

令和元年6月11日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00517

研究課題名（和文）高精度・長期衛星データセットの構築と情報学的手法による時空間変動研究

研究課題名（英文）Research on constructing high-precision long-term satellite dataset and analyzing spatiotemporal variation with data science methodology

研究代表者

今岡 啓治（IMAOKA, Keiji）

山口大学・大学情報機構・准教授

研究者番号：50725869

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：人工衛星搭載マイクロ波放射計による地球規模の長期観測データの蓄積は30年を超える規模となり、気候・水循環変動把握の貴重な記録となっている。本研究では、異なる複数のマイクロ波放射計で取得されたデータから、一貫性のある長期データセットを生成するための輝度温度相互校正手法を構築した。また、長期データセットへの情報学的手法の適用として、エルニーニョ現象等の自己組織化マップによる識別を試み、従来指標との比較を通じてその有効性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

微小な変動を扱う気候変動分野では、長期データを構成する各々のセンサデータの校正誤差や経年変化の正確な除去が、研究の成否を決めると言っても過言ではない。この点で、相互校正手法の研究は本質的な学術的意義を有する。人工衛星観測の長期化や高度化に伴いデータの種類・量は肥大化の一途を辿っており、最新の情報学的手法の適用による解析の省力化・高速化が望まれる。従来手法との比較を通じて情報学的手法の信頼性を評価することで利用を促進し、気候変動検出や降雨災害等の実時間情報抽出へ繋がる点に本研究の社会的意義がある。

研究成果の概要（英文）：Over 30 years of global data accumulation by spaceborne passive microwave radiometers is becoming a valuable record to grasp climate and water cycle variabilities. In this research, we constructed the inter-calibration methodology of brightness temperatures to generate consistent long-term dataset from multiple microwave radiometers' data. Also, as an application of data science technology to the long-term dataset, we utilized the self-organizing map to identify climatic variability patterns such as El-Nino events and discussed the advantages through the comparison with conventional anomaly indexes.

研究分野：宇宙地球計測学・人工衛星リモートセンシング

キーワード：マイクロ波放射計 輝度温度 相互校正 長期データセット 機械学習

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

1. 研究開始当初の背景

(1) 人工衛星長期データセット構築の必要性と課題

人工衛星によって取得される長期データは、地球の気候・水循環変動を全球規模で偏りなく把握するための貴重な資料である。マイクロ波放射計は水に関する諸量を計測可能であり、1970年代から観測を続けてきた。2002年以降は宇宙航空研究開発機構(JAXA)が高性能マイクロ波放射計(AMSR)シリーズを運用し、世界的な貢献を果たしている。しかし、長期間のデータは多種多様な人工衛星に搭載された多数のマイクロ波放射計によって取得されたものである。そのため、観測仕様の違いやセンサの精度・安定性などの問題から、得られたデータの長期的な一様性や整合性は保たれていない。微小な長期変動を扱う気候・水循環研究分野では、各々のセンサの校正誤差や経年変化の正確な除去が研究の成否を決めることから、相互校正による整合性の保たれたデータセット構築が必要である。

(2) 情報学的手法の適用に関する課題

長期・多種多様な人工衛星データは膨大な量となり、近年注目される深層学習などの情報学的手法の適用が望まれるが、気候・水循環研究における適用例は限られている。これらの研究分野では現象の物理過程のモデル化と改善が不可欠であり、単に情報学的手法のみに依拠した解析に対する抵抗感が存在する。そのため、従来手法との比較により情報学的手法の長所・短所を明らかにすることが肝要である。さらに、2015年に運用が開始されたひまわり8号の例が示すように、時空間分解能の向上と観測波長帯の拡張により、地球観測衛星が取得する情報はますます肥大化している。

2. 研究の目的

30年規模の蓄積がある人工衛星搭載マイクロ波放射計データについて、センサ間の校正差を補償した高精度な長期データセットを構築するための相互校正手法を確立するとともに、情報学的手法の適用によりエルニーニョ現象などの変動検出評価を行い、最新の情報学的手法の気候・水循環研究への利用促進を図る。さらに、今後一層ビッグデータ化が進む人工衛星データからの実時間情報抽出や災害監視について、最新の計算機技術の適用性を評価する。

3. 研究の方法

輝度温度データの相互校正は、センサの観測仕様の違いを補償するため放射伝達計算を介する方法を用いる。入力条件として気象庁の長期再解析データや海面水温データを用い、各センサの観測仕様を反映した放射伝達計算によりシミュレーションデータを生成し、これを仲介させることで観測仕様の差を解消し純粋な校正差を抽出する。観測領域の重複が制限される極軌道衛星間の相互校正については、観測時刻が徐々に変化する太陽非同期衛星のデータを仲介させて間接的に校正差を求める。長期データへの情報学的手法の適用としては、AMSRシリーズのデータから算定された海面水温などの地球物理量データに自己組織化マップを適用し、識別結果を従来の指標と比較することにより評価を行う。また、より大規模なデータに対する情報学的手法の適用の評価として、ひまわり8号の輝度データに対する深層学習の効果とその課題について評価を行う。

4. 研究成果

(1) マイクロ波放射計相互校正手法の研究

相互校正手法として、再解析データ等を入力として放射伝達モデルで求めた輝度温度計算値と輝度温度観測値の差を用いる単体差分SD法と、時空間的に合致した各センサのSD間の差を取ることでセンサ仕様の違いを補償する二重差分DD法を用いた。前者は放射伝達計算に伴う誤差を含むため絶対値の評価には適さないが、校正の時系列変化の評価には有用である。後者はセンサ間の純粋な校正差を抽出できる。放射伝達計算コードとして、運用上の実行速度を考慮して欧州気象衛星機関EUMETSATが開発したRTTOVを用いた。放射伝達計算は晴天大気のみを対象とし、大気鉛直分布の入力データとして気象庁55年長期再解析データJRA-55を用いて、線形内挿により衛星観測時刻の値とした。地表面寄与分については、海域では全球日別海面水温解析MGSSTとJRA-55の10m風速からFASTEM-6により海面放射率を計算して求め、陸域については空間一様性に優れ放射特性が単純な熱帯雨林のみを対象とし、JRA-55の地表気温とRTTOVの地表面放射率データベースから計算した。南北50度以下の緯度範囲を対象とし、DD算出時の衛星間許容時間差は海域で±30分、陸域で±10分とした。海域において放射伝達計算誤差の小さい領域に限定するため、雲水量0.02mm以下、海上風速 5.0 m s^{-1} 以下、太陽反射離角が20度以上の領域を選択した。以下、JAXAのAMSRシリーズを中心として結果を述べる。

米国地球観測衛星Aquaに搭載されたAMSR-E(2002年打ち上げ)は2011年に定常運用を終了したが、水循環変動観測衛星GCOM-W搭載AMSR2(2012年打ち上げ)との相互校正のため、低速回転による特別観測が実施された。AMSRシリーズはデータの継続性を維持するため仕様を可能な限り同一としており、精度の高い直接比較が可能である。しかし、低速回転運用は定常運用と温度環境条件等が大きく異なる。例えば、AMSR-Eの輝度温度校正に用いられる高温校正源の物

理温度は、定常運用時に比べ低速回転運用時では日最高温度が 4K 程度増加した。低速回転により太陽光に曝露される時間が長くなったことが要因の一つと推測される。このような温度環境の違いは高温校正源の温度一様性に影響を与える可能性があり、校正精度の時間的変化が懸念されたため、SD 法を用いて評価を行った。その結果、特に低周波帯において最大で ±0.3K 程度の季節変化が確認された。図 1 に 6.925GHz 垂直偏波における結果を示す。影響は予想に反して夜間データに現れていた。SD の空間分布や高温校正源の物理温度変化との相関から、AMSR2 データの季節変化は放射伝達に起因する誤差である可能性が高いが、AMSR-E 低速回転データの変化は校正に起因することが示唆された。定常観測時との輝度温度差は、絶対値で 0.2K 以下 (10.65GHz 以下) および 0.8K 以下 (18.7GHz 以上) であったが、これは再解析データの時系列変化の誤差も含んでいる。以上から、低周波帯における夜間データの季節変動には注意を要するが、平均値としての相互校正には十分活用可能なデータであることが分かった。

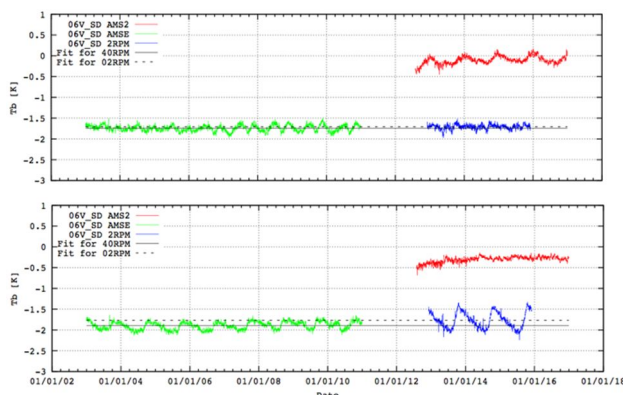


図 1 6.925GHz 垂直偏波の昇交 (上)・降交 (下) 軌道における SD 時系列。線の色はそれぞれ AMSR-E 定常運用 (緑)、AMSR-E 低速回転運用 (青)、AMSR2 定常運用 (赤)。

観測地方時が異なる極軌道衛星間では、極域以外で同時刻の観測データを得ることが難しい。そのため、極軌道衛星間の相互校正は、観測地方時が徐々に変化する太陽非同期衛星搭載マイクロ波放射計を仲介させて間接的に実施した。特に、熱帯降雨観測衛星 TRMM は 1997 年の打ち上げ以来 17 年以上の観測を継続した長寿の衛星であり、搭載されたマイクロ波撮像装置 TMI は様々な極軌道衛星搭載マイクロ波放射計間をつなぐ要として機能する。それぞれのマイクロ波放射計は少しずつ異なる仕様を持つため DD 法を用いる。ここでは、仕様は同一であるが、AMSR-E と AMSR2 間の相互校正に TMI を用いた結果について紹介する。図 2 に AMSR2 と TMI の比較結果を示す。DD 空間分布は低緯度で値が小さくなる傾向を示すが、むしろ輝度温度に対する依存性であることが DD 散布図から明らかである。SD 散布図から、輝度温度に対する依存性は TMI で大きい。放射伝達計算誤差があるためどちらが真値であるかを断定することはできない。AMSR-E は絶対校正に課題があり、TMI を含む他のマイクロ波放射計との相互校正により輝度温度が決められている経緯から、AMSR-E と TMI の差分は小さいことが再確認された。一方、独立に校正された AMSR2 は多くのチャンネルで TMI に対し輝度温度を 2~6K 高く算出していることが確認された。また、18GHz など特定のチャンネルでは校正差に有意な輝度温度依存性が見られた。これらの結果に高輝度温度の陸域データを加味し、線形の相互校正係数を求めることができた。

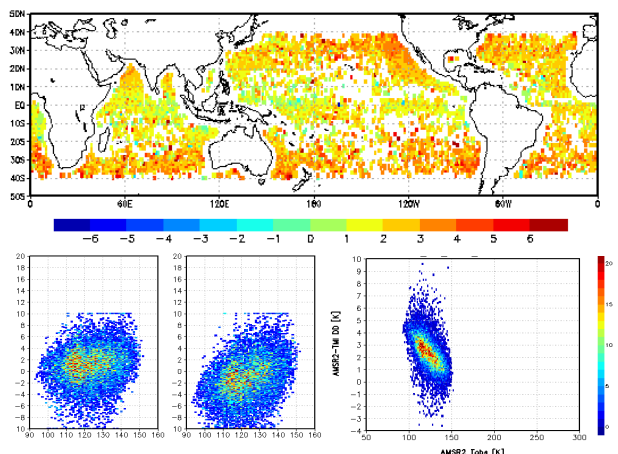


図 2 海域での AMSR2 (18.7GHz) と TMI (19.35GHz) の垂直偏波輝度温度比較例 (2013~2014 年)。上段は DD の空間分布。下段は AMSR2 SD (左)、TMI SD (中央)、AMSR2-TMI DD (右) の散布図。

(2) 自己組織化マップによる AMSR 地球物理量データの時空間パターン識別

熱帯太平洋域における AMSR シリーズの地球物理量に対して自己組織化マップ (SOM) を適用することにより、代表的な気候変動パターンであるエルニーニョ・南方振動 (ENSO) の識別を試行した。合計 15 年間 (うち、AMSR-E が 2002 年 7 月~2011 年 6 月、AMSR2 が 2012 年 7 月~2018 年 6 月) の海面水温、積算水蒸気量、海上風速の月平均プロダクトを用いた。経度緯度が 120°E-80°W および 10°S-10°N の範囲を 5 度格子で平均し、15 年間の月毎の平均値を差し引いて求めた 128 次元の地球物理量偏差値を入力とした。出力は 6×1 および 3×3 配列の一次元および二次元ベクトルとして、15 年間の 180 ケースで学習した。海面水温については、得られた結果を気象庁作成のエルニーニョ監視海域 (NINO.3) 海面水温偏差、および海洋研究開発機構気候作成のエルニーニョもどき指標 (EMI) と比較した。6×1 の一次元 SOM では、エルニーニョ・ラニーニャに対応する分布が明瞭に識別された。出力ベクトル間の遷移を時系列で見ると、積算水蒸気量は海面水温と類似の変化を示すが、海上風速はやや先行する特徴が見られた。3×3 の二次元 SOM では、海面水温についてエルニーニョ・ラニーニャもどきが独立に識別された。図 3 にその結果

を示す。空間分布から、図3左図の点線赤枠・青枠がそれぞれエルニーニョもどき・ラニーニャもどきに対応していると考えられる。もう一方の対角線上の両端が通常のエルニーニョ・ラニーニャであり、図では示していないが NINO.3 偏差との対応も良い。それぞれのカテゴリに分類されたデータの EMI を見ると、EMI は通常のエルニーニョ・ラニーニャを誤分類している場合がある。特定の複数監視海域における海面水温偏差の線型結合指数である EMI が適切に機能しない場合でも、SOM による識別は妥当な結果を示しているといえ、広域空間情報利用の有効性が示唆される。情報学的手法の活用により、従来型の指標と同様に簡便かつ自動で、良好な空間パターン識別を行うことができると考えられる。

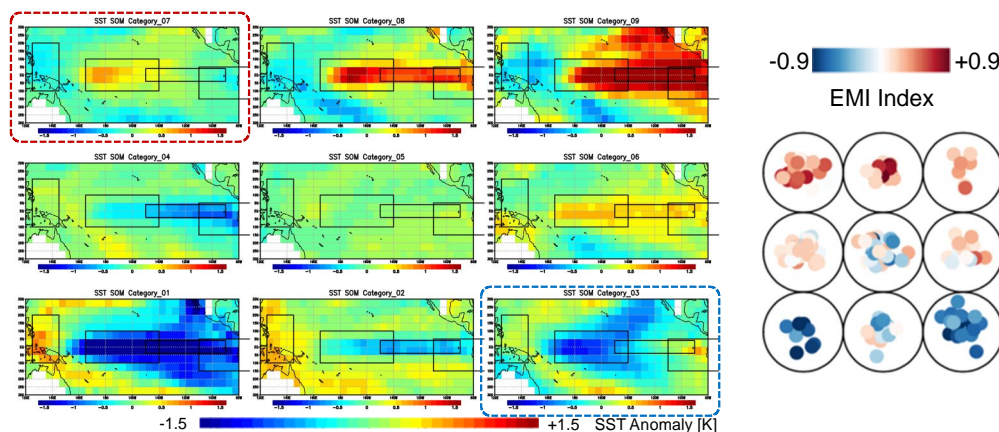


図3 二次元 SOM で分類された海面水温分布 (左) と、それぞれのカテゴリにおける EMI 指標 (右)

(3) ひまわり 8 号データへの深層学習の適用

さらに膨大なデータセットに対する情報学的手法の適用について、ひまわり 8 号データを用いた降水域推定に対する深層学習の効果を調査した。地形性降雨の影響を避けるため関東平野周辺を対象とし、ひまわり 8 号搭載 AHI の多バンド赤外データを入力として、XRAIN 降水情報を教師として学習を試みた。当初予定では所属センターの計算機クラスターを用いる予定であったが、機器換装により利用できなかったため GPU を用いた高速化を図った。セグメンテーションに特化した U-Net ネットワークモデルを用いて、AHI 瞬時データから降水域の推定を試みたが、現時点では学習データ数の不足等の理由から満足な結果は得られていない。今後、学習データ数を増加させるとともに、高頻度観測の特徴を活かし、時系列方向に学習させることで精度を向上させる予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 8 件)

今岡啓治, 可知美佐子, AMSR 時空間データを用いた変動パターン解析, 2019 年電子情報通信学会総合大会, 東京, 2019.

岸田侑子, 小河原加久治, 今岡啓治, 新銀秀徳, ひまわり 8 号の高頻度観測データを用いた降水雲の時間変化解析, 第 35 回センシングフォーラム, 計測自動制御学会, 宇部, 2018.

M. Seki, M. Hori, K. Naoki, M. Kachi, and K. Imaoka, "A 40-year sea ice product standardized by AMSR series passive microwave radiometers," AGU Fall Meeting, Washington, D.C., U.S.A., 2018.

今岡啓治, 可知美佐子, 人工衛星搭載マイクロ波放射計データの相互比較, 2018 年電子情報通信学会総合大会, 東京, 2018.

今岡啓治, 可知美佐子, 再解析データ等を用いた AMSR-E 低速回転データの評価, 日本リモートセンシング学会第 63 回 (平成 29 年度秋季) 学術講演会, 北海道江別市, 2017.

M. Seki, M. Hori, K. Naoki, M. Kachi, and K. Imaoka, "Inter-sensor calibration of space-borne passive microwave radiometers for retrieving long-term sea ice trends," 5th International Symposium on Arctic Research, Tokyo, Japan, 2017.

K. Imaoka and M. Kachi, "Study on constructing consistent dataset from multiple space-based microwave radiometers," 31st ISTS, Matsuyama, Japan, 2017.

K. Imaoka, M. Kachi, T. Maeda, S. Miura, S. Saitoh, and Y. Taniguchi, "Characteristics of AMSR-E slow rotation data," 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Beijing, China, 2016.

〔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〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：可知 美佐子

ローマ字氏名：(KACHI, Misako)

研究協力者氏名：小河原 加久治

ローマ字氏名：(OGAWARA, Kakuji)

研究協力者氏名：新銀 秀徳

ローマ字氏名：(SHINGIN, Hidenori)

研究協力者氏名：岸田 侑子

ローマ字氏名：(KISHIDA, Yuko)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。