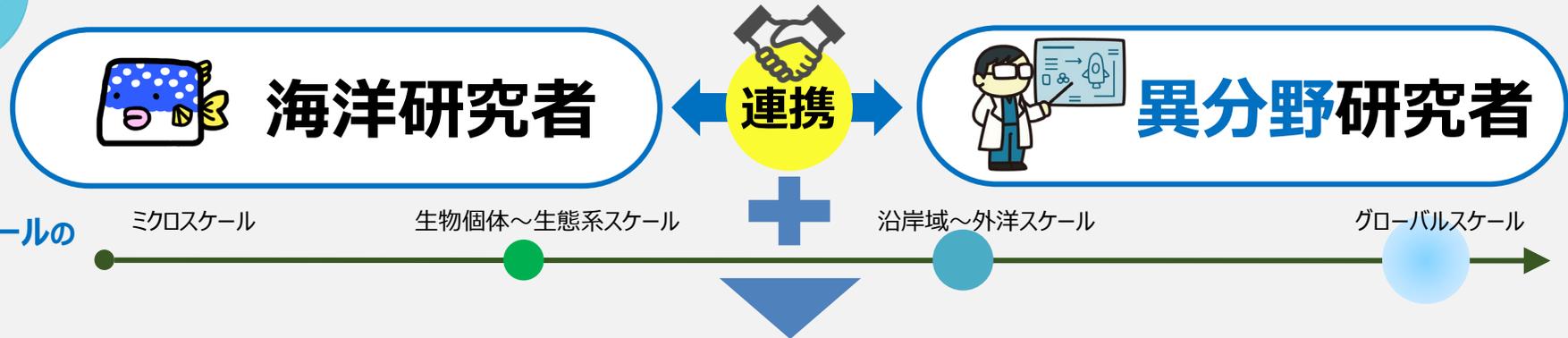


海洋  
CO<sub>2</sub>

自然界で最大級のCO<sub>2</sub>吸収源でありながら、「大気」や「陸域」に比べ、海洋とCO<sub>2</sub>の関係性は未解明。



様々なスケールの  
研究

## 海洋とCO<sub>2</sub>の関係性解明と機能利用



海洋の各テーマを軸としたスケール横断型及び異分野融合アプローチで、海洋とCO<sub>2</sub>の複雑な関係性を解明。

達成目標

- (1) 海の三重脅威を正しく理解 ----> 三重脅威（海洋温暖化・酸性化・貧酸素化）がもたらす**影響の把握**
- (2) 海の恵みを再認識 -----> 海洋生物と生態系サービスへの**影響評価**及び**予測の手法開発**
- (3) 海の手で地球を救う -----> 海洋ネガティブエミッション等の**手法・技術開発**

将来像

四方を海に囲まれた我が国から、**海洋を利用した世界の気候変動研究に新たな視点**を提供。持続可能な社会の実現に向け、**海洋の機能利用**を最大化。

## 令和5年度戦略目標

### 1. 目標名

海洋とCO<sub>2</sub>の関係性解明と機能利用

### 2. 概要

気候変動対策の重要課題である人為起源の二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）の大気中濃度低下のためには、全球（大気・海洋・陸域）の炭素循環プロセスへの理解が不可欠であるが、自然界で最大級のCO<sub>2</sub>吸収源である海洋とCO<sub>2</sub>との関係性には未解明な部分が多い。本戦略目標ではミクロからグローバルのスケール横断及び異分野融合アプローチでこの関係性の理解深化を目指す。具体的には、海洋の炭素循環プロセス及び海洋温暖化・酸性化・貧酸素化等のCO<sub>2</sub>増加に伴う現象がそのプロセスに与える影響、CO<sub>2</sub>増加の海洋生態系への影響、海洋の機能を利用したネガティブエミッション技術<sup>1</sup>に関する研究開発を行う。目標の達成を通して、海洋機能の最大限の活用による気候変動対策への貢献を目指す。

### 3. 趣旨

「地球温暖化対策計画」、「気候変動適応計画」（いずれも令和3月10月22日閣議決定）等の国内政策文書、「国連気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第6次評価サイクルにおける一連の報告書（平成30年10月～令和5年4月予定）」等、気候変動が全ての生物にとって喫緊の課題である事は、国内外を問わず広く言及されている。気候変動への対応においては、主要因である人為起源の温室効果ガス、とりわけCO<sub>2</sub>の大気中濃度を低下させることが急務であり、その具体的な方策検討にあたっては、全球（大気・海洋・陸域）の炭素循環プロセスをいっそう正しく理解し、それに立脚することが肝要である。極めて大枠の概算ではあるが、海洋は世界の大気中のCO<sub>2</sub>の約25%を吸収しているとされており、陸域と並び自然界で最大級のCO<sub>2</sub>吸収源である。したがって、そのポテンシャルを把握し、適切に利用していくことは、カーボンニュートラル社会の実現に向けた重要な鍵である。

しかし大気や陸域に比べ、海洋とCO<sub>2</sub>の関係性には未解明な部分が数多く残されている。これまでの全球モニタリング観測等により、炭素循環の素過程は解明されつつあるが、物理・化学・生物の作用が複雑に絡み合う海洋中の炭素の挙動への理解は未成熟である。このため、それらのプロセスに支配された海洋のCO<sub>2</sub>吸収・貯蔵能力にも不明な点が多く、その定量的把握には、複合プロセスの全貌をミクロからグローバルまでのスケールを横断してシームレスに捉える研究が必要となる。また、大気中のCO<sub>2</sub>濃度上昇が起因となる海洋温暖化・酸性化・貧酸素化などの海洋環境の変化は既に発生しているため、これらの変化が海洋のCO<sub>2</sub>吸収・貯蔵能力に及ぼす影響も同時に把握しなければならない。併せて、これらの変化は海洋生態系等に様々な影響

---

<sup>1</sup> CO<sub>2</sub>を回収・吸収し、貯留・固定化することで大気中のCO<sub>2</sub>除去に資する技術。

をもたらすことが懸念されているが、その影響の詳細や今後どのような問題が表出していくかの理解は不足しているため、定量的な評価及び将来予測に資する研究の推進が急務である。さらに、これらの知識も活用しつつ、並行して海洋のポテンシャルを最大限活用した革新的な海洋ネガティブエミッション技術に関する研究開発を推進していくことも必須である。

世界各国でゼロエミッション達成に向け、海洋を活用する動き（洋上風力発電、CCS<sup>2</sup>、ブルーカーボン<sup>3</sup>の活用等）が活発化している中、四方を海に囲まれた海洋国家たる我が国が、海洋とCO<sub>2</sub>の関係性の研究を推進し、海洋の持つ機能を利用した革新的な気候変動緩和・適応策を打ち出していくことは、世界で行われている気候変動対策研究に新たな視点を提供することにつながることを期待される。

#### 4. 達成目標

本戦略目標では、ミクロからグローバルまでのスケール横断及び異分野融合アプローチにより、海洋とCO<sub>2</sub>の関係性の解明（海洋炭素循環の解明及び大気中CO<sub>2</sub>濃度増加への応答機構の解明、並びに大気中CO<sub>2</sub>濃度増加の海洋生態系等への影響評価等）により、全球炭素循環の理解を深化させると共に、CO<sub>2</sub>の吸収源としての海洋の機能を利用する技術に関する研究開発も推進する。具体的には、以下の達成を目指す。

- (1) 海洋における炭素吸収・貯留・隔離プロセスの詳細解明とCO<sub>2</sub>増加による三重の脅威（温暖化・酸性化・貧酸素化）がもたらす影響の把握

全球炭素循環の中で特に理解が進んでいない海洋中の炭素循環プロセスを解明するとともに、大気CO<sub>2</sub>濃度増加に伴う海洋の温暖化・酸性化・貧酸素化がどう影響するかを明らかにし、気候変動下での炭素循環の変化予測を可能にする。

- (2) CO<sub>2</sub>増加による海洋生物・生態系と「海の恵み（生態系サービス）」への影響評価・予測の手法開発

水産資源や観光資源、文化的基盤など、我が国が様々な形でその生態系サービスを享受している海洋生物・海洋生態系に対して、(1)に挙げたような大気中CO<sub>2</sub>増加による様々な海洋環境の変化が及ぼしつつある複合的な影響を評価・把握すると共に、その将来に渡る影響を予測する手法の開発等を行う。

- (3) 海の力で地球を救う：海洋ネガティブエミッション技術の多角的かつ定量的な検証と手法開発

そのポテンシャルが世界的に注目されている一方、陸域に比べ定量評価が進んでおらず実用化に大きな余地の残された海洋の機能を利用したネガティブエミッションの革新的な定量化手法、環境影響評価手法、また技術そのものの研究開発を行う。

---

<sup>2</sup> Carbon dioxide Capture and Storage（二酸化炭素回収・貯留）の略。工場や発電所等から排出される二酸化炭素を大気放散する前に回収し、地下へ貯留する技術。

<sup>3</sup> 海洋生態系による炭素貯留。

## 5. 見据えるべき将来の社会像

4. 「達成目標」の実現を通じ、海洋とCO<sub>2</sub>の関係性に関して、国際的にも有益な科学的知見の創出や、これに基づく革新的なネガティブエミッション技術の開発が期待される。また、気候変動の影響で今後どのように海洋が変化するかの高確度の高い将来予測や、定量的な指標が得られることで、産学官が一体となった気候変動問題の解決に向けた取組の促進が期待される。これにより、気候変動により生じる様々な経済損失の軽減に大きく貢献できる可能性もある。

## 6. 参考

### 6-1. 国内外の研究動向

#### (国内動向)

文部科学省科学研究費補助金新学術領域研究「変わりゆく気候系における中緯度大気相互作用の hotspot」において、海洋変動の予測の可能性等が研究されており、地球温暖化等が日本の気象に与える影響の解明や、極端現象のメカニズムの一部解明などの成果が得られつつある。また、文部科学省の事業「気候変動予測先端研究プログラム」において、主に大気をターゲットとして「全ての気候変動対策の基盤となる気候モデルの開発等を通じ、気候変動メカニズムの解明やニーズを踏まえた気候予測データの創出」が実施されている。これらを通じ海洋及び大気の両者で研究開発コミュニティが形成されている。

科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（GRDS）による戦略プロポーザル「極端気象災害と気候変動リスクへの対応強化に向けた近未来予測」によると、自然災害および気候変動に伴うリスク（特に物理的影響）を可視化し、それらに対策立案や意思決定、行動変容に繋げていくことが必要とされている。

海洋ネガティブエミッション技術の研究としては、農林水産研究推進事業委託プロジェクト研究「ブルーカーボンの評価手法及び効率的藻場形成・拡大技術の開発」、大学と民間企業とのブルーカーボンに関する共同研究、工学的手法による海中からのCO<sub>2</sub>直接回収・酸性化緩和に関する研究開発など、独立的ではあるものの研究コミュニティの裾野は広い。

#### (国外動向)

IPCC 第6次評価報告書第3作業部会報告書（令和4年4月）などでは、気候変動問題は世界的にも解決すべき喫緊の課題とされている。同じくIPCCによる「変化する気候下での海洋・雪氷圏に関するIPCC特別報告書」においても、海水温の上昇、地球温暖化に伴う海洋熱波の頻度・強度上昇、海洋酸性化、海洋貧酸素化による生態系へのリスク等が議論されている。

また、令和4年の国連気候変動枠組条約第27回締約国会議（COP27）においても、気候変動問題の解決に海洋が果たす役割の重要性が強調された。同会議では、海洋酸性化と海洋貧酸素化への科学的理解、気候変動の緩和・適応策における自然界と生物多様性の役割、「自然を利用した緩和・適応策」の重要性等が議論された。

平成29年の国連総会での宣言を経て、令和3年から「持続可能な開発のための国連海洋科学

の10年」が始まっている。これは、持続可能な開発目標（SDGs）の多くに海洋が強く関わることを提示したうえで、2021～2030年の10年間、国際的に集中して海洋科学を推進しこれらのSDGs達成に貢献することを掲げたものである。

ブルーカーボン以外の海洋ネガティブエミッションの研究には、米国 ARPA-E（エネルギー高等研究計画局）のファンドで開始された海洋からのCO<sub>2</sub>直接回収技術の研究等が存在する。

## 6-2. 検討の経緯

「戦略目標の策定の指針」（令和元年7月科学技術・学術審議会基礎研究振興部会決定）に基づき、以下のとおり検討を行った。

1. 科学研究費助成事業データベース等を用いた国内の研究動向に関する分析及び研究論文データベースの分析資料を基に、科学技術・学術政策研究所科学技術予測センターの専門家ネットワークに参画している専門家や科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）の各分野ユニット、日本医療研究開発機構（AMED）のプログラムディレクター等を対象として、注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。
2. 上記アンケートの結果及び有識者ヒアリング、並びにCRDSの「極端気象災害と気候変動リスクへの対応強化に向けた近未来予測」及び「バイオマスをCO<sub>2</sub>吸収源としたネガティブエミッション技術」等を参考にして分析を進めた結果、CO<sub>2</sub>増加や気候変動が海洋にもたらす海洋酸性化や海洋温暖化等の現象に対する影響評価・予測、海洋の炭素吸収・貯留・隔離ポテンシャルを利用したネガティブエミッション技術の開発、またそれらの基盤としての海洋炭素循環の理解深化が重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「海とCO<sub>2</sub>の関係性の包括的研究の推進」を特定した。
3. 令和4年11月に、文部科学省とJSTは共催で、注目すべき研究動向「海とCO<sub>2</sub>の関係性の包括的研究の推進」に関係する産学の有識者が一堂に会するワークショップを開催し、関連分野の国内外の研究動向、今後取り組むべき研究課題、研究テーマの主軸とすべきキーワード（海洋温暖化、海洋酸性化、海洋貧酸素化、海洋生物・生態系影響、海洋ネガティブエミッションの五つ）、大気や陸域を含む全球システムとの関係も踏まえた本目標の位置付け等について議論を行った。ワークショップにおける議論や有識者ヒアリング等を踏まえ、タイトルを現行の「海洋とCO<sub>2</sub>の関係性解明と機能利用」と改めた上で、本戦略目標を作成した。

## 6-3. 閣議決定文書等における関係記載

「第6期科学技術・イノベーション基本計画」（令和3年3月26日閣議決定）

第3章 2. ⑦海洋

(略) 海洋に関する科学的知見の収集・活用は不可欠である。(略)

(略) 特に海洋観測は海洋科学技術の最重要基盤であり、(略) カーボンニュートラル実現に向けた広大な海洋環境の把握能力を高めるため、氷海域、深海部、海底下を含む海洋の調査・観測技術の向上を目指し、(略) 観測技術の開発を進めていく。さらに、(略) データ・計算共用基盤の構築・強化による観測データの徹底的な活用を図るとともに、(略) 海洋分野におけるデータ駆動型研究を推進することを通じて、人類全体の財産である海洋の価値創出を目指す。

「地球温暖化対策計画」(令和3年10月22日閣議決定)

### 第3章第2節 1. 温室効果ガスの排出削減、吸収等に関する対策・施策

#### (2) 温室効果ガス吸収源対策・施策

##### ④ ブルーカーボンその他の吸収源に関する取組

ブルーカーボンは、沿岸域や海洋生態系によって吸収・固定される二酸化炭素由来の炭素を指し、その吸収源としては、浅海域に分布する藻場や干潟などがある。ブルーカーボンによる温室効果ガスの吸収・固定量の算定方法は、一部を除き確定していないことから、これらの算定方法を確立し、温室効果ガス排出・吸収目録(インベントリ)のためのIPCCガイドラインに追記できるよう研究を進めるとともに、効果的な藻場・干潟の保全・創造対策、回復等を推進する。

### 第3章第2節 3. 基盤的施策

#### (3) 気候変動に係る研究の推進、観測・監視体制の強化

今後、長期的かつ世界的な観点から地球温暖化対策を推進するためには、国内外の最新の科学的知見を継続的に集積していくことが不可欠であり、気候変動に関する研究、観測・監視は、これらの知見の基盤をなす極めて重要な施策である。地球温暖化に係る研究については、従前からの取組を踏まえ、気候変動メカニズムの解明や地球温暖化の現状把握と予測精度の向上及びそのために必要な技術開発の推進、地球温暖化が環境、社会・経済に与える影響の評価、温室効果ガス排出量の削減及び適応策との統合などの研究を、国際協力を図りつつ、戦略的・集中的に推進する。

(略) 特に、我が国においては、アジア・オセアニア域の航空機・船舶・地上観測を用いた包括的な大気観測、アジア地域の陸域炭素循環観測拠点での生態系モニタリング体制の構築、海洋の二酸化炭素の観測網の整備、雪氷圏・沿岸域等の気候変動に脆弱な地域での地球温暖化影響モニタリング、観測データと社会経済データ等の地球環境ビッグデータの利活用を推進するためのデータ統合・解析システム(DIAS)の基盤を強化する。

「気候変動適応計画」(令和3年10月22日閣議決定)

### 第1章第3節 4. 沿岸生態系に関する適応の基本的な施策

○ 特に影響が生じる可能性の高い干潟・塩性湿地・藻場・アマモ場・サンゴ礁等において、長

期にわたるモニタリング等の調査を重点的に実施することが必要。また、沿岸域は河川等を通じた陸域との関連性が強いことから、流域全体まで視野を広げることが必要である。

#### 第1章第3節 5. 海洋生態系に関する適応の基本的な施策

- 日本近海の88%で2035年までに予測される気候の変化が、これまで経験されてきた変化の幅以上の変化にさらされるとの予測があるが、気候変動による海水温の上昇、海面上昇、海洋酸性化等が生態系に与える影響については不明な点が多い。さらに、沖合域の生態系は科学的に解明されていない事象が多く、沿岸域に比べて精度の高い科学的情報が蓄積されていないことも踏まえ、特に海洋保護区や生物多様性の観点から重要度の高い海域等において、モニタリングや将来予測を充実させることが必要である。

### 7. その他

カーボンニュートラル社会実現に向けた海洋の貢献の最大化という本戦略目標を高いレベルで達成するためには、海洋の機能利用形態や管理制度・利害関係等まで含めた、総合知の視点による検討が必要となる。海洋を研究対象とする分野は、物理学、化学、生物学、工学、政策学など多数あるが、学会等の研究活動の場は分野ごとに分かれており、海洋に関する課題を総合的に取り扱う学際的なコミュニティの形成は未成熟であった。前述の「持続可能な開発のための国連海洋科学の10年」では、その中核概念として、海洋科学の在り方そのものを、社会課題解決指向、自然科学と人文・社会科学の協働、様々なステークホルダーの参画などを主旨としたものに変革するという「変革的海洋科学 (Transformative Ocean Science)」が提唱されており、世界的に見ても、分野を超えた知見融合の重要性は近年一層強く認識されつつある。

そのため、本戦略目標では分野間の融合研究を積極的に推進するべく、自然科学系のみならず人文・社会科学系を含めた多様な学協会からの参画を期待する。また、本戦略目標を契機として、学会・分野の垣根を超えた海洋に関する様々な社会課題解決に資する総合的な海洋科学コミュニティが形成、活性化されることも強く期待する。

また、「第6期科学技術・イノベーション基本計画」や「地球温暖化対策計画」等でも海洋観測の強化が言及されている通り、海洋観測データは未だ不足しており、本戦略目標のもとで新たなデータ取得が必要となることは当然想定される。ただし、本戦略目標の研究推進においては、データ収集のみを目的とするのではなく、海洋とCO<sub>2</sub>の関係性解明またはその機能利用技術等について画期的な知見創出の達成を念頭に置くことが必要である。また、新たな海洋観測を必須としない手法、例えば、これまで国内外の観測網により蓄積されたデータの再解析、室内実験・模擬生態系等の活用、限られたデータでも適用可能な計算科学的手法などを、スケール横断・異分野融合のアイデアにより組み合わせ、新たな知見創出に繋げる提案にも期待する。