

高精度車両挙動データを用いた路面状態の推定方法*

A study on the method to estimate the road surface condition by utilizing the probe data*

鈴木理**・濱口慎平***・浜岡秀勝****

By Tadashi SUZUKI**・Shinpei HAMAGUTI***・Hidekatsu HAMAOKA****

1. はじめに

積雪寒冷地では、冬季において、凍結・圧雪等による路面状況から、スリップによる事故の危険性が大変大きくなる。運転者は精神的に負荷の高い状態で走行を強いられることとなり、凍結路面下での安全な走行を促すシステムが求められる。凍結路面への対応として、道路管理者による路面凍結防止剤の散布等、凍結状態を緩和する策がとられているが、道路全体を非凍結状態に保つことは難しく、さらに天候や車両走行台数等によって、路面状況は常に変化している。凍結路面走行時におけるスリップ発生地点を空間的に把握し、その地点での走行車両挙動に着目することで、道路構造と交通挙動の関係を明らかにでき、既存の道路整備等、走行支援策に役立つと考えられる。

このような状況から、本研究では、積雪寒冷地で多く使用されている四輪駆動車の走行時の車両挙動データを用い路面状況を推定することを目的とした。車両のスリップを検知するものとして、ブレーキ操作においてタイヤがロックし車両が滑るのを防止するアンチロック・ブレーキシステム (Antilock Brake System : ABS) や発進・加速時のタイヤの空転を防止するトラクションコントロールシステム (Traction Control System : TCS) などが既存の技術としてあることから、車両挙動を用い路面状況を逆推定することは可能である。ただし、ABSは事故発生に直結するような危険な状況で作動するものである。運転者の精神的負担軽減を目的とした路面状況の情報提供をする場合は、ABSが作動した情報だけでなく、作動する前段階、つまり、作動しなかったが凍結している地点の情報提供が重要になる。

本研究の特徴は、車両のスリップ率を検知する方法として車両の四輪個々の速度データを利用することが挙げられる。四輪駆動車は全てのタイヤを制御できるため路

面状況の変化に対応した安定走行を可能とするものの、逆に全てのタイヤを制御できるがゆえに路面状況の判断は困難とされてきた。なお、本研究で提案する方法はどの車両にも適用可能であることから、多車両への搭載により路面状況を面的に把握できるようになる。

2. 既往研究のレビュー

冬季の積雪寒冷地においては、スリップによる事故の危険性が増加することにより、走行に伴う運転者の精神的負荷は非常に高い状態になると考えられる。

運転者の精神的負担軽減を目的とした路面凍結情報の提供に関しては、これまでに、いくつかの研究が見られる。平井ら¹⁾の研究では、道路を撮影した映像の画像解析により、路面の凍結状態に応じた最適なタイミングで凍結抑止剤を散布できる可能性があること、コスト削減効果や環境面への効果も期待できることを明らかにした。中辻ら²⁾の研究では、路面状況が管理された試験道路での走行試験と札幌市街地道路での実走行試験を行い、車両運動データから判別分析を用いて、凍結が圧雪か的中率を求めた。

一方で、浜口ら³⁾の研究では、圧雪路面時の市街地で定速・加速走行実験を行い、車輪速度差からABS信号だけでは凍結路面検知は不十分であり、スリップ率による凍結路面検知は加減速があると十分に評価できることを明らかにした。

では、これらの精度・実用性はどうか。平井らの研究は、限られた時間での観測にとどまっており、実フィールドでの検証・評価が行われていない。中辻らの研究は、精度の向上が問題点として挙げられている。また、浜口らの研究では、得られたデータは時間的精度が低いことが問題として挙げられている。

これらより、実道路における高精度なデータを取得し、分析する必要がある。そこで、本研究は、時間的精度が高いデータを用いることで、より正確な路面状況の推定を行うことを目的とする。

* キーワーズ：路面凍結，スリップ率，車両挙動

** 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.akiita-u.ac.jp)

*** 正会員 JR 東海コンサルタント

**** 正会員 博(工) 秋田大学土木環境工学科

3. 路面凍結の評価方法

車両がスリップする大きな原因としては、タイヤと路面の摩擦が小さくなることが挙げられる。しかし、運転者の運転挙動特性（通常の走行速度、ブレーキの踏み方、など）やタイヤの諸特性（グリップ力、磨耗、など）、駆動形式（FR、FF、四駆、など）等も影響している。したがって、同様の路面状況であったとしても全ての車両がスリップするとは限らない。ゆえに、路面凍結の情報提供を考えると、ABSの作動というスリップする状況のみならず、ABSが作動しそうになった、つまりスリップしやすい路面状況まで含んだものとして評価する必要があると考える。

そこで本研究では、車両のスリップ現象を定量的に評価するためスリップ率を用いることとした。なお、ここでのスリップ率とは、タイヤの回転速度と車両走行速度の相対的な動きを示すもので、車両の移動速度（車体速度）とタイヤの回転速度（車輪速度）を用いて、以下の式で表現される。なお、今回は車体速度としてGPS速度を用いた。

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

車体速度が車輪速度より大きい場合は、式より、車輪がブレーキによりロックし、惰性で車体だけが滑る現象に近いものを示している。一方で、車体速度が車輪速度より小さい場合は、式より、車輪は空回りしているが、車体は進まない現象に近いものを示している。これより、スリップ率は加速・減速が多く見られる低速状態のときほど絶対値が大きくなると考えられる。

4. データ取得の概要

路面の摩擦が小さくなる積雪時において、様々な路面状況（凍結、湿潤、など）が混在する実際の道路にて走行実験を行った。調査は2006年2月2日（木）、6日（月）、7日（火）の3日間にかけて、交通量の影響を受けない早朝・深夜および交通量の影響を受ける日中・夕方に実施した。実験車両としてスバル社製普通乗用車を用い、車両挙動測定器（以後測定器Aと称す）とSafety Recorder（車両の前後加速度、GPS速度などを取得できるセンサ：SR）、さらに高精度車両挙動測定器（以後測定器Bと称す）を設置し、データを取得した。調査の概要を表-1に示す。

分析に際しては、測定器A、Bからは四輪の車輪速度、SRからは、緯度・経度座標、GPS速度、前後加速度を

用いている。なお、それぞれのセンサのデータ更新期間が異なるため、誤差が最小限になるよう同期をとった。

表-1 取得データの概要

場所	秋田市内の幹線道路（20km）		
日時	2006.2.2(木) 2:28 ~ 3:19	2006.2.6(月) 6:25 ~ 8:47 16:30 ~ 19:00	2006.2.7(火) 6:55 ~ 7:17 11:55 ~ 12:39
天候 気温	晴れ (- 2)	晴れ (- 2)	雪 (- 3)
路面 状況	圧雪 湿潤 凍結 シャーベット		

5. 測定器間の精度比較

ここでは測定器A、測定器Bそれぞれから得られたデータの精度を比較していく。なお、測定器Aから得られる車輪速度データの更新期間は1.54秒、分解能は1km/hであり、測定器Bから得られる車輪速度データの更新期間は0.1秒、分解能は0.05625km/hである。測定器Bデータは更新期間が短く、より細かいデータを得られるのは確かである。しかし、実際に分析を行うときは、ともにGPS速度の更新期間1秒に合わせなければならない。したがって、どちらのデータを用いて分析を行うのが正しいかは不明である。そこで、速度とスリップ率の関係をそれぞれ求め比較することでデータの精度を検証する。図-1に測定器A、測定器Bそれぞれの速度とスリップ率の関係を示す。

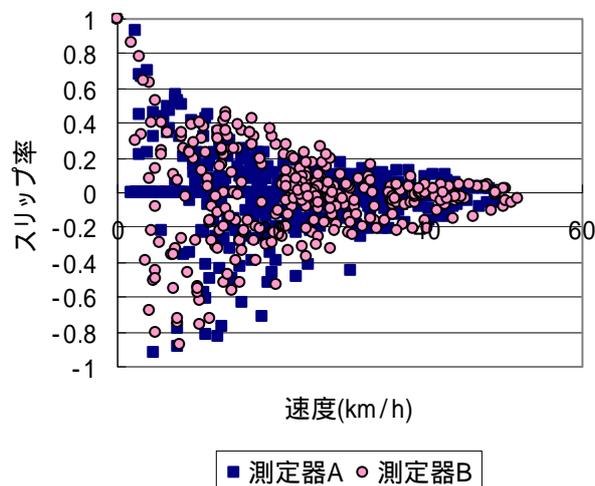


図-1 速度とスリップ率

まず両方の共通点としては、速度が高くなるにつれスリップ率の広がり小さくなるのがわかる。これは、低速状態においては、発進に伴う加速・停止に伴う減速によりスリップ率が高くなっていることが影響していると考えられる。また、両者を比較してみると、大きく目立った違いは見られないが、測定器Aではスリップ率0に集まっているのに対し、測定器Bの方のスリップ率はバラツキが大きいことがわかる。これは、より細かな車

輪データを得られたことによりスリップ率が正確に求められたためだと考えられ、やはり測定器Bデータを用いた方が精度の高い分析を行うことが可能であるといえる。

6. 車輪速度を用いた分析

5章で述べたように測定器Bからは精度の高い車輪速度データが得られる。よって、ここでは車輪速度に着目し分析することで、スリップ率を検証する。

(1) 四輪平均速度とGPS速度

2章で述べたようにスリップ率は四輪速度とGPS速度を用いて算出している。しかし、四輪速度とGPS速度では更新期間が異なるため、差が生じる問題が考えられる。そこで、ここでは更新期間の差が及ぼす影響について検証する。図-2に四輪平均速度とGPS速度の関係を示す。

この図より、四輪平均速度とGPS速度にはほぼ線形的な関係が成り立っていることがわかる。しかし、中には線形的な関係からはずれている部分も確認できる。これは、四輪平均速度とGPS速度に生じる更新期間の差に伴い、ずれが発生していると考えられる。しかし、スリップするときは車輪速度と車体速度に必ず差が生じることから、路面の影響（空回りやロック）によりずれが生じているとも考えられるが、これは可能性の一つである。今後、場所との関連性を確認することで、ずれが生じる要因を明らかにすることができると考えられる。

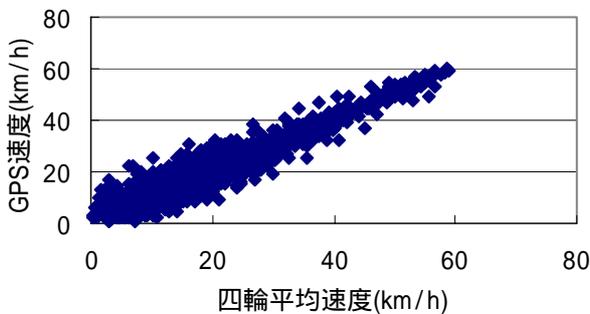


図-2 四輪平均速度とGPS速度

(2) 四輪速度差

次に四輪平均速度と四輪速度差の関係を見ていく。既往研究から、車輪速度差が大きくなるとスリップすることが明らかになっている。しかし、それらは測定器Aから得られたデータのみで分析を行っており、測定器Bから得られたデータを用いた分析は行っていない。そこで、図-3に測定器Bから得られた四輪速度差の頻度を示す。

この図から、四輪の速度差はその多くが1km/h以内に存在しており、速度差が大きくなるに従いサンプル数は減少していることがわかる。また、約8km/hとかなり差が大きいものも存在していた。四輪速度差が大きくなる時は、発進に伴う加速時、または停止に伴う減速時で

あると考えられる。したがって、速度差の大小だけではなく速度差が生じたときの速度との関係が重要になると考えられる。

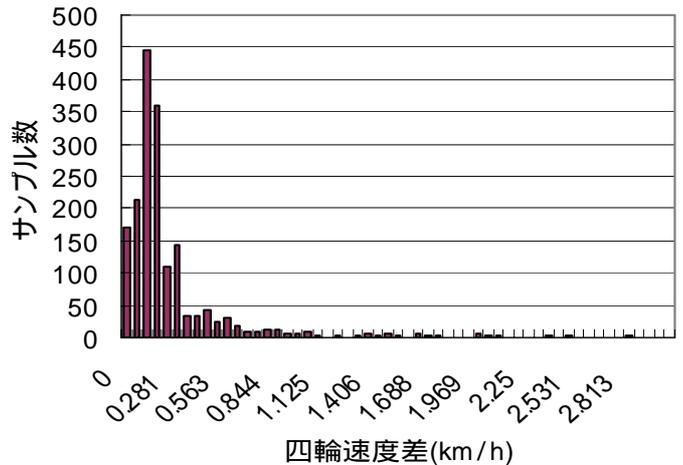


図-3 四輪速度差の頻度

そこで、図-4に四輪平均速度と四輪速度差の関係を示す。これより速度が大きくなるにつれ四輪速度差は小さくなることがわかる。また、四輪平均速度が10km/h前後のときに四輪速度差が一番大きくなっており、前述したように停止時に伴う減速、発進時に伴う加速が主な要因として考えられる。なお、図-3ではグラフの読み取り上、四輪速度差1km/h以内に大部分が集中しているようにとれたが、図-4より1km/h以内ではなく2km/h以内の範囲に集中していることがわかる。よって、2km/hという四輪速度差の数値はスリップによる危険性を示す一つの境界線ではないかと考えられる。しかし、四輪速度差でスリップによる危険性を判断するには、四輪速度差とスリップ率の関係を明らかにする必要があると考えられる。

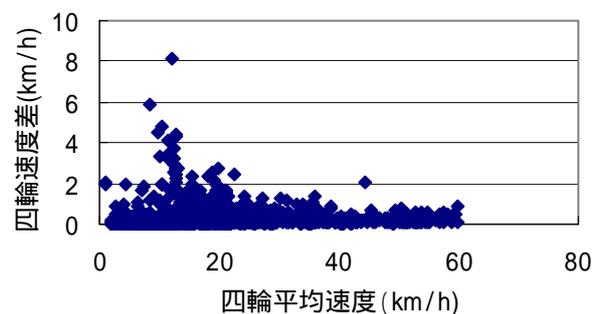


図-4 四輪平均速度と四輪速度差

そこで、図-5に四輪速度差とスリップ率の関係を示す。この図より、四輪速度差が2km/h以上の範囲ではスリップ率の絶対値が大きくなっていることがわかる。また、速度差が小さいにも関わらずスリップ率の絶対値が大きくなっている箇所も存在しており、速度に関係なく危険な状況が存在すると推測できる。これらより、四輪速度差が2km/h以上になるとスリップ率の絶対値も大きくな

ることから、2km/h以上の四輪速度差は路面の危険性を判断する一つの材料になり得ると考えられる。しかし、四輪速度差が2km/h以下でもスリップ率が大きくなる箇所は存在しており、路面の危険箇所を網羅するには四輪速度差だけでは限界があることも明らかとなった。

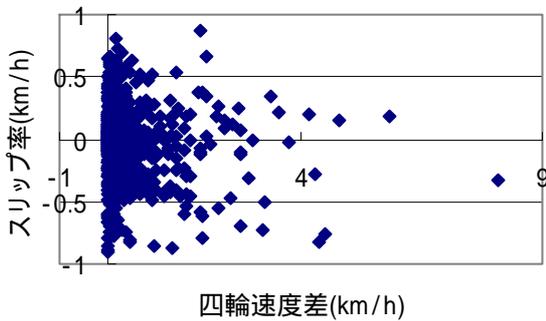


図-5 四輪速度差とスリップ率

7. スリップ率から見る凍結感知の有効性

ここではスリップ率が0.9以上になった地点と、ABS等が作動した地点を比較していく。これまでの分析の結果から、スリップ率は四輪速度・GPS速度取得時の誤差により発生する値と、路面凍結により発生する値が混在していることが考えられる。そのような中で、明らかに路面凍結により発生した値であると考えられるスリップ率の絶対値をその数値の大きさから、0.9以上と与える。

図-6はスリップ率の絶対値が0.9以上になった地点(図中の点)とABS等が作動した地点(図中の輪)を表わしたものである。

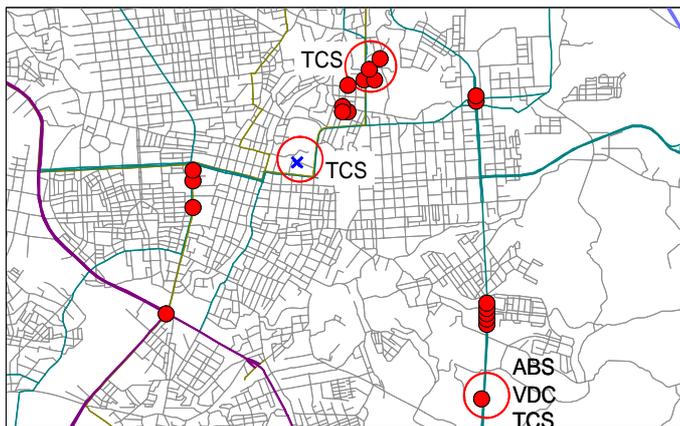


図-6 スリップ率0.9以上地点とABS等の作動地点

この図より、スリップ率により検出された凍結地点の方が、ABS等により検出された凍結地点より明らかに多くの地点が検出されることがうかがえる。また、ABS等が作動した多くの地点において、スリップ率の絶対値0.9以上が検出された地点と重なりが見られることから、この地点での危険性の大きさをうかがい知ることが可能である。これまで、凍結地点の感知にはABS等のデータを用いる方法がとられているが、これらにスリップ率

から得られる凍結地点も加えることで、多くの凍結地点、さらに、凍結地点の危険度も提供することが可能となる。

8. 本研究のまとめと今後の課題

本研究では、積雪寒冷地において四輪駆動車で実走行実験を行い、データを取得し、その評価を行うことで、路面状況を推定することを目的とした。今回は新たに得られた測定器Bのデータを用いた分析を行った。更新期間が短く、より細かなデータが得られる測定器Bのデータと既存の測定器Aから得られるデータの精度比較を行ったところ、測定器Bから得られるデータを用いることで精度の高い分析を行うことが可能であることが明らかとなった。

より細かな車輪速度データを得られたことから、車輪速度に着目し、分析を行った。その結果、四輪平均速度とGPS速度両者の間には線形的な関係が成り立つものの、多少のずれも生じていることが明らかになった。また、四輪速度差と四輪平均速度の関係から、四輪平均速度が高くなるほど四輪速度差は小さくなり、発進に伴う加速や停止時に伴う減速は四輪速度差が大きくなる重要な原因であると考えられた。また、四輪速度差が大きくなるほどスリップ率の絶対値も大きな値を示すことから、四輪速度差のみでも路面の危険性を判断する一つの材料に成り得ると考えられた。

さらに、ABS等により検出される凍結地点よりスリップ率を利用することで、多くの凍結地点を検出することが可能であることが明らかになった。

今後の課題は、同地点を繰り返し走行することでデータを多く蓄積しスリップの感知精度を向上させること、四輪平均速度とGPS速度に生じるずれの解消、スリップ率の見直し、スリップ率による危険度の算出など、異なる条件下での調査・分析を行い、より多くの凍結地点を抽出し、運転者の負荷軽減のため、それらの情報を提供する方法を検討することである。

参考文献

- 1) 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
- 2) 中辻隆, 前川紘一, 川村彰, 前田近邦: Probe車の車両運転データによる冬期路面状態の分類について, 第23回交通工学研究発表会論文報告集, pp. 145-148, 2003年10月
- 3) 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
- 4) 酒井秀夫: タイヤ工学, グランプリ出版, 1987年