節水かんがいによる水稻冷水害の防止に関する研究 (4)*

——適用限界に関する農業気候的推定——

宮本硬一, 日野義一, 千葉文一

(宮城県立農業試験場)

Studies on Water Saving Irrigation as a Means of Preventing Cold Water Damage to Paddy Rice (4) Application Limit of Water Saving Irrigation from the Standpoint of Agro-Climatology

K. MIYAMOTO, G. HINO and B. CHIBA

(Miyagi Prefectural Agricultural Experiment Station)

1. はじめに

水稻の冷水害を防止するための節水かんがいの効果とその方法については筆者らによつて既に報告されており^{5,6)}, 漏水過多の冷水田にこれを適用する場合, その時の気象条件の変動性の如何によつては, 冷水害の防止効果が減殺されることもありうるという点についても指摘しておいた⁷⁾。したがつて節水かんがいの効果をより高く, かつ確実なものにするためにはこれら気象的制限条件によつて適用限界を明らかにしておく必要がある。

作物の適地判定, 栽培限界に関する農業気象学的研究は, これを本邦だけに限つてみても既に多くの成果が得られており⁹⁾, 水稻についても阿部ら, 伊達, 坪井, 羽生らによつて詳細かつ貴重な知見が広範に得られている^{1,2,3,4,11,12)}。しかしこれらはいずれも水稻の生育現象に対する気象変動の影響という観点で問題が解明されているが, 節水かんがいのような特定の災害対策の技術については, 解析がなされていないようである。こうした現状から, この研究では低温と乾燥という気象的制限要素にもとづいて, 冷水対策としての節水かんがいの適用地域, 適用時期を推定するための尺度を得ようとした。

本研究を行なうに当つて, 気象資料を提供して協力された東北農試気象研究室, 青森農試気象科, 同藤坂実験ならびに秋田農試水田作科の各位に深謝する。

2. 調査の方法

1. 気象的限界条件の設定

1) 低 温

水稻の分けつ伸長期における低温の, 生育に対する影響の仕方^{3,13)}と, 冷水地帯における用水温の指標となる

河川溪流部の水温¹⁰⁾などを根拠として次のように限界条件を決めた。

節水限界気温: 節水期(6月上旬~7月上旬)における最高気温 16°C 以下と最低気温 12°C 以下の出現頻度を日別で求めた。伸長期の稲に対する低温の影響は生育の遅延として現われるのが普通であり¹³⁾, その限界条件として2年に1回の出現率が多く用いられている³⁾。ここでもそれに従つて低温出現率 50% になる時の気温を用い, 節水限界気温とした。

2) 乾 燥 度

(1) 有効無降水日: 日量 1.5mm 未満の降水は非湛水田の場合, 水田用水としては無効と考え, 1.5mm/day 未満のものを含めた無降水日を有効無降水日とし, その出現率を求めた。その理由は筆者らの 10 年にわたる株間蒸発量の実測値 (1.5mm/day) と水田の用水計画に用いられている有効雨量 (係数 0.7~0.8) などである⁸⁾。

(2) 節水最大乾燥期: 節水期において, 5日連続の有効無降水日の出現率が最大となる時期を, 節水最大乾燥期とした。

(3) 有効残留雨量: 有効雨量 (Re) と蒸発散量 (Et) との差を有効残留雨量 (Rs) とし, 有効雨量は前述の係数を用い, 6月上旬: 0.8, 中旬: 0.75, 下旬以降は 0.7 をそれぞれ乗じて算出した。また蒸発散量は當場における実測値 (10 年平均) を用いた。

非湛水田の水収支において, かん水, 流出, 浸透などを除いて, Re と Et だけを考えると

$$Rs = Re - Et > 0$$

は水田土壌に雨水からの水分が残留して, 土壌水分が増加していることを意味し,

$$Rs = Re - Et < 0$$

* 昭和43年12月20日東北支部大会にて発表

は水田から土壌水分が失なわれて、乾燥していく状態である。

2. 気象資料の地点と統計年数

宮城県の旧区内観測所、農業気象観測所 19 点、北東北 3 県の農試、気象台 4 点の最近 20~40 年間の気象観測値を収集した。

3. 調査の結果と考察

1. 限界条件としての低温

1) 最高気温

最高気温 16°C 以下の出現率を日別で表わすと表 1 のようになる。

Table 1. Frequency of daily maximum temperature of 16°C and less

Date	Miyagi pref.			Northern Tohoku Distr.			
	Shizugawa	Sakunami	Sendai	Kuroishi	Towada	Morioka	Akita
June, 1	8%	11	10	10	25	—	—
2	13	6	13	5	*45	5	—
3	15	6	8	5	25	5	5
4	10	11	*20	10	25	5	—
5	8	11	15	*20	20	*15	5
6	15	17	10	5	20	5	—
7	18	*28	*20	10	20	10	5
8	*21	*28	13	10	25	5	5
9	8	17	15	10	25	5	*10
10	8	11	13	10	35	5	*10

Note. *: Maximum value during water saving irrigation

Table 2. Frequency of daily minimum temperature of 12°C and less

Date	Miyagi Pref.			Northern Tohoku Distr.			
	Shizugawa	Sakunami	Sendai	Kuroishi	Towada	Morioka	Akita
June, 1	60%	55	56	70	80	55	40
2	60	67	51	70	80	60	50
3	63	67	49	75	80	70	*55
4	63	72	56	70	80	65	30
5	55	61	46	45	60	60	30
6	80	83	*49	65	70	85	40
7	63	83	41	40	70	80	45
8	58	67	41	50	65	60	50
9	58	44	38	*50	55	55	35
10	55	44	49	35	45	55	45
11	55	55	28	50	70	65	55
12	40	44	18	55	80	60	40
13	60	61	28	45	65	50	30
14	*53	*50	26	35	65	*65	40
15	18	28	13	40	70	30	10
16	35	44	15	40	60	50	30
17	25	33	10	20	*55	25	10
18	25	22	13	25	45	25	5
19	38	39	18	15	45	30	5
20	28	33	8	25	35	25	5

Note. *: Limiting date of water saving irrigation

宮城県の場合、奥羽山脈沿いの作並（標高 250m）におけるピークが 28% の出現率を示しているが、他の地点ではそれが 20% 程度であった。また北東北でも十和田市が 1 日だけ 45% を示したほかは、いずれも宮城県の場合と大同小異であった。これらのことから、 16°C 以下の出現率 50% という節水限界に達するところはなかつたので、最高気温は、宮城県の冷水地帯はもちろん、北東北においても平野部では制限条件にはならないと思う。

2) 最低気温

低温限界の時期をみるために、表 2 を示すことにする。

宮城県の場合、 12°C 以下の出現率が、本田移植後、漸次減少していつて、それが 50% になる時期は、冷水地帯では 6 月 14 日ごろであり、平坦地の仙台より 8 日位遅くなつてゐる。しかし 6 月 15 日以後になると冷水地帯でもその出現率は急激に減少する。

東北地方の北部 3 県（平坦部）では 12°C 以下の出現率が 50% まで低下する時期は、十和田市が最もおそく、6 月 17 日である。しかし他の 3 地点では宮城県の冷水地帯並みで、6 月 14 日、もしくはそれ以前に 50% の限界期に達する。したがつて、北東北の場合も平坦部では宮城県と大体同じ時期に限界があると考えてよいであろう。

次に低温出現頻度の地域分布を宮城県について示すと図 1 のようになる。

Figure 1. Regional distribution of the frequency of the daily minimum temperature not higher than 12°C in June (Miyagi Pref.)

それによると低温出現率の高い地域は北部海岸と西部山間地方に形成される。低温出現率 50% 以上の地域を旬別で示すと、6 月上旬では宮城県冷水地帯の大半がその中に含まれる。しかし 6 月中旬になると出現率 50% 以上の地域は激減して、西南部の山間地方に局限されてしまう。

このことは大部分の冷水地帯では 6 月上旬までが低温限界の地域に入り、一部山間地方の水田だけが 3 半月まで限界期が延長される、ということを示している。

ついで節水の限界地域と限界時期を低温の面から推定するため、図 2 を作つた。これは宮城県（冷水地帯）と北東北（平坦地）について、日最低気温 12°C 以下の出現率（半月平均）と半月最低気温との関係を求めたものである。

Figure 2. Relation between the frequency of the daily minimum temperature of 12°C and less, and the mean minimum temperature during the five-day period

それによると日最低気温 12°C 以下の出現頻度と最低気温との間にはきわめて密接な関係が存在し、ほぼ直線（の一次式）で表わされる。しかもその関係は宮城県の冷水地帯と北東北の平坦部ではほとんど同じ性質のものとみてよい。したがつて節水限界気温は半月最低気温で 12.3°C といふことができる。この値を用いて節水限界気温の等起日線の分布を推定すると図 3 のようになる。

Figure 3. The date of the lower limit of temperature in Miyagi Prefecture. a : from mean minimum temperature (12.3°C), b : from frequency of occurrence.

すなわち、図の a は、各地点における半月最低気温の平年値によつてそれらの地点ごとに最低気温の推移曲線を描き、その曲線から、 12.3°C になる月日を求めて、

その月日を節水限界気温の起日とした。そして各地点の起日を地図上にプロットして等起日線の分布図を画いた。一方 b の方は各地点における毎日の最低 12°C 以下の出現率の推移曲線を描き、その値が50%に低下した日を限界気温の起日として等起日線分布を求めたものである。これら a, b の両図を詳細に比較してみると、もちろん差はみとめられるが、地域分布のタイプは類似している。ただ県内における限界気温の起日の幅には最大2日間位の差がみられた。すなわち低温出現頻度の日別

曲線から求めた起日はbのように、6月2～24日であるのに対して、平年の半月最低気温から、限界気温 12.3°C を使つて求めたaの方は6月2～22日の幅を示した。しかし、大部分の地点では、求め方の違うこの二つの起日はほとんど同じであつたといつてよいであろう。

さらに、北東北においても平坦地では十分この関係が適用できることは、二つの関係式の比較から当然と思われるが、これを用いた推定値の比較を表3に示しておく。

Table 3. Date of lower limit of temperature for water saving irrigation in northern parts of Tchoku District

Date of lower limit	Kuroishi	Towada	Morioka	Akita
Date from mean minim. temp. of five-day period	June, 9	June, 18	June, 14	June, 1
Date from frequency of daily minim. temp.	June, 11	June, 18	June, 15	May, 30
Difference	-2	0	-1	+2

以上の点から、上述の関係式、つまり節水限界気温、 12.3°C (半月最低) を用いれば、各地について、その平年値から直ちに節水限界の地域や期間などが容易に求められる。

2. 限界条件としての乾燥度

節水期間における乾燥度の指標としては、有効無降水日の出現頻度と有効残留雨量をとりあげ、宮城県を例にとつて節水の適用地域や適用時期を検討した。まず乾燥の強い時期を明確にするため、5日連続の有効無降水日の出現頻度を求め、それが最大となる時期、すなわち節水最大乾燥期を算出した。

その結果、最大乾燥期は多くの地点において6月中旬に現われ、15日ごろを中心としている処が大部分であつた。またその時期の無降水日の出現率は65～77%で、平均70%となつた。

次に、乾燥度の地域性をみると図4のようになる。これは有効無降水日の出現率を旬ごとにまとめたもの(a)と、有効残留雨量を旬別で算出したもの(b)の二つで、乾燥度の地域性が示されている。図のaである有効無降水日の出現率では、宮城県の北東部海岸方面が高く、内陸、南部地方より乾燥度が各旬とも強いことがみとめられる。また図のbの、有効残留雨量の分布図では、出現率の分布がやや複雑であるが、乾燥度の地域性としては、東に強く西に弱いという大勢がみられるようである。

また有効無降水日が70%以上の地域と有効残留雨量がマイナスになる地域を図に求めると、6月中旬ではそ

Figure 4. Degree of drying during water saving irrigation in Miyagi Prefecture

れがよく類似した地域分布となつて示されている。

さらに旬雨量から乾燥度の指標を得るため図5を作つた。

これに図4を加えた三つの分布図をみると、共通的な一つの特徴がみとめられる。すなわち、有効無降水日の

Figure 5. Regional distribution of rainfall during ten-day period in June (Miyagi Pref.)

出現率 70% 以上の地域、有効残留雨量がマイナスになる地域および旬雨量 40mm 以下の地域などが大体共通した地帯として、6 月中旬にまとめられる。

筆者らの測定によれば⁸⁾、節水期における蒸発散量は、6 月上旬：2.7、中旬：3.4、下旬：3.1、7 月上旬：2.9mm/day (10 年平均) となっており、節水期では全体的に 3.0mm/day を越えている。旬雨量 40mm を既述の有効雨量で現わすと約 30mm で、蒸発散量として水田から失なわれる水量とほぼ同量である。したがって節水期間における旬雨量 40mm は、非湛水田の土壌が乾燥していく一つの限界点と解される。ことに無降水日の出現率 70% 以上の地域との類似性や、節水の全期に適用できることなどから、これは節水限界雨量として、宮城県においては適用地域の推定尺度になりうるものと思う。

さらに 6 月における旬雨量 40mm 以下の出現率は大部分が 50% 以上で、場所によつては 80% に近いものまでみられた。すなわち旬雨量 40mm 以下の出現頻度が 1.4~2.0 年に 1 回という高い割合である。しかも時期別の変化では中旬が最も寡雨の出現率が大きく、60% を越える地点が 7 カ所のうち 5 点を数えた。こうした点から、旬雨量 40mm の出現率は適用時期の推定にもある程度有効であり、こと宮城県に関しては乾燥度を示す重要な限界雨量ということができよう。

4. む す び

低温および降水の変動性から、冷水対策としての節水かんがいを、より効果的に適用する時の、限界地域と限界時期を具体的に推定する尺度が得られた。

低温条件としては節水期における最高気温と最低気温とがあるわけだが、最高気温については、宮城県を含む南東北の冷水地帯はもちろん、北東北においても平野部ですべて限界条件にならないことが判明した。

最低気温の方は半旬値で 12.3°C が節水限界気温として得られ、これは東北の全域に適用できると思う。具体的な適用時期の限界としては 6 月 15 日前後という値が得られ、それ以前に節水かんがいを行なう時は、その時、その場所における気温変化ならびに、用水温と気温との相対的な高低関係などを十分考慮して適用されるべきである。6 月中旬以降においては夜間冷却も節水かんがいの制限条件になることはまず無いと思う。

次に節水かんがいを行なっている非湛水田の乾燥度については有効無降水日の出現率 70% 以上と、蒸発散量が有効雨量より大きい、いわゆる有効残留雨量のマイナスになる処などによつて 6 月中旬では類似の地域が形成されており、さらに旬雨量 40mm 以下の地域が前 2 者の場合に類似している。この旬雨量 40mm は蒸発散量とほぼ等しい値であり、したがって非湛水田における乾燥への転化点として節水期間全体に適合できることから、これを節水限界雨量とすることができる。

こうした乾燥指標である有効無降水日の出現率や限界雨量を用いて具体的に宮城県を例にとつて乾燥地域や乾燥時期を推定した結果では、県北部の東部がその対象となり、6 月中旬が最も乾燥することも明らかになった。

さらに前記最低気温による限界気温の適用時期が 6 月中旬までであることなどもあわせ考えると、宮城県における節水かんがいの適用限界はかなり具体的かつ明白なものといえるであろう。

以上のように、災害対策としての特定の技術についてその適用限界を明らかにすることができたので、これらによつて節水かんがいの適用がより合理的に行なわれ、安定した効果が期待できるであろう。しかもここで示された節水限界気温や限界雨量は、いずれも気象平年値から容易に求められるので、実用性もかなりあるものと思う。

引用文献

- 1) 阿部亥三, 小野清治, 和田純二, 鳥山国土(1963): 水稻の早期多収栽培の地域性確立に関する生態的研究, 青森農試総合業績, **1**, 1~76
- 2) 阿部彦三, 鳥山国土, 東山春紀, 小野清治(1964): 青森県における冷害危険度の推定に関する研究, I, II, 農業気象, **19**, 133~139
- 3) 伊達了(1963): 東北地方の水稻栽培期間の決定方法に関する農業気象学的研究, 東北農試研報 **28**, 1~41
- 4) 羽生寿郎, 内島立郎, 齊藤武雄, 菅原利(1966): 北日本における水稻直播栽培の適地, 適期の決定方法に関する農業気象学的研究, 東北農試研報, **34**, 1~25
- 5) 宮本硬一(1962): 東北地方における冷水田と冷

- 水被害に関する研究, 宮城農試報, **30**, 1~38
- 6) 宮本硬一, 千葉文一(1965): 節水かんがいによる冷水害の防止に関する研究, II, 宮城農試報 **35**, 36~47
- 7) 宮本硬一, 千葉文一(1967): 節水かんがいによる水稻冷水害の防止に関する研究, III, 宮城農試報, **37**, 49~61
- 8) 宮本硬一, 千葉文一(1969): 寒冷地水田の水収支に関する研究, I, 印刷中.
- 9) 農林水産技術会議(1966): 農林水産業に関する試験研究の現状と問題点—農業気象編—農林省, 1~100
- 10) 水温水量部会(1962): 冷水かんがい田の水温水量と稲の被害に関する調査研究, 日本農業気象学会, 1~289
- 11) 坪井八十二(1963): 冷害の危険度を推定する, 農業技術, **18**, 309~313
- 12) 坪井八十二(1964): 水稻冷害による被害量の推定法について, 農業気象, **19**, 129~132
- 13) 八柳三郎(1960): 東北地方における稲作の計画栽培, I, 農業及園芸, **35**, 931~934

Summary

It was previously reported by the authors that water saving irrigation is very effective in preventing cold-water damage to paddy rice. The irrigation control, however, does not always seem to be available when the air temperature is lower than the water temperature of an irrigation channel and when a long spell of drought continues. Such climatic conditions will be detailed with a view to finding out when and where water saving irrigation works most effectively.

From the results of the statistical analysis on the climatic data of the Tohoku District during the past twenty to forty years, the following were obtained: The mean minimum temperature during five-day period, 12.3°C, and the rainfall during ten-day period 40 mm and less, are considered as the climatic limit on water saving irrigation.

Judging from the temperature limit, the application areas of water saving irrigation program are presumed to cover all the cold-watered paddy fields in the southern parts of the Tohoku District and the cold-watered paddy fields in the plains of the northern Tohoku District.

The effective application term on water saving irrigation generally comes after June 15 everywhere. Prior to that time the irrigation is feared to affect the growth of rice plant on account of high frequency of low temperature.

According to our observation during the past ten years, the mean daily amount of the evapotranspiration in the paddy field was 3.1 mm in June and 3.5 mm in July. As the effective rainfall is considered to be 70 to 80 percent of each rainfall, the rainfall of 40 mm and less during ten-day period will cause the paddy soil to be gradually dried up.

The frequency of an effective no-rain-day (included a day with rainfall of 1.4 mm and less) also acted as other indicator of drought. By checking the areas where the rainfall is less than 40 mm in ten-day period and the no-rain-day frequency shows more than 70 percent, it was found out that drought visits the northeastern parts of the prefecture in mid-June.

Thus, the rainfall of ten-day period, 40 mm, and the frequency of an effective no-rain-day, 70 percent, may be considered as the drying index on water saving irrigation.

It may be concluded that the reading of the normals of the climatic data will tell us when and where water saving irrigation program will succeed.