

凍結対策のための気象と路面状況に関する研究

大阪管理部 管制管理課 松尾 武
同部 同課 大窪 剛文

要 約

阪神高速道路公団では、毎年12月から3月の4カ月間を凍結対策期間と定め、その期間中、高速道路の正常な機能を維持するために、各種の対策・措置を講じている。

凍結対策としての待機、点検等の発令は16時の気象予報及び高速道路気象により判定している。また、通行止の実施予定は、同じく22時の気象状態により判定している。そしてこの時点の的確な判断が、過剰な待機体制の排除や通行止を未然に防止することに有効となる。

そこで、異常気象に見舞われた昭和58年度冬期の気象データ及び路面データを収集した。そして、今後の凍結対策に資する情報を抽出することを目的として、各種の対策及び措置を判定する時点と翌朝6時の路面温度の関係を検討してみた。また、天気図パターンと路面温度及び凍結、積雪等の路面障害との関係等、冬期特有の路面状況についての分析を試みてみた。

まえがき

阪神高速道路では、毎年12月から3月の4カ月間を凍結対策期間と定め、凍結、積雪等の冬期の特有の路面交通障害に対応するため、種々の対策及び措置を講じている。

この期間は、高速道路の正常な機能を維持するために、待機、点検を16時の気象予報及び高速道路気象により判定し、また、通行止の実施予定は、同じく22時の気象状態により判定している。

昭和58年度の阪神地域の冬期は、冬日（最低気温が氷点下となった日）が平年の2倍の日数に達するなど記録的な寒冬となった。その結果は、凍結、積雪による高速道路の通行止が16回、利用交

通量の減少が延120万台に及んだ。さらに、通行止の防止または解除を図るために発令された待機日数は69日、延待機人員は約4,000人（自宅待機を含む。）を数え、融氷剤の散布距離も5,000kmを越えるなど凍結対策に費した人的、経費的支出は膨大なものとなり、阪神高速道路公団発足以来の異常事態となった。

本研究は、異常気象にみまわれた昭和58年度冬期の、気象データ及び凍結・通行止の路面状況のデータを収集して、今後の凍結対策に資する情報を抽出することを目的とした。

1. 大阪の地形と気象

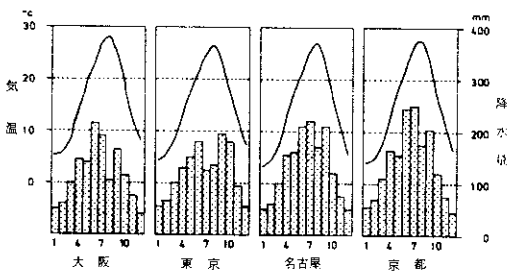
大阪の地形及び大阪の気象の一般的な特徴につ

いて「大阪の気象百年」より述べる。

大阪は近畿地方の中央部に位置し、大阪湾に面する大阪平野を中心として、周囲を北摂山地、生駒・金剛山地、和泉山脈に囲まれている。このような大阪の全般的な気候は、瀬戸内気候区に属している。その特徴は、以下の通りである。

- ① 気温日較差の極大は春と秋（秋はやや不明瞭）、極小は夏と冬。
- ② 降雨日数の極大は早春・初夏・初秋にあり、年間日数は非常に少ない。（150日以下）
- ③ 日照率の極大は春・夏（8月）・秋にあるが、年変化は、不明瞭。
- ④ 過剰水分量は比較的少ないが、極大は早春。（3月）

要するに、大阪の気候は温暖で、降水量が少ないことが特徴づけられる。これを、他の都市と比較したのが、図一1である。



図一1 各地の月別平均気温と降水量
（1951年～1980年平均）
（大阪の気温は1969年～1980年平均）

大阪の年平均気温は16.2℃であり、これは東京、名古屋、京都と比べて1℃前後高い。月別には8月が最も高く、28.0℃で、これは、南西諸島を除いて全国一位（京都は三位）である。一方、1月の最低気温は2.2℃で京都より2℃程高い。

降水量は年間で1,399.6mmで、東京より60mm、名古屋より170mm、京都より270mm少ない。月別には6・7月に多く、次いで9月が多く、冬期には非常に少ない。

2. 昭和58年度冬期の気象

大阪管区気象台のデータから、昭和58年度冬期の気象について取りまとめる。

2-1 気温

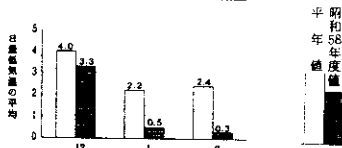
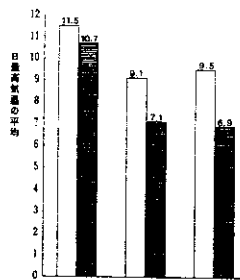
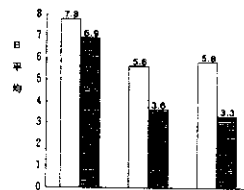
昭和58年度冬期の値と平年値（1951年～1980年の平均値）を比較して、月別平均気温を図一2に日別の平均、最高、最低気温を図一3に示す。

いずれの気温でも平年値を大幅に下回っており、昭和59年の2月は最低気温で約2℃、日平均及び月最高気温では約2.5℃も平年値を下回っていた。

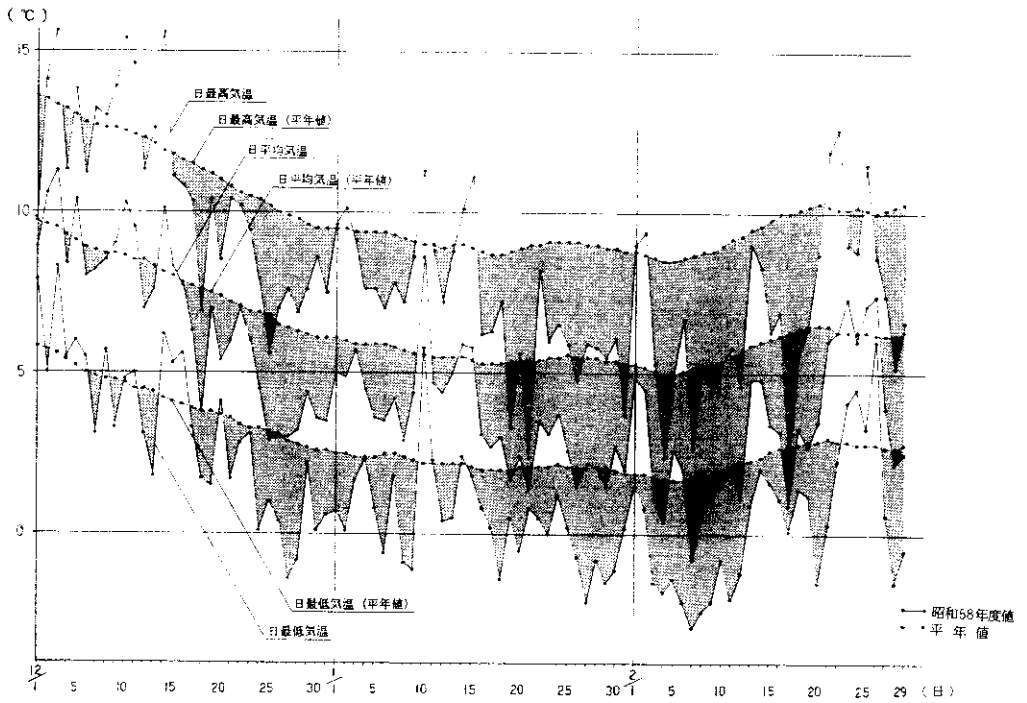
また、冬日（日最低気温が氷点下の日）の日数も多く、2月の1カ月間で平年の3カ月分の冬日を越えて、通算では25日であった。（表一）

2-2 雪

大阪地域における降雪現象は、年平均で16日位であるが、地面が白くなる積雪現象は年平均で3日位である。降雪現象と積雪現象の違いを述べると、積雪とは地面が1/2以上が雪におおわれているという条件を満たしている場合で、それ以外は



図一2 月別平均気温の比較
（平均値は1951年～1980年）



図一 昭和58年度日別気温の比較

表一 1 冬日の日数

(単位：日)

月	12月	1月	2月	合計
平年値	1.3	5.7	5.6	12.6
昭和58年度	2.0	10.0	13.0	25.0

平年値は1951年～1980年

表一 2 雪の日数

(単位：日)

月	12月	1月	2月	合計
平年値	1.0	5.2	6.5	12.7
昭和58年度	5.0	17.0	16.0	38.0

平年値は1951年～1980年

降雪と定義されている。

積雪日の気圧配置を調べると、冬型気圧配置（西高東低）の時に近畿中部まで小雪が舞ってきうっすら積雪のある季節風型降雪と冬型が一時的にくずれて、南岸海上を低気圧が東進する時に降る低気圧型降雪の2種類がある。また、積雪量は、季節風型の場合は1cm以下で小雪がちらつく程度であるが、南岸低気圧型降雪の場合は2cm以上の雪が積る場合がしばしばある。

雪の多少にかかわらず降雪のあった日数を雪日数といい、表一 2 に示す。

雪日数では、1月及び2月の1カ月だけでも平

年の3カ月分の雪日数を越えており、通算では平年の約3倍の日数であった。また、表一 3 には最近5カ年間の年度毎の初雪と終雪の日を示す。初雪は、54年度のように年を越してからという場合もある。しかし、ほとんどは12月に初雪を記録しており、昭和58年度も12月の下旬で、過去5カ年では二番目に遅く記録している。終雪は、2月の後半から3月となっており、昭和58年度は若干遅めであった。

2-3 降水

降水について見ると、降水日数と降水量の比較

表一 3 初雪と終雪

	初 雪	終 雪
昭和54年度	1月9日	2月16日
昭和55年度	12月12日	3月10日
昭和56年度	12月2日	3月2日
昭和57年度	12月6日	3月18日
昭和58年度	12月22日	3月22日

表一 4 降水日数

(単位:日)

月	12月	1月	2月	合計
平 年 値	13.0	16.5	16.6	46.1
昭和58年度値	17.0	25.0	23.0	65.0

平年値は1968年～1980年

表一 5 降 水 量

(単位:mm)

月	12月	1月	2月	合計
平 年 値	38.0	32.0	56.0	126.0
昭和58年度値	8.5	40.5	54.5	103.5

平年値は1970年～1981年

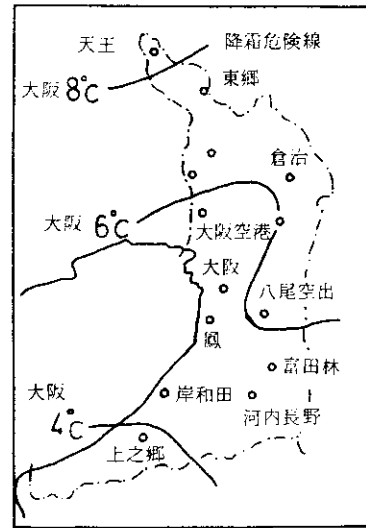
を表一4及び表一5に示す。昭和58年度冬期の降水日数は、平年の1.4倍と降水日数の多い冬であった。そのなかでも、1月と2月は月の8割以上が雨であり、ほとんど毎日であったといえる。

次に降水量を見ると、全体でも平年の8割で特に12月が少なく、降水量自体はそれほど多くなかったといえる。

2-4 霜

大阪の降霜危険温度は、大阪市内(大阪管区気象台)の最低気温を中心として、経験的に以下のようにいわれている。

- ① 大阪の最低気温が3℃以下のとき全府下に降霜
- ② 大阪の最低気温が4℃以下になるとき大阪府の沿岸部を除く地方に降霜
- ③ 大阪の最低気温が6℃以下になるとき大阪府の北部、東部の山沿いに降霜
- ④ 大阪の最低気温が8℃以下になるとき大阪



図一 4 大阪の気温と降霜範囲の関係

の北部山間地帯に降霜

これを図示したものが、図一4である。阪神高速道路の広がり考えると、市内の最低気温が4℃以下で、全線に降霜の危険性があるといえる。また、図一3からも分るように、過去30年間の最低気温の平年値からいえば、最低気温が4℃以上になる日は例外的な数日であり、全日降霜の可能性があると言えよう。しかし、実際に霜の降りた日数は比較的少なく、霜が発生しやすい条件としては、移動性高気圧に上空が覆われ大気が乾燥していて、前日に最小湿度が30%以下で夜の風速が2m/s以下の時、強い霜が発生する可能性がある。

3. 阪神高速道路の気象の観測体制

阪神高速道路公団では、凍結対策のための基礎データとして、独自に阪神高速道路の気温、路面温度、路面水分等の観測を実施している。

気象の観測体制は、大阪管理管内の高速道路の全般的な気象がとらえられるように放射方向路線と環状線に、埋設型凍結検知装置(百葉箱タイプ大気温度センサー、路面温度センサー、路面水分センサー、温度センサー)を計14カ所に設置し、路面温度等を観測している。設置位置を、図一5

に示す。

これらの機器より得られる情報は、以下のとおりである。

- ① 大気温度：高速道路の路端、路面より約2 m上空の気温
- ② 路面温度：高速道路の走行車線外側、側方余裕部分の地中3.8 cmの温度
- ③ 路面水分：高速道路の走行車線外側、側方余裕部分の路面の表面水分

4. 気象台予測気温と路面温度

気象台では、①15時からの気温降下量、②MOS値(Model Output Statistics : 数値予報の結果を用いた統計予測方法の値)、③電算による方法から、それぞれの最低気温を求め、さらに前線通過等の特殊な状況を勘案した予報官の経験を加味して求めている。

翌朝の最低気温が1℃以下と予報されたとき他の天候予報と併せて警戒体制が発令される。しかし、気象台の気温と阪神高速道路の路面温度は異なるので、気象台の予測気温に対して、阪神高速道路の予測路面温度を何度とみるのかの問題が生じてくる。そこで、まず気象台の実測の日最低気温と凍結検知装置の日最低気温(測定データは、凍結検知装置14カ所中の最低気温)の相関を、検証してみた(図一6)。その結果から、次式の相関式を求めた。

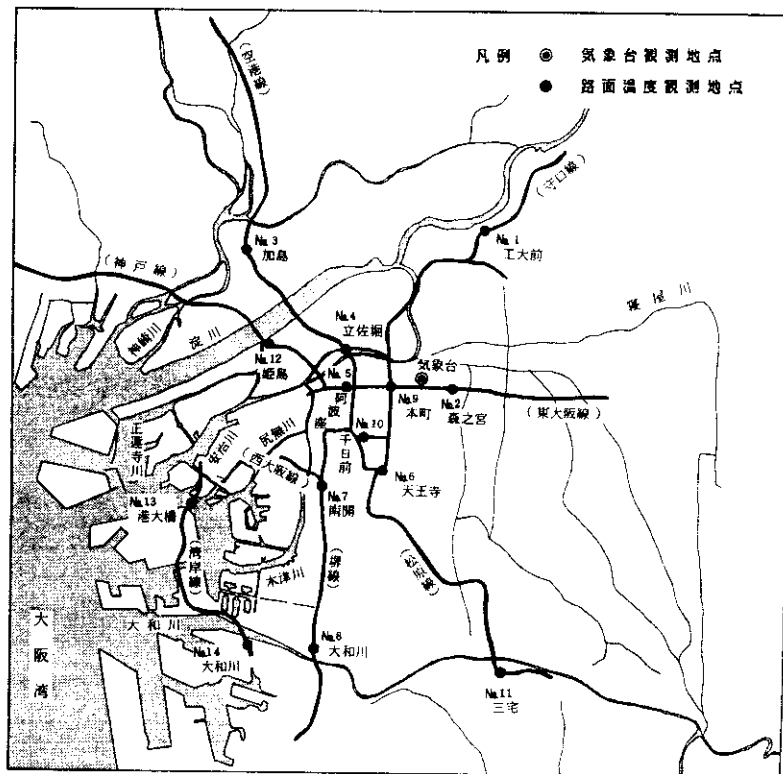
$$Y = X - 1.2$$

Y : 凍結検知装置日最低気温(℃)

X : 気象台日最低気温(℃)

次に、凍結検知装置の日最低気温(いずれも午前0時~8時)と路面の最低温度との相関関係を、図一7に示す。その結果から、次式の相関式を求めた。

$$Z = Y + 0.4$$



図一5 観測地点位置図

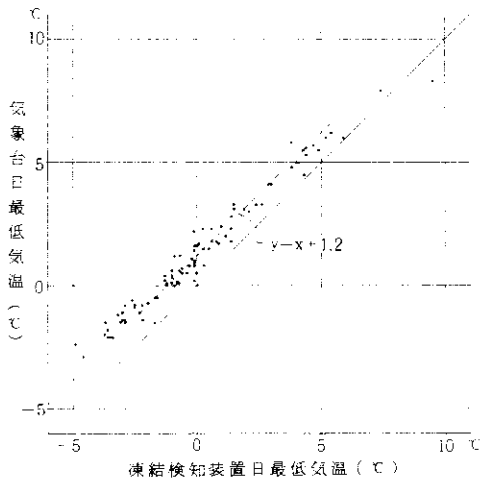


図-6 日最低気温の相関

Z : 路面最低温度(°C)

Y : 凍結検知装置日最低気温(°C)

以上の結果を図-8に示す。すなわち、気象台予測値に対して、阪神高速道路の気温は平均的に-1.2°C、特に凍結と関連性の強い路面温度は、-0.8°C低くみならず必要がある。

5. 路面最低温度の予測

「凍結対策実施要領」(表-6)の警戒体制の

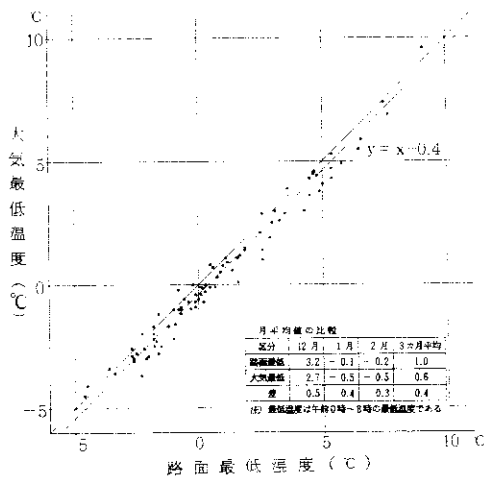


図-7 大気最低温度と路面最低温度の相関

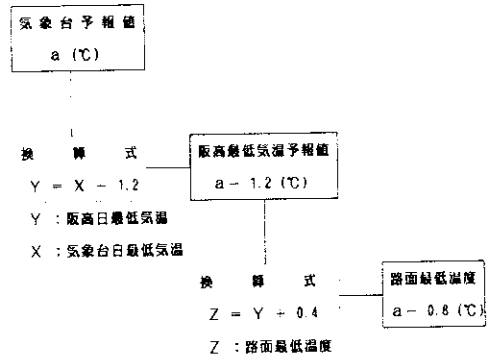


図-8 気象台予報と路面最低温度

発令基準は、16時の路面温度が判断基準となっている。また、「凍結対策交通規制実施要領」(表-7)によれば、22時の路面温度、路面水分に基づいて、交通規制の「実施予定」を決定している。そこで、16時及び22時の路面温度から朝方の最低路面温度を予測することを試みた。

まず、16時の路面温度から翌朝の6時にかけての路面温度の変化を、路面温度が氷点下になった日とならなかった日に分けて、図-9に示す。その結果は、次のとおりである。

- ① 16時の路面温度が4°C未満のときは、翌朝の6時の路面温度はほとんど氷点下となる。
 - ② 16時の路面温度が7°C以上のときは、翌朝の6時の路面温度はほとんど0°C以上となる。
- 上記と同様の分析を、22時の路面温度と翌朝の

表-6 警戒体制の発令基準

部長は、16時の天気予報および凍結検知器による気象条件が次のいずれかに該当するときは、警戒体制を発令するものとする。

一、天気予報で、天候が雪又は雨(にわか雪又はにわか雨を含む以下同じ。)かつ、翌朝の最低気温が1°C以下と予報されたとき。

注：天気予報でいう山沿いとは、池田付近、大堀付近および長田付近を含むものとする。

二、天気予報で、天候が雪又は雨と予報され、かつ凍結検知器の路面温度が8°C以下のとき(凍結検知器観測地点14箇所のうち1箇所でも上記条件に該当するとき。)

注) 「凍結対策実施要領」第7より

表一 7 交通規制の実施または実施予定の決定

<p>(1) 定型的交通規制「実施予定」の決定 午後10時の時点において定型的交通規制の実施環境条件に達したときには、当該路線について、翌午前3時から交通規制を「実施する予定」であることを決定する。 注：交通規制実施基準の「路面温度2℃以下、路面水分70%以上」とは、水分警報発生の前段階をいい、路面水分70%以上について、「かつ、30分以上存在する」という要件をはずしたものである（資料2「凍結検知システム」参照）。</p> <p>(2) 定型的交通規制「実施」の決定 午前10時の時点で定型的交通規制実施の環境条件に達し、それが翌午前3時に向けて継続又は悪化し、回復の見込みがないときには、入路規制要員を配置するために必要な時間的余裕（おおむね30分）をもって、交通規制の「実施」を決定する。</p> <p>(3) 非定型的交通規制「実施」の決定 非定型的交通規制は現場警察官による緊急措置として実施する機会が多いものであるが、路面水分が増加傾向を示し始めるなど非定型的交通規制の実施環境条件に近づいた段階において、遅滞なく交通規制の「実施」を決定する。</p>

注）「凍結対策交通規制実施要領」中隊長の措置より

6時の路面温度の関係について実施し、その結果を図一10に示す。

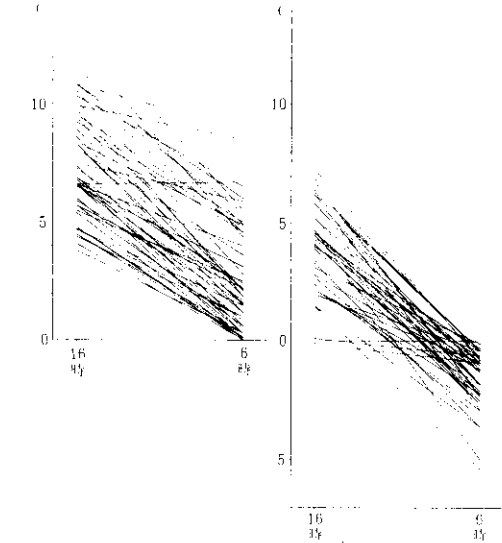
- ① 22時の路面温度が2℃未満のときは、翌朝の6時の路面温度はほとんど氷点下となる。
- ② 22時の路面温度が4℃以上のときは、翌朝の6時の路面温度はほとんど0℃以上となる。

以上の結果から、16時の警戒体制発令基準の8℃以下は、やや厳しすぎると考えられるが、安全側として1℃を加えたと考えればほぼ妥当といえる。また、22時の交通規制実施要領における2℃以下の基準も、かなり精度の高いものといえる。

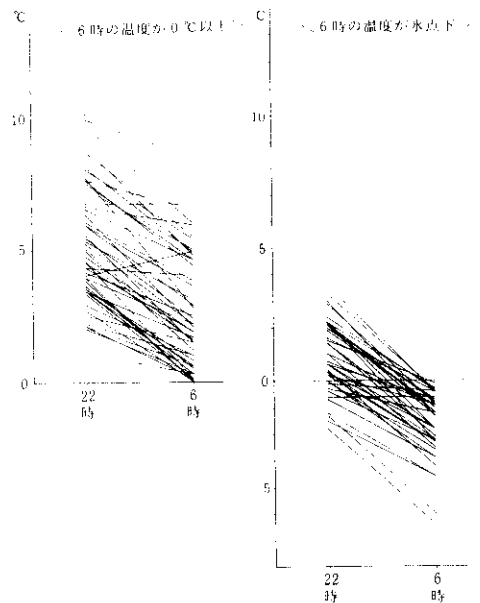
6. 天気図パターンと路面温度

次に、天気図パターンと翌朝6時の路面温度との関係の分析を試みることにした。

まず、昭和58年度冬期の天気図を5つのパターンに分類し、以下のように整理した（図一11）。



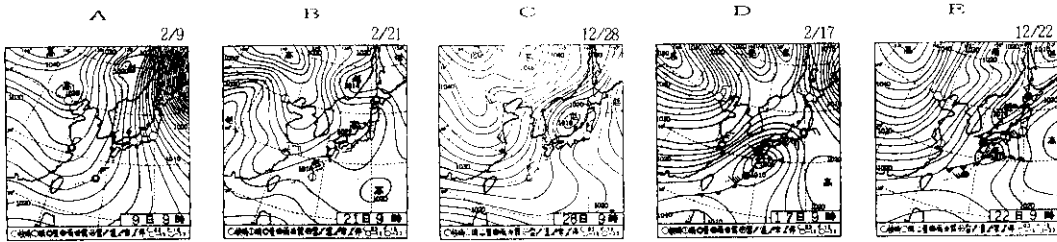
図一 9 16時～翌朝6時の路面温度変化



図一 10 22時～翌朝6時の路面温度変化

- | | | |
|----|----------|-----------|
| 天候 | 晴天グループ | A 西高東低型 |
| | | B 移動性高気圧型 |
| | 天候不順グループ | C 移動性低気圧型 |
| | | D 南岸低気圧型 |
| | | E ニツ玉低気圧型 |

C、D、Eのパターンは事例が少ないので、天候不順グループとして一括して分析した。



西高東低のいわゆる冬の型の気圧配置であり、冬季に最も多くみられるパターンである。日本海側は大雪であるが、太平洋側は晴天が多く、時に小雪がちらつく程度である。風が強く、太平洋側の最低気温は晴天の割にはそれほど低下しない。

西高東低の基本パターンの中で、上空が移動性高気圧に覆われたパターンである。天候は快晴であるが、明け方の冷え込みは厳しく、風速が弱いこととあわせて、大霜となり易い。

西高東低の基本パターンの中で、上空が低気圧に覆われたパターンである。天候は曇天が多く、明け方の気温はあまり低下しない。南からの大気の流れにより、相対的に暖かい日となる。

南岸低気圧型といわれるパターンであり、特に太平洋側は雨または大雪となり易い。昼夜の温度差は少ないが、北からの寒気の流入により、終日気温が低くなる。

日本列島が東北の2つの低気圧にはさまれた二ツ玉低気圧型と呼ばれるパターンである。南岸低気圧型を一層悪くしたパターンであり、全国的に天候は大荒れとなり、太平洋側は強風を伴う雨または雪となる。

図-11 冬季の天気図パターン

その結果を、表-8及び図-12に示す。

それぞれの天気図のパターンについて、次のことが言えよう。

〔移動性高気圧型〕

明け方の温度低下は最も激しく、16時の路面温度が6℃で、明け方の路面温度が氷点下となる可能性が高い。このとき、大霜となる可能性があるため、警戒が必要である。

〔西高東低型〕

明け方の温度低下は2番目に激しく、16時の路面温度が6℃未満で、明け方の路面温度が氷点下となる可能性が高いが、路面水分の上昇要因は少なく、比較点安全なパターンである。

〔天候不順型〕

明け方の温度低下は相対的に小さいが、16時の路面温度が4℃前後となったときは、降水の予報と併せて警戒体制をとる必要がある。

7. 天気図パターンと通行止

昭和58年度冬季には、凍結等の原因により、計16回の通行止を実施している。これと天気図パターンとの対応関係について検討した結果を表-9に示す。

表-8 16時と翌朝6時の路面温度の相関

天候の分類	回帰式	相関係数	サンプル数	x軸の切片値
全 天 候	$y=0.80x-4.13$	0.762	90	5.16
晴天グループ	$y=0.80x-4.57$	0.797	54	5.74
A 西高東低型	$y=0.84x-4.75$	0.788	37	5.67
B 移動性高気圧型	$y=0.63x-3.70$	0.809	17	5.89
天候不順グループ	$y=0.78x-3.30$	0.751	36	4.24

x = 16時の路面温度(℃)
y = 翌朝6時の路面温度(℃)

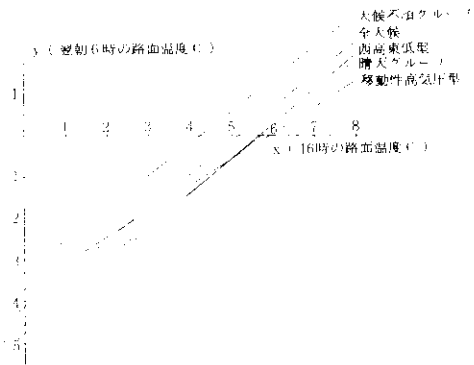


図-12 16時と翌朝6時の路面温度の回帰直線

表一 9 天気図パターンと通行止

天気図パターン		通行止回数	原因
晴天	A 東高東低型	2	雪
	B 移動性高気圧型	-	-
天候不順	C 移動性低気圧型	5	霜・雪
	D 南岸低気圧型	8	雪
	E ニッ玉低気圧型	1	雪

特に、天気図パターンDの南岸低気圧型及びEのニッ玉低気圧型の場合、近畿地方は大雪になりやすいといわれているが、表一9の結果もこれを裏づけている。すなわち、天候不順型の気圧配置の下で14回(87.5%)の通行止が行われており、中でもDの南岸低気圧型の気圧配置の下で8回(50.0%)の通行止が実施された。

以上の結果からも、今後の凍結対策の指針として、天気図パターンの活用が考えられる。

8. 凍結・通行止と自動車交通

凍結による通行障害及び通行止になると、高速道路の利用交通量は減少する。特に、高速道路全線を13時間にわたって通行止にした昭和59年1月31日の交通量は、3万台/日に終わっている。そこで、昭和58年度の3カ月の凍結・通行止による交通量への影響を推計してみた。影響を受けた交通量は、合計118万台と推計され、この値は通常日の約3カ日分に相当する。

一般に路面が湿潤状態にあるとき、自動車の轍部分のみが乾燥し、他は湿っている状態が観測される。そこで、交通量と凍結の関係を調べてみた。その結果は、車頭間隔が15秒~20秒で1台の車が通過する200台/時前後以上の場合、凍結防止に有効と考えられるが、100台/時を下回ると危険となる。

凍結の進行は、交通量の多少にも左右されるが、急激な気象状況の変化とか、冷却しやすい鋼構造等の複合的な要因が考えられる。

9. 昭和58年度の凍結対策の実績

冬期の通行障害に対応する対策の基本は、「凍結対策基本計画」に定められており、対策の実施は「凍結対策実施要領」(いずれも昭和57年12月策定)に従って行われている。

凍結対策は、待機、点検、出動(散布)の3種類である。

① 待機

待機の種類には4種類あり、警戒体制の程度により種別が定められ、気象状況等の変化に合わせて変更される。昭和58年度の待機日数を、表一10に示す。待機日数は69日に及び、特に1月と2月はほぼ全日にわたり、この待機に費した延人員は約2,400人(自宅待機は除く。)であった。

② 点検

点検には、時刻を定めて行う通常点検、気象状況または路面状況に応じて実施を指示する特別点検、さらに融氷剤散布後の路面を点検する散布点検の3種類がある。昭和58年度の点検回数を、表一10に示す。待機と同様に1月と2月はほぼ全日にわたって実施された。

表一 10 昭和58年度の待機日数と点検回数

月	12月	1月	2月	合計
待機日数	14日	29日	26日	69日
点検回数	11回	28回	22回	61回

③ 出動(散布)

出動には、各入路への規制班の配置、散布班の前進待機、散布班の出動の3種類がある。昭和58年度の出動(散布)状況を、表一11に示す。散布班の出動だけをとってみても、出動日数が26日、凍結防止剤及びフレーク剤の散布距離が約5,000km、散布量が約2,000㎏、散布面積が約17,000㎏であった。

あとがき

本研究は、昭和58年度冬期が記録的な寒冬であ

表-11 昭和58年度の出動（散布）状況

区分		月			
		12月	1月	2月	計
散布出動日数		5	13	8	26
凍結防止剤等	散布距離 km	208.4	3,696.2	1,191.2	5,095.8
	散布面積 Km ²	655.7	11,968.1	4,229.3	16,853.1
	散布量 kl	77.8	1,446.4	442.6	1,966.8

り、阪神高速道路公団が始めて体験する異常事態であったかを述べるとともに、今後の凍結対策を考えるうえにおいて、貴重なデータが収集された。

現在の凍結対策は、気象情報や時々刻々の路面温度をもとに、警戒体制の種類を決定している。

高速道路の路面状況等に関する的確な予測手法は、過剰な待機体制の排除や通行止を未然に防止することとなり、その手法を1日も早く確立することが希求されている。

本研究では、気象台気温と高速道路の路面温度、天候による明け方の路面温度変化パターン等について取り上げて検討したが、今後とも各種データを蓄積し、適確な凍結対策の指針の作成を目指して検討を進めていく必要があると考えている。

参考文献

- 1) 阪神高速道路公団：凍結通行止時のデータ解析検討業務報告書
- 2) 阪神高速道路公団：昭和59年度阪神高速道路公団大阪管理部管内雪氷対策気象予測業務報告書