

戦略的創造研究推進事業
発展研究（SORST）

研究終了報告書

研究課題

「人工衛星による海洋基礎生産モニタリング」

研究期間：平成 16 年 11 月 1 日～平成 22 年 3 月 31 日

才野 敏郎

（独立行政法人海洋研究開発機構
地球環境変動領域 物質循環研究プログラム、
プログラムディレクター）

1. 研究課題名

「人工衛星による海洋基礎生産モニタリング」

2. 研究実施の概要

地球規模の気候変化、環境変化において海洋における熱・エネルギー循環と物質循環の変化が大きな役割を果たすと考えられているが、その実態を解明するためには適切な時間・空間スケールでの観測・研究が不可欠である。海洋観測・研究においては今まで見過ごされてきたイベント的現象を全球的・長時間スケールでの長期変動の文脈で理解することが緊急に求められており、今までの船舶観測に加えて、人工衛星観測と定点観測を組み合わせ合わせた時系列の観測が必要であることがますます強調されるようになってきている。特に、大気中の二酸化炭素濃度に大きな影響を及ぼすと考えられている海洋の物質循環に関しては、物質の鉛直輸送を担う生物ポンプの活動の地理的分布とその系時的变化を明らかにすることが中心的な課題となっている。ここで、人工衛星海色リモートセンシングによる植物プランクトンの量と基礎生産の測定は、それを可能にする唯一の現実的な観測手法として大きな期待が寄せられている。

しかしながら基礎生産に関してはその計測を ^{14}C （あるいは ^{13}C ）のトレーサー培養法に頼っていたために、単に多大な手間がかかるだけでなく、常にその計測値の意味づけ、定量性、再現性などに関してあいまいさを取り除くことができず、簡便、かつ客観的な検証方法の開発が求められていた。また、海洋現場における基礎生産の変動とその制御のメカニズムを理解しさらに、将来的な炭素循環、生物資源生産の予測を可能にするためには、基礎生産の定量化にとどまらず、海域での生物環境因子の変動に対する植物プランクトンの生理的応答に関する知識に立脚した基礎生産変動のモデル化が必要である。

このためCREST研究課題「衛星利用のための実時間海洋基礎生産計測システム」において、海洋定点の係留系での光学的な測定法に基づく海洋基礎生産計測システムの開発をおこない、海中自動昇降式ブイシステムの開発、現場実時間光学計測による基礎生産測定のためのセンサーとアルゴリズムの開発、及び地球化学的手法による検証法の開発を行い実運用の目途をつけることができた。

SORST研究課題「人工衛星による海洋基礎生産モニタリング」では開発した海洋基礎生産モニタリングシステムを実際に運用し、それによって作成される検証済み人工衛星クロロフィル及び基礎生産データを、海面水温、海上風ベクトル、海面高度、日射等の衛星データと合わせて利用し、海洋表層における気象・海象変動に対する生物過程の応答のプロセス研究を衛星データを用いて行いことにより本モニタリングシステムの有用性を実証するとともに、試験的運用の成果に基づいて、衛星を利用した海洋の生物過程のモニタリングのための実運用システムを設計することを目的とした。

この研究を開始した当初は2グループ体制で、名古屋大学がシステムの開発・運用と取得データ解析、東京海洋大学が海域調査・試験とデータ解析を担当することとした。データ解析に関しては前者がブイの運用によるデータとそれによって値付けされた衛星データを、後者が相模湾の長期時系列観測データを取り扱うことで、時間スケールでの住み分けを意図した。2006年段階でブイの実運用と基礎生産推定アルゴリズムの開発の遅れにより、これが前提となる人工衛星データの利用開始の遅れが不可避と判断し、水色衛星データ利用の大問題であり、名古屋大学独力で実施するのが困難であった、雲域補間の研究を京都大学に依頼して2007年より新たなグループを立ち上げた。また、2008年より研究代表者の異動により海洋研究開発機構に新たなグループを設けた。以下に各グループでの研究実施の概要を記す。

・海洋研究開発機構グループ

「全球海洋基礎生産モニタリングシステムの設計、自動昇降式ブイの改良」

本課題は本プロジェクトの最終的な目標であったが、研究代表者が平成20年度より海洋研究開発機構に異動したために、新たに本グループを結成して、海洋研究開発機構で策定する物質循環研究計画の中に位置づけて実施することとした。ここでは、欧州機構、米国の関連グループおよび、UNESCO-IOC、北太平洋海洋科学機構などの国際的枠組み、IGBP-SOLAS/IMBERなどの国際的協同研究計画などとの整合性を図りつつ、国際的分業体制にお

ける日本としての海洋物質循環に関する観測的研究の実行計画を策定する。この中で、自動昇降式海洋基礎生産プロファイラーを用いた人工衛星による海洋基礎生産モニタリングを実施し、世界への展開を図る。海洋表層の物理、化学過程のモニタリングシステムとの協調、連携に関しても国際的な枠組みで検討する。

海洋研究開発機構では平成21年度から始まる第二期中期計画における地球環境変動研究の中の物質循環研究計画の中で、「気候変動に対する生態系変動を介した物質循環の変動とフィードバック」に関する研究を中心的なテーマとして設定し、西部北太平洋の亜熱帯域および亜寒帯域の2定点において生物活動と物質循環に関する時系列定点観測を開始した。本プロジェクトで開発した自動昇降式基礎生産プロファイラーは定点観測における主要な観測機器として位置づけられている。時系列観測は平成22年1月に開始され自動昇降式基礎生産プロファイラーは両定点において現在稼働中である。

なお、後述の相模湾での通年運用の結果に基づいた自動昇降式ブイの改良は平成20年度から本グループに引き継ぎ日油技研工業と協力して実施した。この結果実用段階に達したと判断して、本年2月より本運用を開始した。

・名古屋大学グループ

「海洋基礎生産モニタリングシステムの開発・運用・解析」

名古屋大学グループでは CREST 研究で製作した高速フラッシュ励起蛍光光度計を搭載した自動昇降式ブイシステムの改良、実海域での運用技術（実際の繫留作業、ブイの保守点検、センサー類の校正・検証・保守、データベースの作成・維持、衛星データ処理、海色以外の衛星データとの統合データセット作成、等）に関する検討、および、ブイで取得したデータと検証済みの衛星データを利用して衛星時系列データを用いた海洋基礎生産の制御機構に関するプロセス研究を実施する。また衛星基礎生産アルゴリズムの改良も随時実施する。

研究は 1)自動昇降式ブイシステムの試験運用と改良、2) 海洋基礎生産プロファイラーの改良、3) 基礎生産推定アルゴリズムの開発と検証、4) 海洋表層の気象・海象変動に対する生物過程の応答に関するプロセス研究に分けて実施した。

自動昇降式ブイシステムの改良に関しては相模湾における試験運用を繰り返して、その成果をもって2006年に改良型プロファイラーユニットを開発した。水中ウインチに関して回転トルクを可変化することにより荒天時での運用実績を改善するとともに、ウインチワイヤの耐久性を向上させ、全体の信頼性を増した。さらに、高深度分解能のCTDデータを解析することにより、プロファイラーが上昇中に海面の動揺を検出するアルゴリズムを開発し、これを荒天回避装置としてプロファイラーに実装した。また予てから知られていた、プロファイラーが海面下60-70m付近にあるとき、ブイからウインチへの通信に用いる超音波が海面反射波と干渉してウインチの動作不良を起こす問題への対策を検討し、この結果新たに導入した浮力体を加工して上向きの超音波を防ぎ、ウインチとの通信の超音波出力を下げることによってこれを解決した。2005-6年にかけて外洋大水深での係留試験を行い、係留技術を開発した。2007年11月から2008年11月にかけて相模湾において3カ月間ずつ4回の運用を行い成功裏に終了した。

主センサーとしての基礎生産プロファイラー (Diving Flash)は運用が序々に長期化するにつれて、耐圧容器の腐食が深刻な問題となってきたため、容器の形状と防蝕加工の関係、犠牲陽極の取り付け方などに関して実海域における検討試験を行い、標準的な防蝕加工をセンサーに実装し良好な結果を得た。

衛星基礎生産データと比較するためには、1日あたりの水柱積算基礎生産を求めることが必要である。1日1回のプロファイラーによる計測から日・深度積算基礎生産を求めることが本プロジェクトにおいて最も重要な課題であった。これに関しては、相模湾において、日中2時間おきに基礎生産プロファイラーによる計測を繰り返し、これによって1日あたりの積算基礎生産を求めることによってデータベースを作成した。なお、日積算基礎生産は新たに開発された酸素17同位体異常法によって検証され、総基礎生産であることを確認している。得られたデータベースを解析することにより、単位クロロフィルあたりの基礎生

産と現場光照度の関係式を導き、別途求める海面光照度の日変化と海水中の光消散係数から求められる海中照度場の日変化から、単位クロロフィルあたりの基礎生産の日変化を求め、これにクロロフィルの鉛直分布の一定性を仮定して、日水柱積算基礎生産を求めるアルゴリズムを開発した。この手法は、相模湾、北西部亜寒帯太平洋、タイ湾での新しいデータセットで検証を行い良好な結果が得られた。新たに開発された、日水柱積算基礎生産推定アルゴリズムを、相模湾でのブイ実運用データに適用することにより時系列の基礎生産を求めた。

さらに、ブイ実運用によって得られた基礎生産の鉛直分布極大値 (GP^B_{opt}) が水温とクロロフィルの関数で表現できることが判ったので、この関係を利用して新たな相模湾向け衛星基礎生産推定アルゴリズムを開発した。また、相模湾向け二酸化炭素分圧推定アルゴリズムを開発し、およそ30ppmの誤差での推定を可能とした。

海洋表層の気象・海象変動に対する生物過程の応答に関するプロセス研究を、相模湾における淡青丸、青鷹丸による研究航海、セジメントトラップ実験、自動昇降式ブイの運用等で得られたデータを使って実施した。得られたデータは膨大なものでありプロジェクト終了後も解析を続けるが、現在までの特筆すべき成果としては、セジメントトラップで捕集された沈降粒子の ^{13}C 安定同位体比によって海面 pCO_2 が推定できると言う発見を挙げることができる。これは本プロジェクトにおいて通常では行えないような多項目の観測を総合的に実施することによって始めて可能になったものである。

・東京海洋大学グループ

「相模湾定点の長期時系列観測と解析および海洋基礎生産プロファイラーの試験」

東京海洋大学グループは、練習船「青鷹丸」を用いて、海洋基礎生産モニタリングのための自動昇降式ブイシステムの相模湾中央における設置・回収を担当し、同装置を用いたデータ取得（名古屋大学グループ）及びブイシステムの改良（日油技研工業）を補助するとともに、設置期間中に船舶による水温、塩分、栄養塩、溶存酸素、クロロフィル、基礎生産、および海中光学的測定等を行い、ブイデータとの比較のための現場データを取得した。また、相模湾における海洋環境と物質循環の変化の解析（森本）のための基礎情報を提供し、さらに相模湾トラップ実験（三野、鋤柄）のためのセジメントトラップの設置・回収を行った。

東京海洋大学グループ独自の課題としては、生態系の長期変化に関する現場時系列観測とデータ解析を行い、生態系過程を取り込んだ気候変動予測モデルの高度化に貢献した。具体的には、CREST（1999年11月～2004年10月）「衛星利用のための実時間海洋基礎生産計測システム（現場培養による基礎生産測定及び自動昇降ブイの開発グループ）」、およびSORST（2004年11月～2009年10月）「人工衛星による海洋基礎生産モニタリング（海域調査・試験・解析グループ）」の実施期間中に、練習船「青鷹丸」により相模湾の定点S3（北緯35°、東経139°20′）および東京湾内の複数の観測点においてほぼ毎月、観測を行い、それによって得たデータを解析して環境変化とプランクトンの群集組成の変化との関係を明らかにした。相模湾においては、植物プランクトンの種組成、動物プランクトンの主要分類群ごとの炭素量、栄養塩濃度、クロロフィル濃度、基礎生産を時系列解析し、人工衛星による表面クロロフィル分布画像を取得して比較を行い、生物群集の季節的変化の平均像と黒潮流路の変動に伴うそれらの変化を明らかにした。また、東京湾においては、上記研究期間以前（1981年～）に、同じく「青鷹丸」によって取得した水質環境、植物プランクトン群集組成のデータと気象庁による観測データ等を解析することにより、中長期的な環境変動と生態系の変動に関して研究を行った。

・京都大学グループ

「4次元データ同化手法を用いた水色衛星データの補間法の開発」

雲域等により欠測のある水色衛星データを4次元変分法データ同化手法により客観的に補間するための統合同化システムを開発するとともに、その高精度・高機能化を行った。具体的には開発済みの海洋大循環データ同化モデルに、11個コンパートメントの海洋低次

生態系モデル NEMURO (North Pacific Ecosystem Model for Understanding Regional Oceanography) を実装することにより、水色衛星データ等の補正と補間、ならびにプロダクトの再現性向上に有効な各種のパラメータ値の最適化を一体的に行えるシステム開発に成功した。その機能検証として、まず、one box model で identical twin (双子) 実験を実施し、研究目的の1つである時間的に均一なデータセットの作成に関する NEMURO アジョイントモデルの実効性能を確認した。具体的には、NEMURO アジョイントにより、真の状態とみなしたモデル解に、誤差を与えたモデル結果が近づくことが分かった。さらにブルーム発生時期を対象とした感度実験 (逆解析) を実施し、クロロフィルを含む各種の栄養塩と動植物プランクトンの季節進行が観測結果の傾向を再現することを確認した。

次に、地球温暖化をはじめとする気候変動・環境変動における、その変化の影響が未知である、海洋物質循環の役割の解明のための次世代プラットフォームとすべく、4次元海洋大気陸域フル結合データ同化システムに海洋低次生態系モデル NEMURO を発展的に融合した。その海洋循環・NEMURO コンポーネント同化モデルを用いて、3次元物理環境場と統合的な低次生態・化学過程を診断できる統合化システムを完成した。拡充したシステムを1990年代の再現実験に適用した結果、水色衛星観測結果と定性的・定量的に整合する現実的な物理循環場 (流速、水温、塩分) ならびにクロロフィル量の時系列グリッドデータの試作に成功した。加えて、他の栄養塩濃度やプランクトン量の季節変化も良好に再現できることを確認した。

以上のように、当初の目標であるデータ同化による水色データの欠損値四次元補間の実効的システムの構築に加えて、物理モデル・低次生態系モデルの一体的改良が可能なプラットフォームを開発した。本研究で開発した手法は海域別の生態系の特色に応じたパラメータ推定が可能なので、海盆スケールにおける低次生態系の季節・経年変動研究に有用である。

3. 研究構想

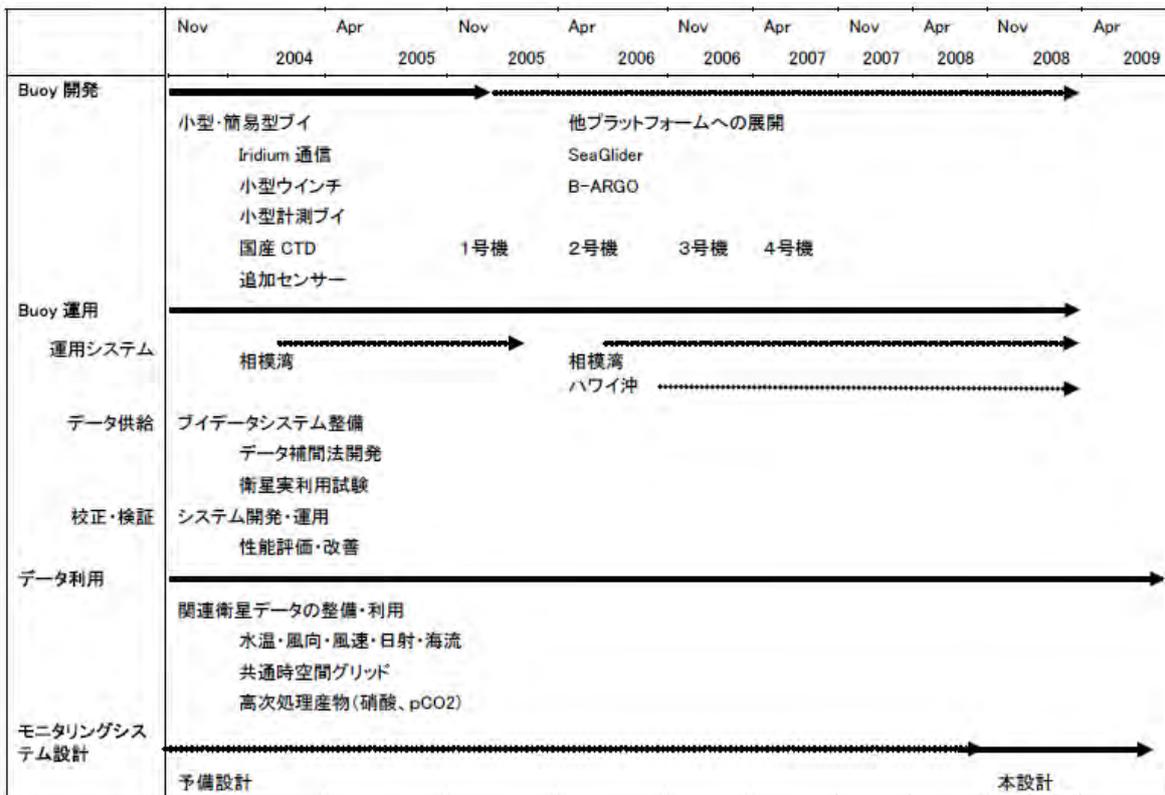
研究開始時の目標：

本 SORST 研究課題は、現在その構築が緊急の要請とされている地球環境変化モニタリングシステムにおける海洋環境モニタリング、特に今まで開発の遅れていた海洋生物過程のモニタリング、に関する新しい手法を世界に先駆けて提示し、将来の統合地球観測戦略-全球海洋観測システムにおけるデファクトスタンダードを作り出すことを意図している。

本研究課題によって提案されるモニタリングシステムを運用することによって、将来的には数年から10年以上のスケールでの気候変動に対する海洋生物過程の応答とそのフィードバックに関する研究を進展させ、全球の大気海洋結合海洋生物物理化学モデルによる気候変動予測研究を進展に貢献したいと考えている。しかしながら本SORST研究期間中には、主として実施期間中に得られる準実時間海洋基礎生産衛星データを中心的に、他の水温、海面高度、海上風ベクトル、日射量などの物理的な海面における駆動力に関する衛星データと組み合わせ、海面での物理的な駆動力に対する海洋生物過程の応答に関するプロセス研究を実施することに主眼をおく。衛星データを利用したプロセス研究は物理的現象に関しては珍しくないが、基礎生産に関する限り、今まで十分な検証データが存在しなかったため、短期的な変動を追跡した研究はほとんど存在しない。将来的に長期変動を解析するためには短期的な変動に対する解析的なプロセス研究が不可欠であり、本研究によってそれが可能になることの意味は極めて大きい。

研究開始時の研究計画と進め方の概要：

次に示すのは、2004年11月1日研究発足当時の全体計画の線表である。



次に示すのは2007年2月22日付けの研究計画の線表である。基本的な計画に関しては研究発足時の計画から大きな変更は無いが、当初考えていた実機4台、2箇所での並列運用を、実機2台、1箇所での単独運用に縮小した。また、当初独力で実施しようと思っていた、水色衛星データの補間法の開発に関しては予想外に困難であることが判明したため、2007年度よりあらたに研究グループを組織して集中的に研究を進めることとした。

	Nov 2004	Apr 2005	Nov 2005	Apr 2006	Nov 2006	Apr 2007	Nov 2007	Apr 2008	Nov 2008	Apr 2009
Buoy 開発	小型・簡易型ブイ開発 Iridium 通信 小型計測ブイ 小型 CTD 追加センサー					実機 2 台体制 荒天回避装置開発	開発終了			
Buoy 運用	相模湾試験運用・深海係留試験					データ取得 FRRF 耐圧容器の改良		相模湾実運用		外洋実運用
FRRF 多数運用	校正システム開発・運用 履歴管理・統一データ					相模湾実運用		外洋実運用		
世界展開	Chelsea 機運用					紀本機運用		紀本機運用		紀本機運用
基礎生産アルゴリズム開発	光合成パラメータデータベース 基礎生産計測・検証・データベース作成 アルゴリズム開発					リアルタイム日積算基礎生産提供				
衛星データ利用プロセス研究	関連衛星データの整備・利用									
	水温・風向・風速・日射・海流 水色データ補間法開発 共通時空間グリッド 高次処理産物(硝酸、pCO2)									
	検証用海洋観測プロセス研究および モデル化研究の実施					相模湾・北洋		相模湾		相模湾・北洋
モニタリングシステム設計	予備設計									本設計

また、当初計画では、外洋域での運用をハワイ沖時系列定点 HOT において実施することを計画していたが、Fish Bight の問題が深刻であることが判明したため、西部亜寒帯北太平洋の時系列定点 K2 に変更した。

2008 年 4 月より研究代表者が海洋研究開発機構に異動したため、名古屋大学グループの研究項目の一部を海洋研究開発機構に移したが、内容に変更はない。

次に、2009 年 4 月 1 日付の計画線表を示す。

	Nov 2008	Apr 2009	Nov 2009	Oct 2009	Mar 2010
Buoy 開発	外洋実運用向け改装				外洋実運用*
Buoy 運用	データベース整備 海洋データ配信				
FRRF 多数運用	みらい、淡青丸、おしよる丸、長崎丸、青嵐丸				
校正・検証	校正システム開発・運用 履歴管理・統一データ (再解析、アーカイブ)				
データ利用	相模湾酸素代謝モデルとの比較: 海洋時系列データと衛星時系列データ 関連衛星データの整備・利用 (相模湾・東京湾データベース + H19.20 淡青丸航海) 水温・風向・風速・日射・海流 水色データ補間法開発 共通時空間グリッド衛星データセット 高次処理産物(硝酸、pCO2)				衛星データ利用に関するシンポジウム開催*
モニタリングシステム設計	国際的枠組み: GEOS, IOCCG, IOCCP, PICES 国際協同研究計画: GCP, SOLAS/IMBER				
	設計検討		本設計		評価・調整

ここで、当初 2009 年 10 月で終了する予定を半年間延長した。これにより、2010 年 1 月から開始する西部北太平洋での「気候変動に対する生態系変動を介した物質循環の変動とフィードバック」研究のための時系列定点観測を本プロジェクトの最終活動と位置付けることができた。さらに、一昨年終了した SORST 課題「全球高精度植生バイオマス推定の実用化ー衛星による多方向観測を利用した高精度バイオマス推定の実用化ー」(研究代表者

本多嘉明) と共同で衛星データ利用に関する国際シンポジウムを開き、SORST 課題としての、人工衛星による陸と海の基礎生産過程の研究成果を発表することとした。これは GCOM-C 衛星ミッションが本決まりになったタイミングをとらえたものである。

研究の新展開から生まれた目標：

CREST 研究終了時に、FRRF によって総基礎生産が計測され、それが酸素 17 同位体比異常法によって検証可能であることがわかった。このことは両者を合わせることによって酸素の滞留時間である数日から 10 日程度の平均的な大気-海洋ガス交換係数を求めることが可能であることを意味しているので、SORST 研究においてはこれを確認するための研究を実施している。また、従来衛星から推定される基礎生産としては ^{14}C 法によって推定される純基礎生産が採用されていたが、本研究では FRRF によって客観的に計測され、しかも独立の手法で検証可能である総基礎生産を、新たに衛星により推定される基礎生産の対象にすることを提案したいと考えている。このためには、総基礎生産のデータが物質循環の研究にふさわしいものであることを実証する必要がある。この観点から、相模湾、西部亜寒帯北太平洋の定点において酸素 17 同位体比異常法および酸素/アルゴン/窒素比を指標にして研究を行っている。さらに、世界中の広範な海域において FRRF 法による総基礎生産の計測を行い、人工衛星データの検証データを取得することを目指して、8 台の自作 FRRF および 3 台の Chelsea 社製 FRRF を用いて、北極海、ベーリング海、北部北太平洋、中部北太平洋、日本海、東シナ海、北西大西洋、南極海での計測を行った。

水色衛星データにおいては、雲による欠測が深刻な問題である。これを実際の計測値から時間・空間的に内挿することが、衛星データを使ったプロセス研究の成否を握っている。当初この研究は独力で可能と考えていたが、非常に困難であることが判明した。2006 年度に文科省の共生プロジェクトにおいて開発された物理的な大気・海洋・陸面結合 4 次元データ同化手法に海洋生態系モデルを組み込むことによりこれが可能になることを期待して、新たに研究グループを組織し、2007 年度よりこれに取り組むこととした。

2008 年 4 月より研究代表者が海洋研究開発機構に異動したため、同所に新たな研究グループを組織し、当初の最終目標である全球海洋基礎生産モニタリングシステムに関する研究を実施するとともに、自動昇降式ブイシステムの改良に関する研究も同グループに移し、日油技研工業と協力して実施することとした。

サブグループ毎の役割分担：

・ 全球海洋基礎生産モニタリングシステム設計グループ (海洋研究開発機構)

全球海洋基礎生産モニタリングシステムの設計
自動昇降式ブイシステムの改良

・ システム開発・運用・解析グループ (名古屋大学)

自動昇降式ブイシステムの運用
FRRF の改良、運用
データシステムの整備、運用
基礎生産アルゴリズムの開発
海洋観測データおよびモデルを用いた海洋プロセス研究
衛星データを用いた海洋プロセス研究

・ 海域調査・試験・解析グループ (東京海洋大学)

相模湾定点における自動昇降式ブイシステムの運用、改良
相模湾・東京湾における長期時系列海洋観測
相模産・東京湾における海洋環境の長期変動と気象・海象要因

・ 水色衛星データ補間グループ (京都大学)

4 次元データ同化手法による人工衛星海洋表層クロロフィル a 分布データの時空間補間

4. 研究実施内容

4.1 海洋研究開発機構グループ

「全球基礎生産モニタリングシステム設計、自動昇降式ブイシステムの改良」

(1)実施の内容

本グループは2008年4月より研究代表者が海洋研究開発機構に異動したため、新たな研究グループとして組織されたものであり、それまで名古屋大学グループの研究実施内容としていた、当初の最終目標である、全球海洋基礎生産モニタリングシステムの設計に関する研究を実施するとともに、自動昇降式ブイシステムの改良に関する研究も同グループに移し、日油技研工業と協力して実施することとした。

a) 「全球海洋基礎生産モニタリングシステムの設計」の研究に関しては、海洋研究開発機構で策定する物質循環研究計画の中に位置づけて実施することとした。そこでは、欧州機構、米国の関連グループおよび、UNESCO-IOC、北太平洋海洋科学機構などの国際的枠組み、IGBP- SOLAS/IMBERなどの国際的協同研究計画などとの整合性を図りつつ、国際的分業体制の中で、日本としての海洋物質循環に関する観測的研究の実行計画を策定することを目指す。この中で、自動昇降式海洋基礎生産プロファイラーを検証装置としての人工衛星による海洋基礎生産モニタリングを実施し、世界への展開を図る。海洋表層の物理、化学過程のモニタリングシステムとの協調、連携に関しても国際的な枠組みで検討する。

b) 「自動昇降式ブイシステムの改良」に関しては、海洋研究開発機構では日油技研工業と協力して、2008年度で完了する、相模湾における通年運用で得られた各種ログデータを解析することにより、将来の実運用に向けたSORSTプロジェクトとしての完成形を得ることを目標とした。

(2)得られた研究成果の状況及び今後期待される効果

a) 全球海洋基礎生産モニタリングシステムの設計：海洋研究開発機構では平成21年度から始まった第二期中期計画における地球環境変動研究における物質循環研究計画の中で、「気候変動に対する生態系変動を介した物質循環の変動とフィードバック」に関する研究を中心的なテーマとして設定し、西部北太平洋の亜熱帯域および亜寒帯域の2定点において生物活動と物質循環に関する時系列定点観測を開始した。

この時系列観測においては、気候変動に伴う海洋表層への風応力、日射、海流等の物理的外部入力に対する、海洋浅層での成層構造、基礎生産をはじめとする低次生物生産過程の応答とそれによる栄養塩環境の変化、また海洋浅層での生物・物理過程の変化による海水中の物質輸送過程等に関する素過程の理解を目指している。観測点の位置としては、我が国が国際的な分業のなかで責任をもって維持するためのロジスティックスの容易さから、西部北太平洋を選択した。この海域は世界の海域の中でも大気海洋相互作用の強い海域として知られているが、

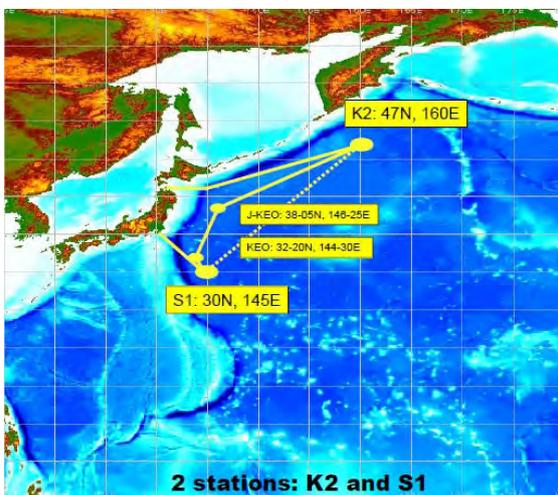


図4-1-2a-f1 西部北太平洋時系列定点K2とS1

その中でも特徴的な北東モンスーン風の強度は全球規模での大気のダイナミクスの一部として気候変動に深くかかわっている。また、西部北太平洋には亜寒帯域での親潮を含む還流と、亜熱帯域での黒潮を含む還流の2つの還流が存在し、北東モンスーンの強弱に対して2つの還流が対照的な応答をすることが知られている。このような海域によって異なる応答を調べるためには2つの還流の中に定点を設けて海洋の応答を比較することが有効と考えて、2つの定点(図4-1-2a-f1)を設けることとした。

時系列観測のための「みらい」の航海は主要研究課題「気候変動に対する生態系変動を介した物質循環の変動とフィードバック」として提案し採択されている(表4-1-2a-t1)。これら航海における船舶観測と実験に加えて、係留系による観測と試料採取が主要な観測手段であり、本プロジェクトで開発した自動昇降式基礎生産プロファイラーは主要な観測機器として位置づけられている。一連の時系列観測は平成22年1月に開始され自動昇降式基礎生産プロファイラーは両定点において現在稼働中である。

表 4-1-2a-t1 2009 年から 2011 年までの主要課題別みらい航海。時系列観測航海は赤矢印

Mirai Cruises 2009-2011 (Planned)

Fiscal Year Duration	2009												2010		
	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Jan	Feb	Mar
2009	MR-09-01 Steaming Heat, Material transport Repeat Hydrography		Maintenance				MR-09-02 Integ Arctic Sea Res (Arctic Sea)	MR-09-04 Atm. Ocean Interaction in Tropics (Western Pacific)	MR-10-01 Ecosystem-BGC Time Series (NW Pacific)						
2010	Maintenance		Atm. Ocean Interaction in Tropics (Western Eq. Pac)	Atm-Ocean Interaction Precipitation Process	Integ Arctic Sea Res (Arctic Sea)	Ecosystem-BGC Time Series (NW Pacific)	Atm. Ocean Interaction in Tropics (Western Pacific)	Ecosystem-BGC Time Series (NW Pacific)							
2011	Ecosystem-BGC Time Series (NW Pacific)	Maintenance		Ecosystem-BGC Time Series (NW Pacific)	Atm. Ocean Interaction in Tropics (Western Eq. Pacific)	Heat, Material transport Repeat Hydrography (Indian Ocean)									

本研究においては、FRRF法によって海洋の総基礎生産が計測できること、さらに酸素17同位体比異常を計測することによりガス交換係数を計測できることを明らかにした。酸素：アルゴン比、または酸素：窒素比を計測することによって純群集生産を見積もることができるので、それらの計測を組み合わせることによって有光層内での生物活動を定量化することができる。自動昇降ブイによれば、運用方法次第では、表層混合層と垂表層の乱流混合も見積もることも可能である。さらに混合層下部でのセジメントトラップを併用すれば、表層生産層からの輸出生産も計測できる(図4-1-2a-f2)。さらに、現在海洋研究開発機構で開発を進めている、二酸化炭素分圧モニタリングシステムをこれに加えれば有機炭素の動態のみならず炭酸カルシウムの動態も解析することができるだろう。

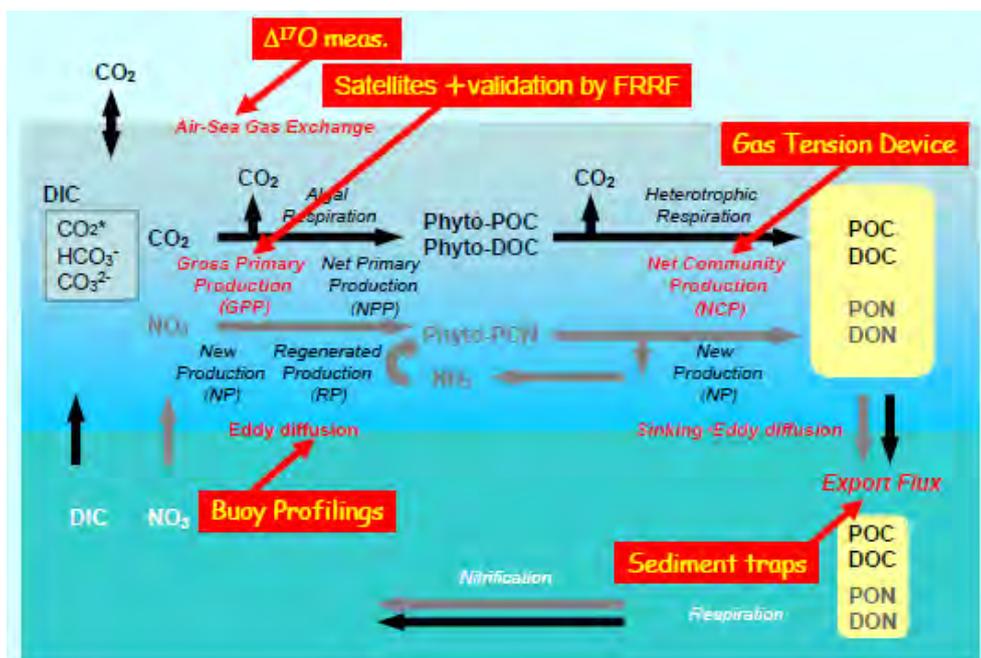


図 4-1-2a-f2 本研究で開発した自動昇降ブイシステムを中心とする海洋の炭素・窒素循環過程のモニタリングシステム。従来までの純基礎生産に基づく炭素・窒素循環過程の研究をこのシステムで置き換えることが可能である。

b)自動昇降式ブイシステムの改良

SORST 期間中は外洋域長期運用を最終目標に、表 4-1-2b-t1 に示す昇降システムの改良および周辺技術の習得・応用を実施した。

表 4-1-2b-t1 自動昇降式ブイシステムの改良の項目と時間経過

項目	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
外洋（大深度）域へ可能性評価							
係留系の机上検討		■					
大深度係留系のノウハウ習得		■	■				
最適な係留系の選択			■				
短期大深度係留実験（四国沖）			■				
短期大深度運用（Stn.K2）			■				
長期大深度域への適用							
昇降ブイの形状検討		■	■	■			
・形状の机上検討		■	■	■			
・縦置き円筒型ブイの挙動把握		■					
・フィッシュタイプ型ブイの適用			■				
水中ウインチ 引き込みトルク強化			■				
水中超音波通信の改善			■				
海況不良時の予測・退避対策			■	■			
準長期運用（相模湾沖）				■	■		
長期大深度係留機材準備・整備						■	
（準）長期大深度運用（S1・K2）							■

b-1 大深度係留系の机上検討から大深度(Stn.K2)における短期運用

CREST 期間（1999～2004）中は相模湾の湾央地点（水深約 1,500m）で運用をおこなった。水深 1,500m に対して昇降ブイの設置水深が 150±25m となることが望まれていた。つまり、標準係留系長 1,350m に対して 30m（3.7%）の誤差範囲が許容されていた。相模湾で実施していた緊張係留系は約 500kg の重錘を用いて 300kgf 弱の張力で設計されていた。この場合、係留系に負荷される張力も少なく、係留長の相対誤差も緩いことより、係留系の特性を深く理解しない状態で運用することが可能であった。

SORST 期間中は、外洋域の時系列観測実施地点で運用することが目標に置かれた。太平洋の場合、外洋域の観測点は水深 4,000m 以上である。大深度における実験においても、特に注意すべき環境条件が無い場合、システムの耐圧深度や搭載電池容量の点から昇降ブイの設置水深は 100～150m が望まれた。昇降ブイの位置条件が同じで、観測点の水深が異なる場合、深い水深に設置するほうが要求条件が厳しくなる。実際に 2006 年におこなった Stn. K2 での運用の場合、水深が 5,200m であり、係留系長を 1% 以内の誤差範囲に納める必要が生じた。また、海流などの流れによる係留系の傾斜を極力防ぐため、約 1,000kg の重錘を用いて 500kgf 程度の緊張係留系を設計する必要があった。

数千 m 級観測点での運用は、CREST 期の取り組み方の延長には限界があると判断した。そこで、大深度で安定的に実績を上げていたハワイ大学の係留系等を参考にして、係留系の検討をおこなった。設計上の大きな違いは、我々は主要係留索に樹脂ロープを用いていたのに対して、ハワイ大学ではワイヤーを用いていた。簡単な対比表を表 4-1-2b-t2 に示す。

我々のシステムにとって、昇降ブイを想定範囲に設置することが最重要課題であり、主索をワイヤーにすることが望ましかった。一方、5,000m 当たりワイヤーの水中重量はおおよそ 1,000kgf と算出され、相殺するための浮力材も同程度必要となり、ロープの場合と比較して係留機材が 1 桁以上大きくなること・運用時に必要な船上設備も大掛かりになる

ことが推察できた。そして、机上検討だけでは運用時の作業を把握しきれないことも明確になった。そこで理解を深めるために、ハワイ大学の係留系運用作業に同行して、実態調査を実施した。

表 4-1-2b-t2 異なる係留索の特性と係留索設計における留意点

主要係留索	伸長率 (%)	直径	単位水中重量	その他 留意点
ワイヤー*1	1%未満	約 6mm	200kgf/km (1.96 kN/km)	搭載浮力増 専用設置ウインチ必要
樹脂ロープ*2	材質による。 数%	10mm または 12mm	15kgf/km (0.15kN/km)	フィッシュバイト

*1 ワイヤー：ハワイ大学の Mosean ブイには 3/8 インチや 7/16 インチなども使用されているが、この表では学術用緊張係留に良く用いられている 1/4 インチを代表とした。

*2 樹脂ロープ：CREST における相模湾湾中部で運用していた係留系のロープ。主に直径 12mm のナイロンロープ または 10mm のベクトランロープを使用していた。

2005 年 05 月 ハワイ大学の R/V Kilo Moana で実施された Mosean ブイの回収・再設置作業に立会った。図 4-1-2b-f1 に観測船・運用場所・係留系図を示す。

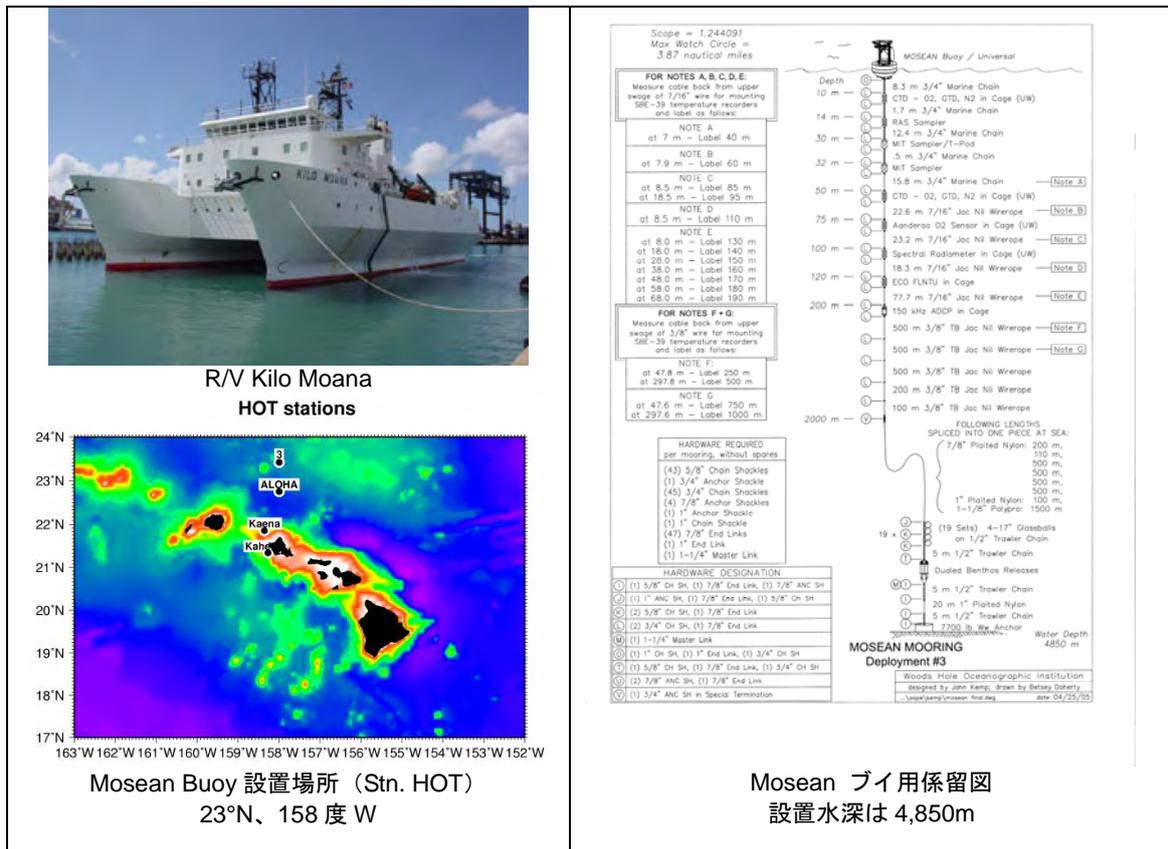


図 4-1-2b-f1 ハワイ大学で実施している時系列観測について。左上写真：ハワイ大学の研究調査船 Kilo Moana、左下図：Stn.HOT 周辺の位置情報、右図：作業に用いられた係留図

Mosean ブイ係留系の回収作業は 09 時に重錘直上の切離装置を作動させ、09 時 45 分まで待機した後に回収を始めた。回収終了は 17 時 45 分で、全体で 9 時間を要した。作業の内容は機能的であったが、立ち会うことによって初めて意識できた課題もあった。運用上留意すべき点の一つ目は、ロープと異なり最小曲げ半径が大きいので巻き取り機（写真



写真 4-1-2b-p1 Kilo Moana での甲板作業, キャプスタンによる巻き取り



写真 4-1-2b-p2 Kiko Moana での甲板作業、絡んだガラス玉

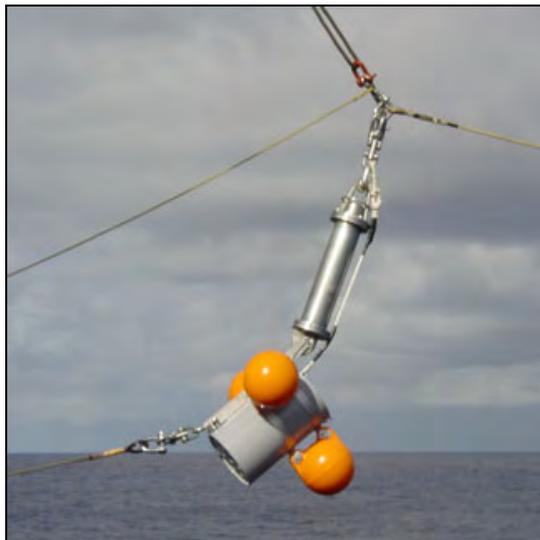


写真 4-1-2b-p3 「かいよう」実験で使用したロープキャニスタ

4-1-2b-p1) やシーブなど、大型の専用機材が必要であること。二つ目は、ヨリがある為にワイヤーをケーブルドラムに巻かなければならないこと(設置の場合は、船の艀装前にワイヤーを巻き取ったケーブルドラムを準備する必要がある。ロープのように小分けに出来ない。設置作業中に係留長を調整する作業=不測の対応=に融通が利かない)。三つ目は、回収時にほぼ確実に絡んで上がってくること(写真 4-1-2b-p2)。写真の様な状態で上がってきたときは甲板に引き上げるときも危険であり、そして、浮力球の分離作業にも熟練を要すること、などである。

これらの課題に対応するためには、専用の機材・専用スタッフの確保と育成・運用船舶との綿密な打ち合わせが必要であり、当初予想以上に困難な課題であることがわかってきた。

比較検討の結果、係留索のロープの特性を詳しく理解することによって、ワイヤーよりも劣っている伸長率の問題を解決することのほうが我々にとって有利であると判断した。また、鯨のいる地域・深度は、フィッシュバイト対策として、その恐れのある深度に限りワイヤーロープを使用することで対応できる見通しが出来た。

これらの経験に基づいて 2005 年 09 月と 11 月に、R/V かいようにおいて、四国沖の海域において 4,000m 級の短期係留系運用作業を実施した。

9 月実施時はロープの伸長率を素材メーカーの性能表を参考に係留系を設計した(図 4-1-2b-f2)。また、想定以上に深く設置されたときの対策として、ロープコンテナ(調整用のロープを筒の中に入れたもの(写真 4-1-2b-p3))を 2 箇所搭載した。09 月の試験では、係留系の長さが水深以上になってしまい、昇降ブイが設置後も水面に漂ってしまった。伸長率を考慮したロープ長を設計時に 2% としていたが、実際には 4% 程度となっていたこと・測深結果の誤差を過少に見積もっていたことが失敗の原因であった。また、係留系設計が結果として不十分だった原因の一つに、ロープキャニスタがあった。09 月の試験の経験からは、係留系の設計に関しては今までの経験に頼らないで、改めて精密かつ細心に実施することが必要であることが判った。

自動昇降ブイシステム用 係留系(四国沖)

ロープ 3,510-4,010m(伸長率無し)+撻利41m
 ロープ 3,580-4,080m(伸長率2%)+撻利41m

⇒希望設置水深:4,200m

浮上力:約530kg
 設置力:約340kg

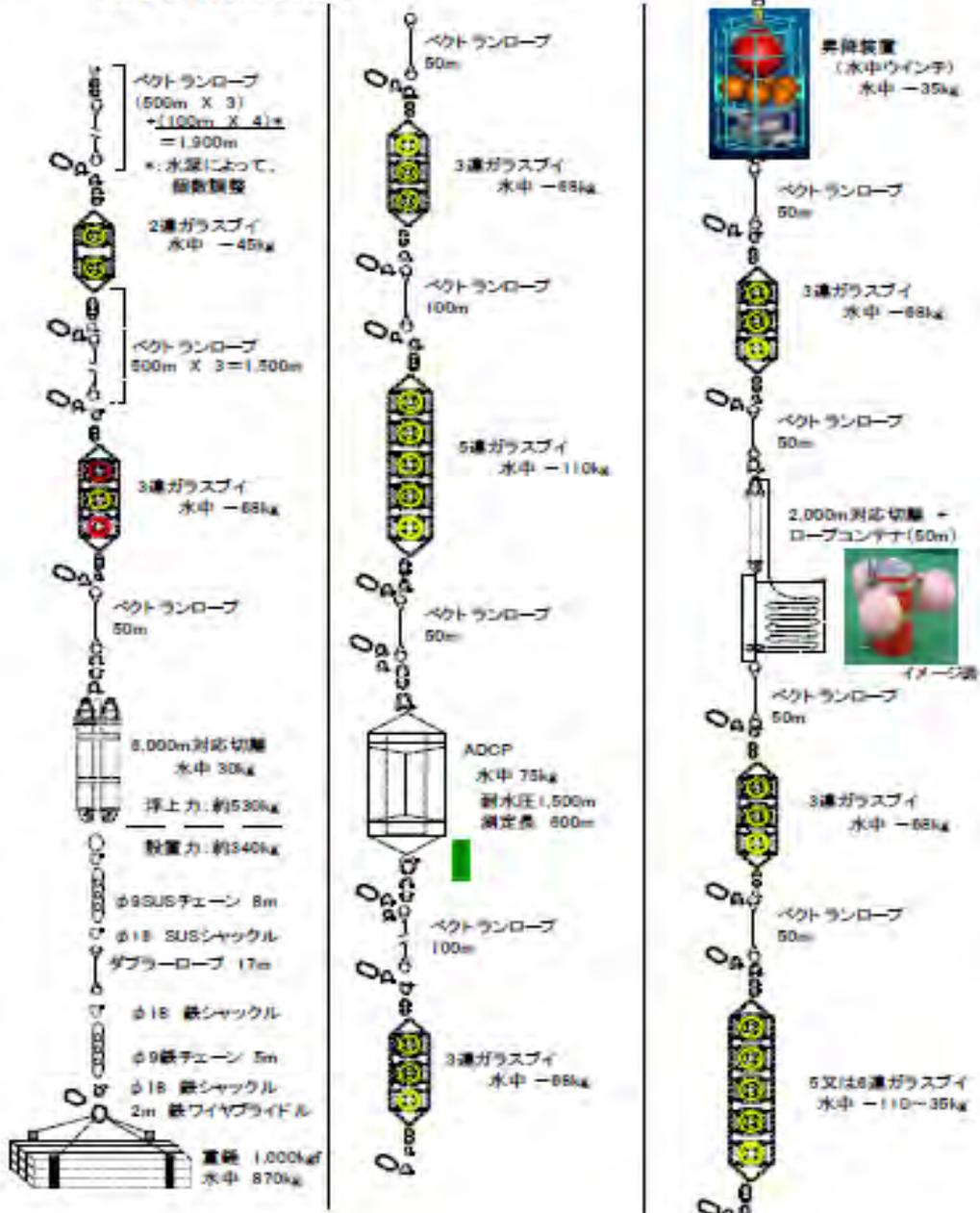


図 4-1-2b-f2 2005 年 09 月四国沖実験係留系構成図

11 月の試験では、取り組み方の不十分だったロープ長を実測して設計に反映した。ロープの測長は日油技研工業株式会社の敷地で実施した。方法は 2 点のアンカー（コンクリートブロック）の間に、張力計・手動型巻き上げ機（チルホール）・ロープを直列に接続し、巻き上げ機でロープの弛みを取り、張力を負荷した状態でロープの長さを測距計で測定した（図 4-1-2b-f3, 写真 4-1-2b-p4）。

測定結果を表 4-1-2b-t3 に示す。09 月ではロープの伸長率を 2%と想定していたが、実際には現場での負荷張力約 400kgf (3.92 kN) 時には 3 から 4%の範囲で伸びることがわかった。これは、メーカー性能と比較して 2 倍強の結果であった。また、プロジェクト初期に準備したロープだと思われるが 10%を越えていたものもあった。

更に、張力と伸び率の関係を調査するために、100kgf 毎にロープ長を測定した。この確認試験では、レーザー測距計の誤差範囲だったので、基準点を設けてメジャー（金尺）で測定した。その結果、100kgf から 400kgf の間では 100m のロープ長に対して、0.33m/100kgf の割合で伸長していくことが判った（図 4-1-2b-f4）。これは、メーカー性能と同等（若干高め）の結果だった。これらのことから、メーカーから納入された初期納入長が既に 2~3% 長い状態であったことが推測された。この確認試験によって、09 月の失敗の一番大きな原因が、ロープ長の見積もりの不正確さによるものと判断した。

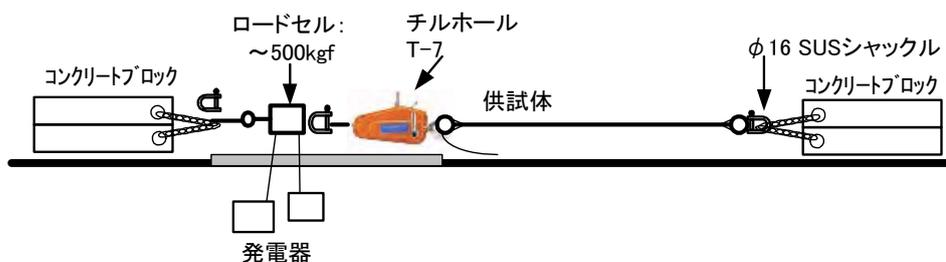


図 4-1-2b-f3 ロープの負荷伸長計試験の部材構成



写真 4-1-2b-p4 ロープの負荷伸長計試験風景

表 4-1-2b-t3 係留系に使用していたロープ長の伸長結果（実施：2005/10/22）

供試体番号	材質・購入長(m)	下の張力負荷時のロープ長(m)			
		100kgf	200kgf	300kgf	400kgf
1	φ 10 ベクトラン・100	102.2	102.2	102.5	103.3
2	φ 10 ベクトラン・100	101.3	101.3	102.2	102.5
3	φ 10 ベクトラン・100	102.1	102.7	103.1	103.4
4	φ 10 ベクトラン・100	102.2	102.2	102.2	103.2
	メジャー変位測定	0.0	0.4	0.7	1.0
5	φ 10 ベクトラン・100	101.2	102.2	102.2	102.3
	メジャー変位測定	0.0	0.3	0.7	1.0
6	φ 12 ナイロンダブラー・100	106.2	110.2	113.2	116.1
7	φ 10 ベクトラン・50	51.4	51.5	51.7	51.9
8	φ 10 ベクトラン・50	51.5	51.6	51.8	51.9
9	φ 10 ベクトラン・50	51.3			51.8

10	φ10 ベクトラン・50	51.1			51.8
11	φ10 ベクトラン・50	51.1			51.7
12	φ10 ベクトラン・50	55.8			56.4
13	φ10 ベクトラン・50	53.9			54.6
14	φ10 ベクトラン・50	51.1			51.7
15	φ10 ベクトラン・100	102.1			103.0
16	φ10 ベクトラン・500	510.1			515.0
17	φ10 ベクトラン・500	510.7			515.7
18	φ10 ベクトラン・500	511.6			516.5
19	φ10 ベクトラン・500	520.1			516.5
20	φ10 ベクトラン・500	511.3			516.5
21	φ10 ベクトラン・500	519.7			516.5

11月の四国沖試験では、ロープ長の実測結果そして係留系の構成要素毎に重量と測長計測結果を反映させて係留系の設計を行った。その結果1日間と極めて短期間の海域検証実験であったが、ほぼ予定した水深に水中水ウインチを係留することに成功し、樹脂ロープ（ベクトランロープ）を使用した大深度係留系実運用の可能性を示すことが出来た。

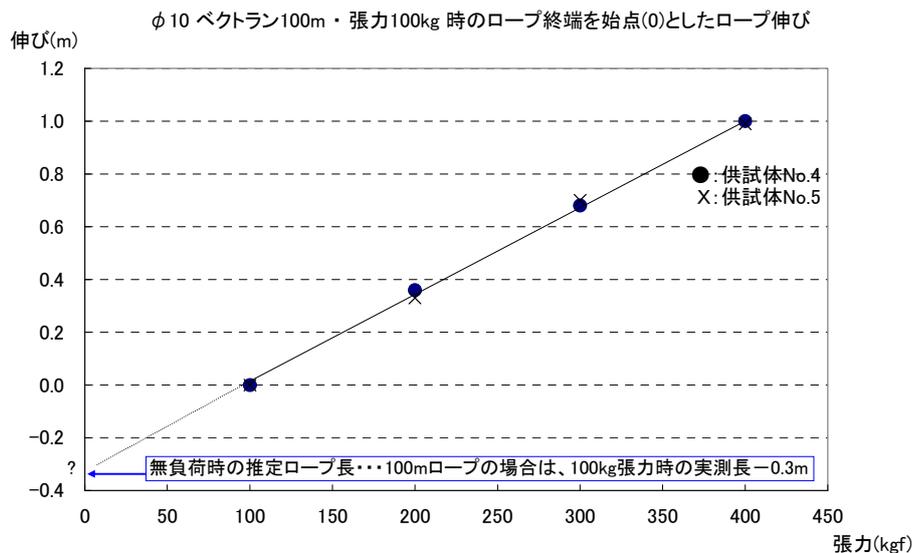


図 4-1-2b-f4 ベクトランロープ (10mmφ) の伸びと張力の関係

b-2 長期大深度域運用のための検討

b-2-1 昇降ブイの形状検討

CREST 期間中前半は、昇降ブイの搭載容量に自由度を持たせるために大型のブイを使用していた。大きなブイで浮上時のアンテナを高くすることにより陸上とのデータ交信も安定すると思われたが、実際には相模湾湾央で5割程度の結果しか残せなかった。そこでSORST 期間では、再度、昇降ブイの形状について見直すこととした。CREST 期間中の昇降ブイを写真 4-1-2b-p5 に示す。

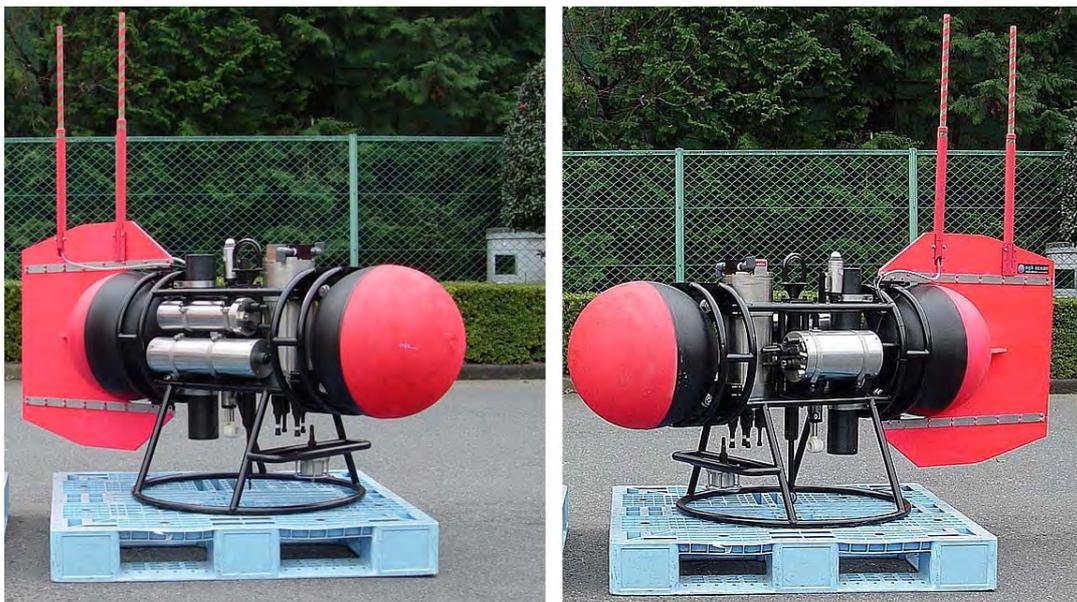


写真 4-1-2b-p5 CREST 期間中に用いた昇降ブイの形状。写真では Chelsea 製 FRRF, PRR-800 と Micro-CTD が搭載されている。この期間中は衛星電話（イリジウム）が認可されていなかった為、陸上とのデータ交信には、携帯電話（DoCoMo Do-Pa）を利用した。

CREST 型の昇降ブイは、半球をピンクに塗られた 2 つの球（直径 45cm）が昇降ブイの浮力を確保していた。2 つの球が本来持つ浮力は 33kgf (323N) / 個であり、ブイは過剰な浮力を有していた。このため、球の中にバラスト水を入れて、搭載センサーに応じて浮力を調整することが出来たが、質量は重く 120kg 以上となっていた。水中での安定性はあるが、制動が利き辛く、海況が悪化したときにはシステム全体に損傷を与えることが容易に推測できた。

SORST 期間中に机上検討された形状は下の 3 つに大別される(図 4-1-2b-f5)。

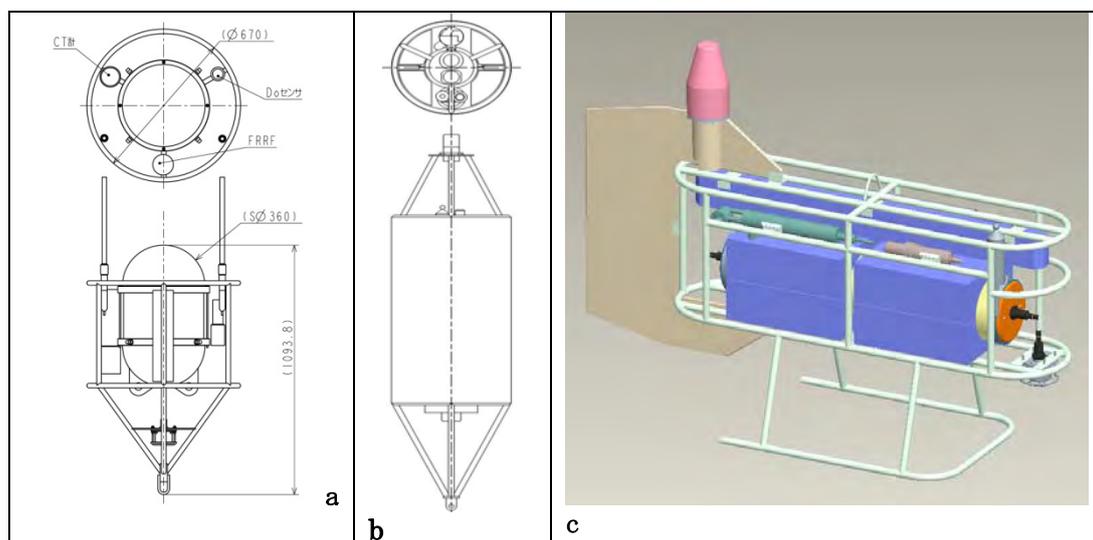


図 4-1-2b-f5 昇降ブイの形状検討（机上検討結果）

左(a)は CREST 型の球体浮力を 1 個だけ使用した形状で、重心を安定化させるために搭載センサーを昇降ブイの下方に配置した。陸上との交信を改善させるためにアンテナだけを上方配置したものである。中央(b)は球体浮力を使用せずに、潜水艇などに使用される特殊な浮力材を適用した円筒形縦型昇降ブイである。研究の要望を最優先するために搭載センサ

一を最上方に配置した。重心を改善するためにバッテリーなどセンサーを除く重量成分を下方に配置した。また、CREST 型昇降ブイのセンサー以外の耐圧容器を大型の樹脂製耐圧容器とし、耐圧容器も浮力を確保できるものとした。右(c)は、SORST 型の最終型に近い Fish タイプである。(b)で検討された大型の樹脂製耐圧容器と浮力材を横置きとした。搭載するセンサーを特定し、許容搭載量を CREST 型よりも著しく制限した。

左(a)は機構設計面ではとてもシンプルであったが、本研究の目的上、センサーの上方に影を作ることは受け入れられなかったので机上だけで検討を終了した。中央(b)のものは、新規導入技術が右(c)の昇降ブイにも転用できること、また成功すれば利用価値も高いことと判断し、形状を改良後、海域で挙動把握をすることとした。

円筒形縦型昇降ブイは 2005 年 06 月相模湾湾央 水深 1,500m の観測点で海域試験をおこなった。係留系の構成は昇降ブイを除いて CREST 期間中と同じとした。試験に用いた昇降ブイを写真 4-1-2b-p6 に示す。

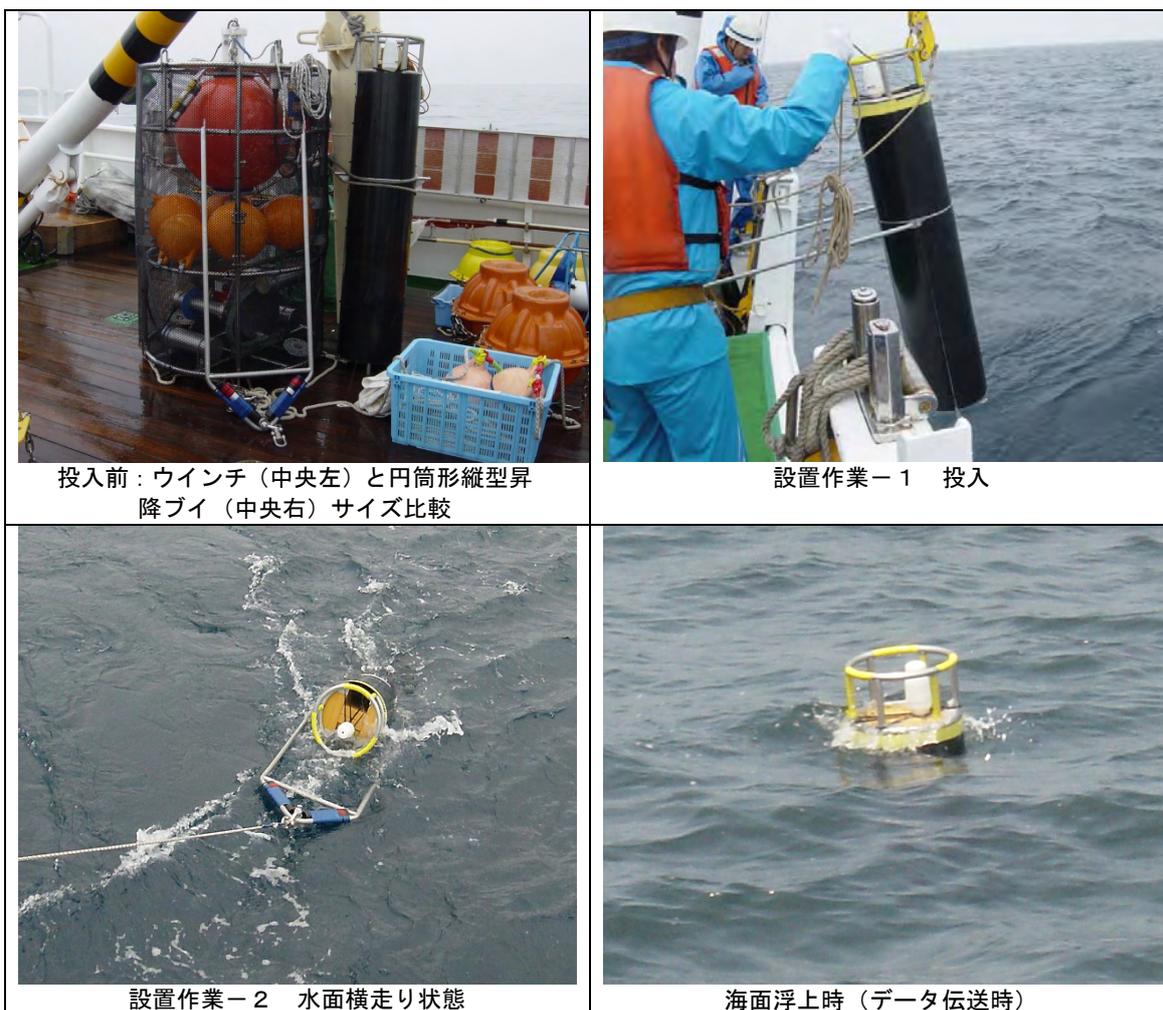


写真 4-1-2b-p6：縦型ブイ挙動解析試験（2005/06/16－06/18 於相模湾 S3）

設置作業時の昇降ブイの挙動を図 4-1-2b-f6 に示す。昇降ブイは始めにアンカー投入によって水面を水平に引っ張られていく。そのときは写真 4-1-2b-p6 の設置作業－2 のような状態となっていることが判った。次にアンカーが着底するまで昇降ブイが水中に引き込まれる。このとき、昇降ブイは基準から約 40 度傾いた状態で沈降する。そして、アンカー着底から 1 分以内で昇降ブイは垂直に安定した形となった。設置時の昇降ブイは、CREST 型よりも遥かに安定した状態を保ちながら沈んでいることが判った。このことから、円筒形縦

型昇降ブイは係留系設置時において CREST 型よりも水の抵抗を受けにくい形であり、効果が現れていることが判った。

次に、システム稼動時（ブイ昇降時）の昇降ブイの速度変化について解析をおこなった。

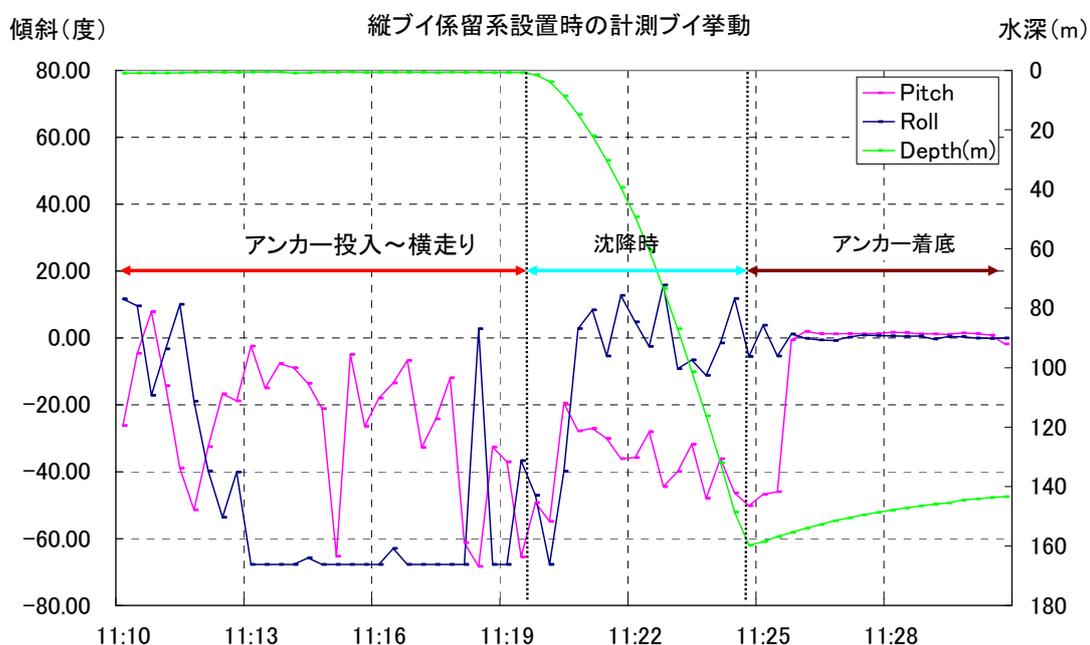


図 4-1-2b-f6 係留系設置時における縦型ブイの挙動

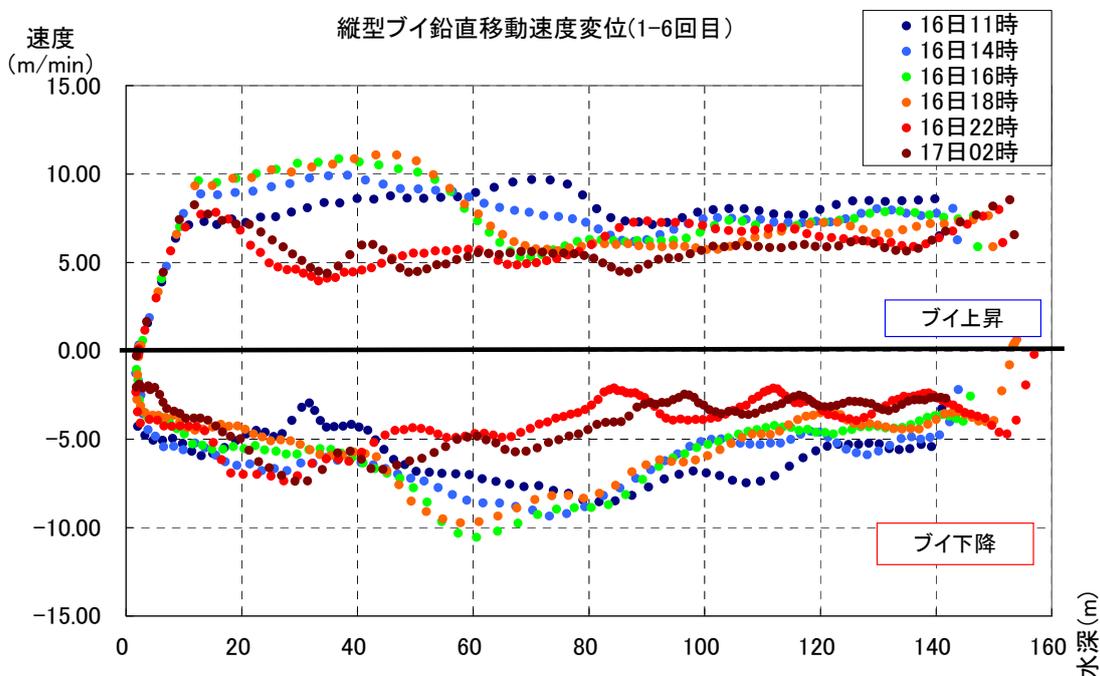


図 4-1-2b-f7 縦型昇降ブイの上昇・下降速度の深度による変化

図 4-1-2b-f7 は設置後 6 回の縦型昇降ブイの上昇・下降速度が深度によってどのように変化したかを示している。縦軸に昇降ブイの上昇・下降速度を、横軸に昇降ブイの水深を取っ

てその関係を見ると、速度の+方向が上昇を、-方向が下降を示しているが、昇降ブイの上昇速度は水深 10m から水面に掛けて直線的に減少していた。また、10m 以深の上昇速度はきわめて不安定であること、さらにこれは、その時々々の海流の変動に依ることがわかった。本研究の目的上、上昇時には一定速度を保つことが重要なので縦型昇降ブイの採用は不適當と判断した。

設置作業では円筒形縦型昇降ブイが、測定時には CREST 型が優れた結果であった。データ品質の観点から CREST 型を選択することになった。また、円筒形縦型昇降ブイに用いた素材を横に配置し、改良を加えることで CREST 型を軽量小型にした Fish 型の昇降ブイを製作することが可能となった。そして 2006 年 08 月には、CREST 型の半分の質量 (60kg)、外形として 20%の小型化を果たした改良型を完成した。



写真 4-1-2b-p7 CREST 型昇降ブイ(左: ~2006)、SORST 型 (Fish 型) 昇降ブイ(右: 2006 ~) 2006 年 08 月 淡青丸甲板にて。(形状比較最終試験を準備したが、台風のため実験途中で回収となった。) SORST 型に用いられている浮力材は、比重 0.3、使用深度 400m の Co-Polymerfoam を日本で始めて利用した。(その前まで切削可能な浮力材は、しんかい 6500 や ROV で用いられているシタチックフォーム(SF)しかなかった。SF の場合、比重 0.48 以上となり、結果として効果的な軽量化を図ることは難しかったかもしれない。Co-polymerfoam は、このプロジェクト以後、日本で開発される水中ロボットなどに利用され始めた。

b-2-2 水中ウインチの回転トルクの可変性

2006 年度には、昇降ブイの形状検討と平行して水中ウインチの引き込み能力の改善をおこなった。CREST 期のウインチは、モーター電源とモーターを直結していたため、構造が単純であるが、単調な制御しか出来なかった。広範囲な運用環境に対応させるためには、モーターの制御を高度化して引き込みトルクを強化する必要があった。その方法としては、インバーター制御と Pulse Width Modulation (PWM)制御の 2つの方法があるが、耐圧容器の許容量や供給電源の有効利用などを検討した結果、PWM 制御方式を採用することとし、2006 年 08 月から PWM 制御用の電子部とその制御のためのファームウェアに換装した。

これにより引き込み時のトルクを 2 倍以上にするとともに、昇降ブイがドッキングするときにはトルクを下げソフトランディングを行わせることが可能になった。前者により荒天時に浮上した昇降ブイの引き込み能力が飛躍的に向上したことと、後者によって、実運用時に昇降ブイがウインチにラッチで固定されるときに衝撃が軽減されることによって、実運用時の確実性、安定性が大幅に向上したことは特筆できる。また、ウインチの回転速度は従来

の2割アップとなり、上昇時は15m/min、下降時は9m/minの作動が可能になった。

b-2-3 水中超音波通信の改善

昇降ブイと水中ウインチは音響信号を用いて相互に情報を交換しながら全体の動作を制御している。CREST期から、昇降ブイが水深70m付近になると信号の授受が不安定になっていることが指摘されていた。当初は全体動作の中の局所的な問題と捉えていたこともあり、原因の推測はついてはいたがあまり重要視していなかった。しかしながら、2006年06月、Stn.K2でシステムの運用をおこなった際、大深度(5100m)と言うこともあり、昇降ブイは予定水深より30m浅い水深70m付近に設置された。この深度にウインチが設置された場合昇降ブイからの起動信号の授受に失敗したために、数回の昇降動作がキャンセルになった。この経験から、音響通信の不感深度が存在することは実用上重大な問題であると考えて、この問題に急ぎ対処することとした。

音響通信が不安定となる原因としては、直接波と反射波による混信による可能性が大きい。図4-1-2b-f8のように、昇降ブイの水深をX、ウインチの水深をYとすると、直接波と水面で反射する反射波の距離の差はウインチの設置水深に関係なく、昇降ブイの水深のみに依存している。我々の採用している音響通信仕様は、

- ・一つの信号ユニットは100msの長さで、伝送速度は10bpsとなる、
- ・送信側/受信側の信号ユニットは共通であり、0か1の値を持つ、
- ・送信側は、約30ms長の信号を送る。残り70msの間は信号を送らない、
- ・送信側は、1の場合はHighを0の場合はLowの信号を送る、
- ・その結果、受信の種類は、High, Lowと無音の3種類となる、
- ・送信側は、32個の0/1を送る(1送信コマンドは約3.2秒となる)、
- ・受信側は100msの信号ユニットの最初20msの信号で0か1かを判断している、

等の特徴を持っている。このため、海水中の音響伝播速度を1,450~1,550m/sとした場合、上記の推定が成り立つとすると、我々の音響通信の仕様では昇降ブイが58~78mの時に直接波と海面反射波による混信が起こることとなり、先の推定を裏付けている。これにより、海面反射波の影響を低減するための対策として、以下の事項を施し、2006年08月と10月の海域試験で検証した。その結果をまとめると次のようになった：

- 1：送信強度を強くする。 → 効果は無かった。 / 逆効果？
- 2：受信感度を上げる。 → 逆効果とは言わないまでも、効果は無かった。
- 3：送信強度を下げる。 → CREST初期より下げた。効果あるように思えた。しかし、顕著では無かった。
- 4：受信感度を下げる。 → 感度半分で実施。効果は有意であった。
- 5：音響発生源に浮力材(気泡帯)を巻いて音響の指向性を限定する(写真4-1-2b-p8) → 4と併用実施の結果、問題現象は発生しなかった。

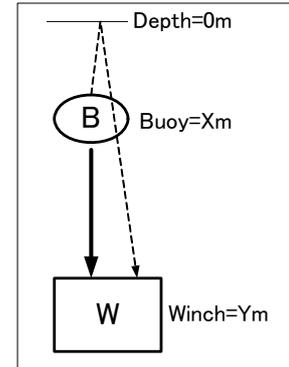


図 4-1-2b-f8 音響通信の直接波と反射波。Bはブイ、Wはウインチを示す。



写真 4-1-2b-p8 昇降ブイの音響通信送受波器の周りを取り付けた浮力材。浮力材に含まれる多くの気泡により効果的に超音波が吸収され形状を工夫することにより超音波の指向性を制御することが可能になった。

b-2-4 海況不良時の予測・退避対策

CREST 期間中における自動昇降ブイの運用に関しては、天気図を基に海況を予測し、昇降ブイが海面に浮上してデータ通信を行う前の時間を利用してスケジュール変更を行うこととした。この方法によって、概ね安定した運用を行うことができたが、陸上の研究室で天気図を絶えず監視し、ブイの浮上の可否を判断するためのオペレータが常駐することが必要とされること、また、ブイ浮上時の海面状況によっては正常に通信が行われなかったため、必要なスケジュール変更が完了しない可能性があることなどの問題があった。特に、2005年11月の相模湾での運用時に爆弾低気圧に遭遇し、昇降ブイを流失するという事故があったため、昇降ブイそのものが上昇動作中に自律的に海況を判断し、悪天候時には海面まで上昇しないで直ちに下降してラッチ保持位置まで戻るような機能を付与するための検討を開始した。

1) 昇降ブイの動揺による表面海況の検出

昇降ブイの動揺を計測するために昇降ブイ耐圧容器内部に Gyro (3 軸加速度センサー) を搭載し表面の海況の影響を調べることにした。海域評価試験は2006年10月に実施した。3 軸加速度センサーは昇降ブイの中心に配置した。搭載箇所を写真 4-1-2b-p9 に示す。また、海況が穏やかな時と荒れていた時の実験結果を図 4-1-2b-f9 に示す。

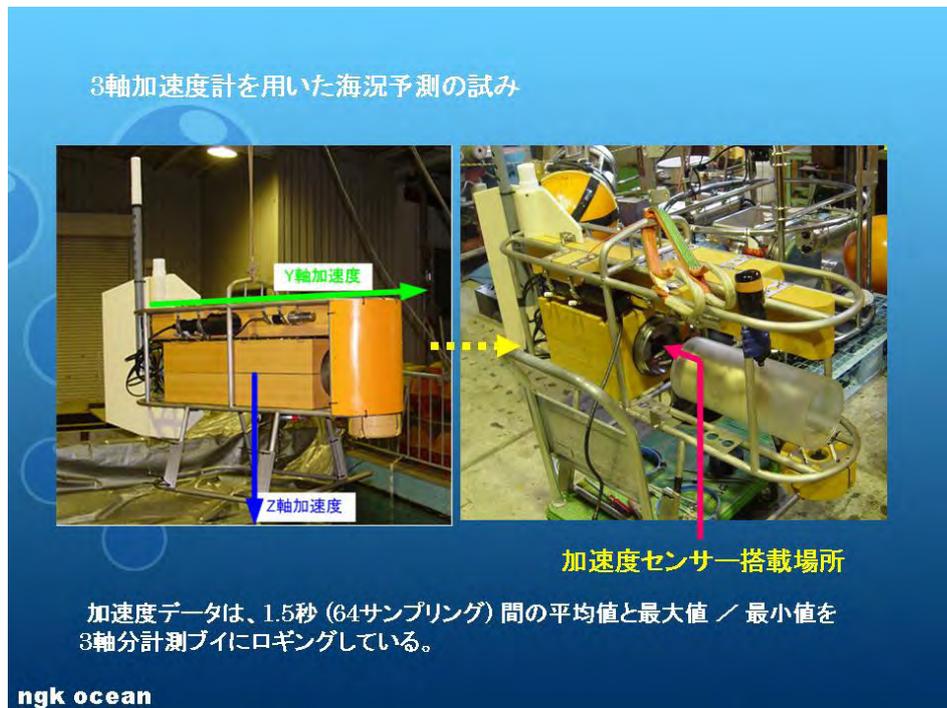


写真 4-1-2b-p9 3 軸加速度計による表面海況の推定

上昇時、昇降ブイは天候に関わらず、水深 10m 近くまで約 $0.97 \pm 0.01G$ とほぼ一定で小さな加速度の振幅を持って、静かな状態で、上昇している。その後、10m 以浅になると、加速度の振幅が急増し約 $0.97 \pm 0.04G$ の加速度を保持して、海面まで到達した。昇降ブイが海面に漂っているときには大きく波浪の影響を受け、激しく動揺している。下降動作に入ると、しばらくは海面における動揺の影響を受けながら水中へ引き込まれていく経過が示されている。3 軸加速度計の計測によって昇降ブイ自体の動揺が 10m 深から海面にかけて急増することは確認できたが、荒天時、静穏時における昇降ブイの動揺の違いを検出することはできなかった。このため、3 軸加速度計による昇降ブイの動揺計測は海面上の動揺を事前に予測するための手法としては不相当と判断した。

3軸加速度計を用いた海況予測の試み

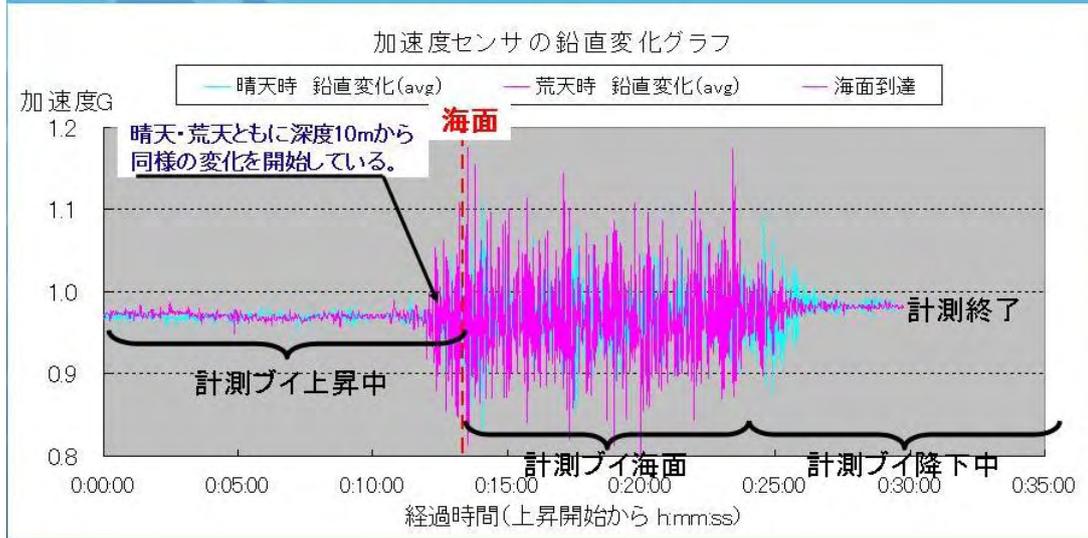


図 4-1-2b-f9 3 軸加速度計で見た相模湾中央部の係留実験における実際の昇降動作中のブイの挙動。3 軸の加速度成分の合成加速度の時間経過を示す。晴天時（水色）は、2006 年 10 月 13 日 09:30 稼動時のデータ。荒天時（ピンク）は 2006 年 10 月 15 日 12:00 のデータ。

2) 音響 Altimeter による表面海況の検出

海面の波浪により、海中の昇降ブイから海面までの距離が変動する。これを昇降ブイに搭載した音響 Altimeter で計測することによって、海面の波浪状況を水中の昇降ブイで検出しようと考えた。2006 年度にこの可能性を検討するためにデータロガー付きの音響 Altimeter を製作し、2007 年 10 月から相模湾湾央地点で専用の係留系と Altimeter 搭載用表示枠（写真 4-1-2b-p10）を用いて実施した。



写真 4-1-2b-p10 Altimeter 海域試験。設置作業。赤丸部分が Altimeter の音響発信源。

Altimeter は常に 50m 以浅に位置するように設置し、Altimeter から水面までの距離の計測値を記録した。本係留期間中の 2007 年 10 月 27 日に台風 20 号が相模湾を通過したが、台風通過の間、深度データのエラー出現率が高かった。このことから Altimeter により、50 m 深からでも海面の大きな波浪が検出可能であることがわかった。この方法は特に海面が氷結する極域での運用において有効であると期待される

が、本研究期間中には、極域以外の海域においては、以下に述べる手法が新たに音響 Altimeter を搭載することなしに、適用可能であることがわかったので、これ以上の検討は行わなかった。

3) 昇降ブイの上昇速度の変動による表面海況の検出

前節に述べた Altimeter の深度データを検証するために、Altimeter 係留系の近傍に設置された自動昇降式ブイシステムの昇降ブイに取り付けた CTD の深度データの解析をおこなった。

水中ウインチは、起動するとほぼ一定の速度でロープを繰り出す。上昇中昇降ブイが流れや波浪の影響を受けなければ、昇降ブイはロープの繰り出し速度と同じ速度で鉛直的に上昇する。つまり、CTD の深度データから算出される速度は、ロープの繰り出し速度と一致する。しかし、ロープの繰り出し速度は一定であっても、昇降ブイが流れや波浪の影響を受けた場合、その影響の大きさの違いに応じて昇降ブイの上昇速度は変動する。例えば、横方向の流れに影響される場合、昇降ブイは下流方向に運ばれて、ロープ長が長くなればなるほど昇降ブイの上昇速度はロープ繰り出し速度に比較して遅くなる。また、海面の波浪の影響を受ける場合、昇降ブイは波高に応じて振幅と周期が変わる上下振動の影響を受け、昇降ブイの上昇速度の変動にそれが検出されると思われる。

図 4-1-2b-f10 に昇降ブイの上昇速度の深さごとの変化を静穏時と荒天時に分けて示す。実験では、静穏時よりも荒天時のほうが速度の振幅の大きいことが示された。特に昇降ブイが 40m 以浅を通過すると、上方の波浪の影響を感度良く捕らえることが示された。この方法により、昇降ブイのペイロード（搭載空間許容量・電池要求量とメモリ容量）に影響を与えることなく、昇降ブイの動作中に簡便なアルゴリズムによって海面の荒天状況を予測し、動作の判断を行うことが可能になったので、本研究ではこの方法を採用することとした。

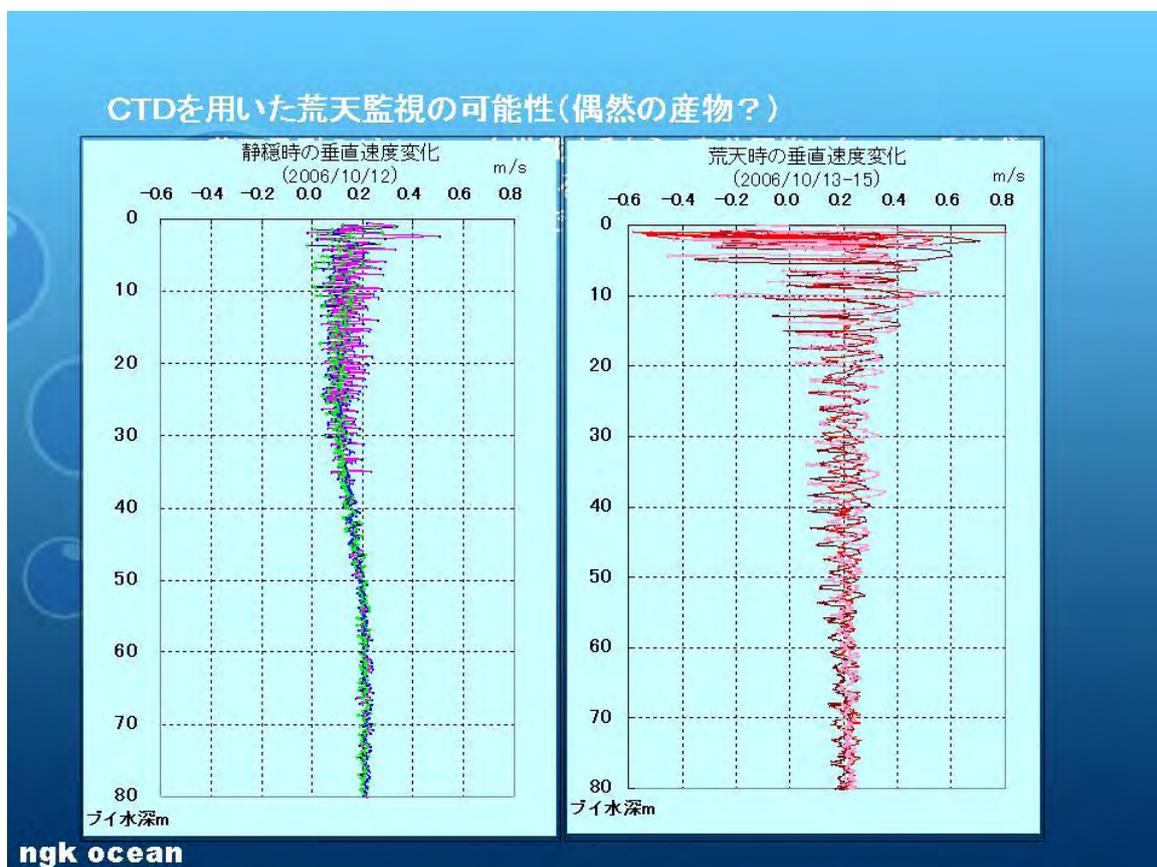


図 4-1-2b-f10 NIXIC-CTD を用いた昇降ブイの見た目の上昇速度変化。グラフ左が静穏時、右が荒天時。縦軸は上昇中の昇降ブイの深度、横軸は速度 (m/s)。

今まで経験した気象・海象条件下での適用可能性を調べるために、CREST 期間中のデータも含めて再評価をおこなった。残念ながら CREST 型 (~2006 年 08 月) 昇降ブイでは水深 6,000m 対応の FSI 社製 2inch マイクロ CTD を搭載していたので、分解能と安定性の限界から解析に足る振幅の変動を検出することができなかった。しかし、SORST 型 (2006 年 08 月~) では水深 600m 対応の FSI 社製 NIXIC-CTD を搭載していたこともあり、運用中に大きな振幅の変動が観察された他の場合や昇降ブイが海面に近づくに伴って上昇速度が一定の割合で減少していく場合など、上昇動作中の昇降ブイの挙動を幾つかのパターンに分ける

ことが出来た。それらを参考にして、昇降ブイの上昇速度の絶対値を判断基準にする条件と上昇速度の分散値を算出して判断基準にする条件の2つを併せ持つ、浮上可否判断ソフトを開発し、2007年11月の海域試験から昇降ブイのファームウェアに追加した。

昇降ブイは上昇動作中にこの浮上可否判断ソフトで浮上することが危険と判断した場合に、直ちにウインチに対して下降信号（ロープ巻き込み）を送る。この信号授受の時間は3秒であり、昇降ブイの通常の上昇速度では0.8m上昇する間に下降動作に転ずる。また、仮に信号授受が不成功であった場合は、15秒後（3.3m相当）に再度信号の授受をおこなう。もしもさらに信号授受が不成功の場合はバックアップも含めて5m相当の移動中に回避動作をおこなう。2008年04月の淡青丸航海中、浮上可否判断ソフトの動作状況を爆弾低気圧通過中の現場海況条件を実体験しながら確認することができた。

b-2-5 運用試験・波及効果

大深度の短期係留運用に見通しが着いた2006年から、システムの改良と平行して運用試験・評価試験を繰り返した。そして2007年11月から、相模湾湾央部で3ヶ月に1度のシステム入れ替えをおこないながら、1年間の時系列観測をおこなった。時間経過に伴い、CTDの初期反応速度が遅くなる現象が出たが、致命的な損傷もなく1年間の観測をすることが出来た。CTDの現象を考慮・対策するための協議を1年かけておこない、係留系も整備して2010年01月から、本格的に大深度における長期係留運用を開始した。現在、昇降システムは、JAMSTECの設定した2つの時系列観測点（K2:46°52.1N、159°59.4E 水深:5,200m 地点、昇降ブイ設置深度:約150m、S1:29°56.1N、144°58.1E 水深:5,900m 地点、昇降ブイ設置深度:約180m）で稼働中である。

開発した昇降システム（観測プラットフォーム）について、プロジェクト期間中から、国内外の幾つかの研究機関が興味を示していた。開発機材の観点から、本プロジェクトの波及効果を整理した結果を表4-1-2b-t1に示す。これらは波及効果の一部である。今後、時系列ネットワーク観測が各国で立ち上がってくれば、より広範囲に波及していくことと思われる。

表 4-1-2b-t1 開発した昇降システムの波及効果。納入実績以外は2009年04月から2010年03月までに説明を依頼されたもの。技術（導入）相談を受けたもの

研究機関名	所属国	状況
国土技術政策総合研究所	国土交通省	相模湾にて観測中
東北区水産研究所	農林水産省	北部北太平洋にて観測中
日本海区水産研究所	農林水産省	同上
水産工学研究所	農林水産省	2010年度 システム実験予定
Alfred Wegener Institute	ドイツ	グリーンランド沖で複数台観測中 次のStepとして、Altimeterを搭載し極域の観測にも導入していく予定。
University of Victoria	カナダ	NEPTUNEプロジェクトとして、2009年試運転。2010年に改修後本格運用予定。
Institute for Baltic Sea Research Warnemunde	ドイツ	バルチック海で2010年5月から設置予定
OOI Project (NOAA含む)	アメリカ	昇降システム検討中。 海況予測方法の情報提供をおこなった。
CSIRO	オーストラリア	複数台の導入を検討中
Aqualog – Russian Academy of Sciences	ロシア	導入を検討中
National Oceanography Center	英国	情報の継続リクエストあり。
University of Oslo	ノルウェー	導入を検討中
University of Tuscia	イタリア	導入を検討中

4.2 名古屋大学グループ

(1) 実施の内容

名古屋大学グループでは CREST 研究で製作した高速フラッシュ励起蛍光光度計を搭載した自動昇降式ブイシステムの改良、実海域での運用技術（実際の繫留作業、ブイの保守点検、センサー類の校正・検証・保守、データベースの作成・維持、衛星データ処理、海色以外の衛星データとの統合データセット作成、等）に関する検討、および、ブイで取得したデータと検証済みの衛星データを利用して衛星時系列データを用いた海洋基礎生産の制御機構に関するプロセス研究を実施する。また衛星基礎生産アルゴリズムの改良も随時実施する。

研究は 1) 自動昇降式ブイシステムの試験運用と改良、2) 海洋基礎生産プロファイラーの改良、3) 基礎生産推定アルゴリズムの開発と検証、4) 海洋表層の気象・海象変動に対する生物過程の応答に関するプロセス研究に分けて実施した。1) に関しては海洋研究発機構グループに、2) に関しては2章、研究の概要に一言ふれた。以下3)、4) について述べる。

(2) 得られた研究成果の状況及び今後期待される効果

a) ブイ係留の FRRF による総基礎生産推定アルゴリズムの開発

本プロジェクトでは海洋の基礎生産を自動昇降式ブイに搭載した FRRF で計測することが基本である。CREST 研究の結果、FRRF による計測では光合成による酸素発生に相当する瞬時の総基礎生産が測られていることが明らかになった。衛星基礎生産データと対応させるためには日・水柱積算基礎生産を求めることが必要になる。原理的にはブイを日中繰り返して運用すれば日水柱積算基礎生産を求めることが可能であるが、現在の自動昇降式ブイシステムにはケーブルによる給電の能力を付与していないのでこれは現実的ではない。

我々は本課題の成否がプロジェクトの成否に直結する最大の課題であると認識して、CREST 研究課題からこれに取り組んできた。

手法としては、まず実験運用海域である相模湾において可能な限りさまざまな手法（ ^{13}C 現場・疑似現場法、酸素現場・疑似現場法、 ^{18}O 現場・疑似現場法）で一日あたりの基礎生産を計測するとともに、日中2時間おきの FRRF 法と ^{17}O 同位体比異常法による基礎生産の測定を行いこれらのデータベースを作成した。これから、確からしいに、現場（総）基礎生産の値としては朝4時から夜20時まで2時間置きの FRRF の計測の積算値（ ^{17}O 同位体比異常法で検証済み）を採用し、この FRRF のデータを解析することとした。

図 4-2-2a-f1 は相模湾 S3 定点で得られた FRRF のプロファイル計測データベースにおける水中光合成有効放射照度と単位クロロフィル当たりの総基礎生産力($\text{GP}^{\text{B}}_{\text{O}_2}$)の関係を示している。

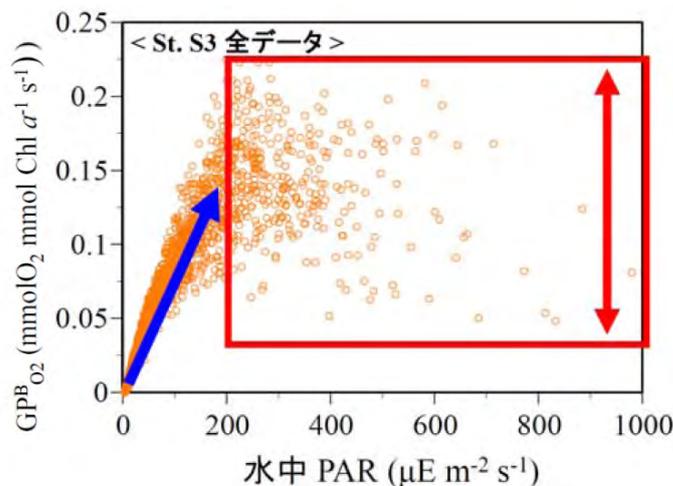


図 4-2-2a-f1 相模湾 S3 定点の水中光合成有効放射照度と単位クロロフィル当たり総基礎生産速度($\text{GP}^{\text{B}}_{\text{O}_2}$)の関係

低照度下($<200\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$)においては $\text{GP}^{\text{B}}_{\text{O}_2}$ は照度と比例して増大するのに対して高照度下($>200\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$)では照度と一定の関係は見出すことはできなかった。このことは、常に弱光下にある有光層下部では水面照射光強度が変動することによって水中光照度がある照度以下の範囲で変わっても、光に対する関係は一定であるが、時々刻々水中光強度が変わる有光層の中・上部では瞬時の光合成活性は植物プランクトンのそれまでの光に対する履歴によって、同じ瞬間的な光強度に対しても異なった応答を示すことを意味している。

図 4-2-2a-f2 には高照度下

(>200 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$)での水中光照射度と光合成量子収率(F_v/F_m) と光合成有効光吸収断面積(σ_{psII}) の関係を示す。これらの結果からも現場光条件下における植物プランクトンの光合成生理状態が現場の瞬時的な光条件に対応した瞬時的な変動と言うよりはむしろある時間スケール

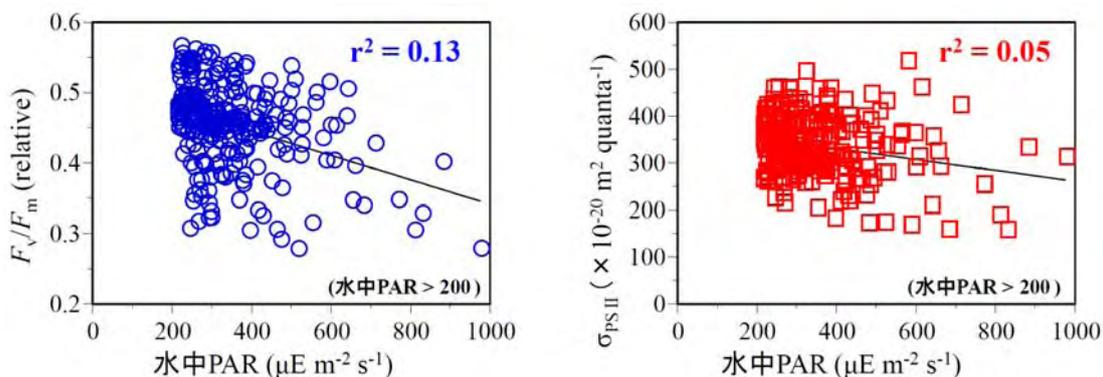


図 4-2-2a-f2 相模湾 S3 定点の水中光合成有効放射照度と植物プランクトン群集の光合成量子収率 (左) と光合成有効光吸収断面積の関係。

ルでの光条件の変動を平均化した形で影響を受けて変動していることがうかがえた。ここで問題になっている有光層中・上部は概ね表層混合層に対応しているのので、平均的光場に対しては混合層の中の海水の混合、垂表層水との交換などの物理的要因も関係している。これらの時間スケールに関しては物理データの解析をまたねばならないが、第一近似として、高照度(>200 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$)の条件はおおよそ混合層内に対応しており、平均的光条件の時間スケールとしては日射の日変化の影響が残る、すなわち海水の混合の時間スケールとして一日以上、と考えた。これにより、高照度 (>200 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$)での水中光照射度と $\text{GP}^{\text{B}}_{\text{O}_2}$ の関係は混合層内の植物プランクトン群集の平均的な光 - 光合成曲線とみなすことができると考えた。図 4-2-2a-f3、表 4-2-2a-t1 は 15 日回の現場で実測した光 - 光合成曲線に対して二次曲線回帰を行った結果を示す。それぞれの日における回帰の決定係数は 0.85 から 0.99

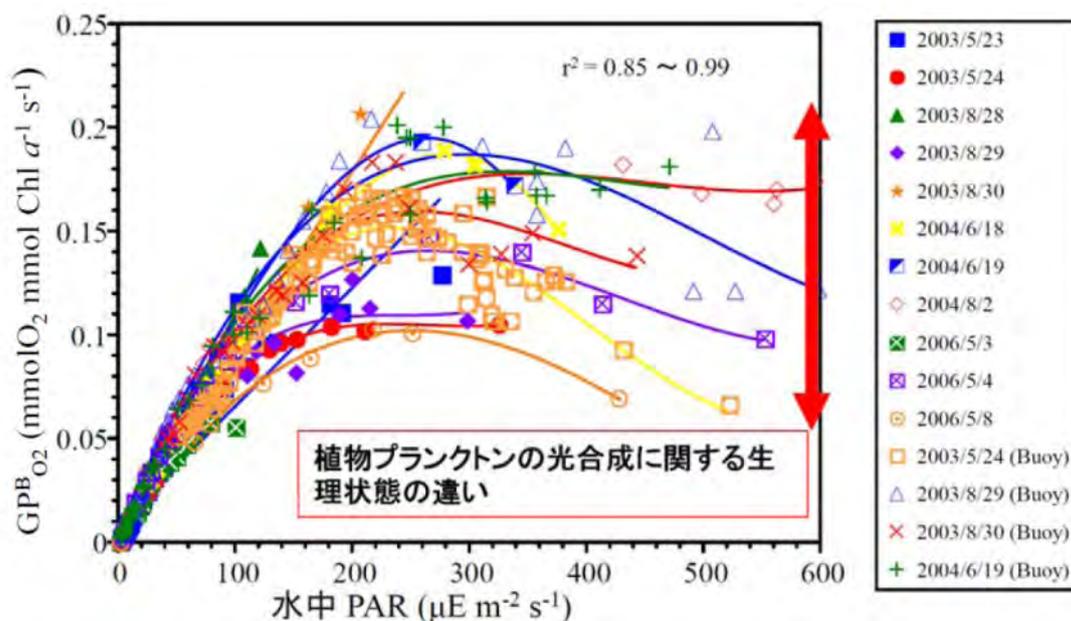


図 4-2-2a-f3 相模湾 S3 定点において FRRF による鉛直プロファイル計測により得られた水中光合成有効放射照度と、単位クロロフィル当たり総基礎生産速度($\text{GP}^{\text{B}}_{\text{O}_2}$)の関係。それぞれの観測日のデータに関して二次関数で回帰した

表 4-2-2a-t1 相模湾 S3 定点において FRRF による鉛直プロファイル計測により得られた水中光合成有効放射照度と、単位クロロフィル当たり総基礎生産速度($GP^B_{O_2}$)の二次曲線回帰の結果。

データ	年	月日	水中PARと $P^B_{O_2}$ との関係式	r^2	n
淡青丸	2003	23-May	$y = 0.00006x + 0008$	0.93	40
		24-May	$y = -0.000002x^2 + 0.0009x + 0.003$	0.99	32
		28-Aug	$y = 0.0011x - 0.0002$	0.99	51
		29-Aug	$y = -0.000003x^2 + 0.0011x + 0.00$	0.97	51
		30-Aug	$y = 0.0009x + 0.0035$	0.97	49
	2004	18-Jun	$y = -0.000002x^2 + 0.0013x - 0.004$	0.99	19
		19-Jun	$y = -0.000002x^2 + 0.0014x - 0.003$	0.99	14
		2-Aug	$y = -0.000001x^2 + 0.001x - 0.009$	0.97	27
	2006	3-May	$y = 0.0007x + 0.0034$	0.74	14
		4-May	$y = -0.000001x^2 + 0.0009x + 0.0081$	0.96	22
8-May		$y = -0.000001x^2 + 0.0009x + 0.0081$	0.99	17	
ブイ	2003	24-May	$y = -0.000002x^2 + 0.0011x + 0.003$	0.85	110
		29-Aug	$y = -0.000002x^2 + 0.0012x + 0.005$	0.95	74
		30-Aug	$y = -0.000002x^2 + 0.0011x + 0.012$	0.89	23
	2004	19-Jul	$y = -0.000002x^2 + 0.0011x + 0.003$	0.98	60

と極めて高く、当日の水中照度場の測定値から総基礎生産力を推定することが可能となった。これに基づいて、正午の FRRF 測定に基づいて一日・水柱積算層基礎生産を求めるためのフローチャートを図 4-2-2a-f4 に示す。まず、1) 正午近くの FRRF の計測により $GP^B_{O_2}$ と PAR の鉛直分布データを得る。これにより当日の光 - 光合成曲線を得る。別途、PAR の鉛直

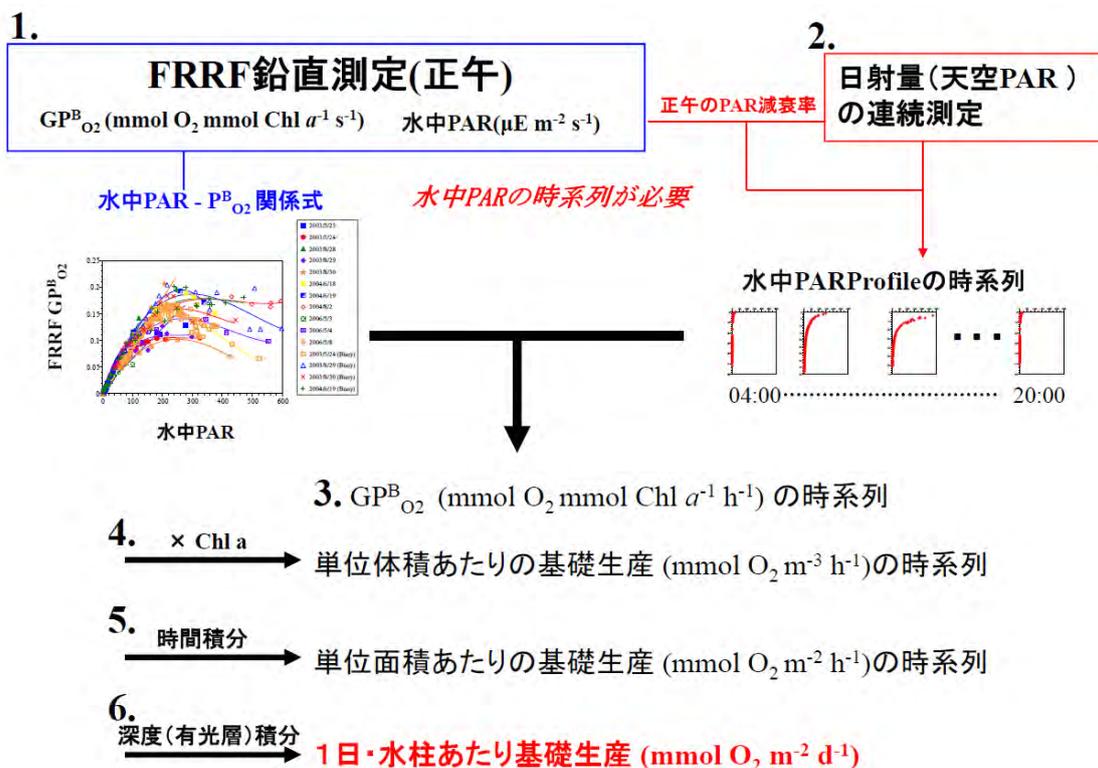


図 4-2-2a-f4 正午の FRRF 測定に基づいて一日・水柱積算層基礎生産を求めるためのフローチャート

分布から海水の光減衰曲線を求めて、これを 2) PAR の連続記録に当てはめて当日の各時刻、各深度における PAR の分布を求める。PAR の計測に関しては、CREST 課題において開発した、気象衛星の雲データを用いるアルゴリズムによって求めた。この値は常時名古屋大学地球水循環研究センター屋上の連続モニターによって検証されている。次に 3)、1) と 2) の結果を用いて、各時刻・各深度の水中照度に対する $GP^B_{O_2}$ を算出する。4) あらかじめ FRRF の計測データと現場のクロロフィル a の関係式を求めておき、FRRF データからクロロフィル a の鉛直分布を求め、これが一日の間一定であると仮定して単位海水体積あたりの総基礎生産を計算する。5) 各深度において、時間積分を行い、日積算総基礎生産を計算する。そして 6) 深度積分を行い、日・深度積算総基礎生産を求める。こうして求められた総基礎生産を元のデータベースとなった日深度積算総基礎生産と比較したのが、図 4-2-2a-f5 左である。さらにデータベースとは独立なデータセットと比較したのが図 4-2-2a-f5 右である。K2 は西部北太平洋亜寒帯域の定点 (47N, 160E) である。相模湾 S3 定点に関しては 2007 年

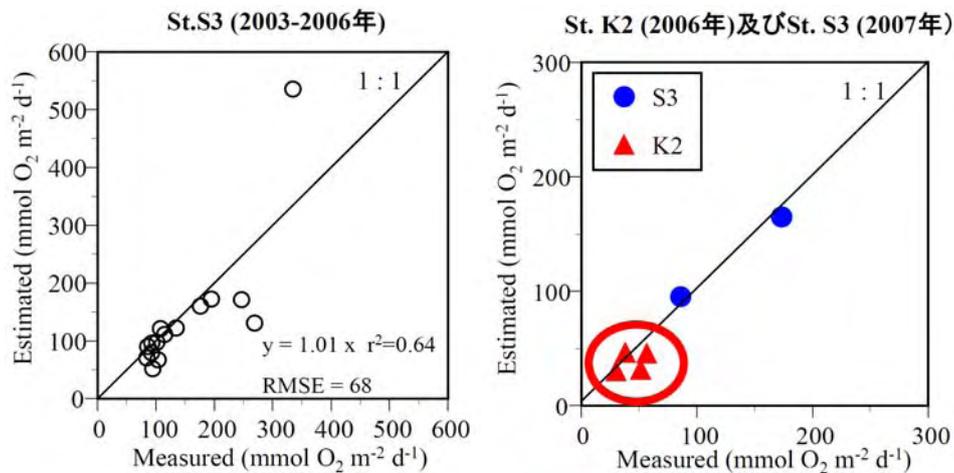


図 4-2-2a-f5 FRRF で実測した日・深度積算総基礎生産と開発したアルゴリズムによる計算値との比較。左は 2003 年から 2006 年の相模湾 S3 定点における観測で、アルゴリズムを開発したデータセット。右は 2007 年の S3 定点における観測および 2006 年 6 月の K2 定点 (47N, 160E) での観測の例。

の観測データを用いた。なお、図には示していないが、タイ湾における観測でもこの方法が適用できることが確かめられている。これらのことから、今回開発したアルゴリズムは大胆な仮定に基づいているにもかかわらず、広範囲な海域に適用可能であるのではないかと考えている。

本アルゴリズムが完成したのは 2007 年秋であり、当時相模湾におけるブイの通年運用を開始したところであったので、これをデータ処理システムに組み込み準実時間で日・深度積算総基礎生産データを算出し、毎日 Web 上で公開する体制を整えた。

b) 酸素同位体比異常法による総基礎生産の検証手法の開発および応用 研究背景及び定義、原理

1999 年に Luz らにより、光合成によって発生する酸素の三種同位体組成が大気酸素とは有意に異なる、すなわち“同位体異常”が存在すること、及びこの異常が地表面の酸素消費過程の影響を受けないことが実証されて以来、海洋表層における溶存酸素の三種酸素同位体組成を用いた光合成量（総基礎生産量）評価の研究が特に本研究課題を中心として活発に行われるようになってきている。以下、その原理及び分析法の開発、相模湾・北太平洋における観測研究の成果を述べるとともに、今後の展望を示す。

本項では三種酸素同位体組成を以下のように定義する。

$$\begin{aligned} \Delta^{17}O &= 1000(\delta^{17}O - 0.518\delta^{18}O) \\ \delta^{17}O &= 1000\ln(1 + \delta^{17}O/1000), \delta^{18}O = 1000\ln(1 + \delta^{18}O/1000) \end{aligned} \quad \text{式(1)}$$

$\delta^{17}\text{O}$ 及び $\delta^{18}\text{O}$ は汎用される同位体組成のデルタ表記であるのに対し、 $\delta^{17}\text{O}$ 及び $\delta^{18}\text{O}$ は同位体比（それぞれ $^{17}\text{O}/^{16}\text{O}$ 及び $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ）の対数となっている点が通常とは異なる（ただし、一般的な外洋表層における両者の違いは大きくない）。

上式(1)における係数 0.518 は、海洋生物による酸素消費過程の際の $\delta^{17}\text{O}$ 及び $\delta^{18}\text{O}$ の変化量の関係を表しており、別に質量依存同位体分別係数比とも呼ばれる。定義から、 $\Delta^{17}\text{O}$ は酸素消費に対して不変となる。一方、上述のように大気酸素の $\Delta^{17}\text{O}$ は光合成によって生じる酸素と有意に異なっている。この理由は、成層圏におけるオゾンの合成と消滅に関する光化学反応が質量数に依存しない同位体分別を伴っており、その影響が対流圏の酸素に痕跡として残っているためである。光合成と大気からの気体輸送が主たる供給源である海洋表層における溶存酸素は、すなわちそれぞれ異なる $\Delta^{17}\text{O}$ を有す酸素が供給されること（光合成由来の酸素は海水と同一の $\Delta^{17}\text{O}$ であり、海水の $\Delta^{17}\text{O}$ はほぼ一定値と見なせる）、及び消費に対して不変であるため、大気からの供給量をガス交換式等から評価することにより表層水塊の総基礎生産量を評価することが可能である。

分析法の開発

本研究課題の前身である CREST プロジェクトでは海水試料から溶存酸素のみを単離し、三種同位体組成を分析する方法を開発し（Sarma et al., 2003）、以降の現地観測へと応用しているが、本課題ではそれに加えて、中空糸膜を用いた海水試料からの溶存空気の高速度抽出方法の開発（Sarma et al., 2006）及び真空装置を用いた試料前処理時に用いる捕集剤（モレキュラーシーブ）への気体の脱着に伴う同位体分別の影響評価（Abe, 2008）を行い、作業の効率化と分析の厳密化を達成した。

相模湾における観測

CREST プロジェクト期間中に実施した観測結果に基づき、酸素同位体法及び FRRF 法、 H_2^{18}O スパイク法による総基礎生産量測定と比較検討を行ったところ、各手法間でよい一致を得ることができた（表 4-2-2b-t1）。また、2006 年 5 月に実施した相模湾全域における観測から、総基礎生産量の空間分布が得られ、溶存酸素濃度の測定と組み合わせることにより、純群集／総基礎生産量比を算出した（図 4-2-2b-f1 及び f2）。

表 4-2-2b-t1. 各種測定法による基礎生産量の比較。単位は $\text{mmolO}_2/\text{m}^2/\text{d}$

	$\Delta^{17}\text{O}$	FRRF	H_2^{18}O spike
29 Aug 03	80±24	69±14	72.2±0.8
18 Jun 04	148±44	126±19	169.3±2.0
19 Jun 04	217±65	180±34	
01 Aug 04	101±30		116.0±1.5
02 Aug 04	93±27	82±16	78.5±0.8

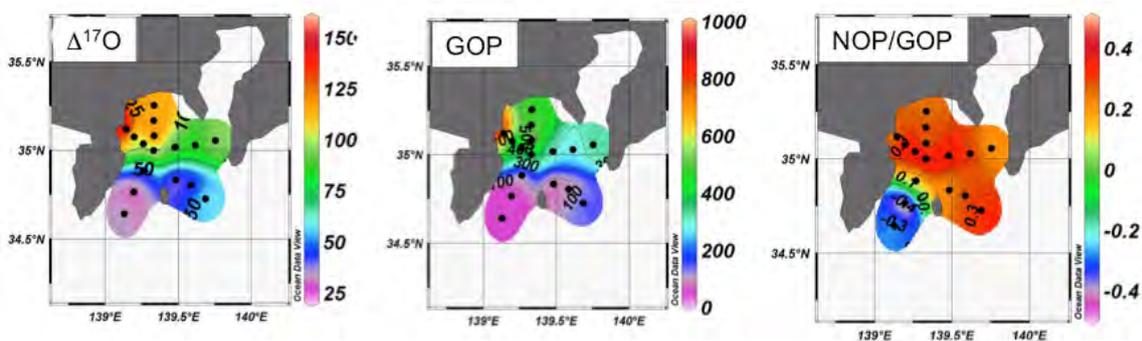


図 4-2-2b-f1 左から三種酸素同位体組成、総基礎生産量、純群集／総基礎生産量比

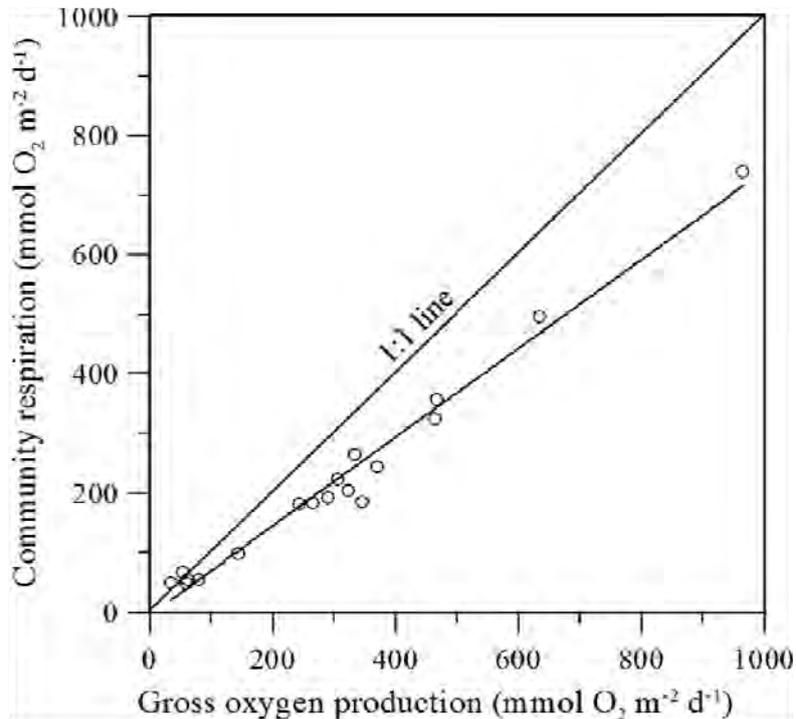


図 4-2-2b-f2 2006 年 5 月の相模湾全域（伊豆半島南東部を除く）における総基礎生産量（横軸）と群集呼吸量（縦軸）の関係。ほぼすべてが傾き 1 の関係を下回っていることから、全域で正味の生産があることがわかる。

北太平洋における観測結果

相模湾における上記の結果は、三種酸素同位体組成の二つの支配要因のうち、気体輸送量を与え基礎生産量を求める方法に基づいていた。表に示すように、FRRF法で測定される基礎生産量と三種酸素同位体法のそれがよい一致を示したことから、FRRF法により基礎生産量を与え、気体輸送量（気体輸送係数）を求めることも可能である。または、光合成の生じない夜間の変化からも得ることができる。図 4-2-2b-f3 は 2006 年 6 月及び 7 月に北西太平洋の Station K2 にて実施した夜間観測結果から得られた気体輸送係数の水平風速に対する分布である。12m s⁻¹ 以下の風速域では先行研究のいずれともほぼ一致した結果が得られているが、それ以上になると、Wanninkhof and McGillis (1999) のモデルにのみ一致していた。16m s⁻¹ を超える風速下での現場観測例は極めて少なく、今後のモデル改善のための貴重なデータとなると期待される。

今後の展望

本研究によって、三種酸素同位体組成を用いた基礎生産量及び気体輸送量の評価手法が確立された。今後は、外洋の中層から深層水塊試料の測定により、近過去（水塊が表層にあった時代）の基礎生産または気体輸送の評価などへの展開を計画している。また、本手法は、世界的にも数少ない（5カ所程度）機関でのみ実施されているため、国際的なネットワークの構築には至っていない。今後、予定している研究室間校正作業等により、基礎生産量評価の標準的な手段としていく必要がある。

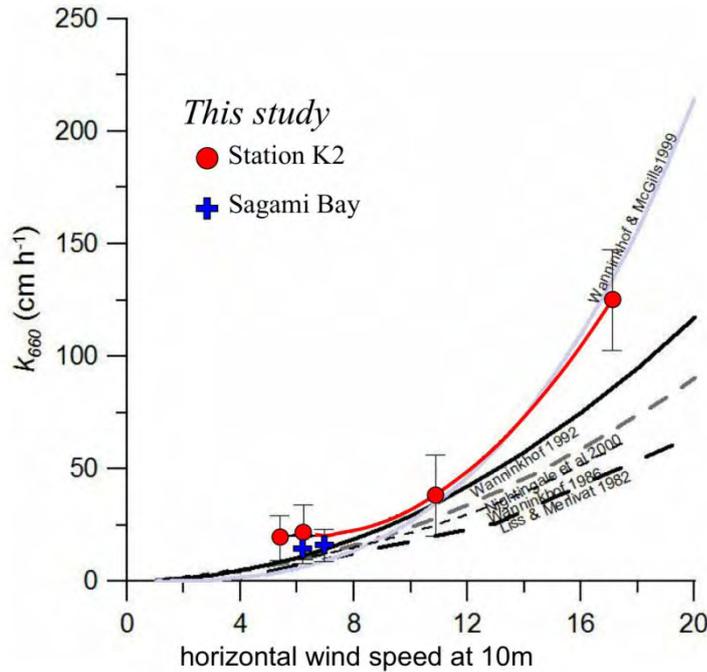


図 4-2-2b-f3 北西太平洋 K2 観測点及び相模湾における、三種酸素同位体組成から求めた気体輸送係数と水平風速との関係。灰色及び黒色の各線は既存の風速依存モデル結果である。

c) 相模湾向け衛星（総）基礎生産アルゴリズムの開発

衛星による基礎生産の推定では、一般的に人工衛星で観測された海表面の植物プランクトンの現存量 (Chl-a)、水温 (SST)、光合成有効放射 (E_0) を基礎生産アルゴリズムに入力し、一日あたりの有光層積算純基礎生産量 (NPP) を求める。既存の基礎生産アルゴリズムの開発では、現場や擬似現場培養方法で数時間から一日間に固定された ^{13}C や ^{14}C の量（これ以降 ^{13}C 法）で求めた純基礎生産の値に合うようにアルゴリズムを開発し、また既の開発されたアルゴリズムのパラメータを最適化する手法もとられている。

アルゴリズムの中では、Behrenfeld and Falkowski (1997) が提唱した鉛直積分基礎生産モデル（これ以降 Global VGPM）がその単純さからもっともよく利用されている。VGPM-B&F は以下のような式で NPP を表している。

$$\text{NPP} = P_{\text{opt}}^{\text{B}} \times \text{Chl} - \text{a} \times Z_{\text{eu}} \times D_{\text{irr}} \times \left(\frac{0.66125 E_0}{E_0 + 4.1} \right) \quad \text{式 1}$$

最近、Kameda and Ishizaka (2005) は相模湾での ^{13}C 法で求めた基礎生産値に合うように Global VGPM を最適化し、以下の式（これ以降 Sagami VGPM）で NPP を表している。

$$\text{NPP} = P_{\text{opt}}^{\text{B}} \times \text{Chl} - \text{a} \times Z_{\text{eu}} \times D_{\text{irr}} \times \left(\frac{4.19 E_0}{E_0 + 336} \right) \quad \text{式 2}$$

ここで $P_{\text{OPT}}^{\text{B}}$, Z_{eu} , D_{irr} , E_0 はそれぞれ、Chl-a あたりの純基礎生産速度の鉛直方向での最大値、有光層深度、日照時間、一日あたりの E_0 である。

将来的に、上記のような ^{13}C 法によるデータを元に開発されたアルゴリズムの検証や補正が必要ではあるが、培養実験に基づいた基礎生産データを集積することは非常に困難である。本プロジェクトではその問題を解決し、さらに新しい検証データセットに基づいて新たな衛星による海洋基礎生産アルゴリズムを開発することを目指している。

ここでは相模湾の S3 定点で運用した POPPS ブイに搭載した FRRF による総基礎生産データを用いて、前述の VGPM の適用とその検証や最適化を試み、相模湾向け衛星総基礎生産推定

アルゴリズムを開発した。

2007年11月から2008年11月までのPOPPSブイ運用で得られた現場データとその年間変動を図4-2-2c-f1に示す。平均的に、FRRFによるGPPは夏に高く、冬に低いという変動が明瞭

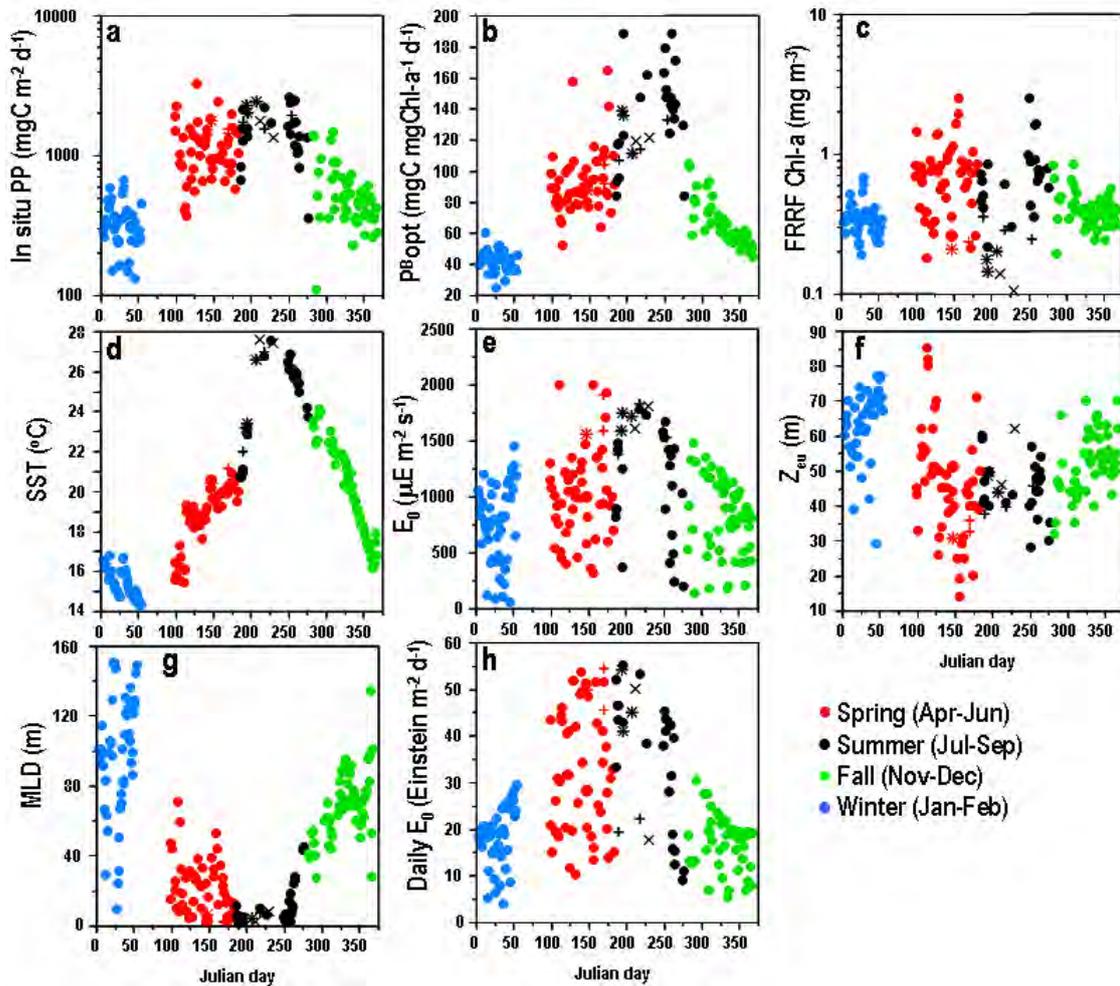


図4-2-2c-f1 FRRFによるGPP、 GP_{opt}^B 、Chl-a、SST、 E_0 、一日あたりの E_0 、 Z_{eu} 、MLDの年間変動。これ以降赤、黒、緑、青色はそれぞれ春、夏、秋、冬のデータを示している。

である。今回はFRRFによるChl-aと GP_{opt}^B の計測値、さらに衛星による一日あたりの E_0 を用いて、Global VGPMやSagami VGPMを検証した。全体的にGlobal VGPMによる推定値は現場値と比べて46%程度の過大評価になった(図4-2-2c-f2a)。ただし、*、x、+で示された春や夏のデータは過小評価になった(図4-2-2c-f2)。一方で、Sagami VGPMで推定したPP値では現場値に対して31%程度で過小評価になった(図4-2-2c-f2b)。Sagami VGPMは元々 ^{13}C 法で求めたNPP値に合うように最適化したため、純基礎生産(NPP)に近い値を示している。一方、FRRFによるPP値は総基礎生産値(GPP)を示しているため、Sagami VGPMによるNPP値はFRRFによるGPP値に比べて小さい。推定誤差を減少するために、VGPMの形式を非線形回帰で最適化したが、Global VGPMで推定した春や夏の過小評価の問題(*、x、+で示されたデータ)は解決できなかった(図4-2-2c-f2c)。その過小評価になった春や夏のデータは低いChl-a、高い E_0 、さらに浅い混合層深度(MLD)を示していたことから、過小評価のデータに対しては、強い非光化学的消光が起こっていたものと考えられる。

そこで、今回GPPアルゴリズムを提唱するために、その強い非光化学的消光の効果があると考えられるデータを排除して、VGPMの形式を非線形回帰で再最適化し、その再最適化したVGPM形式を次のように示すこととする(これ以降Tuned VGPMと呼ぶ)。

$$GPP = G P_{opt}^B \times Chl - a \times Z_{eu} \times D_{irr} \times \left(\frac{0.395 E_0}{E_0 + 0.954} \right) \quad \text{式3}$$

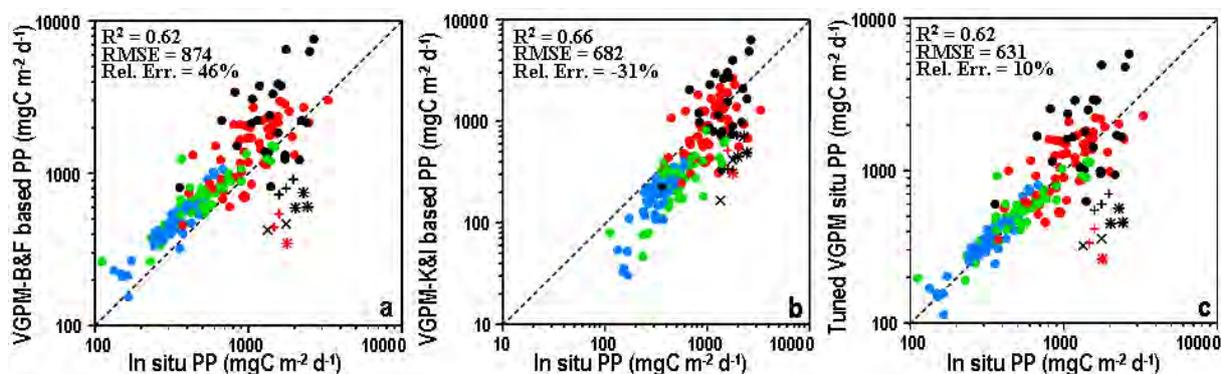


図4-2-2c-f2 Global VGPM(a), Sagami VGPM(b), と最適化したVGPM(c)アルゴリズムで推定した(G)PPと現場GPPとの比較。

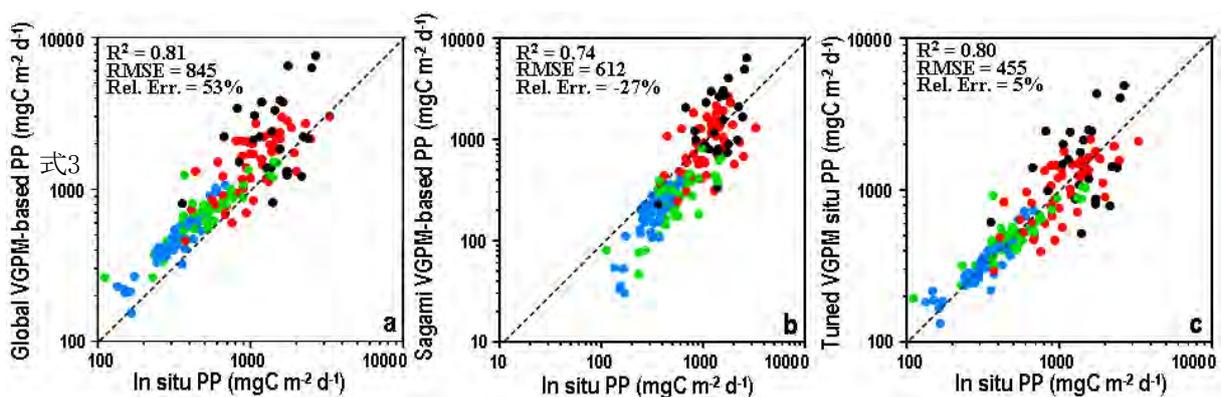


図4-2-2c-f3 Global VGPM(a), Sagami VGPM(b), と再最適化したVGPM(c)アルゴリズムで推定した(G)PPと現場GPPとの比較。強い非光化学的消光のみられるデータは除外している。

Tuned VGPMの決定係数は0.80 (R^2 , ログスケール) であり (図4-2-2c-f3c)、Global VGPM や Sagami VGPMの決定係数と比べてあまり変わらなかったが (図4-2-2c-f3a & f3b)、二乗平均平方根誤差 (これ以降RMSE) や相対誤差に関しては、Tuned VGPM の方が低く、GPPの推定を改良することができた。

Tuned VGPMでGPPを推定するための重要なパラメータの GP_{opt}^B と Z_{eu} は人工衛星から直接観測できないため、衛星基礎生産アルゴリズムとして利用するためには GP_{opt}^B と Z_{eu} を衛星で観測できるプロダクトから推定する必要がある。このため、ここでは GP_{opt}^B をSSTとChl-aを入力とする多重線形回帰によって以下の形式で表すこととした。

$$GP_{opt}^B = -75.985 + 6.854 (SST) + 39.828 (Chl-a) \quad \text{式4}$$

この GP_{opt}^B モデルによって現場 GP_{opt}^B 変動の75%程度を説明することができる (図4-2-2c-f4a)。

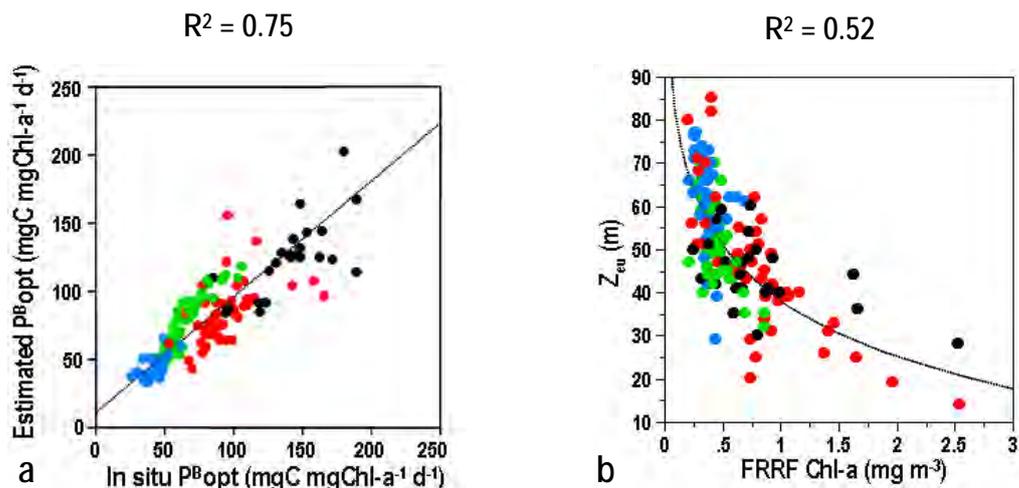


図4-2-2c-f4 (a)と(b)はそれぞれ現場と推定した GP^B_{opt} の比較と Z_{eu} とFRRF Chl-aとの関係。

また、相模湾で Z_{eu} とChl-aとの間の決定係数は0.52であり、有意な相関が見られるので（図4-2-2c-f4b）、以下の形式で Z_{eu} をChl-aの関数として求める。

$$Z_{eu} = 38.327 - 18.631 \ln(\text{Chl-a}) \quad \text{式5}$$

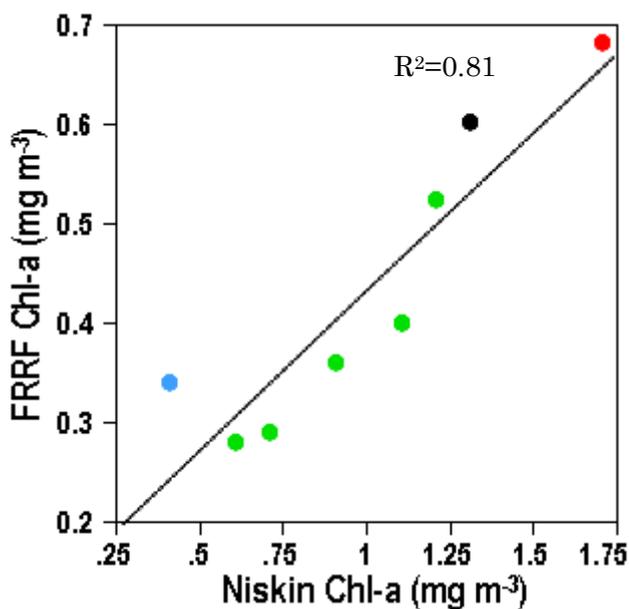


図 4-2-2c-f5 FRRF による Chl-a と Niskin Chl-a との比較

Niskin ボトルで取ったサンプルによるChl-a値とFRRFによるChl-a値との比較をした。その結果図4-2-2c-f5 のようにFRRFによるChl-aとNiskin Chl-aの間には高い決定係数 (0.81) が見られた。しかしながら、Niskin Chl-aはFRRFによるChl-aに対して二倍高くなるため（図4-2-2c-f5）、衛星Chl-aデータを直接利用すると、推定したGPPが過大評価になると考えられた。そこで、今回人工衛星によるChl-aデータを利用するに当たっては、FRRF Chl-aとNiskin Chl-aとの関係式を用いて、衛星によるChl-a推定値をFRRFによるChl-aに換算することとした。

$$\text{FRRF Chl-a} = 0.111 + (0.319 \text{ Niskin Chl-a}) \quad \text{式6}$$

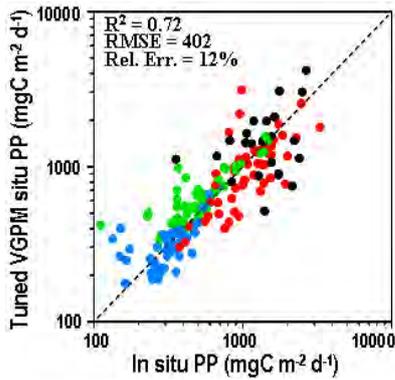


図 4-2-2c-f6 Tuned VGPM による GPP と FRRF による現場 GPP との比較。ここで、 P_{opt}^B と Z_{eu} はそれぞれ、式 4 と式 5 で計算したものである。

Tuned VGPM (式 3) に対して、式 4 で推定した GP_{opt}^B 、および式 5 で推定した Z_{eu} を用いて GPP を推定した。その結果 FRRF による現場 GPP 値と推定した GPP 値の間には高い決定係数が見られた(0.72)。FRRF による現場 PP 値に対して推定した PP 値は過大評価し過ぎず、RMSE は小さく、現場 PP に近い PP を推定することができた (図 4-2-2c-f6)。これを人工衛星総基礎生産推定アルゴリズムに拡張するために、Tuned VGPM (式 3)、 GP_{opt}^B モデル (式 4)、 Z_{eu} モデル (式 5)、さらに Chl-a の換算のための式 6 を組み合わせたアルゴリズムを総 PP アルゴリズムとし、SeaWiFS 及び MODIS データを用いて相模湾の総 PP を推定した (図 4-2-2c-f7)。

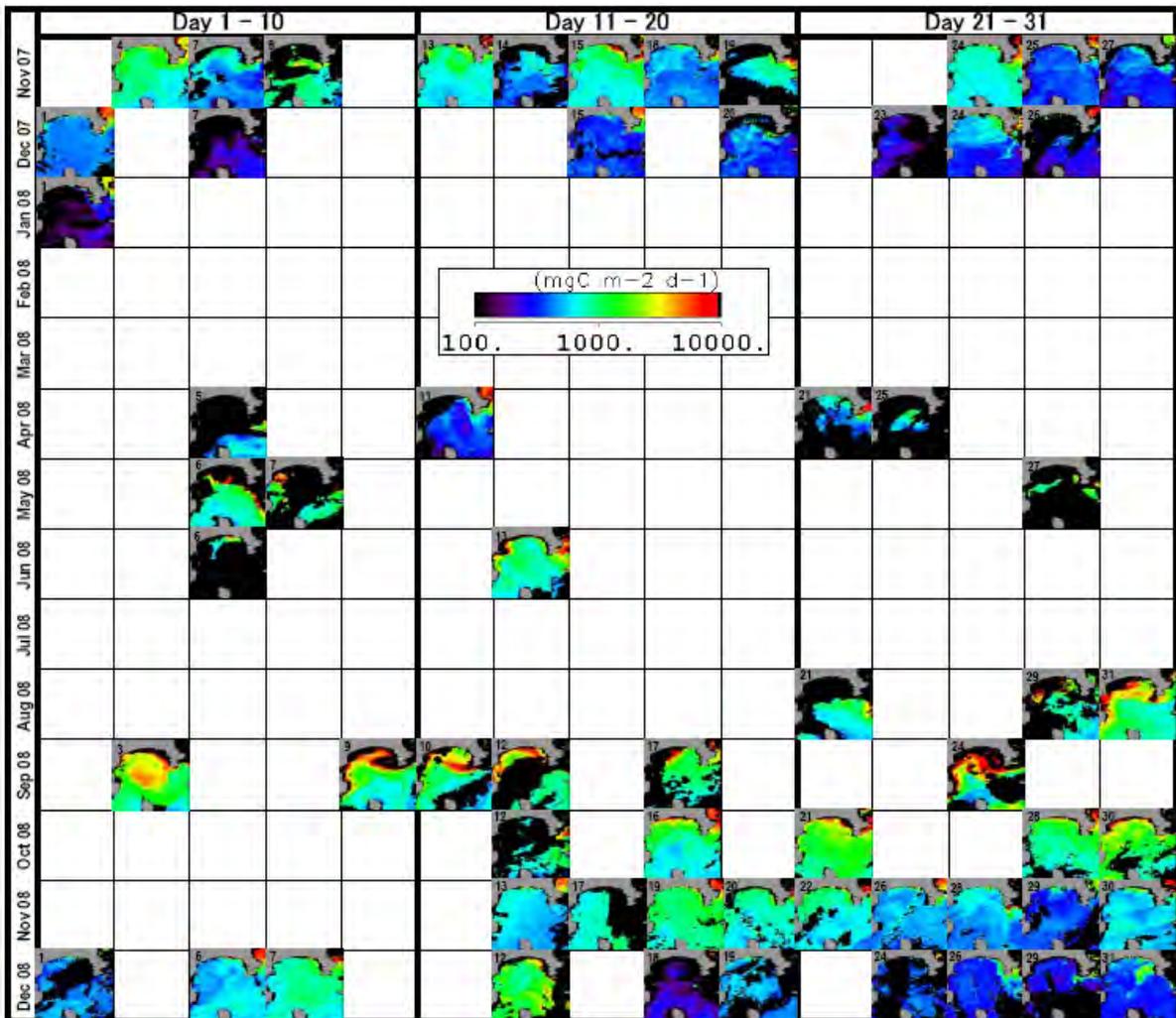


図 4-2-2c-f7. 人工衛星 SeaWiFS と MODIS による 2007 年 11 月から 2008 年 12 月までの相模湾の基礎生産。縦は各月の 2007 年 11 月から 2008 年 12 月まで。横は一日から 31 日までの順に並べてある。

ここでは海色衛星センサーSeaWiFSのデータからNASAの標準法で求めた2007年11月から2008年12月までの1 kmの解像度のChl-aとE₀を利用、SSTはMODISのデータを利用した。図4-2-2c-f7に示すように、基礎生産は明らかな季節変動を示しており、冬季に低く、夏季から秋季末ぐらいいままでに高い生産が見られた。基礎生産が5月上旬から高くなっているのは植物プランクトンの春季ブルームに対応していると思われる。

d) 相模湾向け二酸化炭素分圧推定アルゴリズムの開発

近年、東シナ海や北海など大陸棚海域における効率的なCO₂吸収が注目されている(Tsunogai et al. 1999; Thomas et al. 2004)。しかし、こうした説の根拠となる表層海水中の二酸化炭素分圧(pCO₂)は船舶を用いた現地観測によって取得されたものであり、時空間的に変動の大きな大陸棚～沿岸海域におけるCO₂動態を明らかにするには船舶観測だけでは困難である。

表層海水中のCO₂分圧は水塊を特徴付ける水温・塩分と、植物プランクトンの光合成に伴うCO₂吸収過程の指標となるクロロフィルa濃度で表す事ができると考えられる。実際、外洋域では炭酸系のパラメータである全炭酸(DIC)と全アルカリ度(TA)を、水温(SST)、塩分(S)、クロロフィルa濃度(Chl-a)で重回帰する事により精度良く推定する事が出来る(Sarma et al. 2006)。このアルゴリズムに衛星から測定されるSST、Chl-aとSの気候値を適用する事で、太平洋海盆スケールで表層pCO₂が算出可能になっている。この手法は塩分観測衛星の開発・進展に伴い、時間・空間分解能の高い高精度pCO₂プロダクトを提供し得るポテンシャルを持っている。

本研究では、上述したSarma等の研究では検証が出来なかった大陸棚～沿岸海域において、衛星を用いたpCO₂推定が可能かどうか検証する事を目的とした。観測は相模湾で実施した。これは①当海域ではセジメントトラップの長期時系列観測が実施されており、表層でのCO₂吸収過程と実際の沈降粒子の関係を研究する事が可能である事、②FRRF係留ブイを用いた海洋基礎生産のデータが取得されておりCO₂動態との関係性を評価できる事、が理由である。観測は2007年5月、2007年7月、2007年11月、2008年2月にpCO₂を航行中連続計測するUnderway計測を、2008年4月、7月、9月、11月には採水試料の分析により平衡計算によりpCO₂を求める間接計測を実施した。計測は東京湾口から相模湾奥、相模湾口までを含む相模湾全域をカバーする地点で実施した。

表層海水中のpCO₂は観測全期間において、大気よりも30～130μatm低い値を示した(図4-2-2d-f1)。夏季は特に低い値を示したが、同時に空間的不均一性も高かった。この事は、夏季の相模湾表層pCO₂分布は時空間変動性が大きい事を示唆している。

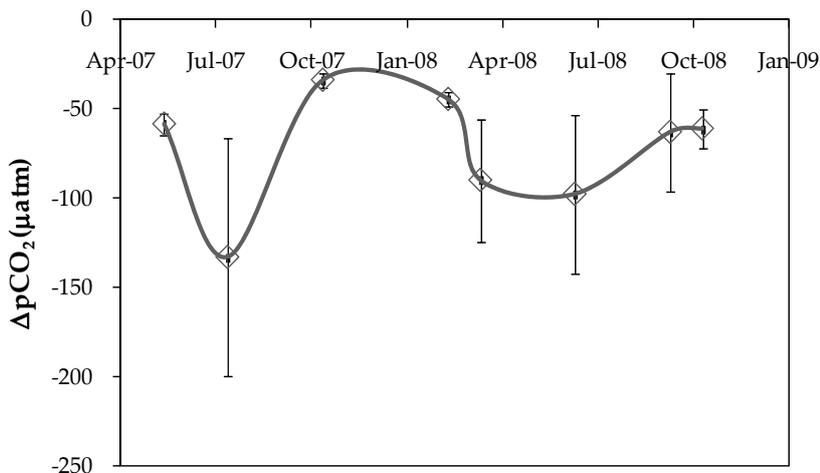


図 4-2-2d-f1. 表層海水中と大気中の pCO₂ 差。マイナスの場合、海水中の方が大気中より低い値である。誤差棒は海水を採取した全地点の標準偏差 (1SD) である。

2007 年度は春・夏・秋・冬季の全季節をカバーする観測を実施したので、この結果を基に全炭酸と全アルカリ度を推定するアルゴリズムを作成した。作成されたアルゴリズムは

$$\text{DIC} = -7.158 \times \text{SST} + 59.05 \times \text{S} - 4.12 \times \text{Chl-a} + 106.4 \quad (\text{R}^2=0.96 \quad \text{RMSE}=18.0)$$

$$\text{TA} = 40.97 \times \text{S} + 855.7 \quad (\text{R}^2=0.98 \quad \text{RMSE}=6.1)$$

である。DIC は SST、S、Chl-a の重回帰式で RMS 誤差 $18 \mu\text{mol kg}^{-1}$ (約 1%) で推定可能である。TA は S のみの単回帰式で RMS 誤差 $6.1 \mu\text{mol kg}^{-1}$ (約 0.3%) で推定できる。

作成したアルゴリズムが他の年に適用可能か検証するために、当アルゴリズムを 2008 年の 4 観測に当てはめ推定を行った。推定結果と実測値の比較を図 4-2-2d-f2 に示す。DIC、TA はそれぞれ RMS 誤差 $28 \mu\text{mol kg}^{-1}$ (1.4%)、 $19 \mu\text{mol kg}^{-1}$ (約 0.8%) で推定する事が出来た。得られた DIC と TA から算出した pCO_2 は実測値と比較して約 $31 \mu\text{atm}$ (約 10%) の RMS 誤差で推定可能であった。

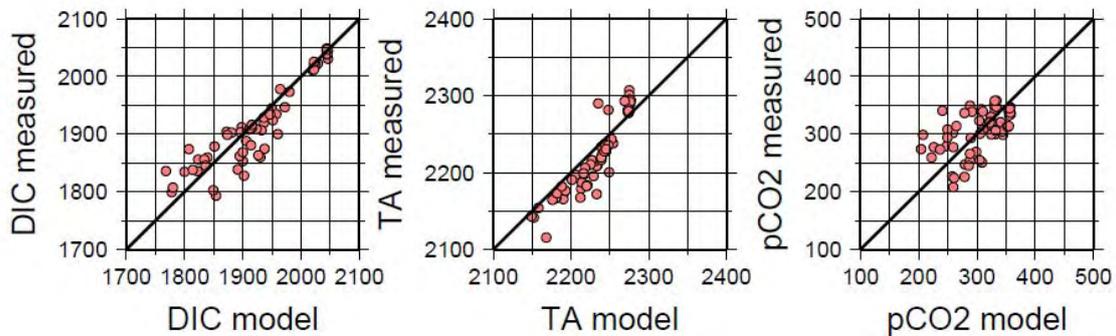


図 4-2-2d-f2. 作成したアルゴリズムを基に推定した DIC、TA、 pCO_2 と実測値の比較。直線は 1 : 1 の関係を表す。

Sarma et al. (2006)では、太平洋海盆スケールで pCO_2 が約 4–5% の誤差で推定可能になっている。今回の結果は Sarma 等の結果と比べると精度に劣るが、沿岸域の pCO_2 の時空間変動の大きさを加味すると (図 4-2-2d-f1 参照)、実用的な精度で pCO_2 を推定できる事が示された。今後、様々な実海域からのデータを増やす事でアルゴリズムの適用範囲広域化と高精度化を図るとともに、塩分の気候値整備や衛星観測技術が進展すれば、本手法を用いて沿岸域の pCO_2 を準リアルタイムで推定する事が可能になると期待される。

[参考文献]

- Sarma, V. V. S. S., T. Saino, K. Sasaoka, Y. Nojiri, T. Ono, M. Ishii, H. Y. Inoue, and K. Matsumoto (2006), Basin-scale pCO_2 distribution using satellite sea surface temperature, Chl a, and climatological salinity in the North Pacific in spring and summer, *Global Biogeochem. Cycles*, 20, GB3005, doi:10.1029/2005GB002594.
- Tsunogai, S., S. Watanabe, T. Sato (1999), Is there a "continental shelf pump" for the absorption of atmospheric CO_2 ? *Tellus Ser.B*, 51, 701-712.
- Thomas, H., Y. Bozec, K. Elkalay (2004), Enhanced Open Ocean Storage of CO_2 from Shelf Sea Pumping. *Science* 304, 1005-1008.

e) 相模湾の海洋環境と物質循環の変化

e-1 相模湾定点における POPPS ブイの運用と低次生態系動態

自動昇降式ブイシステムが実用段階に至ったので、2007年11月から相模湾において1年間の実運用試験を開始した。図4-2-2e1-f1に2007年11月中旬から2008年2月半ばまでの昇降動作の概要を示す。図中の点線 (1m おきであるので、連続しているように見える) が最上部で途切れている3回は、およそ5m 深で今回搭載した自動荒天回避装置が作動したために、自動昇降ブイはそれ以上の計測を行わず自動的に下降したための欠測部である。また、中央

部の欠測は、天気予報から現場で荒天が予想されたため、前日の交信時に昇降を停止する指示をあたえたことによるものである。これらのことから、自動昇降ブイはほぼ完全に計画通り運用されたといえる。

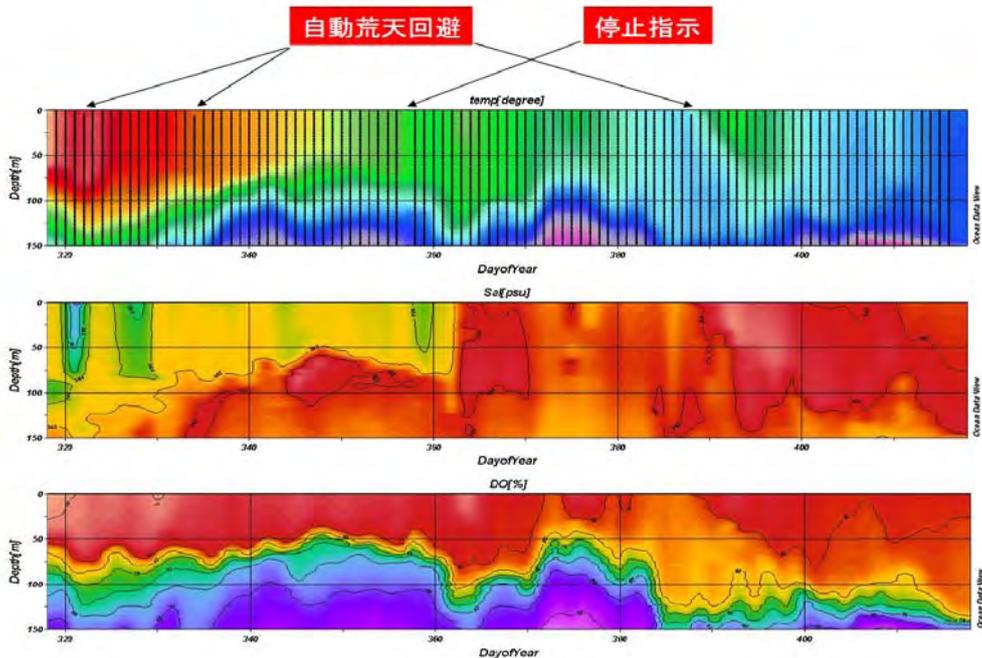


図4-2-2e1-f1 相模湾S3定点において係留した自動昇降ブイシステムによって得られたデータ。上から水温、塩分、溶存酸素飽和度。日付は2007年1月1日を基点にしたJulian Day.11月末からの海洋表層の冷却過程をよく捉えている。

図4-2-2e1-f2 には上から光合成有効放射(PAR)、炭素で表現した単位クロロフィル量あたりの総基礎生産(GP^B_C)、クロロフィル濃度に相当する蛍光強度 (FvD)、および光合成量子

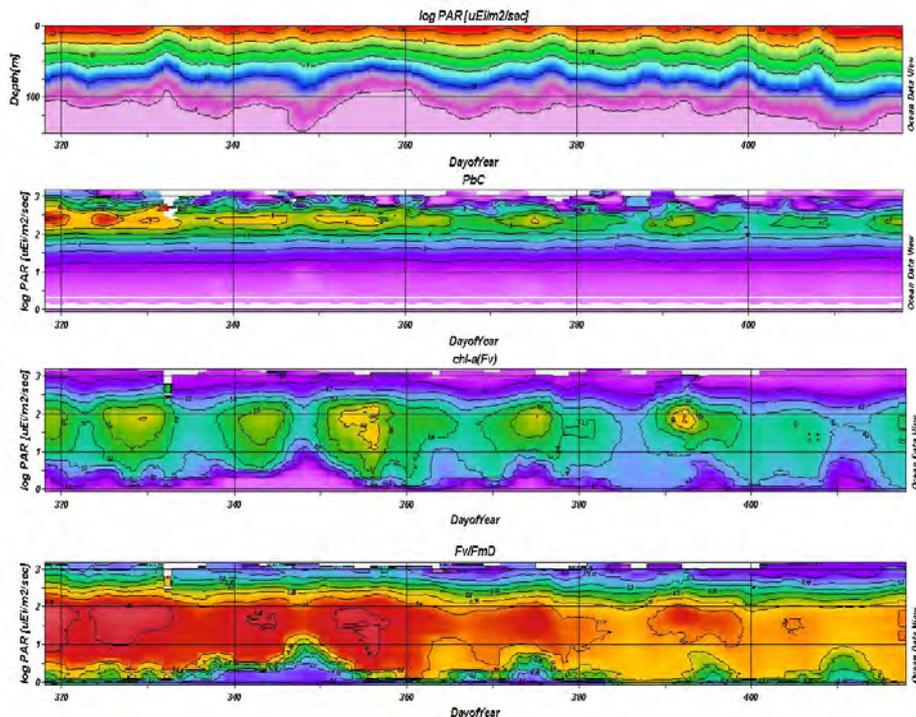


図4-2-2e1-f2 図4-2-2e1-f1に同じ。ただし、上から光合成有効放射(PAR)、単位クロロフィル量あたりの総基礎生産(GP^B_C)、クロロフィル相当の蛍光強度(Fv)、及び光合成量子収率(Fv/FmD)の深度分布。ただし、下の3つは深度軸をPARの対数で表現している。

収率(Fv/FmD)、の時系列深度分布を示す。これらの時系列分布を比較すると、基礎生産(GP^B_c)が垂表層で極大値をとり、そのときのPARがおよそ $300\mu\text{Ei}/\text{m}^2/\text{sec}$ であること、また、Chl-aの濃度の鉛直分布は基礎生産の極大層より以深に出現していることがわかった。このことは、海洋表層付近では基礎生産の結果生産される植物プランクトン(Chl-a)が速やかに消費され、むしろ生産層以深に蓄積していることを現しているようである。基礎生産とクロロフィル濃度の時系列を比較すると、380日以前のように水塊が安定している場合 GP^B_c のピークはFvDのそれより1-2日早く出現するが、それ以降のように水塊が交代したと思われる場合にはそれらのピークが同時に出現することがわかった。また、光合成量子収率は表層の冷却が進み、混合層深度が増大するとともに低下しており、これはおそらく植物プランクトンの受ける平均的光量の低下に対応するものと思われる。今回得られた100日間に及ぶ連続的な基礎生産の実測記録は世界で始めてのものである。

図4-2-2e1-f3には、今回の実運用の結果得られた、各種パラメータの時系列データを示している。最下段が本プロジェクトにおいて、自動昇降式ブイによって計測を目指していた最終成果物としての毎日の日深度積算総基礎生産の時系列データである。これは、毎日正午の計測で得られる光合成有効放射とクロロフィルあたり総基礎生産の鉛直分布データから、前述のプロトコールによって計算されたものである。詳しい解析は現在進行中であるが、全体的に有光層深度と混合層深度が漸増傾向でPARが漸減傾向にあるのに対して、GPPが漸減傾向にあるにも関わらず深度積算クロロフィルが漸増傾向を示しているのが興味深い。この100日間に及ぶ基礎生産の結果は、そのまま、現在の人工衛星基礎生産推定アルゴリズムの検証に用いることができるのみならず、運用期間中に得られた水温、塩分、クロロフィルa濃度、光合成有効放射、基礎生産の時系列深度分布および混合層深度、有光層深度の時系列データなどを用いて新たな基礎生産推定アルゴリズム開発の研究に用いることができる。

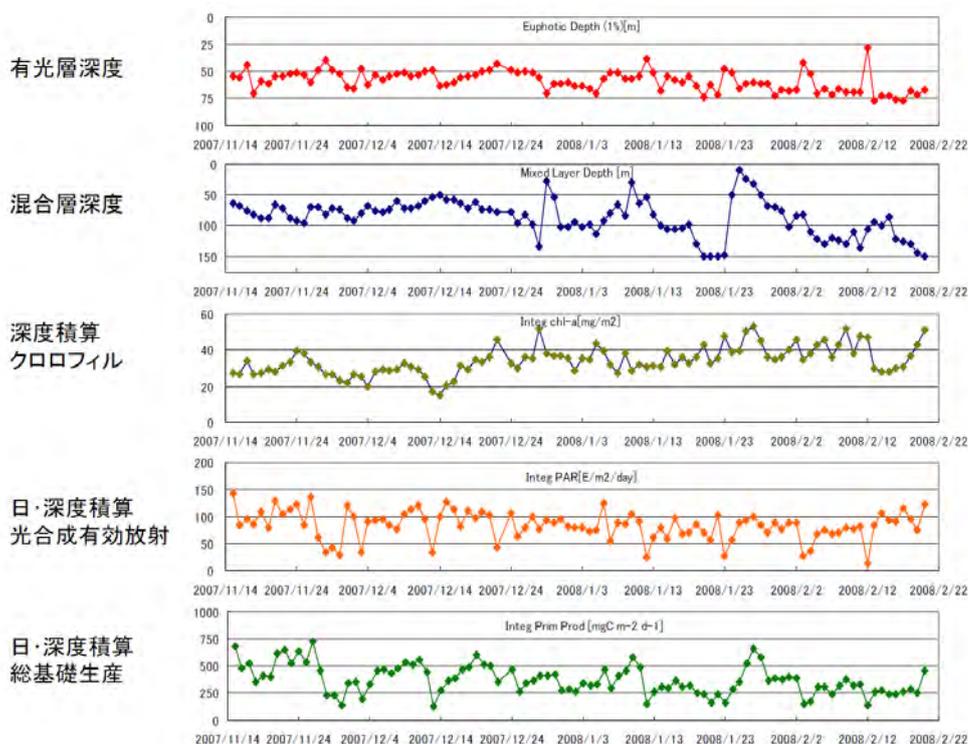


図 4-2-2e1-f3 図 4-2-2e1-f1 に同じ。ただし、上から有光層深度、混合層深度、深度積算クロロフィル、日・深度積算光合成有効放射(PAR)、日・深度積算総基礎生産(GPP)。

図 4-2-2e1-f4 に 2007 年 11 月から 2008 年 11 月までの運用結果を示す。水温(Temp)、塩分(Sal)の深度分布の時系列からは、冬季の海面冷却にともなう成層構造の解消に引き続き春季から夏季にかけての海面加熱にともなう成層構造の発達過程が良くとらえられている。本プ

プロジェクトにおける解析から明らかになった夏季の相模湾における亜表層の低温化の現象も明瞭に見ることができる。総基礎生産（GPP：下中央）は成層構造の有無に関わらず水深20m以浅に限られているが、成層構造が発達する6月から9月にかけて高い値を示した。これに対して可変蛍光強度から推定されるクロロフィル a 量（Chl a Fv: 上中央）は5月から亜表層20m付近で増大を示し、6月末に最大値を示した。植物プランクトンの光合成量子収率 Fv/Fm dark; 上右）は鉛直分布では水深20m程度で極大値を示すが、11月から2月の冬季混合の進行とともに0.4以下に低下し、成層構造の回復に伴って4月末から0.5以上の高い値を示す。このような長期運用が可能になったのは、自動荒天検出、回避のアルゴリズムの成功によるところが大きい。しかしながら、長期運用実験の後期にはそのアルゴリズムのためと言うよりは、搭載した水温・電気伝導度・圧力センサー(CTD)の誤作動と思われる異常動作が頻発するようになった。これに関する解析を進めて、原因がCTDにあることを確認したので、CTD との I/O を改良した。

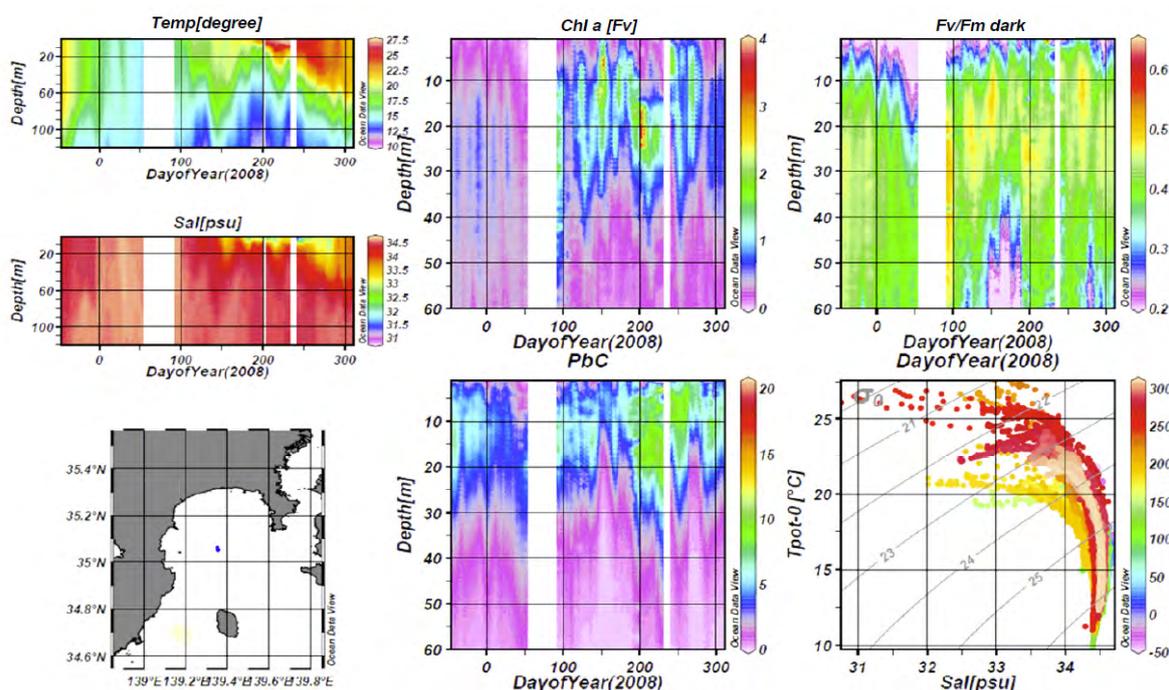


図 4-2-2e1-f4 相模湾定点における自動昇降式基礎生産プロファイラーの1年間の実運用の結果。定点の位置（左下）、水温（左上）、塩分（左中）の鉛直分布の時系列と水温—塩分ダイアグラム（右下）、および FRRF で計測した単位クロロフィルあたりの基礎生産（中下）、可変蛍光強度から推定したクロロフィル a 濃度（中上）、と光合成量子収率（右上）の鉛直分布の時系列

e-2 相模湾の流・海況の変動とその要因

相模湾の流・海況はその沖を流れる黒潮の変動により大きく変わる。特に、相模湾沖の黒潮の流路変動は極めて大きく、黒潮が比較的安定した流路をとる非大蛇行期においても数ヶ月周期で接岸、離岸を繰り返す。このような黒潮流路の変化により相模湾内では反時計回りの循環流が形成されたり、「急潮」と呼ばれる突発的な強い流れが起こる。また、定期的に観測が行われている湾中央部での水温時系列データを見ると、亜表層において水温が周期的に低下している（図 4-2-2e2-f1）。このような水温変化が黒潮の変動と関係しているのか、それとも全く別の現象なのか分かっていなかった。本研究において、相模湾中央部で POPPS ブイを1年にわたり運用することにより、流速、水温、塩分の鉛直分布をこれまでにない時間分解能で同時に観測することができた。このデータを使い流速変動と亜表層の水温変動の関係を調べた。

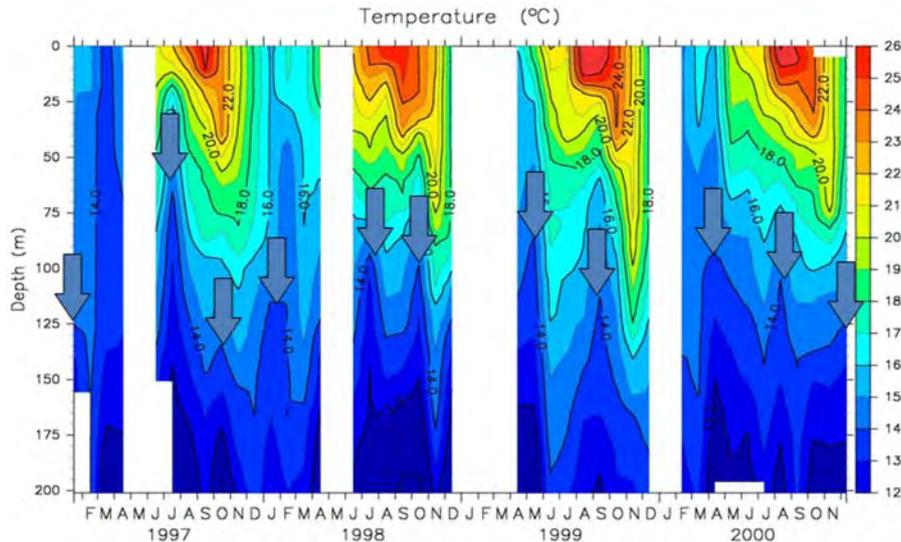


図 4-2-2e2-f1. 1997 年 1 月～2000 年 12 月までの相模湾中央部の水温-深度プロファイル。図中の矢印は亜表層で水温が低下した時を示している。

黒潮が接岸流路から離岸流路へ移行していた 2007 年 7 月～2008 年 2 月の POPS ブイデータを解析した結果、東西流速と亜表層水温に約 30 日の周期的な変化が起こり、亜表層の水温低下は東向き強い流れが発生した 5 日後に起こることが分かった。2007 年 7 月下旬に起こったこの現象に関しては発生前と発生中に船舶により現場観測することができた。

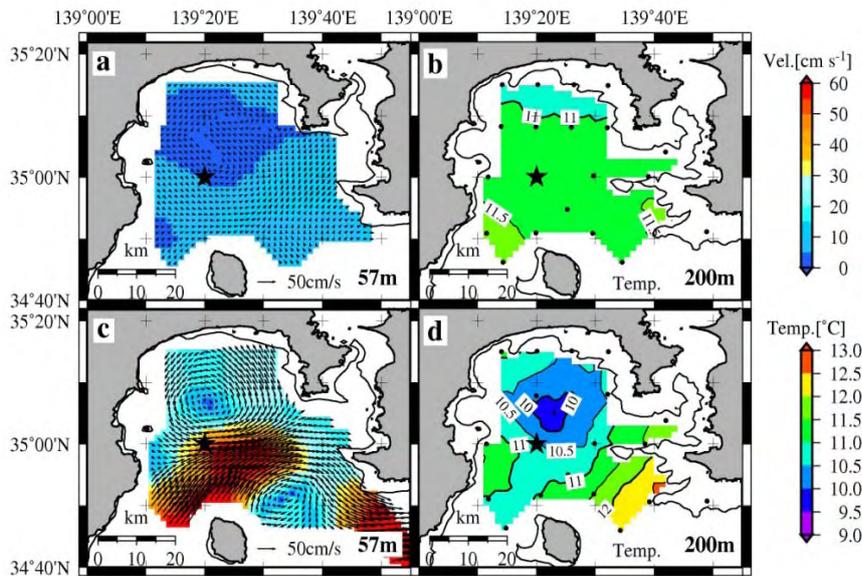


図 4-2-2e2-f2. 2007 年 7 月 19-21 日の水深 57m の流速と水深 200m の水温 (上図)。2007 年 7 月 25-26 日の水深 57m の流速と水深 200m の水温 (下図)。

図 4-2-2e2-f2 にイベント発生前、発生中の水深 57m の流速と 200m の水温水平分布を示す。イベント発生前は流れが非常に弱く、水温も水平にほぼ一様であった。一方、イベント発生中の流速場では、大島西水道から湾中央部に非常に強い流れがみられ、湾奥部では反時計回りの循環流が存在した。200m 深の水温は、湾奥の循環流に対応するように低下していた。このイベント前後の黒潮流軸の変化をみると、7 月中旬に遠州灘沖で小さな蛇行が発生し、その蛇行は時

間とともに東に移動、そして 8 月初めに伊豆海嶺付近に到達していた (図 4-2-2e2-f3)。蛇行が伊豆海嶺付近に到達したとき湾内では強い東向きの流れが発生していた。これらのことから、黒潮の蛇行が伊豆海嶺に到達すると北向きの強い流れが相模湾沖に発生し、その流れが大島西水道から湾内へ入る。さらに伊豆半島により湾内には正の水平渦度が供給され湾奥に蓄積される。その結果、湾奥に反時計回りの水平循環流が形成され、水平循環流の 2 次流として発生する鉛直流による湧昇によって循環流の中央付近の亜表層で水温が低下したものと考えた。

一方、黒潮が離岸流路をとっていた 2008 年 4～10 月の係留データを解析すると、水温と

流速の変動がほぼ同時に起こることは接岸流路時と同じであるが、その周期は約 60 日と長く、水温低下時の流れは西向きであった。黒潮流軸と湾内の流速、水温変動を比べると、遠州灘沖から伝播してきた擾乱により房総半島沖で黒潮流軸の変動が惹起され、それに伴い湾内の亜表層（～250m）に時計回りの循環流が形成されるとともに亜表層の厚みが増加し、これによって表層で下層水の湧昇が認められることがわかった。

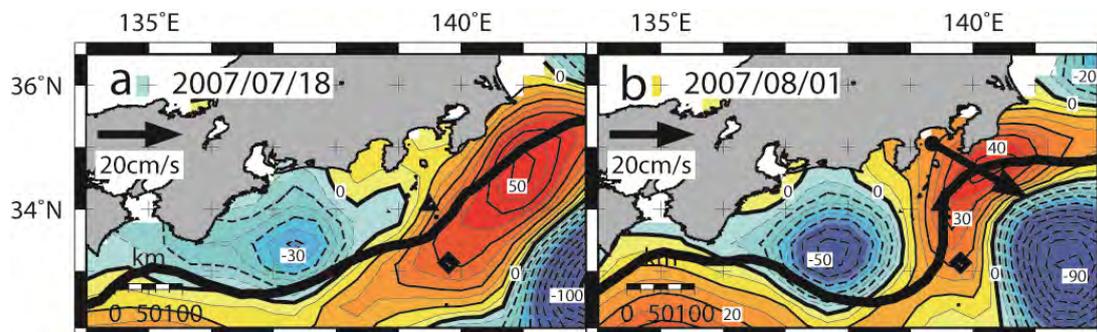


図 4-2-2e2-f3. 相模湾の亜表層で水温低下が起こる前後の黒潮流軸位置（黒太線）と海面高度分布。図中の矢印は相模湾の鉛直平均流速を示す。

e-3 粒子状物質のダイナミクス

セジメントトラップ実験

海洋表層で植物プランクトンの光合成活動によって生産された物質の一部は、沈降粒子として中深層に輸送される。この物質の鉛直輸送過程は生物ポンプと呼ばれ、海洋の物質循環の中で重要な役割を担い、大気 CO₂ 濃度にも影響を与えると考えられている。本研究では、2001 年 1 月から 2009 年 7 月の期間、相模湾湾央部の水深約 150m・600m においてセジメントトラップ実験（表 4-2-2e3-t1、図 4-2-2e3-f1）を行い、捕集された沈降粒子を分析することにより、相模湾における生物ポンプの効率とその変動メカニズムを明らかにすることを目指した。

表 4-2-2e3-t1 セジメントトラップ実験の概要。

Series	Period	Cruise Dep./Rec.	Lat (N)	Lon (E)	Bot.dep. (m)
1	18Jan01-15Jun01	Seiyo/Seiyo	35.01	139.20	1470
2	16Jun01-16Dec01	Seiyo/Seiyo	35.01	139.20	1498
3	17Dec01-21May02	Seiyo/Seiyo	35.01	139.20	1424
4	04Jun02-08Sep02	Seiyo/Seiyo	35.01	139.18	1453
5	11Sep02-15Apr03	Seiyo/Seiyo	35.00	139.18	1461
6	24May03-16Nov03	Seiyo/Seiyo	35.00	139.19	1478
7	17Nov03-19May04	Seiyo/Seiyo	34.59	139.18	1449
8	25May04-03Oct04	Seiyo/Seiyo	34.59	139.18	1490
9	05Oct04-06Feb05	Seiyo/Seiyo	34.58	139.18	1427
10	07Feb05-17Jun05	Seiyo/Seiyo	34.59	139.17	1400
11	18Jun05-16Dec05	Seiyo/Seiyo	34.59	139.18	1437
12	13Jan06-14Jun06	Seiyo/Seiyo	34.59	139.23	1455
13	15Jun06-13Dec06	Seiyo/Seiyo	35.01	139.22	1426
14	14Dec06-13Jun07	Seiyo/Seiyo	35.02	139.23	1455
15	22Jul07-17Jan08	Tansei/Seiyo	35.04	139.22	1439
16	20Feb08-07Jul08	Tansei/Tansei	35.05	139.21	1476
17	09Jul08-17Jan09	Tansei/Seiyo	35.05	139.21	1509
18	18Jan09-12Jul09	Seiyo/Seiyo	35.05	139.21	1449

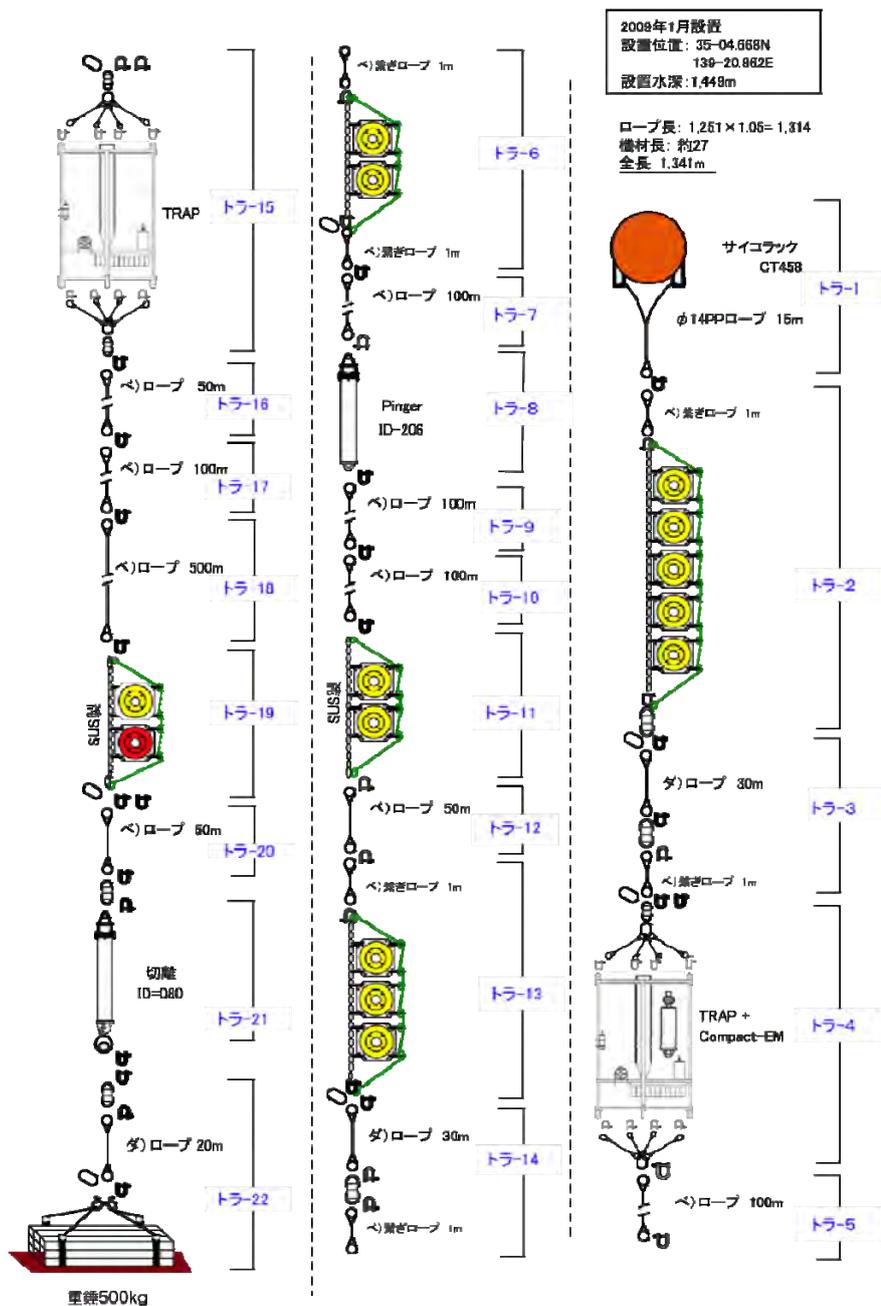


図 4-2-2e3-f1 相模湾でのセジメントトラップ実験係留系の構成

相模湾の最大混合層深度に相当する水深 150m での平均全粒子束 (TMF) は $0.62 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 、粒子状有機炭素 (POC) フラックスは 52.5 mgC m^{-2} であった。それぞれの最小値—最大値は $0.02\text{--}6.06 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 、 $3.0\text{--}513.4 \text{ mgC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ であり、高フラックスが散発的に観測された (図 4-2-2e3-f2b)。 $100 \text{ mgC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 以上の POC フラックスの出現頻度は約 7 パーセントに過ぎないが (図 4-2-2e3-f3)、POC フラックス量全体の約 23% を占める。この高 POC フラックスは主に 4 月～9 月に観測されることから、高い生物生産に起因すると考えられるが、海色衛星 SaeWiFS によって表層クロロフィル濃度のピークが観測されたタイミングとは必ずしも一致しなかった (図 4-2-2e3-f4a,b)。一方、これらのイベント的な高い値 ($>100 \text{ mgC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, $>2.5 \text{ mgChl m}^{-3}$) を除去した POC フラックスとクロロフィル濃度の時系列データは、共に春/夏

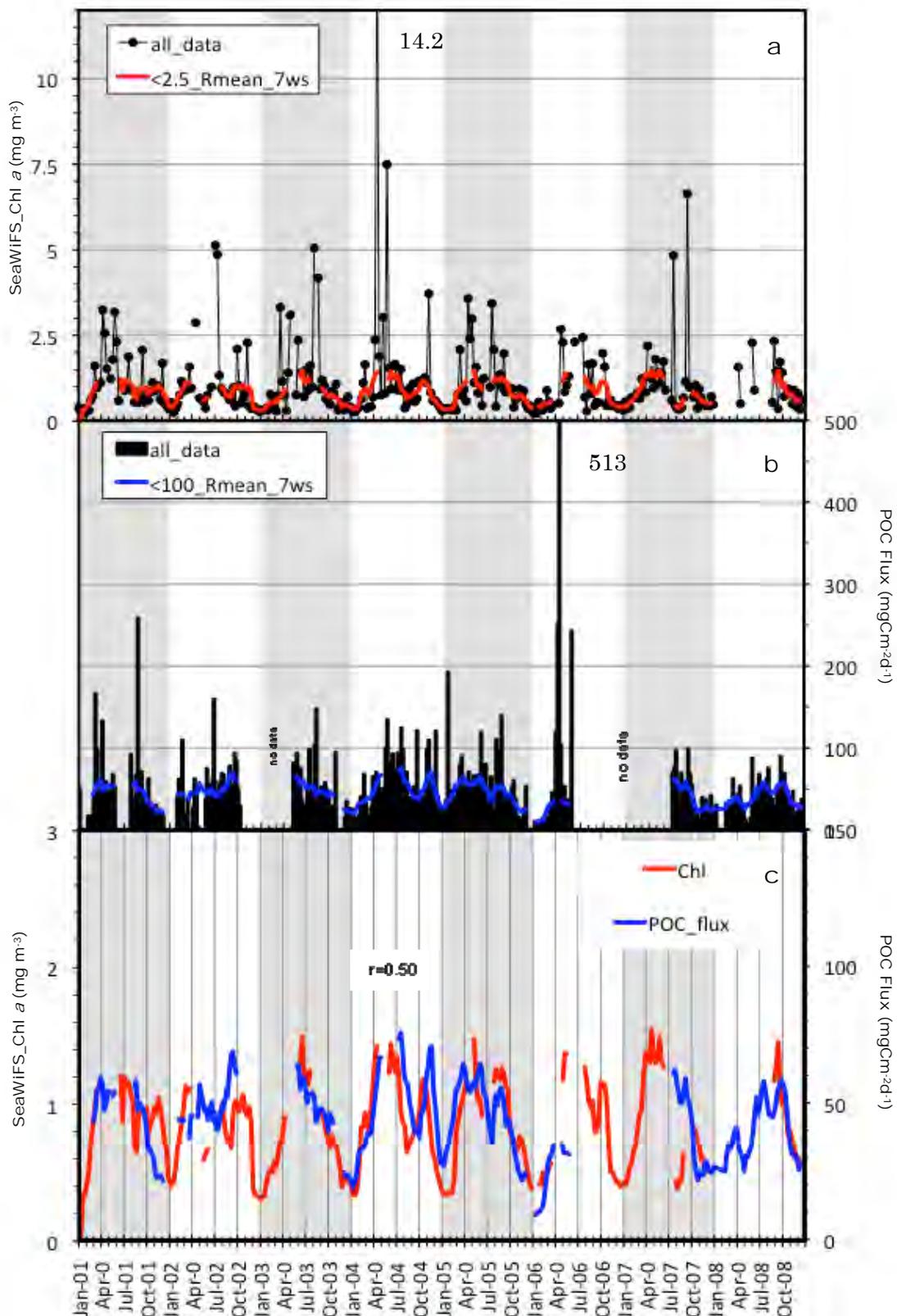


図 4-2-2e3-f2 SeaWiFS で推定された表層クロロフィル濃度の時系列変化(a), 水深 150m における POC フラックスの時系列変化(b), 及び高値 (Chl *a* > 2.5 mg m⁻³, POC flux > 100 mgC m⁻² d⁻¹) を除いたデータの表層クロロフィル濃度と POC フラックスの 7 週間の移動平均の比較(c)。

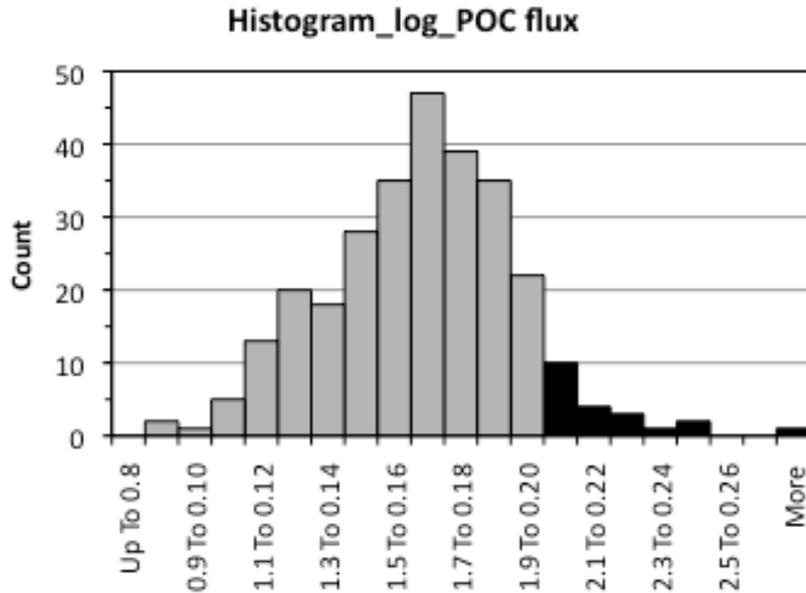


図 4-2-2e3-f3 実験期間中の POC フラックスの頻度分布。項目軸は POC フラックスの対

表 4-2-2e3-t2 各時期の POC フラックスと有機炭素含有率の平均値。閾値 $100 \text{ mgC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 以上を High Flux、以下を Low Flux データとしてまとめた。

Periods	Low Flux			High Flux		
	n	POC Flux ($\text{mgC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)	OC_content (%)	n	POC Flux ($\text{mgC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)	OC_content (%)
Jan-Mar	54	31 ± 19	7.9 ± 2.3	3	156 ± 42	5.5 ± 0.3
Apr-Sep	144	52 ± 21	10.7 ± 3.0	15	177 ± 109	9.3 ± 2.5
Oct-Dec	72	37 ± 22	7.8 ± 2.7	3	153 ± 71	5.4 ± 0.8

季に高く、秋／冬季に低い傾向があり、両者には正の相関が存在した ($r=0.50$ 、図 4-2-2e3-f2c)。また、沈降粒子の有機炭素含有率も同様の傾向があることから (表 4-2-2e3-t2)、表層で生産された有機物が主要なソースであり、生物生産の変動が中深層への POC フラックスの季節変化を規定していると考えられる。4 月～9 月に生じるイベント的な高フラックスに関して有機炭素含有量が高く (表 4-2-2e3-t2)、相模湾の生物ポンプにとって、春／夏に生産された粒子状有機物の挙動が極めて重要であることが判る。

セジメントトラップと POPPS ブイによる同時観測

2007 年 11 月-2008 年 11 月は POPPS ブイが相模湾定点で稼働していた時期であり、有光層における生物生産の実測データとセジメントトラップ実験で得られた沈降粒子データを併せて解析することができた。ここで用いる基礎生産データは、純基礎生産 ($=0.52 \times$ 総基礎生産; Hashimoto et al., 2006) である。基礎生産は冬期に低く ($200\text{-}400 \text{ mgC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)、春季に約 $600 \text{ mgC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 、夏季に高値 ($>1200 \text{ mgC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) をとった (図 4-2-2e3-f4a)。水深 150m における POC フラックスも冬季に低く、基礎生産の増大に伴い、春季から夏季にかけて増大した。ピーク ($>70 \text{ mgC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) は 9-10 月初めに見られ、基礎生産のピークに対して約 1 ヶ月程度のタイムラグが存在した (図 4-2-2e3-f4b,c)。各季節における平均輸出

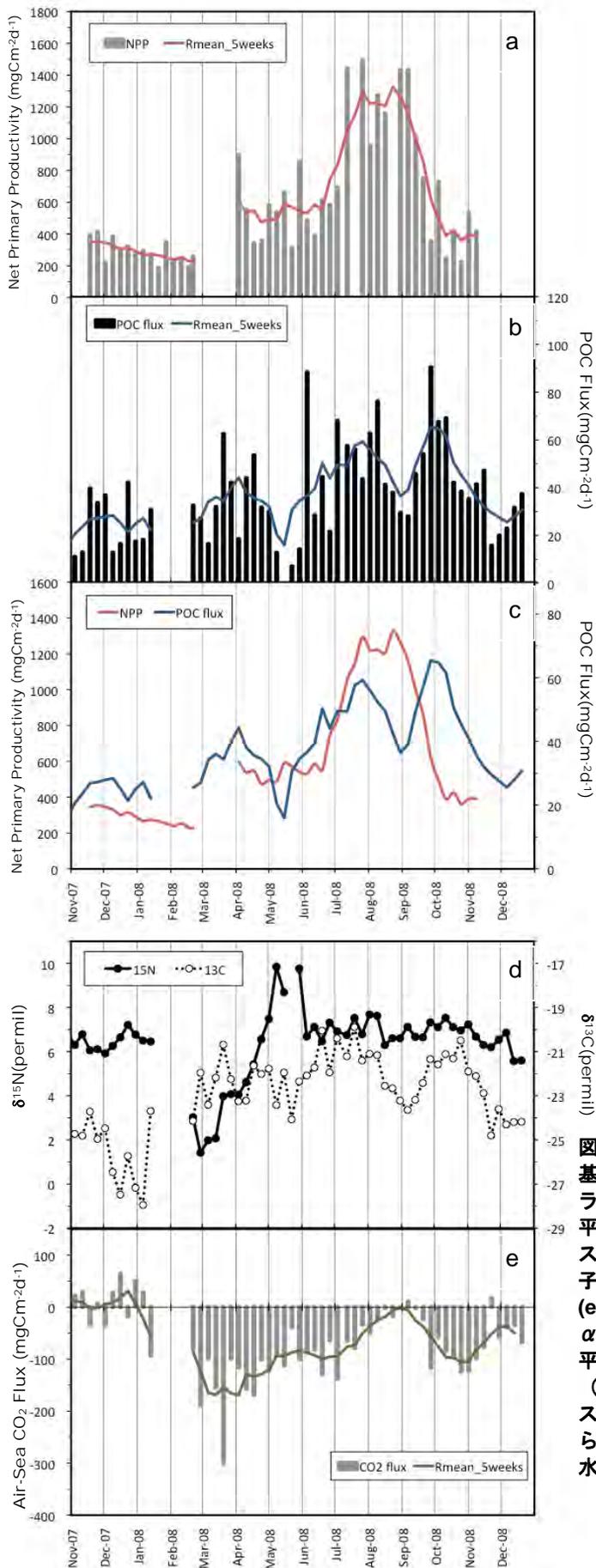


図 4-2-2e3-f4 相模湾湾央部における (a) 純基礎生産 (NPP)、(b) 水深 150m の POC フラックスの時系列変化 (各データは 7 日間の平均値)。 (c) NPP (赤線) と POC フラックス (青線) の 5 週間の移動平均。 (d) 沈降粒子中の有機炭素・窒素同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$)。 (e) 大気-海洋間の CO_2 フラックス ($= k_{\text{CO}_2} \cdot \alpha \cdot (\text{pCO}_{2\text{sw}} - \text{pCO}_{2\text{air}})$)。 緑線は 5 週間の移動平均を示す。 表層水 CO_2 分圧 ($\text{pCO}_{2\text{sw}}$) は $\delta^{13}\text{C}$ データから推定した。 ガス交換係数 (k_{CO_2}) は Wanninkhof (1992) 式から算出した (海上風速は大島測候所データ、水温・塩分は POPPS ブイデータを使用)。

比 ($e\text{-ratio}_{150m} = \text{POC フラックス} / \text{基礎生産}$) は、2007年11月-2008年1月に $9.0 \pm 4.2\%$ 、4-6月で $7.5 \pm 5.2\%$ 、7-10月は $9.1 \pm 8.2\%$ であり、特に夏～秋季に大きく変動した。

有機物生成時の栄養塩濃度を指標する粒子の窒素安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$) は、2月末に最低値 ($\sim 1.4\text{‰}$) をとり、その後徐々に上昇し、5月末に最大値 (9.8‰) をとる (図 4-2-2e3-f4d)。これは、冬季混合によって栄養塩が表層に供給された後、春季にかけて植物プランクトンの光合成により、徐々に栄養塩が消費されていたことを示している。又、6月初旬に $\delta^{15}\text{N}$ が

約 7‰ まで減少し、それ以降は安定した値をとることから、この時期に生じる淡水流入や低気圧性渦などによって表層に新たに供給された栄養塩が、夏季の高い生産と POC フラックスを支えていたと推測される。

期間中の平均 POC フラックスは $40.0 \text{ mgC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ であった。別途、2008年度 (7月、9月、11月) の観測航海で実施した浅層トラップ実験の結果から求めた POC フラックスの鉛直減少率を考慮すると (図 4-2-2e3-f5)、水深 50m (=平均有光層深度) における POC フラックスは $143.0 \text{ mgC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ と推定でき、これは平均基礎生産の約 25% にあたる。有光層内の無機窒素・有機窒素濃度について定常状態を仮定した場合、この割合は f-ratio に相当すると考えられ、年間基礎生産の $1/4$ が外部から供給された無機栄養塩によって賄われている (=新生産) 事を示している。

又、相模湾の粒子状有機物の炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) は表層水中の CO_2 分圧 ($p\text{CO}_2$) を反映していることから (図 4-2-2e3-f6)、沈降粒子 $\delta^{13}\text{C}$ データから表層 $p\text{CO}_2$ を復元した。このデータを基に、期間中の大気-海洋間の CO_2 フラックスを算出すると平均 $-72.9 \text{ mgC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ であり (図 4-2-2e3-f4e)、相模湾では、2008年3-7月と10-11月に活発な CO_2 吸収が起こっていたことが判った ($< -100 \text{ mgC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)。この海洋表層における年間 CO_2 吸収量の約 55% は水深 150m の POC フラックスで説明する事ができることから、浅層の無機炭酸プールが定常だと仮定すると、沈降粒子による炭素の鉛直輸送が相模湾の CO_2 吸収能力を規定していると考えられる。

以上のように、セジメントトラップ実験で得られる沈降粒子データは物質循環研究にとって有益な情報を提供する。特に衛星データから推定される基礎生産の時系列データと組み合わせる事により、1週間～数年スケールといった幅広い時間

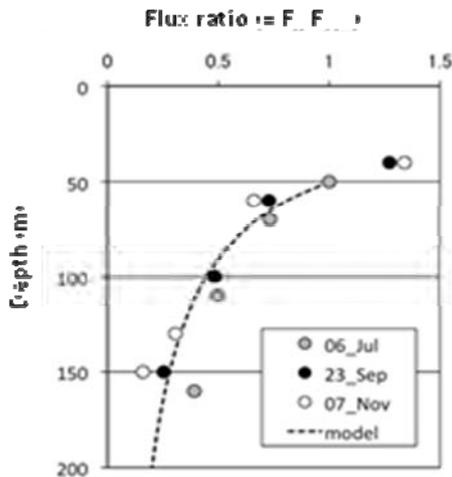


図 4-2-2e3-f5 相模湾浅層における POC フラックスの鉛直変化 (水深 50m における POC フラックス (F_{50m}) に対する比で表している)。点線は、 $F/F_{50m} = (z/50)^b$ の形で近似した曲線を示す (z は深度)。

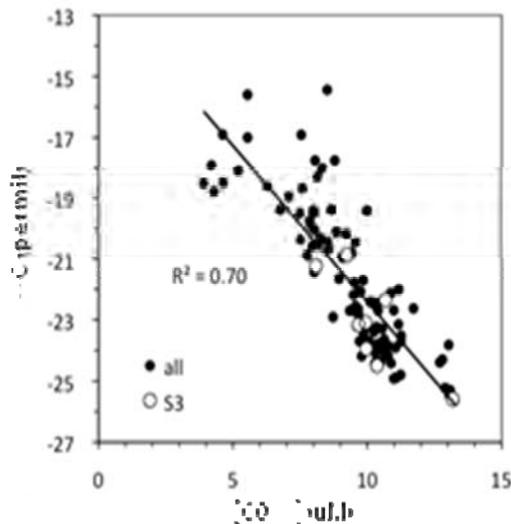


図 4-2-2e3-f6 相模湾表層水中の懸濁態有機炭素の $\delta^{13}\text{C}$ と溶存態二酸化炭素濃度 ($[\text{CO}_{2aq}]$) の関係。データは 2007-2008 年に実施された 8 回の観測航海で取得した。

スケールで海洋における物質の挙動を明らかにすることが期待できる。

f-4) 物理-生態系モデル研究

相模湾では、亜表層で水温が低下する現象が見られ、その現象は30日、60日、季節変化などいくつかの時間スケールを持つ現象であることが本研究のデータから分かってきた。亜表層での水温低下は有光層への栄養塩の供給を意味しており、この現象が相模湾の生物生産や物質循環に大きな影響を与えていると推測される。実際、どの程度の影響を与えているのか定量的に把握するには現場観測だけでなく、数値モデルにより評価することが有効である。

本研究では、将来の物理-生態系結合モデル構築に向け、季節変化が再現できる物理および生態系ボックスモデルの構築を目指した。このモデルは水平方向には相模湾、東京湾、太平洋を表す3ボックスとし、鉛直方向は、冬は上層混合層と下層の2層、春～秋は混合層、有光層、下層の3層のモデルとした(図4-2-2e4-f1)。船舶観測で得られた6年間の水温、塩分データと熱フラックスのデータを使い月毎の各ボックス間の水平、鉛直流速と水平、鉛直拡散係数を見積もった。鉛直流速に注目すると7月のみ上向きの鉛直流が得られ、モデルにおいても観測結果で見られた夏季の亜表層水温低下現象が再現されていた。この物理モデルに栄養塩、植物プランクトン、動物プランクトン、デトリタスの4項目を考慮した生態系モデルを導入し生態系の再現を試みている。

上記のボックスモデルは、生態系モデルに関しては現在開発途中である。しかし、相模湾では本研究によりこれまで類を見ない様々な項目の時系列データが得られており、この観測結果を再現できるモデルが構築できれば、相模湾の物質循環の季節変動を定量的に解明できるだけでなく、より複雑なモデルの開発にも貢献できる。

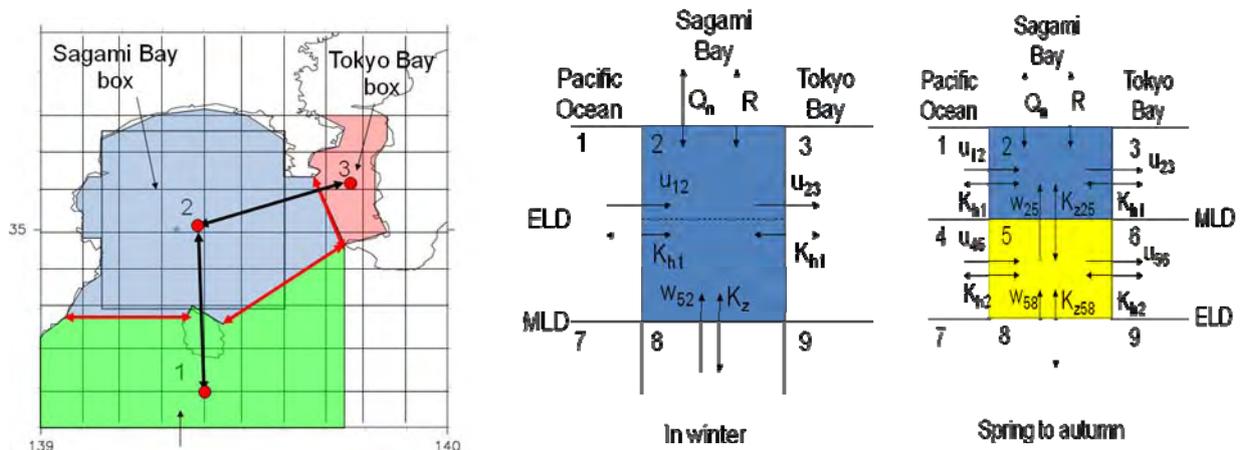


図 4-2-2e4-f1 相模湾の物理-生態系ボックスモデルの水平、鉛直構成。

4-2-2e2 節「流・海況の変動とその要因」で詳しく報告しているが、相模湾の湧昇による表層への栄養塩供給は黒潮の変動と密接に関係しており、それは周期的なイベントとして発生しているようである。ボックスモデルでは季節変化程度の変動は把握できるが、このような突発的な現象を評価することはできない。その意味では黒潮を含む現実的なモデルのアウトプットを境界条件とする相模湾の高解像度物理-生態系モデルの構築が必要となる。物理モデルに関しては黒潮の変動を再現できるかなり高精度なモデルが開発されており、相模湾の物理モデルを作ることはそれほど難しくないとと思われる。一方、生態系に関してはボックスモデルで得られた成果(パラメータなど)を導入することで相模湾の物理-生態系モデルを作ることができるであろう。

ボックスモデルでは月変化程度の変動を再現することを目的にしているため、月1回程度の観測データでもモデル結果を検証できる。しかし、イベント的に起こる黒潮系水の流入やそれに伴う水平循環流や鉛直流の発生、その後の表層での栄養塩や植物プランクトンの増加に関しては、通常の観測ではモデル結果を検証できるデータを得ることはできない。しかしながら、このような物理-生態系結合モデルを観測データにより検証できれば、相

模湾の物質循環を高時空間分解で定量的に解明することができる。

本研究で行われたように POPPS ブイの長期係留とそのデータを衛星に適用し基礎生産の連続空間分布を得ることができれば、高解像度モデルの計算結果を時空間で検証できる。さらに、相模湾では本研究により、水温、塩分、植物プランクトン量から硝酸の鉛直分布の時系列を得ることができるようになった。このように POPPS ブイの係留と衛星データを使うことにより生物、化学プロセスの検証も可能となっている。

沿岸は陸岸からの淡水や栄養塩の流入、複雑な地形や時空間スケールの短い現象が卓越するため、一様性が低くモデルの構築も難しい。しかしながら、相模湾では多くのデータが蓄積されており、特に本研究で得られたデータはデータベース化されている。この豊富なデータを使うことにより他の海域ではできない高精度なモデルの開発が可能となる。相模湾での、現場観測－数値モデル－衛星研究は、ある1つの湾の研究ということではなく、沿岸の複雑な現象を解明するためのモデルケースと位置付けている。

g) 今後期待される効果

相模湾定点において自動昇降ブイを一年間運用しつつ淡青丸、青鷹丸の航海、セジメントトラップ実験と合わせて総合的な観測を行った。扱う時間スケールは日から年、さらにセジメントトラップ実験での予期せぬ成果から、数年間の時間スケールまで拡張できることが判った。当初海洋大グループとの接点を中々見いだせなかったが、プロジェクト終了にあたって海洋大の季節から数年~10年の時間スケールと接点を持てたことは予想外の成果である。また、物理－生態系モデルの初期値、あるいは検証値としての海洋観測を四季にわたって繰り返したが、これによって炭素循環、あるいは酸素循環を調べるために、今までに得ることのできなかつた網羅的なデータセットを手に入れることができた。

残念ながら時系列衛星データを使ったプロセス研究はプロジェクト終了までに間に合わなかったが、検証のための十分なデータを入手しているので、今後海洋研究開発機構グループとともに進んでいくつもりである。

4.3 東京海洋大学グループ

(1) 実施の内容

本グループは、CREST (1999年11月～2004年10月)「衛星利用のための実時間海洋基礎生産計測システム(現場培養による基礎生産測定及び自動昇降ブイの開発グループ)」、およびSORST (2004年11月～2009年10月)「人工衛星による海洋基礎生産モニタリング(海域調査・試験・解析グループ)」の実施期間中に、練習船「青鷹丸」により図4-3-1-f1に示す相模湾の定点S3(北緯35°、東経139°20′)および東京湾内の複数の観測点においてほぼ毎月、観測を行った。観測項目は、ロゼット採水システム(ニスキン採水器12本付)を装着したCTDによる水温、塩分の測定と、採水試料を用いた栄養塩(硝酸態窒素、亜硝酸態窒素、アンモニア態窒素、リン酸態リン、ケイ酸態ケイ素)およびクロロフィル濃度の測定(DMF抽出、蛍光法で分析)である。相模湾のStn. S3及び東京湾のStn. F3, F6においてはNORPACネット(100 μ mおよび330 μ m目合)の鉛直曳き(水深150m以上の場合は深度150mから海面までの鉛直曳き、水深がそれ以下の場合は海底付近からの鉛直曳き)による動植物プランクトンの採集を行い、また採水法による植物プランクトンの採集(1L採水し、固定後沈殿濃縮)を行った。プランクトンの固定・保存は何れも、1%ホルマリンー海水中で行った。また、これらの観測点においては、 ^{13}C 法を用いた疑似現場法による基礎生産の測定を行った。

Stn. S3および東京湾のStn. F6で採集し、ホルマリンー海水中で保存した植物プランクトンは、直径5 μ m以上のものについて、倒立顕微鏡により同定計数した。また、一部に関して走査電子顕微鏡による観察を行った。東京湾においては、本研究の期間以前(1981年～)においても、同様の採集が行われていたためデータは合わせて処理した。

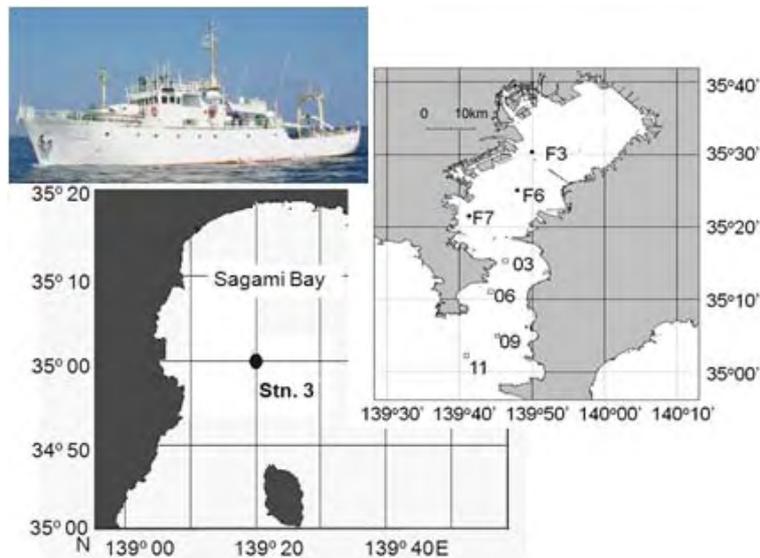


図4-3-1-f1 東京海洋大学練習船「青鷹丸」と相模湾および東京湾における観測点

Stn. S3においてNORPACネット(330 μ m目合)により採集された動物プランクトンに関しては、14の主要分類群(カイアシ類、枝角類、貝形類、オキアミ類、十脚類、端脚類、多毛類、ヤムシ類、軟体類、刺胞類、ウミタル類、尾虫類、仔稚魚と魚卵、幼生)とその他に分けて湿重量を測定し、ネットのろ水量から単位水量あたりの湿重量に換算した。

相模湾の動植物プランクトンに関しては、季節変化およびそれ以外の変動が認められたため、主として黒潮の蛇行経路との関係について解析した。東京湾の植物プランクトンに関しては、1981年から2005年の25年間の植物プランクトンについてクラスター解析を行い、群集組成の変化を調べるとともに、多変量解析によりその変化の原因となった因子を明らかにした。

(2) 得られた研究成果の状況及び今後期待される効果

(2-1) 相模湾の水温、塩分、栄養塩とクロロフィルの経時変化 (図 4-3-2-f2)

1999年から2008年までの水温について見ると(図 4-3-2-f2a)、例年1月には表層水温が15、6°に下がり、100m付近まで鉛直混合したが、2008年は、1-4月の間、表面水温が16°以下にはならず混合層水深も最大60m程度であった。3、4月頃から次第に表面水温が上昇して成層化が進むが、7、8月に、しばしば亜表層が低温化する現象が見られた。表面水温は8、9月に最も高くなり24°C以上となった。硝酸塩(図 4-3-2-f2c)は、表面を除いて枯渇することはあまりなく、20m層では3μMを下回することは少なかった。これは、深層の栄養塩に富んだ水が夏季に表層に湧昇するためであると考えられる。クロロフィル(図 4-3-2-f2e)は、2005、7、8年には春季に高濃度となり、スプリングブルームが起きていたことを覗わせるが、それ以外の年では、9月ごろまで継続的に高いことが多かった。これは、冬季に鉛直混合により表面に供給される栄養塩が、スプリングブルームにより使いつくされるのではなく、下記の湧昇現象により高く維持されることを示していると考えられる。夏季の亜表層クロロフィル極大は、あまり顕著ではなく、同様に表層で栄養塩が枯渇しないことを反映していると考えられる。一方2005-7年には、夏季を中心に高いクロロフィル濃度が観測されており、これは後述するように東京湾系水の流出によるものである可能性が高い。

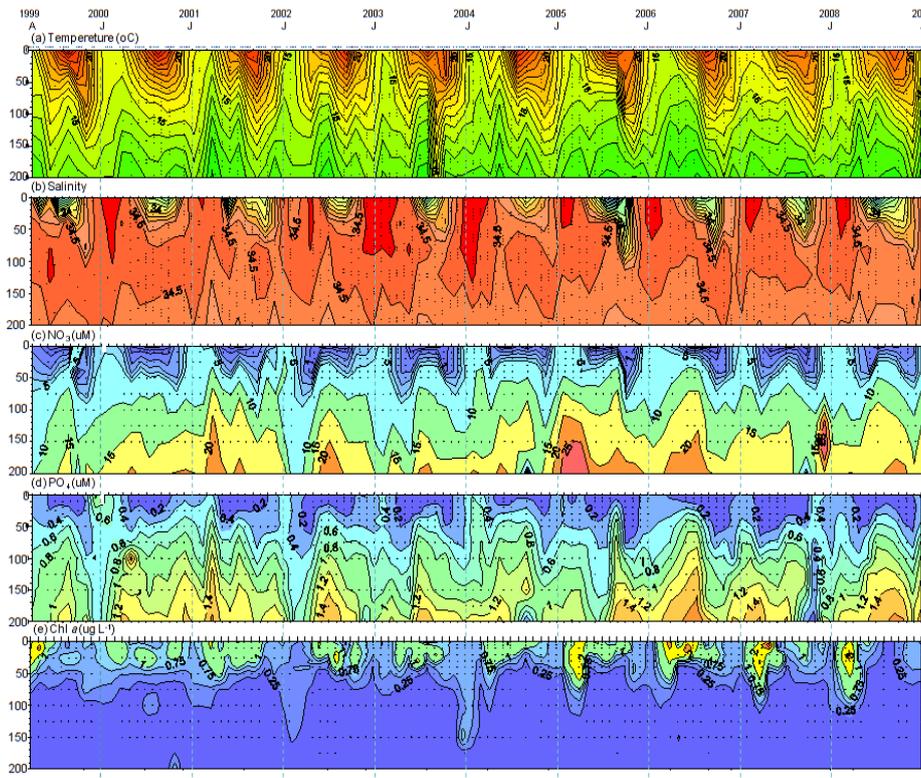


図 4-3-2-f2 Stn. 3における水温(a)、塩分(b)、硝酸態窒素(c)、
ン酸態リン(d)、クロロフィル a (e)の鉛直分布の経時変化

(2-2) 相模湾の基礎生産の経時変化

単位体積あたりの基礎生産と単位クロロフィルあたりの基礎生産(炭素同化数)を図 4-3-2-f3 に示す。単位体積あたりの基礎生産では、2005-2007年の夏季に高い値が観察された。これらは、東京湾系水の相模湾への流出による高いクロロフィル濃度を反映したものと考えられる。炭素同化数は1999年5、7月、2001年7月、2004年7、8月、2005年7月にそれぞれ表層で高く、概ね、単位海水あたりの基礎生産と同じ傾向を示したが、2006年のように大きく異なることもあり、必ずしも炭素同化数が高い時期に高い生産があったわけではなかった。特に2007年4、5月にはクロロフィル濃度が非常に高かったが、単位海水あ

たりの生産, 同化数ともに低く, 衰退した植物プランクトン群集の存在が考えられる。

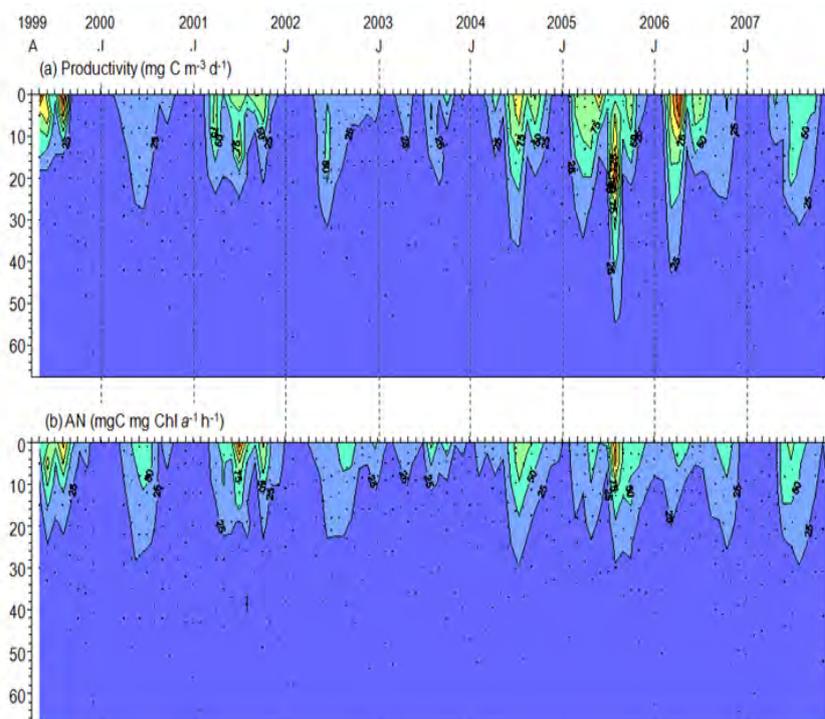


図 4-3-2-f3 相模湾のStn. 3における単位海水あたりの基礎生産($\text{mg C m}^{-3} \text{d}^{-1}$) (上)と単位クロロフィルあたりの基礎生産($\text{mg C mg Chl a}^{-1} \text{h}^{-1}$) (下)の鉛直分布の経時変化

(2-3) 相模湾の植物プランクトン組成変化と黒潮の流路

相模湾中央の測点における, 各植物プランクトン分類群の細胞数の経時変化を図 4-3-2-f4 に示す。2002 年から 2004 年の間は, まれに珪藻(水色)の細胞密度の上昇が見られるが, 一般的にはハプト藻 (黄緑色; 図 4-3-2-f5 左上の写真) がほとんどの場合に優占していた。これに対して, 2005, 2006 年には, しばしば珪藻や渦鞭毛藻 (黄色) が極めて高い密度で出現した。これらは, 図 4-3-2-f5 の右上に示す, 珪藻 *Coscinodiscus granii* や, 右下に示す *Eucampia zodiacus*, 左下に示す渦鞭毛藻 *Ceratium furca* などであり, 何れも同時期に行われた東京湾の観測で見られていることから, 東京湾内部の水塊とともに相模湾に輸送された可能性が強い。

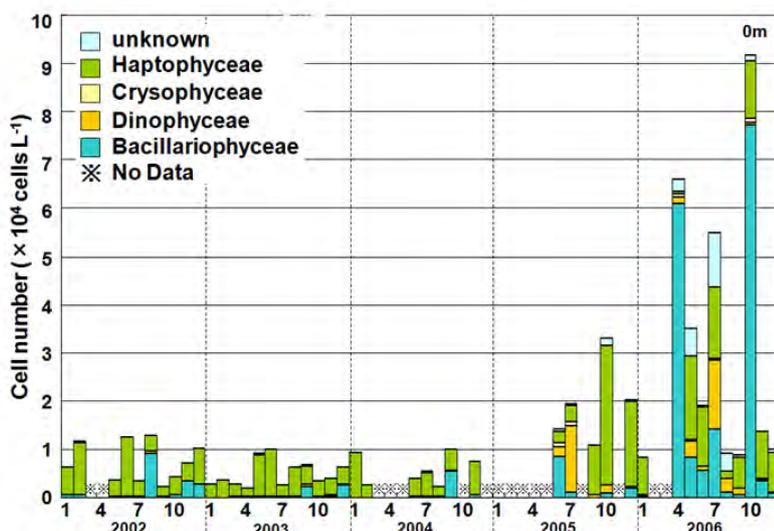


図 4-3-2-f4 Stn. 3表層水中の植物プランクトン主要分類群の出現密度の経時変化

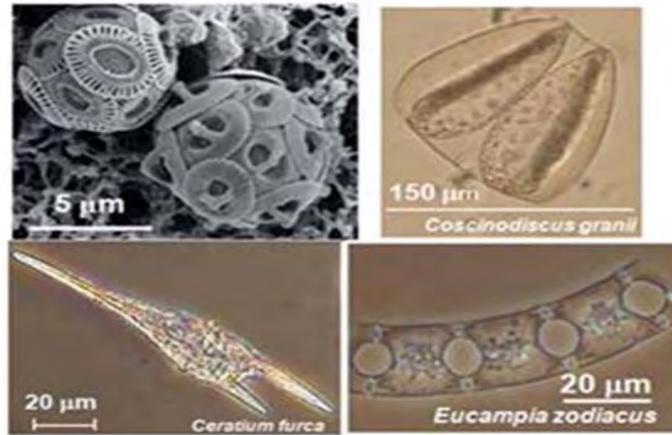


図 4-3-2-f5 各時期に優占した植物プランクトン。研究期間を通じて高密度に出現したハプト藻(左上) *Emiliania huxleyii*(左側)と *Gephyrocapsa Oceanica*(右側)、2005年6月に優占した珪藻 *Coscinodiscus ggranii*(右上)、2006年4月に優占した珪藻 *Eucampia zodiacus*、2006年7月に優占した渦鞭毛藻 *Ceratium furca*(左下)

同時期の黒潮の位置をみるため、石廊崎および野島崎から黒潮流軸までの距離の経時変化を図に示す(図 4-3-2-f6)。2002 年から 2004 年 7 月までは、両者の距離は何れも 50 km 程度と近く、黒潮は直進型で比較的沿岸を流れていたことが分かる。2004 年 10 月から 2005 年 6 月までは石廊崎から流軸までの距離は遠く、一方、野島崎までの距離は近いため、黒潮は大蛇行型、2006 年は何れの距離も約 100 Km と遠く、離岸直進型であることが分かる。

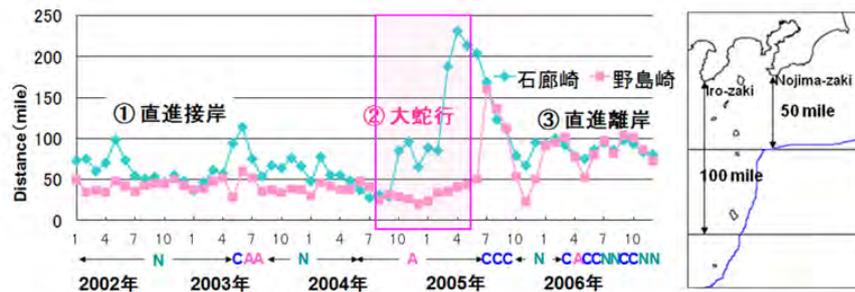


図 4-3-2-f6 石廊崎および野島崎から黒潮流軸までの距離とそこから見た黒潮流路のタイプ

図 4-3-2-f7 は、MODIS によって観測した、相模湾におけるクロロフィルの分布パターン(1 週間のコンポジット)の例である。これらを、高クロロフィル濃度水が東京湾内に滞留するタイプ ①。東京湾から流出した高クロロフィル濃度水が三浦半島を回り込んで相模湾奥部に達するタイプ ②および流出した高クロロフィル濃度水が相模湾中央部に達するタイプ ③ に区分する。

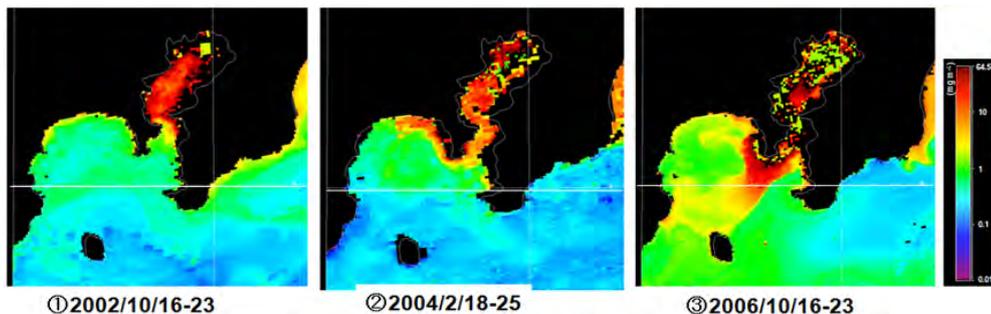


図 4-3-2-f7 MODISによって観測した相模湾におけるクロロフィルの分布パターン

図 4-3-2-f6 に示す黒潮の流路のタイプと、東京湾水の流出に伴う相模湾のクロロフィル濃度の分布を表 4-3-2-t1 にまとめた。2002～2006 年までの間に MODIS によって得られた良好な画像は接岸直進時に 77 シーン。このうちタイプ②が 15 シーン、タイプ③はわずか 1 シーンであった。大蛇行時は 35 シーン中、タイプ②は 10 シーン、タイプ③は 3 シーン、離岸直進時は全体で 52 シーン中、タイプ①が 11 シーン、タイプ③が 7 シーンであった。以上のように、黒潮流軸が相模湾に近く、強く影響すると考えられる接岸直進時には東京湾からの流出水が相模湾中央部に流出することはほとんどなく（1.3 %）、大蛇行時にやや増加し（8.6 %）、離岸直進時には頻度が高くなる（13.5 %）。このように、相模湾内への東京湾水の張り出しは、黒潮の流路に大きく影響され、それによって、栄養塩の分布、クロロフィル濃度、植物プランクトンの種組成が大きく変動することが明らかとなった。

表 4-3-2-t1 MODISで観測された高クロロフィル濃度の東京湾系水の相模湾への張り出しの程度及び頻度と黒潮流路との関係

黒潮流路	全画像数	東京湾系水の張り出しの程度	
		東京湾外	相模湾中央部
接岸	77	15 (19.5%)	1 (1.3%)
大蛇行	35	10 (28.6%)	3 (8.6%)
離岸	52	11 (21.2%)	7 (13.5%)

(2-4) 相模湾の動物プランクトン組成の季節変化と年変化

相模湾中央の Stn. 3 における動物プランクトン主要分類群の組成の経時変化を図 4-3-2-f8 に示す。期間中を通じて最も卓越したのはカイアシ類（Copepoda）であったが、夏季には多くの分類群が出現した。生物量は 2001 年に大きく 2004 年後半からやや増加するようにみえるが、2006 年について、研究を行わなかったため、黒潮流路との関係は良く分からなかった。

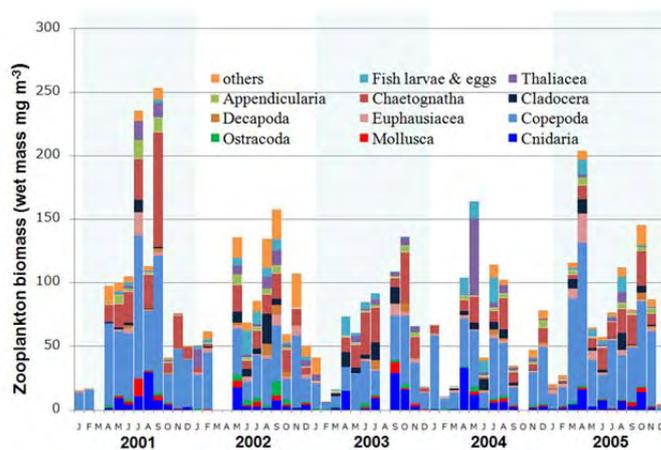


図 4-3-2-f8 相模湾の Stn. 3 における各動物プランクトン群集の湿重量の経時変化

図 4-3-2-f9 に、全動物プランクトンと肉食プランクトン（Carnivorous group）の季節変化とクロロフィル、基礎生産、日照時間の季節変化（5 年平均）を示す。基礎生産は冬季に小さく、4 月にかけて上昇し、5、6 月にかけてやや低下するが 7、8 月に最大となりその後下降した。クロロフィル濃度は冬季に低く、4 月に最大でその後低下、5～10 月にほぼ一定の値を取り、11 月にやや上昇した。このクロロフィルの変化は、一般に温帯域で生じるスプリングブルームと夏季の減少、秋季の小さな上昇という典型的なパターンであるが、内容を考えると、夏季の下降が成層化に伴う栄養塩の枯渇によるものではないと考えられる。相模湾では夏季に湧昇によるとみられる栄養塩の下層からの供給が有り、それによって基

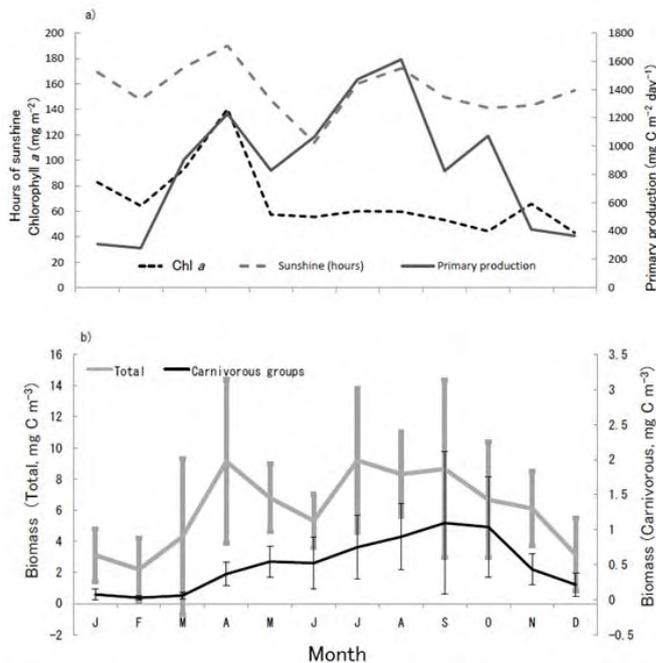


図 4-3-2-f9 相模湾の Stn. C における a) 水中積算クロロフィル a 濃度, 日照時間, 基礎生産と
 b) 肉食動物プランクトンと動物プランクトン全体の生物量の季節変化(5年間の平均)

礎生産が夏に最大となるためである。5, 6 月の基礎生産の低下は, むしろ梅雨期の日照時間の低下に伴うものと考えられる。さらに, 7~10 月にクロロフィル濃度が低く抑えられるのは, 動物プランクトンの生物量の増加により, 植物プランクトンが捕食されることが原因であると推定される。肉食プランクトン(ヤムシ類, 刺胞類)の生物量は, 冬季に低く 3 月から 10 月にかけて次第に増加し, 11 月に低下した。相模湾において, 植物プランクトンの増加に伴い, 植食プランクトンが増加し, それに遅れて肉食プランクトンが増加するという典型的な季節変化が認められた。

(2-5) 東京湾の植物プランクトンの長期変動と環境変動との関係

1981 年から 2005 年までの間にほぼ毎月, 東京湾中央の Stn. F6 (図 4-3-1-f1 参照) の表層で採集された植物プランクトンを顕微鏡観察し同定・計数した。さらにサイズを測定して体積を求め, 炭素量に換算して主要種の出現密度の変化を求めた。東京湾でもっとも優占する珪藻 *Skeletonema costatum* について経年変動 (図 4-3-2-f10 上) を見ると, 1991 年頃を中心に 6-10 月ごろの出現密度が低下していることが分かる。また, ミドリムシ藻の *Euglena* sp. (図 4-3-2-f10 下) においては 1985 年頃から次第に出現期間が長くなり 2004 年にはそれまで出現が見られなかった 1, 2 月にも出現するようになった。このような長期的な出現種の変動と環境との関係を調べるために, 統計解析を行った。各出現種の炭素現存量に基づき, サンプル間における種組成に関してブレイカーチスの非類似度をもとめ, 群平均法によって樹状図を作成し, 適当な類似度によってクラスターグループに分けた。この作業を季節ごとに行い, 色分けしたものが図 11 である。それぞれ, 冬 (1-3 月), 春 (4-6 月), 夏 (7-9 月), 秋 (10-12 月) はそれぞれ 9, 7, 7, 10 のクラスターに分けた (各季節で用いたクラスターの色は, 同じグループを示していない)。また, それぞれのグループで最優占した種を図に書き入れた。ただし, 冬季には, 全てのグループで珪藻 *Skeletonema costatum* が優占したため, 2 番目に優先した種をカッコに入れて示した。冬季には, 1988 年と 2000 年ごろを境に, グループの出現が大きく異なっており, 特に 2001 年以降は, 渦鞭毛藻の *Ceratium fusus* が優占するようになった。春季では 1991 年ごろと 1998 年ごろを境に, グループの出現が大きく異なった。夏季と秋季では, 両季節とも 1988 年と 1998 年ごろを境に, グループの出現が大きく異なり, 1998 年以降は *Prorocentrum* や *Ceratium* 等の渦鞭毛藻が優占する群集

に変化した。

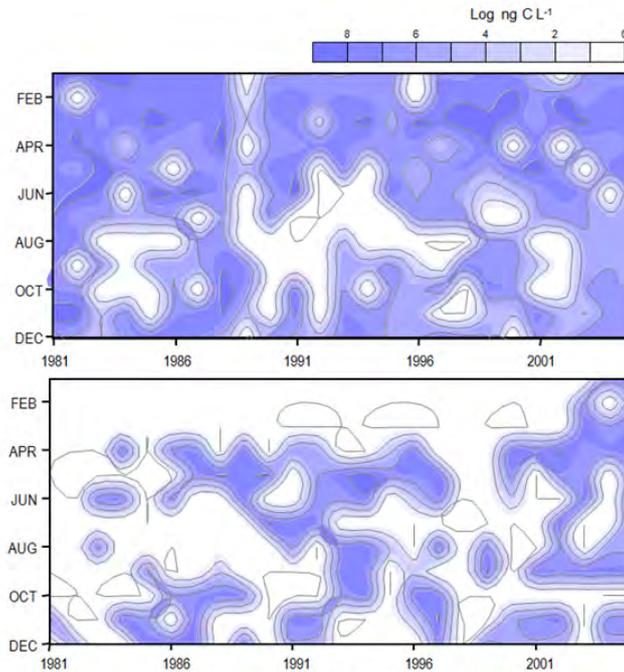


図 4-3-2-f10 東京湾中央の Stn. F6における、1981年から2005年までの各月の *Skeletonema costatum* (上)と*Euglena* sp.(下)の出現密度(炭素現存量)の変化

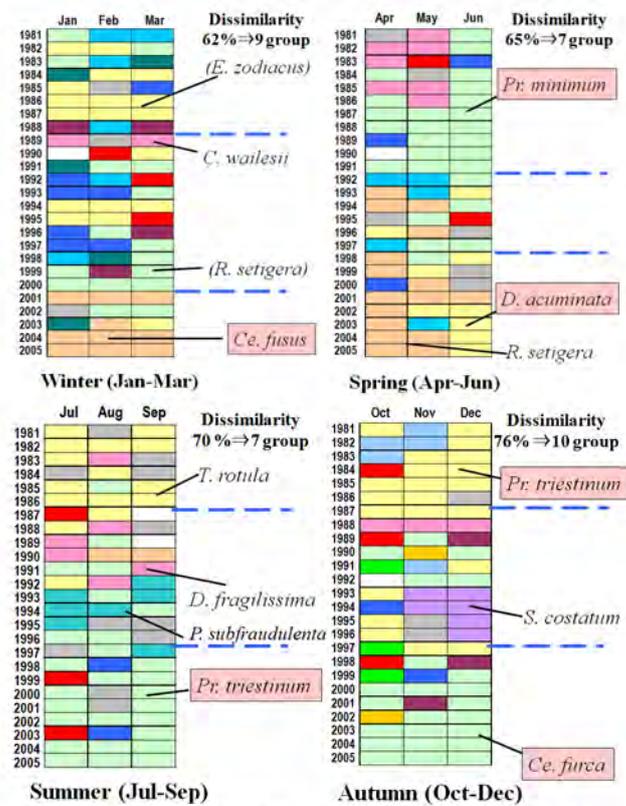


図 4-3-2-f11 1981年～2005年の各季節に出現した植物プランクトンのクラスターグループの変化(季節ごとにブレイカーチスの非類似度でグループ化)

表 4-3-2-t2 に、NMDS による解析から、期間ごとに各クラスターグループがどのような環境

要素に影響を受けたかを調べた結果を示す。1981-1990年では、冬季と夏季にそれぞれ風と日射量が、1991-2000年では、冬季に降水量と日射量、春季に日射量と無機窒素、リン、秋季に水温と風がクラスターの形成に関与していたことが分かる。2000-2005年では、これらと大きく異なり、各季節で水温が、また、春季を除くと栄養塩がクラスターグループの形成に寄与するようになってきた。東京湾では、高度成長期である1960-70年に富栄養化が著しく進み、栄養塩は植物プランクトンの成長を制限しなくなり、水質改善の効果が表れるようになったのは2000年以降であると言われる。植物プランクトンの群集組成に栄養塩濃度の低下が大きな影響を与えたことが示唆される。一方、2000年以降に、通年水温がクラスターの形成に影響しており、温暖化による水温上昇の影響も無視できない。これに関しては、今後解析を続ける予定である。

図 4-3-2-t2 各期間中の各季節に、クラスターグループの出現に影響を与えた環境要素

期間 \ 季節	冬	春	夏	秋
1981-1990	風	—	日射量 風	—
1991-2000	降水量 日射量	日射量 DIN, PO ₄	水温 風	水温 日射量
2000-2005	水温 PO ₄ , DIN, N/P	水温	水温 Si/N N/P	水温, 日射量 DIN, PO ₄ Si/N, N/P

(2-6) 今後期待される効果

本研究では、東京湾および相模湾の継続的な調査により、低次生産構造の特徴と季節変化を明らかにし、長期変化とその原因についての解析を行った。取得したデータや採集した試料は膨大なものであり、現時点までに解析を終えた部分は必ずしも多いとは言えない。今後、本研究において改良された基礎生産アルゴリズムによる情報を、当グループの得た現場情報と十分にマッチングさせることにより、沿岸の生物過程の解明を行うための手法を確立することができると考えられる。また、船舶による詳細な観測データを、衛星によって得られる連続的な表面情報と、自動昇降式観測システムによる定期的な鉛直情報によって補完することにより、時空間的に連続した極めて高度な観測システムの構築が可能であり、全球的な海洋の基礎生産や物質循環の解明に発展することが期待される。

4.4 京都大学グループ

(1) 実施の内容

水色衛星データにおける雲域の欠測データを4次元データ同化の手法を用いて補間し、時間・空間的に均一なデータセットを作成するために、開発済みの大気海洋陸域結合データ同化システムに、11個のコンパートメント海洋低次生態系モデル NEMURO(North Pacific Ecosystem Model for Understanding Regional Oceanography)を統融合する。作成された海洋循環・低次生態系の統合モデルに基づき断片的な観測データから客観的に整合性のある、時空間的に均一な格子データセットを作成できるプラットフォームを開発する。さらに水色衛星データ等の補正と補間を高い再現性で行うために、鍵となるパラメータ群の最適化を一体的に行えるように機能を拡充して、物理・低次生態系・化学物質循環統合システムとしての完成を目指す。

(2) 得られた研究成果の状況および今後期待される効果

(2-1) はじめに

本研究では、海洋大気陸域結合4次元変分法データ同化システムを構成する海洋コンポーネントに海洋低次生態系モデル NEMURO を組み込むことにより、クロロフィルや栄養塩類等の生物地球化学的観測データの欠損値を埋めあわせ、海洋物理場と整合性のある統合的データセットを作成するための手法を開発する。さらに作成された再解析統合データセットの妥当性を検証するために海洋低次生態系変動の再現実験を行う。栄養塩やプランクトンの変動は、物理場、特に水温に大きな影響を受けるため、空白のない経年スケールのデータセットの作成が望まれている。しかし、簡易なデータ同化手法を用いると、例えば水温観測の同化が海洋内部での熱源となり、それによって循環場や輸送過程が汚染される。これに対して、4次元変分法では、力学に従い観測への最適化が行われるため、整合的な物理場が得られる(例えば、Stammer, 2002)。すなわち、この手法によって、現実的な水温場を再現するとともに、生態系の重要な環境因子としての次元的な循環場を現実的に再現できると期待される。

Kishi et al. (2007)はプランクトン量の変動を記述する低次生態系モデル NEMURO を開発した。このモデルは植物プランクトン2種と動物プランクトン3種を含む11の予報変数とその方程式系からなり、観測点 A7(41.5N, 145.5E)などの北太平洋亜寒帯域での観測事実を良く再現することが知られている。しかしながら、NEMURO の方程式中のパラメータ値は限られた場所における値をもとにしており、不確定な部分も多い。NEMURO でのパラメータ数は高々数十のオーダーであり、先行研究を考慮すると、この程度のパラメータの推定に対しては変分法データ同化における簡便な手法であるグリーン関数法が有効である。例えば、Menemenlis et al. (2005)はこの手法を用いて、海洋大循環モデルにおいて、重要であるが不確定性の大きい、複数のモデルパラメータの最適値を推定している。ただし、この手法は線形を仮定しているため、非線形性が強くなると誤差が大きくなる。低次生態系においては非線形性が強いと予想されるため、推定においては近似的にでも線形性が成立するように、なるべく良い初期値を選ぶとともに、推定されたパラメータ値の妥当性を確認することが必要である。すなわち、推定結果が観測される低次生態系変動の特徴を反映していることを検証し、さらに推定値の生物学的意味を解釈しパラメータ相互に矛盾がないことを確認することが必要である。このようにして得られた再解析統合データセットは物理-生態系統合システムに基づく低次生態系動態の解析を可能にするので、今後の生態系モデリングの向上に有益な情報を与えるだろう。

近年では、NEMURO を3次元的に応用する研究も行われている。Aita et al. (2003; 2005)は北太平洋の海洋大循環モデル(ocean general circulation model; OGCM)に適用し、カイアシ類の鉛直移動の効果、レジームシフトの影響について調べた。また、Hashioka and Yamanaka (2007a; b)、Hashioka et al. (2009)は北西太平洋の OGCM に適用し、季節・水平分布や温暖化の影響などについて、観測点 A7 で推定されたパラメータ値を用いて調べ、3次元実験での NEMURO の有効性を示している。なお、最近明らかになった植物プランクトンの生育に対する鉄制限の効果(Yoshie et al., 2005)は NEMURO では考慮されていないので、鉄制限が支配的な海域では適用できない可能性がある。ここでは、Kishi et al.,

(2007)にならい、変分法データ同化手法の利点を活かして、観測値にフィットするようパラメータ値を調整することで、鉄などの制限過程を間接的に表現するよう試みる。

(2-2) データ同化実験

物理モデルは JAMSTEC と京大が共同開発した海洋大気陸域結合データ同化システムの海洋コンポーネントを使用する。これは GFDL MOM 3(Pacanowski and Griffies, 1999)の改良版(Sugiura et al., 2008)で、水平分解能は東西・南北ともに 1 度で現実的な海底地形を鉛直 45 層で分解

する。領域は南緯 75 度から北緯 80 度である。NCEP/NCAR の大気再解析データをもとに作成した熱・淡水・運動量フラックスを海面境界条件の第一推定値とし、十分なスピニングの後に経年変動実験を行う。推定期間は 1990 年から 2006 年までの 17 年間である。

まず、同化手法について概説する。次のように、モデルによる推定値と観測データとの差をもとにした誤差の指標となるコスト関数を定義する。

$$J = (x_f - x_b)^T B^{-1} (x_f - x_b) + (HM(x_f, x_i)^T - y)^T R^{-1} (HM(x_f, x_i)^T - y) + (\nabla \cdot x_f)^T P^{-1} (\nabla \cdot x_f) \quad (1)$$

ここで、 x_f は各グリッドでの 10 日平均の海面フラックス時系列、 x_b はその初期推定値(NCEP/NCAR)、 x_i は初期条件、 y は観測値、 H は観測行列と呼ばれるモデルグリッドから観測のグリッドに内挿する行列、 M はモデルを表す行列、 B, P, R は観測とモデル推定値に対する誤差共分散行列である。このコスト関数が最小になるような最適解を求める。制御変数は本研究では初期条件と境界条件、すなわち $(x_f, x_i)^T$ とする。

用いた観測値は、FNMOC(Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center)の水温・塩分データ、Reynolds と OISST 海面水温データ、TOPEX/Poseidon 海面高度計データから作成した海面高度アノマリーデータ、Argo 水温・塩分プロファイルデータ、WOD98(World Ocean Database 1998)データである。

このような観測データを用いて、MOM3 の時間軸前方積分によりコストを求めるフォワード計算とコスト関数の感度を時間を遡って伝えるアジョイント計算により制御変数を修正する一連の計算を、コスト関数の値が一定値以下に減少するまで繰り返すことにより、制御変数(今の場合、パラメータ等)の最適値を探索する。このようにして得たプロダクトは季節から経年スケールの海洋現象を解釈するのに適した力学場を与えるデータセットである。詳しい説明は Masuda et al. (2003)、Awaji et al. (2003)を参照されたい。このような海洋データ同化プロダクトを用いた力学研究は既に成功裏になされており、プロダクトの妥当性や有効性が確認されている(Masuda et al., 2006; Masuda et al., 2009; Toyoda et al., 2010)。

(2-3) 低次生態系モデル

Kishi et al. (2007)が開発した低次生態系モデル NEMURO は、図 4-4-2-f1 のように、11 の状態変数からなる。北太平洋では窒素とケイ酸が重要な制限要素であり、特に北太平洋亜寒帯は HNLC(high nitrate and low chlorophyll concentrations)海域である。前述したように、鉄制限の重要性が最近指摘されているが(例えば、Gao et al., 2003)、このモデルには含まれておらず、4次元変分法によるパラメータの修正で対処する。

Kishi et al. (2001)では、硝酸塩 NO_3 、アンモニア NH_4 、小型植物プランクトン PS、大型植物プランクトン PL、小型動物プランクトン ZS、大型動物プランクトン ZL、粒子有機窒素 PON、溶解有機窒素 DON が状態変数とされているが、ここでは更に、プレデター動物プランクトン ZP、シリカ粒子 Opal、ケイ酸塩 SiOH_4 を加えて拡張した。ZP は大型動物プランクトン以上の捕食者を含んでおり、魚によるプランクトンの捕食などの効果を全て暗に含んでいる。主にカイアシ類を表現する ZL は、その季節的な鉛直移動を表現するため、

10月に下層にもぐり、その一部(20%)が4月に表層に復帰するよう設計した(c.f., Kishi et al., 2001)。

このモデルを観測点 A7 に適用したシミュレーション結果を図 4-4-2-f2 に示す。冬季には植物プランクトンの活動が弱いため、栄養塩が増加する。4月に光と水温の状況が変わると、植物プランクトンのブルームが起こり、ケイ藻類(PL)値はピークを示すが、その後栄養塩の減少と動物プランクトンによる捕食により減少する。これはカイアシ類(ZL)の排泄から来るアンモニウム(NH₄)の増加にも現れている。大型のケイ藻類の減少により鞭毛虫(PS)がブルームを迎え、夏ごろには窒素化合物が消費されて定常状態になる。この期間、窒素はプランクトン間でリサイクルされている。秋に表層から大型動物プランクトンがいなくなると、植物プランクトンの小さなブルームが起こる。

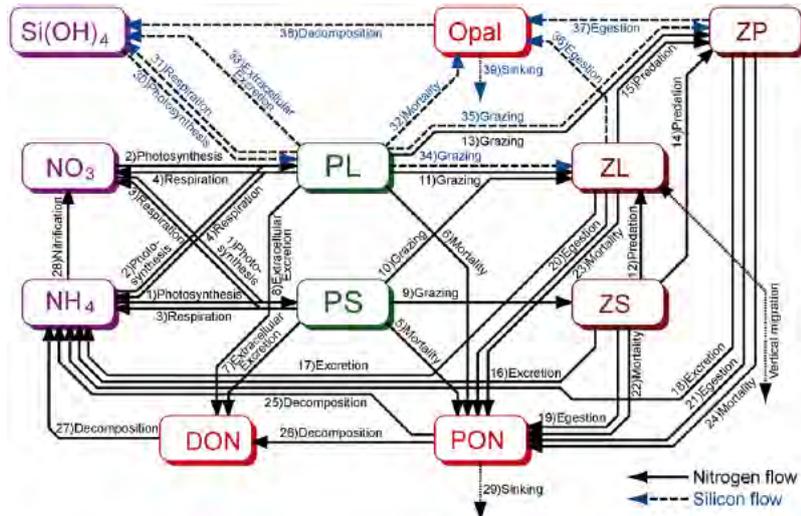


図 4-4-2-f1 低次生態系モデル NEMURO の模式図。黒実線は窒素化合物の流れ、青点線はケイ酸化合物の流れ、黒点線は沈降過程などモデルボックスと下層の交換を示す。Kishi et al. (2007)の Fig. 1 を引用。

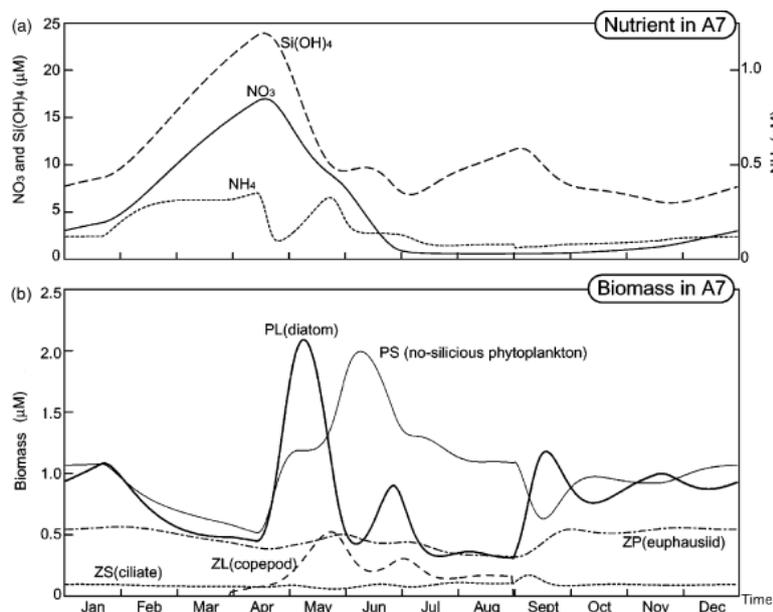


図 4-4-2-f2 NEMURO の全変数の時系列。観測点 A7 に対する基本実験の日平均値。(a)NO₃ 濃度(実線)、SiOH₄ 濃度(破線)、NH₄ 濃度(点線)、(b)PL(太実線)、PS(細実線)、ZS(細点線)、ZL(細破線)、ZP(細点鎖線)の量。Kishi et al. (2007)の Fig. 3 を引用。

(2-4) 低次生態系モデルの3次元化

時間軸方向の補間に加えて、断片的に得られた観測データの空間補間もあわせて行い、その結果の性能を評価するために、低次生態系モデルと海洋大循環同化モデルを結合した3次元モデル実験を行った。そのためにまず、ボックスモデルであるオリジナル NEMURO をレベルモデルに拡張した。NEMURO 変数は全て、物理モデルの水温・塩分と同じグリッドで定義した。物理モデルは中層・深層を含むものであるが、今回の生態系モデル結合実験は表層をターゲットにしているため、2000m 以深では NO_3 と SiOH_4 の値を WOA05(World Ocean Atlas 2005)の値に固定した。また、沈殿・融解過程を考慮していないので沈降する PON と Opal を海底 2 グリッドで除去する操作を行った。更に、400-2000m 層でも NO_3 , SiOH_4 を 1 カ月毎に WOA05 の値に復元した。NEMURO 変数の初期値は NO_3 , SiOH_4 を WOA05 値に復元しながら最初の 1 年間 (1990 年) 積分して作成した。解析ではその後の 2-17 年目を用いた。

パラメータは Aita et al. (2007) にならひ、Kishi et al. (2007) の値を次のように変更した。植物プランクトンの活動度の温度依存性 Q_{10} を 2.0 から 1.48 に変更し、

$k_{GpPS}, k_{ResPS}, k_{MorPS}, k_{GpPL}, k_{ResPL}, k_{MorPL}$ をこれに対応する値に変えた。また、ZL (カイアシ類) の季節的な鉛直移動は南北緯度 20 度から極側のみで起こるとした。すなわち、20N 以北では ZL は 10 月 1 日に下層に移動、その 20% が 10 月 1 日に上層に上がってくる。20S 以南では半年ずれて同じである。加えて、PON と Opal の沈降速度はボックスモデルや 1 次元モデルでは外部パラメータであるが、実際には流速場に影響される (流速場に影響されない落下速度についても、プランクトン種が違ふために、海域ごとに異なると思われる (c.f., Fujii et al., 2002)) ことが知られている。そこで、3 次元場における沈降速度の影響を確かめるために、いくつかの沈降速度を用いた予備実験を行った。ここでは PON と Opal の沈降速度は同じにした。

パラメータを変化させた影響の指標として、実験期間におけるトレンド;

$$\text{トレンド} = (\text{2001-2006 年の平均}) - (\text{1991-1996 年の平均}) \quad (2)$$

を用いた。これは沈降速度が速すぎると表層は徐々に貧栄養に、遅すぎると富栄養に進むと考えられ、このトレンドが 0 に近いほど安定した経年実験であることを示す良い指標だと考えたためである。

図 4-4-2-f3 は表層における NO_3 のトレンドの水平分布である。(ただし、WOA05 気候値の季節変動の大きさで規格化している。) 沈降速度がオリジナルの 40m/s の実験では熱帯付近に大きな正のトレンドがある (図 4-4-2-f3a)。沈降速度を 2 倍にするとこれらの大部分が改善され、逆に中央から東部赤道域で負のトレンドが現れる (図 4-4-2-f3d)。図 4-4-2-f4

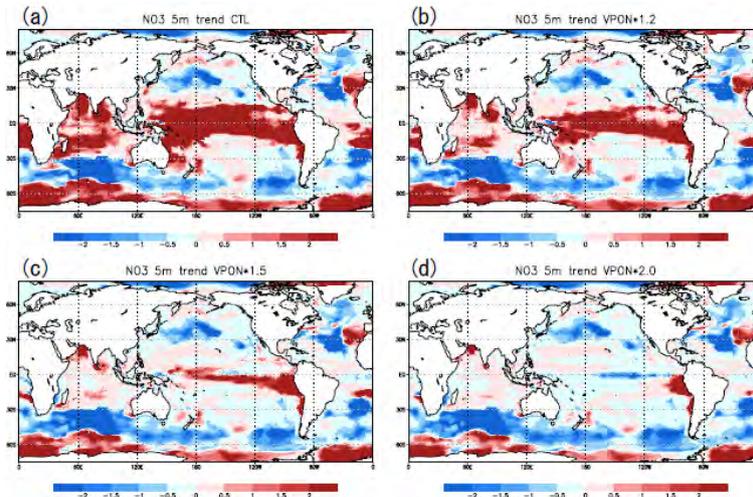


図 4-4-2-f3 5m 深 (モデルの第 1 グリッド) における NO_3 のトレンドの分布。WOA05 気候値の季節変動で規格化している。(a)オリジナルの沈降速度 $VPON=V_{Opal}=40\text{m/s}$ を用いた実験、(b-d)沈降速度をそれぞれ 1.2, 1.5, 2 倍にした実験。

は 太平洋東部赤道域(150W, 0N)における時系列である。沈降速度の小さい実験は富栄養化が進んでいることが分かる。示さないが他の変数も同様に増加している。一方、沈降速度を2倍にした実験(深紅)は栄養塩が枯渇して、これも経年実験がうまく進んでいないことを示している。この結果、沈降速度1.5倍の実験(図4-4-2-f3c; 図4-4-2-f4の赤線)を採用し、基本実験とした。なお、熱帯域以外の海域では沈降速度を調整した影響は出ていないことに注意されたい(図4-4-2-f3)。

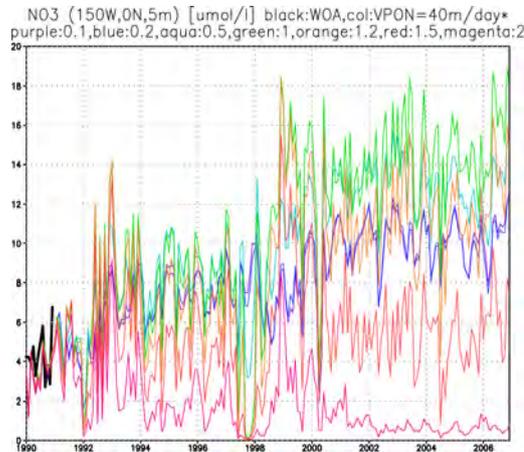


図4-4-2-f4 太平洋東部赤道域表層(150W, 0N, 5m)におけるNO₃の時系列。それぞれ沈降速度をオリジナルの0.1(紫)、0.2(青)、0.5(水)、1.0(緑)、1.2(黄)、1.5(赤)、2.0(深紅)倍したもの。黒太線はWOA05気候値で1990年部分のみ描かれている。

次に、基本実験をもとに、パラメータの推定実験を行った。本研究では低次生態系モデルと結合する物理場として四次元変分法によるデータ同化プロダクトを使用するが、その有意性を示すために、ナッジングによる同化プロダクトを用いた予備実験を行い、4次元変分法による実験結果と比較する。

図4-4-2-f5はその一例で、太平洋東部赤道域(150W, 10N)における気候値の鉛直プロファイルの比較である。図4-4-2-f5a, bにおける栄養塩の鉛直プロファイルについて、4次元変分法による同化プロダクトが観測とよく一致しているのに対し、単純な予報実験やナッジングによるデータでは躍層付近で過大評価となっている。物理場を見ると水温のプロファ

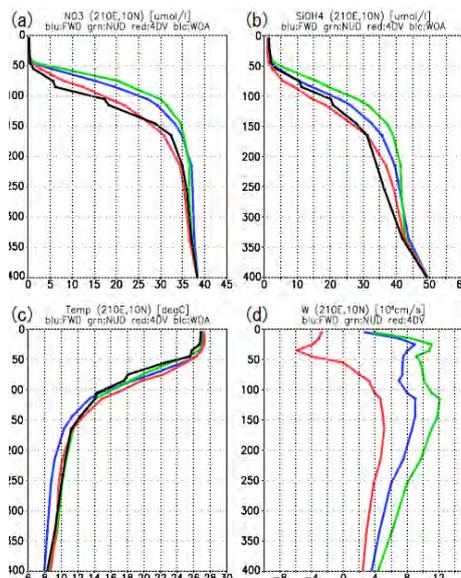


図4-4-2-f5 太平洋東部熱帯域(150W, 10N)における気候値の鉛直分布(0-400m)。(a)NO₃、(b)SiOH₄、(c)水温、(d)上向き流速。それぞれ、青線はNCEP/NCARフォーシングによるフリーラン、緑線はナッジングによる同化プロダクト、赤線は4次元変分法による同化プロダクトを用いたNEMURO実験の2-17年目の平均値を気候値とした。黒線はWOA05の気候値。

イルはナッジングが最も観測に近く、躍層付近では 4 次元変分法によるデータはやや高温である (図 4-4-2-f5c)。しかし、ナッジングによる水温修正は鉛直流場に大きな誤差をもたらすため、図 4-4-2-f5d では予報実験より大きな上向き流速となっており、これが栄養塩を上向きに輸送することで、図 4-4-2-f5a, b に見られるバイアスを引き起こしていると考えられる。図は省くが当該海域は熱帯セルの北端にあたり、予報実験では駆動力を与える大気データの分解能の問題から北赤道反流と熱帯セル北端の上向き流が 10N に達しているが、実際には 8-9N くらいが境界となっている(Wyrtki and Kilonsky, 1984; Johnson et al., 2002)。4 次元変分法からはこれと整合するような流速場が推定されているのに対して、ナッジングでは循環場のバイアスは更に増しており、この違いが栄養塩分布に影響している。

上記の影響は栄養塩のみにとどまらず、低次生態系にも影響する。図 4-4-2-f6 は各種プランクトンの分布であるが、混合層下の過度な栄養塩供給により、ナッジングでは植物プランクトンが増加し、それを捕食する動物プランクトンも不自然に増加している。逆にこのプランクトンによる消費は図 4-4-2-f5a, b の栄養塩のバイアスを軽減させているともいえる。一方、4 次元変分法データ同化プロダクトではそういったバイアスは小さくなると思われる。

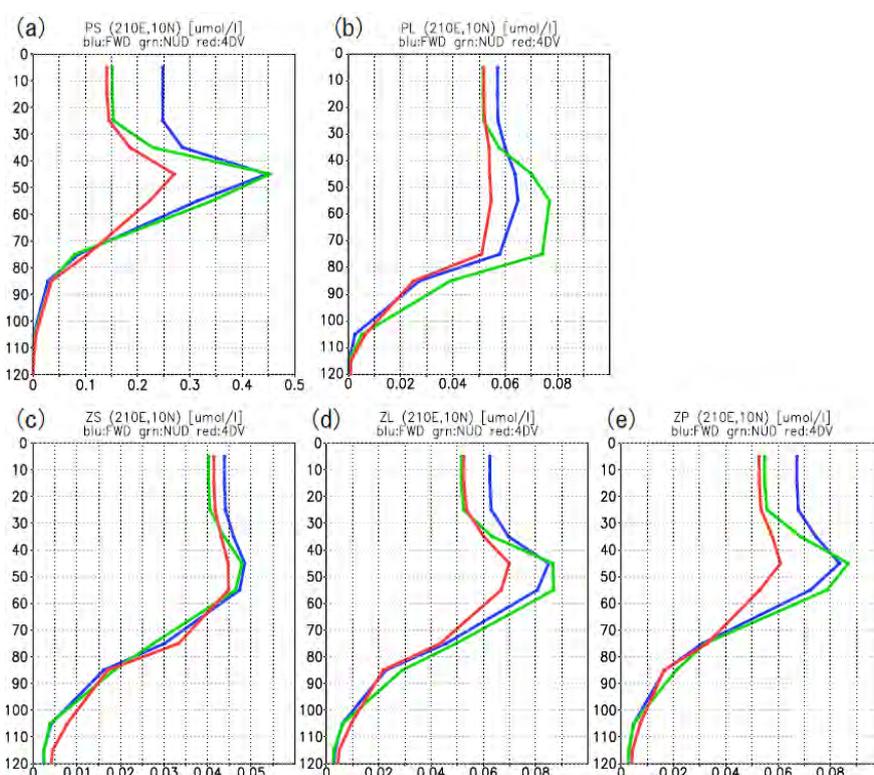


図 4-4-2-f6 図 4-4-2-f5 と同じ。ただし、(a)PS, (b)PL, (c)ZS, (d)ZL, (e)ZP の分布(0-120m)。

図 4-4-2-f7 は衛星による海色データとの経年変動の比較である。図 4-4-2-f5d は気候値であるが、鉛直流は経年的にも変化する。Johnson et al. (2002) は ENSO (El Niño and Southern Oscillation) との関連についても指摘している。この鉛直流の時系列的な変化は栄養塩の変化を生み、基礎生産に反映する。図 4-4-2-f7 を見ると、4 次元変分法プロダクトを用いた実験は、予報実験、ナッジング同化実験と比べ、SeaWiFS 観測データに見られる 1998-1999 年にかけての増加、以降の減少、2006 年の小規模の増加という経年的な特徴をうまく再現していることが分かる。

このように、物理場と生態系モデルを結合して、気候変動に伴う低次生態系の変動を調べるには、水温場とそれに整合的な循環場の情報が必要となり、4 次元変分法によるデータ同化プロダクトが有用であると言える。

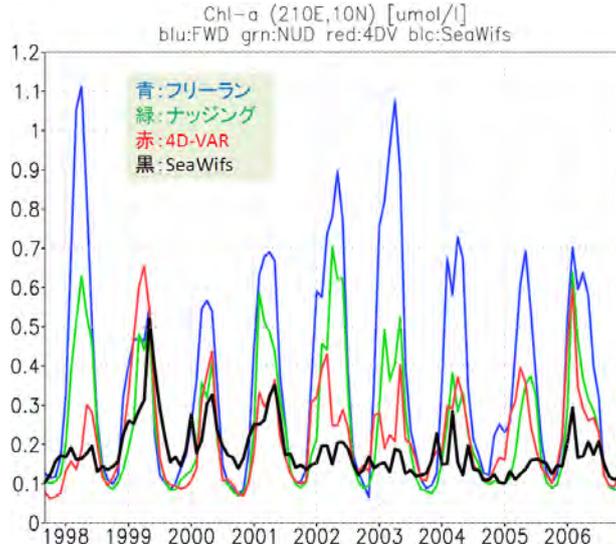


図 4-4-2-f7 東部太平洋熱帯域(150W, 10N)における海面での Chl-a 濃度の時間変化。黒線は SeaWiFS による観測データ。

(2-5) グリーン関数法による低次生態系モデルのパラメータ推定

Menemenlis et al. (2005)は、4次元変分法的一种である簡便なグリーン関数法を用いて OGCM のいくつかの不確定なパラメータ値（鉛直拡散・鉛直粘性の背景値、等密度面拡散係数、平均風応力、水温・塩分の初期値）の推定を行い、良い結果を得ている。

グリーン関数法ではパラメータ群 η についての線形性を仮定し、

$$\frac{dx}{d\eta_i}(\eta^0) \cong \frac{x(\eta^0 + a_i \delta_i) - x(\eta^0)}{a_i} \quad (3)$$

（ここで、 x は状態ベクトル、 η^0 は初期推定値、 a_i は η_i に与える擾乱の大きさである）コスト関数を以下のように設定する。

$$J = \frac{1}{2} [\overline{M(\eta)} - \bar{y}]^T R_{clim}^{-1} [\overline{M(\eta)} - \bar{y}] + \frac{1}{2} \sum_n [M_n(\eta) - y_n]^T R_n^{-1} [M_n(\eta) - y_n] + \frac{1}{2} [M_I(\eta) - M_F(\eta)]^T R_{trend}^{-1} [M_I(\eta) - M_F(\eta)] + \frac{1}{2} \eta^T B^{-1} \eta \quad (4)$$

ここで、 $\overline{M(\eta)}$ はモデルの月平均気候値で、気候値の計算には 2-17 年目を用いる。 \bar{y} は WOA05 気候値であり、右辺第一項は（WOA 変数である） NO_3 と SiOH_4 の気候値からの偏差を表す。 y_n は SeaWiFS による海色の観測データで 1996 年 9 月からのデータである。モデルの Chl-a 濃度の月平均値とのずれが右辺第 2 項となっている。右辺第 3 項は式(2)で定義されたトレンドを表す項で、 $M_I(\eta)$ はモデルの 1991-1997 年の平均、 $M_F(\eta)$ は 2001-2007 年の平均値を表す。右辺第 4 項は背景項である。

このコスト関数を式(3)のもとで最小にする η^a は次のように解析的に解くことができ、

$$\eta^a = \eta^0 + \left[B^{-1} + \left(\frac{\partial M}{\partial \eta} \right)^T R^{-1} \left(\frac{\partial M}{\partial \eta} \right) \right]^{-1} \left(\frac{\partial M}{\partial \eta} \right)^T R^{-1} [y - M(\eta^0)] \quad (5)$$

以上のように、反復してコストを低減させていくフルアジョイント法と比べて、グリーン関数法は非常に簡便で、本ケースのような自由度の少ない、いくつかのパラメータを推定する場合に特に実用性が高い。

さて、NEMUROのパラメータは72個であるが、この中で不確実性や海域ごとの違いが大きく、最適化して意味のあるものを選ぶ必要がある。これには、Fujii et al. (2002)およびYoshie et al. (2007)が行った、NEMUROの各パラメータに対する感度実験が参考になる。今回はFujii et al. (2002)の指摘した高感度のパラメータ、ならびにYoshie et al. (2007)が指摘した各変数に対して感度の高い上位2位までのパラメータを選んだ。これらはパラメータ値の小さな変化が変数の予報値に大きく反映されるという点で重点推定パラメータである。次に、観測地点により推定値が大きく異なるパラメータも加えた。具体的には北太平洋北西部および北東部の観測点A7とPapaで1.5倍以上異なっているパラメータを選んだ。更に、Aita et al. (2005)を参考にして Q_{10} を最適化し、結果として $k_{Gp} = k_{Res} = k_{Mor}$ は依存的に変化させる。これを各プランクトン群について推定する。こうして各パラメータについて32の擾乱実験を行った。

(2-6) 結果

グリーン関数法により推定したパラメータ値（但し、全球一様）を用いた実験結果を示す。図4-4-2-f8は表層 NO_3 の気候値の分布である。元のパラメータ値の実験に比べ、太平洋・大西洋・インド洋とも夏半球の亜熱帯域でやや増加するという改善が見られる。一方、夏半球亜寒帯域では過小評価となっている。鉄制限の効果がモデルでは反映されていないことが原因の一つであると考えられ、今後の課題である。

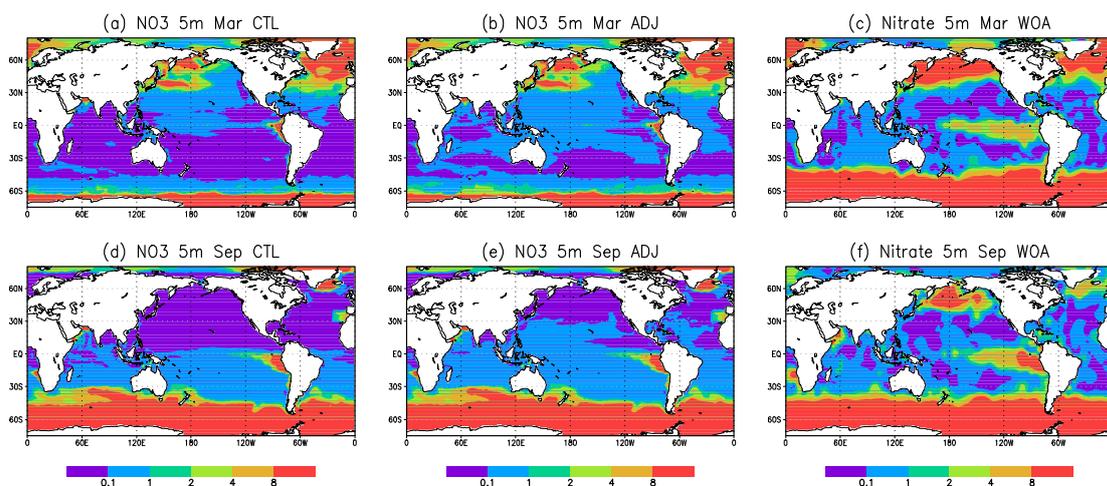


図4-4-2-f8：表層における NO_3 の水平分布。(a-c)3月、(d-f)9月の気候値。(a, d)元のパラメータを用いた実験、(b, e)推定したパラメータによる実験、(c, f)WOA05。単位は $\mu mol/l$ 。

図4-4-2-f9はクロロフィルa濃度の分布である。亜寒帯においては、冬季の過大評価、夏季の過小評価があるものの、春季のブルームなど観測される季節変化をある程度再現していることが分かる。亜熱帯域では亜寒帯に比べてクロロフィルa濃度は小さく、観測と一致している。熱帯ではモデル推定値が季節を通じて過大評価である。

これら、栄養塩とクロロフィル濃度の気候値は、コスト関数である式(4)の右辺第1項の気候値の誤差を低減させることで再現性が向上している。また、第3項でトレンドを抑制しているので気候値だけでなく、期間を通じて安定した推定値を得ている。定量的な観測との合致は今後の課題である。

図4-4-2-f10はクロロフィルa濃度のモデル推定値と観測値との経年変動の相関係数である。熱帯域に高い相関が見られ、経年変動をモデルが良く再現していることを示している。図4-4-2-f7とも整合的である。一方、北太平洋の亜熱帯・亜寒帯はほぼ相関は見られ

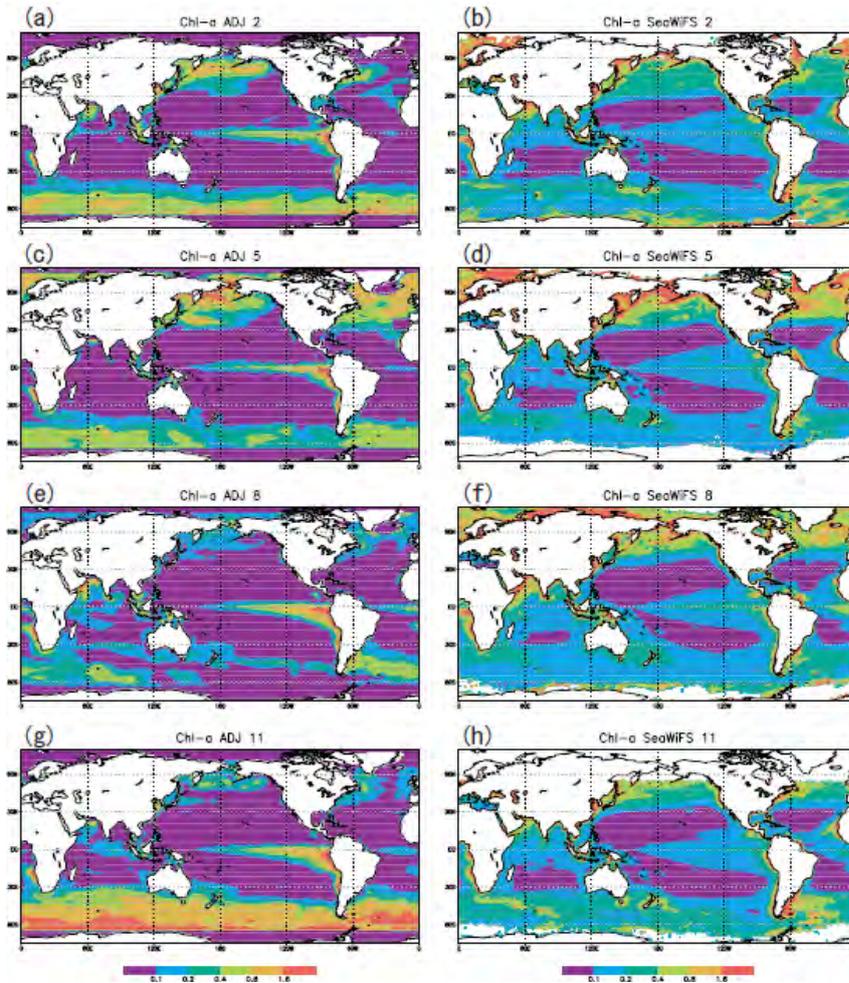


図 4-4-2-f9 表層クロロフィル a 濃度の分布。2 月(a, b)、5 月(c, d)、8 月(e, f)、11 月(g, h)の気候値。モデル推定値(a, c, e, g)、SeaWiFS による測定値(b, d, f, h)。単位は mg/m^3 。

ず、式(4)の第 2 項で制御されているにもかかわらず、修正も見られない。この結果はコストの重みなどを見直す必要性を示している。

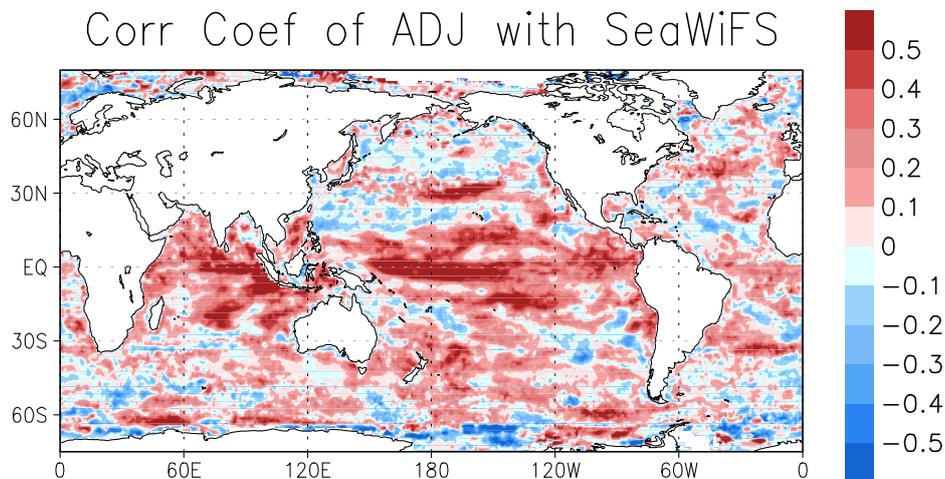


図 4-4-2-f10 モデル推定値と観測値との Chl-a 濃度の経年変動の相関係数の分布。月平均気候値からのアノマリーを用いている。期間はモデルと SeaWiFS 観測の重なっている 1997 年 9 月から 2006 年 12 月まで。気候値もこの期間で作成した。

図 4-4-2-f11 は観測点 A7 における比較である。冬季混合層の深化による栄養塩の増加、春の PL のブルーム、それに続く ZL と NH₄ の増加、その後 6 月ごろの PS の極大、夏から秋にかけての栄養塩の枯渇状態という、観測 (図 4-4-2-f2) で見られた特徴を定性的に良く再現している。ただし、この海域は物理モデルの分解能が十分でないために黒潮のオーバーシュートが見られ、冬季混合層の発達が早い時期に起こっている。このために栄養塩の増加とそれに続く PL のブルームが現実よりも早く発生してしまっている。空間分解能の向上もあわせ、こういった物理モデルの再現性の向上も今後の重要な課題である。

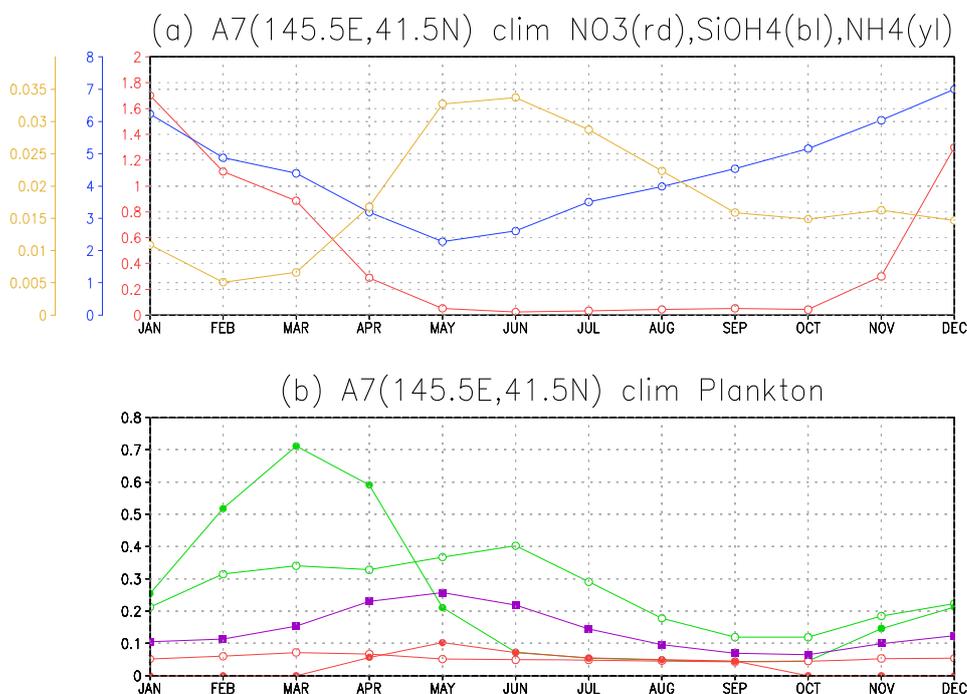


図 4-4-2-f11 北西部北太平洋観測点 A7(145.5E, 41.5N)におけるモデル推定値の気候値の月変化。(a)NO₃ (赤)、SiOH₄ (青)、NH₄ (黄)、(b)PS (緑、開)、PL (緑、閉)、ZS (赤、開)、ZL (赤、閉)、ZP (紫)。単位は μmol/l。

(2-7) まとめ

4次元変分法海洋物理環境データ同化システムに低次生態系モデル NEMURO を導入して統合的な海洋環境データ同化システムを開発した。予備実験及びグリーン関数法によりパラメータ推定を行い、開発したシステムが栄養塩濃度やプランクトン量の季節変化の再現に効果的であるなど、生物地球化学的データの時間空間補間に有効であることが分かった。本システムを用いて、海域に応じたパラメータ推定を行えば、海盆スケールでの低次生態系の季節・経年変動の理解に資するデータセットが作成できるであろう。

5. 類似研究の国内外の研究動向・状況と本研究課題の位置づけ

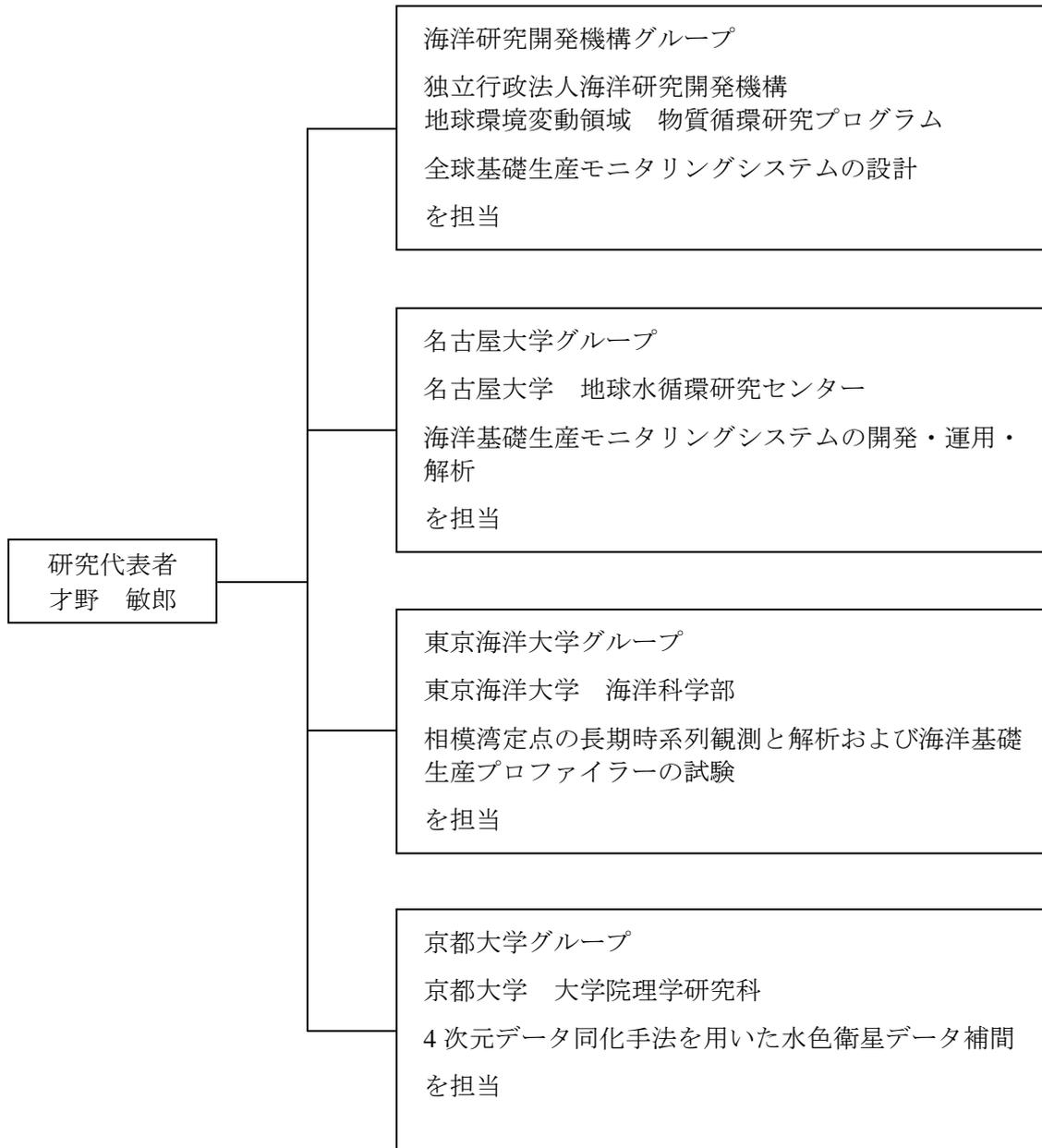
本研究では海色衛星リモートセンシングにより取得される植物プランクトン量と基礎生産の地理的分布の時系列データを、海域の実時間データで検証し値付けするためのシステムを構築することを最終的な目標としている。このデータは短期的には海洋表層で起こる気象・海象状態の変動とそれに対する海洋の生物群集活動と物質循環過程の応答の時系列データを与えるものであるし、長期的には気候変動に対する海洋の生物過程と物質循環の応答とそのフィードバックの研究の基礎的データを提供すべきものである。気候変動予測において海洋の生物過程の変化による二酸化炭素循環の変化が重要であることは、本研究提案時にすでに共通認識となっていたが、地球温暖化がより顕在化し、適切な温暖化のMitigationの対策をとるために気候変動予測モデルの改善が緊急に求められている現在、上記のデータの重要性はますます高まっている。

最近Argoフロートに酸素センサーを取り付けて、海洋の物質循環と生物活動の研究に役立てようとする動きが高まってきている。本研究においても、酸素17同位体比異常と共に酸素/アルゴン(または窒素)比の計測を行い、海水中の生物活動を二酸化炭素と酸素の動きの双方で評価することを試みている。将来的にDiving Flash (FRRF)の耐圧性能を高めることによってArgoフロートに酸素センサー他とともに搭載することが可能になれば、新たな研究の展開が期待できる。Argoフロートやグライダーに搭載するセンサーとしては物理、化学センサーがほとんどで、生物センサーの利用は限られている。FRRFによると自然状態の植物プランクトン群集の光合成量子収率、有効光吸収断面面積などの生理的パラメータの鉛直分布の時系列変化を客観的にかつ定量的に知ることができる。それらのパラメータは植物プランクトンの生育が光、栄養塩、微量元素等によって制限を受けた場合に変動することから、それらの時系列データを解析することにより、環境条件の変動に対する植物プランクトン群集の応答のメカニズムに関する知見を得ることができる。このような知見は、将来環境変化によって引き起こされる生態系の変動を予測するためのモデルを開発するにあたって必要な、環境要因と海域の基礎生産の機能的相互作用を明らかにするための基礎となるものである。

沿岸海域は人類の活動が集中する海域であり、現在、さまざまな海域で人間活動の影響がその要因と考えられる生態系の変化が顕在化しつつある。これらは、さまざまな沿岸海域において個別に起こっていると考えるよりは、むしろ全球的な物質と熱の循環の変化としての気候変化の結果が個別の海域に現れていると考えるべきである。全球的な物質循環、特に炭素循環、の観点からは、現在最も大きな問題になっているのは時空間的な変動が極めて大きな沿岸域における炭素収支の見積りもりの不確かさである。この観点で海洋と大気との二酸化炭素の収支をより精度良く計測することが要求され、米国・欧州ではそのためのプロジェクトが企画されている。海洋における二酸化炭素収支の時間的、空間的変動を観測によって把握し、精度を向上させるためには人工衛星データの利用が不可欠である。本研究では衛星データを利用したプロセス研究の一環として海面二酸化炭素分圧の推定アルゴリズムを外洋と沿岸において開発しており、さらにガス交換係数の新たな推定法も提案しているので、沿岸域における二酸化炭素収支の問題にも寄与することが可能である。特に沿岸域においてはArgoフロートやグライダーの運用が困難であるため、本研究で開発した係留式の自動昇降装置の利用が有利と考える。先に述べたようにFRRFによる計測は炭素循環のキープロセスとしての基礎生産を測るだけでなく、植物プランクトンの生理状態に関する情報も得られるので沿岸域で顕在化しつつある生態系変化への対策のためにも有用である。

表4-1-2b-t1に記したように本研究で開発した自動昇降式ブイシステムの原型あるいは改良型が海外で採用され始めている。カナダのシステムは給電式の巨大なウインチシステムであるが、まだ運用に成功したと言う話は聞かない。ドイツAWIに納入したシステムは原型に近いものであるが、北部北大西洋において通年の運用に成功している。海洋極表層を海洋内部から、上方に障害物を持たず安定した姿勢で一定速度で計測できるプラットフォームは他に見当たらないので、幅広い用途への普及が期待されている。

6. 研究実施体制
(1) 体制



(2) メンバー表

① 海洋研究開発機構グループ

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
才野 敏郎	(独)海洋研究開発機構 地球環境変動領域	プログラム ディレクター	全体の総括, モニタリング システム的设计	平成 16 年 11 月 ～ 平成 22 年 3 月
	名古屋大学 地球水循環研究センター	教授 H20 年 3 月まで		
石原 靖久	(独)海洋研究開発機構 海洋工学センター	サブリーダー	自動昇降式基礎生産 プロファイラーの改良	平成 20 年 8 月 ～ 平成 22 年 3 月
高橋 直子	(独)海洋研究開発機構 海洋工学センター	技術副主任	自動昇降式基礎生産 プロファイラーの改良	平成 21 年 3 月 ～ 平成 22 年 3 月
Dhugal J. Lindsay	(独)海洋研究開発機構 海洋・極限環境生物圏 領域	技術研究 主任	ヒステログラフ・サウンダーへの FRRF の搭載と同時 計測	平成 21 年 7 月 ～ 平成 22 年 3 月
笹岡 晃征	(独)海洋研究開発機構 地球環境変動領域	研究員	衛星データによるプロセス 研究	平成 17 年 7 月 ～ 平成 22 年 3 月
渡辺 豊	北海道大学 大学院地球環境科学研究 院	准教授	北太平洋時系列研究 の検討: 栄養塩類の分 布	平成 20 年 6 月 ～ 平成 22 年 3 月
植松 光夫	東京大学 海洋研究所	教授	北太平洋時系列研究 の検討: 大気海洋間の 物質フラックス	平成 20 年 6 月 ～ 平成 22 年 3 月
永田 俊	東京大学 海洋研究所	教授	北太平洋時系列研究 の検討: 微生物ループ	平成 20 年 6 月 ～ 平成 22 年 3 月
須賀 利雄	東北大学 大学院理学研究科	准教授	北太平洋時系列研究 の検討: 海洋混合層物 理過程	平成 20 年 6 月 ～ 平成 22 年 3 月
齊藤 宏明	(独)水産総合研究センター 東北水産研究所	室長	北太平洋時系列研究 の検討: 中深層生態系	平成 20 年 6 月 ～ 平成 22 年 3 月
杉崎 宏哉	(独)水産総合研究センター 中央水産研究所	室長	北太平洋時系列研究 の検討: 低次生態系変 動	平成 20 年 6 月 ～ 平成 22 年 3 月
日高 清隆	(独)水産総合研究センター 中央水産研究所	研究員	北太平洋時系列研究 の検討: 動物プランクト ン群衆構造	平成 20 年 6 月 ～ 平成 22 年 3 月
Joaquim I. Goes	ビゲロー海洋科学研究所	主任研究員	北部北大西洋, 北極 海, ベーリング海, アラビア 海等における気候変 動研究における FRRF 法の適用	平成 21 年 3 月 ～ 平成 22 年 3 月

Helga do R. Gomes	ビダゴロー海洋科学研究所	研究員	FRRF によるアラビア海の基礎生産の計測と ¹⁴ C法との比較	平成 21 年 3 月 ～ 平成 22 年 3 月
-------------------	--------------	-----	---	---------------------------------

②名古屋大学グループ

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
石坂 丞二	名古屋大学 地球水循環研究センター	教授	グループの取りまとめ、 衛星基礎生産アルゴリズム、 衛星データ処理	平成 16 年 11 月 ～ 平成 22 年 3 月
	長崎大学 水産学部	教授 H21 年 3 月まで		
才野 敏郎	名古屋大学 地球水循環研究センター	招聘教員	グループの取りまとめ 補助	平成 16 年 11 月 ～ 平成 22 年 3 月
		教授 H20 年 3 月まで		
森本 昭彦	名古屋大学 地球水循環研究センター	准教授	相模湾における物理・ 生態系モデル	平成 16 年 11 月 ～ 平成 22 年 3 月
Leong Chee Yew	名古屋大学 地球水循環研究センター	特任准教授	FRRF による植物プランクトンの基礎生産の計測	平成 19 年 3 月 ～ 平成 21 年 12 月
三野 義尚	名古屋大学 地球水循環研究センター	助教	光合成メカニズム解析	平成 16 年 11 月 ～ 平成 22 年 3 月
高橋 大介	名古屋大学 地球水循環研究センター	研究員	相模湾の海水流動	平成 20 年 4 月 ～ 平成 22 年 3 月
		研究機関 研究員 H21 年 12 月まで		
Eko Siswanto	名古屋大学 地球水循環研究センター	研究員	相模湾の衛星基礎生 産アルゴリズム	平成 19 年 10 月 ～ 平成 22 年 3 月
		外国人 特別研究員 H21 年 9 月まで		
松田 久睦	名古屋大学 地球水循環研究センター	技術補佐員	ガラス工作	平成 16 年 11 月 ～ 平成 20 年 3 月
井上かおり	名古屋大学 地球水循環研究センター	技術補佐員	データベース運用補助	平成 18 年 12 月 ～ 平成 19 年 4 月
小南 睦栄	名古屋大学 地球水循環研究センター	技術補佐員	データベース整備	平成 18 年 12 月 ～ 平成 19 年 10 月

Smita Mitvabkar	名古屋大学 地球水循環研究センター	非常勤 研究員	ピコプランクトンの動態	平成 16 年 11 月 ～ 平成 19 年 3 月
喜多 知子	名古屋大学 地球水循環研究センター	技術補佐員	データベース運用補助	平成 19 年 5 月 ～ 平成 20 年 5 月
ラウリー 千尋	名古屋大学 地球水循環研究センター	技術補佐員	データベース整備	平成 19 年 11 月 ～ 平成 20 年 3 月
鬼頭 新子	名古屋大学 地球水循環研究センター	事務補佐員	研究事務サポート及びデータベース運用補助	平成 20 年 6 月 ～ 平成 22 年 3 月
Retno Andiastuti	名古屋大学 地球水循環研究センター	研究生	相模湾の衛星基礎生産アルゴリズム	平成 19 年 11 月 ～ 平成 20 年 6 月
阿部 理	名古屋大学 大学院環境学研究科	助教	酸素の質量分析法	平成 16 年 11 月 ～ 平成 22 年 3 月
V.V.S.S. Sarma	名古屋大学 地球水循環研究センター	JST 研究員	酸素同位体による総生産の推定	平成 16 年 11 月 ～ 平成 19 年 7 月
保坂 拓志	名古屋大学 地球水循環研究センター	JST 技術員 H21 年 10 月まで	自動昇降プラットフォームの運用及びデータベースの運用	平成 16 年 11 月 ～ 平成 21 年 10 月
渡辺 絢子	名古屋大学 地球水循環研究センター	事務補佐員 H21 年 4 月より JST チーム事務員 H20 年 10 月まで	研究事務サポート	平成 16 年 11 月 ～ 平成 22 年 3 月
日沼 公	名古屋大学 大学院環境学研究科	博士課程 後期学生 (D3)	日積算総基礎生産の推定と検証	平成 16 年 11 月 ～ 平成 21 年 3 月
Vu Hai Dang	名古屋大学 大学院環境学研究科	博士課程 後期学生 (D3)	相模湾の物理・生態系モデル	平成 19 年 11 月 ～ 平成 20 年 9 月
Jagadish S. Patil	名古屋大学 大学院環境学研究科	博士課程 後期学生 (D3)	FRRF による植物プランクトンの生理状態の推定	平成 16 年 11 月 ～ 平成 19 年 3 月
山田 優子	名古屋大学 大学院環境学研究科	博士課程 前期学生 (M2)	相模湾における輸出生産	平成 17 年 12 月 ～ 平成 19 年 3 月

Andreas A. Hutahaean	名古屋大学 大学院環境学研究科	博士課程 後期学生 (D3)	窒素同位体分別による植物プランクトンの生理状態の推定	平成 19 年 4 月 ～ 平成 22 年 3 月
Sarat C. Tripathy	名古屋大学 大学院環境学研究科	博士課程 後期学生 (D2)	FRRF による基礎生産の測定	平成 18 年 3 月 ～ 平成 22 年 3 月
	長崎大学 大学院生産科学研究科	博士課程 後期学生 (D1) H21 年 3 月まで		
青木のり子	名古屋大学 大学院環境学研究科	博士課程 前期学生 (M2)	相模湾における輸出生産	平成 18 年 4 月 ～ 平成 22 年 3 月
古谷 研	東京大学 大学院農学生命科学研究科	教授	自然蛍光法の改良・光合成メカニズム	平成 16 年 11 月 ～ 平成 22 年 3 月
牧野 高志	長崎大学 大学院生産科学研究科	博士課程 後期学生 (D2)	対馬海峡周辺海峡の植物プランクトンと栄養塩分布	平成 18 年 2 月 ～ 平成 22 年 3 月
千賀 康弘	東海大学 海洋学部	教授	標準光源による FRRF の検定に関する技術指導	平成 16 年 11 月 ～ 平成 22 年 3 月
大石 友彦	東海大学 海洋学部	教授	生物光学アルゴリズムの高度化	平成 20 年 6 月 ～ 平成 22 年 3 月
齊藤 誠一	北海道大学 大学院水産科学研究院	教授	北部北太平洋・ベーリング海の光学特性と基礎生産	平成 17 年 4 月 ～ 平成 22 年 3 月
岸 道郎	北海道大学 大学院水産科学研究院	教授	海洋物理・生態系モデル	平成 18 年 11 月 ～ 平成 22 年 3 月
TaeKeun Rho	北海道大学 大学院水産科学研究院	外国人 特別研究員	FRRF による基礎生産の野外計測	平成 19 年 2 月 ～ 平成 19 年 12 月
平譚 亨	北海道大学 大学院水産科学研究院	准教授	生物光学アルゴリズム	平成 18 年 4 月 ～ 平成 22 年 3 月
飯田 高大	北海道大学 大学院水産科学研究院	博士課程 後期学生 (D3)	衛星基礎生産	平成 18 年 3 月 ～ 平成 19 年 3 月
鋤柄 千穂	名古屋大学 地球水循環研究センター	研究機関 研究員	相模湾における沈降粒子束の時系列観測	平成 18 年 12 月 ～

	東北大学 大学院理学研究科	研究支援者 H21年12月まで		平成22年3月
渡邊 修一	(独)海洋研究開発機構 むつ研究所	所長	北西部北太平洋の時 系列観測	平成16年11月 ～ 平成22年3月
本多 牧生	(独)海洋研究開発機構 海洋工学センター	サブリーダー	深海係留	平成16年11月 ～ 平成22年3月
	(独)海洋研究開発機構 むつ研究所	技術研究 副主幹 H21年3月まで		
藤木 徹一	(独)海洋研究開発機構 むつ研究所	研究員	FRRFの利用	平成16年11月 ～ 平成22年3月
	名古屋大学 地球水循環研究センター	JST研究員 H17年10月まで		
日向 博文	国土交通省 国土技術政策総合研究 所	室長	沿岸海域における自 動昇降式ブイによるモ ニタリングシステムの展開	平成18年12月 ～ 平成22年3月
小埜 恒夫	(独)水産総合研究センター 北海道区水産研究所	室長	FRRFによる基礎生産 の野外計測	平成18年7月 ～ 平成22年3月
渡邊 敦	東京工業大学 大学院情報理工学研究 科	助教	沿岸域の海面二酸化 炭素分圧の推定と実 測	平成19年8月 ～ 平成22年3月
	名古屋大学 地球水循環研究センター	特任准教授 H20年3月まで		
Paul G Falkowski	ヲトカース大学	教授	FRRFの利用に関する 助言	平成16年11月 ～ 平成22年3月
Maxim Gorbunov	ヲトカース大学	准教授	FRRFの製作に関する 助言	平成16年11月 ～ 平成22年3月
Andrey Andreev	ロシア科学アカデミー 太平洋研究所	主任研究員	北西太平洋の二酸化 炭素の動態	平成18年10月 ～ 平成19年3月
Egil Sakshaug	ノルウェー科学技術大学	教授	日積算総基礎生産の 推定と検証	平成19年4月 ～ 平成19年7月

③東京海洋大学グループ

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
石丸 隆	東京海洋大学 海洋科学部	教授	船舶運用・自動昇降ブ イ開発	平成 16 年 11 月 ～ 平成 21 年 10 月
山口 征矢	東京海洋大学 海洋科学部	教授	現場法・擬似現場法実 験	平成 16 年 11 月 ～ 平成 21 年 3 月
神田 穰太	東京海洋大学 海洋科学部	教授	栄養塩動態の解析	平成 16 年 11 月 ～ 平成 21 年 10 月
堀本 奈穂	東京海洋大学 海洋科学部	助教	現場法・擬似現場法実 験	平成 16 年 11 月 ～ 平成 21 年 10 月

④京都大学グループ

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
淡路 敏之	京都大学 大学院理学研究科	教授	海洋 4 次元データ同化	平成 18 年 11 月 ～ 平成 21 年 10 月
石川 洋一	京都大学 大学院理学研究科	助教	水色衛星データ補間へ の海洋 4 次元データ同 化手法の応用	平成 18 年 11 月 ～ 平成 21 年 10 月
山西 孝宜	京都大学 大学院理学研究科	博士課程 前期学生 (M2)	水色衛星データ補間へ の海洋データ同化手法 の応用	平成 18 年 11 月 ～ 平成 21 年 10 月
仁科 慧	京都大学 大学院理学研究科	博士課程 後期学生 (D1)	水色衛星データ補間へ の海洋データ同化手法 の応用	平成 20 年 4 月 ～ 平成 21 年 10 月

7. 研究期間中の主な活動

(1) ワークショップ・シンポジウム等

年月日	名称	場所	参加人数	概要
平成 17 年 3 月 17 日	SORST 研究課題「人工衛星による 海洋基礎生産モニタリング」 平成 16 年度キックオフ会議	名古屋大学 グリーンサロン東山 ミーティングルーム	21 名	SORST 研究における研究目 標, 研究内容の概要, 研究遂 行の年次計画, 平成 17 年度 の研究計画及び研究の各項 目の研究計画に関する研究 連絡会
平成 17 年 12 月 22 日	SORST 研究課題「人工衛星による 海洋基礎生産モニタリング」 平成 17 年度グループ会議	名古屋大学 地球水循環研 究センター 会議室	12 名	SORST 研究における名古屋 大学グループ内部の平成 17 年 度の研究内容報告及び平成 18 年度の研究計画に関する 研究連絡会
平成 18 年 3 月 15 日	SORST 研究課題「人工衛星による 海洋基礎生産モニタリング」 平成 17 年度グループ会議	名古屋大学 地球水循環研 究センター 会議室	12 名	SORST 研究における名古屋 大学グループ内部の平成 17 年 度の研究内容報告及び平成 18 年度の研究計画に関する 研究連絡会
平成 18 年 3 月 21 日	SORST 研究課題「人工衛星による 海洋基礎生産モニタリング」 平成 17 年度チーム全体会議	名古屋大学 地球水循環研 究センター 大講義 室	30 名	SORST 研究におけるチーム全体 の平成 17 年度の研究内容報 告及び平成 18 年度の研究計 画に関する研究連絡会
平成 19 年 2 月 14 日	SORST 研究課題「人工衛星による 海洋基礎生産モニタリング」平 成 18 年度チーム全体会議	名古屋大学 地球水循環研 究センター 会議室	23 名	SORST 研究におけるチーム全体 の平成 18 年度の研究内容報 告及び平成 19 年度の研究計 画に関する研究連絡会
平成 19 年 8 月 23 日	SORST 研究課題「人工衛星による 海洋基礎生産モニタリング」平 成 19 年度グループ会議	名古屋大学 地球水循環研 究センター 会議室	10 名	SORST 研究における名古屋 大学グループ内部の平成 19 年 度の研究内容報告及び平成 20 年度の研究計画に関する 研究連絡会
平成 20 年 6 月 17 日	Asia Oceania Geophysical Society 2008 Ocean Science Session OS09/Ocean data assimilation	Busan Exhibition and Convention Centre, Korea	58 名	アジア, 欧米の研究者による海 況の診断・予測に関するデー タ同化を用いた最先端の成果 に関する会議
平成 20 年 7 月 1 日	JAMSTEC 西太平洋時系列 観測検討会	(独)海洋研究開 発機構 東京事務所	23 名	北太平洋における物質循環 研究のための時系列観測に 関する検討会

平成 21 年 3 月 17 日	SORST 研究課題「人工衛星による 海洋基礎生産モニタリング」平 成 20 年度チーム全体会議	名古屋大学 地球水循環研 究センター 大講義 室	21 名	SORST 研究におけるチーム全体 の平成 20 年度の研究内容報 告, 平成 21 年 10 月までの最 終取りまとめ及び今後の研 究計画に関する研究連絡会
平成 21 年 10 月 19 日	SORST 研究課題「人工衛星による 海洋基礎生産モニタリング」平 成 21 年度最終全体会議	名古屋大学 地球水循環研 究センター 会議室	17 名	SORST 研究におけるチーム全体 の平成 21 年度の研究内容報 告, 最終報告書の取りまとめ 及び今後の研究計画に関する 研究連絡会
平成 21 年 12 月 7 日	International Symposium on Estimation of Ocean and Land Primary Production by Satellite	名古屋大学 環境総合館レク チャーホール	36 名	本研究と本多嘉明氏(千葉大 学)の研究の主要な研究成果 及び SGLI プロジェクトの概要に ついて国内研究者に講演し てもらおうと同時に, 国内外の 主要ユーザーに検証システム並びに 衛星データへの期待を講演し てもらい, 今後の研究協力に ついて議論を行なうための 国際シンポジウム

(2) 招聘した研究者等

氏名 (所属, 役職)	招聘の目的	滞在先	滞在期間
Joaquim I. Goes (ヒケロー海洋科学研究所, 主任研究員)	大西洋, アラビア海及び北 極海における FRRF 現場 計測に関する講習及び研 究打合せ	名古屋大学 地球水循環研 究センター	平成 19 年 3 月 24 日 ～ 平成 19 年 3 月 31 日
Joaquim I. Goes (ヒケロー海洋科学研究所, 主任研究員)	北部北大西洋, 北極海, ベーリング海, アラビア海等 の気候変動研究におけ る FRRF 法の適用に関 する講演及び研究打合 せ	(独)海洋研究 開発機構 横須賀本部及 び横浜研究所	平成 20 年 3 月 20 日 ～ 平成 20 年 3 月 25 日
	SORST 研究課題「人工衛 星による海洋基礎生産モニ タリング」に関する研究打合 せ	名古屋大学 地球水循環研 究センター	平成 20 年 3 月 26 日
Helga do R. Gomes (ヒケロー海洋科学研究所, 研究員)	FRRF によるアラビア海の 基礎生産の計測 C14 法 との比較に関する講演 及び研究打合せ	(独)海洋研究 開発機構 横須賀本部及 び横浜研究所	平成 20 年 3 月 20 日 ～ 平成 20 年 3 月 25 日

<p>Helga do R. Gomes (ビケロー海洋科学研究所, 研究員)</p>	<p>SORST 研究課題「人工衛星による海洋基礎生産モニタリング」に関する研究打合せ</p>	<p>名古屋大学 地球水循環研究センター</p>	<p>平成 20 年 3 月 26 日</p>
<p>Joaquim I. Goes (ビケロー海洋科学研究所, 主任研究員)</p>	<p>International Symposium on Estimation of Ocean and Land Primary Production by Satellite への参加及び講演, 研究集会参加並びに研究打合せ</p>	<p>名古屋大学 環境総合館レクチャーホール及び地球水循環研究センター</p>	<p>平成 21 年 12 月 6 日 ～ 平成 21 年 12 月 9 日</p>
	<p>SORST 研究課題「人工衛星による海洋基礎生産モニタリング」に関する研究打合せ</p>	<p>(独)海洋研究開発機構 横浜研究所</p>	<p>平成 21 年 12 月 10 日 ～ 平成 21 年 12 月 12 日</p>
<p>Khudulmur Sodov (モンゴルの自然環境・観光省 情報コンピュータセンター, 所長)</p>	<p>検証システム及び衛星データに関する研究打合せ</p>	<p>千葉大学 環境リモートセンシング研究センター</p>	<p>平成 21 年 12 月 5 日</p>
	<p>International Symposium on Estimation of Ocean and Land Primary Production by Satellite への参加及び講演</p>	<p>名古屋大学 環境総合館レクチャーホール</p>	<p>平成 21 年 12 月 6 日 ～ 平成 21 年 12 月 8 日</p>

(3) ブイ運用実績一覧表

期間	場所	利用船舶	ブイ	ウインチ	要約
2005/4/13	相模湾 S3	設置：青鷹丸	CREST型	CREST型	70回の動作予定に対して57回昇降。05/10から電池切れ
～	約1,500m	回収：青鷹丸	イジウム	SA切離	
2005/5/17					
2005/6/16	相模湾 S3	設置：青鷹丸	縦型ブイ	CREST型	15回の動作に対して10回のデータ送信。
～		回収：青鷹丸	イジウム	SA切離	
2005/6/18					
2005/7/7	相模湾 S3	設置：青鷹丸	CREST型	CREST型	ウインチトラブルにより緊急回収。
～		回収：庄治郎丸・青鷹丸	イジウム	SA切離	
2005/7/15					
2005/9/12	四国沖	設置・回収：	CREST型	CREST型	9/12 SA切離故障
2005/9/14	約4,150m	かいよう	イジウム	SA切離	9/14 係留系不具合
2005/10/22					ロープ長確認作業
2005/11/19	四国沖	設置・回収：	CREST型	CREST型	大深度係留の可能性確認後回収
～	約4,150m	かいよう	イジウム	MMC切離	
2005/11/17	相模湾 S3	設置：青鷹丸	CREST型	CREST型	2005/12/05荒天下に動作し、ブイ流失。
～		回収：青鷹丸	DoPa	SA切離	
2006/1/13					
2006/5/2	相模湾 S3	設置・回収：	CREST型	CREST型	ウインチ：80回動作 ブイ：コネクタから漏水FRRF電池ショート8回
～		淡青丸	イジウム	MMC切離	
2006/5/9					
2006/6/5	K2	設置・回収：	CREST型	CREST型	40回のスケジュールを入力し、スケジュール変更も含めて、拡張機能を確認した。
～	約5,200m	みらい	イジウム	MMC切離	
2006/7/16					
2006/8/7	相模湾 S3	設置・回収：	CREST型	CREST型	新旧のシステムで改善効果を検証する航海。台風接近に伴い実験中止。
～		淡青丸	SORST型	SORST型	
2006/8/9					
2006/10/12	相模湾 S3	設置：青鷹丸	SORST型	SORST型	新型で不感帯対策結果を確認した。CTDデータが海面状況を反映していることを発見。
～		回収：青鷹丸	イジウム	MMC	
2006/11/27				NIXIC-CTD搭載	
2007/5/12	相模湾 S3	設置：青鷹丸	SORST型	SORST型	05/25 ウインチのボルト部分にロープが絡まる。フレーム上の突起物を隠す対応へ
～		回収：青鷹丸	イジウム	MMC	
2007/5/30					
2007/7/5	相模湾 S3	設置：青鷹丸	SORST型	SORST型	07/22 一時回収。機材状況チェック。07/23 再設置
～		回収：淡青丸	イジウム	MMC	
2007/7/22					
2007/7/23	相模湾 S3	設置：淡青丸	SORST型	SORST型	2回の台風をスケジュール変更で回避できた。後半ラッチが渋く、動作に影響を与えた。
～		回収：青鷹丸	イジウム	MMC	
2007/10/6					
2007/11/15	相模湾 S3	設置：淡青丸	SORST型	SORST型	荒天検知導入開始。
～		回収：淡青丸	イジウム	MMC	108回昇降
2008/2/21					
2008/4/4	相模湾 S3	設置：淡青丸	SORST型	SORST型	111回昇降
～		回収：淡青丸	イジウム	MMC	CTD経時劣化初期
2008/7/7					
2008/7/9	相模湾 S3	設置：淡青丸	SORST型	SORST型	7/9～9/27まで80回
～		回収：淡青丸	イジウム	MMC	CTD経時劣化中期
2008/9/27					
2008/9/27	相模湾 S3	設置：淡青丸	SORST型	SORST型	9/27～11/6まで85回。 Depthデータの劣化・誤作動現象確認
～		回収：淡青丸	イジウム	MMC	
2008/11/6					
2010/1/25	K2	設置：みらい	SORST型	SORST型	
2010/2/1	S1	設置：みらい	SORST型	SORST型	



写真：水中ウインチ（上、奥）と、新SORST型（手前、右）・旧CREST型（手前、左）計測ブイ
 CREST型とSORST型の水中ウインチの大きな違いはモーターの制御方式。CREST型の単純な制御
 に対し、SORST型はPWM制御とした。速度とトルク面とラッチ過程で改善された。
 CREST型計測ブイ（CTD：FSI 2inc.-microCTD、総質量：120kg）
 SORST型計測ブイ（CTD：FSI NIXIC-CTD、総質量：60kg以下）



写真左：計測ブイの形状検討（縦型ブイ）
 昇降時の鉛直方向の流体抵抗を軽減する・海面でのデータ送信率を向上するために検討された。取得データ送信用のアンテナと計測器を上方配置する必要があった。その為、それらの重量から重心と浮心のバランスが改善されず、期待された結果には至らなかった。

(4) FRRF 広域運用実績一覧

海 域	期 間	船 舶
ベーリング海	2006年06月～07月	おしよろ丸
タイ	2006年7月	KASETSART-I
対馬・五島	2006年7月	長崎丸
対馬海峡	2006年07月～08月	天鷹丸
伊勢湾	2006年10月	勢水丸
対馬海峡	2006年11月	天鷹丸
東経155°線	2007年02月～03月	みらい
親潮域(A-Line)	2007年5月	北光丸
黒潮続流域	2007年6月	白鳳丸
対馬海峡	2007年5月	Tamyang
東シナ海	2007年7月	長崎丸
対馬海峡	2007年8月	天鷹丸
対馬海峡	2007年9月	天鷹丸
有明海	2007年12月	鶴洋丸
有明海	2008年4月	鶴洋丸
メキシコ湾	2008年4月	不明
対馬海峡	2008年05月～06月	淡青丸
有明海・橘湾	2008年5月	鶴洋丸
東シナ海	2008年7月	長崎丸
対馬海峡	2008年7月	天鷹丸
ベーリング海	2008年7月	Healy
東シナ海	2008年8月	淡青丸
北極海	2008年08月～10月	みらい
対馬海峡	2008年9月	天鷹丸
黒潮続流域	2008年10月～11月	白鳳丸
西部亜寒帯北太平洋・ベーリング海	2008年10月～11月	みらい
東シナ海	2008年10月	長崎丸
対馬海峡	2008年10月	天鷹丸
有明海	2008年11月	鶴洋丸
対馬海峡	2008年11月	天鷹丸
Southern Ocean／南極海	2009年1月	海鷹丸
ベーリング海	2009年6月	おしよろ丸
黒潮続流域	2009年6月	淡青丸
東シナ海	2009年7月	長崎丸

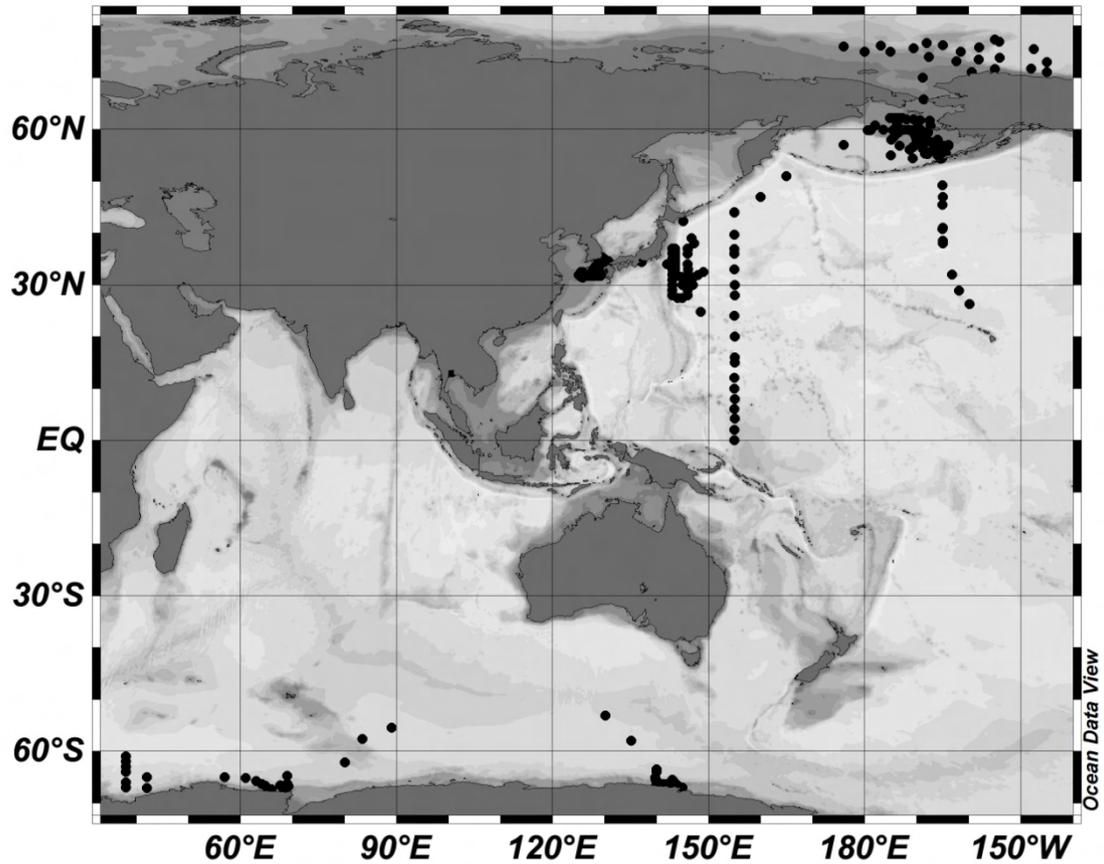


図 広域に展開した、FRRF の計測実施海域を示す。各海域の観測を行う共同研究者に対して、毎回機器の検定、校正を行い貸し出しする。航海終了後も検定、校正を行い取得データの品質管理を行う。機器の修理が必要な場合は製作者の紀本電子工業に送る。機器一台毎に履歴を管理して品質管理に役立てている。

(5) 学術研究船淡青丸研究航海一覧表

航海名	期 間	出 港	入 港	寄 港
KT-01-09	平成13年 9月 5日～ 9月 9日	名古屋港	横須賀港	なし
KT-02-06	平成14年 6月 2日～ 6月 7日	横須賀港	東京港	なし
KT-02-12	平成14年 8月30日～ 9月 4日	清水港	東京港	なし
KT-03-06	平成15年 5月22日～ 5月27日	横須賀港	東京港	なし
KT-03-13	平成15年 8月27日～ 9月 1日	東京港	横須賀港	なし
KT-04-05	平成16年 4月22日～ 4月26日	横須賀港	東京港	なし
KT-04-11	平成16年 6月17日～ 6月21日	横須賀港	清水港	なし
KT-04-15	平成16年 7月31日～ 8月 3日	清水港	久里浜港	なし
KT-06-08	平成18年 5月 1日～ 5月10日	名古屋港	東京港	東京港
KT-06-17	平成18年 8月 7日～ 8月10日	東京港	東京港	なし
KT-07-10	平成19年 5月17日～ 5月20日	東京港	清水港	なし
KT-07-17	平成19年 7月19日～ 7月27日	東京港	東京港	久里浜港
KT-07-30	平成19年11月13日～11月21日	東京港	東京港	久里浜港
KT-08-01	平成20年 2月20日～ 2月22日	横浜港	清水港	なし
KT-08-05	平成20年 4月 2日～ 4月 9日	東京港	東京港	東京港
KT-08-15	平成20年 7月 6日～ 7月10日	東京港	東京港	なし
KT-08-24	平成20年 9月22日～ 9月28日	清水港	東京港	久里浜港
KT-08-29	平成20年11月 6日～11月10日	東京港	東京港	なし

(6) 練習船青鷹丸研究航海一覧表

航海名		航海名	
SE01-01	平成 13 年 1 月定期調査航海	SE04-03	平成 16 年 3 月定期調査航海
SE01-02	平成 13 年 2 月定期調査航海	SE04-04	平成 16 年 4 月定期調査航海
SE01-03	平成 13 年 3 月定期調査航海	SE04-05	平成 16 年 5 月定期調査航海
SE01-04	平成 13 年 4 月定期調査航海	SE04-06	平成 16 年 6 月定期調査航海
SE01-05	平成 13 年 5 月定期調査航海	SE04-07	平成 16 年 7 月定期調査航海
SE01-06	平成 13 年 6 月定期調査航海	SE04-08	平成 16 年 8 月定期調査航海
SE01-07	平成 13 年 7 月定期調査航海	SE04-09	平成 16 年 9 月定期調査航海
SE01-08	平成 13 年 8 月定期調査航海	SE04-10	平成 16 年 10 月定期調査航海
SE01-09	平成 13 年 9 月定期調査航海	SE04-11	平成 16 年 11 月定期調査航海
SE01-10	平成 13 年 10 月定期調査航海	SE04-12	平成 16 年 12 月定期調査航海
SE01-11	平成 13 年 11 月定期調査航海	SE05-01	平成 17 年 1 月定期調査航海

SE01-12	平成 13 年 12 月定期調査航海	SE05-02	平成 17 年 2 月定期調査航海
SE02-01	平成 14 年 1 月定期調査航海	SE05-03	平成 17 年 3 月定期調査航海
SE02-02	平成 14 年 2 月定期調査航海	SE05-04	平成 17 年 4 月定期調査航海
SE02-03	平成 14 年 3 月定期調査航海	SE05-05	平成 17 年 5 月定期調査航海
SE02-04	平成 14 年 4 月定期調査航海	SE05-06	平成 17 年 6 月定期調査航海
SE02-05	平成 14 年 5 月定期調査航海	SE05-07	平成 17 年 7 月定期調査航海
SE02-06	平成 14 年 6 月定期調査航海	SE05-08	平成 17 年 8 月定期調査航海
SE02-07	平成 14 年 7 月定期調査航海	SE05-09	平成 17 年 9 月定期調査航海
SE02-08	平成 14 年 8 月定期調査航海	SE05-10	平成 17 年 10 月定期調査航海
SE02-09	平成 14 年 9 月定期調査航海	SE05-11	平成 17 年 11 月定期調査航海
SE02-10	平成 14 年 10 月定期調査航海	SE05-12	平成 17 年 12 月定期調査航海
SE02-11	平成 14 年 11 月定期調査航海	SE06-01	平成 18 年 1 月定期調査航海
SE02-12	平成 14 年 12 月定期調査航海	SE06-02	平成 18 年 2 月定期調査航海
SE03-01	平成 15 年 1 月定期調査航海	SE06-03	平成 18 年 3 月定期調査航海
SE03-02	平成 15 年 2 月定期調査航海	SE06-04	平成 18 年 4 月定期調査航海
SE03-03	平成 15 年 3 月定期調査航海	SE06-05	平成 18 年 5 月定期調査航海
SE03-04	平成 15 年 4 月定期調査航海	SE06-06	平成 18 年 6 月定期調査航海
SE03-05	平成 15 年 5 月定期調査航海	SE06-07	平成 18 年 7 月定期調査航海
SE03-06	平成 15 年 6 月定期調査航海	SE06-09	平成 18 年 9 月定期調査航海
SE03-07	平成 15 年 7 月定期調査航海	SE06-10	平成 18 年 10 月定期調査航海
SE03-08	平成 15 年 8 月定期調査航海	SE06-11	平成 18 年 11 月定期調査航海
SE03-09	平成 15 年 9 月定期調査航海	SE06-12	平成 18 年 12 月定期調査航海
SE03-10	平成 15 年 10 月定期調査航海	SE07-01	平成 19 年 1 月定期調査航海
SE03-11	平成 15 年 11 月定期調査航海	SE07-02	平成 19 年 2 月定期調査航海
SE03-12	平成 15 年 12 月定期調査航海	SE07-03	平成 19 年 3 月定期調査航海
SE04-01	平成 16 年 1 月定期調査航海	SE07-04	平成 19 年 4 月定期調査航海
SE04-02	平成 16 年 2 月定期調査航海		

(7) 東京大学海洋研究所大槌臨海研究センター（現 国際沿岸海洋研究センター）における共同研究観測実験一覧表

期 間	参加人数	観測内容
平成 12 年 8 月 6 日～ 8 月 12 日	19 名	基礎生産の測定法に関する共同研究観測実験
平成 13 年 5 月 27 日～ 6 月 2 日	12 名	基礎生産の測定法に関する共同研究観測実験

(8) 作成データベースの概要

本研究中に行った船舶観測と POPPS ブイ係留観測で得られたデータは、船舶、機器による出力形式の違いをなくすため統一したフォーマットで保存した。CTD により測定された塩分、クロロフィル、溶存酸素量のデータに関しては、採水サンプルから測定したデータと検証できる航海のデータに関しては補正を行った。FRRF のデータについては、生データだけでなくクオリティーコントロールを行ったデータも保存した。これらのデータは POPS ブイ、船舶観測など項目毎に分けアーカイブし、Web を通し公開すべくシステムを

構築した。現在はパスワードによりアクセス制限を行っているが Web 上からデータをダウンロードできる（下図 DB-1~6）。



図 DB-1 POPPS ブイの運用データ



図 DB-2 データベースのトップページ。データの種別を示す。実データ以外は誰でもアクセスできる。

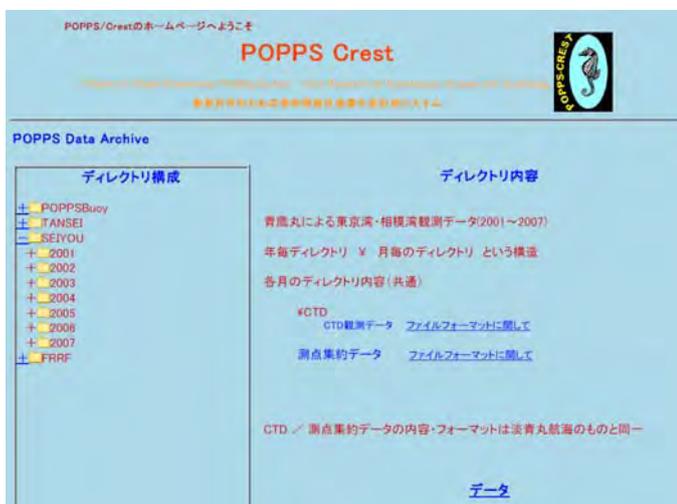


図 DB-3 データベースのディレクトリ構成。利用者のためにファイルのフォーマット情報も提供している。

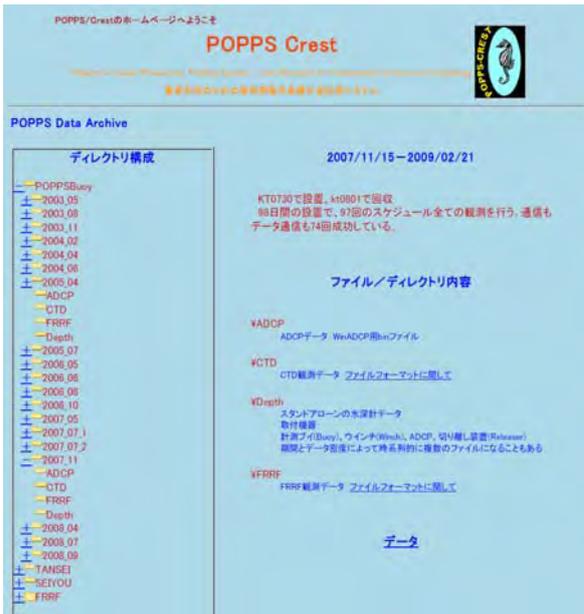


図 DB-4 プイ運用データの内訳。実データには下のリンクからアクセスできる。



図 DB-5 淡青丸取得データの一覧とファイルフォーマットに関する説明。



図 DB-6 広域展開 FRRF データ。プロジェクトで製作した8台の FRRF を共同利用者に貸出して得られたデータ。すべてのデータに関して必要な品質管理を行っている。

8. 発展研究による主な研究成果

(1) 論文発表 (英文論文 103 件, 邦文論文 25 件)

① 原著論文発表

平成 16 年度

1. Suzuki, K., A. Hinuma, H. Saito, H. Kiyosawa, H. Liu, T. Saino and A. Tsuda (2005): Responses of phytoplankton and heterotrophic bacteria in the northwest subarctic Pacific to in situ iron fertilization as estimated by HPLC pigment analysis and flow cytometry. *Progress In Oceanography*, **64(2-4)**, 167-187, doi: 10.1016/j.pocean.2005.02.007.
2. Saito, H., K. Suzuki, A. Hinuma, T. Ota, K. Fukami, H. Kiyosawa, T. Saino and A. Tsuda (2005): Responses of microzooplankton to in situ iron fertilization in the western subarctic Pacific (SEEDS). *Progress In Oceanography*, **64(2-4)**, 223-236, doi: 10.1016/j.pocean.2005.02.010.
3. Ramaiaha, N., S. Takeda, K. Furuya, T. Yoshimura, J. Nishioka, T. Aono, Y. Nojiri, K. Imai, I. Kudo, H. Saito and A. Tsuda (2005): Effect of iron enrichment on the dynamics of transparent exopolymer particles in the western subarctic Pacific. *Progress In Oceanography*, **64(2-4)**, 253-261, doi: 10.1016/j.pocean.2005.02.012.
4. Sarma, V.V.S.S., O. Abe, S. Hashimoto, A. Hinuma and T. Saino (2005): Seasonal variations in triple oxygen isotopes and gross oxygen production in the Sagami Bay, central Japan. *Limnology and Oceanography*, **50(2)**, 544-552.

平成 17 年度

1. Tadokoro, K., S. Chiba, T. Ono, T. Midorikawa and T. Saino (2005): Interannual variation in *Neocalanus* biomass in the Oyashio waters of the western North Pacific. *Fisheries Oceanography*, **14(3)**, 210-222.
2. Siswanto, E., J. Ishizaka and K. Yokouchi (2005): Estimating Chlorophyll-*a* Vertical Profiles from Satellite Data and the Implication for Primary Production in the Kuroshio Front of the East China Sea. *Journal of Oceanography*, **61(3)**, 575-589.
3. Kameda, T. and J. Ishizaka (2005): Size-Fractionated Primary Production Estimated by a Two-Phytoplankton Community Model Applicable to Ocean Color Remote Sensing. *Journal of Oceanography*, **61(4)**, 663-672.
4. Sasaki, H., T. Miyamura, S.-I. Saitoh and J. Ishizaka (2005): Seasonal variation of absorption by particles and colored dissolved organic matter (CDOM) in Funka Bay, southwestern Hokkaido, Japan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **64(2-3)**, 447-458, doi: 10.1016/j.ecss.2005.03.008.
5. Sukigara, C. and T. Saino (2005): Temporal variations of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in organic particles collected by a sediment trap at a time-series station off the Tokyo Bay. *Continental Shelf Research*, **25(14)**, 1749-1767, doi: 10.1016/j.csr.2005.06.002.
6. Ohshima, K.I., M. Wakatsuchi and S.-I. Saitoh (2005): Velocity Field of the Oyashio Region Observed with Satellite-Tracked Surface Drifters during 1999-2000. *Journal of Oceanography*, **61(5)**, 845-855.
7. Hashimoto, S., N. Horimoto, Y. Yamaguchi, T. Ishimaru and T. Saino (2005): Relationship between net and gross primary production in the Sagami Bay, Japan. *Limnology and Oceanography*, **50(6)**, 1830-1835.
8. Chiba, S., Y. Hirota, S. Hasegawa and T. Saino (2005): North-south contrasts in decadal scale variations in lower trophic-level ecosystems in the Japan Sea. *Fisheries Oceanography*, **14(6)**, 401-412.
9. Kishino, M., A. Tanaka and J. Ishizaka (2005): Retrieval of Chlorophyll *a*, suspended solids,

- and colored dissolved organic matter in Tokyo Bay using ASTER data. *Remote Sensing of Environment*, **99**(1-2), 66-74, doi: 10.1016/j.rse.2005.05.016.
10. Yamada, K. and J. Ishizaka (2006): Estimation of interdecadal change of spring bloom timing, in the case of the Japan Sea. *Geophysical Research Letters*, **33**, L02608, doi: 10.1029/2005GL024792.
 11. Takata, H., K. Kuma, Y. Saitoh, M. Chikira, S.-I. Saitoh, Y. Isoda, S. Takagi and K. Sakaoka (2006): Comparing the vertical distribution of iron in the eastern and western North Pacific Ocean. *Geophysical Research Letters*, **33**, L02613, doi: 10.1029/2005GL024538.
 12. Ishizaka, J., Y. Kitaura, Y. Touke, H. Sasaki, A. Tanaka, H. Murakami, T. Suzuki, K. Matsuoka and H. Nakata (2006): Satellite Detection of Red Tide in Ariake Sound, 1998-2001. *Journal of Oceanography*, **62**(1), 37-45.
 13. Tan, C.K., J. Ishizaka, S. Matsumura, F.M. Yusoff and M.I.H. Mohamed (2006): Seasonal variability of SeaWiFS chlorophyll *a* in the Malacca Straits in relation to Asian monsoon. *Continental Shelf Research*, **26**(2), 168-178, doi: 10.1016/j.csr.2005.09.008.

平成 18 年度

1. Carr, M.-E., M.A.M. Fredrichs, M. Schmeltz, M.N. Aita, D. Antoine, K.R. Arrigo, I. Asanuma, O. Aumont, R. Barber, M. Behrenfeld, R. Bidigare, E.T. Buitenhuis, J. Campbell, A. Ciotti, H. Dierssen, M. Dowell, J. Dunne, W. Esaias, B. Gentili, W. Gregg, S. Groom, N. Hoepffner, J. Ishizaka, T. Kameda, C. Le Quérék, S. Lohrenz, J. Marra, F. Mélin, K. Moore, A. Morel, T.E. Reddy, J. Ryan, M. Scardi, T. Smyth, K. Turpie, G. Tilstone, K. Waters and Y. Yamanaka (2006): A comparison of global estimates of marine primary production from ocean color. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, **53**(5-7), 741-770, doi: 10.1016/j.dsr2.2006.01.028.
2. Kiyofuji, H., T. Hokimoto and S.-I. Saitoh (2006): Predicting the spatiotemporal chlorophyll-*a* distribution in the Sea of Japan based on SeaWiFS ocean color satellite data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, **3**(2), 212-216, doi: 10.1109/LGRS.2005.861931.
3. Chiba, S., K. Tadokoro, H. Sugisaki and T. Saino (2006): Effects of decadal climate change on zooplankton over the last 50 years in the western subarctic North Pacific. *Global Change Biology*, **12**(5), 907-920, doi: 10.1111/j.1365-2483.2006.01136.x.
4. Sukigara, C. and T. Saino (2006): A 7-year increasing trend of ¹⁵N in sinking particles at the mouth of the Tokyo Bay. *Geophysical Research Letters*, **33**, L09607, doi: 10.1029/2006GL025982.
5. Sarma, V.V.S.S., O. Abe, A. Hinuma and T. Saino (2006): Short-term variation of triple oxygen isotopes and gross oxygen production in the Sagami Bay, central Japan. *Limnology and Oceanography*, **51**(3), 1432-1442.
6. Naqvi, S.W.A., H. Naik, A. Pratihary, W. D'Souza, P.V. Narvekar, D.A. Jayakumar, A.H. Devol, T. Yoshinari and T. Saino (2006): Coastal versus open-ocean denitrification in the Arabian Sea. *Biogeosciences Discussions*, **3**(3), 665-695.
7. Murakami, H., K. Sasaoka, K. Hosoda, H. Fukushima, M. Toratani, R. Frouin, B.G. Mitchell, M. Kahru, P.-Y. Deschamps, D. Clark, S. Flora, M. Kishino, S.-I. Saitoh, I. Asanuma, A. Tanaka, H. Sasaki, K. Yokouchi, Y. Kiyomoto, H. Saito, C. Dupouy, A. Siripong, S. Matsumura and J. Ishizaka (2006): Validation of ADEOS-II GLI Ocean Color Products Using *In-Situ* Observations. *Journal of Oceanography*, **62**(3), 373-393.
8. 笹岡晃征, 平譯享, 齊藤誠一 (2006): 衛星を用いた海洋基礎生産推定の現状と将来的展望. *月刊海洋*, **38**(6), 425-432.
- ⑨ **Sarma, V.V.S.S., T. Saino, K. Sasaoka, Y. Nojiri, T. Ono, M. Ishii, H.Y. Inoue and K. Matsumoto (2006): Basin-scale pCO₂ distribution using satellite sea surface temperature, Chl *a*, and climatological salinity in the North Pacific in spring and**

- summer. *Global Biogeochemical Cycles*, **20**, GB3005, doi: 10.1029/2005GB002594.
10. Honda, M.C., H. Kawakami, K. Sasaoka, S. Watanabe and T. Dickey (2006): Quick transport of primary produced organic carbon to the ocean interior. *Geophysical Research Letters*, **33**, L16603, doi: 10.1029/2006GL026466.
 11. Sarma, V.V.S.S. (2006): The influence of Indian Ocean Dipole (IOD) on biogeochemistry of carbon in the Arabian Sea during 1997-1998. *Journal of Earth System Science*, **115**(4), 433-450.
 12. Hashimoto, S., N. Horimoto, T. Ishimaru and T. Saino (2006): Metabolic balance of gross primary production and community respiration in Sagami Bay, Japan. *Marine Ecology Progress Series*, **321**, 31-40.
 13. Mizobata, K., J. Wang and S.-I. Saitoh (2006): Eddy-induced cross-slope exchange maintaining summer high productivity of the Bering Sea shelf break. *Journal of Geophysical Research*, **111**, C10017, doi: 10.1029/2005JC003335.
 14. Yoshikawa, T. and K. Furuya (2006): Effects of diurnal variations in phytoplankton photosynthesis obtained from natural fluorescence. *Marine Biology*, **150**(2), 299-311, doi: 10.1007/s00227-006-0331-3.
 15. Sarma, V.V.S.S., O. Abe, N. Yoshida and T. Saino (2006): Continuous shipboard sampling system for determination of triple oxygen isotopes and O₂/Ar ratio by dual-inlet mass spectrometry. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, **20**(23), 3503-3508, doi: 10.1002/rcm.2756.
 16. Masuda S., T. Awaji, N. Sugiura, T. Toyoda, Y. Ishikawa and K. Horiuchi (2006): Interannual variability of temperature inversions in the subarctic North Pacific. *Geophysical Research Letters*, **33**, L24610, doi: 10.1029/2006GL027865.
 17. 清藤秀理, 甫喜本司, 齊藤誠一 (2006): 植物プランクトンの動態と海面水温および光合成有効放射照度との関係について. *統計数理*, **54**(2), 265-280.
 18. 藤木徹一, 紀本英志, 保坂拓志, 石丸隆, 才野敏郎 (2006): 高速フラッシュ励起蛍光法を用いた基礎生産の現場測定. *月刊海洋*, **38**(12), 877-882.
 19. Sarma, V.V.S.S., M.D. Kumar and T. Saino (2007): Impact of sinking carbon flux on accumulation of deep-ocean carbon in the Northern Indian Ocean. *Biogeochemistry*, **82**(1), 89-100, doi: 10.1007/s10533-006-9055-1.
 20. Fujiki, T., T. Suzue, H. Kimoto and T. Saino (2007): Photosynthetic electron transport in *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyceae) measured by fast repetition rate fluorometry: relation to carbon assimilation. *Journal of Plankton Research*, **29**(2), 199-208, doi: 10.1093/plankt/fbm007.
 21. Katano, T., A. Kaneda, N. Kanzaki, Y. Obayashi, A. Morimoto, G. Onitsuka, H. Yasuda, S. Mizutani, Y. Kon, K. Hata, H. Takeoka and S. Nakano (2007): Distribution of prokaryotic picophytoplankton from Seto Inland Sea to the Kuroshio region, with special reference to 'Kyuchō' events. *Aquatic Microbial Ecology*, **46**(2), 191-201.
 22. Siswanto, E., J. Ishizaka, K. Yokouchi, K. Tanaka and C.K. Tan (2007): Estimation of interannual and interdecadal variations of typhoon-induced primary production: A case study for the outer shelf of the East China Sea. *Geophysical Research Letters*, **34**, L03604, doi: 10.1029/2006GL028368.
 23. 長尾正之, 橋本英資, 高杉由夫, 児島正一郎, 佐藤健治, 森本昭彦, 鈴木敦, 澁野拓郎 (2007): 海洋レーダと海洋鉛直微細構造測定装置による強い沿岸流の表層での混合現象. *水工学論文集*, **51**, 1433-1438.

平成 19 年度

1. Xie, S.-P., T. Miyama, Y. Wang, H. Xu, S.P. de Szoeko, R.J. Small, K.J. Richards, T. Mochizuki and T. Awaji (2007): A Regional Ocean-Atmosphere Model for Eastern Pacific

- Climate: Toward Reducing Tropical Biases. *Journal of Climate*, **20(8)**, 1504-1522, doi: 10.1175/JCLI4080.1.
- ② **Ishizaka, J., E. Siswanto, T. Itoh, H. Murakami, Y. Yamaguchi, N. Horimoto, T. Ishimaru, S. Hashimoto and T. Saino (2007): Verification of Vertically Generalized Production Model and Estimation of Primary Production in Sagami Bay, Japan. *Journal of oceanography*, **63(3)**, 517-524.**
3. Patil, J.S., H. Kimoto, T. Kimoto and T. Saino (2007): Ultraviolet radiation (UV-C): a potential tool for the control of biofouling on marine optical instruments. *Biofouling*, **23(4)**, 215-230, doi: 10.1080/08927010701275598.
4. 才野敏郎 (2007): シンポジウム「沿岸海域の基礎生産研究の新しい展開」のまとめ. *沿岸海洋研究*, **45(1)**, 1-3.
5. 藤木徹一, 才野敏郎 (2007): クロロフィル蛍光を利用した基礎生産の推定. *沿岸海洋研究*, **45(1)**, 5-10.
6. 才野敏郎 (2007): 自動昇降式ブイシステムによる海洋基礎生産モニタリング. *沿岸海洋研究*, **45(1)**, 17-28.
7. 石坂丞二 (2007): 沿岸域の衛星基礎生産アルゴリズム. *沿岸海洋研究*, **45(1)**, 29-34.
8. 鋤柄千穂, 才野敏郎 (2007): 東京湾から外洋への粒子状物質輸送のモニタリング. *沿岸海洋研究*, **45(1)**, 51-59.
9. Ban, S., N. Ohi, S.C.Y. Leong, K.T. Takahashi, C.W. Riser and S. Taguchi (2007): Effect of solar ultraviolet radiation on survival of krill larvae and copepods in Antarctic Ocean. *Polar Biology*, **30(10)**, 1295-1302, doi: 10.1007/s00300-007-0290-2.
- ⑩ **Fujiki, T., T. Hosaka, H. Kimoto, T. Ishimaru and T. Saino (2008): In situ observation of phytoplankton productivity by an underwater profiling buoy system: use of fast repetition rate fluorometry. *Marine Ecology Progress Series*, **353**, 81-88, doi: 10.3354/meps07151.**
11. Matthews, J.P., X.-D. Yang, J. Shen and T. Awaji (2008): Structured Sun glitter recorded in an ASTER along-track stereo image of Nam Co Lake (Tibet): An interpretation based on supercritical flow over a lake floor depression. *Journal of Geophysical Research*, **113**, C01019, doi: 10.1029/2007JC004204.
12. Hashihama, F., N. Horimoto, J. Kanda, K. Furuya, T. Ishimaru and T. Saino (2008): Temporal Variation in Phytoplankton Composition Related to Water Mass Properties in the Central Part of Sagami Bay. *Journal of Oceanography*, **64(1)**, 23-37.
13. Zainuddin, M., K. Saitoh and S.-I. Saitoh (2008): Albacore (*Thunnus alalunga*) fishing ground in relation to oceanographic conditions in the western North Pacific Ocean using remotely sensed satellite data. *Fisheries Oceanography*, **17(2)**, 61-73, doi: 10.1111/j.1365-2419.2008.00461.x.

平成 20 年度

1. Mochizuki, T. and T. Awaji (2008): Summertime Evolution of Decadal Sea Surface Temperature Anomalies in the Midlatitude North Pacific. *Journal of Climate*, **21(7)**, 1569-1588, doi: 10.1175/2007JCLI1853.1.
2. Yoshikawa, T. and K. Furuya (2008): Phytoplankton photosynthetic parameters and primary production in Japan Sea and the East China Sea: Toward improving primary production models. *Continental Shelf Research*, **28(7)**, 962-976, doi: 10.1016/j.csr.2008.01.016.
3. Muzzneena, A.M. and S.-I. Saitoh (2008): Observations of sea ice interannual variations and spring bloom occurrences at the Japanese scallop farming area in the Okhotsk Sea using satellite imageries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **77(4)**, 577-588, doi: 10.1016/j.ecss.2007.10.021.

4. Chiba, S., M.N. Aita, K. Tadokoro, T. Saino, H. Sugisaki and K. Nakata (2008): From climate regime shifts to lower-trophic level phenology: Synthesis of recent progress in retrospective studies of the western North Pacific. *Progress In Oceanography*, **77(2-3)**, 112-126, doi: 10.1016/j.pocean.2008.03.004.
5. Lihan, T., S.-I. Saitoh, T. Iida, T. Hirawake and K. Iida (2008): Satellite-measured temporal and spatial variability of the Tokachi River plume. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **78(2)**, 237-249, doi: 10.1016/j.ecss.2007.12.001.
6. Hashihama, F., T. Hirawake, S. Kudoh, J. Kanda, K. Furuya, Y. Yamaguchi and T. Ishimaru (2008): Size fraction and class composition of phytoplankton in the Antarctic marginal ice zone along the 140°E meridian during February-March 2003. *Polar Science*, **2(2)**, 109-120, doi: 10.1016/j.polar.2008.05.001.
7. Fukumori, K., N. Okuda, H. Hamaoka, T. Fukumoto, D. Takahashi and K. Omori (2008): Stable isotopes reveal life history polymorphism in the coastal fish *Apogon notatus*. *Marine Ecology Progress Series*, **362**, 279-289, doi: 10.3354/meps07397.
8. Buesseler, K.O., T.W. Trull, D.K. Steinberg, M.W. Silver, D.A. Siegel, S.-I. Saitoh, C.H. Lamborg, P.J. Lam, D.M. Karl, N.Z. Jiao, M.C. Honda, M. Elskens, F. Dehairs, S.L. Brown, P.W. Boyd, J.K.B. Bishop, R.R. Bidigare (2008): VERTIGO (VERTical Transport In the Global Ocean): A study of particle sources and flux attenuation in the North Pacific. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, **55(14-15)**, 1522-1539, doi: 10.1016/j.dsr2.2008.04.024.
9. McMinn, A., H. Hattori, T. Hirawake and A. Iwamoto (2008): Preliminary investigation of Okhotsk Sea ice algae; taxonomic composition and photosynthetic activity. *Polar Biology*, **31(8)**, 1011-1015, doi: 10.1007/s00300-008-0433-0.
10. 赤羽敬子, 磯田豊, 三宅秀男, 高橋大介, 木戸和男, 黒田寛, 東屋知範 (2008): 噴火湾湾口付近で観測された慣性振動流の解析. *海の研究*, **17(4)**, 265-279.
11. Takikawa, T., M. Kitamura and N. Horimoto (2008): Horizontal current field, ADCP backscatter, and plankton distribution in Sagami Bay, Japan. *Fisheries Oceanography*, **17(4)**, 254-262, doi: 10.1111/j.1365-2419.2008.00477.x.
12. Mizobata, K., S.-I. Saitoh and J. Wang (2008): Interannual variability of summer biochemical enhancement in relation to mesoscale eddies at the shelf break in the vicinity of the Pribilof Islands, Bering Sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, **55(16-17)**, 1717-1728, doi: 10.1016/j.dsr2.2008.03.002.
13. Abe, O. (2008): Isotope fractionation of molecular oxygen during adsorption/desorption by molecular sieve zeolite. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, **22(16)**, 2510-2514, doi: 10.1002/rcm.3634.
14. Fukumori, K., M. Oi, H. Doi, D. Takahashi, N. Okuda, T.W. Miller, M. Kuwae, H. Miyasaka, M. Genkai-Kato, Y. Koizumi, K. Omori and H. Takeoka (2008): Bivalve tissue as a carbon and nitrogen isotope baseline indicator in coastal ecosystems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **79(1)**, 45-50, doi: 10.1016/j.ecss.2008.03.004.
15. Siswanto, E., J. Ishizaka, A. Morimoto, K. Tanaka, K. Okamura, A. Kristijono and T. Saino (2008): Ocean physical and biogeochemical responses to the passage of Typhoon Meari in the East China Sea observed from Argo float and multiplatform satellites. *Geophysical Research Letters*, **35**, L15604, doi: 10.1029/2008GL035040.
16. Takikawa, T., A. Morimoto, G. Onitsuka, A. Watanabe and M. Moku (2008): Characteristics of Water Mass under the Surface Mixed Layer in Tsushima Straits and the Southwestern Japan Sea in Autumn. *Journal of Oceanography*, **64(4)**, 585-594.
17. **⑰ Sarma, V.V.S.S., O. Abe and T. Saino (2008): Spatial variations in time-integrated plankton metabolic rates in Sagami Bay using triple oxygen isotopes and O₂:Ar ratios. *Limnology and Oceanography*, **53(5)**, 1776-1783.**
- 17 Ono, T., A. Shiimoto and T. Saino (2008): Recent decrease of summer nutrients

- concentrations and future possible shrinkage of the subarctic North Pacific high-nutrient low-chlorophyll region. *Global Biogeochemical Cycles*, **22**, GB3027, doi: 10.1029/2007GB003092.
- 18 Radiarta, I.N. and S.-I. Saitoh (2008): Satellite-derived measurements of spatial and temporal chlorophyll-*a* variability in Funka Bay, southwestern Hokkaido, Japan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **79(3)**, 400-408, doi: 10.1016/j.ecss.2008.04.017.
 - 19 神田穰太, C. Pachara, 堀本奈穂, 山口征矢, 石丸隆 (2008): 東京湾 2 定点における栄養塩類濃度の経年変動. *水環境学会誌*, **31(9)**, 559-564.
 - 20 Siswanto, E., H. Nakata, Y. Matsuoka, K. Tanaka, Y. Kiyomoto, K. Okamura, J. Zhu, and J. Ishizaka (2008): The long-term freshening and nutrient increases in summer surface water in the northern East China Sea in relation to Changjiang discharge variation. *Journal of Geophysical Research*, **113**, C10030, doi: 10.1029/2008JC004812.
 - 21 滝川哲太郎, 鬼塚剛, 秦一浩, 川崎潤二, 下川伸也, 濱口正人, 森本昭彦 (2008): 対馬海峡蓋井島周辺海域における長江希釈水と沿岸水の分布. *水産大学校研究報告*, **57(1)**, 29-42.
 - 22 Radiarta, I.N., S.-I. Saitoh and A. Miyazono (2008): GIS-based multi-criteria evaluation models for identifying suitable sites for Japanese scallop (*Mizuhopecten yessoensis*) aquaculture in Funka Bay, southwestern Hokkaido, Japan. *Aquaculture*, **284(1-4)**, 127-135, doi: 10.1016/j.aquaculture.2008.07.048.
 - 23 Wittke, E., T. Ishimaru and Y. Tanaka (2009): Cephalic Appendage Motion during Swimming of a Calanoid Copepod *Subeocalanus crassus* (Giesbrecht, 1888). *La Mer*, **46(3)**, 85-96.
 - 24 Morimoto, A., T. Takikawa, G. Onitsuka, A. Watanabe, M. Moku and T. Yanagi (2009): Seasonal Variation of Horizontal Material Transport through the Eastern Channel of the Tsushima Straits. *Journal of Oceanography*, **65(1)**, 61-71, doi: 10.1007/s10872-009-0006-z.
 - 25 Onitsuka, G., A. Morimoto, T. Takikawa, A. Watanabe, M. Moku, Y. Yoshikawa and T. Yanagi (2009): Enhanced chlorophyll associated with island-induced cyclonic eddies in the eastern channel of the Tsushima Straits. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **81(3)**, 401-408, doi: 10.1016/j.ecss.2008.11.018.
 - 26 Wang, J., H. Hu, K. Mizobata and S.-I. Saitoh (2009): Seasonal variations of sea ice and ocean circulation in the Bering Sea: A model-data fusion study. *Journal of Geophysical Research*, **114**, C02011, doi: 10.1029/2008JC004727.
 - 27 五十嵐弘道, 淡路敏之, 豊田隆寛, 増田周平, 杉浦望実, 佐々木祐二, 一井太郎, 秋山秀樹, 畠山清 (2009): 海洋環境変動の把握技術と水産資源変動解析に果たす役割. *水産海洋研究*, **73(1)**, 34-35.
 - 28 武岡英隆, 藤井直紀, 高橋大介, 馬込伸哉, 南條悠太 (2009): 宇和海におけるミズクラゲの集群メカニズム. *沿岸海洋研究*, **46(2)**, 109-117.
 - 29 Mochizuki, T., T. Awaji and N. Sugiura (2009): Possible oceanic feedback in the extratropics in relation to the North Atlantic SST tripole. *Geophysical Research Letters*, **36**, L05710, doi: 10.1029/2008GL036781.
 - 30 Masuda, S., T. Awaji, T. Toyoda, Y. Shikama and Y. Ishikawa (2009): Temporal evolution of the equatorial thermocline associated with the 1991-2006 ENSO. *Journal of Geophysical Research*, **114**, C03015, doi: 10.1029/2008JC004953.
 - 31 三宅裕志, D.J. Lindsay (2009): 深海は光の世界. *月刊海洋 号外*, **51**, 95-100.
 - 32 伊藤寿茂, 三宅裕志, D.J. Lindsay (2009): 多段開閉式ネットによって採集されたシロカイエビの躯体の損傷度合いと飼育生存期間の関連性. *水産技術*, **1(2)**, 45-51.
 - 33 丸山正, 加藤千明, 山本啓之, 藤倉克則, 佐藤孝子, 藤原義弘, 古島靖夫, 土田真二,

小俣珠乃, D.J. Lindsay, 吉田尊雄, 喜多村稔, 瀧下清貴, 河戸勝, 渡部裕美, P. Florence, 奥谷喬司, 大石和恵, 土屋正史, 三宅裕志, J.D. Reimer, 佐々木猛智, 根本卓 (2009): 地球システムにおける海洋生態系の構造と役割の解明—海洋生態・環境研究プログラムにおける 2004-2008 年度(第 1 期中期計画)における研究成果概要報告—. *JAMSTEC Report of Research and Development*, **9(1)**, 13-74.

平成 21 年度

1. Toyoda, T., S. Masuda, N. Sugiura, T. Mochizuki, H. Igarashi, M. Kamachi, Y. Ishikawa and T. Awaji (2009): A possible role for unstable coupled waves affected by resonance between Kelvin waves and seasonal warming in the development of the strong 1997-1998 El Niño. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, **56(4)**, 495-512, doi: 10.1016/j.dsr.2008.12.002.
2. Mitbavkar, S., T. Saino, N. Horimoto, J. Kanda and T. Ishimaru (2009): Role of Environment and Hydrography in Determining the Picoplankton Community Structure of Sagami Bay, Japan. *Journal of Oceanography*, **65(2)**, 195-208, doi: 10.1007/s10872-009-0019-7.
3. Vijayan, A.K., T. Yoshikawa, S. Watanabe, H. Sasaki, K. Matsumoto, S.-I. Saitoh, S. Takeda and K. Furuya (2009): Influence of Non-Photosynthetic Pigments on Light Absorption and Quantum Yield of Photosynthesis in the Western Equatorial Pacific and the Subarctic North Pacific. *Journal of Oceanography*, **65(2)**, 245-258, doi: 10.1007/s10872-009-0023-y.
4. Ohtsuka, S., K. Koike, D.J. Lindsay, J. Nishikawa, H. Miyake, M. Kawahara, Mulyadi, N. Mujiono, J. Hiromi and H. Komatsu (2009): Symbionts of marine medusae and ctenophores. *Plankton and Benthos Research*, **4(1)**, 1-13, doi: 10.3800/pbr.4.1.
5. Morimoto, A., S. Kojima, S. Jan and D. Takahashi (2009): Movement of the Kuroshio axis to the northeast shelf to Taiwan during typhoon events. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **82(3)**, 547-552, doi: 10.1016/j.ecss.2009.02.022.
6. Siswanto, E., A. Morimoto and S. Kojima (2009): Enhancement of phytoplankton primary productivity in the southern East China Sea following episodic typhoon passage. *Geophysical Research Letters*, **36**, L11603, doi: 10.1029/2009GL037883.
7. Morimoto, A., Y. Isoda, T. Tameishi and S. Moriwaki (2009): Seasonal variation in Tsushima Warm Current paths over the shelf off the San'in coast, Japan. *Continental Shelf Research*, **29(11-12)**, 1437-1447, doi: 10.1016/j.csr.2009.03.017.
8. Nakamura, T. and T. Awaji (2009): Scattering of Internal Waves with Frequency Change over Rough Topography. *Journal of Physical Oceanography*, **39(7)**, 1574-1594, doi: 10.1175/2008JPO3795.1.
9. 西川淳, N.T. Thu, F.Md. Yusoff, D.J. Lindsay, Mulyadi, N. Mujiono, 大塚攻, 西田周平 (2009): 東南アジア, 特にベトナム, インドネシア, マレーシアにおけるクラゲ漁業. *月刊海洋*, **41(7)**, 410-411.
10. Sudo, S., T. Ohtomo, Y. Takahashi, T. Oishi and K. Otsuka (2009): Determination of velocity of self-mobile phytoplankton using a self-mixing thin-slice solid-state laser. *Applied Optics*, **48(20)**, 4049-4055.
11. Morimoto, A. (2009): Evaluation of Tidal Error in Altimetry Data in the Asian Marginal Seas. *Journal of Oceanography*, **65(4)**, 477-485.
12. Nakamura, T., Y. Kawasaki T. Kono and T. Awaji (2009): Large-amplitude internal waves observed in the Kruzenshtern Strait of the Kuril Island Chain and possible water transport and mixing. *Continental Shelf Research*, doi: 10.1016/j.csr.2009.07.010, (in press).
13. Mustapha, M.A., S.-I. Saitoh and T. Lihan (2009): Satellite-measured seasonal variations in primary production in the scallop-farming region of the Okhotsk Sea. *ICES Journal of Marine Science*, **66(7)**, 1557-1569, doi: 10.1093/icesjms/fsp142.

14. Lindsay, D.J. (2009): 日本近海に出現する中・深層性刺胞動物ならびに有櫛動物の目録－潜水調査船及び無人探査機を用いた潜水調査で観察, 採集された種類(1993～2008年). *月刊海洋*, **41(8)**, 417-438.
15. 西田周平, D.J. Lindsay, 町田龍二 (2009): 全海洋動物プランクトンセンサス (Census of Marine Zooplankton: CMarZ) の成果と展望. *日本プランクトン学会報*, **56(2)**, 139-144.
16. Takahashi, D., X. Guo, A. Morimoto and S. Kojima (2009): Biweekly periodic variation of the Kuroshio axis northeast of Taiwan as revealed by ocean high-frequency radar. *Continental Shelf Research*, **29(15)**, 1896-1907, doi: 10.1016/j.csr.2009.07.007.
17. Kitayama, S., K. Kuma, E. Manabe, K. Sugie, H. Takata, Y. Isoda, K. Toya, S.-I. Saitoh, S. Takagi, Y. Kamei and K. Sakaoka (2009): Controls on iron distributions in the deep water column of the North Pacific Ocean: Iron (III) hydroxide solubility and marine humic-type dissolved organic matter. *Journal of Geophysical Research*, **114**, C08019, doi: 10.1029/2008JC004754.
18. Ishikawa, Y., T. Awaji, T. Toyoda, T. In, K. Nishina, T. Nakayama, S. Shima and S. Masuda (2009): High-resolution synthetic monitoring by a 4-dimensional variational data assimilation system in the northwestern North Pacific. *Journal of Marine Systems*, **78(2)**, 237-248, doi: 10.1016/j.jmarsys.2009.02.016.
19. Fukui, Y., S.-I. Saitoh and T. Sawabe (2009): Environmental determinants correlated to *Vibrio harveyi*-mediated death of marine gastropods. *Environmental Microbiology*, **12(1)**, 124-133, doi: 10.1111/j.1462-2920.2009.02052.x.
20. Balmaseda, M.A., O.J. Alves, A. Arribas, T. Awaji, D.W. Behringer, N. Ferry, Y. Fujii, T. Lee, M. Rienecker, T. Rosati and D. Stammer (2009): Ocean Initialization for seasonal forecasts. *Oceanography*, **22(3)**, 154-159.
21. Lee, T., T. Awaji, M.A. Balmaseda, E. Greiner and D. Stammer (2009): Ocean State Estimation for Climate Research. *Oceanography*, **22(3)**, 160-167.
22. Abe, O., S. Agata, M. Morimoto, M. Abe, K. Yoshimura, T. Hiyama and N. Yoshida (2009): A 6.5-year continuous record of sea surface salinity and seawater isotopic composition at Harbor of Ishigaki Island, southwest Japan. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, **45(3)**, 247-258, doi: 10.1080/10256010903083847.
23. Radiarta, I.N. and S.-I. Saitoh (2009): Biophysical models for Japanese scallop, *Mizuhopecten yessoensis*, aquaculture site selection in Funka Bay, Hokkaido, Japan, using remotely sensed data and geographic information system. *Aquaculture International*, **17(5)**, 403-419, doi: 10.1007/s10499-008-9212-8.
24. Nihashi, S., K.I. Ohshima, T. Tamura, Y. Fukamachi and S.-I. Saitoh (2009): Thickness and production of sea ice in the Okhotsk Sea coastal polynya from AMSR-E. *Journal of Geophysical Research*, **114**, C10025, doi: 10.1029/2008JC005222.
25. Morimoto, M., K. Kawanobe, O. Abe, T. Kawai, T. Kawamura and K. Shirasawa (2009): Under-ice salinity and stable isotope distribution of Saroma-ko Lagoon, Hokkaido, northern Japan. *Hydrological Processes*, doi: 10.1002/hyp.7532, (in press).
26. 高橋大介, 南條悠太, 大山淳一, 藤井直紀, 福森香代子, 武岡英隆 (2010): 急潮によって引き起こされた夏季豊後水道法華津湾表層におけるミズクラゲ集群出現頻度の短周期変動. *海の研究*, **19(1)**, 1-19.
27. Nakamura, T., T. Toyoda, Y. Ishikawa and T. Awaji (2010): Effects of Mass Source/Sink at the Western Boundary on the Wind-Driven Gyres: Implications for the entilation of the North Pacific Intermediate Layer through Convection in the Okhotsk Sea and Tidal Mixing at the Kuril Straits. *Journal of Oceanography*, **66(1)**, 41-60.
28. Tripathy, S.C., J. Ishizaka, T. Fujiki, T. Shibata, K. Okamura, T. Hosaka and T. Saino (2010): Assessment of carbon- and fluorescence-based primary production in Ariake bay,

- southwestern Japan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **87(1)**, 163-173, doi: 10.1016/j.ecss.2010.01.006.
29. Pramot, S., A. Morimoto and T. Yanagi (2010): Seasonal variation of sea surface current in the Gulf of Thailand. *Coastal Marine Science*, (in press).
30. Lindsay, D.J. and R. Minemizu (2010): First record of *Sphaeronectes fragilis* Carré 1968 (Siphonophorae, Calycophorae) from the North Pacific Ocean with observations of related species. *Plankton and Benthos Research*, (in press).
31. 森美由貴, 鈴木夕紀, D.J. Lindsay (2010): 相模湾周辺海域における端脚目クラゲノミ亜目の出現種目録. *日本プランクトン学会報*, (in press).
- ③ Abe, O., A. Watanabe, V.V.S.S. Sarma, Y. Matsui, H. Yamano, N. Yoshida and T. Saino (2010): Air-sea gas transfer in a shallow, flowing and coastal environment estimated by dissolved inorganic carbon and dissolved oxygen analyses. *Journal of Oceanography*, (in press).

② その他の著作物（総説，書籍など）

平成 18 年度

1. 亀田卓彦, 石坂丞二 (2006): 6.2 海洋植物プランクトンによる基礎生産力. *気候変動の解明に向けて—Global Imager がとらえた地球—*, 宇宙航空研究開発機構 地球観測研究センター, pp.48-49.

平成 19 年度

1. 才野敏郎 (2008): 1.3 地球生命圏—海洋—. *新しい地球学*, 名古屋大学出版会, pp.82-101.

平成 20 年度

1. Sarma, V.V.S.S., O. Abe and T. Saino (2008): Spatial variations in time-integrated plankton metabolic rates using triple oxygen isotopes and O₂: Ar ratios. *SOLAS News*, **8**, 20-21.
2. Nakajima, T., H. Murakami, M. Hori, T.Y. Nakajima, H. Yamamoto, J. Ishizaka, R. Tateishi, T. Aoki, T. Takamura, M. Kuji, N.D. Duong, A. Ono, S. Fukuda and K. Muramatsu (2009): Overview and Science Highlights of the ADEOS-II/GLI Project. *Journal of the Remote Sensing Society of Japan*, **29(1)**, 11-28.
3. Ishizaka, J. (2009): Ocean Color Research for Global Imager (GLI) on Advanced Earth Observation Satellite-II (ADEOS-II). *Journal of the Remote Sensing Society of Japan*, **29(1)**, 74-79.
4. 齊藤誠一 (2009): 9. 海洋と GIS. *シリーズGIS 第5巻 社会基盤・環境のためのGIS*, 朝倉書店, pp.135-149.
5. Hoepffner, N., F. Mélin, M. Dowell, J. Marra, T. Saino and C. Wilson (2008): Chapter 5: Biogeochemical Cycles. *IOCCG Report No.7 "Why Ocean Colour? The Societal Benefits of Ocean-Colour Technology"*, **7**, 31-46.
6. Hoepffner, N. C. Brown, R. Doerffer, J. Ishizaka, J. Gower and M. Lynch (2008): Chapter 7: Ocean-Colour Radiometry and Water Quality. *IOCCG Report No.7 "Why Ocean Colour? The Societal Benefits of Ocean-Colour Technology"*, **7**, 59-74.

平成 21 年度

1. Saitoh, S.-I., E. Chassot, R. Dwivedi, A. Fonteneau, H. Kiyofuji, B. Kumari, M. Kuno, S. Matsumura, T.Platt, M. Raman, S. Sathyendranath, H. Solanki and F. Takahashi (2009): Chapter 5: Remote Sensing Applications to Fish Harvesting. *IOCCG Report No.8 "Remote*

(2) 口頭発表

① 学会

国内 85 件, 海外 46 件

平成 16 年度

1. 渡辺茂樹, 吉川尚, 古谷研 (2005): 自然蛍光法による基礎生産測定における光合成パラメータの日周変動の影響. 2005 年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学 品川キャンパス, 東京都港区, 2005 年 3 月 27 日~31 日
2. 才野敏郎 (2005): 衛星利用のための実時間海洋基礎生産計測システム: 研究の概要. 2005 年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学 品川キャンパス, 東京都港区, 2005 年 3 月 27 日~31 日
3. 紀本英志, 鈴江崇彦, 紀本岳志, 藤木徹一, 千賀康弘, J.S. Patil, 才野敏郎 (2005): 高速フラッシュ励起蛍光光度計の開発. 2005 年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学 品川キャンパス, 東京都港区, 2005 年 3 月 27 日~31 日
4. 藤木徹一, 才野敏郎, 紀本英志, 鈴江崇彦 (2005): 高速フラッシュ励起蛍光法と炭素トレーサー法による光合成-光曲線の比較. 2005 年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学 品川キャンパス, 東京都港区, 2005 年 3 月 27 日~31 日
5. 日沼公, 松本佳, 才野敏郎 (2005): 自動昇降ブイ搭載の FRRF 計測による日・水柱積算総基礎生産の推定. 2005 年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学 品川キャンパス, 東京都港区, 2005 年 3 月 27 日~31 日
6. 橋本慎治, 堀本奈穂, 山口征矢, 石丸隆, 才野敏郎 (2005): 相模湾における純基礎生産/総基礎生産比の季節変動. 2005 年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学 品川キャンパス, 東京都港区, 2005 年 3 月 27 日~31 日
7. Sarma, V.V.S.S., O. Abe and T. Saino (2005): Estimation of gross oxygen productivity and piston velocity using Triple Oxygen Isotopes in the Sagami Bay. 2005 年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学 品川キャンパス, 東京都港区, 2005 年 3 月 27 日~31 日
8. 石坂丞三, E. Siswanto, 伊藤哲也, 堀本奈穂, 山口征矢, 石丸隆, 橋本慎治, 才野敏郎 (2005): 衛星リモートセンシングによる相模湾基礎生産の推定. 2005 年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学 品川キャンパス, 東京都港区, 2005 年 3 月 27 日~31 日

平成 17 年度

1. Sarma, V.V.S.S., O. Abe and T. Saino (2005): Estimation of transfer velocity using triple oxygen isotopes. 37th International Liège Colloquium on Ocean Dynamics: Gas Transfer at Water Surfaces, Liège, Belgium, 2-6 May 2005
2. Saino, T., T. Ishimaru and the POPPS Team (2005): Ocean Primary Productivity Profiling System Using An Underwater Winch System. 2005 International Ocean Research Conference, Paris, France, 6-10 June 2005, (poster)
3. Sarma, V.V.S.S., O. Abe and T. Saino (2005): Gas exchange coefficients in seawater: Use of stable isotopes of oxygen. AOGS 2nd Annual General Meeting, Singapore, 20-24 June 2005
4. Sarma, V.V.S.S., O. Abe, A. Hinuma and T. Saino (2006): Gross Oxygen Production Measurements For Satellite Productivity. 2006 Ocean Sciences Meeting, Hawaii, USA, 20-24 February 2006
5. Patil, J.S., H. Kimoto, T. Kimoto and T. Saino (2006): Ultraviolet Radiation (UV-C): A Potential Tool For The Control Of Optical Biofouling. 2006 Ocean Sciences Meeting,

Hawaii, USA, 20-24 February 2006

6. Mitvabkar, S., T. Saino, N. Horimoto and T. Ishimaru (2006): Seasonal Variations In Picoplankton Community Structure In The Sagami Bay: Influence On The Trophic Status. 2006 Ocean Sciences Meeting, Hawaii, USA, 20-24 February 2006
7. NGK Ocean, Nichiyu Giken Kogyo Co., Ltd. (2006): POPPS Profiling Buoy. Oceanology International 2006, London, UK, 21-23 March 2006, (poster)

平成 18 年度

1. Sarma, V.V.S.S., O. Abe and T. Saino (2006): Underway surface water sample collection system for dissolved gases and triple isotopic composition of dissolved oxygen. 16th Annual V.M. Goldschmidt Conference 2006, Melbourne, Australia, 27 August - 1 September 2006
2. Awaji, T. (2006): Four-dimensional variational coupled data assimilation (K-7). CLIVAR/GODAE Meeting on A Pilot Evaluation Effort of Global Ocean Syntheses, Reading, UK, 31 August - 1 September 2006
3. 江本温子, 堀本奈穂, 石丸隆 (2006): 相模湾におけるバクテリア, 従属栄養性鞭毛虫及び繊毛虫の季節変動. 2006 年度日本海洋学会秋季大会, 名古屋大学 東山地区キャンパス, 愛知県名古屋市, 2006 年 9 月 25 日~29 日
4. Mitvabkar, S. and T. Saino (2006): Cell cycle of synechococcus population in the Sagami Bay, Japan. 2006 年度日本海洋学会秋季大会, 名古屋大学 東山地区キャンパス, 愛知県名古屋市, 2006 年 9 月 25 日~29 日
5. Patil, J.S. and T. Saino (2006): Effect of biofilm on the performance of fast repetition rate fluorometry (FRRF). 2006 年度日本海洋学会秋季大会, 名古屋大学 東山地区キャンパス, 愛知県名古屋市, 2006 年 9 月 25 日~29 日
6. 鋤柄千穂, 須賀利雄, 才野敏郎 (2006): 亜熱帯モード水一季節密度躍層系の物理・化学・生物過程: フロートによるクロロフィル・溶存酸素観測とその時系列変化について. 2006 年度日本海洋学会秋季大会, 名古屋大学 東山地区キャンパス, 愛知県名古屋市, 2006 年 9 月 25 日~29 日
7. 松本祐子, 石丸隆 (2006): 相模湾における動物プランクトン群集構造の季節変化. 2006 年度日本海洋学会秋季大会, 名古屋大学 東山地区キャンパス, 愛知県名古屋市, 2006 年 9 月 25 日~29 日
8. 森本昭彦, 滝川哲太郎, 鬼塚剛, 渡邊敦 (2006): 対馬海峡東水道を通過する物質フラックス. 2006 年度日本海洋学会秋季大会, 名古屋大学 東山地区キャンパス, 愛知県名古屋市, 2006 年 9 月 25 日~29 日
9. Sarma, V.V.S.S. and T. Saino (2006): Diurnal and seasonal variability in Net Community Production in the Sagami Bay using O₂ mass balance. 2006 年度日本海洋学会秋季大会, 名古屋大学 東山地区キャンパス, 愛知県名古屋市, 2006 年 9 月 25 日~29 日
10. 三野義尚, 才野敏郎, 野尻幸宏 (2006): 北西部北太平洋における粒子状有機物の窒素安定同位体比の季節変化について. 2006 年度日本海洋学会秋季大会, 名古屋大学 東山地区キャンパス, 愛知県名古屋市, 2006 年 9 月 25 日~29 日
11. Dang, V.H., A. Morimoto and T. Saino (2006): Summertime decrease of water temperature at subsurface layer in Sagami Bay. 2006 年度日本海洋学会秋季大会, 名古屋大学 東山地区キャンパス, 愛知県名古屋市, 2006 年 9 月 25 日~29 日
12. 小林文恵, 阿部理 (2006): 南西諸島与那国島の造礁サンゴ骨格年輪の安定同位体比分析による海洋表層環境変化の復元. 2006 年度日本海洋学会秋季大会, 名古屋大学 東山地区キャンパス, 愛知県名古屋市, 2006 年 9 月 25 日~29 日, (poster)

13. 渡邊敦, 森本昭彦, 滝川哲太郎, 鬼塚剛 (2006): 衛星を用いた東シナ海～日本海南部陸棚域の $p\text{CO}_2$ 分布推定. 2006 年度日本海洋学会秋季大会, 名古屋大学 東山地区キャンパス, 愛知県名古屋市, 2006 年 9 月 25 日～29 日, (poster)
14. Hirawake, T., N. Kasamatsu, N. Kondo, H. Kobayashi, M. Fukuchi and S.-I. Saitoh (2006): Variability of bio-optical properties in the southern ocean: Estimation of dimethylsulfide (DMS) concentration from satellite. Ocean Optics XVIII, Montreal, Canada, 9-13 October 2006
15. Matsuoka, A., P. Larouche, M.E. Garneau, K. Simpson, S.-I. Saitoh and H. Hattori (2006): Dramatic change of bio-optical properties before and after sea ice production in the mouth of Mackenzie River and the Cape Bathurst Polynya region, Canadian Arctic. Ocean Optics XVIII, Montreal, Canada, 9-13 October 2006
16. Mustapha, M.A. and S.-I. Saitoh (2006): Interannual variations of sea ice and spring bloom occurrences at the Japanese scallop farming area in the Okhotsk Sea. PICES 15th Annual Meeting, Yokohama, Japan, 13-22 October 2006, (poster)
17. Rho, T., S.-I. Saitoh, A. Shiimoto, T. Iida and T. Konishi (2006): Variability of summer primary production in the Subarctic North Pacific and the southeastern Bering Sea shelf. PICES 15th Annual Meeting, Yokohama, Japan, 13-22 October 2006
18. Sarma, V.V.S.S., K. Sasaoka and T. Saino (2006): Estimation of global dissolved inorganic carbon, total alkalinity and $p\text{CO}_2$ from the satellite sea surface temperature and climatological salinity. PICES 15th Annual Meeting, Yokohama, Japan, 13-22 October 2006
19. 笹岡晃征, 笹井義一, 佐々木英治, 石田明生 (2007): 海色衛星と高解像度モデルを用いた黒潮続流域における植物プランクトンの季節変動解析. 2007 年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学 品川キャンパス, 東京都港区, 2007 年 3 月 22 日～26 日
20. Mitvabkar, S. and T. Saino (2007): Seasonal and diel variations in heterotrophic bacterial community in the Sagami Bay, Japan. 2007 年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学 品川キャンパス, 東京都港区, 2007 年 3 月 22 日～26 日
21. 三野義尚, 才野敏郎, 森本昭彦, 山田優子 (2007): 相模湾表層における懸濁態有機物の炭素・窒素安定同位体比の特性. 2007 年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学 品川キャンパス, 東京都港区, 2007 年 3 月 22 日～26 日
22. Sarma, V.V.S.S., O. Abe and T. Saino (2007): Plankton metabolic rates in the Sagami Bay using triple oxygen isotopes and O_2/Ar ratios. 2007 年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学 品川キャンパス, 東京都港区, 2007 年 3 月 22 日～26 日
23. 山田優子, 三野義尚, 才野敏郎 (2007): 相模湾亜表層における粒子状物質の挙動について. 2007 年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学 品川キャンパス, 東京都港区, 2007 年 3 月 22 日～26 日
24. 保坂拓志, 中村哲也, 藤木徹一, 才野敏郎 (2007): 西部北太平洋における自動昇降式ブイシステム観測. 2007 年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学 品川キャンパス, 東京都港区, 2007 年 3 月 22 日～26 日

平成 19 年度

1. Watanabe, A., A. Morimoto, T. Takikawa, G. Onitsuka and T. Saino (2007): $p\text{CO}_2$ distribution in the East China Sea continental shelf estimated from satellite sea surface temperature, $\text{Chl}a$, and climatological salinity. EGU General Assembly 2007, Vienna, Austria, 15-20 April 2007
2. Fujiki, T., S. Watanabe, T. Hosaka and T. Saino (2007): Underwater profiling buoy system for observation of phytoplankton productivity. EGU General Assembly 2007, Vienna, Austria, 15-20 April 2007, (poster)
3. Saino, T. (2007): A Real Time Ocean Primary Productivity Profiling System. Aquafluo,

- Chlorophyll fluorescence in Aquatic Sciences Meeting, Nové Hradý, Czech Republic, 28 May - 01 June 2007
4. Awaji, T. (2007): Four-Dimensional Variational Coupled Data Assimilation Experiment. AOGS 4th Annual General Meeting, Bangkok, Thailand, 30 July - 4 August 2007, (invited)
 5. 阿部理 (2007): 大気酸素同位体比. 2007 年度日本地球化学会年会, 岡山大学, 岡山県岡山市, 2007 年 9 月 19 日~21 日
 6. Awaji, T. (2007): Application of Ocean & Coupled Models to Data Assimilation in Japan. 2nd CLIVAR/GODAE Meeting on Ocean Synthesis Evaluation, Cambridge, USA, 24-25 September 2007, (invited)
 7. Sarma, V.V.S.S., 才野敏郎 (2007): 酸素 17 同位体比異常法による大気-海洋ガス交換係数の測定. 2007 年度日本海洋学会秋季大会, 琉球大学 工学部, 沖縄県中頭郡西原町, 2007 年 9 月 26 日~30 日
 8. 三野義尚, 才野敏郎, 保坂拓志, S. Matsumura, T. Lidwitayaprasit, 柳哲雄 (2007): タイランド湾北部海域における植物プランクトンの光合成パラメータの日変化. 2007 年度日本海洋学会秋季大会, 琉球大学 工学部, 沖縄県中頭郡西原町, 2007 年 9 月 26 日~30 日
 9. 森本昭彦 (2007): Aviso 海面高度計プロダクトの潮汐補正精度の検証. 2007 年度日本海洋学会秋季大会, 琉球大学 工学部, 沖縄県中頭郡西原町, 2007 年 9 月 26 日~30 日
 10. 日沼公, 松本佳, 中村哲也, 才野敏郎 (2007): FRRF 法による相模湾中央部及び西部北太平洋における日・深度積算基礎生産アルゴリズムの開発. 2007 年度日本海洋学会秋季大会, 琉球大学 工学部, 沖縄県中頭郡西原町, 2007 年 9 月 26 日~30 日
 11. Dang, V.H., A. Moimoto, X. Guo and T. Saino (2007): Decrease of water temperature at subsurface layer in Sagami Bay caused by cold eddy movement along the Kuroshio axis. 2007 年度日本海洋学会秋季大会, 琉球大学 工学部, 沖縄県中頭郡西原町, 2007 年 9 月 26 日~30 日
 12. 江本温子, 堀本奈穂, 石丸隆 (2007): 相模湾における従属栄養細菌の季節変動. 2007 年度日本海洋学会秋季大会, 琉球大学 工学部, 沖縄県中頭郡西原町, 2007 年 9 月 26 日~30 日
 13. 内山香織, 堀本奈穂, 石丸隆 (2007): 相模湾における植物プランクトン群集の変動. 2007 年度日本海洋学会秋季大会, 琉球大学 工学部, 沖縄県中頭郡西原町, 2007 年 9 月 26 日~30 日
 14. Tripathy, S.C., J. Ishizaka, T. Saino, T. Fujiki and K. Okamura (2007): Variation of phytoplankton production and photosystem II parameters during spring and neap tide in Ariake Bay: a FRRF based study. 2007 年度日本海洋学会秋季大会, 琉球大学 工学部, 沖縄県中頭郡西原町, 2007 年 9 月 26 日~30 日, (poster)
 15. 本川正三, S.C.Y. Leong, 溝渕明美, 田口哲 (2007): 窒素添加に対する渦鞭毛藻 *Heterocapsa circularisquama* の光吸収の応答. 2007 年度日本海洋学会秋季大会, 琉球大学 工学部, 沖縄県中頭郡西原町, 2007 年 9 月 26 日~30 日, (poster)
 16. 牧野緑, S.C.Y. Leong, 田口哲 (2007): 相模湾に生息するピコプランクトン群集に対する UVB の影響. 2007 年度日本海洋学会秋季大会, 琉球大学 工学部, 沖縄県中頭郡西原町, 2007 年 9 月 26 日~30 日, (poster)
 17. Saino, T. (2007): Satellite monitoring and in situ validation of ocean primary productivity. PICES 16th Annual Meeting, Victoria, Canada, 26 October - 5 November 2007
 18. Saino, T. (2007): An ocean observing system for carbon cycle studies. PICES 16th Annual Meeting, Victoria, Canada, 26 October - 5 November 2007

19. Leong, S.C.Y., T. Hosaka and T. Saino (2008): Physiological responses and production of phytoplankton determined from variable fluorescence quantum yield. 2008 Ocean Sciences Meeting, Orlando, USA, 2-7 March 2008, (poster)
20. Makino, M., H. Miyaguchi, S.C.Y. Leong, T. Toda, T. Kikuchi, and S. Taguchi (2008): Ultraviolet radiation response and protective mechanism of different size classes of phytoplankton. Oceanographic Society of Japan. 2008 Ocean Sciences Meeting, Orlando, USA, 2-7 March 2008, (poster)
21. Makino, M., S.C.Y. Leong and S. Taguchi (2008): Ultraviolet radiation (UV-B) effect on natural phytoplankton assemblages in Sagami Bay, Japan. 2008 Ocean Sciences Meeting, Orlando, USA, 2-7 March 2008, (poster)
22. Motokawa, S., S.C.Y. Leong, A. Mizobuchi, and S. Taguchi (2008): Optical response of the dinoflagellate *Heterocapsa circularisquama* to nitrate concentrations. 2008 Ocean Sciences Meeting, Orlando, USA, 2-7 March 2008, (poster)
23. Murata, A., H. Takatsuji, S.C.Y. Leong and S. Taguchi (2008): Non-Redfield type behavior of dinoflagellate *Alexandrium tamarense* in relation to nitrogen and phosphorus limitation in coastal water. 2008 Ocean Sciences Meeting, Orlando, USA, 2-7 March 2008, (poster)
24. Leong, S.C.Y., T. Hosaka and T. Saino (2008): Physiological responses and production of phytoplankton determined from variable fluorescence quantum yield. 2008 Ocean Sciences Meeting, Orlando, USA, 2-7 March 2008, (poster)
25. Dang, V.H., A. Moimoto and T. Saino (2008): Variations of primary production in Sagami Bay associated with water temperature decrease phenomenon. 2008 年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学 品川キャンパス, 東京都港区, 2008 年 3 月 26 日~30 日
26. 石川洋一, 淡路敏之, 岸道郎, 才野敏郎 (2008): 海洋生態系データ同化システムを用いた生物化学過程の状態推定. 2008 年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学 品川キャンパス, 東京都港区, 2008 年 3 月 26 日~30 日
27. 藤木徹一, 松本和彦, 渡邊修一, 才野敏郎 (2008): 東経 155 度線における南北断面観測 MR07-01 2.植物プランクトン群集の分布とその変動要因. 2008 年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学 品川キャンパス, 東京都港区, 2008 年 3 月 26 日~30 日
28. 才野敏郎, 中村哲也, 北澤祐司, 保坂拓志 (2008): 相模湾における自動昇降式海洋基礎生産プロファイラーの運用. 2008 年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学 品川キャンパス, 東京都港区, 2008 年 3 月 26 日~30 日
29. 石川洋一, 淡路敏之, 木内保太, 里村雄彦 (2008): 熱帯積雲活動の海面水温依存性と海洋混合層変動との相互作用. 2008 年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学 品川キャンパス, 東京都港区, 2008 年 3 月 26 日~30 日
30. Tripathy, S.C., J. Ishizaka, T. Saino, T. Fujiki and K. Okamura (2008): Assessment of carbon- and fluorescence-based primary production in Ariake bay. 2008 年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学 品川キャンパス, 東京都港区, 2008 年 3 月 26 日~30 日, (poster)

平成 20 年度

1. Igarashi, H., T. Awaji, T. Toyoda, S. Masuda, N. Sugiura, Y. Sasaki, T. Ichii, H. Akiyama and K. Hatakeyama (2008): Application of Ocean Data Assimilation to the Stock Assessment of Neon Flying Squid and Jumbo Flying Squid. AOGS 5th Annual General Meeting, Busan, Korea, 16-20 June 2008
2. 会田真理子, 石丸隆, 西栄二郎, 風呂田利夫, 茂木正人, 立花愛子, 諸星一信, 鈴木信昭, 松坂省一, 有路隆一 (2008): 東京湾多摩川河口域における底生多毛類浮遊幼生の季節分布. 2008 年度日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会, 熊本県立大学 新講義棟, 熊本県熊本市, 2008 年 9 月 4 日~7 日

3. 才野敏郎 (2008): 西部北太平洋における気候変動に対する生態系変動を介した物質循環の変動とフィードバックの研究のための時系列定点観測. 2008 年度日本地球化学会年会, 東京大学 駒場キャンパス, 東京都目黒区, 2008 年 9 月 17 日~19 日, (invited)
4. 阿部理, 小林文恵, 森本真紀, 勝田長貴, 森本昭彦 (2008): 南西諸島の造礁サンゴ年輪を用いた過去 100 年間の海洋環境復元. 2008 年度日本地球化学会年会, 東京大学 駒場キャンパス, 東京都目黒区, 2008 年 9 月 17 日~19 日, (invited)
5. 橋濱史典, 前田洋作, 古谷研, 神田穰太, 小川浩史 (2008): 夏季伊豆周辺海域における低濃度ケイ酸塩の空間変動. 2008 年度日本海洋学会秋季大会, 広島国際大学 呉キャンパス, 広島県呉市, 2008 年 9 月 24 日~28 日
6. 鮎川航太, 山田奈津子, 櫻井宏子, 神田穰太 (2008): 相模湾における亜硝酸極大の出現状況. 2008 年度日本海洋学会秋季大会, 広島国際大学 呉キャンパス, 広島県呉市, 2008 年 9 月 24 日~28 日
7. 高橋大介, 森本昭彦, 中村哲也, 保坂拓志, V.H. Dang, 才野敏郎 (2008): 相模湾における短周期の亜表層水温低下について. 2008 年度日本海洋学会秋季大会, 広島国際大学 呉キャンパス, 広島県呉市, 2008 年 9 月 24 日~28 日
8. 立花愛子, 石丸隆, 伊東宏, 茂木正人, 会田真理子, 諸星一信, 鈴木信昭, 松坂省一, 有路隆一 (2008): 東京湾羽田沖定点におけるカイアシ類の季節変動. 2008 年度日本海洋学会秋季大会, 広島国際大学 呉キャンパス, 広島県呉市, 2008 年 9 月 24 日~28 日
9. 滝川哲太郎, 鬼塚剛, 福留研一, 尹宗煥, 杵雅利, 水谷壮太郎, 秦一浩, 下岡尚輔, 酒井健一, 仁井谷真, 小勝正貴, 島崎渉, 森本昭彦, 渡邊敦 (2008): 2007 年 11 月に対馬海峡東水道で観測された低気圧性渦. 2008 年度日本海洋学会秋季大会, 広島国際大学 呉キャンパス, 広島県呉市, 2008 年 9 月 24 日~28 日
10. 石川洋一, 淡路敏之 (2008): アンサンブルベースの 4 次元変分法. 2008 年度日本海洋学会秋季大会, 広島国際大学 呉キャンパス, 広島県呉市, 2008 年 9 月 24 日~28 日
11. Tripathy, S.C., J. Ishizaka, T. Saino, T. Fujiki, K. Okamura and T. Shibata (2008): Factors influencing carbon- and fluorescence-based primary productivity in Ariake Bay. 2008 年度日本海洋学会秋季大会, 広島国際大学 呉キャンパス, 広島県呉市, 2008 年 9 月 24 日~28 日
12. 鬼塚剛, 杵雅利, 小針統, 滝川哲太郎, 森本昭彦, 渡邊敦, 吉川裕, 柳哲雄, 水谷壮太郎, 秦一浩, 下岡尚輔, 酒井健一, 仁井谷真, 小勝正貴, 島崎渉 (2008): 対馬島陰の低気圧性渦周辺における栄養塩・プランクトン分布. 2008 年度日本海洋学会秋季大会, 広島国際大学 呉キャンパス, 広島県呉市, 2008 年 9 月 24 日~28 日, (poster)
13. Oishi, T., A. Tanaka, S. Yano, H. Ebata, Y. Takahashi, N. Kondo, H. Tan and R. Doerffer (2008): Development of simultaneous multi-wavelength excitation fluorometer. Ocean Optics XIX Conference, NASA, Barga, Italy, 6-10 October 2008, (poster)
14. Mizobata, K., K. Shimada, S.-I. Saitoh, T. Hirawake and M. Hori (2008): Japanese IPY activities in the western Arctic Ocean and the Bering Sea. PICES 17th Annual Meeting, Dalian, China, 23 October - 2 November 2008, (invited)
15. Okamoto, S., T. Hirawake and S.-I. Saitoh (2008): Interannual variability of the spring, column-integrated chlorophyll-*a* content in the Kuroshio Extension region. PICES 17th Annual Meeting, Dalian, China, 23 October - 2 November 2008
16. Saitoh, S.-I. and T. Hirawake (2008): Preliminary results from the Oshoro-Maru IPY cruises in summer 2007 and 2008. PICES 17th Annual Meeting, Dalian, China, 23 October

- 2 November 2008

17. Saitoh, S.-I., I.N. Radiarta, T. Hirawake, Y. Sakurai, M. Yabe, Y. Kamei and S. Takagi (2008): Change in the biodiversity of the demersal fish community in the northern Bering and Chukchi Seas. PICES 17th Annual Meeting, Dalian, China, 23 October - 2 November 2008
18. 兼田淳史, 小泉喜嗣, 高橋大介, 郭新宇, 武岡英隆 (2008): 下波湾における急潮・底入り潮による赤潮の消滅過程. 2008年度水産海洋学会研究発表大会, 東京大学 弥生講堂, 東京都文京区, 2008年11月11日~13日
19. Siswanto, E. and A. Morimoto (2008): Enhancements of phytoplankton chlorophyll and primary production in the upwelling region northeast of Taiwan following the episodic typhoon passage. PORSEC 2008, Guangzhou, China, 2-6 December 2008
20. Tripathy, S.C., J. Ishizaka, T. Saino, T. Fujiki, K. Okamura and T. Shibata (2008): Factors influencing carbon- and fluorescence-based primary productivity in Ariake Bay, southwestern Japan. PORSEC 2008, Guangzhou, China, 2-6 December 2008, (poster)
21. Leong, S.C.Y., T. Hosaka and T. Saino (2009): Diurnal and seasonal variability in the physiological characteristics and productivity of marine phytoplankton in Sagami Bay, Japan. ASLO Aquatic Sciences Meeting 2009, Nice, France, 25-30 January 2009, (poster)
22. Takikawa, T., G. Onitsuka, K. Fukudome, J.-H. Yoon, M. Moku, A. Morimoto and A. Watanabe (2009): Cyclonic eddy downstream of Tsushima Islands in November 2007. ASLO Aquatic Sciences Meeting 2009, Nice, France, 25-30 January 2009, (poster)

平成 21 年度

1. 岡本俊, 平譚享, 齊藤誠一, 五十嵐弘道, 杉浦望実, 石川洋一, 淡路敏之 (2009): 黒潮続流域における春季の水柱積算クロロフィル a 量と成層強度との関係. 2009年度日本海洋学会春季大会, 東京大学 本郷キャンパス, 東京都文京区, 2009年4月5日~9日
2. 石川洋一, 淡路敏之, 五十嵐弘道, 増田周平, 杉浦望美, 豊田隆寛, 佐々木祐二 (2009): 海洋物理再解析データの生態系モデルへのインパクト. 2009年度日本海洋学会春季大会, 東京大学 本郷キャンパス, 東京都文京区, 2009年4月5日~9日
3. 森本昭彦, 渡邊敦, 滝川哲太郎, 鬼塚剛, 杵雅利, 柳哲雄 (2009): 対馬海峡東水道を通過する物質量の経年変動. 2009年度日本海洋学会春季大会, 東京大学 本郷キャンパス, 東京都文京区, 2009年4月5日~9日
4. 島田照久, 大東忠保, 坪木和久, 広瀬直毅, 山本勝, 森本昭彦 (2009): 冬の対馬暖流上での気団変質. 2009年度日本海洋学会春季大会, 東京大学 本郷キャンパス, 東京都文京区, 2009年4月5日~9日
5. 柴田達也, 石坂丞二, S.C. Tripathy, 鈴木祥弘 (2009): 冬季有明海における成層状態の変化への微細藻類の色素応答. 2009年度日本海洋学会春季大会, 東京大学 本郷キャンパス, 東京都文京区, 2009年4月5日~9日
6. 藤原周, 平譚享, 鈴木光次, 齊藤誠一 (2009): チャクチ海およびベーリング海陸棚域における光学特性を利用した植物プランクトンサイズ組成の推定. 2009年度日本海洋学会春季大会, 東京大学 本郷キャンパス, 東京都文京区, 2009年4月5日~9日
7. 松本慧太郎, 齊藤誠一, 平譚享 (2009): チャクチ海東部における植物プランクトンブルームの経年変動. 2009年度日本海洋学会春季大会, 東京大学 本郷キャンパス, 東京都文京区, 2009年4月5日~9日
8. 近藤直樹, 平譚享, 齊藤誠一 (2009): 南大洋における光学特性を利用した植物プラ

- ンクトングループの識別. 2009 年度日本海洋学会春季大会, 東京大学 本郷キャンパス, 東京都文京区, 2009 年 4 月 5 日～9 日
9. 香川奈緒子, 平譚享, 笠松伸江, 齊藤誠一 (2009): 南大洋における植物プランクトングループ組成を用いた Dimethylsulphoniopropionate (DMSP) 濃度分布推定. 2009 年度日本海洋学会春季大会, 東京大学 本郷キャンパス, 東京都文京区, 2009 年 4 月 5 日～9 日
 10. 高橋大介, 森本昭彦, 中村哲也, 保坂拓志, V.H. Dang, 才野敏郎 (2009): 黒潮の非大蛇行離岸流路期における相模湾中央部の流速変動. 2009 年度日本海洋学会春季大会, 東京大学 本郷キャンパス, 東京都文京区, 2009 年 4 月 5 日～9 日
 11. Siswanto, E. and A. Morimoto (2009): Enhancement of primary production in the upwelling region northeast of Taiwan following the episodic typhoon passage. 2009 年度日本海洋学会春季大会, 東京大学 本郷キャンパス, 東京都文京区, 2009 年 4 月 5 日～9 日, (poster)
 12. Morimoto, A., A. Watanabe, T. Takikawa, G. Onitsuka, M. Moku and T. Yanagi (2009): Interannual variation in material transports through the eastern channel of the Tsushima/Korea Straits. 15th PAMS Meeting, Busan, Korea, 23-25 April 2009
 13. Takahashi, D., A. Morimoto, T. Nakamura, T. Hosaka, V.H. Dang and T. Saino (2009): Short-term periodic appearance of cold deeper water in subsurface layer of Sagami Bay, Japan. 15th PAMS Meeting, Busan, Korea, 23-25 April 2009, (poster)
 14. Takikawa T., G. Onitsuka, K. Fukudome, J.-H. Yoon, M. Moku, A. Morimoto and A. Watanabe (2009): Counterclockwise eddy downstream of Tsushima Islands estimated from hydrographic and ferryboat ADCP data. 15th PAMS Meeting, Busan, Korea, 23-25 April 2009, (poster)
 15. 阿部理, 小嶋稔, 山田明憲 (2009): 酸素分子が電子衝撃によってイオン化されるときに生じる質量非依存同位体効果. 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 幕張メッセ国際会議場, 千葉県千葉市, 2009 年 5 月 16～21 日
 16. Fujiwara, A., T. Hirawake, K. Suzuki and S.-I. Saitoh (2009): Development of an empirical model to estimate phytoplankton size structure using in-water optical properties in the Chukchi and Bering shelf region. 3rd GLOBEC Open Science Meeting, Victoria, Canada, 22-26 June 2009, (poster)
 17. Abe, O., M. Ozima and A. Yamada (2009): Mass independent isotope fractionation of molecular oxygen during electron ionization. Met Soc 2009, Nancy, France, 13-18 July 2009
 18. Ono, J., D. Takahashi, X. Guo, S. Takahashi and H. Takeoka (2009): Development of a three-dimensional model of persistent organic pollutant in the East China Sea. 2nd Joint Forum of Environmental Sciences 2009, Yeosu, Korea, July 2009
 19. Abe, O., V.V.S.S. Sarma, A. Watanabe, Y. Matsui, N. Yoshida and T. Saino (2009): Partitioning atmospheric and photosynthetic oxygen inventory using three-isotope of dissolved oxygen. AOGS 6th Annual General Meeting, Singapore, 11-15 August 2009, (invited)
 20. 森本昭彦, 市川香, 高橋大介, 佐竹誠, 児島正一郎 (2009): 遠距離海洋レーダの流速推定方法の改良. 2009 年度日本海洋学会秋季大会, 京都大学 吉田キャンパス, 京都市左京区, 2009 年 9 月 25 日～29 日
 21. 高橋大介, 森本昭彦, 郭新宇, 佐竹誠, 児島正一郎 (2009): 台湾北東部の黒潮の季節変動. 2009 年度日本海洋学会秋季大会, 京都大学 吉田キャンパス, 京都市左京区, 2009 年 9 月 25 日～29 日
 22. 後藤暁, 森本昭彦, 千手智晴, 鬼塚剛, 滝川哲太郎, 渡邊敦, 杵雅利 (2009): 対馬暖

- 流による栄養塩の輸送量とその経年変動. 2009 年度日本海洋学会秋季大会, 京都大学 吉田キャンパス, 京都市左京区, 2009 年 9 月 25 日~29 日
23. 小野純, 高橋大介, 郭新宇, 高橋真, 武岡英隆 (2009): 東シナ海における残留性有機汚染物質の三次元輸送モデルの開発. 2009 年度日本海洋学会秋季大会, 京都大学 吉田キャンパス, 京都市左京区, 2009 年 9 月 25 日~29 日
 24. 石坂丞二, 山口寿史, S.C. Tripathy, 牧野高志, 松野健, 遠藤貴洋 (2009): 2008 年夏季の長江プルームでの一次生産の短期変動. 2009 年度日本海洋学会秋季大会, 京都大学 吉田キャンパス, 京都市左京区, 2009 年 9 月 25 日~29 日
 25. 兼田淳史, 小泉喜嗣, 福森香代子, 高橋大介, 郭新宇, 武岡英隆 (2009): 宇和海・下波湾における混合期の流れと懸濁物輸送. 2009 年度日本海洋学会秋季大会, 京都大学 吉田キャンパス, 京都市左京区, 2009 年 9 月 25 日~29 日, (poster)
 26. 三野義尚, 鋤柄千穂, 渡邊敦, 保坂拓志, 高橋大介, 森本昭彦, 才野敏郎 (2009): 相模湾における粒子状有機炭素フラックスと表層 fCO₂ の季節変化. 2009 年度日本海洋学会秋季大会, 京都大学 吉田キャンパス, 京都市左京区, 2009 年 9 月 25 日~29 日, (poster)
 27. 山口寿史, Y.B. Son, E. Siswanto, 石坂丞二, S. Yoo, Y.-H. Ahn, S.-W. Kim, J. Tang, 川村宏, 清本容子 (2009): 東シナ海における懸濁物に応じた衛星クロロフィル *a* アルゴリズムの開発と検証. 2009 年度日本海洋学会秋季大会, 京都大学 吉田キャンパス, 京都市左京区, 2009 年 9 月 25 日~29 日, (poster)
 28. 柴田達矢, 石坂丞二, S.C. Tripathy, 堤英輔, 松野健, 才野敏郎 (2009): 冬季の有明海における表層混合状態の変化への植物プランクトンの応答. 2009 年度日本海洋学会秋季大会, 京都大学 吉田キャンパス, 京都市左京区, 2009 年 9 月 25 日~29 日, (poster)
 29. 佐々木宏明, E. Siswanto, 五味泰史, 西内耕, 清本容子, 岡村和麿, 長谷川徹, 石坂丞二 (2009): 春-夏季東シナ海における低塩分水とエチゼンクラゲ分布の把握. 2009 年度日本海洋学会秋季大会, 京都大学 吉田キャンパス, 京都市左京区, 2009 年 9 月 25 日~29 日, (poster)
 30. Siswanto, E., J. Tang, Y.-H. Ahn, J. Ishizaka, S. Yoo, S.-W. Kim, Y. Kiyomoto, K. Yamada and H. Kawamura (2009): Toward development of local ocean color algorithms for the Yellow and East China Seas. 2009 年度日本海洋学会秋季大会, 京都大学 吉田キャンパス, 京都市左京区, 2009 年 9 月 25 日~29 日, (poster)
 31. Nishikawa, J., N.T. Thu, F.Md. Yusoff, D.J. Lindsay, Mulyadi, N. Mujiono, S. Ohtsuka and S. Nishida (2009): 東南アジア, 特にベトナム, インドネシア, マレーシアにおけるクラゲ漁業. 2009 年度日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会, 北海道大学 水産学部, 北海道函館市, 2009 年 10 月 16 日~18 日, (poster)
 32. Ishizaka, J., H. Yamaguchi, S.C. Tripathy, T. Makino, T. Matsuno and T. Endoh (2009): "Short Term Variability of Primary Production in the Changjiang River Plume in the East China Sea Observed in Summer 2008." PICES-2009 Annual Meeting, Jeju, Korea, 23 October - 1 November 2009
 33. Fujiki, T., K. Matsumoto, S. Watanabe, T. Hosaka and T. Saino (2009): Time-series observation of phytoplankton productivity in the western subarctic gyre of the North Pacific. PICES-2009 Annual Meeting, Jeju, Korea, 23 October - 1 November 2009, (poster)
 34. 石坂丞二, 山口寿史, S.C. Tripathy, 牧野高志, 松野健, 遠藤貴洋 (2009): 2008 年夏季の長江プルームでの一次生産の短期変動. 2009 年度水産海洋学会研究発表大会, 長崎大学 坂本キャンパス, 長崎県長崎市, 2009 年 11 月 17 日~19 日, (poster)
 35. 柴田達矢, 石坂丞二, S.C. Tripathy, 堤英輔, 松野健, 才野敏郎 (2009): 冬季の有明海

- における表層混合状態の変化への植物プランクトンの応答. 2009 年度水産海洋学会研究発表大会, 長崎大学 坂本キャンパス, 長崎県長崎市, 2009 年 11 月 17 日~19 日, (poster)
36. Lindsay, D.J., 吉田弘, 石橋正二郎, 砂原圭佐, 渡口響子, 西川淳, 西田周平 (2009): ゼラチン質動物プランクトンとマリンスノー: 画像解析と計測の最先端. 海洋理工学会平成 21 年度秋季大会, 京都大学 国際交流ホール, 京都市左京区, 2009 年 11 月 19 日~20 日, (invited)
 37. 伊藤雅, 森本昭彦, 渡邊達郎, 加藤修 (2010): 日本海南西部における対馬暖流の流路変動. 2010 年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学 品川キャンパス, 東京都港区, 3 月 26 日~3 月 30 日
 38. 相木秀則, 吉岡真由美, 森本昭彦, 坪木和久, 榊原篤志 (2010): 台風通過に伴う湧昇・内部重力波・大気海洋相互作用. 2010 年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学 品川キャンパス, 東京都港区, 3 月 26 日~3 月 30 日
 39. 高橋大介, 森本昭彦, 郭新宇, 佐竹誠, 児島正一郎, 杉谷茂夫 (2010): 台湾北東部の黒潮の季節変動 II. 2010 年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学 品川キャンパス, 東京都港区, 3 月 26 日~3 月 30 日
 40. 滝川哲太郎, 森本昭彦, 鬼塚剛, 高橋大介, 杵雅利, 水谷壮太郎, 秦一浩, 下岡尚輔, 浅野吉史, 仁井谷真, 秋江四朗 (2010): 山陰沖対馬暖流フロント域における陸棚一沖合間の中層小規模構造. 2010 年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学 品川キャンパス, 東京都港区, 3 月 26 日~3 月 30 日, (poster)

② その他

国内 53 件, 海外 51 件

平成 16 年度

1. Saino, T. (2005): Project on Ocean Productivity Profiling System: An Overview. US National Oceanographic Partnership Program Ocean Ecogenomics Workshop, Washington, DC, USA, 7-8 March, 2005

平成 17 年度

1. Saino, T., T. Ishimaru and the POPPS Team (2005): Ocean Primary Productivity Profiling System Using An Underwater Winch System. Seminar, George Deacon Division of National Oceanography Center at Southampton, Southampton, UK, 6-10 June 2005, (poster)
2. Hashimoto, S. and T. Saino (2005): Algal and community respiration and gross primary production in the Sagami Bay, Japan. Workshop on Respiration and Planktonic Food Webs, Vigo, Spain, 13-16 June 2005, (poster)

平成 18 年度

1. 森本昭彦, 才野敏郎, 保坂拓志 (2006): 相模湾における自動昇降ブイテストと断面観測. 2006 年度第 1 回大気海洋相互作用研究会, 東海大学 山中湖セミナーハウス, 山梨県南都留郡, 2006 年 6 月 23 日~25 日
2. Goes, J.I., H.R. Gomes, T. Saino, S.W.A. Naqvi, J. Bisagni and A. Gangopadhyay (2006): Climate Controls on Carbon Export in Ocean Basins of the Northern Hemisphere as Viewed from Space. Ocean Carbon and Biogeochemistry Workshop 2008, Massachusetts, USA, 10-13 July 2006, (poster)

3. 笹岡晃征, 齊藤誠一 (2006): 衛星から見た亜寒帯北太平洋における植物プランクトン及び基礎生産の時空間分布. 東京大学海洋研究所国際沿岸海洋研究センター研究集会「オホーツク海の変動とその親潮海域への影響」, 東京大学海洋研究所 国際沿岸海洋研究センター, 岩手県上閉伊郡, 2006年8月20日~22日
4. Ishikawa, Y., T. Toyoda, T. Awaji, T. In, T. Nakamura and S. Shima (2006): Forecasting of oceanic meso-scale variability in Northwestern Pacific using high-resolution 4D-VAR assimilation system. CREAMS/PICES International Workshop on Model/Data Inter-comparison for the Japan/East Sea, Busan, Korea, 21-22 August 2006, (invited)
5. 才野敏郎 (2006): 物質循環研究とデータ同化. 第11回データ同化夏の学校, 海洋研究開発機構 むつ研究所, 青森県むつ市, 2006年8月26日~29日
6. 才野敏郎 (2006): 自動昇降式海洋基礎生産プロファイラーの開発. 「海學問」白鳳丸・淡青丸研究成果発表会, 日本科学未来館, 東京都江東区, 2006年9月8日~9日
7. 藤木徹一 (2006): クロロフィル蛍光を利用した基礎生産の計測. 2006年度日本海洋学会秋季大会 沿岸海洋シンポジウム「沿岸海域の基礎生産研究の新しい展開」, 名古屋大学 環境総合館, 愛知県名古屋市, 2006年9月25日
8. 古谷研 (2006): 養殖海域における基礎生産モニタリング. 2006年度日本海洋学会秋季大会 沿岸海洋シンポジウム「沿岸海域の基礎生産研究の新しい展開」, 名古屋大学 環境総合館, 愛知県名古屋市, 2006年9月25日
9. 才野敏郎 (2006): 自動昇降式ブイシステムによる海洋基礎生産モニタリング. 2006年度日本海洋学会秋季大会 沿岸海洋シンポジウム「沿岸海域の基礎生産研究の新しい展開」, 名古屋大学 環境総合館, 愛知県名古屋市, 2006年9月25日
10. 石坂丞二 (2006): 沿岸域の衛星基礎生産アルゴリズム. 2006年度日本海洋学会秋季大会 沿岸海洋シンポジウム「沿岸海域の基礎生産研究の新しい展開」, 名古屋大学 環境総合館, 愛知県名古屋市, 2006年9月25日
11. 鋤柄千穂, 才野敏郎 (2006): 東京湾から外洋への粒子状物質輸送のモニタリング. 2006年度日本海洋学会秋季大会 沿岸海洋シンポジウム「沿岸海域の基礎生産研究の新しい展開」, 名古屋大学 環境総合館, 愛知県名古屋市, 2006年9月25日
12. Sarma, V.V.S.S. (2006): Net Community Production in the northern Indian Ocean. Workshop on Sustained Indian Ocean Biogeochemical and Ecological Research (SIBER). Goa, India, 3-6 October 2006
13. Saino, T. (2006): A Real Time Ocean Primary Productivity Profiling System. Workshop on Sustained Indian Ocean Biogeochemical and Ecological Research (SIBER). Goa, India, 3-6 October 2006, (poster)
14. Saitoh, S.-I., T. Iida, S. Okamoto, T. Rho and T. Hirawake (2006): Temporal and spatial variability of primary production in the Sub-arctic North Pacific using satellite multi sensor remote sensing. BIO/POC Workshop on PICES 15th Annual Meeting, Yokohama, Japan, 12 October 2006, (invited)
15. Ishikawa, Y. and T. Awaji (2006): Application of adjoint sensitivity analysis with a high-resolution model in the Western North Pacific. GODAE Symposium on Ocean Data Assimilation and Prediction in Asia-Oceania, Beijing, China, 16-18 October 2006, (invited)
16. 笹岡晃征 (2006): 北太平洋における衛星を用いた海洋生態系の時空間分布変動解析. 第19回海洋物質循環セミナー, 苫小牧アルテン, 北海道苫小牧市, 2006年11月17日~19日
17. Saino, T. (2006): Ocean productivity monitoring using remote sensing. Advanced Training Workshop on Southeast Asia Regional Carbon and Water Issues, Chung-Li and Kaohsiung, Taiwan, 14-25 November 2006

18. Saitoh, S.-I. (2006): Application of marine - GIS for visualization of the long - term fisheries and oceanographic dataset HUFO - DAT. 3rd International Workshop for GODAR-WESTPAC, Tokyo, Japan, 4-6 December 2006
19. 森本昭彦, 滝川哲太郎, 鬼塚剛, 渡邊敦 (2006): 対馬海峡東水道を通過する物質フラックス観測. ワークショップ「東アジア海洋・大気環境激変の監視と予測」, 東京虎の門パストラル, 東京都港区, 2006年12月11日~12日
20. 高橋大介, 郭新宇, 森本昭彦 (2006): 台湾北東部における表層流の収束・発散と湧昇の関係. 九州大学応用力学研究所共同研究集会「海洋レーダーに関する研究集会」, 九州大学応用力学研究所, 福岡県春日市, 2006年12月20日~21日
21. 滝川哲太郎, 酒井健一, 福留研一, 森本昭彦, 鬼塚剛, 渡邊敦, 尹宗煥, 鎌野忠, 秦一浩, 富賀見清彦 (2006): 対馬海峡フェリー航路における航走 ADCP 観測. 九州大学応用力学研究所共同研究集会「日本海沿岸域における海況モニタリングと波浪計測に関する研究集会」, 九州大学応用力学研究所, 福岡県春日市, 2006年12月21日~22日
22. 渡邊敦, 森本昭彦, 滝川哲太郎, 鬼塚剛, 才野敏郎 (2006): 表層水温, クロロフィル a , 塩分の気候値を用いた東シナ海-日本海陸棚域の pCO_2 分布推定. 九州大学応用力学研究所共同研究集会「日本海沿岸域における海況モニタリングと波浪計測に関する研究集会」, 九州大学応用力学研究所, 福岡県春日市, 2006年12月21日~22日
23. Morimoto, A. (2007): Sea surface current in the Japan Sea evaluated from Altimetry data and ARGOS drifters. JSPS Multilateral Cooperative Research Program "Coastal Oceanography" Project-1 Workshop, Ko Si Chang, Thailand, 8-9 February 2007
24. Mino, Y. and T. Saino (2007): Primary productivity in the upper gulf of Thailand. JSPS Multilateral Cooperative Research Program "Coastal Oceanography" Project-1 Workshop, Ko Si Chang, Thailand, 8-9 February 2007
25. Awaji, T., N. Sugiura, S. Masuda, T. Mochizuki, H. Igarashi and T. Toyoda (2007): Four-dimensional variational coupled data assimilation experiment. IEEE GEOSS Workshop-GEOSS Science: Concepts to Impacts I, Canberra, Australia, 8-9 March 2007, (invited)
26. 渡慶次亮子, 市川香, 児島正一郎, 森本昭彦 (2007): 遠距離海洋レーダと衛星海面高度計による黒潮上流域の流況変動観測. 沖縄亜熱帯域における雲・降水システムと大気境界層, 海洋表層の観測的研究に関する共同研究集会, 情報通信研究機構本部, 東京都小金井市, 2007年3月8日~9日
27. 高橋大介, 郭新宇, 森本昭彦 (2007): 台湾北東部における黒潮流軸の変動と表層流の収束・発散. 沖縄亜熱帯域における雲・降水システムと大気境界層, 海洋表層の観測的研究に関する共同研究集会, 情報通信研究機構本部, 東京都小金井市, 2007年3月8日~9日
28. 滝川哲太郎, 竹内謙介, 榎本剛志, 森本昭彦 (2007): 台湾北東海域における黒潮流軸と渦の変動特性. 沖縄亜熱帯域における雲・降水システムと大気境界層, 海洋表層の観測的研究に関する共同研究集会, 情報通信研究機構本部, 東京都小金井市, 2007年3月8日~9日
29. 長尾正之, 橋本英資, 高杉由夫, 児島正一郎, 佐藤健治, 森本昭彦, 鈴木淳, 澁野拓郎 (2007): 琉球列島石垣島周辺における表層近傍の混合現象に関する観測的研究. 沖縄亜熱帯域における雲・降水システムと大気境界層, 海洋表層の観測的研究に関する共同研究集会, 情報通信研究機構本部, 東京都小金井市, 2007年3月8日~9日

平成 19 年度

1. Murata, A., H. Takatsuji, S.C.Y. Leong and S. Taguchi (2007): Nutrient ratio may have determined bloom characteristics of *Alexandrium tamarense* in Kure Bay, Hiroshima, during the period from 1993 to 2002. 10th Canadian Workshop on Harmful Algae, Quebec, Canada, 9-11 May 2007
2. Watanabe, A., A. Morimoto, T. Takikawa, G. Onitsuka and T. Saino (2007): pCO₂ distributions in the East China Sea-Japan Sea shelf estimated from climatological sea surface temperature, chlorophyll *a* and salinity. 14th PAMS/JECSS Workshop, Higashi-Hiroshima, Japan, 23-26 May 2007
3. Awaji, T., N. Sugiura, S. Masuda, H. Igarashi, T. Toyoda and Y. Ishikawa (2007): Four-dimensional variational coupled data assimilation experiment. 1st GODAE - IMBER Meeting, Paris, France, 12-13 June 2007, (invited)
4. 石川洋一, 淡路敏之, 木内保太, 里村雄彦 (2007): 熱帯積雲活動の海面水温依存性と海洋混合層変動との相互作用. 第 9 回非静力学モデルに関するワークショップ, 京都大学 理学部, 京都府京都市, 2007 年 9 月 13 日~14 日
5. Abe, O., V.V.S.S. Sarma and T. Saino (2007): Estimation of Gross Productivity or Air-Water Gas Transfer Velocity Using Three-Isotope of Dissolved Oxygen. 北海道大学 21 世紀 COE プログラム「新・自然史科学創成」国際シンポジウム 2007 "The Origin and Evolution of Natural Diversity", 北海道大学 学術交流会館, 北海道札幌市, 2007 年 9 月 26 日~30 日, (invited)
6. Ishikawa, Y., T. Awaji, T. In, T. Nakayama, Y. Matsuura and S. Shima (2007): Assessing the validity of GODAE products in coastal and shelf seas. 2007 GODAE Coastal and Shelf Seas Workshop, Liverpool, UK, 10-11 October 2007, (invited)
7. Ishikawa, Y., T. Awaji, Y. Kiuchi and T. Satomura (2007): Dependency of the Tropical Convective Clouds on the Sea Surface Temperature Simulated by a High-Resolution Coupled Model. 7th International SRNWP-Workshop on Non-Hydrostatic Modelling, Bad Orb, Germany, 5-7 November 2007, (invited)
8. 淡路敏之, 五十嵐弘道, 豊田隆寛, 増田周平, 杉浦望実, 佐々木祐二, 一井太郎, 秋山秀樹, 畠山清 (2007): 海洋環境の把握技術と水産資源変動解析に果たす役割. 水産海洋学会 2007 年度研究発表大会シンポジウム—広域性水産資源と海洋環境の関係解明をめぐる課題と展望—, 静岡県産業経済会館, 静岡県静岡市, 2007 年 11 月 22 日
9. Saino, T. (2008): Monitoring of the Ocean Ecosystem and Biogeochemical Cycles Dynamics. Canadian Institute for Advanced Research-Oceans Workshop, Vancouver, Canada, 2 February 2008, (invited)
10. Saino, T. (2008): Advances in Autonomous Biogeochemical Observations in the Coastal Ocean. International Symposium on Advances in Hydrological & Oceanic Sciences, Jhongli, Taiwan, 10 March 2008, (invited)

平成 20 年度

1. Ono, T., A. Shiimoto and T. Saino (2008): Recent decrease of summer time nutrients in the mixed layer of North Pacific HNLC region. International Symposium on the Effects of Climate Change on the World's Oceans, Gijón, Spain, 19-23 May 2008
2. Sasaoka, K., S. Chiba and T. Saino (2008): Recent trends in the North Pacific chlorophyll and their controlling factor in relation to climatic forcing using satellite remote sensing. International Symposium on the Effects of Climate Change on the World's Oceans, Gijón, Spain, 19-23 May 2008, (poster)
3. Kaneda, A., A. Morimoto, M. Kuwae, A. Yamashita and H. Takeoka (2008): Relationship between the Kuroshio variation and the year-to-year variation in the intensity of Kyucho

- and bottom intrusion. 7th IOC/WESTPAC International Scientific Symposium, Kota Kinabalu, Malaysia, 21-25 May 2008
4. Morimoto, A. (2008): Evaluation of tidal error in altimetry data in the Asian Marginal Seas. 7th IOC/WESTPAC International Scientific Symposium, Kota Kinabalu, Malaysia, 21-25 May 2008
 5. 森本昭彦, 滝川哲太郎, 鬼塚剛, 渡邊敦, 李雅利 (2008): 対馬海峡東水道を通過する物質量の推定. RIAM フォーラム 2008, 九州大学筑紫地区 総合研究棟, 福岡県春日市, 2008年6月6日, (poster)
 6. 江端弘樹, 矢野晋太郎, 高橋洋平, 近藤尚武, 田中昭彦, 佐藤義夫, 大石友彦 (2008): 多波長同時照射法を用いた蛍光光度計の可能性. 第7回日本応用藻類学研究会春季シンポジウム, 東京海洋大学 楽水会館, 東京都港区, 2008年6月21日
 7. 江端弘樹, 田中昭彦, 高橋洋平, 矢野晋太郎, 近藤尚武, 佐藤義夫, 大石友彦 (2008): 多波長同時照射法を用いた測器の開発. 第7回日本応用藻類学研究会春季シンポジウム, 東京海洋大学 楽水会館, 東京都港区, 2008年6月21日, (poster)
 8. 高橋洋平, 丹佑之, 田中昭彦, 江端弘樹, 大石友彦, R. Doerffer (2008): 植物プランクトンの光学的特性. 第7回日本応用藻類学研究会春季シンポジウム, 東京海洋大学 楽水会館, 東京都港区, 2008年6月21日, (poster)
 9. 横山由香, 大石友彦, 佐藤義夫, 江端弘樹 (2008): 発光ダイオードを用いた貧酸素水塊の解消に関する研究. 第7回海環境と生物および沿岸環境修復技術に関するシンポジウム, 北海道大学 クラーク会館, 北海道札幌市, 2008年7月16日~17日
 10. Saitoh, S.-I. and T. Hirawake (2008): Preliminary results from the Oshoro-Marui IPY cruises in summer 2007 and 2008. 1st International Symposium on the Arctic Research, Tokyo, Japan, 4-6 November 2008
 11. Saitoh, S.-I., I.N. Radiarta, T. Hirawake, Y. Sakurai, M. Yabe, Y. Kamei and S. Takagi (2008): Change in the biodiversity of the demersal fish community in the northern Bering and Chukchi Seas. 1st International Symposium on the Arctic Research, Tokyo, Japan, 4-6 November 2008
 12. Masuda, S., T. Awaji, N. Sugiura, T. Toyoda, H. Igarashi, Y. Sasaki, T. Kawano and M. Fukasawa (2008): Deep ocean reanalysis experiment by using a 4D-VAR adjoint method. Final GODAE Symposium 2008, Nice, France, 12-15 November 2008, (poster)
 13. Ishikawa, Y., T. Awaji, H. Igarashi, S. Masuda, N. Sugiura, T. Toyoda, Y. Sasaki (2008): Impact of 4D-VAR assimilation products on bio-geochemical simulation. Final GODAE Symposium 2008, Nice, France, 12-15 November 2008, (poster)
 14. Takao, S., T. Hirawake, S.-I. Saitoh, N. Horimoto, T. Ishimaru and Y. Yamaguchi (2008): Primary productivity derived from phytoplankton absorption coefficient in the Southern Ocean. 極域気水圏・生物圏合同シンポジウム 2008, 国立極地研究所, 東京都板橋区, 2008年12月2日~5日
 15. Hirawake, T., A. Fujiwara, K. Matsumoto, S.-I. Saitoh, M. Kaeriyama and M. Yabe (2008): Preliminary results from the IPY cruise of T/V Oshoro Maru in Bering and Chukchi Seas. 極域気水圏・生物圏合同シンポジウム 2008, 国立極地研究所, 東京都板橋区, 2008年12月2日~5日, (poster)
 16. Kondo, N., T. Hirawake and S.-I. Saitoh (2008): Discrimination of phytoplankton functional group using spectral shape of absorption coefficient in the Southern Ocean. 極域気水圏・生物圏合同シンポジウム 2008, 国立極地研究所, 東京都板橋区, 2008年12月2日~5日, (poster)
 17. 高橋大介, 郭新宇, 森本昭彦 (2008): 台湾北東部における 11-14 日周期の黒潮流軸変動. 九州大学応用力学研究所研究集会「海洋短波レーダによる日本沿岸海況監視

- システムの開発」, 九州大学応用力学研究所, 福岡県春日市, 2008年12月17日~18日
18. 島田照久, 大東忠保, 坪木和久, 広瀬直毅, 山本勝, 森本昭彦 (2008): 東北地方に吹き込む冬季季節風の変遷過程. 九州大学応用力学研究所共同利用研究集会「日本海沿岸域における海況モニタリングと波浪計測に関する研究集会」, 九州大学応用力学研究所, 福岡県春日市, 2008年12月18日~19日
 19. 滝川哲太郎, 鬼塚剛, 福留研一, 尹宗煥, 李雅利, 森本昭彦, 渡邊敦 (2008): 対馬海峡東水道における低気圧性渦一現場海洋観測とフェリーADCPモニタリング結果から一. 九州大学応用力学研究所共同利用研究集会「日本海沿岸域における海況モニタリングと波浪計測に関する研究集会」, 九州大学応用力学研究所, 福岡県春日市, 2008年12月18日~19日
 20. 高橋大介, 郭新宇, 森本昭彦 (2009): 台湾北東部陸棚斜面上における11-14日周期の黒潮流軸変動. 「沖縄の気象・気候・海象の観測的研究」に関する共同研究集会, 情報通信研究機構 本部, 東京都小金井市, 2009年2月18日~19日
 21. 滝川哲太郎, 竹内謙介, 加藤耕大, 榎本剛志, 寺部瞬, 森本昭彦 (2009): 台湾北東海域における黒潮流軸と表層クロロフィル *a* 分布. 「沖縄の気象・気候・海象の観測的研究」に関する共同研究集会, 情報通信研究機構 本部, 東京都小金井市, 2009年2月18日~19日
 22. 森本昭彦, 市川香, 佐竹誠, 児島正一郎 (2009): 海面流速場推定アルゴリズムの改良. 「沖縄の気象・気候・海象の観測的研究」に関する共同研究集会, 情報通信研究機構 本部, 東京都小金井市, 2009年2月18日~19日
 23. Awaji, T., S. Masuda, N. Sugiura, T. Toyoda, H. Igarashi, Y. Ishikawa and Y. Sasaki (2009): K7 Ocean Reanalysis Experiment by Using a 4D-VAR Data Assimilation System. International Workshop on the North Pacific Ocean Observation Strategy for Carbon Cycle and Climate Change, Tokyo, Japan, 2-4 March 2009, (invited)

平成21年度

1. Lindsay, D.J., V. Fuentes, R. Hopcroft, R. Toda and A.G. Collins (2009): Frozen Jelly in the Blender: ubiquitous species, endemic species, and community segregation in the gelatinous plankton community of Eastern Antarctica. Census of Antarctic Marine Life: diversity and change in Southern Ocean ecosystems, CAML Final Symposium, Genoa, Italy, 17-20 May 2009, (invited)
2. Ono, J., D. Takahashi, X. Guo, S. Takahashi and H. Takeoka (2009): Development of a mathematical model for 3D-dynamics of persistent organic pollutant in the East China Sea. 18th Symposium on Environmental Chemistry, Tsukuba, Japan, 9-11 June 2009
3. Hirawake, T. (2009): Optical discrimination of phytoplankton groups to derive dimethylsulfoniopropionate (DMSP) concentration in the Southern Ocean. 16th International Symposium on Polar Sciences (Polar Exploration with ARAON), Incheon, Korea, 10-12 June 2009, (invited)
4. 森本昭彦 (2009): 長江と黄海・東シナ海・日本海の海洋環境. 平成21年度名古屋大学地球水循環研究センター共同研究「急激に変化する中国・長江流域の人間活動と自然の相互作用」第1回研究集会, 名古屋大学, 愛知県名古屋市, 2009年6月23日
5. Takao, S., T. Hirawake, S.-I. Saitoh, N. Horimoto, T. Ishimaru and Y. Yamaguchi (2009): Variation of primary productivity from ocean color data in the Southern Ocean, during austral summer. Xth SCAR International Biology Symposium, Sapporo, Japan, 26-31 July 2009, (poster)
6. Kagawa, N., T. Hirawake, N. Kasamatsu and S.-I. Saitoh (2009): Relationship between Dimethylsulphoniopropionate (DMSP) concentration and chlorophyll *a* concentration of

- different phytoplankton functional types in the Southern Ocean. Xth SCAR International Biology Symposium, Sapporo, Japan, 26-31 July 2009, (poster)
7. Iida, T., N. Kasamatsu, M. Fukuchi and T. Hirawake (2009): Long term variability of chl-*a* and nutrient concentrations in the Southern Ocean using JARE monitoring datasets. Xth SCAR International Biology Symposium, Sapporo, Japan, 26-31 July 2009, (poster)
 8. Honda, M., M. Ichinomiya, K. Saito, H. Shimoda, A. S. Otsuki, T. Hirawake, S. Kudo, T. Odate, K. Watanabe and M. Fukuchi (2009): Numerical analysis of relationship between primary production under the fast ice and sea ice thickness near Syowa Station. Xth SCAR International Biology Symposium, Sapporo, Japan, 26-31 July 2009, (poster)
 9. Hirawake, T., N. Kondo and S.-I. Saitoh (2009): Discrimination of phytoplankton functional type (PFT) using spectral shape of optical properties in the Southern Ocean. Xth SCAR International Biology Symposium, Sapporo, Japan, 26-31 July 2009
 10. 森本昭彦, E. Siswanto, 児島正一郎, S. Jan, 高橋大介 (2009): 台風通過に伴う黒潮流軸の移動と基礎生産の増加. 第 1 回 NICT-HyARC 共同研究報告会, 名古屋大学 HyARC2 階会議室, NICT 小金井 6 号館 4 階会議室, NICT 沖縄マルチメディア会議室の 3 点で TV 会議, 2009 年 7 月 27 日
 11. Lindsay, D.J. (2009): パネルディスカッション. 海洋研究開発機構「地球環境シリーズ」講演会(第 6 回)「海洋酸性化～生態系への影響～」, 国際連合大学 ウ・タント国際会議場, 東京都渋谷区, 2009 年 8 月 6 日
 12. Ono, J., D. Takahashi, X. Guo, S. Takahashi and H. Takeoka (2009): Development of a mathematical model for 3D-dynamics of persistent organic pollutant in the East China Sea. 29th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants, Beijing, China, 23-28 August 2009
 13. Morimoto, A. (2009): Sea surface currents variation off Vietnamese coast. NRCT-JSPS Marine Science Seminar, Project Grop 1: Material Transport in the Coastal Sea of the Southeast Asia, Sichang Island, Thailand, 26-27 August 2009
 14. 森本昭彦, 磯田豊, 鬼塚剛, 滝川哲太郎, 渡邊敦, 森脇晋平 (2009): 日本海南西部の対馬暖流の流路と水塊特性. 北海道大学低温科学研究所研究集会「宗谷暖流を始めとした対馬暖流系の変動メカニズム」, 北海道大学 低温科学研究所, 北海道札幌市, 2009 年 9 月 3 日
 15. 滝川哲太郎, 鬼塚剛, 福留研一, 尹宗煥, 森本昭彦 (2009): 対馬東部における反時計回り渦の時空間変動. 北海道大学低温科学研究所研究集会「宗谷暖流を始めとした対馬暖流系の変動メカニズム」, 北海道大学 低温科学研究所, 北海道札幌市, 2009 年 9 月 3 日
 16. Morimoto, A. (2009): Evaluation of Tidal Error in Altimetry Data in the Asian Marginal Seas. 3rd Coastal Altimetry Workshop, Frascati, Italy, 17-18 September 2009, (poster)
 17. Lindsay, D.J. (2009): The Visual Plankton Recorder (VPR) as a tool for assessing planktonic community structure and ecosystem function. Workshop on Continuous Plankton Recorder survey and long-term observations of the plankton ecosystems in the North Pacific, Yokohama, Japan, 30 September - 1 October 2009
 18. Ishikawa, Y., T. Awaji, H. Igarashi, S. Masuda, N. Sugiura, T. Toyoda and Y. Sasaki (2009): Impact of 4D-var assimilation products on bio-geochemical simulation. 5th WMO Symposium on Data Assimilation, Melbourne, Australia, 5-9 October 2009
 19. Lindsay, D.J. (2009): 浮遊生物種多様性とその生態機能を地球規模に調査するシステムの開発. MTS International Award 受賞記念特別講演会, 生命圏領域セミナー, 海洋研究開発機構 横須賀本部, 神奈川県横須賀市, 2009 年 10 月 23 日
 20. Morimoto, A. (2009): Seasonal variation in circulations of the South China Sea. 4th JSPS-VAST Joint Seminar on Coastal Marine Science, Hai Phong, Vietnam, 26-28 October

2009

21. Nishikawa, J., N.T. Thu, F.Md. Yusoff, D.J. Lindsay, Mulyadi, N. Mujiono, S. Ohtsuka and S. Nishida (2009): Jellyfish fisheries in Southeast Asia, with special reference to those in Vietnam, Indonesia, and Malaysia. 4th JSPS-VAST Joint Seminar on Coastal Marine Science, Hai Phong, Vietnam, 26-28 October 2009
22. Lindsay, D.J. (2009): 不思議な深海生物の生態・分類研究: 驚き話, 苦勞話, うら話. 横浜国立大学創立 60 周年記念シンポジウム 「海のご不思議を探る」, 横浜市開港記念会館, 神奈川県横浜市, 2009 年 11 月 14 日, (invited)
23. Morimoto, A., S. Kojima, S. Jan and D. Takahashi (2009): Movement of the Kuroshio axis in the northeast shelf of Taiwan following typhoon passage. SOLAS Open Science Conference, Barcelona, Spain, 16-19 November 2009, (poster)
24. Siswanto, E., A. Morimoto and S. Kojima (2009): Enhancement of phytoplankton primary productivity in the southern East China Sea following episodic typhoon passage. SOLAS Open Science Conference, Barcelona, Spain, 16-19 November 2009, (poster)
25. Mino, Y., C. Sukigara, A. Watanabe, T. Hosaka, D. Takahashi, A. Morimoto and T. Saino (2009): Air-sea CO₂ fluxes and the vertical transport of particles in the Sagami Bay, Japan. SOLAS Open Science Conference, Barcelona, Spain, 16-19 November 2009, (poster)
26. Morimoto, A., A. Gotoh, T. Takikawa, T. Senjyu, A. Watanabe, G. Onitsuka (2009): Interannual variation in characteristics of water mass in the Tsushima Strait. 6th Japan-China-Korea International Jellyfish Workshop, Fukuoka, Japan, 25-26 November 2009
27. Lindsay, D.J. (2009): 浮遊生物種多様性と其の生態機能を地球規模に調査するシステムの開発. MTS International Award 受賞記念「Dhugal Lindsay 氏(JAMSTEC)特別講演会」, 海洋研究開発機構 東京事務所, 東京都港区, 2009 年 12 月 8 日, (invited)
28. Hirawake, T. (2009): Light absorption based estimation of primary productivity using ocean-color data. 6th Japan-Korea Workshop on Ocean Color Remote Sensing, Ansan, Korea, 10 December 2009
29. 高橋大介, 森本昭彦, 郭新宇, 佐竹誠, 児島正一郎 (2009): 台湾北東海域における黒潮の季節変動. 九州大学応用力学研究所全国共同利用研究集会「海洋レーダを用いた海況監視システムの開発と応用」, 九州大学応用力学研究所, 福岡県春日市, 2009 年 12 月 16 日~17 日
30. 森本昭彦, 後藤暁, 千手智晴, 鬼塚剛, 滝川哲太郎, 渡邊敦 (2009): 対馬海峡を通過する DIN 輸送量の経年変動. 九州大学応用力学研究所全国共同利用研究集会「日本海及び日本周辺海域の海況モニタリングと波浪計測に関する研究集会」, 九州大学応用力学研究所, 福岡県春日市, 2009 年 12 月 17 日~18 日
31. 滝川哲太郎, 鬼塚剛, 福留研一, 尹宗煥, 森本昭彦 (2009): 対馬東部における反時計回り渦—フェリーADCP 解析結果から—. 九州大学応用力学研究所全国共同利用研究集会「日本海及び日本周辺海域の海況モニタリングと波浪計測に関する研究集会」, 九州大学応用力学研究所, 福岡県春日市, 2009 年 12 月 17 日~18 日
32. Ishizaka, J., E. Siswanto, T. Saino, M. Karu and S. Yoo (2010): Development of Red Tide and Primary Production Algorithms for SGLI. GCOM PI Workshop 2010, Tokyo, Japan, 12-14 January 2010, (poster)
33. 森本昭彦 (2010): 台風通過に伴う黒潮流軸の移動. 名古屋大学地球水循環研究センター全国共同利用研究集会「黒潮続流域での海面フラックスに関する研究集会」, グランシップ静岡及び清水テルサ, 静岡県静岡市, 2010 年 1 月 22 日~1 月 23 日
34. 森本昭彦, 滝川哲太郎, 鬼塚剛, 後藤暁, 千手智晴, 渡邊敦, 李雅利, 柳哲雄 (2010): 対馬海峡を通過する栄養塩輸送量の季節・経年変動. 2010 年度日本海洋学会春季大

- 会 シンポジウム C「東アジア海洋大気環境変化の監視と予測」, 東京海洋大学 品川キャンパス, 東京都港区, 3月26日
35. 本多牧生(2010): 海洋環境変化に伴う生物ポンプ能力の変化. 2010年度日本海洋学会春季大会シンポジウム A「太平洋における物質循環のキープロセス」, 東京海洋大学品川キャンパス, 東京都港区, 3月26日
 36. 才野敏郎(2010): 化学生物変動過程の船舶・係留系・フロートの統合的観測. 2010年度日本海洋学会春季大会シンポジウム E「Argoの進むべき方向性 - Argoによる研究成果と今後の展望 -」, 東京海洋大学品川キャンパス, 東京都港区3月29日
 37. 鋤柄千穂(2010): アルゴフロートによる亜熱帯モード水と季節躍層の物理 - 生物過程の観測. 2010年度日本海洋学会春季大会シンポジウム E「Argoの進むべき方向性 - Argoによる研究成果と今後の展望 -」, 東京海洋大学品川キャンパス, 東京都港区3月29日

(3) 特許出願 (SORST 研究の成果に関わる特許 (出願人が JST 以外のものを含む))

	件数
国内出願	2
海外出願	0
計	2

(4) その他特記事項

平成 19 年度

1. Eko Siswanto (名古屋大学地球水循環研究センター, JSPS 外国人特別研究員): 奨励論文賞 (平成 20 年 3 月)

平成 21 年度

1. Dhugal J. Lindsay (独立行政法人海洋研究開発機構海洋・極限環境生物圏領域, 技術研究主任): Marine Technology Society International Award (2009 年 10 月)
2. 齊藤 誠一 (北海道大学 大学院水産科学研究院, 教授): 日経 BP 社 グリーン IT ユーザアワード 準グランプリ賞 (2009 年 10 月)
3. 藤木 徹一 (独立行政法人海洋研究開発機構 むつ研究所, 研究員): BIO Committee Best Presentation Award, PICES (平成 21 年 10 月)

9. 結び

今、最終報告書を書き終えるにあたり、この10年間を省みている。1999年のCREST研究の提案書、2003年のSORST研究の提案書、2004年のCREST最終報告書、2007年のSORST中間報告書を改めて読み直してみると、思いの外考えていたことと現在の方向性が変わっていないことに驚いた。地球環境変化の研究における炭素循環フィードバックの重要性は10年前から言われていたが、近年ますます重要かつ緊急の課題となっている。もちろん新たな方向性も芽生えている。たとえば2003年ころから重要性と緊急性が喚起されてきた海洋酸性化の問題、あるいは全球の炭素循環の視点からの沿岸海域の重要性、あるいは人間活動の影響による海洋-陸域生態系の変化などの重要性も共通の認識になってきた。しかしながら基本に立ち返って考えれば、変動する生物活動と物質循環を監視し、その変動の機構を明らかにし、将来を予測することの重要性は揺るがない。また、このための人工衛星データの重要性もますます増している。

本発展研究ではCREST研究で開発した海洋基礎生産をモニタリングするためのプラットフォーム、センサー、アルゴリズム、検証法、データシステム等を実利用して、値付けされた衛星のLACデータを用いてプロセス研究を実施することを目的としたが、残念ながらそこまでには至っていない。これは一つにはブイシステムの実運用に対して基礎生産アルゴリズムの開発が必ずしも同期できなかったこと、プロセス研究の検証のための海洋観測に主力を置いたために、衛星データの解析まで手が回らなかったことが原因と考えている。しかしながらSORST研究課題としての支援を受けて、まず他では考えられないレベルの組織立った多面的な観測研究を実施したおかげで、1年間の実運用で得られたブイデータを用いて衛星データを利用したプロセス研究を行い、それを検証できるだけのデータセットは準備できた。幸いこの財産を活用するための研究には大きな研究費を必要としないので、できるだけ早くデータを公開して、これをできるだけ多面的に利用して沿岸海洋での海洋環境と生態系変動の物理、生物、化学の総合的なパイロット研究を実施して将来のGCOM-Cの打ち上げに備えたい。

CREST研究の成果はSORST研究によって生かすことができた。CREST研究中に何とかSORST研究に採択されたいと思ってあれこれ考えたように、本研究を実施しながら本研究で完成させる基礎生産プロファイラーの実機を何とか実用に供したいと考えていた。2008年に名古屋大学を辞して海洋研究開発機構に異動した最大の理由は、作った実機を最も有効に活用できると考えたからだと思う。異動後、いろいろな困難に直面し、あれこれ戸惑いながら準備をして来たが、およそ2年間の後、海洋機構の物質循環研究の柱の一つとして西部北太平洋時系列定点観測を開始し、本プロジェクト終了直前にブイの運用を開始できたのは、まだまだツキがあるのだろう。

ツキと言えばCREST研究では信じられないほどのツキの連続であったが(CREST最終報告書)、SORST研究でもかなり危ない場面を何とかくぐりぬけて来た。特に2008年4月の淡青丸での事故に際しての奇跡的な幸運に際しては、もしそれがなければ本プロジェクトが終わっていたかも知れないと思い、改めてメンバーと自分自身の幸運に感謝したものである。

10年間は長い。最初の5年間のCREST研究では、研究室の活動をこのプロジェクト一色にすることを避けて来た。プロジェクトが終わった時に次の芽が何もないと言う状態を危惧したためである。このため、開発フェーズが主であったCREST研究ではプロジェクトの研究員が中心になり、学生諸君はプロジェクトとは少し距離を置いた研究をすることができた。しかしSORST研究では観測研究が中心になったため、今度は学生諸君の研究テーマを積極的にプロジェクトの中に位置づけることにした。観測研究が中心であるから次の芽を摘む恐れはなかったものの、プロジェクト主導の観測航海を年4回+アルファ実施すると言うのは過重であったかも知れない。また、私が異動したことにより指導が滞ってしまったことや、研究チームのコーディネーションが円滑にいかなかったことは反省すべきことと考えている。

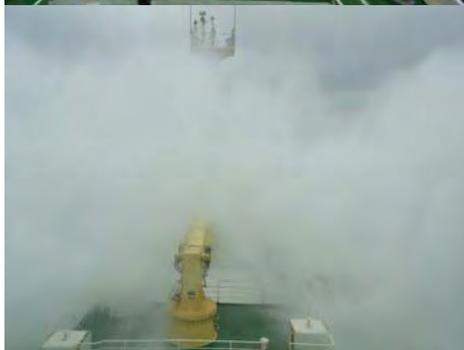
今まで数多くの人々の協力を得て今日までプロジェクトを実施することが出来ました。今まで本プロジェクトにかかわって戴いたすべての研究チームメンバーに対して感謝するとともに、惜しみなく支援を与えて戴いたJST、三谷研究統括、古賀技術参事、三上技術参

事他のスタッフ、また最初のCREST研究からお世話戴いた浅井富雄先生に感謝いたします。

写真：みらい MR-10-01 航海における自動昇降式基礎生産プロファイラ - の実運用開始



2010年1月19日三谷研究統括と、雪の関根浜での見送り。



2月12日南の点S1から北の点K2に向かう。「みらい」なればこそ、行くことはできるが、作業が出来るかどうか？



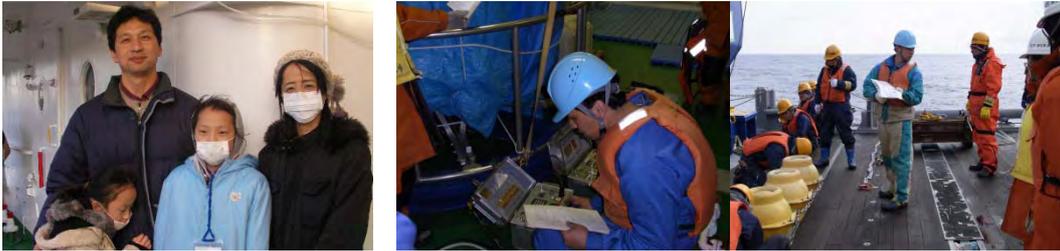
1月25日POPPSブイ投入準備完了(K2点)



2月16日K2のPOPPSブイ回収予定日。一週間前からの低気圧が移動して、風は穏やかになったが、雪が降ってきた。除雪して視界が回復するのを待つも、再び大きな低気圧が近づいてきたので、回収を断念して、観測点を離脱した。

写真：お世話になった皆さん。

日油技研工業の中村哲也さんとご家族。



CREST の最初から、SORST の最後まで大変お世話になりました。本プロジェクトのバイ開発に関しては、何から何まですべてにかかわって戴きました。これもご家族の皆さんのご理解とご協力あってのことと思います。ありがとうございました。がんばって世界中に販売してください。

名古屋大学石坂研究室、森本研究室の皆さん。



私が異動した後、2008 年度には森本さんに、2009 年度には石坂さんに、名古屋大学グループの代表を引き継いで戴きました。この写真は、2009 年 12 月 7 日の国際シンポジウムの翌日に開催した、相模湾研究会の時のもので、本プロジェクト最後の集合写真となりました。たまたま、私の誕生日だったので、総合討論の前にシャンペンで乾杯しました。プロジェクトで蓄積したデータを使って大いに成果を上げてくださるようお願いします。

東京海洋大学石丸隆さん



2009



1985

大学院時代から、今までの長い付き合いです。このプロジェクトも、もともと石丸さんが手がけていたものを基礎に始めました。10 年間かかりましたが、プラットフォームとしてのウインチはほぼ完成形に達して、一つの区切りをつけることが出来ました。本当にありがとうございました。今後とも協力しながら実利用を進めたいと思います。どうぞよろしくお願いします。

妻



この 10 年間、また、2 年前の異動にも付き合ってくれて、プロジェクトに集中することが出来ました。最近、研究船に乗る機会がないので、カヤックにも付き合ってもらっています。感謝しています。