

気象要素からみた北部九州平坦地水稲の単収水準の低迷要因と対策

真鍋 尚義 (福岡県農業総合試験場筑後分場)

Hisayoshi MANABE : On the meteorological factors of hovering rice yield in northern plains of kyushu and its countermeasures

はじめに

農林水産省が1985年4月に報告した水稲の単収水準の解析結果¹⁴⁾によると、九州北部の単収は手植時代比べて、1975年以降では伸び率が停滞している。

単収水準の低迷要因について、まず気象分野からみると、北部九州平坦地水稲に共通の問題として、6月下旬～7月中旬の寡照・高温と7月中旬～9月上旬の高温および9月中・下旬の寡照に起因する低い籾生産効率^{11,19,16,18,8,4,13,5)}があげられる。また、高温環境のために、一般に暖地においては病虫害による減収程度が寒地に比べて大きい¹⁸⁾ことも低迷の一要因としてとらえられる。

そして、不利な生育環境に由来する暖地稲作の生育特性上の問題点は、成苗手植時代から稚苗移植時代に移って一層顕在化^{22,6)}、重要な問題となった。

したがって、これらの問題を、品種や水田管理、作季を含めた栽培技術改善によっていかに克服していくかということが極めて重要であるが、ここでは、水稲の生育・収量と気温・日照(日射量)との関係および、作期が異なる場合の気象効果について、最近得られた知見に限って紹介する。収量に及ぼす栽培技術の効果を正しく評価して栽培法の改善を図るためにも、生育や収量に及ぼす気象効果を的確に把握することは重要である^{9,4)}。

1. 水稲の生育・収量と気温・日照(日射量)との関係 品種や水田管理、栽培法を変えたことが増収あるいは減収の一要因になったのかどうかを正しく評価し、「たまたま」ではない改善策を見つけるためには、その年の稲作期間の気象がどの程度に水稲の生育・収量に影響したのかを知る必要がある。また、立地条件別に稲作期間の気象の平均値を把握しておくことは、水田の土地条件の把握と並んで極めて重要である。ところで、気象と水稲の生育・収量との関係を解析するにあたっては、気象データの用い方が問題になる。

1) 生育ステージ別気象量の地域間差 農林水産省¹⁴⁾

は、1985年4月に「水稲収量構成要素の推移と生育ステージ別気象量」を報告した。この資料は、「出穂期を中心とした稲作期間」の概念を用いた点と、登熟期間を出穂盛期から積算気温が900℃を越えた日までとしてとらえた点で評価できる。それによると、九州(普通期作)の稲作期間の気象で、①田植～出穂前40日が東北・北陸に比べて極めて高温・寡照で、②田植から出穂期までの日数は比較的短く、③出穂前20日～出穂期は高温、④出穂期～900℃到達日の平均気温と日照時間には大きな差がないという4点が特徴としてあげられる(第1表)。なお、気象量の地域間差については、同一県内でも立地条件によってかなり異なることにも注目すべきである²⁰⁾。

鈴木¹⁶⁾は、土壌条件を同一と仮定した場合の、暖地と寒地の水田地温の推移から地力窒素の生育ステージ別発現量を算出して模式図として紹介した。この模式図は、暖地では前期過繁茂になりやすく、後期凋落によってある一定以上のわらできになると玄米収量が頭打ちになりやすい^{11,19,16)}という不利な立地条件にあることを、生育ステージ別の地力窒素の発現型式の面から示している。

2) 単位面積当たり穎花数に及ぼす日射量と気温の影響

収量の成立を出穂前(生育期)の生育量と出穂後(登熟期)の登熟量の2つに分けると、収量に及ぼす気象の影響は登熟期において大きい^{1,3)}ことから、穎花数に及ぼす気象の影響についての報告は比較的少ない。しかし、あの「冷夏」といわれた1980年の北部九州平坦地水稲の低収は、明らかに穎花数不足によるものであった。これをきっかけに筆者ら⁹⁾は福岡県筑紫野市において、1972年から1980年までの9年間に、同一耕種法(稚苗移植栽培)で栽培した福岡県の主要品種について、単位面積当たり穎花数に及ぼす気象の影響を、乾物生産の面を含めて検討した。その解析結果の要点は次のとおりであった。

①分けつ初～中期の日平均日射量が200cal/cm²以下の場合には、清水ら¹⁵⁾が指摘したように分けつの発生が明

第1表 生育ステージ別気象量(農水省資料¹⁴⁾より抜粋)

気象管所	田植日 出穂日		田植日～出穂日 日数	田植日～出穂前40日		出穂前20日～出穂日		出穂日～900℃到達日			
	月 日	月 日		平均 気温 ℃	日照 時間 hr	平均 気温 ℃	日照 時間 hr	到達日	同左 期間	平均 気温 ℃	日照 時間 hr
Aomori	5.20	8.13	85	17.0	312	24.7	138	9.25	43	21.0	265
Yamagata	5.18	8.9	83	19.2	268	26.8	139	9.16	38	23.9	215
Niigata	5.14	8.4	82	19.3	294	27.3	159	9.8	35	26.2	256
Fukuoka	6.19	9.3	76	26.4	198	28.6	138	10.13	40	22.8	238
Saga	6.18	9.5	79	26.7	208	28.8	143	10.15	40	22.9	244
Kumamoto	6.16	9.1	77	26.3	197	29.1	148	10.9	38	24.0	237

らかに抑えられた。②出穂前50日から出穂前11日までの40日間〔-40〕〔-20〕期の平均日射量と単位面積当り穎花数との関係は、日射量が400cal/cm²/日付近までは日射量の増大に伴って穎花数が直線的に増加しており、回帰係数に品種間差が見られた。③日射量のかわりに日照時間を説明要因にとった場合には、穎花数に対する寄与率が小さくなった。④穎花数に対する〔-40〕〔-20〕期の気温効果について、日射量効果を補正してみると、MUNAKATA⁸⁾の指摘と類似の傾向で平均気温が27℃と28℃の間とところに気温効果の最低値があり、25℃から28℃の間では、1980年のように25℃程度に低い方が気温効果は高かった。⑤〔-40〕〔-20〕期の日射量は、穂首分化期から穂揃期にかけてのCGRに密接な影響を及ぼすため、和田ら²¹⁾の指摘を併せて考察すると、穎花数に大きく関与する極めて重要な気象要素と考えられる。また、この時期の日射量が乾物生産と穎花数に及ぼす影響には品種間差が見られた。⑥〔-40〕〔-20〕期の日射量が、穂首分化期から穂揃期にかけてのCGRに及ぼす影響をLAIとNARに分解してみると、NARに及ぼす影響が大きかった。⑦生育前期の日射量が少ない場合には、NARの極度の低下を防ぐように稲体を健全にするための肥培管理を行うことが重要と考えられる。

以上は、筆者ら⁴⁾が1981年までに得た知見であるが、その後更に検討を加え、出穂前55日から出穂前6日まで50日間の日平均日射量(S₁)、日平均気温(t₁)と単位面積当り穎花数(Y₁)との関係式：
$$Y_1 = \frac{S_1}{S_1 + 500} \cdot (174,720 - 5,932t_1 + 84t_1^2) \dots [I]$$
を得た。なお、1973年～80年の日本晴、レイホウ2品種(n=16)で、Y₁の穎花数に対する寄与率は0.71であった。また、穎花数生産気象効果の数値に比べて実際の穎花数が明らかに少ない場合の理由については次の5点があげられた。①移植直後～分げつ初期の異常寡照と多雨。②移植から出穂期までの日数が80日程度以上に長くて比較的生育量を確保しやすい栽培型で、かつt₁が高い。③移植から出穂期までの日数が短い栽培型や、生育中期の葉色値が低い場合。④土壌の肥沃度が低い場合。⑤水管理や前作の影響。

単位面積当り穎花数の決定要因としては、移植時期や水田管理、品種などが現実には大きく関与するが、気象効果としては前述のS₁とt₁を用いた〔I〕式を利用して算出し、実測値との数値のちがいの部分を気象以外の要因としてとらえて解析を進めることができる。この〔I〕式については、立地条件や栽培型が大きく異なる場合には期間の取り方などを変更して、より実情に合った、しかも利用しやすい関係式を求めることができると考えられる。

3) 粗玄米収量に及ぼす登熟期間の気温と日照(日射量)との関係 水稻の登熟に及ぼす気温・日照(日射量)の影響については、山川(1958)、松島(1958, 1959)、相見(1959)、佐藤(1960)、村田(1964)、羽生ら²⁾、棟方ら⁹⁾等、実験的研究や統計的研究に基づいた報告があ

り、更にMUNAKATA⁸⁾は、収量に及ぼす日平均気温と日照時間の複合効果を示す数学モデルを提示した。これらの論文では、気象を取り扱った期間のちがいはあるが、登熟期間の平均気温の適温はほぼ20℃～22℃の範囲にあり、日照(日射量)は多いほど玄米収量にプラス(直線的又は双曲線的)という。但し、最近、西山¹²⁾は「イネの収量は登熟期の積算光合成有効放射量に比例し、気温が収量に及ぼす影響は小さい」という統計的研究に基づいた解析結果を報告した。

筆者ら⁵⁾は、筑紫野市大字上古賀と吉木で行った稚苗移植栽培試験(1972年～'80年, 1983年～'84年, 日本晴とレイホウ)のデータを用いて、出穂期から積算気温が900℃に到達する日までの気温、日平均日射量、積算日射量と粗玄米重、穎花数補正収量指数⁹⁾との関係について解析した。ここで、登熟期間を出穂期から積算気温が900℃に到達する日までとしたのは、農林水産省¹⁴⁾と同じ方法によったもので、出穂期後積算気温が900℃に達した時期が早生種、晩生種とも収穫適期の早限期の一指標である⁷⁾ということから極めて妥当と考えた。解析結果の要点は次のとおりであった。①出穂期から積算気温900℃到達日までの日平均気温(t₂)が19.5℃より1℃高温になると粗玄米収量(Y₂)は10a当り22kg減少の關係にあり、西山¹²⁾の「登熟期間の気温が収量に及ぼす影響は小さい」という解析結果と異なった。t₂と穎花数補正収量指数(A)との關係は、
$$A_1 = -4,800 + 622t_2 - 15t_2^2 \dots [II]$$
というt₂が20.7℃のときにA₁が最大の1,637となる二次式が得られた。③また、t₂とA₁との關係は、登熟の初～中期が高温(出穂後5日目から20日間の平均気温が、24.5℃以上)の場合にA₁が小さく、この20日間の平均気温は21℃～21.5℃と低くて出穂後30日を中心とする10日間の平均気温は18.5℃以上と高い場合にA₁が大きかった。④出穂期から積算気温900℃到達日までの積算日射量(S₂)が10,000～14,000cal/cm²の範囲では、S₂が1,000cal/cm²増大するにつれてY₂が10a当り43kg増加する關係にあり、⑤S₂と(A)との關係は、
$$A_2 = 586 + 0.082S_2 \dots [III]$$
という一次式が得られた。⑥また、S₂とA₂との關係は、登熟初～中期の高温条件ではA₂が小さく、逆に初～中期が低温で後期は比較的高温条件の場合にA₂が大きかった。⑦以上の解析結果、登熟期間の気温の高低および気温の推移の仕方は直接的に玄米収量へ影響すると同時にまた、登熟期間の長短およびS₂の多少に関与することによって玄米収量に影響するという重要な収量決定要因であることが明らかになった。

以上は、筆者ら⁵⁾が1985年9月に九農研の作物部会で報告した要点である。なお、この報告⁵⁾に用いたデータの範囲では、気温較差が玄米収量に及ぼす影響は予想に反して見られなかったが、登熟期間を短く区切って、登熟に真に有効な気温や日射量域を探索し、品種や穂揃期葉身重などの生育前歴を含めて収量との關係式を求めることが、今後の検討事項として残っている。

第2表 出穂期別穎花数と玄米生産に及ぼす気象効果の平年値 (筑紫野市)

仮定 出穂期	出穂前55日～前6日		穎花数に 及ぼす 気象効果	出穂期～積算気温900℃			玄米生産に及ぼす登熟期間の				
	日平均 気温	日平均 日射量		到達日	期 間	日平均 気温	日平均 日射量	積 算 日射量	気温効果	積算日射 量 効果	気象効果
月 日	℃	cal/cm ²	×10 ²	月 日	日	℃	cal/cm ²	cal/cm ²			
7 . 1	24.3	332	3 2 0	9 . 2	33.7	26.7	357	12,023	1,114	1,572	1,323
8 . 5	24.9	333	3 1 6	9 . 7	34.3	26.2	343	11,778	1,200	1,552	1,365
8 . 10	25.5	337	3 1 4	9 . 13	35.0	25.7	332	11,621	1,278	1,539	1,402
8 . 15	25.9	344	3 1 6	9 . 19	36.1	24.9	320	11,567	1,388	1,534	1,459
8 . 20	26.4	354	3 1 8	9 . 25	37.4	24.1	311	11,620	1,478	1,539	1,508
8 . 25	26.7	359	3 1 8	10 . 2	38.8	23.2	298	11,579	1,557	1,535	1,546
8 . 31	26.8	363	3 2 0	10 . 10	40.9	22.0	295	12,055	1,624	1,574	1,599
9 . 5	26.8	359	3 1 8	10 . 17	43.1	20.9	287	12,351	1,648	1,599	1,623
9 . 10	26.7	359	3 1 8	10 . 25	45.6	19.7	280	12,756	1,632	1,632	1,632
9 . 15	26.4	356	3 1 8	11 . 1	48.1	18.7	274	13,197	1,586	1,668	1,626

注) ①穎花数に及ぼす気象効果は〔I〕式 $Y_1 = \frac{S_1}{S_1 + 506}(174,720 - 5,932t_1 + 84t_1^2)$ により求めた。
 ②玄米生産に及ぼす登熟期間の気象効果は〔IV〕式 $A = \sqrt{A_1 \times A_2}$ より求めた。但し、気温効果は〔II〕式 $A_1 = -4,800 + 622t_2 - 15t_2^2$ 、
 積算日射量効果は〔III〕式 $A_2 = 586 + 0.082S_2$ によった。
 ③登熟期間の気象効果Aは、穎花数補正収量指数⁹⁾に相当する。

また、出穂期前の高温や田植～出穂前40日の寡照条件が、生育前歴や根圏の環境条件^{10),17)}を通して登熟にどのように関与するかの定量的解析が、解決すべき重要な課題と考えられる。

2. 水稻の作季(出穂期)が異なる場合の穎花数・玄米生産気象効果 気象と水稻の収量との関係式から、棟方⁹⁾や内島²⁰⁾は、地域別・穂揃期(出穂期)別の収量(気候登熟量)指数を提示した。

筆者は、前述の〔I〕,〔II〕,〔III〕の3つの式を用いて、筑紫野市上古賀の1972年から1979年まで8年間の半旬別日平均気温と日平均日射量の平均値を平年値と仮定した場合の、仮定出穂期別穎花数生産気象効果(Y₁)及び、穎花数補正収量気象効果(A) = $\sqrt{A_1 \times A_2}$ 〔IV〕の各々平年値を算出した(第2表)。その結果、仮定出穂期が7月31日～9月15日の範囲では、①Y₁は日射量効果と気温効果との関係から結果的には出穂期の間の差が小さかった。但し、移植時期から出穂期まで日数が異なる場合や気象の年次変動によっては大きく異なる。②Aに及ぼす日平均気温効果(A₁)は7月31日出穂の場合に最も小さく9月5日出穂の場合に最も大きかった。③一方、積算日射量効果(A₂)は、8月10日～8月25日出穂の場合に小さく、9月15日出穂の場合に最も大きく、その結果、〔IV〕式より求めたAは、9月10日出穂の場合に最も大きく、内島²⁰⁾のいう多収のための最適穂揃期と一致した。

以上のように、出穂期別に、平年気象条件下における穎花数および穎花数補正収量指数に及ぼす気象効果を明らかにしたことは、今後これを地域全体に拡大していくことによって、地域別・作季別栽培上の問題点を検討し、また、地域別の稲生産技術の確立を図るうえで、更には、天気長期予測が可能になれば、気象予測に基づく稲作技術対策の基礎データとして有効な情報を与えるうえで有用であろう。

引用文献

- 1) 嵐 嘉一：水稻の生育と秋落診断, pp. 439, 1960.
- 2) 羽生寿郎ほか：東北の農業気象10, 1965.
- 3) 松島省三：農技研報A 5, 1-271, 1957.
- 4) 真鍋尚義ほか：日作九支報48, 4-8, 1981.
- 5) 真鍋尚義ほか：九農研40, 35, 1986.
- 6) 真鍋尚義：稲作全書イネII, 栽培技術の基本, 277-280, 1981.
- 7) 真鍋尚義ほか：福岡県総試研報A-4, 27-32, 1984
- 8) MUNAKATA, K.: Proceedings of the symposium on climate and rice, IRRRI, 187-210, 1976.
- 9) 棟方 研ほか：中国農試報告A-14, 59-96, 1967.
- 10) 村上利男：農業技術26, 574-579, 1971.
- 11) 村山 登：農業技術21, 101-106, 1966.
- 12) 西山岩男：日作紀54, 8-13, 1985.
- 13) 農業技術協会：座談会—九州農業の強みと弱み(上) 465-475, 1983.
- 14) 農林水産省大臣官房・農蚕園芸局：水稻収量構成要素の推移と生育ステージ別気象量, pp.153, 1985.
- 15) 清水 強ほか：日作紀31, 141-144, 1962.
- 16) 鈴木新一：日本作物学会シンポジウム紀事2集, 24-31, 1968.
- 17) 田中典幸：日本作物学会シンポジウム紀事9集, 500-503, 1976.
- 18) 坪井八十二：日本作物学会シンポジウム紀事2集, 18-23, 1968.
- 19) 津野幸人：農業技術22, 133-136, 1967.
- 20) 内島立郎ほか：農業気象22, 137-142, 1967.
- 21) 和田源七ほか：日作紀31, 23-26, 1962.
- 22) 和田 学：農業及び園芸48, 925-930, 1973.
- 23) 和田 学：福岡農総試研報A-5, 1-6, 1985.