

平成22年6月30日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2009

課題番号：19540470

研究課題名（和文） 吹雪の物理モデルによる流域内積雪及び大気への影響予測に関する研究

研究課題名（英文） Effect prediction of blowing snow on the air and snow in the basin using a physically based blowing snow model

研究代表者

杉浦 幸之助 (SUGIURA KONOSUKE)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域・主任研究員

研究者番号：80344307

研究成果の概要（和文）：本研究では、積雪の南限域に相当するモンゴル・ウランバートルの北東に位置するヘンテイ山脈 Tuul 川上流域に着目して、流域スケールで吹雪が積雪や大気と与える影響を解明するために多角的に研究を行ってきた。吹雪発生の地域特性、吹雪による積雪の削剥特性、近年の Tuul 川上流域における山岳積雪分布の実態と吹雪の動態及び積雪の有無による土壌の応答を明らかにし、吹雪による積雪の再配分過程の重要性を示した。

研究成果の概要（英文）： This study has been carried out to consider the effect of blowing snow on the air and snow focused on the upper Tuul river basin in the Hentei mountain regions located in the northeast of Ulaanbaatar, Mongolia, which is the southern limit of snow cover. The area character of the blowing-snow occurrence, the erosion character of the snow due to blowing snow, the current status of the mountainous snow distribution in the Tuul river basin, the movement of blowing snow in the Tuul river basin and the response of the soil due to the existence of the snow in the Tuul river basin were clarified and the importance of the redistribution process of the snow due to blowing snow was shown.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・気象・海洋物理・陸水学

キーワード：水循環，自然現象観測・予測，モデル化，気象学，吹雪

1. 研究開始当初の背景

強風が吹くと、一旦降り積もった雪粒子は、空中を舞い、大気及び積雪とエネルギー交換をしながら、風下に運ばれていく。

吹雪は、陸上のみならず海氷上を含む広大な寒冷圏積雪域に発生することから、そのエ

ネルギー交換の影響は広範囲に及ぶことになる。

個々の吹雪に関する研究はこれまで数多くなされてきており、吹雪による雪の質量輸送に関しては、輸送量が風速の関数として求められている（例えば Dyunin, 1954; Komarov,

1954; Budd et al., 1966; Kobayashi, 1972; Takeuchi, 1980; Sugiura et al., 1998). これにより、風速がわかれば輸送される雪の質量の予測が可能である。

また、吹雪の構造に関するモデル化も進んでおり、国内（例えば、Uematsu, 1993; Sato et al., 1997; 福嶋ら, 2001; 松沢・竹内, 2002; Nemoto et al., 2004）、及び国外（例えば、Pomeroy, et al., 1993; Dery et al., 1998; Liston and Sturm, 1998; Dery and Yau, 1999; Bintanja, 2000; Xiao et al., 2000）で、様々な物理法則を組み込んだ吹雪モデルが発表されている。

しかしながら、局所的に発生する吹雪を、広域なスケールで把握するといった観点からの吹雪研究は少ない。寒冷圏の大気最下層を表現する物理過程の1つとして吹雪を捉え、吹雪が積雪や大気に対して、広域スケールではいったいどのような影響を及ぼすのかといった研究までには至っていない。

このようなことからこれまで、積雪や大気とのエネルギー交換を明らかにする吹雪の1次元モデルを構築してきた（杉浦, 2006）。これは、吹雪層を多層に分割し、差分化して計算する吹雪モデルである。従来の吹雪モデルには含まれていなかった吹雪層の放射過程も考慮している。このモデルによって吹雪層内の放射4成分、気温、比湿、風速やアルベドなど、各種気象要素の鉛直構造が明らかになった（杉浦, 2006）。さらに、吹雪の物理モデルを積雪モデルと結合させて、雪の再配分に伴う削剥・堆積過程を詳細に調べる必要がある。また、流域スケールの野外観測を実施して、モデルを駆動させるために必要な各種気象要素のデータを作成し、最終的に吹雪の物理モデルをこの流域に適用していくことが必要である。これによって、吹雪による雪の再配分が計算でき、各種地表面気象要素の空間構造が吹雪によってどのように変化し、積雪や大気に対してどのような影響を与えるのかを流域スケールで研究することが可能となる。

2. 研究の目的

積雪の南限域に相当するモンゴル・ウランバートルの北東に位置するヘンテイ山脈 Tuul 川上流域を対象として、低温風洞実験、野外観測、吹雪の物理モデルを駆使して、流域スケールで吹雪が積雪や大気に与える影響を解明する。

3. 研究の方法

(1) 再解析データ

広域スケールで吹雪が大気や積雪に対してどのような影響を及ぼすのかを明らかにするため、再解析データ（ECMWF 及び ISLSCP）を入手した。

(2) 低温風洞実験

気象条件を自由にコントロールできる低温風洞実験を実施した。本研究の低温風洞実験では、特に積雪の削剥・堆積量と積雪物理量及び気象要素との関係を調べることに焦点を当てた。

利用した低温風洞装置は、防災科学技術研究所雪氷防災研究センター新庄支所の雪氷防災実験棟に設置されている。この装置は、断面積 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 、測定長 12m の大型風洞装置で、風上端からの雪供給量を調節し、任意の速さの風を発生させ、かつ気温・湿度の調節もできる。用いた雪粒子は、野外に実際降り積もった雪であり、風洞床に敷き詰めて実験した。

(3) 野外観測

モンゴル地域は、東アジアの季節積雪域の南限に位置している。モンゴル・ウランバートルに近い Tuul 川上流域に展開している観測サイトを利用して、集中的に積雪物理量、積雪分布、気象要素を観測し、実態を調べた。

(4) 吹雪の物理モデル

吹雪の物理モデルを構築して、積雪モデルに組み込み、Tuul 川上流域に適用した。

4. 研究成果

再解析データを用いて広域スケールで吹雪発生の地域特性を推定したところ、地域によって吹雪量は異なるが、北半球は南半球に比べて広域に吹雪が発生し、東アジアでの積雪の南限に相当するモンゴルでも吹雪が確かに発生している様子が再現された。

吹雪による積雪の削剥・堆積過程を調べるために低温風洞実験を実施したところ、雪面から射出される質量フラックスと雪面に落下する質量フラックスの差で定義される削剥率は、風速が 6m/s から 12m/s と増すにつれて増加した。一方、雪面硬度及び雪温が増すにつれて減少する傾向が見られた。

モンゴル・Tuul 川上流域における野外観測結果をもとに、2003年から2009年までのいずれも2月の積雪下限標高の経年変化を算出したところ、長期トレンドを算出するには至らないが、積雪下限標高は徐々に高くなって

いた。衛星データ（1967年から2004年）によると、積雪南限域に相当するモンゴルでは3月から4月の積雪の消失が早まっていることが示されており（IPCC第4次評価報告書）、この傾向と整合する。Tuul川上流域の積雪下限標高が年々高くなると、将来、無積雪域が上流域の最高峰（2799m）に達すると外挿されるが、長期トレンドを議論するには年々変動の振幅を評価する必要がある。

さらに、流域数値モデルを通年でモンゴル・Tuul川上流域に適用したところ、流出率は低く、蒸発散量は降水量に近い値となった。また吹雪の時系列変化から年間降雪量に対する吹雪時の昇華量は6%の寄与となると推定された。続いて、吹雪によって生じる積雪の再配分が地表面にどの程度影響を与えるのかを調べた。降雪量をゼロとするといずれの深度でも冷却が進み、現地観測よりモデルの方が40cm深で5℃以上も低下する結果となった。積雪がないと土壌から大気への顕熱輸送が増大し、地温変化に違いが現れ、結果として土壌がより低温になったと考えられる。

モンゴル北部の草原は風の強い日も多く、永久凍土の南限に位置している。夏（6月から8月）の降水は年降水量の60%以上を占め、冬の降水は少ないことが指摘されているものの、今後の凍土の消長を議論するには吹雪による積雪の再配分過程により生じる積雪分布を高精度で考慮する必要があると考えられた。

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）

(1) 佐藤威・小杉健二・根本征樹・杉浦幸之助・望月重人，吹雪粒子の跳躍距離の温度依存性に関する風洞実験（硬い雪面の場合）。東北の雪と生活，査読無，24，2009，pp. 22-25.

(2) Sugiura, K.，T. Ohata，D. Yang，T. Sato，and A. Sato，Application of a snow particle counter to solid precipitation measurements under Arctic conditions. Cold Regions Science and Technology，査読有，58，2009，pp. 77-83.

(3) 八田茂実・早川博・朴昊澤・山崎剛・山本一清・太田岳史，分布型水文モデルによるレナ川流域の長期流出解析。水文・水資源学

会誌。査読有，22，2009，pp. 177-187.

(4) 山崎剛・飯島慈裕・石川守，東シベリアタイガ林の土壌水分・温度と積雪の長期推定。東北の雪と生活，査読無，24，2009，pp. 44-47.

(5) Rutter N.，R. Essery，J. Pomeroy，N. Altimir，K. Andreadis，I. Baker，A. Barr，P. Bartlett，A. Boone，H. Deng，H. Douville，E. Dutra，K. Elder，C. Ellis，X. Feng，A. Gelfan，A. Goodbody，Y. Gusev，D. Gustafsson，R. Hellstrom，Y. Hirabayashi，T. Hirota，T. Jonas，V. Koren，A. Kuragina，D. Lettenmaier，W. Li，C. Luce，E. Martin，O. Nasonova，J. Pumpanen，R. D. Pyles，P. Samuelsson，M. Sandells，G. Schadler，A. Shmakin，T. G. Smirnova，M. Stahli，R. Stockli，U. Strasser，H. Su，K. Suzuki，K. Takata，K. Tanaka，E. Thompson，T. Vesala，P. Viterbo，A. Wiltshire，K. Xia，Y. Xue，T. Yamazaki，Evaluation of forest snow processes models (SnowMIP2). Journal of Geophysical Research，査読有，114，2009，doi:10.1029/2008JD011063.

(6) 佐藤威・杉浦幸之助・小杉健二・根本征樹・望月重人，吹雪跳躍粒子による積雪面の削剥過程について。寒地技術論文・報告集，査読有，24，2008，pp. 78-82.

(7) Sugiura, K.，and Ohata, T.，Large-scale characteristics of the distribution of blowing-snow sublimation. Annals of Glaciology，査読有，49，2008，pp. 11-16.

(8) Suzuki, K.，Y. Kodama，T. Yamazaki，K. Kosugi，and Y. Nakai，Snow accumulation on evergreen needle-leaved and deciduous broad-leaved trees. Boreal Environment Research，査読有，13，2008，pp. 403-416.

〔学会発表〕（計22件）

(1) Sugiura, K.，Snow observation network in Mongolia and Alaska. Workshop on Observational Network on Terrestrial Cryosphere，2010年3月23日，横浜。

(2) Yamazaki, T.，Snow models based on heat balance. 1st GRANDE Workshop，2010年1月27日，仙台。

(3) Sugiura, K.，Precipitation characteristics in a mountainous region of the Tuul river basin, Mongolia. 2009 AGU Fall Meeting，2009年12月18日，サンフランシスコ。

(4) 杉浦幸之助，モンゴルトレー川流域及びアルタイ山脈周辺の広域積雪調査。モンゴ

ルにおける水文気象研究会, 2009年11月28日, 福岡.

(5) 杉浦幸之助, 簡易降水量計を用いた東シベリア Suntar-Khayata 山脈周辺における降水量観測. 日本気象学会, 2009年11月25日, 福岡.

(6) 杉浦幸之助, モンゴル・シベリア・札幌における AMSR-E 積雪水量プロダクトの地上検証. 第32回極域気水圏シンポジウム, 2009年11月17日, 東京.

(7) 杉浦幸之助, 積雪 GTD と積雪プロセスモデル改良のための観測的取り組み. 日本雪氷学会気象水文分科会, 2009年10月2日, 札幌.

(8) 杉浦幸之助, モンゴル Tuul 川上流域における総積雪水量の経年変動-2002年から2009年の積雪調査-. 雪氷研究大会(札幌・2009), 2009年10月2日, 札幌.

(9) Yamazaki, T., Long-term simulation of water and energy budget and process studies on recent moistening and thawing of soil in eastern Siberia. MOCA-09, 2009年7月22日, モントリオール.

(10) Sugiura, K., Development of a one-dimensional vertical multilayer energy exchange model for blowing snow. 2008 AGU Fall Meeting, 2008年12月16日, サンフランシスコ.

(11) 杉浦幸之助, 北東ユーラシア山岳域における積雪物理量観測. 第31回極域気水圏シンポジウム, 2008年12月2日, 東京.

(12) 佐藤威, 吹雪跳躍粒子による積雪面の削剥過程について. 第24回寒地技術シンポジウム, 2008年11月26日, 札幌.

(13) 杉浦幸之助, 全球気象データセットを用いた吹雪量分布の広域把握. 日本気象学会2008年度秋季大会, 2008年11月19日, 仙台.

(14) 遠藤伸彦, モンゴル国・トーレ川上流部における降水特性. 日本気象学会2008年度秋季大会, 2008年11月19日, 仙台.

(15) Sugiura, K., Global-scale characteristics of the total transport rate distribution of blowing snow. First International Symposium on the Arctic Research (ISAR-1), 2008年11月5日, 東京.

(16) Yamazaki, T., Simulations and process studies on recent moistening and thawing of soil in eastern Siberia. First International Symposium on the Arctic Research (ISAR-1), 2008年11月5日, 東京.

(17) 杉浦幸之助, 1987-1988年の全球気象データセットを用いた吹雪による昇華分布の広域分布. 雪氷研究大会(2008・東京), 2008年9月26日, 東京.

(18) 杉浦幸之助, 2002-2008年モンゴル・トーレ川上流域積雪調査. 雪氷研究大会(2008・東京), 2008年9月24日, 東京.

(19) Yamazaki, T., Model study of recent situation at Spasskaya Pad. The 4th International Workshop on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia, 2008年7月15日, ヤクーツク.

(20) 山崎剛, 森林に適用できる積雪・着雪モデルの現状. 日本地球惑星科学連合2008年大会. 2008年5月30日, 千葉.

(21) 佐藤威, 吹雪による積雪面の削剥現象に関する風洞実験(その2). 2008年度日本雪氷学会東北支部大会, 2008年5月17日, 新庄.

(22) Sugiura, K. and Ohata, T., Large-scale characteristics of blowing snow sublimation distribution. International Symposium on Snow Science, International Glaciological Society, 2007年9月3日, モスクワ.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

杉浦 幸之助 (SUGIURA KONOSUKE)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域・主任研究員

研究者番号: 80344307

(2) 研究分担者

山崎 剛 (YAMAZAKI TAKESHI)

東北大学・理学研究科・准教授

研究者番号: 80220317

(3) 連携研究者