

令和元年6月18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：16K01230

研究課題名(和文)シベリア冷帯気候帯形成メカニズムにおける積雪-アルベドフィードバック効果の解明

研究課題名(英文)Analysis of Snow-Albedo feedback effect on boreal climate in Siberia

研究代表者

阿部 学 (ABE, Manabu)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・統合的気候変動予測研究分野・技術副主任

研究者番号：50377983

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：シベリア域の冷帯気候帯の形成に関連して、ユーラシア北部の積雪の気候特性に対するチベット高原のような大規模な山岳の効果や、気温場に対する積雪が太陽放射を反射する効果について、気候モデルを用いて調べた。チベット高原の存在は秋季のシベリア東部から北東アジアの積雪域が広がる時期を早めるが、モンゴルなどチベット高原の北側の中緯度の積雪域の後退も早める効果があることが分かった。積雪が太陽放射を反射する効果によって、春季の気温を大きく低下させる効果があるが、雲の変化がその効果を抑制する方向に働くので、陸域においても水循環や雲の不確定性の低減が今後の気候変化研究で重要であることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、地球温暖化の影響による北極域を中心とした高緯度域の気候変化が顕在しており、ユーラシア北部の積雪変化による日本の気象への影響も危惧されている。ユーラシア北部の積雪域の形成や積雪-アルベドフィードバック効果に関するメカニズムを理解することで、気候変動のメカニズムの理解向上を助けることができる上に、将来の気候変動予測を行う気候モデルの再現性の更なる向上を目的とした素過程の改良に貢献することができる。

研究成果の概要(英文)：Using a climate model, we investigated the effect of large mountains such as the Tibetan Plateau on the climatic characteristics of snow in northern Eurasia, and the snow albedo effect on temperature fields. The presence of the Tibetan Plateau accelerates not only the spread of snow areas in eastern Siberia and northeast Asia during autumn, but also the retreat of snow areas in mid-latitudes north of the Tibetan Plateau such as Mongolia during spring. The snow albedo effect reduces greatly surface air temperature in Siberia in spring. However, since the clouds works to suppress the snow albedo effect, reduction of both hydrological cycle and cloud uncertainty over land should be important for future climate change research.

研究分野：気候学

キーワード：積雪 積雪アルベドフィードバック シベリア

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

1. 研究開始当初の背景

シベリアは冬季の気温が非常に低いことで有名である。シベリアで発達する寒気団が大陸から日本に向けて噴出し寒波として、冬季の日本の気象に大きく影響していることから、シベリアの極寒気候帯の存在は日本にとっても重要である。これまで、数値気候モデルによるシミュレーション実験から、チベット高原やロッキー山脈のような大規模な山岳の存在によってシベリアの気温が大きく低下することがわかっている。大規模な山岳により西から東に流れる大気の流れが蛇行された効果、また、チベット高原によって冷気が蓄積されるというダム効果によってことが指摘されている。しかし、それら効果の詳細については整理・検討されていない。

一方、秋季から春季のシベリアの積雪は、高いアルベド(反射率)により太陽放射を反射し気温を低下させる効果がある。さらに気温低下により積雪を増加させるという正のフィードバックが起こることは、冷帯気候帯の形成プロセスにとって重要な役割であることが推測される。また、シベリアの積雪分布はユーラシア西部、ヨーロッパに比べるとより南側に広く分布しており、南北広範囲に積雪 アルベドフィードバックが効果的に働くことから、積雪の分布形成は重要な要因と考えられる。そして、地下には永久凍土層が広範囲にわたって存在し、凍土を含めた陸面 大気熱・水交換のプロセスによる積雪分布形成・維持を理解することには重要である。

さらに、地球温暖化により高緯度域の気候変化が早期に起こり、さらに大きく変化することが予測されている。温暖化によって空間分布や量的な特徴が変化する可能性のある積雪の現在の特性の起源や、気候そのものの形成・維持に果たす役割を定量的に理解することで、気候システム変動の理解向上と将来予測の信頼性向上が期待できる。将来予測実験結果から温暖化による積雪減少とその効果を解析した結果、積雪減少によるアルベドフィードバックがシベリアの気温上昇に大きく寄与することがわかった。この結果は、積雪の存在がシベリアの寒気期の気温低下の重要な要素であることを示しているが、シベリアの気候形成メカニズムにおける積雪 アルベドフィードバックの効果はわかっていない。これは、シベリア冷帯気候帯の気温低下の要因を積雪アルベドフィードバックの効果を含めて系統的に理解することが必要であることを示唆している。

2. 研究の目的

本研究では、シベリア冷帯気候帯の形成について、従来の山岳の存在を主原因とする大気循環場の蛇行や冷気ダム効果の説明に加えて、大規模山岳の存在に依存する積雪の気候特性への効果やそれに伴う積雪 アルベドフィードバックの変化を明らかにするとともに、積雪 アルベドフィードバックの効果を調べる。

本研究は、地球温暖化に関係して北極域気候システムの変動の理解が近年、より重要となっていると中で、北半球陸域で極寒であるシベリアの基本的な気候条件の形成要因を調べるといふ点に特色がある。また、日本の気象にも大きな影響を与えるシベリア域の気候システムの理解を通じて、日本の気象変動の理解や変動予測の技術向上へ役立たせることができる。さらに、気候モデルの再現性の更なる向上に向けた素過程の改良に貢献するという側面もある。

3. 研究の方法

本研究では、気候モデル MIROC5.2 (Watanabe et al. 2010) を用いた数値モデル実験を実施し、そのデータの解析を行った。実験では2つの条件を設定し、それぞれの感度実験を実施した。1つ目の条件は、チベット高原やロッキー山脈を取り除くことである。外部から入力する山岳地形データを条件に合うように変更し、両山岳が存在する(通常山岳地形)場合(TR実験と呼ぶ)、どちらか一方の山岳を取り除かれ場合(T、またはR実験)、両方の山岳を取り除かれた場合(N0実験)の感度実験を実施した。各実験は100年間分の計算を行い、後半50年を解析に用いた。2つ目の条件は、積雪 アルベドフィードバックの効果を取り除くことである。通常、積雪は高いアルベドをもつが、今回の設定では積雪アルベドを小さく設定し、積雪 アルベドフィードバックが生じない場合(LASN)の感度実験を実施し、通常積雪アルベドの場合(CNTL)と比較することとした。各実験で50年間分の計算を行い、最後の10年間のデータを解析した。これらの感度実験のデータ解析から、北半球高緯度域を中心に、大規模山岳の積雪の気候学特性に果たす効果やシベリア冷帯気候帯の形成メカニズムに果たす積雪 アルベドフィードバックの効果を調べた。

4. 研究成果

(1) 大規模山岳の存在がユーラシアの積雪分布特性に果たす効果

ユーラシアの積雪分布特性に対して、チベット高原やロッキー山脈の存在が果たす効果を調べる感度実験を行った。図1にチベット高原の存在の有無による11月積雪分布の差を示す。図1では、チベット高原とロッキー山脈の両方がある通常実験(TR)の結果からチベット高原のない場合の実験(R)の結果を引いた値(TR-R)を示す。シベリア南部から北東アジアにおいて、正の積雪被覆率の差が分布している。それに対し、中央アジアからヨーロッパにかけては負の積雪被覆率の差が分布している。このような積雪被覆率の差の東西のコントラストは10月においても同様にみられる。つまり、この結果はチベット高原の存在によって、ユーラシア北東部の積雪分布は早期に現れるようになり、逆にヨーロッパから中央アジアでは積雪分布の広がり

が遅れることになったことが分かる。図2に地表気温について図1と同様に示す。地表気温についても同様に比較した場合、ユーラシア北部から北東アジアで気温がチベット高原の存在によって低下している。ただし、春季から冬季にかけての積雪量を比較した場合、チベット高原の存在によって、東シベリアや北東アジアの積雪量は減少している。この要因の一つは、チベット高原の存在によって地表気温が低下したため、水蒸気量が減少したことが考えられる。

図3に図1と同様に4月の積雪被覆率の差を示す。積雪被覆率の顕著な負の差が積雪域の南限であるチベット高原の北側のモンゴルなど中緯度域で見られる。つまり、チベット高原の存在によって、春季の積雪域の後退が早まっていることを示す。これは前述したとおり、秋季から冬季の積雪量が、チベット高原が存在することによって減少していることが要因の一つであると考えられる。そのため、図3と同様に示した図4の地表気温の差に見られるように、積雪域の後退が早期に起こるモンゴルなどの地域での地表気温はチベット高原の存在によって上昇しており、局所的ではあるが積雪 アルベドフィードバック効果の影響がみられる。また、チベット高原の存在による積雪量の減少や積雪域の早期後退はモンゴルや中国北部の乾燥地域の形成にも関連することが考えられ、興味深い。

(2)シベリア域の気温場形成における積雪 アルベドフィードバック効果の役割

シベリア域を中心としたユーラシア北部の気温場の形成に対する積雪 アルベドフィードバック効果を調べるため、大気モデルのみを用いて積雪アルベドを下げ、積雪 アルベドフィードバックを抑制した場合(LASN)の感度実験を行った。図5に北半球高緯度域の11月、1月、3月における、通常の積雪アルベドを用いたCNTL実験の地表気温とLASN実験の地表気温との差を示す。上段のCNTL実験の地表気温では北極海を中心に気温の低い領域が広がっており、ユーラシア北部ではシベリア域に-20 以下の気温分布がみられる。1月になるとシベリア北部には-40 近くの気温分布の広がりがみられ、-20 以下の気温がシベリア域全体から北東アジアまで広く分布する。下段の差の図ではユーラシア北部全体に負の差が分布している。その差は3月、特に顕著であり、シベリア東部や積雪域の南限である中緯度域に顕著な気温差がみられる。図6にシベリア域(100-140 ° E, 60-80 ° N)のCNTLとLASN実験の地表気温の季節変化と実験間の差を示す。シベリア域のCNTL実験の地表気温は1月におよそ-36 であり、3月から7月にかけて大きく上昇し、7月には12 にまで達する。その後、地表気温は低下し始め、10月には0 以下になる。LASN実験では、冬季から春季の気温上昇が早く始まっていることが分かる。気温上昇率が最大なのは3月から4月であり、CNTL実験では4月から5月であり、LASN実験の4月の気温はCNTL実験の5月の気温と同程度である。つまり、気温上昇がおよそ1か月早く、図6bから分かるように、両実験の気温差は4月に最大となる。その後、徐々に気温差は小さくなるが、9月以降の秋季に改めて気温差が顕著になる。一方で、冬季の

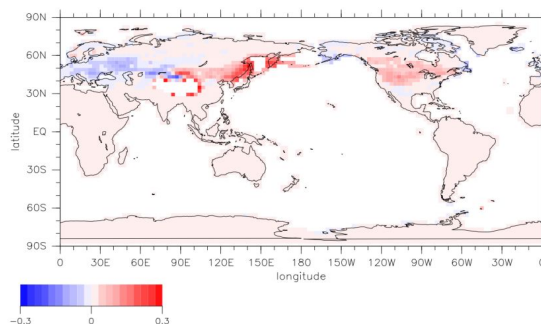


図1：TR実験とR実験の11月の積雪被覆率の差。

単位：無次元

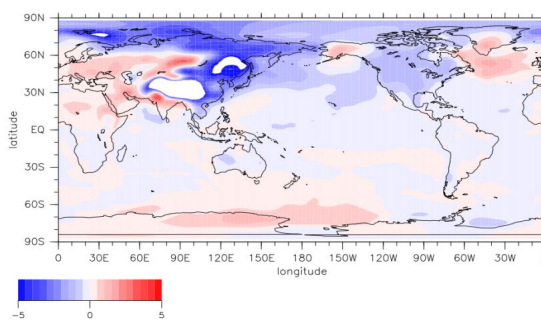


図2：TR実験とR実験の11月の地表気温の差。単位：

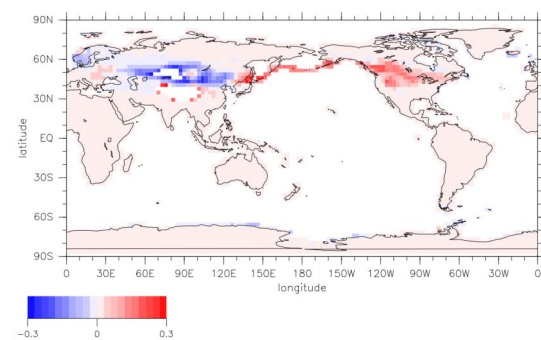


図3：TR実験とR実験の4月の積雪被覆率の差。単位：無次元。

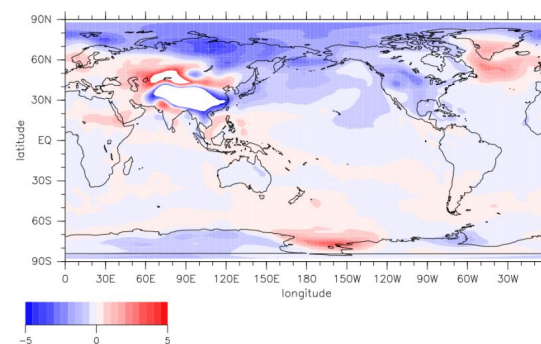


図4：TR実験とR実験の4月の地表気温の差。単位：。

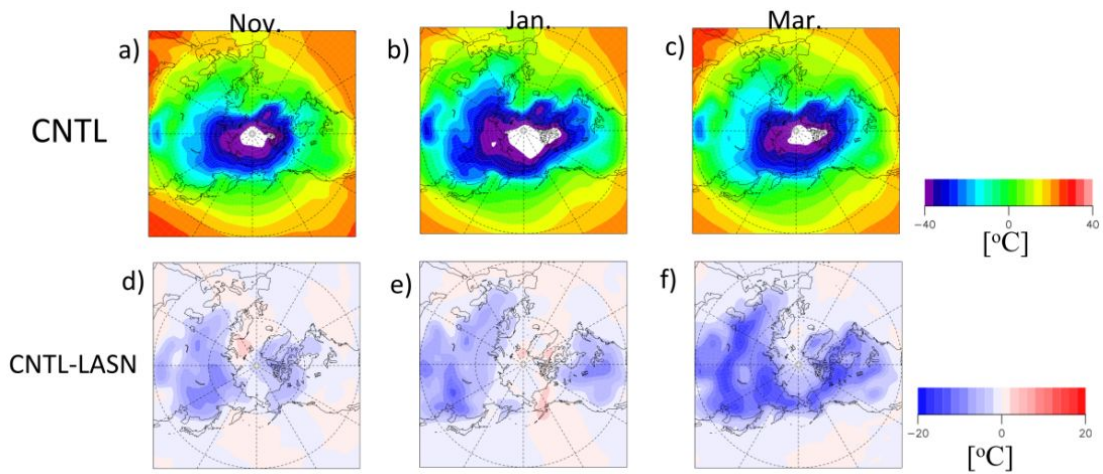


図 5 : a-c)CNTL 実験における、11 月、1 月、3 月の北半球高緯度域の地表気温分布。単位： $^{\circ}\text{C}$ 。d-f)11 月、1 月、3 月の北半球高緯度域の地表気温に関する CNTL 実験と LASN 実験の差。単位： $^{\circ}\text{C}$ 。

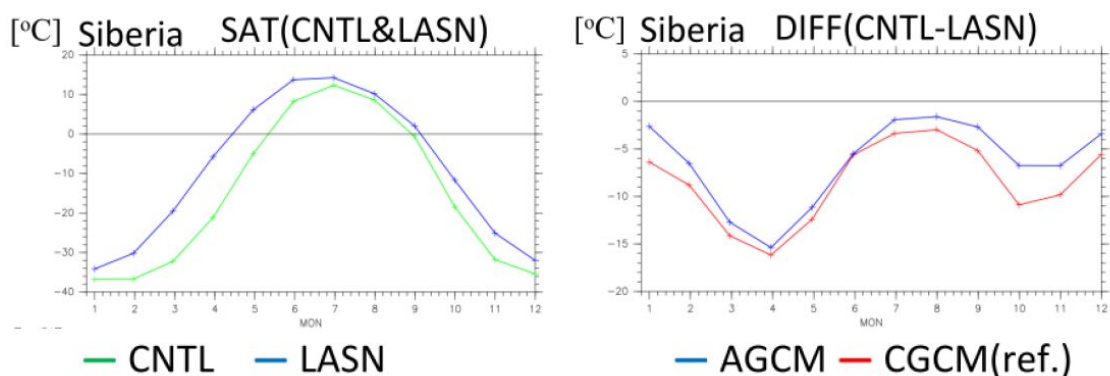


図 6 : 左)シベリア域 (100-140 $^{\circ}\text{E}$, 60-80 $^{\circ}\text{N}$) の CNTL と LASN 実験の地表気温の季節変化 (左図) と実験間の差 (右図)。単位： $^{\circ}\text{C}$ 。

気温差は春季や秋季の場合と比べると小さい。これは、冬季の太陽高度が低いために積雪アルベドの差の影響が小さいためである。図 7 にシベリア域の地表面のエネルギー収支に関する実験間の差の季節変化を示す。前述したとおり顕著な差は春季にみられることから、春季に着目する。CNTL 実験に比べると、LASN 実験における全天の地表面正味短波放射

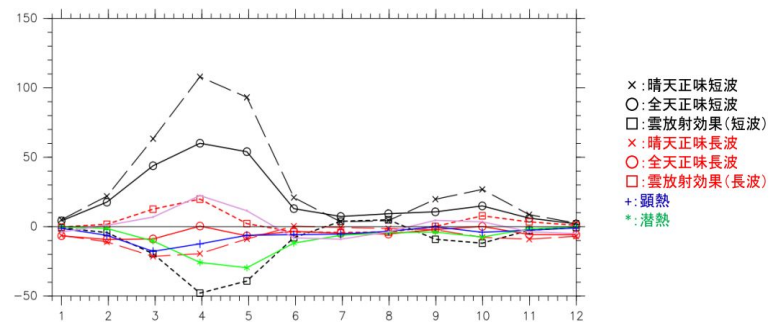


図 7 : シベリア域 (100-140 $^{\circ}\text{E}$, 60-80 $^{\circ}\text{N}$) の地表面のエネルギー収支の季節変化に関する CNTL 実験と LASN 実験の差。単位： Wm^{-2}

量は積雪アルベドが大きいため、4 月にはおよそ 70Wm^{-2} 大きい。ただし、晴天の場合は 120Wm^{-2} くらいであることから、雲によって短波放射量の増加が抑えられていることになる。これは 5 月においても同様のことが言え、4 月と 5 月で晴天の場合の短波放射の増加量のおよそ 30-40% が雲によって抑制されていた。一方、4 月・5 月の潜熱量も LASN 実験は CNTL 実験に比べると大きい。これは、短波入射量の増加により融雪量の増加が早まり、蒸発量も増加するためである。さらに、この蒸発量の増加は降水や雲量を増加させ、雲が短波放射量の増加を抑制することに関連する。

以上から、積雪アルベドの低下によって積雪 アルベドフィードバックを抑止した場合、短波放射量が増加し気温上昇を引き起こすが、水循環が関係する雲の増加によって、アルベドの違いによって生じる短波入射量の増加の 30-40% 近くは抑えるというメカニズムが働くことが分かった。このことは、積雪アルベドフィードバックのメカニズムの理解や効果の検証にとって、水循環の再現性の向上や雲の不確実性の低減が重要であることを意味する。

<引用文献>

Watanabe, M., T. Suzuki, R. Oishi, Y. Komuro, S. Watanabe, S. Emori, T. Takemura, M. Chikira, T. Ogura, M. Sekiguchi, K. Takata, D. Yamazaki, T. Yokohata, T. Nozawa, H. Hasumi, H. Tatebe, and M. Kimoto, Improved Climate Simulation by MIROC5: Mean States, Variability, and Climate Sensitivity. *J. Climate*, **23**, 2010, 6312-6335, <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3679.1>

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 1件)

Abe, M., Takata, K, Kawamiya, M., Watanabe, S., Vegetation masking effect on future warming and snow albedo feedback in a boreal forest region of northern Eurasia according to MIROC-ESM, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 査読有, 122, 2017, 9245-9261, doi:10.1002/2017JD026957

[学会発表](計 5件)

Abe, M., Role of surface snow albedo feedback in boreal climate of northern Eurasia, The Ninth Symposium on Polar Science, 2018

Abe, M., Masking effect of vegetation on snow albedo feedback in a future climate change projection, International Symposium on Cryosphere and Biosphere(ISCB2018), 2018

Abe, M., Effect of surface snow albedo on surface air temperature in northern high-latitude regions, Fifth International Symposium on Arctic Research(ISAR5), 2018

Abe, M., Effect of surface snow albedo on climate formation in northern Eurasia, The Eighth symposium on Polar Science, 2017

Abe, M., Takata, K., Watanabe, S., Kawamiya, M Vegetation masking effect on snow-albedo feedback trends in a boreal forest region of northern Eurasia in future projection with MIROC-ESM, AGU Fall Meeting, 2016

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。