

## 雪氷路面センシング技術の高度化に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 27～平 30

担当チーム：寒地交通チーム

研究担当者：高橋尚人、徳永ロベルト、佐藤賢治、中島知幸、藤本明宏

### 【要旨】

本研究では、道路交通の支障とならず、雪氷路面の状態を評価可能な雪氷路面センシング技術の開発を目的に、平成 27 年度の夏期および冬期に、近赤外線およびマイクロ波を使用した野外試験を実施した。野外試験の方法と取得データを紹介するとともに、雪氷路面の状態を評価する手法について検討した結果を報告する。

キーワード：冬期道路、路面状態判別、近赤外線

### 1. はじめに

積雪寒冷地における基本的な凍結路面対策として、凍結防止剤やすべり止め材が散布されているが、維持管理コストの縮減、散布による環境負荷低減の観点から、散布の一層の効率化が必要である。冬期路面管理マニュアル（案）では、「散布は、気象条件、路面条件等により適切な散布剤（材）、散布手法等を選定し、（中略）最小限の散布量で効果的な利用を図る」と記されている<sup>1)</sup>。道路管理者は道路巡回、気象データの活用に取り組んでいるが、路面上の雪氷量を計測する実用的な技術がないため、散布の判断や散布量調整は、オペレータの経験に基づいて実施されている。

路面上の雪氷量を計測するには、直接雪氷量を計測する手法<sup>2)</sup>があるが、計測時に交通を妨げるため、実用的な方法ではない。

本研究では、道路交通の支障とならず路面状態を評価可能な方法として、近年、研究が進められている光学式センサーを用いた路面状態の評価に取り組むものである。

### 2. 光学式センサーに関する既往研究

路面状態の評価に用いられる光波等は、①可視光（おおそ 380nm～780nm）、②近赤外線（おおそ 780nm～2500nm）および③マイクロ波（1mm～1m 程度）に分類される。

#### ① 可視光を用いた路面状態評価に関する研究

村田ら<sup>3)</sup>はCCTVカメラ画像をRGB解析して路面状態を判別する技術開発に取り組んだ。CCTVカメラ画像を用いるので装置を低コストで用意できるが、RGB解析を行うため、道路照明がある地点でしか夜間の路面判別ができず、汎用性に欠ける。Alimasi<sup>4)</sup>らは

可視光源の反射光を解析し路面状態を判別する技術開発に取り組んだ。周辺光の干渉を受けないよう覆いを必要とし、受光部を路面に近づける必要があるため受光部が汚れやすく、実用には適さない。

#### ② 近赤外線を用いた路面状態評価に関する研究

水や氷が特定波長の近赤外線を吸収する性質を用いて路面状態判別をする研究が進められている（Jonssonら<sup>5)</sup>、堤ら<sup>6)</sup>、Casselgrenら<sup>7)</sup>）。太陽光の影響を補正することが必要になるが、装置は低コストである。

#### ③ マイクロ波を用いた路面状態評価に関する研究

地球の水環境の衛星観測などに用いられてきた。路面判断では、渡邊ら<sup>8)</sup>、高橋ら<sup>9)</sup>がマイクロ波の輝度温度と放射率を用いた路面判断技術の開発に取り組んできた。マイクロ波放射計は高価だが、太陽光の影響を受けない優位点がある。

以上より、技術の汎用性・実用性に劣る可視光を除き、近赤外線およびマイクロ波を対象として検討を行うこととする。また、路面上の雪氷量を計測した上で路面のすべりやすさを推定する手法も研究されているが、その推定方法は明らかにされておらず、推定精度にも課題がある。

### 3. 研究実施内容

本研究では以下の内容を目的とする。

#### (1) 路面雪氷量の計測技術の開発

様々な舗装・雪氷状態で正確な路面雪氷量の評価が可能な近赤外線またはマイクロ波の波長または波長の組み合わせを検討する。

#### (2) 路面のすべりやすさの計測技術の開発

(1)の結果を踏まえ、路面のすべりやすさを推定するアルゴリズムを検討する。また、すべりの実測値（路面すべり測定車等）との比較試験による精度検証を実施する。

#### 4. 路面計測試験

##### 4.1 試験概要

本試験は、2015年8月31日～2015年9月1日の夏期2日間と2016年2月1日～2016年2月3日の冬期3日間、北見工業大学第1総合研究棟屋上で実施した。近赤外線およびマイクロ波を使用して、同条件で計測を実施した。

近赤外線およびマイクロ波放射計を用いた計測システムをそれぞれ写真-1 および写真-2 に示す。測定対象の舗装路面として 40cm×40cm の密粒度アスファルト舗装供試体を使用し、反射光の強度測定には可視赤外分光放射計およびマイクロ波放射計を使用した。また、近赤外線の計測では特定角度で光を照射および反射光を計測するための測定用治具を使用し、光源はハロゲンランプ（50W）を使用した。膜厚の計測には、NASA 水膜厚計（写真-3：左）および塗膜厚計（写真-3：右）を使用した。可視赤外分光放射計とマイクロ波放射計の仕様を表-1 に示す。



（左：NASA 水膜厚計、右：デジタル塗膜厚計）

写真-3 膜厚計

表-1 放射計仕様

装置名	使用波長
近赤外線放射計	350nm～2500nm
マイクロ波放射計	6GHz、18GHz、36GHz(冬期のみ使用)

##### 4.2 夏期試験（乾燥路面と湿潤路面）

夏期試験では、乾燥路面および湿潤路面の計測を昼間および夜間に実施した。試験状況を写真-4 に、試験条件を表-2 に示す。湿潤路面の作成には純水を使用し、水膜厚を維持するために、アクリルケース内に舗装供試体を設置し、純水を順次追加した。また、計測条件を合わせるために、乾燥路面の計測でもアクリルケース内に舗装供試体を設置した。

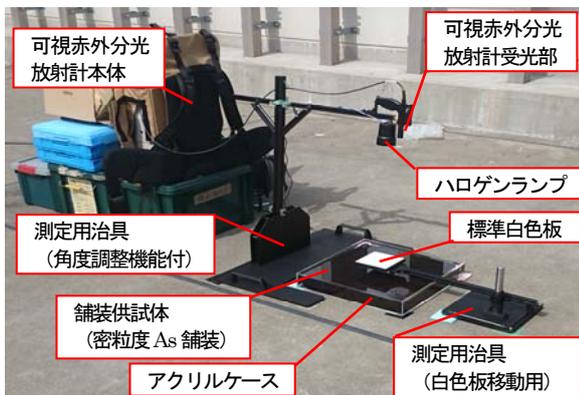


写真-1 計測システム（近赤外線）



写真-4 夏期試験状況（上：昼間、下：夜間）



写真-2 計測システム（マイクロ波）

表-2 計測条件 (夏期試験)

日時	2015年8月31日19:30~2015年9月2日11:30	
場所	北見工業大学 第1総合研究棟屋上	
天候	晴れ時々曇り	
路面状態	乾燥、湿潤(純水)	
計測対象路面	密粒度アスファルト舗装供試体	
水膜厚	0.5mm、1.0mm、1.5mm、2.0mm	
近赤外線	光源	ハロゲンランプ(50W)
	照射角度	45°、55°、65°、75°、85°
	受光角度	照射角度と同じ

試験方法を述べる。

- i) 85° の角度に光源および可視赤外分光放射計受光部を設置し、舗装供試体からの反射光を計測する。
- ii) 供試体上に標準白色板を設置し、反射光を計測する。
- iii) i)から ii)の作業を3回繰り返す。
- iv) i)から iii)の作業を75°、65°、55° および45°の角度でも計測する。

また、湿潤路面の計測では0.5mm、1.0mm、1.5mm および2.0mmの水膜厚で実施した。

#### 4. 3 冬期試験 (乾燥路面と凍結路面)

冬期試験では、乾燥路面および凍結路面の計測を夜間に実施した。試験状況を写真-5 に、試験条件を表-3 に示す。試験方法は対象路面を凍結路面に変更すること以外は、夏期試験と同様である。



写真-5 冬期試験状況 (夜間)

表-3 計測条件 (冬期試験)

日時	2016年2月7日17:50~2016年2月8日20:00	
場所	北見工業大学 第1総合研究棟屋上	
天候	曇り時々雪	
路面状態	乾燥、凍結(純水)	
計測対象路面	密粒度アスファルト舗装供試体	
水膜厚	0.5mm、1.0mm、1.5mm、2.0mm	
近赤外線	光源	ハロゲンランプ(50W)
	照射角度	45°、55°、65°、75°、85°
	受光角度	照射角度と同じ

## 5. 試験結果

### 5. 1 乾燥路面および湿潤路面の計測結果

夜間および昼間の乾燥路面の計測結果を図-1 および図-2 に示す。夜間の反射強度は角度依存性が高く、角度が大きくなるにつれて反射強度が大きくなり、各角度間で波形は類似している。一方、昼間の計測結果は、65°と85°の殆どの波長で反射強度の逆転現象が起きている。しかし、1400nm付近では、逆転現象は起きていない。この要因は、1400nm付近では太陽光は殆ど存在しない<sup>10)</sup>ため、夜間の計測と同様に、ハロゲンランプの反射光が主成分として観測されたと考えられる。

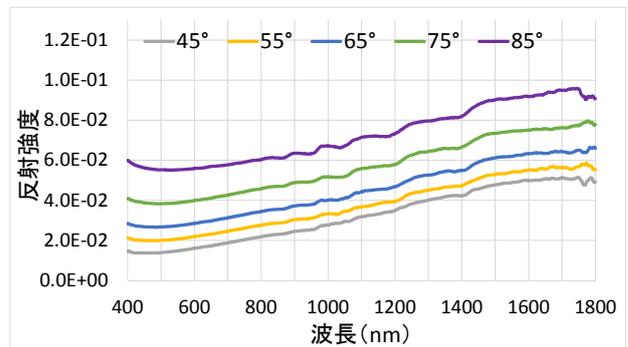


図-1 乾燥路面(夜間)計測結果

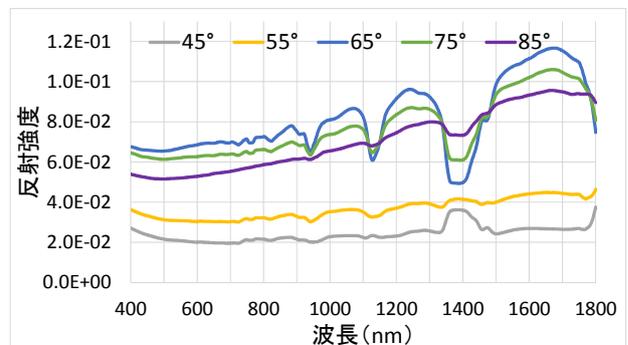


図-2 乾燥路面(昼間)計測結果

夜間および昼間の純水による湿潤路面の計測結果をそれぞれ図-3 および図-4 に示す。夜間の反射強度は乾燥路面と同様に、角度依存性が高く、角度が大きくなるにつれて反射強度が大きくなり、各角度間で波形は類似している。また、乾燥路面と波形は大きく異なり、いくつかの極値が存在する。一方、昼間の計測結果は、夜間の計測結果と波形が大きく異なる。これは乾燥路面の計測結果と同様に、太陽光の影響と考えられる。また、夜間と昼間の計測結果で、1400nm付近の反射強度が非常に低く、水により光が吸収されていることがわかる。

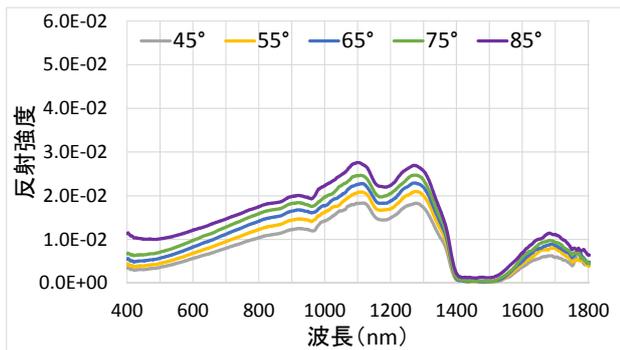


図-3 湿潤路面(夜間、純水 1.0mm)計測結果

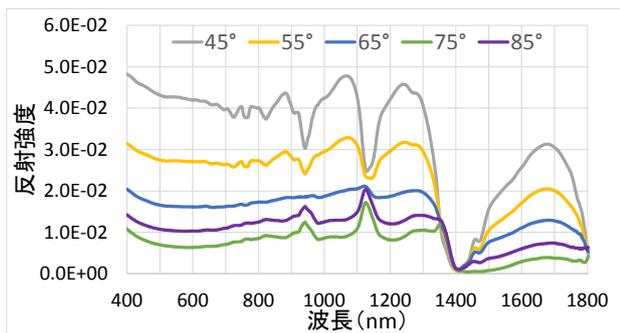


図-4 湿潤路面(昼間、純水 1.0mm)計測結果

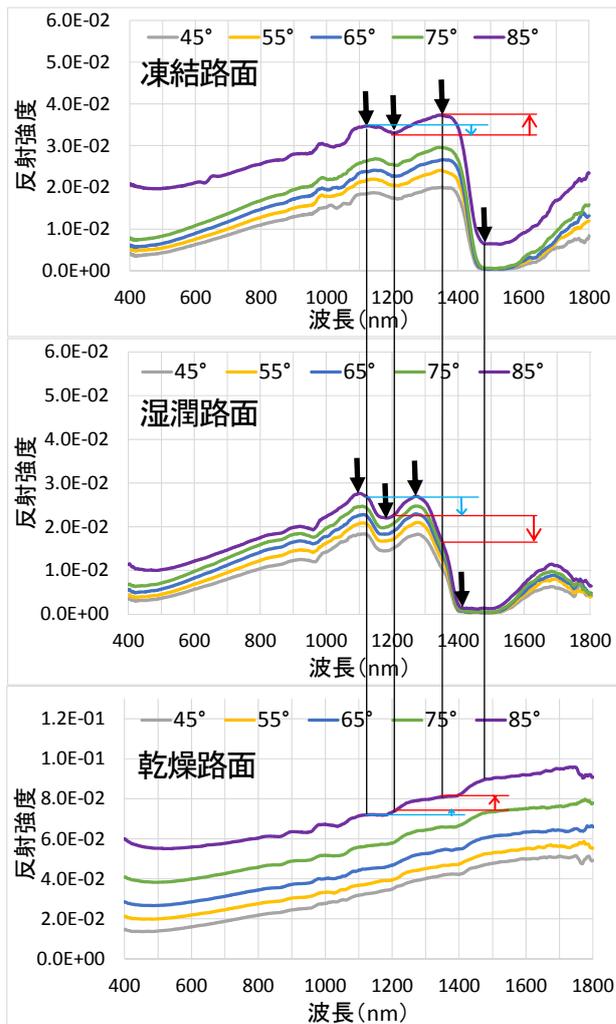
### 5. 2 凍結路面の計測結果

夜間の凍結路面の計測結果と比較用の湿潤路面および乾燥路面の計測結果を図-5 に示す。凍結路面では、反射強度は角度依存性が高く、角度が大きくなるにつれて反射強度も大きくなる。湿潤路面と比較すると、極値となる波長や 1400nm 付近の吸光作用のある波長が異なり、波形の形状が異なっている。また、乾燥路面と湿潤・凍結路面でも波形の形状は異なっている。

### 6. 路面状態の判別方法の検討

昼間の計測結果は、太陽光の影響が大きく、補正方法の検討が必要になる。そのため、まず夜間の計測結果で検討する。前項で述べた乾燥、湿潤および凍結路面の計測結果より、各路面状態の計測波形の形状が異なることから、波形の形状の違いを評価し、路面状態を判別することが可能と考えられる。

波形の形状の違いを評価するために、Jonsson<sup>5)</sup>や Casselgren<sup>7)</sup>らは分布形状の違いが見られる特徴波長を 3 つ程度抽出し、その強度の比を比較する方法を採用している。この方法は使用する波長を絞り込むことでセンサーのコストを抑え、解析が容易になると考えられる。本研究では、特定の波長での反射強度同士の比を座標とし、乾燥、湿潤および凍結の各路面状態のグループに区



(上：凍結路面、中：湿潤路面、下：乾燥路面)

図-5 各種路面(夜間、純水 1.0mm)計測結果比較

分可能と考え、グループ間の距離が大きくなる 3 つ程度の波長を選定し、路面状態を判別する手法について検討を進める (図-6)。

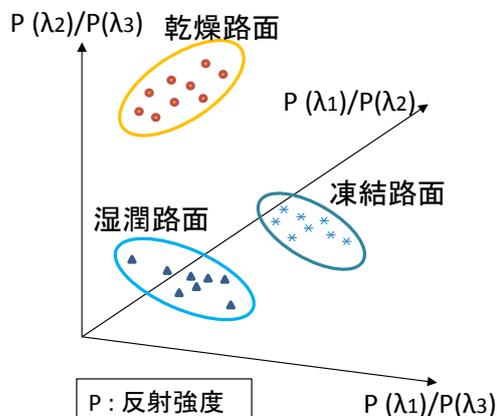


図-6 路面状態判別のイメージ

## 7. 路面雪氷量計測技術の開発

非接触式の光学式センサーにより、路面のすべりやすさを計測するためには、路面状態だけでなく、路面上の水分・雪氷量を計測する技術が必要である。

今後、水分・雪氷量を計測する手法を確立し、路面すべり測定車等と比較試験を実施し、路面のすべりやすさを推定する手法について検討する。

## 8. まとめと今後の課題

本研究では、道路交通の支障とならず、雪氷路面の状態を評価可能な雪氷路面センシング技術の開発を目的に、可視赤外分光放射計およびマイクロ波放射計を用いて様々な路面状態（乾燥・湿潤・凍結）を計測した。近赤外線での計測結果から、乾燥、湿潤および凍結路面は、反射強度－波長の波形の形状が異なることがわかった。このことから、波形の形状の違いにより路面状態を判別する方法として、特定の波長での反射強度同士の比を用いる手法について検討を進めている。マイクロ波での計測結果については、共同研究契約を締結している北見工業大学において分析が進められている。

今後は圧雪路面でも試験を実施し、計測データを蓄積するとともに、路面状態を判別可能な波長を選定し、当手法を確立するものとする。また、路面上の水分・雪氷量の推定や路面のすべりやすさの推定手法についても検討を行う所存である。

## 参考文献

- 1) 北海道開発局、1997：冬期路面管理マニュアル(案)
- 2) 藤本明宏，切石亮，川端雄一，徳永ロベルト，高橋尚人，石田樹：凍結防止剤散布による氷膜路面のすべり抵抗変化の推定法，寒地技術論文・報告集，pp.42-46，2013.
- 3) 村田藤麿，吉田 健一，上原麻子：画像情報を活用した路面判別技術に関する基礎研究，第18回ゆきみらい研究発表会，2006.
- 4) Nuerasimuguli ALIMASI，高橋修平，日下稜，大久保雅文：光学式路面凍結検知システムの開発（4）-2012年陸別地域の路面観測，北海道の雪氷，No.31(2012)，pp69-72，2012.
- 5) Patrik Jonsson，Torgeir Vaa，Felix Dobslaw and Benny Thömborg，Road condition imaging - model development，Transportation Research Board 94th Annual Meeting，2015.
- 6) 堤大祐，波通隆，堀武司，長尾信一，渡辺伸央，村上康之，磯田和志，池上貴志樹：近赤外光吸収画像による水・氷の検知に関する研究（第二報），北海道立工業試験場報告No.298，pp.145-150，1999.

- 7) Johan Casselgren：Road Surface Characterization Using Near Infrared Spectroscopy，doctoral thesis，Luleå university of technology，2011．<http://www.opticalsensors.se/roadeye.html>
- 8) 渡邊直樹，榎本浩之，山本朗人，田中聖隆，館山一孝，高橋修平，高橋尚人：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，北海道の雪氷 No.29，pp.65-68，2010.
- 9) 高橋尚人，徳永ロベルト，切石亮，山本朗人，田中聖隆，榎本浩之，館山一孝，高橋修平：マイクロ波放射計を用いた冬期路面のすべり抵抗値評価に関する研究，第27回寒地技術シンポジウム，pp.115-119，2011.
- 10) National Renewable Energy Laboratory，Reference Solar Spectral Irradiance :Air Mass1.5，<http://redc.nrel.gov/solar/spectra/am1.5/>

## A STUDY ON ADVANCED REMOTE SENSING TECHNOLOGY TO ASSESS THE WINTER ROAD CONDITIONS

**Budgeted** : Grants for operating expenses

General account

**Research Period** : FY2015-2018

**Research Team** : Cold-Region Road Engineering  
Research Group (Traffic Engineering  
Research Team)

**Author** : Tateki Ishida  
Naoto Takahashi  
Roberto Tokunaga  
Kenji Sato  
Tomoyuki Nakajima  
Akihiro Fujimoto

**Abstract** : It is important to correctly understand the winter road conditions, so that tactical decisions on the delivery of winter services can be made.

The objective of this study is to investigate and clarify physical properties that makes it possible to classify different road conditions using near infrared light and microwave. In this study, in addition to the dry surface, wet and icy surfaces were artificially created, and spectral responses for each surface condition were observed.

**Key words** : winter road management, road surface characterization, near infrared