

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 26 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2013

課題番号：22253001

研究課題名(和文)吹雪の自動観測システムを用いた南極氷床全域にわたる積雪再配分量の評価

研究課題名(英文)Studies on the blowing snow contribution on the surface mass balance of Antarctica with a new blowing snow measurement system

研究代表者

西村 浩一 (NISHIMURA, KOUICHI)

名古屋大学・環境学研究科・教授

研究者番号：10180639

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,800,000円、(間接経費) 10,740,000円

研究成果の概要(和文)：風力発電と太陽光パネルを用いた吹雪計測システムの開発を試みた。低温風洞で出力特性等の検証後、国内は新潟県と北海道、国外ではフランスアルプスで性能試験を行った。2013年には南極の昭和基地近傍の氷床上で、約2カ月にわたる吹雪の自動観測に成功したほか、フランスと共同でアデリーランドの観測タワーで吹雪フラックスの鉛直分布を求めた。また英国と共同で砕氷船により南極海の棚氷を周回し、海塩エアロゾルの供給源としての吹雪の寄与の測定を行った。一方、メソスケール気象モデルWRFで南極氷床上における気象要素の時系列変化を求め、これに基づいて算出された吹雪量を2000年の南極みずほ基地での観測結果と比較した。

研究成果の概要(英文)：We started to develop a simple blowing snow observation device. A small wind turbine, solar panel and a cold-proof battery were utilized as a power source. Firstly, its performance was tested in a cold wind tunnel system and it proved adequately fit for practical use. The systems have been set at Yahiko-yama in Niigata, Ishikari and Shintoku in Hokkaido, Japan and at Col du Lac blanc in France. In 2013, eventually, it was installed at S16 near Syowa station in Antarctica, and succeeded to measure the blowing snow for two months. Further, the blowing snow observation system including the SPC (Snow Particle Counter) was set on the tower at the French base to reveal the flux profile, on the icebreaker to understand the production of polar sea salt mechanism in the Weddell Sea by British Antarctic Survey. Lastly, applying the WRF, blowing snow around the Mizuho station was estimated and compared with the observed data in 2000.

研究分野：数物系科学A

科研費の分科・細目：環境動態解析

キーワード：吹雪 南極 積雪再配分 表面質量収支 極地

1. 研究開始当初の背景

南極大陸では、放射冷却によって生じる冷気(斜面下降風)が年間を通して大陸斜面を吹き降り、数100kmにわたる規模で積雪の再配分がおこる。南極氷床の質量収支を議論するうえで重要なこの積雪再配分量の見積もりは、氷床全体の風速分布や地吹雪粒子の挙動などのデータがなく、長い間定性的推定に留まっていた。こうした背景のもと、南極大陸での吹雪量を通年にわたって実測することで、質量収支に対する積雪再配分効果を定量的に見積もることを目的に、簡易に計測可能な吹雪自動計測システムの開発を開始した(科学研究費補助金、基盤(B):地吹雪の広域自動観測による南極氷床の積雪再配分量の評価、2007-2009年度)。当初は、音響式の吹雪計測システムの構築を目指したが、種々の要素を勘案の結果、風力発電機とバッテリーを併用した光膜式の小型吹雪計測システムを試作するに至った。低温風洞装置を用いて吹雪量(フラックス)に対する出力特性の検討と性能評価を行った後、2009年冬季からは、北海道の石狩や稚内等に本システムを設置し、野外での性能評価試験と吹雪の計測を実施した。

一方、こうした機器開発の過程で、南極研究に携わるフランス、イタリア、英国、スイスのグループから相次いで西村(研究代表者)に連絡があり、開発中の吹雪自動計測システムを用いた共同研究を実施したい旨の要請があった。個々の研究目的と内容に若干の相違はあるものの、いずれも降雪、吹雪による再配分、積雪表面と吹雪粒子からの昇華蒸発(凝結)の和として表現される表面質量収支に関与しており、海外学術共同研究として統一し、有機的かつ系統的に研究を進める意義は極めて高いと考え、研究計画最終年度前年度の応募を行うに至った。そして、新たに平成21年度から4年間のプロジェクト(基盤研究(A):海外学術)としての採択が決定した。

2. 研究の目的

南極氷床上での吹雪輸送量は氷床の質量およびエネルギー収支の重要な要素となるほか、グローバルな気候変動の影響を議論するうえでも重要な鍵とされているが、値の正確な見積もりは依然困難な状況にある。

本研究では、申請者等のグループにより開発が進められている吹雪自動計測システムを、南極の昭和基地から内陸に至るルートに加え、フランス、イタリア、英国の各観測拠点に設置する。そして吹雪量を通年にわたって実測することで、昇華蒸発(凝結)効果の効果も含め、南極氷床全域の表面質量収支における積雪再配分の寄与を定量的に見積もることを目的とした。

3. 研究の方法

これまでの南極での吹雪観測結果、積雪の

再配分と吹雪からの昇華蒸発がもたらす南極表面質量収支への寄与等に関する研究、さらには吹雪観測法のレビューを進めるとともに、実際に南極で吹雪観測もしくは吹雪に関わる研究を実施している各国の研究者を招へいし、日本で国際ワークショップを開催する。また、簡易に計測が可能な新しい吹雪観測システムの性能試験と改良を進め、実用化を目指す。そして、各国の研究者の協力のもと、実際に極地での吹雪観測を実施する。また上記の作業と併行して、吹雪の運動解析に用いるランダムフライトモデルについても改良を加え、南極での吹雪の実態の再現を目指す。

4. 研究成果

(1) 国際ワークショップの開催

2011年10月に名古屋大学においてフランス、イタリア、英国、オランダ、ベルギー、ロシア、スイスの研究協力者と日本の共同研究者の参加のもと「南極での吹雪研究に関する国際ワークショップ」(Workshop on Blowing Snow Research in Antarctica)を2日間にわたり開催し、各国での南極を含む積雪寒冷域での吹雪の研究内容の報告と、本研究の遂行にあたっての目的と方法に関する議論、さらには相互の協力体制の確認を行った。



図1 Workshop on Blowing Snow Research in Antarctica (名古屋大学、2011年10月)

(2) 吹雪計測システムの構築

AWSの開発にあたり、当初は、音響式の吹雪計測システムの構築を目指したが、種々の要素を勘案の結果、光膜式の小型吹雪計測システムを試作し、低温風洞装置を用いて吹雪量(フラックス)に対する出力特性の検討と性能評価を実施した。

本システムセンサー部の外観と概念図およびシステムのブロック図を、それぞれ図2と3に示す。測定領域(102×3×7mm)を通過する

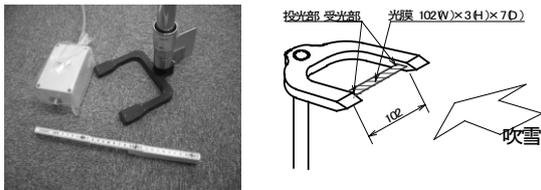


図 2 吹雪計測システム (ABS) のセンサー部 (左) とその概要 (右)

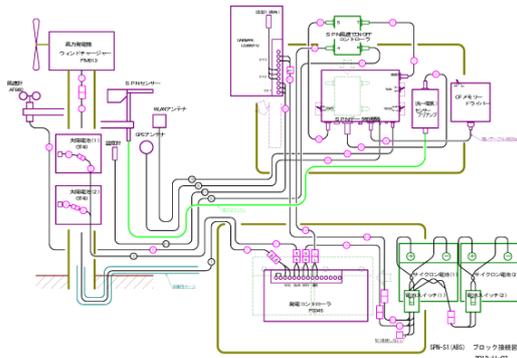


図 3 吹雪計測システム : ABS のブロックダイヤグラム

吹雪粒子に伴う受光量の変化を、吹雪フラックスに変換するもので、粒子の通過により発生するパルス信号は1秒間にわたり積分され、CFメモリに書き込まれる。また、モニタリングは無線LANを、時間の較正にはGPS信号が使用される。機器の構成のうち、地上部は光ファイバーを用い、電気制御、データ処理、記録部はいずれも積雪に埋め込む構成とした。電源は風力発電機と太陽電池パネル、さらに低温仕様の電池システムを用いた。

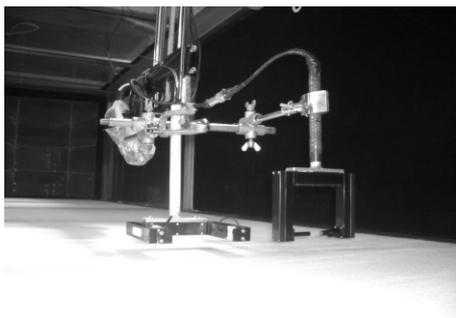


図 4 低温風洞施設での較正試験
左 : ABS、右 : SPC

(3) 低温風洞実験による性能試験

防災科学技術研究所雪氷防災研究センター新庄支所の低温風洞において、開発中の ABS センサーと基準用 Snow Particle Counter: SPC を積雪面から高さ 7.5cm の位置に並べて設置し、吹雪量を変化させて出力の比較を行った (図 4)。当初は、風速が大きくなると試作機の出力が著しく低下する問題点が浮上した。これは光

感知部の応答速度が遅いため風速が大きくなると光膜を通過する粒子が十分に検知されないのが原因で、光膜を粒子移動方向と平行に設定した結果、両者の相関は大幅に改善された。また、新たに検定器を開発したほか、実験による出力データをもとに吹雪の質量フラックスを算出する関係式も定められた。このように風洞実験による性能試験と機器の改良、さらに SPC を用いたキャリブレーションにより吹雪量を一定の精度で計測することが可能となり、野外での性能評価を実施する段階に至った。

(4) 屋外での性能試験

室内実験の結果を踏まえ、初年度は、北海道の石狩において、北海道大学の協力も得て、冬期の3ヶ月間にわたり風力発電と太陽光発電を併用して測定を実施した。国内では冬期に強風のもと吹雪が発生することが知られる、北海道の新得、さらには新潟県の弥彦山の頂上においても、研究実施期間中、随時性能試験を実施した。吹雪の有無を判定する閾値の設定が、観測期間中に不安定となる、風力発電機からの電力が効率的にシステムに供給されない等の問題を随時電子部品の交換等を行いながら調整を実施した。



図 5. 北海道石狩での野外性能試験 (2)



図 6 新得 (北海道) : 左 と 弥彦山 (新潟) : 右
に設置された吹雪計測システム (ABS)

また国外においてもフランスの CEMAGREF (現 IRSTEA) に所属する Naaïm 博士他の協力のもと、アルプスの Lac Blanc 峠にある吹雪観測施設に本機器を2台設置し、既存のスノーパティクルカウンター (SPC) との比較観測が4年間にわたって行われた (図 7)。



図7 フランスアルプスの Lac Blanc 峠に設置された吹雪観測システム (ABS と SPC) による比較観測

(5) 南極およびグリーンランドでの吹雪観測

当初は昭和基地から内陸に至るルート上へ複数の吹雪自動計測システムを設置し、観測を実施する予定であったが、海氷の状態が悪く南極観測船「しらせ」が昭和基地に接岸できない状態が2年間に続いたため、すべての内陸調査が中止となった。そこで、第54次南極地域観測隊に依頼して、昭和基地近傍であるが、2013年2月に南極氷床上のS16地点に図8に示すように機器を設置した。約3カ月にわたる吹雪観測に成功した。残念ながら4月初めの強風により、風力発電システムが破損したため、吹雪の記録は2カ月強にとどまったが、風速と対応した良好なデータの自動取得に成功した(図9)。



図8 南極氷床上 (S16 近傍) に設置された吹雪観測システム

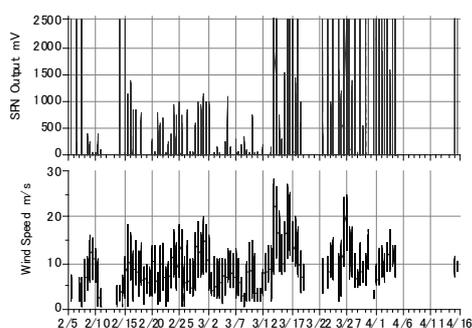


図9 南極氷床上 (S16 近傍) で自動観測された吹雪と風速 (2013年2月~4月)

この他にも、共に研究協力者であるフランスの Naaim 博士 (IRSTEA) と Genthon 博士 (氷河地球物理学研究所 LGGE) は、Dumont d'Urville 基地があるアデリーランドの観測タワーに3年間にわたり吹雪計測システムを SPC と併用して設置し、吹雪フラックスの鉛直分布を観測した。

またイタリアの Grigioni 博士 (研究協力者) は、これまで Mid Point, Talos Dome と内陸部の Larsen 氷河上において吹雪量の連続観測を試みてきたが、データの取得には至らなかった。そこで2011年に Larsen 氷河近傍に本観測システムを設置して(図10)、吹雪の観測に成功した。



図10 南極 Larsen 氷河の観測施設 (イタリア) に設置された吹雪観測システム

一方、英国南極観測局 (BAS) のグループは、吹雪の発生に伴う海水上の積雪からの多量な海塩や臭素などの各種の物質の射出メカニズム解明と定量化をめざしたプロジェクトを開始した。2013年は、本吹雪観測システムを含めた各種の測定機器を砕氷船もしくは海氷上に設置し、南極海の棚氷を周回しながら、極域の海塩エアロゾルの供給源としての吹雪の寄与の測定を行った(図11、12)。



図11 砕氷船 (Polarstern 号) に設置された吹雪計測システム (左端)

このほか、2011年に開催したワークショップの議論に基づいて、グリーンランド氷床からの昇華量を見積もる研究の遂行のため、オランダとベルギーの協力者の参加を得て、

2012年の秋に吹雪観測機器を他の気象観測機器とともに西海岸に設置した。観測期間中、システムは順調に作動し、データは地域気象モデル(PIEKTUK-B)による計算結果と詳細な比較が行われた(図13)。

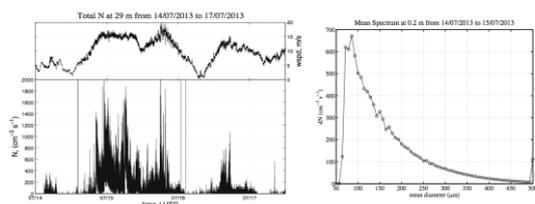


図12 砕氷船上で測定された吹雪の粒子密度と粒径分布

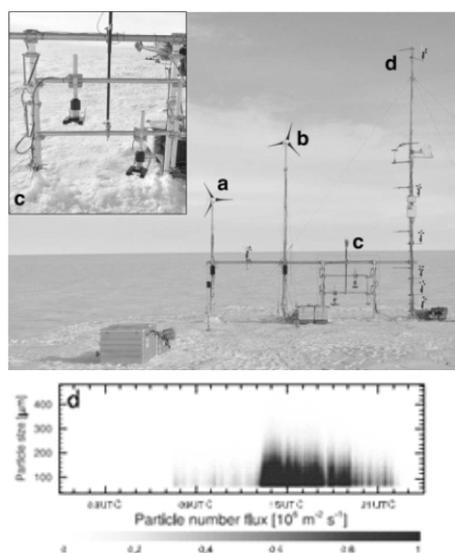


図13 グリーンランドの西岸部に設置された吹雪計測システムと気象観測装置(上)と吹雪の測定例

(6)南極氷床の上の吹雪量の計算

一方、氷床上での積雪再配分量を評価する目的で、メソスケール気象モデルWRFで南極氷床上における気温、風向・風速、降水量等の気象要素の時系列変化を計算し、このデータに基づいて吹雪の収束と発散量を求めた。そして研究代表者が2000年に南極みずほ基地で約2ヵ月間にわたり実施した吹雪の観測結果との比較を行った(図14)。

(7)ワークショップ(Powders and Grains in Nature)の開催

最終年度の2013年3月には、風洞から建物周辺、北海道そして南極に至る吹雪のほか、飛砂、火山性粉体などの空気中の粒子輸送、さらには雪崩、土石流に至る各種の粒状体のダイナミクスを扱う雪氷、火山、機械、土木、数理科学分野の研究者約20名を招へいし、ワークショップ(Powders and Grains in Nature)を名古屋大学で開催した。本プロジ

ェクトの研究成果を総括するとともに、今後の研究展開についても議論を行った。

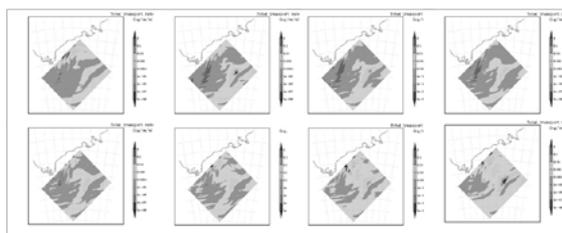


図14 メソスケール気象モデルWRFの出力をもとに計算された南極氷床(みずほ基地を中心とした540x450 kmの範囲)の吹雪量分布の一例(2000年10月1日01~08時)

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13件)

- ① Lenaerts, J. T. M., Smeets, C. J. P. P., Nishimura, K., Eijkelboom, M., Boot, W., van den Broeke, M. R., and van de Berg, W. J., Drifting snow measurements on the Greenland Ice Sheet and their application for model evaluation, *The Cryosphere*, 8, 801-814, 2014. 査読有
- ② Nemoto, M., Sato, T., Kosugi, K. and Mochizuki, S., Effects of Snowfall on Drifting Snow and Wind Structure Near a Surface, *Boundary-Layer Meteorol*, DOI 10.1007/210546-014-9924-4, 2014. 査読有
- ③ Nishimura, K. and Ishimaru, T., Development of an Automatic Blowing Snow Station, *Cold Regions Science Technology*, 82, 30-35, 2012. 査読有
- ④ Keylock, C. J., Nishimura, K., Nemoto, M., and Ito, Y., The flow structure in the wake of a fractal fence and the absence of an "inertial regime", *Environmental Fluid Mechanics*, 12, 227-250, DOI 10.1007/s10652-011-9233-0, 2012. 査読有
- ⑤ Keylock, C. J., Nishimura, K. and Peinke, J., A classification scheme for turbulence structure based on the velocity-intermittency structure with an application to near-wall flow and with implication for bed load transport, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 117, F01037, doi:10.1029/2011JF002127, 2012. 査読有
- ⑥ Podolskiy, E. Y., Nygaard, B. E. K., Nishimura, K., Makkonon, L., and Lozowski, E. P., Study of unusual atmospheric icing at Mount Zao, Japan, using the Weather Research and Forecasting model, *Journal of Geophysical Research*, 117, D12106, doi:10.1029/2011JD017042, 2012. 査読有

- ⑦ Naaim-Bouvet, F., Naaim, M., Bellot, H. and Nishimura, K., Wind and drifting-snow gust factor in an Alpine context, *Annals of Glaciology*, 52(58), 223-230, 2011. 査読有

[学会発表] (計 23 件)

- ① Frey, M., Anderson, P., Brooks, I., Nishimura, K., Jones, A., and Wolff, E., On the significance of blowing snow above sea ice as a source of polar sea salt aerosol. International Symposium on Sea Ice in a Changing Environment (Hobart, Tasmania, Australia), March, 2014.
- ② 石丸民之永、西村浩一、SPC と SPN の開発、Powders and grains in nature-粒々のダイナミクス- (名古屋)、2014 年 3 月.
- ③ Nishimura, K., Yokoyama, C., Ito, Y., Nemoto, M., Naaim-Bouvet, F., Bellot, H., and Fujita, K., Snow particle speeds in blowing snow, International Snow Science Workshop, Grenoble, France, October 7-11, 2013.
- ④ Ito, Y., Nishimura, K., Naaim-Bouvet, F., Bellot, H., Ravanat, X., and Thibert, E., Wind and snow particle distribution in powder snow cloud, International Snow Science Workshop, Grenoble, France, October 7-11, 2013..
- ⑤ Naaim, M., Naaim-Bouvet, F., Nishimura, K., Abe, O., Ito, Y., Nemoto, M., and Kosugi, K., Wind tunnel blowing snow study: steady and unsteady properties of wind velocity, mass fluxes and mass exchanges, International Snow Science Workshop, Grenoble, France, October 7-11, 2013.
- ⑥ Naaim-Bouvet, F., Bellot, H., Naaim, M., and Nishimura, K., Size distribution, Schmidt number and terminal velocity of blowing snow particles in the French Alps : comparison with previous studies, International Snow Science Workshop, Grenoble, France, October 7-11, 2013.
- ⑦ Nishimura K., Ito Y., Yokoyama C., Snow particle speeds in the Blowing snow, European Geosciences Union General Assembly 2012, Vienna, Austria, April, 2012.
- ⑧ 伊藤陽一、石丸民之永、西村浩一、南極氷床での広域観測を目的とした吹雪自動計測システムの開発、第 35 回極域貴水圏シンポジウム、国立極地研究所、立川、2012 年 11 月.
- ⑨ 横山知佳、伊藤陽一、西村浩一、スノーパーティクルカウンタを用いた吹雪粒子速度の解析、日本地球惑星科学連合大会、幕張、2012 年 5 月
- ⑩ 根本征樹、西村浩一、佐藤威、吹雪現象への LES の適用、日本地球惑星科学連合大会、幕張、2011 年 5 月.

- ⑪ 西村浩一、石丸民之永、吹雪の自動観測システムを用いた南極氷床全域にわたる積雪再配分量の評価、日本地球惑星科学連合大会、幕張、2011 年 5 月.

- ⑫ Nishimura K., and Ishimaru T., Development of an automatic blowing-snow station, International Symposium on Snow, Ice and Humanity in a Changing Climate, Sapporo, June 2, 2010.

- ⑬ 西村浩一、石丸民之永、本山秀明、南極氷床での広域観測を目的とした吹雪自動計測システムの開発、日本地球惑星科学連合大会、幕張、2010 年 5 月.

[図書] (計 1 件)

- ① 西村浩一、他、地吹雪と雪崩、朝倉書店、地球環境の事典、256-257、2012.

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ

<http://snowscience.sakura.ne.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西村 浩一 (NISHIMURA KOUICHI)
名古屋大学・環境学研究科・教授
研究者番号：10180639

(2) 研究分担者

高橋 修平 (TAKAHASHU SYUHEI)
北見工業大学・工学部・教授
研究者番号：50125390
本山 秀明 (MOTOYAMAHIDEAKI)
国立極地研究所・気水圏研究グループ・教授
研究者番号：6261191320
小杉 健二 (KOSUGI KENJI)
独立行政法人防災科学技術研究所・雪氷防災研究センター・主任研究員
研究者番号：42425509 (H22 より)
根本 征樹 (NEMOTO MASAKI)
独立行政法人防災科学技術研究所・雪氷防災研究センター・主任研究員
研究者番号：30425516

(3) 連携研究者 無し