

Environment Research and Technology Development Fund

環境省環境研究総合推進費終了研究等成果報告書

二次的自然「里海」の短寿命生態系における
ブルーカーボン評価に関する研究
(1-1407)

平成26年度～平成28年度

Study on the Blue Carbon derived from Short-lived Species and Ecosystems
in a Coastal Secondary natural Landscape "Satoumi"

国立研究開発法人国立環境研究所
公益財団法人東京都環境公社
公益財団法人ひょうご環境創造協会
三重県水産研究所

平成29年5月

環境省
総合環境政策局総務課環境研究技術室
環境保健部環境安全課環境リスク評価室
地球環境局総務課研究調査室

二次的自然「里海」の短寿命生態系におけるブルーカーボン評価に関する研究

(1-1407)

I. 成果の概要	i
1. はじめに	
2. 研究開発目的	
3. 研究開発の方法	
4. 結果及び考察	
5. 本研究により得られた成果	
6. 研究成果の主な発表状況	
7. 研究者略歴	
II. 成果の詳細	
(1) 東京湾の藻場が有するカーボンシンク機能の評価と立地履歴、管理強度の影響解析 (国立研究開発法人国立環境研究所)	1
要旨	1
1. はじめに	2
2. 研究開発目的	2
3. 研究開発方法	3
4. 結果及び考察	8
5. 本研究により得られた成果	33
6. 国際共同研究等の状況	34
7. 研究成果の発表状況	34
8. 引用文献	36
(2) 東京湾の干潟が有するカーボンシンク機能の評価と立地履歴、管理強度の影響解析 (公益財団法人東京都環境公社)	38
要旨	38
1. はじめに	39

2 . 研究開発目的	39
3 . 研究開発方法	39
4 . 結果及び考察	42
5 . 本研究により得られた成果	53
6 . 国際共同研究等の状況	53
7 . 研究成果の発表状況	54
8 . 引用文献	54
(3) 大阪湾の干潟が有するカーボンシンク機能の評価と立地履歴、管理強度の影響解析 (公益財団法人ひょうご環境創造協会)	56
要旨	56
1 . はじめに	57
2 . 研究開発目的	57
3 . 研究開発方法	57
4 . 結果及び考察	62
5 . 本研究により得られた成果	69
6 . 国際共同研究等の状況	69
7 . 研究成果の発表状況	69
8 . 引用文献	70
(4) 伊勢湾の干潟と藻場が有するカーボンシンク機能の評価と 立地履歴、管理強度の影響解析	71
(三重県水産研究所)	
要旨	71
1 . はじめに	72
2 . 研究開発目的	72
3 . 研究開発方法	72
4 . 結果及び考察	76
5 . 本研究により得られた成果	88

6 . 国際共同研究等の状況	88
7 . 研究成果の発表状況	88
8 . 引用文献	91
III. 英文Abstract	92

課題名 1-1407 二次的自然「里海」の短寿命生態系におけるブルーカーボン評価に関する研究

課題代表者名 矢部 徹（国立研究開発法人国立環境研究所生物・生態系環境研究センター
生態系機能評価研究室 主任研究員）

研究実施期間 平成26～28年度

累計予算額 108,422千円（うち平成28年度：30,611千円）
予算額は、間接経費を含む。

本研究のキーワード ブルーカーボン、炭素貯留、干潟藻場、難分解性炭素、里海評価指標、景観多様性、
利用強度、東京湾、伊勢湾、大阪湾

研究体制

- (1) 東京湾の藻場が有するカーボンシンク機能の評価と立地履歴、管理強度の影響解析
（国立研究開発法人国立環境研究所）
- (2) 東京湾の干潟が有するカーボンシンク機能の評価と立地履歴、管理強度の影響解析
（公益財団法人東京都環境公社）
- (3) 大阪湾の干潟が有するカーボンシンク機能の評価と立地履歴、管理強度の影響解析
（公益財団法人ひょうご環境創造協会）
- (4) 伊勢湾の干潟と藻場が有するカーボンシンク機能の評価と立地履歴、管理強度の影響解析
（三重県水産研究所）

研究概要

1. はじめに(研究背景等)

国連環境計画（UNEP）に提唱され国際的に注目されているブルーカーボンとは海洋生態系の生物活動によって固定（隔離・貯留）される炭素の総称である。その量は地球全体の光合成活動によって固定される炭素の55%に相当すると見積もられている。我が国は島嶼国で海岸線延長は約3万5000km、国土面積当たりの海外線延長は世界6位と先進国では最大級であり、世界的に主要なブルーカーボン貯蔵国と評価されれば沿岸生態系から大きな恩恵を受けていることになる。そのため我が国の沿岸に分布する生物の炭素固定がブルーカーボンに相当するの否かは検証すべき重要な課題である。現在までのところ、亜熱帯を分布中心とするサンゴ礁やマングローブ林における炭素固定に関する研究が先行しているが、我が国の大部分を占める温帯沿岸浅海域に生息する生物は比較的短寿命であるため、それらの場では分解が卓越するものとして整理され、炭素固定に関する研究は十分になされてこなかった。

本研究では、沿岸の藻場・干潟等の短寿命生態系における主要な生態系機能としてカーボンシンク機能を取り上げ、それらを明らかにすることを目的とする。同時に、我が国の多くの沿岸は里海としてワイズユースが進められてきた歴史をもつが、現在では浅場の埋め立てや代償としての造成も進んでおり立地履歴が多様化すると同時に、水産業やレクリエーションでの利活用も含めた保全的管理からバードサンクチュアリのような保護的管理のように管理強度の強弱の影響についても検討する。本研究を通じて二次的自然である里海における炭素貯留を支えるカーボンシンク機能を調査し、ブルーカーボンとしての評価を行うことで沿岸浅海域に対する社会的・経済的価値の向上が見込まれ、さらには里海を含めた沿岸浅海域における生物多様性保全や自然再生の促進を通じた自然共生型社会の形成にも寄与できるものと考えられる。

2. 研究開発目的

本研究では、温帯を中心に分布する比較的短寿命な海藻や海草、プランクトン・貝類等の食物網を介した炭素固定、生物の死亡後に無機化が迅速に進まず堆積物等中に蓄積された粒子態や溶存態の難分解性有機炭素といった対象を定量化し、最終的にブルーカーボンとして評価できるのかどうかを検証する。

具体的には国内の代表的閉鎖性海域であり人間活動と大きく関わる里海でもある東京湾、伊勢湾、大阪湾海域を調査地とし、短寿命生物であり一次生産者でもある海草アマモ、海藻アオサ類の藻場や大型植物の藻場がみられない干潟での野外調査を通じて、大型植物および表在藻類、底生動物優占種について、種組成・現存量の季節変化を把握することを目的とした。優占種であるアマモ類、アオサ類やアサリについては成長、枯死・死亡、分解速度とCO₂固定速度を室内・野外実験により推定した。あわせて藻場・干潟における生物各種および底質を試料とした室内生分解性試験を行い、難分解性炭素の残存率から炭素貯留の原単位を算出した。

さらに市民による潮干狩り等の利用強度の異なる複数の藻場・干潟を対象として、各水域における利活用実態調査及び大型植物、表在藻類、底生動物の種組成・現存量の季節変化を把握し、最終的に、東京湾、伊勢湾、大阪湾における複数の里海水域を対象とした比較沿岸海洋学的なアプローチを通じて、各サブテーマで明らかにした炭素貯留量からブルーカーボンとしての評価、カーボンシンク機能を維持、向上させるための自然再生及び管理手法をまとめることを目的とした。

3. 研究開発の方法

(1) 東京湾の藻場が有するカーボンシンク機能の評価と立地履歴、管理強度の影響解析

東京湾内湾において「里海」として利活用されている干潟・藻場(横浜海の公園、野島公園、三番瀬および谷津干潟)を調査対象地とし、水質・底質調査、生物現存量調査を行い、干潟・藻場生態系における炭素存在量を推定した。併せてアオサ類による炭素固定量を推定するため現地観測と室内実験を実施し、炭素フラックスを見積もった。また干潟・藻場生態系の構成要素である各種生物および堆積物を用い生分解性実験を実施し、短寿命生態系において長期間残存する難分解性画分の割合を推定し、炭素貯留量算出のための原単位を導き出した。

炭素貯留量と里海の管理利用強度との関係を検討するため、新たに「里海評価指標」を構築した。本指標は里海の景観多様度と利用強度から成り、指標値導出のための各景観要素面積の集計、利用者数調査を実施した。

構築した「里海評価指標」を用い、本研究課題で対象とした東京湾、伊勢湾および大阪湾における各干潟・藻場の炭素貯留量との関係性を検討した。両者の関係から、カーボンシンク機能として炭素貯留を評価し、各調査地における炭素貯留機能向上のための管理手法を提案した。

(2) 東京湾の干潟が有するカーボンシンク機能の評価と立地履歴、管理強度の影響解析

東京湾内の人工海浜(人工干潟)において、主要な生態系構成要素である植物プランクトン、底生付着藻類、底生動物および堆積物中の炭素含有量を推定し、干潟におけるカーボンシンク機能を評価した。底生動物については懸濁物食者である二枚貝類に着目し、有機炭素の取り込み(フラックス)と貯留(ストック)への水産有用種および外来種のそれぞれの寄与を評価した。

干潟の景観多様度と利用強度からなる里海評価指標により人工海浜を評価し、カーボンシンク機能との関係を検討した。さらに、立地履歴や管理強度の異なる他海域の状況との比較から、東京湾の人工干潟の適切な管理手法を提案した。

(3) 大阪湾の干潟が有するカーボンシンク機能の評価と立地履歴、管理強度の影響解析

大阪湾湾奥部の干潟(人工干潟および半自然干潟)において、各干潟における主要な生息種を推定し、本海域の典型的な環境危機である海水の貧酸素化による生物量の減少からの回復過程を調査した。上記の結果を基に、各干潟に生息する生物と堆積物中の炭素含有量を測定した。

生物については干潟底泥中の底生動物に加え、人工干潟においては大阪湾における海岸線の主要な構形状状となっているコンクリート製垂直護岸に付着している二枚貝類(コウロエンカワヒバリガイ、ムラサキイガイ、マガキ等)も併せて調査し、その現存量の変化、付着性動物中の炭素量等から炭素貯留に対する寄与を推定した。

併せて、各調査地において利用状況の調査を行った。これらの調査結果から、干潟の炭素貯留量と利用状況等の関係を検討し、炭素貯留の観点から大阪湾の干潟の適切な管理手法を検討した。

(4) 伊勢湾の干潟と藻場が有するカーボンシンク機能の評価と立地履歴、管理強度の影響解析

伊勢湾内の代表的な4カ所の干潟、アマモ場において、フラックスとストックの両面から炭素固定量と炭素貯留量を定量評価した。フラックスからの炭素収支の評価については、干潟とアマモ場の優占生物であるアサリとアマモに着目し、年間の現存量の変化より生産量と死亡(枯死)量を、明暗条件のチャンバーを用いた現場実験により、アサリの呼吸量およびアマモの呼吸量と光合成量を算出した。

各調査干潟とアマモ場の利用強度の調査結果と評価した炭素貯留量とを比較することにより、伊勢湾に適した干潟・アマモ場の管理手法を提案した。

4. 結果及び考察

(1) 東京湾の藻場が有するカーボンシンク機能の評価と立地履歴、管理強度の影響解析

谷津干潟に繁茂するアオサ類から構成される藻場による二酸化炭素固定速度や場のストック量から、短寿命生態系におけるカーボンシンク機能を検討した結果、谷津干潟全体での無機態炭素の吸収フラックスは $3\text{--}74 \text{ tC day}^{-1}$ 、年間の総吸収量に換算すると炭素約8300t と推算された。

湾内4水域(谷津干潟、三番瀬海浜公園、横浜海の公園、野島公園)における各種生物量(バイオマス)と遺骸量(ネクロマス)およびそれらに由来する難分解成分から構成される炭素貯留量を算出し、短寿命生態系において長期間残存するブルーカーボンを含めて定量的に明らかにした。その結果、谷津干潟では、底生性バイオマス由来の炭素量の約56%が難分解性炭素化合物、ネクロマス由来の炭素はほぼ全てが難分解性炭素化合物、すなわちブルーカーボンとして貯留されていることが明らかになった。この値は、海域の長寿命生態系であるサンゴ礁やマングローブ林の約1/3~1/10、森林や草原の炭素貯留量の約1/2~1/40程度であることが明らかになった。そこから我が国に現存する干潟藻場と過去から消失した干潟藻場の価値について試算すると、現存する干潟と藻場では、それぞれ約142~563万tC、約413~570万tCの炭素貯留量を有すると推定でき、その量はサンゴ礁の42万tC、マングローブ林の6.4~9.7万tCと比較し、約10~50倍の海域の炭素貯留機能を有することが推測された。干潟・藻場の持続可能保全から得られた単位面積あたりの炭素貯留機能は、長寿命のサンゴ礁やマングローブ林には劣るが、現存する面積で換算すると、浅海域において極めて大きく、今後ブルーカーボンとして我が国の新たな浅海域の便益に資することが期待できる。

東京湾、伊勢湾、大阪湾3海域内13水域において、藻場・干潟を構成する景観構成要素や潮干狩り等による場の利活用強度から試算される里海指標を提案し、それらと各種生物量及び炭素貯留量との関係を検討した。さらに現在、自然再生や里海創生の試みがなされている他海域において同様の手法を用いてその効果を検証し、適切な管理手法について検討を加えた。その結果、場のオーバーユースにより炭素貯留量が適正值よりも低下している干潟では、今後、利用や採取量の適切な制限により、その値を増加させることが可能であること、保護区等として立入りや利用が制限されている干潟においても、干潟内への藻場や後背地の確保等による景観多様度の増加によって炭素貯留機能が上昇する可能性を示した。

(2) 東京湾の干潟が有するカーボンシンク機能の評価と立地履歴、管理強度の影響解析

東京湾の人工干潟に成立する短寿命生態系を対象とし、その主要な生態系機能であるカーボンシンク機能に着目し、炭素貯留量として定量的評価を行った。同時に、里海としての干潟を構成する景観要素や潮干狩り等による場の利用強度を指標とし、それらとカーボンシンク機能との関係を検討した。さらに、同様の手法で調査・評価された他水域との比較から、東京湾の干潟の適切な管理手法について検討を加えた。

干潟生態系における主要な生産者である底生付着藻類は富栄養化し赤潮が発生する都市部の沿岸域では炭素貯留への寄与は植物プランクトンよりも少なかった。これら藻類による炭素貯留は、他の干潟生態系構成要素と比べ小さいものの、細胞内の炭素量の1/3程度が難分解性有機炭素として長期間残留することが明らかとなった。底生動物による炭素貯留については比較的大型の二枚貝の寄与が大きく、植物プランクトンや底生付着藻類に比べ100~1,000倍程度高い値であった。堆積物中の含有炭素は難分解性有機画分が卓越していた。その含有量は底生動物と比べ100倍程度高い値であった。底生動物と堆積物への炭素貯留量は干潟の利用・管理強度の影響を反映しており、遊漁利用等の人為的かく乱によって炭素貯留量が減少している可能性が示唆された。

干潟・藻場の利用強度と景観多様性に基づく里海評価指標を新に構築し、カーボンシンク機能との関係を検討した。場のオーバーユースにより炭素貯留量が適正值よりも低下している干潟では、利用や採取量の制限により、その値を増加させられるものと考えられた。保護区等として立入りや利用が制限されている干潟においても、干潟内への藻場造成による景観多様性の向上によって炭素貯留機能が上昇する可能性が示唆された。

(3) 大阪湾の干潟が有するカーボンシンク機能の評価と立地履歴、管理強度の影響解析

富栄養化が継続し、自然海岸が極端に減少した大阪湾奥において2種類の干潟(港湾内に造成された人工干潟:尼崎干潟と周辺環境の変化から半自然発生的に出来た河口干潟:御前浜)における炭素貯留(カーボンシンク機能)を調査した。

両干潟は垂直護岸や流入河川の有無など環境条件が大きく異なり、このことを反映して生息する生物種

がイガイ類等の二枚貝類主体の尼崎干潟、軟体動物、環形動物、節足動物が比較的バランス良く生息する御前浜のように異なっていた。生息する生物種の相違は海水の貧酸素化のような環境危機に対する応答が異なり、尼崎干潟では生物量の急激な減少後に急速な回復が認められ、御前浜では比較的安定した生物量が維持された。

尼崎干潟においては隣接する垂直護岸の影響が大きく、付着性生物の生物量が干潟と比較して無視できないこと、高さ位置によって干出に強い生物等干潟内では見かけない生物の生息場を提供すること、干出、高温化からの退避場を形成する等の特徴を有していることを明らかにした。

両干潟における海水、底質、生物量及び生分解性試験から得た難分解性炭素率を基に炭素貯留量を計算し推定したところ、両干潟ともに一定量の炭素貯留量を示した。「景観多様度」と「利用強度」とともに低い尼崎干潟では高濃度の栄養塩類の有効利用、いずれの指標も中位であった御前浜ではマナー良く干潟を利用することで生物生息場を保全することが重要であると考えられた。

結論として、本研究では大阪湾奥海域が有する、富栄養化による生物相の単純化、海水の貧酸素化等、生物生息場として恵まれているとは言い難い条件を粘り強く改善し、高い栄養塩類濃度を生物生産に効率よく利用できるような生物生息場の保全を続けることにより、大阪湾奥の干潟は炭素貯留という新たな役割を担う可能性があることを示した。

(4) 伊勢湾の干潟と藻場が有するカーボンシンク機能の評価と立地履歴、管理強度の影響解析

フラックスからの炭素収支の評価については、干潟とアマモ場の優占生物であるアサリとアマモに着目し、年間の現存量の変化より生産量と死亡(枯死)量を、明暗条件のチャンバーを用いた現場実験により、アサリの呼吸量およびアマモの呼吸量と光合成量を算出した。その結果、生産量(光合成量)と枯死量、呼吸量の総和から年間のアマモ場(草体のみ)および干潟の炭素固定量を推定すると、アマモ場(草体のみ)でそれぞれ、1.80t~2.25t-C/ha/year、干潟では、2.23~3.08t-C/ha/yearと推算することができた。

ストックからの炭素貯留量の評価については、干潟とアマモ場の有力な炭素ストック源である、マクロベントスおよびアマモ草体、堆積物(0-70cm)、植物プランクトンの年間の炭素現存量から死亡(枯死)後も長期間保存される難分解性物質を算出し積算することにより算出した。その結果、干潟およびアマモ場における炭素貯留量はそれぞれ、29.5~35.7t-C/ha、47.7~48.5t-C/haと推算することができた。ストックから算出した炭素貯留量は、フラックスから算出した炭素貯留量に対し、約15~20倍となった。またこれらは、伊勢湾沿岸域の堆積速度(約2.0~3.0cm/年)で換算すると、約20~35年分の堆積物であると推測することができ、フラックスの値とオーダー的に一致することが示された。これまでのブルーカーボンの研究では、フラックスによる1年間の炭素収支の算定が主であったが、本研究では、短寿命生態系においても死亡(枯死)後にも長期間保存される炭素量を明確にすることができた。

各調査干潟とアマモ場の利用強度の調査結果と評価した炭素貯留量とを比較することにより、干潟藻場の炭素貯留量を向上させるためには、その場に生息する生物量を持続的に高く保つことが重要であるということがわかった。そのためには、干潟、藻場単体ではなく、複数の景観多様度を有することと、利用強度を適度に保つ(単位面積あたりの年間の採取量が資源量の約10%を超えない程度)ことが必要であるということがわかった。

5. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

- ・生分解試験による形態別(懸濁態・溶存態・有機態・無機態)の難分解性炭素への分配原単位を明らかにした。
- ・干潟・藻場における生物体現存量(バイオマス)に加え、枯死体現存量(ネクロマス)を測定し、難分解性炭素への分配率を明らかにした。
- ・干潟・藻場におけるバイオマス・ネクロマスの水平分布に加え、垂直護岸および底質(深度1mまで)を含む鉛直分布を明らかにし、空間的な炭素貯留量の推定を可能にした。
- ・都市の浅海域に多く見られる垂直護岸におけるバイオマス由来の炭素貯留を明らかにした。
- ・浅海域の短寿命生態系においてこれまで知られていなかった、長期間貯留される炭素(ブルーカーボン)を定量的に明らかにし、長寿命生態系や陸域生態系の比較を行った。その結果、干潟藻場における面積当たりの炭素貯留量は、サンゴ礁・マングローブといった長寿命生態系に比較して1/3~1/9程度、森林の1/2~1/15、草原の1/5~2/3程度であった。
- ・国内の干潟藻場の面積を乗じて短寿命生態系における炭素貯留として評価すると、サンゴ礁やマングローブといった長寿命生態系の10倍以上の高い便益を示すことを明らかにした。

- ・干潟・藻場における直接的な利活用として利用強度(潮干狩りや漁獲)を定量化し、炭素貯留への影響を明らかにした。
- ・同海域における生態系サービスである炭素フラックスと自然資本である炭素貯留を比較した。

(2)環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

- ・国土交通省伊勢湾再生推進会議において本研究課題の成果(干潟藻場の炭素貯留量の評価)が重点取り組みとして取り上げられた。
- ・環境省関東自然保護事務所が実施する谷津干潟保全事業におけるアオサ類対策において炭素貯留の観点からの保全管理に関する答申に本知見を活用した。

<行政が活用することが見込まれる成果>

- ・気候変動の緩和策として、干潟・藻場における炭素貯留原単位の結果をもとに定量評価をすることが可能となった。
- ・上記の結果、水質浄化やレクリエーション等の生態系サービス同様に定量的便益評価を行うことができるようになった。
- ・東京湾岸自治体何とか報告書における本研究成果概要の紹介依頼を受け準備中。関係自治体における施策に反映されることが期待される。
- ・伊勢湾再生を目的として、炭素貯留の便益化による干潟藻場再生への企業等民間資本参加の枠組みへの貢献が期待される。
- ・昨年度末に設立されたブルーカーボン研究会においても本研究成果で重要性を示した炭素貯留に注目している。

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) 国分秀樹、山田浩且:土木学会論文集B2(海岸工学) Vol. 71 No. 2 p. I_1381-I_1386 (2015)
「伊勢湾内のアマモ場における炭素固定量の検討」
- 2) H. KOKUBU:Proceedings of International Conference "Managing risks to coastal regions and communities in a changing world" (EMECS11 - Sea Coasts XXVI) DOI: 10.21610/conference/article_58b4315b8e806 (2017)
「FUNDAMENTAL STUDY ON CARBON STORAGE BY ZOSTERA MARINA IN ISE BAY, JAPAN」
- 3) 国分秀樹、石井裕一、宮崎一、矢部徹:土木学会論文集B2(海岸工学)(2017)
「ブルーカーボン評価に向けた伊勢湾内干潟アマモ場における炭素貯留量の試算(アクセプト)」

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

(2)主な口頭発表(学会等)

- 1) 中村方哉、矢部徹、玉置雅紀、石井裕一、有田康一、中村雅子、中嶋信美:第39日本藻類学会第39回大会(2015)
「異なるアオサ種の環境応答性に関する研究」
- 2) 矢部徹、石井裕一、国分秀樹、宮崎一:第50回日本水環境学会(2015)
「干潟・藻場における有機物分解に関する研究」
- 3) 中村方哉、矢部徹、玉置雅紀、有田康一、石井裕一、中嶋信美:日本藻類学会第40回大会(2016)
「谷津干潟でグリーンタイドを形成するミナミアオサの生理特性」
- 4) 矢部徹、有田康一、後田俊直、惠本佑、小林弘明、岩淵美香、市川竜也、浦垣直子、江藤優子、石井裕一、国分秀樹、宮崎一、山口毅:第8回日本湿地学会2016年度大会(2016)
「携帯型多波長蛍光光度計を用いた底生藻類生物量の計測」
- 5) 矢部徹、中村方哉、有田康一、玉置雅紀、石井裕一、芝原達也:ラムサールシンポジウム2016 in 中海・宍道湖(2016)
「侵入アオサ類によるグリーンタイドが谷津干潟の生態系に及ぼす影響」

- 6) 矢部徹、玉置雅紀、有田康一、中村方哉、中嶋信美、石井裕一：第17回東京湾シンポジウム(2016)
「侵入生物は干潟の生態系サービスにどのような影響を及ぼしたのか？」
- 7) 中村方哉、矢部徹、玉置雅紀、有田康一、石井裕一：2016年度日本陸水学会第81回大会(2016)
「谷津干潟におけるグリーンタイド発生機構」
- 8) 矢部徹、石井裕一、国分秀樹、宮崎一、中村方哉、加藤あづさ、有田康一：第51回日本水環境学会年会(2017)
「アオサ類によるグリーンタイド発生中の谷津干潟における炭素貯留量の推定」
- 9) 中村方哉、矢部徹、玉置雅紀、有田康一、石井裕一、中嶋信美：日本藻類学会第41回大会(2017)
「侵入種ミナミアオサと普遍種アナアオサの抗酸化機構の比較」
- 10) 石井裕一、矢部徹、国分秀樹、宮崎一、天野佳正、中村方哉、加藤あづさ、横山仁、市橋新：第51回日本水環境学会年会(2017)
「藻場干潟の利用・管理強度と生息生物の豊かさとの関係探索」
- 11) 宮崎一、松林雅之、梅本諭、藤森一男：第49回日本水環境学会年会(2015)
「尼崎港人工干潟における潮位変動と栄養塩類の関係」
- 12) 宮崎一、松林雅之、梅本諭、藤森一男：第30回全国環境研協議会東海・近畿・北陸支部研究会(2016)
「干潟における植物プランクトンと底生生物調査結果」
- 13) 宮崎一、松林雅之、梅本諭、藤森一男：第50回日本水環境学会年会(2016)
「生物生息場としての尼崎港人工干潟内における垂直護岸の評価(ポスター発表)」
- 14) 宮崎一、矢部徹、石井裕一、国分秀樹：第51回日本水環境学会年会(2017)
「人工干潟の炭素貯留に関する垂直護岸の影響評価」
- 15) 国分秀樹：第12回水産海洋学会地域研究集会(2016)
「豊かな伊勢湾と干潟藻場再生の重要性」
- 16) 国分秀樹、石井裕一、宮崎一、矢部徹：第51回日本水環境学会年会(2017)
「ブルーカーボン試算にむけた伊勢湾のアマモの枯死分解埋没過程の考察」
- 17) 国分秀樹、石井裕一、宮崎一、矢部徹：第50回日本水環境学会年会(2016)
「枯死分解過程を考慮した伊勢湾アマモ場の炭素固定量の評価」
- 18) 国分秀樹、山田浩且：第49回日本水環境学会(2015)
「伊勢湾高松干潟におけるアサリの炭素固定量の検討」
- 19) 国分秀樹、山田浩且：海岸工学会(2015)
「伊勢湾内のアマモ場における炭素固定量の検討」

7. 研究者略歴

課題代表者：矢部 徹

千葉大学大学院自然科学研究科修了、博士(理学)、現在、国立研究開発法人国立環境研究所生物・生態系環境研究センター主任研究員

研究分担者

1) 伊藤 昭彦

筑波大学大学院生物科学研究科単位取得退学、博士(理学)、現在、国立研究開発法人国立環境研究所生物・地球環境研究センター主任研究員

2) 石井 裕一

千葉大学大学院自然科学研究科修了、博士(工学)、現在、公益財団法人東京都環境公社東京都環境科学研究所主任

3) 市橋 新

埼玉大学工学部卒業、東京都港湾局係長、東京都環境局主査、現在、公益財団法人東京都環境公社東京都環境科学研究所主任研究員

4) 宮崎 一

京都大学大学院農学研究科修了、農学修士、現在、公益財団法人ひょうご環境創造協会兵庫県環境研究センター主席研究員兼研究主幹

5) 国分 秀樹

大阪市立大学大学院工学研究科修了、博士(工学)、現在、三重県水産研究所鈴鹿水産研究室主査研

究員

6) 羽生 和弘

三重大学大学院生物資源学研究科修了、博士(学術)、現在、三重県水産研究所鈴鹿水産研究室主査
研究員

1-1407 二次的自然「里海」の短寿命生態系におけるブルーカーボン評価に関する研究**(1) 東京湾の藻場が有するカーボンシンク機能の評価と立地履歴、管理強度の影響解析**

国立研究開発法人 国立環境研究所

生物・生態系環境研究センター

矢部 徹

地球環境研究センター

伊藤 昭彦

平成26～28年度累計予算額：65,304千円（うち平成28年度：18,403千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

海洋生態系の生物活動によって固定、貯留される炭素であるブルーカーボンの定量評価は、島嶼国である我が国の温暖化への緩和と適応を考える上で重要課題である。日本沿岸の大部分は温帯であり、サンゴ・マングローブと比べ短寿命の生物からなる藻場・干潟生態系が中心であり、そこでは炭素固定と同時に遺骸分解も盛んである。本項では、国内最初のラムサール条約登録干潟である谷津干潟を含む東京湾内で優占し、時にグリーントイドを形成する海藻アオサ類に着目し、現存量の変化と現場および室内実験によるアオサ類の光合成量と呼吸量を算出した。一方、横浜金沢湾水域では保全活動による海草アマモの藻場が繁茂している。これら東京湾の藻場における炭素貯留量の評価を実施するため、各種生物や水、底質試料に含まれる炭素量を計測すると同時に実験室内では生分解性試験を行い、100日後の残存炭素量を難分解成分、すなわち炭素貯留の原単位として算出した。以上の結果、東京湾内の4水域（谷津干潟、三番瀬海浜公園、横浜海の公園、野島公園）における各種生物量（バイオマス）と遺骸量（ネクロマス）に由来する炭素貯留量を算出し、都市の干潟におけるブルーカーボンを定量的に初めて明らかにした。

同時に、東京湾、伊勢湾、大阪湾3海域内13水域において、藻場・干潟を構成する景観構成要素や潮干狩り等による場の利活用強度から試算される里海指標を提案し、それらと各種生物量及び炭素貯留量との関係を検討した。さらに現在、自然再生や里海創生の試みがなされている他海域において同様の手法を用いてその効果を検証し、適切な管理手法について検討を加えた。その結果、オーバーユースにより炭素貯留量が適正值よりも低下している干潟では、今後、利用や採取量の適切な制限によりその値を増加させられること、保護区等として立入りや利用が制限されている干潟においても、干潟内への藻場の復元や後背地の確保等による景観多様度の増加によって炭素貯留機能が上昇する可能性を示した。

[キーワード]

藻場・干潟、短寿命生物、炭素貯留、生分解性試験、里海指標

1. はじめに

国連環境計画（UNEP）に提唱され国際的に注目されているブルーカーボンとは海洋生態系の生物活動によって固定（隔離・貯留）される炭素の総称である。その量は地球全体の光合成活動によって固定される炭素の55%に相当すると見積もられている。我が国は島嶼国で海岸線延長は約3万5000km、国土面積当たりの海外線延長は世界6位と先進国では最大級であり、世界的に主要なブルーカーボン貯蔵国と評価されれば沿岸生態系から大きな恩恵を受けていることになる。そのため我が国の沿岸に分布する生物の炭素固定がブルーカーボンに相当するの可否かは検証すべき重要な課題である。現在までのところ、亜熱帯を分布中心とするサンゴ礁やマングローブ林における炭素固定に関する研究が先行しているが、我が国の大部分を占める温帯沿岸浅海域に生息する生物は比較的短寿命であるため、それらの場では分解が卓越するものとして整理され、炭素固定に関する研究は十分になされてこなかった。

本研究では、沿岸の藻場・干潟等の短寿命生態系における主要な生態系機能としてカーボンシンク機能を取り上げ、それらを明らかにすることを目的とする。同時に、我が国の多くの沿岸は里海としてワイズユースが進められてきた歴史をもつが、現在では浅場の埋め立てや代償としての造成も進んでおり立地履歴が多様化すると同時に、水産業やレクリエーションでの利活用も含めた保全的管理からバードサンクチュアリのような保護的管理のように管理強度の強弱の影響についても検討する。本研究を通じて二次的自然である里海における炭素貯留を支えるカーボンシンク機能を調査し、ブルーカーボンとしての評価を行うことで沿岸浅海域に対する社会的・経済的価値の向上が見込まれ、さらには里海を含めた沿岸浅海域における生物多様性保全や自然再生の促進を通じた自然共生型社会の形成にも寄与できるものとする。

2. 研究開発目的

本研究では、温帯を中心に分布する比較的短寿命な海藻や海草、プランクトン－貝類等の食物網を介した炭素固定、生物の死亡後に無機化が迅速に進まず堆積物等中に蓄積された粒子態や溶解態の難分解性有機及び無機炭素といった対象を定量化し、最終的にブルーカーボンとして評価できるのかどうか検証する。

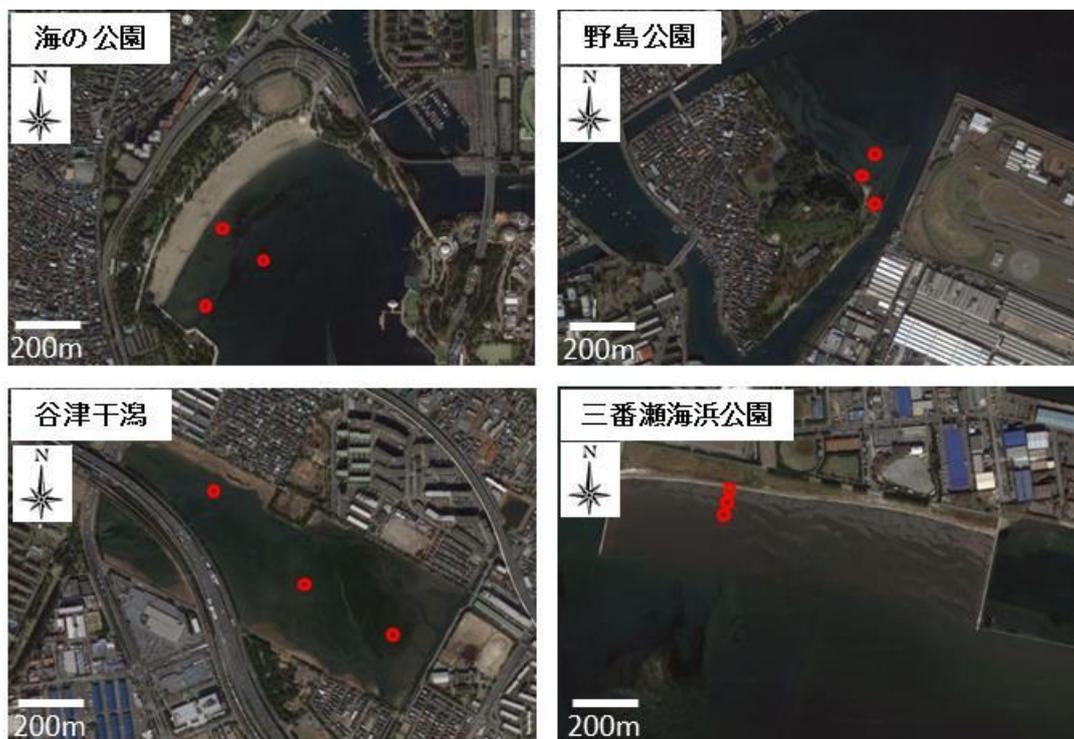
具体的には国内の代表的閉鎖性海域であり人間活動と大きく関わる里海でもある東京湾内湾水域を調査対象地とし、短寿命生物であり一次生産者でもある海藻アオサ類の大発生であるグリーンタイドがみられる藻場とアオサ類が消失した隣接干潟の比較を通じて、大型植物および表在藻類、底生動物優占種について、種組成・現存量の季節変化を把握することを目的とした。特に優占種であるアオサ類については成長、枯死速度と二酸化炭素固定（光合成）量、呼吸量を室内・野外実験を通じて評価した。

次に、市民による潮干狩り等利用強度の異なる複数の藻場・干潟を対象として、各水域における利活用実態調査及び大型植物、表在藻類、底生動物の種組成・現存量の季節変化を把握し、最終的に、東京湾、伊勢湾、大阪湾における複数の里海水域を対象とした比較沿岸海洋学的なアプローチを通じて、各サブテーマで明らかにした炭素貯留量からブルーカーボンとしての評価、カーボンシンク機能を維持、向上させるための自然再生及び管理手法をまとめることを目的とした。

3. 研究開発方法

(1) 調査地概要

東京湾内湾において利活用されている「里海」には、半自然干潟、人工干潟や海浜公園、潮干狩り場等が混在している。調査地とした神奈川県横浜市の海の公園および野島公園は金沢湾内に位置し、前者は人工干潟、後者は天然干潟であり、約1.5km離れて位置する。それぞれに砂浜等潮上帯や樹林からなる後背地と裸地、アオサ場、アマモ場が混在している。ウェブ上の旅行情報サイトるるぶ.COM (<http://www.rurubu.com/season/spring/shio/>) によれば、海の公園は潮干狩りに年間15万人の利用、と紹介されている。同サイトに12万人の利用と紹介されている千葉県船橋市のふなばし三番瀬海浜公園の前浜干潟は樹林・砂浜からなる後背地と管理潮干狩り場を含む裸地干潟から形成されている。この三番瀬から約3km離れた千葉県習志野市にはラムサール条約登録地及び国指定鳥獣特別保護区であって人の立ち入りが制限されている谷津干潟がある。谷津干潟ではアオサ類によるグリーンタイドの発生が通年観測され¹⁾、干潟内は開水面を覆うように繁茂するアオサ藻場とわずかな裸地や縁辺部にはヨシ帯及び砂浜からなる後背地も混在していた(図(1)-1)。



図(1)-1 調査地概要 赤い点は採集地を示す

(2) 水質および底質調査

各調査地点において水質および底質調査を実施した。全地点共通の水質調査として大潮干潮時に現地に立ち入り、表層水を採水した。谷津干潟では干潮時の約1時間前に当たる下げ潮時と約1時間後に当たる上げ潮時に表層水を採取した。実験室でガラス繊維フィルター(グレードGF/F、GEヘルスケアジャパン)にて濾過後、水中全有機体炭素計(TOC計; TOC-VおよびTOC-L、島津製作所)で溶存無機炭素(DIC)濃度および溶存有機炭素(DOC)濃度の計測を行った。上記

の採取地点で底質調査および採泥を行った。採泥は直径約3cmのシリンジ型採泥器を用いて表層(0-10cm)に対して、0-1cm、1-5cm、5-10cmにそれぞれ複数回分取した。また谷津干潟と三番瀬海浜公園においては2016年5-8月に直径約4cmの採泥管を用いて深さ1m程度の柱状試料を採取し、深さ方向に10cmごとに分取した。採取したすべての試料は重量測定後、クロロフィル量、酸揮発性硫化物量(AVS)を計測後、110℃24時間以上の乾燥後に含水率、一部は強熱減量(600℃、3時間)を、一部は粉碎後、有機元素分析装置(CNコーダー; vario max cube、エレメンタージャパン)にて炭素含有量を計測した。

(3) 生物現存量(バイオマス)の調査

全地点で底生生物(底生大型植物、底生動物)の現存量調査を行った。大潮干潮時に25cm四方、深さ15cmの方形枠を3個設置し、全量をハンドスコップで採取した。必要に応じて潜水作業やハンドグラブ採泥器を活用した。採取後、目合い1mmのメッシュで篩い、生物種の同定と個体密度を計測した。

谷津干潟においては干潟内東部に定点を設置してアオサ類のバイオマス調査をほぼ毎月の大潮干潮時に実施した。サンプリングには予備検討の結果得られた50cm四方の方形枠を用いた。サンプルは干潮時に現地で刈り取り実験室に於いて洗浄後乾燥重量を求めた。調査で得られた約50個体を用い、遺伝子解析により種同定を行うことで、グリーンタイドを形成するアオサ類の種別現存量の季節変化を見積もった。

(4) 炭素フラックスの収支による藻場の炭素固定量の試算

1) アオサ類の光合成量と呼吸量評価

光合成速度については谷津干潟における現地観測と室内実験を行った。現地観測ではガス不透過性および光不透過性プラスチック袋を用いて、それぞれ明条件、暗条件用反応容器として利用した。各容器には定量済みのアオサ類サンプルと現地海水を封入後、現場海域に2時間程度固定した。対照として各容器には海水のみを封入した。実験終了後、試水を約150mL分取し、全有機体炭素計による溶存無機炭素の計測を行った。アオサ類サンプルは実験室に持ち帰った後、湿重量および80℃48時間以上の乾燥処理後に重量を測定した。同時に直径16mmの円状サブサンプルを分取し、100%メタノールを溶媒とした乳鉢による粉碎による色素抽出を行い、Porra et al. (1989)の式に基づいてクロロフィルa量の計測を行った。それらの経時変化から、アオサ類による乾燥重量あたり、あるいはクロロフィルa量あたりの二酸化炭素固定(光合成)速度を推定した。

水温および光強度に対する光合成速度の影響を評価するために室内実験を行った。アオサへの光照射条件の設定は照明付きインキュベーター(FLI-2000A、東京理化機械)に高照度ユニット(HLU-50、東京理化機械)を取り付けておこない、最大で晴天時の午前中に相当する光強度である $1,000 \mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の光強度を照射した。光照射中は培養容器の攪拌を行った。水温条件の設定は温度勾配恒温器(TG-280CCFL-5LD、日本医化器械製作所)で水温条件5℃、10℃、15℃、20℃、25℃、30℃、35℃、光強度 $60 \mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$ および明期12時間、暗期12時間の明暗周期(12L:12D)に設定した。水温条件5℃および10℃は冬季、15℃から25℃は春季および秋季、30℃から35℃は夏季の東京湾に相当する。光合成・呼吸速度の測定は明暗ビン法と蛍光式酸素測定計(MicroxTX3、プレセンス)を用いて行った。各実験条件下で2時間培養し、1時間当たりの光合成

量及び呼吸量を算出した。生嶋（1965）と同様に100 mlの酸素瓶に対してアオサを湿重量（FW）0.15 g（直径25mmのアオサ片、1枚から2枚分）を供試した。同時にカルチャーボトル（CB-2、アズワン）に直径25mmのアオサ片を3枚投入し、1日当たりの重量相対成長速度を各培養条件下で1週間培養して求めた。

2) アオサ類の炭素固定量の推定

アオサ類は、光合成により海中から炭素を固定する一方、呼吸と枯死分解により海中へ炭素を放出すると考えられる。本研究では、枯死後は全て二酸化炭素に回帰すると仮定して推定を行った。アマモの炭素収支は、上記で観測したアマモ草体の生産量、枯死量、光合成量と呼吸量をそれぞれ算出し、それらの総和により推定を行った。

(5) 生分解性試験による難分解性物質への分配原単位の推定

藻場・干潟における生きた生物（バイオマス）に加え、生物遺骸（ネクロマス）における炭素貯留に注目し、実験室レベルでの生分解性試験を通じて難分解性物質への分配原単位を明らかにするために以下のような室内実験を実施した。対象試料として、藻場を形成する大型植物として、谷津干潟をはじめ全国の閉鎖的な干潟でしばしばグリーンタイドを形成する緑藻ミナミアオサの藻体および横浜地区2水域や伊勢湾地区2水域で優占する海草アマモの地上部および地下部を材料とした。底生動物のうち軟体動物としては、水産有用種である二枚貝のアサリ、大型二枚貝のホンビノスガイ、垂直護岸等構造物にも固着するムラサキイガイ、腹足類としてホソウミニナ、これらの貝肉と貝殻を用いた。その他、節足動物としてはイソガニ属、環形動物をとってはイシイソゴカイを試料とした。干潟底質については、裸地の極表層（深度0-1cm）、表層（深度5-10cm）、アマモ場表層底質及び隣接する裸地表層底質（深度0-10cm）、アオサ藻場における葉上デトリタスを試料とした。

試料に応じて80-105℃で48時間以上乾燥させた後にボールミル（MM400およびMM300、ヴァーダーサイエンティフィック）を用いて微粉碎化することで分解初期過程を促進させ、炭素貯留の原単位を明確にするために迅速生分解法を考案し、本実験に適用した（図(1)-2）。100ml羽根付きフラスコに各種粉体サンプル50-100mgと人工海水45ml、植種用海水5mlを入れたものを系統毎に3本作成、回収日に全量をGF/Fで濾過後、懸濁物の乾燥重量計測。その後、GF/Fを含む全量微粉末化を経て、別途検討した燃焼温度可変法によってCNコーダーを用いて懸濁態有機炭素量（POC）および懸濁態無機炭素量（PIC）を計測した。濾液は分光光度計を用いて260 nmにおける吸光度E260を計測後、水中全有機態炭素計にてDOCおよびDICを計測した。培養は好気条件の20℃暗所恒温室において100rpmで攪拌して実施した。採取・計測は実験開始から試料を投入直後に回収した0日後から1、3、10、20、50、100、200日後に実施した。



図(1)-2 迅速生分解性試験の概要

左上：試料粉碎に使用したボールミル、左下：微粉碎された試料、中：攪拌装置と恒温培養室
 右上：試料を収めた羽付フラスコ群、右下：一定期間後の濾過回収

(6) 藻場・干潟の利用強度調査

調査は東京内湾6水域（三番瀬海浜公園、谷津干潟、海の公園、野島公園、葛西海浜公園西なぎさ、東なぎさ）、伊勢湾中部4水域（楠干潟、高松干潟、御殿場干潟、松名瀬干潟）、大阪湾奥3水域（御前浜、香櫨園浜、尼崎人工干潟）を対象水域とした。春の大潮干潮時でありかつゴールデンウィーク前後の土日休日の晴天日に空撮および現地での目視調査を行った。同時に干潮時の空撮を実施し、得られた航空写真に対する目視判読により藻場・干潟の利用者数を推定し、利用・管理強度の指標とした。利用者数の計測範囲は、干潟利用者の干潮前後の行動範囲とし、陸側は主に来訪者がアクセス容易な砂浜後背地を含む範囲まで（主に堤防を境界とした）、沖側は最干潮時にみられた利用者の最沖における行動範囲を「里海」とみなして定義した。本項ではそれらのうち三番瀬海浜公園、海の公園、野島公園についての詳細結果を示す。

調査結果から、対象水域の単位面積あたりの使用者数を算出した後、全調査地の最大値で除し、相対的な利用強度を比較した。なお、一部調査地でなされている漁業利用については、漁業者1人あたりの漁獲制限量を遊漁利用者数に換算し遊漁者数として足し合わせた。

(7) 炭素貯留量の推定

1) 個別水域における炭素含有量及び炭素貯留量の高精度推定

アオサ類の藻場が繁茂する東京湾の谷津干潟において、積み上げによる炭素貯留量の水域集計を行った。底質組成やアオサ類分布動態から谷津干潟を東部、中央部、西部の3区分に分類し、撮影した航空写真および現地調査の結果から景観ユニットを抽出し、それぞれ面積を推定した。水質および底質調査、各種生物（底生大型植物、底生動物）における現存量調査結果とCNコーダーを用いて測定した海水中（溶存態、懸濁態）、底質中、各種生物（バイオマスおよびネクロマス）現存量中の無機態および有機態炭素含有量から、東部、中央部、西部における炭素貯留量を推定した。炭素貯留量の算出には、海水、底質、生息生物等の各種試料を用いて実施した後述（5）

に示した生分解性試験の結果を加味しており、温帯域の干潟に成立する短寿命生態系において長期間残存する要素（難溶解性有機および無機炭素および難分解性溶存有機炭素）を対象とし算出した。

2) 各海域における炭素貯留量の試算

本研究で対象とした、前述および後述する東京内湾6水域（三番瀬、谷津干潟、横浜海の公園、野島、葛西海浜公園西なぎさ、東なぎさ）、伊勢湾中部4水域（楠干潟、高松干潟、御殿場干潟、松名瀬干潟）、大阪湾奥3水域（御前浜、香櫨園浜、尼崎人工干潟）を対象水域として炭素貯留量の算出を行った。算出の基礎となる、①底生生物、②大型海藻・海草、③植物プランクトン、④堆積物の4種類の調査を各海域共通で1年間実施し、それぞれの最大値を活用した（図(1)-3）。底生生物は、軟体動物、節足動物、環形動物を分類採取し、各干潟、藻場で単位面積あたりの湿重量および乾重量、軟体動物については貝殻付重量を計測した。植物プランクトンについては、海水中のクロロフィルa濃度または、細胞数を観測した。また貯留量の算出には水深1.5mの水柱として単位面積あたりの炭素量換算を行った。堆積物については、表層から10cmの堆積物を採取し試料とした。CNコーダーを用いて測定した海水中（溶存態、懸濁態）、底質中、各種生物（バイオマスおよびネクロマス）現存量中の無機態および有機態炭素含有量から各調査地における炭素貯留量を推定した。

併せて、対象干潟藻場の面積の計測も行った。計測の範囲は、後述する「干潟藻場の利用強度調査」の調査エリアと同じ範囲として計測を行った。藻場と干潟が混在する調査海域では、干潟藻場全体の面積に対するそれぞれの面積割合を乗じることで炭素貯留量の高精度化を行った。

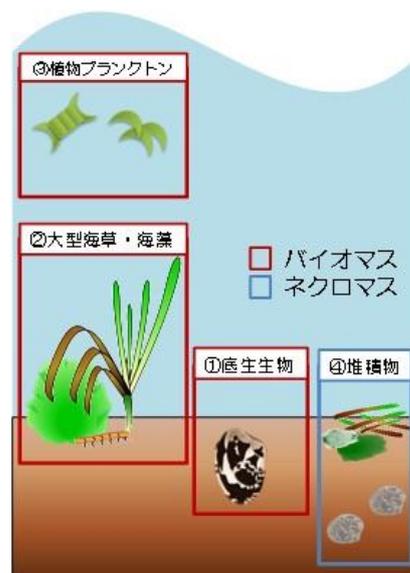
炭素貯留量の算出には、前述した生分解性試験の結果を用い、100日後に残存した炭素を難分解性炭素とみなし、すべての底生生物及び海藻（草）、植物プランクトン、堆積物の無機炭素の易・難分解性有機炭素の割合を現存量に乗じることで温帯域の干潟に成立する短寿命生態系において長期間残存する要素（難溶解性有機および無機炭素および難分解性溶存有機炭素）を対象とし炭素貯留量を算出した。

【炭素貯留量 (gC/m²)】

- ①底生生物 (軟体、節足、環形)
- ②大型海草、海藻 (アマモ、アオサ)
- ③植物プランクトン (1.5m水柱)
- ④堆積物 (表層から10cm)



- ・無機炭素 (IC)
 - ・易分解性有機炭素 (易分解OC)
 - ・難分解性有機炭素 (難分解OC)
- に分類して積算



図(1)-3 各海域における炭素貯留量の算出のスキーム

(8) 新たな里海評価指標の提案と炭素貯留量との関係探索

本課題では、里海の健全性を評価するため、里海を構成する「景観多様度」と遊漁者・漁業者による活用度を統合した「利用強度」を算出し、それらの和を「里海評価指標」として式(1)-1に示す新たな指標を構築した。

$$\text{里海評価指標} = \text{景観多様度} + \text{利用強度} \quad \dots \text{式(1)-1}$$

景観多様度は里山指数^{2,3)}でも活用されているSimpsonの多様度指数(式(1)-2)を適用し、干潟、藻場、後背地等の景観要素のモザイク性を評価した。

$$\text{景観多様度} = 1 - \sum_{i=1}^s p_i^2 \quad \dots \text{式(1)-2}$$

ここで、 s は景観要素数、 p_i は*i*番目の景観要素の面積が里海内で占める割合である。

利用強度は春季の潮干狩りによる利用を指標とした。多数の来客が見込まれるゴールデンウィーク前後の休日かつ晴天日の最干時刻に合わせてヘリコプターにより空中写真撮影を実施し、得られた画像データから対象地における利用者数を計数した。利用者の計数は砂浜等の後背地も含め実施し、干潟部を含む「里海」全域の利用者数として評価した。各サブテーマにおいても里海利用者数を集計し、対象水域の単位面積あたりの使用者数を算出した後、全調査地の最大値で除し、相対的な利用強度を比較した。また一部調査地でなされている漁業利用については、漁業者1人あたりの漁獲制限量を遊漁利用者数に換算し(漁業者1人は遊漁利用者(1kg/人)60人に相当)、遊漁者数に足し合わせた(式(1)-3)。

$$\text{利用強度} = \frac{(U_C + 60U_F)/\text{Area}}{((U_C + 60U_F)/\text{Area})_{\max}} \quad \dots \text{式(1)-3}$$

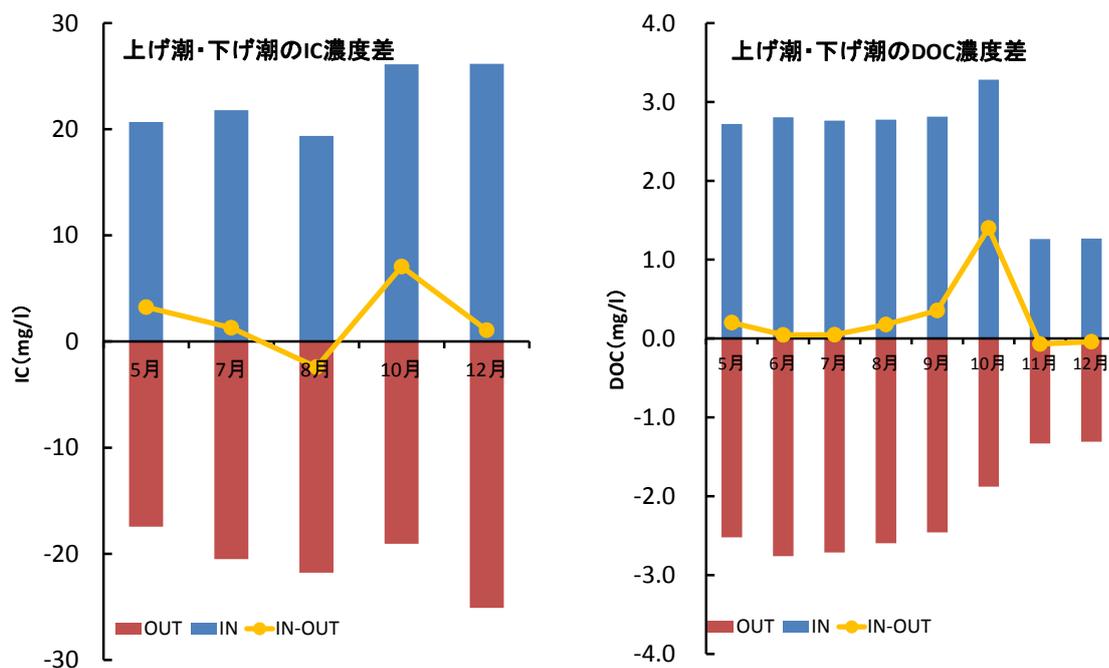
ここで、 U_C は里海を利用する遊漁者数、 U_F は同海域を利用する漁業者数、 Area は同海域の面積である。各海域における値を今回得られた最大値で除し無次元化している。

式(1)-1で得られた各海域の里海評価指標と、前述した炭素貯留量との関係を検討した。

4. 結果及び考察

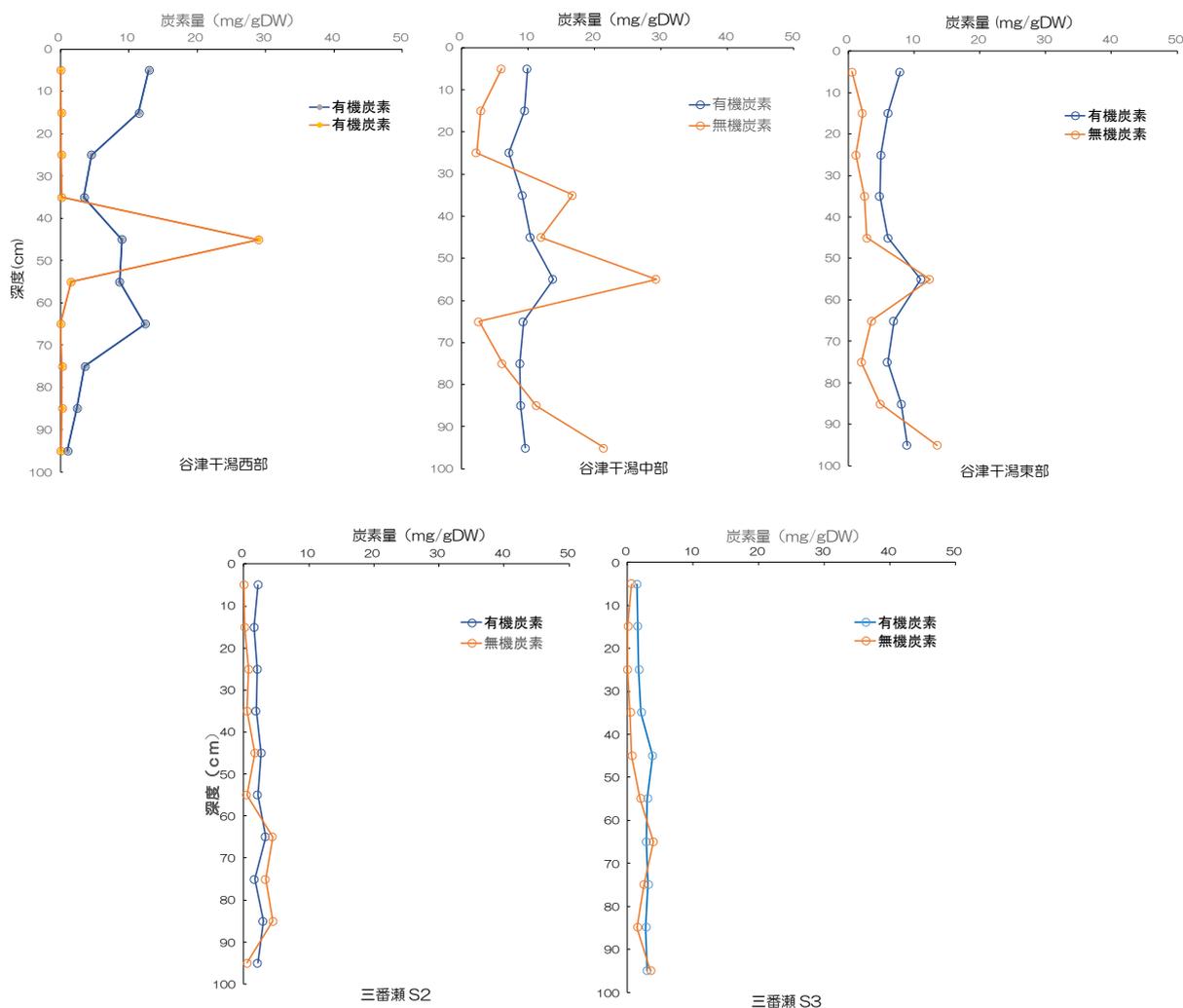
(1) 水質および底質調査

谷津干潟における表層水中の溶存無機炭素(IC)・有機炭素濃度(DOC)を測定した結果を図(1)-4に示した。年間を通じてIC・DOCともに下げ潮(図中のOUT)の方が上げ潮(図中のIN)よりも低濃度であることが明らかとなり、干潟内への炭素蓄積傾向が明らかになった。



図(1)-4 上げ潮・下げ潮時の無機態炭素および有機体炭素の濃度差の季節変化

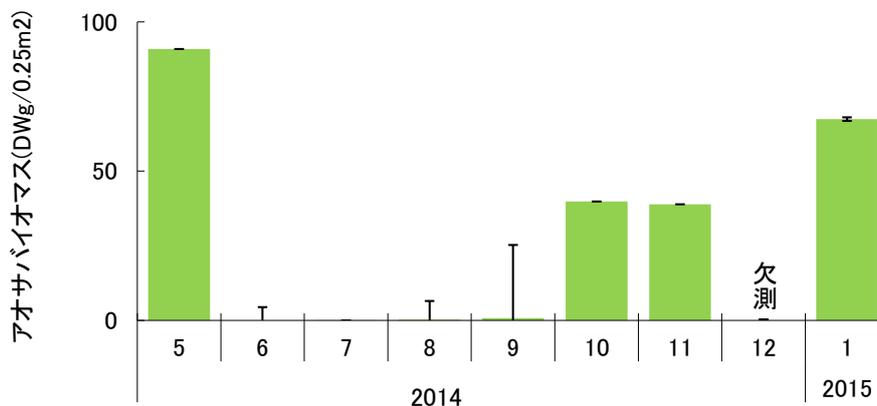
堆積物中の有機、無機炭素の鉛直分布を図(1)-5に示した。上段に谷津干潟におけるアオサ類の分布や地盤高の差異を考慮して分けられた西部、中部、東部における結果を、下段に三番瀬海浜公園前浜水域のランネル(S-2; 地盤高のやや低い立地)とリッジ(S-3; 地盤高のやや高い場所)から得られた試料の結果を示した。閉鎖性が高く泥干潟と分類されてきた谷津干潟では表層から1mの深さまで有機炭素は 10 mgCgDW^{-1} 、無機炭素で $0-30 \text{ mgCgDW}^{-1}$ 含まれていることが分かった。有機炭素の垂直分布には大きな差が無かった。一方、無機炭素は目視確認の結果、底生生物遺骸である貝殻片由来であり、谷津干潟では西部から東部への全域で深度40-60cmと100cm以深の層に貝殻片が堆積していることが明らかになった。開放的な前浜干潟に分類される三番瀬海浜公園では表層から1mの深さまで有機炭素、無機炭素共に大きな変動は無く、それぞれ 5 mgCgDW^{-1} 未満であった。本研究では計測は行っていないが、国土交通省関東地方整備局が東京湾水環境再生計画(http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000010108.pdf)の中で東京湾沿岸域の堆積速度は約 1.0 cm/年 であると記述している。そのことから、藻場・干潟域の1mの堆積物は、約100年分と推測され、全炭素が底質中に長期にわたって貯留されることが示唆された。



図(1)-5 谷津干潟（上）および三番瀬海浜公園（下）の堆積物中の底質乾燥重量中における無機炭素および有機炭素含有率の鉛直分布 谷津干潟（上）は左から干潟西部、中部、東部、三番瀬海浜公園（下）は左からランネル、リッジにおける結果を示す

(2) 生物現存量（バイオマス）の調査

アオサ類現存量の季節変動を図(1)-6に示した。春に増加し5月に365gDW m⁻²程度を示したが、夏には1gDW m⁻²以下にまで激減した。晩夏に回復し始め10月には150gDW m⁻²を超え1月に270gDW m⁻²まで回復した。層数は春に平均3.3層みられたものが、夏に激減し平均1層未満、秋に回復し平均4.7層程度まで回復していた。

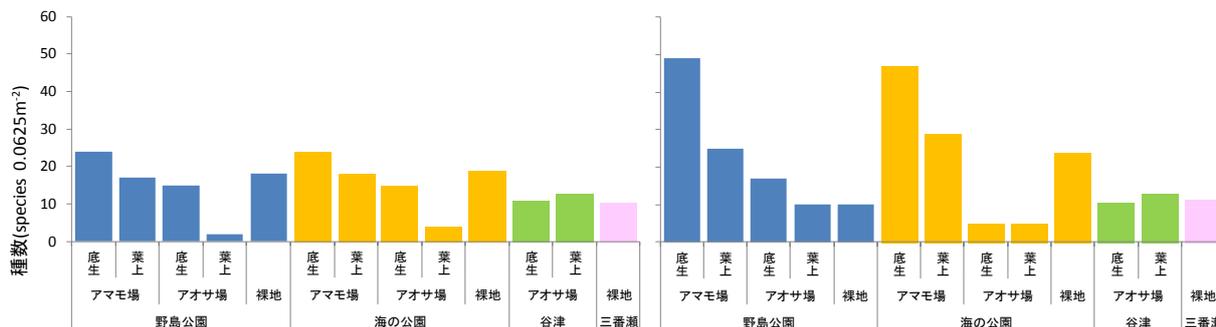


図(1)-6 アオサ類現存量経月変化

アオサ類の種同定については従来、PCR法によりITS領域を増幅しダイレクトシーケンスによって塩基配列を決定し行われてきたが、予備試験を通じて開発、検証した遺伝マーカーを用いることで簡便かつ低コストな種判別が可能となった。その結果、谷津干潟では在来種アナアオサも出現したものの、全域では侵入種とされるミナミアオサが優占しており、本研究の固定調査点ではミナミアオサの出現頻度は調査期間（2014年5月-2015年2月）を通じて354個体中344個体（97%）で、アナアオサは残りの10個体（3%）であった。アナアオサは9回の調査のうち2回出現し、1回の調査での最大値はミナミアオサの激減がみられた2014年7月に28%を占めた。

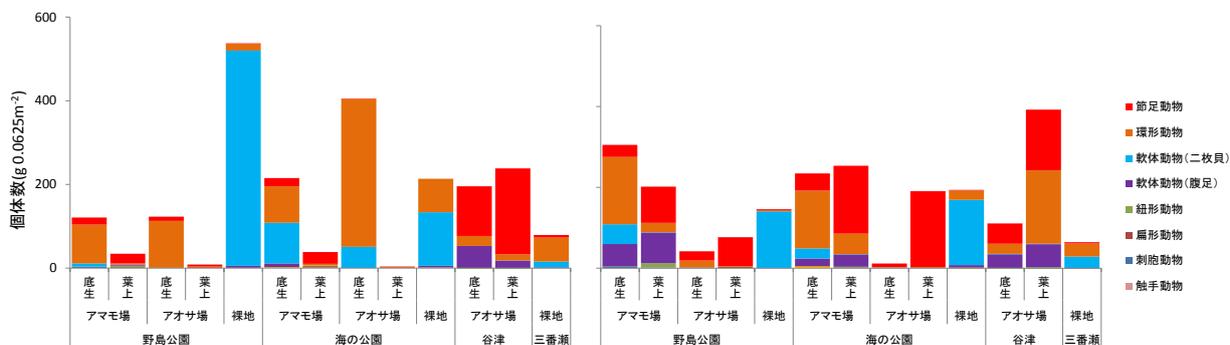
谷津干潟の底生生物については地盤高を勘案して潮間帯上部・中部・下部で得られた結果の平均値を算出した。以下、数値の単位は 0.0625m^2 （ $25\text{cm}\times 25\text{cm}$ ）で示す。地表面より上、すなわち堆積しているアオサ類の隙間に生息する葉上生活者の種数は底質内生息者のそれとほぼ等しく8.7種、個体数については葉上生物・底質内生物がそれぞれ240個体・196個体、湿重量はそれぞれ16gFW・51gFWであった。葉上生活者を合わせて計上した結果を谷津干潟とそれに隣接しアオサ藻場によるグリーンタイドの発生しない三番瀬干潟と比較して以下に示した。種数はそれぞれ15.7種に対して8.5種、個体数は434個体に対して79個体、湿重量は67.3 gFWに対して13.8 gFWであり、侵入種ミナミアオサが藻場を形成することが干潟の生息場供給機能に正の効果を示すことが明らかとなった。

谷津干潟以外の東京湾内湾3水域（横浜2地区：海の公園、野島公園、千葉地区：三番瀬海浜公園）では潮干狩りを目的とした人間による立ち入りと利活用の影響が大きいことが見込まれているため、潮干狩り時期前の早春と潮干狩り時期後の夏季についての調査結果を比較した。図(1)-7には底生生物の種数に関する調査結果を示した。左側に潮干狩り前の冬季2月、右側に潮干狩り後の6-7月にかけての結果として示した。横浜の海の公園と野島公園では冬季から夏季にかけて暖かくなるに伴って、アマモ場で種数が増加した。野島公園では潮干狩りによる採取圧や立ち入りによる攪乱が大きく現れる裸地で種数が大きく減少したが、海の公園では同様の種数減少はみられなかった。しかし裸地エリアよりも緩傾斜かつ水深の浅いエリアにはアクセスが良いため多くの来客があり攪乱を与えていることが観察された。これに該当するアオサ場では種数の大幅減少が確認された。千葉の三番瀬と谷津干潟では同様の変化はみられず季節変化はほぼみられなかった。



図(1)-7 潮干狩りによる干潟攪乱前後での底生生物の種数の変化
 左側が潮干狩り前の2月、右側が潮干狩り後の6-7月を示す

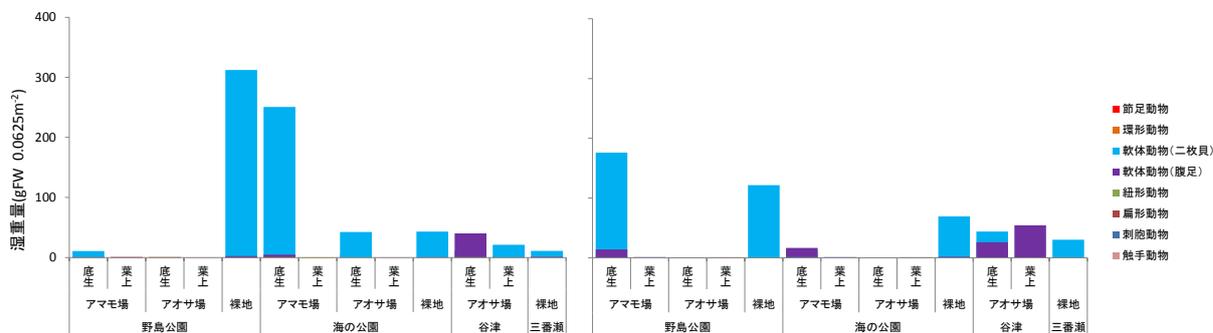
底生生物の個体数を分類群ごとに区分して調査地ごとに図(1)-8に示した。軟体動物については二枚貝類と腹足類(巻き貝)に細分した。左側に潮干狩り前の冬季2月、右側に潮干狩り後の6から7月にかけての結果を示した。その結果、冬季から夏季にかけて暖くなるに伴って、横浜の野島公園ではアマモ場で環形動物および軟体動物の個体数が増加、アオサ場で葉上の節足動物が増加したが、潮干狩り後の裸地エリアでは軟体動物二枚貝類の個体数が激減した。海の公園では種数の結果と同様、裸地エリアでの個体数減少は確認されず、緩傾斜浅所のアオサ場で環形動物と共に軟体動物二枚貝類の減少、葉上の節足動物の増加が確認された。千葉の谷津干潟では葉上ベントス、とくに環形動物の個体数が増加したが、三番瀬では潮干狩り前後で個体数に大きな変化はみられなかった。



図(1)-8 潮干狩りによる干潟攪乱前後での底生生物の個体数の変化
 左側が潮干狩り前の2月、右側が潮干狩り後の6-7月を示す

底生生物の湿重量を分類群ごとに区分して調査地ごとに図(1)-9に示した。個体数同様に軟体動物については二枚貝類と腹足類(巻き貝)に細分した。左側に潮干狩りシーズン前の冬季2月、右側に潮干狩りシーズン後の6から7月にかけての結果を示した。湿重量は二枚貝類と腹足類(巻き貝)の変化の影響を強く受けており。横浜の野島公園では潮干狩りシーズンを挟んで裸地で軟体動物二枚貝類の湿重量が激減し、水深が深くアクセスの悪いアマモ場では冬季に比べ夏季には湿重量が激増していた。海の公園では緩傾斜で水深が浅くアクセスの良いアオサ場だけではなく、

水深の深いアマモ場の二枚貝類も減少した。千葉の谷津干潟および三番瀬では潮干狩り前後で湿重量に大きな変化はみられなかった。



図(1)-9 潮干狩りによる干潟攪乱前後での底生生物の湿重量の変化
 左側が潮干狩り前の2月、右側が潮干狩り後の6-7月を示す

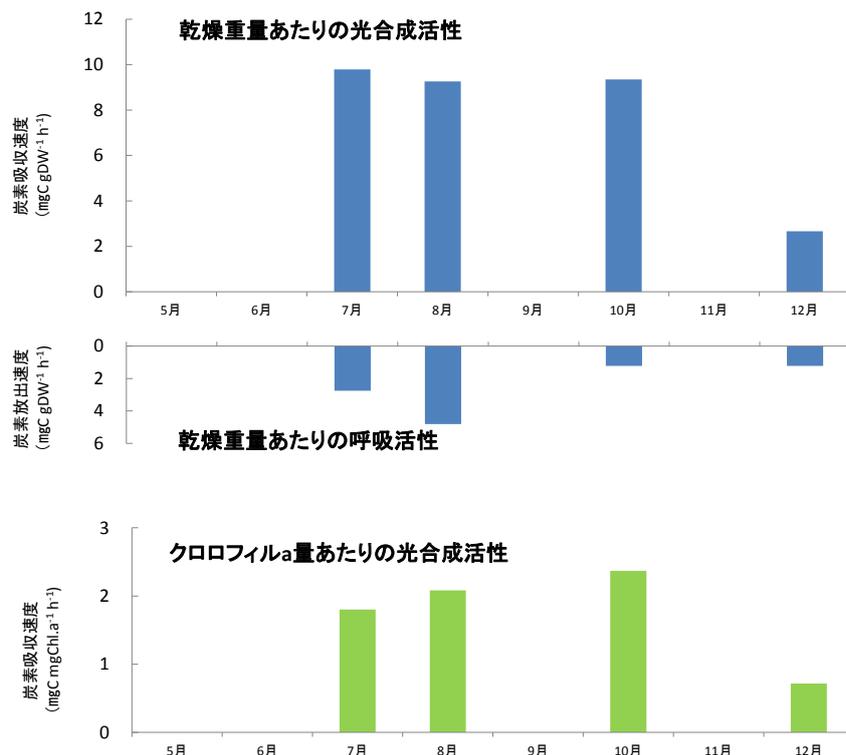
底生生物については地盤高を勘察して潮間帯上部・中部・下部で得られた結果の平均値を算出した。

(3) 炭素フラックスの収支による藻場の炭素固定量の試算

1) アオサ類の光合成量と呼吸量評価

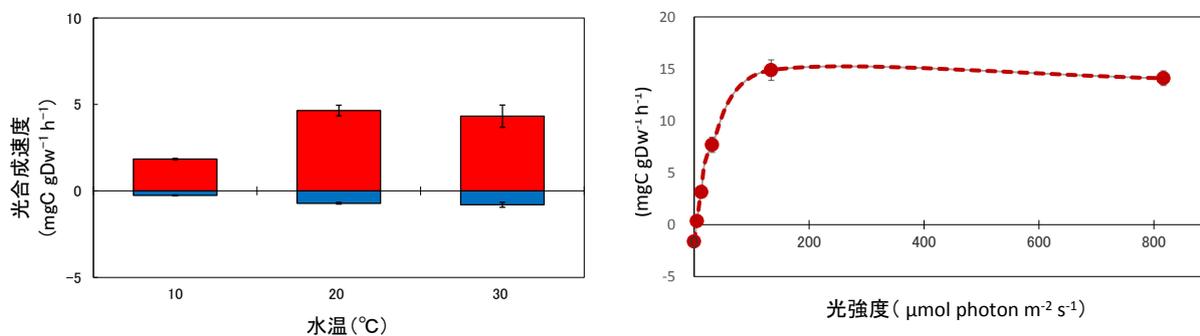
アオサ類乾重1gあたりの日中の無機炭素固定速度は真の光合成速度として2.7-9.8 mgC gDW⁻¹ h⁻¹であった。クロロフィルa量あたりに換算すると0.7-2.4 mgC μg chl.a⁻¹ h⁻¹、であった。夜間に計測される無機炭素放出速度は呼吸速度であり1.2-4.8 mgC μg chl.a⁻¹ h⁻¹であった (図(1)-10)。

Little & Little (1980) による機能分類群ごとの炭素固定速度に関する報告によれば、アオサ類は最も炭素固定速度が高い膜状形態グループに属し、さらにその平均値5.2 mgC gDW⁻¹ h⁻¹よりもはるかに高い値を示すことが明らかになった。



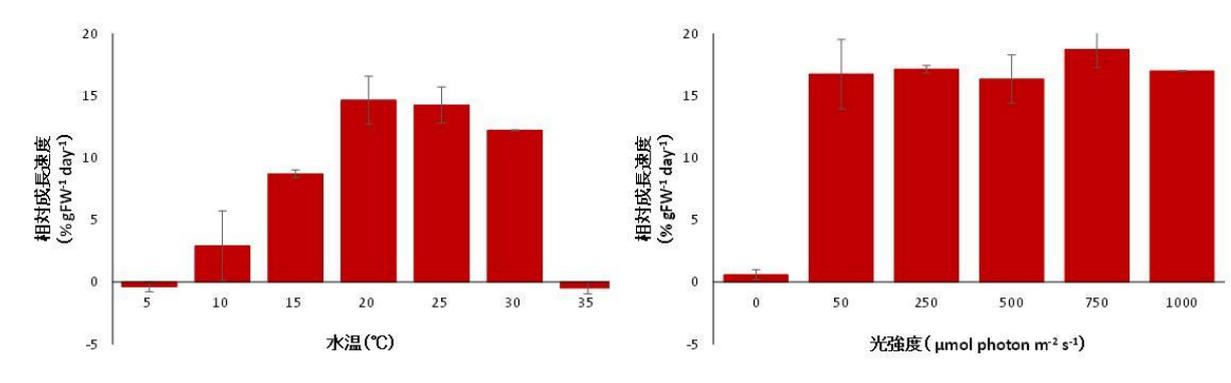
図(1)-10 現場法によるアオサ類の二酸化炭素固定（光合成）速度および二酸化炭素放出（呼吸）速度の季節変化

アオサ場を形成する優占種ミナミアオサを材料として、水温は10℃、20℃、30℃、光条件60 μ mol photon m^{-2} s^{-1} における光合成速度を比較した結果を図(1)-11左に示した。10℃では光合成活性が低く1.8 mgC gDW⁻¹ h⁻¹を示したが、20℃および30℃ではそれぞれ4.7、4.3 mgC gDW⁻¹ h⁻¹を示した。図(1)-11右には、水温20℃における光強度別の光合成速度を示した。光強度130 μ mol photon m^{-2} s^{-1} の条件下で14.9 mgC gDW⁻¹ h⁻¹の最大値を示した。それ以上光強度が強くなるのに従い光合成速度は若干の低下傾向にあった。呼吸速度は1.6 mgC gDW⁻¹ h⁻¹であった。



図(1)-11 水温および光強度の変化に対するミナミアオサの炭素固定（光合成）速度

各水温条件下におけるミナミアオサの1日当たり相対成長速度を図(1)-12左に示した。水温5℃および35℃の条件下では本種はほとんど成長しなかったが、水温10℃では2.9%。水温15℃では8.7%まで成長速度が増加した。水温20℃で最大に達し14.6%、水温25℃ではほぼ変わらず14.2%を示し、水温30℃ではやや低下したものの12.2%を示した。総じて、水温20℃から30℃までの条件で相対成長速度が12%以上を示した。各光強度下におけるミナミアオサの1日当たり相対成長速度を図(1)-12右に示した。光強度 $50 \mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以下の弱光環境では生育することができないが、 $50\text{--}1,000 \mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の条件では相対成長速度に有意な差は見られず、その生育は良好であり、特に $750 \mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$ において1日当たりの最大値19%の相対重量成長を示した。



図(1)-12 水温および光強度の変化に対するミナミアオサの重量相対成長速度

2) 炭素フラックスの収支による藻場の炭素固定量の試算

東京湾という大都市流域圏に残された半自然干潟で、ラムサール条約登録地でもある谷津干潟を主要な調査地として、そこに繁茂するアオサ類から構成される藻場による二酸化炭素固定速度や場のストック量から、短寿命生態系におけるカーボンシンク機能を検討した。これまでの結果から谷津干潟でグリーンタイドを形成しているアオサ類の大部分は侵入種のミナミアオサであり、本種が最大で谷津干潟面積の約3/4を占めていることから1日あたりの二酸化炭素固定速度の実験結果を乗じて物質収支への影響を評価した。その結果、谷津干潟全体での無機態炭素の吸収速度は $3\text{--}74 \text{ tC day}^{-1}$ であった。年間の総吸収量に換算すると炭素約8300t と計算された。

侵入種ミナミアオサが谷津干潟に分布を広げ約20年が経過し優占種となったことはグリーンタイド現象として知られており、アオサ類の枯死に伴う底質還元化がおきる夏には硫化物の増加と悪臭の素となる硫化水素の発生がみられることに注目が集まりがちであるが、その反面底生生物の生物量や種数について増加がみられ、アオサ類による栄養塩吸収に伴う水質浄化機能の向上に加えて、炭素固定能についても大きく向上したことが明らかになった。

(4) 生分解性試験による難分解性物質への分配原単位の推定

本報告書で利用する各種生物群および底質試料の全炭素含有率について、生分解性試験の実験初期値として得られた結果を以下の表(1)-1に示した。

表(1)-1 各種生物及び底質における有機炭素、無機炭素の含有率

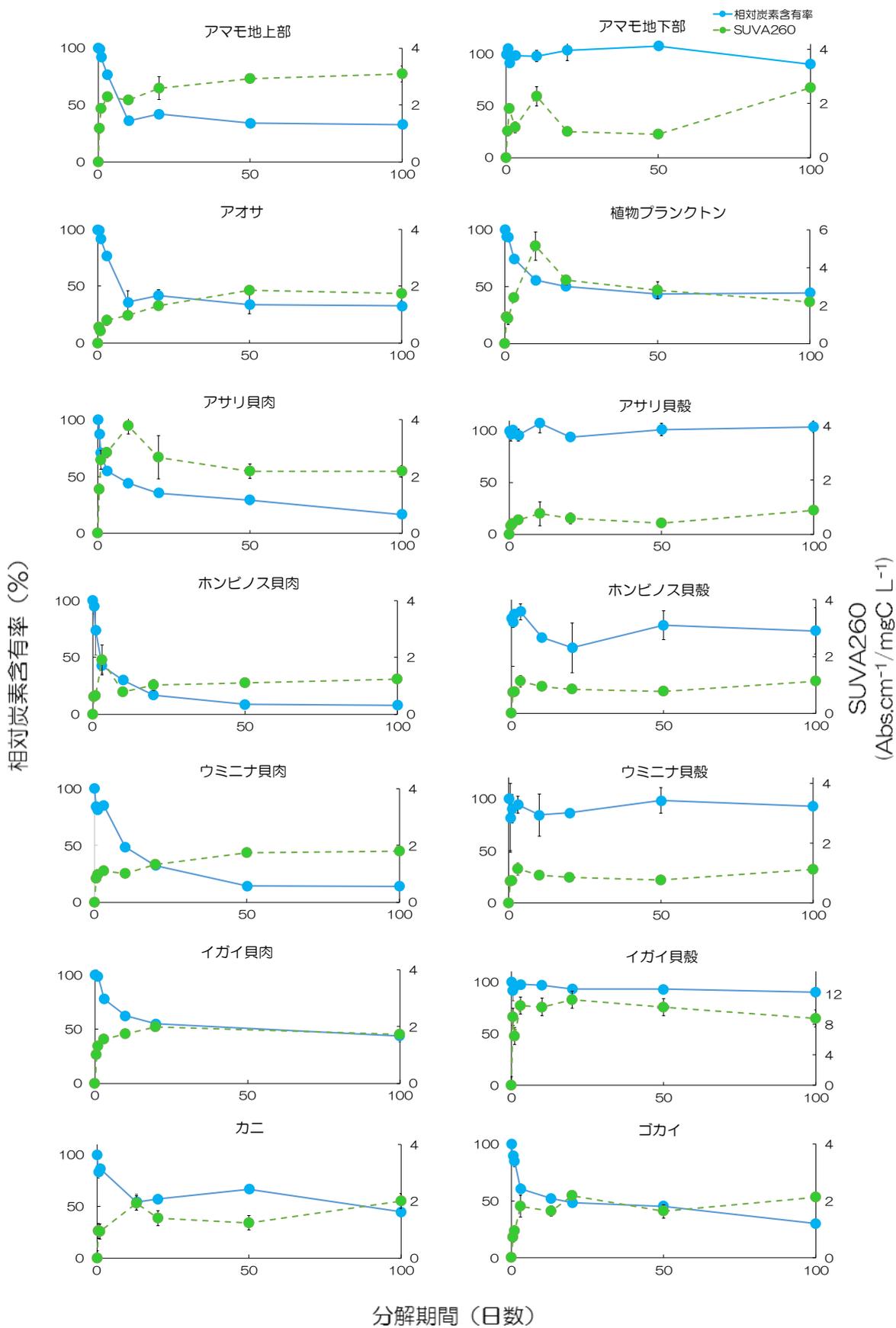
		有機炭素(%)	無機炭素(%)
植物	アマモ地上部	29.6	-
	アマモ地下部	10.2	-
	アオサ	31.0	-
	プランクトン類	28.2	-
底生動物	アサリ肉	31.7	-
	アサリ貝殻	0.8	10.8
	ホンビノスガイ肉	36.4	-
	ホンビノスガイ貝殻	1.1	9.9
	ウミニナ肉	35.3	-
	ウミニナ貝殻	0.8	10.9
	イガイ類肉	27.5	0.0
	イガイ類貝殻	2.1	11.2
	節足 カニ類	23.5	3.3
	環形 ゴカイ類	46.4	-
底質	東京湾 谷津干潟 0-1cm	1.2	0.1
	谷津干潟 5-10cm	0.7	0.0
	三番瀬 0-10cm	0.2	0.1
	伊勢湾 伊勢湾藻場 0-1cm	0.2	0.0
	伊勢湾裸地 0-1cm	0.3	0.0
	大阪湾 尼崎 0-10cm	0.6	0.6
	御前浜 0-10cm	0.9	0.1
	アオサ場デトリタス	2.4	0.2

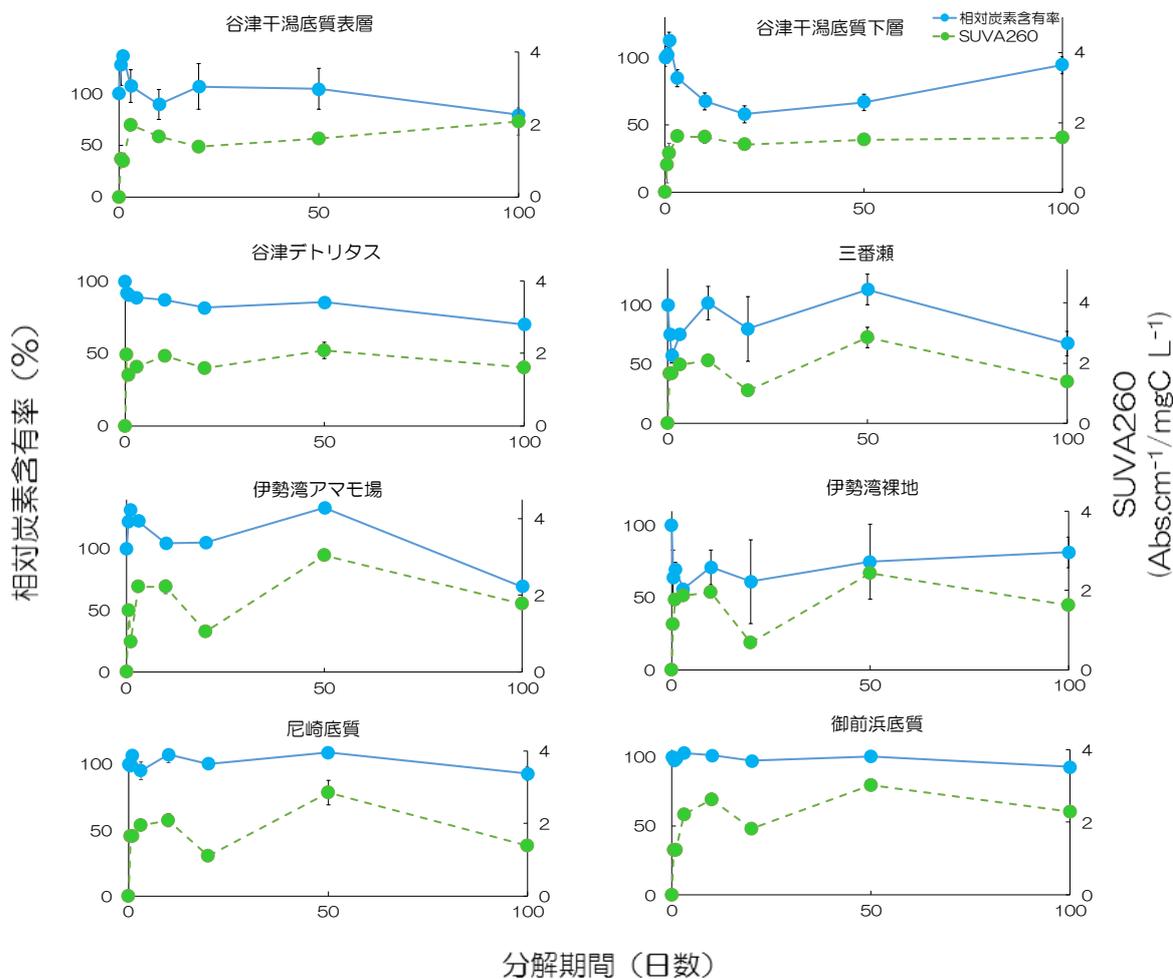
粉末試料に対する分解試験開始後の炭素含有率の経日変化を以下の図(1)-13に示した。ここでの炭素含有率とは生分解性試験開始前の粉末試料の含有量に対する相対値とし、計算結果は濾紙上の懸濁態および試水中の溶存態の有機及び無機炭素量を合算した。Specific UV Absorption (SUVA₂₆₀) は、試水中の溶存成分に対する紫外部260nmでの吸光度を溶存有機物濃度(DOC)で除した数値であり、アミノ酸やフミン質などの低分子量の難分解性有機物の相対的指標として利用される。

海草アマモ、海藻アオサ、植物プランクトンともに相対炭素含有率は実験開始後20日以降50%未満、100日後には30-40%となり、SUVA₂₆₀値とともに安定した。一方アマモ地下部については100日後にも90%と高い難分解性を示した。

底生動物では、貝肉についてはイガイ類を除く二枚貝のアサリ、ホンビノスガイと腹足類のホソウミニナで50日以降まで著しい減少が続き、最終的に8-17%の含有率を示した。イガイ類貝肉、節足動物(カニ類)、環形動物(ゴカイ類)では30-45%と比較的高い値を示した。貝殻は実験条件下では87-100%が残存した。イガイ類貝殻のみが高いSUVA₂₆₀値を示し、他の貝類と異なる難分解性物質を含むことが示された。イガイ類は特有の固着器である足糸を持ち、そこから接着タンパク質を分泌することが知られておりその関係が予見された。

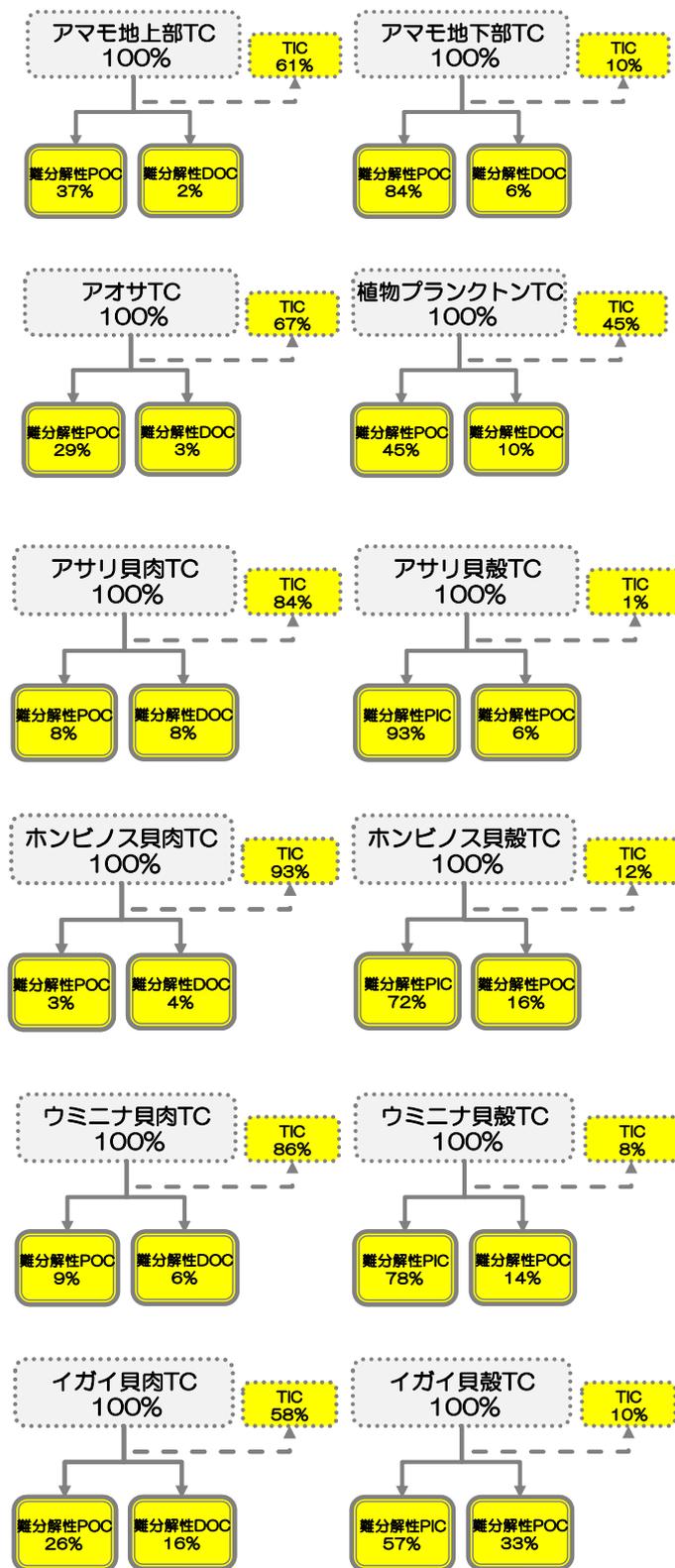
裸地の干潟底質は難分解性であり直後から81-95%の残存率を示す一方で、藻場を内包する谷津干潟や伊勢湾表層および葉上デトリタスは70-80%の残存率を示した。

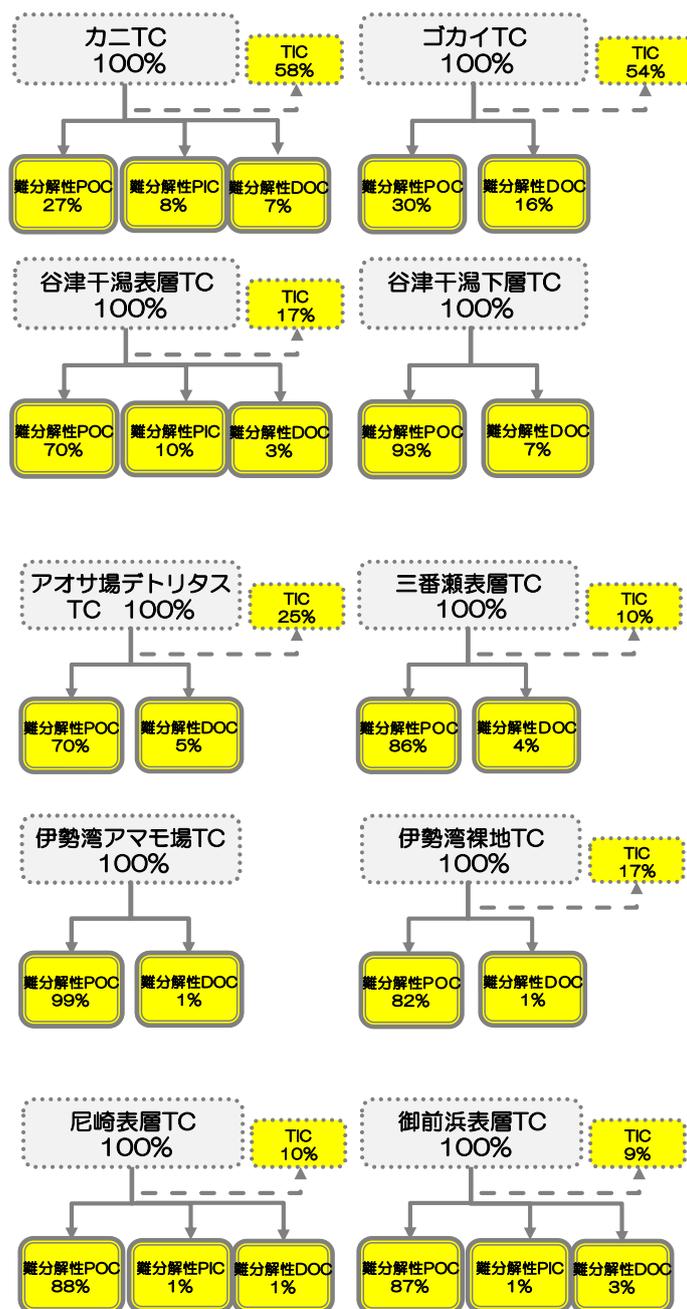




図(1)-13 各種試料の溶存態炭素含有量(相対値)と260nmに対するSpecific UV Absorption (SUVA₂₆₀)の経日変化

本報告ではこれまでの知見に従って100日後の炭素含有量の結果を難分解性有機物の評価とし、各生物試料の全炭素の分配図を作成し、以下の図(1)-14に示した。ここでは試験前の全炭素量に対する100日後残存していた炭素量を相対値で示した。濁状態有機炭素を難分解性POC、同じく溶存態有機炭素を難分解性DOC、懸濁態無機炭素を難分解性PICと表記し、大気中への放出については溶存態無機炭素(DIC)と合算して全無機炭素(TIC)として表記した。





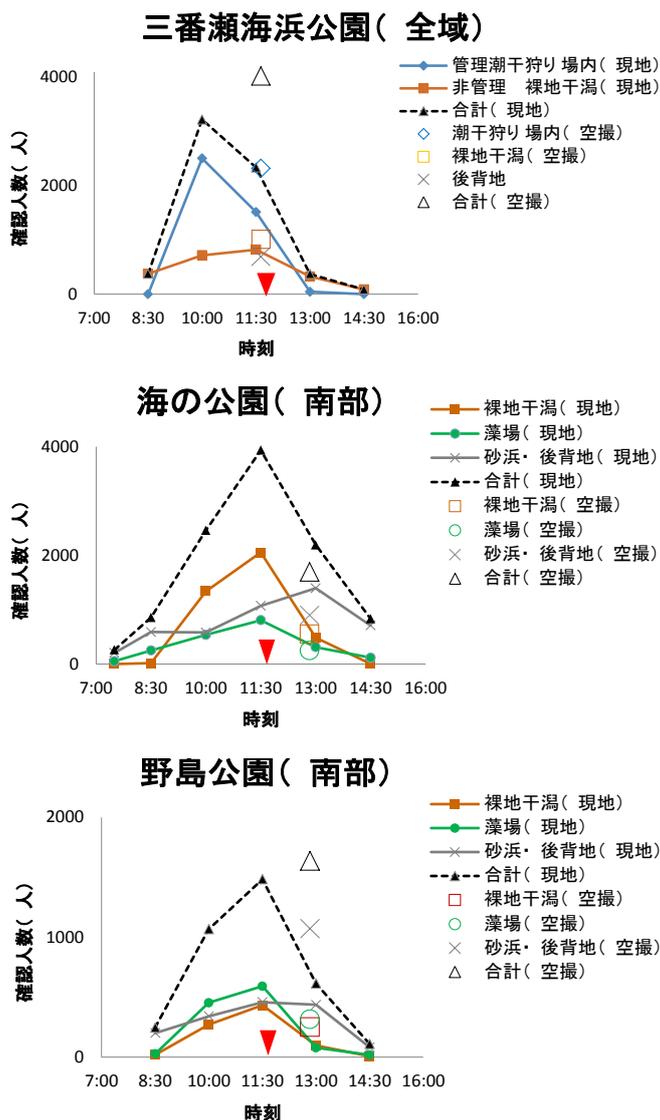
図(1)-14 各種生物試料に対する100日間生分解性試験後の炭素含有量分配図

(5) 藻場・干潟の利用強度調査

図(1)-15に三番瀬海浜公園、海の公園、野島公園における、4月23日における現地観測に基づいた潮干狩りを目的としている利用者数の1.5時間ごとの変化を示した。海の公園では最干潮の11時30分前後に利用者数が最大になり、上げ潮と共に後背地の利活用が徐々に増加した。隣接する野島公園は沖側に一旦深くなる前浜や河口域干潟を内包する地形的特徴から上げ潮に伴って利用者数が急速に減少した。また、管理潮干狩り場を内包する三番瀬海浜公園では開場時間帯（10時から13時）の前半に利用者が集中し、その後全域で急速に減少した。

空撮判読結果との比較から、三番瀬海浜公園や野島公園でみられた利用者の急速な移動は現地目視調査では追跡が困難であること、一方空撮に関して横浜地域では移動に予定外の時間を要したため最干潮から1時間30分撮影時刻が遅れた。そのため海の公園では利用者数を低く見積もってしまうことが明らかになった。そこで空撮結果から得られた海の公園全域に対する南部の来場者数比を、南部での現地観測結果の最大値に乗じることで算出された当日の水域立入人数（および後背地を含む最大利用者数）はそれぞれ7358人（12243人）であった。空撮集計結果を活用可能と判断された三番瀬海浜公園は3335人（4023人）、野島公園は785人（1935人）であった。また各水域における後背地を除く採貝可能な里海面積は三番瀬海浜公園146.3ha、海の公園21.2ha、野島公園13.3haであった。

当該期間の来場客の主な採取物はアサリであり、三番瀬海浜公園および海の公園、野島公園では一人あたり平均採貝量はそれぞれ1.6、2.6、2.1kgと推定された。以上より、1日あたりの各干潟の単位面積あたりの採取量は、三番瀬海浜公園で約36kg/ha、海の公園で約901kg/ha、野島公園で約124 kg/haであった。これらは、年間最大現存量のそれぞれ、約0.4%、約4.5%、約0.8%に相当した。この結果は海の公園では毎年3月末から6月初めまでにアサリを採り尽くしてしまう現状⁴⁾をよく再現していた。

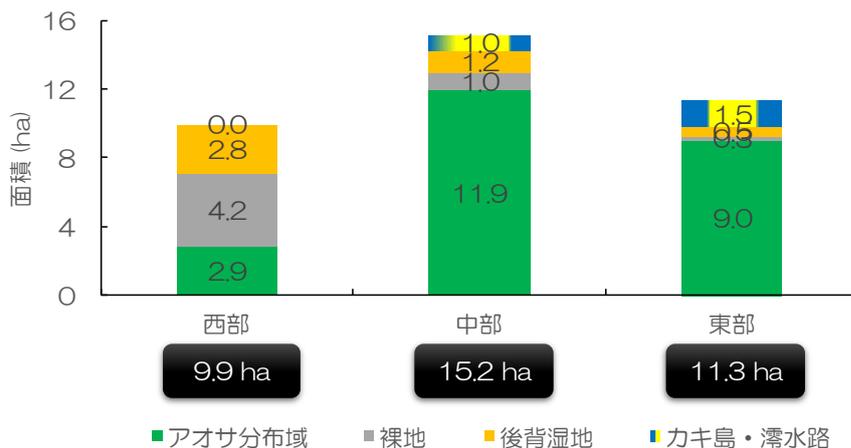


図(1)-15 各水域における藻場・干潟の利用者数の経時変化
赤矢印は最干潮時刻、白抜きは空撮写真から判読された結果を示す

(6) 炭素貯留量の推定

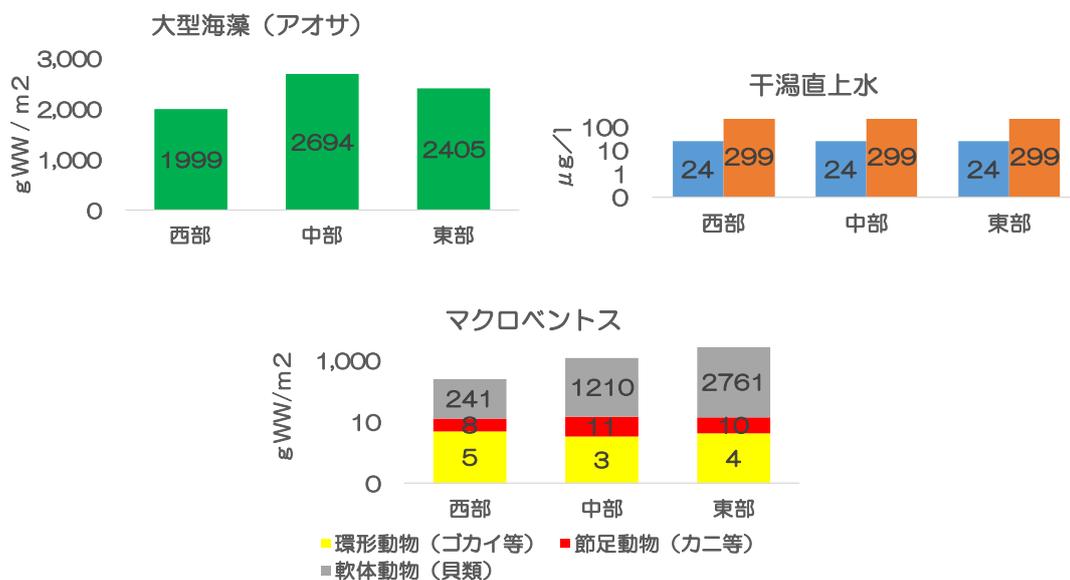
1) 個別水域における炭素含有量及び炭素貯留量の高精度推定

谷津干潟におけるアオサ場における底在性バイオマスが最大で、分布域も比較的広がった平成24年2月10日撮影の可視航空写真および近赤外線航空写真と現地調査の結果から、景観構成要素毎の分布面積を算出した。推定精度を上げるため、ここではアオサ場が小さい西部、アオサが周年卓越する中部、アオサの増減が大きい東部に区割りし、それぞれ9.9ha、15.2ha、11.3haと算出された。なお、干潟西部の隔離水域（通称三角干潟、約4ha）について今回は触れない。抽出された景観ユニットは、アオサ分布域、裸地、砂浜及びヨシ帯からなる後背湿地、干出しない滞水路および東部の谷津川接続部分に形成される貝殻堆積地（通称カキ島）であった。集計結果を図(1)-16に示した。



図(1)-16 谷津干潟における各種景観構成要素の面積

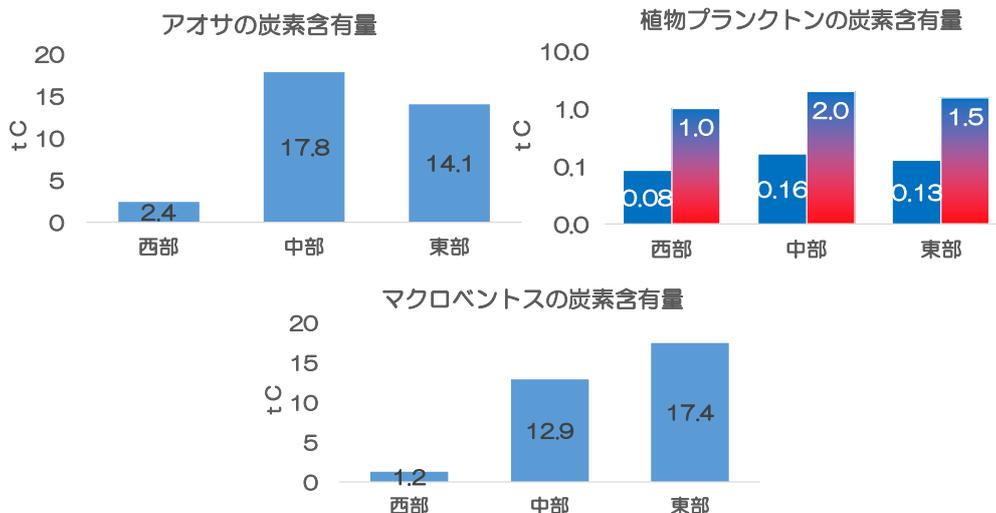
次に西部、中部、東部における現地調査結果のうち、これまでに得られた最大値を評価対象として、底生及び浮遊生活者である大型植物アオサ、底生生活者マクロベントス、浮遊生活者植物プランクトンのバイオマスを算出し以下図(1)-17に示した。植物プランクトンについては、通常期の最大値を青で左側に、赤潮流入時の値をオレンジで右側に併記した。



図(1)-17 各種生物群の最大バイオマス

植物プランクトンについては、通常期の最大値を左側に、赤潮流入時の値を右側に併記した

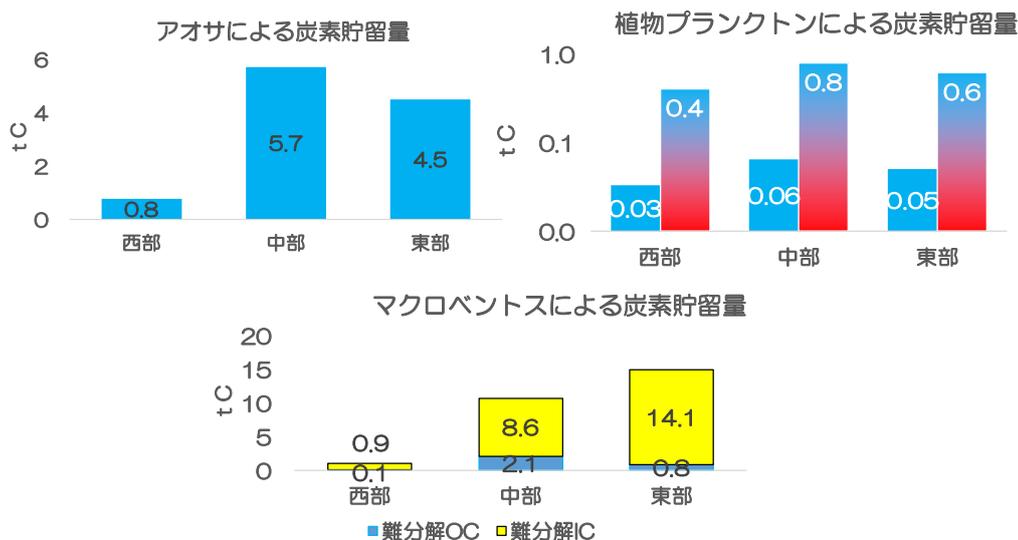
上記の結果を、本課題を通じて得られた後背湿地を除く干潟内景観構成要素の面積、各種生物群の全炭素含有率 (表(1)-1) を乗じて、バイオマス由来の炭素含有量として算出して図(1)-18に示した。水深は谷津干潟の平均水深とされる0.8mを与えた。なお本報告では後背湿地については干潟外として除いた。



図(1)-18 各水域におけるバイオマス由来の炭素含有量

植物プランクトンについては、通常期の最大値を左側に、赤潮流入時の値を右側に併記した

後述する難分解性物質への分配原単位（100日試験）に関して、今年度得られた結果と昨年度までの結果を整理し、バイオマス由来の難分解性有機炭素および難分解性無機炭素の炭素貯留量を算出し図(1)-19に示した。その結果、アオサ類および植物プランクトンによる貯留量は難分解性有機炭素のみを計上し、マクロベントスについては軟体動物及び節足動物に含まれる難分解性無機炭素を加えて計上した。



図(1)-19 各水域におけるバイオマス由来の炭素貯留量

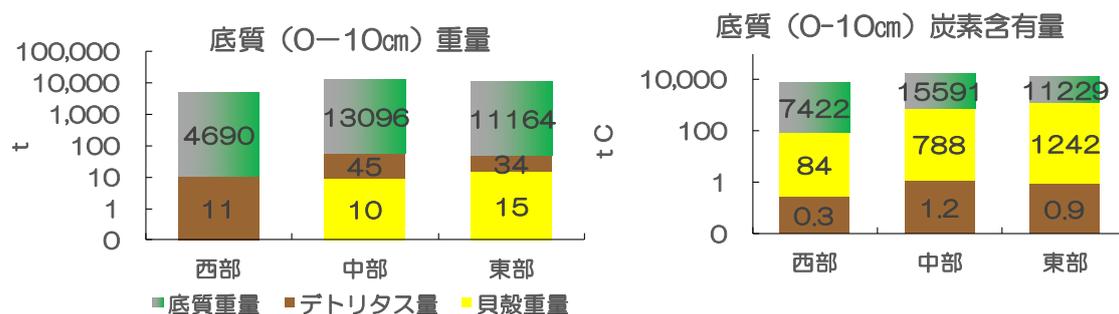
植物プランクトンについては、通常期の最大値を左側に、赤潮流入時の値を右側に併記した

以上の結果をまとめ、谷津干潟におけるケーススタディとしてバイオマス由来の炭素含有量と貯留量を表(1)-2に示した。

表(1)-2 谷津干潟各水域におけるバイオマス由来炭素含有量（上段）と貯留量（下段）

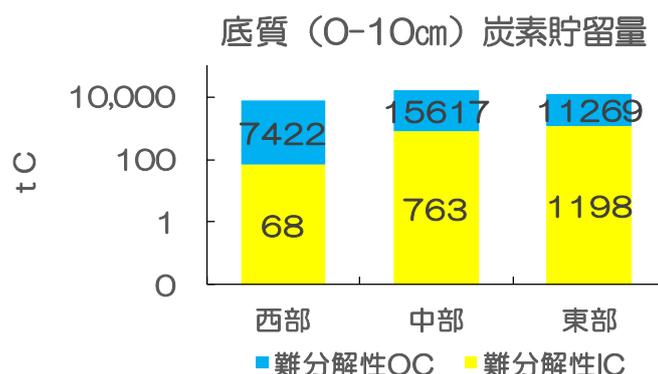
	西部	中部	東部	合計
炭素含有量 tC	4.6	32.7	33.0	70.3
炭素貯留量 tC	2.2	17.2	20.0	39.4

次にバイオマス量推定と同様の手法でネクロマス量の推定を行った。本課題ではネクロマスとして底質、貝殻、アオサ場の葉上デトリタスを取り上げた。底質、デトリタス量については各水域において実施した野外調査の結果を利用し、滞水路及びカキ島における底質については予備調査の結果、深さ10cmまで主にホンビノスガイの貝殻から構成されていることが明らかとなった。干潟内景観構成要素の面積を乗じた結果を以下図(1)-20左図に、各種生物群の全炭素含有率を乗じてネクロマス由来の炭素含有量として算出した結果を以下右図に示した。



図(1)-20 各水域におけるネクロマス現存量（左）とネクロマス炭素含有量（右）

後述する難分解性物質への分配原単位（100日試験）の結果を整理し、ネクロマス量に乗じて得られた難分解性有機炭素および難分解性無機炭素から成る炭素貯留量を算出し、図(1)-21に示した。



図(1)-21 各水域におけるネクロマス（左：底質および貝殻、右：葉上デトリタス）由来の炭素貯留量

以上の結果をまとめ、谷津干潟におけるケーススタディとしてネクロマス由来の炭素含有量と貯留量を表(1)-3に示した。

表(1)-3 谷津干潟各水域におけるネクロマス由来炭素含有量（上段）と貯留量（下段）

	西部	中部	東部	合計
炭素含有量 tC	7506	16380	12472	36358
炭素貯留量 tC	7490	16380	12467	36337

以上の高精度推計の結果、都市域に位置する谷津干潟の一部（36.4ha）において、

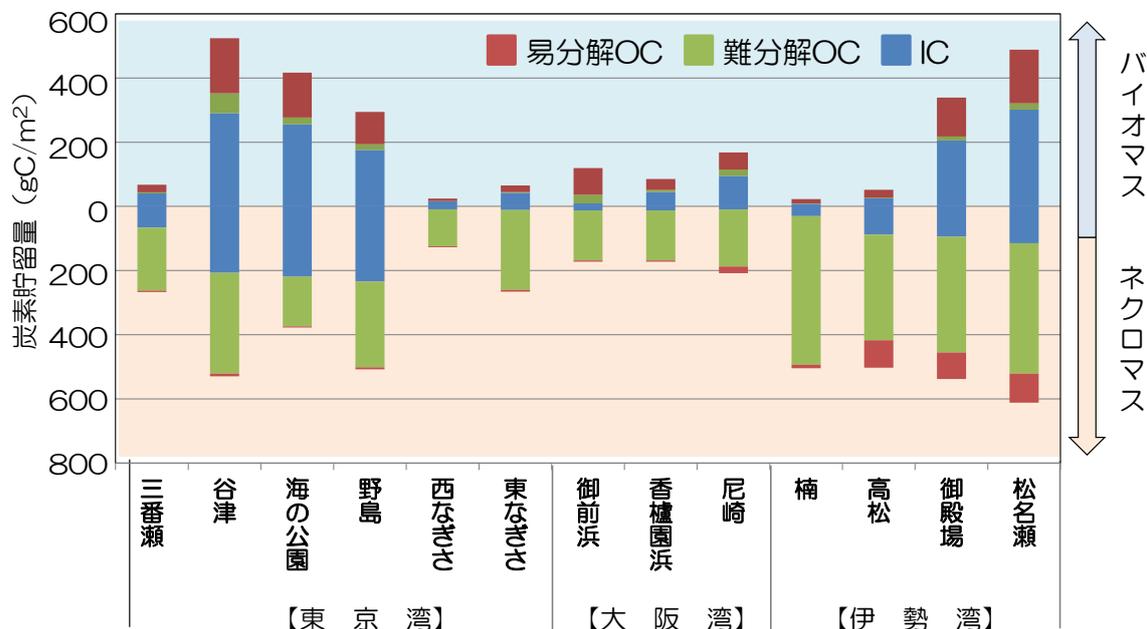
1. 底在性バイオマス由来の炭素量の約56%が難分解性炭素化合物、すなわちブルーカーボンとして貯留されていた。
2. ネクロマス由来の炭素はほぼ全て（>99%）が難分解性炭素化合物、すなわちブルーカーボンとして貯留されていた。
3. 干潟底質を深さ10cmに限定しても、ネクロマスはバイオマスの900倍以上の炭素貯留量を示した。

ということが明らかになった。

2) 各調査水域の藻場・干潟における炭素貯留量の比較

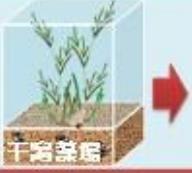
分解試験から推定した易・難分解性炭素率を用いて試算した、各調査干潟藻場における形態別炭素貯留量を図(1)-22に示した。総炭素貯留量は151.6～1099.9gC/ha/m²であり、東京湾の葛西臨海公園の西なぎさで最も低く、伊勢湾の松名瀬で最も高くなった。どの海域においても80%以上は無機炭素及び難分解性有機物であることが確認できた。また、底生生物等のバイオマスよりも堆積物等のネクロマスほうが炭素貯留量は多くなり、特に堆積物中はバイオマスが死亡した後の貝殻等の無機炭素と生体死亡後の難分解性有機物が主体であった。以上より、藻場・干潟が水域に存在することで周辺水域から流入する炭素貯留や当該藻場・干潟において過去から現在まで生育した生物によって内部生産された炭素貯留の効果が大きいことが示された。さらに底生生物の

バイオマスが多い干潟や藻場ほどネクロマスの現存量も多い傾向があった。このことから、過去の生物生息の履歴が堆積物中に貯留されている可能性が示唆された。



図(1)-22 各海域における単位面積あたりの形態別総炭素貯留量
上半分はバイオマス由来、下半分はネクロマス由来の炭素貯留量を示す

次に、長寿命生態系であるマングローブやサンゴ礁、陸上の森林や草原と炭素貯留量の比較を行った結果を図(1)-23に示した。一般的に森林等の陸上生態系では、堆積物の深度を70cmとして炭素貯留量を算出していたため⁵⁾、本研究も堆積物の積算深度を70cmに統一して換算を行った。その結果、本研究で算出した東京湾および伊勢、大阪湾の干潟および藻場の炭素貯留量はそれぞれ8.9~35.3 t C/ha、29.0~40.0 t C/haと推定することができた。この値は、海域の長寿命生態系であるサンゴ礁⁶⁾の120.9 t C/haやマングローブ林⁷⁾の121~183 t C/haと比較して約1/3~1/10程度であり、大塚ら⁵⁾による森林や伊藤らによる草原⁸⁾の炭素貯留量78~310 t C/ha、53.2~112 t C/haと比較して約1/2~1/40程度であることが分かった。干潟や藻場のような短寿命の生態系はサンゴ礁やマングローブ林等の長寿命の生態系と比較して単位面積あたりの炭素貯留量は低かったが、本研究でも示したとおり、海域の堆積物中には、1m以上にわたり、一定量の無機炭素や難分解性の有機炭素が貯留されていることが確認できており、これらは大気中から長期間隔離される炭素である。このことから、さらに堆積物の下層に存在する炭素も貯留量として評価できる可能性があると考えられる。

	干潟（裸地）	8.9~35.3 t C/ha	本研究 (IC+難分解OC)
	藻場	29.0~40.0 t C/ha	
	サンゴ礁	120.9 t C/ha	Yamano <i>et. al.</i> 2004
	マングローブ林	12.1~18.3 t C/ha	石原ら 2004
	草原	53.2~11.2 t C/ha	伊藤ら 2002
	森林	7.8~31.0 t C/ha	大塚ら 2012

図(1)-23 他の長寿命生態系の炭素貯留量との比較

前述した干潟藻場の有する炭素貯留量を元に、我が国に現存する干潟藻場と過去から消失した干潟藻場の価値について試算し、同じ海域の長寿命生態系であるマングローブやサンゴ礁と比較を行った（表(1)-4）。環境省の⁹⁾自然環境保全基礎調査では、我が国に現存する干潟と藻場は、それぞれ159,616ha、142,459haであり、1955年から約148,300haの干潟藻場が埋め立てにより消失しているとされている。また、サンゴ礁およびマングローブ林はそれぞれ約34,700 ha¹⁰⁾、530ha¹¹⁾現存すると報告されている。そこから、図(1)-23の炭素貯留量の原単位を用いて総炭素貯留量を算出すると、現存する干潟と藻場では、それぞれ約142~563万 t C、約413~570万 t Cの炭素貯留量を有すると推定でき、その量はサンゴ礁の42万 t C、マングローブ林の6.4~9.7万 t Cと比較し、約10~50倍の海域の炭素貯留機能を有することが明らかになった。さらに1955年からの埋め立てにより、我が国は131~593万 t Cの炭素貯留機能を消失したことになることが推測された。

表(1)-4 我が国の現存干潟・藻場と消失干潟・藻場の価値

	面積 (ha)	炭素貯留量 (万t-C)
干潟	159,616	142~563
藻場	142,459	413~570
サンゴ礁※1	34,700	42
マングローブ林※2	530	6.4~9.7
埋め立て（1955年以降）	148,300	131~593

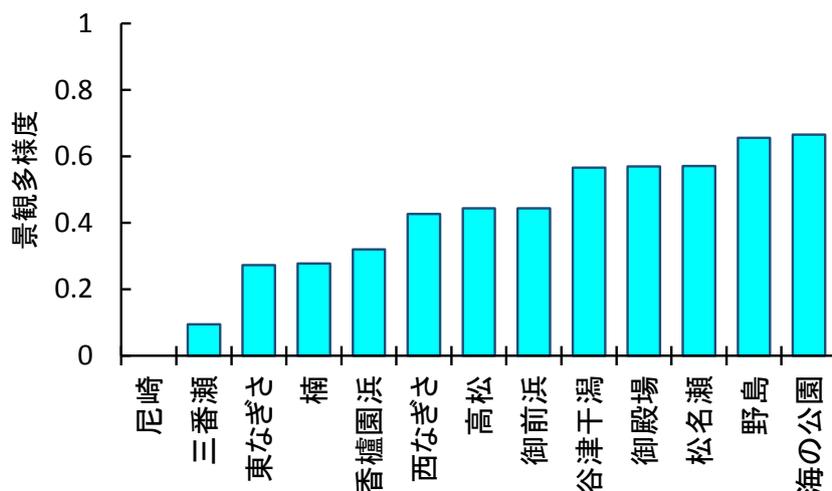
以上のように干潟・藻場の持続可能保全から得られる炭素貯留としての「便益」は、単位面積あたりの炭素貯留機能は、長寿命のサンゴ礁やマングローブ林には劣るが、現存する面積で換算すると、浅海域において極めて大きいことが示された。

さらに述べるなら、我が国の2030年度の温室効果ガス排出削減目標は、2013年の二酸化炭素総排出量の26%であり、その中の約1割に相当する2.6%、炭素量で約1000万 t Cを森林及び土地利用で削減することになっている¹²⁾。前述した、我が国に現存する干潟および藻場の炭素貯留量は最大約1130万 t Cであることから、我が国の浅海域の炭素貯留機能は、森林による削減目標に匹敵するものであるといえる。現在、海域の炭素貯留機能については、削減目標に取り込まれていないが、今後本研究の成果が、ブルーカーボンとしての我が国の新たな、浅海域の便益に資することが期待できるといえる。

(7) 立地履歴、管理強度の差によるカーボンシンク機能への影響評価と機能維持、向上へ向けた管理手法の探索と提言

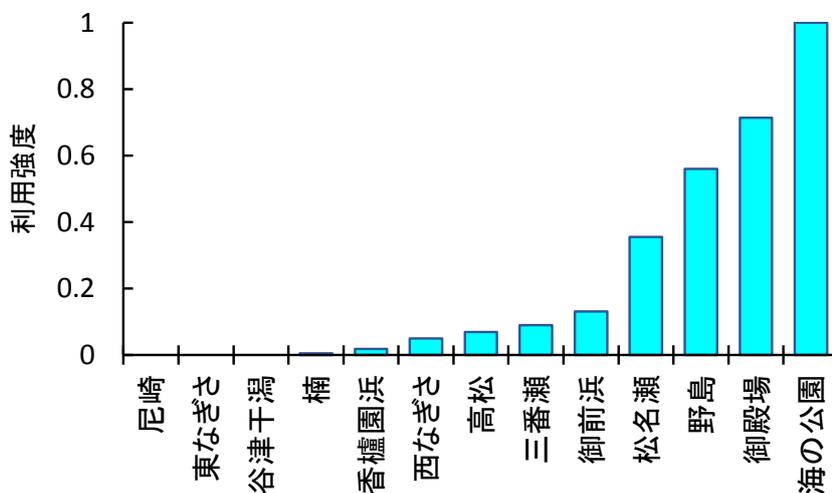
里海の評価指標として検討したのは里山の評価指標であるSATOYAMA index^{2,3)}である。当該指標は土地被覆のモザイク性が高い地域では複数の生育地を利用する生物の生育や固有性に重要である、という生態学的な研究報告に立脚した指数である。環境省里海づくり手引き書によれば、「里海」には「保全・再生要素」に加えて「活動要素」が不可欠とされており、景観のモザイク性に加えて、水産やレジャーによる活用を併せて評価する必要がある。本課題では、各調査水域においてSimpsonの多様度指数を適用した干潟内の「景観多様度」と遊漁者・漁業者による活用度を統合した「利用強度」を算出し、それらの和を「里海評価指標」として地域間の比較を行った。

各水域における景観多様度の比較を図(1)-24に示す。最大値を示したのは横浜海の公園（東京湾）で多様度は0.67であった。次いで野島が0.66であり、この2水域は景観要素数が4であった。御殿場、松名瀬および谷津干潟の景観要素数は3であり、多様度はいずれも0.57であった。御前浜、高松、西なぎさ、香櫨園浜、楠、東なぎさおよび三番瀬の7水域の景観要素数は2であるが、景観多様度は大きく3グループに分かれるようであった。これは各景観要素面積の不均衡性に起因している。干潟のみ（景観要素数1）で構成されている尼崎の多様度は0となった。



図(1)-24 各調査水域における景観多様度の比較

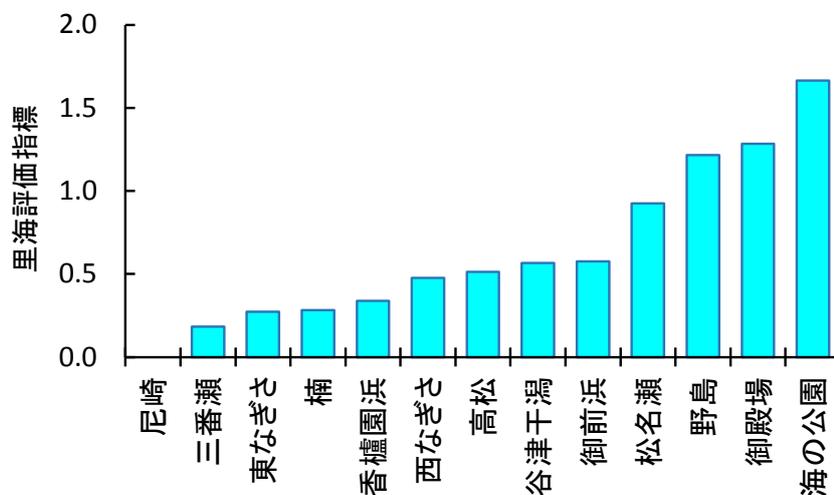
利用者数が最も多かったのは海の公園で、画像データから求めた利活用海域で確認された人数は7,000人を超えていた。利用者数密度も海の公園が最も高く347人/haとなっていた。海の公園の利用者密度を最大値とし、他の海域との相対的な比較をした利用強度を図(1)-25に示す。東京湾の野島、伊勢湾の御殿場および松名瀬海岸の利用強度が大きく0.35以上であったが、その他の海域は保護区を除いていずれも0.1付近であり、海の公園の10%程度の利用強度であった。



図(1)-25 各調査水域における利用強度の比較

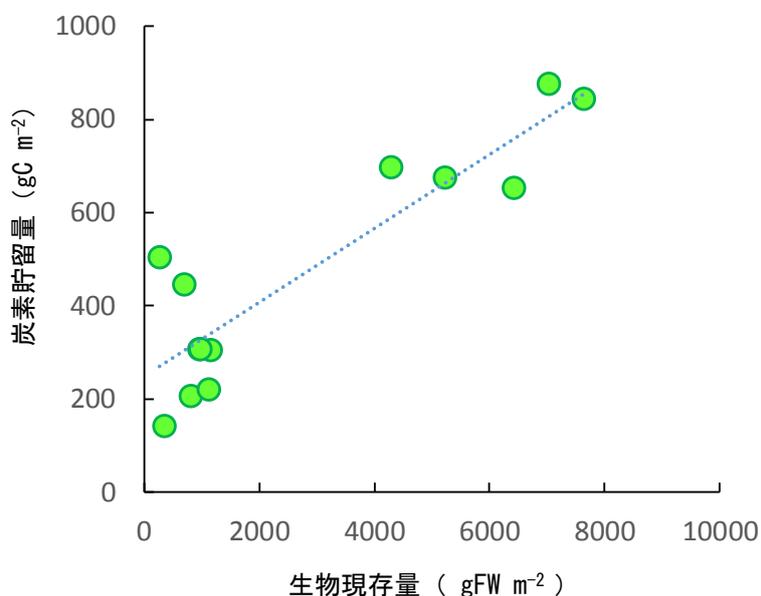
景観多様度と利用強度との和と定義した里海評価指標は図(1)-26に示すとおりで、概ね景観多様度と同様の序列であった。景観多様性、利用強度とも最大値であった海の公園の里海指標は1.67であった。御殿場および野島は同程度と評価され、それぞれ1.28および1.22であった。これら以外の海域はいずれも差と生み評価指標は1未満であったが、松名瀬は比較的高値で0.93となっていた。また保護区として立入りが制限されている谷津干潟は景観多様性が高く0.57を示したが、

同様に人の立ち入りのない尼崎は0と評価された。



図(1)-26 各調査水域における里海評価指標の比較

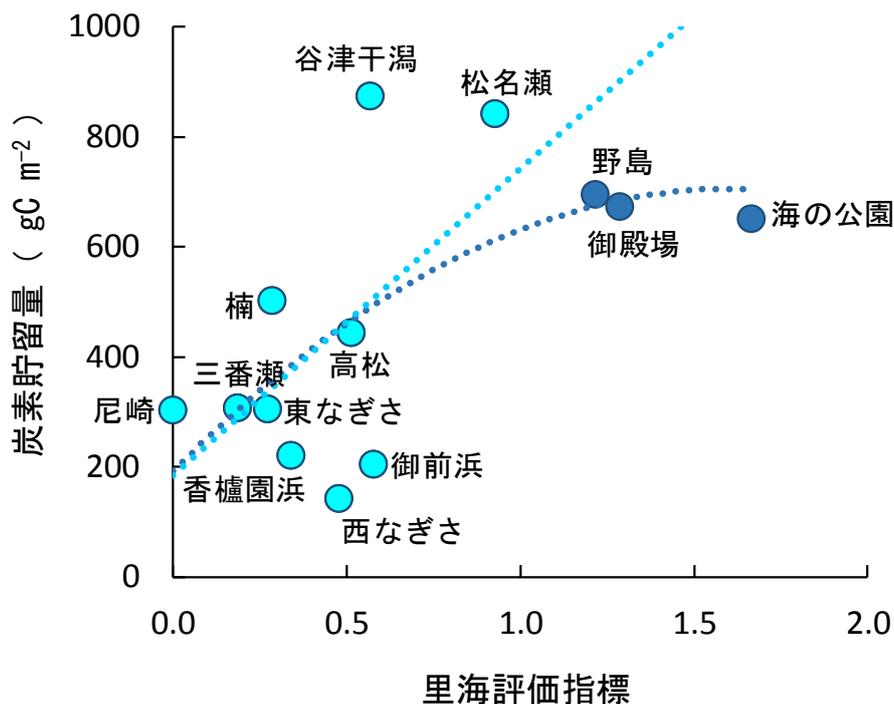
図(1)-27に示した様に、各水域における底生動物現存量（バイオマス）と炭素貯留量との関係に正の相関がみられ、浄化、有機物分解の場、生物多様性維持の場、として評価されてきた藻場・干潟といった短寿命生態系が、炭素をはじめとする貯留の場として重要な役割を果たしていることが明らかになった。



図(1)-27 底生動物現存量と炭素貯留量との関係

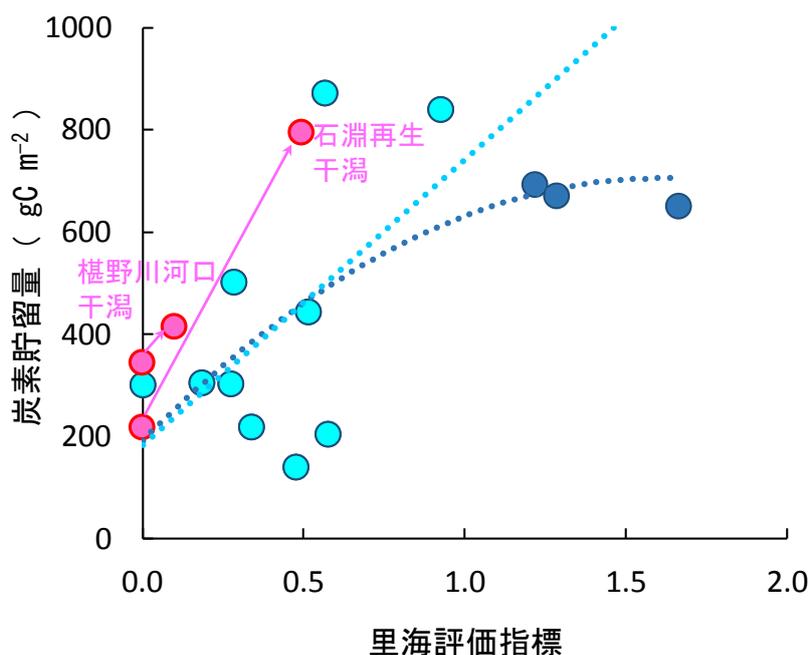
図(1)-28に里海評価指標とカーボンシンク機能の指標としての炭素貯留量との関係を示す。図中の回帰直線は炭素貯留に対する適正な里海指標を示しており、線の左(上)側はアンダーユース、

右（下）側はオーバーユースと評価される。野島、御殿場、海の公園といった潮干狩り客数の極めて多い水域ではオーバーユースと評価された。そういった水域では、潮干狩り客に対する一定の利用制限により利用強度を減少させる、あるいは藻場や後背湿地等の造成により景観多様度を増大させ、生物現存量を増加させることにより、炭素貯留量を増大させられる可能性がある。また実験的な極小干潟である尼崎や保護区である東なぎさにおいても、景観多様度の上昇により炭素貯留の機能が上昇する可能性が示唆された。



図(1)-28 里海評価指標と炭素貯留量との関係

この里海評価指標と炭素貯留量との関係性を、環境省が推奨し全国各地で推進されている「豊かな海」づくりや「里海創生」活動を目指した取組み事例で検証し、図(1)-29に示した。三重県「英虞湾における遊休地の利用による自然再生活動（石淵池）」の事例は環境省豊かな海の取組み地域10に選定され、海と陸を遮断していた水門の開放によって遊休地と沿岸の再生を目指している取組みである。山口県「榎野川における流域一体の取組」は豊かな海の取組み地域10に加えて、森川里海連携を目指した平成28年度地域循環共生圏構築に向けた実証地域10にも選定されており、山口湾に注ぐ榎野川河口干潟における流域一環での自然再生活動としてアサリ等干潟生物の復活を目指して耕耘、網掛け、竹柵設置等を実施している。両者とも自然再生活動により景観多様性と利用強度が増した結果、炭素貯留量が増したことが確認された。このことから、里海創生活動は、炭素貯留という沿岸浅海域の新たな便益価値を高めることが期待された。



図(1)-29 自然再生活動による里海評価指標と炭素貯留量への影響

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

東京湾という大都市流域圏に残された半自然干潟で、ラムサール条約登録地でもある谷津干潟を主要な調査地として、そこに繁茂するアオサ類から構成される藻場による二酸化炭素固定速度から、短寿命生態系におけるカーボンシンク機能を検討した。これまでの結果から谷津干潟でグリーンタイドを形成しているアオサ類の大部分は侵入種のみナミアオサであり、本種が最大で谷津干潟面積の約3/4を占めていることから1日あたりの二酸化炭素固定速度の実験結果を乗じて物質収支への影響を評価した。その結果、谷津干潟全体での無機態炭素の吸収速度は $3\text{-}74 \text{ tC day}^{-1}$ であった。年間の総吸収量に換算すると炭素約8300t と計算された。侵入種のみナミアオサが谷津干潟に分布を広げ約20年が経過し優占種となったことはグリーンタイド現象として知られており、アオサ類の枯死に伴う底質還元化がおきる夏には硫化物の増加と悪臭の素となる硫化水素の発生がみられることに注目が集まりがちであるが、その反面底生生物の生物量や種数について増加がみられ、アオサ類による栄養塩吸収に伴う水質浄化機能の向上に加えて、炭素固定能についても大きく向上したことが明らかになった。

潮干狩り等の目的で多くの人々が立ち入り活用している横浜・海の公園、野島公園、千葉・ふなばし三番瀬海浜公園と、立ち入りが制限されている谷津干潟の4地域を調査地として、生物量(バイオマス)と生物遺骸量(ネクロマス)の現地調査に基づく推定を行った。迅速生分解性試験の結果、干潟及び藻場に生育するベントス(大型植物、底生動物)やプランクトン等を起源とする短寿命生態系におけるバイオマス、貝殻やデトリタスを含むネクロマス由来の難分解性有機炭素および同無機炭素への炭素配分率の原単位を明らかにした。上記の結果からバイオマス及びネクロマスに由来する難分解成分から構成される炭素貯留量を算出し、都市の干潟におけるブルーカ

ーボンを初めて定量的に明らかにした。

東京湾、伊勢湾、大阪湾3海域内13水域において、藻場・干潟を構成する景観構成要素や潮干狩り等による場の利活用強度から試算される里海指標を提案し、それらと各種生物量及び炭素貯留量との関係を検討した。さらに現在、自然再生や里海創生の試みがなされている他海域において同様の手法を用いてその効果を検証し、適切な管理手法について検討を加えた。その結果、場のオーバーユースにより炭素貯留量が適正值よりも低下している干潟では、今後、利用や採取量の適切な制限により、その値を増加させられること、保護区等として立入りや利用が制限されている干潟においても、干潟内への藻場や後背地の確保等による景観多様度の増加によって炭素貯留機能が上昇する可能性を示した。

これらの結果は、水質浄化と生物多様性維持の観点からのみ評価されてきた都市域における干潟に新たな評価軸を与えるものである。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

国立環境研究所と地方環境研究所の共同研究「干潟・浅場や藻場が里海里湖流域圏において担う生態系機能と注目生物種との関係」（2015年-）の枠組みを活用し、海域の炭素貯留評価の重要性について全国規模で共通認識を形成した。東京湾岸自治体環境保全会議への成果提供や研究成果パンフレットや地域でのサイエンスカフェ、講演会、高校生への学習指導などを通じて、社会一般に干潟・藻場の持つ機能や価値に関して広く啓発を行った。

<行政が活用することが見込まれる成果>

富栄養化海域における水質浄化を主に評価される人工干潟、レクリエーション、憩いの場として評価される半自然干潟において、生物多様性保全に加え、新たな便益として炭素貯留評価の手法を提示し、他の推進費（S-15）や環境省関東地方環境事務所の進める国指定谷津鳥獣保護区保全事業への貢献が見込まれる。

低炭素社会にむけてカーボンオフセットを推進する横浜市などの行政主体に対し本研究成果に関する情報提供や連携を実施する予定であり、自然共生社会形成に向けた意思形成に寄与する。

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

特に記載すべき事項はない。

<論文（査読あり）>

特に記載すべき事項はない。

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

矢部徹、石井裕一：「東京湾におけるグリーンタイドを引き起こす侵入アオサの実態」水環境学会誌 第38巻（A）第2号（2015）pp. 67-71.

（2）口頭発表（学会等）

- 1) 中村方哉、矢部徹、玉置雅紀、石井裕一、有田康一、中村雅子、中嶋信美：第39日本藻類学会第39回大会（2015）「異なるアオサ種の環境応答性に関する研究」
- 2) 矢部徹、石井裕一、国分秀樹、宮崎一：第50回日本水環境学会（2015）「干潟・藻場における有機物分解に関する研究」
- 3) 中村方哉、矢部徹、玉置雅紀、有田康一、石井裕一、中嶋信美：日本藻類学会第40回大会（2016）「谷津干潟でグリーンタイドを形成するミナミアオサの生理特性」
- 4) 矢部徹、有田康一、後田俊直、惠本佑、小林弘明、岩渕美香、市川竜也、浦垣直子、江藤優子、石井裕一、国分秀樹、宮崎一、山口毅：第8回日本湿地学会2016年度大会（2016）「携帯型多波長蛍光光度計を用いた底生藻類生物量の計測」
- 5) 中村方哉、矢部徹、玉置雅紀、有田康一、石井裕一：2016年度日本陸水学会第81回大会（2016）「谷津干潟におけるグリーンタイド発生機構」
- 6) 矢部徹、石井裕一、国分秀樹、宮崎一、中村方哉、加藤あづさ、有田康一：第51回日本水環境学会年会（2017）「アオサ類によるグリーンタイド発生中の谷津干潟における炭素貯留量の推定」
- 7) 中村方哉、矢部徹、玉置雅紀、有田康一、石井裕一、中嶋信美：日本藻類学会第41回大会（2017）「侵入種ミナミアオサと普遍種アナアオサの抗酸化機構の比較」

（3）知的財産権

特に記載すべき事項はない。

（4）「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 矢部徹：干潟・浅海域のブルーカーボン機能に関わる情報交換会「国立環境研究所におけるブルーカーボン機能評価に関する研究の方向性」（共催：大阪市立大学・港湾空港技術研究所、2014年10月27日、大阪市立大学創造都市研究科梅田サテライト、観客40名）
- 2) 矢部徹：SSH（スーパーサイエンスハイスクール）つくば市「アオサ類による極端な優占現象「グリーンタイド」は干潟環境を本当に悪化させているのか？」（共催：茗溪高校、2015年5月、観客80名）
- 3) 矢部徹：世界湿地の日まつり やつひがたサイエンスカフェ「谷津干潟でアオサが果たしている役割」（共催：谷津干潟自然観察センター、2016年2月21日、谷津干潟自然観察センター、観客30名）

- 4) 矢部徹：SSH（スーパーサイエンスハイスクール）つくば市 「アオサ類による極端な優占現象「グリーンタイド」は干潟環境を本当に悪化させているのか？」（共催：茗溪高校、2016年7月、観客80名）
- 5) 矢部徹・中村方哉：谷津干潟の日フェスタ やつひがたサイエンスカフェ 谷津干潟 保全と調査の最前線「グリーンタイドの正体とはたらき@谷津干潟」（共催：谷津干潟自然観察センター、2016年6月、谷津干潟自然観察センター、観客75名）
- 6) 矢部徹、中村方哉、有田康一、玉置雅紀、石井裕一、芝原達也：ラムサールシンポジウム2016 in 中海・宍道湖（2016）「侵入アオサ類によるグリーンタイドが谷津干潟の生態系に及ぼす影響」（2016年8月、鳥取県米子市、観客150名）
- 7) 矢部徹、玉置雅紀、有田康一、中村方哉、中嶋信美、石井裕一：第17回東京湾シンポジウム（2016）「侵入生物は干潟の生態系サービスにどのような影響を及ぼしたのか？」（2016年10月、神奈川県横浜市、観客200名）
- 8) 矢部徹：世界湿地の日まつり やつひがたサイエンスカフェ「谷津干潟のグリーンタイドとブルーカーボン」（共催：谷津干潟自然観察センター、2017年2月、谷津干潟自然観察センター、観客25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) Yabe, T., Ishii, Y., Amano, Y., Koga, T., Hayashi, S., Nohara, S., and Tatsumoto, H. : Limnology, 10 (3) , 239-245 (2009) Green tide formed by free-floating *Ulva* spp. at Yatsu tidal flat, Japan
- 2) Littler, M.M and Littler, D.S. : The American Naturalist, 116(1), 25-44 (1980) The evolution of thallus form and survival strategies in benthic marine macroalgae: field and laboratory tests of a functional form model
- 3) Kadoya T. and Washitani I. : Agriculture, Ecosystems and Environment, 140, 20-26 (2011) The Satoyama Index: A biodiversity indicator for agricultural landscapes
- 4) 吉岡明良、角谷拓、今井淳一、鷺谷いづみ：保全生態学研究、18、141-156（2013）生物多様性評価に向けた土地利用類型と「さとやま指数」で見た日本の国土.
- 5) 神奈川県環境農政局水・緑部水産課：アサリ等による漁場浄化機能調査事業報告書、p47（2011）
- 6) 大塚俊之：日本生態学会誌、Vol. 62、No. 1、31-44（2012）森林生態系の炭素循環：Takayama Forestでの10年間で分かったことと、分からなかったこと
- 7) Yamano, H., Kayanne, H., Matsuda, F., Tsuji, Y. : Marine Geology, 185, 233-247 (2002) Lagoonal facies, ages, and sedimentation in three atolls in the Pacific

- 8) 石原修一、藤本潔、川西基博、渡辺亮、田中伸治：森林立地学会誌、46 (1)、9-19 (2004)
奄美大島マングローブ林の植生と立地の関係およびメヒルギ林の炭素蓄積量
- 9) 伊藤昭彦：日本生態学会誌、52、189-227 (2002) 陸上生態系機能としての土壌有機炭素貯留とグローバル炭素循環
- 10) 環境省：自然環境保全基礎調査報告書(2012)
- 11) 水産庁HP：サンゴ礁の働きと現状、http://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/tamenteki/kaisetu/moba/sango_genjou/
- 12) (社)沖縄国際マングローブ協会：沖縄国際マングローブ協会報告書(1991)
- 13) 環境省：日本の約束草案（2020年以降の新たな温室効果ガス排出削減目標）(2015)、
<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/2020.html>.

1-1407 二次的自然「里海」の短寿命生態系におけるブルーカーボン評価に関する研究

(2) 東京湾の干潟が有するカーボンシンク機能の評価と立地履歴、管理強度の影響解析

公益財団法人東京都環境公社

東京都環境科学研究所

環境資源研究科

石井 裕一・市橋 新

平成26～28年度累計予算額：14,138千円（うち平成28年度：3,999千円）

予算額は、間接経費を含む。

【要旨】

東京湾の人工干潟に成立する短寿命生態系を対象とし、その主要な生態系機能であるカーボンシンク機能に着目し、炭素貯留量として定量的評価を行った。同時に、里海としての干潟を構成する景観要素や潮干狩り等による場の利用強度を指標とし、それらとカーボンシンク機能との関係を検討した。さらに、同様の手法で調査・評価された他水域との比較から、東京湾の干潟の適切な管理手法について検討を加えた。

干潟生態系における主要な生産者である底生付着藻類は富栄養化し赤潮が発生する都市部の沿岸域では炭素貯留への寄与は植物プランクトンよりも少なかった。これら藻類による炭素貯留は、他の干潟生態系構成要素と比べ小さいものの、細胞内の炭素量の1/3程度が難分解性有機炭素として長期間残留することが明らかとなった。底生動物による炭素貯留については比較的大型の二枚貝の寄与が大きく、植物プランクトンや底生付着藻類に比べ100～1,000倍程度高い値であった。堆積物中の含有炭素は難分解性有機画分が卓越していた。その含有量は底生動物と比べ100倍程度高い値であった。底生動物と堆積物への炭素貯留量は干潟の利用・管理強度の影響を反映しており、遊漁利用等の人為的かく乱によって炭素貯留量が減少している可能性が示唆された。

干潟・藻場の利用強度と景観多様性に基づく里海評価指標を新に構築し、カーボンシンク機能との関係を検討した。場のオーバーユースにより炭素貯留量が適正值よりも低下している干潟では、利用や採取量の制限により、その値を増加させられるものと考えられた。保護区等として立入りや利用が制限されている干潟においても、干潟内への藻場造成による景観多様性の向上によって炭素貯留機能が上昇する可能性が示唆された。

【キーワード】

東京湾、人工海浜、炭素貯留、干潟の利用強度、里海評価指標

1. はじめに

国連環境計画（UNEP）に提唱され国際的に注目されているブルーカーボンとは海洋生態系の生物活動によって固定（隔離・貯留）される炭素の総称である。その量は地球全体の光合成活動によって固定される炭素の55%に相当すると見積もられている。我が国は島嶼国で海岸線延長は約3万5000km、国土面積当たりの海外線延長は世界6位と先進国では最大級であり、世界的に主要なブルーカーボン貯蔵国と評価されれば、沿岸生態系から大きな恩恵を受けていることになる。そのため我が国の沿岸に分布する生物の炭素固定がブルーカーボンに相当するの可否は検証すべき重要な課題である。現在までのところ、亜熱帯を分布中心とするサンゴ礁やマングローブ林における炭素固定に関する研究が先行しているが、我が国の大部分を占める温帯沿岸浅海域に生息する生物は比較的短寿命であるため、それらの場では分解が卓越するものとして整理され、炭素固定に関する研究は十分になされてこなかった。

我が国の多くの沿岸は里海としてワイズユースが進められてきた歴史をもつが、現在では浅場の埋め立てや代償としての造成も進んでおり立地履歴が多様化している。また水産業やレクリエーションでの利用も含めた保全的管理やバードサンクチュアリのような保護的管理のように管理強度の強弱の影響についても様々である。本研究を通じて二次的自然である里海におけるカーボンシンク機能を調査し、ブルーカーボンとしての評価を行うことで沿岸浅海域に対する社会的・経済的価値の向上が見込まれ、さらには里海を含めた沿岸浅海域における生物多様性保全や自然再生の促進を通じた自然共生型社会の形成にも寄与できるものとする。

2. 研究開発目的

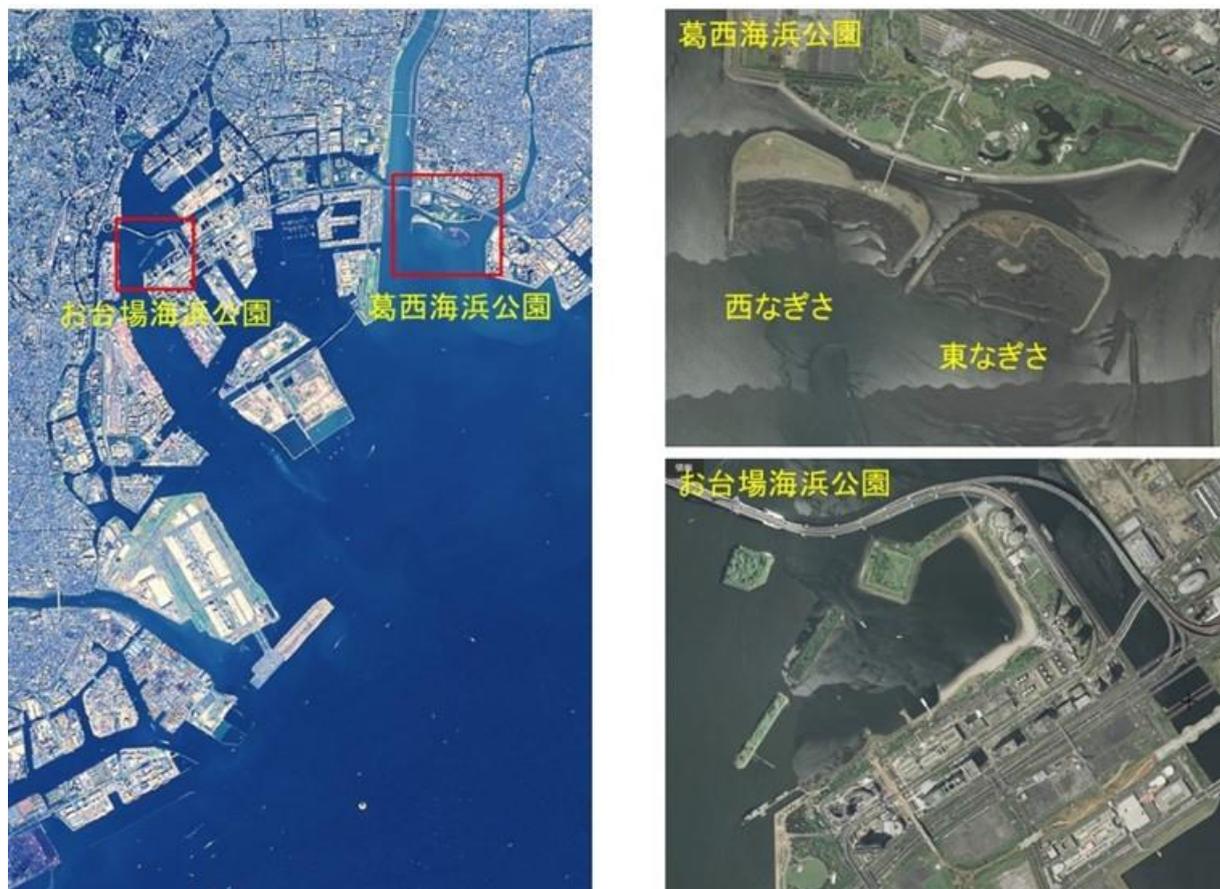
本サブテーマでは、東京湾の干潟に成立する短寿命生態系を対象とし、その主要な生態系機能であるカーボンシンク機能を取り上げ、各調査地の炭素貯留量として定量的に評価する。同時に、里海としての干潟を構成する景観要素や潮干狩り等による場の利用強度を指標とし、それらとカーボンシンク機能との関係を解明する。さらに、同様の手法で調査された他水域との比較から、東京湾の干潟の適切な管理手法を提言することを最終的な目的とする。

3. 研究開発方法

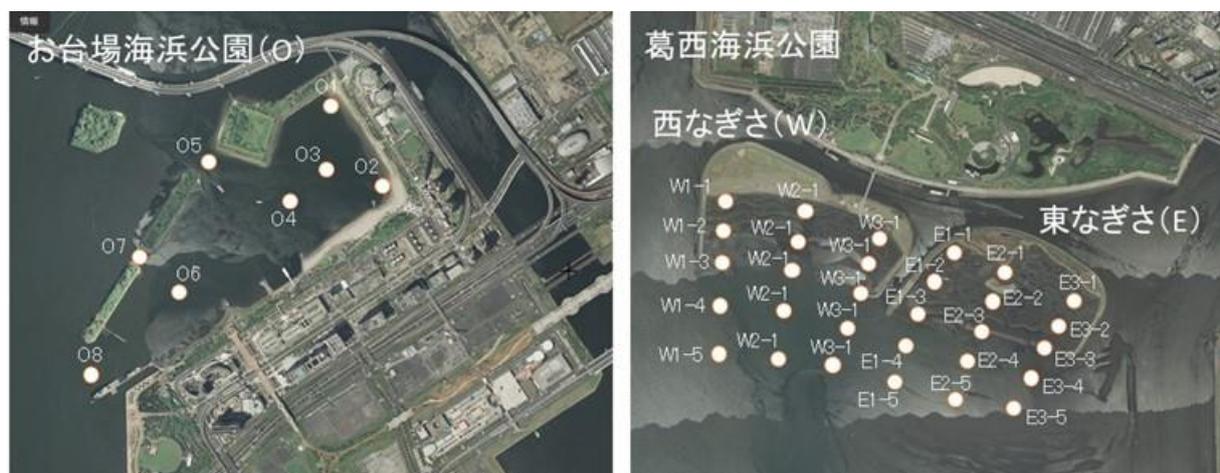
（1）調査地概要

調査地として、東京湾奥部に位置するお台場海浜公園、葛西海浜公園（西なぎさおよび東なぎさ）を選定した。図(2)-1に示すように両海浜公園は都市部に造成された人工海浜である。お台場海浜公園はウィンドサーフィンやウェイクボード、トライアスロン競技の水泳など、水面を利用するマリンスポーツでの利用が盛んな水域である。また干潮時には干潟部で潮干狩り等も行われている。葛西海浜公園西なぎさは春から夏にかけて大勢の潮干狩り客で賑わっている。近年では限定的ながら水浴利用等の水面利用もなされている。西なぎさに隣接する東なぎさは、立地履歴や干潟の地形学的特長は西なぎさと同様であるが、自然保護区となっており立入りが制限されている。図(2)-2に各調査地における詳細な調査地点を示す。お台場海浜公園では全7ヶ所の調査地点を設けた（01～07）。海浜公園内部に加え、周辺海域との海水交換が行われる開口部にも調査地点を設け、外部から流入水の影響を検討した。西なぎさおよび東なぎさでは、それぞれ15ヶ所

の調査地点（西なぎさ：W1-1～W3-5、東なぎさ：E1-1～E3-5）を格子状に設定し、両干潟間の比較を念頭に詳細な調査を実施した。これらの人工海浜において、以下に記す水質、底質、生息生物等の調査を実施した。



図(2)-1 調査地概要（国土地理院撮影の空中写真を一部加工して使用）



図(2)-2 各調査地における調査地点詳細（国土地理院撮影の空中写真を一部加工して使用）

（２）水質および底質調査

各調査地点において水質および底質調査を実施した。水質調査は各地点において調査船上より多項目水質計（Hydrolab社、MS5）を用い溶存酸素濃度、塩分等を計測した。併せて表層水を採水し、TOC計（島津製作所社、TOC-L）等により、水質分析を行った。同地点で底質調査および採泥を行った。採泥は冠水時は調査船上よりエックマンバージ採泥器を用い、干出時はハンドスコップにより採泥器と同面積の底泥を採取した。採取した底泥試料の乾燥減量、強熱原料、AVS等を計測した。底泥中の炭素含有量はCNコーダー（elementar社、Vario Max）により測定した。

（３）生物調査

1) 植物プランクトン

各調査地において表層水を採取し、植物プランクトンの種ごとの細胞数を計数した。併せて、各種植物プランクトンの細胞サイズを計測し体積を見積もり¹⁾、細胞内の炭素量²⁾を推計した。また、別途プランクトンネットにより赤潮形成プランクトンを採取し、CNコーダー（elementar社、Vario Max）により炭素含有量を計測した。

現地にて計測したChl-a濃度（Hydrolab社、MS5）から、温帯域における植物プランクトンによる純生産量を見積り³⁾、調査対象水域における炭素貯留量との関係を検討した。

2) 底生動物

前述の底泥試料と同様に採泥を行った。採取した底泥を篩い分けし（目開き1mm）、篩上に残存した二枚貝類について、種ごとの個体数、個体サイズ（殻長、殻幅、殻高）、殻付き湿重量、軟体部質重量および乾燥重量、殻乾燥重量等を計測した。二枚貝類による有機炭素の取り込みについて、それぞれの殻付き湿重量から濾水速度を推定し⁴⁾、別途測定した粒子状有機炭素（POC）の濃度を乗じ算出した。また、軟体部および貝殻中の炭素量をCNコーダー（elementar社、Vario Max）により計測した。

3) 底生付着藻類

各調査地において、干潮時に底泥表層（5mm）を注射筒を用いて採取した。採取した試料から剥離等の前処理を行った後に付着藻類の種ごとの細胞数を計数した。得られた結果に1細胞あたりの炭素含有量⁵⁾を細胞数に乘じ、底生付着藻類中の炭素量を算出した。また底泥表層のChl-a量を可搬型多波長蛍光光度計（bbe社、BenthoTorch）により測定した。

（４）炭素貯留量の推定

前述の手法で測定・算出した海水中、底泥中および各種生物体中の炭素含有量から、各調査地における炭素貯留量を推定した。炭素貯留量は、底泥、生息生物等の各種試料を用いて実施した有機物分解性実験の結果を加味しており、温帯域の干潟に成立する短寿命生態系において長期間残存する要素（難溶解性有機・無機炭素および難分解性溶存有機炭素）のみを対象とし算出した。

（５）干潟の利用強度調査

干潟の利用強度の指標として、春季の潮干狩りによる利用に着目し調査を行った。多数の来客

が見込まれるゴールデンウィーク期間の休日・晴天日の最干時刻に合わせてヘリコプターにより空中写真撮影を実施し、得られた画像データから対象地への来場者数を計数した。来場者の経計数は砂浜等の後背地も含め実施し、干潟部を含む「里海」全域の利用者数として集計した。

同様の手法で各サブテーマにおいても里海利用者数を集計した。それらの結果から、対象水域の単位面積あたりの使用者数を算出した後、全調査地の最大値で除し、相対的な利用強度を比較した。また一部調査地でなされている漁業利用については、漁業者1人あたりの漁獲制限量を遊漁利用者数に換算し（1kg/人：現地にて計測した平均的な値）、遊漁者数に足し合わせた。

西なぎさでは、空中写真撮影当日に出入口において開場時刻から来場・退場者数を計数し、利用強度の指標としての空撮画像利用の妥当性を検証した。

（6）東京湾の干潟の適切な管理手法の探索

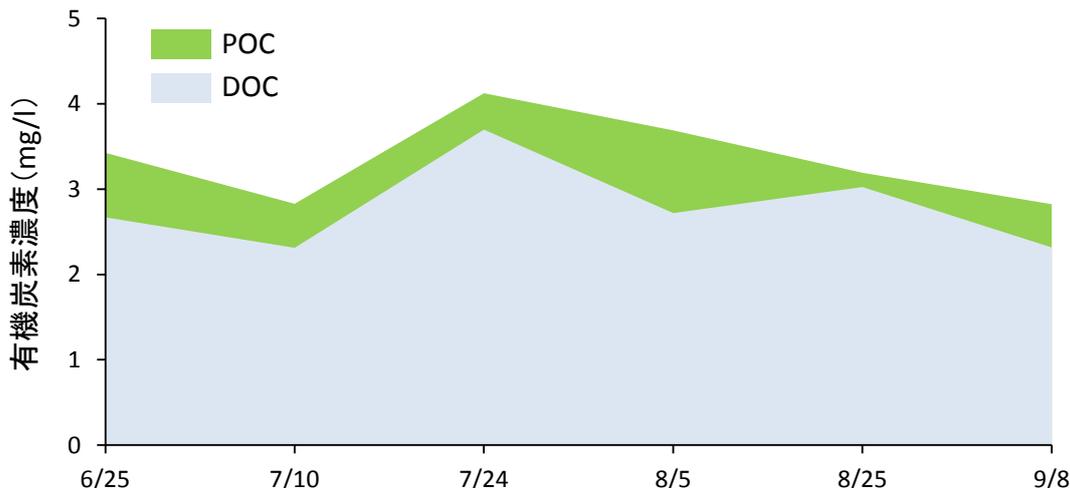
東京湾の干潟を含む干潟の管理手法を検討するため、里海の「景観多様度」と前述した「利用強度」の和を「里海評価指標」とし、炭素貯留量や生物現存量等との関係を検討した。景観多様度は里山指数⁶⁾でも活用されているSimpsonの多様度指数を適用し、干潟、藻場、後背地等の景観要素のモザイク性を評価した。里海評価指標と炭素貯留量等との関係や他海域と比較から、東京湾の干潟の現状を評価し、適切な管理手法について検討した。

4. 結果及び考察

（1）水質および底質調査

夏季のお台場海浜公園(03)における有機炭素濃度の経時変化を図(2)-3に示す。全有機炭素(TOC)濃度は2.8~4.1mg/l程度で推移しており、比較的高濃度であった。TOCの内、溶存態有機炭素(DOC)が占める割合が大きく、TOCの増減は概ねDOCに律速されていた。このDOCは近隣の下水処理場から放流される処理水の影響も受けているものと考えられるが、晴天日が3日間以上継続し、植物プランクトンの生産が大きく赤潮状態であった7月24日が最も高濃度となっていた。全8地点の調査結果から、クロロフィルa濃度とDOC濃度は、有意な正の相関関係を示しており($r=0.47$ 、 $p<0.01$ 、 $n=48$)、植物プランクトンが産生する細胞外分泌物や死滅・分解過程で発生する溶存態成分の影響を反映している可能性が示唆された。

葛西海浜公園のTOC濃度は夏季調査では2.00~2.26 mg/l、秋季調査では1.67~2.47 mg/lであり、お台場海浜公園よりも比較的低濃度であった。TOCに占めるDOCの割合は葛西海浜公園も高くなっていた(夏季：87.9~93.7%、秋季：70.3~94.2%)。DOCの濃度もお台場と同様にほぼ一定の値を示していたが、夏季は1.85~2.10 mg/l、秋季は1.44~1.85 mg/lであり、夏季の方が高濃度であった。両季ともにPOC、DOCいずれも水中のクロロフィル濃度との間に有意な相関関係は認められなかったが、植物プランクトン数が増殖する夏季(高水温期)に濃度が増加することから、お台場と同様に植物プランクトンが産生する細胞外分泌物や死滅・分解過程で発生する溶存態成分の影響を反映している可能性がある。



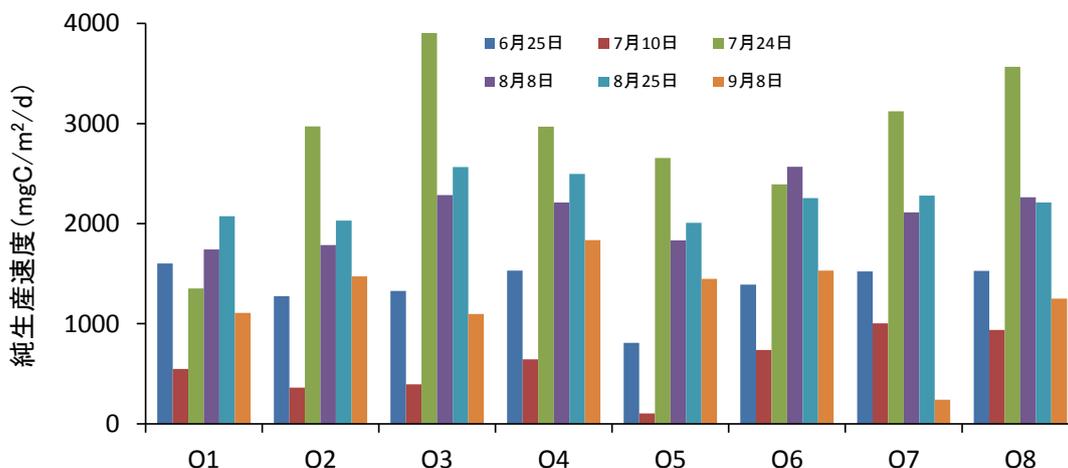
図(2)-3 St. 3における有機炭素濃度の経時変化

葛西海浜公園において西なぎさおよび東なぎさで底泥表層から10cmのコアを採取し、炭素含有量の測定を行った。深度を10cmに設定し、含有量を見積もると、西なぎさでは127 gC/m²、266 gC/m²となり、東なぎさの方が2倍程度高い値であった。この相違は底泥中の難分解性有機炭素の含有量に起因しており、有機物分解実験の結果から、西なぎさの難分解性OC含有量は115 gC/m²、東なぎさでは249 gC/m²であった。東なぎさは保護区となっており、調査目的以外の立入りが制限されている水域である。そのため人為的かく乱が極めて小さく底質が安定化し、多量の有機態炭素が系外流出せずに堆積しているものと推察された。

(2) 生物調査

1) 植物プランクトン

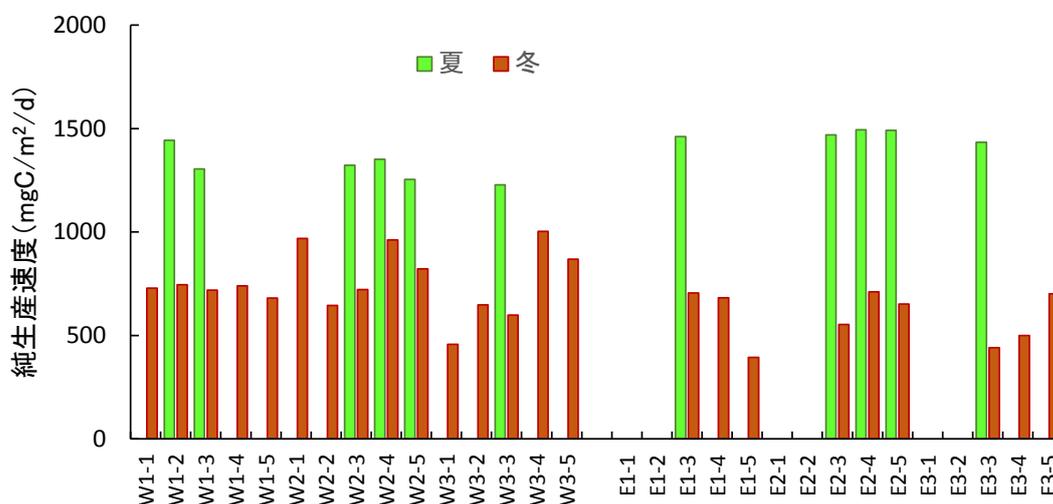
高水温期(6月~9月)に実施したお台場海浜公園での調査では、総じてChl-a濃度は高く、特に7月には最高で125 μg/l、8地点平均(01~08)でも72 μg/lと赤潮状態であった。また、干潟



図(2)-4 高水温期における植物プランクトンの純生産量

部の調査地点（01および02）では他の地点よりもChl-aが比較的低濃度であったことから、二枚貝類による取り込みがなされているものと推測された。表層のChl-a濃度に基づいた植物プランクトンの純生産速度³⁾を図(2)-4に示す。Chl-aが最も高濃度であった7月の03では純生産速度はおおよそ3,900 mgC/m²/dと見積もられた。この時の8地点の平均値から、お台場海浜公園（水域面積435,000m²）においては、1,250kgC/d程度の純生産が行われているものと推察された。

葛西海浜公園における水中のChl-a濃度は、前述のTOC濃度と同様にお台場海浜公園よりも低く、夏季に測定した全地点平均で16 μg/l、冬季で4 μg/lであった。夏季の西なぎさの平均値は14 μg/l、同日の東なぎさの平均値は17であり μg/l、有意な相違が認められた。表層における純生産速度を図(2)-4に示す。夏季は1387 mgC/m²/d、冬季は694 mgC/m²/dであり、夏季のお台場と比べて、1/3程度の純生産速度となっていた。純生産速度が大きかった夏季において、西なぎさ（150,000 m²）で198 kgC /day、東なぎさ（100,000 m²）で147 kgC/day程度の純生産が行われているものと推察された。



図(2)-5 葛西海浜公園における夏季と冬季の植物プランクトン純生産速度の比較

別途計数した植物プランクトン細胞密度および有機物分解実験により得られた難分解性有機物含有量より、夏季の葛西海浜公園における植物プランクトン中の炭素含有量を推定した（水深1.5mに設定）。植物プランクトン中の有機炭素（OC）は西なぎさでは0.05gC/m²、東なぎさ0.07gC /m²と見積もられ、その内の難分解性OCは0.01 gC/m²および0.02 gC/m²と推定された。

2) 底生動物

夏季のお台場海浜公園におけるアサリおよびホンビノスガイの個体数密度（個/0.0675m²）を図(2)-6に示す。両種ともに生息個体数は極めて小さく、晩夏には全8地点中でアサリは1地点6個体、ホンビノスガイは2地点合計9個体となっていた。過去の調査結果では両種は高い優占率で生息していたが、高水温期に進行する貧酸素化の影響により斃死したものと推測される。

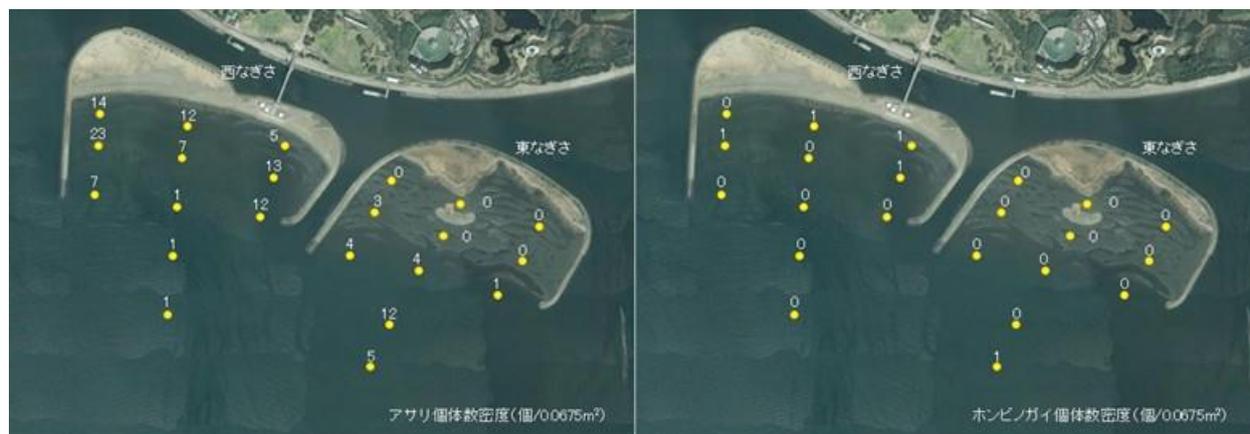
葛西海浜公園におけるアサリおよびホンビノスガイの個体数密度（個/0.0675m²）を図(2)-7に示す。水産有用種であるアサリは、西なぎさにおいては最大で23個/0.0675m²、11地点平均で8.7個

/0.0675m²であった。東なぎさでは個体数密度はやや小さく、最大で12個/0.0675m²、11地点平均で2.6個/0.0675m²であった。一方ホンビノスガイは全体として非常に少なく、西なぎさおよび東なぎさ全域で、それぞれ4個体および1個体であり、個体数の多寡は同様の傾向であった。

調査で採取した個体群から、殻付湿重量(平均値)を算出し、二枚貝類のろ水速度を0.10 L/gWW/hとし⁴⁾、炭素の取り込み速度を試算した。なお水中の炭素量については植物プランクトンの細胞数(西なぎさ2,530,000 cells/l : 東なぎさ : 2,280,000 cells/l)より算出した⁵⁾。その結果、外来種ホンビノスガイによる炭素の取り込み速度は、西なぎさで3.29 mgC/m²/d、東なぎさで6.68 mgC/m²/dと推定された。このときの最優占種アサリによる炭素取り込み速度は西なぎさで974 mgC/m²/d、東なぎさで263 mgC/m²/dであり、本水域においては炭素蓄積に対する外来種の寄与はそれほど大きくはないものと考えられた。



図(2)-6 お台場海浜公園における二枚貝類個体数密度の推移



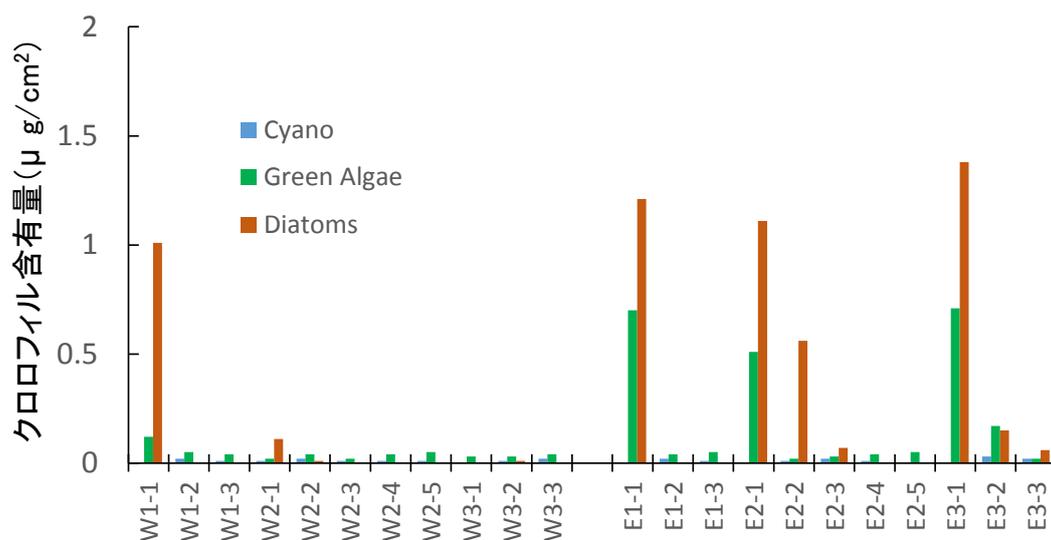
図(2)-7 葛西海浜公園における二枚貝類個体数密度の推移

アサリおよびホンビノスガイを含む二枚貝類（軟体動物）および調査で採取されたその他の底生動物（環形動物および節足動物）の現存量に基づき、深度10cmまでの底生動物中の炭素含有量を推定した。西なぎさおよび東なぎさにおける底生動物中の炭素含有量は、それぞれ28 gC/m²および65 gC/m²であった。二枚貝類の個体数では東なぎさよりも西なぎさの方が多かったが、東なぎさで僅かに採取された大型のハマグリの影響である。底生動物の内、軟体動物が湿重量の多くを占めており、内訳は貝殻を主成分とする無機態炭素（IC）がもっと多く、西なぎさで16gC/m²、東なぎさで42 gC/m²となっていた。有機態炭素（OC）は大部分が易分解性で、西なぎさでは8 gC/m²（難分解性OC：1 gC/m²）、東なぎさでは20 gC/m²（難分解性OC：1 gC/m²）であった。

3) 底生付着藻類

葛西海浜公園における夏季の底泥表面のChl-a量を図(2)-8に示す。西なぎさ・東なぎさともにChl-a量は少なく、最大でもE3-1の2.09 μg/cm²であった。含有量の多い地点は岸寄りの地盤高が高い地点であり、それらの地点では珪藻類が優占していた（優占率66.0～89.4%）。岸寄りの地点を除くと、優占種は緑藻類となっていたが、現存量としては小さい値であった。種別現存量をみると、東西のなぎさで優占種が異なっており、西なぎさでは浮遊性の*Cyclotella* spp.、東なぎさでは付着性の*Fragilaria* sp.となっていた。両者の違いは、潮干狩り等の物理的なく乱強度の差異に起因している可能性が示唆された。

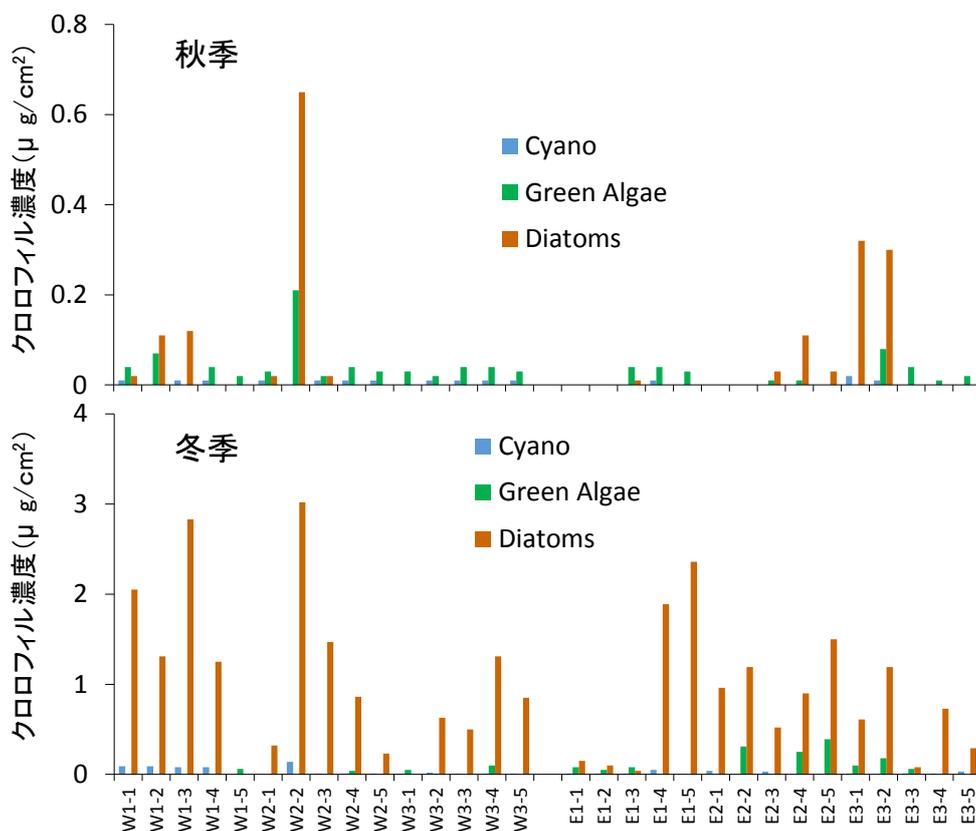
両なぎさの干潟部の付着藻類の細胞数（西なぎさ：16,750 cells/cm²、東なぎさ：42,310 cells/cm²）および珪藻類の1細胞あたり炭素含有量⁵⁾に基づき付着藻類によるカーボンストック量を試算した。その結果、西なぎさ12.7 mg/m²、東なぎさでは32.1 mg/m²と推定された。この値は、同時期の水中の植物プランクトンによる1日当たりの純生産量（147～198 mgC/m²/d）のおよそ1/10～1/6程度と小さい値であった。



図(2)-8 夏季の葛西海浜公園における底泥表面のChl-a量の比較

水温が低下する秋季および冬季における底泥表面のChl-a量を図(2)-9に示す。秋季は、西なぎさ、東なぎさとともに比較的低い値であり、最大でもW2-2の珪藻類 $0.65 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ であった。一方冬季は、いずれの地点も珪藻類が卓越した。最大値を示したのは秋季と同じW2-2の珪藻類で、 $3.05 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ であった。種別現存量をみると、全細胞数の内、浮遊性の藻類が占める割合は秋季・冬季ともに高く、それぞれ80.33~92.7%および66.4~96.3%であった。冬季調査では、水中の植物プランクトンは*Thalassiosira* spp. が優占していた。冬季の底泥表面でも浮遊性の*Thalassiosira* spp. は付着性の*Amphora* sp. に次いで細胞数が多く、水中で増殖した植物プランクトンの一部がその場で沈降・堆積しているものと推察された。

底泥表面のクロロフィル量が増大した冬季について、平均的な付着藻類の細胞数および珪藻類の1細胞あたりの炭素含有量に基づき付着藻類によるカーボンストック量を試算した。その結果、干潟部では約 $131 \text{ mg}/\text{m}^2$ と推定された。この値は、同時期の水中の植物プランクトンによる1日当たりの純生産量 ($711 \text{ mgC}/\text{m}^2/\text{d}$) のおよそ1/5程度であった。



図(2)-9 秋季および冬季の葛西海浜公園における底泥表面のChl-a量の比較

底泥表面の藻類の種組成において、浮遊性種が卓越する傾向はお台場海浜公園でも観測された。潮干狩りやその他のレジャー等で利用されている干潟部 (01および02) では、底生付着藻類の全細胞数の内それぞれ75%および69%が浮遊性の植物プランクトンが占めていた。一方、一般的に立入りが無い潮下帯の03においてもおよそ98%が浮遊性植物プランクトンで構成されており、利用の有無によらず、浮遊性種である*Skeletonema costatum*が卓越していた。調査当日は同種を優占種

とする赤潮が発生していたことから、水中で増殖した植物プランクトンの一部がその場で沈降・堆積しているものと推察された。

(3) 炭素貯留量の推定

ここまで述べてきたように、東京湾の干潟が有するカーボンシンク機能の評価のため、水中、底泥中および生物体中の炭素貯留量を算出した。表(2)-1に西なぎさおよび東なぎさにおいて推定された各種要素中の炭素含有量を示す。植物プランクトン、底生動物および堆積物についてはCNコーダーによるサンプルの直接分析、底生付着藻類については細胞数の計数結果を炭素換算している。有機態炭素については、有機物分解実験結果から易分解・難分解の割合を算出した。炭素貯留量の推定において、干満を繰り返す干潟では水柱の深度設定が困難であるが、平均的な値として水深を1.5mに設定した。また底質系については、底生生物の採取深度である10cmを基準とし、堆積物においても同様の深度を与えた。

大型海産植物の乏しい干潟においては底生付着藻類は主要な生産者であるが、富栄養化し赤潮が発生するような都市部の海域においては、炭素貯留量としては植物プランクトン中の方が多く、西なぎさではおよそ5倍、東なぎさでは3倍程度大きな値であった。大部分が浮遊性の植物プランクトンで占められていた。植物プランクトンおよび底生付着藻類中の炭素量に占める難分解性OCの割合はおよそ3割と比較的大きく、全体の1/3程度の量の炭素が難分解性OCとして水中に長期間残存することが明らかになった。

底生動物中の炭素含有量については、個体サイズが大きい二枚貝類（軟体動物）の多寡が律速となっていた。特に個体にしめる重量の割合が大きい貝殻の影響が強く、底生動物全体のIC/OC

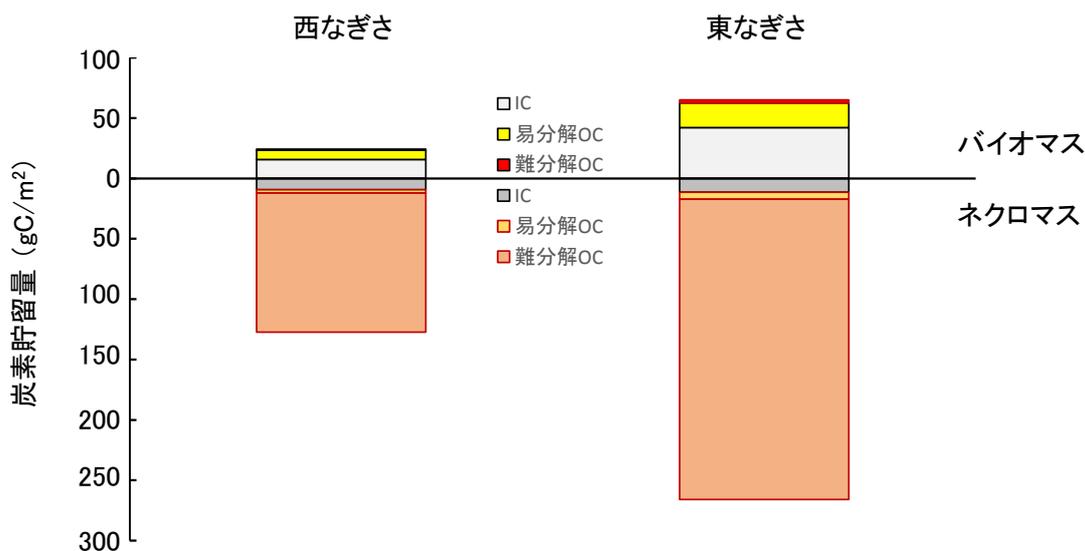
表(2)-1 推定された炭素貯留量

		(g/m ²)	
		西なぎさ	東なぎさ
植物プランクトン (水深1.5m)	IC	0	0
	易分解性OC	0.04	0.05
	難分解性OC	0.01	0.02
底生付着藻類	IC	0	0
	易分解性OC	0.01	0.02
	難分解性OC	0.003	0.01
底生動物 (深度10cm)	IC	16	42
	易分解性OC	8	20
	難分解性OC	1	3
堆積物 (深度10cm)	IC	9	11
	易分解性OC	3	6
	難分解性OC	115	249

比は2程度であった。これは西なぎさと東なぎさの差異にも影響しており、個体数としては僅かであるが、貝殻サイズの大きい二枚貝の影響により、西なぎさよりも東なぎさの方が2倍以上IC貯留量が多くなっていた。OCについては難分解性物質の割合が植物体（プランクトンおよび付着藻類）よりも小さく、OC全体の1/7程度が難分解性OCと見積もられた。全体の炭素貯留量としては比較的多く、植物プランクトンや底生付着藻類にくらべ、2～3オーダー高い値であると推定された。

堆積物中の含有炭素は、西なぎさ・東なぎさともに難分解性OCが卓越しており、両水域ともに90%以上を占めていた。難分解性OCは含有量も多く、西なぎさで115 g/m²、東なぎさで249 g/m²であり、底生動物中の難分解性OCと比べ2オーダー高い値であった。西なぎさと東なぎさとの差異については、人為的かく乱の有無に起因しているものと推測されるが、底生動物中の難分解性OCの比較から、西なぎさよりも東なぎさの方が速い速度で難分解性OCが堆積している可能性が示唆された。

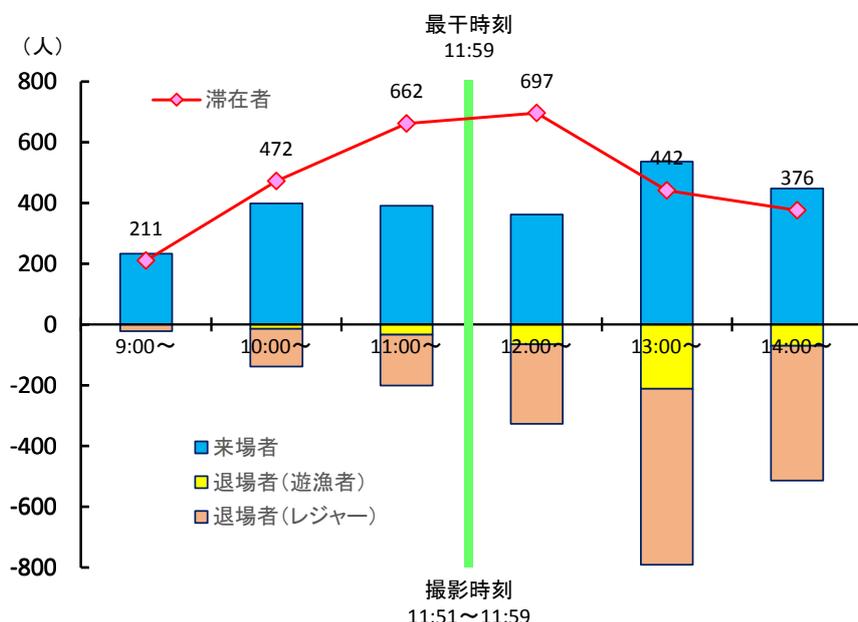
西なぎさおよび東なぎさにおける炭素貯留量の比較を図(2)-10に示す。図ではバイオマスとネクロマスに分けて整理している。両水域ともに炭素貯留においてバイオマスよりもネクロマスが占める割合が大きく、またいずれも西なぎさよりも東なぎさの方が高い値であった。西なぎさおよび東なぎさは1989年の造成から30年程度経過しているが、西なぎさは一般解放区、東なぎさは自然保護区として、管理強度の異なる隣接水域である。バイオマスにみられる相違は、潮干狩りによる系外除去の有無に起因するものと推測される。アサリ等の二枚貝類は個体数は西なぎさの方が多しものの個体サイズが小さいものが大部分を占めていた。潮干狩りの採取対象となる大型の二枚貝類が採取された結果、比較的小型のものが残されたものと考えられる。ネクロマスについては大部分を難分解性OCが占めていた。東西なぎさ間の差異は前述したとおり人為的かく乱の有無に起因しているものと推測されるが、底生動物中の難分解性OCの比較から、西なぎさよりも東なぎさの方が速い速度で難分解性OCが堆積している可能性が示唆された。



図(2)-10 西なぎさおよび東なぎさにおける炭素貯留量の比較

(4) 干潟の利用強度調査

2016年4月23日に実施した葛西海浜公園西なぎさの利用者数調査の結果を図(2)-11に示す。調査は西なぎさの開場時刻(9:00)から実施し、1時間ごとの来場者数および退場者数(遊漁利用・レジャー利用別)の集計値を図示している。なお当日の最干時刻はほぼ正午(11:59)であった。西なぎさ場内の残存者数は最干時刻付近で最大となっていた(11:00~12:00・・・662人、12:00~13:00・・・697人)。これ以降、潮干狩り客の退場者数は増加し始めている。また、入場時には遊漁客とその他のレジャー客との明確な区別が困難なため図には記していないが、最干時刻を境に遊漁利用と思われる入場者は減少し始め、13:00以降は2組5名のみとなっていた。このことから、最干時刻での場内利用者数の計数によって遊漁利用者数の最大値を概ね把握できるものと考えられた。



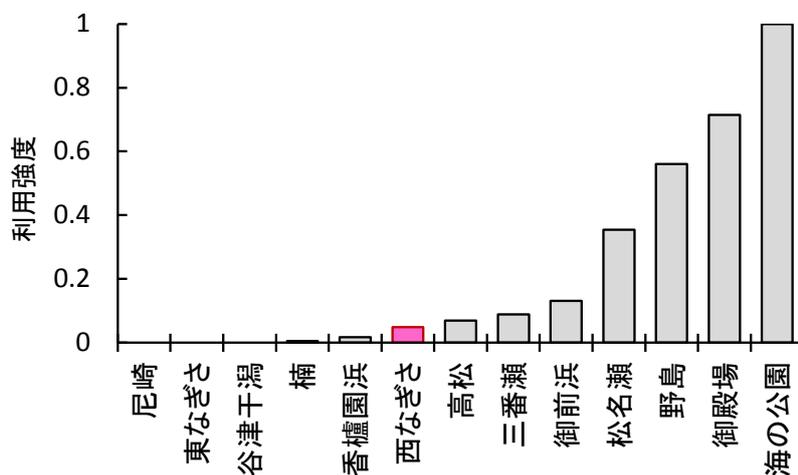
図(2)-11 葛西海浜公園西なぎさ利用者数の経時変化(2016年4月23日)

空中写真撮影はほぼ最干時刻である11:51~11:59に実施した。図(2)-12に示すような空撮画像から西なぎさ内の滞在者数を計数したところ496人(干潟部:267人、後背地:229人)であった。現地計数による同時刻の滞在者数662人であり、170人程度少なく見積もられた。空撮画像では、場内に常設されている大型テントの下やレジャー用小型テント内の人数を計数できないため、過小評価となったものと考えられる。都市部の海浜公園等での空撮についてはこのような課題ものこるものの、他海域との比較のため、空撮画像による計数結果を西なぎさの利用者数とすることとした。

各調査水域における利用強度の比較を図(2)-13に示す。遊漁利用・漁業利用を含め最大値であった横浜海の公園(301人/ha)の値で除し比較すると、葛西海浜公園西なぎさは0.049であり、保護区指定等で立入りが制限されている水域を除くと、楠、香露園浜に次ぐ小さい値であった。



図(2)-12 最干時刻付近の空撮画像

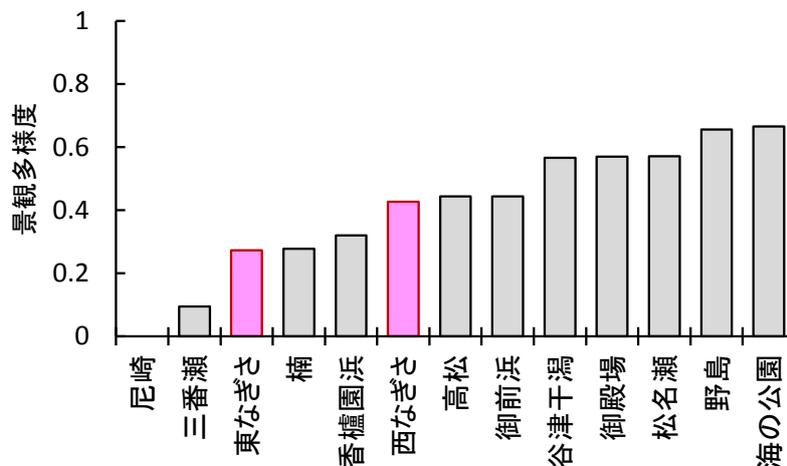


図(2)-13 葛西海浜公園東なぎさ・西なぎさと他水域との利用強度の比較

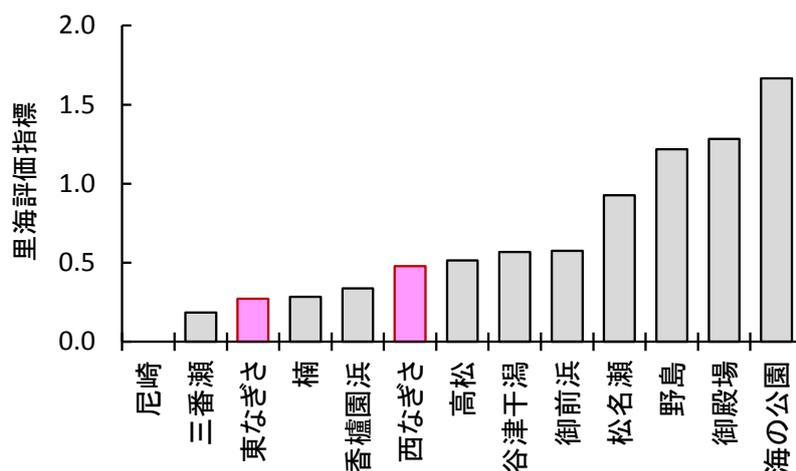
(5) 東京湾の干潟の適切な管理手法の探索

各調査水域における景観多様度の比較を図(2)-14に示す。葛西海浜公園は西なぎさ・東なぎさともに景観要素数は2（干潟および後背地）であるが、各要素の面積の不均衡性に起因し、西なぎさ（0.43）よりも東なぎさ（0.27）の方が景観多様度は小さい値であった。

「利用強度」と「景観多様度」の和と定義した「里海評価指標」は図(2)-15に示すとおりで、概ね景観多様度と同様の序列であった。葛西海浜公園東なぎさの里海評価指数は0.27であり、対象水域内では、尼崎人工干潟、三番瀬に次いで低い値であった。比較的用户数の多い西なぎさの里海評価指数は0.48であり、保護区である東なぎさよりは高い値であったが、同じ東京湾の保護区である谷津干潟（0.57）よりも小さい値であり、西なぎさにおいては景観要素の少なさおよびその不均等性が里海評価指標を低下させる主要因であると考えられた。また比較的值が大きい横浜海の公園（1.67）や野島海岸（1.22）と比べると1/2～1/3程度の値であった。

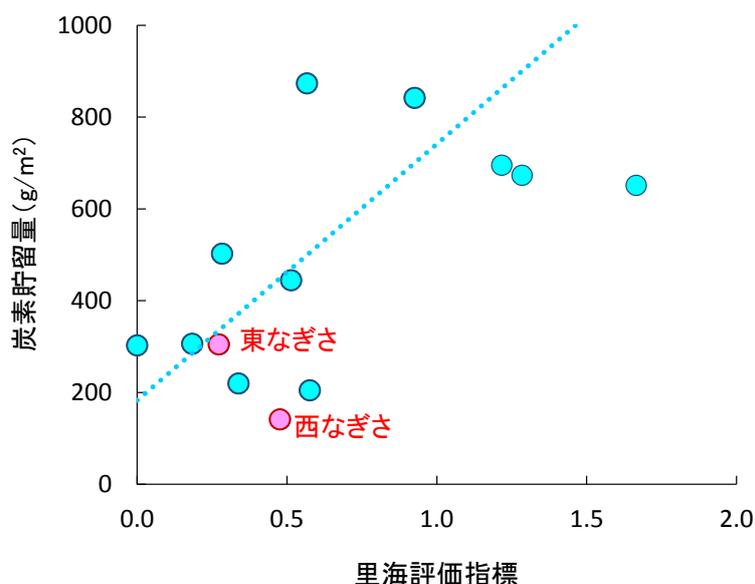


図(2)-14 葛西海浜公園東なぎさ・西なぎさと他水域との景観多様度の比較



図(2)-15 葛西海浜公園東なぎさ・西なぎさと他水域との里海評価指標の比較

図(2)-16に里海評価指標とカーボンシンク機能の指標としての炭素貯留量との関係を示す。図中の回帰直線は炭素貯留に対する適正な里海指標を示しており、線の左(上)側はアンダーユース、右(下)側はオーバーユースと評価される。東なぎさは回帰直線上にプロットされており、概ね里海指標に見合った炭素貯留量であると考えられる。一方、西なぎさについては、線の右(下)側にあり、里海指標に対し、炭素貯留量は過少に評価された。西なぎさにおいては、利用客数から算出される利用強度は比較的小さい。従って、1人辺りの採取量の制限等により、アサリ等の個体数を維持・回復させることにより炭素貯留量を増加させられるものと考えられた。また、干潟内への藻場等の造成により景観多様度を増大させ、生物現存量を増加させることにより、炭素貯留量を増大させられる可能性がある。同様に、保護区として立入りが制限されている東なぎさにおいても景観多様度の上昇により、炭素貯留の機能が上昇する可能性が示唆された。



図(2)-16 里海評価指標と炭素貯留量との関係

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

都市部の富栄養化した海域に成立する短寿命生態系の機能である炭素貯留について、その一部を推定した。他海域との比較から、炭素貯留量は海域の利用強度や景観多様性と相関関係があることが明らかとなり、温帯域沿岸生態系の新たな便益としての炭素貯留を増大させるための里海の管理手法について、有益な知見を示すことができた。

(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>

管理強度の異なる人工海浜において、里海評価手法を構築し、炭素貯留量との関係を明らかにした。これまでレクリエーション利用等に主眼が置かれていた都市部の人工海浜において、新たな便益としての炭素貯留を付加し、その増大に向け、各地の沿岸域における適切な管理手法を提言できる。

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。

<査読付論文に準ずる成果発表>

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) 石井裕一、矢部徹、国分秀樹、宮崎一、天野佳正、中村方哉、加藤あづさ、横山仁、市橋新：第51回日本水環境学会年会（2017）「藻場干潟の利用・管理強度と生息生物の豊かさとの関係探索」

(3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 社会人を対象としたテーマ別環境学習講座「東京湾の生き物を探そう～生き物の種類から東京湾の生態系、水質、外来生物の現状を学ぶ～」（主催：東京都環境局、2015年7月29日、東京都庁第一本庁舎、参加者27名）にて講演
- 2) 社会人を対象としたテーマ別環境学習講座「東京湾の生き物を観察してみよう！～東京湾の干潟で生物多様性を考える～」（主催：東京都環境局、2016年6月6日、東京都庁第二本庁舎、参加者37名）にて講演

(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) 宮井博、松崎加奈恵、小川数也、杉原拓郎：日本プランクトン学会報、35、121-126 (1998) 植物プランクトンの形態に基づく種類別生物量の簡易推定法
- 2) Strathmann R.R.：Limnol. Oceanogr., 12, 411-418 (1967) Estimation the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma volume

- 3) 村井俊治、後藤真太郎、本多嘉明：生産研究、44、8、349-355 (1992) 地球生物圏における二酸化炭素固定量に関する研究
- 4) 青山裕晃、鈴木輝明：水産海洋研究、61、3、265-274 (1997) 干潟上におけるマクロベントス群集による有機懸濁物除去速度の現場測定
- 5) 安藤晴夫、風間真理：第46回日本水環境学会年会講演集、242 (2012) 東京都内湾における赤潮プランクトンと水質について
- 6) Kadoya T. and Washitani I.: Agriculture, Ecosystems and Environment, 140, 20-26 (2011)
The Satoyama Index: A biodiversity indicator for agricultural landscapes

1-1407 二次的自然「里海」の短寿命生態系におけるブルーカーボン評価に関する研究

(3) 大阪湾の干潟が有するカーボンシンク機能の評価と立地履歴、管理強度の影響解析

公益財団法人ひょうご環境創造協会

兵庫県環境研究センター 水環境科

宮崎 一

平成26～28年度累計予算額：16,314千円（うち平成28年度：4,618千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

富栄養化が継続し、自然海岸が極端に減少した大阪湾奥において2種類の干潟（港湾内に造成された人工干潟：尼崎干潟と周辺環境の変化から半自然発生的に出来た河口干潟：御前浜）における炭素貯留（カーボンシンク機能）を調査した。

両干潟は垂直護岸や流入河川の有無など環境条件が大きく異なり、このことを反映して生息する生物種がイガイ類等の二枚貝類主体の尼崎干潟、軟体動物、環形動物、節足動物が比較的バランス良く生息する御前浜のように異なっていた。

尼崎干潟においては隣接する垂直護岸の影響が大きく、付着性生物の生物量が干潟と比較して無視できないこと、高さ位置によって干出に強い生物等干潟内では見かけない生物の生息場を提供すること、干出、高温化からの退避場を形成する等の特徴を有していることを明らかにした。

両干潟における海水、底質、生物量及び生分解性試験から得た難分解性炭素率を基に炭素貯留量を計算し推定したところ、両干潟ともに一定量の炭素貯留量を示した。「景観多様度」と「利用強度」ともに低い尼崎干潟では高濃度の栄養塩類の有効利用、いずれの指標も中位であった御前浜ではマナー良く干潟を利用することで生物生息場を保全することが重要であると考えられた。

結論として、本研究では大阪湾奥海域が有する、富栄養化による生物相の単純化、海水の貧酸素化等、生物生息場として恵まれているとは言い難い条件を粘り強く改善し、高い栄養塩類濃度を生物生産に効率よく利用できるよう生物生息場の保全を続けることにより、大阪湾奥の干潟は炭素貯留という新たな役割を担う可能性があることを示した。

[キーワード]

大阪湾、干潟、炭素貯留、イガイ類、垂直護岸

1. はじめに

国連環境計画（UNEP）に提唱され国際的に注目されているブルーカーボンとは海洋生態系の生物活動によって固定（隔離・貯留）される炭素の総称である。その量は地球全体の光合成活動によって固定される炭素の55%に相当すると見積もられている。我が国は島嶼国で海岸線延長は約3万5000km、国土面積当たりの海外線延長は世界6位と先進国では最大級であり、世界的に主要なブルーカーボン貯蔵国と評価されれば、沿岸生態系から大きな恩恵を受けていることになる。そのため我が国の沿岸に分布する生物の炭素固定がブルーカーボンに相当するの可否かは検証すべき重要な課題である。現在までのところ、亜熱帯を分布中心とするサンゴ礁やマングローブ林における炭素固定に関する研究が先行しているが、我が国の大部分を占める温帯沿岸浅海域に生息する生物は比較的短寿命であるため、それらの場では分解が卓越するものとして整理され、炭素固定に関する研究は十分になされてこなかった。

本研究では、沿岸の藻場・干潟等の短寿命生態系における主要な生態系機能としてカーボンシンク機能を取り上げ、それらを明らかにすることを目的とする。同時に、我が国の多くの沿岸は里海としてワイズユースが進められてきた歴史をもつが、現在では浅場の埋め立てや代償としての造成も進んでおり立地履歴が多様化している。また水産業やレクリエーションでの利用も含めた保全的管理やバードサンクチュアリのような保護的管理のように管理強度の強弱の影響についても検討する。本研究を通じて二次的自然である里海におけるカーボンシンク機能を調査し、ブルーカーボンとしての評価を行うことで沿岸浅海域に対する社会的・経済的価値の向上が見込まれ、さらには里海を含めた沿岸浅海域における生物多様性保全や自然再生の促進を通じた自然共生社会の形成にも寄与できるものとする。

2. 研究開発目的

海岸線を人工または半人工海岸により占められた大阪湾は浅場が減少し、海岸に生息する生物の生息場が著しく減少している。このため、近年では人工干潟を造成する等、環境修復の動きが始まっているが失われた自然海岸を取り戻すことは容易ではない。近年、注目されているブルーカーボンに由来するカーボンシンク機能は浅海域の生態系を再評価するものであり、大阪湾の環境修復への大いなる追い風となり得る。

本研究は大阪湾にわずかに残存する浅場に生息する生物によるカーボンシンク機能を評価し、大阪湾の環境修復を支持、促進することを目的とする。

また、大阪湾と各サブテーマで評価された域内数カ所の管理強度と履歴の異なる里海沿岸域のカーボンシンク機能を比較し、大阪湾に適した干潟の管理手法を提案する。

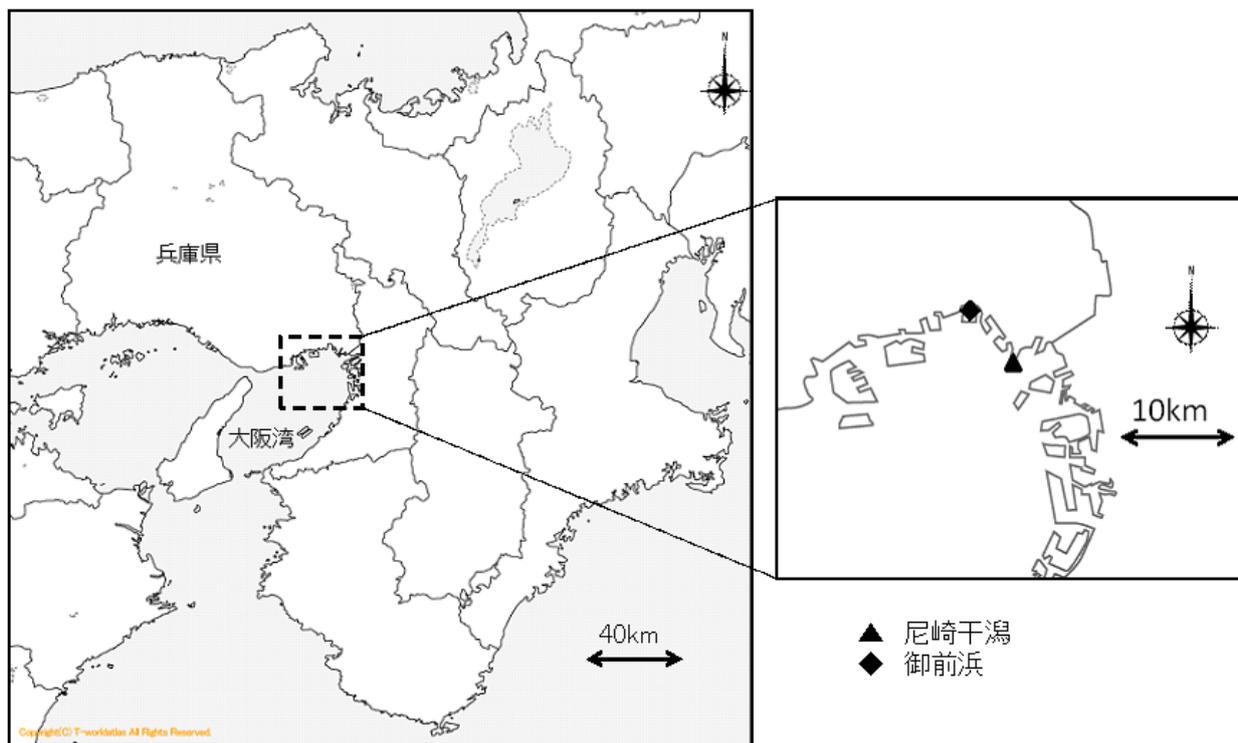
3. 研究開発方法

（1） 調査地概要

調査フィールドとして、大阪湾奥の兵庫県側に位置する尼崎港人工干潟（以下、尼崎干潟とする。）および夙川河口御前浜（以下、御前浜とする。）を選定した（図(3)-1）。

尼崎干潟は尼崎港内に平成14年3月に二枚貝による水質浄化実験を行うため砂干潟として造成され現在に至っている。

阪神間に残る貴重な半自然海岸である御前浜は、周辺の埋立が始まった昭和40年代から流入河



図(3)-1 尼崎干潟及び御前浜の概略【世界地図 | SEKAICHIZU】ホームページ
 (http://www.sekaichizu.jp/index.html 平成29年5月9日確認) の白地図を一部加工して使用

川である夙川から供給される土砂により形成されたと考えられている。

これらの干潟は富栄養化が継続している大阪湾奥に位置しており、尼崎干潟周辺海域においては平成27年度における大阪湾広域臨海環境整備センターによる環境監視調査結果¹⁾から全窒素の年度平均値0.8mg/L、全燐の年度平均値0.08mg/L、御前浜周辺海域においては平成27年度における西宮市による公共用水域の水質等測定結果から、全窒素の年度平均値0.67mg/L、全燐の年度平均値0.10mg/Lが示されており、各干潟に寄せる海水には栄養塩類が高濃度に含まれることが示されている。また、いずれの干潟も夏季(7月～9月)には25℃以上の高水温下で海水の溶存酸素濃度が3mg/L未満となる貧酸素化が発生することがあり、生物量が激減することがある。

両干潟における相違点としては、人が立ち入ることによる利用強度の違いがある。尼崎干潟は調査実験用に造成された経緯から施錠可能なフェンスによって自由な人の立ち入りを禁じている。一方、御前浜においては市民の憩いの場になっており、浜遊び、砂浜でのレクリエーション等1日に数百人以上が利用することがある。ただし、潮干狩りによる生物の捕獲圧は小さい。

以上のことから、栄養塩類濃度からはいずれの干潟においても高い生物生産量が期待できるが、夏季に発生する高水温下での海水の貧酸素化により、生物の寿命が限られ、周年的な生物量の増減が考えられた。また、潮干狩りのような生物の捕獲圧は小さいが、人が立ち入ることによる利用強度の差が生物生息環境に影響することが懸念された。

(2) 生物調査

図(3)-2、図(3)-3、図(3)-4に示す地点で生物調査を実施した。また、図(3)-5に示す位置で垂

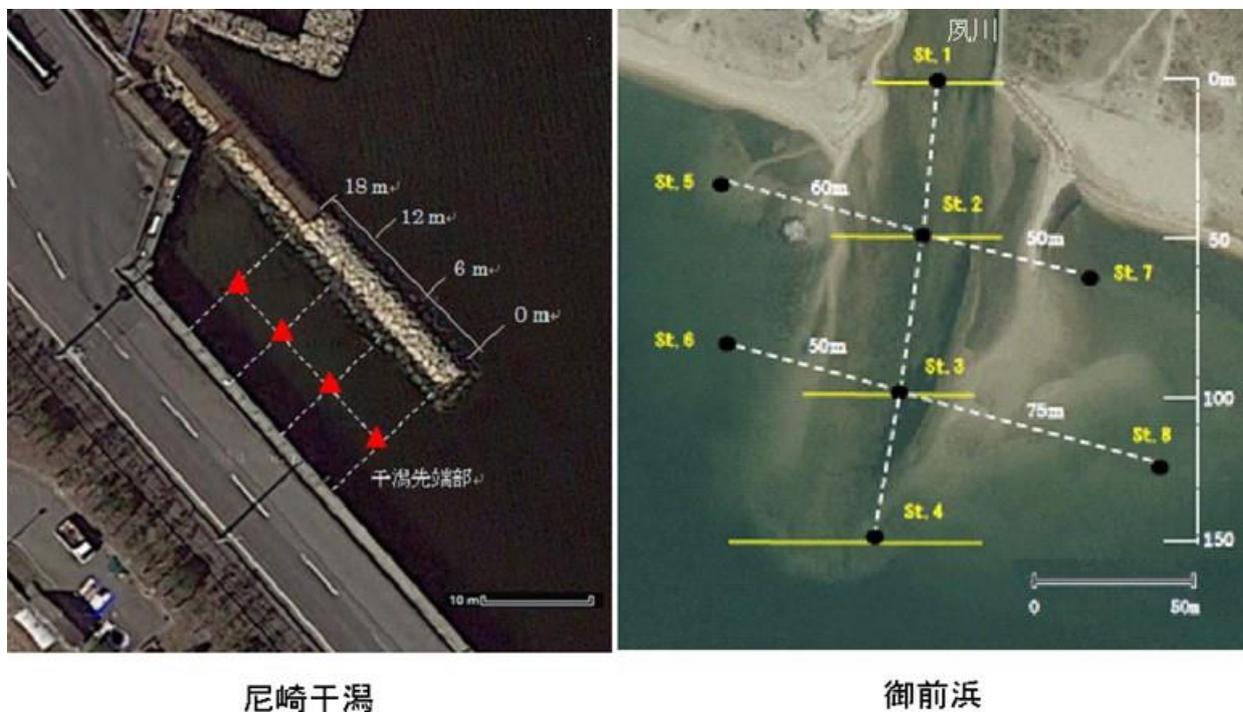
直護岸における生物調査を実施した。

1) 底生生物

手動式グラブ型採泥器（採泥面積 $0.05\text{m}^2 \times 2$ 回）もしくは方形枠（ $33\text{cm} \times 33\text{cm}$ ）を用いて、干潟の表層土を 0.1m^2 採取した。採取した表層土は直ちに泥温を測定し、底質の性状、泥色、泥臭および混入物の有無を観察した後、 1.0mm 目のふるいにかけて、ふるい上に残った残留物を試料とした。

2) 付着性生物

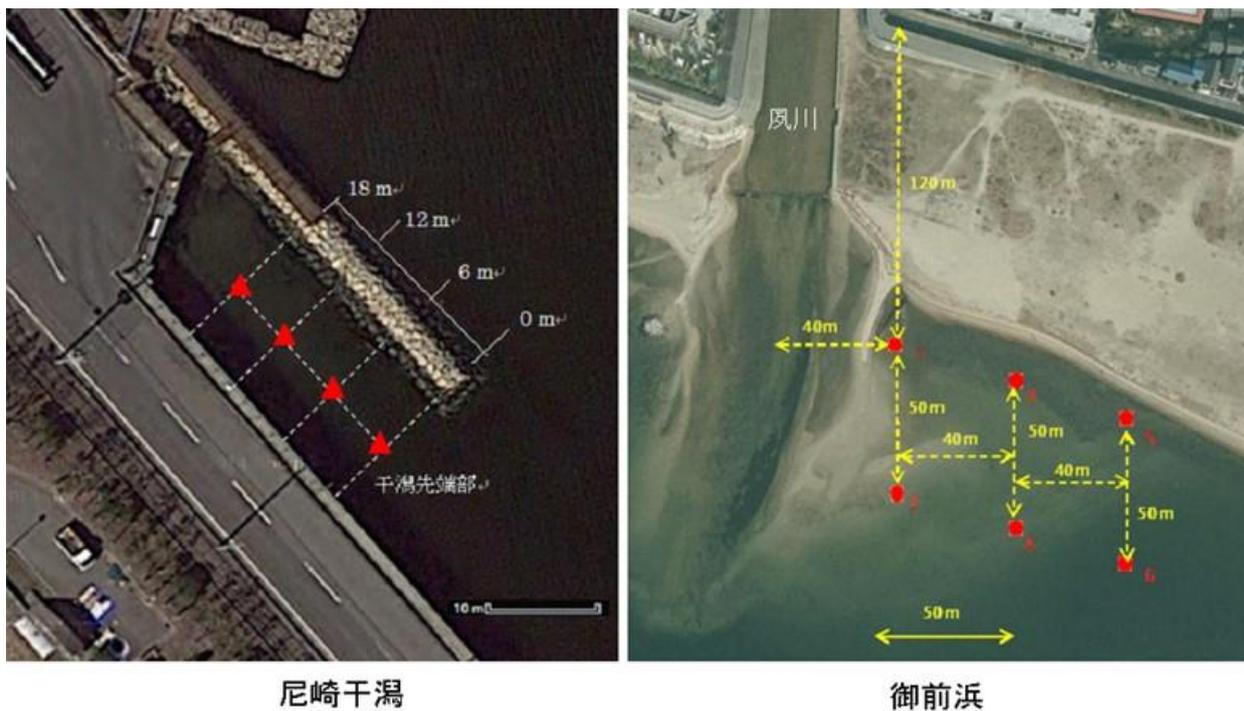
枠取り調査では垂直護岸に $33\text{cm} \times 33\text{cm}$ の方形枠（面積 0.1m^2 ）をあて、方形枠内の付着性生物を採取し、 1.0mm 目のメッシュ袋に入れた。採取した試料はそれぞれ約10%の海水ホルマリンで固定した後、試験室に持ち帰って種の同定、種毎の個体数および湿重量を測定した。また、目視観察では、枠取り調査箇所を避けて $33\text{cm} \times 33\text{cm}$ の方形枠（面積 0.1m^2 ）をあて、枠内を目視で定点観察した。



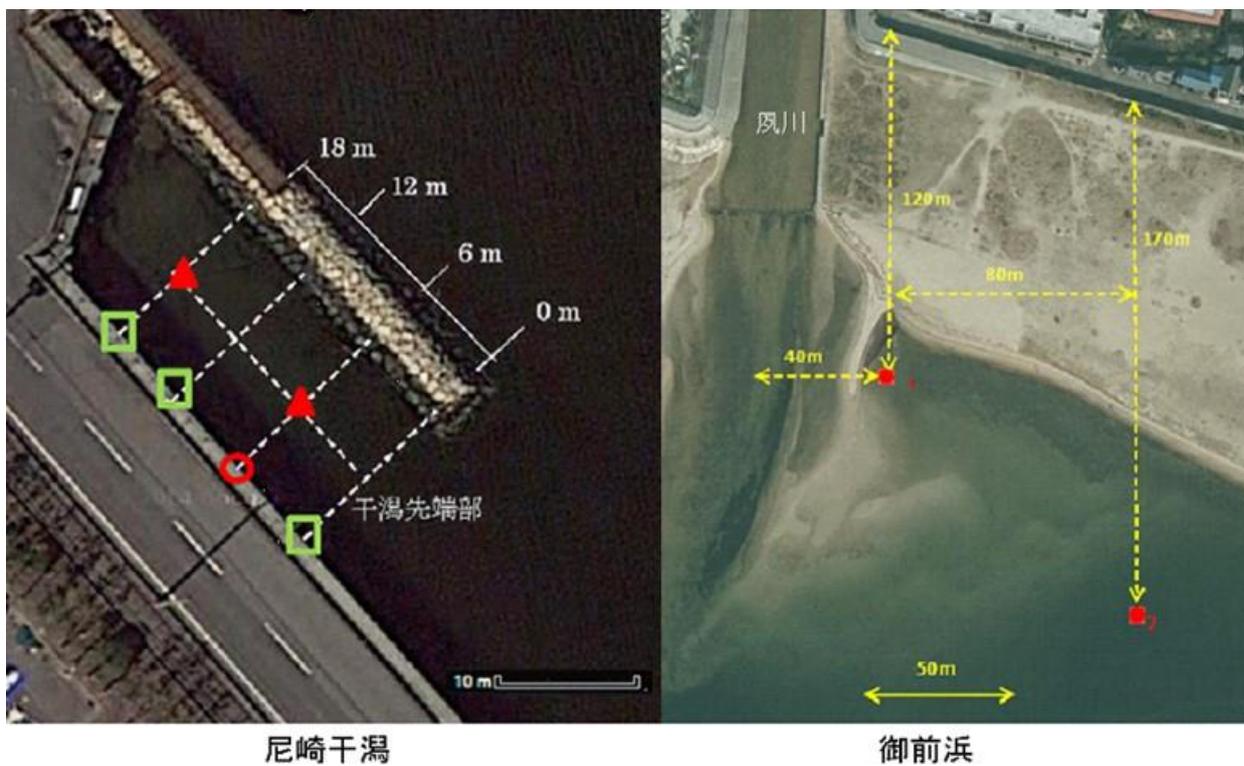
尼崎干潟

御前浜

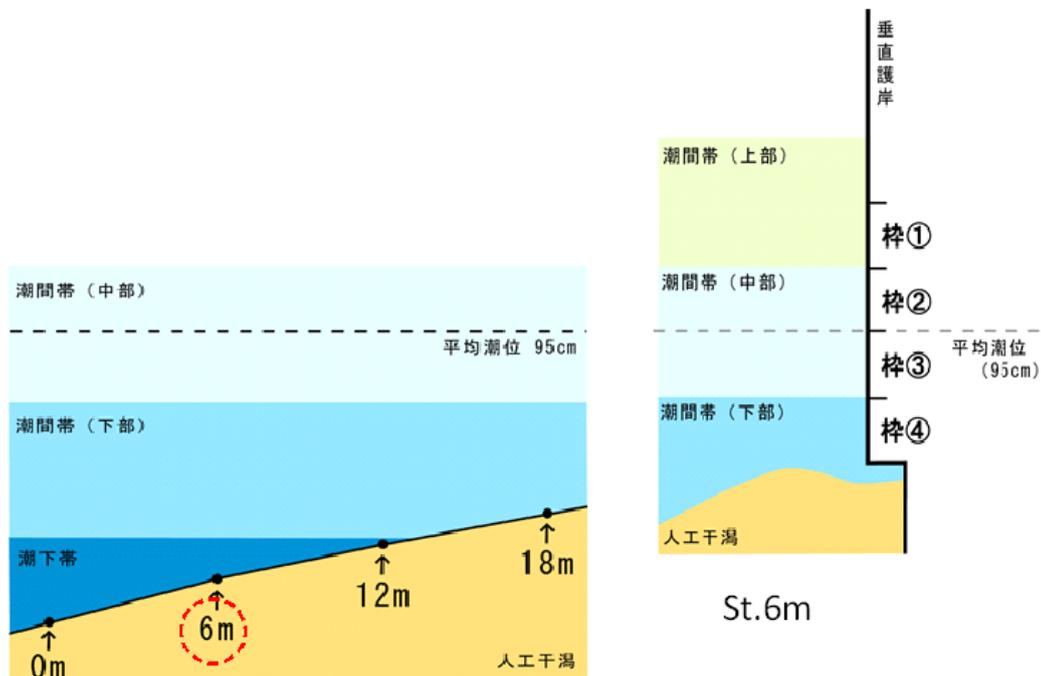
図(3)-2 平成26年度調査地点



図(3)-3 平成27年度調査地点



図(3)-4 平成28年度調査地点 (○ (杵取り調査) と □ (目視調査) は垂直護岸の調査地点)
 図(3)-2, 3, 4については、NAVITIMEホームページ(<https://www.navitime.co.jp/> 平成29年5月9日確認)の航空・衛星写真を一部加工して使用



図(3)-5 垂直護岸における調査位置

(St. 6mのみ樁取り調査を実施し、St. 0m;12m;18mにおいては目視観察調査を実施した。)

(4) 炭素貯留量の推定

本研究において得られた生物調査結果と干潟直上海水、干潟底質、干潟内に生息する代表生物種（大阪湾においてはイガイ類）の炭素含有量測定結果から各干潟の炭素貯留量を計算・推定した。なお、計算に当たっては共同研究機関と合同で実施した生分解性試験から算出した難分解性炭素率を用いて補正した。

(5) 干潟の利用強度調査

干潟の利用強度の指標として、多数の利用者が見込まれる春季の休日・晴天日の最干時刻に合わせて小型飛行機により空中写真撮影を実施し、得られた画像データから対象地への来場者数を計数した。来場者の計数は砂浜等の後背地も含め実施した。

(6) 大阪湾の干潟の適切な管理手法の検討

大阪湾の干潟を含む干潟の管理手法を検討するため、里海の「景観多様度」と前述した「利用強度」の和を「里海評価指標」とし、炭素貯留量との関係を検討した。里海評価指標と炭素貯留量等との関係や他海域と比較から、大阪湾の干潟の現状を評価し、適切な管理手法について検討した。

4. 結果及び考察

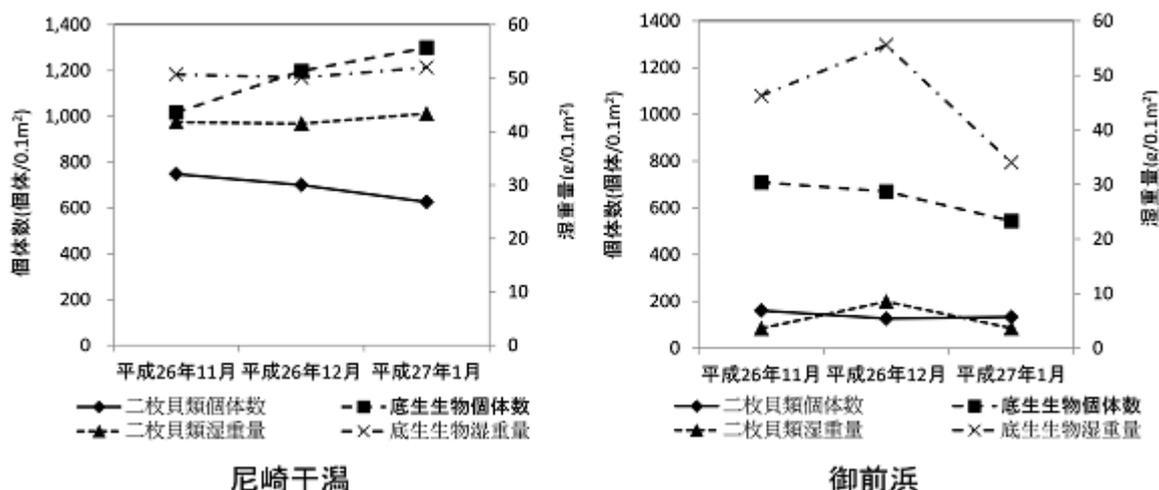
(1) 炭素貯留に寄与する生物種

尼崎干潟と御前浜において炭素貯留に寄与する生物種の相違を検討するため、平成26年度に二枚貝類および底生生物の調査を実施した結果を図(3)-6に示す。

なお、ここでは各干潟の全調査地点から得られた結果の平均値を代表値として評価した。

尼崎干潟においては、二枚貝類の個体数が減少しても、コウロエンカワヒバリガイのようなイガイ類が成長することにより二枚貝類としての湿重量が増加する傾向が認められた。一方、底生生物の個体数は増加したが、湿重量については同様な増加は認められず、個々の生物のサイズが小さくなったことが示唆された。尼崎干潟においては、10月まで頻繁に海水が貧酸素化するため、底生生物が減少する。底生生物の個体数の増加はこの貧酸素化による個体数減少からの回復過程を示している可能性がある。

御前浜においては、二枚貝類の個体数の減少は尼崎干潟と比較して少なかった。二枚貝類の湿重量が12月に増加したが、マガキの大型個体によるものでこれを除けば変動幅は尼崎干潟より小さかった。一方、底生生物については、12月におけるマガキの大型個体の影響を除けば個体数の減少とともに湿重量も減少した。これらの結果からは御前浜における貧酸素化の影響を推定することは困難であるが、本海域も富栄養化海域であるため、尼崎干潟と同様の貧酸素化の影響を受けている可能性がある。

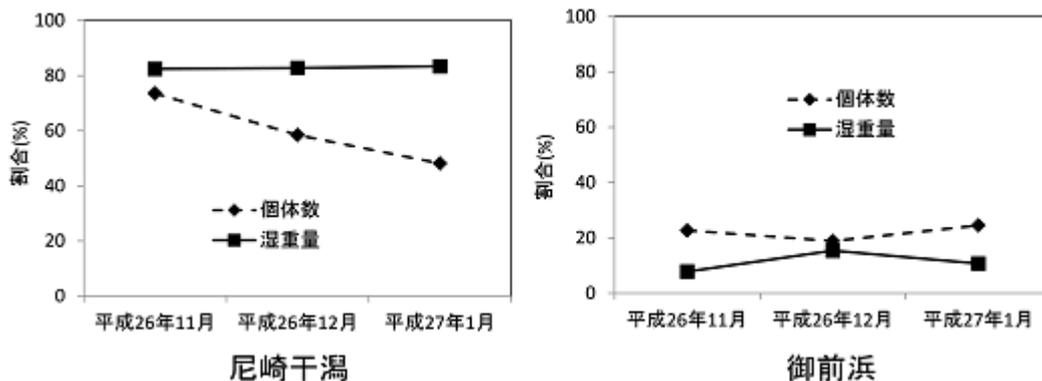


図(3)-6 二枚貝類及び底生生物調査結果

図(3)-7に各干潟における全底生生物に対する二枚貝類の個体数および湿重量の割合を示す。

尼崎干潟においては、湿重量においては底生生物に対する二枚貝類の割合が調査期間を通じて80%を超えていた。一方、個体数においては、底生生物個体数の増加率が二枚貝類の増加率を上回ったため、74%から48%へ低下傾向が認められた。湿重量において二枚貝類の存在割合の高い尼崎干潟においては貝殻を含む二枚貝類が炭素貯留の一翼を担う可能性がある。

御前浜においては、個体数においては、19%から25%を推移した。湿重量に関しては8%から15%を推移し、尼崎干潟と比較して二枚貝類の存在割合が低いことが示された。御前浜においては、二枚貝類による炭素貯留への寄与は尼崎干潟と比較して相対的には低いことが示唆された。

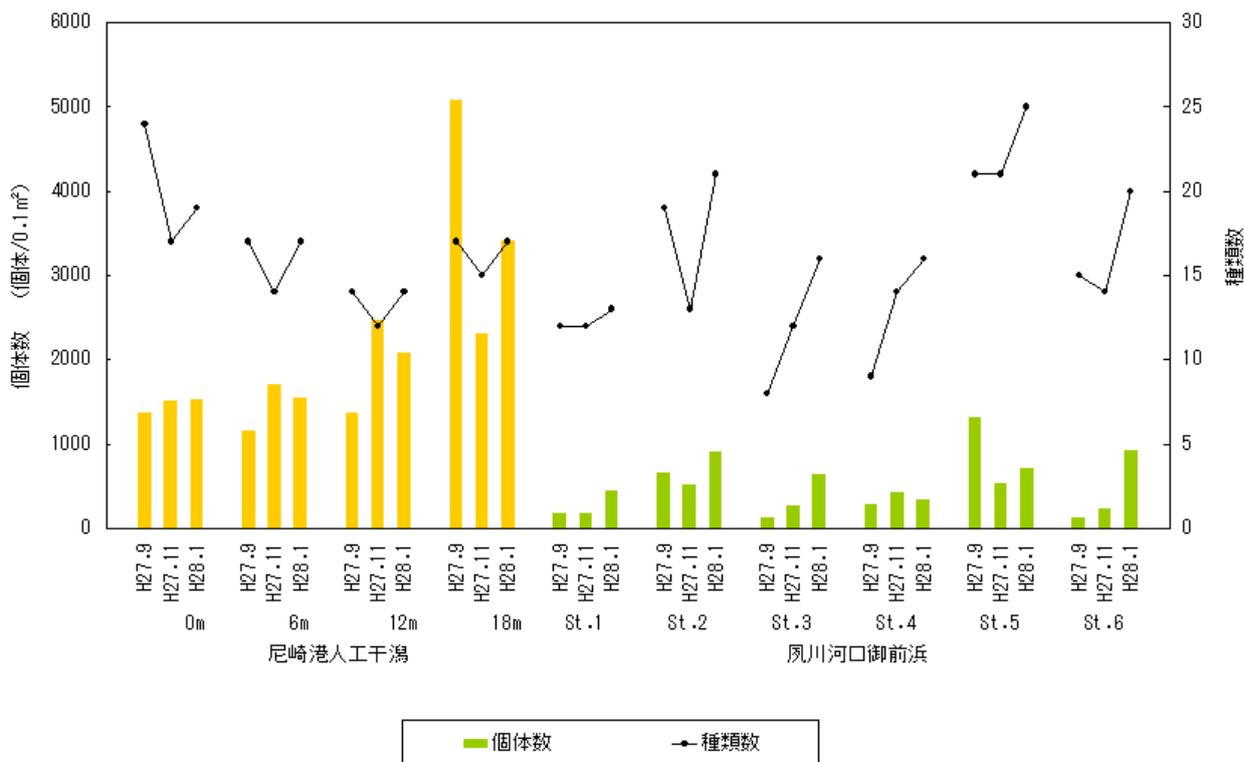


図(3)-7 底生物に対する二枚貝類の存在割合

(2) 環境条件と生物量の関係

図(3)-8及び図(3)-9に尼崎干潟および御前浜における底生物の出現状況を示す。

尼崎干潟においては、冠水時間の長い干潟先端部方向から3地点において夏季の高海水温下における貧酸素化により減少した個体数および湿重量が秋季から冬季に回復する過程が示された。なかでも湿重量の増加は顕著であり、貧酸素化により、成体が減少し、貧酸素化の発生以降に加入した生物の成長が示唆された。種類数に関しては大きな変動は認められなかった。冠水時間が



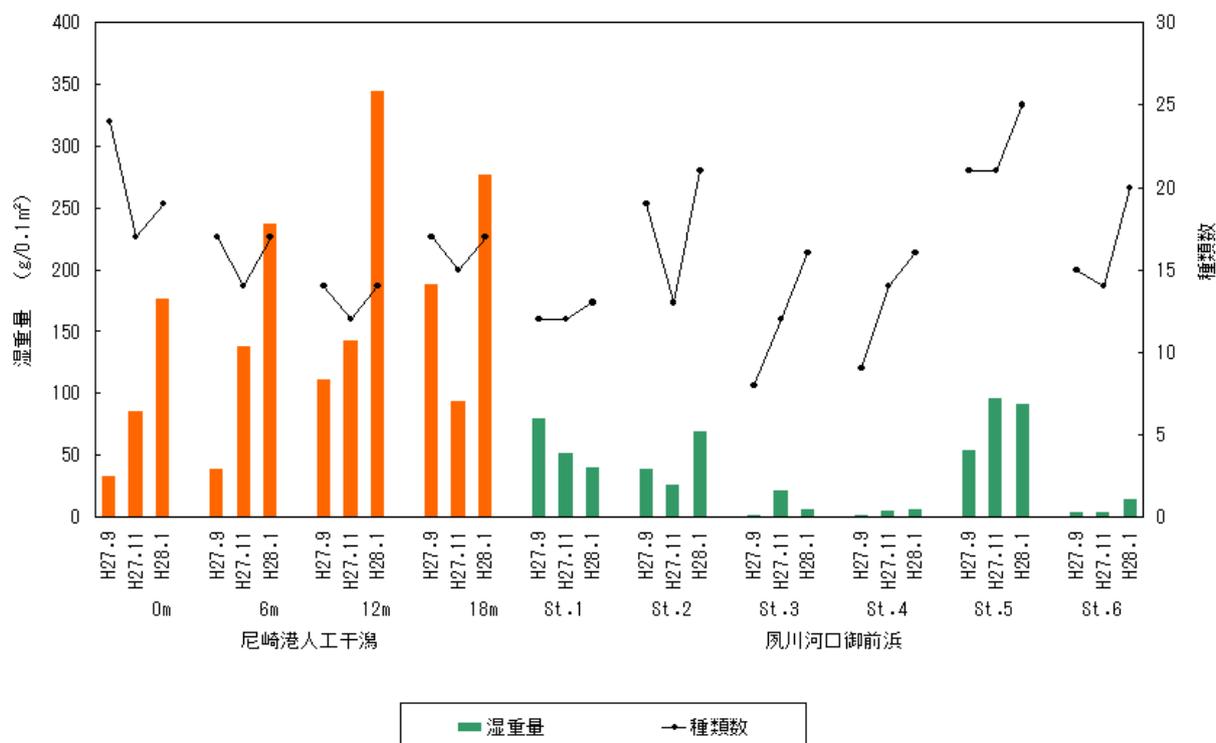
図(3)-8 尼崎干潟および御前浜における底生物の出現状況 (個体数および種類数)

最短の地点においては、貧酸素化の影響が少なかったため、9月における個体数および湿重量が11月を上回った。

御前浜においては、調査期間中には貧酸素化が認められなかったため、湿重量に関して明瞭な増加傾向は認められなかった。種類数においてはゴカイ類等の環形動物の出現により秋季から冬季にかけての増加傾向が認められた。この傾向は流入河川である夙川からの距離が長くなるにつれて明瞭になった。個体数に関しては冬季の方が多くなる地点が4地点を占めた。

尼崎干潟においては、コウロエンカワヒバリガイ、ホトトギスガイのようなイガイ類が全調査期間にわたって湿重量の80%以上、個体数の70%以上を占めた。隣接する垂直護岸が付着生成物の生息場となっていることが干潟内でのイガイ類の生物量面での優勢に繋がっていると考えられた。

御前浜においては、隣接する垂直護岸がないため軟体動物、環形動物、節足動物の出現状況、生物量ともに比較的偏りがなかった。



図(3)-9 尼崎干潟および御前浜における底生生物の出現状況（湿重量および種類数）

(3) イガイ類の炭素貯留量の季節変化

尼崎干潟において御前浜の2倍以上である350gから1000gの生物量を維持する主要種であるイガイ類（コウロエンカワヒバリガイ、ホトトギスガイ）に関して軟体部と貝殻部分の有機成分の変動量を既存の知見から推定した。

尼崎干潟におけるイガイ類の湿重量は今回の調査からは9月；337.35g、11月；418.89g、1月；980.15gであった。この値から、山田²⁾らによって算出されたイガイ類の軟体部重量比(SI 9月；34、11月；29、1月；33)を利用して軟体部湿重量および貝殻湿重量を計算した結果を表(3)-1示す。

$$SI = [\text{軟体部湿重量 (g)} / \{\text{軟体部湿重量 (g)} + \text{殻湿重量 (g)}\}] \times 100$$

表(3)-1 イガイ類の軟体部湿重量および貝殻湿重量

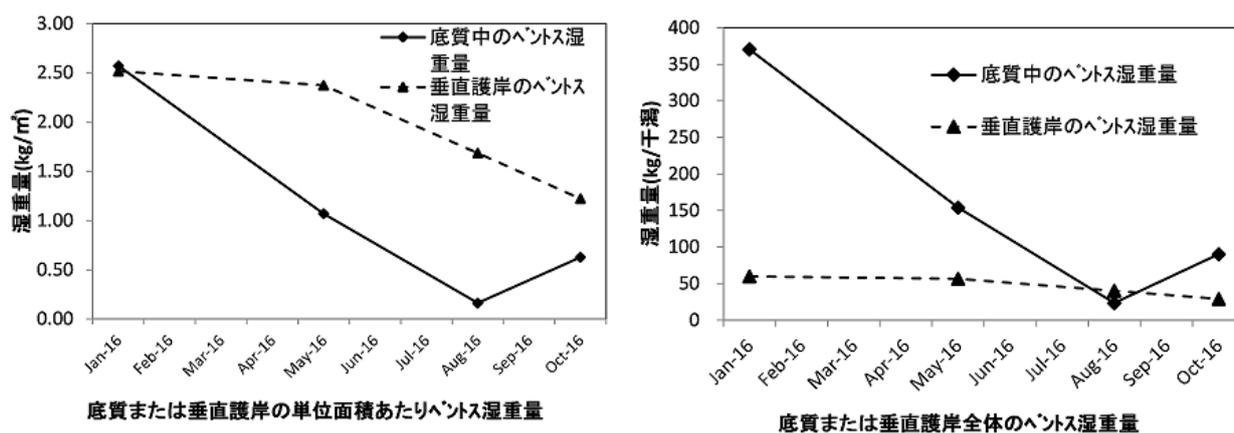
	9月	11月	1月
軟体部湿重量(g)	114.70	122.87	323.45
貝殻湿重量(g)	222.65	296.02	656.70

表(3)-1の結果から、気温が25℃を超えた9月を夏季、11月を秋季、1月を冬季とすると、秋季から冬季にかけてのイガイ類が保持する炭素貯留量の増加が認められた。

(4) 干潟底質および垂直護岸に生息する生物量

平成26及び27年度の調査から垂直護岸が隣接する尼崎干潟においては、垂直護岸に生息する生物の生物量が無視できない量になることが示唆された。大阪湾における海岸線延長の85%が人工海岸であることから炭素貯留についても一定の役割を果たすことが考えられたので、干潟に垂直護岸が隣接する尼崎干潟における生物調査結果(図(3)-10)を評価した。

単位面積当たりの生物量で比較すると、8月に25℃を超える高水温下でD0(溶存酸素)が1mg/Lを下回る貧酸素化海水に曝されることがあり、底質中のベントスは8月に生物量の激減が認められ10月に向けて回復が認められたが、垂直護岸においては底質中において8月に認められたほどの激減は認められず、8月以降の減少傾向が10月まで緩やかに継続した(図(3)-10左)。



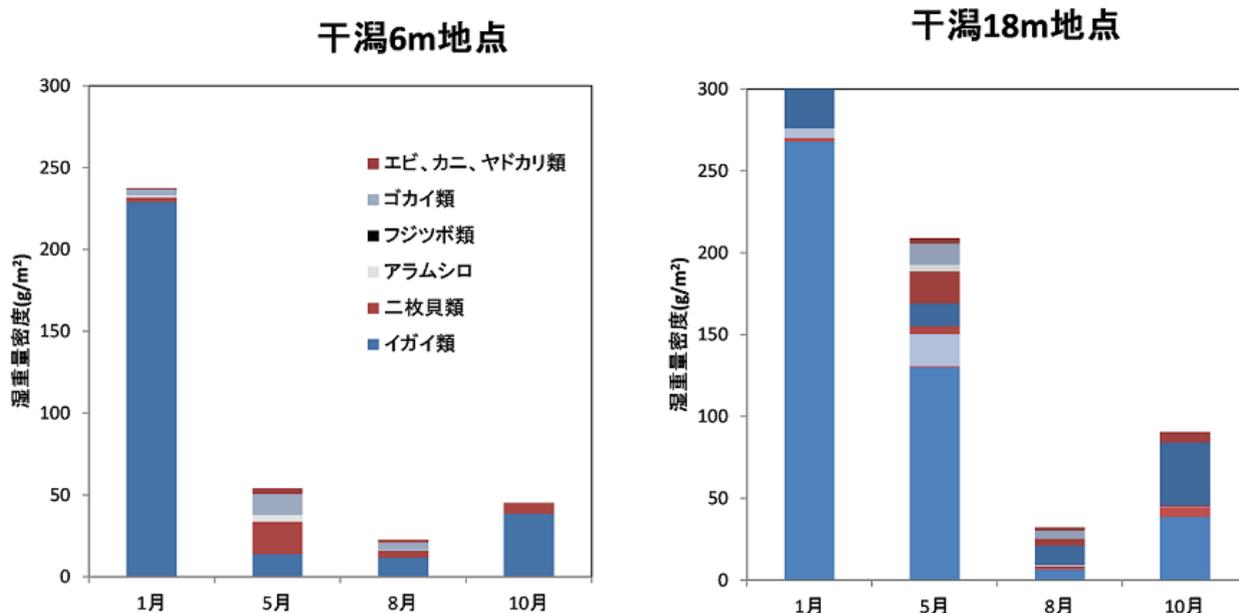
図(3)-10 干潟底質または垂直護岸の単位面積あたり(左)、
底質及び護岸全体(右)のベントス湿重量
調査地点全体の平均値により評価

干潟全体の底質中では、上述の8月に激減し10月に向けて回復した。一方、垂直護岸では生物が生息している面積が干潟底質表面積と比較して約6分の1であることから生物量は底質中と比較し

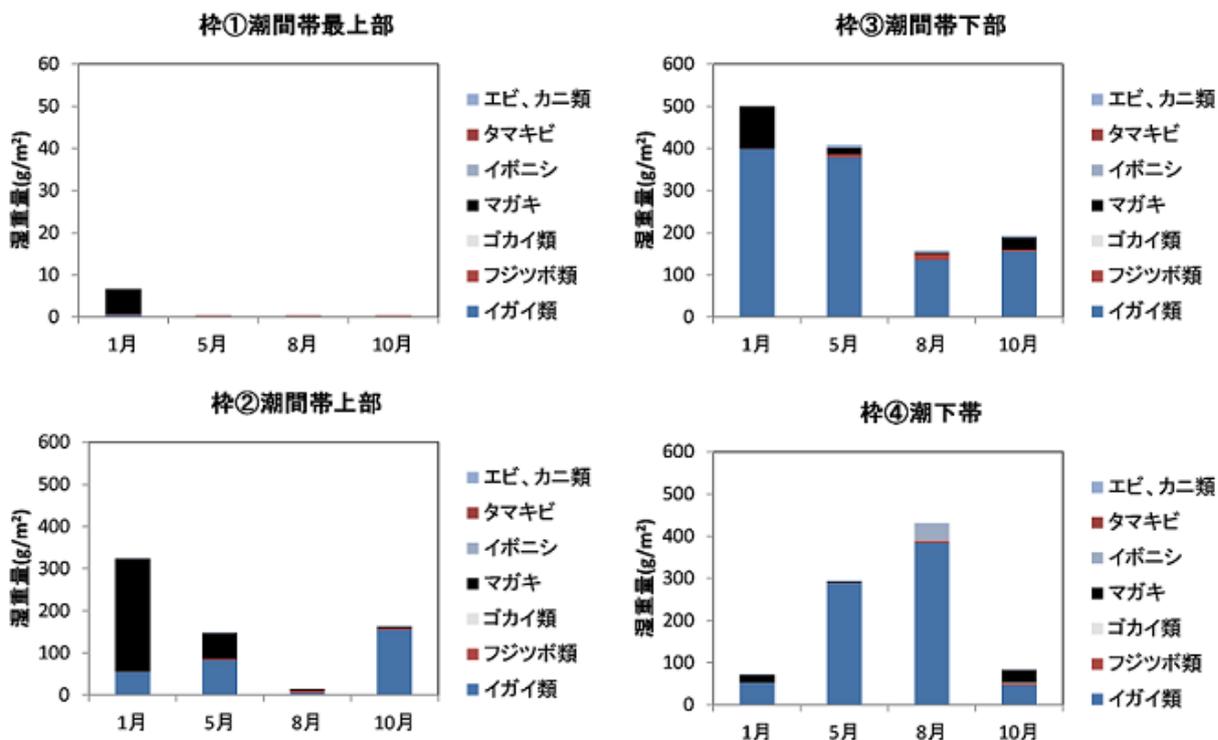
て少ないが、大きな変動は認められなかった。(図(3)-10右)

(5) 干潟底質および垂直護岸に生息する生物種の変化

干潟底質に生息する生物種ごとの量的な周年変動について図(3)-11に示す。6m地点及び18m地点共にコウロエンカワヒバリガイ及びホトトギスガイを主要な構成種としたイガイ類が優先種となった。5月にはアサリ等のイガイ類以外の二枚貝類、ゴカイ類のような堆積物食性を有する生物など種構成の多様化が認められたが、8月には貧酸素化海水の影響から生物量は激減し、10月に向けてイガイ類を主要種とした回復が認められた。



図(3)-11 干潟底質に生息する生物種ごとの量的周年変動



図(3)-12 垂直護岸に生息する生物種及び生息位置ごとの量的周年変動

垂直護岸に生息する生物種及び生息位置ごとの量的な周年変動について図(3)-12に示す。樁1は生存量は少ないがタマキビ類のような人工干潟内では見られない生物の生息場となっていた。夏季の日中に干出する樁②と樁③においては垂直護岸壁面の高温化のため乾燥、高温条件下で生物量が減少すると考えられた。樁④においては干出時間が最も短く、乾燥、高温下に曝される時間が限られること、垂直護岸面での波の破碎により酸素が供給されることから生物の成長による生物量の増加が認められ、樁②及び③とは異なる生物量の周年変動が認められた。

(6) 炭素貯留量の推定

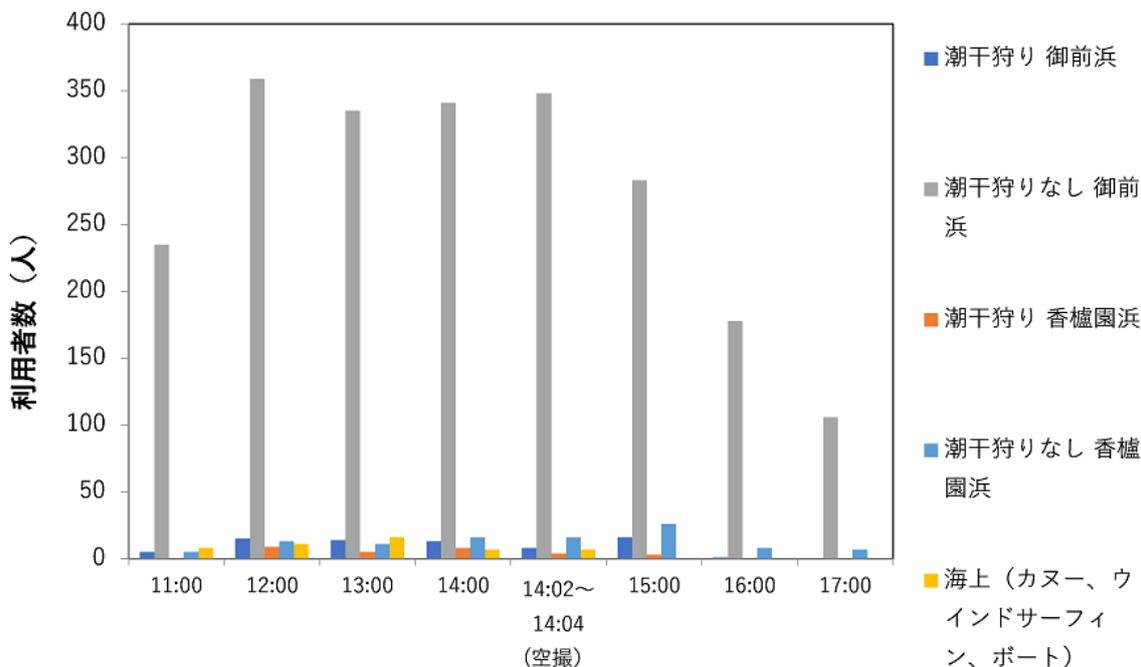
今回の調査から御前浜292(g-C/m²)、尼崎干潟376(g-C/m²)の結果を得た。同様の手法で実施した松名瀬、御殿場、谷津のような高い炭素貯留量を有する海岸には及ばないが貧酸素化など生物の生息に厳しい条件を有する干潟としては一定の炭素貯留量を保有することが示された。

(7) 干潟の利用強度調査

尼崎干潟は前述の通り人の出入りが原則ないので、市民の身近な憩いの場となっている御前浜及び夙川を挟んで西側に隣接する香櫨園浜において実施した結果を図(3)-13に示す。実施日の平成26年4月24日日曜日は天候が晴れで気温が24℃まで上昇した行楽日和であった。また、潮汐は中潮で14時18分の最干潮時には潮位が17cmとなり、干出面積が広がった。

いずれの干潟においても潮干狩りは実施されておらず、浜遊びを兼ねて特に対象を定めずに、

貝類、カニ類を採取する程度で生物の捕獲圧はごく小さいと考えられた。砂浜では球技やバーベキューのようなレクリエーションを楽しむ人々（図(3)-13では潮干狩りなしとしてカウント）が200人を超える規模であり、また海上にはカヌー、ウィンドサーフィン、ボートを楽しむ人がいたが総じてマナーは良好で生物生息場に深刻なダメージを与えることは考えられなかった。



図(3)-13 御前浜における休日来客数の経時的変化
(14時2分から14時4分以外の時間帯は現地での目視計数を実施した。)

(8) 大阪湾の干潟の適切な管理手法の検討

今回調査対象とした干潟である尼崎干潟は港内に位置し施錠管理されているため、景観多様度、利用強度ともに極めて小さい。この干潟が376(g-C/m²)という炭素貯留量を示したことは高い栄養塩類濃度に裏打ちされた生物生産ポテンシャル、ついでには炭素貯留機能を示している可能性がある。御前浜は市民に親しまれてきた半自然干潟であるため景観多様度、利用強度ともに今回調査対象となった干潟の中でも中位に位置している。このような条件下で御前浜292(g-C/m²)という炭素貯留量を示したことは、マナー良く利用して生物生息環境にダメージを与えなければ都市部に近接する半自然干潟において炭素貯留機能が期待できることを示している。

本研究では両干潟が位置する大阪湾奥海域が有する、富栄養化による生物相の単純化、海水の貧酸素化等、生物生息場として恵まれているとは言い難い条件を粘り強く改善し、高い栄養塩類濃度を生物生産に効率よく利用できるような生物生息場の保全を続けることにより、大阪湾奥の干潟は炭素貯留という新たな役割を担う可能性があることを示した。また、本調査において量的に無視できない生物が生息することが明らかになった垂直護岸が、①干潟底質内とは異なる生物の生息場を提供すること、②乾燥高温条件を免れる位置での生物生息場としての有効性、③貧酸素化海水の影響の低減、等多様な可能性を有することを見出したことは今後の海岸利用に有益な

知見を提供する可能性がある。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

立地条件、管理強度が異なる尼崎干潟と御前浜について、カーボンシンクを担う生物の種、存在量の相違、季節変化を明らかにした。また、垂直護岸に生息する生物による炭素貯留が考慮に値すること、干潟と組み合わせての生物生息場の拡大が考えられることを明らかにした。

(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>

これまで、富栄養化海域における水質浄化を目的として造成された人工干潟、レクリエーション、憩いの場として利用されてきた半自然干潟について炭素貯留の場としての新たな評価軸を提示したこと。また、垂直護岸について干潟と異なる生物生息場としての炭素貯留に関する可能性を示したこと。

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。

<査読付論文に準ずる成果発表>

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) 宮崎一、松林雅之、梅本諭、藤森一男：第49回日本水環境学会(2015)

「尼崎港人工干潟における潮位変動と栄養塩類の関係」

2) 宮崎一、松林雅之、梅本諭、藤森一男：第30回全国環境研協議会東海・近畿・北陸支部研

研究会(2016)

「干潟における植物プランクトンと底生生物調査結果」

3) 宮崎一、松林雅之、梅本諭、藤森一男：第50回日本水環境学会年会(2016)

「生物生息場としての尼崎港人工干潟内における垂直護岸の評価(ポスター発表)」

4) 宮崎一、矢部徹、石井裕一、国分秀樹：第51回日本水環境学会年会(2017)

「人工干潟の炭素貯留に関する垂直護岸の影響評価」

(3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

1) 平成28年度後期 西宮市生涯学習大学「宮水学園」マスター講座(主催：西宮市、2016年12月16日、フレンテ西宮4階学習室1、参加者30名)にて講演。演題「阪神間に残された貴重な干潟である御前浜および尼崎港人工干潟への期待」

(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) 大阪湾広域臨海環境整備センター：平成27年度環境監視調査(兵庫県)報告書(2017) 資料編
- 2) 山田ちはる、垣尾太郎、栗田浩成、伊谷 行：黒潮圏科学(Kuroshio Science)、3、138-143(2010)
高知県浦ノ内湾におけるイガイ科二枚貝類3種の繁殖期

1-1407 二次的自然「里海」の短寿命生態系におけるブルーカーボン評価に関する研究

(4) 伊勢湾の干潟と藻場が有するカーボンシンク機能の評価と立地履歴、管理強度の影響解析

三重県水産研究所 鈴鹿水産研究室

国分秀樹・羽生和弘

平成26～28年度累計予算額：12,666千円（うち平成28年度：3,591千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

ブルーカーボンと呼ばれる海洋生態系によって固定される炭素のうち、沿岸域における炭素固定は、主にマングローブやサンゴ礁等の長寿命生態系と、干潟藻場等の短寿命生態系によって行われている。本研究では、伊勢湾内の代表的な4カ所の干潟、アマモ場において、フラックスとストックの両面から炭素固定量と炭素貯留量を定量評価した。フラックスからの炭素収支の評価については、干潟とアマモ場の優占生物であるアサリとアマモに着目し、年間の現存量の変化より生産量と死亡（枯死）量を、明暗条件のチャンバーを用いた現場実験により、アサリの呼吸量およびアマモの呼吸量と光合成量を算出した。その結果、生産量（光合成量）と枯死量、呼吸量の総和から年間のアマモ場（草体のみ）および干潟の炭素固定量を推定すると、アマモ場（草体のみ）でそれぞれ、1.80t-C/ha/year、干潟では、2.23～3.08t-C/ha/yearと推算することができた。ストックからの炭素貯留量の評価については、干潟とアマモ場の有力な炭素ストック源である、マクロベントスおよびアマモ草体、堆積物（0-70cm）、植物プランクトンの年間の炭素現存量から死亡（枯死）後も長期間保存される難分解性物質量を算出し積算することにより算出した。その結果、干潟およびアマモ場における炭素貯留量はそれぞれ、29.5～35.7t-C/ha、47.7～48.5t-C/haと推算することができた。両者を比較することにより、短寿命生態系においても死亡（枯死）後にも長期間保存される炭素量の重要性を示すことができた。

さらに、各調査干潟とアマモ場の利用強度の調査結果と評価した炭素貯留量とを比較することにより、伊勢湾に適した干潟・藻場の管理手法を提案した。

[キーワード]

炭素貯留、干潟、アマモ場、フラックス、ストック、難分解性炭素

1. はじめに

国連環境計画（UNEP）に提唱され国際的に注目されているブルーカーボンとは海洋生態系の生物活動によって固定（隔離・貯留）される炭素の総称である。その量は地球全体の光合成活動によって固定される炭素の55%に相当すると見積もられている。我が国は島嶼国で海岸線延長は約3万5000km、国土面積当たりの海外線延長は世界6位と先進国では最大級であり、世界的に主要なブルーカーボン貯蔵国と評価されれば、沿岸生態系から大きな恩恵を受けていることになる。そのため我が国の沿岸に分布する生物の炭素固定がブルーカーボンに相当するの可否かは検証すべき重要な課題である。現在までのところ、亜熱帯を分布中心とするサンゴ礁やマングローブ林における炭素固定に関する研究が先行しているが、我が国の大部分を占める温帯沿岸浅海域に生息する生物は比較的短寿命であるため、それらの場では分解が卓越するものとして整理され、炭素固定に関する研究は十分になされてこなかった。

本研究では、沿岸の藻場・干潟等の短寿命生態系における主要な生態系機能としてカーボンシンク機能を取り上げ、それらを明らかにすることを目的とする。同時に、我が国の多くの沿岸は里海としてワイズユースが進められてきた歴史をもつが、現在では浅場の埋め立てや代償としての造成も進んでおり立地履歴が多様化している。また水産業やレクリエーションでの利用も含めた保全的管理やバードサンクチュアリのような保護的管理のように管理強度の強弱の影響についても検討する。本研究を通じて二次的自然である里海におけるカーボンシンク機能を調査し、ブルーカーボンとしての評価を行うことで沿岸浅海域に対する社会的・経済的価値の向上が見込まれ、さらには里海を含めた沿岸浅海域における生物多様性保全や自然再生の促進を通じた自然共生型社会の形成にも寄与できるものとする。

2. 研究開発目的

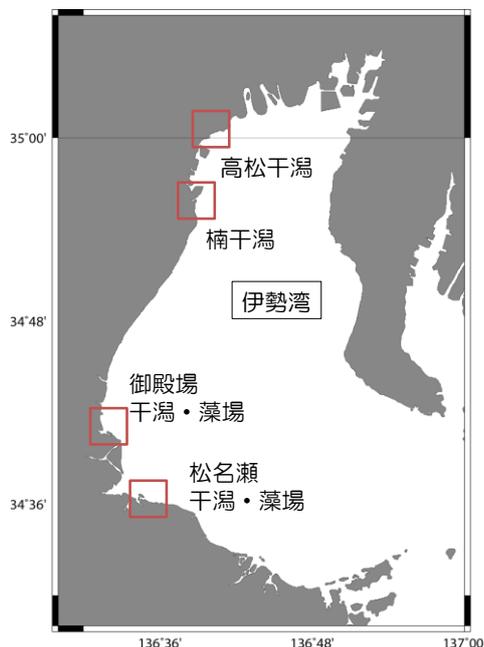
伊勢湾の干潟と藻場が有するカーボンシンク機能の評価と立地履歴、管理強度の影響解析を行うことを目的とし、①天然と造成アマモ場におけるカーボンシンク機能の評価および②優占二枚貝を指標として干潟のカーボンシンク機能の評価を実施し、③立地履歴・管理強度等が異なる調査地と比較することにより、水産生物の生産性とカーボンシンク機能を維持するための伊勢湾の干潟・藻場管理手法を提案する。

3. 研究開発方法

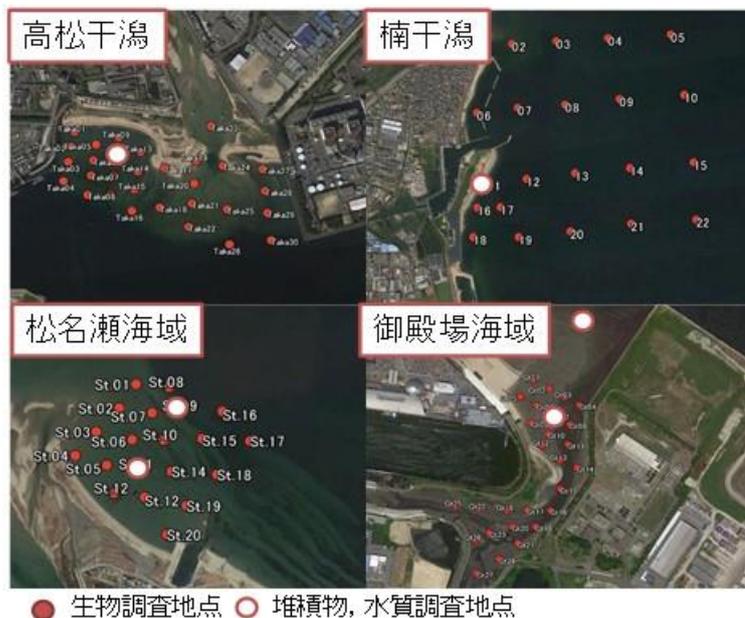
（1）調査地概要

本年度調査対象とした干潟を図(4)-1に示した。高松海岸は、伊勢湾北部海域の港湾区域内に残された天然の干潟であり、朝明川河口に沿って約28haに広がっている。港湾区域内のため漁業権は設定されておらず、春から夏にかけて多くの潮干狩り観光者が来訪する干潟である。楠干潟は三重県によりアサリ母貝場形成を目的に造成された干潟である。津市御殿場海域は天然の干潟と、三重県により造成されたアマモ場である。造成後3年以上経過し、造成時は約700m²であったが造成後安定的に繁茂し、現在では約20,000 m²まで拡大している。一方松阪市松名瀬海域は天然の干潟と、海岸線に沿って約100haに広がっている伊勢湾内で最大級の天然のアマモ場である。以上の

4箇所の干潟およびアマモ場を調査対象とした。



図(4)-1 調査海域の概要



図(4)-2 調査地点図

(2) 水質および底質の調査

1) 各干潟アマモ場における水質の調査

高松海岸および楠干潟、御殿場海岸、松名瀬海岸の水質調査地点を図(4)-2に示した。干潟アマモ場の水質調査地点において、ホースを用いた海底から海面までの柱状採水を実施し、蛍光光度法による海水中のクロロフィルa濃度を観測した。試料採取は、平成2015年4月より年4回、定期的に行った。

2) 堆積物中の炭素貯留量の調査

図(4)-2に示す、干潟藻場の各調査地点において、潜水作業により、直径10cm、深さ1mの柱状堆積物試料を採取し、深さ方向に1cmごとに分取した。採取したすべての試料は、乾燥粉碎後、CNコーダー (elementar社製Vario Max) にてそれぞれの炭素含有量を計測した。

(3) 生物調査

1) アマモ現存量の調査

図(4)-1に示した2箇所（御殿場、松名瀬）のアマモ場において、0.5m四方の方形枠内の地上部と地下部を潜水作業により全て採取した (n=3)。採取後、アマモ草体を栄養株、生殖株、種子、地下茎に分離し、60℃で48時間乾燥後、それぞれの重量を計測した。乾燥後の試料はミルを用いて粉碎し、希塩酸溶液 (1N) により付着物等の炭酸カルシウム分を除去した後、CNコーダー (elementar社製Vario Max) を用いて、それぞれの炭素含有量を計測した。試料採取は、2014年7

月から2015年5月まで隔月で定期的に実施した。

2) マクロベントスの現存量の調査

各調査地点において、グラブ型採泥器を用いて0.2m²、深さ25cmの干潟堆積物試料を採取し、1mmメッシュのふるいを用いて選別した後、ふるい上に残ったマクロベントスについて、軟体動物、節足動物、環形動物、その他に分類し、質重量の計測を行った。またさらにアサリについて、殻長、殻幅、殻高及び湿重量を計測した。また採取した一部のアサリは、殻長サイズ毎（5、10、15、20、25、30、35、40mm）に選別し、貝殻部と軟体部に分離した後、105℃で24時間乾燥し、CNコーダーにて（elementar社製Vario Max）炭素量を計測した。試料採取は、平成2014年12月より隔月、定期的に実施した。

(4) 炭素フラックスの収支による干潟藻場の炭素固定量の試算

1) アマモの光合成量と呼吸量の調査

図(4)-1に示した2箇所（御殿場、松名瀬）のアマモ場において、光合成による炭素固定量調査を実施した。アクリル製の明条件チャンバーと塩化ビニル製の暗条件チャンバーをアマモ場と裸地海底にそれぞれ設置し、水中モーターを用いて攪拌をしながら90分を1サイクルとして連続的に溶存酸素濃度の変化を観測した（図(4)-3）。1サイクルの観測終了後、チャンバーを開放状態にし、内部の溶存酸素量が周囲の海水と同等に回復したことを確認した後、次の観測サイクルを開始した。チャンバーには平均3株程度のアマモ草体が入るように設置した。設置の際には、葉状動物や付着珪藻の影響を排除するため、潜水作業により草体を掃除した後、計測を開始した。また並行して、現場海水を明暗条件の孵卵瓶に入れ、チャンバー付近に設置し、溶存酸素濃度の変化を計測した。アマモの光合成量は、アマモチャンバー内の溶存酸素変化から海底堆積物および水中の植物プランクトンによる光合成と呼吸による酸素消費を差し引くことで、下記の式よりアマモの呼吸速度と純生産速度を算出した。

$$C = (DO_{DC} - DO_{DB} - DO_{DW}) \cdot V/S/t \quad \text{式(4)-1}$$

$$P = \{(DO_{LC} - DO_{LB} - DO_{LW}) - (DO_{DC} - DO_{DB} - DO_{DW})\} \cdot V/S/t \quad \text{式(4)-2}$$

ここでCはアマモの呼吸速度、Pはアマモの純生産速度、DO_{LC}は明条件のアマモチャンバー内の溶存酸素変化量、DO_{LB}は明条件ベンシクチャンバー内の溶存酸素変化量、DO_{LW}は明瓶内の溶存酸素変化量、DO_{DC}は暗条件のアマモチャンバー内の溶存酸素変化量、DO_{DB}は暗条件のベンシクチャンバー内の溶存酸素変化量、DO_{LW}は明瓶内の溶存酸素変化量、DO_{DW}は暗瓶内の溶存酸素変化量、Vはチャンバーの容積、Sはチャンバーの底面積、tは1サイクルの観測時間を示す。さらに上式で算出された呼吸速度と純生産速度から、アマモの二酸化炭素排出量と酸素消費量の比（呼吸商）を1と仮定し、炭素量固定量と炭素放出量を推定した。光合成量の調査は、現存量調査と同様に、2014年7月から2015年5月まで隔月で定期的に実施した。

2) アマモの炭素固定量の推定

アマモは、光合成により草体生産を行うことにより海中から炭素を固定する一方、呼吸と枯死分解により海中へ二酸化炭素を放出すると考えられる。本研究では、枯死分解後は全て二酸化炭素に回帰すると仮定して推定を行った。アマモの炭素収支は、上記で観測したアマモ草体の生産量、枯死量、光合成量と呼吸量をそれぞれ算出し、それらの総和により推定を行った（図(4)-4）。

3) アサリの呼吸量の調査

上記調査でサイズ毎に選別したアサリの一部を用いて、呼吸量の調査を実施した。約550℃で5時間乾燥させた後、酸素消費がないことを確認した焼き砂に潜砂させ、約1日海水中に馴致させた。馴致後、アクリル製のチャンバー内に移設し、一定温度（10、20、30℃）、暗条件の下、約1時間連続的に溶存酸素濃度の変化を観測（WTW社製Oxi340i）した（図(4)-5）。



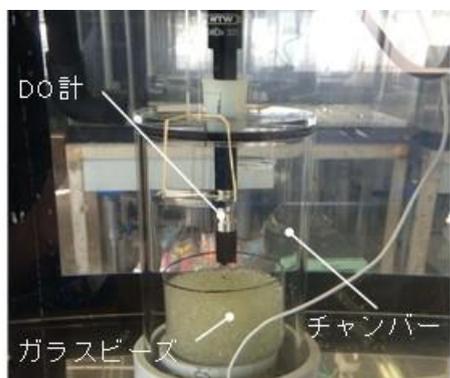
図(4)-3 アマモ場に設置したチャンバー



図(4)-4 アマモの炭素収支の概念図

4) アサリの呼吸量の調査

本研究で考えるアサリの炭素固定の概念図について図(4)-6に示す。アサリは呼吸及び死亡による軟体部の分解により炭素を放出しているのに対し、軟体部と貝殻の成長により、炭素を固定していると考えられる。以上より、それぞれの収支から優占二枚貝であるアサリの炭素収支を推定した。



図(4)-5 アサリの呼吸量調査



図(4)-6 アサリの炭素収支の概念図

(5) 干潟藻場の利用強度調査

図(4)-2に示す、高松海岸(15ha)および楠干潟(6ha)、御殿場海岸(10ha)、松名瀬海岸(14ha)において、潮干狩り来客数と採取物の調査を行った。調査は2016年4月19日の大潮の干潮時に実施した。最干時の前後3時間において、1時間ごとに、潮干狩りをしている人数とそれ以外の人数をカウントした。併せてランダム50名について、採取物(総湿重量及び種類数)の調査を実施した。また並行して、航空写真により、最干時の前後の海岸の状況を撮影し、写真判読により人数カウントを実施した。

4. 結果及び考察

(1) 各干潟アマモ場における、水質底質およびマクロベントス

高松干潟および楠干潟、御殿場干潟・アマモ場、松名瀬干潟・アマモ場における、水中クロロフィルa濃度及び表層から約10cmの底質中の無機炭素及び有機炭素量、マクロベントスの湿重量の1年間調査結果を表(4)-1に示した。水中のクロロフィルa濃度は、伊勢湾最奥部に位置する高松干潟で76.12 μ g/Lと最も高く、湾口に位置する干潟ほど低くなった。これは、湾奥部は伊勢湾最大の流入河川である木曾三川の影響によるものであると考えられた。マクロベントスについては、楠干潟で最も低く、高松干潟、御殿場干潟、松名瀬の順に高くなった。また、干潟よりもアマモ場内のほうが、約1.5~2倍生物量が多くなった。

底質中の無機炭素量は、楠干潟で最も低く、その他の干潟では、約0.4%であった、また松名瀬のアマモ場では0.5%と最も高くなった。底質中の無機炭素は、底生生物の死亡後に蓄積した貝殻成分と考えられる。特に、造成後2年しか経過していない楠干潟では、底生生物の定着が少ないため、低くなったことが推測された。底質中の有機物量については、各干潟のそれに対し、アマモ場内で有意に高くなった。

表(4)-1 各調査干潟、アマモ場における、水中クロロフィルa濃度及び底質中の無機有機炭素量、マクロベントスの湿重量の1年間の最大値

		単位		楠	高松	御殿場	松名瀬
マクロベントス (干潟)	マクロベントス総重量	gWW/m ²	最大値	269.1	693.2	3961.0	5316.1
	軟体動物重量	gWW/m ²	最大値	181.2	573.2	3845.3	5254.9
	節足動物重量	gWW/m ²	最大値	3.3	1.3	3.5	4.5
	環形動物重量	gWW/m ²	最大値	84.5	118.6	112.2	56.7
マクロベントス (アマモ場)	マクロベントス総重量	gWW/m ²	最大値			7922.0	10632.2
	軟体動物重量	gWW/m ²	最大値			7690.6	10509.8
	節足動物重量	gWW/m ²	最大値			6.9	9.0
	環形動物重量	gWW/m ²	最大値			224.5	113.4
	アマモ現存量	gWW/m ²	最大値			1782.4	2134.5
	藻場面積	ha			2.0	5.0	
	後背地面積	ha		1.0	5.0	3.0	3.0
	干潟面積	ha		5.0	10.0	7.0	11.0
干潟堆積物	無機炭素量	%(10cm)	最大値	0.148	0.402	0.391	0.417
	有機炭素量	%(10cm)	最大値	0.345	0.282	0.272	0.321
アマモ場堆積物	無機炭素量	%(10cm)	最大値			0.388	0.508
	有機炭素量	%(10cm)	最大値			0.432	0.387
水質	クロロフィルa	ug/L(chl-a)	最大値	67.32	76.12	34.76	25.66

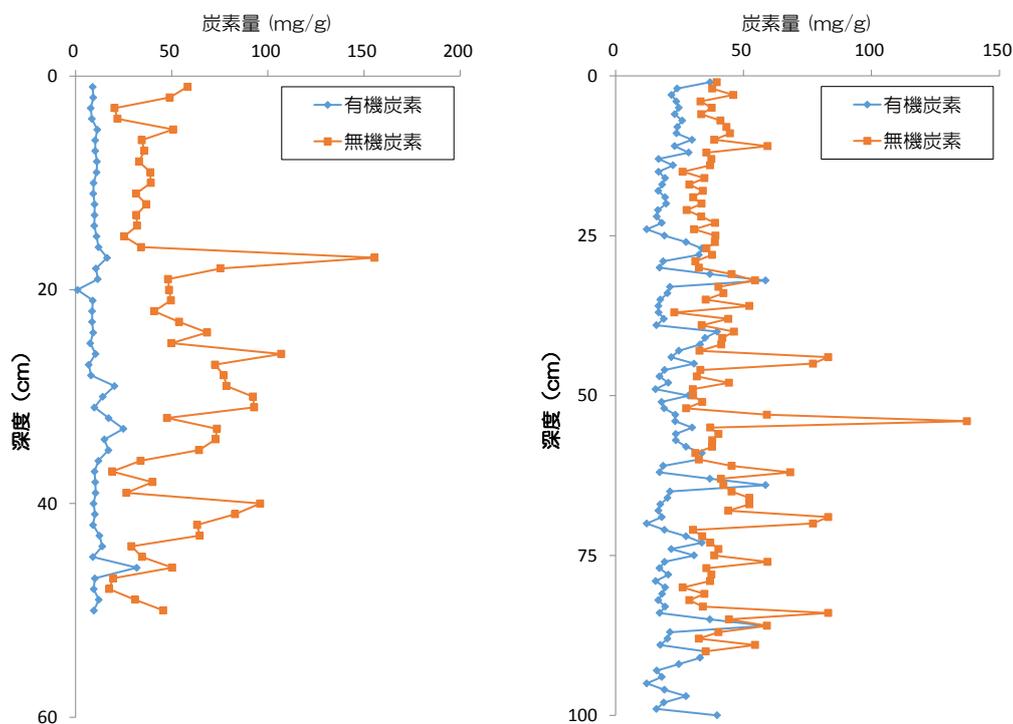
さらに、分類別のマクロベントス及びアマモ草体、植物プランクトンの炭素含有率を表(4)-2に示した。

表(4)-2 マクロベントス及びアマモ中の炭素含有率

単位	アサリ			アマモ			節足動物	環形動物
	貝肉	貝殻	種子	栄養株	生殖株	地下茎		
有機炭素 (%)	31.72	0.82	51.30	33.00	32.70	41.20	23.48	46.44
無機炭素 (%)	0.00	10.82	0.00	0.00	0.00	0.00	3.30	0.00

(2) 堆積物中炭素の鉛直分布

高松干潟および御殿場干潟の堆積物中の有機、無機炭素の鉛直分布を図(4)-7に示した。表層から1mの深さまで有機炭素は20~50mg/g、無機炭素で30~130mg/g含まれていることが分かった。特に無機炭素は、目視や酸処理による定性調査の結果、底生生物の死亡後の貝殻等の炭酸カルシウムであった。海域の堆積物中には、有機炭素無機炭素共に大きな変動はなかった。ここでは示していないが、楠干潟、松名瀬干潟などの他の調査地点居着いても同様の傾向を示した。また、サブテーマ1で示された、堆積物中の難分解性の無機及び有機炭素(図(4)-15)はそれぞれ約95%、約30%以上であることから、干潟藻場の堆積物中には、長期間生物由来の無機、有機



図(4)-7 御殿場干潟(左)および高松干潟(右)の堆積物中の無機炭素および有機炭素の鉛直分布

炭素が蓄積されていることが明らかになった。また、本研究では計測は行っていないが、Lu&松本ら¹⁾により伊勢湾沿岸域の堆積速度は約2.0~3.0cm/年であると報告されている。そのことから、干潟藻場域の1mの堆積物は、約30~50年分と推測でき、このことから長期に炭素が蓄積されることが示唆された。

(3) 炭素フラックスの収支による干潟藻場の炭素固定量の試算

1) アマモ草体の炭素含有量

栄養株、生殖株、種子、地下茎に分離したアマモ草体の炭素含有量の年平均値を表(4)-2に示した。栄養株と地下茎は年間を通して採取できたが、生殖株と種子については、5~9月調査のみで採集できたためその平均値を示した。生殖株と栄養株の炭素含有量は約33%とほぼ同等であり、地下茎では41.2%、種子は51.3%と、栄養株と生殖株と比較して高い値となった。これは、種子や地下茎には、デンプン質が高く含まれることが理由として考えられた。

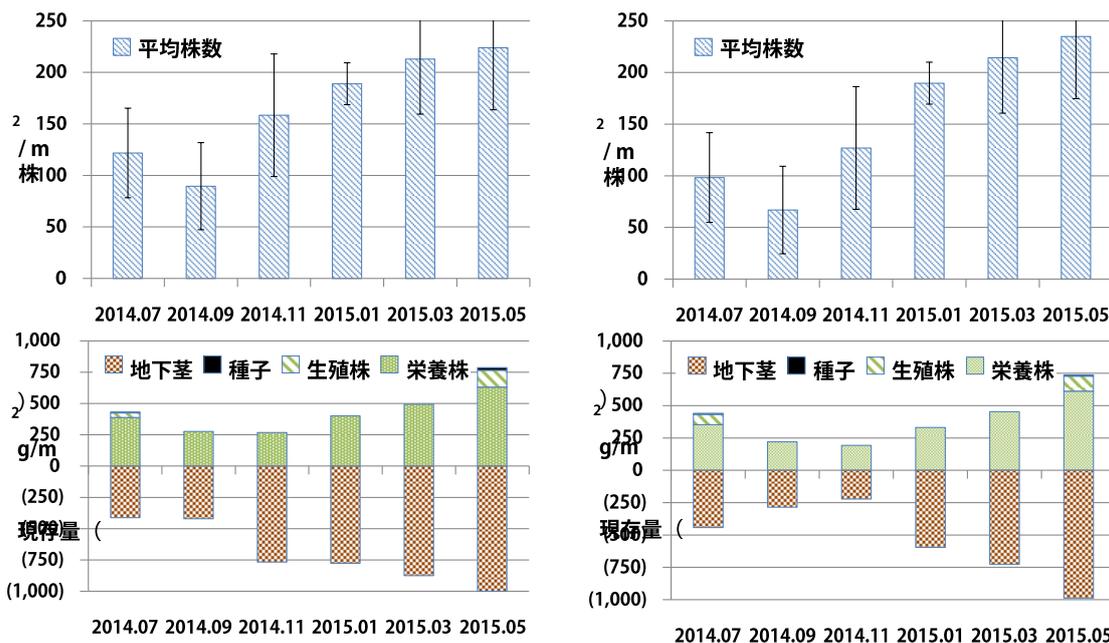
2) アマモ草体の生産量と枯死量の推定

御殿場および松名瀬のアマモの現存量（乾燥重量）とそれぞれの炭素含有量から算出した草体地上部（栄養株、生殖株、種子）と地下部（地下茎）の炭素量と草体株密度の変化を図(4)-8に示した。両海域ともに現存量及び草体株密度が最大になったのは5月であり、その現存量は御殿場海域で地上部が762g-DW、地下部が998g-DW、松名瀬海域では地上部が742g-DW、地下部が992g-DWであった。一方、両海域とも株密度が最小になったのは9月であったが、現存量が最小になったのは、御殿場海域は9月で地上部、地下部それぞれ262g-DW、358g-DW、松名瀬海域では11月で、地上部、地下部それぞれ202g-DW、240g-DWであった。以上より、御殿場と松名瀬海域の造成と天然アマモ場では、伊勢湾のアマモの繁茂期にあたる春期（3~5月）にかけて、地上部、地下部共に草体株密度と現存量が最大になり、高水温時期を越えた秋期（9~11月）に現存量が少なくなるという、周期的な増減を繰り返し、その繁茂状況は両海域でほとんど違いはないことが分かった。そこでその現存量の変化より、次式を用いて両海域におけるアマモの成長による生産量と枯死量を算出した。

$$P = \sum (W_{S_{t+1}} - W_{S_t}) \times C_s + \sum (W_{M_{t+1}} - W_{M_t}) \times C_m + \sum (W_{E_{t+1}} - W_{E_t}) \times C_e + \sum (W_{R_{t+1}} - W_{R_t}) \times C_r \quad \text{式 (4)-3}$$

$$M = \sum (W_{S_t} - W_{S_{t+1}}) \times C_s + \sum (W_{M_t} - W_{M_{t+1}}) \times C_m + \sum (W_{E_t} - W_{E_{t+1}}) \times C_e + \sum (W_{R_t} - W_{R_{t+1}}) \times C_r \quad \text{式 (4)-4}$$

ここで P はアマモ草体の生産量、 M はアマモ草体の枯死量、 C_s 、 C_m 、 C_e 、 C_r はそれぞれアマモ草体の各部位（種子、生殖株、栄養株、地下茎）の単位面積あたりの炭素含有量、 W_s 、 W_m 、 W_e 、 W_r はそれぞれアマモ各部位（種子、生殖株、栄養株、地下茎）の単位面積あたりの乾燥重量、 t は観測時期を示す。その結果、今年度の調査における御殿場および松名瀬のアマモ場の生

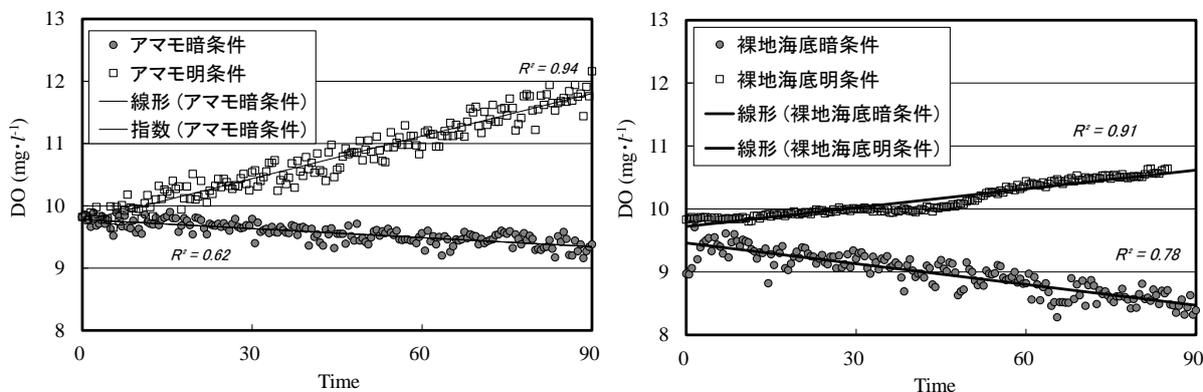


図(4)-8 御殿場海域の造成アマモ場（左図）と松名瀬海域の天然アマモ場（右図）におけるアマモ株密度（上段）とアマモ現存量（下段）

産量は炭素換算でそれぞれ361g-C/m²/year、419g-C/m²/year、枯死量は炭素換算でそれぞれ122g-C/m²/year、168g-C/m²/yearと推算することができた（表(4)-3）。

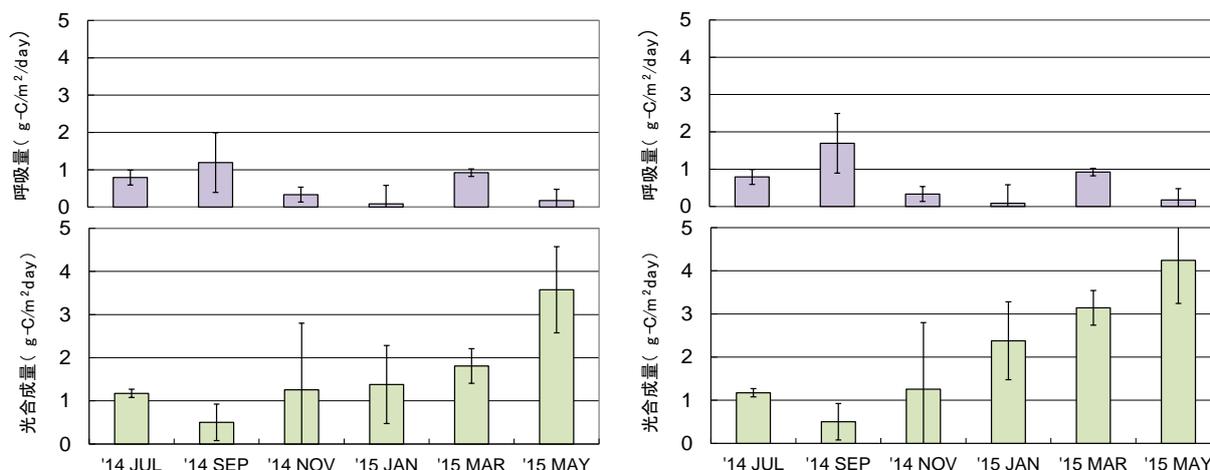
3) アマモの呼吸量と光合成量の推定

2014年11月に御殿場海域のアマモ場と隣接した裸地海底に設置した明暗条件のアマモチャンパーとベンシックチャンパー内の溶存酸素濃度の変化を図(4)-9に示した。明条件のチャンパー内の溶存酸素濃度はほぼ直線的に増加していた。これは、ベンシックチャンパー内では裸地海底の堆積物上に生息する底生微細藻類により、アマモチャンパー内ではアマモ草体と海底堆積物上の



図(4)-9 御殿場海域の造成アマモ場におけるアマモチャンパー内の溶存酸素濃度の変化(左図)と隣接した裸地海底上におけるベンシックチャンパー内の溶存酸素濃度の変化(右図)

底生微細藻類により光合成が行われていることが考えられる。特にアマモ場内では、観測中に過飽和になるほどの酸素が光合成により生成されていることが確認できた。一方暗条件では、各チャンバー内の溶存酸素濃度がほぼ直線的に減少することが確認できた。これはアマモ草体および海底堆積物中の底生生物やバクテリア等の呼吸により、各チャンバー内の海水中の酸素濃度が減少していることが理由として考えられた。以上のチャンバーを用いたアマモ場の溶存酸素濃度変化量から式(4)-3、(4)-4を用いてアマモの呼吸量と光合成量を算出し、図(4)-8に示した、御殿場および松名瀬両海域のアマモの株密度で補正することにより、呼吸による炭素排出量と光合成による炭素固定量の季節変化を算出した結果を図(4)-10に示した。



図(4)-10 御殿場海域の造成アマモ場（左図）と松名瀬海域の天然アマモ場（右図）における呼吸速度と光合成速度の経時変化

御殿場海域のアマモの光合成量は、現存量と同様に変化し、繁茂期にあたる5月には3.57g-C/m²/dayと最も高く、現存量の最も低くなる9月に0.50g-C/m²/dayと最も少なくなった。一方同海域の呼吸量は、最も水温の高い9月に0.12g-C/m²/dayと最大値を示したが、最も水温の低い1月に0.08g-C/m²/dayと最小になった。通年の調査結果から、年間の呼吸量と光合成による炭素固定量を試算し、表(4)-3に示した。御殿場と松名瀬で呼吸量はそれぞれ262 g-C/m²/year、299g-C/m²/year、光合成量はそれぞれ609 g-C/m²/year、647g-C/m²/yearとなった。ここで推定された光合成による炭素固定量と前述したアマモ草体の最大現存量から算出した炭素固定量から年間の

表(4)-3 アマモ場における炭素固定量および排出量

場所	面積 (ha)	炭素固定量 (g-C/m²/year)		炭素排出量 (g-C/m²/year)		P/B比
		草体生産量	光合成量	草体枯死量	呼吸量	
御殿場 (造成)	2	361	609	122	262	1.7
松名瀬 (天然)	100	419	647	168	299	1.5

生産量と最大現存量の比（P/B比）を算出すると、御殿場海域の造成アマモ場で1.7、松名瀬海域の天然アマモ場で1.5となり、三陸沿岸や瀬戸内沿岸域²⁾における既往のアマモ場のP/B比4.0よりも低い値を示した。

4) アマモ場における炭素収支の推定

前述の結果から推定した図(4)-4の概念図に示した生産量（光合成量）、枯死量および呼吸量を用いて、アマモ場における炭素固定量および排出量を算出し表(4)-3に示した。アマモ草体の炭素固定量は前述した光合成による炭素固定量とした。一方、アマモの炭素放出量は、草体の枯死量と呼吸量の和とし、御殿場と松名瀬海域でそれぞれ、 $384\text{g-C/m}^2/\text{year}$ 、 $467\text{g-C/m}^2/\text{year}$ となった。また排出量である呼吸量は、枯死量と比較して約2倍であった。

以上の結果より、炭素固定量と放出量の総和から年間のアマモの炭素固定量を算出すると、御殿場と松名瀬海域でそれぞれ、 $225\text{g-C/m}^2/\text{year}$ 、 $180\text{g-C/m}^2/\text{year}$ と推算でき、御殿場の造成干潟のほうが、松名瀬の天然干潟よりも高い炭素固定量であった。これは松名瀬の天然アマモ場は100haと伊勢湾内最大級のアマモ場であり、過去から長期間安定的に定着している。一方御殿場の造成アマモ場は、造成直後は0.1 haであったが、造成後10年間で約2 haに伸長し、現在も周辺部へ拡大しているアマモ場である。以上の理由により安定的な松名瀬と比較して生産量が高くなったことが理由として考えられた。

この値は、伊藤らによる³⁾、国内の代表的な海藻（草）場の炭素循環から算出した、長期的な炭素固定量は、アマモ場で $100\text{g-C/m}^2/\text{year}$ 、アラメ・カジメ場で $1670\text{g-C/m}^2/\text{year}$ 、コンブ場およびガラモ場でそれぞれ $130\text{g-C/m}^2/\text{year}$ および $600\text{g-C/m}^2/\text{year}$ と試算されている。一方陸域における森林の炭素固定量に着目してみると温帯林の純一次生産量は $650\text{g-C/m}^2/\text{year}$ と報告されている⁴⁾。これらと比較すると、伊勢湾内のアマモ場の炭素固定量は、森林の炭素固定量の約1/3程度、アラメ・カジメ場の約1/8程度であった。

以上より、御殿場海域の造成アマモ場と松名瀬海域の天然アマモ場の面積がそれぞれ2ha、100haであることから、両海域における炭素収支を算出すると、御殿場海域のアマモ場で 4.5t-C/year 、松名瀬海域のアマモ場で 180t-C/year の炭素をブルーカーボンとして固定していることが分かった。

5) アサリの生産量と死亡量の推定

アサリの貝肉と貝殻の炭素含有量は、平均値でそれぞれ31.7%、10.8%であった。サイズ毎（5、10、15、20、25、30、35、40mm）に計測した殻長と貝肉有機炭素量および貝殻無機炭素量の関係を図(4)-11に示した。この関係より、殻長－貝肉有機炭素量および殻長－貝殻無機炭素量のアロメトリー式をそれぞれ検討した。その結果、殻長（L、mm）－貝肉有機炭素量（TOC、g）のアロメトリー式は、 $\text{TOC} = 1.2 \times 10^{-6} \times L^{3.27}$ （決定係数：0.96）、殻長（L、mm）－貝殻無機炭素量（TIC、g）のアロメトリー式は、 $\text{TOC} = 3.2 \times 10^{-6} \times L^{3.21}$ （決定係数：0.95）となり、調査海域のアサリに共通のアロメトリー式が適用可能であることが示された。

アサリの現存量の変化から算出した、年級群毎のアサリ個体密度の変化と殻長の変化を図(4)-12に示した。アサリは通年ほぼ2～3つの年級群が存在した。また、新規加入と考えられる2mm以上の個体は、高松干潟では春期のみ、楠干潟では春期と周期の2回確認できた。高松干潟では

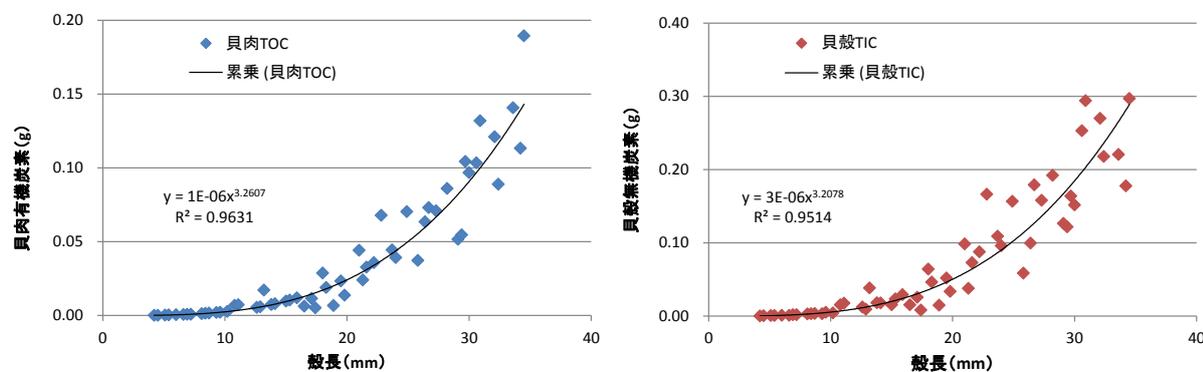
その後約2年で30mm以上に成長することが確認できたが、楠干潟では、25mm程度までしか成長が確認できなかった。一方個体密度については、高松干潟では、新規加入時には10000個体/m²以上の密度であったが、成長と共に徐々に減少し、20mmを越えると特に春期から夏期にかけて密度が激減した。これは、潮干狩りとカキの台風等による出水の影響と考えられた。また、楠干潟では、新規加入時には1000～2000個体/m²の密度であったが、成長と共に徐々に減少し、20mmを越えると特に冬期にかけて密度が激減した。この原因は冬期の波浪による影響が考えられた。

本研究では図(4)-12のアサリの成長曲線および個体群密度から図(4)-11に示したアサリの殻長と各項目の関係を用いて下記の式を用いて生産量、死亡量を算出した。

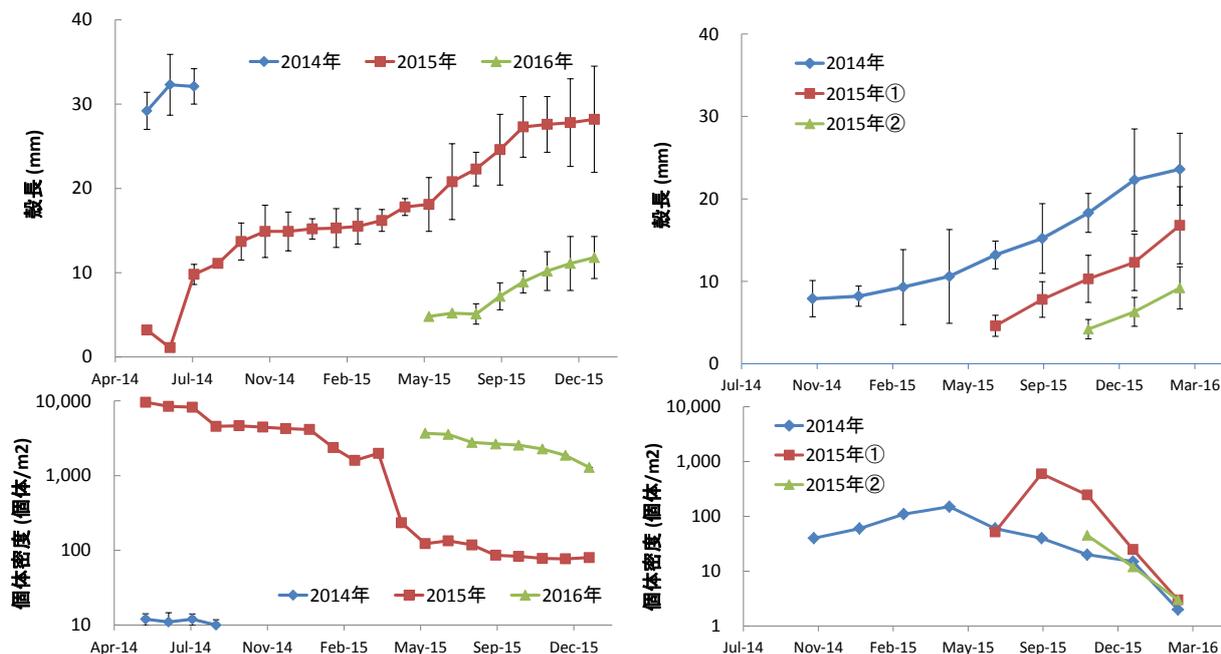
$$P = \sum (W_{t+1} - W_t) \times (N_{t+1} + N_t) / 2 \quad \text{式(4)-5}$$

$$M = \sum (W_{t+1} + W_t) \times (N_t - N_{t+1}) / 2 \quad \text{式(4)-6}$$

ここでP：成長量、M：死亡量、W_t：コホートの平均乾燥重量、N_t：コホートの平均個体群密度を表す。その結果貝殻と軟体部の炭素含有量と個体の成長と死亡速度から、貝殻と貝肉の生産量と死亡量を算出すると、貝殻の生産量と死亡量は、高松干潟でそれぞれ2.52、2.08 tC/ha/year、吉崎海岸でそれぞれ1.62、1.55 tC/ha/year、貝肉の生産量と死亡量は、高松干潟でそれぞれ0.54、0.34 tC/ha/year、吉崎海岸でそれぞれ0.32、0.25 tC/ha/yearと算出できた。



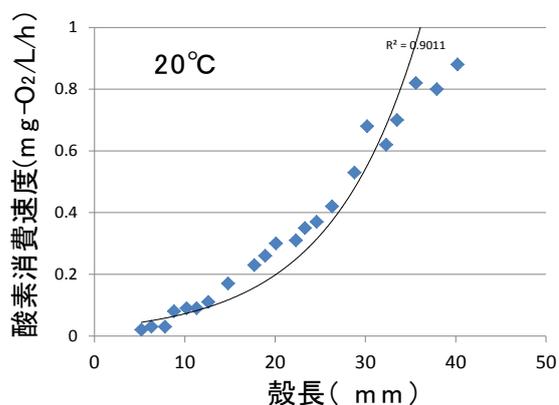
図(4)-11 アサリの殻長と貝肉有機炭素量（左）および貝殻無機炭素量（右）の関係



図(4)-12 高松干潟（左）および吉崎海岸（右）におけるアサリの殻長と個体密度の経時変化

6) アサリの生産量と死亡量の推定

図(4)-13に20℃におけるアサリの殻長と酸素消費速度との関係を示す。アサリの殻長と呼吸量との関係から10、20、30℃における回帰式を決定した。アサリの酸素消費速度は測定温度が上昇するほど速くなる傾向が確認された。30℃および10℃の平均の1個体当たりの酸素消費速度は、それぞれ103.8および20.3 μL O₂/hであり、年間を通じた呼吸による炭素排出量は高松干潟で1.70tC/ha/year、楠干潟で0.89tC/ha/year、と試算できた。



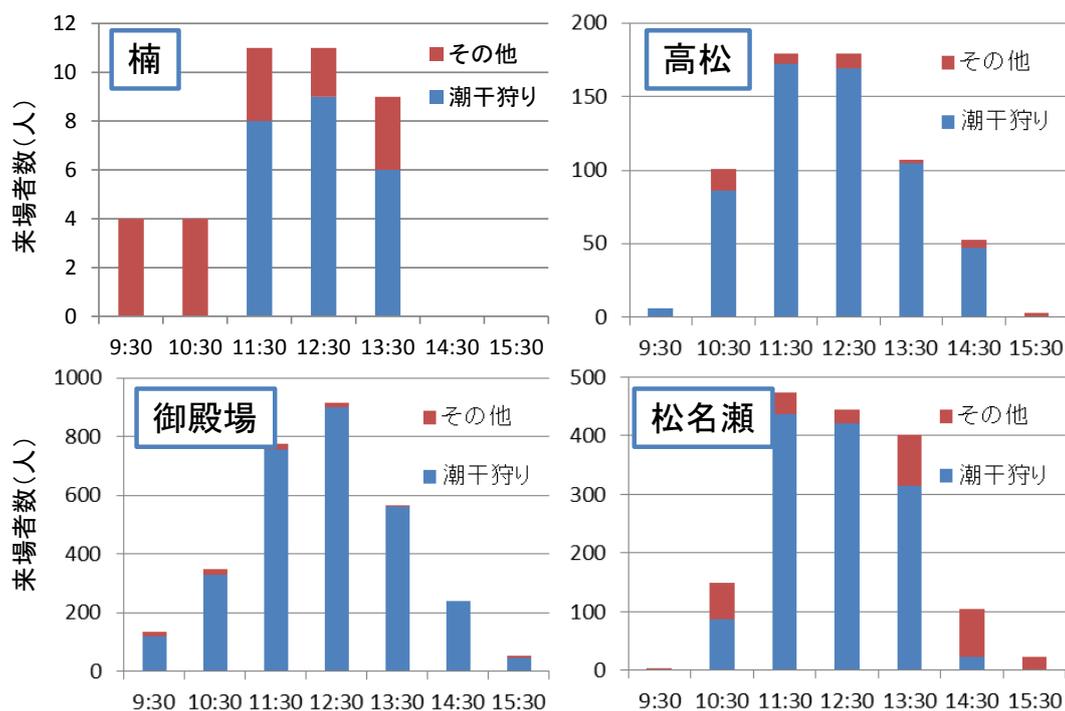
図(4)-13 アサリの殻長と酸素消費量との関係

7) アサリの生産量と死亡量の推定

本研究で考えるアサリの炭素固定の概念図について図(4)-6に示す。アサリは呼吸及び死亡による軟体部の分解により炭素を放出しているのに対し、軟体部と貝殻の成長により、炭素を固定していると考えられる。以上より、それぞれの収支から優占二枚貝であるアサリの炭素収支を推定した。その結果、高松海岸の天然干潟と、楠干潟の造成干潟におけるアサリの炭素固定量は、それぞれ、3.08t/ha/year、 2.23 t/ha/yearと試算できた。

(4) 干潟藻場の利用強度調査

図(4)-14に各干潟藻場における、4月19日の潮干狩りおよびその他の目的の来客数の1時間ごとの変化を示した。各干潟とも最干時の12時前後に来客数が最大になった。また1時間あたりの平均来場者数は人工干潟である楠干潟で約7人と最も少なく、御殿場海岸では、約430人と最も大きかった。また、航空写真による来客者の判読状況と、来客者の採取物の内容と平均量を表(4)-4に示した。楠を除く干潟では、ハマグリが主な採取物であり、次いでアサリ、マテ貝であった。平均採取量は1人あたり1.3~3.2キロであった。以上より、1日あたりの各干潟の単位面積あたりの採取量は、高松干潟で約67kg/ha、御殿場で約345 kg/ha、松名瀬で約48 kg/haトンであった。これらは、年間の平均的な現存量のそれぞれ、約1%、約1%、約0.1%であった。



図(4)-14 各干潟における1時間ごとの来客数の変化

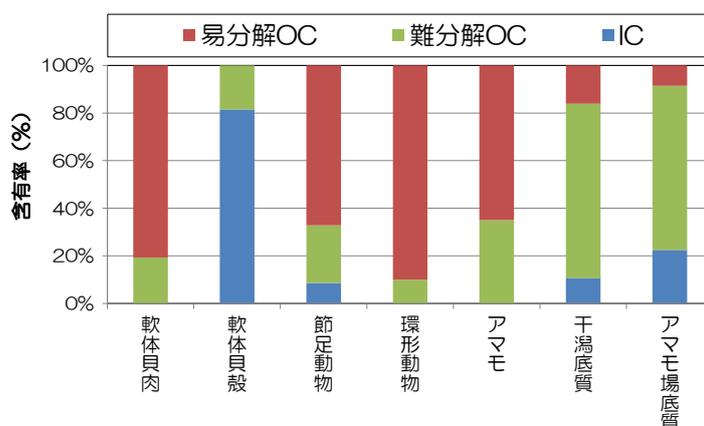
表(4)-4 各干潟における採取物の概要

	楠	高松	御殿場	松名瀬
対象面積(ha)	6.0	15.0	12.0	19.0
来場者数(人)	10	313	2582	915
平均採取量(kg/人)	0.0	3.2	1.6	1.0
採取物(上位3種)	アサリ	ハマグリ	ハマグリ	ハマグリ
		アサリ	アサリ	アサリ
		マテ貝	マテ貝	マテ貝

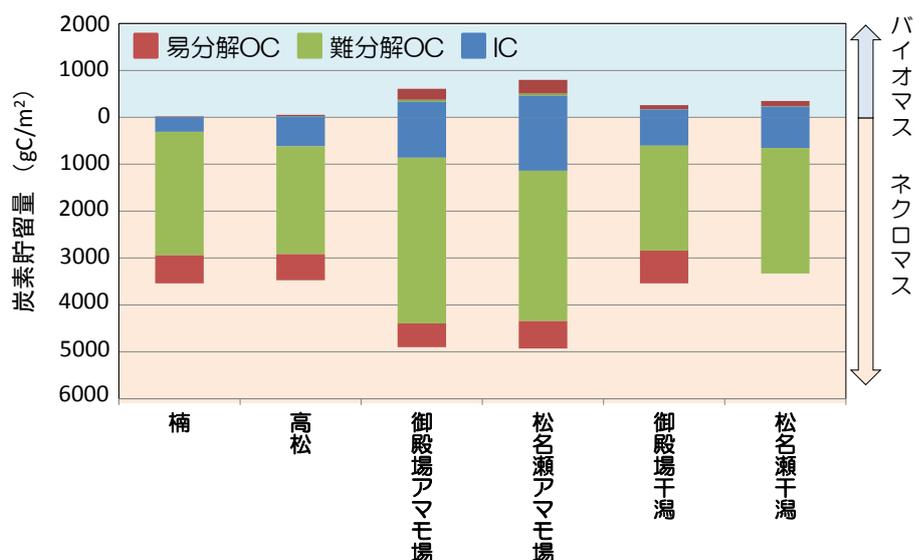
(5) 伊勢湾沿岸域の干潟藻場における炭素貯留量の試算

サブテーマ(1)で前述した、死亡枯死後の難分解性物質の試験の結果、100日後に残存していた炭素を難分解性炭素と仮定し、すべての底生生物及びアマモ、堆積物の無機炭素と易分解性、難分解性有機炭素の割合を算出し図(4)-15に示した。貝肉及び節足、環形動物については、約10～30%以上が易分解性の有機炭素であり、貝殻については約90%以上が無機炭素、アマモについては35%以上が難分解性の有機炭素であり、死亡枯死後も長期に難分解性炭素として海域に貯留されることが推測された。

分解試験から推定した難分解性炭素率を用いて、各調査干潟藻場における難分解性炭素貯留量を試算し図(4)-16に示した。底生生物とアマモは、それぞれの調査におけるバイオマスの最大値を、堆積物は森林等の貯留量の算出にあわせて表層から深さ70cmの炭素量を用いてそれらの総和により推定を行った。どの海域においても80%以上は無機炭素及び難分解性有機物であることが



図(4)-15 短寿命生態系試料における難分解・易分解炭素含有率



図(4)-16 伊勢湾海域の調査干潟藻場における形態別炭素貯留

確認できた。また、底生生物等のバイオマスよりも堆積物等のネクロマスほうが炭素貯留量は多くなり、特に堆積物中はバイオマスが死亡した後の貝殻等の無機炭素と生体死亡後の難分解性有機物が主体であった。以上より、過去からの生物生息の履歴が堆積物中に貯留されている可能性が示唆された。

伊勢湾海域の4カ所の干潟（楠、高松、御殿場、松名瀬）および2カ所のアマモ場（御殿場、松名瀬）の炭素貯留量は2,947～4,854gC/m²と推定することができた。この値は、大塚ら（2012）⁵⁾による森林の炭素固定量7,800～31,000 gC/m²と比較して約1/2～1/3程度であることが分かった。

（6）フラックスから算出した炭素固定量とストックから算出した炭素貯留量の比較

本研究では、伊勢湾内の代表的な4カ所の干潟、アマモ場において、フラックスとストックの両方の観点からそれぞれ炭素固定量と炭素貯留量を定量評価した。フラックスからの炭素収支の評価については、前述の（3）のとおり干潟とアマモ場の優占生物であるアサリとアマモに着目し、年間の現存量の変化から生産量と死亡（枯死）量を、明暗条件のチャンバーを用いた現場実験により、アサリの呼吸量およびアマモの呼吸量と光合成量を算出しそれぞれの総和から年間のアマモ場（草体のみ）および干潟の炭素固定量を推定した。その結果、アマモ場（草体のみ）でそれぞれ、1.80t～2.25t-C/ha/year、干潟では、2.23～3.08 t-C/ha/yearと推算することができた。

一方、ストックからの炭素貯留量の評価については、前述の（5）のとおり干潟とアマモ場の有力な炭素ストック源である、マクロベントスおよびアマモ草体、堆積物（0-70cm）、植物プランクトンの年間の炭素現存量から死亡（枯死）後も長期間保存される難分解性物質を算出し積算することにより算出した。その結果、干潟およびアマモ場における炭素貯留量はそれぞれ、29.5～35.7t-C/ha、47.7～48.5t-C/haと推算することができた。

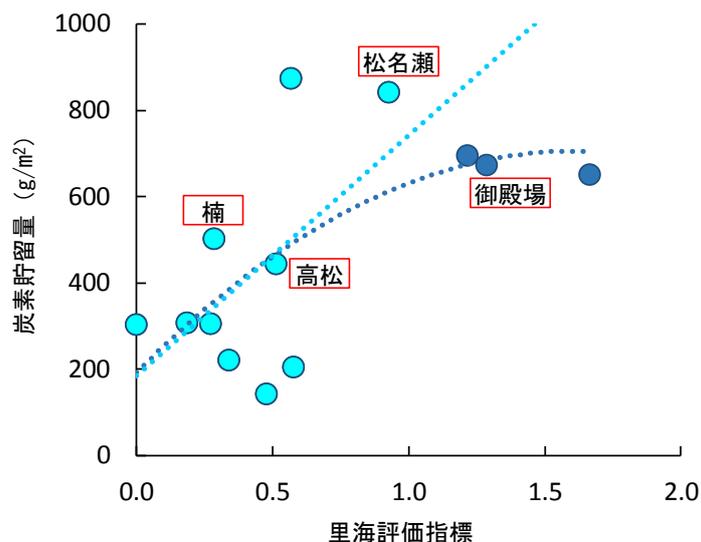
これらの結果を比較すると、ストックから算出した炭素貯留量は、フラックスから算出した炭

素貯留量と比べ、約15～20倍となった。これはフラックスから算出した炭素固定量は、1年間の炭素収支を表しているのに対し、炭素貯留量には堆積物中に長期間保存された難分解性炭素が含まれていることが理由として考えられる。前述の(2)で示したように、堆積物中には、一定量の無機および有機物炭素が含まれることが確認できている。またそれらの起源は、無機炭素は、主に軟体動物の由来の貝殻成分、有機炭素は、生物体由来であり、さらに図(4)-15で示された、分解試験の結果から堆積物中の炭素量の大部分は難分解性の炭素であることが確認できている。また本研究で炭素貯留量の算出に用いた、70cmの堆積物は、Lu&松本ら¹⁾による伊勢湾沿岸域の堆積速度(約2.0～3.0cm/年)で換算すると、約20～35年分の堆積物であると推測することができ、フラックスの値とオーダー的に一致することが示された。

これまでのブルーカーボンの研究^{6), 7)}では、フラックスによる1年間の炭素収支の算定が主であったが、本研究では、短寿命生態系においても死亡(枯死)後にも長期間保存される炭素量を明確にすることができた。

(7) 伊勢湾沿岸域の干潟藻場における適正な管理手法の提案

本研究により得られた、各調査干潟藻場における炭素貯留量と里海評価指標との関係を図(4)-17に示す。この里海指標は、サブテーマ(1)で前述されたように各調査干潟藻場の有する景観多様度と人による利用強度の相加により算出された指標である。図(4)-17より、里海としての利用強度が炭素貯留量に及ぼす影響が示されている。炭素貯留量は、松名瀬、御殿場、高松、楠の順で高く、里海評価指標は、御殿場、松名瀬、高松、楠の順に高くなった。楠干潟は、今回対象とした調査干潟藻場の中で炭素貯留量と里海評価指標が低かった。これは楠干潟が造成間もない人工干潟であるため、底生生物量も不安定で、堆積物中の炭素量も低くなったことが考えられた。次いで低い高松干潟は、河口干潟であるため、出水などで生物生息機能に影響を受けると



図(4)-17 里海評価指標と炭素貯留量との関係

こと、景観が干潟のみであるため、底生生物量が低く、結果炭素貯留量と里海指標が低くなったことが考えられた。御殿場と松名瀬については、炭素貯留量は松名瀬の方が高かったが、里海評価指標は、松名瀬よりも御殿場の方が高くなった。双方の炭素貯留量は、今回の調査干潟藻場の中では最も高い部類になった。これは、景観に干潟とアマモ場を有し、底生生物や海草量が長期的に安定して豊富に存在していたため、堆積物中にも高い炭素貯留量が確認できたためであると考えられた。一方御殿場が松名瀬よりも里海指標は高いが、炭素貯留量が低かった原因については、干潟の利用強度の違いがあげられる。表(4)-4より、御殿場と松名瀬では、潮干狩り客数と採取量が御殿場の方が高く、1日あたりの単位面積あたりの採取量が約7倍異なることがあげられる。そのため御殿場は、松名瀬と比較してオーバーユースとなり、その結果松名瀬での炭素貯留量が高くなったと考えられた。以上より、干潟藻場の炭素貯留量を向上させるためには、その場に生息する生物量を持続的に高く保つことが重要であるということがわかった。そのためには、干潟、藻場単独でなく、複数の景観を内包することと、利用強度を適度に保つ（単位面積あたりの年間の採取量が資源量の約10%を超えない程度）ことが必要であると試算された。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

伊勢湾内の代表的な干潟藻場について、フラックスとストックの両面から炭素貯留量を定量評価した。また両者を比較することにより、短寿命生態系においても死亡（枯死）後にも長期間保存される炭素量を明確にすることができ、今後のブルーカーボンの試算に重要な知見を示すことができた。

平成26年度、27年度に評価した炭素固定能力と各サブテーマで評価された域内数カ所の管理強度と履歴の異なる里海沿岸域の炭素貯留量を比較し、伊勢湾に適した干潟・藻場の管理手法を提案した。

(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>

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) 国分秀樹、石井裕一、宮崎一、矢部徹：土木学会論文集（B2海岸工学）（2017受理）「ブルーカーボン評価に向けた伊勢湾内干潟アマモ場における炭素貯留量の試算」
- 2) Kokubu, H., Ishii, Y., Miyazaki, H. and Yabe, T. : Proceedings of EMECS11, St. Petersburg, Russia (2017) “A FUNDAMENTAL STUDY ON CARBON STORAGE BY ZOSTERA MARINA IN ISE BAY, JAPAN.” (accepted)
- 3) 国分秀樹、山田浩且：土木学会論文集B2(海岸工学) Vol. 71 (2015) No. 2 p. I_1381-I_1386
「伊勢湾内のアマモ場における炭素固定量の検討」

<査読付論文に準ずる成果発表>

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) 国分秀樹：第12回水産海洋学会地域研究集会（2016）
「豊かな伊勢湾と干潟藻場再生の重要性」
- 2) 国分秀樹、石井裕一、宮崎一、矢部徹：第51回日本水環境学会年会(2017)
「ブルーカーボン試算にむけた伊勢湾のアマモの枯死分解埋没過程の考察」
- 3) 国分秀樹、石井裕一、宮崎一、矢部徹：第50回日本水環境学会年会(2016)
「枯死分解過程を考慮した伊勢湾アマモ場の炭素固定量の評価」
- 4) 国分秀樹、山田浩且：第49回日本水環境学会（2015）
「伊勢湾高松干潟におけるアサリの炭素固定量の検討」
- 5) 国分秀樹、山田浩且：海岸工学会（2015）
「伊勢湾内のアマモ場における炭素固定量の検討」

(3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 国分秀樹：伊勢志摩サミットシンポジウム 津市
「伊勢湾の浅場環境」
(共催：三重県総合博物館、2016年6月、観客100名)
- 2) 国分秀樹：伊勢湾再生推進会議 一般講座 津市
「沿岸域のブルーカーボンの試算」
(共催：中部地方整備局、2016年6月、観客30名)
- 3) 国分秀樹：県民環境講座 鈴鹿市
「伊勢湾の干潟も場の現状と再生に向けた取り組み」
(共催：三重県環境部、2016年6月、観客80名)

- 4) 国分秀樹：四日市港生き物観察会 四日市市
「伊勢湾の干潟藻場の生き物とその機能について」
(共催：四日市港管理事務所、2016年6月、観客40名)
- 5) 国分秀樹：伊勢湾再生推進会議 三重県WG勉強会 津市
「干潟藻場再生の重要性」
(共催：中部地方整備局、2016年10月、観客40名)
- 6) 国分秀樹：SSH (スーパーサイエンスハイスクール) 伊勢市
「海の豊かさと干潟藻場再生の重要性」
(共催：伊勢高校、2016年11月、観客30名)
- 7) 国分秀樹：平成28年度干潟も場懇談会 津市
「伊勢湾のアマモ場の再生と生態系サービスの評価」
(共催：三重県農林水産部、2017年2月、観客50名)
- 8) KOKUBU, H & Hirokazu HANYU, H：アサリ国際シンポジウム 津市
「A FUNDAMENTAL STUDY ON CARBON STORAGE BY ZOSTERA MARINA IN ISE BAY JAPAN」
(共催：水産庁、2015年6月、観客120名)
- 9) 国分秀樹：四日市大学環境特殊講義 四日市市
「伊勢湾のあさりと浅場環境」 (共催：四日市大学、2015年6月、70名)
- 10) 国分秀樹：名城大学講義 名古屋市
「三重県の浅場再生の現状と課題 「沿岸域のブルーカーボンの試算」
(共催：名城大学、2015年9月、観客100名)
- 11) 国分秀樹：県民環境講座 津市
「伊勢湾の干潟も場の現状と再生に向けた取り組み」 (主催 2015年12月、観客100名)
- 12) 国分秀樹：平成27年度第2回漁港漁場研修会 津市
「伊勢湾のアサリの復活に向けて」 (主催、2016年2月、観客120名)
- 13) 国分秀樹：平成27年度干潟も場懇談会 津市
「伊勢湾のアマモ場の再生と生態系サービスの評価」 (主催、2016年2月、観客40名)
- 14) 国分秀樹：干潟・浅海域のブルーカーボン機能に関わる情報交換会、大阪市
「伊勢湾アマモ場における炭素固定量調査」 (共催 大阪市立大学、2015年2月、観客40名)
- 15) 国分秀樹：第30回全国環境研究所交流シンポジウム、つくば市
「アマモ場周辺の二枚貝の分布と餌料環境の特徴」 (主催、2015年3月、観客120名)
- 16) 国分秀樹：第9回 海の再生全国会議、名古屋市
「伊勢湾の貧酸素水塊の現状と干潟藻場再生」
(共催 中部地方整備局、2015年3月、観客150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

- 1) 国分秀樹：砂浜の生き物観察会 鈴鹿市
「伊勢湾の干潟藻場のはたらきについて」（主催、2015年8月、観客30名）

8. 引用文献

- 1) Lu, X. and Matsumoto, E.: Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol. 65, Iss. 1-2, 83-93 (2005) Recent sedimentation rates derived from ^{210}Pb and ^{137}Cs methods in Ise Bay, Japan
- 2) 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：平成25年度地球温暖化対策推進費委託事業「藻場・干潟の炭素吸収資源評価と吸収機能向上技術の開発」報告書、71-90 (2014)
- 3) 伊藤 靖、中野喜央、松下 訓、三上信雄、横山 純、桐原慎二、能登谷正浩：水産工学、46、135-146 (2009) 藻場による炭素固定量の試算
- 4) 大谷義和：森林科学、33、10-17 (2001) 二酸化炭素フラックス
- 5) Ohtsuka, T. : Tropics, Vol. 10 (2000) No. 4, 529-537 (2001) Biomass Changes in Early Tropical Succession on a Large-scale Shifting Cultivation Area, Northeast Borneo Island
- 6) 大谷壮介、上月康則、山中亮一：土木学会論文集B2(海岸工学)67 (2)、I_981-I_985 (2011) 河口干潟におけるヘナタリの炭素埋没量に関する基礎的研究
- 7) 田多 一史、所 立樹、渡辺 謙太、桑江 朝比呂：土木学会論文集B3(海洋開発) 69 (2)、I_1252-I_1257 (2013) 北海道風蓮湖における大気-海水間CO₂フラックスに影響を及ぼす要因

Study on the Blue Carbon derived from Short-lived Species and Ecosystems in a Coastal Secondary natural Landscape "Satoumi"

Principal Investigator: Tohru YABE

Institution: National Institute for Environmental Studies (NIES)
16-2 Onogawa, Tsukuba-City, Ibaraki 305-8506, JAPAN
Tel: +81-29-850-2533 / Fax: +81-29-850-2577
E-mail: yabet@nies.go.jp

Cooperated by: Tokyo Metropolitan Research Institute for Environmental Protection,
Tokyo Environmental Public Service Corporation
Hyogo Prefectural Institute of Environmental Sciences, Hyogo
Environmental Advancement Association
Mie Prefecture Fisheries Research Institute

[Abstract]

Key Words: Blue carbon, Carbon storage, Tidal flat and seagrass/seaweed beds, Refractory carbon, SATOUMI index, Landscape diversity, Usage strength, Tokyo Bay, Ise Bay, Osaka Bay

The carbon captured by living organisms in coastal area which called "Blue Carbon" is stored in the form of sediments from mangroves, salt marshes and seagrasses. These values are estimated approximately 55% of the fixed carbon by global photosynthesis. Because Japan is located in Island state, and places the sixth in the world's ranking of longest coast length, quantitative evaluation of the "Blue Carbon" as an ecosystem service which provided form coastal ecosystems are significant challenge. The organisms which live in the ecosystems around the tidal flat, seagrass and seaweed beds have a short life-span compared with living in the ecosystems in the coral reef and mangroves. In these areas, the carbon fix and release were occurred at the same time. Therefore the quantitative estimation of carbon storage has not studied enough.

In this study, the carbon storage in the tidal flat, seagrass and seaweed beds were estimated by field research and laboratory experiment. As the field research, biomass and necromass which contained in sediment and seawater were investigated in Tokyo, Ise and Osaka Bay which are representative enclosed coastal seas of Japan. As the laboratory experiment, the ratio of easily decomposable and persistent substances in biomass and necromass were estimated by long-term (100days) biodegradation test. Then these persistent substances were estimated as the "Blue Carbon".

The coast of Japan has a history of "wise use" as "SATOUMI", and it is used for

fisheries and recreation. On the other hand, there are areas protectively managed as the Bird Sanctuary. In this study, “SATOUMI index” which contains the recreation, fisheries and landscape elements were newly suggested. The relationships between the carbon storage and the “SATOUMI index” were investigated in Tokyo, Ise and Osaka bay, that are strongly related to human activities. Improvement of social and economic values in shallow coastal area is expected by evaluation of carbon storage in tidal flat, seagrass and seaweed beds of the SATOUMI. Furthermore, it is also contributed to the formation of symbiotic society by conservation of biodiversity and/or promotion of natural reproduction in shallow coastal area including SATOUMI.