

# ABS信号を用いた路面摩擦測定の研究

## Study for Measurement of Road Friction Using ABS Information

○岡 宏一 (高知工科大学) 児玉 迪弘 (高知工科大学)  
宮崎 駿 (高知工科大学) 熊谷 靖彦 (高知工科大学)  
片岡 源宗 (高知工科大学)

Koichi OKA, Kochi University of Technology, Miyanakuchi 185, Tosayamada-cho, Kochi  
Michihiro KODAMA, Shun Miyazaki, Yasuhiko Kumagai, Motomune Kataoka,

This paper describes an improvement for the measurement system of the road friction between a tire and road. The principle of the measurement system is detecting the difference of the gradient of the relationship between the slip ratio of the tire and the acceleration of the car. When the road friction becomes low, the slip ratio changes larger about same deviation of acceleration. In this paper, we propose that the information of a GPS is used for the improvement for the measurement system. Sometime road has a slope and when the angle of the slope changes, the measurement system output has an error. The information of GPS may reduce this error. The experimental examination is verified this proposal.

*Key Words:* road friction sensor, slip ratio, acceleration, GPS, slope

本研究は、車両走行中に路面摩擦の検出をABS信号に基づいて行うシステムにGPS情報を利用した場合の性能向上に関する実験的検討である。

車両が走行するときには、走行抵抗と加速度に相当する駆動力が必要である。この駆動力は駆動輪の回転速度と車速との相対速度から発生する力であると考えられる。この駆動輪速度と車速との速度比をスリップ率という。スリップ率と車の駆動力との関係を路面の摩擦係数をパラメータとして表したものがFig.A1の $\mu$ -s特性である。 $\mu$ -s特性を用いれば、駆動力とスリップ率から路面摩擦係数を推定することが可能であるが、駆動力はその時点での速度、路面状況、道路勾配などに影響されるため、正確に求めることができない。しかし、スリップ率が小さい通常の走行の領域では駆動力とスリップ率の関係がほぼ線形で、路面の摩擦係数によって傾きが異なることがわかる。この傾きを計測することで路面の摩擦係数を推定できると考えられる。

今、駆動力が一定の平衡点にあるとすると、その点からの駆動力の変化は、主に車体の加速度の変化と比例関係にあると考えることができる。よって、車の加速度の変化率とスリップ率の変化率から求めた比例定数に基づいて摩擦係数を求めることができる。本研究ではFF車を用い、駆動輪と従動輪のABS信号との関係からスリップ率と加速度を求める。

このシステムでは、駆動力の平衡点近傍での計測を行うことで、路面摩擦を推定しているが、坂道などで勾配が変化する場合に平衡点が変わるため、計測誤差を生じやすいと考えられる。その対策として、GPSの速度情報を用いて、路面の勾配を検出することを提案する。路面の勾配 $\theta$ が変化したとき、車両の質量を $m$ として $mg \sin \theta$ の駆動力変化が起こる。この駆動力をあらかじめデータに加えることにより、検出の応答性を高める。

実際の車両を用いて実験を行った結果をFig. A2に示す。これは、跨線橋を走行したときのグラフで、上からGPSによる上下方向の速度、タイヤのスリップ率、車両加速度のデータである。上下方向の速度よりわかるように、車両は上方向の速度の後、下方向の速度を持つことがわかる。また、登り勾配ではスリップ率が大きくなり、下り勾配では小さくなっていることがわかる。これに対し加速度の補正を行ったものは、スリップ率と同じように変化し、補正を行わなかったものに比べて、相関性が高いことが確認される。このことはGPSデータによる補正を行うことにより、摩擦係数の測定の精度を向上させる可能性があると言える。

今回の報告は、車両の加速度とタイヤのスリップ率の関係から路面の摩擦係数を計測するシステムに対して、GPS情報を用いることにより、その精度を向上させることを目的としたものである。実際の車両による実験の結果より、その可能性を検証することができたので、これを報告する。

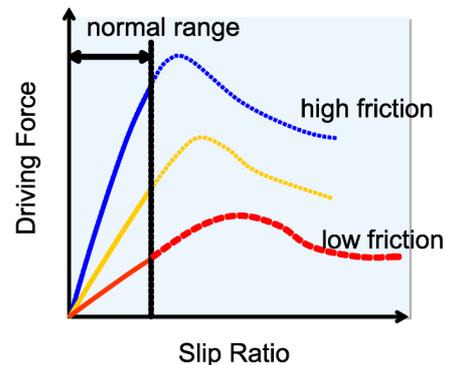


Fig.A1  $\mu$ -S characteristic

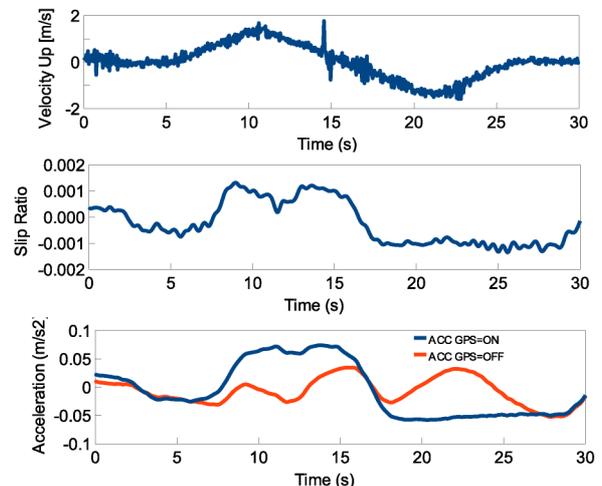


Fig.A2 Experimental results when a car runs over a bridge

# 1. はじめに

高知県などの温暖な地方でも、冬季の降雪や路面凍結、また中山間地域では橋上などの凍結がおこる。その場合には、このような路面に日頃慣れていないための事故が発生することがある。この対策として、路面の状況をリアルタイムで検知し、路面摩擦が低下している場合には注意を喚起するようなシステムがあると有効である。

凍結を検知することを目的として、赤外線カメラによる路面温度からの凍結検知、路面モデルと気象状況による凍結予想、滑り測定車を用いた路面摩擦測定、加速度計などによる車両の運動からの凍結検出などの方法が開発されている。しかし、これらの検出システムは、赤外線カメラを道路に施設する工事が必要、路面モデルのための気温や風速を計測する装置が必要、滑り測定のための別の車輪を持った車両が必要、など高価で大がかりなシステムとなる。また、加速度計を用いるシステムは、ブレーキをかけた場所だけの局所的な測定しかできない。このような、高価で大がかりなシステムを温暖な地方での凍結の対策として利用することは難しいと考えられる。

より簡便にリアルタイムで路面の摩擦状況を検出するシステムとして、ABS信号を用いた路面摩擦検出システムが開発されている<sup>1)</sup>。この装置は、車の加速度とタイヤのスリップ率の関係から、路面摩擦を推定するシステムである。しかし、検出のために車の加速度変化を駆動力と考えて用いている装置であるため、勾配などがあると誤差を生じる要因となる。本研究では、この路面摩擦検出システムを用いた車両が、勾配の変化する道路を通過する場合の路面摩擦検出の誤差を低減するための方法を提案する。まず、本システムの原理を述べ、誤差が発生する要因を説明する。つぎに、誤差を低減するためにGPSの情報を用いることを提案する。実際の車両を用いて実験を行い、提案した方法の有用性を実証する。

## 2. 路面摩擦測定システム

### 2.1 測定原理

車両が走行する場合、走行抵抗に相当する駆動力が必要である。タイヤを弾性体と考えると、駆動力はタイヤの軸とタイヤの接地部分との相対速度によって発生する。この相対速度をタイヤの軸速度で割った値をスリップ率という。タイヤの縦すべりを表している。一方駆動力を荷重で割った値を駆動力係数という。スリップ率と駆動力係数は、図1のようになる。この関係はタイヤと路面の $\mu$ - $s$ 特性と呼ばれている。

今、路面の摩擦係数が小さくなると考える。するとタイヤの接地面内に存在するすべり面の面積が増加し、かつすべり域の剪断応力は小さくなると考えられる。結果的に、図に示すように同じスリップ率で得られる駆動力は小さくなる。このことは、図のような $\mu$ - $s$ 特性をリアルタイムに推定することができれば路面の摩擦係数(滑りやすさ)を推定することが可能である。しかし、実際には駆動力係数を正確に求めることは困難である。なぜなら、駆動力はその時点での速度、路面状況、道路勾配などに影響され、これらの値をリアルタイムで同定することは難しいためである。

ここでの路面摩擦の検出の原理は、スリップ率が通常走行範囲のときのグラフの傾きの変化に着目するものである。通常走行領域では駆動力係数とスリップ率の関係はほぼ線形で、かつ路面の摩擦係数によって傾きが異なる。駆動力係数がある平衡点にあるとすると、その点からの駆動力係数の変化は主に車体の加速度の変化と比例関係にあると考えられる。よって、車の加速度の変化率とスリップ率の変化率からその傾きを求めることによって摩擦係数を推定することが可能である。

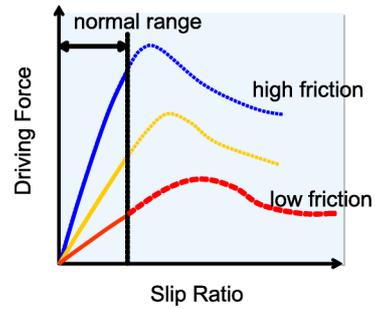


Fig. 1: Characteristics between road friction and slip ratio

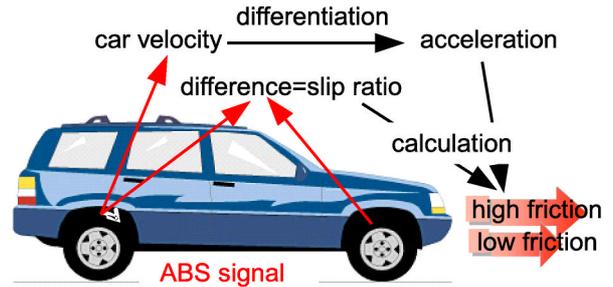


Fig. 2: Signal flow for road friction measurement system

### 2.2 測定方法

本システムを実際の車で利用する場合の模式図を図2に示す。今回の報告では、温暖な地方での一般的な車両としてFF車を対象とする。4つの車輪の回転速度は、ABS信号を検出することによって得られる。図に示すように、FF車の場合には、従動輪である後輪の速度を車両の速度と考えることができ、その信号を微分することによって車両の加速度を得ることができる。また、駆動輪である前輪との速度差を求めることによって、スリップ率を求めることができる。車両の加速度とスリップ率が求まるので、その2つの傾きを計算し、路面摩擦を推定する。

しかし、スリップ率と加速度から傾きを計算する場合に、加速度以外の駆動力の影響を無視して傾きを求めている。無視したもの一つに道路の勾配がある。道路勾配は、図3に示すように車の駆動力に影響を及ぼすため、道路勾配の変化は加速度に影響を与え、傾きの計算の誤差要因となる。

### 2.3 GPS信号の利用による精度向上

道路勾配の変化が、誤差を生む要因となるため、車両に搭載されているGPSを利用することを提案する。GPSは現在の水平位置を知るとともに、南北方向、東西方向、上下方向の変位も情報として出力される。これらのデータから水平方向変位と上下方向変位から路面の勾配を検出することが可能である。求められた勾配に基づいて、図3より、 $g \sin \theta$ を加速度データに加えた加速度を、図1の傾きを求めるデータとして用いることによって誤差を抑制する。

現在、GPS装置はカーナビなどの普及とともに、通常の

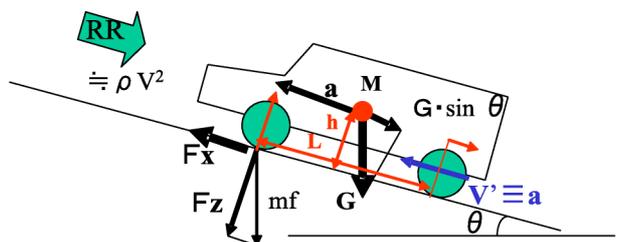


Fig. 3: Illustration when a car is running at a slope

車両にも標準で取り付けられていることが多い。このことは、今回の提案の路面摩擦検出システムは、スリップ率や加速度を求めるためのABS信号とともに、車両に新たな装置の追加が不要となると考えられる。簡便な検出システムを構築するために、検出プログラムの追加のみで行える可能性がある。

### 3. 路面摩擦測定実験

#### 3.1 降雪路面とドライ路面での検証

この装置の実用性を検証するために、まず降雪路面とドライ路面での走行による実験を行った。実験は、高知県と愛媛県を結ぶ国道33号線を走行して行った。実験は以下の日時で行った。

- 1)2007年12月8日 ノーマルタイヤ (ドライ路面)
  - 2)2007年12月22日 スタッドレスタイヤ (ドライ路面)
  - 3)2008年1月4日 スタッドレスタイヤ (積雪路面)
- 走行の地図を図4に、3つの実験結果を図5~7に示す。走行地図では赤で示されている部分を実際に走行したことを示す。



Fig. 4: Map for experiments of Route 33

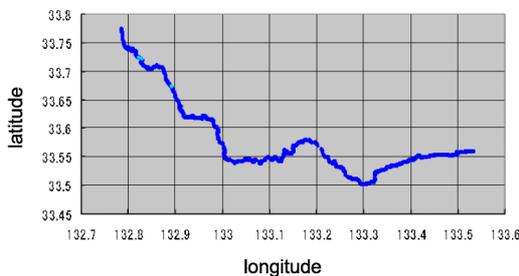


Fig. 5: Sensor output at route 33

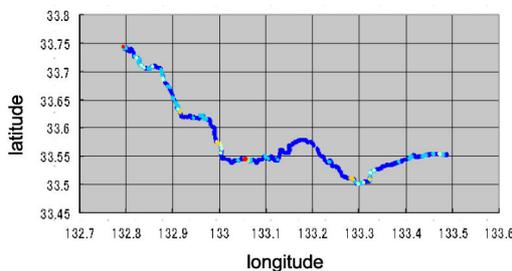


Fig. 6: Sensor output at route 33

実験結果の3つの図は、各地点の推定した摩擦係数をその点の緯度経度に基づいてプロットしたものである。また図の点の色の青い色は路面の摩擦係数が高い地点であり、黄色から赤に変わるにつれて摩擦係数が低い値になることを示している。通常の舗装路面で1と言われておりその場合は青、凍結路面では0.3以下の値になり、その場合は赤い点で示されている。図に示すようにノーマルタイヤ、スタッドレスタイヤどちらの場合もドライ路面ではそれほどの摩擦係数の低下は見られない。スタッドレスタイヤの方

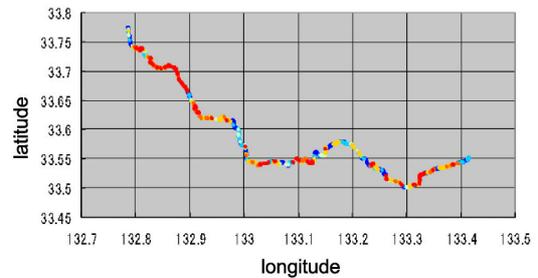


Fig. 7: Sensor output at route 33

で低摩擦係数の点が多いのは、スタッドレスタイヤが柔らかいため摩擦係数の値にばらつきがあるためであると考えられる。しかし、積雪路面の走行である1月4日のデータでは非常に低い摩擦係数を示している。この結果、本装置による摩擦係数測定が可能であると判断できる。

#### 3.2 路面勾配が変化した場合のGPSの利用の検証

次にGPSを併用した場合の効果を示すため、跨線橋を走行する実験を行った。この跨線橋は線路の上を通るもので、最初に上り勾配後に下り勾配がある。この道路を、ドライ路面で走行速度をできるだけ60km/hとなるようにした場合、雨天の時に60km/hとなるように走行した場合、およびドライ路面で60km/h程度で車両速度に変動を与えるように走行した場合の3つの実験走行を行った。

このときの登り勾配前約5秒から30秒ののデータを入力した結果を記録した。どの走行も勾配がある路面を走行する時間は20秒程度である。

**3.2.1 ドライ路面での通常走行結果** ドライ路面で車両速度を60km/hになるように走行した結果を、図8に示す。図の上からGPSの上下方向速度、車速、スリップ率、加速度、およびスリップ率を縦軸とし加速度を横軸として求めた傾きをハザード指標として記録した。

図8の一番上の図に示されているGPS信号の上下方向の速度に注目すると、まず山がありその後谷がある。このことによりGPS信号により路面勾配が検出できることがわかる。15秒付近に速度の急激な変動があるが、これは観測誤差であると思われる。

また、2番目の車両速度のグラフは約16m/sを示しており、ほぼ60km/hで走行していることがわかる。登り勾配では速度が遅くなり、下り勾配では速度が速くなっていることが確認できる。

3番目の図はタイヤのスリップ率を表したグラフである。図からわかるように、登り勾配では値が高くなっており、下り勾配では値が負になっている。登り勾配では登坂力が必要のため、タイヤの駆動力を大きくする必要があるため大きくなり、下りではエンジンブレーキの効果で値が負になっていると考えられる。このように路面の勾配がスリップ率に影響を与えていることが確認された。

4番目の図は車両の加速度のグラフである。赤い線は後輪のABS信号から求めた速度を微分して求めた加速度であり、青い線はその値にGPS信号から求めた路面勾配を補正した加速度である。図からわかるように、GPS信号による補正を行った加速度は登り勾配では正の値を下り勾配では負の値を安定して示している。これはスリップ率のグラフとよく似た結果になっており、補正によって両者の関係が精度よく求まることが期待できる。

最後の図は加速度を横軸にスリップ率を縦軸にとったグラフの傾きを示している。つまりこの値が大きくなると、路面の摩擦係数が低い状態であると判断できる。また、値が0となっているのは、傾きの出力値が負であるため、またはその他の理由で傾きを求められなかったためである。この結果が、最終的な路面摩擦係数の判断基準になるものであるが、GPSによる補正を行った場合には10秒過ぎから25秒過ぎまで有効な値を出力していない。スリップ率と加速度のデータからGPSを使う効果は確認できて

いるため、今回の結果より、傾きを求めるためのアルゴリズムの改善が必要であることが確認できた。

次にスリップ率と加速度の相関を確認するため、スリップ率を横軸、加速度を縦軸とし、走行の軌跡をプロットしたグラフを図9に示す。図からわかるように補正前の赤い線より、補正後の青い線においてより強い相関関係があることが確認される。このことから今回の補正の有効性が確認される。

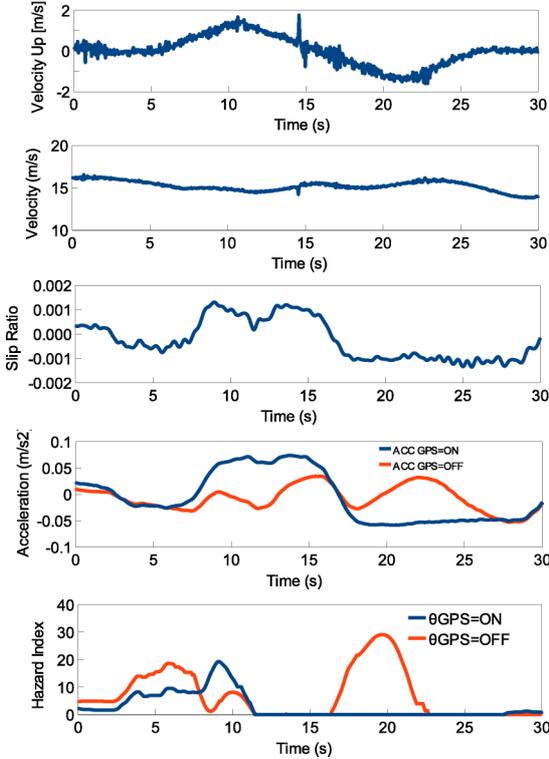


Fig. 8: Experimental results when car runs at a slope

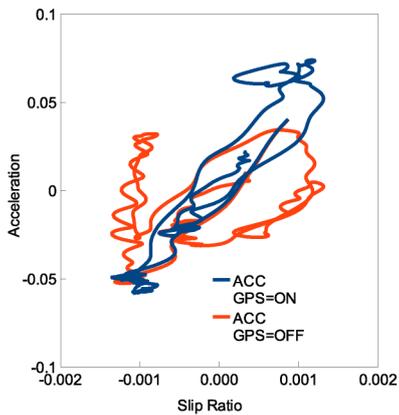


Fig. 9: Locus of acceleration and slip ratio (dry road)

**3.2.2 雨天時の走行データ結果** 次に同じ道路を雨天に走行した結果を図10に示す。今回の結果は、図9と同様に走行の軌跡だけを示す。雨天での走行もドライ路面での走行と同様に、GPS信号補正を行うことによってグラフの相関がより強くなることがわかる。また、ドライ路面での傾きと雨天での傾きにはほとんど差がなく、雨天とドライ路面での摩擦係数はほぼ同じであるという結果が得られた。

**3.2.3 走行速度を変化させたときの結果** 図8の最後の結果では、求めた傾きの値が有効でない期間があった。これに対処するため、車両の速度を変化させ(アクセルを踏む、離すを交互に行う)スリップ率と加速度に常に変化を与えるようにして測定を行った。結果を図11に示す。図

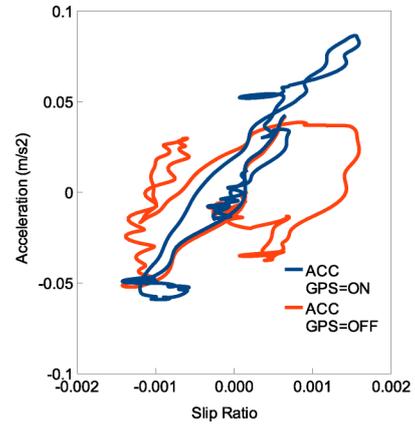


Fig. 10: Locus of acceleration and slip ratio (wet road)

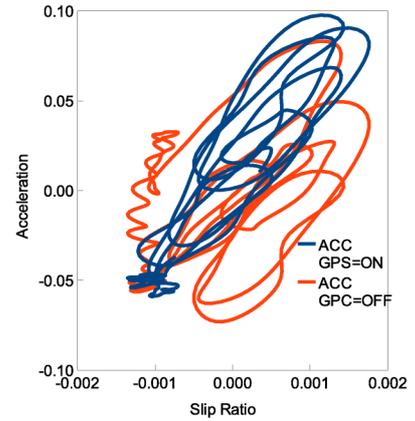


Fig. 11: Locus of acceleration and slip ratio when speed changes

からわかるように、今までの結果に比較して軌跡の変化が大きいことがわかる。また、GPS信号による補正を行った場合には、前述の結果と同様にスリップ率と加速度の相関は高い。しかし、実際に傾きを求めた結果によると、有効なデータ範囲が広がったとは言い難い結果となった。この結果についての検討を現在行っている。

#### 4. おわりに

ABS信号を用いた路面摩擦検出装置を用いて、GPS信号利用の有効性を検証した。結果は、摩擦推定のために用いる値の相関は高くなり、その意味では、有効性を確認できた。しかし、最終出力値を求めることについては、有効なデータとなっていないことが確認できた。このことについて、今後傾きを求めるためのアルゴリズムの検討などを行っていく予定である。

最後に、本実験装置を搭載した車両を提供していただき、またソフトの変更などにも協力いただいた住友ゴム工業株式会社情報研究部のみなさんに謝意を表す。

#### 参考文献

- (1) 川崎裕章, 走行中のタイヤと路面間の滑りやすさ測定, 自動車技術会, 2001年秋季大会, 2002