

領域略称名：新海洋混合学
領域番号：4702

平成29年度科学研究費補助金「新学術領域研究
(研究領域提案型)」に係る中間評価報告書

「海洋混合学の創設：物質循環・気候・生態系の維持と
長周期変動の解明」

(領域設定期間)

平成27年度～平成31年度

平成29年6月

領域代表者 (東京大学・大気海洋研究所・教授・安田 一郎)

目 次

研究領域全体に係る事項

1. 研究領域の目的及び概要	5
2. 研究の進展状況	7
3. 審査結果の所見において指摘を受けた事項への対応状況	10
4. 主な研究成果（発明及び特許を含む）	12
5. 研究成果の公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公開発表等）	14
6. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況	19
7. 若手研究者の育成に関する取組状況	21
8. 研究費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む）	22
9. 総括班評価者による評価	23
10. 今後の研究領域の推進方策	25

研究組織 (総括：総括班, 支援：国際活動支援班, 計画：総括班及び国際活動支援班以外の計画研究, 公募：公募研究)

研究項目	課題番号 研究課題名	研究期間	代表者氏名	所属機関 部局 職	構成員数
X00 総括	15H05817 海洋混合学の創設:物質 循環・気候・生態系をつ なぐ統合的理解の推進	平成 27 年度 ～ 平成 31 年度	安田 一郎	東京大学・大気海洋研究所・教授	13
Y00 支援	15K21710 海洋混合学の国際展開	平成 27 年度 ～ 平成 31 年度	安田 一郎	東京大学・大気海洋研究所・教授	8
A01-1 計画	15H05818 鉛直混合の観測手法・シ ステム開発と広域観測	平成 27 年度 ～ 平成 31 年度	安田 一郎	東京大学・大気海洋研究所・教授	9
A01-2 計画	15H05819 大規模観測データの統 合による太平洋循環の 実態把握とメカニズム の解明	平成 27 年度 ～ 平成 31 年度	増田 周平	海洋研究開発機構・地球環境観測研 究開発センター・グループリーダー	7
A02-3 計画	15H05820 オホーツク海・ベーリン グ海における混合と物 質循環の解明	平成 27 年度 ～ 平成 31 年度	西岡 純	北海道大学・低温科学研究所・准教 授	9
A02-4 計画	15H05821 黒潮とその源流域にお ける混合過程・栄養塩輸 送と生態系の基礎構造 の解明	平成 27 年度 ～ 平成 31 年度	郭 新宇	愛媛大学・沿岸環境科学研究センタ ー・教授	8
A03-5 計画	15H05822 北太平洋の海洋低次生 態系とその変動機構の 解明	平成 27 年度 ～ 平成 31 年度	原田 尚美	国立研究開発法人海洋研究開発機 構・地球環境観測研究開発センター・ 研究開発センター長代理	7
A03-6 計画	15H05823 水産生物の環境履歴と 水産資源変動	平成 27 年度 ～ 平成 31 年度	伊藤 進一	東京大学・大気海洋研究所・教授	7
A04-7 計画	15H05824 鉛直混合の素過程の解 明とその定式化	平成 27 年度 ～ 平成 31 年度	日比谷 紀之	東京大学・大学院理学系研究科・教 授	4
A04-8 計画	15H05825 鉛直混合を取り入れた海 洋循環・物質循環・気候	平成 27 年度 ～ 平成 31 年度	羽角 博康	東京大学・大気海洋研究所・教授	6

	モデル開発と影響評価				
総括・支援・計画研究 計 10 件					
A01 公募	16H01596 チャクチ・ベーリング海 における乱流混合の生 物生産・気候変動への影 響評価	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	川口 悠介	東京大学・大気海洋研究所・助教	1
A01 公募	16H23456 海洋広域観測網による 等密度面上塩分分布を 利用した混合分布推定 と長期変動の評価	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	瀬瀬 慎也	国立研究開発法人海洋研究開発機構 主任研究員	1
A01 公募	16H01594 黒潮再循環域の表層・亜 表層における生物地球 化学的循環の解明	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	石井 雅男	気象庁・気象研究所海洋・地球化学 研究部第三研究室・室長	5
A02 公募	16H01584 北太平洋西部亜寒帯域 における海洋中規模渦 の物質循環・低次生態系 への影響の解明	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	上野 洋路	北海道大学・大学院水産科学研究院・ 准教授	1
A02 公募	16H01590 黒潮源流が陸棚縁で生 成する近慣性内部波と 躍層における鉛直混合 メカニズムの解明	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	長井 健容	東京海洋大学・海洋環境学部門・ 助教	3
A02 公募	16H01586 光分解性成分の鉛直プ ロファイルから読み解 く表層混合層の構造	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	大木 淳之	北海道大学大学院・水産科学研 究院・准教授	2
A02 公募	16H01592 親潮・黒潮およびその源 流域における鉄輸送へ の有機リガンドの寄与 の解明	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	近藤 能子	長崎大学水産・環境科学総合研究科・ 助教	4
A02 公募	16H01588 海洋混合過程の解明に 向けたネオジウム同位体	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	岡 顕	東京大学・大気海洋研究所・准教授	3

	比のモデリング				
A02 公募	16H01595 鉛直混合変動が駆動する鉄循環を介した気候・海洋生態系変動の解明	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	三角 和弘	電力中央研究所・環境科学研究所・主任研究員	3
A02 公募	16H01585 北太平洋栄養物質循環の数値モデリング	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	三寺 史夫	北海道大学・低温科学研究所・環オホーツク観測研究センター・教授	3
A03 公募	16H01593 極微小領域の耳石安定同位体比分析技術の確立による魚類回遊履歴の超高解像度解析	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	石村 豊穂	国立高等専門学校機構・茨城工業高等専門学校・准教授	1
A03 公募	16H01599 親潮周辺海域における春季珪藻ブルームの形成機構と長期変動	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	桑田 晃	国立研究開発法人水産研究教育機構 東北区水産研究所・グループ長	1
A04 公募	16H01587 内部波と渦の相互作用による海洋上層の鉛直混合過程	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	中村 知裕	北海道大学・低温科学研究所・講師	1
A04 公募	16H01589 海洋混合層厚の変動が十年規模気候変動に果たす役割	平成 28 年度 ～ 平成 29 年度	東塚 知己	東京大学大学院・理学系研究科・准教授	1
公募研究 計 14 件					

研究領域全体に係る事項

1. 研究領域の目的及び概要（2ページ以内）

研究領域の研究目的及び全体構想について、応募時に記述した内容を簡潔に記述してください。どのような点が「我が国の学術水準の向上・強化につながる研究領域」であるか、研究の学術的背景（応募領域の着想に至った経緯、応募時までの研究成果を進展させる場合にはその内容等）を中心に記述してください。

着想に至る経緯と関連する研究活動：海洋の鉛直混合は、高緯度で冷却され沈み込んだ中・深層水を、上

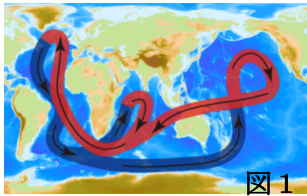
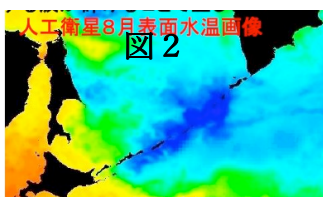


図1

下に混ぜることによって、少しずつ暖め湧昇流を作る（図1）。その結果、熱が鉛直方向に伝わり、海面水温を変えて気候に影響を与える。深層循環の終着点である北太平洋の中・深層に蓄えられている栄養塩や炭酸系物質は、鉛直混合を通じて表層へ輸送され、海洋生態系（海の恵み）を維持し、炭素循環に影響する。このように海洋の鉛直混合は、物質循環・気候・生態系をつなぐ重要かつ

基本的な物理要素であるが、**混合を維持する微小な乱流渦が理論的に解明されていないため、また、観測データが圧倒的に不足しているため、現在でも実態は殆ど不明である。**数少ない観測から得られた鉛直混合強度は、北太平洋深層循環を維持するために必要な強度に比べて一桁小さく、**北太平洋の中・深層水がどこでどれだけ湧昇し、熱循環や気候に影響し、栄養塩等の物質を表層の生態系に供給しているか、明らかではない。**IPCCの気候モデル等にも、現実の海洋の鉛直混合分布は反映されておらず、**気候・海洋生態系等の変動予測の大きな不確定要因**となっている。これらの問題の解決のために、生物生産による二酸化炭素の吸収能力が世界で最も高く、大きな鉛直混合による栄養塩供給が予想される西部北太平洋を中心に、海洋国日本が主導して鉛直混合を観測し、鉛直混合の実態と海洋循環・気候・物質循環・生態系の維持と変動に与える影響を解明する必要がある。

一方、数少ない観測によって、鉛直混合の分布や役割についての認識が大きく変貌しつつある。海底の起伏と潮流の強さに応じて、鉛直混合の強度は数桁も違い、深海でも通常の数万倍もの混合が生じ得ることが発見された。この大きな鉛直混合や時空間変化は、海洋循環、物質循環や生態系に、計り知れない程大きな影響を与える可能性がある。さらに、月の公転軌道が18.6年周期で変動することに伴う潮汐混合の変動によって、海洋はもとより気候変動にも影響が及ぶ、という大気海洋科学の常識を覆す発見が、本領域関係者によってなされた。これらの新発見を基に、物質循環学や海洋生物学・水産海洋学、気候力学を含めた、新しい学術への展開が始まろうとしている。

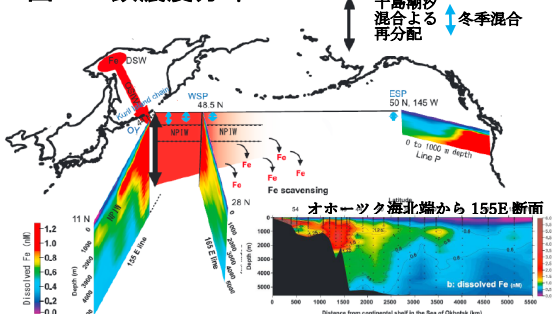


潮汐混合により冷水が海面に現れ
千島列島付近は夏でも水温2度

鉛直混合の解明は、海の恵みをもたらす仕組みの解明につながる

大きな潮汐混合は親潮の源流にあたる千島列島海峡部（図2）で発見された（Yagi & Yasuda 領域代表 2012 等）。北太平洋北部海域の生物生産を支える微量必須元素である溶存鉄が、この大きな鉛直混合によって表層へもたらされ（Nishioka 代表他 2013 図3）、親潮水を肥沃化し、生態系を支え、日本に海の恵みをもたらしている可能性がある。強い潮汐が存在する東シナ海等黒潮源流域周辺でも、強化された鉛直混合（Matsuno 分担他 2005; Liu, Yasuda 他 2013; Kaneko, Yasuda 他 2012; 2013）が、中・深層

図3 鉄濃度分布

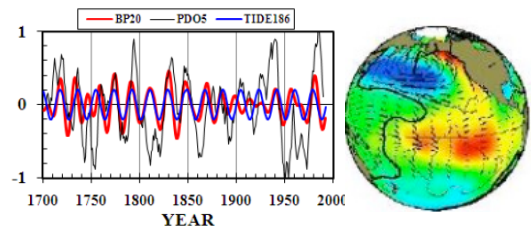


の栄養塩を表層へ輸送し、黒潮を生育場とする回遊性魚等の生態系を維持している可能性がある。これらの仮説は、親潮や黒潮およびその源流域において、鉛直混合と栄養塩・生態系の統合的な観測を行い、栄養塩の輸送量を定量化することで、検証できる。

鉛直混合過程の解明は、海洋を通じた気候の長周期変動の予測につながる

月の地球に対する公転軌道の変動に伴い、一日周期の潮汐力は18.6年周期で振幅が約2割変動する。大きな潮汐混合が存在する千島やアリューシャン海峡部とその下流等で、表・中層水塊の約20年周期変動が発見され (Yasuda 他 2006 等 Osafune&Yasuda 2006)、さらに、太平洋10年規模振動 (PDO 図4 Yasuda 2009)、アリューシャン低気圧等の気候指標にも見いだされた。千島列島付近に潮汐混合の18.6年周期変動を与えた気候モデル実験から、潮汐混合変動が太平洋規模の気候・海洋の変動に規則性を与え、**月が海を通じて気候変動を制御**することが示されつつある (Hasumi 代表 Yasuda 他 2008; Tanaka 分担 Yasuda 他 2012 等)。気候・海洋で卓越する18.6年の約3倍の50-70年周期変動についても、18.6年潮汐振動に伴う鉛直混合変動と関係している可能性がある。一日周期潮汐の振幅が大きい千島・アリューシャン海峡部やインドネシア海域等の東アジア縁辺海で観測される鉛直混合過程をモデルに導入し、潮汐振動と気候の関係を明らかにできれば、気候の長期予測を進展させることができる。

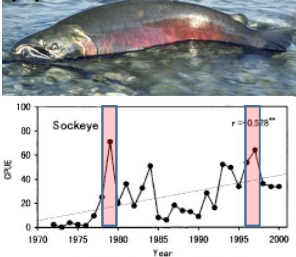
図4 PDO



鉛直混合の解明は、水産資源の長周期変動の予測につながる

潮汐18.6年振動と同期した栄養塩や酸素の約20年周期変動が、亜寒帯海域や亜熱帯海域で観測 (Tadokoro, Yasuda 他 2009 等) された。日本周辺の水産資源にも約20年周期変動 (図5) やその約3倍

図5



ベニザケは約20年周期(1979/1997極大)
(Ishida et al. 2002 PIO)

の50-70年周期変動 (マイワシ・マサバ・マアジ等) が卓越し、潮汐振動に起因する気候および水塊や餌の変動と連動している可能性が高い。同位体を利用した生態系や魚類の環境履歴解析手法を開発し、魚類成長生残過程をモデルに組み込むこと、また、約20年の蓄積がある亜寒帯海域の沈降粒子や物質循環・生物過程連続観測データをモデルに組み込むことを通じて、西部北太平洋海域で確認されている事象のつながりを明らかにする。これらの知見は、栄養塩循環・生態系・水産資源の長期変動過程の理解や予測可能性を高めることにつながる。

近年改良が進んだ鉛直混合測定機器を様々な海洋観測装置に取り付け、超深海に至る鉛直混合を観測する手法や、鉛直混合と同時に海流や栄養塩を昇降しながら自動観測する装置等、画期的な鉛直混合観測手法の開発・導入が、本領域関係者によって進められている。これらの観測手法と日本が誇る海洋観測網を活用して、広域かつ深層に至る鉛直混合を高頻度で実測することにより、鉛直混合分布の実態を明らかにする。また、観測から得られる海流と鉛直混合の関係をを用いて混合過程を定式化し、モデルに導入することで、観測がない場所での鉛直混合を推定することや鉛直混合の影響を調べることが可能となる。微量物質・生態系の観測や数値モデリングの技術が著しく進歩した今こそ、鉛直混合とその影響を解明する研究に取り組む時である。

本領域では、月と地球の関係が生み出す鉛直混合の実態の解明を通じて、深層循環の終着点である北太平洋において、どこでどのような鉛直混合が働き、栄養塩を含む中深層水が湧昇し、親潮や黒潮に影響を与えて、気候を変え、生物生産 (海の恵み) の維持と長周期変動につながるのか、混合過程を軸として統合的に解明し、新しい学術領域「海洋混合学」を構築する。

2. 研究の進展状況〔設定目的に照らし、研究項目又は計画研究ごとに整理する〕（3 ページ以内）

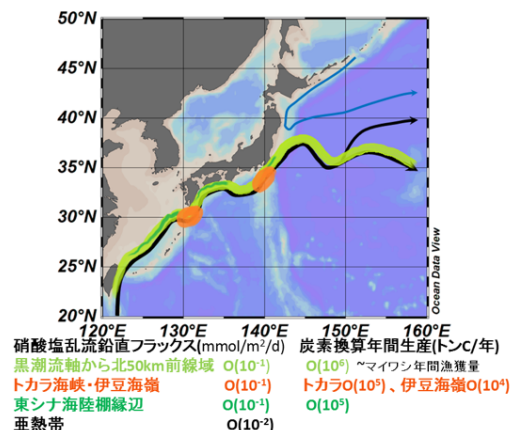
研究期間内に何をどこまで明らかにしようとし、現在までにどこまで研究が進展しているのか記述してください。また、応募時に研究領域として設定した研究の対象に照らして、どのように発展したかについて研究項目又は計画研究ごとに記述してください。

鉛直混合過程とその変動が、海洋循環・物質循環・気候・生態系の維持と長周期変動に与える影響を解明し海洋混合学を創設するという全体目標を達成するために、次の3つのサブ目標を設定し、それぞれに設定した3作業部会を通じ、計画研究班・公募班・手法・分野の壁を超えて連携し、取り組んできた。

- (1) 西部北太平洋の鉛直混合分布マッピング・混合強化過程と北太平洋中深層循環の解明
- (2) 栄養塩の輸送と海洋生態系への移行過程とその変動の解明と定量化
- (3) 18.6年潮汐振動と関連する長周期気候海洋変動過程と水産資源変動過程の解明

全体目標に対する研究進展状況

初年度全体会議において、全体目標に対する研究の現状と課題について、領域内外の専門家を集めて作業部会主催のシンポジウムを開催し、レビューを学会誌「海の研究」に出版するとともに、報告書として取りまとめ、現状の認識を共有した。課題(1)については、本領域で取り組んでいる高速水温計を様々な観測機器に取り付けて鉛直混合を観測する手法や、混合と生物地球化学の統合的観測が展開され、西部北太平洋での深海に至る鉛直混合分布が明らかにされ始めた(A01, A02)。それら



の観測をモデルに同化するデータ統合システムを整備した(A01-2)。また、最新の潮汐モデルに基づく鉛直混合分布(A04-7)を取り入れた高解像度海洋モデルが開発され(A04-8)、海洋循環や気候への影響が明らかにされつつある。課題(2)については、黒潮周辺域で多数実施された鉛直混合と栄養塩・物質・生態系を統合する観測(A02, A03, A01)によって、黒潮前線域、トカラ海峡や伊豆海嶺、陸棚縁辺域で強化される乱流鉛直混合とそれに伴う栄養塩鉛直輸送が発見された(上図)。栄養塩が枯渇し砂漠のような環境にも拘らず、多数の魚類の産卵・生育場となっている矛盾は「黒潮パラドックス」と呼ばれている。実は鉛直混合によって栄養塩の持続的な供給が存在し、高い生物生産によって栄養塩が即座に消費され枯渇する海域が黒潮である、ことが実証され始めた。親潮やその源流域においても、鉄や栄養物質の鉛直混合輸送に関する観測データの解析(A02, A03, A01)が進み、千島列島周辺での大きな潮汐混合によって鉄が表・中層に供給され、その後の海洋循環による水平輸送を通じて、西部亜寒帯海域の高い生物生産や生物による二酸化炭素吸収が維持される、という仮説が実証されつつある。この亜寒帯の鉄やケイ素を豊富に含む海水は中層水となって黒潮に流れ込み、黒潮生態系にも影響する可能性も指摘されている。課題(3)については、最新の潮汐モデルから推定した鉛直混合を18.6年周期で変動させた新しい大気海洋結合気候モデルが開発され、その結果を利用した解析が実施された(A04-8, 公募)。新規開発の耳石微量同位体分析技術を活用しマサバの成長に好適な環境が明らかにされ始め(A03-6, 公募)、成長モデルの開発と併せて、環境場及び魚類モデルを用いた研究の基盤が整備された。以上のように計画は順調に進み、特に申請中あるいは新規に申請した航海が順調に採択され、41航海を実施する等、現場観測が大きく進展したことは特筆に値し、研究は想定以上に進行している。

計画研究での目標と進展状況

A01-1 目標 CTD取り付け型高速水温計乱流観測手法、乱流計・超音波流速計を搭載した水中グライダー観測手法、流速・鉛直混合測定用自動昇降漂流型フロート等の時系列観測手法、を開発・実用化する。様々な機会に観測を実施し、現場観測によって海洋の中・深層に至る鉛直混合分布・強化過程を明らかにし、

物質輸送を定量化する。**進展状況** 高速水温計の応答不足を補正する手法、及び、CTD 取り付け型乱流観測における異常データを除去する手法を開発し、適用限界を明らかにした。オペレーションが不要な CTD 取り付け型観測機器を開発し、気象庁調査船など様々な航海での観測を開始し、東経 137 度における海底までの高速水温計鉛直混合観測を成功させた。アルゴフロートを用いた観測データを用いて、北西太平洋の中層 1000 m までの鉛直混合の季節変動の実態を明らかにした他、ワシントン大が開発した高速水温計・電磁流速計搭載フロートを用いた東北沖での台風下での時系列観測に成功した。乱流計を搭載した 4000 m まで観測できるフロート型乱流計を鶴見精機と RSI 社との共同で開発し、約 1 週間の現場観測から、流速シアセンサデータが使える条件を明らかにした。新たに採択された 3 航海での観測から、黒潮がトカラ海峡や伊豆海嶺などの海底地形を越える際に強い乱流が生じ 1-2 桁大きな硝酸塩輸送を伴うこと、中層水が沖縄南方慶良間海裂で東シナ海に流入する際に生じる強烈な混合が東シナ海の水塊を大きく変えることを明らかにした。

A01-2 目標 1) WOCE 再観測等の海盆規模観測を実施、物質循環・生態系過程を含むデータ同化技術を開発・活用して、北太平洋の統合データセットを構築し、2) 混合・海洋循環・物質循環の分布とその機構を解明する。**進展状況** 大洋を横断する大規模観測を、H27 年度はインド洋 I10 測線において、H28 年度は南大洋太平洋セクターの P17 測線において、海洋地球研究船「みらい」による乱流観測を実施し、未観測であった海域での海洋混合に関する情報を得た。また、既存の海洋観測データを用いて、西部北太平洋沿岸での混合強度の経年変動が、海盆全体にわたる海洋環境の長期変動に密接に関連していることを明らかにした。この成果は、本領域のターゲットの一つである 18.6 年周期の潮汐変動が、外洋の海洋環境変動に及ぼす影響を実証する材料となった。2) 鉛直混合データを直接同化できるシステムのプロトタイプを完成させ、当研究計画の先進的なデータ統合実験を通じて、鉛直混合が海洋循環・物質循環の維持・変動に果たす役割を再評価する土台が整備された。

A02-3 目標 親潮とその源流である西部北太平洋亜寒帯海域・オホーツク海・ベーリング海で混合・物質循環・生態系現場・衛星観測を実施し、混合の実態、栄養塩輸送と生態系への影響を定量化する。**進展状況** 親潮源流域である東カムチャツカ海流域のサンプルを分析し、北太平洋の溶存鉄データセットを整備した。オホーツク海やベーリング海など北方の縁辺海が、西部北太平洋の栄養物質（鉄・栄養塩）循環に果たす役割を評価し、特に北太平洋中層水の循環が主要な役割を担っていることを明らかにした。水塊の水平移送と混合を検討するトレーサーとして Nd ネオジム同位体比 ($^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$) 測定体制を整え、東シナ海で付加される大陸地殻の影響を受けた表面水が黒潮・黒潮続流で西経 170 度付近まで輸送される可能性を示した。光学観測機器を用いて衛星による基礎生産推定アルゴリズムの高度化を実施し、西部北太平洋の基礎生産の季節変動を見積もり、その特徴を基に海域区分けを行った。今後、対象海域毎の基礎生産の季節変動を、栄養塩の 3 次元循環像と結びつけて解釈する基盤を整えた。

A02-4 目標 黒潮とその源流である西部北太平洋亜熱帯海域・東シナ海・フィリピン海等で観測を実施し、混合の実態、栄養塩輸送と生態系への影響を定量化する。**進展状況** トカラ海峡を観測対象海域とし、2015、2016 年の 11 月に集中観測を実施した。海山が多く分布するトカラ海峡の複雑な地形を通過した黒潮が、顕著な鉛直混合の影響を受けて構造が変化することを明らかにし、黒潮が海山を乗り越えた下流近傍で不安定渦に伴う強い乱流混合が生じている証拠を得た。この強い鉛直混合に伴う栄養塩の上層への供給量を見積もり、その値を基にした栄養塩添加プランクトンの培養実験を行い、生物生産への影響を確認した。また、既存のデータの解析から、東シナ海中央部からトカラ海峡にかけて、黒潮中層部の塩分極小層が鉛直混合によって高塩化すること、及び高塩化の程度が季節変動することを明らかにした。

A03-5 目標 セジメントトラップ・昇降式係留系・基礎生産センサ搭載フロートによる時系列観測と生態系モデルを活用して、栄養塩供給と多様な生物生産過程を明らかにし、生態系変動過程と低次から高次

生態系をつなぐ食物網を定量化する。**進展状況** 亜寒帯の St. K2 定点において、自動昇降式ブイの約3ヶ月にわたる時系列観測に成功し、秋の植物プランクトンブルームを捉えた。活性の高い植物プランクトンと高濃度の鉄が存在する温度躍層付近の亜表層水が、混合によって有光層にもたらされた際に十分な日射を受けてブルームが発生したことが示された。亜熱帯の KE0 定点において、セジメントトラップ係留系観測と気象ブイ係留系観測で得られた物理-化学-生物データを、高解像度海洋物理-生物地球化学モデルを用いて解析した結果、低気圧性渦の通過に伴い中層から栄養塩が有光層に湧昇する様子が再現された。低気圧渦の発生・通過に伴う湧昇によって供給される年間の栄養塩量は、KE0 で見積もられる新生産の8割に達すると見積もられ、低気圧性渦が亜熱帯の新生産の大きな部分を担うことを示した。

A03-6 目標 耳石日輪の高解像度同位体分析を用いて魚類の環境履歴復元手法を開発し、実海域での成長と水温などの環境要因の関係から、稚仔魚期の環境履歴と生残要因を明らかにする。A04-8 のモデル結果を基に、生態系魚類モデルを用いて、水産資源の長周期変動要因を明らかにする。**進展状況** マサバの耳石酸素安定同位体分析の分析手法を確立し、その分析を進め、公募研究の結果と融合することで、マサバの生息水温が成長に伴って低くなること、初期成長が良いマサバは成長が良いためにより積極的に低水温域に侵入し高栄養価の餌料を得るという正のスパイラルが働いていることを示した。さらに、マサバの成長モデルのパラメータ推定を進め、呼吸代謝について世界最大のデータベースを構築した。マアジについて、東シナ海の2005~2010年の耳石日輪解析から、4月の海表面水温が低いと餌料動物プランクトンの生産が高まり、マアジの成長が良くなる傾向があることを示した他、着底場所（稚魚期に表層から底層へと生息場所を変える）の違いによる成長の違いを示した。さらに、マアジの耳石アーカイブ資料を用いて成長履歴解析を開始し、仔魚期と稚魚期で水温に対する応答が異なる可能性を示した。また、マアジおよびスケトウダラの耳石酸素同位体分析に着手し、分析技術が確立されつつある。

A04-7 目標 内部波理論や高解像度モデリング技術を用いて鉛直混合過程を定式化するとともに、乱流鉛直混合の素過程を解明する。また、インドネシア多島海域での鉛直混合観測を基に、気候・海洋への影響を解明する。**進展状況** 「海面から海底までシームレスに繋がる乱流パラメタリゼーション」の完成に向けて、海洋の中・深層における乱流混合について、内部波の位置・運動エネルギー比に基づく補正項を、既存のものに組み込むことで、より正確なパラメタリゼーションを構築し、理論計算と乱流直接観測によって有効性を確認した。また、深海底凹凸地形の直上で形成される顕著な乱流ホットスポットの鉛直スケールが、海底地形の波数で規定される内部波応答の特性に強く依存することを示した。海洋表層における乱流混合について、熱フラックスの日周変動が海洋混合層深度と海面水温の平均値に影響を与えることを数値実験で確認し、またその素過程力学を明らかにした。ラングミュア循環の直接数値実験を成功させ、その力学（波と流れの相互作用）とその定式化（渦度力）を数値実験により実証した。

A04-8 目標 鉛直混合とその変動過程を導入し、18.6年潮汐混合変動による長周期気候・水塊・海洋循環・物質循環変動過程を再現する、次世代の海洋循環・物質循環・気候数値モデルを開発し、鉛直混合の影響を明らかにする。**進展状況** 潮汐過程の最新高解像度シミュレーションに基づいた最新の混合エネルギー分布を導入した太平洋循環計算を行い、北太平洋域の深層混合が太平洋熱塩循環に及ぼす影響を評価した。比較的解像度の低い気候モデルを用いて、海洋混合の気候への影響を評価し、南大洋中深層（深さ1000m前後）における混合強度のわずかな違いが、南大洋の海洋構造を通して海氷分布に影響を及ぼし、その影響が全球平均気温など全球的気候指標にも有意に影響することを示した。これは、現状の多くの気候モデルが抱える気候再現性に関する問題点のひとつに対する回答になり得るとともに、気候温暖化の将来予測に対しても、有意な修正をもたらし得るもので、気候における重要な過程を指摘したものと言える。さらに、研究計画後半で実施予定である海洋物質循環モデリングに用いるための新しい生物地球化学過程モデルを開発した。

3. 審査結果の所見において指摘を受けた事項への対応状況（2ページ以内）

審査結果の所見において指摘を受けた事項があった場合には、当該コメント及びそれへの対応策等を記述してください。

所見指摘事項 特定の分野・手法に偏ることがないように、研究分野間のバランスや連携に配慮した領域マネジメントが望まれる。

留意事項 海洋物理学が中心となって領域全体を牽引することは本研究領域の目的達成に必要不可欠であるが、研究分野・手法・組織を越えた連携も成果を最大化するためには必要不可欠である。海洋物理学を扱う研究者間で共有されている海洋混合に関するビジョンが、他分野の研究者においても同様に共有されるための方策について更なる工夫が求められる。

参考意見 海洋物理学的観測に集中されている傾向があり、海洋生物学・海洋化学的観測やモデリングはやや弱い傾向があるように見られるため、公募研究は海洋物理学的観測への更なる集中とならないよう、より多様な研究提案を採択する必要があるとの意見があった。

国際活動支援留意事項 計画全体としては概ね妥当ではあるあるが、海外の共同研究者や海外研究機関への長期派遣者あるいは招待者（及びその選考方法）が十分明示されていないため、計画を具体化すること。

参考意見 国際支援活動の戦略的な目標について、更に具体化することが望まれる。

「指摘事項：研究分野間のバランスや連携に配慮した領域マネジメント」への対応

混合等の物理的観測と化学・生物的観測及びそれらの研究者をバランス良く配置し、分野の壁を外した研究成果を上げることができるよう航海を実施してきた。その結果、例えば、トカラ海峡の黒潮海域で発見された強烈な乱流に伴う鉛直混合によって表層へもたらされる栄養塩が定量的に明らかにされ、そこで見積もられた栄養塩の添加によってある特定種の植物プランクトンが増殖することが船上実験で確認される、などの成果が得られつつある。また H29 年度には、A03-5 課題で実施する昇降式係留計を用いた生態系時系列観測システムに、当領域で開発した高速水温計乱流計を取り付け、栄養塩の乱流鉛直輸送の時系列観測を企画するなど、海洋生態関連課題と海洋混合の物理関連課題との連携を図る計画を加えた。これら多分野の観測成果を取りまとめ、モデリング結果と比較することなどを意図したシンポジウム・学会セッションを行うことによって、分野・手法間の連携を図ってきた。

「指摘事項：海洋混合に関するビジョンを多分野の研究者で共有するための方策」への対応

本領域での中心課題となっている「海洋の鉛直混合過程とその影響」については、海洋物理学を専門とする研究者であっても、必ずしも十分に理解しているわけではない。まして、他分野の研究者にとっては、重要な物理過程であることは理解しても、どのように自分の分野に関わるのかについて理解することは容易でない。海洋の混合過程そのものをどのように理解し、どのようなことに影響を与える可能性があるのか、また、それを定量的に明らかにするためには、どんな観測やモデリングが有効なのか、それらの知見の現状と課題についての理解を共有するために、領域内外の専門家に講演を依頼し、作業部会主導のシンポジウムを初年度の全体会議の目玉行事として実施した。その成果は、年度報告書として早期に領域内で出版し知見を共有するとともに、広く成果を公表するために、日本海洋学会のオープンアクセスの学術機関誌である「海の研究」に出版し、学会レベルでの研究の現状と課題の認識の共有に務めた。

「参考意見：公募研究は海洋物理学的観測への更なる集中とならないよう、より多様な研究提案を採択する必要」への対応

公募研究 14 課題のうち、海洋物理学的観測に特化した課題は 2 課題であり、やや弱い傾向と指摘を受けた、海洋生物学的観測研究 2 課題、海洋化学的観測 3 課題、モデリング課題 4 課題、気候や長期変動に関わる研究 3 課題、と多様な研究課題を採択できたと考えている。

国際活動支援班指摘事項「戦略目標を定め、海外の共同研究者や海外研究機関への長期派遣者あるいは招待者及びその選考方法を明示し、計画を具体化すること」への対応

国際活動支援班の国際活動推進委員会において、領域の目標達成のための国際活動の長期計画を策定した。全体目標及び計画研究の目標達成に貢献できる、国際共同航海の調整、拠点形成に関わる派遣・招聘、国際共同研究関連、研究者派遣、海外研究者招聘、研究技術研修、研究動向調査、と優先順位を定め、各計画研究班での長期戦略目標を具体化した。その上で、年度毎に公募を行い、情勢に応じた応募を受け付ける柔軟な体制で運営している。長期の研究者の交流については、若手研究者をワシントン大へ約1ヶ月派遣し、論文を共同執筆し、共同観測計画を立案、また、ラトガース大への1ヶ月程度の派遣を2年度にわたり行い、生態系モデルの高度化に関わる研究を進展させる、など効果を挙げている。今後、国際共同観測データの相互解析など長期の交流が想定され、より国際活動支援の重要性が高まる。

「参考意見：国際支援活動の戦略的な目標について更なる具体化」への対応

各研究計画班における重要課題を国際共同研究の枠組みで解決していくために、下記の長期計画・カウンターパート（機関・研究者）で共同研究を行う方針とした（下記 H28 年度当初策定、年度毎に更新）。

A01-1: 1) 高速水温センサを用いた CTD 取り付け型乱流計観測手法の実用化とそれを用いた鉛直混合分布・変動の解明（米国ワシントン大 Mike Gregg 教授、米国オレゴン州立大 Jonathan Nash 教授・Jim Moun 教授）、2) 水中グライダーを用いた混合・流速構造の観測手法の開発と混合過程の解明（米国オレゴン州立大 Jack Barth 教授）、3) 乱流センサを搭載したフロート開発と混合時系列観測（カナダ RSI 社 Rolf Lueck 博士・Fabian Wolk 博士、米国ワシントン大 Eric Kunze 教授）

A01-2 班: 混合過程を考慮したデータ同化モデルを用いた、鉛直・水平混合分布・流動・水塊分布についての統合データセットの開発、改良と整備（中国科学院 Chuanyu Liu 教授）

A02-3: 1) 親潮源流域特に千島列島海峡部・ベーリング海・西部北太平洋亜寒帯・オホーツク海等ロシア海域におけるロシア船を利用した国際共同観測航海の実現（ロシア極東水文気象研究所 Yuri Volkov 所長・Alex Sherbinin、香港海洋大学 Honbin Liu 教授）、2) 北太平洋における生物生産と生産を制御する鉄等微量元素や栄養塩類の3次元分布・輸送と数値モデリング及び東アジアでのキャパシティビルディング（英国リバプール大学 Alessandro Tagliabue 博士など）

A02-4: 1) 黒潮源流域にあたるルソン海峡・東シナ海や日本海における国際共同観測（松野・郭-フィリピン大学 Cesar Villanoy 教授、台湾海洋大 Sen Jan 教授）、2) 強烈な乱流が存在することが発見されたトカラ海峡における国際共同観測研究の展開（米国ワシントン大 Ren-Chi Lien 教授）

A03-5: 1) 西部北太平洋亜寒帯定点における生態系及び混合の時系列観測とモデリング（米国ハワイ大 Megumi Chikamoto 博士、Kelvin Richards 教授）、2) 西部北太平洋亜熱帯海域定点における生態系・生物地球化学的観測とモデリング（米国太平洋海洋環境研究所 Meghan Cronin 博士）

A03-6: 1) 魚類の耳石日輪の微量分析による環境履歴追跡手法の開発に関わる高精度二次イオン質量分析装置を用いた耳石分析の国際共同研究（米国ウイスコンシン大 John Valley 博士）、2) 魚類を含む海洋生態系モデルの高度化の国際共同研究（米国スクリプス海洋研究所 Tony Koslow 教授、カルフォルニア大学 Jerome Fiechter 博士、ラトジャース大学 Enrique Curchitser 博士、ルイジアナ州立大 Rose 博士）

A04-7: 1) 海洋全層に適用可能な鉛直混合定式化手法開発に関わる国際共同研究（米国スクリプス海洋研究所 Robert Pinkel 教授、米国ワシントン大 Mike Gregg 教授）、2) インドネシア海域における乱流観測の実現のための国際共同研究（インドネシア LIPI 研究所）

A04-8: 1) 現実的な混合分布とその 18.6 年周期変動過程を導入した全球海洋・気候・生態系モデル開発に関わる国際共同研究、2) 数値モデルに取り込む混合過程に関する国際共同研究（オーストラリア国立大学 Andy Hogg 教授）

4. 主な研究成果（発明及び特許を含む）[研究項目ごとに計画研究・公募研究の順に整理する]

（3 ページ以内）

本研究課題（公募研究を含む）により得られた研究成果（発明及び特許を含む）について、新しいものから順に発表年次をさかのぼり、図表などを用いて研究項目ごとに計画研究・公募研究の順に整理し、具体的に記述してください。なお、領域内の共同研究等による研究成果についてはその旨を記述してください。記述に当たっては、本研究課題により得られたものに厳に限ることとします。

研究項目 A01 鉛直混合観測・データ同化システム開発と広域観測による中深層循環の解明

A01-1(計画・安田)

- ・気象庁観測船による東経 137 度線の海底までの混合観測に成功し、北緯 47 度線との差異を明示した：A01-2、A01 公募額、A01 石井公募班との共同研究。
- ・アルゴフロートを用いた観測データを用いて北西太平洋での中層 1000 m までの鉛直混合の季節変動の実態を解明した(Inoue, Watanabe, Osafune 2017, J. Phys. Ocean.) : A01-2 との共同研究。
- ・CTD に取り付けた高速水温計による乱流評価手法における、異常データ除去と適用範囲を示し、実用化に大きく道を拓いた(Goto, Yasuda, Nakasawa, 2017, J. Atmos. Ocean, Tech. 投稿中)。
- ・高速水温計による乱流強度定量化に必要な補正手法を開発した(Goto, Yasuda, Nakasawa, 2016, J. Atmos. Ocean, Tech.)。

A01-2(計画・増田)

- ・海洋循環再現と鉛直混合データ統合についての現状と課題を示した(増田、海の研究、2017)。

A01(公募・額)

- ・太平洋西岸での混合強度の経年変動が海盆全体にわたる海洋環境の長期変動に密接に関連していることを観測データから解明した(Kouketsu 他 2017, J. Geophys. Res.)。

A01(公募・川口)

- ・北極海の高気圧性渦での気象擾乱に伴い発生する近慣性内部波の捕捉と乱流強化過程を明らかにした(Kawaguchi 他, 2016, J. Phys. Ocean.)。

研究項目 A02 親潮・黒潮とその源流域における統合的現場観測による混合と物質輸送の解明

A02-3(計画・西岡)

- ・北太平洋溶存鉄データセット整備とオホーツク海やベーリング海などの北方の縁辺海の一部を含めた西部北太平洋における溶存鉄の 3 次元分布を提示し、縁辺海が北太平洋亜寒帯海域の生態系に大きな影響を与えていることを示した (Nishioka, Obata, 2017, Limnology and Oceanography)。
- ・ネオジム同位体比測定体制を整え、東シナ海で付加される大陸地殻の影響を示した。

A02-4(計画・郭)

- ・トカラ海峡における海山下流の黒潮での強烈な乱流の発生していることを実証した。
- ・ケラマギャップに流入する中層水が流下方向に大きく変質することを明らかにし大きな混合の存在を推測した(Nishina, Nakamura 他, 2016, J. Geophys. Res.)。

A02(公募・岡)

- ・大陸棚からの供給をモデルに加えることで観測と統合的なネオジム同位体分布を得ることに成功した。

研究項目 A03 鉛直混合とその変動が海洋生態系に与える影響の解明

A03-5(計画・原田)

- ・自動昇降ブイによる世界初の亜寒帯定点での物理・生物時系列観測データを取得した。
- ・低気圧渦の通過が生物起源沈降粒子イベントと関連し、亜熱帯での生物生産の大部分を説明することを観測と海洋生態系モデルで示した。

A03-6(計画・伊藤)

- ・マサバ耳石の微量同位体分析手法を開発し、成長・水温履歴を解析し、再生産成功率が高い年には積極的に低水温域に侵入し、マサバが餌の多い低温海域で過ごす可能性を明らかにした(公募・石村との共同研究)。
- ・マサバ成長モデルを開発した。

研究項目 A04 次世代数値モデルの開発と混合の影響評価

A04-7(計画・日比谷)

・海洋の中・深層における乱流混合について、内部波の位置・運動エネルギー比に基づく補正(右図 $\langle \epsilon_{obs} \rangle / \epsilon_{shear}$ の R_{ω} 依存性。ここで、 ϵ_{shear} は GM を基準とする鉛直シアーに基づくパラメタリゼーションを表している。実線は新たに提案した補正項に対応している)による正確なパラメタリゼーションを構築し、理論計算と乱流直接観測によって有効性を確認した(Ijichi, Hibiya, 2016, J. Atmos. Ocean. Tech.)。

・深海底凹凸地形の直上で形成される顕著な乱流ホットスポットの鉛直スケールが、海底地形の波数で規定される内部波応答の特性に強く依存することを、アイコンナル数値計算によって示した(Ijichi, Hibiya, 2017, J. Phys. Ocean. 右図 U_0 と k で分類した海底地形上に形成される乱流ホットスポットの鉛直スケールの概念図)。

・海洋表層における乱流混合については、熱フラックスの日周変動が海洋混合層深度と海面水温の平均値に影響を与えることを数値実験で確認し、またその素過程力学を明らかにした。

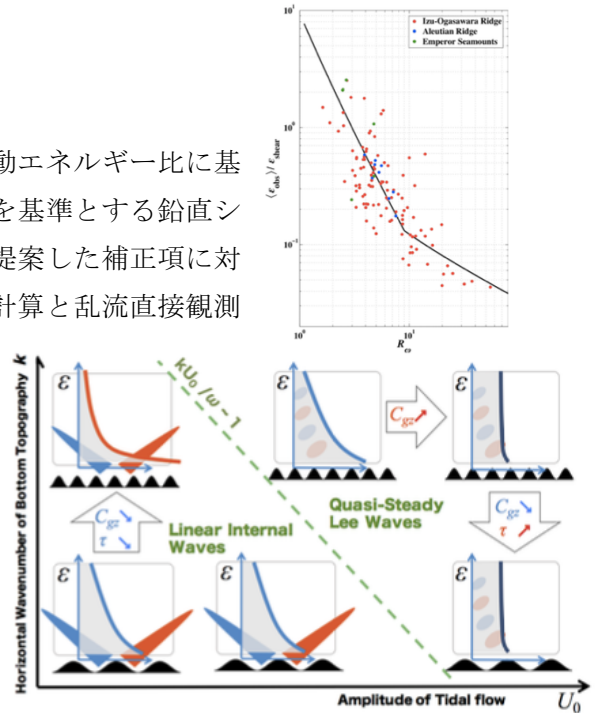
A04-8(計画・羽角)

・潮汐過程の最新高解像度シミュレーションに基づいた最新の混合エネルギー分布をマッピングし、それを搭載した太平洋循環計算を行い、北太平洋域の深層混合が太平洋熱塩循環に及ぼす影響を評価した。

・比較的低解像度の気候モデルを用いて、海洋混合の気候への影響を評価し、南大洋中深層(深さ 1000 m 前後)における混合強度のわずかな違いが、南大洋の海洋構造を通して冬季南大洋上の海水分布に影響を及ぼし、その影響が全球平均気温など全球的気候指標にも有意に及び得ることを示した。

A04(公募・東塚)

潮汐混合を 18.6 年周期で変動させた気候モデル結果を解析し、黒潮続流域の冬季混合層深度に変動が現れていることを明らかにした。



5. 研究成果の公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公開発表等）（5 ページ以内）

本研究課題（公募研究を含む）により得られた研究成果の公表の状況（主な論文、書籍、ホームページ、主催シンポジウム等の状況）について具体的に記述してください。記述に当たっては、本研究課題により得られたものに厳に限ることとします。

- 論文の場合、新しいものから順に発表年次をさかのぼり、研究項目ごとに計画研究・公募研究の順に記載し、研究代表者には二重下線、研究分担者には一重下線、連携研究者には点線の下線を付し、corresponding author には左に*印を付してください。
- 別添の「(2) 発表論文」の融合研究論文として整理した論文については、冒頭に◎を付してください。
- 補助条件に定められたとおり、本研究課題に係り交付を受けて行った研究の成果であることを表示したもの（論文等の場合は謝辞に課題番号を含め記載したもの）について記載したものであるものについては、冒頭に▲を付してください（前項と重複する場合は、「◎▲・・・」と記載してください）。
- 一般向けのアウトリーチ活動を行った場合はその内容についても記述してください。

<発表論文>

研究項目 A01

A01-1（計画・安田）

- ◎▲*Tanaka, T., I. Yasuda, K. Kuma and J. Nishioka: Evaluation of the biogeochemical impact of iron-rich shelf water to the Green Belt in the southeastern Bering Sea. Cont. Shelf Res., in press. 査読有
- ▲*Inoue R., M. Watanabe and S. Osafune: Wind-induced mixing in the North Pacific. Journal of Physical Oceanography. 2017, in press. 査読有
- ▲*井上龍一郎: 海上風による慣性振動の励起と近慣性内部重力波の海洋中への伝播に関する理論研究,海の研究, 2017. 印刷中. 査読有
- ▲*井上龍一郎: 海上風により励起された近慣性内部重力波の背景流が存在する海洋中への伝播に関する理論研究、海の研究, 2017. 印刷中. 査読有
- ◎*Charette, M.A., P. J. Lam, M.C. Lohan, E. Y. Kwon, V. Hatje, C. Jeandel, A. M. Shiller, G. A. Cutter, A. Thomas, P. W. Boyd, W. B. Homoky, A. Milne, H. Thomas, P. S. Andersson, D. Porcelli, T. Tanaka, W. Geibert, F. Dehairs, J. Garcia-Orellana: Coastal ocean and shelf-sea biogeochemical cycling of trace elements and isotopes: lessons learned from GEOTRACES. Phil. Trans. R. Soc. A., 374: 20160076. 2016. 査読有
- ◎▲*Goto, Y., I. Yasuda and M. Nagasawa: Turbulence estimation using fast-response thermistors attached to a free-fall vertical microstructure profiler. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 33, 2065-2078, 2016. 査読有
- ◎▲*Saito, R., I. Yasuda, K. Komatstu, H. Ishiyama, H. Ueno, H. Onishi, T. Setou and M. Shimizu: Subsurface hydrographic structures and the temporal variations of Aleutian eddies. Ocean Dynamics, DOI 10.1007/s10236-016-0936-0, 2016. 査読有
- ◎*Yasuda, I.: Variability and mixing in the Kuroshio and impact on ecosystem and climate. CLIVAR Exchanges, No.69, Vol.20(1), Aug., 10-13, 2016. 査読無

A01-2（計画・増田）

- ◎▲*増田周平, “全球規模の海洋環境再現の精緻化と鉛直混合に関する研究～鉛直混合観測データの統合にむけて～（海洋環境再現と鉛直混合観測データ統合）”, 海の研究, 26, 2017. 印刷中. 査読有
- ▲*額額慎也, “北太平洋の中・深層循環とその変化・変動の観測的研究”, 海の研究, 26, 印刷中. 査読有
- ▲*Inoue, R., M. Watanabe, S. Osafune, “Wind-induced mixing in the North Pacific”, Journal of Physical Oceanography, 査読有, 47, in press. 査読有
- ◎*Doi, T., S. Osafune, N. Sugiura, S. Kouketsu, A. Murata, S. Masuda, and T. Toyoda, “Multi-decadal change in the dissolved inorganic carbon in a long-term ocean state estimation”, Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 査読有, 7, 4, 1885-1990, DOI:10.1002/2015MS000462, 2015. 査読有

A01(公募・額額)

▲ *Kouketsu, S., Osafune, S., Kumamoto, Y., and Uchida, H., “Eastward salinity anomaly propagation in the intermediate layer of the North Pacific”, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 査読有, 2017–2033. <https://doi.org/10.1002/2016JC012118>, 2017. 査読有

A01(公募・川口)

*Kawaguchi, K., S. Nishino, H. Takeda, J. Inoue, K. Maeno, K. Oshima, Enhanced diapycnal mixing due to near-inertial internal waves propagating through an anticyclonic eddy in the ice-free Chukchi Plateau, *Journal of Physical Oceanography*, 46, 8, 2457-2481, 2016. 査読有

研究項目 A02

A02-3(計画・西岡)

▲Nishioka, J.* and H. Obata, Dissolved iron distribution in the western and central subarctic Pacific - HNLC water formation and biogeochemical processes -, *Limnology and Oceanography*, 査読有, doi:10.1002/lno.10548, 2017.

▲小畑 元*, 金 泰辰, 西岡 純, 北太平洋亜寒帯における鉄の供給過程, *海の研究*, 26(3), 79-93, 2017. 査読有

◎▲平譯 享*, 高尾信太郎, 鈴木光次, 西岡 純, 渡邊 豊, 伊佐田 智規, 衛星による海洋基礎生産力の推定、*海の研究*, 26(3), 65-77, 2017. 査読有

▲Obata, H. *, J. Nishioka, T. Kim, K. Norisuye, S. Takeda, Y. Wakuta, T. Gamo, Dissolved iron and zinc in Sagami Bay and the Izu-Ogasawara Trench, *Journal of Oceanography*, 査読有, DOI 10.1007/s10872-016-0407, 2017. 査読有

◎Waga, H. *, T. Hirawake, A. Fujiwara, T. Kikuchi, S. Nishino, K. Suzuki, S. Takao, S-I. Saitoh, Differences in Rate and Direction of Shifts between Phytoplankton Size Structure and Sea Surface Temperature. *Remote Sensing*, 査読有, 9, 222, doi:10.3390/rs9030222, 2017. 査読有

Tazoe, H.*, H. Obata, M. Tomita, S. Namura, J. Nishioka, T. Yamagata, Z. Krube and M. Yamada, Novel method for low level Sr-90 activity detection in seawater by combining oxalate precipitation and chelating resin extraction, *Geochemical Journal*, 査読有, 51 (2) 193-197, doi:10.2343/geochemj.2.0441, 2017. 査読有

Sugie, K. * and K. Suzuki, Characterization of the synoptic-scale diversity, biogeography and size distribution of diatoms in the North Pacific. *Limnology and Oceanography*, doi: 10.1002/lno.10473, 2017. 査読有

Inoue, M. *, Y. Shirokani, S. Nagao, H. Kofuji, Y.N. Volkov, J. Nishioka, Migration of the FDNPP-derived ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs along with ²²⁶Ra and ²²⁸Ra concentrations across the northwestern North Pacific Ocean, *Journal of Environmental Radioactivity*, 査読有, 162, 33-38, 2016. 査読有

GEOTRACES group., (J. Nishioka, H. Obata) et al., The GEOTRACES intermediate data , product 2014, *Marine Chemistry*, 査読有, 177, 2015, 1-8. .doi.org/10.1016/j.marchem, 2015. 査読有

A02-4(計画・郭)

▲Zhang J, *Guo X, Zhao L, Miyazawa Y, Sun “Water exchange across isobaths over the continental shelf of the East China Sea”, *Journal of Physical Oceanography*, 47, 1043-1060, 2017. 査読有

Zhu X-H, Nakamura H, Dong, M, Nishina A, Yamashiro T, “Tidal currents and Kuroshio transport variations in the Tokara Strait estimated from ferryboat ADCP data”, *Journal of Geophysical Research - Oceans*, 122, 2120–2142, 2017. 査読有

▲Hu Y, *Guo X, Zhao L, “Interannual variation of nutrients along a transect across the Kuroshio and shelf area in the East China Sea over 40 years”, *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 35, 2017. 査読有

◎▲Wang Y, *Guo X, Zhao L, “Simulating the responses of a low-trophic ecosystem in the East China Sea to decadal changes in nutrient load from the Changjiang (Yangtze River)”, *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 35 2017. 査読有

◎▲Pan S, *Shi J, Gao H, Guo X, Yao X, Gong X, “Contributions of physical and biological processes to phytoplankton biomass enhancement in the surface and subsurface layers during the passage of typhoon Damrey”, *Journal of*

Geophysical Research- Biogeosciences, 122, 212–229, 2017. 査読有

▲Tsutsumi E, Guo X, “Climatology and linear trends of seasonal water temperature and heat budget in a semi-enclosed sea connected to the Kuroshio region”, *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 121, 4649–4669, 2016. 査読有

▲Nishina A, Nakamura H, Park J-H, Hasegawa D, Tanaka Y, Seo S, Hibiya T, “Deep ventilation in the Okinawa Trough induced by Kerama Gap overflow”, *Journal of Geophysical Research - Oceans*, 121, 6092–6102, 2016. 査読有

A02(公募・三寺)

◎▲Nakanowatari, T., T. Nakamura, K. Uchimoto, J. Nishioka, H. Mitsudera, and M. Wakatsuchi, 2017. Importance of Ekman transport and gyre circulation change on seasonal variation of surface dissolved iron in the western subarctic North Pacific, *Journal of Geophysical Research*, in press. 査読有

研究項目 A03

A03-5(計画・原田)

▲*Chikamoto, M.O., A. Timmermann, Y. Chikamoto, H. Tokinaga, N. Harada, Mechanisms and predictability of multiyear ecosystem variability in the North Pacific. *Global Biogeochemical Cycles*, 29, 2001–2019, 2015. 査読有.

*Fujiki, T., K. Sasaoka, K. Matsumoto, M. Wakita, Y. Mino, Seasonal variability of phytoplankton community structure in the subtropical western North Pacific. *Journal of Oceanography*, 72, 343–358. DOI 10.1007/s10872-015-0346-, 2016. 査読有.

*Mino Y., C. Sukigara, M.C. Honda, H. Kawakami, K. Matsumoto, M. Wakita, M. Kitamura, T. Fujiki, K. Sasaoka, O. Abe, J. Kaiser, T. Saino, Seasonal variations in the nitrogen isotopic composition of settling particles at station K2 in the western subarctic North Pacific, *Journal of Oceanography*, 72(6), 819-836, DOI 10.1007/s10872-016-0381-1, 2016. 査読有.

*Shiozaki, T., M. Ijichi, K. Isobe, F. Hashihama, K. Nakamura, M. Ehama, K. Hayashizaki, K. Takahashi, K. Hamasaki, K. Furuya Nitrification and its influence on biogeochemical cycles from the equatorial Pacific to the Arctic Ocean, *The ISME Journal*, 10, 2184-2197, DOI:10.1038/ismej.2016.18, 2016. 査読有.

A03-6(計画・伊藤)

◎▲*伊藤進一・船本鉄一郎・志田修・上村泰洋・高橋素光・白井厚太郎・樋口富彦・小松幸生・横井孝暁・坂本達也・Guo Chen-ying・石村豊穂, 「気候変動が水産資源の変動に与える影響を理解する上での問題点と今後の展望」, 海の研究, 印刷中. 査読有

◎*Kato M, Oji T and Shirai K, “Paleoecology of echinoderms in cold seep environments revealed by isotope analysis in the late Cretaceous Western Interior Seaway”, *Palaeos*, 査読有, 32, 218-230, 2017. 査読有

*Füllenbach C S, Schöne B R SCHÖNE, Shirai K, Takahata N, Ishida A, Sano Y, “Minute co-variations of Sr/Ca ratios and microstructures in the aragonitic shell of *Cerastoderma edule* (Bivalvia) – Are geochemical variations at the ultra-scale masking potential environmental signals?”, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 05, 256-271, 2017. 査読有

◎▲Kakehi S., *Ito S., Wagawa T, “Estimating surface water mixing ratios using salinity and potential alkalinity in the Kuroshio-Oyashio mixed water regions”, *Journal of Geophysical Research Oceans*, 122, 1927-1942, 2017. 査読有

◎*Saito R, Yasuda I, Komatsu K, Ishiyama H, Ueno H, Onishi H, Setou T., Shimizu M, “Subsurface hydrographic structures and the temporal variations of Aleutian eddies”, *Ocean Dynamics*, 66, 605-621, 2016. 査読有

▲*Kobashi F, Onikata Y, Iwasaka N, Kawai Y, Oka E, Uehara K, Ito S., Odamaki M, Sasaki H, “Small meanders of the Kuroshio Extension and associated northward spreading of warm water: Three-vessel simultaneous observations and an eddy-resolving ocean model simulation”, *Journal of Geophysical Research Oceans*, 121, 5315-5337, 2016. 査読有

◎▲*伊藤進一, 「海洋低次栄養段階生態系モデルの歴史と NEMURO」, 月刊海洋, 548, 291-301, 2016. 査読無

研究項目 A04

A04-7 (計画・日比谷)

- ◎▲*吉川裕, 遠藤貴洋, 2017. 海洋表層混合層における乱流混合に関する研究, 海の研究, 印刷中. 査読有
- ▲*Ijichi, T., and T. Hibiya, Eikonal calculations for energy transfer in the deep-ocean internal wave field near mixing hotspots, *J. Phys. Oceanogr.*, 47, 199–210, doi:10.1175/JPO-D-16-0093.1, 2017. 査読有
- ◎*Shikata, T., G. Onitsuka, K. Abe, S. Kitatsuji, K. Yufu, Y. Yoshikawa, T. Honjo and K. Miyamura, Relationships between light environment and subsurface accumulation during the daytime in the red-tide dinoflagellate *Karenia mikimotoi*, *Marine Biology*, 164:18, doi:10.1007/s00227-016-3042-4, 2017. 査読有
- ◎*Inazu, D., T. Waseda, T. Hibiya, and Y. Ohta, Assessment of GNSS-based height of multiple ships for measuring and forecasting great tsunamis, *Geosci. Lett.*, 3:25, doi:10.1186/s40562-016-0059-y, 2016. 査読有
- ▲*Nishina, A., H. Nakamura, J.-H. Park, D. Hasegawa, Y. Tanaka, S. Seo, and T. Hibiya, Deep ventilation in the Okinawa Trough induced by Kerama Gap overflow, *J. Geophys. Res.*, 121, 6092–6102, doi:10.1002/2016JC011822, 2016. 査読有
- *Warren, M. A., G. D. Quartly, J. D. Shutler, P. I. Miller, and Y. Yoshikawa, Estimation of ocean surface currents from maximum cross correlation applied to GOCI geostationary satellite remote sensing data over the Tsushima (Korea) Straits, *J. Geophys. Res.*, 121, 6993–7009, doi:10.1002/2016JC011814, 2016. 査読有
- ◎*吉川裕, 鬼塚剛, 紫加田知幸, 油布圭, 萬年隆裕, 海洋表層の乱流混合と植物プランクトン動態, *水産海洋研究*, 80, 234–235, 2016. 査読有

A04-8 (計画・羽角)

- ▲*Tatebe, H., M. Kurogi and H. Hasumi, Atmospheric responses and feedback to the meridional ocean heat transport in the North Pacific, *J. Climate*, in press. 査読有
- *Sakamoto, T. T., L. S. Urakawa, H. Hasumi, M. Ishizu, S. Itoh, T. Komatsu and K. Tanaka, Numerical simulation of Pacific water intrusions into Otsuchi Bay, northeast of Japan, with a nested-grid OGCM, *J. Oceanogr.*, 73, 39-54, 2017. 査読有
- *Tanaka, K., K. Komatsu, S. Itoh, D. Yanagimoto, M. Ishizu, H. Hasumi, T. T. Sakamoto, L. S. Urakawa, Y. Michida and K. Saito, Baroclinic circulation and its variability in Otsuchi Bay of Sanriku ria coast, Japan, *J. Oceanogr.*, 73, 25-38, 2017. 査読有
- *Kusahara, K., H. Hasumi, A. D. Fraser, S. Aoki, K. Shimada, G. D. Williams, R. Massom and T. Tamura, Modeling ocean-cryosphere interactions off the Adelie and George V Land coast, *J. Climate*, 30, 163-188, 2017. 査読有
- *Imada, Y., H. Tatebe, M. Watanabe, M. Ishii and M. Kimoto, 2016: South Pacific influence on the termination of El Nino in 2014, *Sci. Rep.*, 6, 2016. 査読有
- Hiraike, Y., *Y. Tanaka and H. Hasumi, Subduction of Pacific Antarctic Intermediate Water in an eddy resolving model, *J. Geophys. Res. Oceans*, 121, 133-147, 2016. 査読有
- *Kawasaki, T., and H. Hasumi, The inflow of Atlantic water at the Fram Strait and its interannual variability, *J. Geophys. Res. Oceans*, 121, 502-519, 2016. 査読有
- *Urakawa, L. S., M. Kurogi, K. Yoshimura and H. Hasumi, Modeling low salinity waters along the coast around Japan using a high resolution river discharge data set, *J. Oceanogr.*, 71, 715-739, 2015. 査読有
- *Matsuda, J., H. Mitsudera, T. Nakamura, Y. Sasajima, H. Hasumi and M. Wakatsuchi, Overturning circulation that ventilates the intermediate layer of the Sea of Okhotsk and the North Pacific: the role of salinity advection, *J. Geophys. Res. Oceans*, 120, 1462-1489, 2015. 査読有
- *Nakanowatari, T., T. Nakamura, K. Uchimoto, H. Uehara, H. Mitsudera, K. I. Ohshima, H. Hasumi and M. Wakatsuchi, Causes of the multidecadal-scale warming of the intermediate water in the Okhotsk Sea and western subarctic North Pacific, *J. Climate*, 28, 714-736, 2015. 査読有

A04(公募・東塚)

- ▲*Cronin, M. F., and Tozuka T. Steady state ocean response to wind forcing in extratropical frontal regions, *Scientific Reports*,

〈ホームページ・新聞等〉

- ・海洋混合学の創設 HP: <http://omix.aori.i-tokyo.ac.jp/>
- ・ニュースレター (OMIX No.1-5, 他 3 件) http://omix.aori.u-tokyo.ac.jp/news_letter/
- ・パンフレット: http://omix.aori.u-tokyo.ac.jp/wp-content/uploads/2015/11/OMIX-pamph_0527.pdf
- ・新聞、西岡・他、流氷による栄養物質である鉄の移送について・運ぶ大量の鉄分、2017年3月28日、釧路新聞
- ・新聞、西岡・他、オホーツク海氷観測について、2017年2月20日、苫小牧民報
- ・プレスリリース: 縁辺海からの鉄分供給によって北西部北太平洋は高生物生産域になることを解明 (西岡・小畑)、2017.4.13, http://www.hokudai.ac.jp/news/170413_pr2.pdf

〈主催シンポジウム等の状況〉

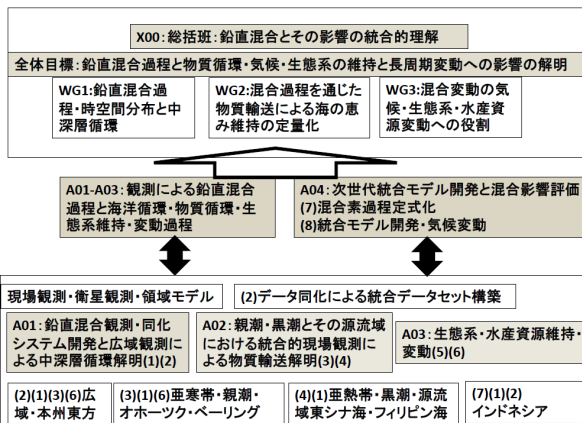
- ・OMIX International Workshop, 新学術領域「新海洋混合学」、2017/3/16-17 東京大学山上会館、外国人 15 名、日本人 90 名
- ・East Asia GEOTRACES Workshop: Trace Element and Isotope (TEI) study in the Northwestern Pacific and its marginal seas, 2017.1.16-18, Sapporo, 57 人 (海外:27 名、日本:30 名)
- ・The 8th Ocean Science Workshop, Program of the East Asian Cooperative Experiments (PEACE)・Oceanography of the Okhotsk Sea and plans for regional GEOTRACES Program, J. Zhang, Yu.I. Zuenko, 29-31 August, 2016, POI FEB RAS, Vladivostok, Russia (日本人 5 人、ロシア・韓国・中国など 80 人)
- ・「Ecosystem Studies of Sub-arctic Arctic Seas」Annual Science Meeting, Yokohama, 7-9 March, 2016, 50 名参加 (内外国人 13 名)
- ・水産海洋学会, 水産海洋シンポジウム「潮汐混合が強い海域を利用する海洋生物資源の変動」, 2016/03/14, 東京都文京区, 114 名
- ・Japan Geoscience Union Meeting 2016, “Ocean Mixing Frontiers”, Japan Geoscience Union, May 22-May 26, 2016, Chiba, 参加者概数 100 名 (日本人 80 名、外国人 20 名)
- ・Asia Oceania Geoscience Society 13th Annual Meeting, “Ocean Mixing Matters”, Asia Oceania Geoscience Society, July 31-August 5, 2016, Beijing, China, 参加者概数 50 名 (日本人 5 名, 外国人 45 名)
- ・Asia Oceania Geoscience Society 13th Annual Meeting, “General Oceanography”, Asia Oceania Geoscience Society, July 31-August 5, 2016, Beijing, China, 参加者概数 30 名 (日本人 5 名, 外国人 25 名)
- ・共同利用研究集会「黒潮域における混合と栄養塩供給・生物生産へ与える影響」2017年1月19-20日東京大学大気海洋研究所 80 名

〈アウトリーチ活動〉

- ・SSAS(The Ecosystem Studies of Sub-Arctic Seas), ESSAS 一般講演会にて「日本周辺の豊かな海で生活する アジ、サバ、マイワシの不思議」について講演, 2016/03/09, 神奈川県横浜市, 約 20 名
- ・科学技術振興機構, サイエンスアゴラにて OMIX の研究内容ポスター説明, 2015/11/14-15, 江東区, 約 200 名
- ・岩手日報こども新聞 (2017年2月21日刊), 「さんりく 海の勉強室」 「92歳、カメもびっくり!? 岩手にもいた長生きの貝」

6. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況（2 ページ以内）

領域内の計画研究及び公募研究を含んだ研究組織と領域において設定している各研究項目との関係を記述し、研究組織間の連携状況について組織図や図表などを用いて具体的かつ明確に記述してください。



鉛直混合の実態と影響の解明、という研究目標を達成し、海洋混合学を創設する、という本領域の目的を、最も効果的に実現できる人材を配して研究組織体制を作り、柔軟で効果的な研究経費配分を通じて、効率的な研究運営を行う。目標に向かって進むための自由闊達な議論を徹底し、また、科学を第一に考える、一貫した組織運営を行う。本領域の成功の第一の鍵は、鉛直混合過程とその影響を明らかにするための現場観測データを収集できるかどうかにある。2016-2018年度の白鳳丸共同利用3カ年計画に、本領域から4研究航海を申請(3航海採択)および利用可能な太平洋横断1航海を申請し採択された。日本の調査船では観測が困難な親潮源流ロシア海域でのロシアとの共同研究航海、黒潮源流フィリピン海域の混合観測、これまで数点しかないインドネシア海域での混合観測、昇降式係留計による生態系時系列観測などにチャレンジし観測を実現する。また、観測を実行するだけでなく、データの解析が進められるよう人員配置等に配慮する他、数値モデルに組み込むことを念頭に置いた成果が得られるように観測・解析計画を立てている。また、鉛直混合分布の実態解明のために、通常の海洋観測装置に乱流計を取り付け、気象庁や水産関係機関の観測においても、乱流観測データを収集できるよう手配した。第二の鍵は、分野の異なる研究者間、観測とモデル等手法が異なる研究者間の協働をどのように実現するかである。まず、研究内容が程よく重複するように研究組織を設定した。また、全体目標の達成のために、自分の得意技を活かして何ができるか、を構成員全員が考え、分野・手法の枠を越えた研究に踏み出すことを奨励している。また、航海は共同で行い、観測・モデルデータの共同解析を実施する他、各種研究会議等を通じて研究成果やアイデアを共有し、分野や手法が異なる研究者間での共同研究や交流を進めた。次世代のリーダーとなる研究者や若手研究者を本領域で育成するために、PDや大学院生等の研究者の研究成果の発表機会を設けるとともに、国際活動支援班を通じて、海外・国内の著名な研究者を招聘するとともに、研究者を派遣し、研究成果を挙げながら経験を積ませている。

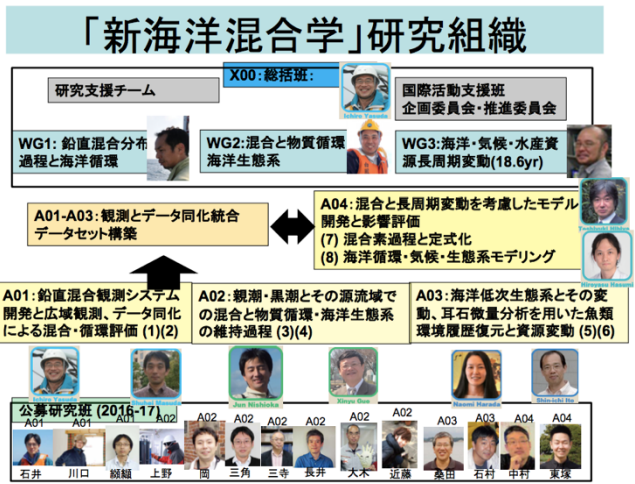
鉛直混合の実態と影響の解明、という研究目標を達成し、海洋混合学を創設する、という本領域の目的を、最も効果的に実現できる人材を配して研究組織体制を作り、柔軟で効果的な研究経費配分を通じて、効率的な研究運営を行う。目標に向かって進むための自由闊達な議論を徹底し、また、科学を第一に考える、一貫した組織運営を行う。本領域の成功の第一の鍵は、鉛直混合過程とその影響を明らかにするための現場観測データを収集できるかどうかにある。2016-2018年度の白鳳丸共同利用3カ年計画に、本領域から4研究航海を申請(3航海採択)および利用可能な太平洋横断1航海を申請し採択された。日本の調査船では観測が困難な親潮源流ロシア海域でのロシアとの共同研究航海、黒潮源流フィリピン海域の混合観測、これまで数点しかないインドネシア海域での混合観測、昇降式係留計による生態系時系列観測などにチャレンジし観測を実現する。また、観測を実行するだけでなく、データの解析が進められるよう人員配置等に配慮する他、数値モデルに組み込むことを念頭に置いた成果が得られるように観測・解析計画を立てている。また、鉛直混合分布の実態解明のために、通常の海洋観測装置に乱流計を取り付け、気象庁や水産関係機関の観測においても、乱流観測データを収集できるよう手配した。第二の鍵は、分野の異なる研究者間、観測とモデル等手法が異なる研究者間の協働をどのように実現するかである。まず、研究内容が程よく重複するように研究組織を設定した。また、全体目標の達成のために、自分の得意技を活かして何ができるか、を構成員全員が考え、分野・手法の枠を越えた研究に踏み出すことを奨励している。また、航海は共同で行い、観測・モデルデータの共同解析を実施する他、各種研究会議等を通じて研究成果やアイデアを共有し、分野や手法が異なる研究者間での共同研究や交流を進めた。次世代のリーダーとなる研究者や若手研究者を本領域で育成するために、PDや大学院生等の研究者の研究成果の発表機会を設けるとともに、国際活動支援班を通じて、海外・国内の著名な研究者を招聘するとともに、研究者を派遣し、研究成果を挙げながら経験を積ませている。

研究戦略 本領域は、統合的現場観測（図下段）とモデリング（図中段右）を両輪として、鉛直混合の実態とその影響を明らかにするために、以下の研究項目 A01-A04 を設定している。鉛直混合観測の空白域となっている西部北太平洋・黒潮・親潮海域において、A01) 日本で開発・改良が進められている乱流観測手法を活かして広域で鉛直混合強度を実測し、データ同化モデルなどを用いて北太平洋中深層循環の維持機構を明らかにする。A02) 現場観測から、様々な物質で異なる鉛直拡散輸送を求め、源流域からの黒潮や親潮による水平輸送を含めた栄養塩輸送を明らかにする。A03) 現場・係留観測や衛星観測、同位体分析などを駆使して、多様な生態系を作る仕組みと水産生物の環境履歴・資源変動過程を明らかにする。A04) 鉛直混合過程とその変動を定式化し、観測された事象を再現できる、次世代の数値モデルを観測班と共同で開発し、鉛直混合とその長期変動が、海洋循環・気候・物質循環・生態系とその変動に与える影響を明らかにする。全体目標（図上段2行目）の達成のために、三つの作業部会（図上段3行目）を総括班に設置し、計画班を越えた連携を図る。図両括弧内の数字は計画研究班の通し番号。

有機的な連携体制 計画研究班の枠を超えた連携により全体目標を達成するために、三つの作業部会に、関係計画研究班から代表以外の研究者を配し、研究分野間の壁を越え、また観測とモデルの結果を持ち寄り手法の壁を超えた協働で、新しい学術・研究成果を生み出す体制となっている。

全体研究目標である、鉛直混合過程とその変動が海洋循環・物質循環・気候・生態系の維持と長周期変動に与える影響の解明、を達成し、計画研究・研究分野・手法の壁を越えた連携を図るために、次の3作業部会(WG)を設置した。各WGリーダーは連携研究者として総括班の構成員となり、領域全体目標の達成に貢献する。(WG1)鉛直混合分布のマッピング・混合強化過程と北太平洋中深層循環の解明(リーダー:吉川裕)、(WG2)栄養塩の輸送と海洋生態系への移行過程とその変動の解明と定量化(リーダー:小畑元)、(WG3)18.6年潮汐振動と関連する長周期気候海洋変動過程と水産資源変動過程の解明(リーダー:建部洋晶)、

また、混合に関わる観測機器を整備し、研究航海における混合観測を実行できるようにするために、総括班に支援チームを置き、観測機器の導入・整備・支援などを行ってきた。さらに、国際活動支援班を設け、国際共同研究航海を実現し、研究拠点、若手研究者を育成、国際共同研究を通じて、海外の優れた研究成果を取り入れる等国際活動を推進してきた。



公募研究については、全体目標の遂行に寄与し、採択時の所見で全体として手薄であると指摘された化学・生物及びモデリングについて重点的に強化した。2016年4月に、公募研究班と計画研究班の合同会議を開き、全体目標、各班での具体的な目標、実施予定の研究航海、研究計画を確認し、実質的な連携を図った。下記に具体的な連携計画を記す。

石井雅男: 黒潮再循環域の表層・亜表層における生物地球化学的循環の解明: 気象庁調査船・グライダー観測を通じた混合・物理・化学データ取得・解析による A01 との連携、**川口悠介:** チャクチ・ベーリン

グ海における乱流混合の観測研究: 生物生産・気候変動への影響評価: 海域における混合観測・解析による A01・A02 との連携、**額額慎也:** 海洋広域観測網による等密度面上塩分分布を利用した混合分布推定と長期変動の評価: 現場観測データ解析を通じ、A01 同化モデルなどとの比較を通じた連携、**上野洋路:** 北太平洋西部亜寒域における海洋中規模渦の物質循環・低次生態系への影響の解明: おしよろ丸航海・亜寒帯海域データ解析を通じた A02 との連携、**長井健容:** 黒潮源流が陸棚縁で生成する近慣性内部波と躍層における鉛直混合メカニズムの解明: 混合観測・モデリングを通じた A02・A01・A04 との連携、**大木淳之:** 光分解性成分の鉛直プロファイルから読み解く表層混合層の構造: おしよろ丸航海・共同解析を通じた A02・A01 との連携、**近藤能子:** 親潮・黒潮およびその源流域における鉄輸送への有機リガンドの寄与の解明: 鉄輸送と生物生産過程を通じた A02・A03 との連携、**岡 顕:** 海洋混合過程の解明に向けたネオジウム同位体比のモデリング: 海洋及び物質循環モデリングを通じた A02・A04・A01 との連携、**三角和弘:** 鉛直混合変動が駆動する鉄循環を介した気候・海洋生態系変動の解明: 鉄循環・生態系モデリングを通じた A02・A04 との連携、**三寺史夫:** 北太平洋栄養物質循環の数値モデリング: 物質循環モデリングを通じた A02・A03・A04 との連携、**石村豊穂:** 極微小領域の耳石安定同位体比分析技術の確立による魚類回遊履歴の超高解像度解析: 魚類同位体微量分析技術・共同解析・研究を通じた A03 との連携、**桑田 晃:** 親潮周辺海域における春季珪藻ブルームの形成機構と長期変動: 長期観測データ解析を通じた A03 との連携、**中村知裕:** 内部波と渦の相互作用による海洋上層の鉛直混合過程: 混合素過程解明を通じた A04 との連携、**東塚知己:** 海洋混合層厚の変動が十年規模気候変動に果たす役割: 18.6年周期変動など長期変動モデル・観測データ解析を通じた A04・A01 との連携

7. 若手研究者の育成に係る取組状況（1ページ以内）

領域内の若手研究者の育成に係る取組状況について記述してください。

若手研究者の育成について、領域として下記の取り組みを行ってきた。

若手研究者・大学院生の研究航海への参加の奨励：領域関係で実施する研究航海は、様々な研究分野・手法を持つ第一線で活躍する研究者が集う場である。若手研究者や大学院生がテーマを持ち乗船、また、最先端の観測・研究活動に触れることで、研究者としての自立や研究活動の視野を大きく広げる機会である。また、研究航海は、若手研究者が活躍できる場であり、シニアの研究者や同年代の研究者から、様々なことが学べる場となっている。これまで、学術研究船白鳳丸・新青丸、実習船おしよろ丸、練習船かごしま丸・長崎丸など、多数の航海に、多くの研究者や大学院生が乗船して、海洋混合学に関連する研究活動を行ってきた。

領域若手会を組織し、自主的にサマースクールを運営：40歳未満の計画研究班に関わる若手研究者、学生をメンバーとする「OMIX 若手会」を組織し、A02-3 計画研究班の西岡代表をアドバイザーとして、自主的に、サマースクールを運営している。H28 年度には、9/22-24 に支笏湖畔で30名以上の学生を含む若手研究者が分野を超えて集まり、各人の研究発表と議論を夜遅くまでに行なった他、シニアの研究者からの混合学の様々な側面からのレクチャーが行われた。

(http://omix.aori.u-tokyo.ac.jp/event/summer_seminar2016/) 若手研究者に発表の機会を設け、様々な研究テーマを理解するのに、十分な時間をとって議論できる場として、大変有益であった。H29 年度は、西部地区を中心に、9/16-18 に大分県別府で実施予定である。

全体会議などでの発表：全体会議において、若手研究者に研究発表の場を設けてきた。H27 年度全体会議ではベストポスター賞を、H28 年度では、国際シンポジウムにおけるポスター発表を設け、39 件のポスターのうち、23 件が若手からのポスターであり、海外研究者にも大いにアピールした。

国際活動支援による若手研究者育成：若手研究者が渡航し海外での研究活動を行う、あるいは、海外の研究者を招聘して交流を図る支援を、国際活動支援班で行なっている。A02-4 班の若手研究者がワシントン大を約1ヶ月訪問し、領域での観測を基に共同研究論文を執筆し、国際共同観測計画を立案した。A03-6 班の若手研究者が、魚類のモデルを高精度化するラトガース大学を訪問して研究活動を行うなど効果を上げてきた。

総括班からの支援：若手研究者の国内外での研究会への参加など、研究活動の支援として初年度80万円、H28 年度以降70万円を計画班に支給し、特に国際活動支援費を使えない学生に対する支援を実施。

若手研究者の受賞状況：

田中雄大（特任研究員）2016 年度日本海洋学会奨励論文賞 2016 年 3 月

樋口富彦（特任研究員）2016 クリタ水・環境科学研究優秀賞 2015 日本サンゴ礁学会・川口奨励賞受賞

大貫陽平（D3）、2016 年度理学系研究科研究奨励賞（博士）受賞、2017 年 3 月。

大貫陽平（D3）、日本海洋学会 2016 年度秋季大会「若手優秀発表賞」受賞、2016 年 9 月。

高橋杏（M2）、日本地球惑星科学連合 2016 年大会「学生優秀発表賞」受賞、2016 年 5 月。

大貫陽平（D3）、日本海洋学会 2016 年度春季大会「若手優秀発表賞」受賞、2016 年 3 月。

伊地知敬（D3）、2015 年度理学系研究科研究奨励賞（博士）受賞、2016 年 3 月。

伊地知敬（D3）、2015 年度笹川科学研究奨励賞受賞、2016 年 3 月。

藤原泰（M2）、日本海洋学会 2016 年度秋季大会「若手優秀発表賞」受賞、2016 年 9 月。

藤原泰（M2）、京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻「修士論文賞」受賞、2017 年 3 月。

坂本達也（D1）、Best Poster Presentation of AORI-SIO Symposium for Building Strategic Partnership

坂本達也（D1）、Best ECS Presentation Award of ICES/PICES Symposium of “Drivers of dynamics of small pelagic fish resources”

若手研究者の就職状況：

田中雄大、水産教育・研究機構・東北区水産研究所・任期付研究員、2017 年 4 月

大貫陽平、九州大学応用力学研究所・助教、2017 年 4 月。

高橋杏、日本学術振興会特別研究員（DC1）、2017 年 4 月。

藤原泰、日本学術振興会特別研究員（DC1）、2017 年 4 月。

川口悠介、東京大学大気海洋研究所・助教、2017 年 5 月

李 根滄、東京大学大気海洋研究所（特任研究員）、2017 年 5 月

8. 研究費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む）（1ページ以内）

領域研究を行う上で設備等（研究領域内で共有する設備・装置の購入・開発・運用・実験資料・資材の提供など）の活用状況や研究費の効果的使用について総括班研究課題の活動状況と併せて記述してください。

本領域で共通に用いられる海洋混合測定に関連する機器については、総括班の支援チームが、機器の選定・導入から、整備・配布・使用指導などを行なっている。経費については、基本的に申請時の積み上げに充足率（H27年度8割、H28-31年度7割）をかけ、年度計画と大きくは異ならず、しかし、領域研究を効率的に進められるよう配慮して執行してきた。ここでは、総括班予算の中で大きな割合を占める共通研究機器及び航海経費について、H27-28年度の執行状況およびH29-31年度の予定について記述する。下記当初申請額に充足率をかけた当初予算を●に、○は執行あるいは執行予定を示す。

H27年度：円安及び機器の高騰により、新規で超深海乱流計の購入が困難となったため A04-7 班で故障していた機器を修理し、共通機器として運用している。深海フロートに乱流計を取り付けるフロート型乱流計の新規開発を鶴見精機と RSI 社と共同で実施することができた。CTD 取り付け型乱流計は、高速水温計のみの仕様とすることで大きく単価を抑え、5 式を購入し、また、水温センサの較正を行うための乱流計部品を購入した。様々な観測で広く混合観測を実施できる体制を作ることができた。グライダーに取り付けられる乱流計を当初予定通り導入したほか、H28 年度に当初予定していたグライダーに取り付ける超音波流速計 ADCP を前倒しで導入し、早期に 2 台のグライダーでの観測体制を整備した。●CTD 取り付け型深海鉛直混合観測装置 2 式 16,000 千円、●電磁流速計搭載超深海乱流計 VMP6000 一式 44,000 千円、●水中グライダー搭載用共通内蔵式乱流計一式 8,000 千円、○CTD 取り付け型高速水温センサ型乱流計 AFP07 5 式 26,908 千円、○較正用乱流計 VMP 5 0 0 用フランジタイプ ノーズコーン 一式 853 千円、○A04-7 所有超深海乱流計 VMP5500 を修理 10,800 千円、○フロート型深海乱流計 8,424 千円、○グライダー用増設 ADCP 10,206 千円、○モジュール型自律式乱流計測プロファイラー 8,186 千円

H28：当初計画に従い、乱流計・ADCP 搭載グライダー SeaExplorer を購入した。●乱流計 ADCP 硝酸計搭載水中グライダー 42,000 千円、●水中グライダー搭載用共通超音波流速計 7,000 千円、○乱流計・超音波流速計搭載自律型自動昇降観測装置 49,000 千円

○自律式乱流計測プロファイラー MR1000 用 センサーガード 559 千円

H29：当初計画していたロシア船航海は、円安及び傭船費用の高騰ほか様々な要因のため、H30 年度に、当初 H29 と H31 年度に積算していた経費をまとめる形で 2 ヶ月の航海を実施することとし、H29 年度には、H30 年度に計画していた機器の購入やインドネシア航海経費の一部を前倒しで実施し、H29 における実質的な経費の変更はないこととした。●水中グライダー搭載用共通硝酸計一式 7,000 千円、●傭船経費 ロシア船 49,000 千円、○硝酸計観測装置+バッテリー BOX 一式 7,620 千円、○当初 H30 CTD 取り付け型深海鉛直混合観測装置 2 式 14,000 千円、○当初 H30 ケーブル付き乱流計 VMP2000 システム一式 16,600 千円、○生物生産活性測定装置 一式 5,200 千円、○グライダー乱流計用電磁流速計 2 式 2,600 千円、○インドネシア船用船経費 10,000 千円

H30：当初 H29 と H31 年度に予定していたロシア船航海を合わせて H30 年度に行うこととし、合わせてインドネシア船観測の一部を実施することとした。H31 年度に積算していたロシア船経費を当該年度に前倒しして実施することに変更がある。●CTD 取り付け型深海鉛直混合観測装置 2 式 14,000 千円、●ケーブル付き乱流計 VMP2000 システム 一式 21,000 千円、●インドネシア船 H30 21,000 千円（20 日+諸経費 10,000 千円）、○ロシア船 98,000 千円（H30 当初機器経費:35,000 千円+インドネシア 11,000 千円+H31 ロシア船経費 49,000 千円を前倒し+総括班 1,000 千円）、○インドネシア船 10,000 千円

H31：当該年度に予定していたロシア船航海は H30 年度に移したため、H31 年度のロシア船経費は無しに変更。●傭船経費 ロシア船 H31 49,000 円、○ロシア船経費は H30 に前倒し。

9. 総括班評価者による評価（2 ページ以内）

総括班評価者による評価体制や研究領域に対する評価コメントを記述してください。

評価体制：大型研究の運営実績があり、親潮源流域など亜寒帯・寒帯海域の海洋・気候を専門とする若土先生、黒潮・熱帯・亜熱帯海洋・気候を専門とする今脇先生、海洋・大気・生物地球化学を専門とする植松先生に、全体会議・総括班会議・国際シンポジウムにご出席いただき、研究及び運営について評価とアドバイスをお願いしている。

評価コメント：

若土正暁（北海道大学・名誉教授・極域海洋学）

地球表面の7割を占める海洋が、地球環境の形成・維持に果たしている役割には、大きく二つあると思われる。その膨大な熱容量から、「気候の変動」に直接的な影響をもたらす一方で、「豊かな海洋生態系（海の恵み）」を維持し、炭素循環にも影響する。この両方ともに大きく関わっているのが**熱や物質を運ぶ海洋循環システム**であり、そのシステムの骨格を担っているはずの重要な物理過程として**＜海洋鉛直混合＞**があるが、その定量的な実態については、実のところ、ほとんど不明であった。

本研究領域では、余りにも未知な要素が多いことから、これまでの永きにわたって先人達が取って取り組む事を避けてきた、海洋学における最も古くて新しい、この最重要研究課題に、英知を結集して、真正面から取り組むことを決断した。そのチャレンジ精神は高く評価される。彼らを動かした背景の一つに、近年の目覚ましい観測機器開発による**現場海洋観測の充実と、モデル研究の急速な進展**がある。以下に、現場観測とモデル研究の双方から既に得られた重要な成果を紹介しておきたい。特に、現場観測による成果は、本研究領域の大きな特徴にもなっている、日本の調査船では観測が困難な海域での国際共同による取り組みから得られたものであることを強調しておく。先ず、**現場海洋観測の成果**から、

黒潮域での乱流の観測等から、**亜熱帯黒潮域**（特に黒潮の北側）では、黒潮の強い恒常的な流れが作る乱流混合によって北太平洋中層水（以後NPIWと呼ぶ）に含まれる窒素や陸棚の鉄など栄養物質が表層に供給されており、生物生産の維持に寄与している可能性が見えてきた。また、**親潮域**を形成する**亜寒帯域**では縁辺海の混合などの作用も受けてNPIWの形成とともに栄養物質が日本東海域に効率的に運ばれ、特に冬季混合が発達する海域で表層に回帰することで生物生産を支えていることも見えてきた。つまり**日本周辺の生物生産やCO2吸収が高い海域を生み出す為には、千島や南西諸島で起こる「混合過程」とNPIWによって亜寒帯から亜熱帯まで結んでいる「物質循環プロセス」が重要である**ことを明らかにした。

一方、海洋混合の気候への影響を評価した**モデル研究成果**として、南大洋（南極大陸の周囲に存在し、世界の三大洋である太平洋・大西洋・インド洋と直接交流をもち、コンベアベルトの維持に重要な役割を担っている）の海洋中深層における**混合強度のわずかな違い**が、南大洋の海洋構造を介して海水分布に影響を及ぼし、それが**全球平均気温など全球的気候指標にも有意に及び得ることを示した**ものがある。これは、**将来の気候温暖化予測におけるこれまでの研究に修正を促す重要な成果**と言える。

以上の現場観測やモデル研究の充実による大きな成果とともに特筆されるべきこととして、本研究領域における優れた研究組織構成がある。それぞれ異なる分野で、既に国際的に高い評価を得ている研究者間における**「密な連携研究」**を積極的に推し進めることにより、全く思いがけない、高いレベルの新しいサイエンスを生み出す可能性もある。

最後に、今後最終評価報告書作成に向けて是非とも推進してほしいのは、最終的な**「結論」**で、あれもこれも分かったではなく、上で紹介した観測やモデル研究等多くの貴重な成果を含めた**総合的視点**から、一つに絞ったものを導き出すことである。即ち、**＜本研究領域で初めて明らかにしたことは何か？＞**、その結論から、**＜次に繋がる研究として最もインパクトあるものは何か？＞**を明確に示してほしい。

今脇資郎（九州大学・名誉教授・海洋物理学）

海洋の鉛直混合は、海水・熱・栄養塩・炭素などの鉛直方向の循環を維持・駆動する基本的かつ極めて重要な物理過程であるが、これまで観測が困難であるなどの理由で、ほとんど解明されていない。この新学術領域研究は、海洋物理学を中心として、海洋化学、海洋生物学、水産海洋学、気候力学などの研究分野を越えた連携によって、海洋科学の積年の課題に正面から取り組もうとする極めてチャレンジングな計画である。

全体として、海洋の鉛直混合に関する研究は着実に進展しており、これまでに以下のような特筆すべき研究が行われた。

(1) 黒潮がトカラ海峡を通過する際、流路に位置する海山の影響で強い鉛直シアが形成され、下流で強い鉛直混合が起こっていることが分かった。黒潮のような強流が凹凸の激しい海底地形の上を通過する際、どのようにして乱流が引き起こされるのかを調べると共に、その鉛直混合が生態系にどのように影響しているのかなどを調べることも今後の課題であろう。(2) 東シナ海から日本南岸に掛けての黒潮強流帯の沿岸側は、これまで栄養塩が少なく生物にとっては砂漠であると考えられていたが、実際には海底からの巻上げによって多くの栄養塩が供給されていて、それが即座にプランクトンに消費されるために存在量が少なくなっていることが分かった。(3) 高速サンプリング水温計による水温場の鉛直微細構造の観測から、乱流強度を求め鉛直混合の大きさを推定する手法が開発された。気象庁の2隻の観測船(凌風丸と啓風丸)のCTDに高速サンプリング水温計を取り付け、定線での乱流観測を開始した。2016年に得た東経137度線の鉛直断面を北緯47度線のそれ(2014年)と比較した結果、フィリピン海の中・深層の乱流強度は北太平洋北部に比べて明らかに高いことが分かった。気象庁の定線は北太平洋の西部(東経165度以西)に広く設定されていて、年1回以上観測されている。近い将来、この海域の乱流強度の海面から海底までの3次元分布が得られるものと期待される。さらに定線観測では生化学的要素も測定されるので、生態系との関連も調べられる。(4) 魚の耳石の分析から生育期間中の環境履歴を推定する手法を開発し、(黒潮・親潮の)混合水域で捕獲されたマサバに適用した結果、マサバが成長につれて高水温・高塩分の環境から低水温・低塩分の環境に少しずつ移動したことが分かった。このことは結果として、成長につれて餌の多い海域に移動していたことを示している。魚の環境履歴の情報はとても貴重であり、海水混合の研究に直には利用できないかもしれないが、生態系研究にとって将来極めて有望である。今後もぜひ研究を進めていただきたい。(5) 北太平洋の西部亜寒帯域の低次生態系は鉄の不足によって抑制されている。この海域への鉄の供給源として、これまで知られていたオホーツク海の他に西部ベーリング海も候補であることが分かった。それらを明らかにするために2018年度にロシア船による観測航海を計画している。実現までに様々な努力が要求されるであろうが、極めて貴重な観測データが得られるはずなので、ぜひ実現していただきたい。

全体の研究体制として、各計画・公募研究間の連携を図り全体目標を実現するために設置した三つの作業部会や、観測機器を導入・整備する研究支援チーム、国際共同研究などを促進するために設けた国際活動支援班などはよく機能している。特に、発足時に海洋混合の研究の現状を把握するために開催した作業部会シンポジウム(2015年度)の内容を基にして日本海洋学会の和文誌「海の研究」に数編のレビュー論文を掲載したことは特筆に値する。

植松光夫(東京大学・教授・生物地球化学):

海洋の水の混合という物理場において、化学成分がそれに従って動き、生物の消長が制御されるという、従来の独立した研究分野の垣根を大きく超えた研究プロジェクトである。また、測器や分析法の開発、観測、検証実験、それをもとにしたモデリングという多岐の分野の研究者が連携しなければ達成できない、まさに新しい学術領域を確立するプロジェクトとしてふさわしいものである。その開始時に本プロジェクトの関連する研究の現状把握と課題について、学会誌の総説として関係者以外にも理解が得られるよう共有した点を高く評価したい。多くの物理計測装置を搭載する技術や物理、化学、生物のパラメータを含めた時系列観測の確立、海水や耳石などの微量成分や安定同位体測定の開発など初期に必要な計画が順調に進行したと理解できた。これらの装置や技術により数多くの海洋観測航海が西部北太平洋を中心に展開されている。特にロシア海域やインドネシア海域についての船舶観測計画は重要であるが、その計画が相手国の対応で大きく左右されている。研究代表者の実現に向けた臨機応変な采配と決断を期待したい。モデルに関しては、それぞれのグループが得られた観測データをもとに独自のモデルによって検証し、成果を上げつつあるが、今後、モデル間同士の連携が深まっていくことを期待している。すでに若手研究者の受賞状況は10件を超えており、優秀な大学院生や研究員が本プロジェクトで研究に取り組んでいることがわかる。今後期待することは、研究成果発表は国外で開かれる国際学会に若手の研究者を派遣することや、次々出てくる素晴らしい研究成果を躊躇わずにNatureやScienceなどの超一流誌へ積極的に投稿し、多くの人々を感動させる努力をしていただくことを願っている。

10. 今後の研究領域の推進方策（2 ページ以内）

今後どのように領域研究を推進していく予定であるか、研究領域の推進方策について記述してください。また、領域研究を推進する上での問題点がある場合は、その問題点と今後の対応策についても記述してください。また、目標達成に向け、不足していると考えているスキルを有する研究者の公募研究での重点的な補充や国内外の研究者との連携による組織の強化についても記述してください。

前半2年度について、現場観測は、申請していた航海が順調に採択され実行に移され、気象庁船などを活用した混合観測により深層・海底に至る混合分布が明らかになりつつあり(A01-A02)、予定以上に進展している。現時点で得られている潮汐混合分布は、モデルに組み込まれ、その結果、南極周辺の海水分布の改善を通して、現行気候モデルに共通した気候バイアスを低減することに成功した(A04-8 班)。一方、広域の鉛直混合分布が観測から得られるようになるに従い、モデルで用いられている混合分布と観測される分布との差が問題になってきた。混合分布をモデルにどのように組み込むか、ということは海洋混合学の永続的なテーマであり、随時更新してゆくべき課題である。潮汐に起因する鉛直混合のうち、海底の起伏が激しい付近での強い混合については、定式化され(A04-7)モデルに組み込まれている(A04-8)。一方、発生した内部潮汐波動が伝搬している間や遠隔地形で散乱時に生じる混合については、観測が不十分だったためもあり、理論・定式化が不十分であり、現時点でモデルへ組み込まれていない。また、風の変動に起因して生じる混合についても時間変動が大きい現象であり、少しずつ観測が積み上げられつつあるが、現時点でモデルに明確な形で組み込まれていない。可能な限り高精度の混合分布や変動をモデルに組み込むことは、海洋循環や気候・生態系への混合の影響を評価するために重要な案件である。まばらな混合の観測データを水温塩分や衛星観測データと共にモデルに同化して、抜けの無い混合分布を海流と同時に求める手法を A01-2 班で開発中である。今後、作業部会 I を通じて、領域の叡智を集めて問題の解決を図ると同時に、具体的な新規航海の申請・応募、公募研究などを通じて今後の研究の進展を図る。

混合による栄養塩輸送と生態系への移行の定量化、というサブテーマ2の全体目標については、領域開始から精力的に行われた現場観測を通じて大きく進展した（黒潮が通過するトカラ海峡・伊豆海嶺・慶良間海裂での強混合に伴う栄養塩輸送、親潮源流域での鉄分布と混合、生物分布の関連性の発見など）。今後、H29-30 年度にも領域関係者を中心とした大型の航海が生まれ、さらなる進展が見込まれる（現場観測の問題点については後述する）。今後、作業部会 II の活動などを通じて、鉛直混合と栄養物質の観測データを用いて、栄養塩物質の乱流鉛直輸送を定量化し、流速観測やデータ同化モデルを併用して、鉄や栄養塩類の3次元循環を明らかにしてゆく。さらに衛星観測・物質循環・生態系モデルを組み合わせることにより、炭素循環への影響や、水産資源の維持と栄養塩供給とを関連つける作業を通じて、日本周辺の高い漁獲量を維持する仕組みに混合がどのように関わっているかについて、明らかにしてゆく。

潮汐 18.6 年周期とそれに関連する長周期海洋・気候・生態系変動を明らかにすることを目標とするサブテーマ3については、作業部会 III が中心となり、これまで得られている知見をレビューし課題を整理した。20年以上の長周期の現象に対して観測データ長が十分でなく（実測水温の記録は約100年、全球規模での信頼できる観測データは約50-100年、漁獲量等のデータは約50-100年など）、18.6年周期を証明できる長いデータは、木の年輪やサンゴなどから復元されたプロキシデータとなる（プロキシデータから18.6年周期を示した研究は、領域代表者の研究も含め幾例ある他、潮汐混合が活発に生じている千島列島海域の下流の親潮の中層酸素濃度には明瞭な18.6年周期変動が存在する）。特に気候や生態系に対する18.6年周期混合変動の影響についての確証を示すためには、モデルによって観測と整合する現象を再現し、その現象がどのような道筋に沿って伝搬し、気候や生態系にどのような変動が生じるのか、また、生じうるのか、明らかにすることが本領域の重要なミッションである。まずは、明確な変動として捉えられている親潮の酸素や水温、層厚変動がモデルで再現されることが課題となる。

水産資源の長周期変動については、魚類の耳石の同位体分析を通じて水温等の成長履歴を復元し、耳石

からわかる成長履歴と合わせて、どのような環境を経た魚が生き残るのか、個体ベースで明らかにできる手法の開発を主眼としている。この手法の開発は、大きなチャレンジであり、少数の魚種に限定した手法開発となるが、数値モデリングなども併用した、水産資源学として先進的な研究に進展しつつある。また、18.6年周期の約3倍の50-70年周期変動は、主要魚種の資源変動周期と同期している。この長周期変動については、観測でその周期変動の存在を証明することが難しく、本領域の当初計画では、チャレンジ課題としている。モデルでこの長周期変動が再現されるならば、この問題の解決の可能性がある。

現場観測については、順調に進展しつつあるが、H29年度以降黒潮や親潮の源流域（ルソン海峡やロシア海域）及びエルニーニョなど気候変動に大きな影響があるインドネシア海域の他国での現場観測については、極めて重要ではある。他国海域であるが故に容易な観測ではなく、様々な問題が生じることが予想されているが、現在、実施実現に向けて調整している。