EAJ 報告書 2021-02

「海を知り、新たな恵みを拓く“海洋テロワール”」について

令和 3 年（2021 年）3 月

公益社団法人日本工学アカデミー

「海洋研究の戦略的推進」プロジェクト
（リーダー：藤井　輝夫）

2021 年３月 30 日

公益社団法人日本工学アカデミー

日本工学アカデミーは、工学・科学技術全般の発展に寄与する目的で設立された産学官の指導的技術者を会員とする団体です。会員の豊かな経験や知識、幅広いネットワークを活用したプロジェクトチームを中心に、広く会員外からの協力も得て、調査提言活動を進めています。その成果をまとめ、社会が目指すべき方向性に関して、官公庁、立法府、産業界、学会、研究機関等に先導的、創造的な施策を提言し、社会実装を目指します。

「海を知り、新たな恵みを拓く“海洋テロワール”について」は、EAJ において初めての海洋分野の政策提言プロジェクトであり、人々の暮らしや文化と海域の生産力を持続可能な形で統合する「海洋テロワール」という新たな理念に基づいて、広大な海洋の海域利用の将来像を提言しようとするものです。次世代のテクノロジーを用いて、その海域の特性を生かしながら高い付加価値を生み出していくことを通じて、豊かな恵みをもたらす「豊饒の海」の具現化を目指しています。これまで、多くの関係者の皆様のご協力を頂いて幅広い検討を積み重ね、意見集約を図ってきました。今般、本報告書の原案がとりまとめられ、政策提言委員会での査読を受け、理事会での審査を経て、最終版が確定しましたので、日本工学アカデミーとしての発出を理事会で決めました。広くご活用いただくことを期待します。

日本工学アカデミー（EAJ）「海洋テロワール」提言

～「海を知り、新たな恵みを拓く“海洋テロワール”」について～

EAJにおいて初めての海洋分野の提言プロジェクトとして、平成29年度より全体会合メンバーにより、本提言の基礎となる「EAJメッセージ」を平成30年10月に作成、これに基づく５つのWGによる各課題検討を経て、今般日本工学アカデミーの政策提言として取りまとめたものである。本提言の作成に当たっては、以下のメンバーを中心にし、多くの海洋関係者のご協力をいただきながら検討を重ねてきたところ、皆様のご尽力に感謝申し上げたい。（敬称略、五十音順）

＜全体会合メンバー＞

川上　哲太朗　（東海大学　学長補佐）
神田　穣太　（東京海洋大学　副学長）
北澤　大輔　（東京大学　生産技術研究所教授）
小松　正夫　（三菱造船㈱　マリンエンジニアリングセンター開発部主幹技師）
板倉　周一郎　（海洋研究開発機構　理事）
竹内　真幸　（前清水建設㈱　フロンティア開発室　海洋開発部　上席エンジニア）
田中　健吾　（水産研究・教育機構　理事）
角田　智彦　（笹川平和財団　海洋政策研究所　主任研究員）
寺島　紘士　（前笹川平和財団海洋政策研究所長）【顧問】
中原　裕幸　（海洋産業研究会　顧問）
藤井　輝夫　（東京大学　理事・副学長）【座長】
保坂　直紀　（東京大学大学院新領域創成科学研究科　特任教授）
道田　豊　（東京大学　大気海洋研究所国際連携研究センター長）
森本　浩一　（海洋研究開発機構　特任参事）【プログラムオフィサー（PO）】

＜各WGメンバー＞

○イノベフィッシュマネジメントWG

神田　穣太　（東京海洋大学　副学長）【主査】
森本　浩一　（海洋研究開発機構　特任参事）【プログラムオフィサー】
川上　哲太朗　（東海大学　学長補佐）
北澤　大輔　（東京大学　生産技術研究所　教授）
田中　健吾　（水産研究・教育機構　理事）
日向野　純也　（元水産研究・教育機構　水産工学研究所所長）
森永　健司　（水産研究・教育機構　研究主幹）
保坂　直紀　（東京大学大学院新領域創成科学研究科　特任教授）
角田　智彦　（笹川平和財団　海洋政策研究所　主任研究員）

伊藤　　暁　（マルハニチロ　漁業・養殖ユニット長兼増養殖事業部　部長）
野田　尚宏　（産総研バイオメディカル研究部門　グループ長）
浅海　　茂　（古野電気　技術研究所研究部養殖事業企画室　室長）

○海洋インフラWG

北澤　大輔　（東京大学　生産技術研究所　教授）【主査】
森本　浩一　（海洋研究開発機構　特任参事）【プログラムオフィサー】
井上　俊司　（海上技術安全研究所　特別研究主幹）
澤田　信一　（IHI　技術開発本部　技術企画部　主幹）
竹内　真幸　（前清水建設㈱　フロンティア開発室　海洋開発部　上席エンジニア）
円谷　晃司　（川崎汽船（K-Line）先進技術グループ　先進技術開発チーム）
永橋　賢司　（海洋研究開発機構　研究プラットフォーム運用開発部門技術開発部長）
中原　裕幸　（海洋産業研究会　顧問）
中溝　和馬　（三菱造船㈱　事業戦略推進室　主席部員）
林　　竜也　（日本海事協会（NK）主管）
平山　明仁　（三井E&S造船　企画管理本部事業開発部自律操船システム事業推進室　室長）
巻　　俊宏　（東京大学生産技術研究所　准教授）
吉本　治樹　（ジャパンマリンユナイテッド（JMU）海洋エンジニアリングプロジェクト部新エネルギー・資源開発Gr. 主査）

○海洋観測WG

藤井　輝夫　（東京大学　理事・副学長）【主査】
森本　浩一　（海洋研究開発機構　特任参事）【プログラムオフィサー】
石原　靖久　（海洋研究開発機構　研究プラットフォーム運用開発部門技術開発部　GL）
今坂　尚志　（古野電気　技術研究所市場開発推進室　主幹研究員）
川上　哲太朗　（東海大学　学長補佐）
北澤　大輔　（東京大学　生産技術研究所　教授）
小松　正夫　（三菱造船㈱　マリンエンジニアリングセンター開発部　主幹技師）
角田　智彦　（笹川平和財団海洋政策研究所　主任研究員）
寺島　紘士　（前日本海洋政策学会副会長）
保坂　直紀　（東京大学大学院新領域創成科学研究科　特任教授）
村嶌　　篤　（ヤマハ発動機㈱　マリン事業部企画統括部　事業開発部新事業開発Gr）
横田　裕輔　（東京大学　生産技術研究所　講師）
吉村　直子　（情報通信研究機構　ワイヤレスネットワーク総合研究センター宇宙通信研究室　研究マネージャー）

○データ連携WG

道田　　豊　（東京大学　大気海洋研究所国際連携研究センター長）【主査】
森本　浩一　（海洋研究開発機構　特任参事）【プログラムオフィサー】
下田　良介　（ESRIジャパン）
櫻井　洋祐　（ESRIジャパン）

勢田　明大　（海上保安庁海洋情報部海洋情報課）
石川　洋一　（海洋研究開発機構　付加価値情報創成部門情報エンジニアリングプログラム長）
河宮　未知生　（海洋研究開発機構　地球環境部門環境変動予測研究センター長）
角田　智彦　（笹川平和財団海洋政策研究所　主任研究員）
保坂　直紀　（東京大学大学院新領域創成科学研究科　特任教授）
北澤　大輔　（東京大学　生産技術研究所　教授）
神田　穣太　（東京海洋大学　副学長）
鈴木　　亨　（日本水路協会）
渡辺　忠一　（NPO宇宙利用を推進する会）
武藤　正紀　（三菱総合研究所）
前田　文孝　（古野電気㈱技術研究所）

○人材育成WG

川上　哲太朗　（東海大学　学長補佐）【主査】
森本　浩一　（海洋研究開発機構　特任参事）【プログラムオフィサー】
神田　穣太　（東京海洋大学　副学長）
小林　伸司　（清水建設㈱　フロンティア開発室海洋開発部　部長）
酒井　英次　（笹川平和財団海洋政策研究所　海洋事業企画部　部長）
島村　道代　（海洋研究開発機構　経営企画部　調査役）
寺田　　伸　（三菱造船㈱　マリンエンジニアリングセンター技術部　主席技師）

【目　次】

Ⅰ．海洋テロワールが目指すもの　1
１．海洋テロワールとは何か　1
（１）新しいテクノロジーがつくりだす「豊饒の海」　1
（２）このままではもう海と共存できない　2
①　海は私たちを支えてきた　2
②　海の未来像は現在の延長線上にはない　2
③　伝統とテクノロジーの融合　3
（３）「海洋テロワール」という新しい発想　3
①　「テロワール」は人と自然を包み込む　3
②　公共知で誰もが海に参画できる海洋テロワール　3
③　海洋テロワールがつくる豊饒の海　4
（４）海洋テロワールを実現する海の「民主化」　4
①　海洋データによる海の民主化　4
②　専門家と一般市民の協働　5
（５）グローバルコモンズに貢献する海洋テロワール　6
①　公共知が実現する海のコモンズ　6
②　「海洋空間計画」と「国連海洋科学の10年」　7
２．海洋テロワールの実現に必要な考え方　7
（１）海洋データ・情報の共有　7
（２）人と海をつなぐための「海洋観測の民主化」　9
（３）自然から収奪しないシステム　11
（４）コロナ禍後の世界にも適合した「完全なデジタル化、リモート化、自動化」　13
３．海洋テロワールの実現に必要な技術開発　15
（１）人と海をつなぐシステム　16
①　海洋データ・情報の整備と共有のフィジカル・サイバー統合的推進　16
②　市民や地域社会を海の科学とつなぐシステム　18
③　海を体感する技術　19
④　海洋空間を自由に移動・探査（調査）するシステム　20
⑤　海洋空間で居住もしくは生産を行うシステム　22
（２）ゼロエミッションと自然から収奪しないシステム　24
①　自然に負担をかけない未来の水産業―イノベアクアファーム―を創り出す技術　24
②　「ゼロエミッション（カーボンニュートラル）」のシステム　27
③　今できる革新的な海洋汚染対策　29
④　再生可能エネルギーを基盤とするシステム　30

（３）完全に「デジタル化、リモート化、自動化」された海洋システム　31
①　無人自律船（航海中点検・メンテナンス用ロボット）　31
②　海のIoT化　32
③「海洋の民主化」のための観測基盤整備技術の開発　33
④　海洋データ連携・流通促進プラットフォームの開発　34

Ⅱ．海洋テロワールがもたらす「豊饒の海」　37
１．イノベアクアファームの実現　37
（１）水産物生産の現状　37
（２）イノベアクアファームの全体像　39
（３）陸からのアクセスが容易な沿岸・内湾域におけるイノベアクアファーム　40
（４）洋上を漂う自立型のイノベアクアファーム　41
（５）担い手の育成　43
（６）イノベアクアファームにより実現する未来の水産業と波及効果　43
２．豊饒の海を支える「洋上都市」の実現　44
（１）海洋テロワールにおける洋上都市とは　44
①　洋上都市は、海洋テロワール実現のためのベースキャンプ　44
②　洋上都市は、海のグローバルコモンズを支える共通インフラ　44
③　洋上都市は、海のSociety5.0を実現するモデルプロジェクト　45
（２）洋上都市の市場と技術の現状　45
①　過去・・・浮体式石油掘削リグの時代　45
②　現在・・・浮体の土木・建築の時代　45
③　未来・・・トータルシステムとしての海洋未来都市の時代　46
（３）海洋テロワールにおける洋上都市の課題と提案　46
①　地球環境と自然災害に対し、海の潜在力を生かした「人と地球に優しい洋上都市」　47
②　持続的な収穫生産が可能で、海を汚さない「自然と生態系に優しい洋上都市」　48
（４）洋上都市のプロトタイプ　49
①「沿岸型」洋上都市：Plug and Play FLOAT　49
②「沖合型」洋上都市：Integrated Ecofriendly FLOAT　51
（５）多種多様な洋上都市機能への対応　52
①　居住系・・・都市・地方、海上・海中　52
②　産業系・・・プラント（エネルギー／食料等）、NIMBY施設（Not in My Back Yard）　52

Ⅲ．海洋テロワールを支える人材の育成 53
１．初等教育から社会人教育まで切れ目のない「海洋教育による人材のマリナイゼーション」 53
（１）初等中等教育へのアプローチ 54
（２）高等教育・社会人教育へのアプローチ 55
２．海洋産業の可視化と効果的な情報発信による「キャリアパスによる人材のマリナイゼーション」 56

Ⅳ．おわりに 58

付記 59

【参考資料】
日本工学アカデミー「海洋テロワール」に関する会合開催実績 60

【要　約】(Executive Summary)

Ⅰ．海洋テロワールが目指すもの

１．海洋テロワールとは何か

私たちがこれまでその恵みを享受してきた海洋は、地球温暖化やプラスチックを始めとする廃棄物の流入による環境の劣化、日本では漁業就業者の減少などで、私たちとの健全な共存が危ぶまれている。一方で、デジタル技術を中心とする現代テクノロジーの進展により、私たちの生活を「量」のみならず「質」から変える「Society　5.0」の社会が目前に迫っている。そこで私たちは、これらの技術を支えとした「海洋テロワール」という新たな理念に基づく海域利用の将来像を提言したい。

フランスのワイン生産に源をもつ「テロワール」は、気候や土壌などの自然環境、その土地、その畑で伝統的に続いてきたワインの製造法など、その地域の自然と文化、社会を統合し、そこに価値を認める理念である。畑はブドウを「収奪」する場ではなく、人と自然が持続可能な共生を試み、そこから高い付加価値を生みだすテロワールのアクターである。

テロワールの海洋版ともいえる海洋テロワールもまた、人々の暮らしや文化と海域の生産力を持続可能な形で統合する。その際、経験知、暗黙知を前提としたテロワールとは違い、市民だれもが意思決定に参加できる「民主化」された開かれた場としたい。そのためには、理念の柱となるいくつかの考え方を整理し、その実現のために必要な技術を見通しておく必要がある。それをまとめたのが本報告書である。

海洋テロワールの理念に基づいて実現する海の将来像を、ここでは「豊饒の海」と名づけた。その具体例として、環境への負荷を極限まで減らす次世代型の養魚施設「イノベアクアファーム」と、沿岸設置型・沖合設置型の「洋上都市」を示したい。

基本的には日本での実現を念頭に置くが、その理念や新たに開発される技術は日本に閉じたものではない。高度なモニタリングと制御による海域の持続的利用は、海を世界の共有物と考えるグローバルコモンズの思想と適合的であり、2021年から始まった「持続可能な開発のための国連海洋科学の10年」とも方向性を一にするものである。

２．海洋テロワールを実現するために必要な考え方

現代および未来の社会において、海洋テロワールの理念のもと、その土地の暮らしや文化、伝統を大切にしつつ海域の持続的利用を図るために欠かせないいくつかの考え方を明確にしておきたい。

一つは、海洋に関するデータ・情報の共有である。これまでに充実が図られてきた船舶や人工衛星による海洋観測に加え、近年は、これらの観測データにコンピューターによる数値計算モデルを組み合わせることで、海表面のみならず、海中の様子まで詳細に推定できるようになってきた。私たちに把握できる海洋の各種データが質的な転換期を迎えているといってよい。こうして得られたデータを、専門家だけでなく一般市民にもアクセスし

やすい情報として整備することで、海洋の現状を誰にでもリアルに、その眼前に提示することができるようになる。

これは、もう一つの重要な考え方である海の「民主化」と密接に関連する。海と社会の距離感を縮め、海域の利用法について市民がその意思決定に参加するには、すなわち海を「民主化」するためには、その基礎となる海の情報が必要である。簡便で安価な測器を開発すれば、海洋観測に市民が参加することもできる。その地域をよく知る市民が海洋の現状把握に参加し、そうしたデータを利用して描いた海洋像をもとに持続可能な海の利用法を社会で議論する。これは海洋テロワールの根本にかかわる重要な考え方である。

持続可能な海の利用を考えるとき大切なのは、私たちは自然から収奪してはならず、また環境に負荷をかけてもいけないという点である。これを、三番目の重要な考え方として挙げたい。地球の生態系が本来もつ自律的な維持機能を超えて漁獲してはいけない。養殖では、餌の余りや排せつ物として、自然のバランスが崩れるほどの有機物を排出してはいけない。人工的な養殖施設をつくるとしても、それは自然の生態系に内包されるよう工夫すべきである。

最後に、完全な「デジタル化、リモート化、自動化」の必要性を挙げたい。広大な未知の領域を抱える海洋では、これまでにも自律型無人潜水機（AUV）や衛星リモートセンシングなどでこれらは積極的に進められてきた。その一方で、海上での作業は乗員などの暗黙知に支えられている部分も依然として多く、その有用なアナログ知をデジタルの知に変換し人工知能などを利用することで、例えば海上輸送の安全性向上にも大きく貢献できるだろう。

３．海洋テロワールを実現するために必要な技術

（１）人と海をつなぐシステム

人々の生活や社会と持続的な海域の利用を統合する海洋テロワールの構想において、第一に必要なのは、人と海をつなぐための技術である。

ここでは、生データの取得から社会的な課題の解決に役立つ情報の生成まで、「センサー層」「ネットワーク層」「データ管理層」「プレゼンテーション層」「アプリケーション層」の５階層に分けて考える。

例えば、「センサー層」では、現在の自動観測網ARGO計画で使われるフロートの高度化、「ネットワーク層」では、新たに開発された観測機器を用いて一般市民が海洋観測に参加した場合、その取得データを有効に活用するためのネットワーク技術も必要になる。また、データから意味のある情報を抽出する「プレゼンテーション層」においては、進歩が速い人工知能（AI）の技術を、いかに素早く情報の循環に取り込んでいくかも課題になる。社会課題の解決に直結する最終段階である「アプリケーション層」もまた、社会がその俯瞰的な意思決定のために求めている情報の性質を、早く正確に把握する技術も必要になってくる。

今後の技術開発を考えるとき、個々の機器だけでなく、システムとしての発想が重要だ。ひとつには、海を市民にとっての日常とするため、取得したデータをいかにしてリ

アルタイムで共有するかという問題である。これには、沿岸域での第５世代移動通信システム（５Ｇ）の活用や無人航空機による次世代通信システムなどの可能性を探るべきだろう。海中から洋上、外洋から沿岸域までを結ぶ高速のネットワークが望まれる。

海洋テロワールは、海の本格的な利用を、漁業者や科学者といった特定の領域から広く一般市民に開放する理念でもある。上で示した例を始めとする様々な技術が開発されれば、例えば仮想現実（VR）の世界で、まるで深海旅行をしているような実感をリアルタイムで味わえる。こうして誰もが海を「体感」することは、社会が海を共有財として認識するためには欠かせないだろう。

また、多数のAUVをネットワーク化し、海洋空間を自由に移動・探査するシステムを作るには、給電や通信のための技術も必要である。

居住や生産のために海洋空間を使うという発想は、これまでにもあった。現実に、実証実験を含め浮体空港や浮体住宅群などが実現されている。しかし、海洋テロワールが目指す「人と地球に優しい洋上都市」「自然と生態系に優しい洋上都市」を考えるとき、必要とされる技術には、まだ未到達のものも多い。

その技術とは、ひとつには、洋上都市が単体で機能すればそれで良しとするのではなく、その視程を周囲の自然環境まで拡張し、トータルなシステムとして地球環境への負荷を最小限に抑えるという発想に基づくものである。逆に、地球温暖化による海面上昇や津波といった周辺環境から受ける脅威に対し、強じん性を高める技術も求められる。

具体的には、エネルギーや水の自給自足、排水浄化などの技術、長期耐用のためのメンテナンス技術、安全な定点保持・係留のための技術、都市機能を拡充するためのPlug and Play技術などを新たに開発していくことが必要となるだろう。

（２）ゼロエミッションと自然から収奪しないシステム

周辺の環境にかける負荷を極限まで減らすイノベアクアファームの実現には、まず、その場の生態系を把握し、さらには、ファームにおいて特定種の生物集団を人為的に増減させることの影響を、生態系全体の中に埋め込み管理する技術が必要である。高付加価値な遺伝的形質をもつ種の作出、育成技術、さらには、植物由来のタンパク質から魚肉を合成する技術も視程に入れるべきかもしれない。

海運におけるゼロエミッション達成のためには、プロペラの推進効率向上といった現行の技術開発に加えて、二酸化炭素の回収装置を備えた二酸化炭素回収船、太陽光による電気を蓄えて使う二次電池船といった次世代技術の開発も必要になる。

さらには、海洋のプラスチックごみや有害物などを回収、無害化する技術も求められるだろう。太陽光などで得た電気をその場で船舶に給電するといった再生可能エネルギーの地産地消に向けた技術開発も必要だ。

（３）完全に「デジタル化、リモート化、自動化」された海洋システム

人為的要因から発生する海難事故の回避、船員不足の解消などに応ずるためには、航海中の点検やメンテナンスを可能にする無人自律船の実現に向けた技術開発が求められ

る。船舶のみならず、イノベアクアファームや洋上都市の実現にとっても、その場の状況をリアルタイムで把握し、すぐさまフィードバックできる海のIoT化が欠かせない。

そのためには、海中観測ロボットバス技術、海洋センサーネットワーク、多様な海洋データを利用するためのワンストップサービス、そして海洋分野のデータを扱うプラットフォームと宇宙分野のデータを扱うプラットフォームを統合した高次のプラットフォームなどの実現に向けた技術開発が必要である。

Ⅱ．海洋テロワールがもたらす「豊饒の海」

１．イノベアクアファームの実現

私たちが考えるイノベアクアファームは、陸からアクセスしやすい海域につくる沿岸・内湾型と、沖合で洋上を漂う自立型に大別される。

養殖では、餌の残りや糞などの廃棄物を環境中に放出しないゼロエミッションが理想ではあるが、現実には難しい。そこで、表層で給餌養殖を、底層では糞や餌の残りかすなどを分解し利用する無給餌養殖を行う複合養殖などを構想する。生け簀や水槽、周辺設備が一体化した未来型の養殖プラットフォームが、沿岸・内陸型イノベアクアファームの典型的な姿である。これはまた、沿岸型洋上都市にそのひとつのモジュールとして連結することも想定している。

陸から離れて洋上を漂う自立型イノベアクアファームのメリットは、対象魚種に合った環境をつくりだせる点、あるいは適した環境を求めて移動できる点にある。これらは一部で実用化されているが、海洋テロワールの理念からみた場合、生態系への調和という視点に欠けることが多く、必ずしも満足できるものではない。

持続的な海域利用を目指す自立型イノベアクアファームでは、生態系への負荷を最小限に抑える物質循環を実現する必要がある。エネルギーの供給に関しても、自立したエネルギー需給が可能な沖合型洋上都市との接続により化石燃料に依存しないシステムをつくり、洋上都市を中継地として陸域への輸送も図る。

２．豊饒の海を支える「洋上都市」の実現

洋上都市は、海洋テロワール構想を実現するためのベースキャンプである。必ずしも巨大な都市のスケールに限定するものではなく、必要に応じて、離島や過疎地域の地方創成拠点の規模、海洋プラントを支える海洋工作物まで、その大きさは様々である。

浮体構造物は橋や住宅などですでに実用化されているが、それを、環境への負荷を減らし海と人の新しい関係を築く海洋テロワールの理念に沿って未来へと拡張していく。特に留意すべきなのは、カーボンニュートラル、省エネルギーといった地球環境への配慮、地球温暖化による海面上昇、津波などの自然災害に対する強じん性である。十分な係留安定性が確保できれば、地震や津波に遭った際の防災拠点都市ともなり得るであろう。

洋上都市の具体像は、イノベアクアファームと同様に、「沿岸型」と「沖合型」に大別される。

沿岸型洋上都市は、桟橋やブリッジで陸上と連結されている沿岸海域への設置を想定し

ている。都市の成長に合わせて機能を追加できるよう　Plug and Play　的に増設でき、必要に応じてモジュールの再配置も可能である。防災基地やリゾート都市、多量の冷却水が必要なデータセンター、物流や旅客のターミナルとしての利用が有効であろう。

沖合型洋上都市は、陸からは離れ、船によるアクセスに限られる沖合海域に設置する。波や風などの海象条件が厳しいため、大規模な一体型の浮体構造とすることが望ましい。ひとつの魚種の排出物を他の魚種が利用して生態系を形作る「統合マルチトロフィック養殖」とも整合性がよく、イノベアクアファーム構想における研究開発拠点ともなるだろう。

Ⅲ．海洋テロワールを支える人材育成

海洋テロワールの理念を実現するには新たな発想と技術が必要であり、それを支える人材を意識的に育てていくことが欠かせない。その際のキーワードは、人材の「マリナイゼーション（海洋化）」である。

そのひとつが、海洋教育による人材のマリナイゼーションである。小学生から社会人まで切れ目なく海に関する教育を行い、海を知り、海に関する事柄について自分なりの考えを持てる市民を育てる。そのためには、初等中等教育で社会分野に偏在している海洋に関する記述を理科分野にも広げ、利用しやすい教育用のパッケージを作成することも必要だろう。高等教育と社会人教育においては、大学院レベルの統合型海洋教育プログラムを、内外の教育機関が協力して共同で作ることを提案したい。

もうひとつが、キャリアパスによる人材のマリナイゼーションである。海洋テロワールを実現する海洋産業を支えるべき人材の裾野は、限りなく広い。しかし、大学生、大学院生が自分のキャリアパスを考えるとき、海洋産業はその視野に入りにくい。産業としての海洋分野にどのような仕事があるのか、それに必要なスキルは何かが明確に発信されていないからである。

その欠を補うには、耳目を引く海洋のビッグプロジェクトを立ち上げ、そうした機会を捉えて、ホームページやSNS、書籍の発行などにより産業界から強く情報発信していくことが必要だろう。また、これまで大学などの教育機関が主体だった海洋教育に、産業界からも積極的に参画することが求められる。

Ⅰ．海洋テロワールが目指すもの

１．海洋テロワールとは何か

（１）新しいテクノロジーがつくりだす「豊饒の海」

この現代社会において、デジタル技術の進展は著しい。理化学研究所のスーパーコンピューター「富岳」は１秒間に40京回（１京は１兆の１万倍）を超える計算をこなし、深層学習を始めとする人工知能（AI）は、自動車の自動運転を可能にしつつある。第５世代移動通信システム（５Ｇ）はすでに実用化し、手元のスマートフォンで大容量のデータを高速で送受信できる環境が用意された。現代のデジタル技術の特徴は、こうした基盤が、その分野を専門とする一部の領域だけではなく、広く一般市民を含む社会の隅々に行きわたり、多様な情報を多くの人々が容易に共有、利用できる点にある。デジタル技術が作り出す仮想的な空間が現実の社会における課題の解決を導き、私たちの暮らしを、「量」のみならず「質」から変えていく。そうした可能性を秘めた「Society 5.0」の社会が目前に迫っている。

私たちは今、この新たな状況の下で、人と海の関わりを再構築したい。「海のSociety 5.0」の実現である。私たちは古来、海から食の恵みを受け、海辺ではその地域に特有の文化を育んできた。この先も私たちが海と共存し続けるために、現代のテクノロジーを、そして近未来に生み出されるはずのテクノロジーを念頭において、海の持続可能な利用形態を新たに構想したい。

その基礎に、私たちは「海洋テロワール」という理念を据える。フランスのワイン生産に源をもつ「テロワール」は、気候や土壌などの自然環境、その土地、その畑で伝統的に続いてきたワインの製造法など、その地の自然と文化を統合し、そこに価値を認める考え方である。ワインは、単にブドウを発酵させた飲み物ではなく、テロワールの価値の具現である。

「海洋テロワール」の理念で海の新たな利用を考える際、そこに関係するすべての人々に参画を求め、自分事として共に意思決定に臨むことにしたい。そのために必要なのが、海域に関する様々なデータと、そのデータを誰もが使いやすい形で共有することによる海の「民主化」である。その土地の暗黙知であったフランスの「テロワール」とは違い、公開されたデータを通して、すべての関係者の目に見える形で海域利用を構想していく。

こうして、デジタル技術を始めとする新たなテクノロジーが「豊饒の海」を作り出す。人々の伝統や文化をもデータで可視化し、地球環境への負荷も極限まで減らす。暗黙知ではなく共有知を基礎に据え、持続可能な形で人々の暮らしと共存していく日本の豊かな海を実現する。その視程の先には、地球に生きる私たちの「グローバルコモンズ(国際共有財)」としての海がある。

私たちの「豊饒の海」は、「海洋テロワール」、海の「民主化」、「グローバルコモンズ」に支えられている。これらについて、以下で更に考察を深めておきたい。

（２）このままではもう海と共存できない

①　海は私たちを支えてきた

私たちは、これまで長い間海と共存してきた。気候が温暖だった縄文時代、水面の上がった海は現在の内陸にまで入り込み、そこで海の恵みを私たちの祖先が口にしていた生活の名残は、いまも各地の貝塚として記録されている。日本の自然環境もまた、海と切り離すことはできない。38万平方キロメートルの国土面積は世界61位だが、領海を含む排他的経済水域の面積は447万平方キロメートルで世界６位、同じく海の体積は1580万立方キロメートルで世界４位である。海岸線の総延長も世界６位とされ、この海岸線の多くに漁業権が設定され、漁業が営まれてきたことからも明らかなように、海は私たちの食を、そして暮らしそのものを支えてきた。

世界では今、水産資源の需要が増加している。国連食糧農業機関の「世界漁業・養殖業白書（2020年版）」によると、魚の消費量は1961～2017年の間に年3.1％の割合で増え続け、2018年には一人あたり20.5キログラムと過去最高を記録している。

海洋は、人類の生存を支える地球環境の重要な構成要素であり、それが生み出す価値ある資源を使いながら私たちが諸活動を営む広大な空間である。

②　海の未来像は現在の延長線上にはない

だが、私たちを取り巻く海洋の現状は厳しい。

大気中の二酸化炭素は増加を続け、それによる地球温暖化で海水温が上昇している。二酸化炭素の増加は同時に、海洋の酸性化をも進めている。今世紀末にかけてこれらが更に進行し、海洋の生態系、さらには漁業資源に大きな影響を与えることが懸念されている。

また、近年、分解されにくいプラスチックごみが大量に海洋へ流れ込んでいることに対する危機感が、世界的に高まっている。廃棄されたプラスチック製の漁網などが海洋生物に絡まって自由を奪い、小さく砕けたマイクロプラスチックは食用魚介類の体内からも見つかっている。2018年６月にカナダで開かれた主要国首脳会議（Ｇ７）では、カナダと欧州諸国が「海洋プラスチック憲章」を承認した。プラスチックは、20世紀に実用化が進んだ画期的な素材であることを認めつつも、削減量とその達成期限を明示して具体的なプラスチックごみ対策を各国に促している。

地球温暖化の抑制に対しては2016年に「パリ協定」が発効しており、この海洋プラスチック憲章とも合わせ、地球が、そして海洋が「グローバルコモンズ」「協調の場」であるという認識は高まっている。2015年の国連サミットで採択された「持続可能な開発目標（SDGs）」でも、「気候変動に具体的な対策を」（目標13）、「海の豊かさを守ろう」（目標14）が挙げられている。海洋を含む地球をこれからも持続可能な形で利用していこうという考え方は世界で共有されているが、現状のままでは、地球はもう私たちと健全な関係を保てないことも、また明らかだ。

日本の海を私たちが利用し続けていくための方策も、旧来の延長線上にはない。

令和元年度の水産白書によると、国内の漁業就業者は年々減り続け、平成30年には

15.2万人にまで減少した。平成15年の23.8万人から15年間で約４割の減少である。また、国民一人あたりの魚介類消費量は平成30年度で年間23.9キログラムであり、ピークだった平成13年度の40.2キログラムから約４割の減少となっている。

③　伝統とテクノロジーの融合

食を通した海と私たちの結びつきが希薄になる一方で、海域の利用形態は、レジャー、エネルギー開発など多様性を増している。漁業資源を始めとする多面的な「海の豊かさ」を守り持続的に利用するには、地域の伝統や文化に根差した新しい海域利用のビジョン、そして、その実現を可能にする次世代のテクノロジーとエンジニアリングが必要であろう。このままでは、私たちの暮らしと海との健全な共存は望めないのである。

私たちがこれから考えるべき対象は、日本の海のみではない。環境への負荷を最小限に抑えた日本のローカルな海の利用と、その先につながるグローバルな海洋全体との十分な協調も考慮しなければならない。

（３）「海洋テロワール」という新しい発想

①　「テロワール」は人と自然を包み込む

海域利用の新たな姿を探るとき、私たちはその自然環境だけでなく、これまでの伝統や文化から離れることはできない。本報告書でも、海を人から切り離し、単なる生産の場とする道はとらない。その土地に固有な自然環境や文化としての「海」、そこから生まれる「恵み」を再発見し、改めて創造したい。

次世代の海域利用に向け、豊かな恵みをもたらす「海」と人々の関係を自覚的に再構築するために、私たちは「海洋テロワール」という新たな理念をその基礎に据える。

「テロワール」という考え方は、フランスのワイン生産に源を発している。特定の産地や個々のブドウ畑に特有の土壌や気象などの自然環境、そして伝統的な醸造方法、つまり自然環境と固有の文化こそが価値の高いワインを生む。メルロー、カベルネ・ソーヴィニヨンといったブドウの品種がワインの質を決めるのではなく、ワインの造り手まですべてを含む「ブルゴーニュのあの畑でできたワイン」に価値を置く考え方だ。人と自然が融合した歴史的、経験的、暗黙知的な理念である。

テロワールの発想は、日本でも無縁ではない。各地の日本酒をはじめ夕張メロン、丹波の黒豆などの農産物、明石のタコや越前ガニ、駿河湾のサクラエビといった水産物を挙げれば十分だろう。私たちになじみのない理念を、いきなり海外から移入しようとするものではない。よく似た価値観を、私たちもまた共有している。

②　公共知で誰もが海に参画できる海洋テロワール

ただし、フランスのテロワールと新たな海洋テロワールには、大きな違いがある。テロワールが経験知、暗黙知を基本とするのに対し、海洋テロワールは、誰もが入手できる「公共の知」を基盤として構想する点である。すぐ後で述べるように、科学的

なデータをこの公共知の基本としたい。

私たちが構想する海洋テロワールは、特定の魚種を生け簀で育てたり、新たなレジャー施設で地元の経済を活性化したりする単線型の理念ではない。その地域に住むすべての人々が海を等身大の自分事として捉え、その場所の特性を考慮しながら、人々がその合意で創造する民主的で新たな時空間の実現である。例えば、自律的かつ自立的な洋上都市を想像すればよいだろう。居住空間は海岸から海上へと広がり、そこでは生活に必要な電気などのエネルギーが生産され、その地域の歴史と特色を生かした漁業が持続可能な形で営まれる。

フランスワインのテロワールは、かつて畑仕事を任された修道僧たちが、土を口に含んで畑の特性を調べ守ってきたとされる。海洋テロワールでは、口に含む代わりに、衛星観測を始めとする現代の、そして次世代のテクノロジーにより精細なデータを取得し、それを基に、その地域に最適な空間を自覚的に創造する。テロワールを大切にするワインの造り手たちが、その誇りにかけて価値の高い製品を目指すように、海洋テロワールもまた、地域の誇りとなる住空間や新たな漁業の創出を目指す。科学的なデータという「公共知」を創出の源泉にすることで、これまで暗黙知であった漁業の営み、そして海洋環境の保全を可視化、可操作化する。

③　海洋テロワールがつくる豊饒の海

この海洋テロワールに支えられる新たな海の姿は、端的にいえば「豊饒の海」である。地域に守られ地味の肥えた畑が豊かな実りを生み続けるように、豊饒の海もまた、その海域の特性を新たなテクノロジーで生かした豊かな恵みを私たちに与え続ける。

本報告書では、その象徴として「イノベアクアファーム」と「洋上都市」の二つを提示したい。イノベアクアファームは革新的な漁場だが、それは海の特定部分を網で囲う現在の「養魚場」ではない。海域の生態系を正確に把握し、その自然に逆らうことなく魚種を集める開放系の漁場をも構想に入れている。量よりむしろ質を求める、まさにテロワールの発想である。これを、かつてはサイエンスフィクションでしかなかった「洋上都市」の社会が支える。

イノベアクアファームは、地域に根差した高級ブランド魚を産出して地域経済を活性化し、新しい洋上都市には国内外から熱い眼差しが送られる。これらは地域の誇りともなるだろう。

こうした自律、自立を志向する海洋テロワールの理念と漁業の創出は、沿岸の小規模漁業が多い東南アジアにこそ有効な発想でもあろう。日本の領海と排他的経済水域を念頭に置いた「豊饒の海」は、近隣諸国の海、さらにはグローバルな海洋の未来をもその視程に入れている。

（４）　海洋テロワールを実現する海の「民主化」

①　海洋データによる海の民主化

海洋テロワールは、誰もがアクセスできる海洋の公共知をその基盤に据え、この海

を自分事として捉える人々の合意で創造する民主的な空間である。海洋テロワールの理念に基づきその健全な具体像を構想するには、地域の人々が十分な討議に基づいて意思決定できるよう、その公共知は、海の実像を描くに足る正確なデータで構成され、それを人々が容易に入手できる公共物として整備されていることが欠かせない。つまり、海洋に関する十分な「データ」を、すべての人々にとってアクセス可能な公共知として整えることが、海洋テロワール実現の前提になる。これを私たちは海の「民主化」と呼ぶ。海洋データによる海の民主化である。

身近な海域の将来像について私たちが意思決定するためには、これまで海洋の専門家が取得してきた水温や海水の流れといった基本的なデータだけでは不十分だろう。その海域で昔から行われてきた伝統的な漁法にとって重要な物理データ、あるいは、その「伝統」そのものを数値化するための社会学的なデータも必要になろう。伝統という暗黙知を可視化、可操作化するための新たなデータである。

したがって、海洋のデータを民主的な意思決定の礎とするには、海洋科学や海洋工学の専門家が従来の延長上でデータを収集するだけでは事足りず、意思決定に携わる市民もそこに加わる必要がある。科学への市民参加、シチズンサイエンスをさらに発展させた姿と言ってよいだろう。

②　専門家と一般市民の協働

海洋のデータを収集するためのテクノロジーは、急速に進展している。かつては船舶による観測で、点状、線状にしか得られなかった水温、海流、波高などのデータが、今では人工衛星により面状に把握されている。人工衛星からは取得しにくい海中の水温や塩分のデータも、約4000台の自動浮沈式観測ロボットを世界の海に展開する「アルゴ計画」により、リアルタイムで公開されている。こうした科学分野、工学分野のデータを取得するのは、専ら当該分野の専門家の責務である。

こうして取得されたデータは、しばしば他分野の専門家から利用しにくいとの指摘を受けている。例えば、海洋物理学の専門家にとっては利用しやすいデータでも、それを情報科学の専門家が使おうとした場合、データの所在さえわからないといった問題がある。また、こうしたデータを、特に専門的な訓練を受けていない自治体職員や一般市民でも利用できるよう、様々な利用形態に応じて工夫された公開方法が求められる。これもまた、専門家の側からの特段の配慮が必要だろう。

一方で、誰もが利用でき、地域の将来に関する意思決定に役立つ海洋データを整備するには、この過程に一般市民が参画することも大きな意味を持つ。

ひとつには、データ収集への参加である。費用のあまりかからない小型の測器を用い、多数の市民が多くの観測点で水温などのデータ収集を行えば、専門家の手ではカバーしきれない密なデータが集まる。また、その地域の暮らしを大切にしつつ海洋テロワールを考える際、どのような側面を明らかにするデータが必要なのかは、まさにその地で暮らす市民が知っている。データ収集は専門家が行うとしても、どのような種類のデータを優先的に収集すべきかを一般市民の側から専門家に伝えることは、極

めて有効だろう。漁業者が経験的に知っている事柄をデータ化して公共知とするには、彼らの協力がもちろん欠かせない。

いまそこにある海の姿を的確に表す十分なデータを、専門家と一般市民が協働して集め整備することは、海の民主化と海洋テロワールの具現化には必須である。そのためには、小学生から社会人までをターゲットとした海洋教育による人材育成も不可欠だ。海洋を持続的に利用するためのキーワード「自然環境の保全と両立させる」「いつでも誰でも使える」「新たな価値基盤を創造する」は、それがあって初めて射程に入る。

（５）グローバルコモンズに貢献する海洋テロワール

①　公共知が実現する海のコモンズ

いま述べてきたように、私たちの海洋テロワールは、基本的には日本の沿岸を想定した理念である。科学的に得られたデータを共有し、透明性を確保した上で、その具体像を人々が構想する。イノベアクアファームでも、漁業資源を持続的に利用し続けられるよう管理していく。その点では、過剰利用で資源を枯渇させることがないよう直接の関係者が管理する日本的な「入会（いりあい)」、あるいは「コモンズ（共有地)」の考え方とも親和性がある。

今世界の海は、十分な秩序の下で利用されているとは言えない。隣国の漁船が日本の排他的経済水域内で漁を行うことは常態化し、公海での乱獲も、しばしば問題になる。とくに主権国家の管理が及ばない公海は、「海洋法に関する国際連合条約」を始めとする国際的な取り決めにより秩序の確立が試みられているとはいえ、現実には、オープンアクセスの管理なき収奪の場、「早い者勝ち」の海になりかねない。ギャレット・ハーディンが1968年に指摘した「コモンズの悲劇」である。

加えて、先程指摘したように、プラスチックごみによる海洋汚染や、SDGsで表明された地球環境悪化への危機感は、いま世界で共有されている。海洋は限りある閉鎖系であり、秩序ある「グローバルコモンズ＝国際共有財」として尊重し共有してこそ、初めて持続的な利用が可能になるだろう。

グローバルコモンズとしての海洋には、沿岸域のコモンズとは異なり、特定の国や文化の暗黙知は通用しない。その利用と管理を巡る議論には、透明性の高い開かれた論拠が必要である。私たちが日本の海を構想する際に用いる「海洋テロワール」は、その管理と意思決定の基盤に「データ」という公共知を据えている。海洋テロワールの理念は、公共知によりすべての人に意思決定過程を開くことを志向しており、その意味で、海洋をグローバルコモンズとして捉える際に導きの糸となる。

まとめておこう。海洋テロワールを基礎に据えた日本の未来の海は、オペレーションの過程を可視化する新たなテクノロジーにより、環境への負荷を極限まで減らす。グローバルな海洋へ環境負荷が染み出していくこともない。ローカルな海洋テロワールを構想することが、すなわちグローバルコモンズとしての海洋を保全することにつながる。また、意思決定の基盤に公共知を置く海洋テロワールの理念は、価値観の異

なる国々が、海洋の持続的な利用に向けて討議するためのテーブルを用意することになるだろう。ローカルな海洋テロワールは、グローバルコモンズとしての海洋と連続的である。

②「海洋空間計画」と「国連海洋科学の10年」

また、海域の利用に際し、漁業者、観光業者、エネルギー開発事業者といったアクターが個々の利益を求めてその都度せめぎ合うのではなく、予め討議と合意によって全体的な将来構想を立案する「海洋空間計画」の考え方は、海洋テロワールの理念と親和性が高い。隣接した海域、更に広い海域について拡大された海洋空間計画を構想する際にも、この枠組みは有効であろう。

国連は2021年、「持続可能な開発のための国連海洋科学の10年」をスタートさせた。海洋に関する各学術分野の対話を通して課題解決型の研究を進め、革新的技術の開発などにより、海域利用の新たな可能性を開くものである。単なる学術研究ではなく、社会全体のニーズを駆動力とし、さらにはこれから花開くであろうシーズをも提供しようとするその姿勢は、まさに私たちの海洋テロワールと重なっている。「国連海洋科学の10年」の始まりに当たり、よりよき海を実現するための日本工学アカデミーからの提言として、本報告書を広く内外に問いたい。

２．海洋テロワールの実現に必要な考え方

（１）海洋データ・情報の共有

海洋基本法（平成19年法律第33号）には、その目的として「海洋環境の保全を図りつつ海洋の持続的開発及び利用を可能とすることを旨とする」と述べられている。理念としては受け入れやすく、諸外国における海洋政策に関する方針や、2021年に始まった「持続可能な開発のための国連海洋科学の10年（国連海洋科学の10年）」でも、そのコンセプトとしてほぼ同じ内容が掲げられている。

しかし、こうした理念を宣言するだけでその目的が達成されるわけではない。海洋基本法の成立前の時代も含め、様々に海洋は利用され環境保全との両立も図られてきたが、それらの多くは、個々の利用目的、開発事案について個別に最適化が図られてきたといえるだろう。

「海洋テロワール」の概念は、そこを一歩進めるための基盤として提案し、各方面の共通認識とすることで、これまでも言葉としては広く人口に膾炙してきた「沿岸域の総合的な管理」といった目的を真に達成することを目指す。

「海洋テロワール」の実現のためには、対象海域の自然環境や社会的条件を踏まえて計画づくりをする必要があるほか、実施の際には不断のモニタリングを行って、環境条件などに関する将来予測も含めた情報をフィードバックする仕組みが不可欠である。加えて、それらの情報などは関係するステークホルダーの間で共有されなければならない。

海洋情報の共有に関する問題意識は、すでに第１期海洋基本計画（2008）において、「海洋情報の一元化が必要」という文脈で示されている。その後、５年ごとに改定され

た海洋基本計画においても一貫して「海洋情報」は重要な施策の柱と位置づけられ、それを踏まえて、「海洋情報クリアリングハウス」「海洋台帳」、そして「海洋状況表示システム（海しる）」へとつながる一連の施策が進められてきた。

これら施策の検討と実施にあたっては、「海洋情報の充実・整備」という目標が持つ二つの側面があえて切り分けて議論されてきた。この二つの側面、すなわち、すでに取得されている、または取得されるデータや情報をよりよく活用するという面と、データや情報そのものの量を増やすという面は、究極的な目標としては確かに同じ方向を向いているが、投入すべきリソースの質と量、主たるプレイヤーが異なるため、切り分けて議論しないと的確な施策展開が困難になるからである。

しかし、第３期海洋基本計画で新たな施策の柱とされた「海洋の総合的な安全保障（防災、環境保全、食料確保などを含む広い意味の「安全保障」）」の実現のため、その基盤として「海しる」の整備が行われ、上記二つの面のうち前者、つまりデータの活用については一定の水準に達してきているといえる。また、国際的にも、ユネスコ政府間海洋学委員会（IOC）に対する業務改善提言を発端とする海洋データ・情報サービスシステム（ODIS）の推進により、取得済みの海洋データや情報を共有する取り組みが進みつつある。

これまで後者の面、つまりデータの取得については、現場観測の充実（項目、頻度、精度など）および衛星データの活用が主軸となって議論されてきた。しかし、欠損したデータを補い得るコンピューターによる数値計算モデルの進化により、その計算結果として海の状態（予測を含む）に関する信頼度の高いデータセットが生産されるようになった。それは、現場観測データの充実と質的に同等ともみなすことができる。こうして信頼度の高い予測情報がモデルによって提供されれば、「海洋テロワール」の理念のもとに実施される様々な海洋に関する活動の計画や実施、ステークホルダーの行動に関する意思決定などを、より適切に行うことができるようになるだろう。

このように、今や、「海洋情報の充実・整備」あるいは「海洋データ・情報の共有」に関して、前述の二つの側面を合わせて統合的に議論する素地が整いつつある。つまり、海洋データ・情報の連携という文脈において、現場で観測機器などにより生データを取得する階層から、海洋に関する諸活動における意思決定に役立つ情報を提供する階層まで、全階層を見通した検討、技術開発、社会変革が必要な時代を迎えており、かつそれが可能になってきている。海洋データ・情報に関して、「Seamless from physical to cyber spaces」が絵空事ではなく、十分可能な取り組みを通じて実現される段階を迎えている。

データや情報は、血液あるいは神経のようなものと位置づけてもよいだろう。血液は、人の生命活動に不可欠である一方、単体で臓器その他の高度な機能を発揮するものではない。血液の循環をスムーズにし（データ・情報流通の改善）、健康な血液を循環させる（信頼度の高いデータ・情報を共有）ことで、生体の高度な機能が発揮される。海洋テロワールにおけるデータ・情報は、まさに生体における血液である。

また、並行して存在する神経網は、五感などで得られた生に近いデータや情報が、脳

の機能によって諸事の判断の基になる高次の情報として送りだされる。海洋テロワールでは、予測情報を含む数値計算モデルの計算結果が、まさにこれにあたる。

生体における条件反射のような即時的、即応的な対処ではなく、データや情報および科学的エビデンスに基づく高度な判断を基に、より持続的かつ効果的な海洋活動を推進する。これこそが海洋テロワールの実現であり、そのために海洋データ・情報の共有は本質的に重要となる。

（２）人と海をつなぐための「海洋観測の民主化」

大気中の二酸化炭素の増加による海洋の温暖化は、海の生態系、さらには漁業資源に大きな影響を与えることが懸念されている。海洋プラスチックごみ問題の対策など、海洋環境の保全に向けた取り組みも急がれる。それらは、テレビや新聞、SNSを始めとした多くのメディアで取り上げられており、その情報に身近に触れることは容易にできる。また、「海洋状況表示システム（海しる）」を始めとする海洋情報のプラットフォームも整備されつつあり、少し手を伸ばせば、様々な情報を私たちの誰もが入手できるようになった。

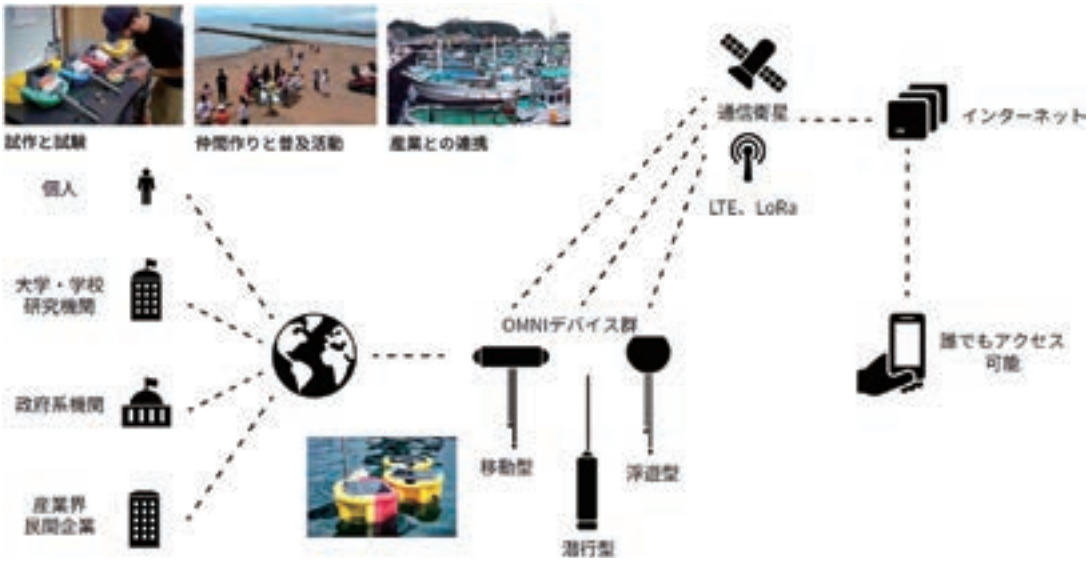
しかし、海で起きていることを自分事として感じることは、依然として難しい。私たちが機械を使わずに潜れる深さはせいぜい水中10ｍくらいまでで、それより深い海の世界で、また沖合の海で起こっていることは、ともすれば遠い世界のように感じられる。また、日本の海岸線は南北にわたり多様性に富み、その長さは約３万5000kmにも達する。この総延長は、国土面積がはるかに大きい米国の海岸線より長いが、少なからぬ海岸がコンクリートで固められ、昔あった砂浜も多くが失われて、自然の海岸は私たちから遠い存在になってしまっている。

そこで、海洋観測について、市民あるいは社会と海との距離を縮め、科学と社会を融合できるような新しい形態として海洋観測の「民主化」（Democratization）を提唱する。

これは、市民が集めたデータを使って科学者が成果を出し、それを科学者が国民に分かりやすく説明するという旧来のシチズンサイエンス（Citizen as Sensors）をさらに発展させたもので、科学者から市民へと一方向に向かうのみであった情報の流れを双方向に変えるものである。これまでは科学者の領域であった海洋観測を市民の領域に拡張して科学と社会を融合していく新しい仕組みであり、市民が科学者とともに対等の立場で主体的に海と関わっていくことを海洋観測の「民主化」では目指している。必ずしも精度にこだわらない簡易な測器をデザインして、一人ひとりがその課題やニーズに応じて観測に参加でき、日常的に自分のデータがとれる。そして、そのデータはデータプラットフォームに登録され、皆でシェアできる仕組みである。

例えば、東京大学生産技術研究所価値創造デザイン推進基盤・DLXデザインラボで行われているOMNI（Ocean Monitoring Network Initiative）プロジェクトでは、誰もが参加できる大規模海洋観測ネットワークの構築に向けた、新たな価値創造の取り組みが行われている。エンジニアや科学者にデザイナーが加わってデザインの視点を取り込み、創造的なプロトタイプが生み出されている。OMNIは、海洋から詳細かつ多様なデー

タを収集するための、低コストで容易に大量展開可能な海洋観測システムで、技術情報や観測データを完全オープンソースとし、誰とでも共有することができる。もちろん、市民も容易に参加でき、専門家と非専門家がその垣根を越えて共創する仕組みが目指されている。



OMNIシステムの概要

（提供：東京大学生産技術研究所価値創造デザイン推進基盤・DLXデザインラボ）

このように海洋観測の「民主化」では、科学を崇めるべき存在としてではなく、共通課題の解決を目指す「協創」の場として捉え、企業や研究機関、大学が構築する仕組みの中で市民が自由に活動することで、成果を協創していく姿を目指す。SNSの普及に伴い、時間や場所を問わず市民が自ら自由に情報発信を行うようになった現状や、通信インフラが脆弱であった海上で近い将来に進められるデジタル化、デバイスの小型化・汎用化の流れを踏まえると、海洋観測の「民主化」の実現に向けた技術的な素地は整いつつある。

海洋観測の民主化は、海に関わるサイバーの世界とフィジカルの世界をつなぐ。人々が直接行くことが難しい海中の世界を、観測を通して、また、データ連携を通してフィジカルの世界に橋渡しをしてくれる。例えば、現実から切り離された深海域について馴染んでもらうため、自律型無人潜水機（AUV）などの海洋調査映像を利用すれば、水中作業や水中環境をより身近に感じることができる。専門家が実施する海洋調査に映像を通じてリアルタイムで参加することで、海洋というフィールドを「協創」の場にできる可能性がある。それを実現するハードウェアの開発は、深海と人々をつなぐ装置を作ることと捉えることもできる。この例に限らず、海洋観測の「民主化」は、海洋と市民あるいは社会との距離を縮めていくために欠かせない道具立てである。

（３）自然から収奪しないシステム

人類は自然界から様々な資源を得ることで、その活動を拡大し高度化してきた。その過程は、しばしば「収奪」と表現されるように、多くの場合は自然環境の劣化につながる。また人間活動の量的拡大と質的発展は、様々な物質の廃棄や土地の利用などを通じて、環境に強い負荷をかけてきた。自然の緩衝能力や復元力を超える収奪や負荷が続くならば、やがては人類の生存基盤である環境そのものが損なわれていくことになる。ここでは、私たちが海から得ている恵みの代表例である水産物について、収奪や負荷を伴わない持続可能な利用を実現するシステムのコンセプトについて展望する。

後で詳しく述べるように、世界の水産資源の３分の１は過剰な漁獲にさらされている。過剰な漁獲だけではなく、人間活動に伴う沿岸環境への様々な負荷や、温暖化、酸性化など地球規模での環境変動も顕在化しており、水産資源についての将来的な不確実性は確実に増している。さらに、産業構造の高度化と経済成長が進むなかで、先進国でも発展途上国でも、水産業を担う人々や地域は様々な課題に直面している。日本では、過疎・高齢化が漁業生産量の減少の一因となっている。発展途上国においても、人口の増加と地域の水産資源の減少は、しばしば漁村の貧困化や都市への人口流出につながっている。

人類には、食糧を狩猟や採集に頼ってきた時代を経て、農耕や牧畜の導入を通じて文明化した歴史がある。漁業についても、同様の経過で養殖が中心になっていくと見ることもできよう。しかしながら、現在の養殖漁業の多くは、十分に持続可能なものではない。後述するように、餌料の問題、養殖で生じる物質による沿岸環境の汚染、養殖に必要な種苗（養殖魚では受精卵、仔魚、稚魚など）の確保などの問題があり、現状には大きな課題がある。

今日の水産資源利用については、資源そのものの将来、資源を育む環境の将来、資源利用を担うコミュニティーの将来のいずれもが、不確実になりつつある。加えて、持続可能な水産養殖の実現と発展にも課題が多い。端的に述べるなら、それは「はたして私たちは50年後にもおいしい魚が食べられるか？」という問いである。

収奪や負荷を伴わない持続可能な水産資源利用を実現するシステムを構想するにあたり、生態系における物質やエネルギーの収支を考察することは有用である。

ある領域に生息して相互に作用し合う多様な生物の集団（つまりその領域に生息する生物すべて）を生物群集と呼び、生物群集の生息の場である「環境」を含めて、物質やエネルギーについての一つのシステムと見なすのが「生態系（ecosystem)」という考え方である。

生物は体外から必要な物質を取り込み、自らの生物体に再構成して増殖する。そのプロセスは、動物では餌となる有機物の化学エネルギーによって駆動され、植物では太陽光のエネルギーと、それを元にした光合成によって生産された有機物の化学エネルギーによって駆動される。その過程で、分解産物など不要な物質は体外に排せつされる。遊泳など様々な運動やその他の生物活動の駆動に必要なエネルギーも同様であり、そのほとんどすべては、結局は太陽光のエネルギーに由来する。

エネルギーの面から見れば、生態系では太陽光のエネルギーが様々な形のエネルギーに転換され続け、最終的には熱として散逸される。一方、物質の面から見た生態系の最大の特徴は、循環系になっている点である。不要物として生物体外に出された物質は、ほぼすべてが他の生物に再利用される。例えば、二酸化炭素、窒素・リンの無機塩類などは、光合成による有機物生産の材料として不可欠である。これらの物質は、有機物を分解してエネルギーを得る過程（呼吸）で分解産物として生成し、再び光合成で利用される。すなわち、リサイクルされて何度も利用され続けるのである。

物質から見た生態系は循環系となっているとはいえ、孤立した系ではない。沿岸海域を例に考えれば、隣接する陸域から窒素やリンを始め生物活動に関連する様々な物質が流入してくる。酸素や二酸化炭素は大気と海水の間で絶えず交換しており、不足すれば大気から供給され、過剰になれば大気に戻る。また、沖側の大陸棚や外洋とは海水の交換に伴う物質移動があり、粒状物質や堆積物などの流出もある。このように、複数の物質循環系が相互に物質を受け渡しながら連結して、大きな循環系を形成しているのが、生物圏の一般的な構造になっている。

これに対して、農業や工業における物質の流れは一方向に近い。原材料を加工して製品として出荷する工業では、様々な廃棄物も同時に発生する。またエネルギーの投入が必須で、化石燃料の消費もある。かつてのように、大気や水域に有害物質を直接放出することは少なくなったとはいえ、二酸化炭素を始め環境中に放出される物質は少なからず存在する。また大気汚染や水質汚濁の防止技術は、多くの場合は放出される物質を回収して固形廃棄物に転換するものである。廃棄物からのリサイクル技術も進歩しているが、環境への物質の放出をゼロにする、いわゆるゼロエミッションの実現には多くのハードルがある。

近代型の農業は化学肥料に依存している。投入する窒素は大気の窒素ガスを工業的に固定したものであり、リンは採掘されたリン鉱石に由来する。都市で消費される作物に含まれている窒素・リンは、下水道から水域に放流されるか、下水の高次処理で回収されたとしても、その多くは固形廃棄物（場合によっては大気）に移行する。また、農地に投入された窒素・リンのすべてが作物に利用されることはなく、ある部分は必ず水域に流出する。その意味では、堆肥、家畜や人間の糞尿を肥料として用いた旧来の農業は、より生態系の物質循環に近いものではあった。

なお、農作物が光合成で固定した炭素は、作物の消費や、非可食部の腐敗や焼却の過程で大気の二酸化炭素に戻るから、循環系は成立している。しかし、化石燃料に依存する農業機械の利用やハウス園芸の温度調節などのエネルギー投入を考えると、農業も完全にカーボンニュートラルな産業とはいえないだろう。

海洋における水産資源利用の未来像を考えるとき、農業と工業はいずれも理想的なモデルとはならない。完全な閉鎖環境で工業的な生産を行うタイプの養殖については、現在でも技術的には十分に実現可能だが、天然魚類に頼る飼料、種苗の入手、廃棄物生成などの問題点は海面養殖と共通である。飼料や種苗の問題は将来的には技術的に解決可能であろうが、エネルギー投入が必要な点と、窒素、リン、有機物残渣などの発生が避

けられない点は、本質的な問題である。もちろんエネルギー投入と二酸化炭素発生も現状では避けられない。

私たちはこれまで、自然の海洋環境で育まれた生物を捕獲（漁獲）し、ある場合には人為的に飼育して利用してきた。後者の代表例が養殖である。海苔の養殖や魚類の生け簀養殖など、自然の海域の一部を利用するものから、近年試みられている完全に人工的な環境での養殖まで、自然環境の利用には様々なレベルのものがある。また、天然魚介類の漁獲についても、海域への稚魚や稚貝の放流による「栽培漁業」や、魚介類の生息環境を人工の海底構造物によって改善する「魚礁」など、人為的な介入によって漁獲量増加を目指す様々な工夫がなされてきた。このような人為的介入も含めて考えると、漁獲漁業と養殖との区分は必ずしも明瞭でない。水産物を得るための海洋環境利用は、単純な漁獲から工場型の養殖に至るまでの間で、連続的に多様な形態が存在し得るといえよう。

そこで私たちは、養殖や栽培漁業などによる多様な生産システムを、その海域の生態系のサブシステムと捉え、それぞれのサブシステムに投入される物質と排出される物質を管理しつつ、海域全体で物質循環系が機能し、隣接する環境に負荷をかけない生産システムを目指すことを構想とした。このような海域全体を、私たちは「イノベアクアファーム」と呼ぶ。自然の生態系の循環型システムに学びつつ、高度な生態系管理によって、持続可能でかつ高い生産を可能とする生態系の創造を目指すものである。いわば価値を生み出す自然を新たに創造する構想である。

（４）コロナ禍後の世界にも適合した「完全なデジタル化、リモート化、自動化」

海洋テロワールの理念を具体化する次世代の技術には、「デジタル化」「リモート化」「自動化」の三つを有機的に組み合わせる視点が欠かせない。その流れは、新型コロナウイルスの感染拡大により、加速度的、かつ不可逆的に進行している。

「デジタル化」は、観測・処理の標準化と効率化に効果的である。生産、利用、輸送などの分野でデジタル・インフラが形成されることによって、効率性・生産性が極限まで高まる。ロボティクスや物流の無人化、充電など非接触に対応した技術の活性化により、最も生産性の高いモデルを水平展開でき、全体最適化が図られるようになる。

デジタル化によって流通が加速された情報は、「リモート化」によって、陸上で利用し、海洋を利用する際のオペレーションやメンテナンスを陸から行うことも容易にできるようになる。

また、「自動化」によって、モニタリング装置が自律的にデータを収集したり、海洋開発に関連する装置や機器が自律的に生産効率を上げたりすることが可能となり、これらの方法が標準化される。

海洋の利用に際し、私たちはデジタル化、リモート化、自動化に早くから注目してきた。遠隔操作型無人潜水機（ROV）や自律型無人潜水機（AUV）などの分野では、これらを利用したインテリジェントな海洋機器が必要であり、人工知能（AI）も広範に活用されてきた。

近年は、様々な分野で、デジタル化をベースとした機械学習やデータサイエンスが導入されつつあり、リモート化、自動化の流れが加速している。

オフショア石油・ガス開発では、地球物理学、地質学などと連携し、資源量の正確な予測や生産量の最大化に役立て始めている。洋上風力発電の分野では、過去の気象データとタービンの運転データを相関させ、タービンの状態を自動で変化させることによって将来の出力を最大化する試みがなされている。また、ロボット検査と高度なセンシング、機械学習、高度な物理モデリングツールによって、オフショアでの人間の介入の必要性を最小限に抑え、オペレーションとメンテナンスをデジタル化することによってコスト減を目指している。

さらに、監視制御およびデータ収集（SCADA：Supervisory Control And Data Acquisition）信号とニューラルネットワークの利用による疲労荷重の推定、洋上風力発電所周辺の鳥とその飛行パターンを人工知能で識別してバードストライクを削減する取り組みなどにも応用されている。その他、モニタリングデータとシミュレーション、ニューラルネットワークなどを活用した環境予測、画像認識技術によって特定された海洋ごみを、ドローンなどの自動化された機器によって清掃するスキームなどが開発されており、海洋利用におけるデジタル化、リモート化、自動化は広範な分野において発展する可能性を秘めている。

こうしたシーズ側の発展を背景に、シーズとニーズを有効にマッチングする試みも始まっている。例えば、荷主による荷物の追跡、水産物の産地証明による食の安全、洋上都市の整備などで海洋を利用する受益者のメリットが増し、シーズとニーズの好循環を喚起することで、海洋利用人口の増加を図ることが可能になる。この好循環は、今後、海洋データのデジタル化によるデジタルトランスフォーメーションが実現することにより、新たな海洋利用、新たな顧客を生みだし、それが海洋テロワールの実現にもつながることになる。

この点について、船舶を例に詳述したい。

世界経済の発展に伴い、今後もモノの輸送量は増加していくだろう。その担い手である船の開発、設計、建造、運航などにおいても、デジタル化、リモート化、自動化によってさらなる効率化が試みられている。IoT（Internet of Things）やビッグデータという言葉が表すのは、センサーで多くの情報を得てデータを蓄積し、それを有効に利用する動きであり、船に関係する各分野でも広まりつつある。

例えば、IC（Integrated Circuit）タグやAR（Augmented Reality）などを用いて、造船所の設計や建造を効率化するシステムが開発されている。運航中は、船舶の各機器の状態をセンサーで計測し、他の船舶との衝突を自動的に回避したり、ウェザールーティングによって針路を決定したりすることによって、船舶の安全な運行や省エネを実現することができる。船舶の無人航行に関するプロジェクトも開始されており、デジタル化、リモート化、自動化の先に自律化、無人化を見据えている。

同時に、徹底的な省エネ化を図るとともに、再生可能エネルギーを利用した蓄電、充電、水素などの貯蔵、供給システムを活用することによって、「（３）自然から収奪しな

いシステム」で述べた考え方に基づくゼロエミッション船が実現する。また、高度な自動システムによって海上での事故を抑制することができれば、油の流出などによる海洋生態系への影響も減らすことができる。

しかし、海洋利用の現状を見ると、「（１）海洋データ・情報の共有」「（２）人と海をつなぐための「海洋観測の民主化」」で指摘したように、海洋開発や船舶の製造、運航に関連する機器に関しても、センサーによって十分なデータが得られ、利用可能な形で整備されているわけではない。海上での作業の大部分は作業員や乗員の暗黙知に依存しており、デジタル化、リモート化、自動化はまだ発展途上である。

例えば、海洋開発における現場の技術、ライブ感覚などの人の感性、ノウハウなど、誰もまねができないものや、まねただけでは性能を発揮することが困難なものがある。デジタル化が難しいアナログのものを、いかにしてデジタル化できるかが課題である。

さらに、デジタル化、リモート化、自動化の連携が技術的に実現したとしても、それは利益のみを追求するのではなく、「海洋テロワール」の理念を実現するものでなければならない。すなわち、海の「民主化」を通して様々なデータが可視化、共有され、海洋環境を十分に理解したうえで、地球環境への負荷を減らし、自然から収奪することなく利用海域のポテンシャルを最大限引き出す。それこそが、目指すべき「完全なデジタル化、リモート化、自動化」のシステムである。

今般のコロナ禍で現地調査が難しくなったため、衛星リモートセンシングの需要が増し、洋上におけるオンライン・リアルタイム衛星通信の利用が増大する現象も発生している。こうした事例を通し、宇宙・サイバー分野において日本が一定のポテンシャルを有していることを実感することもできた。

このような経験を踏まえ、新たなる日常の構築に向け、インド・太平洋海域における海洋・宇宙・サイバーが連携する「完全なデジタル化、リモート化、自動化」システムを、温暖化・海洋環境変化などの社会的課題と関わりが深い海洋の関係者が率先して展開すべきだ。それは、海洋国家としての世界益・国益への貢献であり、まさに社会的使命ともいえるだろう。

３．海洋テロワールの実現に必要な技術開発

ここまで、海洋テロワールを実現するために必要な基本的な考え方を示してきた。本章では、これらの考え方を実現するために解決が必要な課題と、解決のための新たな技術開発について具体的に述べる。そのための人材の育成や、開発された技術を実際に適用し、現場での運用を担う技術者の育成も、海洋テロワールの実現のために必要不可欠な課題である。

（１）人と海をつなぐシステム

① 海洋データ・情報の整備と共有のフィジカル・サイバー統合的推進

・階層１（センサー層）：観測の生データ

基礎パラメーター（EOV）の設定　センサー出力仕様の標準化　海洋―宇宙連携

市民参加による観測データの充実

・階層２（ネットワーク層）：ネットワーク化された自動観測装置

海上通信インフラの拡充　ネットワークの高速化

・階層３（データ管理層）：データ保管・管理

確実な保管管理の確保　未公開データの発掘・流通

・階層４（プレゼンテーション層）：モデル出力・ビッグデータ

公開されているデータの取得技術の高度化（AIによるデータマイニングなど）

次世代型のモデル出力の管理・解析手法

・階層５（アプリケーション層）：社会課題にとって意味ある情報

施策決定のための情報生成

基盤アプリケーションの設定　目的（出口）志向の情報体系（MSPなど）

・階層０（データ共有文化）：システム全体に係る共通課題

データポリシー（open science vs security, free vs copyright, accessibility, TMT/CD・・・）

データ・情報の信頼度担保のための仕組み

データ取得の充実

データ取得後の活用

Physical-Cyber coupled data/information system

海洋テロワールの実現に向けたあるべき海洋データ・情報共有の姿について「Ⅰ．２．（１）海洋データ・情報の共有」で示した考え方に基づく具体像を、フィジカル・サイバー統合を軸に述べる。

ここでは、現場観測データを取得する場面から、施策決定のための情報提供まで、全体を五つの階層（センサー層、ネットワーク層、データ管理層、プレゼンテーション層、アプリケーション層）に分けた。さらに、全体を通した共通の課題について、「階層０（データ共有文化）」を別枠で設定した。ここでいうフィジカル・サイバーの統合的推進は、第５期科学技術基本計画でその柱とされた「Society5.0」の概念にも通ずるが、ここではさらにその先を見据え、海洋データ・情報を軸とした連携を大きく進展させることにより、海洋テロワールの実現、さらにはグローバルコモンズとしての海洋を目指す。各階層における課題の例については図に示す通りであるが、以下、そのいくつかについて説明を加える。

階層１は、現場の観測データの充実を担う部分である。海洋テロワールの設計にあたっては、推進の各段階、またそれぞれその時点で最も確からしい科学的根拠に基づく必要がある。ただし、生態系を始め、様々なプロセスが複雑に絡み合う海洋の実態・

動態については、未解明の部分も多い。そのため、海洋に関する理解を深め、ひいては海洋テロワールのより適切な設計と運用を実現するためには、基になる生の海洋データ・情報の充実が決定的に重要である。そのためには、現場観測技術の高度化に関する取り組みを継続する必要があり、無人プラットフォーム、環境DNAの観測・解析技術、新たなセンサー開発など多くの技術的課題がある。

2020年の新型コロナウイルスの世界的流行は、海洋観測データの取得にも大きな影響を及ぼしている。海洋観測を行う船舶の運航停止が続き、観測データの量が大幅に減少した。世界に広く展開されている自動観測網であるARGO計画（深度2000ｍまでの水温、塩分などを自動観測するフロートを世界の海に展開）でも、新たなフロートの投入数が２～３割減少した。ポストコロナに向けて、海洋観測のさらなる自動化が強く求められている。発展的な自動観測を目指した研究開発を進める一方で、自動観測では難しい高度な分析を必要とする項目や試料の取得などに欠かせない船舶による観測も、引き続き充実させていく必要があることを強調しておく。

こうした専門家による観測に加え、市民参加型の観測を展開することもデータの充実には有効だ。情報通信網（階層２）や観測機器の進歩により、市民が海洋観測に参加する際のハードルは下がってきている。市民も重要なステークホルダーとなる「海洋テロワール」の実現には、こうした視点の取り組みを進めることが効果的である。現在整備が進められつつある衛星VDESなどにより洋上におけるIoT環境が飛躍的に改善されれば、専門家のみならず多様な観測者によるデータを効率的に収集できるようになり、情報インフラの大幅な機能向上が期待される。

階層３および４は、海洋データ・情報に基づいて、数値計算モデルの出力やビッグデータ解析により新たな価値を創出していく段階である。そうした活動を支えるため、これまで、データセンターなどデータ・情報を提供する側の標準化や共通システム化といった取り組みが続けられてきた。しかし、情報通信技術の進歩は速く、一定の標準化がデザインされた時点では、すでにそれが技術的に陳腐化するといったことが繰り返されてきた。ここ数年のAI関連技術の進歩に伴い、今後は、データを提供する側での共通化を志向するのではなく、AIを活用したデータマイニングや仮想的標準化など、データ利用者側のシステムを高度化する方面に向かうだろう。利用者側からのアプローチは、「海洋テロワール」の実現に向けて強化すべき分野の一つである。

階層５は、海洋データ・情報の共有を社会的課題の解決につなぐ層であり、「国連海洋科学の10年」の目標そのものに直結する部分でもある。海洋の利用に関しては、個々の目的の実現で得た価値の総和として海の価値を最大化する従来型の視点を超え、対象海域全体で統合された価値の創出を目指す「海洋テロワール」、さらには複数の地域規模「海洋テロワール」間の調整といった俯瞰的目標の達成が求められる時代を迎えている。そのためには、階層１から５に至るすべての階層における技術開発をベースとした施策決定につなげる必要がある。

階層１～２、階層４～５は、それぞれ技術的に先端的要素を多く含むため、新技術の展開といった位置づけでその推進を議論しやすい。その一方で、階層３は、基本的

には「データや情報の保管」であり、必ずしも先端技術との親和性はよくない。もちろん、大量に生産される衛星観測データやモデル出力などをいかに適切に保管管理するかといった点では高度な技術が必要だが、他の階層に比べて、重要でありながら地味な部分といわざるを得ない。

しかし、取得された観測データは、時空間的に一度限りで二度目が訪れることはなく、将来の世代にそれをレガシーとして残すことの重要性は論をまたない。「海洋テロワール」構想の設計や運用において、階層３が極めて重要であることを強調しておきたい。

最後に、階層０は、技術的議論だけでは解決しない共通課題である。例えば、「海洋テロワール」に関係するデータ・情報システムの設計にあたって、汎用性とカスタマイズのバランスが一つの重要な視点である。海洋テロワールの目的以外にも利用できる汎用性をどこまで高めて整備するかを、設計段階でよく検討する必要がある。また、著作権、価値創出者の権利保護、有償・無償の別といったデータ共有のルールなど、いわゆる「データポリシー」は、場合によってはステークホルダーの利害関係に直結するため、丁寧な合意形成が必要となる。さらに、様々なソースの活用によるデータ・情報の充実を志向する場合、偽情報や低品質情報を排除する仕組みなど、技術だけでは解決しない可能性のある課題について、早期の段階から検討することが必要だろう。

②　市民や地域社会を海の科学とつなぐシステム

海洋観測の「民主化」では、市民あるいは社会と海の距離を縮め、科学と社会が融合できるような新しい形態を目指している。そのためのシステムに必要な技術として、まず観測データのリアルタイム共有を挙げることができる。海上では、沿岸域での５Ｇの活用や無人航空機を活用した次世代通信システムなどが注目される。また、20～25kbpsの音響通信が主体の海中において光を使った通信が実現できれば、海中から洋上、それから、外洋までを高速でつなぐことできる。これは、５～10年後を見据えた非常に重要な技術開発要素である。

また、小型デバイスの開発も求められる。操作が簡単でデザイン性も良く安いことが重要であり、100ドル程度を目安に、多くの人が使える観測デバイスを用意していくことがポイントとなる。「操作性」「小型化」「省力化」「デザイン性」「安価」を実現するためには、それらの技術をもつ企業・大学・研究機関の連携が欠かせない。さらに、観測を連携するデータプラットフォームの充実も鍵となる。データリンクによるサイバー空間の拡張は、海に関わるサイバーの世界とフィジカルの世界をつなぐことを可能とする。

双方向の共創の場として海洋観測の「民主化」を進めるとき、市民からの様々なデータを上述の五つの階層のうち適切なレベルに位置づけ、さらに専門家の知見と合わせることで、海洋情報をより身近なものとして戻すことができる仕組みが求められる。例えば、海の中を日常的に「見える化」する仕組みや、地域課題の解決に役立つ

プラットフォームの構築などが考えられる。

その際、各地域の特性や文化を生かして新たな価値を創造していくという「テロワール」の真価が発揮される。南北にわたる多様性に富んだ海岸では、それぞれの地域特性に応じた海の魅力があると同時に、課題も抱えている。市民から提供される様々なデータは、地域に根差した大学や企業、NGOなどが作るプラットフォームにも統合され、専門家と市民の双方向の共創の場にもなっていく。日常的な情報共有が、地域課題の解決に向けた取り組みに役立てられ、例えば、海域の利用に際し全体的な将来構想を立案する「海洋空間計画」の推進にも貢献する。市民が一緒になって課題解決のために付加価値情報や商品などを創り出していく場になることも期待される。

観測の「民主化」を目指すとき、これまでとは異なる視点で専門家の育成を考える必要もある。海洋の専門家には、他分野との連携をポジティブに捉える素質が求められる。また、必要となるAIを含めたデジタルテクノロジーのエンジニアを、さらには活動力やアイデアに溢れる若手ベンチャーやデザイナーなどの参入を促すことで、市民とともに海をプロモートしていく循環が形成されていく。海洋テロワールの下、各地域の特性や文化を生かして新たな価値を創造していくには、従来のScience、Technology、Engineering、Mathematicsを統合した「STEM教育」に「Arts」を加えた「STEAM教育」の視点が海洋科学分野にも求められる。

③　海を体感する技術

日本は四方を海に囲まれており、その恵みを享受し、船で外国と貿易や文化交流を行ったり、水産業や海事産業を発展させたりして、豊かで文化的な生活を築いてきた。しかしながら、近年は経済状況や社会環境の変化によって、水産業や海事産業が減退している。国民の海洋への関心が薄れていることも懸念される。したがって、「海をよく知り、海に親しみを持ち、海を守り、海の豊かな恵みを利用すること」を実践し、真の海洋国家となるためには、あらゆる市民に海を身近な存在として感じてもらうことが第一歩であり、そのための技術開発が必要である。

海を身近に感じる瞬間といえば、海水浴、ボート、水上バイクなどで遊んでいる時であろう。しかし、海へ出かける機会が限られていたとしても、まるで海上にいるかのように感じられる技術があれば、海への親しみが湧くであろう。

海上のセンサーで様々なデータをリアルタイムで得て、それとVR（Virtual Reality）技術を組み合わせれば、実際に海にいなくても、その環境を再現し、人間の感覚をも刺激することによって、「海」を体感することが可能である。さらに、神秘的な魅力を秘めた未知の深海へも拡張してみよう。実際に、観光として深海に行くためには、水中バイクグライダーのような有人の海中移動手段を開発する必要がある。水中バイクグライダーは、重量バランスや浮力を調整しながら水中グライダーのような動きをする。レジャーや競技スポーツとして、また水中居住空間での移動手段として利用でき、まさに深海旅行も向いている。これにVR技術を適用すれば、バーチャル深海旅行が実現する。さらに、手元の操作で深海の装置、ロボットなどを動かせる

ようになれば、受け身の五感を超えた楽しみが得られるだろう。このようなシステムは、まず海洋の研究者や海洋開発に携わる者に必要であり、それが一般市民に広がることによって、すべての人たちが海を体感でき、身近になる。

次に、海を身近に感じるために、海での生活を想像してみよう。海上での生活については「⑤　海洋空間で居住もしくは生産を行うシステム」で述べるが、海中空間も居住空間として価値のある場所である。すぐ近くに食料、エネルギー資源があり、これらを取り出すこともでき、また水中バイクグライダーで物資を送り届けることもできる。また、気候変動が大きい陸域に比べて、温度などの環境が安定している海中は生活圏として魅力的である。

日本の海域の状況を把握しながら、その広大な海域を有効に活用する方法の一つとして、そこに持続的な居住空間を構築し、拡大する。その実現のためには、洋上風力、潮流発電、地熱発電などの自然エネルギーの地産地消によるエネルギーの安定供給や、酸素濃度、二酸化炭素濃度の制御による生命維持機能、水中バイクグライダーのような有人水中ビークルなどによる陸域との移動手段の確保、無線や音響などによる通信手段の確保、植物栽培や海洋生物の養殖などによる海中での食物生産にかかわる技術の開発が必要となる。これらを高度化して効率を上げ、自己完結型でゼロエミッション、持続可能な生活空間を構築する。人類は宇宙空間ですでに多くの実験を経てきており、これらの経験も生かすことができる。

このように、深海旅行や海中での居住、あるいはこれらのVRでの体験を通して、新たな生物や資源を発見するかもしれないし、一方で人間活動の影響を感じさせる海洋ごみなどが目に入るかもしれない。海洋の持つポテンシャルやリスクを多くの人が体感し、共有することが、「海洋テロワール」の理念で海洋の利用を考える際にとても重要である。

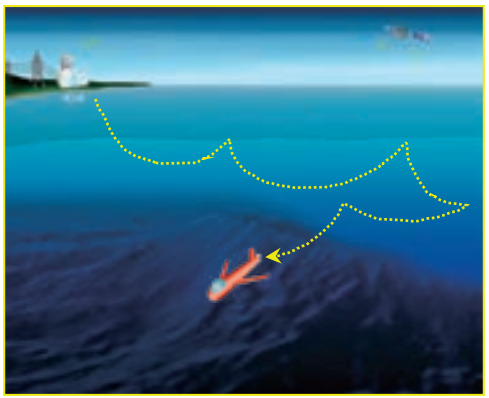


図　水中バイクグライダー

④　海洋空間を自由に移動・探査（調査）するシステム

広い排他的経済水域を保有する日本においては、海洋安全保障、海上安全、自然災害対策、海洋環境保全、海洋産業振興・科学技術の発展などに資する海洋に関連する

多様な情報を集約・共有し、その状況を効果的に把握する必要がある。しかし、特に海中や海底の情報を時間的、空間的に密に収集することは容易ではない。これまでに、AUVやROVを用いた局所的な調査で、海底資源の発見など様々な成果を挙げてきた。この調査海域を広げようとするとき、単にAUVやROVの増設に頼る方法では多くのコストがかかる。

そこで、AUVの効率的な運用を重視し、それにより排他的経済水域を徹底的に解明する方法を考える。具体的には、500～1000機のAUVを開発し、1000機の場合は100機からなる中グループを10個、10個からなる小グループを10個の観測体制とする。中グループの管制には洋上中継器（ASV）を使用する。完全なデジタル化、リモート化、自動化に対応して、自律機能を有する。それぞれのグループ間やASVとAUVとの間には通信機能を持たせ、またロボット機能も持たせる。モニタリングしたデータとAIを活用し、効率的に目的を達成するためのモニタリング計画を策定し、自律的に実行する。

広大な海域を調査するAUVをサポートするため、海底施設として給電・通信ステーションを開発する。海底設備への通信を含む給電システムとして、海底設備保有の大容量電源設備、洋上設備からの有線給電、陸からの有線ネットワークの利用が考えられる。これらの給電、通信システムに加え、暫定的に設置された海底設備への電力供給やデータ回収、そのほか上記方式のバックアップ用として、給電に特化した大容量シャトルAUVを利用し、必要に応じて給電とデータ回収を行うサポートシステムを開発する。シャトルAUVは通常、岸壁と暫定海底設備の間で自動的に運航を行い、給電とデータ回収を行うが、指示により海底設備へのバックアップとして給電を行う。

このような多数のAUVを用いた排他的経済水域の徹底解明と、それをサポートする大容量シャトルAUVによる暫定海底設備への給電・通信サポートシステムは、海中・海底環境を可視化し、各海域に特徴的に存在する資源を持続可能に、かつ環境への負荷を極力抑えながら開発するための基礎情報を与える。

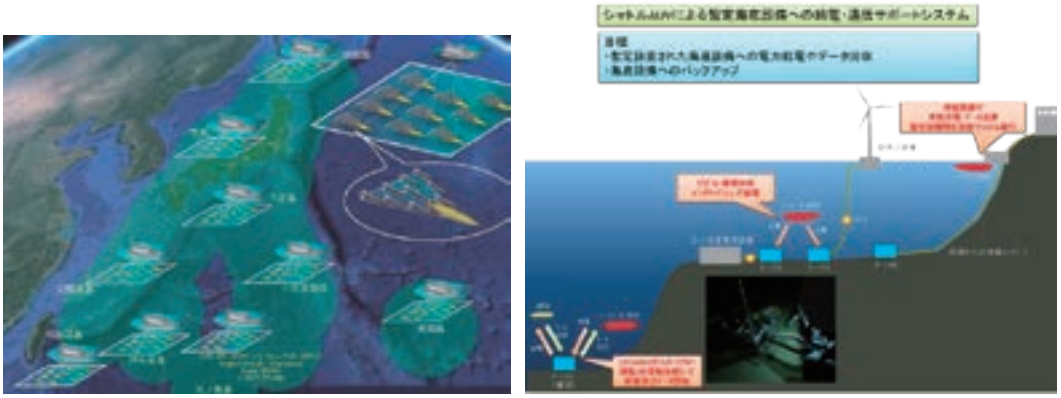


図　多数のAUVを用いた排他的経済水域の徹底解明（左）と大容量シャトルAUVによる暫定海底設備への給電・通信サポートシステム

⑤　海洋空間で居住もしくは生産を行うシステム

１）現状と課題

海洋空間利用は古くて新しいテーマである。1970年代から現代に至るまで、数多くの浮体技術開発、浮体実プロジェクト、浮体未来都市構想が検討されてきた。土木系では浮体空港（実験プロジェクト）や浮体橋梁など、建築系では低層浮体住宅群、浮体ホテル、浮体イベント施設などがすでに実現している。

・土木系の洋上都市実現事例

日本・横須賀
浮体空港
（実証実験）

日本・大阪
浮体橋梁

・建築系の洋上都市実現事例

日本・沖縄
沖 縄 海 洋
博覧会

オランダ
アイブルグ地区
浮体住宅群

浮体構造物の草創期は、石油のための海底石油掘削リグを想定し、波や風による動揺に対する「構造安定性」を主体とする技術集積から始まった。しかし、海洋テロワールにおける浮体都市は、新しい未来、新しい理念の下で新しい性能や価値を持たなければ存在し得ない。地球環境を守り自然災害に強い「人と地球に優しい洋上都市」や、持続的な収獲生産が可能で海を汚さない「自然と生態系に優しい洋上都市」の技術や実証が重要なテーマとして求められる。

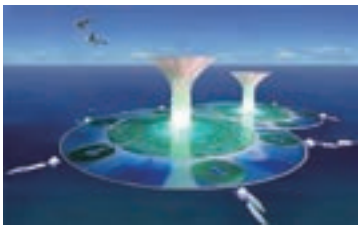
２）トータルシステム化

海洋環境負荷を極限まで減らして来るべき未来技術をも活用し、海と人との新しい関係を構築するという海洋テロワールの理念に呼応する洋上都市の未来構想は、すでに示され始めている。現時点の主なFLOATING CITY構想を下記に例示する。単なる浮体都市を超えて、環境や安全などの新しいニーズに対応したトータルシステムとして提案されていることが共通の特徴である。海洋都市そのものが、単に海に浮かぶ都市ではなく、トータルシステムとして、新しい未来を開くモデルプロジェクトに成り得

る可能性を示しているともいえる。

OCEANIX CITY

BLUE REVOLUTION



GREEN FLOAT

・OCEANIX CITY（国連：UN Habitat, MIT, BIG, OCEANIX）
　海面上昇への対応を軸に、洪水・地震・津波対策や、エネルギーや食糧などの自立。

・BLUE REVOLUTION（オランダ：Blue21）
　異常気象への脆弱性に対応。水質を維持し、栄養素をリサイクルし、食糧生産維持。

・GREEN FLOAT（日本：SHIMIZU CORPORATION）
　２分野（GREENとFLOAT）の未来技術を統合し、新しい産業、生活、文化を創出。
　GREEN＝カーボンニュートラル、エネルギーと食糧の自給自足、資源循環など
　FLOAT＝海面上昇、地震・津波の自然災害、環境に優しい造成

３）個別技術の深化

海洋テロワールを支える海洋空間利用の個別技術は、新しいSustainability、新しいCircular Societyに基づき、より深化する必要がある。

環境―１：カーボンニュートラル、省エネ・省CO2
　　例）クローズドな浮体都市における、エネルギーや水の自給自足
環境―２：サーキュラーエコノミー、資源循環
　　例）クローズドな浮体都市における、排水浄化、資源循環
環境―３：生態系共生（含：イノベアクアファーム）、水質浄化、環境浄化
　　例）多様な海洋生態系と共生し合える親水域の環境共生技術
自然災害―１：海面上昇リスク
　　例）都市として長期耐用（100年、200年）対応のメンテナンス技術
自然災害―２：地震・津波リスク
　　例）一定水深より深い地域の安全安心な定点保持係留システム
長寿命化―１：都市の「変わるべきもの」と「変わらないもの」のシステム化
　　例）浮体の規模拡張や新機能増設に対応したPlug and Play型浮体都市
長寿命化―２：都市の移動（遷都）
その他　　例）貧困地域、難民地域の救済を目的とした暫定利用浮体都市
　　例）ドームのようなインドア洋上居住環境最適化技術と安全基準

（２）ゼロエミッションと自然から収奪しないシステム

①　自然に負担をかけない未来の水産業―イノベアクアファーム―を創り出す技術

イノベアクアファームを構築するためには、生産システム、環境制御、人工育種に関する技術の開発が必要となる。その際、これらの要素技術と社会、環境を結ぶシステムを順応的につくる必要がある。社会、環境、市場などの外的要因は変化の予測が難しいので、これらの変化に順応可能な要素技術と統合されたシステムとしてイノベアクアファームの実現を目指す。

１）生態系の状況把握技術

これまで海洋生態系の管理を妨げてきた最大の理由は、生態系の状態や変化をリアルタイムで知ることができなかったことである。水が媒体となる海洋生態系では、海水の流動の情報は不可欠になる。さらに、海水中の様々な物質の濃度とその変動の情報も必要になる。そのうえで、微生物から魚類、大型海洋動物に至る生物の分布や存在量の時間的変化などが把握できて、初めて私たちは生態系全体の状態を知ることができる。これは、生態系を何らかの人為的介入によって管理しようとする場合に、不可欠の前提になる。

海洋データについての議論で見てきたように、水温、塩分、流向・流速などの高精細な三次元的な分布が刻々と入手され、海水の物理的構造が四次元情報として手に取るように把握できるようになる状況は、すでに夢物語ではない。同様に、海水中の栄養塩類、酸素や二酸化炭素などの溶存気体の濃度、生物の個体数や生物量の分布についても、高精細な四次元情報が把握されるようになり、陸域や外洋などの隣接するシステムからの物質の移入や移出の把握もできるようになれば、数値計算モデルの助けも得て、生態系の高度な管理は十分に可能になるだろう。

特にこれまで取得が困難だった生物の個体数や生物量分布については、環境DNA技術の発達がブレークスルーになり得る。

２）高度な生態系管理

生物には、個体として成長し、また繁殖によって個体数を増やす能力がある。漁獲を始めとする何らかの原因で個体数が減少しても、餌の供給や生息環境が保たれていれば、生物のもつ増殖能力によって回復する可能性が高い。しかし、個体数減少の影響と回復の過程は単純なものではない。特定の種の個体数減少は、生物間の相互作用によって他の種の集団にも影響する。このような影響の連鎖で、生物群集全体に影響が及び、あるいは生息環境までもが変化してしまう場合もある。個体数減少が著しい場合には、復元力が働かないことも十分考えられる。

ある生態系から特定の種類の生物をある量だけ、毎年利用する（取り除く）ことが可能で、その利用がなされつつも、生態系がある状態で定常的に維持できれば、持続可能な利用ということができるだろう。取り除く量が非常に小さければ、自然に近い状態の生態系が維持できる。取り除く量が多ければ、持続的に利用するためにはその

生物の増殖を促す必要がある。

物質の面からいえば、利用された生物個体に含まれる物質が系から取り除かれるわけであるから、その分について系外からの補給が必要である。生物の増殖を抑制する要因は、餌の不足、捕食、個体数増加による環境悪化などが考えられる。特に水圏生物では一般に膨大な数の子が産まれるが、その多くは捕食などで死亡して個体数は大きく減少する。この過程は個体数の変動に大きく影響されることが知られている。

生態系を高度に管理して、人為的な介入や物質投入によって生物の増殖過程を適切に制御し、継続的に利用できる量を増やすことが、必要な量の水産物を持続的に得るための鍵になる。もちろん、生産を増やすために過剰な物質を投入すれば、各地の沿岸域で起こった富栄養化などと同じ問題が生ずる。適切なレベルで生産性の高い生態系を管理する知恵が求められる。

３）人工構造物による生態系の生産性向上

イノベアクアファームを生産的なものとするためには、ファーム自体および周辺海域の生産性を向上させることが望ましく、溶存無機態窒素や溶存無機態リンなどの栄養塩類を真光層に供給することによって植物プランクトンによる一次生産を促進するといった方法が考えられる。栄養塩の供給源としては、ファーム自体から排出される養殖魚の副産物である有機物や代謝による無機物を原料とする場合と、海底や底層水中に蓄積された栄養塩を利用する場合が考えられる。前者においては、網生簀からの残餌や糞の垂れ流しではなく、生態系の作用を利用した無機化の処理が処理システムとして活用されるべきであろう。後者においては、底層の海水を表層に引き上げるための海水流動の制御システムとして、湧昇流や沖合水導入の技術開発が挙げられる。また、人工魚礁や浮漁礁の設置により、魚を集めるだけでなく藻類や付着動物の生息場となり、増殖効果を発揮することも期待されている。

４）環境と生産システムの適切な管理

環境と生産システムの相互関係も極めて重要である。地球温暖化による水温上昇や海洋酸性化などによって海域の環境が生産力を失い、養殖においても生産性を減少させる状況が懸念されている。このようななかで、環境をコントロールできるという点で陸上での養殖もまた注目される。すでに小規模な施設は稼働しているが、大規模なサーモンの陸上養殖施設も計画されている。閉鎖循環式陸上養殖システムは、外囲の環境変化の影響を受けにくい点と、外界への環境負荷を極力低減できるという点で、「自然に負担をかけない養殖」を実現するプラットフォームとしての優位性があるといえる。

養殖生産によって発生する尿、糞や残餌などは、環境中に放出されると水質を富栄養化し、底質を有機汚泥化する。それに起因する赤潮や貧酸素水塊の出現など、養殖自体にも跳ね返ってくる環境の悪化が問題になってきた。潮通しの良い海域を選択したり、養殖生簀の位置を定期的に動かしたりして、環境悪化を軽減する策が取られて

いる。

さらに、持続的養殖生産確保法に基づき、漁場改善計画を作成して養殖場周辺の環境を維持する方策も取られるようになっている。今後はさらに、積極的な自然調和型の環境管理システムを導入することが求められ、物質収支や物質循環の視点から定量的な評価を取り入れる必要がある。改善策や解決策を検討する際には、生態系機能を活用する視点も重要である。

５）水産物の「創造」技術

自然環境に負担をかけない未来の水産業を作り出すためには、水産物を「創造」する技術が基本になる。そのためには、いくつかの概念の整理が必要である。

まず、経済行為としての水産業の観点から、天然の高級魚や人気魚種など高い付加価値をもつ水産物を生産する方向性が挙げられる。そこには、特定の機能性物質や薬理性物質を蓄えているなど、食品としての価値を超えた魚介類も含まれる。

そのためには、人工飼育（養殖）が有力な選択肢になる。優れた遺伝的形質への改良（生命工学的アプローチによる「育種」）により、和牛や果物などで実現されているような高級ブランド化を狙う新系統を作り出し、系統の保存や当該遺伝資源の流出を防止するための不稔化を達成する。それとともに、これらを育てるのに適した環境を提供する。自然界への拡散を防止する飼育環境を提供することが必要になる場合もあり、海産魚の陸上養殖は、その有力な手段の一つである。

一方で、基盤食料品としての水産物を安定供給する方向性もある。ここで満たさなければならない要件は、タンパク源として十分な量を安価に供給できる魚介類であり、現在の日本の養殖魚に求められる嗜好品的な性格とは一線を画すものとなる。ただし、安価な動物タンパクの供給源という面だけでは、価格の安さと入手しやすさ、調理の容易さから、鶏肉に太刀打ちできないであろう。「美味しさ」や「機能性物質（DHAやEPA）などを多く含み健康に良い」といった点で食肉と差別化でき、消費者が選びたくなり、かつ入手しやすい魚介類を選ぶ必要がある。

上記の二つに共通して必要な条件は、飼料の無駄を減らす低いFCR（増肉係数）の達成、魚粉フリー、すなわち天然魚に依存しない餌の開発と導入である。例えば植物、微生物、昆虫などの利用、近隣の漁場で確保される未利用魚などを用いたサステイナブルな餌（輸入魚粉飼料などを用いないグローバルな物質循環からみて望ましい餌）の開発や供給などが挙げられる。さらには、後述する合成肉を養殖魚の飼料として利用することも、天然魚の命を犠牲にしない養殖を実現するために重要な要素になるかもしれない。もちろん、無毒で薬剤フリーの安全な魚を育てるのが大前提で、そのためには、薬剤に依存しなくても感染症や寄生虫に強い魚の開発や飼育環境の整備が必要であり、これらは健康面、環境面の双方で生産物の優位性を向上させる効果に結びつく。

なお、自然から収奪しない究極の姿として、動物の個体形成に依存しない合成肉の供給が現実に近づきつつある。食肉生産のために多くの穀物や水を消費する問題を回

避するために、持続可能な代替食糧品が求められ、大豆タンパクを用いた代替肉が普及している。

さらに高品質で本物と同等の成分をもつ畜肉を人工合成することにより、上記の目標を実現することを目的とした先駆的な研究も始まっている。科学技術振興機構（JST）では、「将来の環境変化に対応する革新的な食料生産技術の創出」として、2017年度から動物性タンパク質の供給源となる食料を対象に、これまでにない新しい方法による食料生産技術に関する研究開発が始められている。その背景には、世界の食料需要の中でも動物性タンパク質の主な供給源である畜肉や魚肉は、経済的に豊かになると消費量が増えることから、肉類の需要増加は世界の農産物全体を上回り2050年までに約1.8倍になることも予測されている一方で、現状では、得られる畜肉・魚肉の数倍から10倍近い飼料が投入されるなど、極めて低い効率で生産されていることがある。この研究には、環境変化に影響されず、かつ持続可能性を飛躍的に向上させることで、食を通じた豊かな暮らしの実現、新しい食品産業の創出、ひいては世界からの飢餓撲滅に貢献する目標がある。（https://www.jst.go.jp/mirai/jp/program/sustainable/index.html）

このなかには、細胞培養による人工肉の創造に関する研究「３次元組織工学による次世代食肉生産技術の創出」も含まれている。現在は畜肉の代替品をつくる研究であるが、同様の原理を応用して合成魚肉を創造することにより、水産物の需要増加に対応しつつ水産資源の保全を図ることが可能になるであろう。

そのほか、「発生工学とゲノミックセレクションを融合した次世代型魚類育種」や資源循環型の養魚飼料の開発も進められている。先に挙げた水産物の「創造」技術の実用化に大いに貢献することが期待される。

一方で、社会的、文化的な問題としての継続的な議論も必要であろう。人工育種による新系統の作出や、ゲノム編集や遺伝子組み換えによる高機能生物（食品）を創出することは社会的に受け入れられるのか、丁寧な説明と情報提供を行いつつ議論を深めていく必要がある。また、生態系の一員である人類が、自然からの生産物を享受して水産物の利用法や調理法を開発し、食文化を創造してきたことに照らし、このような新技術によって、本来の営みから外れた体系で作られた食料の恩恵にあずかることの是非についての議論もあり得るだろう。

②「ゼロエミッション（カーボンニュートラル）」のシステム

海は、昔から、海運の場として利用されてきた。歴史的には、木材やアシなどの素材でできた舟から始まり、近年では多くの材料を組み合わせて大きな船を造れるようになった。推進方法も、人間の手や足、竿などで舟をこいでいた時代から、帆を張って風を利用した船、さらには蒸気船が登場した。現在では、東京タワーの高さを超える長さを持つ巨大な船が造られるようになり、モノの効率的な大量一括輸送を通じて経済のグローバル化を促し、人類の物質的社会を支えている。

一方で、蒸気船の誕生以来、化石燃料を使用することによって、地球温暖化の一因

とされている温室効果ガス（GHG）や、酸性雨の原因となる硫黄酸化物、窒素酸化物などが大量に排出されてきた。

国際海事機関（IMO）では、海上輸送における温室効果ガス削減戦略が取り決められ、2050年に総排出量の50％を削減することを目標としている。最終的な理想像としてはゼロエミッション船である。これを踏まえて、さらに先進的な動きも見られる。すなわち、2019年９月23日に開かれた国連「気候行動サミット」では、海事産業を代表する企業の有志連合が、2030年までに外航航路でゼロエミッション燃料による船舶の運航を商業ベースで実現するという目標を掲げた。省エネのための技術としては、プロペラの性能向上による推進効率の改善、船体表面塗料、空気潤滑システムなどによる摩擦抵抗の低減、船体上部構造の工夫による空気抵抗の低減、ディーゼル機関の高効率化による推進プラントの効率改善、太陽光などの自然エネルギー利用、大型化・低速化などが挙げられ、現在も研究開発が続けられている。

これをさらに進めてゼロエミッション化するためには、従来の推進方法を用いながら、二酸化炭素の回収陸揚装置を備えた二酸化炭素回収船、ウランの原子核分裂熱を利用して蒸気タービンを回す原子力船、陸上の電気や太陽光、風力、波力による電気を蓄電し、電動機によって進む二次電池船、水素等の燃料電池によって電動機を動かす燃料電池船、水素ディーゼル機関を備えた水素エンジン船、植物由来の油でバイオディーゼル機関を動かすバイオ燃料船、洋上の風力を帆や凧、回転円柱などで受けて航走する風力推進船などが挙げられる。

様々な選択肢があるなかで、「ゼロエミッション船」を実現するためには、バイオも含めた再生可能エネルギー由来の燃料、電気による推進船、もしくは風力を利用した推進船が有望である。二次電池は、近い将来新造船に標準装備される可能性があり、船舶で使用する電力の一部を賄うようになると予想される。ただし、完全な二次電池船は、比較的近距離で航路が決まっている特定の船種のみで実現可能と考えられており、一般的には、二次電池と燃料電池などを組み合わせたものになるであろう。これらの技術開発を通して、自然から資源を収奪することなく、海上輸送のさらなる発展に対応することが可能となる。

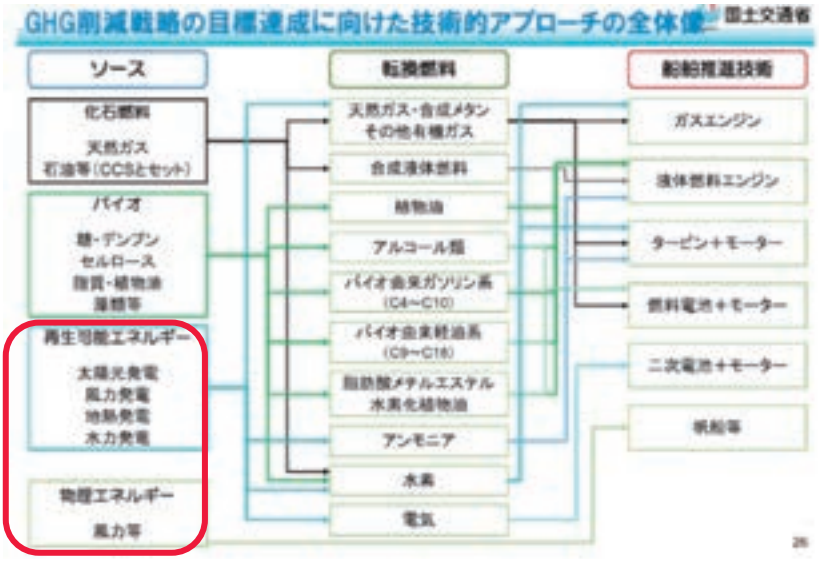


図　GHG削減戦略の目標達成に向けた技術的アプローチの全体像

（出典：国土交通省、海事三学会合同シンポジウム資料（2019年１月））

③　今できる革新的な海洋汚染対策

人類が生み出し、現在の生活に深く根付いた多くの便利な物質は、私たちの手を離れた後、その多くは海に散らばってしまい、あまりの量と広がりを前にして、人類は今さらながらにその失態に気づいた。これまでに海域に放出され、人間活動に影響を及ぼした物質は、人工放射性核種、重金属類、石油・油脂、PCB・有機塩素系農薬、ダイオキシン関連化合物、有機リン・カーバメイト系農薬、合成洗剤、有機スズ化合物、多環芳香族炭化水素など数えきれない。

これらの物質は水域に流出した後、最初にプランクトンなどの低次栄養段階の生物によって摂取されるが、その後、魚類や哺乳類などの高次栄養段階の生物に転送される際に濃縮されていく。陸域からの栄養物質の負荷による富栄養化問題も、類似した問題と捉えることができる。

根本的には、陸上からこれらの物質を海洋に流出させないことが重要であるが、海域で問題が発生した後に気づく場合も多い。海域に放出された物質を放置することはできないため、直ちに回収、あるいは無害化する技術が必要であるが、現在、これらの技術を私たちは持ち合わせていない。

そこで、今できる革新的な対策を、海洋プラスチックを例に考えてみよう。プラスチックは、最大で年間1270万トンが海洋に流出していると推定されており、現在も増加の一途をたどっている。プラスチックは自然界で分解されにくいため、海洋を汚染し続ける。また、プラスチックごみは、誤食によって海洋生物の直接の死因の一つになっている。さらに、漂流中に細分化してマイクロプラスチック、ナノプラスチック化すると、生物の体内に蓄積する。マイクロプラスチックに吸着した有害物質は生物に取り込まれ、生態系全体への影響も懸念される。

マイクロプラスチック化すると回収が困難になるため、それ以前の段階で早期に回

収することが望ましい。従来の海洋ごみの清掃と分別には多くの設備と人員が必要であった。そこで、海面を漂うプラスチックごみに対しては、まず画像認識技術によってごみの分布と量を把握し、複数の自律型水上無人機（ASV）を用いて、長距離、長時間にわたって自律運航しながらごみを回収するシステムを開発する。

一方、海中に沈んだプラスチックごみに対しては、表面電荷を利用した吸着法などの有望な回収方法を水中航走体に搭載し、無人で回収できるシステムを開発する。これら複数のビークルの運用によって、広範囲にわたって多量のマイクロプラスチックを効率的に分離、浄化することが期待できる。

有害物質やごみなどの様々な対象物に応じて新たな回収技術を開発すれば、ASVや水中航走体に搭載し、海洋プラスチックに限らず、これらの物質を自律的に回収し、海洋環境を良好に保つことができる。

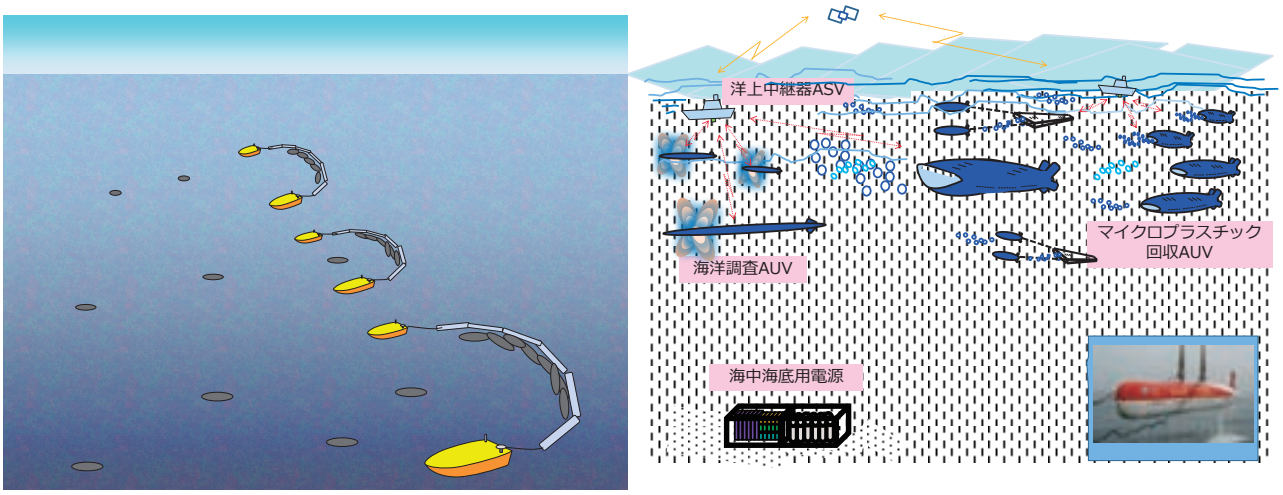


図　複数ASVによる浮遊ゴミ回収システムと海中のマイクロプラスチック浄化システム

④　再生可能エネルギーを基盤とするシステム

2015年９月の国連サミットで採択された持続可能な開発目標（SDGs）の中で、再生可能エネルギーを基盤とするシステムは、「目標７：エネルギーをみんなに、そしてクリーンに」「目標13：気候変動に具体的な対策を」に貢献するものと位置づけることができる。洋上における再生可能エネルギーの利用という観点では、今後、洋上風力発電の伸長が期待され、生産された電力は送電系統を経て消費地に送られる。しかし、消費地までの距離が遠く、送電や蓄電が難しい海域では、電力を生産できたとしても利用が難しいという課題がある。

そこで、洋上で生産されたエネルギーを洋上で消費する「地産地消」の一形態として、洋上における再生可能エネルギー利用システムを提案する。例えば船舶航行の脱炭素化を考えるとき、水素や電池といった脱炭素燃料の容積効率は悪いため、こうした燃料の搭載は最低限にとどめ、洋上で生産された再生可能エネルギーを併せて活用することで、船舶の輸送効率向上を図る必要がある。

研究開発課題としては、移動体電力伝送システム、非接触給電システム、再生可能エネルギーから船舶への電力マネジメントシステム、洋上プラットフォーム技術などが挙げられる。

提案の実現がもたらす社会的な価値や効果としては、船舶のゼロエミッション化、物流に関係するエネルギー自給率の向上、海洋空間の有効利用といったところである。

このシステムを排他的経済水域内に多数配置したネットワークが確立すれば、水産業や洋上都市など様々な海域利用に使うことができる。すなわち、海洋の利用に当たって、必要なエネルギーをその海域から必要な分だけ取り出し、環境に負荷を与えずに効率的に活用するシステムであるといえる。

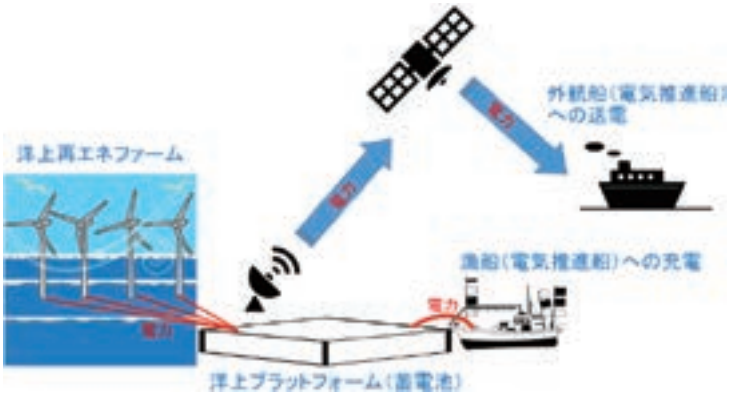


図　洋上における再生可能エネルギーの利用

（３）完全に「デジタル化、リモート化、自動化」された海洋システム

①　無人自律船（航海中点検・メンテナンス用ロボット）

陸上で自動運転技術が急速に発展しつつあるように、海上でもまた自動運航が注目を集めている。現在の海洋船舶は、人為的要因で発生する海難事故、船員需給のひっ迫、造船の競争優位性の確立といった課題を抱えている。例えば海難事故は、衝突や乗揚げといったいわゆる航海士の判断に起因するものが多くを占めている。海上通信の発展とセンサー、IoT、AI、ビッグデータ処理技術の進歩による自動運航船は、この問題を解決に導くのではないかとみられている。完全な自動化を通して無人自律船の実現も期待される。

このように、無人自律船は安全性や経済性の向上が見込まれ、大きな期待が寄せられているが、これを実現するためには、様々な課題を解決する必要がある。

現在、航海士が行っている作業としては、映像や音による他船や物標の認識、レーダー／ECIDS（Electronic Chart Display and Information System）情報などによる取得データとの照合や統合、他船の行動予測による衝突回避、操船情報提供などがあり、これらを自律化する必要がある。

また、機関士の作業を代替するためには、電動化やバッテリー推進化などによる信頼性の向上と故障の低減、機器の多重化による冗長性の確保、ロボットによる修理な

どの技術開発が必要である。特に、外航船においては、操船以外にも機関部を含めた点検とメンテナンスが重要であり、この分野の自律化を図る必要がある。

そこで、航海中に点検、メンテナンスを行えるロボットの開発を提案する。研究開発課題としては、船内活動をする自律型またはアバター型の人型ロボット、船陸連携システムなどが挙げられる。

完全無人自律船を海上輸送に導入することにより、海上輸送の「安全性の向上」「労働環境の改善」「運航コストの低減」「環境負荷の低減」がもたらされると考えられる。これらは、人が操船しないことによるヒューマンエラーの低減、船上作業がなくなることによる労働負荷低減、船員用設備が不要なことによる船型の小型化や設計自由度の拡大、船員が乗船しないことによる低速運航の実現などによってもたらされる。事故による有害物質の排出防止や省エネ化も実現され、海洋環境にも優しい無人自律船となる。

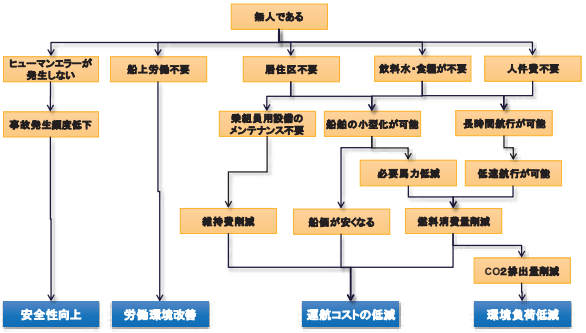


図　完全自律化船を海上輸送に導入することによる効果（左）と航海中点検・メンテナンス用ロボット（右）

②　海のIoT化

海洋データは、全球／沿岸、分解能、観測頻度の点で、ニーズとシーズのマッチングが取りにくい点を改善する必要がある。また、地球温暖化などの社会課題に加えて、食の安全と安心に貢献するイノベアクアファーム、人間活動空間の海洋への拡張を推進する洋上都市といった「海洋テロワール」の理念に基づく活動が活発化することを考えれば、今後さらに、海洋観測センサーの多様化を図るとともに、各種データの連携により新たな付加価値をデータに与える仕組み作りが求められる。

このためには、「観測」―「分析」―「予測（モデリング）」―「アクション」―「フィードバック」のサイクルを速く回し、適時適切な情報が得られる仕組みを作り出すことが有効であり、マシンリーダブルなデジタル情報のIoT化を準リアルタイムで実現する技術開発が必要である。なお、IoT化により、省力化と高付加価値化も同時に推進できる。

具体的には、次の技術開発を行うことが重要である。

③ 「海洋の民主化」のための観測基盤整備技術の開発

１）海中観測ロボットバス技術開発

東京大学生産技術研究所価値創造デザイン推進基盤・DLXデザインラボで行われているOMNI（Ocean Monitoring Network Initiative）プロジェクトでの水中ドローン対応化、自律型無人潜水機（AUV）による無人海中ロボット化のための汎用バス技術の開発を行う。これにより、ユーザー側からのニーズの多様化に対応すると同時に、個人所有も容易になり、観測データの共有基盤が構築できる。この汎用バスは、電源部、データ記録・送信部、推進制御部、観測センサーインターフェース部で構成され、ユーザーセンサーを耐環境ハウジング（防水防振）に格納することで、自動計測されたデジタルデータを取得できる。

図 「海洋の民主化」のための観測基盤整備（概要） ©アクセルスペース

２）海洋センサーネットワークの開発

バイオロギング技術を応用して、ウミガメなどにセンサーを取りつけて海中データを取得し、海鳥の三次元位置追跡により大気観測を行うことができる。また、船舶の対海水速度（機関情報）と対地速度（GPS情報）の差から海流速度を求めたり、海洋観測センサーとエッジコンピュータを搭載してシートゥルースデータを収集したりすることも可能である。これらの観測データを、リアルタイムで収集・制御するための

センサーネットワークを海洋に展開し、市民利用型データプラットフォームを構築する。

船舶・観測ブイからのデータ収集を効率的に行うために、小型衛星コンステレーションを利用した衛星VDES（次期AIS）通信や衛星LoRa通信を利用したセンサーネット構築を行うことで、広域性・リアルタイム性・低コストを確保できる。また、海上移動体通信が不安定な場合、通信回線速度の変化に柔軟に対応し複数の通信回線を組み合わせて最適化できる通信ルーターを開発することで、安全安心なセンサーネットワークを構築できる。

また、沿岸域の養殖いかだの海中画像を自宅から直接観測するためのローカル５Ｇや、衛星経由のBeyond 5G通信環境の応用技術開発も、生産者の生産性向上に有効だろう。なお、高速衛星データ伝送で使用する電波は降雨の影響を受けやすいため、洋上基地・洋上風力設備間を光ファイバー網で接続し、サイトダイバーシティーを実現することで、安定した利用が可能になる。[注)]

３）自前観測手段の整備に関する技術開発

漁船が保有する魚探データなどを利用したデータマイニングによる高次データ（２次データ）生成技術（センサーフュージョン）を行うことで、ユーザーが利用しやすいデータとなる。

④　海洋データ連携・流通促進プラットフォームの開発

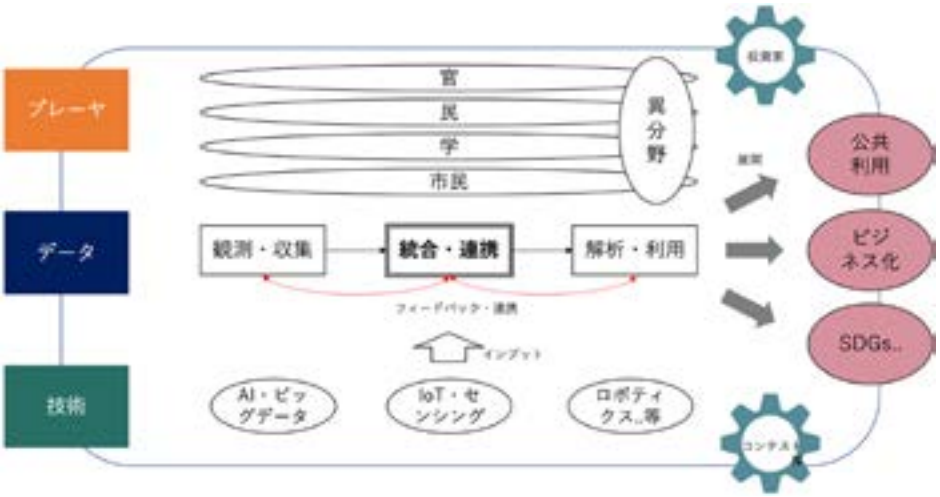
１）海洋データ利用のワンストップサービス化技術開発

データ連携・流通促進を目的にした海洋データプラットフォームを開発することで、産業界が海洋情報を活用し、価値や利益を生み出す仕組みを構築することができる。

利用者にとっては、データ利用による価値や利益が明確であることが重要であり、利用者向けに、市民利用型データプラットフォームも含めたプラットフォーム間の横串を通してデータ提供を行う、ワンストップサービス化のアーキテクチャーを開発する。

なお、各プラットフォームが保有するデータは大容量のため、アプリケーション・プログラミング・インターフェース（API）を利用してユーザー計算機にデータを取り込んで処理する方式では、処理に時間がかかりすぎる場合が多い。この課題へ対応すべく、情報処理分野（仮想化マシン）のコンテナ技術を利用し、データ提供方法の簡易化も図ったプラットフォーム間の連携を実現する。

注)　VDES：VHF Data Exchange Systemの略で、AISに双方向通信機能を加えた地上・衛星両用通信システム
LoRa：LPWA（Low Power Wide Area）の一種で「Long Range」の略称
Beyond 5G：5G通信の次の世代のネットワーク（あり方）

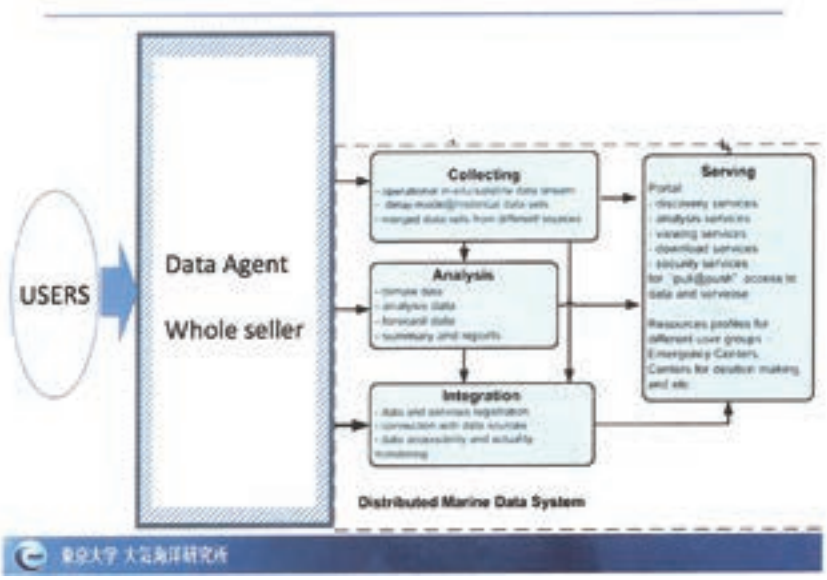


海洋データ連携プラットフォームのイメージ（案）

（出典：三菱総合研究所　武藤正紀氏　提供資料）

２）データ連携を飛躍的に促進するためのCutting-Edge技術開発

現在のデータは、整理されていない巨大なデータ倉庫に格納されている。データ利用時に迷わないように、AIによるデータMining、AIによる画像の文字情報化技術などを活用したデータコンシェルジュ技術を開発する。



３）海洋と宇宙の連携によるプラットフォーム・オブ・プラットフォームズの開発

船舶などによる海洋データの取得は空間的に低密度にならざるを得ないため、広域リモートセンシングが可能な衛星観測との連携が必須である。日本が得意なマイクロ波センサーであるマイクロ波放射計、合成開口レーダーに加えて、今後開発を検討中の干渉型海面高度計（COMPIRA）や静止光学観測衛星の観測データを保有するプラッ

トフォームと海洋プラットフォームを連携することが有効である。

海洋分野では技術や制度など様々なハードル、またユーザーとのギャップがあるが、海洋の「民主化」と海洋データ連携・流通促進プラットフォームを通じた海のIoT化により現状に横串を刺すことで、このギャップを解消すると同時に、市民を巻き込んで広く海洋データが利用されることが期待される。

Ⅱ．海洋テロワールがもたらす「豊饒の海」

１．イノベアクアファームの実現

（１）水産物生産の現状

私たちが「海洋テロワール」の理念のもとに目指す「豊饒の海」の代表的な具体例として、「イノベアクアファーム」についてこれから詳しく述べたい。「Ⅰ．２．（３）自然から収奪しないシステム」でも触れたように、イノベアクアファームは、海洋の生態系や物質循環に十分に配慮し、海洋環境への負荷を極限まで減らした次世代の水産物生産海域である。その前にまず、世界の水産物生産について、その全体像を概観しておきたい。

世界の水産物の生産量は年間約1.8億トンに達し、このうちの半分が漁獲によるものである。漁獲量は過去20年にわたり頭打ちになっており、養殖生産が急速に増加して漁獲生産を凌駕している。国連食糧農業機関（FAO）の報告によると、年に1.56億トンが人間の食料として消費され、水産物の一人当たりの年間消費量は世界平均で20.5kgに達している。

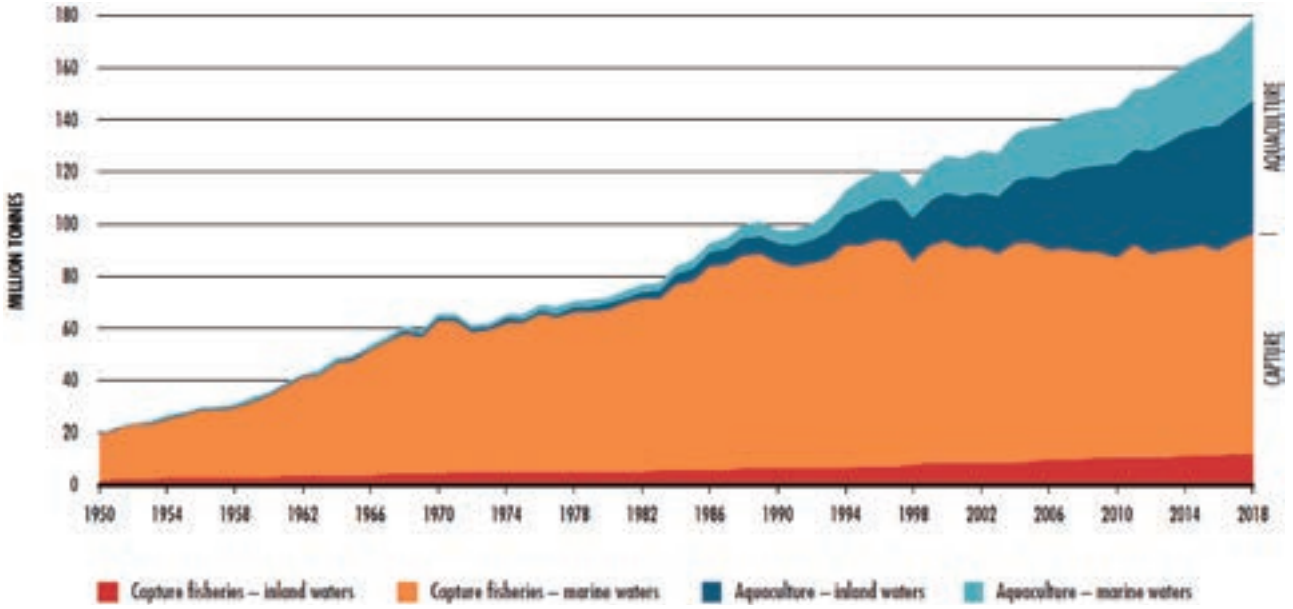


図　世界の水産物生産量

（2020　THE STATE OF WORLD FISHERIES AND AQUACULTURE SUSTAINABILITY IN ACTIONより）

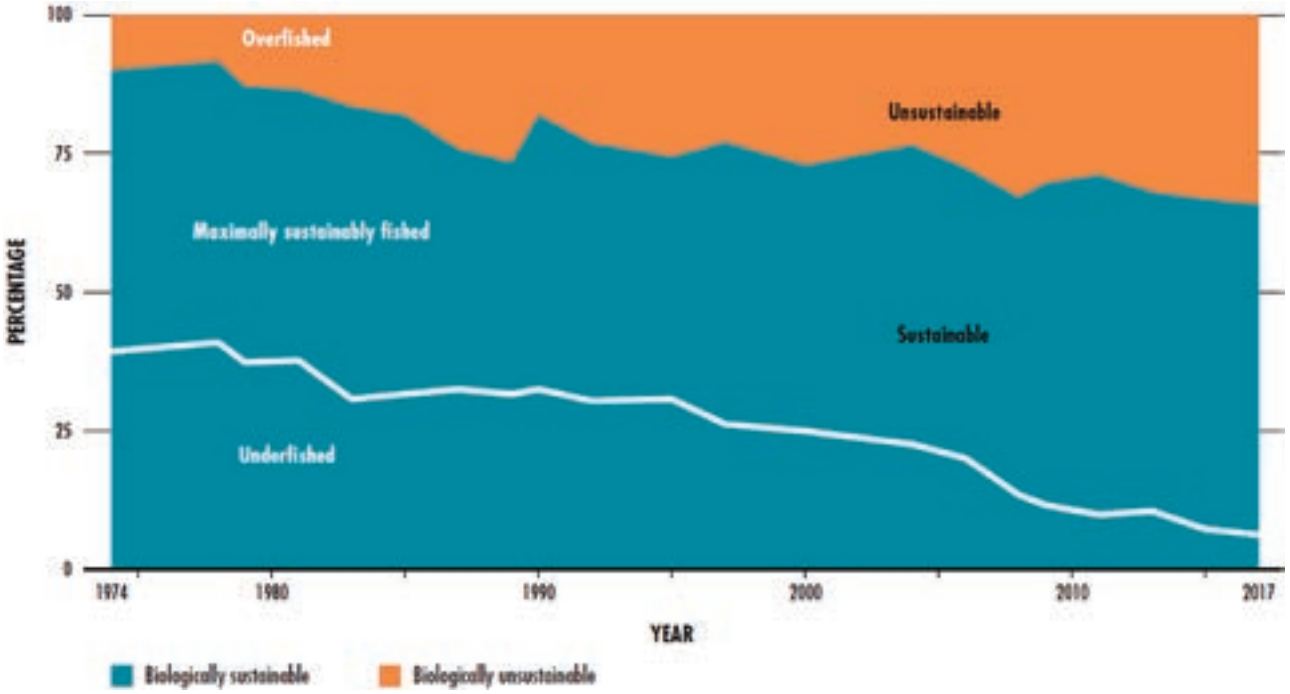


図　世界の海洋漁業資源の漁獲の状態の推移

（2020　THE STATE OF WORLD FISHERIES AND AQUACULTURE SUSTAINABILITY IN ACTIONより）

しかしながら、漁獲生産においては30％以上の種が漁獲過剰の状態にあり、日本でも、水産資源評価表によると、評価対象種50種87系群のうち、資源水準は高位が19系群、中位が26系群、低位が35系群と判定されている。

このような状況下で養殖生産の比重が右肩上がりに高まっている。魚類などの給餌養殖では、飼料の原料は低次の魚類資源を消費することにより成り立っている。世界における魚粉の生産量は1994年に600万トンを超えている。これに使用されたアンチョベータ（カタクチイワシの一種）などの多獲性魚の量は3000万トン以上で、この時点でピークに達している。2014年には1400万トン未満に減少したものの、2018年にはペルーのアンチョベータの漁獲量の増加により約1800万トンとなっている。このように、養殖による生産拡大を目指せば天然の小型魚がその原料として使用される。持続可能な生産システムに逆行するこの構図は、基本的に変わっていない。

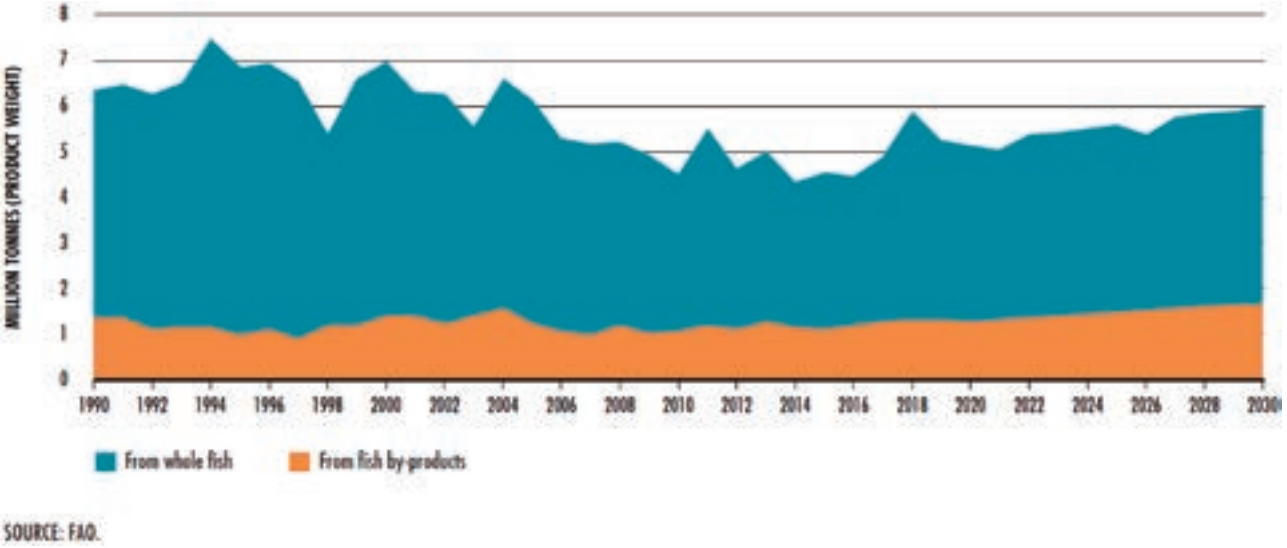


図　世界の魚粉生産量の推移

（2020　THE STATE OF WORLD FISHERIES AND AQUACULTURE SUSTAINABILITY IN ACTIONより）

一方で、日本は四方を海に囲まれ、黒潮・親潮・対馬暖流など異なる起源の水塊が栄養塩や卵稚仔を輸送することにより、それぞれの影響下にある海域に多様な水産資源をもたらしている。また、内湾や沿岸では、河川水や湧水、植生、鉱物組成など、陸域の影響を受けた多様な環境が形成され、それぞれの地域に独自の水産物を生み出してきた。例えば、北海道や三陸沿岸のシロザケ・ホタテガイ、富山湾のホタルイカ、駿河湾のサクラエビ、明石・三原・日間賀島など流れの速い海域のマダコ、明石のマダイ、氷見のブリなどに代表される産物は、独特の地形と海洋条件によってもたらされた富である。

これらはまさに「海洋テロワール」といえる産物である。しかしながら、陸域の開発によって沿岸域ではその特色を失いつつあり、また地球温暖化などにより地域固有の生物相が変化しつつある。

このようなブランド魚の生育環境や遺伝的形質を再現して、人工的に増殖・生産することができれば、地域経済を牽引する役割を担うこともできるだろう。動物性タンパク質の安定供給の一翼を担う観点からは、回遊性の多獲性魚種の利用が現実的であろう。生態系の高度な管理技術で、外洋全体で生産の最適化を目指す。

天然の有機化合物には、特有の生理活性を有するものが多数ある。抗生物質をはじめとする医薬品の多くは、天然の生物から発見されたものである。海産生物には、特有の化合物も多く存在するため、生理活性物質の探索は盛んに行われている。医薬品、化粧品、機能性食品などの成分となる物質には、一般に高い付加価値が付くことが多いことから、海洋における生産対象として有望である。このような食品以外の物質の生産を含めて、イノベアクアファームを構想する。

（２）イノベアクアファームの全体像

イノベアクアファームでは、対象とする生物種の特性に合わせて、養殖型、栽培漁業

型、あるいはできるだけ自然に近い海域での生産など、多様な生産システムを選択し、これらを組み合わせた大きなシステムとして一体的に管理しながら生産することを目指す。また、生理活性物質の生産などの場合は、生産海域と外界との間の物質や生物の往来を厳密に管理する必要がある。この場合は完全閉鎖型の養殖システムの選択も考えられるであろう。

人間のアクセスが容易な沿岸域では、比較的密度の高い生産システムを展開する。一方で、沖合から外洋においては、沿岸域では実現できない大規模な養殖システムを設置し、あるいは海域全体の生態系を高度に管理しながら、漁獲による資源利用システムを運用することも視野に入る。

生産が拡大するにつれ、大規模集約化が進むなかで発生する諸問題を回避しなければならない。環境への影響とそれらを軽減するための対策を理解することは、責任ある生産システムを設計するために重要である。James et al.（2013）は次の四つの目標を掲げている。

① 生産のあらゆるレベルの集約度でより効率的で多様なシステムを作成するための管理実践の改善。
② 地域の意思決定、人材育成、社会的制約と要求に適合する生産的なシステムを生み出すための結集した行動に重点を置く。
③ 疾病の問題を減らし、抗生物質や薬物の乱用を排除し、地先の水域への外来生物の侵入を阻止するすべてのシステムに向けたリスク管理努力の開発。
④ 市場および個人消費者に対して、持続可能な条件で育てられた生産物をより良く差別化し、促進するためのシステムの構築。

イノベアクアファームでは、これらの条件を満たすことで、その生産システムに対する社会からの信用と信頼が得られ、生産物の付加価値も高まる。さらに、環境教育や社会教育の場や素材として、幼児教育から高等教育、生涯学習に至るまで広く利用されるであろう。

（３）陸からのアクセスが容易な沿岸・内湾域におけるイノベアクアファーム

ここではまず、陸からアクセスしやすく、後述する沿岸型の洋上都市とも連結できる沿岸、内湾を想定したイノベアクアファームの構想について述べる。

養殖においては単一種を扱うことがほとんどで、給餌養殖では漁獲された多獲性魚を飼料の原料とする収奪型、無給餌養殖では一次生産者である植物プランクトンを天然の飼料として取り込む環境依存型の形態となっている。これら二つに大別される養殖の形態に生態系の概念を取り入れ、窒素やリンなどの物質収支が偏らないように制御された balanced ecosystem management（McVey et al., 2002）を実現することが望まれる。

そのためには、複合養殖における経済性と有用性を成立させるための技術開発や評価手法の開発が必要である。養殖では、発生する老廃物（尿や糞、残餌など）や廃棄物が

環境中に放出されることがないゼロエミッションが理想である。しかし、老廃物を放出させないことは実際には不可能であり、その量を減らすとともに、他の栄養源として利用可能な形に変えることが必要である。

その手法として、閉鎖循環養殖のシステムなどを取り入れ、固形物は回収し溶存態の成分は無機化して排出する方法や、IMTA（Integrated Multi-Trophic Aquaculture）(Chopin et al., 2004）のような複合養殖（例：表層で給餌養殖を、その底層で糞や残餌を分解・利用する無給餌養殖を行う）を取り入れ、窒素やリンなどの物質収支のバランスをとることなどが考えられる。そのためには、高度処理や複合養殖の経済性と有用性を成立させるための技術開発や評価手法の開発が必要である。

IMTAは、産業的に採用される段階には至っていない。定性的な概念は構築されているが、物質の収支や食物連鎖の関係を定量的に連結するハードウェアが整備されていないためであると考えられる。そこで、IMTAの概念を包含し、ハードウェアである生簀や水槽、周辺の設備といった一連の要素が有機的に連結された未来型の養殖プラットフォームをイノベアクアファームとして提唱する。

イノベアクアファームは、安定したプラットフォームの製作技術、情報の集約と分析・応用、AIによる各種オペレーションの自動化・無人化、洋上でのロボティクスによる省力化などにより構成される、生態系機能が有機的に連携された生産基盤となる。例えば、食物連鎖の高い位置で行われる給餌養殖では多くの糞や尿、粘液などが排出されるので、これらを直接海底に沈降させたり、周囲の水塊に拡散させないように生簀の構造に工夫を加えたりする。排出された有機懸濁物を濾過摂食する二枚貝などの濾過食者を周辺に配置し、さらに外縁には栄養塩を吸収するように海藻や微細藻類の養殖・培養を行う。二次的に生じた糞などを含む固形物を吸収するナマコなどの堆積物食者も配置し、可能な限り系内での物質循環を成立させる。

このシステムは、食料としての有用生物のみでは駆動できないであろう。自然の生態系の構成員となっているベントス類や甲殻類、微生物や原生動物の力を借りることが必要だ。各構成員間の物質フローをつなぐインターフェースには、様々な環境要素のモニタリングを行い、生態系機能（例えば物質の転換速度）の差異に応じて物質の排出量や移送量を変えたり、酸素供給を増やしたりする補助的なオペレーションが必要になるであろう。

このような統合的なシステムで生産された水産物は、沿岸の洋上都市で消費されるほか、近隣の消費地にも輸送されて消費されることになる。イノベアクアファームが属する洋上都市において物質収支が均衡すれば、都市を含む全体の物質循環系の一部として機能することになり、収奪や負荷のない自立型の生産システムが実現したことになる。

（４）洋上を漂う自立型のイノベアクアファーム

イノベアクアファームは、陸から離れ、洋上を漂う形態も考えられる。後述する沖合型の洋上都市に結合する形が、その一例である。

日本近海の海域平均海面水温の上昇率は世界平均より大きく、100年間で1.1℃と言わ

れている（https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/shindan/a_1/japan_warm/japan_warm.html）。ローカルに見ると、例えば松島湾では34年間で1.35℃も上昇しており（福地ら，2011）、内湾域ではより早く温暖化の影響が顕在化しているといえる。

このようなトレンドにおいて、これまで養殖が行われていた海域の水温が対象生物に適さなくなった場合、その養殖を継続できなくなることが懸念される。これに生物学的に対応するためには、対象種を変更するか、高温耐性の系統を選抜することなどが考えられる。しかし、こうした方法だと、生理状態の変化に伴う成長や成熟条件の変化や、水温以外の水質環境や疾病などの発生条件が変化するといった困難も予想される。

これに対し、イノベアクアファームでは、対象生物の特性に合った環境そのものを創出する、あるいは適切な環境が得られる海域に移動して養殖を継続するといったアプローチが考えられる。これが、洋上を漂う自立型のイノベアクアファームの基本的な姿である。

養殖施設が内湾から外海に面した海域に進出する事例は、1990年代に米国が主導したoffshore aquacultureの研究に伴い、沈下式の生簀がニューハンプシャー沖やテキサス沖、ハワイ沖に設置されたのを皮切りに、韓国やノルウェー、中国などに広がっている。特にノルウェーでは、北海油田の浮体設置技術をベースに大規模な沖合養殖施設を設置して、養殖場の沖合進出のプロトタイプを形成している。

こうした沖合設置型の養殖施設だけではなく、外洋を航行するタイプの養殖施設も出現しようとしている。大規模養殖の先進国となっているノルウェーは、寄生性の甲殻類の一種であるサケジラミSalmon louse（Lepeophtheirus salmonis）の被害に直面し、サーモン類の養殖生産が頭打ちになっている。このため、サケジラミ被害の防止のための養殖場の沖合化が喫緊の課題となっていて、すでにNSK Ship Design社によって設計されたHavfarm１という養殖生簀を備えた巨大な船（全長385m、幅59.5mで１万トンのサケ類を収容可能）が中国で建造された。2020年秋には大西洋サケの幼魚が収容されて、養殖試験が始まっている。また中国には、2022年に全長249m、10万トン級の船内に養殖水槽を備える巨大船を建造する計画がある。2020年には3000トンのパイロット船が試験運転を始めており、大型船の稼働に向けた各種のデータが取得されるという。（http://dzrb.dzng.com/articleContent/705_808510.html）

しかし、これらの大型船を用いた可動式の養殖施設は適切な海洋環境を求めて移動するものであり、養殖による生態系への影響を薄めることはできても、生態系への調和を積極的に図ることを目的としてはいない。

私たちが提言する「洋上を漂う自立型のイノベアクアファーム」は、高度な生態系管理を前提とする養殖プラットフォームとして、物質循環を通して生態系や環境への影響を最小限にとどめる持続可能な生産拠点を目指す。また、沖合型の洋上都市と接続することにより、エネルギー供給を化石燃料に依存しないシステムを構築する。例えば、風力発電や太陽光発電、温度差発電（OTEC）などの施設との接続によってカーボンニュートラルを満たしつつ、養殖に必要な給餌、データのモニタリングと監視、排せつ物処理、水処理などのシステムを稼働させるエネルギー源とする。

イノベアクアファームで生産された水産物を遠い陸域の都市部まで輸送するには、多くのコストとエネルギーが浪費されてしまうので、この場合は洋上都市との接続が必須の条件となろう。また、この洋上都市が海上交通、場合によっては空路の拠点であれば、中継地として陸域への海産物の輸送も現実的になる。そのためには、生産だけではない加工施設や保蔵施設も整備されたプラットフォームが構築されるであろう。

また、沖合に生産拠点を設けることにより、特に深層水を利用することによって、冷たくて細菌が少なく、かつ栄養塩の多い海水を供給することで、生息環境条件が異なる複数種類の魚介類を取り扱うこともできるうえ、洋上プラットフォーム周辺の海域の一次生産力を上昇させ、食物連鎖を通じた漁場の形成にもつながることが期待される。

（５）担い手の育成

水産資源や環境の変化に加えて、産業構造の高度化と経済成長が進むなかで、先進国でも発展途上国でも、水産業を担う人々や地域をいかにして維持していくかが課題となってきた。日本の水産分野においても、過疎や高齢化が問題になってからすでにかなりの年月が経過しているが、様々な政策がとられてはいるものの、なかなか全国的な解決には至っていない。

イノベアクアファームの展開にあたっては、その担い手についての議論が不可欠である。高い付加価値の生産物によって経済的に自立できるアクアファームでは、自ずと担い手は確保できるだろう。その一方で、生産やシステムの維持には高度な技術が不可欠になるため、専門性の高い人材の供給が新たな課題になる。「Ⅲ.　海洋テロワールを支える人材の育成」で詳しく述べるとおり、様々なバックグラウンドを持つ高度な技術者の参画を促す仕組みが必要になる。

（６）イノベアクアファームにより実現する未来の水産業と波及効果

イノベアクアファームは、生態系を高度に管理しつつ、適切な人工的構造物の設置や多様な養殖システムを組み合わせた統合的なシステムを構築して、漁業生産と生態系や環境の維持を両立させるものであり、持続可能な未来の産業や人類の活動空間デザインのモデルになり得る。高い付加価値をもつ生産物によって高収益な産業構造を実現し、地域社会の活性化にも貢献できる。生産量が様々に異なる多様な生産物を対象にすることで、地域に根差した小規模経営によって担われる部分と、広域的で大規模な企業体によって担われる部分の双方が共存的に成長することのできる産業構造を実現したい。沿岸地域の特性を生かした高付加価値生産物は、海洋テロワールのコンセプトの具現化に他ならないが、同時に地域社会の活性化や人材確保に直結できるもので、特に日本や諸外国の豊かな食文化を守り発展させていくことにもつながっていく。また、生態系の高度な管理による持続可能な生産システムは、多様で美しい沿岸環境の保全とも一体であり、地域コミュニティーに様々な生態系サービスをもたらし、生物多様性の保全にも貢献できる。

このように様々な方面への波及効果も含めて、海の恵みを持続的に享受できる仕組み

をグローバルに展開することを目指すのが、イノベアクアファームの構想である。

文献）
Chopin, T., Robinson, S., Sawhney, M., Bastarache, S., Belyea, E., Shea, R., Armstrong, W., Stewart, I., Fitzgerald, P., 2004. The AquaNet integrated multi-trophic aquaculture project: rationale of the project and development of kelp cultivation as the inorganic extractive component of the system. Bulletin of the Aquaculture Association of Canada 104, 11-18.
福地　信一　阿部　郁子　佐々木久雄　藤原　秀一（2011）宮城県沿岸域における表層水温のトレンド―ダミー変数を用いた重回帰分析による推定―. 宮城県保健環境センター年報, 29, 73-78
James S.D., H.S. Egna, T. Chopin, M.S. Peterson, L. Cao, R. Pomeroy, M. Verdegem, W.T. Slack, M.G. Bondad-Reantaso, F. Cabello(2013) Responsible Aquaculture in 2050: Valuing Local Conditions and Human Innovations Will Be Key to Success, BioScience, 63 (4), 255-262
McVey J.P., Stickney R.R., Yarish C. and Choppin T. 2002. Aquatic polyculture and balanced ecosystem management: new paradigms for seafood production. In: Stickney R.R. and McVey J.P. (eds) Responsible Marine Aquaculture. CAB International, Wallingford, UK. 91-104

２．豊饒の海を支える「洋上都市」の実現

（１）海洋テロワールにおける洋上都市とは

①　洋上都市は、海洋テロワール実現のためのベースキャンプ

海洋テロワールは、海洋環境負荷を極限まで減らし、来るべき未来技術を活用して「海と人との新しい接し方」を創り出すことから始まり、地域の気候・海象・生態系などの自然風土や人々の伝統・文化・生活を損なうことなく海域利用に融合させることで、豊饒の海という新しい価値と持続可能性を実現する。このような海洋テロワール構想のなかで、洋上都市は、私たちが「海と人との新しい接し方」に挑戦する「ベースキャンプ」の役割を担うことになる。

②　洋上都市は、海のグローバルコモンズを支える共通インフラ

洋上都市は必ずしも巨大なスケールに限定されない。時には海洋都市と呼ばれる規模、時には離島や過疎地域の地方創成拠点の規模、あるいはエネルギーや水産資源や海洋観測などの海洋プラントを支える海洋工作物の規模まで、様々な立地、規模、用途が想定される。

いずれのケースにおいても、ベースキャンプである洋上都市には、海洋テロワールの厳選された理念、規律、基準、技術やシステム、社会制度やライフスタイルなどのハードおよびソフト面での「新しい海と人の接し方」が標準装備されることが必要で

ある。それにより、海をグローバルコモンズとして捉える海洋テロワールの理念が世界に浸透していく。

③　洋上都市は、海のSociety　5.0を実現するモデルプロジェクト

現在の延長ではない新しい地球の未来を実現する試みとして、2015年の国連サミットで採択された「持続可能な開発目標（SDGs)」における「気候変動に具体的な対策を」（目標13）や、「海の豊かさを守ろう」（目標14)、さらには2021年に始まった国連の「持続可能な開発のための国連海洋科学の10年」が挙げられる。「海と人の新しい接し方」に挑戦する海洋テロワールのベースキャンプとしての洋上都市は、「海のSociety　5.0」を実現する海洋モデルプロジェクトとして、関連するあらゆる未来技術の集積拠点となる。

（２）洋上都市の市場と技術の現状

①　過去・・・浮体式石油掘削リグの時代

浮体構造物の草創期は、石油のための海底石油掘削リグを対象とし、波や風による動揺に対する「構造安定性」を主体とする技術集積から始まった。石油掘削機能に特化したものであり、環境配慮、居住性、長寿命化などは限りなく必要最小限であった。

②　現在・・・浮体の土木・建築の時代

１）交通インフラ（橋梁、空港）

・**橋梁**：北欧の入り江は、フィヨルドで川底が深く橋脚が地盤に届かないため、中規模な浮体橋が普及している。大規模な浮体橋としては、大阪のオリンピック誘致に呼応して建造された夢舞大橋が、客船通過の際には回転して航路を確保する必要から、浮体方式の橋梁となっている。巨大な橋梁の浮体構造化は、世界の各所で企画検討されている。

・**空港**：日本では、東京湾の横須賀沖で浮体空港の実証実験を半年間行った。オランダのスキポール空港も、以前は浮体空港化の検討がされたことがある。現在は民生用、軍用を問わず、世界の各所で企画検討されている。

２）居住施設（住宅、ホテル、商業・飲食）

・**実例**：オランダは干拓により国土を拡張してきた国であり、水面と陸地の近接性や親和性が高いため、現在すでに２万戸の住宅が浮体住宅といわれている。アムステルダム近郊のアイブルグ地区のような「都市的な浮体住宅群」も実現している。特筆すべきことは、単なる浮体技術だけでなく、水面もしくは水底利用権の登記、浮体建築に対する損害保険の審査、金融機関の融資審査という技術の社会実装のための制度が定着していることである。またアイブルグの浮体住宅群では、浮体住宅をつなぐ浮体通路（桟橋）をアムステルダム市が公共道路に認定している。つまり行政は、浮体通路（桟橋）に対しても、上下水道や電気などの都市インフラを陸地の道路と同様に敷設・供給する義務を負う。これらの広義の技術・制度開発によっ

て、洋上都市を社会実装する可能性が大きく進展した。

・**市場（地域）**：北部欧州（イギリス、フランス、オランダ他）および北欧周辺国（フィンランド、ノルウェー、スウェーデン、デンマーク、エストニア他）では、ホテルや商業・飲食や病院の浮体建築の実例や計画案が数多く見られる。南太平洋では、タヒチの浮体アイランドプロジェクトが実現に向けて動き出している。赤道に近い低緯度地域は、波や風の海象条件に恵まれているため、シンガポールなどで各種浮体構造の実例や計画が散見される。

・**市場（用途）**：近年は、大量の発熱を伴う「データセンター」施設の浮体化が、海洋が持つ天然の大冷熱源というポテンシャルを生かして省エネ・省CO２を図る目的で企画されている。シンガポールの浮体データセンター計画や、米国西海岸での実験、北欧地域での企画構想なども散見され始めている。

③　未来・・・トータルシステムとしての海洋未来都市の時代

海洋環境負荷を極限まで減らし、来るべき未来技術を活用して海と人との新しい関係を構築するという海洋テロワールの理念に呼応する洋上都市の未来構想が提示され始めている。現時点の主なFLOATING CITY構想を下記に例示する。単なる浮体都市を超えて環境や安全などの新しいニーズに対応したトータルシステムとして提案されていることが共通の特徴である。（海洋未来構想については「Ⅰ．３．（１）．⑤　海洋空間で居住もしくは生産を行うシステム」を参照）

・OCEANIX CITY（国連：UN Habitat, MIT, BIG, OCEANIX）

海面上昇対策に対するFLOAT CITYを軸に、洪水・地震・津波対策や、エネルギーや食糧などの自立を図る。

・BLUE REVOLUTION（オランダ：Blue21）

異常気象への脆弱性に対応。栄養素をリサイクルし、水質を維持し、外部エネルギー源や世界の食糧生産システムへの依存度を削減する。

・GREEN FLOAT（日本：SHIMIZU CORPORATION）

２分野の未来技術イノベーションを統合し、新しい都市、産業、生活、文化を創出。

GREENイノベーション（ゼロカーボン、エネルギーと食糧の自給自足、資源循環）

FLOATイノベーション（海面上昇、地震・津波の自然災害、環境に優しい造成）

（３）海洋テロワールにおける洋上都市の課題と提案

私たちは埋立式造成や干拓式造成などで活動の場を海洋に広げ、それが産業や都市の拡大発展に大きく寄与してきたのは事実である。しかしそれは、海洋テロワールという海洋環境負荷を極限まで減らす「海と人との新しい接し方」に、必ずしもなじまない。

浮体式造成という手法は、潮流を始めとする海洋環境や河川環境の変化を抑えることで、生態系への環境負荷を低減できる。その意味で再評価されるべきである。

また、浮体式造成であるがゆえに、海面利用権を一定年数（例えば100年）に限定し、都市の役割や機能の変化に柔軟に応じていくことも可能でもある。さらに、必要な構造

を少しずつ自由に継ぎ足せるPlug and Play FLOAT CITYは、大規模一括造成を基本とする埋立や干拓に比べて、小さく造って大きく育てることが可能であり、極めてフレキシブルで環境に優しい。

浮体都市は、構造安定性を中心に技術と実績が集積されてきたが、新しい未来、新しい理念の下では、新しい性能や価値を持たなければ存在し得ない。地球環境の維持や自然災害の軽減に海の潜在力を生かす「人と地球に優しい」洋上都市や、持続的な生産が可能で海を汚さない「自然と生態系に優しい」洋上都市の技術や実証によって、まったく新しい海の利用が開けてくる。

① 地球環境と自然災害に対し、海の潜在力を生かした「人と地球に優しい洋上都市」

【現状と課題】

CO２削減に対して多くの技術開発が進行中である。だが、その際、「海洋の持つ潜在力を生かす」という視点は必ずしも共有されているわけではない。海洋ならではの技術を、単体の技術としてではなく、トータルなシステムとして最適に統合し、その効果を最大化することで、新しい「人と地球に優しい洋上都市」の可能性が生まれる。

また、地球温暖化による海面上昇や洪水は、世界の多くの国で国家として対処すべきリスクだという認識が広まりつつある。また地震国特有の地震と津波の対策も、国家として取り組むべき課題である。浮体構造の洋上都市は、この二つの国家的リスクを同時に解決するものである。

【提　言】

ｉ）地球環境：ゼロカーボン、省エネルギー、省CO２

エネルギー消費に起因するCO２の削減は、消費エネルギーそのものを削減する「省エネ」、太陽光や風力などを活用した「創エネ」、エネルギー消費のピークカットのために余剰エネルギーを事前にためておく「蓄エネ」の三つの手段がある。従来の省エネ、創エネ、蓄エネ技術に、海洋の持つ潜在力を生かした技術を加え、トータルシステムとして最適制御することが期待される。

・省エネ・・海水の持つ大量の冷熱源を生かす

エネルギーの消費効率を高める以前に、エネルギーをできるだけ使わないことが大切である。都市や建築やプラントでは、熱を冷却するために多くのエネルギーが消費されている。都市部の大規模ビジネスオフィスの多くは、冬でも冷房をしている。昨今需要が高まっているデータセンターは、サーバーから発生する熱の冷却に大量のエネルギーを消費している。海洋は無限に近い冷熱源の宝庫である。冷熱源を大量のエネルギーを投じて生成する必要はない。

・創エネ・・海洋型スマートシティー

洋上風力発電は、すでに本格的な取り組みに着手されているが、発電側のサプライ（発電量）と都市側のデマンド（消費量）を24時間常時バランスさせる最適制御が課題である。

海流や潮汐による発電や、深海域の海洋温度差発電（OTEC）などの海洋が潜在的にもつすべての再生エネルギーを取り込み、トータルで制御するいわゆる「海洋型スマートシティー」が期待される。

・蓄エネ・・洋上風力発電＋グリーン水素貯蔵

洋上太陽光発電を利用し海水から水素を作るグリーン水素事業が推進されているが、将来は沖合の浮体洋上発電に近接して、海水電気分解＋水素貯蔵の拠点を洋上に設置することも考えられる。

ⅱ）自然災害：海面上昇、地震・津波・洪水

・海面上昇を想定した浮体都市、浮体インフラ

海面上昇に対して浮体構造は追随性が良い。その際、既存の都市機能と洋上都市機能、既存のインフラと洋上インフラのすみ分けや役割分担を伴う「都市のゾーニング」を実施するための計画技術が求められる。

・地震や津波に対する浮体型の防災拠点都市

東日本大震災の津波で多くの土木・建築物が流出したが、浮体桟橋が浮体ゆえに津波を乗り越え、流出も破壊も回避した例がある。係留方法に工夫が必要だが、浮体構造が津波に対して強じんだった事例である。防災避難だけでなく、復興拠点となる基幹都市機能や基幹都市インフラへの本格的な浮体構造導入が期待される。

②　持続的な収獲生産が可能で、海を汚さない「自然と生態系に優しい洋上都市」

【現状と課題】

多様な自然生態系の保存と再生は、海洋テロワールにおいて求められる重要なキーワードである。イノベアクアファームの基本理念である持続的な収獲生産が可能な多様な生態系再生と連携し、従来の延長とは異なる「海と人との新しい接し方」が求められる。

また、海洋マイクロプラスチックを始め海洋汚染に対する対策は喫緊の課題であり、様々な立地条件に応じて、海を汚さないトータルシステムが必要である。

【提　言】

1）イノベアクアファームの基本理念と連動した洋上都市

沖合から沿岸までの各地域の自然環境、生態系、産業構造、生活や文化に寄り添い、人と生態系の良好な関係を改めて構築することにより、現在の延長にはない新しい未来都市として洋上都市を造る。その際、イノベアクアファームが掲げている、IMTA（Integrated Multi-Trophic Aquaculture）などの複合養殖概念に基づく未来型の養殖プラットフォームという基本理念と呼応させることも可能で、広大な海を活用した海洋産業の高次産業化や人類と海洋生態系の親和性を創り出すことができる。養殖においては、沿岸では閉鎖循環養殖システムなども取り入れ、排出物の回収や無機化などによる管理を重視し、また沖合では生態系への施肥効果を重視し、高度な管理により養殖プラットフォームを本来の生態系物質循環に埋め込むことを

想定している。

２）海を汚さない洋上都市・・サーキュラーエコノミー都市

・サーキュラーエコノミー（循環型経済）

従来の「Take（資源を採掘して)」「Make（作って)」「Waste（捨てる)」というリニア（直線）型経済システムではなく、「廃棄」されていた製品や原材料などを新たな「資源」と捉え、廃棄物を出すことなく資源を循環させる経済の仕組みを、洋上都市群というクローズドサイクルの中で実現する。

・洋上都市の海洋汚染防止

例えば下記のような基本項目をトータルマネジメントシステム化する。

例）流れ：海流、潮流、河川の流れに対する影響の最小限化

例）水質：流れを確保し、水質（水温、塩分、溶存酸素量など）を維持

例）プランクトン：植物プランクトンはムーンプールや浮体下の流れにより対応

例）底質：浮体下の流れを確保することで、自然浄化のサイクルを期待できる

例）底生生物：水質、底質とも浮体下と浮体外で差が少ない状態を実現可能。浮体底から脱落した付着生物およびその死骸は常時モニタリングで対処。

（※　日本造船センター　メガフロートの紹介HPの内容を一部加筆修正）

さらに、海洋に拡散している浮遊廃棄物の収集や処理の最前線に立つ拠点としても貢献できる。

（４）洋上都市のプロトタイプ

①「沿岸型」洋上都市：Plug and Play FLOAT

１）立地想定：桟橋やブリッジで陸上と連結されている沿岸海域

主に地政学的（地方や離島)、地形的（海面上昇リスクなど）なハンディキャップのある地域において、都市居住とほぼ同等な機能をもつMega Float洋上浮体都市構想。SDGsの趣旨である「あらゆる人々の活躍のための成長市場創出、地域活性化」を実現する。地域ごとに求める機能は異なり、地域の成長に連動して時とともに求められる機能は変化するため、可変性の高いPlug and Play型の洋上都市を提案する。

２）洋上都市としての特徴

・自由な成長：必要な時に必要な機能をPlug and Play的に増やすことが可能。

・自由な移動：機能の連携や拡張ニーズの変化に応じて、移動・再配置が可能。

・脱現地施工：安価で製造しやすい場所で浮体を製作し、遠隔地に曳航し設置。

３）イノベアクアファームとの関係

「沿岸生態系＋人工構造物＋未来型養殖」の一体構成生態系プラントを構想する。

・持続可能で生産物特性に最適な環境を創出する生産システムの構築。

・環境データから生態系（環境、生物群集、物質循環）を高度に管理。
・アクアファームそのものは、沿岸域では、養殖に伴う排せつ物などの影響が沿岸環境に大きな影響を与えるので、可能な限り閉じた系をつくることが必要。

洋上都市機能にイノベアクアファーム機能を付加することにより、都市機能の持つ集客情報発信、製造、省エネ・環境浄化機能などと融合し、養殖システムの高次産業化に貢献する。

例）商業や宿泊機能と連携し、新たに生まれる「新鮮さという食文化」を発信
例）展示やアミューズメントと連携した、多段階の生態群集管理などの実体験
例）研究開発や加工製造と連携し、おいしさを追求する食文化への高度化
例）自然エネルギーや海水浄化機能のイノベアクアファームへの活用展開

４）機能構成と構想イメージ

沿岸域：Plug and Play FLOAT（右下部分がイノベアクア想定ゾーン）

５）空間利用イメージ例

・施設：防災基地（避難・備蓄・救助）、アミューズメント、集会、コンベンション、ホテル、リゾート、データセンター、IoT & AI　拠点、医療福祉、高等教育など
・設備：給水（淡水化）、発電（再生可能エネルギー）、ゴミ処理、リサイクルなど
・交通・物流：旅客ターミナル、コンテナヤードなど

６）要素技術と基準整備

・台風などの厳しい海象条件に耐える浮体構造物
・一定水深より深い海域での安全な定点保持係留システム
・浮体の長期耐用メンテナンス技術
・エネルギー、資源循環の完全自己完結型トータルシステム
・国際法を含む関連法規・基準の整理と整合性

② 「沖合型」洋上都市：Integrated Ecofriendly FLOAT

１）立地想定：陸上とは隔離し、船によるアクセスに限定される沖合海域

統合マルチトロフィック養殖（IMTA＝Integrated Multi-Trophic Aquaculture）を実現できる沖合海域を想定している。波や風を中心とする海象条件は極めて厳しいため、複数浮体群ではなく、大規模一体型の浮体構造とする方が構造安定性からみて望ましい。

２）洋上都市としての特徴

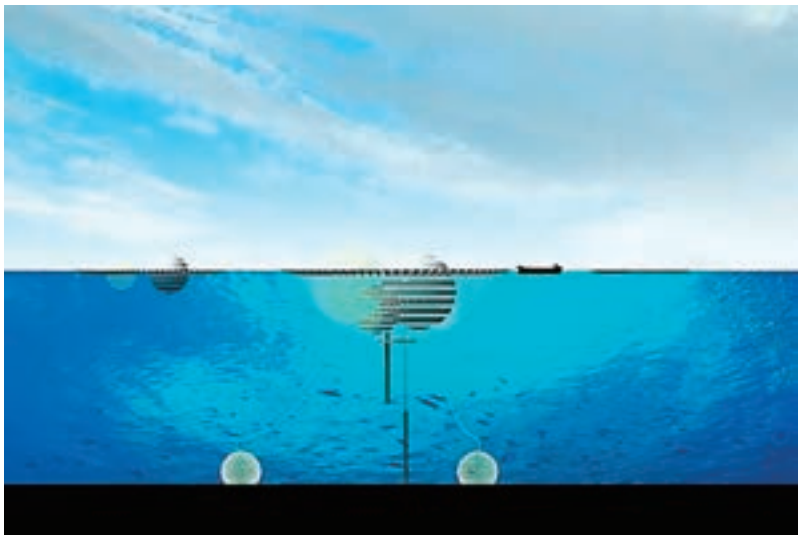
・厳しい海象条件に対応しやすい大規模一体型の洋上浮体都市
・海上だけでなく海中も含めて、多様な生態系と親和性のある浮体構造

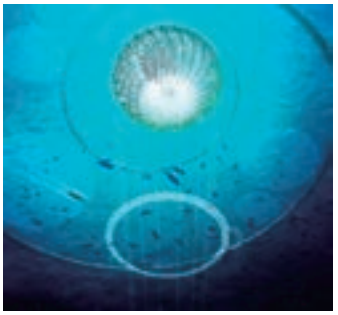
３）イノベアクアファームとの関係

広大な海洋空間を活用する「未来型漁業」と一体として構成する。

・養殖システム内外の生態系全体で物質フロー制御、生物群集管理
・すべてのプロセスが「省力化」「自動化」、自然エネルギー利用
・アクアファームからの排せつ物は、沖合域では、溶存無機態にして周辺海域に放出すれば栄養塩として生産力の向上にもつなげられるので、これらを一体にして広義のIMTAを構築することができる。

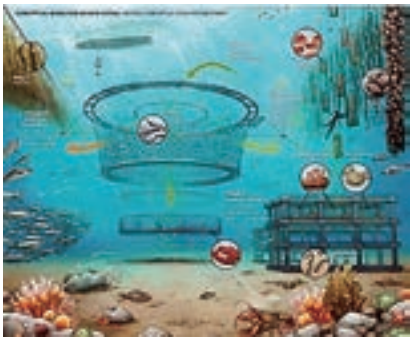
４）機能構成と構想イメージ





沖合型域：Multi-Trophic Aquaculture FLOAT

参考：統合マルチトロフィック養殖の考え方
(IMTA＝Integrated Multi-Trophic Aquaculture)
「Multi-Trophic＝一つの種のみを栽培し（単一栽培）、主にその種のニーズに焦点を合わせるのではなく、食物連鎖の様々なレベルからの複数の補完的な種の養殖を組み合わせ、自然の生態系を再生」



５）空間利用イメージ例

・施設：イノベアクアファームに付帯する研究開発拠点、アミューズメント、水族館、ホテル、リゾート、防災基地（避難・備蓄・救助）など

・設備：給水（淡水化）、発電（再生可能エネルギー）、ゴミ処理、リサイクルなど

・交通・物流：旅客ターミナルなど

６）要素技術と計画技術

・イノベアクアファームと連動した多様な海洋生態系への配慮のある浮体構造の在り方

・厳しい海象条件に耐える浮体人工島（セミサブ型を起点にコストダウン）

・一定水深より深い海域の安全な定点保持係留システム

・エネルギー、資源循環の完全自己完結型トータルシステム

（５）多種多様な洋上都市機能への対応

洋上空間利用の用途は、社会、地域、時代のニーズにより様々であるが、主に下記のようなバリエーションが考えられることを付記しておきたい。

①　居住系・・・都市・地方、海上・海中

・先端実験都市タイプ　例）海上イノベーション実験拠点

・地方再生タイプ　例）離島再生、世界の貧困地域、北極氷解地域

・海中居住タイプ　例）海中居住体験や海中アミューズメント

②　産業系・・・プラント（エネルギー／食料等）、NIMBY施設（Not In My Back Yard）

・エネルギー系タイプ　例）洋上風力発電、洋上LNG・水素・石油備蓄基地

・交通系タイプ　例）浮体空港、浮体橋梁

・食料系タイプ　例）農業、酪農

・NIMBY系タイプ　例）ロケット打上基地、ドローン＆空中自動車拠点

（NIMBY（ニンビー）＝英語：“Not In My Back Yard”（我が家の裏には御免））

Ⅲ．海洋テロワールを支える人材の育成

日本では少子化、大学進学における工学・理学部離れ、大学院進学者の減少が進み、今後一層の深刻化が懸念されている。理工系知識や技術を必要とする産業界では、すでに適切な人材確保が困難な状況にある。特に海洋産業分野では、その特性から海洋技術を支える優れた人材の確保はさらに困難であり、早急かつ長期にわたる継続的な対応を必要とする重要課題であるといえる。

理工系人材の育成策については、これまでに日本経済団体連合会や文部科学省、経済産業省から、また造船業や海運業などの海事産業に関しては、国土交通省から提言などが出されるとともに、第３期海洋基本計画でも人材育成について言及されている。さらに、2015年７月の第20回「海の日」特別行事総合開会式において、「2030年までに海洋開発技術者の数を１万人まで増やすことが目標」との安倍前総理の発言もあり、国としてまた産業界としても海洋技術者の育成に対する期待の大きさが推察される。

一方、本報告書のこれまでの議論において、海洋産業の一つの将来像として、海洋テロワール構想の実現に必要な新しい考え方と、そのために必要な技術課題が明らかにされており、それらを支える人材が新たに必要になると予想される。

人材の確保と育成における主要なフェーズは、「若年層および他業界人材の海洋への興味・関心の醸成」「海洋関係教育機関への進学」「海洋産業・関係機関への就職」「組織における人材の育成・活用」の４段階から構成され、それぞれへの取組が求められる。その一方で、限られた原資を有効に活用するため、効果的な取り組みに重点化することも必要である。また、海洋技術者の育成は、海洋の持つ国際性から、国際貢献にも十分なり得るものといえる。

海洋テロワール構想の実現に必要な考え方や技術課題を踏まえて、将来の海洋産業を想定した各教育段階での海洋教育と、海洋産業への憧れの喚起や産業・職業としての魅力、さらにキャリアパスへの理解増進による将来の海洋産業を担う多様な人材の創出について、以下に提言したい。

キーワードは「マリナイゼーション（marinization＝海洋化)」である。

１．初等教育から社会人教育まで切れ目のない「海洋教育による人材のマリナイゼーション」

地球表面の71％を占める海は、地球全体の気候をコントロールし、多様な生き物を育む。人類は太古よりその恵みを受け、さらに移動手段としても海を利用して生きてきた。人類と海との関わりは、古くは無限・自由の領域として、現代においては有限・協調の領域として多様化、複雑化し、地球環境問題、食料・水資源問題、エネルギー・鉱物資源問題、政治・経済問題など、海は人類の将来にわたる存続にも大きく関与する存在となっている。

しかし、このように重要な存在である海に対する私たちの理解、認識は、残念ながらはなはだ心もとない状況であると言わざるを得ない。日本は、周囲を海に囲まれ、世界６位の領海・排他的経済水域（EEZ）を有する海洋国であり、多様な意味で海は私たちの生命線である。まさに今、「海洋教育」の重要性と必要性を認識し、具体的かつ実質的な海洋

教育プログラムを、初等教育から社会人教育まで切れ目なく展開することが望まれる。

（１）初等中等教育へのアプローチ

【現状と課題】

・初等中等教育課程（小・中・高教育課程）において、海洋は、理科および社会の教科において関係する分野で部分的に取り扱われているにすぎず、海洋そのものの科学的学習や、海と地球や人類との関わりなどを総合的かつ系統的に学ぶシステムになっていない。

・大学・研究機関、水族館・博物館、日本財団などが、海を題材とした各種イベントの開催や、初等中等教育における総合的な学習の時間への協力、参画を行っている。だが、その一方で、海洋教育に関する体系的なコンテンツや教材・素材のパッケージなどは一般的に存在せず、現場の教員や指導者がその実践に困難を感じている[1)]。

【提　言】

・海洋教育に関わる教育・研究機関、水族館・博物館、各種団体などの連携の下、海洋教育の定義や意義を統一的に定め、それを教育段階ごとにブレイクダウンし、分かりやすくして各学習に取り入れる。

・海洋教育に積極的な教員、各種団体の指導者、水族館・博物館の学芸員などの人的ネットワークを構築することにより、人材や情報、教材などの可視化と共有化を図る。

・海洋教育12分野[2)]を参考に、教育現場のニーズを取り込みつつ、将来的に重視すべき項目を重点的に体系化した教育パッケージや副教材などを提供する。作成に当たっては、教育・研究機関、水族館・博物館、海洋研究開発機構（JAMSTEC）などとの連携協力を活用する。

・現在、環境テーマの大きな柱になっているSDGs「海の豊かさを守ろう」（目標14）や、この目標の達成に向けて「国連海洋科学の10年」で掲げられている取り組みなどと強く連携した海洋教育プログラムの開発を推進する。

・海洋教育における海洋の統合的理解（科学的および人文社会学的理解）の推進に当たっては、STEAM教育[3)]の手法を考慮に入れて教育コンテンツの作成・提供を推進する。特にその際、Ａ（Art：リベラルアーツまたは芸術）の部分において、海洋テロワールに密接に関わるグローバルコモンズやグローカルなどの概念に基づき、課題解決志向の内容を積極的に取り入れることが必要である。

・海洋教育の教材パッケージの作成において、大学・研究機関、水族館・博物館、

１）公益財団法人日本財団、東京大学海洋教育促進研究センター、公益財団法人笹川平和財団：「社会科担当教員の海洋教育指導に関する全国小・中学校アンケート」報告書、2017年５月。

２）出典：海洋政策研究財団「21世紀の海洋教育に関するグランドデザイン」
「生活・健康・安全」「観光・レジャー・スポーツ」「文化・芸術」「歴史・民俗」「地球・海洋」「物質」「生命」「環境・循環」「資源・エネルギー」「経済・産業」「管理」「国際」の12分野。

３）Science・Technology・Engineering・Art・Mathematicsの要素を盛り込んだ教育手法。

JAMSTEC、海洋産業、放送業界などが所蔵するコンテンツを集約し、コンテンツの使用の制約をできる限り低くする仕組み[4]をつくる。

・学習指導要領の海洋に関する記述を増やす。社会分野のみではなく理科分野への記述も進める。

・初等中等教育において、地球環境教育、SDGs教育の推進のために教科「環境」の導入を図り、教育段階の早い時期から、環境に対する自然科学から人文社会科学までの総合的かつ系統的な正しい知識と認識の醸成を図る。

（２）高等教育・社会人教育へのアプローチ

【現状と課題】

・現状において、海洋に関して学べる高等教育機関が非常に少ない。大学進学サイトで検索をしてみると、造船・海洋工学系を学べる大学は768大学中わずか14大学、水圏動物学（水産および海洋生物系）は約20大学という状況である。

・上記のような状況の下、海洋テロワールの提言のような海洋の将来像を実現するためには、多様な分野の人材が海洋の基本的知識を習得し協創していく必要がある。しかしながら、もともと海洋に馴染みのない分野の学生や社会人が、何かの機会に海洋に興味を持っても、どのような教育機関でどのような分野をどこまで学べばよいのか、あるいは学ぶことができるのかが分からない。

【提　言】

・海洋に関わる教育・研究を行っている高等教育機関、各種研究所などの連携を図り、海洋に関する分野別の教育パッケージを複数作成する。さらに、これらの教育パッケージを用いて、夏季休暇中などに短期集中型教育プログラムを、高等教育およびリカレント教育を含めた社会人教育において提供する。これにより、理工系のみならず、人文社会科学系分野も含めた異分野人材の海洋との接続が容易になる。

・海洋に関する文理複眼的知識と見識を有し、国際的にリーダーシップを発揮できる海洋人材を育成するために、大学院レベルの統合型海洋教育プログラムを、日本と海外の教育研究機関が共同で構築する。海洋科学のみならず、海洋・地球環境、資源エネルギー、国際・海洋管理などを広く含むプログラムである。特に、今日および将来にわたって重要となるグローカリゼーション（glocalization）やグローバルコモンズ、有限・協調の海の概念などを意識したプログラムづくりが必須であり、そうした教育を基礎に据えて、グローバルにもローカルにも持続可能で自然と調和した海洋テロワールを創造して行く必要がある。さらにMOOC（Massive Open Online Course）を利用することにより、こうした教育プログラムの国際的な展開が可能となり、国際貢献にも寄与することが期待される。

・上記における海洋に関する分野別の教育パッケージや、大学院レベルの統合型海洋

４）例えば、アメリカの公共放送PBS（Public Broadcasting Service）が運営するWebプラットフォーム「Learning Media」。

教育プログラムに対する教育の品質保証として、統一的な基準を設定し、その基準を満足するものに対して、各機関がサーティフィケートの発行を行う。例えば、CISOA（Certificate of Integral Study for Ocean Affairs）のような仕組みである。また、これらの教育的取り組みを継続的に維持拡充するためには、財務的な裏付けが必要であり、そのためには、これらの教育パッケージや教育プログラムに対する関係機関からの寄付行為や、有償化を含むビジネスモデルの構築が必要である。

２．海洋産業の可視化と効果的な情報発信による「キャリアパスによる人材のマリナイゼーション」

第３期海洋基本計画において、最近の海洋における情勢変化を踏まえ、「海洋の安全保障」の他、海洋の主要施策のひとつとして、「海洋の産業利用の促進」が掲げられている。

一般的に、海洋産業という言葉から連想される産業種別としては、水産・水産加工、海運・海事、造船、港湾・物流、石油・ガス採掘などが挙げられるが、近年では、メタンハイドレートやレアアース泥、洋上風力発電などの海洋由来のエネルギー・資源の開発、さらには、大型クルーズ船などによる海洋観光などの産業分野にも注目が集まっている。

また、地球温暖化やそれに伴い予想される気候変動などへの対策としても有効と考えられる洋上都市などの海洋空間利用分野も、今後大いに開発が期待される。海洋産業および今後産業化が期待される分野を支える技術と人材の裾野は、あらゆる分野に広がっている。

海洋産業が将来にわたって発展し続けるためには、いかにして良質の人材を産業界に送り込むのかが重要かつ喫緊の課題であるが、残念ながら、海洋産業に対する一般社会の認識は、それほど高くないと言わざるを得ず、この現状を打破するために、海洋産業の可視化と効果的な情報の発信が大いに期待される。

【現状と課題】

・海洋産業においては、メタンハイドレートの試掘のようにマスメディアを通して社会の関心を集める事例もみられるが、航空宇宙分野のような視覚的に目立つビッグプロジェクトが見えないため、若い人があこがれる産業分野になり得ていない。

・現状において、前述の海洋教育への関わりの多くは、教育・研究機関が中心で、海洋産業界の関わりは限定的である。海洋産業と海洋教育を受ける年齢層との関係が脆弱である。

・海洋産業にどのような仕事があるのか、その仕事に就くために必要な能力や知識は何かが明瞭になっていない。例えば、理工系の大学生が就職活動をする際、水産や造船、海事など海洋との直接的関係性がある分野を除いては、自身が学んでいる学問分野と海洋産業における職業とがつながらず、キャリアパスをイメージすることができない。

・本報告で強調している情報科学分野と海洋産業との関係性は、情報科学分野そのものが加速度的に進展し続けているため、十分に捉えきれている現状にはない。Society 5.0との関係も考慮すれば、今後最重要な課題である。

【提　言】

・食糧・エネルギー・環境などの人類共通の課題に貢献する海洋産業の重要性を発信

し、海洋産業の意義や魅力を可視化する。そのためには、海洋産業に関わる多くの企業や機関が連携し、それぞれの企業・機関の持つ海洋に関わる魅力を社会に届く形で発信することが重要である。そのために、例えば、人々にインパクトを与える夢のある海洋のビッグプロジェクトや、人々が想像もつかないような最先端技術などを集約したイベントの開催、SNS・ホームページ・ポータルサイトの開設、書籍の発行などによる産業界を主体とした情報の積極的発信を行う。

・本報告書で提案されている「イノベアクアファームを核とした、食と生態系の拠点洋上都市」（「Ⅱ．２．（４）洋上都市のプロトタイプ」参照）を、海洋産業分野において人々にインパクトを与える夢のあるビッグプロジェクトとして位置づけ、その実現のために必要な技術や能力を具体的に明らかにする。その該当分野に関わる大学生・大学院生、若手技術者などに積極的にアピールし、このビッグプロジェクトに興味と夢を持ってもらうようにすることにより、将来に向けた人材の育成確保につなげていく。

・最先端の情報科学を含むすべての理工系分野において、大学・大学院での教育や研究が、あらゆる海洋産業分野に役立つ知識や技術として大いに期待されていることに気付かせる仕組みを構築する。そのために、例えば、前記の海洋産業に関わる企業・機関の魅力やその職種の社会的意義などを集約したポータルサイトと理工系大学のホームページをリンクすることにより、産業界と大学を結び付け、海洋産業を学生の身近な存在として、３Ｋといったネガティブイメージの刷新を図り、海洋産業に関わる様々な職業やその職業に至るまでのキャリアパスの事例について情報の発信を行う。

・海洋教育の実施に当たって、これまで関与が薄かった海洋産業界の参画を積極的に図る。そのために、例えば、海洋教育実施の情報を一元的に集約したポータルサイトなどを作成し開示する。海洋に関わる企業などはそのサイトから情報を取得し、その企業のもつ現場や最先端の知識・技術についての情報を提供したり、実際に見学などの機会を提供したりする。

Ⅳ．おわりに

地球に生きる私たちの共有資源である海を持続可能な仕方でこれからも利用していくために、現代の、そして将来のテクノロジーは何ができるのか。それをこの社会に実装し、豊かで健やかな海を実現していくために必要な考え方はどういうものか。次の世代に残すべき「豊饒の海」の構想に際し、私たちは「海洋テロワール」の理念をその基礎に据えた。本報告を終えるにあたって、そこに託した思いと自戒を、ここで繰り返し強調しておきたい。

デジタル技術を基本とする情報通信技術の高度化や人工知能の応用などを見るまでもなく、現代のテクノロジーがこの社会と深くかかわり、不可分の構成要素となっていることは言をまたない。だが、これはテクノロジーと社会、より広くは科学と社会が良好な関係を結んでいることを、ただちに意味しているわけではない。

現代のテクノロジーが発展するスピードは、あまりにも速い。SNSを始めとする通信環境ひとつをとっても、社会がそれを受け入れることの適否を十分に議論する間もなくデフォルト化していく。これまで人類ができなかったことを可能にする新たなテクノロジーは、この社会を発展させる原動力でもある。だがそのとき、テクノロジーはシーズを提供するだけではなく、社会との調和をも考慮に入れたい。テクノロジーが真の意味で社会に貢献するためのあり方も同時に考えていきたい。私たちが議論の出発点に海洋テロワールを据えた含意は、そこにある。

私たちのイノベアクアファーム構想、洋上都市構想を実現するには、こうした新たな水産業を、街をつくりたいという社会の「共感」が不可欠であろう。ただし、高度なテクノロジーを理解しうる人々だけで、あるいは、その事柄について「あうんの呼吸」を知る人々だけで意思決定するならば、それは閉ざされた狭い共感の域を出ない。たまたま知っている隣人に対する同情的な共感ではなく、グローバルな地球環境に視野を広げた理性的な共感。海洋に関する高度な情報に誰でもアクセスできる環境を意識的に整備し、ともすれば閉ざされがちな「共感」をパブリックに開くこと。私たちは、海洋テロワールの理念を掲げることで、こうした海の民主化を忘れないようにしたい。

世界では、環境（E）、社会（S）、ガバナンス（G）の観点から投資先を選別するESG投資のうねりが訪れている。また、地球規模の環境問題や、食料問題・人口問題を始めとする社会的課題を解決することを重視する取り組みの活発化、そして、こうした問題の解決に海の科学を役立てる「国連海洋科学の10年」がスタートしたことも、海洋テロワールの実現と整合的であり、また追い風ともなるだろう。

本報告書は、工学系、理学系、水産学系のメンバーが中心となってまとめた。この構想を実現に向けて進めるには、さらにビジネスとしての可能性や社会学的な検討も必要になるだろう。本報告は、この公表をもってその使命を終えるわけではない。さらに広い議論の呼び水として活用していくことが必要であり、この先の社会の変化にも、海洋テロワールの理念を守りつつ柔軟に対応していくことが欠かせない。

地球表面の７割は海である。人類の持続的発展を支える場として将来世代に「豊饒の海」を継承していくことは、私たち現世代に課された責務でもあろう。

以　　上

付　記

本提言を取り纏めるにあたり、令和３年３月15日（月）にシンポジウムを開催し、有識者の方々より、海洋テロワールに関する以下のご意見をいただいた。

（参加していただいた有識者）

アバターイン（株）代表取締役CEO　　深堀　　昂　様

東京大学　総長特任補佐
東京大学大学院情報学環　副学環長　　中尾　彰宏　様

日本政策投資銀行　イノベーション推進室長　　竹森　祐樹　様

○海洋の魅力や価値は、未だ一般の人々には理解されていない。アバターや５Ｇのような最先端技術を活用することで、今まで体験できなかったことが体験できることで、その魅力を高めることができる。海の魅力を高めることが価値を高めることになる。

○海洋の価値を高めるためのもう一つの課題は、海洋の通信環境。海上、水中の高速通信の実現は、Beyond5Gのターゲットの一つ。洋上は衛星等の活用を図ることで対応できるが、問題は水中。様々な技術が検討されているが、大学やスタートアップにとって、こうした技術開発ができるテストフィールドが必要。

○海洋テロワールを実装の最初の一歩として、海洋テロワールの成功事例を示すことが有効。テストフィールドで、「地域課題」のソリューションを生み出すことは良い事例となる。

○こうした成功事例を創り出しながら、「企業」や「地域」と連携し、シンボルプロジェクトを立ち上げていくことも検討していくべき。

【参考資料】

日本工学アカデミー「海洋テロワール」に関する会合開催実績

本報告の作成にあたり、以下の会合を実施するとともに、多くの方々から有識者として貴重なご知見を提供いただいた。
（名称は全て敬称略。肩書は会議実施当時のもの）

Ⅰ．全体会合

○第１回　平成29年12月25日（月）
○第２回　平成30年３月28日（月）
○第３回　平成30年４月23日（月）
○平成30年10月２日（火）EAJ理事会　承認
　EAJメッセージ「海を知り、新たな恵みを拓く　“海洋テロワール”」
○第４回　平成30年10月12日（金）
　EAJメッセージを具体化するための提言案作成と５WGによる検討の決定
○第５回　令和元年12月13日（金）
　提言案の進捗状況確認
○第６回　令和２年３月27日（金）
　各WGからの報告及び取り纏め会合

　これ以降、座長と５WG主査を中心に提言案作成作業を実施

○令和３年１月28日（木）EAJ政策提言委員会　提言案審議
○令和３年２月１日（月）EAJ企画運営会議　提言案審議
○令和３年２月８日（月）EAJ理事会　提言案審議
○令和３年３月15日（月）提言に関するシンポジウム開催

Ⅱ．各WG

１．イノベフィッシュマネジメントWG（座長：神田委員）

◆　第１回（令和元年５月13日）海のテロワールとは？
　（１）基調プレゼン「海のテロワールとは？」
　　海洋研究開発機構　超先鋭研究開発部門　高井　研　部門長
　（２）基調プレゼン「水産における課題と工学的ソリューションの方向」
　　水産研究・教育機構　水産工学研究所　日向野　純也　所長

◆　第２回（令和元年８月26日）未来の養殖
　（１）「未来の養殖業」　浅海委員
　（２）「発生工学と育種を融合させた新たな種苗作出技術の開発」

東京海洋大学　吉崎　悟朗　教授

（３）先端事例と日本の水産業の課題

「～未来の海洋開発の在り方への提言～」

マリンスフィア㈱　寺田　充宏　代表取締役

◆　**第３回（令和元年11月28日）未来型漁業の在り方**

（１）「マルハニチロの養殖事業」　伊藤委員

（２）「魚類環境DNAメタバーコーティング法

～バケツ一杯の水で棲んでいる魚がわかる技術」

千葉県立中央博物館　生態・環境研究部　宮部長

（３）「人工漁礁と効果調査」水研機構水産工学研究所　土木工学部　桑原部長

◆　**第４回（令和２年２月25日）取り纏め**

（１）「沖合養殖の現状について」　北澤委員

２．海洋インフラWG（座長：北澤委員）

◆　**第１回（令和元年５月15日）**

話題提供と検討方法の議論

（１）「海洋再生可能エネルギーの現状」

東京大学　高木　健　教授

（２）「船舶分野におけるゼロエミッション化実現に向けた検討」

海上技術安全研究所　平田　宏一　環境・動力系長

（３）「自律船について」

海上技術安全研究所　間島　隆博　知識データシステム系長

（４）「深海探査技術の開発方向について」

海洋研究開発機構　永橋　賢司　研究プラットフォーム運用開発部門

技術開発部　次長

※以降、「海に住む」「海を結ぶ」「海に挑む」の３つのサブワーキンググループ（SWG）に分かれて検討

◆　**第２回（令和元年９月11日）**

（１）話題提供

「海底熱水鉱床　採鉱・揚鉱パイロット試験プロジェクト」

三菱造船　小松正夫　主席技師

（２）各SWGの進捗の中間報告

◆　**第３回（令和元年12月25日）**

各SWGの最終報告に基づき、海洋インフラWG報告書検討

【参考】

①　「海に住む」SWG

・第１回（令和元年６月27日）

前提条件の共有、空間利用の情報紹介、フリーディスカッション

ⅰ）「メガフロートの今までかかわってきたこと」
海上技術安全研究所　井上　俊司　特別研究主幹
ⅱ）「最近の海外のメガフロート事情」
清水建設株式会社　竹内　真幸　上席エンジニア（SWG　座長）
検討の方向性、提案骨子のアイデア、押さえておくべき重要項目について議論。

・第２回（令和元年８月５日）
「海洋空間利用のアイデア」を検討。各メンバーからの企画案の提案とそれに基づく議論。

・第３回（令和元年10月７日）
第２回WG（９月11日）での議論を受け、未来の可能性を提示する「海洋未来構想・開発テーマ」のアイデアを検討。

・第４回（令和元年11月11日）
SWG最終報告に向けた提案アイデアの検討
※以降、メールベースで、「海に住む」SWG最終報告案のまとめ

②「海を結ぶ」SWG

・第１回（令和元年７月29日）
「海を結ぶ」に関する検討事項について議論
完全無人（自律）船、
完全ゼロエミッション船
人の移動、観光、テレコミュニケーション等の斬新な構想についてアイデアが無いか考える

・第２回（令和元年８月30日）
「海を結ぶ」SWGの中間報告に向けた議論
※以降、第２回WGでの議論を受け、メールベースで、「海を結ぶ」SWG最終報告案のまとめ

③「海に挑む」SWG

・第１回（令和元年６月６日）
「海に挑む」SWGの進め方とスケジュール確認
取り上げるべきキーワードと深堀分担

・第２回（令和元年７月31日）
各深掘分担からの提案
「海を結ぶ」SWGの中間報告へのまとめ方について
※以降、第２回WGでの議論を受け、メールベースで、「海に挑む」SWG最終報告案のまとめ

３．将来の海洋観測手法の在り方WG（座長：藤井委員）

◆　第１回（令和元年６月12日）　市民参加型の海洋観測の事例

（１）「漁民による海洋観測（過去・現在・留意点）～漁民皆測？～」

静岡市　海洋産業クラスター協議会　水野アドバイザー

（２）「日本全国みんなでつくるサンゴマップ」

国立環境研究所　生物・生態系環境研究センター　山野センター長

（３）「参加型マイクロプラスチック環境教育国際プログラム～事例紹介とシチズンサイエンスに対する期待～」

海洋研究開発機構　経営企画部　島村調査役

◆　**第２回（令和元年12月５日）沿岸域から沖合がカバーできるようなデータネットワーク**

（１）「通信の民主化がもたらす革新
～地域における産業振興と地域課題の解決」

東京大学大学院情報学環　副学環長／総長補佐　中尾教授

（２）「宇宙と海洋連携～通信を中心に宇宙がどう貢献できるのか」

東京大学　航空宇宙工学専攻　中須賀教授

（３）「海洋・宇宙連携で実現するデジタル海洋情報創造社会」

笹川平和財団海洋政策研究所　渡辺特別研究員

◆　**第３回（令和２年２月17日）取り纏め**

（１）「OMNI～誰もが参加できる大規模海洋観測ネットワークの構築に向けて」

東京大学生産技術研究所　価値創造デザイン推進基盤　木下特任助教

（２）「バイオロギングによる新たな海洋観測」

海洋研究開発機構　付加価値情報創生部門アプリケーションラボ
宮澤ラボ所長代理

４．データ連携WG（座長：道田委員）

◆　**第０回（平成31年１月10日）**

メンバー顔合わせ

◆　**第１回（平成31年４月10日）**

海洋データ連携のあるべき姿に関するフリーディスカッション

◆　**第２回（令和元年９月５日）**

（１）「ESRIの取組み紹介と、ESRIの考える将来像」（下田委員）

（２）「海洋情報ベンチャーの取組み紹介と将来像」（石川委員）

（３）「TELLUSなど宇宙分野の取組みと海洋分野の将来像」（武藤委員）

◆　**第３回（令和元年12月17日）**

海洋データ連携におけるAIの活用について

産業技術総合研究所人工知能研究センター　地理情報科学研究チーム
中村　研究チーム長

◆　**第４回（令和２年２月６日）　取り纏め**

５．人材育成WG（座長：川上委員）

◆　第１回（令和元年６月14日）

WGの趣旨の共有、事務局による現状調査報告

（１）「海洋技術者とはどんな人材なのか？その育成と課題」（川上委員）

◆　第２回（令和元年８月７日）

（１）「将来の社会変化と海洋技術者育成」（島村委員）

（２）「海洋分野の大学・大学院教育の将来像」（神田委員）

（３）「海洋技術者の育成について」（小林委員）

（４）「海洋人材育成と海洋教育　高等学校の事例から」（酒井委員）

（５）「海洋技術者の育成について」（寺田委員）

◆　第３回（令和元年12月３日）有識者からのプレゼン

（１）「日本財団が取り組む人材育成事業等」（日本財団　海野常務理事）

（２）「Developing Ocean Industries～Experience from Norway」

（在日ノルウェー大使館　グランダム科学技術・高等教育参事官）

（３）「我が国の海洋産業と人材育成を考える」（海洋産業研究会　中原常務理事）

◆　第４回（令和２年２月14日）取りまとめ

本資料の内容の転載を希望される場合は、（公社）日本工学アカデミー事務局までご相談ください。

編集発行
（公社）日本工学アカデミー
〒 101-0064
東京都千代田区神田猿楽町二丁目 7 番 3 号ＨＫパークビルⅢ 2F
Tel：03-6811-0586　Fax：03-6811-0587
E-mail：academy@eaj.or.jp
URL：http://www.eaj.or.jp/