

## 特集

# 海草・海藻藻場におけるブルーカーボン研究と社会実装の現状

●文・写真：堀 正和（国立研究開発法人水産研究・教育機構 沿岸生態系暖流域グループ長）

「ブルーカーボン」という言葉が少なくとも海好きの間では一般化しつつあります。その研究や日本社会への展開は今、どのような段階にあるのでしょうか。今回は、沿岸の大型植物や生物多様性の保全と活用を推進している堀正和先生に、ブルーカーボンの活動についてご解説いただきました。

イメージ写真

## はじめに

気候変動が自然環境へ及ぼす影響はますます深刻化し、海洋では海水温上昇等により海草・海藻藻場が衰退・消失する磯焼けが進行している（図1）。磯焼けは日本固有の現象ではなく世界各地でも頻発し、沿岸海洋の生態系機能や生物多様性の劣化をもたらしている（図2）。

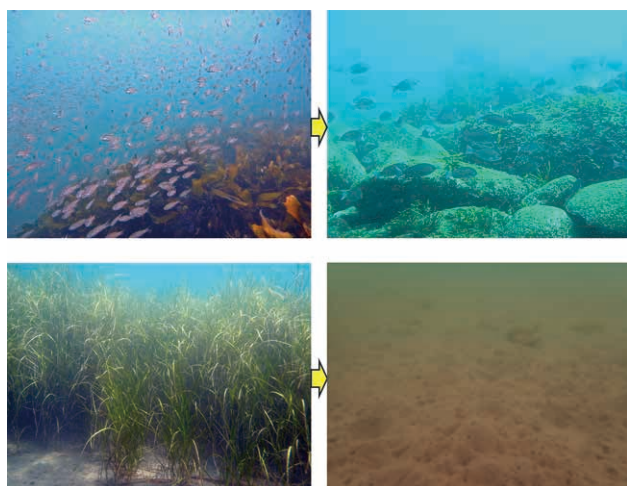


図1 海藻藻場（長崎県壱岐市：上段）、海草藻場（鹿児島県指宿市：下段）の磯焼け

その一方で、「ブルーカーボン」という言葉が世に出て15年が経ち、多くの科学的根拠の蓄積と普及活動の進展により、一般社会でも徐々に認知されるようになった。温室効果ガスの約7割以上を占める二酸化炭素（以下CO<sub>2</sub>）を海草・海藻藻場が吸収し、海底や深海に有機炭素（ブルーカーボン）として貯留する機能は、いまや国内外で注目されている。国内では世界で初めて海草・海藻を対象としたカーボンクレジット制度（Jブルークレジット）が開始され、また我が国は世界に先駆け、海草・海藻藻場をCO<sub>2</sub>吸収源として自国の温室効果ガスインベントリ（自国で1年間に排出・吸収した温室効果ガス量の目録）に登録し、国連に提出した。海草・海藻藻場を気候変動対策に活用していくことを国内外へ示したわけである。他の国々でも気候変動対策としてブルーカーボンの活用が進み、食料やバイオマス資源への利用など、多方面での社会実装も検討されている。

このように海草・海藻藻場は気候変動の影響を強く受ける自然生態系であると同時に、気候変動対策にもなるという特徴を有する。本稿では海草・海藻藻場による気候変動対策の経緯やその意義について整理するとともに、今後の展開の一例を紹介したい。

ブルーカーボンとしての海草・海藻藻場

## ブルーカーボンとしての海草・海藻藻場

大気中のCO<sub>2</sub>を吸収し、ブルーカーボンとして海中に炭素貯留する機能が高い生態系はブルーカーボン生態系と呼ばれる。本稿で対象とする海草・海藻藻場に加え、マングローブ林や塩性湿地（干潟）が含まれる。本誌の読者なら気づかれる方が多いと思うが、

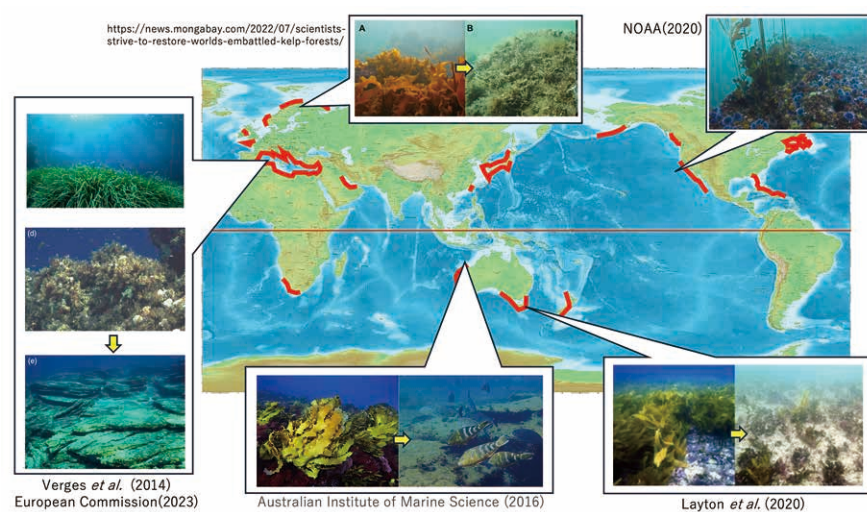


図2 世界各地の磯焼け（赤線）



我々人間活動によって急速に消失してきた沿岸生態系であり、かつ海洋の生物多様性にとって重要な生態系がブルーカーボン生態系である。2009年に国連環境計画(UNEP)から公開された「ブルーカーボン」報告書(引用1)では、ブルーカーボン生態系が重要なCO<sub>2</sub>吸収源であることを科学的根拠とともに説明し、森林と同じように社会全体で保全・再生しなければならないと提言することも目的であった。すなわち、「ブルーカーボン」は単に「海洋をCO<sub>2</sub>吸収源として利用する」ためだけに始まった活動ではないのである(図3)。

海草・海藻藻場は数多くの生態系機能を有し、さまざまな恩恵を人類にもたらす重要な生態系である。しかしながら、その重要性を認識できるのは本誌の読者をはじめ、海洋に関心がある“仲間内”でのことで、一般社会ではほんの一握りでしかないことを最近実感している。海草・海藻への関心となるとさらに少なくなるようだ。例えば、我々の食卓にも上がるワカメ・コンブは褐藻類の海藻であり、本来は褐色である(図4)。一方で食卓の上ではゆで上がった緑色をしている。海の絵を描いたとき、誰しもがワカメ・コンブらしき大型海藻を描くのだそうだが、緑色ではなく本来の褐色で描く方はどのくらいいるか、と考えると納得できるかもしれない(図5)。海草・海藻藻場が有する機能のうち、多くの海洋生物の生息場所となる機能(生物多様性を高める)、さらに水産資源と

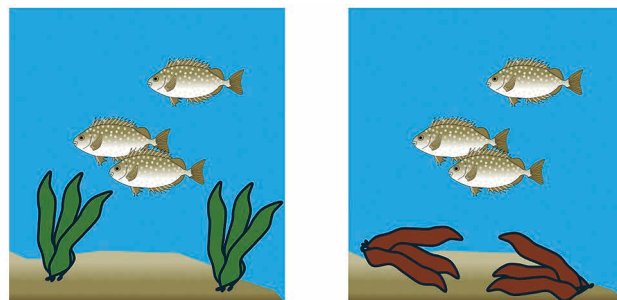


図5 海のイラストでの海藻の色の違い。なおかつ、コンブやワカメの仲間は海の中で直立しない。左右どちらが違和感ないだろうか。

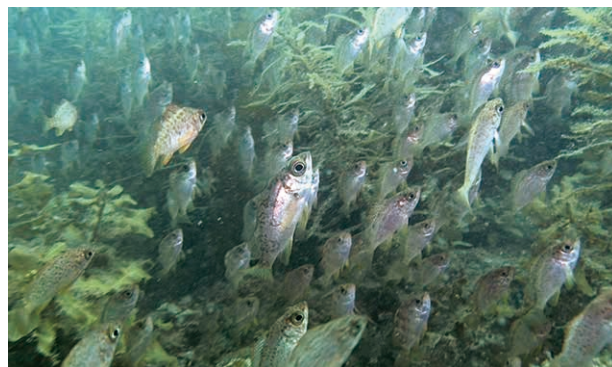


図6 ホンダワラ類の藻場に集まるメバルの群れ

なる魚介類を育む機能など(図6)、海に関心のある人には当たり前のことであっても、興味がない方々にとっては想像することすら難しいようである。藻場の保全・再生を説かれたとしても、自分が興味ないことに共感することは難しいだろう。

その一方、温暖化する気候を日々体感し、脱炭素社会に生きる人々にとって、気候変動対策は誰しもが自分の生活や仕事に関わる関心事である。海草・海藻藻場がCO<sub>2</sub>の吸収源として機能するのであればぜひ関わってみたい/活用したいと考え、興味を持つ面々は多岐にわたる。おそらく、CO<sub>2</sub>吸収源としての藻場の保全・再生に関心があるステークホルダーは、海洋生物・水産業にかかわる範囲から、地球に住まうほぼ全ての人、くらいに膨れ上がる。ブルーカーボンを介して海洋・水産分野と他分野との連携が強化され、水産分野だけでは成し得なかった藻場の保全・再生やさらなる藻場の拡大まで、その実

現に向けた技術発展や活動の広がりを期待している。

このように書くと、藻場のCO<sub>2</sub>吸収源の価値だけを重視しているように見えるかもしれないが、そうではない。生物多様性やその恩恵である水産資源と社会との連携を進める上で、関連する機能とその恩恵を抜きにした議論は進めら



図3 UNEP報告書「Blue Carbon」の表紙・裏表紙。概要については堀・桑江(2017)に日本語解説がある



図4 海域で生育するワカメ(左)およびマコンブ(右)

れない。CO<sub>2</sub>吸収源としての機能とともに、藻場が有する本来のさまざまな機能の重要性がコベネフィットという説明で必ず含まれる。つまり、藻場の重要性を社会全体に知ってもらうため、藻場の機能を説明する順番を変えたことになる。「ブルーカーボン」が世に広まった後、「ネイチャー・ポジティブ」や「30 by 30」といった生物多様性に関する社会課題が新たに広がったこともあり、他の機能を含めた統括的な藻場の価値を認識してくださる方々が増えてきたのはうれしいことである。

## 海草・海藻藻場によるCO<sub>2</sub>貯留の仕組み

少し専門的な話になってしまうが、海草・海藻藻場が大気中CO<sub>2</sub>を海中に貯留する仕組みについて、上述した温室効果ガスインベントリでの算定に使われた手法を紹介する。各国が国連に提出する自国の温室効果ガスインベントリの算定手法は、IPCC(気候変動に関する政府間パネル：各国の政策に科学的根拠を提供するための組織)が作成したガイドラインに準拠する必要がある。その方法論を単純化すると、対象とする生態系の単位面積当たりのCO<sub>2</sub>吸収量と、その面積との積で求める。そのため、単位面積当たりでCO<sub>2</sub>を吸収するプロセスを科学的に定量することになる。

森林等の樹木では光合成で吸収したCO<sub>2</sub>の多くを自分の体とその周囲に貯めることが多いため、その場所に残る樹木由来の炭素量から年間のCO<sub>2</sub>吸収量を算定することができる。一方で海草・海藻藻場の場合は、その場

で成長した海草・海藻の体は数カ月～数年程度でそのほとんどが流出してしまうことが多い。ただし、流出した全てがCO<sub>2</sub>に戻るわけではなく、いくらかは流れ藻などになり、海の中を流れて別の場所で貯留されている。ここが陸上植物と海草・海藻類とで大きく異なる点である。したがって海草・海藻藻場では、藻場が一旦取り込んだ年間の炭素量のうち、別の場所にある貯蔵庫に移行した量を算定する必要がある(図7)。

海中のCO<sub>2</sub>貯蔵庫は現在4つあることが知られており(引用2)、海底の砂泥堆積物や、深海域がその貯蔵庫となっている。それぞれの貯蔵庫に移行して100年後まで残った量の合計が、海草・海藻藻場が貯留したCO<sub>2</sub>量となる(図8)。間近で確認できる陸上の森林と違い、海の底深くの貯蔵庫にあるブルーカーボンは直感的に認識しづらい。この点が社会実装での不安要素と捉えられることもあるため、この貯蔵庫に関する科学的な根拠を蓄積することが重要な研究となっている。海底の貯蔵庫の存在を示す分りやすい事例として、実は地球温暖化の主要因である石油が挙げられる。日本人が利用する石油の約90%は中東で採掘されているが、中東の石油は数億年前に海底の貯蔵庫に堆積したブルーカーボン由来であると言われている(図9)。大陸移動が始まった頃、大陸に囲まれた浅いテチス海で海洋生物が爆発的に増え、そのブルーカーボンが海底に大量に堆積した。それが現代の中東の油田源と言われている。地球温暖化の原因にブルーカーボン由来が含まれるとは皮肉な話ではあるが、だからこそ石油から排出されたCO<sub>2</sub>をブルーカーボンに戻すことは合点がいく取り組みでもある。

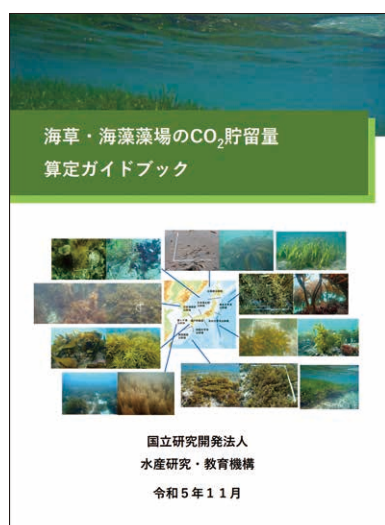


図7 海草・海藻藻場によるCO<sub>2</sub>貯留量を算定するための計算式やパラメータ(定数や変数)など、算定手法を説明  
([https://www.fra.go.jp/gijyutsu/project/fisheries\\_ecosystems/files/bluecarbon\\_guidebook2023.pdf](https://www.fra.go.jp/gijyutsu/project/fisheries_ecosystems/files/bluecarbon_guidebook2023.pdf))

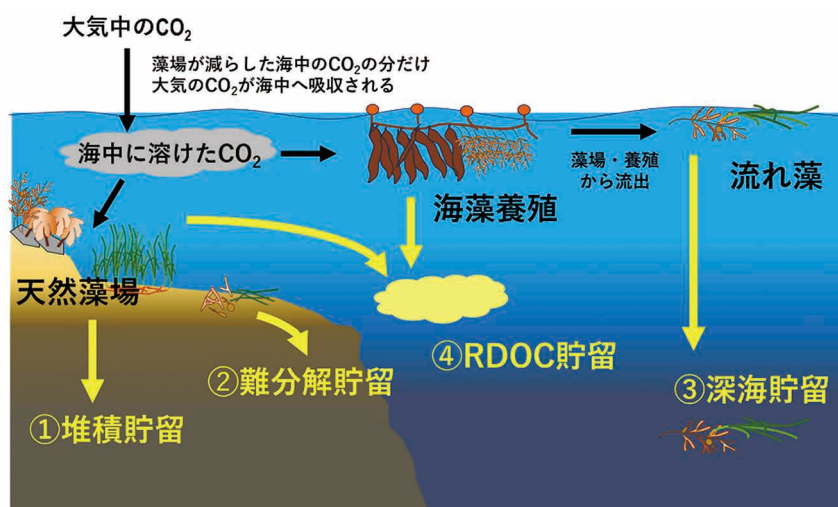


図8 ブルーカーボンの4つの貯蔵庫。詳細は図7:ガイドブックを参照されたい



## 海藻由来のブルーカーボンの活用：

気候変動対策において、世界各国は海洋での食料生産・バイオマス生産(非食用での活用)に大きな期待を寄せている(引用3)。海洋では食料生産に淡水を使わないことに加え、特にタンパク源の生産では陸上よりCO<sub>2</sub>排出量が少なく、陸から海にタンパク源をシフトするだけでも大幅なCO<sub>2</sub>削減となるためである(引用4)。また、バイオマス生産ではトウモロコシにおけるバイオエタノールと食料・家畜飼料とのコンフリクトのような課題が小さい点も大きい。そのため、近年は世界中で水産業の発展が著しく、特に海面での養殖生産量は年々上昇し、この30年で3倍以上に拡大している。そのうち約50%が海藻養殖であり、世界で3500万トン/年を超えるようになった(引用5)。そのうち70%が非食用として利用されており、アルギン酸等の機能成分の抽出、最近では海藻由来の生分解プラスチック製品などが作られている(引用6)。残り30%が食用で、海藻食は日本・韓国など東アジア諸国中心の文化であったが、いまや欧米など他の地域でも海藻類の食料利用が始まっている。

このような世界の動きに後押しされるように、縮小を続ける日本の水産業を活性化し、日本独自のブルーカーボンの活用方法を世界へ示していくため、さまざまな研究機関や企業が技術開発を進めている。そのうち、農林水産省のブルーカーボンプロジェクト(JPJ008722)では、CO<sub>2</sub>吸収源拡大と同時に藻場の保全・再生、さらには水産業の活性化を進めるための技術開発が実施された。過去に日本の海藻養殖の産地で実施されていた多段式の海藻養殖技術を応用し、海面近くの1層目には活動資金となるコンブ・ワカメ等の食用の海藻類を育成し、2層目にはバイオマス生産に適した海藻類を、そして

海底に近い3層目には現地の藻場を構成する海藻類を育成して藻場回復の母藻とする、というふうに海域を3次元に利用することでCO<sub>2</sub>吸収源の効果も拡大する、統合藻場と呼ばれる手法が考案された。海藻類は種によって最適な生息水深が異なるため、その特性を生かし、産業的需要および地域の藻場再生活動に合わせて層を組み替える。このような多種系での海藻育成技術は、古来より多種多様な海藻種を利用してきた日本ならではの手法である。

## おわりに：

現在の気候変動は人類が引き起こした攪乱である以上、自然の回復力だけに頼るのは難しく、どうしても人の手で影響を緩和せざるを得ない。ブルーカーボン研究とその社会実装の推進は、海草・海藻類を単純に養殖等で増やしてCO<sub>2</sub>吸収源だけを構築するのではない。海草・海藻藻場が有する本来の多くの機能と生物多様性の回復・拡大も同時に行うことを目的としている。日本の海藻文化に科学を組み合わせ、日本の利点を生かした藻場保全・再生とCO<sub>2</sub>吸収源の構築を両輪とした多くの活動が推進されることを期待したい。

## 引用文献

- 1 Nellemann C et al. (2009) Blue Carbon. A Rapid Response Assessment. UNEP, pp. 80.
- 2 Krauze-Jensen D and Duarte CM (2016) Substantial role of macroalgae in marine carbon sequestration. Nature geoscience 9: 737-742.
- 3 Hoegh-Guldberg, O et al (2019) The Ocean as a Solution to Climate Change: Five Opportunities for Action, pp. 116, World Resources Institute, Washington DC.
- 4 Gephart, JA et al. (2021) Environmental performance of blue food. Nature 597: 360-366.
- 5 Naylor, RL et al. (2021) A 20-year retrospective review of global aquaculture. Nature 591: 551-563.
- 6 Farghali, M et al. (2023) Seaweed for climate mitigation, wastewater treatment, bioenergy, bioplastic, biochar, food, pharmaceuticals, and cosmetics: a review. Environmental Chemistry Letters 21: 97-152.

## 堀 正和 ほり・まさかず

1974年大阪府生まれ。北海道大学大学院水産科学研究科博士課程修了、博士(水産科学)。現在、国立研究開発法人水産研究・教育機構 沿岸生態系暖流域グループ長、東京海洋大学大学院海洋科学技術研究科客員教授、ジャパブルーエコノミー技術研究組合顧問。「ブルーカーボン 浅海におけるCO<sub>2</sub>隔離・貯留とその活用」(2017)、「人と生態系のダイナミクス4 海の歴史と未来」など著書多数。海草・海藻藻場を中心にブルーカーボンをはじめとする沿岸海洋生態系の生態系機能や生物多様性、その恩恵である水産資源に関わる研究を進めている。



図9 約2億年前の浅いテチス海でブルーカーボンが海底に堆積