

マイクロ波放射計を用いた冬期路面の状態判別と摩擦抵抗の測定

渡邊直樹，榎本浩之（北見工業大学），
山本朗人，田中聖隆（三菱電機特機システム），
舘山一孝，高橋修平（北見工業大学），高橋尚人（寒地土木研究所）

1. はじめに

寒冷地の冬期の代表的な路面状態は，圧雪路面や凍結路面などであり，これらはすべり抵抗が非常に低くなる．すべり抵抗が低いことでブレーキやハンドルが効かなり，スリップ事故などの冬型事故が起こる．こういった冬型の事故を軽減するためには，路面状況に合わせた運転をすることが必要になる．本研究ではマイクロ波帯の電磁波を用いて路面状態の把握を目的としている．また，従来センサーでは積雪の下層路面の状態判別を行っておらず¹⁾，波長が長く透過性に優れたマイクロ波における積雪下層の路面状態判別の可否について調べた．

2. 実験方法・内容

路面の状態判別の装置にはマイクロ波放射計（周波数帯および偏波：6GHz垂直偏波（6GHz-V），18GHz水平偏波（18GHz-H）），赤外放射温度計（IR），カメラを使用した²⁾．それぞれ観測する項目は路面輝度温度，路面温度，路面画像である．装置は路面に対して 45 度の角度で取り付ける．また，英国式ポータブルスキッドレジスタンステスト（BPST）を用いて，すべり抵抗の測定も行った．測定値はBPN（British Pendulum Number）であり，約 50km/hrのすべり抵抗と相関があるといわれている³⁾．

① 石北峠における実験

期間は 2008 年 11 月 28 日～2009 年 5 月 15 日で，北海道 R39 石北峠 7 合目にて定点観測を行った．観測状況は図-1 に示す．路面状況はカメラ画像（図-2）と路面温度から 4 種類に分類・判別した．カメラ画像からは路面の色を観察し，湿潤と氷膜路面は色からの判別が困難であり，路面温度 273.15K 以上を湿潤，273.15K 未満を凍結とした．



図-1 石北峠観測風景

右上図：路面凍結センサー拡大図
路面上の円はセンサー検知部分



図-2 石北峠路面判別例カメラ画像

左上：乾燥 右上：湿潤
左下：凍結 右下：圧雪
赤円内部を判別，混在するときは占める割合が多い路面状態とする．これを目視判別とする．

② 大学構内における実験

2010 年度冬期，北見工業大学構内にて実験を行った．観測路面は乾燥，湿潤，凍結，圧雪，シャーベット，積雪下層凍結の 6 種類であり，これらを人工的に作製し観測を行った．シャーベットは雪に水を含ませて作製した．実験状況を図-3 に示す．また，湿潤～凍結の路面変化でのすべり抵抗の変化および，そのときの輝度温度変化を測定した．

③ 苫小牧寒地試験道路における実験

実験は 2010 年 1 月 25，26 日，苫小牧寒地試験道路（北海道苫小牧市字柏原）にて行った．観測路面は乾燥，湿潤，氷膜，氷板，圧雪，シャーベットである（図-4）．ただし，シャーベットはすべり抵抗のみ測定した．

④ 三菱電機特機システム北海道工場における実験

2009 年 12 月 1 日～2010 年 3 月 18 日，三菱電機特機システム北海道工場にて定点観測を行った．路面状態は日中の定時 1 時間毎に目視で観測を行った．分類は，乾燥，湿潤，凍結，圧雪に加え積雪の有無についての分類（積雪下層凍結及び積雪下層圧雪）も行った．

3. 結果

① 石北峠における実験

石北峠の実験から，各路面状態が輝度温度の相関図でまとまりを持っていることがわかる（図-5）．ただし，輝度温度は路面温度に比例して変化するため，輝度温度 2 要素に加え路面温度 1 要素の計 3 要素の相関から路面状態を判別する．判別にはマハラノビスの距離³⁾を利用した判別手法を用いる．これにより高い精度での判別ができた．（表-1）

表-1 石北峠路面判別比較

目視判別を正しいとし，自動判別の正答率を計算した．目視判別した路面状態のデータ数は各々異なる．

目視判別 \ 自動判別	乾燥	湿潤	凍結	圧雪	正答
乾燥	98%	7%	0%	0%	98%
湿潤	2%	92%	1%	0%	92%
凍結	0%	1%	89%	12%	89%
圧雪	0%	0%	10%	88%	88%



図-3 大学構内実験状況
白い箱がマイクロ波放射計（上:18GHz，下:6GHz）．右中央の装置が BPST．路面はシャーベット状態である．



図-4 苫小牧寒地試験道路実験状況
①の左上は氷膜で散水後凍結した状態．散水直後は湿潤状態．①の左下は乾燥．①の右上は圧雪．②の左は氷板で散水，凍結を繰り返すことで作製．

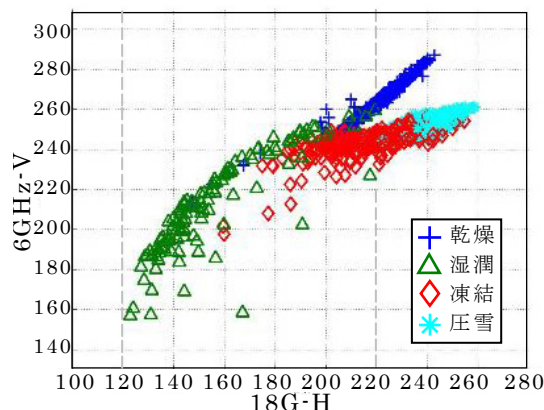


図-5 石北峠路面目視判別
輝度温度 2ch の相関図．路面状態（目視）によりプロットが分けてあり，各路面の輝度温度分布がわかる．これは，逆に輝度温度から路面状態の判別が可能性を示唆している．

②大学構内

積雪下層凍結は凍結よりも 18GHz-H の値が上昇する．シャーベットは凍結や圧雪よりも 6GHz-V が低下する(図-6)．すべり抵抗と輝度温度には，負の相関がみられ，輝度温度からすべり抵抗の推定ができる(図-7)．すべり抵抗の測定結果については苫小牧寒地試験道路の結果と一緒に紹介する．

③苫小牧寒地試験道路

苫小牧寒地試験道路では，大学構内のものと同様に積雪下層凍結は凍結よりも 18GHz-H が上昇，シャーベットは凍結や圧雪よりも 6GHz-V が低下した．BPST によるすべり抵抗値の測定(図-8)では，苫小牧の湿潤で BPN 約 70，大学では BPN 約 60 となったが，大学では路面温度マイナスの状態で行っており，湿潤と凍結の間の値になったと考えられる，氷膜では BPN20～30 と両実験でほぼ同様の値となった．シャーベットは水分を多く含んだ雪で，状態が定まらないためすべり抵抗値にも大きな差が出た．氷板は氷膜よりも高く BPN 約 40 となった．圧雪では BPN 35～50 で雪の固め方による圧雪の硬さの違いから若干の差が出たと考えられ，大学構内実験では人が踏みつけた圧雪であり軟らかい圧雪のため表面が崩れやすく，抵抗が低く出たと考えられる．

④恵庭三菱電機特機システム北海道工場

乾燥，湿潤，凍結，圧雪について，石北峠の実験と同様の値になった．積雪路面について，圧雪の輝度温度に近い値となった．しかし，凍結と積雪下層凍結，圧雪と積雪下層圧雪と各々で見ると，積雪があることで 18GHz-H が高くなる傾向がみられた(図-9)．

4. まとめ

マイクロ波放射計を用いた路面状態の判別は可能であることがわかった．路面

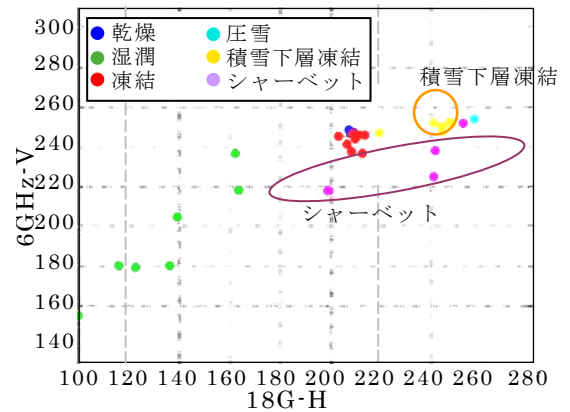


図-6 石北峠路面目視判別
輝度温度 2ch の相関図．目視判別によりプロットが色分けしてある．積雪下層凍結は凍結より 18GHz-H が上昇，6GHz-V の変化は少ない．シャーベットは凍結，圧雪より 6GHz-V が減少，湿潤より 18GHz-H が上昇した値になる．

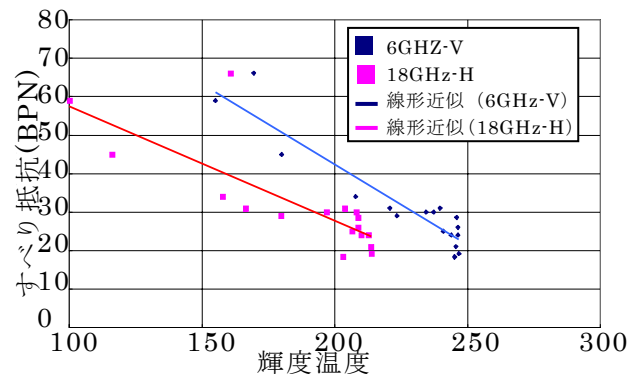


図-7 石北峠路面目視判別
輝度温度 2ch の相関図．目視判別によりプロットが分けてあり，各路面の輝度温度分布がわかる．これは，逆に輝度温度から路面状態の判別が可能性を示唆している．

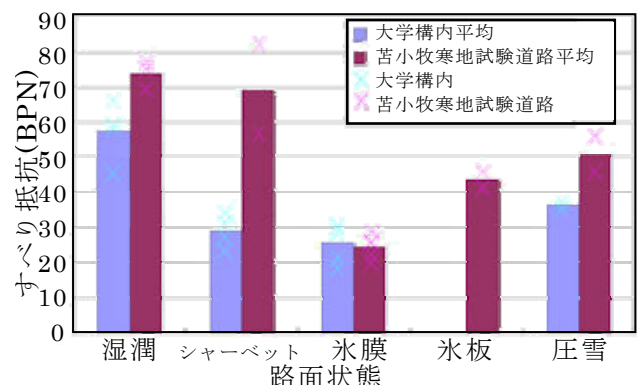


図-8 大学-試験道路のすべり抵抗値の比較
BPN の平均により各路面のすべり抵抗がわかる．冬期路面の代表路面である氷膜の BPN が明らかに低い，つまり滑りやすいということがわかる．

状態の分類として，乾燥，湿潤，凍結，
 圧雪の 4 種類に分類し高い正答率で路面
 分類することができた．さらに，積雪下
 層凍結および積雪下層圧雪は，18GHz-H
 が顕著に反応を示し，6GHz-V がほぼ変化
 しないことから両者を分類することが可
 能である．BPST を用いた各路面のすべり
 抵抗の測定から，路面によってすべり抵
 抗に差があり，さらに同じ路面分類であ
 っても生成条件等によって変化すること
 がわかった．湿潤～凍結間のすべり抵抗
 と輝度温度の関係を求めた結果負の創刊
 がみられ，輝度温度からすべり抵抗の推
 定が可能であることがわかった．

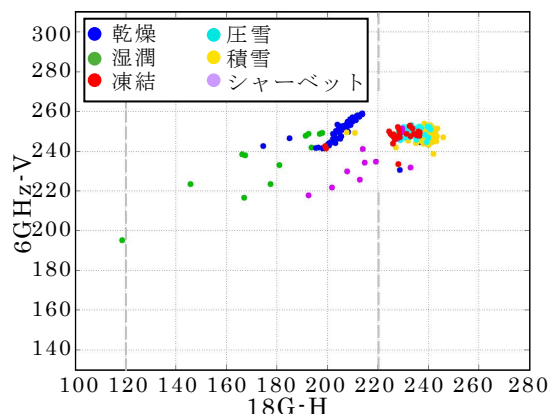


図-9 三菱工場における実験
 輝度温度 2ch の相関図．目視判別によりプ
 ロットが色分けしてある．石北峠実験と同
 様の傾向，値を示した．積雪があるとき
 18GHz-H の値が大きい値をとる傾向にある．

謝辞

石北峠の観測では，観測地の提供データの提供等さまざまな面でお世話になりました北見道路事務所に感謝いたします．苫小牧寒地試験道路では，実験に協力していただき，またすべり抵抗についてのご教授をいただきました寒地土木研究所寒地交通チーム，福井大学，防災科研，北海学園大学，株式会社ブリヂストン各位に感謝いたします．

参考文献

- 1) 本間幸造，稲垣敏治，2006：画像型分光偏光放射計による路面凍結モニタリングシステム，公開研究発表会前刷集，JAXA，4
- 2) 渡邊直樹他，2009：マイクロ波放射計を用いた冬季路面状態判別方法の開発，雪氷研究大会（2009・札幌），（社）日本雪氷学会，1
- 3) 牧恒雄，2003：歩道舗装材のすべり抵抗性試験機について，アスファルト 214，有限責任中間法人日本アスファルト協会，第 46 巻，第 214 号，31-36
- 4) マハラノビスの距離

<http://aoki2.si.gunma-u.ac.jp/lecture/Discriminant/disc2.html>