂期は6月の数値。アマモの生産量のうち、アマモ草体の炭素含有量は32.3%であることから、単位面積および1日当たりの炭素吸収量($\text{g-C m}^{-2} \text{d}^{-1}$)が算出される。

Period	Production of seagrass bed	Carbon sink of seagrass bed
	per area/day ($\text{gdw m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	per area/day ($\text{g-C m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
Declining period (November)	1.751	0.57
Increase period (May)	3.627	1.17
Yearly average	2.689	0.87

表(1)-2 生野島北部および東部におけるアマモの単位面積当たりの乾燥重量における1日当たりの生産量($\text{gdw m}^{-2} \text{d}^{-1}$)と他海域への流出量($\text{gdw m}^{-2} \text{d}^{-1}$)。生産量から流出量を除いたものが海域への固定量($\text{gdw m}^{-2} \text{d}^{-1}$)となる。固定量のうち、アマモ草体の炭素含有量が32.3%であることから、単位面積および1日当たりの炭素固定量($\text{g-C m}^{-2} \text{d}^{-1}$)が算出される。

	Production	Flow	Fixation of seagrass in area	Carbon fixation of seagrass bed
		($\text{gdw m}^{-2} \text{d}^{-1}$)		per unit area/d ($\text{g-C m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
Thick seagrass beds (Cover degree 80~100%)	11.4	1.33	10.07	3.25
Thin seagrass beds (Cover degree 40~50%)	5.83	1.6	4.23	1.37

4. 結果及び考察

(1) 能取湖におけるアマモ場の厚さと分布面積

能取湖におけるアマモ場は、スゲアマモ(*Zostera caespitosa*)とアマモ(*Zostera marina*)とコアマモ(*Zostera japonica*)から形成されており、そのうちコアマモは船舶が航行できない浅場に生息することから、本研究では船舶が航行可能な海域に分布するスゲアマモとアマモの分布について観測を行った。航走中に行った目視観察による種判別から、能取湖のアマモ場を構成するアマモ科植物はほとんどがスゲアマモであった。音響情報から得られた能取湖におけるアマモ場の厚さの平均値は、データの欠損がある2012年6月を除くと、2013年6月における0.79mが最大となり、2013年10月における0.65mが最小値となった。エリア別に見ると、最も湖口から遠かったBエリアにおいて、いずれの季節においてもアマモ場の高さは最大値をとっており、目視観察でも多くのアマモ場が見られた。反対に、湖の東側で最も湖口に近いAエリアにおいてはいずれの季節においてもアマモ場の高さは最小値であり、目視観察でもほとんどまとまったアマモ場は見られなかった(図(2)-8)。

アマモ場の分布面積は、データの欠損があるBエリアを除くと、2012年6月が6.03km²で最大値をとり、2012年10月が3.35km²で最小値をとった。エリア別に見ると、湖口から遠いCエリアと、湖口の西側に位置するDエリアは常に広範囲にアマモ場が分布しており、繁茂期である6月と10月では分布面積が最大で50%近く減少するなど、顕著な季節変動が見られた。湖の東側で湖口に近いAエリアでは年間通して分布面積に大きな差はなく安定しているものの、アマモ場の分布は最小であった。Bエリアにおいては、分布面積はC・Dエリアほど広範囲ではないものの、年間通して安

定したアマモ場が分布していることがわかった(図(2)-9)。

能取湖における水深1~5mの海域は、底質がほぼ砂地または砂泥地であり、潜在的にアマモ場が形成されやすい環境であることが言える。各エリアのアマモ場の傾向として、C・Dエリアでは広範囲に、季節変動が顕著なアマモ場が形成されていたが、Bエリアでは前者と比較して狭い範囲ではあるが季節変動が小さく安定したアマモ場が形成されていた。中でも、特にBエリアの西側とDエリアの西側においてより厚いアマモ場が形成されていた。Bエリアの西側は卯原内漁港の堤防の北西で、Dエリアの西側は能取漁港の堤防の東側にあたる。アマモ場の生育を阻害する要因として、波の影響²⁵⁾や、海底の傾斜による砂面変動²⁶⁾が挙げられる。堤防付近に分布するアマモ場は、波の影響による生育・発芽の阻害を受けにくいことや、海底の傾斜が緩やかで発芽の阻害を受けにくかったことから、高いアマモ場バイオマスとなったと考えられる。いずれの年・季節においても、湖の東側で湖口に近いAエリアにおいてアマモ場の厚さ・面積ともに最小であることがわかった。これは、能取湖周辺においては、地形の影響で西風が強く吹く傾向があることが影響していると考えられる。このため、西風の影響で波が立つことが多いAエリアはアマモ場が形成されにくい環境であったと考えられる(図(2)-10)。

(2) 生野島沿岸域におけるアマモ場の厚さと分布面積

航走中の水中カメラによる種判別により、生野島におけるアマモ場はアマモ(*Zostera marina*)によって形成されていることがわかった。音響情報から得られたアマモ場の厚さの平均値は、各年において繁茂期である5月が最大(2012年は1.49m、2013年は0.97m)となった(図(2)-8)。また、衰退期である11月が最小(2011年は0.75m、2012年は0.66m、2013年は0.56m)となった。海域別に見ると、全ての季節において東部海域より北部海域の方が厚いアマモ場を形成していた($p < 0.05$)。各年における同じ季節のアマモ場の厚さを比較したところ、ほとんどの季節で2012年が大きい値を示した。推定されたアマモ場の分布面積は、各年において繁茂期である5月が最大(2012年は0.28km²、2013年は0.27km²)となった。また、衰退期である11月が最小(2011年は0.22km²、2012年は0.10km²、2013年は0.21km²)となった。海域別に見ると、全ての季節で北部海域のほうが東部海域よりも広範囲にアマモ場が分布していた(図(2)-11)。

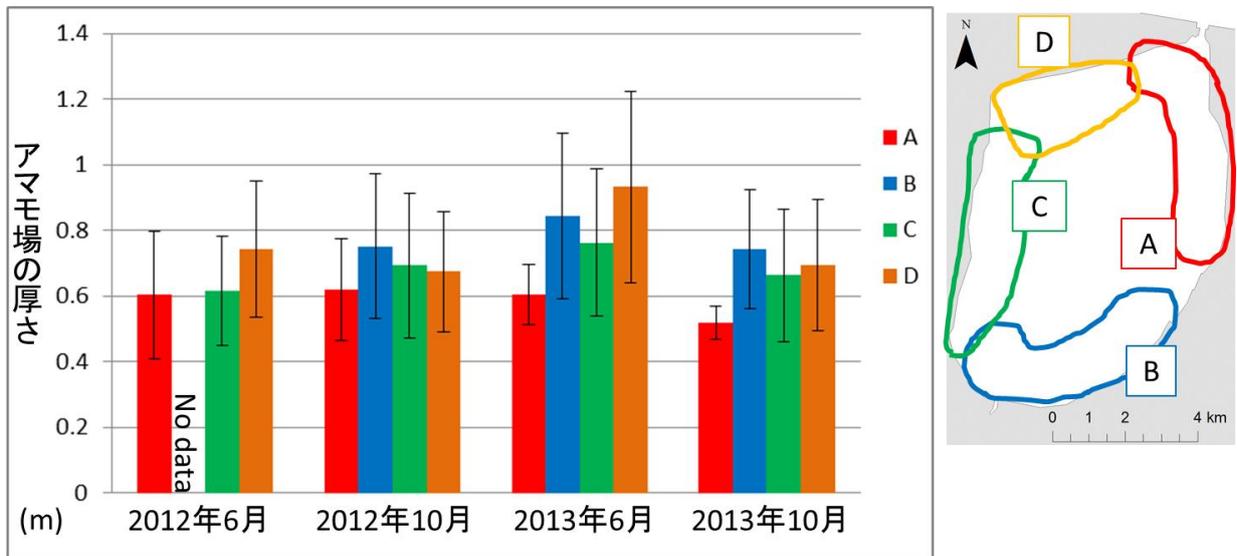
北部と東部でアマモ場の厚さに差が見られた。5月を例にとると、北部に分布するアマモ場の厚さの平均は1.85mであったが、東部に分布するアマモ場の厚さの平均は1.12mであった。このことは、アマモ場が分布する沿岸域の環境が北部と東部の間で異なっていることが要因として考えられる。両海域において、水温および塩分の海洋環境はほぼ同様で、海域間の差は見られなかった。しかし、北部と東部においてアマモ場を囲む沿岸域の地形は異なる。北部海域は波の影響が少ない穏やかな内湾域で、海域のほぼ全域が砂地または砂泥地である。東部は狭く小さな湾になっている部分が細かく連なって海岸線が形成されているため、北部と比較して波の影響は受けやすい。海底の底質は北部と同様に砂地または砂泥地で、アマモが生育できる条件を満たしている。しかし、東部海域において岸から300~500mほど離れた海域がフェリーの航路になっており、ほぼ全日、数十分間隔でフェリーが航行する。波の影響がアマモに及ぼす影響については、波によって海底の砂地の面に変動が起これるとアマモの生育および発芽が阻害されることが報告されている²⁵⁾。東部では常にフェリーの航行によって発生する波にさらされる状態であるため、北部と比較してアマモの生育状態が劣っていると考えられる。これらの結果から、北部海域と東部海域の間では地

形が異なるために、アマモの生育状態にも差が見られたと考えられる。本研究で調査を行った北部海域と東部海域では、北部海域の方がアマモの分布面積が大きかった。これは、調査海域間で水深の構成が大きく異なっていたためであると考えられる。アマモは水深1～数mに分布することが知られている¹⁾。北部海域では湾口部で一部がすり鉢状になり水深が20mを超える地点が見られるが、ほとんどが水深2～4mとアマモの分布に適した水深であった。北部海域はアマモの分布に適した浅い水深の地域が広範囲に存在するため、分布面積も広がったと考えられる。東部海域では、湾内のごく沿岸部は水深が2～8mと、アマモの分布に適した水深である。しかし、東部海域のほとんどは岸から沖にかけての80mの間に水深3mから水深25mにも達することもある急激に水深が深くなる海域であった。海底の急な勾配は、アマモの生育を阻害するという報告がされている²⁶⁾。このことから、東部においては水深から見るとアマモが生育可能であった海域においてもアマモの分布が少なかったのではないかと考えられる。このため、東部においては調査範囲に設定した海域のうち、アマモが分布可能な範囲が小さく、そのため東部海域では調査面積に対して低い割合をとったと考えられる(図(2)-12)。

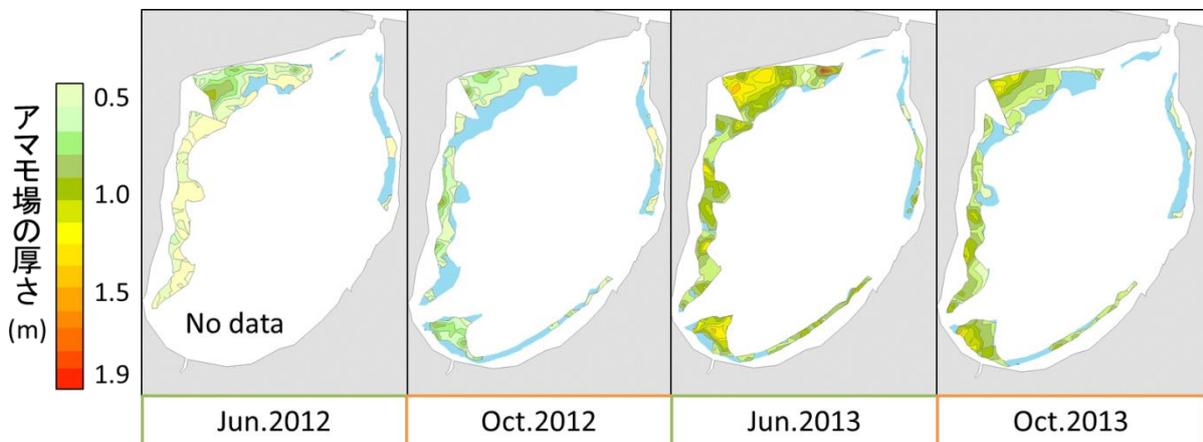
また、年によってアマモ場の厚さや分布面積の傾向が異なっていた。前年の11月に分布面積が広がった場合、翌年の5月には広範囲かつ厚いアマモ場が形成されていた。アマモは地下茎による繁殖と種子による繁殖の2種類の繁殖方法をとるが、種子による繁殖を行った場合、種子が海底に蒔かれ芽を出し定着するまでの間に、波の影響や砂面変動による影響、また急な降雨などによる砂の巻き上げや攪乱・埋没などが起こると、新規に生産されるアマモのバイオマスが減少することが知られている²⁷⁾。生野島沿岸域においては、5月頃から生殖株が成長し花をつけ種子を形成するが、この種子が砂地・砂泥地の海底に着底してから発芽・定着するまでの間に悪天候などに見舞われた場合、当年の種子による繁殖で生産されるアマモのバイオマスが低下することが考えられる。北部・東部海域であった、波や海底傾斜などの環境要因以外にも、天候などによる沿岸域の攪乱などが新規に生産されるアマモのバイオマスに影響していることも示唆され、このためアマモ場の分布面積や厚さに年変動が起こったのではないかと考えられる(図(2)-13)。

(3) 生野島沿岸域におけるアマモ場の炭素吸収量・炭素固定量の試算

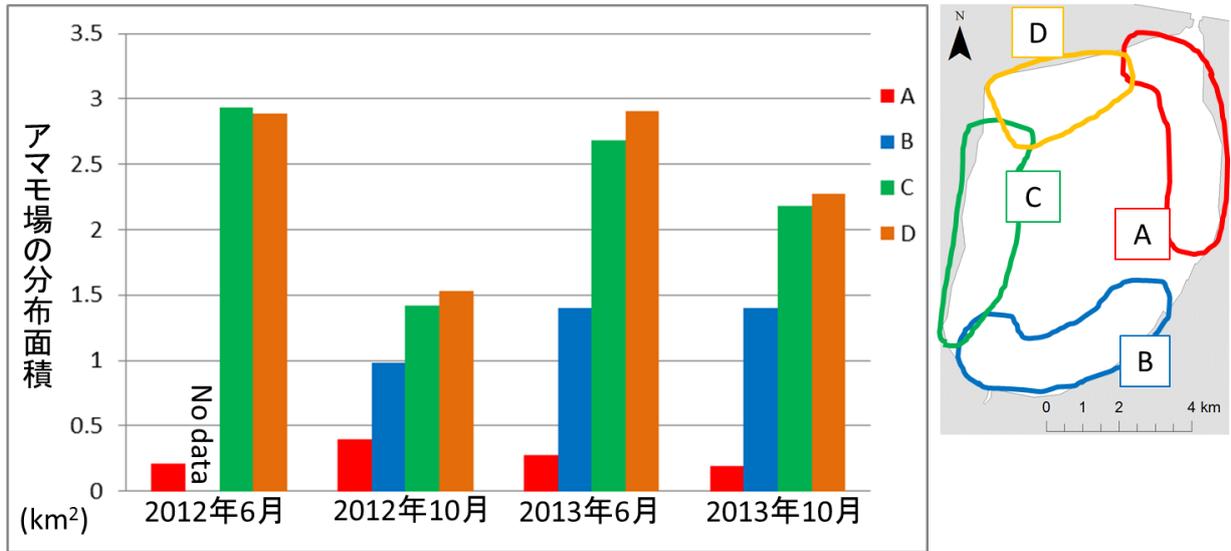
生野島沿岸域における炭素吸収量と炭素固定量の季節変動についても、いずれの年においても繁茂期である5月に最大となり、それ以後徐々に減少し、衰退期である11月に最小の値をとった。全ての調査期間のうち、炭素吸収量が最大となったのは2012年5月で 327.73kg-C d^{-1} 、最小となったのは2012年11月で 56.57kg-C d^{-1} であった(図(2)-14)。炭素固定量が最大となったのは、2013年5月で 481.84kg-C d^{-1} 、最小となったのは2012年11月で 180.85kg-C d^{-1} であった。炭素吸収量について、繁茂期である5月はポイント(単位面積)あたりの値とエリア(分布面積)の値の両方のバイオマスが最大であったために、高い炭素吸収量になったと考えられる。炭素固定量について、単位面積当たりの炭素固定量は東部より北部のほうが高い値を示していた(図(2)-15)。これは、北部海域が半閉鎖的な内湾域で、アマモ場バイオマスが大きく、かつ湾外に流れ出るアマモ草体が少ないことから、同じ海域内への固定が多く、高い値を示したと考えられる。東部海域においては、開けた沿岸域で、海域内のアマモ場バイオマスが少なく、かつ湾外に流出するアマモ草体が多くなったために、同じ海域内への固定が少なくなったと考えられる。調査海域における炭素固定量のほとんどを北部海域が担っており、その面積の大小が海域の炭素固定能力を左右すると言えるだろう。



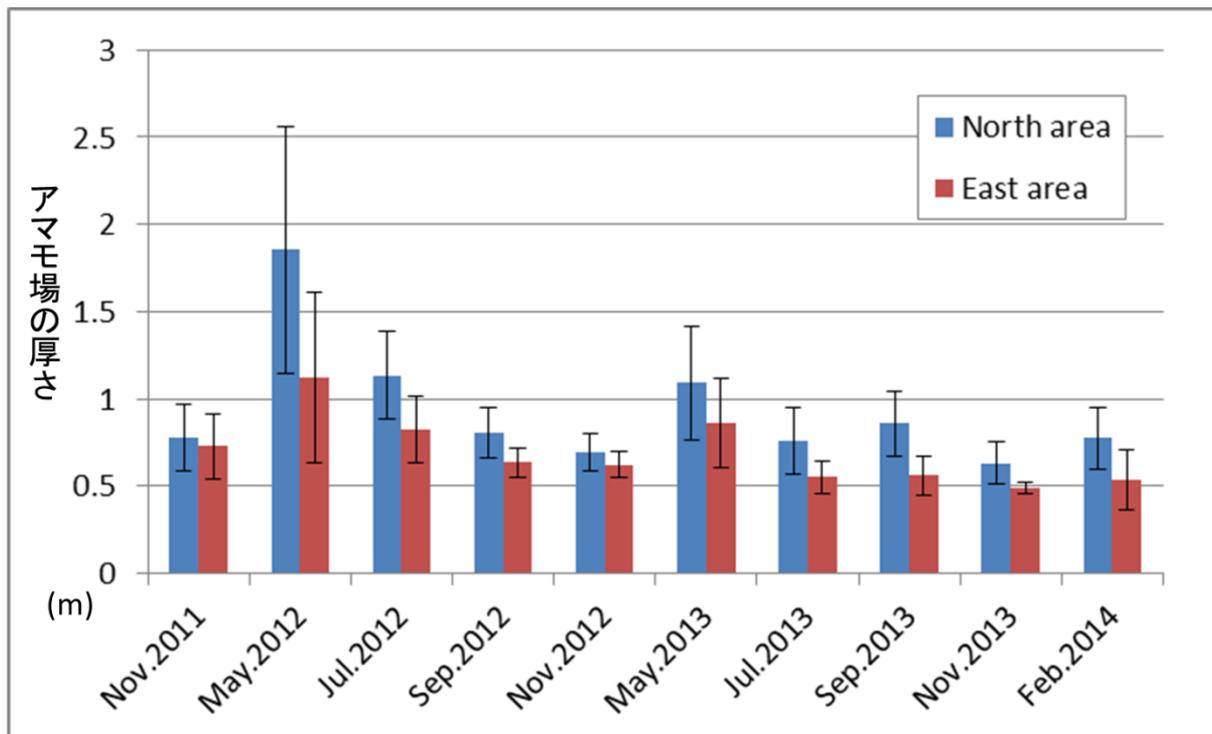
図(1)-8 音響手法により得られた能取湖のアマモ場の厚さの平均(m)。エリアごとに色分けを行っている。2012年6月のBエリアについては、音響データの破損によりNo dataとなっている。



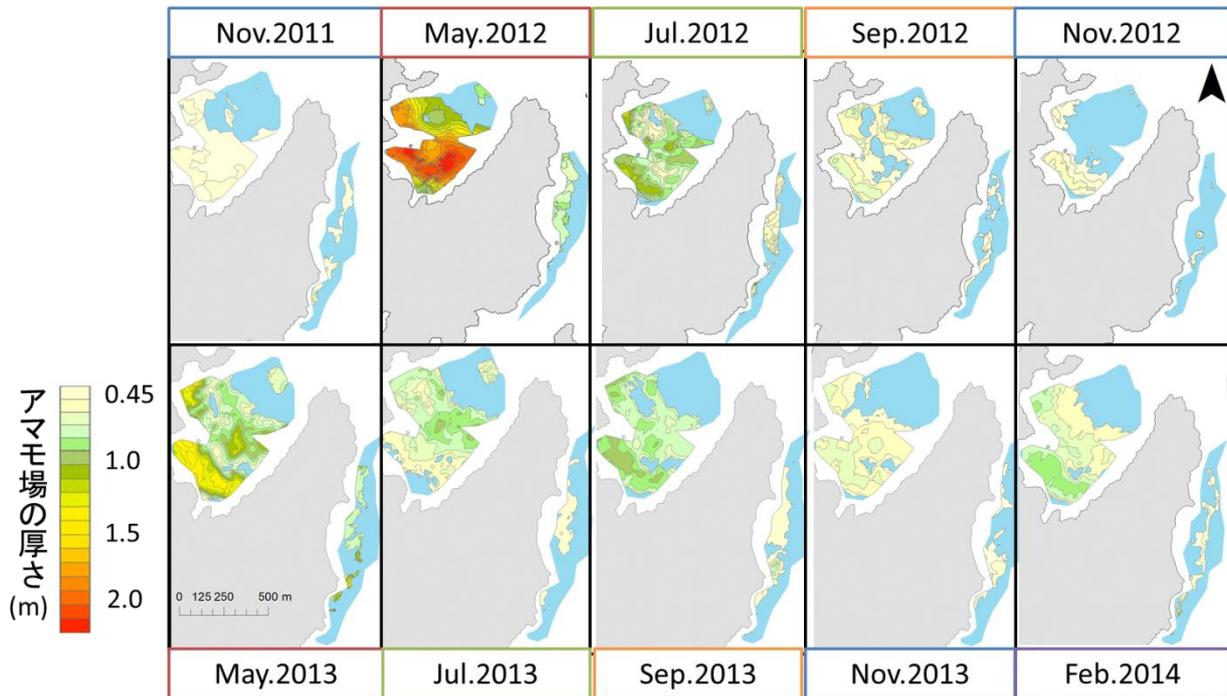
図(1)-9 能取湖における2012年6月・10月と2013年6月・10月の音響計測手法を用いた調査で得られたアマモ場の推定分布面積(km²)。色は推定されたアマモ場の厚さを示している。2012年6月のBエリアについては、音響データの破損によりNo dataとなっている。



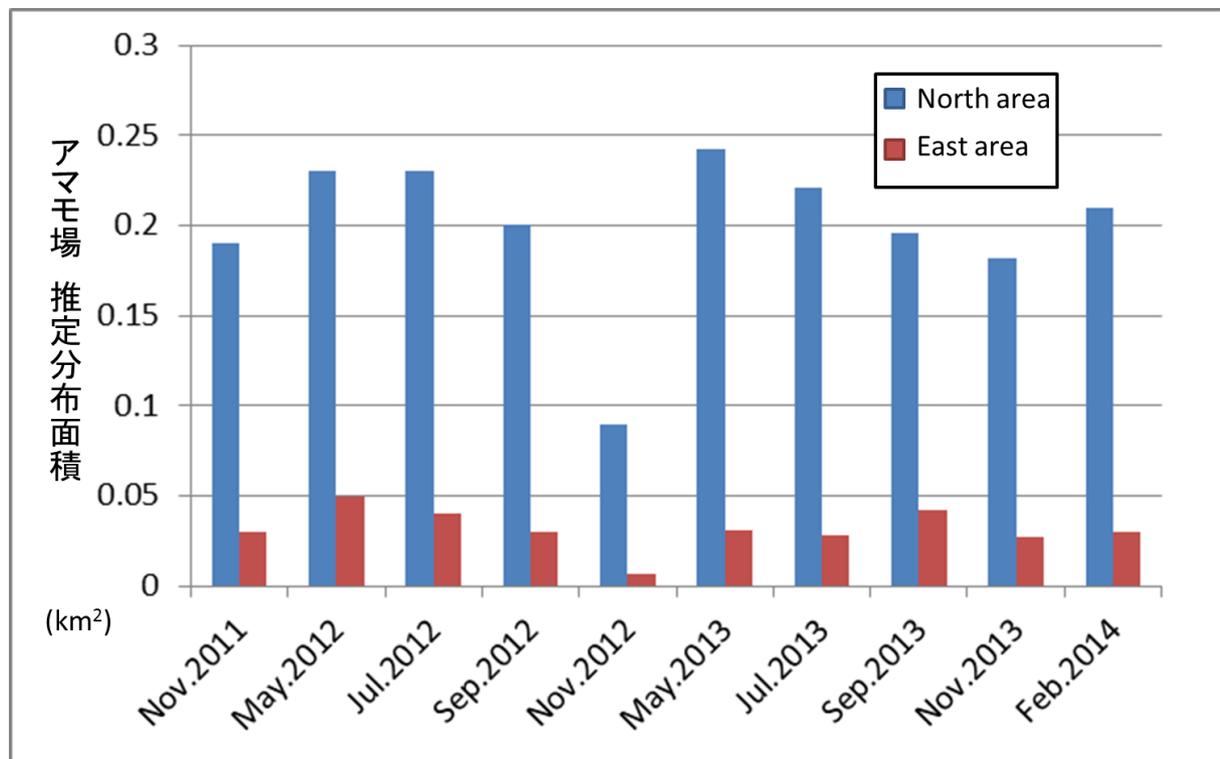
図(1)-10 能取湖におけるアマモ場の推定分布面積(km²)のグラフ。エリアごとに色分けを行っている。2012年6月のBエリアについては、音響データの破損によりNo dataとなっている。



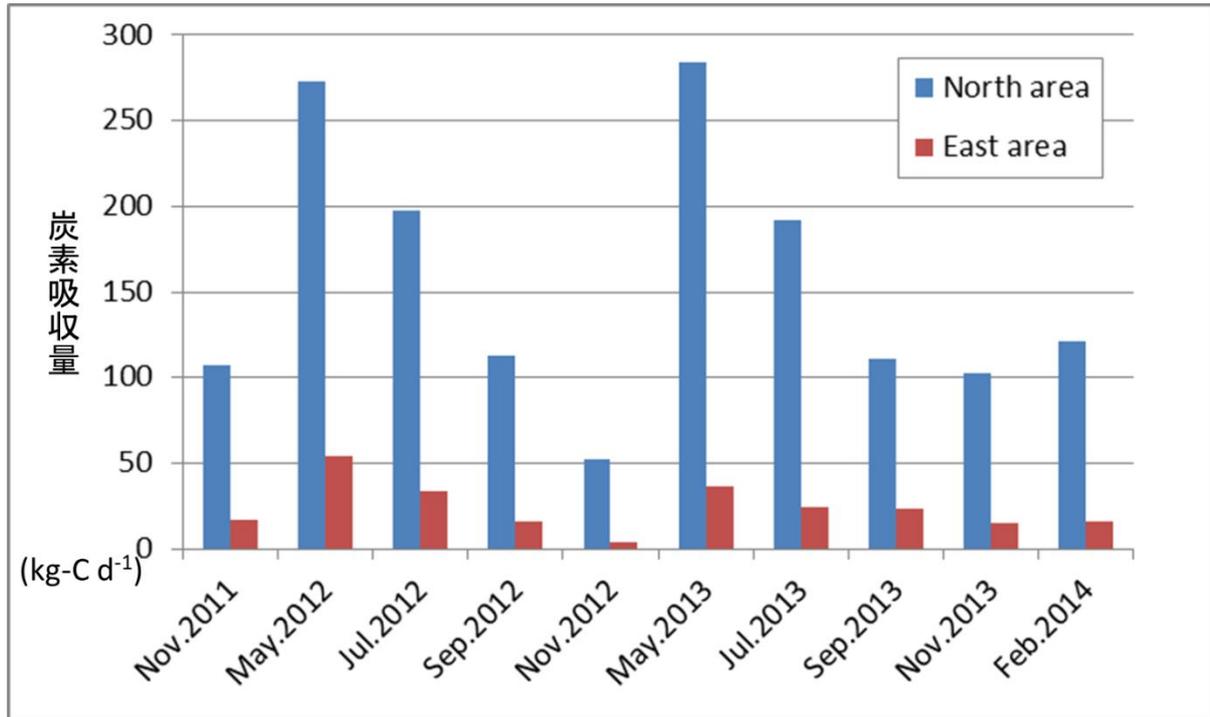
図(1)-11 音響計測手法により得られた生野島沿岸部のアマモ場の厚さの平均(m)。青色が北部海域、赤色が東部海域。エラーバーは標準偏差。



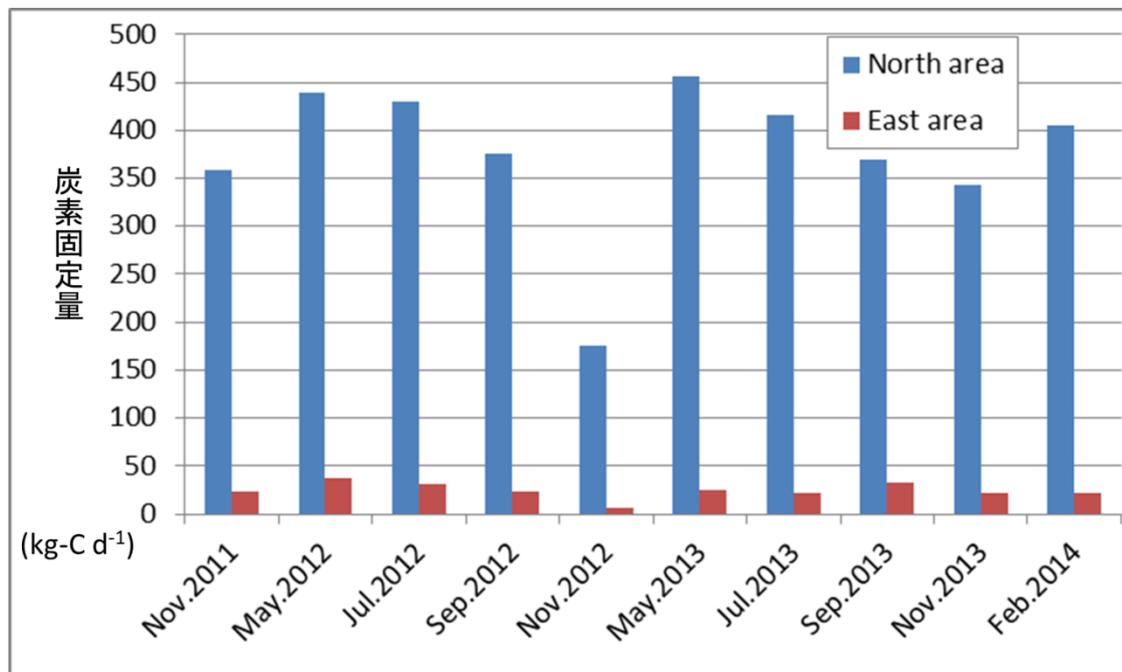
図(1)-12 生野島の北部・東部における2011年11月から2014年2月までの計10回の音響計測手法を用いた調査で得られた推定分布面積(km²)。左のカラーバーは推定されたアマモ場の厚さ(m)を示す。



図(1)-13 生野島におけるアマモ場の推定分布面積(km²)のグラフ。青色が北部海域、赤色が東部海域を示している。



図(1)-14 生野島におけるアマモ場の1日当たりの炭素吸収量(kg-C d⁻¹)。青色が北部海域、赤色が東部海域を示している。



図(1)-15 生野島におけるアマモ場の1日当たりの炭素固定量(kg-C d⁻¹)。青色は北部海域を、赤色は東部海域を示している。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

音響計測手法をアマモ場の計測に用いることで、分布域が広域にわたるアマモ場の情報を、短時間で迅速かつ簡便に取得することが可能となった。実働2日間の調査を年複数回行うことで季節変動を定量化および可視化が可能になったことは、他の藻場の計測にも応用できると考えられる。また、これまでアマモ場の生態系サービスの算出は、単位面積や乾燥重量といった小さな範囲で算出されていた。これを広域にわたる分布面積に引き伸ばし、生態系サービスのうち基盤サービスの一部である炭素吸収量と炭素固定量について全体の数値を概算することが可能となった点は非常に意義深い。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

本研究では、定量性のある音響計測機器である計量魚群探知機を用いることで、アマモ場の構造的な厚さと、推定される分布面積を明らかにした。本研究で用いた藻場の音響情報はすべて調査期間1~2日で取得したものであり、簡便で迅速に広範囲にわたってアマモ場の計測を行うことが可能である。また、本手法はアマモのみではなくコンブ類やホンダワラ類の計測にも応用が可能であり、沿岸域の生態系把握や漁期前の漁業有用種の資源量把握にも有用である。

また、能取湖においては、ホッケイシマエビ(*Pandalus latirostris*)の資源量がアマモ場の密度や分布状況に依存していると言われている²⁸⁾。本研究で使用した計量魚群探知機を用いて得られた音響情報をさらに解析することでアマモ場の密度などの詳細な情報まで推定することが可能である。得られたアマモ場の音響情報からアマモ場の分布密度や空間的な疎密の情報を可視化することで、漁期前の漁獲調査を行わずともホッケイシマエビの資源量を推定することが可能であると示唆される。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 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）>

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) 園木詩織、盛田祐加、伊藤祐介、邵花梅、福井信一、南憲吏、小路淳、安間洋樹、宮下和士：平成23年度北海道音響資源調査研究情報交換会（2012）
「音響計測手法を用いた藻場の分布推定 ～生態系サービスの定量化に向けて」
- 2) 園木詩織、盛田祐加、邵花梅、小路淳、宮下和士：平成24年度日本水産学会秋季大会（2012）
「小型計量魚探の開発③ 藻場の生態系サービスの定量化」
- 3) Shiori Sonoki, Yuka Morita, Jun Shoji and Kazushi Miyashita : PICES 2012 Annual Meeting, Hiroshima, Japan, 2012
“Monitoring seasonal variations in a seagrass bed by an acoustic method.”
- 4) Shiori Sonoki, Yuka Morita, Jun Shoji and Kazushi Miyashita : The Sixth Annual Meeting of Asian fisheries Acoustics Society, Busan, Korea, 2012
“Monitoring seasonal variations in a seagrass bed by an acoustic method.”
- 5) 園木詩織、小路淳、宮下和士：平成24年度北海道音響資源調査研究情報交換会（2013）
「音響計測手法を用いたアマモ場の季節変動の定量化と基盤サービスの試算」
- 6) 園木詩織、盛田祐加、堀正和、南憲吏、小路淳、宮下和士：平成25年度日本水産学会秋季大会（2013）
「音響計測手法を用いたアマモ場分布の季節変動の定量化」

(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）

特に記載すべき事項はない。

(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。

8. 引用文献

- 1) 大森雄司 (2000) 日本の海藻-分布と形態- 海洋と生物 131、p524-532

- 2) 橋本俊也、清水健太、吉田吾郎 (2009) 沿岸海域の低次生態系に対する藻場の役割 広島大学大学院生物圏科学研究科紀要、48、p63-68
- 3) 瀬戸内海区水産研究所 (2011) 「藻場・干潟等の炭素吸収元評価」H23年度末全体報告書, p8-22, p76-87
- 4) 上田幸男、北角至、瀬川進、天真正勝、城泰彦、福永稔、寒川友華 (2003) アオリイカの産卵場所および卵塊付着構造物の選択性 水産工学31(3), p189-194
- 5) 平井幸太郎、上村泰洋、岩本有司、盛田拓真、小路淳 (2009) 瀬戸内海中央部のガラモ場とこれに隣接する砂浜における魚類群集の定量比較 広島大学大学院生物圏科学研究科紀要,48 p1-7
- 6) Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V. O'Neill, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton and M. van den Belt. Nature 387, 253-260 (1997)
“The value of the world's ecosystem services and natural capital”
- 7) Orth et al. (2006) A Global Crisis for Seagrass Ecosystems. BioScience, 56(12):987-996
- 8) 水産庁 (2008) 平成20年度水産白書 第2節 (2)
- 9) Kamimura Y and Shoji J (2009) Seasonal Changes in the Fish Assemblage in a Mixed Vegetation Area of Seagrass and Macroalgae in the Central Seto Inland Sea. Aquaculture Sci. 57(2) p233-241
- 10) William C. Dennison and Randall S. Alberte (1982) Photosynthetic responses of *Zostera marina* L. (Eelgrass) to in situ Manipulations of Light intensity. Oecologia (Berl) 55: p137-144
- 11) 吉田吾郎、新村陽子、樽谷賢治、浜口昌巳 (2011) 海藻類の一次生産と栄養塩の関係に関するレビュー-および瀬戸内海藻場の栄養塩環境の相対評価- 水圏センター研報 第34号 p1-31
- 12) S.Marshall Adams (1976) The ecology of eelgrass, *Zostera marina* (L.), fish communities. I. Structural Analysis. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol.22, p269-291
- 13) Carlos M. Duarte (2000) Marine biodiversity and ecosystem services: an elusive sink. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol.250, P117-131
- 14) 越川義功、中村華子、田中昌宏 (2009) 後背地の影響を受けやすい干潟におけるコアマモ群落の消長・維持機構 土木学会論文集B2 (海岸工学) Vol. B2-65, No.1 p 1076-1080
- 15) 宮本 康、初田亜希子 (2007) 今日の中海における沿岸藻場の水平的・垂直的な分布構造 LAGUNA 14, p.9-16
- 16) 山北剛久、仲岡雅裕、近藤昭彦、石井光廣、庄司康雅 (2005) 東京湾富津干潟における海藻藻場の長期空間動態 Japanese Journal of Conservation Ecology 10, p129-138
- 17) T.Komatsu et al. (2002) Mapping of seagrass and seaweed beds using hydro-acoustic methods. Fisheries Science, 68:p58-583
- 18) 南憲吏、浜野明、東条斉興、中村武史、安間洋樹、宮下和志 (2012) 音響手法を用いた来留見ノ瀬周辺におけるガラモ場の分布推定 日本水産学会誌 Vol.78, No.2 p172-179
- 19) 向井徹 (2004) 魚類および動物プランクトンのターゲットストレスに関する研究 (2004) 日本水産学会誌, 70(5) p667-670
- 20) E.Ona and R.B.Mitson (1996) Acoustic sampling and signal processing near the seabed: the dead zone revisited ICES Journal of Marine Science,53 p677-690
- 21) I.Nagelkerken, G.van der Velde, M.W.Gorissen, G.J.Meijer, T.van't Hof and C.den Hartog (2000)

Importance of Mangroves, Seagrass beds and the Shallow Coral Reef as a Nursery for important Coral Reef Fishes, Using a Visual Census Technique. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 51, p31-44

- 22) 高阪宏行 (1999) クリギングとその地理的応用 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, No.34 p27-35
- 23) 正路徹也、小池克明 (2007) クリギング:誤差を考慮した空間データの補間 日本地熱学会誌, 29, p183-194
- 24) 寺脇利信、玉置仁、西村真樹 (2009) 広島湾におけるアマモ草体中の炭素および窒素総量 水産総合研究センター研究報告(4), p25-32
- 25) 玉置仁、西嶋渉、富永春江、寺脇利信、岩瀬晃盛、岡田光正 (2002) 海水の透明度変化が q アマモ場面積の消長に及ぼす影響-広島県沿岸域におけるケーススタディ- 水環境学会誌, 第25巻, 第3号 p151-156
- 26) 平岡喜代典、杉本憲司、太田誠二、寺脇利信、岡田光正 (2005) 葉上浮泥による光量低下と砂面変動がアマモ場の分布に及ぼす影響-広島湾でのケーススタディ- 水環境学会誌, Vol28, No.4 p257-261
- 27) 渡辺雅子、仲岡雅裕 (2000) 海草の分布と生産に影響を与える環境要因・生物学的要因 海洋と生物 131 vol.22, No.6:p533-541
- 28) 水島敏弘 (1985) ホッカイエビの幼生密度とアマモの密度との関係 北水試月報 42(1・2), p14-25

(2) 間接的供給サービスとしての甲殻類の群集・生産構造と時空間変動の解析

東京農業大学
生物産業学部

千葉 晋

平成23～25年度累計予算額：23,198千円

(うち、平成25年度予算額：7,000千円)

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

藻場生態系において、藻場に生息する魚類の種多様性と生産速度の規定要因としてベントスが重要であることは広く認識されている。しかしながら、その価値を定量的に示した例は少なく、供給サービスへの貢献度については漠然とした理解に留まる。本サブテーマでは、まず、市場価値のある魚種における餌生物としてのベントスの価値、すなわち「間接的供給サービス」の定量評価を第一の目的とした。次に、それらベントスの群集構造、およびその成立要因の解析を第二の目的とした。まず、アマモ場そのものの時空間的な動態、および藻場ベントス群集との因果関係を能取湖（北海道網走市）において詳細に調査した。その結果、藻場の海草種の組成、現存量は十数年レベルの長期的にも、かつ季節レベルの短期的にも大きく変動し、それらは藻場ベントスの種組成や現存量に強く影響することが推察された。次に、アマモ場内の「食う－食われる」の関係から、藻場ベントスの「間接的供給サービス」の定量評価を行った。ここでは、これまでほとんど生態的な知見の無かったアミ類、コツブムシ類、巻貝類の価値を市場価値ベースで算出し、それらを保全する意義の一端を明確にした。また、調査の空間スケールを広げ、全国12カ所において定量調査を実施し、藻場ベントス群集組成および食物網等の地域性を顕在化させた。本サブテーマの結果は、餌生物の非市場価値の一端を明確にし、保全する藻場の地域特性を理解すること、さらに保全対象とする生態系機能や藻場生物を明確に設定することが、より効果的な藻場保全に寄与することを示した。

[キーワード]

供給サービス、甲殻類、時空間変異、食物網、ベントス

1. はじめに

多くの動物がアマモ場を生息場所として利用しているが、種数およびそれぞれの現存量、すなわち種多様性が最も大きい動物分類群はベントスである。これらベントスのほとんどは体サイズが数mmから数cm程度と小さく、アマモ場に生息する多くの大型動物の餌資源として、藻場に生息する魚類の種多様性と生産速度に大きく寄与していることは古くから予測されてきた。特に、その大型動物が漁獲対象種である場合、それは少なくとも生態系サービスのうちの供給サービスをもたらすことになるが、この時、それらの大型動物が捕食するベントスは、漁獲対象種がもたらす

供給サービスに間接的に貢献していることになる。しかしながら、ベントスの重要性は広く認識されている一方で、ベントスによる供給サービスへの貢献度を定量的に示した事例はほとんどなく、アマモ場に生息するベントスによってもたらされる生態系サービスは漠然とした理解に留まり、十分に評価されているとは言えない。換言すれば、このような多数の種から構成されているベントスに対する漠然とした価値認識は、ベントスの重要性理解を定義あるいは概念に留め、それぞれのベントス種の保全動機づけに発展させることを困難にしている。したがって、市場価値、すなわち直接的な供給サービスとして明確でない餌種としてのベントスの間接的価値を、一般に分かりやすい形で示すことの意義は大きい。また、多様な藻場ベントスの生息状況はそれ自身の生活史やアマモ場の季節的消長によって長期的にも、短期的にも大きく変化すると考えられる。加えて、それらベントスはアマモ場の中で均質に生息していることも考えにくい。藻場ベントスの種数や現存量が時空間的に変動することは、それに伴って藻場の有する生態系機能も変動することを意味しており、藻場からもたらされる生態系サービスも単純ではないと言える。この複雑性や変動を理解することは、それぞれのアマモ場の保全計画の礎になると期待される。サブテーマ2では、アマモ場ベントス、特にベントスの大部分を占める甲殻類に焦点をあて、まず藻場内での「食う－食われる」の関係から間接的供給サービスの定量化を試みた。さらに、それらの群集および生産構造の時空間変動を調査した。

2. 研究開発目的

供給サービスである漁業生産を産出する魚種のベントスの依存度を定量評価することで、餌種としてのベントスの価値、すなわち「間接的供給サービス」の定量評価を第一の目的とした。また、ベントスは漁獲対象魚ばかりでなく、藻場生態系の中で魚類の種多様性と生産速度の規定要因となっていることから、その群集構造と成立要因の解析を第二の目的とした。これらの目的を達成するために、まずアマモ場の構造、さらにアマモ構造と藻場生物の現存量の関係の時空間変動を、北海道網走市の能取湖の小スケールにおいて詳細を調査した。次に、空間スケールを北海道内スケール、全国スケールと広げ、地域ごとのアマモ場のベントス群集および藻場内での「食う－食われる」の関係における空間変異を調査した。

3. 研究開発方法

研究期間を通して、北海道北見市（サロマ湖）、網走市（能取湖、網走湾沿岸、藻琴湖）、小清水町（濤沸湖）、別海町（野付湾）、根室市（風連湖、温根沼）、厚岸町（厚岸湾）、函館市（臼尻湾）、宮城県気仙沼市（舞根）、広島県竹原市（生野島）において調査を実施し、アマモ場の構造、アマモ場のベントス群集、および魚類胃内容物の全て、あるいはいずれかに関するデータを収集した。

（1）アマモ場の構造

アマモ場の構造把握に関しては、本プロジェクトの主題のひとつであり、詳細なデータを収集することで、他サブテーマによって得られたデータの正確な理解および補完となることが期待された。さらに他の地域への応用を行う上でこの構造把握は特に重要な意味を持つと考えられた。北海道の能取湖では1996年の7月に詳細なアマモ場調査が実施されていたことから（北海道開発局1997）、その調査を再現することで長期的なアマモ場の構造変化の比較も可能であった。そこで、本サブテーマにおけるアマモ場の構造理解調査は能取湖において大規模かつ詳細に実施した。



図(2)-1. 潜水によるアマモ場坪刈り.

2012年および2013年の6月および10月に能取湖全域において調査を実施し、アマモ場構造およびその季節変化を調査した。本調査では、既報告（北海道開発局 1997）を再現するために、能取湖のアマモ場に設けた4つの調査区（A、B、C、D区）のそれぞれに3から8カ所の定点を設け、潜水により50 cm × 50 cm の一定区画のアマモ類を各定点につき3回ずつ採集（坪刈り）した（図(2)-1）。採集したアマモ類の種同定および栄養株と生殖株の分類を行った後、それぞれの形態として、葉長、葉幅、葉数、花穂数、根部および枯死部の重量を測定した。

この調査に加え、短期的なスケールでの時空間変異を推察するため、2013年6月～10月の毎月1～数回の頻度で詳細な調査も実施した。ここでは、海草の集塊（以降、パッチと記す）のタイプ（半径3 m以上または半径1.0 m未満のパッチ、それぞれのパッチの中央または縁辺部）ごとに、潜水により50 cm × 50 cm または25 cm × 25 cmの一定面積の海草を採集（坪刈り）し、上記と同様に海草種ごとの形態を調べ、さらに葉端の付着藻類量を計測した。

（2）アマモ場のベントス群集

アマモ場内に生息するベントスのうち、小型甲殻類が占める割合は特に多く、また種多様性も高いことから、小型甲殻類群集の採集を主目的に、全ての調査地においてデータ収集を行った（表(2)-1）。調査はベントスの生活史が停滞しやすいと考えられる冬から早春の低水温期に実施し、北太平洋標準プランクトンネット（口径45 cm、側長180 cm、目合い0.33 mm）を用いた調査では、ネットの開口部の1カ所におもり（1 kg × 2）を装着し、毎秒約1 mの速度で藻場の底層を20 m曳網した。なお、この採集は各調査地で4回ずつ行い繰り返しとした。

魚類および大型ベントスの採集を主目的とした曳網による調査に関しては、調査地や時期に

よって使用できる漁具が異なっていたため、採集漁具の大きさは統一されていないが、目合 3 ～ 30 mmのものを使用した。

表(2)-1. 各調査地におけるベントスの採集方法.

調査地	プランクトンネット	地曳網	被せ網
サロマ湖	●		
能取湖	●	●	●
網走湾沿岸	●		
藻琴湖	●		
濤沸湖	●		
野付湾	●	●	
風連湖	●		
温根沼	●		
厚岸湾	●		
臼尻	●		
九九鳴浜	●		
生野島	●	●	

能取湖においては、これらの採集方法に加えて上記アマモ場構造および他のサブテーマとの包括的な分析の効果を勘案し、被せ網（80×80×高さ80 cm、目合1 mm）による採集も実施した（図(2)-2）。この調査では、目合い1 mmのタモ網を使用し、被せ網内の全ての動物を採集した。

これらの方法で採集した動物はホルマリンまたはエタノールで固定するか、冷凍保存により標本とし、観察に用いた。小型甲殻類等の藻場生物に関しては、目視観察に加えて、顕微鏡下で解剖することにより種同定を行った。しかしながら、端脚目、等脚目、十脚目に属するいくつかの生物では、分類体系が確立していないこともあり、種小名まで同定できない生物も存在した。この場合は、科または属レベルを分類単位として取り扱うことで対応し、本報告では類という単位（コツブムシ類等）で表記した。採集した甲殻類に関しては、個体数を計数後、60℃で24時間以上乾燥させ、分類群ごとの乾燥重量を測定した。



図(2)-2. 被せ網による採集.

(3) 魚類胃内容物

野付湾、生野島において主に地曳網で採集されたそれぞれ240個体、242個体魚類の胃内容物を観察した。なお、能取湖でも同様に採集を行ったが、解析には本研究期間中に観察した120個体に加え、千葉・河村（2011）で観察された2007年から2010年までの277個体のデータを含めた。採集した魚類は、魚種を特定した後で、標準体長および湿重量を測定した。次に、胃を摘出し、胃重量を測定した後で解剖し、胃内から出現した生物の同定を行った。消化が進行し、生物の同定が困難だった場合は、不明物として取り扱った。それぞれの藻場生物に対する各魚種の依存度を推定するために、それぞれの個体の胃から出現した生物の種あるいは分類群ごとの湿重量を測定し、胃内容物におけるそれぞれの重量当たりの占有率を求めた。この占有率と捕食率の積をその生物に対する依存度とし、各調査地における「食う－食われる」の関係（食物網）を明らかにした。なお、胃内容物として出現した動物の餌生物に関しては、文検等の既報告知見を参照にして推定した。

（４）間接的供給サービス

魚類胃内容物調査によって推定された能取湖における食物網を元にしてアマモ場ベントスの間接的な供給サービスを求めた。この計算にあたって、まず、能取湖の全ての漁業生産を管理する西網走漁業協同組合が保有していた2002年から2012年までの11年間の全ての出荷伝票を整理し、その中からアマモ場で漁獲された漁獲対象魚種の漁業生産額を計算した。次に、上記胃内容物調査で観察計算されたそれぞれの藻場ベントスに対する各漁獲対象魚種の依存度から、以下の式を用いて、間接的供給サービスを算出した。

$$P_i = \sum f_j (Y_{fish_j}^{direct}) + \sum g_j (Y_{fish_j}^{indirect}) \quad (1)$$

ここで、第1項はベントス*i*を直接捕食している割合から算出される有用魚類*j*の漁獲生産量を意味する。また、有用魚類*j*の餌生物がベントス*i*を捕食している場合もある。そこで第2項は、その割合を考慮した有用魚類*j*の漁獲生産量の推算式を意味している。なお、第1項および第2項のそれぞれの値は以下の式から計算した。

$$f_j (Y_{fish_j}^{direct}) = Y_j \times C_j \times D_{ja} \quad (2)$$

$$g_j (Y_{fish_j}^{indirect}) = Y_j \times C_j \times D_{jk} \times C_k \times D_{ka} \quad (3)$$

ここで Y_j は魚類*j*の漁業生産額であり、(2)式の C_j は魚類*j*の捕食率を、 D_{ja} は魚類*j*の捕食重量の中に占める計算対象となるベントス*i*の重量の割合(*a*)を示している。また、(3)式の D_{jk} は魚類*j*の捕食重量の中に占める魚類*k*の重量の割合とした。この魚類*k*がベントス*i*を捕食している場合、 C_k を魚類*k*の捕食率、 D_{ka} を魚類*k*の捕食重量の中に占めるベントス*i*の重量の割合とし、それぞれを(3)式に含めて計算した。

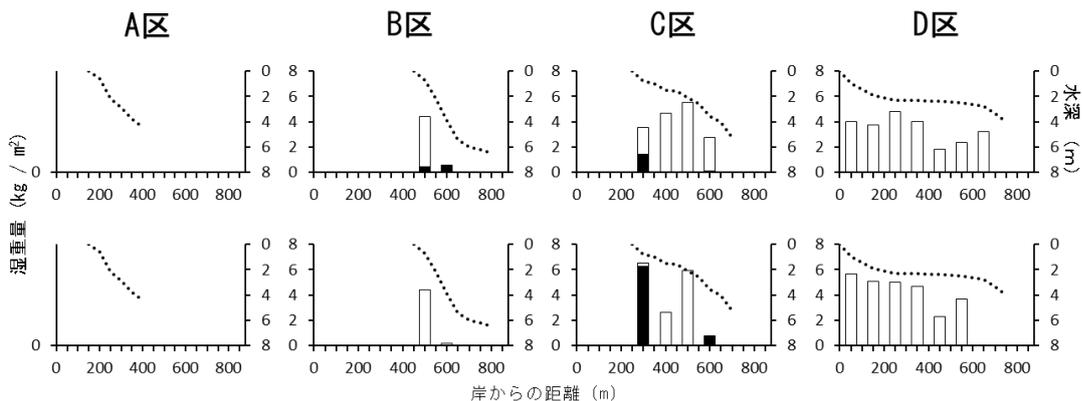
4. 結果及び考察



図(2)-3. アマモ（左）とスゲアマモ。

(1) 能取湖におけるアマモ場の構造とベントス群集

アマモ場の構造とベントス群集の関係に関しては、他サブテーマとの連携効果を勘案し、北海道網走市の能取湖において特に詳細な調査および解析を実施した。能取湖を大きくA～Dの4区画に分け、アマモ場を構成する海草種の現存量を調べた結果、明確な地点間変異が見いだされた。例えば、2012年のA区では6月および10月のいずれの調査でも海草は全く観察されず、B区およびC区では、調査期間を通してアマモ *Zostera marina* およびスゲアマモ *Z. caespitosa* の2種が生息していた（図(2)-3）。ただし、両種の割合には大きな差があり、スゲアマモが占める割合が圧倒的に高く、D区における6月の調査ではアマモは観察されなかった（図(2)-4）。また、B区の花の水平



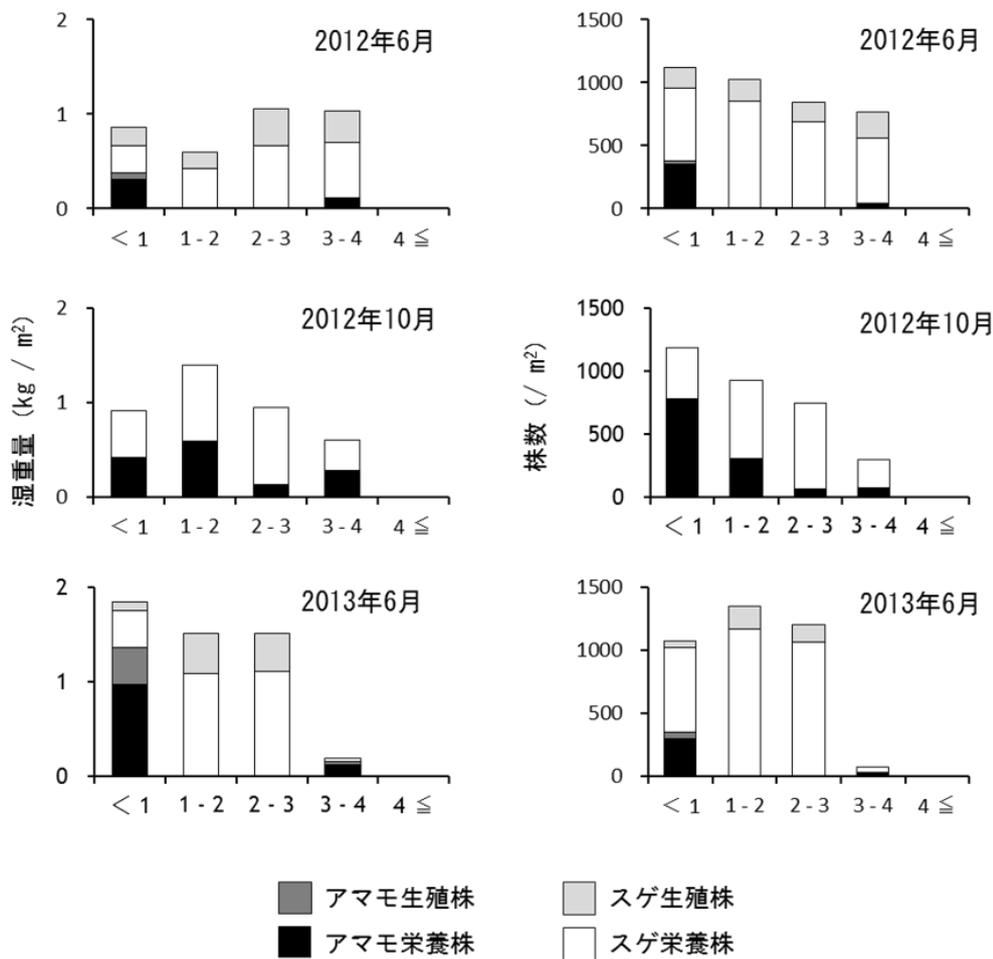
図(2)-4. 能取湖での坪刈り調査によるアマモ類の現存量。

アルファベットは調査区を、点線は水深を示している。また上段は2012年6月の調査結果を、下段は2013年6月の調査結果を示している。

方向の生息範囲は顕著に狭く、C区、D区と徐々に広がっていた。これらの結果は、能取湖内のアマモ場の現存量は地点間大きく変異すること、さらに能取湖のアマモ場は主にスゲアマモで構成されていることを示している。この傾向は継続調査を行った2013年でも変わらなかった（図(2)-4）。本調査の結果を1996年の7月に同じ手法で調査された結果（北海道開発局 1997）と比較すると、2012年および2013年の調査では海草の生息が確認されなかったA区では、1996年には海草は多数生息しており、さらにB区およびC区では今回の調査より多くのアマモが生息していた。この比較結果は、海草藻場の面積および種組成が17年間で大きく変化することを意味する。

2012年および2013年の連続する年間で同じ調査を実施した結果、1996年との長期比較で見られたほどの大きな変化は見られなかった。しかし、夏季（6月）から秋季（10月）、さらに翌夏季（6月）の間にアマモ場の構造や種組成に変化が見られた。例えば、2012年の夏季に水深の広い範囲

に加入したアマモは、2013年の6月までには生残していなかった（図(2)-5）。この結果は、アマモ場を構成する種組成、およびその現存量は季節的に大きく変化することを意味している。アマモ場の構造を季節的に比較すると、アマモ、スゲアマモともに現存量は10月よりも6月で多く、生殖株（主に種子生産を行う葉体）は6月に見られ、アマモの全株の約20%、スゲアマモの全株の約6%を占めていた。一方、10月の調査では、アマモ場は両種とも栄養株（主にエネルギーを生産する葉体）のみで構成されていた。このことから、能取湖のアマモ類は初夏に繁殖し、その後、生殖株の全てと栄養株の一部が枯死、流出すると考えられる。

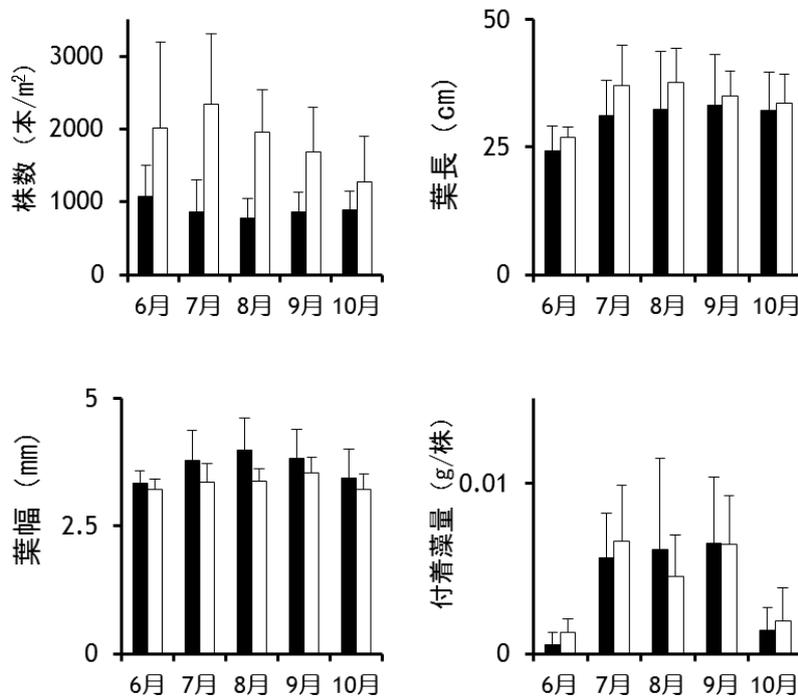


図(2)-5. 水深ごとのアマモ類の現存量.

アマモ場を形成する種組成が季節的に大きく変化することが明確となったため、2013年にはアマモとスゲアマモの形態およびその季節変化を1ヵ月間隔で詳細に調べた。その結果、両種の形態における種間差が明確となった。例えば、同一水深の場合、調査期間中はアマモとスゲアマモの株密度に関してはスゲアマモの方がアマモよりも2倍以上高く、また葉長も長かったが、一方で葉幅はアマモの方が広がった（図(2)-6）。さらに季節変化にも種間差が見られ、特に株密度はスゲ

アマモの方で季節消長が顕著であった（図(2)-6）。株あたりの付着藻量には顕著な種間差はなかったものの、株密度はスゲアマモの方が多いため、単位面積あたりの付着藻量にはスゲアマモ上の付着珪藻の方が多くなり、海草種間で大きな差があることを意味している。スゲアマモではアマモのように地下茎は発達せず、スゲアマモの方がより点在した小パッチ集塊を形成する傾向にあった。

能取湖におけるこれらの調査結果は、アマモ場の構造は長期的にも短期的に大きく変化するものであることを意味している。さらに本調査によって海草の種構成はアマモ場の構造全体に関係することが明確になり、藻場構造の変化には構成される海草種の組成変化を伴っている可能性があることを示唆している。アマモ場の保全や管理において、藻場を構成する種に注目した例は極めて少ないが、本調査結果は、海草の種レベルも含めて検討する価値が高いことを示している。



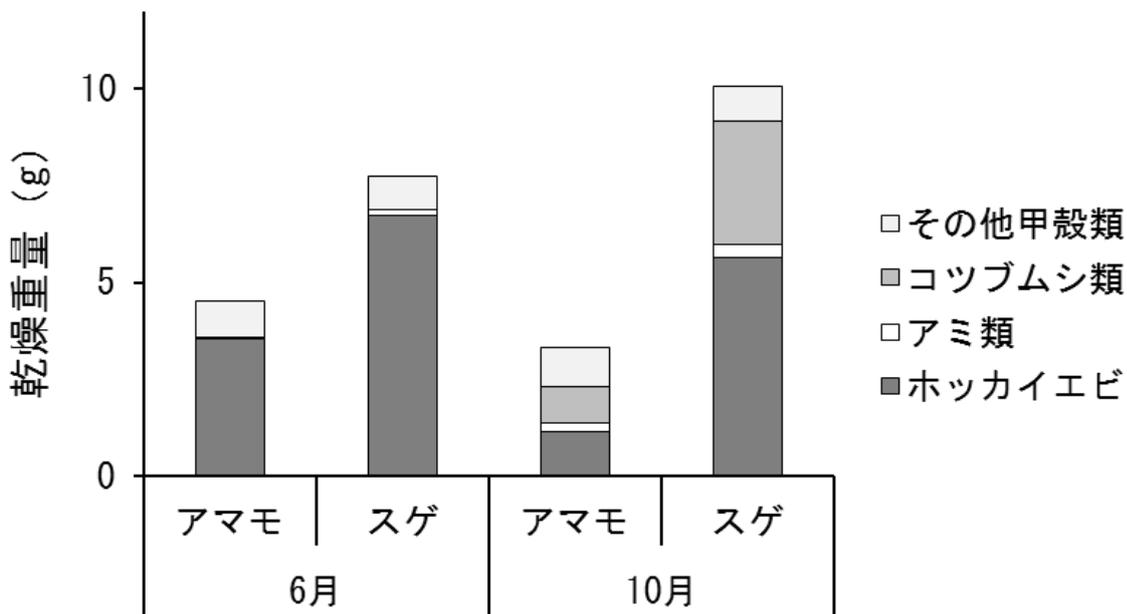
図(2)-6. アマモ類の形態とその季節変化。
黒はアマモを、白はスゲアマモを表している。

(2) 能取湖のアマモ場の甲殻類群集

能取湖のアマモ場で採集された甲殻類は、乾燥重量で比較すると6月調査のアマモで87%を、スゲアマモで97%を占め、10月調査の結果ではアマモで40%を、スゲアマモで99%を占めていた。10月調査のアマモで甲殻類有占率が低くなった原因は、アマモにおいて15回繰り返した採集のうち、1回の採集で大きな魚類が1個体採集されたことに起因する。この魚類1個体のデータを例外として計算から除すと、10月調査のアマモで甲殻類が占める割合は87%となる。なお、ベントスにおけるそれぞれの動物の占有率を個体数から計算すると、いずれの比較においても99%が甲殻類と

なる。したがって、能取湖のアマモ場に生息する主たるベントスは甲殻類だと言える。

採集された甲殻類では、エビ類、アミ類、コツブムシ類、ヨコエビ類の割合が顕著に多かった。それぞれの割合を乾燥重量で比較するとエビ類がアマモ、スゲアマモどちらにおいても6月では約99%を、10月では約65%を占めていた。エビ類のうち、最も優占していたのはホッカイエビ *Pandalus latirostris* であった。次いで多いのは、ニホンコツブムシ属 *Cymodoce* を主とするコツブムシ類や、ほぼ全て (99%以上) がエゾイサザアミ *Neomysis mirabilis* で構成されるアミ類であった (図(2)-7)。なお、個体あたり重量が軽いため乾燥重量による占有率が低いものの、個体数で割合を比較するとアミ類が占める割合が最も多くなり、6月調査のアマモでは11%を、スゲアマモでは31%を占めており、10月調査のそれぞれでは51%、38%を占めていた。



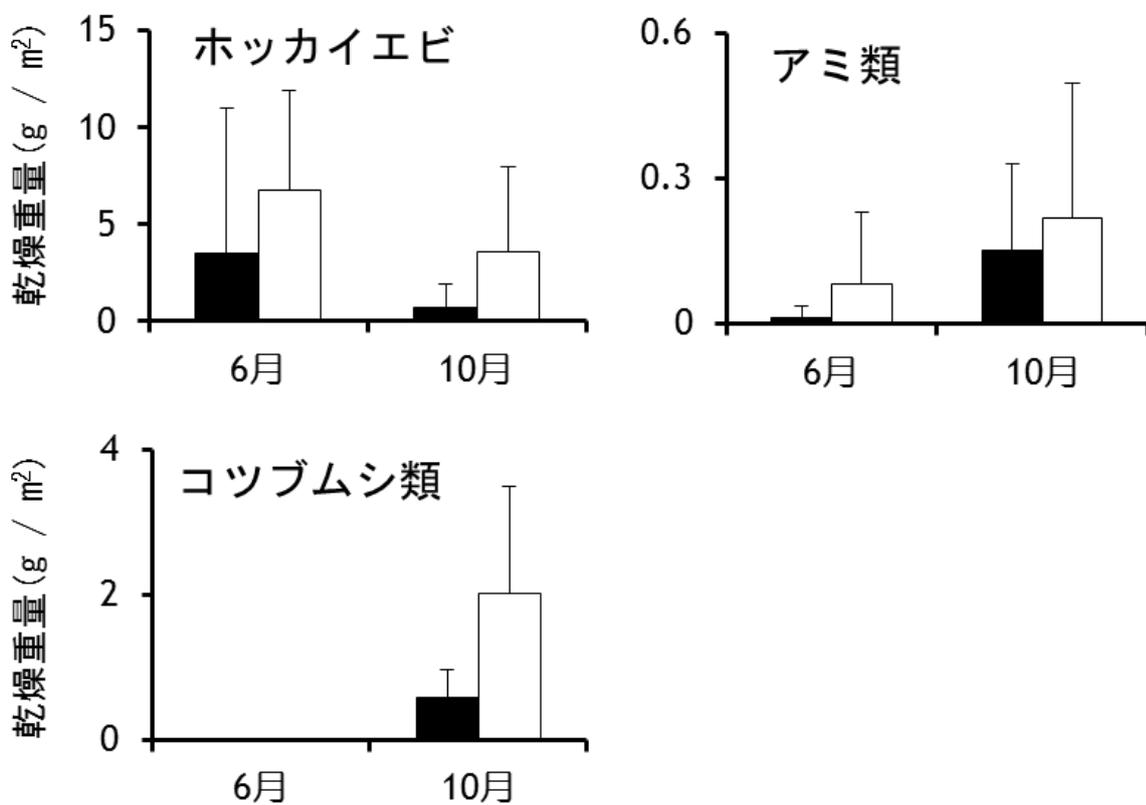
図(2)-7. 被せ網で採集された甲殻類の組成.

海草種ごとに甲殻類群集の現存量 (乾燥重量) を比較すると、季節に関わらず、スゲアマモにおける現存量の方が、アマモにおける現存量よりも高かった (図(2)-7)。しかしながら、代表的な動物の現存量とアマモ場を構成する海草種の間を調べた結果、動物種ごと、あるいは季節ごとに藻場の利用様式に差異が見られた。例えば、ホッカイエビの現存量は6月ではアマモとスゲアマモの間で差はないものの、10月ではスゲアマモで多くなっていた (図(2)-8)。アミ類は6月のスゲアマモで、コツブムシ類は10月のスゲアマモで顕著に多くなっていた (図(2)-8)。また、それぞれの海草種内でも、海草のパッチの大きさ (大パッチは半径3 m以上、小パッチは半径1.0 m未満) によってベントス現存量に変異が見られ、さらには大パッチの中央であるか、縁辺部であるかによっても大きな変異が見られた。例えば、優占種の1種であるホッカイエビの場合、大パッチの縁辺部や小パッチ内において多く生息する傾向が見られた (図(2)-9)。この傾向は他の甲殻類でも調査したが、比較対象とするベントス種それぞれによって海草タイプの利用様式が異なっ

ていた。これらの結果の成因までは本調査では明らかにすることはできなかったものの、それぞれの藻場動物の発達段階や生理状態とアマモ場の構造の種間差が関係していることが推察される。少なくとも、何らかの藻場生物を保全あるいは管理する場合は、その対象種によって藻場の保全あるいは管理する手法もまた変わりうることを、これらの結果は示している。

(3) 能取湖における藻場の食物網

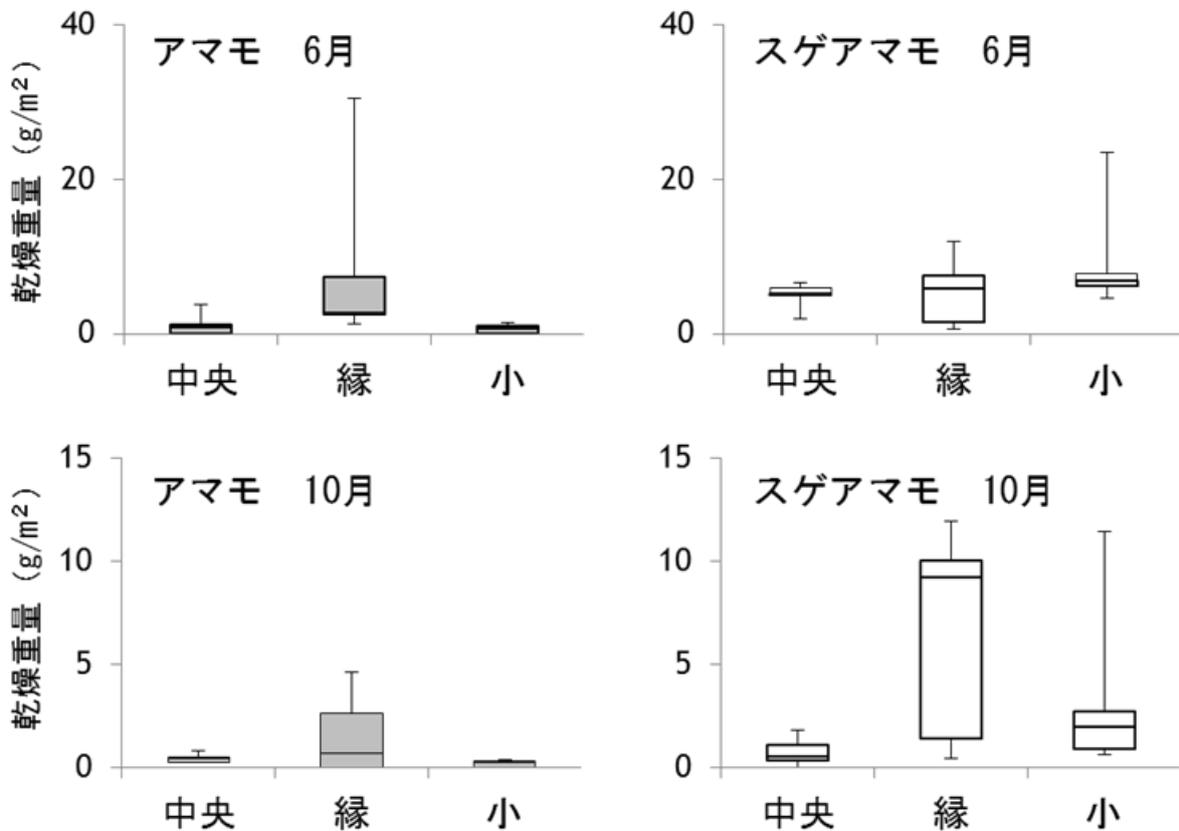
能取湖において地曳網で採集された魚類の胃内容物からベントス種、あるいは分類群を調べ、「食うー食われる」の関係から、能取湖のアマモ場における食物網を推定した(図(2)-10)。能取



図(2)-8. 主な甲殻類ごとの現存量.

黒はアマモ, 白はスゲアマモにおける値を示している. 各バーから伸びる垂直線は標準偏差を表している.

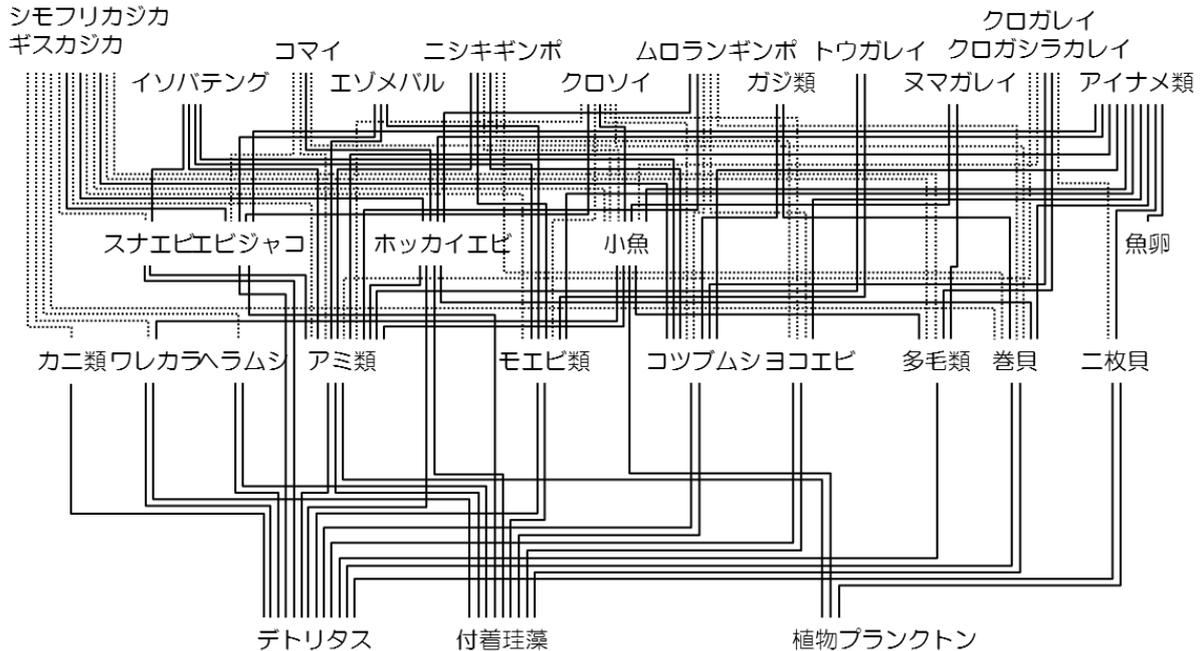
湖のアマモ場に生息する主な魚種は14種であった。



図(2)-9. 海草のタイプごとのホッカイエビ現存量.

グレーはアマモ、白はスゲアマモにおける現存量を示している。各ボックスの下端はデータ分布の第1四分位数(25%)を、上端は第3四分位数(75%)を、内部の線は中央値(50%)を示している。各バーから垂直線の下端は最小値を、上端は最大値を示している。

能取湖では多くの魚種が5種(分類群)以上の動物を捕食していた。アミ類、コツブムシ類、エビ類、巻貝類を捕食している魚種が顕著に多く、これらのベントスは能取湖における主要な餌生物であると考えられた。特に、観察した全ての魚種がアミ類を捕食しており、高い漁業生産額を生み出すホッカイエビを含むいくつかの比較的大型の甲殻類もまたアミ類を主要な餌としていた。能取湖で採集されたアミ類の99%以上はエゾイサザアミであるが、餌生物としての重要性は経験的に認識されてきたものの、ほとんど調査対象とされてこなかった動物の一種である。本調査によって能取湖のアマモ場の食物網において、エゾイサザアミの存在は極めて重要であることが明確になったと言える。



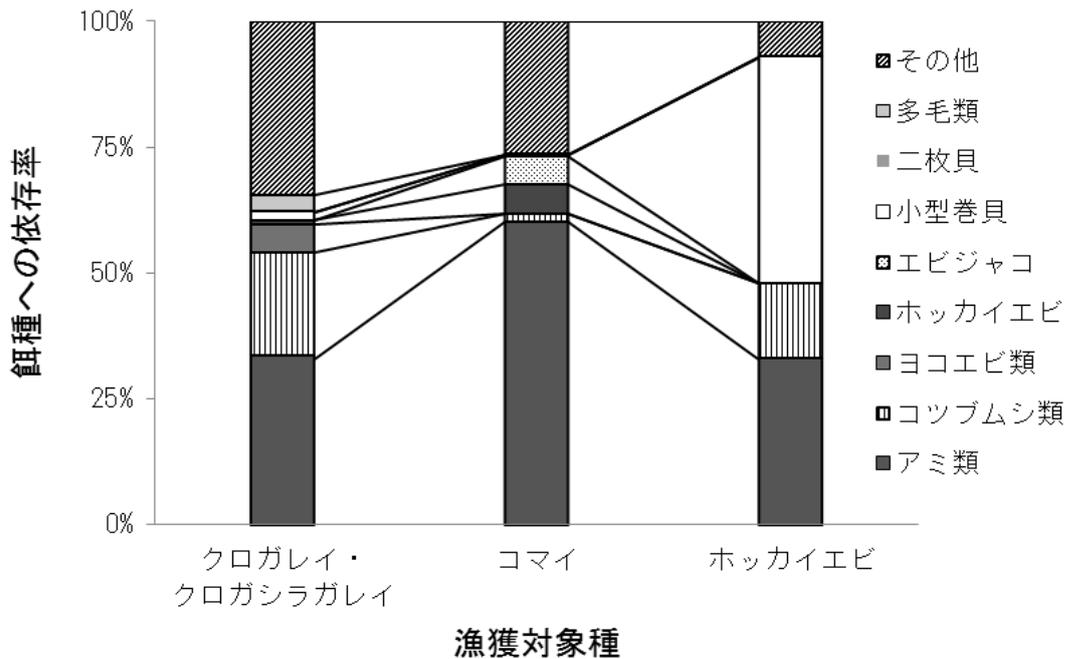
図(2)-10. 能取湖のアマモ場の食物網.

胃内容物としての出現頻度が10%以上を実線で、10%未満を点線で示した。

(4) 能取湖における間接的供給サービスの定量化

能取湖における「食う－食われる」の因果関係（図(2)-10）から、主要ベントスによる間接的な供給サービスを算出した。2002年から2012年までの11年間において、能取湖の全ての漁業生産を管轄する西網走漁業協同組合に保管されていた出荷伝票データを元に、アマモ場で漁獲された全ての魚種の平均年生産額を整理した（表(2)-2）。その結果、魚類ではクロガレイ *Pleuronectes obscurus* およびクロガシラガレイ *Pleuronectes schrenki* から成るカレイ類の生産額は年平均で約14,472千円であり、コマイ *Eleginus gracilis* では約1,695千円であった。また、ホッコイエビは魚類に捕食されるベントスであるが、本種自体もアマモ場の重要な漁獲対象種であり、その年平均生産額は魚類生産額の合計の3倍を超える約57,291千円であった。これらの他にも漁獲されている魚種は数種存在したが、必ずしもアマモ場内で定住的に生活していないこと、あるいは計算根拠とした出荷伝票では正確に魚種名が記録されていない可能性があったこと等の理由から、ここではそれらを計算対象には含めなかった。3魚種の漁業生産額対象に、「3. 研究開発方法」で示した式に基づいて、それぞれの餌となるベントス（餌種）の間接的供給サービス (P_i) を推定した。まず、各漁獲対象種の胃内で観察された餌種の出現頻度から、それぞれの魚類ごとに、それぞれの餌種に対する依存度を推定した（図(2)-11）。この依存度と表(2)-2の漁業生産額から、それぞれの餌種がもたらす供給サービスを算出し、表(2)-3にまとめた。その結果、まずアミ類の間接的供給サービスは24,808千円と計算された。アミ類としてまとめた種のうち、その99%はエゾイサザアミであったことから、このアミ類の P_i 値はエゾイサザアミの値と考えてほぼ良い。アミ類の値の高さは、高い漁業生産を生むホッコイエビの主要な餌であること主に起因している。また、ホッコイエビの生産

額の影響程は大きくないものの、アミ類はクロガレイ・クロガシラガレイのカレイ類およびコマイのいずれにも捕食されており、能取湖の藻場生態系において極めて重要な1種であると考えられる。また、コツブムシ類の P_i 値は11、563千円と計算された。コツブムシ類はクロガレイ・クロガシラガレイの胃内容物に占める割合が顕著に高かったが、これらもまたコマイ、ホッケイエビにも捕食されており、重要な餌種と言える。餌種としてのホッケイエビに関しては捕食者である魚類の生産に寄与していた額は218千円であり、ホッケイエビのみの生産額より遥かに少なかった。



図(2)-11. 主要漁獲対象種における餌種ベントスへの依存率。

表(2)-2. 能取湖における主要漁獲対象種の生産額。

魚種	平均年生産額 (円)
クロガレイ・クロガシラガレイ	14,471,899
コマイ	1,694,670
ホッケイエビ	57,291,109
合計	73,457,678

この計算結果は、アマモ場における主要ベントスのうち、市場価値のないアミ類、コツブムシ

類が間接的に漁業生産に大きく貢献していることを明示したものである。「食う－食われる」の関係は時間や種組成の変化によって、あるいは市場価値の変化によって、この間接的な供給サービスとしての金額は大きく変わりうる。さらに、今回の計算では依存度を捕食者の異内容物における餌ベントス種の重量率から求めているため、他の基準（例えば、エネルギーの同化量等）を用いて計算した場合は、ベントスに対する依存度は変わる可能性が高い。したがって、この間接的な供給サービスの計算では「食う－食われる」の関係を単純化しており、それぞれのベントス種の絶対的な価値を示していることにはならない。また、ここで計算対象としなかった市場価値のない魚類も、藻場動物群集の動態に強い影響を与えており、それらは基盤サービスや調整サービスといった価値を有しているはずであるが、ここではその価値を評価に含めていない。ここでの計算値が意味することは、これまで重要視されて来なかった動物に間接的な供給サービスという視点を持つことで、その価値の一端を明確にできるということである。アミ類やコツブムシ類等の小型ベントスがもたらす生態系機能については、基礎生態学的には重視されてきたことは間違いなが、一方で、それらの重要性が一般的に認知されてきたとは言えないだろう。それぞれの漁業資源の管理においてさえも、微小ベントスの重要性については餌の一部として漠然と認識されて来たにすぎない。本サブテーマでの微小ベントスの間接的な供給サービスの値は、餌種としての価値をあえて市場価値ベースで推算することにより、漁獲対象動物の価値における相対的な価値の理解に寄与することが期待でき、微小ベントスを保全する意義を明確にしたと言える。

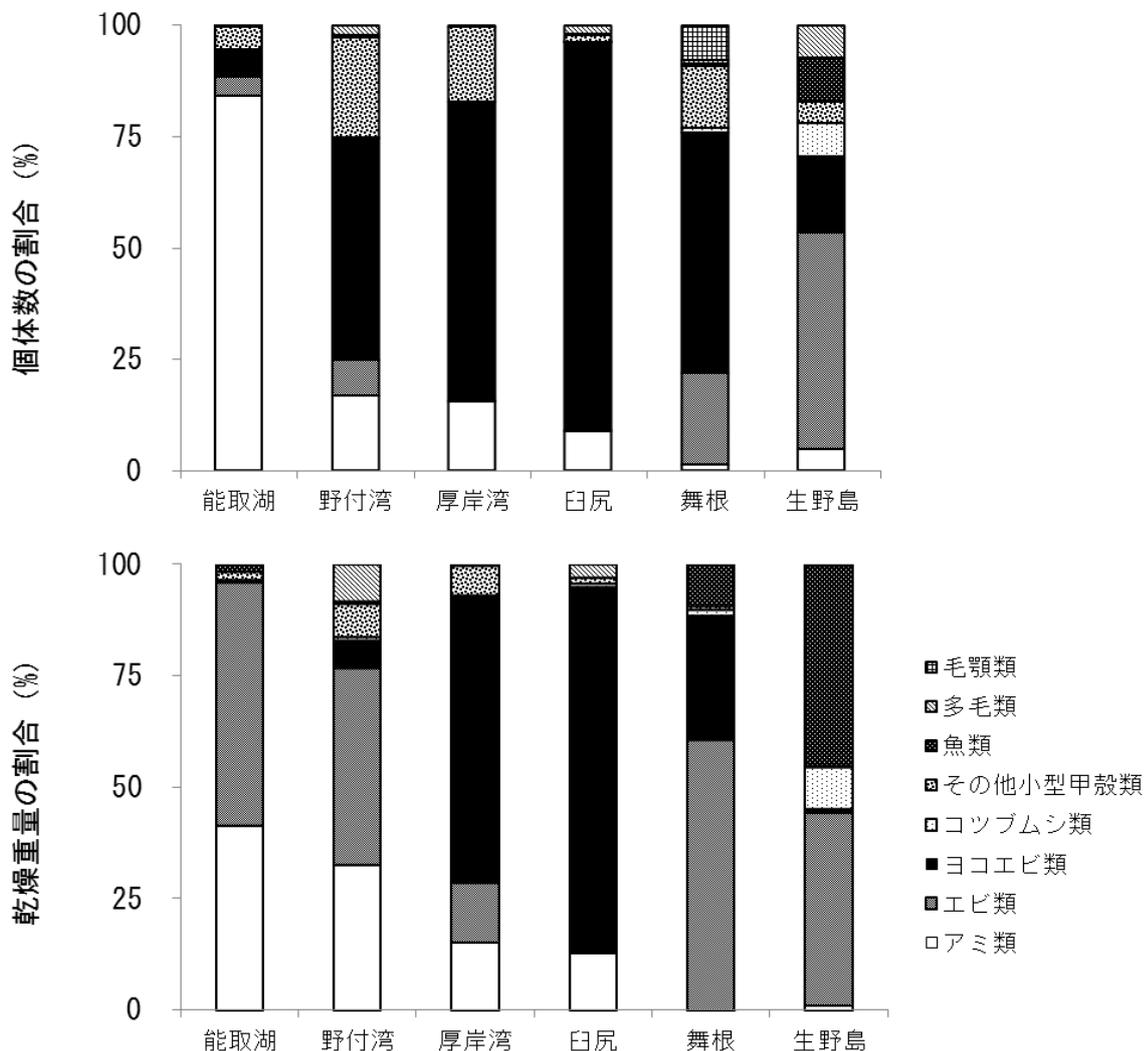
表(2)－3. 能取湖のアマモ場におけるベントスの間接的な供給サービス.

魚種	P_i (円)
アミ類	24,808,483
コツブムシ類	11,562,891
ホッカイエビ	218,472
巻貝	26,023,111

(5) 他の調査地におけるアマモ場の甲殻類群集

コアサイトを含む各地のアマモ場において、北太平洋標準プランクトンネットを用いてベントスを採集した。この調査は、北海道北見市（サロマ湖）、網走市（能取湖、網走湾沿岸、藻琴湖）、小清水町（濤沸湖）、別海町（野付湾）、根室市（風連湖、温根沼）、厚岸町（厚岸湾）、函館

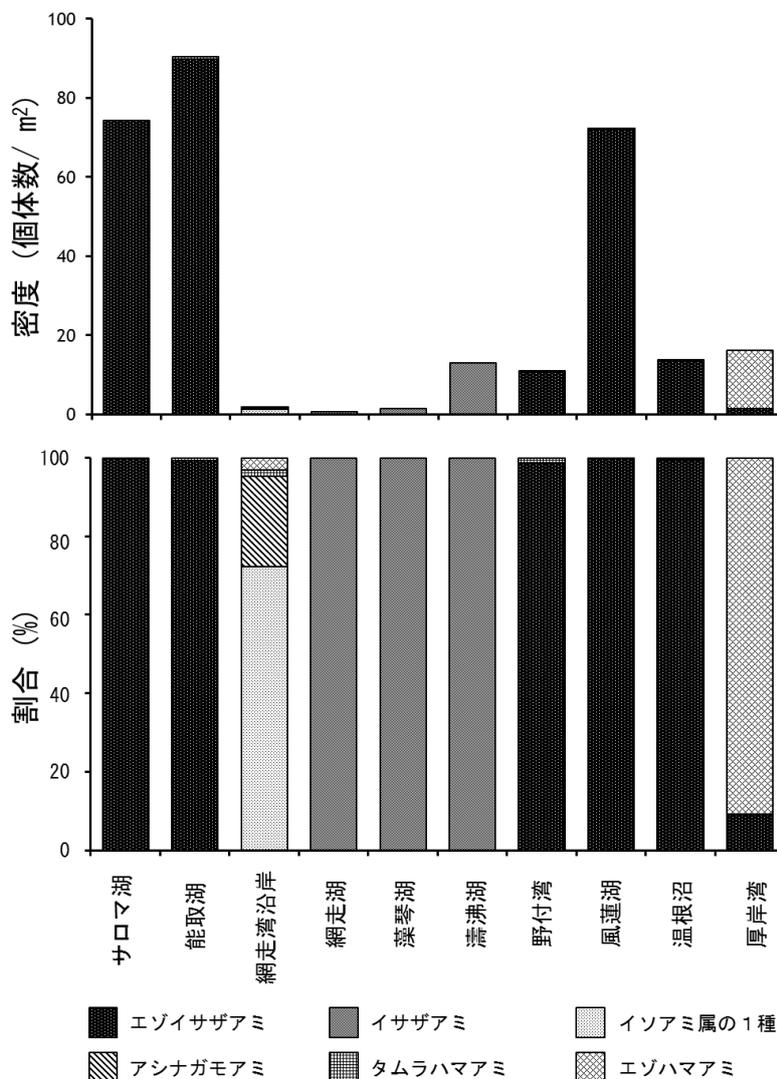
市（白尻湾）、宮城県気仙沼市（舞根）、広島県竹原市（生野島）で実施した。このうち、図(2)-12では能取湖、野付湾、厚岸湾、白尻、舞根、生野島のアマモ場における結果を示した。北海道の調査地ではアミ類の占める割合多いことがひとつの特徴であるが、その他の明確な傾向は見いだされなかった。調査はベントスの生活史が停滞しやすいと考えられる冬から早春の低水温期に実施しているため、短期間での種組成、現存量変化は乏しく、データの差は概ね地域差を表していると考えられる。ただし、調査地の地理的位置関係に加え、それぞれのアマモ場が形成されている海域の閉鎖性や波あたり、海草種組成、密度など様々な要因が藻場ベントス群集に関係していると考えられる。したがって、今回観察された地域差はそれぞれの地域で構築されている生態系の差異に影響すると考えることが妥当である。



図(2)-12. 調査地ごとのベントス組成.

藻場ベントスの多様性にみられる変異の地理的スケールを把握するために、ほぼ同緯度レベルで

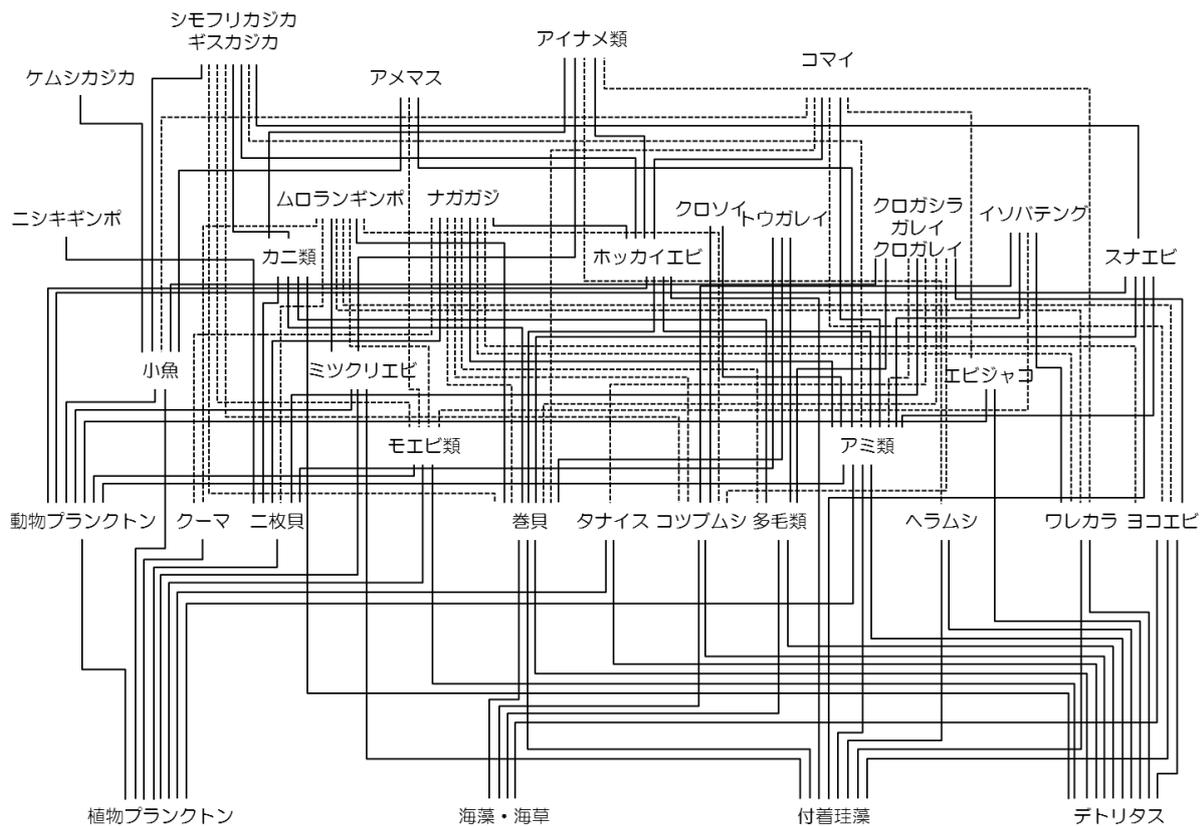
ある北海道東部において、より詳細に比較検討した。図(2)-13では、北海道東部のオホーツク海沿岸から太平洋沿岸にかけての7つの海跡湖沼（サロマ湖、能取湖、網走湖、藻琴湖、濤沸湖、風蓮湖、温根沼）と2つの内湾（野付湾、厚岸湾）の藻場において採集されたアミ類の種組成を示した。なお、ここで示した藻場には、アマモ、スゲアマモ以外にコアマモ *Zostera japonica* やスガモ *Phyllospadix iwatensis* も含まれており、また主にホザキノフサモ *Myriophyllum spicatum* やジュズモ属の1種 *Chaeromorpha* sp. 等で構成される藻場も含まれている。この9カ所の調査地で採集されたアミ類は、5属6種に分類された。アミ類としての密度はサロマ湖、能取湖、風蓮湖の3地点で72~90個体/m²と高く、一方、網走沿岸、網走湖、藻琴湖では0.7~1.8個体/m²と低かった。濤沸湖、野付湾、温根沼、厚岸湾に関しては、密度では11から16個体/m²と比較的近づいたが、種組成が調査地間で異なっていた。



図(2)-13. 調査地ごとのアミ類の組成.

アマモやスゲアマモで構成される藻場（サロマ湖、能取湖、野付湾、風蓮湖、温根沼）の場合、

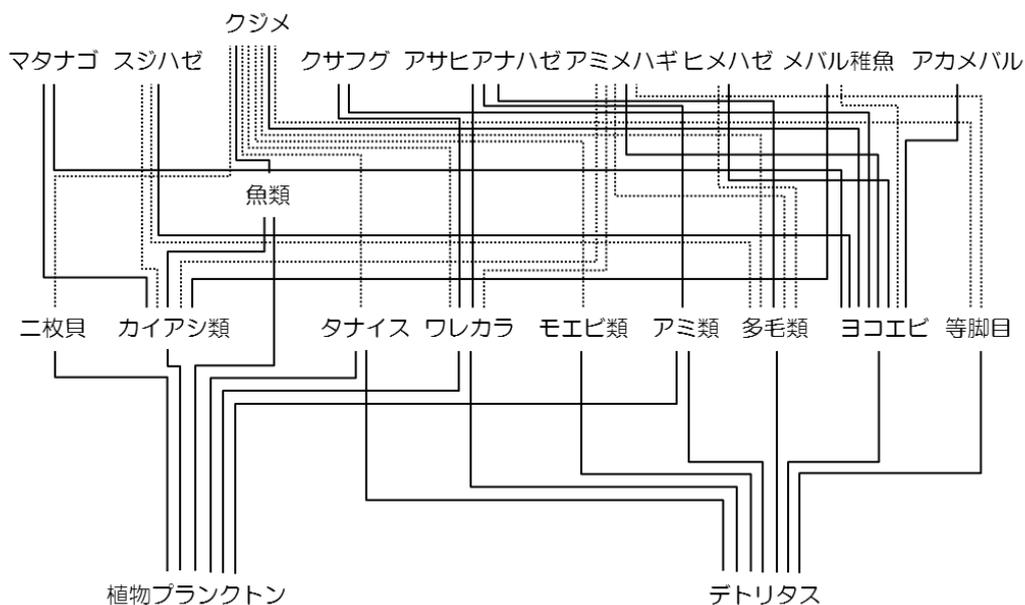
アミ類の99%以上はエゾイサザアミであり、それが圧倒的な優占種であった。海草藻場以外では、網走湖、藻琴湖、濤沸湖のアミ類は全てイサザアミ*N. awatschensis*で構成されており、開放性の高い海域（網走湾沿岸、厚岸湾）では複数の種が採集された。この結果は少なくともアミ類は地理的に近い10 kmから150 km程度と同緯度レベルのスケールであっても、藻場ごとに生息するアミ類群集が大きく異なることを示している。分類が十分に行えなかったコツブムシ類やヨコエビ類を含む微小ベントスに関しては、ここで調べたアミ類同様の地域変異が観察される可能性は十分に考えられる。能取湖における詳細な解析から推察されたように、いずれの地域においてもアミ類、コツブムシ類等の微小ベントスは漁獲対象種の主要な餌種である可能性は高い。



図(2)-14. 野付湾のアマモ場の食物網。

胃内容物としての出現頻度が10%以上を実線で、10%未満を点線で示した。

北海道の野付湾および広島県の竹原市生野島において採集された主な魚類の胃内容物を元に、それぞれの場所における食物網の変異を推定した（図(2)-14および図(2)-15）。野付湾では北海道能取湖と同じ14種の魚類の胃内容物を解析した結果、「食う - 食われる」の関係は、図(2)-10に示した能取湖における関係と同様に複雑であった。魚類の胃内容物からは藻場内で観察されたほとんどの動物が出現し、多くの魚種が5種（分類群）以上の動物を捕食しており、特に、アミ類、エビジャコ類、エビ類、コツブムシ類に強く依存している点でも、能取湖での結果に良く似ていた。一方、広島県の生野島における「食う - 食われる」の関係は北海道よりも相対的に単純であった。生野島で採集された藻場に生息する魚種は9種であり、クジメおよびアミメハギを除けば、魚種ごとの食性範囲は北海道の魚種よりも顕著に狭かった。魚類に捕食されているベントス種は能取湖や野付湾よりも遥かに少なく、多くの魚類において利用する餌種は限られていた。また、生野島ではアミ類（主にモアミ属 *Nipponomysis*）ではなく、ヨコエビ類およびカイアシ類への依存度が高かったことも特徴のひとつであった。研究期間中では北海道2ヵ所と瀬戸内1ヵ所で比較を行うのが限界であったが、この傾向は南北における食物網の状況の典型である可能性は高いだろう。藻場に生息する魚類の種多様性に関しては三陸地方を境界に顕著に増加するが、北日本の藻場における魚類の高い種多様性には、藻場内の餌種の利用可能性の大きさが関わっている可能性がある。「食う - 食われる」の関係の複雑さと群集の安定性の因果関係に関しては明確な見解は得られていないが、少なくとも広い食性範囲はそれぞれの魚種個体群の安定性に寄与していることは十分に考えられるだろう。



図(2)-15. 生野島のアマモ場の食物網。

胃内容物としての出現頻度が10%以上を実線で、10%未満を点線で示した。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

サブテーマ(2)では、アマモ場そのものの時空間的な動態、さらに藻場内に生息する生物群集との因果関係が複雑かつ多様であることが明確となった。この結果は、保全する藻場の生態系機能や藻場生物の対象の設定は明確にされるべきであり、その保全する対象によって保全計画は修正されうることを意味している。さらに、食物網を詳細に解析することによって明確化された主要な栄養フローから、餌としてのベントスの貢献度を明確に定量化した。特に、アミ類やコツブムシ類などの藻場内の優占種である一方で、市場価値のない甲殻類は、魚類の餌資源として重要な分類群であるにもかかわらず、その価値は正当に評価されてこなかった。ここでの間接的供給サービスの価値計算では、「食う－食われる」の関係や漁獲対象種の市場価値等を定性的なものとして扱っているため、算出された値は決して絶対的な価値とは言えない。しかし、本サブテーマにおいて微小ベントスの餌種としての価値をあえて市場価値ベースで推算することにより、微小ベントスの相対的な価値に対する一般的な理解浸透が期待でき、微小ベントスを保全する意義を明確にしたと言える。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

サブテーマ(2)では、市場価値のある魚類やベントス自体が生み出す直接的な供給サービス(漁業資源)に加えて、市場価値のない餌料生物としてのサービスへの貢献度を評価する手法を開発した。多くの漁業資源管理は単一魚種の個体群動態に基づいて実施されているが、サブテーマ(2)の結果は、漁獲対象種の個体群動態に寄与する餌生物の種組成および現存量、すなわち種多様性保全の価値を市場経済ベースで推算している。この推算は、餌生物の視点から非漁獲対象種の相対価値の一端を明確にすることに寄与し、群集全体の保全あるいは管理の動機づけの機会を提供するものである。また、藻場の構造や生態系機能における時空間変異を明確にしたことは、アマモ場において保全する対象(機能、種など)を明確にすることで、より効果的な藻場の保全あるいは管理が可能になると期待される。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) S. CHIBA, K. YOSHINO, M. KANAIWA, T. KAWAJIRI and S. GOSHIMA: J. Anim. Ecol, 82, 632-641, (2012)

“Maladaptive sex ratio adjustment by a sex-changing shrimp in selective-fishing environments.”

- 2) 遊佐貴志, 千葉晋: 日本ベントス学会誌, (印刷中)。
「北海道東部の藻場におけるアミ類種組成の空間変異」

<その他誌上発表(査読なし)>

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) S. CIBA and K. YOSHINO : Joint Meeting of the 59th Annual Meeting of ESJ and The 5th East Asian Federation of Ecological Societies International Congress, Otsu, Japan, 2011
“Sex-selective fishing causes downsizing of female in a male-first sex-changing shrimp.”
- 2) S. CHIBA, K. YOSHINO, M. KANAIWA , S. GOSHIMA : 141st Annual Meeting of American Fisheries Society, Seattle, WA, USA, 2011
“Size- and sex-selective fishing leads to maladaptive sex ratio adjustment by a sex-changing shrimp.”
- 3) 佐藤世梨華、盛田祐加、邵花梅、園木詩織、遊佐貴志、千葉晋、南憲史、宮下和士: 平成24年度音響資源調査研究情報交換会 (2013)
「音響手法を用いた能取湖におけるアマモ場の現存量推定に関する研究」
- 4) M. HORI, S. CHIBA, K. MIYASHITA, G. YOSHIDA, M. HAMAGUCHI, J. SHOJI: International Association of Ecology, 11th Congress, London, UK (2013)
“Trade-offs among ecosystem services in seagrass ecosystem: eelgrass shoot density affects the relative importance between provisioning and regulating services”.
- 5) 田中拓希、秦 正樹、木下 光、中野 光、荻野裕平、桑原卓哉、千葉 晋、遊佐貴志、小路 淳 : 平成25年度日本水産学会秋季大会 (2013)
「アマモ場における小型魚類に対する捕食圧の昼夜比較-1 北日本と南日本の特性比較」
- 6) 遊佐貴志、盛田祐加、園木詩織、宮下和士、千葉晋: 平成25年度日本水産学会春季大会 (2013)
「能取湖の海草藻場 面積および構造の長期比較」
- 7) 田中拓希、秦 正樹、木下 光、中野 光、荻野裕平、桑原卓哉、千葉 晋、遊佐貴志、小路 淳 : 平成25年度日本水産学会秋季大会 (2013)
「アマモ場における小型魚類に対する捕食圧の昼夜比較-1 北日本と南日本の特性比較」
- 8) 遊佐貴志、千葉晋: 2013日本プランクトン学会ベントス学会合同大会 (2013)
「海草の種組成変化は藻場の生態系機能を変えるか？」
- 9) 遊佐貴志、千葉晋: 日本甲殻類学会第51回大会 (2013)
「イサザアミ属の群集構造の地域間変異」

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) シンポジウム, セミナー等の開催(主催のもの)

- 1) 網走市公開シンポジウム: 藻場からの豊かな恵みを知る～アマモ場の生態系サービスと保全に

ついて（2014年2月25日、オホーツク文化・交流センター、40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。

8. 引用文献

- 1) 千葉 晋・河村知彦： 小路 淳、堀 正和、山下 洋（編・著）．浅海域の生態系サービス研究（水産学シリーズ169）、恒星社厚生閣，東京，pp.38-52.（2011）
「無脊椎動物資源からみた生態系サービス」
- 2) 北海道開発局： 北海道開発計画調査・環境保全型沿岸域利用調査、209p.（1997）

(3) 藻場における魚類群集および食物網の時空間変動解析

広島大学大学院

生物圏科学研究科 応用生物科学専攻 瀬戸内圏フィールド科学講座

竹原ステーション

小路 淳

平成23(開始年度)～25年度累計予算額：34,629千円

(うち、平成25年度予算額：11,661千円)

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

南北2カ所のコアサイト（北海道能取湖、瀬戸内海生野島）における魚類群集と食物網構造を明らかにすることを目的として、優占種を中心とした魚類の群集構造および食物網解析を他のサブテーマと連携して実施した。アマモ繁茂期（夏期）を中心とした魚類群集構造に関する基礎的データの収集を行うとともに、優占魚種の食性とそれらを取り巻くエネルギーフローに注目して、魚類群集構造の地域特性をサイト間で比較した。さらに、コアサイトにおける魚類群集構造の季節変動を解析するために季節ごとの調査も実施した。現場で得られたデータを、他のサブテーマによる成果と統合して、アマモ場の生態系サービスの経済価値を包括的に評価するとともに、南北サイト間での質的な比較を試みた。既往知見では、藻場の生態系サービスの最も重要な構成要素は調整サービス（炭素固定）とされてきたが、供給サービス（魚類の生産）の経済価値評価はこれまでほとんどなされてこなかった。本研究により、藻場の生物群集においてバイオマスで優占する魚類やエビ類など水産資源として重要な生物の生物量と季節変動を定量評価し、経済価値の試算につなげた点はこれまでに無い研究成果であり、生態系サービスの包括的評価に貢献するものである。さらに、自然科学および社会科学の統合によるアプローチを通じて生態系サービスと社会のつながりを調べることを目的として、ステークホルダー分析を実施した。研究スタート時に設定した仮説のとおり、アマモ場という同じ生態系であっても地域間で生態系サービスの質や量、人間との関わり方が異なることを明らかにした。生態系サービスの構成要素（調整・供給・文化および基盤サービス）の量や割合が地域差をもとに、同じアマモ場であっても利用・管理方針を地域ごとに柔軟に変える必要性が極めて高いことを提案できる科学的根拠を提供した。

[キーワード]

アマモ場、魚類群集、生態系サービス、ステークホルダー、南北比較

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

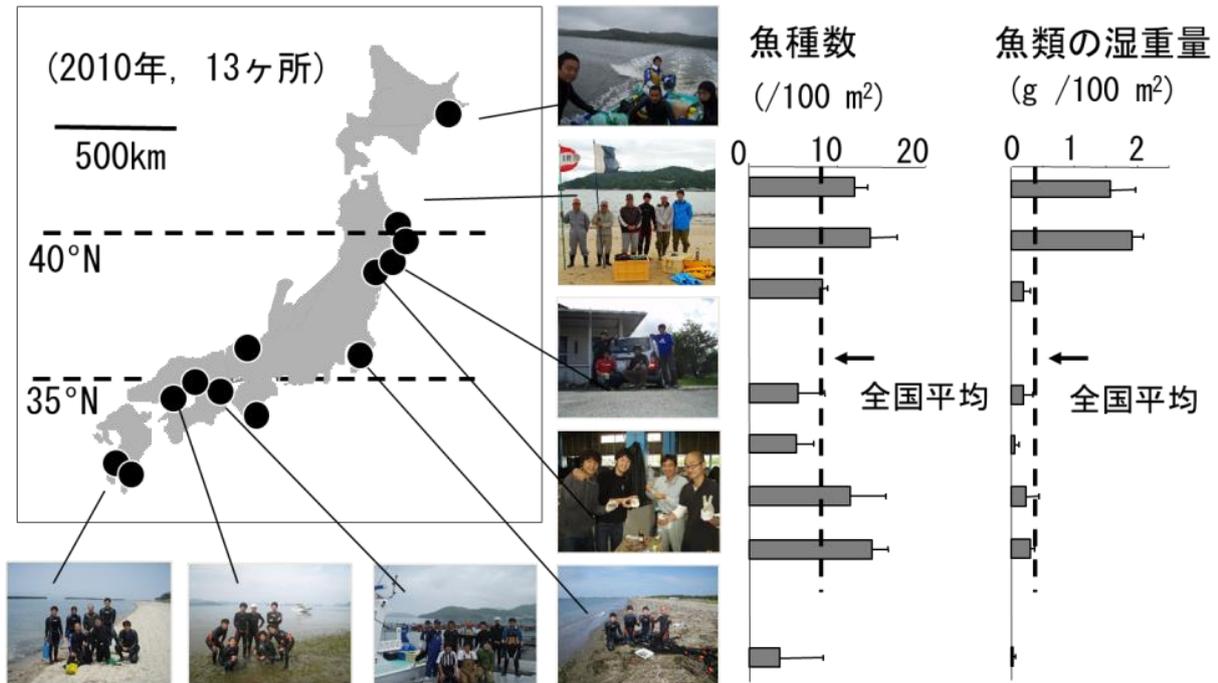
出したCostanzaら（1997）¹⁾の研究によると、熱帯雨林（0.2万ドル/ha/年）をはじめとする陸域や淡水域（湖・川：0.8万ドル/ha/年）に比べて藻場・干潟など浅海域の生態系サービスははるかに高く、全ての生態系でトップクラス（1.9-2.3万ドル/ha/年）であると見積もられている。近年の推定値では、珊瑚礁がうみだす生態系サービスの経済価値の評価（最高値）が内湾・藻場域を上回ったが、依然として藻場の生態系サービスの経済価値は陸域を含む他の多くの生態系に比べて高いと見積もられている。²⁾しかしながら、上記の推定値には生物生産過程のなかで最も主要な構成要素である魚類の生産はほとんど含まれていない。この背景として、1次生産（光合成）や、1次捕食者（動物プランクトン）およびベントス（底生動物）に比べて、移動能力の高い魚類の定量評価が比較的困難であることが指摘されている。近年では、魚類の耳石日周輪解析等を応用することにより、これまで以上に非常に高い精度で魚類の生産速度を推定する事例が世界各地で報告されるようになり、浅海域生態系サービス総合評価の達成に向け、魚類生産の定量評価の実践への期待が高まっている。

本研究では、他のサブテーマと連携しながら藻場の魚類群集構造、魚類を中心とした食う一食われる関係を行い、得られた成果をもとに資源供給サービスの定量・経済評価を行う。さらに、資源生物生産の場である沿岸域の効果的に管理する方策の提案を行うことを目標として、広域的・長期的視野にたつて、沿岸域を構成する各生態系の関連や貢献度の解析を実施する。魚類の生息場となる藻場の立体構造の時空間変動を、計量魚群探知機（魚探）を用いて定量的に把握し、魚類、甲殻類、環境条件との関係解析に用いることを目的として、コアサイト（道東・瀬戸内海）を中心に藻場群落の構造解析を実施することを目的とした（サブテーマ1）。また、藻場における甲殻類の群集構造および生産構造の解析を実施し、その結果をもとにコアサイト2ヶ所の食物網構造の比較を実施した。魚類の食性調査により餌資源として重要な甲殻類の格付けを行い、得られた情報を最終年度に実施する経済価値算出の根拠とする（サブテーマ2）。さらに、優占種を中心とした魚類の群集構造、生産構造および食物網解析を実施する（サブテーマ3）。漁獲対象となる水産業上重要種に加えて非漁獲対象種の生産構造も解析し、藻場の植物群落構造、餌生物（甲殻類）の時空間変動との関係解析に供する。これらに加えて、コアサイトにおける物理・生物環境データの収集と解析他のサブテーマとの連携・既存知見収集・野外調査にもとづいて、植物群落が作り出す景観構造（生物環境）と水質・地形（物理環境）、生物群集データを収集・解析することを目的とする（サブテーマ4）。

このうち、本サブテーマ3では、藻場における魚類群集および食物網の時空間変動解析を主対象として3年間（2011～2013年度）の研究を開始した。1年度目の研究が終了した時点で実施された中間評価の際に、アドバイザーボードおよびPOより、研究の落としどころとして自然科学と人文・社会科学との融合をめざして、人文・社会科学系の分析手法の導入を積極的に行い、成果とりまとめの方向性を探ることを強く提案された。これを受けて、2年目以降には人文・社会科学的分析手法を導入し、コアサイトにおける生態系サービスの包括的評価と、さらに地域社会とのつながりを調べるためのステークホルダー分析を実施することにより、沿岸域の生態系サービスとかかわりの深い人間生活・社会構造を含めて、より包括的に南北のコアサイトを比較する研究体制を構築した。

2. 研究開発目的

本研究メンバーの一部が実施した先行研究では、日本沿岸海域のアマモ場において広域的な調査を実施し、北海道と瀬戸内海のアマモ場では魚類の種多様性とバイオマスがともに高いことを明らかにした（図(3)-1）。³⁾



図(3)-1 先行研究により明らかとなった日本各地のアマモ場における魚類群集構造。単位面積あたりの魚種数、バイオマスがともに大きい北海道と瀬戸内海(各1ヶ所)を本研究のコアサイトとした（小路・堀（2011）より作図）³⁾。

これらの成果をふまえて、本サブテーマでは道東と瀬戸内をコアサイトとして、アマモ場において高い魚種多様性とバイオマスが維持される仕組みと、アマモ場の生態系サービスと人間生活・社会構造の関係およびその南北差を解析することを目的として、以下の研究を実施した。

（1）魚類の定量調査を実施するために必要な最低アマモ場面積の検討

これまで全国各地のアマモ場において実施している魚類採集は、面積 100 m^2 のエリアを基本単位としている。しかしこれが魚類群集の定量調査に妥当な面積であるかどうかは検討されていない。そこで、アマモ場における調査面積とそれにより採集される魚類群集の関係解析を実施した。

（2）南北コアサイトにおける魚類群集および食物網の時空間変動解析

初年度には、コアサイト（道東、瀬戸内）のアマモ場における魚類の群集構造を把握するための野外調査を実施した。海草（アマモ）の繁茂期である夏期のうち、2つのサイトの水温条件を可能な限り統一するために、道東（能取湖：8月）では瀬戸内（広島県大崎上島町生野島：7月）に比

べて遅い時期に調査を実施した。いずれの調査地においても植生はアマモ *Zostera marina* が優占する。さらに、季節変動を解析する目的で、季節別（3か月に1回）の調査を両コアサイトにおいて実施した（能取湖においては、冬季は結氷のため調査を実施していない）。

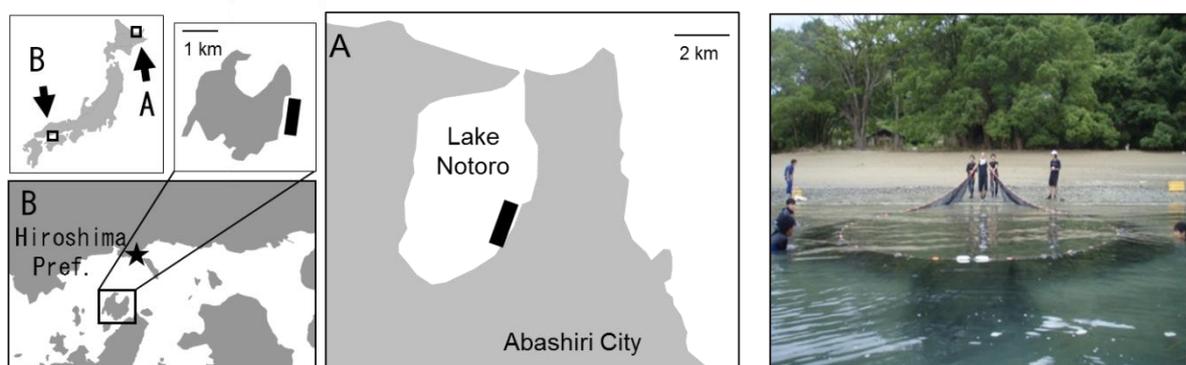
（3）生態系サービスと社会のつながりを調べるためのステークホルダー分析

本研究は、資源供給サービスを中心とした藻場の生態系サービスの定量評価に取り組むとともに、藻場を取り巻く生態系サービスや文化的特徴の違いが、現状の藻場の利用方法や、効率的な藻場管理施策の差に繋がることの仮説のもとに研究を進めている。豊かな生態系サービスと人間生活とのかかわりを明らかにするためには、フィールドでの物理、生物データの収集（自然科学的アプローチ）に加えて、人文・社会的アプローチを取り入れることも重要である。そこで本課題では、コアサイトとその周辺地域において、生態系サービスから影響を受け経済活動を行う、沿岸域の多様な利害関係者（ステークホルダー：以後、SH）の特定、およびそれらの利害構造の把握のための調査（SH分析）を実施した。

3. 研究開発方法

（1）魚類の定量調査を実施するために必要な最低アマモ場面積の検討

コアサイトのうち、人間生活や漁業活動によるアマモ場への影響が比較的小さく、比較的狭い範囲に大きな面積のアマモ場が維持されている瀬戸内海中央部の生野島（広島県大崎上島町：図(3)-2B）東岸において、アマモ繁茂期（2011年7月）に調査を実施した。魚類採集用の巻き網（幅13 m、高さ1 m、目合い2 mm）を用いて、1辺1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10 mの正方形（それぞれ面積1, 4, 9, 16, 25, 36, 64, 100 m²）の正方形のエリア（くり返し各3回）で魚類採集を行った。採集された魚類を現場にて10%海水ホルマリンで固定して持ち帰った。実験室において選別したのち、魚種の同定、体長・体重測定を行った。調査面積（1~100 m²）と魚類群集（魚類の種数、バイオマス）の関係を解析した。



図(3)-2 魚類の定量調査を実施した北海道能取湖，広島県生野島の位置を示す地図（左）および魚類サンプリングの風景（右）。

(2) 南北コアサイトにおける魚類群集および食物網の時空間変動解析

コアサイト間での比較のための生物および環境調査を、道東（能取湖）と瀬戸内（生野島）で実施した。上記「魚類の定量調査を実施するために必要な最低アマモ場面積の検討」の結果をふまえて、魚類の採集は、各調査地のアマモ場内において100 m²（10×10 m）のエリア4箇所で行った。採集された魚類を10%海水ホルマリンで固定して持ち帰った。魚類の採集とあわせて調査地におけるアマモの繁茂状態を調査した。1辺50 cmの方形枠を用いてアマモの株密度を4箇所以上で測定した。一箇所あたり数本のアマモを採取し葉長を現場で計測した。調査時には水温および塩分の測定もあわせて行った。採集された魚類を実験室において選別し、魚種ごとの個体数、湿重量を測定した。電子ノギスを用いて各魚類の全長を0.1 mm単位まで測定した。調査面積をもとにして魚類の種数、個体密度、湿重量を100 m²あたりに換算した。道東（能取湖）においては、冬季に湖面が結氷するために4月、7月、11月に、瀬戸内（生野島）においては4月、7月、11月、1月に調査を実施して季節変動の把握も行った。

(3) 生態系サービスと社会のつながりを調べるためのステークホルダー分析

1) はじめに

本研究は、資源供給サービスを中心とした藻場の生態系サービスの定量評価に取り組むとともに、藻場を取り巻く生態系サービスや文化的特徴の違いが、現状の藻場の利用方法や、効率的な藻場管理施策の差に繋がることとの仮説のもとに研究を進めている。豊かな生態系サービスと人間生活とのかかわりを明らかにするためには、フィールドでの物理、生物データの収集（自然科学的アプローチ）に加えて、人文・社会的アプローチを取り入れることも重要である。そこで本課題では、コアサイトとその周辺地域において、生態系サービスから影響を受け経済活動を行う、沿岸域の多様な利害関係者（ステークホルダー：以後、SH）の特定、およびそれらの利害構造の把握のための調査（SH分析）を実施した。

本研究のコアサイトに設定している北海道網走市能取湖および広島県大崎上島町周辺の地勢的な特性として、海域では気候、海流、流氷の有無などの海洋環境条件が、陸域では背後人口や後背地の面積、アクセス性などの地勢的条件が異なることが挙げられる。また、市場規模や産業規模などの経済・社会的条件の違いも存在する。さらに、藻場自体を経済活動に利用することや、海水浴文化の浸透など文化的条件の違いも含まれる。このような地勢的な特性の違いが、同じ属性で扱われる漁業者や釣り人などの、藻場周辺での活動に影響を及ぼすことが予想される。主要な漁獲物や養殖対象種の違いや、魚類の産卵時期や場所などの違いが、漁業の漁期や対象類に影響を及ぼすなど、藻場の周辺で活動するSH間の利害構造に影響を与えることが予想される。

2) ステークホルダー分析について

Stakeholderの概念はFreedman（1984）⁴⁾により提唱され、以降も多くの研究者による理論化が進められてきた。その後、主に経営学の分野における、企業組織内におけるプロジェクト管理や、企業の社会的責任(CSR)の明確化を目的としてSH分析が開発された。SH分析は、ある対象についての利害関係者の特定や、利害関係の構造を把握することを目的として利用されてきている。利害対立の解消や、効果的な方策の決定に寄与するものと考えられ、環境政策や保健政策といった経営学以外の分野においても広く用いられるようになってきた。近年では、ダムや道路など社会

資本整備を行う際の利害構造の把握や、合意形成にむけた交渉の際の紛争アセスメントにおいても利用されている⁵⁻⁷⁾。

沿岸域においては、これまでも、漁業者と一般遊漁者の間ではしばしば紛争が起こっていることや⁸⁾、沿岸域の埋め立てや発電所の建設の際には漁業者や環境保護団体からの頑強な反対が知られている。藻場の管理を考える場合には、藻場を取り巻く利害関係者は多様に存在することを考慮する必要があると想定される。このような問題に対して、SH分析を導入することで漁業者と遊漁者、漁協と公共団体、その他SH同士の軋轢を最小限に抑えた、円滑な管理方策の策定が可能になるものと考えられる。

SH分析は、ある対象についての利害関係者の特定や、利害関係の構造を把握することを目的として利用されてきている。開発された年代が新しいことや、企業経営においてオーダーメイド的に用いられてきたことから、扱いが確立されていない部分が多く、誰がSHとなりうるのかといったSHの定義の部分に関しても、各研究分野や分析者により異なった捉え方がなされているなど、改良すべき点はいまだに多い。しかしながら、近年では利害対立の解消や、効果的な方策の決定に寄与するものであるという理解が進んできており、環境政策や保健政策といった経営学以外の分野においても広く用いられるようになってきた。最近では、ダムや道路など社会資本整備を行う際の利害構造の把握や、交渉の際の紛争アセスメントにおいても利用されている。沿岸域においては、漁業者、遊漁者、漁協、公共団体などの多様なSHが存在するため、それらの軋轢を最小限に抑えた、円滑な管理方策の策定が今後ますます重要であろう。

SH分析の具体的な手順としては、まずブレインストーミングにより、想定されるSHの洗い出しを行うのが一般的である。次に、想定されたSHを対象とするヒアリング調査を行うことで、SH間の利害関係（感情的な関与）や関心事項などを抽出していく。このとき、スノーボールサンプリング（調査を行うにあたって、先に選ばれた回答者に対して、次の回答者を紹介してもらう、調査対象者の抽出法）を行うことで、当初想定していなかったSHの抽出を試みることもある。

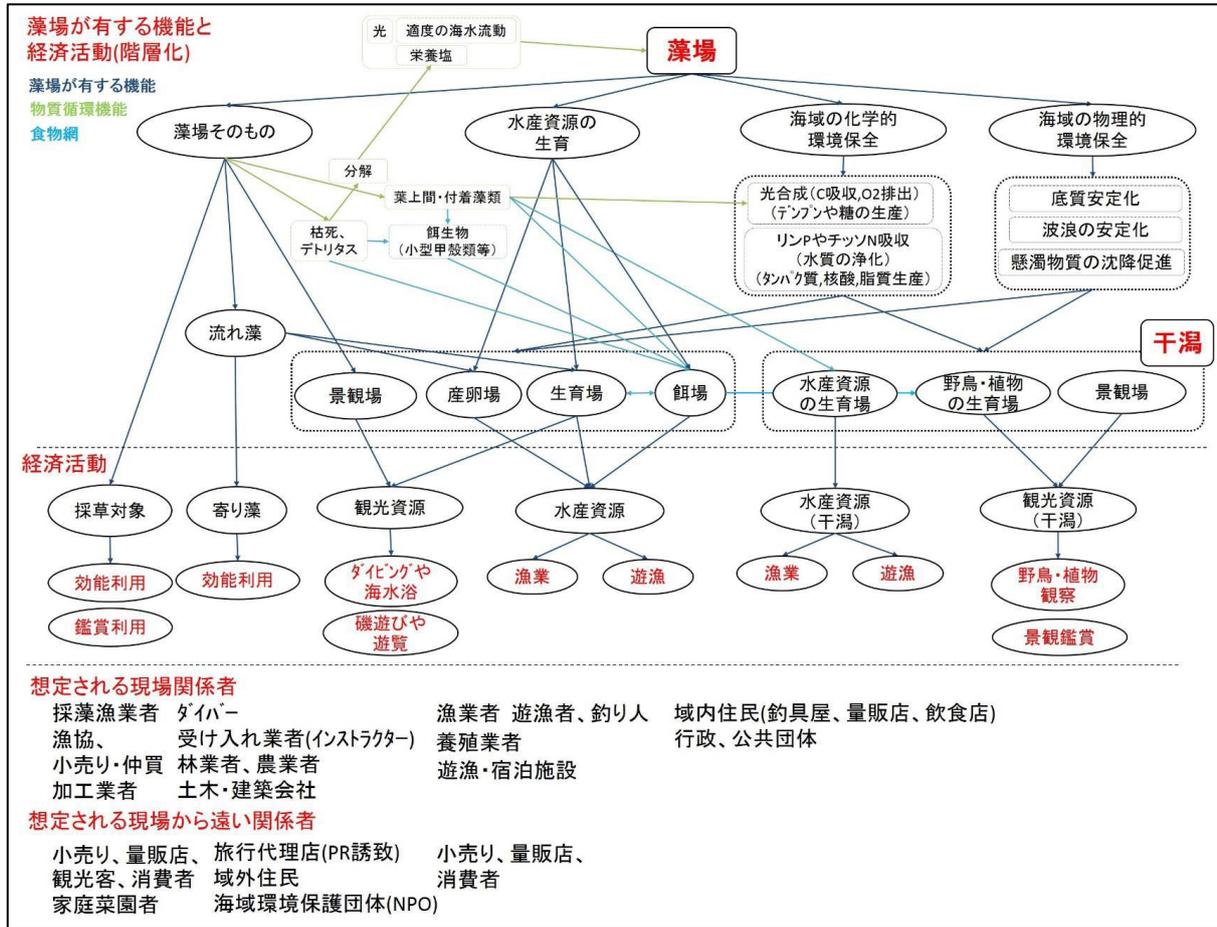
ヒアリング調査の結果は、SH一覧テーブルにまとめることで、対象についての関心や利害の関係等についての容易な認識が可能となる。このSHテーブルを用いることで、プロジェクトに対する各SHの心情を理解しつつ、利害の対立をなるべく避けるようなプロジェクト管理方策の策定が目指される。ときに、重要度や関心度には「低い～高い」といった得点が付けられることもある。しかしながら、SHテーブルを用いた定量評価手法についても確立されているとはいえ、扱いには注意が必要となる。

3) ステークホルダーの抽出

多様な生態系サービスをうみだす藻場生態系には多様なSHが存在するため、利害構造は複雑であることが予想される。そのため、まずはSHの特定および藻場の機能に対する利害関係の構造把握を行うことが必要である。SHの抽出に先立って藻場域が有する機能の整理を行った。文献精査や研究者へのヒアリングを行った結果、藻場域の機能として、

- a 経済活動に直接寄与する機能
- b 水産資源の生育環境を提供する機能
- c 海域の化学的および物理的環境を保全する機能
- d 干潟域への波及効果等

があることが分かった（図(3)-3）。



図(3)-3 藻場が有する機能と、想定されるステークホルダー

藻場が有する各機能の詳細を以下に示す。

a 経済活動に直接寄与する機能

藻そのものの提供、流れ藻および寄り藻の提供、ダイビングスポットや景観資源等の提供など、漁業、マリンレジャー、観光関連産業に寄与するもの。

b 水産資源の生育環境を提供する機能：

水産資源に対する産卵場、稚魚の生育場、餌場の提供が挙げられ、これらの機能は一般的に「海のゆりかご」とも呼ばれる。この機能は直接的に産業に寄与するわけではないが、藻場域において成長した水産資源は漁業や遊漁によって漁獲されるものと推測される。

c 海域の化学的および物理的環境を保全する機能

光合成や土壌保全等があげられる。一般に藻場は、光合成による二酸化炭素の吸収および酸素の発生とともに、リンやチッソなどを吸収する水質浄化機能を持っていることが知られている。また、根を底質に張り巡らした植生であることから、土壌や底質の保全や、波浪を安定化させ水産資源の生育場として有効に機能させるといった物理環境の保全も担っている。

d 干潟域への波及効果

干潟域におけるアサリの育成の促進等が挙げられる。アマモなどの葉上に付着した葉上付着藻がエサとなり干潟域の生態系の健全化が図られることや、酸素供給や水質浄化機能、また土壌および底質の保全機能についても干潟域への一定の波及効果があるものと推測される。

初期段階でのブレインストーミングおよび研究者へのヒアリング結果を基にSHの抽出を行った結果、藻場の機能を利用した経済活動として、藻の直接採草、また流れ藻・寄り藻の利用、ダイビングやシュノーケリング、遊覧観光、漁業・遊漁を抽出した。藻場から近い位置で利益を受けるSHとして、採草や寄り藻および流れ藻の利用を行う家庭菜園者や地域内住民を抽出した。水産資源の管理および、沿岸域の管理等を行っているSHとして、漁業協同組合、公共団体、研究者等を抽出した。観光分野では、ダイバーや、観光客の受け入れやPR活動を行う団体等を抽出した。また、これら抽出したSHの背後にも、漁獲された水産資源を扱う加工業者、小売業者、仲買業者、スーパー等も抽出した。コアサイトにおいて抽出したSHを以下に示す。

<各コアサイトにおいて抽出されたステークホルダー>

北海道能取湖周辺

西網走漁業協同組合、オホーツク農業協同組合、能取湖畔の旅館経営者、自治会町、卯原内観光協会、釣り人（網走市内在住）、オホーツク総合振興局（水産課、水産技術普及指導所）、網走市（水産漁港課、農政課、観光課、生活環境課）、網走水産試験場、

広島県大崎上島町周辺

大崎内浦漁業協同組合、大崎上島漁業協同組合、民間漁業法人、広島ゆたか農業協同組合、NPO法人かみしまの風、大崎上島町（産業観光課農林水産係、産業観光課商工観光係、建設課、総務課）、釣り人（大崎上島町）、飲食店経営者、旅館・岩風呂経営者（竹原市）

4) ヒアリング項目の設定

官公庁や団体のホームページ等を参考にし、北海道能取湖と広島県大崎上島における藻場利用状況を整理した。その後、藻場利用に対する利益、不利益の関係構造や、藻場に対する関心、実際に起こった利害の対立等に関する文献精査を行い、抽出したSHに対するヒアリング項目を設定した。北海道能取湖および広島県大崎上島周辺の概況を以下に示す。

北海道能取湖周辺

- ・親潮・流氷の影響がある
- ・海水浴利用は少ない（夏が短い）
- ・少ない魚種、漁獲量は多い
- ・JF西網走漁協青年部が植樹活動を行うなど資源保護活動への意識が高い
- ・広島に比べて主要（1次）SHが少ないと想定される
- ・漁協（漁業者）が藻場管理に強くかかわっている可能性が高いと想定される

- ・生物の産卵場・成育場としての機能が大きいと想定される

広島県大崎上島周辺

- ・海水浴利用は少ない（温暖）
- ・レジャー利用が多い
- ・伝統サウナ（石風呂）でアマモを利用する
- ・農業の肥料としてアマモを利用する
- ・多様な漁業対象種、漁獲量は少ない
- ・専業漁業者が少ない
- ・住民（自家菜園者など）が流れ藻、寄り藻を利用している
- ・過去に紛争があった（1998年の漁協の藻場造成事業に対し、浚渫土の取り扱いなどに住民が不満を抱く。地区が独自に藻場委員会を立ち上げ、以降町長が藻場造成を認可せず。漁協組合長は贈収賄事件で逮捕・起訴後再選（中国新聞社、新瀬戸内学より）
- ・北海道能取湖に比べてSHが多様であると想定される
- ・藻場に関心を示すSHが多いと想定される

ヒアリング調査では、事前に質問項目を想定、準備しておき、以下の手順で質問を行った。

<質問項目>

- ①藻場の機能のうち、何を利用しているか？
- ②藻場の機能のうち、関心のあるものは何か？
- ③藻場が減少した際に経済的な影響はあるか？
- ④現在、藻場に対する保護・保全活動を行っているか？
- ⑤自分の活動を阻害する、他のSHの活動や行動（利害対立）はあるか？
- ⑥他に聞くべきSHがいるか？

以上の質問は、以下に示す「藻場が有する機能の図（図(3)-3）」および以下に示す「藻場機能の低下に関わる行為・活動と、想定される管理・規制」を参考にしながら実施した。

<藻場機能の低下に関わる行為・活動と、想定される管理・規制>

採草対象としての機能

- ・採草対象としてのアマモ採草……………採草に係わる規制
採草量、時期、海面、採草具など
- ・流れ藻の利用……………陸域でのアマモ利用に係わる規制
悪臭防止、燃焼行為、肥料利用など
人的技術による藻場の減少
漁業における底びき網やエンジンの絡まりなどアマモの水揚げ漁業に係わる規制
航路、エンジンのノット数、船数、漁具など
- ・流水船、船舶交通によるアマモの攪拌……………船舶交通に係わる規制
航路、エンジンのノット数、船数など

観光資源としての藻場機能……………観光産業に係わる規制

入場海面、時期、持ち込み物など

水産資源の産卵場・生育場としての機能……………漁業・遊漁に係わる規制

水産保護海面、漁場海面、漁期、漁獲量など

科学的環境の形成機能の低下

・エサの使用、ゴミによる水質汚濁……………漁業、遊漁に係わる規制

釣り人のエサ、養殖漁業のエサ、ゴミなど

・農場、工場からの有害物質排出……………農業、工業、国土利用に係わる規制

上下水道など排水施設・浄化水槽整備、施設立地など国土利用制限、使用物質など

・山林、河川からの栄養分減少……………河川、山林利用、国土利用に係わる規制

国立公園指定、入山、入漁、ダム建設、森林伐採、植林、ゴミなど

物理的環境の形成機能の低下

・アマモ場の埋め立て……………土木・建設業、国土利用などに係わる規制

国立公園指定、海面保護、施設整備制限など

干潟への波及効果

・干潟の埋め立て……………土木・建設業、国土利用に係わる規制

国立公園指定、建設制限、施設整備制限など

・サンゴ草など観光資源……………観光産業、土木・建設業、国土利用に係わる規制

国立公園指定、入場制限、ゴミ捨て、建設制限など

・アサリなど水産資源……………漁業、採捕に係わる規制

入場海面・時期・採捕具（漁業・採捕）、持ち込み物など

5) ヒアリング調査

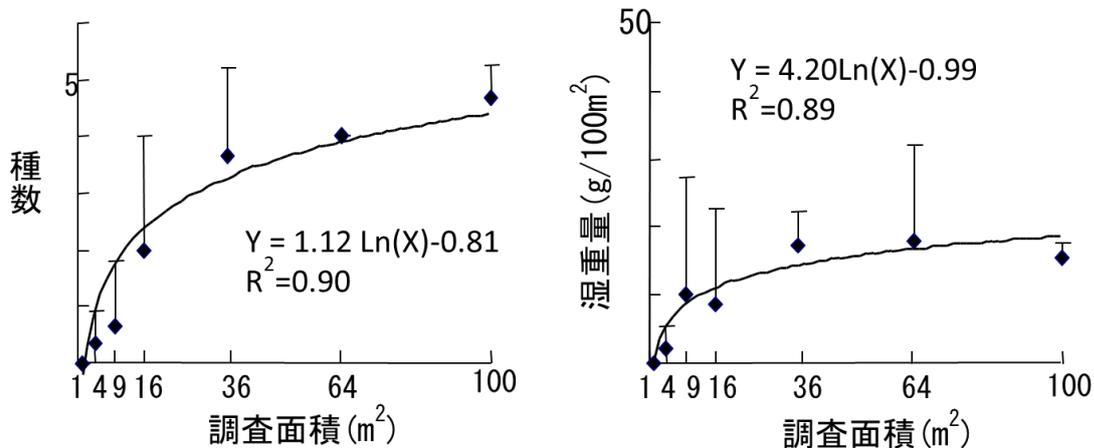
ヒアリング調査を、2013年6月に北海道網走市能取湖周辺、同年7月に広島県大崎上島町周辺で行った。まずは、事前に抽出したSHを対象に聞き取り調査を実施した。質問の最後には「他に聞くべき対象者はいませんか？」という問いを投げかけ、主観的な選択をできる限り排除する、スノーボーリング法を導入することで、新たなSHの紹介を促した。また藻場が有する機能をヒアリング対象者に提示しながら聞き取りを行った。併せて、どのような科学的検証が行われれば、あるいは科学的情報を知ることができれば、各SHが関心を持つ問題の解決が可能となるかについても質問した。

4. 結果及び考察

(1) 魚類の定量調査を実施するために必要な最低アマモ場面積の検討

調査面積と魚類群集の関係解析では、調査面積9 m²以下では魚類がほとんど採集されなかった。調査面積16 m²以上では、魚類の種数およびバイオマスがいずれも調査面積増大とともに増加する傾向が明瞭であった。また、調査面積の増加に対する魚類の種数およびバイオマスの増加は、面積64 m²以上で頭打ちになる傾向が認められた（図(3)-4）。以上のことから、アマモ場の魚類群集に関しては、1回あたりの調査で最低でも64 m²以上のエリアを対象とする必要が大きいと考え、以

後の野外調査を実施した。



図(3)-4 アマモ場における調査面積と、魚類の種数(左)およびバイオマス(右)の関係

(2) 南北コアサイトにおける魚類群集および食物網の時空間変動解析

調査地における水温は北海道において5、8、11月にそれぞれ7.3、19.4、6.8℃、瀬戸内海において4、7、10、1月にそれぞれ13.1、22.2、24.3、12.0℃であった。夏期に高く冬期に低かった。調査地における塩分は北海道において5、8、11月にそれぞれ29.6、22.2、31.2、瀬戸内海において4、7、10、1月にそれぞれ32.2、31.9、32.3、33.0であった。北海道では瀬戸内海に比べて塩分の季節変動が大きかった。

アマモの平均株密度 (株/m²±SD) は北海道において5、8、11月にそれぞれ560 (±10.3)、93.0 (±23.2)、89.0 (±24.7)、瀬戸内海では4、7、10、1月にそれぞれ11.3 (±3.1)、13.3 (±2.2)、14.3 (±3.1)、8.0 (±0.8) であった。アマモの平均葉長 (mm±SD) は北海道において5、8、11月にそれぞれ304.2 (±25.0)、581.6 (±178.9)、467.8 (±78.1)、瀬戸内海において4、7、10、1月にそれぞれ679.6 (±128.3)、820.5 (±133.0)、619.8 (±50.8)、469.9 (±111.6) であった。両サイトにおいてアマモは夏期に繁茂することが確認された。

北海道能取湖では合計12科17種以上、計666個体の魚類が採集された。採集された魚類のうち、個体数で優占した上位5種群は、ワカサギ、シロザケ、チカ、重量で優占した種群はウグイ、ワカサギ、チカであった(表(3)-1)。水産資源として重要な魚種であるウグイ、クロガレイ、シロザケ、チカ、ワカサギの割合が圧倒的に高くこれら5種のみで年間合計の湿重量の95%以上を占めた。

広島県生野島では合計11科14種以上、計3,115個体の魚類が採集された。採集された魚類のうち、個体数で優占した上位5種群は、クロダイ、アミメハギ、ヒメハゼ、ゴンズイ、マタナゴであった。重量で優占した種群は、アカメバル、マタナゴ、ゴンズイ、アミメハギ、クロダイ(表(3)-2)であり、これらが5種のみで年間合計の82.7%を占めた。水産資源として重要な優占種(重量割合: アカメバル、マタナゴ、クロダイ)が重量比において年間合計の56.0%を占める一方で、水産資源として重要ではない優占種(重量割合: ゴンズイ、アミメハギ)が比較的高い割合を占める(年間合計の湿重量の26.7%)が北海道能取湖とは異なる特徴であった。

季節別にみた場合、魚類の種数は北海道において8月に最大(11種)、11月に最低(6種)となり、瀬戸内海において7月に最大(8種)、4、10、1月に最低(7種)となった。北海道では瀬戸内

海に比べて種数の季節変動が大きかった。魚類の個体数は北海道において11月に最大(394個体)、8月に最低(51個体)となり、瀬戸内海において7月に最大(1843個体)、4月に最低(86個体)となった。北海道では瀬戸内海に比べて個体数の季節変動が小さかった。魚類のバイオマスは北海道において11月に最大(1630.6 g)、5月に最低(512.0 g)となり、瀬戸内海において10月に最大(1923.7 g)、4月に最低(53.8 g)となった。北海道では瀬戸内海に比べてバイオマスの季節変動が小さかった。

表(3)-1 北海道能取湖のアマモ場において採集された魚類の個体数、バイオマス(100m²のエリアで4回調査した結果)

和名	科名	学名	5月		8月		11月		合計	
			個体数	湿重量(g)	個体数	湿重量(g)	個体数	湿重量(g)	個体数	湿重量(g)
ウグイ	コイ科	<i>Tribolodon hakonensis</i>			17	1550.0			17	1550.0
カジカ科魚類	カジカ科	<i>Cottidae</i> spp.	1	0.1					1	0.1
ガジ	タウエガジ科	<i>Opisthocentrus ocellatus</i>			1	2.8			1	2.8
ギスカジカ	カジカ科	<i>Myoxocephalus stelleri</i>	2	18.0					2	18.0
クロガシラガレイ	カレイ科	<i>Pleuronectes schrenki</i>	2	57.8	1	0.3	1	1.9	4	60.0
クロガレイ	カレイ科	<i>Pleuronectes obscurus</i>	3	290.2	2	40.9	1	90.6	6	421.7
クロソイ	フサカサゴ科	<i>Sebastes schlegeli</i>			1	0.9			1	0.9
シロザケ	サケ科	<i>Oncorhynchus keta</i>	185	104.4					185	104.4
シワイカナゴ	シワイカナゴ科	<i>Hypoptychus dybowskii</i>	17	16.2					17	16.2
セスジボラ	ボラ科	<i>Chelon affinis</i>			1	0.3			1	0.3
チカ	キュウリウオ科	<i>Hypomesus japonicus</i>			12	99.8	94	512.6	106	612.4
トラフグ属魚類	フグ科	<i>Tetradontidae</i> spp.			1	0.2			1	0.2
ピリンゴ	ハゼ科	<i>Gymnogobius breunigii</i>			10	8.9			10	8.9
ヘビハゼ	ハゼ科	<i>Gymnogobius mororanus</i>	7	5.4					7	5.4
ムロランギンボ	タウエガジ科	<i>Pholidapus dybowskii</i>	1	9.0	4	12.5			5	21.5
ヤギウオ	トクビレ科	<i>Pallasina barbata</i>	1	5.1			2	4.5	3	9.6
ワカサギ	キュウリウオ科	<i>Hypomesus nipponensis</i>	2	5.8	1	0.8	296	1021.0	299	1027.6
合計			221	512.0	51	1717.4	394	1630.6	666	3860.0

表(3)-2 広島県生野島のアマモ場において採集された魚類の個体数、バイオマス(100m²のエリアで4回調査した結果)

和名	科名	学名	4月		7月		10月		1月		合計	
			個体数	湿重量(g)	個体数	湿重量(g)	個体数	湿重量(g)	個体数	湿重量(g)	個体数	湿重量(g)
アカメバル	フサカサゴ科	<i>Sebastes inermis</i>			14	405.0	19	753.5			33	1158.5
アナハゼ	カジカ科	<i>Pseudoblennius percoides</i>			21	29.2					21	29.2
アミメハギ	カワハギ科	<i>Rudarius ercodes</i>	51	42.3	12	2.8	396	278.3	139	137.0	598	457.6
マタナゴ	ウミタナゴ科	<i>Ditrema temminckii pacificum</i>	2	6.2	48	360.5	3	78.9	16	493.9	69	933.3
クサフグ	フグ科	<i>Takifugu niphobles</i>	4	106.7					3	62.1	7	168.8
クジメ	アイナメ科	<i>Hexagrammos agrammus</i>							3	110.5	3	110.5
クロダイ	タイ科	<i>Acanthopagrus schlegelii</i>			1739	368.4					1739	368.4
クロメバル	フサカサゴ科	<i>Sebastes ventricosus</i>	1	132.8							1	53.1
ゴンズイ	ゴンズイ科	<i>Plotosus lineatus</i>					293	713.1			293	713.1
シロギス	キス科	<i>Sillago japonica</i>			3	2.9	3	4.5			6	3.9
シロメバル	フサカサゴ科	<i>Sebastes cheni</i>	5	99.3	1	68.2					6	99.3
ハオコゼ	ハオコゼ科	<i>Hypodytes rubripinnis</i>	13	145			4	6.3	4	5.5	21	145.0
ヒメハゼ	ハゼ科	<i>Favonigobius gymnauchen</i>	10	6.5	5	4.9	277	89.2	31	11.4	323	89.2
ヨロイメバル	フサカサゴ科	<i>Sebastes hubbsi</i>							2	59.5	2	59.5
合計			86	538.8	1843	1241.8	995	1923.7	198	879.9	3115	4389.3

重量において優占種となった魚種でかつ供給サービス（水産資源）として重要な魚種は、北海道能取湖においてウグイ、クロガレイ、シロザケ、チカ、ワカサギ、広島県生野島においてアカメバル、マアナゴ、クロダイであった。アマモ場における魚類を中心とした食物網解析はサブテーマ2と連携して実施した。胃内容物解析により、能取湖ではエゾイサザアミやコツブムシ、生野島ではカイアシ類、アミ類、ヨコエビ類がこれら魚類群集の主要な餌生物として利用されていることが明らかとなった。

（3）生態系サービスと社会のつながりを調べるためのステークホルダー分析

1) 北海道能取湖周辺における結果

能取湖の調査では、藻場を採草対象として利用するSHと、寄り藻・流れ藻を利用するSHは存在しないことが確認できた。また海水浴場は能取湖にはなく、ダイビングスポットなど観光資源として利用するSHは存在しないことがわかった。アクアリウムなどに用いる観賞用として生物を採集することもほとんどないことがわかった。

以上の結果から、北海道能取湖周辺域においてSHが利用するのは、藻場が有する水産資源の生育場・産卵場・餌場としての機能、観光資源の生育機能が中心であることがわかった。干潟では、アサリの潮干狩りが開催されていることから、干潟域の水産資源を利用するSHが存在することがわかった。また、藻場に隣接する干潟では、サンゴ草（アッケシソウ）を鑑賞する観光客や野鳥（オジロワシ）の観察を行う観光客が存在し、藻場とその周辺域を観光資源として利用する。ヒアリング調査により特定されたSHの一覧を以下に示すとともに、各項目について詳細を記述する。

能取湖周辺におけるヒアリングにより特定されたSHの一覧：

団体・組織・所属 [カッコ内はSH]

- a 漁業共同組合 [ケタ曳き漁業（ホタテ成貝・ウニ）、ホタテ稚貝養殖、カゴ漁業（エビ・ツブ）、採介藻漁業（アサリ）、その他漁業]
- b 農業協同組合 [畑作、畜産農家]
- c 民間会社・業者 [仲買い業者（域外）、宿泊施設（域内旅館）、水産加工、肥料、採石業など製造業、建設業に関連する事業者（域内外：行政含む）]
- d 地域団体 [卯原内観光協会、町内会、老人会]
- e 住民（域内外）[プレジャーボート利用者・釣り人、潮干狩り参加者、観光客、サイクリング、野鳥観察]
- f その他、密漁漁者、ゴミ投棄者
- g 行政・公共団体 [国・道・市、大学・試験場]

a 漁業協同組合

能取湖域については西網走漁業協同組合が漁業権の管理を行っている。2012年度の組合員は32名（平均年齢46歳）であり、ホタテ養殖業、ホタテ桁曳き漁業、カレイ刺網漁業、アサリ採貝漁業、サケ定置網漁業、およびアマモ場内のホッケイエビおよびツブ（貝）を対象としたカゴ漁業を、

年間を通して組み合わせ操業している。組合全体の漁獲金額は約8.9億円となっており、その中でもホタテ稚貝の養殖を主体とするホタテ養殖による総生産金額が最も多く、ホタテ養殖が主要な漁業であるといえる。また、遊漁業を営む漁家は域内には存在しない。

近年、夏場にかけて湖内に貧酸素水塊および無酸素層の形成が起こり、ホタテガイの大量斃死が発生している。また、近年では能取湖内のアマモが減少傾向にあり、アマモ内で生息するホッケイエビおよびツブの漁獲量減少も懸念されている。このような事態に対応するため、西網走漁業協同組合が主体となって漁業権管理委員会等を開催しており、漁場管理、稚魚放流事業、密漁監視等への迅速な対応が可能な体制を構築している。特に、貧酸素水塊が形成された場合には、全組合員に対する迅速な連絡が可能な体制が構築されている。また、ホッケイエビの漁獲量が激減した際の禁漁や、潮干狩り客とのアサリ資源の競合が発生しないように一部漁場の解放、ホタテの地撒き前の海底耕耘によるヒトデ駆除等の自主的な取り組み・対策もとられている。

3~4月の雪解け期には、流入河川付近に位置する大規模な畑、牧草地、農場から雪解け水とともに化学物質が大量に湖内に流入しているのではないかと懸念がある。しかしながら、漁業者が農家と同じ町内会に属していることや、ホタテガイ最盛期のアルバイトの依頼等により知り合いが多く、農業サイドに排水の懸念を直接言いつらい状況にあることがわかった。その一方で、お互いが知り合いになっていることにより地縁的コミュニティが形成されており、自家消費や物々交換に近い形で、漁獲物や農産物の交換および分配（おすそわけ等）が行われている。なお、工場からの排水については、数年に1回の調査を行っている。

能取湖に隣接する網走湖（淡水湖）域においても、夏期の無酸素および貧酸素層の形成、アオコの発生が問題になっている。そのため、2010年に西網走漁業協同組合、網走漁業協同組合、網走川水源に位置するつべつ農業協同組合（JAつべつ）による、「網走川流域農業・漁業連携推進協議会」が結成された。この協議会は、網走川、網走湖、オホーツク海に位置する漁業および農業が協働的な立場をとり、広域的・持続的発展を目的としている。現在、協議会には、流域に位置するJA美幌およびJA女満別の女性部も参加しており、沿岸域の清掃活動、植樹活動、低農や減農に向けた意識作り、また相互地域の小中学校への出前授業などを行っている。

能取湖内の水産資源の直接利用は、漁業協同組合による漁業活動と、釣り人やPB（プレジャーボート）を利用する釣りなどの遊漁活動により行われることがわかった。このことから、釣り人やPB利用者をSHとして扱った。また、密漁行為での逮捕は年間20件ほど発生しており、比較的影響力大きいと判断されるため、藻場機能へ悪影響を与えるSHとして扱うこととした。

湖北域西側の一部アマモ場面積は増加しており、ホッケイエビやツブの資源量には好影響である。しかしながら、同時にホタテ桁引き漁具への絡まりや、地撒き作業への悪影響が懸念されている。能取湖域では同じ組合員がホタテ桁引きやエビツブ籠漁を兼業していることも多く、アマモ資源の増加が、全ての組合員に対して画一的に好影響になるわけではないことを物語っている。

さらに、同じ漁業者であっても、利用する海域ごとに漁法が異なる。藻場群落は直接的・間接的に漁場として利用されその目的、漁業種別も異なることから、別漁法をとる漁業者を別のSHとして以下のように区分して扱うことが望ましいと考えられた。

- ・ケタ曳き漁業に携わる漁業者（科学的環境形成機能を利用）
- ・ホタテ稚貝養殖業に携わる漁業者（科学的環境形成機能を利用）
- ・カゴ漁業に携わる漁業者（水産資源の育成機能を利用し最もアマモ場に近い）

- ・採介藻漁業（アサリ）に携わる漁業者（干潟の水産資源の育成機能を利用）
- ・その他の漁業に携わる漁業者

b 農業協同組合

能取湖周辺域は、北西から反時計回りの順に能取地区、平和地区、卯原内地区、嘉多山地区、二見ヶ岡地区の計5地区に分かれている（図(3)-5）。この5地区の農業経営者は、西網走農業組合に属していたが、1991年に市内3農協が合併してオホーツク網走農業協同組合（JAオホーツク）となった。5地区は、現在は網走西部地区と呼称されている。



図(3)-5 北海道能取湖周辺域における地区名

それぞれの地区に、農事組合法人を含めて、20経営体、6経営体、18経営体、53経営体、13経営体の、計110経営体（酪農12、畑畜6、畑作92）が農業を営んでいる。このなかでも嘉多山地区が一大畑作地帯となっている。加えて農協経営の牧場が平和、卯原内、嘉多山それぞれの地区にある。5地区が10の農業集団に区分けされており、機械の共有化や作付けの相談を行う集合体となっている。畑作の作付面積は、酪農の飼料作付けを含めた場合、平均で39ha（390,000㎡）となっている。農業生産規模は、金額・量ともにJAオホーツク全体の約1/4を占めている（2012年実績：JAオホーツク提供）。

主要作物は、小麦・大麦の麦類、澱粉の原料である馬鈴薯、砂糖の原料であるビート（甜菜）となっており、加えて各農家が選択して青果作付けを行なっている。嘉多山地区が最も畑作に適した土壌（火山灰土質）で、畑作農家が多い。内陸部にある卯原内ダムから、それぞれの地区に農業用水が配水されている。農場ごとに明渠・暗渠（農業用水路）で結節されており、主管は外海のオホーツク海に流れ込んでいる。

農業関係者の意識に関するヒアリングによると、藻場、水産業、浅海域の環境等に対する関心は薄いですが、湖畔・川沿いで営まれる農場の明渠への、流れ藻の流入によるパイプ詰まりが問題視されていることを確認した。湖内で漁獲された成貝ホタテの殻は粉碎され、主に農地の土壌改良

や脱臭剤、暗渠の水ハケ促進剤として利用されている。ホタテの殻が足りないほど需要があり、金銭的な交換はなく、主に伝手で入手されている。

c 民間会社・業者

能取湖周辺域でのヒアリング調査から、以下の民間会社・業者をSHとして選定することが望ましいと考えられた。

- ・仲買い業者
- ・宿泊施設（能取湖畔の旅館）
- ・水産加工、肥料、採石業など製造業
- ・建設業に関連する事業者（域内外：行政含む）

これらのSHは、湖内への排水を通じて環境に影響を与えているのではないかという懸念を持たれている。これらのうち、宿泊施設のみが、能取湖内の藻場を直接・間接利用するSHである。それぞれの詳細を以下に記述する。

- ・仲買い業者

能取湖周辺には仲買い業者や水産加工会社は存在せず、主に網走市街地の仲買い業者10軒が能取漁港の漁獲物を買う体制となっている。

- ・宿泊施設（能取湖畔の旅館）

地物水産物が優先的に提供されている。

- ・水産加工、肥料、採石業など製造業

主に、二見ヶ岡地区にある、能取工業団地に立地する大規模な工場を持つ製造業者である。原料は域外より調達されている。工場のなかでも、配水パイプが能取湖と繋がっている工場では、流れ藻によるパイプ詰まりが問題となっている。

- ・建設業に関連する事業者（域内外：行政含む）

特に能取湖周辺の公共工事を中心として、沿岸域周辺施設の建設や改修、海底浚渫工事などを行ってきた。

d 地域団体

ヒアリング調査から、以下の地域団体をSHとして扱うことが望ましいと考えられた。

- ・卯原内観光協会
- ・町内会・老人会

これらは、主として干潟の観光資源に関わるSHとなっている。卯原内観光協会は戦後の昭和30年に結成されている。現在の協会長は3代目、協会員は現在12名となっており、漁業・農業・公務員・サービス業者などの多様な職種メンバーから構成されている。昭和30年代より、能取湖周辺で重要な観光資源である、サンゴ草（アッケシソウ）の自主的な管理活動を行なっている（図(3)-6）。特に卯原内地区に大規模なサンゴ草群落地が形成されている。自主的な管理を長期的には実施できない可能性が高いため、天然記念物への指定は拒否した経緯がある。主な取り組みとして、干潟清掃活動、優成種であるヨシや雑草の刈り取り活動、干潟耕耘活動が毎年行なわれている。過去には、干潟で発生したネズミの駆除を行うために、消防団などと連携して干潟の野焼き作業が行われたことがある。

昭和40年代からは毎年9月には2日間をかけてサンゴ草祭りが開催されており、2009年には約32,000人の来訪があった。平成10年（1998年）ごろから、立ち枯れなどサンゴ草の植生に変化がみられた。特に湖内からの寄り藻により生育が阻害されているのではないかという声から、2010年に干潟への土盛り・嵩上げを行われた。しかしながら土壌が急激に酸性化したため、翌年生育するはずの群落地全域のサンゴ草が壊滅状態に陥った。9月のサンゴ草祭りは継続して行われているものの、2012年度は約5,000人と、観光客が激減している。東京農業大学、市役所とも連携し再生協議会が結成され、激減要因の解明や土壌改良など、回復のための手段がとられている。

町内会・老人会も、観光協会と同様、地域の多様な職種や年齢の住民から構成されており、地域自治の一環として、干潟の自主的な清掃活動やフラワーロードづくりなどの活動を行なっている。能取湖背後の各地区には班・自治会が組成され、その集合体が町内会と呼ばれる。そのため地区内に定住する多様な職種のメンバーから構成されている。サンゴ草の壊滅を引き起こした大きな要因として、寄り藻への疑念があるため、観光協会・町内会ともに、アマモが持つ干潟の環境形成、特にサンゴ草の生育・植生への影響を、知りたい情報として挙げている。



図(3)-6 卯原内地区のサンゴ草群落地をPRするたて看板

e 住民（域内外）

ヒアリング調査から、域内外の住民で構成される以下のSHを選定することが望ましいと考えられた。

- ・PB（プレジャーボート）利用者・釣り人
- ・潮干狩り参加者
- ・観光客、サイクリング、野鳥観察

能取湖周辺域には、地域外からの来訪も多く含まれ取り、藻場・干潟における水産資源（遊漁）、観光資源を直接・間接的に利用している。詳細を以下に記述する。

- ・PB（プレジャーボート）利用者・釣り人

PB利用者や釣り人は、年間を通して流動的な活動を行うため、人数など統計データや活動の実態の把握、また釣りによる水産資源への漁獲圧の把握は困難であることがわかった。能取湖周辺に釣具店がないこともその背景となっている。把握可能な釣り人は、網走市管理のPB数から計算した場合、年間で1,401人となっている。二見ヶ岡地区で管理される市管理のPBは39隻あり、管理費

の徴収が行われる。しかしながら、特に夏期には、北見、旭川、帯広、札幌などの遠隔都市からPBを積載した車両での来訪があり、実態把握は困難となっている。特に北見市からの来訪が多く、北見ではマリンスポーツに携わる人々が北見マリクラブを組成し、湖内の適正なPB利用を呼びかけている。

PB利用は、能取漁港（二見ヶ岡地区）の斜路施設を利用して行われる。その際には、施設利用料の徴収が行われる。PBを利用した釣りは、湖内で行われることは少なく、外海であるオホーツク海での釣りがメインである。

釣り人は、漁港を中心に、年間を通して釣りをを行う。産卵親魚保護目的で、カレイ・ニシン・チカ・キュウリウオに対して採捕禁止期間が設定されており（5月15日～6月15日の1ヶ月）、この期間の釣り採捕は密漁対象となる。

能取湖では、特に雪解け・結氷後に、ゴミが大量に打ち上げられる。また、小型～大型ゴミの排出・海中投機がある。このことから、「ゴミ投棄者」を、藻場機能へ悪影響を与えるSHとして扱うこととした。ゴミ投棄者には必ずしも釣り人のみが含まれるわけでは無いが、現実的には利用者に占める割合が高い。12～3月の能取湖結氷時には、湖上を移動し、氷をドリルでくり抜いたチカ釣りが行われるが、排泄施設が用意できないため、湖上や駐車場で排泄行為が行われることが問題となっている。

能取工業団地内にある「レイクサイドパークのとろ」にて、コテージやキャンプ場、パークゴルフ場の利用ができ、夏期を中心にバーベキューや浜焼きが行われる。レイクサイドパークは市管理であるが民間会社への委託が行われており、5月～11月の営業で有料施設には年間20,000人弱の利用者がある（2012年）。キャンプ場の利用は、年間2、350件となっている。

・潮干狩り参加者

能取湖におけるアサリ潮干狩りは、西網走漁協により一部漁場の一般無料開放の形で行われている。能取漁港（二見ヶ岡地区）から北側の湖口地区にかけての干潟漁場で採捕が行われる。アサリのみの採捕が、4～9月まで無料で一般開放されており、他の水産資源の採捕は密漁対象となる。無料であるため、いつでも入場することが可能である（図(3)-7）。そのため潮干狩り参加者人数や全体のアサリ再補量の正確な把握は困難である。ヒアリング調査では、町内会に属する地域住民から、アサリ以外にも、釣り用のエサに利用する貝（非食用）を採捕させて欲しいという有望があがっている。



図(3)-7 アサリ潮干狩りの様子。市民は自由に入場し採捕することができる。

- ・観光客、サイクリング、野鳥観察

能取湖周辺域への観光客は2010年の180,000人から、2012年には50,000人へと減少している。旧国鉄の線路跡を利用したサイクリング・ロードが設置されており、網走湖畔～能取湖畔～サロマ湖の観光をサイクリングで行うことができる。干潟に生息するサンゴ草（アッケシソウ）やフクジュソウなどの植物鑑賞、オジロワシや渡り鳥のオオワシの野鳥観察が行われる。オジロワシやオオワシは湖内に生息する水産資源の採捕を行う。

網走市観光課・生活環境課へのヒアリングによると、干潟への悪影響を与える行為として、サンゴ草など植物の採取や、小型～大型ゴミの投機がある。サンゴ草は絶滅危惧種に指定されており、自然公園法による希少植物の採取禁止など規制が設けられている。

f その他

ヒアリング調査結果から、密漁者およびゴミ投棄者を、SHとして扱うことが望ましいと考えられた。これらは能取湖周辺の藻場・干潟における水産資源、観光資源への悪影響を与えるSHとして位置づけられる。詳細を以下に示す。

- ・密漁者

漁業協同組合と卯原内観光協会へのヒアリングによると、水産資源の密漁による逮捕件数が年間20件あるといわれている。しかしながら、その監視は容易ではなく、実態の正確な把握は困難である。藻場・干潟の水産資源育成機能を通じた資源への悪影響を与えているSHである。

- ・ゴミ投棄者

能取湖周辺域では、ビニール袋やペットボトル・缶などの小型ゴミから、タイヤ・テレビなどの大型ゴミの投機がある。そのため、ゴミ投棄者を、干潟の景観機能へと悪影響を与えるSHとして選定した。

干潟の景観機能向上を目的として、地域団体や行政の職員による清掃活動が行われている。2013年5月に行われた市職員の清掃活動によると、840kgのゴミ回収量があり、その内訳として、小規模なゴミとしては、空き缶、ペットボトル、漁具（漁網、浮き）、ロープ、一般ごみがあった。また大規模なゴミとしては、タイヤ11本、冷蔵庫1台、バッテリー1個、ガス台1台、ビデオデッキ1台となっていた。

g 行政・公共団体

藻場・干潟を利用する直接的なSHではないが、政策の執行や科学的な検証を行うなど、各SHの活動を規制、促進する役割を担っている。また、SH間の利害調整を行う客観的な立場を取ることが可能である。

能取湖周辺域では、国の機関によって河川調査・造成・整備、沿岸域監視などが行われ、北海道の機関では2級河川管理、国定公園管理、漁港管理、また、網走市の機関では工業団地管理者、漁港管理（委託）などが行われる。大学・研究所では、藻場・干潟が有する機能に対する調査や研究が行われている。得られる結果は、藻場機能を利用するSH間の利害調整を計るために重要な、偏りのない客観的なデータとして利用される。学生教育や地域住民・行政との連携活動を通して社会に還元される。能取湖に面した研究所では、流れ藻・寄り藻によるパイプ詰まりが懸念事項

った。アサリの潮干狩りが開催されていることから、干潟域の水産資源を利用するSHも存在している。藻場・干潟が有する機能に対して、SHが多様な利用形態をとっていることが明らかとなった。ヒアリング調査により特定されたSHの一覧を以下に示すとともに、各項目について詳細を記述する。

大崎上島周辺域におけるヒアリングにより特定されたSHの一覧：

団体・組織・所属 [カッコ内はSH]

- a 大崎内浦漁業協同組合 [刺網（アマモ場での藻建網）漁業、ヒラメ養殖業（稚魚出荷、成魚ブランド乙姫出荷）、遊漁業、その他漁業（採介藻含む）、民間漁業法人（内浦水産、ファームスズキ）]
- b 大崎上島漁業協同組合 [刺網（藻建網）漁業、遊漁業、その他漁業、養殖業]
- c 農業協同組合 [畑作農家、民間農業法人など]
- d 民間会社・業者 [宿泊施設（域内のホテル・旅館、域外の旅館・岩風呂経営者）、スーパー（域内）、発電所、造船・水産加工などの製造業、建設業に関連する事業者（域内外：行政含む）、スポーツ店（民泊事業のシーカヤック管理委託）]
- e 地域団体 [商工会・観光協会、フィッシュ・フルーツアイランド会、猟友会、NPO上島の風、ハチの干潟保護団体（広島県竹原市）]
- f 住民（域内外）[自家菜園者（寄り藻利用：本土側の住民も含む）、釣り人・PB利用者、海水浴客、潮干狩り参加者、農林漁業体験民泊（関西の中学生・高校生）、観光客・サイクリング・野鳥観察]
- g その他 [密漁者、ゴミ投棄者]
- h 行政・公共団体 [国・県・町、大学・水産試験場、高等専門学校]

a 大崎内浦漁業協同組合

大崎上島には2つの漁業協同組合が存在する。

- ・大崎内浦漁業協同組合
- ・大崎上島漁業協同組合

生野島に共同漁業権を行使する、大崎内浦漁業協同組合を中心に記述する。

大崎内浦漁業協同組合は、正組合員29名、准組合員4名（民間漁業法人）で構成されている（2012年度）。ヒラメ稚魚養殖業が生産金額で主要な漁業となっている。次いで遊漁業が主要であり、漁船漁業専業だけでは生計はたたないという声があった。29名のうち、女性組合員は8名おり、1組合員/1人の体制となっている。平均年齢は60才で職員は1名の体制である。海釣り公園やPBの揚艇など、大崎上島町から管理委託を受けている。

漁船漁業は、キジハタ、カサゴ、タイ、メバル、シバエビ、クルマエビなどを対象とした底びき網漁業のほか、メバル、ハマチ、タチウオを対象とした一本釣り漁業があり、多様な魚種が対象となっている。他に、共同漁業権内にて刺網漁業が行われるが、特徴的なのは「藻建て網」（地獄網）と呼ばれる、水深6m以浅のアマモ藻場内に刺網が張られる漁業形態であり、タナゴ、マコガレイ、アイナメ、カサゴ、メバル、エビなど、アマモ内に生息している魚種が漁獲される。こ

の刺網は高齢者でも容易に扱うことのできる漁業となっている。また20m以深の刺網は、「石建て網」と呼ばれ、インダイなどが対象となる。他にタコツボ漁業が行われることがあり、採介藻ではヒジキなどの磯根資源が採捕される。これらの全漁業を、年間を通して、各組合員がそれぞれ選択する兼業形態をとっている。

同じ漁業者でも、利用する海域ごとに漁法が異なる。特に藻場群落が漁場として利用されている。そのため、

- ・ 刺網（アマモ内の藻建て網）漁業
- ・ ヒラメ養殖業（稚魚出荷、成魚「乙姫」ブランド出荷）
- ・ 遊漁業
- ・ その他漁業（採介藻含む）
- ・ 民間漁業法人（内浦水産、ファームスゞキ）

という、別漁法をとる漁業者を別のSHとして扱うことが望ましいと考えられた。



図(3)-8 大崎上島周辺に設定された共同漁業権漁場図（大崎内浦漁協より提供）

大崎内浦漁業協同組合における主要な漁業種類別操業形態を、表5に示した。

漁港区域はなく、漁獲された水産物は港湾を利用した陸揚げが行われる。また背後には産地市場はなく、基本的には浜売りが主体である。ミカンなどの農産物などの物々交換も見られる。ただし養殖されたヒラメの稚魚は主に九州の漁協へと出荷される。また養殖されたヒラメの成魚は広島県中央卸売市場へと出荷される。「乙姫（おとひめ）ヒラメ」というブランドネームがつけられている。アマモの和名「リュウグウノオトヒメノモトユイノキリハズシ」に由来している。民間の漁業法人では、ヒラメやクルマエビ・カキの養殖業が営まれている。藻場・干潟との関連では、近年、汚濁したクルマエビ養殖場（塩田跡）に、自然干潟では資源量が激減したアサリが大量に発生し、養殖場内の干潟で潮干狩りが始められている。

大崎上島周辺のアマモは、その量は年々減少傾向に感じられるが、まだ大量に存在しているという認識であり、むしろジャマだという声があった。2013年7月に、本島側の広島県竹原市忠海の旅館経営者に対し、生野島周辺に自生するアマモの採草を許可している。

近年は大雨・台風がなく、海底の攪拌がないため、海がきれいになりすぎているという結果が得られた。「戦車こぎ網」漁法による、自主的な海底耕耘活動を行いたいが、漁業調整規制により年に1回の活動が限度であるということであった。

水産資源保護のため、稚魚放流や、ゴミ拾いを目的とした海底耕耘が行われている。稚魚放流に関係する漁場へ保護水面を設定している。密漁に関しては、逮捕権はなく警察との連携がとられている。「密漁者」を、藻場機能へ悪影響を与えるSHとして扱うこととした。ヒアリングでは、過去には養殖筏ごと盗まれる大規模な密漁の例を聞いた。また、大崎上島周辺漁場において、他漁協の漁船によるものではないかと思われる漁獲、採捕行為があることがわかった。大崎内浦漁協、大崎上島漁協ともに遊漁船を抱えており、他漁協が行使する漁業権漁場まで入っていないと言えないため黙認している。

また特に近年、隣接する大相賀島に生息すると言われていたカワウにより、アマモ内の水産資源が大変な食害を受けている。捕獲を島内の猟友会へ依頼している。カワウによる食害は、大崎上島だけではなく、瀬戸内海全域における問題となっている。

b 大崎上島漁業協同組合

大崎上島漁業協同組合でも、ヒラメ養殖業や遊漁業が行われ、また水産資源保護のため、稚魚放流が行われている。しかしながら大崎内浦漁協に比べて海底が深い漁場（ドン深）を抱えているため、アマモ場は比較的に少ないということである。

大崎上島漁業協同組合内でも藻建て網漁業が行われている。

- ・ 刺網（アマモ内の藻建て網）漁業
- ・ 遊漁業・その他漁業・養殖業

という、別のSHとして扱うことが望ましいと考えられた。



図(3)-9 広島県大崎上島周辺においてマダイの稚魚を保護する目的で遊漁（釣り）の禁止が設定されている海域（2013年7月撮影）

c 農業協同組合

化学肥料が使用されるようになる昭和30年代まで、アマモは、主にミカン畑に撒くための肥料や土砂崩壊防止の枕木として利用されていた。農船を持った農家が出漁し、アマモを採草する姿がみられたという。

現在でも、自家菜園に、流れ藻・寄り藻を肥料として撒く、流れ藻・寄り藻利用者が存在することがわかった。また近年では化学肥料だけではなく、「豊穰」という商品名の有機肥料が主に普及している。大崎上島では、ミカン以外に、ブルーベリーやトマト、水田では稲作、またシイタケなど多様な作物が出荷される。

農業協同組合へのヒアリングによると、特にネギ畑の畝にアマモを埋め込むことにより、病気になりにくい甘みのある植物が育つと言われている。海域ではカワウによる水産資源の食害が懸念されているが、陸域では、有害鳥獣であるイノシシ、シカ、タヌキなどによる食害に憂慮しており、猟友会への駆除依頼が行われる。

d 民間会社、業者

ヒアリング調査より、以下の民間会社・業者をSHとして選定することが望ましいと考えられた。

- ・ 宿泊施設(域内のホテルや旅館)
- ・ 宿泊施設(域外の旅館・岩風呂経営)
- ・ スーパー(域内)
- ・ 発電所
- ・ 造船、水産加工など製造業
- ・ 建設業に関連する事業者（域内外：行政含む）
- ・ スポーツ店（民泊事業のシーカヤック管理委託）

特に発電所や、工場を抱える製造業者は、排水が海域に悪影響を与えているのではないかと懸念を持たれているSHとなっている。あくまでも他SHからの懸念であり、環境基本法に基づく環境影響評価法など、排水や活動に対する基準規制はある。また、自然公園法による工作物建造への規制も設けられている。

- ・ 宿泊施設(域内のホテルや旅館)

島内の様々なホテルや旅館が、浜売りによって漁業者の漁獲物を利用する。特に近年、島内の代表的宿泊施設ではシェフの交替があり、地物水産物が優先的に利用されるようになった。

- ・ 宿泊施設(域外の旅館・岩風呂経営)

瀬戸内海には「岩風呂」が点在していたが、近年施設数は減少し、通年の営業は竹原市忠海にある旅館に併設される岩風呂が唯一であると言われている。この岩風呂では、乾燥したアマモが風呂内に敷き詰められる。採草が許可された8月の1ヶ月間に、経営者が藻場で通年利用されるアマモを採草し、漁港に水揚げして乾燥作業を行う。

ヒアリングによると、20数年利用した、本島側の安芸津市風早のアマモ場は、アマモの生育がなくなり2012年より壊滅状態となった。岩風呂のある竹原市忠海周辺のアマモ場も同様の状態となっている。そのため、2013年から、大島上島町の大崎内浦漁協へ交渉し、生野島湾内のアマモ採草の許可を得た。しかし「タネ」（種）を持ったアマモが増加しているという植生状態を見て、近年の本島側の植生に似た状態となっていることを感じている。そのため、生野島のアマモ場も数年以内には減少傾向になっていくのではないかと懸念を持っている。また近年の周辺海域の環境変化、特に防波堤などの沿岸施設への貝殻（主にカキ）の付着状態を見て、海がきれいになりすぎているのではないかと指摘している。



図(3)-10 大崎上島周辺における繁茂期のアマモ場(2013年7月)



図(3)-11 伝統的サウナ石風呂の様子



図(3)-12 小型ボートのスクリューに絡まるアマモ (2013年7月)

・スーパー(域内)
浜売りによる漁獲物利用がある。

- ・スポーツ店（民泊事業のシーカヤック管理委託）

大崎上島町より、シーカヤックの管理を委託されている。2013年から、大串海水浴場を利用した農林漁業体験民泊が行われている。関西圏（奈良・大阪）の中学生・高校生がシーカヤック体験、農漁業体験、海釣り、宿泊などを行った。

- ・スポーツ店（民泊事業のシーカヤック管理委託）

大崎上島町より、シーカヤックの管理を委託されている。2013年から、大串海水浴場を利用した農林漁業体験民泊が行われている。関西圏（奈良・大阪）の中学生・高校生がシーカヤック体験、農漁業体験、海釣り、宿泊などを行った。

e 地域団体

ヒアリング調査結果より、以下の地域団体をSHとして選定することが望ましいと考えられた。

- ・商工会・観光協会
- ・FF会(フィッシュ・フルーツアイランド会)
- ・猟友会
- ・NPO上島の風
- ・ハチの干潟保護団体（広島県竹原市）
- ・商工会・観光協会

次に述べるFF会や行政などの団体と協働で、島内の農水産加工物や観光名所のPR活動を主体としている団体である。藻場との関連では、近年、地域内の住民を対象とした海藻教室が開催されており、また周辺海域で活動するシーカヤックインストラクターの養成講座を開催するなどの活動が積極化している。藻場の水産資源育成機能と、景観資源育成機能を利用するSHである。

- ・FF会(フィッシュ・フルーツアイランド会)

1980年代より、漁業、農業、蒲鉾製造、醤油製造、商工会、行政など様々な団体、事業主によって構成されている団体である。漁業サイドでは、大崎上島漁業協同組合が中心となっており、水産資源の漁獲から水産加工品の販売活動まで、一連の工程が行われてきた。現在の6次産業化をさきがけて活動している。

- ・猟友会

海域ではカワウ、陸域ではイノシシ・シカ・タヌキなど有害鳥獣による食害が深刻化している。大崎上島町では、行政を含めた有害鳥獣駆除対策協議会が結成されている。町で捕獲頭数が決定され、猟友会はその捕獲を委託されている。海域ではカワウ300羽の捕獲が許可されている。カワウは大相賀島に生息しており、もともと生息していたゴイサギやシロサギを駆逐して近年生息頭数が増加している。隊列をなしてアマモ場内の大量の水産物を捕食するため、瀬戸内海全域で食害が問題化している。大型の鳥であるため、駆除の際には小型銃弾では死なず、大型銃弾が必要となる。

国立公園に指定される瀬戸内海域では、鳥獣保護法に基づく捕獲頭数制限がある。特別地域に指定された箇所では活動に強い制限がある。大崎上島では、神峰山周辺の一体が、特別地域に指定されている。

- ・NPO上島の風

地域の活性化を目的に結成された非営利団体である。藻場・干潟周辺での活動として自主的な海

浜清掃活動が行われている。特に、大崎上島に設定された島内2ヶ所の海水浴場を中心に、寄り藻や投棄されたゴミの清掃活動などが行われている。

収拾された寄り藻は、実験的に団体員が所有する農場に撒かれている。

- ・ハチの干潟保護団体（広島県竹原市）

先に述べた、本島側竹原市忠海の旅館、岩風呂経営者に紹介を受けた。

2005年、竹原市の干潟（通称：ハチの干潟）に対して、浚渫土による干潟造成計画があがった。この計画に対して地域住民が中心となって反対運動を起こし、計画は白紙となった。以降、干潟保護団体が結成され、自主的な海浜清掃活動など、継続した干潟保全運動が行われている。同時に、発電所の事業へ強い懸念を持っており、反対運動を行なっていることから、発電所から訴訟を起こされている。

団体主催者は、流れ藻・寄り藻の利用を試みており、アマモを利用した畑作・畜産を行なっている。

f 住民（域内外）

ヒアリング調査より、域内外の住民によって構成される以下のSHを選定することが望ましいと考えられた。

- ・自家菜園者（寄り藻利用：本土側の住民も含む）
- ・釣り人・PB利用者
- ・海水浴客
- ・潮干狩り参加者
- ・農林漁業体験民泊（関西の中学生、高校生）
- ・観光客、サイクリング、野鳥観察
- ・自家菜園者（寄り藻利用：本土側の住民も含む）

既にJA広島ゆたかの項でも述べたが、大崎上島では農家だけではなく、島内の住民が、ネギ、キャベツ、スイカ、キュウリ、ナス、ミカンなど多様な野菜や果物を自家菜園で育成している。大崎上島だけではなく、瀬戸内海に面する域内外の住民が、特に高齢者を中心として、自家菜園に流れ藻や寄り藻を撒く文化を持っている。

- ・釣り人、PB（プレジャーボート）利用者

活動範囲が海で繋がっているため、釣り人、PB利用者ともに、全体の人数や隻数の把握は困難である。把握可能な海釣り公園への来訪者は年間約2,000人といわれている。大崎上島町管理のPBは57隻だが、島内には推計200～300隻が係船されている。大崎内浦漁業協同組合へのヒアリングでは、広島県は国内最多のPB保有者を抱えるといわれており、県下に約15,000～20,000隻のPBがあるとされている。PBの登録、管理や、港湾、漁港施設の利用に際して料金の徴収がなされる。小型船舶の登録等に関する法律により、総トン数20トン未満の小型船舶については、登録、移転、変更の各制度に規制が設けられている。

釣り人に対しては、特にマダイの稚魚放流・育成海域に遊漁制限がある。

- ・海水浴客

大崎上島町に属する生野島の海水浴場は、利用者の減少から、2012年より開催されていない。島内2ヶ所の海水浴場（大串海水浴場、野賀海水浴場）には、7/20～8/25のあいだに約10,000人の来訪

があるが、利用者は近年減少傾向にある。大串海水浴場の周辺には藻場が形成されており、藻場や魚類の景観鑑賞を行うことができる。

- ・潮干狩り参加者

大崎上島周辺には天然アサリが生息しており、過去には住民による採捕があったという声を聞いた。現在は、生息数の減少のため、自然干潟、砂浜でのアサリ採捕は困難となっている。

近年、民間会社が行うクルマエビ、カキ養殖場にアサリが大量に発生していることから、潮干狩りが試行されている。3/20～6月末の期間に、1回2時間まで参加が可能となっている。参加料金の徴収があり、大人1200円、子供600円、採捕されたアサリの持ち帰りは1kg/人までとなっている。

- ・農林漁業体験民泊（関西の中学生、高校生）

2013年から、大崎上島町が主体となって、農林漁業民泊事業が開始された。奈良・大阪の中学生、高校生の受け入れが行われ、住民民家への宿泊や、シーカヤックの体験、海釣り公園の利用などが行われた。

- ・観光客、サイクリング、野鳥観察

島内には様々な観光名所があり、減少傾向にはあるが年間66,000人の観光客入り込みがある（2012年度）。野鳥観察やサイクリングなど、景観鑑賞も行われる。大崎上島町商工観光係へのヒアリングによると、今後の観光客誘致策として、シーカヤックを利用した、アマモ場や天然記念物スナメリクジラの回遊鑑賞などの、観光遊覧が考えられる。しかしながら近年スナメリクジラの生息数は激減しているといわれている。

g その他 [密漁者、ゴミ投棄者]

ヒアリング調査結果から、

- ・密漁者
- ・ゴミ投棄者

を、SHとして扱うことが望ましいと考えられた。地域内だけではなく、地域外からの来訪もあるSHとなっている。特に、藻場・干潟における水産資源育成機能、観光資源育成機能へと悪影響を与えるSHとなっている。

- ・密漁者

漁業協同組合へのヒアリングによると、過去には養殖筏ごと盗まれる大規模な密漁が行われた。また、大崎上島周辺漁場において、他漁協の漁船によるものと思われる漁獲や採捕行為があることがわかった。大崎内浦漁協、大崎上島漁協ともに遊漁船を抱えており、他漁協の漁場まで入っていないと言えないため黙認している。

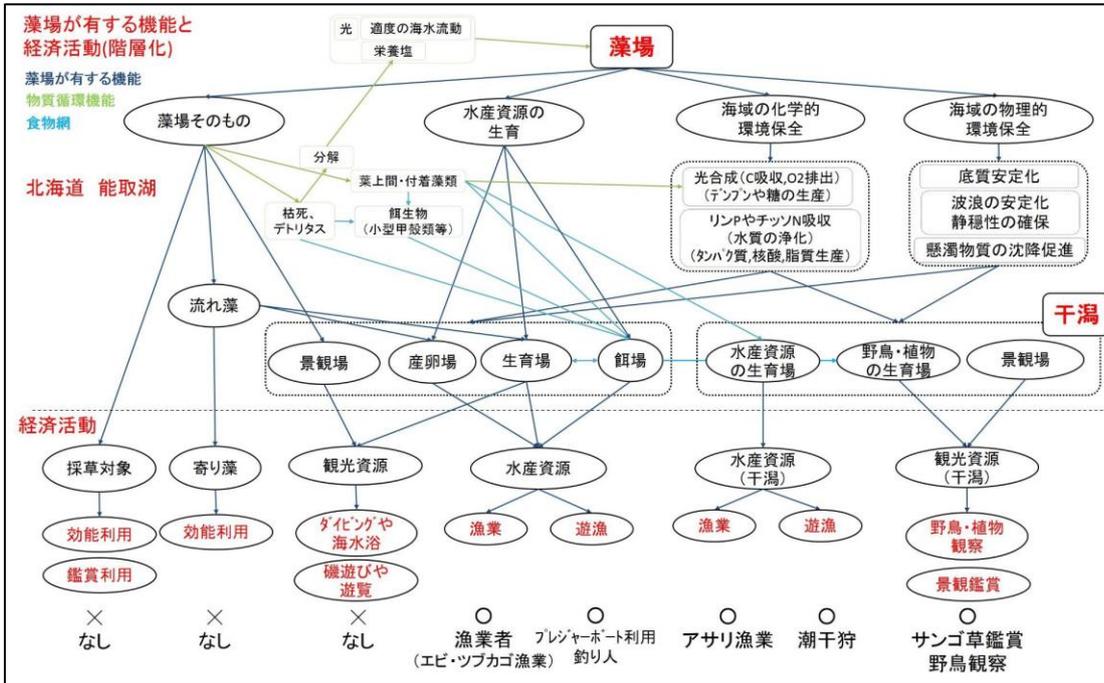
- ・ゴミ投棄者

小型～大型ゴミの排出・海中投機が問題といわれている。特に台風や大雨後には海浜にゴミが大量に打ち上げられる。海底にはビニール袋など、海中で融解しないゴミが堆積しており、栄養素が海底から巻きあげられない原因だという声があった。島内の海水浴場を中心に、主に地域団体による清掃活動が行われている。「ゴミ投棄者」を、藻場機能へ悪影響を与えるSHとして扱うこととした。

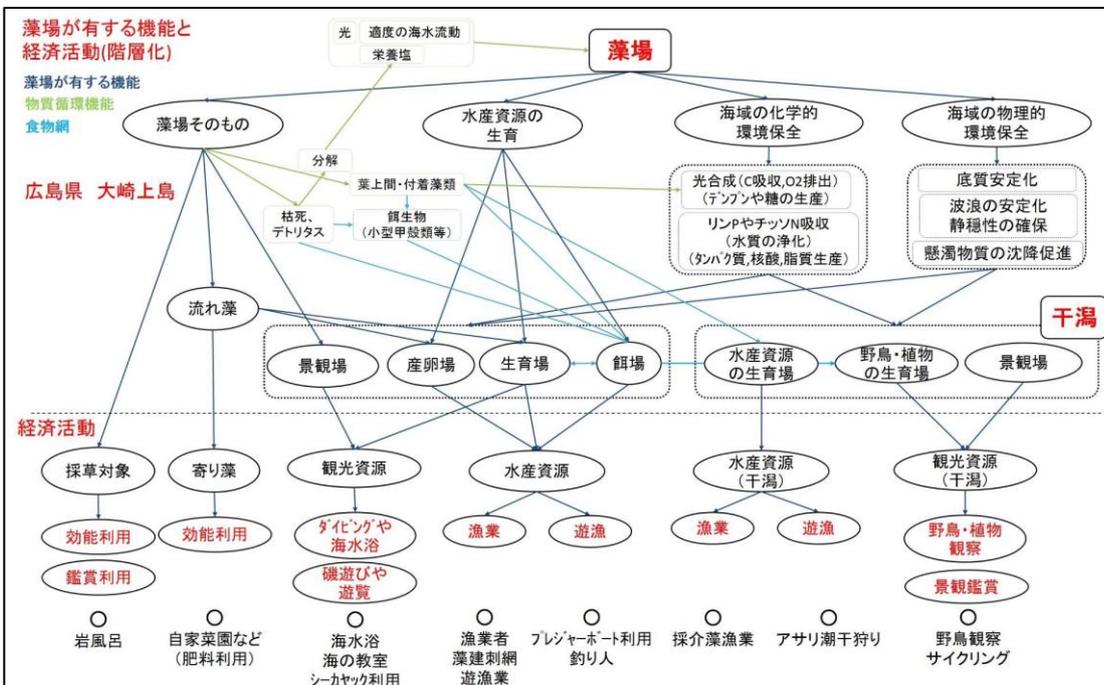
h 行政・公共団体

3) ステークホルダー分析結果の地域間比較

アマモ場の多様な生態系サービスとそれに関わるSHをサイトごとにまとめた(図(3)-13、図(3)-14)。



図(3)-13 藻場の生態系機能、サービスとSHの有無の一覧（北海道能取湖）



図(3)-14 藻場の生態系機能、サービスとSHの有無の一覧（広島県大崎上島）

また、各サイトにおける生態系機能、サービスに対するSHの興味、関心の一覧を表(3)-5、表(3)-6に、各サイトにおけるSHの利害関係構造を表(3)-7、表(3)-8に示す。

表 (3) -5 藻場の生態系機能、サービスに対するSHの興味、関心（北海道能取湖）

SH	藻場に関連する諸機能に対する関心	アマモ自体の利用		藻場域				隣接する干潟域	
		採草対象として	流れ産・寄り産の利用	観光資源としての藻場	生息する水産資源	環境を保全する機能		観光資源としての干潟	生息する水産資源
						化学的機能(水質浄化等)	物理的機能(底質の安定等)		
西網走漁協	ケタ曳き漁業(地曳きホタテ成貝、ウニ)				○	○	○		
	ホタテ稚貝養殖					○			
	カゴ漁業(エビ、ツブ)				○	○			
	採介藻漁業(アザリ)				○	○			○
	その他漁業				○	○			
JAオホーツク網走	畑作、畜産農家								
	仲買業者(域外)				○				
民間会社・業者	宿泊施設(域内旅館)				○			○	
	水産加工、肥料など製造業								
	建設業に關連する事業者(域内外・行政含む)								
	採石業者								
地域団体	卯原内観光協会		○			○		○	
	町内会、老人会							○	
住民(域内外)	PB利用者・釣り人				○				
	潮干狩り参加者								○
	観光客、サイクリング、野鳥観察				○			○	○
その他	密漁者				○				○
	ゴミ投機者								○
行政・公共団体	国・道・市			○	○	○	○	○	○
	大学・試験場			○	○	○	○	○	○

表 (3) -6 藻場の生態系機能、サービスに対するSHの興味、関心（広島県大崎上島）

SH	藻場に関連する諸機能に対する関心	アマモ自体の利用		藻場域				隣接する干潟域	
		採草対象として	流れ産・寄り産の利用	観光資源としての藻場	生息する水産資源	環境を保全する機能		観光資源としての干潟	生息する水産資源
						化学的機能(水質浄化等)	物理的機能(底質の安定等)		
大崎内浦漁協	刺網(アマモ内の蒸建て網)漁業				○	○			
	ヒラメ養殖業(稚魚出荷、成魚「乙姫」ブランド出荷)					○			
	遊漁業				○	○			
	その他漁業				○	○			○
	民間漁業法人(内浦水産、ファームスキ)				○	○			○
大崎上島漁協	刺網(蒸建て網)漁業				○	○			
	遊漁業・その他漁業・養殖業				○	○			
JA広島はるか	畑作農家、民間農業法人		○						
	宿泊施設(域内のホテルや旅館)				○			○	
民間会社・業者	宿泊施設(域外の旅館・岩風呂経営)	○		○				○	
	スーパー(域内)				○				
	電力発電所								
	造船、水産加工など製造業								
	建設業に關連する事業者(域内外・行政含む)								
	スポーツ店(民泊事業のシーカヤック管理委託)			○					○
地域団体	商工会・観光協会			○	○			○	○
	FF会(フィッシュ・リゾートアイルランド会)				○				
	親友会								
	NPO上島の風		○	○				○	
住民(域内外)	ハチの干潟保護団体(広島県竹原市)		○	○				○	
	自家菜園者(寄り産利用;本土側の住民も含む)		○						
	釣り人・PB利用者				○				
	海水浴客			○				○	
	潮干狩り参加者								○
	農林漁業体験民泊(關西の中学生、高校生)			○	○			○	○
その他	観光客、サイクリング、野鳥観察				○			○	○
	密漁者				○				○
行政・公共団体	ゴミ投機者								○
	国・県・市		○	○	○	○	○	○	○
	大学・試験場		○	○	○	○	○	○	○
	高等専門学校			○	○	○	○	○	○

ヒアリング調査から、藻場の各機能に対するSHを抽出した結果、北海道能取湖周辺と広島県大崎上島周辺では、SHの数そのものに顕著な差が見られた。さらに、各生態系サービスの直接および間接利用プロセスの種数や、各SHの利害関係構造にもとに、各機能を利用するSH数が多いほどSHどうしが競合しており、利害調整や合意形成の必要性が高くなるものと推察される。北海道能取湖周辺域ではSHの数そのものが少なく、利害関係構造が比較的シンプルであり、藻場の資源供給サービスと、干潟域での文化サービスに関わりの深いSHが多数を占めることが明らかとなった。これに対して、広島県大崎上島周辺では、供給・文化・調整・基盤という多様な生態系サービスに対する多様なSHが存在し、また関心を示していた。北海道能取湖周辺に比べるとSHの数が多く利害関係構造も複雑なことから、SHの競合が多いことがうかがえる。藻場の生態系サービスのな

かでは文化サービス（レジャー）との関わりも大きく、「海に親しむ」という文化が比較的強く醸成されていると結論づけられる。

表（3）-7 藻場の生態系サービスを取りまくSHの利害関係構造（北海道能取湖）

SH	藻場・干潟が持つ機能	アマモ自体の利用			藻場域			隣接する干潟域	
		採草対象として	流れ藻・寄り藻の利用	観光資源としての藻場	生息する水産資源	環境を保全する機能 化学的機能 (水質浄化等)	物理的機能 (底質の安定等)	観光資源としての干潟	生息する水産資源
西網走漁協	クダヒゲ藻業(地獄きホタテ成員、ウニ) ホタテ稚貝養殖 カゴ漁業(エビ、ツブ) 採介藻漁業(アサリ) その他漁業				◎×	◎△(採藻負荷) ◎△(環境負荷)	◎緑藻	×(漁具流出) ×(漁具流失) ×(漁具流失)	◎×
JAオホーツク網走	畑作、畜産農家 仲買業者(域外) 宿泊施設(域内旅館) 水産加工、肥料、投石業など製造業 建設業に関連する事業者(域内外・行政含む)				◎×	◎×	◎緑藻	×(漁具流出)	◎×
民間会社・業者						△(排水)			○
地域団体	伊原内観光協会 町内会、老人会					△(河川改修など) △(炭源など)		◎(清掃) 清掃	
住民(域内外)	PB利用者・釣り人 潮干狩り参加者 観光客、サイクリング、野鳥観察				◎×			◎	◎×
その他	密漁者 ゴミ投機者				×			×	×
行政・公共団体	国・道・市(税収面から) 大学・試験場(調査・研究・教育面から)				○			○(清掃)	○
自然現象	特に大雨、大雪、結氷(SHへの活動阻害も含む)	×	×	×	×	河川の栄養分を流入させるなど	海底・海中の摂食など	×	×
観光対象植物や鳥獣	特にシロギクや野鳥								×

備考:ヒアリング調査日(6月24日~30日、8月1日~7日)JF西網走、JAオホーツク、旅館経営者、自治会町、伊原内観光協会、釣り人、オホーツク総合振興局(水産課、水産技術普及指導所)、網走市(水産漁港課、農政課、観光課、生活環境課)、網走水産試験場
 概念を掲げるSH:科学的・物理的機能悪化(排水、河川改修)に対して...宿泊施設(域外の旅館・岩風呂経営)、NPO上島の風、ハチの干潟保護団体)に対して...宿泊施設(域外の旅館・岩風呂経営)に対して...網走水産試験場、科学的・物理的機能悪化(河川改修、炭源)に対して...伊原内観光協会。
 利害関係表では表現できない関係:漁協に対して「釣りのエサを捕らせて欲しい」、「良くも悪くも海を独占している」...自治会、釣り人、観光協会。

表（3）-8 藻場の生態系サービスを取りまくSHの利害関係構造（広島県大崎上島）

SH	藻場・干潟が持つ機能	アマモ自体の利用			藻場域			隣接する干潟域	
		採草対象として	流れ藻・寄り藻の利用	観光資源としての藻場	生息する水産資源	環境を保全する機能 化学的機能 (水質浄化等)	物理的機能 (底質の安定等)	観光資源としての干潟	生息する水産資源
大崎内浦漁協	別網(アマモ内の藻建て網)漁業 ヒラメ養殖業(稚魚出荷、成魚「乙姫」ブランド出荷) 遊漁業 その他漁業(採介藻含む) 民間漁業法人(内浦水産、ファームスキ)				◎×	◎	◎緑藻		○
大崎上島漁協	別網(藻建て網)漁業 遊漁業・その他漁業・養殖業				◎×	◎×	◎緑藻		○
JIA広島はるか	畑作農家、民間農家法人		◎						
民間会社・業者	宿泊施設(域内のホテルや旅館) 宿泊施設(域外の旅館・岩風呂経営) スーパー(域内) 電力発電所 造船、水産加工など製造業 建設業に関連する事業者(域内外・行政含む) スポーツ店(民泊事業のシーカヤック管理委託)	◎×		○(清掃)				○(清掃)	
地域団体	商工会・観光協会 FF会(フクシマ・フルーフアイランド会) 猟友会 NPO上島の風 ハチの干潟保護団体(広島県竹原市)			◎(海教室)	○			◎(海教室)	○
住民(域内外)	自家菜園者(寄り藻利用:本土側の住民も含む) 釣り人・PB利用者 海水浴客 潮干狩り参加者 農林漁業体験民泊(関西の中学生、高校生) 観光客、サイクリング、野鳥観察		◎		◎×	△(釣餌)		◎	◎×
その他	密漁者 ゴミ投機者				×			×	×
行政・公共団体	国・県・市(税収面から) 大学・試験場(調査・研究・教育面から) 高等専門学校(特に教育面から)	○	○	○	○			○	○
自然現象	特に台風、大雨、洪水、大潮(SHへの活動阻害も含む)	×	×	×	×	河川の栄養分を流入させるなど	海底・海中の摂食など	×	×
有害鳥獣	特にカワウ、陸境ではシカなど				×				×
観光対象植物や鳥獣	特にスナメリクジラや野鳥								×

備考:ヒアリング調査日(7月4日~10日)2漁協、民間漁業法人、広島ゆたか農協、NPO法人かみしまの風、大崎上島町(産業観光課農林水産係、産業観光課商工観光係、建設課、総務課)、釣り人(大崎上島町)、飲食店経営者旅館・岩風呂経営者(竹原市)
 概念を掲げるSH:科学的・物理的機能悪化(排水、河川改修)に対して...宿泊施設(域外の旅館・岩風呂経営)、NPO上島の風、ハチの干潟保護団体。
 利害関係表では表現できない関係:行政に対して「もっと海底網敷を行いたい」、「カワウ種数を増加して欲しい」...漁協。

これらの結果を比較すると、北海道の能取湖と瀬戸内海の大崎上島では、生態系サービスの違いがSHの利害関係構造を生み出し、さらには地域の文化の違いに関わっていることが推察される。

そのため、藻場管理政策において、北海道能取湖周辺と広島県大崎上島周辺では、同じアマモ場であっても画一的に扱うことは適切ではないものと考ええる。

得られた成果をもとに、アマモ場および周辺の活動者に対する管理政策についての考察を行う。図(3)-13、図(3)-14および表(3)-5、表(3)-6、表(3)-7、表(3)-8を、藻場の機能別に縦向きに見ていくことで、同じ機能に対して複数のSHが関心を寄せており、機能を利用した活動を行っていることが確認できる。能取湖においては、水産資源の管理、サンゴ草などの観光資源の管理、ゴミの不法投棄に対する管理、密漁の監視等が、特にSH間の調整を行うべき項目であると言える。また、周辺地域からの排水とアマモの減少要因の関係や、貧酸素層の形成要因などの解明などについても対策が必要であることが示唆される。能取湖域では藻場の生態系サービスのうち、漁業や遊漁に関連する水産資源の供給サービスへのSHの依存度が高い。そのため、藻場管理政策の失敗が周辺の市民生活、意識や文化（自然との関わり）に対しても大きく影響する可能性が高いため、政策の選定・実践には注意が必要であると考ええる。

また、能取湖周辺において、農業、工業などからの排水による水質汚濁が共通の大きな懸念となっているものの、その利害関係構造は大きく異なっていた。能取湖に隣接する網走湖においては、これまで漁家と農家の間には頻繁な交流がなかったため、2011年に周辺2漁協と水源に位置する農協が連携することで農業漁業連携推進協議会を結成し、藻場の管理体制を整えることが可能になった。一方、能取湖では従来から漁家と農家間の交流が盛んであったことからお互いに遠慮し、懸念事項の通達および調整が困難であることが分かった。一般的には、SH同士の仲が良い方が管理しやすいと考えられやすいが、現実にはその正反対の状況に陥る可能性があることがわかる。能取湖のような事例においては、水質汚濁に関する直接的なSHである漁業者や農業者のみでは、利害関係の調整を効果的に進めることは困難であり、対象域の行政機関などが第3者的立場から科学的知見に基づいた調整を提案するなどのサポートが必要であると考ええる。

これに対して、瀬戸内海大崎上島では、藻場が有する機能に関わるSHの数が多く、またそれぞれの関心事項が多様であり、利害構造も複雑である。当地域においては、漁業や遊漁といった資源供給サービスの利用のみならず、シーカヤック、漁業体験や農業体験、地域住民を対象とした海の教室なども行われており、文化サービスについても多様に活用されていることが特徴的である。その他にも、アマモの直接利用や海水浴の利用率の高さも特徴的であり、海に親しむ文化が醸成されていることが分かる。瀬戸内海大崎上島域においては、藻場に関係するSH数が多いことに加え、その利害構造自体も複雑であり、藻場機能ごとに異なるSHの関心および利害関係をカバーできるような、柔軟できめ細やかな方策を選定する必要があると考ええる。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

本サブテーマでは、アマモ場における魚類群集構造の定量評価の精度を高めるために、(1) 魚類の定量調査を実施するために必要な最低アマモ場面積の検討を実施した。その結果、アマモ場において望ましい調査面積の最小単位を決定するためのデータが得られ、これにもとづいてコアサイトにおけるサンプリングが実施された。沿岸域の重要な生態系であるアマモ場で魚類の定

量採集を実施する際の手法を確立することができた点は、今後の広域比較・長期解析の精度向上に貢献するものである。

また、コアサイト間での魚類群集構造の違いとその季節変動を明らかにすることを目的として、(2) 南北コアサイトにおける魚類群集および食物網の時空間変動解析を行った。その結果、魚類群集が多様な南北のコアサイト間で優占魚種が異なり、重量割合において優占種となった魚種でかつ供給サービス（水産資源）として重要な魚種は、北海道能取湖においてウグイ、ギスカジカ、クロガシラガレイ、クロガレイ、クロソイ、コマイ、シロザケ、チカ、ヌマガレイ、ワカサギ、広島県生野島においてアイナメ、アカメバル、ウマヅラハギ、ウミタナゴ科 spp.、カサゴ、カワハギ、キュウセン、クロメバル、シロメバル、タケノコメバル、マアナゴ、ヨロイメバルであることが明らかとなった。さらに、アマモ場における魚類を中心とした食物網解析により、能取湖ではエゾイサザアミやコツブムシ、生野島ではカイアシ類、アミ類、ヨコエビ類がこれら魚類群集の主要な餌生物として利用されていることが明らかとなった。沿岸域の重要な生態系であるアマモ場における魚類群集構造とその南北差が明らかになった点は、人間による生態系利用(漁獲)や将来における地球温暖化の影響評価を地域ごとに実施する際の制度を高めるものである。さらに、各サイトにおける主要な栄養フローを明らかにしたことにより、水産資源に捕食される餌生物（甲殻類）の貢献度評価を達成するうえで不可欠なデータを蓄積することができた。

さらに本サブテーマでは、(3) 生態系サービスと社会のつながりを調べるためのステークホルダー分析を実施した結果、同じアマモ場であってもそれを取り巻く社会構造や人間による利用形態が地域間で大きく異なることが明らかとなった。現地で開催したヒアリング調査をもとに藻場の各機能に対するSHを抽出した結果、北海道能取湖周辺と広島県大崎上島周辺ではSH数に顕著な差が見られた。能取湖周辺域ではSH数が少なく、利害関係構造が比較的シンプルであり、藻場の資源供給サービスと、干潟域での文化サービスに関わりのあるSHが多いことが明らかとなった。これに対し、大崎上島では、供給・文化・調整・基盤という全ての要素に対する多様なSHが存在し、また関心を示していた。能取湖に比べるとSHの数が多く利害関係構造も複雑なことから、SHの競合が多いことも示唆された。藻場の生態系サービスのなかでは文化サービスの規模が大きく、「海に親しむ」という文化も醸成されていることが明らかとなった。これらの結果を比較すると、北海道能取湖と瀬戸内海生野島では、生態系サービスの違いがSHの利害関係構造や文化の違いを生み出していることが推察された。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

環境省の有識者会議は、2014年5月に日本の排他的経済水域内で生物学や生態学の観点から重要な場所を「重要海域」として選定した（2014年5月10日、中国新聞他に掲載）。その中に含まれた本研究の調査サイト（瀬戸内海、広島県大崎上島北部）周辺域に関する生物データを、本研究チームが提供してきたことが、今回の選定につながった。

研究代表者らは、2009年以降に日本全国（鹿児島～北海道：アマモの分布域をカバーするエリア）のこれまでに25ヵ所のアマモ場で、本研究と同様の手法による調査を実施してきた（図(3)-1)³⁾。その結果、瀬戸内海サイト（大崎上島北部海域）では年間で80種以上の魚類の分布を確認し、英語論文として成果を公表するとともに（誌上発表<論文（査読あり）論文11）Mohriほか、

2013) 環境省や関連団体（環境省から依頼を受けた調査団体を含む）への情報提供を継続して行ってきた。

<行政が活用することが見込まれる成果>

アマモ場における魚類群集構造の定量評価の精度を高めることを目的として、魚類の定量調査を実施するために必要な最低アマモ場面積の検討を実施した。望ましい調査面積を推定するためには、膨大な労力と適当なフィールドが必要であるため、これまで取り組まれてこなかったが、本研究は今後の沿岸モニタリングの調査方法の改良という面においても貢献する情報を提供した点において、高く評価できるであろう。

南北比較の視点から明らかになった魚類群集および食物連鎖の地域差は、地球温暖化をはじめとする今後の環境変動に対する生態系のレスポンスを高い精度で評価するために不可欠な知見である。温度（水温）変化に対する応答は魚種によって異なることから、沿岸域の魚類群集の将来予測を高精度で実施するためには地域ごとの魚類群集構造に関する詳細情報が不可欠である。広域的視野にたつて魚類群集を解析した本成果は、これらの科学的根拠を提供するものである。

SH分析を通じて、藻場が有する機能に対するSHの利害関係構造を定性的に把握することが可能となり、利害関係構造の可視化が飛躍的に進行した。さらに、同じアマモ場生態系であっても人間による利用形態が南北で大きく異なることが明らかとなった（図(3)-15）。将来における気候変動や人口構造の変化（人工や漁業者の減少）のもとでとるべき施策は、当然のことながら南北で異なったものにしなければならない。しかしながら過去においてはその根拠となる情報が乏しかった。本研究では、生態系の構造、機能、サービス、さらには底に関わる人間活動や社会構造の特性を明かにし、今後の沿岸生態系の管理、保全には地域に応じた政策が不可欠であることを、科学的根拠にもとづいて提唱することが可能となった点は、今後の環境政策における最大の貢献となるであろう。

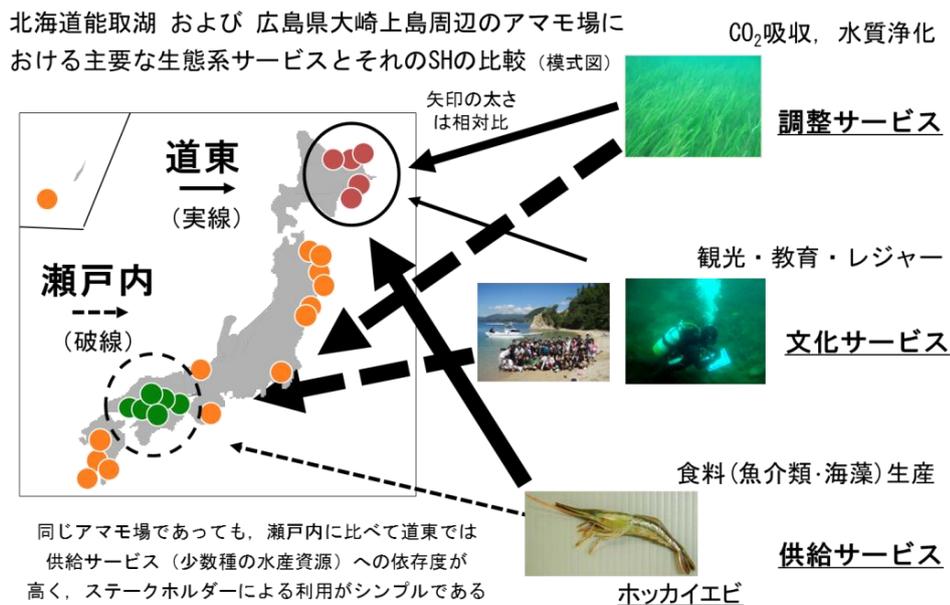


図 (3) -15 南北コアサイト（北海道能取湖、広島県大崎上島）のアマモ場の生態系サービスの利用形態の違いに関する模式図。矢印の太さは各サービスへの依存度の相対的な違いを示す。

研究スタート時に設定した仮説のとおり、アマモ場という同じ生態系であっても地域により生態系サービスの質や量、人間との関わり方が異なることが明らかとなった。生態系サービスを構成する調整・供給・文化および基盤サービスの量や構成割合は地域によって異なる実情は、同じアマモ場であっても利用や管理の方針を地域ごとに柔軟に変える必要性を極めて高いことを示している。本研究は自然科学および人文科学的手法を融合させることを念頭に置いて開始された研究課題であった。コアサイトの1つである北海道では、漁業や遊漁に関連する供給サービス（水産資源）へのSHの依存度が高い。環境変動（温暖化や突発的な気象条件）による藻場への影響や、藻場管理政策の失敗が周辺住民に対しても大きく影響してしまう可能性を秘めている点を考慮して政策選定する必要がある。さらには、SH間の関係の地域差を考慮することも重要である。SH同士の交流が活発な方が生態系を管理しやすいと考えられやすいが、現実にはその正反対の状況に陥る可能性があるためである。北海道のような事例においては、後背地を含めた農業・牧畜に関わるSHも政策を進める上で関わりが深く、水質汚濁に関する直接的なSHである漁業者や農業者のみでは、利害関係の調整を効果的に進めることは不可能であり、対象域の行政機関などが第三者の立場から科学的知見に基づいた調整を行う必要があると考える。これに対して、瀬戸内海では、藻場が有する機能に関わるSHの数が多く、またそれぞれの関心事項も拡散的であり、利害構造がより複雑である。当地域においては、漁業や遊漁といった水産資源の利用（供給・文化サービス）のみならず、シーカヤック、漁業体験や農業体験、地域住民を対象とした海の教室なども行われており、文化サービスについても幅広く活用されていることが特徴的である。その他にも、アマモの直接利用（石風呂と呼ばれる地域の伝統サウナ）や海水浴の利用率の高さも特徴的であり、海に親しむ文化が醸成されてきた歴史的背景がある。瀬戸内海沿岸地域では、藻場に関係するSH数が多いことに加え、その利害構造自体も複雑であり、SHの藻場機能ごとの関心および利害関係をカバーできるような、柔軟できめ細やかな方策を選定する必要があると提案できる。

6. 国際共同研究等の状況

【国際共同研究計画名】

環太平洋海域におけるアマモ場生態系機能・サービスの地域変異性の解明（科研費、基盤B海外、2012-2015年度）

【協力案件名】

アマモ場の魚類群集の海域間比較

【カウンターパート氏名・所属・国名】

高緯度サイト

Annelise Chapman博士・Runde Environmental Center・ノルウェー

Catriona Clemmesen博士、Thosten Reusch教授・GEOMAR Helmholtz Center for Ocean Research Kiel・ドイツ

温帯～亜寒帯サイト

Diana Allen教授・Simon Fraser University・カナダ

Jenifer Ruesink教授・University of Washington, Department of Biology・米国

Richard Brodeur教授・Oregon State University Hatfield Marine Science Center・米国

Jason Gurdak助教・San Francisco State University Department of Earth and Climate Science・米国

Karl Menard博士・University of California Bodega Marine Laboratory・米国

Ignasio Catalan博士・Mediterranean Institute for Advanced Studies・スペイン

Mario Lepage博士・Irstea (National Research Institute of Science and Technology for Environment and Agriculture) Bordeaux Center・フランス

熱帯サイト

Vicente Santos Paragas博士・National Water Resources Board・フィリピン

Nenny Saptadji博士・Bandung Institute of Technology・インドネシア

【参加・連携状況】

日本国内規模での広域的比較を主眼とする本研究の発展的位置づけとして、全地球規模での魚類生産構造、生態系サービスの比較を視野に入れている。全世界の温帯～亜寒帯に広域的に分布するアマモの特性を背景に、気候区間での比較（南北比較）に加えて、同緯度であっても卓越する海流システム（暖流か寒流か）が異なることによる生態系・生産構造の違いにスポットを当てて解析する点は、世界的にも他に例を見ない広域的・包括的取り組みである。さらに、広域的調査結果をもとに地球温暖化による生物群集・生産機構の応答の予測も実施している。本研究を基盤として、世界の沿岸域における藻場を中心とした浅海生態系の生産システムの比較研究を通じて、これまでに類をみない広域的・長期的・包括的視野での生産・多様性研究を進めることを目標に掲げている。

【国際共同研究計画名】

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

【協力案件名】

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、

【カウンターパート氏名・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】

国際的に公認された連携体制（International Seagrass Biological Workshop公認プロジェクト）のもとで、現地調査を実施した。

7. 研究成果の発表状況

（1）誌上発表

<論文（査読あり）>

1) Y. KAMIMURA, A. KASAI and J. SHOJI: Aquatic Ecology, 45, 367-376 (2011)

- “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”
- 2) J. SHOJI, S. TOSHITO, K. MIZUNO, Y. KAMIMURA, M. HORI, K. HIRAKAWA: ICES J Mar Sci. 68, 1165-1169 (2011)
 “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”
- 3) 小路 淳：浅海域の生態系サービス—海の恵みと持続的利用（小路 淳、堀 正和、山下 洋編）、恒星社厚生閣、東京、pp26-37 (2011)
 「魚類生産からみた生態系サービス」
- 4) Y. KAMIMURA, K. MIZUNO, T. NODA, K. HIRAKAWA, H. TAMAKI and J. SHOJI: Aquaculture Science 60, 413-416 (2012)
 “Validation of daily periodicity of otolith increment formation and application for analysis of early growth of wild juvenile black rockfish *Sebastes cheni*”Y.
- 5) Y. KAMIMURA and J. SHOJI: Erlend Moksness, Einar Dahl and Josianne Støttrup (Eds.), Global Challenges in Integrated Coastal Zone Management, Wiley-Blackwell, West Sussex, UK, pp.61-68 (2012).
 “A combination of seagrass and macroalgae beds enhances young-of-the-year rockfish *Sebastes cheni* production: toward a habitat conservation based on the phenology of fishery resources and vegetation”
- 6) A. SOGABE, K. MOHRI and J. SHOJI: Ichthyological Research 59, 223-229 (2012)
 “Reproductive seasonality of the seaweed pipefish *Syngnathus schlegeli* (Syngnathidae) in the Seto Inland Sea, Japan”
- 7) H. KINOSHITA, Y. KAMIMURA, K. HIRAI, K. MIZUNO, Y. IWAMOTO and J. SHOJI: Bulletin of Japanese Society of Fisheries Oceanography 76, 24-30 (2012)
 “Vulnerability of juvenile fish to piscivorous fish predators increases during nighttime in a seagrass bed in the central Seto Inland Sea, Japan”
- 8) Y. KAMIMURA, M. KAWANE, M. HAMAGUCGI and J. SHOJI: Ichthyol Res, doi: 10.1007/s10228-013-0381-8 (2013)
 “Age and growth of three rockfish species, *Sebastes inermis*, *S. ventricosus* and *S. cheni*, in the central Seto Inland Sea, Japan”
- 9) H. KINOSHITA, Y. KAMIMURA, K. MIZUNO and J. SHOJI: ICES Journal of Marine Science, doi: 10.1093/icesjms/fst033 (2013)
 “Nighttime predation on post-settlement Japanese black rockfish *Sebastes cheni* in a macroalgal bed: effect of body length on predation rate”
- 10) Y. KAMIMURA and J. SHOJI: Estuarine, Coastal and Shelf Science, 129, 86-93 (2013)
 “Does macroalgal vegetation cover influence post-settlement survival and recruitment potential of juvenile black rockfish *Sebastes cheni*?”
- 11) K. MOHRI, Y. KAMIMURA, K. MIZUNO, H. KINOSHITA, S. TOSHITO and J. SHOJI: Aquaculture Science 61, 215-220 (2013)

“Seasonal changes in the fish assemblage in a seagrass bed in the central Seto Inland Sea”

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 小路 淳：豊かな海、23、31-35（2011）「いつも二人三脚 漁業者と栽培漁業技術者の挑戦 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」
- 2) 小路 淳：水産海洋学入門 海洋生物資源の持続的利用（水産海洋学会編）、講談社、東京pp201-210（2014）
「沿岸域の複合生態系」

（2）口頭発表（学会等）

- 1) J. SHOJI, H. KINOSHITA, S. TOSHITO, Y. KAMIMURA: 35th Annual Larval Fish Conference, Coastline Conference and Event Center, Wilmington, North Carolina, USA, 2011
“Is seagrass bed a safe nursery? – nighttime predation rate, size- and growth-selective survival of rockfish juveniles and possible effects of the global warming”.
- 2) J. SHOJI: International Long-Term Ecological Research Network (ILTER) Annual Meeting 2011, Hokkaido University, Sapporo, Japan, 2011
“Latitudinal comparison of fish community structure and production in seagrass beds in the western North Pacific”
- 3) J. SHOJI: International Workshop on Growth–survival paradigm in early life stages of fish: theory, advance, synthesis, and future, Fisheries Research Agency, Yokohama, Japan, 2001
“Cross-system and taxonomic comparison of growth and survival mechanisms”
- 4) 市川光太郎、三田村啓理、荒井修亮、新家富雄、小路 淳：日本水産学会秋季大会、長崎大学水産学部（2011）
「バイオテレメトリーを用いた小型魚類の行動研究 1 高精度音響測位システムの開発」
- 5) 三田村啓理、市川光太郎、小路 淳、新家富雄、荒井修亮：日本水産学会秋季大会、長崎大学水産学部（2011）
- 6) 「バイオテレメトリーを用いた小型魚類の行動研究 2 新技術の開発とアカメバルの移動モニタリング」
- 7) 小路 淳、福田温史、久保田 光、上村泰洋：日本水産学会秋季大会、長崎大学水産学部（2011）
「藻場の魚類群集と生産 -1 アマ藻場における調査面積と魚類群集の関係」
- 8) 福田温史、上村泰洋、堀 正和、小路 淳：日本水産学会秋季大会、長崎大学水産学部（2011）
「藻場の魚類群集と生産 -2 アマモ場の魚類群集構造にもとづく地域区分の試み」
- 9) 久保田 光、福田温史、上村泰洋、小路 淳：日本水産学会秋季大会、長崎大学水産学部（2011）
「藻場の魚類群集と生産 -3 アマモ場周辺における魚類群集と生息環境の解析」
- 10) 木下 光、上村泰洋、小路 淳：日本水産学会秋季大会、長崎大学水産学部（2011）
「藻場の魚類群集と生産 -4 瀬戸内海中央部のガラモ場におけるメバル属稚魚の夜間被食率の経月変化」

- 11) 中野 光、上村泰洋、年藤俊一、福田温史、小路 淳、平川浩司：日本水産学会秋季大会、長崎大学水産学部（2011）
「藻場の魚類群集と生産 -5 照度がメバル属稚魚の行動に与える影響」
- 12) 千葉裕介、年藤俊一、上村泰洋、小路 淳、平川浩司：日本水産学会秋季大会、長崎大学水産学部（2011）
「藻場の魚類群集と生産 -6 シロメバル・カサゴの浅海域生息場への加入機構：仔稚魚の底質選択実験から」
- 13) 上村泰洋、小路 淳：日本水産学会秋季大会、長崎大学水産学部（2011）
「藻場の魚類群集と生産 -7 ガラモの衰退にともなうシロメバル稚魚の強い成長選択と減耗率上昇の一致」
- 14) 年藤俊一、上村泰洋、毛利紀恵、小路 淳、水野健一郎、平川浩司、野田 勉：日本水産学会秋季大会、長崎大学水産学部（2011）
「藻場の魚類群集と生産 -8 水温変化に対するシロメバル初期成長の応答」
- 15) 堀 正和、田中義幸、宮島利宏、小路 淳、吉田吾郎、浜口昌巳：日本水産学会秋季大会、長崎大学水産学部（2011）
「瀬戸内海における景観多様性と食物網動態との関連検証」
- 16) 小路 淳：香川大学瀬戸内圏研究センター学術講演会「瀬戸内圏の海、島、健康を学ぶ」、サンプォートホール高松（2011）
「海の「ゆりかご」藻場がはぐくむ瀬戸内海の魚たち」
- 17) 木下 光、上村泰洋、小路 淳：水産海洋学会、函館市公民館（2011）
「瀬戸内海中央部のガラモ場におけるメバル属稚魚の夜間被食率の経月変化」
- 18) 上村泰洋、小路 淳：水産海洋学会、函館市公民館（2011）
「高い減耗率と強い成長選択の一致～ガラモ場におけるシロメバル稚魚の事例～」
- 19) 小路 淳、堀 正和、福田温史、水野健一郎、上村泰洋：水産海洋学会、函館市公民館（2011）
「海洋生物の「ブラキストン線」：日本沿岸域アマモ場における魚類群集の南北分布、生産構造および温暖化による影響予測」
- 20) 小路 淳：東京大学大気海洋研究所 国際沿岸海洋研究センターシンポジウムー三陸沿岸生態系に対する大津波の影響と回復過程に関する研究報告会、岩手県大槌町（2011）
「大槌町周辺のアマモ場における魚類の生息状況」
- 21) A. Fukuta, Y. Kamimura, M. Hori, H. Kinoshita, K. Mizuno, M. Morimoto, T. Ohtake, J. Shoji: 50th Estuarine, Coastal and Shelf Science Association Conference: Today's science for tomorrow's Management 2012, Venice, Italy (2012)
“Effects of *Tsunami* in March 2011 on fish community and production in seagrass beds in coastal area of the western North Pacific”
- 22) Y. KAMIMURA, J. SHOJI: 36th Annual Larval Fish Conference, Osøyro, Norway (2012)
“How habitat complexity affects cohort specific mortality and growth-selective survival of *Sebastes* juveniles in macroalgal bed?”
- 23) P. SIROIS, A. TAKASUKA, D. ROBERT, J. HOJI, I. AOKI, L. Fortier, Y. Oozeki: 36th Annual Larval Fish Conference, Osøyro, Norway (2012)

“Size- or growth-selective mortality during early life history of fishes: publication bias and the need for a new conceptual framework”

- 24) J. SHOJI, K. MIZUNO, Y. KAMIMURA: 36th Annual Larval Fish Conference, Osøyro, Norway (2012)

“Predation or density-dependence? A latitudinal comparison of sources of mortality of post-settlement black rockfish in seagrass bed”

- 25) T. NODA, Y. NAGAKURA, D. SHIMIZU, H. AONO, H. OKOUCHI, M. HAMAGUCHI, A. FUKUTA, Y. KAMIMURA, J. SHOJI: PICES 2012 Annual Meeting: Effects of natural and anthropogenic stressors in the North Pacific ecosystems: Scientific challenges and possible solutions, Hiroshima, Japan (2012)

“Impact of the tsunami from the Great East Japan Earthquake on seagrass beds and fish assemblages in Miyako Bay”

- 26) S. SONOKI, Y. MORITA, J. SHOJI, K. MIYASHITA: PICES 2012 Annual Meeting: Effects of natural and anthropogenic stressors in the North Pacific ecosystems: Scientific challenges and possible solutions, Hiroshima, Japan (2012)

“Monitoring seasonal variations in a seagrass bed by an acoustics method”

- 27) 福田温史、上村泰洋、木下 光、水野健一郎、小路 淳、堀 正和、森本 充、大竹二雄：日本水産学会春季大会、東京海洋大学、東京都（2012）

「2012年3月の大津波がアマモ場の魚類群集に及ぼした影響：時空間変動の解析」

- 28) 上村泰洋、小路 淳：日本水産学会春季大会、東京海洋大学、東京都（2012）

「瀬戸内海中央部のガラモ場におけるシロメバル稚魚の出現・成長・減耗の5年間の変動」

- 29) 仲 美穂、上村泰洋、年藤俊一、小路 淳：日本水産学会春季大会、東京海洋大学、東京都（2012）

「瀬戸内海中央部の藻場におけるシロメバル成育場としての環境収容力推定の試み」

- 30) 中野 光、小路 淳・平川浩司：日本水産学会春季大会、東京海洋大学、東京都（2012）

「照度が藻場滞在期のメバル属稚魚の遊泳・群れ行動に与える影響」

- 31) 福田温史、上村泰洋、小路 淳：日本水産学会春季大会、東京海洋大学、東京都（2012）

「アマモ場の魚類群集構造の広域比較～魚類群集の分類（稚魚・成魚）による考察～」

- 32) 千葉裕介、中野 光、小路 淳、平川浩司：日本水産学会春季大会、東京海洋大学、東京都（2012）

「フサカサゴ科魚類2種の浅海域生息場への加入機構～シロメバル、カサゴによる構造物認知の臨界距離～」

- 33) 小路 淳:シンポジウム「地震と津波に学び“海とともに生きる”未来創生～森と海を結ぶ干潟・湿地再生を考える～」、国際高等研究所、京都府木津市（2012）

「海のゆりかごーアマモ場の機能と回復過程：東北太平洋沿岸域の事例」

- 34) J. SHOJI, A. FUKUTA, P. SCHUBERT, A. CHAPMAN, T. HAUKEBØ: 37th Annual Larval Fish Conference, Miami, USA (2013)

“Variability in predation risk of juvenile fishes in seagrass beds evaluated from piscivorous fish biomass and predation rates from tropical to subarctic zones”

- 35) 福田温史、上村泰洋、木下 光、水野健一郎、小路 淳：第60回日本生態学会、グランシップ静岡、静岡市（2013）

- 「藻場における捕食圧の南北比較：魚類の初期成長の緯度間補償を補償する」
- 36) 荻野裕平、福西悠一、山下 洋、山本昌幸、桑原卓哉、中野 光、小路 淳：日本水産学会春季大会、東京海洋大学、東京都（2013）
- 「ヒラメ着底稚魚の摂餌と成長：若狭湾と瀬戸内海の比較」
- 37) 桑原卓哉、富士泰期、笠井亮秀、山下 洋、一見和彦、岩本有司、荻野裕平、中野 光、小路 淳：日本水産学会春季大会、東京海洋大学、東京都（2013）
- 「日本海と瀬戸内海に流入する河川におけるスズキの初期生態比較」
- 38) 福田温史、上村泰洋、木下 光、水野健一郎、小路 淳：日本水産学会春季大会、東京海洋大学、東京都（2013）
- 「アマモ場における魚類の成長-生残トレードオフ：小型魚類の被食リスクが初期成長の「緯度間補償を補償する」
- 39) 中野 光・福田温史・上村泰洋・小路 淳・大竹二雄・森本 充：日本水産学会春季大会、東京海洋大学、東京都（2013）
- 「東北太平洋岸のアマモ場における魚類群集：津波前後（2009-2012年）の経時変化の解析」
- 40) P. Sirois、高須賀明典、D. Robert、小路 淳、青木一郎、L. Fortier、大関芳沖：日本水産学会春季大会、東京海洋大学、東京都（2013）
- 「魚類の初期成長・生残研究における出版・引用バイアス」
- 41) 秦 正樹、田中拓希、荻野裕平、桑原卓哉、中野 光、富山 毅、小路 淳：日本水産学会秋季大会、三重大、津市(2013)
- 「広島県竹原市賀茂川河口周辺におけるマコガレイ稚魚の出現と食性」
- 42) 田中拓希、秦 正樹、木下 光、中野 光、荻野裕平、桑原卓哉、千葉 晋、遊佐貴志、小路 淳：日本水産学会秋季大会、三重大、津市(2013)
- 「アマモ場における小型魚類に対する捕食圧の昼夜比較-1 北日本と南日本の特性比較」
- 43) 田中拓希、福田温史、三田村啓理、小路 淳：日本水産学会秋季大会、三重大、津市(2013)
- 「アマモ場における小型魚類に対する捕食圧の昼夜比較-2 累積被食量の南北比較（予報）」
- 44) 中野 光、福田温史、上村泰洋、小路 淳、大竹二雄、森本 充：日本水産学会秋季大会、三重大、津市(2013)
- 「東北太平洋岸のアマモ場における魚類群集：津波前後（2009-2013年）の種・サイズ構成の空間比較」
- 45) 小路 淳：水産海洋学会シンポジウム「沿岸海域の複合生態系—資源生物産研究の新たな視点」、京都大学益川ホール、京都市（2013）
- 「藻場を中心とする物質・生物のつながり～時・空間をまたぐ生物生産メカニズム～」
- 46) 小路 淳：第14回広島湾研究集会「アマモ場の保全・再生へ向けての先進的な取り組み」広島県情報プラザ、広島市（2013）
- 「海の「ゆりかご」藻場の機能および経済価値評価の試み～あなたは生態系にいくら支払いますか？」
- 47) 小路 淳：網走市公開シンポジウム「藻場からの豊かな恵みを知る～アマモ場の生態系サービスと保全について～」、オホーツク文化・交流センター（2014年2月）
- 「藻場がもたらす自然のめぐみ～道東の生物多様性とプロジェクトの概要紹介」
- 48) J. SHOJI: Workshop on Human-Environmental Security in Asia-Pacific Ring of Fire: Water-Energy-Food Nexus, University of North Carolina, Chapel Hill, NC, USA (2014年3月)
- “Water-food NEXUS in coastal ecosystems”
- 49) 秦 正樹、田中拓希、荻野裕平、桑原卓哉、中野 光、富山 毅、小路 淳：日本水産学会春季大会、北海道大学水産学部、函館市（2014年3月）

- 「広島県竹原市賀茂川河口周辺におけるカレイ類稚魚の摂餌生態、成長および栄養源の比較」
- 50) 田中拓希、秦 正樹、木下 光、中野 光、荻野裕平、桑原卓哉、千葉 晋、遊佐貴志、藤浪祐一郎、清水大輔、小路 淳：日本水産学会春季大会、北海道大学水産学部、函館市（2014年3月）
「アマモ場における小型魚類に対する捕食圧の昼夜、季節および南北比較」
- 51) 中野 光、荻野裕平、桑原卓哉、田中拓希、秦 正樹、小路 淳：日本水産学会春季大会、北海道大学水産学部、函館市（2014年3月）
「東北太平洋岸アマモ場の魚類群集：津波前後(2009-2013)における種構成、多様度の推移」
- 52) 山本昌幸、小路 淳、富山 毅：日本水産学会春季大会、北海道大学水産学部、函館市（2014年3月）
「高水温によるメイタガレイの摂餌率と相対肥満度の低下」

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない

(4) シンポジウム、セミナー等の開催（主催のもの）

- 1) アマモ場の魚類生産構造にみられる緯度間勾配に関するセミナー（2011年9月15日、Leibniz Institute for Marine Sciences、IFM-GEOMAR、Kiel、Germany、聴衆35名）
- 2) 魚類の初期生残、加入機構に関する国際ワークショップ「Workshop on Growth-survival paradigm in early life stages of fish: theory、advance、synthesis、and future」（2011年10月26日～11月1日、中央水産研究所、横浜市、聴衆20名）
- 3) アマモ場における魚類の加入と生産に関するセミナー（2012年11月7日、Mediterranean Institute for Advanced Studies、Mallorca、Spain、聴衆30名）
- 4) 浅海域の環境と魚類生産に関するセミナー（2012年11月9日、National Research Institute of Science and Technology for Environment and Agriculture、Bordeaux Centre、Bordeaux、France、聴衆35名）
- 5) 第12回広島研究集会「再生する太田川流域圏～山・川・海・人の連携による持続可能な生産・発展を目指す」（2011年12月22日、広島県情報プラザ、広島市、聴衆100名）
- 6) 藻場生態系に対する攪乱の影響と生物相の遷移に関するセミナー（2012年7月10日、Leibniz Institute for Marine Sciences、IFM-GEOMAR、Kiel、Germany、聴衆30名）
- 7) PICES（太平洋国際漁業委員会）2012 Annual Meetingにおけるシンポジウム「Effects of natural and anthropogenic stressors in the North Pacific ecosystems: Scientific challenges and possible solutions」（2012年10月19日、広島国際会議場、聴衆80名）
- 8) 太平洋沿岸アマモ場の生態学研究に関するセミナー（2013年7月11日、オレゴン州立大Hatfield Marine Science Center、聴衆40名）
- 9) 藻場の生態学的機能に関するセミナー（2013年9月27日、瀬戸内海区水産研究所、広島、聴衆40名）
- 10) 第14回広島湾研究集会「アマモ場の保全・再生へ向けての先進的な取り組み」（2013年12月10日、広島県情報プラザ、広島市、聴衆80名）
- 11) 網走市公開シンポジウム「藻場からの豊かな恵みを知る～アマモ場の生態系サービスと保全に

ついて～」(2014年2月25日、オホーツク文化・交流センター、網走市、聴衆40名)

- 12) Workshop on Human-Environmental Security in Asia-Pacific Ring of Fire: Water-Energy-Food Nexus
(2014年3月5日、University of North Carolina、Chapel Hill、North Carolina、USA、聴衆30名)

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) プレスリリース(2011年9月、広島大学・独立行政法人・水産総合研究センター「岩手県宮古湾の稚魚の生息状況を調査-湾内には多数の稚魚が成育」)
- 2) プレスリリース(2011年12月、広島大学・独立行政法人・水産総合研究センター「岩手県宮古湾における稚魚調査の結果について-6~11月の調査で50種以上の魚類を確認-」)
- 3) 中国新聞(2012年4月13日、科学面、「大津波の三陸 生態系一変 広島大など海を調査」)
- 4) 中国新聞(2013年7月24日、社会面、「身近な海で新発見 竹原の児童 生き物観察会 力を合わせて地曳き網をひく児童たち」)
- 5) NHKスペシャル 里海-瀬戸内海(2014年3月23日、瀬戸内海における藻場調査、生態系機能の解析について約5分紹介)
- 6) 中国新聞(2014年5月10日、社会面、「生物保護へ「重要海域」環境省選定 沿岸域は280カ所」
(本研究による生物データを提供した大崎上島北部海域が選定された)

(6) その他

- 1) 研究代表者と研究協力者が共同発表した研究成果が、学会賞(講演賞)を受賞。上村泰洋(研究協力者)、小路 淳。高い減耗率と強い成長選択の一致：ガラモ場におけるシロメバル稚魚の事例。水産海洋学会、函館市公民館、2011年11月12日。
- 2) 日本水産工学会論文賞。吉田吾郎、堀 正和、崎山一孝、浜口昌己、梶田 淳、西村和雄、小路 淳(共著)。「瀬戸内海の各灘における藻場・干潟分布特性と主要魚種漁獲量との関係」水産工学、(2012)47、19-29。(2012年5月)。

8. 引用文献

- 1) Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V. O'Neill, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton and M. van den Belt. Nature 387, 253-260 (1997)
“The value of the world's ecosystem services and natural capital”
- 2) TEEB: <http://www.teebweb.org/> (2010)
“The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature: A Synthesis of the Approach, Conclusions and Recommendations of TEEB”
- 3) 小路 淳・堀 正和：地球環境研究総合推進費(革新型、RF-0970)報告書(2001)
「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」
- 4) Freedman, E: Cambridge University Press (2010)

“Strategic Management: A Stakeholder Approach”

- 5) Varvasovszky, Z and R. Brugha: Health Policy and Planning 15: 338-345 (2000)
“A stakeholder analysis”
- 6) 土木学会：（2004）
「合意形成論－総論賛成・各論反対のジレンマ～（土木学会誌叢書2）」
- 7) 松浦正浩・城山英明・鈴木達治郎：社会技術研究論文集 5: 12-23（2008）
「ステークホルダー分析手法を用いたエネルギー・環境技術の導入普及の環境要因の構造化」
- 8) 農林水産省：http://www.maff.go.jp/j/kokuji_tuti/tuti/t0000488.html（2002）
「海面における遊漁と漁業との調整について」

(4) 藻場の生物群集および生産構造を規定する環境要因の探索

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 藻場干潟研究室

堀 正和

平成23(開始年度)～25年度累計予算額：23,900千円

(うち、平成25年度予算額：7,500千円)

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

北海道東部からコアサイトとして能取湖・厚岸湖を調査対象に、瀬戸内海のコアサイトとして生野島を選定し、解析範囲の基盤となる各調査海域のアマモ分布範囲を把握するために、衛星画像からアマモ場の分布推定を行った。アマモ場の分布範囲の把握のための衛星画像解析では、どの調査海域でも良好な抽出結果が得られ、グラウンドトゥルスデータとの整合性はどの海域も80%を越える精度で得られた。能取湖でのアマモ群落構造の指標を多変量解析により作成した結果、密度が濃いほど草丈が長くなる傾向が確認された。この指標は単純化するために6段階のランク評価とし、この指標とホッケイエビの個体数との相関関係を調べた結果、年によって決定係数にばらつきが見られた。また、各地点の調査地点のホッケイエビ個体数は未成熟個体、オス個体、メス個体に分類されており、その比率は年によって大きく異なっていた。群落構造とホッケイエビ個体数との決定係数は、未成熟個体の割合が高い年で最も高くなり、次にオス個体の割合が高い年が続く、個体数に占めるメス個体の割合が大きい年で著しく低い傾向にあった。ホッケイエビは雄性先熟であるため、性の違いは体サイズの違いとみなすことができる。つまり、最もサイズの小さい未成熟個体ほど密度が濃く草丈の長いアマモ群落構造を好み、サイズの大きいメス個体ほどそのような群落構造を好まなくなると推測された。2008年～2010年の3年分の統合データを用い、群落指標とホッケイエビ個体数の関係からホッケイエビにとって好適な群落構造を有するアマモ場の分布状況を推定した結果、藻場の密度が濃く、草丈が長い藻場ほど好適であると判断された。瀬戸内海地域を中心に実施したアマモ場が生み出す文化サービスの試算では、面積が小さくとも、都市近郊のアマモ場は文化サービスの観点から重要となる事例が明らかとなった。今回の試算には、おもに岸から徒歩でアクセスして釣りの対象地となるようなアマモ場を利用したが、供給サービスを上回る経済価値が試算される結果となり、アマモ場が生み出す文化サービスが大きいことを裏付けた。

1. はじめに

北海道海域および瀬戸内海海域は、我が国周辺に分布する藻場の中でもアマモ場面積が最も多い海域である。先行研究¹⁾の成果にもとづいて、北海道海域においてアマモ場の分布が集中する道東海域、瀬戸内海海域の安芸灘海域にコアサイトが設置されている。アマモ場という藻場のタイ

プでは同様であるとはいえ、両海域間でアマモ場の構成する種および生物群集構造は大きく異なり、道東はコアモモ・アマモ・スゲアマモ・オオアマモ・カワツルモからなる冷温帯～亜寒帯の生物群集、瀬戸内海はウミヒルモ・コアモモ・アマモからなる温帯の生物群集で構成されている。また、アマモ場周囲の景観構造も異なり、原生の自然が多く残る天然海岸の道東、人工護岸の多い瀬戸内海、となっている。本サブテーマでは、藻場の生物群集構造及び生態系サービスの総合評価をコアサイトを中心に行うとともに、温暖化等によって北上することが懸念される他海域の藻場に関する情報収集を可能な限り行い、空間変動要因の探索と将来予測に関する研究を実施する。さらに、アマモ場の生態系サービスのうち、近年利用度が高まっていると想定される文化サービスの定量試算を行い、供給サービスとの間で多寡を比較するとともに、その変動を規定する環境要因を特定すること（アマモ場の面積の変動と利用形態）を目的とした。さらに、温暖化等によって北上することが懸念される他海域の藻場に関して空間変動要因の探索と将来予測に関する考察を行うために、南方域におけるアマモ場の空間分布に関する情報収集と現地調査を行った。

2. 研究開発目的

すべてのサブテーマで昨年度までに得られた成果を統合した結果、生物群集の違いは魚類や大型無脊椎動物類で顕著に表れており、道東コアサイトでは漁業対象種である大型の魚食性魚類の現存量が高いことが判明した。それに対し、瀬戸内海コアサイトでは漁獲対象種の現存量は少ないか多くても漁獲対象サイズとならない稚魚が多く、相対的に釣魚としての利用が高い魚種が確認され、文化的サービスへの寄与が高くなることが推定された。そこで本サブテーマでは、コアサイトを中心にアマモ場群落と生態系サービスの時空間変動解析を実施し、①道東コアサイトにおいてアマモ場の供給サービスを担うホッカイエビの資源量変化とアマモ場に関する長期・広域な時空間変動解析を行い、その変動を規定する環境要因（パッチ状のアマモ場面積の分布）を特定すること、②瀬戸内海コアサイトにおいて文化サービスの定量試算を行い、供給サービスとの多寡を比較するとともに、その変動を規定する環境要因を特定すること（アマモ場の面積の変動と利用形態）、を目的とした。さらに、温暖化等によって北上することが懸念される他海域の藻場に関して空間変動要因の探索と将来予測に関する考察を行うために、③南方域におけるアマモ場の空間分布に関する情報収集と現地調査を行った。最後に、日本全域を対象にアマモ場の生態系サービスの総合評価とその地域変異を明らかにするために、④調整サービス、供給・文化サービスとアマモ場密度との関係を解析するとともに、生態系サービス間のトレードオフ関係から生態系サービスの空間変異の要因を考察した。

3. 研究開発方法

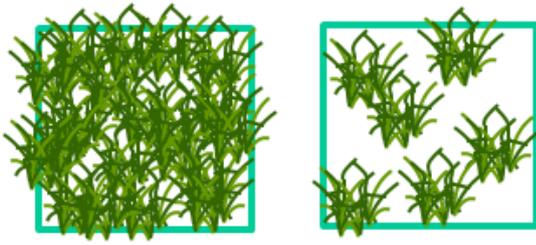
(1) 道東コアサイトにおける供給サービスの時空間変動解析

道東コアサイトの能取湖を対象に、まず2012年度に作成した時系列データを用いて衛星画像からアマモ場分布面積と配置の長期変遷を再現することを試みた。能取湖は元来、塩分濃度の低い

典型的な海跡湖であったが、1975年に湖口部が人工的に開削され、それに伴い海水交換が頻繁に行われるようになり、湖内の塩分濃度が大きく変化したと言われている。ホッケイエビの生息環境であるアマモ場は、開削前は湖口部周辺に限って分布するのみであったのが、この水質環境の変化に伴い、分布を湖内へと拡大していったと言われている。おそらく、アマモの群落構造、特に株密度や草丈などがアマモ場を構成する種組成の変化にも影響され、分布拡大とともに大きく変化していたと考えられる。そこで、2012年度に作成した時空間データのうち、開削直後から現在までの変遷を追えるよう、1970年代2010年までを解析の対象とした。このアマモ場の空間分布の時系列データが整えば、サブテーマ2より提供を受けたホッケイエビ漁獲量の時系列データ（1977～2011年）と組みあわせ、長期的な供給サービスの変動解析とその変動に影響する要因の探索が可能となる。まず、過去の衛星画像を用いてアマモ場の過去の分布状況の復元を行い、アマモ場の空間分布の長期時系列データの作成を試みた。

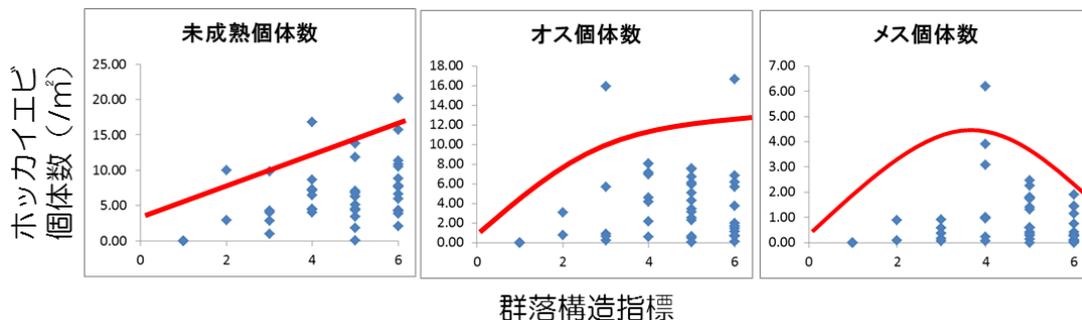
衛星画像からアマモ場の空間分布に関する長期時系列データを作成するに当たり、2013年度はLandsat画像を用いた。Landsatは撮影解像度が20mより大きいためアマモ場の小規模なパッチ分布などの群落構造は捉えることができない。その反面、1970年代から撮影画像が利用可能なため、長期変遷の解析には有利である。その一方、2012年度の解析で用いたALOS画像は解像度が10mであり、アマモ場の群落構造を把握するにはLandsatより適している。その反面、画像の撮影期間が2006-2011年と短く、2013年度の目的には利用できない。そのため、2012年度の解析ではアマモ場の群落構造に応じて抽出結果を3段階（最も密生してパッチ構造が殆ど見られない海域、多少のパッチ構造が確認できるが連続した群落分布を示す海域、明瞭なパッチ構造で非連続な分布を示す海域）に分けていたが、2013年度の長期時系列解析では下述の瀬戸内海での解析にあわせて2段階の群落構造評価（明瞭なパッチ構造で非連続な分布を示す群落、最も密生してパッチ構造が殆ど見られない群落：図(4)－1）としている。

Landsat画像を用いたアマモ場の分布抽出方法は、ALOS画像を用いた場合と同様に以下の手順で行った。まずアマモ場が潜在的に生息できる海域を選定するために、地理情報システム（以下、GISとする）上で能取湖全域の底質分布図および50cm間隔の等深線図を作成した。この両図を統合し、既存知見より水深は0－5mの範囲を、底質は砂～泥質砂の海域を潜在的なアマモ生息帯とした。このアマモ場分布ポテンシャルマップにより、陸上やアマモの生育していない水深の深い海域を解析対象から除去して抽出のノイズを減らし、幾何補正した衛星画像から解析対象海域の抽出を行った。過去に行われた音響探査機（サブテーマ1）、潜水目視（サブテーマ2）、および低空航空写真等による実測調査によって、海底地形とアマモ場の分布が確定されている地点をアマモ場抽出のための教師地点に選定した。次にGISに取り込んだ幾何補正済みの衛星画像上の教師地点にポリゴンを配置し、衛星画像からポリゴンに含まれるRGB輝度を抽出し、これらの比を教師データとした。最後に作成した教師を用い、各海域のアマモ分布水深帯の範囲を対象にアマモ場の一括抽出を行った。なお、解析対象の水深帯は10mまでとなっている。



図(4)－1. 群落構造の模式図。アマモの成長量、すなわち物質循環・炭素吸収能力の高い高密度群落（左図）および魚類に好適な低密度・パッチ状群落（右図）。

次に、再現された過去のアマモ場分布から年ごとに密生群落、パッチ状群落別に面積を集計し、1978年から記録されているホッカイエビ漁獲量との回帰関係を調べた。ホッカイエビは雄性先熟であり、0歳が未成熟個体、1歳が雄個体、2歳以上で雌個体となり、漁獲されるホッカイエビはほぼすべてが雌個体である。本サブテーマの初年度の解析結果から、ホッカイエビは齢ごとに好適なアマモ群落がり異なり、体長の小さい未成熟個体ほど密生した群落を好み、大きい雌個体ほどパッチ状群落を好む傾向があることが分かっている（図(4)－2）。そこでホッカイエビ漁獲量との回帰関係では、密生群落のみの面積、パッチ状群落のみの面積、両群落の合計面積、の3つの条件別に行った。

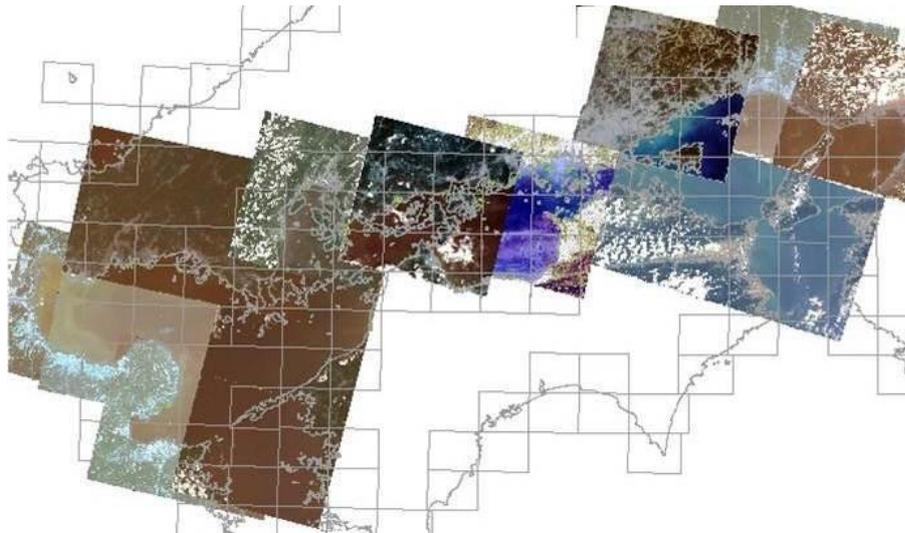


図(4)－2. 2011年度の解析で明らかになった、ホッカイエビの生活史段階別に異なる密度とアマモ群落構造指標との関係。ホッカイエビは雄性先熟を行うため、未成熟→オス→メスの順に齢および体サイズが大きくなる。したがって小さい未成熟個体ほど群落構造指標値が高い（株密度が高く草丈の長い藻場）を好み、大型化・メス化するにつれて中程度の群落構造指標（株密度が低く草丈の長い藻場）を好むようになる。

(2) 瀬戸内海コアサイトにおける文化サービスの時空間変異の解析

コアサイトの瀬戸内海全域を対象に、アマモ場が有する釣り場としての経済価値を試算した。まず瀬戸内海の釣り情報が掲載されている釣り情報誌約80冊を調べたところ、アマモ場を釣り場として明確に使用する対象種はメバル、アオリイカ、スズキの3種が候補として挙げられた。そこでこの3種を対象種に選定し、上記の釣り情報誌から種別の釣り場の位置、釣り人の数、釣り人の居住地、使用されている釣具情報をできる限り収集し、釣り場ごとにGIS上でデータ化した。次に

釣り場の位置情報とアマモ場分布情報を重ね合わせ、釣り場から半径100m以内にアマモ場が含まれる釣り場を選出し、選出した釣り場の各種情報をアマモ場の釣り場としての経済価値試算に用いた。なお、釣り場の選出に用いたアマモ場分布情報は、時間変異を比較するために1980年後半から1990年に聞き取り調査で集計されたアマモ分布図（環境省第4回自然環境保全基礎調査で作成されたもの）、および2008年~2010年の人工衛星画像から抽出されたアマモ分布図（水産庁地球温暖化推進費委託事業「藻場・干潟等の炭素吸収源評価と吸収機能向上技術の開発」で作成されたもの：図(4)－3)の2つの年代を用いている。



図(4)－3. 瀬戸内海全域のアマモ場分布推定用の画像データセット。2008年－2010年のALOS画像を使用し、アマモ場の分布している場所を緑色で示している。

経済価値の試算では、まず各魚種の各釣り場別に経済価値を試算し、それを県単位で集計・平均することで各県のアマモ場が有する単位面積当たりの平均価値として算出した。この平均価値は瀬戸内海のアマモ場の経済価値の空間変異を示している。各魚種の各釣り場の経済価値の計算には、各釣り場に訪れたのべ釣り人数、対象とする魚種の釣具の平均価格、釣り人の居住地からその釣り場までにかかる平均旅行費用を用い、その釣り場のアマモ場面積で割ってアマモ場単位面積 (ha) 当たりの価値として算出した。

(3) 南方域におけるアマモ場の空間分布に関する情報収集と現地調査

広義の意味でのアマモ場とは、アマモという温帯種で構成された藻場だけでなく、他の近縁種や熱帯性の海草類で構成された藻場も含まれる。前者のアマモとその近縁種で構成された狭義の温帯性アマモ場が我が国のアマモ場面積の9割以上を占め、その分布は北海道から鹿児島湾となっている。今後の温暖化に伴い、海水温の上昇や変動が生じ、場合によっては熱帯性アマモ場の分布が北上するとともに、温帯性アマモ場の南限（図(4)－4)も北上することが懸念されている。温帯性アマモ場と熱帯性アマモ場の境界付近では、その北上により温帯性アマモ場が消失した後、熱帯性アマモ場へ置換することが予想されている。その一方で、熱帯性アマモ類は南西諸島の島嶼群に離散的に分布するため、熱帯性アマモ場の北上・置換がスムーズに行われるのか疑問視す

る意見もある。そこで、温帯域アマモ場と熱帯域アマモ場の境界に位置する南西諸島～ベトナム南部にかけてアマモ場の種組成と分布に関する情報収集・現地調査を行った。また、現地調査を行った海域ではできる限りアマモ場に生息する動物群集のサンプルも収集した。



図(4)ー4. 温帯性アマモ場を構成するアマモ (*Zostera marina*) の南限とされている鹿児島県指宿市児ヶ水地区 (上図) のアマモ場。夏場の高水温に草体が耐えられないため、株は一年生の生活型を示す (下図)。

(4) 調整サービス、供給・文化サービスの地域変異

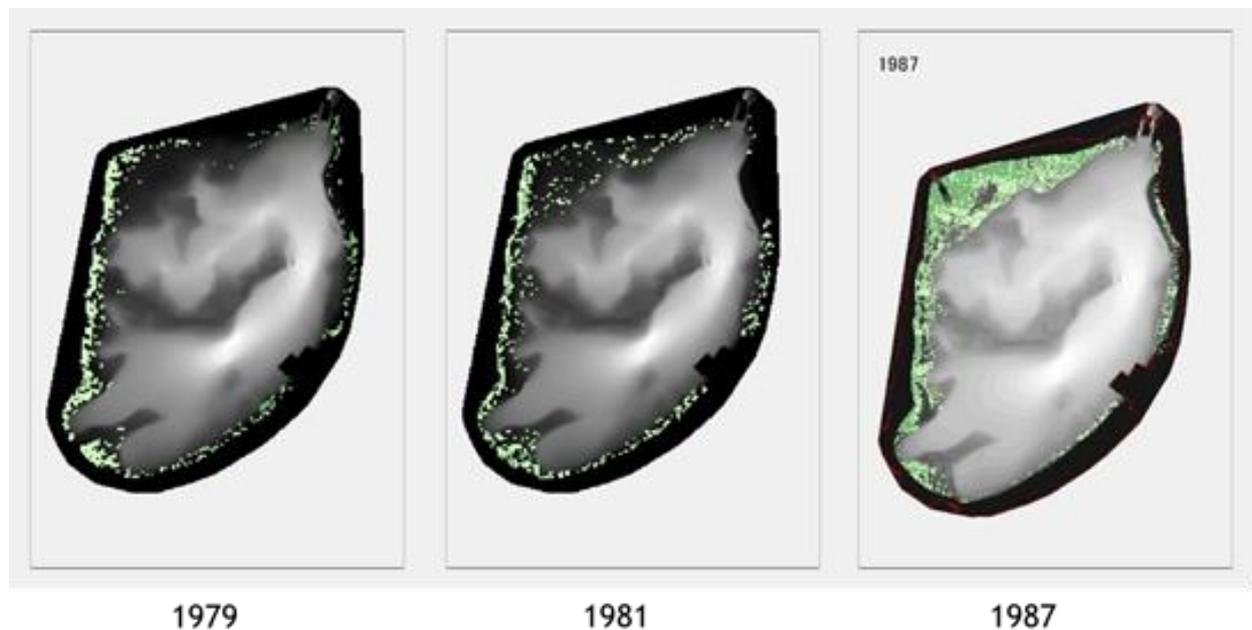
コアサイトおよび全国サイトを対象に、すべてのサブテーマで調査された魚類データ・アマモ場データの集計を行うとともに、既存知見から生態系サービスの指標に利用可能なデータの収集を行った。これらのデータのうち、アマモ場の調整サービスの指標となるアマモ成長量、供給サービス (漁業資源) ・文化サービス (遊漁) の指標となる魚類現存量をサイト別に算出した。また、各サイトのアマモ場の群落構造をGISを用いて以下のように計算した。まず、上記の①道東コアサイトにおける供給サービスの時空間変動解析、および②瀬戸内海コアサイトにおける文化サ

ービスの時空間変異の解析、と同様の手法を用い、人工衛星画像から各サイトのアマモ場の分布状況を2段階の群落構造評価（図(4)－1）で求めた。次に各サイトのアマモ生長量測定地点および魚類現存量調査地点から半径50mのバッファを発生させ、バッファ内に含まれるアマモ場の被度と群落構造評価から各サイトの群落構造の指標を計算した。これらの値を用い、調整サービス指標、供給・文化サービス指標と群落構造との関係を調べるとともに、調整サービス指標と供給・文化サービスの関係を示す散布図を作成し、調整サービスと供給・文化サービスの関係について考察を行った。

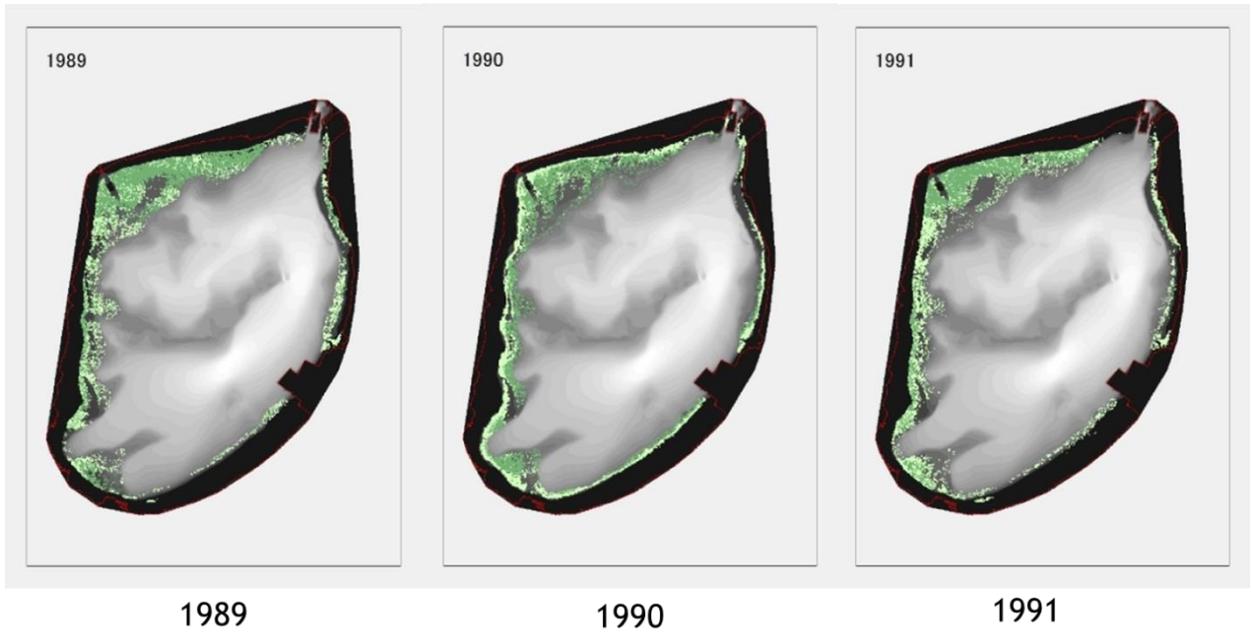
4. 結果及び考察

（1）道東コアサイトにおける供給サービスの時空間変動解析

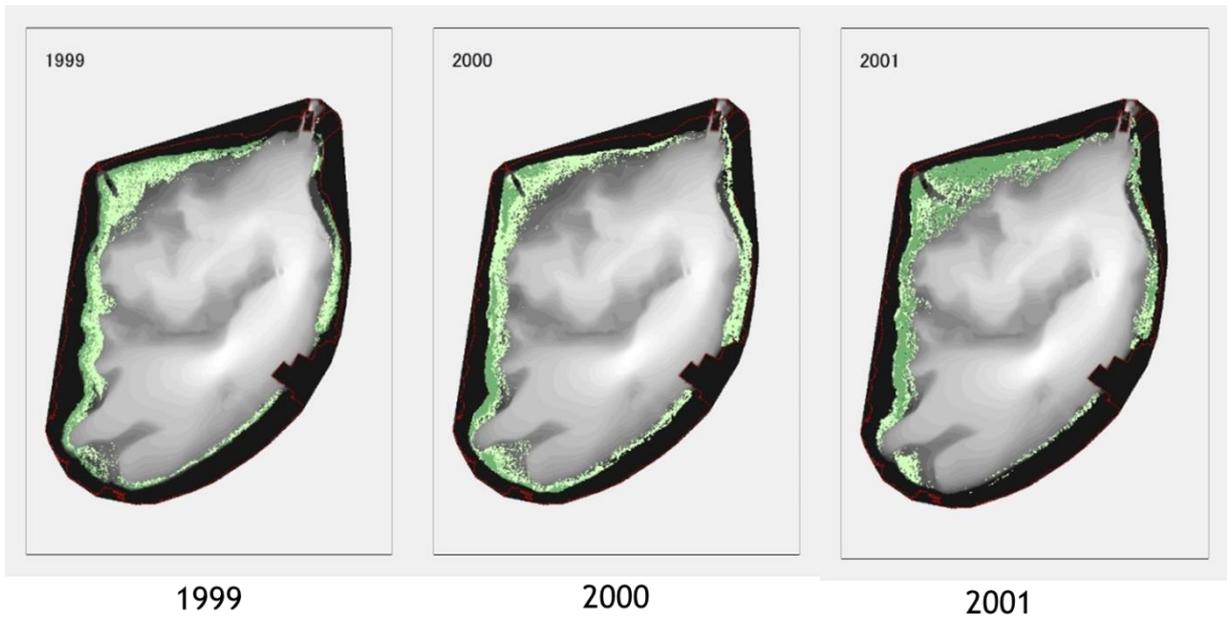
1970年代からのLandsat画像で能取湖アマモ場を確認したところ、1979年、1981年、1987年、1989年、1990年、1991年、1999年、2000年～2010年までの画像が本解析に利用可能であった。そこでアマモ場分布面積の抽出を行ったところ、1979年～1990年頃までは順調に増加傾向にあることが推定された（図(4)－5、図(4)－6）。その後1999年から2000年の2年間は分布面積の減少に加え、密生群落大幅に減少してパッチ状群落の割合が多くなる傾向を示した（図(4)－7）。2001年から2003年の間は分布面積の回復とともに密生群落の増加が確認できるが、その後の2004年以降は分布面積と密生群落/パッチ状群落の割合がともに大きく変動する傾向が推定された（図(4)－8、図(4)－9、図(4)－10）。



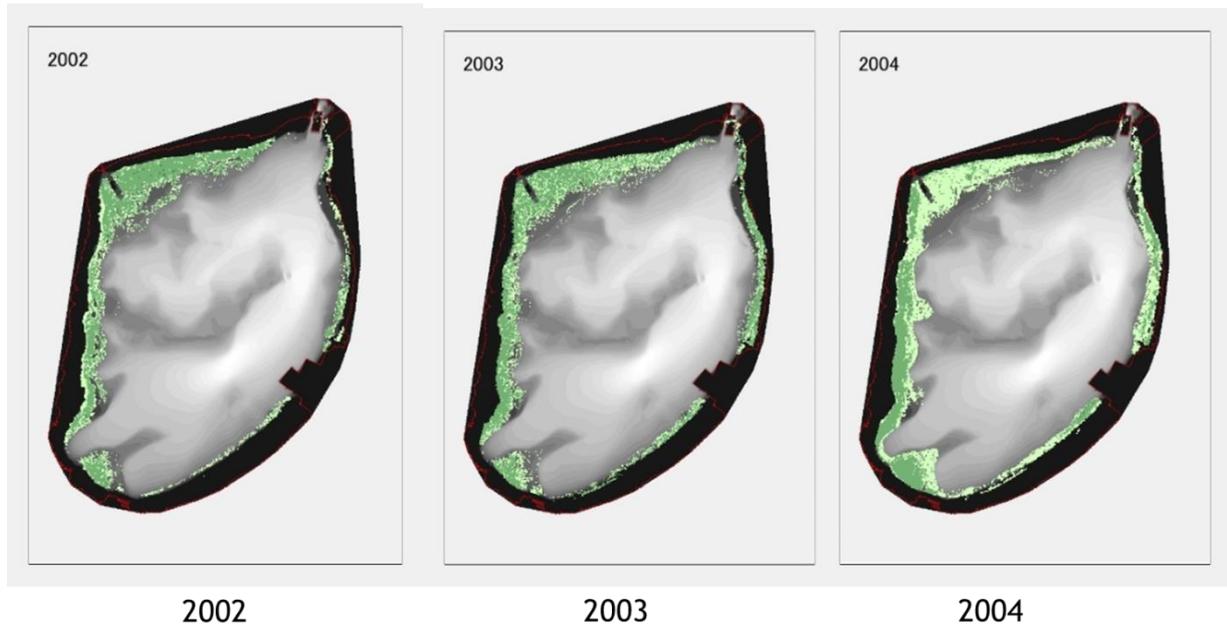
図(4)－5. 1979年～1987年のアマモ場分布状況の推定結果。密生した群落（濃緑色）、パッチ状の群落（淡緑色）の2段階で示してある。



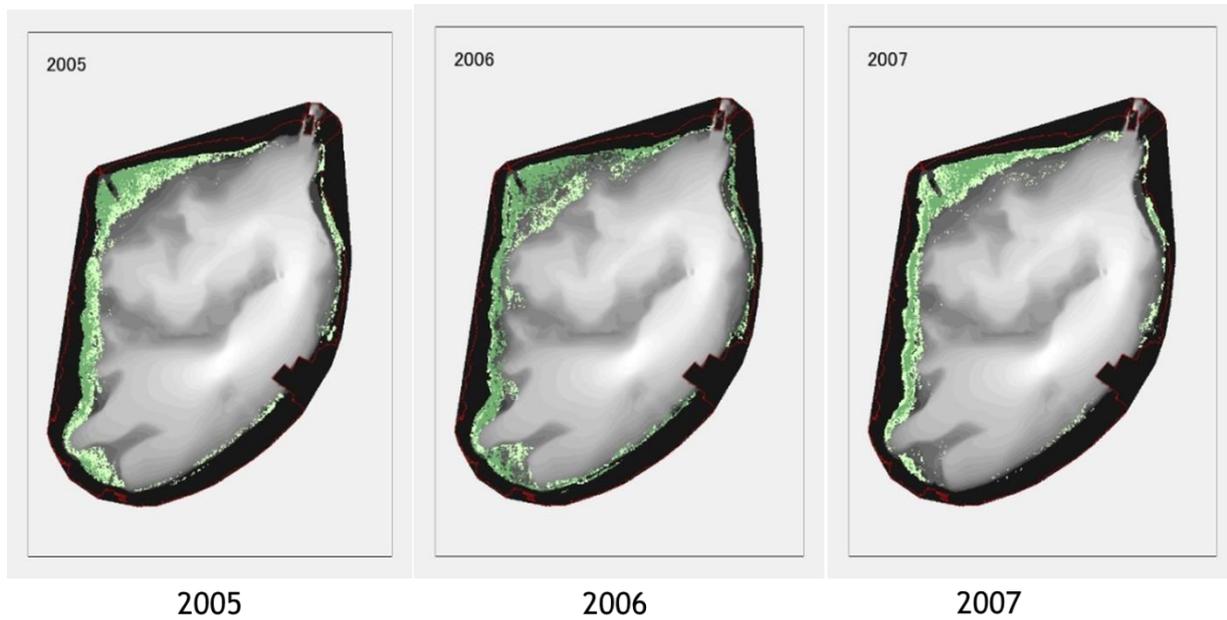
図(4)－6. 1989年～1991年のアマモ場分布状況の推定結果。密生した群落（濃緑色）、パッチ状の群落（淡緑色）の2段階で示してある。



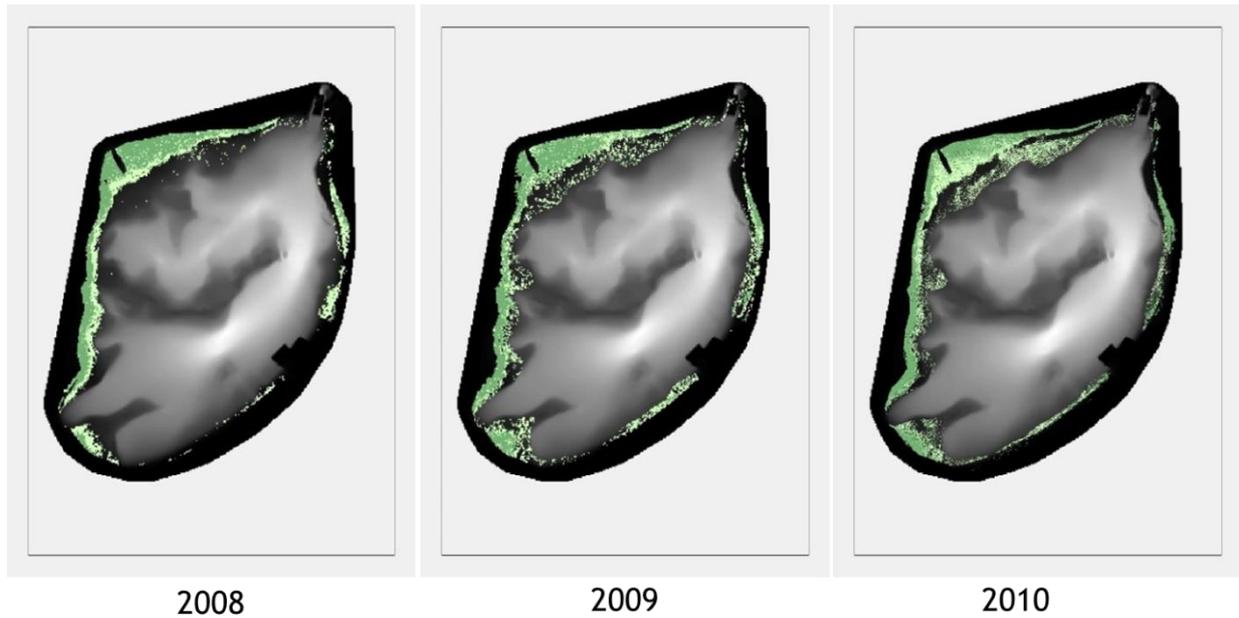
図(4)－7. 1999年～2001年のアマモ場分布状況の推定結果。密生した群落（濃緑色）、パッチ状の群落（淡緑色）の2段階で示してある。



図(4)－8. 2002年～2004年のアマモ場分布状況の推定結果。密生した群落（濃緑色）、パッチ状の群落（淡緑色）の2段階で示してある。

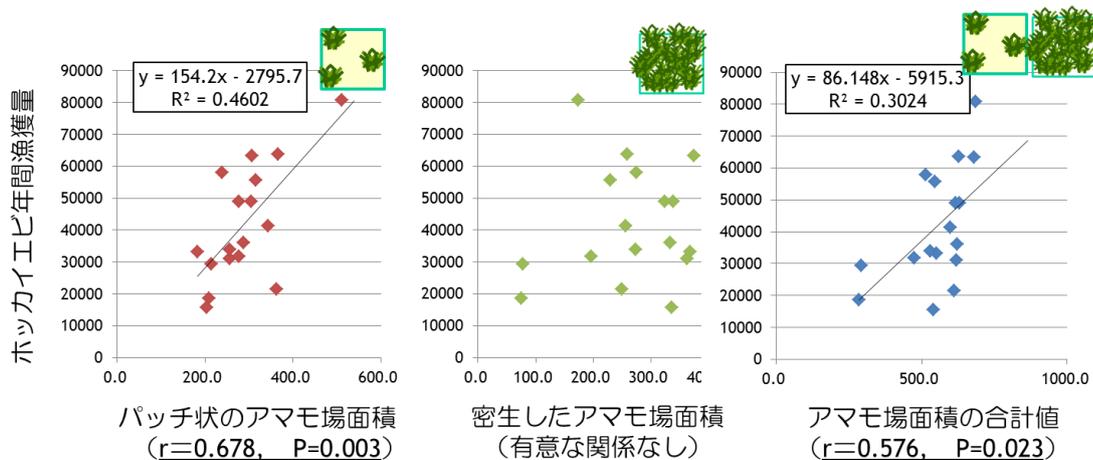


図(4)－9. 2005年～2007年のアマモ場分布状況の推定結果。密生した群落（濃緑色）、パッチ状の群落（淡緑色）の2段階で示してある。



図(4)－10. 2008年～2010年のアマモ場分布状況の推定結果。密生した群落（濃緑色）、パッチ状の群落（淡緑色）の2段階で示してある。

このアマモ場面積の時系列変化とホッケイエビ年間漁獲量との関係を調べた結果、アマモ場全体面積と弱い関係を示すものの、パッチ状群落の面積と有意な関係を持つことが明らかになった（図(4)－11）。この結果は、供給サービスとしてのホッケイエビ漁獲量の長期時系列変化・広域空間分布はパッチ状群落の面積で説明が可能であることを示している。ただし、前述のようにホッケイエビは成長に伴い密生したアマモ群落からパッチ状のアマモ群落が好適になるため、生活史循環により漁獲に反映するようになるまでには密生したアマモ群落が必須である。ホッケイエビ漁業は2002年、2003年と不漁が続き、2003年は全面禁漁を行っている。この不漁の原因として、1999年、2000年に未成熟個体に好適な密生藻場群落が増加したことが関連しているのかもしれない。

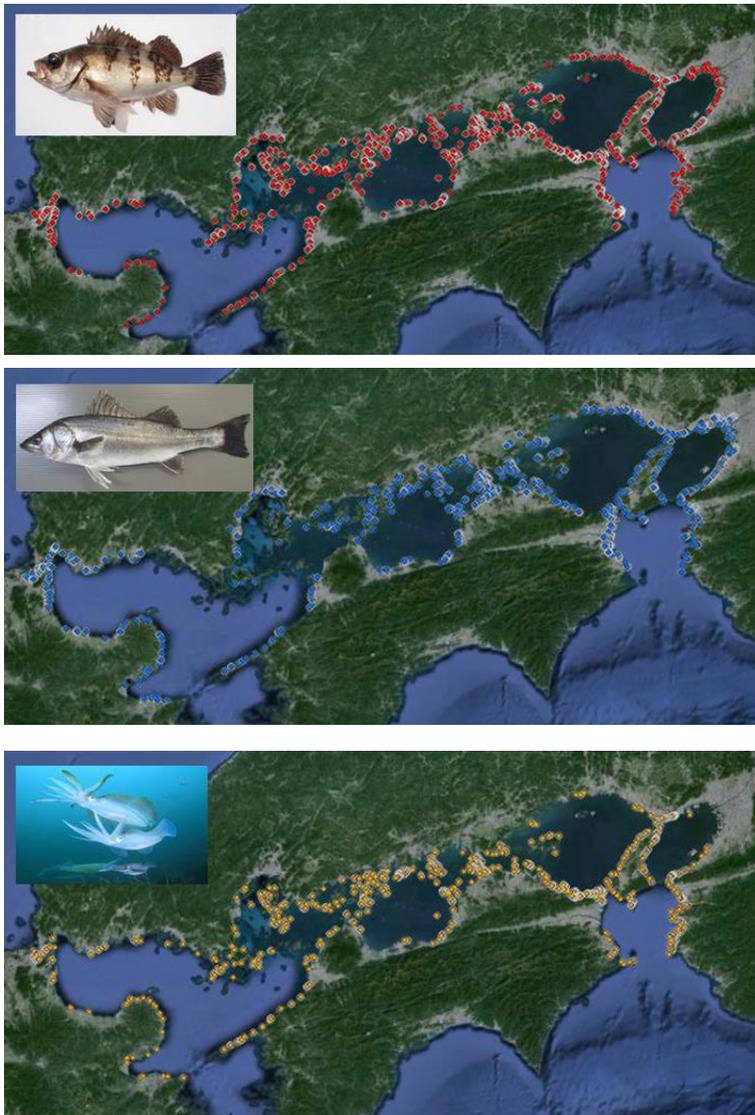


図(4)－11. 群落別のアマモ場面積とホッケイエビ漁獲量との関係。

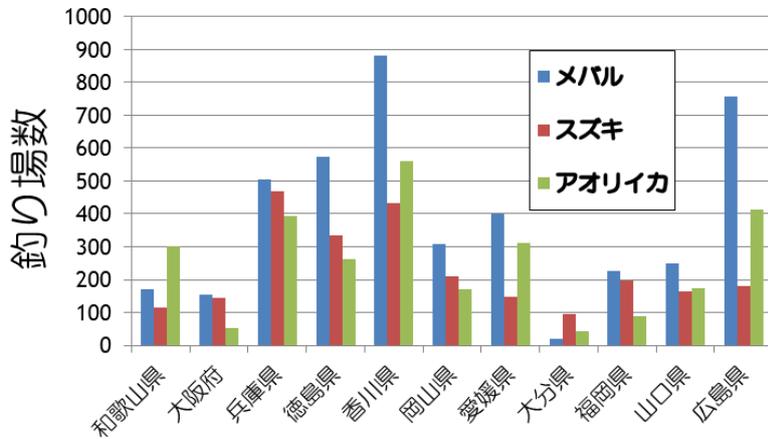
能取湖のアマモ場は水深基準0～2m付近がアマモ、1～4m付近がスゲアマモから構成されている。アマモは密生した群落を作りやすいことに対し、スゲアマモはパッチ状の群落構造を作り出す。この両種の分布変動により、アマモ場の群落構造は大きく変化していると考えられる。未成熟個体に必要な密生群落からメス個体に必要なパッチ状群落まで、様々な群落構造が複合的に存在することがホッケイエビの生活史循環・再生産に重要である。アマモとスゲアマモが両立できる環境を保全することがホッケイエビの持続的利用に大きく関与するに違いない。

(2) 瀬戸内海コアサイトにおける文化サービスの時空間変異の解析

釣り情報誌から得られたメバル、アオリイカ、スズキの各釣り場の数は、メバルが4248地点、アオリイカが2767地点、スズキが2486地点存在した（図(4)－12）。これを県別に集計すると、メバルは広島県、香川県で多く、スズキは兵庫県、徳島県、香川県、アオリイカは香川県、広島県、兵庫県で相対的に多い傾向が確認された（図(4)－13）。

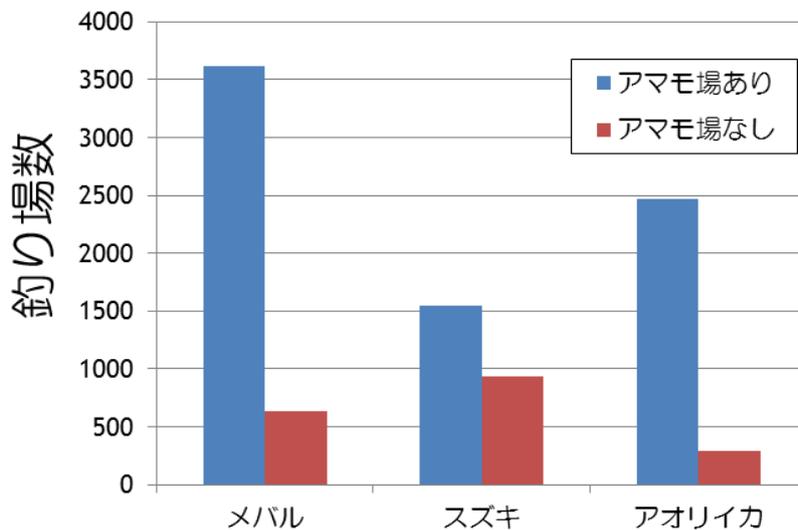


図(4)－12. メバル（上段）、スズキ（中段）、アオリイカ（下段）の釣り場分布。



図(4)－13. 瀬戸内海各府県別の釣り場数。

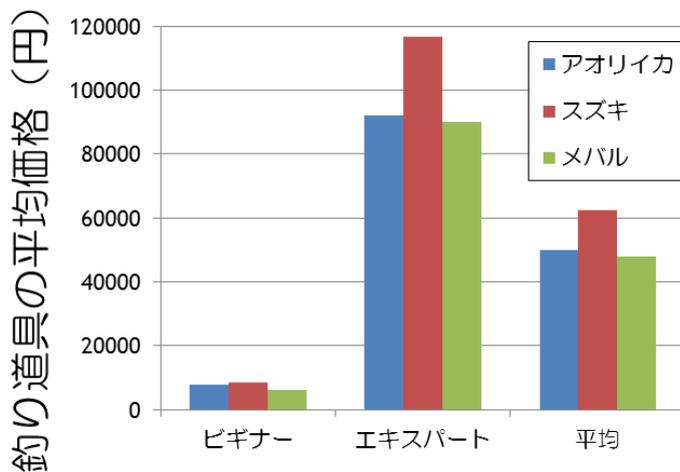
まず近年のアマモ場分布状況を用いて釣り場の半径100m圏内のアマモ場の有無を確認したところ、メバルでは85%以上の釣り場にアマモ場が含まれていることが明らかとなった(図(4)－14)。スズキでは60%弱程度、アオリイカの釣り場はアマモが含まれる割合が最も高く、90%以上であった。これらの結果は、特にメバル釣り・アオリイカ釣りはアマモ場と密接に関与し、その経済価値はアマモ場の分布に大きく左右されることを示している。



図(4)－14. 魚種別の釣り場数。

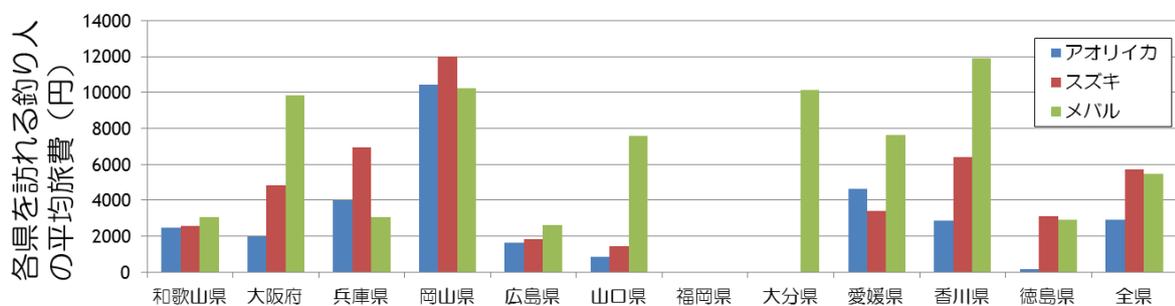
次に魚種別に使用される釣り道具について釣り情報誌から集計を行ったところ、スズキが最も高く、アオリイカ・メバルで同程度であった(図(4)－15)。これら3種はスポーツフィッシングの範疇に含まれつつあり、レジャーとして楽しむ中高年層(エキスパート)を対象とした釣り道具が多く、そのため単価も高く設定されているようであった。ただし、これらスズキ・メバル・ア

アオリイカのルアーフィッシングは浅場を対象とすることから用船や渡船を必要とする場所は多くなく、ほとんどが海岸や港の岸壁などアクセスの良い場所が釣り場となっている。そのため、若者や家族連れなど、比較的安価な釣り道具を用いて、数は釣らずとも釣る行為そのものを楽しむケースも多い。そこで、釣り情報誌に加えて各地の釣具店において子供から大人まで初心者を対象としたファミリー向け（ビギナー用）釣り道具についても魚種別に集計を行った。その平均値を算出したところ、釣り雑誌から集計・平均した釣り道具価格とは10倍近い開きが確認された。各釣り場に訪れた釣り人の年代層までは確認できなかったため、訪れた釣り人の割合（ビギナー／エキスパート）を1:1と仮定し、以後の解析では両者のさらに平均値を釣具価格として計算している。



図(4)－15. 魚種別の釣具の平均価格。

また、各釣り場に訪れる釣り人の平均旅費を、釣り人の居住地から釣り場までのガソリン代＋高速代金として算出し、渡船が必要な釣り場ではそこに渡船代を加算した。その結果、全府県平均で5000円程度であったが、メバル釣りの場合は若干ながら旅費が高く遠征する傾向にあること、岡山県や香川県、愛媛県を訪れる釣り人の旅費が他府県より高額となっている傾向が確認された（図(4)－16）。

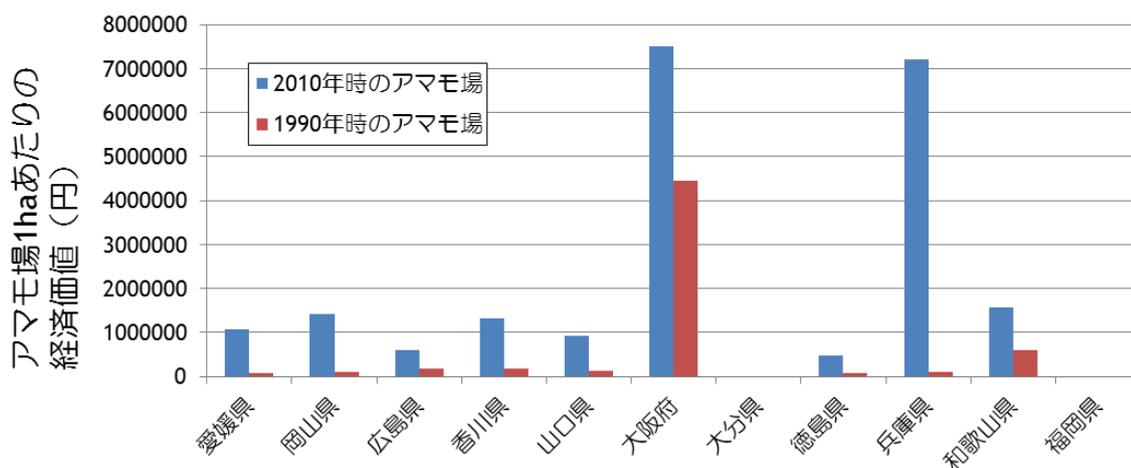


図(4)－16. 各府県別の釣り人の平均旅費。福岡県の全種、および大分県のアオリイカ、スズキは対象とするデータが存在しなかった。

これらの値を用い、アマモ場1ヘクタール当たりの経済価値を算出した結果、その価値は地域によって大きく異なった（図(4)－17）。大阪府、兵庫県で他県より圧倒的に価値が高い傾向があり、他県間では大きな違いは生じなかった。その第一の理由として、大都市近郊はのべ釣り人数が圧倒的に多かったことがあげられる。この結果は、必ずしも藻場面積の多い、生態系機能（調整サービス・供給サービス）が高い海域が文化サービスの経済価値も高くなるわけではないことを示唆している。面積が小さくとも、都市近郊のアマモ場は文化サービスの観点から重要となる一例を示していると考えられる。

また、同様の手順で1990年のアマモ場分布状況を用いて試算した結果、全体の傾向としては2010年より経済価値が低くなる傾向にあったが、各府県間の価値の相対的な多寡は2010年と類似していた。文化サービスの経済価値の時空間変異の要因として、第一にアマモ場面積が1990年から2010年で約1.5倍程度に増加していることがあげられる。その一方、ステークホルダーに関わる要因としてスポーツフィッシングの普及率、移動コストの軽減、釣り人口の変化などが考えられる。

瀬戸内海のアマモ場は1ヘクタール当たりの漁業生産額が平均で30万円程度とする文献や、100万円程度とする文献もある。上述の文化サービスの試算はあくまで陸地から釣り可能な釣り場に限定しており（図(4)－13）、むしろ主力である遊漁船による沖の釣り場は含めていない。また、本研究で行った釣り雑誌を用いたのべ釣り人数の算出手法では、釣り雑誌に掲載されている釣り場写真等、ある特定の時間断面での人数を総計したに過ぎないため、釣り場に訪れる本来ののべ人数を大幅に過小評価している可能性が高い。それにもかかわらず、大阪府や兵庫県を除いた各県の平均でも1ヘクタール当たり100万円を超える価値が試算されていることは注目に値する。おそらく、瀬戸内海のアマモ場では文化サービスの経済価値は供給サービスを大幅に上回る可能性がある。ただし、アマモ場には多くの水産有用種の稚魚が成育しているため、その水産有用種の漁獲量もアマモ場の主要な機能である稚仔魚の育成効果に帰順するとも考えられる。この効果については評価に含めていないため、今後はこの点についても精査を行う必要がある。



図(4)－17. アマモ場の釣り場としての経済価値の試算結果。

(3) 南方域におけるアマモ場の空間分布に関する情報収集と現地調査

温帯性アマモ場と熱帯性アマモ場の境界線が鹿児島湾と奄美大島間に存在するため、まず温帯性アマモ場の南限である鹿児島湾南部（図(4)–4）および熱帯性アマモ場の北限である奄美大島でアマモ場の現地調査を行った。その結果、温帯性アマモ場の南限藻場はアマモ単独で構成されており、熱帯性のアマモの侵入は確認されなかった。また、熱帯性アマモ場の北限がある奄美大島では2010年に豪雨災害が発生し、沿岸域の海洋植物の植生への影響も懸念されていた。その影響調査の結果では、海草藻場の分布域に変化はなかったが被度が減少していたことが報告されており、さらに土砂流入による透明度の低下が今後さらなる減少を引き起こす可能性について懸念されていた（寺田 2012）。そこで奄美大島全島で分布を確認したところ、災害後の分布調査時より分布域が縮小するとともに、被度も減少していることが明らかになった（図(4)–18）。奄美大島には熱帯性海草類のうち小型種および中型種が成育することが確認されていたが、特に中型種の現存量と分布面積の減少が著しく、北部の一部の海岸でパッチ状群落を確認されるのみであった。

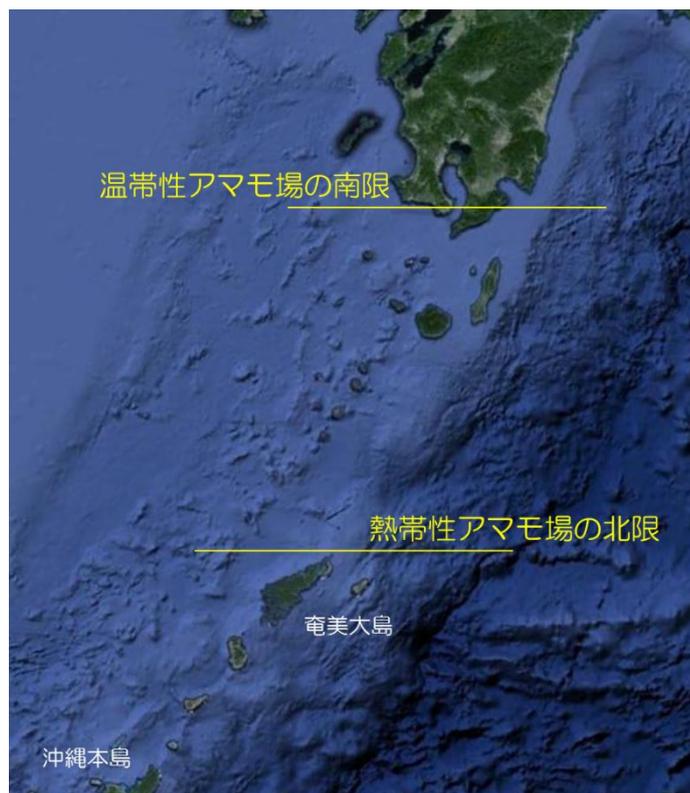


図(4)–18. 奄美大島におけるアマモ場の分布。文献よりアマモ場の分布が過去に確認されていた地点（白色）のうち、今回の調査で分布が確認された地点（緑色）および分布が確認されなかった地点（黄色）を示している。

次に熱帯性海草類のうち、大型種の北限である石垣島において分布調査を行った結果、大型種においては過去の分布調査時と類似した藻場の現存量と分布面積を確認できた。その南方の分布域はフィリピン諸島およびベトナムとなるが、フィリピン海域では北部で大幅な減少が報告されている一方、ベトナムに関する情報が欠如していたため、ベトナムで熱帯性海草類の情報収集及

び現地調査を行った。その結果、ベトナム南部にはすべての熱帯性海草類から構成される熱帯性アマモ場が存在することを確認したが、北部では海草藻場が大幅に減少していることを確認した。その原因として、ベトナム北部の熱帯性アマモ場が成育する海岸線の多くが、最近の国家事業として数十キロにおよぶ大規模エビ養殖池区域に開発されていたことが明らかとなった。そのため、世代時間が短く成長の早い小型種のみがエビ養殖池内に離散的に小さい藻場を形成するのみであった。

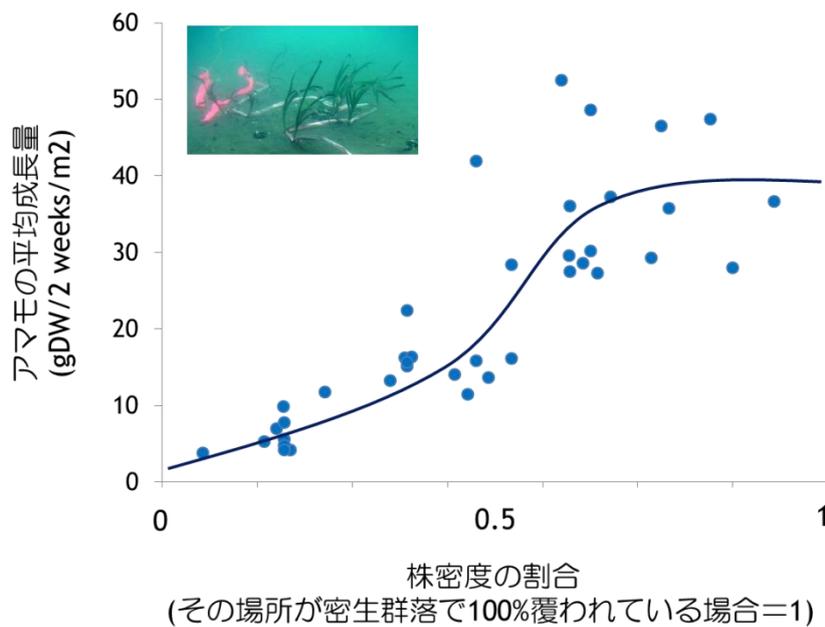
その他の情報を含め収集結果をまとめてみると、おそらく温暖化に伴う熱帯性アマモ場の北上は急激には起こりそうにないことが考えられる（図(4)－19）。まず、小型種・中型種の熱帯性アマモ場の北限となる奄美大島では著しくアマモ場が減少しており、鹿児島湾への熱帯性海草類の供給源としては、現状では不十分である。まずは、沖縄本島周辺海域より奄美大島への海草類の供給が起こり、奄美大島のアマモ場の回復が必須となりそうである。また、石垣島周辺海域への大型種の供給源となるフィリピン・ベトナム海域では、北部の熱帯性アマモ場の減少が著しく、おそらく石垣島周辺とフィリピン・ベトナム中南部の間が空隙になりつつあることが明らかとなった。現状では、石垣島周辺の熱帯性アマモ場は良好な状態にあったが、周辺海域との交流がきわめて少ないことが想定される。したがって、西日本海域では温暖化による温帯性アマモ場から熱帯性アマモ場への置換は起こりにくく、海草藻場が消失する可能性の方が高いように思われる。



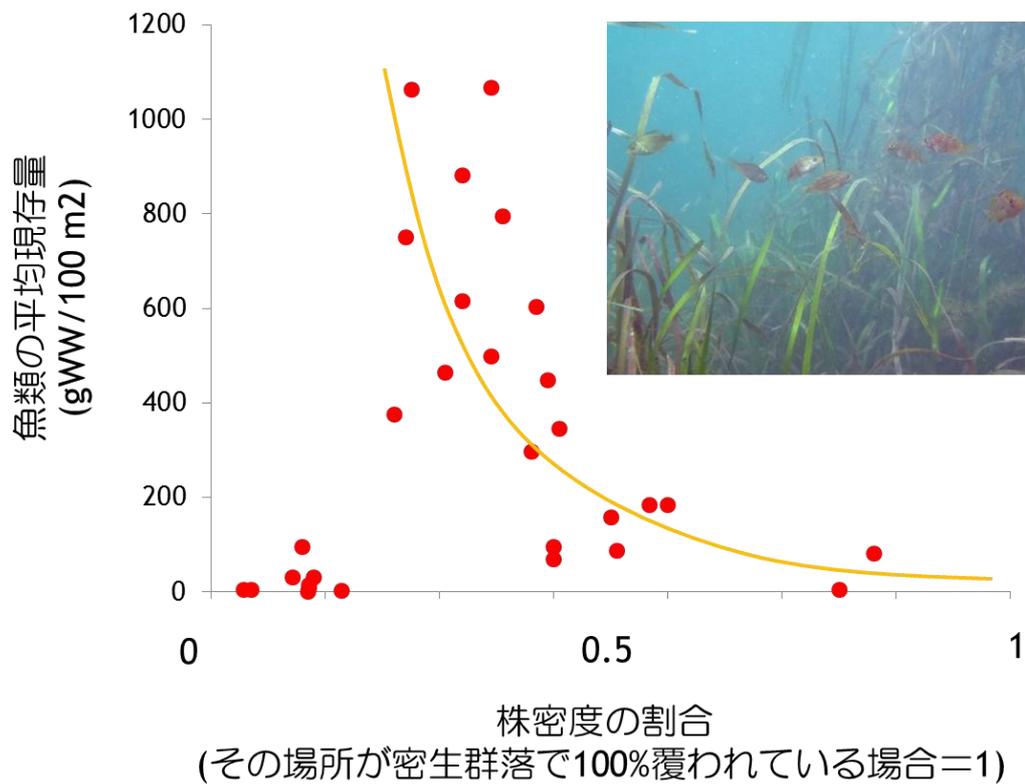
図(4)－19. 熱帯性アマモ場の北限と温帯性アマモ場の南限の位置関係。トカラ海峡が両者の分布の境界となっていると考えられる。

(4) 調整サービス、供給・文化サービスの地域変異

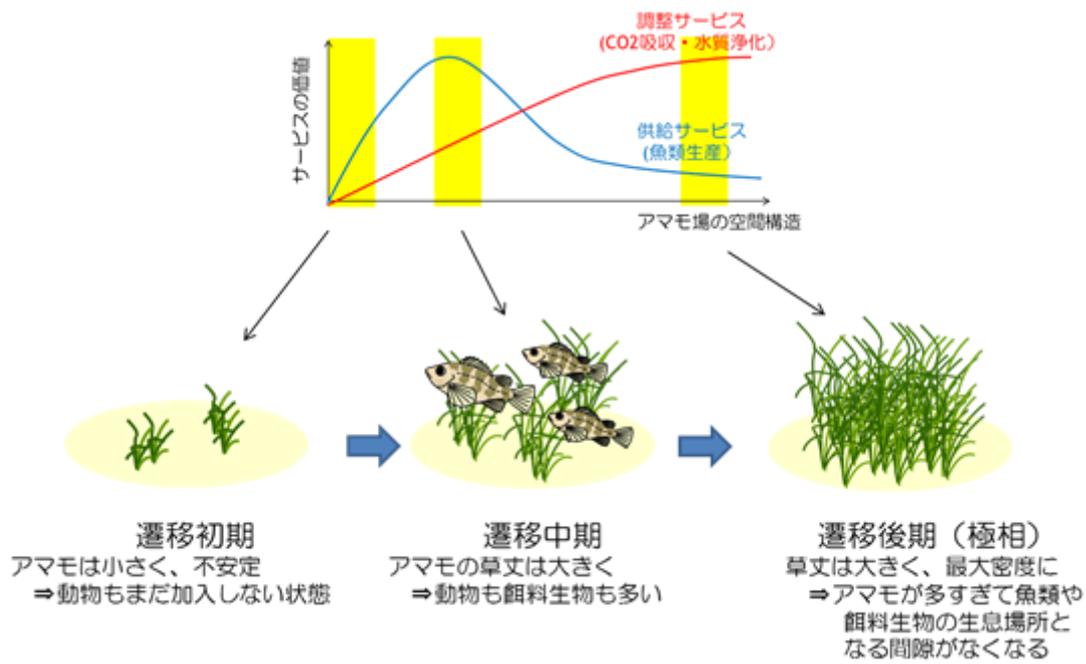
既存知見及び各サブテーマの現地調査により、北海道東部、東北、東京湾、瀬戸内海、鹿児島湾、それぞれの海域内に数地点ずつの調査点を設定することができたため、各調査地点で調整サービスの指標となるアマモ成長量、供給サービス（漁業資源）・文化サービス（遊漁）の指標となる魚類現存量、アマモ群落構造の指標となる株密度のデータを得ることができた。アマモ成長量については、アマモ場でアマモ草体の短期成長を直接測定するピンホール法で計測された値であった。また、魚類の現存量については、サブテーマ2の手法により、ある一定の面積のアマモ場内を網で囲うことで定量採集された値であった。その一方、株密度については、アマモ成長量および魚類現存量の調査が行われた同時期の値を用いて比較することが必要であったため、各調査が行われた時期の衛星画像を入手し、その画像を用いて推定した。推定には、能取湖で行ったアマモ場分布状況の時系列解析と同様に株密度を2段階（密生およびパッチ状）に分けて推定を行い、GIS上で各調査地点を中心に半径50mの円バッファを描き、そのバッファ内に含まれるアマモ場の被度から試算している。パッチ状群落は密生群落の半分の密度と仮定し、例えばバッファ内がすべて密生な群落であった場合は1、すべてパッチ状の群落であった場合は0.5、パッチ状群落と密生群落が半分ずつの場合は0.75、バッファ内の50%が密生群落、50%が裸地であった場合は0.5、というように計算している。まず、アマモ成長量と株密度の関係を全国の調査地点で確認したところ、株密度が高いほど、アマモの成長量も高くなる結果が得られた（図(4)－20）。



存量ともに低く、アマモ場としての機能は低い状態にある。一方で株密度が増え、アマモ場として完全に密な群落が発達した状況では、アマモ場として良好な環境にあるため成長量は最大となる。ところが、そのような密生した群落では魚類が物理的に侵入しづらくなり、魚類の餌生物となる小型のベントス類も少なくなるため、魚類現存量が大きく減少すると考えられる（図(4)–22）。

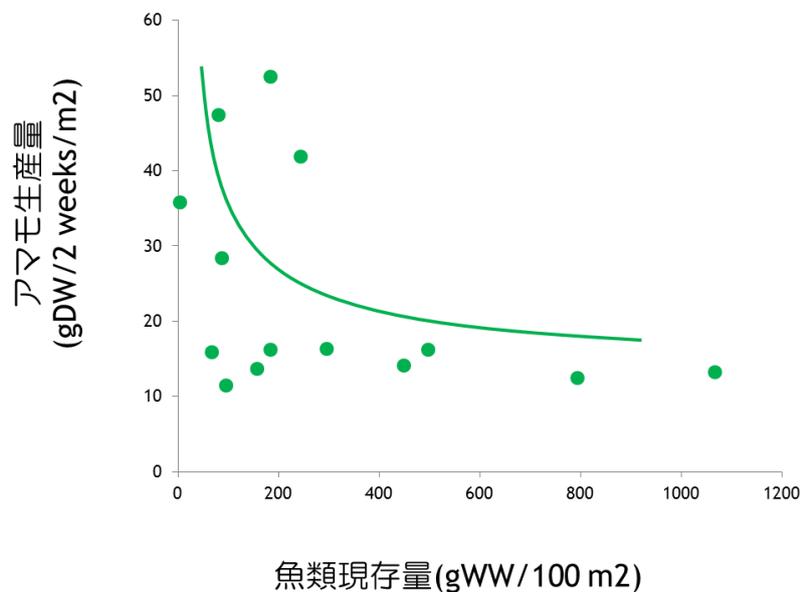


図(4)–21. アマモ場内の魚類現存量とその周囲100範囲の株密度組成との関係。



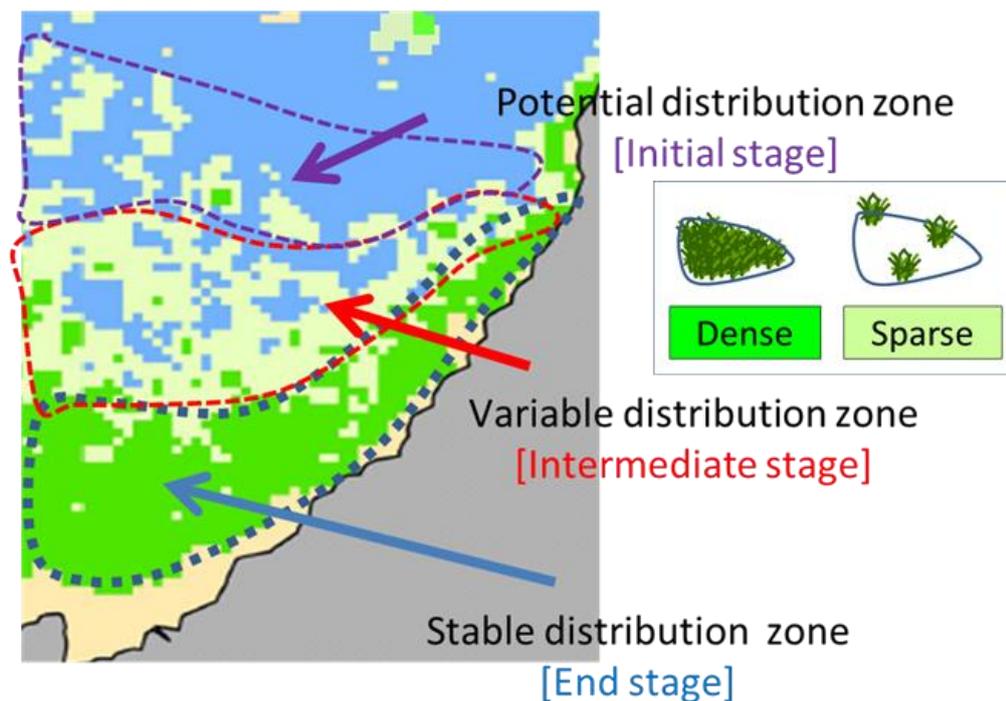
図(4)－22. アマモ場の群落構造の変化に伴う調整・供給サービスの変化の模式図。

最後に、アマモ成長量と魚類現存量との関係をプロットしたところ、反比例型のカーブとなることが明らかとなった（図(4)－23）。このことは、アマモ場の調整サービスと供給・文化サービスとの間にはトレードオフの関係が成立することを示唆している。



図(4)－23. アマモ場内の魚類現存量とアマモ成長量との関係。

国連環境計画では2011年に生態系サービスの持続的利用と生物多様性との調和に向けて生態系サービス間のトレードオフを管理することを提唱しており、この提唱がなされた文献に沿えば、本結果のトレードオフの形態は生態系サービスが脆弱化していることを意味している。片方のサービスを増加させようとした場合、その増加がわずかであってももう一方のサービスが急激に減少してしまうためである。その原因としては、藻場が小規模化・単純化していることがあげられる。埋立等の影響により広範囲に分布できる浅場が減少し、北海道を除く他の海域では島影や湾奥などに小規模な群落断続的に続く状態にある。そのため、本来のアマモ場は株密度の高い群落から低い群落まで、すべての遷移段階がモザイク状に広範囲に形成される一方で、現実のアマモ場は株密度が高い群落か、あるいは低い群落と遷移段階が離散的に分布し、それぞれが出現と消失を繰り返している状態にある。この場合、個々のアマモ場は特定の生態系サービスしか発揮することができない。したがって今後我が国が目指すアマモ場の管理としては、すべての遷移段階が同所的に存在する景観多様性の高いアマモ場を再生することにあり、またそのような状態にある現存アマモ場を重点的に保全していくことが重要であり（図(4)–24）、本結果はその一例を如実に示唆していると考えている。



図(4)–24. アマモ場の生態系サービスの持続的利用に向けたアマモ場分布管理の概念図。上記の能取湖のアマモ場分布抽出と同様に、密生した群落（濃緑色）、パッチ状の群落（淡緑色）でアマモ場の分布を示してある。アマモ群落の遷移におけるすべてのステージを含む範囲を対象とすることが望ましい。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

コアサイトの一つである北海道のアマモ場における供給サービスとして重要な北海エビ資源の変動を、長期データ解析にもとづいてアマモ場の面積により説明可能であることを明らかにした。一方、供給サービスの絶対量が少ないと予測された瀬戸内海においては、遊漁が生み出す経済価値（文化サービス）が極めて高いことを明らかにした。また、地球温暖化に伴う海水温の上昇に則したアマモ場の分布状況の変化を予測した。さらに、豊富な現場調査データに基づいて、生態系サービス間のトレードオフ関係にも明らかにした。以上の知見は、沿岸海域の生態系サービスの包括的評価と持続的利用を進めるにあたって、これまでに無かつ今後必要不可欠な情報を含んでいる。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない

<行政が活用することが見込まれる成果>

国連環境計画では2011年に生態系サービスの持続的利用と生物多様性との調和に向けて生態系サービス間のトレードオフを管理することを提唱しており、この提唱がなされた文献に沿えば、本結果のトレードオフの形態は生態系サービスが脆弱化していることを意味している。片方のサービスを増加させようとした場合、その増加がわずかであってももう一方のサービスが急激に減少してしまうためである。その原因としては、藻場が小規模化・単純化していることがあげられる。埋立て等の影響により広範囲に分布できる浅場が減少し、北海道を除く他の海域では島影や湾奥などに小規模な群落が断続的に続く状態にある。そのため、本来のアマモ場は株密度の高い群落から低い群落まで、すべての遷移段階がモザイク状に広範囲に形成される一方で、現実のアマモ場は株密度が高い群落か、あるいは低い群落と遷移段階が離散的に分布し、それぞれが出現と消失を繰り返している状態にある。この場合、個々のアマモ場は特定の生態系サービスしか発揮することができない。したがって今後我が国が目指すアマモ場の管理としては、すべての遷移段階が同所的に存在する景観多様性の高いアマモ場を再生することにあり、またそのような状態にある現存アマモ場を重点的に保全していくことにあることを、本結果は示唆していると考えている。

6. 国際共同研究等の状況

【国際共同研究計画名】

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

【協力案件名】

タイ国南部アンダマン海沿岸の海草藻場保全再生プロジェクト

【カウンターパート氏名・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】

国際的に公認された連携体制（International Seagrass Biological Workshop公認プロジェクト）のもとで、現地調査を実施した。

7. 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) Nakaoka, M, K. Lee, X. Huang, T. Almonte, JS Bujang, W Kiswara, RA Rappe, SM Yaakub, MP Prabhakaran, MK AbuHena, P Zhang, A Prathep, M. Hori, M Fortes: S. Nakao, T. Yahara, T. Nakashizuka (eds) Integrative Observations and Assessments (Ecological Research Monographs / Asia-Pacific Biodiversity Observation Network), Springer, in press, (2014)
“Regional comparison of the ecosystem services from seagrass beds in Asia”.
- 2) 堀 正和:環境情報科学、43, 印刷中 (2014)
「沿岸域における生態系サービスの持続的利用と生物多様性保全の調和に向けて」

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) M. Hori, S. Chiba, K. Miyashita, G. Yoshida, M. Hamaguchi, J. Shoji: International Association of Ecology, 11th Congress, London, UK, 2013.
“Trade-offs among ecosystem services in seagrass ecosystem: eelgrass shoot density affects the relative importance between provisioning and regulating services”

(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) 藻場から豊かな恵みを知る～アマモ場の生態系サービスと保全について～（2014年2月25日、オホーツク・文化交流センター、網走市, 40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。

8. 引用文献

- 1) 小路 淳・堀 正和：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，地球環境研究総合推進費（革新型，RF-0970）報告書，2011

A Proposal of Coastal Zone Management Based on Quantification, Economic Evaluation and Analysis of Spatio-temporal Variability of the Provisioning Service of Seagrass Beds

Principal Investigator: Jun SHOJI

Institution: Hiroshima University
1-4-4 Kagamiyama, Higashi-hiroshima,
Hiroshima 739-8528, JAPAN
Tel: +81-82-424-7122 / Fax: +81-82-424-7122
E-mail: jshoji@hiroshima-u.ac.jp

Cooperated by: Hokkaido University, Tokyo University of Agriculture,
Fisheries Research Agency

[Abstract]

Key Words: Seagrass bed, Fish Community, Ecosystem services, Stakeholder, North-south comparison

Seagrass bed has been considered as one of the important components of ecosystems in the coastal area since it provides a variety of ecosystem services. In the present study, comprehensive evaluation of ecosystem services (regulating, cultural and provisioning services), north-south comparison of component of the ecosystem services and analysis of relationship between the ecosystem services and their stakeholders were conducted at two sites (northern site: Lake Notoro, Hokkaido; and southern site: Ikuno Island, Hiroshima) in Japan.

Seasonal changes in seagrass vegetation were measured at the two sites by the use of a new technique to scan height of seagrass leaf and area of seagrass bed coverage. Seasonal change and annual value of carbon fixation rate of the seagrass bed were estimated at the two sites. Seasonal changes in community structures of fishes and their prey organisms (mainly crustaceans and polychaetes) were investigated at the two sites in order to evaluate the contribution of provisioning services (species that is important as fishery resource) to the animal community in the seagrass beds. Stomach content analysis provided qualitative and quantitative information on the predator-prey interaction in the seagrass beds and on the contribution of the prey organisms to production of fishery resources in the seagrass beds. The potential economic value of the prey organisms that are not important as fishery resource themselves was estimated based on the contribution

rate of each prey species as prey source for fishery resources. These analyses revealed significant differences in community structures and biomass of fishery resources between the northern and southern Japan. Variability in annual catch of the major fishery resource was explained by indices of vegetation coverage of seagrass bed.

Stakeholder analysis was conducted at the two sites in order to examine the relationship between ecosystem services of seagrass bed and society in the neighbor at each site. The northern site had high quantity of provisioning service and low variety of stakeholders while the southern site did low quantity of provisioning services, high quantity of culturing services and high variety of stakeholders. Economy was more dependent on small number of species of fishery resources around the northern site. Relationship between human and coastal ecosystem was more diverse with a culture with which people feel the sea more close more developed. Based on these results, the hypothesis that appropriate management policy should be different by area even within a single ecosystem was strongly supported.