



技術戦略研究センターレポート

TSC Foresight

2024年5月

ブルーカーボン／ブルーリソース分野の 技術戦略策定に向けて

Vol. 119

はじめに	2
1章 解決すべき社会課題と実現したい将来像	4
1-1 社会課題と将来像	4
1-2 将来像実現のための方法	10
1-3 環境分析とベンチマーキング	12
2章 解決・実現手段の候補	26
2-1 解決・実現のための課題	26
2-2 分析などから得られた具体的解決手段の候補（技術面）	27
2-3 解決実現のための課題と実現手段（政策面）	30
3章 おわりに	31

TSCとはTechnology Strategy Center（技術戦略研究センター）の略称です。

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
技術戦略研究センター（TSC）

はじめに

気候変動による海洋環境の変化や水産業への影響が社会問題化し、国際機関において様々な海洋関連文書が公表されている(表 1)。国連サミットにおいて、2015年9月に加盟国の全会一致で採択された持続可能な開発目標(SDGs)の中で14“海の豊かさを守ろう”が掲げられたことに続けて、2017年に『持続可能な開発のための国連海洋科学の10年(2021~2030年)』が採択されたことを契機に関連機関において海洋科学の諸問題の解決に向けた取り組みが活発化している。

表 1 国際機関の海洋関連文書

国など	機関名	文書
国際機関、研究所、シンクタンク	国際連合 (UN)	<ul style="list-style-type: none"> Decade of Ocean Science for Sustainable Development (2021-2030) United Nations Global Compact (UNGC)
	国連食糧農業機関 (FAO)	<ul style="list-style-type: none"> Global Partnership for Climate, Fisheries and Aquaculture (PaCFA)
	世界銀行グループ (WBG)	<ul style="list-style-type: none"> Fish to 2030 : Prospects for Fisheries and Aquaculture
	経済協力開発機構 (OECD)	<ul style="list-style-type: none"> Divestment and Stranded Assets in the Low-carbon Transition The Ocean Economy in 2030 Rethinking Innovation for a Sustainable Ocean Economy Blueprint for improved Measurement of the International Ocean Economy
	世界資源研究所 (WRI)	<ul style="list-style-type: none"> The Ocean as a Solution to climate Change: Five Opportunities for Action The Expected Impacts of Climate Change on the Ocean Economy
	気候変動に関する政府間パネル (IPCC)	<ul style="list-style-type: none"> The Ocean and Cryosphere in a Changing
	政府間海洋学委員会	<ul style="list-style-type: none"> Climate Global Ocean Observing System
	世界自然保護基金 (WWF)	<ul style="list-style-type: none"> Reviving the Oceans Economy: The Case for Action-2015
	第21回気候変動枠組条約締約国会議 (COP21)	<ul style="list-style-type: none"> International Partnership for Blue Carbon (IPBC) * オーストラリア政府が中心に立ち上げる。

こうした状況の中、海洋産業の経済的発展の姿として海洋生態系を保全しつつ海洋資源を利用する「ブルーエコノミー」¹への関心が高まってきている。例えば EU では、2017 年に『ブルー成長戦略』²が公表されたことに引き続き、2018 年以降はブルーエコノミーに関する年次報告書が公表されるとともに、『Farm to Fork Strategy(農場から食卓まで)』³に代表されるようなバイオエコノミーの観点での海草・海藻の生産・利用促進策が打ち出されるなどを受けて、海洋資源保全技術や海洋資源活用技術の開発に対する投資が積極的に行われている。これに加えて、海洋資源が二酸化炭素(CO₂)の吸収源として大きなポテンシャルを持つことが注目されており、欧米では、「カーボンニュートラル」実現に向けて重要となるネガティブエミッション技術⁴の一つとしても、ブルーカーボン⁵を活用した海洋生態系による CDR(Carbon Dioxide Removal: 二酸化炭素除去)⁶の研究開発も進められている。

周囲に広大な海と多様な海洋資源を有する日本にとっても、ブルーカーボンの代表である海草・海藻を最大限に活用する技術開発が重要であり、『革新的環境イノベーション戦略』の重点項目の一つとして「ブルーカーボンの追求」が取り上げられている⁷。その中で具体的には、海草・海藻などによる CO₂ の固定の促進とともに、食料をはじめとした多様な製品の原材料としての活用の促進が掲げられている。本レポートでは、こうした海草・海藻を資源とみなす観点から、これらを「ブルーリソース」と称す。

本レポートでは、ブルーエコノミーとカーボンニュートラルの実現に向けて重要となるブルーカーボン／ブルーリソースに焦点を当て、その代表である海草・海藻に関する国内外の動向について俯瞰的な分析を行い、ブルーカーボン／ブルーリソースの活用拡大に向けた課題と技術開発の方向性を示す。

¹ ブルーエコノミー: 健全な海洋における経済分野の持続可能で統合的な発展。(世界銀行による定義) <https://www.worldbank.org/en/programs/problue>

² Blue Growth Strategy <https://www.europeanfiles.eu/wp-content/uploads/2017/06/The-European-Files-Blue-Growth-Strategy-June-2017-Issue-47.pdf>

³ Farm to Folk Strategy https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en

⁴ ネガティブエミッション技術(NETs: Negative Emissions Technologies): 大気中の CO₂ を回収・吸収し、貯留・固定化することで大気中の CO₂ 除去(CDR: Carbon Dioxide Removal)に資する技術。

⁵ ブルーカーボン: 海洋生態系の生物活動により固定される炭素の総称(2009 年国連環境計画(UNEP)の報告書にて命名)

⁶ 海洋 CDR: 海洋肥沃化、海洋アルカリ度向上、沿岸生態系のブルーカーボン管理、その他の海洋 CDR アプローチ(人工湧昇、大型海藻養殖など)のこと。図 3 にて詳細説明

⁷ 革新的環境イノベーション戦略(内閣府、統合イノベーション戦略推進会議、2020) <https://www8.cao.go.jp/cstp/siryo/haihui048/siry06-2.pdf>

1 章 解決すべき社会課題と実現したい将来像

1-1 社会課題と将来像

1-1-1 社会課題

近年、地球温暖化による世界的な平均気温の上昇や海面水位の上昇等への懸念が高まっている。また、気候変動に起因して世界各地で大規模な山火事や洪水、干ばつ、猛暑及び豪雨等の異常気象や自然災害が発生・甚大化している。生態系にも変化をもたらし、農産物や海洋水産資源への影響も出ている。関山によれば「直接的な脅威としては、気候変動が人の心身に作用したり水資源等の不足を招いたりすることで、紛争のリスクを高めることが危惧される。一方、間接的な経路としては、気候変動が食料生産や経済社会生活などに影響を及ぼし、それによって引き起こされる食料価格の上昇や大規模な人の移動などが紛争のリスクを高める可能性が指摘されている」と記述されている。(図 1)。

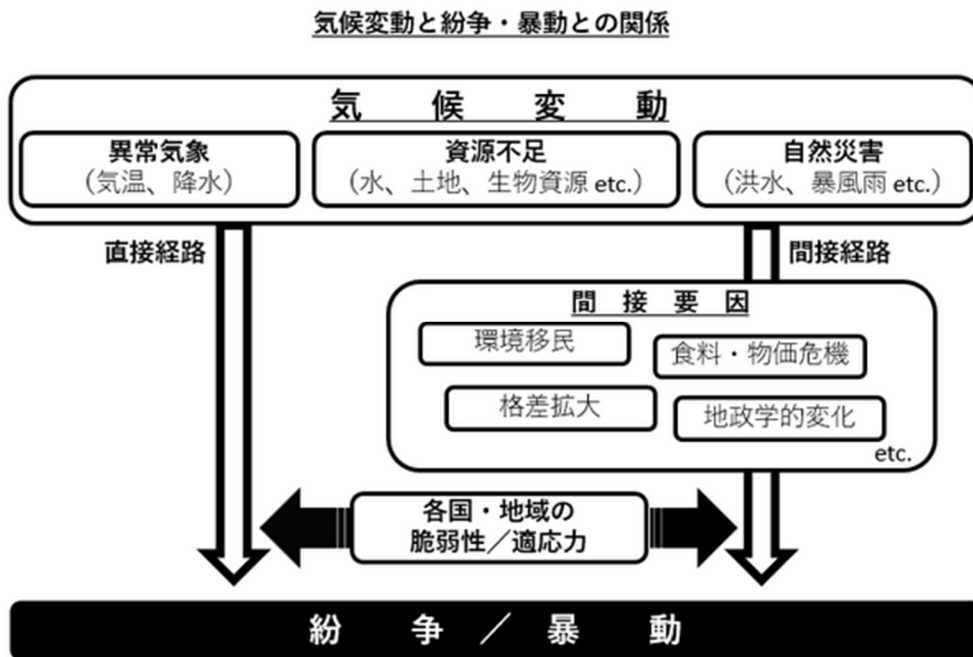


図 1 気候変動と紛争・暴動との関係

出典：関山健、気候変動を遠因とする紛争・暴力のリスク実態、
『気候安全保障：地球温暖化と自由で開かれたインド太平洋』
(株式会社東海教育研究所、2021)

欧米では以前から気候変動や環境変化がもたらす国際的な社会経済的リスクが指摘されており、気候変動問題を安全保障の問題と位置づけた「気候安全保障 (Climate Security)」という概念の下で、気候変動政策が促進されてきた。気候変動の問題については、2015年に国連機構変動枠組み条約締約国会議(COP21)で採択されたパリ協定において、温室効果ガス排出量削減などの気候変動への影響に適応するための各国の取り組みを具体化した「NDC(Nationally Determined Contribution: 国が決定する貢献)」の提出を求めている⁸。それまでは、日本では気候安全保障に対する対応は進んでいなかったが、パリ協定の運用開始や米国が気候変動を公式に国家安全保障と外交政策の中心に据えたことを受け、改めて関心が高まった。2021年4月に、“2030年度までに温室効果ガスを2013年度から46%削減する”目標を表明し、その年の10月には、地球温暖化対策推進本部において削減目標を反映したNDCを国連へ提出し⁹、2023年4月に国連に報告したインベントリでブルーカーボン生態系の一つであるマングローブ林による吸収量を日本として初めて計上している¹⁰。

また、四方を海に囲まれた日本では、気候変動による海面上昇が及ぼす影響(沿岸域の水没被害)、海水温上昇や海洋酸性化による生態系への直接的な影響などの「海洋環境保全」が重要な社会課題となっている。これらの海洋環境の変化に伴って、海洋生態系が変化し、漁場が移動したり、藻場が減少したりしている。さらに、高度経済成長期の沿岸域の開発や干潟機能の低下に伴って水産業が衰退傾向にある¹¹。その対策として、食用海藻の収穫量の確保といった「持続的経済性」の維持が課題となっている。

以上のような気候安全保障・NDC、海洋環境保全、持続的経済性に対処することが海洋に関連した三つの社会課題であると認識される。

⁸ 日本の排出削減目標(外務省、2022)https://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ch/page1w_000121.html

⁹ NDC Registry(UN Climate Change Conference、2021)<https://unfccc.int/NDCREG>

¹⁰ ブルーカーボンに関する取組み(環境省)

<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/blue-carbon-jp.html>

¹¹ 第3版 磯焼け対策ガイドライン、第5章我が国沿岸の磯焼けの現状(水産庁、2021)

https://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko_gyozyo/g_guideline/attach/pdf/index-62.pdf

1-1-2 将来像

気候安全保障・NDC、海洋環境保全、持続的経済性の社会課題に対して、ブルーカーボン／ブルーリソースが持つ CO₂ 吸収機能、生態系保全機能、持続的生物資源生産機能といった三つの機能(図 2)を有効に活用することで課題解決に貢献できる可能性があると考えられる。

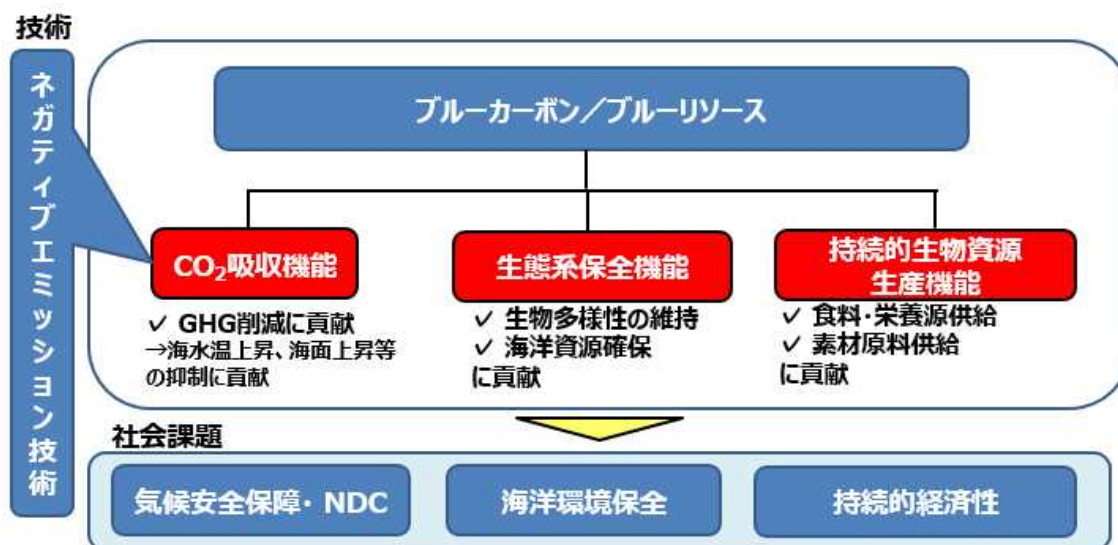


図 2 ブルーカーボン／ブルーリソースの機能と期待される効果

すなわち、温室効果ガスである CO₂ を吸収する機能を活用することで、気温上昇の抑制を通じた気候変動の抑制や、海水温の上昇とそれに伴う海面上昇といった海洋環境の変化の回避が可能となる。また、生態系保全機能によって、生物多様性の維持が図られることで、食料となる魚介類及びその栄養源の生産量を維持することで食料供給不足を解消するとともに、食料以外の製品の原材料となるブルーリソースの生産量拡大が可能となる。

CO₂ 吸収機能としては、図 3 に示したネガティブエミッション技術のうち海洋 CDR を活用することができる。中でも沿岸生態系のブルーカーボン管理は、マングローブ・塩性湿地・海草などのブルーカーボン維持・再生による海洋 CDR であり、これを活用することでブルーカーボンオフセット(他の排出源の CO₂ 排出量の補填)を通じた NDC 実現への貢献が期待される。

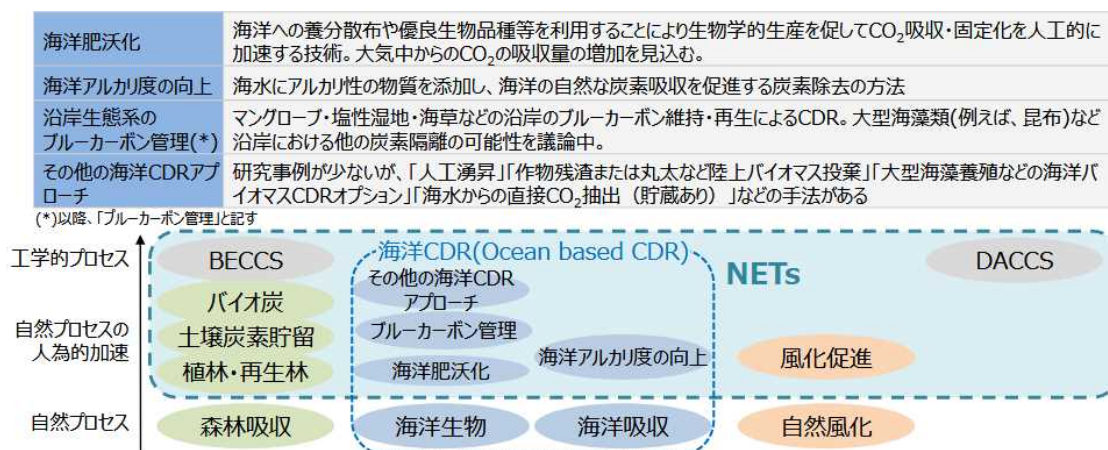


図 3 ネガティブエミッション(NETs)技術における海洋 CDR 技術

出典:ネガティブエミッション技術について(風化促進/バイオ炭/ブルーカーボン)
(経済産業省 第 3 回ネガティブエミッション市場創出に向けた検討会、2023)

こうした期待があることに対して、現状は、ブルーリソースの産業活用は、ほぼ天然栽培や沿岸養殖された海藻の食用活用のみで留まっている。一方、ブルーカーボンオフセットとしては、天然種の一部の海草が吸収する CO₂ のみを対象に、カーボンオフセットクレジットとして取引に活用され始めたところである。

一方、ブルーカーボンオフセットとしては、天然種の一部の海草が吸収する CO₂ のみを対象に、カーボンオフセットクレジットとして取引に活用され始めたところである。

まず、ブルーリソースの産業活用の現状と課題を概観する。日本では、『バイオ戦略 2020』¹²⁾において化石資源からバイオマス資源への移行が推進されており、バイオマス資源確保の重要性が高まっている。しかしながら、国土面積の狭い日本はバイオマス量が少なく国内での資源確保が難しいことから、その多くを輸入に依存している。こうした状況において、国土面積の約 12 倍の排他的経済水域(世界で第 6 位)¹³⁾で生育するブルーリソース、中でも海草・海藻は、バイオマス資源としての増産と産業活用が期待されているが、天然栽培あるいは沿岸養殖された海藻が食用に活用されるに留まっているのが現状である。今後は、沖合養殖や陸上養殖によって海藻を増産したうえで、これに含まれるアルギン酸やカラギーナンなど特徴的な成分を利用することによって多様な産業用途(機能性素材、タンパク質、汎用品)への活用に拡大していくことが強く望まれる。一方、海草については現状ほとんど産業利用しておらず、バイオマス資源として増産して産業活用につなげることが求められる。

次に、ブルーカーボンオフセットの現状に目を向けると、日本における沿岸生態系全体(マングローブ、塩性湿地・干潟、海草藻場、海藻藻場)の CO₂ 吸収ポテンシャルに占める海草・海藻の割合は約 8 割と大きい(図 4)。しかし、現時点の気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の湿地ガイドライン¹⁴⁾では、天然種の一部の海草のみがブルーカーボンオフセットの対象であり、海藻は対象外である。したがって、海藻による CO₂ 吸収量の算定手法を検証して IPCC 湿地ガイドラインの対象に登録し、海草に加えて海藻の CO₂ 吸収量も NDC のインベントリに計上することによって、ブルーカーボンオフセットを拡大していくことが望まれる。

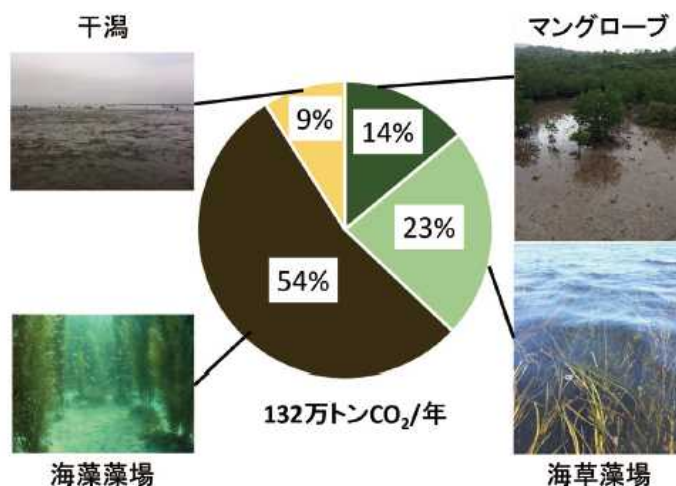


図 4 ブルーカーボンによる吸収ポテンシャルの全国推計

出典: 浅海生態系を介した炭素フロー(化学工学 第 85 巻 第 12 号、2021)

¹²⁾ バイオ戦略 2020(内閣府) https://www8.cao.go.jp/cstp/bio/bio2020_honbun.pdf

¹³⁾ 日本の領海(海上保安庁) https://www1.kaiho.mlit.go.jp/ryokai/ryokai_setsuzoku.html

海の未来(内閣府、2013) https://www8.cao.go.jp/ocean/info/youth_plan/pdf/uminomirai_3.pdf

¹⁴⁾ <https://www.ipcc.ch/publication/2013-supplement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories-wetlands/>

以上から、海草・海藻の増産を起点としたブルーリソースの産業活用の拡大とブルーカーボンオフセットの拡大により、持続可能なブルーエコノミーとカーボンニュートラルが両立された社会の実現を目指すことが期待される。海草・海藻の現状と将来像を図 5 に示す。

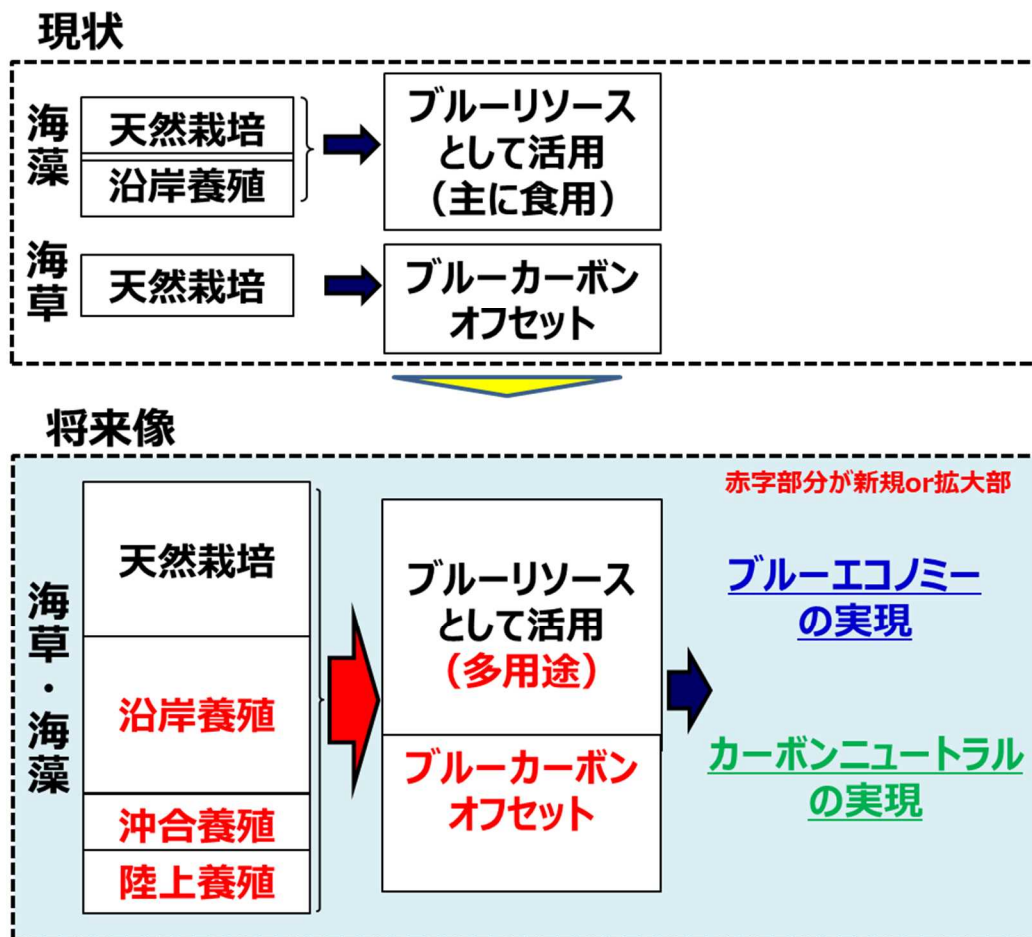


図 5 海草・海藻の現状と将来像

1-2 将来像実現のための方法

先に1-1で述べた海洋に関する社会問題の解決に貢献し、将来像を実現するための方法を検討する。

ブルーリソース活用のサプライチェーンは、育種、栽培／養殖、加工・製造、製品で構成される。ここで栽培／養殖されたブルーリソースをブルーカーボンとしても活用する、すなわち海洋バイオマスブルーエコノミーとカーボンニュートラルの両方に活用するため、ブルーリソースのサプライチェーンにブルーカーボンとしてのバリューチェーンを統合した「海洋バイオマス産業エコシステム」(図6)を検討した。

「海洋バイオマス産業エコシステム」によって将来像を実現するためには三つの課題(①藻場の拡大、②新たな用途拡大、③ブルーカーボンオフセット拡大)が考えられる。これらの課題を解決するための三つの方法を次に示す。

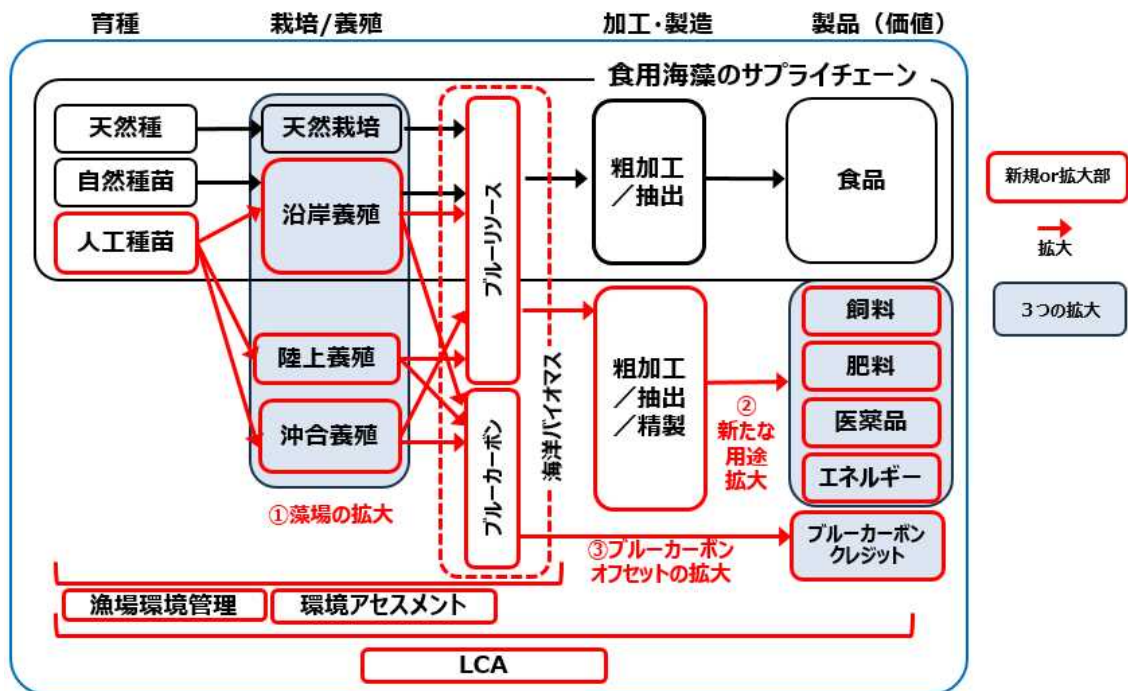


図6 将来像を実現するための海洋バイオマス産業エコシステムとその課題

- ①藻場の拡大: 気候変動による海洋環境の悪化は、海水の温暖化による藻場の減少(藻場の北上)と収穫量の減少をもたらしている。藻場の拡大のためには、このような海洋環境変化に対して、栽培適正海域の把握や養殖可能な品種開発[新規育種技術]に加えて、養殖海域の環境管理[漁場環境管理]、沿岸養殖の技術改良及び新たな沖合養殖や陸上養殖などの導入のための技術[新規養殖技術]が必要である。

- ②新たな用途拡大: 日本におけるこれまでの海藻の用途は食品向けが中心であり、品質重視型生産であった。用途拡大のためには大量生産への移行に向けた育種、栽培／養殖の技術改良[新規育種技術、新規養殖技術]が必要であり、新規事業者の参入も求められる。さらにバイオマスとして海藻が食品をはじめ様々な用途のサプライチェーンに適応する LCA(Life Cycle Assessment: ライフサイクルアセスメント)[環境評価技術]開発も同時に進めていくことが重要である。
- ③ブルーカーボンオフセット拡大: 海草・海藻の CO₂ 吸収能評価や生態系への環境影響評価等を行う環境アセスメント[環境評価技術]を確立したうえで、カーボンオフセットの対象外である海藻の湿地ガイドラインへの追補によって、沿岸および沖合養殖でのブルーカーボンオフセットクレジットを拡大していくことが必要である。

以上のことから、将来像実現のためには、Ⅰ 新規育種技術の開発、Ⅱ 新規養殖技術の開発、Ⅲ 漁場環境管理・環境評価技術の開発の三つに取り組むことが重要であると考えられる(図 7)。

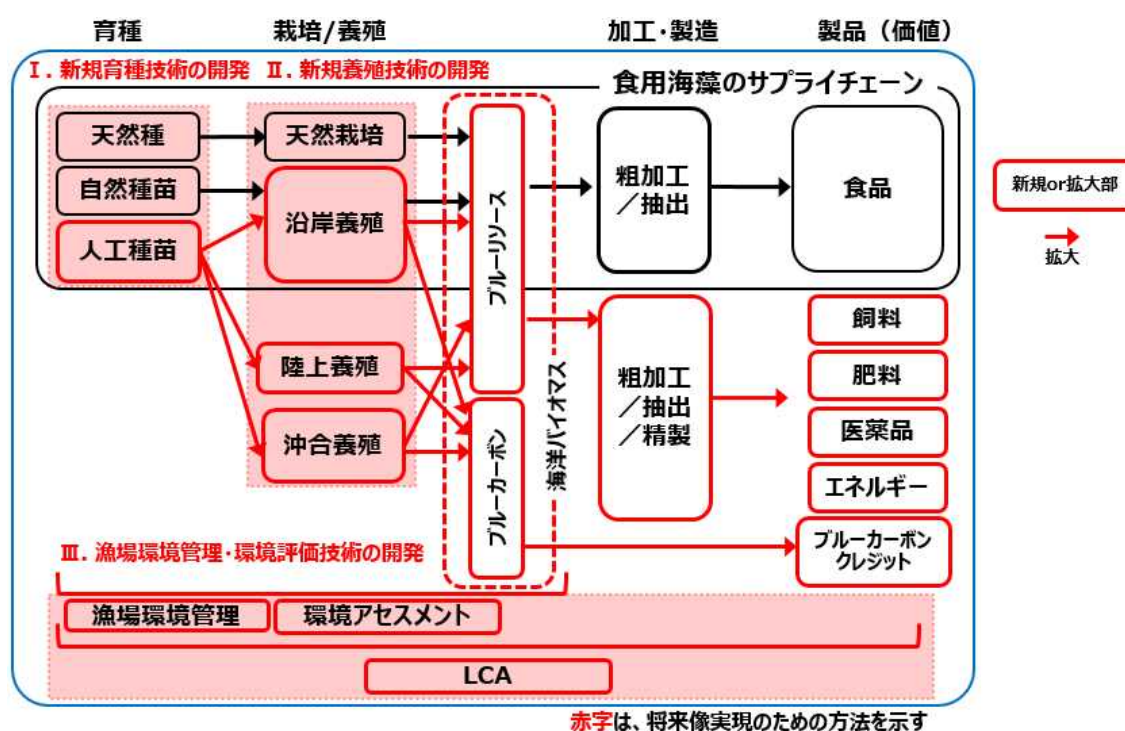


図 7 将来像実現のための方法

1-3 環境分析とベンチマーキング

1-3-1 政策動向

(1) ブルーカーボン／ブルーリソース関連政策

国際機関において海洋関連施策が進められる中、気候変動による海洋環境の変化と水産業における影響への対応策として、ブルーカーボン／ブルーリソースに関連した様々の政策が各国で動き始めている。

EU では、2017 年に『ブルー成長戦略』²を公表し、2018 年から毎年ブルーエコノミーに関する年次報告書を作成している。また、『The European Green Deal』に沿った政策が進められ、『Farm to Folk Strategy(農場から食卓まで)』³に代表されるように、バイオエコノミーの観点からブルーリソースの利用が奨励されている。

米国では、ブルーカーボン／ブルーエコノミーに関する政策及び海洋・河川資源の保護に関する政策がある。巻末の別表 1 に記載の『Seaweed Hub』¹⁵のような研究体制のネットワーク化などの取り組みの他、米国 DOE(エネルギー省)は、海洋 CDR をネットゼロ達成の鍵となる技術として重要視し、それを担う海洋 CO₂ 除去産業の発展に向けた支援をする『SEA-CO2』プログラムや、大型藻類や海草の主導的生産者を育成するためのツールを開発し、米国のエネルギー安全保障と経済競争力の向上に資することを目的とした MARINER プロジェクトを立ち上げている。

豪州では 1998 年に総合的海洋政策が『Australia's Oceans Policy』¹⁶としてまとめられ、ブルーカーボン生態系の保全および回復、ブルーカーボン算定プログラムが進められている。

中国では、海洋環境保護に関しては、『海洋環境保護法』及び『全国海洋経済発展計画要綱』を制定し、循環型経済に関しては『循環型経済促進法』と 5 か年毎に事業発展計画を策定・実行している。ブルーカーボン／ブルーエコノミーに関しては、『マングローブ林の保護と修復に関する特別行動計画』が策定・実行されている。

各国の政策の詳細は、別表 1 に示す。

¹⁵ Seaweed Hub <https://seaweedhub.extension.uconn.edu>

¹⁶ Australia's Oceans Policy <https://library.dbca.wa.gov.au/static/FullTextFiles/018882.pdf>

日本のブルーカーボン／ブルーリソース関連施策を表 2 に示す。ブルーカーボン、生物資源からのものづくり、カーボンニュートラル、食料供給、生物多様性、海洋政策など様々な観点から戦略などが策定されている。内閣府では海洋基本計画に基づく海洋政策を打ち出し、『海洋レポート』¹⁷を公表している。農林水産省では、食用海藻の収穫量減少による食料供給への影響も懸念し、『みどりの食料システム戦略』では持続的生産体制の構築を進めているほか、生産を担う海面養殖従事者（生産者）減少についても『養殖業成長産業化総合戦略』で課題として、水産業の成長産業化、漁村の活性化を含めた水産基本計画¹⁸を 2022 年 3 月に出している。

表 2 日本のブルーカーボン／ブルーリソース関連施策

管轄省庁	施策名	内容
内閣府	革新的環境イノベーション戦略（2020年1月）	「35.ブルーカーボンの追求」海藻類等を新素材・資材としての活用するための技術開発を推進
内閣府	バイオ戦略2019、2020（2019年6月、2020年6月）	「2030年に世界最先端のバイオエコノミー社会を実現すること」を目標とした戦略。生物資源を利用したものづくりを推進。
内閣府	ムーンショット型研究開発制度	ムーンショット目標4「2050年までに、地球環境再生に向けた持続可能な資源循環を実現」にてブルーカーボン関連研究が1件採択（2022年9月）
経済産業省	2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略（2020年12月） ※グリーンイノベーション基金事業	NEDOは「食料・農林水産業のCO ₂ 等削減・吸収技術の開発」【研究開発項目3】ブルーカーボンを推進するための海藻バンク整備技術の開発に係る技術開発事業を開始（2022年度～2030年度）
農林水産省	令和2年度農林水産研究推進事業委託プロジェクト（2020年）	脱炭素・環境対応プロジェクト「農林水産分野における炭素吸収源対策技術の開発」（2020年～2024年）ではCO ₂ 吸収評価手法の開発に着手。
農林水産省	養殖業成長産業化総合戦略（2018年6月、改訂：2021年7月）	2021年改訂時に魚類養殖以外の貝類・藻類養殖に対する記述を追加
農林水産省	みどりの食料システム戦略（2021年5月）	持続可能な食料システムの構築に向け策定された戦略。『海藻類によるCO ₂ 固定化（ブルーカーボン）の推進』を挙げている
農林水産省	新たな水産基本計画（2022年3月）	海洋環境の変化も踏まえた水産資源管理の着実な実施、増大するリスクも踏まえた水産業の成長産業化の実現、地域を支える漁村の活性化の推進の3本の柱を中心の他、スマート水産技術の活用やカーボンニュートラルへの対応等を挙げている
国土交通省	国土交通グリーンチャレンジ（2021年7月）・港湾・海事分野におけるカーボンニュートラルの実現、グリーン化の推進	2050年カーボンニュートラル、グリーン社会の実現に向けた国土交通省の重点プロジェクト。脱炭素化に配慮した港湾機能の高度化等を通じて「カーボンニュートラルポート（CNP）」の形成を推進
環境省	生物多様性国家戦略 2023-2030	生物多様性条約第6条に基づき締約国が策定する戦略。2050年ビジョン達成に向けて「持続可能な漁業と海洋」を移行が必要な8つの分野の一つとして挙げている。
環境省	30by30（サーティ・バイ・サーティ）	2030年までに陸と海の30%以上を健全な生態系として効果的に保全しようとする目標。G7各国は世界の目標の決定に先立ち、30by30目標を約束（2021年6月）
外務省	持続可能な海洋経済の構築に向けたハイレベル・パネル（2018年）	日本を含む14か国の海洋国家の首脳で構成される会議。漁業資源、海洋・沿岸の生態系、海洋汚染等に関及

¹⁷ 海洋レポート(内閣府) <https://www8.cao.go.jp/ocean/info/annual/annual.html>

¹⁸ 新たな水産基本計画(水産庁、2022) https://www.jfa.maff.go.jp/j/policy/kihon_keikaku/

ブルーカーボンに関する沿岸生態系全体(マングローブ、塩性湿地・干潟、海草藻場、海藻藻場)の日本における吸収ポテンシャルは、前述の図 4からもわかるように海草・海藻の占める割合が約 8 割程度と大きい。このポテンシャルを生かすために現状ブルーカーボン管理の取り組みとして、農林水産省が湿地ガイドラインの改正(海藻による炭素固定の検証)を目指し、評価手法の開発を行い(農林水産省／農林水産研究推進事業委託プロジェクト研究)海草・海藻類による CO₂ 貯留量算定ガイドブックを作成している。^{19, 20}

脱炭素の具体的な施策としては、『2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略』²¹を策定し、CO₂ を吸収・固定化するネガティブエミッション技術開発についてはグリーンイノベーション基金の中の漁港を活用した海藻バンクによるブルーカーボン生態系拡大プロジェクトにおいて 2022 年より進められている。また、NEDO ムーンショット型研究開発事業の中の機能改良による高速 CO₂ 固定大型藻類の創出とその利活用技術の開発²²においてバイオマスによる CO₂ 吸収技術の開発が 2022 年より進められている(図 8)。



図 8 NEDO ムーンショット型研究開発事業
「機能改良による高速 CO₂ 固定大型藻類の創出とその利活用技術の開発」

出典: ムーンショット型研究開発事業 目標 4 成果報告会 2022

¹⁹ 浅海生態系における年間二酸化炭素吸収量の全国推計(土木学会論文集 B2(海岸工学)75 巻 1 号、2019)

²⁰ 海草・海藻藻場の CO₂ 貯留量算定ガイドブック(国立研究開発法人 水産研究・教育機構、2023)

²¹ 2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(経済産業省)

https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/index.html

²² 機能改良による高速 CO₂ 固定大型藻類の創出とその利活用技術の開発(NEDO ムーンショット型研究開発事業、2020) <https://www.nedo.go.jp/content/100958128.pdf>

(2) 温室効果ガスインベントリ計上状況・自主的クレジット状況

2022 年度末の時点では、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)湿地ガイドラインを用いてブルーカーボンを算定し、インベントリに計上しているのは、豪州、米国の2か国のみであったが(表 3)、2022 年度以降、マングローブ林を有する熱帯・亜熱帯諸国の多くの国において吸収量を計上することが行われるようになってきている。これは熱帯・亜熱帯諸国がマングローブのバイオマス部分の吸収量を森林の算定式にあてはめるようになったためである。日本も、2023 年 4 月にマングローブ林による吸収量をインベントリに計上している。2023 年 12 月時点で IPCC 湿地ガイドラインにおいて海藻は対象外となっているが、今後、海藻による炭素固定が検証されて、対象となれば、日本を含む多くの国で NDC へのインベントリに組み込みが可能になる。

表 3 温室効果ガスインベントリへの計上

国	算定対象	排出・吸収規模
豪州	マングローブ植林、塩性湿地の消失、海藻藻場の消失	直近で約 30 万 tCO ₂ /年の吸収(国別総排出量の 0.05%)
米国	マングローブ、エスチュアリ地域の干潟植生の創出・消失	直近で約 1,000 万 tCO ₂ /年の吸収(国別総排出量の 0.2%)

出典:ブルーカーボンの取組について(環境省 地球環境局総務課 脱炭素社会移行推進室、2024)²³を
基に NEDO 技術戦略センター作成

自主的クレジットの状況については、欧米はブルーカーボンに関するクレジット化のルール作りを進めており、それをアフリカ、アジア、中南米でのマングローブ林の保全、再生活動に適用している(詳細は巻末の別表 2)²⁴。自主的クレジット市場におけるブルーカーボンクレジットで規模が大きいものは、マングローブ林を対象生態系として、ケニア 4,869 tCO₂e/年²⁵、コロンビア 33,000 tCO₂e/年²⁶、パキスタン 1,000,000 tCO₂e/年²⁷、インド 51,249 tCO₂e/年²⁸となっている。ブルーカーボンクレジットの計上は計画中のプロジェクトを含め拡大している。

²³ ブルーカーボンの取組について(環境省、2024) <https://www.env.go.jp/content/000214531.pdf>

²⁴ PLOS CLIMATE Capitalizing on the global financial interest in blue carbon
<https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000061.t002>

²⁵ ACES. Association for Coastal Ecosystem Services2022.<https://aces-org.co.uk/>

²⁶ Blue carbon project Gulf of Morrosquillo “Vida Manglar”(Verra、2021)
<https://registry.verra.org/app/projectDetail/VCS/2290>

²⁷ The Delta Blue Carbon Project(Indus Delta Capital、2019) <https://deltabluecarbon.com/>

²⁸ India Sundarbans mangrove restoration(Verra、2021)
<https://registry.verra.org/app/projectDetail/VCS/1463>

日本においては、国立研究開発法人海上港湾航空技術研究所が中心となり、ジヤパンブルーエコノミー技術研究組合が新たなクレジットとして『Jブルークレジット[®]』の審査認証・発行をしている²⁹。

2022年12月時点での発行クレジット量は3,773 tCO₂で、2020年1件、2021年4件、2022年21件とプロジェクト数も増加傾向にある(表4)³⁰。『Jブルークレジット[®]』が認知されはじめ、全国的にも展開されつつある(表5)³¹が、海外事例と比較するとその規模は小さい。

表4 Jブルークレジット[®]申請発行推移

	2020	2021	2022
プロジェクト数	1	4	21
合計発行数量 (tCO ₂)	22.8	80.4	3733.1

²⁹ Jブルークレジット <https://www.blueeconomy.jp/credit/>

³⁰ ジヤパンブルーエコノミー技術研究組合 HP 資料

³¹ ジヤパンブルーエコノミー技術研究組合 HP 資料

表 5 2022 年度 J ブルークレジット[®] のプロジェクト

No.	プロジェクト名称	発行数量(tCO ₂)
-1	神戸空港島緩傾斜護岸におけるブルーカーボン創出活動	9.3
-2	山口県下関市特牛地先・磯守ブルーカーボンプロジェクト	2.0
-3	榛南地域における藻場再生プロジェクト	49.1
-4	御前崎港久々生(くびしょう)海岸里海プロジェクト	1.0
-5	～魚庭の海・阪南の海の再生～「海のゆりかご再生活動」	3.4
-6	大分県名護屋湾・磯守ブルーカーボンプロジェクト	0.6
-7	似島二階地区藻場造成・保全プロジェクト	2.4
-8	関西国際空港 豊かな藻場環境の創造	103.2
-9	岩手県洋野町における増殖溝を活用した藻場の創出・保全活動	3,106.5
-10	島根原子力発電所3号機の人工リーフ併用防波護岸による藻場造成	15.7
-11	北海道増毛町地先における鉄鋼スラグ施肥材による海藻藻場造成	49.5
-12	兵庫運河の藻場・干潟と生きもの生息場づくり	2.1
-13	串浦の美しき藻場を未来へ繋げるプロジェクト	41.1
-14	岩国市神東地先におけるリサイクル資材を活用した藻場・生態系の創出プロジェクト	79.6
-15	三重県熊野灘における藻場再生・維持活動	28.9
-16	大島干潟から、つながる周南市 ブルーカーボンプロジェクト in 徳山下松港	32.4
-17	明石市江井島周辺を中心とした藻場造成「アマモは海のゆりかごだ！」プロジェクト	6.4
-18	尾道の海のゆりかご(干潟・藻場)再生による里海づくり	130.7
-19	五島市藻場を活用したカーボンニュートラル促進事業	12.1
-20	J-Power若松総合事業所周辺護岸に設置したブロックによる藻場造成プロジェクト	10.5
-21	(欠番)	
-22	葉山町の多様な主体が連携した海の森づくり活動	46.6
	合計	3,773.1

1-3-2 生産・市場動向

世界の海藻生産は増加傾向にある(図 9)³²。中国、インドネシア、韓国、フィリピン、北朝鮮、日本などのアジア地域での生産量が特に多い³³。その中で、日本は、地理的には世界第 6 位の排他的経済水域を有し、海岸線も長いこと、多様かつ広大な栽培可能面積を有するという利点があるものの、実際には、生産量は、国内全体生産量の約 6 割を占めるノリをはじめとしてコンブ、ワカメを含めて全体的に減少傾向にある(図 10)³⁴。また、日本における海面養殖業の従事者数及び経営体数は年々減少し、30 年で約半減している。特に、ノリ類養殖業の従事者数は 3 分の 1 以下に減少している³⁵。

海藻の市場は古くから食用として用いられているアジアを中心に展開されてきたが、近年 EU においても、海藻製品は健康に良いスーパーフードとして認知され、需要が高まっている³⁶。利用面では、食品産業におけるものが主であるものの、海藻抽出物は包装材料、医薬品、化粧品など幅広く用途開発され、製造販売もされている。また、植物への栄養や土壌環境の改善を目的とした肥料³⁷、飼料³⁸など食品以外の利用も増えており、さらに海藻を利用した、メタンガス排出削減目的の牛飼料開発企業、バイオプラスチックの開発企業などスタートアップが設立され、その動向が注目されている。

³² <https://www.fao.org/3/cb4850en/cb4850en.pdf>

³³ Global seaweeds and microalgae production, 1950-2019(FAO、2021)

<https://www.fao.org/3/cb4579en/cb4579en.pdf>

³⁴ ブルーリソース(海洋資源)活用に関する技術俯瞰調査(NEDO2021 年度成果報告書、2022)

³⁵ 令和元年度水産白書 漁業経営体構造の変化(水産庁)

https://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/wpaper/r01_h/trend/1/t1_f2_1.html

³⁶ EU にて海藻の健康、環境へのベネフィットが高まる認知 <https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/horizon-magazine/butter-baths-seaweeds-potential-being-tapped-europe>

³⁷ バイオスティミュラントはどのように植物保護に貢献できるか(日本農業学会誌 47 巻 2 号(2022))

³⁸ The Potential for seaweed as livestock feed (WWF、(2020))

https://files.worldwildlife.org/wwfcomsprod/files/Publication/file/9b9cbyw7sg_Potential_for_Seaweed_as_Livestock_Feed_Workshop_Report_2020.pdf

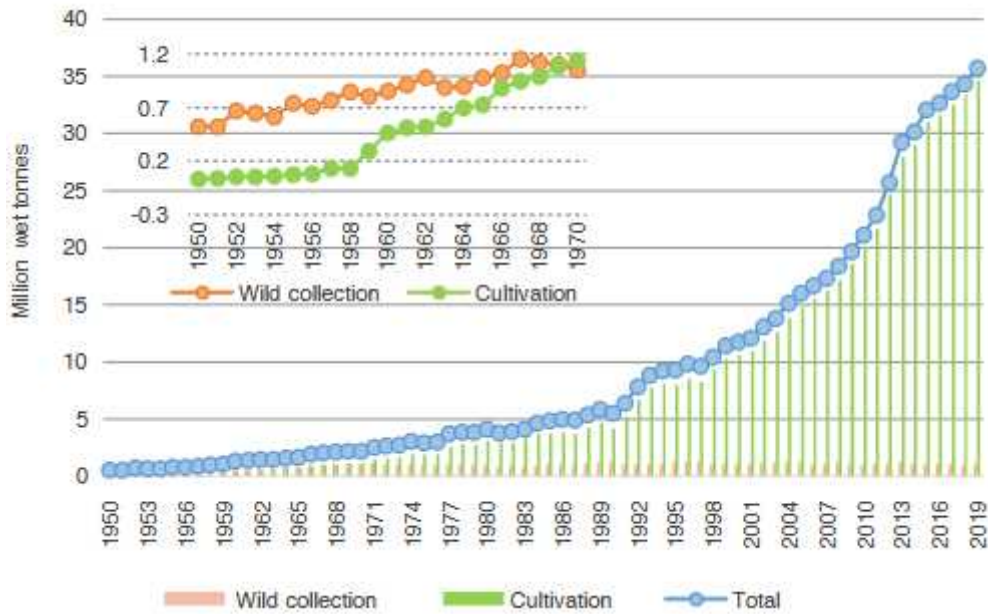


図9 世界の海藻生産量(1950-2019)

出典: Seaweed Revolution: Where is the Next Milestone?
(FAO Aquaculture News No.63、2021)

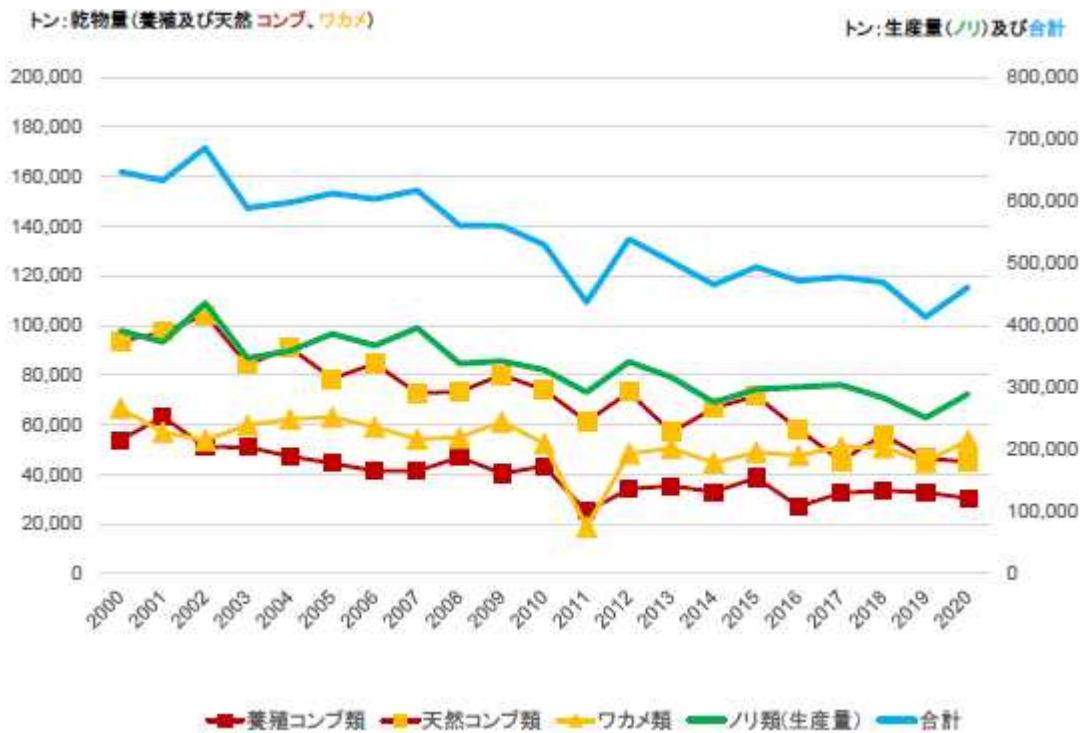


図10 国内の海藻収穫量(2000-2020)

出典:ブルーリソース(海洋資源)活用に関する技術俯瞰調査
(NEDO、2022)

1-3-3 技術動向

(1) 論文分析

海草・海藻における関連論文の掲載数を、著者の所属機関のある国(所在国)別と領域(食品、添加物、飼料、肥料、工業、エネルギー、育種、栽培、収穫)別について調査を実施した(2000~2020年)。図 11-1 に示す通り、掲載数は各国で増加傾向にあり、特に中国、韓国からの論文数の全体に占める比率が増している。

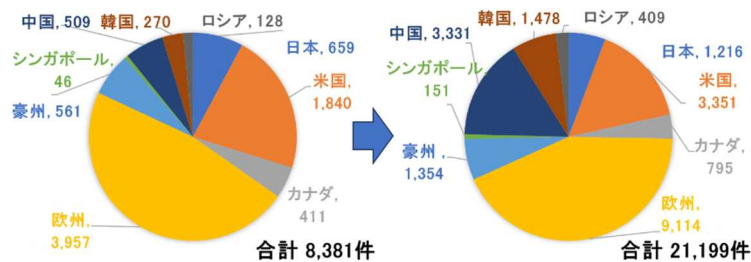


図 11-1 海草・海藻に係わる文献の件数推移(国別)
(左:2000~2009年、右:2010~2020年)

また、図 11-2~6 に示すように、各国の領域別の論文発表数は全ての領域で増加傾向にあるが、各国ともにエネルギー領域での比率が増加している。各国の領域の比率に大きな変化は認められないが、日本は、育種領域の比率が高まっている。また、領域の比率は各国特色があり、中国、韓国は栽培、工業領域の比率が高く、欧米においては、栽培、飼料、工業領域での論文の比率が高い傾向となっている。

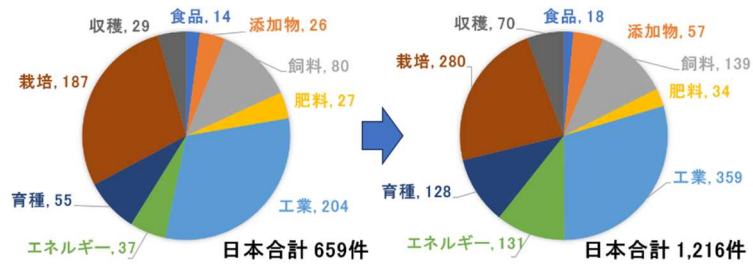


図 11-2 日本における論文発表数の領域別比率(左:2000~2009年、右:2010~2020年)

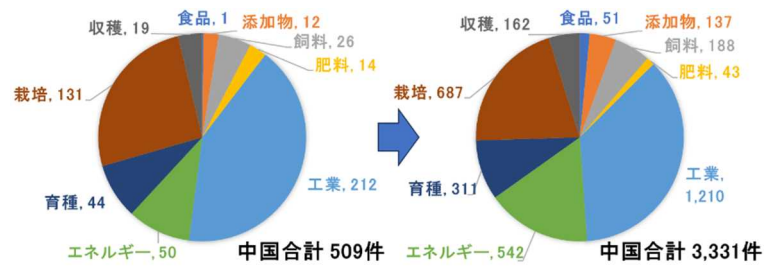


図 11-3 中国における論文発表数の領域別比率(左:2000~2009年、右:2010~2020年)

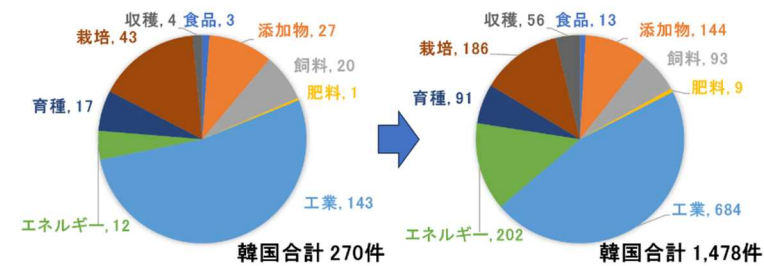


図 11-4 韓国における論文発表数の領域別比率(左:2000~2009年、右:2010~2020年)

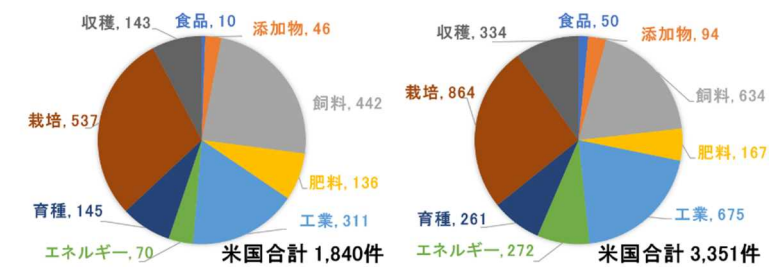


図 11-5 米国における論文発表数の領域別比率(左:2000~2009年、右:2010~2020年)

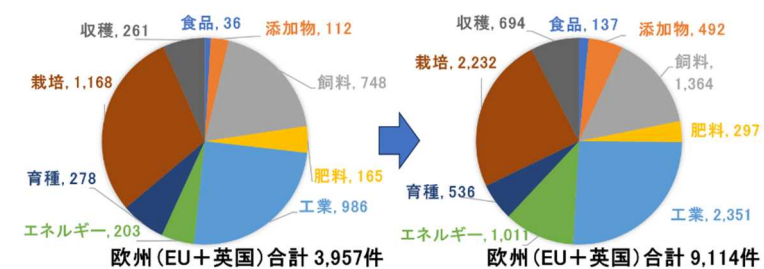


図 11-6 欧州(EU+英国)における論文発表数の領域別比率(左:2000~2009年、右:2010~2020年)

(2) 特許分析

海草・海藻に係わる特許出願件数を、出願国別、および領域（食品、添加物、飼料、肥料、工業、エネルギー、育種、栽培、収穫）別について調査した（2000～2019年）。日本のほか、特許出願件数の多い中国、韓国、米国、欧州（EU＋英国）について、2000年から2009年を前半、2010年から2019年までを後半として国別の総計および領域の推移を調べた。表6に総計の推移を示す。

表6 海草・海藻に係わる特許出願件数推移(国別)

国	前半	後半
	2000～2009年	2010～2019年
日本	2,149	1,222
中国	1,972	21,431
韓国	1,808	2,879
米国	705	804
欧州(EU＋英国)	599	748

図12-1～5で、各国の特許出願件数と領域別比率を示す。

日本は、食品、栽培、工業分野において2009年以前に多く出願されており、添加物領域での出願数が増加しているものの、食品、栽培、工業の領域において減少しているため、総数は減少している。

中国は、前半、どの領域においても件数は多くはなかったが、2010年以降に工業領域の出願が急増、他の領域でも大幅に増加した。これは、中国国務院が2008年に公布した『国家知的財産戦略綱要』の下で知的財産権取得奨励に関する施策が行われたことなどが背景にある³⁹。2000～2009年の前半と2010～2019年の変化をみると、後半の総数は、2万件以上と前半の10倍を超え、食品と工業領域の比率が縮小し、添加物、肥料、飼料領域が拡大している。

韓国は、全体的に特許出願件数は増加しており、領域別にみると、食品の領域が縮小し、栽培、添加物の領域が拡大している。

米国、欧州は、領域別では工業が最も多く、出願総数も少し増加している。米国は栽培、食品領域の比率が拡大、欧州は、栽培、食品領域に加え添加物の比率が拡大している。

³⁹ 「国家知的財産権戦略綱要」、施行10年で大きな成果（Science Portal China、2018年6月1日）
https://spc.jst.go.jp/news/180601/topic_3_05.html

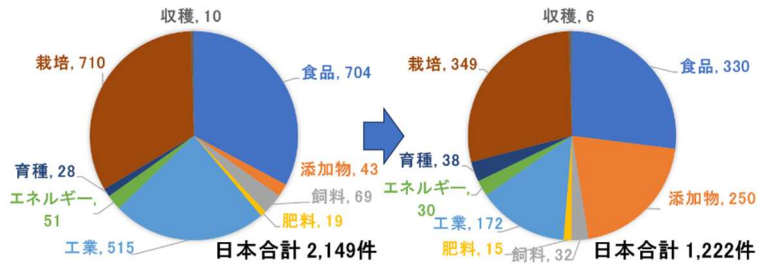


図 12-1 日本における特許出願件数の領域別比率(左:2000~2009年、右:2010~2019年)

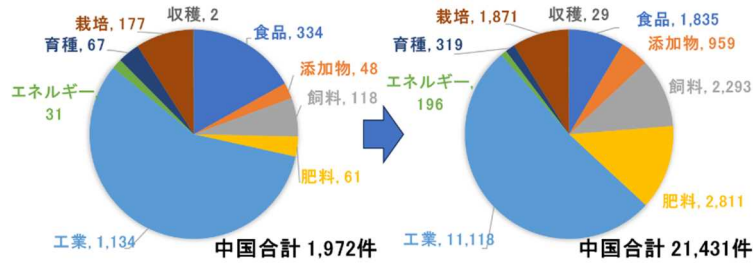


図 12-2 中国における特許出願件数の領域別比率(左:2000~2009年、右:2010~2019年)

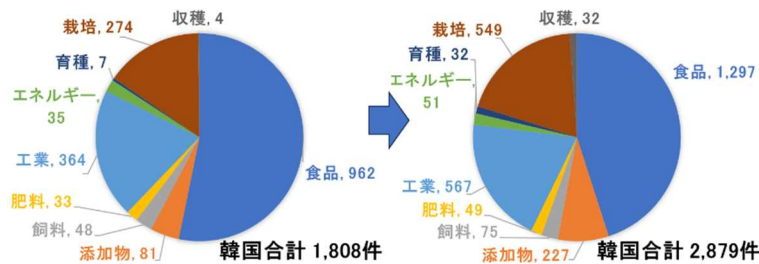


図 12-3 韓国における特許出願件数の領域別比率(左:2000~2009年、右:2010~2019年)

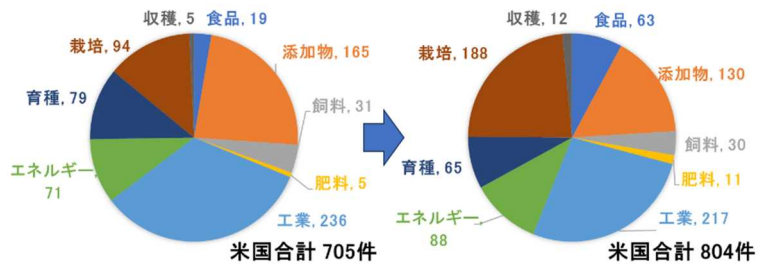


図 12-4 米国における特許出願件数の領域別比率(左:2000~2009年、右:2010~2019年)

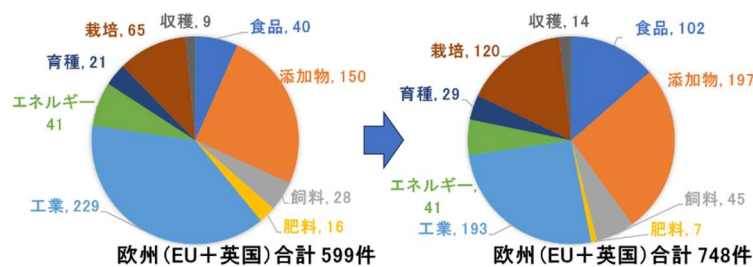


図 12-5 欧州(EU+英国)における特許出願件数の領域別比率(左:2000~2009年、右:2010~2019年)

(3) 研究開発動向

藻類を利用したバイオ燃料の開発などを背景に近年、藻類遺伝子源について注目が集まっている。世界の藻類遺伝子源コレクションおよびその保有機関を表 7 に示す。

表 7 世界の遺伝子源コレクションおよびその保有機関

コレクション・機関	国	保有遺伝子源
Culture collection of Algae of Charles University of Prague	チェコ	algae、cyanobacteria 241 株
Culture Collection of Algae and Protozoa	英国	algae, protozoa, cyanobacteria & small seaweeds 3,000 株以上
Culture Collection of Algae at the University of Texas at Austin	米国	algae and cyanobacteria 約 2,800 株
Provasoli-Guillard National Center for Marine Algae and Microbiota	米国	microalgae and macroalgae 約 500 属、1,400 種、約 2,800 株
The Culture Collection of Algae at Göttingen University	ドイツ	eukaryotic algae as well as cyanobacteria 約 2,300 株
Institute Pasteur Collection of Cyanobacteria	フランス	cyanobacteria 750 株以上
Australian National Algae Culture Collection	豪州	300 種以上の微細藻類 1,000 株
国立環境研究所(NIES)微生物系統保存施設	日本	藻類や原生動物 490 属、950 種以上、3,100 株以上
国立水産技術研究所 ジーンバンク	日本	微細藻類、コンブ・ワカメ類、アマノリ類 60 株以上
神戸大学内海域環境教育研究センター海藻系統株コレクション(KU-MACC)	日本	約 350 種、約 1,100 株

海外ではチェコの Charles 大学の藻類コレクション、英国の藻類原生動物コレクション、米国のテキサス大学藻類コレクションやプロバソリ・ギラード国立海洋藻類微生物叢センター、ドイツのゲッティンゲン大学藻類コレクション、フランスのパスツールシアノバクテリアコレクション、豪州の国立藻類コレクションなど主要な国に存在している。

日本には、国立環境研究所(NIES)のコレクションのほか、水産生物資源に特化した国立水産技術研究所のジーンバンクがあり、神戸大学内海域環境教育センターは世界唯一の大型海藻類系統株コレクション(KU-MACC)を有している。これらのコレクション機関において産業海藻品種など世界有数の遺伝子源を保有している。

日本は食用海藻については、すでに各地域の公設水産試験場などでその遺伝子源の維持管理が行われている。しかしながら、食用海藻以外については、公設水産試験場と国研、大学の連携した産業利用につなげるための品種改良の取り組み、維持・管理体制の整備はなされていない。育種は民間企業においても取り組まれており、強みとなっているが、更に効率的な育種技術の開発が課題となっている。

1-3-4 対象ベンチマーキングのまとめ

1-3-1 から 1-3-3 の分析結果のまとめと考察を下記に示す。

政策動向については、ブルーカーボン／ブルーリソースの拡大に向けた様々な政策が国内外で実行されている。NDC については、ブルーカーボンの算定やインベントリへの計上も増えている。また、自主的カーボンクレジットについては、欧米においてルール化が進められ、マングローブ林を対象生態系として保全、再生することにクレジット化を適用し、その活動が拡大している。日本においても、ジャパンプルーエコノミー技術研究組合が 2020 年度より、自主的クレジットを審査認証・発行することを開始し、そのプロジェクト数も増加しているが、個々の規模は小さく、海外に比べると遅れている。

海藻の生産量については、アジア地域を中心に世界で増加しているが日本においては減少傾向にある。ブルーリソースを活用する市場については、今後拡大する見通しである。

技術動向について、海草・海藻の育種に関する研究開発環境においては、世界の遺伝子源コレクション機関と比較して、日本は保有する海藻遺伝子源が多い。海草・海藻の生産技術および利用技術に関する論文・特許数については、日本は一定の存在感を示している。

日本は、古くから食用藻類のサプライチェーンを確立しており、大型海藻の世界有数の遺伝資源や種苗育種のノウハウを蓄積するなど、ブルーカーボン／ブルーリソース分野における技術競争力があると思われる。一方、生産量において日本は減少傾向にあり、また、自主的クレジットの規模も小さいなど、産業化や経済性確保の観点で遅れている。以上のことから、1-2 で述べたように、ブルーカーボン／ブルーリソースの拡大に向けた取り組みが重要と考えられる。

2 章 解決・実現手段の候補

2-1 解決・実現のための課題

1-2「将来像実現のための方法」で挙げた三つの方法を実現するための課題を、1章で挙げた三つの論点、すなわち、藻場拡大、用途拡大、カーボンオフセット拡大から整理する。

実現方法Ⅰ新規育種技術においては、藻場の拡大あるいは藻場の環境変化への適応や、食用以外の用途への拡大、さらには、ブルーカーボンオフセット拡大への貢献につながる新規品種の開発と効率的な種苗生産が必要になる。

実現方法Ⅱ新規養殖技術においては、沖合などの新たな藻場の生育条件に適応することや、用途拡大やブルーカーボンオフセット拡大に応じられるように大量生産を可能にすることが求められる。

実現方法Ⅲ漁場環境管理・環境評価技術においては、新たな藻場における大量生産を実現すべく、藻場の環境を高精度かつ遅滞なく測定することが求められる。一方、ブルーカーボンオフセットの拡大に向けては、ブルーカーボン／ブルーリソースによるCO₂削減効果を可視化する低コストで迅速かつ正確なCO₂吸収評価手法が求められる。

2-2 分析などから得られた具体的解決手段の候補(技術面)

ブルーカーボン/ブルーリソース活用における三つの方法(Ⅰ新規育種技術の開発、Ⅱ新規養殖技術の開発、Ⅲ漁場環境管理・環境評価技術の開発)と解決・実現のための課題から得られた具体的な実現手段を表 8 に示す。

表 8 ブルーリソースの活用の分析などから得られた具体的な実現手段候補

実現方法	課題	手段
Ⅰ 新規育種技術	新規品種の開発 (藻場の変化、新規用途)	a. 海草・海藻ジーンバンクの整備と活用
	効率的な種苗生産	b. 種苗生産技術の開発 (種苗～育苗のシステム化)
		c. 新規装置/器具/材料の開発
Ⅱ 新規養殖技術	大量生産体制の構築 (新規用途を含む)	d. 養殖領域の拡大 (沖合養殖、陸上養殖)
		e. 海藻生産国との技術連携
		f. (養殖・)収穫・運搬の自動化
Ⅲ 漁場環境管理・ 評価技術	藻場環境と CO ₂ 濃度の把握 (迅速・高精度・低コスト)	g. 海洋観測技術/モニタリング
		h. 海洋観測技術/漁場管理

実現方法Ⅰ 新規育種技術における新規品種の開発のための手段として、まず a. 海草・海藻ジーンバンクの整備と活用が挙げられる。日本が保有する世界有数の海藻ジーンバンク(遺伝資源)を活用することで、新たな藻場の生育条件に適する品種や、高い CO₂ 吸収能を有する品種を開発できると期待される。しかし、日本では食用海藻ジーンバンクは充実しているが、産業などその他の用途については整備が進んでいない。そのためには、多様な遺伝資源を維持管理することが必要であるが、海草・海藻の地域性の観点から一元管理は難しく、国立研究開発法人(国立環境研究所、水産研究・教育機構)、大学(水産研究施設を有する)、公設水産試験場が連携した多様な海草・海藻遺伝資源の維持管理体制の構築が望まれる。

次に、効率的な種苗生産を実現する手段として、b. 種苗生産技術の開発が挙げられる。特に海藻では種苗～育苗(網への種付け等)に関するシステム開発が遅れていることから、種苗～育苗の効率化に向けた基礎研究成果を蓄積するとともに、生育環境の変化への対応や CO₂ 吸収能の向上などを見据えた新しい品種を対象とした種苗方法への技術展開によって、多様な品種に対応する効率的な種苗生産システムの開発が進展することが期待される。加えて、c. 新規装置/器具/材料の開発も手段の候補となる。生育条件の変化に対応するために天然種苗だけでなく人工種苗を用いて播種する必要があるが、海藻バンク整備技術の開発によって人工種苗を大量に供給することが可能となる。

実現方法Ⅱ 新規養殖技術における大量生産を実現する手段としては、d. 養殖領域の拡大(沖合養殖、陸上養殖)が挙げられる。そのためには、従来の沿岸養殖だけでなく、沖合、陸上養殖の開発を行うことが必要となる。この技術開発を効率的に進め

るため、日本国内の技術開発を進めると同時に、韓国や中国といった e.海藻生産国との技術連携も重要となる。こうして大量に養殖できるようになることに対応させて、f.収穫・運搬の自動化を組み合わせることが必要となる。収穫・運搬作業を機械化・自動化することで、生産性の向上や輸送船の電動化などによる環境影響への考慮が期待される。

実現方法Ⅲ 漁場環境管理・環境評価技術については、養殖領域拡大に伴う新たな藻場環境の把握とブルーカーボンオフセットの拡大に向けた高精度かつ遅延なき CO₂ 濃度測定手段としての g.海洋観測技術／モニタリングが挙げられる。藻場環境の把握の観点では、水温、栄養塩等の高精度の測定が必要となるが、現状の観測技術はコストが高く、観測時間も長いという問題があることから、低コストかつ高性能な観測用センサーを開発することが必要である。一方、CO₂ 吸収能評価手法の開発も重要で、低コストで簡易な CO₂ 濃度計測手法の開発や標準化を見据えた精度検証が必要になる。加えて、特に沖合養殖などを想定した場合、広範囲にわたる藻場の環境を把握することが必要になるが、その解決手段として、h.海洋観測技術／漁場管理が挙げられる。既存の藻場を含む藻場となり得る海域を把握するために、特殊な航空機センサーを搭載した小型飛行機やドローンによる測定技術と共に、取得したデータを地図化する技術によって、栽培適正海域の把握や生態系の把握・保全を図ることが必要となる。さらに、観測データの収集技術も重要となり、沿岸部においては 5G 等のデジタル通信網の活用、沖合においては小型衛星を経由したデジタル通信網の整備が必要となる。

表 9 に現在、一部進められている具体的な実現手段候補の研究事例を紹介する。実現方法Ⅰでは、種苗育種技術開発から、海藻を育成する基盤ブロック、移植用のカートリッジの研究開発、実現方法Ⅱでは、収穫量が減少している海藻を陸上で養殖する研究事例、実現方法Ⅲでは、海洋観測技術／漁場管理から、遠隔操作可能な水上ドローンの開発及び撮影した映像の画像処理技術と海草・海藻の占める割合(被度)の算出⁴⁰⁾について、例を挙げた。このような多面的な研究開発を同時に進めることで、ブルーカーボンオフセットの拡大やブルーリソース活用が促進されると考える。

表 9 ブルーリソースの活用の分析などから得られた具体的な実現手段候補の研究事例

実現方法	実現手段の候補	研究事例
Ⅰ 新規育種技術	種苗技術開発	<p>海草バンク</p> <ul style="list-style-type: none"> ・海藻を育成する基盤ブロックの開発 ・海藻移植用のカートリッジの開発  <p>① ② ③</p> <p>① ② ③</p> <p>④</p> <p>⑤</p> <p>⑥</p> <p>⑦</p> <p>⑧</p> <p>⑨</p> <p>⑩</p> <p>⑪</p> <p>⑫</p> <p>⑬</p> <p>⑭</p> <p>⑮</p> <p>⑯</p> <p>⑰</p> <p>⑱</p> <p>⑲</p> <p>⑳</p> <p>㉑</p> <p>㉒</p> <p>㉓</p> <p>㉔</p> <p>㉕</p> <p>㉖</p> <p>㉗</p> <p>㉘</p> <p>㉙</p> <p>㉚</p> <p>㉛</p> <p>㉜</p> <p>㉝</p> <p>㉞</p> <p>㉟</p> <p>㊱</p> <p>㊲</p> <p>㊳</p> <p>㊴</p> <p>㊵</p> <p>㊶</p> <p>㊷</p> <p>㊸</p> <p>㊹</p> <p>㊺</p> <p>㊻</p> <p>㊼</p> <p>㊽</p> <p>㊾</p> <p>㊿</p>
Ⅱ 新規養殖技術	養殖技術開発 (沿岸、沖合、陸上など)	<p>理研食品 陸前高田ベース*</p> <ul style="list-style-type: none"> ・陸上養殖にて収穫量が減少している海藻の養殖  <p>*https://www.rikenfood.co.jp/cms/cat01/847/</p>
Ⅲ 漁業環境管理 ・評価技術	海洋観測技術／ 漁場管理 (CO ₂ 吸収能評価、 賦存量管理)	<p>水上ドローン (鳥羽市／KDDI 総合研)</p> <p>水上ドローン外観</p>    <p>小型 ROV(Remotely operated vehicle): 遠隔操作型無人潜水機)／ 水上ドローン(Fulldepth)</p>

⁴⁰⁾ KDDI ニュースリリース『水上ドローンを活用した藻場調査に成功』(2022)
<https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2022/08/23/6212.html>

2-3 解決実現のための課題と実現手段(政策面)

将来像(ブルーエコノミーとカーボンニュートラルとの両立)の実現に向けては、ブルーカーボン/ブルーリソース産業エコシステムの構築、すなわち、経済合理性が確保できるビジネスモデルの構築が必要となるが、そのためには、ブルーカーボンオフセットクレジットの拡大に加えて、ブルーカーボン生態系のコベネフィットや CO₂ 削減効果を訴求するなどの投資を呼び込む仕組み作りも重要になる。

実現手段としては、食用以外にブルーリソースの活用を広げたビジネスモデルの構築が挙げられる。従来の有用物質生産では原料と生産物は 1 対1の関係であったが、プロセスの最適化に加えて残渣の有効活用につながるカスケード利用による複数種類の高付加価値製品の生産や、発酵やエネルギー変換技術を組合せせることによって価値を生み出すことで、より大きな経済合理性を確保できるビジネスモデルの構築が求められる。

加えて、投資を呼び込む仕組み作りも重要となる。その実現手段としては、LCA を導入し、ブルーリソースのサプライチェーン全体に対する CO₂ 削減効果を定量的に評価する手法を確立したうえで、IPCC 湿地ガイドラインへの海藻藻場の登録を実現することが求められる。2023 年 11 月に国立研究開発法人水産研究・教育機構より『海藻・海藻藻場の CO₂ 貯留量算定ガイドブック』が公開され、今後、本ガイドブックに基づいた CO₂ 貯留量が算定されていくものと期待される。また、自主的ブルーカーボンオフセットクレジットの普及を図ることも重要な手段となる。そのためには、公的機関等が積極的に参画して透明性と公平性が確保できる統治の仕組み作りを行うことが望まれる。さらには、ブルーカーボンのコベネフィットの訴求も、投資を呼び込む手段として挙げることができる。ここまで述べてきたように、ブルーカーボン/ブルーリソースの拡大は、CO₂ の削減効果だけでなく、海洋生物系の多様性の維持や、食料・肥料・飼料・エネルギー源としての新たな資源の増産効果にもつながるものであり、これらを定量的に評価・可視化することで、新たな投資を呼び込むことが期待できる。さらに、既存のブルーリソース産業と新規参入者をつなぐ仕組みを整備しておくことで、新たなステークホルダーの参入を促進することも可能となる。

3章 おわりに

気候変動とこれに起因する海洋環境の変化、食料・バイオマス供給不足などが社会問題化している。これに対し、ブルーカーボン／ブルーリソースが持つ、CO₂ 吸収機能、生態系保全機能、および持続的生物資源生産機能を最大限発揮させることで課題解決につながることを期待される。しかしながら、現状は、ブルーリソースの産業活用は、天然栽培や沿岸養殖された海藻の食用活用のみに留まっている。一方、ブルーカーボンオフセットとしては、その対象が現状では天然種の一部の海草が吸収するCO₂ のみに限定されている。このような状況を打破して、持続可能なブルーエコノミーとカーボンニュートラルが両立した社会を実現するためには、新たに「海洋バイオマス産業エコシステム」を構築してブルーカーボン／ブルーリソースの活用を拡大することが重要であると考えた。また、日本においては、地理的な特徴を背景に古くから海藻養殖産業を営んできた結果、食用の育種・養殖の技術を蓄積してきているが、海藻の生産量においては世界に比較して日本のみが減少傾向にあり、加えて、自主的クレジットの規模も小さいなど、産業化や経済性確保の点で遅れている。こうした背景を踏まえ、本レポートでは、ブルーカーボン／ブルーリソース分野の動向分析を行い、技術開発の方向性をまとめた。

ブルーエコノミーとカーボンニュートラルの両立に向けて、ブルーリソースの活用とブルーカーボンの拡大を図るためには、藻場の拡大や用途の拡大およびブルーカーボンオフセットの拡大を図る必要があり、その方策として、Ⅰ新規育種技術の開発、Ⅱ新規養殖技術の導入、およびⅢ漁場環境管理・評価技術の開発を三つの方法を抽出した。具体的には、Ⅰ新規育種技術については、海草・海藻ジーンバンクを活用した新品種の提供体制や種苗生産技術開発による多様な品種に対応する効率的な種苗生産システムの構築が、Ⅱ新規養殖技術については、大量生産への転換を可能とする養殖領域の拡大や養殖・収穫技術の開発が、そして、Ⅲ漁場環境管理・評価技術については、CO₂ 濃度を高精度に測定するための海洋観測／モニタリング技術や広範囲にわたる藻場の環境を把握するための海洋観測技術が、技術開発の方向性として示した。加えて政策的な手段として、IPCC 湿地ガイドラインに登録可能な評価手法の確立や自主的ブルーカーボンクレジット制度の普及拡大の必要性を指摘した。

新たな海洋バイオマス産業エコシステムを実現することで、ブルーリソースの活用拡大に伴う経済効果に加え、ブルーカーボンオフセットの拡大とその環境効果をブルーカーボンクレジットの普及によって経済価値化することができ、持続可能なブルーエコノミーとカーボンニュートラルの両立が期待される。

別表 1 海外のブルーカーボン/ブルーリソース関連施策

国	政策・指針の領域	施策
欧州	総合的政策	The European Green Deal 【農業】・Common Agricultural Policy 【農業】・Farm to Fork Strategy 【産業】・An Industrial Strategy for a Competitive, Green, Digital Europe 【環境・海洋】・Common Fisheries Policy、【環境・海洋】・Aquaculture Policy 【環境・海洋】・New Approach for a Suitable Blue Economy 【金融・地域開発】・European Green Deal Investment Plan (EGDIP) 【研究・技術革新】・Horizon Europe
	ブルーエコノミー	・Blue Bioeconomy Roadmap (2019) ・A Climate Neutral, Sustainable and Productive Blue Economy (2021)
米国	ブルーカーボン /ブルーエコノミー	・DOE MARINER (2016) ・DOE Powering the Blue Economy Report (2019) ・WPTO Strategy ・Ocean Climate Action Plan (2021) ・Ocean-Based Climate Solutions Act ・SEA-CO2
	海洋・河川資源の保護	・WPTO Strategy ・Ocean Climate Action Plan (2021) ・Ocean-Based Climate Solutions Act ・Seaweed Hub
豪州	総合的海洋政策	・Australia's Oceans Policy ・The Environment Protection and Biodiversity Conservation Act 1999 (EPBC Act) ・Marine Bioregional Planning
	ブルーカーボン	・International Partnership for Blue Carbon ・Wetlands Australia 31 ・Blue carbon and greenhouse gas accounting
	海洋資源保護	・Access and Benefit-Sharing (ABS)
中国	海洋環境保護	・海洋環境保護法(1989)・全国海洋経済発展計画要綱 ・第13次5カ年計画 国家海洋事業発展
	循環型経済	・循環型経済促進法 ・循環経済発展計画第14次5カ年(2021~2025年)計画
	ブルーカーボン	・マングローブ林の保護と修復に関する特別行動計画(2020~2025年)

出典：NEDO 技術戦略研究センター作成(2022)

別表 2 自主的クレジット市場におけるブルーカーボンの事例

国	プロジェクト	クレジット発行年	活動主体	基準	活動	面積(ha)
ケニア	Mikomo Pamoja	2013	ACES	Plan Vivo	マングローブによる森林破壊回避、復元	117
ケニア	Vanga Blue Forest	2019	ACES	Plan Vivo	マングローブによる森林破壊回避、復元	460
ケニア	Vanga Blue Forest	2022	ACES	Plan Vivo	海草の保全	300
インド	India Sundarbans Mangrove Restoration	2015	Livelihoods Fund, Danone	VCS	マングローブの復元	4,675
マダガスカル	Tahiry Honko	2018	Bijue Ventures	Plan Vivo	マングローブによる森林破壊回避、復元	1,200
コロンビア	Cispata Bay	2021	Conservation International	VCS	マングローブによる森林破壊回避	11,000
ギニアビサウ共和国	Community Based Avoided Deforestation Project in Guinea Bissau	2021	BioGuinea Foundation	VCS	マングローブによる森林破壊回避	35,927
メキシコ	Magdalena Bay	2022	Marvivo	VCS	マングローブによる森林破壊回避、復元	222,000
パキスタン	Delta Blue Carbon	2022	Indus Delta Capital	VCS	マングローブによる森林破壊回避、復元	350,000
タンザニア	Mikoko Ujamaa	Project Idea Not approved 2020	Women Against Poverty	Plan Vivo	マングローブによる森林破壊回避、復元	1,426
メキシコ	Taab Che	Project Idea Not approved 2021	Resiliencia Azul	Plan Vivo	マングローブによる森林破壊回避、復元	10,080
インドネシア	Restoration of Abandoned or Under Utilised Shrimp Farms to Mangroves on Village Owned Land	Project Idea Not approved 2021	Yayasan Bunga Bakau	Plan Vivo	マングローブの復元	4,487
メキシコ	Restoration and Protection of Mangroves and Blue Carbon Ecosystems in North Yucatan	Project Idea Not approved 2021	CIVESTAV, Sociedad Cooperativa Tulum Sostenible	Plan Vivo	マングローブの復元	700
ホンジュラス	Restoration of Mangroves Removed for Shrimp Farms and Firewood in the Gulf of Fonseca	Project Idea Not approved 2022	Instituto de Conservacion Forestal Servimos por Naturaleza,	Plan Vivo	マングローブの復元	1,400
インドネシア	Oki REDD + Project	Under validation	Japan Asia Group Ltd	VCS	マングローブによる森林破壊回避、復元	23,500 (unclear what % mangrove)
コロンビア	Riscale REDD + Project	Under validation	Consejo Comunitario General Los Riscales	VCS	マングローブによる森林破壊回避	25,545 (unclear what % mangrove)
日本	Yokohama Blue Carbon Project	Not yet validated	Yokohama city	不明	海草・海藻の保全	不明
日本	Hakata Bay Project	Not yet validated	Fukuoka city	不明	海草・海藻の保全	不明
セネガル	Senegal and West Africa Mangrove Programme (SWAMP)	Under development	ALLCOT AG	VCS	マングローブによる森林破壊回避	42
メキシコ	Carbon sequestration in mangroves of south-central coastal zone of the state of	Under development	ALLCOT AG	VCS	マングローブによる森林破壊回避、修復	49,387
メキシコ	Bonos del Jaguar Azul	Under development	Ban.CO2 de Carbono Mestizo	VCS	マングローブの復元	5,060
ホンジュラス	Muskitia	Under development	South Pole	VCS	マングローブの復元	5,000
米国	East Shore/Virginia Coast Reserve	Proposed	The Nature Conservancy, Virginia Institute of Marine	不明	海草の復元	不明
インドネシア	Hak Pengusahaan Hutan Concession	Proposed	Forest Carbon	不明	マングローブによる森林破壊回避	>15,000
タンザニア	HIMA REDD+ Program	Proposed	Terra Global	不明	マングローブによる森林破壊回避	Mangrove area unknown
ベナン	Community Biodiversity Conservation Area of Bouche du Roy	Proposed	EcoBenin	VCS	マングローブによる森林破壊回避、修復	8,700
カメルーン	Feasibility study on the conservation of the Douala-Edea forested wetlands	Feasibility Study	EcoAct S.A.S	不明	マングローブによる森林破壊回避、修復	59,000
日本	J-Blue Credit Pilot (Yokohama Marina)	Feasibility Study	Japan national government	不明	海草・海藻の復元	10.6

技術戦略研究センターレポート

TSC Foresight Vol.119

ブルーカーボン／ブルーリソース分野の技術戦略策定に向けて

2024年5月8日発行

TSC Foresight Vol.119 ブルーカーボン／ブルーリソース分野 作成メンバー

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
技術戦略研究センター(TSC)

■センター長 岸本 喜久雄

■センター次長 植木 健司
飯村 亜紀子 (2023年7月まで)

■バイオエコノミーユニット
・ユニット長 水無 涉
・研究員 南 誓子 (2023年9月まで)

井出 博之
三牧 義也 (2024年3月まで)

小林 和輝 (2024年3月まで)

木村 雄輔 (2024年3月まで)

山森 明弘 (2022年6月まで)

小寺 智博 (2022年6月まで)

五十嵐 美香 (2022年6月まで)

・フェロー 馬場 嘉信 名古屋大学 未来社会創造機構 教授
湯元 昇 大阪大学 大学院薬学研究科 特任教授
八十原 良彦 株式会社カネカ バイオフィルマ研究所
吉川 博文 東京農業大学 生命科学部 名誉教授

●本書に関する問い合わせ先
電話 044-520-5150 (技術戦略研究センター)

●本書は以下 URL よりダウンロードできます。
<https://www.nedo.go.jp/library/foresight.html>

本資料は技術戦略研究センターの解釈によるものです。
掲載されているコンテンツの無断複製、転送、改変、修正、追加などの行為を禁止します。
引用を行う際は、必ず出典を明記願います。