

水稲の出葉特性と出穂の予測

※
泉川 澄男・畠山 貞雄・佐々木 忠勝・畠山 均

Effects of Air Temperature on Leaf Emergence on Main Culm of Rice Plants and Forecast for Heading Time

by

※
Sumio IZUMIKAWA, Sadao HATAKEYAMA, Tadakatsu SASAKI and Hitoshi HATAKEYAMA

目 次

I 緒 言

II 材料と方法

1 作況調査

2 作期調査

III 結 果

1 出葉経過と出葉転換期

2 気温と出葉速度

3 葉数の逐次予測

4 幼穂形成期予測

5 出穂期予測

IV 考 察

V 摘 要

VI Summary

引用文献

かし、最終葉数の変動による誤差があるためにこの指数はあまり利用されず、いまだ統一された考えは示されていない。また、この基礎となるであろう出葉特性についても、十分に把握されているとはいえず今後の課題となっている。

このような中で生育を予測しようという試みが各県で重点的に取り組まれ、その成果も徐々にでてきている。本県においてもこれは急務となっており、これまでの作況調査の結果から、出葉特性について解析し、幼穂形成期および出穂期の予測方法について検討を行った。この予測方法は各県各様であるが最終的には共通なものにまとめて、場所・品種・苗の種類・移植期の違いにも対応できる予測方法に改善していく必要があると考えられる。

II 材料と方法

I 緒 言

水稲の生育ステージを的確に把握することは、追肥などの栽培管理を適期に行うために欠くことのできない重要なポイントである。作柄や生育の特徴を知るために長年にわたって作況調査が行われているが、この中で生育ステージの指標としてとりあげられているのが葉数である。この生育ステージと葉数との関連については、すでに松島¹⁾らが葉齢指数を用いて明らかにしている。し

各年同一耕種条件下で実施している岩手農試の水稲作況試験の調査結果をもとに、気温と出葉特性及び生育ステージの関連性を検討した。また、作期と出葉・生育ステージ調査も補完として実施した。作況試験の調査品種はハヤニシキ・フジミノリ・アキユタカ・ササミノリであるが、本研究の対象品種はハヤニシキとし、苗の種類は稚苗・中苗及び従来の畑苗代成苗について比較検討した。供試水田の土性と土質は 壤土・厚層多腐植質火

※現 千厩農業改良普及所

山灰土である。

1 作況調査

- 1) 調査期間 稚苗 昭49~60年
中苗 昭53~60年
畑成苗 昭49~57年・59年

2) 耕種概要

- (1) 供試品種 ハヤニシキ
- (2) 播種期・移植期等

表1 播種期・移植期

項目	稚苗	中苗	畑成苗
播種期	4月25日	4月15日	4月15日
播種量	200g/箱	100g/箱	90g/m ²
移植期	5月15日	5月20日	5月25日
栽植密度	25.6株/m ²	同左	27.8株/m ²

(3) 施肥方法

表2 育苗期施肥量(成分)

苗の種類	窒素	りん酸	加里
稚苗(g/箱)	2	3	2
中苗(g/箱)	2+1 ^①	3	2
畑成苗(g/m ²)	35+5 ^②	40	40

注) 中苗の置床施肥量(g/m²)は、窒素…20、りん酸…30、加里…20

①…2.5葉期, ②…3.5葉期

表3 本田施肥量 (kg/a)

	窒素	りん酸	加里
稚苗	1+0.2 ^① +0.2 ^②	3	1.2+0.2 ^②
中苗	1+0.2 ^① +0.2 ^②	3	1.2+0.2 ^②
畑成苗	1+0.2 ^③ +0.2 ^②	3	1.2+0.2 ^②

注) ①…出穂60日前, ②…出穂25日前,

③…出穂50日前

土改材(kg/a): 牛厩肥 200

3) 調査項目

- (1) 葉数調査 20個体について, 不完全

(2) 幼穂形成期

葉を除く主稈葉数を調査
主稈3~5本平均の幼穂
長が2mmに達した日
(以下, 幼形期と略記す
る)

(3) 減数分裂盛期

主稈の50%の止葉の葉耳
間長が0となった日
(以下, 減分盛期と略記
する)

(4) 出穂期

全穂の50%が出穂した日

2 作期調査

昭和59年に稚苗と中苗のハヤニシキを用いて実施した。作期は表4の通りで, その他の耕種概要, 調査項目は作況調査に準じた。

表4 作期と移植時葉齢

稚苗		中苗		苗	
播種期	移植期	葉齢	播種期	移植期	葉齢
4.25	5.15	2.0	4.15	5.19	3.3
4.30	5.19	2.0	4.20	5.25	3.0
5.6	5.25	2.1	4.25	5.30	3.6
5.10	5.30	2.2	5.2	6.4	2.8
5.15	6.4	2.4	5.5	6.10	3.3
			5.10	6.14	3.2

III 結果

1 出葉経過と出葉転換期

表5, 6, 7の葉数調査結果から苗の葉齢についてみると, 苗の種類による差は平均で稚苗と中苗は1.2葉, 中苗と畑成苗は1.6葉となっている。苗の種類別にみると稚苗は2.0~2.2葉の幅で年による差は小さいが, 中苗では2.8~3.7葉, 畑成苗では4.4~5.3葉と差は広がっている。これは稚苗にくらべ育苗日数が長く気象変動の影響をより大きく受けるためと思われる。

泉川ら：水稻の出葉特性と出穂の予測

表5 葉数調査結果(稚苗)

年次	苗齡	6月5日	6月15日	6月25日	7月5日	7月10日	7月20日	7月25日	最終
49	2.0	4.5	6.0	7.7	9.2	9.8	10.8	11.2	12.9
50	2.0	4.4	6.0	7.8	8.9	9.4	10.6	11.5	12.4
51	2.2	4.9	6.4	8.1	9.3	9.9	11.0		13.3
52	2.1	4.2	6.0	7.3	9.2	10.1	10.9		12.3
53	2.0	4.2	5.9	8.1	10.0	10.8	12.1		13.0
54	2.0	4.4	6.0	8.0	9.3	9.9	10.9		12.5
55	2.2	4.3	6.5	8.3	9.5	10.0	10.9		12.4
56	2.0	3.7	5.1	6.3	8.1	8.9	10.5	10.9	12.8
57	2.0	4.0	5.7	7.8	8.9	9.7	10.8	11.6	13.0
58	2.1	4.7	5.6	7.2	8.6	8.9	10.0	10.6	13.1
59	2.0	4.9	6.5	8.1	9.3	9.8	11.0	11.7	12.0
60	2.1	4.2	5.4	7.3	8.9	9.5	10.5	11.2	12.7
平均	2.1	4.4	5.9	7.7	9.1	9.7	10.8	(11.2)	12.7

表6 葉数調査結果(中苗)

年次	苗齡	6月5日	6月15日	6月25日	7月5日	7月10日	7月20日	7月25日	最終
53	3.5	4.2	6.0	8.1	10.0	10.9	12.4		13.3
54	3.1	5.0	6.7	8.5	9.8	10.3	11.3		12.9
55	3.3	5.0	6.8	8.6	9.7	10.2	11.2		12.4
56	2.8	4.2	6.0	7.0	8.7	9.4	11.0	11.6	13.2
57	3.1	4.1	6.0	8.2	9.2	10.2	11.2	11.9	13.3
58	3.7	5.7	6.7	8.0	9.4	9.6	10.7	11.2	13.1
59	3.4	5.6	7.1	8.7	9.9	10.4	11.5	12.3	12.7
60	3.2	4.9	6.0	7.9	9.4	10.0	11.0	11.6	13.0
平均	3.3	4.8	6.4	8.1	9.5	10.1	11.3	(11.7)	13.0

表7 葉数調査結果(畑成苗)

年次	苗齡	6月15日	6月25日	7月5日	7月10日	7月20日	7月25日	最終
49	5.2	7.7	8.9	10.2	10.8	11.8	12.6	13.0
50	5.1	7.8	9.4	10.4	10.9	12.1	13.1	13.6
51	5.3	8.0	9.3	10.1	10.7	11.9		13.5
52	4.6	7.4	8.6	10.2	10.9	11.8		13.0
53	5.1	7.3	9.2	10.9	11.7	13.0		13.5
54	4.7	7.2	9.0	10.1	10.7	11.6		12.9
55	5.1	8.1	9.8	10.8	11.5	12.5		13.2
56	4.4	7.1	8.0	9.7	10.2	11.7		13.1
57	5.1	7.9	9.8	10.8	11.6	12.7	13.5	14.4
59	4.5	7.3	8.8	10.1	10.5	11.7	12.5	12.5
平均	4.9	7.6	9.1	10.1	11.0	12.1		13.3

主稈の最終葉数は平均で稚苗が12.7葉、中苗13.0葉、畑成苗13.3葉と調査年数は異なるものの苗による差は0.3葉で、苗の葉齢と比較するとその差は小さくなっている。苗別では稚苗は12葉をベースに13・14葉個体の比率でさまるが、大体は13葉個体によって決まる年が多い。これまでの年次で最終葉数の少ない年は59年の12.0葉で、これ以下の年はないことから、この作期での出穂に必要な最少葉数は12葉とみられる。また、高温年の59年に行った作期調査においても最少葉数は12葉であり(表12)、低温年ではむしろ増加することから上記の推定はこの調査においても確認された。同様に中苗では13葉をベースに12・14葉個体の出現割合でさまり、畑成苗では12葉となる年は少なく13葉をベースに14葉個体の割合で最終葉数がさまっている。最終葉数は大きい苗ほど多くなるが、どの苗でも年によって1葉ほどの変動がみられる。その年の最終葉数がどうなるかは後述するように幼形期にはほぼ予想できるが、分けつ期では困難である。その理由は個体別にみると最終葉数が少なくなる個体は、幼形期頃から出葉間隔が長くなるために1葉減少しており、どの個体がそうなるかを分けつ期に予想することはできないからである。ただ全体としてみた場合に、その年の気象条件との関係からいくらかの知見が得られており、細井²⁾はササニシキクラスまでの早～晩生種では、生育温度が高い程最終葉数が少なく低い程多くなることを明らかにしている。本研究でも分けつ期が低温の年は多くなっており細井の結果は確認されたが、高温年の場合には多い年(53年)と少ない年(59年)があり、また、57年のように前半高温後半低温の場合や、その反対であった60年ではどちらも多く高温の場合については今後の課題である。

2. 気温と出葉速度

前項では暦日での葉数の増加をみてきたが、図1～4は移植後の積算温度(最高気温)と葉数との関係についてみたものである。ここで最高気温をとりあげたのは、後述するように出葉速度と最も相関が高いからである。図をみると苗の種類、移植期をとわずに出葉転換期が認められ、その前後で出葉速度(日/葉)が異なり後期はより多く

の日数を要している。

転換期の到達時期をみると図1～3の作況調査では、どの苗もほとんど暦日で6月25日から7月5日の間となっている。葉数では稚苗は52年を除き9葉の抽出期で8葉期以前にはみられないが、中苗と畑成苗は稚苗より幅があり、中苗では9～10葉の抽出期で9.0葉前後、畑成苗は10～11葉の抽出期で10.0葉前後の場合が多く、苗齢の大きな苗ほど転換期の葉数が多くなる傾向がみられる。作期調査をみると(図4)稚苗はどの移植期も作況調査と同様に9葉の抽出期となっている。中苗は移植時期が5月中であれば転換期は作況調査と同じく10葉の抽出期であるが、6月以降になると稚苗と同じく9葉の抽出期に早まっている。ここでみられる転換期葉数の変動は図からみて最終葉数の多少とも関連しており、同じ苗でも最終葉数が多くなれば転換期葉数も多くなるものとみられる。

次に転換期の前後で1葉出葉するために必要とする積算温度(最高気温)をみると、前期(6月5日から6月25日まで)、ただし畑成苗は移植後から6月25日まで)では、稚苗は135℃(標準偏差7.8℃)中苗は139℃(同14.0℃)畑成苗は166℃(同11.4℃)となっており、稚苗と中苗はほぼ等しく、畑成苗ではやや多く必要としている。後期(7月5日から20日まで)は稚苗が216℃(同15.7℃)、中苗は214℃(同22.7℃)、畑成苗は216℃(同15.9℃)となっており、後期では苗の種類にかかわらずほぼ同じ温度で出葉している。前期と後期を比較すると、後期の方が稚苗中苗で75～80℃、畑成苗では約50℃多くかかっていることがわかる。

さらに、調査期間別に最高気温と出葉速度(1葉出葉するのに要する日数)の関係をみると、どの調査期間でも出葉速度は最高気温に強く影響されている(図5・6)。稚苗についてみると(図5)出葉速度は6月5日～15日では6～11日、6月15日～25日では5～9日、6月25日～7月5日では6～9日、7月5日～20日では8～11日の変動幅がみられる。最高気温と出葉速度の関係について期間別に比較すると、6月5日～15日と6月15日～25日はほぼ同じ温度反応と判断される。

泉川ら：水稻の出葉特性と出穂の予測

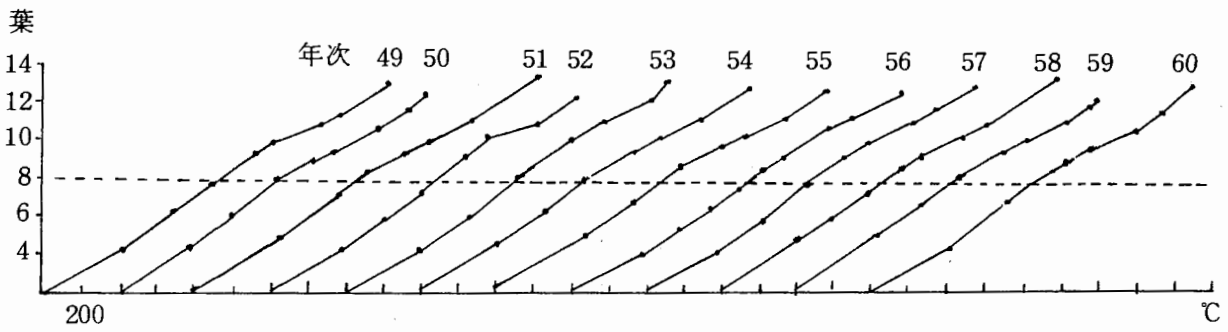


図1 移植後積算気温（最高気温）と葉数（稚苗：目盛 200 °C）

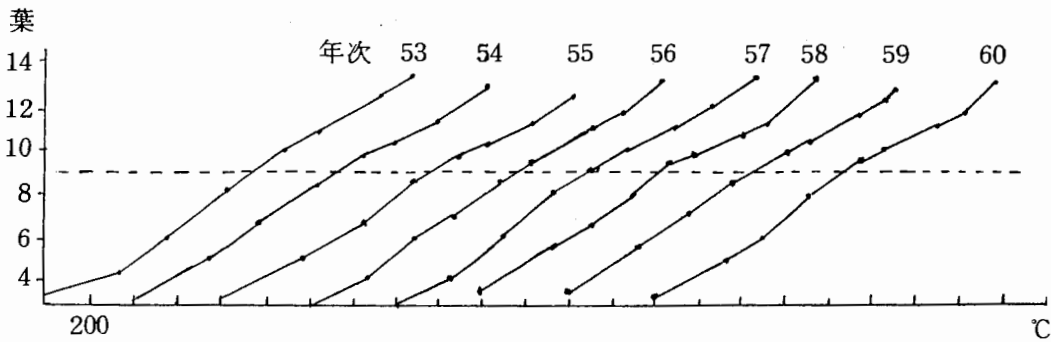


図2 移植後積算気温（最高気温）と葉数（中苗）

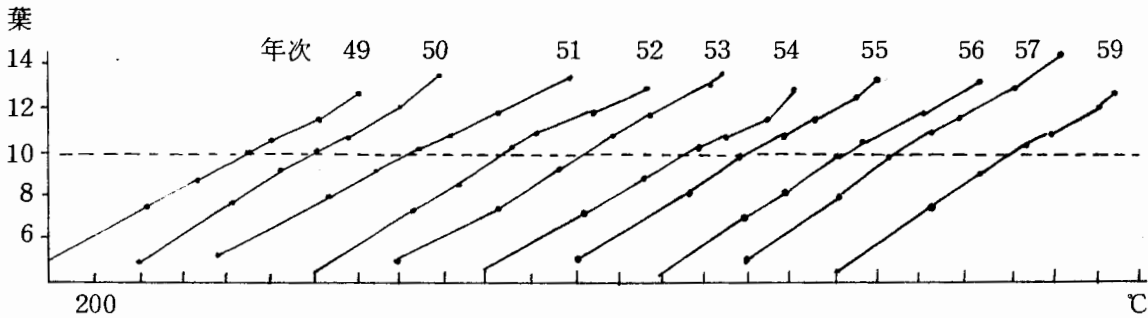


図3 移植後積算気温（最高気温）と葉数（畑成苗）

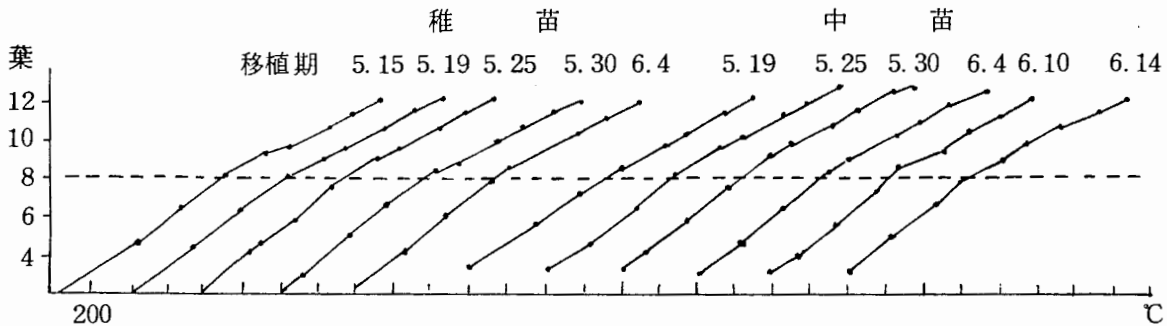


図4 移植後積算気温（最高気温）と葉数（作期調査）

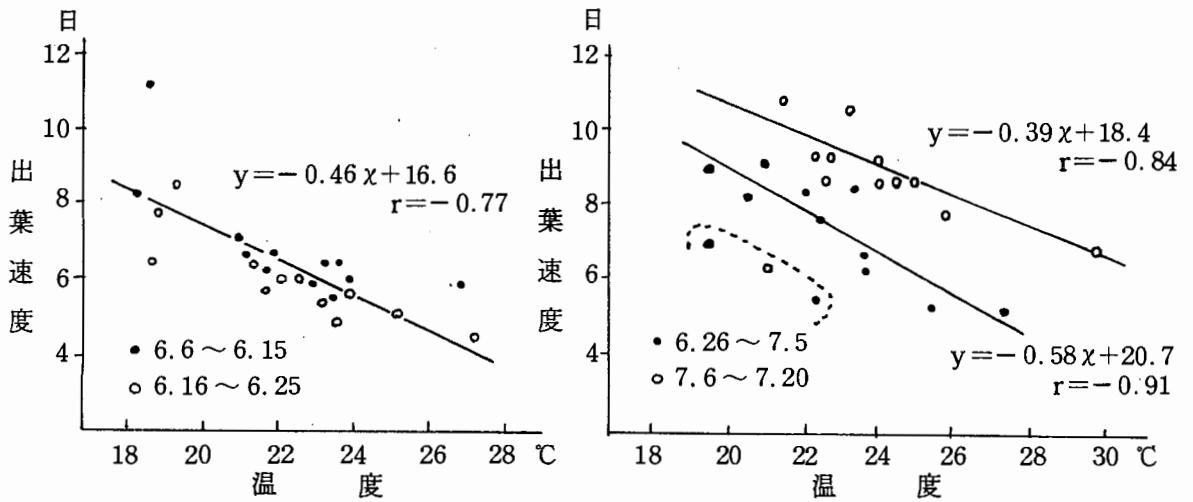


図5 調査期間別最高気温と出葉速度(日/葉): 稚苗

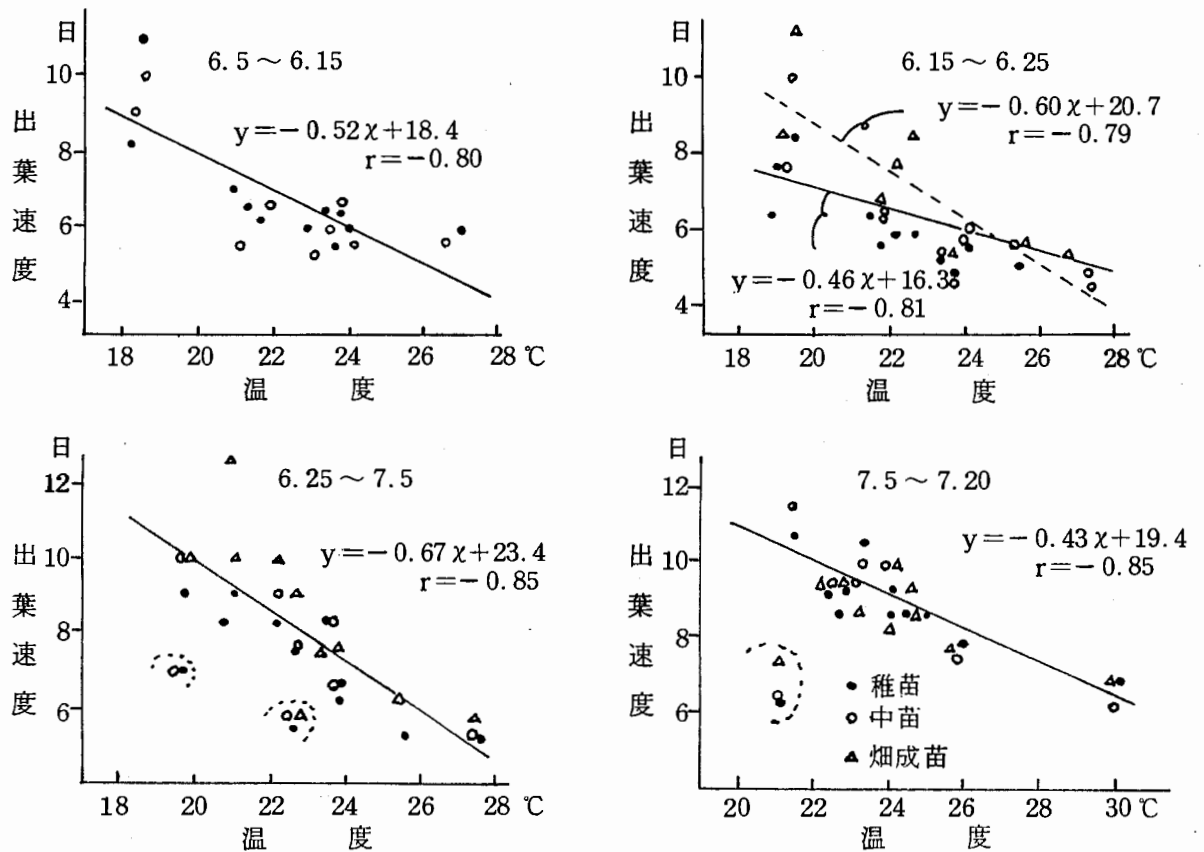


図6 調査期間別最高気温と出葉速度(日/葉)

その後の出葉速度は低下していくことから6月5日から7月20日までの温度反応は、6月5日~25日、6月25日~7月5日、7月5日~20日の3期に区分できる。前述の出葉転換期との関係では、6月5日~25日が前期7月5日~20日が後期にあたり、6月25日~7月5日は両者の過渡期とみることができる。この前期の回帰式の傾き

と他の期間の傾きを比較してみると、6月25日~7月5日では前期との傾きの差は小さく、温度によらず出葉速度はほぼ2日多く比では1.2倍となっている。後期では傾きが小さくなっているために前期との出葉速度の差は高温側ほど大きく、19℃では差で3日多く比では1.4倍であるが、27℃では差は4日比では1.9倍と増加して

いる。回帰式を求める際は56・58年が低温年で生育ステージが遅れていたため図の点線で示しているように、6月25日～7月5日では56・58年を7月5日～20日では56年を除いて求めた。

さらに苗の種類別にみると(図6)中苗は各期間とも稚苗と同様の温度反応を示しており、稚苗で述べたことは中苗についてもいえると考えられる。畑成苗は6月25日以降には稚苗と同様であるが、6月15日～25日では低温側での出葉速度が遅くなっている。これはさきにみたように出葉転換期の前期で1葉出葉するのに必要とする積算温度が、畑成苗では稚苗と中苗より多かったことと一致している。以上のことから6月5日から7月20日までの出葉の温度反応については、稚苗と中苗は同じとみることができ、畑成苗では6月25日以降の温度反応が稚苗と中苗と同じとみることができる。出葉転換後は苗の種類をとわず同じ温度反応を示すことが明らかである。

3 葉数の逐次予測

長谷川³⁾の研究によれば、水田での気温・水温・地温の気象要因のうち出葉を支配しているのは生長点に最も影響力の大きい地温であり、気温や水温は地温を介して影響していることが明らかにされている。葉数の予測はこの点からみれば地温を利用することが望ましいが、地温の観測はこれまであまり実施されていないので応用場面を考え、ここでは気温をとりあげた。気温要素の中で予測精度を比較したところ最低気温・平均気温・最高気温の順に高くなることから、出葉についての解析はすべて最高気温で行うこととした。解析は重回帰分析を用い説明変数として各調査日の葉数(X_1)と、その後の予測する調査日までの最高気温の日平均値(X_2)の2つをとり上げて、その後の調査日の葉数(Y)を予測した。各調査日間の葉数には期間が短いほど高い相関があるが、説明変数として最高気温を追加することにより寄与率(R)は有意に高まり、この結果を苗の種類別に示したものが表8～10である。苗の種類にかかわらず2つの説明変数だけで、任意の調査日間の逐次予測を非常に高い精度で行うことが可能であり、この誤差は0.1～0.2葉と小さく実用性の高い方法であると考えられる。予測を行う場合はその後の最高気温の予想が重要な要因とな

るが、これまでの累年値からあらかじめ5段階程度の境界値を作っておき、その中から天気予報を参考にして決定するという手順で予測を行う方法がよいと思われる。

表8 葉数調査日間の寄与率(稚苗)

月日	6.15	6.25	7.5	7.10	7.20
6.5	0.95	0.93	0.92	0.87	0.96
6.15		0.94	0.91	0.89	0.95
6.25			0.96	0.93	0.96
7.5				0.93	0.82
7.10					0.93

表9 葉数調査日間の寄与率(中苗)

月日	6.15	6.25	7.5	7.10	7.20
6.5	0.96	0.86	0.89	0.82	0.88
6.15		0.85	0.87	0.81	0.90
6.25			0.92	0.94	0.95
7.5				0.90	0.82
7.10					0.97

表10 葉数調査日間の寄与率(畑成苗)

月日	6.25	7.5	7.10	7.20
6.15	0.89	0.69	0.73	0.83
6.25		0.87	0.85	0.86
7.5			0.98	0.87
7.10				0.92

4. 幼穂形成期予測

出葉速度は時期的な変化はあるものの最高気温に影響され、この気温を説明変数とした重回帰式により高い精度で葉数の逐次予測のことが明らかになった。この葉数を生育ステージと結びつけてはじめて葉数調査の意義がでてくるのであるが、以下この点について述べる。生育ステージとしては幼形期の調査を行っているため、幼形期と幼形期葉数について検討した(表11・12)。幼形期葉数は調査していないので前後の調査日葉数から案分して算出した。また、この他に松島のいう葉齢指数の妥当性及び最終葉数と幼形期葉数の関係についても検討した。

表11 幼形期の葉数及び葉齢指数(作況調査)

年次	幼形期葉数			幼形期葉齢指数			最終葉数との差		
	稚苗	中苗	畑成苗	稚苗	中苗	畑成苗	稚苗	中苗	畑成苗
49	10.5		11.0	86.3		88.6	2.4		2.0
50	10.2		11.0	87.9		84.7	2.2		2.6
51	10.6		10.8	84.3		84.2	2.7		2.7
52	10.7		11.0	91.2		88.6	1.6		2.0
53	10.9		11.4	88.0		87.7	2.1		2.1
54	10.5	10.5	10.5	88.9	86.3	86.3	2.0	2.4	2.4
55	10.3	10.2	11.1	88.4	87.9	87.9	2.1	2.2	2.1
56	10.8	11.1	11.3	88.7	87.9	89.6	2.0	2.1	1.8
57	10.6	10.9	12.2	86.3	86.1	86.6	2.4	2.4	2.2
58	10.7	11.0		86.2	87.9		2.3	2.1	
59	10.2	10.4	10.4	90.3	87.1	88.3	1.8	2.3	2.1
60	10.4	10.7		87.1	86.9		2.3	2.3	
平均	10.5	10.7	11.1	87.8	87.2	87.3	2.2	2.3	2.2

表12 幼形期の葉数及び葉齢指数(作期調査)

苗の種類	移植期 月日	幼形期 月日	同左 葉数	同左 葉齢 指数	最終 葉数 との差
稚苗	5.15	7.14	10.0	88.6	2.1
	5.19	7.14	10.0	88.6	2.1
	5.25	7.16	10.3	89.6	1.9
	5.30	7.20	10.0	89.2	2.0
中苗	6.4	7.24	10.2	90.3	1.8
	5.19	7.11	10.3	90.3	1.8
	5.25	7.17	10.9	89.9	1.8
	5.30	7.19	10.8	88.1	2.1
	6.4	7.21	10.3	87.8	2.2
	6.10	7.25	10.4	90.8	1.7
畑成苗	6.14	7.28	10.3	90.8	1.7

幼形期葉数についてみると作況調査では年次により0.7~0.9葉の変動があり、平均でみると稚苗では10.5葉中苗は10.7葉畑成苗は11.1葉となっている。作期調査では稚苗は10.1葉中苗が10.5葉で同一年次であるためか作況調査にくらべ変動は小さく、移植時期にかかわらず大きな差はない。最終葉数との差をみると年次による変動は幼形期葉数ほど大きくなく、平均では2.2~2.3葉と苗の種類による差はなくなっている。

このことから幼形期は最終葉数から約2.2葉前に到達するものと推定される。最終葉数があらかじめ予想できれば幼形期を予測することができるわけであるが、先に検討したように幼形期以前での予測は困難である。そこで変動はあるものの幼形期葉数が比較的安定していると仮定して、調査日毎の葉数と幼形期との相関をとってみると、稚苗と中苗では7月5日葉数と、畑成苗では最終葉数が14.4葉と他の年次にくらべて極端に多い57年を除いて6月25日との相関が最も高く、相関係数は稚苗・中苗・畑成苗の順に-0.88, -0.78, -0.76となった。これを図示すると図7になるが9葉以下の年次が少なく、また、低温年での誤差が大きくなっている。予測の標準誤差は稚苗と畑成苗が2日中苗が3.6日である。さらに詳しくみると2日を越える誤差のあるのは稚苗では5859年、中苗では55, 58年、畑成苗では57年である。とくに畑成苗の57年、稚苗と中苗の58年の誤差が大きいが、これらの年は予測日以降に異常低温が続いたために生育が抑制されたことが原因と考えられる。この葉数からの予測ではその後の生育が平年並に進むものという前提に立っているために、極端な気象経過となった場合は差が大きくなるわけである。

予測精度をさらに高めるためには予測日以降の気温を説明変数として追加することが考えられ

るが、稚苗と中苗については7月6日から7月10日までの最低気温を、畑成苗では6月26日から6月30日までの最低気温を追加したところ寄与率Rと(誤差)は、稚苗・中苗・畑成苗の順に0.84(1.8), 0.93(1.7), 0.76(1.8)と予測精度は有意に高まった。ここで畑成苗は57年を入れており葉数のみの場合の相関係数は-0.40と低いので、この追加により精度はかなり高まっている。この結果、葉数と最低気温による予測方法の誤差は2日以内となり、精度からみると葉数のみの方

法よりまさっているが、葉数のみの方法を用いる場合には、予測日以降の低温での遅れを補正すれば十分利用できるのではないかと考えられる。以上のことから葉数を指標として幼形期を予測することが可能で、幼形期葉数も表11のように大まかではあるが目安が明らかになり、それとの比較で生育の遅速が判断できるものと考えられる。また、調査日間の葉数の逐次予測ができることからこれを用いてさらに早い時期に幼形期を予測することも可能である。

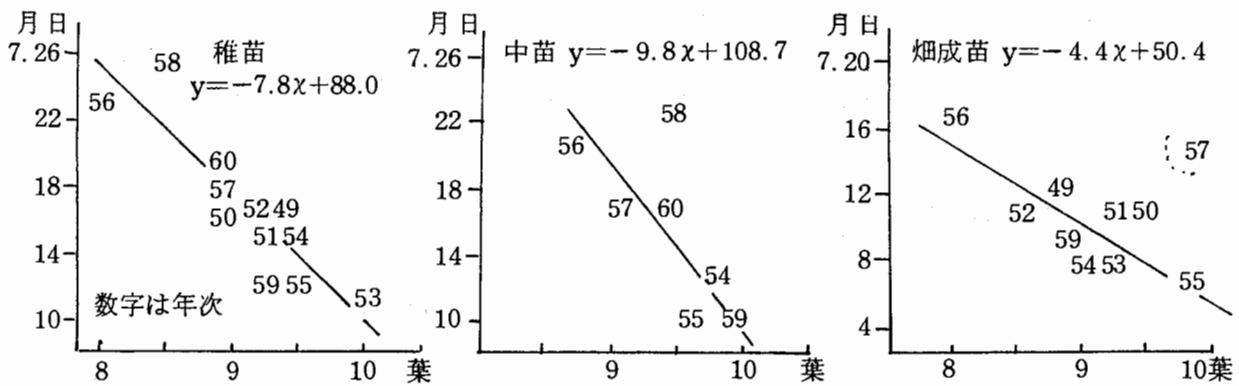


図7 葉数(稚・中苗7月5日, 畑成苗6月25日)と幼形期(月・日)

以上のように、幼形期は気温に大きく影響される葉数によって予測することができるが、さらに一步進んで気温のみを要因とした予測法の可否について検討した。移植後の積算温度の日平均と移植後から幼形期まで日数との関係の検討は、気温の要素として相関係数の最も高い平均気温をとりあげ、移植後からの積算を6月20日から7月10日までは5日間隔にとり、さらに幼形期までの積算も加えて各々の相関係数と誤差を求めた(表13)。日平均気温との相関は幼形期まででは低いものの6月20日から7月10日の間では高く(r は0.9前後)、誤差も2日程度と小さいことから気温だけでも予測は可能と考えられる。予測精度からみると、予測時期は稚苗が7月5日・7月10日、中苗では6月25日・7月5日、畑成苗では6月30日・7月5日である。前述の2つの予測方法と比較すると予測精度は両者の中間であるが、大きくはずれる年はなく高い精度で予測できる期間が長い。また、予測時期が早くその後の気象変動による影響の小さい点が特徴である。7月5日までの平均気温との関係を図示してみると(図8)、回帰係数は苗の種類にかかわらずほ

ぼ一定で同じ温度反応を示し、苗の種類間の移植から幼形期まで日数の差も一定となっている。この日数は稚苗が最も多く中苗より5~6日、畑成苗より13~14日多くなっているが、一方播種から幼形期までの日数をみると中苗が最も長く、畑成苗は2~3日、稚苗は9~10日少なくなっていることがわかる。

作況調査では播種期・移植期が一定となっており作期がか変わった場合にはどうなのかが問題となるが、この点を作期調査で検討した(図9)。

作期毎に移植期がずれるので、稚苗では移植後40日間、中苗では35日間の平均気温と移植後幼形期まで日数との関係を見た。図9の点線は作況調査で得られた回帰式で、これに作期調査のデータがのるかどうかが問題である。なお、図9の点は温度の低い方にある点が早い移植期に対応している。その結果をみると平均気温との相関は作期が変わった場合でも高いが(相関係数は稚苗で-0.97、中苗で-0.96である)、作況調査の回帰式とくらべると傾きが大きく、移植が遅れるほどより短縮されている。この回帰式からはずれる移植期は稚苗では5月25日以降、中苗では6月

5日以降と判断される。移植時期が遅れても幼形期がそれほど大きく遅れないのは、通常移植時期より温度が高いことと、それ以外の短縮効果(おそらくは感光性によるものと推定される)が重なるためと考えられる。以上のことから作況調査

で得られた回帰式をあてはめることができる作期は、稚苗では5月20日頃まで中苗では5月30日頃までとみられ、この範囲であれば十分適用できるものと結論された。

表13 移植後日平均気温と幼形期までの日数との相関(作況調査)

項目	苗の種類	移植 ~6.20	移植 ~6.25	移植 ~6.30	移植 ~7.5	移植 ~7.10	移植 ~幼形期
r	稚苗	-0.84	-0.86	-0.86	-0.88	-0.90	-0.71
	中苗	-0.92	-0.94	-0.91	-0.93	-0.94	-0.78
	畑成苗	-0.83	-0.87	-0.89	-0.89	-0.88	-0.84
s	稚苗	2.4	2.2	2.2	2.1	1.9	3.1
	中苗	2.2	2.0	2.4	2.0	2.0	3.5
	畑成苗	2.4	2.1	2.0	2.0	2.0	2.4

注) r:相関係数, s:標準誤差

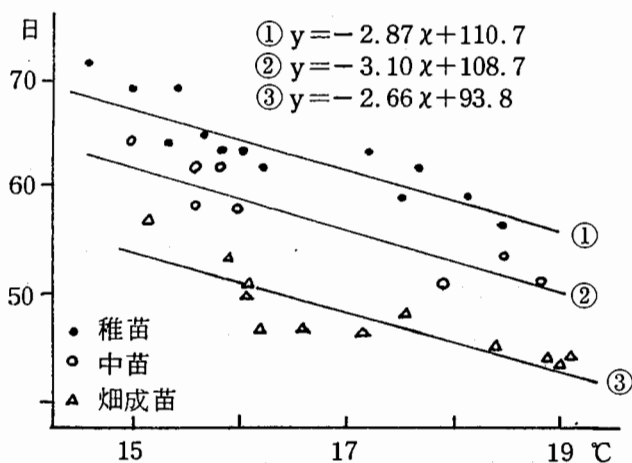


図8 移植後7月5日まで平均気温と移植から幼形期までの日数

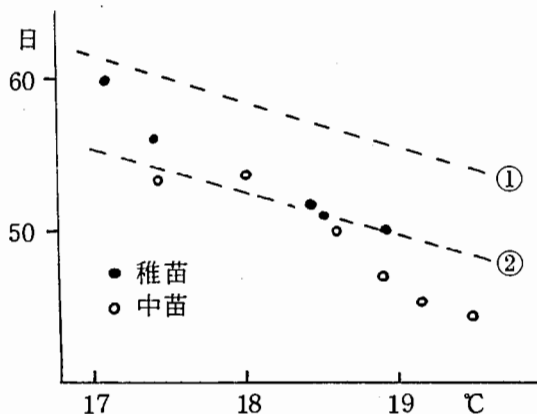


図9 移植後平均気温(稚苗40日間, 中苗35日間)と移植から幼形期までの日数(作期調査)

次に幼形期の葉齢指数が稲村¹⁾のいう88~90になっているかどうかについて検討した(表11・12)。表11でみると平均ではどの苗も87~88と稲村の報告とほぼ一致するが、年次別にみると、稚苗では84~91中苗では86~88畑成苗では84~90と幅が大きい。また、表12でも88~91で葉齢指数が1違うと葉数では0.2葉違うので稚苗畑成苗では1.2~1.4葉(約10~11日)中苗では0.4葉(約3日)の幅がでることになる。さきにもみたように幼形期が最終葉数のほぼ2.2葉前となっていることから、葉齢指数を生育ステージの指標としてとらえることは妥当であると思われるが、年次による変動がやや大きくこの点が欠点である。葉齢指数を用いて幼形期を予測できるかということについては誤差がやや大きく、前もって最終葉数を予想しなければならないことなどから実用的ではないと思われる。

5. 出穂期予測

幼形期は葉数又は移植後平均気温から2日以内の誤差で予測することができるが、つぎに幼形期と減分盛期および出穂期の関係について検討した。作況調査の各生育ステージは表14のとおりである。

表14 生育ステージ（作況調査）

年次	幼穂形成期			減数分裂期			出穂期		
	稚苗	中苗	畑成苗	稚苗	中苗	畑成苗	稚苗	中苗	畑成苗
49	7.17		7.12	8.3		7.27	8.11		8.6
50	7.17		7.11	7.28		7.26	8.8		8.3
51	7.16		7.11	8.2		7.31	8.15		8.8
52	7.17		7.11	7.27		7.25	8.8		8.2
53	7.11		7.8	7.22		7.18	7.31		7.28
54	7.16	7.12	7.8	7.30	7.28	7.24	8.8	8.7	8.3
55	7.13	7.10	7.7	7.29	7.26	7.23	8.10	8.8	8.4
56	7.23	7.21	7.17	8.2	7.31	7.30	8.15	8.12	8.8
57	7.18	7.17	7.15	8.3	8.3	7.30	8.14	8.13	8.9
58	7.26	7.23	7.21	8.8	8.3	8.1	8.18	8.13	8.10
59	7.13	7.10	7.9	7.25	7.23	7.22	8.2	8.1	7.30
60	7.19	7.17	7.14	7.31	7.30	7.27	8.9	8.8	8.5
平均	7.17	7.16	7.12	7.30	7.29	7.26	8.10	8.9	8.5

暦日でみると各生育ステージは稚苗が最も遅く中苗にくらべ平均で2日、畑成苗とは5日の遅れとなっている。しかし、各生育ステージ間の平均日数をみると、幼形期から減分盛期は稚苗、中苗、畑成苗の順に13.3日、13.7日、13.9日、減分盛期から出穂期は10.3日、10.4日、9.7日、幼形期から出穂期は23.6日、24.1日、23.6日で、苗の種類にかかわらず各生育ステージ間の日数はほぼ同じとなっている。それぞれの年次変動幅は幼形期から減分盛期では7～9日であるが、減分盛期から出穂期では4～5日と後者の変動幅は比較的小さくなっている。

各生育ステージ間の日数とこの間の平均気温との関係を見ると、その相関係数は幼形期から減分盛期、減分盛期から出穂期、幼形期から出穂期の順に、稚苗は-0.80、-0.39、-0.92、中苗は-0.73、-0.84、-0.94、畑成苗は-0.59、-0.48、-0.84となっている。どの期間も負の相関があり平均気温が高いほど日数は短縮される。期間別にみると中苗ではどの期間も高い相関があるが、稚苗と畑成苗では減分盛期から出穂期の相関が低い。これは前述のように変動幅が小さいためではないかと考えられる。一方、幼形期から出穂期はどの苗でも相関が高くこれを図示すると図10のようになるが、これを用いれば幼形期から出穂期の予測が可能と考えられる。また、各苗の

回帰式を比較してみたところ一つにまとめることができ、その回帰式は $y = -1.66(x - 22.5) + 23.7$ (相関係数-0.88, 標準誤差1.4日) である。さらに作期調査のデータをこの図に重ねてみたところよく適合し、苗の種類、作期にかかわらずこの回帰式により幼形期から出穂期を予測することができるものと結論される。

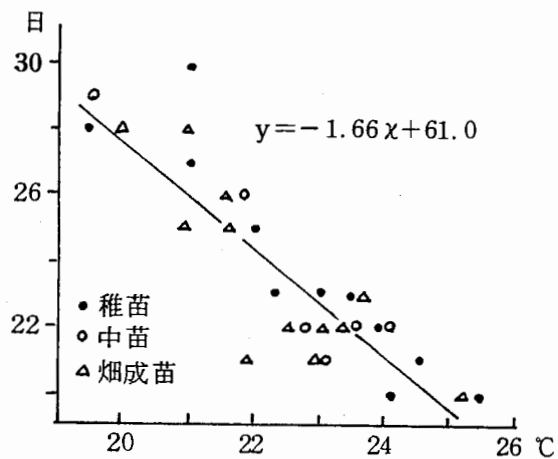


図10 幼形期から出穂期まで平均気温 (x) とその間の日数 (y)

IV 考 察

出葉経過をみると従来からいわれている出葉転換期が認められる。転換期の葉数について細

井²⁾は稚苗と成苗のフジミノリ(最終葉数はハヤニシキと同じ)を用いて検討し、どちらも9葉期としている。本調査では稚苗は細井の結果と同じであったが、中苗は9.0葉前後、畑成苗は10.0葉前後と大きい苗ほど多く、同じ苗でも最終葉数が多い年ほど多い傾向がみられる。最終葉数からみると稚苗と中苗は4葉、畑成苗は3葉程前が転換期となる場合が多い。

この出葉転換期は、成苗を用いた片山⁵⁾の報告によれば穂首分化期とされており穂首分化期は幼形期の10日前といわれている。この時期の出葉速度が10日に1葉前後であることから穂首分化期葉数は幼形期葉数より1葉少なく、稚苗9.5葉、中苗9.7葉、畑成苗10.1葉と推定される。これを転換期葉数と比較すると畑成苗では一致しているが、稚苗・中苗では1葉前後少なくなっている。このことから畑成苗の出葉転換期は穂首分化期といえるが、稚苗と中苗は穂首分化期よりさらに1葉程度早い時期であると結論される。

出葉速度(日/葉)は最高気温に大きく影響され、その温度反応は出葉転換期を境に前期と後期の2つの回帰式に分けられる。この出葉速度については片山や永井らの報告があり、永井⁶⁾は20~30℃の一定温度条件下で成苗の出葉速度を検討し、気温と負の相関があり後期の出葉速度は前期の2倍となることを明らかにしている。本研究での出葉速度をみると後期の方が大きくなってはいるか、その比は19℃で前期の1.4倍、27℃で1.9倍と高温になるほど大きくなり、永井の報告とはやや異なる結果であった。しかし永井のいうように前期・後期とも最高気温とは負の相関があり、気温を予想することにより出葉速度を予測することは可能と考えられる。

苗別の温度反応をみると前期では稚苗と中苗は同じとみることができるが、畑成苗は傾きがやや大きく異なる温度反応を示す。後期ではどの苗も同じとみることができる。以上のことから稚苗と中苗は前・後期とも温度反応は同じであり、畑成苗は後期だけが同じであると結論される。

このように出葉は最高気温により大きく影響されていることから、任意の調査日間の葉数の逐次予測は、苗の種類にかかわらず葉数と調査日間の最高気温との重回帰式を用いて行うことが可能

である。

つぎに幼形期の予測について検討したが精度からみて、葉数と最低気温の重回帰を用いる方法と移植後の平均気温を用いる方法の2つが、作況調査での予測方法として実用性が高いと判断される。この両方法による生育診断予測には、データとして幼形期をおさえていることが必要であるが、生育診断圃等でも幼形期の把握が必ずしも十分でない現状から、今すぐにはこの方法の他地域への適用は困難と思われる。しかし、幼形期から出穂前25~30日間平均気温から推定できるので、出穂前25~30日間の平均気温を前述の回帰式にあてはめて日数を求め幼形期を推定し、地域にあった予測式を作成することができるものと思われる。作況調査の回帰式を用いることができる地域は、気象条件からみて県中・北部であると考えられるので県南部では別の基準が必要である。このほか苗の種類をとわず幼形期葉数が最終葉数の2.2葉前になることから、これを用いて幼形期を推定することも可能である。今後、最終葉数の予測方法が確立されれば、それから幼形期葉数を推定して幼形期を予測することができるので、この点についてはさらに解明していくことが必要である。

また、今後予想される稲作規模拡大においては早~晩生品種や苗の種類の適正配置が必要とされ⁷⁾、そのためには品種毎の適正作期幅を検討しておくことが重要である。移植後の平均気温を用いる方法は、この基準として活用できると考えられるので他品種についても検討を進めることが重要と思われる。

以上のように、他地域への適用性については今後のデータ蓄積を待つか、あるいは推定値を用いるかという問題はあるが予測方法としては確立できたものと思われ、今後は最終葉数の予測方法や作期策定への応用などが課題と考えられる。

幼形期から出穂期の予測についてみると、この間の日数は平均気温との相関が高く予測誤差からみても単回帰で十分予測が可能である。

この回帰式は稚苗・中苗・畑成苗に共通で、さらにフジミノリ・ササミノリにも適用できる汎用性の高い回帰式であることが確認された。

ここで得られた結果と従来の成苗で行われた研

究報告を比較すると、畑成苗ではこれまでの成果が確認された場合が多かったが、稚苗及び中苗では出葉速度や出葉転換期と生育ステージの関係などが、従来の成苗から得られた研究成果と異なっている。したがって、多様化している機械移植用苗の生育反応にもとづく「育診断予測」の検討がさらに必要であろうと思われる。

V 摘 要

ハヤニシキ(稚苗・中苗・畑成苗)を用いて出葉速度(1葉出葉する必要日数)と気温との関係を解析するとともに、幼穂形成期及び出穂期の予測方法について検討した。

1. 出葉速度は最高気温と負の相関があるが、温度反応からみると出葉転換期を境に前期と後期の2つの回帰式に分けられる。
2. 出葉転換期の葉数は稚苗が9葉期、中苗は9~10葉期、畑成苗は10~11葉期の間と推定され、最終葉数が多いほど転換期の葉数も多い傾向がみられる。
3. 出葉転換期と生育ステージの関係をみると、畑成苗では穂首分化期にあたるものと推定されるが、稚苗・中苗ではさらに1葉程早い時期と推定される。
4. 前期と後期の同一温度における出葉速度を比較すると後期が大きく、その比は稚苗でみると

19℃で1.4倍、27℃で1.9倍と高温ほど大きくなっている。

5. 出葉速度の温度反応を苗の種類別に比較すると、後期はどの苗も同じ回帰式が適用できる。前期では稚苗と中苗は同じであるが畑成苗の回帰式は異なる。
6. 任意の調査日間の葉数の予測は苗の種類にかかわらず、葉数と調査日間の最高気温を従属変数とする重回帰式を用いて行うことが可能である。
7. 幼穂形成期葉数と最終葉数の差は苗の種類にかかわらず約2.2葉であり、葉数を幼穂形成期の指標として位置づけることができる。
8. 幼穂形成期の予測方法として2つの方法がある。1つは葉数と最低気温を用いる方法で、稚苗と中苗は7月5日葉数と7月6~10日の最低気温、畑成苗は6月25日葉数と6月26~30日の最低気温を従属変数とした重回帰式から予測することができる。もう1つは移植後の平均気温を用いる方法で、稚苗と中苗では7月5日まで、畑成苗では6月30日までの平均気温を従属変数とする単回帰式から予測が可能である。
9. 幼穂形成期から出穂期まで日数はその期間の平均気温と高い負の相関があり、また苗の種類にかかわらず同じ回帰式が適用できることから、これを用いて幼穂形成期から出穂期を予測することが可能である。

VI Summary

Analysing the relation between leaf emergence rate (days for leaf emergence) and air temperature, the methods for forecasting young panicle stage and heading time in rice plants were examined.

Mature grown in an upland nursery, middle and young seedlings of HAYANISHI KI (an early-maturing variety of rice) were used for this experiment.

1. There was a negative correlation between leaf emergence rate and maximum air temperature. The response to air temperature was separated into two regression equations—the first and second term—at leaf emergence.
2. The leaf age of the turning point was 9 in young seedling plants, between 9 and 10 in middle seedlings, between 10 and 11 in mature seedling. It was observed that the larger the leaf number in the final period, the larger the leaf

- number at the turning point .
3. It was presumed that the turning point was the neck-node differentiation stage in mature seedlings and one leaf earlier than this stage in young and middle seedlings .
 4. The leaf emergence rate of the first term was smaller than that of the second term at the same temperature . In young seedlings the leaf emergence of the second term were 1.4 times as large as that of the first term at 19°C and 1.9 times at 27°C .
 5. Examining the leaf emergence rates of each seedling , in the first term the regression equation of mature seedlings was different from others , but in the second term the same regression was applicable to all .
 6. The leaf age between optional two dates was carried out by means of multiple regression equations , whose dependent variables were the leaf age and the maximum air temperature during the two investigation dates .
 7. The difference of leaf numbers , between the young panicle formation stage and at the final stage , was about 2.2 leaves in all seedlings , so it is possible to look on the leaf number as a sign of the young panicle formation stage .
 8. There are two methods for forecasting the date of the young panicle formation stage . One makes use of the multiple regression equation whose dependent variables are the leaf number (on July 5 for young and middle seedlings and on June 25 for mature seedlings) and the minimum air temperature (from July 6 to July 10 for the former , from June 25 to June 30 for the latter) . The other makes use of the regression equation whose dependent variable is the mean air temperature from the transplanting to July 5 (for young and middle seedlings) and to June 30 (for mature seedlings) .
 9. There is a high negative correlation between the days from the young panicle stage to the heading time and the mean air temperature during the same period . As the same regression equation applies to all seedlings , it is possible to forecast the heading time with this equation .

引用文献

- 1) 松島省三・真中多喜夫：水稻の発育経過の差異とその見分け方(1), 農園35(4); 617~622 (1960)
- 2) 細井徳夫：気象要因による水稻生育の変動性に関する研究, 日作紀46(3); 352~360 (1977)
- 3) 長谷川浩：水稻の出葉速度と土壤温度, 農園34(12); 1795~1798 (1959)
- 4) 稲村 宏：イネの穂の形成課程, 農学大事典 p 878, 養賢堂, 東京 (1977)
- 5) 片山 佃：稲・麦の分蘖研究, 養賢堂, 東京 (1951)
- 6) 永井威三郎：水稻の感光性と感応性, 農園36(6); 943~947 (1961)
- 7) 棚田光雄・中島征夫：稲作機械化対応の2類型と作期幅拡大の経済効果, 農業技術41(4); 149~154 (1986)