

札幌都市圏における冬期道路プローブの活用について*

A Utilization of Winter Probe Data in Sapporo Urban Area *

高橋 尚人**・徳永ロベルト***・宗広一徳***・竹澤謙一****

By Naoto TAKAHASHI**・Roberto TOKUNAGA***・Kazunori MUNEHIRO***・Kenichi TAKEZAWA****

1. はじめに

北海道札幌市は、年間の累計降雪深は約6m、積雪最大深は約1mに達する多雪寒冷な気象条件を有している。このため、札幌都市圏でのプローブ調査は「冬期」をキーワードとし、プローブカーの速度データを用いて冬期における交通特性の把握等に取り組んできたが、雪氷路面上の車両の運動性能を決定づける重要な要因である路面のすべりやすさは指標として活用されてこなかった。これは、時間的・空間的にめまぐるしく変化する路面のすべりやすさを計測できる実用的な技術がなかったためである。

近年、路面のすべりやすさを連続的に計測する技術開発が進み、実用的な計測装置が開発されたことから、筆者らは当該装置をプローブとして活用し、冬期路面のすべりやすさをリアルタイムで道路管理者へ情報発信するシステムを構築した。また、他のプローブ調査と組み合わせ、冬期路面のすべりやすさが道路交通に及ぼす影響についてデータの蓄積・分析に取り組んでおり、本稿において報告する。

2. 札幌都市圏でのプローブ調査について

北海道の中心都市札幌市は、人口約190万人を有する。年間の累計降雪深は約6m、最大積雪深約1m（いずれも平年値）に達し、このような多雪寒冷な気象条件を有する大都市は世界的にみても稀である。

プローブ調査が行われる以前は、全国道路交通情勢調査¹⁾及び冬期に実施する冬期道路交通実態調査²⁾の結果から、夏期・冬期の旅行速度変化を捉えてきた³⁾。しかし、これらの調査は数年に一度実施され、調査対象路線と日数が限られているため、プローブ調査は、夏期・

*キーワード：冬期道路、プローブ、旅行速度、すべり

**正員、(独) 土木研究所 寒地土木研究所

(札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号、
TEL. 011-841-1738、FAX. 011-841-9747)

***正員、工博、(独) 土木研究所 寒地土木研究所

(札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号、
TEL. 011-841-1738、FAX. 011-841-9747)

**** 国土交通省北海道開発局

(札幌市北区北8条西2丁目、TEL. 011-709-2311)

冬期の旅行速度変化をより詳細に把握することが可能な調査手法として活用されるようになった。

国土交通省北海道開発局では、路線バスをプローブカーとして、一般国道を対象に冬期の渋滞損失時間の算出や(図1)⁴⁾、冬みち版の走りやすさマップ⁵⁾の作成等に活用している。筆者らは、札幌市内を走行するタクシー115台をプローブカーとして、道道・市道も含めた夏期・冬期の旅行速度変化や除排雪作業の便益の定量的評価等に取り組んでおり⁶⁾、いずれも、プローブカーのGPS測位データから算出された路線・区間の旅行速度を用いて夏期・冬期の交通特性を把握している。

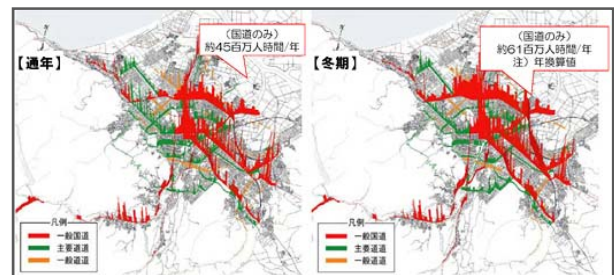


図1 札幌市内の渋滞損失時間(バスプローブ)

3. 冬期路面のすべりプローブについて

(1) 冬期路面のすべりやすさと交通特性について

旅行速度は、交通特性を表す代表的な指標の一つであるが、その時々交通需要、信号制御などの交通管理やイベント等の外部要因に左右されるため、このような外部要因に影響されない指標を考える必要がある。

「道路構造令の解説と運用」⁷⁾によると、制動停止距離 $D(m)$ は速度 $V(km/h)$ 、タイヤと路面との縦すべり摩擦係数 f 、反応時間 $t(s)$ 及び重力加速度 $g(m/s^2)$ を用いて式(1)で表される。式(1)において反応時間 t を2.5秒とした場合の制動停止距離は図2で表され、路面のすべりやすさは雪氷路面上の車両の運動性能を決定づける重要な要因であることがわかる。

路面のすべりやすさを指標として用いることができれば、道路条件の悪化、除雪や路面管理などの効果をより直接的に表し、冬期道路条件と交通特性との関係をより明確に把握することが可能になると考えられる。

$$D = \frac{V}{3.6}t + \frac{V^2}{2gf(3.6)^2} \quad (1)$$

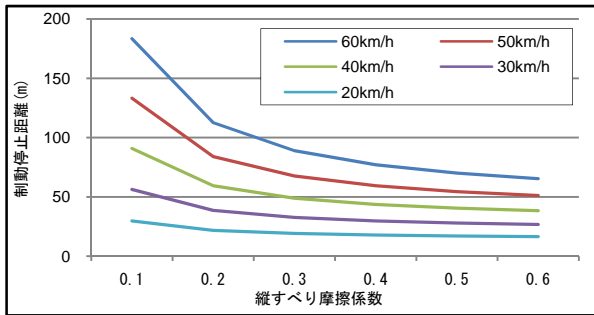


図2 制動停止距離 (反応時間 $t=2.5$ 秒)

(2) 路面すべり抵抗モニタリングシステムの構築

我が国の道路分野における路面のすべりやすさの計測には、測定輪をロックさせながら走行し、路面のすべり摩擦係数を測定する“路面すべり測定車”が用いられている。路面のすべり摩擦係数測定の標準機器であるが⁸⁾、専用車両を要するため高価で、かつ、時間と場所によって変化する路線の路面状態を評価することができない。近年、路面のすべりやすさを連続的に計測する実用的な計測装置の開発が進み、本研究では、それら装置の一つである連続路面すべり抵抗値測定装置 (Continuous Friction Tester: CFT) (図3)を導入し、路面のすべりやすさの連続的なモニタリング手法の構築とそのシステム化に取り組んでいる。

CFTは、フレームに保持された回転可能な測定輪を牽引する構造で、測定輪には車両進行方向に対して1°程度の角度が与えられている。測定輪が回転する際に測定輪に発生する横方向の力(横力)からすべり抵抗値を算出するため、走行しながら連続して路面のすべり抵抗値を測定可能である。

すべり抵抗値(HFN)は0.1秒間隔、0~100の整数値(数値が大きいほどすべりにくい)で表され、路面すべり測定車で計測したすべり摩擦係数との相関も高い。



図3 連続路面すべり抵抗値測定装置 (CFT)

CFTで測定されたすべり抵抗値は、車内でリアルタイムに確認できる他、時刻やGPS測位データ等とともに記録し、デジタル道路地図の道路区間とリンク付けしたデータベースを構築して測定結果を地図上に表示し、更に、データを蓄積して種々の分析が可能な“路面すべり抵抗モニタリングシステム”を構築した(図4)。

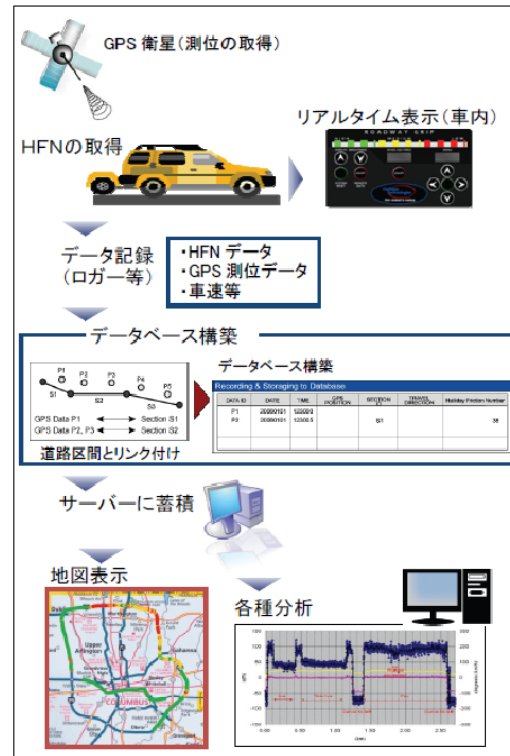


図4 路面すべり抵抗モニタリングシステム概要図

(3) 冬期路面のすべりプローブ調査

a) 冬期路面のすべりモニタリング

先述のシステムを用いたプリミティブな調査として、冬期路面のすべりモニタリングとモニタリング結果を蓄積してすべりやすい区間の抽出を行っている。

図4はモニタリング結果をGoogle Earth上に表示したものである。すべりやすさを色と山の高さで表しており、図中央の橋梁区間で路面がすべりやすくなっていることを示している。モニタリング結果は、電子国土Web⁹⁾を活用して道路管理者に情報提供を行っている。携帯端末を利用して測定データを送信しており、ほぼリアルタイムに情報がアップロードされる。

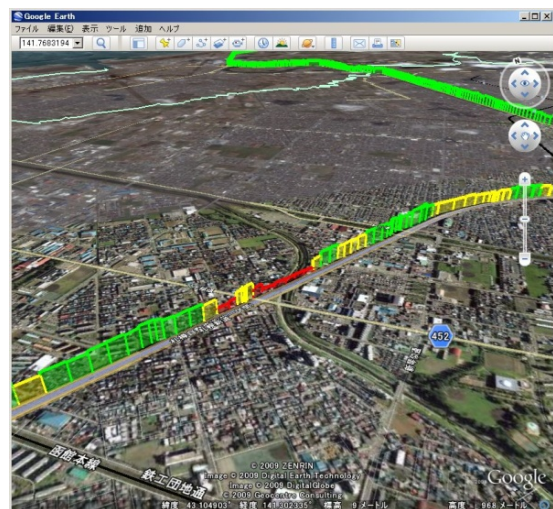


図4 路面すべり抵抗モニタリング結果

図5は、一般国道の山間部5km区間における冬期間（12月から翌年3月）のすべり抵抗値（HFN）49以下の出現率を表している。すべり抵抗値は100m単位で集計しているため構造物区間と若干ずれが生じているが、橋梁区間ですべり抵抗値が低い場合が多いこと、トンネル坑口付近ですべり抵抗値が急変する場合が多いことが分かる。なお、道路延長4.0km付近ですべり抵抗値が低いのは、法面で日射が遮られ、路面が凍結しやすいためと考えられる。すべりモニタリングによって、路面管理を行う上で特に注意を要する区間を把握することが可能である。

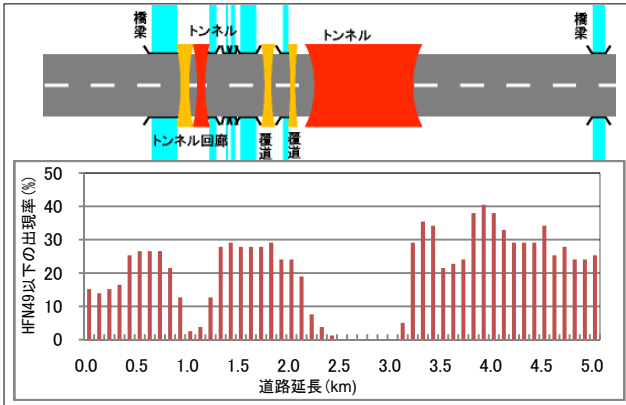


図5 すべり抵抗値49以下の出現率

b) 冬期路面管理の効果の定量的評価

図6は、凍結防止剤散布前後のすべり抵抗値の変化を示している。凍結防止剤散布時（午前6時頃）には約50だったすべり抵抗値が、午前9時頃には約80に向上した。凍結防止剤散布の必要性、散布による路面状態の改善効果を裏付けるデータとして活用可能である。

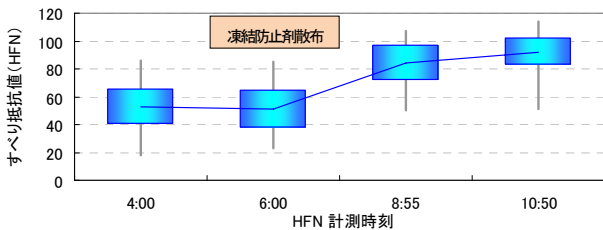


図6 凍結防止剤散布前後のすべり抵抗値の推移

c) 路面のすべりやすさと交通特性の関係把握

図7は、札幌市の市街地交差点前後でのCFTの走行速度を示している。青線は路面状態が良好な時、赤線は路面状態が悪化した時のモニタリング結果で、区間のすべり抵抗値（平均）は、それぞれ、83と12であった。路面状態悪化時には速度変化が緩やかで、慎重な発進停止・走行を余儀なくされたことが分かる。

図8は、すべり抵抗値とCFTの走行速度を表している。降雪によってすべり抵抗値が低下し、すべり抵抗値の低下に伴って走行速度が低下するとともに、ばらつきが大きくなっている。冬期間に、路面状態の悪化とともに旅行時間の定時性が損なわれていることがわかる。

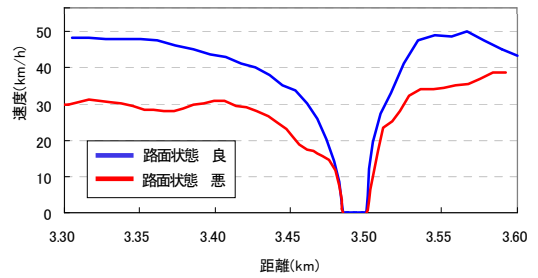


図7 交差点前後での旅行速度変化

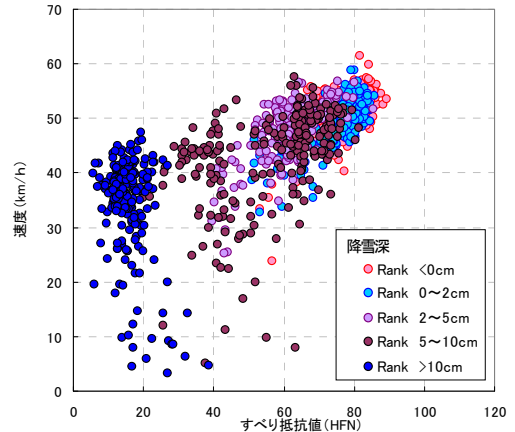


図8 すべり抵抗値と旅行速度の関係

4. 冬期道路プローブの活用について

個々のプローブ調査は、取得できるデータと把握できる交通特性に自ずと限界があるため、複数のプローブ調査を組み合わせたり、他の交通調査と組み合わせることが必要である。図9はすべりプローブのモニタリング結果と同時間帯に対象路線を走行したタクシープローブの旅行速度を組み合わせたものである。複数のプローブ調査を組み合わせることで、冬期気象条件と路面状態及び交通特性の関係をより明確に把握することが可能である。

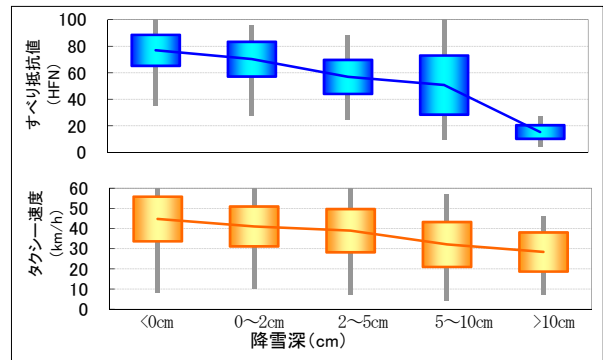


図9 降雪深、すべり抵抗値及びタクシープローブ旅行速度

また、近年、札幌都市圏で新たなプローブ調査が展開されている。日産自動車株式会社では、SKY（スカイ）プロジェクトの一環として、寒冷地のスリップ事故低減を目的としたスリップ地点情報提供システムの実証実験を実施している¹⁰。ABSの作動状況や車両の位置情報などをプローブ情報としてセンターに送信し、センターで

はスリップ発生地点を推定し、スリップ発生地点に接近する車両にカーナビゲーションでスリップ注意を促す情報を提供するシステムである。

図10は、日あたりのABS作動回数とタクシープローブが走行した全道路の平均旅行速度の関係を表している。ABSの作動回数が多い日は札幌市全域で旅行速度が低下しており、路面がすべりやすい状態にあることが分かる。すべりプローブとの相関関係を検証し、すべりプローブ・タクシープローブと連携して路面状態と旅行速度との関係把握への活用が期待できる。

また、タクシープローブ実用化研究会では、札幌市内のタクシー約2,000台をプローブカーとし、交通情報のリアルタイム配信を目指した試験運用を行っている。位置データ及び旅行速度等の検証が必要であるが、台数が多いため、旅行速度の状況を面的に把握するのに適した調査手法である（図11）。

複数のプローブ調査を統合した“冬期道路プローブ”の活用によって、冬期気象条件と交通特性の関係をより明確に、より定量的に把握可能になると期待される。

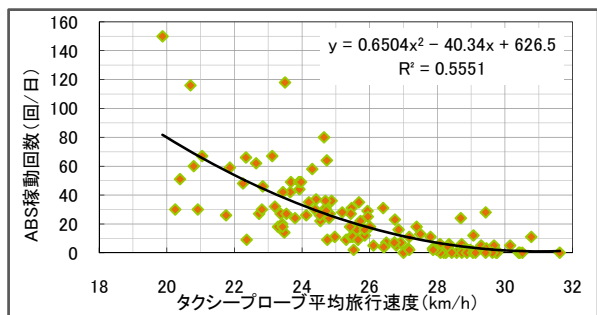


図10 ABS作動回数とタクシープローブ平均旅行速度

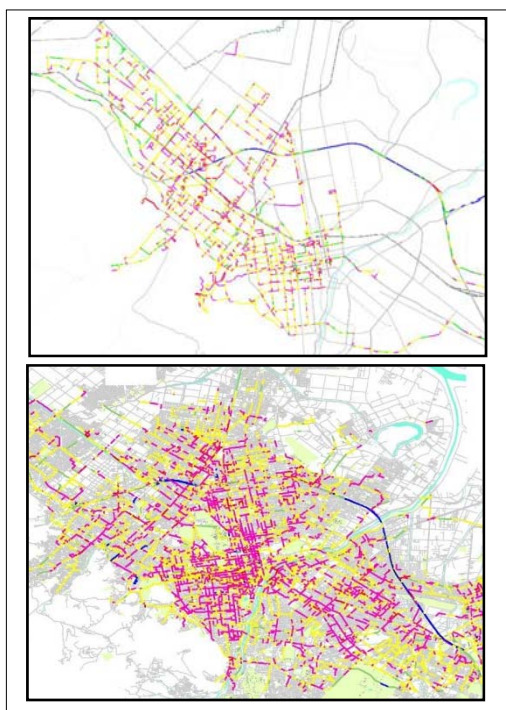


図11 1時間の走行軌跡（上：タクシープローブ、下：タクシープローブ実用化研究会）

5. おわりに

本稿では、冬期路面のすべりプローブと、その活用可能性について報告した。路面のすべり抵抗値の連続モニタリング技術は実用化されて間もないため、計測データを蓄積し、路面のすべりと気象条件、冬期道路管理及び交通特性との関係を明らかにし、冬期道路交通に関する情報発信や冬期道路管理の業績測定に活用していきたい。また、プローブ調査を組み合わせることで、都市の交通特性を多角的に把握可能性であり、プローブ調査を統合した冬期道路プローブの活用によって、調査の効率化・高度化を図る必要がある。

路面凍結のおそれのある箇所に凍結防止剤を散布するスポット散布や路面状態が悪化している時間を短縮するなど冬期道路管理は緻密化・迅速化している。事業の緻密化・迅速化に対応するには、データの精度とデータ取得から分析・評価までの迅速化が欠かせないため、必要な技術開発・研究開発に取り組んで参りたい。

参考文献

- 1) 国土交通省北海道開発局道路計画課：全国道路交通情勢調査（北海道版）、各年度版
- 2) 国土交通省北海道開発局道路計画課：冬期道路交通実態調査、各年度版
- 3) 例えば、北海道のみちを考える懇談会：北海道の地域特性、http://www.hkd.mlit.go.jp/road/ir/kondan/h14/result/1st/shiryu_06.pdf
- 4) 国土交通省北海道開発局：雪みちプロジェクト、http://www.hkd.mlit.go.jp/zigyoka/z_doro/yukimichi/index.html
- 5) 国土交通省北海道開発局：道路の走りやすさマップ、http://www.hkd.mlit.go.jp/zigyoka/z_doro/hashiriyasusa-map/index.html
- 6) 例えば、高橋尚人、宗広一徳、徳永ロベルト：冬期雪害に伴う都市の道路交通機能低下の損失及び対策の効果分析に関する研究、土木学会安全問題研究論文集Vol. 3、pp. 101-106、2008
- 7) 社団法人日本道路協会：道路構造令の解説と運用、平成16年2月
- 8) 国土技術政策総合研究所：路面すべり測定車合同比較試験報告書、国土技術政策総合研究資料No. 57、ISSN1346-7328、平成14年11月
- 9) 電子国土ポータル、<http://portal.cyberjapan.jp/index.html>
- 10) 塚田悟之、上田真紀、高橋正起：プローブ情報を活用した安全運転支援システムの開発ー積雪寒冷地域のスリップ地点を対象としてー、第39回土木計画学研究発表会（春大会）、CD-ROM、2008