

小型マイクロ波放射計の積雪観測と雪氷防災への利用の可能性

榎本浩之, 小嶋真輔, 館山一孝, 戸城亮, 木村しずか, 神尾友行, 内田圭一, 高橋修平
(北見工業大学), 田中聖隆, 谷田広紀, 山本朗人 (三菱電機特機システム株式会社)

1. はじめに

地表面の物質から放射されるマイクロ波を計測することにより, 地表面の水分変化, 積雪深, 湖水・海氷の結氷分布を知ることができる. 従来のマイクロ波放射計は, 人工衛星や航空機に搭載して用いるなど非常に大型であった. しかし三菱電機特機システム株式会社により, 小型マイクロ波放射計(以降 MMRS2 と呼ぶ)が開発された. 本研究では, 6, 10, 18, 36 GHz の周波数帯の MMRS2 により積雪の輝度温度を測定し, 積雪深や雪温の実測値と比較した結果, および積雪のマイクロ波透過性を調査した結果から, MMRS2 の雪氷防災への有効性を検討した.

2. MMRS2 の外観と諸元

MMRS2 の外観と諸元を, それぞれ図 1, 表 1 に示す. MMRS2 は, 観測対象物から放射されるマイクロ波の強さを輝度温度として測定する. このとき, CCD カメラによる対象物の画像撮影(動画・静止画), 赤外放射温度計による物理温度の測定を連動して行う. これら 3 種類の測定値は, LAN を介して記録計へ送信される. 測定値の記録間隔は, 最短の場合で 1



図 1 MMRS2 と記録計の外観.

秒である. MMRS2 は軽量であり, 機動性に優れている. また, 対象物を遠方から非破壊且つ非接触で広域に観測でき, 天候や昼夜を問わないという長所を備える.

表 1 MMRS2 の諸元.

	6 GHz	10 GHz	18 GHz	36 GHz
観測輝度温度範囲	3 K - 1200 K			
観測輝度温度分解能	0.5 K			
観測輝度温度精度	1 K			
観測視野角	15度	15度	10度	7度
電源入力	AC100 V / バッテリ(動作時間: 6時間)			
外部出力	LAN(有線/無線)			
動作温度範囲	-20 °C - +40 °C(湿度80%以下)			
寸法・重量(本体のみ)	360 × 400 × 160 mm 7.5 kg		400 × 300 × 160 mm 7.5 kg	
その他機能	CCDカメラ, 赤外放射温度計, 専用ソフトウェア付属			

3. 観測方法

3-1. 冬期観測

冬期の観測は、2006年12月から2007年2月の間に、北見工業大学のグラウンド、および北見―美幌峠間の国道で行った。ここでは北見工業大学内で行った観測の結果のみを示す。18 GHzのMMRS2を用いた観測は、2007年1月11日の10時から12日の18時に行った。36 GHzを用いた観測は、2007年1月23日の9時から15時30分に行った。MMRS2は三脚に取り付け、入射角は55度に設定した。いずれの観測も水平偏波を用いた。

18 GHzの観測では、MMRS2による輝度温度測定その他、気温および雪温（物理温度）の測定も行った。記録計付き温度センサを温度測定用の棒に鉛直方向に取り付け、深さ51 cmの積雪内に設置した。温度の測定点は、積雪底面、積雪底面から20 cm上、積雪底面から60 cm上（気温）である。これに加え、赤外放射温度計による雪面温度の測定も行った。36 GHzの観測における積雪深は60 cmであった。

3-2. 融雪期観測

融雪期の観測は、北海道中札内村の農場で行った。観測で用いたMMRS2の周波数帯は6 GHzおよび10 GHzであり、垂直偏波と水平偏波による測定を行った。観測期間は2007年3月13日から20日である。冬期観測同様、MMRS2は三脚に取り付け、入射角は55度に設定した。

融雪期の観測では、6 GHzの水平偏波を用いた積雪を透過するマイクロ波の測定も行った。ピットを2つ作成し、ピット間には70 cm厚の雪壁を残した。一方のピットにはMMRS2を設置し、他方では人間が出入りして輝度温度を変化させた。徐々に雪壁厚を小さくしていき、人間が放射するマイクロ波が透過する雪壁の厚さを調べた。

4. 結果と考察

4-1. 冬期観測

・ 18 GHzの観測

18 GHzの観測結果を図2に示す。日中と夜間で気温および雪面温度は15 °C程度変化したが、積雪底面温度は時間経過によらずほぼ0 °Cで推移し、積雪底面から20 cm上の雪温も0 °Cから-5 °Cと、気温変化に比べて穏やかな変化を示した。一方、輝度温度の測定値は、積雪底面から20 cm上の雪温変化と似た形で、時間が経過すると共に減少した。しかし、12日の8時40分から11時20分の間では、輝度温度は気温上昇に対応して僅かに増加した。

積雪のマイクロ波は、積雪下の地面から放射されるマイクロ波も含むため、定量的な議論のためにはより多くの実測値収集と、モデルによる詳細な解析が必要である。しかしながら、本研究では積雪内部温度と輝度温度の時間変化が似た形を示したことから、輝度温度は積雪内部温度、または積雪全層の平均温度を反映していると推察できる。

12日の午前中に輝度温度が僅かな上昇を示したのは、気温の上昇と日射により、雪面に融雪が生じたためであると考えられる。このことについては、36 GHzの観測結果で詳しく述べる。

・ 36 GHzの観測

36 GHzの観測結果を図3に示す。18 GHzの場合（図2）と比べて、輝度温度は全体的に小さい傾向にある。しかし11時30分頃から輝度温度は上昇し始め、14時までの2時間30分で、輝度温度は約60 Kも増加した。14時以降では、輝度温度は200 K付近まで再び減少した。

60 Kという大きな輝度温度の増加は、融雪の発生による積雪含水率の増加に依拠していると考え

られる。積雪内の含水率が増加すると、積雪のマイクロ波射出率が大きくなり、その結果として輝度温度が大きくなるためである。一般に、射出率が 0.1 増加すると輝度温度は 20 K 以上増加し、射出率が 0.2 増加すると輝度温度は 50 K 近く増加する。

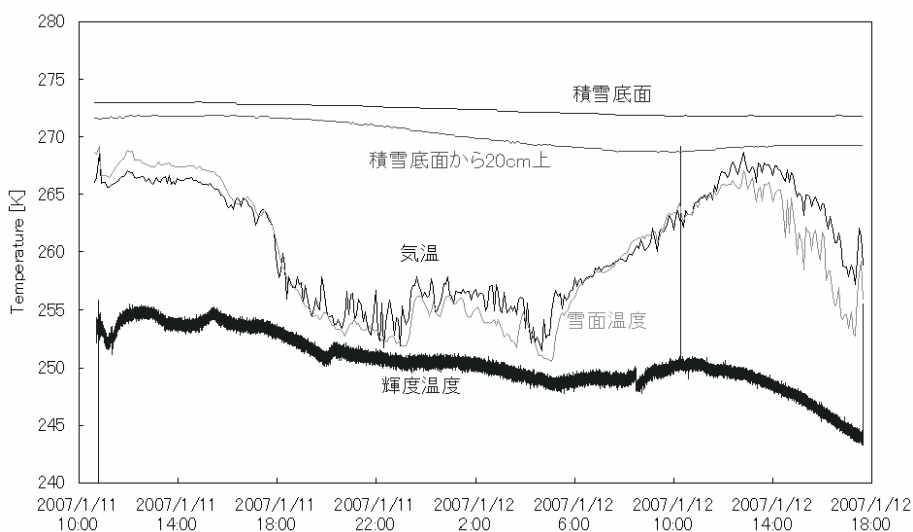


図 2 雪温および気温（物理温度）と 18 GHz（水平偏波）による輝度温度の時間変化。

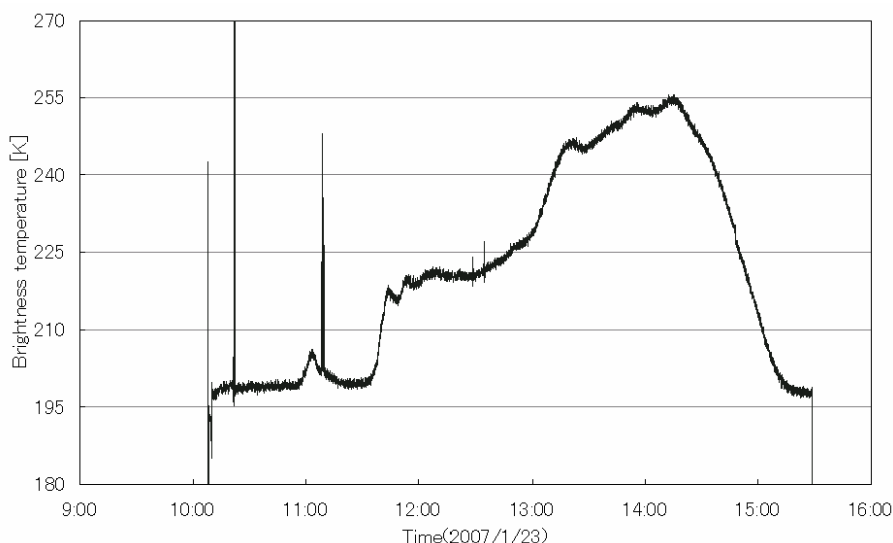


図 3 36GHz（水平偏波）による輝度温度の時間変化。

4-2. 融雪期観測

・ 輝度温度の時間変化

6 GHz と 10 GHz の水平偏波による観測結果を図 4 に示す。輝度温度は、6 GHz より 10 GHz の方が高い値を示した。9 時台 (A) から 12 時台 (C) の間に、両周波数の輝度温度は約 70 K 増加した。なお、このとき同時に行った垂直偏波による測定値では、A から C の間における輝度温度の増加は約 20 K であった。

融雪期の観測であるため、気温は+3 °C 前後と高く、日射も強かったことから、積雪中には融雪が生じていた。このことにより、MMRS2 は積雪から放射されるマイクロ波より、積雪中に含まれる液体の水から放射されるマイクロ波を強く受信するようになり、その結果として輝度温度は周波数によらず 250 K 程度に落ち着いたと考えられる。

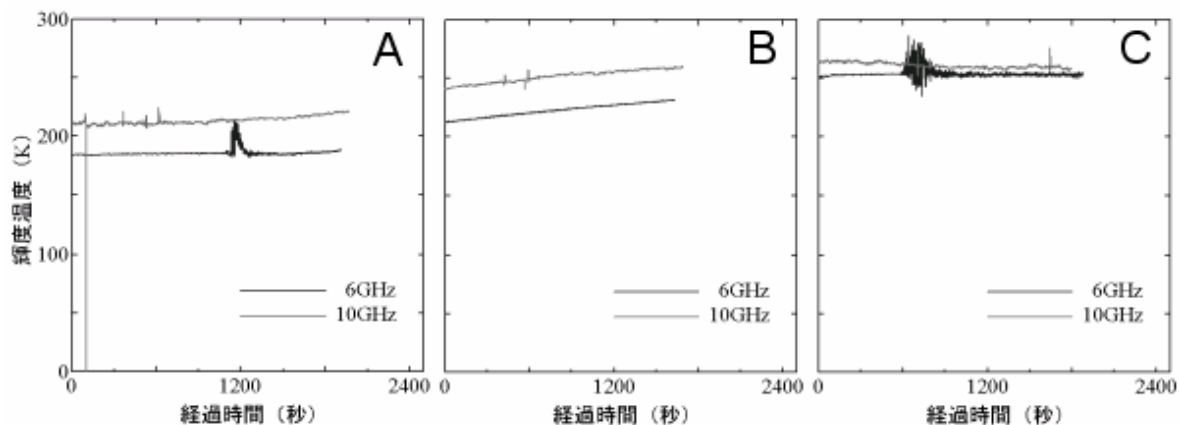


図4 6 GHz と 10 GHz (水平偏波) による輝度温度の時間変化. それぞれ観測時間が異なる. A は 9 時 18 分から 50 分, B は 10 時 18 分から 46 分, C は 11 時 58 分から 12 時 30 分の測定値である.

・ マイクロ波の積雪透過性実験

マイクロ波の積雪透過性を調べた結果を図5に示す. ピット間の雪壁厚が 60 cm 以上の場合では, 人間の出入りによる輝度温度差が表れなかった. この輝度温度差は, 雪壁厚が 40 cm 以下のときに生じた.

雪壁厚が 60 cm 以上の場合でも, 輝度温度は人間がピットに入っている間, 安定した値を示した. これより本観測では, マイクロ波 (6 GHz の水平偏波) は 70 cm 厚の雪壁を透過したと言える.

積雪のマイクロ波透過性は, 湿雪の場合で低い値を示す. しかし, 融雪期であっても夜間は気温が低下し, 積雪中の液体水が再凍結することが考えられるため, MMRS2

を用いた融雪期における積雪観測は, 条件が整った場合では可能である.

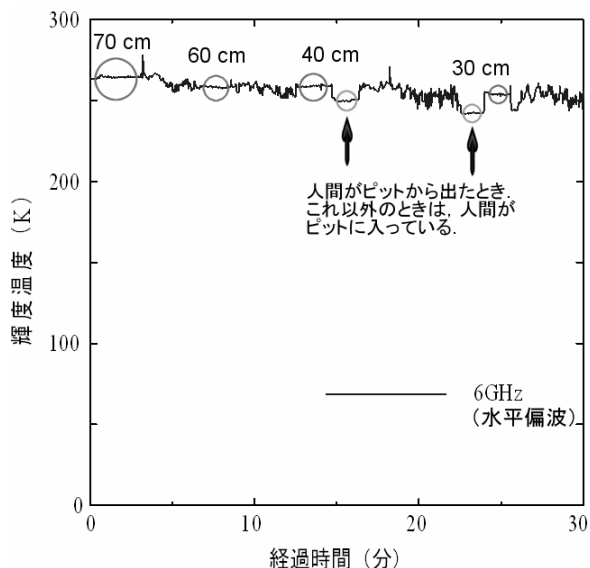


図5 積雪のマイクロ波透過性.

5. まとめ

本研究では, 三菱電機特機システム株式会社により開発された MMRS2 の雪氷防災への有効性を検討することを目的とし, いくつかの現場観測を行った. 18 GHz では, 積雪の輝度温度は積雪内部温度に依存して変化する傾向が見られ, MMRS2 の積雪観測への利用の可能性が示された. 36 GHz では, 日中で融雪による輝度温度の大きな増加が見られた. 融雪期における積雪の輝度温度は, 6 GHz と 10 GHz で約 250 K を示した. 6 GHz の水平偏波を用いた時, マイクロ波は 70 cm 厚の雪壁を透過した. 乾雪の場合は更に透過性が高くなる. これにより, MMRS2 を用いた雪中埋没物 (者) の探知の可能性が示された. 今後は様々な条件下においてより多くの実測値を収集し, 定量的な解析を行う必要がある.

謝辞: 融雪期の観測では, 気象研究所の青木輝夫氏に便宜を図っていただいた. 観測方法およびデータ解析では, 日本学術振興会特別研究員 (北見工大) の谷川朋範氏より有益な助言をいただいた.