暖地における水稻栽培と気象要因の統計学的研究 [II]*

松 田 昭 美

(九州大学農学部)

Statistical Studies between the Rice-culture and Meteorological
Variants in Warm Districts [II]

A. MATSUDA

(Faculty of Agriculture, Kyushu University)

1. は し が き

第1報¹⁾において、福岡における晩稲の収量に対する気象要因の影響は9月の日照時数と8月の平均気温が最も重要な要因であり、収量方程式に対してはこれら2つの要因を用いることによって充分満足の結果が得られることを示した。またこれら2つの要因の中では9月の日照時数の影響が顕著であつた。そこで水稻の本田生育期間である7月～10月迄を10日毎に区分して、単に9月だけでなく、各々の期間区分における日照の単独効果を求めた。以上の研究には各々の気象要因が互いに独立して収量に影響を及ぼすと仮定したものであつた。

ここでは第1報と同じ資料を用いて(水稻豊凶参照試験のうち福岡県農業試験場の晩生種「目利、神力」の1919年から1938年迄の20年間の収量と同期間の福岡管区気象台における気象資料)8月及び9月の夫々の月の日照時数と平均気温の影響を同時相関関係の考えに基いて分析した。即ち或月における日照時数の影響は同じ月の気温の高低によつて異なる。又逆に気温の影響は日照時数の多少によつて異なるということを仮定して、水稻収量に対する日照時数と平均気温の従属関係を求めた。

2. 方 法

今8月及び9月の夫々の日照時数と平均気温に対する収量の回帰方程式が次式で表わされるとする。

$$\hat{Z} = \bar{z} + A_1(X_1 - \bar{x}_1) + A_2(X_2 - \bar{x}_2) + B_1(Y_1 - \bar{y}_1) + B_2(Y_2 - \bar{y}_2) \dots \dots \dots (1)$$

但し $\hat{Z}$; 推定収量 ($\bar{z}$ は収量 Z の平均値)

X_1, X_2 ; 夫々8月及び9月の日照時数

$\bar{x}_1, \bar{x}_2$ は夫々の平均値

Y_1, Y_2 ; 夫々8月及び9月の平均気温

$\bar{y}_1, \bar{y}_2$ は夫々の平均値

(1)式において各々の変量を平均値に対する偏差で示すと次の如くなる。

$$\hat{z} = A_1x_1 + A_2x_2 + B_1y_1 + B_2y_2 \dots \dots \dots (2)$$

ここで変量を示す小文字は何れも偏差を示す。

さて、(2)式において右辺の変量は何れも互いに独立して収量に影響を及ぼすと考えたものであるが、若し収量に対する日照時数の影響が同じ月の気温の高低によつて異なり、又逆に気温の影響が日照時数の多少によつて異なる場合には、この関係式では都合が悪い。

そこで若し同じ月における日照時数の影響と気温の影響の間に次に示すような直線的な関係が成立つと仮定すれば

$$A_1 = a_1 + \alpha_1 y_1, \quad A_2 = a_2 + \alpha_2 y_2$$

$$B_1 = b_1 + \beta_1 x_1, \quad B_2 = b_2 + \beta_2 x_2$$

但し a, b, α, β ; 常数

(2)式は次の如く書換えられる。

$$\hat{z} = a_1x_1 + b_1y_1 + c_1x_1y_1 + a_2x_2 + b_2y_2 + c_2x_2y_2 \dots \dots \dots (3)$$

但し $\alpha_1 + \beta_1 = c_1, \quad \alpha_2 + \beta_2 = c_2$

(3)式から分るように或月の日照時数(気温)の影響は同じ月の気温(日照時数)を考慮してはじめて明瞭になることを示している。

このような考えは Hendricks と Scholl²⁾ が 1943 年にトウモロコシの収量に対する気温と降水量の同時効果を研究したのが最初で、収量に対する2つの気象要因の Joint relationship と称した。

次に月毎の各々の変量に対する収量の変化は次の如くにして求めることが出来る。

$$\text{日照時数 ; } \frac{\partial \hat{z}}{\partial x_1} = a_1 + c_1 y_1 \quad (8 \text{ 月})$$

$$\frac{\partial \hat{z}}{\partial x_2} = a_2 + c_2 y_2 \quad (9 \text{ 月})$$

$$\text{平均気温 ; } \frac{\partial \hat{z}}{\partial y_1} = b_1 + c_1 x_1 \quad (8 \text{ 月})$$

$$\frac{\partial \hat{z}}{\partial y_2} = b_2 + c_2 x_2 \quad (9 \text{ 月})$$

3. 結 果

計算に用いた資料は Table 1 に示した如くである。Table 1 の値から最小二乗法を適用して(3)式における各々の回帰係数を求めると次の如くなる。

* 1959年1月31日 昭和33年度九州支部例会及び
1959年4月6日 昭和34年度大会において発表

Table 1 Yields and weather data.

Year	Yield* Z (kg/a)	Duration of sunshine (hour)		Temperature (°C)	
		August X ₁	Septem- ber X ₂	August Y ₁	Septem- ber Y ₂
1919	41.9	7.2	6.7	25.7	21.4
20	32.7	7.0	6.0	25.9	23.3
21	31.5	8.6	5.0	26.9	21.5
22	39.9	9.6	5.7	28.1	23.5
23	32.2	9.0	6.1	27.7	22.9
24	35.9	7.8	5.7	26.5	21.7
25	32.9	9.1	4.8	26.7	22.5
26	38.8	8.6	5.6	27.9	23.6
27	32.3	5.6	3.9	26.4	21.1
28	30.4	7.0	5.7	25.5	23.8
29	40.0	8.7	5.7	27.2	21.7
30	32.5	6.8	7.3	26.7	21.6
31	31.7	7.8	5.1	27.3	22.8
32	29.8	6.5	4.3	26.4	20.8
33	40.0	7.4	7.4	26.6	22.5
34	37.3	9.2	5.2	27.0	21.6
35	30.6	7.7	4.0	26.5	21.5
36	40.7	5.5	7.8	26.2	23.3
37	33.5	8.6	6.0	27.3	22.8
38	38.0	7.9	7.2	26.5	21.2
Mean	35.15	7.78	5.76	26.75	22.255

* 修正収量 (Revised Yield)¹⁾

$$a_1 = 1.1221$$

$$a_2 = 2.7107$$

$$b_1 = 0.0812$$

$$a_2 = -0.8881$$

$$c_1 = 0.8998$$

$$c_2 = 0.5574$$

従つて求める回帰方程式は次の如くなる。

$$\hat{z} = 1.1221 x_1 + 0.0812 y_1 + 0.8998 x_1 y_1$$

$$+ 2.7107 x_2 - 0.8881 y_2 + 0.5574 x_2 y_2 \dots (4)$$

Fig. 1 は (4) 式から推定した毎年の収量を示したものである。又 (4) 式の適合度の検定を行つてみると 5% 水準で有意となるので、収量に対する二要因の同時相関関係を分析する場合、この式を利用して差支えないものと考えられる。

従つて (4) 式から各々の気象変量に対する収量の変化を推定すると次の如くなる。

$$\begin{aligned} \text{日照時数} \begin{cases} \frac{\partial \hat{z}}{\partial x_1} = 1.1221 + 0.8998 y_1 & (8 \text{ 月}) \\ \frac{\partial \hat{z}}{\partial x_2} = 2.7107 + 0.5574 y_2 & (9 \text{ 月}) \end{cases} \\ \text{平均気温} \begin{cases} \frac{\partial \hat{z}}{\partial y_1} = 0.0812 + 0.8998 x_1 & (8 \text{ 月}) \\ \frac{\partial \hat{z}}{\partial y_2} = -0.8881 + 0.5574 x_2 & (9 \text{ 月}) \end{cases} \end{aligned}$$

Fig. 1 Comparison of actual and computed yields.

Fig. 2 Effect of an hour of sun-shine duration on yields at different temperature.

これらの関係を図示したのが Fig. 2 及び Fig. 3 である。図中実線で示した部分は使用した統計年次内において実際に現れた気温または日照時数の値に対するものであり、点線で示した部分はこれを外挿したものである。

4. 考 察

本調査では水稻生育期における栄養生長期の後半、生殖生長期の前半に相当する8月、9月のみについて行つた。

日照時数の影響については第2図

Fig. 3 Effect of a degree of temperature on yield at different sun-shine duration.

に示した如く、8月及び9月の何れにおいても、実際に現われた気温の範囲においては正の効果を有して居り、気温の上昇と共にその効果は増大する傾向にある。9月の場合には実際に出現した最低気温より更に低温であつても日照の効果は正の値を示すが、8月の場合では 25.5°C 以下では概ろ負の効果を示すことになる。

次に気温の影響は日照時数の場合に比較して、その効果は少い。8月の場合、実際の日照時数 7.8 時間ではそ

の効果は殆んどなく、それ以下では日照時数の減少と共に次第に負の効果を増す。一方 9 月の場合、実際に出現した日照時数 4.0~7.8 時間の範囲内では気温の効果は大部分負の値を示し、数年に一回しか期待出来ないような長い日照時数の時にのみ正の効果を示している。

以上の事から九州では日照時数特に 9 月の日照時数の影響が大で、気温効果をも左右することが示された。晩稲の栽培或はその収量予想に対して最も重要な気象要因であると言えよう。

参考文献

- 1) 松田昭美 1959：暖地における水稻栽培と気象要因の統計学的研究 [I]
農業気象 Vol.15 No.1 p.15~20.
- 2) Walter A. Hendricks and John C. Scholl 1943：Techniques in Measuring Joint Relationships—The Joint Effects of Temperature and Precipitation on Corn Yields,
N.C.State College Technical Bulletin No.74 April 1943.

Summary

The joint effects of the sun-shine duration and the mean Temperature in August and September on the average rice-yield, in Fukuoka (a warm district in Japan), is analysed.

It is based upon the assumption that the effect of sun-shine duration in one of the months depends upon the degree of the mean temperature in the same month, and vice versa, in order to separate such effects for each of these months.

The effects of these weather variants can be taken into consideration successfully in the regression equation (4) used in the analysis (fig. 1).

The effects of the sun-shine duration increase beneficially as the mean temperature increases, especially, it is greater in September (fig. 2), on the other hand, high temperature has beneficial effects only when the sun-shine duration is large.

支部だより

凍霜害対策研究講演会報告

関東支部では群馬県と共催で、3月28日に群馬県農業試験場（前橋市）において表記の会を開催し、下記の講演と討議を行なった。

講演題目

1. 凍霜害予防の新技术
(農業技術研究所) 坪井八十二
2. 果樹の凍霜害予防法の実際
(群馬県農業試験場) 川口松男

3. 桑の凍霜害予防法の実際

(農林省蚕糸試験場) 浜田成義

4. 凍霜害の予報とその利用法

(前橋地方気象台) 北沢貞雄

5. 凍霜害被害の推定法

(農林省関東東山農業試験場) 神前芳信

討議

今年の凍霜害を如何に防ぐか