

## 可搬型マイクロ波放射計を用いたサロマ湖水上の積雪深の観測

## Observations of snow cover on ice in Saroma-ko Lagoon by using portable passive microwave radiometers

高瀬雄麻（北見工業大学大学院）， 舘山一孝（北見工業大学），  
 星野聖太（北見工業大学大学院）， 森下裕士（北見工業大学大学院）  
 Yuma Takase, Kazutaka Tateyama, Seita Hoshino, Hiroshi Morishita

## 1. はじめに

近年，地球の気候変動をモニタリングするため，全天候で観測可能である衛星搭載型マイクロ波放射計が多く用いられる<sup>1)</sup>。マイクロ波放射計とは，地球表面および大気等から放出される微弱なマイクロ波帯の電波をそれぞれの周波数および偏波で測定するセンサである<sup>2)</sup>。これらの周波数や偏波を組み合わせて用いることにより，地球上の様々な物理量を推定することが可能である。雪氷学の分野では，マイクロ波帯を用いて陸上の積雪深推定アルゴリズムについて多く研究されている<sup>3)</sup>。しかしながら海氷上の積雪深の推定に関する研究は，陸上に比べ少ない<sup>4)</sup>。

海氷上の積雪の量や状態を知ることは極域，とりわけ積雪が多い南極海における航海の可航性の判断に有用である。近年，南極海の氷況は年々厳しくなっており，我が国の南極観測船「しらせ」は平成23年度及び24年度に昭和基地への接岸を断念している<sup>5)</sup>。その原因の一つとしては，南極海における積雪深の増加が考えられる。海氷上に積雪が多く存在する場合，積雪の断熱効果により海氷と冷たい大気の接触が阻まれ，海氷の下方成長は阻害されると考えられる。一方で，海氷上の積雪が増加することにより海氷が沈み込み，積雪層が冷たい海水に浸かることによって，その浸かった積雪層が雪ごおりとなり上方に成長する。また，積雪があることで船舶の航行の際に摩擦が増加し障害になることが考えられる。そこで，本研究は，海氷上の積雪深に対する輝度温度の関係性の基礎データの収集を冬季のサロマ湖水上で観測を行い，それらのデータを用いて湖氷上の積雪深推定アルゴリズムを作成することを目的とする。

## 2. 観測地点と方法

## 2. 1 観測地点

本研究の観測は図1に示すサロマ湖で行った。サロマ湖は北海道北東部に位置する湖である。淡水と海水が混ざった汽水湖であり，日本で3番目に大きな湖である。また，全面ではないが冬季に結氷することが知られている。今回観測した地点は赤丸で示した点であり，この地点の平均氷厚は49.4 cmだった。なお，湖氷上の積雪は風による削剥の影響を受けるため非常に少なく，観測行った地点での積雪深は10±

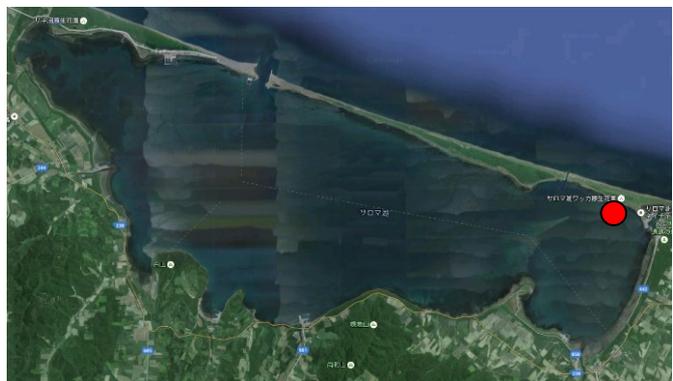


図1 サロマ湖<sup>6)</sup>，赤丸は観測地点を示す

2 cm 程度であった。

## 2. 2 観測機材

本研究では、三菱電機特機システム株式会社が平成 27 年度に製作した 6, 18, 36GHz の 3 つの観測周波数帯を持つ 3 台の可搬型マイクロ波放射計 (以下:MMRS) を用いた。その外形を図 2 に示す。いずれも垂直偏波の輝度温度( $TB_V$ )及び水平偏波の輝度温度( $TB_H$ )を観測する。なお、これらの周波数帯は衛星搭載型マイクロ波放射計 AMSR-E や AMSR-2 と同じものを使用している。ここで観測する際の留意点として、18 GHz 及び 36 GHz は 12, 13kg と比較的軽量であるためカメラ用の三脚に取り付けて観測が可能であるが、6 GHz はそれらに比べて大きく 2 倍近い重量があるため、図 2 の奥側のようにアルミ角柱の台座に固定して観測する必要がある。使用した MMRS の各仕様を表 1 に示す。



図 2 観測中の MMRS の写真。奥側が 6GHz, 手前側が 36GHz.

表 1 実験に用いた MMRS の仕様と観測条件情報

型番	周波数帯域 [GHz]	観測偏波	観測視野角 [度]	サイズ [W×D×H, mm]	重量 [kg]
MMRS2C-6GHz	6.925±0.2	円形ホーン V, H	15	360×630×282	20
MMRS2C-18GHz	18.7±0.35		10	286×525×231	13
MMRS2C-36GHz	36.5±0.7		7		12

## 2. 3 観測手法

自然積雪状態からを湖氷の表面までの各層において、MMRS を用いて輝度温度の測定を行った。同時に積雪の温度、密度、粒径を測定した。測定間隔は、雪質や積雪深に応じて 2~3cm 毎に雪ベラで表面から積雪を取り除き、各積雪層で観測を行った。各積雪層では 1 分間計測を行い、1 分間の平均値をその積雪深の輝度温度とした。

## 3. 観測結果

観測結果を周波数ごとに示す。観測結果のグラフは、それぞれ縦軸に積雪深(cm)、下横軸に MMRS によって観測された輝度温度(K)、上横軸に積雪の密度( $g/cm^3$ )をとっている。最初に 6GHz の観測結果を図 3 に示す。図 3 は(a)が 2016 年 3 月 2 日、(b)が 3 月 5 日の観測結果である。(a)と(b)の間に降雪があり、3cm 積雪が増加している。図 3 から、 $TB_{6V}$  及び  $TB_{6H}$  は積雪を全て取り除いた状態 (積雪深=0cm) では、積雪がある状態と比べて輝度温度が大きく低下することが確認できた。積雪深が 3cm 以上に増加すると、積雪深の増加に伴い  $TB_{6H}$  は減少、 $TB_{6V}$  はわずかに増加するかほとんど変化しない傾向を示した。また、降雪により積雪深が増加した(b)では積雪表層 (積雪深=12cm) においては  $TB_{6H}$  が上昇し、積雪を全て取り除いた状態では  $TB_{6H}$  が著しく低下した。

次に 18 GHz の観測結果を図 4 に示す。18 GHz も 6 GHz と概ね同様の結果が得られ、

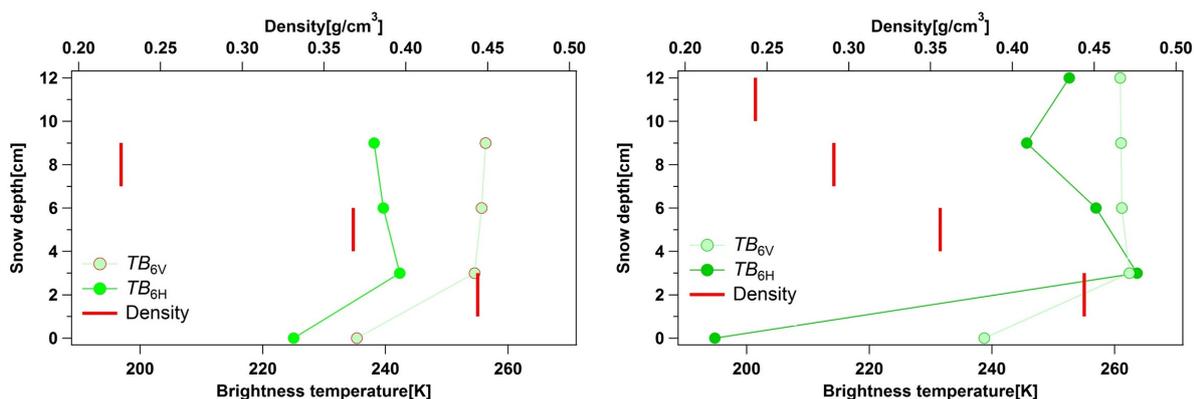


図3 MMRSの6 GHzによる輝度温度と積雪密度の観測結果. (a)2016年3月2日と (b)3月5日.

積雪深が 0 cm では  $TB_{18H}$  は急激に低下し、積雪深が 3cm 以上に増加すると、積雪深の増加に伴い  $TB_{18H}$  は徐々に減少、 $TB_{18V}$  はわずかに増加した。また、6 GHz と同様に積雪表層では  $TB_{18H}$  が上昇するが、その上昇幅は 6 GHz に比べ小さい。

最後に 36 GHz の観測結果を図 5 に示す。図 5 は、(a)が 2 月 28 日、(b)が 3 月 2 日の観測結果を表している。(a)と(b)の間では低気圧通過に伴う吹雪が発生していた。積雪深では両者の違いは見られないが、密度に着目すると(b)では表層から中層

の積雪密度が大きく増加していることがわかる。36 GHz においても、これまでに示した 2 周波の特徴に類似した結果が見られた。積雪を全て取り除いた状態では  $TB_{36H}$  及び  $TB_{36V}$  の輝度温度は低く、特に吹雪で積雪密度が増加した(b)で  $TB_{36H}$  が著しく低下している。 $TB_{36H}$  は、(a)では積雪深が 3 cm よりも深くなると積雪深の増加に伴い、低下する傾向が見られ、(b)においても積雪深が 4 cm よりも深いところでは同様に輝度温度が低下する。しかし、

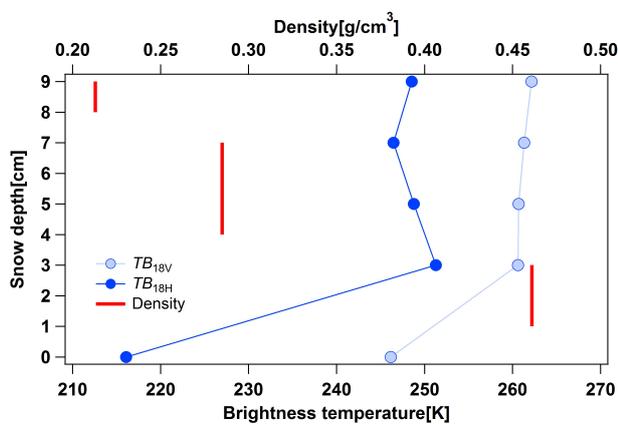


図4 MMRSの18GHzによる輝度温度と積雪密度の観測結果 (2016年3月5日).

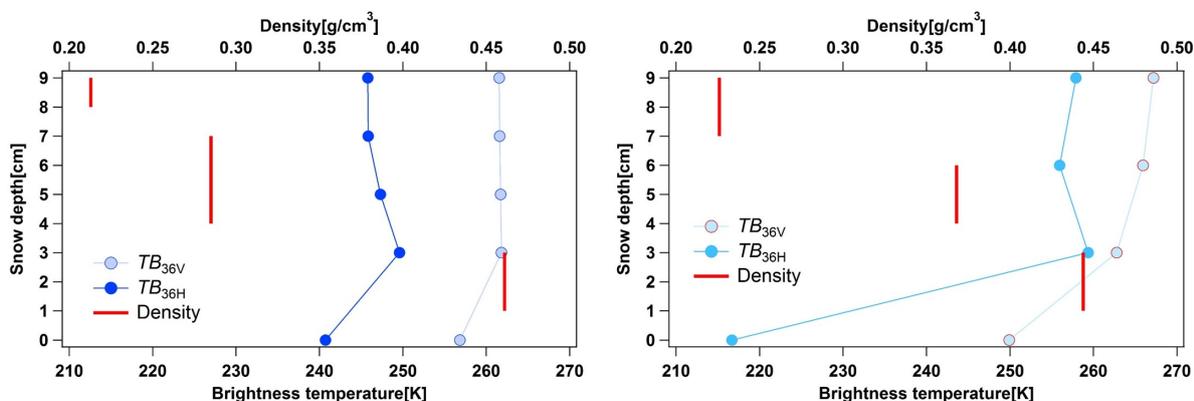


図5 MMRSの36 GHzによる輝度温度と積雪密度の観測結果. (a)2016年2月28日と(b)3月2日.

表層では他の周波数と同様に輝度温度が増加することが確認できる。一方、 $TB_{36V}$  の変化に着目すると、積雪深の増加に伴う変化は(a)ではほとんど変化が見られないが、(b)では明確に上昇していた。

以上の観測結果から、積雪を全て取り除いて湖氷表面を観測した場合、全ての周波数帯において低い輝度温度を示す結果が得られた。これは雪の重みや潮汐によって湖水が湖氷表面に浸み上がり、湖氷が濡れた状態になったため(図6参照)射出率が大きく低下し、それに伴い輝度温度が低下したことが考えられる。 $TB_H$  の観測結果に着目した場合、この濡れ雪層の直上が最も高い  $TB_H$  を示し、積雪深が増加するのにもなって  $TB_H$  が減少している傾向がみられた。陸上積雪の場合、乾いた雪では土壌からのマイクロ波放射を積雪層内の雪が散乱させることにより  $TB_H$  は低く観測される<sup>1)</sup>。また、濡れ雪では、積雪層内の水分が土壌からの放射を吸収してしまい  $TB_H$  は高く観測される<sup>7)</sup>。サロマ湖氷上の積雪表層において見られた  $TB_H$  の上昇現象は、日射によってこのような濡れ雪が生じたためと考えられる。



図6 湖氷と積雪の様子。積雪深3cmまでが湖水の浸み上がりによって灰色に変色している。

#### 4. まとめ

今回の観測では、サロマ湖の湖氷上の自然積雪において基礎的なデータ収集を行うことができた。積雪の深さ、密度、冠水、融解等の影響による各周波数帯の輝度温度の応答を得ることができた。しかし、今回の観測期間は5日程度であり、積雪とマイクロ波の関係を明らかにするには十分な量の観測データとはいえない。マイクロ波放射計によって海水上の積雪深を定量的に測定するためには、様々な深さ・厚さの積雪深と氷厚における観測を行っていくことが本研究の課題である。

#### 【参考・引用文献】

- 1) 小池俊雄ら, 1999: グローバルな積雪量分布推定のための衛星アルゴリズムの開発と検証, 水工学論文集, **43**, 211
- 2) JAXA, 2016: AMSR2を知る (JAXA HP)
- 3) 筒井浩行ら, 2011: 積雪深の全球推定を考慮した衛星アルゴリズムの改良, 土木学会論文集 B1(水工学), **67**, 427-432
- 4) Dylan C. Powell et al., 2006: Microwave Signatures of Snow on Sea Ice, *TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING*, **44**, 3091-3100
- 5) 文部科学省, 2015: 南極観測船「しらせ」の昭和基地沖への接岸について (文部科学省 HP)
- 6) Google Earth 2016: <https://www.google.co.jp/intl/ja/earth/>
- 7) T. Y. Lakhankar et al., 2013: CREST-Snow Field Experiment: analysis of snowpack properties using multi-frequency microwave remote sensing data, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **17**, 783-793