東京財団政策研究所

「ブルーエコノミーの国際動向と日本の状況分析」研究プログラム

＜2021 年度研究報告＞

ブルーエコノミーの推進に向けて
～OTEC からのレッスン～

はじめに

2017 年 6 月、海洋の持続可能性を促進する取り組みについて議論を行う初の国連の会議として、国連海洋会議がニューヨークの国連本部において開催された。国連海洋会議では、「私たちの海、私たちの未来：持続可能な開発目標 14（SDG: Sustainable Development Goal 14）の達成に向けた連携」というテーマのもと、ブルーエコノミーの推進について議論が行われている。ブルーエコノミーは、「我々の暮らしや仕事、海洋生態系の健康を改善し、経済発展を実現するための海洋資源の持続的可能な利用」（※World Bank による）を意味し、国連海洋会議で採択された行動要請“Call for action”では、海洋基盤経済を構成する要素として、①漁業、②観光、③水産資源、④海運、⑤海洋再生可能エネルギー、⑥海洋バイオテクノロジー、⑦海洋水淡水化、という 7 つの項目が特に重要な要素として取り上げられている。

こうしたブルーエコノミーの概念は、すでに 1992 年のリオ地球サミット（国連環境開発会議）で採択された「アジェンダ 21」や、2002 年のヨハネスブルグ・サミット（持続可能な開発世界サミット）で採択された「ヨハネスブルグ・サミット実行計画」の中で認識されてきているが、気候変動問題を背景に持続可能な開発が益々注目され、2015 年 9 月の国連持続可能な開発サミットにて「海および海洋資源の保全を通した持続的な利用」が持続可能な開発目標 14（SDG14）として挙げられるに至っている。国連海洋会議では、こうした SDG14 の目標を達成するためにブルーエコノミーの推進が議論されているが、まだ途に就いたばかりであり、これから各国の具体的な動きが活発化すると考えられる。

日本は四方を海に囲まれ、領海と排他的経済水域（EEZ: Exclusive Economic Zone）を合わせると世界第 6 位という広大な海を有しており、海洋基本法において海洋立国日本の実現が目指されている。海洋の持続可能な開発は地方をはじめとする沿岸地域の振興策にもなることから、ブルーエコノミーの推進は海洋立国日本の実現と今後の日本の発展を考える上で極めて重要なテーマである。一方、近年の日本の漁業の衰退にみられるように、日本の海洋開発・利用はそのポテンシャルを十分に活かしきっているとは言えない。

特に、2020 年 10 月、菅首相（当時）が 2050 年カーボンニュートラルの実現を宣言したことにより、ブルーエコノミーの中でも海洋再生可能エネルギーへの注目が高まり、日本の再生可能エネルギーの中でもポテンシャルが高い洋上風力発電の導入は必須事項になるとともに、その他の海洋再生可能エネルギーについても早急な掘り起こしが必要となっている。

こうした状況を鑑み、東京財団政策研究所 「ブルーエコノミーの国際動向と日本の状況分析」研究プログラム（研究期間：2019 年 4 月～2022 年 3 月）では、ブルーエコノミーの中でも喫緊の課題となっている海洋再生可能エネルギーについて、今後世界的に普及拡大が見込まれる洋上風力発電と地域活性化への貢献が考えられる海洋温度差発電を主な事例として取り上げ、各国の動向を把握するとともに、日本の状況と課題、そして日本におけるブルーエコノミーの推進に必要な施策を考察した。

本稿はその考察結果を研究プログラムのメンバーが各自の視点から各章分担して報告するもので、第 1 章ではブルーエコノミーとは何かについて国際動向とともに詳説し、第 2 章では日本におけるブルーエコノミーの政策動向と課題を整理し、ブルーエコノミーの全体像を把握した。第 3 章では、ブルーエコノミーの中でも注目が高まる海洋再生可能エネルギーについて、洋上風力発電を事例としてその動向と課題を考察し、第 4 章、第 5 章では、新しい海洋再生可能エネルギーとして地域活性化への貢献が考えられる海洋温度差発電について、その国際動向と課題、そして再生可能エネルギーの中でも変動性が少ないという特徴と導入の可能性について考察を行った。そして、第 6 章では島嶼・南太平洋におけるブルーエコノミーの展開状況を整理し、最後に日本のブルーエコノミー推進に向けた示唆を含めてまとめを述べた。

気候変動問題への対処をはじめ、世界は持続可能な社会構築の動きを加速させている。そうした中、地球表面

の７割を占める海洋の持続可能な開発は今後益々重要になってくるだろう。海洋立国を目指す日本においても他国に後れを取らないブルーエコノミー推進政策を早急に立案、実行していく必要がある。本稿がそのための一助として寄与できれば幸いである。

東京財団政策研究所 主任研究員
平沼 光

■「ブルーエコノミーの国際動向と日本の状況分析」研究プログラムメンバー（五十音順）
池上康之（佐賀大学海洋エネルギー研究所所長・教授）
小林正典（東京財団政策研究所 主任研究員／笹川平和財団海洋政策研究所 主任研究員）
杉本康太（東京財団政策研究所 博士研究員／政策研究ポスト・ドクトラル・フェロー）
平沼光（東京財団政策研究所 主任研究員）※研究プログラムリーダー
渡邉敦（東京財団政策研究所 主任研究員／笹川平和財団海洋政策研究所 主任研究員）

目次

３．ブルーエコノミーとしての海洋再生可能エネルギー

６．ブルーエコノミーの国際展開

１．ブルーエコノミーの国際動向

東京財団政策研究所／笹川平和財団海洋政策研究所
主任研究員　小林正典
渡邉 敦

１－１　ブルーエコノミーの系譜と展開

地球の共有資源（グローバル・コモンズ）である海洋を巡る課題は、重要な地球規模課題として国際的な議論が進められている。海洋生態系や海洋環境の変化、海洋と人々の暮らしの関係など、様々な課題は相互に関連しているが、それらを包含する政策課題として、ブルーエコノミーが重要視されている。水産業や海運、マリーン・スポーツや観光、洋上風力発電など海洋に関連する経済活動を海洋経済、もしくはブルーエコノミーと呼んでいて、国際会議ではここ数年重要課題と位置づけている。

海洋は地球表面の 72%、生物が生息する空間である生物圏の 95%を構成しているなど、陸地よりも断然広く、一部の内陸国を除いては、世界の国々の多くは海に接し、世界 196 ヵ国のうち海に囲まれる、ないしは海に接している国は 150 ヵ国に及ぶ[1]。世界の人口 78 億人のうち、40%が沿岸から 150km 以内に暮らしているとも言われており、世界の多くの人々は海の恵みを享受していると言われている[2]。水産業、海運、海洋レジャーや観光、洋上風力発電、海水淡水化、海底地下資源などを含めたブルーエコノミーの経済規模は全世界で年間 2.5 兆米ドル（約 300 兆円）とも言われており、世界第 7 位であるフランスの 2.9 兆米ドルの GDP に次ぐ大きさと推定されている。特筆すべきは、このブルーエコノミーは、2030 年までの今後 9 年間に 2010 年比で倍増する、つまり、急拡大すると見込まれている分野であるということである[3]。もう一つの特徴は、ブルーエコノミーの概念が太平洋島嶼国により提唱されている点である。陸地面積や人口、経済規模では小さい太平洋をはじめとする地域の島嶼国が広大な排他的経済水域（EEZ）を有していることから、2012 年の国連での持続可能な開発会議（リオプラス 20 サミット）では、太平洋島嶼国の代表団が環境配慮型の経済をグリーンエコノミーと呼んだのに対し、海洋環境の保全と持続可能な利用を通じた経済をブルーエコノミーと呼んで、島嶼国の経済振興支援を訴えたことからブルーエコノミーの概念や施策が議論されるようになった[4]。

経済協力開発機構（OECD: Organisation for Economic Co-operation and Development）は『2030 年の海洋経済』と題する報告書の中で、海洋経済を海洋生態系と海洋産業の相互関係の総和として提示した[5]。その後は世界銀行やアジア開発銀行をはじめ、様々な組織が海洋経済やブルーエコノミーに関しての議論を展開した。笹川平和財団海洋政策研究所は、『海洋白書 2019』の中で、ブルーエコノミーの系譜や構図、政策的課題について詳述している[6]。エコノミスト社は、『2030 年における持続可能な海洋経済』の中で、「ブルーエコノミーとは、永続的に海洋環境を保護しながら、長期的経済開発や社会的繁栄のために海洋資源を涵養する持続可能な海洋経済を意味する」と述べている[7]。「海洋経済」と「ブルーエコノミー」の表現は互換的に利用される場合が多いが、「ブルーエコノミー」は概念自体に持続可能性を包含させて使用されている例が多い。ただ、例えば、ケニアが 2018 年 11 月に主催した会議は「世界持続可能なブルーエコノミー会議」と呼ばれ、日本政府およびカナダ政府が共催し、各国首脳を含む 1 万 6 千人以上が世界各国から参加したが[8]、このように持続可能性が付加的に明示される場合もある。

１－２　持続可能な海洋経済の構築に向けたハイレベル・パネル

ブルーエコノミー推進に向けては、2018 年にノルウェー政府が呼びかけ、14 ヵ国の首脳および国連事務総長海洋特使により構成される「持続可能な海洋経済の構築に向けたハイレベル・パネル（海洋パネル）」が設立された。ノルウェーのエルナ・ソルベルグ首相（当時）および、パラオのトミー・レメンゲサウ Jr.大統領（当時）が共同議長を務め、現在は、ノルウェーのヨーナス・ガール・ストーレ首相および、パラオのスランゲル・ウィップス Jr.大統領が共同議長を務めている。日本からは、当初は安倍晋三総理（当時）、その後は菅義偉総理（当時）、現在は岸田文雄総理がメンバーとして参加している。この海洋パネルは、首脳グループを支えるシェルパ（代理代表）グループ、世界各国の 87 名の専門家により構成される「専門家グループ」、世界の NGO（Non-Governmental Organization）や研究機関、民間企業や国際機関など 131 の団体により構成される「諮問ネットワーク」がその活動を支援している[9]。2020 年には海洋経済に関連する様々なテーマについて 22 の課題別報告書や特別報告書を刊行し、2020 年 12 月に政策提言を含む最終報告書『持続可能な海洋経済のための変革』を発表した[10]。この最終報告書の内容については、笹川平和財団海洋政策研究所が 2020 年 12 月 3 日に「国際シンポジウム 持続可能な海洋経済の構築に向けたハイレベル・パネル政策提言―持続可能な海洋経済と国際連携推進に向けて」をオンラインで開催している[11]。海洋パネルによる政策提言では、2025 年までに領海・排他的経済水域を持続可能な海洋計画に従って 100%持続可能な形で管理するとの決意を表明するとともに、海洋の豊かさ、健全性、衡平性、知識、ファイナンスの 5 つの柱の下に、2030 年までに世界各国が国家管轄権内の海域を持続可能な形で管理するよう奨励する項目など、76 の提言が提示された。現在、ノルウェー政府および関係国は第 2 フェーズの立ち上げに向け協議を進めており、今後の同パネルおよび諮問ネットワーク等の活動が更に展開していくことが期待されている。

１－３　ブルーエコノミーの推進に向けた制度構築

ブルーエコノミーについては多様な課題が取り組まれている[12]。下記、いくつか例示を試みる。

(1) 海洋保護区の設定と持続可能な漁業の調和

2021 年 6 月 11-13 日に開催されたイギリス・コーンウォールサミットで採択されたカービスベイ首脳コミュニケにおいて、「2030 年までに少なくとも陸域および海域の少なくとも 30%を保護する」と謳われた[13]。我が国は 2020 年 4 月に改正された自然環境保全法に従い、同年 12 月に小笠原周辺の 4 カ所の海域を海洋保護区となる「沖合海底自然環境保全地域」として指定した。それ以前は海洋保護区の割合は、8.3%となっていたが、小笠原周辺海域の沖合海底自然環境保全地域の指定により、13.3%に増加した[14]。一方、世界平均では保護区は 2021 年 7 月時点で陸域が 15.67%、海域が 7.65%に留まっている[15]。

東アジア諸国の EEZ 内で限定的となっている海洋保護区をどのように拡大できるのか、また、公海において海洋保護区の設定をどのように模索するのかなどの課題が挙げられている。2030 年までに少なくとも 30%の海洋を保護するとの目標は、必ずしも各国別の目標ではなく、世界平均として理解されているものの、海洋保護区の拡大の動きを継続していく必要があり、持続可能な漁業の実現といった政策目標との調和を国内、そして海外で模索していく必要がある。

(2) 違法・無報告・無規制（IUU: Illegal, Unreported and Unregulated）漁業の撲滅

世界の魚種の 34%が過剰漁獲されており、漁業資源の保全と持続可能な利用は世界的な課題となっている。過剰漁獲や漁業資源の枯渇の要因として、近年、対策が重視されているのが、違法・無報告・無規制（IUU）漁業で、IUU 漁業による水産物漁獲は世界全体漁獲の 20%、海域によっては 50%にも達し、経済的損失は年間 100-235 億ドルと見積もられている。乱獲や IUU 漁業の撲滅やそうした漁業につながる補助金削減は重要な政策課題で、特に有害補助金削減は、漁業資源の保全に繋がるばかりか、そうした資金を別の用途に使用することで資源保全や生計改善につなげることができ、世界貿易機関での合意が待ち望まれている。

(3) 海洋プラスチック汚染対策

加速度的なプラスチックゴミの海洋流出が問題視され、2050 年には魚よりもプラスチックゴミが多くなるとの将来予測が発表されたことで、プラスチックゴミの削減や海洋流出の廃絶を目指す取り組みが進められている。プラスチックによる海洋汚染を阻止するためのプラスチック海洋汚染削減目標や、規制の国際的標準化を目指した国際協定の策定に向けた政府間交渉委員会の設立が目指されている[16]。使い捨てプラスチック製品の利用削減やリサイクルの推進と併せて、重視されているのが廃棄漁網の管理、回収、リサイクルで、日本では、ベンチャー企業が回収とリサイクル事業を始めている。海洋プラスチックゴミや廃棄漁網の削減に向けた事業形態の変更や社会連携、制度改革等が求められる。

(4) 海運における脱炭素

2021 年 4 月 22-23 日にアメリカのバイデン大統領が主催した気候リーダーズサミットでは、各国首脳により、アメリカは 2030 年までに 2005 年比で温室効果ガスを 50-52%削減、イギリスは 2035 年までに 1990 年比で 78%削減、日本は 2030 年までに 2013 年比で 46-50%削減する目標を発表した[17]。海洋に関しては、洋上風力発電などを漁業や地域社会と連携しながら拡大していくことが期待される。一方、海運においては、国際海事機関（IMO: International Maritime Organization）が 2030 年までに二酸化炭素の排出量を 2008 年比で 40%、2050 年までに 70%を削減するとともに、温室効果ガス総量を 2050 年までに 2008 年比で 50%削減する目標を掲げている[18]。我が国においても様々な団体が参加するコンソーシアムによるプロジェクトが立ち上がり、液化天然ガスと風力、水素、アンモニアを燃料候補として 2028 年にゼロエミッション船の導入が目指されている[19]。漁業や海洋観光分野においても、電動船外機の利用への関心が高まっており、海運や水産業、海洋観光や港湾設備における再生可能なエネルギー利用の推進が注目されている。

(5) ブルーエコノミーの実現には資金供与制度の確立や投資促進が有効である。インド洋に位置するセイシェルは 2008 年に 3 億 3 千万米ドルの対外債務支払い不履行に陥り、債権国グループであるパリクラブと交渉し、債務の 45%の放棄を取り付ける一方、2015 年には EEZ の 30%を海洋保護区化するとの方針を打ち出し、21 万 6 千米ドルの支払い約束手形を「セイシェル保全・気候変動適応トラスト（SeyCCAT: Seychelles Conservation and Climate Adaptation Trust）」に発行した[20]。SeyCCAT はこの資金を利用し、ブルー・グラント基金を設立、海洋保全事業に 6 千米ドルから 140 万米ドルの資金を提供する制度を創設している[21]。また、セイシェルは 1500 万米ドルの海洋保全のための国債、ブルーボンドを世界で初めて発行している。世界銀行が 5 百万米ドルの債務保証を行った他、地球環境ファシリティが 5 百万米ドルの低利融資を行っている[22]。海洋分野への民間金融機関や投資家による投資が活発になることも期待されており、投資会社は持続可能な水産業など、ブルーエコノミーの推進に向けた投資案件の発掘を進めている[23]。

１－４　我が国におけるブルーエコノミー推進に向けた可能性と課題

ブルーエコノミーの推進に向けては、①異業種間連携、②学際的アプローチ、③情報・コミュニケーション技術（ICT: Information and Communication Technology）を含む技術の活用、④GIS（Geographic Information System）や衛星データなどの利用、⑤海洋情報の融合、⑥海洋空間計画の立案・実施、⑦科学・研究、⑧革新的手法・イノベーション、⑨人材育成、⑩社会協働、⑪気候変動対策・適応、⑫国際連携など様々な課題があげられる。海洋・沿岸生態系を保全しつつ、持続可能な開発実現に向け海洋および海洋資源を持続可能な形で利用していく政策や制度、資金供与をはじめ、社会協働や国際連携を推進する国際的な気運を高め、こうした分野で我が国が先進的・牽引的役割を果たすことは極めて有用と考えられる。地の利を活かし、ブルーエコノミー推進に寄与していくことは、世界的な海洋の保全や生計改善を支援しうるだけではなく、地政学的な海洋利用における法の支配や持続可能性の推進の実現を促し、海を世界の公共財として保全し、持続可能な形で利用する仕組みの強化に繋がるものである。ブルーエコノミー推進を我が国の海洋基本計画や国際協力の施策の重要な柱として位置付け、産官学民の協働を促し、太平洋・インド洋をはじめとする世界の海洋国家との連携を進めていくことの意義は大きく、そのため取り組みの拡充を図ることが肝要である。

参考文献

[1] National Geographic (n.d) Why the Ocean Matters.
https://www.nationalgeographic.org/media/why-ocean-matters/
[2] Stuchtey, M. et al (2020) Ocean Solutions That Benefit People, Nature and the Economy.
https://www.oceanpanel.org/ocean-action/files/full-report-ocean-solutions-eng.pdf
[3] The Economist (2021) World Ocean Day explores blue economy and private-sector impact.
https://ocean.economist.com/blue-finance/articles/world-ocean-day-explores-blue-economy-and-private-sector-impact?linkId=100000052359074
[4] United Nations (2012) Report of the United Nations Conference on Sustainable Development.
https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/CONF.216/16&Lang=E
[5] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD, 2016) The Ocean Economy in 2030.
https://www.oecd.org/environment/the-ocean-economy-in-2030-9789264251724-en.htm
[6] 笹川平和財団海洋政策研究所（2019）『海洋白書 2019』https://www.spf.org/opri/projects/wp_2019_jp.html
[7] The Economist (2020) A sustainable ocean economy in 2030: Opportunities and challenges.
https://cdn.vev.design/private/Y00jvgKIBvZ1anyDSJNPOAQcI082/_jLT9hiqu_A_sustainable_ocean_economy_in_2030_%20copy.pdf.pdf
[8] Government of Kenya (2018) The Nairobi Statement of Intent on Advancing the Global Sustainable Blue Economy.
http://www.blueeconomyconference.go.ke/wp-content/uploads/2018/11/Nairobi-Statement-of-Intent-Advancing-Global-Sustainable-Blue-Economy.pdf

[9] 諮問ネットワークには日本からは、日本水産株式会社（ニッスイ）および笹川平和財団海洋政策研究所が参加している。

[10] Ocean Panel (2020) Transformations for a Sustainable Ocean Economy.
https://www.oceanpanel.org/ocean-action/files/transformations-sustainable-ocean-economy-eng.pdf

[11] 笹川平和財団海洋政策研究所（2020）「開催報告 国際ウェビナー 持続可能な海洋経済の構築に向けたハイレベル・パネル政策提言―持続可能な海洋経済と国際連携推進に向けて」
https://www.spf.org/index.php?prev=1&d=opri&c=news&p=20201211.html.
録画動画は https://youtu.be/zpOEnYJoR1s にて視聴可能。

[12] 小林正典（2021）持続可能なブルーエコノミー推進に向けた世界の動き.
https://www.tkfd.or.jp/research/detail.php?id=3787

[13] UK Government (2021) Carbis Bay G7 Summit Communiqué.
https://www.g7uk.org/wp-content/uploads/2021/06/Carbis-Bay-G7-Summit-Communique-PDF-430KB-25-pages-3-1.pdf

[14] 時事通信社(2020)「小笠原周辺、海洋保護区に　来年 1 月、深海の生態系保全―環境省」2020 年 12 月 3 日.
https://www.jiji.com/jc/article?k=2020120300929

[15] Protected Planet (n.d.) Marine Protected Areas.
https://www.protectedplanet.net/en/thematic-areas/marine-protected-areas

[16] WWF (2021) New UN declaration calls for the development of a new plastic pollution treaty.
https://wwf.panda.org/wwf_news/?2745966/New-UN-declaration-calls-for-the-development-of-a-new-plastic-pollution-treaty

[17] US Department of State (2021) Leaders Summit on Climate.
https://www.state.gov/leaders-summit-on-climate/

[18] International Maritime Organisation (n.d.) Initial IMO GHG Strategy.
https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Reducing-greenhouse-gas-emissions-from-ships.aspx

[19] 株探（2020）「進む海の脱炭素化、世界に先駆け実用化『ゼロエミッション船』関連株の進路」
https://kabutan.jp/news/marketnews/?b=n202009160839

[20] Blended Finance Taskforce (2020) Seychelles Debt Swap.
https://www.blendedfinance.earth/sustainability-linked-debt/2020/11/16/seychelles-debt-swap

[21] Seychelles Nation (2021) Applications awaited for SeyCCAT's blue grants fund. 04 May 2021.
https://www.nation.sc/articles/8833/applications-awaited-for-seyccats-blue-grants-fund

[22] World Bank (2018) Seychelles Achieves World First with Sovereign Blue Bond.
https://www.worldbank.org/en/news/feature/2018/10/29/seychelles-achieves-world-first-with-sovereign-blue-bond

[23] 前掲註 The Economist (2021)

２．ブルーエコノミーの国内動向と課題

東京財団政策研究所／笹川平和財団海洋政策研究所
主任研究員　小林正典
渡邉 敦

２－１　日本の海洋政策とブルーエコノミー

日本は周囲が海に囲まれている海洋国家で、領海・排他的経済水域（EEZ）を包含するとその大きさは 447 万 km^2 と世界で 8 番目の大きさとなり、延長大陸棚を含めれば 465 万 km^2 となる。その大きさは日本の国土の 12 倍にもなる。海岸線は約 30 万 km で、世界で 6 番目の長さとなる[1]。海洋は、日本経済において重要であり、漁業、海運の他、近年は再生可能なエネルギーを推進する上でも重要視されている。

海洋政策の推進にあたっては、2007 年に海洋基本法が制定され、その翌年 2008 年には海洋基本計画が策定された。この海洋基本計画は 2013 年、2018 年に改訂されている。海洋基本法では、内閣総理大臣を本部長とする総合海洋政策本部を設置し、各省や地方自治体、事業者や国民と連携して海洋基本計画を推進することが規定されている。海洋基本計画では、①海洋資源の開発および利用の促進、②海洋環境の保全、③排他的経済水域等の開発等の推進、④海上輸送の確保、⑤海洋の安全の確保、⑥海洋調査の推進、⑦海洋科学技術に関する研究開発の推進、⑧海洋産業の執行および国際競争力の強化、⑨沿岸域の総合的管理、⑩離島の保全、⑪国際的な連携の確保および国際協力の推進、⑫海洋に関する国民の理解の増進を主要な基本施策として規定している[2]。これらの基本施策は持続可能な海洋経済、いわゆるブルーエコノミーの中核をなすものであり、海洋基本法、海洋基本計画、総合海洋政策本部等は我が国でのブルーエコノミーを推進していく上で重要な法制度的枠組みを提供している。

２－２　我が国におけるブルーエコノミー推進に向けた視点

我が国のブルーエコノミー推進に向けた取り組みは広範に及ぶ一方、その体系的な研究は今後更に進めていく必要がある。ブルーエコノミーは、海洋・沿岸保全や水産業、観光、海運、海洋における再生可能なエネルギーなど様々な分野があり、また、それらが相互に関連し合っている。時には、個々の事象が二律背反（トレードオフ）の関係になりうる場合もある。多分野・多業種の連携を図り、相乗効果・コベネフィット（共通便益）の実現を目指しながら、トレードオフを最適化していく工夫が必要である。ブルーエコノミーの実現には、地域性やその時々の自然・社会経済環境など様々な要因を視野に入れ、その地域や時勢に合わせた順応型の取り組みが重要視されるが、いくつかの事例研究から、ブルーエコノミー実現に向けた成功要因を指摘することができる。

例えば、沖縄県竹富町では 2011 年に自治体独自の海洋基本計画を策定し、そこで様々な重要施策を指摘し、重点的取り組みに向けた制度的枠組みを構築した。マングローブの保全やエコツーリズムは重要課題として位置付けられ、保全と観光振興が進められた結果、その後、観光客数は増加に転じた。2013 年に新石垣空港が開港し、成田空港や関西空港から格安航空会社の便が就航してからは、石垣市を含めた沖縄の観光客数は増加したが、竹富町の島では宿泊客数はその後横ばいとなり、経済的便益をいかに安定的に確保していくかが課題となってい

る。竹富町では、地域自然資産法に基づき、2019 年から一人当たり 300 円の入域料（入島料）の徴収を始め、その収入を自然保護に充てることを想定していたが、任意払いとなっていることや周知促進などの課題などから、徴収率は 1 割程度との推定もある[3]。

岡山県備前市日生では、地元の漁業者が中学校と連携して藻場の再生に取り組んでおり、藻場の再生により地域の魚類が増えたとの調査も示されている[4]。中学生が聞き取りを行うことで、中学生の読み書きといった基礎学力が向上しているとの報告もある[5]。中学生が漁業などの地域の産業や地域社会の理解を深め、社会連携の基盤強化に繋がることが期待されている。

宮城県南三陸町では、2011 年 3 月の東日本大震災で甚大な被害を受け、カキの養殖いかだが壊滅的な被害を受けた。震災復興の過程で、南三陸町の戸倉では、漁業者が震災前の過密養殖の状況に戻すのではなく、生産量を震災前の 1/3 とし、適正な養殖密度の維持による海洋環境の保全を図ることを目指した。結果的には、過密養殖を回避したことによる栄養塩の循環の改善などから復興後の 2017 年にはカキの生産量が震災前の 2 倍、生産高は 1.5 倍にまで改善した。漁業者連携が進んだことで、2018 年 3 月には持続可能な養殖の認証制度である MSC（Marine Stewardship Council）を戸倉のカキ養殖業者が取得した。また、コンブや海藻などが豊富な南三陸町の志津川湾をラムサール条約の下で保全対象とする湿地帯として同年 10 月に認定を受けるに至った[6]。南三陸町には、三陸復興国立公園の南三陸・海のビジターセンターが 2016 年に開設され、藻場や魚類、渡り鳥などの海と沿岸、野生生物についての開設や情報発信が行われ、観光促進が目指されている[7]。

沖縄県久米島では、2013 年に海洋温度差発電（OTEC: Ocean Thermal Energy Conversion）の実証運転が開始され、100kW、250 世帯分の消費電力に相当する発電が可能となった他、海洋温度差発電のために海中から取水される深層海洋水の多段階利用の経済効果に注目が集まっている[8]。深層海洋水多段階利用を行う水産養殖業、農業、化粧品、食品・飲料水製造等の売り上げは年間 24.8 億円、240 名の雇用を生み出していると推定される（2015 年）。コロナ禍においてクルマエビ需要は大きな影響を受けていないと推定されているが、ウィルス対策が重要課題で、2021 年 12 月には久米島が稚エビを提供する宮古島でクルマエビのウィルス感染が発生し、140 万匹が死滅、損害額は約 1 億円になると推定されている[9]。

北海道のえりも町では、コンブ漁が盛んであるが、戦後はその生産が激減した。森林伐採による陸域からの土壌流入がコンブの生育環境を悪化させたと考えられ、地域の漁民が漂着コンブを陸地に有機肥料として、また砂の飛散防止措置として利用しながら土壌改善を行い、クロマツの植林を進めた。その結果、植生の改善とともに漁獲量が改善した[10]。しかし、2003 年頃から漁獲量は減少傾向にあり、その要因の一つとして、海水温上昇があげられている[11]。生態系は急速に減少しているのが現状である。減少の主な要因は沿岸の開発や水質悪化に伴う光環境の悪化などである。後述の通り、ブルーカーボンは堆積物中に大量に貯留されているが、開発等で大気に晒されると、蓄えられていた炭素が大気中に放出され、温暖化を加速させることになる。

２－３　ブルーカーボンの推進に向けた制度構築

ブルーカーボンは、国連環境計画（UNEP: United Nations Environment Programme）の報告書[1]が 2009 年に命名した言葉である。この報告書は、海洋が吸収する CO_2 をブルーカーボンと名付け、それを森林等の陸上生態系が吸収する CO_2 であるグリーンカーボンと対比して紹介している。そこでは、ブルーカーボンの中でも特に、沿岸植生であるマングローブ林、海草藻場、塩性湿地がブルーカーボンの貯留の場として重要であると指摘されている。ブルーカーボン生態系は急速に減少しているのが現状である。減少の主な要因は沿岸の開発や水質悪化に伴う光環境の悪化などである。上述の通りブルーカーボンは堆積物中に大量に貯留されているが、開発等

で大気に晒されると、蓄えられていた炭素が大気中に放出され、温暖化を加速させることになる。

ブルーカーボンが関連する気候変動緩和に関する経済メカニズムとしては、国連のクリーン開発メカニズム（CDM: Clean Development Mechanism）、日本政府の二国間クレジット制度（JCM: Joint Crediting Mechanism）や J-クレジット制度といった政府等主導の規制市場（コンプライアンス市場）と、民間主導の自主的市場（ボランタリー市場）が存在する。日本では 2017 年 2 月に研究者が中心になり、国がオブザーバとして参加する形でブルーカーボン研究会が設立され、日本のブルーカーボン吸収ポテンシャルやそのモニタリング手法につき研究が進められた。その成果を受け、2019 年 6 月には国土交通省が「地球温暖化防止に貢献するブルーカーボンの役割に関する検討会」を設置し、ブルーカーボンを利用した地球温暖化緩和策について検討を進めている。日本の沿岸自治体では、ブルーカーボンを利用した自主的市場でのクレジット化が先進的に進められている。横浜市では、市内にある海の公園の公園管理区域内に生息するアマモを対象に、2019 年 9 月にクレジットを認証し、同年 12 月には同クレジットを用いた日本初となるオフセットも実施された。福岡市でも、2020 年に博多湾ブルーカーボン・オフセット制度を創設し、博多湾で保全、創造されたアマモ場等を対象にクレジットが認証され、同年度内に販売、オフセットが実施された。自治体の取り組みと並行して、沿岸域・海洋における気候変動緩和と気候変動適応へ向けた取り組みを加速すべく、2020 年 7 月に国土交通大臣認可のジャパンブルーエコノミー技術研究組合（JBE: Japan Blue Economy association）が設立[7]された。JBE では 2020 年度内に J ブルークレジット制度を作り、クレジットの審査認証・発行を、経済的方法論としての資金メカニズム構築に関する実証試験の一環として実施した。2021 年 1 月末には JBE の外部に設置された第三者認証委員会による認証を受け、2 月 2 日に、日本初となる J ブルークレジットが横浜市ベイサイドマリーナに創出した海草藻場、海藻藻場を対象に発行された。自主的炭素市場でのクレジットの取引も行われ、購入者によるオフセットが同年 3 月に実施された。今後、制度面でも科学面でも、ブルーカーボンの検討が国際的に益々進展すると考えられる。2020 年 9 月には、民間セクター主導による自主的炭素市場拡大タスクフォース（TSVCM: Taskforce on Scaling Voluntary Carbon Markets）が設立され、その中で自然、生態系を活用した貯留も検討されている。

２－４　我が国におけるブルーエコノミー推進に向けた可能性と課題

我が国においては漁業資源や漁業者の減少などにより漁獲量が減少傾向にあるが、こうした側面は沿岸漁村の活性化に向けた地域活性化を後押しする要因としても考えられる。2018 年には漁業法が 70 年ぶりに改正され、漁業への新規事業社の参入障壁が提言されることが期待されている。また、海水温上昇などの気候変動とも関連する課題については、例えば、高水温耐性のある海生生物種の保全や養殖、センサーを利用した養殖イカダの自動制御制度など新たな取り組みが進められている。

一方で、世界的な海洋保護区の拡大を進める動きに対し、我が国では保護と持続可能な利用を国際的な水準で実現していくために、地域性を加味しながら、取り組みを順応的に発展させていく必要がある。海洋空間計画はそのための一つの手段であるが、空間計画の策定や合意形成などを行う人材や組織を育成するとともに、優良事例に関する情報共有を図っていくことが有用視される。

ブルーカーボンは、気候変動対策と海洋保全、水産業の振興を同時に進めていく重要な施策となりうる。ブルーカーボン生態系のポテンシャルを評価する一方で、リスクや、初期投資からクレジット化までのタイムラグへの対応を含めた制度改善が求められる。日本国内のブルーカーボン・クレジットについては、その拡大を推進する一方、将来的には国際制度との整合性を踏まえた制度発展の模索も有用視される。ブルーカーボンの定量的評価方法に関し、気候変動に関する政府間パネル（IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change）などを通

じて、その方法論・ガイダンス策定などに貢献していくことが求められる。

海洋を舞台とする再生可能なエネルギーについては、久米島の OTEC に見られる異業種間連携や社会協働が重要な成功要因となる。洋上風力については、発電事業者と漁業者、自治体や地域社会が連携し、相互に需要可能な体制を作っていくことが重要で、そのための制度整備を進めていく必要がある。

資金供与は重要な要素で、資金力の乏しい組織や事業体が多い中で融資、投資、助成、マイクロファイナンスなど様々な資金源を複合的に活用するブレンディド・ファイナンス（Blended finance）を日本でも活性化させる取り組みが望まれる。

ブルーエコノミーを推進するための社会的能力の強化を図り、そのための試行錯誤を分析し、成功要因や順応的管理に資する視座や人材・リーダー育成を研究機関等が提供し、取り組みの活性化や国際連携の増進に寄与していくことが期待される。

参考文献

[1] 海上保安庁（2022）日本の領海等概念図. https://www1.kaiho.mlit.go.jp/JODC/ryokai/ryokai_setsuzoku.html. なお、北方領土 4 島はロシアの占領下にあり、尖閣諸島では、中国公船の侵入が報告されている。

外務省（2022）北方領土問題の概要. https://www.mofa.go.jp/mofaj/erp/rss/hoppo/page1w_000025.html.

外務省（2022）尖閣諸島について. https://www.mofa.go.jp/mofaj/area/senkaku/index.html.

[2] デジタル庁（2022）海洋基本法. https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=419AC1000000033.

[3] 全国郷土紙連合（2019）観光客の徴収率 1 割強. http://kyodoshi.com/article/5350.

[4] 柳哲雄（2018）「アマモ場を再生しカキを養殖するー岡山県日生」、鹿熊信一郎・柳哲雄・佐藤哲編『里海学のすすめ』勉誠出版. 一方、カキ養殖生産は横ばいであるが、漁獲量は減少傾向にある。漁業者の減少などその他の要因が関係しているとも推察されている。

[5] 笹川平和財団海洋政策研究所（2015）備前市日生中学校　藤田孝志教諭が海洋フォーラムで講演. 2015 年 1 月 23 日. https://blog.canpan.info/oprficm/archive/280.

[6] 環境省（2018）志津川湾のラムサール条約湿地への新規登録について. http://tohoku.env.go.jp/pre_2018/post_109.html.

[7] 環境省（2016）三陸復興国立公園　南三陸・海のビジターセンター開所式のお知らせ. http://tohoku.env.go.jp/to_2016/post_114.html.

[8] 池上康之他（2016）久米島における海洋温度差発電複合利用のための海洋調査. OTEC Vol.21, pp. 25-34. https://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/files/uploads/21-4.pdf.

[9] 琉球新報（2021）養殖クルマエビ 140 万匹が死滅. 2021 年 12 月 2 日. https://ryukyushimpo.jp/news/entry-1432247.html.

[10] 環境省（2019）「日本・北海道襟裳岬における防砂及び漁業資源回復のためのクロマツ植林」『自然資源の持続可能な利用・管理に関する手法例集』https://www.env.go.jp/nature/satoyama/syuhourei/practices.html.

[11] 日本経済新聞（2020）温暖化で近海コンブ消滅も. https://www.nikkei.com/article/DGXMZO56978270Z10C20A3CR0000/.

３．ブルーエコノミーとしての海洋再生可能エネルギー

３－１　カーボンニュートラルに向けて必須となる海洋再生可能エネルギー

東京財団政策研究所
主任研究員　平沼光

３－１－１　期待される海洋再生可能エネルギー

2016 年のパリ協定の発効を大きな転機として、世界は脱化石燃料と再生可能エネルギー（以下、再エネ）の普及を図るエネルギー転換を政策的に進め、カーボンニュートラルの実現を目指してきた。欧州を中心とした先進各国の中には発電電力量構成(2019 年)における再エネ率が 30%以上となる国もでてきており、2050 年に向けて 50%以上の再エネ率を目標にする国もめずらしくなくなってきている。

そうした中、2021 年 10 月 31 日（日）から 11 月 13 日（土）にかけて英国・グラスゴーで開催された COP26（Conference of the Parties 26）では、産業革命前からの気温上昇を「1・5 度」に抑える努力を追求するとした合意文書が採択され、世界は「気温上昇を 2 度より十分低くし、1.5 度以下になるよう努力を続ける」としたパリ協定からさらに踏み込んだ目標に向けて動き出すこととなった。

1.5 度に抑えるためにはさらなる再エネ普及が求められるが、そこで注目されるのが洋上風力発電や潮力・波力発電、そして海洋温度差発電などの海洋再生可能エネルギーである。ブルーエコノミーとして取り上げられるのは、水産業や海運業といった伝統的な海洋経済活動だけではなく、こうした海洋再生可能エネルギーも海洋における新たな経済活動の取り組みとして注目されている。

2018 年 11 月に国連環境計画（UNEP）がナイロビで開催したブルーエコノミーに関する世界初の国際会合「持続可能なブルーエコノミーに関する国際会合」（The Sustainable Blue Economy Conference）では、海洋再生可能エネルギーの開発はまだ途上であり、そのポテンシャルは世界のエネルギー需要の最大 400%を賄える可能性を秘めていることが報告されており、極めて大きな再エネポテンシャルとして期待されている[1]。

３－１－２　洋上風力発電のポテンシャル

ブルーエコノミーの取り組みとして注目されている海洋再生可能エネルギーであるが、中でも期待が高まっているのが洋上風力発電である。陸上の風力発電は普及が進み適地も飽和状態になりつつあるが、洋上の風力発電はまだまだ開発途上でポテンシャルも高い。そのため洋上風力発電の導入拡大は欧州グリーン・ディールの戦略としても重要なエネルギーとして位置づけられている。

洋上は風を遮る障害物がなく、風力発電に適した毎秒 7 メートル以上という風力が安定して吹いている。そのため、一般的な陸上での風力発電の設備稼働率が発電容量の 20～30%であるのに対して、洋上風力では案件によっては 50%超の利用率も見込まれる。さらに、土地の制約が少ないことから大型の風車を導入しやすく、大規模な事業開発が可能という利点がある。

欧州連合（EU: European Union）では、気温の上昇を 1.5 度以下に抑えるために、2050 年までに欧州域内で最大 450 GW の洋上風力の導入が必要と推定している。その内訳は、北海：212 GW、 大西洋（アイルランド海含む）：85 GW、 バルト海：83 GW、地中海とその他の南ヨーロッパ海域：70 GW となる[2]。

2018 年の世界の洋上風力導入量が約 23GW[3]であることを考えると、450GW はその約 20 倍という膨大な量となり、欧州の本気度が伺える。また 2050 年には総電力需要の 30%を洋上風力発電でまかなえるまで普及すると見込んでおり、そのコストも欧州の風力発電業界団体であるウインドヨーロッパでは、2050 年に 50 ユーロ/MWh (約 6 円/kWh)未満になり[4]、他の電源と比べても競争力があるものになると見込んでいる。

こうした洋上風力発電の導入拡大は各国でも進められており、米国では洋上風力発電の導入量は 2025 年に 9～14GW、 2030 年には 20～30GW へと拡大していくことが推定されており[5]、洋上風力発電はブルーエコノミーとグリーン・ディールの両面で各国から期待がかけられている。

３－２　喫緊課題としての日本の洋上風力発電

東京財団政策研究所
主任研究員　平沼光

３－２－１　日本の洋上風力発電の政策動向

欧州をはじめとした先進各国が着実にエネルギー転換を進めてきた中、日本もようやく 2020 年 10 月に菅首相（当時）が「2050 年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」ことを宣言。翌年 4 月 22 日（日本時間）には、米国主催による気候サミット「Leaders Summit on Climate」において菅首相は、2050 年カーボンニュートラルの長期目標と整合的で野心的な日本の目標として、2030 年度において、温室効果ガスを 2013 年度から 46%削減することを目指すとともに、50%削減の高みに向け挑戦を続けていくことを宣言している。これは、これまでの目標を 7 割以上引き上げる大胆な目標となっている。そして、この宣言に合わせる形で、2021 年 10 月に日本のエネルギー政策の大方針となる第 6 次エネルギー基本計画が閣議決定され、2030 年の再エネ導入目標は前計画の第 5 次エネルギー基本計画で目指されていた 22～24%から 36～38%に引き上げられることになった。

2019 年度の日本の発電電力量 10,277 億 kWh に対し、環境省の試算では、経済性を考慮した日本の再エネポテンシャルは日本の年間発電電力量の約 2 倍となる 26,186 億 kWh とされており、中でも洋上風力発電は再エネポテンシャル 1 位となる 15,584 億 kWh と高いポテンシャルが示されている[6]。

2019 年度時点の日本の洋上風力発電の発電電力量は、固定価格買い取り制度（FIT: Feed-in Tariff）認定未稼働分の稼働も見込んで 19 億 kWh とされている[7]。第 6 次エネルギー基本計画の 2030 年の再エネ導入目標 36～38%の内訳では、洋上風力発電の発電電力量見込みは 170 億 kWh とされており[8]、大幅な引き上げが必要となっている。

こうした日本の高い洋上風力発電ポテンシャルを活かして目標を達成すべく、第 6 次エネルギー基本計画に先立ち、洋上風力発電を促進するために海域の占有を認め、海洋再生可能エネルギー発電設備整備促進区域（促進区域）を指定する手続きを規定した「海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律（再エネ海域利用法）」が 2018 年 11 月に制定されている。再エネ海域利用法により洋上風力発電の普及を促進するため、早期に促進区域に指定できる見込みがあり、より具体的な検討を進めるべき区域を「有望な区域」として位置づけ、2021 年 9 月 13 日現在、秋田県男鹿市、潟上市及び秋田市沖、山形県遊佐町沖、新潟県村上市及び胎内市沖、千葉県いすみ市沖、青森県沖日本海（北側）、青森県沖日本海（南側）、長崎県西海市江島沖で洋上風力発電事業実施の検討が進められている[9]。

３－２－２　洋上風力発電の広がりと再エネ条例

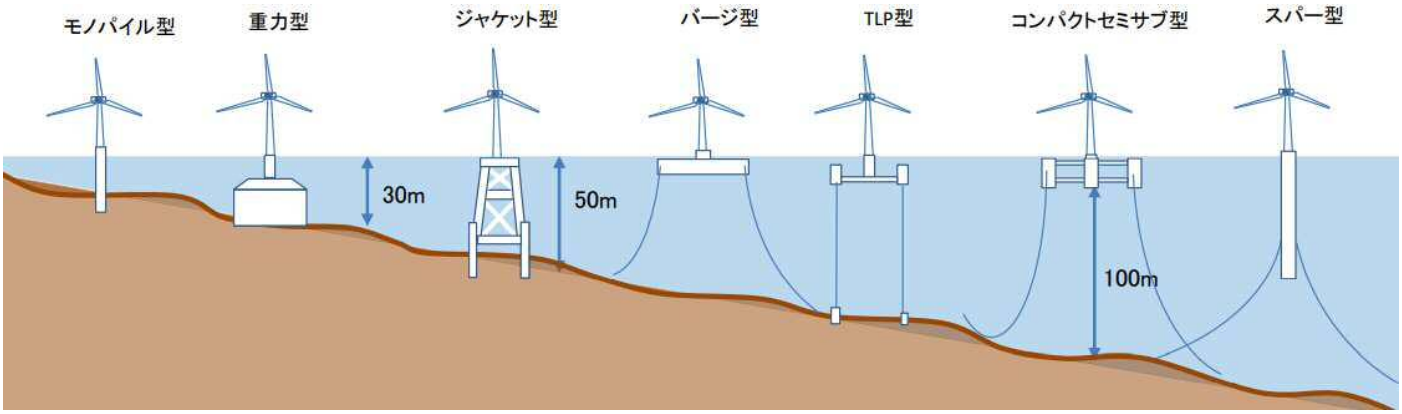
現在の洋上風力発電は、水深 10～30ｍという比較的浅い海の海底に基礎を設置し、その上に風車を立ち上げる「着床式洋上風力発電」と呼ばれるものが主流となっている。着床式洋上風力発電は、水深の浅い海であれば既存の技術で比較的容易に設置できることから、欧州を中心にその普及が進んできた。

世界風力会議（GWEC: Global Wind Energy Council）による洋上風力発電の累積設備導入量トップ５（2017年）の国は、英国 6,836MW（シェア 36%）、ドイツ 5,355MW（シェア 28%）、中国 2,788MW（シェア 15%）、デンマーク 1,271MW（シェア 7%）、オランダ 1,118MW（シェア 6%）となっているが[10]、こうした国々で設置されている洋上風力発電のほとんどが水深の浅い海に設置された着床式洋上風力発電となっている。

設置のしやすさから普及が進んだ着床式洋上風力発電であるが、日本近海など水深 50 メートル以上の海になると海底に基礎を築くことが困難で、着床式洋上風力発電の設置は難しいとされている。一方、世界の洋上風力資源のポテンシャルは、その資源の 80%以上が着床式の風車が建てられない水深 60 メートル以上の沖合にあるとされており[11]、洋上風力の普及拡大にはどうしても水深の深い海に出なければならないという課題があった。

そうした課題に対して、水深の深い海でも発電を可能にした「浮体式洋上風力発電」が開発され、社会実装が本格化する段階が来ている。浮体式洋上風力発電とは、海底に基礎を築くのではなく風車を洋上に浮かべて発電を行うものである。風車を浮かべる方式はいくつかあり、風車の浮力をうまく利用して、あたかも釣りで使う浮きのように風車を海上に立たせる「スパー型」と呼ばれる方式や、風車の下部に浮力のあるタンクを設置し、そのタンクをケーブルを使って海中に引っ張りケーブルを海底に固定することで、浮力と張力のバランスをとって洋上に浮かんだ状態で安定させる「TLP（Tension Leg Platform）型」と呼ばれる方式などがある。（図１）。

（図１）浮体式洋上風力発電の浮体構造例



出典： 経済産業省「「洋上風力発電の低コスト化」プロジェクトの研究開発・社会実装計画（案）の概要」2021 年 6 月

こうした浮体式洋上風力発電について、日本は世界に先駆け 2016 年 3 月に長崎県五島市下崎山町崎山漁港の沖合（約 5.0km）で戸田建設株式会社の子会社である五島フローティングウィンドパワー合同会社が 2MW の浮体式洋上風力発電所の商用運転を開始している。2019 年時点で浮体式洋上風力発電を導入している国は、日本、イギリス、ポルトガル、ノルウェー、フランスの５ヵ国とまだ少数であり[12]、日本の浮体式洋上風力発電は先駆的な事例と言える。

2021 年の 6 月には、長崎県五島市沖で 16.8MW の浮体式洋上発電を推進する戸田建設株式会社など 6 社による「ごとう市沖洋上風力発電合同会社（仮）」が、再エネ海域利用法に基づく初の洋上風力発電事業者に選定されており[13]、浮体式を含めた洋上風力発電の普及が期待されている。

洋上風力発電の広がりが期待される一方、再エネ設備の設置に抑制的な条例（再エネ条例）を設ける自治体が

近年増加している状況にある。風力、太陽光などの再エネはその地域に吹く風や照り付ける太陽光を活用する地域由来の分散型エネルギーである。当然、その活用には地域市民の合意（社会的受容性）が必要であるが、近年、地域外の資本が地域市民の合意形成を図らずに大規模メガソーラーなどを設置したことにより景観悪化や環境破壊等を懸念した地域の反対運動が起こるなど、再エネ普及による地域問題が各地で発生している。そのため再エネ発電設備の設置に関する再エネ条例を制定する自治体が 2016 年の 26 件から 2020 年には 134 件と急増している。

洋上風力発電を設置する海には、漁業関係者など海を生業の場としている地域のステークホルダーも多いため、洋上風力発電の普及にあたってはいかにして地域のステークホルダーの社会的受容性を醸成するかという点が大きなポイントとなるだろう。

３－３　洋上風力発電普及における社会的受容性の課題

東京財団政策研究所／笹川平和財団海洋政策研究所
主任研究員　小林正典
渡邉 敦

３－３－１　洋上風力発電普及における社会的受容性の課題

脱炭素やカーボン・ニュートラルの実現に向け、洋上風力推進が優先課題として位置付けられており、風向や沿岸地形の観点から秋田県の可能性が注目されている。

秋田県は、2015 年の「秋田未来総合戦略」、2016 年の第 2 期秋田県新エネルギー産業戦略で新エネルギー関連産業育成の一環として洋上風力発電拡大に向けた施策が検討されてきた[14]。秋田県では、能代市・三種町・男鹿市沖、由利本荘市沖、次いで八峰町・能代市沖が推進区域に選定され、潟上市・秋田市沖が有望区域に追加された。再エネ海域法第 8 条 5 項では、「経産大臣および国交大臣は（中略）当該協議会の意見をきかなければならない。」と定め、第 9 条では、「経産大臣、国交大臣および知事は（中略）協議会を組織することができる。」と定めている。同条 2 項でその構成員を（1）経産大臣、国交大臣および知事、(2）農林水産大臣および市町村長、(3) 関係漁業者の組織する団体その他の利害関係者、学識経験者その他の経産大臣、国交大臣および知事が必要と認める者と規定している。

３－３－２　ステークホルダーの利害の構図化

洋上風力発電を巡っては様々なステークホルダーが関係しており、利害調整を効果的に進める上で、その構図化が有用視できる[15]。(1)事業者、(2)行政（自治体)、(3)漁業者、(4)NPO、(5)学識経験者を主要なステークホルダーとして位置付け、半構造インタビューを 2019 年 5 月 14-16 日に対面で 1~2 時間程度、それ以降は主に電話と面談を 0.5~1 時間程度併用して行った。その結果を踏まえ、下記、ステークホルダーの利害の構図化を試みた（表１)。主要ステークホルダーの利害の構図では、企業や自治体が経済効果に高い関心を有していることが示された。有識者会合や施策立案などにより、社会基盤整備を進めてきており、洋上風力発電の導入に伴う秋田県内の経済波及効果については、事業全体で約 8 千億円の経済波及効果のうち、県内企業の参入が横ばいである場合にはそのうちの 24%、参入が拡大する場合には 40%が県内向けの経済波及効果となるといった試算も提示していることなどがその背景にある[16]。地域振興、温室効果ガス排出削減、雇用創出といった課題については多くのステークホルダーが共通して期待を有していることも示された。一方で、企業は環境や社会的側面の課題についての関心の表明が明示的でないことも示された。また、漁業については、漁業の存続・発展を行政や地域社会が考えられているとは推定しうるが、漁業者以外からは漁業への悪影響への懸念や対策の必要性にまで話が発展しなかった。

こうした利害を洋上風力発電によりもたらされると推定されるステークホルダーへの便益と影響を構図化すると、それぞれのステークホルダーが様々な便益と負の影響を受けることが推定されることを図示できる（図２)。温室効果ガス排出削減は一般論としては理解できても、その便益は企業取引以外では享受を実感しにくいと推定された。また、急速な事業展開を目指して大手企業や外資依存を進めれば、地元企業に不利に働くという二律背反（トレードオフ）の恐れも指摘された。集約的な洋上風力発電の設備敷設が漁場の減少や地域住民の生活の不安に繋がりうる側面も示した。再エネ海域利用法の下で、協議会が設置されており、電力事業者や漁業者、行政、専門家は構成員となっているが、地域住民の組織参加はない。協議会の構成員を多様化させる、あるいは、協議会を補完する組織や制度構築が有用視できる。悪影響を回避し、最適な事業展開を図る上で、研修や空間利用計画、影響評価や基金設立、便益共有制度構築等の模索にそれらの制度展開は効果的と考えられる。地域振興に資する洋上風力発電は持続可能な海洋経済推進の施策としても重視され、その拡充が期待されている。

（表１）洋上風力発電に関わるステークホルダーの利害の構図

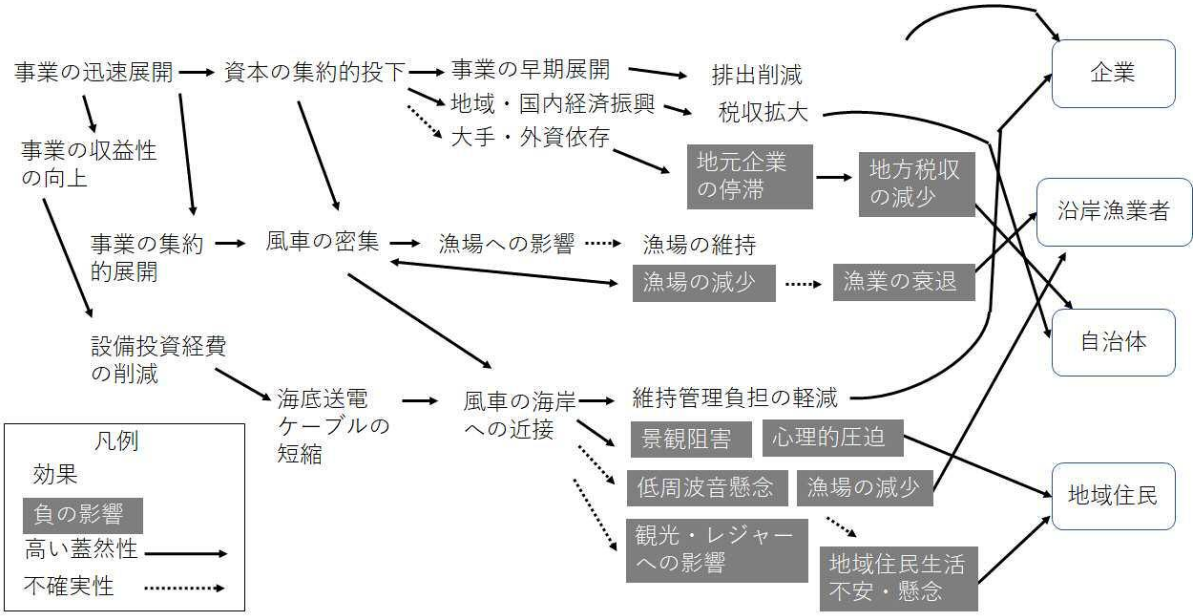
分野	経済					環境			社会		
課題 ------ 分野	収益	事業拡大	取引網拡充	技術革新	自治体納税	雇用創出	GHG排出抑制	沿岸環境	野生生物	健康	景観	地域振興
企業												
地元												
風力発電事業者	○	○				○	○					○
組立・施工会社	○	○	○			○						○
保守点検会社	○	○	○			○						○
地方銀行	○	○				○	○					○
首都圏												
大手電力会社	○	○					○					
都市銀行	○						○					
沿岸漁業者	▲							▲				○
行政												
自治体					○	○	○					○
中央政府							○					○
地域社会												
地域住民組織										▲	▲	
NPO								▲	▲			○
大学				○		○						○

○ 期待あり、▲不安あり、GHG（温室効果ガス）

出典：小林正典 (2021) 洋上風力発電を巡るステークホルダー分析と合意形成に向けた課題- 秋田沖を例に. 環境情報科学 学術論文集 35, pp. 268-273.

https://www.jstage.jst.go.jp/article/ceispapers/ceis35/0/ceis35_268/_article/-char/ja

（図２）洋上風力発電に関し推定されるスタークホルダーの利害の構図



出典：小林正典 (2021) 洋上風力発電を巡るステークホルダー分析と合意形成に向けた課題- 秋田沖を例に. 環境情報科学 学術論文集 35, pp. 268-273.

https://www.jstage.jst.go.jp/article/ceispapers/ceis35/0/ceis35_268/_article/-char/ja

３－３－３　洋上風力発電普及における社会的受容性の課題と展望

2019 年 4 月に施行された再エネ海域利用法の下で活用される協議会は、地域の産業の担い手や地域住民と事業者の協調関係を構築する重要な役割を担っている。その便益と影響は多様であると推定されるが、再エネ海域利用法の下での協議会は構成員が限定的で、包摂的な合意形成や利害調整、社会的受容、便益共有を実現するためには、構成員の拡大、もしくは補完的制度を構築していくことが望ましいと考えられる。事例の集積と共に、各地域での経験の共有も有用である。洋上風力発電が地域の環境を保全し、人々の生計を維持、改善しながら、地域社会振興を相乗効果的に推進していくためには、現状や社会的ニーズを踏まえ、地域の様々なステークホルダーの参画が可能となるよう、協議会が制度的に発展を促し、大学や研究機関などとも連携していくことが有用視される。研究機関等が俯瞰的観点から社会的合意形成や利害調整を促す知見の提供や社会協働の促進を図ることも有用視できる。

参考文献

[1] The Sustainable Blue Economy Conference Website
http://www.blueeconomyconference.go.ke/

[2] EU Website “Onshore and offshore wind”
https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/onshore-and-offshore-wind_en

[3] REN21 “Renewables 2019 Global Status Report” 2019 年 6 月

[4] 一般社団法人 日本風力発電協会「洋上風力の主力電源化を目指して」経済産業省　洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会 第 1 回会合資料, 2020 年 7 月 17 日
https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/yojo_furyoku/pdf/001_04_01.pdf

[5] 「U.S. Offshore Wind Power Economic Impact Assessment」by AWEA (March, 2020)

[6] 環境省地球温暖化対策課「我が国の再生可能エネルギー導入ポテンシャル」
http://www.renewable-energy-potential.env.go.jp/RenewableEnergy/doc/gaiyou3.pdf

[7] 経産省「2030 年に向けたエネルギー政策の在り方」第 40 回総合資源エネルギー調査会基本政策分科会事務局資料 2, 令和 3 年 4 月 13 日

[8] 経済産業省「2030 年度におけるエネルギー需給の見通し（関連資料）」2021 年 10 月

[9] 経済産業省 HP「再エネ海域利用法に基づく促進区域の指定と、有望な区域等について整理を行いました」2021 年 9 月 13 日
https://www.meti.go.jp/press/2021/09/20210913004/20210913004.html（2021 年 9 月 13 日参照）

[10] Global Wind Energy Council (GWEC) “Wind Report 2017 Cost-competitiveness puts wind in front”

[11] Equinor HP “The future of offshore wind is afloat”
https://www.equinor.com/en/what-we-do/floating-wind.html

[12] GWEC Website
https://gwec.net/gwec-launches-task-force-to-drive-global-growth-of-floating-offshore-wind/

[13] 経済産業省 HP「長崎県五島市沖における洋上風力発電事業者の選定について」2021 年 6 月 11 日
https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210611004/20210611004.html

[14] 菅原喬（2017）秋田県における風力発電に係る取組について．日本風力エネルギー学会誌, Vol.41, No.4, pp.590-593.

[15] 小林正典（2021）洋上風力発電を巡るステークホルダー分析と合意形成に向けた課題-秋田沖を例に．環境情報科学 学術論文集 35, pp. 268-273.

[16] 秋田県（2016）第 2 期秋田県新エネルギー産業戦略. https://www.pref.akita.lg.jp/pages/archive/10638.

４．社会的受容性を構築する海洋温度差発電

佐賀大学海洋エネルギー研究所
所長・教授　池上康之

４－１　海洋温度差発電とは

４－１－１　海洋温度差発電の原理と魅力[1,2]

海洋温度差発電は、海洋の表層部の温海水と深層部約 600～1,000m の冷海水との間に約 15～25℃の温度差として蓄えられている熱エネルギーを、電気エネルギーに変換する発電システムである。この温度差は、24 時間安定しており、安定的な発電が可能である。

図 1.に、基本的な海洋温度差発電システムの原理を示す。主な構成機器は、蒸発器、凝縮器、タービン、発電機、ポンプからなる。これらの機器はパイプで連結され、作動流体としてアンモニアが封入されている。作動流体は、液体の状態でポンプによって蒸発器に送られる。そこで、表層の 25～30℃の温海水によって加熱され、蒸発し、蒸気となる。蒸気は、タービンを通過することによって、タービンと発電機を回転させて発電する。タービンを出た蒸気は、凝縮器で深層より汲み上げられた 4～10℃の冷海水によって冷却され、再び液体となる。この繰り返しを行うことで、化石燃料やウランを使用することなく海水で発電することができる。

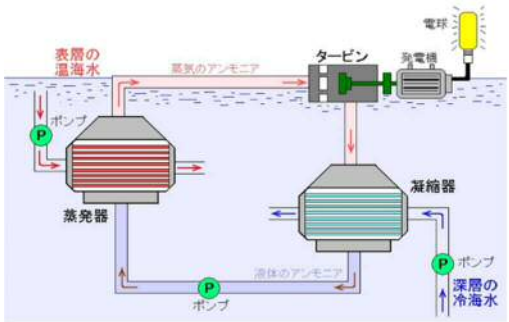


図１　海洋温度差発電の原理
（海洋深層水の複合利用）

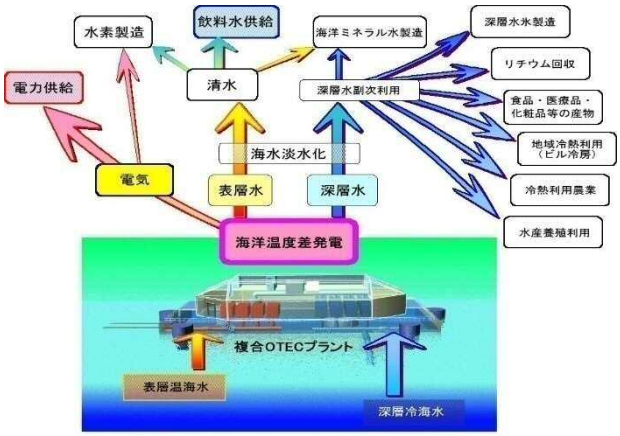


図２　海洋温度差発電を核とした多目的利用

海洋温度差発電を再生可能エネルギーの最大導入および主力電源化と見据えた場合のメリットと特徴を整理すると次のようにまとめることができる。

① **出力の短期的変動がほとんどない安定電源（24 時間安定）**

・出力の季節差はあるものの、短期的変動・日間変動はほとんどない

⇒ 周波数安定化や、日間変動をカバーするための蓄電施設、バックアップ電源の削減が可能。

・ベース電源としての期待

・設備利用率（80%以上、地域によっては 90%）が高いため、ピーク出力対応のための電力系統増強も不

要

② **設置面積の小ささ**

・景観保護や、豪雨等災害への強さの意味合いでもメリットが相対的に大きい

・（必要面積/発電量）は太陽光発電の 100 分の 1 以上

③ **我が国の国際競争力を有する再生可能エネルギーのひとつ**

・要素技術の性能、実証の実績、特許等知的資産などで世界をリード

④ **既存技術であるタービン発電機による発電**

・周波数変動に対するガバナフリー・LFC（Load Frequency. Control）/AFC（Automatic Frequency Control）運転も可能（一般的なタービンと同様に、周波数調整を自律的・自動で行える）

・主力電源化した場合に必要となる回転の慣性力や短絡強度も提供できる

⑤ **競争力のあるライフサイクルアセスメント（LCA）の評価**[3, 4]

・100MW 級の海洋温度差発電のエネルギーペイバックタイムは、0.43 年（浮体式）、0.5 年（陸上式）、1 MW 級　1.86 年（陸上式）

⑥ **発電利用後の海水の副次利用による、カーボンフリーな産業振興効果**

・海からの再生可能エネルギー（海洋温度差発電）で一次産業を振興（エネルギー起源 CO_2 排出のない産業へ）

・エネルギー効率の高い冷熱利用による省エネ化（90%以上）（空調、**データセンター**など）

・気候変動により懸念が増した食糧・プロテインクライシスに対するリスクヘッジ

・海水からの希少資源の回収（リチウムなど）

・育てる漁業推進による水産資源保全

・熱帯・亜熱帯地域・島嶼地域の地産地消：フードマイレージの削減による GHG（Green House Gas）排出削減

・藻類の増殖と利用による直接的な炭素固定

・次世代につなぐ地域教育・環境教育への活用

４－１－２　海洋温度差発電を核とした海洋深層水利用

海洋温度差発電の特徴は、前節⑥にも記載しているように、発電の際に汲み上げる「海洋深層水」を有効利用することにより、発電とともに持続的に海水淡水化や水素製造、リチウム回収、冷熱利用（空調、データセンター）などの複合利用が可能となることである(図 2)。海洋温度差発電の複合利用は、単に、海洋深層水の多目的利用と発電を組み合わせたものではなく、海水の温度や海洋深層水に含まれる栄養塩等を利用用途に合わせた「カスケード利用」によって、より有効かつ機能的に利用できることが大きな特徴である（図 3)。

海洋深層水は [1,2]、光合成による有機物生産よりも有機物分解が卓越し、かつ鉛直混合や人為の影響が少ない、補償深度（主に水深 200m）以深の資源性の高い海洋水と定義され、安定した低温性、富栄養性、清浄性、水質の安定性など、表層水に比べて多くの有用な特徴を持っている。

海洋深層水は、大元をたどれば表層の一般的な海水であるが、高緯度地域で冷やされ比重が大きくなった表層の海水は、200m 以深の深海に沈降する。深海では光が十分には差し込まないために、光合成による有機物生産が進まない一方、マリンスノーと呼ばれる表層から沈降した有機物は微生物の働きにより無機物の状態まで分解される。その結果、有機物の分解産物である無機栄養塩類は海洋深層水中に高濃度で蓄積される。海の深層では、

急激な温度変化がないため水温は低温で安定する。植物によって有機物が生産されないために動物にとっての餌がなく、したがって生物の密度は表層より著しく低く、清浄性が高い。そして上記のとおり無機栄養塩類に富む。この①低温安定性、②清浄性、③富栄養性の 3 つの資源価値を利用して、国内外で各種の産業や研究開発が営まれている。

① 低温安定性
- 海洋温度差発電、火力発電への給気冷却・復水器利用
- 建物・地域冷房（データセンター、直接およびヒートポンプ利用）
- 周年農業、冷室農業、植物工場
- 水産養殖
- 海洋環境保全
- 海水淡水化（フラッシュ蒸発法）

② 清浄性
- 海水淡水化（RO（Reverse Osmosis）膜）
- 水素製造、次亜塩素酸製造
- 化粧品等高水質要求産業への利用
- タラソテラピー

③ 肥沃性（富栄養性）
- ミネラル回収、資源回収（リチウム、マグネシウム、ウラン等）
- 藻類培養（有価物利用、藻類バイオマス利用）
- 食品、サプリメントへの利用
- 飲料への利用
- 海域肥沃化（水産資源の回復）
- 漁場創生

海洋温度差発電の適地は、多くの地域が水問題を抱えており、海水淡水化との複合利用は、実用化推進の大きな力となっている。インドでは、既に 2005 年より、海洋の温度差エネルギーを用いたスプレーフラッシュ海水淡水化を 100 トン/日のレベルで実用化させ継続して運用している。一方、この淡水化された水と海洋温度差発電で発電された電気での水素製造によって、電力貯蔵のみならず、エネルギー輸入に頼ってきた地域にとっては、エネルギー輸出に繋がる可能性も米国やフランスを中心に期待されている。さらに近年では、データセンターの急増によりその運用コストで最も占める割合が多い空調冷却に海洋深層水の冷熱性が見直され数多く提案がなされており、80%程度の電力削減に繋がることが期待されている。また、発電の際に利用する海洋深層水を用いて、乱獲や環境変化で水産資源が減少している魚場を修復および回復させ、持続可能な水産資源の確保を目指した海洋牧場などへの複合利用も期待されている。これまで水産庁の「拓海」などの 10 万トンの海洋深層水を使ったプロジェクトが提案され取り組まれた。

なお、2018 年に策定された第 3 期海洋基本計画では、これらの海洋深層水の有効性および実績が認められ、内閣府や経産省等に関連する施策として「海洋の産業利用の拡大の中で海洋深層水等の地域資源を活用した産業振興（海洋基本計画 第 2 部 海洋の産業利用の促進 40-43 頁）」が挙げられている。

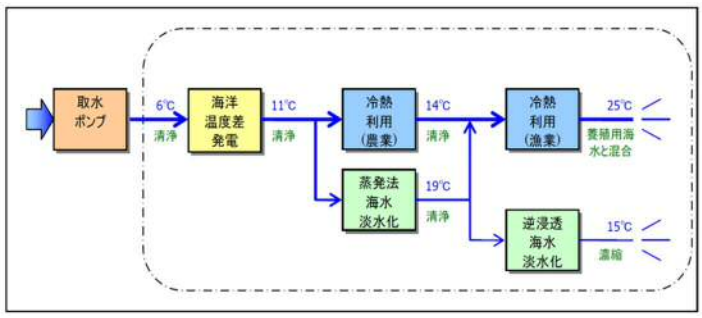


図３　海洋深層水のカスケード利用

図４　海洋温度差発電実証プラント
（100kW 級：沖縄県久米島）

４－１－３　ブルーエコノミーとしての海洋温度差発電のポテンシャル

海洋温度差発電（OTEC）は、従来、単純に発電のエネルギーコスト指標のみで評価されてきた。これはエネルギー供給政策の側面からすると当然であるが、OTEC は、既存の発電システムの経済性効果とは大きく異なる。OTEC は、発電以外に多様な経済的・社会的貢献の可能性を有している。逆に言えば、海洋温度差発電の社会的な経済評価は、発電以外の複合的な波及効果を含めて初めて本質的な評価となるといえる。

ブルーエコノミーの視点から海洋温度差発電を評価したとき、クリーンエネルギーの創出という役割に限らず、海洋温度差発電が設置された地域社会の経済的・社会的波及効果および持続可能性の向上への貢献を評価することが重要である。その地域社会における「エネルギー」、「水資源」、「雇用」、「環境保全」、「産業創出」、「地域強靱化」、「農水産業振興」の点での評価が不可欠である。特に、陸上型の海洋温度差発電の場合は、前述の４－１－２に既述した「海洋温度差発電を核とした海洋深層水利用」としての評価が不可欠である。むしろ単純な発電のエネルギーコスト指標のみの場合は、OTEC の評価をミスリードする可能性が高い。

内閣府の「平成 29 年度離島地域における海洋深層水を活用した地域活性化可能性調査報告書」[5] によると 1 MW の海洋温度差発電の運用が可能な既存の取水量の約 10 倍を可能とする新たな海洋深層水の取水管を設置した場合、「評価期間 45 年間全体を通して費用に対する便益（いわゆる費用対便益法による評価「B/C」）は「2.155」と算定され、評価基準値である「1」を上回る結果となった。このことから取配水設備等インフラ投資に対する社会経済的効率性は、十分にあるといえる」と評価している。これは、取配水設備等のインフラ投資に対する直接効果としての売上高、直接雇用人数を含む社会経済的効率性および中・長期的に持続発展可能、経済効果を調査分析し評価したものであり、経済効果も十分に発現できることが見込める、としている。

４－２　世界の開発・導入状況、日本のポテンシャル

４－２－１　世界の開発動向・導入状況

国際エネルギー機関　海洋エネルギー実施委員会（IEA（International Energy Agency）-OES（Ocean Energy Systems））は、近年の海洋温度差発電の開発および社会実装の計画に関する国際的な動向を図 5 に報告している[6]。赤道を中心とする熱帯・亜熱帯の国と地域で精力的に行われている。

海洋温度差発電の研究開発は、オイルショック以降、国内および海外で精力的に行われた。その成果として海洋温度差発電は、「技術的に発電すること（正味出力を得ること）は可能であるが、経済的に成立することは難しい」との評価に留まり、日本以外の国々では、研究開発が停滞あるいは中止された。日本では、小規模ながらも継続的に行われた。このような状況の中、大きく２つの理由で海洋温度差発電が再び注目されている。一つは、近年のエネルギー環境問題が地球規模で深刻化する中、ベース電源となり得る再生可能エネルギーの導入の必要性が高まったこと、もう一つは、近年の海洋温度差発電の技術革新と実証の実績によるところが大きい。

本格的な商用の海洋温度差発電のプラントは稼働していないが、国際的には商用化を目指した多くのプロジェクトが推進されている。海洋温度差発電の主な開発動向は、韓国、中国、米国、インド、マレーシア等で推進されている。紙面の都合上、詳細は参考文献を参照のこと [6]。韓国の OTEC 開発は、韓国船舶・海洋工学研究院（KRISO: Korea Research Institute of Ships & Ocean engineering）が政府の資金提供を受けて実施しているキリバス共和国への導入を目指した 1000kW プラントプロジェクトが進んでいる。米国では、2008 年ロッキードマーティン社による 10MW 洋上プロジェクト開発が提案された。このプロジェクトの最終目標には、100MW 浮体式 OTEC による電力、水素、アンモニア、海水淡水化のプラットフォームが構想されている。メキシコでは、メキシコ政府が、メキシコ海上における海洋エネルギー資源を評価するための 5 年プロジェクトを 2018 年に立ち上げた。インドでは、最近、インド海軍基地のための OTEC 開発を実施している。マレーシアでは、サバ州への OTEC 社会実装を目指し JST（Japan Science and Technology Agency）/JICA（Japan International Cooperation Agency）の SATREPS（Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development）事業の支援を得て『マレーシアにおける革新的な海洋温度差発電(OTEC)の開発による低炭素社会のための持続可能なエネルギーシステムの構築』を佐賀大学、東大、産総研と取り組んでいる。

海洋温度差発電の発電量のポテンシャルは、種々評価されているが、再生可能エネルギーのなかでも世界最大級の発電量を実現できる可能性があると期待されている。IEA-OES が 2020 年に公開した「海洋温度差発電白書」[7]では 8,000GW（Nihous, 2018）としている。このように、OTEC にはエネルギーに大きく貢献する可能性がある。

一方、2020 年 10 月に、世界的には海洋温度差発電への期待が高まり、国際的なプラットフォームを目指し、国際海洋温度差発電協会（Ocean Thermal Energy Association: OTEA）が設立された。参加国は、米国、英国、中国、韓国など 42 ヶ国の 400 名を超える研究者、事業者、政府関係者が集った。OTEA の会長国は日本、副会長国は、欧米地区が英国、アジア太平洋地区がインドネシアである。現在、国際的な海洋温度差発電の R&D（Research and Development）の推進および支援、実用化の推進と支援、国際海洋温度差発電シンポジウムの開催と支援を行っている。

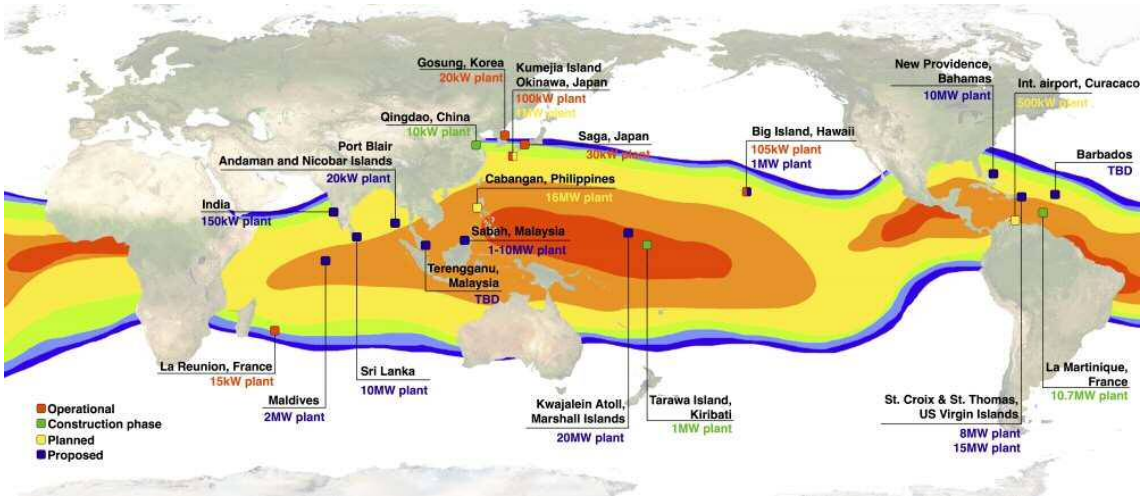


図５　国際エネルギー機関（IEA-OES）による海洋温度差発電の動向と
熱帯・亜熱帯海域の表層と深層（水深 1000m）の温度差分布

４－２－２　日本のポテンシャル

我が国における海洋温度差発電の発電ポテンシャル評価は、種々報告されている[1,2,7,8]。代表的なものの一つとして、2010 年度、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO: New Energy and Industrial Technology Development Organization）は海洋再生可能エネルギーのポテンシャル調査を実施した。この調査において、日本における OTEC の導入ポテンシャルは、沖縄及び小笠原諸島を中心に、離岸距離 30km 以内・表層と深層の水温差 20℃以上の海域で 5,952MW、離岸距離制限なし・水温差 20℃以上の海域では 173,569MW と算定された。本報告によれば、海洋温度差発電が経済的に成立するのは、現状技術で表層水と深層水の水温差が 20℃以上、将来技術で同 15℃以上ある海域である。これに基づき、本報告書では国内の電力会社管区ごとの発電ポテンシャルを算定している。日本の EEZ 内で温度差 20℃以上を超える水域は、沖縄周辺および鹿児島奄美諸島、南伊豆・小笠原諸島、沖ノ鳥島、南鳥島等の島々、黒潮の流域となる奄美大島から宮崎、高知、和歌山を経て八丈島に至る海域が相当する。

近年、海洋温度差発電の技術的革新とその実証実績にもとづき、純粋に海洋表層水と海洋深層水を用いた海洋温度差発電のみでなく、他の熱源を利用した検討が増えている。特に、地域の地熱との海洋深層水との温度差、工場廃熱、火力発電等の廃熱、データセンターの廃熱など未利用エネルギーとの温度差を利用することにより、経済性を高めたり、日本北部での海洋温度差発電技術の適用が可能となる。特に、近年、首都圏近郊での検討が行われている。

表 1　海洋温度差発電の導入ポテンシャル（国内）

単位： メガワット（MW）

電力管区	シナリオ 1		シナリオ 2a		シナリオ 2b	
	15℃以上	20℃以上	15℃以上	20℃以上	15℃以上	20℃以上
北海道電力	11	0	31	0	44	0
東北電力	609	0	1,692	0	8,072	0
東京電力	2,450	880	6,806	2,444	139,625	83,294
北陸電力	232	0	644	0	4,475	0
中部電力	239	0	664	0	4,475	644
関西電力	178	30	494	83	8,558	1,139
中国電力	203	0	564	0	7,981	0
四国電力	215	23	597	64	6,583	1,928
九州電力	1,351	203	3,753	564	26,225	15,572
沖縄電力	1,628	1,007	4,522	2,797	74,453	70,992
合計	7,116	2,143	19,767	5,952	280,491	173,569

シナリオ 1　：沿岸固定、離岸距離 30km 以内

シナリオ 2a　：沖合浮体、離岸距離 30km 以内

シナリオ 2b　：沖合浮体、離岸距離制限なし

出典：NEDO 「海洋エネルギーポテンシャルの把握に係る業務」 表 4-3-2-1(107 頁), 2011.3

４－２－３　我が国の実証実験の実績

日本では近年、関連技術も含めて次のような実証実験が行われている。

① 次世代海洋エネルギー発電技術研究開発（NEDO）

2011 年度にスタートした NEDO「次世代海洋エネルギー発電技術研究開発」では OTEC の研究開発プロジェクトも採択され、2011 年度から 2014 年度にかけて研究開発が実施された。受託者は佐賀大学と株式会社神戸製鋼所で、OTEC に用いられる新しい 2 段ランキンサイクルと熱交換器の高効率化の技術開発が行われた。

② 沖縄県「海洋深層水の利用高度化に向けた発電利用実証事業」

2012 年に、沖縄県は、沖縄県海洋深層水研究所内に海洋温度差発電実証設備を設置して実際の表層海水および海洋深層水を用いて運転を行い、技術的信頼性を確認するとともに、これを沖縄県における「再生可能エネルギーの導入拡大」につなげるために、得られた実証データを商用レベルの発電プランに活用する目的も含めて、本事業を実施した。発電規模は、100kW 級である。

2013 年には、国際的な第 2 期の海洋温度差発電の開発期において世界に先駆けて実海水を用いた発電に成功し、 5 年の世界最長の連続実証に成功した。日本の海洋エネルギーのなかで、初めて系統連系（沖縄電力）を実施した。この成果は、国際的にも注目され、60 ヶ国から 1 万人以上が視察している。まさに、新しい海洋温度差発電のステージが始まった事業である。この事業の成功が、現在の国際的な海洋温度差発電の開発および事業化を牽引している。

③ ジャパン マリンユナイテッド社による AIP（Approval In Principle：概念承認）取得

2013 年 9 月、ジャパン マリンユナイテッド社は、世界で初めて浮体式の没水型 OTEC プラントで日本海事協会（NK: Nippon Kaiji Kyokai）より AIP（概念承認）を佐賀大学と共同で取得したと発表した。本方式は、台風等の自然災害に強く安定性が高いことが大きな特徴である。同社は、上記発電プラントと類似の形式となる、福島沖浮体式洋上風力発電設備のための浮体式洋上変電所（2013 年 11 月稼働開始）を建造

しており、浮体構造の面で技術信頼性が大きく向上した。

④ 海洋エネルギー発電システム実証研究（NEDO）

2014 年 7 月、NEDO「海洋エネルギー発電システム実証研究」にも OTEC の実証研究が採択された。共同研究先はジャパン マリンユナイテッド株式会社、国立大学法人佐賀大学で、2014 年度から 2017 年度にかけて、次の実証研究が行われた。これらの成果は、久米島における 1 MW 規模の OTEC の事業性を示した。

・実海域実証研究のための FS（Feasibility Study：実施可能性調査）
・先導的な OTEC システム技術の実海域実証試験
・海洋環境への影響調査
・大型発電設備の概念設計

４－３　地域貢献を促す日本の久米島モデル

４－３－１　世界のトップランナーとしての「KUMEJIMA　MODEL」

「KUMEJIMA　MODEL（久米島モデル）」は、海洋温度差発電を核として海洋深層水を複合的に利用し、「エネルギー・水・食糧」の自給自足で持続可能な開発を目指す社会モデルとして、国際的に高く評価され、関連分野において多くの国と地域で広く認知されている（図 6）。この「KUMEJIMA　MODEL」は[5,8]、世界的に海洋温度差発電および関連の国際会議において、海洋温度差発電を核として海洋深層水を複合的に利用する持続可能な地域社会のシンボリックで国際的な開発目標および、世界的な先進事例と紹介されることが多い。このような評価は、沖縄県久米島町が、世界に先駆けて実施し、社会的実績としてロードマップを示したからであるといえる。一方、本格的な「KUMEJIMA　MODEL」の社会実装と運用は、現在の海洋深層水取水量が、既存の約 10 倍の日量 10 万トン以上になり、1 MW 海洋温度差発電プラントが稼働してからであるが、今日の評価は、海洋深層水を利用した久米島町の地域社会が 2000 年より継続的に発展を続けている実績によるところが大きい。特に、久米島町での長年の海洋深層水利用が、新産業創出、雇用創出、観光産業の活性化等の地域経済の活性化に実際に繋がっているからである。

図 6　「久米島モデル」
（出典：久米島町）

図 7　久米島海洋深層水産業の現況
（出典：久米島海洋深層水協議会）

４－３－２　ブルーエコノミーからみた「久米島モデル」の魅力

久米島町が将来ビジョンとして提唱している持続的発展モデル「久米島モデル」は、海洋深層水の特性を余すところなく活用して「エネルギー・水・食糧」を自給し、地域資源を生かした新産業興隆地域を作るという先導的なモデルであることから、海外の島嶼地域からの関心が特に高い。これまでに熱帯・亜熱帯の太平洋の島嶼・沿岸地域を中心として 61 カ国もの人々が視察に訪れるほどである。この「久米島モデル」の魅力は、モデルが単なる海洋深層水の利用に留まらず、新産業創出、雇用創出、観光産業の活性化等の地域経済の活性化に実際に高い実績を上げているからである。まさに、地域が有する「海のポテンシャル」を余すことなく有効利用して、持続可能な経済的発展、「BLUE ECONOMY」に繋げているからである。「久米島モデル」は、「BLUE　ECONOMY」の国際的な先駆的モデルと言っても過言ではない。

また、「久米島モデル」が注目されているのは、カーボンニュートラルや SDGs が叫ばれる中、その実現に向けて国際的に先頭を走るだけでなく、その実現に向けた明確なロードマップを国内および海外に向けて発表していることである。具体的には、2000 年に海洋深層水利用が始まった頃には、久米島の主産業はサトウキビであったが、現在、久米島における海洋深層水利用関連の産業は、サトウキビ産業の約 2 倍以上の年間の売上高となる 24.8 億円規模（平成 27 年度時点）にまで発展している。特に、「車エビ」および「海ぶどう」においては、出荷額が日本一である。この売上高は久米島全体の農業生産額：年間 19.8 億円および水産業生産額：年間 22.8 億円を上回り、久米島の経済発展を支える産業の柱の 1 つとなっている。2000 年の海洋深層水設置コストの約 25 億円規模にまで年間の売上高が向上した。久米島町では深層水利用産業を経済の発展基盤として地方創生総合戦略の中核に位置付けて、深層水を水産業、製造業、サービス業等総合的に利用する取り組みを進めている。

2021 年度、久米島町は、国の支援を得て、海洋深層水の取水量が既存（日量 1 万 3 千トン）の約 10 倍の日量 10 万トン以上の取水管を設置するための FS（実施可能性調査）を開始した。順調にいけば、2026 年から稼働する予定である。内閣府の試算によると、約 10 倍の取水管が設置されれば、久米島の海洋深層水産業は、現在の３倍近い年間売上約 80 億円まで発展するポテンシャルを有していると試算している。

４－３－３　2040 年　カーボンニュートラルを目指す「久米島モデル」の挑戦

2020 年 3 月、久米島町は、「久米島町エネルギービジョン 2020～持続可能な島を次世代につなぐための再生可能エネルギー100%化に向けて～」を発表した [8]。本ビジョンは、2040 年までに、島内で消費されるエネルギーの 100%を再生可能エネルギーによって自給することである。なお、久米島に往来するための航空機・フェリー燃料を除いている。

主なシナリオは、下記の通りである。

<2025 年頃>

太陽光発電および蓄電池の価格低下によって、離島地域の厳しい系統接続要件を満たしても採算性がとれる太陽光発電コンセプトが登場し、地域出資の発電事業会社によって普及が再び進む。海洋温度差発電は、2025 年頃に海洋深層水の大規模取水開始と同時に実証設備として発電を開始。

<2030 年>

EV（Electric Vehicle）の普及が本格化し、新車購入の 40%程度を占めるようになる。EV への充電時間帯の制御（DR: Demand Response）と EV からの電力供給（V2H（Vehicle to Home）等）を EMS（Energy Management

System）から行うことにより、日間の電力需給ギャップ調整が火力発電に頼らずに行えるようになる。
<2035 年>
蓄電池（定置型・EV）の普及拡大と制御によってほぼ一定出力での運転となった火力発電を、洋上浮体式の海洋温度差発電が代替し、火力発電はバックアップ用や季節間需給ギャップ調整用にのみ使用されるようになる。
<2040 年>
電力から燃料への転換技術、バイオマスの燃料利用技術、機器の電化等のコスト低下により、現在、重油・軽油・灯油等でまかなわれているエネルギー需要が再生可能エネルギー化。エネルギー自給率 100%を達成。

現実的には、超えなければならない課題も多く簡単ではないが、提案書では、様々なケースへの対応とともに、具体的にベース電源として海洋温度差発電の導入計画が詳細に検討されている。
これらの実現は、単なるカーボンニュートラルの実現に留まらず、「BLUE　ECONOMY」との有機的戦略的な連携によって初めて加速的に推進されるものと考えられる。

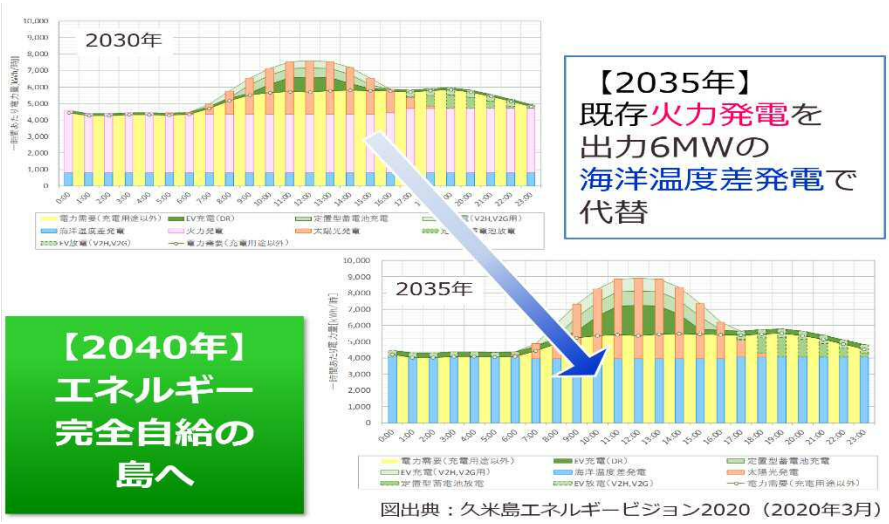


図 8　久米島町が海洋温度差発電を核に目指す 2040 エネルギー完全自給ビジョン

４－３－４　「久米島モデル」が実現できた条件

「久米島モデル」が評価されるたびに、「どうして久米島モデルが実現できたのか」と問われることが多くなっている。
この節では、改めて「久米島モデル」が実現できている要因について整理し、これらの経験が、日本国内に留まらず国際的に「BLUE　ECONOMY」推進に繋がればと期待する。

① <u>海洋深層水設置地域の経済活動を含めた評価</u>
沖縄県が、海洋深層水設置のための調査および評価において、単なる海洋深層水取水管の設置コスト（海底地形、長さなど）だけで判断せず、導入予定地域の経済活動の展望を含めて評価したこと。そのため最終候補地として、久米島に決定した。

② <u>大規模海洋深層水の取水量確保</u>
当時、日本における海洋深層水の取水量の実績および計画は、日量 4,000 トン以下で、そのほとんどが日量 2,000 トンであった。久米島において当初その規模を計画していたが、最終的には、大規模利用の有効

性を評価し、日量 13,000 トンと従来の３倍以上にしたこと。仮に、久米島が、従来の 4,000 トンであれば、現在の海洋深層水利用産業およびエネルギー利用は、実現しなかった。

設置地域の特性にもよるため一概に言えないが、海洋深層水のメリットを活かすには、より大規模利用のほうが、経済的利用価値は高まる。当然、合わせて環境評価も一層重要になる。

③ **地域社会の熱心な海洋深層水利用への取組**

上記①および②は、施策的に出来ても、この③の事項は、その地域社会が有するポテンシャルによるところが大きい。

まさに、「久米島モデル」が世界的にも成功したのは、久米島の地域住民の方々の熱心な取組によるところが最も大きいと考えられる。現在の海洋深層水利用産業のほとんどが、地域住民の方々がゼロから立ち上げた実績である。特に、クルマ海老、海ぶどう、化粧品類などが代表的である。これらで、久米島町全体の海洋深層水産業の８割以上を占める。

④ **行政の強力かつ継続的な支援**

「久米島モデル」の成功には、地域住民の方々の熱意とポテンシャルが重要であるが、また、それを支える行政の支援も不可欠である。久米島町は、取水管設置当初から、「新エネルギービジョン」、「地方創生」、「産業育成」など、海洋深層水を活かした企画立案から長期的なビジョン作りまで、明確に国内および海外に示し、積極的に情報発信するとともに、きめ細かい産業界の支援を熱心に進められていると考える。まさに、この産業界、農水産業界、市民、行政の継続的な連携強化が、今日の「久米島モデル」に繋がったといえる。

４－４　普及の課題（制度整備）

４－４－１　普及のための課題

海洋温度差発電の普及のための大きな課題は、つぎのようなものが掲げられる。

① 事業化推進に必要な技術の信頼性および経済性を向上させるために、１MW 以上の発電能力を有する海洋温度差発電の実証研究が不可欠。

② 小規模（１MW~5MW）の陸上型海洋温度差発電における海洋深層水の取水管コストが事業化の大きな負担になっている。

③ FIT 等の導入による政策的な支援制度がない。

④ 海洋温度差発電で用いる海洋深層水の取水管の用途が、エネルギー分野、農業水産分野、海洋環境保全分野、新産業等雇用促進分野等と複数の省庁の関連事業である。このため海洋深層水の取水管設置の支援体制が明確でない。

⑤ 我が国が本分野で国際的リーダーシップを発揮し、国際的な貢献および事業推進のための民間主導のコンソーシアムを構築および支援する。

⑥ 本格的な OTEC の大規模商用化のためには、１０MW 級（約 300 億円規模）の実証が必要である。

４－４－２　普及のための提言[2,8]

前述の海洋温度差発電の普及のための課題を解決するための制度整備等の主な提言は、次の通りである。

① 海洋深層水の取水管設備を上下水道等と同様に公共インフラとして国が施策的に支援する（図 9)。
海洋深層水は、発電以外に多くの事業者および公共機関が利用し、上下水道や高速道路のように利用者負担として設置・運用するために公共インフラとして国が支援することが重要である。前述の内閣府の調査および評価に記述されているように、日量 10 万トン以上の海洋深層水取水管の設置に伴う B/C は、１以上になり事業性は高いことが示されている。このことにより、我が国の海洋利用、特に海洋深層水に推進が加速化され、BLUE　ECONOMY、地域の強靱化および SDG s 解決に向けて取組が促進されるものと期待される。

② 他分野におよぶ海洋深層水取水事業を加速化させるための担当省庁の明確化。

③ １MWOTEC 実証事業を早期に実現するための、民間を主体とする国家プロジェクトの立ち上げ。

④ 上記③の運用実績による FIT の早期設定。

⑤ 現在、海洋温度差発電の事業化を目指す民間主導のコンソーシアムが推進されている。この活動を加速化させるための支援制度の充実。

⑥ IEA-OES で提案されている１０MW 級の浮体式海洋温度差発電の実証を我が国手動で国際的プロジェクトとして立ち上げる支援制度。

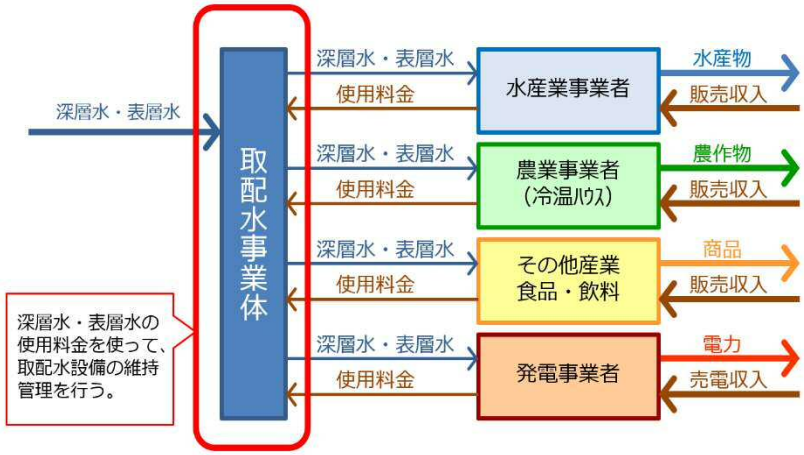


図 9　「BLUE　ECONOMY」を推進するための海洋深層水取水管の公共インフラ

参考文献

1. 佐賀大学海洋エネルギー研究センター
https://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/ocean_energy/
2.「平成 30 年度海洋深層水の利用高度化に向けた発電利用実証事業及び海洋温度差発電における発電後海水の高度複合利用実証事業」報告書
https://www.pref.okinawa.jp/site/shoko/seisaku/kiban/oceanrenewableenergy/otec/houkokusyo/h30houkokusyo.html
3. LCA による OTEC の評価　田原 聖隆, 小島 紀徳, 稲葉 敦
https://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/files/uploads/8-3.pdf
4. LCA 手法による発電プラントの評価 -CO_2 ペイバックタイムの算出- 田原 聖隆, 小島 紀徳, 稲葉 敦 化学工学論文集 23(1), 88-94, 1997-01-10
5.「平成 29 年度離島地域における海洋深層水を活用した地域活性化可能性調査報告書」
http://www.ogb.go.jp/keisan/oshirase/016535
6. IEA-OES　OTEC プロジェクト
https://www.ocean-energy-systems.org/oes-projects/status-of-otec-and-its-resource-assessment/
7. IEA-OES「WHITE　PAPER」
https://www.ocean-energy-systems.org/publications/oes-position-papers/
8.「久米島町エネルギービジョン 2020」
https://www.town.kumejima.okinawa.jp/docs/2021011900033/

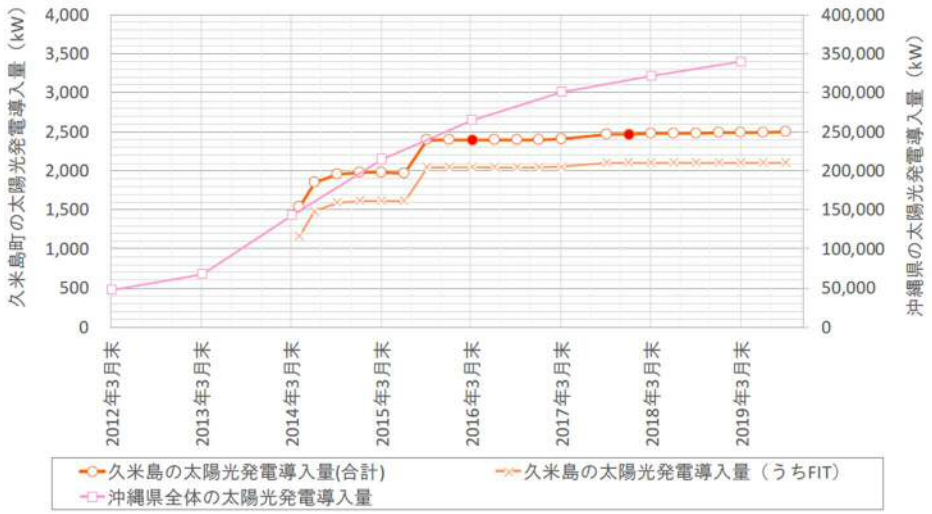
５．沖縄エリアの脱炭素化に向けた海洋温度差発電の可能性

東京財団政策研究所 博士研究員／政策研究ポスト・ドクトラル・フェロー
杉本康太

５－１　沖縄エリアの調整力の稀少性

沖縄エリアでは、化石燃料を用いた火力発電の依存度が高いため、発電部門のエネルギー転換が求められている。しかし沖縄本島や離島地域には、本州や北海道・四国・九州と異なり、連系線・水力発電・揚水発電・地熱発電は存在せず、バイオマス発電もほとんどないため、利用可能な柔軟性資源が少ない。そのため、太陽光発電や風力発電などの自然変動性の再生可能エネルギー（再エネ）を導入した場合、調整力の確保がより深刻な課題となる。沖縄エリアでは、既にこの問題が顕在化している。沖縄本島から西に約 100km に位置する久米島町(2020)によれば、沖縄電力は、離島の場合、急激な天気の悪化による周波数変動を緩和するために、出力 50kW 以上の太陽光発電に対して、出力変動を定格値の 2%以下/分とする対策をとることを系統連系の新規申請者に要請している。この要請に応じるには、太陽光発電の出力相当の蓄電池をセットで設置することが必要になるため、事業の採算性が大幅に悪化してしまうという。さらに沖縄の離島地域には、火力の最小負荷制限もある。たとえば久米島では、既設の内燃発電機の運用下限出力は、燃料加温用の蒸気確保のための 3,000 kW と周波数調整分の 400 kW を加えた、3,400 kW を目安としている（沖縄電力 2016）。このため、需要のオフピーク時にも火力はこれ以上出力を下げられないため、太陽光発電が出力抑制される可能性がある。実際にはこれまでに抑制されたケースは報告されていないものの、投資のリスクを更に増加させ、沖縄エリアにおける近年の太陽光発電の導入を遅らせる一因になっている可能性がある（図 1）。沖縄電力は、2021 年から住宅の屋根を借りて太陽光発電と蓄電池を無償で導入する「かりーるーふ」という取り組みをしているが、蓄電池の増加は、沖縄エリアの電力システム全体の統合費用の増加要因となる（沖縄電力 2021;松尾 2020）。

図 1 久米島町および沖縄県の太陽光発電導入量の推移（出典：久米島町 2020）



５－２　調整力としての海洋温度差発電の可能性

海洋温度差発電（OTEC）は、知名度は低いが、沖縄エリアや離島地域の脱炭素化にとって有望な再エネである。OTEC は、暖かい海水面と冷たい海洋深層水の温度差およそ 20 度を利用して、二酸化炭素を排出せずに発電する。具体的には、暖かい海水面の温度を利用して沸点の低いアンモニアを気化させ、タービンを回転させた後、冷たい海洋深層水を利用してアンモニアを冷やし液体に戻す。暖かい海水面を持つ OTEC の適地は、赤道に近い低緯度の熱帯地域に分布している。OTEC は、風力発電と同様に陸（沿岸）に設置する場合と海上浮体式がある。日本では久米島にて、2013 年から沿岸設置式の実証プラントが稼働中である。OTEC の特徴は、慣性を備え、系統の周波数調整を自律的に行うガバナフリー運転が可能であり、出力調整運転も技術的には可能なことである（沖縄県 2018）。したがって OTEC は、地熱発電やバイオマス発電と同様に、調整力を備えた再エネと言える。需要の変動に追随して出力調整できるので、火力発電を置換することが期待できる（ただし実証中のプラントは出力一定で運転しており、調整力として運転した経験はまだない）。したがって、太陽光発電や風力発電と異なり、電力システムに追加的な統合費用を引き起こさずに脱炭素を実現する可能性を持つ。さらに、発電に使用した後の深層水は、空調（冷房）や淡水製造・農業・水産養殖などに多段的に活用することもできる（高橋 2019）。久米島町（2020）のエネルギービジョンでは、2040 年までに陸上に 1 MW，浮体式の 5 MW の OTEC を設置し、島内で消費されるエネルギーの 100%を再エネによって自給するという目標を掲げている。独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（2011）が実施したポテンシャル調査では、海水の温度分布や海流に悪影響に与えないように「30 km 四方に 100 MW 級を 1 基」までという設置可能密度の制約を課した上でも、20 度以上の温度差がある OTEC が開発可能なポテンシャルは、沖縄電力管内で沿岸設置式だけでも 1 GW、 離岸距離 30km 以内の洋上浮体式で約 2.8GW あると算定している。沖縄電力管内の火力の設備容量は約 2.5GW であるため、沖縄エリアの火力発電のかなりの割合を置換できる可能性があるといえる。

しかし沖縄電力は、OTEC にあまり期待していないようである。沖縄電力（2020）はカーボンニュートラルを目指すことを発表したものの、そのための手段としては、太陽光発電と蓄電池、風力発電、水素やアンモニアなどの CO_2 フリー燃料を想定しており、OTEC は含まれていない。これはおそらく OTEC は現状では未だ実証段階の発電技術であり、導入コストが高く、今後この費用を削減できるかに不確実性が大きいからだと思われる。世界でも商用化は未だされていない。OTEC に積極的な久米島町（2020）でも、相対的に商用化が進んでいる蓄電池や電気自動車(EV)といったエネルギー貯蔵技術によって調整力を得るというビジョンを描いている。OTEC の導入にとって、おそらく最大の課題は、現時点の導入コストの高さである。しかし蓄電池や EV，そして今後普及が期待される CO_2 フリー燃料も現在は同様に高コストであり、今後低コストで普及できるのかに関して不確実性がある。ではそれらの技術と比べて、OTEC には今後どれだけ費用削減の可能性があるのだろうか。

５－３　海洋温度差発電の今後の経済性

原子力発電を除いて、火力発電と再エネには、製造から運転までを経験することによる学習効果（learning-by-doing）と、研究開発・実証による学習効果（learning-by-researching）が存在することが多くの実証研究によって報告されている(Rubin et al., 2015; Samadi, 2018)。学習効果は、発電所の導入容量が累積していくと、単位当たりの費用が低下するという負の相関関係に基づいている。この関係を図にしたものは、学習（経験）曲線とも

呼ばれる(Thomassen et al., 2020)。費用低下のメカニズムは、発電所の生産過程の効率化（例：習熟による労働者の物的生産性の向上）や発電所自体のイノベーション（例：風車ブレード設計の改善による設備利用率の増加）が主なものである。学習効果に関連して、規模の経済性の存在も重要である。発電機の出力を大規模にしたり、材料を工場で大量生産したりすることで、単位あたりの製造費用等を削減することができる。太陽光発電のパネルは、標準化により大規模に大量生産が可能になったことで、発電費用の削減につながったことが知られている(Samadi, 2018)。

OTEC は他の技術と比較して導入事例が少ない未成熟な技術であり、学習効果と規模の経済性を生かした費用低下のポテンシャルは大きいと考えられる（Ocean Energy Systems 2021)。久米島での実証結果をとりまとめた沖縄県(2018)は、OTEC を構成する要素技術が今度どのくらい費用低下を実現できるのかについて重要な評価を行っている。タービンや発電機の部分は既に成熟しているため、学習効果による費用削減の余地は小さいと考えられている（沖縄県 2018)。しかし資本費用のうち大きな割合を占める熱交換器は、発電所が大型化した場合、サイズを規格化した上で基数を増やすことになるため、大量生産の体制が整えば、10MW 級の普及時には費用を現在の半額近くにまで低下できると評価している。これは熱交換器の製造には、規模の経済性の活用の余地が大きいことを示唆している。

OTEC の資本費の大部分を占めるもう 1 つの大きな要素技術が、深層水を得るための取水管である(Fujita et al., 2012)。安価で軽量で頑丈な素材を模索して、高密度ポリエチレンや繊維強化プラスチックなどが検討されている（Ocean Energy Systems 2021)。2.5 MW の発電出力を得るためには直径 2.5m、10 MW の発電出力を得るためには直径 4m の取水管が必要とされる。海外ではアルジェリアのコンバインドガスサイクル発電のために直径 2.5m のパイプが海水を取り入れるために設置されている事例があり、技術面の問題はないとされるが、費用の高さが課題である。ジャパン・マリンユナイテッド・佐賀大学（2017）によれば、1 MW の沿岸設置式の OTEC の 1 基目の取水管の建設費用は 60 億円、商用化した場合でも多少低下して 50 億円になると推計している。国際エネルギー機関の関連組織である Ocean Energy Systems (2021）は、民間の投資を集めて数万 kW 級のスケールで商用化を実現するためには、まず政府の補助を得て 2.5 MW の実証機を立て、費用削減に向けて必要なデータを集める必要があると主張している。

資本費用に比べると絶対額は小さいものの、沖縄県(2018)は運転・維持管理費用の削減余地についても評価を行っている。100 kW の実証機が運転開始から 5 年間にかかった運転費・維持管理費は、年間 5.7 万円/kW であった。しかし今後 1 MW の設備を新設した場合は、規模の経済性がはたらくことが期待できるため、年間 1.9 万円/kW にまで低下できる可能性があると評価している。この結果、発電所の全コストを生涯に発電する量で割った均等化発電原価（Levelized Cost of Electricity：LCOE）は、39.3 円/kWh から 29.7 円/kWh へ低下すると概算されている。この推定値は 1 MW という小規模の沿岸設置式 OTEC を想定していることや、上記の熱交換器を含む資本費用の削減余地は考慮されていないことに注意が必要である。

洋上浮体式 OTEC の規模の経済性に関しては、Langer et al. (2020)が最新のレビュー論文として有用である。Langer et al. (2020)が作成した図 2 は、OTEC の設備容量を大きくしていくにつれて、1 MW あたりの資本費用がどの程度下がるかを示している。洋上浮体式 OTEC の方が沿岸設置式よりも資本費用は大きくなるが、規模の経済性を生かせる余地は大きいと考えられる。ただし沖縄のような台風の多いエリアで設置する場合は、耐久性の検証が必要である。図中に 3 本の異なる曲線が引かれているのは、費用の削減率に不確実性が大きいことを示している。点線は最も費用が低くなるケースだが、その根拠となるデータの信頼性が低いことを表している。

図 2 洋上浮体式 OTEC の発電出力と資本費用の関係（出典：Langer et al. 2020）

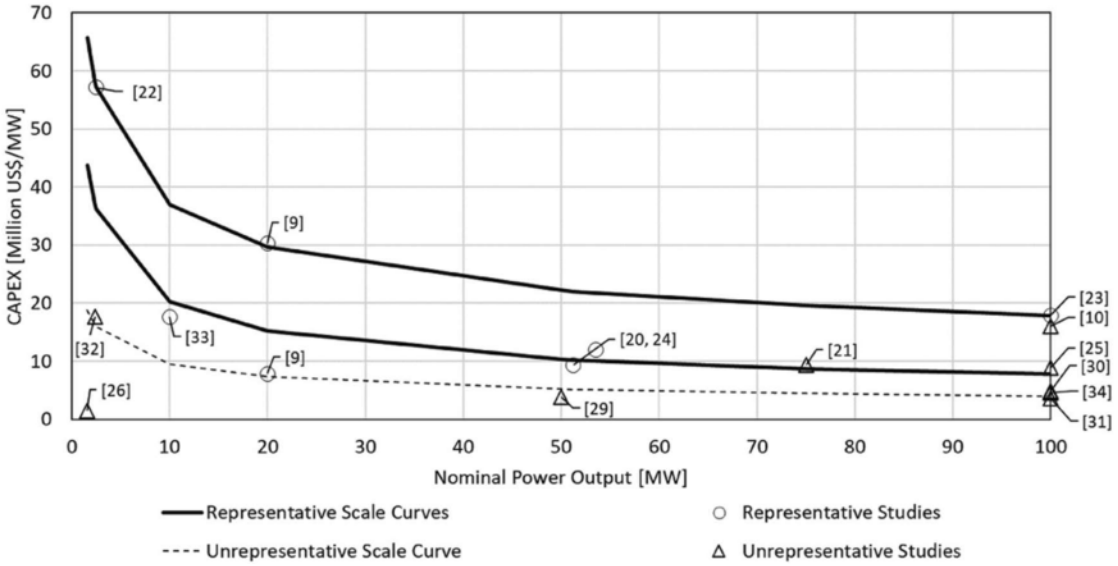


表 1 は、上記の規模の経済性による資本費用の低下を仮定した場合の、洋上浮体式の OTEC と他の競合電源の LCOE の推定値を示している。Adjusted interest rate とは、割引率（利子率）を 12%に設定したものである。OTEC 以外の電源の LCOE の数値は、Lazard 社の発表している推計値である。OTEC の LCOE は 10 MW では 20～67 セント/kWh だが、100 MW まで大規模化すれば、4～29 セント/kWh まで低下すると推計されている。値によっては自然変動性再エネや従来電源の LCOE とも同等レベルであるが、幅が大きい。この不確実性は、現在の OTEC の実証機の設備容量が未だ 100 kW 程度であり、数 MW クラスの実績が存在しないことに起因している。

表 1　洋上浮体式の OTEC と他の電源の LCOE の推定値（出典：Langer et al. 2020）

Energy Technology (Unsubsidised)	LCOE [US$(2018)/kWh]
10 MWe OTEC (original interest rate)	0.15
10 MWe OTEC (adjusted interest rate)	0.20–0.67
100 MWe OTEC (original interest rate)	0.03–0.22
100 MWe OTEC (adjusted interest rate)	0.04–0.29
Solar PV Crystalline Utility Scale	0.04–0.046
Wind	0.029–0.056
Gas Peaking	0.152–0.206
Nuclear	0.112–0.189
Coal	0.06–0.143
Gas Combined Cycle	0.041–0.074

Brecha et al. (2021)は、蓄電池と比較した OTEC の経済性に関して興味深い分析を行っている。太陽光発電と風力発電の LCOE を 100 ドル/MWh（約 10 円/kWh）、OTEC と蓄電池の LCOE を 300 ドル/MWh（約 30 円/kWh）と仮定したとき、カリブ海地域の島で OTEC の設備容量を増やせば、蓄電池や太陽光発電・風力の設備容量を減少させることができるため、島の電力システム全体の LCOE：sLCOE が下がるという試算を出している（表 2）。ただしこの試算には、OTEC を導入する上で追加的に発生する系統増強費用や、出力を調整運転することによる追加的費用などの統合費用は含まれていない。

表 2　OTEC の導入容量別のシステム LCOE の試算（出典：Brecha et al.2021）

Case	Solar (MW)	Solar (GWh)	Wind (MW)	Wind (GWh)	Disp. RE (OTEC) (MW)	Disp. RE (OTEC) (GWh)	Storage Capacity (MWh)	Energy from Storage (GWh)	Curtail. (%)	sLCOE (USD/MWh)
1	200	335	73	204	0	0	2000	42.5	53	424
2	140	234	73	204	10	40	1000	17.8	48	326
3	120	201	53	150	10	46	1500	24.5	37	351
4	100	167	44	122	15	71	1000	15.8	30	304
5	90	151	34	95	15	79	1500	20.3	23	349
6	80	134	17	48	20	117	1000	15.7	16	316
7	90	151	24	68	20	108	500	11.3	23	267
8	60	100	29	82	25	115	200	2.37	16	229

Brecha et al. (2021)は OTEC と蓄電池の LCOE が等しいと仮定して分析を行っている。しかしリチウムイオン電池を用いた蓄電池は、EV によって創出される需要もあり、学習効果によって今後費用は大幅に下がると多くの研究が予測している(Beuse et al., 2020; Schmidt et al., 2019, 2017)。数日～数か月以上保管可能なエネルギー貯蔵技術として、2040 年前後には水素も費用が大幅に低下すると予測されている(Schmidt et al., 2019; Staffell et al., 2019)。Glenk and Reichelstein (2019) は、ドイツとテキサスで今の卸電力市場環境が今後も継続すれば、陸上風力発電に付属して水素ガスの生産設備を設置するプロジェクトは、10 年後には投資家にとってペイするようになると推計している。

５－４　結論

OTEC も、研究・開発による学習効果や規模の経済性による費用削減のポテンシャルは大きいと考えられるが、競合するエネルギー貯蔵技術と比べると、現時点のコストは高く見える。では OTEC よりも、それらを優先的に支援・選択するべきだろうか。いずれの新技術も、今後低コストで普及できるのかに関して不確実性は存在する。新技術の導入政策に関する研究は、ある技術を支援すると、その技術が学習効果を通じて社会にロック・インされてしまう結果、他の長期的にはより費用削減の可能性を秘めているが短期的には高価な技術がロック・アウトされてしまい、長期的な非効率が起こる可能性を指摘している(Arthur, 1989; Schmidt et al., 2016)。沖縄のように調整力の選択肢が限られているエリアでは、このリスクを回避するための保険として、OTEC という技術の多様性を維持することは重要だと考えられる。

参考文献

沖縄県（2016）「宮古島系統、石垣島系統及び久米島系統における再生可能エネルギー発電設備に対する接続可能量算定結果及び接続申込みの回答再開について」
https://www.okiden.co.jp/shared/pdf/whats_new/2016/160620.pdf
沖縄県（2018）「平成 30 年度海洋深層水の利用高度化に向けた発電利用実証事業及び海洋温度差発電における発電後海水の高度複合利用実証事業」

https://www.pref.okinawa.jp/site/shoko/seisaku/kiban/oceanrenewableenergy/otec/houkokusyo/h30houkokusyo.html
沖縄電力（2020）「沖縄電力 ゼロエミッションへの取り組み」プレスリリース、２０２０年１２月8日
https://www.okiden.co.jp/shared/pdf/news_release/2020/201208.pdf
沖縄電力（2021）「太陽光＋蓄電池 無償設置 新サービス 「かりーるーふ」の開始について」
https://www.okiden.co.jp/shared/pdf/news_release/2020/210122.pdf
久米島町（2020）「久米島町エネルギービジョン 2020」
http://www.town.kumejima.okinawa.jp/docs/2021011900033/
ジャパン・マリンユナイテッド・佐賀大学（2017）「海洋温度差発電」 平成 28 年成果報告会 予稿集Ｎｏ.O-05
高橋正征（2019）「日本における海洋深層水の利活用の過去・現在・未来」海洋深層水研究 19(3),149-157
独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（2011）成果報告書：風力等自然エネルギー技術研究開発／洋上風力発電等技術研究開発／海洋エネルギーポテンシャルの把握に係る業務, 2011 年 3 月,（委託先）みずほ情報総研株式会社 https://www.nedo.go.jp/library/seika/shosai_201107/20110000001165.html
松尾雄司(2020)「変動性再生可能エネルギー大量導入時の電力部門の経済性評価 － モデル分析からのインプリケーション －」総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会（第 34 回会合）（令和 2 年 12 月 14 日（月））配布資料
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/034/034_006.pdf
Arthur, W.B., 1989. Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-In by Historical Events. Econ. J. 99, 116. https://doi.org/10.2307/2234208
Beuse, M., Steffen, B., Schmidt, T.S., 2020. Projecting the Competition between Energy-Storage Technologies in the Electricity Sector. Joule 4, 2162–2184. https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.07.017
Brecha, R.J., Schoenenberger, K., Ashtine, M., Koon, R.K., 2021. Ocean thermal energy conversion—flexible enabling technology for variable renewable energy integration in the caribbean. Energies 14, 2192. https://doi.org/10.3390/EN14082192
Fujita, R., Markham, A.C., Diaz Diaz, J.E., Rosa Martinez Garcia, J., Scarborough, C., Greenfield, P., Black, P., Aguilera, S.E., 2012. Revisiting ocean thermal energy conversion. Mar. Policy 36, 463–465. https://doi.org/10.1016/J.MARPOL.2011.05.008
Glenk, G., Reichelstein, S., 2019. Economics of converting renewable power to hydrogen. Nat. Energy 4, 216–222. https://doi.org/10.1038/s41560-019-0326-1
Langer, J., Quist, J., Blok, K., 2020. Recent progress in the economics of ocean thermal energy conversion: Critical review and research agenda. Renew. Sustain. Energy Rev. 130, 109960. https://doi.org/10.1016/J.RSER.2020.109960
Rubin, E.S., Azevedo, I.M.L., Jaramillo, P., Yeh, S., 2015. A review of learning rates for electricity supply technologies. Energy Policy. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.06.011
Samadi, S., 2018. The experience curve theory and its application in the field of electricity generation technologies – A literature review. Renew. Sustain. Energy Rev. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.077
Schmidt, O., Hawkes, A., Gambhir, A., Staffell, I., 2017. The future cost of electrical energy storage based on experience rates. Nat. Energy 2. https://doi.org/10.1038/nenergy.2017.110
Schmidt, O., Melchior, S., Hawkes, A., Staffell, I., 2019. Projecting the Future Levelized Cost of Electricity Storage Technologies. Joule 3, 81–100. https://doi.org/10.1016/j.joule.2018.12.008
Schmidt, T.S., Battke, B., Grosspietsch, D., Hoffmann, V.H., 2016. Do deployment policies pick technologies by

(not) picking applications?-A simulation of investment decisions in technologies with multiple applications. Res. Policy 45, 1965–1983. https://doi.org/10.1016/j.respol.2016.07.001

Staffell, I., Scamman, D., Abad, A.V., Balcombe, P., Dodds, P.E., Ekins, P., Shah, N., Ward, K.R., 2019. The role of hydrogen and fuel cells in the global energy system. Energy Environ. Sci 12, 463. https://doi.org/10.1039/c8ee01157e

Thomassen, G., Van Passel, S., Dewulf, J., 2020. A review on learning effects in prospective technology assessment. Renew. Sustain. Energy Rev. 130. https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109937

Ocean Energy Systems 2021. White Paper on Ocean Thermal Energy Conversion. October 18, 2021. Edited by:Purnima Jalihal, Yann-Herve De Roeck, Matthijs Soede and Ana Brito e Melo. https://www.ocean-energy-systems.org/publications/oes-position-papers/document/white-paper-on-OTEC/

６．ブルーエコノミーの国際展開

６－１　島嶼・南太平洋におけるブルーエコノミーの国際展開

東京財団政策研究所／笹川平和財団海洋政策研究所
主任研究員　小林正典
渡邉 敦

６－１－１　ブルーエコノミーの意義

2021 年 6 月 8 日、世界海の日にちなんでニューヨークの国連本部で開催されたパネル討論会では、ブルーエコノミーが重要なテーマの一つとして議論された。海洋は地球表面の 72%、生物が生息する空間である生物圏の 95%を構成している[1,2]。世界 196 ヵ国のうち 150 ヵ国が海に囲まれる、ないしは海に接し、世界の人口 78 億人のうち、40%が沿岸から 150km 以内に暮らし、海の恵みを享受していると言われている。水産業、海運、海洋レジャーや観光、洋上風力発電、海水淡水化、海底地下資源などを含めたブルーエコノミーの経済規模は全世界で年間 2.5 兆米ドル（約 300 兆円）とも言われており、このブルーエコノミーは、2030 年までの今後 9 年間に 2010 年比で倍増、急拡大すると見込まれている[3]。ブルーエコノミーの概念は、2012 年の国連での持続可能な開発会議（リオプラス 20 サミット）で、環境配慮型の経済をグリーンエコノミーと呼んだのに対し、太平洋島嶼国の代表団が海洋環境の保全と持続可能な利用を通じた経済をブルーエコノミーと呼んで、島嶼国の経済振興支援を訴えたことからその概念や施策が議論されるようになった点にも留意する必要がある[4]。

６－１－２　ブルーエコノミーの系譜と国際連携

経済協力開発機構（OECD）は『2030 年の海洋経済』と題する報告書の中で、海洋経済を海洋生態系と海洋産業の相互関係の総和として提示した[5]。その後は世界銀行やアジア開発銀行をはじめ、様々な組織が海洋経済やブルーエコノミーに関しての議論を展開した。笹川平和財団海洋政策研究所は、『海洋白書 2019』の中で、ブルーエコノミーの系譜や構図、政策的課題について詳述している[6]。エコノミスト社は、『2030 年における持続可能な海洋経済』の中で、「ブルーエコノミーとは、永続的に海洋環境を保護しながら、長期的経済開発や社会的繁栄のために海洋資源を涵養する持続可能な海洋経済を意味する」と述べている[7]。

ブルーエコノミー推進に向けては、2018 年にノルウェー政府が呼びかけ、14 ヵ国の首脳および国連事務総長海洋特使により構成される「持続可能な海洋経済の構築に向けたハイレベル・パネル（海洋パネル）」が設立された。ノルウェー首相とパラオの大統領が共同議長を務め、日本からは、安倍晋三前総理、その後は菅義偉前総理、岸田文雄総理がメンバーとして参加している。この海洋パネルは、首脳を支えるシェルパ（代理代表）グループや世界各国の 87 名の専門家により構成される「専門家グループ」、世界の NGO や研究機関、民間企業や国際機関など 131 の団体により構成される「諮問ネットワーク」がその活動を支援している[8]。また、22 の課題別報告書や特別報告書を刊行し、2020 年 12 月に政策提言を含む最終報告書『持続可能な海洋経済のための変革』を発表した[9]。2022 年 2 月（4 月に延期予定）には、パラオで「私たちの海洋会議」、6 月には第 2 回国連海洋会議が開催される予定で、ブルーエコノミーに関する議論と国際連携の更なる発展が期待されている。

６－１－３　太平洋島嶼国におけるブルーエコノミー推進の意義と課題

太平洋島嶼国は、広大な海域に管轄権を有することから、海洋管理における国際連携では重要な役割を担うと理解されている。パラオは EEZ の 100%で持続可能な管理計画を策定し、その 80%で商業漁業を禁止するなど、海洋保護の推進に向け先進的な取り組みを展開している。一方、海洋保護区設立に向けては国際的援助が提供されるものの、その維持や管理、更にはコロナ禍からの経済再生を進める上で、MPA（Marine Protected Area）の費用対効果が見直される動きも見られる[10]。持続可能な漁業の推進や違法・無報告・無規制（IUU）漁業撲滅に向けた動きにおいても、IUU 漁船の取り締まりにおける国際連携で太平洋島嶼国等が果たす役割は大きい。大規模遠洋漁業国の漁船について太平洋島嶼国を旗国とするような転籍が IUU 漁業や乱獲に繋がらないような配慮も必要となる。規模の経済が見込みにくい太平洋島嶼国において初期投資の大きい再生可能なエネルギーの推進をどのように持続可能な社会づくりを目指す政策として合理性をもたせるのかについても一層の工夫が求められる。他にも、養殖や観光などの便益を社会で共有していく仕組みづくりや意思決定の方式についても政策の実効性を高める観点から更なる発展が求められる。

６－２　島嶼・南太平洋における海洋温度差発電（OTEC）の国際展開

佐賀大学海洋エネルギー研究所
所長・教授　池上康之

６－２－１　海洋温度差発電の島嶼・南太平洋における意義と課題

海洋温度差発電（OTEC）のポテンシャルが世界的に最も高い地域は、赤道付近の南太平洋を中心とする島嶼地域である。一方、これらの島嶼地域は、エネルギー資源および安全安心な水資源が不足し、その多くを島外に依存せざるを得ない状況である。これらを解決するために多くの国際的支援を得ながら太陽光発電等の再生可能エネルギーの設置が推進されているが、島嶼地域では設置できる土地が限られるなどの課題も多い。このため、持続可能な社会経済活動の発展が極めて困難であり、社会的なインフラの整備も遅れ、自然災害等への社会的強靱性が脆弱にならざるを得ない状況である。

このような状況の中、近年の海洋温度差発電に関する技術革新および国際的なプロジェクトの実績を踏まえ、亜熱帯の島嶼地域への「海洋温度差発電を核とした社会モデル」の導入が、国連等の国際的な機関において最近精力的に検討されている。特に、ディーゼル発電等の既存火力発電のコスト上昇への対応、海水淡水化の供給能力向上、農業水産業の活性化、雇用創出、社会システムの強靱化、クリーンエネルギー技術としての社会的メリットなどから、島嶼・南太平洋における最も有望な再生可能エネルギー技術の一つとして期待されている。

６－２－２　国連における島嶼・南太平洋への OTEC の展開の動向

国際連合工業開発機関（United Nations Industrial Development Organization, UNIDO）傘下の気候技術センター・ネットワーク（Climate Technology Centre & Network：CTCN）は、2020 年 6 月 3 日を締切として「OTEC: Ocean Energy Technical Pre-Feasibility Study」の国際公募を行った[11]。

国際公募の目的は、ナウル共和国[12]が気候変動の緩和策への貢献を目指す中、温室効果ガス排出量の削減と輸入燃料への依存度を減らすことによりエネルギー安全保障を達成するための具体的な方策を明らかにすることである。これらの目標を達成するためには、既存のリン鉱石採掘のために土地が限られている現状を克服し、ナウル共和国における代替の再生可能エネルギー（海洋エネルギーなど）の選択肢を評価し、解決するための方向性を示す必要がある。このため今回の Pre-FS では、海洋温度差発電プロジェクトの技術的、社会経済的、財務的分析を行い、その方向性と具現化のための調査が求められた。

この Pre-FS で期待されていることは、緑の気候基金（Green Climate Fund: GCF）のコンセプトノートに沿ったデータを収集し、様々な海洋エネルギー技術、社会経済、財政的可能性が評価され、本成果の内容が GCF の支援に繋がり具現化することである。特に、ナウルには水道がないため、使用可能な水の大部分は電気で動く逆浸透膜システムで生成され、ディーゼルエンジンのトラックで運ばれている。海洋温度差発電技術は、淡水や豊富な栄養塩を有する冷水（海洋生物や水産養殖を改善する）など、非常に価値のある副産物が期待されている。

この GCF[13]は、開発途上国の温室効果ガス削減（緩和）と気候変動の影響への対処（適応）を支援するため、気候変動に関する国際連合枠組条約（United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC）に基づく資金供与の制度の運営を委託された基金である。この基金は、先進国および開発途上国（計 43 か国）から GCF への拠出表明総額が約 103 億米ドルであり、日本政府も 15 億米ドル（約 1,800 億円）を拠出している。GCF プロジェクトの支援規模は、極小規模（micro）：総事業費 1,000 万米ドル以下、小規模（small）：1,000 万～5,000 万米ドル、中規模（medium）：5,000 万～2.5 億米ドル、大規模（large）：2.5 億米ドル以上と分類されている。仮に、この Pre-FS の成果が GCF 承認を得てナウル共和国で具現化される場合は、中規模支援となる見込みである。同規模で GCF の支援を得ることは簡単ではないが、ナウル共和国等の関係者は、大きな期待を寄せている。なお、国際公募を行った CTCN[14]は、気候変動に係る技術移転を促進するための実施機関として、COP16（2010 年）にて設立が決定され、2013 年より稼働している。開発途上国からのリクエストに基づき、各国のニーズに沿った支援を行う機関である。日本政府から約 12.7 百万米ドルが拠出されている（2021 年 3 月時点）。

今回の CTCN の国際公募では、日本のチーム（一般社団法人 海外環境協力センター（Overseas Environmental Cooperation Center, Japan: OECC）と国立大学法人佐賀大学）の提案書が採択された。Pre-FS の報告書は、2021 年末に提出されている。2022 年 2 月には、現在、本 Pre-FS に基づく GCF のコンセプトノートのドラフトが、公開されている[15]。CTCN は、今回の Pre-FS に基づく「海洋温度差発電を核とする社会モデル」が島嶼・南太平洋地域へ展開する可能性を期待している。なお、今回のような CTCN の技術的な国際公募において、日本の自然エネルギーの技術が採用されたのは初めてである。

６－２－３　IRENA における島嶼・南太平洋への OTEC の展開の動向

2022 年 2 月 11 日、国際再生可能エネルギー機関（IRENA: International Renewable Energy Agency）は、『Accelerating the Development of OTEC in Small Island Developing States Meeting』の Webinar 会議[16]を主催した。著者は、招待講演を行った。本会議では、パラオ共和国など 6 ヶ国の島嶼地域の政府代表者、プロジェクト開発者、投資機関、研究者が、様々な開発段階のプロジェクトや研究・調査から得た経験やベストプラクティスを紹介し、OTEC システム設計、OTEC 分野における技術革新、観光分野での応用、その他の持続可能な水利用や食料生産への貢献の可能性と必要性について理解を深めた。また、OTEC を推進するための多くの重要な提言がなされた。特に、Mr. Francesco La Camera（Director General, IRENA）の挨拶と Keynote Address の H.E. Dr. Aubrey Webson（Chair, Alliance of Small Island States (AOSIS)）の発表では、OTEC が島嶼地域の抱えている様々な問題（エネルギー、水問題、土地問題等）の解決に貢献できると発言されていたのが印象的であった。

なかでも Mr. Francesco La Camera の次の発言には、IRENA の島嶼・南太平洋における OTEC への期待が凝縮されている。“OTEC which is the feature of this event, has long been recognized by many island regions and SIDS for its potential to simultaneously address the energy nexus, which includes food and water needs. OTEC's main advantage is the ability to provide continuous baseload power around the clock. OTEC can further be couples with application technologies to provide cooling, to produced fresh water and for aquaculture which can further provide increased socio-economic benefits for SIDS communities. Furthermore, due to the scarcity of land for renewable energy development and the consistent tropical conditions for SIDS-OTEC can be a viable alternative solution to fossil fuels. Such a niche market can help to demonstrate the technology, increase investors trust, and lower the cost of electricity.”

なお、IRENA は、2014 年 6 月に「Ocean Thermal Energy Conversion: Technology Brief」[17]として、海洋温度差発電の技術開発動向、ポテンシャルおよび今後の展望を報告書に纏めている。

６－２－４　IEA（国際エネルギー機関）における島嶼・南太平洋への OTEC の展開の動向

国際エネルギー機関（IEA）には、国際エネルギー機関 海洋エネルギー実施委員会（IEA-OES）が太陽光をはじめとする委員会の一つとして運営されている。この IEA-OES には、OTEC に関する TASK11「Status of OTEC and its Resource Assessment」[18]が設置されている。この TASK には、CHINA、INDIA、KOREA、JAPAN、MONACO、SINGAPORE、FRANCE、THE NETHERLANDS の 8 ヶ国が参加している。本 TASK の Coordinator は、日本が担っている。

この TASK では、国際的に協力して OTEC に関する最新の科学技術的および社会的な情報を発信するとともに、各国で行われている OTEC プロジェクトの現状と計画を報告し、世界的な OTEC に関する活動を促進および支援することが目的である。

2021 年 10 月には、OTEC に関する白書「White Paper on Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) for policymakers and developers.」[19]を発表した。本白書では、世界的なプロジェクト、最新の技術の現状と開発における障壁について紹介し、小規模な実証プラントから商用前のプラントへと移行するための重要な提言を行っている。本 TASK は、この白書によって、政策立案者や資金提供者が、OTEC を潜在的なエネルギー源として捉え、規模拡大に向けた技術開発を促進することができると期待している。

本白書では、“2.5+ MW Multi-Product OTEC Potential for Small Island Developing States (SIDS)”として、小島嶼国（SIDS）における 2.5MW 規模の OTEC を核とした多目的利用の可能性と重要性を提案している。なかでも実績のあるパイプライン技術の現状は、陸上型をベースにした 2.5MW のシステムが今日実現可能であることを示している。特にグリーンエネルギー、淡水、水産養殖、空調などを含む多目的エコリゾートは、SIDS にとって魅力的なコンセプトであることと、このようなシステムが資本投資に対して許容できる利益を示すためには、FIT 等によりサポートが必要であると説明している。これは、出力が比較的小さいわりに、必要な海水パイプラインのコストがかなり高いためである、としている。

一方、100MW にスケールアップするための主な課題は、大口径の冷水取水管に対する信頼性であることを指摘し、中間段階として 10MW の浮体式海洋温度差発電プラントは、現在の技術で実現可能である、としている。

特に、本白書における OTEC ロードマップにおいて、OTEC の社会実装の推進のためには、先ず、熱帯海域の小島嶼開発途上国（SIDS）向けの陸上型 2.5MW＋多目的利用（発電およびスピンオフ：脱塩水、海水空調など）を、国際的協力によって早急に具現化し、長期的な運用の実績を積み上げることを加速化すべきであると提言している。

参考文献

[1] National Geographic (n.d) Why the Ocean Matters.
https://www.nationalgeographic.org/media/why-ocean-matters/
[2] United Nations (UN, 2021) The Second World Ocean Assessment Volume I. United Nations, New York.
[3] The Economist (2021) World Ocean Day explores blue economy and private-sector impact.
https://ocean.economist.com/blue-finance/articles/world-ocean-day-explores-blue-economy-and-private-sector-impact?linkId=100000052359074
[4] United Nations (2012) Report of the United Nations Conference on Sustainable Development.
https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/CONF.216/16&Lang=E
[5] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD, 2016) The Ocean Economy in 2030.
https://www.oecd.org/environment/the-ocean-economy-in-2030-9789264251724-en.htm
[6] 笹川平和財団海洋政策研究所（2019）『海洋白書 2019』
https://www.spf.org/opri/projects/wp_2019_jp.html
[7] The Economist (2020) A sustainable ocean economy in 2030: Opportunities and challenges.
https://cdn.vev.design/private/Y00jvgKIBvZ1anyDSJNPOAQcI082/_jLT9hiqu_A_sustainable_ocean_economy_in_2030_%20copy.pdf.pdf
[8] 諮問ネットワークには日本からは、日本水産株式会社（ニッスイ）および笹川平和財団海洋政策研究所が参加している。
[9] Ocean Panel (2020) Transformations for a Sustainable Ocean Economy.
https://www.oceanpanel.org/ocean-action/files/transformations-sustainable-ocean-economy-eng.pdf
[10] SeafoodSource (2021) Kiribati moves to open Phoenix Islands Protected Area to fishing, citing lost revenue. Nov. 19, 2021.
https://www.seafoodsource.com/news/environment-sustainability/kiribati-government-says-mpa-implementation-cost-country-millions-in-revenue.
[11] https://www.ctc-n.org/technical-assistance/projects/otec-ocean-energy-technical-pre-feasibility-study
[12] https://www.irena.org/IRENADocuments/Statistical_Profiles/Oceania/Nauru_Oceania_RE_SP.pdf
[13] https://www.env.go.jp/earth/ondanka/gcf.html
[14] https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ctcn.html
[15] https://www.ctc-n.org/content/draft-technical-input-gcf-concept-note-nauru-otec
[16] https://www.irena.org/events/2022/Feb/Accelerating-the-development-of-OTEC-in-Small-Island-Developing-States-meeting
[17] https://www.irena.org/publications/2014/Jun/Ocean-Thermal-Energy-Conversion
[18] https://www.ocean-energy-systems.org/oes-projects/status-of-otec-and-its-resource-assessment/
[19] https://www.ocean-energy-systems.org/publications/oes-position-papers/

おわりに

平沼 光

本稿ではこれまでブルーエコノミーの国内外の動向を紐解くとともに、ブルーエコノミーの中でも気候変動問題への対処として、近年注目が集まってきている海洋再生可能エネルギーについて、特に洋上風力発電と海洋温度差発電を主な事例として考察を行ってきた。

世界は持続可能な社会の構築という視点からブルーエコノミーに注目し、その取り組みを促進している。日本においては、第 2 章で記されたように 2018 年に閣議決定された日本の海洋政策の大方針となる第 3 期海洋基本計画において、海洋環境の保全、排他的経済水域等の開発の推進など、ブルーエコノミーの中核をなすといえる施策が規定されている。しかし、国際的に議論されているブルーエコノミーという文言は海洋基本計画の中には記載されていない状況にあり、国際社会の動向と乖離している感が否めない。

また、ブルーエコノミーとして注目されている海洋再生可能エネルギーについても、2021 年 10 月に閣議決定された第 6 次エネルギー基本計画では、洋上風力発電については促進方針が示されているものの、その他の海洋再生可能エネルギーについては具体的に触れられていない状況にある。政府では海洋立国を目指す方針が度々示されているが、国際社会で議論されているブルーエコノミーのような海洋の持つポテンシャルを掘り起こす俯瞰的な海洋政策の構築は十分ではないのが実態と言える。日本のブルーエコノミー推進を考える上では、第 1 章で指摘されているように、ブルーエコノミーの推進を我が国の海洋基本計画や国際協力の施策の重要な柱として位置付けることが必要である。

また、ブルーエコノミーの実現には、地域性やその時々の自然・社会経済環境など様々な要因を視野に入れ、その地域や時勢に合わせた順応型の取り組み、すなわち社会的受容性が重要であることが第 2 章で指摘されている。日本では再エネ海域利用法の施行などにより洋上風力発電の普及が進められているが、近年、メガソーラーをはじめとする再生可能エネルギーの普及現場では、再生可能エネルギー設備の設置による景観悪化や環境破壊への懸念が高まり、再生可能エネルギー設備の設置に抑制的な自治体の条例が増加していることが第 3 章で報告されている。こうした事態を避けて日本のブルーエコノミーとして洋上風力発電を促進するためには、地域のステークホルダーの理解や協力といった社会的受容性の構築が必要となる。洋上風力発電における社会的受容性構築の具体策として、第 3 章では洋上風力発電の計画にあたり再エネ海域利用法で定められている地域の協議会からの意見聴取について、協議会の構成員に漁業関係者だけでなく、地域の産業の担い手や地域住民など多様なステークホルダーを加えることで幅広い理解を得ていくことが重要であると指摘されている。

社会的受容性を得たブルーエコノミーの実現を考える上では、モデルとなる事例を検証し、ひな型とすることが有効であると考える。第 2 章および第 4 章では、モデルとなる事例として沖縄県久米島の深層水を活用する海洋温度差発電（OTEC）の事例を検証した。久米島の OTEC の実証運転では、100kW、250 世帯分の消費電力に相当する発電が可能となった他、発電後の海洋深層水の多段階利用の経済効果に注目が集まっている。海洋深層水の多段階利用により行われる、水産養殖業、農業、化粧品、食品・飲料水製造等の売り上げは年間 24.8 億円、240 名の雇用を生み出していると推定され、OTEC という海洋再生可能エネルギーは海洋深層水の利用を通じて地域の様々なステークホルダーを巻き込み、社会的受容性を得た取り組みとなっている。沖縄県久米島の OTEC の事例は社会的受容性を得たブルーエコノミーを構築するにあたって様々な示唆を与えてくれるだろう。さらに、OTEC は太陽光発電や風力発電にはない特徴として、気象条件による変動影響が少ないという特徴がある。そのため OTEC は調整力を備えた再生可能エネルギーと位置付けられ、電力システムに追加的な統合費用を引き起こさずに脱炭素を実現する可能性を持つことが第 5 章で述べられている。現状、OTEC にはコストの課題があるが、他の技術と比較して導入事例が少ない発展途中の技術であり、研究・開発による学習効果や規模の経済性に

よる費用削減のポテンシャルは大きいと考えられる。日本のブルーエコノミーの推進、そして海洋立国を目指すうえでは、社会的受容性を構築し、尚且つ調整力を備えた再生可能エネルギーとして多くの利点がある OTEC を成長、発展させることが望まれる。

今後、政府では次期計画となる第 4 期海洋基本計画の策定を行うことになるが、本稿で指摘したようにブルーエコノミーの推進を海洋基本計画の中に明示することが重要だ。そうすることで、海洋再生可能エネルギーの重要性もさらに増し、OTEC の研究・開発の促進や第 2 章で記されたブルーカーボン推進への道筋をより確固たるものにしていくだろう。さらに、日本におけるブルーエコノミーの取り組みを促進することで、第 6 章で記した太平洋島嶼国におけるブルーエコノミーの推進に協力するなど、ブルーエコノミーの国際連携における日本のプレゼンスの発揮にもつなげることができるだろう。