

プローブデータを用いた車両スリップの検知に基づく路面凍結情報提供システムの構築*

Establishment of the icy road information system based on detection of the vehicle slip by utilizing probe data*

鈴木理**・浜岡秀勝***

By Tadashi SUZUKI**・Hidekatsu HAMAOKA***

1. はじめに

積雪寒冷地の冬期路面は、凍結によりスリップ事故の危険性が高い。実際に平成 15 年 1 月に秋田県内で起きた全交通事故のうち約 38%もの事故がスリップ事故であった。さらに、事故には至らなかったものの事故になりそうであったものを含めると、相当な件数になるはずである。路面の凍結により、ドライバーは常にスリップ防止を意識した状態で運転しなければならない。よってこの状況を解決する対策が必要である。

これまでに、これらの状況を解決するための対策がいくつか行われてきた。多くは、光波センサーや温度センサーを用いて凍結を把握し、その情報を提供するというものであった。凍結をドライバーに知らせ注意を促すことができ、スリップ事故の危険性の軽減が可能な有効な対策である。ただし、検知する地点が限られるという問題を抱えている。センサーによる検知は、路面検知機器を設置した地点のみの路面凍結情報しか得ることはできない。もし、広範な地点の路面凍結情報を得ようとするならば、道路のいたるところに凍結検知機器を設置しなければならず、非効率である。広範な路面凍結情報を得るためには、新たな対策が必要であるといえる。

広範な範囲の路面凍結情報を獲得することができれば、ドライバーにスリップ事故の注意を促すほか、既存の道路設備や除雪作業の効率化などが可能になり冬期の安全性確保に大きく貢献できると考えられる。

以上のことから、車両走行データから路面凍結を把握するという新しい路面凍結情報の獲得法は有効であり、この方法を確実なものとするために、凍結であるとする走行データの基準値の設定や精度がどの程度かを明確化することは急務であるといえる。

浜口 からの研究により車両走行データを用いた路面凍結検知が可能であることを確認した。実道を走行する車両からのデータで路面凍結情報を取得できれば、広範な

路面凍結情報の提供も可能である。本研究では、車両走行データを用いた路面凍結検知の有効性を示すための基礎研究として、浜口 からの研究では曖昧であった凍結路面推定の基準値を設定する。さらに、その結果をもとに複数の実験車両をもとに路面凍結地点をホームページより情報提示する社会実験を実施する。

2. 路面凍結の評価方法

本研究の路面凍結検知は、以下の式で表現されるスリップ率と、前輪と後輪に生じる速度差（以下、前後車輪速度差）を用いて行う。スリップ状態となった際、四輪全てが同じ挙動を示すことはないとの考えより、速度差を凍結検知に利用することとした。車輪の速度はカーブ区間等の道路構造による影響があるが、前後車輪速度差を用いることで、凍結検知の際の影響を受けにくくした。取得データの詳細を表-1 に示す。なお、浜口 からの研究で使用した機器よりも高精度のものを用いたことにより、測定したデータの精度が向上し、スリップ率の算出の精度が向上した。

$$\text{スリップ率} = \begin{cases} \frac{(\text{車体速度} - \text{車輪速度})}{\text{車体速度}} & (\text{車体速度} > \text{車輪速度}) \text{ のとき} \\ \frac{(\text{車体速度} - \text{車輪速度})}{\text{車輪速度}} & (\text{車輪速度} > \text{車体速度}) \text{ のとき} \end{cases}$$

表-1 取得データの概要

期間(日数)	2006年 3/3~3/18 (14日)
取得場所	協和・角館(国道46号)
路面状況	乾燥・湿潤・シャーベット・積雪
取得データ	位置情報(車体速度)・車輪速度・制御作動情報

車両のスリップ状態を把握し、制御を行う既存の技術として、ABSやTCSなどがある。図-1はそれをスリップ状態の大きさにより示したものである。ABS等が作動する状態は危険な状況ではあるが、車両のスリップは運転者の走行特性、車両特性、タイヤ特性等、様々な要因により発生するため、同一路面を走行しても同様のスリップ状態にはならない。したがって、本研究では、そのパイアスを軽減するためにABS等の制御が作動するほどではない危険度のやや低い地点を多く収集し、その重ね合わ

* キーワーズ: 交通安全, スリップ率, ITS
** 学生会員 秋田大学土木環境工学専攻
(秋田市手形学園町1-1, Tel:018-889-2974
e-mail: tadashi@hwe.ce.akita-u.ac.jp)
*** 正会員 博(工) 秋田大学土木環境工学科

せにより、危険地点を抽出する。

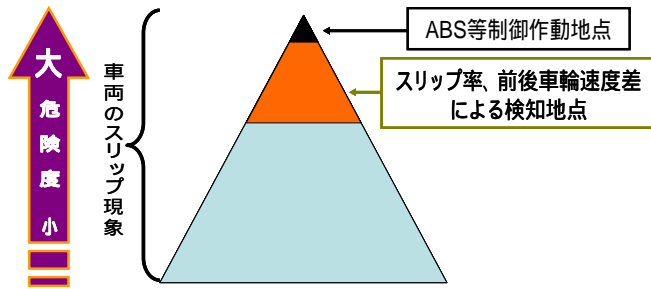


図-1 検知地点の位置づけ

3. スリップ率と前後車輪速度差の凍結検知性能

ABS等の制御は車両がスリップ状態となった際に作動することから、スリップ率、前後車輪速度差とABSやTCS等の制御との関連性をみることで、路面凍結検知性能を確認できる。

図-2はABS等制御作動時のスリップ率変化である。この図より、制御作動時、もしくはその前後でスリップ率は高い値を示すことが確認できる。車両が滑る際に、車輪速度と車体速度に差が生じることが分かる。このことから、スリップ率が高い値を示した地点は、滑りやすい地点であると考えられる。また、制御作動時以外でもスリップ率が高い値を示した地点が存在していることも分かる。これは、制御作動するほどではない滑りと推測でき、スリップ率による検知は、制御作動予備軍の検知も可能であると考えられる。

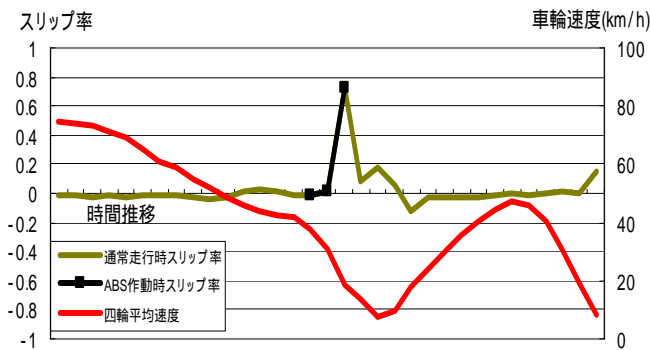


図-2 ABS等制御作動時のスリップ率推移

図-3は、前後車輪速度差別にABS等制御作動と非作動との割合を示したものである。前後車輪速度差が高い値を示している際のABS等作動の割合は多い。このことから、前後車輪速度差は、スリップ現象に深く影響することが分かる。また、速度差が生じているにも関わらずABS等制御が作動していない場合もあるが、これらはABS等制御が作動するほどではない、軽度なスリップ現象と考えられる。

これらの結果から、スリップ率、前後車輪速度差が路面凍結検知性能を有していることが確認された。

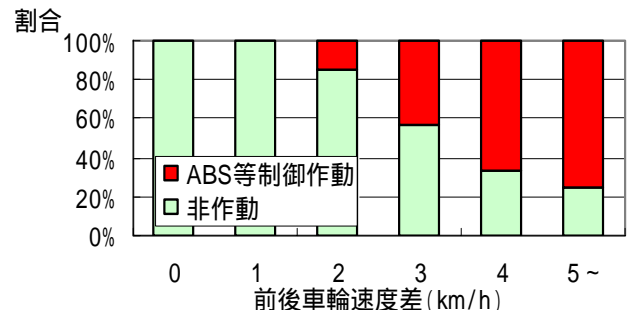


図-3 速度差別のABS等制御作動と非作動の割合

4. スリップ率の補正

本研究では、車輪速度測定器と車体速度測定器が異なるため、使用した測定器の違いによる時間的誤差が生じていることがわかった。スリップ率は車輪速度と車体速度の差をもとに算出しているため、誤差が生じているとスリップ率に大きな影響を及ぼす。したがって、車輪速度と車体速度の関連性をしらべ、補正を行う必要がある。

また、車両走行中の四輪速度は、走行環境により決まった変化が生じる。例えば、カーブ区間を走行する際、カーブの外側の車輪と内側の車輪では、曲率半径が変化するため、外側では車輪速度は速く、内側では遅くなる。この速度変化は、スリップ率の算出の上でも、四輪速度差による凍結検知の上でも、影響を及ぼすため補正が必要となる。今回の実験車両は、ハンドルの回転角データの取得も可能であるので、ハンドルの回転角と四輪速度の変化との関連性をしらべ、補正方法を検討することとした。

(1) 車輪速度と車体速度の関係

凍結路面走行時と異なり、通常走行時は車輪速度と車体速度は、ほぼ等しい値になると考えられる。よって、補正の時間は通常走行時の車体速度データと車輪速度データの誤差が最小となる時間とした。車輪速度と車体速度の誤差が大幅に小さくなったことにより、スリップ率の値にも大きな変化があった。低速時に拡散していたデータが、まとまるようになり、スリップ率の正確性が向上したと考えられる。

(2) 四輪速度とハンドル角の関係

直線区間・カーブ区間の走行データを用いて、車輪速度とハンドル角の関係を分析した。ここで着目したのは、左右の車輪の速度差と前後の車輪の速度差である。ハンドル角が大きいほど左右の車輪速度差も前後の車輪速度差も大きくなることが確認できた。また、速度が速いほど、同一ハンドル角でも左右の車輪速度差は大きくなり、前後の車輪速度差も生じやすくなる。左右、前後に関わらず、ハンドル角が大きいほど差が生じるのは、曲率半

径の比率の差が大きくなるためと考えられる。

前輪および後輪の速度比（右前輪速度/左前輪速度 および 右後輪速度/左後輪速度）とハンドル角の関係から、各車輪の速度の比率がハンドル角と比例関係を示すことがわかった。これをもとに、カーブ区間走行時の車輪速度に補正を加えることとした。

5. 検知基準値の設定

路面凍結地点を把握する際、ABS 等の制御作動地点を把握するのみでも、有効な路面凍結情報を得ることができる。しかしながら、図-1 に示す通り、ABS 等作動地点は走行中に発生するスリップ現象発生地点の一部である。また、ABS 等の制御は、ドライバーや車種、タイヤなどによる個人差がある。よって、基準値を低く設定し、ABS 等制御作動地点を含め、やや危険度の低い軽度なスリップ現象が発生した数多くの地点を検知した上で、重なり合って検知された地点を凍結地点として位置づけることで、危険度の高い凍結地点をより正確に把握することが可能となる。以上のことを踏まえ、スリップ率、前後車輪速度差を用いた検知方法では、ABS 等の制御作動よりも多くの地点の検知が可能となるように基準値を設定する。スリップ率の累積分布図を作成し、基準値を設定し、基準値以上の値となった地点を凍結地点として検知する。

低速時のスリップ率は高い値を示しやすいという特性があるため、走行速度別に基準値を設定し、基準値を超えた部分を検知することとした。なお、基準値はスリップ率0.1を下回らないという条件をつけた。基準値によって、ABS等制御作動地点の約1.5倍の地点を検知した。

前後車輪速度差についてもスリップ率と同様に、累積分布を作成し、基準値を設定した。その結果、ABS等制御作動地点の1.5倍の地点の検知が可能となった。

6. 検知特性の把握

前章で設定した基準値を用いて、凍結地点検知特性の把握を行った（図-4）。把握する際、角館 - 協和（国道46号）を走行したデータを用いた。

ABS 等制御作動地点、スリップ率による凍結検知地点、前後車輪速度差による凍結検知地点を地図上にプロットすると、ABS 等作動の5地点中、4地点で重なりが見られた。設定した基準値によって、ABS 等制御作動地点の検知が可能であった。

さらに、スリップ率や前後車輪速度差による凍結検知地点は、ABS 等制御作動地点以外にも3地点存在した。ABS 等制御が作動するほどではない、軽度なスリップ現象が起きた地点も検知可能であると考えられる。

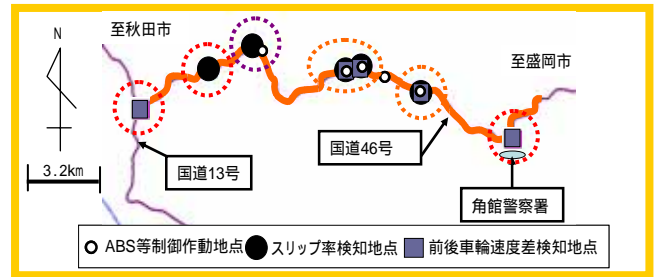


図-4 凍結検知特性の把握

7. 社会実験の開始

前章までの分析は、実験車両1台での走行実験から得られたデータを用いており、スリップ率や前後車輪速度差の検出にブレーキの踏み具合や走行速度などドライバーの運転特性の影響などは考慮していない。これらドライバーの運転特性の影響、さらに、凍結地点検知の正確性を向上させるためにも、実験車を増やす必要がある。

そこで、これまでの検討結果を踏まえ、平成18年12月22日より、11台の実験車両とともに社会実験を開始した。これは、滑りやすい路面の情報提供・共有をはかり、冬期道路の安全運転を目指すものである。

秋田市内を走行している実験車両の走行データより検知された路面凍結地点をGPSにより測位し、そのデータを携帯電話の通信網を介してリアルタイムにサーバーに送信する。その送信されたデータを解析することで、ABS等制御作動地点、本研究での凍結推定地点を検知し、検知された路面凍結地点はホームページ（秋田つるつる路面ナビゲーター；<http://tsurunavi.ce.akita-u.ac.jp/>）上に情報提示される。

また、将来的にはホームページだけではなく、カーナビや道路情報板等との情報連携も視野に入れた社会実験である。

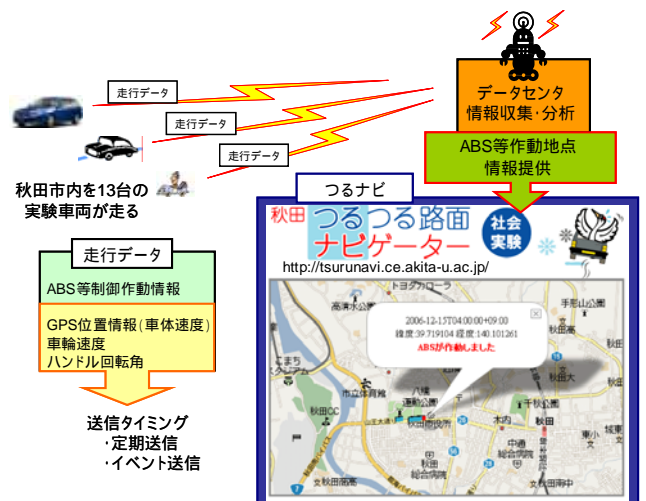


図-5 つるナビシステムの概要



写真-1 実験車両



写真-2 データ取得機器

8. 社会実験によるデータ特性

2007 年度は、全国的な暖冬の影響を受け、対象地内の道路にほとんど積雪はみられない状況であったものの、システムより約 700 回の検知を確認した。これを 1 車両あたりに換算すると 1.1 回/日にもなる。これは、積雪状態にならなくても路面凍結が生じていることを意味する。

これまでの路面凍結地点すべてを図示すると図-6 のようになり、この図から路面凍結になりやすい地点を確認できる。この結果をもとに、2008 年度以降は、その地点の情報提示することによって、道路利用者へ注意喚起することも可能となる。

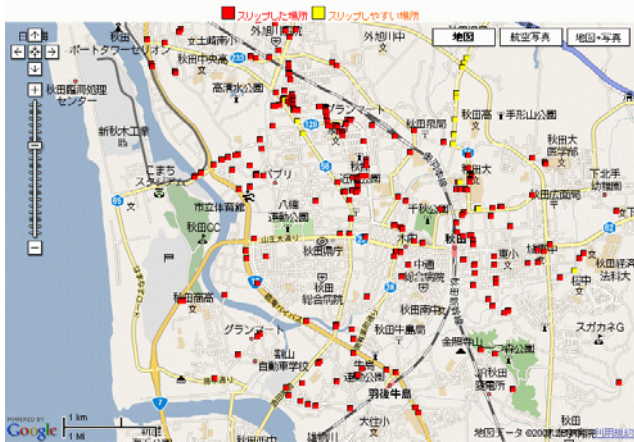


図-6 路面凍結地点の表示

また、つるナビシステムへのアクセス状況を示したものが図-7 である。この図から、つるナビへのアクセスは降雪量というよりは、休み明け翌日に多くなることがわかる。

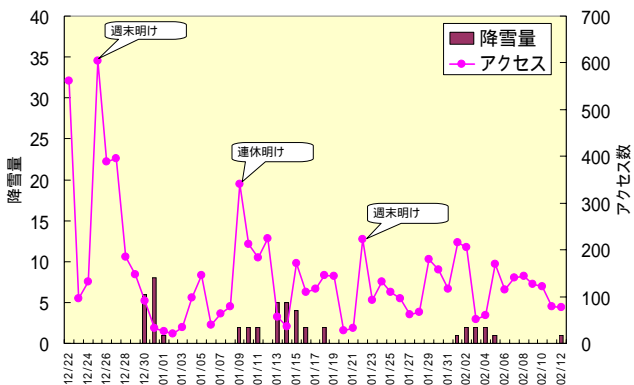


図-7 路面凍結地点の表示

ただ、これは昨年度の暖冬による影響が大きいと考えられ、2008 年度以降の継続的な実施により、その特性を確認する必要がある。

9. 本研究のまとめと今後の課題

本研究では、車両走行データを用いた凍結検知の有効性を示す基礎研究として、スリップ率、前後車輪速度差に基準値を設定した。設定した基準値による検知地点と ABS等の制御が作動した地点との一致がみられ、車両走行データを用いた凍結検知の有効性が確認された。

車輪速度測定器と車体速度測定器の違いによる時間的誤差を補正したことにより、低速時に拡散していたデータがまとまり、スリップ率の正確性が向上した。

回転に伴う車輪の変形等による車輪速度の誤差を補正し、スリップ率の算出をより精巧化することや、実際に滑った感覚があった地点と検知地点との適合度の調査等により、検知精度を高めることが必要であろう。

本システムにより、利用者にとって、路面凍結情報をリアルタイムに確認できることから安心感の向上につながったことは言うまでもない。また、同時に本システムの運用を通じて、凍結多頻度地点の抽出が可能となり、この情報を 2008 年度以降に提供することによって、さらなる安心感の向上が期待できる。

本研究で行った社会実験は、冬期路面におけるドライバーの安心感向上はもとより、スリップ事故軽減にも繋がる。また、凍結多頻度地点を抽出することにより、路面凍結防止剤の散布等、凍結状態緩和対策への活用も期待できる。

今後の課題として、実験車両数の増加により路面凍結情報の安定化を目指すこと、情報提供デバイスとしてのカーナビへの展開をはかること、など多くが考えられる。今後は、これら課題を解決していきながら、積雪地の都市内道路におけるよりよい情報提供システムの構築を進めていきたい。

参考文献

- 1) 浜口慎平, 浜岡秀勝: 車両運動データを用いた路面凍結感知に関する研究, 平成 17 年度東北支部技術研究発表会講演概要, pp. 626-627, 2006 年
- 2) 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 年度東北支部技術研究発表会講演概要, CD-ROM, 講演番号 -31, 2007 年
- 3) 平井節生, 牧野浩志, 山崎勲, 大久保康雄: 冬季道路管理業務への可視画像式路面センサの活用, 第 4 回 ITS シンポジウム 2005, ITS Japan, 2005
- 4) 酒井秀夫: タイヤ工学, グランプリ出版, 1987 年