耕 地 風 の 測 定 (3)*

谷 信 輝・井上 栄一・今 井 和 彦

(農 業 技 術 研 究 所 気 象 科)

Some measurements of wind over the cultivated field. (3)

N. TANI, E. INOUE and K. IMAI

(National Institute of Agricultural Sciences)

1. は し が き

第1報, 第2報に於いて, 耕地面近くの平均風速の高度分布は, いわゆる対数法則

$$U(z) = \frac{2.30 V_*}{k} \log \frac{z-d}{z_0}$$

で表わすことが出来, しかも稲麦の如く風により変形する粗度では風速により d, z_0 が変わる様であると述べた。

本測定は昭和29年9月14日台風12号が九州を縦断して日本海を北上中であつた0830~1600に神奈川県茅崎附近の水田地帯に於いて観測したものにつき整理し, 乱れの分布についても一部観測したものを述べよう。

尚本観測に当り, 当研究所微細気象研究室の援助を頂いたことに感謝の意を表する。

2. 平均風速の高度分布

(1) 測定法 理工研式小型ロビンソン風速計を6個使用し, 6mのポールに高さ6.0, 4.7, 3.2, 2.1, 1.4, 1.1mに取付け各々からの導線を度数計に入れ, 5分間の電接回数より5分間平均風速を求めた。風速が強くなると安定度の影響は小さくなるので気温の分布は測らなかった。

現地は風上約500mに防風林があり, 風下も500m位に住宅が少しある位で, それらの影響は小さいと考えられる。水稻は農林8号出穂後約1週間経過したもので, 草高は1.1mであつた。

第 1 表

時	風 向	風速 m/sec	茅 崎		茅 崎
			$z=6m$ m/scc	$z=1.1$ m/scc	1.1m 横浜
09	SSE	13.4	10.1	3.7	0.28
10	SSE	14.2	10.2	4.1	0.29
11	SSE	15.2	10.1	4.3	0.28
12	SSE	13.5	—	—	—
13	S	13.7	8.1	3.3	0.24
14	S	16.8	10.5	4.5	0.27
15	S	13.9	10.4	4.3	0.31
16	S	14.9	8.4	3.6	0.23

* 昭和29年11月26日, 6学会連合主催第1回風に関するシンポジウムに於て発表

(2) 測定値 当日09時から16時までの毎時観測の値を, 横浜測候所の値と共に第1表に示す。横浜測候所は特に風の強い所だそうだが, 他の例も考え併せると大体穂面の所の風速は測候所の観測値の1/3~1/4程度と考えれば大差ない様で災害対策の一つの目安となるだろう。茅崎での風向観測は行なわなかつたが大体Sで1日中殆ど変りがなかつた。

(3) 指数法則 風速分布を実験的に表わす式として指数法則

$$U(z) = c \cdot z^{1/n}$$

が時々用いられる。この場合2~3例について, 求めて見ると, z は地面上ある高さからとらねばならないが n の値は3~4程度で, 風速により変わる様である。

(4) 対数法則 今回の観測では5分間平均が約50求められたが其中の代表的なものにつき整理して見る。

今それらの観測値を其儘整理すると第1図実線で示される様に皆多少彎曲する。即ち風速分布は地面から対数分布になつていてのではなく, ある高さ d から対数的になつていてことを示している。そこで図の上で風速分布が直線で表わせる様に適当に d を決める。そうするとこの時の風速範囲(高6mの点で8~12m/sec)では風速の増加に伴い d は小さくなり z_0 は大きくなる傾向にある。

風速と d, z_0 の関係を知るためには同一条件の水田

Fig.1

で観測することが望ましいが、水田と
いうことで何処でも大体同様の物理的
性質を持つと仮定して手許にあつた観
測値を整理してみた。場所によつて草
高が異なるので d, z_0 は草高との比 d/h ,
 z_0/h とし、風速は高さ 2m の点の風速
 $U_{(200)}$ を基準とし風速の小さい 1m/sec
以下では風速計の誤差、熱的な影響も
大きくなるので除外し、気温分布の同
時測定によつて殆ど等温に見做される
時の風速分布を採用した。その結果は
第2図の如くである。

これによると 5m/sec 位までは d が
次第に大きくなり z_0 が減少し 5m/sec
を超えると逆に d が小さくなって、
 z_0 が増加の傾向を示す。10m/sec 以
上は観測がないので判らないが、 d は
0 となり z_0 は或一定の値に落付くと
考えられる。これらの理由は 5m/sec 迄は水稻が自由
に変形して自身抵抗を減ずる様に働くが 5m/sec 以上
になると変形に力を要する様になる為抵抗が増加する。
即ち z_0 は大きくなるものと思われる。Deacon (1949)
は長い草のある所の観測結果から d は一定だが z_0 は風
速と共に減るといい、Rider (1954) は燕麦畑で z_0 は一
定で d が風速と共に増すといつて、吾々の結果と全部一
致はしないが、傾向としては水田の 5m/sec までの結果
と同じであるから、風により変形する様な粗さでは d, z_0
が風速の函数となり、従つてこれらより導き出せる抵抗
係数 C_f の値も風速の函数になると考えられる。

Fig. 2
(図中の 20/h は z_0/h の誤)

3. 乱れの分布

(1) 測定法 ロビンソン風速計による平均風速の
観測と同時に、5秒毎に度数計を 16 ミリで撮影し、後
読取つて 5秒間の平均風速を求めれば、5秒以上の周期

第 2 表
1340~1410

T_*	区数	$z=4.7\text{m}, U=9.47$		$z=2.1, U=6.94$		$z=1.1, U=4.28$	
		$\langle u'^2 \rangle$	$\langle u'^2 \rangle^{1/2}/U$	$\langle u'^2 \rangle$	$\langle u'^2 \rangle^{1/2}/U$	$\langle u'^2 \rangle$	$\langle u'^2 \rangle^{1/2}/U$
1分	30	m^2/s^2 3.06	.185	m^2/s^2 1.74	.190	m^2/s^2 .91	.233
5	6	3.40	.195	2.16	.212	1.19	.255
10	3	3.59	.200	2.08	.208	1.23	.259
15	2	3.62	.201	2.25	.216	1.24	.256
30	1	3.65	.202	2.35	.221	1.26	.262

1520~1550

		$U=8.12$		$U=6.18$		$U=3.78$	
1	30	2.43	.192	1.56	.202	0.98	.262
5	6	2.88	.209	1.98	.228	1.06	.273
10	3	2.96	.212	2.01	.230	1.11	.279
15	2	3.19	.220	2.10	.235	1.15	.284
30	1	3.36	.226	2.07	.233	1.18	.288

をもつ風速変動に関する何等かの知識が得られるであろ
うと考えられる。

観測は 1340~1410, 1520~1550 の 30 分間宛 2 回行
い。観測結果を 1分 (30 区), 5分 (6 区), 10 分 (3
区), 15 分 (2 区), 30 分 (1 区) に分ち、乱れのエネ
ルギー $\langle u'^2 \rangle$, 乱れの強さ $\langle u'^2 \rangle^{1/2}/U$ 相関係数等を計
算した。

(2) 観測時間と風の息との関係 $\langle u'^2 \rangle$ と観
測時間 T_* との関係は第2表に示した通り、 T_* の増加
と共に僅かに増加をみている。

乱れの相似仮説が適用される範囲ではこの間に

$$\langle u'^2 \rangle_{T_*} \propto T_*^{2/3}$$

という比例関係が存在するが、これに比べれば $\langle u'^2 \rangle$ の
増加は殆どないと云える程度である。

(3) 乱れの高度分布 今回の観測結果では $\langle u'^2 \rangle$
は z と共に増し、 $\langle u'^2 \rangle^{1/2}/U$ は z と共に僅かの減少を
みている。結果の 1 例を第3図に示す。ここに用いた数
字はすべて 5 分間の観測について計算された値である。
又高さは、平均風速の分布により求められた $z-d$ を使
用した。

武田 (1953) も同様な観測を行つて、略同じ結果を得
て Best の求めた実験式

$$|\bar{u}| = 0.15 \log(z-d) + \text{const.}$$

と一致すると述べているが、吾々の観測でも

$$\langle u'^2 \rangle^{1/2} \propto \log(z-d)$$

で略一致を見ている。乱れの相似仮説が極めて広い範囲
にわたつて適用されるという仮定のもとに井上(1952)の

求めた理論式では

$$\langle u'^2 \rangle \propto z^{-1/3} \log(z/z_0)^{1/3}$$

となつて $\langle u'^2 \rangle$ は z と共に減じなければならないわけ
で又、

$$\langle u'^2 \rangle^{1/2} / U \propto z^{-1/3} (\log z/z_0)^{-2/3}$$

となつて減ずる傾向は合うが、その減り方は観測値と一
致しない。

Fig. 3

(4) 時間相関係数 1340~1410 の $z=4.7$ m の観
測値について、 T_* を 5, 10, 15, 30 分として $R(t)$ を計
算した所、 $R(t)$ の形が T_* には殆ど無関係であること
がわかつた。(第4図) この事実は先の $\langle u'^2 \rangle$ と T_* と
の関係が顕著でなかつたということとよく合致するもの
で、この時には大きな周期を持つ変動の存在がはつきり
しなかつたことを意味するものであろう。

Fig. 4

1520~1550 のものについて計算した結果はこれと少
し違つて、 T_* を長くすると $R(t)$ も少し大きく出てい
る。

若し乱れの相似仮説の適用される範囲であれば

$$R(t) = 1 - \text{const. } t^{2/3}$$

という形の相関の存在が予想されるが、今回の2観測結
果は何れも

$$R(t) = 1 - \text{const. } t^{1/3}$$

の式で表わせる様である。

以上述べた如く、乱れの相似仮説から得られる理論的
結果と実測結果との差異があるということは種々の原因
があると考えられる。

先ずロビンソン風速計では乱れが測れないかという問
題であるが、昭和29年9月5日台風5号の時農研風力
塔上でこの観測と同一方法による観測結果では可成の一
致を見ているからこの方法で測れないといふことではな
い様である。但しこの場合 $z \approx 20$ m, $U = 10$ m/sec
であつた。

次に $R(t) = 1 - \text{const. } t^{2/3}$ の関係から考えるとこれは
 $R(t) > 0.5$ の時実測とよく合うといわれているが今回は
最初の5秒で既に0.3位になつており、5秒毎の読取り
では相似仮説適用の範囲が見出せないことを示している。
即ち地上5~6m以下で、風速が相当強いときには最大
乱子の通過時間が極めて小さく5秒以下となつたと思わ
れる。本観測で得た結果は何れも相似仮説適用範囲とは
異つた領域に属する乱れを観測したこととなり、理論よ
り予想される結果と差異を生じたものと考えられる。従
つて地面に近い耕地風の構造を調べる目的にはもつと週
期の短い風速計で細かく読取る必要があることが判つた。

4. むすび

昭和29年9月14日茅崎水田で観測を行い、平均風
速、乱れの分布等について計算した結果

(1) 平均風速の高度分布は対数法則で表わせ、 d, z_0
の値は高さ2mの所の風速が5.5~7.7 m/secの範囲
では d が風速と共に減り80~40 cmの値をとり、 z_0 は
風速と共に増し3.7~16 cmの値を示した。

(2) 他の観測結果も考え合せると、抵抗係数は風速
5 m/sec 位までは減少し5 m/sec 以上になると逆に増加
してゆく様である。

(3) 5秒平均風速から求めた乱れは、乱れの相似仮
説の適用範囲外となつたが、 $\langle u'^2 \rangle$ は観測時間を増すと
僅かに増加し、 $\langle u'^2 \rangle$ の高度分布は高さと共に増加し
 $\langle u'^2 \rangle^{1/2} / U$ は高さと共に僅か減少してゆく。又時間相関
は $R(t) = 1 - \text{const. } t^{1/3}$ の式で表わせる。

この観測では、平均風速の分布と乱れの分布との関係、

相似仮説適用範囲の大きさ(最大乱子の大きさ), 適用範囲外の乱れの構造等については殆ど得る所がなかつたので今後新測器の使用, 観測法の改良によりこれらの点について研究を進めて行きたい。

参考文献

- Deacon, E.L. (1949): Vertical Diffusion in the Lowest Layers of the Atmosphere. *Quart. Journ. Roy. Met. Soc.* 75, 89-103.
Inoue, E. (1952): Interrelations between the Struc-

ture of Wind near the Ground and Its Observations. *気集*, 30, (8), 255-264.

井上栄一, 谷信輝 (1952): 耕地風の測定 (1). *農業気象*, 7, (2), 48-50.

井上・谷・今井 (1953): 耕地風の測定 (2). *農業気象*, 8, (1.2), 45-48.

Rider, N.E. (1954): Evaporation from an Oat Field. *Quart. Journ. Roy. Met. Soc.* 80, (344), 198-211.

Takeda, K. (1953): Turbulence in the Lowest Atmosphere. *林試研報* (58) 1-36.

Résumé

In 14 Sept. 1954, when the typhoon No.12 was at Japan sea, we observed the wind over the rice field at Chigasaki, making use of 6 small Robinson cup anemometers installed to the pole of 6 m high. The vertical distributions of wind velocity and turbulence were obtained.

The following results were obtained:

- (1) The vertical distributions of mean wind velocity were well represented by the logarithmic law,

$$U(z) = \frac{2.30V_*}{k} \log \frac{z-d}{z_0},$$

and the roughness parameter z_0 and zeroplane displacement d were found to change in accord with the wind velocity. When the wind velocity at 2 m height was within the range 5.5-7.7 m/sec, d was reduced and z_0 was increased respectively with the wind velocity.

(2) Observations obtained before at other rice fields were also reconsidered, and it was found that, except cases the wind velocity was less than 1 m/sec, d was increased and z_0 was decreased respectively with the wind velocity up to 5 m/sec, and that, however, when the wind velocity was increased over 5 m/sec, d was reduced and z_0 was increased respectively. (Fig.2)

(3) We observed the fluctuation in wind velocity by means of reading anemometer's counter at every 5 seconds.

The energy of turbulence $\langle u'^2 \rangle$ was increased very little with the averaging time ranging from 1 to 30 minutes, and was increased with height. The intensity of turbulence $\langle u'^2 \rangle^{1/2}/U$ was decreased slightly with height.

(4) Eulerian-correlation coefficients for velocity fluctuation were calculated and the empirical result of

$$R(t) = 1 - \text{const. } t^{1/3}$$

was obtained.

These results obtained are apparently different from the theoretical ones based on the Similarity theory of Turbulence. These discrepancies might be partly due to the fact that the inertial subrange of turbulence is too small to be observed by the method mentioned above.