

西南暖地冷水田における水稻の冷害に関する研究

第1報 冷水灌漑田に於ける水稻期間の水温並に
用水収支について

志 茂 山 貞 二

Studies on the Cold Injuries of Rice Plant which are under a Cool
Water Irrigation in the West-southern Regions of Japan.

I. Water Economy and Water Temperature in Paddy Fields during the Growing Period of Rice Plant.

Teiji SHIMOYAMA

In the paddy fields of two regions in Kawakami-mura, Maaiwa-gun, Okayama prefecture in Japan, water economy and water temperature in paddy field during the period of rice growing were examined, and the results obtained was as follows:

1) Meteorological and crop-ecological conditions of examined fields were considerably resemble to other cool water irrigating fields in Okayama prefecture, and these conditions are same with those cold injurious fields in the west-southern regions of Japan.

2) The average temperature of water irrigated to those fields during the growing period was varied 14°C degrees to 18°C degrees, and the maximum temperature was below 22°C degrees. The difference between air and water temperature was remarkable.

3) The method of water irrigation in these regions is so-called "Oshimizu system", in this system, the paddy field is irrigated so that its water level is kept same by a small groove along main irrigating ditch.

4) Relation between the rising of water temperature in irrigation groove and the amount of water poured in the groove is represented by $T=aW^b$, so the water temperature rised acceleratngly following the decrease in water supplied.

5) Total amount of water including irrigation and effective precipitation were $3.4 \sim 5.3 \times 10^3$ mm in two regions, and 85~94% of them percolated into the soil, while, the water used for the growth of rice plant were $2.9 \sim 5.0 \times 10^2$ mm.

6) Daily amounts of water which percolated into the soil were different according to the physical condition of the soils, it was confirmed that 40~50mm/day of them percolated through the bottom of paddy field, and the remains leaked out through the ridge of field.

7) In generally, these surplus percolations will reduced the temperature of water and soil of the field, and that brought away with a considerable amounts of available nutrients from the field and resulted in poor growth of rice plant.

緒

言

水稻の生育期間に於ける冷害がその生理機構を異常ならしめ、生育収量に悪影響を及ぼす所謂冷害現象については既に多数の調査研究が行われ、その報告⁽¹⁻¹⁵⁾も決して寡しとはしない。就

中、東北、北海道地方における冷害現象に対しては既に応用研究の域に達し、品種、栽培法等と関聯して殆んど究明され尽された感がある。その反面、全国的に広く分布している冷水田の冷害機構についての研究は必ずしも多くなく、僅かに榎本²⁾、田中⁽¹⁰⁻¹¹⁾、木戸⁴⁾その他若干の報告があるのみである。謂うまでもなく、我国における水稻の冷害現象は冷気温によるものが大部分を占めているが、冷水温による被害は西南暖地帯にまで分布し、山間高冷地域の棚田はじめ冷河川水域の水田又は湧水田など、主として低水温に由来する各種各様の寡収田が全国およそ 11.7 万町歩 (4.1%) 存在することは³⁾ 今後我国の水田構造を論ずる場合の一焦点であることは疑いない。況んや、これら水田の多くは殆んど冷害常発田であつて年による豊凶差の比較的少い低位生産地に属し、総じてこれが一毛作田であることも我国に於ける水田経営の零細の性格を最も端的に表わしているから、この方面の問題も亦研究の対象となり得るものと思われる。従来、これら冷水田の被害解析に当つては制限要因としての水温が主として採り上げられる傾向が多かつたが^{2-13, 16)}、水田内の水温分布やその場合の昇温効果を明らかにし更に水稻被害の内容の性格を明らかにするためには単に質的な水温のみでなく、これを量的に追求して質量相互の相乗的観点から分析する必要のあることは謂うまでもない⁹⁾。

本研究は以上の観点に立つて岡山県北地帯の一水田を例として暖地冷水田の実態を調査したもので、水温、水量の差異に基く水稻被害の内容を明らかにし、この場合の用水収支の総括的検討を行つた。尚、本調査は 1953~1954 両年度の調査結果でその実施に当つては日本農業気象学会から研究費の助成を受け、又農電研究所からも多大の便宜が与えられ、農林省農業技術研究所三原義秋、大沼一己の両氏並に現地に於ては石賀元恭、池上寛の両氏の援助を得、更に本学笹井一男氏の助力に依るところも大きい。茲に記して謝意を表する。

I. 調査田の位置及環境条件

(1) 土地条件から見た環境

調査の対象とした冷水田は岡山県真庭郡川上村字苗代及湯船の二水田でいづれも岡山県北地帯の典型的な高冷地水田群の一つで、顕著な内陸の気候に支配され水源の多くは溪流である。調査地点は北面に朝鍋鷲ヶ山 (1081 m) 三平山 (1009 m) 皆ヶ山 (1159 m) 上蒜山 (1199 m) 中蒜山 (1122 m) 下蒜山 (1101 m) など 1000 m 内外の連山からなる中国脊梁山脈があり、又その南面におよそ 1000 m 内外の満壯年山地があつて、その間に蒜山盆地 (東経 133°35' 北緯 30°15'~20', 標高 400~500 m) が拓け、これを中心とした山麓の緩傾斜地に稍々肥沃な沖積土の棚田群を形成している。その地質は全般的に第三紀火山岩に属する安山岩質又は火山岩屑よりなり、中央を貫流する旭川沿川地帯には多量の黒ボクが含まれる。土壤酸度は $Y_1 = 1 \sim 3$ で微酸性を呈し、土性は概ね壤土若くは埴質壤土で耕土には多量の腐植を含んでいる。

	層位	土性	本地域水田の水源は主として中国山脈より流出する旭川水系に属する溪流であるが、これが合流して高松川、宮城川、三谷川、井川、玉田川、湯船川、明蓮川等の支流となり、旭川を形成している。この内、調査田の水源は明蓮川及湯船川で水量は豊富であるが水温は盛夏の候でも 20°C 以下、平
苗代試験田	0~42 cm	黒褐色壤土 腐植に富む	
	42~63	黄褐色埴質壤土 腐植に乏し	
	63以下	黄灰白色花崗岩風化層	
湯船試験田	0~65 cm	黒褐色埴質壤土 腐植に富む	
	65~118	褐色火山灰層 腐植に乏し	
	118~152	黄褐色壤土 礫を含む	

均 17~18°C で低い。

(2) 気象条件から見た環境

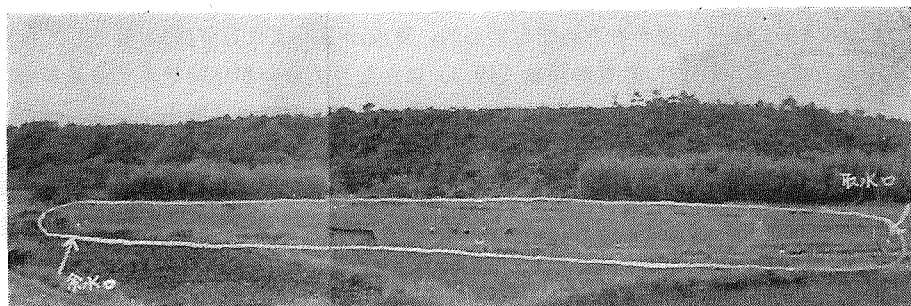
調査の対象とした水田群の標高は 400~500 m であるが、その一部は更に 700~800 m 付近にも及んでおり、これらは主として丘陵地又はその間に拓いた狭隘な溪間棚田である。従つて稲作期間の天候も概ね高原気候の性格を具え、夏期日中の高温に引き較べて夜間は低温のために日較差が大きく年雨量も亦多い。第 1 表は調査地付近の気候でこれから算出した。気候指数は第 2 表の如くである。

試 験 田 全 景

1. 苗代試験田 (A地区)



2. 湯船試験田 (B地区)



第 1 表 調査地付近の気象表 (真庭郡八束村上長田 昭 23~32年平均)

気象要因	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	全年
最高気温(°C)	4.87	5.17	8.80	16.17	20.90	23.63	27.50	29.07	24.03	18.40	12.93	7.63	16.59
最低気温(°C)	(-)3.33	(-)3.57	(-)1.03	3.33	8.27	13.63	19.07	19.13	14.90	7.70	2.30	(-)1.13	6.61
較差(°C)	8.20	8.74	9.83	12.74	12.63	10.00	8.43	9.94	9.13	10.70	10.63	8.76	9.98
平均気温(°C)	0.80	0.83	3.90	9.77	14.63	15.33	23.30	24.13	19.50	13.07	7.60	3.33	11.35
降水量(mm)	164.2	174.9	161.9	115.0	134.1	227.8	259.6	175.2	227.4	156.5	150.5	132.9	2080.0
降水日数(日)	4	3	0	11	13	15	14	21	17	15	13	8	134
降雪日数(日)	19.6	18.2	11.9	1.5	—	—	—	—	—	0.2	2.9	13.9	68.2
積雪日数(日)	27.0	26.0	18.1	0.5	—	—	—	—	—	—	0.5	13.4	85.7
降霜日数(日)	0.4	—	3.0	6.6	2.8	—	—	—	—	3.2	7.2	3.8	27.0
晴天日数(日)	7	7	19	17	18	15	17	10	13	16	14	9	162

即ち、第1、第2表によれば、本地域の温量指数は略々東北地方のそれと同等で夏期冷涼なことを示すが、寒冷指数においてはこれより高く、冬期は左程寒冷でない。又稲作期間の7—8月の日中気温はかなり高く、その最高は7月下旬から8月上旬に現われ、その平均は29.7°Cで、稲の生育に好条件であるが、夜間の気温降下は日較差を大ならしめ(4—5月12.7°C, 6月10.0°C, 7月—9月9.2°C)冷涼となるため所謂夏日期間に当るものがない。又年最高(16.6°C)、年最低(6.6°C)並に年平均気温(11.5°C)に於ては長野県のそれとよく一致し、又東北地方の

一部(秋田、宮城)とも大差のないことからして稲作期間が短く、本地域に於ける稲作が一般の寒冷地のそれと略々同様な基準に従つて行われ早植栽培を主とする由縁である。この結果、本地域に普及する品種も東北地方の品種が多く、早きは7月下旬晩くとも8月10日頃までに出穂し、その収量に密接な関係のあるのは植付後出穂期までの気温(17.7°C)と登熟後期の気温(9—10月平均16.3°C)で出穂後登熟初期の気温(平均24°C前後)は余り関係がない。殊に早春から初夏にかけては未だ水温が低く、苗の発育を妨げることが大きい。気温較差に伴う晩霜頻度も高く寒凍害の危険がある。当地方全般に保温苗代の多いのはそのためである。(播種期3月下旬乃至4月上旬、植付期5月中下旬)年雨量はおよそ2000mm内外あつて梅雨期(243mm)及二百十日前後(227mm)を除けば年間分布に著しい偏りはない(150mm前後)が稲作期間(5—10月)の雨量(56.8%)はその過半を占め而も地形的に驟雨が多いことは有効雨量として役立つことの少ないものと思われる。従つて乾燥指数(19.3)はかなり大きい。年間絶えず冷温多雨ではなく夏期は比較的晴天連続し、水稻の生育に充分な気象条件であることは間違いない。一方、本地域に於ける冬期間の天候は左程低温ではないが、天気は全般的に不良で連日降雨降雪があり晴曇合計日数も月間6—9日に過ぎない状態で裏作物の作付に適当な環境ではない。水田の大部分が一毛作田であるのは必ずしもこのような悪天候によるものではなく、第3表の如く湿田の多いことが主因と見られ、これは又水稻の早植が全般的に行われるようになった理由とも考えられる。

第2表 調査地付近の主要気候指数
(昭23—32年平均)

温量指数 (T)	=87.3°C
寒冷指数 (To)	=(-)11.14°C
乾燥指数 (K)	=19.3
夏日期間 (tm>25°C)	=0.0日
冬日期間 (tm<5°C)	=104.2日
無霜期間	168日(始11月8日, 終4月16日)
降雪期間	160日(始12月15日, 終3月18日)
根雪期間	138日(始12月9日, 終3月21日)

第3表 岡山県下の乾湿田別面積率

	乾 田	半 湿 田	湿 田	平均 反 収
岡 山 県	66.7%	18.4%	14.9%	2.22石
真 庭 郡	32.4	31.9	35.7	1.76
川 上 村	4.4	73.9	21.7	1.72

(3) 岡山県下の冷水田分布と調査田の関係

西南暖地帯に於ける所謂冷害田は東北、北海道等のそれとは異なることは既述の如く、湧水若くは冷水灌溉によつて生育遅延を来し、これが秋期の登熟障害に移行する場合が多いことは、被害発生の過程に於て多少趣きを異にするものである。今このような冷害田の岡山県に於ける実態を示せば、第4表、第1—4図の如く、県下中北部全般に分布し、その総面積は僅か1364—1854ha(1.8—2.3%)に過ぎないが9郡78カ町村にわたり、その殆んどが常発地(頻度1/1—1/2)で78.5—89.4%の高率であることは、冷温年にのみ発生する冷害地とは全く違つた環境にある

第4表 岡山県水稻冷(水)害田面積及び減収率(昭27農林省資料より算出)

郡町村	冷害田面積 (町)	冷害減収率 (%)	部落名及び被害状況
岡山県	1,364		
御津郡	46	11.1	
豊岡	20	11.5	(豊岡下, 豊岡上の谷田) 伸長分けつ不良
新山	20	14.5	(尾東, 福沢, 笹目, 溝部の谷田)
江与味	6	7.2	(湧水田)伸長分けつ不良
川上郡	10	6.7	
高山	2	6.3	(高冷地湧水田)6月上旬以後
湯野	3	6.7	(谷田全般)6月中旬以後分けつ不良
吹屋	5	7.2	(矢光上, 松木の谷田)6月上旬以後分けつ不良
阿哲郡	61	16.7	
新砥	30	20.0	(蚊家, 田淵, 大野)被害甚大3町
石ヶ郷	10	25.0	(法曾)9月上旬以降不稔10町常習田7町
上刑部	11	7.2	(大井野, 山奥)5月下旬以後水口枯死11町
千屋	10	14.5	(花見, 千屋, 井原, 突)7月上旬以後不出穂8町分けつ不良10町
野馳	10	12.5	(大野郷の谷田)甚3町
真庭郡	314	14.3	
落合	10	30.0	(杉山)伸長分けつ不良
津田	29	20.0	(田原山上, 吉, 野原, 舞高の谷田湧水田)伸長分けつ不良
木山	10	8.3	(下方, 木山)9月中旬以後
美甘	100	16.7	(鉄山, 黒田, 美甘北部, 田口の谷田)7月上中旬以後3割減収70町
新庄	50	23.5	(野土路, 二橋, 高下, 滝尻, 田渡)7月中下旬以後5割減収50町
河内	40	16.7	(上河内, 下河内)7月上旬以後伸長, 分けつ不良
二川	20	12.5	(粟谷, 藤森, 黒杭)伸長分けつ不良
川上	25	5.5	(西茅部, 本茅部, 上徳山, 下徳山湯船苗代の冷水湧水田)
八束	20	4.5	(中福田, 下福田, 下長田, 上長田, 下見の冷水, 湧水田)
中和	10	5.5	(吉田, 下和)伸長分けつ不良
苫田郡	166	16.3	
加茂	2	5.0	
大野	4	40.0	(貞永寺, 和田)6月下旬以後5割減収冷害年
中谷	5	11.8	(中谷)8月中旬以後山間田
富谷	5	6.7	(東谷, 西谷)7月中旬以後谷田分けつ不良
泉	15	21.4	(谷田全般)不稔
羽出	20	16.7	(")稔実不良
奥津	20	16.7	(") "
上才原	20	16.7	(全般)青立不稔
田邑	3	4.8	(上田邑)
香々美北	40	6.7	(越畑, 岩屋, 百之谷)7月中旬以後分けつ不良
神庭	3	23.1	(吉見, 綾部)7月上旬以後伸長分けつ不良
高倉	6	29.4	(上高倉)6月下旬以後伸長分けつ不良
新加茂	10	16.7	(原口, 倉見, 黒木)6月下旬以後
上加茂	10	6.3	(全般)分けつ不良
阿波	4	22.2	(大畑, 大杉, 尾所)6月下旬以後

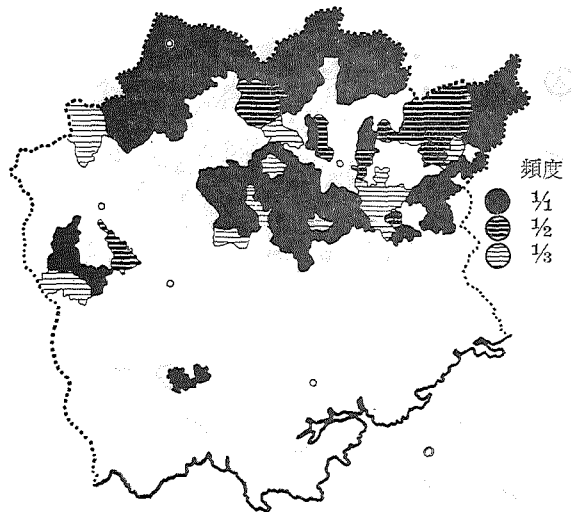
勝田郡	123	11.6	
新野	7	5.9	(西下, 山形, 西上)菘7町
勝田	21	18.7	(矢田, 大町, 久賀, 余野, 真名部の谷田湿地)菘14町
北吉野	20	7.7	(滝木, 上町川)谷田10町
豊田	28	14.3	(是宗)7月上旬以後菘15町
梶並	7	13.3	(右手, 東谷上, 東谷下, 椿, 真殿)菘4町
湯郷	15	5.9	(奥大谷, 下大谷, 長内)谷田菘5町
公文	4	11.1	(全般)谷田
南和気	12	28.5	(藤田上, 休石, 棚原, 連石, 上間, 下谷)谷田天水田
北和気	5	11.5	(全般)菘2町
高取	1	5.3	(全般)
河辺	3	5.0	(河辺, 日上)8月上旬以後
英田郡	199	18.1	
豊田	3	38.4	(大原, 山口, 海内, 内外野の山間田)7月上旬以後
江見	1	23.0	(南海, 目指, 大内谷)稔実不良
福山	9	20.0	(可善, 国定, 鈴家, 田淵, 柿ヶ原)7月上旬以後冷水田
粟井	10	5.0	(梶原, 小房, 小野, 粟井中, 鷺巣の丘陵田)
吉野	10	15.0	
大野	5	5.9	(川上の谷田)
讚甘	14	6.7	(西町の谷田湧水田)
西粟倉	25	10.0	(大茅, 板根, 影石, 長尾, 知杜の棚田)
林野	0.3	20.0	(三倉田)大雪年
福木	1.7	30.0	(井口, 真袖の湧水田)
東粟倉	60	25.0	(後山, 中谷, 青野, 野原の谷田湧水田)
大原	50		
久米郡	421	15.2	
大井西	20	18.3	(坪井下, 坪井上, 中北下)
大東	6	28.6	(宮部上), 8月下旬以後の冷水田
久米	6	5.3	(久米川南, 領家)谷田
三保	10	5.6	(錦織, 下打穴下, 下打穴中)平垣部
打穴	50	18.3	(打穴西, 打穴上, 上打穴里, 上打穴北の山間蔭田)
倭文西	41	25.0	(山手公文南, 中山平里, 中山手奥, 山手公文北の谷田)
西川	10	17.6	(奥山手)
堺和	30	12.5	(中堺和谷, 中堺和上口, 小山, 東堺和)
大堺和	40	9.5	(和田北, 大堺和西, 大堺和東)冷水田菘15町
鶴田	30	9.5	(和田南の山間冷水田)
弓削	80	11.1	(全間, 塩之内, 松, 羽出木, 下二ヶ)湧水田菘50町
吉岡	10	10.0	(定宗, 大戸上, 塚角)
加美	40	50.0	(原田, 頼元, 西幸)山間田菘10町
誕生寺	15	9.1	(南庄, 北庄, 山ノ城, 里方の山間北面田)
竜山	5	4.8	(土粍)北面丘陵湿地~湧水田
福渡	25	9.1	(下神目, 川口, 福渡, 豊東寺)谷田菘10町
倭文	3	13.6	(里公文の冷水田)
吉備郡	24	11.1	
新本	20	11.1	(谷田全般)菘2~10町
久代	4	11.1	(小池具, 田広木の山間田)

ことが知られ(第1図参照)町村別冷害田比率が20%以上のものは僅か10%(8カ町村420ha)しかなく、その大半が5%以下(36ヶ町村205ha)であることは(第2図参照)これら冷害田が集团的に存在する特定の地域があるのではなく、広く県内に散在していることを示し、而も面積の少いことは(第3図参照)これらの多くが山間谷間の小さな棚田群であることを物語っている。このことは西南暖地冷害田の一般的性格であつて常時低水温、寡照下にある水田の実態を表わしている。

尤も最近はこれら冷水田に対しても種々耕種改善が行われ、反収の向上に顕著な成果を挙げつつあることはこれら水田の内にも反収2石以上の実収田があるとは云え、多くは1.0—1.5石程度のもの(919ha 67.3%)と、これに次ぐ1.5—2.0石(388ha 28.4%)程度のもので、1.0石以下の殆んど収穫皆無に近い水田は僅かに49ha 3.5%しかないのは(第4図参照)暖地の冷害は東北、北海道地方のそれのように極端なものでないことは明らかである。これについて各町村別に冷水田の減収率を見るに(第4表)その最高は50.0%(久米郡加美村)で半作に近いが多くは10—20%程度の減収で冷

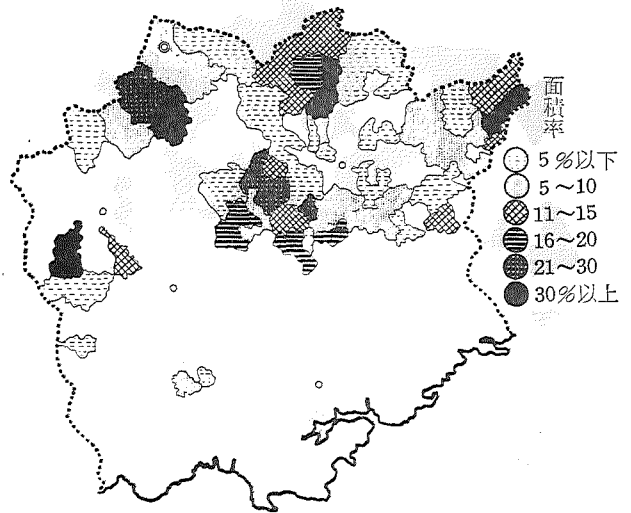
水田全部の平均に於ても13.5%であるから、耕種的に軽減防止するに可能な範囲にあるものと思われ、これは本研究の主要な目的でもあつたわけである。翻つて、本研究に使用した調査田がこのような冷害田群の内でのどのような位置にあつたかということに触れなければならないが、第5, 6, 7図によれば調査田の位置は、温量指数及寒冷指数共に本県の最低部に属し、乾燥指数も亦、格段に高く、県下冷水田を代表する場所としては不適当な誹りを免れないが一方、本地域の反収(1.7石)は冷水田平均反収(1.4石)より高く、而も冷水田でない水田の反収と左程差のない反収であることは、本地域の冷害現象が殆んど定常的であることを意味し、又これら水田群が狭小な棚田でなく比較的集団していることも本研究の対象田として好適な条件と見做されたからである。

第1図 岡山県下の冷害発生頻度(回/年)

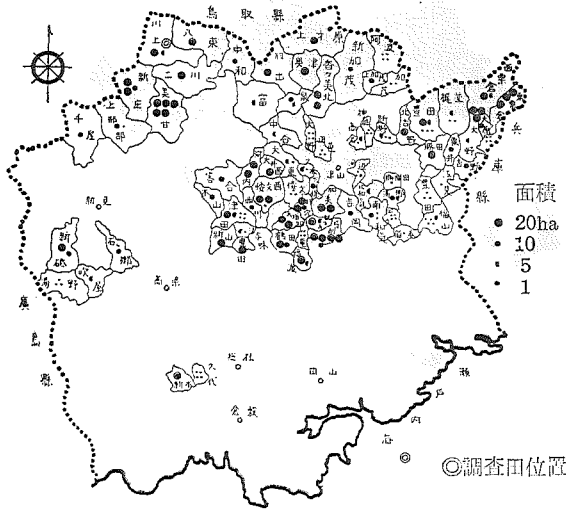


◎調査地点(以下同然)

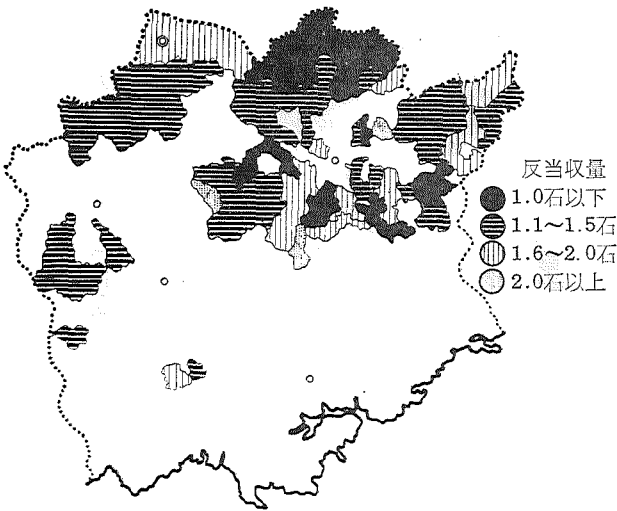
第2図 岡山県下の冷水田面積率(%)



第3図 岡山県下の冷水田面積とその分布 (ha)



第4図 岡山県下の冷水田の反当収量 (石)



II. 実験材料及方法

稲作期間の用水量を測定するために、特に設けた水田の位置は第8図の如く、又供試圃場の面積はそれぞれ、1,962m² (A地区1933年), 1,794m² (A地区1934年), 1,369m² (B地区1933年), 3,191m² (B地区1934年)で5乃至7筆を以つて構成された水田群であつた。土地勾配は概ね2°前後で緩傾斜をなし、そのため水田筆毎に多少の落差があり、所謂軽度の棚田をなしている。

これら水田に於ける水稻の播種、植付、管理等は一切現地の慣行に従い、調査のための特別な指導はしいて行わなかつた。従つて作付された品種、施肥量、栽植距離等は年次又は地区により同一ではないが、いづれも4月上旬旬 (A地区4月11~15日 B地区4月4~5日) に坪3合の割で保温折衷苗代に播種し、5月20~24日 (40~45日苗) 植付け、8月上旬旬 (大体8月10日頃) 落水期まで通常の管理とし、全期間の水溫、用水量を測定した。本地域一般の灌溉方式は所謂押水式灌溉法と呼ばれるもので、水田用水路とは別に水田内若くは畦畔の一側に手アゼに似た極く浅い取水路を一聯の水田群毎に設け、水田内水位を一定 (約6cm) に

保つように木堰を用水路取水口及其の余水口と、水田水口におき、常時満水状態にある取水路から水田の減水深に応じて水田内に流入するように調節されている。従つて降雨その他特別の場合の外は取水路内の流速は極めて僅かで、管理が適當であれば殆んど停滞状態に近く当然日射に伴う取水路内水溫の昇温が期待される。しかし実際には調査田に於ても様々な入念な用水管理が行われていたわけではなく常に取水路末端の余水口から多量の放水があり、このため取水路内の水溫上昇も余り顕著でなかつた。このため水口付近の生育は冷水の影響を蒙るので、日中の断水、夜間の掛流しを行うところ (A地区) もあるが、棚田で漏水の多いところ (B地区) では総べて前者の常時放水状態のまま灌水が行われていた。

用水量の測定は第9, 10図の如き小型 Parshall-flume と三角セキを用い、それらの流量 (1/sec) は第11図の如き流量曲線から水位自記記録によつて求めた。これらの調査結果から取水量と余水

量の差を求めて灌水量 (mm) とし、更に圃面蒸発散量 (露場内蒸発量の1.2倍) を差引いて滲透量とした。これら特定の調査田の外に付近の一般田についても用水量を測定したが、この場合は取水口及余水口に於ける単位時間内の流量をポリエチレン製の袋 (100×20cm) に採取秤量し、これを水深に換算して調査田のそれと比較した。

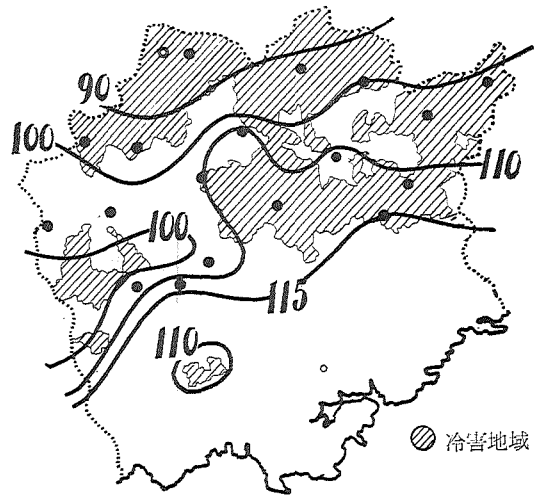
又調査田における実際の縦滲透量 (地下漏水) を測定するため直径9.5cmの無底鉄円筒 (長さ43.5cm) を水田中央に打ち込み、これに満した水位の低下を10倍斜尺で読取り日々の減水深 (1933年度は10日毎) を測定し、これを用水量から算出した滲透量と比較した。その他調査期間中の気温 (最高、最低及平均) は露場内百葉箱で、又水温 (最高、最低及平均) は取水口、余水口及中間の水田 (第3号田) 内で測定し、雨量及蒸発量は露場内の銅盤 (20cm) で読取った。尚有効雨量は雨量の80%とし、株間蒸発量及葉面蒸散量は測定が困難ではあるため、その合計を露場内蒸発量の平均1.2倍と仮定したが、別に収穫物 (茎葉及穂の風乾物全重) 1grを生産するに必要な水量を300grと仮定して計算した水量を水位 (mm) に換算して滲透量の補正を行った。

III. 実験結果及考察

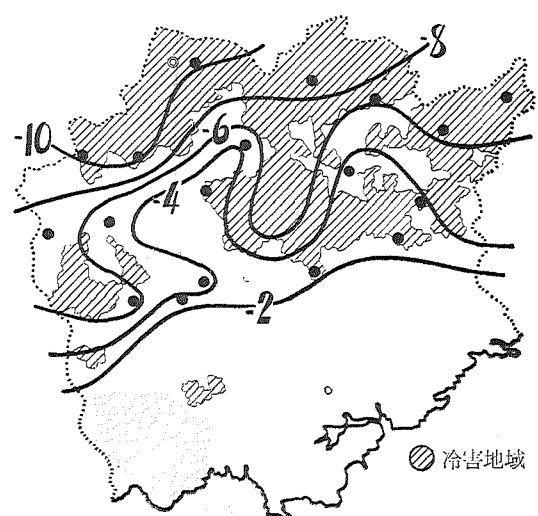
(1) 用水温の日変化及取水路内水温の上昇

取水路内の流速は既述の如く、水田を異にし又管理に精疎があつたために同一水田に於ても一定でなく、特に日々の気象条件就中日射及雨量の変化に伴う変動があつたが、稀に

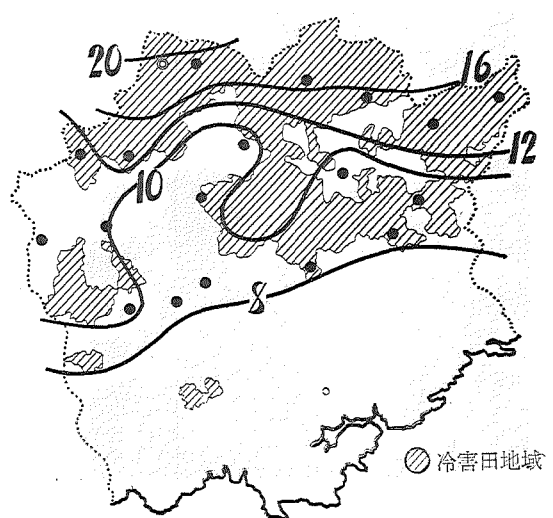
第5図 岡山県下冷水田の温量指数同位線



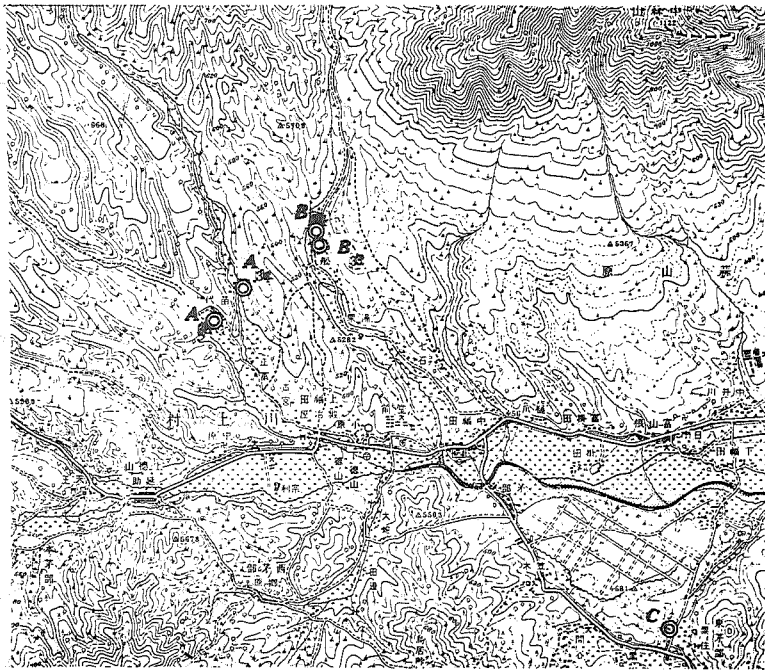
第6図 岡山県下の冷水田寒冷指数同位線 (°C)



第7図 岡山県下の冷水田乾燥指数同位線 (°C)

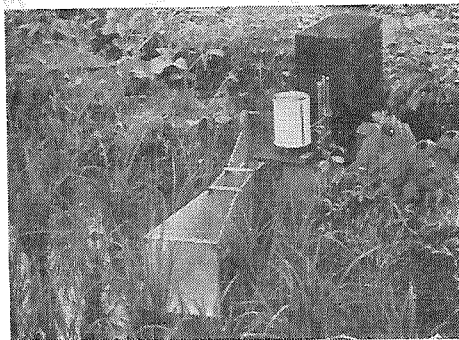
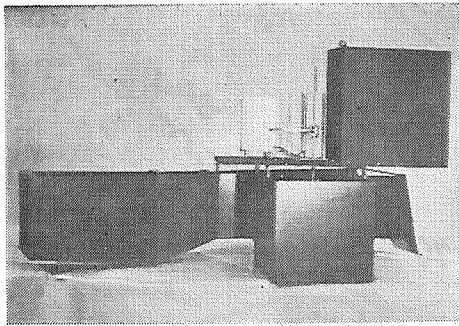


第8図 試験田の位置及付近の地理的環境

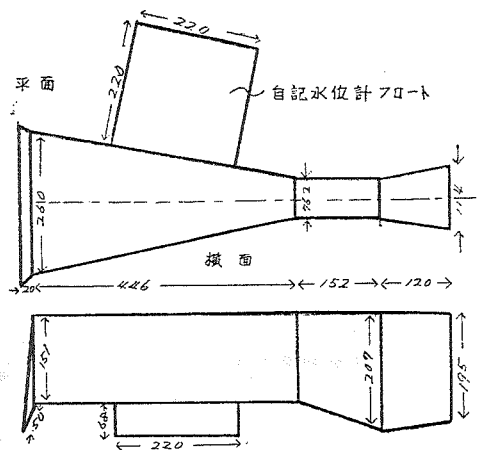


图中○Aは苗代試験田、Bは湯船試験田 Cは農業試験場高冷地試験地
数字は実施年次 (1933~1934) を示す

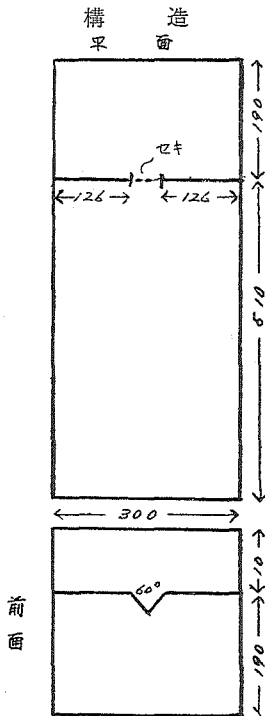
第9図 Parshall-flume



設置状況



第10図 三角セキ



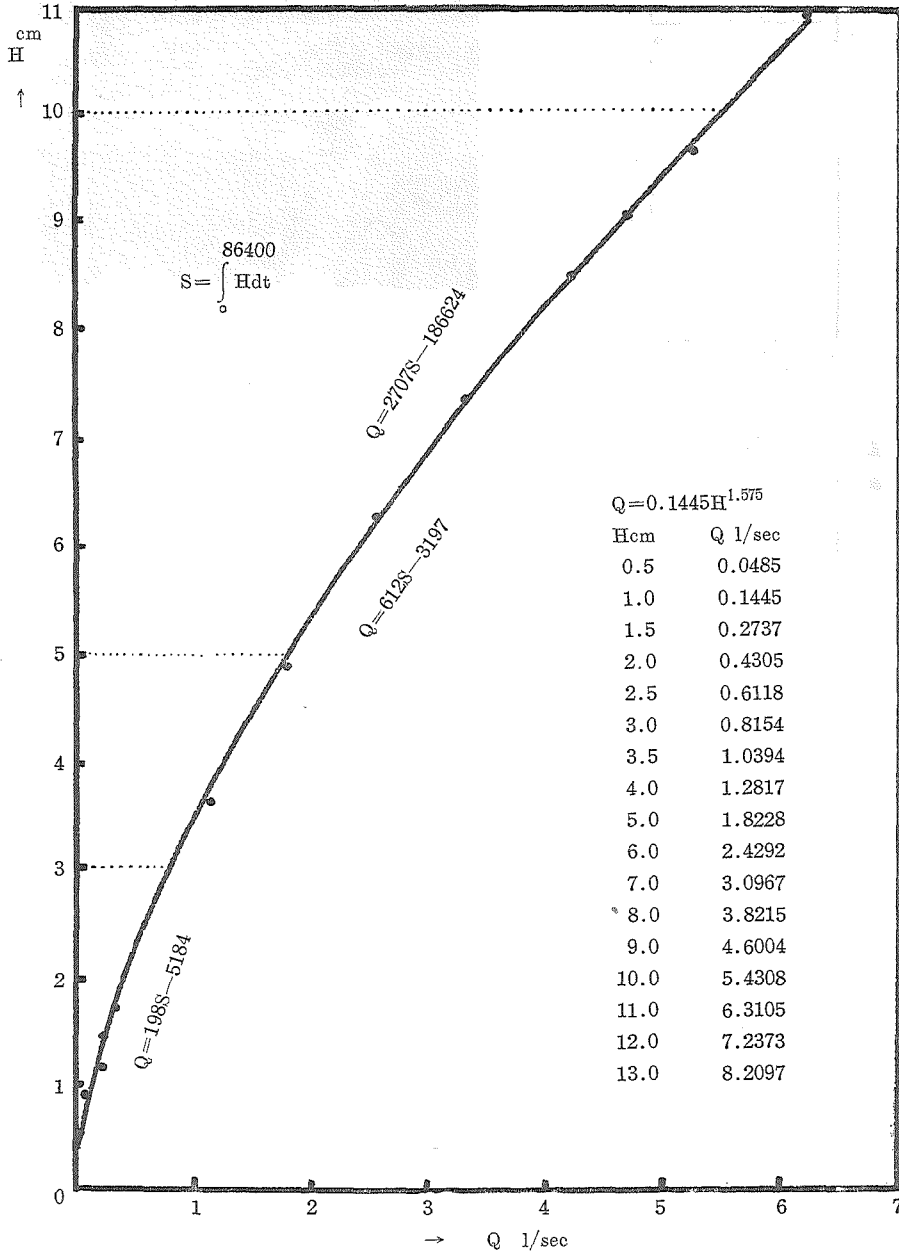
設置状況

中干を行う場合の外は殆んど満水状態に保たれ、従つて流速も緩く、水路内での昇温が多少認められた。用水路内の水温及余水路における水温は第5表の如く季節変化が認められるが、その最高の平均は $17\sim 22^{\circ}\text{C}$ 又最低の平均は $11\sim 15^{\circ}\text{C}$ で、その平均は $14\sim 18^{\circ}\text{C}$ となり 20°C には達しなかつた。

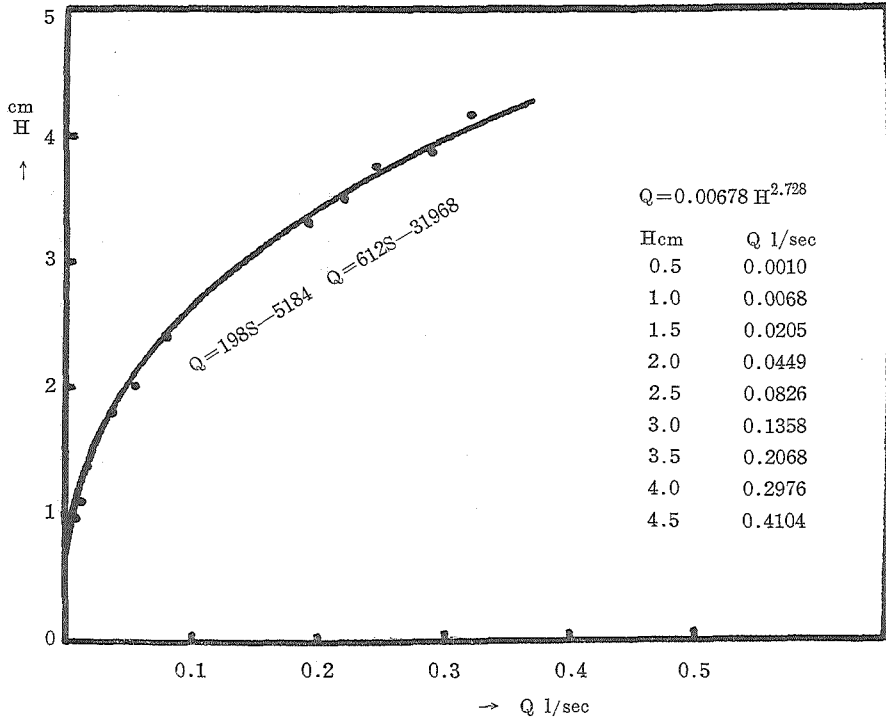
既往の調査⁽²⁾によれば水稻の分けつ伸長が比較的正常に行われるためには少くとも平均水温が 20°C 以上であることを要し、更にこれを良好ならしめるためには 22°C 以上でなければならない。従つて本地域の用水温はこれに稍々不足し、特に水口付近に於ては稲の正常な発育を阻害し、草丈、分けつのみならず生育遅滞に伴う出穂遅延から稔実不良となることは避けられない（後報参照）しかし取水路中の流水はその流下中漸次温められ、その末端に於ては数度高いから、水口被害及其被害面積もこれに応じて減少することは謂うまでもない。これと同様、各水田の水温分布も水口を遠去かるに従つて昇温し、略々 10m を過ぎれば既に $5\sim 10^{\circ}\text{C}$ 高く日中には屢々 $30\sim 34^{\circ}\text{C}$ の高温が観測され、勿論冷水の影響は認められない。これに対し、夜間は日射による昇温はないから取水路内での昇温効果は認め難いが、それでも尚多少の水温上昇があつたのは地面輻射に依るものであり、水路が浅く、且つ止水状態に近い流速が然らしめた結果と思われる。

第6表、第12図はこれら取水路内での昇温効果を示したもので単位水路長（ 100m ）当りの水温上昇度を流量（ mm ）の函数として求めた結果は $T=aw^h$ で表わされ、水源水温の低いほど昇温効果の大なることを示している。（ $T_A > T_B$ ）この結果から本地域の如き押水式灌漑法を行う場合の流量は多くとも $2.3\sim 3.5\text{mm/day}$ 以下とし出来得れば 0.5mm/day 程度の止水状態に調節することによつて平均水温 $14\sim 18^{\circ}\text{C}$ の水を 24°C 程度に高め得られるのでないかと思われる。従来一般の冷水田に於て採られて来た迂廻水路又は水口改善の効果の必ずしも有効でなかつた

第11图 a parshall-flume 水位流量曲線
 頸巾 76.7mm



第11図 b 三角セキ水位流量曲線
巾 30cm 60°



第5表 稲作期間の気温、水温及び較差 (°C)

区別	年次	時 期	気 温			用水路水温			余水路水温			差			気温水温の差		
			最高	最低	平均	最高	最低	平均	最高	最低	平均	最高	最低	平均	最高	最低	平均
苗 代 試 験 田 (A)	1933	6月中旬	24.8	13.6	19.2	18.5	14.1	16.3	19.6	14.3	17.0	1.1	0.2	0.7	6.3	(-)0.5	(-)2.9
		下旬	30.2	15.8	23.0	21.1	14.8	18.0	21.7	15.1	18.4	0.6	0.3	0.4	9.1	1.0	5.0
		7月上旬	29.4	18.6	24.0	18.2	14.3	16.3	20.0	14.7	17.4	1.8	0.4	1.1	11.2	4.3	7.7
		中旬	32.2	16.0	24.1	19.7	14.5	17.1	20.8	14.6	17.7	1.1	0.1	0.6	12.5	1.5	7.0
		下旬	32.6	20.8	26.7	20.0	15.7	17.9	21.1	16.4	18.8	1.1	0.7	0.9	12.6	5.1	8.8
		8月上旬	32.2	16.8	24.5	19.2	15.2	17.2	20.2	15.8	18.0	1.0	0.6	0.8	13.0	1.6	7.3
		中旬	31.5	18.2	24.9	18.5	15.1	16.8	19.4	15.2	17.3	0.9	0.1	0.5	13.0	3.1	8.1
	平 均	30.4	17.1	23.7	19.3	14.8	17.1	20.4	15.2	17.8	1.1	0.4	0.7	11.1	2.3	6.5	
	1934	5月下旬	25.1	8.1	16.6	17.6	11.2	14.5	21.1	11.8	16.3	3.5	0.6	1.8	7.5	(-)3.1	2.1
		6月上旬	18.5	9.5	14.0	16.5	10.5	13.5	22.4	12.1	17.3	5.9	1.6	3.8	2.0	(-)1.0	0.5
中旬		21.4	10.5	16.0	16.7	10.9	13.5	25.5	12.0	18.8	8.8	1.1	5.3	4.7	(-)0.4	2.5	
下旬		24.6	19.6	21.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
7月上旬		29.3	18.0	23.6	17.2	12.1	14.7	25.1	16.2	20.7	7.9	4.1	6.0	12.1	5.9	8.9	
中旬		27.9	17.9	22.9	15.6	11.2	13.5	24.2	14.0	19.0	8.6	2.8	5.5	12.3	6.7	9.4	
下旬		31.4	16.4	24.4	17.6	11.7	14.7	27.0	13.9	20.3	9.4	1.9	5.6	13.8	4.7	9.7	
8月上旬		29.4	17.6	23.6	19.0	10.8	14.9	30.3	14.6	22.5	11.3	3.8	7.6	10.4	6.8	8.7	
平 均	26.0	14.7	20.3	17.2	11.2	14.2	25.1	13.5	17.8	7.9	2.3	3.6	8.8	3.5	6.1		

湯船試験	1933	6月中旬	24.3	11.8	19.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		下旬	29.4	14.2	21.8	21.3	14.7	18.0	22.3	14.8	18.5	1.0	0.1	0.5	8.1	(-)0.5	3.8	
		7月上旬	29.7	19.0	24.3	20.8	14.9	17.8	22.4	16.1	19.3	1.6	1.2	1.5	8.9	4.1	6.5	
		中旬	31.3	16.6	23.9	20.2	14.1	17.3	23.2	15.0	19.1	3.0	0.9	1.8	11.1	2.5	6.6	
		下旬	31.8	20.2	26.0	20.8	15.4	18.1	23.9	16.7	20.3	3.1	1.3	2.1	11.0	4.8	7.9	
		8月上旬	31.7	17.9	24.8	20.7	15.2	18.0	26.0	16.9	21.5	5.3	1.7	3.5	11.7	2.7	6.8	
		中旬	30.4	18.6	24.5	20.3	15.0	17.7	30.0	18.3	24.2	9.7	3.3	6.5	10.1	3.6	6.8	
	平均	29.8	16.9	23.5	20.7	14.9	17.8	24.6	15.3	20.5	3.9	1.4	2.7	9.1	2.0	5.7		
	田(B)	1934	5月下旬	24.0	9.9	17.0	18.6	12.1	15.5	20.7	12.2	16.5	2.1	0.1	1.0	5.4	(-)2.2	1.5
			6月上旬	21.5	9.1	15.3	19.8	12.0	15.9	23.1	12.9	18.0	3.3	0.9	2.1	1.7	(-)2.9	(-)0.6
中旬			23.9	11.0	17.4	20.5	13.0	16.3	25.4	13.0	19.2	4.9	0.0	2.9	3.4	(-)2.0	1.1	
下旬			25.1	13.1	19.1	21.8	15.2	18.1	28.1	14.8	21.5	6.3	⁽⁻⁾ 0.4	3.4	3.3	(-)2.1	1.0	
7月上旬			28.4	17.8	23.1	24.5	17.3	20.9	28.5	18.0	23.3	4.0	0.7	2.4	3.9	0.5	2.2	
中旬			27.1	17.2	22.2	20.6	16.1	18.4	25.7	18.4	22.1	5.1	2.3	3.7	6.5	1.1	3.6	
下旬			30.6	16.1	23.4	23.3	16.8	20.2	31.1	18.3	24.9	7.8	1.5	4.7	7.3	(-)0.7	3.2	
8月上旬			29.6	16.7	23.2	25.2	17.6	21.5	30.1	16.8	23.4	4.9	⁽⁻⁾ 0.8	1.9	4.4	(-)0.9	1.7	
平均	26.3	13.9	20.1	21.8	15.0	18.4	26.6	15.6	21.2	4.8	0.6	2.8	4.5	(-)1.1	1.7			

第6表 流量に伴う水温上昇効果

苗代T=13.90W ^{9.61}		湯船T=13.34W ^{2.70}	
T	W	T	W
°C	mm	°C	mm
0.05	36.8	0.11	17.3
0.05	24.2	0.15	20.3
0.10	22.7	0.37	18.4
0.12	19.9	0.41	14.1
0.13	29.2	0.46	12.1
0.13	17.5	0.49	10.8
0.93	22.9	0.89	11.1
1.78	7.8	1.39	2.0
2.85	5.3	1.56	2.8
3.04	3.4	1.66	3.6
3.05	5.4	2.31	3.6
8.77	0.7	2.32	2.8
9.08	1.7	8.60	1.2
13.13	1.5		

但し T: 100m間の水温上昇度 (°C)

W: 流量 (mm/day)

のは昇温面積の不足のみならず、水深並に流速に対する考慮が不充分であつたため将来更に検討すべき問題を多々含んでいる。

(2) 冷水田に於ける用水収支とその対策

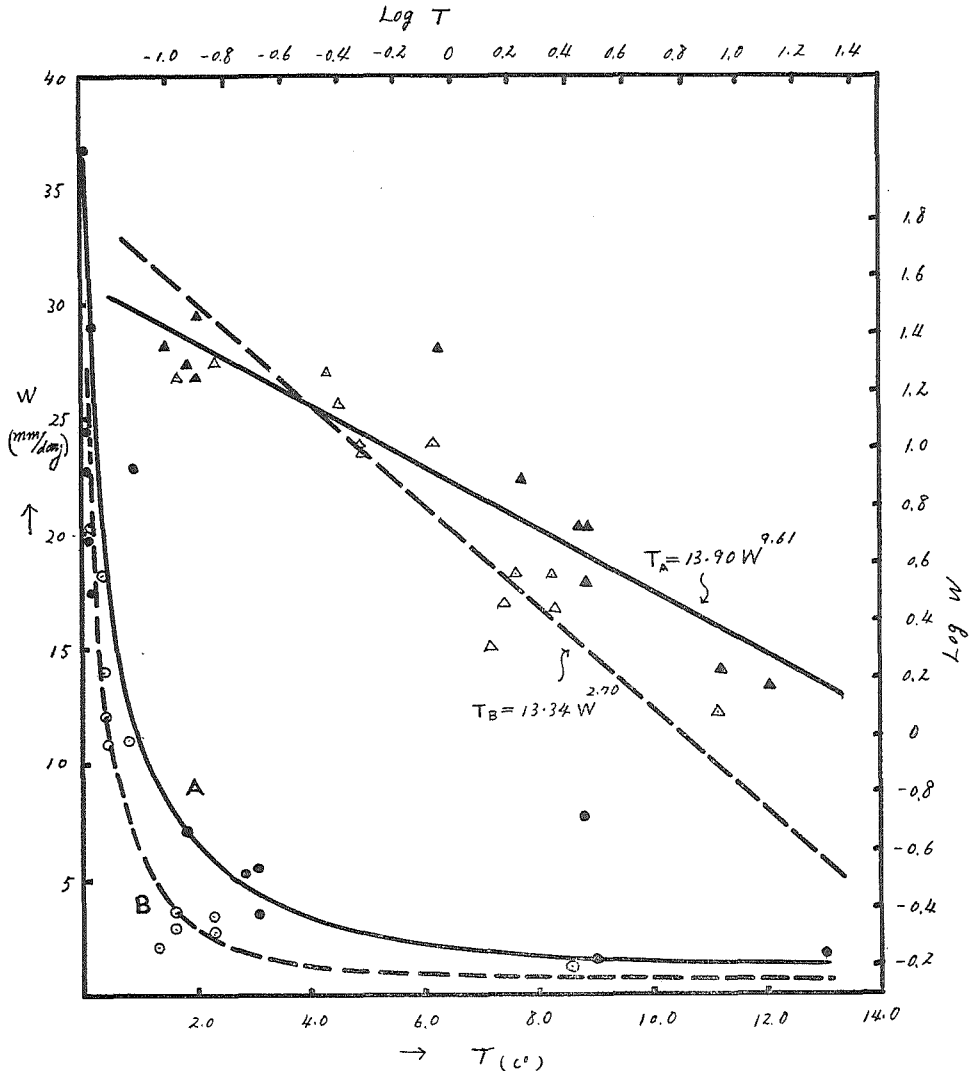
調査を行つた冷水田の用水収支を以つて一般の冷水田のそれを律することは危険であるが、西南暖地で所謂冷害田と呼ばれているものの多くが平地の湧水田は別として主として山間田に属し、漏水度の大きな共通な性格を持つていることからして本調査田の結果が必ずしも当を得たものとは謂えないが、その相貌を知り、これを理解する上に多少共役立つものと思われるから調査の結果について考察してみたいと思う。今調査田に於ける稲作期間(移植より落水まで)の用水収支は第7表の如くで、その日量及それらの季節的变化は当然稲の作柄、管理面の適否等によつて左右されるのみならず、毎日の天気、就中、日射の強さや降水量に依つても著しく変動することは勿論である。即ち本地域冷

水田の稲作期間の取水量(耕起、代掻時の取水量を含まず)はおおよそ $4 \sim 5 \times 10^3 \text{mm}$ の範囲にあつて、少い場合でも $3 \times 10^3 \text{mm}$ あり、多きは $5.7 \times 10^3 \text{mm}$ にも達し、これを水量に換算すれば反当おおよそ 1.6~3.1 万石の水が僅か 70~80 日間の稲作期間中に使われていることになる。更にこれに雨量を加えれば $3.8 \sim 6.4 \times 10^3 \text{mm}$ となり、その8割を有効雨量とすれば $3.7 \sim 6.2 \times 10^3 \text{mm}$ で反当 2.0~3.4 万石に達する。このことは本地域が水源に恵まれ用水の豊富なことを物

語るが、他面これが煩いして常時多量の用水濫用が水田水温の上昇を妨げ冷水害を助長していることになる。尤も既述のように本地域の灌漑方式が押水式であるために水口付近の一部を除けば低水温の割には冷害面積を少からしめているとは云え、取水路内を常に満水状態に保つ手間を省く必要から過量の余水放出 ($0.3\sim 2.0\times 10^3\text{mm}$) が行われていることは改めなければならぬ点である。

従つて、実際の灌水量(用水量)はこれを控除した残量、即ち $3.5\sim 5.5\times 10^3\text{mm}$ 、有効雨量を基準とすれば $3.4\sim 5.3\times 10^3\text{mm}$ 程度で反当に換算すれば 1.9~2.9 万石の水が2、3反を単位とする小水田群に供給されていることになる。既往の諸調査によれば早稲に対しては反当 0.7~0.8 万石、晩稲は 1.0~1.5 万石程度のものと推定されているから本地域の水量は有にその2~3倍に当っている。一方その消費は稲自体の生長、株間水面からの蒸発、葉面からの蒸散及び地下浸透の四つに区分され、この内稲自体の生長に利用される水の一部は稲体構成水として体

第12図 取水路流量と昇温効果(水路長100mに対し)



第7表 稲作期間の用水収支(1933~34)

区別	時 期	取水量 (T) mm	雨 量 (P) mm	(T+P) 計 mm	(O) 余水量 mm	(T+P-O) 差 (灌水) mm	蒸発散量 mm	透透量 mm	縦透 透量 mm	備 考		
苗代試験	1933	6月上旬	638.0	60.6	698.6	195.2	503.4	—	—	—	平均日減水深 49.61mm 47.84	
		中旬	722.0	21.2	743.2	199.6	543.6	—	—	10.0		
		下旬	705.3	60.9	766.2	242.5	523.7	(148.1)	—	10.0		
	1933	7月上旬	739.0	195.1	934.1	292.2	641.9	—	—	—	10.0	要水量 472.0mm
		中旬	715.8	6.8	722.6	174.7	547.9	47.0	500.9	10.0		
		下旬	832.8	147.5	980.3	249.2	731.1	34.9	696.2	9.0		
	1933	8月上旬	672.2	116.5	788.7	229.1	559.6	31.7	527.9	9.0		
		中旬	512.3	64.5	576.8	368.1	208.7	12.8	195.9	—		
		下旬	(117.6)	(62.5)	(180.0)	(45.1)	(134.9)	(2.4)	(132.5)	—		
		計	5655.0	735.5 588.4	6390.5 6243.4	1995.7	4394.8 4247.7	(128.8) 276.9	(2053.4) 4117.9 3970.8	9.6		
田 (A)	1934	5月下旬	(105.4)	(8.4)	(113.8)	(3.9)	(109.9)	(32.4)	(77.5)	23.0	平均日減水深 42.42mm 40.19	
		6月上旬	438.3	59.5	497.8	34.4	463.4	29.9	433.5	18.7		
		中旬	399.4	118.6	518.0	17.3	500.7	36.2	464.5	18.9		
	1934	7月上旬	426.3	58.1	484.4	60.4	424.0	36.5	387.5	—	要水量 477.7mm	
		中旬	178.2	299.1	577.3	77.6	499.7	22.2	477.5	42.5		
		下旬	457.3	142.0	599.3	53.4	545.9	19.1	526.8	39.9		
	1934	8月上旬	557.1	11.2	568.2	59.5	508.7	50.0	458.8	40.8		
		中旬	449.6	139.1	588.7	14.6	574.1	38.7	535.4	38.6		
		計	3011.6	836.0 668.8	3847.6 3680.4	321.1	3526.5 3359.3	265.0	3261.5 3094.3	31.8		
	湯船試験	1933	6月上旬	(653.1)	(60.6)	(713.7)	(163.2)	(550.5)	—	—	—	平均日減水深 64.71mm 62.86
中旬			918.1	21.2	939.3	280.6	658.7	—	—	—		
下旬			750.2	60.9	811.1	173.4	637.7	—	—	18.0		
1933		7月上旬	760.6	195.1	955.7	202.5	753.2	—	—	—	31.0	要水量 62.86mm
		中旬	856.9	6.8	863.7	120.6	743.1	47.0	696.1	26.0		
		下旬	698.7	147.5	846.2	163.5	682.7	34.9	647.8	19.0		
1933		8月上旬	725.9	79.6	805.5	111.1	694.4	31.7	662.7	19.0		
		中旬	(28.0)	(26.4)	(54.4)	(8.0)	(46.4)	(1.2)	(45.2)	—		
		計	5391.5	598.1 478.5	5989.6 5870.0	1222.9	4766.7 4647.1	(114.8) 246.8	(2051.8) 4529.9 4400.3	22.6		
田 (E)		1934	5月下旬	(439.0)	(7.6)	(446.6)	(14.1)	(432.5)	(40.3)	(392.2)	—	平均日減水深 67.22mm 64.67
	6月上旬		616.7	72.9	689.5	27.7	661.8	41.2	620.6	—		
	中旬		620.3	117.1	737.4	28.3	705.1	38.0	709.1	—		
	1934	7月上旬	571.0	53.7	624.7	36.4	588.3	39.4	548.9	—	要水量 64.67mm	
		中旬	668.2	411.4	1079.6	97.9	981.7	21.3	960.4	40.2		
		下旬	781.5	152.9	944.4	184.3	760.1	18.9	741.2	39.3		
	1934	8月上旬	823.7	10.2	833.9	13.5	820.4	57.4	763.0	39.7		
		中旬	460.8	167.1	627.9	35.9	592.0	46.3	545.7	39.6		
		計	4991.2	992.9 794.3	5984.1 5785.5	438.1	5546.0 5347.4	302.8	5243.2 5044.6	39.7		

註 括弧内数字は調査期間のみの値を示し、又ゴジック数字は有効雨量を基準とした値を示す。

第8表 稲体生産に使われた水量

地区別		1933	1934
A 地区		472.0mm	477.7mm
B 地区		290.6	498.1
平均		381.1	487.9
(反当)		(2,097石)	(2,683石)
A 地区		195.1mm	212.7mm
B 地区		43.8	195.3
平均		119.5	204.0
(反当)		(657石)	(1122石)

形の維持、増殖、生活機能に必須な水であるが、その大部分は稲体を上騰して大気中に蒸散する水である。この水量を正確に測定することは出来ないが既往の調査⁽¹⁵⁾に従つて稲体風乾物を基準として算出すれば左表の如く反当収量(わら重を含む)によつて異なるが反当 400mm 内外(反当2,000~3,000石)で、これには圃面よりの蒸発散量も含まれるから第7表の蒸発散量を差引いたもの即ち(下欄)200mm 内外反当 1,000石内外)が実際に稲体の構成に利用されたもの(用水量)と推察してよく、この中でB地区の1933年度の要水量が著しく少いのは、実収量の少かつたことと一致している(後報参照)尤もこれらの数字は実測が困難で、多分の推定を含んでいるが冷水田に於ける用水利用の一面を知る上には必ずしも不適當とは思われない。更にこの水量を灌漑水量から差引いたものは結局水稻に利用されないままに地下之に滲透した水量と見做され、これが $2.9\sim 5.0 \times 10^3 \text{mm}$ (反当約 1.6~2.8万石)に及んでいる。このように稲体に直接利用されない水が供給量の略々10倍に近いことは漏水に伴う水温、地温の低下並に無機塩類の多量の流亡の危険と共に用水の不当な消費によつて稲の栄養生長を阻害していることは自明である。従つて本地域の冷水田、水稻収量の増大を図るためには漏水防止の手段を講ずることが急務であることは謂うまでもないが、圃場内の一部で測定した縦滲透量が平均 10~32mm/day (A地区) 23~40mm/day (B地区) に対し、上記用水収支から算出した全滲透量が平均 40~48mm/day (A地区) 63~65mm/day (B地区) であることは地下縦滲透の外に畦畔からの横滲透もかなり多量あることを示し、当然畦畔の補修の必要なことを示している。

これを要するに西南暖地で所謂冷害田と呼ばれている水田の多くは漏水の激しい水田であるために必然用水が過用される傾向があり、殊に山間田にあつてはこれが冷水であるために気温が高いにも拘らず冷害の発生は避けられない状態にある。従つてこれを防止するためには極力漏水防止に努めるべきであるが、単に土壤構造の改善に役立つ資材の投入だけでなく、畦畔からの漏水防止も併せて行わなければ効果がない。これらに依つて単に用水の節減が図られるだけでなく、地温、水温の上昇を助け、栄養塩類の流亡を防ぎ、土地生産力の増強によつて冷害の防止と収量の増大が見込まれる。

IV. 摘 要

- (1) 岡山県真庭郡川上村々内の三地域の水田を対象として1933~34年水稻栽培期間中の用水量並にその収支と水温の調査を行つた。
- (2) 調査地に於ける気象並に作物地理的条件は岡山県に広く分布する冷水田のそれと略々近く、これは又西南暖地の所謂冷害田の一般的性格でもある。
- (3) 稲作期間中の用水温度は平均 $14\sim 18^\circ\text{C}$ で最高水温においても 22°C に達せず、又気温との差も顕著であつた。
- (4) 調査田に於ける灌漑法は押水式灌漑法と呼ばれるもので用水路とは別に設けた取水路から灌水され、水田水位の低下に応じて自動的に給水されている。
- (5) 取水路内流下水の水温と流量との関係は $T=aw^b$ で表わされ、流量を制限すれば取水路内の

水温を数度上昇せしめることは容易である。

- (6) 稲作期間中の用水量は有効雨量を併せ $3.4\sim 5.3\times 10^8\text{mm}$ に達し、その 85~94 %が漏水し、実際に稲体に利用される水量は僅か $2.9\sim 5.0\times 10^2\text{mm}$ に過ぎない。
- (7) 稲作期間中の平均日滲透量（縦滲透及横滲透量）は水田に依つて異なるが $40\sim 65\text{mm/day}$ でその 20~80 %近くが畦畔漏水である。
- (8) このような漏水過多は冷水田の水温、地温の上昇、保温を妨げ、無機塩類の流亡を大ならしめ、稲の生育収量を低下せしめる大きな原因となる。

参 考 文 献

- 1) 馬場赴外 (1955) : 農業気象, 10, 1~3.
- 2) 榎本中衛 (1936) : 農業, 662, 10~20.
- 3) 市瀬由自 (1954) : 地理学評論, 27, 108~116.
- 4) 木戸三夫 (1941) : 農業及び園芸, 16, 465, 1603.
- 5) 権平昌司, 高橋俊行 (1942) : 札幌農林学会報, 35.
- 6) 三原義秋 (1953) : 農業及び園芸, 28, 645.
- 8) 佐藤正一 (1950) : 農業技術, 5, 7, 12~16
- 9) 志茂山貞二 (1934~35) : 水田用水の温度と灌漑水量に関する調査成績書
- 10) 田中 稔 (1940) : 農業及び園芸, 15, 1491, (1941) : 16, 411, (1943) : 18, 609.
- 11) " (1954) : 農業気象, 9, 41~44.
- 12) 植木健至 (1954) : 鹿児島大学学術報告, 3, 7~12.
- 13) 八柳三郎 (1937) : 農業及び園芸, 12, 149.
- 14) 矢吹万寿 (1954) : 農業気象, 9, 121~123.
- 15) 溝口三郎 (1949) : 灌漑排水 雄鷄社.
- 16) 庄司清吉 (1939) : 農業及び園芸, 14, 1423.