



ブルーカーボンを契機として重要性が増す海藻モニタリング技術 —海藻養殖のスマート化にも貢献—

2024/05

技術・イノベーション情報部 インダストリーイノベーション室
野崎駿介

三井物産
デジタル総合戦略部 デジタルテクノロジー戦略室
美間亮太

Summary

- 海洋生態系で吸収・固定されるブルーカーボンとして、海藻に注目が集まっている。海藻由来のブルーカーボンを定量化するためには、分布面積と海藻の種類を判別する必要があり、これらの情報を低コストかつ効率的に得ることができる海藻モニタリング技術が重要となる。
- 海中では電波の減衰が大きいために、陸上とは異なるモニタリング技術が求められる。そこで、海中でも活用可能なグリーンレーザーなどの技術に進展が見られる。
- ブルーカーボンのクレジット化はもちろんのこと、海藻を活用した産業においても、本稿で取り上げたモニタリング技術は活用が見込める。

1. 重要性が増す海藻のモニタリング技術

2024年に日本が世界で初めて海藻を含む藻場による温室効果ガス削減量を温室効果ガスインベントリ（GHGインベントリ¹）として報告する。削減量の計算には、藻場の分布面積と海藻の種類を知ることが必要であり、これらの情報を得ることのできるモニタリング技術が重要となる。

1-1. ブルーカーボンとして注目され始めた海藻

近年、海藻は「ブルーカーボン」という観点から注目され始めている。ブルーカーボンとは、海洋生態系で吸収・固定される二酸化炭素のことである。マングローブや、海藻などの藻場がある沿岸域の土壌へ炭素分を堆積させることで大気中の二酸化炭素を隔離することができる。

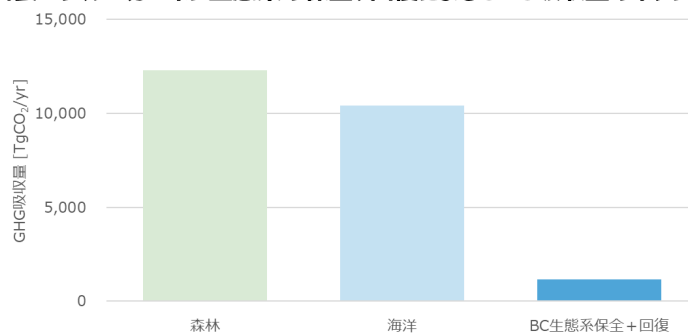
森林や海洋全体での吸収量とブルーカーボン生態系を保全、かつ回復させた場合の吸収量を比較した（図表1）。ブルーカーボンに関連する生態系を保全、回復させることによる二酸化炭素削減効果は、世界

¹ 一国が1年間に排出・吸収する温室効果ガスの量を取りまとめたデータのこと、環境省、[温室効果ガス排出・吸収量等の算定と報告](#)

の排出量に対しおよそ1~3%程度²であり、気候変動に対する貢献は少なくない³。地球全体の削減に貢献する上、生物多様性など副次的な効果も期待できる。世界の動向としては、豪州、米国、英国でマングローブなどを対象としてGHGインベントリに含める動きが出ている。

海藻に関しては、日本が世界にさきがけGHGインベントリとして国連気候変動枠組条約事務局に提出する。2024年4月に海藻などを含む藻場由来のブルーカーボン36万トン⁴を計上した。日本は海岸線が世界で6番目に長く、沿岸域の藻場には年間130万トンの吸収ポテンシャルがある⁴。

図表1 ブルーカーボン生態系の保全、回復によるGHG吸収量のポテンシャル

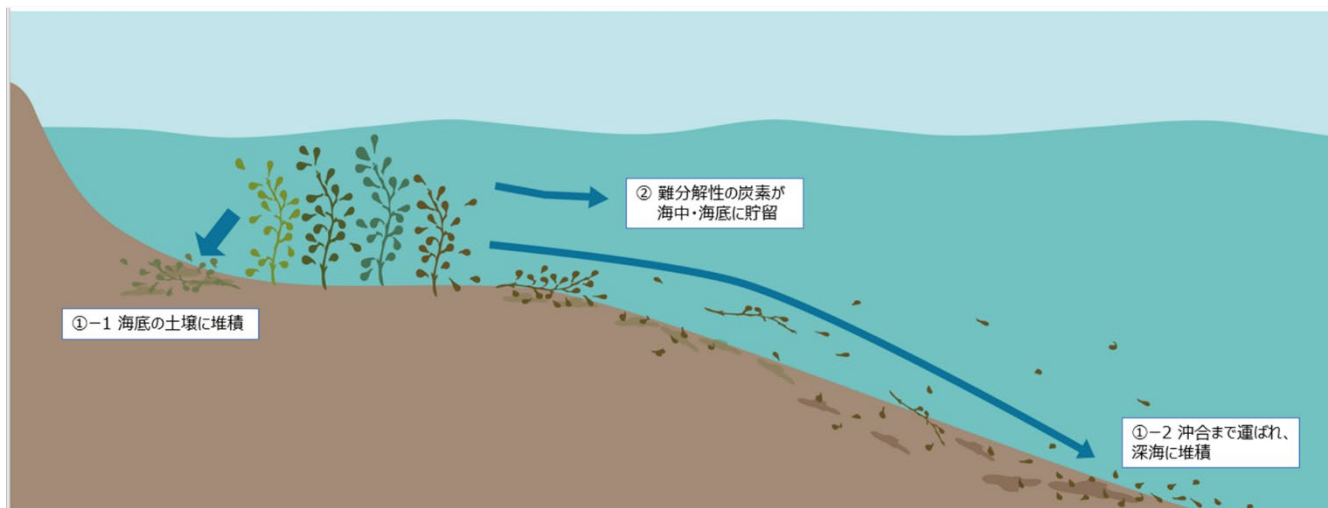


出所：森林、海洋については、Global Carbon Budget 2023、BC生態系保全+回復については、Nature reviews earth & environment, 2、826-839(2021)から三井物産戦略研究所作成

1-2. ブルーカーボンの定量化に必要な分布面積と海藻種類の判別

海藻による炭素貯留プロセスとしては、大まかに2つある（図表2）。①枯れた、もしくは、ちぎれた海藻が海底に堆積し炭素分として貯留されていくプロセスと、②海藻などから放出される難分解性の炭素が海中・海底に貯留されるプロセスに分けることができる⁵。

図表2 海藻の炭素貯留プロセス概略



出所：ジャパンプルーエコノミー研究所、Jブルークレジット認証申請の手引き

海藻由来のブルーカーボンの基本的な計算は、①海藻の分布面積と②海藻固有の吸収係数（単位面積当

² Nature reviews earth & environment, 2、826-839(2021)、Blue carbon as a natural climate solution

³ 日本の排出量は世界の排出量のうちおよそ3%程度である。

⁴ ジャパンプルーエコノミー技術研究組合

⁵ ジャパンプルーエコノミー技術研究組合、令和6年3月、Jブルークレジット認証申請の手引き Ver. 2. 4

たりの二酸化炭素吸収量)を掛けたものになる。①の分布面積の把握には、海藻の生息域の境界線を精度良く把握すると同時に、それらの位置情報を把握しておかなければならない。さらには、被度と呼ばれる生息密度も把握しておくことで、より精度良く計算ができる。②の吸収係数は海藻の種類により異なる。そのため吸収係数の把握のためには海藻の種類を判別する必要がある。上記2点を測定できる海藻モニタリング技術が重要となる。

2. 海藻モニタリング技術

海藻のモニタリングにおける大きな課題として、海中では陸上のように電波を使用することができないということが挙げられる。水中ではセンシングおよびデータ通信に使用される電波が減衰しやすい性質があるためだ。そのため、技術的なブレイクスルーが必要になる。海藻モニタリングに適用度が高い技術全般について図表3に示す。

図表3 海藻モニタリングに適用度が高い技術 (本稿で取り上げる技術)

視点	調査手法 (※1)	適した水深	コスト (※2)	撮影位置の 特定手法 (※3)	ブルーカーボン(※4)			メリット	デメリット	ブレイクスルー	企業例
					面積	吸収係数					
					境界	被度	種類				
上空	衛星	-5m	¥	オルソ補正	○			広域・過去情報も取得可能	画像の入手に制約あり	ハイパースペクトル	(加) Coastal Carbon、 (仏) CLS、(日) ウミトン
	航空	-10m	¥ ¥	オルソ補正	○			広域	教師データ必要		-
	UAV	-10m	¥ ¥	GPS・点群処理	○			広域・任意時刻に取得可能	波や屈折による影響あり	グリーンレーザー	(韓) ETRI、 (日) アミューズワンセルフ
海面	音響ソナー	NA	¥ ¥	GPS	○			透明度が低い場合でも適用可能	空間解像度が低くノイズに弱い		(米) BioSonics
	ASV (パイ含)	-10m	¥ ¥	GPS	○	○	○	比較的簡便	透明度が低い場合不可		(英) OSIL、 (蘭) I-AM Innovation Center
海中	ROV (小型)	5-30m	¥ ¥	工夫が必要	○	○	○	近接での観察、高解像度	操縦は要熟練。要位置特定	母船との連携	(日) KDDI総合研究所、 (日) INFLUX
	水中IoT (定点観測)	5-30m	¥ ¥	定点なので不要	△	○	○	定点観測が可能	要通信手段	海中光無線通信	(伊) Wsense、 (日) 島津製作所、(日) MizLinx
	AUV	10m-	¥ ¥ ¥	工夫が必要	○	○	○	有線による行動範囲の制約なし	大型にならざるを得ない		(日) FullDepth
	ダイバー	5-30m	¥ ¥ ¥	紙で報告	○	○	○	藻場への働きかけも可能	高コスト・生産性の低さ		-

※1 : UAV (Unmanned Aerial Vehicle), ASV (Autonomous Surface Vehicle), ROV (Remotely Operated Vehicle), AUV (Autonomous Underwater Vehicle)

※2 : ¥…0-100万円/km²、¥ ¥…100-1000万円/km²、¥ ¥ ¥ 1000万円- /km²

※3 : 上空から中心投影で撮影された写真の場合はオルソ補正と呼ばれる、歪みを修正した撮影画像と地図のマッピングが必要である。

※4 : ブルーカーボンの面積を推定するためには、境界(海藻の生育域)、被度(表面を覆う面積の割合)、海藻種類(吸収係数の決定のため)の情報を取得する必要がある。

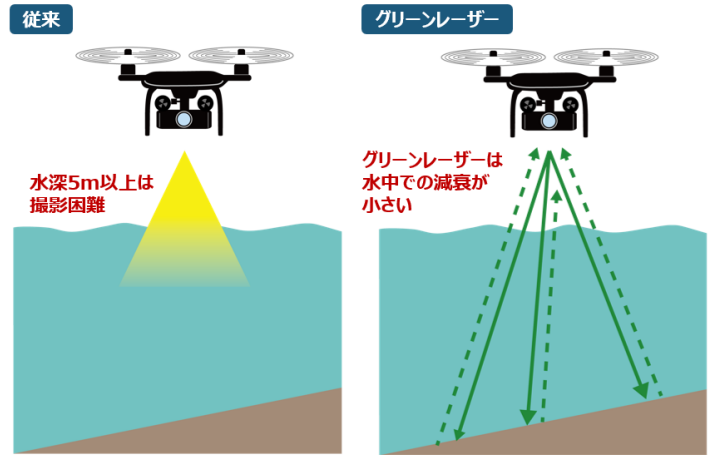
出所: 各種資料から三井物産・三井物産戦略研究所作成

海中モニタリング技術は多様にあるが、例えば、深海域で装置の大型化が許容される海洋環境調査・海底ケーブル敷設作業では、AUV (Autonomous Underwater Vehicle) あるいは大型のROV (Remotely Operated Vehicle) に搭載されたカメラや音響ソナーなどが利用される。また、広域での海面に近い情報が必要とされるモニタリングなどでは衛星画像が利用されている。上記は、海藻モニタリング技術として今後も利用される可能性はあるが、よりコスト面で優れた技術が求められる。本稿では、前記課題に対する技術的なブレイクスルーにより、藻場が生育している水深5~30mを安価にモニタリングできる技術として、(1)UAV(Unmanned Aerial Vehicle)、(2)小型ROV、(3)水中IoTを取り上げる。

2-1. 注目技術(1): 広範囲のモニタリングに適したUAV

UAVは、広範囲の海藻モニタリングに適している。通常、海面上約1mを飛行し、広大なエリアをカバーできる。しかし、波や水の屈折の影響で、深い海中観測には限界があった。最近では、水を透過するグリーンレーザーを用いて、水中の構造を詳細に観測できる技術が開発された。グリーンレーザーを搭載したUAVにより、より詳細なモニタリングが可能になっている(図表4)。

図表4 UAV技術におけるブレイクスルー



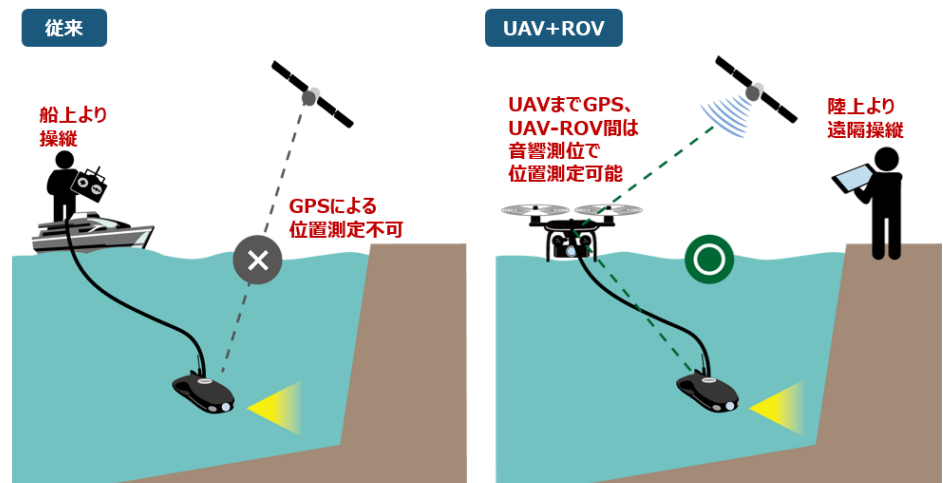
出所: 三井物産戦略研究所作成

国内事例としては、アミューズワンセルフは、陸上から水深約17m付近までの全長約2.6km、幅1kmの範囲を約4時間で計測し、海底地形を、平均で12cm間隔・平均誤差±2cmの点群データとして捉えることに成功した⁶。

2-2. 注目技術(2): 高解像度のモニタリングに適した小型ROV

遠隔操作が可能な無人潜水艇であるROVは、高解像度の海藻モニタリングに適している。課題としては、正確な位置特定の難しさがある。これらの課題に対応するため、ROVをUAVやASVと接続し、音響測位技術を用いて位置を把握する方法が考案されている(図表5)。例えば、革新的な技術の例として、KDDIが開発した「水空合体ドローン」がある(図表6)。UAVが目的地までROVを運ぶこ

図表5 ROV技術におけるブレイクスルー



出所: 三井物産戦略研究所作成

とで、広範囲モニタリングを可能にする技術で、洋上での効率的な利用が期待されている。

⁶ 港湾空港技術研究所との取り組み

海外事例としては(ノルウェー)Seaweed Solutionsが協力しているMoniTAREプロジェクトが挙げられる。本プロジェクトで用いられるROVでは生物汚染の程度を評価するために視覚データおよび生物センサーを利用している。

図表6 KDDIによる水空合体ドローン



出所：KDDI総合研究所

2-3. 注目技術(3)：継続モニタリングに適した水中IoT (Internet of Things)

今後モニタリング頻度の改善ニーズも予測される。その中で、継続的に海中のデータを取り出す技術も求められるだろう。

図表7 水中IoT技術におけるブレイクスルーである情報通信技術

手法	周波数(色)	通信距離	通信速度	給電距離	メリット	デメリット	企業例
有線	-	1km	1Gbps	ほぼなし	安定性、高性能	配線管理、敷設の負担	-
音波	20kHz	3km	10Kbps	中	遠達性、豊富な事例	水面・海底の境界が影響し浅海に弱い	(英) Sonardyne、(日)OKI、(日) NTT
低周波電磁波	10kHz	30m	1Kbps	小	耐環境性、水面・海底の境界を超える	短距離、低速	(スイス)Hydromea、(日)Panasonic
光	青～緑	300m	1Gbps	中	高速、低コスト	濁りに弱い	(伊)Wsense、(日)島津製作所

出所：ALANレポート 2023年度版

水中IoT技術は、水中デバイス間をネットワークで結ぶ

技術だ。現在は、オイル&ガスなどの分野で利用されているが、将来的にはコストダウンされ、海藻分野にも応用できそうだ。海藻の状態をリアルタイムで監視する技術としても使用可能である。水中IoT技術について図表7に示す。特定地点の観測にGPSは不要で、長期の継続的モニタリングが可能だ。ただし、従来の音響通信は通信速度が低速だった。現在は、水中での透過率が高い青緑色の波長を用いた海中光通信技術が開発され、速度と信頼性の高いデータ伝送が可能になっている。

水中IoT技術の海外事例として、(伊)Wsenseの取り組みが挙げられる。この技術は、無線メッシュネットワークと音響通信を組み合わせることで広範囲の水中エリアをカバーし、ケーブルの制約を克服している(図表8)。同社のシステムは柔軟かつ信頼性の高いネットワークを作り出し、さまざまな水中条件や運用要件に適応することができる。国内事例として、ALANコンソーシアムは、水中での高速データ通信を目指す団体で、特に光を利用した水中無線技術の推進に注力している。

図表8 Wsenseによる水中IoTプラットフォーム



出所：Wsense

3. 今後の展望

3-1. ブルーカーボン定量化技術の優位性の確立

海藻モニタリング技術は、今後注目が集まるブルーカーボンの正確な測定には欠かせない。GHGインベントリの作成においても精度向上に貢献していこう。また、ブルーカーボンのクレジット化には正確な測定データの活用に加え、低コストでモニタリングすることが必要となる。前述したように藻場由来のブルーカーボンをGHGインベントリに加えるなど、日本は先進的な取り組みをしていると言える⁷。それに加え、本稿で取り上げた技術にさらに精度やコスト面での改善を進めることができれば、技術的な面でも優位に立つことができる。

3-2. 海藻養殖の成長を支える技術

ブルーカーボンを契機として、海藻モニタリング技術をブルーカーボン以外の分野へ展開し、新たなビジネス機会を生むことが期待される。大規模化が進むと予想される海藻養殖はスマート化への取り組みが始まっている（図表9）。（印）Sea6 Energyは、インドネシアのロンボク島沖で1km²の大規模な機械化された海藻養殖場を立ち上げたことを2024年に発表した。同社は、海藻

図表9 海藻養殖のスマート化に取り組む企業例

企業名	主な事業内容	事業規模
(加)Thalasso	<ul style="list-style-type: none"> 海藻 (Sargassum) マネジメント Harvesterと小型バイオリアファイナリ 	メキシコで事業展開
(加)Soft-Seaweed	<ul style="list-style-type: none"> 陸上から海藻養殖場を監視できるモニタリングプラットフォーム 	N/A
(印)Sea6 Energy	<ul style="list-style-type: none"> 自動海藻収穫機(SeaCombine)の開発 バイオスティミュラント～バイオ燃料など幅広い製品 	アジア、欧州、北南米の20か国で事業を展開
(UK)Biome Algae	<ul style="list-style-type: none"> 海藻養殖 自動海藻収穫機 肥料、食品添加剤、化粧品原料など 	UK
(UK)SAMUDRA	<ul style="list-style-type: none"> 海藻養殖 海藻養殖モニタリング ブルーカーボンクレジット 	UK、ジャマイカ
(ノル)AtSeaNova	<ul style="list-style-type: none"> 海藻養殖システムの提供 収穫、乾燥の機械化 コンサルティング 	EUでのWier & Windプロジェクトへの参画

出所：各社ウェブサイトから三井物産戦略研究所作成

養殖の機械化を進めるとともに、海藻を原料とした農業資材の一種であるバイオスティミュラントや食品添加物、バイオプラスチックを開発、販売している。今後本稿で紹介したモニタリング技術や水中IoTといった技術をもとに、スマート化が進むことを期待したい。また、洋上風力発電といった再生可能エネルギー分野への活用も注目だ⁸。例えば、非営利組織である(蘭)North Sea Farmersは、北海のオランダ沖の洋上風力発電所があるスペースで海藻養殖を行っている。Amazonからも資金を受け、波が荒い北海で大規模な海藻養殖が実現できるかについても注目されている。2024年秋から実証実験を開始し、2025年春に最初の収穫が行われる予定だ。この実証実験が成功すれば、今後成長が見込まれる洋上風力発電所のスペースの有効活用策として海藻養殖が現実味を帯びる。

海藻モニタリング技術は、ブルーカーボンの正確な定量化手段としてはもちろんのこと、今後の成長が

⁷ 他国においても、海藻バイオマス量の定量化に取り組んでいる企業として、AIや衛星画像を活用する(加)Coastal Carbonがある。

⁸ 本稿で取り上げた、洋上風力発電所での海藻養殖以外に、周辺の生態環境をモニタリングすることも重要である。(米)MarineSituは水中カメラを用いて潮流タービンや波力エネルギーコンバーター等の環境モニタリングシステムを開発している。海洋生物との調和を図りながら開発に伴う、水中の環境リスクを低減させることを目指している。

見込まれる海藻養殖の自動化や効率化を支える技術としても活用可能だ。ブルーカーボンのクレジットは、漁業関係者の活動の維持に加えて、環境教育の推進といった地域への還元にもつながる。世界にさきがけて海藻由来のブルーカーボンをGHGインベントリに計上した日本が技術面においてもリードしていくことを期待したい。

当レポートに掲載されているあらゆる内容は無断転載・複製を禁じます。当レポートは信頼できると思われる情報ソースから入手した情報・データに基づき作成していますが、当社はその正確性、完全性、信頼性等を保証するものではありません。当レポートは執筆者の見解に基づき作成されたものであり、当社および三井物産グループの統一した見解を示すものではありません。また、当レポートのご利用により、直接的あるいは間接的な不利益・損害が発生したとしても、当社および三井物産グループは一切責任を負いません。レポートに掲載された内容は予告なしに変更することがあります。