

昭和基地における降雪・飛雪の電気伝導度

長田和雄^{1*}・原圭一郎^{2,5}・矢吹正教^{3,5}・安達正樹⁴

Electroconductivity of fallen and drifting snow at Syowa Station, Antarctica

Kazuo Osada^{1*}, Keiichiro Hara^{2,5}, Masanori Yabuki^{3,5} and Masaki Adachi⁴

(2010年2月12日受付; 2010年3月4日受理)

Abstract: Samples of fallen snow, drifting snow and deposited snow were obtained at Syowa Station from April 2003 to October 2006. Electroconductivity of the meltwater was measured. The electroconductivities of the samples for the fallen snow under weak wind condition were mostly below several tens of $\mu\text{S}/\text{cm}$, whereas much higher values were obtained for the drifting snow samples under strong wind condition with seasonal variation: maximum (several hundred to thousands) in April to July, then decreasing to a few hundred after September. Higher electroconductivities of the drifting snow samples correlated well with breakup of sea ice windward of Syowa Station. Lower values were obtained after snow accumulated on sea ice at Kita-no-ura, windward bay area north-east and offshore of Syowa Station. These suggest that brine from sea ice changes the electroconductivity of drifting snow.

要旨: 昭和基地で2003–2006年にかけてドリフトや降雪、飛雪のサンプリングをおこない、雪試料の融解水の電気伝導度を測定した。その結果、弱風時にしんと降る降雪の電気伝導度は、季節に関係なく数十 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の低い値を示したのに対し、強風時の飛雪の電気伝導度は4–7月に数百~数千 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 前後と高く、9月以後には数百 $\mu\text{S}/\text{cm}$ と低くなる季節変化を示した。昭和基地の風上にあたる北の浦での海氷上積雪量の季節変化と比較検討したところ、風上の海水が流出すると飛雪の電気伝導度が高くなり、逆に、風上

¹ 名古屋大学大学院環境学研究科, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8601.

² (現所属 present affiliation): 福岡大学理学部地球圏科学科, Department of Earth System Science, Faculty of Science, Fukuoka University, 8-19-1 Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka 814-0180.

³ (現所属 present affiliation): 京都大学生存圏研究所, Research Institute for Sustainable Humanosphere (RISH), Kyoto University, Gokasho, Uji, Kyoto 611-0011.

⁴ 気象研究所, Meteorological Research Institute, 1-1 Nagamine, Tsukuba, Ibaraki 305-0052.

⁵ 情報・システム研究機構国立極地研究所, National Institute of Polar Research, Research Organization of Information and Systems, Midori-cho 10-3, Tachikawa, Tokyo 190-8518.

* Corresponding author. E-mail: kosada@nagoya-u.jp

の海氷上に雪が積もると飛雪の電気伝導度が下がることがわかった。これは、飛雪の電気伝導度が海氷からのブラインの影響を強く受けるためだと考えられる。

1. はじめに

東南極・昭和基地では、強風を伴う吹雪または地吹雪による視程悪化現象（ブリザード）が、年間で 20–30 回程度観測される（佐藤，2004; Sato and Hirasawa, 2007）。視程を悪化させているのは大気中の雪粒子であり、その雪粒子は降雪や、一旦地表に落ちてから風により再飛散した雪からなる。昭和基地では、弱風時に降雪がしんと降ることもあれば、強風時に風上側から雪粒子が飛んでくる場合もある。ここでは、強風時に得られる雪を飛雪と呼ぶことにする。飛雪は、雪面から再飛散した雪あるいは降雪との混合物である。長田ほか（1988）はこれらの降雪や飛雪を昭和基地で採取し、融解水の電気伝導度を測定した。電気伝導度は融解水中のイオン成分の総量の指標として、また塩分の指標としても有用な値である。測定の結果、しんと降る降雪についての値は数十 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下であるのに対し、ブリザード時の飛雪については数十~1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ を越える値が得られたことを報告している。海氷上積雪の電気伝導度についても併せて解析し、昭和基地で得られた飛雪試料の電気伝導度が高いのは、風上側で海氷上のブラインを取り込んだ飛雪が強風によって輸送されてくるからであると推論している。

海氷上の積雪に含まれるイオン成分やエアロゾル粒子との関係については、Osada *et al.* (2001) が Na^+ に対する Cl^- や SO_4^{2-} , Br^- などの成分比に着目した解析をおこなっている。それによれば、海氷上積雪中のイオン成分比は、海氷の成長に伴うブラインの組成変化の影響を受けていたことが示唆されている。

これらの研究では、試料採取期間が短い期間に限られているため、降雪や飛雪の電気伝導度の季節変化についての詳細は不明のままである。そこで、第 44 次日本南極地域観測隊（以下、第~次隊）から第 47 次隊までの 4 年間、昭和基地において降雪と飛雪、ドリフト（吹きだまりの積雪）を採取した。ここでは、イオン成分の総量や塩分の指標である、雪試料の融解水の電気伝導度の測定結果について報告する。

2. 試料採取と電気伝導度の測定

図 1 に、昭和基地周辺図を示す。昭和基地の北東側には北の浦という湾があり、その先には南極大陸との間に幅約 4 km のオングル海峡（Ongulundet）がある。ブリザード時の主風向が北東であるために（佐藤，2004; Sato and Hirasawa, 2007），飛雪は北の浦の方角から飛んでくる。

試料の採取場所と採取方法、電気伝導度の測定方法は第 44 次隊と第 45–47 次隊とで異な

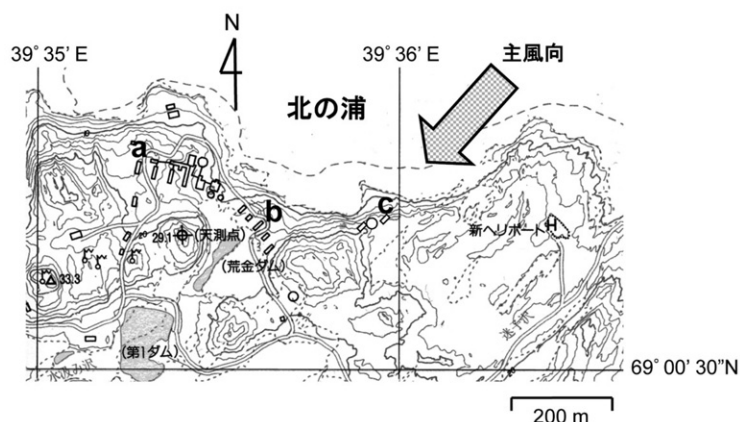


図1 昭和基地周辺図。a: 気象棟, b: 観測棟, c: 清浄大気観測室

Fig. 1. Map of Syowa Station, East Antarctica. a: Meteorological observation building, b: Atmospheric observation building, c: Atmospheric observation room. Big arrow represents prevailing wind direction.

る。第44次隊では、基地主要部から風上側に離れた場所に堆積した新雪やドリフトを採取した。また、弱風時に気象棟屋上(図1, a地点)でビニールシートを広げて採取した降雪試料もある。第44次隊で用いた採取方法は、新雪と飛雪とを区別しにくいケースも含まれる。これらの雪試料を冷凍したまま日本に持ち帰り、帰国後に室温で融解の後、電気伝導度を測定した(堀場, C-172)。

第45-47次隊では、降雪と飛雪を観測棟(図1, b地点)の屋上で採取した。弱風下でしんと降る降雪は、あらかじめ純水で洗浄したプラスチックコンテナやバットを用いて採取した。気象条件によっては、清浄大気観測室(図1, c地点)などの場所で、古い積雪と明確に区別できる部分の新雪も降雪試料として取り扱った。強風時には長田ほか(1988)と同様に、500 mlの広口ポリエチレン容器の開口部を風上に向けて固定することで飛雪を採取した。容器の固定には、観測棟屋上階段の手すり(第45次隊で外装・階段を改修)を用い、観測棟屋上の高度で採取した。採取した雪試料は、観測棟で室温にて融解の後、まず化学分析用に15 mlを遠沈管に分取・冷凍保存した。その際に、余剰の融解水があれば、電気伝導度を測定した(堀場, Twin Cond B-173)。簡易測定ではあるが、試料の海塩濃度の概要を把握するには十分である。

3. 結果と考察

図2に、第44次隊(2003年)で採取した降雪やドリフトの融解水について測定した電気伝導度と、北の浦での海水上積雪高(江崎ほか, 2007)を示す。昭和基地でブリザードが観測されるのは3-10月の期間が多く(佐藤, 2004)、図2aに示した電気伝導度の値もその

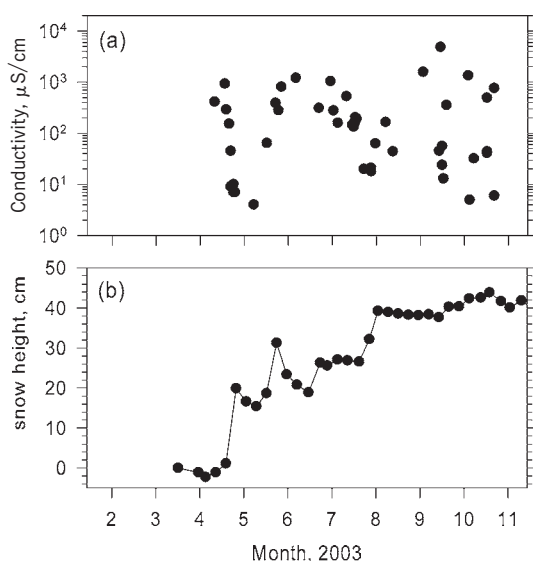


図2 (a) 昭和基地で採取した降雪やドリフトの融解水の電気伝導度. (b) 北の浦における海水上積雪高 (江崎ほか, 2007)

Fig. 2. (a) Melt-water electroconductivity of fallen snow and snow drift at Syowa Station, (b) Snow height measured at Kita-no-ura, near Syowa Station.

期間が中心となっている。電気伝導度は、数 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ～数千 $\mu\text{S}/\text{cm}$ と桁違いに大きなばらつきを示した。弱風時にしんと降る降雪では電気伝導度の値が低く、ドリフトなど飛雪を含む雪では値が高い傾向を示した。6月～8月初旬にかけては、雪試料の電気伝導度は低下する傾向を示したが、8月下旬の試料からは再び $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ を越える値が得られている。これは、2003年7月31日～8月2日にかけてのA級ブリザードにより、オングル海峡の三つ岩から南側の海水が流出したこと（国立極地研究所, 2004）に対応していると考えられる。

図3に、採取方法が同じ第45-47次隊（2004-2006年）の結果をまとめて示す。図からわかるように、飛雪の電気伝導度（塗り潰したマーク）が数十～ $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ であるのに対し、降雪の値（白抜きマーク）は数十 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下であり、既報（長田ほか, 1988）と同様の傾向を示した。降雪の値に顕著な季節変化は見受けられないが、飛雪の値だけに着目するとばらつきは大きいものの、4-7月に高い値を、9-10月には低い値を示す傾向が見られる。この傾向は、この3年間ほぼ同様に繰り返されていた。

図3bには、北の浦で観測した海水上積雪の積雪高を示す（阿保ほか, 2008; 佐藤ほか, 2009; 気象庁南極観測事務室, 私信, 2010）。2004年には、4月下旬に一旦積雪量が増した後、5月下旬～6月中旬にかけて海水が流出した。2004年の飛雪の電気伝導度は、海水上積雪量が増えた時に減少し、少ない時には高い値を示していた。また、7-8月頃の飛雪の電気

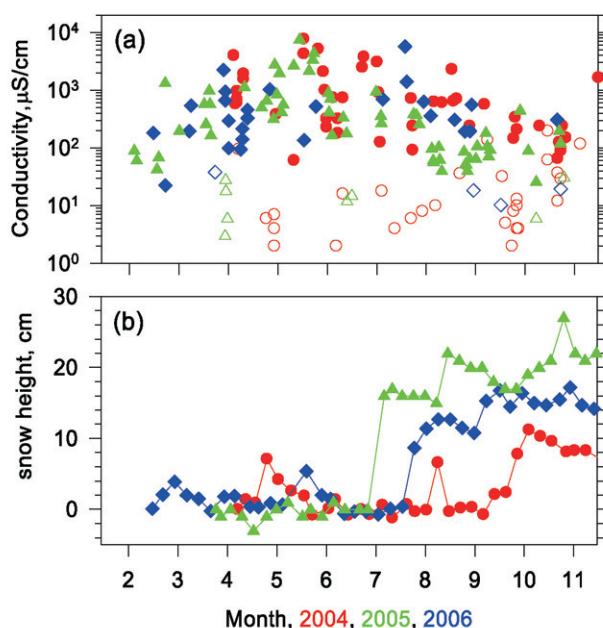


図 3 (a) 昭和基地で採取した降雪（白抜き）と飛雪（塗り潰し）の融解水の電気伝導度
 (b) 北の浦における海氷上積雪高度
 2004 年: 丸（阿保ほか, 2008）, 2005 年: 三角（佐藤ほか, 2009）, 2006 年: 四角（気象庁南極観測事務局, 私信, 2010）
 Fig. 3. (a) Melt water electroconductivity of fallen snow (open) and drifting snow (filled) at Syowa Station. (b) Snow height measured at Kita-no-ura, near Syowa Station. 2004: circle (Abo et al., 2008), 2005: triangle (Sato et al., 2009), 2006: square (Office of Antarctica, JMA, 2010).

伝導と海氷上積雪量との関係を各年ごとに見ると、積雪量が最も多い 2005 年には電気伝導度が低く、積雪量の少なかった 2004 年の電気伝導度が最も高いことがわかる。これは、長田ほか（1988）が推論したように、昭和基地風上の海氷上に雪が積もると海水からのブラインの影響が減るために、飛雪の電気伝導度が下がることを示唆している。

図 4 に、2004–2006 年までの 3 年間について、昭和基地で得られた飛雪の電気伝導度を月ごとに整理して示した。月別に見ると 5 月が最も高く、9–10 月は低い値であった。電気伝導度の 5 月の最大値は、気温の低下により海水が発達し始める時期に対応していると考えられる。一方、北の浦での積雪量が毎年多くなる 9–10 月には、電気伝導度が低くてばらつきも小さい。図 2 に示した 2003 年の例のように、9 月に高い電気伝導度を示すこともあるが、冬明けの時期に昭和基地の風上側の海水が流出した例はごくまれである。2004–2006 年には冬明け後の海水流出が無かったので、北の浦の積雪量の増加に応じて、9–10 月には飛雪の電気伝導度が低下したと思われる。

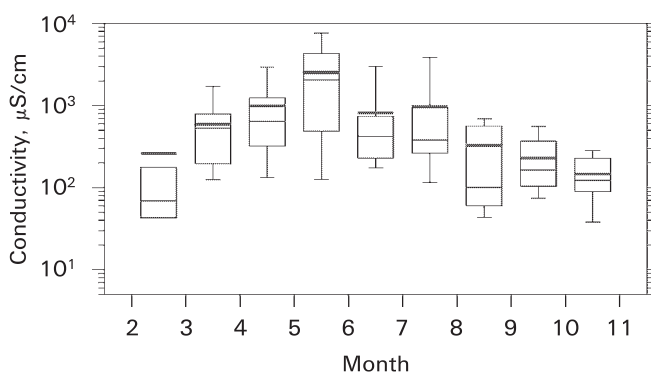


図4 昭和基地で2004–2006年にかけて採取した飛雪の電気伝導度の月別箱ひげ図。各箱の上端と下端がデータの25%と75%を示し、箱内の細横線が中央値、太線が平均値を示す。箱の上下の縦棒は、10%と90%の範囲を示す。

Fig. 4. Monthly box plots of electroconductivity of drifting snow at Syowa Station.

4. まとめと今後の課題

昭和基地で2003–2006年にかけてドリフトや降雪、飛雪のサンプリングをおこない、雪試料の融解水の電気伝導度を測定した。その結果、風速が弱くしんと降る降雪の電気伝導度は、季節に関係なく数十 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の低い値を示したのに対し、強風時の飛雪の電気伝導度は4–7月に数百~数千 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 前後と高く、9月以後に低くなる季節変化を示した。昭和基地の風上側の海水が流出すると飛雪の電気伝導度が高くなり、逆に、風上の海水上に雪が積もると、飛雪の電気伝導度が下がることがわかった。これは、飛雪の電気伝導度が海水からのブラインの影響を強く受けるためだと考えられる。今後は、融解水の化学成分濃度や成分比の季節変化についても解析を進め、大気エアロゾル粒子との関係や、大気化学的な現象との関係についての検討が望まれる。

謝 辞

昭和基地でのドリフトや、降雪・飛雪のサンプリングへご協力頂いた第44–47次南極地域観測隊の皆様、海水上積雪高度など気象データをご提供頂いた気象庁南極観測事務室に深く感謝いたします。また、南極の気象データに関して、気象庁地球環境・海洋部環境気象管理官付藤田 建博士にご教示頂きました。記してお礼申し上げます。

文 献

- 阿保敏広・佐々木利・海老田綾貴・藤田 建・久光純司 (2008): 第45次南極地域観測隊気象部門報告2004. 南極資料, **52**, 437–515.
 江崎雄治・杉田興正・鳥井克彦・高橋 武・安達正樹 (2007): 第44次南極地域観測隊気象部門報告2003. 南極資料, **51**, 129–208.
 国立極地研究所 (2004): 日本南極地域観測隊第44次隊報告 (2002–2004). 東京, 452 p.
 長田和雄・西尾文彦・樋口敬二 (1988): 海水上積雪および飛雪に含まれる海塩. 南極資料, **32**,

- 17-24.
- Osada, K., Hara, K., Kido, M., Kai, H., Yamanouchi, T., Hashida, G., Matsunaga, K. and Iwasaka, Y. (2001): Sulfate depletion in snow over sea ice near Syowa Station, Antarctica, in relation to the origin of sulfate depleted sea salt aerosol particles in winter. *Polar Meteorol. Glaciol.*, **15**, 21-31.
- 佐藤 薫 (2004): 南極昭和基地の気象. *天気*, **51**, 869-879.
- Sato, K. and Hirasawa, N. (2007): Statistics of Antarctic surface meteorology based on hourly data in 1957-2007 at Syowa Station. *Polar Sci.*, **1**, 1-15.
- 佐藤 健・西巻英明・岩城貴信・山本浩嗣・伊藤大輔 (2009): 第 46 次南極地域観測隊気象部門報告 2005. *南極資料*, **53**, 136-219.