

# メッシュデータを用いた地形因子解析法による 任意の地点の平均風速の推定方法に関する研究\*

小峯 裕己\*\* 村上 周三\*\*\* 柴田 裕司\*\*\*\* 松野 信雄\*\*\*\*\*

## 要旨

本研究は、気象観測が行われていない任意の地点の年平均風速、月平均風速等の平常時における風速を地形因子解析法を用いて推定することを目的としている。

解析に用いるデータの内、地形因子の計測は磁気テープに収録されている国土庁の1 km メッシュ毎の地形に関する数値情報を電子計算機により処理している。既往の研究の多くは地図から手作業で地形因子を計測していたが、上記データと電子計算機の利用により、この面に関しては飛躍的な進歩がなされ、地形因子解析法の有効性を増したと言える。

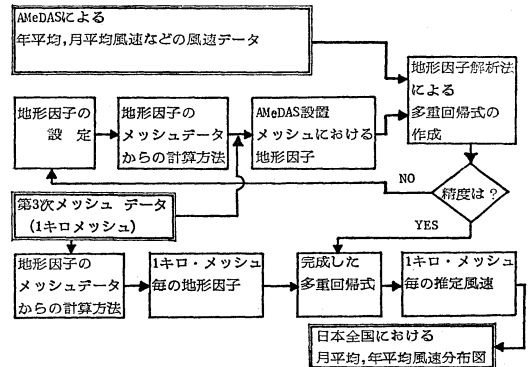
本研究では、まずメッシュデータから各種の地形因子を算出する方法を検討し、次に青森・秋田・山形の東北3県を解析対象地域の例として選び、11種類に及ぶ回帰式の検討を経た上で実用に供しうる年平均風速・4季別平均風速の回帰式を作成した。更に、この回帰式を用いて上記3県における平均風速分布図を作成した。

## 1. 序

本研究は、観測が行われていない任意の地点の年平均風速・月平均風速等の平常時における風速を、地形因子解析法で得た多重回帰式により1 km メッシュ毎に推定し、日本全国にわたる詳細な風速分布図を作成することを目的に行ったものである。第1図に本研究のフローを示す。

国土庁が整備した1 km メッシュ毎の地形に関する数値情報（第3次メッシュデータ）と気象庁地域気象観測システム（AMeDAS）による多くの地点の観測データとが磁気テープに収録されるようになったことにより、今回の研究が可能となった。

地形因子解析法は、いくつかの気象要素が地形の影響



第1図 研究のフロー

\* Prediction of Surface Wind Velocity at Any Point, Using Regression Analysis of Topographic Effects on Wind Velocity

\*\* Hiromi Komine, 東京大学生産技術研究所.

\*\*\* Shuzo Murakami, 同研究所.

\*\*\*\* Hiroshi Shibata, 気象庁観測部産業気象課.

\*\*\*\*\* Nobuo Matsuno, 日建設計コンピュータ室.

——1980年5月6日受領——

——1980年8月25日受理——

を強く受けるという性質を利用したもので、地形の特徴をいくつかの因子で表現し、気象要素との関係を数量的に明らかにし、地図上で計測される地形因子を用いて任意の地点における気象要素を推定する解析法である。

地形因子解析は、Linley (1949) の教科書に Spreen (1947) の研究が紹介されて以来、気象庁統計課 (1954, 1965), 齊藤・菊地原他 (1957), 齊藤他 (1959, 1963), 北岡他 (1971), 荒木 (1979), 草野・柴田 (1979) 等に

第1表 第3次メッシュ (1 kmメッシュ)  
データの内容  
(地形に関する数値情報のみ抜粋)

項目	内容	
地	標高	各3次メッシュの縦横4等分する方眼の16個の格子点での標高値。
	山岳標高	山頂の標高値。
	平均標高	各3次メッシュの平均標高値 (各3次メッシュ内の標高計測点の標高値の平均値。)
	最高標高	各3次メッシュの最高標高値 (各3次メッシュ内の標高計測点及び山頂の標高値の最大のもの。)
	最低標高	各3次メッシュの最低標高値 (各3次メッシュ内の標高計測点の最小のもの。)
形	起伏量	各3次メッシュの起伏量 (各3次メッシュの最高標高と最低標高の差。)
	傾斜量	各メッシュの最大・最小傾斜方向 (8方向表示) と傾斜度 (各3次メッシュ内の16点の傾斜量を、各点とその周囲の標高値から計算し、最大・最小のものを選ぶ。)
	谷密度	各3次メッシュの谷密度 (2倍統合メッシュの区画線を切る谷線の個数。)
	表層地質等	各3次メッシュの岩石区分 (40分類)、硬さ、地質時代、断層有無。
水	標準点	国及び地方公共水準点の位置、座標及び地盤高。地盤高は、国の分は最近1回分、地方公共の分は、最近5回分。
	湖沼	短辺100 m以上の湖沼 (貯水池を含む) 水涯線の位置座標。
	湖沼面積	各3次メッシュ内の各湖沼の面積。
海岸線	海岸線	海岸線の位置座標 (市区町村別、管理者別、海岸区分別。)
	海岸線延長	各3次メッシュ内の海岸線の市区町村別、管理者別、海岸区分別延長。

より、気象要素に関して数多くの研究が行われている。ごく最近、著者の1人は、新潟県の積雪量の予測に関して同じメッシュデータを用いた研究を発表した (柴田・田中, 1980)。また、建築学の分野では、羽倉ら (1979) が局所地形の台風災害に及ぼす影響について研究を行った。これら既往の研究は、地形因子の判読を地図から手作業により行っており多大の労力を要したが、本研究では磁気テープに収録されている地形に関する数値情報を電子計算機により処理し、1 kmメッシュ毎に地形因子を算出した。このような地形因子の計測法の飛躍的な進歩は、地形因子解析法の有効性を増大したと言える。

## 2. 地形因子算出のためのメッシュデータ

本研究では、地形因子の算出のために総理府国土庁計画・調整局で整備している国土数値情報のうちの第3次メッシュデータを利用した。

これは、1 km×1 kmの大きさのメッシュ内の各種の地形情報を数値化して磁気テープに収録しているもので

ある。第1表に第3次メッシュデータの地形に関連した情報の内容を示す。このうち、標高データは1メッシュ (1 km×1 km) 当り、16地点の標高が収録されており、250 m 間隔の標高を知ることができる。16地点の標高から、メッシュの平均標高、最高最低標高、傾斜量、起伏量などが計算されてデータとして収録されている (国土庁, 1978)。

## 3. 解析のためのプログラム

本研究では、東京大学大型計算機センターで所有している多変数解析標準プログラムのうち、ステップワイズ回帰分析と主成分上の回帰の2つの分析方法を用いた。本研究では、後述のように11種類の解析を行ったが、ケース5の解析は主成分上の回帰分析を用い、他の10ケースは全てステップワイズ回帰分析を利用した。以下、これらの分析方法の特徴等について述べる。

### 3.1. ステップワイズ回帰分析

#### 3.1.1 計算内容の概要

多くの変数から1部の変数だけを抜き出して重回帰式を作成する解析法のうち、ステップワイズは回帰に対する寄与の最も大きい変数からひとつずつ回帰式に取入れ前の段階において回帰式に導入された変数について、F検定により有意であるか否かの再検討を行なう方法である。新しい変数の導入により、それまで回帰式に取入れられていた変数が有意でなくなった時、その変数は回帰式から取除かれる。そうして、回帰式に受容される変数が無くなり、また除去すべき変数が無くなるまで、繰返し計算を行い、最終的に有意な変数から成る回帰式を得るものである。

#### 3.1.2. 特徴

- (1) 採用する独立変数の間に強い相関がある場合、その中で線型独立な変数だけを回帰式に取入れる。
- (2) 回帰式中への独立変数の採用または排除のためのF値の基準値が任意に設定できる。
- (3) 最終的に得られた回帰式について分散分析を行っているため、回帰式の有意水準等がただちに得られる。

### 3.2. 主成分上の回帰

#### 3.2.1. 計算内容の概要

数多くの変数の中から全体の変動をよく代表するような新しい少数の合成された変数 (主成分) を計算し、その主成分を用いた回帰式を作成する。

#### 3.2.2. 特徴

- (1) 主成分上の回帰以外の通常重回帰で、独立変数

の数が多い場合、回帰式計算の煩雑さや回帰係数推定の精度の悪化などの欠点があるが、主成分上の回帰ではこれらの欠点を改善する。

(2) 説明変数を全て使って、新たな変数を作り出すので回帰の精度が向上する。

(3) 主成分はあくまでも統計的に求められるものなので、その物理的意味が不明の場合が多い。

#### 4. 本研究で設定した地形因子

地表風に影響を及ぼすと考えられる遠距離から近距離に至るまでの周辺の地形の特徴を表わす地形因子を出来るだけ多く設定した。地形因子は第3次メッシュデータから算出するが、母資料とするデータにより2種類に大別される。1つは1kmメッシュデータから算出するもので、もう1つは250mピッチ標高データから算出するものである。後者の導入により、回帰の精度はかなり向上した。本研究の11種類の解析では設定した地形因子が解析毎に異なるが、その違いを第2表に示す。

##### 4.1. 地形因子の算出方法・表現方法

風速予測対象地点の地形因子を算出する場合、その地点を含むメッシュを中心核とし、その周りに東西南北にRkm(1kmメッシュの場合)又はrm(250mメッシュの場合)拡大した正方形を設定し、その正方形内の各メッシュの地形に関する数値情報を計算機により磁気テープから読取り、各地形因子の定義に従って地形因子を計算する。設定する正方形の大きさを $(2R+1)$ km。又は $(2r+250)$ mで表現するが、前者は1kmメッシュデータから地形因子を算出する場合の正方形の大きさを示し、後者は250mピッチ標高データから地形因子を算出する場合のものを示す。

なお、正方形の大きさ $(2R+1)$ kmは、Rを1~40kmまで1km間隔に変化させて算出した各地形因子と推定対象である年平均風速等との単相関を求め、相関係数が最も大きくなる時のRを幾つか採用している。また、遮蔽度などのように、2つのメッシュの間の標高差Hにより定義される地形因子に関しては、Hを0m~500mまで各種変化させて算出した地形因子と年平均風速等との単相関を求め、最も大きくなる時のHを幾つか採用している。

設定した正方形の大きさの変化による地形因子の違いを表わすために、地形因子の略号の次にその大きさを示す数字を付けて、各々の地形因子を表現した。例えば、陸度Lは正方形の大きさ $(2R+1)$ kmのRとして、

R=5, 10, 12, 15, 20の5つを設定したので、L5, L10, L12, L15, L20で設定した5つの陸度を表わした。

##### 4.2. 1kmメッシュデータから算出した地形因子

第3表に1kmメッシュデータから算出した地形因子の一覧表を示す。また、第2図~第9図に各地形因子の定義及び算出方法を示す。

第3表中、緯度・障害物距離・海岸距離及び地形因子をべき乗して求めた地形因子に関しては、説明のための図がないが、これらは以下に述べるような定義に従ったものである。

##### 4.2.1. 緯度(略号N)

中心核のメッシュの北緯を緯度とした。

##### 4.2.2. 障害物距離(OBSD)

中心核のメッシュの標高から200m高い標高を有するメッシュまでの距離の内、最短のものを障害距離とした。

##### 4.2.3. 海岸距離(SEAD)

メッシュの平均標高が0であるものを海と見做して、中心核のメッシュからそのメッシュまでの距離のうち、最短のものを海岸距離としている。SEADを求めたメッシュの方向を海岸方向とし、第8図に示す流通・海岸方向差を算出する際に用いる。

##### 4.2.4. 地形因子をべき乗して求めた地形因子

第2図~第9図に示した地形因子を用いて回帰式を作成すると、解析プログラムの関係により線形回帰しか得られない。いくつかの地形因子をべき乗して新たな地形因子を作った。回帰式にこの因子が採用されれば、元の因子をべき乗したものが含まれるので、ある意味で非線形回帰を行ったことになる。新たに設定した因子は、青森・秋田・山形の3県のAMeDAS有線ロボット気象計設置地点を含む合計63のメッシュにおける各地形因子の平均値を引いたものをべき乗しており、元の因子とは線形的に独立である。

##### 4.3. 250mピッチ標高データから算出した地形因子

第4表に250mピッチ標高データから算出した地形因子の一覧表を示す。名称が前節のものと同一ものは、その算出方法が全く同じで、用いる標高データを1kmメッシュの平均標高のかわりに、1kmメッシュ内16地点の250mピッチ標高データとしたものである。従って、各地形因子の定義及び算出方法は、前述の第2図~第9図に示したとおりである。また、新しい地形因子として、荒木(1979)の研究を参考に位置係数を設定したが、その定義を第10図に示す。

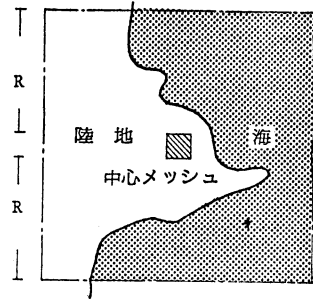
第2表 11種類の解析で設定した地形因子の違い

解析の番号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
地形因子	略号											
陸度	L 5	*				*	*					
	L 10	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	L 12		*	*	*							
	L 15	*				*	*					
	L 20	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
海度	S 5	*										
	S 10		*			*						
	S 15		*			*	*	*	*	*	*	*
	S 20	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
起伏度	RI 0	*	*	*	*							
	RI 6	*	*	*	*	*	*					
	RI 12	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	RI 20	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
標高	Z	*	*	*	*	*						
	RMS 4	*	*	*	*	*						
標高差 2乗平均	RMS 13	*	*	*	*	*						
	RMS 20					*						
最低点標高差	D1	*	*	*	*	*						
開放度	Exp. A5	*	*	*	*	*						
緯度	N						*					
遮蔽度	Shelt. E 1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Shelt. E 3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Shelt. E 5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Shelt. E 6		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Shelt. E 10	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Shelt. E 16	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Shelt. E 20		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
収束度	COV1-16	*										
	COV2-16	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	COV4-16	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	COV5-16	*	*	*	*	*	*					
障害距離	OBSD	*	*	*	*							
海岸距離	SEAD	*	*	*	*	*						
流通・海岸方向差	SE 1	*										
	SE 3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	SE 7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	SE 10	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	SE 12	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
陸度のべき乗	L**2			*								
	L**3			*								
遮蔽度のべき乗	E(R)**2			*								
	E(R)**3			*								
流通・海岸方向差のべき乗	SE**2			*								
	SE**3			*								
250メートルレベル	Shelt. E 250					*	*	*	*	*	*	*
	Shelt. E 1000					*	*	*	*	*	*	*
	Shelt. E 2000					*	*	*	*	*	*	*
収束度	C 250-1000					*	*	*	*	*	*	*
	C 750-1000					*	*	*	*	*	*	*
	C 1000-2000					*	*	*	*	*	*	*
位置係数	EI 500					*	*					
	EI 1000					*	*					
算子出した地形因子	EI 2000					*	*					
	E(r)**2					*	*					
	E(r)**3					*	*					
	E(r)**1/2					*	*					
E(r)**1/3					*	*						

注) L\*\*2; SE\*\*2等は、次式に示すように各地形因子の平均値を引いたものをべき乗して作った新しい地形因子である。  
 $L^{**2} : (L_{12} - \bar{L}_{12})^2$   $SE^{**2} : (SE_{10} - \bar{SE}_{10})^2$   
 今回のケースでは、 $\bar{\quad}$ は青森・秋田・山形3県におけるAMeD AS有線ロボット気象計設置地点を含むメッシュ(合計63)における各地形因子の平均値を示す。

$$\bar{L}_{12} = \frac{1}{63} \left[ \sum_{i=1}^{63} (L_{12})_i \right] \quad (L_{12})_i, \text{各メッシュの} L_{12} \text{の値}$$

等である



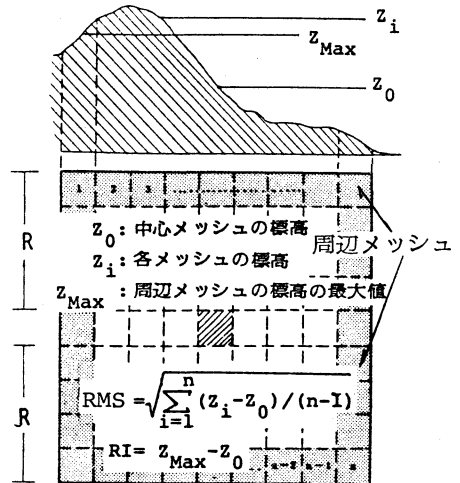
設定した正方形内の陸地、又は海の面積の正方形全面積に対する割合

$$\text{陸度} = \frac{\text{陸地の面積}}{\text{正方形の面積}}$$

$$\text{海度} = \frac{\text{海の面積}}{\text{正方形の面積}}$$

R=5, 10, 12, 15, 20

第2図 陸度L・海度Sの定義



起伏度: 正方形の周辺メッシュの標高の最大値と中心メッシュの標高との差

R=0, 6, 12, 20

標高差2乗平均: 正方形内の全/kmメッシュの標高と中心メッシュの標高の差の2乗平均値 R=4, 13, 20

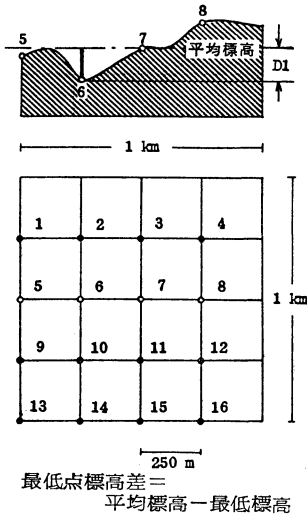
第3図 起伏度RI・標高差2乗平均RMSの定義

第3表 1km メッシュデータから算出した地形因子

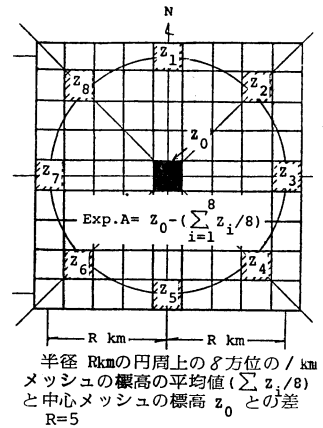
地形因子名	略号	種類	参照図番号
陸度	L	L5, L10, L12, L15, L20	第2図
海度	S	S5, S10, S15, S20	第2図
起伏度	RI	RI0, RI6, RI12, RI20	第3図
標高	Z		
標高差2乗平均	RMS	RMS4, RMS13, RMS20	第3図
緯度	N		本文参照
最低点標高差	DI		第4図
開放度	Exp. A	Exp. A5	第5図
遮蔽度	Shelt. E	Shelt. E1 (H=0m); Shelt. E3 (H=0) Shelt. E5 (H=0m); Shelt. E6 (H=0m) Shelt. E10 (H=100m); Shelt. E16 (H=400m) Shelt. E20 (H=200m)	第6図
収束度	COV	COV1-16 Rin/Rout=1/16 Hin/Hout=250/500 2-14 2/14 250/500 2-16 2/16 250/500 4-16 4/16 500/500 5-16 5/16 100/500 5-20 5/20 100/500	第7図
障害物距離	OBSD		本文参照
海岸距離	SEAD		本文参照
流通方向	ORI		第9図
流通・海岸方向差	SE	SE1 (H=0m); SE3 (H=50m) SE7 (H=200m); SE10 (H=300m) SE12 (H=100m)	第8図
地形因子をべき乗したもの		L(R)**2 L(R)=L(12) L(R)**3 L(R)=L(12) E(R)**2 E(R)=E(1), E(6), E(16) E(R)**3 E(R)=E(1), E(6), E(16) SE(R)**2 SE(R)=SE(10) SE(R)**3	本文参照 第2表参照

第4表 250m ピッチ標高データから算出した地形因子

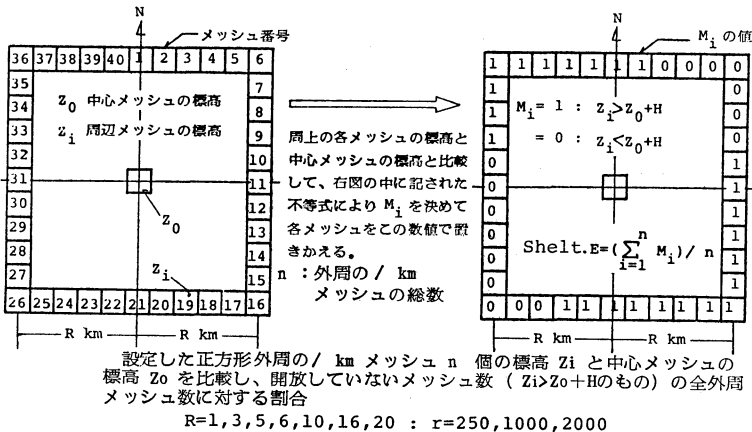
地形因子名	略号	種類	参照図番号
遮蔽度	Shelt. E	Shelt. E250 (H=20m); Shelt. E1000 (H=20m) Shelt. E2000 (H=20m)	第6図
収束度	C	C250-1000 Rin/Rout=250/1000 Hin/Hout=20/20 C750-1000 750/1000 20/20 C1000-2000 1000/2000 20/20	第7図
位置係数	E I	EI500 ; EI1000 ; EI2000	第10図
遮蔽度のべき乗		E(r)**2 ; E(r)=E(250), E(1000), E(2000) E(r)**3 E(r)**1/2 E(r)**1/3	第2表参照



第4図 最低点標高差 D1 の定義



第5図 開放度 Exp. A の定義



第6図 遮蔽度 Shelt. E の定義

なお、AMeDAS 有線ロボット気象計設置点、すなわち、地形因子算出対象地点の標高は、1 km メッシュ内の標高計測16地点中で最も近い地点の標高を用いた。また、設定した正方形の大きさの表現は km 単位のものとして区別するため、rm を用いた。

5. 平均風速推定のための回帰式の作成

5.1. 解析の対象とした母資料

5.1.1. 平均風速データ

回帰分析の従属変数として入力される月平均風速・年平均風速などは、今回のケーススタディーでは、青森・秋田・山形の東北3県の63地点における1978年4月～

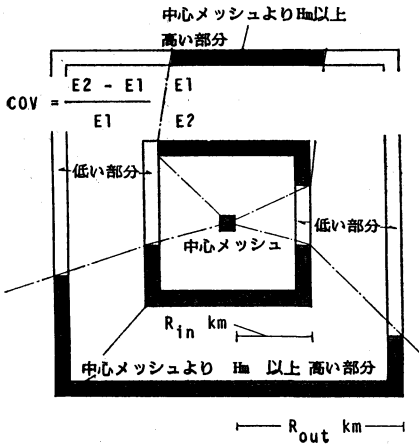
1979年3月までの1年間のAMeDASによる観測値を用いた。測定高さが異なるデータについては、1/4乗則の垂直風速分布を仮定して、地上10mにおける値に高さ補正を行っている。

5.1.2. 地形因子

独立変数としては、前章で定義した各種の地形因子を用いた。但し、前述の第2表に示すように、11種類の解析毎に設定した地形因子は異なる。

5.2 解析方法

11種類の解析のうち、ケース5の解析だけ解析方法の違いに伴う回帰精度の検討を行うために、主成分上の回帰を行った。他の10ケースの解析は、全てステップワイ



大ききの異なる2つの正方形に関する遮蔽度を求め、次式に従って地形による風の縮流の程度を示す収束度を求める  
 $COV = \frac{E2 - E1}{E1}$

E1; 内側の正方形で求めた遮蔽度  
 E2; 外側の正方形で求めた遮蔽度

$R_{in}$	$R_{out}$	$H_m/H_{out}$	$r_{in}$	$r_{out}$	$H_m/H_{out}$
1	16	250/500	250	1000	20/20
2	14	250/500	750	1000	20/20
4	16	500/500	1000	2000	20/20
5	16	100/500			
5	20	100/500			

第7図 収束度 COV の定義

ズ回帰分析を行った。なお、計算は東京大学大型計算機センターを利用した。

5.3. 解析結果

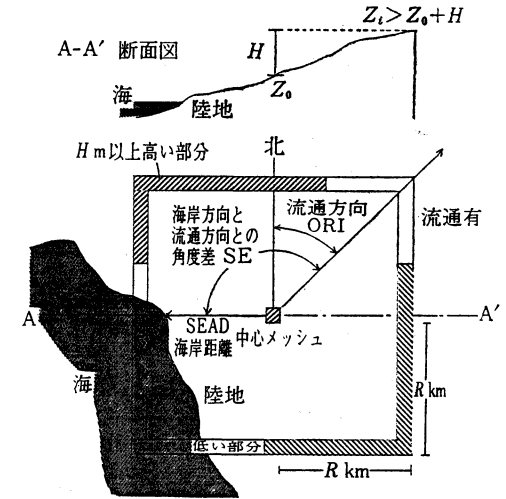
入力する地形因子の違い、解析方法の違いにより、解析は11種類に分類される。第5表に、11種類の解析で得られた回帰式の重相関係数の比較を示す。解析結果は重相関係数  $r$ 、分散分析による F 検定値及び推定誤差のヒストグラムにより比較検討した。

以下、各ケース毎に、その特徴と解析結果の概略を述べる。

5.3.1. ケース1

北岡ら (1971) の既往の研究に基づいて設定した地形因子を入力したもので、地形因子は全て 1km メッシュデータから算出したもので陸度・海度等12種類23因子である。

第6表に、ケース1における年平均風速・季節別平均風速の重回帰分析結果を示す。表の読み方は次のとおりである。表の左欄は設定した地形因子を示し、最上段は春・夏・秋・冬及び通年の区別を示す。なお、春は3月～5月、夏は6月～8月、秋は9月～11月、冬は12月～



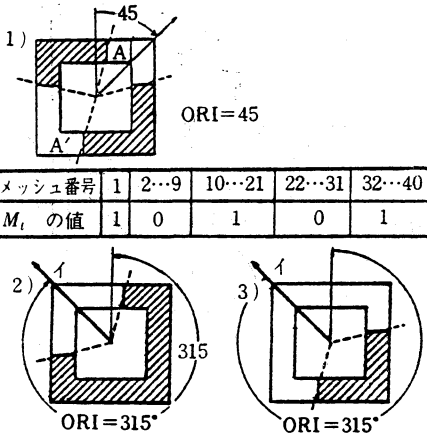
海岸から吹く風の通り抜け易さを示すもので、海岸距離を求めたメッシュの方向を海岸方向とし、これと流通方向との角度差の絶対値を流通・海岸方向差とする。SE > 180° の時は360° から、その角度を引いたものを SE とする。(したがって、SE = 0 ~ 180° とする。)  
 $R = 1, 3, 7, 10, 12$

第8図 海岸方向 SEAD 及び流通・海岸方向差 SE の定義

第5表 11種類の解析で得た回帰式の重相関係数

解析番号	平均風速の回帰式の種類				
	年	春	夏	秋	冬
case 1	.73	.68	.65	.75	.77
case 2	.77	.72	.67	.78	.81
case 3	—	—	.69	—	—
case 4	—	—	.69	—	—
case 5	主成分上の回帰では求めなかった				
case 6	.78	.77	.72	.78	.86
case 7	.82	.79	.70	.80	.86
case 8	.83	.79	.70	.80	.86
case 9	.79	.76	.70	.78	.86
case 10	.79	.76	.70	.78	.85
case 11	.79	.76	.70	.78	.85

2月を指している。表中に数字が記入されている地形因子が回帰式に採用された地形因子であり、数字はその偏回帰係数である。下から3段目の constant は偏回帰定数であり、その下の2つの段は回帰式の重相関係数・分散分析による F 値を示す。例えば、表の左端を縦に読み取れば、



外周メッシュの標高  $Z_i$  が中心メッシュの標高  $Z_0$  より  $Hm$  以上は高くない外周メッシュを求め、その部分は風の流通が良いとして流通のある部分の中央、北から時計方向に測った角度を流通方向とする。  
 流通がある部分が2カ所以上ある場合、北から角度を測って、最初に求められるものを流通方向とする。  
 中心メッシュと周辺との高低を比較して、メッシュ番号に対応して  $M_i$  を決めると1)の下に示す表が出来る。メッシュ番号と方位は対応して、例えば1→N, 11→21→S, 31→W等である。  
 表を最初から見て行き、0が初めて表れる時のメッシュ番号を求める。0が継続している時は継続が終わるメッシュ番号も求める。  
 こうして、0が1つの場合にはメッシュ番号から対応する方位を求め、0が継続の場合は初めと終りの番号の平均から0が継続する部分の中央のメッシュ番号を求め、方位を求める。  
 例えば、1)では  $(2+9) \div 2 = 5.5$  より0が継続する部分の中央のメッシュ番号は6であり、ORI=45°となる。ただし、2)や3)のようにメッシュ番号の1と40が共に0の値をとる時は、これを判断して1を41と読み変えた上で、0が継続する部分の中央のメッシュ番号を求めている。

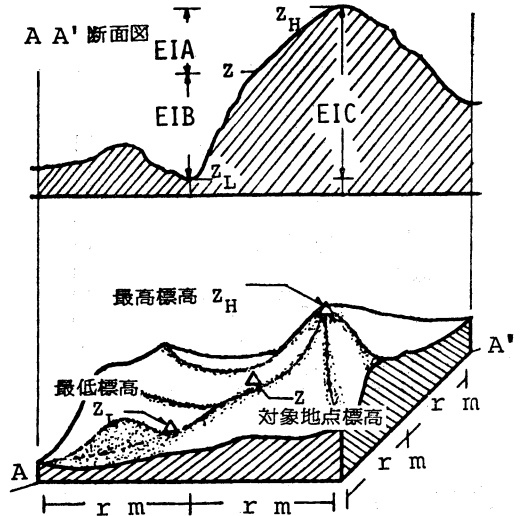
第9図 流通方向 ORI の定義

$$V_{spring} = -0.008 \times (L10) + 0.007 \times (Shelt. E1) + 0.022 \times (Shelt. E16) - 0.006 \times (SE10) + 1.664$$

が得られた重回帰式であり、重相関係数は0.68, F値は12.48である。

第6表より、重回帰式に採用された地形因子数は3~4因子であり、SE10やShelt. E1などはほとんどの重回帰式に採用されており、この地方の風に対して大きな影響を及ぼすことが判る。

得られた重回帰式の重相関係数は、0.65~0.77とやや小さく、特に風の弱い春、夏の平均風速の重回帰式におけるものが小さい。しかし、分散分析によるF値は、12.5~12.3であり、 $F_{3,59,0.005} \approx 4.8$ などと比較すると全ての重回帰式は0.5%の危険率で有意であると言える。



A~Dの4種類があり、設定した正方形内の250mピッチ標高データの内の、次のものを用いて算出する。

$Z$ : 対象地点標高  
 $Z_H$ : 最高標高  
 $Z_L$ : 最低標高  $r=500, 1000, 2000$   
 $EIA = Z_H - Z$        $EIC = Z_H - Z_L$   
 $EIB = Z - Z_L$        $EID = EIA / EIC$

第10図 位置係数 EI の定義

5.3.2. ケース2

回帰精度を向上させるため、地形因子を計算する時の正方形の大きさRを小刻みに変化させて算出した地形因子を入力した。入力した地形因子は、11種類29因子であった。

第5表に示した回帰式の重相関係数をみると、ケース2の回帰精度はケース1に比べ若干向上した。

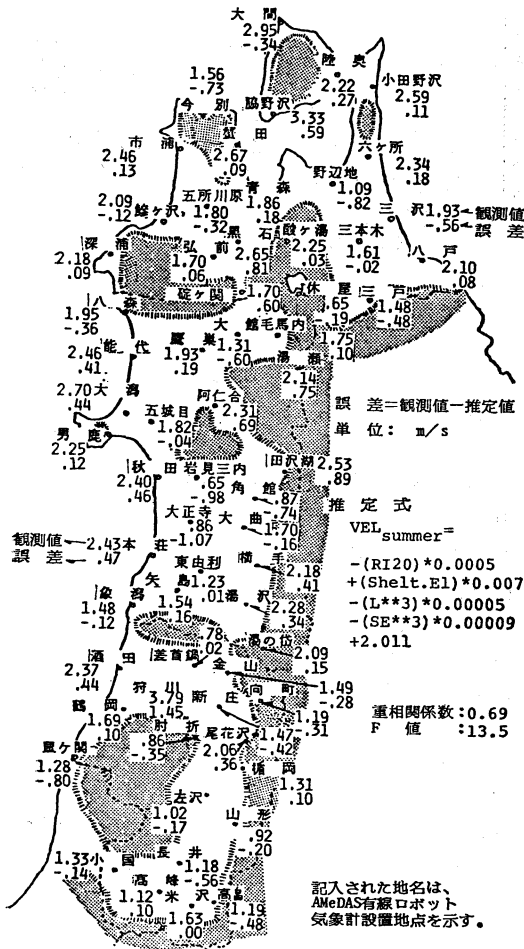
5.3.3. ケース3

ケース3~5では、夏季平均風速の重回帰式の精度が他のものより悪いので、これを改善するための解析を行った。

ケース3では、夏季平均風速と正方形の大きさRを変化させて計算した地形因子との単相関を求め、相関係数が大きくなるRを採用した地形因子を入力した。従って、ケース3で設定した地形因子は、第3表に示すよう、他のケースで設定した地形因子と異なるものが含まれる。

ケース2と回帰精度はほとんど変わらなかった。





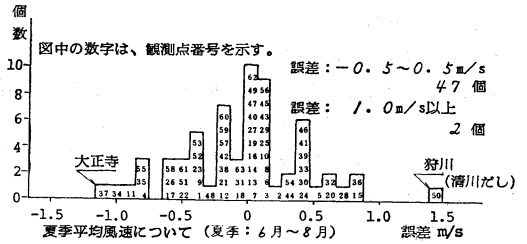
第11図 ケース4における夏季平均風速に関する誤差の地理的分布 (ここに示す夏季が最も回帰精度の悪い季節である.)

5.3.4. ケース4

元の地形因子をべき乗して求めた地形因子を入力した。これらの因子が回帰式に採用されれば、線型回帰プログラムを用いながらも2次回帰や3次回帰等の非線型回帰を行ったのと同じことになる。

重相関係数は0.69であり、ケース3と変わらない。採用された地形因子は4つで、陸度の3乗や流通・海岸方向差の3乗などが含まれる。

得られた回帰式を用いて、解析対象地域の AMeDAS 有線ロボット気象計設置地点における夏季平均風速を推定し、観測値と比較したものが第11図である。また、誤差=観測値-推定値のヒストグラムを第12図に示す。



第12図 ケース4における夏季平均風速に関する誤差のヒストグラム (夏季: 6月~8月)

誤差が ±1 m/s 以上の地点は、大正寺・狩川の2地点であり、±0.5 m/s 以内のものが47地点ある。このうち、狩川では清川だしと呼ばれる著名な局所風が吹いており、今回設定した地形因子では、このような局所風を十分説明できなかったために誤差が大きくなったと考えられる。

5.3.5 ケース5

設定した地形因子は、ケース2で設定したものと同一のものである。分析方法は、主成分上の回帰分析を用いた。これは分析方法により、回帰精度が異なるかどうか確認するためである。

利用したプログラムでは重相関係数を計算しないので、第11図や第12図のような推定誤差の分布図を作り、この比較により回帰精度を検討した。

図は省略するが、誤差が ±1 m/s 以上の地点はねずが関のみであり、ケース4よりも数は減少している。また、誤差のヒストグラムは、若干、ケース4に比べ中央値0に集中しており、主成分上の回帰がいくらか優れていると考えられる。但し、回帰式に取り入れられている地形因子数が多く、ケース4の4因子に比べ、ケース5では29因子と7倍にもなっている。本研究では、以下の2つの理由により主成分上の回帰を行うのを止めて、ステップワイズ回帰を用いて更に回帰式の検討を行なうこととした。(1) ステップワイズでも全地形因子を回帰式に入れると、重相関係数が大きくなり回帰の精度が向上し、主成分上の回帰と同程度の結果が得られる。(2) 主成分上の回帰は、上位5主成分の回帰を行う場合でも、6~10個の地形因子を必要とするので、平均風速の推定を行う際、必要とする地形因子数がケース4の4因子に比べ2倍程度になる。東北3県等広い面積の地域にわたって1つの地形因子を1 km メッシュ毎に算出するのに要する計算時間は膨大なもので、推定精度が同程度であれば、地形因子数は出来る限り少ない方がよい。

5.3.6. ケース6

従来の地形因子は 1 km メッシュデータから算出したものであったが、地形の細かい凹凸を表現するには 1 km メッシュの平均標高では質が粗すぎると考えられる。そこで 250 m ピッチ標高データを用いて算出した地形因子として、第2表に示すように遮蔽度、収束度の2つを追加した。

解析結果の表は省略するが、回帰式に取入れられた地形因子数は4~9因子と多い。250 m ピッチ標高データから計算した地形因子が、全ての回帰式に取入れられている。重相関係数は0.72~0.86であり、F値は9.3~24.9であり、いずれの回帰式も0.5%の危険率で有意であると言える。

夏季平均風速の回帰式については、重相関係数が0.72とケース4の  $r=0.69$  に比べ大きくなっており、他の季節についてもケース2の値に比べ大きくなっている。

第13図に、ケース6における誤差のヒストグラムの一例として、夏季平均風速に関するものを示す。誤差が±1 m/s以上ある地点は、年間・年間共に共通で狩川・岩見三内・田沢湖・阿仁合の3~5地点である。一方、誤差が±0.5 m/s以下の地点は43~51点である。

5.3.7. ケース7

ケース7で設定した地形因子は、ケース6の地形因子のうち、1 km メッシュデータから算出したものでケース6の回帰式に取入れられなかった因子を省き、そのかわりに 250 m ピッチ標高データから計算した遮蔽度のべき乗を新たな地形因子として加えている。

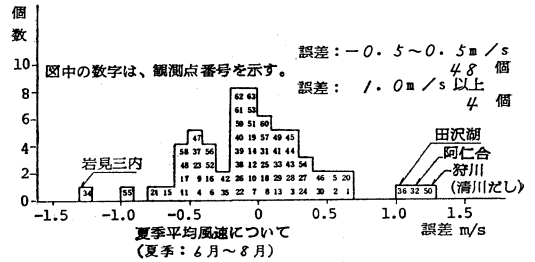
地形因子は、全部で10種類29因子である。

第7表にケース7における解析結果を示す。回帰式に取り入れられた地形因子数は4~9であり、遮蔽度のべき乗などが採用されている。重相関係数は、0.70~0.86で、ケース6と比べると夏季平均風速に関する相関は若干悪くなっているが、その他の季節に関する相関は向上している。F検定の結果は、回帰式が0.5%の危険率で有意であることを示している。

第14図に、ケース7の誤差のヒストグラムの一例として、夏季平均風速に関するものを示す。誤差が±1 m/s以上と大きい地点は2~4点であり、一方、誤差が±0.5 m/s以内のものが39~52地点ある。春季平均風速についての誤差が、ケース6よりも大きくなっている。

5.3.8. ケース8~ケース11

ケース7で設定した地形因子は、プログラムに入力できる地形因子数の制限から遮蔽度  $E(r)$  の  $1/3$  乗を含ま



第13図 ケース6における夏季平均風速に関する誤差のヒストグラム

なかった。そこで、ケース7の回帰式に採用されなかった地形因子のかわりに、遮蔽度  $E(r)$  の  $1/3$  乗を入力してケース8の解析を行った。

また、荒木の研究(1979)に基づいて位置係数 EI を入力したケース9~ケース11の解析を行った。ケース9~ケース11は、前述のようなプログラムの制約により、位置係数を少しずつ変えて解析したものであり、本質的な違いはない。

第5表に示す回帰式の重相関係数を比較すれば判るよう、ケース8以降の解析結果はケース7の結果とほぼ同じであり、何ら改善されなかった。

5.4. まとめ

以上、11回の試行のうち、主なものについて述べて来たが、これら11ケースについて整理すると、「青森・秋田・山形の地形因子を用いた平均風速の推定」について以下のことが言える。

(1) 上記3県の平均風速を地形因子から推定する回帰式の重相関係数は、ケース7など良い結果が得られた試行の場合、最も相関が悪い夏季平均風速の回帰式については、0.70、最も良い冬期平均風速の回帰式については0.86である。また、これらの回帰式は分散分析の結果、0.5%の危険率で有意である。

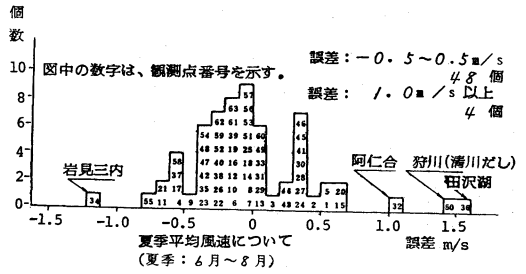
(2) 主成分上の回帰とステップワイズによる1次回帰とを比較すると、前者の方が回帰精度がやや高いと言える。しかし、回帰式に取入れられた地形因子数が前者の方がはるかに多いため、回帰式を用いて風速を推定するのに多くの地形因子を計算する必要があり、電子計算機の演算時間が大幅に増加する。実用的にはステップワイズによる回帰を用いるのがよいと考えられる。

(3) 季節により回帰式に取入れられる地形因子の種類が異なる。

(4) 同じ地形因子でも予測対象地点からどの程度離れた所までの地形を計算するかを示す正方形の大きさ R

第6表 ケース1の解析結果

	SP	SU	AU	WI	YEAR
L 10	-0008		-0013		
L 20					
S 5					
S 20				0.023	0.013
RI 12					
RI 20		00005			
Shelt.E1	0007		0007	0.009	0008
Shelt.E5		0012			
Shelt.E10					
Shelt.E16	0022				
COV1-16					
COV2-16			0.005	0.006	0.005
COV4-16					
SE 1					
SE 10	-0006	-0004	-0.005	-0.006	-0.005
RMS4					
RMS13					
ExpA					
Z					
RI 0					
D1					
SEAD					
OBSD					
CONSTANT	1664	2219	3108	2260	2140
重相関係数	0.680	0.652	0.748	0.771	0.730
F	1248	1458	1837	2128	1657



第14図 ケース7における夏季平均風速に関する誤差のヒストグラム

られた。本章では、ケース7の分析結果をもとに、青森・秋田・山形の3県における平均風速分布図の作成方法について述べる。

### 6.1. 東北3県における平均風速の推定式

青森・秋田・山形の東北3県における年平均風速・季節別平均風速の推定式を前掲の第7表に示す。表の読み方は、第6表において既に述べているとおりである。上記3県においては、冬季平均風速が最も高く、夏季平均風速が最も低い。回帰式の重相関係数及び採用地形因子数を参照すると、風速が高い季節の平均風速に関する回帰式ほど、採用した地形因子数が多く、かつ重相関係数が多い。

### 6.2. 地形因子の算出方法

任意の地点における平均風速を推定するには、メッシュデータから推定したい地点の地形因子を計算し、推定式に算出した地形因子の情報を入力する必要がある。そのために、青森・秋田・山形の3県が含まれる地域の1kmメッシュデータと250mピッチ標高データを計算機に記憶させ、5km間隔に中心核となるメッシュを設定し、各中心核メッシュに対応する地形因子を計算した。この中心核メッシュ毎に風速の推定が行なえる。

### 6.3. 平均風速分布図の作成

5km毎に求めた地形因子を推定式に代入して、5kmメッシュ毎に平均風速を計算する。ここで算出した推定平均風速値は前掲の第14図に見られるような誤差を含むものである。そこで、1つの予測対象地点の周囲にある風速観測地点を4点選び、4点における推定誤差を距離による重み付けをした内挿法により、その地点における推定誤差として求め、補正を施した。

このようにして求めた青森・秋田・山形の3県の年平均風速分布図を第15図に示す。この図の他、春・夏・秋・冬の各季節毎の平均風速分布図を作成したが、ここで

を変化させることにより、回帰の精度を向上させることができる。

(5) 推定誤差が大きい地点はどのケースでもほぼ一定であり、岩見三内・阿仁合・田沢湖と狩川・ねずが関などが挙げられる。後者の2点は、清川だし・胎内だしなどと呼ばれる局所的強風の吹く場所で、設定した種々の地形因子ではこれを説明できなかったと考えられる。また、前者はすぐ近くに山が迫っており、やはりこの影響を十分説明しきれなかったと考えられる。

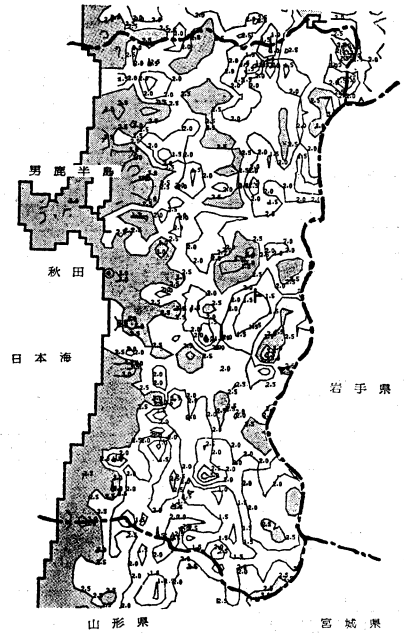
(6) 回帰式の重相関係数・F検定の結果及び推定誤差の分布などを考慮すると、ケース7などで得られた回帰式を用いて上記3県における年平均風速等が十分推定できる。但し、局所風が吹くような地域ではその補正を考慮する必要がある。

## 6. 青森・秋田・山形の東北3県における平均風速分布図の作成

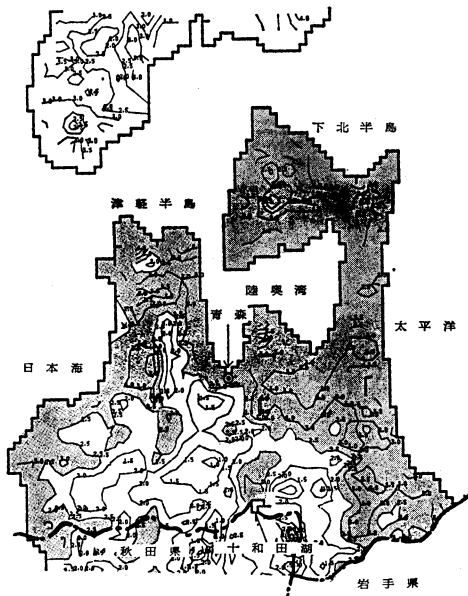
前章において、11ケースの分析結果について述べ、ケース7~11において求めた平均風速の推定式が、この地域の平均風速を推定するのに最も適していることが認め

第7表 ケース7の解析結果

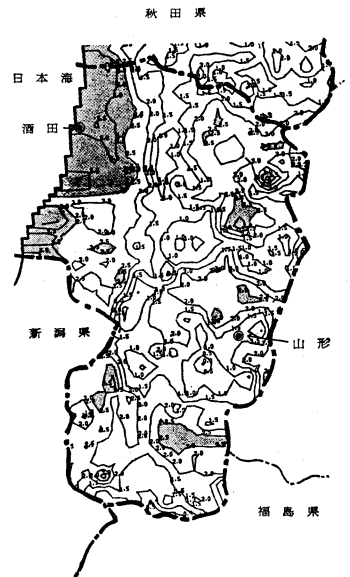
	S P	S U	A U	W I	YEAR
L 10			-0.0078		
L 20					
S 20				0.0176	0.0076
RI20	0.0005	0.0005	0.0003		
Shelt.E 1					
Shelt.E 3	-0.0069			0.0104	-0.0066
Shelt.E 5					
Shelt.E10					
Shelt.E16					0.0129
COV 2-16			0.0036	0.0051	
SE 3	-0.0066	-0.0033		-0.0063	-0.0041
SE 7			-0.0055		
SE10		-0.0037			
SE12	-0.0056			0.0062	-0.0037
Shelt.E250					
Shelt.E1000					
Shelt.E2000	0.0239	0.0256		0.0304	
C 250-1000					
C 750-1000					
C1000-2000			0.0184		0.0261
E(250)**2			-0.0017		-0.0014
E(1000)**2					
E(2000)**2					
E(250)**3	0.00001		0.00004	0.00001	0.00004
E(1000)**3					
E(2000)**3					
E(250)** $\frac{1}{2}$					
E(1000)** $\frac{1}{2}$	0.2544			-0.3442	-0.2565
E(2000)** $\frac{1}{2}$					
CONSTANT	2.4335	0.6896	3.5001	1.3052	2.1906
互相関係数	0.7875	0.7011	0.7968	0.8554	0.8242
F	128	140	137	184	125



(2) 秋田県における分布図



(1) 青森県における分布図



(3) 山形県における分布図

第15図 地形因子から推定した青森・秋田・山形3県における年平均風速の地理的分布 (図中の濃い部分は風速が強いと思われる地域)。等風速線は0.5 m/s 間隔で描いているがプロッターで自動作図しているため、線が滑らかでない。

は誌面の都合で省略する。図中、暗い網目を施した部分は、平均風速が 2.5 m/s 以上の地域であり、風が強いと思われる地域である。なお、図には 0.5 m/s 間隔で等風速線を描いてある。図はプロッターで自動作図したので線は滑らかでない。

今後は本研究成果を生かし、関東地方や阪神地方などにおいても地形因子解析法により年平均風速等の分布図を作成する予定である。

## 7. 結論

以上、本研究の成果をまとめると以下のことが言える。

(1) 任意の地点の年平均風速・月平均風速等の平常時の風速の推定に関して、地形因子解析法が適用できる。

(2) 地形因子解析法で得た回帰式の重相関係数は、0.70~0.86であり、風が強い冬期平均風速に関する回帰式の重相関係数が最も高く、風が弱い夏期平均風速の回帰式の重相関係数が最も低い。また、回帰式の分散分析による F 検定では、得られた回帰式が危険率 0.5% で有意であることを示している。

(3) 回帰式による推定誤差が大きい地点が数地点あるが、これらは局所風で著名な地点か、ごく近くに大きな山があるような地点であった。

(4) 国土庁編さんの第3次メッシュ数値情報を用いて、日本全国の 1 km メッシュごとに、地形因子解析に有用な地形因子を計算機により、大量に、かつ容易に算出できる。地形因子の計測方法の簡略化と精度の向上は、地形因子解析法の有効性を増大したと言える。

(5) 各種の地形因子の中では 250 m ピッチ標高データから算出した地形因子が精度の向上に大きな貢献をした。風速を精度よく推定するためには、従来考えられていた因子よりかなり近くの地形を詳細にとらえる必要がある。

(6) 青森・秋田・山形の3県について、推定誤差の補正も行った上で、5 km メッシュ毎の年間・季節別平均風速分布図を作成した。

## あとがき

本研究は「農林水産業における自然エネルギーの効率的利用技術に関する総合計画（グリーンエナジー計画）」の一環として行われたものである。農林水産省から委託

を受けた東京大学生産技術研究所内に「日本列島における風力エネルギーの地理的分布と季節変化に関する研究」委員会（委員長村上周三）が設けられ、昭和53年度から研究を行ってきたもので、本稿はその内の地形因子解析法に関する研究の部分をこの研究を担当した筆者4人がとりまとめたものである。同委員会の本稿著者を除く委員は次のとおりである。

草野和夫（元委員・日本気象協会）、尾崎康一（気象庁産業気象課）、関利孝（科学技術庁）、牛山泉（足利工業大学）、藤井邦雄（清水建設）、河村寛二（日建設計）、加藤信介（東京大学）

御協力戴いた各委員に感謝の意を表します。

## 文献

- 荒木真之, 1979: 地形要因による山地の風速推定法, 林業試験場研究報告, 303, 47-63.
- 藤田峯三, 1974: 地域メッシュ統計講座, 統計.
- 羽倉, 小泉, 若月, 1979: 台風災害におよぼす局所地形の影響に関する研究(Ⅱ)—1975年台風13号による八丈島の風害について, 日本建築学会論文報告集, 280・281.
- 気象庁統計課, 1954: 各地の降水量を地理的因子のみからグラフで推定する方法, 電力気象連絡会会報, 3, 141-153.
- 気象庁統計課, 1965: 架橋候補地における風の再現期間の推定(Ⅱ)本州・四国連絡橋調査, 気象調査(中間報告その3), 37-87.
- 北岡, 相馬, 菊地原, 奥田, 1971: 設計風速に関連する地域特性, 日米天然会議耐風耐震構造専門部会第3回合同部会資料.
- 国土庁計画・調整局, 1978: メッシュデータの利用方法と事例研究, 国土計画基礎調査シリーズ, 1.
- 草野, 柴田, 1979: 地域気象の調査について, 測候時報, 46, 167-184.
- Linsley, K., M.A. Kohler and J.L.H. Paulhns, 1949: Applied Hydrology 94, 643-655.
- 日本列島における風力エネルギーの地理的分布と季節変化に関する研究委員会, 1980: 日本列島における風力エネルギーの地理的分布と季節変化に関する研究, その2, 205-326.
- Spren, W.C., 1947: A Determination of the Effect of Topography upon Precipitation, Trans. Am. Geophys. Union, 28. 285-290.
- 斎藤, 井上, 壇上, 1959: 暴風値の図式相関解析, 研究時報, 11, 775-780.
- 柴田, 田中, 1980: 積雪分布の推定, 研究時報, 32, 51-57.