

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

The Study on the Prediction of Road Surface Condition in Winter by Use of the Motion Data of the Vehicle

北見工業大学大学院 ○学生員 前田 近邦 (Chikakuni Maeda)
 北見工業大学大学院 学生員 大西 康文 (Yasufumi Ohnishi)
 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)

1. はじめに

積雪寒冷地においては、冬期の交通事故や渋滞は路面状態に起因していることが多い。そのため、冬期路面状態の把握は重要である。路面のすべり摩擦係数は路面状態を表す指標であり、その正確な推定が路面管理上最も重要である。本研究では、冬期路面状態と車両運動が密接な関係のある点に着目し、GPS 付車両運動センサーを装着した測定車等の Probe 車によって得られた運動データおよび各種の道路交通データなどから路面のすべり摩擦係数を間接的に推定する手法の確立を目指した。

本研究においては、得られたデータは車両の運動と速度に関する時系列データあることから、まず、データの周波数特性を把握するために周波数分析を行った。次に、システム特性の解明のために多変量自己回帰分析を行った。

2. 解析データ

車両運動データを得るために走行試験を行った。まず、路面状態が均質に管理された状態で広範な走行条件でのデータを得るということから、平成 13 年 12 月 19 日に北海道開発局苫小牧寒地試験道路で人工的な圧雪、凍結路面を作成し走行試験を行った。また、実際の冬期路面状態での走行データを得るということから、平成 13 年 12 月 24 日に札幌市近郊石狩新港地域内の道路において走行試験を行った。測定車両は北見工大試験車がいすゞ Bighorn、北大試験車が日産 Safari である。車両運動センサーで計測されたデータは、運動関連と速度関連で与えられている(表-1)。なお、車速パルス 1 は前輪の回転速度であり、車速パルス 2 は後輪の回転速度である。

以上のような走行試験によって得られたデータを解析するために表-2 のような条件で分類した。

表-1 試験車による計測データ

運動パラメータ		速度パラメータ	
加速度	前後方向	パルス	車速パルス 1
	横方向		車速パルス 2
	上下方向		パルス差 (パルス 1-2)
角速度	ピッチ	速度	GPS 速度
	方位		

表-2 データの解析条件

車両条件	Bighorn、Safari
路面条件	圧雪 (Snow)、アイスパーン (Ice)
速度条件	20km/h、40km/h
走行条件	減速、定速、加速

3. 定常時系列のスペクトル解析

路面状態が車両運動関連データ及び速度関連データに与える影響について比較・検討するためスペクトル解析を行った。解析では、測定データが定常的な不規則現象の観測値である場合に用いられる定常時系列のスペクトル解析として、パワースペクトル密度 (PSD) を、また、周波数成分に関する相関性を把握するためにコヒーレンスを求めた。解析データは、苫小牧寒地試験道路における北見工大車による測定データを用いた。分析結果については、代表的分析例を示す。

3.1. PSD による分析

路面状態が運動及び速度データの周波数特性に与える影響を検討するために PSD を算出した。運動関連データでは、加・減速走行時では路面状態の変化による PSD の変化はあまり見られなかったが、定速走行時では全体的に圧雪の方が PSD 値は大きかった。速度関連データでは、路面状況の変化により曲線の傾向は変化しないものの、曲線全体の PSD 値の変化があった。

図-1 から図-3 は車両のすべり状態の予測のために走行条件ごとの各路面状態におけるパルス差の PSD 比較例である。定速走行状態では圧雪時のほうがアイスパーン時よりも全周波数域で PSD 値が高いが、加・減速走行時ではその関係が逆転しており、PSD 値も加・減速走行時の方が定速走行時よりも大きくなっている。このことは、アイスパーン状態で加・減速した際の前後のタイヤ間での速度差が大きいということであり、すべり状態を顕著に表しているものと考えられ、実感とよく一致する。

3.2. コヒーレンスによる分析

周波数成分に関する線形の相関性をみるためにコヒーレンス算出した。コヒーレンスでは全般的に同一の路面・走行状態であってもばらつきが大きく、同じような傾向は見られなかったため、路面状態の影響によるコヒーレンスの変化の直接的な比較は困難だった。

ここでは、比較的相関性が強い結果がでた速度関連データ間のコヒーレンスの中から、前節の結果に基づき、すべりと関係ある速度関連データである車速パルス 1 と車速パルス 2 についてのコヒーレンスの結果を示す。

図-4 より、車速パルス 1 と車速パルス 2 のコヒーレンスでは、圧雪の減速、加速時におけるパルス間の相関が極めて高く、前後タイヤ間でグリップの良いことが推察される。アイスパーンの加、減速時では、圧雪時と比べると相関性はそれほど強くない。これは、圧雪時とは逆に、前後タイヤ間ですべりが発生しているものと推察される。定速時では、低周波数域において圧雪、アイスパーン両方の路面とも相関が高く出ている。アイスパーンのほうが若干高い相関が出ているが、路面状態により大きな変化はないことから、定速時では路面状態により前後タイヤ間のグリップはさほど影響受けないと推察される。

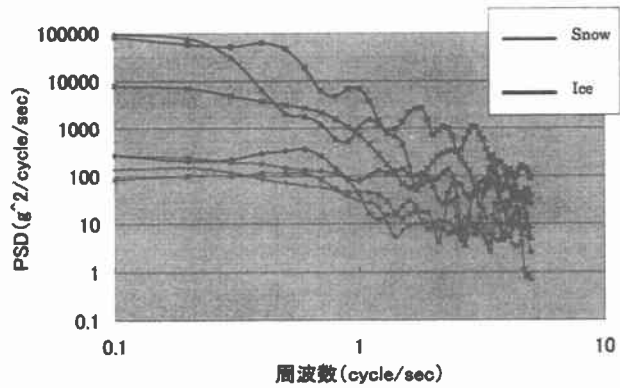


図-1 加速時におけるパルス差の PSD

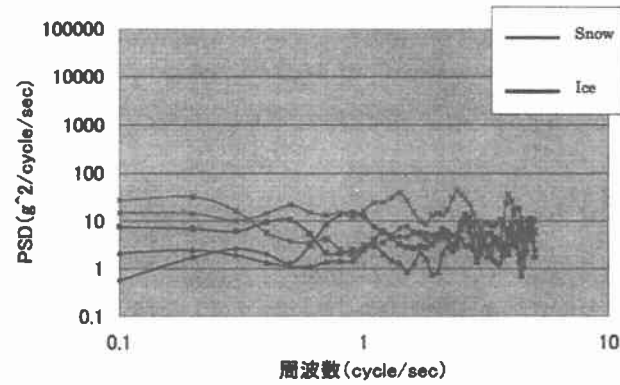


図-2 定速時におけるパルス差の PSD

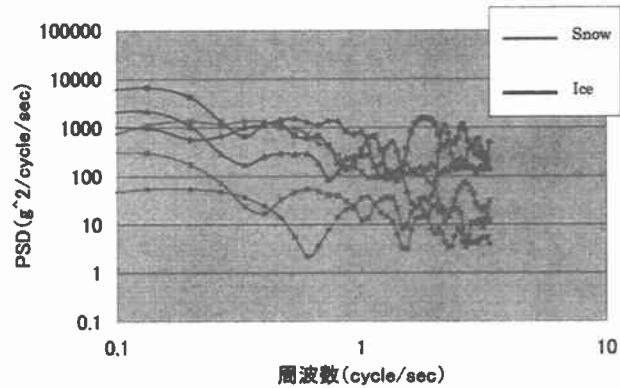


図-3 減速時におけるパルス差の PSD

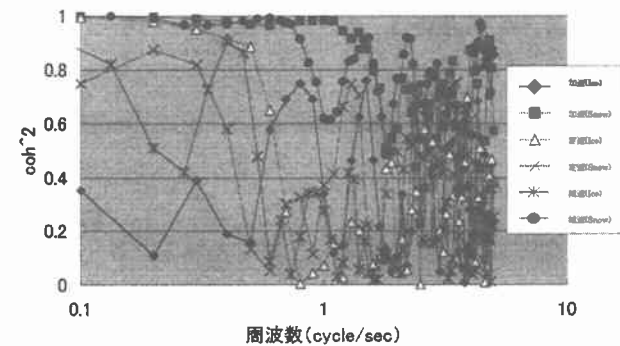


図-4 車速パルス 1 と車速パルス 2 のコヒーレンス

4. フィードバックシステムのスペクトル解析

以上の解析では、測定データの一般的周波数特性を考察するために、解析対象システムが定常的な不規則振動である場合と仮定している。しかしながら、システムの物理的な実現性が予期される場合は、スペクトル解析からの接近では、システム特性を解析することは不可能である。このことから、システムをフィードバックシステムと考え、多変量自己回帰モデルを作成することにより、フィードバックシステムによる車両運動データのスペクトル解析を行った。

4.1. フィードバックシステムによる分析

フィードバック解析では、加・減速走行時についての速度関連データと運動関連データそれぞれのパワー寄与率を算出した。ここでは、すべり状態のシステムへの影響をみるため、速度関連データの減速時におけるパワー寄与率の結果を示す。

図-5、6 は圧雪時の減速におけるパワー寄与率である。図より、パルス 1 に対しては、全周波数域においてパルス 2 との関連性がみられる。また、パルス 2 に対しては全周波数域でパルス 1 との関連性がみられ、特に低周波数域での関連性が強く出ている。このことから、圧雪時ではグリップが効くために、パルス 1、パルス 2 は相互に影響しあっていることが推察される。GPS に対してはほとんど影響がない。

図-7、8 はアイスバーン時の減速におけるパワー寄与率である。パルス 1 に対しては、圧雪時とは違い、低周波数域で高い関連性がみられる。パルス 2 に対しては、全周波数域でパルス 1 との関連性がみられるものの、低周波数域での関連性は圧雪時ほど強くは出ていない。これは、アイスバーン時の減速ではパルス 2 に制御されていることが推測される。GPS に関しては、低周波数域で圧雪時よりもパルス 1、パルス 2 両方とも寄与率が上昇している。

以上より、パワー寄与率による速度関連データ、路面状態との関連を解析した結果、アイスバーン時においてはパルス 2 が他速度に影響を与えることがわかる。逆に圧雪時にはパルス 2 は影響を受けやすくなる。また、影響の受けやすい周波数域は低周波域である。

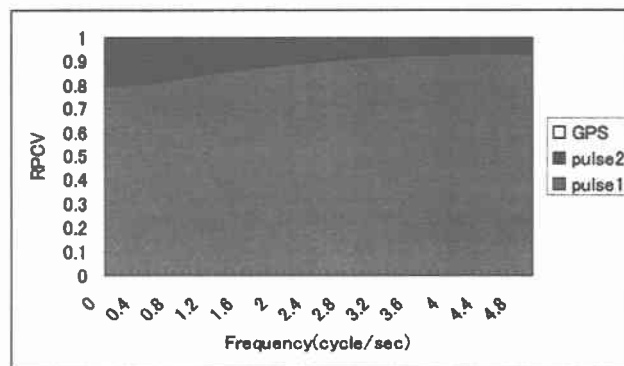


図-5 パルス 1 に対する他速度のパワー寄与率 (Snow)

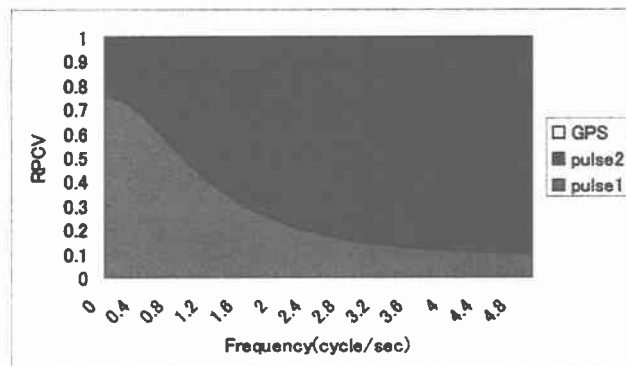


図-6 パルス 2 に対する他速度のパワー寄与率 (Snow)

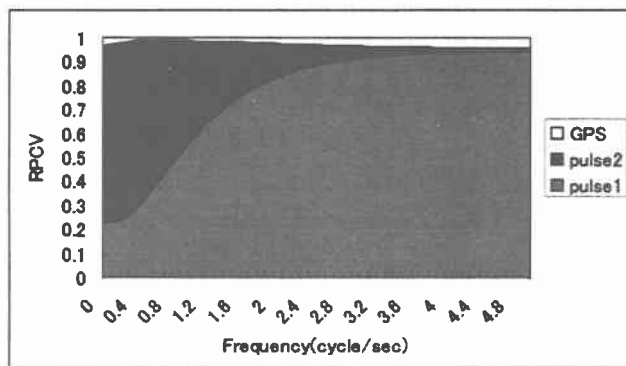


図-7 パルス 1 に対する他速度のパワー寄与率 (Ice)

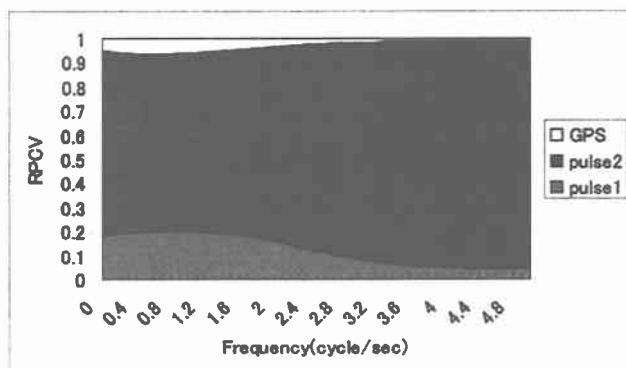


図-8 パルス 2 に対する他速度のパワー寄与率 (Ice)

5. 車両挙動と路面状態

前節までの解析により、車両運動データの基本的な特性の把握ができた。ここでは、車両挙動と路面状態について同様な解析を行っていく。

車の操安性に関する挙動を表す場合、必要なパラメータとして横加速度、方位角速度、車体速度の3つがある。本研究では、この3つのパラメータに着目し、路面状態、走行状態、スリップ状態などの車両挙動に関連する各条件の変化により、どのような値を示すか解析を行った。ここではまず、前節に使ったフィードバック解析により、3つのパラメータのパワー寄与率を算出した。なお、車体速度はGPS速度を使用している。

5.1. 車両挙動パラメータによるフィードバック解析

車両挙動は様々な要素が複雑に関与していることから、フィードバック解析を行う前に、解析データについて、いままでの路面状態、走行状態等の分類の他に、基本統計解析などから再検討をおこなった。ここでは、25km/h～30km/h 付近からの減速におけるパワー寄与率を求めた。図は、同一条件の比較をするため、数値の重ね合わせで表している。図より、横加速度に対しては、圧雪、アイスバーンとも方位角速度の影響がでており、3 (cycle/sec) 付近での関連性が強い。特に、アイスバーン時ではその傾向が顕著である。これはアイスバーン時では車両挙動が不安定になり、車体の回転運動が生じているものと推察される。方位角速度に対しては、若干、他要素からの影響はあるものの、両路面とも方位角速度自身のイノベーションが高い。以上より、パワー寄与率による挙動を表すパラメータと、路面状態との関連を解析した結果、減速時では方位角速度が車両挙動に大きな影響を与えていることがわかった。

6. おわりに

定常時系列のスペクトル解析とフィードバックシステムによる解析結果から、車両運動データの時系列特性について基礎的把握ができた。また、車両挙動パラメータの解析により、車両運動と路面状態との関連性について傾向をみることができた。今後は、解析データをスリップ状態や加減速率から再検討し、時系列に関する多変量解析など、様々な角度からの解析を行い、車両運動データから路面状態を推定する指標を作成する。

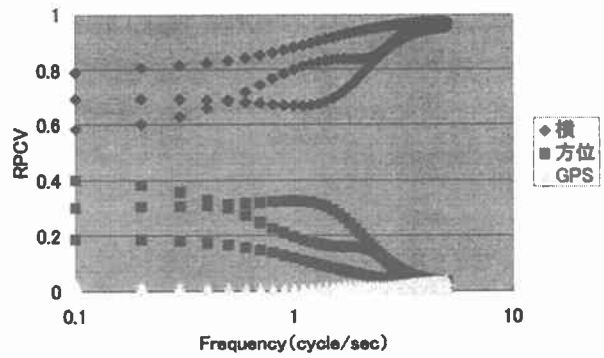


図-9 横加速度に対するパワー寄与率 (Snow)

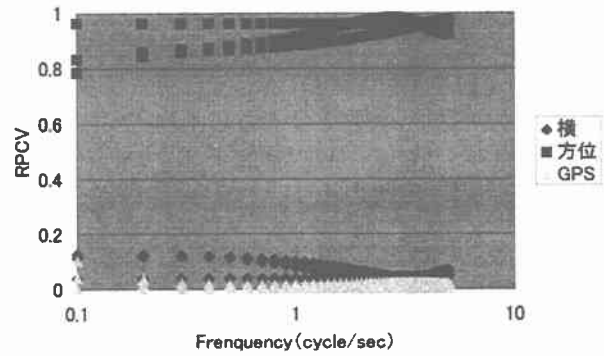


図-10 方位角速度に対するパワー寄与率 (Snow)

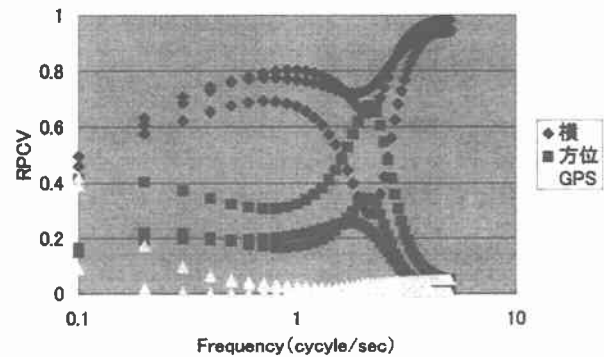


図-11 横加速度に対するパワー寄与率 (Ice)

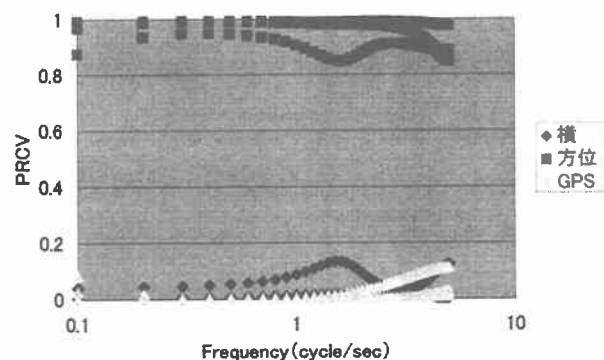


図-12 方位角速度に対するパワー寄与率 (Ice)

参考文献

- 1) 前田近邦、大西康文、川村彰、中辻隆：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