

今後の海洋科学技術の在り方について（案）

～国連海洋科学の 10 年、関連する主な基本計画を踏まえ～

令和 4 年 8 月 10 日
海洋科学技術委員会

<はじめに>

海は、地球表面の約 7 割を占め、地球環境に大きな役割を果たすとともに、多様な生態系を有している。また、古くから海運や水産など、人類に恵みをもたらす場として社会・経済活動を支えてきた。一方、海は津波や台風等の災害をもたらし、人類にとって、ときには脅威となる存在でもある。さらに近年では、地球温暖化に伴う気象災害の激甚化や海面上昇による海拔の低い地域への影響¹等が危惧されるとともに、海洋酸性化、海洋プラスチックによる海洋汚染等に伴う生態系サービス等の劣化が懸念されている。

また、海は未知の領域が多く、海底地形は全体の 20%程度しか把握されていない¹など、今なお人類に残されたフロンティアでもある。現在、基盤技術の開発を含め、多くの国で海洋科学への投資が増加傾向にある一方、我が国の投資は減少傾向²にある。四方を海で囲まれた我が国にとって、今後、洋上風力発電等によるエネルギー確保や海底資源開発など、海洋科学や海洋技術が果たす役割は大きく、産学官が連携して必要な財政的資源を確保しつつ、海洋に関する様々な取組を強化していくことが急務となる。

折しも、昨年(2021 年)から「持続可能な開発のための国連海洋科学の 10 年」及び「第 6 期科学技術・イノベーション基本計画」の実施期間がはじまり、国内外で海洋科学に関する関心が高まっている。我が国では、海洋基本法（平成十九年法律第三十三号）及び海洋基本計画に基づき、海洋に関する施策を総合的に実施しているが、2024 年度から実施を迎える第 4 期海洋基本計画の策定に向けた動きも始まっている。

このような中、本委員会では、今後の海洋科学技術において推進すべき分野と推進方策について検討を行った。検討にあたっては、国連海洋科学の 10 年の期間をひと区切りとし、また、第 6 期科学技術・イノベーション基本計画等で示された

- 幅広い分野間のデータ連携とデータ駆動型研究等の推進
- 研究デジタルトランスフォーメーション(研究 DX)による研究の高付加価値化
- カーボンニュートラルに寄与する革新的な技術開発の実施
- 経済安全保障の視点も含めた我が国の安全・安心な社会の実現
- 人文・社会科学の「知」と自然科学の「知」の融合による「総合知」の活用
- Society5.0 の実現に向けたサイバー空間とフィジカル空間との融合

なども念頭に議論を行った。

なお、海洋科学技術においては、継続的な観測や基盤構築のための研究開発に長い時間を要する。そのため、長期的視野に立った研究開発計画の策定、研究開発の特性を踏まえた適切な評価及び研究開発の取組・成果を国民に理解してもらうための努力が必要となる。また、これらは現在検討が進められている「海洋空間計画」策定においても重要となる。

本委員会では、この提言が第 4 期海洋基本計画策定に向けた提言となることを意図し、可能な限り幅広い視野で海に関する政策議論を行った。関係者には、この趣旨を十分に理解するよう、期待したい。

¹ 日本財団 GEBCO Seabed 2030 Project より

² the Global Ocean Science Report 2020 (UNESCO/IOC) より

1. 将来的な海洋調査観測システム及びデータ共有の在り方

(1) 海洋調査観測・データ取得について

海洋に関するデータは、海上での諸活動を支えるとともに、気候変動問題への対応や広大な排他的経済水域 (EEZ) を有する我が国の安全・安心な社会の構築に不可欠なものである。他方で陸域での観測に比べて高精度かつ高頻度で観測を行うことが困難なため、観測データが圧倒的に不足している。沿岸域から外洋、極域、また海面から深海、海底下まで、広くかつ深い海洋を包括的に理解するためには、観測データを格段に増やすことが不可欠であり、そのために必要な調査観測手法・体制を構築することが急務である。

比較的取得方法が確立されている物理・化学データ³から、取得・分析手法が多様で標準化が十分に確立されていない生物データ⁴まで、海洋データは多種多様であり、観測目的・対象に応じて、適切な調査観測技術を活用する必要がある。また、海底地形や海底地質等に関する情報は、災害対応をはじめとする国民の安全・安心の確保に重要な情報であるとともに、海洋産業にも影響するなど、その用途は多岐にわたる。用途に合わせて必要となる解像度と調査観測頻度でデータ取得を行うことが必要となる。

さらに、近年大きく進展するロボット工学（センシング・人工知能 (AI)・給電を含む）や航空宇宙工学、情報通信技術など、海洋以外の様々な分野でも洋上はもとより水中や海底にも応用可能な技術が存在すると考えられ、これら他分野の技術を取り入れることも重要である。

なお、海面上昇等の地球規模の海洋の状況を把握し、変化を捉えるには長期的な調査観測が重要となるが、広域かつ持続的な海洋調査観測にあたり、その実施は一国のみでないうるものではない。そのため、様々な国内・国際関係機関間の連携・分担により、持続的に調査観測を進める必要がある。

1) 調査観測技術の高度化

効率的・効果的な海洋調査観測には、その技術を絶えず向上させていくことが必須であり、技術の高度化に向けて以下の取組を実施することが重要である。

- 従前の研究船等での有人調査観測・サンプリングや、フロート、海底設置型観測機器、係留系観測機器、自律型無人潜水機 (AUV)、遠隔操作型無人潜水機 (ROV) などを用いた調査観測を着実に進め、技術の高度化（低コスト化等を含む）を図ること。
- AUV、ROV 等の海中ロボティクス、自律型無人洋上機 (ASV)、海底ケーブルの活用による新たな観測システム（分散型音響センシング、海中スマートセンシング等）などの研究開発を加速していくこと。
- AUV 等の隊列・協調群制御のための AI の活用や、海洋観測機器に新たなセンサー・電源等を組み込むためのモジュール化・共通規格化など、他分野の技術の進展等を踏まえつつ、研究開発を進めること。

なお、AUV には、広域な海洋の次世代観測システムとして、調査・観測用途に加え、洋上設備（洋上風力発電等）の点検や海洋状況把握 (MDA) など様々な用途が見込まれる。民間企業による投資の機運を醸成しつつ、各用途で必要となる AUV の仕様や機数等を基に、量産化も見据えて産学官連携での技術開発を進めていくことが重要となる。

³ 水温データ、塩分データ、海流データ、溶存酸素データ、栄養塩データ、pHデータなど

⁴ DNAデータ、生物分布データ、生物行動データなど

⁵ 航海安全の確保、海洋空間利用の適地判定、鉱物資源の把握、領海・延伸大陸棚等の範囲確定など

2) 海洋調査観測における国内・国際連携

海洋調査観測には、既存の国際的枠組み⁶が存在し、我が国はこれまでも一定の貢献を行ってきた。今後はより組織的・戦略的に以下の取組を実施することが重要である。

- 我が国の海洋調査観測の目的・ニーズ等を戦略的に、新たな国際的枠組み作りへの提案につなげることを目指し、国際委員会等への日本人の推薦や、国内関係者の共通理解を機敏に醸成する場の構築等を進めること。
- 海洋調査観測における国際連携にあたっては、適切な技術流出対策（セキュリティ強化）が重要であり、政府においては、状況に応じて基準・ルール等の策定を進め、各機関におけるセキュリティ対策の強化につなげること。
- 国際的に精密な海底地形図への関心が高まる中、海底地形の情報の共有の動き⁷が活発化してきている。一方で、我が国が保有する海底地形の情報の中には、経済安全保障等上非常に重要なデータもあることから、公開・共有の範囲については、その性質や用途等を踏まえて、政府として統一的な整理を行うこと。

なお、持続的な海洋観測体制の構築にあたっては、研究観測と定常観測の連携、適切な役割分担及び研究観測から定常観測への切れ目のない移行等を関係機関間で調整しつつ、計画的に行うことが重要となる

3) 北極域をはじめとした観測の空白域における観測データの取得強化

北極域の環境変化は全球に影響を及ぼすとされているが、観測データの空白域の一つとなっている。そのため、国際連携・協力等を通じた観測・研究を進めていくことが重要である。

また、超深海（6,000メートル以深をいう。）における海底地形の調査では分解能の向上が課題となっている。超深海は巨大地震の発生と密接に関わるプレート境界にあり、その状況把握は、安全・安心な社会の構築にも資するものである。四方を海に囲まれ、4枚のプレートが接する位置にある我が国は、世界トップレベルの超深海におけるEEZ体積を有しており、世界に先駆けて超深海の調査研究を進めていくことが求められる。

これらを踏まえ、以下の取組を実施することが重要である。

- 2021年度から建造開始した「北極域研究船」について、2026年度の就航に向けて着実に建造工程を進めるとともに、海氷下の観測装置等の最新の観測機器など、未知の領域を探る科学調査船として必要な機器開発等を進めること。さらに、国際共同研究の実施や、研究者等の養成の場ともなる国際研究プラットフォームとしての運用をはじめ、国際協力による観測の強化を進めること。
- 地球温暖化をはじめとする気候変動問題に関する議論や、北極における資源の保護と利用、及び航路等の国際的なルール作りの議論を先導していけるよう、北極域における環境変化・生態系変化のメカニズムに関する科学的知見・根拠を蓄積していくこと。
- より精緻な海底地形・地質の把握や、活動中の海底火山付近、極域の海氷・棚氷下等のアクセスが困難な地形の把握に向けた、革新的なAUV等の開発を進めること。特に超深海など、AUV等による高分解能調査観測に向けた技術開発を進めること。

⁶ 国際アルゴ計画、GO-SHIP、OceanSITES等の各観測ネットワークやそれらを統合したGOOSなど。

⁷ 日本財団 GEBCO Seabed 2030 Project より

(2) 海洋に関するデータ共有・収集・整理と他のデータとの連携について

海洋データの利活用や流通を促進するには、データフォーマット（メタデータを含む）の整理・統一に加え、データの増大に対応するための解析基盤の整備など、多くの関係者が利用できる仕組み作りが必要となる。

また、海洋調査観測におけるリアルタイム・大容量データ通信のニーズが高まっており、今後、海中や洋上等における廉価かつ大容量の通信インフラの構築及び利活用を進めていく必要がある。

1) データ連携基盤の活用による海洋データの高付加価値化

『海しる（海洋状況表示システム）』等の海洋データの一元的収集システムに情報を集約するとともに、多くの分野のデータ連携基盤に海洋データの提供等を進めることで、気候・気象予測の更なる高度化や海洋生態系の保全・利用等にも活用可能な価値あるプロダクトの生成につながり、新たなサービスが創出されることが期待される。そのため、以下の取組を実施することが重要である。

- 「データ統合・解析システム（DIAS）」等のデータ連携基盤に対して、海洋データの積極的な提供を進めること。
- 海洋研究者は、IT分野の専門家と連携してプロダクト生成を進めていくとともに、そこから得られた知見を基に、海洋調査観測網の最適化につなげていくこと。それにより、ひいては海洋分野における研究DXを加速させていくこと。

なお、地球観測推進部会において、DIASのオープン解析環境の設定⁸など、大容量データ等を利用しやすい環境の整備などを進めていく方向性が示されている⁹。今後、海洋データを利用できるデータ連携基盤と地球シミュレータ（ES）等の計算機資源との連携を強化しつつ、具体的な活用事例を積み重ねていくことも重要となる。

2) データ共有・収集・整理に向けた情報通信技術

海中光通信や衛星（小型衛星コンステレーション）・高高度プラットフォーム（HAPS）等による高速通信など、情報通信技術は目まぐるしく進展しており、今後の海洋開発や海洋調査観測など様々な活動においてパラダイム・シフトが起こる可能性がある。情報通信の高速度化を見据え、以下の取組を実施することが重要である。

- 先端的な情報通信技術の進展動向を常に把握しつつ、その技術を海洋調査観測（特に無人観測）に取り入れることで、海洋分野の研究DXを加速していくこと。さらにこれを発展させ、海洋産業を含む我が国の海洋活動全体のDX化を産学官が一体となって推進していくこと。
- 観測データの容量そのものを減らすことも重要であり、無人観測における不要データの削除に向け、AI等の活用による観測機器でのエッジ処理技術の高度化を進めること。

⁸ 特に、幅広いユーザーがDIASの大容量データをダウンロードしないで利用できるオープン解析環境の設定等について検討を進めていく。

⁹ 「地球観測・予測データの活用によるSDGsへの貢献 中間とりまとめ」
(令和4年5月25日科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 地球観測推進部会)

2. 気候変動問題解決に資する海洋科学技術の在り方

海は、地球の熱や物質の循環に大きく寄与しており、その現況及び変化の把握は気候変動を理解し予測する上で不可欠である。海洋や洋上大気の観測及びその変化に関するシミュレーションの高度化は、気候変動とその影響に関する予測の高精度化へ貢献するものとしてますますニーズが高まっている。

気候変動問題への対応は人類共通の課題であり、ESG 活動をはじめ産業界でも様々な取組が行われ始めている。海洋分野においても、気候変動の予測やその対応に必要な海洋データを効果的・効率的かつ継続的に取得する観測体制の構築に、産学官共同で取り組むことが必須となる。

また極域は、「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）」においても、気候変動による影響が大きい地域として注目されているが注目されている。

1) 広域かつ持続的な観測の実施

地球の気候変動の重要な要因である海洋と大気との間の熱・物質交換の把握には、広域かつ持続的な観測が不可欠である。国際的な枠組みに基づく全球的な観測に貢献することに加えて、以下の取組を実施することが重要である。

- 海洋に囲まれた我が国の気候・気象や環境は、地球温暖化に伴う海水温の上昇等により大きな影響を受ける。気候変動の我が国への影響を正しく把握し、その将来を予測するために、我が国周辺海域の稠密かつ継続的な観測を行うこと。
- 北極域は、海水の急激な減少や海洋酸性化等、気候変動の影響が現在もっとも顕著に現れている海域であるが、その現況及び環境変化のメカニズムに関する科学的知見は十分とは言えない。北極域の急激な環境変化の実態把握と我が国を含む人間社会に与える影響の評価、気候変動予測の高精度化に向けた先進的な研究に取り組むこと。
- 南極域では、近年になって南極氷床の融解が相次いで報告されており、今後の拡大が懸念されている。南極氷床融解の過程や氷床の質量損失等の詳細解明に向け、これまで継続的に行われてきた観測を更に発展させること。また、北極研究と連携を図りつつ、全球規模の海洋環境（海面上昇等）や海洋の深層循環への影響解明を進めること。

2) 気候変動影響予測及びその対応策に関する研究開発

気候変動は社会・経済活動や生態系にも大きな影響を及ぼす。その影響を評価するとともに適切な緩和策・適応策を講じるため、以下の取組を実施することが重要である。

- 全球の熱・物質循環等を統合的に扱う地球システムモデル及び我が国周辺領域の詳細な気候変動予測・影響評価研究に資する領域モデルなどの開発・高度化を行うこと。
- 気候変動が生態系や社会・経済に及ぼす影響を予測し、その緩和策・適応策の実効性を適切に評価するためのモデリング・シミュレーションや評価手法の開発を進めること。
- 北極域のビッグデータの相互利用プラットフォームとなる「北極域データアーカイブシステム（ADS）」が南極域にも拡張されていることを受け、海洋データを利用できるデータ連携基盤との連携を進め、情報の集約と利活用の促進を図ること。
- 気候変動緩和の鍵を握るカーボンニュートラルの達成に向け、ブルーカーボンや海中CO₂回収技術などの新たなネガティブエミッション技術の研究開発を進めること。

3. 安全・安心な社会の構築に資する海洋科学技術の在り方

四方を海で囲まれた我が国の安全・安心な社会の構築に向け、海洋科学及び海洋技術が果たす役割は非常に大きい。特に、防災・減災（災害予防、災害応急対策、災害復旧・復興）に向けた様々な自然現象の予測精度向上等に資する研究開発を着実に進めることが重要となる。

また、「第3期海洋基本計画」において、補強となる施策として盛り込まれた経済安全保障について、政府における各種取組が加速する中、海洋分野においても技術流出対策に加え、海底鉱物資源等の確保を目指した研究開発も確実に進めていく必要がある。

1) 災害予防に向けた地震・津波予測に資する研究開発

海は、プレートの沈み込みに伴う巨大地震発生場となる。地震・津波の予測とそれを活用した災害予防に向け、海溝型地震の震源域近傍におけるプレートの状態等を把握するため、以下の取組を実施することが重要である。

- 海底下の断層や地質構造、過去の地震・津波の履歴等の把握に向け、精密な海底地形調査や地下構造探査を行いつつ、コア試料採取等の海底地質調査及び断層近傍の地殻活動のモニタリングを実施すること。また、それら調査観測データを活用して巨大地震発生メカニズムの解明や地震の規模やサイクルを推定するための地震発生シミュレーションの高度化につなげること。
- 沿岸部における津波の挙動の正確な評価のため、沿岸部の海底地形を精密に把握すること。また、外洋における地震が津波として我が国に伝播する経路における海底地形の調査について、国際協調のもと主導的に進めること。

2) 災害予防に向けた気象予測に資する研究開発

海は、台風発生・発達場であるなど、様々な気象災害と深く関わる。海水温等の把握による台風の盛衰予測に加え、近年では北極域における気象観測の強化により、我が国に向かう台風の進路等予測の精度向上につながるという研究成果も出る¹⁰など、気象災害の予防の貢献に対し、海洋科学及び海洋技術に更なる期待が高まっている。局地的な豪雨発生予測を含む気象予測やそれを活用した災害予防に向け、以下の取組を実施することが重要である。

- 台風の勢力拡大等に影響を及ぼす海水温等の観測データを、より精緻に収集すること。
- 局地的な豪雨発生等の極端現象の予測に向けた大気・海洋相互作用等のシミュレーション研究を進めること。

¹⁰ ハリケーンや台風の進路予報の精度向上に北極海での気象観測強化が有効【プレスリリース】
(2020年9月30日国立大学法人北見工科大学、国立極地研究所、海洋研究開発機構)

3) 災害応急対策及び災害復旧・復興に資する研究開発

あらゆる種類の自然災害に対して、災害予防、災害応急対策、災害復旧・復興の全ての段階で対応を行う必要があり、災害予防に加え、以下の取組を実施することが重要である。

- 地震発生時の応急対策に活用可能なリアルタイム・高密度な観測網の実現を目指して、ケーブル式海底地震・津波観測網の整備を着実に進めること。また、本観測網を基幹として、長期孔内観測装置をはじめとする様々な観測機器・システムを展開すること。
- 地震・津波や台風等による被災後も継続的に海洋環境・生態系モニタリングを実施し、被災前後のデータ分析を通じて海洋生態系の回復力を測ることで、水産業をはじめ被災地域の復旧・復興状況等の把握に寄与するとともに、得られた知見等を今後の防災・減災対策に活かし、レジリエンスの持続的な向上につなげていくこと。

4) 経済安全保障等上重要な海底鉱物資源の確保に向けた海底資源探査

我が国の EEZ に存在するエネルギー資源や先端産業において重要性を増すレアメタル・レアアース等の海底鉱物資源の確保に向け、以下の取組を実施することが重要である。

- 海底資源探査の有望地を絞り込む調査手法の開発や海底資源の成因研究を行うこと。
- 海底資源量の評価に向け、海底面だけでなく海底下の状況を正確に把握するための海中で使用できる音波や電磁気などのセンシング技術の能力向上を行うこと。
- 大水深におけるレアアース泥回収技術の開発など、海洋鉱物資源開発に向けた探査・掘削技術の開発及び実装を行うこと。
- 環境影響評価手法や、海洋生態系への影響が低いと考えられる潜頭鉱床を発見するための技術など、海洋資源開発による影響を低減するための技術開発を行うこと。

4. 持続可能な海洋利用に向けた海洋生態系の理解に資する海洋科学技術の在り方

SDGs への関心の高まりや、「持続可能な開発のための国連海洋科学の 10 年」の開始を契機に、海洋の生物多様性や海洋生態系の情報についても社会的な関心が高まっている。

気候変動に伴う海水温の上昇や、CO₂ 増加による海洋酸性化等の環境変化が海洋生態系に及ぼす影響は大きいと考えられるが、その詳しい知見は不足している。また、気候変動による影響のみならず、洋上風力発電や二酸化炭素海底下地層貯留（CCS）等の新たな海洋開発等の社会・経済活動がもたらす影響もあり、生物多様性の保全と持続的な海洋利用に向けて、海洋生態系の現状把握や将来予測の高度化が必要となる。

そのため、生態学的手法により従来から蓄積されたデータに、近年急速に進展した生命科学的な手法で得られたデータを加えて解析することによる、海洋生態系の理解の深化に期待が高まっている。

1) 海洋生態系の理解の深化

海洋生態系の総合的理解に向けて、以下の取組を実施することが重要である。

- 海洋生態系に影響を及ぼす海洋酸性化等の海洋環境因子の調査観測を強化すること。
- 生物種・海域ごとの理解に加え、これらの相互作用の関係を定量化し、海洋環境の異なる海域間をつなぐ新たな複合生態系モデルの開発を行うこと。
- 環境 DNA 等の生命科学分野の新たな観測・分析手法について、海洋生態系研究に適用可能な範囲とその範囲に応じた有効性を検証しつつ、適切に取り入れていくこと。
- 長期的な海洋生態系の変化を効率的・効果的に把握し、検証するため、海洋生態系のデジタルツイン（海洋データを基に、サイバー空間に海洋生態系モデルを構築し、現実空間の変化を再現・予測する技術）を、モデリング研究等との分野融合により実証的に進めていくこと。

なお、海洋生態系研究の際は、調査対象の生物やその生息環境が保護の対象となるかも考慮することが重要である。

2) 持続可能な利用に向けた研究開発

水産資源、遺伝子資源及び水生生物の機能等の持続可能な利用に向けて、海洋生態系の現状把握や将来予測に基づき、以下の取組を実施することが重要である。

- 海洋生態系のデータの更なる利用拡大に向け、用途や分析範囲を明確にした体系的なデータ収集・ビッグデータ化、機械学習等の活用によるデータ補完・分析技術などの研究を行うこと。その際、併せてデータの標準化・規格化を進めること。
- 海洋生物由来の有用機能を探索し、その活用を進めていくこと。
- 気候変動や災害等による海洋生態系への影響評価・予測に加え、社会・経済活動がもたらす影響評価に向けて人文・社会科学の知を統合した研究を行うこと。その際、アカデミアだけでなく地方自治体や産業界等とも協働すること。

なお、海洋生態系は社会・経済活動の影響を多分に受けることから、地球全体の環境・生態系等の健全性の指標にもなる。その視点を持ち継続的に把握することが重要となる。

5. 海洋分野における総合知の創出及び市民参加型の取組

「持続可能な開発のための国連海洋科学の10年」において、市民も含め多様なステークホルダー¹¹の参画による「変革的海洋科学」を実現するとされており、我が国も本主旨を踏まえた取組を促進することが望まれる。

「変革的海洋科学」の実現には、研究者と市民の間での対話や協働が不可欠であり、海洋利用・保全に関する適切な問題定義や目標設定から、問題解決に至る適切な道筋の提示まで、合意形成を図りながら社会問題の解決を目指した研究を進めていく必要がある。

一方、我が国の「第6期科学技術・イノベーション基本計画」では、

- 人文・社会科学の知と自然科学の知との融合による「総合知」の創出・活用
- シチズンサイエンスとしての市民の研究参加など多様な主体との共創による「知」の創出・融合に向けた研究活動の促進

などが求められている。

これらの状況を踏まえ、本委員会では、海洋分野における総合知を、自然科学及び人文・社会科学の科学的知識の融合にとどまらず、さらに「地域の知」、「暗黙知」、「臨床の知」などの幅広い現場での体験に基づく「経験知」が統合されたものとして捉える。

その上で、我が国における「変革的海洋科学」の実現に向け、海洋分野における総合知の創出・活用を目指して以下の取組を実施することが重要である。

- 研究者と市民との具体的な対話や協働を機敏に進め、持続可能な取組となることを目指し、地域に根ざした密なネットワークを構築すること。
- 研究者と市民との間での対話や協働を適切に促し、マネジメントできる人材を確保（育成を含む）すること。
- 総合知の創出・活用や市民の研究参加（シチズンサイエンス¹²）を持続的かつ自律的に広げていくための手法の体系化・継承に関する取組を進めること。

なお、海洋分野には、深く多様な経験知（専門性）を有する市民がいることから、研究者に無い視点を含めた異なる「知」を組み合わせることにより、海洋分野における新たな科学的成果の創出や海洋科学に携わる者の裾野拡大も期待される。

¹¹ The UN Decade of Ocean Science is an intergovernmental mechanism that will actively associate stakeholders of our shared ocean: the ocean science community, ocean and sustainable development policy-makers and practitioners, economic actors and civil society as well as the public. (<https://www.unesco.org/en/decades/ocean-decade/getinvolved>)

¹² シチズンサイエンスは、必ずしも総合知の創出のみを目的とした取組ではないが、研究者と市民との協働が不可欠な「変革的海洋科学」の実現に極めて有効なアプローチと考えられる。