

# 庄内海岸砂丘の風について

末 勝 海・金 内 英 司

(山形大学農学部森林工学研究室)

Katsumi SUE & Eizi KANAUCHI : On the Wind at Shōnai (Yamagata-Pref.) Beach.

## (1) 緒 言

飛砂防止は海岸砂丘地の利用開発上まず考えねばならない問題であるが、その飛砂の直接原因は風であり、殊に風速の如何が最も密接は関係を持つている。所が在來のこの方面の研究や報告に引用されている風についての資料の多くは、附近の測候所や気象台の観測値に基くものであつて、飛砂の見られる現場の風とは相当の違いがあるものと考えられる。又現場の風についても、汀線から遠ざかるに従い、或は地形の如何によつて、当然相当の変化のあることが想像される。

然し乍ら海岸近くの観測は、飛砂や飛塩等のために容易ではなく、最近各地で観測が行われる様になつては來たが、それ等を永續させることには多大の困難が伴つている。これに対し、ある期間の観測値から附近の永久的な観測所における値との相関々係が求まつていれば、又現地でもある標準点に対する各地点の相関が判明していれば、手間を省くことが出来るのみならず、現場に行かなくても推定出来る様になり、又過去にわたつての推算も可能となつて來る。

かゝる見地から庄内海岸砂丘地における昭和25年度の観測値によつて、主として風速について取纏めた結果を先に縣当局に報告しておいたのであるが、各方面に多少共利用價値があるかと思われし、その後2,3の興味ある特性にも気がついたので、こゝに発表することにした。

この研究は経費の大部を森林物理研究会に、一部を山形縣に仰ぎ、酒田測候所および鶴岡営林署の各位、又本学気象研究室の協力によつて行われたもので、実験に使用した一部の計器類は、浪速

大学工学部石田研究室の好意によつて製作され、今回の取纏めにあたつては、九州大学農学部熊谷才藏教授ならびに東京大学理工研河田三治教授の御指導をいただいた。こゝに深く謝意を表する。

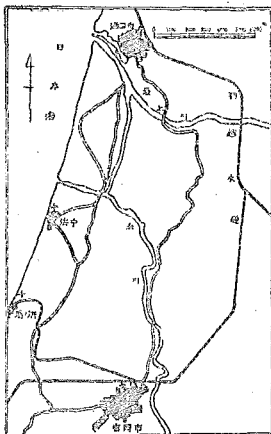
## (2) 観 測 方 法

この観測はその目的によつて次の2つに大別することが出来る。

A. 海岸附近と鶴岡、酒田（第1図参照）との風速の相関を見るためのも。

鶴岡に坐ながらにして海岸の風の模様を知り、長い歴史を有する酒田測候所の資料によつて海岸の風についての推定をすることが出来る様にすると共に、どちらがより密接に海岸と相関しているかを調べ様とするもので、新たに浜中において昭和25年度より開始された風速の

第1図



観測値と、同時刻の鶴岡および酒田での値とについて比較検討した。今後これを便宜上A観測と呼ぶことにする。

#### B. 海岸附近の微細な風の模様を見るためのもの

どのような構造の風が海から入つて来て、汀線からへだゝるに従い又地形に応じてどんなに変化して行くかを知り、任意の点の観測値から海岸附近全地域の風の模様を知ることが出来る様にして、効果的に飛砂防止をするための参考や、続く砂防林に対しての資料を提供しようとするもので、今回は砂防に特に密接な影響のある北西季節風に対してのみ実施している。これをB観測と呼ぶことにする。

それぞれについての観測方法は次のごとくである。

#### A観測

鶴岡、酒田、浜中の3カ所において、ロビンソン風速計で計測し、リチャール自記電接回数器で記録したもの、および鶴岡における自記風向計の記録から資料を得た。各観測点の諸元は第1表のごとくである。

第1表 観測点の諸元

地名	計器の地表面からの高さ	海岸線からの距離	観測者
	m	km	
鶴岡	13.4	8.2	山形大学農学部気象研究室
酒田	12.7	2.3	酒田測候所
浜中	7.4	0.3	鶴岡営林署浜中事業所

浜中における観測値が、現場の値であるとするにはなお不十分と思われるかもしれないが、これについてはB観測が進むにつれ

て解決されて行くであろう。これ以外にも、より汀線に近く湯之浜（第1図参照）にも新たに設置はしたのであつたが、鶴岡営林署湯之浜事業所員の異常な努力工夫に拘らず故障が多く、又すぐ側に急峻な山があるため地形の影響を強く受けるのか複雑な風速変動を示すので、いずれ他の観測による法則性の考察がもつと進んでから改めて検討するつもりで、こゝには入れてない。

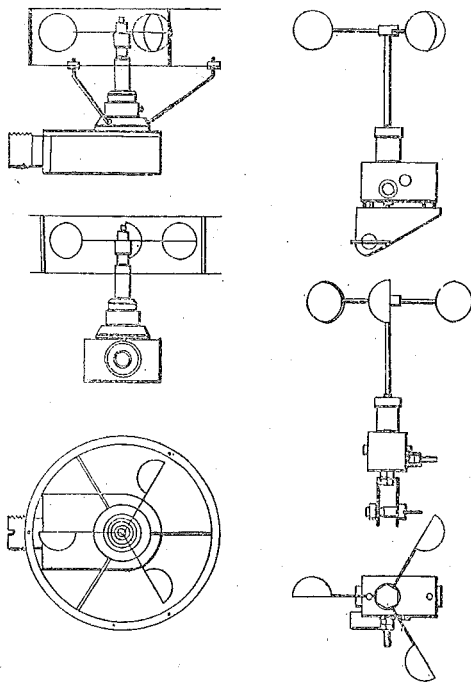
この際特に感じられたことは、リチャール自記電接器の精度の問題である。記録用ペンの腕の長さが記録用紙上の時刻線の曲率半径に等しくなかつたり、用紙の取りつけが悪かつたりして、記録曲線が同一の時刻線上を2度横切つたり、ペンを上り切つてから下に移る時に、記録線に5,6分にも相当するずれを生じたりしている仕末で、無批判に機械的な計算をしていたのでは容易ならぬ誤差の入つて来ることの多いのが判つた。気がついたもので性質の判つたものについては、つとめて誤差の除去をはかつたが、なお万全とは云い難い点を特に断つておかねばならぬ。

#### B観測

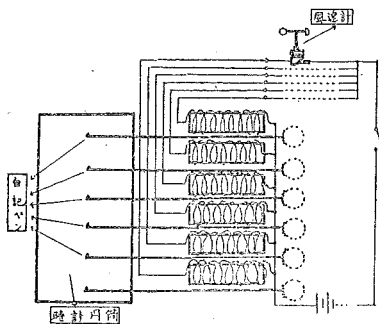
これには慣性を小さくして風の変動によく追隨する様にすると共に、多数の点の同時観測が容易な様に、特に第2図に示す極小型のロビンソン風速計を用い、電氣的に電話器用の度数計又は第3図に示す自記計に連絡して、読み取りを容易にした。

風速計の弱風用のものは4個あり、東大理工研河田研究室設計になるもので、1~15m/sの風速が計測出来る様になつており、風盃の6回轉毎に電接する。強風用のものは6個あり、筆者の指示

第2図



第3図

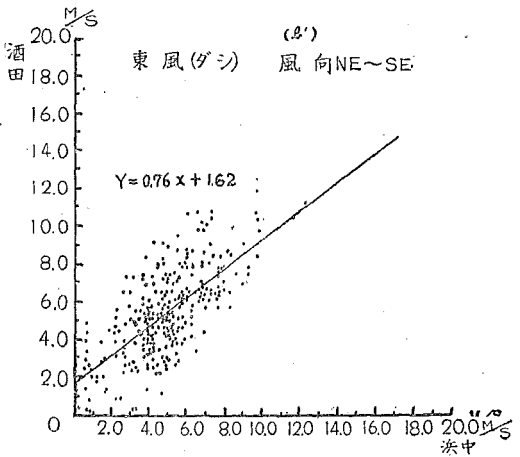
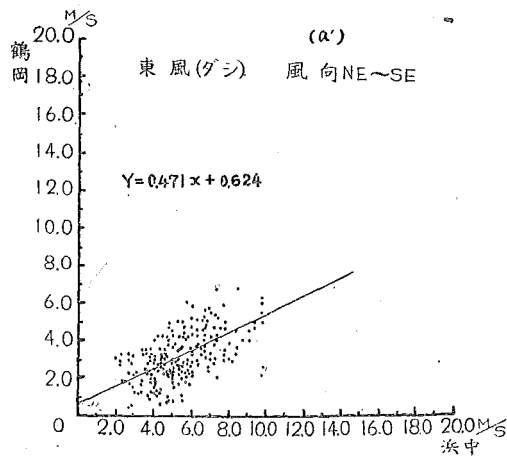
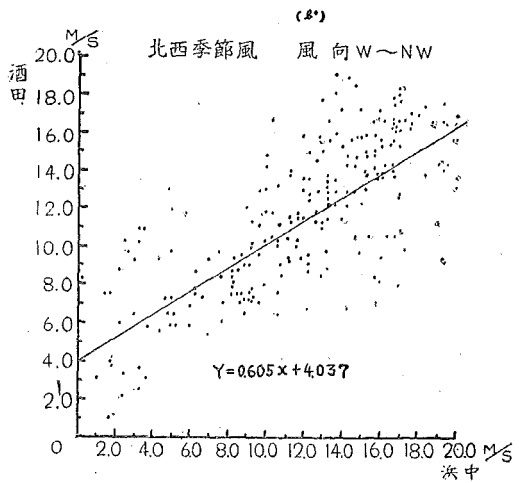
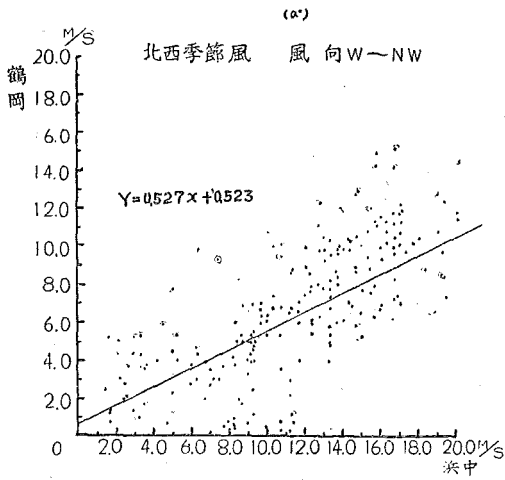
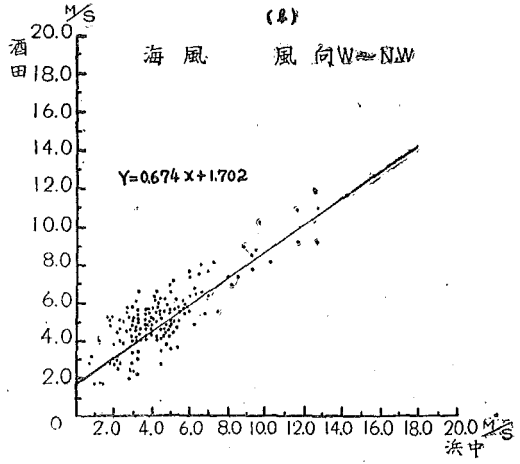
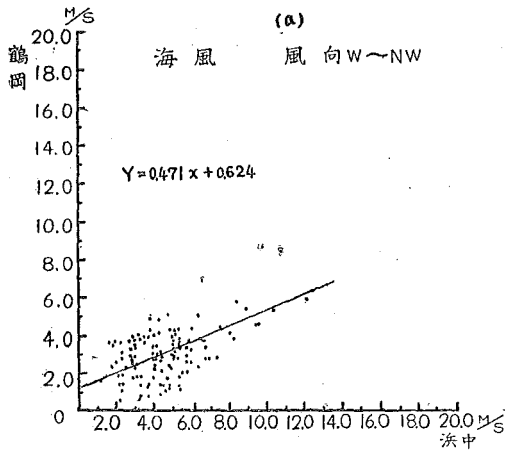


によつて自記計と共に浪速大工学部石田研究室で作られたものらで、 $2\sim 40\text{m/s}$ の風速に対応出来る様になつており、風盃の10回轉毎に電接する。頑重なだけに前者よりは相当慣性が大きく、このため後述する様な乱れを持つ汀線附近の自然の風によつて検定してみると、 $10\text{m/s}$ 以上では殆んど差を生じないけれども、 $6\sim 7\text{m/s}$ 位の場合には $0.3\text{m/s}$ 位の示差を生ずることがある。この種の実験では同種類の器械を揃えることが理想的で兩種の混用はつとめて避けねばならぬが、個数の不足からやむなく混用しているので、この程度の誤差が修正出来ぬまゝに入つてゐる。

自記計はリチャールのもとの原理的には似ているが、前述した風速計の電接回数が普通のロビンソンに比して極めて多いのと、なるべく多数を同時記録したいのだから、ペンは小さなハートカムによつて20回を週期として上下する様にして、リチャール式における様な緩衝装置を省き、又回数を読み易くしている。これによつて機構は著しく小型かつ簡單となり、1つの時計円筒に6個の記録が同時にとれる様になることが出来た。自記用時計円筒は1時間1回轉のものが手に入れられなかつたので、1日1回轉のものゝ齒車比を変えると共に轉府を極めて薄く削つて、約1時間に1回轉する様にと改造した。

風速計は適当な間隔でジュラルミン製の円柱に取りつけ、この柱を各観測地点に直立させて、その点における地表面附近の風速の垂直分布を同時測定する。標準点における風速は自記させるか、長い電線で移動観測地点に連絡して同時測定する。観測地点は砂丘の断面が汀線に直角な方向にはほぼ等しい地形であつたので(第9図参照)、ある汀線に直角な断面上で地形の變化している地点毎に観測すれば全地域を測定したことになると考え、大体 $10\sim 30\text{m}$ 毎に設定することになつた。これらの地点の位置は汀線の變動が著しいので基準とすることが出来ず、堆砂垣の最後列即ち前丘の頂上を基準として、これからの距離を $\text{m}$ 単位で表わしたものに、内陸の方向に正、汀線の側に負の符号をつけたもので示す。風速の水平分布を見るためには、堆砂垣の最前列の地表面上 $1.3\text{m}$ の点を標準点としてその風速と比較することにした。地形に影響されることの少ない汀線真近の風速を標準とした方が良いとも思われたが、先にのべた標準点附近の風が常に最も強いので比較値を百分率で表

第4図



わす場合に都合が良いのと、電氣的連絡上便利なこと、器械の保守上都合良いこと等からこの位置を選んだ。念のために申しそえておくが、先にのべた堆砂垣は汀線と平行に一直線をなしており、何れも堆砂によつて殆んど完全に埋没された状態になつていた。

風速は5分間の風程から平均値として求める。通常行われている10分間風程から求める方法では、多数の地点の観測には長時間を要して、標準点の風速に大きな変動が入ることになり易いので、風速の乱れの観測の結果から5分間の平均でも10分間の場合と0.2m/s位の差しか生じないことを確かめたからである。風速の乱れは5秒毎の風程から求め、別に風向も記録しておいた。

### (3) 観測結果および考察

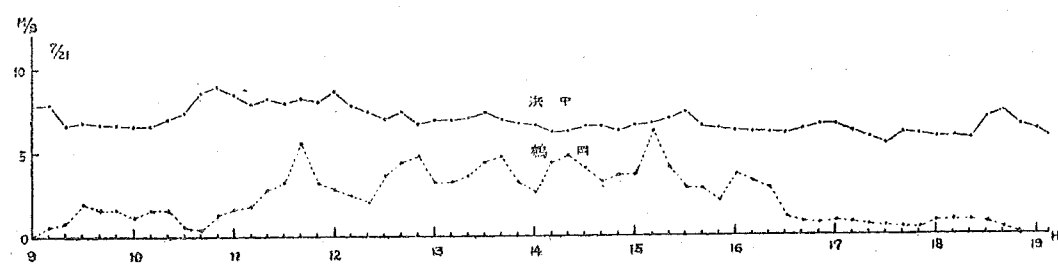
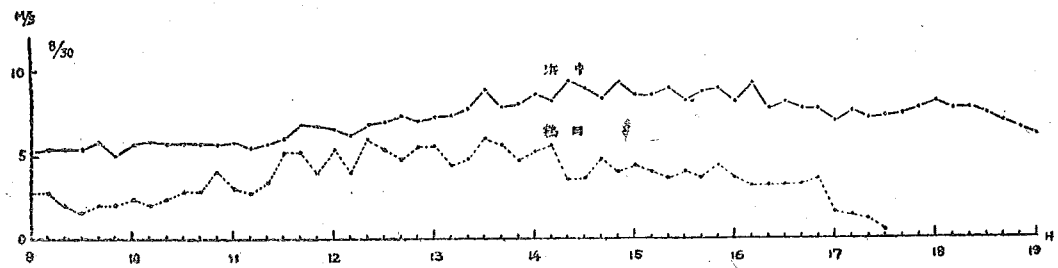
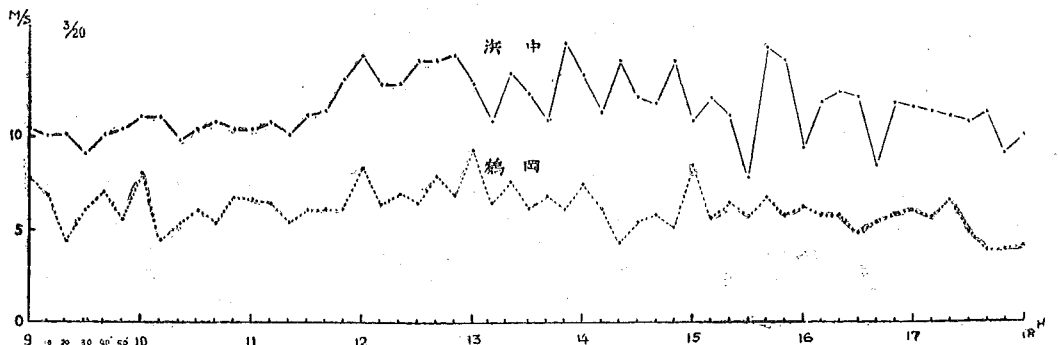
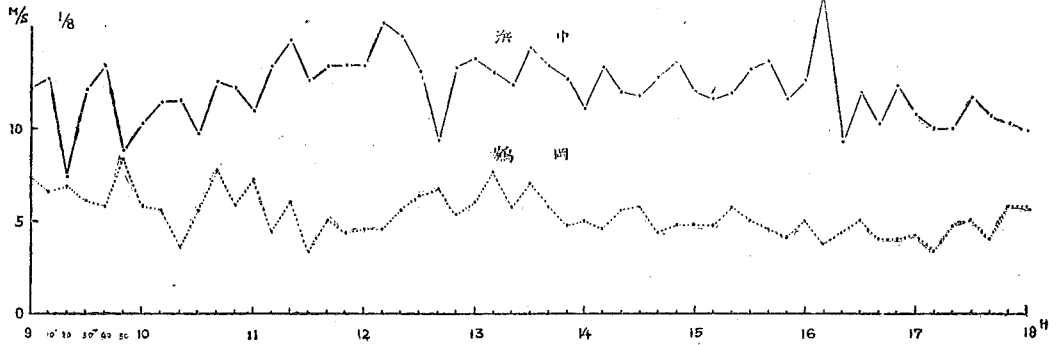
#### A 観測について

観測記録は膨大なものであつて、唯それを漫然と並べてみても要領を得ないので、我々は同じ性質の風について分類して纏める方針をとつた。即ち当地方の代表的な風としては、夏海陸風(ただし陸風は微弱なので除いている)冬の北西季節風、四季を通じてみられる数日間安定して吹く東風所謂ダンと呼ばれるもの、この3つがあるので、鶴岡の自記風向計の記録から、典型的に夫々に該当していると判断されるものを拾つて、横軸に浜中の風速、縦軸に夫々鶴岡および酒田の風速をとつた散布図に表わすと第4図が得られる。夫々の散布図は夫々の風の特徴をある程度よく表現している。

これらの場合の風速は、通常の気象観測で用いられている1時間毎の10分間風程から計算した平均風速であるが、果してそれで良いのかという疑問が起る。例えば自記紙をそのまま借りて來ることの出來た鶴岡と浜中の両地点の北西季節風、および風向がこれに近い海風の、最も典型的な2例について連続10分毎の平均風速を時間を横軸にとつて示せば第5図が得られる。これによれば少くとも浜中か鶴岡のどちらかに、多くの場合はそのどちらにも30分乃至1時間位を週期とする風速の乱れが明らかに認められる。大体この方向の浜中を通つた風は鶴岡附近を通る管であるから、両者のこの程度の風速変動にも密接な関係がありそうに常識的には考えられるが、時間軸を多少ずらせてみても両者の一致する所は殆んど認められない。これは両地点の風の構造が全く変つていることを示すものと思われ、風速変動の週期に着目してみるとそれがよく判る。例えば北西季節風の場合、浜中の週期は30~50分位であるが、これに対し鶴岡の方では1月8日には安定した週期が見当らず、3月20日のものでは1時間位を週期としており、同時刻の浜中のものが約30分であるのに対して丁度2倍になつている。海風の場合には浜中では比較的乱れが少なく、殊に乱れの少ない場合、鶴岡では7月21日には約50分、8月30日には約30分の週期が明瞭に認められる。8月30日の14時以後には浜中にも約30分の週期を持つ乱れが出て來たが、これに干渉されたのか鶴岡の乱れはそれ以後には少くなつている。

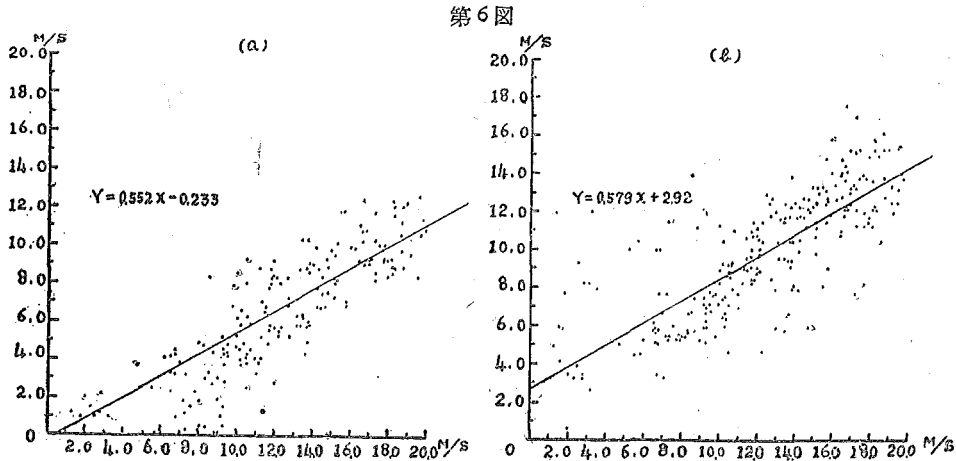
これらの乱れの程度やその週期等については、風速や地形と結びつけて論議し、風の構造を追究することもする方が良いと思うが、こゝには直接の目的の外にあるので省略する。然しこれだけの

第5図



僅かな資料によつても、この様な比較には10分間風程による平均風速を用いることが、あまり適当でないことは云えるであろう。それではどうすれば良いかと云うと、風程をとる時間を徐々に変化させて相関係数の最大となるものをとれば求められるであろうし、河田教授は空気力学的な立場から、両地点間の距離をその時の平均風速で除して得られる時間が基準となるであろうとされたが、大変な手数を要するのみならず、もともとのデータが相当の誤差を含んでいるものとも考えられる

ので、厳密な計算をすることはこの場合適当でないと考えて今回は省略し、我々は海岸砂防上最も問題になる北西季節風についてのみ、簡単に1時間風程から得られる平均風速についても比較してみた。結果を前同様の散布図に示すと第6図が得られる。



この1時間という単位は週期が先に述べた様に30分乃至1時間であることから、1時間風程による平均値ならば大体この程度の乱れの影響は除去出来るだろうと考えたからである。それでも40分とか50分週期の場合には完全に乱れの影響を除くことにはならないが、10分間平均値を用いる場合は誤差の入る余地は少くなる。一面週期が常に一定であるわけでもないのと、より長時間の平均値をとることは、数時間を週期とする変動が判らなくなつて了うこと、又手数がこうすれば非常に簡単なことなどから、便宜的に定めたのである。

酒田と浜中の場合については、この資料をとることを怠つていたので、北西季節風の場合の10分間風程による毎時間の風速と1時間風程によるものとの数例を第7図に示す。鶴岡の同時刻のものも入れてみると、浜中と鶴岡の間では1時間風程によるものの方が明らかに互に似た風速変化を示しているが、酒田の間ではこの場合はそれ程でもない様にみえる。然し乍ら後述する様に相関係数を計算してみると矢

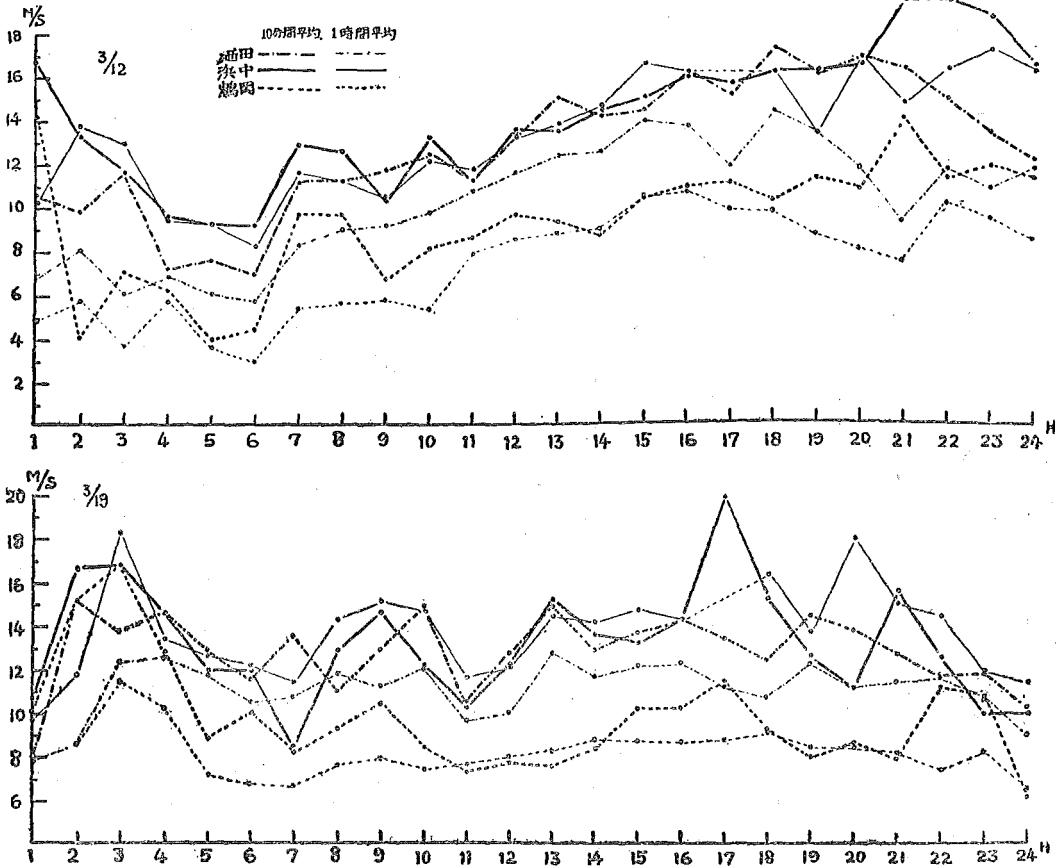
第2表

		r	n	Sx	Sy	Sxy
Fig4 a	鶴岡, 浜中, 海風 W~NW	0.559	147	514.9	277.8	212.2
a''	鶴岡, 浜中, 北西季節風 W~NW	0.695	212	4655.2	2676.8	2454.4
a'	鶴岡, 浜中, 東風(ズシ) NE~SE	0.612	219	613.3	360.8	288.3
b	酒田, 浜中, 海風 W~NW	0.760	165	885.9	695.9	597.3
b''	酒田, 浜中, 北西季節風 W~NW	0.686	239	5213.9	4059.3	3157.1
b'	酒田, 浜中, 東風(ズシ) NE~SE	0.647	292	1237.1	1705.4	940.7
Fig5 a	鶴岡, 浜中, 北西季節風 1時間平均	0.789	180	3732.0	1838.5	1849.5
b	酒田, 浜中, 北西季節風 1時間平均	0.776	249	5659.6	3156.9	3280.2

張り1時間風程による方が相関は良い。

さてこれらの散布図から統計的諸数値を求めると第2表が得られる。相関係数rは何れもこの程度の資料数nに対して高度の有意性を持つている。用いた資

第7図



料数に大差があるので、この数字でそのまま比較することは出来ないが、海岸のものが他の地点のものより偏差が大きく、又北西季節風の場合にも他の風に比して偏差が大である。海風の場合は最も偏差が少い。

鶴岡と酒田のどちらが浜中とより相関係が良いかというに、北西季節風の場合だけが鶴岡に良く、他は酒田の方が強い。北西季節風と風向は似ていても、海風の場合には酒田との相関の方が良くなっているのは、海風がごく局部的な、海岸線近くのみ発達するものであることによつて肯定される。大体等距離の2点間の風の相関は、その風向の方向に並んでいる場合が、これと直角に近い場合より良いのが当然であるのだが、風の性質や地形によつて常にそうなるとは限らないことが示されている。東風の場合には鶴岡も酒田も浜中に対しては似た位置にあるが、酒田の方が海岸に近く、又地形が違つたので相関係数に差を生じたのであろう。

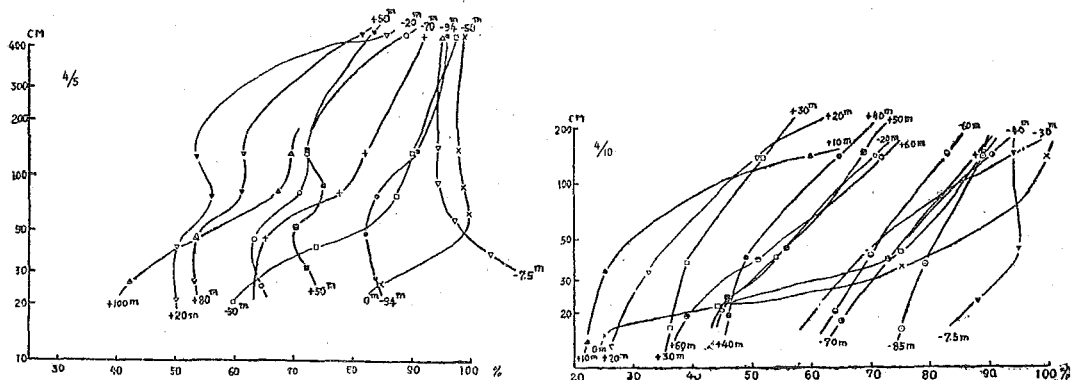
浜中の風速と鶴岡、酒田のそれ等との相関係が直線的であるとした場合の関係式を、第4,6図中に記入しておいた。

B観測について

この観測例は2つしかないが、どちらも同一の場所で行つたものである。垂直方向の風速分布を

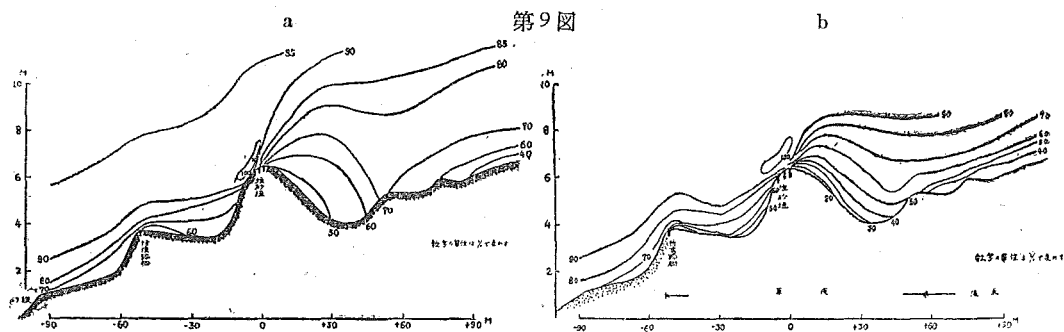


第8図



見易くするために、各点の地表面からの高さを対数目盛上にとつて、風速はその時の標準点の風速に対する百分率として示すと第8図が得られる。又これによつて実際の断面図について風速線図を画いてみると第9図になる。ただしこれらには風向についての考慮は入っていない。

第9図



高さを対数目盛にとつたのは、地表面附近の垂直方向の風速分布は高さの対数に比例して増大するという理論<sup>1)</sup>に従えば、風速分布曲線は普通直線状に表われて来る筈だからである。用いた風速計の数が未だ少なすぎるので詳細なことはよく判らないが、如何に対数法則が破れているかによつて、砂面や地形の影響を見ることが出来る。

4月5日のものは海岸砂防の対象としては考えられない様に風速が小さく、標準点において4m/s内外しなかつたが、2,3の特徴をもっているが認められる。即ち前丘の背後では地表面から7,80 cm 離れた所に、周囲よりも加速された層があるらしい。もつとも各風速計毎の風向は観測していなかつたので、その点に若干の疑念はあるし、風速計については充分検定した結果前に述べた様な誤差のあることが判つているので、確實であるとは云い切れないが、多少形は違ふけれども筆者が堆砂垣周辺の風について模型実験している結果<sup>2)</sup>にも、同様の傾向の認められることがあるので、実在しているものかもしれない。又地表面近くにも地形が突出している所ならばその前面では、その上方よりも速くなつている所があるらしい。これらに関しては河田教授が同様の計器をもつと沢山使用して、鳥取および浜中等で観測された例<sup>3) 4)</sup>があるが、それらにはこの傾向は認められない。

4月10日のものは標準点で平均約 8m/s の風で、当地方の北西季節風としては典型的なものであつたが、移動観測点の風速計が3つしかないために細かい事はよく判らない。然し海から入つて来た風が、地形や地物に影響されて風速分布曲線の傾斜が段々急になつて行く経過と、前丘の後ろでは遠くなるにつれて段々速くなつていて、保護効果の失われて行く模様がよく判る。又地面真近の風速の変動がきわめて著しいことも認められる。

風速の乱れの程度は次式で表わされる。<sup>5)</sup>

$$\frac{\sigma}{\bar{u}} = \frac{\sqrt{\sum(u-\bar{u})^2}}{\bar{u}\sqrt{n}}$$

式中 u : 単位時間毎の風速  $\bar{u}$  : 観測時間中の平均風速 n : 観測回数

$\sigma$  は誤差論で標準偏差と呼ばれているものに相当し、乱れの程度はそれと平均風速との比率として表わされていることになる。これによつて5秒毎に求めた風程から計算した結果第3表が得られる。

第3表

観測年月日	位置	m	-94	-70	-50	-20	-75	0	+50	+80	+100
1951. 4. 5	地上よりの高さ	cm	78	45	1	45	58	52	52	46	46
	平均風速	m/s	3.60	2.60	3.00	2.40	2.80	2.70	2.50	1.90	2.00
	乱れ	%	16.0	15.9	24.9	16.7	16.5	21.7	18.7	19.6	20.0
観測年月日	位置	m	-85	-70	-60	-30	-20	-7.5	+20	+50	+80
1951. 4. 10	地上よりの高さ	cm	136	138	140	144	123	130	133	143	140
	平均風速	m/s	8.30	7.70	7.40	8.90	6.90	8.80	4.70	3.50	4.50
	乱れ	%	8.90	11.5	13.7	9.90	21.2	90.0	17.5	15.1	18.2

一見して汀線からへだゝるに従い増大している傾向があり、又地形の突出している部分乃至その前面では急激に減少しているのが認められる。

風向については常に地上 1.3m 位の点のものを記録しておいたが、突出部ではその長軸に直角に近く、又凹入部では平行に近くなるようとする傾向が認められる様に思える程度なので、こゝに記載することは避ける。

#### 引用文献

- 1) L. Prandtl : Neuere Ergebnisse der Turbulenzforschung. Zeitschr. V.D.I. Nr. 5, Bd. 77, S.105 (1933)
- 2) 末 勝海 : 堆砂垣の研究 (第2報) 未発表
- 3) 河田三治 : 各地の風速の測定結果. 治山事業参考資料 第2輯 林野廳 p. 102 (1950)
- 4) 河田三治 : 飛砂に関する実験. 治山事業参考資料 第4輯 林野廳 p. 13 (1951)
- 5) 河田三治 : 海岸砂地沿村に関する調査報告. 治山事業参考資料 第1輯 林野局 p. 6 (1949)