

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：62611

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24501282

研究課題名(和文) モンゴル半乾燥気候の草原における陸面水文過程に関する研究

研究課題名(英文) A study on terrestrial hydrological processes over the pasture in semi-arid climate in Mongolia

研究代表者

宮崎 真 (Miyazaki, Shin)

国立極地研究所・北極観測センター・特任研究員

研究者番号：80302355

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究はモンゴルの半乾燥気候の草原において、陸面過程モデルによる水文過程の算出精度向上に必要な知見を得る事を目的としている。陸面過程モデルMATSIROのオリジナル版およびより詳細な凍土過程を組み込んだ改良版を用いてモンゴルの半乾燥草原にて計算を実施した。観測に基づいた土壌の熱水パラメータを与えたところ、正味放射量と潜熱フラックスの観測値をよく再現でき、土壌水分の再現性が向上した。さらに詳細な凍土過程を組み込んだモデルにより地中熱流量および顕熱フラックスの再現性は大幅に向上した。モンゴル草原のような季節凍土帯では土壌パラメータと凍土過程が熱水収支の再現性に重要であることが分かった。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to find the clue for improving the reproducibility of hydrological processes by land surface model in semi-arid climate in Mongolia. The simulation by the land surface model (original and improved versions for the frozen soil process of MATSIRO) has been done over the semiarid grassland sites in Mongolia. The reproducibility of the net radiation, the soil temperature, and latent heat flux were well reproduced by the experiment with the observed soil parameters. The change of soil physical and hydraulic parameter affected the reproducibility of and soil moisture as well as energy flux component especially for the sensible heat flux and soil heat flux, which is likely to include the ice effect on the soil heat capacity and the thermal conductivity. In seasonal frozen ground such as grassland in Mongolia, the importance of soil parameter and frozen soil process on the reproducibility of energy and water budget was found.

研究分野：地理学

キーワード：水文過程 モンゴル 草原と森林 土壌水分 凍土過程 蒸発散量 積雪

### 1. 研究開始当初の背景

モンゴルの年降水量は南北格差(南部の約 50 mm から北部の約 400mm)が大きく、南部ほど少ない。また、降水量の南北傾度に沿って北部の森林、森林ステップ、ステップ、砂漠ステップ砂漠が分布している(宮崎、2009)。モンゴルの森林ステップはユーラシア大陸東部の永久凍土ならびに北方林の南限と重なっている。モンゴルでは過去 60 年間で気温が 1.8 上昇し、降水量は夏季に 7.5%減少、冬季に 9%増加している(Batima et al., 2005)。アジア域の中でもモンゴルの温暖化はシベリア域と同程度に大きく、さらにモンゴルでは降水量の変動が大きくなっている。モンゴルは気候変動の影響による降水量の変化に伴い、森林ステップの縮小が予測されている(IPCC, 2007)。

モンゴルを対象とした領域気候モデルを用いた疑似温暖化実験によると、夏季の降水量の減少と気温の上昇に伴う可能蒸発散量の増加により、土壌水分が夏季に減少する傾向が見られた(Sato et al., 2007)。モンゴルの半乾燥気候の草原における観測結果から、モンゴル中部草原の成長は生育前半までの降水量、降水頻度と土壌水分貯留変化量に最も大きく影響を受けることが分かった(Miyazaki et al., 2004)。このようにモンゴルの草原は、気候変動の影響により、土壌水分の変化などを通じて、蒸発散量や流出量に変化する可能性があり、その予測精度向上には水文過程理解の深化が必要である。

気候変動予測を行う際に用いる大気海洋大循環モデルとよばれる数値モデルにおいて、陸面での熱・水・物質の交換を計算するためのモジュールが陸面過程モデルである。大気海洋大循環モデルを用いて、土壌水分が降水量に与える影響を調べた研究によると、土壌水分が降水量の変動に与える影響が大きい地域は半乾燥域であった(Koster et al., 2004)。これは、湿潤域の蒸発は、土壌水分の変動に依存しないが、乾燥域では蒸発量は土壌水分の変動に小さいために、その中間の半乾燥域で両者の関係が最も強くなるためであると指摘している。また、世界中の観測された土壌水分と陸面過程モデルによる土壌水分の算出結果を比較した研究によると、その精度は地域によって異なり、モンゴルと中国では精度が低かった(Guo and Dirmeyer, 2006)。その原因は入力された降水量の精度、土壌水分観測の精度、モデルの水文過程(とくに土壌の特性係数)の問題である可能性を指摘された。タイの熱帯モンスーン気候域において、土壌水分と蒸発散量について観測データと陸面過程モデル(Iso-MATSIRO: Yoshimura, Miyazaki et al., 2006)による算出結果を比較検証したところ、乾季には土壌水分と蒸発散量のモデルによる観測値の再現性が低かった。その計算の時には、土壌の透水係数(水の浸透のしやすさ)は、過去の文献で整理され、良く使われている土壌の種類

毎の平均的な値を与えていた。そこで、現地での観測値を基に透水係数を変更したら、土壌水分と蒸発散量の再現性が向上した(Miyazaki et al., 2009、宮崎他、2008)。本来、陸面過程モデルは、特定の地域に特化していないが、地域毎にモデルで使用する係数や過程が異なる事があり、使用する係数や過程を精査する必要があると考えられる。

以上のような背景から、モンゴル半乾燥気候の草原における陸面水文過程の研究の着想に至った。

### 2. 研究の目的

モンゴルの国土の 80%は放牧地として利用されており、草の成長は降水量の変動と密接に関連している。遊牧民の生活に欠かせない草の成長を左右する水循環の変動予測の精度向上には、水文過程理解の深化が必要である。水文過程を組み込んだ陸面過程モデルの性能が近年向上してきているが、半乾燥域の土壌水分や蒸発散量の算出精度が低いことが指摘されている。本研究では土壌水分と蒸発散量の観測データと陸面過程モデルの計算結果の比較検証を、モンゴルの半乾燥気候の草原において行い、陸面過程モデルによる水文過程に関わる要素の算出精度向上に必要な知見を得る事を目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究で対象とするのはモンゴル国内の次のような 2 地点とする。モンゴル中部アルバイヘル(N46° 13.8', E102° 49.2', 標高: 1,813m、年平均気温: 0.4、年降水量: 245mm、植生: 草原)およびモンゴル北部ヘルレンバイヤンウラン(KBU)の草原(N47° 12.838', E108° 44.240', 標高: 1235m、年平均気温 1.2、年降水量 181mm、植生: 草原)である。アルバイヘルにおけるデータセットは自身で観測したデータを使用する(Miyazaki et al., 2004)。同データは GAME-AAN データベース(<http://aan.suiri.tsukuba.ac.jp/aan-center.html>)で公開している。KBU におけるデータセットは RAISE データベース(<http://raise.suiri.tsukuba.ac.jp/DVD/top/home.htm>)より入手可能である。

本研究で用いる陸面過程モデルは、MATSIRO (Takata et al., 2003)である。このモデルは、地表面付近の大気熱・運動量・水の輸送、植物群落内の放射過程と植生による降水の遮断と蒸発、SiB2(Sellers et al., 1996)と同じ光合成過程、簡易型トップモデル(Beven and Kirkby, 1979)による水文流出過程、積雪・凍土(土壌水の相変化)の過程、土壌中の熱・水輸送過程が組み込まれている。さらに凍土過程において重要な土壌中の氷の熱伝導率と熱容量ならびに不透水の過程を組み込んだ MATSIRO 改良版(Saito, 2008)も使用した。MATSIRO は東京大学・海洋研究開発機構・国立環境研究所が共同で開発

した地球システムモデル MIROC(Watanabe et al., 2010)に組み込まれており、IPCCの第4次評価報告書において気候変動予測に使用された。

観測データと陸面過程モデルの計算結果の比較検証を基に、感度実験などを行い、モデルによる算出精度を左右する要素を明らかにして、再現性の高いパラメータセットや支配系をもった陸面過程モデルを構築する。モンゴルの草原における気象水文要素の観測データを陸面過程モデルに入力して計算し、蒸発散量、土壌水分と積雪量を算出する。その結果を観測値と比較検証して、その再現性を明らかにする。

#### 4. 研究成果

モンゴルの半乾燥気候の草原の2地点において、陸面過程モデル MATSIRO に1981年から2009年まで(KBU)および1979年から2012年まで(アルバイヘル)の現地観測で得られた気象データ(気温、比湿、風速、気圧、降水量、放射量)と人工衛星 MODIS に基づく葉面積指数を入力して計算した。その際、土壌の熱・水理特性パラメータについて、全世界のデータセットで用いられているパラメータを用いた実験(CTL ラン)と現地観測を基にしたパラメータを用いた実験(OBS ラン)、凍土過程を精緻化した改良版モデルとOBS ランのパラメータを用いたラン(OBSr ラン)の3つの実験を行った。モデルによる計算結果とKBUについては2002年11月から2007年4月まで、アルバイヘルについては1999年から2000年までの土壌水分量、地温、正味放射量、顕熱フラックス、潜熱フラックス(蒸発散量)の現地観測結果と比較検証を行ったところ、次のような結果が得られた。OBS ランの方がCTL ランに比べて全ての要素において再現性が向上した。CTL ラン、OBS ランとともに地温、正味放射量と潜熱フラックスのモデルによる観測値の再現性は高かった。しかし、土壌水分量については、再現性が悪く、特に冬季の凍結時については、モデルの方が観測に比べてかなり高い値を示していた。これについては、モデルの性能だけでなく、観測では土壌水分量について液体水分量のみ測定可能でモデルには含まれる凍結水分量を計測できないという観測方法の問題とも関連があると考えられる。中国の半乾燥気候の草原での MATSIRO の計算結果と観測値の比較検証を行ったところ、モデルによる各要素の再現性は中国の草原とモンゴルの草原での同様の傾向がみられた。

現地は季節凍土域(寒候期のみ土壌が凍結し、暖候期には融解する地域)に属しており、土壌の凍結融解が水文過程の再現性に大きな影響を及ぼすと考えられる。土壌が凍結した際に凍結した氷は液体水より大きな熱伝導率と小さな熱容量をもち、氷点下でも凍結しない不透水が存在するので、OBSr ランでは地中熱流量および顕熱フラックスの再現性

が大幅に向上した。一方、表層土壌水分の再現性も OBSr ランでは他のランに比べて向上したが、冬季の凍結時にモデルの方が高い値を示す傾向は変わらなかった(Miyazaki et al., 2013)。モンゴルでは草原と森林がパッチ状に分布する地域が北部では多いので、草原に隣接した森林における熱・炭素収支の季節変化と年々変動に関する解析を行った(Miyazaki et al., 2014)。森林は草原に比べて冬季のアルベドが低い事や、森林には地下に永久凍土が存在することにより、草原に比べて蒸発散量の年々変動が小さかった。正味放射量、地中熱流量、潜熱フラックスについては季節変化をよく再現しているが、顕熱フラックスについてはモデルが観測に比べて過大評価傾向であった(宮崎、2014; Miyazaki, 2014)。以上により、草原の水文過程の位置づけを明らかにした。中国とモンゴルの半乾燥気候の草原域における複数の陸面過程モデルの相互比較結果によると、本研究で得られたのと同様に顕熱フラックスは潜熱フラックスに比べて不確実性が大きく、その原因は乾燥域において潜熱フラックスは蒸発量が降水量により制限を受けるが、顕熱フラックスは自由度がより大きいことによると指摘された(Asanuma et al., 2014)。

本研究により半乾燥草原の中でもモンゴルのような季節凍土帯においては、土壌水の凍結に伴う熱伝導率と熱容量の変化および不透水を考慮に入れることにより、モデルの再現性が向上することが明らかとなった。また、土壌の透水係数や熱伝導率等の土壌パラメータについては、観測に基づいて与えることで再現性がより向上することが明らかとなった。

参考文献(5に示した文献を除く)

- Batima, P. et al., 2005, AICC Working paper, 13, 25pp.
- Beven, K.J. and Kirkby, M.J. 1979, Hydrological Science Bulletin, 24, 43-69.
- Guo, Z. and Dirmeyer, P.A., 2006, Journal of Geophysical Research (JGR) 111, D22S02.
- IPCC, 2007, WG2 report, Cambridge University Press, UK, 976pp.
- Koster R.D., et al., 2004, Science, 305, 1138-1140.
- Miyazaki, S. et al., 2004, JGR, 109, D22106.
- 宮崎他、2008: 2008 土壌水分ワークショップ 論文集、1-5.
- 宮崎、2009: 朝倉世界地理講座第2巻 東北アジア、朝倉書店、1-7
- Miyazaki, S. et al., 2009, Proceedings of 8th AsiaFlux Workshop, 132.
- Saito, K., 2008, J. Geophys. Res., 113, D21106, doi:10.1029/2008JD009880
- Sato, T., et al., 2007, Journal of

Hydrology, 333, 144-154.  
Sellers, P.J., et al., 1996, Journal of Climate, 9, 676-705.  
Takata, K. et al., 2003, Global Planetary Change, 51, 90-107.  
Watanabe, M. et al., 2010, J. Clim., 23, 6312-6335, doi: 10.1175/2010JCLI3679.1  
Yoshimura, K., Miyazaki, S. et al., 2006, Global and Planetary Change, 51, 90-107.

#### 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 8件)

Kim, W. et al. (including S. Miyazaki), FluxPro as a realtime monitoring and surveillance system for eddy covariance measurement, Journal of Agricultural Meteorology, 査読有, 71, 32-50, 2015.

Miyazaki, S., Ishikawa, M., Baatarbileg, N., Damdinsuren, S., Ariuntuya, N., Jambaljav, Y., Interannual and seasonal variations in energy and carbon exchanges over the larch forests on the permafrost in northeastern Mongolia, Polar Science, 査読有, 8, 2014, 166-182, DOI:10.1016/j.polar.2013.12.004.

Miyazaki, S., Yorozu, K., Asanuma, J., Kondo, M., Saito, K., (2013): Impact of soil parameters on reproducibility of hydrological processes by land surface model in semiarid grassland of seasonal frost region, 土壌水分ワークショップ 2013 論文集, 査読無、23-28, 2014.

Kiguchi, M., Miyazaki, S., Kim, W., Kanae, S., Oki, T., Matsumoto, J., Satomura, T., The heat flux from the land surface during the pre-monsoon season in the inland region of Thailand, Climate and Land-surface Changes in Hydrology Proceedings of H01, IAHS-IAPSO-IASPEI Assembly, IAHS Publ. 査読有, 359, 239-245, 2013.

Cho, J., Kim, W., Miyazaki, S., Komori, D., Kim, H., Han, K. S., Kanae, S., Oki, T., Difference in the Priestley-Taylor coefficients at two different heights of a tall micrometeorological tower, Agricultural and Forest Meteorology, 査読有, 180, 2013, 97-101, DOI:10.1016/j.agrformet.2013.05.007.

Miyazaki, S., K. Yorozu, J. Asanuma, M. Kondo: Reproducibility of hydrological process by land surface model in semi-arid grassland, 土壌水

分ワークショップ 2012 論文集、査読無。39-45, 2013.

丸山篤志、宮崎真、小谷亜由美、栗林正俊、齊藤琢、小野圭介 (2013): International Joint Conference of 11th AsiaFlux International Workshop, 3rd HESSS and 14th Annual Meeting of KSAFM “Communicating Science to Society: Coping with Climate Extremes for Resilient Ecological-Societal Systems” の報告、生物と気象(Clim. Bios.)、査読無、13:D4-10

Cho, J., S. Miyazaki, Pat J.-F. Yeh, W. Kim, S. Kanae, T. Oki, Testing the hypothesis on the relationship between aerodynamic roughness length and albedo using vegetation structure parameters, Int. J. Biometeorology, 査読有, 56, 411-418, 2012, DOI: 10.1007/s00484-011-0445-2.

#### [学会発表](計 18件)

Miyazaki, S., Yorozu, K., Asanuma, J., Kondo, M., Saito, K., Impact of soil parameter and physical process on reproducibility of hydrological processes by land surface model in semiarid grassland, American Geophysical Union Fall Meeting, 19 December 2014, San Francisco, USA.

Miyazaki, S., Reproducibility of the Biometeorological Process by a Land Surface Model in the Montane Larch Forest in Mongolia, Asia Oceania Geoscience Society, 11th Annual Meeting, 1 August 2014, Sapporo, Japan  
宮崎真、モンゴル北部カラマツ林における陸面過程モデルによる気象生態過程の再現性、日本気象学会 2014 年度春季大会、2014 年 5 月 21 日、日本・横浜市

Asanuma J., Ojima, D., Yorozu, K., Hosaka, M., Ichii, K., Ito, A., Hong, J., Kondo, M., Li, Q., L., Mabuchi, K., Miyazaki, S., Parton, W., Sato, H., Tachiiri, K., Zhang, Xia, Xue, Y., Yang, K., Yang, Z.L., Ailikun, A summary of Asian Dryland Model Intercomparison Project (ADMIP), Monsoon Asia Integrated Regional Study (MAIRS) Open Science Conference Future Earth in Asia, 7-10 April 2014, Beijing, China.  
Miyazaki, S., Yorozu, K., Asanuma, J., Kondo, M., Saito, K., (2013): Impact of soil parameters on reproducibility of hydrological processes by land surface model in semiarid grassland of seasonal frost region, Soil Moisture Workshop 2013, 21 December 2013, Tokyo, Japan.

Miyazaki, S., M. Ishikawa, N.

Baatarbileg, S. Damdinsuren, Y. Jambaljav (2013): Interannual and seasonal variations in energy and carbon exchanges over the larch forests on the permafrost in northeastern Mongolia, 2013 International Workshop on Terrestrial Change in Mongolia, 20 December 2013, Tokyo, Japan.

宮崎真、萬和明、浅沼順、近藤雅征、齊藤和之 (2013): 季節凍土上の半乾燥草原における陸面過程モデルによる水文過程の再現性、日本地理学会 2013 年秋季学術大会、2013 年 9 月 29 日、日本・福島市

Miyazaki, S., Yorozu, K., Asanuma, J., Kondo, M., Saito, K., (2013): Impact of Soil parameters on reproducibility of hydrological process by land surface model, International Conference of 11th AsiaFlux International Workshop, 3rd Hydrology delivers Earth System Science to Society, and 14th Annual Meeting of Korean Society of Agricultural & Forest Meteorology, p15, 21-24 August 2013, Seoul, South Korea.

立入郁、市井和仁、近藤雅征、伊藤昭彦、馬淵和雄、宮崎真、萬和明、浅沼順 (2013): ADMIP: アジア乾燥地モデル比較プロジェクト、日本地球惑星科学連合 2013 年度連合大会、2013 年 5 月 21 日、日本・千葉市

Miyazaki, S., Yorozu, K., Asanuma, J., Kondo, M., (2012): Reproducibility of hydrological process by land surface model in semi-arid grassland, Soil Moisture Workshop 2012, 21 December 2012, Tokyo, Japan.

宮崎真、石川守、N.バータービレグ、S・ダムディンスレン、Y.ジャンバルジャブ (2012): モンゴル北部永久凍土域のカラマツ林における生物季節と熱・炭素収支、日本地理学会 2012 年秋季学術大会、2012 年 10 月 6 日、日本・神戸市

Miyazaki, S., M. Ishikawa, N. Baatarbileg, S. Damdinsuren, Y. Jambaljav (2012): Long-term hydro-meteorological, ecological and dendrochronological monitoring at larch forest on permafrost of Mongolia, International conference "Effects of climate change and land use on biodiversity and ecosystems", 1-3 October 2012, Ulaanbaatar, Mongolia

Miyazaki, S., K. Yorozu, J. Asanuma, M. Kondo (2012): Reproducibility of hydrological process by MATSIRO stage 0.5 run in semi-arid grassland, 3rd Asian Dryland Model Intercomparison Project Workshop, 16 May 2012,

Colorado, USA.

Miyazaki, S., M. Ishikawa, N. Baatarbileg, S. Damdinsuren, Y. Jambaljav (2012): Energy and carbon balances with phenology over the larch forests on the permafrost in northern Mongolia, American Geophysical Society Fall Meeting, 3-7 December 2012, San Francisco, USA

宮崎真、萬和明、浅沼順、近藤雅征 (2012): 半乾燥草原における水文過程の陸面過程モデルと観測値の比較検証、日本地理学会 2012 年秋季学術大会、2012 年 10 月 6 日、日本・神戸市

宮崎真、萬和明、浅沼順、近藤雅征 (2012): 半乾燥草原における陸面過程モデルによる水文過程の再現性、水文・水資源学会 2012 年度研究発表会、2012 年 9 月 27 日、日本・広島市

宮崎真、石川守、N.バータービレグ・S・ダムディンスレン、Y.ジャンバルジャブ (2012): モンゴル北部永久凍土域のカラマツ林における水文気象・生態・年輪年代の長期モニタリングの初期解析、日本気象学会 2012 年度春季大会、2012 年 5 月 26 日、日本・つくば市

宮崎真、石川守、N.バータービレグ・S・ダムディンスレン、Y.ジャンバルジャブ (2012): モンゴル永久凍土域のカラマツ林における水文気象・生態・年輪年代の長期モニタリング、日本地球惑星科学連合 2012 年度連合大会、2012 年 5 月 22 日、日本・千葉市

#### 〔図書〕(計 1 件)

齊藤和之、宮崎真、羽島知洋、末吉哲雄 (2014): 陸域モデル相互比較とモデル-観測連携 (第 15 章), 気象研究ノート第 230 号「北半球寒冷圏陸域の気候・環境変動」, 日本気象学会, 196-211.

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

宮崎 真 (MIYAZAKI, Shin)

国立極地研究所・北極観測センター・特任研究員

研究者番号: 8 0 3 0 2 3 5 5