

## 研究 成 果

サブテーマ名： - 2 里海の物質循環 小課題名： ・ ( B ) 干潟・藻場における物質循環の解明
サブテーマリーダー 三重大学大学院生物資源学研究科 教授 前川行幸 研究従事者 三重大学大学院生物資源学研究科 教授 前川行幸、教授 前田広人、 助教 倉島彰  甲南大学理工学部 准教授 本多大輔 古野電気(株) 国内営業部 企画担当課長 浅海茂、 H S 開発担当部長 森松秀治、伊勢営業所係長 森本亨 (独) 水産総合研究センター養殖研究所 研究員 石樋由香、グループ長 横山寿 三重県科学技術振興センター水産研究部 主任研究員 土橋靖史 研究員 国分秀樹、奥村宏征 (財) 三重県産業支援センター 雇用研究員 森田晃央、Arun Bhai Patel
研究の概要、新規性及び目標 研究の概要 干潟・藻場の生物活動を把握し、安定同位体比などの測定値を利用して、分解者、一次生産者、 高次生産者、消費者などの食物連鎖を明らかにして、沿岸における物質循環の解明を行う。 研究の独自性・新規性 天然干潟や人工干潟、藻場の浄化機能の定量的把握やラビリンチュラの現存量の把握、炭素・ 窒素安定同位体比を用いての食物網の解析などにより、英虞湾の物質循環を解明する研究は、 はじめての試みである。 研究の目標(フェーズ毎に数値目標等をあげ、具体的に) ・フェーズ 1) 実験室で培養したアマモ幼体を用いて光合成・呼吸速度を測定するための手法を開発し、ア マモの光・温度特性を明らかにする。また、現場環境下でアマモ成体の光合成・呼吸を測定す るための装置を開発し、その実証試験を行う。 2) 干潟において、チャンパーによる基礎生産速度観測手法を確立する。 3) 実際に現場である人工干潟にラビリンチュラ類が生息しているかを確認し、それを培養株と して少なくとも10株を確立することを目標とした。現存量の予備的調査として、大まかな現存 量を試験的に計測し、他の海域のそれと比較検討する。 4) 干潟造成前の天然干潟とアマモ場の四季調査を行い、 <sup>13</sup> C、 <sup>15</sup> Nによって食物網を解析し、 閉鎖性海域の主要な生態系の基礎的知見を得ることを目標とする。 5) アマモ草体の炭素・窒素含有量とその季節変化を調べることで、水質環境に大きな影響 を与えている閉鎖系水域におけるアマモ場の役割を明らかにする。 6) 英虞湾におけるアマモの現存量を把握する。また、ヒトエグサ養殖における炭素窒素取り上 げ量を推定する。 ・フェーズ 1) 現場環境下においてアマモの光合成・呼吸速度を24時間連続して行い、アマモ場の生産力を 推定するモデルを開発する。 2) 3種類の天然干潟と2種類の人工干潟について、基礎生産速度、2潮汐間の直上水の流入出フ ラックスを把握する。 英虞湾のシミュレーションモデルで計算を行うことにより干潟再生が英虞湾環境に与える効 果について検討する。 3) 2週間に1回の頻度でサンプリングと現存量測定を継続する。季節変動のサンプリングと同 じタイミングでアコヤガイを採取し、それに含まれているラビリンチュラ特異的な脂肪酸の有 無と含有量を測定し、アコヤガイが食物として摂取しているかを調査した。 4) 造成後の人工干潟において四季調査を実施し、フェーズ で得られた人工干潟造成前の食物 網と比較することにより、浚渫土が人工干潟に与える影響についての評価を試みる。 5) 英虞湾におけるアマモの群落維持方法を明らかにするためにアマモ場における埋土種子数を 計測し、アマモ場における種子の流れを推測する。アマモ場の物質収支をさらに詳しくするた めに、底泥の種子数の調査及びアマモ群落からの草体の流出数を調査する。 6) アマモの酸素生成、酸素消費および栄養塩利用について把握し、物質循環における役割を明 確化する。

7) 音響調査手法として、マルチスキャンソナーを使用して、英虞湾の調査海域内でアマモの分布状況と、調査海域内の現存量推定を求める手法を研究開発する。

#### 研究の進め方及び進捗状況（目標と対比して）

1. 室内培養で種子から発芽させたアマモ幼体を用い、様々な光・温度条件下で光合成速度の測定を行った。このとき、アマモ幼体（全長10-15cm）全体を測定できるように光合成・呼吸測定装置を改良し、草体を傷つけることなく測定を行った。現場環境下で、アマモ草体全体（全長1-1.5m）の光合成・呼吸活性を連続して測定できるような装置を開発し、24時間の連続測定を行った。一日の総光合成生産量を測定し、現場の光環境および現存量等からアマモ場の生産量を推定するためのモデルを作成した。
2. 基礎生産速度観測用の明暗条件のチャンバーと酸素電極を改良作成した。  
3種類の天然干潟と2種類の人工干潟について、基礎生産速度を観測し、各干潟の特徴を把握した。各干潟をシートで出入り口が1つになるように仕切り、そこに流入出する直上水のフラックスを観測し、各干潟に流入出する物質フラックスの特徴を把握した。  
上記の観測結果を基に、英虞湾の環境シミュレーションモデルで計算することにより、堤防後背地をと現存干潟を底質の栄養レベルをコントロールする手法で改善することにより、英虞湾環境へ与える効果を把握した。
3. ラビリンチュラ類の培養株を15株確立し、それを用いた培養実験が可能となり、検討をより深く進めることができた。現場には十分にラビリンチュラ類が生息しており、生態的な調査を行うことの有用性を確認することができた。  
平成17年度までの調査によって、予想よりも現存量の増減は速く、また著しいことが予想できたため、2週間に1回の頻度で調査を行った。その結果、平成18年度から19年度にかけての結果は、いずれも細胞数が4月から5月と、7月から8月にかけて、毎年2回の大きな増殖が観測されるという再現性のあるものとなったが、一方、ラビリンチュラ類が特異的に蓄積する脂肪酸から、ラビリンチュラ類を捕食していると予想される生物に、実際に捕食されているか、どれくらいの量が捕食されているかを測定することを試みたが、明確なデータとはならなかった。対象としたアコヤガイでは、毎回5個体を用いたが、個体間に見られる測定値の差が大きく、また、値も大きくなかった。
4. アマモ場を中心にその周辺の天然干潟も含めた食物網の解析を行った。有機物源として付着藻類、底生藻類の重要性を指摘し、相対的にアマモの寄与が低いことを明らかにした。  
また、人工干潟造成後の食物網を炭素・窒素安定同位体マップ上に描きだし、造成前の食物網と比較することによって、干潟造成が食物網に及ぼした影響把握を行った。人工干潟では、有機物源として底生藻類が二枚貝に取り込まれることにより、相対的に寄与が増したことが示唆された。これは、浚渫土の栄養添加が底生藻類の増大をもたらした結果と考えられた。
5. 一年生アマモ草体は、成熟期に多くの花穂を形成する特徴があり、アマモによる海洋の浄化及び負荷を考える上で3タイプに分け、アマモ草体から炭素窒素循環を明らかにした。  
また、アマモ場の物質収支をさらに詳しくするために、底泥の種子数の調査及びアマモ群落からの草体の流出数を調査した。
6. 英虞湾におけるアマモ、コアマモ分布範囲を確認し、面積計算ソフトにより現存量を算出した。  
アマモの炭素含量は32.2~33.7%、窒素含量は0.7~1.4%の範囲を確認した。  
アマモおよびアマモ場の酸素生成、酸素消費および栄養塩吸収、溶出について、測定した。  
アマモ枯死葉の脱落および分解過程については、一年生アマモは7月27日にはほぼ全草体が枯死し、脱落した。多年生アマモは8月以降も生存し、生存草体からの脱落草体が認められた。  
ヒトエグサ養殖による炭素および窒素量取り上げ量については、英虞湾での1996年から2005年までの養殖生産量は、161t~300tの間で推移した。炭素含量は30.80%、窒素含量は1.35%であった。
7. マルチスキャンソナーで収録した水深データから海底と藻を分離し、調査海域の藻の総量を求めるソフトを開発した。また、海底地形図と底質図とアマモの分布図を三次元表示する藻場調査用GISソフトを開発し、藻量推定結果の精度を検証した。  
さらに、密度が異なる複数の場所においてマルチスキャンソナーでデータ収録すると同時に、同じ場所でアマモをサンプリングし、マルチスキャンソナーの収録データを一連の処理解析し、単位面積あたりの藻量  $X$  を求め、同じ場所でサンプリングしたアマモの乾燥重量  $Y$  とを比較して関係式を求めた。  
広域調査データに本研究で得た関係式を使用して広域海域の藻量の推定を行った。

## 主な成果

具体的な成果内容：

1. 開発した大型同化筒を用いて、草体全体の光合成および呼吸による酸素の増減と群落の光環境を24時間連続して測定した結果、1日の酸素発生量は $1.88 \text{gd.w. m}^{-2}\text{h}^{-1}$ であった。この値は実測で求めた生産力とほぼ一致した。また、干潟上に生育する付着珪藻の光合成・呼吸速度の測定から、干潟の炭素収支および付着珪藻の光合成速度を $13.8 \text{ ml/m}^2\text{h}^{-1}$  または $0.6 \text{ mM m}^{-2}\text{h}^{-1}$ と求めることができた。
2. 各干潟の基礎生産速度の観測に結果、底質の栄養レベルをコントロールすることにより、改善手法実施前と比較し、基礎生産速度の向上が見られた。基礎生産は底質のクロロフィルと正の相関があり、底生微細藻類等の増加が、底生生物の増加へとつながることが分かった。
3. フラックスの観測結果より、干潟は懸濁物についてシンクで、溶存態についてソースとして機能することが分かった。さらに、その大きさは干潟に生息する底生生物量が多いほど、フラックスも大きくなることが分かった。
4. 富栄養化した堤防後背地と比較的貧栄養な堤防前面の現存する前浜干潟を、それぞれ海水導入と浚渫土添加により改善した結果、生物の増加が見られ、さらにそれとともに、懸濁物除去機能の増進が確認できた。
5. 英虞湾のシミュレーションモデルで干潟再生が英虞湾環境に与える効果について検討した結果、干拓により消失した干潟をすべて再生することにより、浅場の懸濁物除去機能が増進し、海底への沈降フラックスの抑制につながることが推測された。さらに、アマモ場と連続して改善を行うことにより、生物の多様性の増進と共に、海底への沈降物のさらなる抑制が推測された。
6. 英虞湾の環境再生には、堤防後背地を含めた浅場再生が有効であることが示唆された。
7. ラビリンチュラ類の現存量の季節変動を再現性のあるデータとしてとらえることに成功した。
8. 英虞湾全体のアマモ場において底泥から海中への窒素の浄化は $7.1 \text{ t N/year}$ 、底泥への負荷は $1.3 \text{ t N/year}$ と見積もることができた。また、アマモ場では年間 $6000 \text{ seeds m}^{-2}$ の種子が形成され、そのうちの72%は群落外に流出し、28%は群落内の底泥中にあることが分かった。さらに、一年生アマモにおける生殖株の出現率は、天然群落で96.4%であった。一方の多年生アマモにおける生殖株の出現率は、天然群落で16.6%であった。一年生アマモの生殖株は、88%がアマモ群落外へ流出し、12%が群落内に残ると考えられる。一方、多年生アマモは、一年生アマモのように生殖株の流出はないことが確認できた。
9. 英虞湾内のアマモ場面積は171ha、現存量は161.1t、炭素量は52.9t、窒素量は1.5tと算出された。アマモ場の酸素消費速度は $10.7 \sim 15.5 \text{ mmol-O}_2\text{/m}^2\text{h}$ と算出された。DINは6時間までの明期は減少、6時間～18時間までの暗期は増加し、DIN溶出速度は $-0.46 \text{ mmol/m}^2\text{day}$ と算出された。PO<sub>4</sub>-Pは6時間までと18～24時間までの明期では増加、6時間～18時間までの暗期では増減は認められなかった。枯死脱落草体のうち、浮上草体の占める割合は、一年生で約70%、多年生で約50%であった。浮上草体の約50%は、一年生で5日間、多年生で12日間浮上しており、最大で40日間浮上していた。沈降草体は30日後に16～29%、60日後に2～5%にまで減少し、90日後に0%になった。ヒトエグサ養殖による炭素取り上げ量は49.6～92.1t、窒素取り上げ量は2.2～4.0tと算出された。

特許件数： 0

論文数： 7

口頭発表件数： 2 2

## 研究成果に関する評価

### 1 国内外における水準との対比

- ・ラビリンチュラ類の現存量調査について、本プロジェクトのように2週間に1度のサンプリングを繰り返して、年間を通じた継続的測定については報告がない。しかも、再現性のある結果となっているため、信憑性も高く、今後のラビリンチュラ類に対する生態学的な考察を行う際の重要な指標となる研究となったと考えている。
- ・安定同位体比によって、人工干潟造成の前後の食物網について追跡した例はなく、浚渫土の効果が食物網の変化に現われたことを安定同位体比によって検出できた点で評価された。
- ・音響技術システムであるマルチスキャンソナーを使用する「広域調査海域全体の藻量を推定できる」システムは、本研究がトップレベルである。

密度が異なる複数の場所においてマルチスキャンソナーでデータ収録すると同時に、同じ場所でアマモをサンプリングし、マルチスキャンソナーの収録データを一連の処理解析し、単位面積あたりの藻量Xを求め、同じ場所でサンプリングしたアマモの乾燥重量Yとを比較して関係式を求める。更に、広域海域の藻量を推定できる関係式を求め、実際に調査したデータを使用して全調査海域の藻量を推定した報告は、本研究が初めてである。

## 2 実用化に向けた波及効果

- ・現場環境下で光合成・呼吸を測定できる装置は、アマモ用に作成されたものであるが、同化筒の形状を工夫することにより、底質と海水の酸素収支の連続測定、および他の藻類にも応用可能と考えられる。
- ・ラビリンチュラ類の現存量調査について、アマモや赤潮などの植物プランクトンを積極的に分解処理するプラントなどを考案する基礎と情報となると思われる。
- ・人工干潟造成による底生藻類の増加に対する干潟食物網への有機物供給の効果を炭素・窒素安定同位体比を用いて検出したが、これは干潟造成の有効性を示唆し、実用化を進めるため科学的根拠の1つとなる。干潟造成の実用化により、食物網への有機物の供給が増加し、より豊かな食物網が形成されることが期待される。
- ・研究テーマの成果である「広域調査海域全体の藻量を推定できる」システムにより、広域海域のアマモ場の構造と藻量調査が容易に出来るようになった。

### 残された課題と対応方針について

1. アマモ場の生産力は、アマモ自体の生産力とアマモ草体に付着する葉上生物の生産力が合わさったものとされている。今回は、アマモのみの光合成生産力を測定することができたが、枯死葉上の付着珪藻等の生産力を正確に見積もることはできなかった。今後、これらの生産力を測定する方法の開発を行う必要がある。
2. シミュレーションモデルによる干潟再生効果の詳細な検証が必要で、これについては、県の後続事業にて実施する。
3. ラビリンチュラ類の現存量調査についてさらに継続し、増減の原因を特定する必要がある。また、他の海域でも同様の測定をすることによって、本プロジェクトで観測された増減が、現場とした人工干潟だけの現象なのか、沿岸において普遍的なものであるかも考察することが望ましい。本プロジェクトでは、ラビリンチュラ類が物質循環において、どれくらいの影響をもっているかについて、数値化するには至らなかった。同位体元素比などから食物網の中で、どのような生物がラビリンチュラ類に分解され、また、捕食されているかを特定し、培養実験によってその分解量などについて予想値を出すことが今後の課題である。
4. 人工干潟造成に用いた浚渫土の効果がどの程度持続するかについては、よくわからない。また長期にわたる食物網の変化については、今後の課題である。正確な干潟造成の効果把握には、今後もモニタリングを続けていく必要がある。
5. 英虞湾内のアマモの多くは一年生であり、夏季に枯死脱落して漂流し、その後、大半が湾内の海底に沈降して分解され、その分解過程が環境への負荷となっていることが明らかになっている。一方、アマモ枯死葉は海底での分解過程で、水産有用生物であるナマコの餌料となりうるということが明らかになっている。今後は、アマモ場およびアマモ枯死葉のナマコに対する増殖効果を把握し、漁業による取り上げをはかる。
6. 今回の成果として得られたマルチスキャンソナーを使用して、汎用的に藻量の推定方法を確立するよう進めていく。

	JST負担分(千円)							地域負担分(千円)							合計
	H14	H15	H16	H17	H18	H19	小計	H14	H15	H16	H17	H18	H19	小計	
人件費	-	2,805	7,663	6,666	5,872	2,362	25,368	-	-	2,400	10,010	12,060	6,658	31,128	56,496
設備費	-	-	-	2,888	614	-	3,502	-	-	-	-	-	-	-	3,502
その他研究費(消耗品費、材料費等)	-	8,509	7,040	12,679	10,283	3,875	42,386	-	-	2,402	6,866	2,978	8,250	20,496	62,882
旅費	-	457	206	487	523	320	1,993	-	-	163	415	563	369	1,510	3,503
その他	-	-	-	151	231	305	687	-	-	-	-	-	-	-	687
小計	-	11,771	14,909	22,871	17,523	6,862	73,936	-	-	4,965	17,291	15,601	15,277	53,134	127,070

代表的な設備名と仕様〔既存(事業開始前)の設備含む〕

JST負担による設備：オートアナライザー(ブランルーベ社製 TRACCS)、全自動元素分析装置(エレメンタル社製、varioMAX CNS)、ガスクロマトフ(島津製作所製 GC-2104AF/SPL) 他

地域負担による設備：干潟酸素消費測定用チャンバー、屋外水槽