

令和元年6月21日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00581

研究課題名(和文) グリーンランド氷床と周辺海域における水文気候再解析データの創出

研究課題名(英文) Creation of hydroclimatic reanalysis data in the Greenland ice sheet and surrounding sea area

研究代表者

鈴木 和良 (SUZUKI, Kazuyoshi)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・北極環境変動総合研究センター・主任技術研究員

研究者番号：90344308

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：新たに開発した結合データ同化システムは、側面境界条件の影響を緩和するGlobal WRF (GWRF) モデルを用いた全球データ同化システムである。GWRFモデルはネスティング機能を有し、全球スケールと領域スケール(グリーンランド氷床域)の相互作用を可能とする。さらに、領域WRFモデルの側面境界条件問題を緩和し、データ同化システムを長期間安定的に運用する上で有利である。データ解析より、環北極ツンドラ域では明瞭な夏季温暖化が生じており、この夏季温暖化がツンドラ域からの蒸発散量を増加させることで、陸水貯留量を減少させていることを指摘した。温暖化は、さらなる乾燥化に繋がることが示唆される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

最初の結合データ同化システムの論文が、Atmospheric Science Lettersの2017-2018年に出版された論文中、2018年のTop Downloaded paperとして、Wiley出版社から証明書が発行された。さらに、本研究で新たに開発した大気陸面結合データ同化システムは、全球スケールと領域スケールをシームレスにつなぐ事が出来る。また、再解析データの解析から、夏季の北極温暖化の実態解明につながる、環北極ツンドラ域の乾燥化の解明を行った。これについてはプレス発表によって、研究成果が全国紙や専門紙に数多く紹介され、研究成果の還元と国民に対するアウトリーチ活動に繋がった。

研究成果の概要(英文)：Unlike the regional model, the new atmosphere-sea-land-surface coupled data assimilation system is a global data assimilation system using the Global WRF (GWRF) model, which is not affected by lateral boundaries. The GWRF model has a nesting function and enables interaction between the global scale and the regional scale (Greenland ice sheet area). Furthermore, it is advantageous in mitigating the lateral boundary condition problem of the regional WRF model and operating the data assimilation system for a long-term scale stably. From data analysis, it is pointed out that clear summer warming occurs in the arctic tundra region, and this summer warming decreases the inland water storage amount by increasing the evapotranspiration from the tundra region. Global warming may lead to further dryness.

研究分野：水文気候学

キーワード：データ同化 大気陸面結合 衛星観測 アンサンブルシミュレーション ネスティング 予測誤差共分散

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 2012年に記録的なグリーンランド氷床上での全面融解が観測された。その原因について、Tedesco et al.(2012)では、衛星観測データ、地域気候モデルのシミュレーション、ならびに全球気候再解析データを用いて解析を行い、North Atlantic Oscillation に付随した低気圧の停滞、氷床上のアルベドなどの変化、ならびに近年のグリーンランド氷床融解の過去の履歴、の3要素が主要な原因であると述べた。この結果は、異なる時空間解像度を持つデータを組み合わせた解析であり、それぞれのデータ間で整合性が取れていない。首尾一貫した解析には互いに整合性が取れたデータが求められ、そのためには同一の時空間解像度で、多圏結合データが望ましい。現在までの氷床の表層変動研究では、水循環を通した海洋との多圏相互作用は十分に議論できていない。

(2) 大気・海洋とグリーンランド氷床がどのような多圏相互作用を持ち得るかについては、Stammer et al.(2011)の研究例がある。Stammerらは、大気海洋結合モデルの数値実験によって、グリーンランド氷床の融解は周辺の海洋への淡水供給を増加させ、その融解水の水温が海水温に比べて低いので、周辺海域からの蒸発量を減少させ、さらにそれに伴ってグリーンランド氷床上の降水量が減少することで、氷床の質量収支に負のフィードバックを生じさせることを指摘した。この様に、グリーンランド氷床の質量収支と周辺海域や大気は密接に結びついている。しかしながら、現在入手可能な気候再解析データは大気のみ解析であり、グリーンランド氷床や海洋表層は境界条件であり、データ同化の解析制御変数ではない。そのため現在の気候再解析値を用いて、氷床の表層変動と大気・海洋の多圏相互作用、並びにその経年的な影響を解析することは困難である。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、グリーンランド氷床を含む周辺海域を対象として、マイクロ波放射計 AMSR-E/AMSR2 と重力観測衛星 GRACE のデータを最大限活用する最先端の大気陸面海洋結合データ同化システムを開発する。

(2) これによって、2002年～2015年までの13年間の高時空間分解能を有する水文気候再解析データを創出し、氷床の表層変動に対する多圏相互作用の効果について明らかにする。さらに、創出される水文気候再解析データを社会に公開することも目的とする。

3. 研究の方法

大気陸面海面結合データ同化システムを開発し、それによって新たな水文気候再解析データを創出し、多圏相互作用を解明する。データ同化システムは地域気候モデルを用い、観測データとして人工衛星観測による重力と輝度温度データ、および気象観測データを用いる。モデルと観測データを融合させるデータ同化手法としては、Maximum likelihood Ensemble Filterを用い、大気、陸面、ならびに海洋表層を解析する。システムの検証と初期プロダクトの検証・作成等を行い、検証作業が終了した時点で、再解析データの公開も進めていく。

4. 研究成果

(1) Suzuki et al. (2017)は結合データ同化システム開発のため、単一観測実験を通して、大気-陸面結合モデルを用いた最尤アンサンブルフィルタ(MLEF)データ同化法を適用することで予測誤差共分散と予測誤差相関の構造を調査した。クロスコンポーネント共分散と相関構造の完全な複雑さ、具体的には2mの気温と積雪温度の間を含む連成アプローチを検討します。誤差共分散と相関は複雑で気象条件と陸面モデルの両方に強く依存していることを示し、結合系における大気の流れに依存するアンサンブル共分散との関連性についてはさらなる調査の必要性を示している。また、結合誤差共分散法を使用すると、よく観測された大気が地表変数に影響を与えることができるため、大気と地表の間の情報転送の効率が向上することも示しています。本論文は、2017-2018年の期間、Atmospheric Science Lettersから出版された論文中で、2018年のTop20のダウンロード件数論文で、かつ2018年の1年間に最も読まれた論文の一つとなり、Wiley出版社から証明書を受けた。

(2) (1)で開発された大気陸面結合データ同化システムを基に、衛星輝度温度データ同化のために、新たな大気陸面結合データ同化システムを開発した。本データ同化システムでは、側面境界の影響を受けないGlobal WRF (GWRP)モデルを用いた全球データ同化システムである。GWRPモデルは、様々なスケールの効率的なシミュレーションを可能とする複数のネスティング機能を有し、GWRPによるネスティング機能は全球スケールと領域スケール(グリーンランド氷床域)の相互作用を可能とする。さ

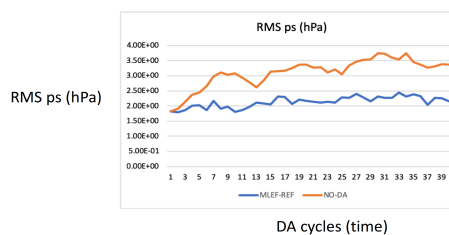


図1. 各データ同化サイクルにおける気圧のみ除いたデータ同化実験(MLEF-REF)とデータ同化無し実験(NO-DA)による海面気圧のRMS誤差の経時変化

らに、ネスティングされたドメインの双方向の側面境界条件は、領域 WRF モデルの側面境界条件問題を緩和し、データ同化システムを長期間安定的に運用する上で有利である。Maximum likelihood Ensemble Filter (MLEF)-GWRP データ同化システムの開発は、世界初の試みである。データ同化実験 (MLEF-REF) とデータ同化無し実験 (NO-DA) を実施し、データ同化システムの性能を評価した。図 1 は、気圧の観測データを除いたデータ同化実験とデータ同化無し実験による全球平均の気圧の RMS 誤差を示す。データ同化実験の RMS 誤差は 2 hPa 付近である一方、データ同化無し実験の RMS 誤差は約 3.5 hPa に達する。データ同化実験では気圧を直接データ同化していないが、気圧の RMS 誤差が小さいのは、気圧と他の気象要素 (例えば温度) との背景誤差共分散を利用するためである。これによって、気圧以外の観測データの情報が与えられることで、実際にはデータ同化されていない気圧の RMS 誤差を小さくする様に作用する。この結果より、データ同化が正のインパクトを有し、データ同化システムが安定したパフォーマンスを有することが分かる。

(3) Suzuki et al. (2018) では、北極圏の極地ツンドラ地域 (ACTR) の陸上水貯留量 (TWS) の時空間変動を分析した。使用したデータは、2002 年から 2016 年までの月ごとの GRACE データ、全球陸面再解析データ、ならびに河川流出データである。解析結果により、環北極ツンドラ地域全体では、陸水貯留量が減少していることが明らかになった。環北極ツンドラ域では明瞭な夏季温暖化が生じており、この夏季温暖化がツンドラ域からの蒸発散量を増加させることで、陸水貯留量を減少させている大きな要因であることを明らかにした。特に、陸水貯留量の大きな現象が生じているのは、主として北米大陸であった。今後予想される地球温暖化は、北極地域で特に顕著であると予想される。この研究成果は、将来の陸水貯留量の変化傾向を理解するために重要であり、さらに同地域の夏季温暖化が進めば、さらに陸水貯留量は減少する可能性がある。本研究成果はプレス発表を行う事で、主要紙を含む多数の新聞記事として紹介され、研究成果のアウトリーチに繋がっている。

(4) 共同研究の成果として、Matsuo et al. (2017) は、ICESat レーザー高度計からのデータを用いてグリーンランドにおける氷塊変化の二次変化 (加速と減速) の影響を検出した。米国国立雪氷データセンターによって提供された 2003 - 2009 年の 6 年間に及ぶ Release 634 のレベル 2 全球陸面高度データを使用した。91 日間隔の表面高度変化は、表面平面フィッティング法によって導き出された。西部と北東部のグリーンランド氷床変動の傾向は、2003 - 2009 年に加速的な大量消失が生じていることを示唆した。さらに大規模越流氷河を除いて、ICESat と表面物質収支モデルとの間の二次変化傾向がよく一致していることを確認した。これは、2003 年-2009 年については、グリーンランドにおける二次的な氷の質量変動は、氷床の融解と降雪量の増加によって大部分説明できるのに対し、主要な越流氷河変動は氷の流出量増加が起因していることを示唆している。本研究から、 -8.2 Gt/yr^2 の地表物質収支の変化と -4.1 Gt/yr^2 の氷の排出量の変化から、グリーンランド氷床質量変化について、全体として $-12.3 \pm 1.7 \text{ Gt/yr}^2$ の平均加速率が得られた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 7 件)

- ① 鈴木和良、衛星観測とデータ同化、日本リモートセンシング学会誌、査読無、38 巻、2018、111-113
- ② Suzuki, K., Zupanski, M., Coupled data assimilation in climate research: A brief review of applications in ocean and land, Satellite Oceanography and Meteorology, 査読有、3 巻、2018、1-8
- ③ 鈴木和良、雪氷圏における結合データ同化研究の可能性、雪氷、査読有、80 巻、2018、185-192
- ④ Suzuki, K., Matsuo K., Yamazaki, D., Ichii, K., Iijima, Y., Papa, F., Yanagi, Y., Hiyama, T., Hydrological Variability and Changes in the Arctic Circumpolar Tundra and the Three Largest Pan-Arctic River Basins from 2002 to 2016, Remote Sensing, 査読有、10 巻、2018、DOI:10.339/rs10030402
- ⑤ Suzuki, K., Zupanski, M., Uncertainty in solid precipitation and snow depth prediction for Siberia using the Noah and Noah-MP land surface models, Frontiers of Earth Science, 査読有、12 巻、2018、672-682
- ⑥ Suzuki, K., Zupanski, M., Zupanski, D., A case study involving single observation experiments performed over snowy Siberia using a coupled land-atmosphere modeling system, Atmospheric Science Letters, 査読有、18 巻、2017、106-111

- ⑦ Suzuki, K., Role of sublimation and evapotranspiration in the continental-scale Lena River basin, Eastern Siberia, IEEE International Geoscience and Remote Sensing, 査読有、2016 巻、2016、234-237

[学会発表] (計 13 件)

- ① Keiko Konya, Kazuyoshi Suzuki, Glaciers and sea change around Kara Sea in Russian Arctic, Polar2018、2018
- ② 紺屋恵子、鈴木和良、ロシア西部北極域の海氷減少と氷河表面変化の関係、日本地球惑星科学連合 2018 年大会、2018
- ③ 鈴木和良、Milija Zupanski、WRF-ARW を用いた陸面モデルの違いによるシベリア域の降雪・積雪深予測の不確実性について、日本気象学会 2018 年度秋季大会、2018
- ④ 鈴木和良、檜山哲哉、松尾功二、市井和仁、飯島慈裕、山崎大、環北極大河川流域の水文特性とその変動、2018 年度日本水文科学学会学術大会、2018
- ⑤ Kazuyoshi Suzuki, Koji Matsuo, Dai Yamazaki, Kazuhito Ichii, Yoshihiro Iijima, Fabrice Papa, Yuji Yanagi, Tetsuya Hiyama, An overview of Hydrological Variability and Changes in the Arctic Circumpolar Tundra and the Three Largest Pan-Arctic River Basins from 2002 to 2016、The 4th International Conference on Water Resource and Environment、2018
- ⑥ Kazuyoshi Suzuki, Koji Matsuo, Dai Yamazaki, Kazuhito Ichii, Yoshihiro Iijima, Tetsuya Hiyama, Hydrological changes in the Arctic circumpolar tundra and pan-Arctic large river basins from 2002 to 2016、ISAR-5、2018
- ⑦ 鈴木和良、松尾功二、山崎大、市井和仁、飯島慈裕、檜山哲哉、環北極ツンドラと北極大河川流域の水循環変動 ー2002 年～2016 年ー、雪氷研究大会 (2017・十日町)、2017
- ⑧ Kazuyoshi Suzuki, Milija Zupanski, Dusanka Zupanski, Single observation 実験に基づく大気陸面結合モデル内の予報誤差共分散の構造 ー積雪期のシベリアでの解析ー、日本気象学会 2017 年度春季大会、2017
- ⑨ Koji Matsuo, Kazuyoshi Suzuki, Yoichi Fukuda, Detection of quadratic ice mass variations in Greenland by ICESat laser altimetry、国際雪氷学会 2017 年会合、2017
- ⑩ Kazuyoshi Suzuki, Milija Zupanski, Dusanka Zupanski, Koji Terasaki, Takemasa Miyoshi, Assimilation of GCOM-W/AMS2 brightness temperature using a strongly coupled atmospheric-land data assimilation system in snowy Siberia、JpGU-AGU Joint Meeting、2017
- ⑪ Tetsuya Hiyama, Hatsuki Fujinami, Kazuyoshi Suzuki、Decadal changes in the atmospheric water cycle and the terrestrial water storage in Northern Eurasia、JpGU-AGU Joint Meeting、2017
- ⑫ 鈴木和良、グリーンランド氷床ならびに周辺海域における領域再解析データの構築、北海道大学低温科学研究所研究集会、2016
- ⑬ Suzuki, K.、Role of sublimation and evapotranspiration in the continental-scale Lena River basin, eastern Siberia、2016 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium、2016

[図書] (計 1 件)

- ① Suzuki, K., Matsuo K.、Springer、Chapter 11 Remote sensing of terrestrial water、2019、Ohta et al. 編著、印刷中

6. 研究組織

(1) 研究協力者

研究協力者氏名：ZUPANSKI, Milija
ローマ字氏名：(ZUPANSKI, Milija)

研究協力者氏名：ZUPANSKI, Dusanka
ローマ字氏名：(ZUPANSKI, Dusanka)

研究協力者氏名：松尾 功二
ローマ字氏名：(MATSUO, Koji)

研究協力者氏名：松村 伸治
ローマ字氏名：(MATSUMURA, Shinji)

研究協力者氏名：MERNILD, H. Sebastian
ローマ字氏名：(MERNILD, H. Sebastian)

※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。