

脱炭素の素材として注目を集める「海藻」 —サプライチェーンにも変容の兆し—

2023/10

三井物産戦略研究所

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

Summary

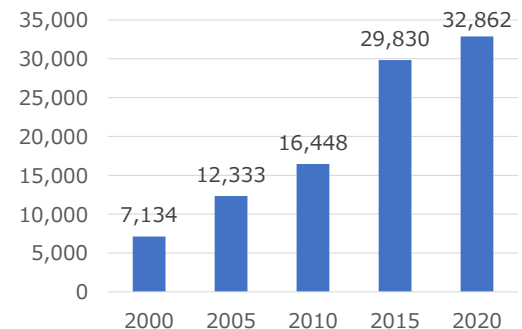
- 食用、肥料などに使われてきた海藻は、近年、脱炭素を後押しする素材として注目が集まっている。有望な利用用途としては、牛などのげっぷに含まれるメタンを削減する飼料添加剤、農業資材の一種であるバイオスティミュラント、代替タンパクが挙げられる。
- 気候変動対策を見据えた今後の市場拡大に対応する形で、海藻の生産・流通・加工のサプライチェーンを変化させる新たな動きも出てきている。
- 藻場などの海洋生態系に取り込まれる炭素はブルーカーボンと呼ばれ、クレジット化され取引されている。これをドライバーとして今後、海藻養殖への企業参入が期待される。

1. 海藻による脱炭素

古来、食用、肥料として用いられてきた海藻は、現在その生産量の約78%が直接食品として消費されているほか、11%が食品添加物などで使われている¹。食品添加物としての需要が増えていることを背景に、主な海藻の生産量は2000年から20年の間に約4.6倍に成長（図表1）している²。

近年では、環境保護という観点から海藻養殖が注目されている。海藻は、海中において光合成を行い成長することから、直接的に二酸化炭素を減らす効果が期待できる。また、海中の窒素などを栄養分として吸収するため、水質の改善効果、魚類などのすみかとなるなど生態系にとって有益である。さらに間接的に二酸化炭素の排出量削減に貢献するとの研究結果がある³。例えば、海藻を使った代替食品や飼料、バイオ燃料がある。これまで農産物の利用が一般的だったこれらの分野で海藻の活用が進めば農業への負担が軽くなり、結果として二酸化炭素の排出量の抑制につながる。

このように海藻は、脱炭素や生物多様性の観点からの価値が認識されつつあり、さまざまな分野へ用途

図表1 海藻の生産量推移

注：主要8種の生産量合計値を記載

出所：FAO, The state of world fisheries and aquaculture

2022から三井物産戦略研究所作成

¹ Reviews in Fisheries Science & Aquaculture, April 2021, Thierry Chopin et al. “Importance of Seaweeds and Extractive Species in Global Aquaculture Production”

² FAO, “The state of world fisheries and aquaculture 2022”

³ Nature Sustainability, “Reducing global land-use pressures with seaweed farming”

を広げていく可能性がある。本稿では農業および食品分野に着目し、海藻がどのように注目され始めているかを述べる。

2. 海藻の有望な用途

脱炭素の観点から新たに注目される海藻の用途と、その市場規模、課題について図表2に示す。課題として通底するのは、市場拡大を見込んだスケールアップと原料供給の安定化である。

図表2 脱炭素の観点から注目される海藻の新たな用途と市場規模、課題

用途	市場規模		課題
	2022年	2030年	
① メタン削減飼料添加剤	N/A*	3.06億ドル	<ul style="list-style-type: none"> 大量養殖技術の開発：カギケノリなどのメタン削減効果を有する海藻の大量養殖技術 飼料のコスト増：飼料添加剤を加えることによる飼料コストの増加 牛などのげっぶに含まれるメタン削減量の測定、報告、検証：手間とコストの低減
② バイオステミュラント	10億ドル	18.8億ドル	<ul style="list-style-type: none"> 原料調達安定化：海藻が含有している有効成分の季節変動 抽出技術：有効成分の効率的な抽出技術の開発 農家への認知度：バイオステミュラントの有効性の認知度向上
③ 代替タンパク	N/A	4.48億ドル	<ul style="list-style-type: none"> マーケットの開拓：海藻食品への消費者意識の改革 コスト低減：乾燥やタンパク質の抽出といった工程のコスト低減 品質の安定化：海藻のタンパク質含有量の安定化

*参考：海藻由来に限らないメタン削減飼料添加剤全体の市場規模は4,700万ドル

出所：The World Bank, “Global Seaweed New and Emerging Markets Report 2023”から三井物産戦略研究所作成

2-1. メタン削減飼料添加剤

牛の飼料に海藻を添加することで、げっぶなどに含まれるメタンを削減する特許は、2015年頃から出願され始めており、比較的最近の技術である。二酸化炭素の20倍以上の地球温暖化効果があるメタンは、牛などの反芻動物の腸内での微生物の活動により発生するが、その活動が海藻の持つ化合物により抑制される。特に、カギケノリという種類の海藻は、メタン生成細菌を抑制する成分を含有しており、少量の添加であっても削減効果は高い。そのため、メタン削減飼料添加剤を開発している多くのスタートアップはこの海藻を活用している。

(スウェーデン) Volta Greentechは、Lomeという飼料添加剤を開発した。牛1頭に1日当たり100gを与えることで、メタンを最大90%削減することができる。同社は、センサーなどで温度や光量を管理するバイオリアクターによるカギケノリの養殖システムを開発し、その成長に最適な条件を実現している（図表3左）。同社の飼料添加剤（図表3中央）を与えられ生産された牛肉は、Lome Beef（図表3右）というブラン

図表3 Volta Greentech社の取り組み



カギケノリの養殖

メタン削減効果を持つ飼料添加剤Lome

Lome Beef

出所：Volta Greentech

<https://www.voltagreentech.com/solution/>（左、中央）

<https://www.voltagreentech.com/lome/>（右）（2023年9月27日閲覧）

ドとして販売されており、環境意識の高い消費者へ訴求している。この分野における他企業の取り組み例を図表4に示す。

図表 4 メタン削減飼料添加剤に取り組む企業例

企業名	取り組み
(豪) FutureFeed	カギケリに関する特許を保有しており、様々な企業へライセンスを実施
(豪) Rumin8	海藻そのものを養殖するのではなく、メタン削減効果のある化合物を合成することに取り組む
(米) Symbrosia	ハワイでパイロットスケールでの海藻生産量拡大に取り組む。2022年6月に(仏)ダノンからの資金調達を発表
(日) ALNUR	2023年5月に鹿児島県の山川町漁業協同組合と、日本国内でのカギケリの養殖技術開発に取り組むことを発表
(日) ニッスイ	2023年5月にカギケリの陸上養殖を目指す(豪) Immersion Groupに資本参加、業務提携を発表

出所：各社ウェブサイトから三井物産戦略研究所作成

この分野での主な課題は、大量養殖技術の確立と低コスト化にある。大量養殖技術に関しては、(米) CH4 Globalが、2022年から陸上養殖施設の建設を始めており、2023年中には生産を開始する予定である⁴。低コスト化に関しては、畜産農家が許容できる飼料添加物の価格は、1頭当たり1日0.14ドルといわれており⁵、今後広く畜産業界で使用されるには、それ以下のコストに抑えることが必要だ。また、実際にメタン削減量を把握するためには特別な大型の設備に牛を数日間滞在させる必要があるなど手間とコストがかかるため、より簡易で低コストな測定方法の確立が課題と考えられる。

2-2. 海藻から作られる環境に優しい農業資材「バイオスティミュラント」

バイオスティミュラントとは、気候や土壌の不良など、作物にとっての非生物的ストレスを軽減し、本来備えている育つ力を引き出す農業資材の一種である。原料としては腐植質、海藻からの抽出物、微生物、アミノ酸などがある。中でも海藻からの抽出物（アルギン酸やビタミンなど）は、作物の成長促進を引き出す効果が高く、バイオスティミュラント市場の約40%を占めている。バイオスティミュラントの活用により化学肥料の使用割合を減らすことができれば、脱炭素をはじめとした環境負荷の低減につながる。近年では、天然ガスの価格上昇⁶や、ロシアのウクライナ侵攻に端を発した肥料の価格上昇（最大約2.8倍⁷）も、化学肥料の代替としてバイオスティミュラントへの注目度を高めている。

(加) Acadian Seaplantsは、自ら海で海藻を養殖しバイオスティミュラント製品を製造、販売している。同社の養殖の特徴は、品質の管理に加え、海藻資源を保護するため、収穫量が海藻の成長率よりも下回るように管理している点だ。海岸線の藻場分布の測定にあたっては衛星画像やドローン撮影を活用し地図化している（図表5左）。また、2023年2月より「Sea Beyond」という再生農業（農地の生態系を保全、回復する農業手法）をサポートするためのブランドを立ち上げ、同社製品の有効性を分かりやすく訴求している（図表5右）。同社のように、海藻資源を保全しつつバイオスティミュラントのような環境への負荷も少な

⁴ <https://www.ch4global.com/2022/08/25/ch4-global-subsiary-in-new-zealand-to-build-first-full-scale-ecopark/>

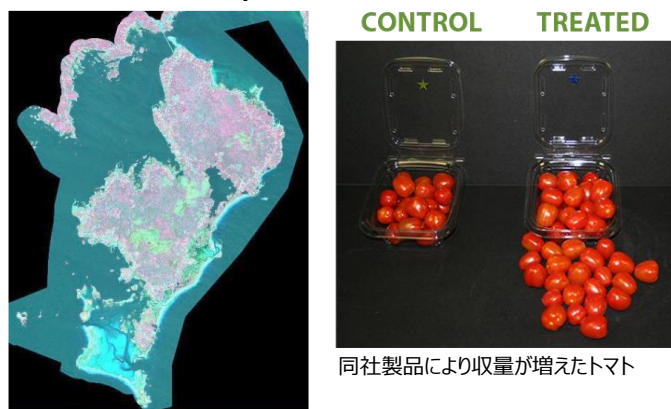
⁵ The World Bank, “Global Seaweed New and Emerging Markets Report 2023”

⁶ <https://blogs.worldbank.org/opendata/fertilizer-prices-expected-remain-higher-longer>

⁷ <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/6864d537-d407-4cab-8ef1-868dbf7e07e2/content> より Ureaの価格、335ドル/MT (Feb-21, 2021) に対し、925ドル/MT (April-22, 2022) より計算。

い農業資材を開発する企業に今後注目していくべきだろう。この分野における他企業の取り組み例を図表6に示す。

図表5 Acadian Seaplants社の取り組み



衛星画像の活用

出所：Acadian Seaplants
<https://www.acadianseaplants.com/seaweed-natural-resources-assessment/>（左）
<https://acadianplanthealth.com/our-technology/crop-quality/>（右）
 （2023年9月27日閲覧）

図表 6 バイオスティミュラントに取り組む企業例

企業名	取り組み
（独）Bayer	海藻抽出物を配合したバイオスティミュラント肥料を2022年より日本で販売開始
（蘭）The Seaweed Company	自社で海藻を養殖し、海藻由来のバイオスティミュラント以外に代替タンパクなども手掛ける
（仏）Algaia	海藻などから抽出した原料を使いバイオスティミュラントを開発、販売。機能性繊維などを手掛ける （独）JRSグループにより2023年3月に買収

出所：各社ウェブサイトから三井物産戦略研究所作成

この分野での主な課題としては、海藻が含有する有効成分の季節変動に対する安定化、有効成分の抽出技術の効率化がある。また、そもそものバイオスティミュラントの有効性の農家への認知度向上も課題と考えられる。

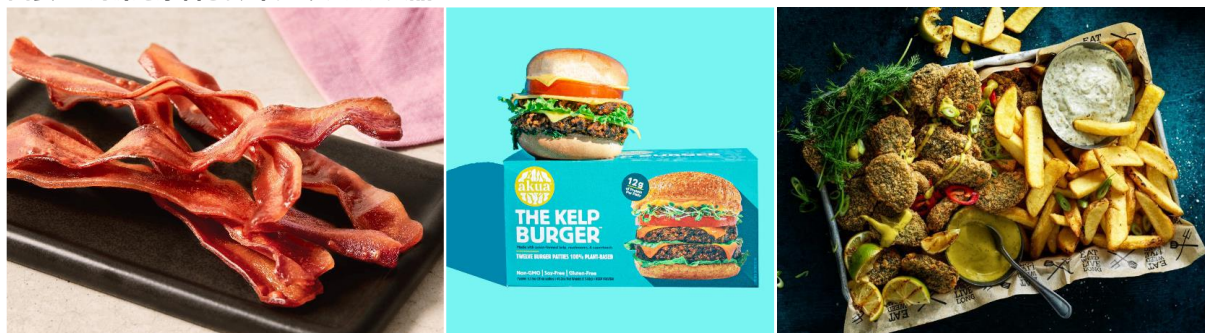
2-3. 欧米で注目される代替タンパクとしての海藻

海藻には豊富なタンパク質が含まれており、さらには、うま味成分であるグルタミン酸なども豊富に含まれる。この特徴を活かし、ビーガン向けの代替タンパク製品に使う動きがある。単位面積当たりのタンパク質の収量では、海藻が大豆の5倍との研究結果もあり⁸、従来の植物性タンパク製品の原料に加えて、海藻由来の代替タンパクが広まれば脱炭素への貢献につながる。

（米）Umaroが開発・販売するベーコンは、高タンパクな海藻を主原料に、ひよこ豆タンパク質等をブレンドしたもので、一般的なベーコンと同等の価格を達成できている。また、（米）AKUAや、（蘭）The Dutch Weed Burgerといったスタートアップも海藻由来のタンパク質をベースに植物性タンパク質を混合した製品の開発を進めている（図表7）。この分野における他企業の取り組み例を図表8に示す。

⁸ The World Bank, “Global Seaweed New and Emerging Markets Report 2023”

図表 7 海藻を原料とした代替タンパク製品



Umamaro社による海藻ベーコン

AKUA社による昆布バーガー

The Dutch Weed Burger社によるナゲット

出所：Umamaro <https://www.umarofoods.com/add-umaro-bacon-to-your-menu>

AKUA <https://akua.co/collections/all/products/kelp-burger>

The Dutch Weed Burger <https://dutchweedburger.com/en/products-2/> (2023年9月26日閲覧)

図表 8 代替タンパクに取り組む企業例

企業名	取り組み
(蘭) The Seaweed Company	自社で海藻を養殖、海藻を使った代替タンパク「SeaMeat」を販売
(アイルランド) Sea & Believe	植物由来の材料と海藻を組み合わせ、タラの食感を再現した代替魚製品を販売
(日) 日本ハム	魚を使わない「ナチュミートフィッシュフライ」を2023年より発売。海藻由来の成分を使うことで魚肉の食感を再現

出所：各社ウェブサイトから三井物産戦略研究所作成

この分野での主な課題としては、市場開拓とコスト低減がある。上述のように欧米では代替タンパク製品開発の動きが見られるが、アジアと比較して海藻を食べることへのなじみは薄い。それらの地域を開拓していくことが重要となる。また、海藻の細胞壁は強靱であるためタンパク質の抽出工程にはエネルギーやコストがかかる⁹。さらには、海藻はタンパク質の含有量にばらつきがあることも今後の市場拡大に向けたハードルになり得る。

3. 海藻を取り巻くサプライチェーンにも変容の兆し

海藻利用の用途が広がるなかで、そのサプライチェーンを変化させる新たな動きがある。ここでは、生産と流通・加工の面から、注目される企業の動向を取り上げる。

3-1. 生産：陸上海藻養殖

季節的な海藻の収穫量の変動や不漁に対して、陸上養殖を行い解決しようとする取り組みが見られる。(日) 三島食品は2020年、原料であるスジアオノリの国内産地での記録的な不漁により、通年で販売していた自社製品「青のり」の休売を余儀なくされた。そこで、かねて行っていたスジアオノリの陸上養殖の収穫量を増やすべく、広島県に新たに施設を建造し、2021年には製品の販売を再開している(図表9)。不漁の原因は海水温の変化などが考えられているがこのような外部環境の変動による影響を排除でき、一年

9

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S146685642300108X#:~:text=This%20encourages%20the%20use%20of,yield%2C%20which%20limit%20their%20application.>

を通して安定的な原料を確保できる陸上海藻養殖は魅力的だ。さらには、不純物が混入しないといったメリットもある。従来は原料を調達する側の食品会社が海藻生産者として陸上養殖を始めるのは興味深い動きだ。安定供給のために陸上養殖を始めるという事例は今後も増加していくと考えられる。陸上海藻養殖は、大規模生産の有力な手段の一つとなり得るだろう。

図表9 三島食品の陸上養殖の取り組み



スジアオリの陸上養殖を行う走島海洋資源開発センター

国産スジアオリを使った商品

出所：三島食品

<https://www.mishima.co.jp/product/seaweed/> (左)

<https://www.mishima.co.jp/enjoy/torikumi/aquaculture/> (右) (2023年9月26日閲覧)

3-2. 流通・加工：流通の集約化

海藻は収穫した時点で水分を80～90%と多く含んでおり、乾燥などの加工をしなければ流通コストが高くなってしまいます。また、海藻は地域により収穫できる種類が異なるが、それぞれさまざまな分野での活用が期待されており、用途に応じた加工や流通が求められる。このような流通・加工の課題に取り組む企業も現れている。(米) The Crop Projectは小規模の養殖事業者から海藻を仕入れ、乾燥や粉砕の加工を施し、食品やサプリメント等に使われる機能成分として販売している。同社は現在、主に北米で事業を行っているが、海藻の流通・加工に関わる課題はどの地域でも共通と考えられる。このような業態は、今後成長が期待される海藻市場において増加し、脱炭素に関わる高付加価値な素材を供給できる重要な立場になっていくだろう。

4. まとめと展望—ブルーカーボン・クレジットへの期待—

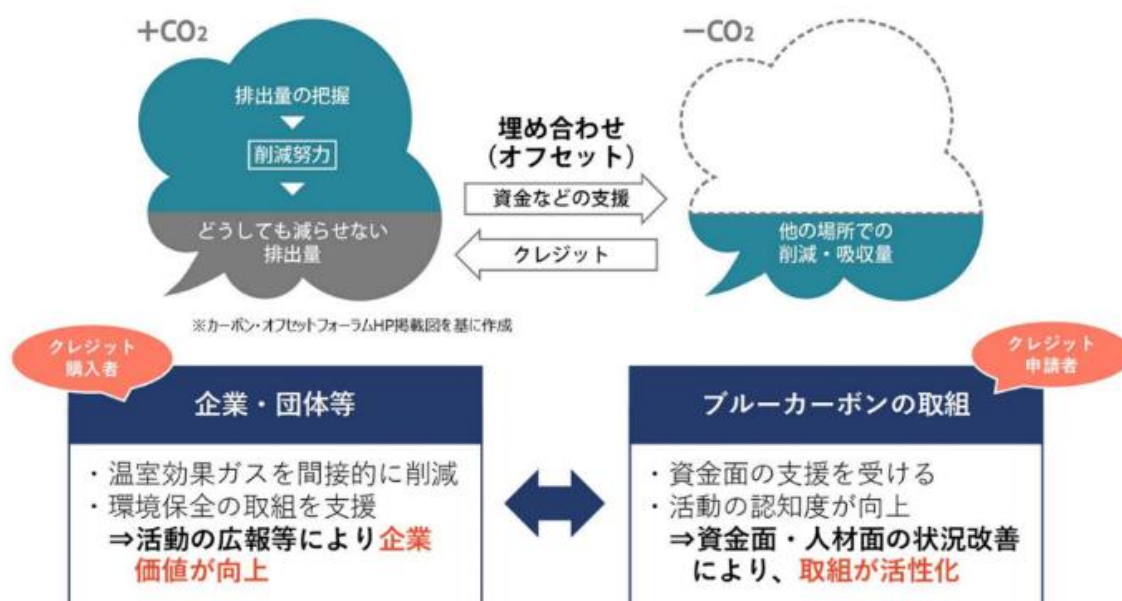
海藻は、脱炭素を後押しする、メタン削減飼料添加剤やバイオスティミュラント、代替タンパクといった製品の原料として期待されている。既存の課題に対して革新的な技術を持つスタートアップの参入が今後も進むだろう。また、通年での生産安定化に寄与する陸上海藻養殖、流通・加工に特化する企業の出現は、今後のサプライチェーンの変化の兆しともいえる。海藻市場の変容に注視したい。

最後に、海藻利用の重要な展望として、ブルーカーボンについて述べておきたい。ブルーカーボンとは、海藻藻場やマングローブ林などの海洋生態系に取り込まれた炭素のことである¹⁰。日本では、ジャパンプル

¹⁰ なお、ブルーカーボンの定量化に関しては、引き続き科学的な研究や議論が必要との声もある。

ーエコノミー技術研究組合が発行している「Jブルークレジット」（図表10）が、約7万8千円/t-CO₂で取り引きされている。世界銀行によれば、ブルーカーボンはおよそ13~35ドル/t-CO₂で取り引きされており¹¹、Jブルークレジットはかなりの高価格といえる。本クレジットの対象には、海藻を食べてしまうウニの除去、海藻移植による藻場再生活動、海藻養殖などが含まれるが、この高いクレジットの価格には生物多様性の回復といった付加価値に対する期待が反映されているとも解釈できる。海藻などは魚類の餌やすみかともなるため、このような活動を通して再び魚が戻ってくるなどのメリットがあるためだ。クレジットにより、海藻養殖へ民間企業の参入が促進されることが期待される。

図表10 Jブルークレジットのカーボン・オフセットの概要



出所：ジャパブルーエコノミー技術研究組合、Jブルークレジット認証申請の手続き
https://www.blueeconomy.jp/files/jbc2022/20230331_J-BlueCredit_Guideline_v2.2.1.pdf (2023年9月26日閲覧)

¹¹ The World Bank, “Global Seaweed New and Emerging Markets Report 2023”

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。