

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-
Development of an optical detection system (4)
-Road freezing observation in REKUBETSU area, 2012-

*Nuerasimuguli ALIMASI, 高橋 修平, 日下 稜, 大久保 雅文 (北見工業大学)

*Nuerasimuguli.Alimasi, Shuhei.Takahashi, Ryo.Kusaka, Masafumi.Okubo

1. はじめに

北海道の山間部の道路では、冬期の通行安全の確保は重要な課題である。寒冷地では冬期に路面の状態が圧雪路面や凍結路面など様々に変化し、運転手が把握することが困難になり、スリップによる交通事故が増加する傾向にあり。「つるつる路面」や「ブラックアイスバーン路面」発生によるスリップ型交通事故が多発している。

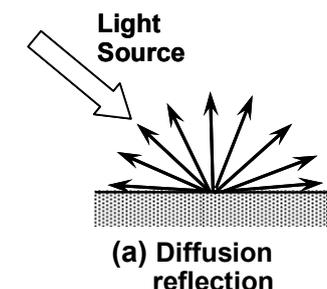
本研究では、冬期の安全な通行の確保に貢献するために、光学式路面凍結検知システムを開発するために装置にさまざまな改良を加えている^{1), 2), 3), 4)}。2011-2012の冬期は可搬型凍結検知システムを作製し、陸別町、石北峠、北見市などで観測を行った。今回は陸別地域の観測について報告する。

2. 路面反射の光学特性

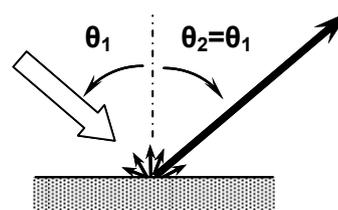
新雪路面で光は図 - 1 (a) のように拡散反射し、平滑な氷のような路面であれば光は図 - 1 (b) のように光は鏡面反射する。実際の路面は図 - 1 (c) のように両方の様相を持った混合となる。この拡散反射と鏡面反射を測定するために、入射角に光源に対し、天頂および反射角 45° の反射信号を測定する。

3. 測定装置の概念

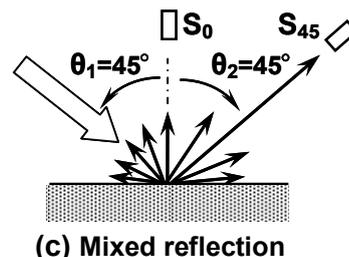
測定装置は、(図 - 2) ように左から光源 (10 × 10 の LED)、 0° 天頂センサー (S_0)、 45° センサー (S_{45}) を配置してある。天頂センサーは拡散反射を測定し、 45° センサーは鏡面反射を測定する。この観測は拡散反射と鏡面反



(a) 拡散反射 (新雪路面)



(b) 鏡面反射 (平滑な氷)



(c) 拡散反射 + 鏡面反射 (実際の路面)

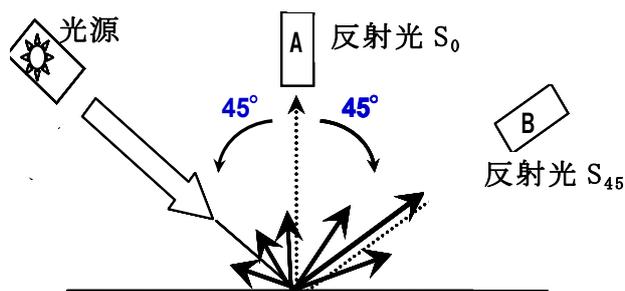


図-2 路面凍結の反射特性概念

図 - 1 路面の拡散反射と鏡面反射の概念図

射を測定するために入射角 45° 光源に対し天頂および反射角 45° の反射信号を計測する。

4. 測定装置

路面反射の光学特性を利用し 2011 - 2012 の冬期観測において外部光の影響を避けるため路面直接接触する下半型光学式路面凍結検知システムを開発した(図 - 3)。光源の電源は乾電池持ち、出力信号はテストで読み取った。外部光の影響は光源の ON, OFF の差を取るにより外部光の影響を除去した。本研究で開発された測定装置の特徴は二つの点滅ライトの反射信号により、直接接触で凍結路面種別を判断することである。入射角 45° で光源を測定路面に当てたと、反射光を天頂角(0°)および反射角 45° の二つの角度で拡散反射と鏡面反射センサーにより読み取る。

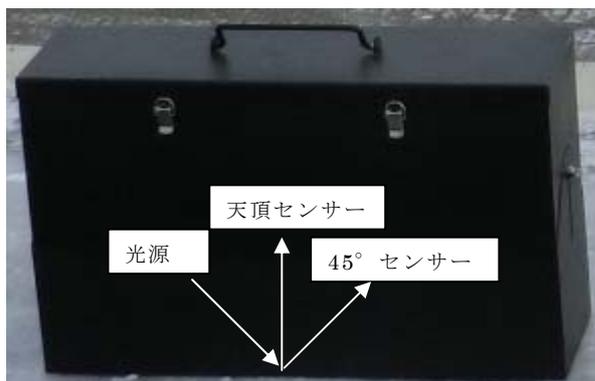


図 - 3 観測装置の写真

5. 観測地域と観測方法

2012年1月20日~23日にかけて陸別町地域で路面凍結観測を実施した。観測地点は訓子府、境野、置戸、池北峠、トマム頂上、トマム中腹、トマム山麓、羽藤牧場、小学校跡、殖産3号橋、高田牧場である(図 - 4)。観測においては可搬型の路面凍結検知システムを用いた路面測定、車載型路面凍結測定、摩擦力測定、気温、路面温などを行った。

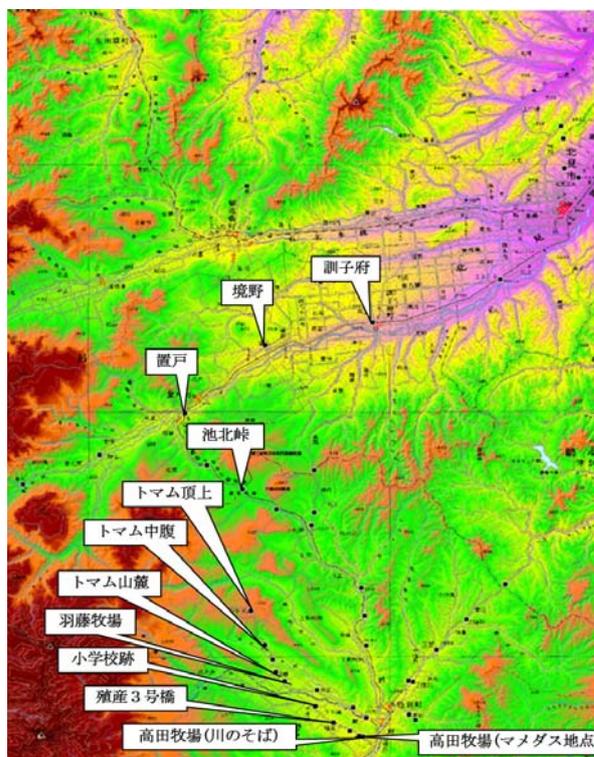


図 - 4 陸別地域の観測現場地図

6. 測定変数の定義

本研究で扱う変数は下記のように定義する。図 - 5 は路面状態検出の概念図を示す。

V_0 : 路面の天頂 (0°) 信号電圧

V_{45} : 路面の 45° 信号電圧

V_{0w} : 白紙の天頂 (0°) 信号電圧

光源強度の変化を考慮し、反射信号は白紙天頂信号 V_{0w} で次のように規格化する。

S_0 は規格化した 0° 天頂信号であり、 S_{45} は規格化した 45° 信号である。

$$S_0 = V_0 / V_{0w} \quad (1)$$

$$S_{45} = V_{45} / V_{0w} \quad (2)$$

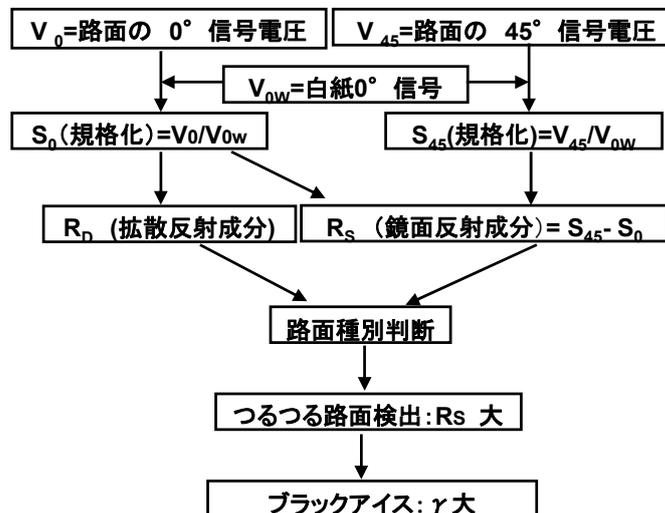


図 - 5 路面状態判別概念図

天頂の反射は拡散反射 45° 反射成分は、拡散反射と鏡面反射の和と考えて拡散反射率 R_D (diffuse reflectance)および鏡面反射率 R_S (Specular reflectance)次のように定義する。

$$R_D = S_0 \tag{3}$$

$$R_S = S_{45} - S_0 = (V_{45} - V_0) / V_{0w} \tag{4}$$

ブラックアイスは薄い氷膜が路面に貼りついたものであり、暗い路面が鏡面反射することを強調するために、次のように鏡面反射比 γ_{SD} は (拡散反射 R_D に対する鏡面反射 R_S の比) (Ratio of specular reflectance to diffuse reflectance). を次のように定義する。

$$\gamma_{SD} = R_S / R_D = (V_{45} - V_0) / V_0 \tag{5}$$

7. 観測結果

2012年1月20日から23日まで陸別地域で路面凍結測定を行った。図-6に規格化した0°信号と45°信号の各路面とも S_{45} データは $S_{45}=S_0$ の直線の上であり、拡散反射に鏡面反射が上乘せされていることがわかる。そこで(4)のより45°信号から0°信号を引いて鏡面反射率を求めたので、図-7である。

結果からアスファルトの乾燥路面は拡散反射の値も鏡面反射の値も0に近い。このようなときには路面状態が安全である。新雪、圧雪などでは拡散反射が高く0.6以上も高かった。ブラックアイスバーン、つるつる路面、凍結路面(スケートリンクの氷面)では鏡面反射は0.5~1.5と高かった。

図-8に静止摩擦係数と鏡面反射の関係を示す。静止摩擦係数は2.5kgおもりをのせたタイヤ片を引いて測定した。図-8から乾燥路面は静止摩擦前位と大きいのにに対し、圧雪では0.5程度、ブラックアイスやスケートリンクの氷は0.4以下であった。また、このような滑る路面では鏡面反射率 R_S は0.5以下であった。つるつる路面、ブラックアイスバーン、凍結などの路面状態では、摩擦係数の値は低く0.3、鏡面反射場合は値が高く1.4までであったことが分かる。そして、積雪、圧雪などの路面では摩擦係数も小さく、鏡面反射も高く注意することが必要ということと言える。

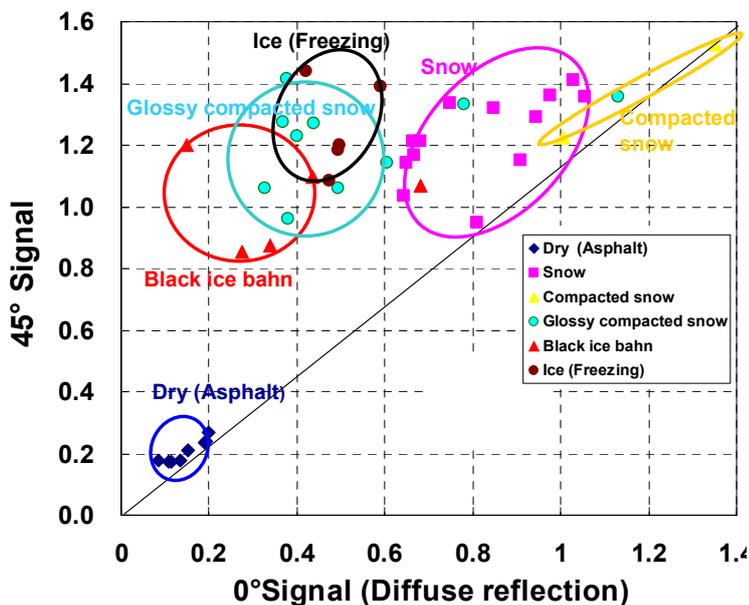


図-6 規格化した生データ

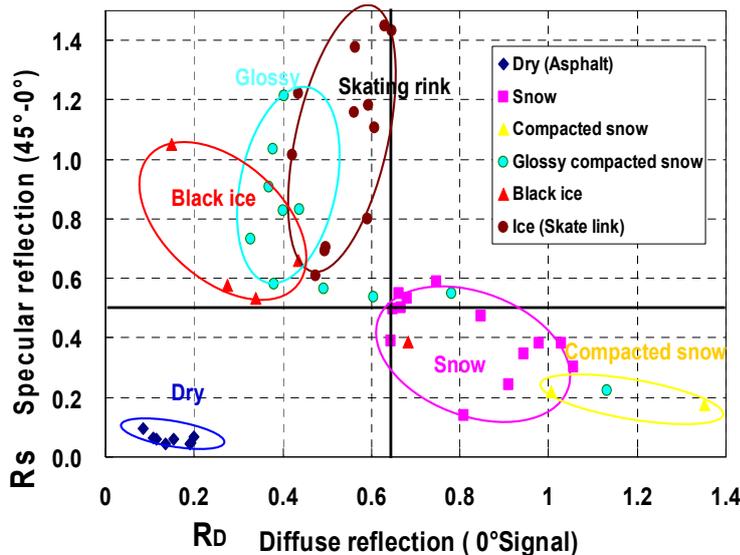


図-7 鏡面反射率と拡散反射率

図 - 9 は鏡面反射比と拡散反射の関係を表すグラフである。鏡面反射比はブラックアイスバーンを強く強調することができる。この結果はブラックアイスバーンでの値が 7 まで上がっており、危険であることを示していたことが分かる。つるつる、凍結、積雪、圧雪など路面は拡散反射が高く注意を必要とする。アスファルトの乾燥路面は鏡面反射比も拡散反射も低くこのようなときの路面は安全ということが分かる。

まとめ

可搬型路面反射測定装置（光源入射角 45°）による 0°, 45° 反射測定から、路面の拡散反射 R_D 、鏡面反射 R_S を求めた。 $\gamma > 1$ のとき、ブラックアイス、光沢圧雪路面氷面（スケートリンク）を含めつるつる路面の危険な路面と言える。

- 1) R_D , R_S により、路面凍結状態が判別できる。
- 2) R_S が大きいとき、摩擦係数が小さく、スリップ危険度が大きい。
- 3) 鏡面反射比 $\gamma = R_S/R_D$ により、ブラックアイスが強調され、運転にとって危険なブラックアイスが検出される。

【参考文献】

- 1) Alimasi Nuerasimuguli, 高橋修平, 2009: 「光学センサーを用いた路面凍結検知計開発の研究」, 北海道の雪氷, **28**, 89-92.
- 2) ALIAMS I Nuerasimuguli, 高橋修平, 榎本浩之, 若林剛, 2010: 「路面凍結検知システムの試作 (2)」, 寒地技術論文・報告集, **26**, 136-138.
- 3) Alimasi Nuerasimuguli, 高橋修平, 榎本浩之, 茂村 歩, 2011: 「光学式路面凍結検知システムの開発 (3)」, 北海道の雪氷, **30**, 47-50.
- 4) Nuerasimuguli ALIMASI¹, Shuhei TAKAHASHI¹, Hiroyuki ENOMOTO², 2012: 「Development of a mobile optical system for road-freezing detection」, Bulletin of Glaciological Research, accepted.

謝辞

陸別町の皆様と陸別浜田旅館の浜田始様には研究実施に当たり大変お世話になりました。心よりお礼申し上げます。

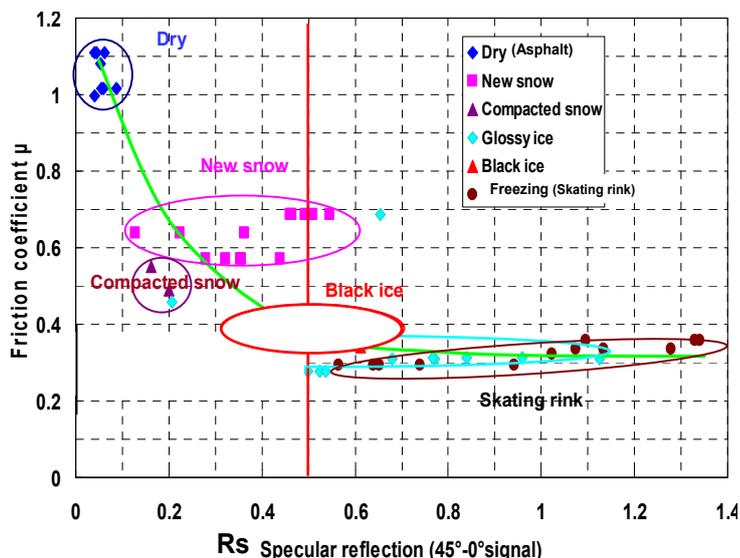


図 - 8 静止摩擦係数と鏡面反射率の関係

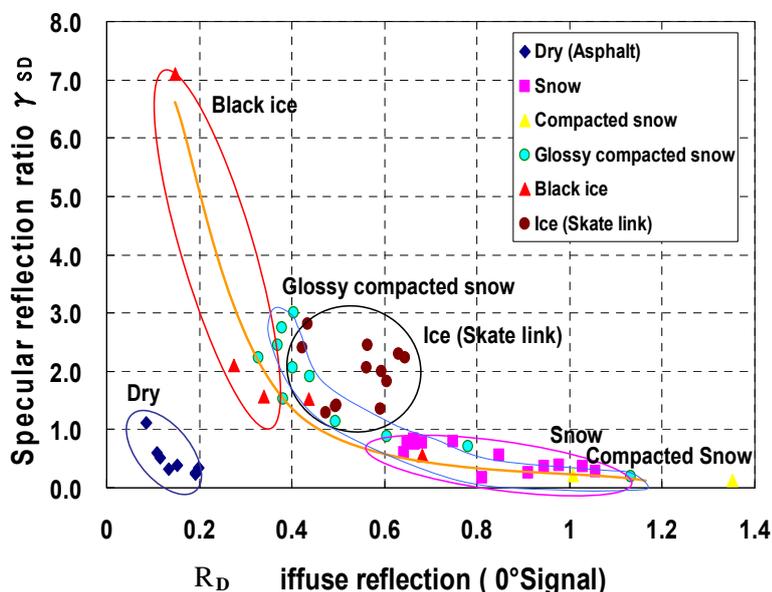


図 - 9 鏡面反射比(γSD)と拡散反射(RD)の関係