

○戦略目標「海洋と CO<sub>2</sub> の関係性解明と機能利用」の下の研究領域

## 海洋と CO<sub>2</sub> の関係性解明から拓く海のポテンシャル

研究総括：伊藤 進一 （東京大学 大気海洋研究所 教授）

### 研究領域の概要

本研究領域では、異分野融合アプローチによる、大気・陸域と海洋の炭素交換過程の解明、大気中 CO<sub>2</sub> 濃度増加への生態系を含む海洋の応答機能の解明を通じた海洋と CO<sub>2</sub> の関係の統合的理解と、海洋機能を最大限活用した気候変動対策のためのイノベーション創出を目指します。

具体的には、大気 CO<sub>2</sub> 濃度増加がもたらす海洋への影響について、以下の3つのテーマを柱として進めます。1) 海洋の炭素吸収・貯留・隔離プロセス及び温暖化・酸性化・貧酸素化による炭素循環へのフィードバックプロセスの解明、2) 海洋生態系サービスへの温暖化・酸性化・貧酸素化を含めた影響評価と炭素循環へのフィードバックプロセスの解明、3) 海洋と CO<sub>2</sub> の関係性を解明・制御するための革新的な基盤技術の開発。

研究領域の推進にあたっては、CO<sub>2</sub> をはじめとする炭素循環の様々な要因を高い精度で定量的に把握することや、各種大規模データの解析やモデル化と検証が求められることから、海洋系の研究分野に加え、陸域炭素循環に関連する林学・農学、機械学習などを含む情報科学、そして計測技術などを含む工学など、多様な分野の研究者が「海を解き明かす」ことを目指します。その異分野連携においては統合的かつフレキシブルな運営を推進し、さらに戦略目標の達成に向けた成果を最大化すべく、さきがけ研究領域「海洋バイオスフィア・気候の相互作用解明と炭素循環操舵」とも連携を進めていきます。

### 募集・選考・領域運営にあたっての研究総括の方針

#### 1. 背景

産業革命以来、CO<sub>2</sub> に代表される温室効果気体の濃度が大気中で著しく増大し、その影響が危惧される事態となっています。IPCC（国連気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change））の第6次評価報告書においては、「人間活動が大気・海洋及び陸域を温暖化させてきたことには疑う余地がない。大気、海洋、雪氷圏及び生物圏において、広範囲かつ急速な変化が現れている。」と断定され、「人為起源の気候変動は、極端現象の頻度と強度の増加を伴い、自然と人間に対して、広範囲にわたる悪影響と、それに関連した損失と損害を、自然の気候変動の範囲を超えて引き起こしている。」と報告されています。人類起源の気候変動である地球温暖化の進行を抑制するためには、人

為起源の温室効果気体、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となっており、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）の炭素循環システムを正確に理解することが不可欠ですが、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く残っています。特に海洋では物理・化学・生物の作用が複雑に絡み合っており、CO<sub>2</sub> 吸収・貯蔵能力にも不明な点も多く、その炭素循環プロセスの理解は十分になされていません。また、大気中の CO<sub>2</sub> 濃度上昇に伴う海洋温暖化・酸性化・貧酸素化は、海洋生物や生態系へ影響し、海洋の CO<sub>2</sub> 吸収・貯蔵能力の低減を引き起こす可能性もあります。一方で、海洋ネガティブエミッションへの取組も進んでいますが、海洋が本来もつ CO<sub>2</sub> 吸収・貯蔵能とのシナジーを生むためには、より科学的な検証が必要とされています。

## 2. 募集・選考の方針

本研究領域では、1. に記した背景を踏まえ、大気 CO<sub>2</sub> 濃度増加がもたらす海洋への影響について、（1）「海洋の炭素吸収・貯留・隔離プロセス及び温暖化・酸性化・貧酸素化による炭素循環へのフィードバックプロセスの解明」、（2）「海洋生態系サービスへの温暖化・酸性化・貧酸素化を含めた影響評価と炭素循環へのフィードバックプロセスの解明」、（3）「海洋と CO<sub>2</sub> の関係性を解明・制御するための革新的な基盤技術の開発」の3つのテーマを柱とする募集を行います。

本研究領域の募集では、これらのテーマを念頭に置きつつ、従来の枠にとらわれない研究推進体制、新たな異分野連携のアプローチを提案してください。研究課題を進めることによってどのような価値が創出されるのか、そのためのチーム体制やそのリーダーシップがどのような付加価値につながるのかの説明を重視します。

そのアプローチを通して、より新しい発見や知見の獲得、新技術の創出、さらには海洋のポテンシャルを最大限活用した革新的な基盤技術の創出などを目指し、それらを通して我が国のみならず、世界で行われている気候変動対策研究への新たな視点の提供に貢献します。

第3期の募集では、以下の視点からの提案をより重視します。

- ✧ 沿岸域研究と外洋研究の隔絶を埋めるための新たな視点を含む提案。
- ✧ ネガティブエミッション技術導入による海洋環境への定量的影響評価に関するビッグデータ解析およびAI 技術を結び付けた高度化を含む提案。
- ✧ 海洋のポテンシャルを最大限活用した革新的なネガティブエミッション技術を含む提案。
- ✧ 革新的な分析・計測技術やビッグデータ解析を用いた海洋の炭素貯留や隔離などに関わる新たなプロセスの同定と機能解明

具体的な研究課題の例を以下のように挙げますが、提案に際しては、複数のテーマの内容が含まれる課題でもかまいません。

(1) 海洋の炭素吸収・貯留・隔離プロセス及び温暖化・酸性化・貧酸素化による炭素循環へのフィードバックプロセスの解明

応募者としては異分野連携的な研究チームを想定しています。目的は従来研究の拡大ではなく、海洋の炭素循環システムの未解明なプロセスの解明、人為起源の CO<sub>2</sub> や温室効果気体増加による海洋温暖化・酸性化・貧酸素化への影響とその炭素循環へのフィードバックプロセスの解明などです。研究対象とする海域（沿岸域、陸棚域、外洋など）の特徴や地理的な影響を考慮しつつ、海洋地質学などの知見も活用し、最新の計測・分析技術を最適化して導入する課題を広く募集します。

想定される具体的な研究例

- ① 海洋物理学・化学・生物学的観測データ融合による海洋炭素循環システムの統合的解明
- ② 海洋の炭素貯留や隔離などに関わる新たなプロセスの同定と機能解明
- ③ 生物ポンプ、アルカリポンプ、溶解ポンプ作用を高時空間分解かつ高精度に把握
- ④ 人為起源の CO<sub>2</sub> や温室効果気体の増加による海洋温暖化・酸性化・貧酸素化への影響とその炭素循環へのフィードバックプロセスの解明
- ⑤ 海域特有の水深や地形、海洋構造などの特徴を生かしたアプローチ、深海の CO<sub>2</sub> 備蓄量のマッピング
- ⑥ ミクロからグローバルまでの情報源をスケール横断で統合した全球炭素循環の理解
- ⑦ AI を活用したモデルの高度化や衛星観測システムを利用したグローバルスケールの海洋炭素循環の評価

(2) 海洋生態系サービスへの温暖化・酸性化・貧酸素化を含めた影響評価と炭素循環へのフィードバックプロセスの解明

応募者としては異分野連携的な研究チームを想定しています。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海洋生態系などに様々な影響をもたらすことが懸念されています。その影響について、1) 最先端の観測・モデリング技術を導入して詳細に把握する、2) 海洋生態系への影響による炭素循環へのフィードバックプロセスを把握する、3) ネガティブエミッション技術など、人為的介入を想定した実験室レベルでの生態系影響エビデンスとモデルを統合して影響予測する課題を想定しています。

想定される具体的な研究例

- ① 海洋の温暖化・酸性化・貧酸素化が海洋生物多様性に及ぼす定量的評価と将来予測
- ② CO<sub>2</sub>濃度上昇と窒素・リンなどの他元素との関係性、海洋生態系に及ぼす影響
- ③ 温暖化・酸性化・貧酸素化が海洋生態系に影響を与えることで生じる炭素循環へのフィードバックプロセスの把握
- ④ 沿岸や沖合のブルーカーボンが持つ CO<sub>2</sub> 吸収ポテンシャルや CO<sub>2</sub> 分解プロセスの定量的評価の高精度化と数値モデルを用いた将来予測
- ⑤ ブルーカーボンが引き起こす海洋酸性化・貧酸素化の定量的影響評価の高精度化
- ⑥ 沿岸や沖合のブルーカーボンが持つ機能のゲノム解析的解明
- ⑦ ネガティブエミッション技術導入による海洋環境への定量的影響評価及び評価技術の開発

### (3) 海洋と CO<sub>2</sub> の関係性を解明・制御するための革新的な基盤技術の開発

応募者としては、主に化学系、物理系、工学系、情報計算科学（データ統合手法や機械学習などを含む）、数学や統計学、そして土木や環境系からなる様々な研究分野からの研究チームを想定しています。例えば、海洋分野に応用可能な革新的な分析・計測技術やセンサー、データサイエンスの活用、計算・シミュレーション技術の開発などが挙げられます。特にそれら技術の知識や経験はあるけれども、これまで海洋分野を対象としてこなかった、応用物理や応用化学の研究者が保有する技術を導入する提案も歓迎します。最新のエレクトロニクスや量子工学などの分野で実績のある技術を水平展開し、海洋分野に応用する研究を期待しています。

また、開発しようとする技術はどのような海洋と CO<sub>2</sub> の関係性に関するプロセスを対象にしようと考えているのか、それらを踏まえて将来的にどのような技術的優位性があるのかの説明が望まれます。海洋と CO<sub>2</sub> の関係性を制御する技術研究では、具体的な海洋フィールドでの実証に取り組むところまで到達する必要はありませんが、それを行うための説得力ある科学的エビデンスが望まれます。

想定される具体的な研究例

- ① 革新的な分析・計測技術、長期安定なセンサー、安価なガスフラックス計測機器
- ② 定量的な自動連続モニタリングシステム、ロボット技術
- ③ 海洋の二酸化炭素回収・貯留(CCS)のための革新的な技術開発
- ④ 海洋のポテンシャルを最大限活用した革新的なネガティブエミッション技術
- ⑤ 海洋炭素循環システムの全貌をスケールレスにつなぐ数値計算・シミュレーション
- ⑥ 海の恵みである海洋資源を地球温暖化から保全するための技術

\* 上記は参考例であり、応募対象となる研究や研究アプローチはこれらに限るものではありません。

### 3. 研究期間と研究費

研究期間は5 年半以内とします。

研究費（直接経費）は提案内容の達成に必要な額を申請することとし、上限は3 億円とします。研究総括による精査の結果、採択にあたっては研究費の調整を行う場合がありますので、予めご了承ください。なお、研究費は年度毎に見直しを行いますので、研究進捗に応じた増減があることをあらかじめご了承ください

採択後は、3 年を目途に継続の可否判断を含めた評価を実施します。また、評価結果により、研究費の増減、研究チームの再編を指示することがあります。

### 4. 提案にあたっての留意点

本研究領域への応募にあたっては、本研究領域が指定する専用の提案書書式を使用することとし、「研究の背景・研究が達成しようとする成果」、「研究期間内の達成目標」、「研究計画（アプローチ）とその進め方」、「実施体制（研究実施の基盤および準備状況）」、「国内外の類似研究との比較、および研究の独創性・新規性」について、明確に示してください。また、具体的な研究計画の記載をお願いします。

- ・女性研究者、若手研究者による独創的かつ野心的な提案を歓迎します。
- ・海洋分野以外の応用物理、化学、情報・数理科学、工学などからの提案も歓迎します。
- ・先行研究や類似・競合技術に対する優位性を具体的に提示してください。
- ・分野をまたぐ専門を持つ人材育成を考慮した提案も歓迎します。

### 5. 領域運営の方針

#### （1）研究開発マネジメント

CREST では、領域全体をネットワーク型研究所とみなして各課題が総合的に連携する形で運営します。具体的には、採択された研究チームが、その研究進捗などの状況によって、他のチームとの協力が必要になった場合、その共同研究を積極的に支援します。また戦略目標の達成に向けた成果を最大化すべく、CREST 領域内の連携のみならず、CREST 研究者とさきがけ研究者の共同研究の実施により、それぞれの成果が発展できる共同研究も推奨します。本研究領域の若手研究者には、分野が異なる領域アドバイザーがアドバイスし、様々な知識と技術を身につける工夫も考えています。

高い研究能力を有する研究者が、その独創的な研究をさらに発展させイノベーションへと昇華させるには、異なる分野の研究が掛け算として機能すること、すなわち異分野融合ができる仕組みや場が大切と考えます。そのため、各研究チームにおける異分野の研究者の連携に加え、領域運営においても、異分野研究者間の交流を重視します。例えば、本研究領域内外の研究者と柔軟にマッチングが出来る「観測／解析／技術拠点」を作り、様々な研究分

野から集った研究者が1つのエリアで、オープンマインドで積極的に研究交流ができる体制を検討します。また、様々なデータや研究資源を共有できるデータベース・プラットフォームを構築し、観測モニタリングシステムやデータ解析ツールを共有化しつつ、研究の効率化とデータの標準化を進め、科学的信頼性を高める仕組みも必要です。そして、より一層の国際的な協力が望まれる海洋分野において、オープンサイエンスに向けて本研究領域がどのように貢献ができるのか、研究領域全体で議論していきます。

## （２）採択後の本研究領域の活動

本研究領域では採択後、研究総括、領域アドバイザーと研究代表者や主たる共同研究者などの会合を設け、研究計画を適宜見直すことにより、成果のスムーズな創出につなげます。

特に、公募・採択時に予め提案された目標を既存技術や手法によって突破するという直線的なアプローチではなくて、何をすれば目的に達するのか、それ以前に、何を目標とすれば自らが目指す「イノベーションと研究の将来展望」に向けて有効なのかを立案して実施する、また、到達度に応じて実現するイノベーションの効果を再設計できる研究マネジメントが大切と考えています。異分野融合を重視する本研究領域では、公募・採択時には可能とは考えていなかった測定技術に出会うこともあり得ます。本研究領域の目標が挑戦性の高い内容であり、自らの専門性とは異なる分野の要素が関わる取組が求められていることから、その研究進捗を自らモニタリングしつつ到達目標を更新することを適宜認めることします。また領域会議の場では、学会のような研究発表形式に留まるのではなく、自らの研究方向性と計画の修正・見直しを促すための“問い”を設定し、それを議論していただきます。その取組を支えるため、研究チームの研究進捗に応じ、研究総括や領域アドバイザーと気軽にディスカッションできる“場”を大切にします。

さらに、他の **CREST**・さきがけ研究領域との連携、環境研究総合推進費などの他省庁で実施しているプログラム、さらには、国際機関との連携を視野に入れたワークショップやシンポジウムを開催し、本研究領域で創出された研究成果を共有していきます。そして、日本の海洋研究コミュニティとして「国連海洋科学の10年」に積極的に関与し、海洋の持続可能な利用実現に貢献していきます。

## （３）研究領域内外での連携

研究領域内外の連携のハブとなる海域の利用や海洋データベースのサポート機能について、積極的な提案を期待します。例えば、本研究領域の **CREST** チームが所属する研究機関の研究施設の取組として、**CREST**・さきがけ研究領域の研究者が共同利用できる海域（特定の沿岸領域など）、共同研究施設や調査船の提供などは、採択後、積極的に支援します。また、**CREST** 研究領域やさきがけ研究領域の研究者に提供できる共通データベースの設置や、データ分析やモデル構築などの支援機能を有するチームも歓迎します。

#### （４）研究総括からのメッセージ

地球温暖化問題はもう時間が残されていません。四方を海に囲まれた海洋国家たる我が国のメンバーとして、国際的な研究協力のもと、海洋と CO<sub>2</sub> の関係性の研究を推進し、海洋の持つポテンシャルに基づいた Nature-based-solution を実行することで、気候変化にレジリエントな社会を実現する Carbon Blue Transformation (Carbon Blue-X)を実現しなければなりません。特に、「持続可能な開発のための国連海洋科学の 10 年」(2021-2030 年)が実行されている今、海洋国家日本のリーダーシップが求められています。本研究領域がその一翼を担うことができれば、研究総括としてこれ以上の喜びはありません。