

## 地形要因による山地の風速推定法

荒 木 眞 之<sup>㉑</sup>

Masayuki ARAKI: Estimation of Mean Wind Velocity in August  
in the Mountainous Region by Topographical Factor

**要 旨**：山地の風速条件を把握することは、天然下種更新を確実にするため、あるいは風衝地の取扱い方を立案するために必要である。しかし、山地には風速観測点は極めて少ない。そこで高度、位置係数、起伏度、開放度、走向、陸度、緯度等の地形要因を用いて8月における平均風速を推定する方法を開発した。利用上の便を考慮し、推定する対象地の広さ、すなわち地形計測の範囲は林業施業上の一団地の大きさに設定した。一方、推定手法には数量化I型を用いたため、利用の際の推定値算出は容易である。付随的に、各種地形要因の風速におよぼす影響を地形要因の選択作業を通じて調べた。得られた推定式はとくに作成された関東甲信越地方の風速分布図でチェックされた。

### I は じ め に

現在、国有林の更新対象地は奥地林・亜高山帯林・ブナ林などこれまで対象にしなかった地帯におよんでいる。これらの地帯では天然下種更新が行われるため、種子の飛散距離を決定する風速の資料が重要である。一方、別の開発対象として軽度の風衝地も考慮の余地があろう。風速環境以外は特に劣悪な条件がない場合が多いからである。すなわち山地の風速条件を把握することは特殊更新地帯の施業法を立案するためにも、目下国内への導入可能性が検討されているバルーン集材に対応するためにも必要である。ところが周知のように山地には気象観測点、特に風速観測点は少ない。そこで、筆者は山地に適用できる8月の月平均風速の推定法を1976年より検討してきたが、数量化I型による推定式をほぼまとめ得たので報告する。

ただし、最近は山地における風速観測点がいっそう減り、極めて少数箇所しかない。したがって、解析に用いたデータは1948年以前のものである。気象庁は、1949年にロビンソン係数の変更を、さらに1961年に測器の制式変更を行った。そのため、日本気候表等気象庁統計では、ここで用いた観測値と現在の観測値は別個に扱われている。また、すでに廃止されて現在存続していない観測所の値も含めて、当時観測された値のほぼすべてを収集しデータに用いたが、その数は104である。一方、数量化の手法は結果の検定法がないことから、適用は大標本による必要がある<sup>27)</sup>とされている。しかし、今後においても山岳・山間地における風速の系統だった観測が行われる可能性は目下のところないのでデータは少ないがこの適用を試みた。なお、ここで用いたカテゴリー総数は35であるので、数量化法適用に関する実際の必要条件である、データ数はカテゴリー総数の3倍程度以上<sup>27)</sup>をほぼ満足している。

この報文作成にあたって経営部川端幸蔵主任研究官ならびに室長粟屋仁志博士、および防災部樫山徳治科長の適切など助言をいただいた。心からお礼申し上げる。

## II 既存の方法

既存の風速推定法には気象官署のデータを用いて、平地を対象とした例<sup>18)</sup>のみがある（これを以下原法と称する）。これは、高度・起伏度・海岸度・開放度・陸度・走向・地域区分等の要因について地形計測を行い、計測値を共やく図に順次あてはめることにより、暖候期あるいは寒候期の半年間平均風速を求めたものである。なお同一著者・手法による年最大風速の推定法<sup>17)</sup>も開発されている。

原法の妥当性を推定値と実測値間の相関係数によってみると、原法作成に用いた 167 の気象官署のデータについては寒候期に  $r=0.87$  を示し、暖候期に  $r=0.92$  を示したので満足すべき結果といえる。しかし、山間地に所在する森林測候所（後述）の場合について、原法で規定された地形解析を行い風速を推定し実測値との間の相関係数を求めると、寒候期に  $r=0.15$ 、暖候期に  $r=0.18$  であった。

## III 開発目標

森林測候所が所在する山地あるいは山間地に原法が適用できないのは、下記の理由によるものと思われる。すなわち風速分布は局地性が強く<sup>17)18)22)23)</sup>、特に起伏のある地域では地形の影響が濃厚<sup>24)~26)</sup>だからである。一方、原法は大多数が沿海平地に設置されている気象官署のデータを用いて作成されているため、地形計測のスケールが大きい。

したがって、まず山地・山間地を対象とする風速推定法に適した地形計測法を検討し、特に地形変化を把握するスケールの大きさを縮小する必要がある。このことは目的である林業への利用のためにも必要である。すなわち、地形計測のスケールあるいは推定対象地の広さが林業施業の単位面積とかけ離れたものでは利用上不都合であろうからである。この作業を通じ風速に対する地形の影響程度および範囲が明らかになろう。

また、推定値算出手法は数量化 I 型的手法とし使用を簡素化する必要がある。原法の共やく図方式は読み取り誤差が累積する危険があると同時に、作業が煩雑だからである。

推定式開発は、中核をなすデータである旧山岳測候所の観測値が 7・8 月に限定された場合が多いので、8 月の月平均風速を対象とした。また、8 月は林木の生育期間の中心と考えられたからである。一方、推定式利用の単近な例としてバルーン集材への対応が予定されているが、バルーン集材は 8 月が適期<sup>1)</sup>と考えられたからである。他方、最大風速を推定し森林の風倒などに対処することも重要な課題であるが、最大風速は地形的影響が特に大であり一般化はまず不可能に近い。

## IV 地形要因の検討

ここでは、推定手法を共やく図法から数量化法に変更することの可否を検討し、あわせて各種地形要因ごとに計測法を山地・山間地に適するよう改良した。地形計測法の検討素材には後述する森林測候所 41 地点のデータを用いた。手法は要因ごとに考えられる計測法のすべてによる計測値を求め、それらの各方法ごとに計測値と寒候期および暖候期の平均風速との単相関係数を計算し、相互に比較する方法をとった。

### (1) 共やく図以外の解法の検討

原法の計算に使用された地形計測値および風速値のデータ群に重回帰式をあてはめた。この際、連続変

量ではない走向・地域区分の2要因は省略した。得られた係数を用い推定値を求め実測値と対比すると、相関係数は寒候期に  $r=0.66$  で暖候期に  $r=0.76$  であった。これは2要因を省いたことから妥当な値であろう。すなわち、これらの地形計測法は共やく図によらなくとも有効に風速と関係づけられることがわかった。

## (2) 開放度

開放度を規定する円（地形計測を行う範囲を限定するための円、以下計測円と称する）の径・障害となる比高の最適化を検討した。原法の計測法は作業が煩雑であるため、ここでは風速を推定しようとする地点（以下地点と称する）より16方位に向かった放射状線および、地点を中心とする計測円を設定し、円内にある障害部分を横断する放射状線数を読みとる方法によった。すなわち、仮に2つの放射状線が一定の傾斜値によって設定された値以上の比高を示す障害部分を横断した場合、その地点の開放度は

$$360^\circ - [(360^\circ \div 16) \times 2] = 315^\circ$$

となる。

まず、検討範囲を限定するため粗検討を行った。すなわち、傾斜値を2%から2%間隔で20%まで設定し、かつ、計測円を1kmおよび3kmに設定し、個々の組み合わせについて開放度を求めた。これら各種の開放度と年平均風速（寒暖両期一括して）間の相関係数を求めると、傾斜値2%の相関係数が比較的高い。そして、傾斜値が増すに従い相関係数は減少し、低い水準で変動する。傾斜値が18%になるとやや相関が向上する。一方、計測円は2%の場合を除き半径1km円がより高い相関係数を示している。この相関係数が増大するピークが2つある問題について次のように考えられた。

開放度と風速の相関関係には次に述べる、山の高さの問題、地形の問題およびその地域における夏期の主風方向の問題が含まれている。山の高さが低ければ風に対して障害にならない。しかし、山が高くなると風向・風速等の条件によっては障害となる場合もあろう。そして、山がより高くなると地点からみたその山の山腹あるいは山裾の水平夾角が増大することとあいまって、風向等にかかわらずほぼ常に風が遮断されるであろう。

一方、風向・風速等の条件が等しい風が、同じ高さの連山と孤立峯とにあたる場合、および稜線が平坦な山と鞍部がある山とにあたる場合は、それぞれ風速の減衰程度に差があろう。

このように考えると、傾斜値2%は山による風の遮断作用が発生する限界と思われる。そして、上記のように定義し、計測した地点ごとの開放度と風速とは対応がとれており相関係数が高い。しかし、傾斜値が3%以上になると開放度が過大に計測されるため相関係数が低下するものと思われる。同様に傾斜値18%は山が高くなり、ほぼ常にどの方向の風も遮断するようになる限界を示しているのであろう。そして、この場合は風速の減衰作用も顕著になるとと思われる。この定義によると、その地点が開放とみなされる地点数が増加するであろう。しかし、残りの地点では風速との対応が厳密に行われるであろうから、相関係数の向上が認められるのではなかろうか。

類例に、遮断作用が発生する限界を5.2%と、全方向の遮断作用が発生する限界を14%とした例<sup>10)</sup>がある。この場合は、ここで用いている開放度とは異なり、単に1つの山の距離と高さから解析しているため値にずれを生じたのであろう。

いずれにしろ、風速推定を目的にする場合、限界傾斜値は18%でなく、2%の方を検討すべきと判断された。これは、18%以上の地点では風が常に遮断され減衰が顕著だからである。

次に、以上の検討の結果にしたがい計測法を検討した。傾斜値を 1・2・3%，計測円半径を 0.5・1・2・3・5・10 km にとり、風速値は寒候期・暖候期にわけ、個々の場合について開放度と平均風速の相関係数をみた。結果は Table 1 の通りである。傾斜値は 1% の場合に全体的に相関係数が高く、計測円半径はおおむね 1 km 円の場合に係数が高い。これらの傾向は寒・暖候期とも共通である。前の粗検討では、傾斜値の最低値を 2% に設定したため 2% が最高の結果を示していた。

すなわち、開放度は傾斜 1%，計測円半径 1 km によって地形解析を行うのが良いと判断された。原法<sup>17)18)</sup>の定義の傾斜度は

$$200\text{m}/15\text{km}=0.0133=1.33\%$$

であるので、計測法のちがい（原法は 20 万分の 1 地勢図を用いるため等高線間隔 100 m に制約される）を考慮すると同じ結果といえよう。

(3) 位置係数

原法にあっては、半径 8 km の計測円内の最高点と地点の差を起伏度としている。しかし本来、起伏度は円内の最高点と最低点の標高差<sup>19)20)</sup>と定義されているが、原法はこれに従っていない。また、本報文中で扱うデータは山頂あるいは谷底のデータが多いことから、本来の起伏度・原法の起伏度およびそれ以外 4 種の起伏程度の計測法を検討した。6 種の検討結果を Table 2 にまとめた。

Table 1. 開放度と平均風速の関係  
Relation between wind velocity and shield effect of mountains

計測円の半径 Radius (km)	傾 斜 値 Inclination (%)		
	1	2	3
0.5	0.10	0.09	0.08
	0.07	0.06	0.06
1	0.32	0.31	0.21
	0.28	0.27	0.16
2	0.26	0.30	0.27
	0.21	0.27	0.25
3	0.30	0.30	0.25
	0.28	0.26	0.20
5	0.28	0.27	0.26
	0.19	0.19	0.17
10	0.17	0.21	0.18
	0.12	0.19	0.15

注：表中の数字は傾斜値・計測円の半径を表の組合せに従って定義した場合の開放度と半年間平均風速の相関係数，上段が暖候期，下段が寒候期。

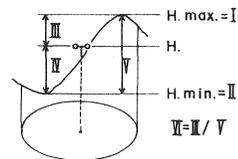
Note : Shield effect of surrounding mountains for the center point of the measuring circle is decided as follows, 1) 16 radial lines along 16 directions are drawn from center to the edge of the circle, 2) when the maximum elevation on the line exceeds some value of inclination, the line is considered as showing shield effect, 3) total shield effect is calculated as  $360-(360/16)x$  ( $x$  is the total number of line showing shield effect).

Numerals in the table are correlation coefficient between the shield effect for each site and semi-annually mean wind velocity. And, upper ones are the coefficient for the period, Apr. to Sept. and the lower ones for the period, Oct. to March.

Inclination : The ratio of the max. elevation to the radius of measuring circle.

Table 2. 起伏度と平均風速の関係  
Relation between wind velocity and undulation of surroundings

計測円の半径 Radius (km)	起伏計測法 Mensuration of undulation					
	I	II	III	IV	V	VI
0.5	0.06	0.01	- 0.13	0.40**	0.18	- 0.21
	0.11	0.08	- 0.11	0.32*	0.14	- 0.21
1	0.00	- 0.03	- 0.24	0.35*	0.06	- 0.41**
	0.05	0.05	- 0.23	0.27	0.02	- 0.40**
2	0.04	- 0.04	- 0.06	0.28	0.12	- 0.32*
	0.09	0.06	- 0.04	0.19	0.08	- 0.26
3	0.05	- 0.05	- 0.03	0.30	0.13	- 0.34*
	0.08	0.06	- 0.03	0.21	0.08	- 0.27
5	0.09	- 0.04	0.06	0.26	0.17	- 0.25
	0.12	0.07	0.06	0.17	0.13	- 0.17
10	0.07	- 0.05	0.01	0.20	0.12	- 0.20
	0.10	0.08	0.01	0.14	0.08	- 0.16



計測法は図の通りである。  
Each mensuration was decided as the illustration shows.

表中の数字は計測円の半径・計測法を表の組み合わせに従って定義した場合の起伏度と半年間平均風速の相関係数。  
Numerals in the table are correlation coefficient between the degree of undulation and mean semi-annually wind velocity for each site by each mensuration.

上段が暖候期, 下段が寒候期である。

Upper rows show the coefficient for the period, Apr.~Sept., and lower ones for the period, Oct.~March.

\*: 5% 水準にて有意。 Significant at 5% level.

\*\* : 1% 水準にて有意。 Significant at 1% level.

結果は, 0.5 km 円・IV 法における寒・暖候期および 5 km 円・IV 法における暖候期の例を除き, VI 法の相関係数が高く, 他法との差が大きい。VI 法間では, 計測円径 1 km の場合が寒・暖候期とも比較的高水準の相関係数を示すので, 1 km・VI 法を採用した。この計測法は起伏の程度より, 地点が斜面のどこに位置するかを表現しているので位置係数と名づけたい。一方, 原法に従った III 法は高水準に達しなかった。

#### (4) 起伏度

Table 2 における解析では, 地点風速は地点付近の起伏の程度よりも, むしろ地点が位置する斜面上の位置と相関が高いことがわかった。しかし, Table 2 は森林測候所のデータによって求められたが, 推定式作成のための計算は森林測候所だけでなく, 山岳測候所および気象官署のデータも用いた。したがって, 地形変化がより激しいか, 逆にごくわずかなデータに対応する要因をとり入れる必要がある。すなわち, 山岳測候所は多く山頂に所在するが, 逆に気象官署は多く平地に所在するため, 位置係数が両極端の 0 あるいは 1 となる地点が全体の 1/3 を占める。このことを考

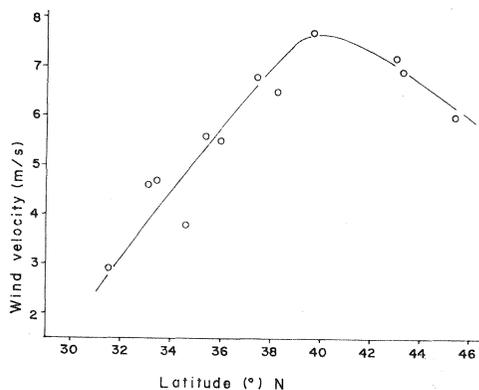


Fig. 1 8月の700 mb面の平均風速  
Monthly mean wind velocity on isobaric plane at 700 mb in August.

慮すると地点付近の起伏量絶対値を示す V 法，すなわち本来の起伏度も要因に使用すべきと思われた。

#### (5) その他の要因

緯 度：原法にはなく新たに使用した要因である。理由は，高層風は日本列島を覆う範囲で漸変している<sup>21)</sup>。例えば，700 mb 面（標高約 3,000 m）における午前 9 時観測の 8 月の月平均風速は Fig. 1 のように緯度に対してかなりきれいな関係を示している。一方，山岳風には平地の地上風と異なり高層風の影響を無視できぬからである。

走 向：原法にあっては，開放度計測の際に開放方向の夾角が最大の方位も読みとり，走向としているが，ここでは計測円半径を 15 km とし，円内に出現する最も規模が大きい谷で，地点に関りを有するものの方位とした。変更理由は次の通りである。推定式は，8 月の平均風速を対象にしている。そして，8 月は全国的に北太平洋高気圧の圏内に入り 700 mb 面の卓越風向は概ね西<sup>21)</sup>であるが，それが地表の摩擦等により偏向し地表付近の風向はほぼ南となる<sup>21)</sup>。これら大風系の影響程度は高標高地，および南向きの大きな谷において高い<sup>21)</sup>とされている。一方，この研究は，高標高地の風速を推定しようとするからである。したがって地点における谷の走向そのものより，南風を地点にもたらす谷の存在を重視したのである。ちなみに，全国 143 の気象官署のデータ<sup>9)</sup>について風向の頻度解析を行った結果は次のようになった。8 月の最多風向が南である観測所数頻度は 14% であったが，上位 3 番目までに南西～南東の風向が出現する頻度は約 70% であった。

## V 数量化法のあてはめ

### (1) 地形計測法

検討の結果，各要因についての具体的な地形計測法は以下の通りとする。

高 度：地点の標高値 (m)。

位置係数：地点を中心とする半径 1 km の計測円内に出現した最高点と地点の標高差を，最高点と最低点の標高差で除した値。

起 伏 度：地点を中心とする半径 1 km の計測円内に出現した最高点と最低点の標高差 (m)。

開 放 度：地点より 16 方位に向った放射状線および地点を中心とする半径 1 km の円を設定し，中心より比高 10 m 以上の部分を障害部とし，16 本の放射状線のうち障害部を横断しない線数を読み，その数に 22.5 (360/16) を乗じた値 (°)。

走 向：地点を中心とする半径 15 km の円内に出現する最も規模が大きい谷の方位。

陸 度：地点を中心とする半径 50 km の円の面積に対する円内陸地面積の比に 10 を乗じた値。

緯 度：地点の緯度値 (°)。

### (2) データ

推定式算出データに用いた 104 地点の位置・期間等は Table 3 の通りである。山岳地データの主体をなす山岳測候所の観測値は 1902～1948 年の間のものである<sup>4)</sup>。山岳測候所は中央気象台によって全国主要山岳の山頂部に 1902 年より順次 28 か所が設置されたが 1948 年に一斉に廃止された。現在，このうち山岳測候所の名称は使用していないが 6 か所のみ存続している。一方，山地・山間地データは森林測候所のものが主体をなす<sup>18)</sup>。森林測候所 41 か所は 1913 年より農林省林業試験場によって全国主要河川の上流部に開設されたが，後に森林理水試験地と名称変更したのもも含め 1938 年までにすべて廃止された。し

たがって、現在山岳地のデータはごく少数で、山地・山間地のものはほぼないといってよい。上記の他、林業試験場所属試験地の観測値<sup>14)</sup>も用いた。古くからととのった観測が行われデータも整理されており、比較的山地に近く所在するからである。

これらに、1940年に存在していた気象官署のデータ<sup>9)</sup>を追加して用いた。ただし、最寄りの海岸線まで約5km以内に所在したもので、および統計期間が5年以下のものは除いた。5km以内の測候所を除いたのは、すべてのデータについて原法で定義する海岸度を0にし、この要因を除くためである。

当時、風速観測に用いられた測器はすべての機関および地点ともに4杯型ロビンソン風速計である。一方、ここで用いたデータは1902~1948年にかけて観測されたものであり、この間さまざまな観測法の変更が行われた。また、観測機関による観測法の差があったが、幸いなことに月平均風速を求める基になる日平均風速は過去から機関の差なく一貫して24時間平均風速であった。また、1925年ロビンソン係数の変更が行われたが、すべて補正済の資料を用いた。したがって、これら諸点については資料の均質性に問題は無い。

一方、統計期間は5年以上としたので、山岳測候所のデータの一部分が割愛された。

### (3) カテゴリー化

各要因のカテゴリーは、その仕方によって得られるスコアが変化するものであるが、結果を現場に適用

Table 3. データに用いた地点の所在等  
Location and others of weather stations adopted

名 称 Name of station	北 緯 Latitude N	東 経 Longitude E	標 高 Altitude (m)	観測期間 Observed duration	統計年数 Statistical period (Year)
旧森林測候所 (former) Forest meteorological station					
霧 島 Kirishima	31°54'	130°50'	652	1929~1938	10
高 原 Takabaru	31°56'	131°01'	200	'18~ '23	6
矢 岳 Yatake	32°06'	130°46'	573	'21~ '38	18
白 糸 Shiraito	32°38'	130°59'	400	'20~ '28	9
小 石 原 Koishihara	33°27'	130°50'	497	'14~ '22	9
小 国 Oguni	33°07'	131°04'	433	'14~ '38	25
森 町 Morimachi	33°18'	131°10'	410	'14~ '23	10
檜 原 Izuhara	33°23'	132°55'	467	'21~ '31	11
本 山 Motoyama	33°45'	133°35'	372	'16~ '38	23
十 日 市 Tōkaichi	34°48'	132°52'	219	'20~ '36	17
横 田 Yokota	35°10'	133°05'	380	'17~ '23	7
新 見 Niimi	34°59'	133°28'	232	'16~ '23	8
智 頭 Chizu	35°16'	134°14'	227	'20~ '38	19
篠 山 Sasayama	35°04'	135°10'	220	'18~ '22	5
周 山 Shuzan	35°09'	135°38'	362	'14~ '22	9
松 山 Matsuyama	34°28'	135°57'	442	'15~ '23	9
大 基 山 Taikisan	35°31'	136°14'	462	'14~ '22	9
根 尾 Neo	35°38'	136°37'	191	'19~ '37	19
白 鳥 Shiratori	35°51'	136°52'	373	'18~ '23	6
木 祖 Kiso	35°57'	137°48'	1,190	'19~ '37	19
井 川 Ikawa	35°13'	138°14'	775	'19~ '31	13

Table 3. (つづき) (Continued)

名 称 Name of station	北 緯 Latitude N	東 経 Longitude E	標 高 Altitude (m)	観測期間 Observed duration	統計年数 Statistical period (Year)
富 士 見 Fuzimi	35°54'	138°14'	982	1917~1922	6
三 峯 Mitsumine	35°56'	138°49'	1,116	'16~ '22	7
妙 義 Miyogi	36°18'	138°46'	427	'15~ '23	9
伊 香 保 Ikaho	36°30'	138°55'	691	'15~ '37	23
日 光 Nikkō	36°45'	139°27'	1,270	'13~ '23	11
勝 山 Katsuyama	36°04'	136°30'	169	'15~ '38	24
船 峠 Funakura	36°33'	137°13'	180	'17~ '23	7
白 田 Usuta	36°11'	138°29'	731	'17~ '23	7
十日町 (1) Tōkamachi (1)	37°08'	138°46'	220	'18~ '38	21
白 河 Shirakawa	37°06'	140°12'	390	'20~ '38	19
田 島 Tazima	37°12'	139°46'	560	'17~ '23	7
野 沢 Nozawa	37°34'	139°38'	221	'19~ '26	8
沼 尻 Nushiri	37°36'	140°44'	806	'28~ '38	11
豊 田 Toyoda	38°04'	140°01'	223	'16~ '22	7
鳴 子 Narugo	38°44'	140°44'	203	'18~ '23	6
新 町 Shinmachi	39°24'	140°45'	274	'19~ '23	5
沼 宮 内 Numakunai	39°58'	141°14'	334	'15~ '23	9
院 内 Innai	39°03'	140°24'	215	'16~ '24	9
角 館 Kakunodate	39°36'	140°34'	84	'19~ '37	19
碓 ヶ 関 Ikarigaseki	40°28'	140°38'	221	'18~ '23	6

旧山岳測候所 (former) Mountain meteorological station

羊 蹄 山 Mt. Yōtei	42°50'	140°48'	1,848	'44~ '48	5
岩 手 山 Mt. Iwate	39°51'	141°01'	1,771	'36~ '48	13
筑 波 山 Mt. Tsukuba	36°13'	140°06'	869	'02~ '48	47
富 士 山 Mt. Fuji	35°21'	138°44'	3,724	'38~ '48	11
箱 根 山 Mt. Hakone	35°11'	139°01'	940	'30~ '48	19
愛 宕 山 Mt. Atago	35°03'	135°38'	863	'36~ '40	5
立 山 Mt. Tateyama	36°34'	137°36'	2,455	'22~ '46	25
乘 鞍 岳 Mt. Norikura	36°07'	137°33'	2,760	'24~ '48	25
伊 吹 山 Mt. Ibuki	35°25'	136°24'	1,376	'26~ '35	10
大 台 原 山 Mt. Odaigahara	34°11'	136°06'	1,566	'24~ '45	22
比 叡 山 Mt. Hiei	35°03'	135°50'	832	'29~ '47	19
生 駒 山 Mt. Ikoma	34°40'	135°40'	625	'39~ '46	8
阿 蘇 山 Mt. Aso	32°54'	131°04'	1,142	'33~ '48	16
温 泉 岳 Mt. Unzen	32°44'	130°15'	849	'25~ '48	24
背 振 山 Mt. Seburi	33°26'	130°23'	1,055	'42~ '48	7

林業試験場試験地・分場 Observed by Gov. Forest Exp. Station

上 川 Kamikawa	43°51'	142°48'	388	'38~ '48	11
野 幌 Nopporo	43°03'	141°32'	35	'38~ '48	11
好 摩 Kōma	39°52'	141°10'	209	'38~ '48	11
釜 淵 Kamabuchi	38°56'	140°16'	145	'38~ '48	9
十日町 (2) Tōkamachi (2)	37°08'	138°46'	200	'37~ '48	12
宝 川 Takaragawa	36°51'	139°01'	816	'37~ '48	12

Table 3. (つづき) (Continued)

名称 Name of station			北緯 Latitude N	東経 Longitude E	標高 Altitude (m)	観測期間 Observed duration	統計年数 Statistical period (Year)
浅川	Asakawa		35°39'	139°17'	184	1923~1948	26
高島	Takashima		34°42'	133°58'	40	'37~ '48	5
気象官署 Meteorological station							
旭川	Asahikawa		43°46'	142°22'	112	1889~1940	52
札幌	Sapporo		43°03'	141°20'	17	'89~ '40	52
帯広	Obihiro		42°55'	143°13'	39	1926~ '35	10
盛岡	Morioka		39°42'	141°10'	155	'24~ '40	17
山形	Yamagata		38°15'	140°21'	151	1895~ '40	46
福島	Fukushima		37°45'	140°28'	67	'90~ '40	51
水沢	Mizusawa		39°08'	141°08'	62	1906~ '40	35
猪苗代	Inawashiro		37°34'	140°07'	526	'24~ '40	17
水戸	Mito		36°23'	140°28'	29	1897~ '40	44
宇都宮	Utsunomiya		36°33'	139°52'	120	'91~ '40	50
中宮	Chyuguji		36°44'	139°30'	1,335	1945~ '54	9
前橋	Maebashi		36°24'	139°04'	112	1897~ '40	44
熊谷	Kumagaya		36°09'	139°23'	30	'97~ '40	44
秩父	Chichibu		35°59'	139°05'	218	1927~ '40	14
高田	Takada		37°06'	138°15'	13	'23~ '40	18
金沢	Kanazawa		36°33'	136°39'	26	1886~ '40	55
福井	Fukui		36°03'	136°14'	9	'97~ '40	44
甲府	Kōfu		35°40'	138°33'	272	'95~ '40	46
船津	Funazu		35°30'	138°46'	860	1933~ '40	8
長野	Nagano		36°40'	138°12'	418	1889~ '40	52
追分	Oiwake		36°20'	138°33'	999	1926~ '40	15
松本	Matsumoto		36°15'	137°58'	610	1898~ '40	43
飯田	Iida		35°31'	137°50'	482	'98~ '40	43
高山	Takayama		36°09'	137°15'	560	1900~ '40	41
岐阜	Gifu		35°24'	136°46'	13	1886~ '40	55
三島	Mishima		35°07'	138°56'	20	1931~ '40	10
名古屋	Nagoya		35°10'	136°58'	51	1891~ '40	50
亀山	Kameyama		34°51'	136°28'	69	1931~ '40	10
彦根	Hikone		35°16'	136°15'	87	1894~ '40	47
京都	Kyōto		35°01'	135°44'	41	'86~ '40	55
豊岡	Toyooka		35°32'	134°50'	4	1918~ '40	23
岡山	Okayama		34°41'	133°55'	3	1891~ '40	50
高知	Kōchi		33°34'	133°33'	1	'86~ '40	55
飯塚	Iizuka		33°39'	130°42'	36	1936~ '40	5
佐賀	Saga		33°15'	130°18'	4	'26~ '35	10
熊本	Kumamoto		32°49'	130°43'	38	1891~ '40	50
樫原	Kashihara		34°30'	135°48'	65	1897~ '41	45
館野	Tateno		36°03'	140°08'	27	1921~ '40	20
仙台	Sendai		38°16'	140°54'	38	'27~ '40	14
春照	Shunshō		35°23'	136°23'	163	'29~ '40	12

Table 4. カテゴリー層化およびスコア  
Stratified item in each category and assigned score  
by "Quantification method type 1"

要 因 Item	カテゴリー Category			
	i	区 分 Range	内 容 Explanation	スコア Score
高 度 X <sub>1</sub> Altitude	1	0 ~ 150 (m)	平 地 帯	2.65
	2	151 ~ 400	下部丘陵帯	2.80
	3	401 ~ 850	上部丘陵帯	2.59
	4	851 ~ 1,500	山 地 帯	3.72
	5	1,501 ~ 2,400	垂高山帯	5.45
	6	2,401 ~ 3,776	高 山 帯	4.31
位置係数 X <sub>2</sub> Undulation A	1	0.00 ~ 0.09	山 頂 部	0.00
	2	0.10 ~ 0.39	斜面上部	-1.54
	3	0.40 ~ 0.59	斜面中央部	-1.31
	4	0.60 ~ 0.89	斜面下部	-1.24
	5	0.90 ~ 1.00	谷 底 部	-1.51
	6	不能 Impossible	平 坦 地	-0.43
起 伏 度 X <sub>3</sub> Undulation B	1	0 ~ 10 (m)	平 坦	0.00
	2	11 ~ 100	微 斜	0.20
	3	101 ~ 180	緩 斜	0.37
	4	181 ~ 400	中 斜	0.62
	5	401 ~ 820	急 斜	0.35
開 放 度 X <sub>4</sub> Shield effect	1	0 ~ 90 (°)	閉 鎖	0.00
	2	91 ~ 225	やや開放	0.45
	3	226 ~ 359	開 放	0.70
	4	360	完全開放	0.69
走 向 X <sub>5</sub> Direction of exposure	1	SE, SSE, S, SSW, SW	南	0.00
	2	ENE, E, ESE, WNW, W, WSW	東・西	-0.71
	3	NW, NNW, N, NNE, NE	北	-0.33
	4	開口部なし Non-exposed		-0.81
	5	全周開き(平地) Full exposed A		-0.34
	6	全周開き(山頂) Full exposed B		1.07
陸 度 X <sub>6</sub> Land ratio	1	0 ~ 9.0	沿 海 地	0.00
	2	9.1 ~ 10.0	内 陸 地	-0.40
緯 度 X <sub>7</sub> Latitude N	1	31.00 ~ 33.99 (°)	九州・四国地方	0.00
	2	34.00 ~ 34.99	山陽・近畿地方	-1.08
	3	35.00 ~ 35.99	山陰・中部山地・関東地方	-0.19
	4	36.00 ~ 36.99	北陸・中部山岳・関東北部地方	-0.07
	5	37.00 ~ 39.99	北陸北部・東北地方	-0.17
	6	40.00 ~ 46.00	東北北部・北海道地方	0.89

Note : Undulation A is equal to mensuration VI in Table 2, and B is V.

Direction of exposure means the direction of most wide valley in the measuring circle, which radius is 15 km.

Full exposed A occurs in the case that the site locates on the plane, exposed B on a summit of mountain and non-exposed in the bottom of a basin. Land ratio indicates the area ratio, (area of land in the circle)/(area of a circle, it's center locates at the point and radius is 50 km).

8月の平均風速推定式: Estimation formula for mean wind velocity in August.

$$Y(\text{m/s}) = X_1(i) + X_2(i) + X_3(i) + X_4(i) + X_5(i) + X_6(i) + X_7(i)$$

する際の合理性を考慮して Table 4 のように決めた。個々の要因のカテゴリー基準は次の通りである。

高 度：各地方における各造林樹種の 植栽限界の標高<sup>11)</sup>を参照し、Table 4 のように6 カテゴリーにした。これは、中部日本の場合植物の垂直分布帯に一致している<sup>12)</sup>。

位置係数：位置係数は谷斜面に対する地点の位置を示すもので、斜面を上下対称となるよう5 カテゴリーにした。ただし、地点が平坦地に所在する場合は、円内最高標高・最低標高・地点標高が等しくなるため位置係数は算出不能である。この場合を加え合計6 カテゴリーとした。

起 伏 度：起伏度は、開放度の項で調べた風に影響を与える傾斜度を参考にし5 カテゴリーとした。

開 放 度：開放度は、閉鎖・やや開放・開放・完全開放の4 カテゴリーにした。完全開放は走向の項に関係がある。

走 向：走向は、まず地点付近における谷の有無に着目し、谷が存在する場合、その開放方向を3 カテゴリーにした。谷がない場合は、地点が盆地内に位置するため開放方向がない事例、逆に地点が広い平坦地に所在するためすべての方向が開放されている事例、および地点が山頂に所在する事例を区分したので、合計6 カテゴリーになった。

陸 度：陸度は、使用したデータの大部分が目的に従って山地すなわち海岸線より離れた位置にあることを考慮し、沿海地・内陸地の2 カテゴリーとした。2つのカテゴリーの境界値は9.0であり、平均的には地点が海岸線より34.4km以内に位置するか、あるいはそれ以上かを判別することに等しい。

緯 度：緯度は日本全域を6 カテゴリーにした。各カテゴリーは海面更正年平均気温の等温線の分布に対応している<sup>5)8)</sup>。すなわち北緯31~34°は15°C以上の、34~35°は14~15°Cの、35~36°は13~14°Cの、36~37°は12~13°Cの、37~40°は10~12°Cの、40°は10°C以下の各範囲に大まかに一致している。

(4) 結 果

計算の結果、推定式ならびに各要因のカテゴリーに与えられたスコアは Table 4 の通りである。これらの値による各地点の推定風速と実測値間の相関係数は  $r=0.864$  ( $n=104$ , 有意水準0.1%)に達した。一方、推定誤差の分散は0.509で、平均は  $0.446 \times 10^{-5}$  (m/s)であった。

得られたスコアは解析にもちいた要因相互間の関係において、各要因が負担すべき重みを表わすものであり、個々が独立して  $Y$  (外的基準)を説明するものではない。しかし得られたスコアの値は各要因と

Table 5. 要 因 間 の 内 部 相 関

Inner correlation coefficient matrix

要 因 Item	高 度 Altitude	位置係数 Undulation A	起伏度 Undulation B	開放度 Shield effect	走 向 Direction of exposure	陸 度 Land ratio	緯 度 Latitude	風 速 Wind velocity
高 度 Altitude	1.00	0.12	0.10	0.02	0.40	-0.01	0.02	0.59
位置係数 Undulation A	0.12	1.00	-0.09	0.19	0.27	-0.03	-0.21	0.47
起 伏 度 Undulation B	0.10	-0.09	1.00	-0.32	0.11	0.10	-0.08	0.15
開 放 度 Shield effect	0.02	0.19	-0.32	1.00	0.09	0.09	0.10	0.22
走 向 Direction of exposure	0.40	0.27	0.11	0.09	1.00	0.16	-0.10	0.63
陸 度 Land ratio	-0.01	-0.03	0.10	0.09	0.16	1.00	-0.01	0.20
緯 度 Latitude	0.02	-0.21	-0.08	0.10	-0.10	-0.01	1.00	0.16
風 速 Wind velocity	0.59	0.47	0.15	0.22	0.63	0.20	0.16	1.00

表中の数字は相関係数



Fig. 2 8月の平均風速分布図 (m/s)  
Distribution map of monthly mean wind velocity in August (m/s).

も当然のあるいは妥当な傾向を示している。このことは、Table 5 において大きな内部相関を示す要因が少ないこととあいまって、ここで行った各要因のカテゴリ設定が妥当であることを示すものである。

推定誤差の平均値は極度に小さかったが、試みに推定誤差が正の場合（過少推定）・負の場合（過大推定）にわけ、それぞれ別に平均すると値は正・負とも 0.5 (m/s) 程度となった。一方、推定誤差の絶対値が 1.0 (m/s) 以上を示した 15 点のデータの内 6 点が山岳測候所の山頂のデータであった。それ以外では森林測候所の山間地データに誤差が大きいものがあった。すなわち、山地、山間地を目的にした推定法にあっても、変化の激しい山地風を十分には把握しきれなかった。しかし、要因数はデータ数の制約条件より、これ以上は増せないで、一応満足すべき結果といえよう。

## VI 検 討

前章までにおいて開発した山地風速推定法の実用性を検討した。検討手法は、特定地点について地形計測を行い、開発した推定法によって風速を推定し、その値を別途作成した 8 月の平均風速分布図に落とし、周囲の値と比較する方法を用いた。

### (1) 平均風速分布図

上述した目的に使用するため、東北地方南部～中部地方の 8 月の月平均風速分布図を作成した。前述の

Table 6. 平均風速分布図作成に用いられた観測点の県別内訳  
Prefectural classification of the data used for making the distribution map of the mean wind velocity in August

県	Prefecture	気象官署 Meteorological station	森林測候所 Forest meteorological station	山岳測候所 Mountain meteorological station	農業気象観測所 Agricultural meteorological station	大気汚染測定局 General air pollution monitoring station	計 Total
宮城	Miyagi	2	0	0	14	0	16
山形	Yamagata	1	1	1	13	0	16
福島	Fukushima	4	3	0	39	0	46
新潟	Niigata	3	1	0	21	2	27
茨城	Ibaragi	4	0	0	4	16	24
栃木	Tochigi	3	1	1	5	11	21
群馬	Gunma	1	3	1	3	6	14
長野	Nagano	6	4	1	18	5	34
富山	Toyama	1	1	2	3	8	15
石川	Ishikawa	0	0	0	1	0	1
千葉	Chiba	3	0	0	3	23	29
埼玉	Saitama	4	1	0	0	17	22
東京	Tokyo	4	1	0	0	16	21
神奈川	Kanagawa	1	0	1	13	15	30
山梨	Yamanashi	2	0	0	1	1	4
静岡	Shizuoka	9	2	0	2	28	41
岐阜	Gifu	1	0	0	1	5	7
愛知	Aichi	1	0	0	0	19	20
		50	18	7	141	172	388

ように内陸地、特に山地には風速観測点がごく少ないため、これまで内陸地を対象にした風速分布図はほとんど作られていない。そこで、ここでは試案を提出するという前提のもとに各観測機関の観測値を同列に扱うことによってデータ数を増やし、作成した。上記の地域を選んだのは、後述する農業気象観測所、および特に大気汚染測定局が濃密に分布する地域であるためである。仮に目的によっては、ここで用いた分布図作成手法が一般的に認められるとしても、他地方についてはデータが少なく成功は期待できないであろう。

i) データ

用いた観測値は各気象官署<sup>9)</sup> および各県の農業気象観測所（各県農業気象月報）において観測された1960～1969年および1966～1975年間各10か年の平均値であり、191点の値がある。Table 6 に観測点の県別内訳を示す。これら191点の値は3杯の風杯型風速計によって観測された24時間平均風速を基にした月平均値である。

これに、山岳測候所7点および森林測候所18点の山地・山間地の値を補った。所在等はTable 3に含まれ、観測法は前述した。

一方、海風の影響範囲をみるためおよびデータを補うため、主に沿海平野部にある各県の大気汚染測定局において1972～1976年の間に測られた172点の観測値も用いた。この値はプロペラ型微風速計による1日24回正時観測の平均による日平均値を基にした月平均風速である。すなわち、官署と山岳・森林各測候所は同一観測法だが測器が異なる。これらと大気汚染測定局は測器・観測法の双方とも異なる。

したがって厳密には同列に比較出来ない<sup>15)</sup>が、値が月平均値であること、また値はm/s単位で小数点1位以上とすることなどの理由から、この問題は無視した。

ii) 結果

各地点をその値により大づかみにグループ化し、隣りあうグループの境界位置に等風速分布線を描くことによって、Fig. 2 に示す8月の月平均風速分布図が得られた。ただし、地形の起伏を示すため、海拔高500, 1,500, 2,500mの等高線を記入した。この図には当然だが以下の諸傾向が現われている。①谷間あるいは盆地であってもその規模が大きい場合は、風速が周辺地域より大きい。②前述の通り夏期の上層風の風向は南であるが、谷の走向が南開きの場合は内陸ふかくまで風速が大きい。③山岳、特に孤立峯は風速が大きい。④海岸近くに、しかも海岸線に平行して連山が位置する場合は、海岸地方であっても風

Table 7. 特定地点の8月の平均風速の推定 (m/s)  
Estimated wind velocity at specific point  
(monthly mean value in August m/s)

		経 度 Longitude E							
			138°		139°		140°		141°
緯 度 Latitude N	38°	—	—	1.0	—	2.1	1.8	0.8	—
		—	—	—	1.2	1.1	0.5	1.5	1.8
	37°	—	2.4	2.2	4.2	1.9	1.6	0.3	—
		2.4	2.0	2.1	2.4	1.7	1.4	2.0	—
	36°	2.5	2.3	2.5	3.1	1.4	2.4	3.1	—
	0.2	4.1	1.7	2.6	1.8	—	—	—	
	35°	0.9	1.1	—	1.7	—	—	—	—

速が小さい。⑤連山の風下側では風速が小さい。

一方、各地点の8月中の最大日平均風速を10年程度積算・平均して平均最大風速分布図（図省略）を作成した。この図は上に述べた諸傾向が一層誇張されているが、Fig. 2と類似した風速分布を示している。さらにFig. 2における内陸山間部の等風速線の分布傾向は既報の地上風系図<sup>7)</sup>および卓越風向図<sup>6)</sup>の傾向とよく一致している。沿海部については、気象官署のデータを用いて作成された7月の平均風速分布図<sup>16)</sup>、および瞬間風速分布図<sup>16)</sup>と大まかに同じである。これらからFig. 2は妥当なものと考えられる。

## (2) 風速推定法のチェック

Table 7のように緯度・経度30分ごとの交点で指示される各地点において前章までの方法により風速値を推定した。この値をFig. 2に落とし比較すると3～4点の例外を除き、周囲の観測値とほぼ等しい値を示している。そして、誤差を生じやすい条件、あるいは地域といったものは特にみあたらない。すなわち、前章で開発した推定法はほぼ妥当なもので、全国的に山地・平地の別なく利用可能であろう。

次に、この推定法の地形変化に対する追従性を検討した。伊豆半島に5km間隔の格子を設定し、その交点の風速を推定し等風速分布線を描き地形変化と対比させる手法を用いた。その結果、半島の脊稜山地中央では風速が大きい。山地の南面では風速が大きいが北面は脊稜頂部付近から急減する、すなわち地形追従性も十分あることがわかった。

## VII ま と め

開発した推定式は、山地・山間地測候所のデータを網羅して作成されている。推定対象域は林業利用のため2km程度の広がりとなっている。さらに、用いた手法が数量化法であるため、推定値算出が容易である。また、詳細な地形計測を簡略化し、Table 4における内容の項を用いてスコアを索引することにより略測が出来る。

他の季節についての風速推定法成立の可能性は、山岳測候所の観測が7・8月に限定された場合が多いので、データ数がさらに減るため、要因のとり方、およびそのカテゴリー化など考慮する必要があるが、一応可能と考えられる。

## 文 献

- 1) 荒木真之：山地における風の特性の検討，非皆伐施業に適した伐出技術に関する研究，推進会議資料，農林水産技術会議：61～64，(1978)
- 2) 福井英一郎：気象学概論，朝倉書店，東京，(1961)
- 3) 中央气象台：地名別本邦気象表，(1942)
- 4) —————：山岳気象報告，(1951)
- 5) 本田静六：改正日本植物帯論，三浦書店，東京，(1912)
- 6) 甲斐啓子：偏形樹から推定した卓越風向による本州山地の地域区分，地理評 50：45～54，(1977)
- 7) 河村 武：南西気流に伴う中部日本の地上風系，地理評 43：203～310，(1970)
- 8) 気 象 庁：日本気候図，第一集，地人書館，東京，(1971)
- 9) —————：日本気候表，その2 (1941～1970)，(1972)
- 10) 日本火災学会編：火災便覧，コロナ社，東京，(1955)
- 11) 農林省農林水産技術会議：土地利用調査研究報告書，(1963)
- 12) 沼田 真：日本の山岳の垂直分布帯と富士山植生の特性および研究史，富士山総合学術調査報告

- 書, 富士急行, (1971)
- 13) 林業試験場: 森林測候所・森林治水試験地累年気象表 (1912~1936), (1938)
  - 14) —————: 森林気象累年報告, 第 2 報, (1960)
  - 15) 斎藤鍊一: 観測法の変更が風速観測値に及ぼした影響, 気象庁研究時報 7 : 770~778, (1955)
  - 16) —————・菊地原英和・井上恵一: 日本各地の最大瞬間風速の分布, 日本の強風の研究 1, 気象庁研究時報 9 : 51~55, (1957)
  - 17) —————: 任意の地点の風速を推定する方法, 災害の研究 V : 27~36, 技報堂, 東京, (1959)
  - 18) —————: 任意の地点の月平均風速の推定, 災害の研究 VI : 16~30, 技報堂, 東京, (1963)
  - 19) 梶山正英: 三河高原の平坦度について, 地理評 6 : 1269~1286, (1930)
  - 20) 多田文男: 山頂の高度と起伏量との関係ならびに之よりみたる山地の開放度について, 地理評 10 : 939~967, (1934)
  - 21) 東京天文台: 理科年表, 丸善, 東京, (1977)
  - 22) 吉野正敏: 風向に及ぼす地形の影響, 地理評 25 : 100~110, (1952)
  - 23) —————: 尾根, 谷斜面, 谷底における風 (1), 地理評 27 : 472~484, (1954)
  - 24) —————: 尾根, 谷斜面, 谷底における風 (2), 地理評 29 : 704~718, (1956)
  - 25) YOSHINO, M. : The structure of surface winds crossing over a small valley. Jour. Met. Soc. Japan II 35 : 184~195, (1957)
  - 26) —————: Wind speed profiles of the lowest air layer under the influences of micro-topology. Jour. Met. Soc. Japan II 36 : 174~186, (1958)
  - 27) 川端幸蔵: 林業試験場電算機プログラミング報告 (5), 数量化 (I 型), 林試研報 288 : 1~54, (1977)

**Estimation of Mean Wind Velocity in August in the  
Mountainous Region by Topographical Factor**

Masayuki ARAKI<sup>(1)</sup>

Summary

To clarify the condition of wind velocity in the mountainous region it is necessary to succeed in natural regeneration by fallen seeds, and in other purposes. But meteorological or observing stations for wind in that region are scarce today. Then, estimation method was developed by topographical measurement for monthly mean wind velocity in August according as "Quantification method type 1" Used topographical factors were altitude, undulation A, undulation B, shield effect, direction of exposure, land ratio and latitude. And, mensuration for each factor was decided in the note of the Table 4. The arrangement of score for each category was carried out very severely as multiple correlation coefficient raised to  $r=0.864$  ( $n=104$ ), and mean deviation between measured and estimated value was  $0.446 \times 10^{-5}$  (m/s). Built formula of estimation and scores were shown in the Table 4.

---

Received December 27, 1978

(1) Forest Influences Division