

# AMeDAS 観測データによるメッシュ気象図の作成 —地域傾向面分析法による定点気象値から面気象値の推定—

永木 正和<sup>1</sup>

(受理：1989年11月30日)

An Attempt of Drawing 1 km<sup>2</sup> Mesh Climate Charts  
Using the Data Automated Meteorological Data  
Acquisition System (AMeDAS) Observed  
—An Application of Regional Surface Trend Analysis—

Masakazu NAGAKI<sup>1</sup>

## 摘 要

頻繁に冷害に見舞われる北海道では、可及的に安定収量を得るために気象を的確に掌握する必要がある。近年、情報処理・情報通信技術の発達と共に、農業気象情報としてのメッシュ気象図の利用価値が注目され、その作成が試みられている。しかし、従来の推計手法である「地形因子解析法」は、地形因子が不変であることから、刻々と変化する気象の特定の日時や期間の様態のメッシュ気象図を作成することはできないし、推計結果の妥当性評価に高度な専門知識と経験を要する点に難点がある。

そこで、本稿は、「地域傾向面分析」の手法を適用して、比較的簡便に、しかも機動的に、指定する日時や期間のメッシュ気象図を作成できるコンピュータ処理システムを開発した。そして、北海道十勝地方の日平均気温、日最高気温、日最低気温、および日降雨量のメッシュ気象図作成を試みた。推計に用いた AMeDAS の実測値と本推計値とを比較した結果、高い精度で推計されており、本推計法が実践性の高いメッシュ気象図作成の手法であることを確認した。

キーワード：メッシュ気象図、アメダス (AMeDAS)、地域傾向面分析、営農気象情報、国土数値情報

<sup>1</sup> 帯広畜産大学畜産経営学科酪農経営学研究室

<sup>1</sup> Office of Farm Management, Department of Agricultural Economics, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Obihiro, Hokkaido, 080, JAPAN

## 課 題

農業は自然の営みと共生する産業であり、生産活動が立地する場の気象変動の支配を免れない。このため、農業経営は、与件であり、不安定要因である気象条件に適合する「適地適作」を実現する経営形態、技術方式の確立を追求し続けてきた。特に北海道の農業は、厳しい気象条件を克服するために、品種改良、適期作業実施のための機械化、有畜経営への転換等で高位生産、安定生産を実現しつつ発展してきた。他方、経営者は、日常の生産活動において、気象情報を入手したり、経験によって自己の圃場の気象特性を把握して、年間経営計画を立て、日々の営農作業計画を立案し、技術対策を講じてきた。農業者にとって、気象情報の収集は経営の安定化のために不可欠である。

ところで、気象予報精度の発達や情報通信技術の発達によって、農業者は豊富な気象情報を即座に入手できるようになった現在ではあるが、農業生産活動に積極的に利用できる気象情報（営農支援情報）としては、必ずしも適切な内容、タイミングで提供されているとは言えない。第一に、天気予報の類の予測的情報であれ、過去の気象観測値（後段で述べるが、農業においては過去の気象観測値も利用価値は高い）であれ、広域的な地域を利用対象者として公表されているが、個々の利用者は自己の圃場が立地する地点の“地域スペシフィック”な気象情報を欲している。このため、ニーズと公表形態が一致していない。第二に、気象は一刻一刻変化しており、従ってエンド・ユーザーは気象情報をリアル・タイムに収集しなければならないのと、利用形態に応じて自在に加工できる体制が整備されていないが、実際にはその迅速な収集、利用し易い形態での供給体制になっていない。

そこで、本稿は、気象情報をメッシュ化することで地域スペシフィックな情報に変換できることに着目し、その簡便な手法を提示し、北海道十勝地域を対象事例とする計測を通じてその有効性を評価することを目的とする。気象変化に速やかに対応する技術の確立が基本的に重要であるが、その前提としては、できる限り小地域毎に気象情報を正確に把握しておかねばならない。いわゆる、技術普及・営農指導活動は、もっぱら技術情報の提供と普及の役割は小さかった。それは、小地域内での気象変化の事前把握が著しく困難であったことによる。本研究は、「リアル・タイム・メッシュ

気象図」(Real-Time Meteorological Mesh Chart)を作成することによって、農業経営者の状況判断→対応技術選択のプロセスに一貫した情報をより個別的、具体的に提供するための情報利用環境の構築を意図したものである。

### 農業気象情報の営農支援情報としての利用

農業気象情報は、最適作日や最適技術を選択するために用いられる。そのためには、作物が生育する場での時間的な気象推移を正確に把握すること、次に、気象変化が作物の栄養成長や生殖成長にどのような変化をもたらすかという因果関係を明らかにしなければならない。前者に関してであるが、その方法として、「天気予報」と称される予測的な気象情報を利用する方法と、過去の気象推移を利用する方法とがある。前者は予測的、事前的対応である点で望ましいが、予報形式の地域スペシフィックな情報を取得するには、高度な気象学上の知識、解析技術を必要とし、信頼度の高い情報を得るのは困難である。

他方、後者の気象情報は、過去の観測データを利用するので、少なくとも未来予測上の技術的問題は回避される。また、過去の気象情報からでも作物の生育推移との因果関係は推定しうる。具体例を上げれば、(1)病害虫の発生予察、(2)生育段階別作況・収量予測、(3)気象と関連つけた品種別収量地帯区分図作成等である。過去の気象観測値からメッシュ化気象情報を作成することで（最適品種、作型の選択等は過去数年間の一定期間における観測値、病虫害発生予察等は過去数日間の観測値）、このようなさまざまな営農活動の判断支援情報として活用できる。ただし、“過去の気象観測値”とは言っても、ユーザーが必要とする時に(a)リアル・タイムに、(b)地域スペシフィックな気象情報として提供されなければならない。本研究はそのような要件を満たすメッシュ化気象情報を作成する。なお、このリアルタイム・メッシュ気象図作成のソフトウェア“TORMECS”(Tohokachi Real-Time Meteorological Meshed Chart System)の開発には、帯広畜産大学計算センターのシステムを利用した。

- 1) 本稿の気象データ活用法でも、リアル・タイムで観測データが処理されるなら、降霜予想等の極めて短期的な気象情報を得ることができる。



## メッシュ気象図作成の方法

### (1) メッシュ気象図作成手法展望

面としての気象情報を得る方法としては概略次の3つがある。1つは、直接メッシュ区画毎に気象値を観測することである。静止気象衛星「ひまわり」(GMS)に搭載された赤外走査放射計の計測値から地表面温度を推定する方法である[1]。分解能も高くなっており、広範囲の面積を同時に測定できる利点がある。温度の他に湿度、降雨量、日射量推定にも利用できる。地表面温度推定の研究が特に進んでいるが、雲量や地表面の物体が均一でないことが推定値を不安定にしている。分析、推定に高度な機器と技術を要し、そのコストを考えると、現段階では地域の農業気象情報として手軽に利用できる状況ではない<sup>2)</sup>。

第2の方法は、日本気象協会が中心になって開発し、岩手、広島、山形の各県で既に利用されている「地形因子解析法」で、国土庁のメッシュ化地形情報とアメダス気象情報の関係を重回帰式推定する方法である[2]、[3]。地形と地表面微気象との理論的な関係を前提にしており、メッシュ気象図の精度は比較的良好である。しかし、地形は変化しないから、関数(メッシュ気象推定式)が一度特定化されたなら、これによる気象因子推定値は不変である。そのため、過去数年間の特定月の平均気温のように、一定年限の平均気象値を推定するには有効であるが、刻々変化する地域気象の動的な面推定は不可能であり、利用方法が制限される。また、推計結果が先見の理論に整合的であるかどうかのチェックと評価は専門知識を必要とする。なお、これに類する手法として、3観測地点が作る面の勾配を利用して気温を標高補正し、メッシュ推定値を得ようとする試みがなされているが[4]、面を形成する3つの観測地点のとり方で、推定値が変化し、分析者の判断に依存するという問題がある。

本稿が示す方法、すなわち、「TORMECS」が採用した方法は、上の2つの方法の難点を補おうとして発想したものである。「地域傾向面分析法」(Regional Trend Surface Analysis)を適用した手法で、3次元空間にスムーズな気象値のつくる曲面を描けると仮定し、その統計的推定を行おうとするものである。これを第3

2) 解像能、推定精度は向上しており、将来的には利用価値が一層高まるであろう。

の方法とみることができよう。

### (2) メッシュ気象値推定法

地域傾向面分析とは、地域的に分布している事象(例えば人口)を、平面空間の位置を表すX、Y座標値で統計的に関係づけた傾向面を近似表現する方法である[5]、[6]。近似する傾向面は、放物線や3次あるいはそれ以上の高次の関数で近似され、さまざまな数学的曲面で表現される。例えば、3次関数で表される地域傾向面の推定式なら、

$$Z = b_0 + b_1 X^3 + b_2 X^2 Y + b_3 X Y^2 + b_4 Y^3$$

ただし、Z: X、Y座標値が定める地点の気象値、

X: X座標値、

Y: Y座標値、

$b_i$ : 推定パラメータ

である。しかし、複雑な曲面変化をより正確に表現するためには、さらに高次の合成関数で近似しなければならない。一般に、3次~n次関数の合成関数モデルで推計する。例えば、3次の合成関数で近似しようとする場合の関数型は、

$$Z = b_0 + b_1 X + b_2 Y + b_3 X^2 + b_4 X Y + b_5 Y^2 + b_6 X^3 + b_7 X^2 Y + b_8 X Y^2 + b_9 Y^3$$

となる。

上式は、位置を示す座標値X、Yが相互に独立であるので、各項は相互に独立な直交多項式となる。従って、地域傾向面分析とは、平面位置XとYの直交多項式によって傾向面Zを最小二乗推定する方法である。通常、次数が高くなるほど、関数の統計的近似の程度は高まる。しかし、モデルの性格上、表-1のごとく項数が著しく増大するので、実際は標本数の制約から高次多項式モデルの推定は不可能である。

このため、比較的低位の多項式で、しかも高い推定精度で1km<sup>2</sup>メッシュ気象値を推定しようとする本研究のためには若干の工夫を要する。TORMECSでは、推計しようとする気象因子のそれぞれに明らかに影響すると考えられる若干の地形因子を説明変数として導入する。すなわち、国土数値情報から得られる気象観測地点の地形データを「追加的な」気象説明変数とした。ただし、基本的にはX、Y座標値で気象値傾向面を推定する。なぜなら、先述したように、地形因子は立地点に固有の要因であり、日々変化する気象値を説明するには適切でない。これに対して、地域傾向面分析は、任意の時点の気象値をスムーズな曲面で近似しようとするものであるから、単に観測された定点気象

データが与えられれば、特定の日時の気象値でも、一定期間の気象値でも直ちに推定できる簡便さがある。

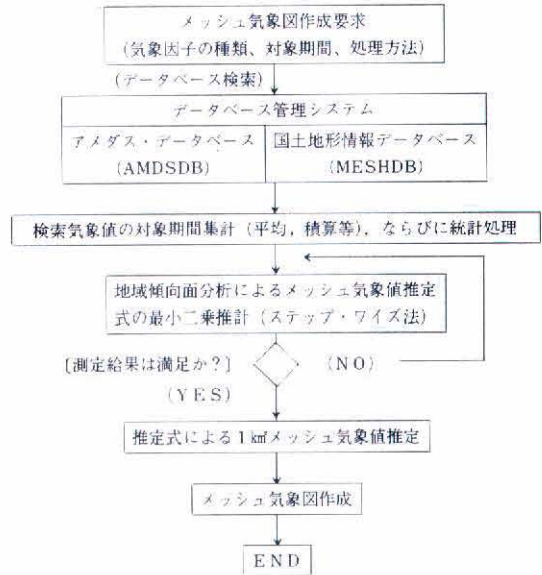
### (3) 処理の流れ

TORMECS は具体的に以下のような処理手順でメッシュ気象図を作成するコンピュータ処理システムである。すなわち、(1)気象庁の「地域気象自動観測システム」(AMeDAS)の十勝管内18観測地点の気象データをリアルタイムで入手し、データベースに蓄積する、(2)ユーザーが指示する日時や期間の観測データを検索し、指示に従ってデータ処理する、(3)国土地理院作成の十勝管内のメッシュ化地形情報を検索し、(4)地域傾向面分析によって、地域気象面を統計推定し、(5)地域気象面推計式から1 km<sup>2</sup>単位メッシュ気象値を推計し、(6)最後に、1 km<sup>2</sup>単位のメッシュ気象図を作成する<sup>3)</sup>。当面、TORMECS で作成できるメッシュ気象図は、日最高気温、日平均気温、日最低気温、日降水量、および日照時間である<sup>4)</sup>。

以上のメッシュ気象図作成のフローチャートを示すと図-1のようになる。リアル・タイム処理を前提にソフトウェアが組立てられている。まず、メッシュ気象図作成要求する際に、(1)作成しようとする気象因子の種類〔平均・最高・最低気温、降水量、日照時間〕、(2)作成対象期間〔年月日指定、あるいは期間指定〕、(3)処理の方法〔指定期間平均値、指定期間積算値、指定期間内条件付発生頻度〕を指定する。以降はコンピュータが自動的に処理する。なお、地域傾向面分析法は

- 3) 帯広畜産大学計算センターのシステムによる本ソフトウェアの開発に伴い、十勝管内18地点のAMeDAS データは“AMDSDB”, 十勝管内分の国土数値情報は“MESHDB”という名称のデータベースを構築した。なお、AMeDAS からは、観測地点の1時間毎の気温、風向、風速、雨量、日射量観測データが得られる。
- 4) 風向、風速のメッシュ推定は除かざるをえなかった。なぜなら、これらの気象値には、地形や大気の状態が強く影響しており、気象物理学知識を必要とする。さらにそのような専門分野の研究成果をもってしても、1 km<sup>2</sup>メッシュという小地域単位での精度の高い面気象情報を得るのは困難と判断する。だが、一方で、農業気象情報としては、気温、雨量のメッシュ情報が最も利用ニーズの高い気象情報であると考えられる。

図1. メッシュ気象図作成フロー・チャート



先見的な理論モデルを持たない。統計的有意性を手がかかりとしつつ最良の推計式を試行錯誤的に得る。推定によって有意性を確認しながら段階的に説明変数を追加、削除して最良の予測式を得る「ステップ・ワイズ推定法」を採用する。最終的に得られた推計式によってメッシュ気象推定を行い、地図出力する。

### (4) 変数の作成

国土地理院が定めた国土数値情報のメッシュ・コード化化によると、十勝地域は第3次メッシュ・コードで南西端63421500、北東端15443099の2点をコーナーとするボックス内に位置する<sup>5)</sup>。このボックスは、190行×120列のサイズのマトリックスで第3次メッシュを表現できる。そこで第3次メッシュ・コードで読んだ南西端の63421500を原点(原点の座標はX=1, Y=1)とする座標平面上に十勝地域を第3次メッシュで表わす。メッシュ・コードからの座標変換式は次の通りである。

$$Y \text{ 座標値} = (Y_1 - 63) \times 80 + Y_2 \times 10 + Y_3 - 9$$

$$X \text{ 座標値} = (X_1 - 42) \times 80 + X_2 \times 10 + X_3 - 49$$

- 5) コード番号の左側4桁は80 km四方の第一次メッシュ・コード、続く2桁は10 km四方の第二次メッシュ・コード、最後の2桁は1 km四方の第三次メッシュ・コードを表す。



表1. 地域傾向面計測における直交多項式の次数と項数

次数	1	2	3	4	5
説明変数	X	$X^2$	$X^3$	$X^4$	$X^5$
	Y	XY	$X^2 Y$	$X^3 Y$	$X^4 Y$
		$Y^2$	X $Y^2$	$X^2 Y^2$	$X^3 Y^2$
			$Y^3$	X $Y^3$	$X^2 Y^3$
			$Y^4$	X $Y^4$	$Y^5$
項数	2	5	9	14	20

注) 項数は、所与の次数に対応する項数に、まれより低い全ての次数の各項数を加えたものである。

表2. 傾斜方向ダミー変数の定義

傾斜方向	N	NW	W	SW	S	SE	E	NE
S L D(1)	1	1	0	0	0	0	0	1
S L D(2)	0	1	1	1	0	0	0	0
S L D(3)	0	0	0	1	1	1	0	0
S L D(4)	0	0	0	0	0	1	1	1

ただし、Y はメッシュ・コードの南北位置コード、X は同東西位置コードで、サフィックスの1, 2, 3 は第1次, 第2次, 第3次メッシュ・コードに対応する。この手順で算出されたY座標値(1~190), X座標値(1~120)を座標変数とする。

ここに得られたX, Yの座標値が表-1に定義した変数になるが、本分析の推計モデルは4次項までの直交多項式とした。従って、説明変数の最大個数は14個である。基本的な考え方として、降水量の推計にはこの14変数による回帰推定を行う。しかし、温度については、地形の微妙な変化が影響を与えていると考えられるので、重要な微気象要因と見做しうる若干の地形因子を説明変数として考慮する。

利用する地形情報は国土地理院国土数値情報ファイルの「傾斜度高度データ・ファイル」である。同ファイルには、3次メッシュの1辺を4分割した「 $\frac{1}{4}$ メッシュ」をレコード単位として標高値、および最大と最小の傾斜角度、傾斜方向が収録されている。考慮する地形変数は以下の通りである。

(1)平均標高 (m) (ELE)

3次メッシュに含まれる16個の $\frac{1}{4}$ メッシュの平均値をとる。

(2)起伏量 (m) (DIF)

$\frac{1}{4}$ メッシュ標高の最大値と最小値の差で表わす。

(3)開放度 (%) (OP)

当該第3次メッシュ(中心メッシュ)を取り囲む8個の周辺メッシュの内、平均標高が中心メッシュの平均標高より20m以上高くない周辺メッシュ個数の、周辺メッシュ個数(欠損がなければ8)に対する割合(%)とする。

(4)傾斜方向(ダミー変数)(SLD(j))

当該第3次メッシュ内16個の $\frac{1}{4}$ メッシュの傾斜方向から、その最頻傾斜方向を検出し、表-2の定義に従って最頻傾斜方向ダミー変数の値を与える。

なお、十勝管内には18カ所のAMeDAS観測地点があるが、そのメッシュ・コード、並びにX, Y座標値

6) 十勝管内地図を第3次メッシュで表すためには $190 \times 120 = 22,800$ 個の要素を必要とするのであるが、コンピュータ処理容量を節約するために、まず、このメッシュ・マトリックスが含む十勝管外地域と海面部を除去して要素数は14,642個となる。次に、国土数値情報の欠損する第3次メッシュを除去すると、最終的に有効な第3次メッシュ数は10,540個に減少した。

7) 文献[2], [3]を参考にしている。

表3. 十勝管内AMeDAS観測地点の位置と標高

	地点名	アメダス地点コード	メッシュ・コード	変換座標値		標高 (m)
				Y	X	
1	陸別	20146	65431660	167	91	210
2	糠平	20186	65430135	154	46	540
3	上士幌	20266	64436284	139	55	295
4	足寄	20276	64436494	140	75	100
5	本別	20341	64435449	125	80	60
6	新得	20356	64424697	120	18	178
7	鹿追	20361	64425729	123	30	213
8	駒場	20371	64434164	117	45	112
9	芽室	20421	64432084	99	35	85
10	帯広	20431	64433107	101	48	39
11	池田	20441	64433307	101	68	42
12	浦幌	20506	64431563	87	84	20
13	糠内	20556	64431236	84	57	70
14	上札内	20601	63437067	67	38	255
15	更別	20606	63437165	67	46	190
16	大津	20631	64430522	73	83	1
17	大樹	20696	63435292	50	53	87
18	広尾	20751	63433255	26	56	32

は表-3の通りである。

### メッシュ気象図作成分析の事例

#### (1) AMeDAS 気象データの地点別集計結果

図-1に示したように、メッシュ気象図の作成には、まず対象とする期間のデータを各地点別に集計（平均値、積算、条件付出現頻度等）しなければならない。ここでは、農業生産に強く関連している日最低気温の5月から10月までの各月の昭和55年から昭和60年度までの6年間の平均値を表-4に整理した。

日最低気温を18観測地点平均で見ると、5月と10月は5℃以下である。ピークは8月であるが15℃程度である。標準偏差値によると、9月、10月の天候が不安定である。地点別では、各月ともに、帯広を中心とする十勝中央部（観測地点の5～10番）が高い。しかし、南部は9月、10月には海洋から暖気が入り込んで、上昇する傾向が見受けられる。正規分布を仮定すると、（平均値－標準偏差）が負値なら最低気温が氷点下になる日の発生確率が高いことを意味するが、東側北部、内陸地帯は、5月には負値になり、晩霜被害の多発し

やすい危険地帯である。

このように、地域格差があるばかりでなく、格差の季節別様態は、月平均値でさえも一定していない。もっと短期間の集計になると一層変動的になるのは明白である。従って、現在の慣習的な「十勝北部」、「十勝中部」、「十勝南部」という3地帯区分での気象値の把握では十分でないことは明らかである。なお、最下段の18観測地点平均の日平均気温、日最高気温、日最低気温間の日格差は春と秋に大きい。

#### (2) メッシュ気象図作成結果

十勝地域は東側の日高山系と北側の大雪山系から南東に傾斜して平野を形成して太平洋に至る地形であるが、AMeDASの18ヶ所の地点別日最低気温の6年間集計値は、地域格差が存在し、大きな地帯区分ではその時間的変化を正確に把握できないことが判明した。メッシュ気象図作成の意義は大きいと判断される。そこで、TORMECSによって、昭和55年から昭和60年までの5月の日平均気温、日最高気温、日最低気温と、十勝地方の豆類の生育に多大な晩霜被害をもたらした昭和60年6月15日の日最低気温、台風の余波で十勝に集中的な豪雨をもたらした同年7月1日の降水量のメッシュ気象推定式を計測した。

表-5は最大次数4次項までの直交多項式モデルで、ステップワイズ法によって変数選択を繰り返して最終的に得た結果である。AMeDASの18観測地点の気象差異の説明力を表わす決定係数は0.83～0.99の範囲にある。日最低気温の決定係数が相対的に低い<sup>8)</sup>。説明変数のうち、地域傾向面分析に依拠するところの4次項までの立地座標変数は、表-1で示した全ての変数が採用されているわけではない。またその符号は、計測月、被説明気象因子に応じて変化しており、気象値曲面の複雑な構造を示唆している。

地形変数の内、標高（ELE）と開放度（OP）の2つは気温との明確な因果関係があるので、気温推定においてはプロテクト変数とした。予想した通り、標高はマイナスの推定値を得た。日平均、日最高気温の推計では有意水準も高い。開放度は、理論的にはプラスの係数が期待されるが、5月の計測結果では、日最低気温ではマイナスとなった。ここに表示しなかった6月以降の各月別日平均気温計測結果でも符号はプラスも

8) 本稿に掲げなかったが、このことは、他の全ての月に共通している。



表4. 十勝AMeDAS観測地点の日最低気温と同標準偏差(昭和55年~60年)

観測地点	5月		6月		7月		8月		9月		10月	
	Av	S	Av	S	Av	S	Av	S	Av	S	Av	S
1	2.4	3.4	8.1	3.5	13.7	3.5	15.0	3.4	9.0	9.1	0.2	4.3
2	2.0	3.0	6.6	3.5	12.3	3.2	13.2	3.3	6.7	4.0	0.3	3.5
3	3.9	3.3	8.3	3.3	13.4	3.1	15.0	2.9	9.3	3.5	2.7	3.7
4	3.4	3.1	8.7	3.2	14.2	3.1	15.5	3.2	9.4	4.3	1.3	4.3
5	4.3	3.1	9.0	3.1	14.4	2.9	16.0	3.0	10.2	4.0	2.4	4.2
6	5.4	3.7	9.2	3.6	14.4	3.2	15.8	3.2	10.2	4.0	3.9	3.5
7	5.1	3.6	8.9	3.3	13.9	3.1	15.6	3.0	10.1	3.4	3.9	3.4
8	3.9	3.4	8.3	3.3	13.7	3.0	15.3	3.1	9.2	4.2	2.3	3.9
9	4.7	3.2	9.0	3.0	14.0	2.9	15.7	3.0	9.9	4.0	2.8	3.7
10	5.2	2.9	9.4	2.9	14.3	2.8	16.4	2.7	10.9	3.7	3.7	3.7
11	3.6	2.9	8.2	3.0	13.5	2.9	15.4	3.0	9.8	4.2	2.3	4.0
12	3.9	2.9	8.6	2.8	13.7	2.7	15.8	2.8	10.4	4.0	2.7	3.9
13	3.0	3.0	7.9	3.1	13.2	3.0	15.0	3.0	8.9	4.5	1.0	3.9
14	4.4	3.4	8.4	3.1	13.6	3.0	15.3	2.9	9.7	3.4	2.9	3.6
15	4.5	3.4	8.4	2.9	13.4	3.0	15.4	2.7	10.0	3.5	2.9	3.7
16	4.1	2.5	8.1	2.4	13.0	2.3	15.4	2.3	10.6	3.8	3.2	4.0
17	3.9	3.0	8.2	2.8	13.2	2.9	15.3	2.7	9.9	3.8	2.7	3.9
18	4.9	3.0	8.6	2.5	13.1	2.5	15.9	2.1	11.8	2.9	5.4	3.7
最低	4.0	3.3	8.4	3.1	13.6	3.0	15.4	3.0	9.8	4.4	2.4	4.0
参考	最高	15.8	17.7	21.5	23.4	19.6	13.8					
	平均	9.8	12.8	17.1	19.1	14.5	8.2					

注-1) 昭和55年~昭和60年の日最低気温の各月別平均値が“Av”, 同標準偏差値が“S”.

注-2) 下段の「最低」, 「最高」, 「平均」は, 十勝管内18観測地点の最低気温, 最高気温, 平均気温の月平均値.

マイナスも得た。恐らく、十勝の立地特性から、平野部での放射冷却現象や山系を背にした地域でしばしば発生する“吹き下ろし”現象が気温変化に複雑な影響を及ぼしているためであろう。なお、開放度は本例の5月の推計では有意水準は低いが、他の月の計測では有意水準が高い場合もしばしばあり、その観点から無視すべきでない地形変数であると考え。傾斜方向(SLD)は、添え数字が“2”, つまりNW, W, SWの西傾斜面がマイナスの有意な係数値を示した。本例のみならず、他の月のいくつかの計測においても、起伏変数と共に説明変数として採用された。

図-2は、18観測地点の気象因子観測値と推計値の関係を示す。これによると、5月の日平均気温の最大推定誤差は0.33°C, 日最高気温は0.66°C, 日最低気温は0.77°Cであった。平均、最高気温の推計は決定係数が高

く、推定誤差も小さく、きわめて良好な予測力を示す。日最低気温は地形等の立地要因が複雑に温度を左右しているようで、やや推計誤差が大きいが、予測に耐えないものではない<sup>9)</sup>。

期間集計気象値推定の場合には集計過程での“まるめ効果”が気象値の地点間変動を平滑化する。そのため、滑らかな曲面によって気象値を表現しようとする傾向面分析法は良好な結果を与えるのは当然である。しかし、特定日の気象値推計となると、予測力はさらに低下する。同図には昭和60年6月15日の日最低気温

9) グラフ表示が不鮮明になるのを避けるために、昭和55年~60年平均の5月の日降水量のそれは表示しなかったが、5月の日降水量推定誤差も最大で0.18mmと小さかった。

表5. 気象予測式推定結果

5月の日平均気温 (昭和55~60年平均)			5月の日最高気温 (昭和55~60年平均)			5月の日最低気温 (昭和55~60年平均)		
決定係数 (R <sup>2</sup> ) = 0.967			決定係数 (R <sup>2</sup> ) = 0.966			決定係数 (R <sup>2</sup> ) = 0.897		
変数名	回帰係数	T 値	変数名	回帰係数	T 値	変数名	回帰係数	T 値
定数項	31.6404	7.946	定数項	21.5464	8.468	定数項	12.1215	4.239
X <sup>2</sup>	0.0466	2.507	X <sup>3</sup>	- 0.0471	- 3.126	X <sup>4</sup>	0.0015	1.529
X	- 4.1761	- 5.422	X <sup>2</sup>	0.6543	2.679	X <sup>2</sup>	- 0.1671	- 0.981
XY	0.5554	4.875	X	- 4.5917	- 3.546	XY	0.0348	1.299
XY <sup>2</sup>	- 0.0223	- 4.404	XY	0.1563	7.909	X	0.0810	0.068
Y	- 3.1763	- 4.488	Y	0.5829	3.092	Y	- 1.4892	- 2.518
Y <sup>2</sup>	0.1405	4.164	Y <sup>2</sup>	- 0.0595	- 5.792	Y <sup>2</sup>	0.1100	2.296
SLD(1)	- 0.5138	- 2.441	DIF	0.0134	4.108	Y <sup>4</sup>	- 0.0002	- 2.360
ELE	- 0.0070	- 7.845	ELE	- 0.0047	- 3.350	SLD(2)	- 0.7301	- 1.917
OP	0.0034	0.932	OP	0.0042	0.808	ELE	- 0.0011	- 0.492
						OP	- 0.0055	- 0.816
5月の日降水量 (昭和55~60年平均)			昭和60年6月15日の 日最低気温			昭和60年7月1日の 日降水量		
決定係数 (R <sup>2</sup> ) = 0.937			決定係数 (R <sup>2</sup> ) = 0.824			決定係数 (R <sup>2</sup> ) = 0.930		
変数名	回帰係数	T 値	変数名	回帰係数	T 値	変数名	回帰係数	T 値
定数項	12.3571	3.468	定数項	17.4955	4.677	定数項	111.1164	0.421
X <sup>3</sup>	- 0.0218	- 3.257	X <sup>2</sup>	0.1040	2.355	X <sup>3</sup>	- 0.6872	- 1.035
X <sup>2</sup>	0.4447	2.959	X	- 2.0240	- 3.092	X <sup>2</sup>	25.8473	0.738
X	- 2.8509	- 2.624	XY	0.0801	2.241	X	- 0.4411	- 0.257
X <sup>2</sup> Y	- 0.0100	- 1.619	Y	- 3.5180	- 3.408	X <sup>2</sup> Y	- 5.0592	- 0.094
XY	0.1374	1.784	Y <sup>2</sup>	0.3540	3.107	XY	- 0.2479	- 0.785
XY <sup>2</sup>	- 0.0017	- 0.505	Y <sup>3</sup>	- 0.0128	- 2.967	XY <sup>2</sup>	27.2544	0.730
Y	- 2.0379	- 2.492	SLD(2)	- 1.1665	- 2.297	Y	3.2790	0.685
Y <sup>2</sup>	0.2625	2.308	ELE	0.0001	0.039	Y <sup>2</sup>	- 0.2745	- 1.167
Y <sup>3</sup>	- 0.0195	- 2.382	OP	- 0.0072	- 0.811	Y <sup>3</sup>	0.1015	1.359
Y <sup>4</sup>	0.0006	2.577						

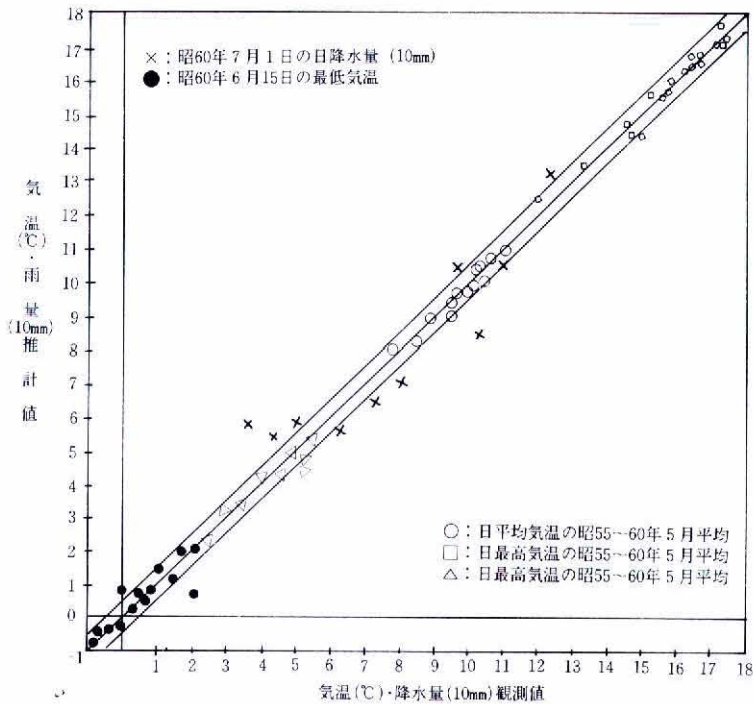
注-1) 変数の定義は本文参照.

と、同年7月1日の降水量の推定結果も比較したが、最大予測誤差は、前者は観測地点10番の1.26°C、後者は観測地点11番の-22 mmであった。<sup>10)</sup>

10) なお、各月の温度推定の最大誤差は観測地点10番(帯広)でほとんどが発生していた。しかも実測値よりも過小推定であった。恐らく都市化による温度上昇効果であろう。今後、計測式の改善において、この都市化要因を何らかの方法で補正する必要がある。

全体的には、期間集計メッシュ気象値であれ、特定日のメッシュ気象値であれ、結果は十分正確に推計できると判断される。ここに示した地域傾向面分析は定気象値から、連続面としての気象値を推定する手法として妥当な方法であると評価できる。ただし、もっと厳密な評価をするためには、観測地点以外の地点での実測値を本推計値と比較してみなければならない。しかし、観測地点以外の地点での信頼できる実測値が得られないので本研究ではできなかった。その検証は





注) グラフ中の対角線は、推定誤差ゼロと、誤差が $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、(雨量は、 $\pm 5\text{mm}$ )の範囲を示す。

図2. 十勝管内18地点AMeDAS気象観測値と推計値の比較

今後の課題として残されている。

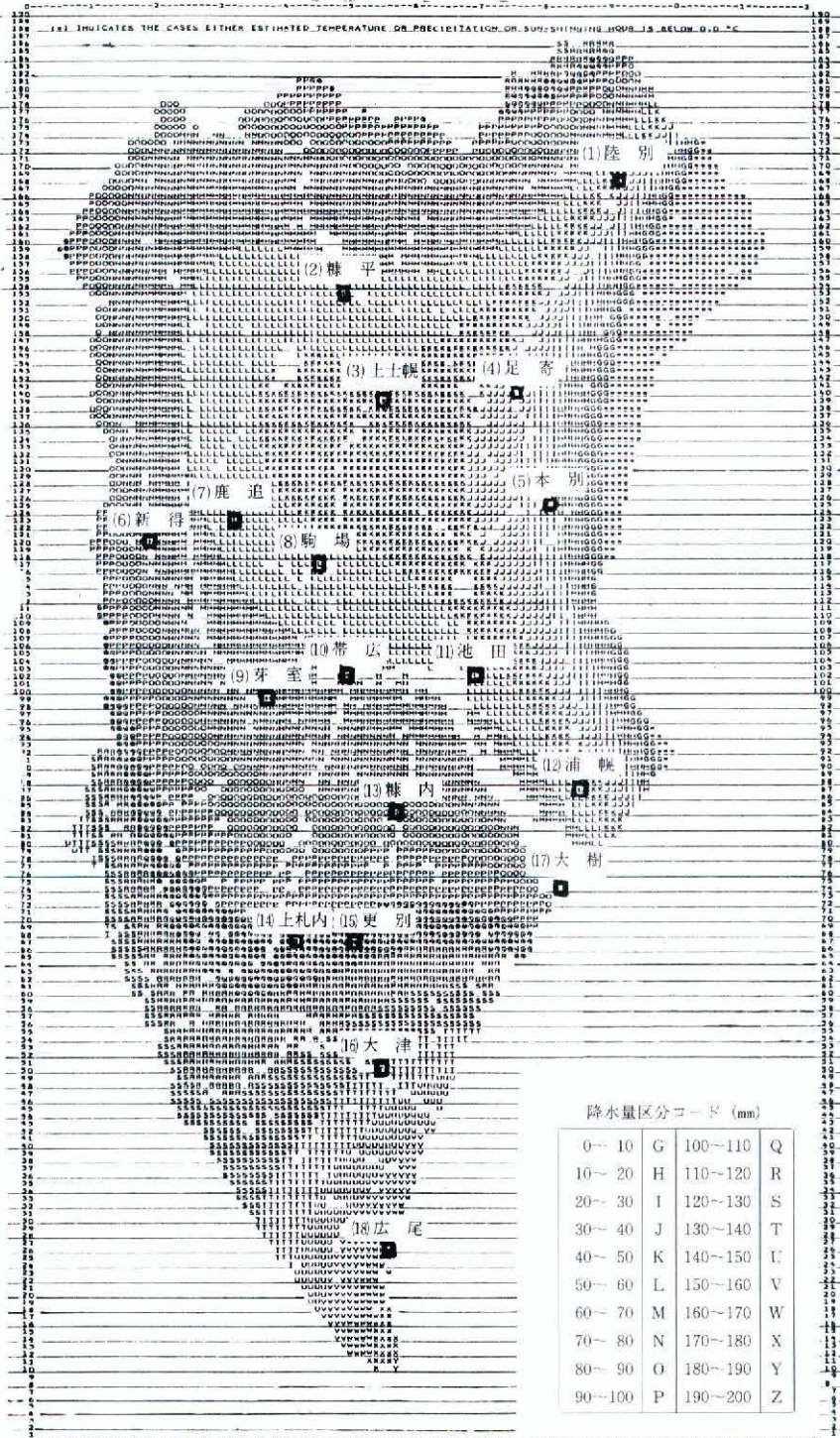
さて、上の推定結果に基づいてTORMECSが処理したメッシュ地図の内、紙数の制約上、昭和60年7月1日の十勝管内の降水量地図のみを図-3に示した(ライン・プリンタ出力結果をコピーしたので不鮮明だが)。アルファベット順に降水量レベルが表現されていて、1文字が $1\text{km}^2$ の第3次メッシュの大きさに対応している。文字が欠落している箇所は、河川か湖である地点、あるいは地形データが欠損していた地点である。この日のAMeDASが観測した降水量は、観測地点1~5が40mm前後、観測地点6~12が50~80mm、観測地点13~18が100~170mmと、十勝南部に集中豪雨をもたらしたのであったが、図-3はこの関係を明白に表現している。

しかし、同図から問題も検出された。次の2点を指摘しておく。1つは、十勝の境界地域での予測精度の低下である。1例を挙げると、釧路地域に隣接する十勝東北部地域は降水ゼロとなっているが、釧路管内の

AMeDASデータを参照すると実際には30~50mmの降水が観測されている。この誤差の発生原因は、気象推計式の計測に用いたデータが、十勝管内のAMeDAS観測地点18ヶ所のデータに限られていたためである。多項式近似の数学的な性質上、18観測地点の域外では最大値も最小値も存在せず、無限に上昇、または下降する面を描くからである。本来、信頼できるメッシュ気象予測が得られるのは、この18ヶ所の観測地点が形づくる有限な平面内である。換言すれば、十勝管内の全域について正確なメッシュ気象値を得るためには、観測地点が形づくる面が十勝地域を完全にカバーするように、十勝に隣接する他地域の観測地点データを計測式の推定に用いなければならない。

第2には、確認されていないが、AMeDAS観測地点の地形特性を地域傾向面の推定式に考慮するとしても、観測地点の地形や気流が気象値に強く影響している地点でなければ、有意な係数値が得られない。通常、観測地点は平坦地に設置していて、そのような地形と

図3. 昭和60年7月1日の日降水量(北海道十勝地域)





気象の因果関係を表現するような地点でない。実際、表一2に示すように、AMeDAS 観測地点の標高は低い。このために、標高の高い地点ではメッシュ気象値の推定誤差が高くなる危惧がある。低地でのメッシュ気象推定には問題はないが、高地や地形が複雑な地点の気象値推定精度の低下が懸念される。こうした問題を解決するためには、AMeDAS 観測地点の地形が表現していないような地形要因を何らかの方法で前もって補正しておくしかないであろう。

## 結 び

### —メッシュ気象図作成上の改善課題—

本研究は、地域傾向面分析の適用によってメッシュ気象値を推計する新しいコンピュータ処理体系“TORMECS”を開発し、その実行性を評価した。この推計方法は比較的簡便な方法であり、リアル・タイム推定ができる。このシステムによる気象図を試験的に作成し、AMeDAS 観測地点での推定精度を検討したところ、おおむね良好な推定結果が得られた。とりわけ、期間集計気象メッシュ推計は、きわめて高い精度で推定できるようである。こうした点から判断して、実践性の高いシステムとして評価できる。

しかし、地域傾向面分析による推定は平滑化した気象面を想定した推定法であるから、短期的な気象面推定になる程、誤差が大きくなる可能性も示唆された。この欠点を補い、TORMECS によるメッシュ気象図の推定精度を向上させる観点から、以下の3点に改善課題が残されていることを最後に要約して結ぶ。

- (1)管内に、AMeDAS 観測値以外に利用可能な観測データ（例えば、農業試験場、地域の農業改良普及所、および小中学校で簡易観測されている観測値）を収集し、AMeDAS データと整合するデータ補正をして、これらも推計の際のデータとして利用すべきである。これによって、メッシュ気象面予測の精度は向上する。追加データの観測地点が標高の高い地点や、複雑な地形をした地点であるほど、予測精度改良効果は大きい。
- (2)メッシュ気象図作成対象地域の周辺部でのメッシュ気象推定精度を向上するためには、管外の隣接AMeDAS 観測地点データも用いるべきである。
- (3)本接近法は、地形因子を積極的に利用していないが、推定式によっては、地形因子変数の係数が理論と整合しない場合がしばしばあった。その利用において

は、まず、十勝の立地的、時期的気象特性に立脚した地形との因果関係を解明しておく必要がある。

今後の課題は、さまざまな気象パターンを描く日時や期間に本手法を適用してメッシュ気象値を計測してみることで、そして、AMeDAS 観測地点以外の地点での観測値と推計値との比較から、誤差の大きさを測り、適宜気象パターンに応じて推計気象値を補正するための情報を蓄積することであろう。しかし、より直接的な方法としては、誤差が常に大きく発生する地点には新たに観測機器を設置することである<sup>11)</sup>。

## 付 記

本研究を遂行するにあたって、北海道立十勝農業試験場村田吉平研究員(当時)、北海道農業協同組合中央会帯広支所石田孟史所長(当時)、十勝農業協同組合連合会農産指導部東条隼士部長、および日本気象協会北海道本部田村和也研究部長(当時)らから、データ収集の便宜を図って頂いたり、専門的な立場からの助言を頂く等、多大な援助を頂いた。記して御礼申し上げる。

## 引用文献

- 1) 谷宏、堀口郁夫、本木敏博、「農業気象における人工衛星データの利用に関する研究」、『農業気象』、40-2、1984。
  - 2) 栗原弘一、村上律雄、「広島県メッシュ気候図(1)1 km<sup>2</sup>メッシュ平均気温の推定」、『気象庁・研究時報』、34-1、1982。
  - 3) 水野量、市川政治、「メッシュ気象図作成におけるステップワイズ回帰分析法の改良」、『気象庁・研究時報』、36-2、1984。
  - 4) 村田吉平、「十勝地方におけるメッシュ気候値と小豆の成育期の推定」、『北海道の農業気象』、40、1988。
  - 5) 石水照雄、大友篤、磯部邦昭、「地域傾向面分析の意義・適用事例および問題点」、『地理学評論』、49-7、1976。
  - 6) 佐々波清夫、大友篤、磯部邦昭、東廉、児島俊弘、「国土地値情報による農業センサスメッシュ統計の利用」、『農林統計協会研究紀要』、1、1981。
- 
- 11) 十勝管内の士幌町では1989年に農協が投資して観測機器を設置した。

### Summary

The mean, maximum, and minimum daily temperatures and the daily precipitation of particular day or duration were estimated for any point in the Tokachi district applying the Regional Surface Trend Analysis (RSTA). The data observed by the AMeDAS at corresponding time in Tokachi district was used in this estimation. The results of estimates were used to draw the mesh climatic charts.

So far, the multiple regression analysis using topographical features such as elevation of the land, where the AMeDAS is located, as explanatory variables is being employed. However, this method is characterized by the static estimation because this method does not deal with subsequently changing climates. Secondly, the method is of "the trial and error" type and consequently required skilled knowledge and experiences about the relations between meteorological phenomenon and topography.

On the contrary, RSTA easily provided plausible smoothed climatic surface at once. Estimated mesh climate charts showed statistically satisfying performances according to the several trials in Tokachi district. Finally computerized mesh climatic mapping software especially for Tokachi district was developed by applying RSTA and named TORMECS (The *Tokachi Real-Time Meteorological Mesh Chart System*).