

冬期路面における路面温度と車両のすべりに関する研究*

A Study on the Relationship between the vehicular slip and the road temperature*

浜岡秀勝**・鹿内拓人***・鈴木雄**

By Hidekatsu HAMAOKA**・Takuto SHIKANAI***・Yu SUZUKI**

1. はじめに

積雪寒冷地において、冬期は路面の凍結等によりスリップ事故となる危険性が高い。その原因の一つに、ドライバーが道路状況を十分に把握できていないことが考えられる。現在、ドライバーが運転中において把握できる情報は気温や路面温度を計測するセンサをもとにした電光掲示板のみである。しかし、実際にはトンネル、橋梁などといった道路構造の変化、周辺の地形の変化における日射量の違い等から、路面状態は走行位置により、きめ細かに変化する。そのため、道路構造や地形が変化する全ての地点にセンサを設置する必要があるが、コスト上限界がある。そこで、路面温度を車両で計測し、路面温度が変化しやすい地点をリアルタイムに提供することにより、ドライバーへ安全運転を促すことができると考えている。路面温度を車両で計測することにより、路面温度を広範に取得できるほか、走行位置の変化に伴う路面温度の変化についても把握可能となる。

以上のことから本研究では、移動式気象観測システムを用いて、通常時と変わらない状態における走行からデータを取得する。同時に車両走行データも観測し、路面凍結検知された際の路面温度との関係を分析する。そのうえで、すべりの原因を明らかにし、冬期路面走行の安全性向上対策について考察する。

2. 従来の研究と本研究の位置づけ

本研究では、冬期路面におけるすべりの要因となる路面温度を広範に提供することにより、スリップ事故を防止することができると考えている。

既往研究においても、移動式気象観測車を用いた研究が行われている。宮本ら¹⁾の研究では放射冷却の影響を顕著に受ける橋梁部に着目し、センサによる路面温度差とその変化状況から路面凍結の要注意箇所を抽出した。

* キーワーズ：冬期路面、スリップ、路面温度

** 秋田大学土木環境工学科

(秋田市手形学園町1-1、Tel:018-889-2974

e-mail: hamaoka@ce.akita-u.ac.jp)

*** 日建技術コンサルタント

これらの結果を踏まえて凍結防止剤の散布区間の選定に役立てている。

永田ら²⁾の研究では冬期において交通事故が多発しているトンネル坑口付近に着目し、ロードヒーティング整備前後における路面温度を観測し、同区間において別の車両ですべり摩擦係数を観測することで、ロードヒーティングの整備効果を明らかにした。しかし、車両のすべりとの関係性については触れられていない。

路面温度と車両のすべりの関係については、気温が0付近で路面温度が気温を下回るときに路面凍結を検知しやすい事を佐藤ら³⁾の研究により明らかになっている。しかし、路面温度の観測装置が固定式であるため、実際に路面凍結を検知した地点の路面温度が異なる可能性が高い。

以上の研究成果を踏まえ、本研究では、同一車両で路面温度と車両走行を観測し、路面温度と車両のすべりの関係をより確実なものとして確認した上で、路面凍結検知前後における路面温度との関係についても分析することにした。

3. 使用データの概要

本研究の路面凍結検知については、スリップ指標と車輪速度差(4輪の最大速度と最小速度の差)を用いて分析する。スリップ指標と車輪速度差においては、各速度別に設けられた基準値⁴⁾を超えたものを路面凍結検知とする。

本研究において使用するデータを表-1、表-2に示す。表-1のデータについては、使用した車両は3台であり、秋田市内及び秋田県鹿角市周辺の特定の区間を数往復走行したデータである。

表-1 複数車両による走行実験の概要

データ取得期間		2008年1月25日～31日・2月22～25日
車両台数		3台(一部2台)
走行箇所		秋田市内(自専道、片道2km) 鹿角市内(国道282号、片道8km)
走行回数		秋田市内: 12往復(延べ48km) 鹿角市内: 8往復(延べ128km)
取得項目	車両	車体速度(GPS速度)・車輪速度
	ビデオ	助手席からの映像(路面状況把握可)

このデータを使用して、路面凍結検知の基準値を3台全てに適合することを検証した。

また、表-2に示す調査については、複数車両走行による路面凍結検知のアルゴリズムの安定性を踏まえた上で、路面温度とスリップの関係を見るために実施したものである。使用した車両は1台であり、秋田市内及び国道46号線大仙市～仙北市における所定の区間を走行したデータを取得した。

表-2 路面温度とスリップの関連性調査の概要

データ取得期間	2009年2月12日～3月7日（6日間実施）	
走行箇所	仙北市田沢湖～仙岩峠（国道46号線、片道6km）	
走行回数	36往復（延べ432km）	
取得項目	車両	車体速度（GPS速度）・車輪速度
	気象	気温・路面温度・日射量
	ビデオ	助手席からの映像（路面状況把握可）

4. 車両挙動からみやすべり運動性の確認

スリップ事故の危険性は、天候、路面温度、路面状況など様々な要素に左右されるが、車両形状、タイヤの摩耗具合、そしてドライバーの違いによる影響も少なくはない。そのため対象地域を100名近くの被験者による走行実験を行う既往研究もいくつか見られるが、同地点を対象に複数の車両で走行実験を行う研究はまだ行われていない。

100名もの被験者がいると、数分後には同じ地点を別の被験者が走行する可能性は高いものの、各ドライバーが他のドライバーの走行経路は把握していないこと、および、同じ地点であっても長時間経過してからの走行となる場合もあり、走行する頃には路面状況や路面温度といった道路環境も変化すること、等から限界があると考えている。

そこで本研究では、同じ区間で同時に3台の車両で走行実験を行う。複数の車両で同時に走行することで、同じ道路環境において同地点での検知を確認することができるため、検知の信頼性が大幅に高くなる。

実験の方法として、3台の車両が1列となって走行し、制動時においてはABS作動の有無により、すべりの判断をトランシーバーで全員に報告する。また、助手席にビデオカメラを設置し、路面状況、トランシーバーによる音声、前方車のブレーキランプから搭載車が制動するまでの時間差を把握する。

スリップ指標と車輪速度差の基準値を超えた路面凍結検知地点を図-1に示す。なお、通常走行時におけるスリップ指標の基準値は0.1、車輪速度差の基準値は2km/hであり、これらを超える場合をすべりの検知とみなす。

路面凍結検知の内訳を見ると、スリップ指標が最も多いが、図-2により、その多くが低速時に生じていることがわかる。

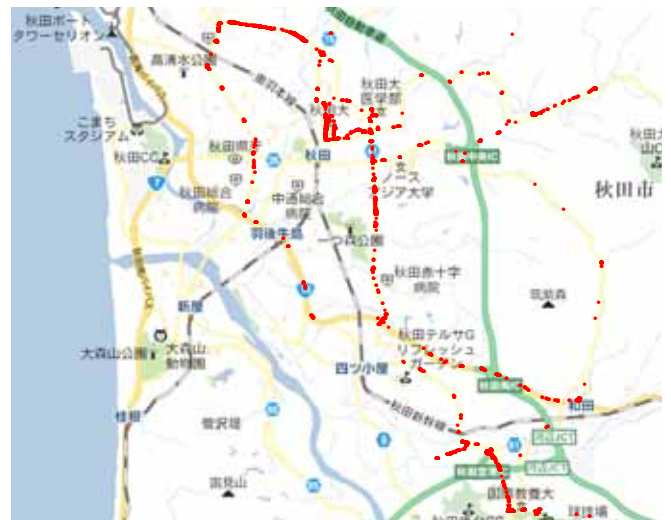


図-1 路面凍結検知地点

表-3 凍結検知回数

	スリップ指標	車輪速度差	両者
検知回数	698	2877	493

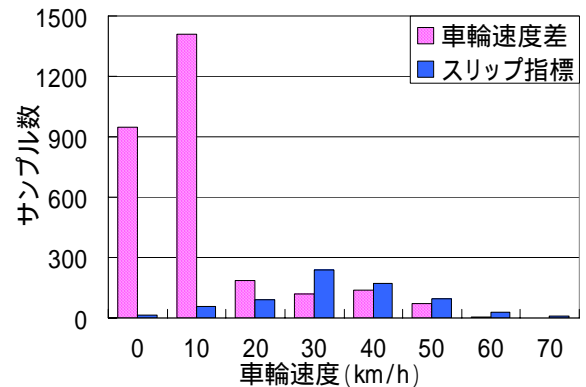


図-2 速度別路面凍結検知回数

路面凍結検知の多い地点において、全ての走行データで車両挙動を比較したものの、検知の多い地点では、検知の有無に関わらずほとんどの走行で同じ車両挙動がみられた。検知された地点として最も多いのが交差点手前である。特に信号交差点においては、多くの車両が制動するため、積雪期はスタットレスタイヤによる路面との摩擦によりさらに滑りやすい路面になる。ここで、路面凍結検知が多く見られた地点に着目し、3台の車両が同じ挙動であることを検証する。

図-3は、同区間を3台の実験車両にて走行し、凍結検知がみられたところを図示したものである。この図から同じ地点にて凍結検知がなされていることがわかる。また、図-4は、その地点におけるスリップ指標を走行距離ごとに求め、示したものである。この図から、検知地点（点線部）においてのみ、スリップ指標が高くなることを確認できる。そのため、ドライバーによって運転挙動による多少の個人差はあるものの、冬期路面で実際に生じる車両挙動は3台全てで共通していると考えてよい。

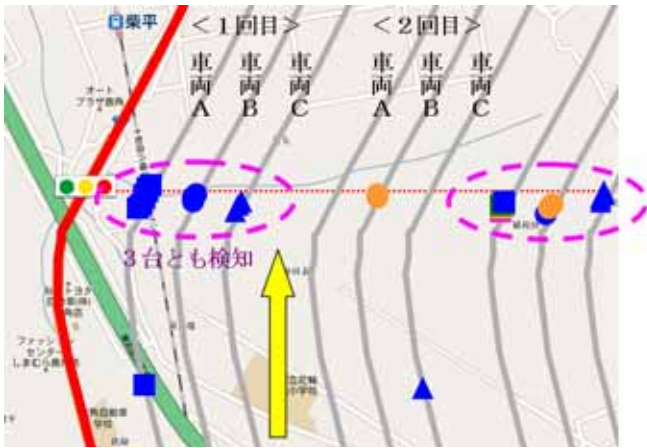


図-3 スリップ指標による検知多発地点

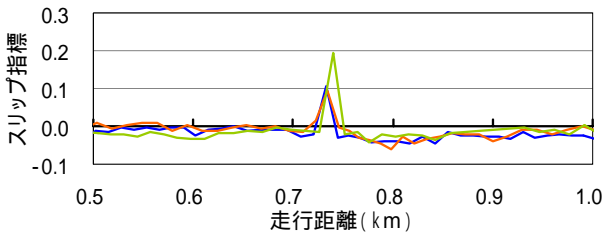


図-4 検知多発地点におけるスリップ指標

5. スリップ時の気温と路面温度の関係

路面の凍結は気温や路面温度が関係しており、路面凍結検知の原因分析において最も有効と考えている。そのため、本研究では気象データとして気温と路面温度を用いた分析を行う。路温データは、車両前頭部にセンサを取り付けて実際に走行しながら1秒間隔で取得する。



図-5 路面温度観測センサ

ここで、取得された路温データが路面凍結へ及ぼす影響を把握するため、気温と路面温度の関係について分析する。

表-2のデータにおける路面凍結の検知回数を気温別、路面温度別に示したものが図-6である。この図から、路面凍結検知回数を気温別に見た場合、大半が0より高いことがわかる。気温が高いことは、ドライバーにとってスリップ事故の危険性は低いと考えやすく、そこに危険性が秘めていると考えることもできる。

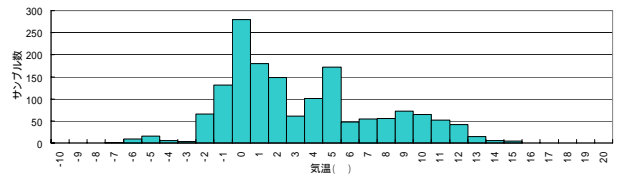


図-6 路面凍結検知時における検知回数(気温別)

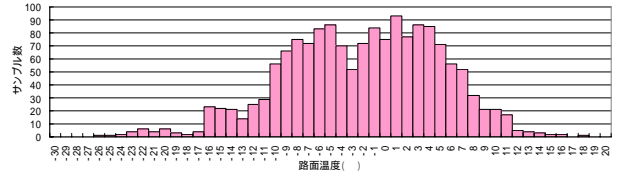


図-7 路面凍結検知時における検知回数(路面温度別)

また、図-8は凍結検知回数を気温と路面温度の差のみたものである。この図から、気温と路温に差が生じている状況にて凍結検知が多くみられ、すべりやすい状況が発生しやすくなっていると考えられる。

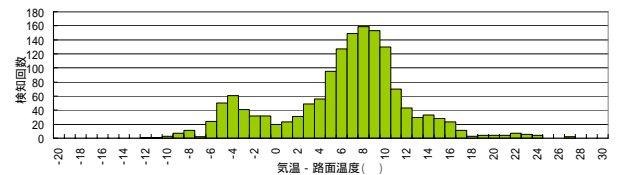


図-8 気温と路面温度の差における路面凍結検知回数

これまでの集計結果から、気温と路面温度の差により、気温が路面温度より5~10 高いときに検知回数が多いことがわかる。また、0 付近では検知回数が少なく、路面温度が気温より高い場合でも検知している。

気温が0 より高く、路面温度が0 より低い場合、路面の表面のみ雪や氷が融けて、凍結路面の上に水膜ができるため、すべりやすい状態となることが考えられる。

また、路面温度が気温より高い場合においては、風の影響により水溜りの浅い部分に氷の膜ができ、そこですべりやすい状態になることが考えられる。

こうした状況をさらに分析するため、路面温度と気温の関係を散布図として示し、両者の関係を複数軸で把握することにした(図-9)。

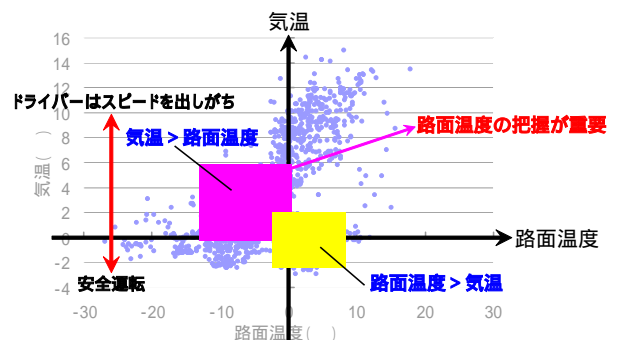


図-9 気温と路面温度の関係から見たスリップの危険性

この図より、気温が0より高い場合においても検知が多いことがわかる。したがって、道路走行中に目にする路側の気温表示の値が0より高いと、ドライバーがスピードを出しやすくなるため、安全性確保のためにも路面温度の提供が重要であることが明らかとなった。

ここで、実際に気温と路面温度にどれくらいの差が生じるのかを把握するため、1日の時間経過に伴う気温と路面温度の関係を図-10、図-11に示す。気温と路面温度は非降雪時においては日中に高くなり、降雪時にはほぼ一定であるが、どちらも日没により路面温度が低下し、夜間になるにつれて気温との差は拡大する。

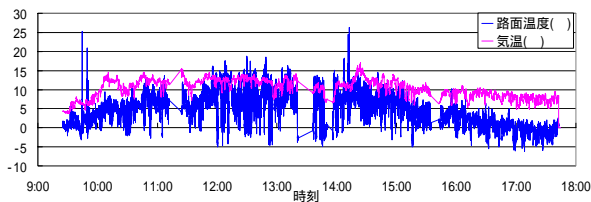


図-10 時間経過に伴う気温と路面温度（非降雪時）

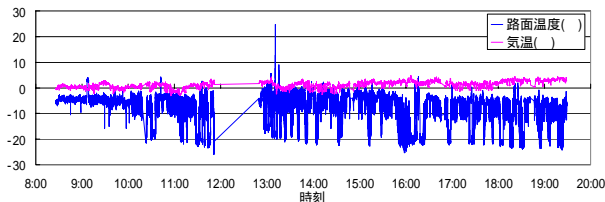


図-11 時間経過に伴う気温と路面温度（降雪時）

6. 路面温度とすべりの関係

ここでは、山間部（国道46号線仙岩峠）の走行データをもとに、路面温度と道路構造の変化に伴うすべりとの関係について分析する。分析においては、それぞれの区間における期間中全ての走行データを重ね合わせている。

また、すべりの基準についてはスリップ指標を用いる。車輪速度差による検知は、主に制動時に一部のタイヤがロックされた場合に見られるが、本分析では発進、停止を伴わない通常走行時におけるすべりにも着目するため、制動時以外においても路面凍結を検知し得るスリップ指標を用いる。車輪速度差については、制動時以外においてスリップ指標における検知が見られない場合にのみ用いる。

なお、スリップ指標は横軸の上側が車輪そのもののすべりであり、下側が車輪の空回りを示している。

対象区間における路温とすべりの関係について、対象区間は山間部で坂路を有するため、上り坂と下り坂に分けて検討することにした。

また当該区間では信号機が設置されていないため、停止がほとんどみられない。したがって、トンネル前後に制動以外のすべりが多くみられた。トンネル坑口付近は、

大気の圧力変化に伴い局所的に風速が強いため路面温度が低下しやすいことが考えられる。この傾向は、上り坂・下り坂に限らず同様に生じていた。他の区間においては、すべり自体の発生が少ない状況であった。

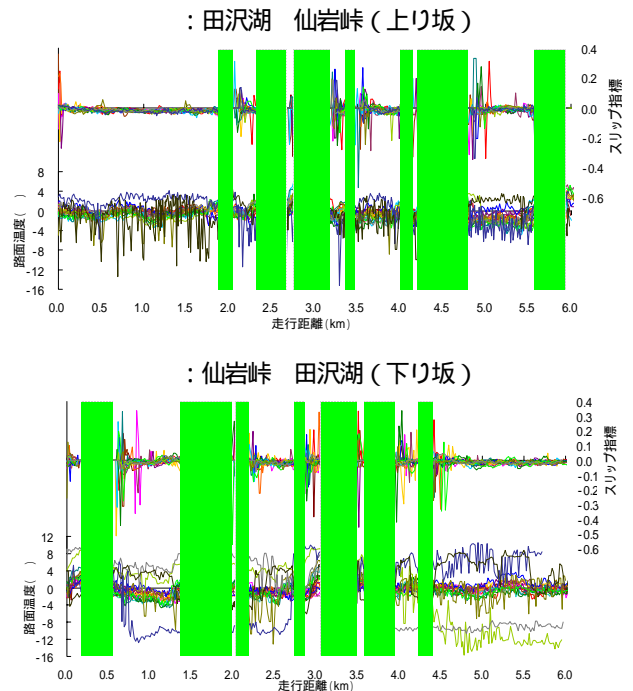


図-12 路面凍結検知と路面温度の関係（国道46号線）

7. まとめ

本研究では、気象データと車両走行データを用いて、車両のすべりに対する気温と路面温度の関係について分析した。路面凍結検知地点における気温と路面温度の分析により、すべりやすい路面の傾向を把握できた。しかし、路面凍結検知の基準値であるスリップ指標については藤原らにより設けられた基準値を用いたが、30km/h以上における基準値が一定であるため、高速道路走行中は路面凍結を検知しづらい事が考えられる。そのため、高速走行時に対応したスリップ指標の基準値を新たに考案する必要がある。

参考文献

- 1) 永田泰浩, 萩原亨, 竹内政夫, 丹治和博: 積雪寒冷地域におけるトンネル坑口付近の路面性状に関する研究, 第21回交通工学研究発表会論文報告集, No. 81, pp321-324, 2001
- 2) 宮本修司, 浅野基樹: 日高自動車道におけるサーマルマッピング調査による路面凍結注意箇所抽出, 土木学会第57回年次学術講演会講演概要集, -230, 2002
- 3) 佐藤静美, 浜岡秀勝: 冬季における気象と路面状況が車両走行特性に及ぼす影響に関する研究, 平成20年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集, -21
- 4) 藤原健太郎, 浜岡秀勝: 車両走行データを用いた路面凍結検知の基準値設定に関する研究, 平成18年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集, -31