

複数人工衛星および再解析モデルから得られる低緯度帯海表面温度データの精度比較

瀬森 裕貴 (近畿大学 理工学部)

鈴木 直弥 (近畿大学 理工学部, nsuzuki@mech.kindai.ac.jp)

Accuracy comparison of multi-platform satellite and reanalysis sea surface temperature data

Yuki Semori (Faculty of Science and Engineering, Kinki University, Japan)

Naoya Suzuki (Faculty of Science and Engineering, Kinki University, Japan)

要約

現在、大気・海洋間の熱フラックスを求める際に使用されているデータの1つとして海表面温度 (Sea Surface Temperature: SST) データがある。また、地球温暖化など地球環境に密接に関係しているため全球規模での評価が必要となる。そこで全球規模でSSTを観測している人工衛星データおよび再解析データが有用となる。しかし人工衛星および再解析データによるSSTデータは実測値ではなく推定値であるため、常に精度の評価をすることが重要である。また全球に影響を及ぼすエルニーニョ・ラニーニャ現象が観測される、低緯度帯における人工衛星データおよび再解析データの精度検証を行うことは重要である。そこで本研究では、多く人工衛星データを使って構築された複合人工衛星GHRSSSTデータ、NCEP-R1とNCEP-R2再解析データそしてECMWF再解析データの精度についてブイデータと比較し検証を行った。精度比較に用いたブイデータは、TAO (Tropical Ocean Atmosphere) / TRITON (Triangle Trans-Ocean Buoy Network) ブイ (16点)、PIRATA (Pilot Research Moored Array in the Tropical Atlantic: 熱帯大西 洋係留アレー試験研究) ブイ (5点)、RAMA (Research Moored Array for African-Australian Monsoon Analysis and Prediction) ブイ (4点) である。使用データ期間は2009年の一年間とした。低緯度帯全域におけるGHRSSST、ECMWF、NCEP-R1、NCEP-R2のRMS差を算出した結果、それぞれ0.209 °C、0.333 °C、0.397 °C、0.396 °CとなりGHRSSST以外は全て公証測定精度0.3 °Cを超えた。海域毎のRMS差においてもGHRSSSTはどの海域も精度が良く、全ての再解析データはどの海域でも精度が悪いことが示された。

キーワード

海表面温度, 人工衛星, 再解析モデル, 低緯度, ブイ

1. はじめに

地球上の約7割を占める海洋と大気の間での熱輸送のプロセスを解明することは、気候変動を予測するうえで重要である。現在、大気・海洋間の熱フラックスを求める際に使用されているデータの1つとして海表面温度 (Sea Surface Temperature :SST) データがある。現場データであるブイデータを使用するのが最も正確だが、全球を全てカバーすることが出来ない。そこで全球を観測している人工衛星および再解析データが有用である。

SSTを観測している人工衛星としてNOAA (National Oceanic and Atmospheric) / AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)、TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) / TMI (TRMM Microwave Imager)、ENVISAT (Environmental Satellite) / AATSR (Advanced Along-Track Scanning Radiometer)、Aqua (EOS PM-1) / AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS)、MSG (Meteosat second Generation) / SEVIRI (Spinning Enhanced Visible IR Imager) などが挙げられる。しかし個々の人工衛星では、数日間で全球を観測するため1日で全球を観測することはできない。さらにセンサによって観測方式にも以下の違いがある。マイクロ波放射計は雲のある状態でも計測できるがまだ新しく精度が不安定である。また赤外線放射計は長年の研究で精度は安定して良いが、雲のある状態では計測できないなどの特性がある (古濱他, 1986)。そこで一日で全球がカバーできるよう、NOAA / AVHRR、TRMM / TMI、ENVISAT / AATSR、

Aqua / AMSR-E、MSG / SEVIRI、これらの複数人工衛星によって構築された海表面温度データとしてGHRSSST (Group for High Resolution Sea Surface Temperature) データが提供されている。

全球をカバーする他の代表的なデータとして、NCEP (National Center for Environmental Prediction) -R1 (Reanalysis 1) およびR2 (Reanalysis 2) 再解析データ、ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) 再解析データなどが提供されている。再解析データとは、常に最新のデータ同化システムにより過去にさかのぼって現在までの気象モデルデータや観測データを再解析し、全球の格子点上に再現したデータである。再解析データは船舶やブイでは不可能であった同じ時刻の全球規模での気象データを取得できるという利点がある。しかし、再解析データによる海表面温度は、直接海表面温度を計測するのではなくモデルによる推定値である。したがって常に人工衛星データおよび再解析データの精度検証を行うことは重要である。また、特に低緯度帯は全球に影響を及ぼすエルニーニョ・ラニーニャ現象といった大規模な気候変動の要因になっているため、低緯度帯において精度検証を行うことは重要である。なお、個々の人工衛星データの局所的な精度検証は常に行われてきているが、複数人工衛星GHRSSSTについての精度検証および全球規模での再解析データとの比較は行われていない。

本研究では、熱フラックスを求める際に重要である人工衛星複合海表面温度GHRSSSTデータとNCEP-R1およびR2再解析データとECMWF再解析データの精度について、ブイデータと低緯度帯で比較し検証を行うことが目的である。

2. 全球規模海表面温度データおよび検証方法

2.1 複合人工衛星 GHRSSST データ

本研究では、アメリカ航空宇宙局 (NASA) が運営する PO.DAAC (PHYSICAL OCEANOGRAPHY DISTRIBUTED ACTIVE ARCHIVE CENTER) より提供されている、複合人工衛星 GHRSSST (Group for High Resolution Sea Surface Temperature) データを使用した。GHRSSSTは先に挙げた NOAA / VHRR、TRMM / TMI、ENVISAT / AATSR、Aqua / AMSR-E、MSG / SEVIRIの観測したデータからアメリカを中心とし、オーストラリア、日本、ヨーロッパが共同開発によって構築されており、データの範囲は全球を対象としており解像度は 11 Km、格子は 3600 × 7200 である。利用できるデータの期間は 2006 年から現在となっている (GHRSSST User Guide, 2011)。

2.2 再解析データ

NOAA/ ESRL PSD (National Oceanic and Atmospheric Administration / Earth System Research Laboratory Physical Science Division) より提供されている NCEP (National Center for Environmental Prediction) / NCAR (National Center for Atmospheric Research) 再解析データ (以下 NCEP) を使用した。NCEP 再解析データは、地球規模で過去約 40 年間分の大気場における解析データを提供するプロジェクトであり、船舶、レーウィンゾンデ、航空観測、人工衛星などの観測データを、数値気象予報モデルにデータ化することで作成されている。データ範囲は東経 0 度 ~ 358.125 度、南緯 88.542 度 ~ 北緯 88.542 度で、データ格子は 1.875° × 1.904° (Gaussian Grid) で作成されている。時間解像度は 6 時間毎、日平均、月平均が作成、配信されている。本研究では 6 時間毎のデータを使用した。また、先に配信された NCEP 再解析データを NCEP-R1 再解析データとし、一定期間内で一定となっていた NCEP-R1 再解析データのデータをさらに細分化したものを NCEP-R2 再解析データとする。本研究では、NCEP-R1 および R2 の両方を使用した (Kalnay et al., 1996; Kanamitsu et al., 2002)。

ヨーロッパの European Centre for Medium-Range Weather Forecasts より提供されている ERA-Interim (ECMWF Reanalysis-Interim) 再解析データ (以下 ERA-Interim) を使用した。ERA-Interim は、ECMWF による元来 40 年を対象として実施された再解析プロジェクトである。過去の観測データの収集

と品質管理を系統的に行った上で、同一の数値予報モデルとデータ同化システムのプログラムを使うことにより作られるので、長期間にわたり均質で整合性のあるデータセットである。データ期間は 1979 年 1 月から現在である。データ範囲は東経 0.5 度 ~ 359.5 度、南緯 89.5 度 ~ 北緯 89.5 度でデータ格子は 1.5° × 1.5° で作成されている。時間解像度は 6 時間毎、日平均、月平均が作成、配信されている。本研究では 6 時間毎のデータを使用した (Berrisford et al., 2009)。

2.3 ブイデータ

精度検証に用いた現場データは、低緯度帯太平洋において TAO (Tropical Ocean Atmosphere) / TRITON (Triangle Trans-Ocean Buoy Network) ブイを使用した。TAO / TRITON ブイは、米国 NOAA / PMEL (Pacific Marine Environmental Laboratory) と日本の海洋科学技術センター (Japan Marine Science and Technology Center: JAMSTEC) による共同研究として展開している。現在、63 基が東西方向に 147° E ~ 95° W、南北方向に 9° N ~ 8° S の海域で稼働している。本研究では、16 基のブイを使用した。

低緯度帯大西洋において PIRATA (Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic) ブイを使用した。このブイは、アメリカ、フランス、ブラジルが協力し、NOAA / PMEL により管理されている。熱帯大西洋海域の長期的な大気海洋相互作用の解明を目的として設置されている。現在、17 基が東西方向で 38° W ~ 8° E、南北方向で 19° S ~ 15° N の海域で稼働している。本研究では、5 基のブイを使用した。

インド洋において RAMA (Research moored Array for African - Asian - Australian Monsoon analysis and prediction) ブイである。NOAA/PMEL がインド洋域に展開しており、インド洋の現状把握、実用的な予測モデルの初期値作成などを目的としている。現在、16 基が東西方向で 55° E ~ 100° E、南北方向で 16° S ~ 15° N の海域で稼働している。本研究では、4 基のブイを使用した。

上記の観測されたブイデータは米国データブイセンター (NDBC: National Data Buoy Center) によって配信されている。どのブイも 1 年間連続して観測されているわけではないため、本研究では長期間連続して観測しているブイを選択して使用した。使用したブイの位置を図 1 に示す。

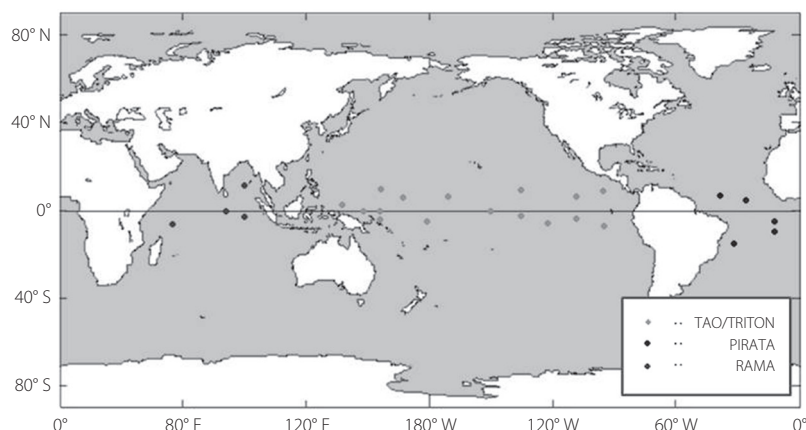


図 1: 使用したブイの位置

2.4 検証方法

データは2009年の一年間のデータで精度検証を行った。2009年を選んだ理由として、今回使用した複合人工衛星GHRSSSTデータに含まれる期間の中で一年間分の日ごとの有効データが得られる期間が2009年だったためである。

データの観測時刻について、今回使用する複合人工衛星データの観測時間が12時00分だったので各ブイデータと再解析データの12時00分のデータを使用し精度検証を行った。

検証の方法として、低緯度帯全域・海域別・局所別において、ブイのSSTデータに対して複合人工衛星GHRSSSTデータ及び再解析データをプロットした分布図を出した。またRMS差 (Root Mean Square) による比較を行い、本研究で使用する複数人工衛星の中で最も精度の厳しいENVISAT/AATSRの公証測定精度0.3℃より検証を行った。RMS差がこの0.30℃未満であれば、精度は良いとみなすことができる。なお、RMS差は次式によって求められる。

$$RMS差 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_{e_i} - X_{b_i})^2}{N}} \quad (1)$$

ここで、 X_{e_i} は人工衛星のSSTデータであり、 X_{b_i} はブイのSSTデータであり、 N はデータ数である。

3. 結果

低緯度帯全体でのGHRSSST、ECMWF、NCEP-R1、NCEP-R2データのRMS差はそれぞれ0.209℃、0.333℃、0.397℃、0.396℃となりGHRSSST公証測定精度以内で精度が良かったが、

GHRSSST以外は全て公証測定精度を超え、精度が悪いことが分かった。また、ブイデータに対してそれぞれのデータをプロットした分布図を図2に示す。図中で示す対角線の両側の2本の直線は誤差の大きさを見やすくするため加えた誤差±5%の線である。図2よりGHRSSSTがもっともばらつきが小さくブイと合っていることがわかる。そしてその次にECMWFのばらつきが小さい事がわかる。NCEP-R1とNCEP-R2はほぼ同じようなばらつきで共に他のデータよりもばらついているのがわかる。ばらつきに傾向はみられなかった。どの海域で精度が悪いかを見るために太平洋、大西洋、インド洋の3つの海域毎に分けて同様な検証を行った。

太平洋全体でのGHRSSST、ECMWF、NCEP-R1、NCEP-R2データのRMS差はそれぞれ0.217℃、0.334℃、0.382℃、0.381℃となり、低緯度帯と同様にGHRSSST公証測定精度以内で精度が良かったが、GHRSSST以外は全て公証測定精度を超え、精度が悪いことが分かった。また、ブイデータに対してそれぞれのデータをプロットした分布図を図3に示す。低緯度帯ではばらつきに傾向はみられなかったが、図3よりNCEP1、NCEP2、ECMWFの分布においてブイ側にばらつきのプロットが多いことから、各再解析データが過小評価の傾向がみられる。

大西洋全体でのGHRSSST、ECMWF、NCEP-R1、NCEP-R2データのRMS差はそれぞれ0.21℃、0.306℃、0.395℃、0.394℃となり、前述の海域と同様の結果となった。また、ブイデータに対してそれぞれのデータをプロットした分布図において、ばらつきに傾向はみられなかった。インド洋全体でのGHRSSST、ECMWF、NCEP-R1、NCEP-R2データのRMS差はそれぞれ0.215℃、0.357℃、0.414℃、0.412℃となり、他の海域と同様の結果となったが、他の海域に比べてこの海域の

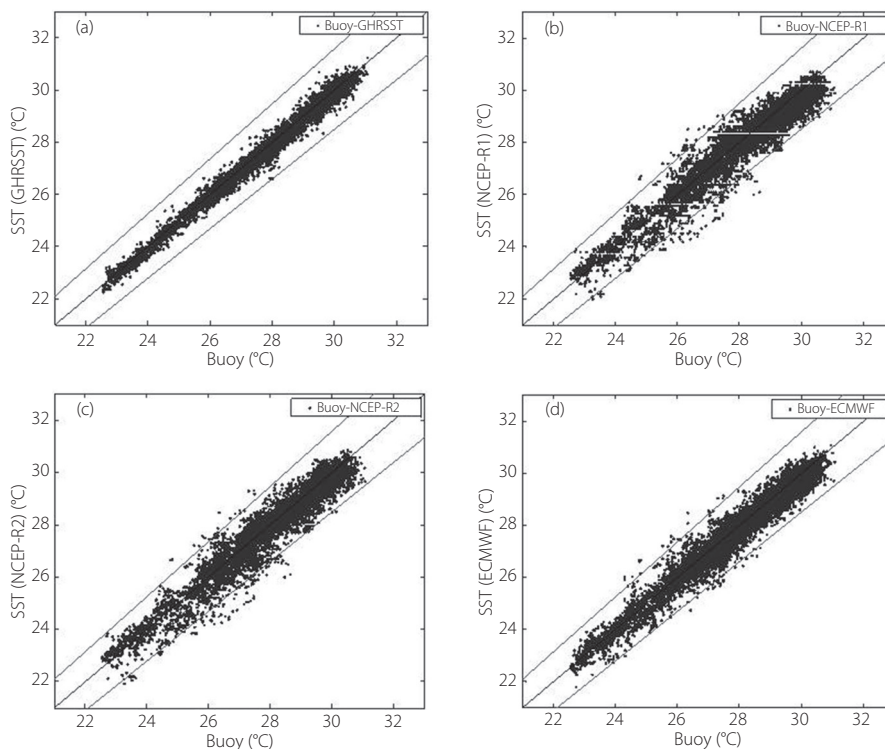


図2：2009年赤道域全体におけるブイのSSTデータに対する各使用データの温度分布図、(a) 複合人工衛星GHRSSSTデータ、(b) NCEP-R1再解析データ、(c) NCEP-R2再解析データ、(d) ECMWF再解析データ

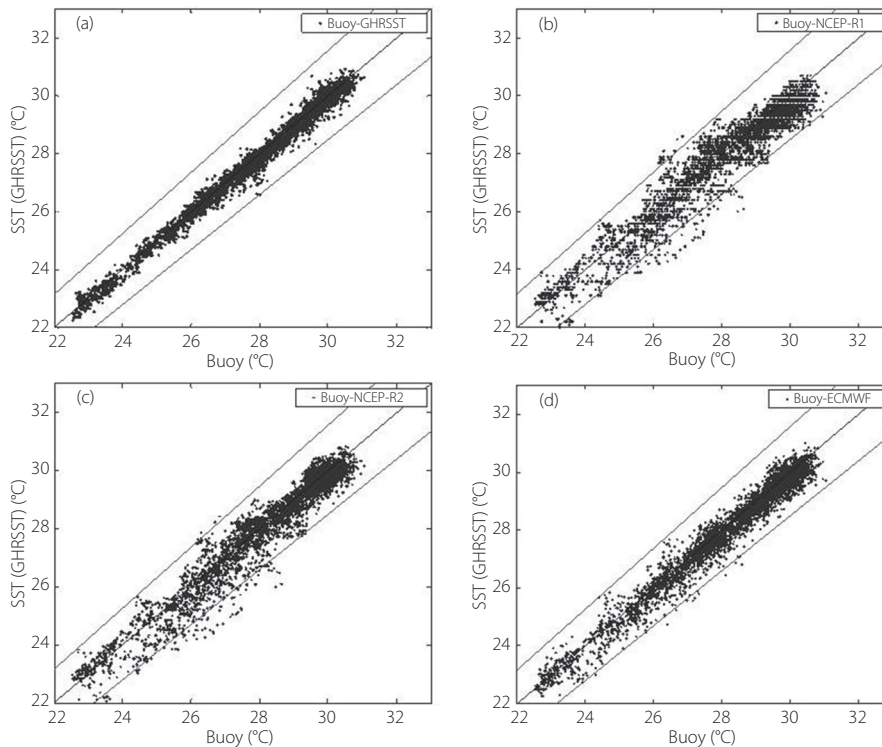


図3：2009年赤道域太平洋部分全体におけるブイのSSTデータに対する各使用データの温度分布図

ECMWF、NCEP-R1、NCEP-R2のRMS差が最も大きく一番精度が悪いことがわかる。また、ブイデータに対してそれぞれのデータをプロットした分布図において、ばらつきに傾向はみられなかった。

2009年は、エルニーニョ現象が発生した年であるため、例年のSSTを参考にしてデータを構築していく再解析データの精度低下に繋がったと考えられる。また、空間解像度が低い再解析データでは広範囲を同じ値としてしまうため、点で観測しているブイと誤差が生じる事も精度低下の一因である。

4. 結言

本研究では、大気-海洋間の熱フラックスを求める際に重要である人工衛星NOAA/AVHRR、TRMM/TMI、ENVISAT/AATSR、Aqua/AMSR-E、MGS/SEVIRIによって構築された複合人工衛星データGHRSSTおよびNCEP再解析データ1、2、ECMWF再解析データの低緯度帯海表面温度(SST)データの精度について検証することを目的とし、ブイデータと比較し散布図、時系列及びRMS差(公証測定精度0.30℃未満)で精度検証を行った結果、以下の知見が得られた。

- 低緯度帯全体においてGHRSSTのRMS差は0.26℃であり精度は良かった。再解析データ三種はいずれもRMS差が公証測定精度の0.30℃を上回り精度が良いとは言えなかった。
- 海域毎のRMS差もGHRSSTは太平洋赤道域、大西洋赤道域、インド洋赤道域いずれも0.30℃に納まり太平洋赤道域において最も大きなRMS差を示した。再解析データ三種はどの海域においても公証測定精度0.30℃を上回り、いずれもインド洋赤道域において最も大きなRMS差を示した。

本研究にて挙げられた精度低下の原因を考慮することで、精度向上に繋がると考えられる。また、新しい再解析データも年々提供され始めている。したがって、常に精度検証を行う必要性も本研究は示唆するものである。

引用文献

- Berrisford, P., Dee, D. P., Fielding, K., Fuentes, M., Kallberg, P., Kobayashi, S. and Uppala, S. M. (2009). *The ERA-Interim archive. ERA Report Series*, No. 1. ECMWF: Reading, UK.
- GHRSST User Guide version9, (2011). The Group for High Resolution Sea Surface Temperature Science Team, GHRSST International Project Office, National Centre for Earth Observation, Dept. of Meteorology, The University of Reading, UK.
- Kanamitsu, M., Ebisuzaki, W., Woollen, J., Yang, S. K., Hnilo, J. J., Fiorino, M. and Potter, G. L. (2002). NCEP-DOE AMIP-II reanalysis (R-2). *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 83, 1631-1643.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Leetmaa, A., Reynolds, R., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K. C., Ropelewski, C., Wang, J., Jenne, R. and Joseph, D. (1996). The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 77, 437-471.
- 古濱洋治・岡本謙一・増子治信(1986). 人工衛星によるマイクロ波リモートセンシング.

(受稿：2014年9月12日 受理：2014年9月29日)