

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の変化から、スリップによる事故の危険性が大きくなる。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、その緩和のためにも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、さらに天候等によって、路面状況は常に変化している。路面センサ等による凍結判断も有効であるが、対象地域を面的に把握しようとするならば、限られたコストの中で多くの整備が必要となる。そこで本研究では、車両からの情報取得を考えている。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。このような試みとして、これまでプローブカーからデータを取得するアプローチが多くみられるが、本研究ではそれを車両内の車両電子制御装置（ECU）から直接データを取得することに特徴がある。

以上より、本研究では走行中の車両挙動からスリップ地点の検知を目的とする。その際、四輪駆動車の走行時の車両挙動データを用い路面状態を推定する。積雪寒冷地では冬季に四輪駆動車が多く用いられており、車両のスリップを検知する際には四輪駆動車での車両データを用いることが重要である。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態の判断は困難とされてきた。しかし、また、四輪個々の速度データを利用すると、車両がスリップした際に生じるタイヤの四輪速度差を求めることができ、スリップの検知することが可能になる。

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が作動した際の情報だけでなく、作動する前段階、つまり、作動していない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。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、多車両からデータを得ることで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ある。こうした状況のもと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、これまでいくつかの研究が実施されてきた。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、凍結か圧雪か判断するモデル構築を行っている。

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、四輪速度差の分布からABS信号だけでは凍結路面検知は不十分であることを示した。そこで、タイヤの回転速度と車両の移動速度の相対的な動きを示すスリップ率を用い、凍結路面検知方法を提案している。

* 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 JR 東海コンサルタンツ株式会社

**** 正会員 博(工) 秋田大学土木環境工学科

これらの路面凍結感知の精度・実用性についてみると、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。また、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。浜口らの研究では、得られたデータの時間的精度の低さを課題として挙げている。

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ことがわかる。そこで、本研究は、時間的精度の高いデータを用いることで、より精度の高い路面状況の推定をめざす。

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。冬期は凍結、または積雪道路においてタイヤと路面の摩擦が小さくなる。つまり、凍結、積雪しやすい道路ではスリップする可能性が高いといえる。しかし、スリップには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（後輪駆動、前輪駆動、四輪駆動、など）等も影響する。したがって、同様の路面状態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の作動という実際にスリップした結果のみならず、スリップする危険性のある路面を検知する必要がある。

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方法としてスリップ率を用いる。ここでスリップ率とは、タイヤの回転速度と車両の移動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。本研究では車体速度としてGPS速度を用いている。車両のスリップには車両の進行方向への滑りのほか、横滑りがある。スリップ率を用いることでどちらも検知が可能であるが、本研究では車両の進行方向への滑りに限定し、分析を行った。

$$\text{スリップ率} = \begin{cases} \frac{\text{車体速度} - \text{車輪速度}}{\text{車体速度}} & (\text{車体速度} > \text{車輪速度かつ} \text{車体速度} \neq 0 \text{ のとき}) \\ \frac{\text{車体速度} - \text{車輪速度}}{\text{車輪速度}} & (\text{車体速度} < \text{車輪速度かつ} \text{車輪速度} \neq 0 \text{ のとき}) \end{cases}$$

この式において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、車輪は空転するが、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日間に向け、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た（写真-1）。四輪の車輪速度のデータを取得するため、車両挙動測定器（以後測定器A、写真-2）と測定器Aよりも車輪速度データの更新期間、分解能が優れている高精度車両挙動測定器（以後測定器B、写真-3）の二種類の測定器を使用する。測定器Aを用いることでスリップを検知できることは明らかになっているが、測定器Bについては明らかでない。そこで、測定器Bにおいても測定器Aと同様にスリップを検知することができるかを検証するため二種類の測定器を用いた。また、Safety Recorder（以後SR、写真-4）からは、緯度・経度座標、GPS速度、前後加速度を取得した。なお、それぞれのセンサのデータ更新期間が異なるため、データに誤差が生じる。その誤差を最小限にするため時刻で同期を行った。データ取得器機の概要、及び取得データの概要を表-1、表-2に、走行ルートを図-1に示す。表-2内の路面状態は実験走行中の道路路面にこれらの路面状態が混在したことを表す。また、路面状況は目視による分類を行った。

表-1 データ取得器機の概要

実験車両	スバル社製普通乗用車		
測定器	車両挙動測定器 (測定器A)	高精度車両挙動測定器 (測定器B)	Safety Recorder (SR)
分析データ	四輪車輪速度	四輪車輪速度	緯度・経度座標 GPS速度 前後加速度



写真-1 実験車両



写真-2 測定器A



写真-3 測定器B



写真-4 SR

表-2 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 状態	圧雪 湿潤 凍結 シャーベット		

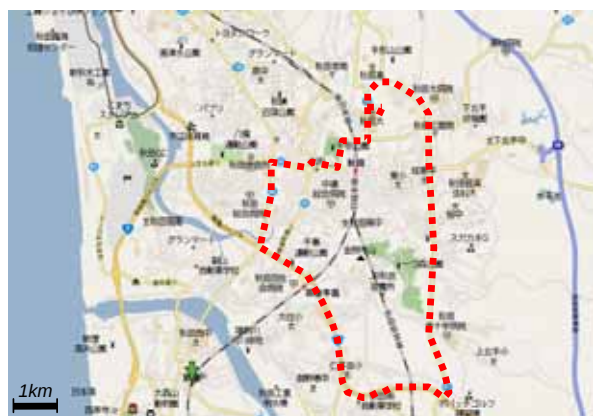


図-1 走行ルート



写真-5 凸凹・凍結・湿潤路面

5. 測定器間の精度比較

ここでは、まず測定器A、測定器Bそれぞれから得られたデータの精度を比較する。測定器A、Bから得られた車輪速度データの精度を表-3に示す。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。また、SRから得られるGPS速度の更新期間は1秒、分解能は1km/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、測定器Aから得られる車輪速度データよりスリップ率の計算を行えることは明らかであるが、測定器Bにおいても同様に行える

かどうか定かではなく、測定器Bを用いることでスリップ率の精度が向上するかも明らかでない。実際にスリップ率の計算を行うときは、GPSから得られる車体速度と測定器から得られる車輪速度のデータが必要である。しかし、測定器とGPSの更新期間が異なると取得した車体速度、車輪速度データに時間の誤差が生じるため、測定器のデータ更新時間をGPS速度と同様に1秒に合わせなければならない。そのため、時刻の同期を行ったとしても測定器Bを用いることで、取得した四輪の車輪速度のデータが精度向上を示すのか明らかにする必要がある。そこで、GPS速度、四輪平均速度、スリップ率、四輪速度差それぞれの関係を測定器ごとに求め、比較することでデータの精度を検証する。ここで、四輪平均速度とは四つのタイヤの車輪速度の平均値であり、また、四輪速度差とは4つあるタイヤの速度の最大値から最小値を引いた値である。全てのタイヤの速度が同じであるならば、その値はゼロとなり、もし、タイヤが1箇所でもロック（または空転）するとその差が大きくなる。

表-3 測定器A、Bの車輪速度の精度

	測定器A	測定器B
更新期間 (秒)	1.54	0.1
車輪速分解能 (km/h)	1	0.05625

(1) 四輪平均速度とGPS速度の関係

3章で述べたようにスリップ率は四輪平均速度とGPS速度を用いて算出している。しかし、四輪平均速度とGPS速度ではデータ更新期間が異なるため、それによりスリップ率に誤差が生じる問題が考えられる。ここでは4章で示した走行実験により取得した四輪平均速度とGPS速度を用い更新期間の差が測定器の精度に及ぼす影響について検証する。四輪平均速度とGPS速度とは同様に車体の速度を表すため、更新期間が同じであれば、四輪平均速度とGPS速度の間にはほぼ比例関係が成り立つはずである。また、スリップ時には一部のタイヤの車輪速度が低下するため、四輪平均速度も多少低下するが、その度合いは小さく、GPS速度とはほぼ変わらないのでスリップ時においても比例関係が成り立つ。これより、時刻で同期をした測定器から得られる四輪平均速度とGPS速度が比例関係であるほど高精度のデータ取得を行っているといえる。そこで、ここでは測定器A、測定器Bのどちらが比例関係に近く、高精度のデータ取得をしたか比較する。

図-2、図-3に測定器A、測定器Bそれぞれの四輪平均速度とGPS速度の関係を示す。なお、比例関係を明確にするため、図中に測定器ごとの回帰直線を加えている。また、それぞれの回帰分析の結果を表-4に示す。これらより、どちらの測定器を用いた場合にも四輪平均速度とGPS速度にはほぼ比例関係が成り立っていることがわかる。

図-2、図-3より30km/h以下の低速度では測定器A、Bとも同程度の精度であるが、30km/h以上の高速域では測定器Bの精度が高いといえる。また、 R^2 の値も測定器Bの方が1に近く、変動が小さいことから高精度のデータを取得していることがわかる。しかし、中には比例関係からはずれている部分も確認できる。これは、今回提案する車輪速度と車体速度の差から乗じるスリップと考えられるが、四輪平均速度とGPS速度に生じる更新期間の差にともない、ずれが発生しているとも考えられる。今後、比例関係からはずれている地点の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。

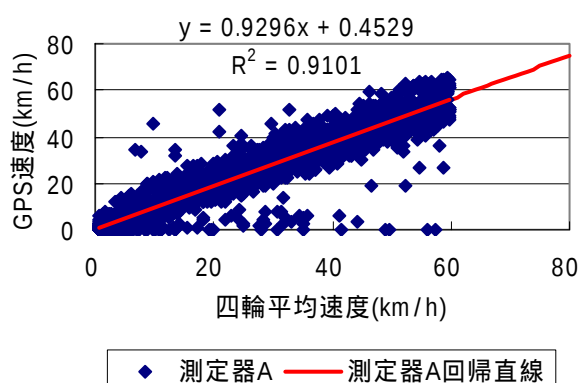


図-2 四輪平均速度とGPS速度 測定器A

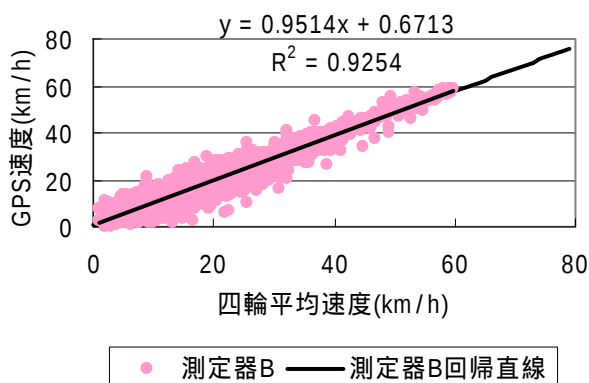


図-3 四輪平均速度とGPS速度 測定器B

表-4 回帰分析の結果

	測定器A	測定器B
傾き	0.9296	0.9514
切片	0.4529	0.6713
決定係数 R^2	0.9101	0.9254
標準誤差	4.8274	3.2287

(2) 四輪平均速度と四輪速度差の関係

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³⁾から、四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。ここでは測定器Bから得られたデータで分析を行うとともに、四輪速度差に着目し測定器A、Bの精度を比較する。図-4に測定器A、測定器Bそれぞれから得られた四輪速度差の発生割合を示す。なお、割合はそれぞれの測定器ごとの各四輪速度差に含まれるサンプル数を全サンプル数で割ることにより求めた。ここで、測定器Aと測定器Bの速度差を比較する際、車輪速分解能の違いを補うため、測定器Bの四輪速度差を四捨五入し、両測定器の速度差を統一する。

図-4より、四輪速度差はその多くが2km/h以内に存在しており、速度差が大きくなるに従い割合は減少することがわかる。四輪速度差0km/hは測定器Bで多く、1km/h以上では測定器Aで多くなることがわかる。表-5は四輪速度差ごとのサンプル数と測定器Aに対する測定器Bの割合を示している。速度差が大きくなるほど測定器Aに対する測定器Bの割合は小さく、速度差が2km/h以上になると、その値はほぼ一定になることがわかる。四輪速度差が大きいときは、発進時に伴う加速、または停止時に伴う減速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。ここでは車輪速分解能の違いを補うため、測定器Bから得られたデータを四捨五入したが、正確な精度比較を行うには不十分であると考えられる。

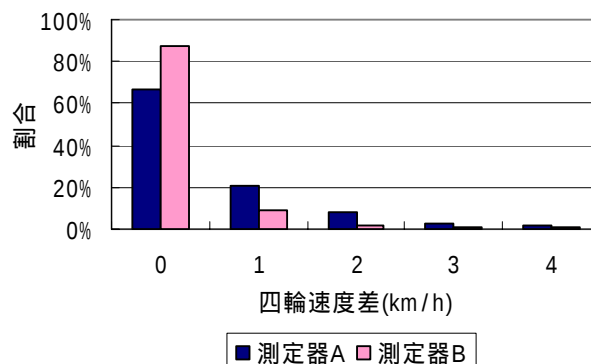


図-4 四輪速度差の発生割合

表-5 四輪速度差

速度差	0	1	2	3	4
A	760	237	92	31	20
B	1554	160	34	12	7
B/A	2.04	0.68	0.37	0.39	0.35

次に、図-5に四輪平均速度と四輪速度差の関係を示す。この図より測定器Bはより細かな四輪速度差を取得することができるため四輪平均速度との関係をより正確に推定することが可能である。また、速度が大きくなるにつれ四輪速度差は小さくなる。四輪平均速度が

10km/h 前後のときに四輪速度差は一番大きくなり、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。四輪速度差は2km/h 以内の範囲に集中していることから、四輪速度差 2km/h という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。

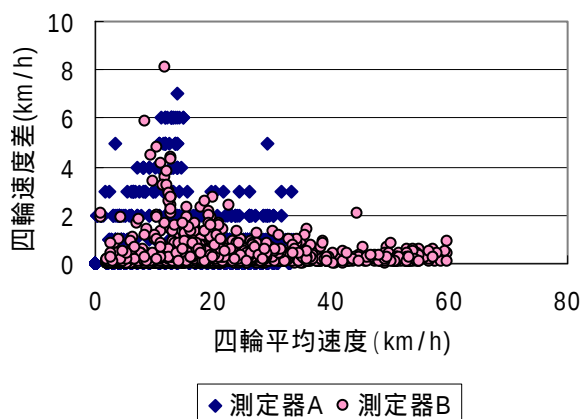


図-5 四輪平均速度と四輪速度差

そこで、四輪速度差 2km/h 以上になる割合に着目する。表-6 に速度 20km/h 区間ごとに四輪速度差 2km/h 以上になる割合を示す。これより、測定器 A では 2km/h 以上になる割合が高く、2km/h 以内に集中しているとは言えないものの、測定器 B は 2km/h 以内に大部分が集中していることがわかる。測定器 A で四輪速度差 2km/h 以上の割合が高くなった原因として、測定器 A の車輪速分解能が 1km/h であることが影響したと考えられる。このことより、測定器 B により高精度な四輪速度差を求めることができることが確認された。

表-6 四輪速度差 2km/h 以上割合

平均速度	0～20km/h	20～40km/h	40～60km/h
測定器 A	0.153	0.139	0
測定器 B	0.024	0.002	0.008

四輪速度差が 2km/h 以上になるときは、スリップの危険性は大きくなると考えられる。しかし、高速域ではスリップ以外で四輪速度差が大きくなることもあり、速度差が大きいにも関わらずスリップ率が小さくなることも考えられる。したがって、四輪速度差でスリップの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。

(3) 四輪速度差とスリップ率の関係

ここでは、スリップ率に着目して測定器A、測定器Bそれぞれのデータの精度を比較する。図-6に測定器A、測定器BそれぞれのGPS速度とスリップ率の関係を示す。両測定器の共通点として、速度が高くなるにつれスリップ

率の広がりは小さくなるのがわかる。これは、低速状態において、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ることが影響していると考えられる。また、両者を比較すると、大きな違いは見られないが、測定器Bではスリップ率0に集まるのに対し、測定器Aのスリップ率は散布が分散傾向にあることがわかる。これは、より細かな車輪速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と考えられ、測定器Bを用いた方が精度の高い分析が可能といえる。しかし、スリップ率は更新期間の異なる四輪平均速度とGPS速度から算出したため、ずれが生じているのも確かである。よって、四輪速度とスリップ率の関係からも測定器A、Bの精度比較を行う必要がある。

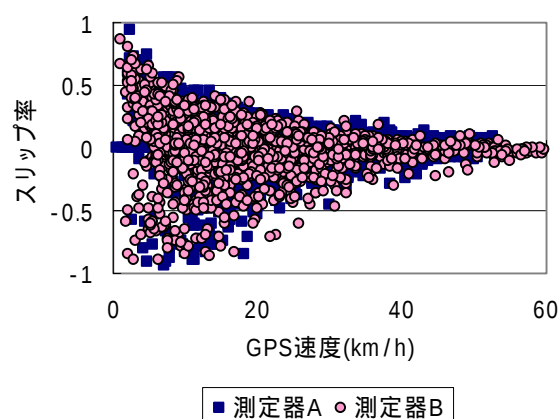


図-6 GPS 速度とスリップ率

次に、測定器 A、測定器 B の四輪速度とスリップ率の関係から精度を比較する。図-5 より、四輪速度差が 2km/h 以上になると、スリップの危険性が高くなることがわかった。したがって、図-7 のように四輪速度差が大きくなるとスリップ率も大きくなり、その絶対値は 1 に近づくと考えられる。

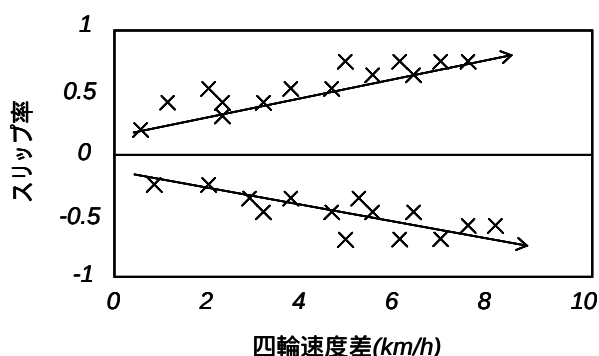


図-7 四輪速度差とスリップ率のイメージ図

そこで、四輪速度差に着目することで測定器 A、測定器 B の精度を比較する。図-8、図-9 に測定器 A、測定器 B それぞれの四輪速度差とスリップ率の関係を示す。図-8 では速度差の増加に伴いスリップ率の絶対値が 1

に近づく傾向が見られないのに対し、図-9 では速度差の増加に伴いスリップ率の絶対値が1に近づく傾向を十分でないもののいくらか確認できる。これより、測定器Bのほうが四輪速度差とスリップ率の関係をより正確に推定することが可能であることがわかる。また、四輪速度差が2km/hより小さいにも関わらずスリップ率の絶対値が大きくなる箇所も存在しており、速度差に関係なくスリップが発生しやすい状況が存在するとも推測できる。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要素になり得ると考えられる。しかし、四輪速度差が2km/hより小さくて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。

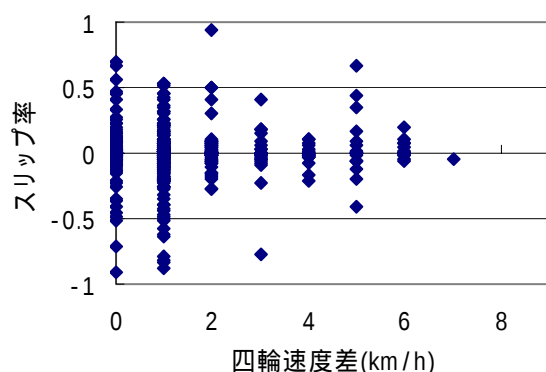


図-8 四輪速度差とスリップ率 測定器A

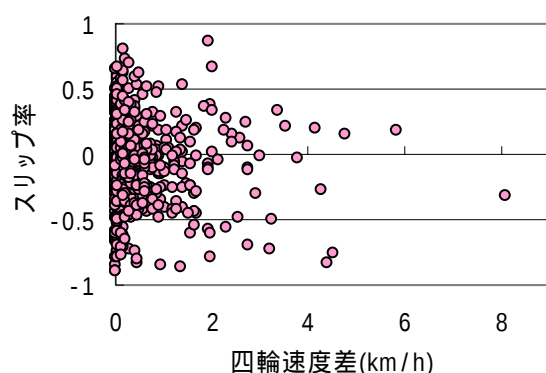


図-9 四輪速度差とスリップ率 測定器B

図-8、図-9 だけでは測定器AとB、どちらの精度が高いか比較を行うことは難しい。そこで、測定器AとBの精度の比較を行うため、スリップ率を正と負に分け、それぞれを四輪速度差ごとに平均したのが図-10である。これをみると測定器Bにおいて、図-7に示したように、四輪速度差が大きくなるにつれ、スリップ率が絶対値1に近づいていくことがわかる。測定器Aではそのような

傾向が見られないことから、測定器Bが測定器Aに比べ、精度が高いといえる。

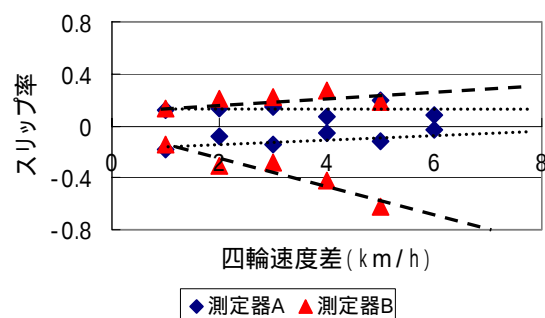


図-10 四輪速度差とスリップ率の比較

6. スリップ率から見る凍結感知の有効性

前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ことがわかった。よって、ここでは測定器Bより得られたデータを用い、スリップ率による凍結感知の有効性を検証する。

(1) 路面状況によるスリップ率

ここでは、路面状況やそれに伴う速度変化がスリップ率の変化にどのような影響を与えるか明らかにする。スリップ率は凍結路面での加減速時や凸凹路面走行中に大きな値になり、湿潤路面など比較的高速度で走行可能な路面では小さな値になると考えられる。そこで試験走路として、図-11に示すように凸凹・凍結・湿潤の路面状態が含まれる経路を設定した。写真-1に凸凹・凍結・湿潤の路面を示す。路面状態は各区間が写真のように明らかに分かれていたため、目視による分類を行った。



図-11 走行経路の路面状態

こうした路面状態とスリップ率および速度との関係を見るために、時間軸をもとにそれぞれの値を求めた。図-12、図-13、図-14に凸凹路面、凍結路面、湿潤路面それぞれを走行中のスリップ率と四輪平均速度の推移である。なお、図-12、図-13、図-14はそれぞれの路面状態内を走行中の2分間を抽出しているが、これは区間全体において同じ傾向を示している。これらの図より、路面状況によるスリップ率と四輪平均速度の関係として以下のことが確認できる。凸凹路面では低速度走行にも関わらず、スリップ率の変化もその値も大きくなる。凍結路面では走行中の速度変化ではスリップ率に変化が見られないが、発進・停止に伴う加減速時にスリップ率も大きな値になる。湿潤路面ではスリップ率は常に小さくなるといえる。図-12、図-13、図-14を比較すると、路面状況によってスリップ率は凸凹＞凍結＞湿潤の順に大きくなり、逆に、四輪平均速度は湿潤＞凍結＞凸凹の順に大きくなると考えられる。

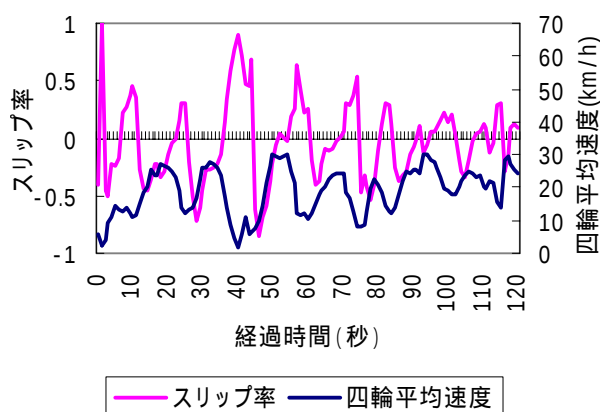


図-12 凸凹路面走行時スリップ率・速度推移

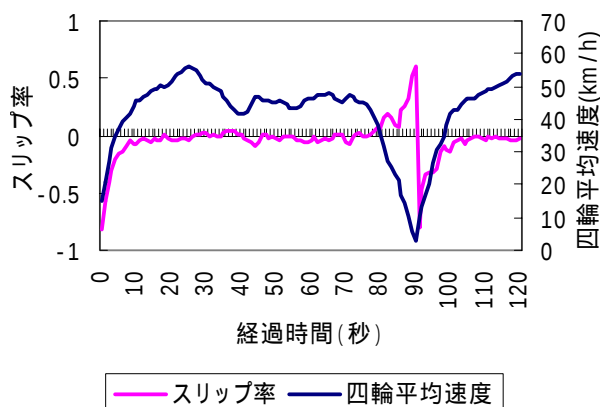


図-13 凍結路面走行時スリップ率・速度推移

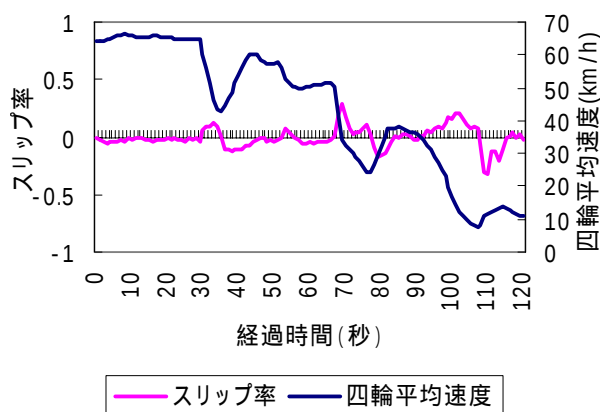


図-14 湿潤路面走行時スリップ率・速度推移

次に路面状況による平均スリップ率と平均速度を求めた(表-7)。この表からもスリップ率は凸凹＞凍結＞湿潤の順に大きくなり、逆に、四輪平均速度は湿潤＞凍結＞凸凹の順に大きくなることが確認できる。しかし、凍結路面と湿潤路面にはあまり大きな差がないことも確認できる。

表-7 路面状況による平均スリップ率・平均速度

	凸凹	凍結	湿潤
平均スリップ率	0.282	0.093	0.064
平均速度(km/h)	18.8	42.0	43.1

(2) スリップ率による感知とABS等による感知

次に、スリップ率により感知する箇所とABS等の作動により感知する箇所を照合して凍結感知の有効性を検証する。

凍結感知の有効性を検証する際、どのくらいの大きさのスリップ率とABS等の作動を照合するかが重要になる。小さすぎる値を用いる場合は感知箇所が膨大になり、逆に大きすぎる値を用いる場合はABS等の感知より少なくなる可能性がある。現時点ではどのくらいの大きさのスリップ率と照合するのが最適なのかは明らかになっていないが、なるべく大きなスリップ率から順に照合することが最適であると考え。そこで今回は、スリップ率の絶対値が0.9以上になった箇所と、ABS等が作動した箇所を照合することで凍結感知の有効性を検証する。また、今回の実験においてはABSを故意に作動させるようなことは全く行っておらず、ここでのABSの作動は、実験中に車両が停止しようとしたとき、偶然に作動したものである。また、スリップ率は運転方法によって異なる可能性があるが、影響が少ないように設定している。

図-15はスリップ率の絶対値が0.9以上になった地点(図中の●)とABS等が作動した地点(図中の○)を示したものである。また、図-14中の印の箇所における走行中のスリップ率と四輪平均速度の推移を図-15に示

す。この図より、スリップ率の絶対値が0.9以上になった原因は停止時に伴う減速であることが確認され、同じ箇所でもABS等によっても検出された凍結地点であることがわかる。また、スリップ率の絶対値0.9以上により検出された凍結地点が、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を検出することを確認できる。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推察できる。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である。



図-15 スリップ率0.9以上箇所とABS等の作動箇所

いに着目することで、凍結しやすい箇所を把握できる。なお、走行時間帯が変化しても、路面状況は図-10に示したものと大きな違いはなかった。

図-16 は走行時間帯別にスリップ率の絶対値が0.9以上になった地点（図中●や○）とABS等が作動した地点（図中○や☆）を示したものである。

この図より時間帯に関係なく凍結感知されやすい箇所、すなわち凍結しやすい箇所が存在することがわかる。凍結するかどうかは交通量や路面温度等の道路環境に依存するといえる。また、凍結感知されやすい箇所を地図と照合すると、主に交差点であることがわかる。したがって、スリップ率の絶対値0.9以上が検出された凍結地点の多くは、交差点での停止・発進に伴い検出されることがうかがえる。

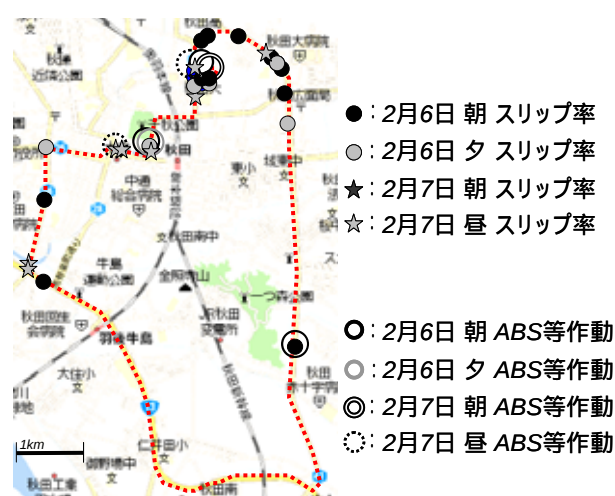


図-16 スリップ率0.9以上地点とABS等の作動地点

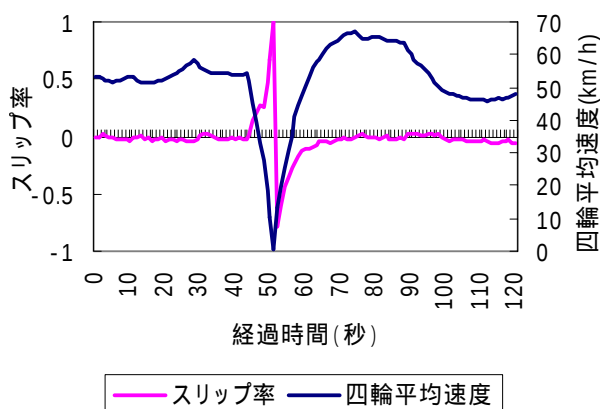


図-16 印前後走行中スリップ率・速度推移

(3) 走行時間帯別スリップ率感知とABS等感知

前節では一回の走行実験結果を用いての照合であったが、ここでは、全走行実験の結果を重ね合わせることで、スリップ率の高い地点を示す。さらに、スリップ率の絶対値が0.9以上になった箇所と、ABS等が作動した箇所を照合する。走行時間帯が異なることによる感知箇所の違

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のデータを用い分析を行った。車両に搭載されたECUからのデータであるため、更新期間が短く、より細かなデータが得られる既存の測定器Aから得られるデータと精度の比較したところ、精度の高い分析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、関連性の分析を行った。その結果、四輪平均速度とGPS速度両者の間には比例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と考えられる。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要素に成り得る。

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。

今回は車両一台での走行実験であったため、スリップ率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。今後、実験車を増やすことで、ドライバーによる運転特性の影響、さらに、凍結地点感知の正確性も向上させることが可能となる。

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。

謝辞

本研究の実施にあたり、実験車両・器機を借用させていただいたスバル技術研究所の西田様、高橋様に感謝の意を表します。

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

高精度車両挙動データを用いた路面状態の推定方法

鈴木理・濱口慎平・浜岡秀勝

本研究では、積雪寒冷地において、スリップの危険を含む路面状況を推定することを目的とし、凍結路面を含む冬期の一般道を走行し、得られた車両速度データから分析を行った。使用測定器の違いによるデータの精度比較をGPS速度、四輪平均速度、四輪速度差の視点から行った結果、今回使用した測定器で高精度なデータを取得できることを明らかにした。また、得られた高精度データから算出したスリップ率を利用することで、ABS等が作動しない程度の凍結地点までも検出することが可能であることを明らかにした。今後の課題として、繰り返し走行実験を行うことで正確性を向上させることが挙げられる。

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

By Tadashi SUZUKI・Shinpei HAMAGUTI・Hidekatsu HAMAOKA

In the snowy region, frequent existence of slippery condition brings driver to the highly strained situation in driving. In this study, detailed data from the vehicle is used to detect the road surface condition. After the accuracy of detailed data is confirmed, trial test that the experimental car runs in the field is conducted to understand the slipperiness of the road condition. Result shows that the locations of the slippery road condition cover all of the location of ABS detection, and there are many locations detected as the slippery road condition compared to the location of ABS detection.