

令和元年6月27日現在

機関番号：82109

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H03727

研究課題名(和文) 熱帯太平洋観測システム効率化への成長擾乱・時空間変動特性の利用に関する研究

研究課題名(英文) Study on improving efficiency of the tropical Pacific observing system using unstable perturbation and property of spatial-temporal variation

研究代表者

藤井 陽介 (Fujii, Yosuke)

気象庁気象研究所・海洋・地球化学研究部・主任研究官

研究者番号：60343894

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、海中を自動で昇降し観測を行うアルゴフロートや海洋観測ブイアレイなどで構成される海洋観測網の維持・改善に資するため、海洋観測データの海洋データ同化システムに対するインパクトの評価を行った。また、各国の海洋機関で作成された海中水温分布の解析結果の差から海洋観測インパクトを常時監視する仕組みを構築し、数値モデルなどに依存しない観測インパクトの情報の提供のため研究成果を集約する、国際的な取り組みを推進した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、海洋および気候のモニタリングや予測に対する海洋観測データの必要性を科学的な手法に基づいて評価し、今後、海洋観測網を維持、発展させていくことの重要性や意義を明らかにした。また国外機関との協力により、新たな観測プラットフォームの稼働や、観測機器の故障など海洋観測網に急激な変化が生じた時、その海洋・気候のモニタリング・予測に対する影響を常時監視できる仕組みを構築し、同分野での国際協力促進にも大きく貢献した。

研究成果の概要(英文)：This study evaluates impacts of ocean observation data on ocean data assimilation systems in order to contribute to maintenance and improvement of the ocean observation network constituted of Argo floats (automatic profiling floats), ocean observing buoy arrays, etc. We also developed a scheme for monitoring ocean observation impacts in real time from the spread of oceanic temperature distributions analyzed by international ocean institutes, and promoted an international activity for integrating results of ocean system evaluation researches in order to provide reliable information which do not depend on numerical models, etc.

研究分野：海洋データ同化

キーワード：アルゴフロート TA0/TRITON データ同化 観測システム実験 熱帯太平洋観測システム 海洋再解析  
相互比較 GODAE OceanView

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

大気海洋結合モデルでエルニーニョ・ラニーニャ現象、及び、付随する異常気象を予測するためには、海洋初期値として、熱帯太平洋の水温・塩分分布を精度良く与えることが必要であり、その初期値の作成には、一般的に海洋データ同化システムが用いられる。熱帯太平洋では、米国海洋大気庁(NOAA)と海洋研究開発機構(JAMSTEC)の協力の下、TAO/TRITON 係留ブイアレイが整備されていて、その観測データが、アルゴフロートのデータと共に、重要なデータとして初期値の作成に活用されていた。

しかしながら、2012年6月以降、維持管理コストの不足により、NOAAの管理で160°E以東に展開されていたTAOブイのデータ取得率が40%まで低下した。さらに、JAMSTECの管理で160°E以西に展開されていたTRITONブイについても削減が始まり、これまで通り十分な観測データが得られない事態となった。この事態を受け、2014年1月にUNESCO政府間海洋学委員会(IOC)全球海洋観測システム(GOOS)などの共催で2020年熱帯太平洋観測システム(TPOS2020)ワークショップが開催された。さらに、そのワークショップの提言を受け、ブイやフロート、衛星観測等を組み合わせ、熱帯太平洋観測システムをより効率的に再構築するためのデザインについて検討することを目的として、TPOS2020(<http://tpos2020.org/>を参照)プロジェクトが立ち上げられた。このような状況の中、日本においても季節予報・エルニーニョ予報における熱帯太平洋観測データの役割を明らかにし、予報精度の維持、改善のために必要な観測データやその配置に関する情報を提供するなど、TPOS2020の進展に資する必要が生じていた。

### 2. 研究の目的

季節予報・エルニーニョ予報や海洋モニタリング・海洋予測の解析・予測精度の維持、向上のための熱帯太平洋観測システムの維持および再構築に貢献するため、海洋データ同化システムや結合予報システムにおける海洋観測データのインパクトの評価を行い、さらにより効率的な観測の方法や配置について検討する。さらに、同様に季節予報等を実施する世界各国の現業・研究機関と協力し、様々な同化・予測システムにおける観測データインパクトと比較検討を行い、システム依存性をできるだけ排して、海洋観測データの役割に関するできるだけ信頼性の高い情報の提供を目指す。このことにより、TPOS2020やその他の海洋観測を推進するプロジェクトに貢献することを目的とする。

### 3. 研究の方法

- (1) 衛星海面高度計データから海洋変動の時空間スケールを見積もり、その情報を元に、各海域における海洋変動の再現に必要なアルゴフロートの数について評価する。
- (2) TRITONブイと本研究で投入するイリジウム型アルゴフロートと組み合わせ、疑似アレイを構成し、その有用性について評価する。
- (3) 例えばアルゴフロートを同化した場合と同化しない場合などの観測システム実験(OSE)を実施し比較することにより、アルゴデータなどの観測データが海洋データ同化システムに与えるインパクトを評価する。また、結合ブリーディング法を用いた成長擾乱の抽出やアジョイントモデルを用いた感度解析などにより、海洋データ同化システムへの観測データのインパクトが大きい海域を特定する。
- (4) 世界各国の現業・研究機関と協力して全球海洋再解析データの相互比較を行い、再解析データ間の差(スプレッド)から、特に熱帯太平洋域の海洋観測データのインパクトとその時間的な変動について評価する。
- (5) 世界各国の現業・研究機関との協力のもと、海洋データ同化システムに対する海洋観測データのインパクトに関する研究の成果を集約することにより、利用した数値モデル、同化手法や予報・モニタリングの対象等に依存しない、普遍的で信頼性の高い海洋観測データインパクトに関する情報を提供する。

### 4. 研究成果

- (1) 衛星海面高度計データから見積もった海面高度偏差の時空間相関スケールを用いて、2007-2010年の期間を対象に、各海域において海面高度場の変動の再現に十分な数のアルゴフロートが稼働しているかについて評価を行った(Kuragano et al., 2015)。本研究では、まず、過去の衛星海面高度計データから観測時刻および観測点の近い観測データのペアを多数取り出し、時間および空間2次元のガウス関数にフィッティングすることにより、上記の3次元空間において相関が $1/e$ ( $e$ :自然対数の底)となる点の集合を面とする楕円体(ここでは相関楕円体と呼ぶ)を各格子点について求める。そして、2007-2010年の平均的なアルゴフロートの分布から、各格子点の相関楕円体の中にアルゴフロートがいくつ稼働しているかを求めた(図1)。一方、最適内挿法を用いた観測システムシミュレーション実験(OSSE)の結果から、相関楕円体の中に概ね10個以上の観測データがある場合、解析値と観測データの相関が0.7以上となり、良好な解析が得られることがわかった。両者の結果から、相関楕円体の中のアルゴフロートが概ね10個以上存在する太平洋やインド洋熱帯域、日本の南海上、アラスカ湾内部などでは、海面高度場を再現するのに十分な数のアルゴフロートが稼働していると考えられる一方、北大西洋の大部分では相関楕円体が比較的小さいため、フロートの数が足りていない実態が明らかになった。ただし、この方法

では、海面高度変動の中で特に卓越したモードに対応した相関楕円体が計算される。そのため、例えば熱帯域では、温度躍層の東西の傾きの変動に対応した特に東西方向に大きな相関スケールとなっていて、その中に入るアルゴフロートの数も大きくなっているが、実際の季節・海洋変動予測にはより小さなスケールの変動の再現も必要であり、そのためにはより多くのアルゴフロートが必要になると考えられる。このように、上記の評価結果の解釈には注意が必要である。

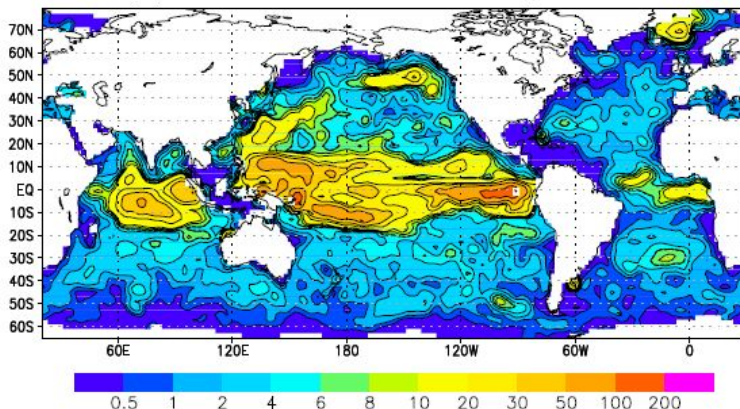


図1：各地点における海面高度偏差の相関楕円体の内側に入るアルゴフロートの数。2007-2010年のアルゴフロートの平均的な分布を用いて計算した。Kuragano et al. (2015)より引用。

(a) フロートの軌跡

(b) 水深 1000m の流速場 (2017 年 4 月 5 日)

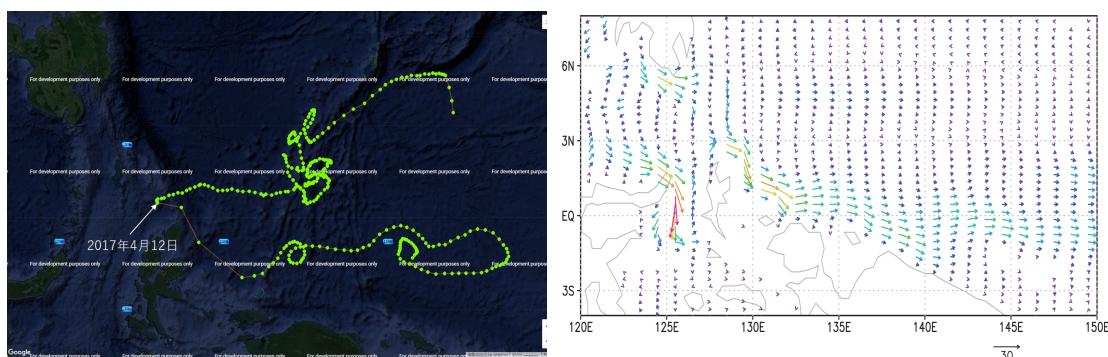


図2：a: WMO-ID5905045 のフロートの軌跡。2017 年 4 月 12 日の矢印の位置で観測した後、観測間隔を 2 日から 10 日に変更したところ、南西方向に移流されインドネシア多島海から遠ざかっている。観測間隔は 5 月 12 日に 2 日に戻されている。  
[http://www.jamstec.go.jp/ARGO/argo\\_web/ancient/float\\_inf/all-in\\_body.php?wmo=5905045&id=0](http://www.jamstec.go.jp/ARGO/argo_web/ancient/float_inf/all-in_body.php?wmo=5905045&id=0) で表示させた図を改変。b: 気象庁全球海洋データ同化システム (現業版) による 2017 年 4 月 5 日の水深 1000m 流速場 (単位: cm/s)。

(2) 本研究では、アルゴフロートの有効な配置方法について調査を行うため、2016 年 1 月にイリジウム型アルゴフロートを東経 137 度線上の北緯 3-8 度にかけて TRITON プイと合わせて等間隔に並ぶように 3 台投入し、通常 10 日間隔であるところを 2 日間隔で観測することにより、疑似アレイの構築を試みた。海中での漂流深度は通常通り 1000m に設定した。イリジウム型アルゴフロートは、通信衛星とのデータ通信に要する時間が短いため、海流が大きな海面での滞在時間が短くなり、その結果比較的長い時間投入地点付近にとどまることが可能であると考えられる。また、双方向通信が可能であり、投入後に海中での漂流深度や観測間隔を再設定することができる。しかしながら投入したフロートは 3 台とも 2 ヶ月程度で西へ 2 度ほど流されてしまい、疑似アレイとして機能した期間はほとんどなかった。この結果には、観測間隔が 2 日であるため海面に滞在する時間が比較的長かったとも影響していると思われる。その後、インドネシア多島海の入りに付近に接近したフロートについて、太平洋での観測を継続するため、双方向通信機能を用いてフロートの漂流を制御することを試みた。例えば、2017 年 4 月にフロート (WMO-ID:5905045) が多島海の入りに付近に接近したが、この時の気象庁全球海洋データ同化システムの 1000m 深の流速場 (図 2b) には海底地形に沿って南西に向かう強い流れがあったので、観測間隔を 10 日に設定したところ、早い速度で南西へと漂流し、意図の通り多島海から遠ざかった (図 2a)。このように、本研究ではイリジウム型フロートの双方向通信機能によるフロートの漂流の制御に成功し、今後のアルゴフロートの運用に有益な知見を与えた。

(3) 藤井陽介 (研究代表者) らは、海洋データ同化システムにおける海洋観測データのインパ

クトを評価するため、これまでいくつかの観測システム実験（OSE）を実施してきた。しかしながら、OSE による観測データインパクトの評価結果は、利用する数値モデルの他、同化手法にも依存する可能性がある。気象研究所でこれまで3次元変分法(3DVAR)の海洋データ同化システムでOSEを実施してきたが、現在、気象4次元変分法(4DVAR)による全球海洋データ同化システムを開発中である。そこで、3DVARと4DVARとの間の観測データインパクトの違いについて、検証を行った。開発中のシステムで3DVARと4DVARそれぞれを利用した場合について、アルゴデータの80%を同化した再解析と全く同化しない再解析の二つを実行し、同化していない20%のアルゴデータを参照値とした二乗平均誤差（RMSE）を計算し、両者の差をとったのが図3である。図3を見ると3DVARと4DVARのどちらについてもほとんどの海域で赤系色になっていて、アルゴデータの同化によりRMSEが減少していることがわかる。また、3DVARと4DVARとの違いについては、例えば太平洋中央部のハワイの南海上や、インド洋北部、北大西洋の熱帯域などで、4DVARの方が3DVARよりもアルゴデータのインパクトが大きくなっている。このほか本研究では、熱帯太平洋観測システムについてもインパクトの再検証を行った。また、本研究の一環として、TPOS2020プロジェクト第2次レポート（Kessler et al., 2019）の一部を執筆し、上記の結果の一部を報告した。なお、本研究では結合プリーディング法を用いた成長擾乱の取り出しや、アジョイントモデルを用いた感度解析により、海洋データ同化システムへの観測データのインパクトが大きい海域を特定することを計画し開発を進めてきたが、研究期間内に結果を得ることができなかったため、今後継続して研究を行う。

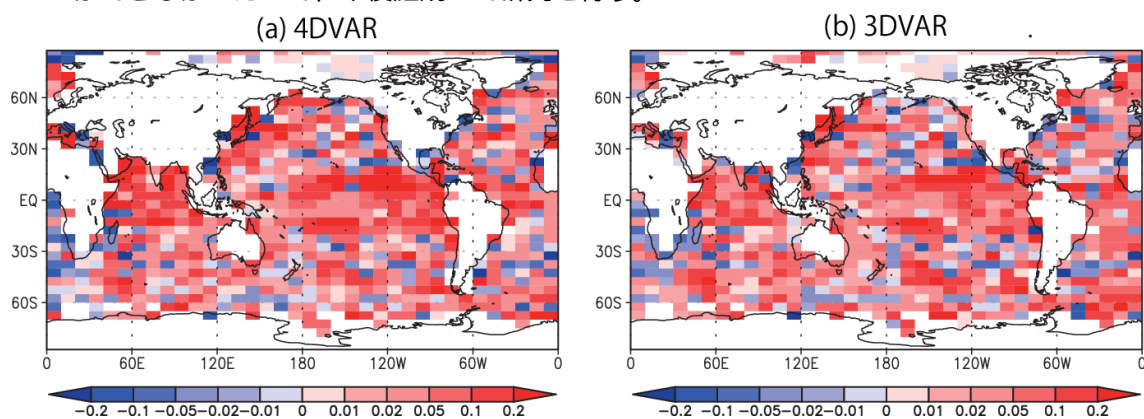


図3：(a)気象研究所で開発中の全球4DVAR海洋データ同化システムにおけるアルゴデータのインパクト。アルゴデータのうち8割同化した再解析と全く同化しない再解析を実施し、両方の実験で同化していない2割のアルゴデータを用いて100m深水温のRMSEを計算して、その差(単位)を图示したもの。赤系色はアルゴデータの同化によりRMSEが減少していることを示す。(b)同化手法を4DVARから3DVARに置き換えて同様の実験を行い、RMSEの差を图示したもの。

- (4) 2014年に開かれたTPOS2020ワークショップにおいて、季節予報システムや海洋予測システムに対する海洋観測データのインパクトを即時に評価する仕組みがなく、2012-2014年に発生したTAO/TRITONアレイの観測データ数の減少がそれらのシステムにどのような影響を与えているのかがすぐには把握できないことが、問題となった。そこで上記ワークショップでは、観測データのインパクトを速やかに把握する簡便な方法として現業で用いられている海洋再解析を相互比較し、再解析間の差(スプレッド)から観測データのインパクトを検証する方法が用いられた(Fujii et al., 2015を参照)。この経験から、その後、米国環境大気予測センター(NCEP)のYan Xue(研究協力者)、ヨーロッパ中期予報センターのMagdalena Balmaseda(研究協力者)、気象研究所の藤井陽介(研究代表者)らが協力して、過去の海洋再解析の相互比較から観測データ数の増減がスプレッドの大小と相関することを明らかにする(Xue et al., 2017)と共に、相互比較を常時継続的に行う、リアルタイム海洋再解析相互比較を開始した。現在、相互比較の結果は太平洋熱帯域の海洋観測データのインパクトの常時監視に役立てられている。
- (5) データ同化システムや予測システムに対する観測データインパクトの評価結果は、どの方法を用いても、モデルや同化手法などに依存するので、その普遍的で信頼性の高い情報を出すためには、数多くのシステムで評価を行いそれらの結果から総合的に判断することが必要である。そのような研究を実施には、世界各国の関連機関が協力する必要がある。そのため、藤井陽介(研究代表者)、増田周平(研究協力者)は、本研究の一環として、海洋データ同化・予測の研究コミュニティであるGODAE OceanViewの観測システム評価タスクチームにメンバーとして参加し、海洋観測データインパクトの評価に関する国際協力に参画している。特に、藤井は2017年から同タスクチームの共同議長として、もう一人の共同議長であるフランス・Mercator Ocean InternationalのElisabeth Remy(研究協力者)と共に、タスクチームの運営に当たっている。タスクチームの活動としては、特に2019年9

月に開催される海洋観測に関する国際会議 OceanObs '19 に向けたコミュニティホワイトペーパーの作成を主導した。本ペーパーには、本研究の一環として行われた気象研究所での熱帯太平洋観測システムのインパクト評価の結果の他、観測データインパクトの評価結果を今後の海洋観測システムの維持・発展に有効利用するための提言が記述されている。その他、定期的なワークショップ開催などを通して、観測データインパクト研究に関する情報共有を行っており、また今後、観測データのインパクトに関するレポートを定期的に作成する予定である。

## 5 . 主な発表論文等

### [雑誌論文](計 11 件)

Fujii, Y., K. Ogawa, G. Brassington, K. Ando, T. Yasuda, and T. Kuragano (2015): Evaluating the impacts of the tropical Pacific observing system on the ocean analysis fields in the global ocean data assimilation system for operational seasonal forecasts in JMA. *Journal of Operational Oceanography*, 8, 25-39.

DOI:10.1080/1755876X.2015.1014640

Fujii, Y., J. Cummings, Y. Xue, A. Schiller, T. Lee, M. A. Balmaseda, E. Remy, S. Masuda, G. Brassington, O. Alves, B. Cornuelle, M. Martin, P. Oke, G. Smith and X. Yang (2015): Evaluation of the Tropical Pacific Observing System from the Ocean Data Assimilation Perspective, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 141, 2481-2496.

DOI:10.1002/qj.2579

Kuragano, T., Y. Fujii, and M. Kamachi (2015): Evaluation of the Argo network using statistical space-time scales derived from satellite altimetry data, *Journal of Geophysical Research*, 120, 4534-4551.

DOI:10.1002/2015JC010730

Xue, Y., C. Wen, A. Kumar, M. Balmaseda, Y. Fujii, O. Alves, M. Martin, X. Yang, G. Vernieres, C. Desportes, T. Lee, L. Ascione, R. Gudgel, and I. Ishikawa (2017): A Real-time Ocean Reanalyses Intercomparison Project in the Context of Tropical Pacific Observing System and ENSO Monitoring. *Climate Dynamics*, 49, 3647-3672.

DOI: 10.1007/s00382-017-3535-y

Kessler, W.S., S. E. Wijffels, S. Cravatte, N. Smith, and Lead Authors (2019): Second Report of TPOS 2020. G00S-234, 265 pp.

<http://tpos2020.org/second-report/>

### [学会発表](計 33 件)

Kuragano, T., Y. Fujii and M. Kamachi, Simple OSE of Argo using space-time scales statistically derived from altimeter data, 2015 OSTST Meeting, 2015.

藤井陽介, ENSO 予測の進展と海洋データ同化, 日本海洋学会 2016 年度春季大会シンポジウム「海洋データ同化 20 年の歩みと今後の展望」, 2016.

Xue, Y., C. Wen, A. Kumar, M. Balmaseda, Y. Fujii, O. Alves, M. Martin, X. Yang, G. Vernieres, C. Desportes, T. Lee, L. Ascione, R. Gudgel, and I. Ishikawa, A real-Time Ocean Reanalyses Intercomparison Project for Quantifying The Impacts of Tropical Pacific Observing Systems on Constraining Ocean Reanalyses, CLIVAR Open Science Conference, 2016.

Fujii, Y., and A. Kumar, Tropical Pacific Observing System 2020 project and the connections to the Ocean Data Assimilation Community, GODAE OceanView Joint DA-TT & OSEval-TT Meeting, 2017.

Hosoda, S., Global distribution of decorrelation length, signal to noise ratio and variability of temperature, salinity and density from Core Argo, 2018 Ocean Science Meeting, 2018.

Hosoda, S and K.Sato, Spatial and temporal variability of temperature and salinity in the global ocean from Argo float data, JpGU meeting 2018, 2018.

Fujii, Y., N. Usui, T. Kuragano, N. Hirose, T. Toyoda, S. Hosoda, E. Remy, and Y. Xue, Evaluation of the global Argo array based on ocean data assimilation and prediction systems, 6th International Argo Science Workshop, 2018.

Fujii, Y., Y. Xue, F. Gasparin, and O. Alves, 10-Year Effort Evaluating the Tropical Pacific Observing Systems using Ocean Data Assimilation and Prediction Systems, OceanPredict'19, 2019.

### [図書](計 0 件)

### [産業財産権]

出願状況(計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

[ その他 ]

GODAE OceanView 観測システム評価タスクチームホームページ

<https://www.godae-oceanview.org/science/task-teams/observing-system-evaluation-tt-0seval-tt/>

リアルタイム海洋再解析相互比較ホームページ

[https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/GODAS/multiora\\_body.html](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/GODAS/multiora_body.html)

## 6 . 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：細田 滋毅

ローマ字氏名：HOSODA, Shigeki

所属研究機関名：海洋研究開発機構

部局名：地球環境観測研究センター

職名：グループリーダー代理

研究者番号 ( 8 桁 ): 60399582

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：増田 周平 (H27-29:連携研究者)

ローマ字氏名：MASUDA, Shuhei

研究協力者氏名：安藤健太郎 (H27-29:連携研究者)

ローマ字氏名：ANDO, Kentaro

研究協力者氏名：高槻 靖 (H27-29:連携研究者)

ローマ字氏名：TAKATSUKI, Yasushi

研究協力者氏名：広瀬 成章 (H27-29:連携研究者)

ローマ字氏名：HIROSE, Nariaki

研究協力者氏名：倉賀野 連 (H27-28:連携研究者)

ローマ字氏名：KURAGANO, Tsurane

研究協力者氏名：中野 俊也

ローマ字氏名：NAKANO, Toshiya

研究協力者氏名：XUE, Yan

ローマ字氏名：XUE, Yan

研究協力者氏名：谷 正信 (H27)

ローマ字氏名：TANI, Masanobu

研究協力者氏名：BALMASEDA, Magdalena (H27-28)

ローマ字氏名：BALMASEDA, Magdalena

研究協力者氏名：村上 潔 (H28-30)

ローマ字氏名：MURAKAMI, Kiyoshi

研究協力者氏名：REMY, Elisabeth (H29-30)

ローマ字氏名：REMY, Elisabeth

研究協力者氏名：前田 修平 (H30)

ローマ字氏名：MAEDA, SHUHEI