

GISを援用した凍結防止剤散布後の路面管理と運転行動に関する 統合データベース構築

The Organization of Integrated Database using GIS for the Road Management and Driving Behavior after Spraying the Antifreezing Agent

橋本 雄一*・加賀屋誠一**・萩原 亨**
Yuichi HASHIMOTO*, Seiichi KAGAYA** and Toru HAGIWARA**

キーワード：GIS, 運転行動, 凍結防止剤, 積雪寒冷地, AMeDAS

Key words : GIS, driving behavior, antifreezing agent, cold and heavy snow area, AMeDAS

Abstract

This paper aims at creating the integrated database using GIS for road management and driving behavior after spraying the antifreezing agent in Sapporo City, Hokkaido. By this database, the study clarified the relation between the behavior of automobile driver and the road condition in winter. Furthermore, this paper considered the conditions in the case of becoming easy to slide immediately after spraying of an antifreezing agent. In the method, the Antifreeze Spraying Data and AMeDAS Data link to the Road Management Survey Data. As the result, it became clear of analysis that the road condition, the maximum temperature, the lowest temperature, and the daylight hours influenced the slip level of winter road. During two hours from antifreeze spraying, when the road condition was the black-ice-burn, especially the automobile is easy to slip on the road. From this research, it is considered that the compatibility between databases creates the beneficial information for road administrators, traffic administrators, and road users.

I. はじめに

現在、日本における積雪寒冷地域は国土面積の約6割を占め、その地域の常住人口は全体の約2割に及ぶ。この積雪寒冷地では路面の凍結が起こりやすいことから、安全確保や事故の未然防止、渋滞回避による円滑な交通流の提供などを目的とした冬季の路面管理が重要である（PIARC国際冬季道路会議札幌大会日本委員会, 2002; 北海道開発局建設部道路計画課, 2002）。しかし、現状では路面管理を円滑に行うまでの管理指標に関する問題や、正確な路面情報の提供を行う体制の問

題などがあり、道路管理者から交通管理者や道路利用者への情報提供が円滑に行われているとはいえない(Tokunaga *et al.*, 2002)。そのため、情報流通を円滑にするため統合的なデータの収集・配信システムを構築し、冬季における路面管理や交通管理に関する総合的な対応を可能とする必要がある（橋本ほか, 2004）。

さらに、この統合データベースにより、路面情報、運転情報、気象情報など複数のデータを組み合わせて、いかなる条件下で滑りやすい状況が発生するかといった分析を行うことができ、交通管

* 北海道大学大学院文学研究科

* Graduate School of Letters, Hokkaido University

** 北海道大学大学院工学研究科

** Graduate School of Engineering, Hokkaido University

理者や道路利用者への有益な情報を生み出せる。そこで本研究では、路面管理調査の実測データを中核とする統合データベースを構築し、冬季における自動車の走行状態と、路面状況などの周辺状況との関係を解明する。その際には、凍結防止剤散布の影響に注目し、散布直後でも滑りやすい状況となる場合の条件について考察を行う。なお、日本の積雪寒冷地域における最大の都市である札幌市を研究対象地域とする（図1）。

研究方法は以下の通りである。まず、構築したデータベースにより、滑りやすい状況における自動車の走行状態と運転行動との関連を解明する。次に、路面管理調査データに、凍結防止剤散布データやアメダス（AMeDAS：Automated Meteorological Data Acquisition System）気象データを付加して、滑りやすい状況に関する要素の分析を行う。最後に、凍結防止剤散布の効果を検討し、さらに散布直後でも滑りやすい状況となる場合の条件を明らかにする。

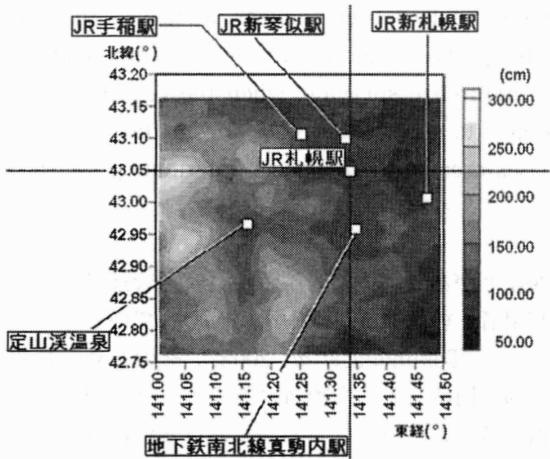


図1 札幌市における平均年間積雪量
気象庁観測1971～2000年の平年値により作成。

II. 冬季路面管理の統合データベース構築

1. 路面管理調査データの概要

本研究で用いる路面管理調査データは、北海道大学大学院工学研究科社会基盤計画学研究室で整備されており、基本的に走行実測調査により取得される。このデータは、実験車両に搭載された加速度計により0.05秒毎の加速度を記録し、さらにGPSによる1秒毎の位置情報、各測定地点通過時

の走行距離や通過時刻をデータとして保存する。同時に、車中の調査員による滑り評価、路面状況、天候も記録を行う。このデータの他に本研究では、道路管理者による調査対象路線の凍結防止剤散布データなども収集する。

この路面管理調査データ収集のための車両は、計測機械を搭載した普通乗用車であり、車内のフロントガラス付近に設置したGPSにより位置情報を測定する。さらに、アクセル、ブレーキペダル、クラクションにもセンサーが取り付けられ、ペダルを踏み込んだ際などに上記の位置情報と連動し、情報を記録する。なお、調査区間は、図2に記した4路線である。

実測調査日時は、2004年1月6日から3月12日まで各区間につき週1日を割り振り、7時台・10時台・13時台・16時台・19時台の5つの時間帯で測定する。各時間帯には、1往復目に旅行速度調査、2往復目に加減速度調査、3往復目に路面状況写真撮影と、3往復での調査を行う。なお、7時台の混雑した状況下では、車間距離が短いため加減速調査は困難である。そこで、7時台には、加減速度調査は行わないこととする。この調査の結果、取得したのは欠損による無効データを除いて40日分、計771件の実測データである。

2. 統合データベースの構築

本研究では、この路面管理調査データに、道路管理者の凍結防止剤散布データベースをリンクする（図3）。これには月日、調査路線、測定地点、凍結防止剤最終散布情報（通過日、通過時刻、凍結防止剤、水溶液、散布計、散布剤種別）が収納されている。データのリンクは、測定前の最も近い時間に行われた凍結防止剤散布データを、各運転データに付加する方法を用いる。さらに、2次情報として、凍結防止剤散布から測定地点通過までの時間を算出して付加する。ただし、散布時間も走行測定時間も出発時のものである。

次に、本研究では、これらのデータベースを、国土地理院が整備している国土数値情報（道路、鉄道、海岸線、水域、河川、行政界、標高など）や数値地図25000（地図画像）にリンクさせることで、空間分析が可能なデータベースとする。

さらに、本研究では札幌における冬季の気象

概況を把握するため、アメダス気象データから対象期間の日別データベースを作成し、すべての測定地点データに付加する。データの内容は、平均気温、最高気温、最低気温、日照時間、全天日射量日合計などである。なお、降雪の深さ合計や最深積雪は、除雪作業により走行に影響を及ぼす要素とはならないと考え、本分析から除外する。また、ここでは測定地点および時間はデータ上において独立したものと考え、任意の日時における任意の測定地点に関するデータを1ケースとする。

III. GISを援用した積雪・寒冷地域における路面状況と運転行動の分析

本研究で取得したデータのうち、滑り評価に関する有効ケース数は4,144である。これを滑り評価別にみると（図4）、「非常に滑りやすい」が31ケースで全体の0.8%，「滑りやすい」が471ケースで11.4%，「あまり滑らない」が677ケースで16.3%，「滑らない」が2,965ケースで71.6%であり、滑りやすいケースの比率は低い。

ここで、滑りやすい状況における運転者の行動を明らかにするため、路線Cを事例として、滑り評価が「滑りやすい」状況であった1月14日13時の走行と、「滑らない」状況にあった1月20日13時の走行とを比較する。

路線Cの測定地点502付近における両日の走行速度を分析した結果をみると（図5）、1月14日には、発進後約2秒で自動車を時速10kmまでしか速度を上昇させることができず、運転者は円滑な発進ができないでいる。それに対し、1月20日の走行データでは、発進後約2秒で時速20kmと、14日の約2倍の速度となっている。

さらに詳細な運転行動をみると（図6）、14日の走行では、20日よりもアクセルペダルに足をかける時間も、踏み込む時間も多く、緩慢に速度を上昇させなければならない運転状況を示している。また、ブレーキペダルへの足かけをみると、14日は、走行時間の半分程度をブレーキペダルへ足かけしたまま走行している。14のように滑りやすい路面における運転では、急を要する事態に備える行動がみられ、精神的な負担の大きい状況と考えられる。

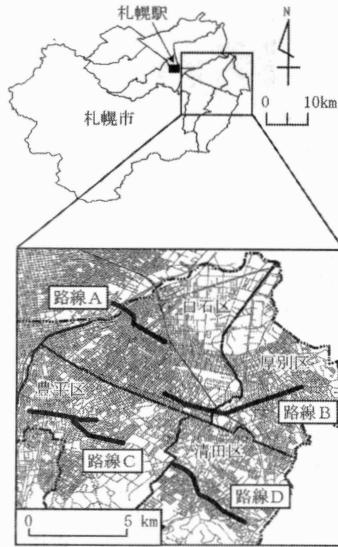


図2 測定路線の位置

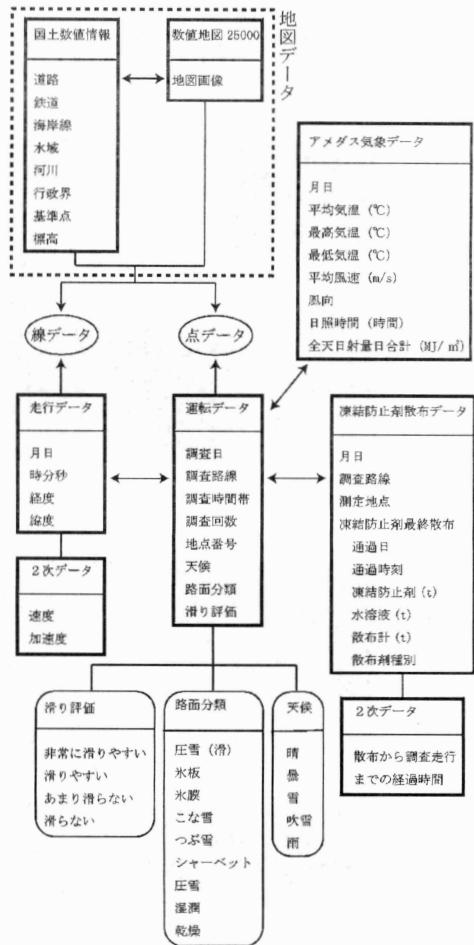


図3 分析に用いる統合データベース

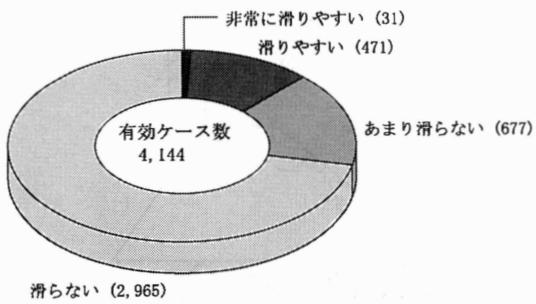


図4 滑り評価別測定ケース構成比率
括弧内の数値は測定ケース数。

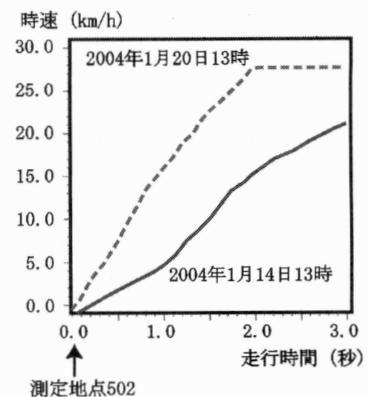


図5 停車から発進時の時間速度

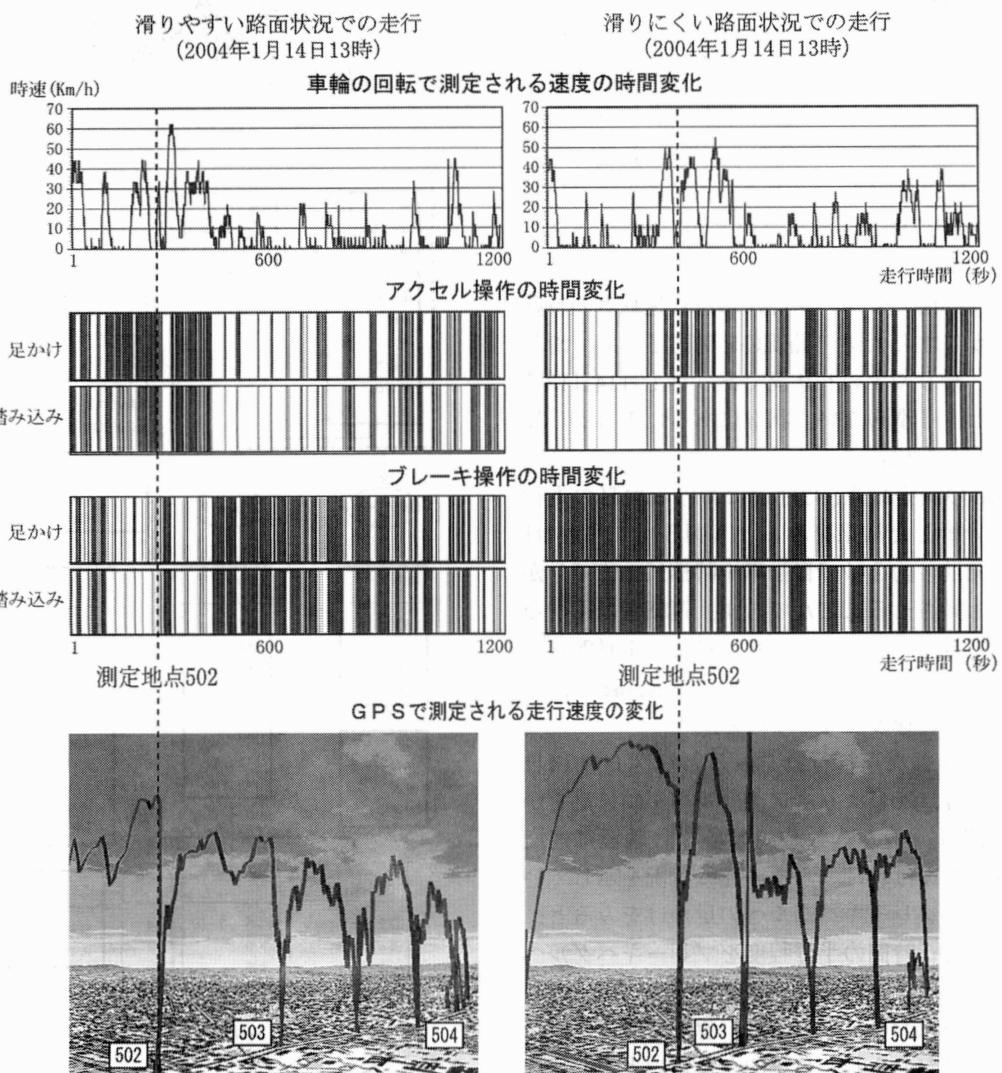


図6 自動車速度と運転行動の対応関係（路線Cの事例）
アクセルとブレーキのグラフでは、操作を行った時点を黒色で示す。502～504は路線Cにおける測定地点番号。

IV. 統合データベースによる冬季における滑り評価の分析

1. 路面管理調査データによる分析

ここで本データベースを用いて、冬季における滑りやすい状況が発生する条件について分析するため、まず、滑り評価別に調査時間帯の構成比率をみると（図7）、「非常に滑りやすい」では「19時」が83.9%と大部分を占めており、「滑りやすい」では「19時」が51.0%，「16時」が20.0%と、気温の下がる夕方や夜の時間帯が多い。次に、滑り評価別の天候構成比率では（図8）、「非常に滑りやすい」では「曇」が48.4%と半分近くを占めており、「滑りやすい」では「晴れ」が33.6%，「曇」が29.9%と、雪の降っていない天候の比率が高い。

さらに、滑り評価別の路面分類の構成比率をみると（図9）、「非常に滑りやすい」状況において、「氷膜」が41.9%，「氷板」が38.7%，「圧雪（滑）」が19.4%を占め、これら3類型で100.0%となる。また、「滑りやすい」状況では「氷膜」が55.0%，「氷板」が11.5%，「圧雪（滑）」が3.4%であり、合計は69.9%である。このように、滑りやすい状況においては、「氷膜」や「氷板」という路面状況が大きく影響していることがわかる。

2. アメダス気象データによる分析

次に、各ケースに対して、該当日のアメダス気象データを付加することにより、各測定地点の滑り評価と、より広域における気象要素との関連性について分析する。気象要素としては、日別の最高気温および最低気温、風向と平均風速、日照時間と全天日射量日合計を取り上げる。なお、ここでは気象要素をカテゴリーデータとして用い、滑り評価との対応関係をみる。

第1に、アメダスの日別の最高気温および最低気温を、それぞれ「2.0℃以上」、「0.0～2.0℃」、「-2.0～0.0℃」、「-5.0～-2.0℃」、「-5.0℃未満」と5つに分け、最高気温と最低気温の組み合わせから新しいカテゴリーを設定する。滑り評価別の気温カテゴリー構成比率をみると（図10）、「非常に滑りやすい」では「最高：-2.0～0.0℃、最低：-5.0℃未満」が51.6%，

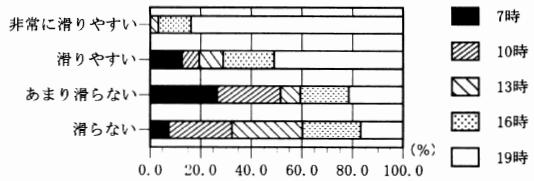


図7 調査時間帯別滑り評価

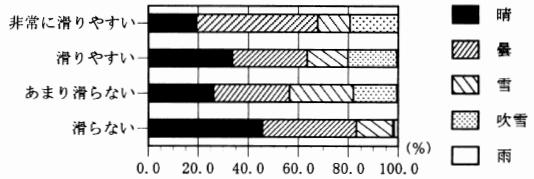


図8 天候別滑り評価

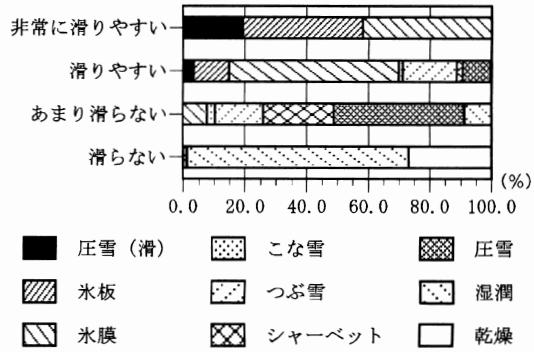


図9 路面状況別滑り評価

「最高：-5.0～-2.0℃、最低：-5.0℃未満」が35.5%となる。また、「滑りやすい」でも「最高：-2.0～0.0℃、最低：-5.0℃未満」が30.6%と最も比率が高く、次いで「最高：0.0～2.0℃、最低：-5.0℃未満」が25.7%，「最高：-5.0～-2.0℃、最低：-5.0℃未満」が17.4%を占めている。このように、滑りやすい状況となるのは、最低気温が-5.0℃未満で、気温の日较差が比較的大きい日となっている。

第2に、アメダスの風向を16方位に、平均風速を「2 m/s未満」、「2～5m/s」、「5 m/s以上」の3類型に分け、それらの組み合わせにより、新しいカテゴリーを設定する。滑り評価別にこのカテゴリーの構成比率をみると（図11）、「非常に滑りやすい」では「北西、5 m/s以上」が41.9%，「北西、2～5 m/s」が19.4%となる。また、「滑りやすい」でも「北西、5 m/s以

上」が35.2%と最も比率が高く、次いで「北西、2~5 m/s」が20.0%を占めている。このことから、滑りやすい状況となるのは、北西方向から、ある程度の強さをもった風が吹く日であることがわかる。

第3に、アメダスの日照時間を「1時間未満」、「1~4時間」、「4時間以上」に、全天日射量日合計を「4 MJ/m²未満」、「4~8 MJ/m²」、「8 MJ/m²以上」に分け、それらの組み合わせから新しいカテゴリーを設定する。滑り評価別に気温カテゴリーの構成比率をみると(図12)、「非常に滑りやすい」では「日照：1時間未満、日射：4 MJ/m²未満」が41.9%、「日照：1~4時間、日射：4~8 MJ/m²」が19.4%となる。また、「滑りやすい」でも「日照：1時間未満、日射：4 MJ/m²未満」が39.3%と最も比率が高く、次いで「日照：1~4時間、日射：4~8 MJ/m²」が32.1%を占めている。以上のように、日照時間が短く、日射量合計も少ない日に滑りやすい状況となっている。

3. 凍結防止剤散布直後における滑りやすいケースの発生条件

最後に、凍結防止剤散布が走行状況に与える影響を明らかにした上で、散布直後でも滑りやすい状況となる条件を明らかにする。

滑り評価別に、測定地点における凍結防止剤散布から車両通過までの時間をみると(図13)、「非常に滑りやすい」もしくは「滑りやすい」と判断された500ケースのうち、散布後1時間以内に属するものは41ケースで8.2%，散布後1~2時間に属するものは19ケースで3.8%である。散布後2時間以内であれば、ほとんどの場合、滑らない状況であり、凍結防止剤が効果を發揮していることがわかる。しかし、わずかではあるが滑りやすい状況も認められるため、本分析では、これらのケースを取り上げ、その外的条件について検討する。

凍結防止剤散布後2時間以内で、測定車両の運転者が「非常に滑りやすい」もしくは「滑りやすい」と判断した60ケースを取り上げ、路面管理調査データにおける調査時間帯、天候、路面分類の構成比率をみると図14のようになる。また、

当該ケースにおけるアメダスデータの気温カテゴリー、風カテゴリー、日照・日射カテゴリーに関する構成比率は図15に示す通りとなる。

本研究は、これらの結果で高い比率を示す状況下で、滑りやすいケースが生じる割合について検討する。なお、ここでは凍結防止剤散布後

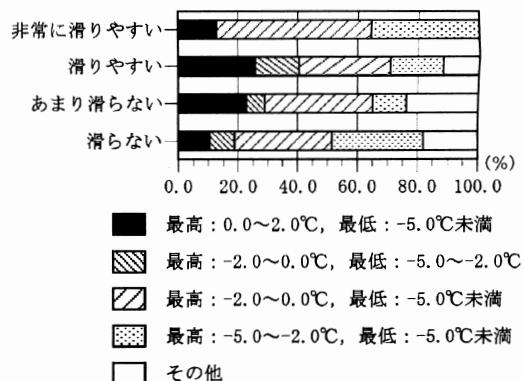


図10 気温カテゴリー別滑り評価

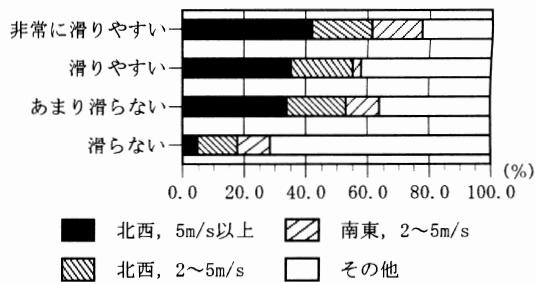


図11 風カテゴリー別滑り評価

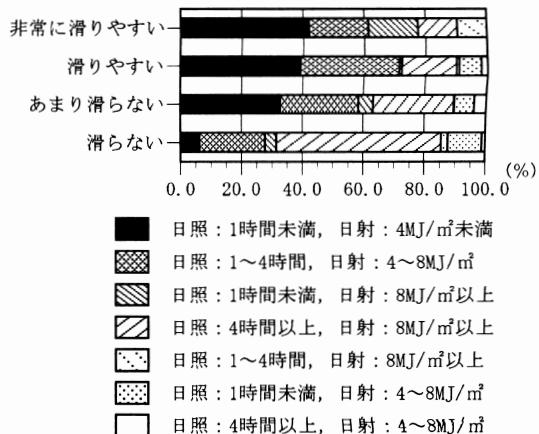


図12 日照・日射カテゴリー別滑り評価

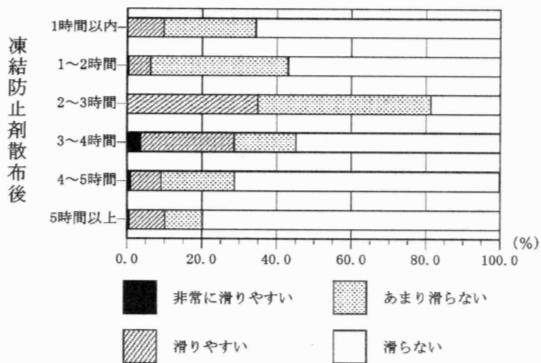


図13 凍結防止剤散布後の滑り評価

2時間以内の測定地点に関して、(条件C) 天候が「曇」または「晴」に属するケース、(条件H) 調査時間帯が「7時」・「10時」・「16時」のいずれかに属するケース、(条件R) 路面分類が「氷膜」に属するケース、(条件T) アメダスの気温カテゴリーが「最高：0.0～2.0℃、最低：-5.0～-2.0℃」・「最高：2.0℃以上、最低：-5.0～-2.0℃」・「最高：-2.0～0.0℃、最低：-5.0℃未満」のいずれかに属するケース、(条件W) アメダスの風カテゴリーが「北北西、5m/s以上」・「北西、2～5m/s」・「北西、5m/s以上」・「西北西、2～5m/s」・「南東、2～5m/s」のいずれかに属するケース、(条件S) アメダスの日照・日射カテゴリーが「日照：1時間未満、日射：4MJ/m²未満」・「日照：1～4時間、日射：4～8MJ/m²」・「日照：4時間以上、日射：8MJ/m²以上」のいずれかに属するケースという6条件を設定する。

上記の条件による、すべての組み合わせに関して、式(1)によって滑りやすい状況の構成比率を求める。

$$a_i = (x_i/y_i) \times d \quad (1)$$

ただし、 a_i は条件の組み合わせ*i*における滑りやすい状況の構成比率(%)、 x_i は条件の組み合わせ*i*で選択される「非常に滑りやすい」あるいは「滑りやすい」状況のケース数、 y_i は条件の組み合わせ*i*で選択される全ケース数、 d は定数であり、ここでは100.0となる。滑りやすい状況の構成比率が最も高い条件はR-T-S (条件R, T, Sの論理

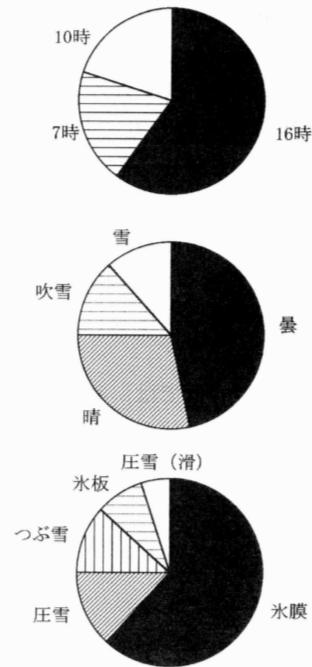


図14 凍結防止剤散布後2時間以内で高い滑り評価を示す状況（路面管理調査データ）

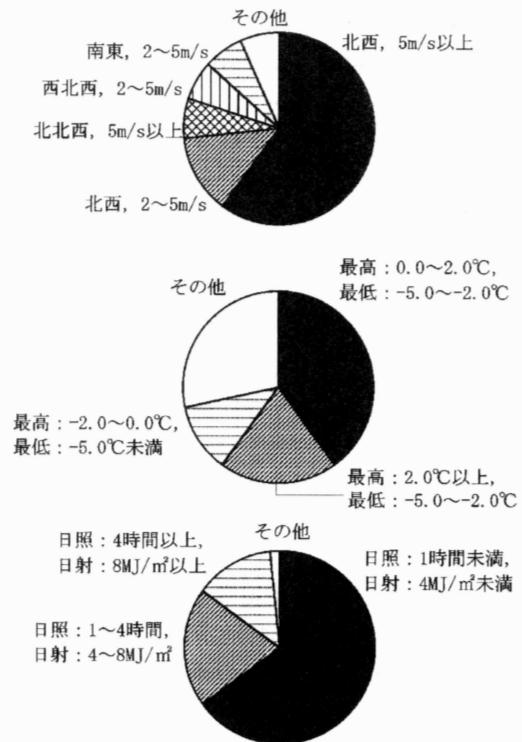


図15 凍結防止剤散布後2時間以内で高い滑り評価を示す状況（アメダスデータ）

積), H-R-T-S, R-T-W-S, H-R-T-W-Sの4種類の組み合わせであり、いずれにもR-T-Sという条件の組み合わせが含まれる(図16、表1)。これらの条件の組み合わせで抽出されるのは、いずれも28ケースであり、そのうち27ケースが滑りやすい状況であるため、構成比率は96.4%である。このことから、路面状況が「氷膜」であり、アメダスの気温カテゴリーと日照・日射カテゴリーが上記条件を満たす場合に、高い確率で滑りやすい状況になる。

しかし、上記の分析では、凍結防止剤散布後2時間以内に滑りやすい状況となる60ケースのうち45.0%しか把握できていない。そこで、あらためて各条件の組み合わせが、この60ケースのうち、どの程度を把握しているか比率を求める

$$b_i = (x_i/z_i) \times d \quad (2)$$

ただし、 b_i は条件の組み合わせ*i*における滑りやすい状況の把握率(%)、 z_i は凍結防止剤散布後2時間以内における「非常に滑りやすい」あるいは「滑りやすい」状況の全ケース数である。把握率をみると、Hが60ケースで把握率100%と最も高く、続いて、SとH-Sが59ケースで98.3%、W、H-W、W-Sが56ケースで93.3%と、少ない条件による把握率が高くなっている。ただし、これらの条件に関して、「非常に滑りやすい」あるいは「滑りやすい」の比率をみると、Hが8.6%、SとH-Sが9.3%、Wが10.8%、H-Wが11.4%、W-Sが12.2%ときわめて低い。このように、採用する条件が少ないと、滑りやすい状況の把握率は高くなるが、それ以外のケースが多く含まれ、滑りやすい状況の構成比率が低くなる。逆に、多くの条件を採用すると、滑りやすい状況の構成比率は高くなるが、多くの滑りやすいケースが除外され、把握率は低くなる。

そこで、構成比率と把握率を変数とし、下記の式(3)によって滑り評価判別指数を求めるにより、両比率とも高い条件の組み合わせを明らかにする。

$$ci = 1 - \{(a_{max} - a_i)^2 + (b_{max} - b_i)^2\}^{1/2} / (a_{max}^2 + b_{max}^2)^{1/2} \quad (3)$$

ただし、 c_i は条件の組み合わせ*i*の滑り評価判別指数、 a_{max} は滑りやすい状況の構成比率の理論的最高値、 b_{max} は滑りやすい状況の把握率の理論的最高値であり、ここで a_{max} と b_{max} の値は100.0となる。なお、滑り評価判別指数は、1.0に近いほど、構成比率も把握率も高く、現状の説明に優れた条件の組み合わせとなる。このように、設定した条件群への該当の有無による検討は、橋本(2002)のブール代数アプローチに類する手法である。

この滑り評価判別指数、滑りやすい状況の構成比率(a_i)、滑りやすい状況の把握率(b_i)の3指標を用いて、条件群を分類したのが、図16および表1である。これらをみると、グループIに属する条件の組み合わせで滑り評価判別指数が高く、なかでもR、H-R、R-S、H-R-Sは、0.68と最も高い値を示す。なお、構成比はRとH-Rが

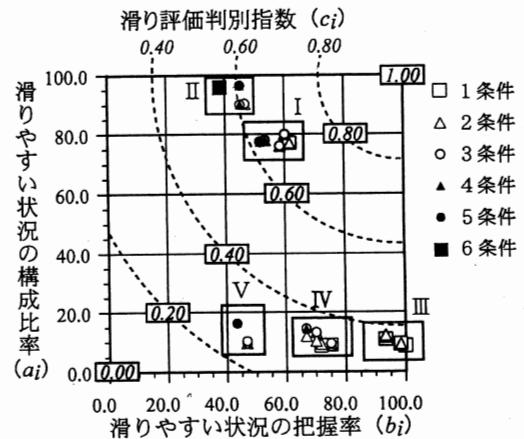


図16 凍結防止剤散布後2時間以内における条件別滑り評価判別指数

表1 滑り評価判別指数の条件グループ

I	II	III	IV	V
R	R-T	H	C	C-T
C-R	C-R-T	W	T	C-H-T
H-R	H-R-T	S	C-H	C-T-W
R-W	R-T-W	H-W	C-W	C-T-S
R-S	R-T-S	H-S	C-S	C-T-W-S
C-H-R	C-H-R-T	W-S	H-T	C-H-T-W-S
C-R-W	C-R-T-W		T-W	
C-R-S	C-R-T-S		T-S	
H-R-W	H-R-T-W		C-H-W	
H-R-S	H-R-T-S		C-H-S	
C-H-R-W	R-T-W-S		T-W-S	
C-H-R-S	C-H-R-T-W		T-W-S	
C-H-R-W-S	C-H-R-T-S		H-T-W-S	
	C-R-T-W-S			
	H-R-T-W-S			
	C-H-R-T-W-S			

条件グループI～Vは図16に対応。

77.1%, R-SとH-R-Sが80.0%であり、把握率はRとH-Rが61.7%, R-SとH-R-Sが60.0%である。この結果から、各条件の組み合わせの中で、条件R、すなわち路面状態が「氷膜」であるという条件が、滑りやすい状況を説明するために、極めて優れた指標となっていることがわかる。

V. おわりに

本研究は、路面管理調査の実測データを中核とする統合データベースを構築し、冬季における路面状況と走行状況の関係の解明を行うことを目的とした。その際に、滑りやすい状況となる条件に注目して分析を行った。

分析では、まずGPSによる実測データを用いて天候状態による自動車の走行状態とドライバーの運転行動の関連を解明した。次に、路面管理調査データに、凍結防止剤散布データやアメダス気象データをリンクして新たな統合データベースを構築し、冬季における路面状況、滑り評価、凍結防止剤散布、気象の関連性を明らかにした。

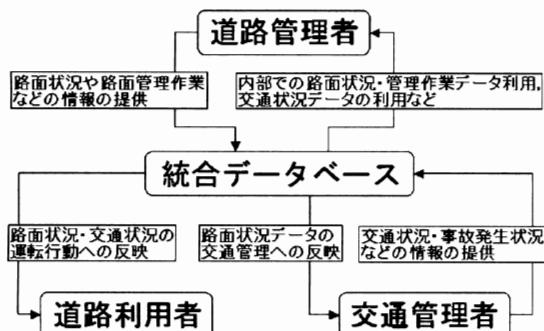


図17 統合データベースの利用

図17は、統括的に整備された情報の流れを示しているが、道路管理者から路面状況や路面管理作業等の情報が統合データベースへ提供され、そうした情報を道路利用者は利用し、路面や交通状況を運転行動へ反映できる。また、交通管理者の側からも交通状況・事故発生状況等の情報が統合データベースへ提供されれば、道路管理者は、それによって新たなデータを作成し、道路利用者や交通管理者へ向けて発信できるようになる。これは、阿部ほか（2000）の指摘するような、地域住民と行政による地域情報受発信の活性化を促進す

る試みとして有効であると考えられる。また、本研究の成果に、堀井ほか（2001）やNakatsuji *et al.* (2004)などによる近年の冬季路面凍結予測に関する研究を反映させることで、天気予報と本データベースを連動させた路面状況予測情報の提供も将来的には可能と思われる。

付記

本研究には平成16～18年度科学研究費補助金基盤研究(A)(2)「凍結防止剤使用環境下における交通施設構造物のLCC低減技術に関する研究」(課題番号:16206044, 研究代表者:上田多門)を使用した。

参考文献

- 阿部昭博・南野謙一・渡邊慶和(2002)：地域情報化におけるGISの役割について. GIS—理論と応用, 8, 93-98.
- 橋本雄一(2002)：ブール代数分析による農業集落データの質的比較. GIS—理論と応用, 10(2), 35-47.
- 橋本雄一(2003)：GISとアニメーションによる地理教材の開発—社会資本の教育事例—. 地理情報システム学会講演論文集, 12, 201-205.
- 橋本雄一・加賀屋誠一・萩原 亨・川村真也・経亀 諭(2004)：地理情報配信システムの3次減地図ソフトウェアによる構築—冬季路面管理用Webデータベースを事例として—. 地理情報システム学会講演論文集, 13, 7-12.
- 北海道開発局建設部道路計画課(2002)：『北海道の道路データブック2002』.
- 堀井雅史・福田 正(2001)：舗装路面凍結予測システムの構築. 土木学会論文集, 669(50), 243-251.
- Nakatsuji, T., Kawamura A., and Maeda C., (2004): Inverse Estimation of Friction Coefficient of Winter Road Surface Using Vehicular Motion Data Measured by GPS-Equipped Probe Vehicles, *Transportation Research Circular, 6th International Symposium on Snow Removal and Ice Control Technology, TRB*, 442-453, Spokane, Washington.
- PIARC国際冬季道路会議札幌大会委員会(2002)『雪氷データブック』.
- Plewe, B. (1997): *GIS Online: Information retrieval, Mapping, and the Internet*. Delmar, London.
- Tokunaga, R. A., Hagiwara, H., Onodera, Y., Takahashi, A., Matsunaga, A., (2002) Driving Behavior on the Winter Road Surface in Sapporo City, *Proceedings of PIARC 11th International Winter Road Congress*.