

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 10 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23310001

研究課題名(和文) 衛星観測海面塩分データの精度評価・誤差特性の解明と全球水循環研究への応用

研究課題名(英文) Evaluation of sea surface salinity observed by spaceborne microwave radiometer and applications to studies of the global water cycle

研究代表者

江淵 直人 (Ebuchi, Naoto)

北海道大学・低温科学研究所・教授

研究者番号：10203655

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,600,000円、(間接経費) 4,380,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、史上初めて行われた本格的な塩分観測衛星ミッションであるAquariusの観測データを解析し、海面塩分の観測精度の評価と誤差の特性を調べることを目的とした。衛星観測海面塩分データを、係留ブイ、アルゴフロート、海洋データ同化モデル出力などと比較した。その結果、現在の最新版のデータを用いれば、水温5度以上、風速15 m/s以下の条件で、単一の観測で、残差の標準偏差が0.41 psu程度、150 kmかつ1ヶ月平均で0.26 psu程度と、目標観測精度(150 km、1ヶ月平均で誤差0.2 psu)に確実に近づいていることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：Sea surface salinity (SSS) observed by Aquarius was compared with global observations by Argo floats and offshore moored buoys to evaluate the quality of SSS data and to assess error structures. The Aquarius SSS was collocated with in situ near-surface salinity with spatial and temporal separations of less than 200 km and 12 h, respectively. SSS observed by Aquarius was in good agreement with in situ salinity measurements. The root-mean-square (rms) difference of the salinity residual, defined by Aquarius SSS minus Argo salinity, was 0.41 psu. The monthly averaged Aquarius SSS on 1 x 1 deg grids was also compared with outputs from the ocean data optimal interpolation system operated by the Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC) and the ocean data assimilation system of the Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency (MRI/JMA). The rms difference calculated over 40 S - 40 N was 0.26 psu, which is very close to the goal of the Aquarius mission.

研究分野：環境科学

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：海面塩分 海面淡水収支 環境変動 リモートセンシング マイクロ波放射計 全球水循環 環境計測 大気海洋相互作用

1. 研究開始当初の背景

海面の塩分は、海洋大循環や海洋大気間の淡水フラックス、水循環、気候変動などの研究にとって非常に重要なパラメータである。しかしながら、海面水温に比べると、高精度な連続観測が難しいために、全球の海洋をカバーするデータが現場観測によって十分に得られているとは言えないのが現状であった。そこで、人工衛星からリモートセンシングの技術を使って、海面塩分を広い範囲で繰り返し計測する試みが計画されてきた。欧州宇宙機関は、2009年11月に、土壌水分と海面塩分の観測を目的とした衛星 SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) を打ち上げた。また、米国航空宇宙局は、アルゼンチン宇宙活動委員会と共同で、塩分観測センサを搭載した衛星 Aquarius/SAC-D の打ち上げを2011年4月に計画していた。

人工衛星からの海面塩分の観測には、L-バンド (0.5~1.5 GHz) のマイクロ波放射計が用いられる。これは、海面からのL-バンドのマイクロ波の放射輝度が、海面塩分と水温によって決まる比誘電率 (伝導度) に依存する性質によるものである。しかしながら、L-バンドの放射輝度の塩分による変化率は非常に小さいため、放射輝度温度の観測が非常に高い校正精度を持つこと、および海面水温、海上風速・風向、大気中の水蒸気量・雲水量・降水量など輝度温度に影響を及ぼす他のパラメータの寄与の補正が高精度で行われること、が要求される。このような技術的問題の解決が近年になってようやく可能になってきたために、初めて SMOS および Aquarius の2つの塩分観測衛星が打ち上げられることになった。

2. 研究の目的

本研究は、史上初めて行われる本格的な塩分観測衛星ミッション Aquarius/SAC-D の観測データを解析し、海面塩分の観測精度の評価と誤差の特性を調べることを目的とした。衛星観測データと現場観測データとの比較およびその残差の解析をもとに、海面付近の物理過程に踏み込んだ検討を行い、アルゴリズムの改良および観測精度の向上に資する知見を得ることを目指す。また同時に、得られた海面塩分のデータを、衛星観測による海面淡水フラックス (蒸発-降水) や海洋表層循環場のデータと比較することにより、全球水循環の研究への利用の可能性を調べる。

3. 研究の方法

Aquarius/SAC-D 衛星によって観測された海面塩分データを、係留ブイ、アルゴフロート、海洋データ同化モデル出力などのデータと比較することにより、観測精度の評価を行うとともに、誤差の特性、特に、海面水温、海上風速・風向、大気中の水蒸気量・雲水量・降水量などの大気・海洋のパラメータと観測誤差との相関を調べることに、アルゴ

リズム改良に必要な情報を抽出する。現場観測データとしては、赤道域の TAO/TRITON (太平洋)、RAMA (インド洋)、PIRATA (大西洋)、および中緯度の KEO および JKEO などの係留ブイのデータ、日本近海の船舶観測データ (大学・研究機関・現業機関など)、アルゴフロートの観測データなどを用いる。衛星による塩分観測では、観測精度を向上させるために、時空間平均 (1週間~1ヶ月、150~300 km 程度) を施してランダム誤差を減らす処理が行われる。これに対して、サンプリングの異なる各種の現場観測データを比較に用いる際には、同等の時空間平均操作が必要となる。海洋研究開発機構によって、アルゴフロートの観測データから最適内挿法を用いて作成されている時空間格子データが有効であると考えた。また、気象庁気象研究所で開発されている海洋データ同化システム MOVE/MRI.COM の出力データとの比較も、観測データの多い日本近海では、特に有効と考えた。データの比較によって海面塩分の観測精度の評価を行うとともに、誤差の特性、特に、海面水温、海上風速・風向、大気中の水蒸気量・雲水量・降水量、大気境界層の安定度などの大気・海洋のパラメータと残差との関係を調べた。

4. 研究成果

図1に同期データの比較の散布図を示した。前報でも示した通り、原理的に低水温域での感度が低いため、海面水温 5°C 以下、風速 15 m/s 以上のデータは除去して比較を行った。バイアスは 0.01 psu、残差の標準偏差は 0.41 psu であり、スナップショットの比較としては、以前のバージョンのデータに比べて格段にばらつきが小さくなっている。

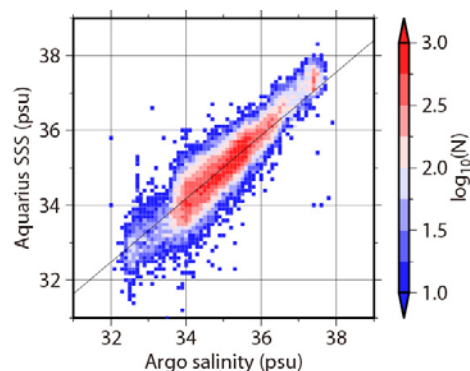


図1. Aquarius が観測した海面塩分と Argo フロートが観測した塩分の比較。

図2は、Ascending 軌道と Descending 軌道の塩分の差を月平均で示したものである。南大洋を中心にかなり大きなバイアス (~0.4 psu) が存在し、それが季節変動している様子が分かる。原因としては、銀河からのマイクロ波放射の反射の補正の誤差や人為

起源のマイクロ波放射 (RFI) が挙げられており、現在、最も大きな誤差要因と認識されている。図3は、東西平均した Ascending 軌道と Descending 軌道の塩分バイアスを、緯度-時間空間で表したものである。南半球を中心にバイアスの明瞭な季節変動が示されている。

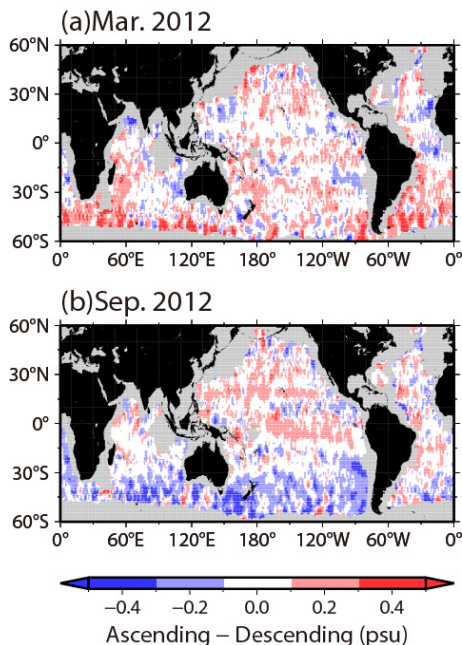


図2. Ascending 軌道と Descending 軌道の塩分残差の月平均。(上) 2011年9月, (下) 2012年3月。

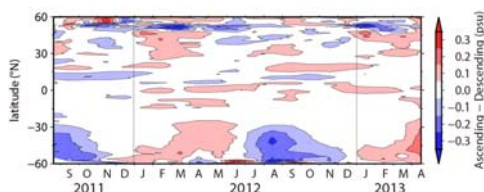


図3. 東西平均した Ascending 軌道と Descending 軌道の塩分残差の緯度-時間断面。

図4は、格子化データの比較結果の一例として、月平均(2012年7月)の Aquarius Level 3 データと JAMSTEC MOAA GPV の海面塩分の出力およびその差の分布を示したものである。海面塩分の地理的分布は、おおむねよく捉えられているが、大西洋低緯度域の降水帯で Aquarius の塩分が若干低めになっている。また、北太平洋、北大西洋の高緯度域で塩分の過大評価が見られる。

図5は、40°S-40°N の全球海洋での月ごとの残差の平均と標準偏差の時系列をデータのバージョン毎に示したものである。初期バージョンに見られた数ヶ月周期のバイアスの変動は見られなくなり、残差の標準偏差は、

ミッションの目標値 0.2 psu に近づいていることが分かる。

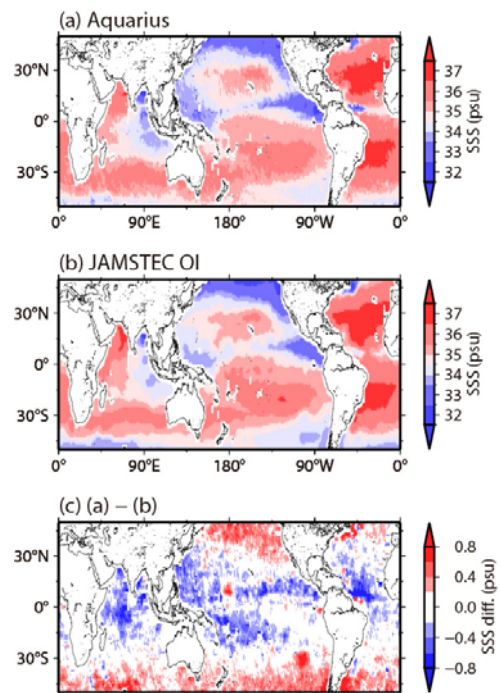


図4. Aquarius level 3 月平均データと JAMSTEC MOAA GPV 出力の比較例 (2012年7月)。

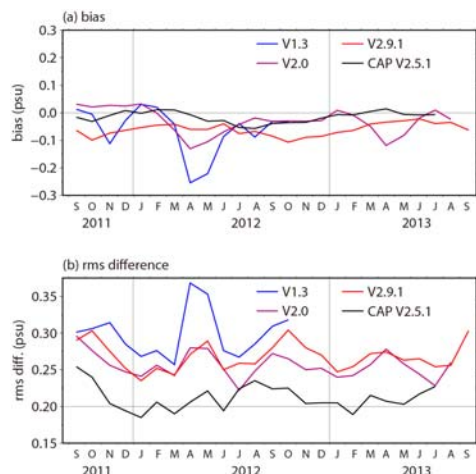


図5. Aquarius level 3 月平均データと JAMSTEC MOAA GPV 出力の残差の平均と標準偏差(全球 40°S-40°N)。

Aquarius のデータ取得開始から約2年半が経過し、センサ較正、精度検証が進められると同時に、アルゴリズムの改良が行われている。高緯度の低水温・高風速域を除けば、目標精度にかなり近づいている。今後は、さらなるアルゴリズム改良によって、Ascending 軌道-Descending 軌道の塩分バイアスを除去することで、観測精度がさらに向上することが期待できる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 14 件)

- (1) Abe, H., Y. Tanimoto, T. Hasegawa, N. Ebuchi, and K. Hanawa, 2014: Oceanic Rossby waves induced by the meridional shift of the ITCZ in association with the ENSO events. *Journal of Oceanography*, vol. 70, no. 2, pp. 165-174, doi: 10.1007/s10872-014-0220-1. (査読有)
- (2) Abe, H., K. Hanawa, and N. Ebuchi, 2013: Interannual variations in the Hawaiian Lee Countercurrent. *Journal of Oceanography*, vol. 69, no. 2, pp. 191-202, doi: 10.1007/s10872-012-0166-0. (査読有)
- (3) Ebuchi, N., and H. Abe, 2013: Evaluation of sea surface salinity observed Aquarius and SMOS. *Proceedings of IGARSS 2013*, Melbourne, Australia, July 2013, pp. 656-659, doi: 10.1109/IGARSS.2013.6721242. (査読無)
- (4) Ebuchi, N., 2013: Intercomparison of four ocean vector wind products from Oceansat-2 scatterometer. *Proceedings of IGARSS 2013*, Melbourne, Australia, July 2013, pp. 1254-1257, doi: 10.1109/IGARSS.2013.6723008. (査読無)
- (5) 笹野 泰弘・祖父江 真一・江淵 直人・岡本 幸三・佐藤 正樹・沢田 治雄・中村 健治・早坂 忠裕・本多 嘉明, 2013: わが国の今後の衛星観測計画について. *天気*, vol. 60, pp. 433-444. (査読有)
- (6) Ebuchi, N., 2012: Self-consistency of marine surface wind vectors observed by ASCAT. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 50, no. 7, pp. 2473-2480, doi: 10.1109/TGRS.2011.2160648. (査読有)
- (7) Ebuchi, N., 2012: Self-consistency of marine surface vector winds observed by Oceansat-2 scatterometer. *Proceedings of PORSEC 2012*, Kochi, India, November 2012, 4 pp. (査読無)
- (8) Ebuchi, N., and H. Abe, 2012: Evaluation of sea surface salinity observed Aquarius on SAC-D. *Proceedings of SPIE Asia-Pacific Remote Sensing Conference, Remote Sensing of the Marine Environment II*, Kyoto, Japan, October 2012, doi: 10.1117/12.970253. (査読無)
- (9) Ebuchi, N., and H. Abe, 2012: Evaluation of sea surface salinity globally observed Aquarius. *Proceedings of ISRS 2012 ICSANE*, Incheon, Korea, October 2012, 4 pp. (DVD). (査読無)
- (10) Ebuchi, N., and H. Abe, 2012: Evaluation of sea surface salinity observed Aquarius. *Proceedings of IGARSS 2012*, Munich, Germany, July 2012, pp. 5767-5769, doi: 10.1109/IGARSS.2012.

6352300. (査読無)

- (11) Ebuchi, N., 2012: Evaluation of wind vectors observed by OSCAT using statistical distributions. *Proceedings of IGARSS 2012*, Munich, Germany, July 2012, pp. 2043-2046, doi: 10.1109/IGARSS.2012.6350974. (査読無)
- (12) 江淵 直人, 2012: 人工衛星による海面観測の現状と展望. *月刊 海洋*, vol. 44, pp. 594-598. (査読無)
- (13) Ebuchi, N., 2011: Global monitoring of marine surface vector winds: Present status and the way forward. *Proceedings of ISRS 2011*, Yeosu, Korea, November 2011, 4 pp. (CD-ROM). (査読無)
- (14) Ebuchi, N., 2011: Evaluation of wind vectors observed by ASCAT using statistical distributions. *Proceedings of IGARSS 2011*, Vancouver, British Columbia, Canada, July 2011, pp. 3732-3735, doi: 10.1109/IGARSS.2011.6050036. (査読無)

[学会発表] (計 33 件)

- (1) 阿部 泰人・谷本 陽一・長谷川 拓也・江淵 直人・花輪 公雄, 2014: 赤道収束帯の南北変位により励起された海洋ロスビー波. 2014 年度日本海洋学会春季大会, 2014 年 3 月 29 日, 東京.
- (2) 江淵 直人・阿部 泰人, 2014: L-バンドマイクロ波放射計による海面塩分の全球観測. 光・ミリ波・マイクロ波を用いた計測技術・解析モデルの開発とその応用に関する研究集会, 2014 年 1 月 28 日, 春日.
- (3) Ebuchi, N., 2014: Evaluation of marine surface wind observed by AMSR2 on GCOM-W1. Joint PI Workshop of Global Environmental Observation Mission 2013, 2014 年 1 月 17 日, 東京.
- (4) Abe, H. and N. Ebuchi, 2013: Evaluation of sea surface salinity observed by Aquarius. 8th Aquarius/SAC-D Science Team Meeting, 2013 年 11 月 12 日, プエノスアイレス (アルゼンチン).
- (5) Ebuchi, N., 2013: Continuous Observation of the Soya Warm Current by HF Ocean Radars since 2003. 武漢大学電子情報学院における講演, 2013 年 11 月 11 日, 武漢 (中国) (招待講演).
- (6) 江淵 直人・阿部 泰人, 2013: Aquarius によって観測された海面塩分の精度評価 (II). 平成 25 年度海洋理工学会秋季大会, 2013 年 10 月 22 日, 京都.
- (7) Ebuchi, N., 2013: Observations of ocean and atmosphere by AMSR2 on GCOM-W1. International Conference on Remote Sensing of Environment: Scientific and Applied Research in Asia-Pacific, 2013 年 9 月 25 日, ウラジオストック (ロシア), (招待・基調講演).
- (8) Ebuchi, N. and H. Abe, 2013: Evaluation

of sea surface salinity observed by Aquarius and SMOS. IGARSS 2013, 2013年7月23日,メルボルン(オーストラリア).

(9) Ebuchi, N., 2013: Intercomparison of four ocean vector wind products from Oceansat-2 scatterometer. IGARSS2013, 2013年7月23日,メルボルン(オーストラリア).

(10) 江淵 直人・日原 勉・根田 昌典・香西 克俊・久保田 雅久・大黒 篤司・柴田 彰・富田 裕之, 2013: GCOM-W1/AMSR2 による大気-海洋相互作用の観測. 日本地球惑星科学連合 2013 連合大会, 2013年5月19日, 千葉.

(11) Ebuchi, N., 2013: Intercomparison of four ocean vector wind products from Oceansat-2 scatterometer. International Ocean Vector Winds Science Team Workshop 2013, 2013年5月6日, コナ(米国).

(12) Abe, H. and N. Ebuchi, 2013: Evaluation of sea surface salinity observed by Aquarius and SMOS. SMOS & Aquarius Science Workshop, 2013年4月17日, プレスト(フランス).

(13) 阿部 泰人・江淵 直人, 2013: Aquarius/SAC-D が観測した海面塩分の精度評価 (II). 2013年度日本海洋学会春季大会, 2013年3月24日, 東京.

(14) Ebuchi, N., 2013: Evaluation of marine surface wind observed by AMSR2 on GCOM-W1. Joint PI Workshop of Global Environmental Observation Mission 2012, 2013年1月31日, 東京.

(15) Abe, H. and N. Ebuchi, 2012: Evaluation of sea surface salinity observed by Aquarius. PORSEC 2012, 2012年11月8日, コーチン(インド).

(16) Ebuchi, N., 2012: Evaluation of wind vectors observed by Oceansat-2 scatterometer using statistical distributions. PORSEC 2012, 2012年11月6日, コーチン(インド).

(17) Ebuchi, N. and H. Abe, 2012: Evaluation of sea surface salinity observed by Aquarius on SAC-D. SPIE Asia-Pacific Remote Sensing 2012, 2012年10月31日, 京都.

(18) Ebuchi, N. and H. Abe, 2012: Evaluation of sea surface salinity globally observed by Aquarius. ISRS 2012 ICSANE, 2012年10月12日, 仁川(韓国).

(19) 江淵 直人・阿部 泰人, 2012: Aquarius によって観測された海面の L-band 散乱断面積の風速・風向依存性. 2012年度日本海洋学会秋季大会, 2012年9月16日, 静岡.

(20) Ebuchi, N. and H. Abe, 2012: Evaluation of sea surface salinity observed by Aquarius. IGARSS 2012, 2012年7月26日, ミュンヘン(ドイツ).

(21) Ebuchi, N., 2012: Evaluation of wind

vectors observed by OSCAT using statistical distributions. IGARSS 2012, 2012年7月24日, ミュンヘン(ドイツ).

(22) Ebuchi, N., 2012: Evaluation of marine surface vector winds observed by OSCAT. International Ocean Vector Winds Science Team Workshop 2012, 2012年6月12日, ユトレヒト(オランダ).

(23) 江淵 直人・阿部 泰人, 2012: Aquarius によって観測された海面塩分の精度評価. 平成 24 年度海洋理工学会春季大会, 2012年5月25日, 東京.

(24) Abe, H. and N. Ebuchi, 2012: Evaluation of sea surface salinity observed by Aquarius. 7th Aquarius SAC-D Science Meeting, 2012年4月11-13日, ブエノスアイレス(アルゼンチン)(poster).

(25) Ebuchi, N. and H. Abe, 2012: Composition of the L-band geophysical model function using data from Aquarius scatterometer. 7th Aquarius SAC-D Science Meeting, 2012年4月11-13日, ブエノスアイレス(アルゼンチン)(poster).

(26) 阿部 泰人・江淵 直人, 2012: Aquarius/SAC-D が観測した海面塩分の精度評価. 2012年度日本海洋学会春季大会, 2012年3月29日, つくば.

(27) Ebuchi, N., 2012: Evaluation of marine surface wind observed by AMSR2 on GCOM-W1. Joint PI Workshop of Global Environmental Observation Mission 2011, 2012年1月19日, 東京.

(28) 江淵 直人, 2012: 海と大気の相互作用を測る. 名古屋大学地球水循環研究センター公開講演会, 2012年1月7日, 名古屋(招待講演).

(29) Ebuchi, N., 2011: Global monitoring of marine surface vector winds: Present status and the way forward. ISRS 2011, 2011年11月4日, 麗水(韓国).

(30) 江淵 直人, 2011: インドの海洋観測衛星 Oceansat-2 搭載マイクロ波散乱計で観測された海上風ベクトルの精度評価. 平成 23 年度海洋理工学会秋季大会, 2011年10月18日, 京都.

(31) 江淵 直人, 2011: インドの海洋観測衛星 Oceansat-2 搭載マイクロ波散乱計で観測された海上風ベクトルの精度評価. 2011年度日本海洋学会秋季大会, 2011年9月29日, 春日.

(32) 江淵 直人, 2011: 人工衛星による海面観測の現状と展望, 第 15 回データ同化夏の学校, 2011年8月22日, むつ(招待講演).

(33) Ebuchi, N., 2011: Evaluation of wind vectors observed by ASCAT using statistical distributions. IGARSS 2011, 2011年7月28日, バンクーバー(カナダ).

[図書] (計 3 件)

(1) The Remote Sensing Society of Japan

(eds.), 2013: Remote Sensing, An Introductory Textbook. Maruzen Planet, Japan, pp.301.

(2) Katsaros, K. B., A. Bentamy, M. Bourassa, N. Ebuchi, J. Gower, W. T. Liu, and S. Vignudelli, 2011: Climate data issues from an oceanographic remote sensing perspective. In “Remote Sensing of the Changing Ocean,” ed. by D. L. Tang, Springer, pp. 396 (7-32).

(3) 日本リモートセンシング学会編 (共著), 2011: 基礎からわかるリモートセンシング. 理工図書, pp.319 (73-76).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

江淵 直人 (EBUCHI, Naoto)

北海道大学・低温科学研究所・教授

研究者番号：10203655