

ブルーカーボンに関する研究開発の経緯と最近の動向

NPO 法人海ロマン 21 理事長 小池勲夫

気候温暖化の対策としてカーボンニュートラルの議論がわが国でも盛んになっている。特に昨年菅総理が、2050 年までにカーボンニュートラルを日本として達成したいと言う宣言を出したことで、温室効果気体の排出源の削減と同時に吸収源の増加に関しても関心が高まり、その 1 つとしてのブルーカーボンによる二酸化炭素の吸収効果が注目されている。

この報告書では、国際的な動きとして国単位での二酸化炭素等の温室効果気体のインベントリ（排出と吸収の目録）の提出義務が生じた経緯を簡単に述べた後、わが国でのこれまでの主要な二酸化炭素の吸収源である森林での吸収量の推定法を紹介する。その後、2009 年の国連環境計画（UNEP）が出版したブルーカーボンに関する報告書とそれを受けた研究成績と、ブルーカーボンを国別の温室効果気体インベントリに含めることへの国際的動向と、わが国で進められているブルーカーボン研究についても触ることにする。なお、最後にブルーカーボンの動向に関してまとめたパワーポイントを参考として添付したので合わせて参照して頂きたい。

（1）京都議定書以降の温室効果気体の排出削減に関する国際的な動向とわが国の対応（ブルーカーボンの評価）

国連気候変動枠組み条約（UNFCCC）のもとで 2002 年にわが国が締結し 2005 年に発効した京都議定書（1997 年）では、二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素など 6 種類の温室効果気体が削減対象となっており、先進各国の温室効果気体の排出量削減に関する数値目標がそれぞれ定められた。例えば、日本には第一約束期間（2008～2012 年の 5 年間）における温室効果気体の平均排出量を、基準年（二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素については 1990 年）の排出量から、6% 削減するという目標が割り当てられている。この目標を評価するには排出量や吸収量の算定をより正確に行うことが必要となり、先進各国は 2007 年までに温室効果気体の排出・吸収量の目録（インベントリ）の国内推計システムを整備することになった。

気候変動に関する IPCC レポートを取りまとめている国際的な専門家集団である気候変動に関する政府間パネル（IPCC）は、このため 2006 年に「IPCC 国家温室効果気体インベントリのガイドライン」を作成し、統一の取れた手法で温室効果気体の收支推定が出来るような体制にした（Egginton, et al., 2006）。このインベントリでは、国内の管理された森林などによる二酸化炭素の吸収量も報告することになっており、カーボンニュートラルと言う表現は温室効果気体の排出と吸収が釣り合っている状態を意味している。

わが国では 2002 年に国立環境研究所の中に温室効果気体インベントリーオフィスが開設され、各府省との連携で毎年 IPCC のガイドラインに従って收支目録を取りまとめて条約事務局に報告を行っており、そのうち森林による吸収に関しては林野庁が担当している。ガイドラインでは、森林の場合樹種ごとの 5 つの炭素貯蔵源「生体バイオマス（地上バイオマス、地下バイオマス）、枯死有機物（枯死木、リター）、土壤」における年間における炭素ス

トック量の変化で算定することになっている。しっかりしたデータが必要なのはこれらの内、樹種、立木の密度、成長率、地上部と地下部のバイオマス比率である。わが国の場合、林野庁が国家森林資源データベースを既に整備しており、都道府県及び森林管理局が作成した森林簿において森林面積、樹種、及び林齢等の情報が集積しており、それをインベントリの基礎データとして活用している。

森林に関してわが国では1960年代後の一斉造林の後、これらの森林による成長が伐採等を上回っておるため一貫して吸収となっている。しかし、多くの樹種で林齢が高いものは蓄積量が少なくなるため、2004年以降には純吸収量は減少しており、2018年での森林での二酸化炭素の年間吸収量は0.47億万トンと報告されている。これはわが国の温室効果気体の同年における排出量の12.4億万トンの約4%にあたる。なお、IPCCでは積極的な植林等での吸収量の増加はそのまま評価するが、既にある森林での森林経営活動による吸収量に関しては、少なくとも2020年に終了した第二期約束期間ではインベントリに算入可能な上限値を設けており、必ずしも全ての森林が評価されるわけではない。

（2）国連環境計画（UNEP）によるブルーカーボン報告書とその後のIPCCなどの動向

2009年にブルーカーボンという概念が、大気中のCO₂の「吸収源及び貯蔵庫」足りうるものとして、国連の機関であるUNEPのレポートとして提唱された(Nellemann, et al., 2009)。このブルーカーボンは、主に沿岸域のマングローブ林、塩性湿地、海草藻場の底生の顕花植生での生態系に隔離・貯留された炭素を意味しており、これらの持つ大気中のCO₂の吸収源としての機能を評価している。この報告書では、沿岸域のこれらの顕花植生が堆積物中に地下部を発達させ、海底堆積物中の有機物分解の遅いことも反映して、これらの沿岸域生態系の海底堆積物が大きな有機炭素の貯蔵機能を持つことをデータで示している。それによると、全海洋での堆積物中の有機物貯留のほぼ半分は、これら僅か面積では全海洋の0.3%程度しか占めないブルーカーボン生態系で生じている。その一方で、このような沿岸生態系は世界で顕著な減少を示しており、1940年からの減少割合はマングローブ林で35%、最近の年あたりでは約3%となっており、海草藻場でも減少割合は35%、近年での年当たりの減少率は7%に達している。これらの生態系は炭素貯留以外にも多くの生態系サービスを沿岸住民にもたらしていることから、その保全と積極的な回復が必要であるとこの報告書は述べている。

このブルーカーボン報告書を受けて、IPCCが担当している温室効果気体のインベントリ算出のガイドラインも2013年に改訂されている(Hiraishi, et al., 2014)。すなわち2006年でのガイドラインにおける大きな区分分けは森林、草地、湿地、耕地と言った土地利用の形で分類されており、その利用の変化に注目するが湿地には沿岸湿地が入っていなかった。さらに草地や湿地は分解が遅い木質バイオマスが殆ど無いため収支はゼロとされていた。2013年に改訂されたガイドラインでは湿地の中に沿岸湿地が項目として入り、国として沿岸湿地の範囲を決めれば温室効果気体収支のインベントリにこれを含めることが可能になった。改訂されたガイドラインでは、マングローブ林に関しては木質なので従来の管理された森

林と類似した推定法が適用出来ること、また、塩性湿地や海草藻場に関しては、人間活動でその生育地を埋め立てた場合や新規に藻場を造成した時の、炭素収支の推定法に関して主に述べている。

なお、わが国を含むいくつかの沿岸国では海藻の利用が盛んであり、また、生物量も大きいので、これをブルーカーボンに加えることへの検討が国際的なレベルでも始まっている (Krause-Jensen & Duarte, 2016)。海藻は主に岩場に生育するため、生育場での堆積物への海藻由来の有機炭素の貯留は殆ど生じない。一方で、海藻は流れ藻となって、あるいは海底を伝って堆積環境のある海底へ移送され有機炭素として隔離されることや、分解されにくく溶存有機物を周辺海域に放出し、それが貯留されるなど、生産された海藻由来の有機炭素のある部分は隔離炭素となることが知られている。水産庁の研究事業として2020年から行われているブルーカーボンに関する研究開発でも主要な海藻を取り上げてその炭素動態や炭素収支を解析している。

(3) ブルーカーボンに関する国内外の研究

Bridgham (2014) は、全球での陸域植生とマングローブ、塩生湿地、海草藻場の沿岸植生での堆積物への有機炭素の貯留速度を取りまとめている。それによると、単位面積当たりの有機炭素の陸域生態系での土壤への貯留速度は最も大きい温帯林でも $5.1\text{gC/m}^2/\text{年}$ であるが、マングローブ林や海草藻場では $100\text{gC/m}^2/\text{年}$ 以上である。このような陸域生態系に比べて沿岸の顕花植生による生態系での有機炭素の貯留能力の高さはこれまであまり注目されてこなかったが、新たに大気中の二酸化炭素の貯留と言う視点で評価されることになった。なお、陸域植生に比べて、沿岸域の顕花植生の面積は極めて少ないが、それでも全球レベルでの推定ではブルーカーボン生態系での堆積物への有機炭素貯留量は土壤への陸域植生による貯留量のほぼ 20%に達するとされている。

このようにブルーカーボン生態系では、堆積物への有機炭素の貯留が顕著であるが、Duarte & Krause-Jensen (2017) はこれまでの海草藻場における有機炭素の動態に関する研究をまとめたが、その結果かなりの割合が藻場の外で貯留されることを示した (図 1)。

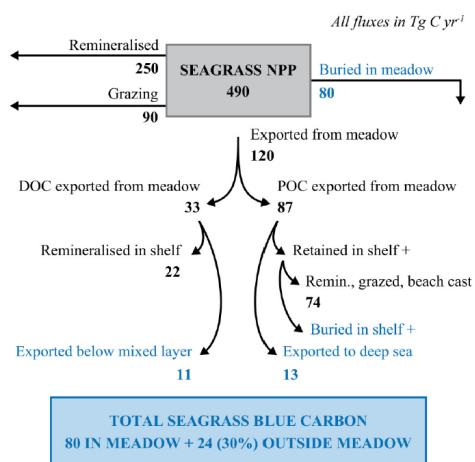


図1：海草藻場からの有機炭素の炭素貯留への道筋。全球での海草藻場の純生産（NPP）が、分解、摂餌、藻場内での堆積、および藻場外への流出は Duarte and Cebrián(1996)による。また、DOCとしての流出は Barron et al. (2014)。なお、DOCとPOCの海洋中・深層への移送に関しては、Krause-Jensen and Duarte (2016)による海藻藻場からのDOC, POC輸送と同じと仮定した。

すなわち、年間、490TgC生産される海草藻場由来の有機炭素は、その80TgC/年の割合で藻場の堆積物に移行するが、一方、溶存有機炭素（DOC）や粒状デトリタス（POC）として藻場の外に流出する量も120TgC/年に達する。これらの多くは摂餌や微生物分解を受けるが、溶存および粒子有機炭素として、海洋の中・深層や堆積物に移行するものと合わせる有機炭素量は、24TgC/年になると推定しており、これら藻場堆積物と合わせて海草由来の有機炭素の貯留効果として評価している。

既に述べたように現在、ブルーカーボンに海藻藻場由来の有機炭素も含めることが提案されている。UNEPのブルーカーボン報告書における主な著者の1人である Carlos M. Duarte 博士達の研究グループは海藻藻場に関しても、上記の海草藻場と同じような有機炭素の全球的な収支を試みている（Krause-Jensen & Duarte, 2016）。これによれば、全海洋での海藻藻場の純生産速度は1521TgC/年であり、これは海草藻場での値よりも3倍も大きい。この生産された海藻有機炭素は、その1/3が藻場内で分解され、1/3が摂餌され、残りの1/3が藻場外に流出することになる。一方、海藻藻場で生産された有機炭素の約45%が藻場の外に溶存あるいは粒子有機炭素として流出する。その多くは沿岸域で分解、あるいは摂餌を受けるが、その約25%は、難分解性の溶存有機炭素や流れ藻の沈降物として、海洋の中・深層に隔離される。なお、全球での見積もりには不確定部分も大きく、特に藻場の外に流出する海藻由来の有機物に関しては分っていないことが多い。しかし、外洋での多く見出される流れ藻の存在や、海藻が放出する溶存の有機物には難分解性の物が含まれている研究結果などが、このような推定を支えている。

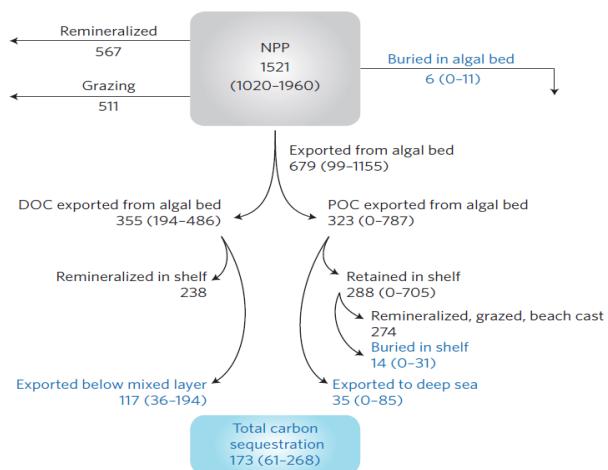


図2：海洋における海藻由来の有機炭素の貯留：全球での海草藻場における純生産（NPP）からのそれぞれの炭素の流れはこれまでの文献やNPPとの割合に関する論文等で推定されている。図2で与えた各分画の

平均値は独立の推定から得ているため、その合計が NPP とは一致しないことに注意。

なお、2013 年の IPCC の改訂ガイドラインにおける沿岸湿地に関しては、沿岸湿地の範囲はそれぞれの国が決めることになっている。海藻藻場のように藻場内での蓄積は殆ど無く、紹介した海藻藻場における炭素動態のように、藻場由来の有機炭素は流れ藻などの形態で極めて広範囲に広がることが想定される。従って、海藻藻場をブルーカーボンに含める議論の場合どこまでをそれぞれの国のブルーカーボンとするかが難しいため、海藻藻場を含める制度設計には多くの困難がありそうである。

わが国でもブルーカーボンに関する研究は 2009 年の UNEP 報告書を契機として行われていたが、農林水産省では 2020 年から「農林水産分野における炭素吸収源対策技術の開発」の一つの柱として、「ブルーカーボンの評価手法および効率的藻場形成・拡大技術の開発」を 5 年の公募型事業として始めている。この事業ではわが国における海草・海藻藻場を対象に藻場タイプ別の吸収係数評価モデルの開発を IPCC のガイドラインに沿った形で行い、得られた評価モデルによる二酸化炭素吸収量の全国評価を目指している。また、人為的に藻場等の拡大を行ってブルーカーボンの増強技術の開発も進める計画である。

また、2017 年にわが国で設立された「ブルーカーボン研究会」に対しては、国土交通省がこれまで行ってきた浚渫土砂等の有効活用や官民連携による藻場・浅場の造成等の取り組みが UNEP の提唱するブルーカーボンにも寄与することから、これまでの知見を生かし協力していくとしている。我が国では、このように農林省、国土交通省と IPCC の温室効果気体のインベントリを担当する環境省がブルーカーボンに行政的に関わっているが、今後、この三者が密接に連携して、わが国における沿岸湿地のインベントリ登録などが順調に進展することが望まれる。

（4）ブルーカーボンに関する全体のまとめ

○ブルーカーボンはマングローブ林、塩生湿地や海草藻場など陸/海境界での顕花植物生態系におけるこれまでの多様な生態系サービスに加えて、炭素貯留という新たな気候変動に対する生態系サービスを付加することが出来、その保全や育成が国としての評価の対象になった点に大きな意義がある。

○・海洋は、主に生物ポンプにより人為的に放出された二酸化炭素の半分近くを、中・深層という水塊への数百年から数千年の間の貯留している。一方、ブルーカーボンでの貯留は主に沿岸の堆積物であり、貯留の期間は更に長いものと評価出来る。

○ブルーカーボンは植林等によるグリーンカーボンや海洋の生物ポンプなどの貯留量および速度に比べると 1 枠以下であり短期間の温暖化緩和への寄与はこれらに比べると小さい。しかし、わが国沿岸域の海草・海藻藻場はこれまで水産業にもまた国土の保全にも大きな役

割を果たしてきた。これら陸／海境界の生態系の多面的な機能を合わせて評価して、その維持や再生に更に力を注ぐ必要がある。

参考文献：

- Barron, C., Apostolaki, E.T., and Duarte, C.M. (2014). Dissolved organic carbon fluxes by seagrass meadows and macroalgal beds. *Front. Mar. Sci.* 1:42. doi:10.3389/fmars.2014.00042
- Bridgham, S. D. (2014) Carbon dynamics and ecosystem processes. In: *Ecology of Freshwater and Estuarine Wetlands*. D. P. Batzer and R. R. Sharitz (eds.), University of California Press, Berkeley, CA, USA, p.277-309.
- Duarte, CM., and Cebrián, J. (1996) The fate of marine autotrophic production. *Limnol. Oceanogr.* 41,1758–1766.doi:10.4319/lo.1996.41.8.1758
- Duarte CM and Krause-Jensen D (2017) Export from Seagrass Meadows Contributes to Marine Carbon Sequestration. *Front. Mar. Sci.* 4:13. doi: 10.3389/fmars.2017.00013
- Eggleston, H S, Buendia, L, Miwa, K, Ngara, T, and Tanabe, K. (2006) *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Japan: N. p., 2006. Web.
- Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G. (eds.). (2014). *2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands*, Published: IPCC, Switzerland.
- Krause-Jensen,D., and Duarte, C.M.(2016) Substantial role of macroalgae in marine carbon sequestration. *Nat. Geosci.* 9,737–742.doi:10.1038/ngeo2790
- Nellemann, C., Corcoran, E., Duarte, C.M., Valdes, L., DeYoung, C., Fonseca, L., etal.(eds.).(2009). *Blue Carbon. A Rapid Response Assessment*, Vol,80. United Nations Environment Programme, GRID-Arendal.