

全球規模における種々の再解析モデルから得られる海表面温度データの精度比較

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

近江 和樹 (近畿大学 理工学部)

Accuracy comparison of the sea surface temperature data obtained by Re-analysis model

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

Kazuki Omi (Faculty of Science and Engineering, Kinki University, Japan)

要約

地球温暖化等の気候変動の情報および予測において、海表面温度 (Sea Surface Temperature: SST) を全球規模で把握することは重要な要素の一つである。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。しかし人工衛星によるSST観測では高空間解像度で局所的には有用であるが、全球規模になると時間解像度が1日平均と粗く昼夜の変化を見ることは困難である。また再解析データは時間解像度が良いため、全球規模での予測などに用いるには有用である。しかし再解析によるSSTデータはモデル毎に提供されており、各モデルによる推定値依存が大きいため、常に精度検証および評価が必要である。そこで本研究では、主に良く用いられているNCEP-R1、NCEP-R2、ECMWF、JRA-25の4種の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 (12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 (9点)、RAMA (Research Moored Array for African-Australian Monsoon Analysis and Prediction) ブイ (2点)、NDBC (National Data Buoy Center) ブイ (7点) である。使用データ期間は2001年の一年間とした。全球規模におけるNCEP-R1、NCEP-R2、ECMWF、JRA-25のRMS差を算出した結果、それぞれ0.657 °C、0.665 °C、0.712 °C、0.569 °Cとなり全て公証測定精度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, 再解析データ, 全球規模, ブイ, 地球環境

1. はじめに

地球温暖化等による様々な問題による被害を防止・軽減するための対策を講じるために、地球観測および気候予測が必要である。この地球観測と気候予測において気候形成に重要な役割を持つパラメータの一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。しかし、地球の変化を監視および現象のメカニズム解明を行うことにおいては、高解像度である人工衛星は適しているが、同時刻に異なる場所を観測することができないため、全球規模での大気-海洋間熱・物質フラックスモデル等の気候学的評価においては同時刻かつ時間解像度が優れた全球規模データとして提供される再解析データが用いられることが多い。

代表的な再解析データの提供は、米国ではNCEP (National Center for Environmental Prediction)、ヨーロッパではECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)、そして日本では気象庁などがあげられる。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、再解析データはモデルによる推定値依存が大きい。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、局所的な精度検証や、エルニーニョ・ラニーニャ現象の要因になっている低緯度帯における人工衛星や再解析データの精度検証 (瀬森・鈴木, 2014) は行われてきているが、海表面温度が大きく変化する高緯度を含む全球規模での再解析データの精度比較は行われていない。

本研究では、NCEP再解析データ、ECMWF再解析データ、気象庁再解析データについて、ブイデータと全球規模で比較し精度検証を行うことが目的である。

2. 海表面温度データおよび検証方法

2.1 再解析データ

米国の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) 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る。データ期間は1948年から現在までを対象としている。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、月平均において提供されている。本研究では6時間毎のデータを使用した。また、上記のNCEP再解析データをNCEP/NCAR Reanalysis 1 (以下NCEP-R1) とし、一定期間内で一定となっていたNCEP-R1のデータをさらに細分化したものをNCEP-DOE Reanalysis 2 (以下NCEP-R2) 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;

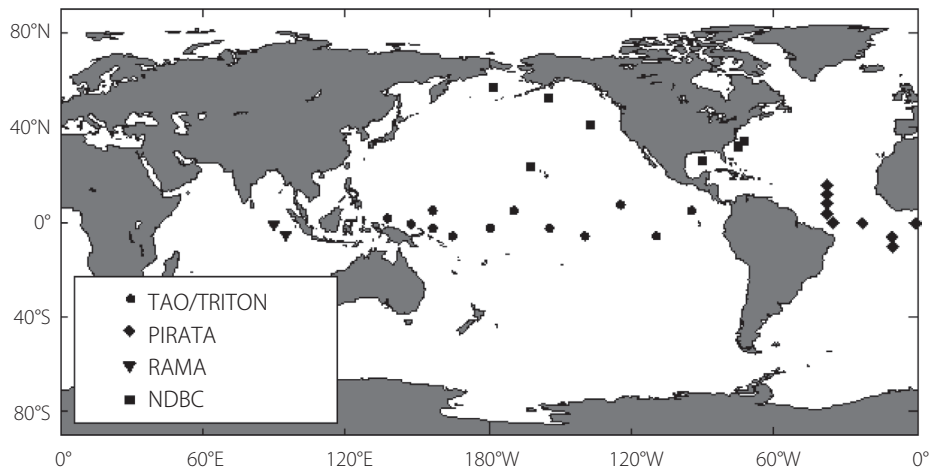


図1：使用したブイの位置

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-40 (ECMWF Reanalysis 40-years) 再解析データ (以下ECMWF) は、ECMWFによる元来40年間を対象として実施された再解析プロジェクトである。データ期間は1957年9月から2002年8月の45年間を対象としている。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2.5°×2.5°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、提供されている。本研究では6時間毎のデータを使用した (Simmons and Gibson, 2000; Uppala et al., 2005)。

日本の気象庁および電力中央研究所財団法人により提供されているJRA-25 (Japanese 25-years Reanalysis) 再解析データ (以下JRA-25) は、気象庁と電力中央研究所による共同研究プロジェクトである。データ期間は1979年から2004年の25年間を対象としている。データ範囲は東経0.5度～358.875度、南緯89.142度～北緯89.142度でデータ格子は1.125°×1.125°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、提供されている。本研究では6時間毎のデータを使用した。

2.2 ブイデータ

精度検証に用いたブイデータは、太平洋赤道域において米国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TAO (Tropical Ocean Atmosphere) /TRITON ((Triangle Trans - Ocean Buoy Network)ブイを使用した。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、12基のブイを使用した。

大西洋赤道域においてアメリカ、フランス、ブラジルが協力し、NOAA/PMELにより管理されているPIRATA (Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic) ブイを使用した。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、9基のブイを使用した。

インド洋においてNOAA/PMELが展開しているRAMA (Research moored Array for African - Asian - Australian Monsoon analysis and prediction) ブイを使用した。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、2基のブイを使用した。

北太平洋・北大西洋域において米国NDBC (National Data Buoy Center) が管理しているブイを使用した。現在、70基の係留ブイと60基のC-MAN (Coastal-Marine Automated Network) Stationが展開されている。本研究では、北太平洋域で4基、北大西洋域で3基のブイを使用した。

2.3 検証方法

本研究で精度検証に使用したデータの対象期間は、エルニーニョ・ラニーニャ現象が見られなかった2001年1月1日～12月31日の1年間とした。また、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。

検証の方法として、全球規模・海域別・局所別において、ブイのSSTデータに対して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、最も精度の厳しい人工衛星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。

$$RMS差 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_e - X_b)^2}{N}} \quad (1)$$

ここで、 X_e は再解析のSSTデータであり、 X_b はブイのSSTデータであり、 N はデータ数である。

3. 結果

全球規模でのNCEP-R1、NCEP-R2、ECMWF、JRA-25再解析データのRMS差はそれぞれ0.657℃、0.665℃、0.712℃、

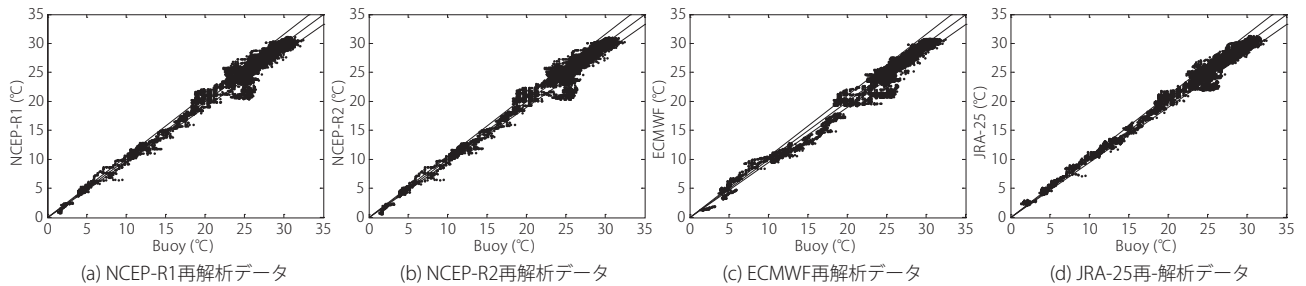


図2：2001年 global 規模におけるブイの SST データに対する各再解析データの分布図

0.569 °C となりどの再解析データも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再解析データをプロットした分布図を図2に示す。図中に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に加えた誤差±5%の線である。図2よりNCEP-R1とNCEP-R2はほぼ同様な傾向を示している。また、どの再解析データも20 °C付近で過大評価、25 °C付近で過小評価していることがわかる。NCEP-R1、NCEP-R2、JRA-25は18 °C以下のばらつきは小さいが、ECMWFは5 °Cから10 °Cは過大評価、10 °Cから18 °Cは過小評価の傾向が大きいのがわかる。海域において誤差の傾向がどのように表れているかを見るために北太平洋、赤道(太平洋)、北大西洋、赤道(大西洋)、インド洋の5つの海域毎に分けて同様な検証を行った。

北太平洋でのNCEP-R1、NCEP-R2、ECMWF、JRA-25再解析データのRMS差はそれぞれ0.487 °C、0.473 °C、0.899 °C、0.475 °Cとなり、全球規模と同様にどの再解析データも公証測定精度を超え、精度が悪かった。特にECMWFのRMS値が、他の再解析データのRMS値よりも2倍近く大きな値となり、最も精度が悪いことがわかる。また、図3にブイデータに対する

それぞれの再解析データのプロットを示す。どの再解析データも18 °C以下の分布は、図2の global 規模のプロットの傾向と同様であることから、北太平洋の傾向が global 規模に大きく反映されたと思われる。25 °C以上ではプロットが中心に集まっており精度が良いことがわかる。また、北太平洋のどのブイ地点においても公証測定精度を超え、精度が悪かった。精度低下の原因として、2001年にアリューシャン低気圧が発生していたことが報告されている(板橋・日比野, 2004)。再解析データは、モデルによる地球上の大気・海洋を長期的なシミュレーションに依存しているため突発的な変動に対して対応できず、精度が低下したと考えられる。

北大西洋でのNCEP-R1、NCEP-R2、ECMWF、JRA-25再解析データのRMS差はそれぞれ1.492 °C、1.550 °C、1.670 °C、1.224 °Cとなり、どの再解析データも公証測定精度を大幅に超え、精度が悪かった。ブイデータに対してそれぞれの再解析データをプロットした分布図を図4に示す。どの再解析データも図2の global 規模の傾向と同様に20 °C付近で過大評価、25 °C付近で過小評価していることから、北大西洋の傾向が global 規模に大きく反映されたと思われる。また、北大西洋のどのブイ

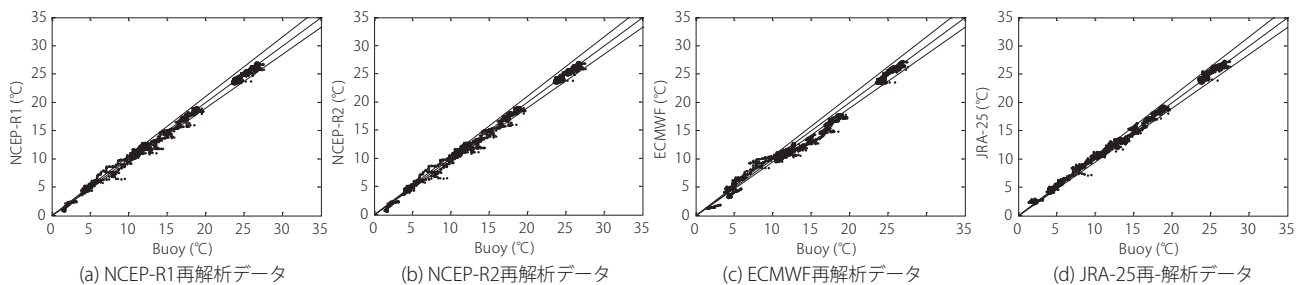


図3：2001年北太平洋域におけるブイの SST データに対する各再解析データの分布図

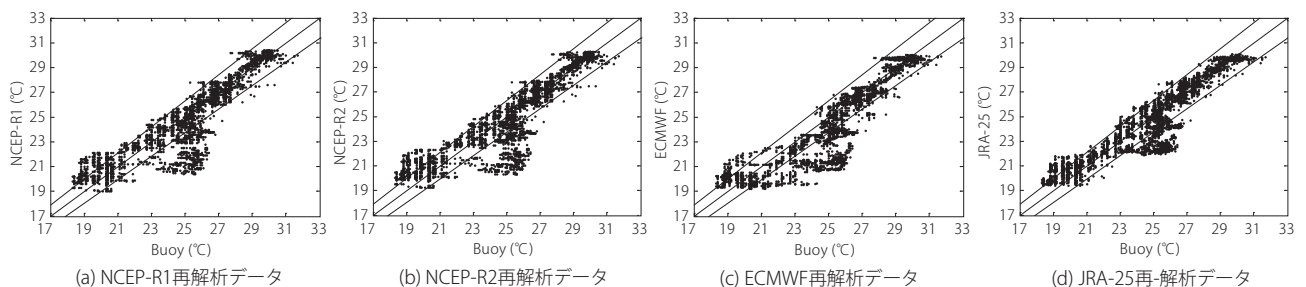


図4：2001年北大西洋域におけるブイの SST データに対する各再解析データの分布図

イ地点においても公証測定精度を超え、精度が悪かった。この地点はメキシコ湾流が流れており、海水温は海流によっても影響を受けやすく変動しやすい。したがって再解析データの精度が低下したと考えられる。

赤道（太平洋）でのNCEP-R1、NCEP-R2、ECMWF、JRA-25再解析データのRMS差はそれぞれ0.403 °C、0.385 °C、0.386 °C、0.376 °Cとなり、どの再解析データも公証測定精度を超え、精度が悪かった。また、ブイデータに対してそれぞれの再解析データをプロットした分布図において、傾向はみられなかった。各ブイ地点においては、5N170Wと5S140W地点のNCEP-R2とECMWF、8N125W地点のNCEP-R1とNCEP-R2が公証測定精度以内で精度が良かったが、他の地点では全て公証測定精度を超え精度が悪かった。

赤道（大西洋）でのNCEP-R1、NCEP-R2、ECMWF、JRA-25再解析データのRMS差はそれぞれ0.562 °C、0.563 °C、0.432 °C、0.502 °Cとなり、どの再解析データも公証測定精度を超え、精度が悪かった。また、ブイデータに対してそれぞれの再解析データをプロットした分布では、全体的に再解析データが過大評価の方にばらついており、他に傾向はみられなかった。この精度低下の原因は、ブイ地点が寒流のベンゲラ海流と暖流の赤道逆流が合流している付近であり、寒流と暖流により海水温が激しく変動したと考えられる。

インド洋でのNCEP-R1、NCEP-R2、ECMWF、JRA-25再解析データのRMS差はそれぞれ0.492 °C、0.494 °C、0.398 °C、0.363 °Cとなり、どの再解析データも公証測定精度を超え、精度が悪かった。また、ブイデータに対してそれぞれの再解析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。海流の影響もあるが、データ数が足りないことが主な原因と考えられる。

4. 結言

本研究では、NCEP-R1、NCEP-R2、ECMWF、JRA-25再解析データの全球規模における海面温度（SST）データについて、ブイデータと比較し散布図およびRMS差（公証測定精度0.30 °C未満）で精度検証を行った結果、以下の知見が得られた。

- (1) 全球規模においてどの再解析データもRMS差が公証測定精度の0.30 °Cを上回り精度が良いとは言えなかった。また、NCEP-R1とNCEP-R2再解析データは同様な傾向が見られた。
- (2) 海域毎にみると、北大西洋域の精度が最も悪かった。また、全球規模の誤差の傾向は、北太平洋域と北大西洋域の誤差の傾向が反映されていることがわかった。

誤差の原因は突発的な変動にモデルが対応できなかったことが大きいと考えられることから、これらの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およびアルゴリズムが改訂された再解析データも年々提供され始めている。したがって、常に精度検証を行い、各種データを評価する必要性も本研究は示唆するものである。

引用文献

- 板橋直樹・日比野忠史 (2004). アリューシャン低気圧の変動と日本沿岸の海面変動について. 海岸工学論文集, Vol. 51, No. 2, 1231-1235.
- 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.
- 瀬森裕貴・鈴木直弥 (2014). 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面温度データの精度比較. 科学・技術研究会, Vol. 3, No. 2, 173-176.
- Simmons, A. J. and Gibson, K. J. (2000). The ERA-40 Project Plan. ERA-40 Project Report Series, 1, Eur. Cent. for Medium-Range Weather Forecasts, Reading, U.K., 62 pp.
- Uppala, S. M., Kallberg, P. W., Simmons, A. J., Andrae, U., Bechtold, da Costa, V., Fiorino, M., Gibson, K. J., Haseler, J., Hernandez, A., Kelly, A. G., Li, X., Onogi, K., Saarinen, S., Sokka, N., Allan, P. R., Andersson, E., Arpe, K., Balmaseda, A. M., Beljaars, M. C. A., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Caires, S., Chevallier, F., Dethof, A., Dragosavac, M., Fisher, M., Fuentes, M., Hagemann, S., Holm, E., Hoskins, J. B., Isaksen, I., Janssen, M. E. A. P., Jenne, R., McNally, P. A., Mahfouf, F. J., Morcrette, J. J., Rayner, A. N., Saunders, W. R., Simon, P., Sterl, A., Trenberth, E. K., Untch, A., Vasiljevic, D., Viterbo, P. and Woollen, J. (2005). The ERA-40 reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol. 131, No. 612, 2961-3012.

(受稿：2015年2月12日 受理：2015年2月25日)