水稻発育段階予測法の異なる作期及び栽培地域への適用

山本良孝・川口祐男・高橋 渉

(富山県農業技術センター)

1993年1月21日受理

要 旨 : 水稻「コシヒカリ」を供試し、気温による水稻の発育段階予測法 (DVS 方式) が作期及び栽培地域の異なる条件で、どのような適合性を示すかについて検討した。

4月20日から6月1日までの移植においては DVS 方式が良く適合し、この期間の標準誤差は幼穂形成期が 1.21 日、出穂期が 1.48 日、成熟期が 1.45 日であった。しかし、6月15日の移植においては推定値が実測値より遅くなり、生育が進むにつれて拡大した。この理由としては日長の影響が大きく、短日条件が発育段階を早めたものと考えられた。

富山県内における入善町、立山町、砺波市の 3 カ所において、近隣のアメダスの日平均気温をもとに DVS 方式の適合性を検討したところ、標準誤差は幼穂形成期が 2.76 日、出穂期が 2.33 日、成熟期が 2.55 日と高い適合性を示し、県内においても DVS 方式により水稻の発育段階を予測することが可能と考えられた。

キーワード : 栽培地域、作期、推定、水稻、適用、発育段階、平均気温。

Developmental Stage Estimation Method for Rice in Various Cropping Seasons and Areas : Yoshitaka YAMAMOTO, Sachio KAWAGUCHI and Wataru TAKAHASHI (*Toyama Agricultural Research Center, 1124-1 Yoshioka, Toyama 939, Japan*)

Abstract : Estimation of the developmental stages of paddy rice by temperature (DVS method) was conducted during different cropping seasons and areas for the rice variety Koshihikari.

The DVS method was applied to cases of transplantation from April 20 to June 1. During this period, the standard deviation of estimated error was 1.21, 1.48, and 1.45 days for the young panicle formation stage, heading stage, and maturing stage, respectively. However, the DVS method could not be used for transplanting on June 15, and the estimated developmental stages were somewhat behind actual growth rates. The developmental stage that appears to possibly be affected by the length of the day, and accelerated development was noted for short days.

This method could be used in Nyuzen town, Tateyama town and Tonami city, all in Toyama prefecture, using temperature data from AMeDAS.

Standard deviation of error was 2.76, 2.33, and 2.55 days for the young panicle formation stage, heading stage and maturing stage, respectively.

Key words : Application, Cropping area, Cropping season, Developmental stage, Estimation, Rice, Temperature.

水稻の生育状況を正確に診断し、将来の生育状況を予測することは、水稻の栽培を行う上で極めて重要なことである。また、水稻の生育診断を行うにあたっては、まず、発育段階を正確に把握する必要がある。従来、水稻の発育段階を表す方法として、葉齢、葉齢指数、幼穂長、葉耳間長など⁴⁾が用いられてきた。葉齢、葉齢指数については葉身に定期的にマークを付けておくことが必要であったり、幼穂長、葉耳間長については特定の期間にだけしか活用できないという問題点があった。

堀江¹⁾は de Wit らの発育速度の概念を水稻に適用し、水稻の発育段階を日平均気温をもとに水稻の発育段階を推定する方法を報告した。そこで、筆者らは日平均気温をもとに水稻の発育段階を予測する方法 (DVS 方式) を改良することによって水稻の全生育期間を通じて水稻の発育段階を数値化して表すことが可能であり¹⁾、同一の耕種条件では葉齢、葉齢

指数、幼穂長との互換性が高いこと¹²⁾を報告してきた。また、移植時の苗の葉齢が異なる条件においても苗の葉齢に応じて移植期の発育段階を示す値 (DVS 値) を補正することにより、DVS 方式を活用することが可能であること¹³⁾を明らかにしてきた。

しかし、この DVS 方式は富山県農業技術センター・農業試験場内の 5 月初旬に移植された水稻について検討したものであり、作期の異なる条件及び栽培環境が異なる県内各地での適合性については未検討であった。

そこで、本試験においては移植時期が異なる条件及び富山県内の各地で実際に栽培された水稻に対しても DVS 方式が適合するかどうか検討したので報告する。

材料と方法

試験 1 作期が異なる条件での DVS 方式の適合

性

1988年に富山県農業技術センター・農業試験場圃場にコシヒカリを4月20日, 5月2日, 5月18日, 6月1日, 6月15日の5作期に分けて移植した。各作期に1箱当たりの播種量が乾粃で50 g, 100 g, 150 gと異なる3種類の苗を供試した。各作期の育苗方法は第1表に示す通りである。

幼穂形成期は幼穂長が2 mmに達した日, 出穂期は約50%の穂が出穂した日, 成熟期は粃の約85%が黄熟した日とした。

発育段階を示す値(DVS値)は移植期=0.1, 幼穂形成期=0.7, 出穂期=1.0, 成熟期=2.0とし富山地方気象台の日平均気温を用い, 移植期から幼穂形成期まではA式で求めた。この時のTcd(最低発育温度)=11.58, G=63.19, Kd=-0.1148とした。これらのパラメーターは, 富山県農業技術センター・農業試験場内の圃場で毎年同一耕種条件で栽培した, 1975年から1984年にかけての10年間における, コシヒカリの移植から幼穂形成期までの生育結果と富山地方気象台の日平均気温をもとに, シンプレックス法で求めた¹¹⁾。

$$A \text{ 式: } DVS = \sum_{i=1}^n DVR_i$$

ただし, $DVR_i = (1 - e^{kd(T_i - T_{cd})}) / G$

また, $T_i < T_{cd}$ の場合は $DVR_i = 0$

T_i は日平均気温, T_{cd} は発育の最低温度, G, Kd はパラメーターを表す。

幼穂形成期から出穂期まではB式を用いて求めた。これらのパラメーターは, 富山県農業技術センター・農業試験場内の圃場で毎年同一耕種条件で栽培した, 1975年から1984年のコシヒカリの幼穂形成期から出穂期までの生育結果と富山地方気象台の日平均気温をもとに, また, この期間を1983年は日平均気温20°C, 28°C, 1984年は23°C, 26°C, 29°Cの合計5区のグロウキャビネット内で生育させた結果をもとに, 重回帰分析法で求めた¹¹⁾。

$$B \text{ 式: } DVS = \sum_{j=1}^m DVR_j$$

ただし,

$$DVR_j = 0.3 / (0.266 \times T_j \times T_j - 14.708 \times T_j + 226.435)$$

また, $T_j > 27^\circ\text{C}$ の場合は $DVR_j = 0.013$

T_j は日平均気温を表す。

また, 苗の葉齢をもとにC式により移植時のDVS値を補正した¹³⁾。

C式--

$$\text{移植時のDVS値} = 0.601 \times (1 - e^{(-0.56 \times L)}) - 0.398$$

L = 移植時の苗の葉齢

(不完全葉を第1葉として数えた。)

出穂期から成熟期にかけてもA式により求めたが, この場合Tcd=7.29, G=30.51, Kd=-0.0854とした。これらのパラメーターはA式と同様の方法で求めた。

推定精度を知るため標準誤差を次式で求めた。

$$\text{標準誤差} = \sqrt{((\text{実測値} - \text{推定値})^2 / (n - 1))}$$

試験2 栽培地域が異なる条件でのDVS方式の適合性

富山県内の栽培地域が異なる3ヶ所, 県の東部に位置し海岸線に近い入善町, 県の中央部に位置し海岸線からの距離が約15 kmとやや内陸の立山町(県中央部), 県の西部に位置し海岸線から距離が約30 kmと内陸の砺波市, においてDVS方式が適合するかどうか検討した(第1図)。水稻の発育段階については, 各普及所が地域の栽培基準に合わせて毎年ほぼ同一耕種条件で栽培している生育観測圃のコシヒカリについて, 1984年から1988年にかけての5ヶ年の生育結果を用いた。主要発育段階は試験1と同様の方法で推定した。ただし, 日平均気温は入善町は泊, 立山町は富山地方気象台, 砺波市は砺波のアメダスの観測データを用いた。

第1表 育苗方法。

移植時期 (月, 日)	播種量 (g/箱)	播種時期 (月, 日)	育苗日数 (日)	移植時の 苗の葉齢 (葉)
4.20	50	3.24	28	4.2*
	100			3.3
	150			3.4
5.2	50	4.8	25	4.4
	100			3.9
	150			3.2
5.18	50	4.27	22	3.4
	100			3.2
	150			3.0
6.1	50	5.12	21	3.5
	100			3.2
	150			3.1
6.15	50	5.27	20	3.9
	100			3.6
	150			3.2

* 葉齢は不完全葉を第1葉として数えた。

結果と考察

試験1 作期が異なる条件での DVS 方式の適合性

移植時期、幼穂形成期、成熟期の各主要発育段階間の日数、平均気温、積算温度を第2表に示した。また、移植時期及び播種量の異なる苗における幼穂形成期、出穂期、成熟期の結果並びに DVS 方式による推定結果を第3表に示した。

幼穂形成期については4月20日移植の50g区が7月8日と最も早く、6月15日移植の100g、150g

第1図 水稻の栽培地域及びアメダス観測地点、○は栽培地点、▲はアメダスの観測地点を示す。図中の点線は海拔200mの位置を示す。

区が8月3日と最も遅く、27日の差異が認められた。また、移植期が早いほどこの間の平均気温が低く、積算気温が大きくなる傾向が認められ、この間の日数も長くなった。このことから、作期が異なる条件では発育段階の推定に積算気温は使用できないものと考えられる。また、同一の移植期では播種量が少ない区ほどこの間の平均気温が低く、積算気温が小さくなる傾向が認められ、この間の日数も短くなった。この理由として、播種量が少ない区ほど移植時の苗の葉齢が大きく、播種量が多い区より移植時にすでに発育段階が進んでいたためと考えられる。

DVS 方式による推定では最大誤差-4日、標準誤差1.79日とほぼ全区において比較的高い適合性を示した。しかし、6月15日移植においてはいずれの播種量においても推定値が実測値より遅くなった。この理由としては、6月15日から夏至までの日数が約1週間程度しか無く、日長が強く影響し、短日条件が水稻の発育段階を早めたためと考えられる。また、4月20日から6月1日移植に限ってみた場合、標準誤差は1.21日となり推定精度が明らかに高く、本試験で用いた DVS 方式は、4月下旬から6月初旬移植で良く適合するものと考えられた。

幼穂形成期から出穂期にかけては移植時期の早いものほどこの間の日数が長くなった。この理由としては移植時期の早いものほど幼穂形成期が早く、こ

第2表 移植時期及び播種量が異なる条件での主要発育段階間の日数、平均気温及び積算温度。

移植時期 (月・日)	播種量 (g/箱)	移植～幼穂形成期			幼穂形成期～出穂期			出穂期～成熟期		
		日数 (日)	平均気温 (°C)	積算気温 (°C・日)	日数 (日)	平均気温 (°C)	積算気温 (°C・日)	日数 (日)	平均気温 (°C)	積算気温 (°C・日)
4.20	50	79	17.6	1389.0	26	23.1	601.4	41	25.1	1031.1
	100	80	17.7	1415.7	29	23.4	679.9	39	24.9	969.6
	150	80	17.7	1415.7	30	23.6	707.0	39	24.8	965.4
5.2	50	69	18.3	1266.5	26	23.0	598.2	43	24.9	1070.4
	100	70	18.4	1290.1	28	23.5	657.0	40	24.7	988.0
	150	74	18.6	1379.3	27	23.9	645.6	38	24.5	932.1
5.18	50	62	20.1	1245.1	25	24.3	607.4	42	24.0	1007.0
	100	62	20.1	1245.1	26	24.4	634.2	42	23.8	999.2
	150	63	20.1	1268.1	27	24.6	665.4	41	23.5	963.3
6.1	50	54	21.3	1149.7	24	25.1	602.9	45	23.0	1010.7
	100	55	21.3	1172.6	24	25.3	606.5	44	22.8	1001.9
	150	56	21.4	1196.4	24	25.4	608.5	44	22.6	994.3
6.15	50	47	22.1	1037.7	23	26.3	605.0	45	21.6	973.2
	100	49	22.1	1084.0	22	26.6	584.5	45	21.4	964.5
	150	49	22.1	1084.0	23	26.5	609.7	45	21.3	957.0

第3表 移植時期及び播種量が異なる条件での主要発育段階の推定結果。

移植時期 (月, 日)	播種量 (g/箱)	幼穂形成期			出穂期			成熟期		
		実測値	推定値	誤差	実測値	推定値	誤差	実測値	推定値	誤差
		A	B	A-B	A	B	A-B	A	B	A-B
		(月, 日)	(月, 日)	(日)	(月, 日)	(月, 日)	(日)	(月, 日)	(月, 日)	(日)
4.20	50	7.8	7.5	3	8.3	8.2	1	9.13	9.11	2
	100	7.9	7.8	1	8.7	8.5	2	9.15	9.14	1
	150	7.9	7.8	1	8.8	8.5	3	9.16	9.14	2
5.2	50	7.10	7.9	1	8.5	8.5	0	9.17	9.14	3
	100	7.11	7.11	0	8.8	8.7	1	9.17	9.16	1
	150	7.15	7.14	1	8.11	8.10	1	9.18	9.19	-1
5.18	50	7.19	7.19	0	8.13	8.14	-1	9.24	9.24	0
	100	7.19	7.20	-1	8.14	8.15	-1	9.25	9.26	-1
	150	7.20	7.21	-1	8.16	8.16	0	9.26	9.27	-1
6.1	50	7.25	7.25	0	8.18	8.19	-1	10.1	10.1	0
	100	7.26	7.27	-1	8.19	8.21	-2	10.2	10.3	-1
	150	7.27	7.27	0	8.20	8.21	-1	10.3	10.3	0
6.15	50	8.1	8.4	-3	8.24	8.29	-5	10.8	10.12	-4
	100	8.3	8.5	-2	8.25	8.30	-5	10.9	10.14	-5
	150	8.3	8.7	-4	8.26	9.1	-6	10.10	10.19	-9
標準誤差 ¹⁾				1.21	1.48			1.45		
標準誤差 ²⁾				1.79	2.80			3.22		

1) 4月20日植から6月1日植までの場合。

2) 4月20日植から6月15日植までの場合。

の間の平均気温が低くなったためと考えられる。

DVS方式による出穂期の推定では幼穂形成期の場合と同様に4月20日から6月1日移植では標準誤差1.48日と高い適合性を示すものの、6月15日移植ではいずれの播種量においても推定値が実測値より5から6日遅く、幼穂形成期の時点より誤差が拡大した。この理由としては、中川ら⁸⁾が報告するように幼穂の発育段階においても短日条件で水稻の発育段階が促進されることが考えられる。

出穂期から成熟期までの日数は移植時期が早いほど短く、この間の平均気温も高い傾向が認められた。また、同一の移植期においては播種量の多い区において登熟日数及び積算温度が低くなる傾向が認められた。この理由としては播種量の多い区ほど単位面積当たりの穎花数が少なかったためと考えられる。

DVS方式による成熟期の推定では、4月20日から6月1日移植では標準誤差1.45日と高い適合性を示した。しかし、6月15日移植では誤差が大きく、特に、150g区では推定値が実測値より9日も遅くなる結果となった。この理由としては成熟期頃の日平均気温が17°C程度と低く登熟の速度が極端に遅かったこと、倒伏により成熟期の判断がしにくかつ

第2図 DVS方式の水稻の発育段階予測精度。
○, △, □は4月20日から6月1日植えの幼穂形成期, 出穂期, 成熟期を示す。
●, ▲, ■は6月15日植えの各発育段階を示す。

たこと等が考えられる。

富山県においては従来から水稻の安全出穂限界は8月20日とされており、本試験においても6月1日がほぼ限界日にあたった。6月15日移植では出穂期が8月25日頃と安全出穂限界より5日程度遅く、収穫した玄米も乳白米や青未熟米が極めて多く、この

第4表 DVS方式の富山県内における適合性.

場所	年度	移植時期 (月, 日)	移植時の 苗の葉齢 (葉)	幼穂形成期			出穂期			成熟期		
				実測値 (月, 日)	推定値 (月, 日)	誤差 (日)	実測値 (月, 日)	推定値 (月, 日)	誤差 (日)	実測値 (月, 日)	推定値 (月, 日)	誤差 (日)
入善町	1984	5.7	3.3	7.13	7.11	2	8.6	8.5	1	9.15	9.13	2
	1985	5.7	3.7	7.14	7.11	3	8.8	8.5	3	9.14	9.12	2
	1986	5.2	3.7	7.18	7.16	2	8.15	8.12	3	9.18	9.20	-2
	1987	5.1	3.2	7.13	7.9	4	8.6	8.3	3	9.16	9.12	4
	1988	5.1	3.4	7.18	7.16	2	8.15	8.12	3	9.23	9.22	1
標準誤差				3.04			3.04			2.69		
立山町	1984	5.7	3.3	7.11	7.12	-1	8.3	8.6	-3	9.13	9.15	-2
	1985	5.7	3.4	7.13	7.10	3	8.5	8.4	1	9.12	9.12	0
	1986	5.6	3.7	7.19	7.15	4	8.13	8.10	3	9.18	9.19	-1
	1987	5.6	3.8	7.14	7.10	4	8.5	8.3	2	9.16	9.12	4
	1988	5.6	3.8	7.16	7.15	1	8.12	8.11	1	9.18	9.21	-3
標準誤差				3.28			2.45			2.74		
砺波市	1984	5.9	3.9	7.11	7.9	2	8.3	8.3	0	9.13	9.12	1
	1985	5.5	3.9	7.12	7.9	3	8.4	8.3	1	9.14	9.11	3
	1986	5.5	3.6	7.17	7.15	2	8.14	8.11	3	9.23	9.21	2
	1987	5.5	4.3	7.11	7.8	3	8.2	8.1	1	9.14	9.11	3
	1988	5.5	3.1	7.15	7.16	-1	8.10	8.12	-2	9.20	9.23	-3
標準誤差				2.60			1.94			2.83		
全体での標準誤差				2.76			2.33			2.55		

時期のコシヒカリの栽培は不適当と考えられた。このことから、富山県においても松本³⁾の報告と同様、晩植におけるコシヒカリの移植限界は6月初旬までと考えられる。

以上、DVS方式の作期が異なる条件での適合性を検討した結果4月下旬から6月初旬までは高い適合性があるものと考えられた。

試験2 栽培地域が異なる条件でのDVS方式の適合性

富山県内の3ヶ所における幼穂形成期、出穂期、成熟期の実測値と推定値を第4表に示した。いずれの地域においても5月上旬の移植であった。

幼穂形成期は7月11日から7月19日まで8日の差異が認められ1985年以降交互に幼穂形成期の早い年次と遅い年次があり、本試験における5年間は気象変動の大きい条件であった。DVS方式による推定では最大誤差4日、全体の標準誤差2.76日で比較的高い適合性であった。

出穂期では最も早い8月2日、最も遅い8月15日と13日の差異が認められる条件で、全体の標準誤差2.33日と比較的高い適合性を示した。

成熟期では最も早い9月12日、最も遅い9月23

日と11日の誤差が認められる条件で、全体の標準誤差2.55日と高い適合性が認められた。

以上の結果、DVS方式は県内3ヶ所における適合性が高く、発育段階の予測が可能と考えられた。

従来、水稻の発育段階を把握するために、水稻の葉身に印を付け、葉齢や葉齢指数を使用してきたが、定期的に葉身に印をつけることは極めて労力のかかる作業であり、個々の農家が実施できる状況になかった。しかし、本報のDVS方式を用いることにより、移植時期や苗の種類が異なる場合においても、水田1筆毎に水稻の発育段階を正確に推定することが可能となった。

DVS方式により水稻の発育段階を正確に推定することは、水管理、施肥、防除、収穫など農作業の効率化のために、極めて有効と考えられる。また、減数分裂期による障害型不稔や登熟期間におけるフェーン現象の被害を事前に予測し、予防対策を実施することにより、被害を軽減することも可能であろう。さらに、品種毎の発育モデルを策定することにより、経営規模や立地条件に適した作付配分も可能と考えられる。

水稻の発育段階には平均気温だけでなく日長や田

水温が影響しているものと考えられ^{2,4,9,10)}, 今後は発育段階予測モデルに日長や田水温のデータを組み込むことを検討している。また, 予測精度を向上させるためには, 消防署, 学校, ダム等, 各栽培地域に最も隣接する観測地点の日平均気温をもとに, 独自のパラメーターを求める必要があり, 隣接の観測地点が無い場合においてはメッシュ気候図^{6),7)}を活用し県内全域の水田に対応した発育段階予測システムを構築していきたい。

引用文献

1. 堀江 武 1985. 北陸の気象と農作物の生産—最近の諸問題と対策—北陸の気象と水稻生産 日本農業気象学会北陸支部会誌 第10号: 84—92.
2. ———・中川博視 1990. イネの発育過程のモデル化と予測に関する研究. 第1報 モデルの基本構造とパラメータの推定法および出穂予測への適用. 日作紀 59: 93—107.
3. 松本範裕 1988. 低コスト稲作のための品種構成と収量限界. 農及園 63: 841—846.
4. 松島省三・田中孝幸・星野孝文 1964. 水稻収量の成立原因とその応用に関する作物学的研究. 第71報 生育各期の気温・水温の各種組み合わせが水稻の生育およびその他の諸形質に及ぼす影響. 日作紀 33: 135—140.
5. ——— 1965. 稲作の理論と技術—収量成立の理論と応用—. 養賢堂, 東京. 76—94.
6. 森 康明・河野富香・房尾一宏 1985. 広島県メッシュ気候図の利用に関する研究. 第5報 任意地点における特定年の日別平均気温推定. 広島県立農業試験場研究報告 第49号: 87—98.
7. ———・———・———・鳥生久嘉 1987. ———. 第8報 水稻の出穂期及び成熟期の推定とその利用. 広島県立農業試験場報告 第50号: 11—24.
8. 中川博視・堀江 武 1987. イネの発育過程のモデル化と予測に関する研究. 第2報 幼穂の分化・発育過程の気象的予測モデル. 日作紀 56(別1): 208—209.
9. 柴田和博・佐々木一男・島崎佳郎 1973. 時期別の気温・水温処理が水稻の生育に及ぼす影響. 第2報 昼夜別気温, 水温および処理日数と出穂期との関係. 日作紀 42: 267—274.
10. 高見晋一 1988. 水田水地温の簡易予測法. 日本農業気象学会北陸支部会誌 13: 7—8.
11. 山本良孝・田守健夫・川上義昭・川口祐男 1986. 気温による水稻の発育段階予測法について. 北陸作物学会報 21: 47—48.
12. ———・川上義昭・川口祐男 1987. ———. 第2報 DVS値と葉齢, 葉齢指数及び幼穂長との関係. 1987. 北陸作物学会報 22: 17—18.
13. ———・川口祐男・浅生秀孝・高橋 渉 1988. ———. 第3報 葉齢の異なる苗への適用について. 日作紀 57(別2): 129—130.