冷水掛流水田における温度分布の特性*

坪井八十二・本田勲夫

(農業技術研究所)

Some characteristics of temperature distribution in the paddy field being continuously irrigated with cold water.

Y. TSUBOI and I. HONDA

(National Institute of Agricultural Sciences.)

1. 緒 言

畑地における微細気象特性の發現消長はその時の一般気象条件(例えば日射・風・気温等)に支配されながら、作物の状態(例えば作物の種類・栽培密度・繁茂状態・植列の方向等)と耕土の状態(例えば畦の有無大小・畦の方向・土質・土壌水分等)によつて大きく變化するものであるが、水田においては耕土の上に水をたゝえるために、上記諸条件の他に水の条件が加わり所謂水田微細気象と言われる特殊気象環境が成立する。然もこの水は他の諸条件に比べて管理しやすい點で水田気象の人為的改變の可能性を示すものと言えよう。

本報告は水田微細気象の研究の一部として冷水掛流水田内の水温・地温の水平分布の特性を調査すると同時に、水温が畦間気温に及ぼす影響を検討せんとしたものである。

2. 調査の方法と条件

a. 調査水田の状態: 調査地は静岡縣駿東郡富士岡村の湧水地帯であつて、調査水田の近くを流れる用水路の水温は14~15°C位の低温ではあるが、水口の變更により稲は大體均一に育てられていた。

調査水田は農家の水田を借用したもので、第1圖に示

第1圖 調査水田の状態と観測點

* 昭和27年4月6日 27年度總會に於て發表。

すような梯形をしておりその面積は約8畝である。栽植様式は畦間1.2尺株間4寸の南北植(眞北から約20°西に偏す)である。

b. 調査時期とその頃の稲の状態: 調査は稲の生育状態の異なる2つの時期に行つた。第1回目は7月26日から27日に至る2日間で、分蘗最盛期に當り、第2回目は8月27日から30日にわたる4日間で、出穂を始めた頃であつた。兩調査時における水稻の生育状態を示せば第1表の如くであり、繁茂状態には大きい差が見られる。

c. 冷水掛流の方法: 掛流はこの地方としては行わないのであるが、特に許を得て實驗的に實施したものである。L字形に曲つた全長約90mの浅い導水溝により、水田の南東隅に水を廻し、その反對隅から流出した。流入水量の主たる調節は導水溝の入口で行つたが、水量水深の細い調節は水口・水尻近くに設けた三角堰によつた。

d. 観測要領: 水田内に9カ所を選び(第1圖参照)水温・地温(地下5cm)の水平分布を求め、同時に水温の異なる水口(A)中央(E)及水尻(I)の3カ所では温度の垂直分布を詳しく測定し得るようにした。これらの温度観測は從來我々の研究室で行つて來た方法を移動観測用に改造した熱電對セットによつた。別に水田内の

第1表 水稻の生育状態

調査日	最大繁茂部		最上部		莖数	草丈
	高さ	巾	高さ	巾		
7月28日	27cm	22cm	54cm	34cm	18.1本	64.9cm
8. 31	51	53	90	30	16.6	108.7

1カ所で風速(小型ロビンソン風速計)日射(農試電試式小型日射計)湿度(小型アスマン及びオーガ湿度計)の垂直分布を求めた。以上の他に流入水量は三角堰と實測により、水田内水深はサイフォン式水深計により求め、露の状態、日射その他一般気象の諸現象を記録した。これらの項目につき深夜は2時間置、その他は1時間置の

連続観測を行つた。温度測定には平均15分間を要した。

3. 結果の概要と考察

本報においては2回の調査の中、天気状態の比較的良好であつた7月27日と8月28日の結果について述べることにする。

a. 当日の天気推移: 7月27日の夜は曇量10であつたが、昼間は曇少く晴乃至快晴で日中日射をさえ切られることはなかつた。風は昼間1~2m/sの南風があつたが3m/sを越えることはなかつた。8月28日も之と

第2表 調査日の流出入水量 略同様の天気推移であつたが、昼間の曇量がやや多かつた。

調査日	7月27日	8月28日
流入	746 cc/sec	1598cc/sec
流出	249	224
差	497	1374
水深	7.3cm	3.7cm

b. 流 入 水 量 と 水 深: 兩日の水量・水深の平均値を示せば第2表の如くである。兩日とも水田の水深は5

cmに保ちたいと考えていたが、表で分るように7月には深く、8月には約半分の深さとなつた。又流出水量は略同様であつたが、流入水量は水深とは逆に8月には7月の倍以上となつた。之は稻の生育に伴う蒸散量の増加もあるが、主として地下えの滲透量によるものと考えられる。7月の調査時には湛水していたが、8月の時は既に落水しており土壌は堅くなり一部に龜裂が見られたことから想像出来る。

c. 畦間の日射量: 畦間に入る日射量が水稻の生育繁茂につれて減少して来る様子を第3表で示した。水面上10cmの他に最も繁茂した附近として7月には30cm, 8月には50cmに測点を置いた。1日の総日射量を見るに7月では10cmで40%, 8月には80%以上の減少となり水稻の繁茂による日射制限の變化が顯著である。

第3表 畦間日射量の相異

時刻	7月27日		8月28日	
	30cm	10cm	50cm	10cm
朝 (6~9)	79.8%	43.5%	36.0%	15.6%
晝 (10~14)	90.9	76.8	49.0	19.4
夕 (15~18)	70.5	27.0	33.7	9.9
全日 (6~18)	84.8	60.6	44.4	17.4

(註) 各時刻とも裸地の日射量を100とした畦間日射量の比率。

北植の水田における特徴であつて、太陽が南にある時

畦間を十分照射するからである。

d. 水田内の水温上昇と温度分布: 灌溉用水は調査水田に流入するまでに浅く長い導水溝を通るために日中可なりの昇温があり、水口近くで7月には13.7~19.7°C, 8月には13.8~17.0°Cの間を變化した。この冷水が掛流しされた場合水田内の温度がどのような變化を示したかを水温分布を中心に述べよう。第2圖は水温(地上2.5cm)の水平分布の例であるが、この圖に見ら

第2圖 水田内の水温分布の例
れるように各時刻共等温線が水口を中心として略同心圓的に現われた。等温線がやや南北に偏しているのは水稻の植列が水の流に影響したものであり、水田南西部の形が亂れているのはこの部分の水田の形によるものと考えられる。(尚7月の調査では南側畦畔の西隅から僅かな漏水があつた。)

次に観測點9カ所における水温の最高最低温度及び日較差を示せば第4表の如くで、最高最低温度が兩日共水

第4表 場所による水温の相異

測場	定所	7月27日			8月28日		
		最高	最低	較差	最高	最低	較差
東側列	A(水口)	20.8(14)	13.9(4)	6.7	17.6(12)	13.3(3)	4.3
	B	22.9(14)	14.2(4)	8.7	18.1(12)	13.6(5)	4.5
	C	26.3(14)	15.1(6)	11.2	21.6(12)	14.2(5)	7.4
中央列	D	29.5(14)	16.5(6)	13.0	23.1(12)	14.6(5)	8.5
	E(中央)	30.0(14)	16.7(6)	13.3	24.4(12)	14.8(5)	9.6
	F	30.9(15)	18.6(6)	12.3	25.0(13)	16.4(5)	8.6
西側列	G	32.3(15)	21.2(7)	11.1	26.0(14)	17.5(6)	8.5
	H	33.3(14)	22.0(7)	11.3	27.0(13)	18.1(6)	8.9
	I(水尻)	34.0(14)	22.2(7)	11.8	27.1(13)	19.3(6)	8.8

(註) 場所の記號は第1圖参照。

() 内の數字は起時を示す。

口 (A) から遠ざかる程高温を示していることがよくわかる。表によれば水口と水尻の水温差が最高温度について7月に 13.2°C 、8月に 9.5°C 、最低温度では7月に 8.3°C 、8月に 6.0°C となり、晝間の水温上昇が極めて大きいことを示している。然し較差の分布は中央 (E) において最大を、水尻 (I) が之に次ぎ水口 (A) が最小を示している。然も水田の中央部から水口に至る減少の割合は水尻に至る場合よりもはるかに大きい。これは水口から中央部に至る間が、晝間の昇温度極めて大きいのに反し、夜間は冷水の支配を受けて小さくなることに起因している。このように水口から中央、中央から水尻間の温度差が晝夜によつて顕著な相異を示すことは興味ある点であるが、今この2点間に見られる温度差の日変化を1m 當の水溫上昇度で示すと第3圖の如くなる。圖によれば (水口—中央) が晝間最大・夜間最小となるに

第3圖 中央と水口及び水尻間の水溫上昇度の違い

第4圖 時刻別温度垂直分布圖 (A: 7月27日, B: 8月28日)

反し (中央—水尻) ではその反対となつてゐる。7月と8月では上昇度・最高最低の起時に違いはあるが同様の傾向にあると言えよう。以上は夫々約15m離れた3地点における水温について比較したのであるが、第2圖で示したような水平分布圖を時刻を追つて比較してみると等温線の粗密の程度が興味ある日変化を示すことが知られた。よつて大膽な方法ではあるが水口と水尻を結ぶ對角線にそつて5m 置の温度を讀み取り、この各區間における水温上昇度の日変化を検討してみると水口から10~15mの間 (前述の中央點は水口から約18.5mの所にある) において、正午前後から夕方 (7月の場合は前半夜に及ぶ) にかけて上昇度最大となり、この附近が水温上昇について特異點であることを示した。又水口水温より 5°C だけ高温を示す位置の日変化を求めてみると、早朝最長距離を示し正午から夕方にかけて最短距離を示し極めて規則正しい変化を示した。7月より8月の調査にお

第5表 水口水温より 5°C 高温の場所の
変化 (冷水の支配範圍の消長)

調査日	最 大			最 小		
	距離	起時	水口水温	距離	起時	水口水温
7月27日	23m	6時	14.0°C	10m	16時	17.0°C
8月28日	29	7	13.6	12	12	16.7

いて距離が伸びているのは稻の繁茂と水量の爲であろう。(第5表参照) これらの點については將來實測値によつて確かめたい。

e. 水温の異なる3地点における垂直分布の型:

垂直分布の型は各高度における温度差によつて發現するので、水温のみならず緒言に述べたような各種条件によつて變化する相對的なものではあるが、垂直分布の調査を行つた地點については、他の條件は同一で唯水温だけが違つているので、垂直分布に見られる3者間の相異はすべて水温の違に基くものと考えて差支えない。

同一の型を示す時刻について平均した垂直分布の日變化を示せば第4圖の如くである。圖のAは7月27日の分布圖であり、Bは8月28日のものである。水口における水温は兩日とも極めて低いので、畦間気温は1日中放熱を示す特殊な型であるが、水尻においては前述の如く比較的高いので、普通水田における型を示すものと考えられる。水田の中央部は兩者の中間型を示している。一般に知られているように接地氣層における第1の受熱放熱面は水地面であるが、水田では稻が第2の受熱放熱面となる。然もこの第2の熱取引面は莖葉の繁茂に伴つてその活動力が強くなり、水地面の働は非常に弱くなつてくる。7月27日においては莖葉の影響が午前中（特に圖の9~12時）明瞭に現れて、最も繁茂した部分（水面上20~45cm、上下の幅は25cm）に極大が見られる。然しながらこの時期にはまだ比較的多量の日射が畦間水面に到達するので、水地面の活動力は未だ強いことがうかがわれる。水尻の下層気温の分布が午後から夜間にかけて顯著な受熱型を示しているのはこのためである。

8月28日においては莖葉面の活動力が支配的で、晝間の部分に極大が見られるが、その高さと幅は7月に比べ

て高く厚くなつてゐる（高さは水面上50~90cm、巾は40cm）。畦間水面に到達する日射量も極端に制限されるので（第3表）、7月に最高値を示した水尻においても下層気温の分布型が夕刻僅の時間受熱型となる以外はすべて放熱型となつてゐる。

既に述べたように第4圖に見られる3地點の垂直分布の相異は水温の違によるものと考えてよいから、3者間の温度差が小さくなる高さまで水温の影響があつたものと見なして差支えなからう。今水口と水尻の畦間気温の差を取つてみると第6表の如くなり、水温の影響する高さは受熱時低く草冠部の下部までであるが、放熱時高く草冠部の上部まで及ぶことがわかる。この關係は7月の場合特に明瞭で繁茂の大きい8月には弱くなる。又水温の影響する高さが水稻の生育に伴つて上昇して來ることも7月と8月を比較するとよくわかる。従來水温が上方氣層に影響する高さは低いように言われているが、我々の場合のような条件下では以上の如く比較的上層にまで及んでいることが知られた。

4. 結 語

以上は特殊な灌溉法を行つた水田の温度調査の1事例にすぎないが、水田内の水平分布の調査から冷水が水田内で上昇する程度は著しいこと、冷水の支配する範圍が晝夜間で著しく異なること、中央附近よりやや水口より水温上昇に關して特異な點があること、又水温の異なる3地點における畦間気温の垂直分布の調査から、水稻が垂直分布の型に及ぼす影響と水温が畦間気温に影響する高さが稻の生育に伴つて變化して行くことを示した。

これらの結果は將來更に條件の異なる場合について比較検討する必要があると同時に、水田における以上のような温度特性の發現消長を熱取引の面から究明しなければならぬと考えている。

尙本調査に當り種々の便宜を與えられた富士岡村の村長土屋五雲、吏員植松堯康、水田の使用を許された杉山五郎の諸氏に、又勞多し觀測に協力された研究室の中川、久保兩技官に心から感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 柏崎 清：夏季における水田の温度、農及園 25 (6), 1950,
- 2) 久世源太郎・高橋健治・芦田讓治：特殊な灌

第6表 水口と水尻の畦間気温の差

調査 月日	時刻	水面上の高さ (cm)				水口 水温	同左と 水尻の 差	150cm 氣 温
		10	20	30	50			
VII 27	2~6	3.7	(2.3)	1.4	(0.6)	14.1	8.6	22.4
	7~8	2.7	(1.0)	0.3	(0.1)	14.8	7.6	24.6
	9~12	2.3	(1.1)	0.5	(0.2)	17.9	9.6	27.6
	13~16	2.3	(0.9)	0.1	(0.2)	19.7	13.6	28.5
	17~20	2.7	(1.9)	1.0	(0.4)	16.7	13.0	24.8
	22~2	5.4	(3.2)	1.7	(0.5)	14.4	11.7	23.5
VIII 28	2~6	4.5	(3.1)	(2.1)	0.9	13.5	6.5	21.4
	7~8	3.4	(2.4)	(1.6)	0.6	14.3	5.2	24.8
	9~13	3.2	(2.5)	(1.8)	0.9	16.8	8.2	27.6
	14~16	4.0	(2.8)	(2.1)	0.9	15.6	10.3	26.8
	17~18	3.5	(2.2)	(1.3)	0.6	14.7	9.7	24.3
	19~22	4.0	(2.7)	(1.7)	0.8	14.1	8.9	23.5
	24~2	4.3	(3.3)	(2.4)	1.0	13.9	7.7	22.6

(註) () 内の數字は垂直分布圖から讀取値。

漑水を受ける稻田の微氣候, 農業氣象5
(2), 1949.

3) 佐藤正一: 水田灌漑と微氣候, 農業氣象4, 1948.

4) 庄司清吉: 冷害地に於ける掛流水田の微細氣象,

農及園 14 (6), 1939.

5) 立花一雄・根岸俊雄・根岸正明: 水田内の水の流動と温度並に生育との關係について, 駒場農學研究會報4輯, 1951.

Résumé

In the paddy field being irrigated continuously with cold water, horizontal distribution of both water and soil temperature at nine points and vertical distribution of air temperature at three points, i.e. water inlet, center and water outlet, were measured on a clear day in July and August, 1952.

The results obtained are as follows:

- 1) On a sunny day in summer, cold water (14~20°C) is warmed up strikingly in the paddy field, although the sunlight is restricted by the plant cover. On 27th of July, for example, water temperature of 34°C was observed at the water outlet.
- 2) In each figure of horizontal distribution of water and soil temperature for every hour, isothermal lines are represented by concentric circle with the center at the inlet.
- 3) Diurnal movement of isothermal lines in those figures has a interesting periodicity, and between 10 and 15 m from the inlet there is a noteworthy zone showing the maximum of rising up of water temperature.
- 4) Diurnal changes of vertical temperature distribution at three points with different water temperature are shown in fig. 4. This figure show that types of vertical distribution of temperature in paddy field are closely related to size and density of rice plant and are modified remarkably by water temperature. The influence of water on the temperature of air layer above it is found to be higher in night than in day time, and the height of influence goes up with growth of the plant.

雑 録

投稿規定の一部訂正について

本誌7巻1號(p 35)に掲載の投稿規定を1部下記の如く訂正します。

1. の「論文は……」を「原著論文は……」と訂正
2. を次の如く訂正
「原著論文は組上り頁で(題名・圖・表・Résumé等を含め)3頁以内を原則とするも, 4頁までの超過を認める。4頁以上になる論文も内容によつては編集委員會の審査により認めることがありますから, 事前に編集幹事に御相談下さい。
8. 原稿には必ず所定の表紙を付け題目・著者・所屬及び之らの英文・發表年月日・圖・表の數及び別刷所要數を記入すること。
14. 別刷は50部まで無料で贈呈致しますが, 原稿返送料その他連絡費として投稿者は1編につき100圓編集事務所宛お送り願います。

圖の描き方についてのお願い

挿畫の原圖を専門の人に描かせることは學會の經理都合上不可能なので現在著者をお願いしていますが, 提出

原圖の中にはそのまま印刷に廻せないものがありますので, 下記の諸點に留意され丁寧に描いて下さい。尙費用を自辨されるならば専門家に描かすよう取扱はからいます。

- (1) 用紙はトレーシングペーパー, 白紙, 又は淡青色の方眼紙に墨を用いて描きインク描きとしない事。
- (2) 原圖の大きさ。圖の刷上りの大きさは編集上原則として巾7cm以内に止めて居ります(1段の巾)から原圖は大略3倍程度のものとする。但し線或は文字の大きさを(3)(4)の如く考慮して戴けば大きさは適當でも結構です。
- (3) 線の太さ, 太いものでも刷上り0.3mm以上にならない事, 破線・鎖線等の點の間隔も0.3mm位必要でありますから夫々倍尺に應じて線を引いていただく, 尙線は出来るだけフリーハンドは避けて戴き度い。
- (4) 文字・數字の大きさ。共に刷上り2.0mm程度とする爲に之も倍尺に應じて書いて戴く。
尙農業及園藝, 他の内外の雑誌も参照の上描いて下さい。