

平成 30 年 6 月 22 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26289159

研究課題名(和文) 広域観測データを用いた陸面データ同化実験

研究課題名(英文) Data Assimilation Trials with Large Scale Observation Data

研究代表者

浅沼 順 (ASANUMA, Jun)

筑波大学・生命環境系・教授

研究者番号：40293261

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,100,000円

研究成果の概要(和文)：モンゴルの一様な草原地帯にて観測された土壌水分の時空間変動を解析したところ、非常に時空間に大きな変動が見出され、モデル実験の適用には、扱いに注意が必要である事が明らかとなった。地表面における境界条件を与えることを念頭に、衛星データを使用した土壌の2層モデルを適用した。その結果、3.8%の誤差で土壌水分が推定された。陸面過程モデルSiBUCに粒子フィルターを適用した同化手法の開発を目指し、その条件設定について検討した結果、初期値として幅広い分布を仮定する方が良い事が明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：Soil moisture spatial distribution observed at Mongolian grassland was analyzed to deduct characteristics of spatiotemporal change. It was found that their spatial variance is largely change over time as well as its mean. The findings warn the uncertainties involved with spatial variability.

A two-layered surface soil moisture model was developed and applied to the data observed at Mongolian grassland with the resulted error of 3.8%. Land surface data assimilation with particle smoothing was developed to test its performance with respect to the given conditions to the system, which suggests flexible initial conditions results in better performance.

研究分野：水工学

キーワード：土壌水分 陸面モデル 陸面同化システム 粒子フィルター 地表面熱収支モデル GCOM-W1 地球観測衛星

1. 研究開始当初の背景

1) 大気陸面間の水熱交換プロセスと陸面モデル

大気と陸面間の水・熱交換過程(以下、大気陸面過程)は、降水が流出と蒸発散へ分配され、また陸面から大気へ水蒸気と熱が供給されるプロセスである。広域における大気陸面プロセスの定量的な把握は、水資源計画や豪雨災害予測の上で重要である。陸面モデルは、大気大循環モデル(GCM)や領域気象モデルにおいて大気陸面プロセスを再現するためのサブ・モジュールである(Manabe, 1969)。近年では、大気モデルとは独立に開発が進み、複雑なモデルとなっており、植生動態や農業生産、水利用などの様々なプロセスが組み込まれている(Pitman, 2003, Oki and Kanae, 2006など)。陸面モデルを、大気モデルから独立して、用いる「オフライン」シミュレーションでは、陸面モデルを駆動するために、別個に気温、風速などの気象データを与えることになるが、これを「フォーシングデータ」と呼ぶ。陸面モデルの出力の精度はモデルの構造に加えて、与えるフォーシングデータの精度、透水係数などの地表面や土壌などの特性を表す「パラメータ」などに大きく依存する他各タイムステップでの計算は、その時の状態量に依存する

2) 陸面データ同化とは

データ同化とは、数値計算の途上において観測値を取り込むことによって状態変量を更新し、計算精度を向上させる手法である。とくに、気象学において現業予測の精度向上のための有力な手段として発展しており(Charney, 1969; Daley, 1991など)、予報精度の向上に重要な役割を果たしてきた。同様に海洋モデルにおいても、データ同化が予想精度の向上に貢献している。

2. 研究の目的

大気陸面過程の定量的な把握は、広域の水循環を理解する上でも、また水資源計画や豪雨災害予測の上でも重要である。本研究では、モンゴルの草原での広域観測データを用いて、衛星観測による土壌水分量の陸面モデルへの同化手法に関する数値実験を行い、オフラインでの最適な陸面同化手法を見いだす事を目的とする。

陸面モデルでのデータ同化を陸面データ同化と呼ぶ。陸面モデルの時間発展計算において、誤差の蓄積から、土壌水分量などの貯留量が現実から乖離して、計算誤差が増加する傾向にあるため、衛星から推定しやすい土壌水分量や積雪についてのデータ同化がこれまで試されてきた(Houser, et al, 1998, Walker et al, 2007, Yang et al, 2007など)。

しかしながら、予報精度の飛躍的な向上が見られている気象や海洋分野でのデータ同化に比較して、陸面データ同化が未だ発展の余地を大きく残している理由として、データ同

化実験を可能にする広域陸面データを得られる機会が多くないため、検証が難しかったことにある。

3) ユビキタスデータの時代

これに対して、特に2000年代後半以降において、大きな状況の転換が図られた。

まず、GEWEX (Global Energy and Water Experiment) や MAHASRI (Monsoon Asia Hydro-Atmospher Scientific Research and Prediction Initiative), CEOP (Coordinated Energy and Water Cycle Observations Project), FLUXNET, AsiaFlux などの国際プロジェクト、国際イニシアティブによって、全球の様々な地域で地上観測が行われ、そのデータが、衛星観測データや数値モデルの出力とともに CEOP, FLUXNET, DIAS (データ統合解析システム) などのデータベースに蓄積された。これらのデータを利用することで、データ同化実験がこれまでよりも飛躍的に簡単にできるようになった。

また、先進国はもとより、これまで通信手段の発達していなかった途上国においても、携帯電話ネットワークが整備され、それを用いた観測データの即時転送が可能になっている。また、携帯電話ネットワークが利用できない地域でも、アルゴシステムが比較的安価に利用できるようになり、地球上のあらゆる地点から、準リアルタイムでデータを収集できるようになりつつある。これは、新たなリアルタイムデータが陸面同化に利用できる可能性を示すものである。

4) 「陸面再解析」に向けた検討

本研究計画では、気象庁長期再解析(JRA/JCDAS)のようなグリッド気象データをフォーシングに用い、衛星リモートセンシングや地上観測データを同化しながら行う、陸面モデルのオフラインシミュレーションである「陸面再解析」を念頭に、最適なデータ同化手法の検討を行うことを目的とする。陸面同化において、どのような情報をどのような形で、モデル計算のサイクルに取り込むことが、計算結果の最も効率的な改善につながるかを明らかにすることが、本研究の研究グループの最終的な目標であるが、本研究においては、土壌水分の最も効率的な同化手法について、検討する。

本研究計画の特色は、比較的一様なモンゴルの草原地帯において、広域に展開された地上観測ネットワークによる観測を用いることによって、データ同化手法の効果を広域代表性のある観測値によって評価する点にある。このようなことが可能な観測ネットワークは全世界でもそれほど多くはなく、空間的に密に配置された地上観測ネットワークのデータを用いることによって、データ同化の効果を観測データによって直接の検証・評価することが可能になる。

3. 研究の方法

モンゴルの半乾燥草原における広域観測プロットでのデータを用いて、オフラインの陸面モデルの土壌水分同化実験を行う。フォーシングには、1) 観測値と2) 気象庁再解析(JRA)の内挿値の2通り、同化対象は、観測値、衛星からの推定値の2種類の土壌水分量を用いる。モデル+同化手法の組み合わせも2通りで、計8通りの同化実験の比較によって、最適な同化方法について考察し、今後の陸面同化戦略の考える上での材料とする。また、フォーシングデータ自身の同化手法も検討する。

4. 研究成果

1) モンゴルの草原の土壌水分の空間分布特性

研究に用いた観測データは、約100km四方の平坦で様な植生に覆われているモンゴルの草原地帯に設置された12地点の土壌水分計の夏季(6-9月)の計測値である。この草原地帯は、地形も平らで、植生はほぼ一緒と考えて良い。

しかしながら、この草原地帯の土壌水分の空間分布は、強いランダム性を示す事が、並行して実施している他の研究から、明らかとなっている。本研究での解析によって、さらに、土壌水分の空間変動が、直前の降水の空間分布に大きく依存し、また、無降雨時の乾燥過程では、空間変動が減少していく傾向にある事が、明らかになった。これらは、モンゴル高原の夏季に卓越する局地性の強い対流性の降雨に起因する事とする、本研究と並行で進められている他の研究と矛盾しない。

この土壌水分の予想外に大きな時空間変動は、本研究の計画時点では全く予期されなかったものであり、本研究の大きな障害となった。

以上のような理由から、本研究はまず、対象地域となるモンゴル草原の観測値の特性のさらなる統計解析を行なった。

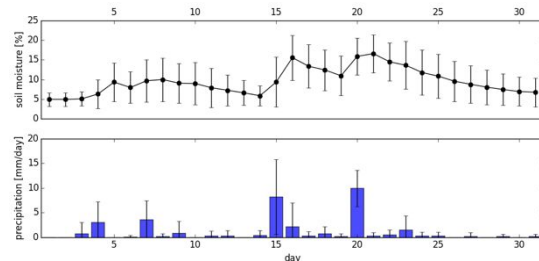


図1: 30日間の土壌水分(上)と降水量(下)の時空間変動。上図の点、下図の棒グラフは、それぞれの空間平均を、また、細い縦バーは、空間標準偏差を示す(小林, 2015)。空間変動性の大きな降水の後には、土壌水分の空間変動が大きくなる。また、一般に土壌の乾燥過程では、空間変動は減少する。

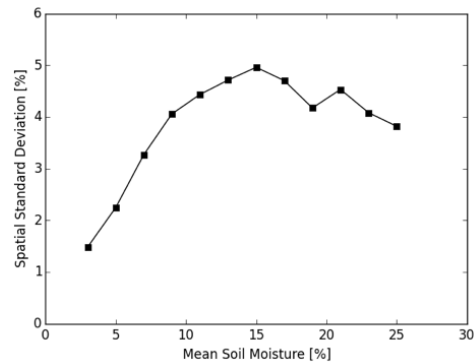


図2: 解析対象地内の土壌水分観測の平均値(x軸)と標準偏差(y軸)

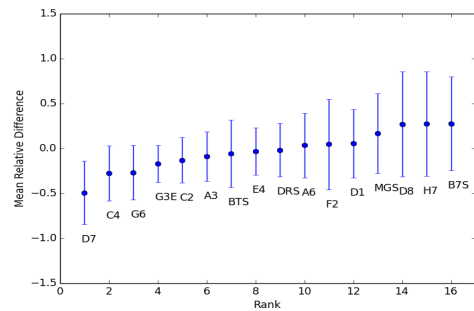


図3: 解析対象地域内の土壌水分観測の各地点の全期間平均(点)と標準偏差(ヒゲ)。地点は、平均の小さい順に並べてある。

図2は、土壌水分の空間標準偏差が、中くらいの土壌水分において、最大になることを示しており、既往の研究によく見られる関係である。図3は、各地点の全期間平均(点)と標準偏差(バー)を、地点平均の順に表して居る。16地点の中で、比較的湿潤な地点、比較的乾燥している地点がある事が明らかとなった。何れにしても、この地域では、これまで多くの世界中の地域において報告された事が、同様に当てはまり、土壌水分は時空間で大きく変動しており、その代表値は、極めて定まりにくい事を示している。

以上のように、本研究対象地で得られる使用データについて明らかになった特性から、本研究では、モンゴル草原における観測値を利用した同化実験を実施する前に必要な解析やモデルの適用を行い、このデータセットの信頼性や、安定性の確認を行うことを、第一のタスクとした。

2) 2層モデル

モンゴル国中央部のマンダゴビ市を中心とする半乾燥草原地域において、地表面熱収支モデルと種々の衛星データを用いた表層土壌水分量分布推定法の開発を行った。この研究は同地域における大気陸面相互作用を再現するデータ同化実験の地表面における境界条件を与えることと位置づけられる。2012年の植生成長期間を対象とした表層土壌水分量推定値は、現地における実測値と体

積含水率として平均 3.8%の誤差で推定され、本研究の方法は有効な推定法であることが明らかになった。なお、本研究で開発された方法はすべてインターネット等でアクセスできるデータを用いて計算することができ、特別な観測データを必要としないため、モンゴルに限らず各地の草原に適用できる可能性が高い。

3) 粒子フィルター

粒子フィルターによる陸面データ同化手法のひとつとして、陸面過程モデル SiBUC に粒子フィルターを適用した手法を開発してきた。陸面データ同化手法で未知数として取り扱う土壌水分の飽和度と水分ポテンシャルの関係を表すパラメータについてどのような条件設定を行うとよい推定結果が得られるか分析した。その結果、初期値として幅広い分布を仮定する方がよい推定結果を得ることがわかった。これは、可能な限りあらゆるパラメータの値を設定することで、適切なパラメータ値が推定できるためであると考えられる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 7 件)

Chen, F.; Crow, W. T.; Bindlish, R.; Colliander, A.; Burgin, M. S.; Asanuma, J. & Aida, K., Global-scale evaluation of SMAP, SMOS and ASCAT soil moisture products using triple collocation, *Remote Sensing of Environment*, 査読有, Vol. 214, 2018, pp. 1-13

Matsushima, D.; Asanuma, J. & Kaihotsu, I., "Thermal Inertia Approach Using a Heat Budget Model to Estimate the Spatial Distribution of Surface Soil Moisture over a Semiarid Grassland in Central Mongolia", *Journal of Hydrometeorology*, 査読有, Vol. 19, 2018, pp. 245-265

Chan S, Bindlish R, O'Neill P, Jackson T, Njoku E, Dunbar S, Chaubell J, Piepmeier J, Yueh S, Entekhabi D, Colliander A, Chen F, Cosh M, Caldwell T, Walker J, Berg A, McNairn H, Thibeault M, Martínez-Fernández J, Uldall F, Seyfried M, Bosch D, Starks P, Collins CH, Prueger J, van der Velde R, Asanuma J, Palecki M, Small E, Zreda M, Calvet J, Crow W and Kerr Y, "Development and assessment of the SMAP enhanced passive soil moisture product", *Remote Sensing of Environment*, 査読有, Vol. 204(Supplement C), 2018, pp. 931 - 941

Bindlish R, Cosh M, Jackson T, Koike T, Fujii H, Chan S, Asanuma J, Berg A, Bosch D, Caldwell T, Collins C, McNairn H, Martínez-Fernández J, Prueger J,

Rowlandson T, Seyfried M, Starks P, Thibeault M, Van Der Velde R, Walker J and Coopersmith E, "GCOM-W AMSR2 soil moisture product validation using core validation sites", *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 査読有, Vol. 11(1), 2018, pp. 209-219

Kolassa J, Reichle R, Liu Q, Alemohammad S, Gentile P, Aida K, Asanuma J, Bircher S, Caldwell T, Colliander A, Cosh M, Collins CH, Jackson T, Martínez-Fernández J, McNairn H, Pacheco A, Thibeault M and Walker J (2017), "Estimating surface soil moisture from SMAP observations using a Neural Network technique", *Remote Sensing of Environment*, 査読有, November, 2017.

Colliander A, Jackson T, Bindlish R, Chan S, Das N, Kim S, Cosh M, Dunbar R, Dang L, Pashaian L, Asanuma J, Aida K, Berg A, Rowlandson T, Bosch D, Caldwell T, Caylor K, Goodrich D, al Jassar H, Lopez-Baeza E, Martínez-Fernández J, González-Zamora A, Livingston S, McNairn H, Pacheco A, Moghaddam M, Montzka C, Notarnicola C, Niedrist G, Pellarin T, Prueger J, Pulliainen J, Rautiainen K, Ramos J, Seyfried M, Starks P, Su Z, Zeng Y, van der Velde R, Thibeault M, Dorigo W, Vreugdenhil M, Walker J, Wu X, Monerris A, O'Neill P, Entekhabi D, Njoku E and Yueh S, "Validation of SMAP surface soil moisture products with core validation sites", *Remote Sensing of Environment*, 査読有, Vol. 191, 2017, pp. 215 - 231

Takagi K, Hirata R, Ide R, Ueyama M, Ichii K, Saigusa N, Hirano T, Asanuma J, Li S-G, Machimura T, Nakai Y, Ohta T and Takahashi Y, "Spatial and seasonal variations of CO2 flux and photosynthetic and respiratory parameters of larch forests in East Asia", *Soil Science and Plant Nutrition*, 査読有, Vol. 61(1), 2015, pp. 61-75

[主な学会発表](計 12 件)

R., Bindlish; T., Jackson; M., Cosh; T., Koike; X. Fu, J. Asanuma, et al, 2017: Validation of SMAP surface soil moisture products with core validation sites, IGARSS 2017, Fort Worth TX.

R., Bindlish; T., Jackson; M., Cosh; J. Asanuma, et al; AMSR2 Soil Moisture Product Validation, IGARSS 2017 2017-07-23- -2017-07-28, Fort Worth, TX.

Chan S, Asanuma, J, et al, 2017: Development and Validation of The SMAP Enhanced Passive Soil Moisture Product, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS 2017, 2017-07-23--2017-07-28, 浅沼 順; 会田 健太郎, 2017: Toward upscaling ground-based measurements for validating the AMSR2 soil moisture products, 平成 26 年度地球環境観測ミッション合同 PI 報告会, 2017-01-26, Tokyo
浅沼 順; Kentaro, Aida; Yuriko, Koike; Ichiro, Kaihotsu, 2016: Hydrometeorological regimes at Mongolian Grassland: from Observations . The Internat. Science Conf. on MAHASRI /2016-03-02, Tokyo
浅沼 順; 会田 健太郎, 2016: Toward upscaling ground-based measurements for validating the AMSR2 soil moisture products, 平成 26 年度地球環境観測ミッション合同 PI 報告会, 2016-01-19, Tokyo
浅沼 順; Kentaro, Aida, 'Hydro4m' Hydro-Meteorological study with Multi-satellite sensors and Multidimensional approaches at Mongolian Grassland SMAP Cal/Val Workshop #8 /2015-09-01-2015-09-03
J., Asanuma, T., Sato, et al., 2015, Hydrometeorology in Mongolian Grassland Asian monsoon Hydroclimate -Review of MAHASRI and Beyond, 2015-03-04--2015-03-05, Tokyo.
浅沼 順; 会田 健太郎, 2015: Toward upscaling ground-based measurements for validating the AMSR2 soil moisture products, 平成 26 年度地球環境観測ミッション合同 PI 報告会, 2015-01-12, Tokyo
Asanuma, J., 2014; others, A summary of Asian Dryland Model Intercomparison Project (ADMIP), 7th International Scientific Conference on the Global Water and Energy Cycle, 2014-07-14--2014-07-17.
小池百合子; 浅沼 順, 2014; Davaa, G, 2014: Identifying Precipitation Sources in Northern Mongolia using Back Trajectory Analysis, 地球惑星科学連合 2014 年大会 /2014-5-1.
Asanuma, J. & others, 2014: A summary of Asian Dryland Model Intercomparison Project (ADMIP), MAIRS Open Science Conference, 2014-04-07, Friendship Hotel, Beijing, China

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

浅沼 順 (ASANUMA, Jun)
筑波大学・生命環境系・教授
研究者番号：40293261

(2) 研究分担者

松島 大 (MATSUSHIMA, Dai)
千葉工業大学・工学部・教授
研究者番号：50250668

萬 和明 (YOROZU, Kazuaki)
京都大学・工学研究科・助教
研究者番号：90554212

馬 文超 (MA, Buncho)
筑波大学・研究員
研究者番号：60743101

(4) 研究協力者

会田 健太郎 (AIDA, Kentaro)