耕地風の測定(5)*

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 (5)

N. TANI, E. INOUE and K. IMAI

(National Institute of Agricultural Sciences)

1. ま え が き

前報まで耕地面上の平均風速の高度分布、風速の乱れ等についての測定結果を報告して来たが、今回は耕地風の割合と短時間(5分間)の風向の変動について調べたものを報告する。この様な風向の変化は防風林や防風垣の効果を調べる時、農薬散布其の他の農作業を行う時に問題となり、一方理論として風向に直角方向の乱れの観測としても興味があると考えられる。

この観測は昭和30年9月17~18日埼玉県吉川町で行なわれたヘリコプターによるスプレー試験の気象観測の一部として実施したものである。観測場所は同町水田地帯の略中央でNW方向約200mの所に農家がある他、防風林の様な障害物は500m以上離れている。水田は既に落水してあり水稻の穂は垂下り乳熟期にあり一部少し黄熟している所もあつた。草高は100~105cm程度である。

尚本観測を行うに当り文部省科学試験研究費の御援助を得た。関係各位に感謝の意を表する。

2. 観 測 方 法

観測項目は平均風速、気温、湿度、風向その他目視観測天気雲量等である。

(1) 平均風速

理工研式小型ロビンソン風速計10個を6mのポールに対数的に配置し5分間の電接数を読み取り、平均風速を求める前回通りの方法で観測した。このロビンソン風速計は小型で軽便であるが、電接部軸受部等が弱く運搬、使用中に特性が変化する様で検定を度々行つて絶えず検定曲線を修正しないと誤差が大きくなるが欠点である。

(2) 平均気温・湿度

今回は電動機による通風サーミスター乾湿計を使用した。サーミスターは硝子管に封入したもので室温で20~50k Ω のもの、ブリッジの不平衡電流を読み取り温度を求めた。熱電対でもサーミスターでも同様であるが1つのメーターで多くの測点を切替えて読む方法は平均気温の高度分布を求める場合には甚だ不適当で、10~20点を読むには2~5分要し、風速を測っている5分間に1点

を2~3回しか読取れない。そしてこの2~3の値を平均して5分間の平均気温とするのは一寸無理の様である。各点の温度を同時に連続記録しそれより平均値を求めるか、感度の良い積算温度計でロビンソン風速計の様に其時間内の数値が読取れる様なものならば尚よいと思う。

(3) 風 向

長さ50cmの矢羽根を交流セルシンモーターにつけ、温度計用のポールの上端に取付けた。矢羽根の回転角度は5本の電線で自記部のセルシンモーターに伝えられ角度を再現する。自記器は横河電機のKR型記録電流計のチャートの部分を応用したもので、チャートの巾は120mm、これが100目盛に分けてあり、全巾は風向の角度にして約130°に当る。チャートの送りは毎秒2mmとした。角度の伝送にセルシンモーターは便利であるが電線5本要すること交流電源を要することは欠点である。

風向計の時定数は風速に反比例するもので、風速の遅い場合は風向追随性が悪くなる。今回の測定では風速が2m/sec位の時が多く風向計の時定数は数sec程度であつた様である。

3. 平均量の高度分布

(1) 平均風速

気温観測の結果上下略等温即中立状態に近い場合、および風速が可成り大きく熱的影響が小さいと思われる場合を選び風速高度分布を整理し d 、 z_0 を求めてみる。(第1図)第3報の U_{200} と d/h 、 z_0/h との関係では2~5m/secの範囲で d が増し z_0 は小さくなる傾向を示していたが、今回はこれと逆に1~5m/secでは d が減じ z_0 が増加する傾向となつた。これは前に使用したデータが出穂前或は出穂直後のもので、今回の様に密になつても居らず穂も立つていた為、稲体の剛性、固有週期等が違つたものと思われる(井上1955)第3報では2m/sec以下については考えていなかったが、今回の結果から考えると d 、 z_0 は1m/sec前後でそれぞれ、極小、極大を示し、これ以下の風速では d は増し草高に等しくなる様である。第2報の小麦畑に於ける測定でも $U_{200}=1.5$ m/secのとき、 d が草高に等しくなつたのと同傾向である。

* 昭和30年11月11日長野臨時大会に於いて発表

Fig. 1

(2) 平均気温

上述の通り、温度の測定法に問題があり、良い結果が得られていないので詳論は出来ない。ここでは上下の温度分布の様子から気層が安定、中立、不安定状態の大体の判別に結果を使用した。更に定量的な結果を得るには測器の改良を要する。

4. 風向変動観測結果

風向計が絶えず振動して一定の所を指さないのは平均の風向と直角方向の風の乱れによるものと考えられる。今風向計が平均風向より φ だけ傾いている時、平均風速を U 、風向方向の乱れを u 、これと直角の乱れを v とすると

$$\tan \varphi = \frac{v}{U+u} \quad (4.1)$$

となる (井上 1952)。若し φ が小さく且 u が U に対して無視し得る程度に小さいならば

$$\varphi = \frac{v}{U} \quad (\varphi \text{ は radian で表わす}) \quad (4.2)$$

となる。これを或時間観測して平均すると、

$$\langle \varphi^2 \rangle^{1/2} = \frac{\langle v^2 \rangle^{1/2}}{U} \quad (4.3)$$

即ち風向計のふれる角度を観測すれば横方向の乱れの強さが求められ更に

$$\frac{\langle v^2 \rangle^{1/2}}{U} \propto \frac{\langle u^2 \rangle^{1/2}}{U} \quad (4.4)$$

であるから風向方向の乱れも推定することが出来る。

連結乱子について其性質を考えてみると (井上 1955) 乱子の大きさは

$$10(z-d) = A_x > A_y > A_z = 0.4(z-d), \quad (4.5)$$

乱子速度は

$$2.81 V_* = V_w > V_y > V_z = V_*, \quad (4.6)$$

であると考えられ、ここで V_* は摩擦速度である。若しこの観測の結果は連結乱子によるものならば上記の諸性質が満足せられる筈である。

観測の結果得られた 5 分間の風向記録 18 について、各々 2.5 sec 毎の平均値をよみ、1 本につき 120 個の値を得これを解析に用いた。

(1) 風向の頻度分布

読取値を階級別にしてヒストグラムを作ると第 2 図に示される様になる。ヒストグラムは大体正規分布を示し、平均値がモードになる様であるが一部山が崩れたり、山が 2 つ出たりするものもあつた。風向変化の範囲は乱れの大きいとき $60 \sim 70^\circ$ (約 3 方位) に及び、小さい時は 30° (約 1.5 方位) であつた。武田 (1953) の行つた観測では (10 sec 毎読取 20 分間観測) 変化範囲は $150^\circ \sim 30^\circ$ 、田中 (1955) の観測では (1~1.5 時間、風速 5~6 m/sec) $140 \sim 160^\circ$ となり観測時間を長くするとその範囲も広くなることを示している。

Fig. 2

(2) $\langle v^2 \rangle^{1/2}$ と U_{600} との関係

(4.3) 式より

$$\langle v^2 \rangle^{1/2} = U \langle \varphi^2 \rangle^{1/2} \quad (4.7)$$

を得、 U として高さ 600 cm の値を使用して横方向の乱れ速度を求めてみた。其結果 $\langle v^2 \rangle^{1/2}$ は U に比例して大きくなっているが、気層の不安定の場合には U の割に $\langle v^2 \rangle^{1/2}$ が大きく出る様である。中立及び安定状態では少し乱れが小さく出ると言えないこともない。乱れの大きさが安定度で変えることはよく知られており、屋間は不安定で乱れが大きく拡散も強くなり、薬剤散布ではかえって具合の悪い場合があり、散布に朝夕の安定の時期を選ぶのも一理あると思われる。安定度と乱れの強さとの定量的な関係は今回の温度分布不完全のためここでは論ぜられない。

(3) 観測時間と乱れの強さ

(a) 17 日 1355-1400, (b) 1540-45, (c) 18 日 1343-48 の 3 本の観測について観測時間を変えて計算を行った。結果は第 3 図左に示される。何れも時間を長くすればする程乱れの強さは増しており、観測時間 5 分はそこを通過する最大乱子の通過時間より小さいことを示している。その増し方は理論より (井上・谷・今井 1955) 期待される値

$$\langle \varphi^2 \rangle \propto T_*^{2/3} \quad (4.8)$$

が適用される。但し (b) 17 日 1540-45 の観測は安定時なので最大乱子が小さくなっているらしく、観測時間 T_* の $2/3$ 乗より小さくなり、観測時間と最大乱子の通過時間とが近くなっていることを示した。

Fig. 3

(4) 風向変動の自己相関係数

この場合の相関係数は

$$R\varphi(t) = \frac{\langle \varphi(t_0) \cdot \varphi(t_0+t) \rangle}{\langle \varphi^2 \rangle} \quad (4.9)$$

として計算され前の 3 本についての結果を第 3 図右に示す。若しこの観測で中間乱子領域がとらえられているならば理論的結果 (井上・谷・今井 1955)

$$\{1 - R\varphi(t/T_0)\} \propto (t/T_0)^{2/3} \quad (4.10)$$

となる筈である。しかし計算の結果は一部適用される所もあるが、そうならない所が多かつた。

(a. 17 日 1355-1400) この場合は t に比例する様な結果を得た。このことは計器の追従性が悪いのに読取を細かくし過ぎたことを示している。この時の風速は $U_{1000} = 1.8 \text{ m/sec}$ しかなくかつたから風向計の時定数は、前に述べた通り数 sec に余る様な値になつたものと思われるから読取間隔 2.5 sec では細かすぎた。読取間隔をもつと長くしようとすると 5 分間の観測では数 10 個しかとれず、相関係数の計算に用いるには足らなくなる。

(b. 17 日 1540-45) 最初の 5 sec 位までは大体 $2/3$ 乗となつたがあとは $1/3$ 乗となつた。 $2/3$ 乗の部分を選ばし $R\varphi(t) = 0$ となる T_0 を求めてみると 12~13 sec 程度となる。 $1/3$ 乗になる部分は $R\varphi(t)$ も小さく t/T_0 が 0.2 より大きい部分と考えられる。

(c. 18 日 1343-48) 最初の 5 sec まで 1 乗、あとは $2/3$ 乗となつた。最初の部分は前例と同様で計器の性能によるものと考えられ、あとは大体中間乱子領域を表わしている様で、 $R\varphi(t) = 0$ となる時間は 60 sec 位となる。

$R\varphi(t) = 0$ となる時間 T_0 は最大乱子の通過時間とされ、(b) では 12sec, (c) では 60sec となつたが (c) の場合は観測時間をもつと長くすると T_0 も尚大きくなる傾向を示しているからこの 60 sec という値は絶対的なものではない。

以上の結果の示す横方向の乱れは、どの程度の乱子によるものか考えてみる。若しこれらが連結乱子によるものとしその通過時間を求めると、

(a) 2.8 sec (b) 2.4 sec (c) 1.85 sec となり、横方向の乱れの通過時間はこれらの数倍の値をとると考えられるから 10 sec 程度であろう。しかるに相関係数の計算により求められる通過時間は数 10 秒程度のものゝ連結乱子より数倍大きい乱子であることが判る。これらの中規模乱子は前方の地形地物のために発生し、その大きさは大体数 100~数 1000 m の程度の大きさを持つものと考えられ、それらの微気象に及ぼす影響は決して小さいものではない。地面の影響による摩擦連結乱子と共に研究すべきものと思う。

今回の観測では連結乱子に関しては余り得る所はなく又主流方向の乱れについても観測しなかつたが、今後の観測では u, v, w についての3方向の乱れを同時に観測することが要求される。

5. 摘 要

稲田の上の風速分布、気温分布を測定し同時に風向の変動についても観測を行つた。平均風速分布の測定結果から d, z_0 を求めた所、高さ 200 cm の風速が 1-5 m/sec の範囲では d が減じ z_0 が増す傾向を示し、水稻の生育時期状態により風速と d, z_0 との関係が変る様である。

風向の変化の巾は5分間で乱れの大きいときは 60° - 70° 、小さいときは 30° 位であつたが、これは観測時間を長くすれば大きくなる。風向の乱れ $\langle \varphi^2 \rangle$ (横方向の乱

れ)も観測時間の函数で理論からは観測時間の $2/3$ 乘になることが期待され大体その様な結果を得た。

風向変動の相関係数を計算した所観測時間、読取間隔の適当不適の各種の場合が得られ、これらの結果から察するとここに観測された乱れは主として連結乱子より大きい地形性中規模乱子によるものであることが判つた。

参 考 文 献

- 井上栄一(1952): 地表風の構造, 農研報告 A 2
井上栄一(1955): 穂波の研究, 農業気象 11, 18-22
井上・谷・今井(1953): 耕地風の測定 (2) 農業気象 8, 45-48
———(1955): " (4) 農業気象 11, 44-48
佐貫亦男(1953): 地上気象器械, 共立全書 53
武田京一(1953): 地面附近の乱流について, 林試研報 (58) 1-36

Résumé

Wind velocity and temperature profiles and fluctuations in wind direction were observed over a rice field in Sept. 17-18, 1955. The mean wind velocity is measured with 10 small cup anemometers distributed logarithmically to a 6 m. height pole, and thermistor thermometers are used for the measurement of temperature distribution.

Under the neutral thermal condition of the wind velocity of 1-5 m/sec. at 2 m. height, the zero-plane displacement d decreased and the roughness parameter z_0 increased respectively with the increase in wind velocity. These facts are contrary to results reported before (Tani, Inoue and Imai 1954), the cause of this discrepancy seems to be due to the different condition of rice stalks in growth stage, density, flexibility etc.

A wind direction-meter with 50 cm. long arrow made with aluminum plate sends the signal of direction angle to the recording system by means of an A. C. selsyn-motor. The recording chart is of 12 cm. width which is corresponding to 130° direction angle, and the recording speed is regulated to be 2 mm/sec. Recorded charts are read at every 2.5 seconds and these values are made use of in the following analyses.

The hystograms of wind direction show the normal distribution pattern with some exceptions. The range of fluctuation during 5 min. is about 30° under the condition of small turbulence and 60 - 70° under that of large turbulence.

The lateral turbulent velocity $\langle v^2 \rangle^{1/2}$ is in proportion to the mean wind velocity U , but under the unstable condition it becomes larger than under the neutral or stable condition.

The lateral turbulent energy $\langle \varphi^2 \rangle$ and the autocorrelation $R(t)$ with respect to the angle fluctuation φ are calculated for some 3 cases, and the following results are obtained:

(1) 1355-1400, 17 th. The results indicate that the reading interval 2.5 sec. of chart is too small to obtain the characteristic nature of the wind turbulence concerned.

(2) 1540-1545, 17 th. The observation was carried out under the stable condition. The scale of the horizontal largest turbulent seems to be decreased so that the averaging time of 5 min. seems almost comparable to the passage-time of that largest turbulent.

(3) 1343-1348, 18 th. In this run, $1-R(t)$ shown to be in proportion to $t^{2/3}$ as expected theoretically, and the characteristic time T_0 at which $R(t)$ becomes zero is shown to be about 60 sec.

Considering that this characteristic time is much larger than the passage-time of the coupling turbulent directly influenced by the ground surface, which is estimated to be about 10 sec., the authors suppose that the turbulences observed here are not the coupling ones but the topographical ones of the medium scale.