

パルス加速度を用いた車両のすべり状態の検出について

The Detection of the Sliding State of a Vehicle Using the Pulse-Acceleration

北見工業大学大学院 ○学生員 前田 近邦 (Chikakuni Maeda)
 北見工業大学 正会員 川村 彰 (Akira Kawamura)
 北海道大学大学院工学研究科 正会員 中辻 隆 (Takashi Nakatsuji)
 J F E 工建株式会社 藤永 英樹 (Hideki Fujinaga)

1. はじめに

積雪寒冷地における冬期路面では、車両は路面状態、走行状態によりすべりを引き起こすことがある。そのため、車両運動と路面のすべり状態が密接な関係があるといえる。本研究ではこの関係に着目し、GPS 付車両運動センサーを装着した測定車から得られる車両運動データからすべり摩擦係数を間接的に推定する手法を確立することを目指しているが、ここでは、車両運動と路面のすべり状態の関連性についての基礎的研究として、おおまかな路面状態の相違による、車両のすべり状態の変化の把握を行った。

すべりを表す指標としてはスリップ比が用いられるが、本研究での解析の際に車速として用いている GPS 速度のサンプリング時間が1秒間隔であり、加速や減速といった短い時間の現象を解析するにはややデータ数が足りずすべり状態が把握しきれないこと、GPS 速度では低速域の精度にやや難があることなどから、スリップ比ではすべり状態を正確に把握しきれない。そこで、車輪の回転速度である車速パルスのみでスリップ比と同様なすべり状態を表す指標として、「車速パルス加速度」というパラメータを新たに導入し、路面状態による相違の比較・検討を行った。

2. 解析データ

走行試験では試験車両として、北見工大試験車（いすゞ Big Horn、ABS 有）と北大試験車（日産 Safari、ABS 無）を使用してデータ計測を行った。車両の駆動状態は後輪駆動（FR）とし、サンプリングレートは 10Hz（0.1sec）とした。得られるデータは運動関連パラメータと速度関連パラメータに分かれるが、今回の解析には速度パラメータである前輪（車速パルス1）と後輪（車速パルス2）のパルス成分を使用した。また、車両速度はセンサーから出力される GPS 速度を使用した。

欠損データ補正等を行った計測データを基に、解析に使用するデータを作成した。解析対象の走行条件は、すべり状態が起りやすい減速走行及び加速走行とし、解析デー

タは各パラメータが128個の数値データ、走行時間が約13秒間で作成されている。解析データの路面条件はアイスパーン、すべる場合の圧雪、すべらない場合の圧雪、乾燥の4つである。寒地試験道路での路面状態はアイスパーンとすべらない場合の圧雪しかないため、すべる場合の圧雪と乾燥路面は一般道路の測定データから補完した。解析に使用したパラメータおよび解析条件を表-1に示す。

表-1 解析に使用したデータ条件

使用パラメータ	車速パルス1（前輪） 車速パルス2（後輪） GPS速度（車体速度）
車両条件	Bighorn Safari
路面条件	Ice Dry Snow（すべる、すべらない）
走行条件	減速 加速

3. パルスデータとすべり状態

3-1. 車速パルスの速度変換

車輪の回転速度を表す車速パルスデータを速度データに変換するため、乾燥路面における GPS 速度が車速に対応すると想定し、高速道路の3区間で測定した0~100Km/hの範囲のデータと、一般街路の乾燥路面のデータを用いて変換式を作成した。GPS データと車両運動データには時間遅れが伴うことから、時間遅れは相互相関係数を最大にする時間差と定義し、変換式作成の際この時間遅れを考慮した。今回の計測データでは GPS で計測された速度がタイヤの回転から、高速道路では0.6~0.9秒、一般街路では0.9~1.6秒遅れていた。高速道路3区間及び一般街路の乾燥路面状態9箇所の得られたデータを用いて推定された変換式を表-2に示す。

表-2 車速パルス変換式

北大試験車 (Safari)	$y = 0.3552x - 0.10$ (0.99)
北見工大試験車 (BigHorn)	$y = 0.1065x - 0.22$ (0.99)

※ () 内の数値は決定係数 R^2

3-2. パルス加速度

車速パルスは車輪の回転数をパルスで示したもので、車輪の運動状態を示している。この値は、乾燥路面などのタイヤが滑らない場合(図-1)は、車両の加速、減速に沿って一様な変化をするが、アイスバーンなどの滑る場合(図-2)、すなわちタイヤがスリップを起こしている場合には、一時的に値の大きな変化が現れる。このことから、車速パルスによって車輪のすべり状態を確認することが出来る。しかし、車速パルスでは、車輪のすべり状態を発見する事は可能ではあるが、車速パルスの値自体では、すべり度合いを数量化して表す事は困難である。そこで、車速パルスのみですべりを表す指標として「車速パルス加速度」というパラメータを導入した。これは、車速パルスを加速度に変換したものであり、これによりすべりの度合いを振幅で表現することが可能となり、すべり状態の把握が容易となる。

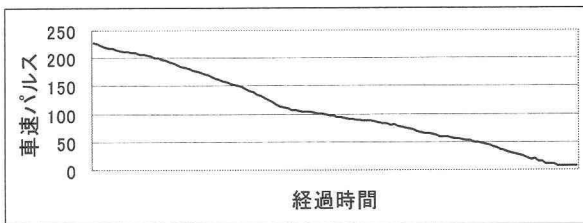


図-1 乾燥、減速時の車速パルス

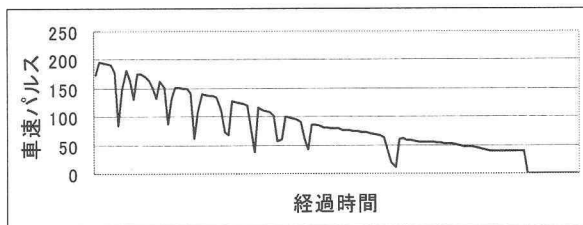


図-2 アイスバーン、減速時の車速パルス

3-3. パルス加速度の定義

「車速パルス」は車輪の回転速度を表すパラメータであるから、古典物理学の考えによりこれを時間で微分すれば加速度が求まる。すなわち、車速パルスを時間 t の変数とすると、(1) 式のように表すことができる。

$$v = f(t) \quad \dots (1)$$

したがってパルス加速度は(1)式の微分であるため(2)式で表すことができる。

$$\frac{dv}{dt} = f'(t) \quad \dots (2)$$

具体的には、パルスデータを表-2に示した速度変換式を用いて、車速パルスを速度(時速)に変換し、車輪の進行速度(秒速)に変換する。そしてこれを微分し、加速度を求める。しかし、ここで考慮しなければならないのは、車速パルスは連続した関数ではなく、サンプリング間隔である 0.1sec ごとの点でしか与えられていないということである。そこで、加速度を車速パルスの平均変化率とし、(3)式で求める。

$$\frac{dv}{dt} = f'(t) \doteq \frac{f(t+\Delta t) - f(t)}{\Delta t} \quad \dots (3)$$

これにより振幅ですべりの度合いを表現することが可能となる。車速パルスを加速度に変換したものを図-3、図-4に示す。

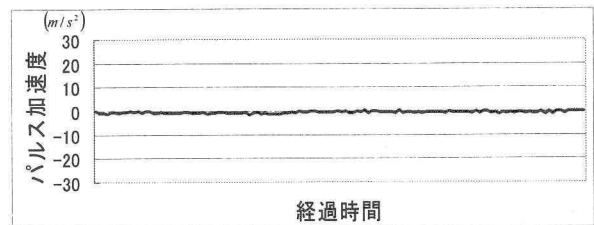


図-3 乾燥、減速時のパルス加速度

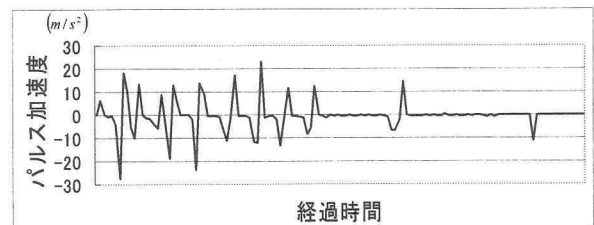


図-4 アイスバーン、減速時のパルス加速度

3-4. 路面状態とパルス加速度

路面状態によるパルス加速度の相違をみるために、乾燥、圧雪(すべる、すべらない)、アイスバーンの4つの路面についてパルス加速度の単位時間あたりの変化量を求めた。変化量は一つ前のデータとの車輪の回転加速度の差であるため、この変化量が大きければタイヤは急激な回転変化を起こしている。すなわちスリップ状態にあると推察され、逆に小さければタイヤのグリップが効いていると推察される。

ここでは、データ中の最大変化量による統計解析を行い、路面状態ごとの相違を検証した(表-4、5)。算出結果から、次の相違が得られた。

1) すべる路面（アイスバーン、すべる圧雪）では最大変化量が大きく、すべらない路面（乾燥、すべらない圧雪）では最大変化量が小さい。

2) 最大変化量の差は、加速ではパルス2、減速ではパルス1の場合に、すべる路面とすべらない路面との相違が明確になる。

3) 車両により最大変化量や標準偏差の値の違いはあるものの、全体的には同じ傾向を示している。

1) に関しては、すべる路面ではスリップが多く、逆にすべらない路面ではスリップが起きないためと推察され、実際の現象とよく合致している。2) のすべりの差に関しては、試験時に測定車がFR（後輪駆動）状態であったため、加速走行では、発進時に後輪に大きな力が働いたためだと推察され、減速走行では、一般の自動車は後輪より前輪のブレーキ力が強いことや、制動時には重心が前に移動するため、ブレーキは前輪の方がかかりやすいためだと推察される。3) に関しては、タイヤの回転には車両よりも路面状態の影響が強いと言える。しかし、アイスバーンの減速に関しては、北大車の標準偏差の値がものすごく大きい。これは北工北大車がABS有りに対して、北大車がABS無しであったことから、ABSの有無という車両性能の違いの影響が出ているのではないかと推察される。

以上の結果より、すべる路面とすべらない路面による相違が確認され、特にすべる路面での変化が大きいことから、パルス加速度はスリップ状態を強く反映していると推察される。

3-5. パルス加速度によるすべりの検出

前節の結果より、パルス加速度は車両のすべり状態を強く反映していることが確認された。そこで、すべりをあらゆる指標としての妥当性を確認するため、一般道路で計測されたデータを用いて実際にパルス加速度を算出し、走行試験時にスリップの有無を記入したデータシートと照らし合わせて、パルス加速度ですべり状態を検出できるかを確認した。

結果としては(図-7,8)、すべりが起きている個所では、パルス加速度は大きな振幅を現しており、すべり状態が激しい個所ではその振幅が大きくなることから、パルス加速度ですべり状態を把握することは可能であるといえる。しかし、すべりの起きていない個所についても若干の振幅がみられた。これは、減速して車両が停車する際、もしくは、加速直後などにおいて車速パルスが同じ値を数秒間示すなど、数値的にエラーが出ているためにこのような振幅が現れたものと考えられる。しかし、このような値が検出されやすい個所がわかっているため、この影響を除去すれば、パルス加速度によりすべり状態を検出することが可能であるとえられる。

表-4 パルス加速度の統計結果（工大試験車）

		パルス1		パルス2	
		最大変化量	標準偏差	最大変化量	標準偏差
加速	Ice	2.0309	0.8199	15.761	5.4039
	Snow-slip	23.0139	20.5185	13.9206	5.2146
	Snow	7.0379	3.6632	7.0115	0.4626
	Dry	15.5105	17.9095	6.1797	0.7892
減速	Ice	40.6712	6.2133	13.2612	5.0017
	Snow-slip	37.8282	9.1318	16.0534	10.5042
	Snow	5.7772	4.7113	4.7003	0.9110
	Dry	3.2034	3.6989	5.1233	0.7307

表-5 パルス加速度の統計結果（北大試験車）

		パルス1		パルス2	
		最大変化量	標準偏差	最大変化量	標準偏差
加速	Ice	1.8906	0.8752	9.3980	3.7686
	Snow-slip	—	—	—	—
	Snow	4.6683	1.5886	6.4871	1.4116
	Dry	4.5452	2.7304	7.3540	1.9748
減速	Ice	25.0136	22.0268	9.4440	10.4374
	Snow-slip	—	—	—	—
	Snow	8.9472	4.4653	5.7389	0.9746
	Dry	3.5745	1.3490	4.3068	2.1071

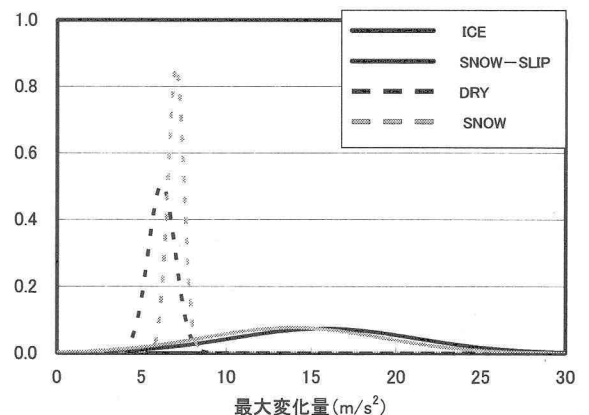


図-5 パルス加速度の最大変化量の分布（工大試験車、加速、パルス2）

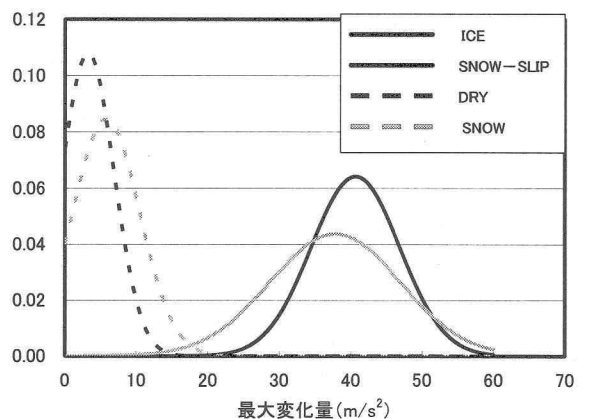


図-6 パルス加速度の最大変化量の分布（工大試験車、減速、パルス1）



図-7 一般道路でのパルス加速度の変化例

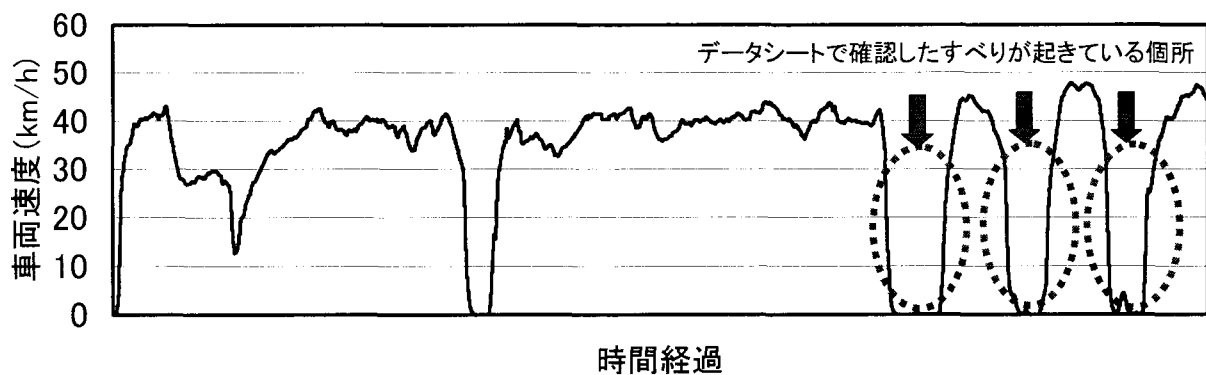


図-8 一般道路での車両速度の変化例

4. おわりに

今回の研究により以下の知見を得ることが出来た。

1. パルス加速度はスリップ状態を強く反映しており、車両の滑り状態の把握に有効である。
2. 車速パルスでは FR 駆動の場合、制動時は車速パルス 1、発進時は車速パルス 2 でスリップが起こりやすい。
3. パルス加速度は車両の相違による数値的な違いはあるものの、全体的な傾向は同じである。

今後はこのパルス加速度により、すべる路面とすべらない路面というような大まかな路面分類を行っていくとともに、パルス加速度と、前後、左右、上下の加速度といった運動関連パラメータとの組み合わせにより、具体的な路面推定手法の確立を目指す。

参考文献

- 1) 川村他: Proc. 第1回ITSシンポジウム2002, pp311-317, 2002
- 2) 前田他: 車両運動データを利用した冬期路面の予測に関する基礎的研究、土木学会第57回年次学術講演会講演概要集IV-231、2002
- 3) 前田他: 車両運動データを利用した冬期路面状態の予測に関する研究、土木学会北海道支部平成14年次技術研究発表会、2003