

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 5 月 28 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18H04129

研究課題名（和文）気候変動が引き起こす海洋溶存酸素変化：データ解析と数値計算による総合研究

研究課題名（英文）Impacts of Climate Variability and Change on Ocean Oxygen

研究代表者

見延 庄士郎（Minobe, Shoshiro）

北海道大学・理学研究院・教授

研究者番号：70219707

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 33,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、海洋脱酸素化と関係する海洋環境の変化を詳細に調査した。過去半世紀の観測データと地球システムモデル結果の解析から、地球システムモデルは全体として北太平洋の海洋脱酸素化を過小評価していることが判明した。海洋中の炭素量として大きな割合を占める難分解性溶存有機物が、長期的な海洋脱酸素化の進行にはある程度寄与することを数値計算で明らかにした。北太平洋の東部と西部の海洋生物指標を初めて総合的に解析し、東部と西部ともに底魚が減少していることを見出し、海洋脱酸素化が影響している可能性を指摘した。さらに、日本周辺での海洋脱酸素化の分布を明らかにし、いくつかの魚種に影響が出ること示唆した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究において、地球システムモデルが北太平洋の海洋脱酸素化を過小評価していることが判明したことは、地球システムモデルによる北太平洋の海洋脱酸素化の将来予測の妥当性に疑問を抱かせる。将来予測は温暖化への適応策を考える上での基礎情報であり、社会にとって重要な意味を持つ。北太平洋東部・西部の底魚に共通して減少傾向が見られ、その要因の一つとして海洋脱酸素化が考えられること、日本周辺において海洋脱酸素化が進行し商業対象魚種に影響が懸念されることは、水産業の持続可能性および海洋生態系保全の観点から重要である。

研究成果の概要（英文）：In this study, we conducted a detailed investigation into the changes in the marine environment related to ocean deoxygenation. Analysis of observational data from the past half-century and Earth system model results revealed that Earth system models generally underestimate ocean deoxygenation in the North Pacific. Numerical calculations showed that refractory dissolved organic matter, which constitutes a significant portion of the carbon in the ocean, contributes to some extent to the long-term progression of ocean deoxygenation. For the first time, we comprehensively analyzed marine biological indicators in both the eastern and western North Pacific, finding that bottom fish are decreasing in both regions, suggesting that ocean deoxygenation may be influencing this decline. Additionally, we clarified the distribution of ocean deoxygenation around Japan, suggesting that it could impact several fish species in the future.

研究分野：気候科学

キーワード：地球温暖化 海洋脱酸素化 観測データ解析 地球システムモデル

1. 研究開始当初の背景

本研究が主たる対象とした現象は、地球温暖化がもたらす海洋の溶存酸素の減少、すなわち Ocean Deoxygenation である。Ocean Deoxygenation の訳語としては、海洋貧酸素化または海洋脱酸素化が用いられ、最近では後者が使われることが増えている。海洋脱酸素化は、海洋の酸素呼吸動物(魚、甲殻類など)に悪影響をもたらす恐れがある。

海洋脱酸素化は、海洋中の酸素循環と強く関係している。溶存酸素は海洋表面では飽和しており、酸素に富んだ水は海水の混合と流れによって海洋内部に送り込まれる。一方海洋内部では、生物活動による呼吸と有機物分解によって酸素が消費される。地球温暖化による海洋脱酸素化の、第一のメカニズムは、表面水温が上昇することによって飽和溶存酸素濃度が減少することである。第二のメカニズムは、表面水温上昇が密度成層を強くすることで、上下方向の循環と混合が弱まることである。またこれら第一・第二のメカニズムよりは弱い地球温暖化によって生物活動が変化することも海洋脱酸素化に影響を及ぼす。また、酸素消費が有機物分解によって生じる場合には、有機物中に取り込まれていた栄養分が無機化されるため、同時に栄養分が増加することが期待される。また酸素消費は、海洋中の無機溶存炭素・二酸化炭素の増加を伴う。したがって、海洋中の溶存酸素の変動は、栄養分および炭素にも密接に関わっている。

研究開始当初には、海洋脱酸素化の全球的な構造が観測データ解析によって明らかにされつつあった。一方、地球システムモデルによる計算が第六次気候モデル相互比較プロジェクトにおいて活発に実行されていた。しかしなお、観測データ解析、数値計算、そして両者の比較において多くの問題が存在していた。

2. 研究の目的

本研究では、過去変化について特に日本周辺海域と北太平洋を中心として理解を深め、その過去変化の解析結果と数値計算結果を合わせて将来予測に役立つ情報を引き出すとともに、魚類等への影響を評価することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、地球温暖化に関する主要な研究手法である、観測データ解析、数値計算データ解析、数値計算の実行・解析、を行った。

4. 研究成果

4.(1) 北太平洋の密度面上の溶存酸素変化解析

World Ocean Database 2013 の観測データを用いて北太平洋における 1950 年～2010 年についての等密度面上の溶存酸素濃度のグリッドデータを作成し、その等密度面でのトレンド解析を行った。その結果、26.4 27.6 の密度面で統計的に有意な溶存酸素濃度の減少トレンドを見出した(図 1)。26.4 27.0 で減少トレンドはアリューシャン列島南岸での 1980 年以降の減少が重要であり、一方 26.8 27.2 ではオホーツク海南部で全期間を通じた減少トレンドがみられる。これらの減少トレンドのメカニズムを調べるために、海洋再解析データを用いた検証を行った結果、どちらの領域においても AOU(見かけの酸素消費量)の増加が溶存酸素濃度の減少トレンドに最も重要であることがわかった。

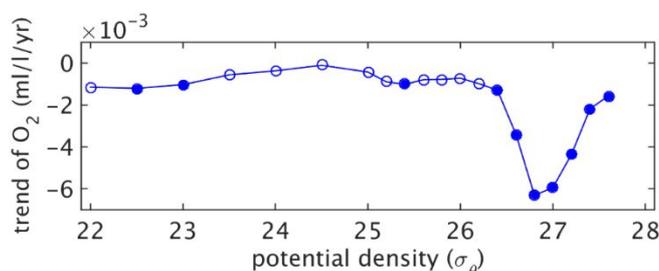


図 1. 北太平洋全体の各等密度面で領域平均した溶存酸素濃度の 1950 - 2010 年のトレンド。黒丸はトレンドが信頼度 95%で有意であることを示す。

4.(2) 長期再観測でとらえた酸素と栄養塩の変化

海洋の観測の中でも重要な観測の一つが、World Ocean Circulation Experiment (WOCE)とその後継である GO-SHIP プロジェクトで実行される、全球海洋の数十の観測線における十年に一度程度の長期再観測である。WOCE/GO-SHIP の観測は、海洋変動を長期高精度でモニターするうえで貴重な情報源となっている。Kouketsu et al. (2020)は、この WOCE/GO-SHIP の北太平洋亜寒帯での北緯 47 度に

沿って東西に延びる観測線のデータを解析し、図 2 に示す通り 2014 年には 2007 年に比べて、西経 140° ~ 165° の中立密度 26.4 ~ 27.0 において、顕著な溶存酸素濃度減少と海洋中の主要な栄養素である硝酸塩の増加が生じていることを報告した。この結果は酸素変動において有機物分解が重要な役割を果たしていることを、定量的にとらえたものである。

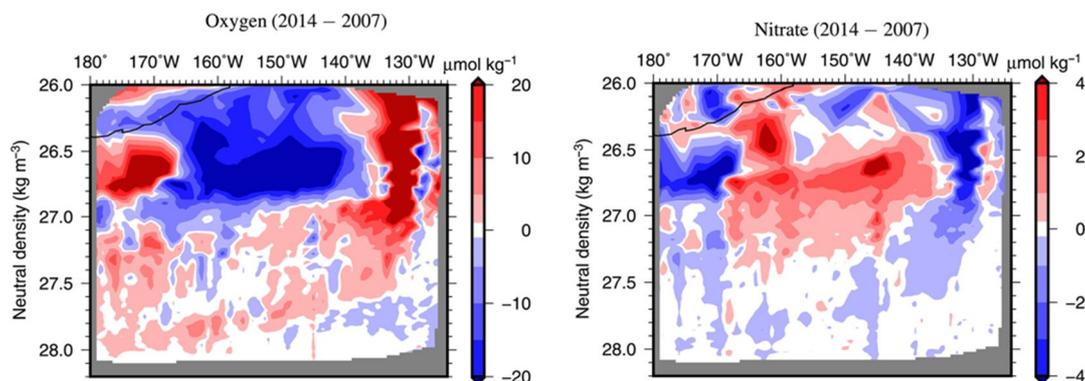


図 2. ライン P1 の東部(北緯 47°)に沿った、(左)酸素および(右)硝酸塩についての 2014 年と 2007 年の差。(Kouketsu et al. (2020)より引用)。

4.(3) 太平洋の栄養塩、二酸化炭素分圧の観測データ解析

太平洋を対象として、海洋表層栄養塩および二酸化炭素分圧の観測データを収集・統合し、統計的な品質管理を行った上で、各月、緯度経度 1 度の格子化データセットを作成した (Yasunaka et al. 2019, 2020)。そして、それらを用いて、海盆スケールの季節・経年変動を明らかにした。太平洋熱帯域では、ENSO に伴う変動が顕著に見られ、エルニーニョ時に、東経 150 度以東の赤道上を中心に、栄養塩濃度と全炭酸濃度の有意な低下が見られた。また、過去約 30 年間に於いて、赤道上、特に中央部から東部にかけて、他の海域よりも大きな全炭酸濃度と二酸化炭素分圧の増加トレンドが見られた。北太平洋中緯度から亜寒帯にかけては、主要栄養塩間の季節振幅に海域的な違いが見られ、植物プランクトン組成や窒素固定との対応が示唆された。また、太平洋 10 年規模変動や北太平洋循環振動に伴う変動が広域で見出された。さらに、亜表層クロロフィル極大の広域時空間分布を、観測値に基づく研究として初めて明らかにした (Yasunaka et al. 2022)。亜熱帯循環中央部で深い構造や、中緯度域における季節変化、熱帯太平洋での ENSO に伴う変化などが見出された。また、光強度や栄養塩躍層、酸素濃度との関係も議論した。

4.(4) 北太平洋の過去の海洋貧酸素化についての観測データセットと数値計算の詳細解析

地球システムモデルが適切に海洋脱酸素化を捉えているかどうかについて、国際的に注目が集まっている。この問題を評価するには、観測データが豊富な北大西洋そして北太平洋での詳しい解析が有益である。そこで、Abe and Minobe (2023)では、北太平洋について観測データと数値計算データの詳細な解析を行った。

用いたデータは、観測データについては Ito et al. (2015)が作成した格子化観測データセットであり、数値計算結果は第 5 次および第 6 次気候モデル相互比較プロジェクト (Climate Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) and 6 (CMIP6)) の過去実験である。CMIP5 は IPCC 第 5 次評価報告書に、CMIP6 は IPCC 第 6 次評価報告書でもその結果が広く紹介されているプロジェクトであり、現在の気候科学において最も大規模かつ地球温暖化問題について最も重要な数値計算プロジェクトである。用いたモデル出力は、CMIP5 の 10 モデルと CMIP6 の 10 モデルであり、各モデルのアンサンブル(試行)数は論文執筆時点で利用できるもの全てを用いた。モデルによっては、提供アンサンブル数が 20 を越えるいわゆる大規模アンサンブルもあり、総アンサンブル数は 204 である。複数の大規模アンサンブルの総合解析の重要性は近年高まっているが、我々が知る限り生物地球化学変数について 200 を越えるアンサンブルを解析したのは本研究が初めてである。この大量のアンサンブルによって、小数アンサンブルの解析に比べて、はるかに信頼性が高い結果を得ることができる。

観測データから推定した、北太平洋(15-65N, 140E-100W)の上層 1000 m における溶存酸素量の減少トレンドは、ほとんどのアンサンブルにおけるトレンドよりも強い(図 3)。いくつかのアンサンブルは観測データよりも強い溶存酸素減少トレンドを示しているが、これらのアンサンブルを詳しく解析すると、大きな酸素減少は、元々モデルにおいて溶存酸素量を過大評価していること、モデルの水温上昇が観測よりも大きいこと、といった適切とは言えない理由と関係していることが明らかになった。したがって、北太平洋においては、現在最先端の地球システムモデルであっても、海洋脱酸素化を正しく捉えていないことが強く示唆される。この結果は、地球システムモデルの将来予測も信頼性が乏しいということを意味するので、温暖化の適応策を考慮する上でもその基礎となる予測について重要な意味を持つ結果である。

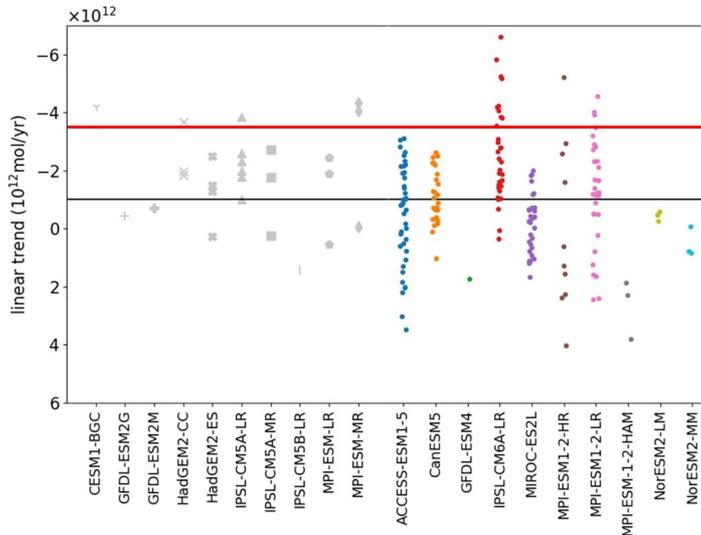


図3. 1958-2004年の期間における、北太平洋1000m以浅での、溶存酸素量の減少トレンド。観測値を赤線、各モデルでの値は点で示している。(Abe and Minobe 2003より引用)

4.(5) 難分解性溶存有機物が海洋脱酸素化けるに及ぼす効果の評価

海洋中の溶存有機物量は、二酸化炭素に換算すると大気中の二酸化炭素量と同程度に多いが、その9割は難分解性であるため従来の地球システムモデルで考慮されてこなかった。本研究では、この難分解性溶存有機物(RDOM)が海洋脱酸素化に与える影響を、数値計算を行い評価した。

数値計算では、産業革命前年率1%で大気中の二酸化炭素濃度を140年間上昇させて4倍増させ、その後1000年余りそのレベルを維持して計算を行った。その結果、海洋脱酸素化に最も大きく寄与するのは、循環・混合の弱化などの物理過程、次が温度上昇による溶解度の減少であった(図4)。生物過程は海洋脱酸素化を弱める働きがあり、これは温暖化によって生物生産が減少し、有機物分解が減るためである。一方、生物過程の一部である難分解性溶存有機物の効果は、水温上昇が進むにつれ細菌のRDOM分解速度が速くなるため、溶存酸素を減らし、海洋脱酸素化を強めるように働くことが明らかになった。

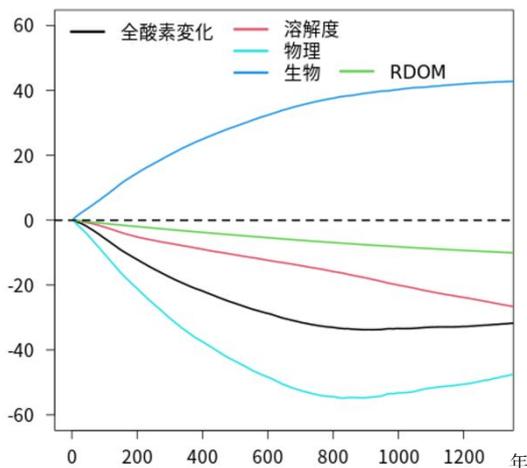


図4. 温暖化実験時の全海洋平均の溶存酸素変化量の時系列に対するそれぞれのメカニズムの寄与量(μmol/L)。全酸素変化は、海洋表面水温増加による溶存酸素の「溶解度」の低下、温暖化に伴う海洋循環変化等による「物理過程」による変化、そして「生物効果」による。難分解性溶存有機物(RDOM)の効果は、生物過程の一部として生じる。

4.(6) 北太平洋の海洋生物変動と海洋脱酸素化の影響の可能性

海洋脱酸素化が北太平洋の生物に広範な影響を与えている可能性が、Yati, Minobe et al. (2020)が行った。生物指標データの大規模解析で明らかになった。我々は北太平洋東部のデータに日本の調査によって得られたデータを加えて、初めて北太平洋東部と西部を俯瞰する、大規模生物指標解析を行った。用いた生物指標データは29個が西部北太平洋、91個が東部北太平洋のデータであり、解析期間はデータに欠損が少ない1965-2006年とした。これらのデータを全北太平洋、西部北太平洋、東部北太平洋において主成分分析を行い、それを物理的な気候指標時系列および気候変動のパターンと比較した。

その結果得られた生物使用の第一主成分時系列は、ゆるやかな長期変化で特徴づけられる(図5)。我々はこの時系列は先行研究が示唆した太平洋十年振動(Pacific Decadal Oscillation, PDO)とは対応しておらず、地球温暖化指標である全球平均海面水温と統計的に有意に相関することを見出した。したがって北太平洋の生物変動の主要因は、従来考えられてきたPDOではなく、地球温暖化であることが強く示唆される。

また、この時系列とよく関係する魚種グループの一つは、底魚(図中の記号G)であり、北太平洋東部と北太平洋西部で共通して、長期的な減少を示している。底魚は、海洋脱酸素化の影響を受けやすい魚

種であり、北太平洋では強い海洋脱酸素化が生じているため、この底魚の減少の一員破壊用脱酸素化である可能性がある。なお、この Yati, Minobe et al. (2020)は、IPCC 第 6 次第二作業部会評価報告書でも引用され、また、本課題の別研究である Terada, Minobe, Deutsch (2020)も IPCC 第 6 次第一作業部会評価報告書で引用されており、本課題は国際的に高い評価を得たと判断している。

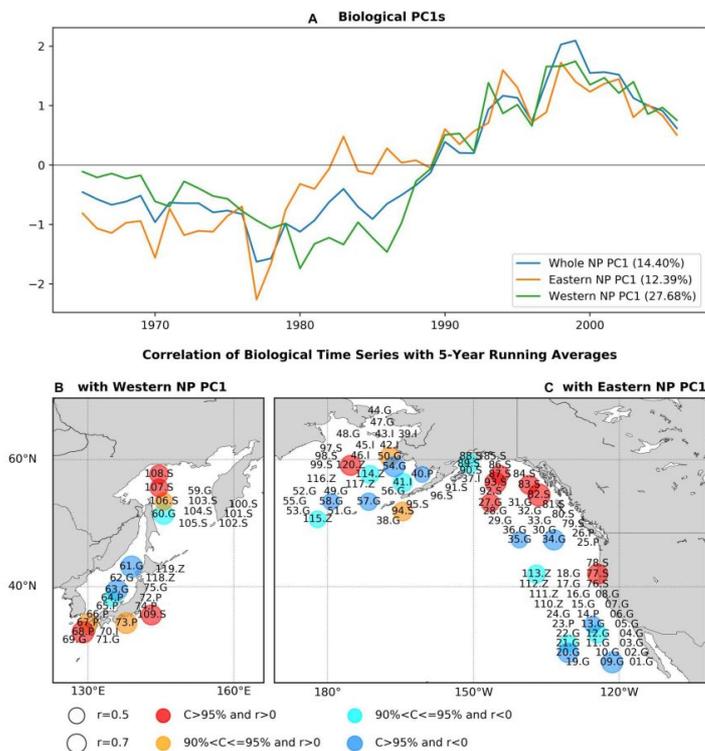


図5. 北太平洋全域、東部、および西部の海洋生物指標の主成分第一モード時系列、および(B)西部の生物指標と西部の主成分第一モード時系列との相関係数と、(C) 東部の生物指標と東部の主成分第一モード時系列の相関係数。相関を計算する前に、主成分時系列と海洋生物指標には共に5年間の移動平均を適用した。(B,C) では、数字は種 ID 番号を示し(論文の付録表 1 に記載)、S、G、P、Z、I はそれぞれ鮭、底魚、小型浮き魚類、動物プランクトン、無脊椎動物を意味する。円の大きさは相関の絶対値を示し、円の色(赤、オレンジ、シアン、青)は相関の符号と対応する信頼度を示し、統計的な信頼度が90%を超える生物指標のみ図示している。(Yati, Minobe et al. (2020)より引用)

4.(7) 日本周辺の海洋生物変動に対する海洋脱酸素化の影響の可能性

日本周辺海域において、水産業への影響が特に大きくなると考えられる水深 300m 以浅で貧酸素化が進行している海域を抽出し(図 6)、さらにその海域に生息する水産重要魚種の貧酸素耐性を文献調査した。西部北太平洋の広範な海域で水深 300m 以浅の溶存酸素量が減少していること、さらに日本海南部沿岸域と東シナ海中部浅海域では、水深 200m 以浅でも貧酸素化が進行していることが確認された。各海域における貧酸素化が将来も同じ速度で進行した場合、特に急激な貧酸素化が生じている対馬海峡海域では、2050 年までにマダイ、タチウオ、シロメバル等の複数の魚類に貧酸素影響が発現すると推定された。

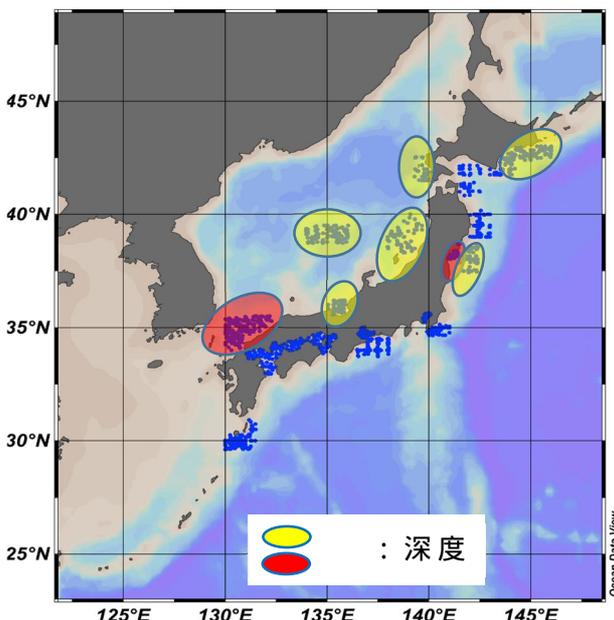


図6. 日本周辺の海域で、水深 200m 以浅の水深帯に統計的に有意な溶存酸素の減少トレンドが検出できる海域のマッピング。黄色の領域が、溶存酸素減少トレンドが検出できる最小水深が 100m~200m の範囲にある領域、赤色の領域が、溶存酸素減少トレンドが検出できる最小水深が 100m 以浅である領域を示す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 19件／うち国際共著 11件／うちオープンアクセス 17件）

1. 著者名 Yati Emi, Minobe Shoshiro	4. 巻 77
2. 論文標題 Sea surface temperature predictability in the North Pacific from multi-model seasonal forecast	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Oceanography	6. 最初と最後の頁 897 ~ 906
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10872-021-00618-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Yasunaka Sayaka, Ono Tsuneo, Sasaoka Kosei, Sato Kanako	4. 巻 18
2. 論文標題 Global distribution and variability of subsurface chlorophyll a concentrations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Ocean Science	6. 最初と最後の頁 255 ~ 268
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/os-18-255-2022	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 土井 威志・安中 さやか・高橋 一生・渡辺 路生・東塚 知己・栗原 晴子	4. 巻 30
2. 論文標題 海洋学の10 年展望2021: 熱帯域	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 海の研究	6. 最初と最後の頁 105 ~ 129
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5928/kaiyou.30.5_105	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Ito Daiki, Suga Toshio, Kouketsu Shinya, Oka Eitarou, Kawai Yoshimi	4. 巻 77
2. 論文標題 Spatiotemporal evolution of submesoscale filaments at the periphery of an anticyclonic mesoscale eddy north of the Kuroshio Extension	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Oceanography	6. 最初と最後の頁 763 ~ 780
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10872-021-00607-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shigenitsu M., Yokokawa T., Uchida H., Kawagucci S., Murata A.	4. 巻 11
2. 論文標題 Sedimentary supply of humic-like fluorescent dissolved organic matter and its implication for chemoautotrophic microbial activity in the Izu-Ogasawara Trench	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-97774-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yasunaka Sayaka, Mitsudera Humio, Whitney Frank, Nakaoka Shin-ichiro	4. 巻 77
2. 論文標題 Nutrient and dissolved inorganic carbon variability in the North Pacific	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Oceanography	6. 最初と最後の頁 3 ~ 16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10872-020-00561-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Kouketsu Shinya	4. 巻 77
2. 論文標題 Inverse estimation of diffusivity coefficients from salinity distributions on isopycnal surfaces using Argo float array data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Oceanography	6. 最初と最後の頁 615 ~ 630
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10872-021-00595-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kouketsu Shinya, Sasano Daisuke, Osafune Satoshi, Aoyama Michio	4. 巻 125
2. 論文標題 Relationships Among Decadal Changes in Nitrate and Salinity in the Eastern and Western North Pacific Ocean After 2000	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Oceans	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019JC015916	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shigemitsu Masahito、Uchida Hiroshi、Yokokawa Taichi、Arulananthan K.、Murata Akihiko	4. 巻 11
2. 論文標題 Determining the Distribution of Fluorescent Organic Matter in the Indian Ocean Using in situ Fluorometry	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Microbiology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fmicb.2020.589262	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Shigemitsu M.、Yokokawa T.、Uchida H.、Kawagucci S.、Murata A.	4. 巻 11
2. 論文標題 Sedimentary supply of humic-like fluorescent dissolved organic matter and its implication for chemoautotrophic microbial activity in the Izu-Ogasawara Trench	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-97774-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ono Tsuneo	4. 巻 77
2. 論文標題 Long-term trends of oxygen concentration in the waters in bank and shelves of the Southern Japan Sea	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Oceanography	6. 最初と最後の頁 659 ~ 684
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10872-021-00599-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yati Emi、Minobe Shoshiro、Mantua Nathan、Ito Shin-ichi、Di Lorenzo Emanuele	4. 巻 7
2. 論文標題 Marine Ecosystem Variations Over the North Pacific and Their Linkage to Large-Scale Climate Variability and Change	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Marine Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fmars.2020.578165	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Jiaxiang Gao, Shoshiro Minobe, Roberts Malcolm J, Haarsma Rein, Putrasahan Dian, Roberts Christopher D, Scoccimarro Enrico, Terray Laurent, Vanniere Benoit, Vidale Pier Luigi	4. 巻 15
2. 論文標題 Influence of model resolution on bomb cyclones revealed by HighResMIP-PRIMAVERA simulations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Environmental Research Letters	6. 最初と最後の頁 084001 ~ 084001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-9326/ab88fa	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Yasunaka S., Kouketsu S., Strutton P.G., Sutton A.J., Murata A., Nakaoka S., Nojiri Y.	4. 巻 169-170
2. 論文標題 Spatio-temporal variability of surface water pCO2 and nutrients in the tropical Pacific from 1981 to 2015	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography	6. 最初と最後の頁 104680 ~ 104680
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dsr2.2019.104680	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Stramma Lothar, Schmidtko Sunke, Bograd Steven J., Ono Tsuneo, Ross Tetjana, Sasano Daisuke, Whitney Frank A.	4. 巻 17
2. 論文標題 Trends and decadal oscillations of oxygen and nutrients at 50 to 300 m depth in the equatorial and North Pacific	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biogeosciences	6. 最初と最後の頁 813 ~ 831
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/bg-17-813-2020	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Hughes CW, Fukumori I, Griffies SM, Huthnance JM, Minobe S, Spence P, Thompson KR, Wise A	4. 巻 40
2. 論文標題 Sea Level and the Role of Coastal Trapped Waves in Mediating the Influence of the Open Ocean on the Coast	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 SURVEYS IN GEOPHYSICS	6. 最初と最後の頁 1467-1492
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10712-019-09535-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Czaja, A, Frankignoul, C, Minobe, S, Vanniere, B	4. 巻 5
2. 論文標題 Simulating the Midlatitude Atmospheric Circulation: What Might We Gain From High-Resolution Modeling of Air-Sea Interactions?	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 CURRENT CLIMATE CHANGE REPORTS	6. 最初と最後の頁 390-406
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s40641-019-00148-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Terada Mio, Minobe Shoshiro, Deutsch Curtis	4. 巻 33
2. 論文標題 Mechanisms of Future Changes in Equatorial Upwelling: CMIP5 Intermodel Analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Climate	6. 最初と最後の頁 497 ~ 510
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/JCLI-D-19-0128.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Ito Takamitsu, Long Matthew C., Deutsch Curtis, Minobe Shoshiro, Sun Daoxun	4. 巻 33
2. 論文標題 Mechanisms of Low-Frequency Oxygen Variability in the North Pacific	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Global Biogeochemical Cycles	6. 最初と最後の頁 110 ~ 124
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2018GB005987	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計50件 (うち招待講演 14件 / うち国際学会 24件)

1. 発表者名 Emi Yati, Shoshiro Minobe, Nathan Mantua, Shin-ichi Ito, Emanuele Di Lorenzo
2. 発表標題 Marine Ecosystem Variations Over the North Pacific and Their Linkage to Large-Scale Climate Variability and Change
3. 学会等名 JpGU 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasunaka, S.
2. 発表標題 Seasonal to decadal variability of biogeochemical parameters in the North Pacific
3. 学会等名 日中分野別ハイレベル研究者交流会2020～海洋科学（気候・環境）～（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小埜恒夫
2. 発表標題 日本海南部陸棚域における溶存酸素濃度の減少傾向
3. 学会等名 JpGU 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Minobe S
2. 発表標題 Marine Ecosystem Variations over the North Pacific and their Linkage to Large-Scale Climate Variability and Change
3. 学会等名 Ecosystem Studies of Subarctic and Arctic Seas (ESSAS) Annual Science Meeting 2021（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Minobe S
2. 発表標題 Decadal-to-centennial Variability: Linkages from Physics to Biology
3. 学会等名 日中分野別ハイレベル研究者交流会2020～海洋科学（気候・環境）～（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安中さやか
2. 発表標題 クロロフィル垂表層極大の広域分布
3. 学会等名 第13回 虎ノ門 Ocean Laboratory
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 重光雅仁、内田裕、横川太一、村田昌彦
2. 発表標題 現場型蛍光センサーによるインド洋における蛍光性有機物の子午面分布
3. 学会等名 日本地球化学会第68会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yumi Abe; Shoshiro Minobe; Takamitsu Ito; and Curtis Deutsch
2. 発表標題 A comparison of ocean deoxygenation between CMIP models and an observational dataset in the North Pacific
3. 学会等名 International workshop for mid-latitude air-sea interaction: advancing predictive understanding of regional stability and change across timescales (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安中さやか
2. 発表標題 データの蓄積が明らかにする海洋環境変化
3. 学会等名 日本海洋学会2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安中さやか
2. 発表標題 北極海CO2マッピング
3. 学会等名 寒冷圏大気 - 海洋間の生物地球化学的相互作用に関する研究集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安中さやか・窪川かおる・原田尚美
2. 発表標題 北極海CO2マッピング
3. 学会等名 魅力的な「海洋科学の10年」を目指して（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 瀧本慎也
2. 発表標題 拡散を考慮した垂表層季節変動の推定
3. 学会等名 日本海洋学会2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tong Wang, 須賀利雄, 瀧本慎也
2. 発表標題 Salinity and thickness anomalies and their propagation in the upper North Pacific
3. 学会等名 日本海洋学会2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 重光雅仁、横川太一、内田裕、川口慎介、村田昌彦
2. 発表標題 伊豆・小笠原海溝の蛍光性溶存有機物とDIC固定速度
3. 学会等名 日本海洋学会2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 重光雅仁、内田裕、横川太一、村田昌彦
2. 発表標題 現場型蛍光センサーによるインド洋における蛍光性有機物の子午面分布
3. 学会等名 日本地球化学会第68会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三品 海斗, 佐々木 克徳, 見延 庄士郎
2. 発表標題 等密度面データを用いた北太平洋の溶存酸素濃度の長期変動
3. 学会等名 日本海洋学会2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 阿部佑美、見延 庄士郎
2. 発表標題 過去半世紀の海洋貧酸素化における観測データセットとCMIPモデルとの 比較
3. 学会等名 日本海洋学会2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Emi Yati、見延 庄士郎、Nathan Mantua、伊藤 進一、Emanuele Di Lorenzo
2. 発表標題 北太平洋海洋生態系の変動とその気候との関係
3. 学会等名 日本海洋学会2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 児玉 洋之、見延 庄士郎
2. 発表標題 日本海における溶存酸素濃度と水温の長期変動
3. 学会等名 日本海洋学会2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Emi Yati、Shoshiro Minobe、Nathan Mantua、Shin-ichi Ito、Emanuele Di Lorenzo
2. 発表標題 Basin-scale Relations between Marine Ecosystem Indices and Physical Environment in North Pacific
3. 学会等名 JpGU2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kouketsu, S., Osafune, S. Doi, T.
2. 発表標題 Oxygen distribution inference and the budgets int the North Pacific
3. 学会等名 IUGCC (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 瀧藤慎也
2. 発表標題 全球観測網から推定する海盆規模 塩分・溶存酸素変動
3. 学会等名 JpGU (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Yasunaka, S. Kouketsu, P.G. Strutton, A.J. Sutton, A. Murata, S. Nakaoka, Y. Nojiri
2. 発表標題 Spatio-temporal variability of surface water pCO2 and nutrients in the tropical Pacific from 1981 to 2015
3. 学会等名 SOLAS Open Science Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Yasunaka, S. Kouketsu, P.G. Strutton, A.J. Sutton, A. Murata, S. Nakaoka, Y. Nojiri
2. 発表標題 Spatio-temporal variability of surface water pCO2 and nutrients in the tropical Pacific from 1981 to 2015
3. 学会等名 JpGU2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安中さやか (JAMSTEC)・三寺史夫 (北海道大学)・中岡慎一郎 (国環研)・Frank Whitney (加IOS)
2. 発表標題 北太平洋表層栄養塩の季節・経年変動
3. 学会等名 日本海洋学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Christian, J., Ono, T.
2. 発表標題 PICES special publication "ocean acidification and deoxygenation in the north pacific ocean": information exchange with social sectors
3. 学会等名 4th GOA-ON International workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小埜恒夫
2. 発表標題 親潮域中層における顕著なケイ酸増加トレンドの要因について
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 重光 雅仁, 山本 彬友, 岡 顕
2. 発表標題 インド洋北部における将来の溶存酸素濃度変動
3. 学会等名 日本海洋学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 SHIGEMITSU MASAHITO, YOSHIKAWA CHISATO, WAKITA MASAHIDE, MURATA AKIHIKO
2. 発表標題 Dissolved organic carbon (DOC) in the Indian Ocean
3. 学会等名 日本海洋学会2019年度秋季大会 SCOR-GEOTRACESジョイントセッション (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Aita M.N., Komuro Y., Tadokoro K., Tatebe H., Fujiki T., Watanabe T., Hashioka T. and Harada N.
2. 発表標題 Impacts of interdecadal climate variability and vertical mixing on biological production
3. 学会等名 2020 Ocean Sciences Meeting, San Diego, CA, U.S.A., Feb. 16-21, 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Aita M.N., Fujiki T., Tadokoro K., Komuro Y., Taketani F. and Harada N
2. 発表標題 Impacts of decadal-scale climate variability on marine ecosystems
3. 学会等名 OCEAN OBS ' 19, Hawaii Convention Center, Honolulu, HI, U.S.A., Sep. 15-20, 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shoshiro Minobe
2. 発表標題 Overview of sources of marine ecosystem predictability
3. 学会等名 PICES/CLIVAR WG-40 workshop on "Towards an integrated approach to understanding ecosystem predictability in the North Pacific" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shoshiro Minobe
2. 発表標題 Basin-scale Relations Between Marine Ecosystem Indices and Physical Environments in North Pacific
3. 学会等名 PICES/CLIVAR WG-40 workshop on "Towards an integrated approach to understanding ecosystem predictability in the North Pacific" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shoshiro Minobe
2. 発表標題 Mechanisms of predictability in the western North Pacific
3. 学会等名 CLIVAR Pacific Region Panel - PICES WG-40 meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mio Terada, Shoshiro Minobe, Curtis Deutsch
2. 発表標題 Mechanisms of future changes in equatorial upwelling: CMIP5 inter-model analysis
3. 学会等名 International Workshop on Future Climate Change (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shoshiro Minobe
2. 発表標題 Linkages among physical, biogeochemical and biological oceanography: some examples and strategies
3. 学会等名 The Transparency Oceanography (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 寺嶋 雄志, 見延 庄士郎
2. 発表標題 北太平洋における溶存酸素量の変動とその要因
3. 学会等名 日本海洋学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kouketsu, S., Osafune, S., Kaneko, H., Sasano, D. and Aoyama M.
2. 発表標題 Decadal salinity changes on the isopycnal surfaces revealed by the Argo float array around the subarctic front in the North Pacific
3. 学会等名 PICES/Changes in Transitional Areas of Pacific
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shinya Kouketsu, Satoshi Osafune, and Toshimasa Doi
2. 発表標題 Oxygen and nutrient changes on the isopycnal surfaces inferred by the Argo float array in the North Pacific after 2000
3. 学会等名 Argo Science Workshop 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sayaka Yasunaka
2. 発表標題 Large nutrient variation in the North Pacific Transitional Area
3. 学会等名 PICES PTA Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Yasunaka, S. Kouketsu, A. Murata, P. Strutton, A. Sutton, S. Nakaoka, Y. Nojiri
2. 発表標題 太平洋熱帯域における表層CO2分圧・栄養塩の季節・経年変動
3. 学会等名 日本海洋学会2018年度秋季大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 安中さやか、野尻幸宏、小埜恒夫、中岡慎一郎、Frank Whitney
2. 発表標題 北太平洋表層栄養塩の季節・経年変動
3. 学会等名 北大低温研共同利用研究集会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasunaka, S., S. Kouketsu, A. Murata, P. Strutton, A. Sutton, S. Nakaoka, Y. Nojiri
2. 発表標題 Spatio-temporal variability of sea surface pCO ₂ and nutrient in the tropical Pacific from 1981 to 2015
3. 学会等名 6th Argo Science Workshop（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Ono
2. 発表標題 Long-term variation of subsurface oxygen and nutrient in North Pacific: Do they reflect each other?
3. 学会等名 The Fourth Xiamen Symposium on Marine Environmental Sciences（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 重光 雅仁 , 山本 彬友 , 岡 顕, 山中 康裕
2. 発表標題 東部赤道太平洋における将来の溶存酸素変動の不確実性
3. 学会等名 日本海洋学会2018年度秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shoshiro Minobe
2. 発表標題 O2 trends in the last six decades
3. 学会等名 PICES2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shoshiro Minobe
2. 発表標題 Introduction of WCRP-CLIVAR (Climate and Ocean - Variability, Predictability and Change)
3. 学会等名 JpGU2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Upper Ocean O2 Trend: 1958-2015
2. 発表標題 Shoshiro Minobe
3. 学会等名 Ocean Deoxygenation: Drivers and consequences: Past, present, future (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mio Terada, Shoshiro Minobe, Curtis Deutsch
2. 発表標題 Mechanisms of Future Changes in Equatorial Upwelling: CMIP5 Intermodel Analysis
3. 学会等名 Ocean Deoxygenation: Drivers and consequences: Past, present, future (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺田美緒, 見延 庄士郎, Curtis Deutsch
2. 発表標題 CMIP5モデルでの熱帯太平洋における湧昇流の将来変化とそのメカニズム
3. 学会等名 日本海洋学会2018年度秋季大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Christian, J.R., Ono, T. (Eds.)	4. 発行年 2019年
2. 出版社 PICES Press	5. 総ページ数 116
3. 書名 Ocean Acidification and Deoxygenation in the North Pacific Ocean	

〔産業財産権〕

〔その他〕

Subsurface Chlorophyll Maximum http://sao.gp.tohoku.ac.jp/scm

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	重光 雅仁 (Shigemitsu Masahito) (20511695)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(海洋観測 研究センター)・研究員 (82706)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	纈纈 慎也 (Kouketsu Shinya) (30421887)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(海洋観測研究センター)・主任研究員 (82706)	
研究分担者	小埜 恒夫 (Ono Tsuneo) (40371786)	国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産資源研究所(横浜)・主幹研究員 (82708)	
研究分担者	佐々木 克徳 (Sasaki Yoshinori) (50604815)	北海道大学・理学研究院・准教授 (10101)	
研究分担者	安中 さやか (Yasunaka Sayaka) (80620393)	東北大学・理学研究科・教授 (11301)	
研究分担者	相田 真希 (Aita Maki) (90463091)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(地球表層システム研究センター)・グループリーダー (82706)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	石井 雅男 (Ishii Masao)		
研究協力者	土居 知将 (Doi Toshimasa)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------