

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19310006

研究課題名(和文)

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

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

研究成果の概要(和文)：

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として、簡易に計測可能な吹雪自動計測システムの開発を実施した。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、ヨーロッパアルプスの Lac Blanc 峠、さらには南極昭和基地近傍の S17 地点にそれぞれ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ている。

研究成果の概要(英文)：

On the Antarctic ice sheet, strong katabatic winds blow throughout the year and a large but unknown fraction of the snow which falls on it is removed continuously. This constitutes a significant factor in mass and energy balance and is all the more important when predicting the likely effects of global climate change. Thus, we started to develop a simple blowing snow observation device by measuring the attenuation of the light intensity, which strongly depends on the blowing snow flux. A small wind turbine 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 by combining the output of the anemometer. In 2009/2010 winter, three systems have been set at Ishikari, Japan, Col du Lac blanc in France, and S17 near Syowa station in Antarctica.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2008年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
2009年度	5,400,000	1,620,000	7,020,000
総計	10,900,000	3,270,000	14,170,000

研究分野：雪氷学

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：吹雪、南極氷床、積雪再配分

## 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。研究代表者の西村は、1992～94年にかけて英国南極観測局(BAS)がハレー基地で展開した吹雪観測プロジェクト(STABLE2)のデータ解析に参画し、粒子を含む乱流境界層の構造解明とモデル開発に携わった。さらに第41次南極地域観測隊に参加し、南極みずほ基地の30mタワーを利用した吹雪観測を行った。これと併行して開発した吹雪のランダムフライトモデル(風速の乱流項と粒子運動の慣性効果を考慮することで粒子跳躍層から浮遊層への遷移過程までが記述可能)は、みずほ基地での吹雪観測結果と定量的にも良く一致し、国際的にも高い評価を得た。一方、高橋(研究分担者)は、南極の表面地形データ(傾斜)から南極全域にわたる斜面下降風の流線を求め、平均的な地吹雪再配分量の算出を試みた。しかし、通年にわたる広域の吹雪量の観測データが皆無である点が大きな制約となり、結果の定量的評価と更なる研究の展開は困難な状況にあった。

## 2. 研究の目的

本研究は、「簡易に計測可能な吹雪自動計測システム(Automatic Blowing snow Sensor: ABS)を開発し、これを南極大陸に設置して吹雪量を通年にわたって実測し、南極表面質量収支における積雪再配分効果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行った後、簡易に計測が可能な新しい観測システムの開発に着手した。

またこれと併行して、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、改良が加えられた。

## 4. 研究成果

### (1) 吹雪計測システムの構築

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1、2に示す。測定領域(102×3×7mm)を通過する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低温仕様電池システムを用いた。



図1 吹雪計測システム(ABS)のセンサー一部(左)とその概要(右)

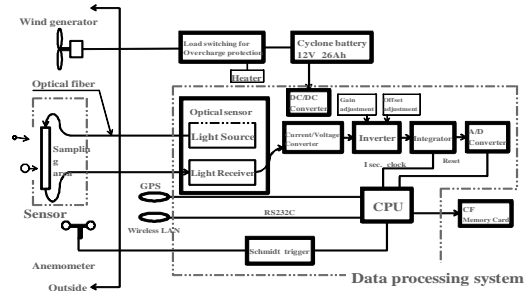


図2 吹雪計測システム:ABSのブロックダイアグラム

### (2) 低温風洞実験による性能試験

本システムABSを、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、積雪面から高さ7.5cmの位置に開発中のABSセンサーと基準用Snow Particle Counter:SPCを並べて設置し、吹雪量を変化させて出力の比較を行った(図3)。

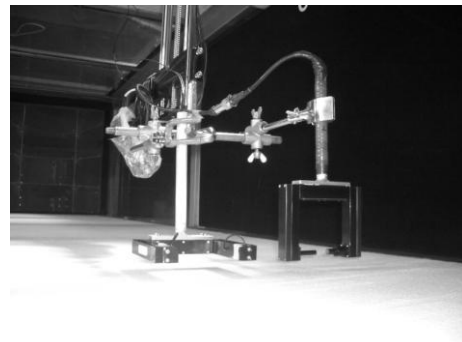


図3 低温風洞施設での較正試験

左: ABS、右: SPC

初年度は、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。これと同時に、データのモニタリングには無線LANを、また時間較正は

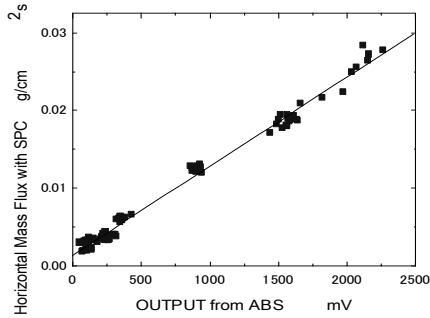


図4 ABSとSPCの出力の比較

GPS信号を使うなど、データ処理部にも改良が加えられた。また、新たに検定器を開発し

たほか、図4に示す実験データから、ABSの出力:  $V(mV)$ から、吹雪の質量フラックス:  $F(g/cm^2s)$ を算出する関係式は以下のよう

$$F = 1.146 \times 10^{-5} V + 1.38 \times 10^{-3}$$

に定められた。このように新型吹雪計の開発にあたっては、当初の方針を変更せざるを得ないなど若干の紆余曲折はあった。しかし光膜式を採用し、いくつかの改良を加えることで、吹雪量を正確に計測することが可能となり、南極を含めた野外での性能評価を実施する段階に至った。

(3) 屋外での性能試験

2009年から2010年の冬季からは、上記の室内実験での結果を踏まえ、実際に北海道の石狩吹雪実験場((独)土木研究所寒地土木研究所)、ヨーロッパアルプスの吹雪試験場であるLac Blanc峠(フランス、CEMAGREF)、さらには南極昭和基地近傍のS17地点にそれぞれ本システムを設置し、野外での性能評価試験を開始した。

(4) 吹雪モデルの改良

上記の作業と併行して、低温風洞において吹雪の発達プロセスに注目した計測を実施し、南極での積雪再配分量の計算に用いる「吹雪のランダムフライトモデル」に組み込まれたサブシステムの改良を行った。その結果、既存の理論では、雪面から取り込まれる粒子数を過大評価してしまう可能性が示唆された。またスプラッシュ過程についても、これまでの実験結果は風速が増加すると射出粒子数を過大評価する可能性が指摘され、その粒径依存性の解明が、吹雪量輸送の定量的評価に向けた課題であることも明らかになった。

(5) 国際共同研究への発展

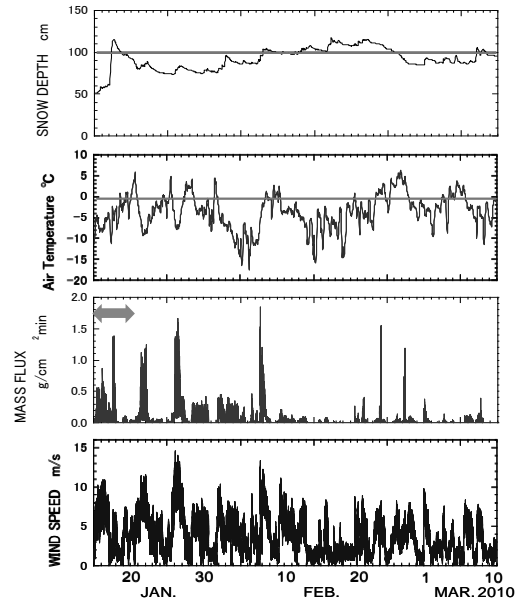
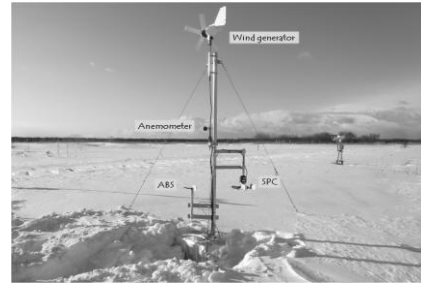


図5 石狩吹雪実験場で実施されたABSの性能試験。上: 機器の設置状況、右: ABSで測定された吹雪フラックスと期間中の気象変化(石狩アメダス)

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。

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18件)

- ① Wever, N., M., Lehning, A. Clifton, J.-D.

- Ruedi, K., Nishimura, M., Nemoto, S., Yamaguchi, and A. Sato., Verification of moisture budgets during drifting snow conditions in a cold wind tunnel. *Water Resource Research*, 45, W07423, doi:10.1029/2008WR007522, 2009. 査読有
- ② 西村浩一、吹雪の計測. *ながれ*, 28、455-460、2009. 査読無 (招待)
- ③ 西村浩一、南極における最近の吹雪研究から. *雪氷*, 71 (2)、105-114、2009. 査読有
- ④ 根本征樹、吹雪による積雪再配分の数値シミュレーションに関する最近の吹雪研究. *雪氷*, 71 (2)、83-90、2009. 査読有
- ⑤ 西村浩一、亀田貴雄、みずほ基地とドームふじ基地における吹雪観測. *南極資料*, Vol. 52、204-215、2008. 査読有
- ⑥ 鈴木貴、根本征樹、小杉健二、望月重人、佐藤威、西村浩一、発達過程にある吹雪の質量フラックスと粒径分布の特徴. *寒地技術論文・報告集*, 24、72-77、2008. 査読有
- ⑦ 亀田貴雄、本山秀明、藤田秀二、高橋修平: 南極ドームふじにおける 1995 年から 2006 年の表面質量収支の特徴. *南極資料*, 52, 151-158、2008. 査読有
- ⑧ Sato, T., Kosugi, K., Mochizuki S., and Nemoto, M., Wind speed dependences of fracture and accumulation of snowflakes on snow surface, *Cold Regions Science and Technology*, 51, 229-239.2008. 査読有
- ⑨ 根本征樹、西村浩一、積雪面と LES. *気象研究ノート (ラージ・エディ・シミュレーションの気象への応用と検証)*、第 219 号、55-66、2008.
- ⑩ Kameda, T., Motoyama, H., Fujita, S. and Takahashi, S., Temporal and spatial variability of surface mass balance at Dome Fuji, East Antarctica, by the stake method from 1995 to 2006, *J. of Glaciology*, 54, 107-116, 2008. 査読有
- ⑪ 根本征樹: 吹雪現象の数値シミュレーション, *日本流体力学会誌 (ながれ)*、26、313-318、2007. 査読有
- ⑫ 根本征樹: 吹雪の数値シミュレーションに関する最近の話題、*日本雪工学会誌*, 23、43-46、日本雪工学会、2007. 査読有

[学会発表] (計 17 件)

- ① Nishimura, K. and Ishimaru T., Kobayashi, S., Haga, H., Motoyama, H., Nemoto, M., Kosugi, K. and Sato, T.. Development of Automatic Blowing Snow Measurement System, American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco, Dec. 13-17., 2010.

- ② Nishimura, K., Ishimaru T., Development of an automatic blowing-snow station. International Symposium on Snow, Ice and Humanity in a Changing Climate, Sapporo, June 21-25, 2010.
- ③ Suzuki T. and Nishimura K., Studies on the development process of drifting snow. International Symposium on Snow, Ice and Humanity in a Changing Climate, Sapporo, June 21-25, 2010.
- ④ 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, May 23-28, 2010.
- ⑤ 西村浩一、吹雪の世界. 機械学会流体工学部門講演会、2009 年 11 月、名古屋 (招待講演)
- ⑥ 石丸民之永、西村浩一、根本征樹他、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. 日本雪氷学会全国大会、2009 年 9 月、札幌.
- ⑦ 鈴木貴、西村浩一他、風洞実験と数値モデルによる吹雪の素過程の解明. 雪氷研究大会、2009 年 9 月、札幌.
- ⑧ 鈴木貴、西村浩一他、発達過程にある吹雪の質量フラックスと粒径分布の特徴. 第 24 回 寒地技術シンポジウム、2008 年 11 月、札幌.
- ⑨ 西村浩一、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. 南極研究観測シンポジウム、2007 年 6 月、東京.

[図書] (計 1 件)

- ① 西村浩一、他、朝倉書店、積雪観測ハンドブック、2010、136.

[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 (TAKAHASHI SYUHEI)  
北見工業大学・工学部・教授

研究者番号：50125390

(H20→H21：連携研究者)

本山 秀明 (MOTOYAMA HIDEAKI)

国立極地研究所・気水圏研究グループ・教授

研究者番号：6261191320

(H20→H21：連携研究者)

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

(H20→H21：連携研究者)

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

(H20→H21：連携研究者)

(3) 連携研究者 上記のとおり