

# 一般講演

## 灌漑法が水田地温に及ぼす影響

佐藤正一

農林省農事試験場九州支場

I. 合理的水田灌漑は地域、其の年の氣候、稻の生育段階に應ずるを要し、之は氣象的には自然の Makroklima と人為の Mikroklima の結合調和にある。即ち其の地と年の氣候如何で水田環境の或範圍は定るが、種々の灌漑調節によつて尙相當に稻の生活環境を左右し得る。

筆者は先に東北地方の有害な冷水掛流でも掛流水尻で水温が夜の17°から共30°近く上昇れば被害が軽減され、他方九州平坦暖地では掛流灌漑によつて水温の過昇を抑へる方が望ましい事もあると述べた\*。之は更に研究中であり、今回は表題の點のみを考察してみる。

水の影響が地中に對し支配的な理由は、水田は水中

に土粒が沈積した状態（湛水下の原土單位容積は約土6：水4の重量組成）で、而も水の比熱が最大な點にある。

II. 實測と考察。資料として各區 5 × 4 m<sup>2</sup>、混凝土壁（地中85cm）で各區の異なる灌漑法が他區へ及ぼぬ様にした試験區群から、水深約5cm標準湛水區と、水深約4cm連續掛流區（共に7月14日8寸×8寸に1本植）をとり、本年8月3～4日快晴～晴の水地温日變化をみる。當時稻は丈40cm内外の分蘗初期、R. GEIGER 流には植被微氣候の第II段階（熱取戻の第一線は田表面）で、稻を無視して灌漑法の差のみを論じ得る。測定結果の要約が第1表である。

第1表 水田地温の日變化（昭和24年8月3～4日）

試験區	項目	日平均	最高	最低	日較差	振幅	最高起時	最低起時	
湛水區	水温	31.3	40.8	24.9	15.9	7.95	時分 15.30	時分 6.00	
	地温	1層	31.8	39.8	26.4	13.4	6.70	16.00	7.00
		5層	31.5	36.4	28.0	8.4	4.20	17.30	8.30
		10層	30.4	33.0	28.2	4.8	2.40	19.30	10.00
		20層	29.3	30.2	28.5	1.7	0.85	24.00	13.30
	30層	28.2	28.7	27.9	0.8	0.40	2.00	18.00	
掛流區	水温	28.6	35.6	24.2	11.4	5.70	14.30	5.00	
	地温	1層	28.7	34.6	25.2	9.4	4.70	15.30	5.30
		5層	27.7	31.4	26.0	5.4	2.70	17.00	8.00
		10層	27.9	29.3	26.5	2.8	1.40	18.30	10.00
		20層	27.1	27.4	26.6	0.8	0.40	24.00	14.00
	30層	25.9	26.1	25.8	0.3	0.15	1.30	18.00	

〔註〕 時刻は夏季時刻による。

兩區共に地中深いほど温度變化の位相が遅れ較差が小さく、掛流區は湛水區より概して低温で各層とも日較差が小さい。

此の日週變化を調和分析により Fourier 級數の形に表せば  $u$  を時刻  $t$  (9時=0°, 11時=30°, …) に對する温度として

\*水田灌漑の微氣候：佐藤正一，九州農事試験研究發表會講演要旨，第1號。

水田灌漑と微氣候：佐藤正一，農業氣象，第4卷，1948，養賢堂。

$$\text{湛水水温 } u = 31.28 + 7.48 \sin(t - 21^\circ 10') - 2.13 \sin(2t + 86^\circ 46') + \dots$$

$$\text{掛流水温 } u = 28.58 + 5.68 \sin(t - 2^\circ 10') + 1.61 \sin(2t - 79^\circ 36') + \dots$$

地温も同じ級數で表される事は熱傳導論から明かである。水田地中に於る熱移動は専ら傳導現象による。此の際に熱傳導率の取扱ひ方は 1) 深さに無關係に一定、2) 深さと共に變る。深さの函數、3) 或深さ(厚さ)毎に夫々一定の傳導率を有する各層を一括考察する法、等がある。

今、表土と其の以下とが異なる傳導率とする。然る時は兩層内では夫々別箇に一般固體內熱傳導方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \dots \dots \dots (1)$$

が成立し、地表温が週期變化をする場合に(1)に對する一般解として

$$u = u_m + \sum_{n=1}^{\infty} A_n e^{-\frac{z}{a} \sqrt{\frac{n\pi}{T}}} \times \sin\left(\frac{2n\pi}{T}nt - \frac{z}{a} \sqrt{\frac{n\pi}{T}} + q_n\right) \dots \dots \dots (2)$$

但し、u 温度 (深さ z, 時刻 t における), u<sub>m</sub> 日平均温度, a<sup>2</sup> 温度傳導率 = K/cρ, K 熱傳導率, c 比熱, ρ 密度, T 週期, A 及び q は或常數。

(2) も一つの Fourier 級數である。實際は n は最切の 1, 2 項で足り、次に日較差或は振幅 (日較差 × 1/2) の考察は第 1 項のみで行つた。

地中深 z に於る日較差は(2)の極大値 u<sub>max</sub> = u<sub>m</sub> +

$$Ae^{-\frac{z}{a} \sqrt{\frac{\pi}{T}}} \text{ と極小値 } u_{min} = u_m - Ae^{-\frac{z}{a} \sqrt{\frac{\pi}{T}}} \text{ との差なので、日較差} = 2Ae^{-\frac{z}{a} \sqrt{\frac{\pi}{T}}}$$

、振幅 = Ae<sup>-z/a√(π/T)</sup>、

茲で A は地表 z = 0 に於る振幅。即ち深さが算術級數的に増せば日較差又は振幅は幾何級數的に減ずるが、其の減少の模様を p なる指數 (前式で 1/a√(π/T) = p とす) で表せば、第 1 表の實測結果から第 2 表を得る\*\*。

第 2 表 地温振幅の減少指數 p の値

試 験 區	表 土 層 (15cm 以淺)	心 土 層 (15cm 以深)
湛 水 區	0.114	0.075
掛 流 區	0.129	0.098

筆者は、水田で水の熱的支配が甚大とすれば恐らく土を無視した水だけの熱傳導に表の p 値が近いと考へ、或深さの溜水内で對流や交換 Austausch が全くなくて完全に静止し熱移轉は此の静止した分子から分子へ傳導のみで行はれる状態 (水田地中の水は略々之に近い。滲透・浸出等の鉛直運動を無視) に於て、深さと共に振幅の減ずる指數 Pw を求めた。

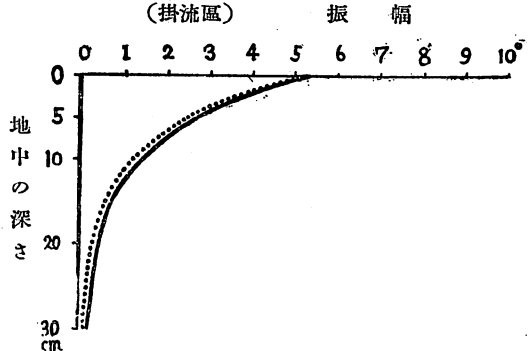
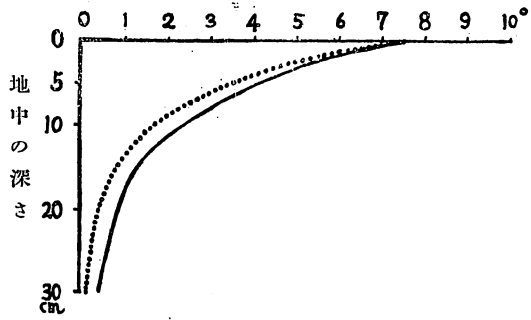
約 30° の水の傳導率 K, 比熱 c 及び密度 ρ を夫々 0.0016  $\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{sec} \cdot ^\circ\text{C}}$ , 0.998  $\frac{\text{cal}}{\text{gr} \cdot ^\circ\text{C}}$ , 及び 0.996  $\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$  と

\*\*水田の實際の熱傳導率 K = a<sup>2</sup>cρ を求めぬ譯は、湛水下の水田原土の熱容量測定を省き、振幅減少指數ならば實測より直ちに算出されて而も温度範圍に直結する便による。

し、a<sup>2</sup> = K/cρ = 0.0016  $\frac{\text{cm}^2}{\text{sec}}$  及び Pw =  $\sqrt{\frac{\pi}{a^2 T}} = 0.151$  を得た。T は 1 日週期 86,400 秒。

此の水の理論上の振幅減少指數を用ひ、表面温度を水田の實測値と同じとすれば第 1 圖の點線カーブを得る。以上の推論から次の結論を導き得る。

第 1 圖 水田地温日變化の振幅 (= 1/2 日較差)  
實線：水田に於る實測値, 點線：水の理論曲線。  
(湛水區) 振 幅



Ⅲ. 結論. [i] 地温日變化振幅が深さと共に減ずる指數は、實際の水田で得た p = 0.11~0.13 が、分子の静止水の理論指數 Pw = 0.15 に相當近い。即ち水田では殆んど水のみ溜つた場合の傳導と大差なく、たゞ土がある爲にやゝ傳導がよくて地中各層の振幅が假想静止水内より増したに過ぎぬ。湛水區心土層では水の理論曲線より幾分離れるが、掛流區は 30cm 層迄よく水の理論曲線に近い。

[ii] 第 2 表の p 値は筆者が 1944 年に福島縣猪苗代町で 7~9 月數回行つた測定でも甚だ近似し、結局水田地中の温度傳播變化機構は灌溉を行ふ限り地域、土質、時期によつて大差はないとみられる。

[iii] 此の地温變化の幅に關與する p が略々一定ならば、表面温度變化の幅次第で水田地温が決る譯で、表面温度の幅は灌溉法如何による事が大きいから、稻の莖基部と根の活動に對する好適温度範圍を明かにすれば之に應ずる措置を灌溉調節に求められるのである。