

沿岸域の炭素隔離機能評価に関する研究

独立行政法人港湾空港技術研究所 沿岸環境研究チーム

研究官 わたなべ 渡辺 けんた 謙太

1. はじめに

気候変動の影響は、世界のさまざまな場所で、水環境・水資源、水災害、自然生態系、食料、健康、国民生活といった、あらゆる分野に現れると予想されている。将来の気候変動によるさまざまな悪影響を抑制するため、二酸化炭素（CO₂）をはじめとする温室効果ガスの濃度上昇抑制が世界的に喫緊の課題となっている。そこで気候変動の緩和策の一つとして「ブルーカーボン」という概念が近年着目されている。

2. ブルーカーボン

(1) ブルーカーボンとは？

「ブルーカーボン」とは海洋生物によって海中に固定される炭素の総称である¹⁾。光合成によって植物に吸収されるCO₂は「グリーンカーボン」と呼ばれる。森林など陸上生態系に生息する植物のグリーンカーボンは気候変動緩和策として広く認知されており、植林や森林保護などの活動は有力なカーボンオフセットのオプションとして、排出権取引の対象になっている。

ブルーカーボンはグリーンカーボンの海洋版と

して提唱されたものであり、今後オフセット効果が認められれば大きな経済効果をもたらすと考えられる。

陸上生態系に蓄積される炭素の多くは植物の体そのものであるが、ブルーカーボンでは海底の泥中に蓄積していく過程が重要である。海洋の大部分を占める外洋域は植物の生産が乏しいために、その炭素蓄積速度は年間600万tと推定されている。

一方、面積は小さいが植物の生産が活発な沿岸域では年間1億t程度と見積もられており¹⁾、大きな二酸化炭素貯留効果を持つことが知られている。これは沿岸域の海草場や塩性湿地（アシ原、ヨシ原など）、マングローブなどの生態系に生息する植物が難分解性有機物として海底泥中に長期間固定されるためと考えられている。

しかしながら、沿岸域における炭素隔離機能のメカニズムについて科学的な検証はまだ不足しており、不確実な点も多い。

(2) 港湾・沿岸環境政策とブルーカーボンの関連性

港湾は多くのCO₂排出源を抱えており、低炭素社会の実現へ向けた取り組みは喫緊の課題である。またCO₂排出権取引が進む中で、CO₂排出量の増加は港湾事業コストの増加を招く恐れがある。

近年、国連気候変動枠組条約締約国会議（UNFCCC）の補助機関会合である科学および技術の助言に関する補助機関（SBSTA）にて、海洋生物の炭素隔離機能等に関する諸提案がなされるなど、ブルーカーボンのクレジット化に向けた議論が始まっている。

港湾域の生態系がCO₂の吸収源であることが認証されれば、原則的に港湾からのCO₂排出をオフセットできることから、ブルーカーボンは港湾における低炭素社会の実現に貢献できる可能性を有している。国土交通行政でも港湾における温室効果ガス排出削減として、CO₂吸収源としての藻場造成などを盛り込んだ「ゼロエミッションポート施策」を打ち出している。

また沿岸域生態系による炭素隔離機能は重要な生態系サービス（生物・生態系が有する人類の利益となる機能）としても認識され始めている。塩性湿地やマングローブ、海草藻場の喪失に伴うCO₂の排出は世界で年間1.5～10.2億t、生態系サービスとしての経済的損失は年間61～419億円に及ぶと推計されている²⁾。従って生物共生型護岸や海草藻場・干潟の造成により、CO₂吸収の生態系サービスが付与されれば、港湾整備事業において費用対効果のいっそうの向上が期待される。

また、日本の海岸線延長は約35,000kmあり、国土面積当たりの海岸線延長は先進国でも最大級である。ブルーカーボンによるオフセット効果が認められれば、日本はブルーカーボンの主要な貯蔵国になる可能性がある。しかし、現状では沿岸域生態系におけるブルーカーボンの定量的な評価は進んでおらず、炭素隔離機能に重要なメカニズムの検証および定量的な計測手法の確立が求められている。

(3) ブルーカーボン研究の目的・意義

前述したとおり、ブルーカーボンの国際的認証に向けた議論はUNFCCCなどの国際会議の場で行なわれており、カーボンオフセットの有力なオプションになることが期待される。

そのためには、ブルーカーボンを科学的に、客観的に、そして定量的に計測すること（国際条約で導入されている原則であるMRV, Measurement計測, Reporting報告, Verification検証の三つのうち、計測に相当）が必須となる。

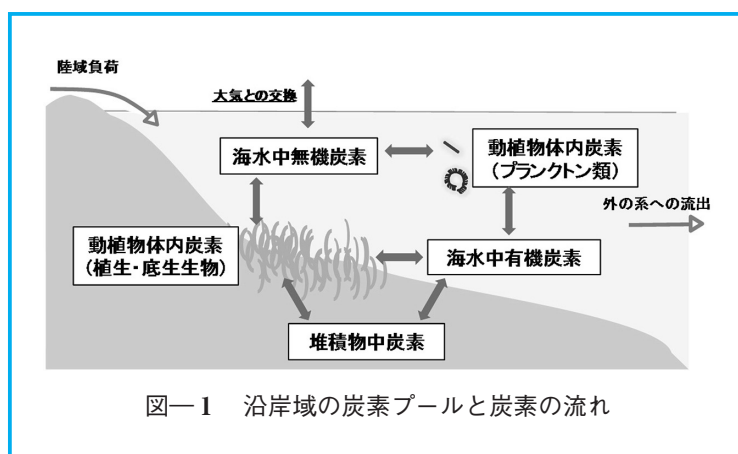
しかしながら、炭素の貯留量や流れを正確に測定するための機器やノウハウは十分に検討なされておらず、その上ブルーカーボンによる炭素隔離メカニズムについても不確実な部分が多い。

例えば、比較的測定例が豊富なマングローブや塩性湿地では、ブルーカーボンが海底泥中に蓄積される水域とみなす研究例がある一方、大気中へCO₂を放出する場であるとする研究例が報告されている。一方、光合成による炭素の取り込みが水中で起こる海草場のような植生では大気中CO₂の吸収源となる可能性があるが^{3), 4)}、詳細な測定・解析はほとんど行なわれていない。定量的な計測手法の確立と実証研究が求められるのである。

近い将来、国内外で設定されるであろうブルーカーボンの計測に求められる要件として、現在の森林保全や再生における経済的インセンティブ付与で要件となっている項目に準ずることが予想される。

すなわち、必須となると予想される計測項目として「面積当たりの炭素蓄積量やCO₂吸収排出量の時系列変化」が考えられる。面積当たりの炭素蓄積量、CO₂吸収排出量の計測手法について、沿岸域に存在する測定すべき炭素プールは次の五つである（図—1）。

① 堆積物中炭素



図—1 沿岸域の炭素プールと炭素の流れ

- ② 動植物体内炭素（プランクトン類）
- ③ 海水中無機炭素（溶け込んだCO₂が取り込まれる）
- ④ 海水中有機炭素
- ⑤ 動植物体内炭素（植生・底生生物）

この五つのプールは、全て大気中CO₂の隔離貯留に関連するが、隔離貯留の安定性（大気CO₂への回帰のしにくさ）はまちまちである。さらに、各炭素プールの増加が、大気中CO₂の吸収に寄与するわけではないことに留意する必要がある。隔離貯留の安定性が高いと考えられるのは、堆積物中への有機物の蓄積（有機物の分解が遅く、泥の深部へ埋没していくため、水中や大気へのCO₂の回帰が相対的に少ない）、海水中への難分解性有機物の蓄積（微生物がなかなか分解できない）の二つである。

隔離貯留の安定性の視点と同様に重要なのが、隔離貯留の速度の視点である。速度と安定性には、基本的に二律背反の関係がある。動植物体内のプールや海中無機炭素は、安定性は低いが変化速度は速い。従って、この二つのプールについては、人為的に変化させることによって、大気中CO₂の吸収速度を速めることができる余地がある。

具体的には、アマモや植物プランクトンなど海洋植物の量や光合成活性を高めて一次生産量を増加させることなどである。本稿では沿岸域の炭素隔離機能に大きな役割を果たすと考えられる、堆積物中有機炭素、海水中有機炭素、海水中無機炭素について、これまでの研究成果を紹介する。

3. 炭素隔離機能評価に関する研究

(1) 堆積物に埋没する炭素

海洋生物によって吸収・固定された炭素は、生物の枯死・沈降を経て堆積物中に埋没する。埋没した有機炭素の一部は

分解を免れて大気中CO₂から長期間隔離される。そのため大気中CO₂の隔離プロセスとして極めて重要なものと認識されている。

沿岸域には陸域から流入する有機物や海草藻場・干潟で生産される有機物など、さまざまな起源のものが堆積する。従って、これらの有機物をその起源ごとに定量評価する手法を開発している。実海域で採取した堆積物コア（写真—1）の年代測定（放射性炭素同位体比）と有機物の起源推定（化学分析）を組み合わせ、どこから来た有機物がどれくらいの速度で埋没しているかを調査した。

調査フィールドの一つである北海道風蓮湖（オホーツク海に面する汽水湖）では、堆積物表面から2mの深さに2000～8000年前の有機物が分解を免れて隔離されていることが分かった。この年代測定の結果から、風蓮湖全体（57.4km²）では年間225～518tの炭素が埋没していると計算された。

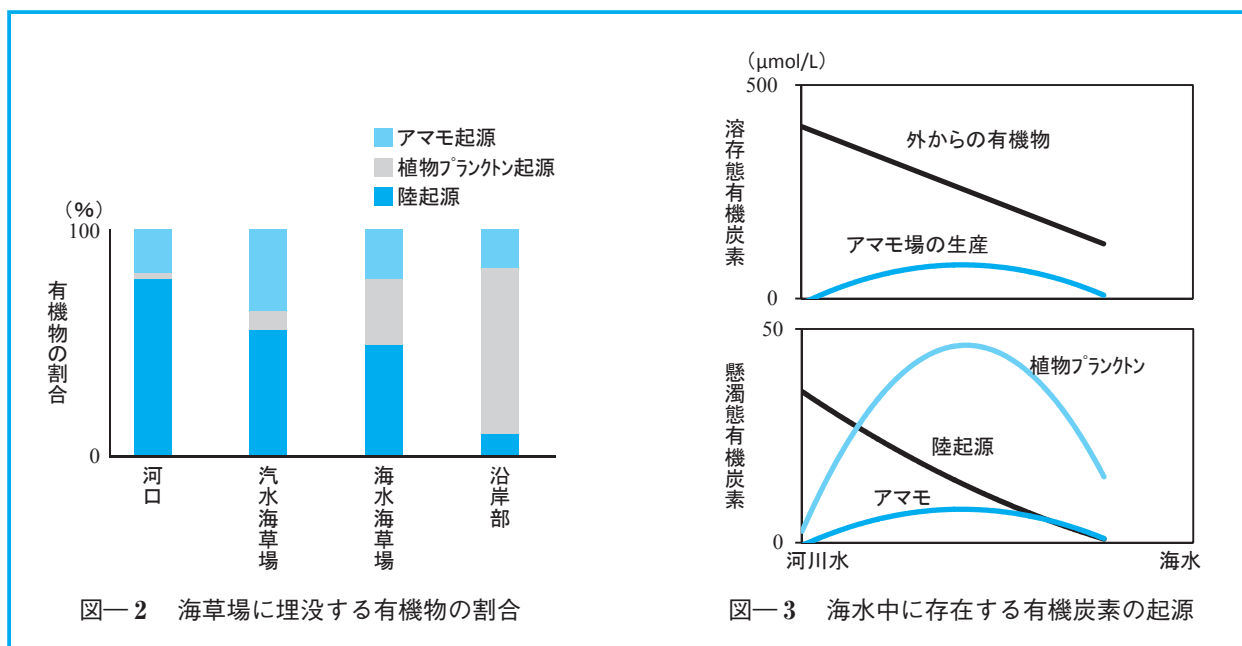
特にアマモの生息密度が高い場所での堆積速度が大きかった。また化学分析の結果から、堆積物には陸上植物に由来する有機物や植物プランクトン



写真—1 堆積物コアの採取状況（上）とコア断面に見える数千年前の植物片（下）



写真—2 海草場に堆積するさまざまな有機物（上：陸起源、中：植物プランクトン、下：アマモ）



ン、アマモに由来する有機物（写真一 2）が混在していることが示されており、さまざまな有機物が炭素隔離過程に関わっていることが見いだされている。

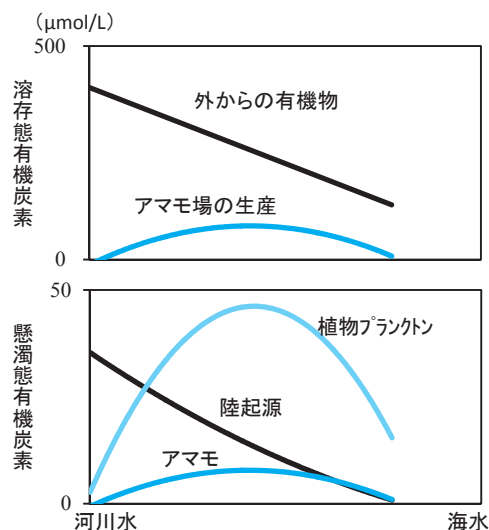
特に、陸起源有機物と海草起源有機物は海底泥中に高い割合で残存しており（図一 2）、アマモの有機物トラップ効果とアマモが作る有機物が炭素隔離機能に重要な役割を果たすと考えられる。

(2) 海水中に存在する有機炭素

海洋生物により吸収・固定された炭素はその一部が細胞外分泌や細胞の崩壊によって、懸濁態有機物、溶存態有機物（水に溶けるほど小さな有機物）という形で水中に放出される。

水中に放出された有機物の一部は長期間分解されずに難分解性有機物として水中に蓄積されると考えられる。外洋域に分布する有機炭素は数千年前という非常に古い炭素であり、長期間分解されずに滞留していることが知られている。沿岸域の植物プランクトンや海草・海藻なども難分解性有機物を作り出している可能性があり、その定量化は炭素隔離機能評価にとって重要である。

海水中有機炭素プールに関しても、北海道風蓮湖での現地観測の結果を紹介する。化学分析の結果から、堆積物と同様に水中においても複数の起源を有する有機物が存在していた（図一 3）。特



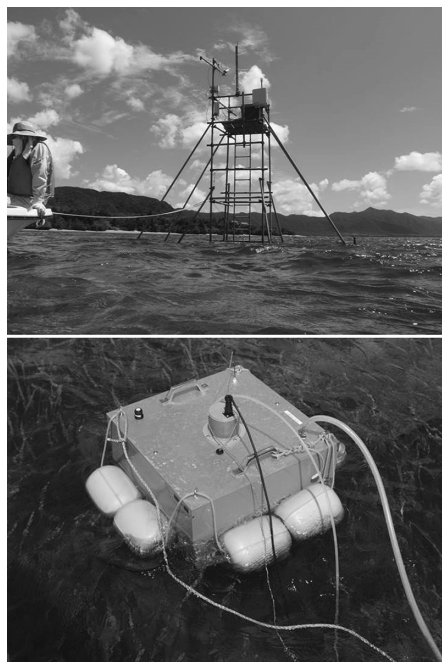
に重要なものは河川から流入してくる陸起源有機物と沿岸域の植物によって生産される有機物であった⁵⁾。

この結果は、沿岸域生態系の固定した炭素が堆積物中だけでなく、水中にも多量に存在している可能性を意味している。この炭素プールのうち、何割程度が長期的な炭素隔離に寄与し得るかは今後のテーマである。予備的な検討では、全体の 7 割に当たる有機炭素が微生物による分解を免れ、1 年以上残存することが分かっている。沿岸域の海水中に存在する有機炭素プールの大部分が難分解性のものであり、長期的に大気中 CO₂ から隔離されることが示唆される。

(3) 大気中 CO₂ の吸収

大気と海水間の CO₂ 交換は、対象水域が大気中 CO₂ の放出源となるか吸収源となるかを決定するブルーカーボンの評価にとって重要なプロセスである。しかし、沿岸域は気象や水質の変動が大きいとため、大気と水の間の CO₂ 交換量は最も測定が困難なパラメータの一つである。当研究所では、渦相関法・バルク法・フローティングチャンバー法といった特徴の異なる複数の測定手法の検証を行っている（写真一 3）。

一般に沿岸域は河口など陸からの有機物が流入する場に発達することもあり、海草場では流入し



写真一 3 大気中CO₂吸収量の測定手法
(上：渦相関法，下：フロー
ティングチャンバー法)

た有機物が分解されてCO₂となり大気に放出される「CO₂の放出源」として考えられてきた。当研究所を中心としたグループは北海道風蓮湖や東京湾の久里浜海岸、石垣島の吹通川河口の海草場において調査・観測した結果を解析することで、日本の河口域や内湾に発達する海草場において、大気中のCO₂が吸収されることを突き止めた^{3), 4)}。

また、吸収源として機能するには、有機物の分解によるCO₂の発生を上回るほど海草場が炭素を吸収すれば、大気中CO₂を吸収し得るということが分かった。北海道風蓮湖全体では年間380t程度の炭素を大気から吸収しており、これは海底泥中への埋没に匹敵する大きな炭素の流れである。これらの結果は大気中CO₂とのガス交換が炭素隔離機能にとって極めて重要であることを表している。

4. おわりに

本研究の成果は、日本沿岸の海草場が大気中CO₂の吸収・隔離に実質的に貢献していることを

定量的に示した。日本においてはアマモ場などの海草場は海洋生物の育成場である「海のゆりかご」としてその重要性が認識されているが、それに加えて「気候変動の緩和」という機能を有していることを示している。

このような生態系サービスは本来、われわれがコストをかけずとも海洋生態系によって持続的に生み出される利潤である。しかし、水底質の悪化や開発等による浅場の喪失が原因となって、海草藻場は世界的にその面積を減らしている。

つまり、海洋生態系のCO₂吸収能力や炭素隔離機能が急速に失われていることをも意味している。海草場の保全や造成・再生といった取り組みは、炭素隔離機能の維持・回復・増強につながり、気候変動の緩和策として有望であると考えられる。

【参考文献】

- 1) Nellemann, C., Corcoran, E., Duarte, C. M., Valdés, L., De Young, C., Fonseca, L., Grimsditch, G. (Eds): Blue Carbon. A Rapid Response Assessment. United Nations Environment Programme, GRID-Arendal, www.grida.no (2009)
- 2) Pendleton, L., Donato, D. C., Murray, B. C., Crooks, S., Jenkins, W. A., Sifleet, S., Craft, C., Fourqurean, J. W., Kauffman, J. B., Marbà, N., Megonigal, P., Pidgeon, E., Herr, D., Gordon, D., Baldera, A.: Estimating global “blue carbon” emissions from conversion and degradation of vegetated coastal ecosystems. PLoS ONE 7: e43542 (2012)
- 3) 所立樹, 細川真也, 三好英一, 門谷茂, 茅根創, 桑江朝比呂: 「沿岸域のブルーカーボンと大気中CO₂の吸収との関連性に関する現地調査と解析」 港湾空港技術研究所報告 52(1): pp.3-49 (2013)
- 4) Tokoro, T., Hosokawa, S., Miyoshi, E., Tada, K., Watanabe, K., Montani, S., Kayanne, H., Kuwae, T.: Net uptake of atmospheric CO₂ by coastal submerged aquatic vegetation. Global Change Biology 20: pp.1873-1884 (2014)
- 5) 渡辺謙太, 桑江朝比呂: 「浅海域における炭素隔離機能の評価に向けた元素比・安定同位体比による有機物動態の解析」 港湾空港技術研究所報告 52(3): pp.3-34 (2013)