

平成 30 年 6 月 25 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26287114

研究課題名(和文) 衛星淡水フラックス変動と海洋表層塩分変動の統合的理解の研究

研究課題名(英文) Study for better understanding of variations of satellite-base freshwater flux and upper ocean salinity

研究代表者

富田 裕之 (TOMITA, HIROYUKI)

名古屋大学・宇宙地球環境研究所・特任助教

研究者番号：10435844

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,700,000円

研究成果の概要(和文)：地球規模の水循環変動のより良い理解のために、新たに開発された人工衛星淡水フラックスデータおよび改良された海洋データ同化システムで構成される統合海面淡水フラックスデータセットを整備が行われた。過去20年の淡水フラックスと表層の海洋変動との関連がこれらのデータセットを用いて研究され、全球規模の海洋変動を伴う蒸発と降水の変動が明らかになった。データセットはオープンデータのポリシーに基づき、より幅広い研究における利用のために公開された。

研究成果の概要(英文)：For better understanding of variation of global water cycle, an integrated surface fresh water flux dataset consisting of newly developed satellite freshwater flux data and improved ocean data assimilation system was developed. The relationship between variations in surface freshwater flux and upper ocean over the past 20 years was investigated using these data sets. Global variation of evaporation and precipitation accompanied by large scale oceanic variations were revealed. Based on open data policy, the data sets were released for use in a wider range of research.

研究分野：衛星リモートセンシング

キーワード：淡水フラックス 大気海洋相互作用

## 1. 研究開始当初の背景

地球の水は主に海面からの蒸発によって水蒸気として大気へ輸送される。一方、大気中では水蒸気の凝結により一部は降水として海面に降り注ぎ、一連の水循環過程を構成する。この過程において、水は大気に多大な熱エネルギーを渡し大気循環を駆動する。また降水と蒸発は海洋表層の海水密度に直接影響し、海洋循環やそれに伴う熱や物質輸送量にも影響する。近年の気候変動に伴い地球の水循環過程に変化が生じている可能性が指摘されている。温暖化に伴う降水強化や干ばつ現象は多く報告されているが、気候変動に伴う全球規模の水循環変動との関連の理解は十分ではない。水循環の変動を捉える手段としては、気象観測を中心としたデータを大気大循環モデルに統合した大気再解析データが広く利用されてきた。この手法は、低気圧活動などに関わる比較的短い時間スケールでの降水・蒸発の分布推定には有効な手段であると考えられる。しかしながら、長期的な変動を研究する手段としては、局所的、間欠的な現象である降水を全球規模で捉える大気観測網が存在しないことや、大気循環モデルの長期積分に対する信頼性の問題などのため十分に有効な手段であるとは言い難い。

以上の様な状況のため、水循環の長期変動の理解は気候変動の問題において重要な研究課題であるにも関わらず、精度良く詳細に把握することが難しいとされてきた。しかしながら、近年の衛星による地球観測技術の発展により衛星観測データを主体とした、モデルバイアスなどを含まない全球衛星プロダクトの開発が進んでいる。これらの衛星プロダクトを用いることにより、特に近年の降水や蒸発量変動とその全球規模の分布について知る事ができるが、推定方法の問題に起因する不確定性や全球データとしての精度検証自体が困難であるといった問題がある。また、複数衛星間のバイアスなどが長期データに人為的な変動傾向を生じさせ、自然変動の検出を妨げてしまうという問題が懸念される。さらに、既存プロダクトにおいては、本来は一緒に扱われるべき降水と蒸発量のどちらか一方のデータのみを提供している場合が多く、統一的な枠組みにおいて淡水フラックスのデータセットを提供している例はほとんど存在しない。

## 2. 研究の目的

地球規模の水循環変動のより良い理解のために、新たに「統合海面淡水フラックスデータセット」を整備して研究を行う。海洋データ同化システムを用いて衛星観測データに加えて海洋内部の観測データから得られる情報を統合させ、これまでは大気と海洋の分野において独立に評価していた淡水収支変動をより正確に把握することを試みる。これにより、近年 20 年の気候変動に関連した全

球規模の水循環変動の理解を深めることを目的とする。さらに本研究はオープンデータとオープンサイエンスのポリシーに準ずる。これは研究成果物として論文のみならず、研究に利用されるデータセットが「データ公開」により誰でも利用可能な状態になることにより、研究成果がより広い分野の研究者や一般ユーザに利用され、これにより分野や国を超えて新たな価値を生み出す可能性があるという基本概念に基づく。本研究計画では研究期間の最終年度を目処に研究成果物のデータセットをウェブサイトなどで公開を行うことについても重要な目的として位置付ける。

## 3. 研究の方法

基盤となる人工衛星による淡水データセットの整備と、Argo フロートを始めとする海洋観測データの準備、既存の同化システムの改良を行うことで研究を実施する。人工衛星データについては、既存のデータセット (Japanese Ocean Flux Data Sets with Use of Remote Sensing Observations, J-OFURO) をベースに、新たな研究開発を行い、海洋からの蒸発量の高精度データセットを構築し、既存の降水観測データセットと統合することで全球淡水収支データセットを整備する。同時に全球域の海洋観測データを本研究用に整備する。人工衛星と海洋観測データに見られる長期変動特性について調査し塩分変動がどの程度の淡水収支に相当するかについて検討する。その後、衛星データや海洋観測データを統合する海洋データ同化実験を実施する。データ同化実験の結果から、衛星による全球淡水フラックスの検証や海洋表層の塩分変動の仕組みについて比較を行う。さらに、同化によって得られた修正情報などを精査しデータセットの評価と改善を行う。

## 4. 研究成果

### 1) データセットの整備

本研究で海水域を除く全球海面淡水フラックスの変動を把握するためにデータセットが整備された。人工衛星データについては、フラックス推定のキーとなる海上大気比湿の推定手法の開発を通じて新たな蒸発量データセットを構築し推定の精度がこれまでのデータと比べて格段に向上したデータを整備することができた。その他、Argo を始めとする海洋観測データや、後述する四次元変分法海洋環境再現データセットに関連する技術開発が行われ、データセットも整備された。

### 2) 海上大気比湿推定手法の開発

海上大気比湿は、海洋からの蒸発量を推定する際に必要不可欠な物理量の一つである。これまでも人工衛星観測に基づく推定手法が提案されているが、その推定精度には大き

な課題があった。本研究課題において人工衛星観測に基づく海上大気比湿推定手法の改善がなされた。改善のポイントは、推定手法の要となる衛星マイクロ波放射計の輝度温度観測と海上大気比湿の関係である。これまでは、単純に両者に線形的な関係があることを想定して推定手法が提案されていたが、本研究では、大気の水蒸気の鉛直プロファイルの情報を付加することで、両者の非線形的な関係を考慮し、より正確な海上大気比湿の推定手法を開発することに成功した。これにより蒸発量の推定精度が格段に向上した (Tomita et al. 2018)。

### 3) 淡水フラックスと水循環変動の理解

本研究で整備されたデータセットの解析により淡水フラックスの変動と水循環変動の関係について研究が行われた。特に、衛星淡水フラックスと海洋表層塩分場の観測と解析が比較的充実している最近 20 年間の場と気候学的な場からの差とその過程の理解を試みた。その結果、海面淡水フラックスについては、全球から海盆スケールで年々海洋からの蒸発が多くなる傾向が見出された。一方で海洋内部でも、顕著な長期変動が確認され、淡水フラックス変動や海洋内部の変動との対応が検討された。

### 4) 北太平洋における塩分長期変動の理解

北太平洋における塩分の海洋内部の長期変動についてプロファイリングフロートデータを用いて解析が行われた。その結果、海面に直接露出しない層においても十年以上のスケールの組織だった変動があり、その変動は日本近海から大洋に広範囲に広がっている様子が明らかになった (Kouketsu et al. 2017)。一方、日本近海で冬季に発達する深い混合層を起源とする海水輸送にも塩分変動が観測されその塩分変動の大きさは海面での淡水フラックスの年々変動の大きさと量的に一致していることも確認でき、過去の研究で示されている海洋内部の流動場の変動だけでなく海面での交換も影響している可能性を示していた。今後、より確からしい定量評価が必要であり、本研究で改善を進めたデータセットを含む複数プロダクトの比較を行う必要がある。

### 5) 海洋データ同化手法の改善

既存の海洋データ同化システム ESTOC (Estimated State of Global Ocean for Climate Research) をベースとして、本研究課題内容に沿って表層塩分や海面淡水フラックスをより正確に推定できるよう改良を施した。具体的には北極海における淡水データに関する計算ルーチンの変更や海水質量の変化まで考慮した海面高度データの同化スキーム開発などを行い、全球水循環の再現性を向上させた。改良された海洋データ同化システムを用いて、1957-2014 までの 58 年間

の海洋環境再現実験を地球シミュレータ上で実施し、海面フラックスを含む 4 次元データセットを作成した。これにより海洋観測による海洋内部の情報が反映された形で淡水フラックスが推定された。

### 6) データ公開

本研究では新たに「統合海面淡水フラックスデータ」を整備して研究が行われた。いずれも、本研究の目的以外においても価値のあるデータであると考えられる。従って、データセットを構成する衛星淡水フラックスデータと海洋データ同化データを公開プロダクトとしてそれぞれ Web サイトで公開した。

衛星淡水フラックスデータセットについては、本研究計画の中で高精度化された海上大気比湿推定を用いて海洋からの蒸発量を日毎に推定を行ったデータに基づき、さらに Global Precipitation Climatology Project によって作成された現場と衛星観測に基づく降水量データを組み合わせることにより作成されたデータが過去 26 年間の期間について公開された。ウェブサイトの CMS 化によるリニューアルや、データセットや関連技術についてのドキュメント作成などもデータ公開に関連して行われた。

### 7) その他の成果と今後の展望

本研究課題は大気海洋間の淡水フラックスに焦点をおいた研究であったが、人工衛星観測に基づく海面フラックス推定は、熱や運動量フラックスの推定と深い関係がある。例えば、海洋からの蒸発は海洋からの熱の移動に他ならない。この観点から、本研究課題で開発された海面フラックスのデータセットは、海洋学、気象学、気候学などにおける大気海洋相互作用現象の理解において幅広く応用された。今後、本研究課題のデータ公開の浸透により、より多くの研究でデータが利用され、さらに広い分野での利用が期待される。また一方で、データの高解像度化の要望やデータ期間の延長などの要望も多く受けた。さらに本研究期間中に関連する観測技術の更新があった。例えば、小型衛星に搭載された GNSS-R を利用した海上風観測 (CYGNSS) が挙げられる。今後、データセットの拡張はこれらの新しい観測技術を利用し高解像度化をはじめとする更なる研究が期待される。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 5 件)

1. Tomita, H., T. Hihara and M. Kubota, 2018: Improved satellite estimation of near-surface humidity using vertical water vapor profile information, *Geophys. Res. Lett.*, 45,

- 899-906, doi: 101002/217g1076384. 査読あり
2. Oka, E., M. Ishii, T. Nakano, T. Suga, S. Kouketsu, M. Miyamoto, H. Nakano, B. Qiu, S. Sugimoto, and Y. Takatani, 2018, Fifty years of the 137E repeat hydrographic section in the western North Pacific Ocean, *J. Oceanogr.*, 74, 115-145, doi: 10.1007/s10872-017-0461-x, 査読あり
  3. Tozuka T., M.F. Cronin, H. Tomita, 2017: Surface frontogenesis by surface heat fluxes in the upstream Kuroshio Extension region, *Scientific Reports*, 7(1):10258, doi:10.1038/s41598-017-10268-3., 査読あり
  4. Tomita, H., T. Senjyu, M. Kubota, 2016: Evaluation of air-sea sensible and latent heat fluxes over the Japan Sea obtained from satellite, atmospheric reanalysis, and objective analysis products, *J. Oceanogr.*, 72,747-760, doi: 10.1007/s10872-016-0368-y., 査読あり
  5. 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*, 122, 2017-2033, 査読あり
- 〔学会発表〕(計 26 件)
1. Hiroyuki Tomita, Tsutomu Hihara, and Masahisa Kubota, An improved estimation of satellite derived surface humidity and air-sea latent heat flux, SOLAS Workshop on Remote Sensing for Studying the Ocean-Atmosphere Interface, 2018 年 3 月, ポートマック, アメリカ合衆国
  2. Hitoshi Kaneko, Takeshi Okunishi, Shinya Kouketsu, Sachihiko Itoh, Takashi Setou, Hiroshi Kuroda, and Yugo Shimizu, Decadal salinity variation in the western North Pacific correlated with the North Pacific Gyre Oscillation, Ocean sciences meeting, 2018 年 2 月, ポートランド, アメリカ合衆国
  3. Shigeki Hosoda, Global distribution of decorrelation length, signal to noise ratio and variability of temperature, salinity and density from Core Argo, 2018 Ocean Science Meeting, 2018/2/15, ポートランド, アメリカ合衆国
  4. 富田裕之, 加古真一郎, 日原勉, 久保田雅久, 轡田邦夫, J-OFURO3 で見る黒潮続流域周辺の海面熱フラックスの特徴、日本海洋学会秋季大会、2017 年 11 月, 仙台
  5. 富田裕之, J-OFURO3 のオープンデータサイエンス, 日本海洋学会秋季大会, 宮城, 2017 年 11 月
  6. 細田滋毅, フロート技術・データ管理の概要と現状、シンポジウム「Argo の現状と深海・生物地球化学 Argo への拡張」, 2017 年度日本海洋学会秋季大会、2017 年 10 月, 仙台
  7. 富田裕之, 加古真一郎, 日原勉, 久保田雅久, 轡田邦夫, 衛星観測に基づく海面フラックスデータセット J-OFURO3 で見る台風、H29 年度京都大学防災研究所共同研究集会「台風研究会」激昂化する台風災害の要因解明と減災へ向けて, 2017 年 9 月
  8. Hiroyuki Tomita, Shin'ichiro Kako, Tsutomu Hihara, Masahisa Kubota, Kunio Kutsuwada, Introduction to a new satellite-derived air-sea flux data set J-OFURO3, AOGS 2017 annual meeting, 2017 年 8 月, シンガポール
  9. Shigeki Hosoda and Kanako Sato, Spatial and temporal variability of temperature and salinity in the upper layer ocean using the global Argo array, IAPSO, 2017 年 8 月, 南アフリカ・ケープタウン
  10. 富田裕之, 加古真一郎, 日原勉, 轡田邦夫, 久保田雅久, J-OFURO3 アップデートについて, 大気海洋相互作用研究会山中湖シンポジウム, 2017 年 6 月, 山梨
  11. Hiroyuki Tomita, Shin'ichiro Kako, Tsutomu Hihara, Masahisa Kubota, Kunio Kutsuwada, Introduction of a new satellite-derived air-sea flux data set: J-OFURO3, 8th OFES International Workshop, 2017 年 3 月, 名古屋
  12. Shuhei Masuda, Takashi Mochizuki, Xueyuan Liu, Interannual-to-pentadal climate prediction by using a four-dimensional variational coupled data assimilation system, International workshop on coupled data assimilation 2016, 2016 年 10 月, トゥールーズ, フランス
  13. Shinya Kouketsu, Changes in salinity and nutrients along 47° N in the North Pacific, CLIVAR 2016, 2016 年 9 月, 北京, 中国
  14. Shuhei Masuda, Satoshi Osafune, Nozomi Sugiura, Toshimasa Doi, Ocean heat content and sea level changes from an improved ocean state

- estimation, Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 2016, 2016年8月, 北京, 中国
15. 富田裕之, 加古真一郎, 日原勉, 轡田邦夫, 久保田雅久, 亀田傑, 複数衛星を用いた全球海上風格子データの構築, 2016年度日本海洋学会秋季大会, 2016年9月, 鹿児島
  16. 纈纈慎也, 富田裕之, 増田周平, 細田滋毅, 海洋観測データとフラックスプロダクトの時間変動比較, 日本海洋学会, 2016年3月, 東京
  17. 富田裕之, 日原勉, 久保田雅久, 水蒸気鉛直構造を考慮した衛星による海上大気比湿の高精度推定アルゴリズム, 日本海洋学会, 2016年3月, 東京
  18. 富田裕之, 久保田雅久, 轡田邦夫, 加古真一郎, 日原勉, 亀田傑, 新たな海洋観測時代の衛星海面フラックスデータセット J-OFURO3, 2016年度日本海洋学会春季大会, 2016年3月, 東京
  19. 細田滋毅, 野中正見, 西太平洋での春夏季の季節躍層下への低塩分水の浸透, 2016年度日本海洋学会春季大会, 2016年3月, 東京
  20. 富田裕之, 日原勉, 久保田雅久, 全球海面熱・淡水フラックス推定のための海面水温プロダクト, 2015年度日本海洋学会秋季大会, 2015年9月, 愛媛
  21. Hiroyuki Tomita, Masahisa Kubota, Kunio Kutsuwada, Tsutomu Hihara, Shin'ichiro Kako, Suguru Kameda, Japanese Ocean Flux Data Sets with Use of Remote Sensing Observations version 3 (J-OFURO3), SOOS Air-sea flux workshop, European Space Research Institute, 2015年9月, フラスカーティ, イタリア
  22. Shinya Kouketsu, Satoshi Osafune, Hiroshi Uchida, Yuichiro Kumamoto, Akihiko Murata, Decadal changes along 47°N based on hydrographic observations, GO-SHIP/Argo/IOCCP Conference 2015, 2015年9月, アイルランド
  23. Hiroyuki Tomita, Masahisa Kubota, Kunio Kutsuwada, Tsutomu Hihara, Shin'ichiro Kako, Suguru Kameda, Japanese Ocean Flux Data Sets with Use of Remote Sensing Observations version 3 (J-OFURO3), Asia Oceania Geosciences Society 2015, 2015年8月, シンガポール
  24. Hiroyuki Tomita, Shouta Katsura, and Eitarou Oka, Ocean salinity effects on surface wind, Ocean Salinity Science and Salinity Remote Sensing Workshop, 2014年11月, エクセター, 英国
  25. Shigeki Hosoda and Masami Nonaka,

Seasonal-to-decadal salinity variations in the North Pacific related to changes of precipitation and subtropical gyre, Ocean Salinity Science and Salinity Remote Sensing Workshop, 2014年11月, エクセター, 英国

26. 富田裕之, 桂将太, 岡英太郎, バリアレイヤーが海上風に与える影響, 2014年度日本海洋学会秋季大会, 2014年9月, 長崎

〔その他〕

ホームページ等

1. 衛星観測に基づく海面熱・運動量・淡水フラックスデータセット: J-OFURO3  
<https://j-ofuro.scc.u-tokai.ac.jp>
2. 気候変動研究のための四次元変分法海洋環境再現データセット: ESTOC  
<http://www.godac.jamstec.go.jp/esto/c/j/index.html>

データ・関連技術ドキュメント

1. Tomita H. (2017) J-OFURO3 data set detailed document, J-OFURO3 official document, J-OFURO3\_DOC\_002, V1.1E, 33pp. <https://doi.org/10.18999/27183>
2. Tomita H, Hihara T (2017) Quality check system for J-OFURO3, J-OFURO3 official document, J-OFURO3\_DOC\_006, V1.0E, 27pp. <https://doi.org/10.18999/27211>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

富田 裕之 (TOMITA HIROYUKI)  
名古屋大学・宇宙地球環境研究所・特任助教  
研究者番号: 10435844

### (2) 研究分担者

増田 周平 (MASUDA SHUUHEI)  
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・グループリーダー 研究者番号: 30358767

纈纈 慎也 (KOUKETSU SHINYA)  
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・主任研究員  
研究者番号: 30421887

細田 滋毅 (HOSODA SHIGEKI)  
研究者番号: 60399582  
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・グループリーダー代理