

海洋環境保全を担う統合観測システムの開発と構築 (22.11.16)

本提案では、目的として日本沿岸と近海の海洋環境の保全を第一に掲げ、それを以って我が国の国際貢献を果たす。この目的を成し遂げる手段は、個々の観測とモデリングの手法を先端化し、それらを最適に組み合わせることによる統合海洋環境観測システムである。学術成果はこのシステムによって生み出され、海洋科学領域の各分野、さらに海洋科学に関係する異なる学問領域との相互啓発を糧として、新たな地平に到達する。

I. 目的と背景

海洋は巨大な熱容量によって 100 年スケールの気候変動を支配し、温室効果気体の循環にも大きな役割を果たすのはもちろんであるが、我が国を取り囲み恵みを与えると共に、汚染による苦難をもたらす可能性を持っており、積極的に保全すべき環境として存在する。このような海洋環境を調べ、その複雑な機能を理解し、将来へのインパクトを予測するには、従来の観測体系を維持していれば良いわけではない。環境劣化の進行を空間的には密で広く、時間的にも持続できる尖鋭的で最適なシステムを開発し、それを近隣諸国に移転していくことが必須である。この過程を通じて、技術面だけでなく人材育成においても国際貢献を果たすことができる。これは 2007 年に制定された海洋基本法の理念にも合致している。ひるがえって見ると、高度な技術開発は我が国の産業開発にも役立つのである。学問の進展という視点からは、環境問題は種々の領域が力を合わせなければ解決できないものであるがゆえに、海洋環境と生態系の相互作用など、領域・分野にまたがるメカニズムを解明することによって、複合分野の担い手を実践的に育成することをめざすべきだ。

気候の変化が注目され、海の研究と監視の重要性が認識されるようになって 30 年以上になる。その後の議論をへて、世界海洋観測システム GOOS の構築を目指す動きが 1990 年頃に始まり、国際計画 GOOS, GCOS, WCRP は、世界の海にフロートを展開して表中層の水温と塩分を測定する Argo と、Argo や衛星のデータを数値モデルに同化して高品質の海洋データを作成する GODAE (世界海洋データ同化実験) という国際計画を 2000 年代に実施し、表中層海水循環を対象にした GOOS 構築への一歩を踏み出した。Argo と GODAE は成功を収め、人類は観測システムの構築に必要な能力をかなりの程度獲得した。しかし、その後の国際的な不況による資金難の中で、Argo と衛星を維持しながら GOOS を完成させることは難しく、国際計画 GOOS は各国の積極的な貢献を必要としている。

また、海洋生物地球化学の分野では、ここ 20 年で技術が急速に進み、研究は新たな展開を迎えた。特にクリーン技術や分析装置の進歩は著しく、これまで困難であった微量元素や同位体、遺伝子解析を用いた研究が可能になりつつある。IGBP のコアプロジェクトである SOLAS や IMBER, GEOTRACES, そして DIVERSITAS, Census of Marine Life という国際大型研究計画、および J-BON などにおいても、このような新しい技術が採用され、大気海洋相互作用、古海洋復元、海洋の物質循環と環境変化、生物の多様性と機能解析、生物資源変動などの研究課題に対し、新たな視点に立った研究が進められつつある。

申請書の構成は以下のものである。II で個別の研究手段と学術的ねらいを述べ、III では目的を達成するための手段を詳細に記述する。IV において、期待される学術的成果に加えて社会貢献も挙げる。

II. 研究内容

本提案計画では、世界が取り組んでいる表中層海水循環に関わる GOOS の構築に寄与するとともに、現行の GOOS (図1左上の青部) を、SOLAS, IMBER, GEOTRACES などの国際研究計画が取り組んでいる海洋の生態系や物質循環を含むシステムに拡張し (図1右上の赤部)、図1の青部と赤部から成る統合海洋観測システムを開発し、気候変動だけでなく、沿岸近海環境や生物資源の研究にも寄与する観測システムを構築する。さらに、深層海流を対象にした発展型海洋観測システム (図1の紫部) の研究に着手する。

海洋環境の変化を理解し予測するには、現実的な海洋状態を再現できる高解像度モデルが必要となっており、またデータ同化の手法も非常に有効である。この取組みは、気候変動を理解し予測するための大気海洋結合モデルの高精度化を促し、それが与える境界条件を利用した領域モデルにより、沿岸近海環境や生物資源の研究と予測を格段に進める。我が国が重要視する日本近海と北西太平洋を中心とし、北はオホーツク海から北極海太平洋セクター、南は中国近海から東南アジア周辺に至る広大な海域を対象にしたモデルと統合海洋観測システム (例えば黒潮親潮海域統合観測システム) は、近隣諸国との競合と相互支援を支える重要な糧となる。

本提案は新規の項目としており、既存項目との関係を説明しておく (図2を参照)。エネルギー・環境・地球科学の中で関係の深いものは

- (A) 衛星による全球地球観測システムの構築
- (B) 未来予測を目指した統合的な地球環境の観測・実験・モデル研究計画
- (C) 全地球生命史解読と地下生物圏探査計画

である。大型計画には「大型施設」(手段による) と「大規模研究」(目的と分野) の2種類がある。既存の3項目では (A) は手段に、(B) は目的に準拠しており、(C) は手段を主に目的も勘案している。本提案が成果を上げればこれらの項目を支援するが、一方で本提案が他項目の成果を利用することもある。これらの相互啓発を期待できる場合は、その旨を記述している。なお生命科学の中にある

- (D) 生物多様性の統合生物学的観測・データ統合解析ネットワーク拠点

との関係は海洋生物を介する研究に明示される。学術会議計画の根本的な問題点である学問領域ごとの縦割りを打破する必要もあり、生態系と気候変動の相互作用、陸域物質の海洋流入など、地球の未来を左右する事象を強調している。

1 から6までの研究プロジェクトを概観すると、1と2は観測システム、3は生物学、4は沿岸海洋からの視点であり、5は複合分野研究による進展、6は国際貢献について述べた。

1. 統合海洋観測システムの開発と構築 (図1の青部と赤部から成る海洋観測システム)

海洋変動の解明と監視のための観測システムには、最新の観測技術と数値モデル、さらにそれらをつなげるデータ同化技術が不可欠である。数値モデルに同化する観測データには、広域をカバーする観測データと重要海域での観測データが必要である。広域をカバーする手段としては、海上気象と海面のデータについては人工衛星と海面漂流ブイ、海洋の表中層データについてはフロートと (特定の航路に限られるが) 篤志船による観測が必要である。全球モデルを利用し海水循環を対象にした GOOS では、これらの観測が中心になる (項目 B, 項目 A)。一方、領域を対象とした特定海域の観測システムや統合海洋観測システムの化学・

生物パート（図1の赤部）では、広範囲をカバーする化学・生物センサーを搭載したフロートやブイの展開だけでなく、研究船や観測船を使ってポイントとなる海域で化学・生物センサーによる観測や拡散・混合過程の観測、および採水や生物採取を行うことが不可欠であり、さらに海面固定ブイやセジメントトラップによる観測が重要になる（項目 D）。また、統合海洋観測システムからのアウトプットの検証では、研究船や観測船での精密観測による物理、化学、生物の高品質データが必要である。こうしたデータによる検証に基づいて、気象庁、水産庁などの海洋調査研究に関わる関係省庁・機関と連携し、統合海洋観測システムの改良を行っていく。

2. 発展型海洋観測システムの研究

海洋の半分以上の体積を占める深層を対象とする観測システムは、気候変動の研究と予測に必要であると同時に、海底資源や深海生物の探索と保全にも欠かせない（項目 C）。そこで、本提案計画では発展型海洋観測システムを構築する研究を、特に打ち立てることとする。深層での乱流拡散データや高い精度が求められる水塊データを研究船や観測船で取り、重要な地点での流速などの時系列データを深海係留系で取得する。さらに、広範囲をカバーするための表中層フロートを深海用フロートに発展させる研究を進める。深海では海底地形の役割と鉛直混合が重要となり、現象の理解と共に、発展型海洋観測システムを構築するためにも新たな力学を考慮した数値モデルの開発を行う。

3. 生態系変化の解明と生物資源の確保

アジア海域における生物多様性観測体制について、AP-BON（アジア太平洋生物多様性観測ネットワーク）およびその実行組織である J-BON（日本生物多様性ネットワーク）が議論と観測計画の調整を進めている。年間を通じた東アジア海域の観測を継続してデータを収集するとともに、次世代 DNA シーケンサーなどの先端分析機器を用いた分析とモデリング研究を統合して、物質循環も含めた Microbial loop から食物連鎖までの生態系の維持機構および変動機構を明らかにする。さらに環境変化の影響をモニタリングする。我が国を初めとする海洋研究コミュニティがこれらの先端的な観測・分析を実施する上で不可欠なプラットフォームとして、先端的統合的研究船は必須である（項目 D）。

中期的な生物資源の確保については、ゲノミクス・トランスクリプトミクスなど新規アプローチも駆使して、カツオ、マグロ、マイワシなど重要魚種の産卵・回遊海域である西部北太平洋に関する総合的な知見の拡充により、これら資源の初期生活史を解明し、海洋生物資源の計画的維持・管理を可能とする。海洋環境変化の影響を詳細に解明し、環境悪化を止めるための提言を行う。

4. 沿岸海洋環境の保全と予報

我が国の沿岸海洋は、本来、高い市場価値を持っているが、情報提供の発信システムが限られており、十分に利用されていない。また漁場調査、栽培漁業のリスク低減、サンゴ礁など海洋生態系の保全のためにも、精密で即時性を持つ観測解析体制が必須である（項目 D）。このような予報・予測も含めた海洋環境情報を統合して発信するために、特定の沿岸重点海域を対象とした高解像度（500m～1km）の海流予報手法を確立するとともに、そこにデータ

を提供する稠密な海洋環境観測システムを構築し、データ同化手法によって予測モデルに統合する。特に海流観測の強化を担う短波レーダーを設置する。また、海洋生態系と物理的環境との相互関係を理解することを目指して、広域海洋物質循環を把握しプランクトン類を測るための高精度ブイやフロートを投入すると共に、衛星海色データも集積する（項目 A）。沿岸域に影響を及ぼす最大の外的要因である広範な外洋環境の監視を強化することも必要である。これらの情報を準リアルタイムで統合する解析を行い、発信可能な組織を整備するには、海上保安庁他の関係機関と協力し、自治体からの要請を常時把握する機能が最も重要となる。

5. 生態系と気候、海洋環境との相互作用

陸域生態系に加えて海洋による吸収が二酸化炭素の増加を緩やかにしている。海洋中では炭酸塩とアルカリ度を中心とする化学作用、さらに炭素を固定する植物プランクトンの生産性がカギを握っている。もし気候変化が生態系を劣化させると、これらの間に正のフィードバックが働くようになり、不可逆サイクルに陥る。この危険を食い止めるため、ポイントとなる要素のモニタリングと物理化学生物結合モデルの改良を進めなければならない。このような異分野の専門家が協力する対象として、土壌から河川を通じて海洋に流入する物質にも注目する。例えば鉄が流入しても生物に利用できない化合物だと役に立たないことからわかるように、陸域や植生の専門家との協力は新たな研究課題を立ち上げることにつながる（項目 A, 項目 D）。

6. 途上国の人材育成

我が国がこれまで進めてきた JGOFS, IMBER, 日本学術振興会多国間協力事業（沿岸海洋科学）, 全海洋生物調査 (Census of Marine Life) 等多くの国際共同研究活動をさらに拡充し、アジア沿岸・近海域の環境保全に大きく貢献する。広くアジア海域を対象としたキャパシティ・ビルディングに貢献するのはもちろんのこと、最新鋭の研究船、砕氷船の建造、分析装置の拡充、観測・情報ネットワークの構築により、本海域における研究を通じた主導的役割をいっそう向上させる。

III. 観測システムを実現するための重要課題

1. 解決すべき緊急の課題

① 高機能研究船の整備 — 特に、沿岸域や外洋域での観測に適した研究船の建造

研究船は、統合海洋観測システムの「重要海域での観測」と「観測システムの結果の検証」、発展型海洋観測システムの「高精度水塊観測」と「乱流拡散観測」、及び広域をカバーする衛星や漂流ブイ、フロートのデータの品質チェックや較正、アルゴリズムの改良のための観測を担い、海洋観測システムの柱となる観測プラットフォームである。フロートや海面漂流ブイの放流、海面固定ブイや深海係留系の設置・回収も研究船が行う。そのため、十分な観測能力と作業能力を持つ研究船を必要な隻数もつことが、我が国にとって極めて重要である。

このような新しい観測システムを支えるには、これまでになかった新たな機能を持つ研究船が必要である。例えば、海洋における微量元素や同位体に関する研究では、船の出す排気ガスや船体からの汚染の影響を受けないクリーンな試料を取ることが不可欠である。そのためには、チタンや合成樹脂などの新しい素材を使った観測機器に対応できる研究船を建造しなけ

ればならない。また、プランクトンや魚類などの生物の分布と量の精密な情報も統合海洋観測システムには必要であり、高精度生物音響探査や三次元微細構造測定、中層・底層の生物採集などの機能を十分に備えた研究船を有する必要がある。

日本の近海や沿岸域での物理、化学、生物、地学などの精密観測を支えてきた多くの研究船や調査船は、こうした観測システム、特に統合海洋観測システムでの活躍が最も期待される手段である。しかし、その代表とも言える学術研究船「淡青丸（1982年建造）」は船齢が30年近くになり、これからの統合海洋観測システムに求められる高度な新規観測に対応できない。また外洋観測機能を持つ海洋地球研究船「みらい（1996年改造）」や学術研究船「白鳳丸（1989年建造）」もいずれは機能しなくなる。この機をとらえ、新たな高機能研究船を建造していく計画が強く求められている。

② Argo フロート観測網の維持と充実

国際計画 Argo では、海面から 2000m 深までの水温と塩分のデータを 10 日間隔で取る自動昇降式フロートを 60°N~60°S の外洋域に展開し、目標としてきた 3000 基のフロート運用を 2007 年に達成した。我が国はこれまでに全体の 10%を超えるフロートを投入し、米国に次ぐ貢献をしてきた。フロートの寿命が約 4 年であることから、観測網維持のためには、年間約 800 基のフロートを投入し続ける必要がある。また、初期の成功を受け、海氷下（60°N 以北と 60°S 以南）や主要な縁辺海への観測網の拡張や、重要海域での高密度観測が求められている。しかし、予算を確保することはすべての国で難しくなっており、Argo 観測網の維持と充実のために、これまで以上の貢献が我が国に期待されている。

2. すぐに着手すべき課題

① フロート、ブイに搭載する CO₂ 等のセンサーの開発と実用化

二酸化炭素、栄養塩、酸素、クロロフィルなどのセンサーをつけたフロートやブイによる観測は、統合海洋観測システムの重要な部分であり、その結果得られる化学・生物データは、生物の活動や資源に関する研究を進め、地球温暖化や海洋酸性化への対処のために必要な炭素循環の理解を深める。海面漂流ブイに付けるセンサーの実用化と、高い圧力のかかるフロートに付けるセンサーの開発が急務である（項目 D）。

② 衛星観測の継続と衛星データの品質向上のための研究

広域をカバーする衛星データは、海洋観測システムに必須のデータである。そのデータの品質は、観測システムのアウトプットの品質に大きく影響する。近年作成された海上気象や海面の衛星データセットには品質の向上が見られるものの、海域によってはデータセットによる違いが大きく、品質のさらなる向上が求められる。それにとどまらず、海面高度計では衛星直下だけでなく面的に計測するもの、また塩分計測を可能にする技術の確立など、海洋観測システムに有効な衛星を求めていく（項目 A）。

③ 統合海洋観測システムを構成するデータ同化モデルの開発

統合海洋観測システムを構築しその成果を有効利用するには、数値モデルの中の物理、化学、生物過程と矛盾しないように物理・化学・生物データを同化して時系列グリッドデータ

を作成する、4次元データ同化システムの開発が必要である。データ同化を用いると、データの有無による影響を客観的に調べることができるので、観測システムを最適化する役割を担うものでもある。

④ 砕氷船

急激な温暖化によって海氷がなくなりつつあるが、永年結氷域が季節海氷域になる、あるいは季節海氷域がなくなると、その生態系や炭素循環がどうなるかよくわかっていない。その理由は結氷域のデータがほとんどないためである。海氷に覆われた海域を調査するのに砕氷船が必要であることは言をまたない。海氷下を測定する Argo フロートと合わせた最適化を踏まえた上で、海洋観測に特化した砕氷船が切望される。

IV. 期待される成果

海洋科学各分野における先駆的プロセス研究は、その例を図3に示す。重要な視点は、これら各分野が孤立して研究を進めるのではなく、相互の関係に大きな関心を払い、未解明課題に挑戦することである。相互作用を抜きにして海洋環境の保全を目指せないことも明白である。以下に期待される成果を具体的に列挙する。

① 海洋循環・水塊形成と物質循環のしくみと変動機構の解明（項目 C, 項目 D）

中深層にまで及ぶ海洋の物理、化学、生物パラメータの各地点での時系列データが、統合海洋観測システムによって得られるので、海水循環と物質循環、及び生態系のしくみと変動機構の理解が格段に向上する。

② 気候変動予測の信頼性の向上（項目 B）

海洋表中層のデータによって大気海洋相互作用をより正確に予測し、また中深層のデータ取得とモデル改良により海洋中の熱や温室効果気体の循環を解明することで、十年から百年スケールの気候変動の予測精度が格段に向上する。

③ 沿岸域の環境変動の監視と予測（項目 D）

領域統合海洋観測システムのアウトプットにより、人間活動の影響が強く表れる沿岸域での物理・化学環境と生態系の変化を監視し予測することができる。社会への提言を可能にし、さらに国際貢献を明示することができる。

④ 海洋生物および遺伝子の多様性に関する研究（項目 D）

最新の遺伝子解析ツールを駆使し、東南アジア海域などでの海洋生物の多様性および進化適応過程を明らかにする。さらに、エネルギー形成や感覚器官などの特定遺伝子の解析を通じて遺伝子機能から生物界を再整理し、有用遺伝子資源を探索する。

⑤ 生物資源の維持・管理と変動予測（項目 D）

統合海洋観測システムでプランクトンや魚類群集の三次元分布、物理・化学パラメータ、気候データを統合することにより、カツオ、マグロ、イワシ類など重要魚種の産卵・回遊に関する知見が格段に増加する。さらに、資源生物の環境への応答や初期生活史の解明と生物

資源の変動予測により，海洋生物資源の計画的な維持・管理方式の策定が可能になる。

V. その他の情報

・研究期間 10年

・予算規模

平成 23, 24 年に 100 億円	沿岸域・近海を観測する研究船の建造
平成 29, 30 年に 200 億円	外洋を観測する研究船の建造
平成 31, 32 年に 200 億円	極域を含めて観測する研究船の建造
上記以外に毎年 10 億円	Argo フロートの購入，センサーやモデルの開発など
10 億円×10 年=100 億円	
合計 600 億円	

・参加機関

東京大学（大気海洋研究所他），海洋研究開発機構，北海道大学，東北大学，東京海洋大学，名古屋大学，京都大学，広島大学，愛媛大学，九州大学，鹿児島大学

取りまとめ役

池田元美（学術会議 SCOR 分科会・委員長）

花輪公雄（日本海洋学会・副会長）

今脇資郎（学術会議地球惑星科学委員会・委員）

西田睦（東京大学大気海洋研究所・所長）