

内閣官房
総合海洋政策本部
事務局
(調査)

平成23年度 深海底微生物資源の動向等に関する調査

報告書

平成24年3月



株式会社ノルド
社会環境研究所

はじめに

本報告書は、内閣官房総合海洋政策本部事務局の平成 23 年度調査事業「深海底微生物資源の動向等に関する調査」の成果を取りまとめたものである。調査事業名に関わらず、深海底微生物資源のほか、深海以外の海洋遺伝資源や、海洋遺伝資源以外の新たな海洋産業に関する内容も取り扱っている。

我が国における海洋遺伝資源の利活用推進や、海洋遺伝資源以外の新たな海洋産業の発展に向けた検討のための一助となれば幸いである。

なお、記述している内容は、あくまで本調査事業の成果を取りまとめたものであり、日本政府の公式見解を示すものではない点に留意されたい。

本業務を実施するにあたり、数多くの方々から調査へのご協力をいただいた。この場を借りて深く感謝申し上げる。

平成 24 年 3 月

株式会社ノルド
社会環境研究所

目 次

はじめに.....	1
調査概要.....	5
I. 海洋遺伝資源を応用した製品化事例.....	9
1. はじめに.....	9
2. 製品化事例.....	10
(1) 深海微生物由来の耐熱酵素(研究用試薬).....	10
(2) 超好熱微生物由来の耐熱酵素(研究用試薬).....	23
(3) 海綿由来物質の応用による抗がん剤.....	28
II. 海洋遺伝資源に関する海外 ABS 法規制等の動向.....	34
1. はじめに.....	34
2. ABS 法規制等の動向.....	35
(1) 中国.....	35
(2) 韓国.....	38
(3) インドネシア.....	39
(4) フィリピン.....	40
(5) オーストラリア.....	43
(6) ニュージーランド.....	54
(7) アメリカ合衆国.....	56
(8) カナダ.....	56
(9) イギリス.....	58
(10) ノルウェー.....	59
III. 深海底微生物資源をめぐる国際議論の動向.....	66
1. 概要.....	66
2. 深海底微生物資源に関する国際制度及び国際機関.....	68
(1) 生物多様性条約.....	68
(2) 国連海洋法条約.....	77
(3) 総括.....	83

IV. 海洋における新産業に関する動向	89
IV－1. 海洋深層水のエネルギー利用	90
1. 海洋深層水のエネルギー利用の背景・経緯	90
(1) 海洋深層水の利用の背景	90
(2) 海洋深層水エネルギー利用の技術開発の概要	92
2. 技術開発と産業化の現状	95
(1) 海洋温度差発電	95
(2) 海洋深層水の冷熱利用	98
(3) 海洋深層水の多段利用	99
3. 技術開発と産業化の課題と展望	118
IV－2. 藻類による二酸化炭素固定とバイオマス燃料生産	122
1. 藻類利用の技術開発と産業化の背景・経緯	122
(1) 背景	122
(2) 藻類利用の技術開発の概要	124
(3) これまでの技術開発	130
2. 技術開発と産業化の現状	131
(1) 海外動向	131
(2) 国内動向	131
3. 技術開発と産業化の課題と展望	135
IV－3. 二酸化炭素の回収・貯留（CCS）	139
1. CCS の技術開発と産業化の背景・経緯	139
(1) 背景	139
(2) CCS 技術開発の概要	141
(3) 国内の過去の実証試験および技術開発	146
2. 技術開発と産業化の現状	148
(1) 海外での動向	149
(2) 国内での CCS 調査	151
3. 技術開発と産業化の課題と展望	153

調査概要

1. 調査目的

近年、生物資源については、遺伝子工学の発展によって、新薬製造や遺伝子組み換え食品等へと応用範囲が拡大するとともに、生物の個体のみならず、各生物種の持つ固有の形質である「遺伝資源」の価値が認められるようになった。海洋生物の応用についても同様であるが、深海底の生物は、サンプル採取等に大きなコストを要することから、活発な研究・利用は行われていなかった。しかし、海底の熱水噴出孔の周辺で「化学合成細菌」と呼ばれる微生物が発見されたことを機に、深海底微生物資源の利用価値が注目されることとなった。

このような状況において、海洋基本計画（平成 20 年 3 月 18 日閣議決定）では、深海底微生物資源の活用により関連産業の発展が期待できるという認識のもと、新たな海洋産業の創出として、「深海底微生物の遺伝子資源については、今後、医薬品、新素材等様々な関連産業発展の可能性あることから、深海底微生物資源の取扱いを巡る国際的な動向を把握しつつ、我が国としての対応方針及び対応体制を早急に整備する。」ことが、政府が総合的かつ計画的に講ずべき施策として定められている。

海洋遺伝資源の開発については、国連の「国家管轄圏外の海洋生物多様性作業部会」において、我が国を含む先進国と途上国の間において、利益配分に関する様々な議論が起こっているところである。一方、生物多様性条約（以下「CBD」という。）のもとでは、遺伝資源へのアクセスと利益配分（以下「ABS」という。）が先進国と途上国間の大きな対立点となっており、平成 22 年 10 月に名古屋で開催された生物多様性条約第 10 回締約国会合（COP10）において、ABS についての新たな枠組みが採択されたものの、基本的な扱いについての議論は未だに続いている状態である。また、国内における深海底微生物資源の遺伝資源の利活用については、あまり進んでいないというのが現状である。

このような状況のもと、我が国として海洋遺伝資源の利活用推進や、国際的な動向に対する対処方針及び対応体制の整備を進めるため、海洋遺伝資源の応用実態を調査した上で、現在に至るまでの遺伝資源の利益配分に関する国際的な動向を把握し、我が国における発展の可能性を整理・分析する。また、海洋遺伝資源の利用以外の新たな海洋産業の動向についても調査し、関係者間で情報を共有することを目的とする。

2. 実施概要

① 海洋遺伝資源の応用実態調査・分析

深海底微生物をはじめとする海洋遺伝資源の応用に関し、国内の公的研究機関及び民間での取り組み状況について、資料文献、インターネット及びネットワーク等を通じ情報収集し、製品化又は近い将来製品化が見込まれる事例の調査、分析を行った。事例調査にあたっては、取組みの関係者や専門家に対するヒアリングも実施した。調査結果は、「Ⅰ．海洋遺伝資源を応用した製品化事例」に記述している。

② 海外の海洋遺伝資源の衡平な利益配分に関する制度（ABS 法）の情報収集

東南アジア、北東アジア、先進国における海洋遺伝資源に係るアクセスと公正かつ衡平な利益配分（ABS）に関する法規制や計画等の情報について、国内で収集可能な資料文献、及びインターネット等を通じ情報収集し、先行調査報告等の既存の知見及び公開情報を基礎として法規制等の概要を整理した。調査結果は、「Ⅱ．海洋遺伝資源に関する海外 ABS 法規制等の動向」に記述している。

③ 海洋遺伝資源に関する国際ルール等の議論の動向把握

国家管轄権が及ばない領域における海洋遺伝資源の利益配分に関する国際議論の動向及び生物多様性条約（CBD）等で議論されている ABS に関する動向について関係国際機関等による資料文献、インターネット、及びネットワーク等を通じ情報収集し、議論の経緯及び論点等について整理した。調査結果は、「Ⅲ．深海底微生物資源をめぐる国際議論の動向」に記述している。

④ 新産業に関する有識者ヒアリング等

海洋における新産業について専門的知見を有する有識者に対しヒアリングを行った。特に萌芽的な分野として、1）海洋深層水のエネルギー利用、2）藻類による二酸化炭素固定とバイオマス燃料生産、3）二酸化炭素の回収・貯留（CCS）、を対象として研究開発及び実用化・産業化に向けた取り組みの動向、課題と将来展望等について、資料文献、インターネット及

びネットワーク等を通じ情報収集するとともに、有識者ヒアリングを実施して調査、分析した。既に先行して実用化・産業化されている事例については現地調査を実施した。調査結果は、「Ⅳ．海洋における新産業に関する動向」に記述している。

3. 調査実施体制

① 受託者： 株式会社ノルド 社会環境研究所

菌 巳晴 （主任研究員，業務責任者）
市村 怜子 （研究員）
廣田 沙陽子（非常勤研究員）

② 協力： 本田 悠介（神戸大学大学院国際協力研究科）

③ 本報告書の執筆担当箇所

I	菌	Ⅳ－1	菌
Ⅱ	廣田・菌	Ⅳ－2	市村
Ⅲ	本田	Ⅳ－3	市村

4. 調査期間

平成23年12月16日～平成24年3月30日

I. 海洋遺伝資源を応用した製品化事例

1. はじめに

海洋基本計画（平成 20 年 3 月 18 日閣議決定）では、新たな海洋産業の創出として、海洋遺伝資源のうち特に「深海底微生物の遺伝子資源」に言及し、関連産業発展の可能性があるとの認識の下で、我が国の対応方針及び対応体制を整備すべきことが定められている。

深海微生物の応用には、まず深海からのサンプル採取が必要となることから、必然的に取り組みの主体が限られ、現状では深海調査システムを保有する独立行政法人海洋研究開発機構（JAMSTEC）によるサンプル採取と深海微生物の分離・保存の取り組みが前提となる。また、JAMSTEC が産業利用に向けた取り組みを開始してからも、それほど長い年月が経過しているわけではない。

このため、現状では深海微生物の応用による製品化事例はそれほど多くはない。JAMSTEC が把握しているのも自ら製品化に関わった研究用試薬の事例 1 件に留まる。そのほか、旧・海洋科学技術センター（現 JAMSTEC）が採取した深海微生物から、旧・生命工学工業技術研究所（現・(独)産業技術総合研究所）が産業利用に向けた研究を行ない、その成果を基に研究用試薬として製品化された事例が認められる程度である。製品化等の成果が現れるのはこれからという段階にあるものと思われる。

もっとも、微生物から製品に至る過程では様々な応用プロセスを経ることが多く、製品化の際には元の微生物を利用しないことも多いため、潜在的に製品に寄与している事例がほかに存在する可能性はある。また、微生物の応用・産業利用は、製品化だけではなく、工業プロセスでの酵素利用なども考えられる。

他方、今回の調査過程でも、有識者等から海洋遺伝資源の応用・産業利用の発展に向けた対応において、特に深海微生物だけに着目する必然性はなく、広く海洋遺伝資源を対象として考えるほうが合理的であるとの指摘もなされた。

以上の状況から、今回の調査では、まず JAMSTEC による深海微生物の分離・保存と産業利用に向けた取り組みの動向等を把握するとともに、その中から深海微生物由来の耐熱酵素が研究用試薬として製品化された事例を取り上げ、そのほか、近年、深海微生物以外の海洋遺伝資源の応用によって製品化された代表的な事例として、海岸硫気孔の超好熱微生物由来の研究用試薬と海綿由来物質の応用による抗がん剤について関連する動向に言及しながら取り上げた。

2. 製品化事例

(1) 深海微生物由来の耐熱酵素(研究用試薬)

① (独)海洋研究開発機構による深海微生物採取と新規有用酵素探索

有人潜水調査船「しんかい 6500」をはじめとする深海調査システムを保有する独立行政法人海洋研究開発機構 (JAMSTEC) では、深海微生物の分離・保存と産業への利用に向けた取組みを行っており、その一環として、「海洋有用物質の探索と生産システム開発研究チーム」(チームリーダー：秦田勇二氏)では、酵素を中心とする深海微生物由来の有用物質探索と遺伝子組換え技術を用いた大量生産技術の開発研究を実施している。

深海は、高水圧で太陽光が届かず、低温の環境にある。また、熱水噴出孔と呼ばれる、時には 400℃にも達する高温の熱水が噴き出すところが存在し、熱水にはメタンや硫化水素、重金属等が含まれている。また、深海は大型生物の遺骸や陸由来の動植物、ごみ、重油などが沈降して堆積する。従来、高圧環境下では微生物はほとんど生息できないと考えられていたが、JAMSTEC などの研究によって深海や深海底下の地殻内でも微生物が生息していることが見出され、多様な極限環境*と堆積物の存在とも相まって、多様性が高いことが分かってきている。

*極限環境・・・人間など一般に生物が生息するのに適する物理的・化学的条件からかけ離れた極度の高温(火山、温泉、海底熱水噴出孔等)、低温(極地、高地、深海等)、高圧(深海、深海底地殻等)、高塩(塩湖等)、高アルカリ(アルカリ湖等)、高酸(酸性湖等)、乾燥(砂漠等)など、生命活動が非常に厳しい環境。このような環境にも多くの微生物が生息し、これを極限環境微生物と呼ぶ。

JAMSTEC の「海洋有用物質の探索と生産システム開発研究チーム」の取組みは、深海の極限環境下の微生物が、浅海や陸上の一般的環境下の微生物にはない物質を作り出している可能性があることに着眼し、多様な極限環境下の多様な微生物から、様々な新規性の高い有用物質を探索し、産業、エネルギー、食料、医療、二酸化炭素削減など暮らしに役立てようとするものである。

中でも現在、有用物質探索の主要ターゲットとして、酵素に注目して研究が進められている。酵素は生物の生体内で自らは変化せずに化学反応を促進、加速する生体触媒である。化学反応を進行させるための活性化エネルギーを低減し、分解や合成を効率化する。また、特定の化合物に対して特異的に触媒反応

を示す性質（基質特異性）が高い。つまり、酵素を用いることで、低エネルギーで安全に物質転換でき、自ら変化せず基質特異性が高いため副産物も少ない。さらに使用後は再び酵素を用いて材料再生が可能である。酵素は従来、食品、洗剤、医療、研究など様々な産業分野で欠かせないものとして利用されているが、上記の特性から炭素循環型社会にも重要な役割を果たすことが期待されている。

JAMSTEC では、深海で採取した泥、生物などの分離源サンプル約 420 種を分離法が開発されるまで液体窒素で保存している。これまでに好アルカリ性、好酸性、好冷性、好熱性、好塩性、有機溶媒耐性、高圧耐性など様々な性質を有する多様な菌株約 8,000 種を分離・保存しており、この中から既に数多くの新規有用酵素が見出されている。主な例は下記の通りである。

〔JAMSTEC における深海微生物由来の新規有用酵素の主な発見〕

新規酵素		微生物	採取地	有用性・応用等
得られるオリゴ糖は様々な機能性が指摘 アガロース（寒天）分解酵素（寒天を分解して	アガロ 4 糖生成 α アガラーゼ	<i>Thalassomonas</i> 属細菌	鹿児島湾 水深 230m	ポルフィラン（海苔に多く含有）の抗酸化力を向上。
	ネオアガロ 2 糖生成 β アガラーゼ	<i>Agarivorans</i> 属細菌	千島海溝南端 水深 4,152m	美白作用を有するネオアガロ 2 糖を生成。
	ネオアガロ 6 糖生成 β アガラーゼ	<i>Microbulbifer</i> 属細菌	駿河湾 水深 2,406m	世界初のネオアガロ 6 糖を効率的に生成する酵素の発見。
	ネオアガロ 4 糖生成 β アガラーゼ	<i>Microbulbifer</i> 属細菌	駿河湾 水深 2,406m	耐熱性アガラーゼ（特許 4441486）。㈱ニッポンジーンから遺伝子解析に用いる研究用試薬が製品化（後述）。
良材に利用）分解酵素 の多糖の一種で食品改 カラギーナン（海藻由来	ラムダ-カラギーナーゼ	<i>Pseudoalteromonas</i> 属細菌	駿河湾 水深 2,409m	世界初のラムダ-カラギーナン分解酵素の発見。高い基質特異性で食品分析（含有カラギーナンの種類の同定）に利用。
	イオタ-カラギーナーゼ	<i>Microbulbifer</i> 属細菌	駿河湾 水深 2,406m	高い基質特異性で食品分析（含有カラギーナンの種

				類の同定) に利用。
	カップ-カラギナーゼ	<i>Pseudoalteromonas</i> 属細菌	駿河湾 水深 2,409m	高い基質特異性で食品分析 (含有カラギーナンの種類の同定) に利用。
トレハロース (2 糖) 生成酵素 (マルトースホスホリラーゼ、トレハロースホスホリラーゼ)		<i>Paenibacillus</i> 属細菌	相模湾 水深 1,174m	マルトース (安価) を食品に広く使用されるトレハロース (高価) に効率変換 (特許 4336897)。企業で実用化直前。
糖転移酵素		<i>Geobacillus</i> 属細菌	マリアナ海溝 水深 10,897m	有機触媒耐性。水に溶けない有用化学物質に糖を結合させ水への溶解性を向上。
酸化剤耐性アミラーゼ		<i>Bacillus</i> 属細菌	日本海溝 水深 6,000m	強い酸化剤耐性。過酸化水素水溶液中でも失活しない。
バイオサーファクタント (界面活性剤)		<i>Pseudozyma</i> (酵母)	相模湾 水深 1,156m	生分解性の界面活性剤。保湿効果。

※JAMSTEC 提供資料を基に作成。また、秦田、他「第 5 章 深海微生物からの有用酵素の探索」今中監修 (2011 普及版)『酵素の開発と応用技術』(シーエムシー出版) も参照。

新たな研究課題への取組みも進められている。例えば、木材や稲わらに多量に含有し (木材の 30%、稲わらの 10%)、セルロースに次ぐ地球最大級のバイオマスであるリグニンの有効利用に向けた研究を実施中である。

リグニンは、フェノール環を多数有するヘテロ構造 (芳香族ヘテロポリマー) で生物に対して毒性を示し、通常、微生物も分解できない。バイオエタノール生産時にも副産物として大量に産出され、現状では廃棄されている。他方、石油の構成成分と構造が似ていることから、石油原料化成品の原料を代替する可能性がある。JAMSTEC では、貧栄養環境下で難分解物質を利用している深海微生物のポテンシャルに着目し、実際にリグニン分解微生物を見出して研究を継続している。

この研究を進める上で必要となる新たな宿主-ベクター系 (遺伝子組換え技術で導入する遺伝子の運び手となるベクターと、これを受け入れる微生物の細胞である宿主の組合せ) の開発にも成功している。フェノール性化合物など有機

化合物に作用する有用遺伝子を宿主微生物の利用によりスクリーニング（特定の性質を有するターゲットの選出）するには、宿主に有機化合物・有機溶媒耐性が求められるが、従来の宿主-ベクター系にはなかった。そのため、深海由来の有機溶媒耐性菌からプラスミド DNA（細胞内でゲノム DNA から独立して自己増殖する DNA で、遺伝子組換え技術でベクターとして利用）を保有する菌を探索し、新規プラスミド DNA を発見、フェノール性化合物の酵素転換に道筋を開いた（新規プラスミド DNA は特許出願済みで、現在 2 企業と技術実施契約を協議中）。

上記のほかにも、産業・工業利用や、エネルギー・環境問題の解決に向けて、次のような酵素等の有用物質研究を展開している。

〔現在 JAMSTEC が展開する新規有用酵素に関する主な研究テーマ〕

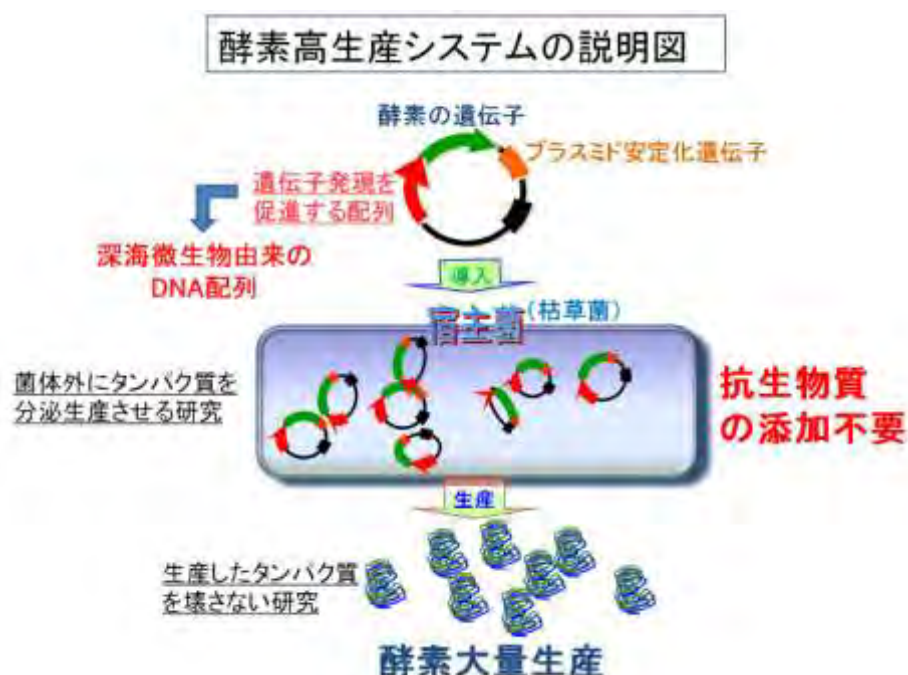
- 次世代バイオプラスチックへの応用に向けたリグニン分解微生物の探索と研究（上述）
- 好熱性微生物から産業用酵素として重要な耐熱性酵素の探索と研究
- 好冷性微生物から熱に不安定な成分や揮発性成分の変換を可能にする好冷性酵素の探索と研究
- 熱水噴出孔付近に生息する化学合成環境微生物のポテンシャルに着目した酸化還元酵素の研究（燃料電池への応用など）
- 海藻成分を利用してアルコールを生成する微生物の探索（バイオエタノールよりも発熱量が高くガソリンエンジンをそのまま使用できるバイオブタノールへの応用）
- 深海生物（シマイシロウリガイやホネクイハナムシ）の共生微生物や、深海の多細胞生物など、探索ターゲットを拡大した研究
- メタゲノムデータ（任意の環境中のゲノム配列を解読・データベース化したもの）を用いた新規酵素のスクリーニング（微生物の 99%は培養できていない）
- 地球シミュレータ（スーパーコンピューター）を利用した新規酵素のデザイン
- 新規酵素の基質特異性を利用した簡易かつ高精度な食品成分分析法の開発

有用物質を見出しても微生物による生産能力が低い場合がある。いかに有用

でも低コストで大量に生産できなければ産業上の実用化は困難である。JAMSTEC では酵素等の有用物質研究の成果を実際に産業利用に繋げていくために、有用物質の大量生産技術の開発にも取り組んでいる。

生産したい酵素の遺伝子をベクター（プラスミド DNA）に結合し、宿主として酵素等のタンパク質の生産能力が高い枯草菌に導入して増殖させることで、当該酵素を大量に生産することができる。しかし、従来この方法ではプラスミド DNA を安定的に枯草菌に導入するために抗生物質が必要となり、耐性菌出現などの環境負荷リスクや抗生物質の大量使用による経済的負担が生じる。そこで、JAMSTEC は枯草菌を利用する宿主-ベクター系を改良し、プラスミド DNA に深海微生物由来の遺伝子発現を促進する DNA 配列を結合する方法で、抗生物質が不要なタンパク質大量生産システムを開発した（特許取得）。既に現在、3 企業と技術実施契約を締結し産業的に実用化されている。

〔JAMSTEC が改良開発した酵素高生産システム〕



※提供：(独)海洋研究開発機構

以上のように、JAMSTEC では深海生物の特性に着目して、産業利用を念頭に置いた酵素等の有用物質の研究と産業上の実用化を後押しする技術開発を展

開している。以下では、これらの成果の中で、実際に企業から製品化された例として、JAMSTEC が発見した新規耐熱性アガラーゼについて、(株)ニッポンジーンが研究用試薬として発売した事例を紹介する。

② 新規の耐熱性アガラーゼの発見

JAMSTEC の秦田勇二氏らの研究チームは、海洋の広い分布域に生息し、多大なバイオマスである海藻の高度有効利用を図ることに着眼した。浅海に広く存する海藻は微生物によって分解されるが、分解されにくい成分が深海に沈降する。深海微生物は貧栄養環境下における生存戦略として、海藻の難分解成分を分解しているとみられることから、海藻の高度有効利用にも資する新規性の高い有用酵素を深海微生物から得ることを目指すものである。

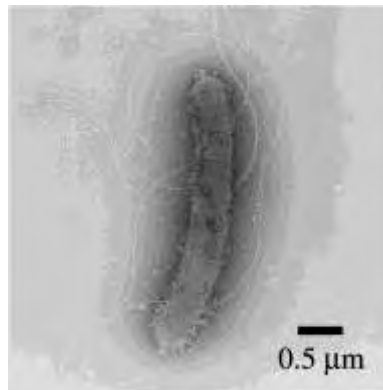
海藻の中でも最も種類が多く、海洋性大型藻類の約 60%に相当する割に、未だ利用が食用等に限定されている紅藻類に特に注目して研究を開始した。紅藻類の中にはテングサ、オゴノリなど、寒天の主成分であるアガロース（ガラクトースを基本とした多糖）を細胞壁に豊富に含むものがある。寒天を分解して得られる寒天オリゴ糖（アガロオリゴ糖）は、制がん作用、活性酸素産生抑制作用、抗炎症作用、免疫機能活性化作用、メラニン産生抑制作用、保湿作用、肝障害改善作用など様々な生理的機能が報告されている。

寒天（アガロース）を分解する酵素がアガラーゼであるが、従来、寒天オリゴ糖を効率的に生成できるアガラーゼが見出されていなかったことに注目し、深海底泥サンプルからアガラーゼ生産菌を探索した。

深海底泥サンプルを集積培養して得た微生物群を寒天培地上に乗せ、くぼみができれば、そこにアガラーゼ生産菌が存在することが分かる。くぼみの微生物群から個々の微生物を分離・解析することでターゲットとなるアガラーゼ生産菌を選抜することができる。この探索により新規かつ多様なアガラーゼ生産菌を発見することができた。さらに、これらの菌からアガラーゼを単離・解析した結果、複数の新規性の高いアガラーゼが見出された（前掲表「JAMSTEC における深海微生物由来の新規有用酵素の主な発見」参照。うち、ネオアガロ 4 糖生成 β アガラーゼが本事例の酵素。）。

「しんかい 6500」によって駿河湾の水深 2,406m から得られた深海底泥サンプルから分離した菌株 *Microbulbifer* sp. strain A94 (*Microbulbifer* 属の新種に属する好気性細菌) は、熱水環境に生息していたものではないが、不思議なことに 52°C の高温まで生育可能であった。

〔駿河湾の深海底泥から分離された
Microbulbifer sp. Strain A94〕

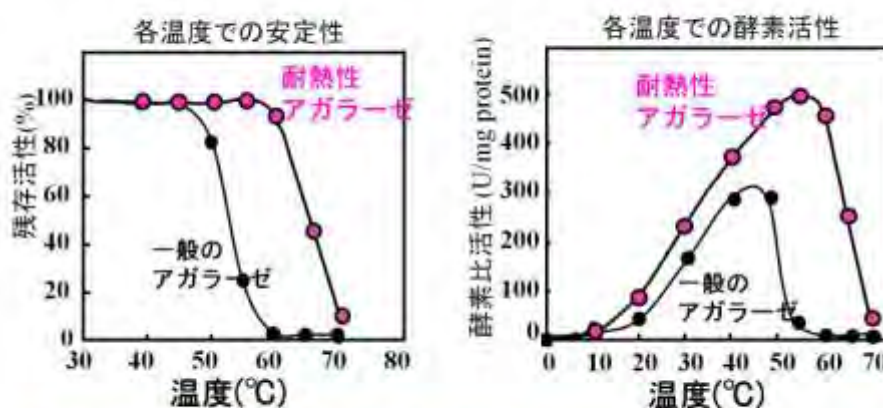


※提供：(独)海洋研究開発機構

そこで、A94 株から遺伝子クローニング（特定の遺伝子や DNA 配列を分離する操作）で得た遺伝子を利用してアガラーゼを生成、解析すると、期待通り、高い耐熱性を示す β アガラーゼが得られ、60℃で 15 分間処理した後でも高いアガロース分解活性が残存した。また、反応最適温度も高く、55℃であった。

〔*Microbulbifer* sp. Strain A94 由来の耐熱性アガラーゼの特性〕

耐熱性アガラーゼの温度安定性と反応温度



**耐熱性アガラーゼは
高温での安定性・反応温度が高い!**

※提供：(独)海洋研究開発機構

寒天をこの新規の耐熱性 β アガラーゼで分解すると、ネオアガロ 4 糖（ガラクトースとアンヒドロガラクトースが交互に結合）を高い選択性で生成することが分かり、酵素の安定性や活性を評価すると工業生産にも有用であることが分かった。新規性の高い本酵素とその利用について特許を取得した（特許 4441486）。

この成果は、紅藻に多く含有する寒天（アガロース）から、機能性の高い寒天オリゴ糖を効率的に得る新規アガラーゼを獲得し、紅藻の高度利用に繋げることを目標とする当初のねらい通りであった。しかしそれだけではなく、寒天のゲル化温度（約 40°C）を上回る 55°C で寒天を効率的に分解できることから、遺伝子解析に不可欠な技術の 1 つ、アガロースゲルからの DNA 断片回収に用いる研究用試薬などにも有用であることが示唆されるものであった。

さらに、JAMSTEC が改良開発した枯草菌を宿主とする大量生産技術（前述）によって、この耐熱性アガラーゼの大量生産にも成功した。

③ (株)ニッポンジーンによる研究用試薬の製品化

株式会社ニッポンジーンは、バイオテクノロジーを利用した製品開発型企業で 1982 年に設立された。国内の代表的な研究用試薬メーカーの 1 つで、遺伝子工学研究用試薬、体外診断用医薬品（妊娠検査薬等）、検査・診断試薬（食品・農業分野の遺伝子診断等）の製品開発と製造を事業としている。

必ずしも深海由来の遺伝資源の利用という点に着眼した製品開発を行なっているわけではないが、本事例のほか、1992 年に旧・海洋科学技術センター（現 JAMSTEC）の有人潜水調査船「しんかい 2000」によって沖縄トラフの熱水噴出孔付近で採取された超好熱菌 *Pyrococcus horikoshii* OT-3 に由来する耐熱性 DNA Polymerase を PCR（遺伝子増幅技術）用試薬として製品化している。これは、旧・生命工学工業技術研究所（現・(独)産業技術総合研究所）の松井郁夫氏らによる OT-3 株由来の酵素の研究成果を活用したものである。

同社では、自社独自の研究開発も行なっているが、ほかに製品開発のシーズを探るため、定期的に特許情報を調査して、製品化できる可能性のある成果があれば、その研究者にアプローチするという方法もとっている。企業だけで、あらゆる試薬の製品開発を全て基礎研究から展開することが困難であるからである。特に研究用試薬は成熟市場であり、製品の利用者が限られ、しかも様々な試薬が利用される傾向があることから、少量多品種展開を要し、1 つの製品の売上規模が小さいため、時間やコストをかけて開発することが難しい。そのため、独立行政法人や大学などの研究成果を活用した製品化が欠かせない手段となっている。

このような特許情報からの製品開発シーズ探索の中で、JAMSTEC の秦田勇二氏らによる深海微生物 *Microbulbifer* sp. strain A94 由来の耐熱性 β アガラーゼの成果を見つけて注目した。核酸を分離する際に不可欠なアガロースゲル電気泳動に使用する寒天が同社の主力製品の 1 つであり、その関連製品の開発も念頭に置いていたことも関心を持った理由の 1 つである。

同社は 2007 年初め頃に JAMSTEC の秦田氏にアプローチして用途や製品化に関する相談を行ない、同年 12 月には用途開発・製品開発および製品生産・販売に必要な技術実施許諾契約を締結した。その後、約 1 年強の間、JAMSTEC と(株)ニッポンジーンで共同開発し、2009 年 3 月に研究用試薬製品を発表した。JAMSTEC の秦田氏らの全面的な協力もあり、順調に製品化することができた。

一般にゲノム DNA を解析する際、生物からゲノム DNA を取得し、これを扱いやすいサイズに断片化した上で、DNA 配列解析や、DNA からのタンパク質発現による機能解析を行う。アガロースゲル電気泳動は、寒天上にサンプルを乗

せ電圧をかけることで DNA や RNA が移動し分子量の違いで移動距離が異なることを利用して、DNA や RNA を分離する方法である。電気泳動により断片化した DNA を寒天ごと切り出し、そこから DNA 断片を回収する。この方法は人の遺伝子診断技術開発にも利用される。

DNA 断片の回収方法として、切り出した寒天を溶解後、DNA 断片を担体へ吸着し回収するスピンカラム法という技術があるが、分子量の大きい DNA 断片が物理的に損傷してしまう欠点がある。他方、寒天を融解し、アガラーゼで分解すれば、ゲル化しなくなるので、そのまま DNA 溶液が得られ、容易にきれいな DNA 断片を回収することができる。この場合、アガラーゼで分解する際に、寒天は低温（約 40℃）でゲル化してしまい反応性が悪くなるため、高い温度を保った溶液のまま反応させることが望ましい。しかし、従来、(株)ニッポンジーオンおよび他社から市販されていたのは耐熱性の低いアガラーゼがほとんどであった。かつて海外メーカーから耐熱性アガラーゼと称された製品が市販されていたが、それも耐熱性を含め十分な機能を有していなかった。

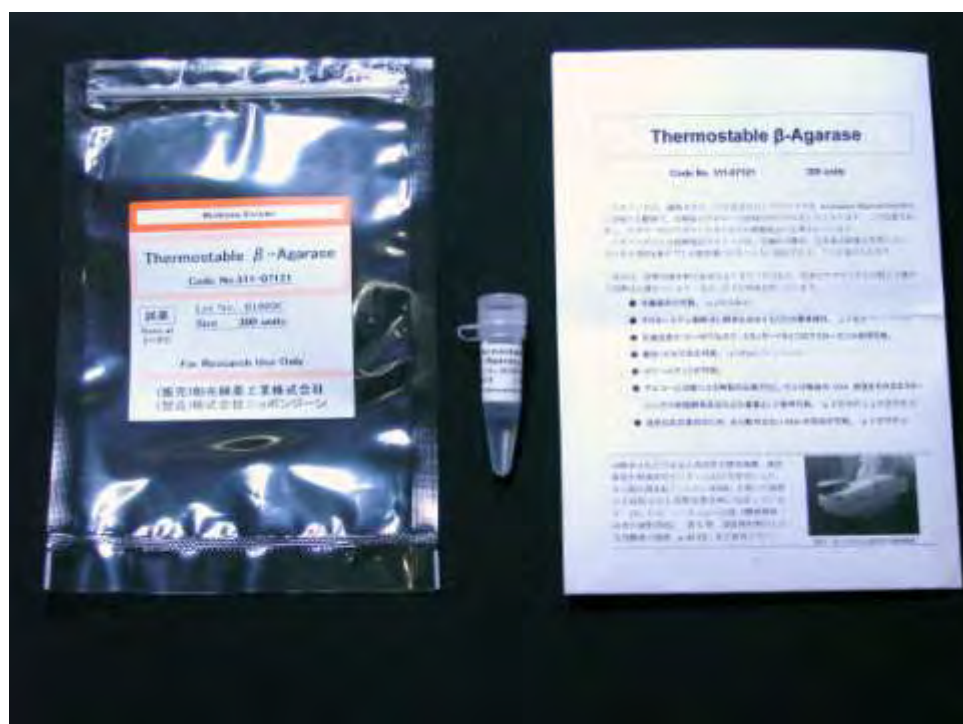
そこで、用途開発において、主力製品である電気泳動用寒天の関連製品となり得ることを念頭に、JAMSTEC の新規 β アガラーゼの「優れた耐熱性」「強いアガロース分解活性」という特徴に注目し、アガロースゲルからの DNA 断片回収において、DNA を物理的に損傷せず、簡便・短時間に DNA を抽出でき、他の器具や危険な試薬も不要なため廃棄物も少ない研究用試薬として高い付加価値があると判断して製品化することになった。

同社にとって製品化を進める決め手となった材料として、既に JAMSTEC が自ら開発した遺伝子組換え技術を駆使したタンパク質大量生産システムで、この耐熱性 β アガラーゼの大量生産に成功していたことがある。これにより製品生産のための技術開発を心配する必要がなかった。

そのため、技術実施契約締結後の共同での製品開発段階では、JAMSTEC の秦田氏の技術指導もあり、クリアすることが困難な障壁はあまりなかった。主な課題は、酵素製剤の中の DNA 分解活性を完全に除去することと、JAMSTEC の大量生産技術を(株)ニッポンジーオンの生産設備環境に適合させ、生産量をスケールアップさせることにあった。前者は半年程度、共同で研究してクリアし、後者は JAMSTEC の全面的な協力で解決できた。

こうして、発売した製品が「Thermostable β -Agarase」である。同社の富山の拠点において、JAMSTEC から実施許諾された技術により組換え体 (*Microbulbifer* sp. strain A94 由来の遺伝子を導入した枯草菌) で生産している。

〔研究用試薬製品「Thermostable β -Agarase」(株)ニッポンジーン)と使用方法〕



※写真・図版提供：(株)ニッポンジーン

アガロースゲルからの DNA 断片回収用酵素試薬としては現在、世界最高水準の性能を持つ製品であり、研究の労力や時間を大幅に低減するとともに、分子量の大きい遺伝子の解析を可能にするなど、従来、(株)ニッポンジーンを含む各社から市販されていた既存の類似製品に置き換わり得るものであると言われている。

〔「Thermostable β -Agarase」(株)ニッポンジーン)の製品概要〕

アガーゼはアガロースゲルを neoagar-oligosaccharide に分解する酵素で、分解後のアガロース溶液は再びゲル化しなくなります。この性質を利用し、アガロースゲルからの核酸抽出に応用されています。

本品は、(独) 海洋研究開発機構が深海底泥から発見した耐熱性微生物由来のアガーゼであり、耐熱性とアガロース分解能が極めて高く、DNA 断片を簡便・短時間にアガロースゲルから抽出することができます。

活 性： 1,000 units/ml (1 unit/ μ l)

活性定義： 1 unit は、60℃ で 1 分間当り 1 μ mol の D-ガラクトースに相当する量の還元糖をアガロースゲルから生成する酵素活性とする。

形 状： 50 mmol/l NaCl, 20 mmol/l Tris-HCl (pH 7.5)

保 存： 冷蔵 (2~8 °C)

【特長】

- 簡便 & 短時間な操作 (最短 10 分間での反応が可能)
- 至適温度が 50~60℃ の為、スタンダードタイプのアガロースにも使用可能
- ゲル分解溶液をそのままクローニングや制限酵素などに使用可能
- 大きな DNA 断片もせん断の影響が少なく回収可能

※出典：「Thermostable β -Agarase」(株)ニッポンジーン)の製品リーフレットより抜粋
(なお、リーフレットや同社 Web サイトでの製品説明では、上記のように JAMSTEC が発見した深海微生物由来の酵素であることの紹介や、JAMSTEC の許諾の下で「しんかい 6500」の写真やイラストも使用されている。)

実際、2009 年 3 月に製品を発表、4 月から販売を開始した。年間売上高は、多品種少量販売を特徴とする研究用試薬製品としては一般に順調な水準にある。また、販売 1 年目から十分な市場形成に成功しており、通常 2 年目以降から延びる研究用試薬製品の中では珍しいケースとなった。2 年目以降も販売実績の落ち込みはなく堅調に推移しており、一般に研究費削減傾向の情勢の中で健闘をみせている。

これまでのところ、主に国内販売に限定し、本格的な海外販売は行っていないが、同社では既に台湾での販売に着手し、今後、他国にも展開することを検討している。

当該製品のもととなる酵素生成が見出された菌株 *Microbulbifer* sp. strain A94 は、先述の通り日本領海内の駿河湾海底泥から分離されたものである。日本は現在、遺伝資源の取得及び当該遺伝資源の利用から生ずる利益の配分について、特段の法規制を設けていない。当該製品に関する利益配分については、JAMSTEC と(株)ニッポンジーンの間で締結された技術実施許諾契約に基づいて、同社から JAMSTEC に対して売上の一定率（数パーセント）のロイヤルティーが支払われている。

○インタビュー：

(独)海洋研究開発機構(JAMSTEC)（「海洋有用物質の探索と生産システム開発研究チーム」 秦田勇二チームリーダー、他）

(株)ニッポンジーン（研究試薬部 製品開発課）

○主な参考文献：

(独)海洋研究開発機構提供資料

(株)ニッポンジーン提供資料

Innovation News, Vol.12(2010) ((独)海洋研究開発機構)

秦田、他「第 5 章 深海微生物からの有用酵素の探索」今中監修（2011 普及版）『酵素の開発と応用技術』（シーエムシー出版）

(2) 超好熱微生物由来の耐熱酵素(研究用試薬)

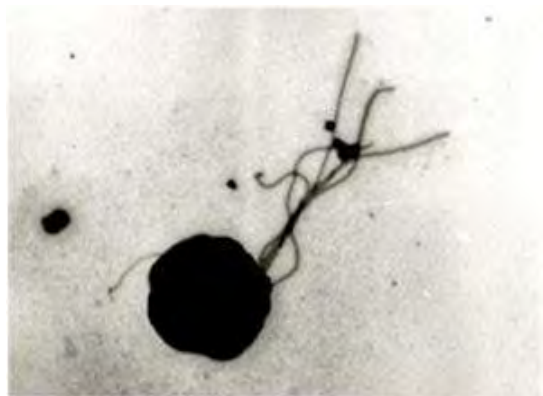
既に述べたように、酵素反応は低エネルギーで安全に物質転換でき、副産物も少ないといった特性があることから、様々な産業分野で不可欠なものとなっているが、特に極限環境微生物に由来する酵素は、極限環境で作用していることから、高温や高アルカリなどでも高い酵素活性や安定性を有するものが多い。そのため、深海微生物由来に限定しなければ、産業・工業用酵素や研究用試薬として広く利用されている。海洋でも深海以外の極限環境の微生物からも有用な酵素が発見されて製品化されている。

今中忠行教授（大阪大学、京都大学を経て、現在、立命館大学）らの研究グループは、1993 年、鹿児島市の南方約 300km に位置するトカラ列島・小宝島（周囲 4~5km）の海岸にある硫気孔から新種の *Thermococcus kodakarensis* KOD1（小宝島にちなんで命名）を分離した。トカラ列島などにおける採集活動は当時の株式会社海洋バイオテクノロジー研究所の協力で行なわれた。

〔鹿児島県小宝島〕



〔*Thermococcus kodakarensis* KOD1〕



※出典：「立命館大学生命科学部生物工学科 環境バイオテクノロジー研究室」（今中研究室 Web サイト）より「超好熱始原菌 *Thermococcus kodakarensis* KOD1 株」
(<http://www.ritsumeai.ac.jp/lifescience/skbiot/imanaka/KOD1.html>)

Thermococcus kodakarensis KOD1 は、60℃~100℃の高温で生育する絶対嫌気性*の超好熱始原菌**で、硫黄呼吸や発酵を行いアミノ酸や多糖類を分解する性質を持つ。

*絶対嫌気性・・・酸素があると生育しない。

****超好熱始原菌・・・**生物は原核生物（細胞核を持たない）と真核生物（細胞核を持つ）に分類され、原核生物には真正細菌（バクテリア）と始原菌（アーキア）が属する。始原菌は進化系統樹の源流に近く原始生命体に近いと言われる。高温の極限環境微生物は、一般的な微生物の生育温度限界である 55℃以上で生育できるものを好熱菌と総称し、生育温度により中等度好熱菌、高度好熱菌、超好熱菌に分類される。超好熱菌は 90℃以上で生育可能なもの。

今中教授は従来、好熱菌に関する基礎研究上の関心と産業応用可能性の観点から、長年に亘り国内及び海外の各地から数多くの好熱菌を分離し、中等度好熱菌や超好熱菌の研究を行っていた。その過程で保存していた約 200 種の菌株から応用上の鍵となる培養の容易さや増殖能力に着眼して選抜した 1 つが KOD1 株である。当初から特定の菌株に固執して研究を重ねるアプローチをとらず、数多くの多様な菌株の採集に基づく選抜の過程を経ることで、KOD1 株を見出すことに成功し、数多くの成果に繋がっていった。

今中教授らは、独立行政法人科学技術振興機構（JST）（旧・科学技術振興事業団）の「戦略的創造研究推進事業」（チーム型研究 CREST）を活用しながら（平成 9 年度採択、平成 14 年度まで）、全ゲノム解析、KOD1 株の研究解析手法の開発、KOD1 株の代謝機構の解明、有用酵素探索など様々な観点から研究を進めた。そして KOD1 株から見出された多数の有用酵素の 1 つが耐熱性 DNA ポリメラーゼである。

DNA ポリメラーゼは、遺伝子工学における PCR 法（ポリメラーゼ連鎖反応法（Polymerase Chain Reaction）の略）に用いられる DNA 合成酵素である。PCR 法は、この DNA ポリメラーゼの反応を利用して、DNA の断片を増幅する手法で、現在、遺伝子解析技術の基本的手法として欠かせないものとなっている。DNA がごくわずかししか得られない場合でも、特定の DNA 断片を大量に増幅できるため、遺伝性疾患の診断、犯罪捜査、親子鑑定、遺伝子組換え作物の検出などに幅広く利用されている。

PCR 法は、1980 年代に盛んであった新規生理活性物質の開発やバイオベンチャー間の競争とあいまって遺伝子工学における新たな技術的手法が求められていた背景の下で、当時の米国のバイオベンチャーであるシータス社のキャリア・マリス博士らによって開発され、1986 年に論文に発表された。そして、イエローストーン国立公園の温泉から 1966 年にトーマス・ブロック博士によって分離された高度好熱菌 *Thermus aquaticus* 由来の *Taq* DNA ポリメラーゼを利用する PCR 法を確立し、分子生物学や遺伝子工学の進展に重要な役割を果たすようになった。

PCR 法を着想したマリス博士は、その功績で 1993 年にノーベル化学賞を受

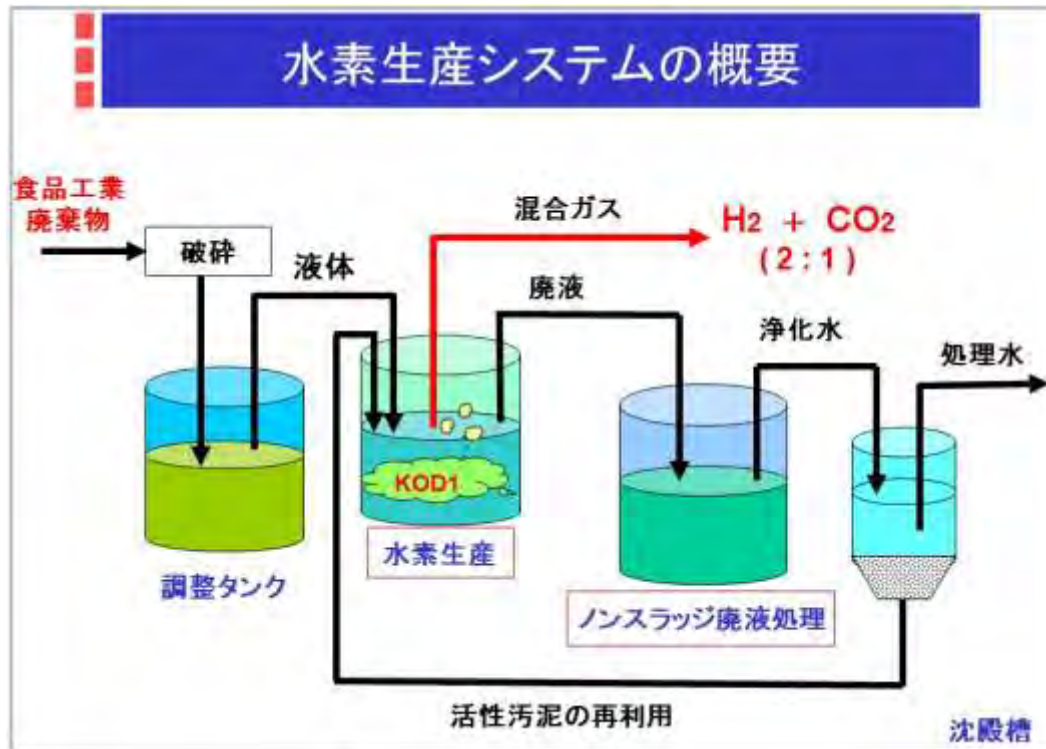
賞している。また、*Taq* DNA ポリメラーゼによる PCR 法の特許は、スイスの医薬品メーカー、F. Hoffmann-La Roche, Ltd. が買収し、商業的にも大成功を収めた。その後、PCR における耐熱性や正確性を高めるために超好熱始原菌由来の DNA ポリメラーゼなどが PCR 用の開発、製品化されてきたが、正確性と増幅能力（効率性）がなかなか両立しないなどの課題もあった。

今中教授らによって見出された KOD1 株由来の DNA ポリメラーゼは、機能解析の結果、高い耐熱性ととも DNA の正確な増幅に優れていることが分かった。それだけではなく、従来のものに比べて DNA の合成速度が速く、さらに長い DNA を合成する性質を有しており、従来の *Taq* 酵素で 2 時間かかっていた PCR の反応時間を約 4 分の 1 の 25 分程度に短縮することができるものであった。

KOD1 株由来の耐熱性 DNA ポリメラーゼは現在のところ、PCR 法で世界最高水準の性能を持つ酵素で、国内では東洋紡績株式会社から製品化され、同社でさらに改良が重ねられた「KOD-Plus-」や「KOD FX」などの商品がシリーズ化されている。海外でも米国の Life Technorogies Corporation やドイツの Merck KGaA から製品化されている。

KOD1 株に関しては、耐熱性 DNA ポリメラーゼのほかにも数多くの成果が得られている。今中教授は KOD1 株がでんぷんなどを食べると水素を活発に生産することに着目し、高速連続水素生産プロセス（培地 1L あたり水素 1.1L/時）を開発した。KOD1 株は嫌気性のため通気攪拌が不要で培養が容易であり、高温培養が可能のため滅菌できるとともに、でんぷんも自然に糊化して分解されやすいといった特性も活かしている。このシステムでメタン発酵による水素生産よりも 1,000 倍も高速に水素を生産でき、なおかつ不純物を含まないため燃料電池などへの利用が可能である。食品産業廃棄物などを有効利用することを想定し、株式会社アイアイビーからソリューションとして提供されている。

〔KOD1 株を利用した高速連続水素生産プロセス〕



※出典：「超好熱菌 *T. kodakarensis* KOD1 による水素生産システム」（株式会社アイアイビーWeb サイト）より

(http://www.iib-bio.com/jigyuu_kodakaraensis.html)

また、今中教授は KOD1 株内に新規のルビスコ（植物や藻類に存在する酵素で、二酸化炭素を吸収して有機物に変換する役割を担う）を発見した。従来、原始生命体に近い始原菌にはルビスコは存在しないと考えられてきたが初めて発見した。植物や藍藻などに由来するルビスコとは大きく異なる特異な構造を持ち、その構造が耐熱性に大きく寄与するほか、従来のルビスコの 40 倍も高い活性を有し、なおかつ非常に高い炭素固定能があることを見いだした。これを応用することで温暖化対策や植物増殖による食料増産などに貢献することが期待されている。

このように、KOD1 株に関しては、製品化されている耐熱性 DNA ポリメラーゼや、応用や産業化が期待される成果を含めて、様々な研究開発成果が得られ、さらに国内外でも研究が進展している状況にある。JST の CREST を活用

して全ゲノム解析が完了していることや、今中教授によって KOD1 株を対象とする実験・解析手法*が確立されていることも研究が円滑に発展する要因となっている。

* KOD1 株を対象とする実験・解析手法・・・特に KOD1 株の任意の遺伝子を特異的に破壊する技術の確立は、超好熱始原菌としては世界初のもので、原始生命体に近いきわめて単純な構造を持つと考えられる KOD1 株について、機能未知遺伝子を破壊したときの影響を解析して、当該遺伝子の役割を解明することを可能にした。

○インタビュー：

今中忠行 立命館大学生命科学部教授・京都大学名誉教授
左子芳彦 京都大学大学院農学研究科教授

○主な参考文献：

「立命館大学生命科学部生物工学科 環境バイオテクノロジー研究室」（※今中研究室 Web サイト）

(<http://www.ritsumei.ac.jp/lifescience/skbiot/imanaka/KOD1.html>)

今中忠行(2002)「深度地下極限環境微生物の探索と利用」(研究領域：極限環境状態における現象)『戦略的創造研究推進事業 チーム型研究 CREST 平成 9 年度採択研究課題 研究終了報告書 概要版』(科学技術振興事業団)

北林・西矢(2006)「耐熱性 DNA ポリメラーゼ」今中監修 (2011 普及版)『酵素の開発と応用技術』(シーエムシー出版)

左子芳彦(2008)「熱水に生きる海洋微生物」植田編『微生物機能の開発』生物資源から考える 21 世紀の農学 第 6 巻 (京都大学学術出版会)

(3) 海綿由来物質の応用による抗がん剤

深海の微生物等に関する産業利用については現在、酵素が主な研究ターゲットとされており他の有用物質研究は一部に留まるが、海洋遺伝資源一般には国内でも陸上生物とは異なる生理機能や代謝機構に注目され、医薬品その他への応用を念頭に、1970~80年代以降、抗生物質や抗がん物質等の生理活性物質の探索の試みが広く行なわれてきている。また、最近では原油価格の高騰とも相まって、オイルなどを生成する藻類の研究なども盛んになっている（藻類バイオマスに関する詳細はIV-2参照）。

日本では特に1988年に新日本製鐵株式会社、大成建設株式会社など多数の民間企業の出資により株式会社海洋バイオテクノロジー研究所が設立され、平成1（1989）年度から平成19（2007）年度にかけて、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「ゲノム情報に基づいた未知微生物遺伝資源ライブラリーの構築」の受託をはじめとする数多くの研究プロジェクトが実施された。先述の *Thermococcus kodakaraensis* KOD1 も同社の協力により採集されたものである。NEDOからの受託事業では、日本、パラオ、ミクロネシア、フィジーなどから5,600株の未知微生物を含む約50,000株の海洋微生物が収集、系統解析され、世界有数の海洋微生物ライブラリーが構築されている（北里大学感染制御研究機構 Web サイト「釜石研究所」参照（<http://www.kitasato-u.ac.jp/roics/kamaishi/index.html>））。

また、学術界では、1996年にバイオテクノロジーによる海洋の学術的理解と利用に寄与することを目的として、「マリンバイオテクノロジー学会」が設立されている。

（株）海洋バイオテクノロジー研究所は自立運営の目途が立たなかったことから2007年3月で研究活動を停止し（同年6月解散）、岩手県と釜石市の支援の下、微生物からの創薬に実績のある学校法人北里研究所に、同社の海洋微生物のコレクションを引き継ぐ形で移管され、2008年4月から北里大学感染制御研究機構の海洋バイオテクノロジー釜石研究所として再スタートした。現在、引き継いだ海洋微生物コレクションを含めて医薬品開発を主目的とする生理活性物質探索研究が実施されている。

また、海洋の生物遺伝資源の探索や研究開発に特化したバイオベンチャーも登場している。2006年に設立されたオーピーバイオフィクトリー株式会社は、亜熱帯に属し生物多様性に富む沖縄県をメインフィールドとして、主に海洋の生物（微生物を含む）の採集と、様々な産業分野への応用を目指す受託研究及び共同研究を事業としており、大学、独立行政法人等の研究機関、大手企業、他のバイオベンチャーなどと連携した取組みを展開している。

以上のような様々な取組みの中で、海洋生物の採集や生理活性物質の探索、さらに医薬品や化粧品、機能性食品などの製品化に向けた応用研究が進められている。しかし特に海洋遺伝資源の応用分野として一般に注目されることの多い医薬品開発では、基礎研究段階での新規生理活性物質の報告は数多くなされているものの、まだ製品化成功例として知られるものは少ないのが現状である。

マリンバイオテクノロジーの専門家からは、海洋生物から得られる有用物質の収量がごくわずかであり、その化合物の構造が複雑なために大半は化学合成も難しいことから、どのように化合物を大量供給するかが製品化の大きな課題であると指摘されている（伏谷伸宏(2005)「海洋生物の研究開発・概説と展望」・伏谷監修(2010 普及版)『マリンバイオテクノロジー・海洋生物成分の有効利用-』（シーエムシー出版)）。

また、医薬品開発では製品化までに、基礎研究から非臨床試験、臨床試験、そして承認申請と審査という何段階ものステップをクリアする必要があり、生理活性物質を見出したとしても、必ずしも製品に到達するとは限らず、製品化できても約 10~15 年以上の長い歳月を要することや、欧米のメガファーマにおける創薬トレンドの変化の影響もあり、天然物創薬が一時に比べ縮小傾向にあることなども要因として考えられる。

このような中で最近、海洋生物由来の抗がん物質を基とする誘導体（元の化合物の基本骨格を維持したまま一部を変化させたもの）を化学合成で得る方法を確認し、製品化されたのがエーザイ株式会社の乳がん向け抗がん剤「ハラヴェン静注 1mg（エリブリン メシル酸塩製剤）」である。

以下、研究開発・製品化の経緯等を同社からのニュースリリース等の公表情報及び文献に則して紹介する。

〔「ハラヴェン静注 1mg(エリ布林 メシル酸塩製剤)」(エーザイ(株))〕



※出典：エーザイ(株)ニュースリリース 2011 年 7 月 19 日「日本において抗悪性腫瘍剤「ハラヴェン®」を新発売」

(<http://www.eisai.co.jp/news/news201155.html>)

ハラヴェンの基となる物質は、神奈川県三浦半島油壺で採取されたクロイソカイメン (*Halichondria okadai* Kadota) の抽出物が強い抗腫瘍活性を示すことに着目した名古屋大学の平田義正教授 (1915-2000 年) と上村大輔博士 (現在、神奈川大学教授・名古屋大学名誉教授) らによって、1985 年に単離、構造決定されたハリコンドリン B である。このとき 600kg のクロイソカイメンから単離できたハリコンドリン B の収量はわずか 12.5mg であった。

そして、1992 年に米国ハーバード大学の岸義人教授の研究グループが約 5 年を費やして複雑な構造を持つハリコンドリン B の全合成に初めて成功し、同年からこの成果をエーザイボストン研究所が引き継いで本格的な新薬開発研究に着手した。その結果、エーザイの研究グループは、複雑なハリコンドリン B の全体分子の中で、抗腫瘍活性を示す部位を突き止めるとともに、これを最適化するために数百に及ぶ誘導体を合成、探索して、1997 年、ハリコンドリン B よりも抗腫瘍活性の強いハラヴェン (一般名：エリ布林 メシル酸塩) の創製に成功した。

ハラヴェンは立体異性体 (同じ分子式だが構造が異なる化合物を異性体といい、原子の配列順が同じだが三次元空間での配置が異なるものを立体異性体と

いう) が理論上 524,000 個含まれる可能性があることから、その制御がきわめて難しいものであるが、62 工程のプロセスによる全合成に成功し、商業的な化合物供給を可能にした。

ハラヴェン創製成功後は、さらにエーザイ独自に臨床開発が進められ、米国で 2002 年から、日本で 2006 年から臨床試験が開始された。2006 年から開始された米国での第Ⅲ相試験では、アントラサイクリン系及びタキサン系抗がん剤を含む少なくとも 2 種類の化学療法剤での前治療歴のある進行又は再発の乳がん患者 762 名を対象に、ハラヴェン単独療法と主治医選択治療を比較した結果、統計学的に有意に全生存期間を 2.7 ヶ月延長し、単剤として世界で初めて後期乳がん患者の全生存期間延長に成功した。2008 年からの日本での第Ⅱ相試験でも進行又は再発の乳がん患者に対して良好な抗腫瘍効果が示された。

こうして遂に 2010 年 3 月、エーザイは日、米、欧に承認申請を行い、2010 年 11 月に米国食品医薬品局(FDA)、2011 年 3 月に欧州委員会から承認を取得、2011 年 4 月には日本の厚生労働省から、手術不能又は再発乳がんに対する治療薬として承認を取得し、販売を開始した。

以上のハラヴェン開発経緯をまとめると下記の通りであり、クロイソカイメンから抗腫瘍活性物質が見出されてから実に 25~26 年の歳月を経て製品化に成功したことになる。また、海洋生物から得られる物質がごくわずかである中で、誘導体の全合成に成功し化合物供給が可能になったことが製品化の道筋を開いたことを示す事例であるといえる。

【「ハラヴェン」(エーザイ株)の開発経緯】

1985 年	名古屋大の平田教授・上村博士らが三浦半島で採取したクロイソカイメンから抗腫瘍活性物質ハリコンドリン B を単離・構造決定。
1992 年	ハーバード大の岸教授らが約 5 年間を費やしてハリコンドリン B の全合成に成功。 エーザイ (ボストン研究所) が本格的な新薬開発研究に着手。
1997 年	エーザイの研究グループがハリコンドリン B の合成誘導体ハラヴェン (一般名: エリブリン メシル酸塩) の創製に成功。
2002 年	米国で臨床試験 (第Ⅰ相試験) 開始。
2004 年	米国で第Ⅱ相試験開始。
2006 年	米国で第Ⅲ相試験開始。 日本で第Ⅰ相試験開始。
2008 年	日本で第Ⅱ相試験開始。

2009 年	シンガポール、スイスで承認申請。
2010 年	日、米、欧で承認申請（3 月）。 米国で承認、販売開始（11 月）。
2011 年	シンガポールで承認（2 月）。 欧州で承認（3 月）、英国、ドイツなどで販売開始（4 月）。 日本で承認（4 月）、販売開始（7 月）。 スイスで承認（7 月）。 12 月までに世界 35 ヶ国で承認。

※エーザイ(株)によるニュースリリース、「総合製品情報概要」等を基に作成。

(<http://www.eisai.co.jp/news/index.html>)

(<http://www.eisai.jp/medical/products/halaven/about/>)

ハラヴェンは、細胞分裂に重要な役割を果たすと言われる微小管に作用し、微小管の短縮に影響を与えず、伸張のみを抑制することで細胞分裂を停止させるというこれまでの抗がん剤とは異なる新規の作用機序を有する。また、通常の投与法は、「1 日 1 回を 2~5 分かけて、週 1 回、静脈内投与する。これを 2 週連続で行い、3 週目は休薬する。これを 1 サイクルとして、投与を繰り返す。」というものであり、短時間かつ簡便であることが特徴とされている。

ハラヴェンの適応は現在、手術不能又は再発乳がん（アントラサイクリン系抗悪性腫瘍剤及びタキサン系抗悪性腫瘍剤を含む化学療法を施行後の増悪若しくは再発例を対象）であるが、エーザイ(株)では、より治療歴の少ない難治性再発性・転移性乳がん、乳がんアジュバント（術後補助療法）など乳がんにおける適応追加や、非小細胞肺がん、肉腫などの他のがんへの適応拡大に取り組んでいく予定である。

○主な参考文献：

エーザイ(株)ニュースリリース

(<http://www.eisai.co.jp/news/index.html>)

エーザイ(株)社長 内藤晴夫(2010.11.16.)「「Halaven™」FDA 承認 記者会見ステートメント」

(<http://www.eisai.co.jp/pdf/ir/mat/material201011161.pdf>)

エーザイ(株)「総合製品情報概要 抗悪性腫瘍剤ハラヴェン®静注 1mg（エリブリン メシル酸塩製剤）」

(<http://www.eisai.jp/medical/products/halaven/about/>)

北里大学感染制御研究機構 Web サイト

(<http://www.kitasato-u.ac.jp/roics/index.html>)

オーピーバイオファクトリー(株)

(<http://www.opbio.com/company.html>)

伏谷伸宏 監修(2005,2010 普及版)『マリンバイオテクノロジー-海洋生物成分の有効利用-』(シーエムシー出版)

Ⅱ．海洋遺伝資源に関する海外 ABS 法規制等の動向

1. はじめに

海外（東南アジア・北東アジア・先進国）における海洋遺伝資源に係るアクセスと公正かつ衡平な利益配分（ABS）に関する法規制や計画等の情報について、関係省庁による先行調査情報をはじめ、国内で収集可能な文献及びインターネット等の手段を通じて把握し得る範囲で整理した。

生物多様性条約の下で各国は自国の天然資源に対する主権的権利を有し、自国管轄下にある遺伝資源へのアクセスについて規制する権限がある。生物多様性条約発効以降、開発途上国を中心とする遺伝資源提供国の中には、ABS に関する法規制や政策を導入する動きが活発化してきている。よって、自国管轄下にある海洋遺伝資源については、基本的には他の遺伝資源と同様の取扱いとなり、ABS 法規制等の範疇に含まれるものと考えられる。他方、国家管轄外の海域の海洋遺伝資源の取扱いについてはIV章で取り上げる通り国際的に議論の途上にあり各国に規制する権限はない。

従来、各国による ABS の観点での法規制や政策は、海洋遺伝資源を特に区別していることはあまり多くはないように見受けられる。ノルウェーが海洋資源法により特に海洋遺伝資源に関する ABS を規定している例が注目される程度である。上記に基づいて、本稿では海洋遺伝資源を特に区別せずに ABS 法規制等を導入している内容についても取り上げる。

なお、調査方法の制約上、各国の最新動向を網羅しているわけではない点に留意して参照されたい。ABS に関する海外動向に関しては特に、経済産業省と一般財団法人バイオインダストリー協会が長年に渡り、「生物多様性条約に基づく遺伝資源へのアクセス促進事業」（以下、「経産省・JBA アクセス促進事業」）や「生物多様性総合対策事業」として、情報収集を行っている。また、平成 21 年度には経済産業省は「諸外国の ABS 国内法に関する調査」（受託：株式会社ノルド 社会環境研究所）を行なっている。本稿でもこれらの先行調査の成果を参考にしている。

また、2010 年 10 月に名古屋市で開催された生物多様性条約第 10 回締約国会議において ABS に関する名古屋議定書が採択されて以来、各国で同議定書への対応や、これに伴う国内措置の検討が進められている状況にあるが、2012 年 3 月現在では未だこれらの情報はほとんど公表されていない。今後、各国の ABS 法規制等の内容は本稿で取り上げる内容から大幅に変化していく可能性があることに留意が必要である。

2. ABS 法規制等の動向

(1) 中国

中国は、生物多様性に富む国の 1 つである。1992 年に生物多様性条約に署名し、翌年批准している。面積広大で複雑な地勢のため、多岐にわたる自然環境に恵まれている。そのため、脊椎動物については世界の 14 パーセントに当たる 6,300 種余り、また 3 万種余りの高等植物が存し、ブラジルとコロンビアに次いで世界第三位の規模を誇るとされる。一方でこうした生物の多種多様な遺伝資源が、先進国企業等によって海外に持ち去られ利用されるなどといったバイオパイラシーの被害にあっているのではないかという懸念が国内で起きていると言われる。

加えて、遺伝資源に関連して中国が大きな関心を寄せているのが、伝統的知識の保護である。中国には 55 の少数民族が存在し、医薬などで様々な伝統的知識を備えている。さらに、中薬として中国で市場への出荷が承認されているものも多数ある。中国政府は中国の医薬品の役割を重視し、その材料の管理強化、関連する種子及び遺伝資源の保護などに総合的対策を講じている。

i) ABS 法規制

中国はこの 20 年間の間に生物種や資源の保全にかかわる法律や規則を発展させてきたが、その多くは国内での資源管理についてのものであり、遺伝資源の輸出入や利益配分にかかわる統一的に機能する ABS 法はいまなお制定されていない。ただし、様々な法律等の規制が複雑に絡んでいるため、それらを遵守する必要がある。また、ABS に関する政策的枠組みもできつつあり、関係法令の整備も進められている。特に、近年制定された家畜及び家禽の遺伝資源に関する規制と、特許法の改正の 2 つは、遺伝資源関連の法制度の改正として重要なものである。

〔家畜及び家禽の遺伝資源に関する規制〕

「家畜及び家禽の遺伝資源の輸出入の審査及び承認ならびに同遺伝資源の応用に関する外国との共同研究に関する措置 (Measures for the Examination and Approval of Entry and Exit and the Foreign Cooperative Research on the Application of Genetic Resources of Livestock and Poultry)」は、牧畜法に基づき 2008 年に施行された。

同規則は家畜遺伝資源へのアクセスとその利用から生じる利益配分をどのように規制すべきかについて規定している。重要な部分は 6～8 条、11～14 条などで、家畜及び家禽の遺伝資源を対象として、遺伝資源の輸出の際に利益配分を行う旨の合意を提出することや、家畜遺伝資源の共同研究や輸出の際の条件を定めておく手続きなどを規定している。

〔中国特許法改正〕

2008 年 12 月には、中国における特許法 (Patent Law of the People's Republic of China) の第三次改正が行われ、遺伝資源にかかわる重要な規定を追加した。またそれに伴い、特許法実施細則や審査基準の改正も行われた。

重要な改正のうちの 1 つ目は、関連法の遵守である。改正特許法には「法律、行政法規の規定に反して遺伝資源を取得又は利用し、かつ当該遺伝資源に依存して完成させた発明創造に対しては、特許権を付与しない (第 5 条 2 項)」とあり、関連法を遵守した遺伝資源の取得及び利用が要求されている。

ここで対象となる遺伝資源の範囲は実施細則に定められている。すなわち「特許法でいう遺伝資源とは、人体、動物、植物又は微生物に由来し、遺伝の機能的な単位を有する素材をいう。(第 26 条第 1 項)」とされている。このように、生物多様性条約では対象から除外されている、ヒトの遺伝資源が含まれている点は特徴である。

もう 1 つの重要な改正は、特許出願時における遺伝資源の直接の供給源及び当初の供給源の開示要求の条項である。遺伝資源に依存して完成させた発明創造の場合、用いた遺伝資源の出所を開示することが義務化されたのである。改正特許法には「出願人は特許出願文書において当該遺伝資源の直接的出所及び当初の出所を説明しなければならない。当初の出所を説明できない場合、出願人はその理由を述べなければならない。(第 26 条 5 項)」とされている。

開示すべき出所のうち、直接的出所とは当該遺伝資源の直近の供給源のことであり、通常これは説明が可能である。他方、当初の出所とは、遺伝資源がもとめ繁殖・栽培されていた場所、すなわち生息地等を指すため、利用者が正確な情報を把握できない場合もありうる。その場合、法では理由の説明が求められている。(平成 21 年度「経産省・JBA アクセス促進事業報告書」427-437 頁参照)

ii) 国家戦略と ABS

こうした法令のほかにも、中国では ABS にかかわる政策的枠組みが定められ

てきている。2005年には国務院決定の中で、生態系の保護や遺伝資源の保護に関する法律の制定の加速を推奨し、遺伝資源の損失を防ぐために遺伝資源の利用から生じる利益配分や生態学的補償の仕組みを早急に確立するよう要求している。

その前年の2004年には、国務院は、生物資源の保護及び管理の強化に関する通知を公布した。この通知で示された具体的な政策や行動の多くはABSと密接に関連している。たとえば、生物資源の輸出の管理と監督の強化、輸出入される生物資源に関する調査及び検査制度の確立、生物資源を用いた国際協力における管理の強化（契約と利益配分など）、関係法令の整備、などがその内容である。2008年には、遺伝資源及び伝統的知識に関連する知的財産権の問題に重点をおいた知的財産権戦略が立ち上げられた。

ここでは、遺伝資源の喪失や無秩序な利用を防止するために、遺伝資源の保護・開発及び利用の仕組みを改善すること、伝統的知識の保護に関するシステムを設けること、などが重要な目標として掲げられた。

また、近年の生物多様性国家戦略案及び生物多様性行動計画改定では「遺伝資源及び関連する伝統的知識の利用から生じる利益の衡平かつ公正な配分を達成すること」が主要な目標の1つとされている。戦略案では、今後5年間でこの目標を達成するためかなり包括的な法制度と仕組みを確立し、今後10年間で実質的な措置を講じることを提案している。この段階での主な行動として、遺伝資源を保存するシステムの確立、ABSを管理、規制する機関を含むシステムの確立、遺伝資源の輸出入を管理するシステムの確立、などがある。（平成21年度「経産省・JBA アクセス促進事業報告書」45-47頁参照）

そのほか、2007年に国家環境保護総局が発表した、生物資源の保護及び利用に関する国家計画がある。これは、各種の生物資源を種や遺伝子のレベルで保護し、利用する際に直面する諸課題に対処するために作成された包括的な文書で、その多くが遺伝資源にかかわる。一例を挙げると、重点活動として、特許申請の際に遺伝資源の出所を開示し合法性を証明する義務の確立、生物資源及び伝統的知識に関する知的財産権保護システムの創設、などが述べられている。

iii) 海洋戦略と海洋生物資源

以上のように、中国ではいくつもの国家計画や戦略でABSに言及されている。他方で、海洋開発の分野でも海洋遺伝資源に特定した言及も散見される。

2003年に国務院は、中国海洋経済発展の主な措置を定めた「全国海洋経済発展計画綱要」を採択し、各地に対して、実情に照らしてこれを徹底するよう求

めた。計画綱要は、中国が海洋経済の総合的な発展のために初めて制定したマクロの指導的文書であり、海洋資源の開発利用をスピードアップし、沿海地区の経済の合理的な配置と産業構造の調整を促進し、海洋経済の各産業が国民経済の新しい成長分野となるよう力を尽くすことで、国民経済の持続可能で健全かつ急速な発展を保持していくことが目標とされている。

この計画綱要の適用範囲となる海洋産業のひとつに「海洋生物医薬」が対象として挙げられており、これを基幹産業としてその他の海洋産業の発展をリードしていくことを打ち出している。

また、海底区域については「国際的な海底資源の探査、研究、開発に力を入れるべきこと」「深海探査を引き続き実施し、深海技術の発展に力を入れ、深海産業を適時に発展させるべきこと」「多金属団塊探査鉱区調査に加え、国際的な海底区域におけるほかの資源の準備調査も行つて、生物遺伝子技術の研究と開発にも力を入れるべきこと」「深海資源の探査と開発の技術力を向上させ、わが国の国際的な海底区域における権益を擁護すべきこと」が示されており、海底の遺伝資源とそこから得られる利益についての関心が非常に高いことが伺える。(海洋政策研究財団(2006)「平成 17 年度中国の海洋政策と法制に関する研究」35-40 頁参照)

(2) 韓国

韓国では現在、ABS に関する政策形成途上にある。生物多様性法が 2012 年に制定される見込みであると言われており、さらに ABS に関する詳細についても立法措置が検討されている。また、政府は国内関係主体の ABS 問題に対する認識を高めるための普及啓発に努めている。

韓国環境省はアジア最大規模の生物資源研究所を設置し生物資源政策を推進している。韓国環境省の生物資源研究所 (National Institute of Biological Resources : NIBR) は、2007 年に韓国固有の生物資源のための研究所として設立された。韓国の生物資源の固有種の調査、研究、保存、管理を行っている。

また、遺伝資源の重要性やその持続可能な利用の必要性に関して一般への啓発を目的として展示や学習プログラムを有する教育センターとしての役割もある。さらに、「基礎的及び応用研究用の素材と野生種に関する情報を提供することにより、バイオテクノロジー産業を支援する」という機能も備え、2010 年からは「野生生物遺伝資源センター」を内部組織として設置した。

生物多様性に関する政策提言を行う機能もあり、研究所のスタッフは生物多様性条約や ABS に関する国際会合にも出席している。スタッフ約 180 名が勤務

しており、組織は企画・展示部門、生物資源研究部門、行政サービスセクション、野生生物遺伝資源センターなどの部門に分けられる。最新の保存設備や多数の標本を収容する能力があり、現在のコレクションは 175 万点、そのうち 57 万の生物学的情報を含んだデータベースを持つ。形態学や解剖学、分子系統学、ゲノム工学などの研究を最新鋭機器と施設で行う環境が整い、研究・調査プロジェクトを実施している。このように、韓国は、政府の政策により ABS に関する研究基盤を急速に整備しつつある。(平成 22 年度「経産省・JBA アクセス促進事業報告書」46-48 頁参照)

さらに、NIBR では 2011 年 1 月から、遺伝資源の利益配分に関するヘルプデスクの運用も担うようになった。名古屋議定書への対応の一環として、遺伝資源へのアクセスと利益配分に関する「ヘルプデスク」が開設され、運用されている。これは、韓国環境部のガイドラインのもと、同議定書に関する公共サービスの提供に主導的な役割を担うとされ、生物多様性のほか生物工学、国際法、特許法など各分野の専門家らが ABS にかかわる国際動向の提供や政策支援、普及啓発、コンサルティングを行う相談窓口になるという。(国立環境研究所：環境展望台 海外ニュース 2011 年 1 月 24 日)

海洋に関しては「海洋生態系の保全及び管理に関する法律」が 2006 年に制定され、2009 年に改正されている。この法律は、「海洋の生態系を人為的な毀損から保護し、海洋生物の多様性を保全し、海洋生物資源の持続可能な利用を図る等、海洋の生態系を総合的かつ体系的に保全・管理する」(第 1 条)ことを目的としており、内容は直接 ABS を定めたものではないが、用語の定義に遺伝資源という語が見られる。具体的には「海洋生物資源」の定義として「人間のために価値がある、又は実態的若しくは潜在的用途がある遺伝資源、生物体、生物体の部分、個体群その他海洋生態系の生物学的構成要素をいう」(第 2 条)とされている。

(3)インドネシア

インドネシアはアジアとオーストラリアという 2 つの大陸にはさまれ、ジャワ、スマトラ、スラウェシ、ボルネオなどの大島をはじめ、東西南北に広がる島々を抱え、総面積は 190 万平方キロメートルと日本の 5 倍、人口は 2 億人を超える島嶼国である。気候は赤道直下の熱帯雨林気候と熱帯モンスーン気候に大別され、高温多湿である。地理的な条件から、地球上のメガダイバーシティのひとつに数えられる豊富な生物多様性を誇る。地球の地表の面積から見ればインドネシアの国土はその 1.3 パーセントに過ぎないが、そこに世界の種のおよ

そ 17 パーセントが集まっているとされる。

インドネシアでは「遺伝資源管理法案」策定の準備を始めているが法案策定には至っていないと言われる。ただし、農業遺伝資源については、法案ができるまでの措置として「研究目的でインドネシアの農業用植物資源等を外国人が使用する場合、インドネシアの現地パートナーが必要であり、かつ農業省にそのことを届け出る必要がある」という内容の規制制度(農業大臣令 67 号)が 2006 年に公布されている。(平成 20 年度「経産省・JBA アクセス促進事業報告書」46-48 頁参照)

また、明確な法規制はないが、他国の研究機関は、科学技術省 (SMRT) にインドネシアの遺伝資源を利用したい旨の申請を行なうこと、事前合意ができた場合は、遺伝資源利用者はインドネシアの共同研究機関との共同研究内容などの相互に合意する条件を決定し、インドネシアの遺伝資源に由来する利益が発生した時の公正な利益の配分内容を明記すること、インドネシアの伝統的知識を用いる場合は、そこから利益が発生した場合における利益配分の方法も明記すること、インドネシアの遺伝資源を日本に移動する場合は、素材移転協定を締結すること、などが必要とされていると言われる。(JBA：生物資源へのアクセスと利益配分-企業のためのガイド「インドネシア」参照)

インドネシアには、「国家遺伝資源委員会(National Committee on Genetic Resources: NCGR)」が組織されている。委員は、政府、大学、企業、NGO からのメンバーで構成されており、ABS に関する国内政策に影響を持つ可能性がある」と指摘される。

(4) フィリピン

フィリピンは面積 30 万平方キロメートル、人口 7,650 万人の熱帯性島嶼国家である。ルソン、ミンダナオといった主要な島をはじめ、合計 7,000 以上の島々からなる。全体的に山がちであるが多くの高山、熱帯雨林、火山がみられ、海洋には海溝もある。気候は熱帯季節風気候で高温多湿。総面積 200 万平方キロメートルに及ぶ領海や長い海岸線を持ち、海洋生物資源の観点から注目される。このような地理的条件から、フィリピンは生物多様性の一大宝庫であることが分かっている。

フィリピンは早い段階から ABS 法規制を導入したことで知られる。1995 年に生物多様性条約の実施のために、フィリピン国内における生物ならびに遺伝資源の探査のためのガイドラインと手続きとして「大統領令第 247 号 (Executive Order No.247)：生物資源、遺伝資源、その副産物、及び派生物の

科学的及び商業的目的ならびにその他の目的のための調査に関するガイドラインの規定及び規制枠組みの制定」が制定、翌年公布され、大統領令 247 号を執行する方法を詳細に定める行政規則として、「生物資源及び遺伝資源の調査に関する施行規則（環境天然資源省行政令第 96-20 号）」が制定された。

その後、2001 年に「共和国法第 9147 号：野生生物資源とその生息地の保全及び保護、並びにそれらの保全及び保護その他の目的のための予算割当について定める法律〈野生生物資源保全保護法〉（An Act Providing For the Conservation and Protection of Wildlife Resources and their Habitats, Appropriating Funds therefore and for Other Purposes (Wildlife Resources Conservation and Protection Act), Republic Act No.9147))」が制定され、この野生生物資源保全保護法を初めとするフィリピンの ABS 関連諸法令の下で統一的にバイオプロスペクティングを規律する行政規則として、「フィリピンにおけるバイオプロスペクティング活動に関するガイドライン（2005 年 DENR-DA-PCSD-NCIP 行政令第 1 号）（Guidelines for Bioprospecting Activities in the Philippines, Joint DENE-DA-PCSD-NCIP Administrative Order No.1, Series of 2005)」が制定された。このガイドラインにより、大統領令第 247 号は、野生生物資源保全保護法に抵触する規定が廃止され、環境天然資源省行政令第 96-20 号は全面的に廃止された。

2005 年 DENR-DA-PCSD-NCIP 行政令第 1 号における国家政策は「生物資源が国家の利益に沿うように保全され、開発され、持続的に利用されるために、生物資源の探査を規制する」ことであり、「国家は、バイオプロスペクティング活動の前に生物資源の所有者からの、事前の同意に基づく同意が得られていることを確保すべきである。国家はまた、遺伝資源の利用から生ずる利益が公正かつ衡平に資源所有者に配分されることを確保すべきである」とされており、事前の情報に基づく同意や利益配分の考え方を明確に打ち出している（第 1 条）。

本規則の目的として「生物資源へのアクセス手続きを合理化し、資源の利用者による遵守を容易にする」「遺伝資源提供者の事前情報に基づく同意を得るためのガイドラインとなり、また、交渉での公正かつ衡平な利益配分のためのガイドラインとなる」「事前の情報に基づく同意／コレクション量の割り当て／公正かつ衡平な利益配分／第三国への素材移転／その他のバイオプロスペクティングに関する規定の、遵守監視をおこなうための効率よい透明な標準化されたシステムの構築」の 3 か条が掲げられている（第 4 条）。

〔事前情報に基づく同意〕

事前情報に基づく同意の手続きは第 13 条 1 項から 5 項にその手順が書かれている。そのうち、基本的な手続きは 2 項に書かれている。以下では 1 項と 2 項

の流れを記す。

まず、資源の利用者は、先住民を含む、資源の提供者から事前の情報に基づく手続きを得なければならないとされる（第 13 条 1 項）。そしてこの同意は以下のような手続きによって得られなければならない。

すなわち、①告知—資源の利用者は、関連する機関、土地所有者に対し、仮契約書（a letter of intent）を送付して、バイオプロスペクティングをおこなうつもりである旨伝える。②セクター協議—資源の利用者は、関連する機関にコミュニティ会議を招集するように要求する。また、コミュニティの人々に理解可能な言語で書かれた研究概要を用意する。研究概要には、研究の目的や方法、期間などを記し、その地域社会による資源消費を脅かさないようにする約束も記す。③PIC 証明書の発行—協議において同意が得られてから 30 日以内に当局が適切な決定を与えた場合に PIC 証明書が発行される（以上、第 13 条 2 項 a - c。なお、附属書Ⅳとして PIC 証明書のフォーマットが掲載されている）。

〔利益配分〕

第 14 条から 22 条にかけて利益配分協定のためのガイドラインとなっており、相互に合意する条件を定めている。第 14 条で一般的義務として交渉義務が定められているほか、第 15 条ではバイオプロスペクティング料金（3000 米ドル以上を支払う）、第 16 条で金銭的利益配分（バイオプロスペクティングの成果による製品が市場で販売されている限り、その利益のうち 2 パーセント以上を毎年フィリピン政府及び資源提供者に支払う）、第 17 条でその他の利益（生物多様性保護や資源保護活動への支援、技術移転など）などが定められている。

こうした利益配分は、それが公正かつ衡平な利益配分であるか否かを、チェックリストと指標を利用して、契約当事者や利害関係者が判断することができる（第 24 条）。チェックリストのモデルは附属書Ⅴとして掲載されている。手続きに関するチェックリストと内容に関するチェックリストに分かれており、両面から判断できる仕組みになっている。「利益の内容は双方の契約者が共同で決定したか」「金銭的利益と非金銭的利益の両方が契約条項に含まれているか」などの点がチェック項目となっており、YES/NO を記入する欄が設けられている。

なお、以上のような取り決めに違反した場合は、合意の取り消し、撤回、採集物の押収、資源採集の永久的な禁止、行政・刑事罰、違反事実のメディアへの公表などの制裁を受けるとされる（第 31 条）。

(5) オーストラリア

① 全般

オーストラリアは770万ヘクタールの国土と1000万ヘクタールの海洋の管轄権を保持しており、地理学的独自性から非常に多様な生物多様性を有している。全地球規模の10パーセントの生物多様性を擁し、そのうちの80パーセントはオーストラリアに固有のものであるとされる。先進国であると同時に遺伝資源の提供者でもあるという独特の立場から、連邦や各州・準州はそれぞれ特徴的なABS政策又は法規制を実施している。

また、遺伝資源やABS政策と一部関連して、「オーストラリアのバイオテクノロジー：国家バイオテクノロジー戦略 (Australian Biotechnology: A National Biotechnology Strategy)」という国家戦略が2000年に策定されている。そのうち「生物及び遺伝資源へのアクセス」という章では、バイオテクノロジー分野でのオーストラリアの利益の増進のために、オーストラリアの海洋・陸域の生物資源の利用におけるアクセスに明確かつ透明性を持たせることが国家の目標として書かれている。そのための戦略として生物資源の所有権の持つ法的問題を解決することや、アクセスについて全国で一貫したレジームを作るなど具体的に掲げられており、バイオテクノロジー分野での遺伝資源アクセスの問題に対する関心の高さがうかがえる。

それらの事情に加えて、先住民も多数住み、先住民政策が長年進められてきたこととABS政策との関連も注目される。オーストラリアの先住民は、主にアボリジニ (Aboriginies/Aboriginals) とトレス海峡諸島民 (Torres Strait Islanders) に分けられる。アボリジニは大陸全体に先住しており、トレス海峡諸島民はトレス海峡 (大陸北東にあるケープ岬とパプアニューギニアの間) に位置する島々に先住していた。

オーストラリアは連邦国家であり、6つの州及び2つの特別区からなる。州・準州にはそれぞれ独自の政治、行政、司法システムがおかれている。つまり、オーストラリア国内において連邦政府のほかに各州、準州政府が広範な権限を有しており、それゆえ州・準州の制定する法が存在し、それらの執行についてもそれぞれ独自の省庁が所管している。

2002年、ABSについて連邦、州、準州の各政府が協調して目指すべき方向性を示した「国家統一アプローチ (オーストラリア在来の遺伝資源および生化学資源へのアクセスと利用に関する国家統一アプローチ、Nationally consistent approach for access to and the utilisation of Australia's native genetic and biochemical resources)」が策定された。これは、アクセスと利益配分に関する

立法上、行政上または政策上の措置の策定、見直しをする際に、政府のとり措を支えるものとなる。

その目標は、オーストラリアの生物多様性に由来する遺伝素材および製品の利用から生じる社会的および経済的利益の重要性を念頭に、「オーストラリアの生物多様性と自然資本を保護しつつ、その遺伝資源および生化学資源の持続可能な利用から、オーストラリアが経済的、社会的および環境的に最大の利益を得られるようにすること」である。各州政府はこの国家統一アプローチに基づき順次 ABS 法規制又は政策の導入又は検討を行っている。以下、既に法規制を導入している連邦（連邦管轄地）、クイーンズランド州、北部準州を取り上げる。

なお、オーストラリア連邦・諸州の法規制及び政策は、平成 21 年度経済産業省委託事業の『諸外国の ABS 国内法に関する調査 調査報告書』（受託者：株式会社ノルド 社会環境研究所，オーストラリア；最首・土方・藺）（http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2010fy01/0021208.pdf）に詳しいので併せて参照されたい。

② 連邦管轄地

オーストラリア連邦政府は 1992 年に生物多様性条約に署名、1993 年に批准し、これを受け、国内実施のために自然環境および生物多様性保全を目的とした包括的な枠組みである「環境保護および生物多様性保全法（EPBC Act: Environment Protection and Biodiversity Conservation Act 1999）」が成立した。この法律自体は生物多様性に関するさまざまな分野の施策の方針を網羅的に定めた枠組みである。

同法第 301 条において連邦管轄地域内にある生物資源へのアクセス管理について定めることができるとされており、これを根拠に連邦政府では「2005 年環境保護および生物多様性保全修正規則（第 2 号）（Environment Protection and Biodiversity Conservation Amendment Regulations 2005 (No.2)）」を定め、その第 8 編が連邦管轄地における具体的な ABS 法規制として機能している（2000 年に作成された「2000 年環境保護および生物多様性保全規則」の修正）。

「2005 年環境保護および生物多様性保全修正規則（第 2 号）」（以下規則）においては、その目的を、生物資源の保全推進、利益の衡平な配分、先住民の知識の認識、アクセス制度の確立、国家の利益確保、国家統一アプローチの遵守を通して、連邦管轄地域での生物遺伝資源へのアクセスを管理することであるとしている（8A. 01）。

本規則の適用範囲は、連邦管轄地域（Commonwealth Area）に限定される。

連邦管轄地域については「1999 年環境保護および生物多様性保全法」に規定がある。具体的には、連邦管轄地とは 3 つの国立公園と 3 海里以遠から排他的経済水域までの海域を指している。連邦管轄地域は陸域については国土の約 17 パーセントを占める。海域は 800 万ヘクタールであり、アクセス申請の大部分が海域であるという。海域に関しては、「大陸棚、その上部の水中、その上空」「排他的経済水域の水中、その下の海底、その上の空間」が含まれると規定されている（法第 525 条）。

「遺伝資源」については法第 528 条に定義がある。そこでは「遺伝の機能的な単位を有する、植物、動物、微生物その他に由来する素材で、人類にとって現実のまたは潜在的な価値を有するものを意味する」とされる。その上で本規則では「遺伝資源へのアクセス」を定義している。それによると「遺伝資源のアクセス」とは、「生物資源を構成するかそれに含まれる遺伝資源または生化学物質に関して研究・開発をするために、在来種の生物資源を採取することをいう」とされ、例えば研究や商品開発といった目的のために「生きている素材を採集すること、保管されている素材を分析すること、採取すること」などが挙げられるという（8A. 03）。

【事前情報に基づく同意】

事前情報に基づく同意は「生物資源へのアクセスには許可が必要である」と規定されている（8A. 06）。オーストラリアの ABS 法規制で特徴とされるのは、遺伝資源の取得を土地等へのアクセスで規制するという考え方である。

商業目的のアクセスの場合、利用者はアクセス提供者の事前の情報に基づく同意を得て利益配分協定を結ばなくてはならない。その際、アクセス提供者が事前の情報に基づき同意を与えたか否かを大臣が検討するための考慮事項が規則に列挙されている。例えば、アクセス提供者が十分な知識を有し、合理的に交渉を行えたか、十分な時間がとられたか、アクセス提供者が独立した機関から法律上の助言を受けたか否か、などが考慮しなければならない事項である（8A. 10）。

非商業目的でのアクセスの場合、申請者はアクセス提供者から、管轄地域への立ち入り、標本採取、標本の持ち出しの 3 つの行為を行うことについて書面による許可を取得しなければならない（8A. 12）。

【利益配分】

商業目的または潜在的な商業目的での生物資源へのアクセスの場合は利益配分協定の締結が義務付けられている。協定で必ず取り決められる事項や明記すべき事柄については本規則に列挙されている。

例えば、アクセスの時期や頻度の詳細、アクセス対象の資源の数量、第三者へ移転するなど標本の所有権の処分に関する合意など、最低限含まれるべき 13 項目が述べられている。

なお、アクセス提供者が連邦である場合は、当該地域に行政責任を負う連邦省の長官が、連邦に代わって利益配分協定を締結することができる。(8A. 07, 08)。

非商業目的のアクセスでは、利益配分協定の締結の必要はない。ただし、申請した生物資源を商業目的で使用する意図がないこと、収集した種の分類学上の標本および調査結果を提出すること、並びに第三者への素材移転の場合には許可を得ることなどを内容とする法定宣誓書の提出が求められる(8A. 13)。さらに、後に商業開発を目指す場合には、利益配分協定の交渉が求められる。

〔伝統的知識〕

オーストラリアにはアボリジニとトレス海峡島民といった先住民が住んでいることは既に述べた。現在、自分がこれら先住民であると認識する人は約 2 万人強存在し全人口の約 2.5 パーセントを占め、うち 9 割がアボリジニである。そこで ABS 政策において先住民への配慮は重要な論点の 1 つとなっている。

本規則では TK (伝統的知識) にかえて先住民の知識 (indigenous people's knowledge) という用語が使用されているが、その定義はない。本規則に基づくアクセス許可申請のために提出すべき情報のひとつとして「アクセスする生物資源や場所の決定に先住民の知識が利用されるかどうか、また、その知識の利用に関する契約の詳細」が挙げられており、先住民の知識の保護が図られている (17. 02)。

また、先住民の土地権については「1993 年先住権原法」(Native Title Act 1993) で定められているが、それとの調整もされている。すなわち、規則では「大臣は、許可を発行すること、許可に伴う条件を変更すること、または許可条件を追加することが、1993 年先住権原法に基づく無効な将来的行為にはならないことを確信する場合にのみ、当該行為を行うことができる」と規定されている。なお、どのような場合に大臣の行為が上記の「先住権原法に基づく無効な将来的行為」に当たらないことを確信できるか、その基準も本規則で列挙され示されている (17. 03B)。

③ クイーンズランド州

クイーンズランド州はオーストラリアの中でも自然が多様な州の 1 つであり、

熱帯雨林生態系から乾燥熱帯生態系、サバンナや牧草地生態系まで幅広い生態学的地域が存在する。種の多様性で見ると、オーストラリア在来種のうち、哺乳類で 70 パーセント、鳥類で 80 パーセント、爬虫類、両生類、植物類の 50 パーセント以上が存すると言われる。また、グレートバリアリーフやフレイザー島、湿潤熱帯地域など、世界自然遺産や国立公園を多数擁する。

このように恵まれた自然環境と豊富な自然資源を背景に、州政府はバイオ産業の育成を目的として、生物多様性の保全と持続的利用において指導的立場をとってきた。その結果、クイーンズランドはオーストラリアで最も早くバイオプロスペクティング活動を規制する法制を導入した。これが、「バイオディスカバリー及びその他の目的のための州に固有の生物資源を採集し及び利用することに関する法律 (2004 年バイオディスカバリー法、Queensland's Biodiscovery Act 2004)」である。この法律は、クイーンズランド州の生物多様性に関して、生物素材のバイオプロスペクティング活動を規制するものとして、2004 年に発効した。

地域社会への公正かつ衡平な利益の還元と同時に、生物資源の持続可能な利用の両立を目指しており、州内の生物資源の調査や商業化の進展により利益が拡大することを奨励している。つまり、環境保全の目的のために許可制度を採用する一方で、許可申請から認可に連なる一連の手続きを明確化・一本化することで、開発活動を促進する目的をも有しているのである。

法の目的は (a) 生物資源に関し、バイオディスカバリーに必要な最小限の量でのアクセスを促進すること、(b) 付加価値の高いバイオディスカバリーの発展の奨励、(c) バイオディスカバリーによる利益の公正かつ衡平な配分、(d) 生物多様性に関する知識の充実と固有の生物資源の保全及び持続可能な利用の促進、の 4 つである。これらの目的は、以下の 3 点を規定することで達成されるとしている。すなわち (a) 効率化された枠組み (州に固有の生物資源を、持続可能な方法で、バイオディスカバリーを目的として採取し、利用するための規制上の枠組み、及び、バイオディスカバリー事業体と締結する利益配分協定に関する契約上の枠組み)、(b) 固有生物素材の採集に関する遵守規約及び採集実施要綱、(c) この法律の遵守の監視及び励行、の 3 点が列挙されている。

対象としているのは商業的アクセスであり、非商業的アクセスは本法の規制の対象外である。また、バイオディスカバリーの許可や利益配分協定の規定は州にのみ適用されるものであり、私有地や先住民による先住権原が設定されている土地は適用対象外となっている。

また、「遺伝資源」という用語の定義はおいていないが、「バイオディスカバリー研究」という語を定義することでこれを補い、規制を行っている。附則によると「バイオディスカバリー研究」とは「固有生物素材の商品化を目的とし

て行う当該素材の分子、生化学または遺伝の各情報の分析をいう」とする。

〔事前情報に基づく同意〕

バイオディスカバリーのための採集許可は、環境資源管理省（Department of Environment and Resource Management : DERM）という機関が発行する。一方、利益配分のための協定は、雇用経済開発イノベーション省（Department of Employment, Economic, Development and Innovation : DEEDI）との間で締結する必要がある。このように、異なった機関に対する要件が 2 つ課されるのである。バイオディスカバリー法にはその手続き的な側面が記されている。

採集許可は、それを有するものに対し、定められた固有生物素材の最小限の量を、州有地または領水において、バイオディスカバリーのために採取し、これを保持することを認めるものである（10 条）。許可の条件は、17 条に定める。それによると、当該素材に関する利益配分協定の実施、遵守規則または採集実施要綱の規定の厳守などが、採集許可を得る際の必要な条件となる。

申請する際は指定の様式に従い、申請料、登録料とバイオディスカバリー計画の写しも添付して提出する（11 条）。申請に関する指定の様式には、氏名や営業地など申請者に関する情報のほか、当該素材を特定するのに十分な説明や採集許可を求める期間などの記載が含まれる（12 条）。申請は条件付、または無条件で許可されるか、却下されるかのいずれかである（14 条）。却下された場合、納付した登録料は返還される（15 条）。

〔利益配分〕

バイオディスカバリー法は、環境保護と資源開発という、相反する側面を両立させようとしており、利益配分の問題は後者の機能を担っている。この法の下では、利益配分協定は州と結ぶものをさす。バイオディスカバリーを実施しようとする事業体は、はじめにその計画書を作成し、DEEDI の承認を求めて提出する。

提出する計画には、実施を計画している商品化活動や、州に提供すると合理的に考えられる利益などが含まれる（37 条）。申請は条件付、または無条件で許可されるか、却下されるかのいずれかである（39 条）。計画書が承認された場合、利益配分協定を締結することになる。

協定には、協定の締結日、協定の期間、州に提供されるバイオディスカバリーによる利益、利益が提供される時期、金額の算定方法、当該素材の採集許可番号、その他報告すべき事項、バイオディスカバリー事業体の営業地、のすべてが明示されていなければならない（34 条）。また、協定の条件として、事業体が行うことができる商品化活動は承認されたバイオディスカバリー計画に列挙

された活動に限られること、バイオディスカバリーを目的として生物素材を別の者に使用させてはならないことも述べられている（35条）。

なお、利益配分協定は紛争が生じた場合には州の裁判所に訴えることができる法的拘束力のある契約である。また、利益配分協定は州にのみ適用されるものであるため、私的土地の所有者や先住権原による排他的占有権の保有者には適用されない。

〔法の運用〕

バイオディスカバリー法の規定を根拠に作成された規約や要綱、本法の運用に直接かかわる運用規定などがいくつか存在する。まず、「遵守規約(Compliance Code)」は、バイオディスカバリー法第6編第44条を根拠に作成された。この規約は採取許可に基づいて採取を実施する際に遵守すべき最低条件を定めており、許可を得た採取に携わる者全員が遵守すべきものであるとされている。

本編の内容は、倫理的行動や注意義務などの「一般的条件」、試料の同定・管理における注意点や採取される生物の性質や採取方法に応じた注意点や規制を述べる「活動別条件」、EPA（Environmental Protection Authority）が所有・管理する土地または水域での採取に関する「EPA 管理地の条件」の3つに大別され、さまざまな場合のサンプル採取活動を想定した内容となっている。例えば、許可所持者は採集許可の発行前か発行後にできるだけ速やかにアクセス協定を交渉しなければならないが、アクセス交渉は採集許可申請前に行うことが強く推奨されることや、採集の条件として人間や野生生物、家畜などを危険にさらさないようにする注意義務が発生することとその義務内容、試料への迅速なラベリングの要請や、識別番号のつけ方などの内容が、かなり詳細にわたって指示されている。

加えて、遵守規約には法及び規約の適用範囲が具体的に記されている。それによると、バイオディスカバリー法及び遵守規約はクイーンズランド州の州有地及び領水におけるバイオディスカバリーのための在来生物資源採取に適用され、そこにおける「在来生物資源」には、オーストラリア在来の植物、海草、動物、昆虫、海棲動物、微生物（菌類、バクテリア、古細菌、ウイルスなど）などが含まれるほか、生物活性を有する化合物や微生物を得ることのできる土壌または水も含まれるという（1.3 遵守規約の適用）。

次に、「採集実施要綱(Collection Protocol)」は、バイオディスカバリー法第6編第45条で規定された文書である。これは、特定の種や地域での採集活動に関する、より詳細な規定を定めている。例えば、採取地域における車両の使用についてや、採取時期、機械や道具ではなく手を使った採取方法の定めなど、その内容は非常に細かい部分に及んでいる。

また、「運用方針（Operational Policy）：バイオディスカバリーの判断」は、当該活動が法に定めるバイオディスカバリーに相当するかどうかの判断を担当官が行う際の基準を定めた文書である。前述の遵守規約に加えてこの文書を読むことによって、活動の際にバイオディスカバリー採集許可の発行が必要であるか判断される。運用方針を定めた部分では、バイオディスカバリーに含まれるものの要素や、含まれないものの例示が記されている。例えば、バイオディスカバリーに含まれるものには「生きているまたは死んでいる少量の在来生物素材の採集」「在来生物素材の分子上、生化学上、または遺伝上の特性の分析」「上記分析から生じる成果物や知識の商業化」などのいくつかの要素が含まれるとされる。逆にバイオディスカバリーに含まれないものは、園芸や種や生物丸ごとの商業化、分析や開発を伴わない販売目的採集、商業化を伴わない研究などである。

④ 北部準州

北部準州はオーストラリアの州・準州の中で 3 番目に大きい面積を占めるが人口は最も少なく、約 21 万人である。そのうち、先住民人口は約 6.6 万人と人口比率の約 30 パーセントを占め、他の州に比べて突出して高い。そのため先住民政策が重要な意義を持っている。また気候は南北で全く異なり、北部は熱帯地域、オーストラリア大陸中央部にあたる準州南部は半乾燥地域で砂漠が広がっている。ユーカリ林、乾燥地灌木林、マングローブ林、ヒースランド、湿地などの自然景観が見られる。カカドゥ国立公園や、ウルル及びカタ＝カジュタ山を有するウルル・カタ＝カジュタ国立公園の 2 箇所が 1980 年代に世界複合遺産として登録された。

先住民であるアボリジニは植民地化の際に土地権を奪われ、権利の回復が求められてきた。アボリジニの伝統的な土地所有の概念では、コミュニティの活動範囲となる土地は必ずしも一般的な意味で「所有」されているわけではない。彼らは集団で季節ごとに一定の地域を移動しながら生活しており、その移動範囲を觀念上所有する。その觀念上所有する土地の中には、彼ら自身が一度も訪れたことのない土地も含まれること、また、土地の利益を享受する彼らの集団自体固定的でないことから、長らくアボリジニは土地権が認められてこなかった。

しかし 1976 年、北部準州アボリジニ土地権法（Aboriginal Land (Northern Territory) Rights Act 1976(Cth)）が成立し、北部準州におけるアボリジニの土地所有権が認められることになった。この法の下、アボリジニによって構成さ

れる土地信託法人が土地を所有する形式がとられた（アボリジナル・ランド）。また、土地評議会（Land Council）が先住民を代表して土地を管理することが規定されている。1993年には先住権原法（Native Title Act 1993(Cth)）が制定され、先住民の土地権が認められることになった。先住権原は、先住民がその土地における利益（経済的・精神的利益）を享受する権利を行使するための法的な根拠となる。ただし、居住、商業等ですでに他者が土地権を保有している場合はそれを制限する先住権原は認められない。以上のような先住民政策は、ABS政策においても随所で生かされている。

北部準州では、2002年の国家統一アプローチへの署名をきっかけに、ビジネス雇用省（Department of Business and Employment）が中心となってABS法の制定に向けた検討が開始され、農業・放牧業の土地関係者や一般市民など多くのステークホルダーの意見を聞いたうえで、2006年に生物資源法（Biological Resources Act 2006）が制定された。これは、事前の情報に基づく同意および利益配分協定締結のための、詳細な法律となっている。

生物資源法でははじめに「本法は準州内におけるバイオプロスペクティングを促進することを目的とする」とされ、この目的を達成するための方針が定められている。すなわち、(a) 生物資源の保全および生態学的に持続可能な利用の促進、(b) バイオプロスペクティングに従事しようとする者に対し確実性を確保し効率的なアクセス体制の確立、(c) 衡平な利益の配分を確保する利益配分協定を締結するための協定枠組みの確立、(d) 生物資源について先住民が有する特別な知識の評価、(e) 生物資源利用から生じた利益が確実に準州にもたらされるようにすること、(f) 国家統一アプローチへの貢献、である（3条）。

地理的適用範囲としては、準州全土（準州の上空、水域、及び水域の下にある海底または河床を含む）とされる。それに加えて、「準州原産の生物資源に関しては、議会の法的権能の域外適用の及ぶ範囲で、準州以外にも適用される」とする（9条）。

第4条から第5条にかけて、用語の定義がされている。「生物資源（biological resources）」は「遺伝資源、生物又はその一部、個体群、その他生態系のあらゆる生物的な構成要素で、人間が現に使用している、潜在的に使用する、又は価値があるものを含む」とされる。その上で、「遺伝資源（genetic resources）」は「遺伝の機能的な単位を有する、植物、動物、微生物その他に由来する素材で、人類にとって現実の又は潜在的な価値を有するものを意味する」と定義されている。

さらに、生物資源法では遺伝資源アクセスにかかわる一連の行為を、バイオプロスペクティング（生物資源探査）とバイオディスカバリーとに分けて定義している。バイオプロスペクティングは生物素材の採集活動を指し、バイオデ

イスカバリーは収集した生物素材から遺伝資源および生化学物質を抽出、調査する行為を指している。すなわち「バイオプロスペクティング (bioprospecting)」は生息域内 (in situ) に存在している、または生息域外 (ex situ) コレクションとして保持されている生物資源について、それらを構成または、それらに含まれる遺伝資源や生化学化合物に関する研究のために試料を採取することをいう」(5 条) のに対し、「バイオディスカバリー (biodiscovery)」は「人間にとって現実のまたは潜在的な価値を有する遺伝資源または生化学的資源の発見および利用のための、生物資源の試料またはそれらの抽出物の調査を意味する」(4 条) と定義されている。

〔事前情報に基づく同意〕

事前情報に基づく同意については、「準州内でバイオプロスペクティングに従事しようとする者は、適切な許可発行当局に許可申請をしなければならない」(11 条) と定められている。許可発行当局が申請を受領し、当該活動がバイオプロスペクティングであると考えられ、許可発行の適切性を確信する場合は、その申請は本法を所管する政府機関の主席執行官 (Chief Executive Officer : CEO) に付託される (12 条)。

CEO は申請を審査し、申請された活動計画がバイオプロスペクティングに当たる場合は利益配分協定の検討に移る (13 条)。このとき、資源アクセス提供者の性質によって 2 つの場合が考えられる。

1 つ目は、資源アクセス提供者が準州であるときである。この場合は、CEO は準州を代表して申請者と利益配分協定を締結する責任者となる (16 条)。CEO は、利益配分協定の条件が準州にとって公正であると確信しない限り、協定を締結してはならない (17 条)。利益配分協定が締結されない場合は、CEO はその事実を許可発行当局に通知し、当局は許可発行を取り下げることになる。

2 つ目は資源アクセス提供者が準州ではない場合である。この場合、資源アクセス提供者と申請者は CEO に対し、要件を満たす利益配分協定が交渉され締結されていることを明示しなければならない (19 条)。そしてその際、CEO は、資源アクセス提供者が事前の同意に基づく同意を付与していると確信していることが必要であり、そのための判断基準も本法に列挙されている (28 条)。

なお、いずれの場合も CEO は、必要な判定基準を満たす利益配分協定が締結されていることを確信する場合、その事実を許可発行当局に通知する (20 条)。CEO から通知を受けた許可発行当局は、適切と考える条件に基づき、申請者に生物資源採集の許可を発行することができる (21 条)。

〔利益配分協定〕

利益配分協定締結のための詳細な規定は27条以下におかれている。本法では、利益配分についてバイオプロスペクターと資源アクセス提供者は利益配分協定を締結しなければならないと定められている（27条）が、その内容についても定めている。すなわち、「利益配分協定では、利用される先住民の知識があればそれに対する保護、認識、価値評価を含む合理的な利益配分規定を定めなければならない、また以下を含めなければならない」として、協定に含めるべき11項目を挙げている。例えば、当該地域への立ち入りの時間や頻度の合意内容、合意した資源名や資源量、アクセス提供者が資源採集に対して受領する利益の詳細、などを協定に記す必要があるとされる。

〔遡及的利益配分協定〕

本法で特徴的なのは、遡及的な利益配分協定の締結と出所証明の発行が認められている点である。すなわち、同法律に基づく許可なしに取得した生物資源、具体的には本法に従わずに採取された試料か、当初バイオディスカバリー以外の目的で採取されたが後になってバイオディスカバリーに利用される試料がある場合に、一定の手続きを行うことでその試料を本法の下で適法なものとして扱うことができるのである。ここでは、試料についての情報をCEOに提供し、試料アクセス提供者と利益配分協定を締結することで、CEOが適切であると判断する限りにおいて出所証明が発行され、試料の遡及的な合法化（legitimising）ができることとされる（30条）。

〔先住民及び伝統的知識〕

生物資源が存在する土地の種類に応じてアクセス提供者を規定し、特定の場合に先住民が利益配分協定の相手方となるよう法で定めている。すなわち、資源がアボリジナル・ランドに存在する場合は、アクセス提供者は単純不動産権の保有者（この場合はアボリジニ土地信託法人）、先住民共同体居住区については単純不動産の保有者、先住権原の対象となる土地については登録されている先住権原法人が、それぞれ利益配分協定の相手方となる（6条）。

また、先住民の知識の利用についての規定も具体的に示されている。まず、法の目的において、「準州の生物資源について先住民が有する特別な知識を認めること」と定められている。その上で、利益配分協定においては「利用される先住民の知識があればそれに対する保護、認識、価値評価を含む合理的な利益配分規定を定めなければならない」として、先住民の知識の保護と正当な評価に基づく利益配分を生物資源探査者に求めている（29条）。

(6)ニュージーランド

ニュージーランドは、2つの主要な島（ノースアイランドおよびサウスアイランド）と多くの小さな島々からなる島国である。国土の総面積は26万8680平方キロメートル、総人口は436万人である。長い間孤立した島であったため、動植物はユニークな進化を遂げており、在来種の多くが他の地域で見つけることのできない固有の種であるといわれている。これまでに、ニュージーランドにのみ生息するコウモリ、カエル、爬虫類、昆虫類、海洋の軟体動物、鳥類、維管束植物などが発見されている。

ニュージーランドの先住民「マオリ」は2006年の国勢調査によると総人口の14.6パーセントに達するとされている。これは、他国における先住民の割合と比べても非常に高い数字であり、そのために同国では政策におけるマオリの参画手続きや、彼らの意見の反映されやすい制度が整備されている。

マオリの知識、先住民の有する動植物にかかわる権利に関する請求が1991年にワイタングィ審判所に提出され、マオリと知的財産権に関する問題提起が行われた（Wai262請求）ことも、マオリの文化に配慮した法改正を促すきっかけとなってきた。ワイタングィ審判所は、マオリからの請求を受けて、立法、政策、その他の行為がワイタングィ条約に定められた原則・理念に合致するか否かについて調査を行い、結果を国王に勧告する。Wai262は提出された諸論点を、マオリの伝統的知識、文化財、知的財産権及び文化財に関する権利、環境・資源及び保全マネジメント（マオリが有する遺伝資源へのアクセス等）として分類し、1998年に聴聞を開始、2001年に終了した。最終的な聴聞は2007年に終了し、2011年により判決が下された。他方、こうした動きを受けてこれに先立つ形で、知的財産法の分野においてマオリの文化等に配慮した法改正が進められている。

ニュージーランドでは現在のところ統一的なABS法制度は確立されていない。生物多様性の保全・管理等に関連した法はいくつも存在する（例えば、1934年在来植物保護法、1953年野生生物法、1971年海洋保護法、1978年海洋哺乳類保護法、1991年資源管理法、1993年バイオセキュリティー法、1996年漁業法、2004年前浜および海底法、など）ものの、これらの重点は生物多様性や資源の「保全」にあり、ABS法制度の色彩は薄い。

ただし、ABS政策の必要性は強く認識されており、策定に向けた取り組みが実施されている。2000年の生物多様性国家戦略策定の際にはバイオプロスペクティングに関する統一的法制度の必要性が認識され、経済開発省（Ministry of Economic Development）によるコンサルティング、バイオプロスペクティングの現状に関する情報収集、議論の促進、マオリの伝統的知識の利用の現状など

の問題を検討するために、ディスカッションペーパー（バイオプロスペクティング：ニュージーランドのための利益の活用(Bioprospecting：Harnessing Benefits for New Zealand)）」を作成しパブリックコメントを求めた。このディスカッションペーパーはウェブ上でも公開されている。それによると、重要な論点として「ニュージーランドの生物資源やバイオプロスペクティング経験についての情報」「ニュージーランドの生物資源へのアクセスに関する現行制度」「包括的なバイオプロスペクティングの枠組みの必要性とその内容」「マオリの伝統的知識について」「バイオプロスペクティングの国際的な枠組み」が述べられている。

事前情報に基づく同意については、基本的な要件が項目として挙げられている。例えば、提供国の権限ある国内当局の同意の取得や、国内法に従った関連する利害関係人の同意の取得などがある。また、相互に合意する条件の基本的な要件としては、モデル協定の開発や合理的な期間内における交渉の定めなどが挙げられている。なお、ニュージーランドにおける ABS 関連の議論では「ABS」という用語ではなく、「バイオプロスペクティング」という用語が主として用いられている。ディスカッションペーパーでも政策の対象範囲は「バイオプロスペクティング」に設定され、その定義を「商品開発を目的として行う、生物素材の収集、その素材の性質、その分子上、生化学上又は遺伝上の内容に係る分析をいう。バイオプロスペクティングに関する政策は、一連の製品開発の後の段階については除外する」と定めており、商業目的を有するもののみを対象とする方向で議論が進んでいたことがわかる。

2008 年にはバイオプロスペクティング政策について更なる議論を行うために、経済開発省は 4 つの事項にかかわる作業部会（CBD の下での国際的な ABS 交渉にかかわる事項、バイオプロスペクティングがもたらす利益、知的財産権および伝統的知識、定義問題の海外の先例）を設置し検討を行った。その結果、政策の対象を「バイオディスカバリー」とし、その定義には「知識構築を目的とした生物素材の採集及び分析、並びにさらなる応用及び／又は商業価値の可能性のある特性の同定を目的とした発見及びイノベーション」を含むとした。

ここでは、商業的活動以外も含みうる定義となっていることがわかる。これをベースに政策の適用範囲や重要項目について議論を行い、現在検討が進められている段階である。またその後も経済開発省では、ニュージーランドバイオ会議（NZBIO）など関連する会議で担当者が発表を行い、その資料を公開するなど継続的な啓発に努めている。今後のステップとしては ABS 政策と先住民政策、国際知的財産制度の調和を保ちながら枠組みを構築していくとしている。

なお、ニュージーランドの動向については、平成 21 年度経済産業省委託事業の『諸外国の ABS 国内法に関する調査 調査報告書』（受託者：株式会社ノル

ド 社会環境研究所, ニュージーランド ; 田上) に詳しいので併せて参照されたい (http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2010fy01/0021208.pdf)。

(7) アメリカ合衆国

アメリカは現在まで、自国産業や技術への影響の懸念を理由に生物多様性条約に加盟しておらず、ABS に関する一貫した仕組みも持っていない。しかしながら国内には世界最大の遺伝資源を有しており、ジーンバンクやデータベースが充実している。

米国生物多様性国際協力グループ (International Cooperative Biodiversity Groups : ICBG) は、契約ベースの ABS プロジェクトに取り組んでいる。ICBG は、産官学の連携グループで、米国政府の 3 つの機関 (国立衛生研究所、国際開発庁、国家科学財団) が財源を拠出している。その目的は、①新規な医薬探索に関する事項、②天然物資源の特性の解明による生物多様性保全への応用、③開発途上国の経済発展への援助、④開発途上国での科学教育、開発途上国への科学技術移転等の国際協力推進、である。各グループは、アメリカの大学、製薬会社、資源保有国の研究機関、地域団体、NGO と協力して研究や開発活動する。

1993 年から中南米、アフリカ、東南アジア、中央アジアなどの地域で数々のプロジェクトを行ってきた。その際、その都度様々な形態でアクセス契約を結び、利益配分も定めてきた。たとえば、ロイヤリティーの支払い及びその配分、融資援助、キャパシティービルディング、インフラの整備や技術支援などの内容が、それぞれのプロジェクトごとに取り決められている。(平成 15 年度「経産省・JBA アクセス促進事業報告書」108 頁参照)

海洋に関しては、調和の取れた包括的な国家海洋政策のための助言を行う委員会を設立することを目的としている 2000 年海洋法 (Ocean Act of 2000) で、海洋生物資源の持続可能な利用を促進することを委員会の目的のひとつとして定めている (2 条 4 項)。

(8) カナダ

カナダは ABS の制度、ルール策定の途上にある。全国的に ABS を一般的に扱う法律はまだ制定されておらず、連邦政府、州政府それぞれ矛盾のない政策を採ろうと努力しているという。カナダの現在の政治権力は連邦と州に分かれ

ている。連邦政府の責任範囲は国家的重要事項、安全、防衛、貿易、国際関係、海洋、漁業、原住民等であり、連邦政府の責任範囲以外の事項及び天然資源の管理は州政府の責任下にある。淡水（河川）は州政府の管轄下であり、淡水の動物・植物はすべて州政府であるが、サケやマスの遡上経路については連邦政府の責任である。

また、土地は連邦政府管轄地、州政府管轄地、先住民管轄地、準州、私有地に分けられる。公園や保護区以外の州政府や連邦政府の土地において、ABS に関しての許可は不要である。原住民所有地及び準州政府の土地は、ABS について独自の規制をおいている。原住民所有地は州の中にあり、原住民と協定が結ばれ彼らが居住しさまざまな権利を与えられている土地であって、非常に複雑である。なお、私有地では所有者の許可を得てアクセスすることになる。連邦政府、州政府の区別のほか、連邦政府内部でも省によって異なった分野と責任がある。ナショナル・フォーカルポイントである連邦政府にコンタクトを取ればそれぞれのアクセスでどこへ行けばよいかわかる。（平成 21 年度「経産省・JBA アクセス促進事業報告書」54-56 頁参照）

前述のようにカナダでは ABS を統一的に扱う制度はまだ存在しない。2005 年に出版された「カナダの ABS 政策（ABS Policy in Canada）」という小冊子も、ガイドラインやルールではなく、問題点の列举にとどまっている。カナダにおける ABS 政策を形作っていく際の基本原則は「カナダの ABS 政策の基本原則及び特徴（Guiding Principles and Features of ABS Policies in Canada）（2006 年）」にあらわれている。そこでは 7 つの項目が挙げられている。すなわち、ABS 政策での環境重視、実践的で経済的にも貢献すること、複雑でなく効率的で順応的であること、政府の法律や政策に貢献しそれを補完すること、釣り合いが取れており衡平・透明であること、包括的であること、管轄権の尊重と ABS 政策の発展における管轄権間の協力の考慮、の 7 つである。

また、カナダ政府の正式な政策として採択されたものではないが、2010 年には連邦、州、準州が連携して国内政策指針案として「21 世紀における遺伝資源の管理」が作成されている。

一方、海洋にかかわる法律には、遺伝資源という語を用いたり、利益配分や事前同意について定めたものはみられないものの、排他的経済水域、大陸棚における主権的権利と生物資源についての記述が若干見られる。1996 年制定の海洋法（Oceans Act）では、「カナダ政府は・・・海底のすぐ上、海底または底土の水中にある生物または無生物の探査、開発、保全、管理のために、カナダの排他的経済水域における主権的権利を持つ（第 14 条 a）」「カナダ政府は、海底あるいは底土の鉱物その他無生物資源、または定住性の生物、すなわち、移動できないか、大陸棚の下底土に住むか、大陸棚の海底か底土に常に触れつつ

でなければ移動できない種の生物の、探査、開発、保全、管理のために、カナダの排他的経済水域における主権的権利を持つ（第 17 条）」とされる。

また、2002 年に発表された「海洋戦略（Oceans Strategy）」でも、海洋生態系の潜在的価値が認識されている。「海洋戦略」は、政府による海洋ガバナンスにおける展望と方向性を示した戦略であり、その目標は、健康で安全かつ豊かな海洋の確保と、現在及び未来世代のカナダ国民がその利益を享受できるようにすることである。この中で「カナダ海洋戦略の背景」と題され海洋国家を目指す目標が記されている部分に「カナダの海洋の豊かさと生物多様性は、現在及び未来の世代にとって莫大な潜在的価値を有している。海洋生態系には際立った種の多様性、たとえば、商業的、非商業的魚類、海洋哺乳類、無脊椎動物、植物などがある。」と記されており、カナダが自国内の海洋生物資源の持つ潜在的価値を認識していることがわかる。

なお、カナダの動向については、平成 21 年度経済産業省委託事業の『諸外国の ABS 国内法に関する調査 調査報告書』（受託者：株式会社ノルド 社会環境研究所，カナダ；田上）に詳しいので併せて参照されたい（http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2010fy01/0021208.pdf）。

（9）イギリス

イギリスは 1994 年から生物多様性条約の締約国である。2005 年にはステークホルダーから ABS 対策実施の現状を聞き取り、レビューをまとめている。これに従い、ABS に関する認識を高め、ステークホルダーを巻き込んでいく政策が模索されている。

イギリスは従来、ステークホルダーによるボンガイドラインの自主的な遵守を強く主張し促進している。多くの国内機関がボンガイドラインにしたがって ABS に関するベストプラクティスの規約を開発してきている。

実務レベルではキューガーデンが既存の国際法的枠組みに従った ABS 合意、つまり PIC や MAT を定めたポリシーを定めてこれを遵守している。キューガーデンは、世界 21 カ国に所在する 28 の植物園が策定した「Principles on Access to Genetic Resources and Benefit Sharing」に基づき「Policy on Access to Genetic Resources and Benefit Sharing」を作成し、これに即した活動を行っている。キューガーデンは、世界 40 カ国以上にわたる植物園や学術機関と連携して活動を行っているが、こうした活動では通常は書面による契約を締結する。契約には、当事者がどのような活動を行うか、また利益配分はどのような形にするか等が規定される。通常は、キューガーデンは、素材を非商業目的のみに

使用すること、他者に提供する際の条件等が規定されるという。(平成 17 年度「経産省・JBA アクセス促進事業報告書」234 頁参照)

貿易産業省の技術戦略委員会による「バイオサイエンス技術戦略 2009-2012 (Biosciences Technology Strategy 2009-2012)」がバイオサイエンスの面からイギリスの生物資源、特に海洋生物資源の重要性に言及している。技術戦略会議は、イギリスの技術革新を管轄する機関であり、技術研究とその発展、商業化を促進、支援し投資する。また新しい技術革新に対する障壁を除去し、潜在的利益のある技術の領域を後押しし育てる役割を担う。

バイオサイエンス技術戦略には、海洋生物資源の産業技術発展への有効利用を期待した記述が見られる。たとえば、「イギリスは、生化学の強固な基盤を持っており（特に・・・生物触媒、植物科学、海洋有機体と菌類学について世界をリードしている）、様々なビジネスの機会を利用できる位置にある（7 頁）」「イギリスは産業バイオテクノロジーについて重要な位置を占めているが、これは、化学、農業及び海洋のセクターがしっかりしていることによるところが大きい。たとえば、イギリスの海洋遺産、長い海岸線と、多様な海洋生物への容易なアクセスは、様々な企業を助け、施設の設立を促してきた（17 頁）」といったように、海洋及びそこから得られる生物資源が科学技術の発展に寄与することが認識され明らかにされている。

(10) ノルウェー

ノルウェーの面積は 38 万 6 千平方キロメートル、人口は約 450 万人であり、海外領土としてスバルバル諸島、ヤンマイエン島 (Jan Mayen) などがある。緯度が高いがメキシコ湾流の影響で比較的温和であり、南北に長い国土を持ち、大部分は標高の高い高原である。広大な氷河、大西洋岸のフィヨルド、国土の 4 分の一を占める森林、といった地理的特徴を有する。

i) ABS 法規制

ノルウェーは、1992 年 6 月に生物多様性条約に署名し、1993 年 7 月にこれを批准している。これを受け 2009 年 7 月には、「生物学的、地質学的、及び景観上の多様性に関する法律 (略称: 自然多様性法)」(Act of 19 June 2009 No. 100 Relating to the Management of Biological, Geological and Landscape Diversity (Nature Diversity Act)) が施行された。また、2009 年 1 月に施行された「野生海洋生物資源の管理に関する法律 (略称: 海洋資源法)」(Act of 6 June

2008 no. 37 relating to the management of wild living marine resources (Marine Resources Act)) は、特に対象を海洋の生物資源に限定した ABS 関連法として機能している。そのほかには、ノルウェー特許法 2004 年改正および 2009 年改正において、特許出願時の遺伝資源の出所開示を定めている。

なお、自然多様性法及び海洋資源法については、平成 21 年度経済産業省委託事業の『諸外国の ABS 国内法に関する調査 調査報告書』（受託者：株式会社ノルド 社会環境研究所，ノルウェー；藺）に詳しいので併せて参照されたい（http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2010fy01/0021208.pdf）。

ii) 自然多様性法

ABS 法規制の中心となっている自然多様性法では、全 10 章のうち第 7 章が遺伝資源へのアクセスに割かれている。法の適用範囲、PIC 手続き、違反の場合の制裁、遺伝資源の出所開示などに加えて、ノルウェーが遺伝資源の利用国となる場合の措置も定めている点が特徴である。この法の下で最高の権限を持つのは国王であるが、実質的に ABS に関して権限があるのは環境省（Ministry of Environment）である（Sec.58,62,63）。

この法は、「ノルウェーの陸域の領土、河川、領海に適用される」と地理的適用範囲が定められている。また、本法第 7 章は特に、「スバルバル諸島およびヤンマイエン島に適用される」とされている。さらに、57 条、58 条については大陸棚、経済水域についても適切である限り適用されるとしている（Sec.2）。なお、遺伝資源は本法では「遺伝素材（genetic material）」と表現されており、その定義は「生物的素材のうち、遺伝子その他の遺伝的な素材であって、技術の助けなしにあるいは技術の助けを借りて、他の生物に移転させられるもの。ただし、人間の遺伝素材を除く」とされている（Sec.3）。

〔事前情報に基づく同意〕

事前情報に基づく同意の手続きは、第 58 条に規定がある。自然環境から得られる生物素材の採取および利用には、環境省の許可が必要とされている。ひとたび許可が得られれば、その後の利用の際に再び許可が必要になるということはないが、当該素材および素材から得られた結果を手にした者もこの許可の条件に従う必要がある（Sec.58）。

国王は、地域社会や先住民の知識の利用などを含め、申請にどのような情報の提出が必要とされるかといった事柄を規則で定めることができる。あるいは、ノルウェーの管轄下の自然から得られた遺伝素材の利用による利益はノルウェー

一に対して生ずるといった条件も、規則で定めることができる。また、土地所有者や先住民、地域共同体の利益の保護についても定めることができるとされている（Sec.58）。

〔公的コレクションの遺伝資源〕

遺伝素材の公的コレクション（国家により管理されている素材で、一定の条件でのアクセスがすべての人に認められているもの）を対象とした規定が置かれている。公的コレクションに供するための採取は第 58 条の許可の入手を必要としない（57 条）。しかしながら、公的コレクションにある遺伝素材を管理している者は、そのコレクションの移動を登録し、そうした情報を公にする義務を負う。

また、公的コレクションから得た素材に由来する知的財産権やその他の権利の主張は、その素材が本質的に変化するほどの改変を加えられていない限り、ノルウェーの国内外を問わず避けるべきであることが述べられている。仮にこの規定にかかわらず知的所有権が設定されてしまった場合、権限ある当局は、第 57 条の目的を達成するために法的な手段を含めた対策をとることができる（Sec.59）。

〔利用国措置〕

国外に由来する遺伝素材や国外に輸出する遺伝素材についても、その国が採集や輸出について同意を要求している場合は、それに従った同意手続きを経ていることが必要とされる。

また、遺伝資源がノルウェー国内で学術または商業利用される場合、もともとその素材が入手された国（提供国）の情報も必要とされる。提供国の国内法が生物素材の採集について同意を要求している場合、その同意が得られたという情報も付随している必要がある。さらに、国外からの遺伝資源が原産国から入手されたのではない場合、原産国も明らかにする必要がある（原産国とは、その素材が生息域内から得られた国をいう）。その原産国が国内法で遺伝資源の採集に際して同意を要求しているときは、その同意が得られたか否かも明らかにする（Sec.60）。

iii) 海洋資源法

海洋資源法は、海洋でのバイオプロスペクティングについての規定が含まれる。この法は、野生海洋生物資源とそれらに由来する遺伝素材を、持続的かつ

経済的に有益に管理することを確保し、また沿岸域共同体を支えることを目的としている (Sec.1)。そして野生海洋生物資源はノルウェー社会全体の所有に属することを前提としている。

法の対象は、海洋野生生物資源のすべての収穫物およびその利用、またそれらに由来する遺伝素材 (genetic material) である。海洋野生生物資源とは、ライフサイクルの一部または全部を海で過ごす魚、海洋哺乳類、および植物その他海洋性生物で、海中、海底上、海底下に生息しており個人の所有に属さないものをいう。ただし、サケ科の遡河性魚類については他に規定する法律が存在するため適用されない (Sec.3)。

法の地理的な適用範囲は、ノルウェーの船舶上、ノルウェーの領土 (スバルバル島とヤンマイエン島を除く)、領海、内水、ノルウェーの大陸棚上、経済水域であると規定されている (Sec.4)。またこの法は地理的適用範囲内におけるすべての者に適用される (Sec.5)。

この法の全 13 章のうち「海洋バイオプロスペクティング」と題された第 2 章が、海洋遺伝資源の利益配分に関する規定を含むものとなっている。国王は、海洋のバイオプロスペクティングに関連する海洋資源採取や調査について、漁業省の許可を要する旨を規定することができる。この規定は、適切である限りにおいて海洋バイオプロスペクティングに適用される。また国王は海洋のバイオプロスペクティングについての行政規則を採用することができる。特に、本法の義務からの免除規定、提出書類の要求する情報、さらなる規定の追加について定めることができるとされる (Sec.9)。

次に、本法は海洋遺伝素材の利用から生じる利益について定めている。第 9 条にしたがって発行された許可には、「ノルウェーの海洋遺伝素材の利用から生じた利益の一部は、国家に対して生じる」と定めることができる。また、この許可には、「遺伝素材およびバイオプロスペクティング活動の結果得られた知見は、国家の同意、あるいは必要な場合には国家への支払いなしに、他人に売却または伝達されない」と規定することができる。国王は、「もしこうしたバイオプロスペクティングや遺伝素材の利用が第 9 条の許可なしになされた場合、その利益の一部は国家に対して生じる」と定めることができる (Sec.10)。

iv) ノルウェー特許法

ノルウェー特許法では、特許出願時の遺伝資源の出所開示を定めている。具体的には、特許申請書およびその手続きについて規定する章に出所開示の義務

の記述が見られる。

特許申請される発明に、生物素材または伝統的知識が使用されている場合、申請者は、その素材や知識を得た国（提供国）についての情報を添付する必要がある。もし、提供国の国内法に、生物資源や伝統的知識にアクセスし利用する際、事前の情報に基づく同意を要求する定めがある場合、その同意が得られているか否かを申請書に記載しなければならない。また、提供国がその素材あるいは知識の原産国とは一致しない場合、原産国についての情報も記載しなくてはならない。原産国の国内法が事前の情報に基づく同意を要求している場合、それが得られているか否かを記載する必要がある。不明な場合はその旨を申し出る。さらにこれらの情報開示の義務は、その素材の構造を発明者が変化(alter)させた場合にも申請者に課されるとしている (Sec.8 (b))。

v) 海洋戦略と海洋生物資源

以上のような ABS 諸法とは別に、特に海洋のバイオプロスペクティングについては、近年国家戦略が策定されている。ノルウェーは長く海洋を利用してきた文化を持ち、海洋生物探査（海洋バイオプロスペクティング）に関して高度な能力を有している。ノルウェー管轄下の海にはまだ知られていない 1 万種以上の生物が生息しているとも言われており、それらは医療、産業、食料、飼料、バイオ燃料、化粧品などを含む製品の創造のために利用される潜在的価値を持つ可能性がある。こうした資源の新規かつ持続可能な利用のために海洋バイオプロスペクティングを活用すること、そこから新たな知見を得たり新規雇用を生むこと、海洋資源について国際競争力を獲得すること、などがノルウェー政府の目標である。

「国家戦略 2009 海洋バイオプロスペクティング—新しく、持続可能な価値創造の源 (National Strategy 2009 Marine bioprospecting – a source of new and sustainable wealth growth)」は 2009 年 9 月に 4 つの省、すなわち、漁業・沿岸域省、貿易産業省、教育研究省、外務省が共同で作成し、それに環境省が協力する形の共同プロジェクトとして発表された。この国家戦略は、「革新的で持続可能なノルウェー (An Innovative and Sustainable Norway)」(2008) や、「持続可能なシーフード—アルファとオメガ (Sustainable Seafood—alpha and omega)」など、技術分野、海洋分野における他の政策の一部分をなすものとして策定されている。

内容は以下のように題された 5 つの章及び付録に分けられる。

第1章	要約
第2章	政府によるヴィジョン
第3章	海洋バイオプロスペクティングとは何か
第4章	機会及び課題
第5章	政府のイニシアティブ

第2章の「政府によるヴィジョン」では、ノルウェー政府が海洋バイオプロスペクティング分野における研究やビジネスの開発を奨励すべきこと、またこの分野の国際競争力を高めることが記されている。その目的は、ノルウェーの海洋生物資源の潜在的な価値を引き出して利用することにある。また、海洋バイオプロスペクティングを戦略的に重要視する理由として、ノルウェー管轄下に広大な海域があること、ノルウェー由来の海洋生物が多様な特徴を有していること、データ収集や研究のためのインフラが整っていることなどの点が挙げられている。

第3章では海洋バイオプロスペクティングを「海洋生物の構成要素、生物活性的な要素、及び遺伝子を探し出すための、意図的で体系的な探査」とであると述べている。そして、この対象にはすべての有機体、すなわち、バクテリアのような微生物、菌類やウイルス、海草、甲殻類や魚類などが含まれるとする。その上で、ビジネスの視点から捉えた海洋バイオプロスペクティングの目的を、「製品やその製造工程に利用できる、生物の構成要素や遺伝子の発見」にあるとした。

第4章では、海洋生物資源の利用や応用の重要性、国内／国際的な法的枠組み、バイオバンクの取り組みや研究、産業・商業への利用動向を述べている。

まず、現在までに探索・研究されている主な海洋生物資源は熱帯や温帯の海域由来のものであったが、将来的にはおそらく北部の寒冷な海域の資源へ対象がシフトしていくであろうと予測している。また、化学成分を合成する微生物やその遺伝子の研究が発達するであろうとするOECDの将来予測を引用し、こういった予測がノルウェーの海洋バイオプロスペクティング政策に示唆的であるとしている。そしてカナダやアメリカ、フランス、日本の生化学産業がGDPに占める割合を示し、ノルウェーは中でも特に海洋のバイオプロスペクティングをバイオエコノミーの中心に据えて政策を進めるとして方向性を定めている。また法的枠組みとして、国際法（国連海洋法条約、生物多様性条約）、国内法（海洋資源法、自然多様性法）、海洋バイオバンクと締結する素材移転合意、の3通りの仕組みの簡潔な紹介がされている。

海洋バイオバンクなど海洋にかかわる諸組織の紹介もされている。海洋バイオバンクは、研究のために、国際的・科学的・技術的に受け入れられた方法で、

素材の収集、種の特定、保存その他をおこなう組織である。海洋バイオバンクの事例として Tromsø 大学におかれた Marbank が挙げられている。また、海洋や遺伝に関する研究機関についてのコラムも多数掲載されており、MabCent (海洋バイオプロスペクティングに焦点を当てた研究革新センター：Centre for Research-based Innovation with a focus on marine bioprospecting) やベルゲン大学、FUGE (The Functional Genomics) プログラムなどの簡潔な紹介を読むことができる。

さらに、産業、商業界の組織の紹介もある。ノルウェーでは近年、従来のバイオテクノロジー企業に加えて、海洋のバイオテクノロジー産業をバックグラウンドとした新規の企業の成長がみられるという。これらの企業は大学や研究機関と提携して研究を進めている。ノルウェー国内の全ての大学は、バイオテクノロジー分野でビジネスセクターとの提携プロジェクトを持っており、しかもその数は 5 年で倍増したという。

第 5 章には、政府による戦略が簡潔に列挙されている。はじめに挙げられているのは海洋生物資源研究と収集、利益配分に関する規則 (regulation) の制定である。特に、ノルウェー水域での探査や採集活動を管理するための、海洋資源法に基づいた規則の制定が求められている。こうした規則を制定する目的のひとつは、ノルウェーでの活動が研究者や研究グループ、企業に魅力的に映るようにすることにあるとされている。その他の戦略としては、順に、「インフラの整備と研究革新の推進」「国家海洋バイオバンクの推進」「ネットワークとデータベースの整備」「探査船の獲得」「優先的な採取海域 (北極圏生物多様性と極限生態系の優先)」「キャパシティービルディング」「国際協力」「研究機関の援助による研究促進」が挙げられている。

Ⅲ. 深海底微生物資源をめぐる国際議論の動向

1. 概要

(1) 議論経緯

深海底は長い間、多様な生物が存在するとは考えられていなかった。しかしながら、1977年に、アメリカの研究チームがガラパゴス諸島沖の国際水域・水深約2500メートル地点において熱水噴出口を発見し、そこにおける多様な生物を確認した。これが、深海底における生物多様性発見の最初の事例とされている。

国連海洋法条約*（UNCLOS）は、1973年から1982年にかけて開催された第三次国連海洋法会議の交渉の末採択された。当時の国際社会の関心は、深海底の鉱物資源へ向けられており、深海底における生物多様性の存在及び遺伝資源の有用性に関してはほとんど認識されていなかった。このような当時の背景もあり、UNCLOSは「遺伝資源」に関する規定を有していない。

*国連海洋法条約・・・「海洋法に関する国際連合条約」。1982年12月採択、1994年11月発効。我が国は、1983年2月に署名、1996年6月に批准。2011年6月現在、EU含む162の国が締結。

国際制度上、遺伝資源の問題が注目されるようになったのは、1980年代後半から行われた生物多様性条約*（CBD）の起草がきっかけとされる。当時は、遺伝資源は誰でも自由に利用可能であると国際的に認識されており、「遺伝資源の利用から生じた利益の公正かつ衡平な配分」という概念が浸透していなかった。そのため、先進国の企業や研究者は、遺伝資源の豊富な途上国で遺伝資源を入手し、それらを開発してきたが、遺伝資源の原産国に利益を配分するような取り決めをする例はほとんどなかったとされる。この状況に大きな不満を持っていた途上国は、遺伝資源に対する主権的権利を主張し、CBDにおける、自国の遺伝資源へのアクセスの規制する権限と利益配分を義務付けることを確認する条文を挿入することを主張した。

*生物多様性条約・・・「生物の多様性に関する条約」。1992年5月採択、1993年12月発効。我が国は、1992年6月に署名、1993年5月に批准。2011年末現在、EU含む193の国が締結。

1992年に採択された CBD は、最終的に、遺伝資源に対する国家の主権的権利を確認し、遺伝資源に対するアクセスに際しては、遺伝資源の提供国から事前の情報に基づく同意を取得し、相互に合意する条件に基づきアクセスが実施されること、さらに、遺伝資源の利用から生じた利益を相互に合意する条件に基づき配分することを定めた。しかしながら、深海底などの海洋環境における遺伝資源へのアクセスと利益配分（ABS）に関しては言及せず、海洋区域に関しては海洋法に基づく国家の権利及び義務に適合するよう CBD を実施することを定めるのみである（CBD 第 22 条 2 項）。このことから、公海を含む、深海底の遺伝資源は、今日まで国際法上規制されていない資源であるとみなされてきたが、1993 年 12 月に CBD が発効して以降、途上国や NGO からは、深海底の遺伝資源の利用から生じた利益の配分やその探査活動を国際的に管理する国際制度を求める声が次第に大きくなった。

この国際的な議論傾向を受け、CBD は、1996 年に深海底の遺伝資源のバイオプロスペクティングに関する CBD と UNCLOS の関係の研究に着手し、2003 年には、国連法務部海事海洋法課と共同で「深海底の遺伝資源の保全と持続可能な利用に関する CBD と UNCLOS の関係に関する研究」という報告書を作成し、深海底の遺伝資源の保全と持続可能な利用に関して、遺伝資源の ABS を含む、新しい国際的枠組みの作成の必要性を勧告した。前述の報告書の勧告を受け、CBD の締約国会議は国連総会に対して、この問題の調整を要請した。その後、国連総会の下に設置された UNCLOS 関連フォーラムにおいて、この問題の議論が継続されている。

2012 年 2 月末時点における最新の動向として、2004 年に国連総会の下に設置された「国家管轄権外区域における海洋生物多様性の保全と持続可能な利用に関する問題の研究のためのアドホック公開非公式作業部会」が 2011 年 6 月の会合において、海洋遺伝資源の利益配分の問題を含む諸問題に対応するため、UNCLOS の下における多国間協定の作成の可能性を含む、ギャップを特定する作業を開始することを国連総会に勧告し、国連総会はこれを決議として採択した（国連総会決議 A/RES/66/231）。

このように、現在の国際議論の動向としては、深海底における遺伝資源の ABS に関する新たな国際制度の創設に向けた動きが活発化しつつある状況にある。

（2）主要論点

深海底の微生物（遺伝資源）をめぐる国際議論における主要論点は以下の通りである。

1. 深海底の遺伝資源及びバイオプロスペクティングを規律する国際法枠組みの有無
2. 深海底の遺伝資源の法的位置づけ
3. 深海底の遺伝資源のための（ABS を含む）新しい国際制度の必要性

深海底の遺伝資源をめぐっては、UNCLOS の下の公海レジーム（UNCLOS 第 7 部）が適用され、深海底の遺伝資源へのアクセス及びその利用は自由であると主張する一部の先進国と、公海自由の原則の下での「早い者勝ち」ルールを批判し、遺伝資源を含む深海底の資源は人類の共同財産であるとして、それらの利用から生じた利益の配分がされるべきであると主張し、さらに、そのための新しい法的枠組み（UNCLOS の下の「新しい実施協定」*）創設の必要性を主張する途上国の間で、現状、議論は平行線をたどっている。

*実施協定・・・現在、UNCLOS の下には 2 つの実施協定が採択されている。

- （１）「UNCLOS 第 11 部実施協定」：1994 年 7 月採択、1996 年 7 月発効。我が国は、1996 年 6 月に批准。2011 年 9 月現在、EU を含む 141 の国が締結。
- （２）「国連公海漁業協定」：1995 年 7 月採択、2001 年 12 月発効。我が国は、2006 年 8 月に批准。2011 年 9 月現在、EU を含む 78 の国が締結。

2. 深海底微生物資源に関する国際制度及び国際機関

（１）生物多様性条約

生物多様性条約（CBD）は、1992 年 6 月にブラジルのリオデジャネイロで開催された国連環境開発会議（UNCED）において署名開放され、1993 年 12 月に発効した。2012 年 2 月末現在、EU を含む 193 の国家が締結している。

CBD は、「生物多様性の保全」、「生物多様性の構成要素の持続可能な利用」及び「遺伝資源の利用から生じる利益の公正かつ衡平な配分」の 3 つを目的とし、特に、第 3 の目的である「遺伝資源へのアクセスと利益配分（ABS）」に関しては、10 年近くの交渉を経て、2010 年 10 月の名古屋における第 10 回締約国会議（COP10）において ABS に関する名古屋議定書*として採択されたように、長年、先進国と途上国間で対立してきた論点である。

*名古屋議定書・・・「遺伝資源へのアクセスと利益配分に関する名古屋議定書（名古屋

議定書)」：2010 年 10 月採択。我が国は 2011 年 5 月に署名。2012 年 2 月末現在、未発効。

CBD は、遺伝資源へのアクセスと利益配分に関する国際的規制に関して初めて言及した国際条約であるが、深海底の遺伝資源の ABS に関しては言及をしていない。しかしながら、その問題は、CBD 発効直後に提起され、以後、CBD の締約国会議及び科学上及び技術上の助言に関する補助機関会合において議論が進められた。

① 主要論点

深海底の遺伝資源をめぐる CBD 上の主要論点は以下の 2 点である。

<1> CBD 第 3 の目的である「遺伝資源へのアクセスと利益配分(ABS)」の深海底の遺伝資源への適用可能性

CBD の ABS に関する規定の深海底の遺伝資源への適用可能性について、CBD は第 4 条において、国家の管轄権の下にある区域（領域、領海含む、排他的経済水域及び大陸棚までの区域）の生物多様性の構成要素及び自国の管轄又は管理下で行われる作用及び活動（例えば、資源探査活動）を対象とするが、いずれの国の管轄にも属さない区域（公海及び深海底など）については、「自国の管轄又は管理下で行われる作用及び活動」のみを対象とすると定めており、深海底などの国家主権の及ばない区域の生物多様性そのものは CBD の対象外であると定めている。

<2> CBD と海洋環境を規律する UNCLOS との関係性

CBD と UNCLOS との関係性に関して、CBD は第 22 条において、国家の権利の行使が生物多様性に重大な損害又は脅威を与える場合を除き、海洋環境においては、「海洋法に基づく国家の権利及び義務に適合するよう実施される」と定めており、基本的には UNCLOS を含む海洋法が CBD に優先することを示唆している。

以上のことから、CBD 上、深海底の遺伝資源は、ABS に関する規定の適用対象外であり、それら資源へのアクセスと利用に対する特段の規制はされていない。そのため、深海底の遺伝資源は人類の共同財産（又はグローバル・コモンズ）であるとして、国際管理の下でアクセス及び開発がされ、その利益は人類

全体に配分されるべきであるとする主張が、提起されている。

② 議論経緯

i) 第1回科学技術補助機関会合(1995年9月)

深海底の遺伝資源に関する国際法上の問題点は、1995年9月にフランス・パリで開催された CBD の科学上及び技術上の助言に関する補助機関 (SBSTTA) 第1回会合において初めて提起された。国際自然保護連合 (IUCN) と世界自然保護基金 (WWF) が共同で作成した「深海底における遺伝資源の調査活動」に関する国際法枠組みの現状と問題点を分析した報告書*は、深海底の遺伝資源をめぐる実態を整理し、関連する国際法の枠組みである CBD と UNCLOS の対応状況を検討することで、深海底の遺伝資源の公正かつ衡平な利用を確保する必要性を提起するものであった。その報告書が提起した問題は、SBSTTA の勧告 (SBSTTA 勧告 I/8) に反映され、CBD の第2回締約国会議に報告されることになった。これをきっかけに深海底の遺伝資源をめぐる国際法上の問題点が国際的に認識され、CBD のほか、UNCLOS 等で、深海底の遺伝資源の利益配分やアクセスの規制をめぐる国際的議論がされるようになった。

* Lyle Glowka in collaboration with Joy Hyvarinen, The Deepest of Ironies: Genetic Resources, Marine Scientific Research and the International Deep Sea-bed Area, A paper distributed for comment and discussion at the First Meeting of the Subsidiary Body on Scientific, Technical and Technological Advice of the Convention on Biological Diversity, Paris, 4 September 1995 (revised).

ii) 第2回締約国会議(1995年11月)

1995年9月の SBSTTA1 における勧告を受け、1995年11月にインドネシアのジャカルタで開催された CBD の第2回締約国会議 (COP2) は、CBD 事務局に対して、国連海事海洋法局 (現、国連法務部海事海洋法課) と協力して、「深海底の遺伝資源の保全と持続可能な利用に関する CBD と UNCLOS の関係」に関して研究するよう要請した (COP 決定 II/10)。

iii) 第2回科学技術補助機関会合(1996年9月)

CBD 事務局は締約国からの要請に応え、1996 年 9 月にカナダのモントリオールで開催された SBSTTA2 において、「深海底における遺伝資源のバイオプロスペクティングに関する CBD と UNCLOS の関係性」に関する予備報告*を提出した。

* Bioprospecting of Genetic Resources of the Deep Sea-bed - Note by the Secretariat, UNEP/CBD/SBSTTA/2/15 (24 July 1996).

(<http://www.cbd.int/doc/meetings/sbstta/sbstta-02/official/sbstta-02-15-en.pdf>)

予備報告として事実概要を整理したこの報告書では、CBD は自国の管轄又は管理の下で行われる「作用及び活動」のみに適用されるとして、公海や深海底などの国家の管轄権を超える区域に位置する遺伝資源に対して CBD を適用することはできないことを指摘している。また、公海や深海底における資源や活動を規律するのは UNCLOS であると指摘しながらも、UNCLOS が遺伝資源やバイオプロスペクティングに関する規定を有していないことから、これらの区域における遺伝資源は「未規制の資源」とであると結論付けている。

しかしながら、UNCLOS において遺伝資源が言及されていないのは意図的ではなく偶然の産物であるとして、現状の未規制のままにしておくのではなく、深海底の遺伝資源開発に対する商業的関心が高まる前に、それら資源の利用から生じた利益の公平な配分を目的とした新しい国際レジームを創設する必要性を指摘している。

iv) 第 5 回締約国会議(2000 年 5 月)

1996 年の COP 決定 II/10 に基づく一連の作業の中間報告として、CBD 事務局は、海洋遺伝資源のバイオプロスペクティングの実態と現状に関する調査を情報文書*として提出した。

* Progress report on the Implementation of the Programmes of Work-Information on Marine and Coastal Genetic Resources including Bioprospecting, UNEP/CBD/COP/5/INF/7 (20 April 2000).

(<http://www.cbd.int/doc/meetings/cop/cop-05/information/cop-05-inf-07-en.pdf>)

v) 第 8 回科学技術補助機関会合(2003 年 3 月)

1996 年の SBSTTA2 以降、CBD 事務局は当該問題に関する調査を継続し、2003 年 3 月にカナダのモントリオールで開催された SBSTTA8 において、COP2 決定 II/10 の要請に対して、「深海底の遺伝資源の保全と持続可能な利用に関する CBD と UNCLOS の関係性に関する研究」に関する報告書*を情報文書として提出した。

* Study of the relationship between the Convention on Biological Diversity and the United Nations Convention on the Law of the Sea with regard to the conservation and sustainable use of genetic resources on the deep seabed (decision II/10 of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity), UNEP/CBD/SBSTTA/8/INF/3/Rev.1 (22 February 2003).
(<http://www.cbd.int/doc/meetings/cop/cop-05/information/cop-05-inf-07-en.pdf>)

この報告書は、バイオプロスペクティングを海洋の科学的調査とは異なる商業的性質の活動であると性格づけた上で、CBD 及び UNCLOS は海洋及び沿岸生物多様性の保全及び持続可能な利用に関して補完的及び相互支援的ではあるが、公海及び深海底の遺伝資源に関する商業的活動には対応していないことを指摘する。結論として、この問題に対応するため、公海及び深海底の遺伝資源に関する商業的活動の管理規制を目的とした新たな法的レジームの創設を勧告している。

SBSTTA8 は、この報告書の勧告に留意したが、報告書が勧告する新たな法的レジームの創設には言及せず、2004 年 2 月に開催される COP7 に対して、深海底の遺伝資源に関する現状と傾向に関する情報の整理収集及び当該問題のレビューと適切な勧告を行うよう国連総会に対して要請するよう勧告するに留まった (SBSTTA 勧告 VIII/3 D)。

〔「深海底の遺伝資源の保全と持続可能な利用に関する CBD と UNCLOS の関係性に関する研究」(UNEP/CBD/SBSTTA/8/INF/3/Rev.1)の概要〕

(1) CBD の COP 決議 II/10 に基づき、深海底における遺伝資源の保全及び持続可能な利用のため、将来、SBSTTA が、深海底における遺伝資源のバイオプロスペクティングに関する科学的及び技術的問題に対処できるよう、CBD と UNCLOS との関係性に関して研究を行った。これと並行して、1996 年の第 51 回国連総会に対する国連事務総長の報告書は、国家の管轄権を超える区域である深海底に由来する遺伝資源の利用に関する活動の合理的かつ秩序だった発展の必要性を強調した。

(2) この研究は、国家の管轄権を超える区域である深海底の遺伝資源の保全及び持続可能な利用に関する CBD と UNCLOS の条文を検討するものである。海洋・沿岸生物多様性の保全及び利用に関して、2 つの条約の条文は補完的性質であることに留意する。UNCLOS は、国家の管轄権を超える区域である深海底の遺伝資源に関する活動を含む、海洋における全ての活動に適用される。CBD は、締約国の領域内においては生物多様性の構成要素、また、国家の管轄権を超える区域及び領域内においては、締約国の管轄又は管理下で行われる作用及び活動に対して適用される。海洋環境に関して CBD の締約国は、海洋法に基づく国家の権利及び義務に適合するよう CBD を実施するよう要請されている。

(3) UNCLOS は海洋遺伝資源に関して特に言及をしていないが、一般的な海洋環境の保護及び海洋生物資源及び他の海洋生物に関する条文を有している。さらに、国家は希少または脆弱な生態系を保護することが義務づけられている (UNCLOS 第 194 条 5 項)。UNCLOS はまた、国家管轄権外区域である深海底の鉱物資源の探査及び開発及び海洋の科学的調査に関する規則を有している。

(4) UNCLOS は、海洋における全ての活動を規律するための一般的な枠組みを定める。そのため、空間的及び機能的アプローチを取る。まず、海は、沿岸からの距離に基づき、異なる区域に分けられている。海はまた、垂直的に、上部水域と海床もしくは海底を区別している。沿岸国は、公海及び深海底までの、その管轄権の下にある区域において一定の権利を享受する。公海及び深海底は国家の管轄権を超える区域であり、いかなる国家も海洋空間に対して主権を行使できず、沿岸国は、自国の国民及び自国の旗国船に対してのみ管轄権を行使できる。

(5) 一般的な国家管轄権の欠如を考慮し、UNCLOS は公海における生物資源及び国際海底区域の鉱物資源に関する特別のレジームを設けている。公海においては、全ての国家は、他の国家の同様の自由の行使に関する利益及び深海底における活動に関する権利を考慮し、一定の非常に厳格に規制された「自由」を享受する。従って、公海における生物資源の保全及び海洋環境の保護は、特別な規則を発展させ、それらを履行し、自国民に対して執行をすることに対する、国家の協力の意志次第ということになっている。残念ながら、ほとんどの場合、国内的意志の欠如と外部の制約により、国家は天然資源の保全及び環境の保護に対する責務を果たしてこなかった。

(6) 反対に、深海底及びその資源は、国際海底機構 (ISA) によって管理された国際レジームによって規制される。深海底の鉱物資源は人類共同の財産であり、それらの探索と開発は、人類全体の利益のために実施されなければならない。深海底の資源の管理に関するレジームは、専ら鉱物資源に適用され、深海底の海洋環境の保護についても規定する。UNCLOS の第 11 部に言う「資源」の意味を考慮すると、深海底の遺伝資源に関連する商業的活動は、深海底制度の規制対象とは想定されていなかった。深海底の生物資源は発見されたばかりであり、その性質や範囲、価値などはほとんど知られていないため、UNCLOS などの国際制度には含まれていない。

(7) いかなる国家も深海底及びその資源に対して主権的権利を主張し又は行使できない。管轄権上のギャップを埋め、潜在的に有害で不適切な鉱物資源獲得の自由競争を防ぐため、UNCLOS は、それらの活動を規制し、それらから得られる金銭的利益その他経済的利益の衡平な配分を定めることを要請する国際海底機構 (ISA) を設立した。UNCLOS が ISA に対して、深海底における活動に関する、海洋環境の汚染その他の危険の防止、軽減及び規制、並びに深海底の天然資源の保護及び保全並びに植物相及び動物相に対する損害の防止を目的とした必要な措置を取ることを義務付けていることは重要な点である

(8) CBD は、その適用範囲に関して 2 つの重要な区別をしている。一つは、「生物多様性の構成要素」と「活動及び作用」である。もう一方は 自国の管轄権の下にある区域と国家の管轄権を超える区域である。国家の領域権内において CBD は、生物多様性に悪影響を与える可能性のある作用及び活動に対して適用される。国家の管轄権を超える区域において CBD は、締約国の管轄又は管理の下で行われる、生物多様性に悪影響を与える可能性のある作用及び活動に対してのみ適用される。締約国は、国家の管轄権を超える区域の資源に対して国家主権又は管轄権を有さないため、国家の管轄権を超える区域の生物多様性の特定の構成要素の保全及び持続可能な利用に関して直接の義務はない。従って、CBD は、いずれの国の管轄権にも属さない区域の生物多様性の保全及び持続可能な利用のため、締約国間の協力を強調する。

(9) しかしながら、当該研究は、CBD と UNCLOS が海洋及び沿岸生物多様性の保全及び持続可能な利用に関して補完的かつ相互に支援的ではあるが、深海底の海洋遺伝資源に関連する商業的活動に関して、適用する法規が不存在の状態が存在することを示している。これらの区域の遺伝資源の重要性の高まりや、保全及び衡平性の要請に妥当な考慮を払わないで行われる可能性のある

様々な活動による遺伝資源に対する脅威を考慮すれば、この適用可能な法規が存在しない状態は国際社会によって対処される必要がある。CBD と UNCLOS は、国家の管轄権の外にある深海底の海洋遺伝資源のための特別な法的レジームに関する構成要素となり得る有用な原則、概念、措置及びメカニズムを有している。UNCLOS における人類の共同財産原則は、深海底の遺伝資源に関する重要な基本概念をもたらす。さらに、CBD と UNCLOS は、国家の管轄及び管理下の活動に対する国家の責任や、エコシステム・アプローチ、海洋保護区の設置、活動に関する情報交換、協議及び通報、環境影響評価、持続可能な利用、利益の公正かつ衡平な配分など、一定の原則と概念を共有している。これらの原則は、国家の管轄権の外にある深海底の遺伝資源管理における保全及び衡平性の考慮に対処するための有用なツールとなり得る。

(10) 当該研究は、結論として、国家の管轄権を超える区域である深海底の遺伝資源の管理に関する以下のオプションを提案する。

- (a) 現状維持；
- (b) 深海底の遺伝資源の管理レジームの策定に関する枠組みとして、現在の UNCLOS の下の深海底レジームを利用する（当該レジームは、CBD における保全、持続可能な利用、利益配分の原則やツールを含みうる。）；
- (c) CBD を修正し、国家の管轄権を超える区域における生物多様性の構成要素に対して適用範囲を拡大する。

vi) 第 7 回締約国会議(2004 年 2 月)

SBSTTA8 における、深海底の遺伝資源の保全と持続可能な利用に関する CBD と UNCLOS の関係性に関する研究報告を受け、2004 年 2 月に開催された COP7 は、国連総会に対して当該問題に関する作業の調整を要請した（COP 決定 VII/5）。

COP7 以降、国家の管轄権を超える区域における遺伝資源の問題に関して CBD は、主に、事実概要の情報収集や、遺伝資源の保護のための行動規範、ガイドライン、原則や海洋保護区域の設定を含む様々なオプションの検討など、科学的及び技術的分析に議論の焦点が当てられており*、法的観点からの分析・対応は海洋法フォーラムに委ねている。

* Status and trends of, and threats to, deep seabed genetic resources beyond national jurisdiction, and identification of technical options for their conservation and sustainable use, UNEP/CBD/SBSTTA/11/11 (22 July 2005)

(<http://www.cbd.int/doc/meetings/sbstta/sbstta-11/official/sbstta-11-11-en.pdf>); Options for preventing and mitigating the impacts of some activities to selected seabed habitats, and ecological criteria and biogeographic classification systems for marine areas in need of protection, UNEP/CBD/SBSTTA/13/4 (13 November 2007)
(<http://www.cbd.int/doc/meetings/sbstta/sbstta-13/official/sbstta-13-04-en.pdf>)。

vii) 第 10 回締約国会議(2010 年 10 月)

CBD の第 3 の目的である「遺伝資源へのアクセスと利益配分」に関する規制を強化するため、2004 年の COP7 において締約国会議は、ABS 国際レジームの検討を ABS 作業部会のマンデートとして決定し(COP 決定 VII/19)、さらに、2006 年の COP8 において、「2010 年の COP10 までに ABS 国際レジームの検討を完了させる」ことを決定した (COP 決定 VIII/4)。これを受けて、CBD の締約国は ABS 作業部会において「ABS 国際レジーム」の交渉を継続し、2010 年 10 月の COP10 において最終的に「名古屋議定書」として採択することでその作業を完了させた。

名古屋議定書の交渉においては、ABS の適用範囲として、国家の管轄権を超える区域の遺伝資源も議定書の対象とするかで、先進国と途上国で最後まで激しく対立した。途上国グループ、特に、アフリカグループは、公海や南極大陸を含む、国家の管轄権が及ばない区域にある遺伝資源も名古屋議定書の対象とすべきであると主張し、また、そのための「多国間生物多様性利益配分基金」の創設を主張した。これに対して EU や JUSCANZ*を含む先進国グループは、ABS の対象を CBD の適用範囲を超えて、国家の管轄権を超える区域の遺伝資源まで拡大することに反対した。

*JUSCANZ・・・日本、カナダ、オーストラリア、ニュージーランド等。なお、米国は CBD の未批准国。

最終的に、先進国と途上国間で妥協が図られ、名古屋議定書の適用範囲は CBD に準じる形となったが、議定書の第 10 条において「締約国は、国境を越える状況又は事前の情報に基づく同意を提供又は得ることができない遺伝資源及び遺伝資源に関連する伝統的知識の利用から生ずる利益の公正かつ衡平な配分に対応するために地球的規模の多数国間利益配分制度の必要性及び態様を検討する」ことが定められた。

(2) 国連海洋法条約

UNCLOS は、1973 年から 1982 年にかけて行われた第三次国連海洋法会議の交渉の末採択された。当初、UNCLOS の深海底の鉱物資源開発を対象とした規定(第 11 部)に不満を持つ先進国グループが参加を拒否したことから UNCLOS の発効は大きく遅れた。最終的に UNCLOS は 1994 年 11 月に発効したが、当初の加盟国は 9 割以上が途上国であった。先進国を含む、多数の国家が UNCLOS を締結したのは、1996 年の「UNCLOS 第 11 部実施協定」が発効して以降である。UNCLOS は、2011 年 6 月現在、EU 含む 162 の国が締結している。

UNCLOS の交渉が行われた当時は、深海底における生物多様性の存在はほとんど認識されておらず、また、遺伝資源の ABS に関する概念も登場していなかったことから、UNCLOS は「遺伝資源」に関する規定を有していない。しかしながら、CBD の採択以降、遺伝資源の ABS を含む、生物多様性の保全と持続可能な利用に対する関心の高まりに伴い、海洋環境における生物多様性の保全を強化するための議論が海洋法に関連するフォーラムにおいても提起されている。

国家の管轄権を超える区域における遺伝資源及びバイオプロスペクティングの問題に関して実質的な議論を行っているのは、国連の「海洋及び海洋法に関する国際連合非公式協議プロセス(非公式協議プロセス)」と「国家管轄権外区域における海洋生物多様性の保全と持続可能な利用に関する問題の研究のためのアドホック公開非公式作業部会(アドホック非公式作業部会)」であることから、この 2 つのフォーラムを中心に議論の展開を整理する。

① 主要論点

深海底の遺伝資源をめぐる UNCLOS 上の論点は海洋法関連フォーラムにおいて複数指摘されている。

- a) 深海底の遺伝資源は誰でも自由にアクセスできるか
- b) 遺伝資源の収集及びその後の利用に伝統的な海洋生物資源(漁業資源)の採捕の手法の適用可能性
- c) 深海底における遺伝資源のバイオプロスペクティングがその脆弱な生態系に悪影響を与える可能性
- d) 深海底における生物多様性のバイオプロスペクティングに対して人類の共同財産原則に基づく深海底レジームの適用可能性

- e) 深海底の遺伝資源の研究・開発から得られた知的財産権（特に、特許権）の問題
- f) 海洋の科学的調査とバイオプロスペクティングの区別の可能性
- g) 国際海底機構（ISA）の深海底における遺伝資源に対する権限拡大の可能性
- h) 深海底の遺伝資源の利用及び開発から得られる利益の配分の方法

② 議論経緯

深海底における遺伝資源をめぐる UNCLOS 上の問題は、国連総会の他、海洋及び海洋法に関する国際連合非公式協議プロセス（非公式協議プロセス）及び国家管轄権外区域における海洋生物多様性の保全と持続可能な利用に関する問題の研究のためのアドホック公開非公式作業部会（海洋生物多様性に関するアドホック非公式作業部会）において主に議論されている。

〔国連における深海底遺伝資源に関する主なフォーラム〕

○ 海洋及び海洋法に関する国連非公式協議プロセス

UNCLOS 発効後の海洋問題をめぐる論点の多様化に対応するため、国連総会は、1999 年に総会決議 54/33 に基づき、「海洋及び海洋法に関する国連非公式協議プロセス」（非公式協議プロセス）を設置した。なお、非公式協議プロセスは、全ての国連加盟国及び専門機関の加盟国並びに UNCLOS の締約国が参加できることになっており、事実上、全ての国家が参加可能である。非公式協議プロセスは、2000 年以降毎年開催されているが、検討する重点領域が年度により異なるため、必ずしも、深海底の遺伝資源に関する問題が毎年議論されている訳ではない（末尾表 1 参照）。なお、非公式協議プロセスにおいて、深海底の遺伝資源に関する議論が行われたのは、2004 年 6 月の第 5 回会合と 2007 年 6 月の第 8 回会合である。

○ 国家の管轄権を超える区域における海洋生物多様性の保全と持続可能な利用に関する問題の研究のためのアドホック公開非公式作業部会

国連総会は、2004 年 11 月の総会決議 59/24 に基づき、国家の管轄権を超え

る区域の生物多様性の保全と持続可能な利用に関する国連及びその他関連国際機関の過去及び現在の活動を調査し、それらの問題に関する科学的、技術的、経済的、法的、環境、社会経済及びその他の側面の分析し、必要に応じて、国家の管轄権を超える区域の生物多様性の保全と持続可能な利用のための国際協力及び調整を促進するための可能なオプション及びアプローチを示すことを任務とする、「国家の管轄権を超える区域における海洋生物多様性の保全と持続可能な利用に関する問題の研究のためのアドホック公開非公式作業部会」（アドホック非公式作業部会）を設置した。

このアドホック非公式作業部会は、国家の管轄権を超える区域における海洋生物多様性に特化した作業部会であり、これまで海洋遺伝資源の他、海洋保護区、環境影響評価、海洋技術移転、IUU 漁業など多彩な論点につき議論がされている。

なお、アドホック非公式作業部会は、2006 年の総会決議 61/222 に基づき、以下の 5 点につき検討するようその任務を改定した。

＜アドホック非公式作業部会の新たなマנדート＞

- a) 国家管轄権外区域の生物多様性に関する人的活動の環境への影響
- b) 国家管轄権外区域の生物多様性の保全と管理のため、国家間及び関連国際機構間の調整と協力
- c) 分野別管理ツールの役割
- d) 国家の管轄権を超える区域の遺伝資源
- e) ガバナンス及び規制のギャップの存在の有無及びその対処方法

i) 第 50 回国連総会(1995 年 11 月)

1995 年 9 月に開催された CBD の SBSTTA1 における、深海底における遺伝資源をめぐる国際法の枠組みの現状と問題点に関する指摘は、同年 11 月に開催された国連総会においても報告された。国連事務総長は、当時は、深海底の遺伝資源に対するアクセスは自由であると指摘しつつも、当該問題を議論するための十分な時間と情報が無かったことから、深海底における遺伝資源に関連する科学的調査の法的位置づけの問題が基本的論点であると指摘するに留まっている（国連事務総長報告*、A/50/713）。

* 関連のドキュメントは、国連法務部海事海洋法課のホームページを参照。
(http://www.un.org/depts/los/general_assembly/general_assembly_reports.htm)

ii) 第 51 回国連総会(1996 年 11 月)

前年 11 月の CBD の COP2 決定に基づき、同年 9 月の CBD の SBSTTA2 に提出された、「深海底における遺伝資源のバイオプロスペクティングに関する CBD と UNCLOS の関係性」に関する予備報告に言及したが、具体的な議論は行われていない。

iii) 1997 年から 2003 年の間

海洋法関連フォーラムにおいては、深海底の遺伝資源に関する主立った議論はされていない。

iv) 第 5 回非公式協議プロセス(2004 年 6 月)

「国家の管轄権を超える区域である深海底における生物多様性の保全及び管理を含む、海洋の新しい持続可能な利用」を重点検討課題とした 2004 年 6 月の第 5 回非公式協議プロセスは、前年 2003 年 3 月に CBD 事務局が「深海底の遺伝資源の保全と持続可能な利用に関する CBD と UNCLOS の関係性に関する研究」を提出し、CBD の COP7 が深海底の遺伝資源の持続可能な利用の問題に言及したことを受け、先進国と途上国間で深海底の遺伝資源をめぐる議論が対立した。

複数の論点が提起されたが、会期中に議論はまとまらず、当該問題に関する勧告は国連総会に対して報告されなかった。しかしながら、将来的トピックとして「遺伝資源」が指摘された（第 5 回非公式協議プロセス報告*、A/59/122）。

* (http://www.un.org/Depts/los/consultative_process/consultative_process.htm)

v) 第 1 回アドホック非公式作業部会(2006 年 2 月)

2006 年 2 月に開催された第 1 回会合は、国家の管轄権を超える区域における海洋生物多様性の保全と持続可能な利用に関して、海洋遺伝資源の問題を含む、

海洋保護区、環境影響評価、海洋技術移転、IUU 漁業など包括的な議論がされた（第 1 回アドホック非公式作業部会報告*、A/61/65）。

*(<http://www.un.org/Depts/los/biodiversityworkinggroup/biodiversityworkinggroup.htm>)

アドホック非公式作業部会の設置以降、深海底の遺伝資源をめぐる論点は、ABS を目的とした UNCLOS の下の新しい実施協定（新しい国際的枠組み）の創設の有無に焦点が当てられている。

vi) 第 8 回非公式協議プロセス(2007 年 6 月)

2007 年 6 月の第 8 回非公式協議プロセスは、重点領域として「海洋遺伝資源」の問題を取り上げた。第 8 回会合では、日程の半分以上をパネルディスカッションに当て、学術機関、民間企業、国際機関、NGO など多彩なパネリストを招いて、海洋遺伝資源に関する活動の実態を含む、科学的、政策的、法的な観点からの報告が行われた*。共同議長によれば、このパネルディスカッションの目的は、当該問題に関する共通理解を構築することであったとされているが、最終的に、各国の意見が収斂するまでは至らなかった。

* パネルディスカッションの各報告は、DOALOS のホームページにも公開されている。

(http://www.un.org/Depts/los/consultative_process/8thmeetingpanel.htm)

深海底の遺伝資源（海洋遺伝資源）をめぐる各国の主張は基本的にこれまでと同じである。依然として、国家の管轄権を超える区域における遺伝資源に関する法的枠組みとは何かに関して、各国の意見は分かれたままであった。

最終的に、国連総会への勧告案に関しては、コンセンサスが得られないまま時間切れとなったので、「共同議長案」という形で国連総会に送付されることになった（第 8 回非公式協議プロセス報告附属書、国連総会に対する共同議長案、A/62/169）。

vii) 第 2 回アドホック非公式作業部会(2008 年 4 月～5 月)

2008 年の第 2 回アドホック非公式作業部会は、2006 年の総会決議 61/222 に基づき、国家管轄権外区域の生物多様性に関する人的活動の環境への影響、国家の管轄権を超える区域の生物多様性の保全と管理のための国家間及び関連国際機構間の調整と協力、分野別管理ツールの役割、国家の管轄権を超える区域の遺伝資源、ガバナンス及び規制のギャップの存在の有無及びその対処方法の 5 点に関して議論がされた。

作業部会の議論結果は、作業部会の共同議長からの書簡として、国連総会に送付されたが、具体的提案を提起するものではなかった（国連総会議長宛アドホック非公式作業部会共同議長からの書簡、A/63/79）。

viii) 第 3 回アドホック非公式作業部会(2010 年 2 月)

2010 年 2 月の第 3 回アドホック非公式作業部会においても、深海底の遺伝資源に関する対立構造は基本的に変わっていない。しかしながら、実施のギャップに対応するため、具体的かつ実践的措置を求める提案が出された。作業部会において提案された措置は以下の通り。

- a) 海洋の科学的調査の促進
- b) 調査活動に関する行動規範の策定
- c) 海洋遺伝資源に対する影響評価に関するガイドラインの策定を含む、環境影響評価
- d) 途上国の研究者の参加強化を含む、海洋遺伝資源に関する調査結果の共有及び協力に関するメカニズムの構築
- e) 海洋保護区の設置
- f) サンプルへのアクセスを含む、利益配分のための実践的オプションの議論
- g) 国家の管轄権を超える区域における遺伝資源の知的財産権に関する側面の検討

また、深海底の遺伝資源の ABS だけでなく、海洋保護区や環境影響評価等の措置を含んだ実施協定が提案されている。

最終的に作業部会は、UNCLOS 第 7 部及び第 11 部に対する諸国家の見解を考慮した上で、「国際法、特に、UNCLOS に従った国家の管轄権を超える区域の遺伝資源の保全及び持続可能な利用に関する関連する法的レジーム及び実施のギャップに関する議論を進展させる」ことを国家に要請するよう国連総会に勧告した（第 3 回アドホック非公式作業部会共同議長書簡、作業部会の勧告、

A/65/68)。

ix) 第 4 回アドホック非公式作業部会(2011 年 5 月～6 月)

2011 年 5 月から 6 月にかけて行われた第 4 回アドホック非公式作業部会は、2010 年 10 月の CBD の COP10 で採択された、遺伝資源の ABS に関する名古屋議定書が採択されて以降初めての生物多様性関連の会合である。作業部会においては、CBD 事務局が名古屋議定書の成果に関して報告をし、いくつかの国が、国家の管轄権を超える区域の遺伝資源の利益配分に関して名古屋議定書が参考になると発言するなど、名古屋議定書採択の影響の大きさがうかがえる会合となった。

最終的に作業部会は、「UNCLOS の下の新しい実施協定」に直接言及しないものの、特に、利益配分の問題を含む海洋遺伝資源、海洋保護区及び環境影響評価等の措置並びに能力開発及び海洋技術移転などの問題に対処するため、既存の枠組みの実施及び「UNCLOS の下における多国間合意の策定の可能性」を含む、ギャップの特定のためのプロセスを開始する、という内容の勧告を国連総会に送付することをコンセンサスで採択した（第 4 回アドホック非公式作業部会共同議長書簡附属書、国連総会に対する勧告、A/66/119）。

(3) 総括

深海底における遺伝資源をめぐる CBD と UNCLOS の課題に関しては、1995 年に、CBD の SBSTTA に提起されて以降、CBD と UNCLOS の両フォーラムにおいて、平行して議論が重ねられてきた。

CBD 事務局の 1996 年及び 2003 年の報告によれば、CBD と UNCLOS が海洋及び沿岸生物多様性の保全及び持続可能な利用に関して補完的かつ相互に支援的ではあるが、国家の管轄権を超える区域である深海底における遺伝資源を規制する条文を有していないとされている。しかしながら、CBD は「遺伝資源の利用から生じた利益の公正かつ衡平な配分」を目的としていることから、規制が存在しない現状は問題であるとして、国家の管轄権を超える区域である深海底における遺伝資源のアクセスと利益配分のための新たな国際的枠組みを創設すべきであると主張している。

2003 年以降は、主な議論の場を UNCLOS の関連フォーラムである、国連総会及びその下に設置された非公式協議プロセス及びアドホック非公式作業部会

において議論が継続されているが、特に、UNCLOS の下では、国家の管轄権を超える区域の海洋生物多様性の保全と持続可能な利用に関する法的枠組みが欠けているとして、遺伝資源の ABS に関する問題だけでなく、海洋保護区や環境影響評価、途上国の能力開発や海洋技術の移転を含む、包括的な枠組みの検討が提案されている。

しかしながら、依然として、深海底の遺伝資源及びバイオプロスペクティングの CBD 及び UNCLOS における法的位置づけに関しては議論が錯綜しており、法的整合性をいかに取るかに関しては十分明らかにされていないのが現状である。

◆ 表 1: 海洋及び海洋法に関する国連非公式協議プロセス各会期における重点領域

会合年度	重点領域
第 1 回会合 2000 年 5 月 30 日～6 月 2 日	● 責任ある漁業と IUU 漁業（違法、無報告、無規制漁業） ● 特に沿岸地域における海洋汚染及び劣化の経済・社会的影響
第 2 回会合 2001 年 5 月 7 日～11 日	● 海洋科学と発展及び能力開発を含む、相互の合意に基づく海洋技術の移転 ● 海洋における海賊及び武装強盗対処のための調整と協力
第 3 回会合 2002 年 4 月 8 日～15 日	● 海洋環境の保護と保全 ● 能力開発、地域協力と調整、及び海洋科学と技術の移転、持続可能な漁業、海洋環境の悪化と航海の安全などの対処すべき海洋問題の重要な横断的課題としての統合的海洋管理
第 4 回会合 2003 年 6 月 2 日～6 日	● 安全な航海；例えば海図作成のための能力開発 ● 脆弱な海洋生態系の保護
第 5 回会合 2004 年 6 月 7 日～11 日	● 国家の管轄権を超える区域である深海底における生物多様性の保全及び管理を含む、海洋の新しい持続可能な利用
第 6 回会合 2005 年 6 月 5 日～10 日	● 持続可能な発展に対する漁業の貢献 ● 海洋のゴミ（マリンデブリ）
第 7 回会合 2006 年 6 月 12 日～16 日	● エコシステム・アプローチと海洋
第 8 回会合 2007 年 6 月 25 日～29 日	● 海洋遺伝資源
第 9 回会合 2008 年 6 月 23 日～27 日	● 海洋の安全・危機管理
第 10 回会合 2009 年 6 月 17 日～19 日	● 過去 9 回の非公式協議プロセスにおける成果と欠点の評価を含む成果の履行状況
第 11 回会合 2010 年 6 月 21 日～25 日	● 海洋科学を含む、海事及び海洋法に関する能力開発
第 12 回会合 2011 年 6 月 20 日～24 日	● 国連持続可能な開発に関する会議の結果の履行における今日までの進展及び残された課題並びに新興課題の評価への貢献

◆ 表 2：海洋遺伝資源をめぐる国際議論の経緯（年表）

	生物多様性条約(CBD)	国連海洋法条約(UNCLOS)
1982 年		12 月：UNCLOS 採択
1992 年	5 月：UNEP における CBD の採択 6 月：リオ・サミット開催	
1993 年	12 月：CBD 発効	
1994 年		11 月：UNCLOS 発効
1995 年	9 月：SBSTTA1 ● 初めて海洋遺伝資源に関する問題が提起。 11 月：COP2 ● 深海底における遺伝資源に関する CBD と UNCLOS の関係性の調査を要請（COP 決定 II/10）。	11 月：第 50 回国連総会 ● 深海底の遺伝資源をめぐる CBD における議論の報告。
1996 年	9 月：SBSTTA2 ● 「深海底における遺伝資源に関する CBD と UNCLOS の関係性」の予備報告。	11 月：第 51 回国連総会 ● CBD における議論に言及。
1997 年		
1998 年		
1999 年		11 月：第 54 回国連総会 ● 海洋及び海洋法に関する国連非公式協議プロセスの設置を決定。
2000 年	5 月：COP5 ● 深海底における遺伝資源に関する実態調査に関する報告の提出。	
2001 年		
2002 年		
2003 年	3 月：SBSTTA8 ● COP 決定 II/10 に基づく、「深海底における遺伝資源に関する CBD と UNCLOS の関係性」の調査結果の報告。	
2004 年	2 月：COP7	

	● SBSTTA8 に提出された調査結果に留意。	6 月：第 4 回非公式協議プロセス ● CBD の議論結果に留意し、将来的に、遺伝資源の問題に関して非公式協議プロセスで検討をすることを提案。 11 月：第 59 回国連総会 ● 国家の管轄権を超える区域における海洋生物多様性に関するアドホック非公式作業部会の設置を決定。
2005 年		
2006 年	3 月：COP8 ● 特になし	6 月：第 1 回アドホック非公式作業部会 ● 「国家の管轄権を超える区域における遺伝資源の ABS を目的とした UNCLOS の下の新しい実施協定」の必要性をめぐる議論に焦点。
2007 年		6 月：第 8 回非公式協議プロセス ● 重点検討課題として「海洋遺伝資源」を検討。
2008 年	5 月：COP9 ● 特になし	4～5 月：第 2 回アドホック非公式作業部会 ● 特に進展無し。
2009 年		
2010 年	10 月：COP10 ● 遺伝資源の ABS に関する名古屋議定書が採択。 ● 名古屋議定書第 10 条に、深海底を含む国家の管轄権を超える区域の	2 月：第 3 回アドホック非公式作業部会 ● 特に進展無し。

	遺伝資源の多国間利益配分メカニズムが挿入されたが、詳細の検討は先送り。	
2011 年		5～6 月：第 4 回アドホック非公式作業部会 ● 「UNCLOS の下における多国間合意」の策定の可能性を含む、ギャップの特定のためのプロセスを開始する勧告をコンセンサスで採択。

IV. 海洋における新産業に関する動向

海洋における新産業のうち、特に萌芽的な分野を対象に、研究開発及び実用化・産業化に向けた取り組みの動向、課題と将来展望等を有識者ヒアリング等に基づいて把握した。

対象分野は、海洋における新産業に専門的知見を有する有識者からの意見等を参考にしつつ、平成 20 年度及び 21 年度の「海洋産業の活動状況に関する調査」など、過去に総合海洋政策本部事務局が実施した調査で必ずしも十分に情報収集していない分野等を勘案し、下記の 3 分野とした。但し、海洋における新産業の萌芽的分野の網羅的な洗い出しに基づくものではなく、従って萌芽的分野がこれら 3 分野に限定されることを意味しない。

- 海洋深層水のエネルギー利用
- 藻類による二酸化炭素固定とバイオマス燃料生産
- 二酸化炭素の回収・貯留（CCS）

萌芽的分野に着目していることから、いずれも必ずしも既に実用化・産業化されているわけではない面があるが、将来的な実用化・産業化を念頭に置いた取り組みという観点から取り上げている。また、海洋深層水以外の 2 分野は必ずしも海洋のみに限定される取り組みではないことから、一般的な動向と海洋に関連する側面を取り上げている。これらのことから、海洋基本法において定義される「海洋の開発、利用、保全等を担う産業」という海洋産業の概念に厳密に即して整理しているわけではない点に留意されたい。

対象とした各 3 分野について、それぞれ 1～2 名の有識者等に対しヒアリングを実施するとともに、当該有識者等から提供又は紹介された資料文献や、その他公刊された資料文献及びインターネット上の情報等を基に整理している。動向等については極力、幅広く一般的な状況を取り上げるよう留意しているが、有識者等の見解については、今回実施したヒアリングや参照した資料文献等に基づくものである。各分野に関しヒアリングに協力していただいた有識者等と主な参考文献はそれぞれの末尾に示しているが、本報告書の内容についての一義的な責任は本調査受託者にある。

萌芽的分野であることもあり全体に研究開発段階や実証プロジェクト段階にある事例が多く、実用化・産業化されている事例はあまり認められなかったが、海洋深層水のエネルギー利用に関して、いわゆる多段利用が実際に行なわれている事例について、現地調査を行なった。

IV－1. 海洋深層水のエネルギー利用

1. 海洋深層水のエネルギー利用の背景・経緯

(1) 海洋深層水の利用の背景

① 海洋深層水の特徴と資源性

海洋深層水は、その有効利用を念頭に、深度と資源性の観点から定義又は説明されることが多い。海洋深層水利用学会では次のように説明している（海洋深層水利用学会 Web サイトより「海洋深層水について」）。

- 海洋深層水とは、一般に、太陽の光の届かない 200m 以深の海水で、富栄養性、清浄性、低水温性、水質安定性などの優れた資源性を有しています。
- 海洋深層水は、資源利用の観点から、「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*以深の資源性の高い海水」と定義づけられています。

*補償深度・・・海洋で植物プランクトンなどが光合成をするのに必要な太陽光の届く水深のこと。この深度では光合成による有機物生産が盛ん。（本報告書執筆注）

〔海洋深層水の特徴〕

富栄養性	植物の成長に欠かすことのできない無機栄養塩類（硝酸塩、リン酸塩など）が豊富に含まれています。
清浄性	細菌類が少なく、陸水や大気からの化学物質や病原性微生物などによる汚染の可能性も少なくなっています。
低水温性	太陽の輻射を受ける海面に近い表層の海水に比べて、年間を通じて水温が低くなっています。
水質安定性	海水として無機化が進んでおり、水質が物理・化学的および微生物学的に安定しています。また水質の変動が小さく、年間を通じてほぼ安定しています。

※出典：海洋深層水利用学会 Web サイトより「海洋深層水について」

(<http://www.dowas.net/water/index.html>)

海洋深層水が有する上記の特徴から、これまでも資源として有効利用を図ることが模索されてきている。例えば、富栄養性や清浄性は、魚介類や藻類の養殖、海域肥沃化、磯焼け回復などに利用でき、低水温性は、海洋温度差発電や冷房、発電所・工場冷却水などに利用できる。特に日本では、海洋深層水を飲料水、食品、化粧品などに利用した商品開発が盛んで一時はブームとなり一般的によく知られる。また、これらのほかにも、清浄な淡水、栄養塩、金属類などの資源性が指摘されている。海洋深層水は海水の 9 割以上を占め、含まれる資源量が多いだけでなく、これらの資源性は海洋の循環過程の中で再生される再生資源である。

海洋深層水利用学会会長の高橋正征・東京大学名誉教授（以下、高橋名誉教授）は、海洋深層水の有効利用の必要性について次のように指摘している。「20 世紀は石油、石炭、各種鉱物などの地下資源を利用して発展してきた。これらは資源密度が濃いという特徴があり、科学的知見や技術が未熟でも効率的に利用できる一方で、利用すれば環境変化をもたらし、また枯渇してしまうという問題がある。21 世紀にはこれらの問題が生じないよう地下資源に依存せず再生資源に切り替える必要がある。再生資源とは物質資源ではなく、太陽光、風力、水力、波力、海流などの再生可能なエネルギー資源である。その中でも特に海洋、そして海洋深層水はポテンシャルが高い。しかし、これらの再生資源の特徴は資源密度が低く、効率的な利用が難しい。したがって、低密度資源の効率的利用を推進していくことが必要である。（高橋名誉教授へのインタビューより）」

② 海洋深層水の開発

海洋深層水の開発は、1881 年にフランスのダルソンバール（J.D'Arsonval）が深層水の低水温性に着目し、表層水と深層水の温度差を利用して発電する海洋温度差発電を考案したことに始まると言われている。その後、フランスで研究が進められたものの事業化の目途が立たず 1950 年代に中止された。

1973 年の第一次石油ショックを契機に、先進国で発電方法の見直しが検討される中で海洋温度差発電も取り上げられ、米国ではハワイ州政府が州立ハワイ自然エネルギー研究所を設置し、海洋深層水の取水と海洋温度差発電の研究開発を行う環境が整備された。日本では当時の通商産業省工業技術院（現・独立行政法人産業技術総合研究所）が 1974 年に立ち上げた「サンシャイン計画」（新エネルギー技術開発計画）で検討された。また、1979 年には島根沖において日本で初めて海洋温度差発電の短期洋上実験が行なわれた。しかし、一定の成果

が得られ可能性は示唆されたものの、その段階では費用対効果が低いと評価され、研究開発は中止された。

その後、1985年に当時の科学技術庁が開始した「アクアマリン計画」の下では、海洋温度差発電以外の深層水利用技術を検討するために、「海洋深層資源の有効利用技術に関する研究」（昭和61年度～平成3年度）が発足し、その中で1989年に日本初の海洋深層水取水施設を富山湾（洋上型）と高知県室戸岬（陸上型）に設置して研究が実施された。

高知県室戸市の取水施設は事業終了後も恒久化され、高知県海洋深層水研究所として研究開発を継続している。また、1996年からは、要望に応じて一般分水が開始され、そこから飲料水や食品、化粧品など、海洋深層水を利用した商品が生まれ、やがて全国展開される商品の登場などによって、海洋深層水商品ブームとなった。一方、海洋深層水の水産利用にも注目され、水産庁は1999年から海洋深層水の取水施設の設置への補助事業を開始した。

国内では上記のような経緯から、一般に海洋深層水の資源利用は、飲料水や食品、化粧品などの深層水利用商品がポピュラーであるが、海洋温度差発電についても、佐賀大学を中心に研究開発が継続され、現在、国際的にも実証段階としてトップレベルの技術水準にある。2010年に独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が再生可能エネルギーの分野別の最新動向に基づいて2030年に向けた技術開発課題及びロードマップを策定した「再生可能エネルギー技術白書」の中でも、海洋温度差発電が取り上げられている。

海洋深層水が持つ富栄養性、清浄性、低水温性、水質安定性などは、1つの利用目的で全ての資源性が失われるわけではないため、取水した深層水を複合目的で段階的に利用することが可能である。これを多段利用と呼ぶ。取水施設の設置にコストがかかり、現状では単一目的で採算をとることも難しいこともあり、深層水の有効利用のために多段利用を展開する必要性が指摘されている。

以下では、特に海洋深層水のエネルギー利用と多段利用に焦点をあてて取り上げる。

（2）海洋深層水エネルギー利用の技術開発の概要

海洋深層水の低水温性に着目するエネルギー利用には、海洋温度差発電と、冷熱そのものによる冷房・冷却がある。

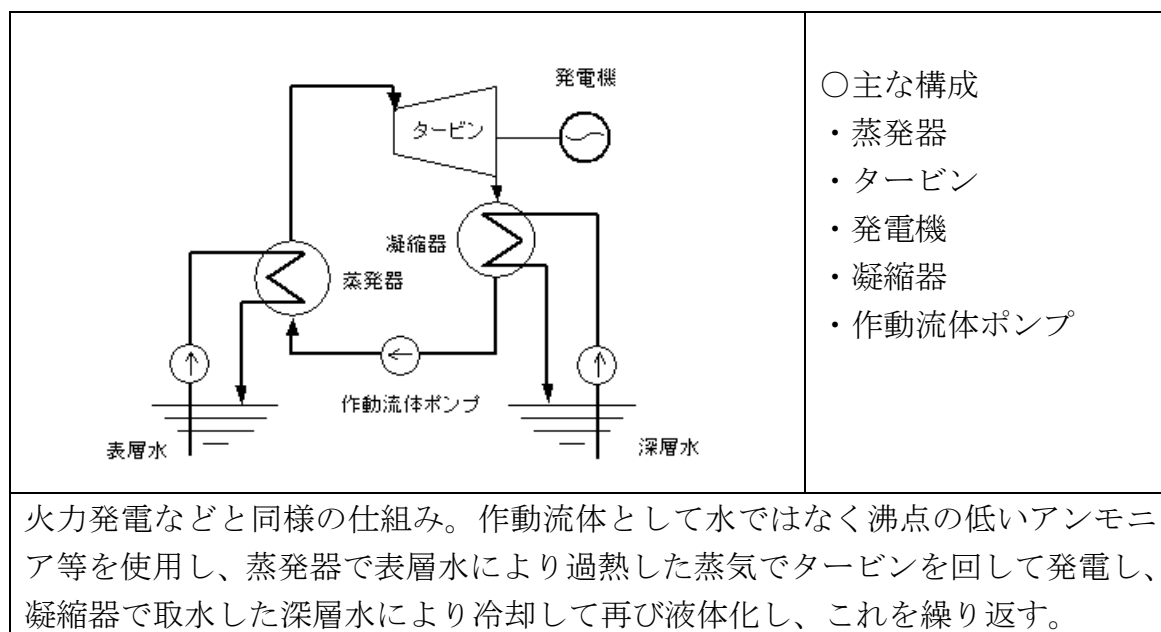
海洋温度差発電（Ocean Thermal Energy Conversion）は、英語の頭文字から略して OTEC とも呼ばれる。温かい表層水と、水深約 600~1,000m の冷たい深層水との間の温度差（約 20~25℃）を電気エネルギーに変換する方式である。

海洋温度差は比較的安定し季節変動は予測可能なため計画的な発電が可能で、施設建設・維持以外に化石燃料を使用しないため二酸化炭素排出量が少ない。

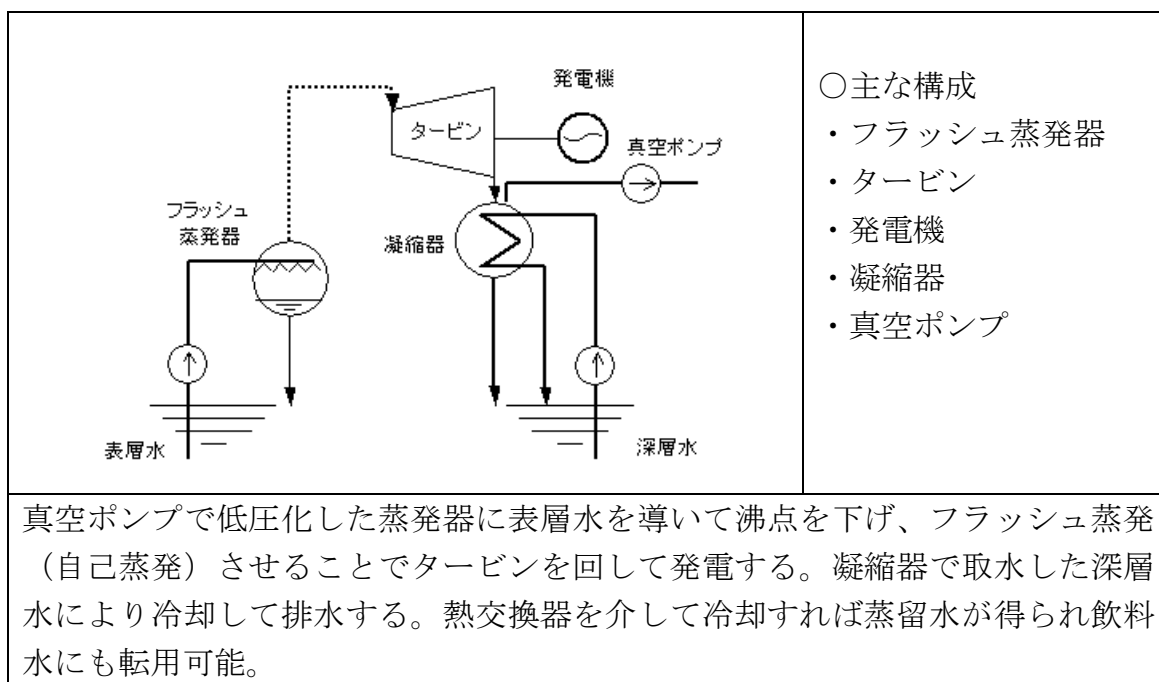
海洋温度差発電は大別して、クローズドサイクルとオープンサイクルがあり、ほか両者を組み合わせたハイブリッドサイクルなどがある。フランスでは現在もオープンサイクルの研究が行なわれているが、日本を含め国際的には小型で発電効率の高いクローズドサイクルが研究開発の主流となっている。また、発電システムのほかに重要な構成要素として、深層水の取水管がある。海洋温度差発電では水深 600~1,000m から大量の取水が必要になるため、以前から産業上の実用化に向けた技術開発課題となっている。

〔海洋温度差発電の仕組み〕

■ クローズドサイクル



■オープンサイクル



※図の出典：佐賀大学海洋エネルギー研究センターWeb サイト

(http://www.ioes.saga-u.ac.jp/about_otec_02.html)

なお、NEDO(2010)「再生可能エネルギー技術白書」でも同図を引用。

概要説明は上記出典等を参考に作成。

海洋深層水の冷熱を利用した冷房は、直接冷熱源として利用する直接利用方式と、ヒートポンプなどの熱源機器の熱源水や冷却水として利用する間接利用方式がある。後者は取水する深層水の温度が比較的高い場合（約 15~20℃）に採用される。配管系統の腐食を避けるため、熱交換器で室内側の空調機器を循環する淡水や冷媒と熱交換を行うことでエネルギー利用する仕組みである。特に直接利用方式の場合、冷房に必要な動力は深層水と冷媒の循環だけで、従来の空調のように新たな冷却エネルギーを必要としないため大幅な省エネ効果がある。

海洋深層水による冷房は既存技術の適用により実施可能で、比較的導入が容易である。国内に存在する海洋深層水取水施設の取水規模自体が小さいため、比較的小規模ではあるが、既に富山県水産試験場の飼育棟や、室戸市アクアファーム、沖縄県海洋深層水研究所、焼津市や富山県入善町の海洋深層水利用施

設などで導入されている。しかし、産業的に実用化している例はまだ少なく、富山県入善町における株式会社ウーケの無菌包装米飯工場の冷房の例のみとされている（当該事例は多段利用事例でもあり後述する）。

現状では熱交換器の腐食を避けるためチタン合金製が使用されているが、チタンは高価で熱伝導率が低いため、より安価で高効率な素材の熱交換器の開発が課題とされている。

海洋深層水の冷熱利用は冷房に限られない。発電所や工場の冷却水や、水産養殖の夏期等の水温制御、熱帯地域での温帯性作物の栽培などにも利用可能である。

2. 技術開発と産業化の現状

(1) 海洋温度差発電

先述のように、海洋深層水の開発は 1881 年、フランスのダルソンバール (J.D'Arsonval) が海洋温度差発電を考案したことから始まった。フランス、米国などで海洋温度差発電の研究が進められ、特に 1970 年代のオイルショック以降、日本を含めて各国で研究開発が進められた。例えば、米国では 1974 年にハワイ州立自然エネルギー研究所が設立され、1979 年にはハワイ・コナ沖で発電実証プラント Mini-OTEC での発電に成功し（取水量 75t/h、発電出力 50kW、正味出力 15kW）、世界で初めて温度差のみで出力が得られることを証明した。

その後、原油価格の下落等で各国とも研究開発は下火となったが、近年の原油高騰や地球温暖化問題などで再び各国で関心が高まり、研究開発が盛んになってきている。フランスでは国家的に海洋温度差発電の研究開発を推進する姿勢を示しており、米国では 2008 年に米国エネルギー省の海洋エネルギー推進プロジェクトに海洋温度差発電が盛り込まれ、民間でも Mini-OTEC を建設したロッキード・マーチン社が取組みを再開するなど動きが活発化している。

上記のハワイでの Mini-OTEC を始め、1970 年代以降の実証試験で海洋温度差発電が可能であることは証明されてきているが、これまでは 100kW 規模のものがほとんどであり、実用化に向けて 1,000kW 以上の規模の実証試験が不可欠と言われている。また、これには大量の海洋深層水の取水が必要になる。しかし、高橋名誉教授は、「技術は進展してきており、あと一步で実用化レベルに達すると見込まれる」と指摘している。

現在、米国ハワイ州では再生可能エネルギーの導入計画に基づいて、2015 年までに 35MW、2030 年までに 365MW 以上の海洋温度差発電の導入を目指して

おり、これに向け 2013 年に米国エネルギー省の支援で 10MW 規模の実証試験の開始を計画している。フランスもタヒチなどで 10MW 規模の実証試験を計画している。

インドも以前から海洋温度差発電の実用化に積極的で、インド国立海洋技術研究所が中心となって 5MW 規模の海洋温度差発電商用プラントの実用化を目指し、1MW 規模の実証実験プロジェクトと海水淡水化プロジェクトを開始している。既に海洋温度差エネルギーを利用した海水淡水化で成果を挙げている。その他、台湾、インドネシア、キューバなどでもプロジェクトが検討又は進行中である。

日本では先述のように 1970 年代の「サンシャイン計画」の中に位置づけられて検討されたものの、その段階では費用対効果に課題が残り、原油価格の下落等もあって本格的な研究開発の動きは下火となった。しかし、1982 年には東京電力株式会社がナウル共和国で 100kW 規模の海洋温度差発電に成功して一時、地元小学校の照明に供され、また同年、九州電力株式会社は徳之島で 50kW 規模の発電に成功している。

特に、1970 年代前半から研究を開始した佐賀大学の上原春男教授のグループがその後も研究開発を継続し、1994 年に作動流体にアンモニアと水の混合液を用いる「ウエハラ・サイクル」と呼ばれるシステムを開発した。理論的に高い熱効率が得られ、海洋温度差発電の実用化に道筋を開くものとして海外からも注目されている。現在も佐賀大学海洋エネルギー研究センターの伊万里実験プラントでシステム全体の効率向上と安定化に向けて研究開発が継続されており、平成 21 年度 NEDO 洋上風力発電等技術開発（海洋エネルギー先導研究）では、同大学の提案が採択されている。

このように日本でも技術的な蓄積は世界的にも高い水準にあり、「NEDO 再生可能エネルギー技術白書」によれば、数十 kW 級の実証研究はトップレベルにある。そのため、海外からの協力要請や共同研究の依頼が多く、上述の米国ハワイ州のプロジェクトには佐賀大学、タヒチのプロジェクトには株式会社ゼネシス（2010 年に韓国のポスコ社に買収）が発電システムで参加している。また、インドのプロジェクトには 1997 年から佐賀大学が共同開発と実証試験のための協定に基づいて技術協力を行なっている。

しかし、日本国内では、まだ海洋温度差発電の実用化規模のプロジェクトは動いていないのが現状である。2010 年、経済産業省は波力、潮流、海洋温度差などの海洋エネルギーによる発電技術の事業化に向けた研究開発に着手することを発表し、平成 23 年度から「海洋エネルギー技術研究開発」を事業化している。併せて 2010 年 7 月に NEDO が発表した「NEDO 再生可能エネルギー技術

白書」では、「海洋温度差発電の技術の現状とロードマップ」を盛り込んでいる。

その中で、「我が国の技術競争力は、海外の実証プラントが未だ稼働されていない現段階では優位性を保っているが、今後海外の実証試験が進むにつれ、国内技術の流出、実証による海外メーカーの技術力の躍進により、急速に競争力を失う危険性がある」との認識を示し、「MW 級の実証研究を世界に先導して実施することが不可欠である」として、下記の通り海洋温度差発電の目指す姿と技術開発目標を掲げている。

〔海洋温度差発電の目指す姿(NEDO)〕

- 海洋温度差発電の商用化に向けた技術開発を加速し、海外市場を創出するとともに世界最先端の技術的地位を維持し、国内企業の育成、国際競争力の強化を図る。
- 国内産業の育成、低炭素社会の実現、エネルギーセキュリティ等の観点から、国内での導入促進、新規産業の創出を実現する。

〔海洋温度差発電の技術開発目標(NEDO)〕

項目	2015 年	2020 年	2030 年
国内企業の育成 国際競争力の強化	● 1MWプラントの実証試験	● 商用プラントの運用開始 ● 国内導入の促進	● プラント出力の大型化 ● 世界市場シェアの拡大
プラント規模	～1MW	～10MW	～50MW
発電コスト	40～60 円/kWh 程度	15～25 円/kWh 程度	8～13 円/kWh 程度

※出典：(独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構(2010)「海洋温度差発電の技術の現状とロードマップ」『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』

海洋温度差発電を産業的に実用化するには、表層水と深層水の温度差が年間を通じ安定的に 20℃以上である必要があることから、国内での適地は鹿児島や沖縄、小笠原等であるとされている。この点、高橋名誉教授は「本州でも実現可能にするには、表層水の熱源として、発電所や製鉄所、工場の排熱を利用す

ることが有効」とし、そのための取組みが一部に留まることから「より実証と研究開発が必要である」と指摘している。「NEDO 再生可能エネルギー技術白書」でも、同様の問題認識を示し、事業性の向上に係る技術開発課題に挙げている。

(2) 海洋深層水の冷熱利用

海洋深層水の冷熱利用は、技術開発の概要の項でも述べたように、既存技術の適用で実施できるため、現状では海洋温度差発電よりも容易に導入可能な海洋深層水のエネルギー利用法である。しかし、国内での導入は小規模なものに留まっている。

冷房利用については既に述べたように、海洋深層水に関する研究施設や関連施設など限られた範囲の小規模導入に留まり、産業的に実用化されているのは1例（富山県入善町の株式会社ウーケの工場）というのが現状である。発電所・工場等の冷却水への利用については、NEDO の事業で多段利用と組み合わせた検討が行なわれたものの、その後、実用化に向けた継続的な実証の動きはないと指摘されている。

導入が限定的である背景として国内では海洋深層水の開発経緯上、エネルギーよりも食品・化粧品等や水産分野への注目が集まってきたことや、これに伴い国内に存在する海洋深層水取水施設の取水規模が小規模であることが指摘されている。

高橋名誉教授は、「真夏の日本の電力消費の半分は空調であり、深層水冷房にもっと本格的に取り組む必要がある。技術的にはすぐに導入可能であり、深層水の冷熱を利用すれば、改めて冷却する必要もなく、導入すれば 70%~90%程度の省エネ効果が期待できる。」と指摘している。また、今後の展望として「都市部などでより大規模で広い地域の冷房に導入することが考えられる。名古屋、大阪、福岡は海洋深層水の取水・送水上、導入は難しいが、東京であれば、横須賀付近で深層水を揚水し東京湾の海底を送水してお台場等で引き上げ、例えば丸の内まで送水して冷却するといったことは比較的容易にできる。ビルや大型病院など大型施設の冷房に利用すれば非常に効率がよく経済的にも成立しやすい。海洋の深層水ではないが、琵琶湖の深層水で京都や大津の冷房に利用することも可能である。」と述べる。

既に海外では、米国コーネル大学（ニューヨーク州）が、カユガ湖の深層水をキャンパス内の建物の冷房に利用している例（深層水冷房の最初の例で 2000 年から稼動）や、カナダのトロント市で、民間事業によりオンタリオ湖の深層水を病院などの市内大型ビルの冷房に利用している例（2004 年から稼動）があ

る。そのほか、タヒチのボラボラ島にあるインターコンチネンタルホテルが海洋深層水を揚水してホテル内の冷房に利用している。

経済性の観点からは、海洋深層水の冷房の場合、熱交換器にチタンを使用する必要がある、設備コストが高くなる課題がある。この点、高橋教授は「大規模冷房による電気使用コストの低減で設備コストをシェアすることが可能である。他方で、チタンは熱交換率も低いので、よりよい合金技術や、海水からの遮断技術の開発による設備コストの低減の取組みも必要である。」と指摘している。

水産分野での海洋深層水利用の取組みは、水産庁の補助事業とも相まって国内各地で実施されているが、主に富栄養性や清浄性に着目するものが多い。高橋教授によるとエネルギー利用が意識されることは少なく、水産業でのエネルギー利用を自覚的に導入している国内事例は北海道の羅臼町の例のみであるという。

北海道の羅臼町では、サケの定置網漁が盛んであるが、漁場から市場に運ぶまでの鮮度を保つため、サケを収容する船の魚槽に低温かつ清浄な海洋深層水を積載して利用している。水温 2℃の海洋深層水を積載することで、市場まで 10℃以下に保たれる。従来、港内海水を紫外線滅菌し、氷とともに入れて冷却していたが、海洋深層水に切り替えることで、深層水の取水費用を差し引いても約 1 億 2000 万円程度の氷代等のコスト削減効果があった。また、副次効果として、以前よりもサケが長持ちし、色もよくなったという。

国内で農業分野での冷熱利用の実用化に本格的に取り組んでいるのは、沖縄の久米島にある沖縄県海洋深層水利用研究所である。同研究所では地中に送水管を埋設して海洋深層水で冷却した 12℃の熱交換水を通し、土壌の根域を冷却する方法や簡易冷房ハウスによる方法で野菜や花の栽培試験を行なっている。既に土壌冷却で涼しい気候を好むハウレンソウの夏場の生産が可能であることを実証している。

(3) 海洋深層水の多段利用

① 日本における多段利用の現状

海洋深層水は、富栄養性、清浄性、低水温性、水質安定性、さらに溶存する栄養塩類や金属の回収可能性など様々な資源性を有する一方で、それぞれの資源密度が低いのが特徴である。そのため、低密度資源を効率的に利用する工夫

が求められ、個々の資源性を効率的に利用する技術の研究開発と併せて、様々な資源性を無駄にせず、総合的かつ複合的に利用する必要があると指摘されている。このことは、資源性を残存させたまま排水した場合の環境影響問題の観点からも求められる。海洋深層水が持つ複数の異なる資源性を複合目的で段階的に利用していくことを多段利用と呼ぶ。

多段利用は、海洋温度差発電の実用化をはじめ、海洋深層水利用の経済性の観点からも必要であると指摘されている。海洋深層水の利用に際しては取水施設コストが大きな負担となり、単一目的での利用では経済的に成り立たせることは難しい。特に本稿の主題である海洋温度差発電や冷熱利用を商用規模で実現させるには非常に大規模な取水が必要となる。そのため、海洋深層水を複合目的で有効に利用することでコストをシェアすることが求められる。

米国では州立ハワイ自然エネルギー研究所が、①海洋温度差発電、②冷房、③淡水製造（大気冷却による結露）、④魚介類・海藻等の培養、という多段利用計画を発表し、個別技術の研究開発を進め、部分的には多段利用が稼働している。

日本でも多段利用の概念は以前から意識されており、海洋温度差発電の構想や、旧・科学技術庁や水産庁の補助による各地の海洋深層水取水施設の計画の中で、検討されている。しかしながら、これまでに実際に多段利用を導入した例はほとんどないのが現状で、実用化に向けた実証も部分的な動きに留まると指摘されている。

高橋名誉教授によれば、国内で現在、実際に海洋深層水の多段利用が行なわれているのは、富山県入善町において、海洋深層水の冷熱を無菌包装米飯メーカーである株式会社ウーケの工場の冷房に利用し、これにより温度上昇した深層水をアワビ養殖に利用している事例が唯一である。この事例は深層水冷房を産業的に実用化している国内唯一の例でもある。ただし、この事例は、予め多段利用を計画して導入したものではなく、(株)ウーケが海洋深層水の利用が条件となる企業団地に立地するにあたって結果的に多段利用となったものである。

沖縄県久米島や、静岡県焼津市の海洋深層水施設は、計画段階では多段利用が念頭に置かれていたものの、実際には多段利用が導入されておらず、複数の単品利用が並列している状況にある。

多段利用の技術開発のために、1999年から5年間、NEDOの下で「エネルギー使用合理化海洋資源活用システム開発」が実施された。海洋深層水の冷熱で火力発電所を冷却し、温度上昇した深層水を淡水化、製品生産、養殖、農業など多段的に利用しようとするもので、100万t/日規模の取水を前提とした多段利用システムの実現を目指す基礎技術研究開発が行なわれ、北海道、首都圏、沖縄の3ヶ所を想定して地域特性を活かした多段利用が検討された。高橋名誉教

授は、「ここで検討された多段利用システムも実現には更なる実証が必要な点が残されており、引き続き継続的な取り組みが必要であるが、今のところ目立った動きはない」と指摘している。

佐賀大学海洋エネルギー研究センターでは、海洋温度差発電の商用展開には、発電だけではなく、海洋肥沃化、海水淡水化、水素製造、リチウム等の回収と複合的な大規模海洋深層水利用の実証が必要との認識から、海水淡水化やリチウム回収など多段利用に伴う個別技術の研究開発に取り組んでいる。

沖縄県久米島の現行施設では多段利用の導入に至っていないが、久米島町は総務省の平成 22 年度緑の分権改革推進事業を活用して、「久米島海洋深層水複合利用基本調査」を実施し、新たに大規模取水施設を設置して海洋温度差発電の導入と多段利用を展開する「海洋深層水複合利用「久米島モデル」」を検討している。水深 700m から 9,710t/h の海洋深層水を取水し、①海洋温度差発電（定格時出力 1,250kW）、②フラッシュ蒸発式淡水化、植物工場、施設園芸、ホテル・役場空調等、③逆浸透膜式淡水化、養殖、リチウム回収等という多段利用を想定している。なお、同町の「久米島町地域新エネルギービジョン」では、今後取り組むべき 8 つの新エネルギー導入プロジェクトの 1 つに「海洋温度差発電システムの導入」を挙げ、「高コストで実現性に疑問符が投じられている」としながらも、「深層水の多角的利用による社会的メリットにより、発電コストは様変わりする可能性があり、国策的プロジェクトとしての期待が高まりつつある」と位置づけ、多段利用を念頭に国の実証実験プラントの誘致を構想している。

近隣海外では台湾でも産官学連携による本格的な多段利用を含む海洋深層水の研究及び利用に注力し始めている。高橋名誉教授も台湾政府の求めに応じて、取り組みの当初から協力している。既に台湾南部の台東に 2 つの国立の海洋深層水に関する研究所の整備が進められ、両研究所と連携しながら、民間では海洋深層水の多段利用システムを導入した未来型の街を整備する計画が検討されている。

② 富山県入善町における多段利用事例

i) 入善町における海洋深層水利用

入善町は、富山県北東部に位置し、北アルプス立山連峰を源流とする黒部川扇状地にある（平成 22 年度国勢調査速報：人口 27,201 人・8,681 世帯、面積：71.29 平方 km）。「黒部川扇状地湧水群」が環境省の名水百選に選定されるなど、以前から豊富な地下水に恵まれることで知られる。生活用水は上水道ではなく

地域の水道組合により運営される井戸でまかなわれ、豊富で清浄な水資源を必要とする産業の工場立地も多い。また、町の北側は日本海に面し、水深が深い富山湾の湾口付近に 11.5km の海岸線を有する。

富山県内には現在、下記 3 ヶ所の海洋深層水取水施設があり、その 1 つが入善町が水産庁の補助事業を利用して整備したものである。

〔富山県内の海洋深層水取水施設〕

設置場所	富山県水産研究所 (滑川市)	入善町	滑川市
施設完成年	平成 7(1995)年 3 月	平成 13(2001)年 12 月	平成 14(2002)年 12 月
設置主体	富山県	入善町	当初、NEDO 富山県に移管* (市に無償貸与)
取水量	3,000t/日	2,400t/日	2,000t/日
取水深度	321m	384m	333m
分水・活用施設	なし(水産試験研究のみ)	入善海洋深層水活用施設	滑川海洋深層水分水施設「アクアポケット」

※入善町農水商工課提供資料より

(* 滑川市の取水施設は当初、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の事業「エネルギー使用合理化海洋資源活用システム開発」で整備され、県に移管されたもの。)

富山県における海洋深層水の開発・利用は、旧・科学技術庁の「アクアマリン計画」に基づく「海洋深層資源の有効利用技術に関する研究」(昭和 61 年度～平成 3 年度)で洋上型海洋深層水有効利用システムの研究拠点に富山湾が選定されたことに始まる(陸上型については高知県室戸)。この事業では、旧・科学技術庁、水産庁日本海区研究所、富山県その他関係機関が共同で富山県氷見市沖に洋上型取水装置「豊洋」を設置し、海洋深層水を散布する海洋肥沃化試験等を実施した。「豊洋」は事業終了に伴い撤去されたが、これを契機に富山県で陸上揚水や海洋深層水の有効利用に関する検討が行なわれ、1995 年には水産庁等の支援の下、滑川市にある県の水産研究所に、水産試験研究目的の陸上型取水施設が整備された。

入善町では上記の動きに加え、従来、河川や地下水の豊富な水資源を背景とする、まちづくりを推進していたことから、続いて海洋深層水の活用による地域活性化に着眼した。水産庁で漁港高度利用活性化対策事業が創設されたことを受け、1999年3月、水産業の振興、新規産業活動の振興、町のイメージアップを3本の柱に、海洋深層水を活用した町の活性化を目指す「入善町アクアビレッジ基本構想」を策定した。同年11月に海洋深層水活用事業の基本事項を設計し、2000年12月に深層水取水施設整備に着手、2001年12月に完成し、取水を開始した。施設整備事業費は約9億9千万円である（深層水取水施設整備事業費：823,038千円(国が1/2補助)、深層水供給・管理施設整備事業費：161,973千円、用地取得・道路整備費を除く）。

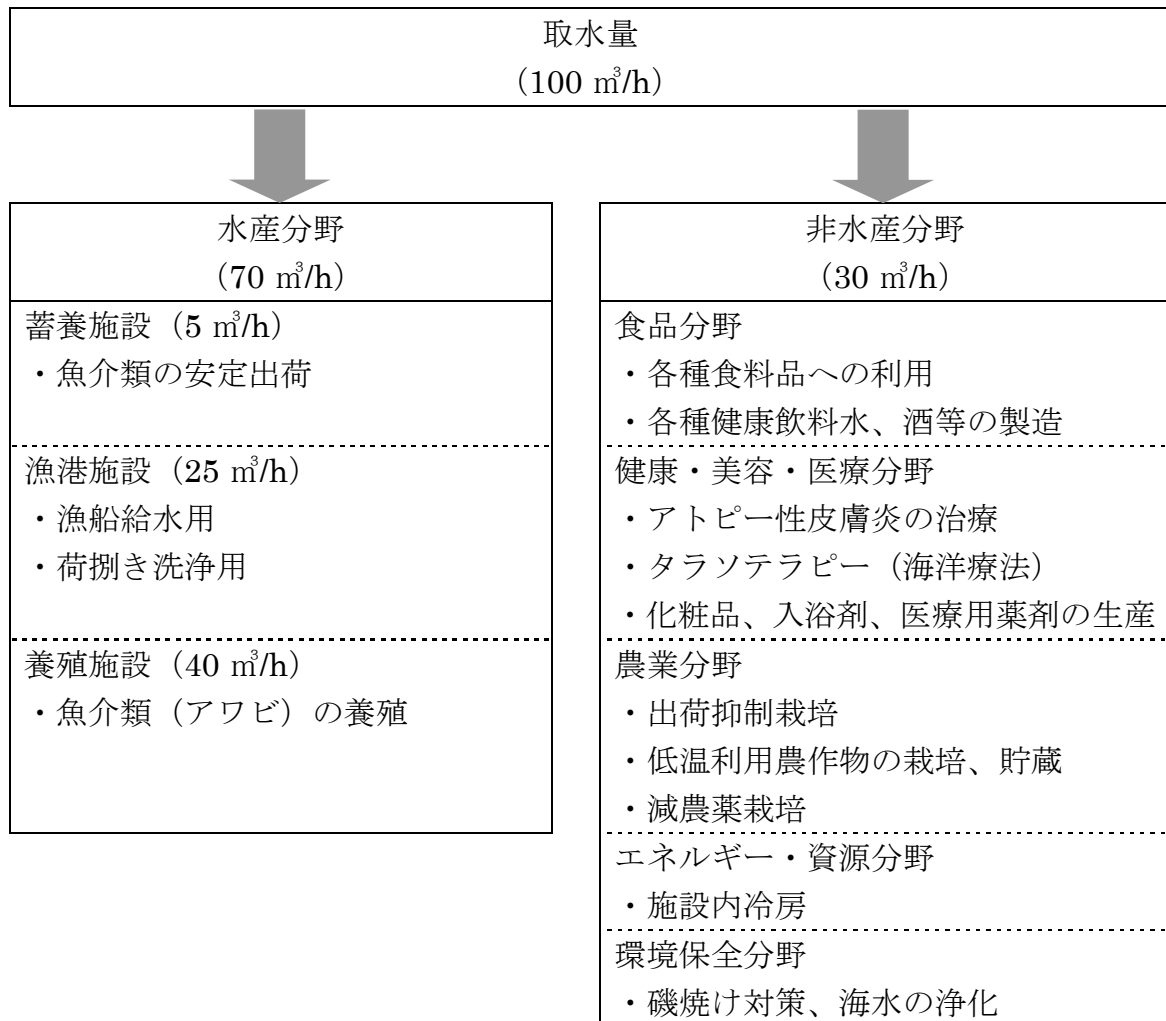
一般に海洋深層水は水深200m以深の海水を指すことが多いが、入善町や滑川市で取水・分水されている海洋深層水は、富山湾の水深300m以深の日本海固有水である。富山湾は海岸近くの浅い層に河川などの影響を受けた塩分濃度の低い沿岸表層水、その下層から水深300m付近に対馬暖流系水、さらにその下層に日本海固有水が存在する。

太平洋側の深層水が地球規模で循環するのに対し、日本海では他の海域とを繋ぐ宗谷海峡、津軽海峡、対馬海峡の水深が浅いため深層水が他海域と交わらず、日本海内で固有に循環している(100年程度で更新)。低温安定性、清浄性、富栄養性といった海洋深層水の性質を備えているが、特に日本海固有水の特徴として、水温が年間を通じ1~2℃と非常に低温で安定していることや(太平洋側深層水は10℃前後)、溶存酸素量が豊富であること(太平洋やオホーツク海に比べて倍程度)が指摘されている。

入善町で取水している海洋深層水100 m³/hのうち、70 m³/hは水産分野、30 m³/hは非水産分野に利用される。取水施設に隣接して分水・活用施設「入善海洋深層水活用施設」が併設されており、事業者や一般向けに所定料金で大口、小口の分水も行なっている。

水産分野では低温安定性、清浄性、富栄養性の有効利用として、安定出荷等に資する蓄養、漁港施設での鮮度保持・衛生管理用水のほか、全国初となる海洋深層水でのアワビ養殖・出荷に用いられている。非水産分野でも、食品、健康・美容・医療、農業、エネルギー・資源、環境保全といった様々な用途に活用されており、かつての深層水ブームともあいまって、様々な海洋深層水利用商品も生まれている。富山県では海洋深層水の幅広い活用と事業化を促進することを目的に「富山県深層水協議会」を設置して、富山(入善町、滑川市)の深層水利用商品の公認ブランドマークを付与するなどの取組みを行なっている。

〔入善町の海洋深層水の用途〕



※入善町農水商工課提供資料より

(また、入善町役場「NYUZEN Deep Sea Water」も参照。

(<http://www3.town.nyuzen.toyama.jp/deepsea/riyou/katsuyou.htm>))

さらに入善町では、海洋深層水から新たな産業を振興するため、2005年に取水・分水施設に隣接して「入善海洋深層水企業団地」(造成面積: 14,000 m²)を整備した。現在、無菌包装米飯(レトルトご飯)メーカー「株式会社ウーケ」が立地している。

ii) 工場冷房と水産養殖の多段利用

入善町における海洋深層水の取水・利用は、前述のように水産庁の補助事業を利用して整備されたものである。一義的には水産振興を主眼としながら、一部を「入善町アクアビレッジ基本構想」に基づいて新規産業振興等に活用しようとするものであり、計画段階では多段利用を構想していたわけではない。実際、取水開始後も漁港・蓄養施設、養殖施設、分水施設それぞれに送水して活用する形態であった。しかし、2005年に整備した「入善海洋深層水企業団地」に無菌包装米飯メーカー「株式会社ウーケ」が立地するに際して、小規模ながら多段利用が導入されることとなった。

(株)ウーケは、米卸大手の「株式会社神明」と、商社の「丸紅株式会社」によって2007年11月に設立された無菌包装米飯を主力商品とする企業で、入善海洋深層水企業団地内に本社及び富山入善工場を置く。工場は2008年11月に竣工し、2009年3月に初出荷した。

同社が入善町への工場立地を考慮したのは、北アルプスを水源とする黒部川扇状地湧水群の豊富な天然水が、炊飯に最適な軟水（硬度28~29）であるためである。入善海洋深層水企業団地に入るには深層水利用が条件となるが、商品の無菌包装米飯に塩分を含む硬水である海洋深層水を使うことができなかった。そこで深層水の利用方法を検討したところ、日本海固有水の低温性や取水規模を勘案すると、冷熱エネルギーを炊飯や滅菌の熱で高温になる工場の冷房として利用するのに適していることが分かった。

他方、入善漁業協同組合では、取水開始直後の2002年4月から日本では初めて海洋深層水を利用したアワビ養殖・出荷に取り組んでいた。また、アワビは、非常に低温な海洋深層水のままでは生育できないため、ボイラーで加温して利用していた。しかし、アワビ養殖はなかなか採算ベースに乗せるのが難しく、折しも原油価格の上昇傾向と不安定化の中でボイラー加温コストが経営を圧迫し、一時はアワビ養殖の中止寸前に陥る状況となった。アワビ養殖の中止は水産振興を主眼とした入善町の海洋深層水事業そのものの意義を失わせかねない事態である。

そのときに、(株)ウーケで深層水を工場冷房に利用する計画が持ち上がった。工場で加温された深層水をアワビ養殖に利用することで、これまでのボイラー加温を減らすことができ（工場休業時や冬場など温度不足の場合はボイラー加温による補助が必要）、燃料コストを削減することが可能となる。こうして、取水した海洋深層水をまず無菌包装米飯工場の冷房としてエネルギー利用し、その際に加温された海洋深層水の富栄養性と清浄性を利用してアワビを養殖するという多段利用が導入されることとなった。

これにより、(株)ウーケは、海洋深層水による冷房を導入する際のイニシャルコストでは通常の冷房を導入する場合に比べてプラス約300万円要するのに対

して、ランニングコストでは計算上、年間約 500 万円のコスト削減効果となる（1 日 20 時間稼動・年間 240 日稼動の想定、町側のコストを除く）。一方、アワビ養殖施設は、導入前の年間重油使用量が 133kL/年であるのに対し、導入後は計算上 60kL/年にまで削減できることとなり、年間約 550 万円のコスト削減効果となる（1 日 20 時間稼動・年間 240 日稼動の想定）。

〔冷熱エネルギー利用、多段利用の導入による効果〕

■ (株)ウーケ 富山入善工場におけるイニシャルコスト比較

海洋深層水	使用機器	イニシャルコスト
利用しない場合	空冷ヒートポンプチラーユニット ・ 冷房能力：300 kW ・ 台数：3 台	16,600 千円
利用する場合	冷水プレート式熱交換器 ・ 交換熱量：740 kW ・ 台数：1 台（チタン製）	19,700 千円

※提供：(株)ウーケ、入善町農水商工課((株)日立プラントテクノロジー、(株)日阪製作所調べ)
(なお、熱源機器以外は比較対象外。入善町側のコストも対象外。)

■ ランニングコスト比較(省エネ効果)

(株)ウーケ 富山入善工場)

	時間当り消費電力（年間平均）	年間消費電力
冷房器の場合	102 (kW/h)	489,600 (kW)
深層水の場合	4.4 (kW/h)	21,120 (kW)
⇒ 年間コスト削減：約 500 万円		

(入善漁業協同組合 アワビ養殖施設)

使用機器	年間重油使用量
加温した深層水を使用しない場合	133 (kL/年)
加温した深層水を使用した場合	60 (kL/年)
⇒ 年間コスト削減：約 550 万円	

※提供：(株)ウーケ、入善町農水商工課((株)日立プラントテクノロジー、(株)日阪製作所調べ)

(なお、実績値ではなく計算値。1 日当り稼働時間 20 時間、年間稼働日数 240 日と仮定。
これまで実測は行なわれていない。)

■ 環境負荷低減(CO₂削減)効果

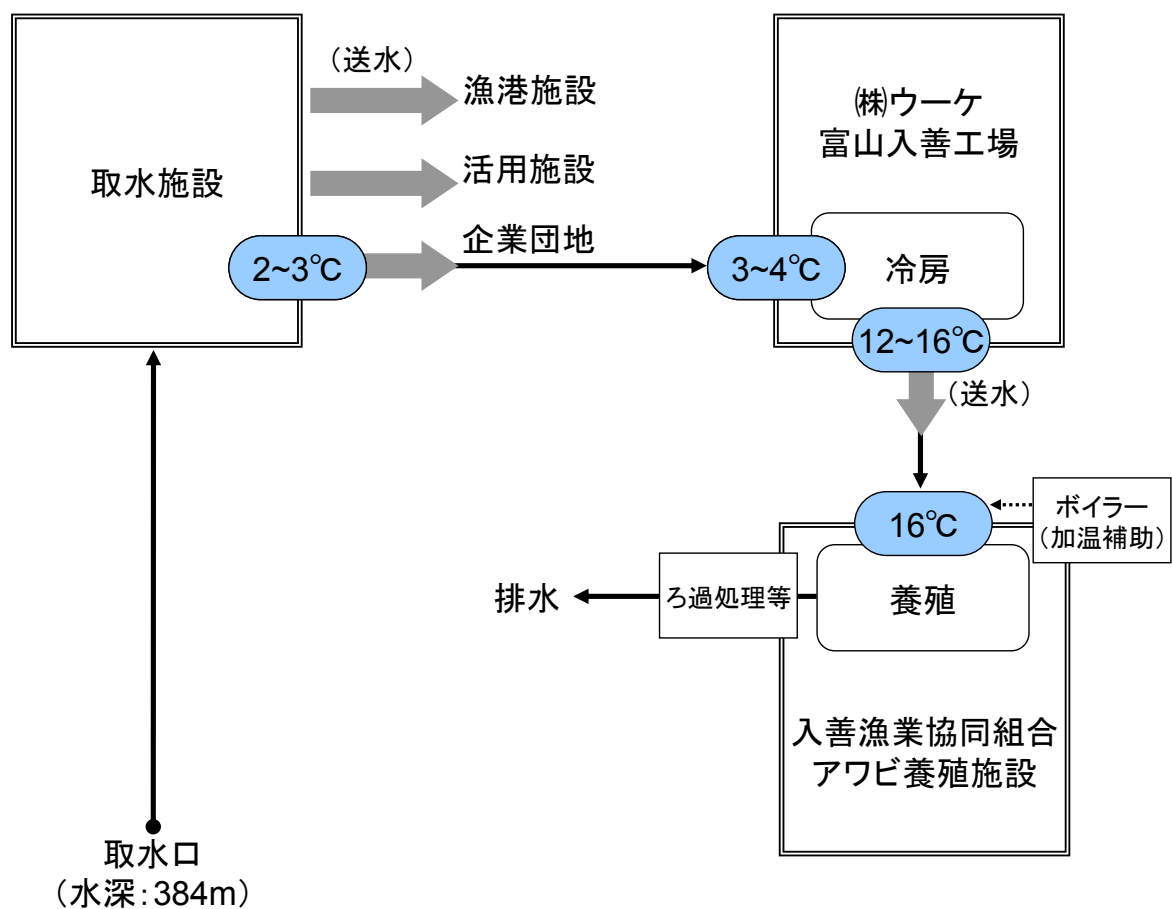
		(株)ウーケ 工場空調設備	アワビ養殖場 ボイラー設備	合計
CO2 排出量 (t-CO2/年)	深層水を 利用しない場合	225	360	585
	深層水を 利用する場合	10	162	172
CO2 削減量 (t-CO2/年)		215	198	413 (70.6%削減)

※提供：(株)ウーケ、入善町農水商工課((株)日立プラントテクノロジー、(株)日阪製作所調べ)

(なお、実績値ではなく計算値。これまで実測は行なわれていない。)

入善町における多段利用事例の概要と関連施設等の状況は下記の通りである。

〔入善町における多段利用事例の概要〕



※入善町農水商工課提供資料、ヒアリング結果を基に作成

〔入善町の海洋深層水多段利用に係る関連施設等〕

■ 取水施設（取水能力：100 m³/h(2,400 m³/日)）



※写真：入善町役場「NYUZEN Deep Sea Water」
 (<http://www3.town.nyuzen.toyama.jp/deepsea/shisetsu/index.htm>)

取水口

- 取水地
 - ・入善海岸沖合い約 3km
- 取水深度
 - ・水深 384m

取水口は高さ約 5m のやぐら状。設置場所は付近で行なわれる刺し網漁の魚網が 300m に達するため 50m 以上の余裕を考慮して選定。



※写真：入善町役場「NYUZEN Deep Sea Water」
 (<http://www3.town.nyuzen.toyama.jp/deepsea/shisetsu/index.htm>)

取水管

- 取水管
 - ・鉄線鎧装硬質ポリエチレン管
 - ・内径 250mm×総延長 3,308m

	
取水管のサンプル	取水ポンプ室（右）と非常電源室（左）
実際に使用されている内径 250mm の鉄線鎧装硬質ポリエチレン管のサンプル。	○取水ポンプ室概要 ・構造:鉄筋コンクリート造(地上 1F、地下 1F) ・建築面積:70.56 m² ・述床面積:139.45 m² ○受水槽 ・FRP 角型 30 m² 取水管で汲み上げた深層水はポンプ室上部の受水槽に一旦、貯められてから送水する。



取水ポンプ（取水ポンプ室地下 1F）

- 取水ポンプ
- ・片吸込渦巻ポンプ(樹脂製)
 - ・11kw×2 台

1 台で 100 m³/h 汲み上げられる。1 台ずつ交互に運転しながら定期的にメンテナンスを実施。



取水ポンプ（取水ポンプ室地下 1F）

サイホンの原理で取水ポンプ室の近くまで自然に揚がってくる深層水を取水ポンプでポンプ室上部の受水槽に汲み上げる。写真右手側の管から受水。

	
送水ポンプ（取水ポンプ室 1F）	非水産用の送水ポンプ
一旦、取水ポンプ室上部の受水槽に貯めた深層水を送水ポンプで漁港施設、分水・活用施設、養殖施設、非水産施設（企業団地等）それぞれに送水する。	企業団地に送水する非水産用の送水ポンプ。(株)ウーケの工場には、このポンプで 2~3℃の深層水を送水する。

	
海洋深層水活用施設	深層水商品販売
○活用施設概要 ・敷地面積:1,940 m² ・構造:鉄骨造平屋建 ・床面積:336 m² ・設備:分水設備、脱塩設備(逆浸透膜法)、電解機能水製造設備、実験室、研修室、展示体験コーナー 取水施設に併設されている活用施設。一般向けの大口、小口の分水を行なっている。	海洋深層水活用施設では一般向けの分水設備のほか、展示・体験コーナーや開放型研究施設があり、深層水商品の販売も行なっている。

	
小口分水設備	大口分水設備
○小口分水設備の分水能力 ・原水:10L/min ・脱塩水:10L/min ・濃縮水:10L/min 所定の利用料金で分水を利用できる。 商業利用（大口分水）の場合は申請手続が必要。	○大口分水設備の分水能力 ・原水:500L/min 所定の利用料金で大口分水も利用できる。ボタンを1回押すと1,000L分水される。

■(株)ウーケ「富山入善工場」における関連施設

	
(株)ウーケ 富山入善工場	生産ライン
○工場概要 ・「入善海洋深層水企業団地」に立地 ・敷地面積:12,403 m² ・構造:鉄骨造 3 階建て ・建築面積:3,368 m²	○生産 ・品目:無菌包装米飯(無菌のレトルトご飯) ・生産能力:7200 食/h ・生産開始:2009 年 3 月 2 日 滅菌工程や炊飯工程などにより工場室内が高温(40℃超)になるため冷房が必要となる。取水施設から送水されてきた深層水の冷熱(3~4℃)を交換して工場生産ラインの冷房に利用する。
	
送水ポンプ	アワビ養殖施設への送水
冷房で温度が上昇した深層水(12℃~16℃)を工場敷地の角に設置した送水ポンプでアワビ養殖施設へ送水する。	写真正面奥に見えるのが入善漁業協同組合のアワビ養殖施設。

■ 入善漁業協同組合「アワビ養殖施設」における関連施設

	
入善漁業協同組合 アワビ養殖施設	養殖水槽
○施設概要 ・敷地面積:12,403 m² ・構造:鉄骨造平屋建 ・建築面積:880 m²(作業機械棟:224 m²) 海洋深層水の富栄養性、清浄性等を活用して、全国で初めて深層水で養殖したアワビを出荷。深層水で育成すると安全だけでなく身が柔らかくなるという。	○養殖 ・養殖水槽:FRP 角型水槽(3 m²)×40 槽 ・養殖開始:2002 年 4 月 ・養殖量:8 万個 低温安定性のある深層水は水温管理が容易なためアワビ養殖に適するが、そのままでは温度が低すぎて生育できないため加温が必要になる。
	
養殖中のアワビの稚苗	蓄養・出荷施設
愛媛産、岩手産のエゾアワビの種苗を養殖(東日本大震災後、岩手産は中止)。30mm~50mm の種苗を 70mm ~ 80mm 程度まで育成して出荷する。	養殖したアワビの出荷作業や、出荷待ちの間の一時的な蓄養を行う場所。

	
ボイラー(左奥)と 加温熱交換機(右手前)	養殖水槽への送水
低温の海洋深層水をアワビ養殖できる温度まで加温するためのボイラーと加温熱交換器。(株)ウーケの工場での加温が行なわれる前は全てボイラーで加温していた。現在も冬場、工場から送水される深層水が16℃に満たない場合はボイラーで加温する。	適温となった深層水を貯水槽から各養殖水槽へ送る。

iii)本事例における課題と展望

入善町における多段利用事例は、総じて成功しているが、運用上、特に(株)ウーケの工場からアワビ養殖施設へ送水する海洋深層水の水温が外気温に左右されやすいため、常時、両者間で綿密に温度の安定化を図る努力が重ねられている。

(株)ウーケの工場から送水する海洋深層水の水温は、今のところ夏場と冬場で約5~7℃の差が生じている。特に冬場は十分な加温ができず、16℃での送水を要するところが10℃程度に留まり、アワビ養殖場でボイラーによる加温が必要になる。このように冬場の水温安定化が最大の課題となっているが、現在、不足する温度を工場の熱排水で補うことを検討中である。

他方、(株)ウーケの工場冷房は満足できる水準が保たれている。しかしながら、取水規模が小さく、冷房能力の拡張性に欠ける点も課題として指摘されている。現在も本来、より冷却する必要がある区画を冷房できない状況にある。また異常気象の場合や、企業団地への立地が増加した場合への対応など、より本格的な冷熱エネルギー利用や多段利用の展開は困難なのが現状である。

また、多段利用導入にあたっての課題として、現状では国等の支援施策が多段利用向けになっていない点が指摘されている。実際、この事例でも NEDO の補助の話が持ち上がったが、最終的には規模が小さすぎるとして補助を受けられなかったという。新しい取組みについて、一企業が最初から大規模なプロジェクトを実施することは困難であることから、企業等がより取り組みやすくなるようなきめ細かな支援施策が求められている。

入善町における海洋深層水利用の全般的課題としては、全国の深層水取水地で様々な海洋深層水利用商品が生まれてきた一方で、深層水ブームが沈静化する中、いかに深層水の効果のエビデンスを確立し、差別化を図っていくかという点が挙げられている。他の取水地地域でも同様に苦慮しているという。さらに施設、設備等の経年劣化による維持管理費の増大など事業実施に係る財源確保も課題とされている。他方、水産庁の補助事業を利用して取水施設を整備したことで用途制限があるものの、本来主眼である水産分野はなかなか採算ベースに乗らないという問題も抱えている。

このような状況の中で、入善町も画期的な深層水利用の切り口を模索する必要性に迫られており、特に同町の基幹産業の 1 つである農業分野での利用拡大や、冷熱エネルギーによる冷房を導入する大規模データセンター等の誘致、多段利用の展開といった新たな取組みにも関心を有している。このように、自治体からも海洋深層水利用が曲がり角に差しかかる中で、エネルギー利用や多段利用など新たな取組みへの支援施策が求められている。

3. 技術開発と産業化の課題と展望

海洋温度差発電の実用化、商用化には従来の 100kW 出力規模では経済的に成立し難く、MW 出力規模の実証実験が不可欠であると指摘されている。近年、世界的に海洋温度差発電への関心が再び高まり、各国で MW 出力規模のプロジェクトの動きが活発化する中、日本でも早急に取組む必要がある。また、国家規模の戦略に基づいて研究開発を強力に推進する米国やフランス等に比べ、日本は個々の実績の蓄積という傾向が強いとも指摘されている。「NEDO 再生可能エネルギー技術白書」が発表された意義は重要であるが、今後より戦略的かつ継続的な産官学連携に基づく取組みの尚一層の推進が求められている。

「NEDO 再生可能エネルギー技術白書」に示される海洋温度差発電の目指す姿と技術開発目標は既に紹介した通りであるが、この目標を達成するために必要な技術開発課題は次のように整理されている。

〔海洋温度差発電の主な技術課題(NEDO)〕

技術課題		解決策・要素技術
コア技術の 確立	イニシャルコストの削減	● 低コスト材料の開発(低コストチタン製造技術の開発、チタン代替材料の開発等) ● 低コスト施工技術(新しい取水管の開発、取水管敷設技術の高度化等)
	発電効率の向上	● サイクル熱効率の向上 ● 高効率作動流体 ● 高効率新サイクルの開発
プラント運用技術の 確立	プラントの維持管理・故障の防止	● モニタリングシステム ● 海洋環境の予測システム ● 遠隔操作システム
	海洋環境への対応	● 海洋生物の付着防止(地球に優しい防汚技術、防汚塗料、音・超音波システム、オゾンガスの海水混合等)
	環境影響評価	● 実証試験による基礎データ収集 ● 環境影響評価手法の確立
事業性の 向上	温排水源の有効利用	● 工場排水、発電所排水等を利用したプラント開発
	海洋深層水の複合利用	● 複合利用技術の高度化・検証 ➢ 海水淡水化技術 ➢ 海洋深層水による漁場形成 ➢ 冷熱利用(空調など) ➢ 水素製造 ➢ リチウム回収 等

※出典：(独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構(2010)「海洋温度差発電の技術の現状とロードマップ」『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』

上表でも指摘されているように、海洋温度差発電の実用化を推進するには、複合目的での多段利用システムを念頭に置いた実証プロジェクトに、より積極的かつ継続的に取り組むことが求められている。このことは海洋温度差発電の実用化の観点のみならず、海洋深層水利用商品や水産利用などの国内における既

存の海洋深層水利用の事業性向上の観点からも必要である。

エネルギー利用に関しては、既存技術の適用が可能で、海洋温度差発電よりも導入が容易な冷熱利用（冷房や発電所・工場等の冷却など）の本格導入を検討する必要があるとの指摘もある。冷熱利用と他の資源性の利用を複合化した多段利用や、これらと海洋温度差発電の複合化も考えられる。

高橋名誉教授は、「日本ではアクアマリン計画をきっかけに海洋深層水を利用した商品開発があまりにブーム化してしまったために、かえって海洋深層水のエネルギー利用や、これを基礎とした多段利用の取組みが停滞してしまった面がある」と指摘する。また、専門家や企業、自治体などからは、従来の海洋深層水利用の支援施策がエネルギー利用や多段利用の推進に必ずしも十分に適合していないとの指摘もなされている。

また、従来の国内の海洋深層水開発では、エネルギー利用があまり考慮されていないために、取水施設は全て小規模になっており、水産庁の補助で整備された施設は利用目的の制約もある。そのため、冷熱利用や多段利用をするにも、既存施設では取水量が少なすぎ、なかなか取組みが進まないという側面もある。

高橋名誉教授は、「政策経緯上、エネルギー以外の海洋深層水利用技術を検討することとしたアクアマリン計画以来の流れを再度、エネルギー利用を主軸に据え直し、産官学ともに取組む必要がある」と指摘している。

○インタビュー：

高橋正征 東京大学名誉教授・海洋深層水学会会長

・(3)②「富山県入善町における多段利用事例」について

富山県入善町農水商工課

(株)ウーケ（富山入善工場）

○主な参考文献：

高橋正征 名誉教授 提供資料

(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(2010)「海洋温度差発電の技術の現状とロードマップ」『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』

(http://www.nedo.go.jp/library/ne_hakusyo_index.html)

沖縄県久米島町(2011)『緑の分権改革推進事業 久米島海洋深層水複合利用基本調査 調査報告書』

(http://www.town.kumejima.okinawa.jp/industry/deepocean_water_inspection_slip.html)

佐賀大学海洋エネルギー研究センターWeb サイト

(<http://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/index.html>)

池上康之(※佐賀大学准教授)「海洋温度差発電の現状と展望」－2030年のロードマップ
への貢献を目指して－」 Ebucheb Vol.42 (特定非営利活動法人 OWS)

(<http://www.ows-npo.org/member/backno/tokushu42forWeb.pdf>)

藤田大介・高橋正征編著 (2006)『海洋深層水利用学－基礎から応用・実践まで－』(成
山堂出版)

中谷三男 (2002)『ニュービジネス 海洋深層水 地域水域振興のパイロットリーダー』(水
産社)

・(3)②「富山県入善町における多段利用事例」について

富山県入善町農水商工課 提供資料

「NYUZEN Deep Sea Water」(※富山県入善町農水商工課による公式 Web サイト)

(<http://www3.town.nyuzen.toyama.jp/deepsea/index.htm>)

IV-2. 藻類による二酸化炭素固定とバイオマス燃料生産

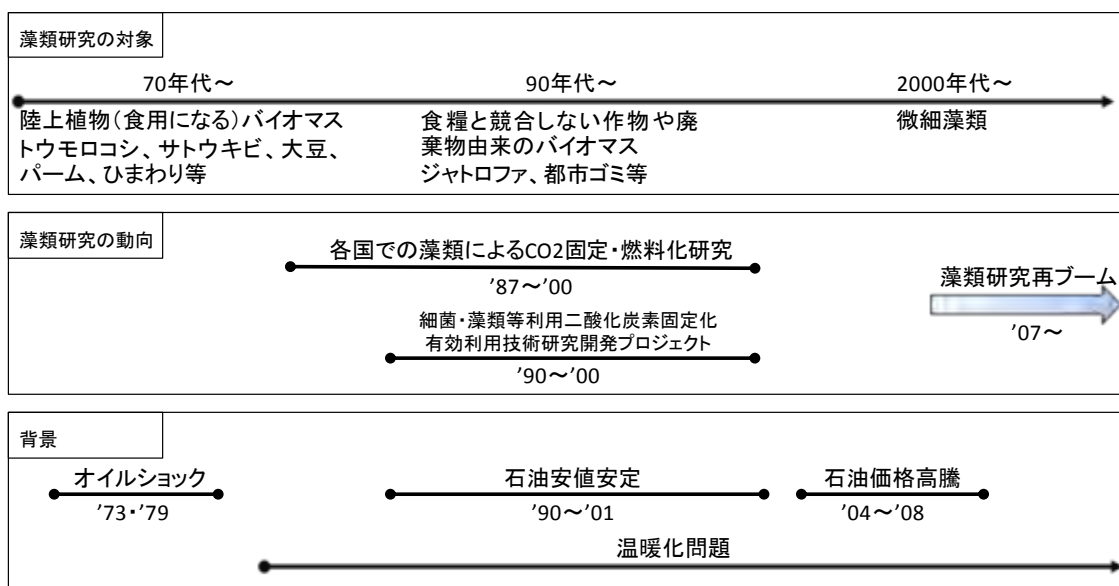
1. 藻類利用の技術開発と産業化の背景・経緯

(1) 背景

オイルショックと地球温暖化という背景の中、1980 年代後半から 2000 年頃
 に向け、各国は藻類による二酸化炭素（CO₂）吸収とバイオマス燃料生産の研究
 開発を小規模なりに続けていた。しかしながら、2001 年まで約 10 年間続いた
 石油価格の安値安定を受け、藻類研究は下火傾向になった。

近年、地球温暖化は二酸化炭素（CO₂）の排出が原因とほぼ断定されるよう
 になったことから、CO₂ 削減方法や化石燃料に由来しないエネルギー源が注目
 を集める中で、藻類利用のポテンシャルが注目されている。藻類を含む植物バイ
 オマスからは燃料を生産することが可能であるとともに、成長過程で CO₂ を吸
 収する種が多いため CO₂ 削減と化石燃料の代替の両面から注目されている。ま
 た、藻類が再度脚光を浴びた理由として、2007 年に原油価格が高騰したことも
 挙げられる。

〔藻類研究の動向と背景〕

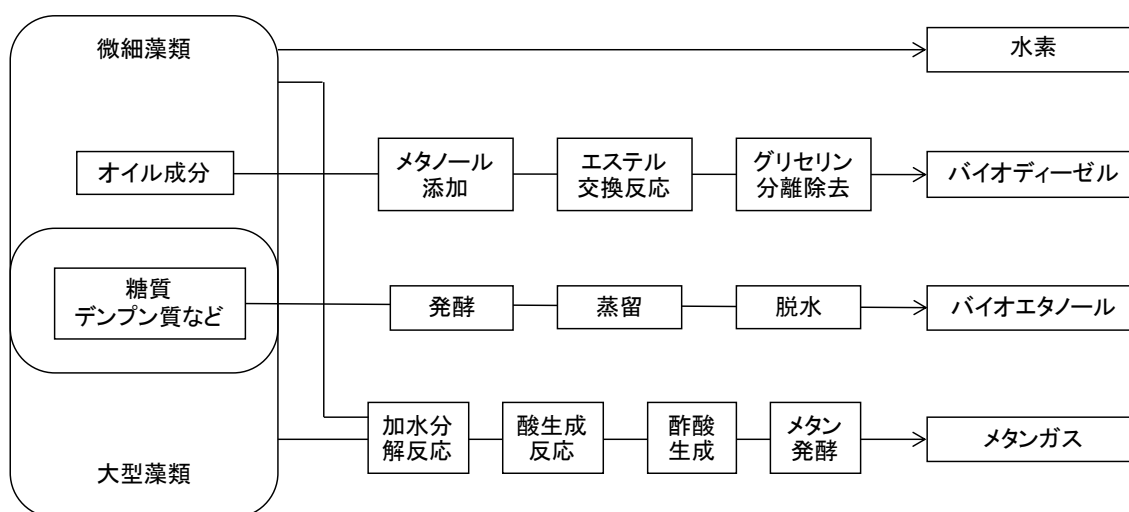


※渡邊信「はじめに」渡邊編集（2010）『新しいエネルギー 藻類バイオマス』（みみずく

舎)等を基に作成

従来、バイオマス研究・実用化の対象であった陸上バイオマス（トウモロコシ、サトウキビ等）に関しては、食糧との競合、農地拡大の必要性等の問題点が指摘されており、CO₂ 吸収源としての有効性を疑問視する見解もある。これに対し、藻類は食糧との競合が少なく、農地拡大の必要がない等の理由から、期待が寄せられることとなった。さらに、藻類はオイル生産効率が陸上植物と比べて 10 倍から数百倍も高いとの記事が Nature 誌（Haag, A. L. 2007、*Algae bloom again*. Nature 447）に掲載されたことも追い風となって、各国が投資の拡大を始めているというのが現状である。

〔主な藻類バイオマス燃料化のプロセス〕



※志甫諒「バイオマスエネルギーの現状」渡邊編集（2010）『新しいエネルギー 藻類バイオマス』（みみずく舎）を基に作成

日本においては、1990 年からの 10 年間、微細藻類を利用して CO₂ を固定し、増殖した藻類を再資源化することを目的とする研究プロジェクト（細菌・藻類等利用二酸化炭素固定化有効利用技術研究開発）が実施された。公益財団法人地球環境産業技術研究機構（RITE）が実施主体となり、独立行政法人新エネル

ギー・産業技術総合開発機構（NEDO）を始め複数の企業や大学が一つのまとまった事業体として、プロジェクト体制を組み、当時の通商産業省の支援の下、10年間で130億円以上が投入された。しかし、基礎研究レベルで一定の成果が上げられたものの、事業化の目途が立たないと結論付けられ、研究は終了の運びとなった。このプロジェクトで大きな役割を果たした株式会社海洋バイオテクノロジー研究所（釜石市）も小規模プロジェクト等の契約を終えた後、2007年度末（2008年3月）に閉鎖（北里大学へ移管）した。前述の通り原油価格高騰を背景とする藻類研究の大ブームが再来したのが2007年であったが、このような状況の中で、我が国の取り組みは俄かに拡大することが難しく、結果として他国に遅れを取る形となった。

藻類バイオマス事業を実用化するにはコストやエネルギー収支の問題から大量培養が必要となり、限られた日本の国土では困難であることが見込まれることから、海洋産業としての展開を望む声もある。

藻類利用の研究は多岐に渡るが、当報告書ではその中でも主流となっているCO₂固定、藻類バイオマスのエネルギー利用の2点に注目する。

(2)藻類利用の技術開発の概要

藻類は、海藻等の大型の多細胞生物から植物プランクトン等の単細胞微細種まで含む。現在の国内でのバイオ燃料化に関する技術開発は、流動性が良く、油分が回収しやすいため、微細藻類を中心に進められている。一方、大型藻類は二酸化炭素の固定化のスピードは速いが、食糧との競合がある等の理由から研究が遅れており、実用化レベルには達していない。

米国ではエネルギー省（DOE）が1978年から1996年まで約18年間ASP（Aquatic Species Program）という微細藻類からバイオ燃料を生産する研究を行っており、18年間で25億円程度の中規模な投資がされた。どの藻類からどれだけのオイルを採取できるか、オイル生産のメカニズムはどのようなものであるか、将来の品種改良のためにどういった遺伝子導入系をどのように作ったらよいか等、オイル生産に最適な藻類を特定するための成果を残した。その他、野外プールで培養した藻類の生産速度の調査や、総合的評価に基づくオイルの推定価格等、実用化に向けた分析も行われ、最終的な結論として、原油価格から比べるとまだ割高だが、実用化の可能性はあるとの報告がなされた。この研究について筑波大学大学院生命環境科学研究科の渡邊信教授（以下、渡邊教授）は、「公共事業である排水処理プロセスと藻類生産を統合することで、コスト的にもエネルギー的にも各段に改良されるため、短期実用化を目指す上で重要で

あると成果報告書で言及されている点が注目され、この見解は現在も国際的にみても留意すべきである」と指摘している。

国内では、米国に比べると遅れを取ったものの、数年前から藻類研究が見直され、主に大学での基礎研究を中心に多数の研究開発が進められている。

①炭素固定

他の植物同様、多くの藻類も光合成によって二酸化炭素を吸収する。光合成は、光エネルギーを利用して二酸化炭素と水からデンプン等の有機物と酸素を生成する生化学反応のことである。これらの反応は葉緑体の中で起こり、多くの生物群においても共通性が高いと考えられているが、後述の *Aurantiochytrium* 等のように葉緑体を持たず光合成をしない従属栄養生物*の藻類も存在する。また、光合成における二酸化炭素固定は、カルビン-ベンソン回路という二酸化炭素固定機構で行われる。その鍵酵素となるルビスコは光照射により活性化するため、暗所では二酸化炭素固定機能が低下することとなる。

*従属栄養生物・・・炭素を固定せず、体外の有機物を摂取して生育する生物

多くの藻類はこのメカニズムを利用して二酸化炭素を吸収、有機物を合成し、細胞数を増加させていくという生育過程を有している。これらの藻類は自然環境下でも CO₂ を吸収するが、大量培養により工業化することで CO₂ 吸収・固定化の効率を上げることができる。

宮本、他（2006）（IV－2 末尾の参考文献参照）によると、「集中発生源から排出される CO₂ を藻類バイオマスの形で人為的に有機物に変換した場合、大量のバイオマスは何らかの形で再利用されなければすぐに CO₂ として大気に戻ってしまう」とある。同じく炭素固定の役割を果たす陸上植物は根や茎等の非光合成器官に炭素を蓄える機能を備えているが、海藻を含む藻類はそれらの器官が少ないため、炭素を貯蔵する機能がない（井上勲「藻類バイオマス資源」渡邊編集『新しいエネルギー 藻類バイオマス』）。すなわち、CO₂ 固定が藻類培養の目的であっても、藻類が CO₂ を固定化した後の利用法及びその合理性を複合的に考える必要がある。環境問題対策を加味したシステム構築を踏まえると、CO₂ 固定後の藻類は化石燃料の代替として有効活用することが期待されている。

前述の「細菌・藻類等利用二酸化炭素固定化有効利用技術研究開発」プロジェクトの主な焦点は以下の 2 点であり、藻類の二酸化炭素固定技術全体の観点から見ても要と言える。

〔CO₂ 固定化に最適な藻類の研究開発〕

効率的に CO₂ を固定する種が望ましい。培養層で人工的に高濃度の CO₂ を吸収させる場合は排出源の種類により、CO₂ 濃度、温度、含有物質等が異なるため、培養に最適な条件を考慮した上で、固定後の利用法に沿った種を探索、スクリーニングする必要がある。CO₂ 固定化能力向上のための遺伝子組み換えについては、現在国内では活発的に研究開発は行われていないが、遺伝子組み換えを行った個体が外部に放出された場合、生態系が乱れる等の大きな問題を生じる可能性があるとして「細菌・藻類等利用二酸化炭素固定化有効利用技術研究開発」プロジェクト報告書（2000）で指摘されており、安全性の確保が求められる。

〔大量培養システムの研究開発〕

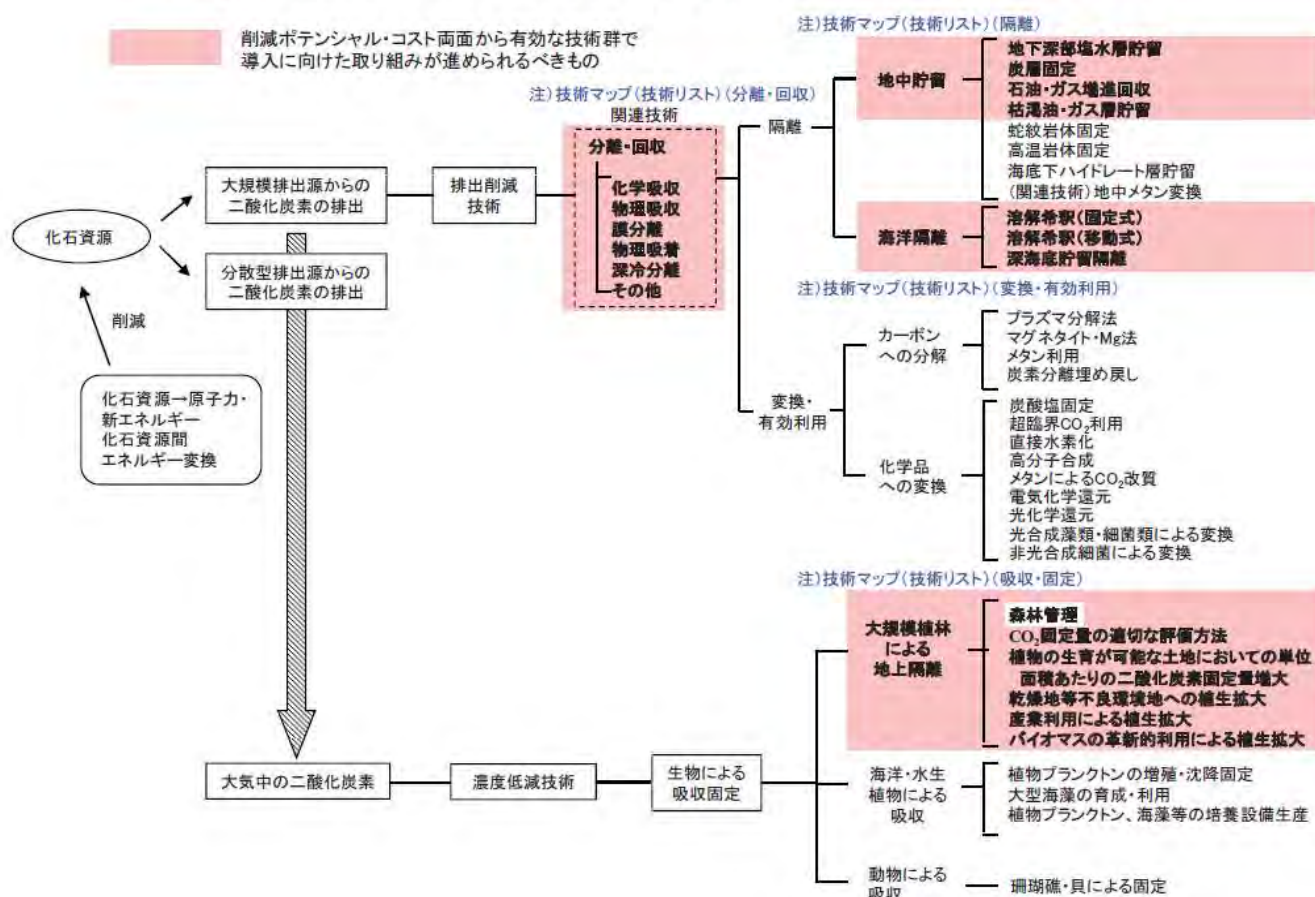
培養層を用いて、効率的に CO₂ を融解し、高密度で成長速度を促すことで藻類の大量培養を図る。実用化を前提とするのであれば、CO₂ 排出源の近隣に設置しなければならない等、技術面以外での対応も必要となる。培養する種に合わせた育成密度や周囲環境との適合等、光合成能力を最大化し、培養に最も適したシステム構築が研究対象である。海藻等の大型藻類の育成には陸上の培養層の他、一般的な食用海藻に見られるように海域での藻場や養殖場も利用される。従来海藻は岩や養殖網等に固定して養殖することが多かったが、近年では浮遊式培養の研究が進み、琉球大学では火力発電所から排出された CO₂ を溶解させ海藻を浮遊培養する実験を行った（未来を創ろう！地球を救う科学技術を学ぼう！運営事務局 Web サイト『環境への取り組み 沖縄における海洋バイオマス利用による CO₂ 固定化・新エネルギーの開発』

(http://www.mirai-kougaku.jp/eco/pages/091001_06.php)。

経済産業省の技術戦略マップによると、藻類による CO₂ 固定化も開発すべき CO₂ 固定化分野技術と位置付けられているものの、技術開発優先度は依然として陸上バイオマスによる CO₂ 固定の方が高く設定されている。

〔CO₂ 固定化・有効利用分野の技術マップ〕

CO₂ 固定化・有効利用分野の技術マップ(技術体系)



※出典：経済産業省「5. 環境 CO₂ 固定化・有効利用分野」『技術戦略マップ 2010』

②藻類バイオマスの活用

前述の通り、地球温暖化対策が急がれる中、近年注目されているバイオマス利用法は化石燃料の代替としてのバイオ燃料化である。

i) 微細藻類

微細藻類については、近年の国内の研究では個体が生成する脂質を転換し、バイオディーゼルとして利用することが最も一般的な利用方法である。

一部の微細藻類は、光合成の過程で細胞内に蓄えられた有機物からオイルを産生するため、これを抽出して使用する。よって、実用化には増殖率と脂質含有率の高い藻類の培養が適している。乾燥重量に対する脂質含有量の多い微細藻類は *Botryococcus braunii* (7~75%)、*Chlorella* sp. (28~32%)、*Nitzschia* sp. (45~47%)、*Neochloris oleoabundans* (35~54%)等であるが、産生されるオイルの特性等もあり、全てが運輸燃料に適しているわけではない（渡邊信（2010）『オイル産生藻類』渡邊編集「新しいエネルギー 藻類バイオマス」）。

主に藻類が蓄積する脂質はトリグリセリドと呼ばれるいわゆる植物油で、これを加工（結合している脂肪酸とグリセリンを切り離し、メチル基を与えるメチルエステル化等の変換）することで石油燃料の代替（バイオディーゼル）として利用することができる。しかし、燃料化後の内燃機関の酸化・腐食や燃焼時の窒素酸化物（NO_x）発生等がこのオイルの問題点として挙げられている。更に、低温で凝固する性質があるため、冬場の車両や-50℃の中を飛ぶジェット機での使用を可能にするには、混入割合を1%以下程度にしなければならない。

また、上記のような問題が発生しない炭化水素*を直接生成する藻類も研究されている。炭化水素を産生し、かつ大量生産の可能性がある（増殖率の高い）種類は後述の2種類（淡水性の *Botryococcus* と海洋性の *Aurantiochytrium*）しか今まで世界でも発見されていない。

*炭化水素・・・水素と炭素から構成されている化合物で、側鎖を複数持つため、運輸燃料に近い。

現状では、微細藻類からのオイル生産は陸上バイオマス使用に比べ、エネルギー収支が低くコストは高いとされているため、より脂質含有率の高い藻類の増殖技術と生産からオイル転換までの一連のプロセスのコスト低減が望まれている。

ii) 大型藻類

大型藻類を燃料化する技術は数々あるが、財団法人電力中央研究所（CRIEPI）の報告書（（2010）「藻類からのバイオ燃料生産に関する調査報告」）によると、「大型藻類は含水率が高いため、メタン発酵またはアルコール発酵が最も適している」とされている。メタン発酵は微生物に有機物を分解させバイオガスを生成し、アルコール発酵は糖化・発酵を行う技術である。自然繁殖した海藻を使用する方法や、培養層で養殖する等、藻類の生産方法も多岐に渡るが、開放環境で生育した大型藻類の場合、気候や環境状況によって収穫量が大きく変わるため、安定した供給は困難とみられている。また上記報告書でエタノール発酵でのエネルギー収量が算出されており、「海藻のエネルギー収量はトウモロコシ等の陸上バイオマスのおよそ 4～12%であるため、現状では競争力に乏しい」とされている。

しかし、今まで海藻のエタノール発酵の課題とされていた糖質分解について、2012 年 1 月に米国ベンチャー企業バイオ・アーキテクチャ・ラボ社（Bio Architecture Lab, Inc.）が海藻からバイオエタノールを効率的に抽出する技術を確認したと発表した。今までは海藻に含有される糖質の分解が困難なため燃料化の効率性に問題があったが、人工的に繁殖させた微生物の開発により可能になったという。当該研究は実証実験のため、日本と同じく長い沿岸部を持ち、海洋養殖に適しているとされるチリで 2012 年 7 月完成を目標にエタノール生成工場の設置を計画している（愛知県産業労働部（2012）「新たなバイオエタノール燃料の普及可能性について」『海外産業情報センター』）。

また、燃料としての活用以外では、藻類はたい肥や飼料として使用されており、沿岸に打ち上げられる海藻の処理方法としても、すでに実用化されている。近年では化学肥料の普及により大型藻類の肥料利用は減少したが、藻場の衰退に伴う漁業への影響を受け、海藻類利用が見直されている（水産庁（2009）「藻場資源消滅防止対策ガイドライン」）。

微細藻類の飼料利用では、ヤマハ発動機株式会社がグローバル展開を視野に入れて技術開発を進めていた。人工的に CO₂ を固定させた微細藻類を利用し稀少水産飼料を生産するなどの事業を行っていたが、事業性の確立が困難なことから 2010 年に当該事業から撤退すると発表した。

(3)これまでの技術開発

国内の CO₂ 固定、藻類バイオマス燃料に関する技術開発は単独の小規模な研究が多く見られる。いずれも主に基礎研究である。下記は近年の主要な研究だが、これ以外でも各分野・各プロセスにおいて様々な研究が行われている。

〔近年の藻類研究〕

研究機関	概要
(独)産業技術総合研究所	・ CO₂ 固定能力の高い微細藻類の研究 ・ 下水処理水を使用し、<i>Botryococcus</i> を培養
慶應義塾大学	・ 微細藻類からのオイル生産のための培養条件に関する研究 ・ 微細藻類の品種改良 ・ (株)デンソーとの、微細藻類による CO₂ 吸収のための効率的な培養層やオイル抽出の研究等。 2020 年までの実用化を目標とする ・ 微細藻類由来のバイオジェット燃料生産に関する研究を、JX 日鉱日石エネルギー(株)を含める 3 社と合同で行っている。
農林水産省所管 (財)東京水産振興会研究委員会	日本の領海と排他的経済水域 (EEZ) で養殖した大型藻類を利用し、ガソリン使用量の 1 割弱に当たるバイオエタノールの生産が可能との試算を発表
琉球大学	沖縄電力を含む 4 社とうるま市 (沖縄県) の協力を得て行った共同研究。火力発電所等から排出される CO ₂ を溶解させた海水を使用し海藻類を増殖させ、海洋バイオマスを利用する「炭素回生システム」の研究
京都大学	京都府等と共同での海洋バイオマスからのバイオエタノールを生産する研究

※志甫諒「バイオマスエネルギーの現状」渡邊編集 (2010)『新しいエネルギー 藻類バイオマス』(みみずく舎)、等を基に作成。

2. 技術開発と産業化の現状

(1) 海外動向

米国では現在、藻類研究に大規模な投資を行っている。2009 年には約 45 億円をかけて研究開発のためのコンソーシアムが設立された。また、政府と企業が主導しているため、ベンチャーが多数輩出されている。エネルギー省 (DOE) による投資は現在サファイアエナジー社 (Sapphire Energy, Inc.)、ソラザイム社 (Solazyme, Inc.) とアルジェノール社 (Algenol Biofuels, Inc.) の 3 つのベンチャー企業に集約されてきており、サファイアエナジー社には約 50 億円、ソラザイムとアルジェノール各社には約 25 億円ずつ投資されている。各企業の役割には相違があり、サファイアエナジー社が光合成藻類のオイル生産、ソラザイム社が従属栄養性藻類のオイル生産、アルジェノール社はアルコール生産に従事している。サファイアエナジー社は後に 100 億円を超す追加投資を受けており、その 3, 4 倍に及ぶ非公開の投資を受けているともみられている。欧州では、フランスでも産学連携の事業体を持っており、10 年間で約 200 億円の投資を行っている。

近隣諸国では、韓国も 9 年間で 150 億円ほどの投資金額を発表しており、中国においては更に多額の投資が行われていると言われている。

(2) 国内動向

① 概要

現在、独立行政法人科学技術振興機構 (JST) が採択する CREST (戦略的創造研究推進事業) の「二酸化炭素排出抑制に資する革新的技術の創出」領域において、藻類研究が 3 課題採択されており、「藻類・水圏微生物の機能解明と制御によるバイオエネルギー創成のための基盤技術の創出」領域でも藻類を扱っている。そのため、国内の藻類研究への投資規模は、基礎基盤技術研究レベルで言うと 5 年間で 50 億円程度である。また、経済産業省が NEDO のプロジェクトに年間数億円、農水省が年間 2 億円ほど投資しているため、合計約 100 億円が藻類研究費に充てられている。

ここでは、主要な大規模プロジェクトである筑波大学における藻類バイオマスエネルギー研究開発と東京工業大学が主体となった AES プロジェクト (2015 年以降の CO₂ 削減を先導する先進エネルギーシステム (AES) モデルの実現)

を紹介する。

②主な調査事業の現状と将来展望、問題点・課題等

i) 筑波大学

筑波大学では 2008 年に「オイル産生緑藻類 *Botryococcus* (ボトリオコッカス) 高アルカリ株の高度利用技術」事業が CREST に採択された後、藻類研究が見直されたため、関連研究を強化した (2012 年 3 月の CREST 終了後、「つくば国際戦略総合特区」として発展的に展開される予定である)。現在、運輸燃料に近い炭化水素を産生することから、主に *Aurantiochytrium* と *Botryococcus* の 2 種の微細藻類を対象として研究を行っている。

Aurantiochytrium は体内にドコサヘキサエン酸 (DHA) を蓄積することで知られ、米ソラザイム社が DHA 生産で実用化しているが、筑波大によるスクリーニングでは新たに炭化水素のスクワレンを多く産生することが確認された。化粧品や健康食品の原料として注目されるスクワレンは従来、深海鮫の肝油から抽出されていたが、乱獲による絶滅が懸念されているため、今後 *Aurantiochytrium* から抽出するケースが増加する可能性がある。

藻類が作る炭化水素は質のよい燃料になるとともに、石油の代替になるという点でも期待される。石油は燃料だけではなく、化粧品・医薬品・潤滑油・グリース・プラスチック生産等幅広い用途で使用されているため、多方面での展開が可能である。運輸燃料としての実用化はまだ先と見られているが、別の用途では近い将来実用化が可能との見通しである。運輸燃料としての藻類の単価は 1kg あたり 50~100 円まで下げる必要があり、現時点では採算が取れないが、化粧品では 1kg あたり 3000~4000 円でよいと、経済的にも実現可能である。まず単価の高い分野で実用化することで、段階的に生産コストが下がるため、運輸燃料生産の可能性も高まっていくと考えられる。*Aurantiochytrium* から採れるスクワレンは元来、化粧品・医薬品等に利用されているため、理論上実用化はすぐ可能ではあるが、商用ベースではまだ実現されていない。米ソラザイム社は既に *Aurantiochytrium* から DHA 生産を行なっているため、適切な戦略がないままではスクワレンに関しても先を越されてしまう可能性がある。

また、筑波大学は、仙台市と東北大学と研究協力協定を結び、仙台市の復興計画の一環として実証実験を実施する予定である。被災した下水処理場の排水を利用し、筑波大学が *Aurantiochytrium* の培養の研究を進め、東北大学がオイル化の研究を行う計画となっている。

上記研究も含め、一般的に微細藻類バイオマスからの燃料生産を実用化するにあたっては、各プロセス（生産・濃縮収穫・抽出・精製の4プロセス）ごとに、技術的な課題が依然残っている。

- **生産：** 大量培養（光合成藻類は屋外または屋内培養層での生産、従属栄養性藻類は大規模な発酵タンク等での生産）のため、コストをかけず、かつ効率的に生産性を上げる技術が不可欠である。屋外の開放された培養プールと閉鎖型のバイオリアクターはどちらも長所・短所がある。コストを始め、立地条件、周辺環境、培養する種、規模を含めた総合的なシステムとして検討する必要がある。

従属栄養性の藻類は解放された屋外で培養できないため、発酵タンクのようなもので培養する。日本の発酵工業技術の蓄積が活用可能であると考えられているが、これらの技術はエネルギー生産目的で開発されてこなかったため、現状の発酵タンクのシステムはエネルギー効率が低い。そのためエネルギーをあまり消費しない発酵タンクシステムの構築が期待される。

- **濃縮収穫：** 培養液からの微細藻類の回収について、水 1ℓあたりの培養液濃度は 0.1～0.5%分程度なので、10%以上での濃縮収穫が必要となる。実験室レベルなら既に可能だが、大量培養となると更なる課題解決が必要である。藻類回収のため、遠心分離、ろ過、凝集剤の使用等の方法がある。しかし、大規模生産での収穫率やコスト、凝集させた後の凝集剤の処分等技術課題が残っている。
- **抽出：** 有機溶媒により脂質抽出を行う際、水分が抽出効率に影響する。そのため乾燥が必要だが、この過程に多量のエネルギーを使用するため、効率的な抽出方法が課題である。また、ほとんどの微細藻類は体内にオイルを蓄積するため、細胞壁を破碎し、できるだけ多くの脂質分を抽出する技術開発が必要だ。
- **精製：** 精製方法は藻類によっても変更される。*Botryococcus* のように、純度が 90%の炭化水素系のオイルを細胞外に排出するものはほとんど精製する必要がないものの、トリグリセリドを燃料として使用するには水素転換や異性化が必要である。しかし現状では、これに関するコストや熱量は無視したまま研究が進められている。

また、技術的課題のほかにも実用化に向けた環境整備上の課題がある。例えば、CO₂ 供給源の確保の必要性が挙げられる。CO₂ は空気中に 0.04%ほどしか存在しないため、大量培養には人為的に高濃度の CO₂ を供給する必要がある。排気ガスは環境規制のため、基準値内で使用する必要がある等、技術確立後すぐに実用化できる訳ではない。そのため、既存のインフラを利用しやすいシステムや制度整備が重要である。

以上を考慮すると実用的な燃料化に成功するには、10 年以上は必要であるとの見方が強い。

ii) 東京工業大学

東京工業大学のソリューション研究機構では 2008 年より「海洋バイオマス研究コンソーシアム」を設立し、海水への CO₂ 溶解技術開発や海藻からエタノールを生成する実証実験等を行ってきた。このコンソーシアムが前身となり、2011 年 4 月より一般社団法人海洋環境創生機構が創立された。同機構では、藻類のバイオマス利用において、エネルギー化だけでは経済的に成り立たず実用化が困難だという点に着目し、収益性のある海洋バイオマスの在り方を追求している。そのため、エネルギー回収だけではなく、付加価値の高い事業を付随したシステム、すなわちコプロダクション(co-production)のプロセスの構築に従事している。現在、コンブ・アオサ等の大型藻類を使用する際、併産できるものとしてバイオガス・バイオエタノールに加え、医薬品や化粧品の有効成分に着眼し、これらの分野に関わる東京工業大学内の研究者が参加する、経済ベースの事業に見合う技術のベストミックスを備えたシステムの研究開発に取り組んでいる。東京工業大学ソリューション研究機構の柏木孝夫教授は「コプロダクションに着目した海洋バイオマスの利用プロセスにおいては、個々の要素技術の基礎研究はほぼ確立されているものの、いかに無駄を排除する形で事業を統合できるかが今後の課題である」と指摘している。

また、環境に経済成長モデルを加味した都市計画を持つ環境未来都市に選定された富山市の都市構想にも海洋環境創生機構は携わっている。富山は伝統的に医薬品の町でもあることから、北陸電力の石炭火力発電所から排出される CO₂ を利用して工業的にアオサを繁殖させ、医薬品等を生産する資源循環型の経済成長達成モデルを取り入れている。

この実証実験はまだ未着手であるが、実際に開始となれば、コプロダクション型の海洋バイオマス利用の後押しとなると見られている。琉球大学でもコプロダクション型の海洋バイオマス利用を念頭に CO₂ 融解によるアオサ増殖の研

究が行われてきている。

3. 技術開発と産業化の課題と展望

①国家戦略としてのシナリオ構築

日本でも現在、藻類バイオマス関係の研究に約 100 億円と、ある程度の規模の投資が行われている。しかしながら、渡邊教授は、「藻類研究に関し、十分な国家的戦略ロードマップがなく、個別の研究グループがそれぞれの関心に応じて技術を発展させているため、実用化を視野に入れたシステムが欠如している点が課題である」と指摘している。

米国ではロスアラモス国立研究所に設立された **Biofuels Center** を中心として、様々な大学や企業等と連携していくという構造が確立されている。藻類バイオマスの燃料化に向けて政府主導で産業界等と一体となり、包括的なシステムの下、研究を進めているので、近い将来、実用化が見えてくるのではないかと言われている。

米エネルギー省 (DOE) が「**National Algal Biofuels Technology Roadmap** (http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/algal_biofuels_roadmap.pdf)」という国家戦略を公表しており、「2022 年までに藻類も含んだバイオマス燃料を 8000 万トン程度まで蓄積」という基本的な目標を掲げている。個別技術とその統合について、「何年から何年まではこの技術」といったスケジュールではなく、例えば「藻類のバイオ燃料化においての課題や解決のために必要な技術は何か」等が明確化されている。渡邊教授は、「我が国の藻類研究の国家戦略は基礎技術が確立された後、実用化のための技術を展開するという流れになっており、できる限り早い段階での実用化を実現するため、米国のようにダイナミックな方法を構築できるかが今後の課題である」と指摘している。

藻類産業創成コンソーシアムでは、農林水産省「農山漁村 6 次産業化対策事業に係る『緑と水の環境技術革命プロジェクト事業』」の一環として、藻類の効果的な燃料技術開発をめざす戦略ロードマップを取りまとめており、今後の研究開発に貢献することが期待される。

②日本の背景に適した研究

国全体の戦略として研究目標を見定めるには、実用化の際に生じる国の事情

を踏まえる必要もある。例えば米国は水資源が日本のように豊富ではないため、大量培養には、砂漠に近い場所で塩分の高い地下水を利用する必要がある。よって米国では一貫して海洋性微細藻類（*Nannochloropsis oculata* 等）に注目している。我が国は米国と異なり砂漠はないが、水利用システムが充実しているという日本独自の背景を踏まえて例を挙げると、水田農業システム等により水の供給が張り巡らされている耕作放棄地が培養の場所として有望とされる。しかし実用化となると、現状では農地法に制限されるため藻類培養が困難である。また生産に必要な CO₂ 排出源が周囲にない農地も数多くあるため、いかに藻類を新作物資源として農地で培養できるようにし、技術面と併せて法制度の上でも整備していくかが実用化のポイントとなる。

このように、技術が確立されても制度上に問題があれば、実用化が困難であるため、背景に併せた対応が求められる。

③微細藻類新種の探索

コストが比較的安価な野外の開放池における培養では、夏の高温や他種・他生物の混入等、生育が阻害される条件が付随する可能性がある。培養池を酸性もしくはアルカリ性にすることで他種・他生物の混入を防ぐことができるため、そういった特殊条件下でも繁殖でき、高温にも耐えられる種が望ましい。そのため、さらなる探索とスクリーニング手法が引き続き課題となっている。

また、前述のとおり、石油燃料代替として大量生産の可能性がある微細藻類は、世界でも今のところ *Botryococcus* と *Aurantiochytrium* の 2 種類しか発見されていないが、より有用な未発見の種が存在している可能性は十分あるとされる。藻類は記載されている種（既に発見されている種）だけで 4 万種、未記載種まで含めると 30 万～1 千万種生息していると言われているが、オイルを産生すると判明している種は数十種ほどで、未知の可能性はある。特に海洋性藻類は更なる探索が求められている。藻類では現在も度々、新属・新種だけでなく、新科や新目等ファミリーレベルでの発見があるため、探索の拡大による、新たな発見が期待されている。

④大規模培養施設

微細藻類の培養について、開放池は閉鎖型の培養槽に比べて安価でエネルギー使用量も少ないが、培養環境を制御できないため生産効率が低くなり、生産

が不安定である。逆に閉鎖型のフォトバイオリアクターを使用する場合、藻類に合わせて増殖に最適な環境を保てるため、生産効率は上がるが、コストが高いことが問題である。大型藻類に至っても、CO₂ 固定をプロセスに統合する際等、陸上水槽が必要な場合もあるが、大規模な設備はコストがかかり経済的な面で実用化が困難になってしまう。また、CRIEPI の報告書では、安定供給を図るための乾燥保存には、生産可能な熱量の数倍以上のエネルギーを使用してしまうことが指摘されている（CRIEPI（2010）「藻類からのバイオ燃料生産に関する調査報告」）。

日本の国土面積を考慮した施策も鑑みる必要がある。藻類を大量培養するにあたり、比較的規模の小さい分散型藻類バイオマス利用施設を各地方に整備する方法もあるが、より効率的な方法として、集中的な大規模藻類エネルギー生産設備が考えられる。後者に関しては、我が国では土地面積の制限があるため、海洋を候補地とする提案もある。効率化を図るため、洋上の風力発電機の上に培養槽を設置し、培養に必要なエネルギーは発電機から供給する等の例も挙げられる。

また、コプロダクション型の大型藻類事業洋上プラットフォームについては、株式会社竹中工務店が中心となり実際に研究が行われており、海洋バイオマス利用等を前提とすると、採算ベースにのると見込まれる規模が 500m 四方のプラットフォームと想定されている。構想に反対する可能性がある漁業者と協働していくために、プラットフォーム下に鉄スラグを投入して漁場を設置する等、ビジネスモデルを成り立たせるための複合的なバリューチェーンが考案されている。

このように、商業化を目的とすると、藻類の種類に関わらず、大量培養を前提とした一連の事業プロセスの統合が国内および国際的にも課題となっている。

○インタビュー：

渡邊 信 筑波大学大学院生命環境科学研究科 教授

柏木 孝夫 東京工業大学ソリューション研究機構 教授

左子 芳彦 京都大学大学院農学研究科 教授

○主な参考文献：

渡邊信「はじめに」渡邊編集（2010）『新しいエネルギー 藻類バイオマス』（みみずく舎）

志甫諒「バイオマスエネルギーの現状」渡邊編集（2010）『新しいエネルギー 藻類バイオマス』（みみずく舎）

宮本、他（2006）「微細藻類による CO₂ 固定」乾監修『CO₂ 固定化・隔離技術』（2000 年『CO₂ 固定化・隔離の最新技術』普及版）

井上勲（2010）「藻類バイオマス資源」渡邊編集『新しいエネルギー 藻類バイオマス』財団法人電力中央研究所（CRIEPI）（2010）「藻類からのバイオ燃料生産に関する調査報告」

経済産業省（2010）「5. 環境 CO₂ 固定化・有効利用分野」『技術戦略マップ 2010』

経済産業省（2000）「ニューサンシャイン計画「細菌・藻類等利用二酸化炭素固形化・有効利用技術研究開発」最終評価報告書概要」

(<http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g00523jj.pdf>)

未来を創ろう！地球を救う科学技術を学ぼう！運営事務局 Web サイト『環境への取り組み 沖縄における海洋バイオマス利用による CO₂ 固定化・新エネルギーの開発』

(http://www.mirai-kougaku.jp/eco/pages/091001_06.php)

水産庁（2009）「藻場資源消滅防止対策ガイドライン」

(http://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko_gyozyo/g_hourei/pdf/sub7941.pdf)

愛知県産業労働部「新たなバイオエタノール燃料の普及可能性について」『海外産業情報センター』

(<http://www.pref.aichi.jp/ricchitsusho/gaikoku/center.html> よりダウンロード)

Haag, A. L. (2007) Algae bloom again., 520—521, Nature 447

2（1）「海外動向」について

U.S. Department of Energy, 2009, *Secretaries Chu and Vilsack Announce More Than \$600 Million Investment in Advanced Biorefinery Projects*

(<http://energy.gov/articles/secretaries-chu-and-vilsack-announce-more-600-million-investment-advanced-biorefinery>)

Sapphire Energy, Inc., *The Sapphire Energy Story*

(<http://www.sapphireenergy.com/sapphire-renewable-energy/>)

Institut Scientifique de Recherche Agronomique (INRA), 2012, *GreenStars : vers une nouvelle génération de biocarburants et de produits à partir des micro-algues*

(<http://www.inra.fr/presse/greenstars>)

Ji-Won Yang, *Algal Fuel Research in Korea*

(<http://www.sakura.cc.tsukuba.ac.jp/~eeeforum/3rd3EF/IS5.pdf>)

IV-3. 二酸化炭素の回収・貯留(CCS)

1. CCS の技術開発と産業化の背景・経緯

(1)背景

CCS（二酸化炭素の回収・貯蔵/Carbon dioxide Capture and Storage）とは二酸化炭素（CO₂）の回収・輸送・貯留の3つのプロセスを統合させたシステムであり、火力発電所やセメント製造所など、大量に CO₂を排出する施設で人為的に回収した CO₂を輸送し、貯留する技術のことである。CO₂を大気中に拡散させる前に回収し、隔離することから地球温暖化対策の一つと位置付けられている。地球温暖化への対応が急がれる中、開発・展開が期待されている。以下の図は CCS の形態を示したもので、地中貯留（海域地下や炭層等含む）と海洋隔離に大きく二分される。

〔CCS の形態〕



※出典：独立行政法人産業技術総合研究所（産総研）提供「環境豆知識【CCS】」
(<http://unit.aist.go.jp/emtech-ri/ci/e-keyword/CCS/ccs.html>)

国際エネルギー機関（IEA）の調査「Technology Roadmap Carbon Capture and Storage」によると 2050 年までに CO₂ を 2005 年比で半減させるには CCS により 19%を削減する必要があるとされる*。また、CCS を使用しない場合には、コストは 70%増となる見込みである。

*CO₂ 半減シナリオ・・・詳細や図は「OECD/IEA (2009) Technology Roadmap Carbon Capture and Storage (www.iea.org/papers/2009/CCS_Roadmap.pdf)を参照のこと。

上記の IEA の他、様々な国際機関や会議で CCS について議論されており、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）でも気候変動対策の重要な技術として CCS を挙げている。「1972 年の廃棄物その他の物の投棄による海洋汚染の防止に関する条約（ロンドン条約）の 1996 年議定書」は廃棄物等の海洋投棄を原則禁止しているが、附属書 I に列挙されている廃棄物等については例外としている。当議定書が 2006 年に改正された際に CCS における CO₂ も当附属書に追加され、国際条約で初めて CCS が承認されることとなったが、投棄場所は海底下地層に限定された。

このような国際的な流れを受け、海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律（海洋汚染防止法）も 2007 年に改正された。海洋汚染防止法における改正はロンドン条約 96 年議定書改正に対応しており、これにより国内で、地中貯留に限り CCS 事業実施が可能となった。

以降、日本における CCS の位置付けは明確化しており、実用化を念頭に置いた姿勢が見られる。以下は CCS の展開に関わる主要な事項である。

〔日本における CCS の位置付け〕

2008年3月	Cool Earth エネルギー革新技术計画	2050年までにCO ₂ 排出を半減する目標の中で、重点的に取り組むべき革新技术の一つとしてCCSを位置付け
2008年6月	G8エネルギー大臣会合共同声明	2020年までのCCSの幅広い普及開始を目指すため、大規模プロジェクト展開の必要性があるという勧告を支持
2008年7月	G8洞爺湖サミット首脳宣言	2010年までに世界で20の大規模CCSプロジェクトを実施することを支持
2008年7月	低炭素社会づくり行動計画	2009年度以降早期に大規模実証実験に着手し、2020年までの実用化を目指すと表明
2008年12月	総合科学技術会議	CCS大規模実証試験の実施を承認
2009年9月	国連気候変動首脳会合	2020年までに温室効果ガスを1990年比で25%削減（1990年比）すると明言

※経済産業省 二酸化炭素回収・貯留研究会（平成20年度第1回）配付資料等を基に作成（<http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g81030d06j.pdf>）

(2) CCS 技術開発の概要

CO₂ 貯留方法として、地中貯留と海洋隔離がある。地中貯留は陸地または海底下の地層に CO₂ を圧入する技術である。海洋隔離は、CO₂ を海水に溶解させる方法と深海底に隔離貯留させる方法があるが、いずれもロンドン条約および海洋汚染防止法で禁止されている。

①地中貯留

CCS の主な3つのプロセスである CO₂ の分離回収、輸送、貯留の各技術は、それぞれ CCS とは別の目的で発達した産業技術を応用することができる。たと

例えば、CO₂ 回収は、ガス生成プロセスや肥料製造などにおいて、炭化水素や石炭の燃焼前、燃焼後にガス流から回収する技術が実用されている。輸送は、既存の高圧パイプラインの使用や液化ガスなど通常の燃料を輸送する船舶などが応用できる。また貯留においても、石油やガスの増進回収*のため CO₂ が注入される事例が主に北米を中心に数多く存在するため、地中貯留の技術としては、商業ベースで開発・展開されている。

*増進回収・・・炭層や油層に CO₂ を圧入して流動性をよくすることで、石油やメタンガスの回収を促進する技術

CO₂ を貯留できる地層は深部の帯水層（水を含んでいる地層）、枯渇した油田・ガス田、採掘不可能な炭層である。IEA によると、もっとも多量の CO₂ を貯蔵できるのは塩水性帯水層だとされている（OECD/IEA (2009) *Technology Roadmap Carbon Capture and Storage*）。

枯渇した油田・ガス田は地質構造などが明らかになっているのに比べ、深部の帯水層は世界の広範地域に存在し、地質構造もそれほど明らかにされていないため、更なる調査を必要とする。また、注入に関する技術自体は既知であるが、商業スケールでの CO₂ の挙動については実証が必要である。

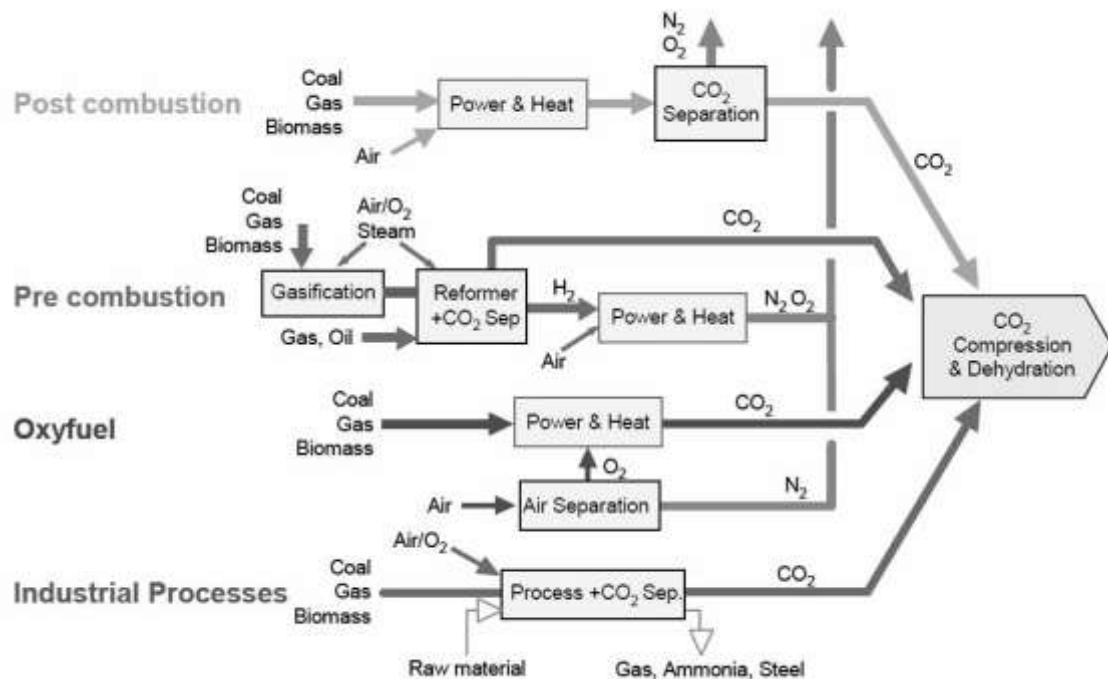
i) CO₂ の分離回収

CO₂ 発生源から排出されるガスに含まれる CO₂ を、大気に放散させないように、分離回収する主な技術としては下記の 3 種類がある。

- 燃焼後の CO₂ 分離回収 (Post-combustion)
- 燃焼前の CO₂ 分離回収 (Pre-combustion)
- 酸素燃焼 (Oxyfuel)

排出源の種類などによって、分離方法は異なるが、CO₂ を分離させた後は、圧縮・脱水を行うのが一般的である。

〔CO₂ の分離回収方法〕



※出典：環境省「二酸化炭素海底地層貯留に関する技術について」（原典は IPCC SR-CCS）
<http://www.env.go.jp/council/06earth/y068-04/ref05.pdf>

ii) 輸送

分離回収施設から貯留地点までの CO₂ の輸送については、天然ガスや液化天然ガス (LNG) の輸送の技術が応用できる。主にパイプラインが用いられるが、船舶による輸送方法を使用することもできる。現行のシステムでは長距離の輸送も技術的には可能だが、距離が長ければ長いほどコストや課題が増加する傾向にあるため、貯留地点が排出源施設からより近い方が望ましいとされている。

新たな船舶輸送方法として、CCS を推進する国際機関である Global CCS Institute (GCCSI) の出資を受け、千代田化工建設株式会社と東京大学が、「CO₂ シャトルシップ方式と沖合貯留システム」の研究を進めている。当研究は中小規模船舶輸送をベースとし、排出源と貯留地点の選定における制限を少なくする CCS のシステム構築と船舶開発を目的としている。従来の CO₂ 輸送方法は距離的な問題から排出源と貯留地点の選定に影響を及ぼし、洋上プラットフォーム建設の必要性や貯留地点での揚荷・再ガス化などの作業を発生させるが、これらを解消するため、当研究は直接洋上から CO₂ 圧入ができるシャトルシップ（中・小型船舶）を提案し、システムの簡易化を図っている。詳細なコスト分

析、船舶デザイン、既存の法律との適合性や、海象の及ぼす影響など、今後の研究課題も残るが、実現の折には日本における CCS 発展に寄与すると考えられる。

iii)貯留

地下に CO₂ を貯留する場合、圧力の高い地中へ更に圧力をかけて注入*するため CO₂ は超臨界状態（液体・固体両方の性質を持つ状態。温度・圧力が臨界点を超えた場合に起こる。）になる。圧入した直後は水の一部を押しよける形で超臨界状態を保つが、次第にその水の中に 2~3 割は溶け込んでいくため、超臨界状態で残留する部分と溶解する部分に分かれる。溶解したものも数百年から千年程経過すると、一部が鉱物として固定されるため、千年という長期間の区切りで見ると、結果的に気体・液体・固体の 3 種類で貯留されることとなる。最終的には（約 1 万年後）液体または固体になるというシミュレーション結果もある。

*圧入・・・CCS において、CO₂ に圧力を加えて地層に注入することを圧入と言う。たとえば 1100 メートルの帯水層であれば、一般的には、およそ 11MPa（メガパスカル）の圧力を有する。そこで、CO₂ はそれより 1~2MPa 上げることで圧入できる。

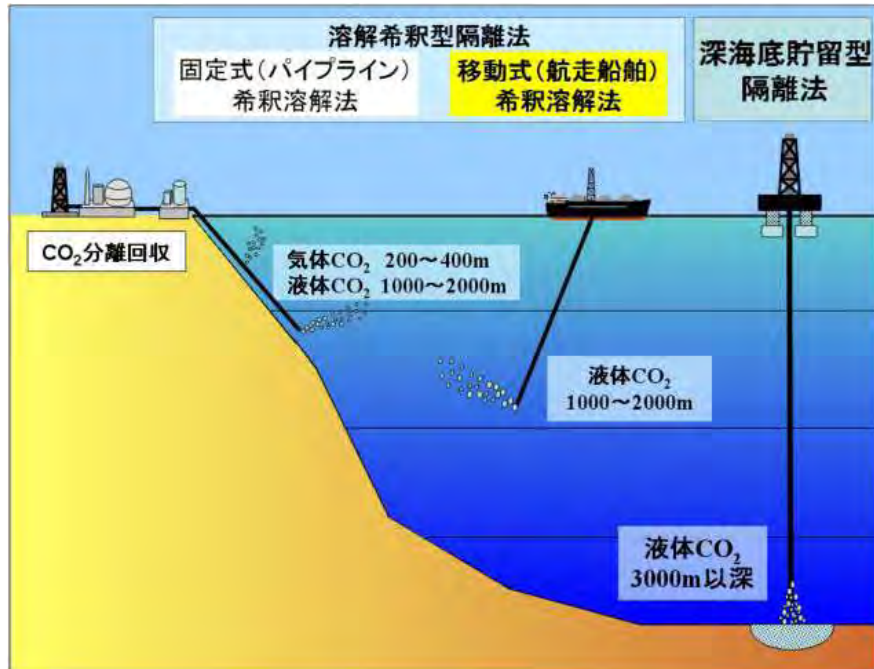
②海洋隔離

前述の通り、海洋隔離による CCS はロンドン条約と海洋汚染防止法で禁止されており実用化の予定はないが、手法としては溶解型と深海底貯留の 2 種類に区分される。

- 海洋溶解（固定式・移動式）：大規模排出源から分離回収された CO₂ を海底パイプライン、またはタンカーにより移動し、表層または中層へ注入溶解する。
- 深海底貯留隔離：大規模排出源から分離回収された CO₂ をタンカーで輸送し 3000 メートル以深の海底に貯留する。

※出典：経済産業省「技術戦略マップ 2010」

〔CO₂ 海洋隔離の種類〕



※出典：産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会（2009）「二酸化炭素炭素固定化技術開発プロジェクト評価（事後）報告書」

海洋溶解に関し、経産省の補助を受け、RITE が「二酸化炭素の海洋隔離に伴う環境影響予測技術開発」プロジェクトを 2002 年から 2009 年まで実施してきた。海洋に放出する CO₂ を拡散し、環境への影響を最小化するという目的で、移動する船舶から CO₂ を海洋放出するという移動式を念頭に、CO₂ 希釈技術の開発（フェーズ 1）、CO₂ 挙動観測・予測技術の開発（フェーズ 2）に取り組んだ。以下が主な取り組みの内容である。

- CO₂ の隔離量・隔離期間を明らかにし、希釈溶解された CO₂ の挙動を把握する技術の確立などの CO₂ 海洋隔離能力の技術
- 環境への影響を把握するために必要な海洋炭酸系物質の濃度・深海生態系などのデータ蓄積及び調査の実施などの環境影響評価の技術
- CO₂ 放出装置開発や CO₂ 分布予測などの CO₂ 希釈の技術

なお、2002 年に本事業に関し、ノルウェーにおいて 5 カ国（日・米・カナダ・

ノルウェー・スイス) 共同で実証実験を行う計画があり、実験準備は完了していたが、ノルウェー政府から実験取り消しの要請があり中止となった。中止の理由には、国際条約との関連性に関する懸念、海洋隔離が気候変動に対する有望な対策として IPCC に認められていない点、そして NGO などからの反対を受けた点が挙げられた (RITE (2006) 「フェーズ 1 の効果」『CO₂ 海洋隔離プロジェクト 二酸化炭素の海洋隔離に伴う環境影響予測技術開発』)。

当研究は海洋隔離技術の研究を行っていた唯一の事業であり、その重要性を認識するとともに、成果も評価されていたが、社会的受容性に課題があることに加え、CCS 技術としては地中貯留に優先度が置かれる傾向にあると結論付けられたため、2009 年をもって事業を中断する運びとなった。

このような背景から、以下からは現在 CCS 技術の主流であり、最も実現可能な地中貯留を取り上げる。

(3)国内の過去の実証試験および技術開発

過去の日本におけるフィールドでの CCS 関連プロジェクトとしては北海道夕張市 (2002 年度～2008 年度) で ECBM (炭層メタン増進回収) プロジェクトと新潟県長岡市 (2000～2007 年度) で実証試験が行われた例がある。どちらのプロジェクトも経済産業省の補助事業であり、現・公益財団法人地球環境産業技術研究機構 (RITE) や株式会社環境総合テクノスが主体となって教育機関の協力のもと、実施された。

現在も上記機関で研究は続けられているが、2008 年に日本 CCS 調査株式会社が設立され、苫小牧地点をはじめとする国内における CCS の実証試験候補地点の調査の実施主体となっている。

i)CO₂炭層固定化プロジェクト(北海道夕張市)

火力発電所等の大規模発生源から CO₂ を回収し、石炭層に圧入・固定化させ、CO₂ と置換した未使用のメタンガス (CH₄) を回収する技術を確立し、実用化可能な全体システムを構築することを目的とした事業である。石炭埋蔵量、メタン湧出量、排水量、地元合意形成を考慮し、名張市が選定された。総合的な視点で鑑みると、安全性を確保し、有効性を実証するには長期間のモニタリングが必要であるものの、事業で得られた結果は高く評価されている。本来 CCS は経済的なインセンティブが働かない点が課題となっているが、当事業はメタ

ン回収が CCS 事業に統合されているため、事業化の実現可能性を高め得るものとなった。

プロジェクト事後評価では、事業化にあたり重要となる課題として CO₂ 分離回収のコスト効率や、各技術の継続した技術開発、環境への影響や安全性における評価の充実、市民からの理解を得るための広報などが挙げられている。

ii) RITE CO₂ 地中貯留プロジェクト(新潟県長岡市)

RITE が新潟県長岡市で 2000 年～2007 年度に実施した総量 1 万トンを押入する実証実験である。当実験は、長岡市南西部の信濃川支流渋海川左岸、旧帝国石油株式会社岩野原基地（南長岡ガス田）の帯水層が選定された。事業の目的は、天然ガス・原油増進回収で使用されている技術を応用し、CO₂ 排出削減事業として必要な研究課題の解決につなげ、実用化への基盤を確立することにあった。CO₂ 供給施設点検・整備、CO₂ 供給逼迫期、そして新潟県中越地震の際に圧入休止・中断したものの、大きな問題もなく完了した。現在もなお、RITE によりモニタリングは継続されており、問題がないことが確認されている。

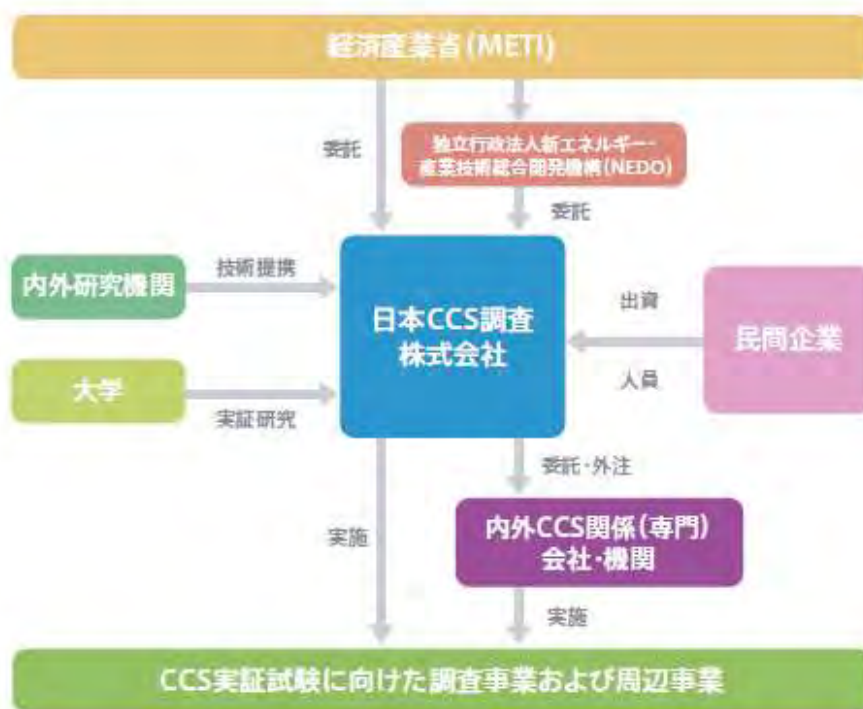
iii) 日本 CCS 調査株式会社の設立

上記の実証試験終了の際、さらなる大規模実験が必要との認識が共有された。そして 2008 年 7 月の主要国首脳会議（G8）洞爺湖サミットでは CCS が主要な議題になるという見通しが生まれる中で民間の CCS 実証試験の実施主体が望まれる社会情勢となった。この背景の下、民間 29 社（平成 24 年 3 月現在 36 社）の出資を受けて日本 CCS 調査株式会社が設立された。主な事業内容としては、CCS 事業*の調査実施、国内外での CCS の普及、情報収集などである。

*（日本 CCS 調査(株)における）CCS 事業・・・日本 CCS 調査(株)は地中貯留に関する事業のみ展開している。

〔日本 CCS 調査(株)の実施体制〕

調査事業の実施体制



※出典：日本 CCS 調査株式会社 Web サイト 「会社情報」
(http://www.japanccs.com/about/about_us.html)

2. 技術開発と産業化の現状

分離回収・輸送・貯留の各フェーズでの技術は、前述のとおり既存技術が応用可能であるが、従来それらを統合し、かつ多量の CO₂ を扱うことがなかったため、実証実験を行う必要があるとの認識の下、事業化を目指した実証実験の準備が行われている。

RITE の 2005 年度の報告「平成 17 年度 二酸化炭素固定化・有効利用技術等対策事業 二酸化炭素地中貯留技術研究開発 成果報告書」によると、新設石炭火力発電所に CCS を設置するケースでも 1 トンの処理を行うのに約 7300 円かかるとされており、その 6 割が分離回収にあてられる。一連のプロセスの中で最もコストが高いため、そのコストを低減するのが現状の課題である。

また、安全性においては高い評価を得ているが、CO₂ を長期間貯留すること

の影響について完全に判明しているわけではない。前述のとおり、天然ガスの地下貯留や CO₂ を油層に圧入し原油を回収するという石油の増進回収を目的とした技術がすでに確立され、事例も数多く存在するが、CCS は CO₂ を大量に数百年から数千年間貯留し続けることになるので、安全性を確保するためにも引き続き検証が必要である。

(1) 海外での動向

海外での代表的な CCS の事例は以下の通りである。

〔海外での代表的な CCS(地中貯留)の事例*〕

実施主体	国名	概要
Sleipner	ノルウェー	・炭素税に係るコスト対策として 96 年から年間 100 万トンの CO₂ を帯水層に圧入 ・帯水層の中で CO₂ がどのように留まり、その後どうなるのかをモニタリングするという技術が確立されていないため、事業を行いながら欧州連合 (EU) からの研究資金で研究を行っている
Snøhvit	ノルウェー	・ノルウェー北部にある液化ガス (LNG) 施設から回収した CO₂ をバレンツ海底帯水層に年間 70 万トン圧入している商業プロジェクト ・2008 年から CO₂ 貯留を開始
In Salah	アルジェリア	・国営企業による帯水層への圧入 (年間 100 万トン) ・スタッド・オイル社と BP 社も技術協力しており、日揮株式会社が分離回収設備を納入している ・世界で最初の大規模なガス田での CCS プロジェクトであり、プロジェクト終了までに 1700 万トンの CO₂ を貯留する予定である
Otway	オーストラリア	・枯渇ガス層への圧入 ・研究的なプロジェクトであり、2 年間で累計 6 万トンを圧入。現在も小規模の研究を続行している
Lacq	フランス	・枯渇ガス層への圧入を行う研究的なプロジェクト。 ・2 年間で 12 万トンの予定

		・回収された CO ₂ は、約 27km のパイプラインを使用して枯渇ガス層へ輸送される
Mountaineer	アメリカ	・10 万トンを出発源サイトの帯水層に圧入する予定であったが、最終的に 3.7 万トンの CO ₂ が圧入された

※日本 CCS 調査株式会社提供資料等を基に作成

*海外事例・・・The Cooperative Research Centre for Greenhouse Gas Technologies (CO2CRC) のデータベースで CCS のプロジェクトが検索できる。
(<http://www.co2crc.com.au/demo/worldprojects.html>)

2011 年に米国でトータルシステムの CCS が実施され、最終的に 3.5 万トンの CO₂ が火力発電所から回収され、帯水層に圧入された。続けて 100 万トンの圧入を行う予定であったが、費用負担の問題もあり、計画は棚上げの状態になっている。上記以外でも火力発電所での CO₂ 分離回収、帯水層への圧入という計画がアメリカ・カナダ・欧州を中心に進んでいる。上記のうち、ノルウェー・アルジェリアのケースは実用規模で商業的に行っているが、貯留確認の技術開発においては実証段階（デモンストレーション）である。その他の事例においては、初歩的な実証試験である。

米国では 1970 年代から石油の増進回収をしており、年間 2 千~3 千万トンの CO₂ を油層に注入する事業の実績があるため、油田における CCS は米国が最も進んでいると言われている。一方で、帯水層貯留はノルウェーが先進的であるとされる。日本は個別の技術開発が進んでおり、特に分離回収技術は世界的に見ても高い水準にあると言われている。輸送技術も、前述の輸送船舶の開発など、独自の技術を築いている。しかし、統合的な技術はこれらの国に比べ開発が遅れているため、大規模開発に向けた取り組みを急ぐ必要があるとの指摘もある。

(2)国内での CCS 調査

①概要

2008 年の G8 洞爺湖サミットで大規模な CCS の展開が支持され、国内でも CCS の実用化が目標として織り込まれた「低炭素社会づくり行動計画」が閣議決定されるなど、CCS は日本の環境政策の中でも重要な位置を占めることとなった。2008 年に経産省の補助事業として日本 CCS 調査株式会社が実証実験に向けて、候補地のスクリーニングを行った。排出源の有無・利用条件・どういった技術開発ができるのかといった点を踏まえて最終的に 4 つの実証試験が必要なのではないかとのまとめを経産省に提出した。

2009 年に委託事業が始まり、地質調査と地上設備の概念的な設計を含めて、苫小牧、北九州、勿来・磐城沖の 3 箇所で調査を進めてきた。地層や周辺環境によって結果が異なる可能性もあることから、4 タイプ（生産終了油・ガス層、構造的帯水層*、非構造的帯水層（新第三紀以降）、非構造的帯水層（古第三紀）**の貯留層で実験を行うことが必要だとした。この 4 タイプで事業遂行が可能であれば、日本全国どこでも実施可能との見通しであるため、それぞれの代表として 3 地点を絞り込んでいる。RITE の 2005 年度の報告では勿来・磐城沖地点や苫小牧地点を含む全国で合わせて 1461 億トンの CO₂ 貯留ポテンシャルがあるとしている。

*構造的帯水層・・・地層が山形（背斜構造）になっている帯水層

**新第三紀、古第三紀・・・いずれも地質時代の名称。それぞれ 2,303～258 万年前 6,550～2,303 万年前

②主な調査事業の現状と将来展望、問題点・課題等

苫小牧、勿来・磐城沖、北九州の各地点での実証試験の現状は以下の通り。

地点	概要
苫小牧	・製油所からの分離回収。 ・2009-2010 年度に帯水層などの地質を把握するため 3 次元弾性波探査*を実施。 ・2010-2011 年度に調査井を掘削し、地質調査を実施。 ・貯留層の評価を行い、それを基に実証試験計画案を経産省に提出。 ・2012～2015 年度に実証実験施設の設計・建設等が行われる予定。
福島（勿来・磐城沖地点）	・震災の影響により本地点での調査は当面取りやめとしている。 ・予定では株式会社クリーンコールパワー研究所が実証実験を行った IGCC（石炭ガス化複合発電）を引き継ぎ、分離回収施設を新設した上で 80km ほどの海底パイプラインを引き、生産終了したガス田で圧入を行うというモデルが検討されていた。
北九州	・地質データが不十分であり、地質調査の初期段階にある。 ・2010 年度にボーリング調査（地質性状調査）を行っており、現在も評価を継続中。2012 年度も引き続き調査が行われる予定。

*3 次元弾性波探査・・・この場合、海底に平行に設置したデータ受振ケーブル周辺でエアガンを発振し、地質境界面での反射波を測定することで各地層の広がり把握する調査。

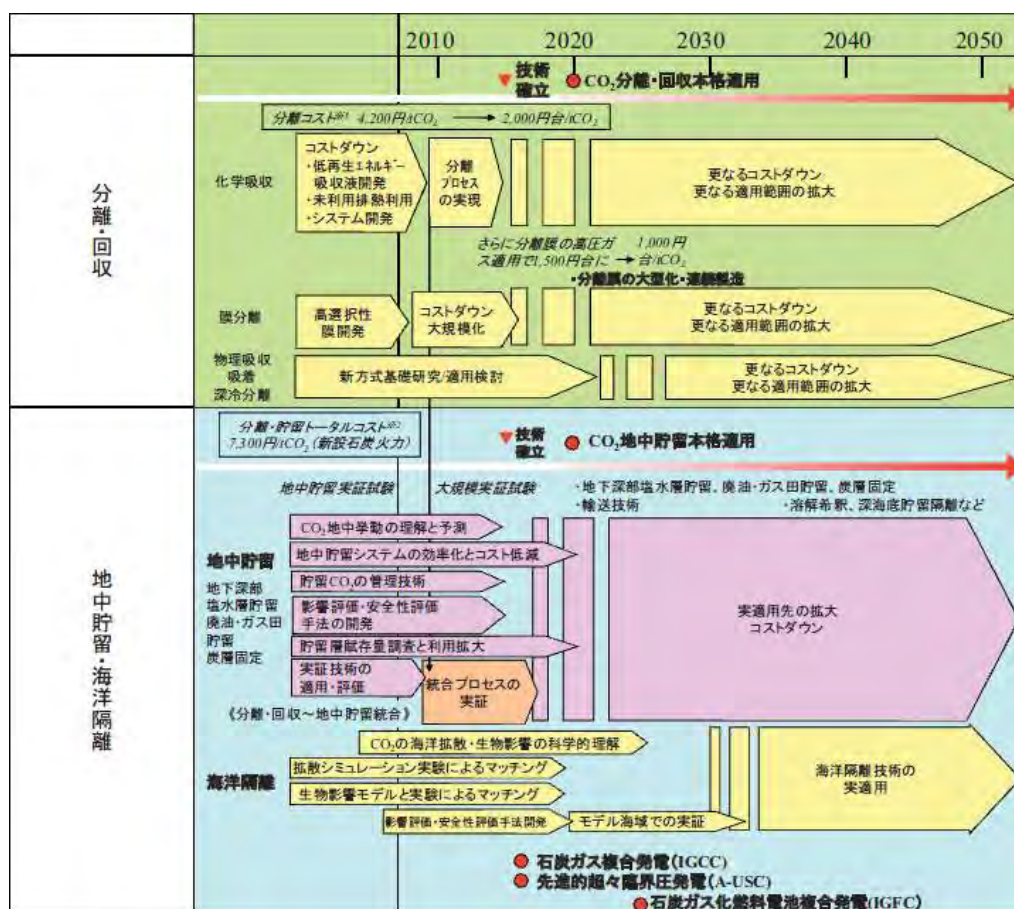
上記を含む国内の CCS 事業はいずれも基礎的な研究開発・大規模実証実験、分離・回収のコストダウン、安全性の向上を主な柱としている。

現時点においては利用可能な最良の技術（best available technology）が適用されているが、実用化に向けて引き続き安全性を高めていく必要がある。貯留された CO₂ の挙動と安全性を確認するには弾性波探査で圧入前・圧入過程のデータを取り、差分を検証するのが一番有効であるとされている。しかし、誤差を含むため、取得データから高い精度で定量化するのが現状の課題であり、今後、検証していく必要がある。

3. 技術開発と産業化の課題と展望

経産省「技術戦略マップ 2010」によると、分離回収技術におけるコストダウンが課題となっている。輸送、圧入プロセスは既にある程度確立しているため、大幅にコストを下げることは困難と見られているが、分離回収についてはまだ技術開発の余地があり、コストダウンを見込めるため、RITE が主導で課題解決に取り組んでいる。現在、CO₂の回収・貯留に1トンあたり7,300円ほどかかり、この内、分離・回収には約4,200円がかかるが、このコストを2020年までに1トンあたり1,000円台まで低減することを目指して開発中である。膜を使った分離も有効で、高い圧力を有するガスから分離するのであれば熱エネルギーが不要である。

〔CCS 技術戦略マップ〕



※出典：経済産業省「技術戦略マップ 2010」

経済的側面に関しては、何らかの形で利益が発生することが産業化に向けての必要条件と言える。現在は国が実証試験と研究開発にかかる費用を全額負担しているが、CCS を国内で商用化するには、これらの研究開発を進めコスト削減を図ることに加えて、たとえば、排出した CO₂ を CCS により削減した者に対して、何らかのインセンティブを付与する等が必要になる。このため、国際的な動向を踏まえながら日本国内でも制度を整備していくことが必要である。

2011 年に南アフリカ共和国・ダーバンで開催された第 17 回国連気候変動枠組条約締約国会議（COP17）と同時開催されていた第 7 回京都議定書締約国会合で、CCS によるクリーン開発メカニズム（CDM）化の大まかな手続きと手順が合意され、今後 CCS の世界的な推進や海外での事業展開が後押しされる可能性がある。しかし、事業を展開していく上では、2005 年に開始された CCS の CDM 化議論は数年の間、反対派と賛成派が激しく対立していたことや市民団体などの非政府組織（NGO）にも依然反対派が多いことから、社会的受容性を得るための対応も重要である。

○インタビュー

日本 CCS 調査（株）技術企画部

尾崎 雅彦 東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授

○主な参考文献：

日本 CCS 調査（株）提供資料

日本 CCS 調査（株）web サイト

国際エネルギー機関（IEA）（2009）*Technology Roadmap Carbon Capture and Storage*（www.iea.org/papers/2009/CCS_Roadmap.pdf）

経済産業省「技術戦略ロードマップ 2010」

経済産業省（2008）「二酸化炭素回収・貯留研究会（平成 20 年度第 1 回）配付資料」（<http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g81030d06j.pdf>）

小出仁（2006）「CO₂ の地中隔離」乾監修『CO₂ 固定化・隔離技術』（2000 年『CO₂ 固定化・隔離の最新技術』普及版）

公益財団法人地球環境産業技術研究機構（RITE）web サイト

公益財団法人地球環境産業技術研究機構（RITE）（2006）「平成 17 年度 二酸化炭素固定化・有効利用技術等対策事業 二酸化炭素地中貯留技術研究開発 成果報告書」

公益財団法人地球環境産業技術研究機構（RITE）（2006）「フェーズ 1 の効果」『CO₂ 海洋隔離プロジェクト 二酸化炭素の海洋隔離に伴う環境影響予測技術開発』

（http://www.meti.go.jp/policy/tech_evaluation/c00/C0000000H19/080121_program&s）

ea/program&sea-6-re5.pdf)

独立行政法人産業技術総合研究所 web サイト

(<http://unit.aist.go.jp/emtech-ri/ci/e-keyword/CCS/ccs.html>)

環境省「二酸化炭素海底下地層貯留に関する技術について」

(<http://www.env.go.jp/council/06earth/y068-04/ref05.pdf>)

産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会（2009）「二酸化炭素炭素固定化技術開発
プロジェクト評価（事後）報告書」

(www.meti.go.jp/policy/tech_evaluation/e00/03/h20/309.pdf)

（2） ii）「輸送」について

Global CCS Institute (GCCSI)

The Global Status of CCS:2011

(<http://cdn.globalccsinstitute.com/sites/default/files/publications/22562/global-status-ccs-2011.pdf>)

Preliminary Feasibility Study on CO₂ Carrier for Ship-based CCS

(<http://cdn.globalccsinstitute.com/sites/default/files/publications/24452/chiyoda-report-merged.pdf>)