

# クラスター分析による LTPP 試験区の気象パターン分類と結果の舗装温度特性との関係

上島 壯

正会員 北海道大学助手 大学院工学研究科都市環境工学専攻(〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

米国外研究者が LTPP データを解析する際に環境気象条件の把握が難しいハンディキャップであった。本研究は LTPP 一般配布データの DATAPAVE2.0 に収録されている気象関連データを用いて、基本的試験区の気温、降水量、降雪量、湿度、風速の季節変動についてクラスター分析による分類を行ない、気象条件の詳細化を試みた。その結果をベースに気温や日照の日変動や舗装体温度特性との関係について考察した。

*Keyword : LTPP, DATAPAVE, Climatic Condition, Pavement Temperature, Geographical Representation*

## 1 はじめに

LTPP の一般配布データの DATAPAVE には種々の気象データが含まれている。気象条件は舗装の状態変化の主要な因子であるし、FWD データ解析には舗装体の温度や路床の含水状態などの把握が重要であることは論ずるまでもない。したがって特定の研究で詳細な検討を行う場合にこれらのデータを参照するというのが気象データの一般的な利用法になるだろう。

ところで我々海外の LTPP 研究者には、もうひとつ、試験区の土地勘がないというハンディキャップがあり、ある程度の詳細さを持った簡便な気象条件の表現方法があれば有用である。そこで本研究は、基本気象データが収録されている試験区の気温、降水量、降雪量、湿度、風速についてクラスター分析を行ない、LTPP 試験区の気象パターンを分類した。さらに、得られた気象パターンを北米地図上に表示して妥当性を確認するとともに、いくつかの試験区について舗装温度の季節変化との対応を照査した。

## 2 DATAPAVE に含まれる気象データ

DATAPAVE の最初の版(DATAPAVE97)では基本的な気象データは ENV グループに属していた。これが DATAPAVE2.0 では CLM\_VWS (Virtual Weather Station)グループに名称が変更になった。CLM\_VWS データは地点近くの複数の気象観測所のデータを用い観測所からの距離の二乗を重み係数として算出された値である。そして SPS1,2,8 研究課題のために AWS(Automated Weather Station)系データが加わった<sup>1)</sup>。

さらに SMP(Seasonal Monitoring Program)課題のための気象データが DATAPAVE に収録されている。

なお、収録されていない LTPP 気象データには CLM\_OWS(On-site Weather Station)系テーブル群や CLM\_

VWS の日単位データなどがあり、必要な場合は当該機関に直接注文する必要がある。

その他に FWD など舗装状態調査時に気温、舗装体温度などが測定される。

DATAPAVE の DP20\_Dictionary テーブルの Description フィールドを temperature, precipitation などの用語で検索調査し気象関連データを含むテーブルを抽出したが、そのうちの主要なものを表 1 に示す。これらのテーブルについて日付時刻フィールドを調べ1日(1年・1月)あたりのレコード数、収録されている日付数を示した。

DP\_CLIMATE は DATAPAVE のデータ選択の参考資料として用いられる試験区代表情報である。

AWS グループテーブルを持つサイトは 35 に限られるが、AWS\_HOURLY\_DATA テーブルは平均 802 日分 67 万件のレコードを持つ。これは 1レコード 1 時間分のデータ編成になっていることを示す。

CLM\_VWS データグループは年および月単位のデータを搭載し、登録サイト数は最大 880 箇所である。これは FWD 測定レコードの MON\_DEFL\_LOC\_INFO の 1884 箇所をカバーしていないように見えるが、基本地点には複数の SPS 試験区がグループを構成しておりそのリンクをたどると多くの場合基本地点情報を利用できる。

SMP データグループを持つサイトは 63 箇所でおおよそ 800 日分の気温集約データと地中温度データを持つ。その他地中水分、路床凍結測定データなどを持つ。日あたりデータ数がかなり多いテーブルもあるがこれは時刻数ではなくポイント数が多いからである。

MON データグループの気象データは路面性状などの観測時の条件として測定されたものであり、主として路面温度・気温などである。しかし、MON\_DEFL\_TEMP\_VALUES は FWD 測定時に通常、区間の両端で交互に一定時間間隔で測定された、舗装体内部温度測定を目的としたテーブルである。

表1 気象データを含む DATAPAVE テーブル (DATAPAVE2.0)

DATAPAVE テーブル名	レベル	気象項目略称	レコード総数	サイト数	日(月年)数 (平均)	日(月年) レコード数 (平均)	日(月年) レコード数 (最大)
DP_CLIMATE	Y	寒さ 降水 気温	1020	1020	1	1	1
AWS_DAILY_DATA	D	湿度 気温 風 日照 降水	27980	35	799.4	1	1
AWS_HOURLY_DATA	H	湿度 気温 風 日照 降水	672657	35	801.9	24	24
AWS_PRECIPITATION_MONTH	M	降水	851	34	25	.	.
AWS_SOLAR_MONTH	M	日照	893	35	25.5	.	.
AWS_TEMP_MONTH	M	気温 寒さ	901	35	25.7	.	.
CLM_VWS_DATA_DAILY	D	雪 湿度 風 気温	.	.	.	.	.
CLM_VWS_HUMIDITY_ANNUAL	Y	湿度	6621	509	13	.	.
CLM_VWS_HUMIDITY_MONTH	M	湿度	79722	512	155.7	.	.
CLM_VWS_PRECIP_ANNUAL	Y	降水 雪	19489	880	22.1	.	.
CLM_VWS_PRECIP_MONTH	M	降水 雪	233915	880	265.8	.	.
CLM_VWS_TEMP_ANNUAL	Y	気温 寒さ	19477	880	22.1	.	.
CLM_VWS_TEMP_MONTH	M	気温 寒さ	233846	880	265.7	.	.
CLM_VWS_WIND_ANNUAL	Y	風	9743	527	18.5	.	.
CLM_VWS_WIND_MONTH	M	風	118406	541	218.9	.	.
SMP_ATEMP_RAIN_DAY	D h	気温 雨	50512	63	801.8	1	1
SMP_ATEMP_RAIN_HOUR	H	気温 雨	.	.	.	.	.
SMP_ERESIST_AUTO	h	ER	57509	34	26.8	63.1	140
SMP_ERESIST_MAN_4POINT	h	ER	26948	34	20.4	38.8	165
SMP_ERESIST_MAN_CONTACT	h	ER	31827	35	22.2	41	175
SMP_FREEZE_STATE	d	内温 凍結	16275	19	24.6	34.9	35
SMP_FROST_PENETRATION	d	凍結	703	27	25.7	1	2
SMP_MRCTEMP_AUTO_DAY_STAT S	D h	内温	832473	63	769	17.2	18
SMP_MRCTEMP_AUTO_HOUR	H	内温	.	.	.	.	.
SMP_MRCTEMP_MAN	h	内温	702	1	11	63.8	108
SMP_TDR_AUTO	h	TDR	27158	63	25.9	16.7	40
SMP_TDR_AUTO_DIELECTRIC	h	TDR	17226	52	21.3	15.5	40
SMP_TDR_AUTO_MOISTURE	h	水分	17223	52	21.3	15.5	40
SMP_TDR_MANUAL_DIELECTRIC	h	TDR	2047	52	3.6	10.9	30
SMP_WATERTAB_DEPTH_MAN	h	地水	2469	60	26.8	1.5	3
MON_DEFL_LOC_INFO	h	気温 表温	343669	1884	4.5	40.4	196
MON_DEFL_TEMP_VALUES	h	内温 天気	42048	1858	4.1	5.6	30
MON_DIS_AC_REV	d	表温	4692	1297	3.6	1	1
MON_DIS_CRCP_REV	d	表温	257	105	2.4	1	1
MON_DIS_JPCC_REV	d	表温	1345	502	2.7	1	1
MON_FRICTION	d	気温	5266	1385	3.6	1.1	3
MON_PROFILE_MASTER	h	気温 天気	57947	1881	6.1	5	15

※ レベル Y 年単位統計値 M 月単位統計値 D 日単位統計 H 時刻単位統計値 d 日付あり h 時刻あり

その他、MNT, RHB, SPS テーブルグループに試験時の条件として気温や湿度などが測定されているが重要度は低いと思われるので省略した。

表2はCLM,AWS,SMP組み合わせ利用の状況を調べたものである。ここで路床の凍結観測データテーブルを一般SMPデータと区別してSMPfとした。AWSまたはSMPを持つ試験区では、それのみという試験区もある。

表2 各試験区の気象データの構成の集計

データ系列の組合せ	試験区数	パーセント
AWS	12	1.32
AWS CLM	22	2.42
AWS SMP	1	0.11
CLM	813	89.34
CLM SMP	16	1.76
CLM SMP SMPf	29	3.19
SMP	11	1.21
SMP SMPf	6	0.66
合計	910	100%

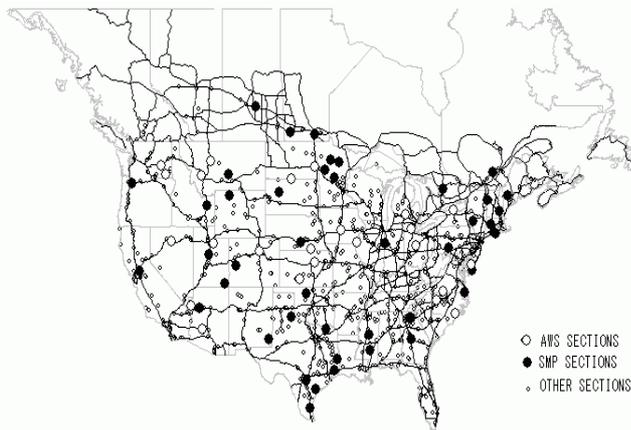


図1 SMP,AWS テーブルを用いている試験区の分布

多くの場合 CLM を併用している。AWS データが提供されたサイトでは数ヶ月から1年以上の期間 CLM\_VWS データとの並行収録が行われ、その後 AWS データに移行している。AWS と SMP を持つ試験区は1箇所である。

図1に CLM, AWS, SMP 試験区の分布を示す。SMP 試験区は大陸の主要部にランダムに分布しておりカナダにも5箇所ある。AWS 試験区も同様にランダムに分布しているがカナダにはない。

表3は表1を気象項目別に分類したもので、サイト数、日付数は再掲している。以下概略を示す。

気温・寒さ:月別集計のレベルまでは摂氏32度以上の日数、摂氏零度以下の日数で寒暖を表現する。表中の寒さとは零度以下の温度値を重みとした日数の和で freezing index(凍結指数)と呼ぶが路床凍結と紛らわしいのでこの表現とした。AWS\_HOURLY\_DATA には時刻単位の情報が提供されている。また、SMP\_ATEMP\_RAIN\_DAY には最高温度・最低温度記録時の時刻が収録されている。

路面温度:FWD 試験の MON\_DEFL\_LOC\_INFO など状態測定時に自動測定される。

舗装体温度:SMP では日単位の集約であるが2m深まで18点のセンサーの記録である。FWD 試験時には区間の両端で表層に関して通常、三つの深さの孔をあけそれぞれ1時間間隔で測定が行われる。

降水・降雪:precipitationを降水量、rainfallを雨量とした。SMPは日レベル、AWSは時刻レベルのデータが収録されている。

湿度:AWSには時刻レベルのデータが収録されている。SMPにこの項目はない。

風:最大風速、平均風速、風向などが記録される。AWSには時刻レベルまでのデータが収録されているが、SMPに風に関する項目はない。

天気・日照:AWSには時刻レベルの日射量が収録されている。CLM, SMPにはこの項目はない。FWD測定時の区間両端での舗装温度測定データとともに「晴れ」「曇り」などの天気が記録されている。これによって地点の天気をおおむね30分間隔で知ることができる。

路床含水量:SMPでTDR法により測定している。装置は地中温度のSMP\_MRCTEMPとセットになっているものと思われる。水分量として利用できるのはSMP\_TDR\_AUTO\_MOISTURE テーブルである。

路床凍結:SMPで電気抵抗測定により観測しており、SMP\_ERESIST\_xは測定器の生のデータである。SMP\_FREEZE\_STATEを経てSMP\_FROST\_PENETRATIONが最終解析結果である。

地下水位:SMPにデータが収録されている。

### 3 CLM\_VWS 月別データによる気象のパターン分類

#### (1) LTPP の気象分類

LTPP 試験区の気象条件による分類は“Dry/Wet”, “Freeze/No Freeze”の二つの基準の組み合わせにより行われる。DP\_Climate テーブルの項目の凍結指数82を分割点として凍結(F)58% 非凍結(NF)が40%、

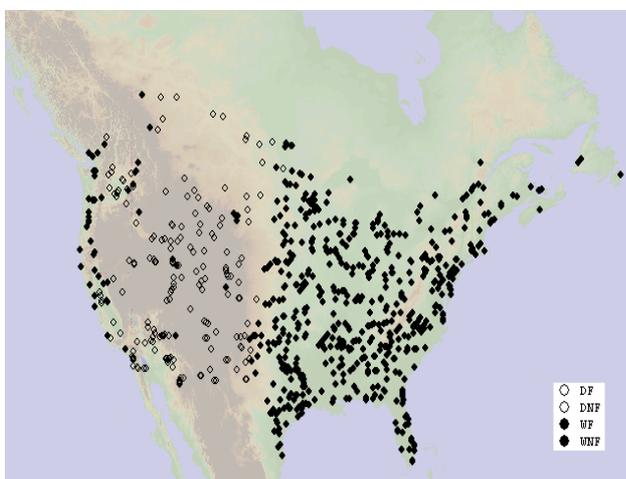


図2 Climatic\_Region データによる乾湿区分

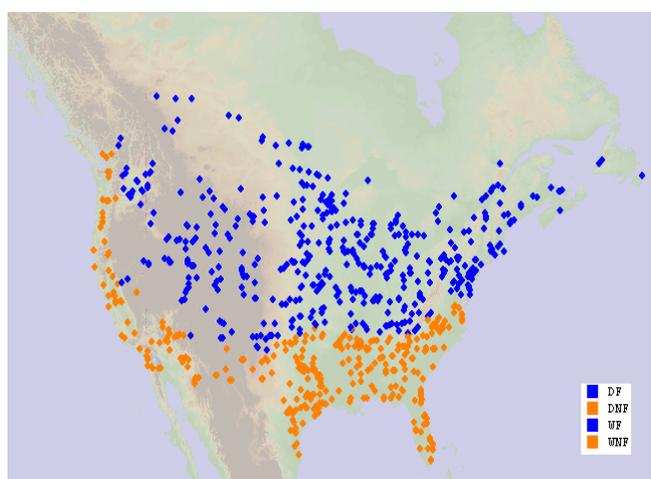


図3 Climatic\_Region データによる寒暖区分

表 3 気象データ項目による関連 DATAPAVE テーブルの分類

項目	レベル	DATAPAVE テーブル名	気象項目内容	サイト数	日(月年)数
気温・寒さ	Y	DP_CLIMATE	平均寒暖日数, 寒さ	1020	1
	Y	CLM_VWS_TEMP_ANNUAL	寒暖日数, 平均・高低気温 寒さ 凍結回数	880	22.1
	M	CLM_VWS_TEMP_MONTH	寒暖日数, 平均・高低気温 寒さ 凍結回数	880	265.7
	M	AWS_TEMP_MONTH	寒暖日数, 平均・高低気温 寒さ 凍結回数	35	25.7
	D	AWS_DAILY_DATA	平均・高低気温	35	799.4
	H	AWS_HOURLY_DATA	気温	35	801.9
	D h	SMP_ATEMP_RAIN_DAY	平均気温・高低気温と時刻	63	801.8
	d	MON_FRICTION	気温	1385	3.6
	h	MON_DEFL_LOC_INFO	調査時気温	1884	4.5
h	MON_PROFILE_MASTER	気温	1881	6.1	
路面温度	d	MON_DIS_AC_REV	調査時路面温度	1297	3.6
	d	MON_DIS_CRCP_REV	調査時路面温度	105	2.4
	d	MON_DIS_JPCC_REV	調査時路面温度	502	2.7
	h	MON_DEFL_LOC_INFO	調査時路面温度	1884	4.5
舗装体温度	D h	SMP_MRCTEMP_AUTO_DAY_STATS	平均内部温度, 高低内部温度と時刻	63	769
	d	SMP_FREEZE_STATE	平均内部温度	19	24.6
	h	SMP_MRCTEMP_MAN	内部温度	1	11
	h	MON_DEFL_TEMP_VALUES	内部温度	1858	4.1
降水・降雪	Y	DP_CLIMATE	平均降水量	1020	1
	Y	CLM_VWS_PRECIP_ANNUAL	降水量 降水日 降雪量	880	22.1
	M	CLM_VWS_PRECIP_MONTH	降水量 降水日 降雪量	880	265.8
	M	AWS_PRECIPITATION_MONTH	降水量 降水日	34	25
	D	AWS_DAILY_DATA	降水量	35	799.4
	H	AWS_HOURLY_DATA	降水量	35	801.9
	D	SMP_ATEMP_RAIN_DAY	雨量	63	801.8
湿度	Y	CLM_VWS_HUMIDITY_ANNUAL	日平均・高低湿度の平均	509	13
	M	CLM_VWS_HUMIDITY_MONTH	日平均・高低湿度の平均	512	155.7
	D	AWS_DAILY_DATA	日平均・高低湿度	35	799.4
	H	AWS_HOURLY_DATA	時間高低湿度	35	801.9
風	Y	CLM_VWS_WIND_ANNUAL	平均日平均風速, 瞬間最大風速	527	18.5
	M	CLM_VWS_WIND_MONTH	平均日平均風速, 瞬間最大風速	541	218.9
	D	AWS_DAILY_DATA	平均・瞬間最大風速, 風向	35	799.4
	H	AWS_HOURLY_DATA	平均・瞬間最大風速, 風向	35	801.9
天気・日照	M	AWS_SOLAR_MONTH	平均日射量	35	25.5
	D	AWS_DAILY_DATA	日射量	35	799.4
	H	AWS_HOURLY_DATA	時間日射量	35	801.9
	h	MON_DEFL_TEMP_VALUES	天候	1858	4.1
	h	MON_PROFILE_MASTER	天候	1881	6.1
路床含水量	h	SMP_TDR_AUTO_MOISTURE	算出水分	52	21.3
	h	SMP_TDR_AUTO_DIELECTRIC	TDR データ	52	21.3
	h	SMP_TDR_AUTO	TDR データ	63	25.9
	h	SMP_TDR_MANUAL_DIELECTRIC	TDR データ	52	3.6
路床凍結	d	SMP_FREEZE_STATE	凍結当否	19	24.6
	d	SMP_FROST_PENETRATION	凍結範囲	27	25.7
	h	SMP_ERESIST_AUTO	ER データ	34	26.8
	h	SMP_ERESIST_MAN_4POINT	ER データ	34	20.4
	h	SMP_ERESIST_MAN_CONTACT	ER データ	35	22.2
地下水位	h	SMP_WATERTAB_DEPTH_MAN	地下水位	60	26.8

年雨量 510mm を分割点として乾燥(D)地域 22% 多雨(W)の地域 76%である。ただしこのテーブルでは約 2%の試験区についてはデータが登録されていない。図 2 に乾湿区

分による試験区の分布を、図 3 に寒暖区分による試験区の分布を示す。図 2 は大陸西部の高地が乾燥地帯であることを示し、図 3 は大陸南部から太平洋岸にかけての

連続した地帯が温暖地域であることを示し、いずれもはっきりとした特徴を示しているが、それぞれが広い地域であり同じ分類コードでもかなり地域特性に幅がありそうである。

## (2) クラスタ分析の方法

本研究はさらに CLM 気象データの季節変化をデータとして地域特性の分類抽出を試みる。データは CLM\_VWS の月別統計データを用いる。たとえば表 3 に示すように CLM\_VWS\_TEMP\_MONTH の気温データは平均 265.7 レコード、年数に換算すると 22 年分のデータが収録されている。これを各試験区で各月ごとに 22 年間の平均をとり、それから試験区ごとに統合し x1-x12 形式のレコードとする。分類手法は SAS:FASTCLUS プロシジャを用いたクラスタ分析である<sup>3)</sup>。

FASTCLUS は大量のデータの分類に適したプログラムである。これはユークリッド距離に基づくクラスタ化を行い各レコードをいくつかのクラスタの一つに属するように分離する。すなわち非階層的クラスタ分析を行う。

クラスタ分析には数多くの手法がありそれぞれ分類結果は異なる。FASTCLUS のクラスタ化手法は k-means 法と呼ばれるもので、反復処理を行いながらクラスタを確定していく。この方法はクラスタシード(初期のクラスタ)の設定が結果に大きく影響するが、FASTCLUS はこの段階の処理が優れているとされている。k-means 法は各クラスタにほぼ同数のメンバーが入るようにクラスタ化する傾向がある。一方 FASTCLUS プログラムで用いる初期設定法は外れ値の影響を受けやすく、これを所属メンバーひとつだけのクラスタとして表すことが多いので、外れ値検出のプログラムとしての利用もできる。

## (3) クラスタ数についての検討

分類数は気象学的に意味のある数値に限定することが望ましいと思われるが、特徴のあるグループを抽出するにはある程度分類数を増やす必要がある。図 4 に日平均最大風速を例としてクラスタ数 2, 4, 8 と増加させた場合の推移を示す。クラスタ数=2 では 4 月ころに極大点があり、10 月ころに極小点があるという全体的な傾向の中で風速大、風速小のグループに分かれている。クラスタ数=4 では風速小のグループから 4-1 の 7 月に極小があるパターンが表出した。さらにクラスタ数=8 ではその傾向があるパターンが 8-3, 8-8 に出現した。また、8-2 もそれまで顕在化しなかったパターンである。

## (4) 解析の条件と結果の取り扱い

クラスタ数に関する検討から、最大 8 クラスタで代表的な季節パターンを網羅していくつかなの特異なパターンをも捕捉できると判断した。したがって以下、クラスタ数=8 で各種気象現象を検討する、ただし降雪量についてはクラスタ数=4 とした。

プログラムから出力されるクラスタ番号は特性の順序とは無関係なので、出力後特性量の平均的な値で順序付けてリナンバーを行ないグループ番号とした。以下設定したグループ番号にプレフィックスとして T:気温, P:降水量, S:降雪量, H:湿度, W:風速, を附加して示す。表 4 にクラスタ分析結果の LTPP テーブルグループ別集計表を示す。

CLM テーブルのデータ数では、温度、降雨量は 880 地点で欠損はなく、降雪量データ数は 859 でほぼ網羅しており、湿度、風速データは 40% 程度の欠損がある。

CLM の主要なクラスタには SMP, AWS の試験区も含まれる。ただし、降雪量の主要クラスタには AWS 試

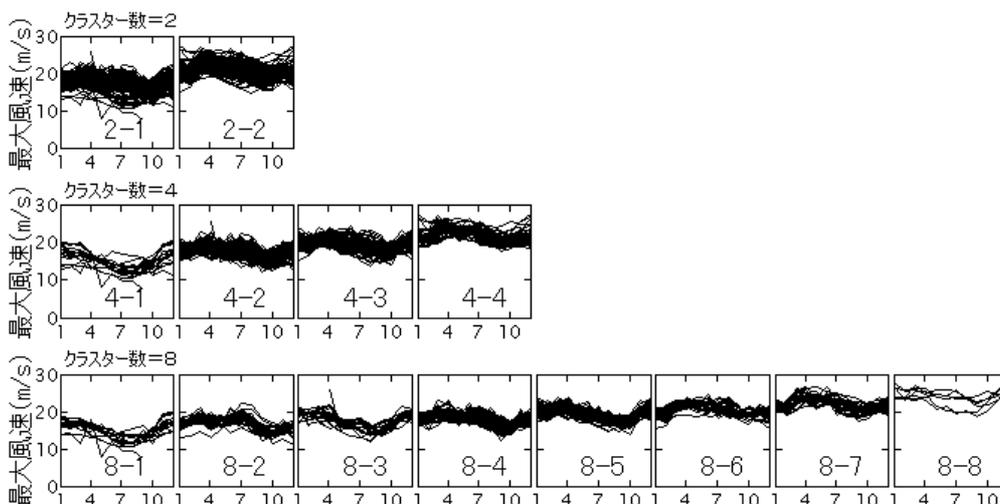


図 4 クラスタ数による分類傾向の変化の例(平均日最大風速, 横軸は月)

表 4 クラスタ分析結果の LTPP テーブルグループ別集計表(数値はサイト数)

温度	CLM			SMP			AWS			降雨量	CLM			SMP			AWS			湿度	CLM			SMP			AWS			風速	CLM			SMP			AWS			降雪量	CLM			SMP			AWS																																																																																																																				
	CLM	SMP	AWS	P1	P2	P3	P4	P5	P6		P7	P8	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7		H8	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8		sum		sum	sum																																																																																																																																	
T1	36	1	2	P1	202	18	12	H1	7	.	.	W1	127	11	5	S1	545	40	1	T2	153	11	5	P2	41	1	1	H2	10	.	.	W2	2	.	.	S2	256	17	.	T3	209	17	9	P3	283	19	11	H3	27	1	1	W3	180	10	4	S3	55	6	.	T4	216	13	10	P4	19	1	.	H4	43	1	2	W4	2	.	.	S4	2	.	.	T5	28	1	.	P5	294	24	8	H5	11	1	.	W5	2	.	.	sum	858	63	1	T6	117	7	4	P6	37	.	1	H6	5	.	.	W6	159	7	5	T7	72	5	2	P7	3	.	.	H7	266	22	6	W7	58	3	4	T8	49	8	1	P8	1	.	.	H8	143	6	8	W8	3	.	.	sum	880	63	33	sum	880	63	33	sum	512	31	17	sum	533	31	18

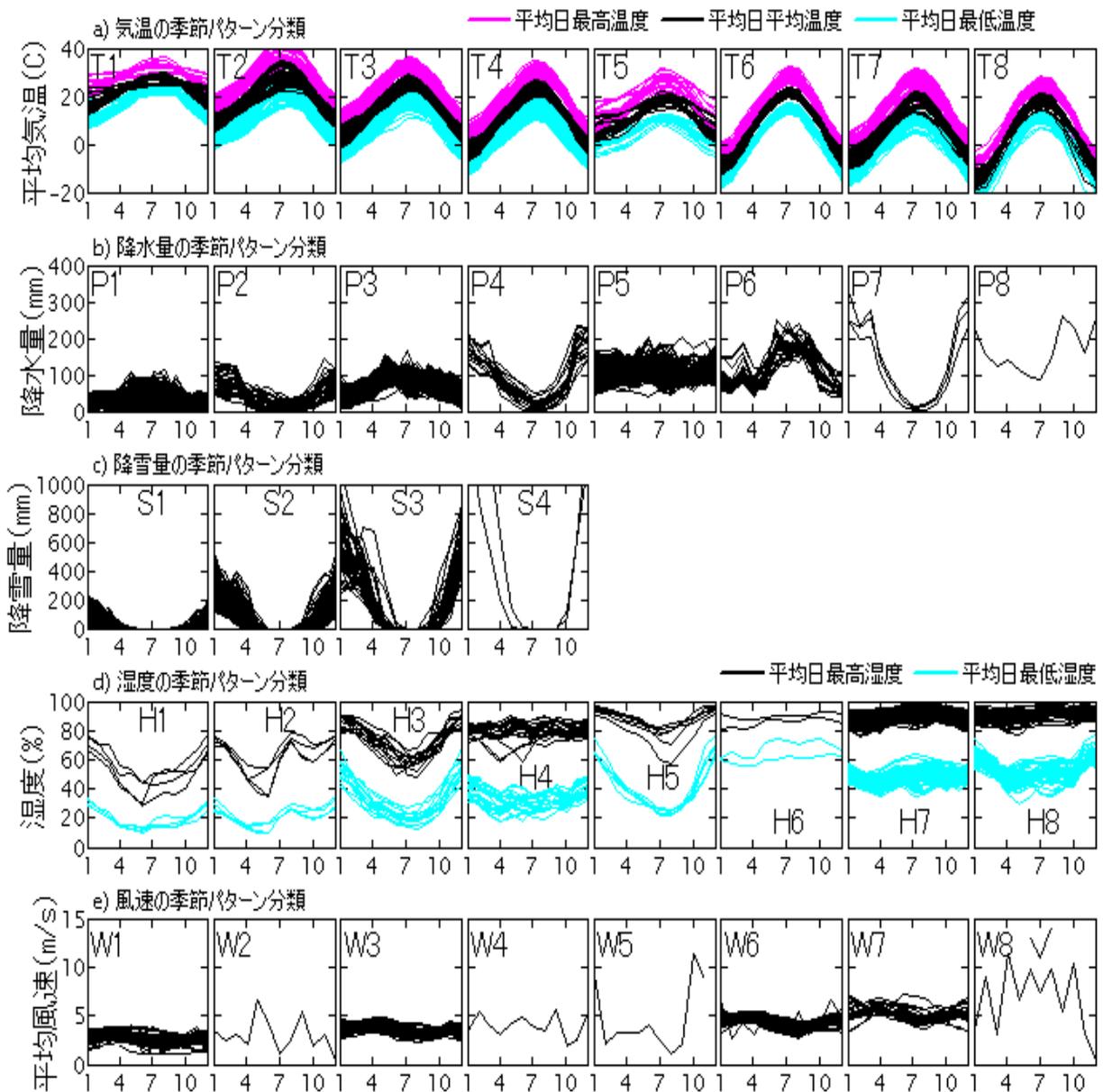


図 5 各種気象特性のクラスター別季節パターン(横軸は月)

験区は1箇所しか含まれない。

図5にクラスター別に気象特性の季節パターンを示す。また、図6から図10にそれらのクラスターの地理的分布を示す。

### (5) 各気象特性の分類結果

#### a) 気温の分類結果(図5a, 図6)

CLM\_VWS\_TEMP\_MONTHの日平均気温・最高気温・最低気温の月平均値の36変数によりグループ化を行った。グループ番号はグループ平均緯度の昇順に付加した。図5aより、T1グループは温暖で夏・冬の気温差が小さいことを示している。場所はFlorida, Hawaii, Puerto Ricoの海洋に囲まれた地域とTexasの一部である。T5も気温が低いが寒暖の差が小さく、図6により太平洋側の海岸沿いであることが示されている。T2は図3のNF地域に対応し、T3はF/NFの中間的位置にあり、T4はF地域の南側である。T6は合衆国北部、T7はそのうちの西部の高地地帯、T8はカナダの寒冷地域に分布している。

#### b) 降水量の分類結果(図5b, 図7)

CLM\_VWS\_PRECIP\_MONTHを用い、グループ番号は年降水量のグループ平均の昇順に付加した。図5bより、夏季の雨量がやや多いパターンが雨量順にP1-P3-P6がひとつの系列を形成している。P1は西側の高地に位置し東南に移るにしたがい雨量が増加する。P5も散布図で

は傾向がはっきりしないが地図上ではP3-P6のグループの中間に位置する。夏季に少雨の系列はP2-P4-P7-P8であるが太平洋側の海岸沿いに分布する。P8は1箇所のみでAlaskaにある。

#### c) 降雪量の分類結果(図5c, 図8)

CLM\_VWS\_PRECIP\_MONTHを用いる。クラスター数を増加させると非常に降雪量の多い地点のいくつかが独立したクラスターを主張する傾向があるのでクラスター数4の結果を示す。グループ番号は降雪量のグループ平均の昇順に付加した。S4はMichiganとCaliforniaに1箇所ずつあるが周囲の状況と合わないので実質的には3分類である。S1は少雪地帯で合衆国の南半分には帯状に分布している。S2はその北側に帯状に分布する降雪地帯であるが、東北部大西洋沿いと北西部高地にS3の多雪地帯がある。

#### d) 湿度の分類結果(図5d, 図9)

CLM\_VWS\_HUMIDITY\_MONTHの日最低湿度、日最高湿度の月平均値の24変数を用いた。グループ番号は最高湿度の和のグループ平均値の昇順とした。H1-H2-H3-H5は夏季に湿度が低い全般的に低湿度の地点で西部の高地の太平洋に近い地域に分布している。H8の多湿地帯は五大湖地域、Florida、太平洋岸のOregonにあり別のクラスターとして分離しなかった。

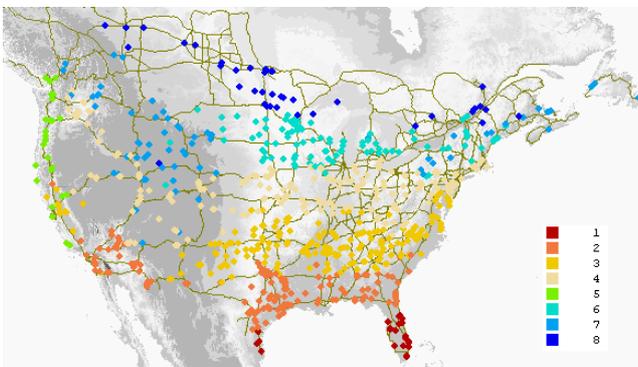


図6 気温の季節パターンの分布

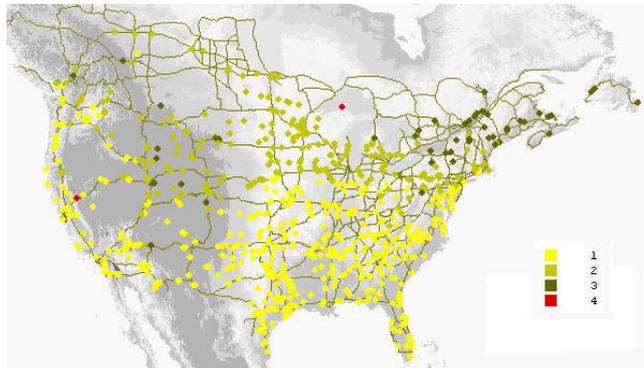


図8 降雪量の季節パターンの分布

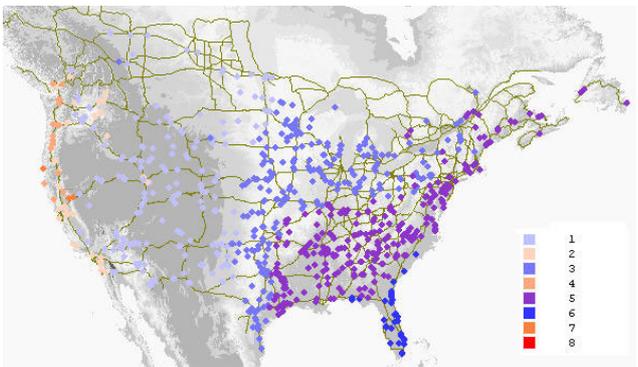


図7 降水量の季節パターンの分布

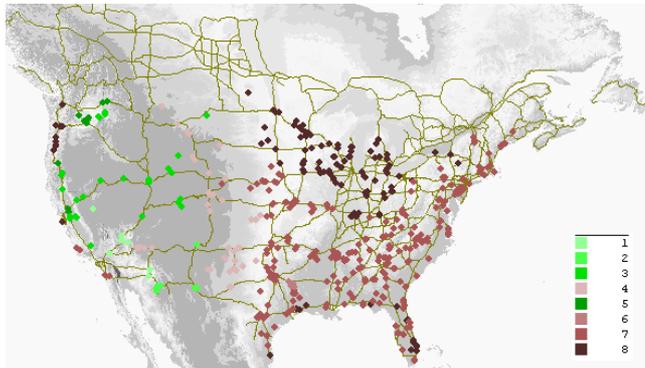


図9 湿度の季節パターンの分布

e) 風速の分類結果(図 5e, 図 10, 図 11)

CLM\_VWS\_WIND\_MONTH の日平均風速の月平均値を用いた。グループ番号は平均風速の和のグループ平均値の昇順とした。風は5月ころやや強く8月ころ少し弱まるのが総体的なパターンである。これが風の弱いほうからW1-W3-W6-W7の系列となる。図 10 について見ると、その中で南部は風が弱く大陸中央部で風が強い。特異なパターンのW5は Montana 州に2箇所ある。変動の大きいW2とW8は Pennsylvania 州にあり、その地域を図 11 に拡大してみると問題試験区は集合しているのが判る。この地域は海と湖の中間の尾根のように見えるのでそれが関係していることも考えられる。なお、風速に関するクラスタ分析は平均風速でなく最大風速を用いたほうが各グラフははっきりした形になる。

4 AWS 時刻レベルデータの検討

AWS 系データは 35 サイトのみであるが時刻単位でデータを収録しているのが大きな特徴である。特に日射量データは CLM, SMP 系データでは得られない情報である。各試験区で平均して 800 日分のデータが利用できるが、それから月ごとに各時刻の平均値を算出し月別の日変動パターンを例示したのが図 12 である。代表例として温暖な T1 グループから 12-0101, 平均的な気温パターンの T4 グループから 19-0100, 寒冷地の T8 グループから 38-0200 試験区を選択した。それに、日射量がもっとも大きい地点の中から 35-0801 を加えた。

図の上段から日射量, 気温, 風速, 湿度の時刻変化曲線を示す。データは各試験区月別時刻別に集計・平均値を求めたものである。

日射量で外側のもっとも大きい山は5月から7月までの月である。内側のもっとも小さい山は11月, 12月, 1月である。気温列で上側の気温の高い曲線群は5-9月がひとつのグループを形成しており, 7月または8月が最上位である。5月はそのグループの最下位である。下側の気温の低い曲線群は11-2月がグループを形成しており12月または1月がもっとも低い。一般に夏季には, 午前7時ころに日射がはじまり気温の上昇が始まる。気温は午後4時ころにピークに達し, 日射がなくなるのは8時ころである。冬季には2時間ほど遅れて始まり2時間ほど早く終了する。

例外的なのは12-0101(Florida)で夏冬の日射や温度変化のタイミングがあまり変わらない。量的に変わるのみである。少雨(P1)である35-0801と38-0200は日射量に大きな差がある。日射量をもっとも少ない19-0100が38-0200より温暖である。風は真昼から夕方にかけて強いのが一般的な傾向である。湿度変化は温度変化を逆さまにしたような傾向がある。

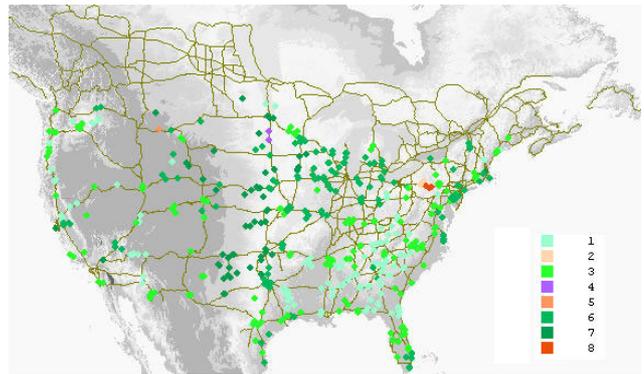


図 10 風速の季節パターンの分布

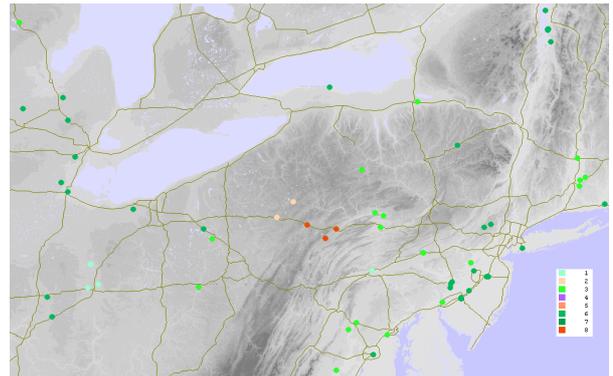


図 11 風速季節パターンの特異地域の拡大表示

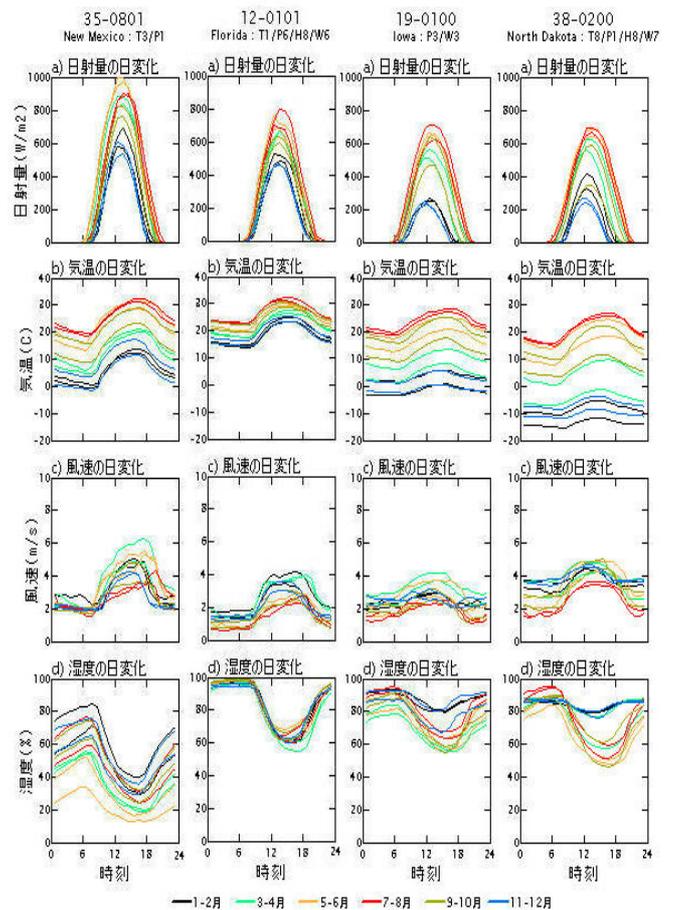


図 12 気象の時刻変化パターンの例 (月平均値)

## 5 SMP 舗装体温度データの検討

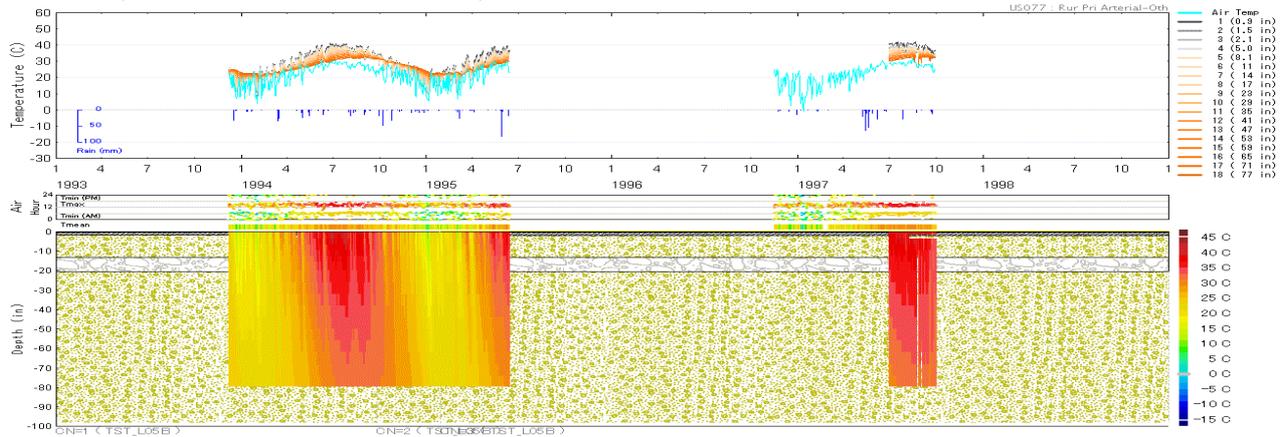
SMP\_MRCTEMP\_AUTO\_DAY\_STATS には検出端番号を1レコードとして舗装体温度の日統計値が収録されている。その検出端の位置情報はSMP\_MRCTEMP\_DEPTHに収録されている。通常舗装温度の測定開始の1日前から外気温と降雨量の観測データがSMP\_ATEMP\_RAIN\_DAYに収録される。これらについての集計結果を表5に示す。

図13に6年間のスパンで測定の実施と休止、測定の結果を舗装断面模式図上に合成したグラフを、3地点に

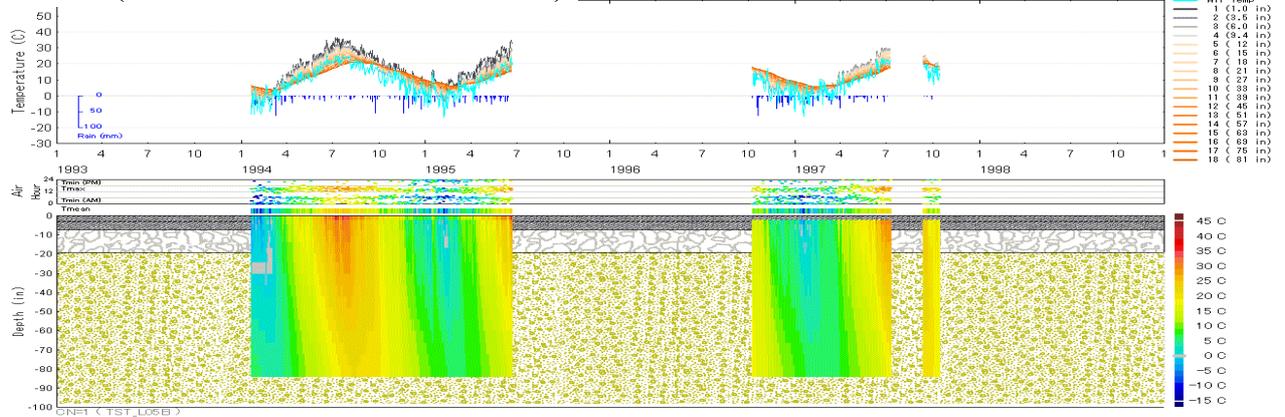
表5 SMP テーブル温度測定データの統計

最低気温	-46C
最高気温	58C
平均気温	最低値 -37C 最高値 40C
舗装体最低温度	-35C
舗装体最高温度	67C
舗装体平均温度	最低値 -30.5C 最高値 50.6C
サーミスター数	18
サーミスター深さ	最浅 3mm 最深 2.8m
サーミスターの番号と位置の関係	No1 は 1in 位置(2in 以上=5/68) No2-No4 は層構造に対応. No5-No8 は 3in 間隔. No9-No18 は 6in 間隔

### 48-3739 (Texas : T1 / P3 / S1 / H7 / W3)



### 09-1803 (Connecticut : T4 / P5 / S1 / H7 / W6)



### 83-1801 (Manitoba : T8 / P1 / S2)

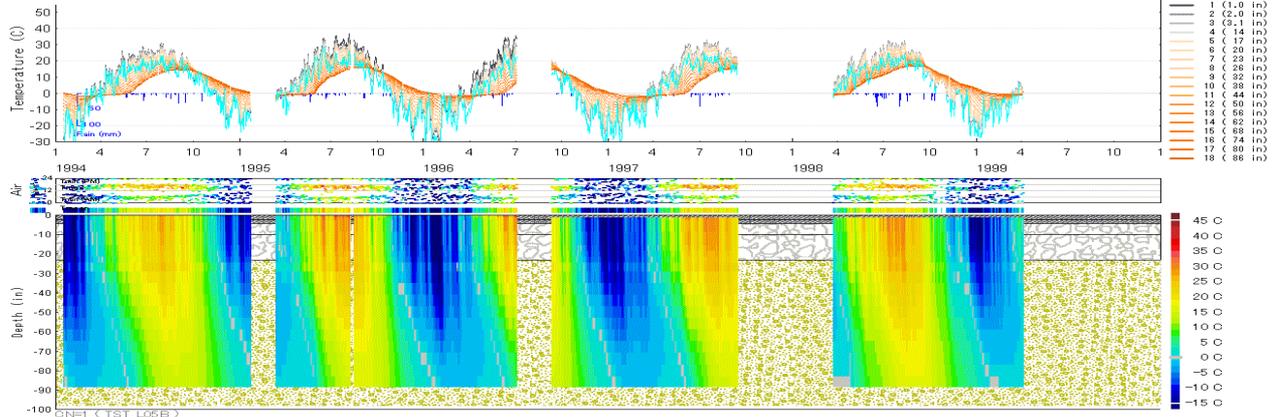


図13 舗装断面温度の季節変化例

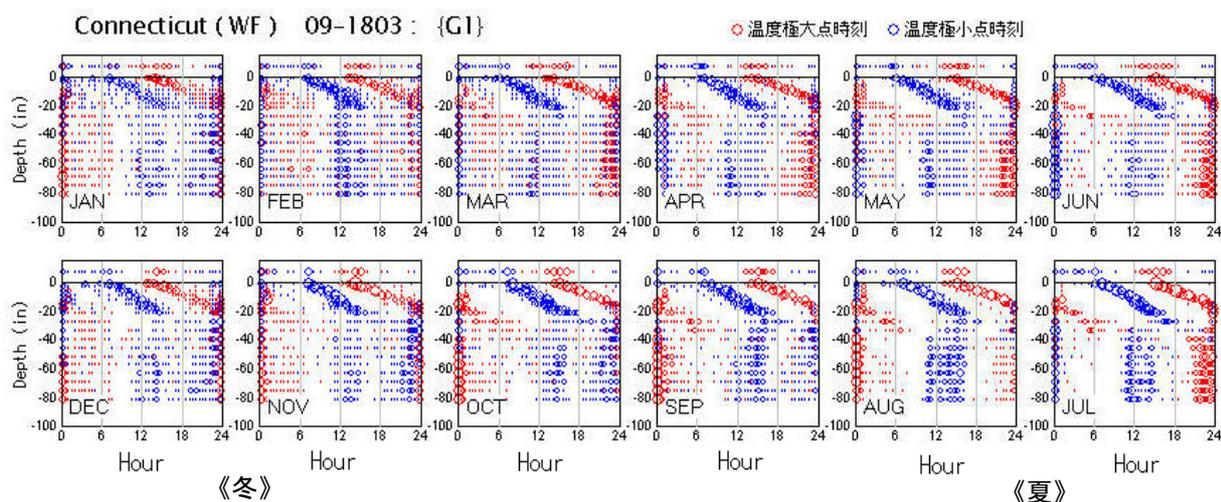


図 14 地中温度の日最高温度・最低温度記録時刻の深さによる変化（月別グラフ）

ついて示す。図は上から 18 個の温度センサーデータの折れ線表示と日雨量バーチャートの合成グラフ，中間部は日平均・最高・最低温度のカラー表示，舗装断面図は 18 個のセンサーから得た舗装体温度のカラーパターン表示である。カラーパターンはセンサー中間を境目とする階段状に温度が分布するとして擬似的に作成したものである。層構造は TST\_L05B テーブルの実測値をもとに模式図を作成した。48-3739(T1)は Hawaii などと同じ気温パターンに属する。09-1803 (T4/S1)は平均気温が零度以下になることが少なく小雪であるが LTPP の凍結地域に分類される試験区である。89-1801(T8)は冬期の平均気温が $-30\text{C}$ に達する寒冷地である。いずれの試験区も測定最深点 2m でも表層付近の温度があまり遅れなく反映していることが示されている。3区ともアスファルト舗装であるが舗装構造の温度分布に与える影響は明らかでなかった。

折れ線グラフ部について見ると，表層付近の平均温度と深部の平均温度の高低関係は季節によって逆転することが分かる。平均気温と表層付近の平均温度との関係は，48-3739, 09-1803 では通年舗装の温度のほうが高く不連続であるが寒冷地の 83-1801 では気温から地中に向かってやや連続性が見られる。

降雨量は，09-1803(P5)は年間おとして多雨であり，48-3739(P3)は年間に数回雨量の多い降雨があり，83-1801(P1)は降雨回数が多いが量は少ないことが分かる。

各試験区の間中のグラフは，日最高気温と最低気温カラーで，縦軸に観測された時刻を表示したものである。どちらの温度かの区別はしていないが，最低気温は多くの場合午前 6 時付近に分布していることが分かる。

断面図の表層に接するカラー帯グラフは平均気温である。これらと比較すると，表層付近の舗装温度は日平均気温より最高気温に近い。舗装内の温度は寒波などの影

響を受けていることが分かる場合もあるし，気温からは説明がつかない場合もある。

SMP の温度データは日単位の集計であるがセンサーごとに最低・最高温度の観測された時刻が収録されている。図 14 は，縦軸に観測された深さ，横軸に時刻を，カラーで最高・最低の区別を，記号の大きさとデータ数を表示したものである。グラフは測定月ごとにデータを振り分けて作成した。試験区は 09-1803 (Connecticut : T4) を例とした。

これについての特性の概要は次のようになる。

- ・路面近くの最低温度は 6:00 ころ，最高温度は 15:00 ころに記録する。
- ・低温および高温が時間とともに深部に移動する現象が 20inch(50cm)深以下まで見られる。
- ・20inch 深に達する経過時間は 8 時間程度である。
- ・これらの傾向は季節によらない。
- ・30inch(76cm)深以下の深部では，前日以前の最高・最低温度の関係の残滓が見られる場合，ランダム化する傾向，0hr または 24hr 付近に集中する傾向などさまざまである。
- ・深部で最高温度・最低温度時刻が 0hr または 24hr に集中する傾向があるが季節変化で逆転する場合が多く見られる。これは現象というよりも測定上の理由によるものと思われる。

## 6 まとめ

1 CLM\_VWS の月単位集計データを用いてクラスター分析による気象分類法を適用し，LTPP の W/D および F/NF 分類よりも精密に地理的特性を表現し，この方法によって例外的地点も発見できることを明らかにした。ただし，適当なクラスター数，クラスター分析にかける特性値の編成方法，解析アルゴリズムについてはより詳

細に検討する必要がある。なお、分類結果の試験区ごとの一覧は紙面の制約により割愛したが著者から入手可能である。

2 AWS系テーブルの時刻単位データを集約し、試験区ごとに気温・日照などの日変化を季節ごとにパターン化した。そして分類結果との関連性を示した。

3 SMP系テーブルの気温、舗装体温度データを季節変化に関して視覚化した。そして分類結果との関連性を

示した。

4 本研究はFWDデータ解析の背景資料として利用することを想定している。通常FWD測定時に記録される気温と路面温度と舗装体温度状態の関係についてはさらに解析が必要であるが、舗装の構造的な温度分布を支配する季節的地理的な条件、FWD測定時の表層付近の状態を支配する、気温、日射などの日変動と時刻などの要因についてその特性を明らかにした。

#### 【参考文献】

- 1) Chung-Lung Wu, Gonzalo R. Rada, Aramis Lopez, and Yingwu Fang: Accuracy of Weather Data in Long-Term Pavement Performance Program Database, TRR 1699, Paper No. 00-1384
- 2) LTPP Manual for Falling Weight Deflectometer Measurements Operational Field Guidelines, Version 3.1, August 2000, Prepared by: FHWA-LTPP Technical Support Services Contractor LAW PCS, Prepared for: LTPP Team, HRDI-13, FHA
- 3) SAS/STAT ソフトウェア ユーザーズガイド, Version 6

### Climatic Classification of LTPP Sections Using Cluster Analysis

For overseas researchers of LTPP database, difficult problem is poor sense of locality. So it is desirable to have convenient indicators of climatic conditions for each LTPP sites. This paper performed cluster analysis for DATAPAVE CLM\_VWS\_\*\_MONTH tables. The results are shown on geographical maps.