

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 6 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K13566

研究課題名(和文)古天気情報データ同化システムの構築

研究課題名(英文)Development of Data Assimilation System of Old Weather Data

研究代表者

芳村 圭(Yoshimura, Kei)

東京大学・生産技術研究所・准教授

研究者番号：50376638

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)：既存の水同位体情報データ同化システムをベースに、古日記に記載された情報の利用を念頭に置いた「古天気情報データ同化システム」を構築した。日本域の18地点で天気情報が観測されたとするデータ同化実験を行い、真値の雲量、表面気圧、気温、風速、水蒸気量、降水量などにどの程度近づくのかを調べた。その結果、ほぼすべての変数に、現実的な観測データ分布を想定した日本のほぼ全域で「良い」観測インパクトが生じていることがわかった。本研究により、古天気情報のデータ同化手法が確立され、現在最長で130年程度の大気再解析データを劇的に過去に延長できる可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：A data assimilation system of old weather information has been developed. It was based on the preexisted water isotope data assimilation system. A set of numerical experiments with 18 synthesized weather observatories was conducted. The observation impacts in total cloud cover, surface pressure, air temperature, wind speed, humidity distribution, and precipitation were evaluated. As results, there were "good" observation impacts over most of Japan, in most of the variables. This project proved that the new method for old weather assimilation is indeed effective and that there will be possibility to extend the current longest Atmospheric Reanalysis product.

研究分野：気候水循環学

キーワード：古天気 データ同化 大気再解析 古気候 社会変動

1. 研究開始当初の背景

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)等によって地球温暖化への関心は年々高まっており、そのメカニズムや影響をより深く理解するためにも長期にわたって地球表面の状態を監視することは重要である。そのような背景のもと、近年 NOAA (米国海洋大気庁) の Gil Compo らのグループによって「20 世紀再解析」データが世に送り出された (Compo et al., 2011)。これは 1871 年以降に観測された表面気圧情報のみで大気状態をデータ同化したものである。それまでの再解析データは、地上観測はもちろんラジオゾンデや人工衛星からの情報をデータ同化することで作られており、当然それらと比べると投入データが少ない分解精度は落ちるが、130 年超という他にはない特長をもっており、その有用性は極めて高い。

「20 世紀再解析」の開始時期は、現地観測データの存在に依存している。史上初めての気温測定が 17 世紀にガリレオらによって行われて以来、ヨーロッパや北米では 1870 年代以前にも気象観測が行われてきてはいるが、日本における公式気象観測と同様、世界中に気象観測が広まったのは 1870 年代であることが主な要因である。また、航海日誌に記載された気象観測データが重要な情報源となっている。それらの古い気象観測記録は多くの場合手書きであり、それらを掘り起こしてデジタル化し、利用可能な状態に整備するプロジェクトが Atmospheric Circulation Reconstructions over the Earth (ACRE) であり、申請者も参加メンバーの一人である。

では、「20 世紀再解析」よりもさらに過去に伸ばすことは可能なのだろうか。前述の通りヨーロッパや北米では 17 世紀まで気象観測データが存在するため、不可能ではないが、観測地点数が極端に少なくなってしまうというのが、研究開始当時の問題であった。

2. 研究の目的

前述の通り、過去にさかのぼると、観測データの記録がないというよりは測定機器そのものが存在しない。例えば日本近辺では、1870 年代以前の気象観測はほぼ完全な空白である (長崎出島や江戸において断片的には存在している)。しかしながら、特に我が国においては、古日記などの文献に記載された日々の天気情報が極めて多数存在する。そこで本研究では、再解析の延長を目指し、気象観測の代用としてそういった天気情報を用いることができるのかどうかを明らかにする。

申請者によって開発された、局所アンサンブルカルマンフィルタ (LETKF) と同位体全球大気循環モデル (IsoGSM) を用いた水同位体比データ同化システム (Yoshimura et al., 2014) を利用する。投入データとしては、吉村 (2007) によってまとめられた「歴史天候データベース」を用いることを念頭に置く。本

研究ではまず、このようなアナログ天気情報がかつても大気再解析の目的に利用可能なのかどうかを調べる。また、利用可能としたら大気状態の拘束条件としてどのくらい効果があるのかを調べる。それにより、20 世紀再解析を超える、1870 年以前にまで遡った大気再解析データセットを製作するための手法を確立することが最終目的である。

3. 研究の方法

既存の水同位体情報データ同化システムをベースに、古日記に記載された情報の利用を念頭に置いた「古天気情報データ同化システム」を構築する。データ同化スキームにはアンサンブルカルマンフィルタを用いる。天気はアナログ情報であるため、一般的にデータ同化システムでの取り扱いが難しく、どのようにしたら使えるようになるかを注意深く検討する。また、天気の代替情報として積算雲被覆率を用いることが妥当なのかをよく調査する。システム完成後、現行気候でいくつもの理想実験を行った後、観測データのインパクトを調査する。さらには解析時刻からの予報精度によって天気情報による数値モデルの拘束の程度の良し悪しを判定する。最後に、現存する「歴史天候データベース」を利用して、古天気情報をデータ同化した、現存する最長の再解析データである「20 世紀再解析」よりもさらに長い再解析データを世の中に提供するための手法を確立する。

4. 研究成果

本研究では、局所アンサンブル変換カルマンフィルタ (LETKF) を用いた既存の水同位体情報データ同化システム (Yoshimura et al. 2014) をベースに、モデルによって診断された全雲量 (Total Cloud Cover) をデータ同化する変数とし、すべての予報変数 (U, V, T, q, P_s) がその影響を受けるよう改変する。そのうえで、NCEP2 再解析データ (R2) を真値とし、日本域の 18 地点で全雲量 (以降単に雲量と記す) が観測されたとして、それらをデータ同化システムに投入する。観測標準誤差から得られる観測誤差をランダムに与え仮想的な観測データを作成するが、観測頻度は 1 日 1 回とし、天気は大きく 3 つに分けられるとして雲量の観測標準誤差は 30% 程度と大きく見積もる。アンサンブルメンバーの初期値としては、あらかじめデータ同化なし実験を 2005 年 1 月 1 日から 1 年間走らせ、現実の大気状態と十分に独立した初期値を作成する。2006 年 1 月 1 日時点の初期値アンサンブルから 1 か月間、データ同化を行い、真値である R2 データの雲量をはじめ表面気圧、気温、風速、水蒸気量、降水量などがどの程度近づくのか (或いは遠ざかるのか) を調べる。アンサンブルメンバーは 20 とした。また、比較対象として、全く同じ初期値アンサンブルから一切の観測値を投入しないデータ同化なし実験も行った。

図 1 に、東京を含むグリッドにおける、いくつかの変数の真値 (R2)、データ同化あり/なし実験による一か月間の時間変化の様子を示す。雲量に関して、データ同化によってアンサンブル平均値が真値に近づいており、データ同化システムが意図通り機能していることを示している。ほかの変数についても、雲量ほどではないが、データ同化あり実験のほうが、なし実験よりも真値に近づいており、雲量をデータ同化することで、大気場にも良い影響がもたらされていることを示唆している。

図 2 では、そのような変化が空間的にどう分布しているか調べたものである。雲量に関しては、現実的な観測データ分布を想定した日本のほぼ全域で「良い」観測インパクトが生じていることがわかる。

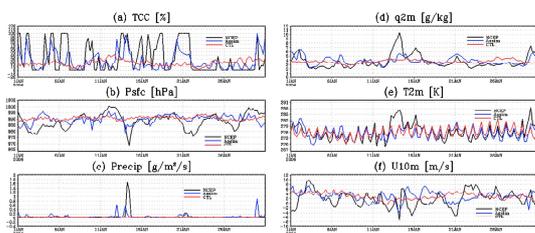


図 1：東京を含むグリッドにおける 1 か月の時系列変化。(a)雲量、(b)表面気圧、(c)降水量、(d)2m 比湿、(e)2m 気温、(f)10m 東西風。黒線が真値 (R2)、青線がデータ同化あり、赤線がデータ同化なしの結果 (アンサンブル平均値) を表す。

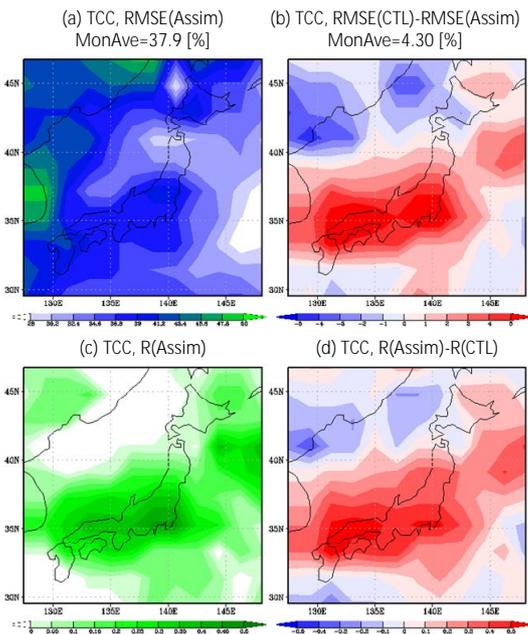


図 2：雲量の時間変化に関する真値との RMSE(a,b)と相関係数(c,d)。(a)と(c)はデータ同化なしの RMSE と相関係数分布を表しており、(b)と(d)はデータ同化ありによる差 (赤が改善を表す) を示している。

この結果は、論文にまとめてアメリカ気象学会 Monthly Weather Review 誌に投稿しており、すでに軽微な修正を済ませて間もなく採択される見込みである。

本研究では、古天気情報をデータ同化することに挑戦し、その技術を確認させた。その技術を用いることで、現在最長で 130 年程度の大気再解析データを劇的に過去に延長できる可能性が証明できた。今後はこの研究をさらに発展させ、日本だけでなく世界各国の古文書解読・古天気データ収集を含めた大掛かりな研究プロジェクトに発展させていく予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 12 件)

- Okazaki, A. and K. Yoshimura, Development and evaluation of a system of proxy data assimilation for paleoclimate reconstruction, *Clim. Past*, doi:10.5194/cp-2016-12, 2017.
- Wei, Z., K. Yoshimura, L. Wang, D. Miralles, S. Jasechko, X. Lee, Revisiting the contribution of transpiration to global terrestrial evapotranspiration, *Geophys. Res. Lett.*, doi:10.1002/2016GL072235, 2017.
- Takakura, T., R. Kawamura, T. Kawano, K. Ichianagi, M. Tanoue, K. Yoshimura, An estimation of water origins in the vicinity of a tropical cyclone's center and associated dynamic processes, *Clim. Dyn.*, doi:10.1007/s00382-017-3626-9, 2017.
- Ramzan, M., S. Ham, M. Amjad, E.-C. Chang and K. Yoshimura, Sensitivity evaluation of spectral nudging schemes in historical dynamical downscaling for South Asia, *Advances in Meteorology*, 2017.
- Steen-Larsen, H.C., C. Risi, M. Werner, K. Yoshimura, V. Masson-Delmotte, Evaluating the skills of isotope-enabled general circulation models against in situ atmospheric water vapor isotope observations, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 122, doi:10.1002/2016JD025443, 2017.
- Rahul P., P. Ghosha, S.K. Bhattacharya and K. Yoshimura, Controlling factors of rainwater and water vapor isotopes at Bangalore, India: Constraints from observations in 2013 Indian monsoon, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, doi:10.1002/2016JD025352, 2016.
- Suwarman, R., K. Ichianagi, M. Tanoue, K. Yoshimura, S. Mori, M. Yamanaka, F. Syamsudin, El Niño Southern Oscillation Signature in Atmospheric Water Isotopes over Maritime Continent during Wet Season,

- J. Meteor. Soc. Japan*, in press.
8. Yoshikane, T., K. Yoshimura, E.-C. Chang, A. Saya, and T. Oki, Long-distance transport of radioactive plume by nocturnal local winds, *Scientific Reports*, 6, doi:10.1038/srep36584, 2016.
 9. Belgaman, H. A., K. Ichianagi, M. Tanoue, R. Suwarman, K. Yoshimura, S. Mori, N. Kurita, M. D. Yamanaka, F. Syamsudin, Intraseasonal Variability of $\delta^{18}\text{O}$ of Precipitation over the Indonesian Maritime Continent Related to the Madden-Julian Oscillation, *SOLA*, 12, 192-197, 2016.
 10. Liu, Z., K. Yoshimura, N. Buening, Z. Jian, The response of winter Pacific North American pattern to the largest volcanic eruptions, *Clim. Dyn.*, doi:10.1007/s00382-016-3287-0, 2016.
 11. Yang, H., K.R. Johnson, M.L. Griffiths, K. Yoshimura, Interannual controls on oxygen isotope variability in Asian Monsoon precipitation and implications for paleoclimate reconstructions, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, 8410-8428, doi:10.1002/2015JD024683, 2016.
 12. Yoshimura, K., Stable water isotopes in climatology, meteorology, and hydrology: A review. *J. Meteor. Soc. Japan*, 93, doi:10.2151/jmsj.2015-036, 2015.

〔学会発表〕(計 11 件)

〔その他〕

<http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~kei/lab>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

芳村 圭 (KEI YOSHIMURA)

東京大学・生産技術研究所・准教授

研究者番号：50376638