

水稻冷害防止に関する試験

渡 辺 成 美 長谷川 勉 米 沢 確
佐々木 競 菊 池 忠 雄 菅 野 清 司

は し が き

古来東北地方の稲作には冷害がつきまとい多くの悲劇を産んで来たのは周知の通りである。最近の技術的進歩は冷害の危険を大巾に緩和し、ここ数年の豊作の1因をなしているとはいえ、なおまだ相当の被害を受けていることも事実である。

遠野試験地は昭和10年の創設以来育種の面から冷害対策ととりくみ、遠野1号から同4号に至る一連の品種を育成して東北の稲作に貢献したが、この事業も昭和20年の機構改革以後中止されるに至った。

昭和28年の凶作により水稻の冷害問題は再認識され、都道府県農業試験場補助費により栽培面からの冷害対策試験が中心課題としてとりあげられ、昭和37年試験地が廃止されるまで継続された。

本報告はこの間における試験及び調査結果の総括で、岩手県の水稲冷害につき現象形態別に被害の実態をあきらかにし、未解決の問題の本質を究明して対策を樹立するために行ったものであるが、関係諸賢の参考となり得れば幸いである。

なお、岩手県における水稻冷害の実態調査に関する部分は「昭和31年度農林省応用研究費による気象災害における気象改良の防止効果に関する報告第2編」(昭和32年3月、日本農業気象学会)で報告したので本項では簡単にふれるに止めた。また試験担当者おのおのの担当年次は次のようである。

渡 辺 成 美	(主任研究者)	昭和 30 年~34 年
長谷川 勉	(")	" 35 年~36 年
米 沢 確	(研 究 者)	" 30 年~36 年
佐々木 競	(")	" 30 年~36 年
菊 池 忠 雄	(")	" 30 年~36 年
菅 野 清 司	(")	" 30 年~33 年

I. 試験経過の概要

a. 一般経過概要

試験実施期間年次における稲作期間の気象は、昭和31.32.33.34年の7~8月の気温が平年よりやや低めであったため、藤坂5号トワダ等の中生種の出穂は8月10日~13日であったが、晩生種の陸羽132号では8月15日~20日で、遠野地帯の安全出穂限界ぎりぎりの線にあった。しかし、試験実施期間中の天候は概して順調で、冷害的気象年次はなかった。

b. 調査経過概要

昼間止水、夜間灌漑の冷水害防止効果を検討すると同時に、岩手県内における冷害の実態と農家が実施している冷害防止対策等の調査を行い、昼間止水栽培の問題点を検討した。この結果については、1957年3月、日本農業気象学会「気象災害における気象改良の防止効果に関する

る研究」第2編に報告したが、更に昼間止水栽培に附随しておこる栽培環境上の諸変化とこれに対する対策試験及び他の水田水温上昇法、水田の漏水防止法、耐冷水性品種の検討等も昼間止水栽培との関連の中で実施した。

II. 試 験 方 法

a. 試験圃場

試験圃場は洪積層の砂土で、その組成は下表のとおりである。

第1表 試験圃場土壌の組成 昭和30年分析

表層下層位 順	粗 砂 %	細 砂 %	微 砂 %	粘 土 %	比 重	仮比重粗	同 密 左	容 水 量
1	26.19	33.94	30.18	2.32	2.22	0.721	1.014	81.5
2	16.15	30.59	39.84	1.23	2.34	0.656	0.921	98.7
3	20.56	37.59	32.63	1.08	2.55	0.814	1.079	74.4
4	54.00	21.21	11.03	1.10	2.60	0.985	1.189	58.1

分析は東北農試栽培第2部に依頼

b. 供試品種

陸羽132号 藤坂5号

c. 本田施肥量

試験により多少の増減はあるが、下表の基準で行なった。

第2表 本田施肥量 10a当施肥量(kg)

年 次	硫 安	過 石	溶 磷	塩 加	堆 厩 肥
昭和30年~31年	30	41	—	15	1125
昭和32年	64	37	37	19	1500
昭和33年~36年	68	37	37	19	1500

d. 使用計測器

水温地温の測定は電子管式抵抗記録温度計による。

日射量の測定は電子管式記録日射計による。

水田減水深の測定はウイジン工業社製水田水位計による。

土壌硬度の測定は、山中式現地硬度計による。

e. 土壌含有成分の定量

NH₄-N 定量 蒸溜法による。

全窒素定量 H₂SO₄ 分解蒸溜法による。

P₂O₅ 定量 HCl 可溶比色定量

K₂O 定量 HCl 可溶炎光分析(ランゲ式)

SiO₂ 定量 HCl 重量法

Fe₂O₃ 定量 HCl 比色定量

Ca } 定量 EDTA 法
Mg }

f. 稲体含有成分の定量

全窒素定量 H_2SO_4 分解蒸溜法による。

P_2O_5 定量 $HClO_4$ 分解比色定量 (光電光度計)

K_2O 定量 $HClO_4$ 分解炎光光度計 (ランゲ式)

SiO_2 定量 $HClO_4$ 分解重量法

Ca } 定量 $HClO_4$ 分解 EDTA 法
Mg }

III. 岩手県における水稻冷害の歴史とその実態

稲作の冷害対策を考えるにあたっては、過去における稲作冷害の実態を正しく把握しておく必要がある。しかし、冷害の歴史は旧幕時代までさかのぼらねばならず、それは残された古記録資料による他はない。したがってそのような資料から科学的な事実を判断することにはかなり困難な面もあったが、一応得られた資料の範囲で検討を行った。なお、最近のものについては直接農村の実態資料により考察検討をこころみた。

1. 近世凶饉史にみられる冷害の特徴

A. 凶作発生の頻度

西歴 713 年～1900 年すなわち律令時代から幕藩体制末期までの間に生じた災害の歴史を東北凶饉年表によってみると次の第 3 表のようになる。ここにしめされるように約 1687 年の間 310 回の災害があり、そのうち 94 回が冷害による凶饉であったとされている。年代別にみる

第 3 表 年代別, 凶饉の程度別回数

西 歴(年)	不 作 か 大 不 作	凶 作 か 大 凶 作	飢 饉	大 飢 饉	不 明	計	備 考
713～ 800	0 —	3 (2)	5 —	0 —	0	8 (2)	不 作——割以内 減収 凶 作—2～3割" 大凶作—4～5割"
801～ 900	2 —	3 —	13 (1)	0 —	0	18 (1)	
901～1000	0 —	0 —	1 —	0 —	0	1 —	
1001～1100	0 —	1 —	0 —	0 —	0	1 —	
1101～1200	1 —	1 —	0 —	0 —	1	3 (1)	
1201～1300	0 —	1 —	2 —	1 —	0	4 —	
1301～1400	0 —	1 —	3 (1)	3 —	2	9 (1)*	
1401～1500	3 —	1 —	12 —	5 —	1	22 —	
1501～1600	2 —	5 (2)	12 (1)	1 —	0	20 (3)	
1601～1700	14 (1)	24 (6)	19 (5)	5 (3)	0	62 (15)	
1701～1800	22 (6)	37 (23)	25 (14)	3 (3)	0	87 (46)	
1801～1900	33 (4)	32 (15)	8 (4)	2 (2)	0	75 (25)	
計	77 (11)	109 (48)	100 (26)	20 (8)	4	310 (94)	

註 *印冷害程度不明 () 内は明かに冷害による災害
(東北地方の気候, 昭和 26)

と 1401 年代から急に増加しており、それ以前は極端に少ない。これはこの年代以降詳しい記録が残されるようになったことにもよるであろうが、この時代に入って新田開発が盛んにすすめられた時代であり、不良環境地にも水稻が作付されるようになったことにもよるものと推測される。なお本県の古記録資料によって旧幕時代 (1600～1900 年) 約 300 年間に発生した凶

籾回数を原因別に区分してみると第4表のようであり、冷害起因の凶年が全体の実に52%を

第4表 幕藩時代の原因別凶作発生回数

				回数	比率(%)
冷	風	水	害	86	51.8
				31	18.7
その他	旱	山	津	21	12.7
				16	9.6
				7	4.2
				5	3.0
合計				166	100.0

註 年次(1600~1900年)原因の解析は、遠野史年表、東北地方古今凶籾誌による。

第5表 大飢饉となつた凶冷年の作況(%)

年 代	津 軽 藩	南 部 藩
宝暦 5 年(1755)	18(%)	20(%)
天明 3 年(1783)	8	24
" 4 " (1784)	21	63
" 5 " (1785)	25	29
天保 4 年(1833)	—	10
" 6 " (1835)	—	15
" 7 " (1836)	51	7
" 9 " (1838)	35	4

しめている。凶冷年の連続性は2年連続が12回、3~7年続いた回数が7回もみられ、宝暦、元明、天保の三大凶冷は4~7年間も続いた。

B. 冷害の型

記録に示された各年次の冷害を低温襲来の時期別に通常用いられる分類型、すなわち、障害、遅延、併行の三型に分けるのにはいささか困難な面が多い。しかし、しいて分類すれば併行型、遅延型と認められる年次が多く障害型とみられるべき年次ははるかに少なかった。

C. 被害程度と対策

当時の被害程度を数量的に把握することは極めて困難であるが、これについては門前氏が南部藩が幕府に提出した損耗報告高に基づいて求めた凶冷年の作況に関する資料があり、上の第5表に示す通りである。この表に示される通り年次により、また藩によって各冷害年次の程度が異っているが、いずれにせよその被害は収穫皆無に近い惨状をもたらしていたことがうかがえる。

当時の大凶年における農民の悲劇的な様相は記録に多く示されており、今改めて述べるまでもないが、特に天明年代、当遠野地方における惨状は「動転愁記」によく当時をほうつさせられる。

次に当時の冷害対策とみられるものには、早生種の作付、早植の奨励が主なものであった事が記録の上からよく示されている。すなわち、早生種の作付については早生、晩生2種の種籾を準備し、春に天候不順であれば早稲を作った。晩生種の植付禁止措置もみられ、天明5年の如き「豊後」という晩生種に植付禁止令が出されている。また早植が冷害対策上の1技術であることにも着目されており、南部藩には「5月田植は急げ」のことわざすらあったが、育苗技術のともなわない為実際には余り役立てられていなかった。この他そば、大根等の備荒作物の栽培、肥培管理、害虫の駆除等も一応冷害対策として挙げられていたようである。

2. 最近の冷害現象とその実態

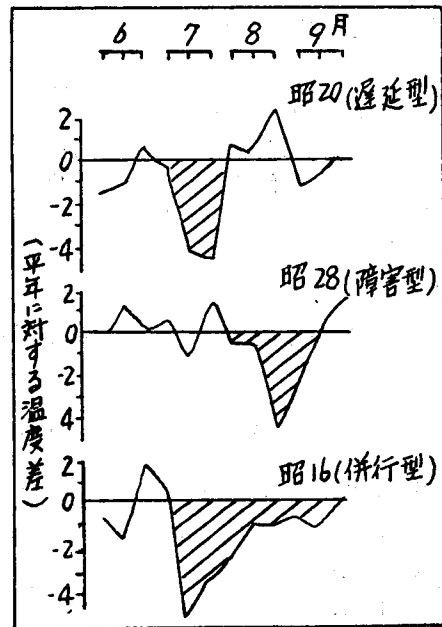
A. 岩手県における冷害の型

明治以後、今日までの間の冷害年次は次の第6表に示されているように1869~1954年の85年間に16回を数える。同様にはまた各年次の冷害低温襲来時期を水稻の生育時期によって分けた冷害の型からみてどのタイプに相当するものかも併せてしめた。各冷害型についての代表的な年次は遅延型昭和20年、障害型昭和28年、併行型昭和16年であり各年次における6~9月の平均気温の平年比を示すと第1図のようである。

第6表 明治時代以後の冷害年と冷害型

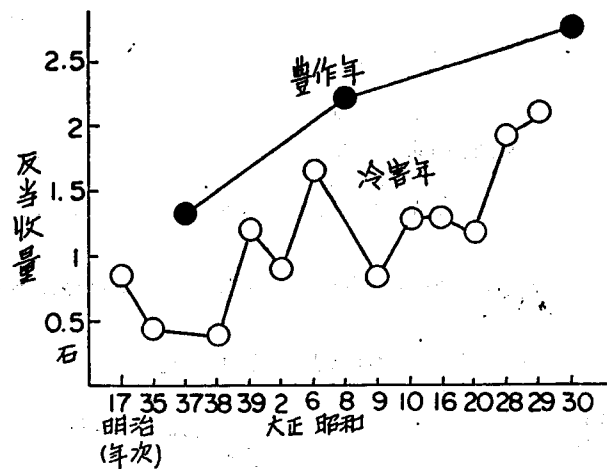
年次	冷害の型
明治 2年(1869)	障害 (併行)
17 (1884)	遅延
24 (1891)	稍障害
26 (1893)	遅延
30 (1897)	併行
35 (1902)	併行
38 (1905)	障害
39 (1906)	障害
大正 2 (1913)	併行
昭和 6 (1931)	遅延
9 (1934)	障害
10 (1935)	遅延
16 (1941)	併行
20 (1945)	遅延
28 (1953)	障害
29 (1954)	遅延
計	障害型 6 遅延型 6 併行型 4 16

第1図 年による低温の出現時期の違い (旬別平均 盛岡)



次に冷害による稲作収量の減収程度についてみると第2図のようである。これをみると、被害程度の最もひどかったのは明治38年である。それ以来今日迄被害は軽減の傾向をたどっている。

第2図 気象不良年の反当収量



冷害型別に被害の程度をみると、被害の最も大きかったのは障害型冷害年次で、次が併行型で被害の軽かったのが遅延型であったようにみられる。遅延型の被害が軽かった理由は第1図をみて明らかかなように天候の回復によって生育が挽回するためであろう。しかし、一方第7表によって地域別に被害の程度を比較してみると、岩手の場合は前述の傾向を示すが、

青森の場合、岩手とは逆に併行型、遅延型の被害が大きく障害型が軽い傾向がみられ、宮城では併行型年次が概して被害が大きく、遅延型が少いが、障害型は一定の傾向を示さない。この現象は品種の早晩、地域的な気温分布等の差異によって低温に遭遇する生育段階が地域的に異なるためによるものと思われる。

次に水稲の生育時期と低温との関係から減収程度を第8表によってみた。これは速野試験地における風土感応試験の年次別収量と6.7.8.月における最低気温が10°Cを下回った日とを対象したものである。本表によれば冷害による減収の大きかった昭和16年20年の両年において出穂期の40日および31日と33日前(幼穂形成期頃)にそれぞれ9.5°C、8.6°Cの低温にあ

第7表 東北地方における主要冷害年次の減収率の比較

冷害型	冷害年次	岩手県	青森県	宮城県
併行型	明治35	59%	52%	50%
障害型	" 38	65	26	83
併行型	大正 2	36	77	49
遅延型	昭和 6	14	40	8
障害型	" 9	48	40	14
遅延型	" 10	22	51	22
併行型	" 16	34	52	39

註 農業改良 (1958.3) 冷害の歴史より

っており、これが冷害の原因になったとも考えられるが昭和 17 年のように、出穂前 30 日のより危険な時期に 7.6°C の低温に見舞れながらなお稀にみる豊作となっている所からみて 16 年および 20 年の最低気温が稲に障害を与えたとは認め難い。昭和 11, 13 年の両年も冷害年次であったが、これ等の年には出穂前 35 日に最低気温が 15°C を割った日が 1 日もなかった。岩手県下における水稻冷害の型については、以上の事実よりみて水

第8表 6.7.8 月中最低気温が 10°C 以下に下つた日と収量の関係

年次	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
玄米収量	94	114	96	124	99	84	118	102	109	83
最低気温°C				9.5	9.9	9.5	7.6			9.5
出穂前日数				42	-3	-40	-30			-32
										8.6
										-31

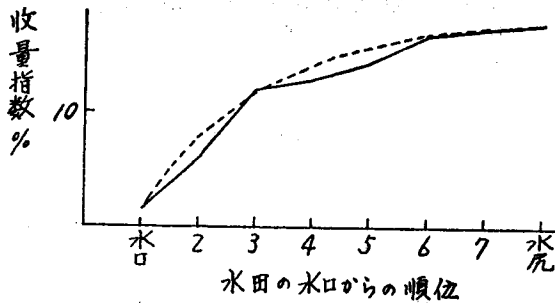
註 出穂前日数の (+) は出穂後 (-) は出穂前を表す

第9表 水口水尻の収量及び安定度の比較

調査項目	水口よりの順位								水尻 計又は平均
	水口	2	3	4	5	6	7	水尻	
枚面積 (a)	4	8	8	6	6	8	8	4	計 52
10a当収量(束)	12.2	59.7	120.1	128.1	142.0	166.8	172.9	175.9	平均 125.6
変異係数(%)	15年中9ヶ年収量0	68.8	21.1	12.9	7.4	11.7	13.8	10.1	平均 31.5

註 10a 当収量は完全青立株を除く刈取束数調査年次昭和 1~16 年迄の平均収量

第3図 水口から水尻に至る収量変化



稲の冷害について最も重要視されてきた最低気温は重要要因といひ難いようである。

更にこの点について農家の実態調査から検討してみよう。第9表と第3図は速野市松崎町の一農家が昭和 1~16 年迄のうち記載漏れの昭和 9 年を除く 15 ヶ年間の平均単位面積当り収量を示したものである。本水田の灌漑水温は当地方と

してはやゝ高い方に属するが、漏水量は多く冷水害は一般よりやゝ受け易い状態にあると考えられその傾向が認められる。表によれば 1 水口の水田面積 52a の平均当収量は 125.6 束で、その変異係数は 31.5% に達し収量は完全青立株を除くので正確さを欠くが第3図でもわかる

ように水口の収量が極めて低く、水尻になるにしたがって高くなっている傾向を示し、冷害が水口部分の減収すなわち冷水害として現れていることがわかる。これは当地方の一般慣行である掛越しの押水灌漑によるものであろう。以上の事実は少くともこの田に関する限り如何なる冷害年といえども水尻部分においては平年と大差ない作柄を示し収量は安定していること、および全面積の水口寄り 40% 前後は冷水灌漑の影響を受けて甚しい豊凶差を示すことを物語っている。

このような現象からみて当地方における水稲冷害は長期にわたる冷水灌漑による水口の青立ち、もしくは減収として現れ気象条件の悪い年次、特に日照不足の年にはこの減収歩合ならびに減収面積が拡大し凶作をまねくもので、凶作年次においても水尻部分の収量は比較的安定している。障害型の低温が一時的にあらわれても低気温が単独で直接地上部の生殖器官に障害をあたえることは少く、低水温を媒介して生育全般に影響をあたえているものと考えられるのである。

以上のように岩手県の冷害の現象は、昭和 31 年にみられた北海道の障害型冷害のような現象形態はみられないようである。

岩手県における冷水灌漑地帯の分布をみると第 10 表のようになる。これによると冷水灌漑

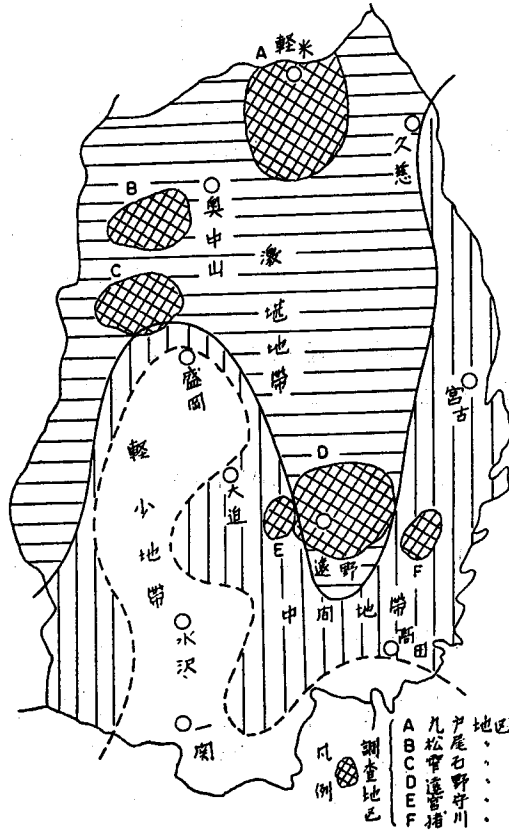
第 10 表 岩手県における冷水灌漑地帯の分布

郡 別	水 田 面積	冷 水 田 面積	冷 水 田 比 率	漏 水 田 面積	漏 水 田 合 計
	ha	ha	%	ha	%
岩手郡	8.909	998	11.2	713	8.0
紫波郡	8.190	352	4.3	518	7.1
稗和郡	8.871	639	7.2	648	7.3
江刺郡	8.894	759	8.5	738	8.3
胆沢郡	4.067	154	3.8	847	7.3
西井郡	11.601	359	3.1	285	7.0
東磐井郡	7.162	136	1.9	487	6.8
磐井郡	4.751	560	11.8	523	11.0
気仙郡	1.858	269	14.5	297	16.0
上閉伊郡	3.757	751	20.0	1014	27.0
下閉伊郡	1.472	257	17.5	515	35.0
九戸郡	2.437	584	24.0	487	20.0
二戸郡	2.650	617	23.3	477	18.0
合 計	74.619	6435	平均 8.6	7549	平均 13.9

田の比率が一般的に多い地帯は九戸、下閉伊、上閉伊、気仙、東磐井、岩手の地帯であり、県平均で冷水灌漑田が 8.6% になる。次に冷害の被害程度によって地域区分をしたのが第 4 図である。この地域区分にしたがって、九戸、岩手、上閉伊の地区を中心にして農家の水口田における青立状態について調査を行った。その結果は第 11 表である。これは灌漑慣行の異なる猪川村および調査戸数の少なかった宮守地区を並く 4 地区 15 旧町村 126 戸の調査結果で、一水口灌漑面積別青立面積を示したものである。

本表によれば同一地区内においては青立面積は灌漑面積が大きくなるにしたがい増加し青立ち面積歩合はほぼ一定する傾向を認め得る。これは灌漑水量は面積に比例する以上当然のことであるが地区間には同一面積でも大きな差がある。この差は灌漑水温、漏水量、気象条件等によるものであるが、いずれの要因が強い影響を与えているか明らかでない。この点については同一調査区においても聞き取りおよびボーリングの結果漏水が多いとみられる田においては、

第4図 冷害の被害程度の区分と調査ヶ所



青立ち面積歩合が高く、地区間にもその傾向が認められ、更に岩手県農試化学部では土壌の砂含有率と冷水害の頻度および程度とは高い相関を示すという調査結果を得ているから漏水の程度が最も大きく響いているとみるべきであろう。

いずれにみても以上の調査結果からして普通の年においても6%以上、冷害年次においては14%以上の収穫皆無面積を生じているが、一般的生育障害、出穂遅延による不稔、青米等による減収あるいは品質の低下等を起す面積は更に広範囲におよぶことは明らかで、これが本県の平均収量を低くしている。したがって岩手県における冷害の被害程度を論ずる場合平年(全面積の平均収量を以て表す)に対する作況指数を以てすることは無意味で、水尻部分の平年作に対する作況指数でなければ、実際の被害程度は把握できない。いずれにしても以上の結果からして本県の冷害対策は、水口部分の減収を防ぎ、平均単位当収量を増加す

第11表 水口青立ちの発生状態 (昭31.3調)

地区名	市	町	村	名	調 査 部落数	調 査 戸数	水口数	水田作 付面積	青立面積		同左比率		備 考
									平年	冷害年 (昭28)	平年	冷害年 (昭28)	
九戸郡	軽米町		北	部	3	11	28	493 ^a	23 ^a	53 ^a	4.7%	10.8%	天水田1ヶ所 40a もらい水1ヶ所50a
					3	10	49	563	20	53	3.6	9.4	
					5	12	59	790	43	130	5.5	16.4	
					1	4	17	375	20	60	5.0	16.0	
					2	2	10	150	4	12	3.0	8.0	
岩手郡	松尾村	松	尾	村	7	13	56	1513	136	272	9.0	18.0	
					1	1	6	200	?	35	?	17.5	
					1	1	5	150	?	13	?	0.9	
					8	15	43	1561	138	305	8.8	19.5	
					9	9	30	1239	104	190	8.4	15.3	
速野市	速野市	松	崎	村	1	8	27	866	30	64	3.5	7.4	
					6	14	41	1381	77	168	5.6	12.2	
					2	12	44	889	47	80	5.3	9.0	
					2	10	24	949	86	205	9.1	21.6	
					1	4	24	517	25	57	4.8	11.1	
上閉伊郡	宮守村	宮守村		2	5	35	492	7	16	1.5	3.3		
大般渡市	大般渡市	猪川村		1	3	5	113	13	?	6.5	?		
計					55	134	503	12241	773	1713	11.5	14.1	

ることが対策の根本をなすものと云える。

B. 農家における冷水害対策実施状況

前述のように岩手県における水稲冷害は冷水害として現れた。したがって稲作の冷害対策も明治以後今日迄その根本的原因が水田の漏水にあるため、対策もそれに応じて種々試みられている。次に農家の実態調査から現在とられている方法について述べてみたい。

a. 品種配列による冷害防止

最も簡単な対策として昔から品種配列による方法がとられて来た。第 12 表は清水糯、熊糯、カラシ糯、南糯、北海道早生のように水口以外には栽培しない早生種の作付割合を示したものである。(比率はこれら品種の作付面積を、それを作付けている一水口灌漑田面積で除した値) 地区によって多少の差はみられるが、全面積の 8~17.5% 平均 11.5% となり、第 7 表に示した青立ち面積には 2 匹敵している。

第 12 表 水口専用品種作付面積歩合

地区名	総作付面積	水口用品種作付面積	同比率
	a	a	%
九戸	1200	210	17.5
松尾	1600	140	8.8
雫石	1299	153	11.8
遠野	390	31	8.0
計	4489	534	11.4

b. 漏水防止による冷害防止

漏水防止は根本的な冷水害対策であるが、それは農家も以前から気付いて実際に漏水防止を行った。その方法は代かき前に藁稈や野草の刈敷きを行い、これを馬または人力で、ていねいに踏込む方法で、攪拌と踏困めによる物理的な効果に、有機物の分解による化学的な効果とによつて、漏水が防がれたものと思われる。しかし現在中止している農家が大部分で、これは労働力の面と分解中に生ずる活着遅延による生育の遅れが、かえって冷害の危険をまねくからである。

c. 灌漑方法による冷害防止

水温上昇の種類と農家数の関係を調査結果からみたのが第 13, 14 表である。

第 13 表 調査農家における水温上昇法実施状況

水温上昇方法	実施農家戸数					
	過去有	昭31年だけ	計	経続中	昭32年始	計
温水田	1	1	2	3		3
溜池田	10	1	11	10		11
畦水立口	9	11	20			
多迂水路	3		3	1	1	1
水分散間	3	10	13	1		1
完全屋間止水	5		5	9	12	21
青刈ライ麦	1	5	6	8		8
ベントナイト施用		1	1		1	1

註 → 印は A を B に変える
A B

温水田：調査農家 155 戸中 22 戸の 14.1% は温水田灌漑を行った経験を持っており、4 戸は 32 年度以降中止する予定で、32 年度の実施農家は僅かに 8 戸という衰退ぶりである。この理

由は温水田面積が灌漑面積に比してあまり狭く、効果が現れないためが主要な原因である。

迂回水路および水口交換：温水田に次いで実施農家の多かったのは迂回水路と水口交換である。

第 14 表 水温上昇方法をしている農家

地区名	調査戸数	水温上昇方法実施農家戸数				
		過去	同左比率	現在	同左比率	
九	戸	39	15	38.4%	10	25.6%
松	尾	15	3	20.2	9	60.6
平	石	24	3	12.5	13	54.0
遠	野	53	7	13.2	14	26.4
官	守	5	0	0	2	40.0
猪	川	19	0	0	0	0
計		155	28	18.1	48	31.0

これは地域によって差があるが昭和29年の冷害年次以降実施した農家が多くその効果を農家は確認しておらず、実験的に実施する程度であった。迂回水路は受熱面積が少く理論的にも実験的にも青立が防止された傾向は認められず中止される運命にあるものと考えられる。

水口交換はやり方によっては青立面積の拡大を軽減できるが、労働力の問題、水路条件水田の立地条件等に大きく制約

され効果の顕著にあらわれていたものは少かった。

その他の水温上昇法：徒来知られている水温上昇法のうち31年度現在行われているものは前記の3方法であった。過去に相当行われ現在その影をひそめているものを上げると畦立灌漑や飛散灌漑等である。前者は水口部分に畦立を行い青立を防ぐ方法であり、後者は水田の水口部分に石を置き灌漑水を飛散させて水温を高める方法であるが、実際には行っている農家は無い。

d. 農家の灌漑法改善に対する関心

第 15 表は調査農家が毎日行う水管理の回数であるが1~2回以上見廻り湛水状態を調べ畦畔を修理し、灌漑水量の調節を行う農家が89%近くあり、水見回数が1回以下の農家は1戸もなく、1日1回だけ見廻る農家は水保ちが良く、1日~3日置に1回の農家も含まれている

第 15 表 水管理回数別戸数

地区名	1日当見廻り回数						計	調査漏れ	
	1回	1~2回	2回	2~3回	3回	3回以上			
九	戸	2	2	24	6	1	1	36	3
松	尾	1	2	5	6	0	0	14	1
平	石	6	0	15	0	2	0	23	1
遠	野	0	0	40	5	4	0	49	4
官	守	1	0	2	0	1	1	5	0
計	比率	10	4	86	17	8	2	127	9
		7.9%	3.1	67.9	13.4	6.2	1.6		

が大部分の農家は2回以上とみて差支えない。このように水見を熱心に行う理由は掛越しの押水灌漑であるため水路水位の上下が灌漑水量に影響するため、農家は水田の水が切れない程度に最も少量の灌漑を行うよう努力している。用水が充分あり水盗みもみられない地方において、このような努力を払う理由は勿論水口部分の減収を最少に抑えようとする心理の現われであり、水口減収に対する農家の関心が如何に高いかを物語るものである。一方水温上昇を工夫している農家の割合は31.0%にすぎないことは、農家が種々雑多な方法で水温上昇を試みてきたにもかかわらず、永続性なく、効果の顕著な決定的方法のないことを意味している。

以上明治以降、今日迄実施した対策の内、現在対策として継続されているものは前述の通り極めて少い。その主なものは品種の配列による方法と、水温上昇の方法としての温水田の活用位のものであった。根本的漏水防止の方法としての客土は農家の経済力と資材入手の困難性から殆んど実施されておらず、他には効果的な方法が見当たらないのがその実態である。

IV. 水稻冷害現象の機構

1. 低気温が水稻の生育収量におよぼす影響

従来東北地方の冷害の原因は、7月、8月の低気温であるとされており、第16表に示す如く遠野試験地における風土感応試験および統計調査事務所作況試験室における気象感応試験の結果でも、昭和11年から34年までの23年間平均収量（22年は資料を欠く）に対し、23%減収した昭和16年および20年の7月の平均気温は19~20°Cで、平均収量をあげている年次にくらべ2~3°C低く、約10%減収している昭和11年、13年、31年の7月の平均気温も1~2°C低い。また8月の平均気温が21°Cで平均収量をあげた年次にくらべ2~3°C低かった昭和28年も10%の減収を示している。

しかし、6~7月の平均気温が低く、8月の平均気温も平年並であって減収をみなかった昭和29年のような例外年次もある。

昭和16年、20年および29年は共に田植直後より低温であったため、出穂がおくれ、3月27~28日に出穂期となったが、登熟期の9月の平均気温は16年、20年の場合は17.9°Cであり、29年は20°Cであって、昭和29年は出穂がおくれたが、その後高温であったために登熟が阻害されず、減収をまぬがれたものとみられる。

幼穂形成期から出穂開花期の低気温と不稔発生の関係をみると、約21%前後の不稔の出たのは昭和16年、28年、31年であり、14%前後の不稔の出たのは昭和11年、20年、25年である。（第17表参照）

幼穂形成から出穂までの期間に、最低気温が15°C以下になった日数は、昭和16年には減数分裂期と出穂開花期に各1日で、昭和28年には減数分裂期に1日、出穂開花期に3日で、10°C以下が、出穂32日前に1日、出穂8日後に1日あり、また昭和31年には15°C以下が、幼穂形成期に1日、出穂開花期に3日あり、これらが不稔の発生を増大させたとも考えられるが、不稔歩合10%でこれらの年次より不稔の少なかった昭和17年をみると、15°C以下になったのは減数分裂期に1日、出穂開花期に4日で、穂の発育期間中の15°C以下の日数は昭和16年より多く、更に17年は出穂31日前7.6°C出穂3日後に8.4°Cの低温に遭遇

第16表 気温と収量

年次 (昭和)	平均収量 対 比	月別平均気温 (°C)		
		6 月	7 月	8 月
11	91%	18.2	20.5	21.6
12	105	15.7	23.2	23.9
13	89	16.9	21.2	23.8
14	115	17.5	23.3	23.1
15	92	17.7	22.4	22.0
16	77	16.8	20.1	22.5
17	109	18.5	22.7	22.5
18	95	17.5	23.5	24.9
19	101	18.4	22.1	24.1
20	77	16.6	18.8	24.4
21	110	19.8	21.9	23.4
23	123	17.9	22.6	24.2
24	106	16.5	21.6	24.1
25	104	17.4	23.7	24.7
26	103	17.8	21.2	24.0
27	119	17.5	21.5	22.7
28	90	17.3	21.5	20.9
29	102	14.5	19.0	23.2
30	105	18.2	23.8	22.7
31	90	17.7	20.8	21.1
32	97	16.0	21.7	23.5
33	103	18.1	21.7	22.3
34	95	16.9	21.5	22.0

第17表 不稔の発生と気温

年次 (昭和)	精玄米重 (a当 kg)	不稔 率 (%)	出穂期 (8月)	最高気温(10日間平均)			最低気温(10日間平均)			最高気温 23°C以下日数			最低気温 15°C以下日数			出穂前35日出穂後10日中の 10°C以下の日 (最低気温出穂前後日数)	
				幼穂 形成期	減 分 裂 期	出 開 花 期	幼穂 形成期	減 分 裂 期	出 開 花 期	幼穂 形成期	減 分 裂 期	出 開 花 期	幼穂 形成期	減 分 裂 期	出 開 花 期	出穂前	出穂後
11	36.9	14.2	18	28.1°C	25.1°C	23.7°C	21.4°C	17.7°C	17.2°C		1	6	2	1	2		
12	42.5	6.8	20	28.6	28.4	29.4	20.6	19.3	19.3	1			1				
13	36.0	8.9	18	28.7	26.2	28.3	18.3	19.0	20.4								
14	46.6	0.7	14	29.6	28.9	26.4	20.0	18.7	16.2								
15	37.1	9.5	19	25.7	25.6	28.9	18.8	17.1	19.3	1	2		3	2			9.5 2
16	31.3	20.4	27	25.5	26.6	25.5	18.1	18.8	17.6	1	1	1	1	1	1		9.9 9 2
17	44.1	10.9	17	29.0	27.6	26.5	20.0	19.0	15.9		3		1	4			7.6 31 8.4 3
18	38.4	7.3	11	30.9	31.0	29.9	19.4	20.6	20.2								
19	40.7	5.9	14	24.8	29.9	29.5	17.6	21.7	18.8			1	1	1			9.5 8.6 1
20	31.0	14.7	28	28.9	29.5	27.6	16.7	19.3	19.4	1	2	4	4	3			34 8.5 9.0 12
21	44.7	8.3	11	29.7	25.8	31.5	18.7	15.0	20.4								13 9.0 7
23	49.8	3.1	9	27.6	29.8	29.0	18.7	19.8	20.5		1		4				
24	43.1	5.1	15	28.3	27.0	29.0	19.3	17.9	18.4			2					
25	42.1	13.7	8	27.9	31.1	30.2	17.4	21.3	19.4				2				
26	41.8	8.7	14	27.6	28.2	31.1	16.4	17.7	19.0			4	1				
27	48.1	9.3	14	28.9	28.6	27.8	17.5	18.8	18.0				1				
28	36.4	20.5	17	26.1	28.9	25.8	19.8	19.4	17.1			1	1	3			9.6 32 8.7
29	41.2	10.4	27	27.8	27.9	25.2	18.2	19.4	16.8			1	1	1			
30	42.6	5.4	13	30.0	30.5	27.1	19.6	20.0	16.7			1	1	4			
31	36.6	22.0	21	30.5	26.0	24.2	20.2	19.2	15.7		1	2	1	3			
32	39.3	8.8	22	26.3	26.8	27.5	18.2	20.5	20.5			1	1				
33	41.9	9.3	19	24.2	27.3	24.7	18.1	18.5	17.9			2	1	1			
34	38.5	8.4	20	27.8	24.3	27.3	15.6	17.2	18.4		4	1	5	1			

註 品種名 陸羽 132号

穂成盛期に於ける不稔防止に關する試験成績

しており、昭和 16 年より、危険な状態にあつた。また昭和 20 年は幼穂形成期に 4 日、出穂開花期に 3 日が 15°C 以下になっていて 15% の不稔を出しているが、昭和 31 年には 15°C 以下の日が幼穂形成期に 1 日出穂開花期に 3 日で昭和 20 年より少なかったにもかかわらず不稔歩合は 22% に達している。

以上のように昭和 11 年から 34 年までの 23 年間に発生した最低気温の範囲では、穂の発育期間の低気温と不稔の発生には深い関係は見られないようである。

要するに、遠野試験地における風土感応試験および作況試験結果は、過去における冷害による凶作といわれる年次の被害を、気温との関係で説明し得ないことを示している。

いずれにしても、多数の要因が相互規定的に働いているので、一回帰的に結論することはできない。

なお、低気温と水稻の生育障害に関しては、既に幾多の報告があるので、本項では省略する。

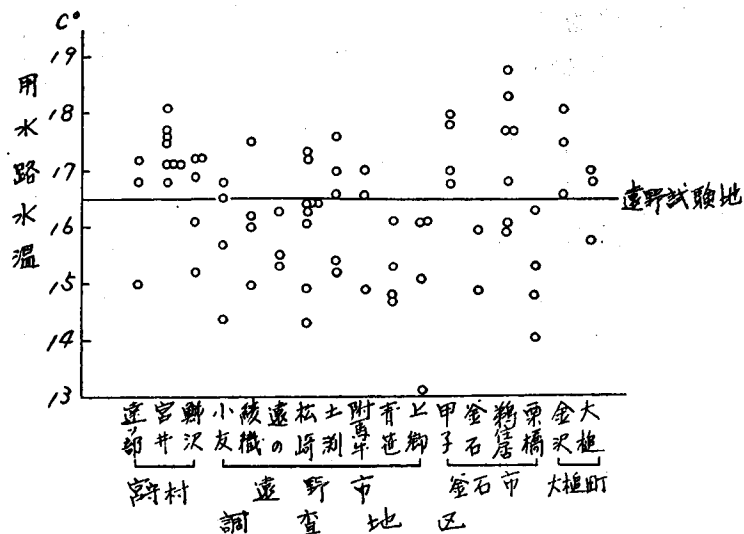
2. 低水温が水稻の生育収量におよぼす影響

漏水田に常時灌水するためには稲の生育経過とは無関係に田越しの押し水灌漑を行なわなければならず水口に近い程常に生育限界以下の冷水を灌漑するため冷水の被害が大きい。特に北上山系に属する地帯の水田には、土壤中に占める砂の割合が高いため漏水田が多く、冷水害は普遍的に現れている。

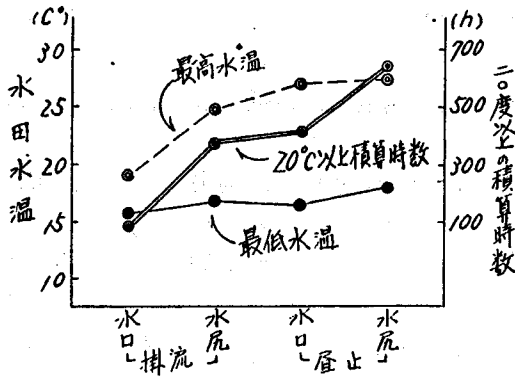
後述のように一旦水田に灌漑された水は、移動されない状態にあれば日射によって急速に上昇するが、漏水の大きい田では、1つの水口より 40~50a も田越しに灌漑するため、灌漑水温の低い程、また特に灌漑水量の大きい程水口に近い稲は低水温の障害を受ける。この低水温の被害は程度の軽い場合でも生長を抑制し、出穂をおくらせ、青米歩合を増加させるが甚しい場合には不稔となり収穫皆無にさえなる。このような低水温障害の機構を明らかにすることは、この障害を防ぐ方法を確立するにあたって必要な事であったので試験調査を行った。

試験には河川の一般に利用されている灌漑水を使用したか、この灌漑水は特に低温ではなく一般的なものであることは第 5 図の調査結果から明らかである。

第 5 図 昭 28. 6. 25 AM 10.00 の水温

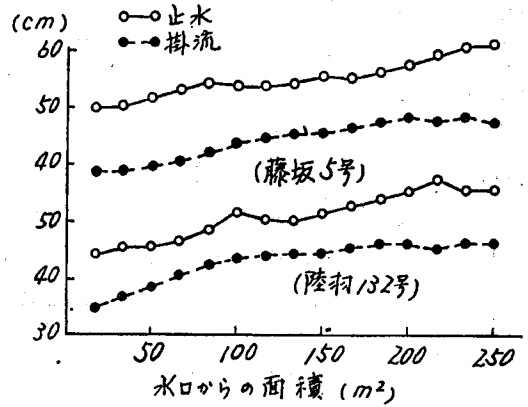


第6図 田植から7月20日までの平均、最高、最低水温と20°C以上の時数



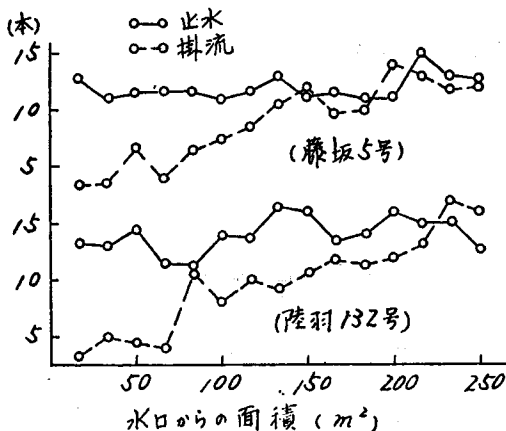
(註) 掛流し水量は毎秒 2l
(1昼夜 10cm 漏水する水田 17a 相当澆灌水量)

第7図 水温と草丈 (昭 31. 7. 19 調)



この試験の挿秧から7月19日の生育調査日までの平均、最高、最低水温と20°C以上の積算時数は、第6図の通りであったが、この水温条件のもとでの草丈の伸長を7月19日の調査で見ると第7図に示す様に、最も水温の低い掛け流し水口は掛け流し水尻及び止水水口に比べて10cm前後、止め水水尻にくらべては20cmも短かく、また掛け流し水尻は、止め水口と水温が接近しているため2cm程度短かいだけであるが、止め水水尻にくらべては、水温が低いため10cmも短かくなっている。またこの様な低水温は、分けつの発生にも影響してくるが、最高分けつ期頃の7月19日調査では第8図に示した様に、毎秒2lの(1日10cm減水する水田17aに相当する)澆灌水量を掛け流した場合水口に近い程分けつの発生が抑制され130cm²附近から止め水区と同じ程度になる。

第8図 水温と分けつ数 (昭 31. 7. 19 調)



第18表 低水温と出穂期

水口からの距離	藤坂5号		陸羽132号	
	掛流	止水	掛流	止水
3m	30.0	13.3	10.3	21.5
6	27.0	12.8	10.0	18.5
9	24.8	12.3	10.3	16.3
12	25.0	10.3	8.3	16.0
15	22.3	10.8	6.3	17.0
18	20.5	11.5	5.3	16.3
21	22.8	9.8	4.5	15.5
24	18.0	11.0	3.5	16.0
27	16.0	10.8	29.3	15.8
30	16.0	9.5	29.0	15.0
33	16.8	9.3	28.5	15.5
36	14.8	9.5	25.8	14.3
39	15.0	7.8	26.3	19.5
42	15.5	10.0	24.3	13.8
45	14.3	8.8	20.5	14.3

しかし掛け流し水尻と、止め水水口及び水尻間には殆んど差がない。分けつ発生過程においては草丈の伸長に現われた様な差が生じていたと思われるが、高水温の方は先に分けつ発生を終り、低水温の方は尚継続している一時点に於いて調査した結果、差がなくあらわれたと思われる。

この様に低水温が生長をおくらせ次の生育段階（生殖生長）に進むのをおくらせる結果として出穂の遅延をおこすが第 18 表に示す如く藤坂 5 号では掛流し水口は水尻にくらべ 16 日、止め水水口にくらべては 17 日、止め水水尻より 22 日もおくれており、晩生種の陸羽 132 号では掛流し水口は水尻より 21 日おくれ、水水口よりは 20 日おくれ、止め水水尻にくらべては 27 日もおけている。低水温は、特に晩期分けつ莖を増加し、稔実にも大きな影響をおよぼすことは既往の実験で明らかにされているところであるが、第 19 表に示すように、本試験にも幼穂形成期から出穂開花期までの約 1 ヶ月間の平均水温が 19°C で 20°C 以上の持続時間 140 時間以下では殆んど稔実しておらず平均水温 24°C で 20°C 以上の持続時間 450 時間程度

第 19 表 冷水の影響する時期と不稔の関係

灌漑別	場所別	温度別	穎花分化始期	減数分裂期	出穂開花期	出穂前 1 ヶ月間		不稔率 %
						平均水温	20°C 以上の時間	
掛け流し	水口	最高 19.0°C 最低 20.4	19.0°C 20.4	17.7°C 20.7	16.7°C 19.9	17.6°C 20.3	136	93
	水尻	最高 20.0 最低 31.0	20.0 31.0	20.9 29.4	19.9 25.8	20.1 28.2	470	39
昼間止水	水口	最高 19.5 最低 32.2	19.5 32.2	19.8 29.8	19.1 24.9	17.8 28.9	423	30
	水尻	最高 18.1 最低 24.8	18.1 24.8	22.9 32.6	20.6 28.2	20.6 28.5	515	15

第 20 表 気温と不稔との関係

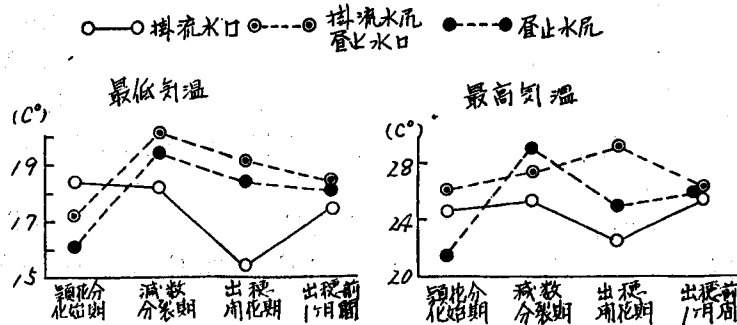
灌漑別	場所別	温度別	穎花分化始期	減数分裂期	出穂開花期	出穂前 1 ヶ月間最低気温 17°C 以下日数				
						最低気温	最低気温 17°C 以下	穎花分化始期	減数分裂期	出穂開花期
掛け流し	水口	最高 18.4°C 最低 24.7	18.4°C 24.7	18.2°C 25.3	15.4°C 22.5	17.4°C 25.4	14	3	2	6
	水尻	最高 17.2 最低 26.0	17.2 26.0	20.1 27.5	19.1 29.2	18.4 26.3	10	3	0	0
昼間止水	水口	最高 17.2 最低 26.0	17.2 26.0	20.1 27.5	19.1 29.2	18.4 26.3	10	3	0	0
	水尻	最高 16.1 最低 21.5	16.1 21.5	19.4 29.1	18.4 24.7	18.1 25.7	12	2	3	3

では 30~40% の不稔実となり、平均水温 25°C で 20°C 以上の持続時間 500 時間では 15% の不稔を発生している。

以上の結果は穂の発達過程中的水温だけでなく、生長（栄養生長）期間中の水温の影響は勿論、低水温が幼穂形成期から授精、登熟の時期を変える結果、気温差の影響をも含んでいると考えられる。

第 20 表および第 9 図によれば、100% に近い不稔の発生をみた掛流し水口は、不稔の少なかった掛け流し水尻、昼止水口および昼止水尻にくらべ、減数分裂期と出穂開花期の気温が低く、特に出穂開花期の最低気温が 15°C 程度で、不稔の少ない区より 3~4°C 低く最高気温も 22°C 程度で 3~7°C 低い。出穂前 1 ヶ月間の気温の平均は不稔の多い区も少ない区も殆んど同じであるのに、不稔の発生に差を生じたのは、出穂開花期の低気温が影響しているため

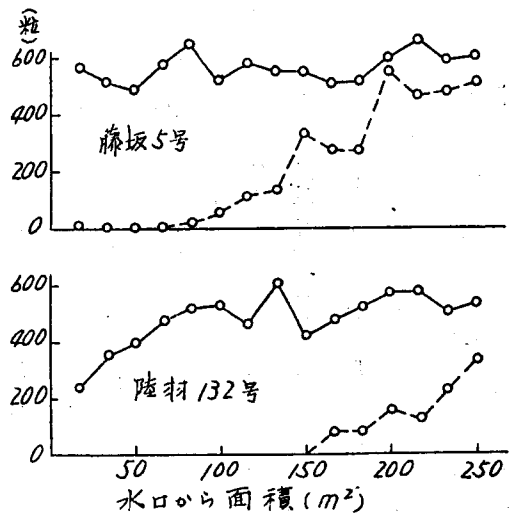
第9図 稲の生育経過時期別気温



であると考えられる。

掛け流し水口の稲は低水温下で生育しているために栄養生理的にも不健全な状態となり、これが低気温の影響と結びついて不稔率を更に大きくしたものであろう。掛け流し水尻及び昼止め水尻は 30~40% の不稔を発生しているが、昼止め水尻の不稔は 15% で、この両区の稲の穂の発育過程に経過した気温を比較すると、最低気温は全期間を通じて 1°C 程低く、最高気温では減数分裂期に 1.6°C 高いが、穎花分化始期および出穂開花期に夫々 4.5°C も低く、最低気温が 17°C 以下になった日数も、不稔の少ない昼止め水尻の方が多くなっている。したがって第 21 表に示した通り、ここでは気温より、水温の影響が大きかったと見るべきであろう。

第10図 水温と完全粒数 (1株当り)



第 21 表 出穂後1ヶ月間の気温

		出穂期	最高気温	最低気温	平均気温
掛流	水	8.30	23.8	13.6	18.7
	水尻	8.14	25.4	16.2	20.8
昼止	水	8.14	25.4	16.2	20.8
	水尻	8.8	26.1	16.9	21.5

以上述べてきたように冷水は稲の生長速度を低下させ、幼穂の形成、出穂をおくらせ、また幼穂形成から出穂開花までの発育に障害を与えて不稔を増加させてきたが、それと共に出穂期の遅延は登熟期を低温に経過させる結果、登熟にも影響をおよぼし、第9図に示すように玄米の生産を低下させることになる。

3. イネの生育時期と冷水の影響

イネの生育時期別に冷水の影響を確認することは、漏水激甚田で昼間止め水栽培を行なう場合生育時期別の断水障害の調査と共に必要なことであったので次の第 22, 23 表の様な試験区を

て試験を行った。

なお、試験区の水温条件は第 24 表及び第 11 図のとおりである。

A. 活着期冷水処理の影響

挿秧から活着までの約 10 日間に、半旬平均水温最高 18.5°C、最低 14~15°C の灌漑水を昼夜掛け流した(第 11 図 6 月第 2 半旬水温参照)昭和 31 年の試験結果では、第 25 表の A~B 表に示すように活着期の冷水処理 (A 区) は活着が

第 22 表 昭和 30 年の試験区別

試験区記号	冷水処理期間
A	昼間止水夜間掛け流し (標準)
B	挿秧 (5月30日) ~ 6月24日
C	6月25日 ~ 幼穂形成期 (7月15日)
D	幼穂形成期 ~ 出穂 (8月10日)
E	開花 (8月11日) ~ 落水 (9月15日)

(註) 冷水処理期間は昼夜掛け流し、処理期間以外は朝 7 時止め夕方 6 時より掛け流す。

第 23 表 昭和 31 年の試験区別

試験区記号	冷水処理期間
A	挿秧 (6月3日) ~ 活着 (6月13日)
B	活着 (6月14日) ~ 幼穂形成前 (7月15日)
C	幼穂形成始 (7月16日) ~ 出穂始 (8月14日)
D	出穂始 (8月15日) ~ 出穂後 30 日 (9月14日)
E	昼間止め水、夜間掛流し (標準)
F	全期間冷水処理

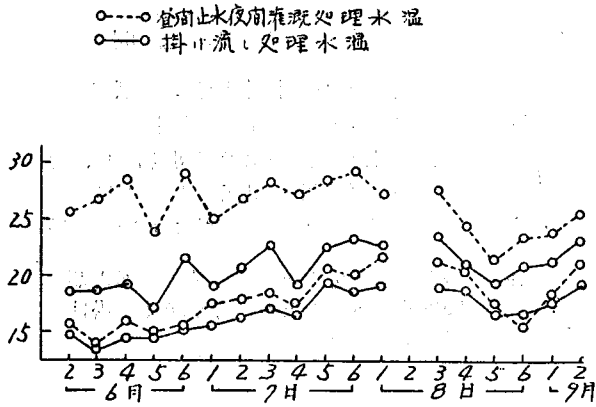
(註) 冷水処理期間は昼夜掛け流し、処理期間以外は朝 7 時止め夕方 6 時より掛流す。

第 24 表 試験区の水温条件 昭和 30 年

半旬別	試験区 水温	A		B		C		D	
		最高	最低	最高	最低	最高	最低	最高	最低
6月	1	26.8	13.4	20.9	12.8	A区と同じ		A区と同じ	
	2	28.2	15.2	20.6	13.4	A区と同じ		A区と同じ	
	3	28.4	13.9	20.6	14.7	A区と同じ		A区と同じ	
	4	27.6	17.1	20.5	16.3	A区と同じ		A区と同じ	
	5	27.4	18.1	20.9	17.0	A区と同じ		A区と同じ	
	6	24.7	17.3	A区と同じ		18.6	16.0	A区と同じ	
7月	1	29.5	20.9	A区と同じ		20.3	17.3	A区と同じ	
	2	28.0	19.3	A区と同じ		20.8	17.7	A区と同じ	
	3	33.9	22.6	A区と同じ		23.3	20.0	A区と同じ	
	4	33.2	22.8	A区と同じ		A区と同じ		25.1	20.1
	5	30.5	22.3	A区と同じ		A区と同じ		24.1	20.7
	6	30.6	22.1	A区と同じ		A区と同じ		25.2	21.2
8月	1	30.1	23.5	A区と同じ		A区と同じ		25.0	21.4

おくれ 6 月 23 日調査に見られるように、草丈の伸長および分けつの発生が抑制されているが、稈長、穂長および穂数は標準区 (E 区) と差がない。しかし、出穂および成熟は 6~7 日おくれ、第 25 表の C に示すように、不稔歩合、青米歩合は標準区より高く、玄米収量は約 15% 減収している。天候のよい年次や、早生品種では、活着期間の低水温の影響は小さく、あるいは逆に増収になることもあるが、天候不良年次や晩生品種では、活着期間の 10 日間位でも冷水の影響は大きくあらわれると見なければならない。

第 11 図 試験区の水温条件 (昭 31)



第 25 表 昭和31年における調査結果

A 草丈及び稈長・穂長

調査月日	A	B	C	D	E	F
6. 23	21.8	24.4	27.1	26.2	26.9	21.7
7. 9	35.5	30.7	38.7	38.0	38.5	29.5
16	44.9	36.7	48.4	47.5	48.4	35.2
8. 3	64.7	66.1	60.4	65.4	66.4	55.6
稈長	77.9	79.4	72.2	77.7	77.2	72.1
穂長	16.8	17.4	15.9	16.9	16.9	16.1

B 茎数・穂数及び出穂期

調査月日	A	B	C	D	E	F
6. 23	3.7	3.8	4.5	4.6	5.0	3.5
7. 9	11.5	10.0	13.0	13.1	13.4	5.7
16	16.0	13.1	16.7	17.1	17.8	9.6
23	19.1	17.9	17.9	18.5	18.5	13.2
8. 3	18.3	18.6	17.6	17.5	18.2	17.4
穂数	13.8	15.0	14.1	13.4	13.8	15.6
出穂期	8.26	8.92	8.26	8.19	8.19	9.8

C 収量調査

調査項目	A	B	C	D	E	F
全重 (kg)	111.6	108.0	79.7	109.3	112.1	63.7
ワラ重 (kg)	61.1	64.8	61.5	59.1	57.1	58.3
玄米重 (kg)	36.5	28.5	8.8	37.7	42.3	0.6
屑米重 (g)	150	281	18	113	86	8
千粒重 (g)	20.8	20.1	19.7	21.4	21.5	18.1
青米歩合 (%)	43.3	57.8	62.9	23.0	21.6	91.4
主 一穂穎花数	105	114	93	106	96	101
稈 不稈歩合 (%)	33.3	27.8	85.0	27.9	20.6	94.6

第 26 表 冷水掛流処理の草丈及稈長穂長

試験別	A	B	C	D	E
調査月日					
6. 27	33.4	23.1	33.7	34.5	43.0
7. 15	54.1	50.0	42.9	54.4	52.9
29	68.6	68.5	58.6	66.0	67.8
8. 11	84.2	78.6	73.7	77.3	84.0
稈長	85.0	85.2	78.4	80.5	84.5
穂長	17.2	17.5	17.1	16.8	17.3

第 27 表 冷水掛流処理の茎数及穂数

試験区別	A	B	C	D	E
調査月日					
6. 27	9.9	3.6	10.3	10.8	9.8
7. 8	15.3	8.4	15.9	15.9	14.6
15	16.0	14.1	16.3	16.1	15.3
22	15.5	16.3	16.5	16.0	15.3
29	13.6	14.4	14.9	14.1	13.6
8. 11	12.2	13.2	13.5	13.2	12.1
穂数	11.6	11.0	12.1	11.6	11.4
有効茎歩合 %	72.5	67.5	73.3	72.0	74.5

第 28 表 冷水処理と出穂

項目	A	B	C	D	E
出穂期(月日)	8.12	8.25	8.15	8.14	8.13
成熟期(月日)	9.30	10.14	10.1	9.30	9.30

第 29 表 分解調査 (昭・30)

試験区別	A	B	C	D	E
調査項目					
穎花総粒数	812	990	908	842	838
平均一穂粒数	73.4	80.5	66.7	69.2	72.2
穂実穎粒数	773	901	847	795	796
不稈歩合 (%)	39	89	61	47	42
支米総粒数	746	849	819	787	771
精玄米粒数	674	579	726	703	670
完全米粒数	639	878	676	665	641
青米粒数	35	201	50	38	29
屑米粒数	72	270	93	84	101
不稈歩合 (%)	48	9.0	6.7	5.6	5.0
青米歩合 (%)	6.2	34.7	6.9	5.4	4.3
屑米歩合 (%)	9.7	31.8	11.4	10.7	13.1
千粒重 (%)	23.1	22.6	22.6	22.0	23.0

第 30 表 冷水処理と収量 (a 当 kg)

試験区別	A	B	C	D	E
項目					
全重	105.3	108.9	98.3	102.0	104.1
ワラ重	46.8	54.2	43.0	47.0	46.3
精玄米重	43.7	39.0	42.8	45.2	44.9
屑米重	0.83	2.93	1.09	0.86	1.09
精玄重/ワラ重	93.4	72.0	99.5	96.2	97.0

B. 生長前期冷水処理の影響

挿秧から6月20日までの生長前期に、半旬平均最高20°C、最低13~17°Cの冷水が灌漑された(第24表B区水温参照)昭和30年の試験結果では、第26表および第27表に示すように生長期の冷水処理(B区)は、草丈の伸長、分けつの発生が著しく抑制され、処理停止20日後の7月15日調査時においても標準区(A区)に草丈、茎数共に劣っている。その後標準区に追いつくが、有効茎歩合を低下させて、穂数は少めになり、第28表に示すように出穂、成熟期は標準区にくらべ14日おくれ、また他のどの生育時期の冷水処理にくらべても出穂遅延日数は大きく、第29表に示すように、青米歩合は非常に高い。

昭和30年は、天候が良かったため、生長前期の冷水処理の減収は標準区の10%程度であったが(第30表参照)不良天候年次には、被害は、はるかに大きくなることは明らかである。

C. 生長後期冷水処理の影響

6月25日から幼穂形成期(7月15日)までの生長後期に半旬平均最高20°C最低16~20°Cの冷水が灌漑された(第25表C区水温参照)昭和30年の試験結果では、生長後期の草丈の伸長が抑制され稈長も短くなるが、分けつの発生は抑制されず標準区にくらべ穂数は少々多い傾向がみられる。(第26表および第27表参照)冷水処理による生育遅延は第28表に示したように約2~3日で、生長前期の冷水処理の如き生育遅延は見られない。青米歩合、不稔歩合も、標準より少々多い程度で、生長前期の冷水処理より少なく玄米収量は標準区並であったが(第29表および第30表参照)天候不良年次では、生長前期冷水処理より被害は少ないとしても、冷水害はかなり大きく現れるものと見られる。

なお昭和31年の稲の生育期間は低温であったが、活着期から幼穂形成期までの、生長期間、半旬平均水温19~25°C最低15~17°Cの灌漑水温の場合の出穂遅延日数は9~10日で、青米歩合は58%に達し、千粒重も軽く、約35%の減収を示している。(第25表のA~B~C参照)

D. 幼穂形成期から出穂までの冷水処理

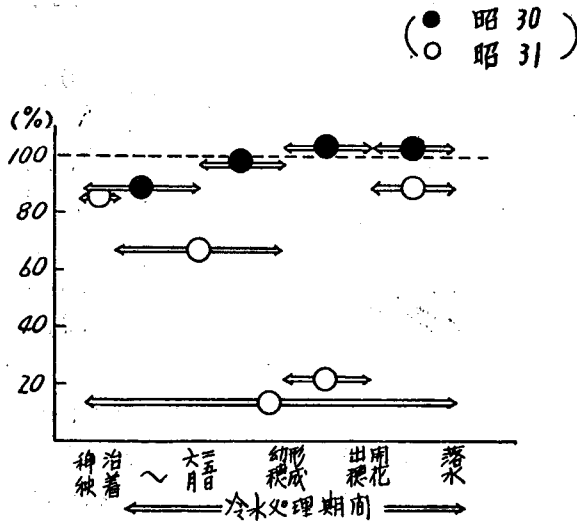
幼穂形成期の7月15日から出穂期の8月10日までの期間に、半旬平均最高24~25°C最低20~21°Cの灌漑水を灌漑した(第24表D区参照)昭和30年の結果も、また昭和31年の半旬平均最高19~23°C最低17~19°Cの灌漑水を灌漑した(第11図7月4半旬、8月3半旬参照)場合も、穂数は減少させなかったが、草丈、稈長を短縮すると共に、穂長を短くしている。(第25表のA~BのC区、および第26, 27表のC区参照)このような穂長の短縮は生長期の冷水の影響は、処理時期の生長の盛んな部位に直接的な影響を与えるようで、穂の发育過程においては、穂長を短縮し、穎花数を減少させ(第25のC表および第29表D区参照)昭和31年のように天候が不良で冷水が灌漑された場合には、不稔歩合は85%にも達し、青米歩合も63%で他の時期の冷水処理よりも被害が大きくあらわれ、80%の減収で、収穫皆無に近い状態になっている。

E. 開花期以後の冷水の影響

この期間の冷水灌漑は昭和30年は天候がよく、水温が少々高かった関係もあって、青米、層米の発生及び粒重の増加等に外観される様な影響はなく、玄米収量も標準区と同じであったが、(第29表及び第30表区参照)半旬平均水温最高20~23°C最低17~19°Cを灌漑した昭和31年の場合は不稔歩合が28%で標準より8%高く、青米歩合も高かったが10%程度の減収で、他のどの時期よりも冷水の影響が少なくなっている。(第25表のC参照)

生育時期別の冷水の影響は以上述べてきた通りで、挿秧から活着までの冷水灌漑は、他の時

第 12 図 標準灌漑区に対する冷水処理区の玄米重比率



期に比べ水温が低く、活着の遅延により、晩植した結果を招くが、冷水に影響される期間が短い関係から他の時期の冷水処理に比べて被害が少なく、処理停止後の天候がよければ生育期間が長くなり、幼穂形成および授精、登熟初期が高気温期にあたり品種によっては、むしろ増収することさえある。出穂後の掛け流し灌漑は、灌漑水温が高くなっている時期でもあり、また、稲が生理的に低水温の影響を受けがたい時期にあると見られ、その被害はどの時期よりも少ない。

稲の生育過程で最も大きく低水温の影響を受けるのは幼穂形成期から出穂までの穂の発育期間である。この期間の低水温の影響は、水温の高低によって大きく

異なり、この期間中の半旬平均水温が最高 24~25°C、最低 20~21°C では殆んど影響は見られないが、半旬平均水温が最高最低ともにこれより 2~3°C 低くなると、不稔粒が非常に多くなり、収量を大きく低下させる。

活着後、幼穂形成期までの分けつ期間中の冷水灌漑は草丈の伸長、分けつの発生を抑制し、非常に生長を遅延させる結果、出穂をおくらせ収量を低下させるが、その被害程度は冷水が灌漑される期間が長い程大きく、水温が低い程大きくなる。(第 12 図参照)

漏水による冷水害が漏水田地帯の低収量の大きな原因となっていることは既に述べたところであり、また、前項で冷水の被害を見て来たが、生育時期別に低水温の影響を調べても、稲れの生育期間から幼穂形成、出穂開花期までの長期にわたって冷水の障害があらわれるので、これを防止するために水温を高める有効な方途を構じなければならない。

V. 水稻冷害の防止対策

1. 昼間止め水栽培法による冷害防止

A. 昼間止め水灌漑が地水温にあたる影響

本県における冷害常習地は漏水田地帯である。漏水田における稲作冷害の現象形態は、冷水掛流し灌漑(掛越し押水)による低水温が他の諸条件を最も強く規制し、生育遅延型としてあらわれることは既に述べた。このような地帯での冷害対策としては第 1 義的に水温上昇の方法が問題となるが、実際には農家で実施している対策で有効なものは皆無に近い状態であった。

遠野試験地では昭和 29 年以来冷害対策試験を実施して来たが、水温上昇の方法として昼間止水夜間灌漑(昼間止水又は昼止とよぶ)が効果的であることがわかった。以下昼間止水灌漑は水田の地水温にどのような影響を与えるかをその調査結果について述べる。

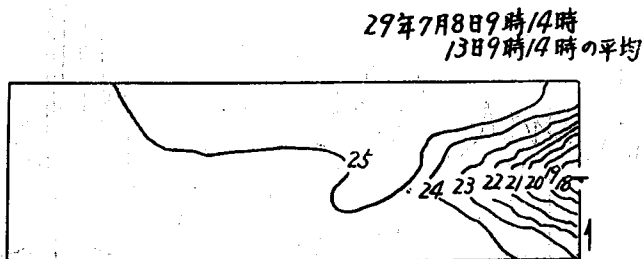
a. 試験結果

i. 掛流し水田内の水温上昇機構

漏水田地帯の慣行である掛越しの押水灌漑(掛流しと呼ぶ)のもとでは、水田の地水温はど

のような上昇機構を示すかを明らかにするため水温分布、日射量及び日照時間と水温との相互関係について調査した。第13図は5aの水田に1.5~2l/secの水を掛流したときの水温分布(9時~14時)を示したものであるが、これによると水温分布は水口から水尻にかけて段階的に高く、灌漑面積の3%近い水口部分には水温上昇がみられず、水路水温と同じであるが、15%位のところから急に水温は上昇し、水尻にかけて平衡水温に達する。

第13図 カケ流し水田内水温分布図



第31表は掛流し田の最高温度の比較をみたものである。水口部分では水路水温と殆んど変わりなく、気温よりも全般に低い。水尻部分では気温より全般に高く、7~8月30°C以上に達している。

第31表 掛流し田における最高温度の比較

次に日射量と水田水温(5aに対して2l/sec流入し、水口から25m奥で観測)との日変化をみたのが第14図であるが、水田水温は日射量の変化にもなまって上下し日射量の多い11~16時にかけて最高になる。第32表第15図は5月17~30日(1956)年までの13日間調査した結果について、日射量と水温との相関をみたものである。この結果によっても日射と水温の間には高い相関が認められる。

月	日	気 温 (°C)	水 温 (°C)		
			水 路	水 口	水 尻
6.	10	14.7	14.9	14.5	21.5
	20	23.2	18.9	18.5	31.9
	30	23.5	18.3	18.5	27.9
7.	10	20.3	17.5	18.0	22.8
	19	24.0	20.0	20.0	27.2
	30	30.9	24.0	24.0	33.5
8.	9	21.3	19.7	19.9	30.0
	20	20.9	19.0	19.0	28.0
	30	24.8	19.2	19.0	27.0

注：水口水温は水口0.5aのところで観測
流入量 2l/sec 調査 1957年

日照(ジョルダン日照計による)と水温の関係をみたのが第14図であるが水田水温は晴れている間は上昇し曇ると直ぐに下降して日照状態に敏感に反応する。しかし、水路水温は水田水温程日照状態には敏感でなく、全般に低めに経過し、最高水温に到達する時刻も水田水温よりおくれる。

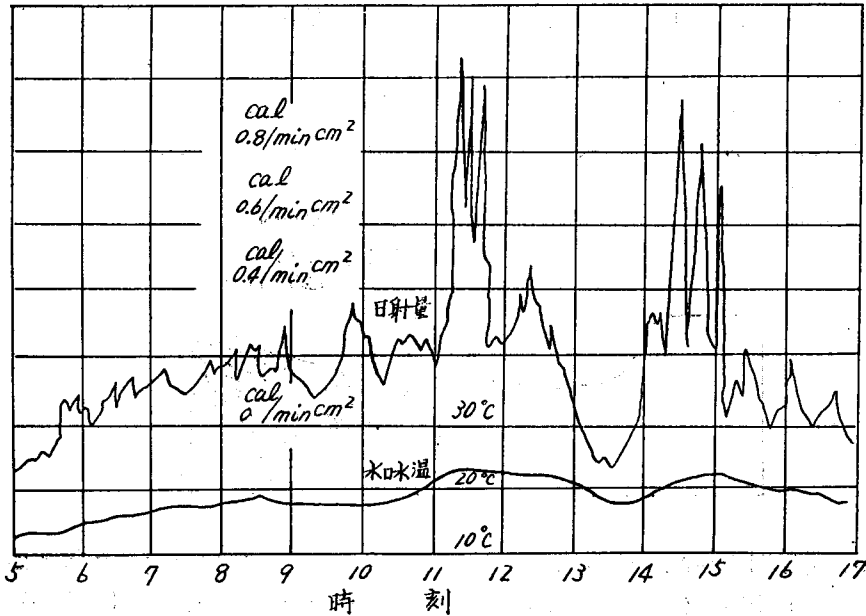
以上のように最高の日照条件下においても冷水掛流し灌漑(流水状態)のもとでは、水田内の水口部分では気温より全般に高く水温の上昇がみられる。これが冷水掛流し灌漑条件下における水田水温上昇機構の特殊的傾向である。

以上の諸結果は冷水害にとっては灌漑水温の低さより、灌漑後の水温上昇如何が重要なことを物語っているが、冷水害防止対策樹立にあたっては特にこの点に留意する必要がある。

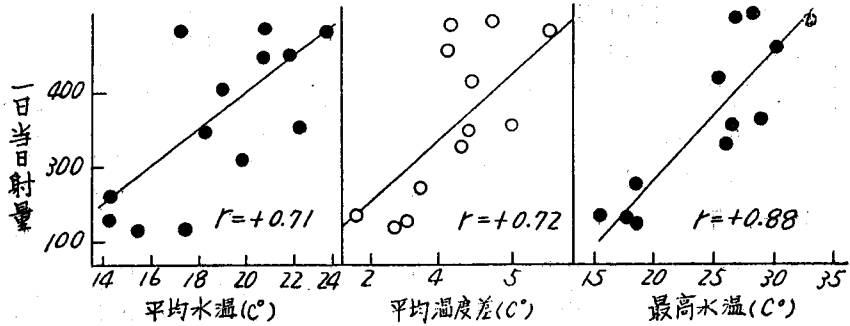
ii 昼止灌漑と水田内地水温の変動

前述のように掛流し灌漑して灌漑水が流水状態にあると水口部分では水温上昇はみられなかった。そこで漏水田においても減水現象にかゝりなく、日中灌漑を止めて灌漑水を静止状態に置くなれば、水口、水尻の別なく水温の均一な分布や上昇が得られるのではないかと考え昼

第 14 図 日射量および水田水温の日変化 (調査昭 31.6.11)



第 15 図 日射量と水田水温との関係 (昭 32.5)



註 日射量=cal/day cm²
 平均水温 日出より日没に至る 15 時間の積算水温 ÷ 15 時間
 平均温度差 (水田水温-水路水温)の日出より日没に至る 15 時間の積算 ÷ 15 時間
 灌漑法は袋水, 日射量の測定は農試電子式日射計及三新工業社製マイクロコーダ
 使用

第 32 表 日射量と水田水温との関係

項目	調査月日												
	17/v	18	19	20	21	22	23	24	25	26	28	29	30
日射量 (cal/day cm ²) (°C)	656	381	123	579	586	322	386	151	226	498	660	637	130
平均水温 (°C)	17.5	18.5	15.7	2.14	22.3	20.2	22.7	14.0	14.2	19.2	21.4	24.1	17.6
平均温度差	4.6	5.0	2.9	4.4	4.5	4.8	6.2	1.7	3.5	5.0	5.7	7.4	3.2
最高水温	27.2	27.0	18.8	30.8	30.6	26.6	29.2	16.0	19.0	25.7	28.5	33.3	18.5

註 水温の測定 — 電子管式記録温度計 (横川製 E R 型 6 点式)
 日射量の測定 — 農試電子式日射計マイクロコーダ (三新工業社製)

間止水、夜間掛流し灌漑（昼止灌漑）を実施し、その昇温効果を調査した。以下その調査結果について略述する。

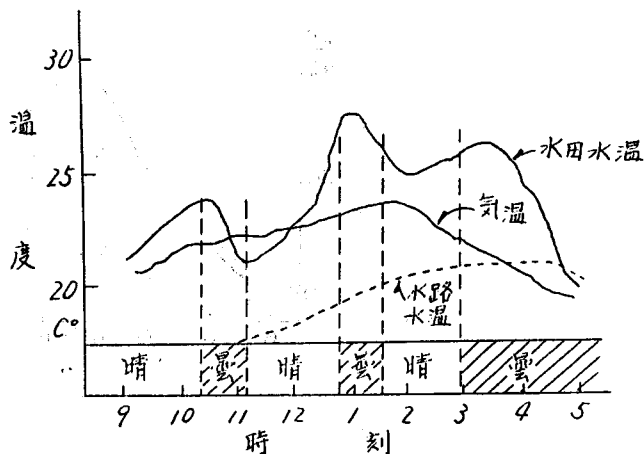
① 地水温の日変化

昼間灌漑法は日中日の出前に灌漑を止め漏水による減水にかゝりなく放置して、地水温を上昇せしめ（減水深 10~20cm/day）日没後再び灌漑して翌朝迄掛流し灌漑を行う方法である。昼止灌漑処理区と掛流し灌漑処理区とについて地水温の日変化を比較したのが、

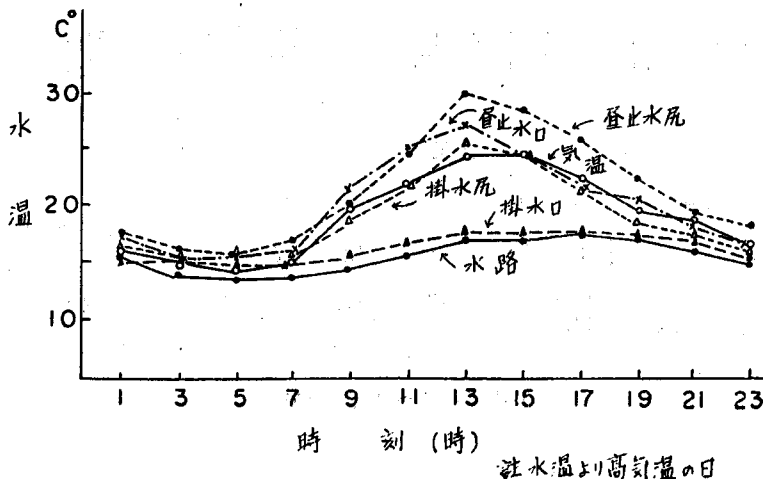
第 17, 18, 19 図、第 32 表である。第 17 図は水温より気温の高い日について、第 18 図は特に水口部分について、第 19 図は水温より低気温の日について、各々地水温の日変化をみたものであるが、これをみても明らかなように、日中の止水時間中は高気温の日では昼止処理区が掛流し区に比して水口、水尻共に高めに経過し、水口部分では特に顕著である。また低気温の日では掛流し区の水尻水口よりも高めで昼止区の放熱が多いことがわかるが、水口部分では、何れも昼止区がまさっている。夜間、日没後灌漑用水温の影響下に入るため、昼止区の地水温も下降し掛流し区に接近し、同じ位か、少々高めに経過し温度の持続効果が見られる。第 33 表によって 1 週間の測定結果の平均値についてみると、最高水温では水口部分で 10.6°C 水尻部分で 3.7°C、それぞれ止水区が掛流し区より高く、昼止灌漑の昇温効果が優れていることをうらづけている。

昼間処理を実施すると漏水程度によっては夜間の掛流し処理開始以前に減水によって田の地表面が裸出する。それ以後は直接地表面が日射の影響を受けることになる。そこで落水処理区と、昼止処理区とでは地温にどれだけの差があるか地表直下の地温の変化をみたのが第 34 表である。これによると日中昼止区と落水区が掛流し区に比して当然高くなっているが、昼止め

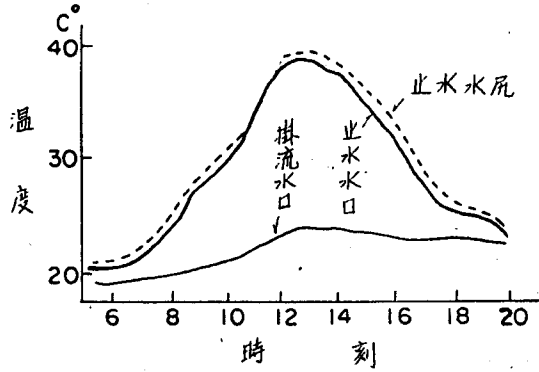
第 16 図 日照と水温との関係 (昭 30.7.24)



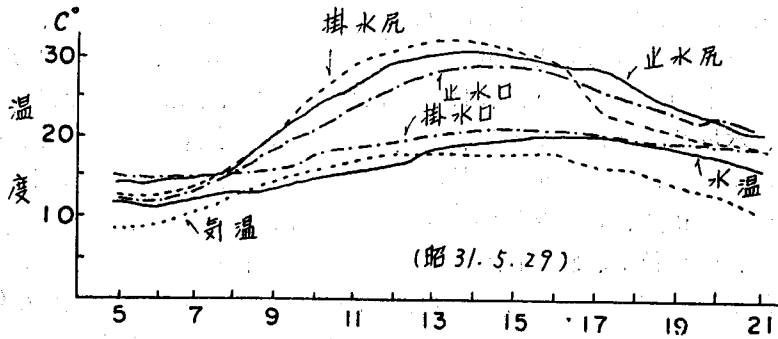
第 17 図 水温の日変化の比較 (昭 31.6.6)



第 18 図 水口水温の日変化 (昭 30.8.9)



第 19 図 気温の低い日の水温日変化



註: 水温より低気温の日

第 33 表 時刻別水温推移 (昭 30.18~24) 平均

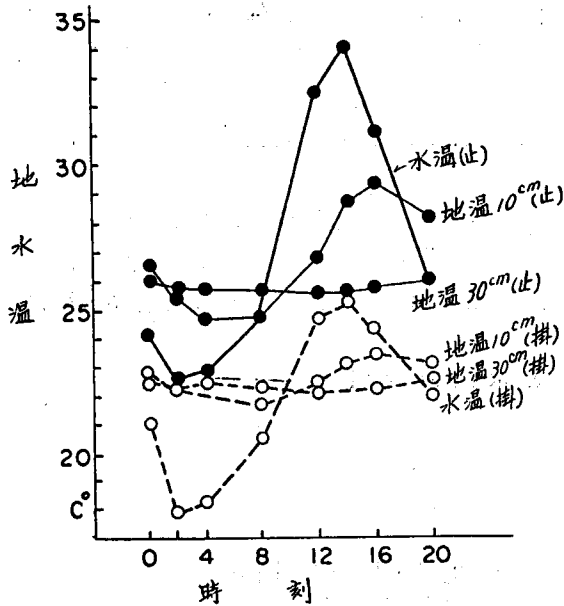
試験区別	測定場所	時刻別水温 C°							最高水温	最低水温
		0	4	8	12	16	20			
止水	水尻	19.9	19.0	21.4	33.5	28.8	21.9	35.3	18.8	
		21.7	20.5	22.6	33.0	29.5	23.5	35.0	20.5	
掛流し	水尻	19.4	18.4	19.8	23.7	23.9	20.9	24.7	18.2	
		20.7	19.6	22.9	29.9	28.2	23.2	31.3	19.4	

第 34 表 灌漑法と地表直下の地温

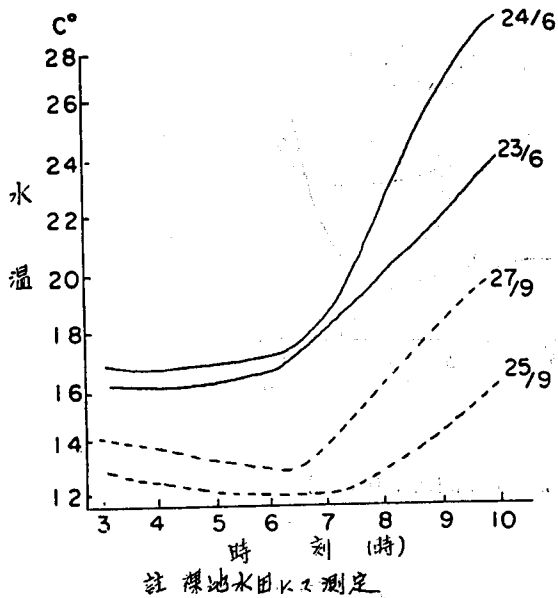
灌漑法の種類	時刻	気 温 (°C)						最高地温	最低地温
		0	4	8	12	16	20		
昼間 掛流し	止水	16.5	14.6	17.8	27.3	26.0	20.4	28.2°C	14.2°C
	水尻	14.1	12.4	21.1	27.8	22.7	17.1		
	水尻	14.8	13.3	15.5	19.6	20.3	17.3		

(昭 30.6.1 ~ 10日平均)

第 20 図 地水温の相互関係 (昭 30.7)



第 21 図 夜間止水した場合の水田水温の上昇時間 (昭 30)



次に夜間の掛流し処理時刻についてであるが、これについては第 17, 19 図によって明らかにされたとおり昼止区の水田内地水温が放熱によって水路水温に近くなる時刻は、17時以後であり最も近づくのが 23 時以後になる。温度の持続効果の点からみると、掛流し処理を開始する時刻は遅い程よいことになるが、実質的には、日没後であれば持続効果についてはさほど問題にする必要はないと思われる。

以上の結果からみて、処理時刻は止水処理の場合日の出前後 7 時頃迄の間に、夜間の掛流し処理は日没後からならどの時刻でもよいと言える。

区と落水区とでは比熱の関係で、落水区が昼止区に比して最高地温は少々高く最低地温は低い、落水区は昼止区より地温の上昇も急であるが低下も早い。したがって昼止区は落水区に比して地温は平均的には高く、持続時間も長い。

次に地水温の垂直分布の日変化をみると第 20 図のようになる。昼止区は水温、地温 (10cm, 30cm) 共に掛流し区に比して一般に高く経過している。両区に共通な傾向として、地層が深くなる程温度隔差も少くなり熱伝達の時差がみられる。このように地層内の地温垂直分布の面でも、昼止処理の升温効果は高いことがうかがわれる。

② 処理の時刻と時期および期間

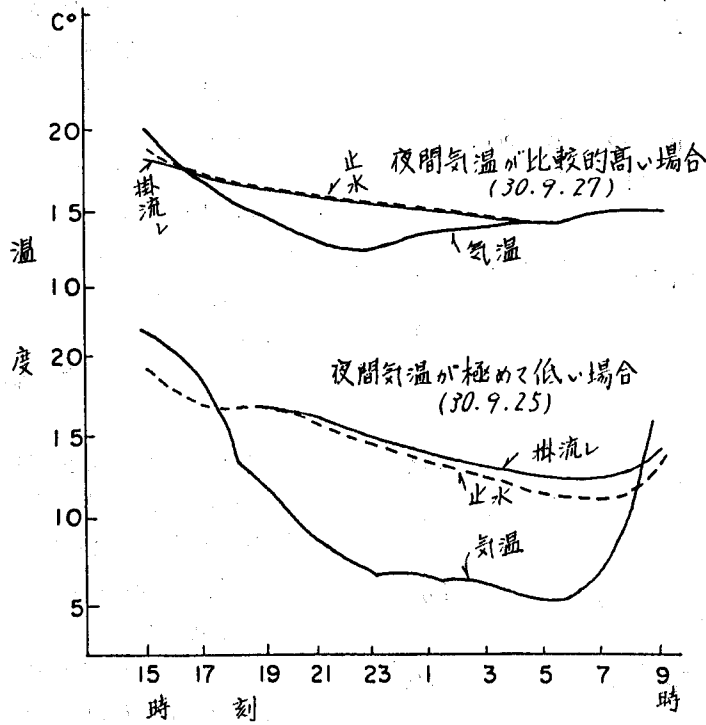
昼止灌溉処理は日中の水温上昇に効果的であることがわかったが、はたしてどの時刻に処理したらよいのか、また一方どの時期にどれだけの期間処理を続けたらよいのか、升温効果を高める上に問題になるのでこの点についての試験を行った。

処理の時刻：昼止処理が効果を現わすのは日中の日射時である。したがって朝の止水処理は当然日の出前ということになるが、それを確かめるために水田水温の上昇時刻をみた。それが第 21 図である。これによると水温上昇の時刻は 6 月下旬では、5~6 時の間で 9 月下旬では 6~7 時の間と、次第に遅くなっているが、いずれも日の出と同時に水温は上昇することを示しており、当初考えられたように、処理時刻は日の出前 5~7 時の間とすることが良いということが確認された。

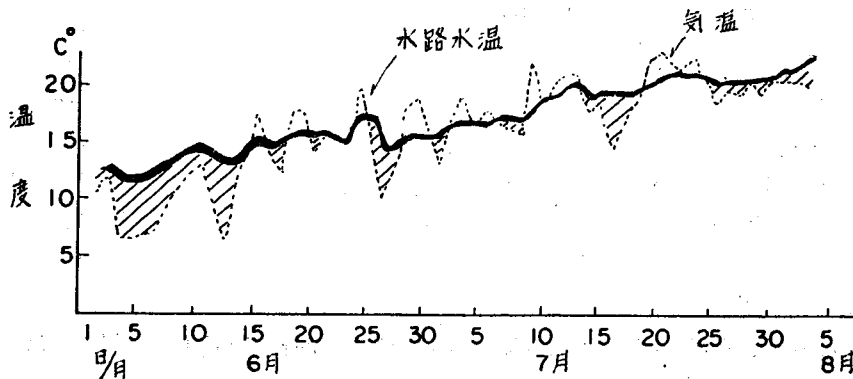
処理時期と期間： 昼間の止水処理は昇温効果をもたらすが夜間の掛流し処理は高気温、低水温の場合かえって地水温の低下を来し、昼止灌漑法が地水温の上昇、保温に逆効果をもたらすこともあると考えられるので、夜間気温と水温との関係について調査した。その結果は第22図である。これによると夜間高気温、低水温の場合は夜間掛流し処理より止水処理の温度は同じかやや高めであるが、その逆の場合、すなわち低気温、高水温の場合掛流し区が止水区より高めに経過している。

以上のように高気温、低水温の場合夜間掛流し処理はかえって本田内の地水温の低下を招くことになる。そこでこのような気象条件を示す日が処理期間中どれだけあるか、最低気温より水路の最低水温が低くなる日数を調査してみたのが第 23 図である。これをみると 6~7 月に

第 22 図 夜間気温と水温の関係



第 23 図 日別最低水温と最低気温の相関図 (昭 30)



かけての梅雨期間には最低気温より水路最低水温が低くなる日が若干見受けられるが支配的でなく、全般的には水路水温が高くなっている。以上の結果からみて昼止灌漑における夜間掛流し処理は、保温効果の働きの側面の方が大きいと言える。

次に全処理期間を通じて昼止灌漑の処理効果をみたのが、第 35 表と第 24 図である。これは水稻の生育に有効とみられる 20°C 以上が保たれた表層地温時数をみたものであるが、水口では掛流し区の 100% に対して昼止は 133~159% と昼止処理がいずれの場所でも高くなっている。また月別にみると昼止の水口では 6 月で 737% 7 月で 245% 8 月では 226% 9 月では 218% と 6 月が最も高く次第に低下している。水尻においても水口程ではないが同様の傾向を示している。以上処理結果を時期的に見れば、6~7 月間の気候的に水温の低い時期の昇温効果が高く、8 月以降の処理効果はあまり高くないが、本県のような冷水灌漑地帯では水路の水温が 20°C 以上になることは稀であるから、水稻の全成育期間を通じての処理が必要であるが、特に 6 月~7 月の処理は稲の生育相、昇温効果、水温の低さとすべての面で不可欠である。

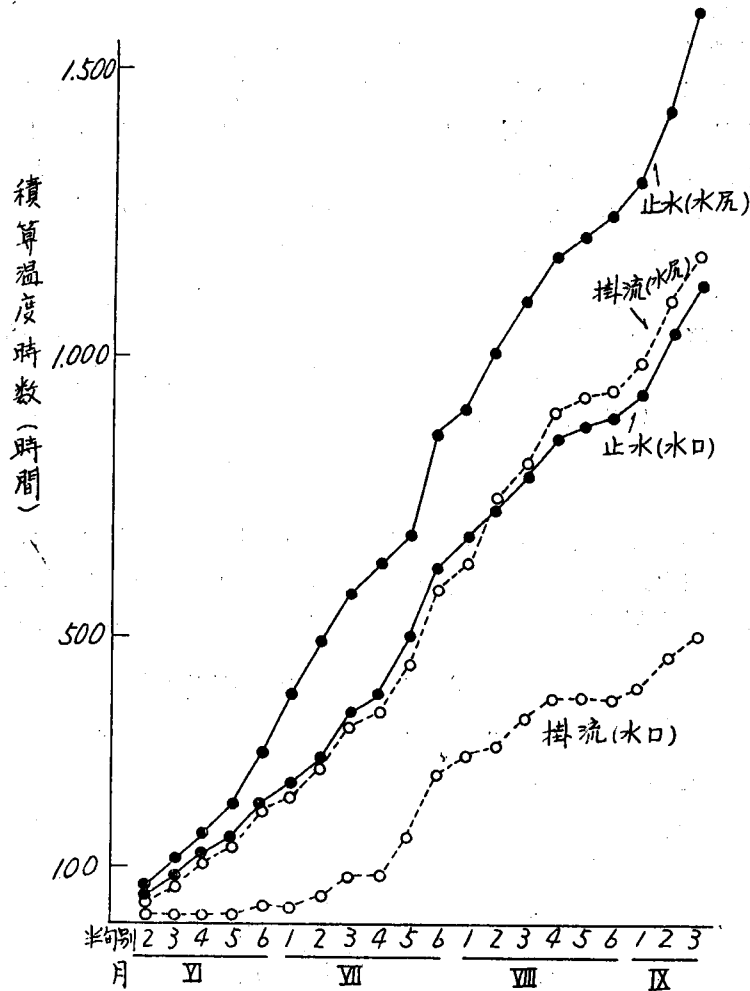
b. 考 察

昼間止水灌漑は昼間の日射によって水温が上昇する時間に低温な用水の水田内流入を止め、静水状態のもとで水田内地水温の上昇をはかり、夜間は放熱によって水田地水温が灌漑水温と同じ程度迄冷却した時刻をみはからって、掛流し灌漑する方法で太陽の輻射エネルギーを最

第 35 表 20°C 以上に保たれた表層地温時数

項 目 月 日	半 旬 別	掛 流 し				止 水			
		水 口		水 尻		水 口		水 尻	
		時 数	積 算 時 数	時 数	積 算 時 数	時 数	積 算 時 数	時 数	積 算 時 数
VI	2	5.4	5.4	30.4	30.4	41.5	41.5	57.0	57.0
	3	1.3	6.7	32.0	62.4	36.3	77.8	55.4	112.4
	4	3.3	10.0	42.0	104.4	44.0	121.8	50.4	162.8
	5	—	10.0	25.3	129.4	26.0	147.8	44.0	206.8
	6	17.0	27.0	62.0	191.4	51.4	199.2	99.0	305.8
	比率%		100		100		737		159
VII	1	—	27.0	26.3	217.7	42.3	241.5	100.3	406.1
	2	17.3	44.3	50.3	268.0	55.3	296.8	85.0	491.1
	3	35.0	79.3	71.0	339.0	77.3	374.1	97.0	588.1
	4	4.0	83.3	32.0	371.0	35.0	409.1	50.3	638.4
	5	65.3	148.6	80.3	451.3	96.3	505.4	97.3	735.7
	6	110.0	258.6	137.0	588.3	130.0	635.4	129.3	865.0
比率%		100		100		245		147	
VIII	1	37.0	295.6	48.0	636.3	48.0	683.4	48.0	913.0
	2	15.3	310.6	104.3	740.6	55.3	738.7	93.0	1006.0
	3	49.4	360.0	67.3	807.9	58.3	797.0	84.0	1090.0
	4	34.0	394.0	87.0	894.9	56.3	853.3	82.0	1172.0
	5	—	394.0	27.3	922.2	23.3	876.6	36.0	1208.0
	6	—	394.0	9.3	931.5	12.0	888.6	36.3	1244.0
比率%		100		100		226		133	
IX	1	18.0	412.0	54.0	985.5	47.0	935.6	58.3	1302.3
	2	60.0	472.0	111.3	1096.8	114.3	1049.9	120.0	1422.3
	3	42.3	514.3	79.3	1176.1	76.0	1125.9	79.0	1591.4
比率%		100		100		218		135	

第 24 図 20°C 以上に保たれた表層地温積算時数 (昭 31)



も簡便な操作によって最高度に利用しようとする方法である。

この方法は日射があるかぎり水田内地水温の上昇がみられるわけであるが、その昇温効果は日照状態によって左右され、曇天や雨天のしかも低気温の日は昼間の昇温効果も極めて低く、また夜間の掛流し処理時に高気温、低水温の場合、水田内地水温の低下もみられる。このような気象条件の日が長く続く時期や場所では、昇温効果はあまり期待できないから、操作の時期的な変更も必要であると思われるが、実際にはこのような気象条件が長く続く地域はなく、時期的に一時的にみられる現象である。したがって全体の昇温効果の面からみると問題にする程の現象ではない。

以上の昇温効果の面から昼止灌漑の適応範囲を考察するに、冷水によつて水口の青立現象の発生するいわゆる生育遅延型の冷水害地帯の冷害現象はこの方法によって完全に防止されるから、その適応範囲は広範にわたるものと思考される。

c. 要 約

i. 掛流し (掛越しの押水) 灌漑用の日中の水温分布は多様性を示し、水口部分の水温は気温より低く水温と殆んど変わらず、水温上昇がみられない。中央から水尻にかけて水温は急カ

ープで上昇し平衡水温に到達する。

しかし流水状態にあるため日射量日照状態に敏感に反応して上下し不安定である。

ii. 昼止灌漑法は昼間の止水処理時間中は、冷水の流入が止まるため、水口、水尻の別なく平均して地水温の上昇が見られる。

夜間は掛流し処理と同時に水温と殆んど同じ程度迄地水温は低下するが、吸熱量が多いため地下水の降下も緩慢である。

iii. 昼止灌漑法は掛流し灌漑条件下にある漏水田において、昼間灌漑用水流入を止め静水状態とし、夜間灌漑して掛流し状態にもどす操作を毎日繰返す方法で漏水による田面の裸出状態にかきわりなく地水温を上温せしめ得る。

iv. 全処理期間を通じて、表層地温が生育有効温度である 20°C 以上に達した積算時数は水口部分では掛流しが 51.4 時間、昼止では、112.9 時間で約 2.2 倍、水尻部分では掛流しの 117.6 時間に対して昼止が 119.1 時間で約 1.4 倍も多く、完全に水口部分の生育遅延現象が防止される。

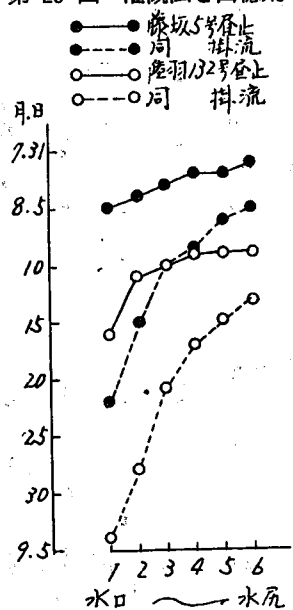
v. 処理効果を時期別にみると、気候的に水温が高く稲の繁茂による庇蔭の少ない 5, 6, 7 月の時期の昇温効果が高く、気候的水温が高く稲の繁茂により水田に到達する直射光の少なくなる 8 月頃になると効果は減少する。また夜間水温が気温より低い時期には夜間の掛流し処理は地水温の低下を招くことがあるが、時期により稀に起る現象で、全体としての昇温効果には影響はない。

vi. 処理時刻は、昼間の可照時間内に地水温の昇温効果をねらうものであるから、止水処理時刻は日出直前が最も良く夜間の流入時刻は日入り後遅い程よい。処理時間は長い程よく全期間の処理が望ましいが、中でも 5 月下旬～7 月中頃迄の低水温期間の処理は不可欠である。

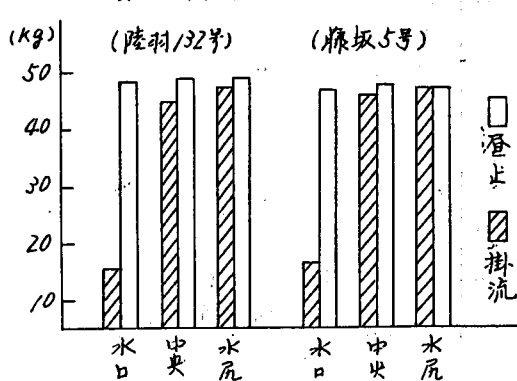
B. 昼間止水栽培が水稲の生育収量に及ぼす影響

漏水田地帯での慣行掛越し灌漑では 1 つの水口から 20~30a の水田に灌漑しているのが普通であり、多い処では 50~60a の水田に常時灌漑しているため、水口部分の稲は、草丈の伸長が抑制され、分けつの発生がおくられて後期多けつとなる。また出穂期がおくれ、不稔の発生が多

第 25 図 灌漑法と出穂期 (昭 30)



第 26 図 玄米収量 (a 当 kg)



くなり、更に充分登熟しない中に秋冷が到来するので収穫皆無になることが多い。この様な冷水の被害については、「低水温が稲の生育収量に及ぼす影響」の項で述べたところであり、また、比較区の昼間止水栽培は掛け流し区にくらべ、青立ち及び減収防止の効果顕著であることは、既に、見て来たところであるが、更に昭和 30 年の昼間止水栽培試験の結果を述べる。

a. 昼間止水栽培と掛け越し押水栽培の比較

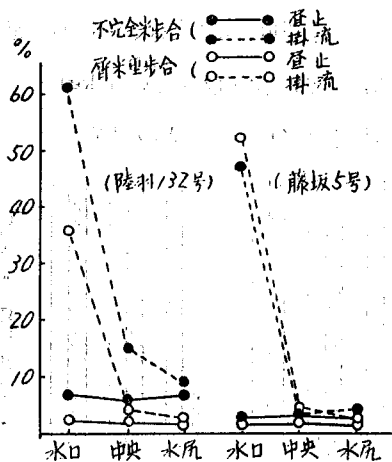
毎朝7時に止め水を行い、夕方7時に掛け流しを行なつた。水尻にくらべ出穂期はやゝおくれるが、第 26 図に示す様に、収量には差がなく、昼間止水栽培が水口の減収防止に効果のある事を如実に示している。

この試験における、掛け流し及び昼間止水の各区は、それぞれ一昼夜に 10a 当り 9万 l (減水深 9cm) 減水する水田の 1 水口灌漑面積 20a の水口田に相当するのであるが、この程度の水田に於いてさき第 25 図及び第 28 図に見られる様に、常時押し水灌漑した場合には水口の稲の草丈の伸長、分けつの発生が抑制され、出穂がおくれたために、登熟が悪く第 27 図に見られる様に屑米歩合が非常に高く、昼間止水栽培の水口にくらべ 64~67% の減収となっている。(第 26 図参照) 一般農家の水田は更に漏水量も多く 1 水口の灌漑面積の広い場合が多いのであるから、その被害は、更に大きいものとなっている。

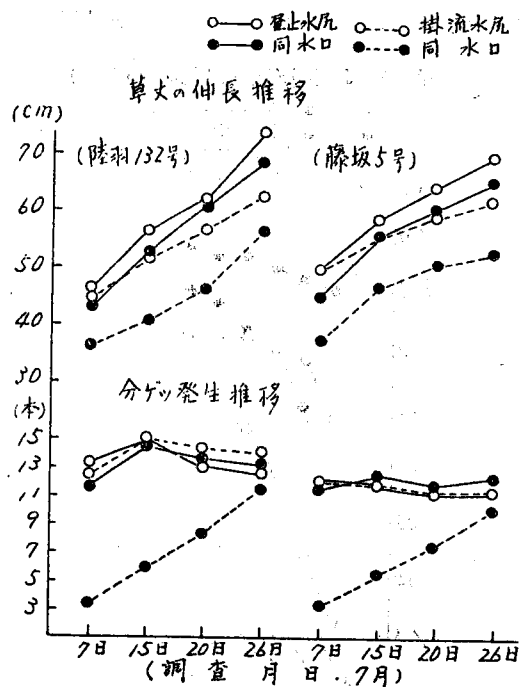
この試験の掛け流し区に於て減収の明瞭に認められたのは、第 29 図に見られる様に灌漑面積の 1/40 の 50m² にすぎなかったが、これは、昭和 30 年は稀に見る気象条件に恵まれた年であったため、第 30 図に示す様に、昭和 31 年度の試験結果までは、毎秒 2 l すなわち、1 昼夜に 10cm 減水する水田 17a に相当する水量を灌漑した場合 250m² の試験区全体にわたって冷水害が認められ、水尻まで減収を見ており、冷害的気象条件下に於ては更に被害は大きくなるので、昼間止水栽培の効果は一層顕著になるものと推察される。

b. 昼間止水栽培によって生ずる障害防止

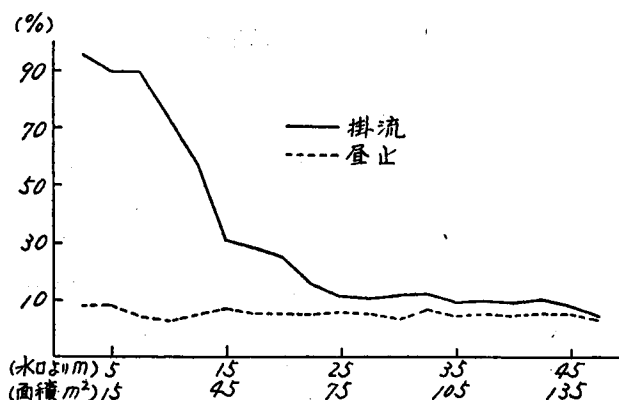
第 27 図 不完全米と屑米歩合 (昭 30)



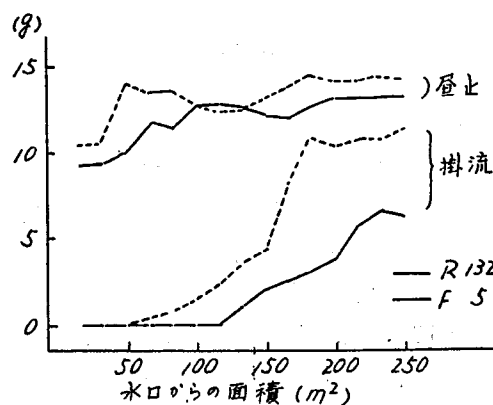
第 28 図 草丈と分けつの推移



第29図 水口からの位置と不完全米歩合の変化(昭30)



第30図 平均一株精玄米重



漏水の多い水田に於て、昼間止水栽培を行なう場合には、連日何時間か田が乾くことが考えられるし、また水利の不便なところでは、隔日灌漑を余儀なくされる場合も予想される。この様な断水状態が稲の生育収量にどのような影響をもたらすか、また障害が生ずるならば障害防止対策をたて、漏水激甚田及び水利の不便なところにまで昼間止水栽培を可能にしなければならない。この意味に於て、以下述べる諸種の試験を行なった。

i. 断水時間と稲の生育収量について

田植後の約 10 日間は、毎日平均断水時間 11 時間 30 分、その後全生育期間毎日平均 9 時間の断水を行なった場合の稲の生育収量は第 36 表のとおりであり、連日 9 時間、生育初期には 11 時間以上断水状態におかれたにもかかわらずその生育収量は常時湛水に比し、何等の障害も認められていない。

第 36 表 1 日 9 時間断水の生育と収量 (常時湛水に対する比率) — 昭31

品 種 名	草 丈			茎 数			稈 長	穂 長	穂 数	精 米 玄 量
	6.28	7.12	7.26	6.28	7.12	7.26				
陸羽 132 号	99	101	100	89	97	101	102	100	108	103
藤坂 5 号	101	100	102	100	101	100	106	102	107	103

つぎに、断水時間が更に長時間に及ぶ場合の障害の有無及び、苗の素質、施肥法など栽培条件を変えた場合の関係を明らかにするため第 37 表の施肥条件のもとに毎日 12 時間、15 時間 18 時間、断水区を設け稲の生育収量について検討した結果は第 38 表のとおりである。

第 38 表の挿秧約 1 ヶ月後の 7 月 1 日調査によれば、断水区の草丈茎数は常時

湛水区に劣り、特に保温折衷苗の 15h/day~18h/day 断水区に於て甚しいがこれは断水による活着遅延の影響である。しかし、その後の生長は常時湛水区と大差ないまでに回復し、穂数

第 37 表 試験田の施肥量 (10a 当)

肥 料 名			本試験の施肥量	遠野試験地耕種基準量
厩 肥			1,875.0 kg	1,125.0 kg
硫 安	基 追 肥	肥 肥	37.5	27.2
	基 追 穂 肥	肥 肥	15.0	—
	基 追 穂 肥	肥 肥	11.3	11.3
過 燂 塩	石 磷 加	肥 肥	37.5	42.3
		肥 肥	37.5	—
		肥 肥	15.0	11.3

及び稈長に於ては断水の影響は全く認められず、むしろ断水区の方がまさる傾向がみられる。玄米収量を見ると、保温折衷苗では断水時間の長くなるにしたがって収量が劣っているが、ビニール畑苗では 18h/day 断水で減収している以外、12h/day 及び 15h/day 断水では常時湛水との差は見られない。

保温折衷苗の断水区に於て授精時期までは、ほぼ順調な生育を示したにもかかわらず減収したのは、多肥条件のもとで登熟日数が長くなり、活着の遅れが出穂期をおくらせ、また低温及び多肥による出穂遅延の大きい晩生の陸羽 132 号を供試したため登熟するか否かの限界付近にあったために僅かの出穂遅延が収量に大きな影響を与えたため、畑苗が好結果をもたらしているのも活着が早く出穂期が早いためである。したがって昼間止水栽培を漏水激湛田で実施し 1 日 12 時間以上に及ぶ場合には、その地域の栽培可能な最晩生種より 4~5 日早生の品種を用いるのが安全であり、また発根力の旺盛な畑苗を早期に田植して出穂を早める等の操作が必要である。

第 38 表 長時間断水と稲の生育収量 (常時湛水に対する比率) 昭 32

育法 苗別	毎水 日時 断間	茎 数			穂 数	草 丈		稈 長	精玄米量	出 穂 遅延日数	青米歩合
		7月1日	7月15日	8月5日		7月1日	7月15日				
保温 折衷 苗	12	101	108	114	113	92	100	103	92	2.0 ^日	156
	15	77	92	103	101	82	97	100	77	2.5	148
	18	64	81	94	98	76	89	94	67	3.5	142
ビニ 畑 1苗	12	82	94	92	100	95	99	101	103	0	92
	15	91	100	100	104	89	102	106	98	1.5	126
	18	87	94	97	101	90	100	110	84	1.0	111

第 39 表 生育期別断水の影響 (常時湛水区比率) 昭 30

項 目	断水処理始		田植 5月30日	6月25日	幼穂形成 7月15日	出 穂 8月11日
	処 理 終		6月24日	幼穂形成 7月15日	出 穂 8月10日	落 水 9月15日
ワ	ラ	重	90	94	103	100
精	玄	重	84	93	100	101
一	米	数	93	100	102	106
穂	穎	数	94	102	101	110
穂	花	合	97	100	100	100
出	実	歩	-4.0	-0.6	-1.0	0.4
	穂	遅				
	延	延				
	日	日				
	数	数				

なお稲の生育時期別の断水の影響を第 39 表の調査結果について見ても生長初期における断水の影響が大きくあらわれている。これは施肥量が充分でなかった場合の 11h/day 断水処理による結果であるが、生長前期の断水は、活着を遅延させ出穂をおくれさせ、漏水田における断続湛水は後述する様に、窒素の流亡を増大し、また根の吸収機能に変化を与えるものと見られ、その結果生育が抑制され、特に分けつの発生を少なくし収量を低下させているので、漏水の甚しい水田では活着してから昼間止水を開始する様にし、また窒素肥料が不足しない様考慮し体系化すれば連日 15 時間程度の断水も、何等障害を起さず漏水の甚しい水田でも昼間止水栽培を実施することができる。しかし、毎日の断水時間が更に長くなる様な漏水激基田や水利の便が悪く、一たん断水すると、灌漑面積が大きいと、水尻に仲々水がまわらず、隔日灌漑を余儀なくされる様な場合、断水の障害がでる。

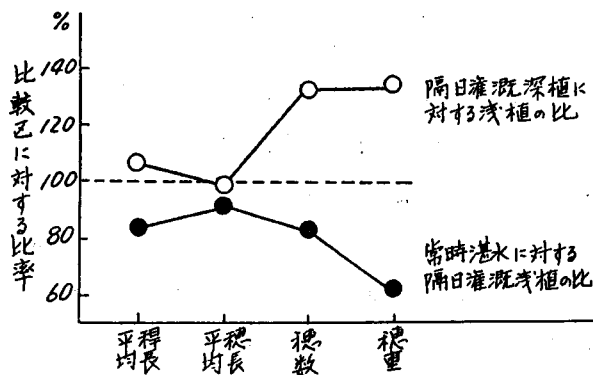
まず、長時間断水の障害は土壌固化による分けつ抑制として現れる面も強いと認められたので、浅植によってこれを回避できるかどうかを明らかにしようとした。

浅植 (2cm) と深植 (4cm) の区を設け、隔日灌漑 (48 時間中 36 時間断水) 処理を行った結果は第 31 図に示す様に隔日灌漑下における浅植は深植にくらべ穂数が多く、したがって 1 株穂重も重く、断続湛水の穂数減退策としての効果が見られる。しかしこの浅植も常時湛水にくらべると生育は劣り、穂数が減少して居り、隔日灌漑の如き長時間断水下においては浅植だけでその障害を防止し得ないが、漏水激甚田での昼間止水栽培に当っては深植にしない事が大切である。

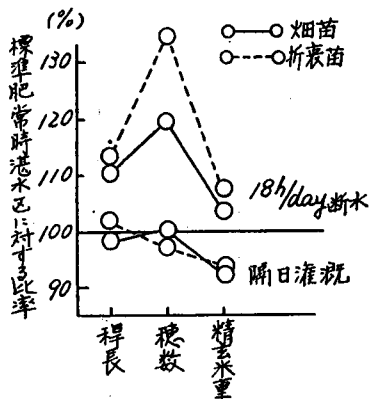
また漏水田での断続湛水は、N の流亡を増加させ、肥料不足によって断水障害を助長すると見られるので N6 割増施で断水の影響を調べてみると、第 32 図の様に、毎日 18 時間の断水でも肥料が充分であれば断水障害は防ぎ得ることがわかる。

なお穂数の減少として現れる断水障害を栽植密度の増加によって補充防止しようとして m^2 当たり 27.2 株の普通植に対し、栽植株数 6 割増加の 43.5 株植とし、隔日灌漑処理 (48 時間中 36 時間断水) を行った場合の収量比較が第 33 図である。この結果では、栽植株数 6 割の増加によって常時湛水の普通株数と同程度の収量を確保しているが株数増加の常時湛水にくらべては約 10% の減収で、隔日灌漑の如き長時間断水の障害を栽培法だけで防止することは困難な事を物語っている。

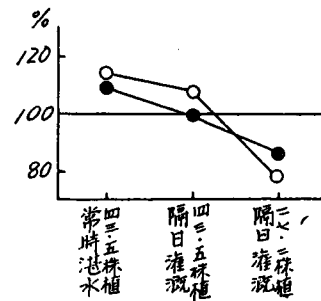
第 31 図 栽植の深浅と断水の影響 (昭 32)



第 32 図 窒素を増施した場合の断水の影響 (昭 33)



第 33 図 栽植数増加と断水の玄米収量 (常時湛水27.2株植に対する比率 昭 35)



以上の諸試験は極端な漏水田や、特に水利の不便な場所にまで昼止栽培を実施するために行ったものであるが、この結果から連日 15 時間以内の状態です断水障害を防ぎ得る事を確認した。したがって、7時から 19 時までの 12 時間止め水するとして、15cm/day 程度の漏水田では 9cm の水を張っておけば湛水時間は 15 時間であり、問題なく昼止めは実施できるし、20cm/day の漏水激甚田では湛水時間が 11 時間であるから、1 水口の 灌漑面積が大きくなれば、5 時間以上断水されることなく、充分昼止栽培ができる。現実的には漏水が 20cm/day 以上に及ぶ様な水田は稀であり、殆どどの漏水田で昼間止水栽培の実施は可能であるが、昼間止水栽培を行うに当って問題となるのは灌漑水量である。昼止めの普及によって夜間の灌漑水量が増すために、用水不足を起している場所もある。昼間止水栽培を実施するには灌排水を自由に行える事が絶対必要な条件であるから、用水の不足する場所においては用水施設の整備改修が必要である。岩手においては水源水量は豊富なところが多く、用水施設の整備が比較的容易な条件にある事は幸であるが、地域により河川によっては水源水量に余裕のないところもあり、また用水施設の整備をやらないでも、昼間止水栽培を広汎に行うためには漏水田における漏水防止は重要な課題である。

c. 漏水防止対策

目 的

当地方の冷害が冷水害を主として現れ、これが水漏りを補うための常時灌漑に起因する以上は漏水防止も一つの冷害対策と言えよう。漏水を完全に止めることは稲の生育に害を与えることは勿論であるが、一昼夜に 4~5cm 程度まで漏水を減少せしめ得れば、相当の水利の不便な個所まで止水栽培の実施が可能となり、冷水害は防ぎ得る。

本試験は青刈ライ麦鋤込み、ベントナイト施用、代かき増加等による漏水防止効果を明らか

第 40 表 試 験 設 計

項 目 区 別	10a 当現物施用量 (kg)				試 験 年 次			
	押 水		掛 流 し		30 年 度		31 年 度	
	ライ麦	厩 肥	ライ麦	厩 肥	押	掛	押	掛
1. ライ麦鋤込み区	750	375	750	375	0	—	0	0
2. 標 準 区	—	1125	—	1125	0	—	0	0

註 31 年度水温 2 条件 (押水・掛流し) 区制及び面積 1 区 24m² 3 連制 乱塊法

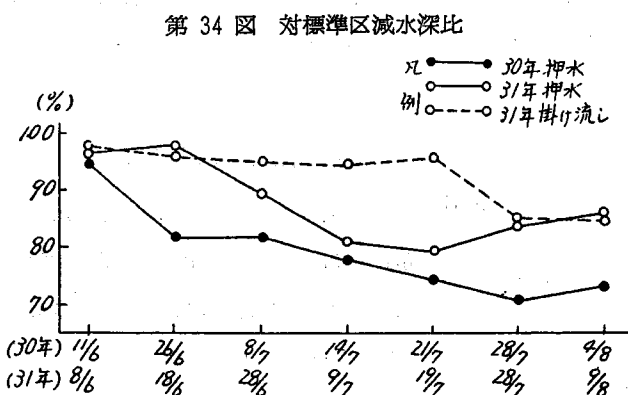
第 41 表 対 標 準 区 減 水 深 比

年 度		30 年 度		年 度		31 年 度			
期 日	灌 漑 法 区 番	押	水	期 日	灌 漑 法 区 番	押	水	掛 け 流 し	
		1	2			1	2	1	2
6 月	11 日	94.6	100	6 月	8 日	96.5	100	97.2	100
	6 月	26	81.8			100	6 月	18	97.9
7 月	8	82.1	100	7 月	9	81.1	100	94.3	100
	7 月	14	77.8			100	7 月	19	79.2
7 月	21	74.1	100	7 月	28	83.8	100	84.3	100
	7 月	28	70.4			100	8 月	9	85.8

にしようとして行った。なお、ペントナイトについては漏水防止効果とともに農家の資金操作の上からも大切な時続効果の確認と合せて検討した。

i. ライ麦鋤込みによる結果

第 41 表及び第 34 図に示した様に、標準区とライ麦鋤込み区とを比較すれば押水区に於て



は6月28日頃より漏水防止効果が現れ、7月20日頃には20~25%の減少を見ている。掛流し区においても減水深の減少は認められるが効果の発現が袋水区にくらべ約20日おくらせているところに特徴がある。このことは地水温の高かった袋水区においてライ麦の分解が早かったためと考えられ、第 42 表及び第 35 図に示したライ麦鋤込み区の窒素飢餓を起した

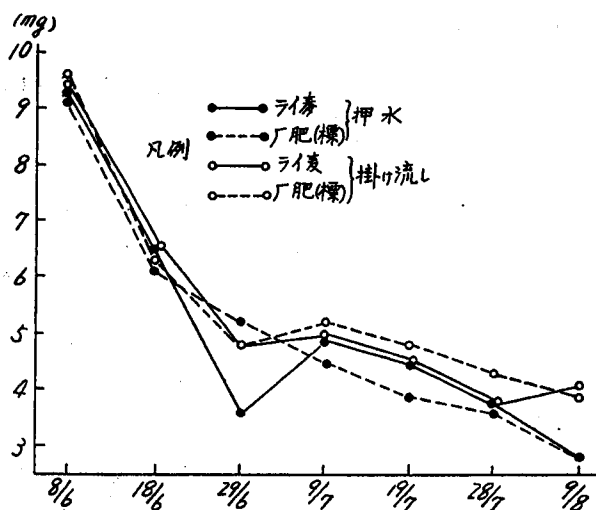
時期と漏水防止効果の現れる時期が一致しているのもこれを裏付けるものの様である。

第 42 表及び第 35 図は土壌に含まれる $\text{NH}_4\text{-N}$ の追跡であるが特徴的なのは押水区に於てライ麦を鋤込んだ区が6月29日の調査に於て急激に減少している点である。これはライ麦の分解に関係した微生物が無機体の窒素を消費したためと考えられ、この頃には稲の葉色があ

第 35 図 土壌中 $\text{NH}_4\text{-N}$ の消長 (昭31)

第 42 表 土壌中 $\text{NH}_4\text{-N}$ の消長 (31年度)

項目	乾土 100g 当 $\text{NH}_4\text{-N}$ mg							
	8/6	18/6	29/6	9/7	19/7	28/7	9/8	
押水	1	9.3	6.5	3.6	4.9	4.5	3.8	2.8
	2	9.1	6.1	5.2	4.5	3.9	3.6	2.8
掛け流し	1	9.4	6.5	4.8	5.0	4.5	3.8	4.1
	2	9.6	6.3	4.8	5.2	4.8	4.3	3.9



第 43 表 試験設計

項目	ペントナイト 施用の有無				アール当 (kg)	
	31年	32	33	34	厩肥	ペントナイト
1, ペントナイト施用区	○	×	×	×	112.5	71.4
2, 標準区	×	×	×	×	112.5	—

区制及び面積 1区 24m² 3 連制乱塊法

せ窒素飢餓の状態を呈したが、ライ麦を施用しなかった標準区にはこの傾向が認められなかった。また7月9日以降に於ては逆にライ麦鋤込み区の $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量が多い傾向を示しているが、これは窒素飢餓を起した時期に溶脱量及び作物に吸収された量が共に少なかったためと考えられる。

以上のことからライ麦は効果も少なくしかもその発現が遅く、冷害年次の低水温下では特にその傾向を現わすので最も重要な稲の生育初期に間に合わず漏水防止法としては実用性は少ないと考えられる。

ii. ベントナイト施用による結果

第 44 表及び第 36 図に示した様に、31年度における試験結果によればベントナイト、アール当り 71.4kg 施用した場合6月初旬に 20% その後6月中旬以降に 40~45% の漏水防止効果を示した。このベントナイトは 32 年に於てもなお 19~25% の持続効果が認められたが、しかし施用 3~4 年経過の 33 年度及び 34 年度に於ては 10% 前後に減少しベントナイトの効果は認められない。

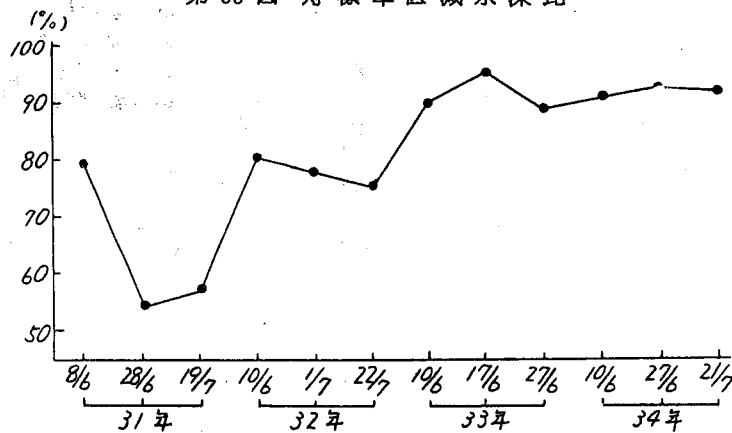
第 45 表及び第 37 図に示した様に、塩基置換容量の増大効果及び $\text{NH}_4\text{-N}$ の残存傾向は漏水防止効果同様の傾向であるが、僅かながら塩基置換容量の持続効果が漏水防止効果より下回る様である。

第 44 表 対標準区減水深比

区番	31 年度			32 年度		
	8/6	28/6	19/7	10/6	1/7	22/7
1	79.0	54.8	57.6	81.2	78.7	75.4
2	100	100	100	100	100	100

区番	33 年度			34 年度		
	10/6	17/6	27/6	10/6	27/6	21/7
1	90.0	95.5	89.2	91.5	93.3	92.4
2	100	100	100	100	100	100

第 36 図 対標準区減水深比

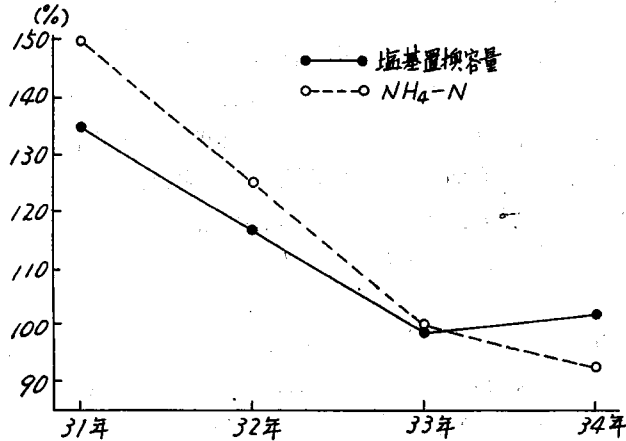


第 45 表 塩基置換容量及び $\text{NH}_4\text{-N}$ 含有量の対標準比

項目	31 年		32 年		33 年		34 年	
	塩基置換容量	$\text{NH}_4\text{-N}$	塩基置換容量	$\text{NH}_4\text{-N}$	塩基置換容量	$\text{NH}_4\text{-N}$	塩基置換容量	$\text{NH}_4\text{-N}$
1	135	150	117	125	99	100	102	93
2	100	100	100	100	100	100	100	100

註 収穂跡地土壌について調査した (各年共)

第 37 図 塩基置換容量及び $\text{NH}_4\text{-N}$ 含有量の対標準比



以上の結果から考えてベントナイトはライ麦のように地水温に左右されることなく、発効も早く理想的と思われるが、年次の経過（3年め）と共に失効するので、現在の価格ではコストの点に問題がある。

iii. 代かき増加による結果

代かきの強化によって漏水を防止し得る事は、昭和 27~28 年の試験結果確認したところであり、砂質の漏水田では、代かきを強化して漏水を防止しても土壌が極端に還元状態にならず、また耐水性団粒についても普通代かきと倍代かきには差がなく、したがって、稲の生育に障害を及ぼす事もなく、むしろ肥料の流亡をおさえ、収量を増加できることを確めているが本項では省略する。

第 46 表は、田植輪換栽培試験の中で、返換田の漏水激化を代かきの強化によって防止しようとして昭和 29 年に行なった試験の結果であるが、普通代かきに対し、倍代かきの漏水減少率をみると、普通連作田では 45~15%、返換田では 30~17% であり青刈ライ麦鋤込みの漏水減少率 30~10% に比べて勝り、ベントナイト施用初年めの漏水減少率 45~20% に匹敵する効果を示している。

以上要するに、漏水防止は冷害防止に直結する問題であり、恒久的な冷害対策は客土その他による漏水田の改造である。しかし、資金の点でこれを行なえない農家が多い現状の中で簡単でしかも多くの農家の実施可能な漏水防止法を探究して来たのであるが、青刈ライ麦の鋤込みによる漏水防止効果の発現は代かき後 30~40 日以降となり漏水量の多い代かき直後に効果が現れない上に、活着後の窒素飢餓及び、その結果としての肥料のおそぎきによる冷害の危険性

第 46 表 代かきの強化と漏水防止効果

代かき後日数 調査月日 (日/月)		直 後 31/5	10日 9/6	20日 19/6	40日 9/7
減水 深 cm/day	連作田	普通代かき 4.8	8.8	5.6	7.2
	返換田	普通代かき 10.8	13.6	10.8	8.4
		倍代かき 4.8	4.8	4.8	4.8
		普通代かき 14.8	11.2	7.6	6.8
		倍代かき 10.8	11.2	7.6	6.8
普通代かき対 漏水減少率		連作田 27.0	45.5	14.3	33.3
		返換田 27.0	17.6	29.3	19.1

を伴い、また、ペントナイトは経費が高く、年々効果が減退するために実用化されていない。したがって、代かきを強化して漏水を防止する方法は、代かき労力を増大するが、一般農家の行える漏水防止法として、漏水田を持つ農家は意識的にこの方法を行なって来ている。特に機械力による代かきは省力の上からは勿論漏水防止効果の上からも推奨すべきことと考える。上記程度の漏水防止効果も漏水激甚田及び水利の悪い地域で昼止灌漑を行なう場合の断水による障害防止上極めて有効で、この灌漑法の適用範囲を更に拡大し得ることは論をまたない。

C. 昼間止水灌漑が水田土壌の理化学性に及ぼす影響

a. 化学的性質についての調査結果

目的

本研究は昼間止水灌漑により水田水温が上昇し、冷水害を防止する場合に慣行灌漑法に比較して窒素欠乏症状を起し易く、特に漏水により地表を露出する場合にこの傾向が激しいように観察されたので、この点を究明し対策を得るために行った。

i. 夜間掛け流し昼間止水栽培試験供試圃に於ける窒素肥料の変化について

区別

掛け流し区、昼夜共に掛け流す。

止め水区、朝水口水尻共に止め夕方水口水尻共に開き掛け流す。

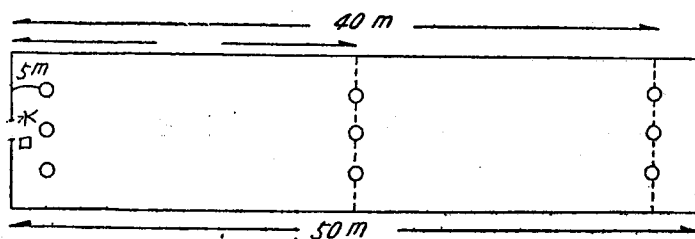
落水区、朝水口を止め落水し夕方水口を開き掛け流す。

第 47 表 夜間掛け流し昼間止水栽培による冷害防止試験田の各試験区における土壌中の NH₄-N 含有量の比較

処理区名 調査期日		乾土 100g 当 NH ₄ -N 含有量			備 考
		掛 け 流 し	落 水	止 水	
追肥区	6月1日	10.0 mg	9.8 mg	10.0 mg	各処理区共 A. B. C 3区平均 mg 量。 追肥条件は 7月13日 10a 当 10a 当 7.5 kg 追肥
	6月28日	5.6	5.3	6.4	
	7月11日	1.7	1.3	1.2	
	7月20日	2.3	2.1	2.3	
	7月26日	1.9	1.6	1.5	
	8月10日	1.3	1.1	1.1	
無追肥区	6月1日	11.0	10.5	10.6	
	6月28日	5.2	5.2	5.8	
	7月11日	1.6	1.2	1.2	
	7月20日	1.5	1.0	1.0	
	7月26日	1.0	0.8	0.8	
	8月10日	0.7	0.4	0.5	

註 土壌採取は各処理共 1.0cm~17.0cm 層、基肥 10a 当 22.5kg 堆肥 1125.0kg 基肥 5月25日施用 5月28日代掻、分析は蒸溜法による。

第 38 図 土壌採取圃場略図



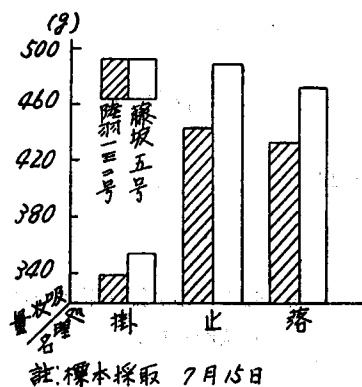
註 /区につき丸印の箇所から土壌を採取混合して分析に供す。

第 47 表は夜間掛流し昼間止水栽培試験田土壌における $\text{NH}_4\text{-N}$ の含有量を示したものであるが、田植当日、基肥施用後 7 日め、代かき後 3 日めに於ては各試験区共乾土 100g 中に 10 mg 前後の $\text{NH}_4\text{-N}$ を含んでいたものが約 40 日後には 1.6~1.2mg に減少し、止め水区と落水区に於ては幼穂形成期以前に既に葉色が目立って黄味を帯びるに至った。なお、7 月 13 日に抽出した標本につき分析した結果より見れば稲の吸収した窒素量は第 39 図の様に $\text{NH}_4\text{-N}$ として 500g 未滿であり、10a 当 22.5kg 施用した硫酸が前記の様に急激に減少した原因を稲の吸収によるものとは認め難い。なお、第 48 表に示した様に 5 月 27 日より 6 月未日に至る間灌漑用水中に含まれていた $\text{NH}_4\text{-N}$ の量は平均 100.000ℓ 中 17.0g に達し、供試圃場の漏水量が一昼夜約 100.000ℓ であるから、田植後 1 ヶ月間に用水と共に土壌に供給された $\text{NH}_4\text{-N}$ は 10a 当 $\text{NH}_4\text{-N}$ として 500g に達するものと推察される。したがって土壌中の $\text{NH}_4\text{-N}$ の急激な減少は脱窒或いは流亡等により失われるものと考えられる。

脱窒については漏水が多く還元電位が高く水温も又低い。所謂「わく」現象の認められない供試田に於ては極めて少ないものと想像されるので恐らく流亡によるものと考えられた。

なお、第 47 表によって明らかな如く各試験区とも窒素質肥料の減少は急激であるが、追肥及び基肥条件とも掛流しにおいて残存窒素の多いことが特徴的で、第 40 図に示した様に収穫

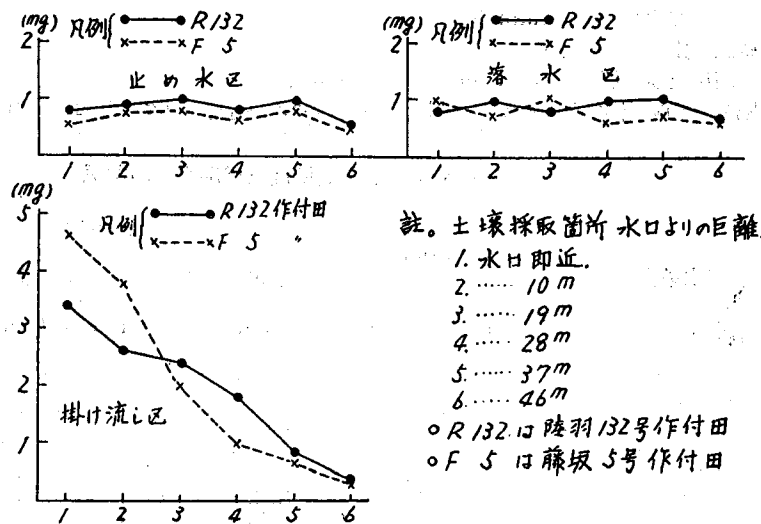
第 39 図 10a 当 $\text{NH}_4\text{-N}$ 吸収量品種間差異



第 48 表 灌漑用水中に含まれる $\text{NH}_4\text{-N}$ 量の変化

調査期日	濃度 PPM	10 万ℓ 中溶存量 $\text{NH}_4\text{-N}$ (g)
5 月 20 日	0.123	12.3
	0.167	16.7
6 月 5 日	0.176	17.6
	0.216	21.6
	0.186	18.6
	0.119	11.9
7 月 10 日	0.102	10.2
	0.027	2.7
	0.014	1.4

第 40 図 夜間掛け流し昼間止水栽培による冷害防止試験田跡地に於ける残存 $\text{NH}_4\text{-N}$ 量の比較 ($\text{NH}_4\text{-N}$ mg/乾土 100g)



後の土壌分析に於ては、止め水栽培及び落水栽培区に於て乾土 100g 中の $\text{NH}_4\text{-N}$ が 1mg に達しないに拘らず掛流し栽培の水口に於ては 3.5~4.5mg の $\text{NH}_4\text{-N}$ を残し、しかも水口より水尻に近づくにつれてその量が減少していることより考え窒素肥料の流亡は水温と関係があるのではないかと推察される。最も低水温条件下に置かれた水口部分では有機質分解が遅れたため、後期の N 含有量が多かったものと考えられるが、この点については後に考察するが、いずれにしても掛流し栽培の水口と水尻に於ける総収量に大差がない所から考えると、稲の吸収量の差によるものでないことはほぼ確実である。

ii. 漏水量の多少と肥料流亡に関する調査 (ライシメーター使用)

調査方法の概要

詰込み土壌及び詰込み方法

表土及び心土には試験地の水田土壌 (沖積層、腐植に頗る富む微砂質壤土) を用いた。

なお、詰込方法は下図のとおりである。

第 47 表に示した様に $\text{NH}_4\text{-N}$ として漏水と共に流亡する窒素の量は漏水量の多い場合に大きく、代かき後 10 日めに当る 6 月 26 日には 0.9cm/h の漏水区で 3.3m^2 当 7.7mg/h、すなわち、10a 当り一昼夜に 55g に達する $\text{NH}_4\text{-N}$ が流亡する計算となる。

しかし漏水中に含まれる $\text{NH}_4\text{-N}$ の濃度は漏水の少ない区で高く、流亡量は漏水量に比例はしない。なお、日時の経過と共に漏水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ の濃度は減少しているがこれは土壌中に残存する窒素量の減少によるもので当然と考えられる。いずれにしても多量の窒素が NH_4 態のまま地下に流亡する事実は重大で、これは供試土壌のカチオン吸着力が弱いためではない

第 41 図 ライシメーター土層断面図

表	土	} 15cm
心	土	
	砂	} 9cm
小 礫 (直径 1cm 内外)		
中 礫 (直径 3cm 内外)		} 9cm
大 礫 (直径 5cm 内外)		
		} 12cm

註 漏水量の調節は下部のコックより調節した。

区 別 漏水多量区 9mm/h

漏水少量区 3mm/h

灌溉法 定水位 (押水)

1 区面積及び区制 1 区 3.3m^2 3 連制乱塊法

施肥量 10a 当換算, 推肥 112.5kg 硫安 30kg 過石 45kg 塩加 11.3kg

第 49 表 $\text{NH}_4\text{-N}$ の流亡量と濃度及び漏水量の関係

項目 漏水条件	濃度 ppm		3.3m ² 当			
			1時間当漏水量 cc		1時間当流亡量 mg	
	0.9cm	0.3cm	0.9cm	0.3cm	0.9cm	0.3cm
調査 期 日						
6 月 26 日	0.29	0.34	27000	10400	7.8	3.5
7 月 1 日	0.18	0.07	20300	10780	3.7	2.9
7 月 5 日	0.15	0.19	16070	9280	2.4	1.8
7 月 10 日	0.13	0.17	14620	8680	1.9	1.5
7 月 19 日	0.10	0.12	14680	8480	1.5	1.0
7 月 25 日	0.08	0.09	13400	5680	1.1	0.5
7 月 30 日	0.07	0.09	13400	5500	0.9	0.5

第 50 表 硝酸態として流亡する窒素量

項 目 調 査 期 日	NO ₃ -N 濃度 ppm		3.3m ² 当 24 時間値			
	0.9cm	0.3cm	漏 水 量 (l)		NO ₃ -N 流 亡 量 (mg)	
			0.9cm	0.3cm	0.9cm	0.3cm
6 月 26 日	0.04	0.05	648.0	269.3	25.9	13.4
7 月 1 日	0.03	0.06	547.2	253.4	16.4	15.2
7 月 5 日	0.03	0.05	397.4	216.0	11.9	10.8
7 月 10 日	0.02	0.04	360.0	200.0	7.2	8.0
7 月 25 日	0.02	0.03	338.4	195.8	6.8	5.8
7 月 30 日	0.02	0.02	331.2	195.8	6.6	3.9

註 フェノール硫酸法に依り比色定量。

かと考えられるが供試土壌が当地方として特殊なものとは認め難い点より見て一般農家の水田でも相当量の窒素肥料を流亡させていることと推察される。これについては前の第 49 表によって明らかな様に灌漑用水中に含まれる NH₄-N の量が一般農家の施肥代かきが始まる頃より急激に増加し、6 月 10 日前後の田植最盛期に最高に達していることから推察される。

なお、NO₃-N として流亡する窒素の量は第 50 表の様で、NH₄-N に比し少ないがその量は無視できない。

iii. 灌漑法別による窒素流亡量の差について

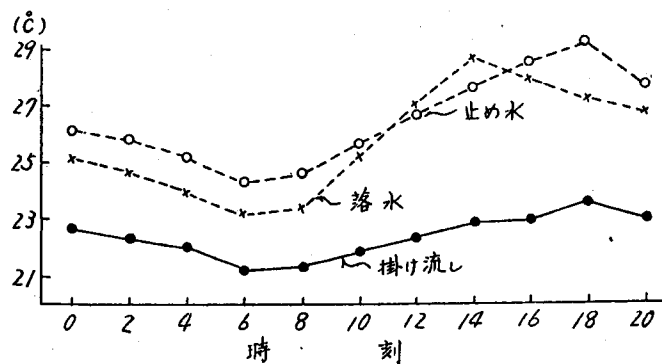
調査方法の概要

前記調査終了後各区に 10a 当換算で硫安 30.0kg、過石 45.0kg、塩加 11.3kg に相当する肥料を表土 10cm に混和し、代かきを行った。その結果第 52 表に示される様に各区の土壌が含む NH₄-N 量には大きな差が認められなかったが、念のため最も多量の窒素を含む区を落水区として調査した。

第 51 表 地表下 10cm 地温の日変化
(8 月 9 日～8 月 19 日平均値)

処理区名 時 刻	掛け流し (°C)	止 水 (°C)	落 水 (°C)
0時	22.7	26.1	25.2
2 "	22.3	25.8	24.7
4 "	22.0	25.2	24.0
6 "	21.2	24.3	23.2
8 "	21.4	24.6	23.4
10 "	21.9	25.6	25.2
12 "	22.3	26.7	27.0
14 "	22.8	27.6	28.7
16 "	23.0	28.5	27.9
18 "	23.6	29.2	27.2
20 "	23.0	27.6	26.7

第 42 図 地表下 10cm 地温の日変化



区 別

掛流し区

落水区

止め水区

各区の処理は夜間掛流し、昼間止水による冷害防止試験に準ずる。

漏水量は各区共ライシメーターの排水孔に取りつけしたコックにより 0.3cm/h に調節した。

区別 2 区制

各区の地表下 10cm における地温の日変化は第 51 表、第 42 図の通りで掛流し区に於て低く止め水区と落水区の間には大差ないが落水区がやゝ低かった。

第 52 表 各処理間の昼夜における $\text{NH}_4\text{-N}$ 溶脱と土壌中の残存量比較

項目 調査期日	3.3m ² 当 24 時間 $\text{NH}_4\text{-N}$ 流出量 (mg)						乾土 100g 中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含有量 (mg)		
	掛 け 流 し		止 水		落 水		掛 け 流 し	止 水	落 水
	朝	夕	朝	夕	朝	夕			
8 月 9 日	86.4	99.3	138.9	173.7	148.4	122.7	12.2	11.6	12.1
8 月 13 日	306.0	339.3	404.6	445.6	476.3	437.8	9.8	8.6	8.8
8 月 19 日	290.8	306.2	299.5	314.4	325.4	306.9	4.8	1.8	1.6
	落 水		止 水		掛 け 流 し		落 水	止 水	掛 け 流 し
8 月 25 日	403.5	350.5	333.1	359.2	222.5	290.4			
8 月 29 日	400.7	336.5	335.2	346.3	302.4	320.4	9.4	9.3	10.3
9 月 4 日	240.5	201.5	198.0	212.4	170.5	184.5	3.0	3.2	4.7

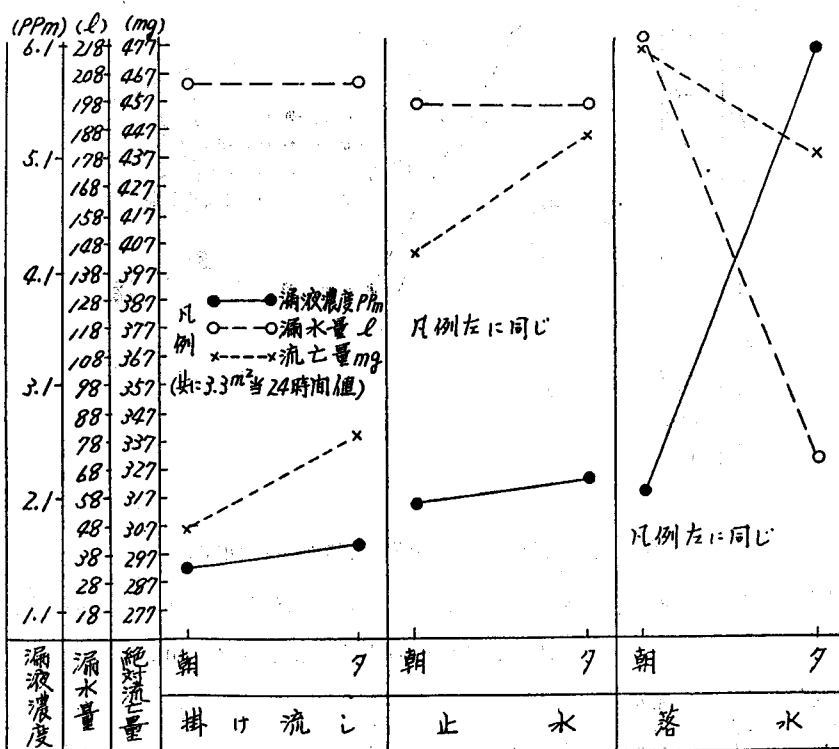
第 53 表 各処理間昼夜における漏液濃度と漏水量の関係

項目 調査期日	各 処 理 漏 液 濃 度 (ppm)					
	掛 け 流 し		止 水		落 水	
	朝	夕	朝	夕	朝	夕
8 月 9 日	0.41	0.47	0.69	0.86	0.68	1.64
8 月 13 日	1.49	1.66	2.06	2.27	2.17	6.07
8 月 19 日	1.42	1.49	1.52	1.68	1.59	4.09
	落 水		止 水		掛 け 流 し	
8 月 25 日	1.89	4.68	1.68	1.81	1.07	1.41
8 月 29 日	1.85	4.77	1.72	1.78	1.50	1.59
9 月 4 日	1.09	2.99	1.04	1.11	0.85	0.92
項目 調査期日	各 処 理 3.3m ² 当 24 時間漏水量 (l)					
	掛 け 流 し		止 水		落 水	
	朝	夕	朝	夕	朝	夕
8 月 9 日	208.8	208.8	201.6	201.6	217.4	74.9
8 月 13 日	204.5	204.5	195.8	195.8	218.9	72.0
8 月 19 日	204.5	204.5	195.8	195.8	218.9	72.0
	落 水		止 水		掛 け 流 し	
8 月 25 日	213.1	74.9	198.7	198.7	204.5	204.5
8 月 29 日	216.0	70.6	194.4	194.4	201.6	201.6
9 月 4 日	218.9	69.1	190.1	190.1	200.6	200.2

各区における漏水中に含まれる $\text{NH}_4\text{-N}$ 量及び土壌中に残存する $\text{NH}_4\text{-N}$ 量は第 52、第 53 表及び第 43 図の通りである。すなわち各区における $\text{NH}_4\text{-N}$ の残存量は本田におけると全く同一傾向を示し、掛流し区において少ない。(第 52 表右欄) 漏水の濃度は掛流し区で低く他の 2 区では高い。したがって $\text{NH}_4\text{-N}$ の減少及び残存量の処理間差が流亡量の差によることを裏付けている。(第 52 表右欄、第 53 表下段及び第 43 図)

昼間落水区は昼間の漏水量が少ないと考えられ、事実第 53 表の下段に示した様に夕刻の漏水量は他の 2 区の約 3 分の 1 に過ぎないにも拘らず流亡絶対量が多いのは漏水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ の濃度が極めて高いことによるもので、この関係は第 43 図において明らかである。なお、掛流し

第 43 図 各処理昼夜間における漏液濃度と漏水量及び絶対流亡量の関係



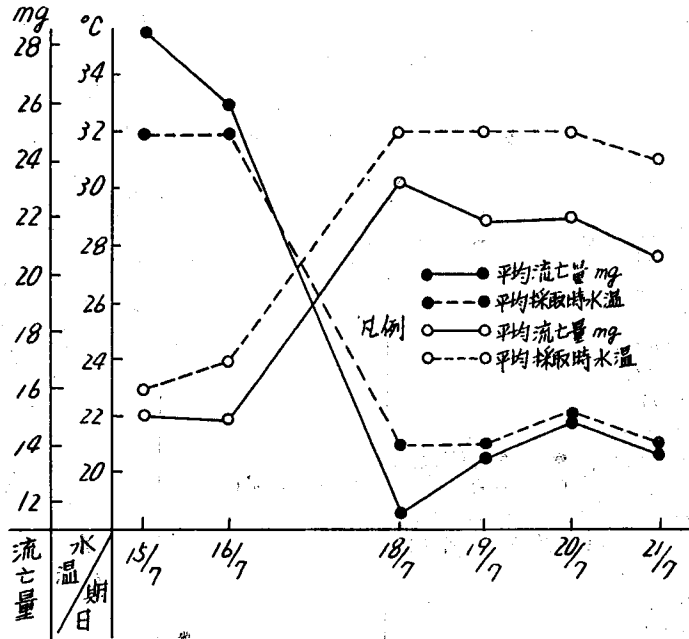
第 54 表 漏液の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度及び流亡量

項目	漏水濃度 (ppm)		1鉢 24 時間 当漏水量 (l)	1鉢 24 時間当 $\text{NH}_4\text{-N}$ 流亡量 (mg)		採取時 平均地温 (°C)	
	高水温	低水温		高水温	低水温	高水温	低水温
調査月日							
7月15日	3.8	2.0	7.50	28.5	15.0	32.0	23.0
7月16日	4.0	2.3	6.52	26.0	14.9	32.0	24.0
交換							
	低水温	高水温		低水温	高水温	低水温	高水温
7月18日	2.0	4.0	5.80	11.6	23.2	21.0	32.0
7月19日	2.3	3.7	5.90	13.5	21.8	21.0	32.0
7月20日	2.5	3.7	5.93	14.8	21.9	22.0	32.0
7月21日	2.4	3.6	5.70	13.6	20.6	21.0	31.0

註 7月17日高水温処理区を低水温に変更した。
地温は採取時平均地温即ち3ポット平均の数値。

区の漏水濃度が低いこと及び止め水区においては朝夕の漏水量に差が認められないにも拘らず、夕刻の漏水濃度が高くなっていることは第 42 図の地温の日変化からも推察される様に、高地温になる程、濃度の高くなることを意味するものと思われる。しかし灌漑水が地層を通過して流出する迄の時間が不明なので断言はできない。

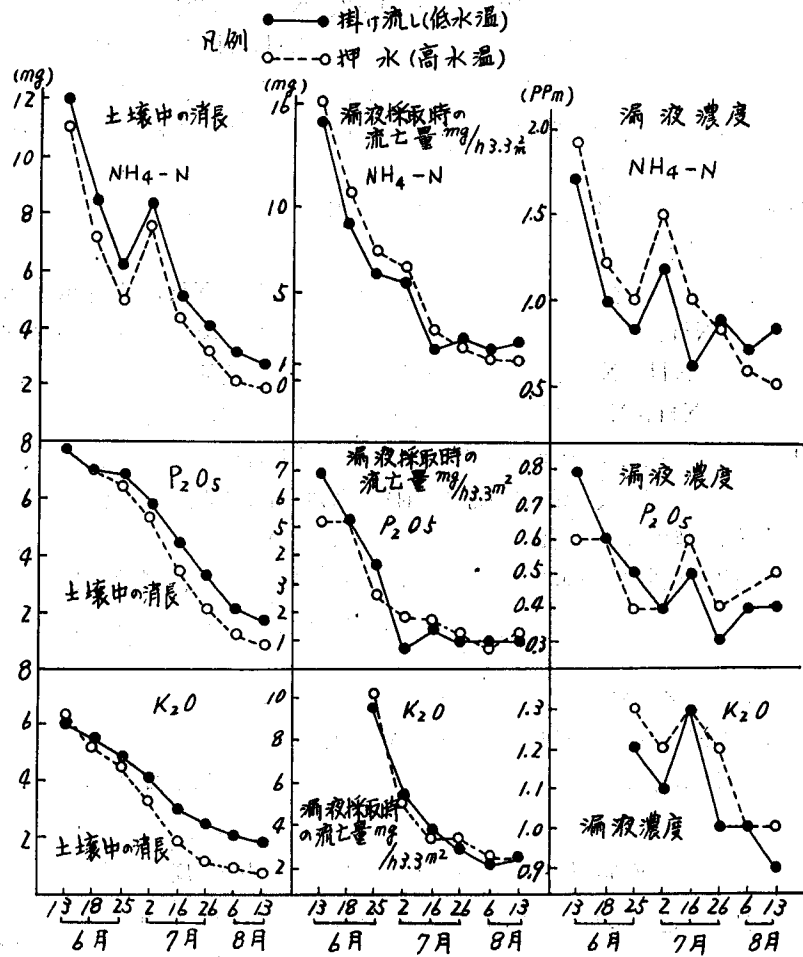
第 44 図 水温と NH₄-N 流亡量の関係



第 55 表 肥料三要素の流亡と地水温との関係

区名	項目	期日								
		13/6	18/6	25/6	2/7	7/7	16/7	26/7	6/8	13/8
		N. P. K. 土壤中の消長 (乾土 100g 当 mg)								
掛け流し	NH ₄ -N	12.0	8.5	6.2	8.4	6.6	5.1	4.1	3.1	2.8
	P ₂ O ₅	7.7	7.0	6.8	5.8	5.0	4.4	3.2	2.1	1.7
	K ₂ O	6.1	5.5	4.9	4.2	3.6	3.0	2.5	2.2	1.9
押し水	NH ₄ -N	11.0	7.1	4.9	7.6	5.8	4.3	3.2	2.1	1.9
	P ₂ O ₅	7.7	7.0	6.4	5.3	4.2	3.4	2.1	1.2	0.8
	K ₂ O	6.4	5.4	4.6	3.3	2.5	1.9	1.2	1.0	0.8
掛け流し	NH ₄ -N	15.1	9.1	6.3	5.7	4.8	1.9	2.5	1.8	2.2
	P ₂ O ₅	6.9	5.2	3.7	0.7	—	1.4	1.0	1.0	1.0
	K ₂ O	—	—	9.6	5.3	—	3.8	2.9	2.4	2.6
押し水	NH ₄ -N	16.1	10.9	7.5	6.7	5.4	2.9	2.3	1.4	1.2
	P ₂ O ₅	5.2	5.2	2.7	1.8	—	1.7	1.2	0.9	1.2
	K ₂ O	—	—	10.1	5.1	—	3.6	3.4	0.6	2.6
掛け流し	NH ₄ -N	1.7	1.0	0.8	1.2	1.3	0.6	0.9	0.7	0.8
	P ₂ O ₅	0.8	0.6	0.5	0.4	—	0.5	0.3	0.4	0.4
	K ₂ O	—	—	1.2	1.1	—	1.3	1.0	1.0	0.9
押し水	NH ₄ -N	1.9	1.2	1.0	1.5	1.5	1.0	0.8	0.6	0.5
	P ₂ O ₅	0.6	0.6	0.4	0.4	—	0.6	0.4	0.4	0.5
	K ₂ O	—	—	1.3	1.2	—	1.3	1.2	1.0	1.0

第45図 肥料三要素の流亡と地水温との関係



註 追肥期 6月27日
 追肥量 10a当 7.5kg

また地水温の上昇が漏水の濃度を高め、ひいては流亡量を増加するとしてもこれが土壤のカチオン吸着力に変化を与えることによるものか、或いは有機物の分解を促進するためか溶解度その他の関係によるものか判断に苦しむが、有機物の分解促進が主要原因でないことは次の調査によってほぼ明らかである。

iv. 地温と NH₄-N 濃度との関係に関する調査

調査方法の概要

調査区別 低水温区及び高水温区

水温の調節は低水温の掛流しと、止め水によって行った。(掛流しはポットの上に透明ガラスの蓋をし、その上を水道水で常時掛流し、ポットの周囲をも冷した。)

詰込み土壌は当試験地の水田作土 (15cm 以内) を 1/20,000 ワグネルポットに充填し漏水を三角フラスコに受け分析に供した。

区制 2 温度段階の 3 区制

なお、各ポット間に漏水量の差が認められたので同一ポットを低水温と高水温に交換して調

査を行った。

施肥量 ポット当要素量 N……1g、P……0.8g、K……0.8g

第 54 表及び第 44 図に示した様に地温が高まれば $\text{NH}_4\text{-N}$ 漏水の濃度が高くなることは明らかであり、しかも地温の変化が直ちに濃度に影響する点から、この間に有機質の分解する時間があるとは考え難いから、地温の上昇による流亡量の増加は有機質の分解促進が主因とは考えられない。

v. 灌漑別 (地水温) 肥料三要素の流亡に関する調査

調査は断水時間試験圃使用 (ライシメーター)

第 55 表及び第 45 図はライシメーターの土壤及び漏液中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 加里、磷酸について分析した結果であるが、 $\text{NH}_4\text{-N}$ についてはポットによる調査の場合と全く同様高水温 (押水) 状態にあった押水区の $\text{NH}_4\text{-N}$ 流亡量は低水温 (掛流し) 状態に比し明らかに多く濃度も高い。土壤中に含まれる $\text{NH}_4\text{-N}$ は逆に流亡量の多かった押水区で急激に減少を見ている。 P_2O_5 及び K_2O について見ても土壤中に含まれる量は押水区の減少率が高く、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の場合と同様な傾向を示しているが、漏液に関する限り両処理間に濃度及び流亡量の差が認められず、 K_2O の漏液濃度に僅かにその傾向がうかがえるにすぎない。したがって、押水区の土壤中の肥料分の減少は稲の吸収量の差によるものとも考えられるが、掛流し区の稲の生体分析を行わなかったので不明である。いずれにしても止め水栽培の実施により水温が上昇した場合には施肥量を増加する必要も生れると考えられる。

なお、押水区、掛流し区の地温は下表の通りである。

vi. 断水 (灌漑別) と肥料の溶脱及び稲の吸収について

第 57, 58 表及び第 46 図はライシメーターにおける断水時間試験に於て調査した土壤中の

第 56 表 ライシメーター地中温度

半旬別	項目	最低温度 °C				最高温度 °C				測定位置
		掛け流し	押水	毎朝	7日置	掛け流し	押水	毎朝	7日置	
6	5	15.3	17.4	17.0	16.9	15.9	18.0	18.4	17.9	地表下 10cm
	6	16.0	19.3	18.9	18.7	16.9	20.7	20.6	20.2	
7	1	16.0	19.1	19.0	19.0	16.3	20.0	19.9	19.8	地表下 20cm
	2	16.9	19.6	19.5	19.3	19.5	22.2	22.5	22.5	
	3	17.4	21.4	21.3	21.2	18.9	24.1	24.6	24.6	
	4	17.1	19.9	19.8	19.6	17.8	21.1	21.7	21.7	
	5	18.6	20.5	21.3	21.3	19.6	23.6	24.3	24.6	
	6	19.5	23.2	23.3	23.3	21.2	25.5	25.7	27.0	
8	1	21.2	24.4	24.0	24.1	22.7	25.3	25.3	26.5	地表下 20cm
	2									
	3	22.4	23.8	23.4	24.3	23.8	25.2	25.2	27.0	
	4	21.7	22.5	22.7	23.3	22.6	23.3	23.6	25.0	
平均	均	19.0	21.6	21.6	21.7	20.3	23.4	23.6	24.3	

註 平均値は地表下 20cm の地温

地表直下地温 (6月4半旬平均)

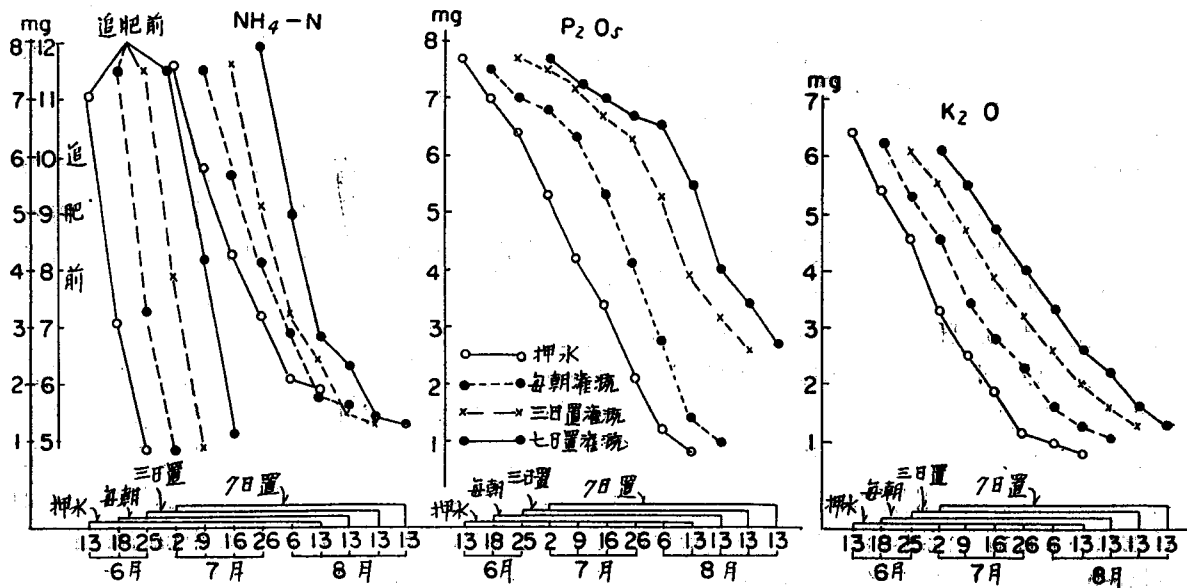
灌漑法	掛け流し	押水	毎朝	7日置
最低温度 °C	14.2	16.3	14.0	14.0
最高温度 °C	22.1	29.2	32.4	31.7
20度C以上 経続時間	3.6	12.1	10.2	10.5

第 57 表 土壤中の肥料三要素の消長

項目		期日								
		13/6	18/6	25/6	2/7	9/7	16/7	26/7	6/8	13/8
掛け流し	NH ₄ -N	12.0	8.5	6.2	8.4	6.6	5.1	4.1	3.1	2.8
	P ₂ O ₅	7.7	7.0	6.8	5.8	5.0	4.4	3.2	2.1	1.7
	K ₂ O	6.1	5.5	4.9	4.2	3.6	3.0	2.5	2.2	1.9
押水	NH ₄ -N	11.0	7.1	4.9	7.6	5.8	4.3	3.2	2.1	1.9
	P ₂ O ₅	7.7	7.0	6.4	5.3	4.2	3.4	2.1	1.2	0.8
	K ₂ O	6.4	5.4	4.6	3.3	2.5	1.9	1.2	1.0	0.8
毎朝	NH ₄ -N	11.5	7.3	4.8	7.5	5.7	4.1	2.9	1.8	1.6
	P ₂ O ₅	7.5	7.0	6.8	6.3	5.3	4.1	2.8	1.4	1.0
	K ₂ O	6.2	5.3	4.6	3.4	2.8	2.3	1.6	1.3	1.1
三日置	NH ₄ -N	11.5	7.9	4.9	7.6	5.1	3.2	2.4	1.5	1.3
	P ₂ O ₅	7.7	7.5	7.2	6.7	6.3	5.3	3.9	3.2	2.6
	K ₂ O	6.1	5.5	4.7	3.9	3.2	2.6	2.0	1.6	1.3
七日置	NH ₄ -N	11.5	8.2	5.1	7.9	5.0	2.8	2.3	1.4	1.3
	P ₂ O ₅	7.7	7.2	7.0	6.7	6.5	5.5	4.0	3.4	2.7
	K ₂ O	6.1	5.5	4.7	4.0	3.3	2.6	2.2	1.6	1.3

註 NH₄-N は 10% KCl 浸出 P₂O₅ 及び K₂O は N/5 HCl 可溶

第 46 図 土壤中の肥料三要素の消長



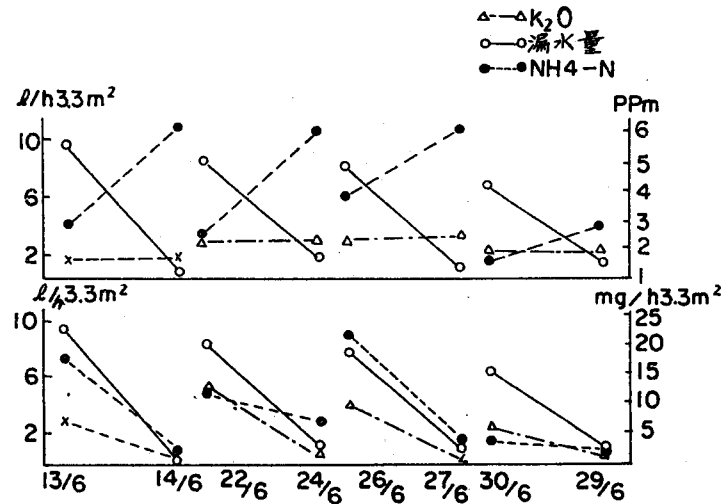
NH₄-N, P₂O₅ 及び K₂O の量の消長であるが、押水区と三日置灌漑区との NH₄-N 減少速度の差は、前述第 45 図の掛け流しと押水の差よりむしろ多い。

第 56 表に示した様に押水区と断水区との間の地温の差は掛け流しと押水との差に問題にならぬ程少ないから上記の減少速度の差が地温の差によるものとは考え難い。

NH₄-N については断水時間が長くなるにしたがい急激に減少しているが、P₂O₅ 及び K₂O では逆に断水時間が長くなる程減少率は低く NH₄-N の場合と全く逆な傾向を示している。

第 47 図上段は 7 日置灌漑区で灌漑後漏水の多い時と、漏水量の減少した時との漏液を分析した結果である。

第 47 図 漏水量と漏液濃度



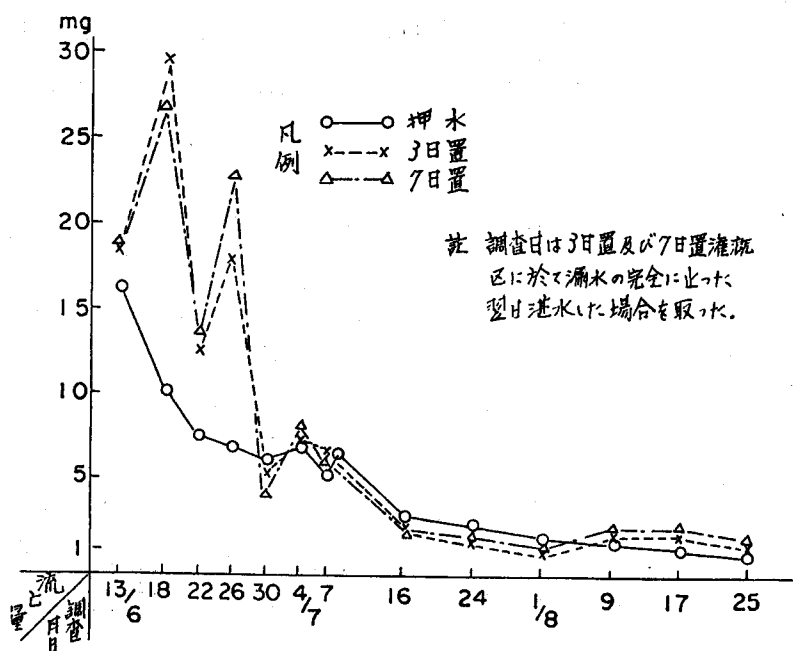
これによると $\text{NH}_4\text{-N}$ は漏水量が減じた場合漏液濃度は急激に高まるが磷酸及び加里にはこの傾向が少なく漏液中の濃度はほぼ一定している。したがって P_2O_5 及び K_2O に関する限り漏水総量の少ない長時間断水区は溶脱量もまた少なく、土壤中に長く残るのも当然である。しかし、生体分析の結果と稲の総収量より換算すると断水区に於て作物体に吸収された量は、押水区に比し P_2O_5 で 15g, K_2O で約 19g 少ないから、むしろこの吸収量の差が大きく影響しているであろう。

$\text{NH}_4\text{-N}$ の場合は漏水量が減れば濃度が高まるため、必ずしも長時間断水区の流亡量が少ないとはいえない。しかし第 47 図の下段に示した様に漏水量の減少は濃度の高まりにも拘らず流亡量の減少となって現れ、更に降雨その他による給水を入れても 6 月 13 日より月 8 日に至る 25 日間に 9 日間は全く漏水がなかったのであるから、上記の様に濃度の高くなることを以って土壤中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量の急激な減少を説明することはできない。

なお、 $\text{NO}_3\text{-N}$ としての溶脱は $\text{NH}_4\text{-N}$ の場合と全く同じ傾向を示し絶対量、処理間差とも少なく問題とはならない。(第 58 表) しかも断水時間の長い程 $\text{NH}_4\text{-N}$ の減少が多いのは、間欠的に灌漑するそのことが漏水量の多少に拘らず漏液中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を極端に増加するためと考えられ、この関係は第 58 表によって明らかである。その結果は第 9 図に示した様に 3 日置及び 7 日置灌漑区の流亡量は一度漏水の止った後再び灌漑した場合には単位時間当りの $\text{NH}_4\text{-N}$ 流亡量が異常に多くなっている。一度漏水が止った後には 2~3 日湛水し続けてもこの傾向は失なわれないのでこれが長時間断水区の土壤含有 $\text{NH}_4\text{-N}$ 減少の原因であろう。7 月 4 日以降に於てこの傾向が認められないのは流亡すべき $\text{NH}_4\text{-N}$ が失なわれたのか、水稻根の周囲に吸着されたのか、またはライシメーター土壤の収縮により壁との間に間隙を生じたことにより、この部分から土壤を通らずに漏れたのかその原因は明らかでない。(第 48 図及び第 58 表参照)

なお、間欠灌漑による漏水濃度の高まる傾向は K_2O 及び P_2O_5 には認められず濃度は土壤中の含有量が減ずるにしたがい低くなる傾向はあるが概ね一定である。(第 58 表)

前述の様に土壤中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量は長時間断水区に於て少なく、 P_2O_5 及び K_2O は常時湛水区に於て少ないにも拘らず、収穫時の稲の茎葉及び穂における該要素の含有率は全く逆で第

第 48 図 断水後再灌水した場合と常時灌水との $\text{NH}_4\text{-N}$ 流亡量の比較

10 図に示す様に Total-N 含有率は土壤中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 含有量が多い常時灌水區に於て低い傾向を示し、 P_2O_5 及び K_2O もまた土壤中に多い長時間断水區に於て低くなっている。

長時間断水區の稲の P_2O_5 含有率が低くなった原因については、断水により土壤が酸化状態となる（当試験地土壤に於て、午前9時より午後4時まで7時間落水状態にある場合で $\text{Ehb} + 382\text{mv}$ また常時灌水にある場合は $\text{Ehb} + 79\text{mv}$ であった。）結果他の要素（鉄）等の変化も手伝って P_2O_5 が不可給態となったためではないかと考えられ、東北農試及び農試化学部の指適する様にこの P_2O_5 の欠乏が生理障害を通じて相対的に窒素含有率を高めたのではないかと考えられるがこの調査の範囲では推論すること自体に無理がある。

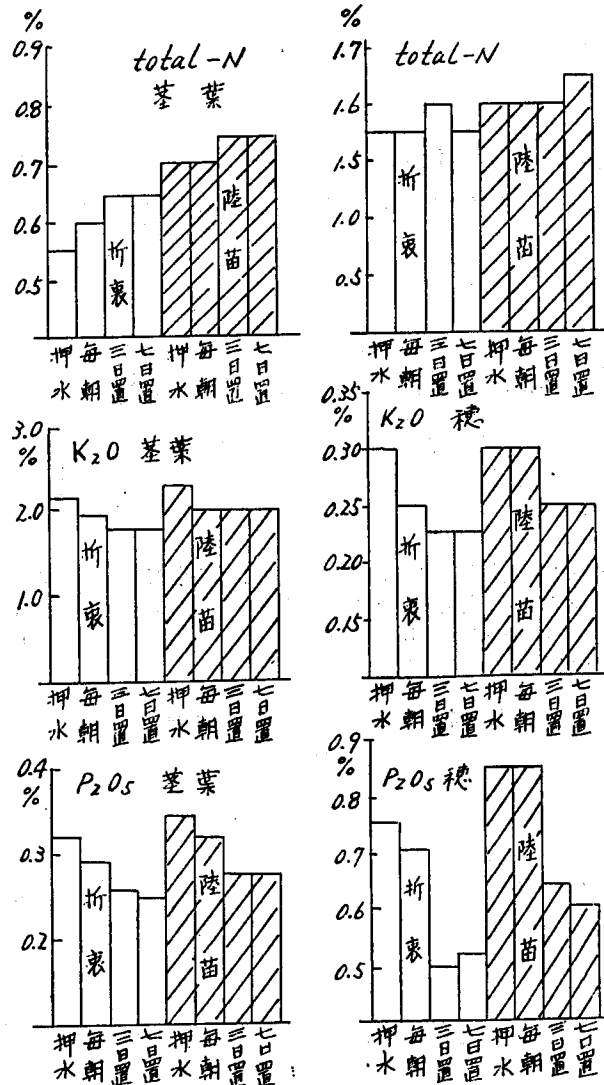
なお、前述の様な肥料要素の動きに対する有機質の関与については、収穫直後の土壤に含まれる Total-N 量が掛流しの低水温区を除いて殆んど差が認められぬ点から、有機質の分解量はほぼ同じと考えられる。しかし押水區及び掛流し區に於ては落水後急激に分解し、流亡して差が無くなった公算も大きく有機質及び腐植の追跡を行なわなかつたので不明である。

以上の調査結果から漏水と共に流亡する窒素肥料の量は極めて大であり、これは供試土壤のカチオン吸着力の弱さによるものであろうが、少なくとも岩手県に於ては北上山系一帯の水田にこの種の土壤が広く分布していると思われるので、従来の基肥重点主義及び全層施肥には一考を要するものがあると考えられる。昭和29年度の調査では全層施肥の効果は認められず、かえって肥料切れの早い傾向を示していたのもの $\text{NH}_4\text{-N}$ のまゝ多量に流亡することが原因と考えられる。水温の上昇が窒素肥料の流亡を増加する以上止水栽培を実施する場合一層この点が問題となり、基肥主義を避け分施が望ましい。なお流亡を防ぐために有機質肥料の混用も考えられるが、これは冷害年次に於て生育遅延の原因となり被害を激化する危険が多いから有機質源としては窒素含有量の少ないものを選び窒素源としては速効性の肥料を気象条件と稲の生育に影響を与えていることは疑う余地がない。しかし、この程度の試験ではこれを稲の生育との関係で分析することは不可能である。したがって止め水栽培を実施する場合、当地方に於て

期 日	項目 区名	一 時 間 (当mg)					濃 度 ppm			
		漏水量 CC	NH ₄ -N 流出量	No ₃ -N 流出量	K ₂ O 流出量	P ₂ O ₅ 流出量	NH ₄ -N	No ₃ -N	K ₂ O	P ₂ O ₅
4/7	掛押 毎日 3日 7日	4290	6.3	0.6	—	—	1.46	0.14	—	—
		4140	7.2	0.5	—	—	1.74	0.13	—	—
		4110	7.6	0.9	—	—	1.83	0.21	—	—
		5759	7.4	1.3	—	—	1.27	0.23	—	—
5/7	掛押 毎日 3日 7日	5970	8.1	1.5	—	—	1.35	0.25	—	—
		3990	5.6	0.4	—	—	1.41	0.10	—	—
		3810	6.9	0.5	—	—	1.81	0.12	—	—
		3780	6.8	1.1	—	—	1.81	0.28	—	—
6/7	掛押 毎日 3日 7日	1170	2.3	0.3	—	—	1.93	0.23	—	—
		1350	2.4	0.4	—	—	1.80	0.30	—	—
		3685	5.0	0.8	—	—	1.37	0.21	—	—
		3750	6.5	0.9	—	—	1.72	0.25	—	—
7/7	掛押 毎日 3日 7日	3540	5.9	0.9	—	—	1.68	0.25	—	—
		3540	—	—	—	—	—	—	—	—
		3540	—	—	—	—	—	—	—	—
		3540	—	—	—	—	—	—	—	—
8/7	掛押 毎日 3日 7日	3690	4.8	0.8	—	—	1.30	0.21	—	—
		3540	5.4	0.7	—	—	1.53	0.21	—	—
		3270	4.8	0.8	—	—	1.47	0.25	—	—
		5100	6.9	1.4	—	—	1.36	0.27	—	—
16/7	掛押 毎日 3日 7日	5460	6.8	1.4	—	—	1.24	0.26	—	—
		3810	5.4	0.9	4.4	1.7	1.42	0.23	1.15	0.45
		3750	6.5	0.3	4.7	1.7	1.72	0.08	1.25	0.45
		3510	5.8	0.7	4.4	1.6	1.65	0.21	1.25	0.45
26/7	掛押 毎日 3日 7日	4950	6.7	1.4	6.7	1.7	1.36	0.28	1.35	0.35
		5250	6.9	1.6	5.8	1.6	1.31	0.30	1.10	0.30
		3060	1.9	0.5	3.8	1.4	0.62	0.15	1.25	0.45
		2880	2.9	0.4	3.6	1.7	1.00	0.15	1.25	0.58
1/8	掛押 毎日 3日 7日	2670	2.6	0.6	2.9	1.4	0.98	0.23	1.10	0.53
		3720	2.6	1.0	4.7	1.3	0.70	0.26	1.25	0.35
		3810	2.7	0.9	4.4	1.1	0.72	0.23	1.15	0.30
		2850	2.6	1.7	2.9	1.0	0.90	0.60	1.00	0.35
6/8	掛押 毎日 3日 7日	2970	2.3	0.4	3.4	1.2	0.77	0.12	1.15	0.40
		2760	1.7	0.6	3.5	1.2	0.62	0.20	2.55	0.45
		320	1.6	0.7	3.1	0.9	0.52	0.23	1.00	0.30
		3360	1.6	0.8	3.5	1.0	0.48	0.25	1.05	0.30
6/8	掛押 毎日 3日 7日	2940	2.4	0.3	2.9	1.0	0.80	0.10	0.98	0.35
		2640	1.5	0.3	2.7	1.1	0.55	0.13	1.01	0.40
		3150	1.8	0.7	2.9	1.1	0.58	0.23	0.91	0.35
		2790	1.3	0.7	3.1	0.8	0.47	0.25	1.10	0.30
13/8	掛押 毎日 3日 7日	3270	1.7	0.8	3.8	1.0	0.51	0.23	1.15	0.30
		2520	1.8	0.3	2.4	1.0	0.72	0.10	0.97	0.40
		2610	1.4	0.4	2.6	0.9	0.55	0.15	0.98	0.35
		3000	1.6	0.7	2.8	1.4	0.52	0.23	0.94	0.45
13/8	掛押 毎日 3日 7日	3420	1.6	0.7	3.2	0.9	0.47	0.19	0.95	0.27
		3600	1.7	0.8	3.4	0.9	0.48	0.23	0.94	0.26
		2790	2.2	0.3	2.6	1.0	0.79	0.11	0.94	0.35
		2670	1.2	0.3	2.6	1.2	0.46	0.10	0.98	0.40
13/8	掛押 毎日 3日 7日	3030	1.4	0.6	2.9	0.9	0.45	0.20	0.95	0.35
		3600	1.7	0.9	3.4	0.9	0.47	0.26	0.94	0.26
		3180	1.6	0.7	2.9	0.8	0.50	0.21	0.91	0.26
		3180	1.6	0.7	2.9	0.8	0.50	0.21	0.91	0.26

期 日	項目 区名	一 時 間 (当mg)					濃 度 (ppm)			
		漏水量 CC	NH ₄ -N 流出量	NO ₃ -N 流出量	K ₂ O 流出量	P ₂ O ₅ 流出量	NH ₄ -N	NO ₃ -N	K ₂ O	P ₂ O ₅
25/8	掛	3610	2.0	0.4	2.4	0.9	0.77	0.15	0.91	0.35
	押	2100	1.1	0.2	2.1	0.9	0.54	0.10	0.99	0.45
	每	2300	1.2	0.5	2.2	0.8	0.50	0.21	0.94	0.35
	三	3300	1.3	0.8	3.1	0.8	0.39	0.25	0.95	0.25
	七	3030	1.2	0.8	2.9	0.8	0.38	0.25	0.95	0.25

第 49 図 各処理間に於ける生体の N, P, K 含有率比較 (収穫時)



少ないとはいえ長時間断水する場合も無いとはいえ、ある程度の解析は必要と思われるので断水障害防止試験を行った。

b. 理学的性質についての調査結果

目的

漏水量が多く昼止めにより長時間断水する場合には土壌が固化し、除草労力等に影響を与え

る傾向がうかがわれたので、断水する時間と土壌の固化程度との関係を明らかにしようとした。また、当地方における通し苗代に於ては数日間断水しても土壌は全く固化しないが、これは長年にわたる有機質の多用によるものと考え、厩肥多用の土壌固化防止効果を明らかにしようとした。

i. 断水による土壌固化対策としての有機質多用試験圃に於ける土壌硬度について
第62表及び第50図に示した様に、土壌の硬度は32年、33年と同様断水時間が長くなる程高い、同一灌漑法で比較すれば有機質の施用が増すに従って硬度は低く、隔日灌漑区においても同様の傾向を示し厩肥多用の効果が現れているが、これとても断水時間の差による硬度の差異

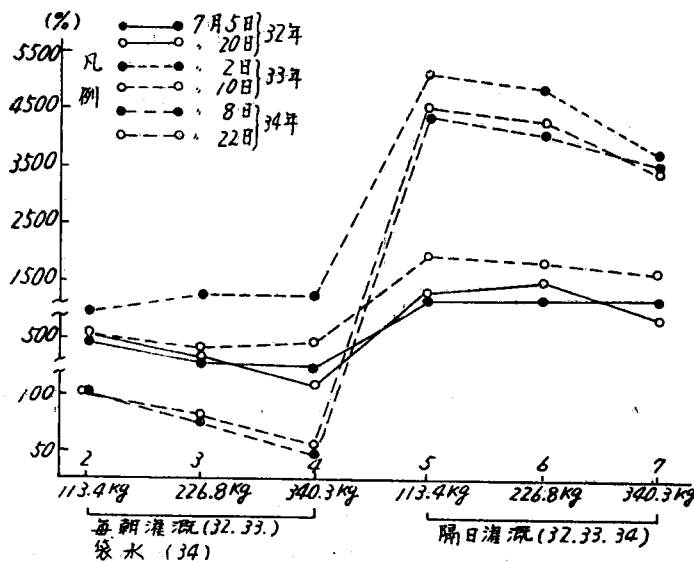
第59表 厩肥 a 当 113.4kg 施用袋水区に対する土壌硬度の比率 (%) 昭 32, 33, 34

年次	区番	厩肥量 kg/a							備 考
		1	2	3	4	5	6	7	
		113.4	113.4	226.8	340.3	113.4	226.8	340.8	
灌漑別	袋水	毎朝			隔日	隔日	隔日	水田固化状態(観察)	
	断水時間	常時灌水	24時間中 10時間内外		48時間中 36時間内外				
32	7月5日	100	495	312	280	1188	1123	1110	袋水は落水期まで足首まで入る
	7月20日	100	524	321	107	1231	1432	799	
	8月12日	100	435	317	165	1293	1700	1361	
33	7月2日	100	923	1271	1204	5158	4874	3704	毎朝灌漑は田植1ヶ月后頃より僅かに足跡が付く程度
	7月10日	100	515	398	450	1883	1804	1598	
	8月7日	100	1032	1034	716	2617	2562	2200	
34	7月8日	100	100	75	42	4431	4031	3490	隔日灌漑は田植20日后頃より僅かに足ゆびの跡が付く程度
	7月22日	100	100	80	52	4517	4320	3475	
	8月1日	100	120	62	62	8544	8059	6713	

註 測定法

袋水区の硬度は山中式硬度計(スプリングが入って居る時)で測定出来なかつた為にスプリングを取り自重の外に重りを付けて600gにし糸を付けて垂直に下げ硬度を測定した。33年まで毎朝灌漑処理の試番2,3,4.区を34年は袋水に処理変更。33度までの毎朝灌漑は1日当約10時間断水。

第50図 対袋水区土壌硬度比率



をくつがえすには至らず、有機質多用により土壌の固化を防ぐことは困難な問題と考えられる。

しかし 32 年、33 年の結果では連日の断水が 10 時間程度の場合には厩肥の多用により袋水に近い硬度にまで近づける事が出来る。又 34 年度毎朝灌漑処理を袋水に変更した各区の動きを見ると、有機質の施用が増すに従って標準区より硬度は低く有機質多用による蓄積効果がうかがえた。しかし厩肥多用とは云ってもアール当 340.3kg 程度の施用は土壌の全有機質含量

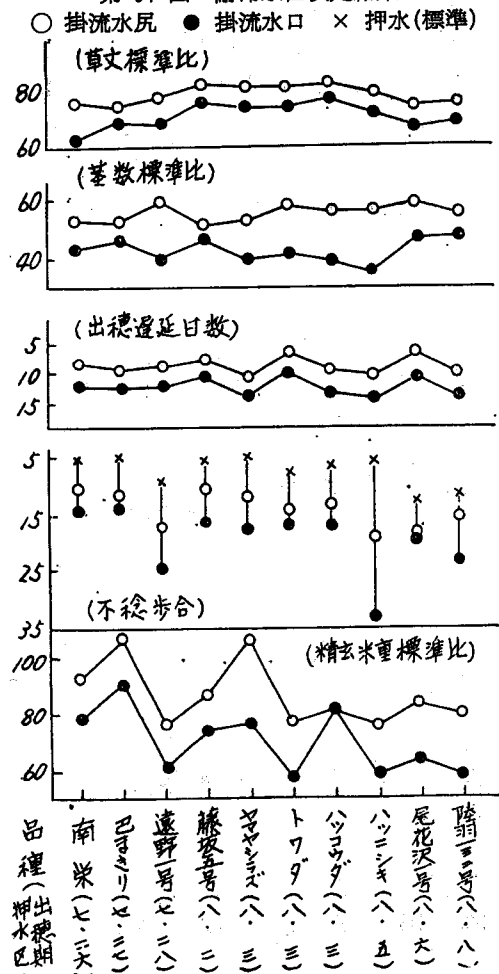
に比すれば極めて僅かであり、しかも土壌構造改良の効果を現わすには永年を要することも考えられるから、3 年位の試験結果から土壌硬度の低下を示す結果をそのまま有機質多用の効果と断ずることは出来ない。第 63 表に示した如く、厩肥を標準区の 3 倍施用した 4 区及び 7 区に於てさえ、腐植、全炭素の含有量に明瞭な傾向が現われていない。要するに土壌固化防止には長期にわたる耕土の培養が必要と思われる。

第 60 表 土壌の全炭素及び腐植含量

項目	5月		10月	
	全炭素%	腐植%	全炭素%	腐植%
1	4.88	8.56	4.88	8.42
2	5.18	8.92	5.26	9.06
3	5.44	9.34	5.37	9.26
4	5.36	9.21	5.60	9.66
5	5.38	9.27	4.78	8.14
6	5.19	8.95	5.84	10.09
7	5.15	8.87	5.73	9.81

註 Sample は 1 区 9 点採取し実験に供した。
5 月 15 日 採取は 34 年耕起前、10 月 15 日 採取は収穫跡地。

第 51 図 耐冷水性検定結果



2. 其他の防止対策

A. 品種に対する冷水の影響

冷水による稲の減収程度は品種によって差があり、冷水灌漑地帯及び漏水が甚しいため常時掛越し押水灌漑を行わざるを得ない地帯では、冷水灌漑下に於ても比較的減収程度の少ない早生品種が水口部分に栽培され、水口から遠ざかるにしたがって晩生品種が作付されているのが一般農家の現状である。したがって、この様な地帯での水口用品種を選抜するために長期掛流し灌漑を行なって、品種の耐冷水性を検定してきたが、昭和 30 年の試験結果では第 51 図のとおりで、旬平均水温最高 20~25°C、最低 15~19°C の長期掛流し、水口の 7 月上旬の草丈茎数は、どの品種も抑制され旬平均水温最高 28°C、最低 18~24°C の標準区にくらべ草丈は 70% 前後、茎数は 40~50% 程度であり、出穂は 10~15 日おくらしている。

冷水灌漑による不稔の発生及び減収程度も品種の差が大きく、早生品種でも不

第 61 表 昭和 32 年耐冷水性検定結果

品 種 名	標準区 出穂期	標準区に對 する出穂遅 延日数			標準区に對 する玄米重 比 (%)		
		水口	中央	水尻	水口	中央	水尻
藤坂 5 号	8	15	14	9	9	38	56
新米	14	14	11	8	47	64	72
豊亀	4	17	11	7	29	53	66
巴	5	20	13	9	5	36	49
オイラ	8	17	14	11	26	64	69
紅南	6	17	14	10	45	73	84
スズメモチ	5	17	13	9	32	59	70
(在来)	5	19	15	9	12	33	47
ハツコウダ	9	16	13	9	55	77	82
	6	19	13	10	10	53	65
	12	18	12	9	17	60	78

稔を多く発生するものもあり、また晩生種でも、早生品種程度の不稔歩合のものもある。また、旬別平均水温最高 21~27°C 最低 15~19°C (掛流し水尻) では品種によっては標準区より増収しているものがある。しかし昭和 32 年の耐冷水性検定試験の水口では 1l/sec 以下と云う少ない灌漑水量で水口から 1.5a へだてた場所 (水口) で比較的冷水につよい品種でも、標準区の 50% 前後の減収であり、水口から 5a へだてた部分でさえ 20% 前後の減収を示しているのであるから、供試した程度の品種では、冷水害による水口の減収防止には、極

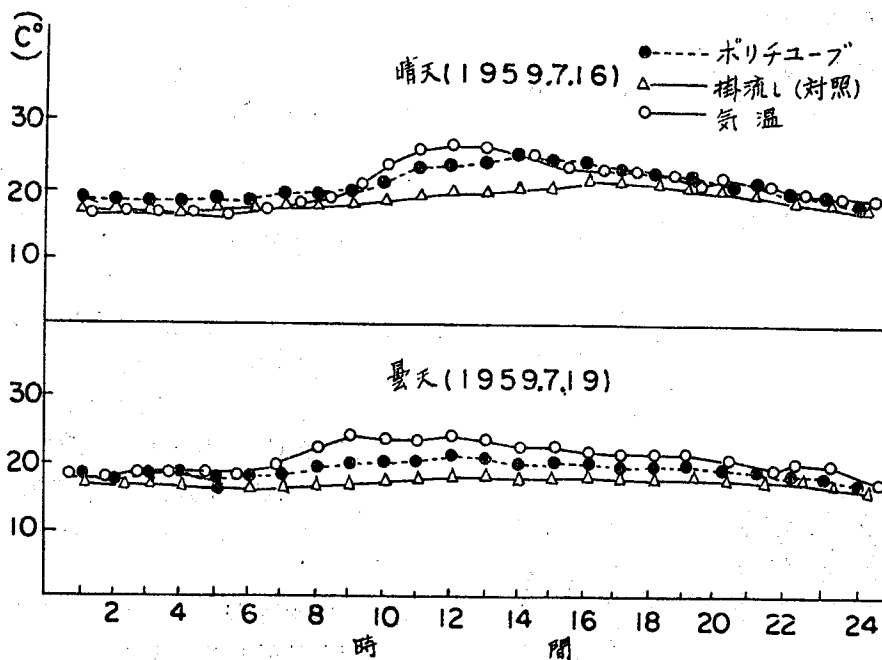
めて不十分である。

すでに見てきたように、品種によって冷水害の軽減できる事は明らかであるが、今後冷水灌漑下においても減収しない品種が出現しない限り、品種だけでは水口の減収は解決されない。

B. ポリエチレンチューブによる青立防止

その他水温上昇の実用的な方法としてはポリチューブ使用による水温の上昇がある。この方法は、直径 9cm、長さ 1 巻 45cm の緑色又は黒色の薄いポリエチレン製チューブを水温上昇値に応じて連結し、水口に取りつけてチューブ内に用水を流入し、水田内を迂回させて流出させるものである。チューブ内の冷水はチューブ周囲の暖かい水田からの伝達熱と、太陽からの副射熱を受けて上昇する。最高の上昇効果を得るためにはチューブを水田の平衡水温内を通過させるよう長さを調節しなければいけない。遠野試験地の試験結果は次のようである。第 52

第 52 図 水温調査結果



第 62 表 生育と収量の比較

試験区別	調査ヶ所	出穂期		成熟期		稈長 cm	穂長 cm	穂数 本	ワラ重 kg/a	精玄米重 kg/a	干粒重 g	青米歩合 %	減収率 %
		月日	月日	月日	月日								
ポリチューブ	水口	8.15	10.5	72.3	16.7	13.8	64.5	33.8	19.8	19.8	19.5		
	水尻	10	3	76.9	16.6	13.9	59.2	42.0	12.1	5.8	0		
掛流し	水口	8.23	達せず	70.0	16.2	16.1	91.7	3.3	17.0	465.0	92.2		
	水尻	10	10.3	73.3	15.9	13.1	58.7	41.9	20.0	12.9	0		

図によってみても明らかなようにポリチューブを使用すると晴天の日で最高 5°C、最低 0.7°C、平均すると 1.6°C~2.8°C の上昇効果がみられる。生育と収量の調査結果は第 62 表にしめしたが生育期、生長量ともにポリチューブ区の水口部分は掛流し区の水口部分に比較してまさり水尻と水口部分との差は極めて少い。収量においてもポリチューブ区は水口と水尻との差が小さく、減収率が掛流し区の水口部分で 92.2% なのにポリチューブのそれは 19.5% であり青立防止に効果があることが明らかである。

以上のように青立防止効果は条件によって複雑に変化するので昼止には劣るが期待はもてるであろう。

なおポリチューブ法実施上の注意すべき事項の 1, 2 について述べる。

1. ポリチューブの長さの決め方

ポリチューブの長さ、流入量とチューブ内通過所要時間との関係をしめすと第 53 図のようになる。流入水温を何度まで高めるべきかはその土地の気候や品種、流入量の多少によって一概にきめられないが田植から出穂期間の平均最高水温で 29°C 前後が冷水障害の限界水温と考えられている。濫漑水がチューブ内を通過する時間は 6~15 分の間が適当とされている。チューブの長さを求めるためにはチューブの半径が 4.6cm (折径 14.4cm) の場合第 53 図によって簡単にみちびかれる。

すなわち、水田面積を 1a、減少深を 1 日当り cm であらわすと両者の積 Ad はそのまま 1 日当り立方メートルであらわされる。この値が第 53 図の斜線にあたる。例えば水田面積 30a、減少深 3cm/日の場合 Ad=90m³/日、必要なチューブの通過時間を 10 分とすると横軸の 10 分の目盛から垂直に線をひき (a-b)、90m³/日の線との交点 b からたて軸に垂線を下し、たて軸と交わる点 c が求めるチューブの長さ 94m になる。

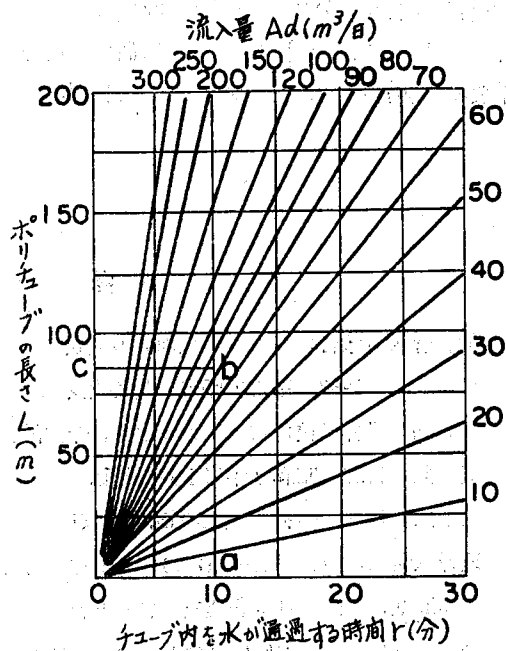
2. チューブを設置する位置

チューブを通る水が暖まるのは日射とチューブ周囲の暖い水田水から熱を受けるのであるから、チューブをなるべく水田の水温の高い部分を通すように注意する。

3. チューブ法の実施で効果のない水田

落差の少い流速のないところでは長くひくことが出来ず水温上昇効果は期待できない。

第 53 図 チューブの長さの決め方



む す び

最近の稲作における品種改良、早期栽培その他の技術進歩は著るしく、低気温による冷害はほぼ克服されたといっても過言ではない。しかし、冷害の問題は未解決のまま残され農民も半ば宿命としてあきらめ特に冷害として取りあげる動きも示さないにもかゝらずその被害が以外に大きいところに問題がある。

冷害の根本的対策は土地改良にあると云えるが、これには多大の資金を要し実施困難な場合が多く、容易に実行し得る対策が要望されてきた。

遠野試験地はこれに答えるため昼間止水栽培を案出したが、本法にポリエチレンチューブの利用、品種の選択その他の技術を並用することにより、実用効果をあげ得ることは以上の報告により理解されることと思う。

米作の将来が云々される現在ではあるが、日本の農業から米作の消える日が早急に到来するとは考えられず、東北といえどもその例に漏れるとは思われない。

本報告が東北の稲作の平均反収向上にいささかでも役立つならば、望外の喜びである。

項を終るにあたり永年にわたる研究の過程で多くの関係機関や個人の方々から多大の御指導と御援助を賜ったことに対し、ここに衷心から感謝の意を表するものである。

昭和 38 年 4 月

参 考 文 献

- 1) 仙台管区气象台：1951 東北地方の気候
- 2) 田中 稔：1958 冷害の歴史 農業改良 9
- 3) 盛岡高等農林学校：1936 東北地方古今凶謹誌
- 4) 岩手県：1937 昭和9年岩手県凶作誌
- 5) 岩手県：1954 昭和28年水稻冷害の実態
- 6) 遠野試験地：1957 岩手県における水稻の冷害とその対策に関する調査研究
- 7) 古島敏雄：1956 日本農業史 岩波書店
- 8) 歴史学研究会，日本史研究会編：1959 日本歴史講座 東京大学出版会
- 9) 日本農業気象学会編：1955 林 水稻冷害の文献的研究
- 10) 三原義秋：1961 応用気象学講座3，農業気象(上)地人書館
- 11) 羽生寿郎：1961 ポリエチレンチューブの効果，農業及園芸 36 の1
- 12) 羽生寿郎：1962 東北農業試験場研究報告 No.25.
- 13) 農林省振興局研究部監修：1961 農業気象ハンドブック