

移動路面観測車による道路雪氷の判別

阿部 修

防災科学技術研究所 新庄雪氷防災研究支所

A New Discrimination Method of Snow and Ice Road Conditions Using A Observation Car Equipped with Multiple Sensors

By

Osamu Abe

*Shinjo Branch of Snow and Ice Studies, National Research
Institute for Earth Science and Disaster Prevention(NIED)
Tokamachi, Shinjo-shi, Yamagata-ken, 996 Japan*

Abstract

A new discrimination method of snow and ice conditions using a observation car equipped with multiple sensors is described in this paper. The observation car has a albedo meter, a radiation thermometer, a thermopile, a platinum resistance thermometer and a distance meter fitted. By this car albedo and surface temperature on the road, long wave radiation \downarrow , air temperature and distance from the start point are measured every 2 or 3 seconds. For the discrimination eight kinds of the road condition were classified from both the albedo and the surface temperature on the road, namely, A:nonfrozen dry, B:water/wet, C:melting ice, D:melting mixture snow, E:melting snow, F:frozen ice, G:frozen mixture snow, and H:frozen snow. The road conditions were plotted on a map, and those formations and changes were discussed. This methodology is useful for road maintenance.

Key words : Snow and ice on the road, Road maintenance, Road condition

キーワード:道路雪氷, 道路管理, 道路状況

1. はじめに

積雪地域の道路では、毎年冬になると、路面凍結や圧雪などによりスリップ事故(図1)が多発する。人身雪害データベースによれば、山形県内だけで、過去20年間におけるスリップ事故等による交通事故発生件数は、年平均にすると約20件でその死者数は約5人となっている(沼野, 1990)。今後、高速道路網の整備に伴い、さらに増加することが予想される。このような事故を防止するためには、道路情報システムにより運転者に路面状態を正確に通知することが重要である。しかし、圧雪や路面凍結などの形成箇所を全線にわたり常時監視することは困難である。このため、基準観測点の気象データを使って、地形などを考慮しつ



図1 スリップ事故により横転した大型トラック (左)

Fig. 1 A traffic accident caused by snow road (left)

つ、路面凍結や圧雪などの発生、消滅を予測する手法を開発し、これを道路情報システムに組み込む必要がある。

防災科学技術研究所では、雪氷防災情報システムの構築に備えるため、1988年から3カ年にわたり路面凍結の検出・予測手法に関する研究を実施した。ここでは、本研究において、移動路面観測による路面のアルベドと路面温度とから道路雪氷を含んだ各種の路面状態を判別する手法を開発し、これに基づいて路面状態の評価を行ったので、その結果について報告する。広域的な移動路面観測は、これまで北陸地方の国道18号線で行われた例があるが、(青木ほか, 1977), その後センサーやデータロガーの性能が向上し、計測システムの小型・高速・デジタル化がなされたため、より高度な測定・解析が簡便にできるようになった。なお、本報告では圧雪および凍結路面などの雪や氷の介在する路面に併せて、乾いた路面やぬれた路面についても扱う。この理由は凍結予測をする上では、水膜の有無が凍結路面になるかどうかの重要な分かれ目となるからである。

2. 観測方法および測定結果

2.1 移動路面観測車

移動路面観測車(以下観測車と呼ぶ)は、図2のように普通自動車(通称ジープ)に、アルベドメータ(短波長日射計の下向き↓, 上向き↑の1対), 長波長放射計(下向き↓),

気温計，路面温度計および距離計を搭載したものである．場合によっては，8 mmビデオカメラも搭載した．なお，アルベドメータは観測車の前方，路面温度計は後方のそれぞれ通行路面の中央部に向けた．したがって，いずれも観測車の左右の車輪の中間付近の路面で測定したことになる．走行および観測は1名の要員で行ったが，できれば運転者と観測者の2名の要員で行う方が良い．

表1に，移動しながら観測する際に問題になる搭載センサーの応答速度と路面からの取付け高さを示す．アルベドメータおよび長波長放射計は，いずれも観測車が水平のときにその受光面が水平となるように取り付けた．それぞれの感度波長範囲は，アルベドメータ0.4～1.1 μm ，長波長放射計0.25～7.5 μm である．路面温度計には放射温度計を使用し，その放射率は水の0.98に設定した．この場合，本来ならば放射率を測定する物質に合わせる必要があるが，移動観測では走行中に変更することができないので，最も注目すべき水の放射率に設定したのである．この放射温度計の検定試験を室内で行ったところ，ぬれた氷の表面温度(0.0℃)の指示値は，-1.8～-1.2℃の範囲で変化し，その平均は-1.5℃であった．そこで，ここでは指示値に1.5℃を加えて補正した値を用いた．したがって，氷点(真値0.0℃)における補正済みの値は-0.3～0.3℃となる．なお，ここでいう路面温度とは，道路面のみならず，その上に形成された水膜，氷膜および圧雪などを含んだ路面の表面温度のことである．

距離計は観測車の駆動シャフトの回転数を近接スイッチにより数えるようにしたもので，こうすると，観測車のクラッチを切った状態で走行してもその間の距離を正しく計数できる．駆動シャフト1回転当たりの走行距離は0.42mであった．以上のデータは，走行しながら2秒ないし3秒間隔で携帯用データロガーに記録した．この際の実道路上での測定間隔



図2 移動路面観測車

Fig. 2 Observation car equipped with four sensors.
Distance meter is fitted onto the bottom of the car.

表1 移動路面観測車搭載センサーの応答速度および路面からの取付け高さ

Table 1 Responses and heights from the road of thermometer, albedo meter, thermopile and radiation thermometer

測定項目	機 器	応答速度(s)	取付け高(m)
気温	白金抵抗体	60以上	0.93
アルベド	シリコンダイオード	0.0001以下	0.59
長波長放射	サーモパイル	0.1	約2.2
路面温度	放射温度計	約0.5	約2

は、時速60kmで、2秒の場合33m、3秒では50mに相当する。ただし、ここではセンサーの応答速度の違いによる測定データの時刻補正は施さなかったため、応答速度の遅いセンサーでは（特に気温計）、観測車のあった地点での瞬時値を示さないことに注意する必要がある。

当支所では構内の気象観測露場において、通常的に一般の気象・積雪観測が行われているので、ここを基準観測点として、これらのデータを参考にした。また、構内の自然雪面および試験道路においてアルベドの比較観測を行った（図3）。

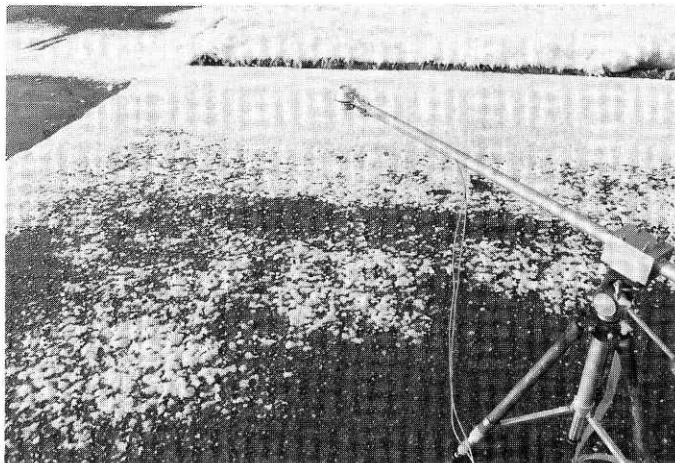


図3 構内試験道路でのアルベド測定

Fig. 3 Measurement of albedo on the test road

2.2 調査箇所

調査箇所を図4（国土地理院発行の20万分の1の地形図）に示す．当支所を起点（同図S）として，国道13号線の山形県新庄市から同金山町日当（K）および秋田県雄勝町上院内（O）にかけての平地および山間地，ならびにこの国道に接続する県道，市道の新庄市街

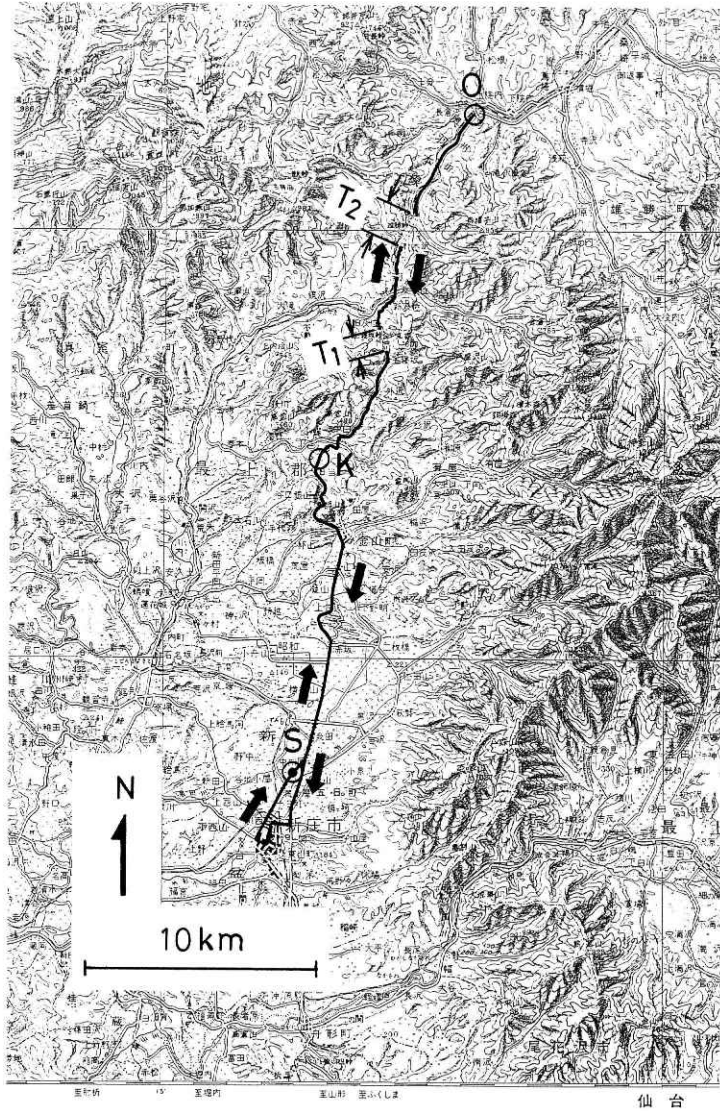


図4 調査対象道路

S：新庄雪氷防災研究支所，K：金山町日当，O：雄勝町上院内，T：トンネル

Fig. 4 Geographic map contained the running road.

S：start point at base (Shinjo Branch), K, O：return points, T₁, T₂：tunnels.

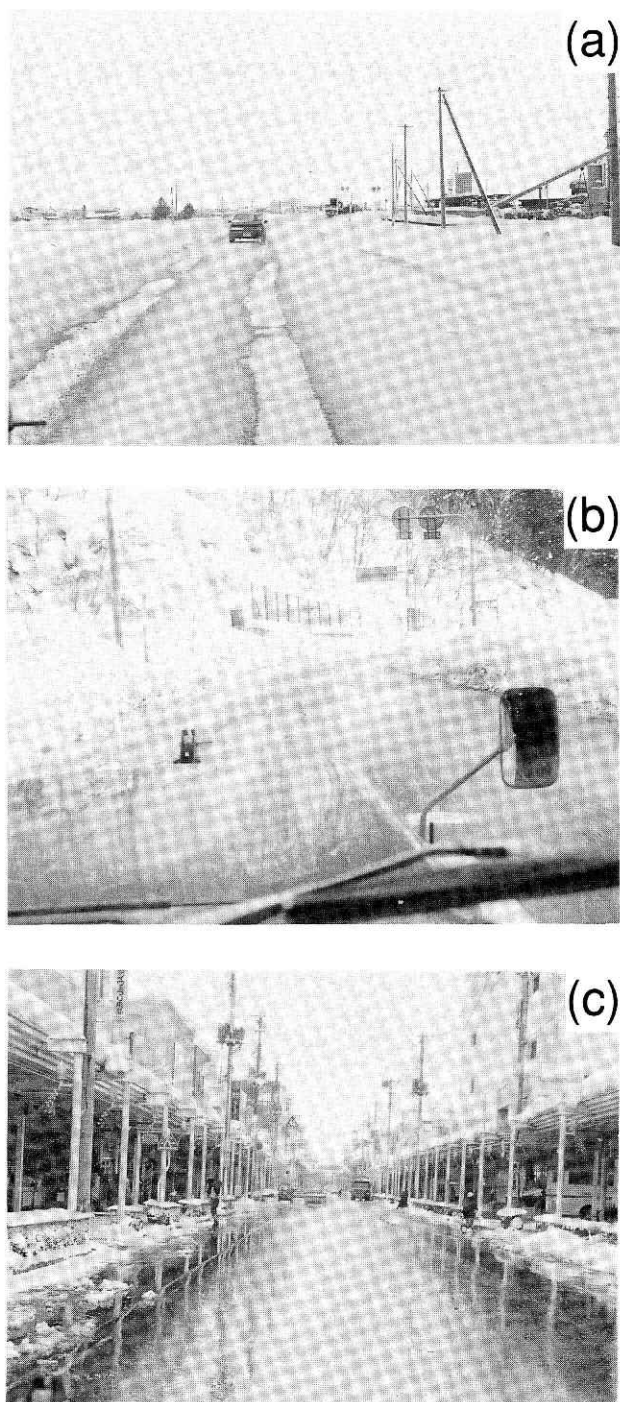


図5 平地、山間地および市街地の調査代表地点、いずれも復路で撮影したもの
a: 新庄バイパス, b: 主寝坂トンネル南口付近, c: 新庄市南本町
Fig. 5 Typical examples at the basin road, mountain road and street in Shinjo-city

地，同郊外地を対象とした．K地点まで行ったときには，帰りに新庄市街地を經由して戻ったが，O地点までのときは，新庄市街地を經由せず同じ道路を戻った．これらの道路の標高は最低97m（市街地），最高313m（山間地）である．また，当支所の標高は127mである．調査対象道路については，測定データを地図上にプロットする必要があることから，国土地理院発行の5万分の1の地形図から座標測定装置を用いて道路の座標データを読み取った．この際，道路沿いの各測定間隔は，屈曲部は密に，直線部は粗く取った．平地，山間地および市街地の代表的な地点の写真を図5に示す．

2.3 測定結果

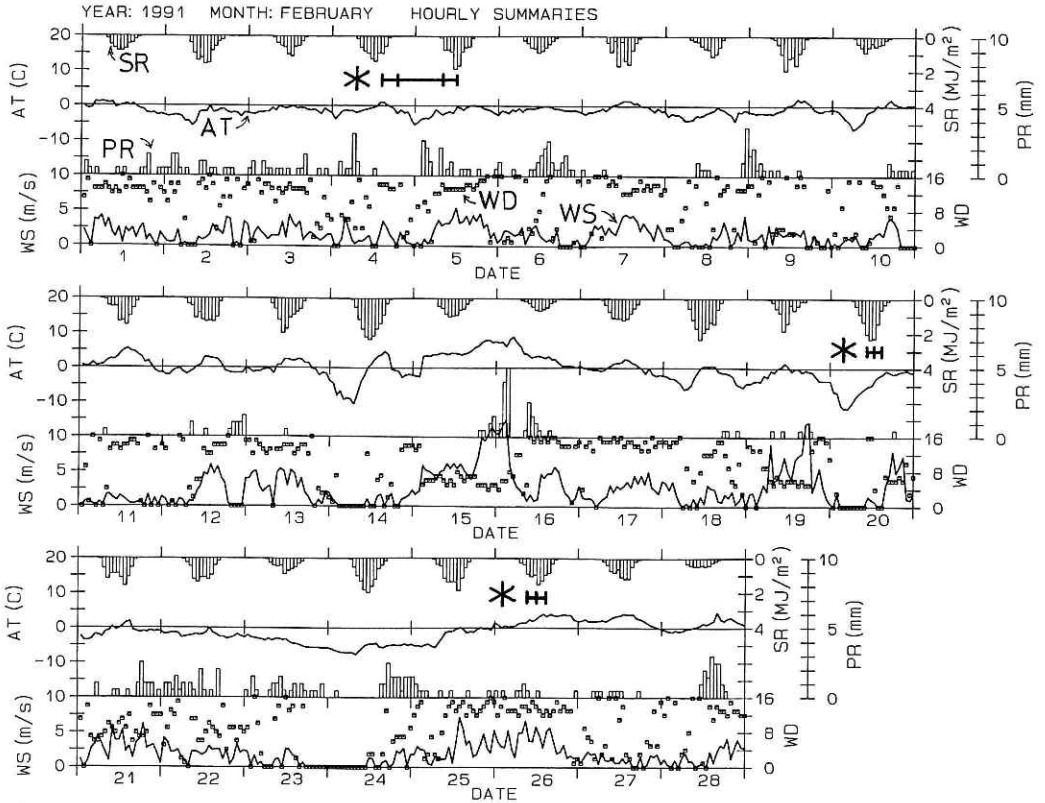
1990/91年冬の観測では，総計4日，延べ10回のデータを得た（前年にも同様の観測を行ったが，このときは距離計を搭載していなかった）．これらは，大きく分けて3つの連続調査からなり，路面状態の時間変化を見るために，それぞれ夜間の場合を除いて2.0～4.5時間ごとに3，4回繰り返して走行したものである（表2）．図6は移動観測実施期間中（1991年02月）の当支所構内における全天日射量，気温，降水量，風向および風速の時間変化である．図中に移動観測実施日を*印で示した．縦線は走行した時刻である．

移動観測で得られるのは時系列データなので，これを基に，観測車の位置（走行距離）に対応する日射（↓および↑），放射（↓），アルベド，気温および路面温度をそれぞれ求めた．図7は，この1例として1991年02月26日に行った第1回目の走行（走行番号#15）について表したものである．なお，放射（↓）についてはセンサー温度の補正は施さなかった．図8には構内の自然雪面や試験道路で測定した種々の路面状態でのアルベドを示す．後述するように，この結果に基づいて路面状態の判別を行った．

表2 観測実施日，発車・到着時刻，測定間隔，折り返し点および走行距離No. は前年からの通し番号
Table 2 Date, departure and arrival time, interval time of road measurements, return point (shown in Fig. 4) and total distance along the road of each running

No	日付	発車時刻	到着時刻	測定間隔	折り返し点	走行距離
8	Feb.04, 1991	14:10	15:28	2 s	K	47.0km
9		18:35	19:50	2 s	K	46.7km
10	Feb.05, 1991	07:00	08:34	2 s	K	47.7km
11		11:30	12:44	2 s	K	46.4km
12	Feb.20, 1991	10:30	11:37	2 s	K	46.6km
13		12:32	13:35	2 s	K	46.6km
14		14:30	15:37	2 s	K	46.6km
15	Feb.26, 1991	08:30	10:15	3 s	O	71.4km
16		11:30	13:03	3 s	O	71.4km
17		14:30	16:09	3 s	O	71.6km

METEOROLOGICAL DATA AT THE SHINJO BRANCH OF SNOW AND ICE STUDIES,
NATIONAL RESEARCH INSTITUTE FOR EARTH SCIENCE AND DISASTER PREVENTION
SHINJO-SHI, YAMAGATA-KEN, JAPAN



AT: Air Temperature, WS: Wind Speed, SR: Solar Radiation, WD: Wind Direction, PR: PRecipitation
OBSERVATION POINT: 127m M.S.L., 38°47'N, 140°19'E, * : UNKNWON DATA

図6 当支所構内における気象観測データ (1991年2月分) *印付き横棒が移動観測実施期間を表す。
Fig.6 Meteorological data at the Shinjo Branch in February 1991. * : period of the road measurements.

2.4 測定箇所 の地形図へのプロット

移動観測で各種のデータを取得しても、それがどの地点で測定されたものかが分からないとデータの価値が半減する。そこで、あらかじめ読み取った道路の座標データと観測車の走行距離とから、測定箇所を地図へプロットする操作を行った。まず、地図上での走行径路の座標データから、測定道路の総延長を求め、それを走行開始から終了までの観測車の駆動シャフト総回転数で割って、1回転当たりの地図上での走行距離を求めた。そしてそれを道路沿いに配分することにより、走行した箇所を地図上にプロットした。ただし、地形図上に直接プロットするのは困難なので実際には白地にプロットした。なお、地図上での各座標測定点間の距離は直線で近似し、道路の標高の違いは無視した。地図上の走行距離と実走行距離との誤差は最大で2%であった。

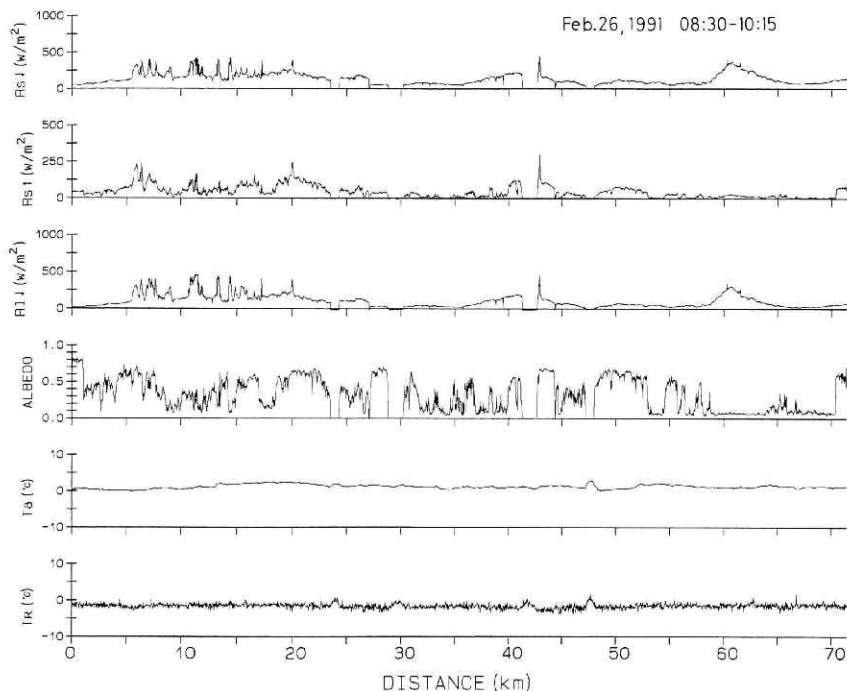


図7 走行距離に対する日射 ($R_s \downarrow$, $R_s \uparrow$), 放射 ($R_l \downarrow$), アルベド, 気温 (T_a) および路面温度 (T_s) (走行番号#15)

Fig. 7 Short wave radiations (\downarrow , \uparrow), long wave radiation (\downarrow), albedo, air temperature and surface temperature on the road along the running distance

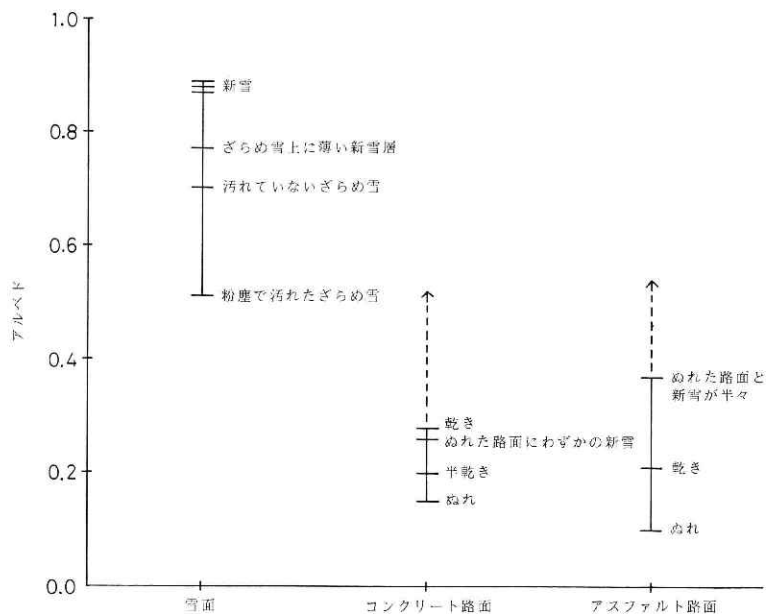


図8 雪面および種々の路面状態におけるアルベドの変化

Fig. 8 Results of the albedo on snow surfaces, concrete road and asphalt road in the test road.

3. アルベドと路面温度による路面状態の判別

3.1 路面状態の判別式

道路上の雪氷には様々な形態が存在する。木下・秋田谷（1969）は、道路雪氷を‘新雪’，‘粉雪’，‘粒雪’，‘圧雪’，‘氷板’，‘氷膜’，および‘水べた’の7種に分類した（以降これを標準分類と呼び，‘ ’をつけて表す）。また，前野ほか（1987）はさらに細分類を規定した。これらの分類は，いずれも雪質，粒径，密度，温度などから総合的に判断するものである。したがって，ある物理量から一義的にかつ自動的に判別するという目的には適していない。そこで移動観測から測定したアルベドと路面温度とから一義的かつ

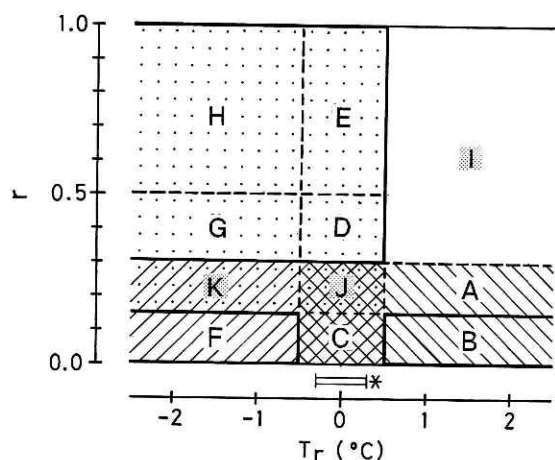


図9 路面温度 (T_r) およびアルベド (r) とからの路面状態の判別模式図
*：使用放射温度計の氷点における補正済み指示範囲
Fig.9 Classification of road conditions based on the surface temperature (T_r) and albedo (r) on the road

表3 本報で使用した分類名称とこれに対応すると思われる木下・秋田谷（1969）の分類名称
Table 3 Presented classification (shown in Fig. 9) of road condition related to the standard classification by Kinoshita and Akitaya (1969)

本報で使用した分類名称 (自動分類)	木下・秋田谷の分類名称 (標準分類)
A：温乾（半乾きを含む）	該当無し
B：水ぬれ	該当無し
C：ぬれ氷板	氷板，氷膜，水べた
D：ぬれ混雪	2種類以上の混合
E：ぬれ積雪	新雪，粉雪，粒雪，圧雪
F：乾き氷坂	氷板，氷膜
G：乾き混雪	2種類以上の混合
H：乾き積雪	新雪，粉雪，粒雪，圧雪

自動的に路面状態を判別・分類する方法を考案した（以降これを自動分類と呼び，‘ ’はつけないで表す）。

種々の路面状態でのアルベド測定によれば（図8参照），アルベドが最も小さいのはぬれた状態のときであり，コンクリートで0.15，アスファルトでは0.10であった。また，雪のない乾燥路面のアルベドは，コンクリート0.28，アスファルト0.21であり，これに雪が積もって積雪の占める領域が増加するにつれ，アルベドは増加する。以上のことから，アルベド（ r ）によって，コンクリートおよびアスファルトの両方の路面について，ぬれ，乾き，積雪の3つの路面状態を判別することができる。すなわち，判別式で表すと

$$\text{ぬれ路面：} r \leq 0.15 \quad (1)$$

$$\text{乾燥路面：} 0.15 < r \leq 0.30 \quad (2)$$

$$\text{積雪路面：} 0.30 < r \quad (3)$$

となる。ところで，(1)式は，本来は氷点よりも高い温度の，水でぬれた路面に適用されるべきものであるが，ここではこれを氷点以下まで範囲を広げて用いることとする。このように拡張された領域には，‘水べた’，‘氷板’，‘氷膜’が含まれると考えられる。なお，(2)式の中には，乾燥路面だけでなく，ぬれ路面あるいは氷板路面と積雪路面が混在したのも含まれることに注意しなければならない。また，積雪路面の範囲が広すぎるので，これをさらに2つに分け，

$$\text{混雪路面：} 0.30 < r \leq 0.50 \quad (4)$$

$$\text{積雪路面：} 0.50 < r \quad (5)$$

とする。 r が0.5というのは汚れたざらめ雪の雪面での値であるが，これより大きいものはあまり汚れていない雪面か路面のほとんどが積雪で占められている路面であり，これ以下はかなり汚れた雪面かまたは路面の一部が露出している路面と考えられる。

一方，路面温度計として使用した放射温度計の氷点における実測値は前述したように $-0.3 \sim 0.3^{\circ}\text{C}$ の範囲にあった。そこで，本温度計により氷点付近の路面温度を判断するために，測定誤差を考慮して次のような判別式を用いた。

$$\text{氷点以上：} 0.5 \leq T_r \quad (6)$$

$$\text{氷点} : -0.5 \leq T_r < 0.5 \quad (7)$$

$$\text{氷点未満} : T_r < -0.5 \quad (8)$$

ここで T_r は路面温度である。

この路面温度の判別式と上述したアルベドの判別式の組み合わせから、路面状態を次の8つに分類した。すなわち、A：温乾（半乾きを含む）、B：水ぬれ、C：ぬれ氷板、D：ぬれ混雪、E：ぬれ積雪、F：乾き氷板、G：乾き混雪およびH：乾き積雪である。これらの判別式を図化すると、図9のようになる。この図で、太い実線で囲まれた部分は、判別が確実と思われる領域である。また、2種類以上のパターンが重なる部分は、異なる路面状態が混在する領域である。なお、右上の空白部分は道路上では存在し得ない領域である。また、氷点以下の(2)式で示される領域には、前述したように乾燥路面だけではなく、ぬれ路面あるいは氷板路面と積雪路面が混在したものも含まれるので、今回は判別対象から除外した。ただし、参考のために、これらの領域にも記号I, J, Kを与えておく。表3に本報で使用した自動分類とこれに対応すると思われる木下・秋田谷の標準分類を示す。この表で混雪の中には、汚れた積雪路面ばかりでなく、露出路面と積雪路面の混合および両者が混在するものが含まれることに注意する必要がある。

3.2 判別結果

以上の判別式で分類した8種類の路面状態の時間変化を色別にプロットしたものが図10～12である。これらの図は、地形図と重ね合わせるにより、各種の路面状態がどこに存在するかが明確に判断できる。ただし、線が途切れている部分は8種類の路面状態のいずれにも適合しなかった領域である。すなわち、図9に示したI, J, Kおよび判別不能だったところである。判別不能とは、夜間走行やトンネル内で日射が無い場合や何らかの原因でアルベドが1を超えた場合のことである。図13には、図12との比較例として、1991年02月26日に行った3回の調査における新庄市横根山での往路の路面状態の変化を示す。同地点の位置は同調査日の路面状態図の図12にYで示した。1回目の調査では乾き積雪(H)だったが、2回目および3回目ではいずれも水ぬれ(B)となっており、これは図13の判別結果と一致する。

表4は、往復の走行距離に対する、8種類の区間(A～H)およびこれらのいずれにも属さなかった区間(I, J, K)、さらに判別不能な区間の比率をそれぞれ表したものである。本表により、各種の路面状態を定量的に把握できることが分かる。これによれば、判別不能区間を除いて、上の8種のいずれにも適合しなかった区間は最大でも24.2% (#12-f)であり、ほとんどは10%以内である。

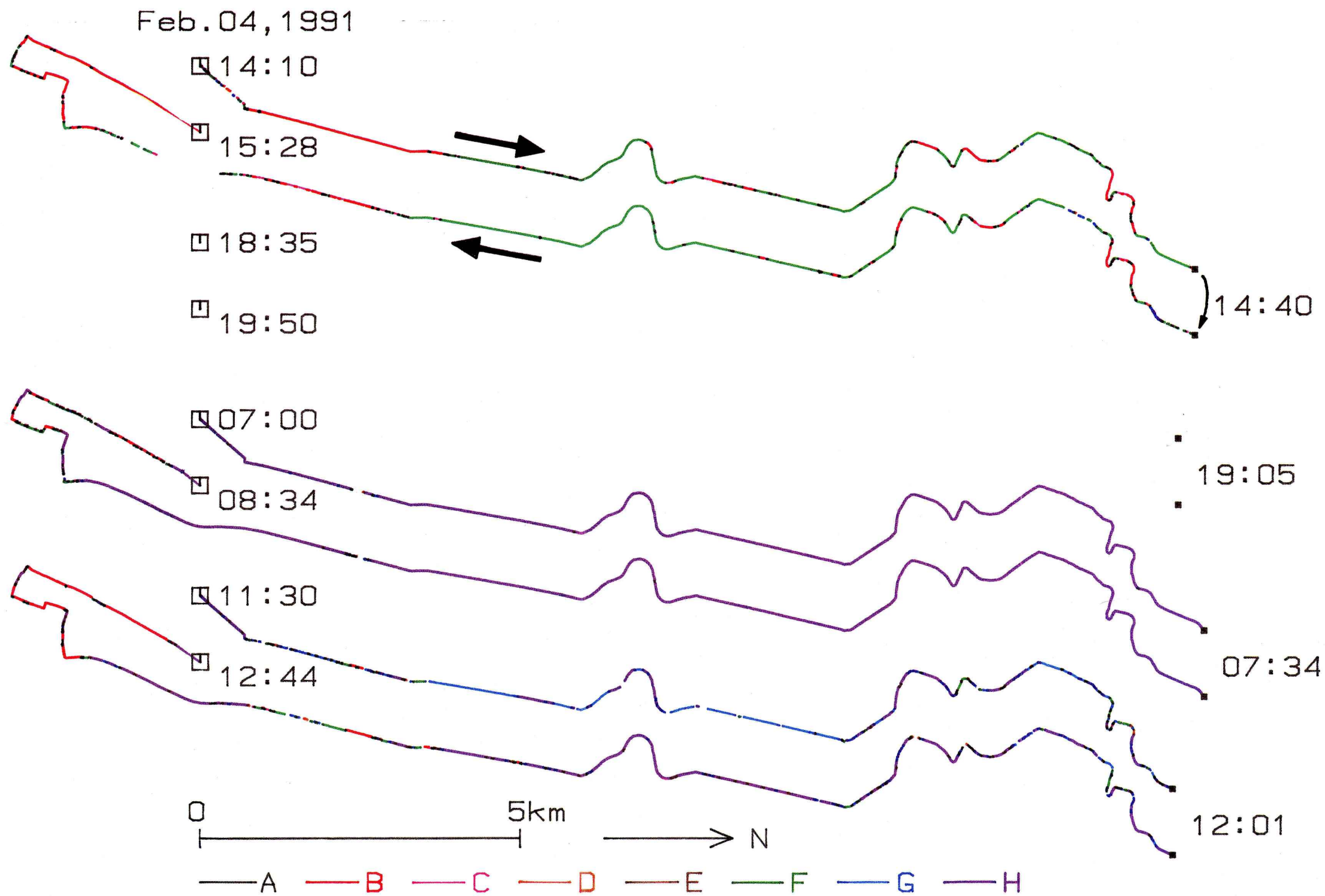


図10 路面状態図 (1991年2月4日から2月5日まで)
 Fig.10 Time variations of the road conditions classified automatically (Feb. 4, 1991 to Feb. 5, 1991)

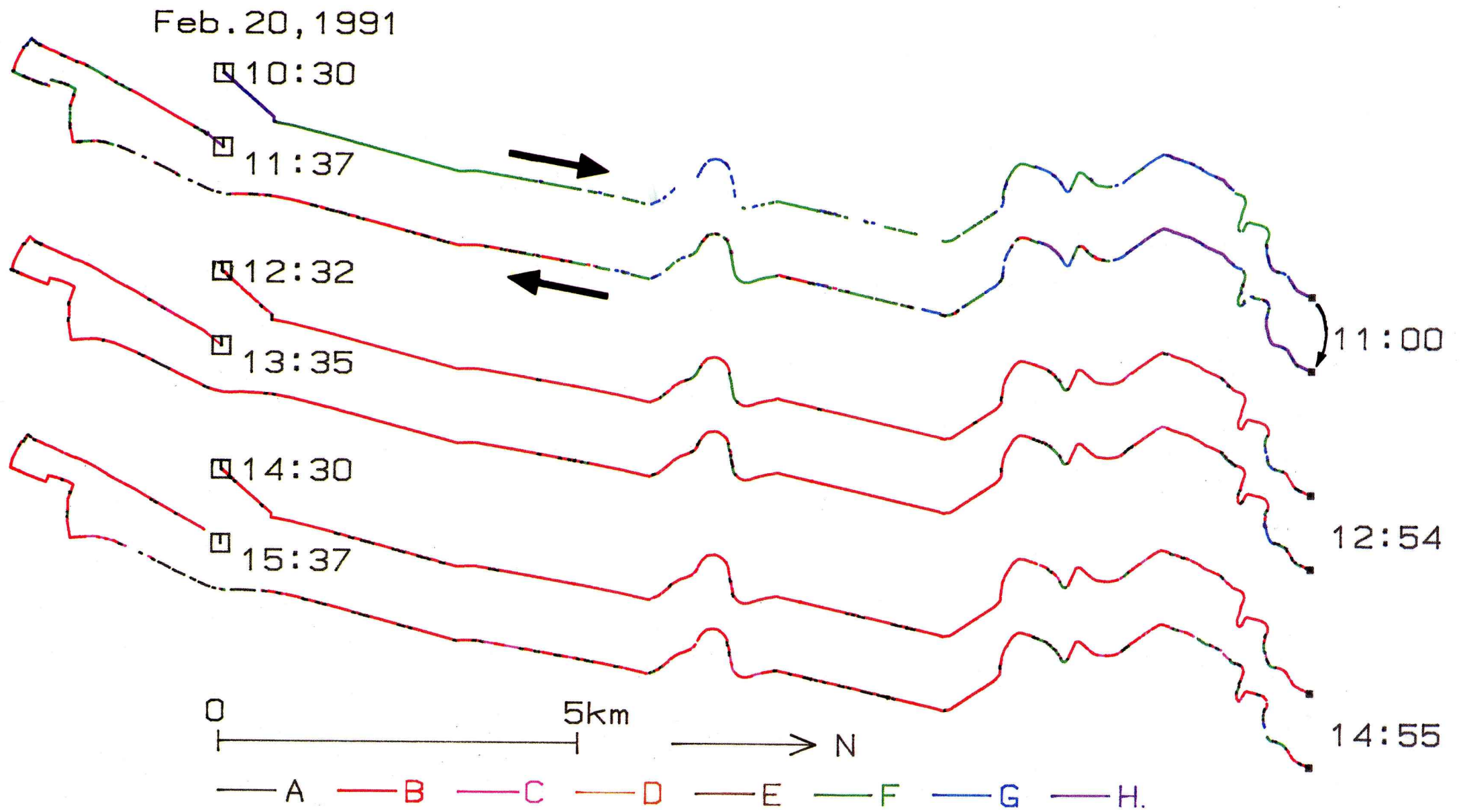


图11 路面状态图 (1991年2月20日)
Fig.11 Time variations of the road conditions classified automatically (Feb. 20, 1991)

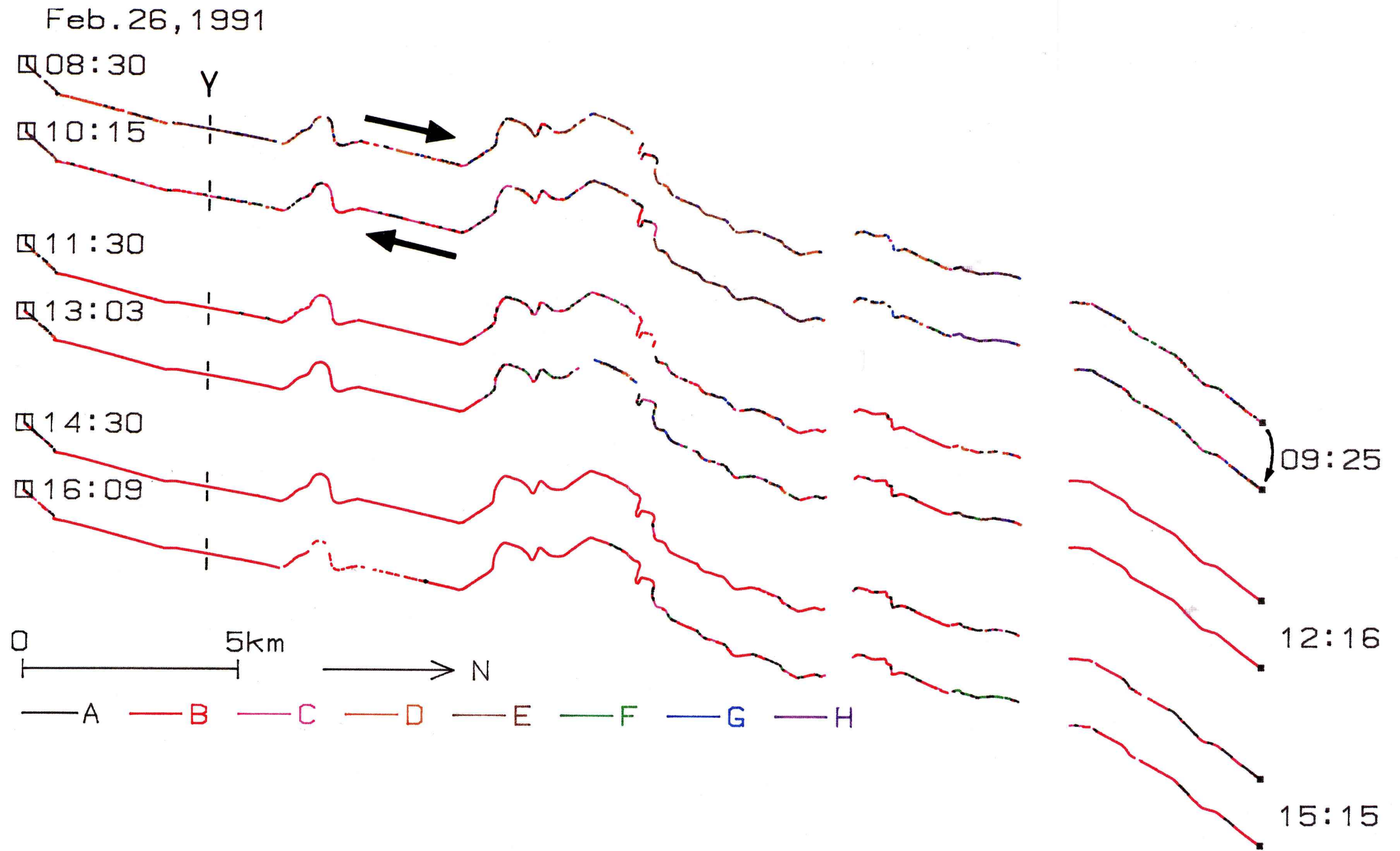


图12 路面状态图 (1991年2月26日)
Fig.12 Time variations of the road conditions classified automatically (Feb. 26, 1991)

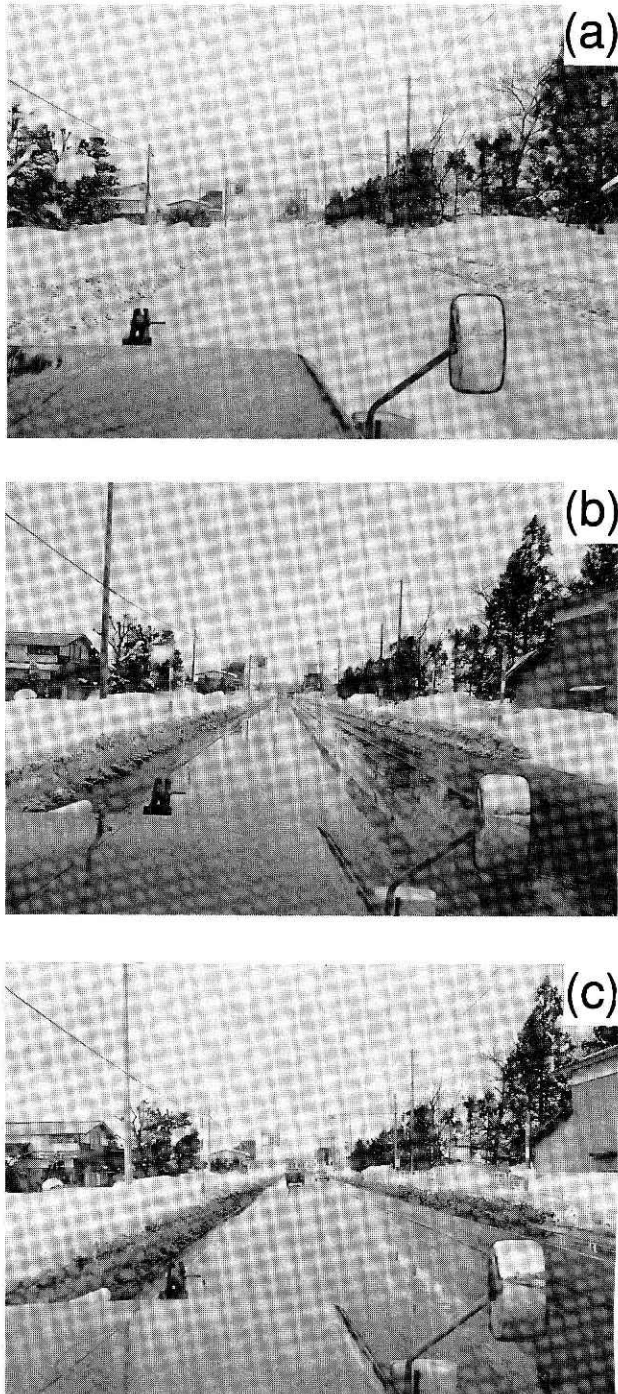


図13 同一地点における路面状態の変化 (1991年2月26日, 新庄市横根山, 図12のY点, 往路)
Fig. 13 Changing on the same road which is shown as point Y in Fig. 12 (Feb. 26, 1991, going)

表4 往復走行距離に対する各種路面状態の総区間延長の比率 (%)
f: 往路, b: 復路

Table 4 Ratios in percent of distance along the road for each road condition to the total road distance.
f: going, b: returning, A-K: road conditions shown in Figure 9.

No	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	判別不能
8-f	0.1	30.2	10.5	0.4	0.0	54.0	0.8	0.0	0.0	1.4	2.6	0.0
8-b	0.6	25.2	13.1	0.2	0.0	48.8	1.5	0.4	0.0	3.1	7.2	0.0
9-f	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
9-b	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
10-f	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.2	0.6	97.0	0.0	0.3	0.2	1.3
10-b	1.1	5.2	0.8	0.2	0.6	4.8	0.7	83.7	0.2	0.4	2.2	0.1
11-f	0.7	1.0	1.0	2.9	1.5	6.3	43.3	29.9	0.7	2.4	8.5	1.8
11-b	1.0	17.0	1.5	2.7	4.2	6.7	9.6	50.3	0.3	1.9	4.9	0.0
12-f	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	47.3	18.4	10.1	0.0	0.0	24.2	0.0
12-b	3.4	26.8	4.8	0.7	0.0	28.5	8.4	11.6	0.0	2.4	13.0	0.3
13-f	0.3	84.2	4.6	0.1	0.0	8.6	1.1	0.0	0.2	0.2	0.6	0.1
13-b	2.0	84.1	4.8	0.2	0.0	7.2	1.2	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0
14-f	5.2	78.5	9.8	0.0	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	2.1
14-b	6.9	56.4	21.2	0.0	0.0	8.8	0.2	0.0	0.0	4.1	0.7	1.6
15-f	3.9	2.5	8.4	9.3	17.9	3.4	4.2	7.8	11.9	1.6	2.9	6.4
15-b	1.7	11.2	27.5	7.1	11.4	6.9	5.4	9.9	3.5	5.7	3.5	6.3
16-f	2.2	53.3	18.6	3.5	0.6	3.5	0.9	0.6	3.9	1.7	0.2	10.9
16-b	1.3	54.3	11.4	4.0	2.4	6.9	2.7	1.9	2.3	3.2	3.0	6.7
17-f	6.8	75.5	6.5	0.4	0.0	1.8	0.1	0.0	0.5	0.6	0.4	7.4
17-b	1.8	64.4	10.5	0.1	0.0	7.7	0.0	0.0	0.0	0.7	0.6	14.2

3.3 路面状態の評価

以上の判別結果をもとに、次に3回の一連の調査ごとの各種路面状態の出現箇所に注目し、それが形成された地形的ならびに人的要因を考慮しながら、路面状態の評価を試みる。なお、ここでは気象的要因（気温、降水量、全日射量他）については、調査範囲内ではすべて基準観測点と同一とみなす（図6参照）。

第1回目の調査（図10）。

02月04日14:10発では、全線にわたり乾き氷板あるいは水ぬれとなっている。乾き氷板のほとんどが山間地にある。18:35発では、すでに日没後で、アルベドが測定不能となったために路面状態の判別はできなかった。その後、夜半過ぎに割合強い降雪があり、02月05日07:00発では、一部の区間を除いてほぼ全線が乾き積雪となっている。運転席からは、ほとんど真っ白い路面に見えたことから、‘新雪’、‘圧雪’あるいは‘粉雪’になっていたと思われる。乾き積雪になっていない区間は、乾き氷板か水ぬれとなっているが、これらはいずれも市街地にみられる。これは市街地には、散水消雪の停止により凍結した路面や、散水

消雪の稼働あるいは流雪溝の溢水によって水ぬれ路面が存在したためである。この日は1日中降雪があり、そのため11:30発でも、平地では乾き混雪、乾き氷板、ぬれ混雪および水ぬれなどの多様な路面状態が混在しているが、山間地は依然として乾き混雪および積雪で占められている。また、平地の往路には無かった乾き積雪が復路ではそれが再び形成されていた。

第2回目の調査(図11)。

02月20日の観測の前日には、日中強い東風に伴った降雪があり、低気圧性の吹雪が発生した(これは当地では非常にまれな現象である)。19日から20日にかけての夜間は気温は低下したが降雪と風はおさまり、20日の朝にはほとんど無風の状態になった。10:30発では、乾き氷板、乾き混雪、乾き積雪および水ぬれなどがある。特に市街地では短い区間に多数の種類が混在している。また、山間地では乾き混雪、乾き積雪などが多く見られるが、これは午前中道路が山の日陰となり、積雪路面の融解が進まないためである。なお、出発直後の往路に乾き積雪が見られるのは、この区間のみ除雪がなされなかったことによる。また、往路ではまったく無かった水ぬれが復路にはかなり存在するが、これは乾き氷板だったところが、日射により融解し水ぬれに変わったためである。12:32発では、乾き氷板が山間地の一部に残っているだけでその他はほとんど水ぬれで占められている。山間地に見られる乾き氷板の区間は、特に山を迂回する道路の北側に多く存在する。14:30発では、山間地の乾き氷板はそのまま残っているが、あとはほとんど水ぬれである。ただ、復路の平地では温かい乾いた(温乾)路面が見られる。

この日の観測で注目されるのは、山間地での往路と復路との違いである。すなわち、いずれの走行時でも復路の方が往路よりも路面状態が悪いことである。これは、道路が起点から北北東の方向にあり、しかも川沿いの山の西側の麓を通っているので(図4参照)、午前中の道路は日陰になり、これが山側になる復路の方がより長時間続くからである。(図5-bにこの典型的な例が示されている。この写真は復路で撮影されたものなので、左の山側に圧雪が多く残っているのが分かる)。

第3回目の調査(図12)

02月26日の午前中まで前日からの弱い降雪が続き、しかも気温が0℃付近であったことから、当日の早朝には全線にわたり新雪および圧雪が形成されていたと思われる。しかし、08:30発の時点ではすでにそれらが部分的に融解し、ぬれ氷板、ぬれ混雪およびぬれ積雪になっていた。通常このようなときには、はじめに車両の通行によってわだちが形成され、そこから融解が進行する(図5-a参照)。その後気温が上昇しつつ、弱い降雪が続いたので11:30発では水ぬれがほとんどを占め、その他のぬれたあるいは乾いた氷板、混雪および積雪は山間地の一部にしか見られない。14:30発では、降雪は止み、気温は+3℃と高かったため、さらに水ぬれが増大すると共に、折り返し点の近くには温乾も見られる。しかし、山

間地の一部には依然として乾き氷板などが残っていた。

3.4 判別の限界

アルベドと路面温度のみから実際の道路の路面状態の評価を行うには、その限界も認識しておかなければならない。一つは、前述したように乾燥した路面の場合と、ぬれあるいは氷板路面と積雪路面とが混在する場合とで、同じアルベドになることがあり、路面温度が氷点未満の場合、両者の判別が不可能になる。もう一つは、今回はアルベド、路面温度ともにそれぞれ1点のみの測定値を用いたが、これではわだちが形成された場合に、平均的な路面状態を把握することができない。前者については、今後、新たに別の測定項目を加えることによって、乾燥路面とそうでない路面との判別方法を検討する必要がある。木村(1992)によれば、路面反射光の偏向成分を検出することによって、ぬれた路面とそうでない路面との判別が可能であることが確かめられているので、これを凍結路面についても拡張することなどが考えられる。後者については、アルベドの測定箇所を地上からある程度離したり、放射温度計による路面温度測定箇所を複数点とすることによって、平均的な道路状態を把握することが可能である。

なお、トンネルや夜間走行によるアルベドの測定不能についての対策としては、人工光源の使用が考えられる。

4. まとめ

移動観測車によって測定されたアルベドと路面温度から、路面状態を8種類に分類する手法を考案し、これに基づいて、実際の道路の路面状態の評価を行ったところ、全線にわたる道路状態を簡便に、しかも定量的に評価できることが判明した。ただし、アルベドと路面温度のみからでは、すべての種類の路面状態をカバーすることはできなかった。しかし、8種類のいずれにも適合しなかった区間延長は、最大でも全区間の24%で、通常は10%以下であったことから、この手法は、道路管理上、きわめて有効な手段となり得る。

5. おわりに

路面状態は、気象、積雪、地形などの自然条件ばかりでなく、除雪、消雪、交通量などの人的条件にも左右されており、たとえ今後ある主要な要素から路面状態を予測する手法が開発されたとしても、それはあくまでも自然条件の予測に基づくものであり、人的な要素までは予測し得ない。それゆえ、予測の検証および修正が常に求められよう。このときの一助として移動路面観測はきわめて有効な手段となる。すなわち、道路パトロール車により移動路

面観測を行い、それによって得られたデータを次回の予測にフィードバックさせることにより、さらに正確な予測が可能となるのである。

本研究は、1988/89年冬期から3年間にわたり実施した「交通路における雪氷防災情報システムの開発に関する研究」の小課題「路面凍結の検出・予測手法の研究」により行われたものである。

謝 辞

新庄雪氷防災研究支所の木村忠志支所長および沼野夏生雪氷防災第1研究室長には本研究の推進に対し多大のご協力を得ました。距離計の取付工作は天津政良氏によるものである。ここに記し謝意を表します。

参考文献

- 1) 青木忠男・下村忠一・石平貞夫(1975)：雪寒対策に関する国道18号線の道路気象調査(1)，土木技術資料，no. 17,12.
- 2) 木下誠一・秋田谷英次(1969)：北海道における路面積雪調査Ⅰ，低温科学，A27，163-179.
- 3) 木村忠志(1992)：偏光による路面の“ぬれ”の検出，防災科学技術研究所研究報告，no. 50,141-163.
- 4) 前野紀一・成田英器・西村浩一・成瀬廉二(1987)：道路雪氷の構造と新分類，低温科学，A46，129-133.
- 5) 沼野夏生(1990)：山形県における人身雪害発生状況の時系列変化(その1)，平成2年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集，講演番号535.

(1992年7月13日 原稿受理)