

異常気象が水稻の生育・収量に及ぼす影響

下山 伸幸・前田 英俊・小川 義雄

キーワード：水稻，異常気象，寡照，日射量，登熟歩合

Effect of abnormal weather on the growth
and yield of rice plants

Nobuyuki SHIMOYAMA, Hidetoshi MAEDA and Yoshio OGAWA

目 次

1. 緒 言	14
2. 試験方法	14
3. 結果および考察	15
1) 1993年，1994年の稲作期間の気象の特徴	15
(1) 1993年の気象の特徴	15
(2) 1994年の気象の特徴	15
2) 1993年，1994年の水稻の生育状況	16
(1) 1993年の水稻の生育状況	16
(2) 1994年の水稻の生育状況	19
4. 総合考察	19
1) 異常気象が水稻の生育収量に及ぼす要因	19
(1) 生育前半の気象条件が水稻生育に及ぼす影響	19
(2) 登熟期間の気象条件が登熟歩合に及ぼす影響	21
(3) 異常気象年における施肥の影響	25
2) 異常気象下における技術対策	27
5. 摘 要	27
6. 謝 辞	28
7. 引用文献	28
8. Summary	29

1. 緒 言

1993年は6月から9月にかけて全国的に記録的な低温・多雨・寡照の異常気象であった。長崎県においても夏期全般にわたり低温、寡照、長雨となり、さらに台風の影響に見舞われ農作物は甚大な被害を受けた。

長崎県における1993年産水稻の作況指数は、台風17号、台風19号により大きな被害を被った1991年の68²⁾に次ぐ75と史上2位の不作となった。特に台風の影響が加わった県北島嶼地域や壱岐地域では作況指数は更に低下した。

1994年は1993年とは対照的に夏期全般にわたり高温・少雨・多照となり、干ばつにより農作物に被害が発生したものの、水稻の県平均作況指数は107とかなり高かった。しかし、県北の中山間部や

島嶼地域を中心に用水の確保が困難な地域では水稻にも干ばつによる被害が数多くみられた。

このように、近年、大型台風の影響、冷夏、猛暑と異常気象が頻発していることから、異常気象に耐え得る水稻栽培の技術開発が強く望まれている。

そこで、本報告では1993年と1994年の異常気象下での水稻の生育・収量の特徴とそれに影響を及ぼしたと考えられる気象要因について解析した。

また、それらをもとに通常年と異常気象年を対比し、気象要因が水稻収量におよぼす影響を解析し、異常気象年の技術方策について検討したので報告する。

2. 試験方法

解析に使用した水稻の生育・収量に関するデータは、長崎県総合農林試験場内(諫早市貝津町)で実施している1982~'94年までの13年間にわたる水稻作況試験成績(早期・普通期)および1989~'94年までの6年間の水稻奨励品種決定調査生産力検定試験(早期・普通期、以下奨決試験と略称)および同予備試験(早期、以下奨決予備試験と略

称)成績である。なお、両試験とも毎年同一圃場でほぼ同一条件で試験を実施しており、耕種概要については表2に示した。

気象データは、1982~'94年までの13年間の長崎海洋気象台観測値を使用し、一部、長崎県総合農林試験場観測値も使用した。

表1 1993年、1994年の長崎県における水稻の作柄

地 帯	1993年		1994年	
	作況 指数	10a当たり 収量(kg)	作況 指数	10a当たり 収量(kg)
県 平 均	75	329	107	468
東 南 部	77	366	114	552
長崎・西彼	86	357	114	476
五 島	75	275	111	408
県 北	73	294	95	393
壱 岐	69	290	113	473
対 馬	84	245	109	318

表2 水稻作況試験および水稻奨励品種決定調査の耕種概要

作 期	早期栽培	普通期栽培
試験場所	諫早市貝津町 (場内水田)	
土壌条件	中粗粒グライ土 (河成沖積)	
播種量 (g)	1982~'90年: 180 1991~'94年: 150	
播種時期(月.日)	3.29~4.2	5.28~6.1
移植時期(月.日)	4.23~4.27	6.17~6.22
栽植密度(株/m ²)	22.2	22.2
施肥量 基肥	4.0	標準施肥区: 5.0(多肥区7.5)
(N成分kg/10a)中間	1.6	": 2.0(" 2.0)
穂肥	2.4	": 3.0(" 4.5)

注: 1) 多肥区は奨励品種決定調査のみ
2) 苗質は稚苗

3. 結果および考察

1) 1993年、1994年の稲作期間の気象の特徴

(1) 1993年の気象の特徴

1993年の4月から10月までの長崎海洋気象台における旬別の平均気温、日照時間および降水量を表3に示した。平均気温は4月下旬と6月中旬の一時期、平年より高かったが、その他の時期については4月上旬から平年よりやや低く推移し、10月末まで低温傾向は続いた。特に7月下旬から9月下旬にかけては平年より2°C前後低かった。日照時間については6月上旬と8月下旬には平年より多かったが、その他の時期については、4月下旬から9月中旬まで寡照傾向が続き、特に8月上・中旬は平年比37%および35%とかなり少なかった。また、対馬の厳原では7月上旬から8月中旬にかけて日照時間が平年比30%以下の寡照条件が続いた。

このような寡照条件に加え、農作物に被害をもたらす台風の襲来も相次いだ。7月27日には、台風5号が接近し、2日後の29日には中型で並みの勢力をもった台風6号が長崎市付近に上陸した。また、8月10日には大型で非常に強い台風7号が長崎市の西海上から平戸市付近を通過し、長崎海洋気象台で最大瞬間風速39.1m/s、平戸測候所で

44.3m/sを観測している。さらに、9月3日には大型で非常に強い台風13号が九州東部を北上し、県南部地域で暴風域となった。

降水量は、6月下旬から多雨・長雨となり平年より多く、特に7月下旬から8月中旬にかけて停滞前線の活動および相次ぐ台風の接近により、各地で100mm以上の降雨があり、300mm以上の降雨を観測した地点も少なくなかった。また、梅雨明け日が確定できなかったことも気象観測始まって以来のことであった。

(2) 1994年の気象の特徴

1994年の平均気温は、1993年と対照的に4月から高温傾向に推移した。7月から9月上旬までは平年より1°C以上高く、特に7月上旬は3°C程度高く推移した。日照時間は5月下旬、6月中・下旬には平年より少なかったが、その他の時期は平年並みないしは多照で経過し、特に7月上・中旬は梅雨明けが平年より早かったこともあり、日照時間が多かった。データは省略するが、特に県北部地域が平年より日照時間が多い傾向にあった。

降水量は、6月下旬以降、極めて少なく、10月下旬まで少雨傾向が続いた。そのため、県下の多くの市町村で給水制限が実施され、農業用水の確

表3 長崎県における1993年, 1994年の水稻生育期間の気象

気象要素	月旬	4月			5月			6月			7月		
		上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
平均気温	1993°C	11.6	13.9	17.9	17.7	19.0	19.8	20.9	23.3	22.8	23.6	25.7	25.9
	対平年	-2.1	-1.3	1.2	-0.2	0.0	-0.4	-0.3	1.1	-0.8	-1.4	-1.1	-1.9
平均気温	1994°C	14.7	16.3	18.1	19.8	19.0	20.7	21.5	21.6	23.8	28.0	29.3	29.5
	対平年	1.0	1.1	1.4	1.9	0.0	0.5	0.3	-0.6	0.2	3.0	2.5	1.7
日照時間	1993 h	80.9	81.2	45.2	27.1	51.3	54	75.1	25.1	26.7	30.1	30.7	44.1
	対平年	152	152	83	52	87	74	120	56	69	69	54	52
日照時間	1994 h	53.3	52.5	56.0	68.4	57.5	55.3	62.9	28.1	30.0	99.8	110.1	82.0
	対平年	100	98	103	132	97	76	101	63	78	228	192	97
降水量	1993mm	3.5	1.5	189.5	73.5	16.0	19.0	71.5	197.0	248.0	333.0	36.5	201.0
	対平年	5	3	335	102	23	37	104	176	164	229	34	244
降水量	1994mm	70.0	125.0	26.0	2.0	77.0	30.0	41.0	122.0	23.0	0.0	0.0	5.0
	対平年	109	234	46	3	111	59	60	109	15	0	0	6

気象要素	月旬	8月			9月			10月		
		上	中	下	上	中	下	上	中	下
平均気温	1993°C	26.0	25.8	25.4	24.1	23.8	20.8	19.7	19.0	16.2
	対平年	-1.8	-2.1	-1.8	-2.0	-0.4	-1.8	-1.2	-0.2	-0.9
平均気温	1994°C	29.8	29.7	28.3	27.5	23.5	22.7	21.5	22.0	17.9
	対平年	2.0	1.8	1.1	1.4	-0.7	0.1	0.6	2.8	0.8
日照時間	1993 h	28.2	25.4	90.3	48.9	26.7	55.7	53.3	56.4	65.4
	対平年	37	35	124	75	50	108	91	104	103
日照時間	1994 h	100.7	78.8	96.4	76.9	66.8	64.5	52.3	61.0	78.6
	対平年	131	109	133	117	125	125	90	113	124
降水量	1993mm	300.5	328.5	38.5	79.0	57.5	79.0	27.5	10.5	21.0
	対平年	659	732	40	117	94	128	71	28	75
降水量	1994mm	11.0	6.0	14.0	34.0	12.0	0.0	4.0	6.0	8.0
	対平年	24	13	15	50	20	0	10	16	29

注：長崎海洋気象台観測値。

保が困難な状況となり、県北部地域を中心に干ばつによる被害が発生した。

1994年は長崎県下の農作物に大きな被害をもたず台風の襲来はなかった。

このように、1994年の夏期は高温・少雨・多照で、また、大きな台風の接近もなく、1993年とは非常に対照的な気象経過となった。

2) 1993年, 1994年の水稻の生育状況

(1) 1993年の水稻の生育状況

ア. 早期水稻

長崎県総合農林試験場の作況試験に供試している品種は、コシヒカリでその生育収量調査結果を表4に示した。

1993年におけるコシヒカリの生育は、移植後の4月下旬以降の気象条件が、表3に示すようにやや低温寡照であったものの、分けつ茎の発生はほぼ平年並みであった。穂数は平年比109%で、m²当

たりの総粒数は平年比102%と出穂期までの生育からみた作柄は平年並みであった。1993年の低温・寡照・多雨の気象条件が顕著となったのは6月下旬頃からで、早期水稻の生育前期は異常気象の大きな影響を受けずに経過した。

登熟期間は、長雨並びに相次ぐ台風の襲来により大きな被害を受けた。

場内作況試験のコシヒカリは、台風6号の強風雨により倒伏し、その後の長雨により穂発芽が発生した。そのために収量は平年比85%と大きく低下し、品質も倒伏による籾の充実不足および穂発芽の発生により平年よりかなり劣った。

一方、奨励試験のなつのは、収量および品質の低下はコシヒカリと比較して小さかった。これは、なつのはよりが耐倒伏性が強く、台風の強風雨による倒伏がコシヒカリよりも小さかったことがあげられる。また、図1に奨励予備試験での1993年における早期水稻の成熟期と玄米重の関係を示したが、成熟期が遅くなると玄米重が低下する傾向がみられた。これは、倒伏後連日降雨が続き、籾の充実不足および穂発芽の発生が多くなり収量が低下したものと考えられる。

県下の早期水稻の作柄は、沓岐地域および県北島嶼地域では、8月10日の台風7号の強風により風ずれ等の機械的損傷に加え、1991年の台風被害

と同様に潮風害が発生している²⁾。特に台風通過時の生育ステージが出穂期～乳熟期頃にあたり、穂の枯死や籾の発育停止がおり、被害甚大で収穫放棄水田も見受けられた。また、潮風害の影響がなかった地域でも完全倒伏し、その後の長雨により穂発芽が発生して収量、品質が大きく低下した。

しかし、8月15日前出荷を目指しているなつのは、台風7号の襲来時には収穫を殆ど終了しており品質は良好であった。現在、長崎県で作付されている早期籾品種はコシヒカリが90%以上を占めている。このように一品種に偏った栽培では台風等の気象災害を受けやすく、危険分散のためにはなつのはのように熟期の異なる品種を導入することが災害対策上重要である。

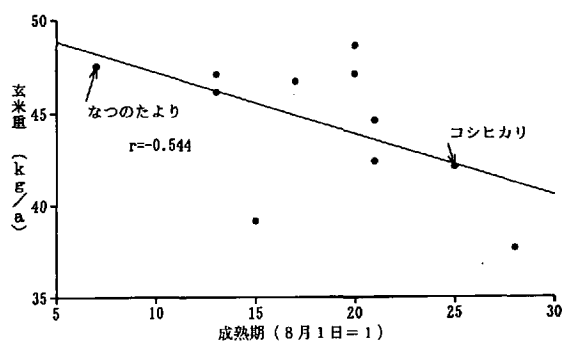


図1 1993年早期水稻の成熟期と玄米重との関係
注：奨励品種決定調査予備試験

表4 1993年の水稻作況試験における成績

作 期	品種名	年次	出穂期	成熟期	稈長	穂長	㎡穂数	1穂	㎡当	登熟	千粒重	玄米重	品質
			(月.日)	(月.日)	(cm)	(cm)	(本)	穂数	穂数	歩合			
早 期	コ シ ヒ カ リ	1993	07.14	08.23	86.2	17.5	413	72.1	298	79.2	20.3	42.5	8.7
		平年比	-1	+4	105	94	109	93	102	97	100	85	+4.3
	日 本 晴	1993	08.25	10.04	79.1	19.0	366	66.3	279	94.4	22.4	47.0	4.3
		平年比	+4	+4	102	93	92	85	91	121	102	87	-0.6
普 通 期	ヒ ノ ヒ カ リ	1993	08.31	10.16	83.7	18.1	355	76.6	272	88.0	21.7	49.6	8.7
		平年比	+2	+6	100	95	95	77	72	128	103	90	+3.7
	シ ン レ イ	1993	09.04	10.25	60.6	18.8	371	81.9	304	88.3	21.3	54.2	5.3
		平年比	+1	+10	93	97	98	103	101	104	103	98	+0.1
	ユ メ ヒ カ リ	1993	09.09	11.06	74.6	18.5	297	94.3	280	77.4	21.7	47.7	7.3
		平年比	+1	+14	97	99	84	100	86	107	103	93	+2.8

注：1) 平年比(差)は1988～1992年の平均に対する比率(差)。

2) 移植日は早期：4月25日、普通期：6月21日

3) 耕種の概要は表2のとおり

イ. 普通期水稻

場内普通期水稻作況試験の生育期の気象条件は移植直後から低温、寡照で経過した。初期生育は、稲体は軟弱徒長気味であったが、分けつ茎の発生は平年並みで茎数の増加もほぼ平年並みに推移した。

しかし、穂数はシンレイを除き有効茎歩合が低下し、平年よりやや少なくなった。特に晩生種のユメヒカリでその低下が顕著であった。これは、晩生種が最高分けつ期から幼穂形成期の期間が長く、多雨・寡照の不良環境に遭遇した期間が長いために、有効茎歩合が低下したことによるものと推察される。

逆に、1穂粒数は穂数が減少した晩生種のユメヒカリでは平年並みに確保された。

このように、低温・寡照の気象条件が出穂期までに及ぼした影響は大きく、総粒数はシンレイだけが平年並みで、その他の品種はいずれも平年比72~91%と少なかった。

登熟期の気象条件は低温傾向で経過したが、日照時間は概ね平年並みとなった。登熟歩合は粒数が平年を下回ったことにより、全体的に平年より向上した。なお、品種間においては、晩生種で登熟歩合が低い傾向が見られた。この要因としては、1穂粒数が早生種に比べ多かったことも起因する

が、低温により成熟期が遅れ、登熟後半の低温も登熟に影響をもたらしたものと推察される。

以上のように、場内作況試験においては生育期前半から日照不足の影響を受け、収量を決定する重要な要素である粒数が不足した。一方、登熟期の気象条件は、低温傾向であったものの、日照時間が平年並みとなり、総粒数が平年より少なかったため登熟歩合は向上した。しかし、粒数不足の影響は大きく、収量(玄米重)は平年比87~98%と低下した。

県下における水稻の作柄は、場内作況試験と同様に穂数、粒数が不足し、減収となった。また、低温・寡照条件下で例年よりもいもち病が多発し、減収を助長した。病虫害防除所の調査では、県下のいもち病の発生面積は、葉いもち11,000ha、穂いもち13,600haで、中発生以上の面積率は葉いもち7%、穂いもち26%とかなり高かったことも特徴的である。また、1993年は例年平坦部では発生の少ない穂いもちが多く発生し、収量低下を助長した。さらに、台風13号通過後に、県央・県南部では白葉枯病の発生も多く、登熟低下の要因となった。

一方、中山間部においては、生育初期の用水の温度が低く、生育遅延や青立ち症状が発生するとともに、登熟後期の低温のため登熟不良等により

表5 1994年の水稻作況試験における成績

作 期	品種名	年次	出穂期	成熟期	稈長	穂長	㎡穂数	1穂	㎡当	登熟	千粒重 (g)	玄米重 (kg/a)	品質 (1~9)
			(月.日)	(月.日)	(cm)	(cm)	(本)	粒数 (粒)	粒数 (×100粒)	歩合 (%)			
早 期	コシ	1994	07.11	08.12	80.8	18.6	367	73.0	268	90.5	22.6	54.7	8.0
	ヒカリ	平年比	-4	-7	98	100	97	94	92	111	111	109	+3.6
	日本晴	1994	08.19	09.28	78.5	20.4	410	81.5	334	80.5	22.6	61.2	4.7
		平年比	-2	-2	101	100	103	104	109	103	103	113	-0.2
普 通 期	ヒノ	1994	08.27	10.09	86.0	18.6	419	91.4	383	80.1	23.7	72.5	4.3
	ヒカリ	平年比	-2	-1	102	98	112	92	101	116	113	132	-0.7
	シン	1994	09.01	10.14	71.2	19.0	410	80.2	329	93.3	22.6	69.1	2.0
	レイ	平年比	-2	-1	109	98	108	100	109	109	109	125	-3.2
	ユメ	1994	09.05	10.22	82.8	19.0	362	96.0	347	89.3	22.7	70.3	2.0
	ヒカリ	平年比	-3	-1	108	102	102	102	107	123	108	137	-2.5

注：1) 平年比(差)は1988~1992年の平均に対する比率(差)。

2) 移植日は早期：4月23日、普通期：6月17日

3) 耕種の概要は表2のとおり

収量・品質に大きな影響を与えた。

また、普通期においても、台風13号の強風による倒伏、穂・茎葉の機械的損傷をもたらし、減収要因となっている。

このように、1993年の県下の作柄は低温・寡照・長雨の影響により、籾数の減少等稲体自体の生育量の不足に加えて、いもち病等の病害発生や、台風等の被害が重複し、収量が大幅に低下した。

(2) 1994年の水稻の生育状況

ア. 早期水稻

1994年の作況試験の生育収量調査結果を表5に示した。

早期水稻のコシヒカリの生育は、移植後から気温が高めに推移し(表3)、活着は良好で茎数も平年よりやや多かった。7月上旬以降は、気温、日照時間も平年を大きく上回り、高温・多照・少雨の気象条件が続いた。

そのため、初期生育が旺盛でやや分けつ過剰となり、有効茎歩合は低下し穂数は平年よりやや少なく、1穂籾数も平年に比べ少なかった。

登熟期は、平均気温がかなり高く少雨・多照で経過し、台風等の気象災害もなく登熟歩合が向上

し、作況試験のコシヒカリの収量は平年比109%と多収になった。

イ. 普通期水稻

普通期作況試験における水稻の生育は、移植後から高温・多照の気象条件下で経過したため、茎数は平年よりやや多く、穂数は平年並み～やや多く、1穂籾数はヒノヒカリがやや少なかったが、その他の品種は平年並みの籾数で、 m^2 当たり総籾数は平年並み～やや多かった。

登熟期間も高温・多照で経過し、籾数が多かったために登熟歩合の低下が懸念されたが、登熟歩合は平年よりもかなり高く、場内作況試験の収量(玄米重)は平年比113～137%とかなり多くなった。

県下の作柄については、県北地域は高温・少雨により干ばつの被害が発生し、作況指数95とやや低かったが、その他の地域は平年よりかなり作況指数が高く、県平均の作況指数は107の良であった(表1)。

1994年は、干ばつ被害の他は、病害の発生も少なく、水稻の収量・品質に影響をおよぼす台風の襲来もなく、1993年と対照的な年であった。

4. 総合考察

1) 異常気象が水稻の生育収量に及ぼす要因

1993年、1994年の異常気象下での水稻生育の特徴から、気象要因が水稻生育、収量に及ぼす影響を普通期水稻を中心に解析した。

(1) 生育前半の気象条件が水稻生育に及ぼす影響

ア. 穂数に及ぼす気象要因等の影響

1993年の奨励試験供試系統・品種の出穂期と穂数の関係を図2に示した。これを見ると両者の関係は $r = -0.766$ の相関係数を示し、出穂期が遅くなるほど穂数が減少していた。

この関係を気象的に明らかにするため、1982～'94年までの13ヶ年の作況試験成績を用い、日本晴、シンレイについて、気温と日射量が穂数に及ぼす影響を解析した。

両品種とも移植期～成熟期の平均気温および平

均日射量と穂数との関係を単回帰により求めた。さらに、移植期から出穂期までを日本晴では、移植期～移植後15日、移植後16日～出穂前31日、出穂前30日～出穂前16日、出穂前15日～出穂期の4時期に分け各時期の平均気温および平均日射量との関係を解析し、シンレイについては生育期間が長いから、移植後16日～出穂前31日までの期間をさらに移植後16日～移植後30日、移植後31日～出穂前31日に2区分し、計5時期について同様の解析を行った。

各時期の平均気温ならびに日射量と穂数との関係を表6に示した。日本晴では、穂数は移植期～成熟期の日射量との相関がもっとも高かったが、期間別にみると両品種とも穂数は、出穂前30日～出穂前16日の日射量との相関が高かった。和田

表 6 移植期～出穂期までの平均気温および日射量と穂数との単相関係数

品種名項目		移植期	移植後16日	移植後31日	移植後16日	出穂前30日	出穂前15日	移植期
		～ 移植後15日	～ 移植後30日	～ 出穂前31日	～ 出穂前31日	～ 出穂前16日	～ 出穂期	～ 出穂期
日本晴	平均気温	0.413	—	—	0.079	0.424	0.528	0.381
	日射量	0.224	—	—	0.186	0.536	0.534	0.595
シンレイ	平均気温	0.347	0.032	0.182	—	0.510	0.361	0.311
	日射量	0.186	0.055	0.223	—	0.604	0.277	0.414

注)1982～'94普通期水稻作況試験, 気象データは, 長崎海岸気象台

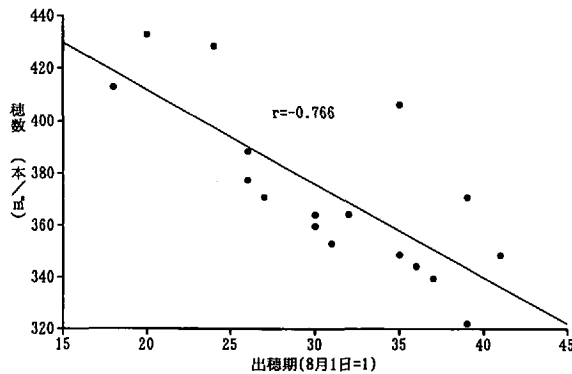


図 2 1993年出穂期と穂数との関係
注: 奨励品種決定調査生産力検定試験, 普通期水稻標準施肥区

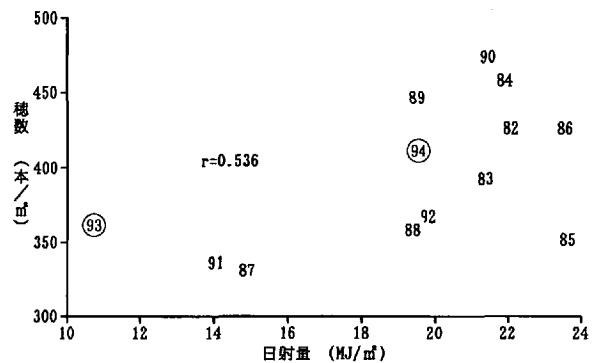


図 3 穂数と出穂前30日～16日の平均日射量との関係
注: 普通期水稻作況試験, 品種: 日本晴, 数字は年次

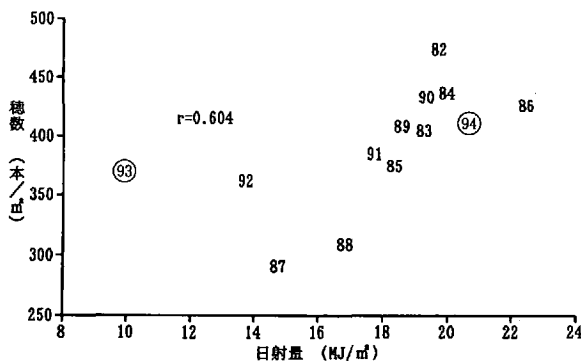


図 4 穂数と出穂前30日～16日の平均日射量との関係
注: 普通期水稻作況試験, 品種: シンレイ, 数字は年次

(学)¹³⁾は, 暖地の普通期栽培においては, 分けつ増加期の期間と最高分けつ期から幼穂形成期のいわゆる停滞期の期間には負の相関があると述べており, また, 葉面積の展開が早いほど, 窒素吸収が早いほど分けつ増加期は短くなると述べている⁹⁾。さらに和田(源七)ら¹²⁾は, 停滞期の日数が長いほど分けつの無効化が進むと報告している。これらのことから, 分けつの発生が多く, 最高分けつ期を早く迎えると停滞期が長くなり, 不良環境に遭

遇しやすく有効茎歩合が低下する可能性が高くなると判断される。このことが, 出穂前30日～16日の期間と停滞期の期間とは若干異なるが, 出穂前30日～16日の平均日射量と穂数との相関が高くなった要因であると推察される。しかし, 1993年では穂数と出穂前30日の平均日射量との関係は図3, 4に示すように異なっていた。これは, 出穂前30日以前の低温・寡照の影響が大きかったものと考えられる, 晩生種で穂数が早生種より低下した要因としては停滞期の日射量の不足が関与したものと考えられる。

イ. 1穂数に及ぼす気象要因等の影響

1993年の奨決試験の供試系統・品種の出穂期と1穂数との関係を図5に示した。これによると, 出穂期と1穂数との間には単相関係数 $r = 0.762$ の正の相関が見られた。

1穂数と穂数の間には, 通常, 負の相関がみられ, 穂数が増加すると1穂数が減少する傾向がみられる。1993年では, 前述のように穂数は, 出穂期が遅くなると減少する傾向が認められた。そのため穂数が少なかった晩生種ほど1穂数が

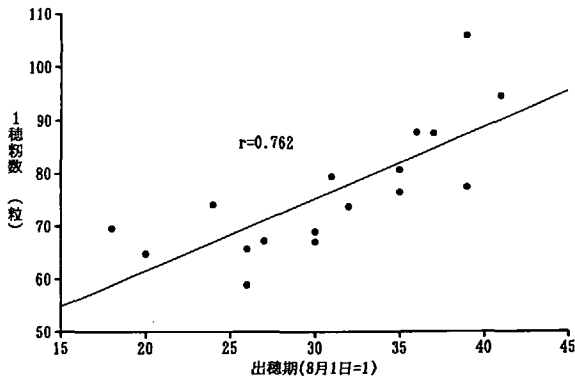


図5 1993年出穂期と1穂粒数との関係
注：奨励品種決定調査生産力検定試験，普通期水稻標準施肥区

増加し、出穂期と正の相関がみられたと思われる。しかし、作況試験の日本晴の成績をみると、穂数も平年より少ないが1穂粒数はさらに減少しており（表4）、低温・寡照の影響が1穂粒数減少の要因ではないかと推察された。そこで、1穂粒数と日射量との関係を解析した。

1993年奨決試験における1穂粒数と日射量との関係を図6に示したが、1穂粒数と出穂前15日間の平均日射量には $r=0.731$ の正の相関が認められる。

和田(源七)ら¹²⁾は穎花数確定後、減数分裂期頃の不良環境により穎花が退化すると報告しており、また、退化1穂穎花数は穎花分化期から出穂期までの窒素吸収量が光合成生産物の増大を通して密接な関係をもつと述べている¹²⁾。本調査において1993年は早・中生種にとっては、減数分裂期前後の日射量が極めて少なく、光合成が阻害され穎花が退化しやすい環境であったといえる。

1穂粒数と減数分裂期前後の日射量との関係が、通常年でも同様な傾向を示すかを検討するために、1989～'94年の6年間の奨決試験データについても同様な解析を行ったが、1993年のような明確な傾向はみられなかった。これは、日射量がどの年次も1993年よりは高く、穎花の退化に影響を及ぼすまでに到らなかったと考えられる。なお、1991年については、1穂粒数と日射量との間には負の相関が見られた。これは、データは省略するが、1991年は台風12号の影響により、早生品種の減数分裂期頃に強風が連日吹いており、この影響が大きかったと推察される。

通常年では日射量が1穂粒数に及ぼす影響は明

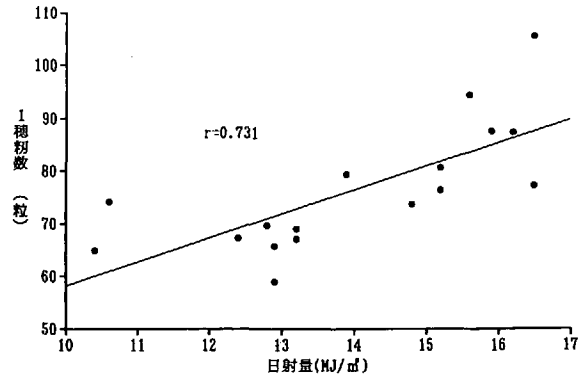


図6 1993年1穂粒数と出穂前15日間の平均日射量との関係
注：奨励品種決定調査生産力検定試験，普通期水稻標準施肥区

らかではなかったが、1993年のように減数分裂期頃に著しく日射量が不足すると1穂粒数が減少することが認められた。

この結果から、異常気象の影響をいくらかでも回避するためには、品種・作型を組み合わせた熟期分散が重要であると考えられる。

(2) 登熟期間の気象条件が登熟歩合に及ぼす影響

1993年の登熟期間の平均気温は平年よりかなり低温で推移したが登熟歩合は高く、一方、1994年は逆にかなり高温で推移したが、やはり登熟歩合は高かった。そこで、登熟期間の平均気温および日射量と登熟歩合との関係を解析した。

ア. 気温が登熟歩合に及ぼす影響

1993年の奨決試験における出穂期と登熟歩合の関係を図7示した。登熟歩合に品種間差が認められ、明かな関係ではないが、出穂期の遅い品種でやや登熟歩合が低下する傾向がうかがえた。

表7に普通期水稻作況試験供試品種における登熟期の平均気温を示したが、1993年の日本晴の出

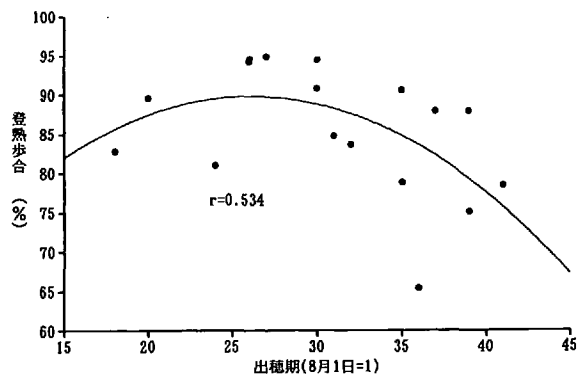


図7 1993年出穂期と登熟歩合との関係
注：奨励品種決定調査生産力検定試験，普通期水稻標準施肥区

表 7 登熟期間の平均気温

品 種 名	年次	出穂期 月.日	成熟期 月.日	登 熟 歩 合 %	登熟期間平均気温(°C)		
					出穂期 ～出穂 後10日	出穂後 31～ 成熟期	出穂期 ～ 成熟期
日 本 晴	1993	8.25	10.4	94.4	25.0	20.1	23.0
	平年差	+3	+2	126	-2.0	-2.9	-2.0
	1994	8.19	9.28	80.5	28.2	22.8	25.7
	平年差	-3	-4	107	1.2	-0.2	0.7
ヒノヒカリ	1993	8.31	10.16	88.0	24.1	19.9	21.8
	平年差	+2	+6	128	-2.9	-1.1	-2.2
	1994	8.27	10.9	80.1	28.3	22.0	24.3
	平年差	-2	-1	116	+1.3	+1.0	+0.3
シンレイ	1993	9.4	10.25	88.3	23.6	18.2	20.6
	平年差	+1	+8	105	-2.4	-1.8	-2.4
	1994	9.1	10.14	93.3	27.2	22.1	23.7
	平年差	-2	-3	111	+1.2	+2.1	+0.7
ユメヒカリ	1993	9.9	11.6	77.4	24.0	17.6	19.6
	平年差	+1	+14	108	-2.0	-1.4	-2.4
	1994	09.5	10.22	89.3	25.6	21.3	22.7
	平年差	-3	-1	124	-0.4	+2.3	+0.7

注 1) 普通期水稻作況試験成績

2) 気温は長崎海洋気象台観測値

3) 平年差は日本晴, シンレイは1982~'94年, ヒノヒカリ, ユメヒカリは1988~'94年の平均値との差(登熟歩合は比率)

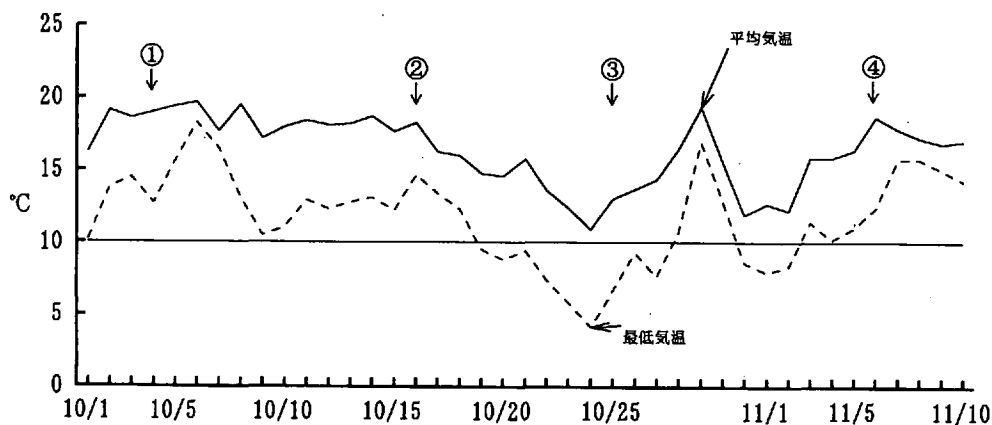


図 8 1993年10月~11月上旬の気温の推移

注 1: 長崎県総合農林試験場観測値

2: ①日本晴の成熟期(普通期水稻作況試験)

②ヒノヒカリの成熟期

③シンレイの成熟期

④ユメヒカリの成熟期

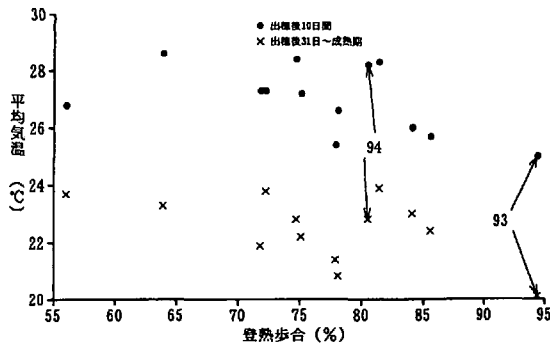


図9 出穂後の平均気温と登熟歩合との関係
注：普通期水稻作況試験，品種：日本晴，1982～'94年

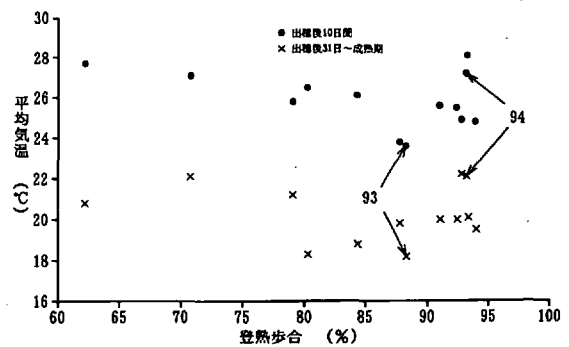


図10 出穂後の平均気温と登熟歩合との関係
注：普通期水稻作況試験，品種：シンレイ，1982～'94年

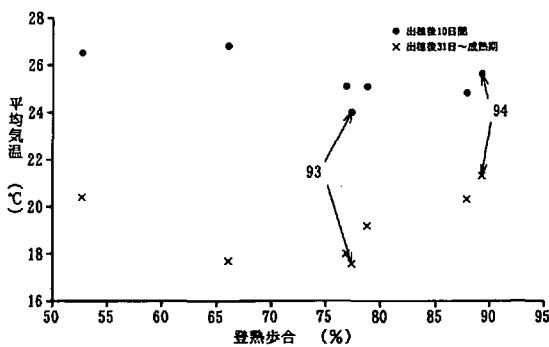


図11 出穂後の平均気温と登熟歩合との関係
注：普通期水稻作況試験，品種：ユメヒカリ，1988～'94年

穂後10日間の平均気温は25.0°Cで平年に比べ2°C低く、また、登熟期間の平均気温も日本晴で23.0°C、ヒノヒカリで21.8°Cと平年に比べ2°C程度低く、登熟期間の適温とされる21°Cに近かった^{8) 9) 10)}。そのため、登熟期間は寡照条件であったが、登熟歩合は向上したと推察される。

一方、シンレイ、ユメヒカリ等の晩生種は日本晴、ヒノヒカリほどには登熟歩合は向上していない。シンレイおよびユメヒカリの登熟期の平均気温をみると登熟後期にあたる出穂後30日～成熟期までの気温は、18°C前後まで低下しており、また登熟期間の平均気温は、シンレイでは20.6°C、ユメヒカリでは19.6°Cで登熟期間の適温といわれる21°C^{8) 9) 10)}より低かった。さらに、気温が10°C以下になると稲体の多くの生理活性が停止するか、あるいは非常に低下すると報告されているが⁴⁾、1993年では図8に示したようにシンレイ、ユメヒカリの成熟期以前の10月19日から9日間、最低気温の場内観測値が10°Cを下まわった。

このように、晩生種では登熟後期の気温の低下による影響が大きく、登熟歩合が早生種より低下したものと考えられる。

なお、出穂が早い品種でも、登熟歩合が低下する傾向がみられた。これについては、1993年の日照条件が9月上・中旬までは寡照であったが、それ以降はほぼ平年並みの日照時間となっており、出穂期が早い品種は日射量が少ないことの影響が大きかったと推察する。

以上のことから、晩生種では温暖な九州でも年により気温が10°C以下となり、登熟の低下が懸念され、特に中山間部では作期の移動、低温登熟性の高い品種の選定等が必要であることが示唆された。

さらに、登熟期間の気温が登熟歩合におよぼす影響を明かにするため日本晴、シンレイについては1982～'94年の作況試験成績、ヒノヒカリ、ユメヒカリについては1988～'94年までの作況試験成績を用い、登熟期間を出穂後10日間、出穂後11～20日、同21～30日、同31日～成熟期の4期間に分けてどの時期の気温が影響しているかを解析した。

出穂後の平均気温と登熟歩合との関係を日本晴、シンレイおよびユメヒカリについて図9～11に示した。各品種ともに出穂後10日間の気温が高いと登熟歩合が低下する傾向がみられ、この傾向は、登熟初期の気温が高い日本晴、シンレイで明確であった。

金川ら³⁾は異常高温条件下で登熟する早期水稻では、登熟前半期の昼間最高気温が34°Cになると不完全稲の発生が著しく多く、この場合夜温の高いほど、その発生は助長されると報告している。

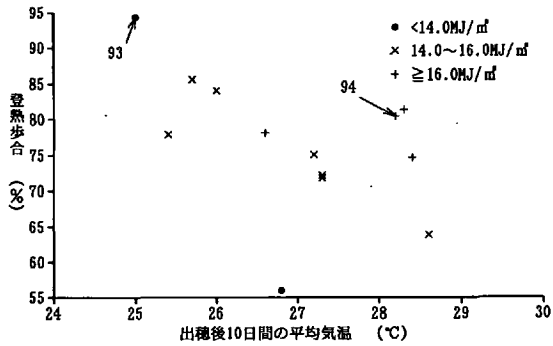


図12 出穂後10日間の平均気温および登熟期間の平均日射量と登熟歩合との関係

注：普通期水稻作況試験，品種：日本晴，1982～'94年

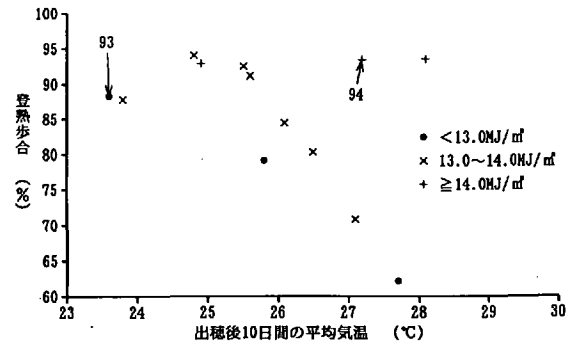


図13 出穂後10日間の平均気温および登熟期間の平均日射量と登熟歩合との関係

注：普通期水稻作況試験，品種：シンレイ，1982～'94年

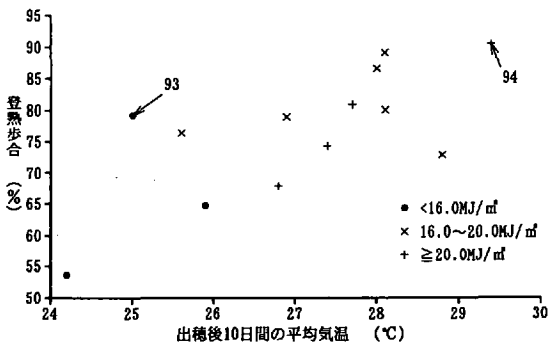


図14 出穂後10日間の平均気温および登熟期間の平均日射量と登熟歩合との関係

注：普通期水稻作況試験，品種：コシヒカリ，1982～'94年

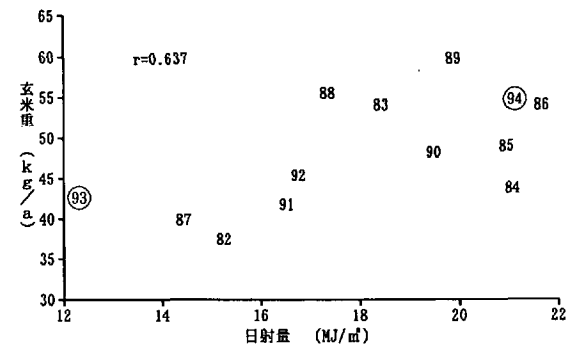


図15 登熟期間の日射量と玄米重との関係

注：早期水稻作況試験，品種：コシヒカリ，1982～'94年，数字は年次

手塚ら⁵⁾は普通期水稻で，昼温28°C，夜温24°Cの変温条件下高夜温処理を出穂後30日間処理した結果，品種により稔実歩合が低下したと報告している。また，高温条件下では粒が小粒化しやすいとの報告もある¹⁰⁾。データは省略するが，作況試験においては，出穂・開花期頃の高温・多湿条件下では粃枯細菌病が多発している。このようなことから，出穂期後10日間の気温が高いと登熟歩合は低下する傾向が認められたものと考えられる。

イ. 登熟期間の日射量が登熟歩合に及ぼす影響
前項で出穂後10日間の気温が高いと登熟歩合が低下する傾向がみられたと述べたが，1994年については登熟初期も非常に高温であったにもかかわらずかなり登熟歩合は高く，千粒重も平年に比べ高かった。そこで，登熟期間の日射量と登熟歩合の関係を解析した。

日本晴とシンレイについて出穂後10日間の平均気温と登熟歩合との関係を示すとともに，平均日射量を13ヶ年のうち日射量が少なかった年次，多

かった年次およびその中間と3段階に分けて図示したものが12，13図である。登熟初期の気温が高温に経過しても，登熟期間全般に日射量が多い年は登熟歩合が向上しており，特にシンレイでは，その傾向が顕著であった。

また，早期水稻コシヒカリでもこの傾向は，みられる(図14)。1994年の登熟期間の平均気温は29.7°Cとかなり高く，データは省略するが，これは1993年の登熟期間の最高気温28.8°Cを上回っていたが，登熟期間の平均日射量は21.0MJ/m²と極めて高く，登熟歩合は90.5%と高かった。さらに，図15に示すようにコシヒカリでは，登熟期間の日射量が高くなると玄米重が増加する傾向がみられた。山本ら¹¹⁾は，出穂後10～19日の日射量と登熟歩合に高い正の相関が認められ，登熟歩合の向上は特に2次枝梗穎花で大きいと報告しており，1994年の気象条件と登熟との関係は，気温からみると登熟には極めて不利な条件であったにもかかわらず，高日射量により同化生産物が多く，2次枝梗

穎花の登熟が向上したことにより総じて登熟歩合が向上したのと考えられる。

登熟期間の平均日射量および出穂後10日間の平均気温と登熟歩合との関係については、日本晴では図12で示すように、14.0~16.0MJ/m²では気温が高くなるほど登熟歩合は低下する傾向にあるが、16.0MJ/m²以上になると、気温が高いにも関わらず登熟歩合は逆に向上する傾向にあった。シンレイでは図13に示すように、登熟期間の日射量の平均が16.0MJ/m²を越える年次はなく、14.0MJ/m²以下では、気温が高くなるにつれ登熟歩合は低下する傾向にあった。またコシヒカリでは図14に示すように、16.0MJ/m²~20MJ/m²までは登熟歩合は増加傾向にあり、20.0MJ/m²以上でも増加傾向にあるが、20MJ/m²以上では16.0MJ/m²~20MJ/m²より登熟歩合が低下する場合が見られ、玄米重と日射量の関係も図15に示すように、20MJ/m²までは玄米重は増加傾向にあるが20MJ/m²以上では年次変動が大きくなっている。このことは、14MJ/m²~16.0MJ/m²までは日射量よりも気温による影響が大きく、16.0~20MJ/m²の範囲では気温より日射量の増加による影響が大きく、20.0MJ/m²以上では日射量の増加とともに登熟期間全般の平均気温もかなり高くなるので気温による影響も大きく、年次による振れを生じさせたものと推察される。しかし、地域によって日射量と気温の関係は異なり、また、品種によって高温登熟性が異なると考えられるため、さらに検討が必要である。

例年、登熟期には少なからず台風に伴う強風によって茎葉の損傷や籾ずれ等が発生して登熟低下を及ぼす。しかし、1994年は登熟低下をもたらす

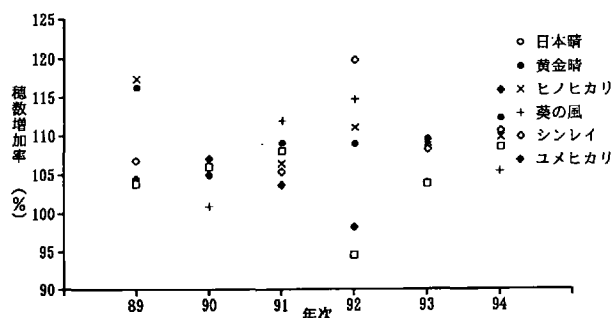


図16 増肥による穂数増加率の年次変動

注1：奨励品種決定調査生産力検定試験，1989~'94年
注2：穂数増加率は、標準施肥区に対する多肥区の比率

ような台風等の気象災害がなく、加えて病害虫の発生が少なかったため、稲体自体が健全に維持され登熟後半まで光合成能力を維持したことも登熟歩合が高かった要因の一つであると推察される。

(3) 異常気象年における施肥の影響

1993年は低温・寡照により穂肥施用時の葉色が濃く、穂肥施用の必要性が議論された。そこで、異常気象下での本県主要品種の基肥および穂肥の増肥の効果を解析した。

解析には、1989~'94の奨励試験の標準施肥区と多肥区の試験結果を用い、穂数、1穂粒数、登熟歩合および玄米重について、標準施肥区に対する多肥区の比率（以下増加率とする）を算出し、増肥効果として検討した。

ア. 増肥が穂数に及ぼす影響

増肥による穂数増加率の年次変化を図16に示した。

穂数に対する増肥効果には、年次変動がみられるが、生育期前半に寡照であった1991年および1993年と、多照であった1990年、1994年の多照年との間には明確な差は認められなかった。

年次別に、品種間差をみると1989、1992年および1994年では品種間差が大きい傾向が見られた。図17に穂数に対する増肥効果と6月21日~7月10日の平均気温の関係を示したが、日本晴、ヒノヒカリ等の早・中生種では、移植初期である6月下旬・7月上旬が低温であるほうが増肥の効果が大きい傾向がみられた。廣川ら⁷⁾によれば、基肥窒素の吸収率は、移植期から幼穂形成期までの平均気温と負の相関があるといわれており、日本晴等の早・中生種では、稲体の基肥窒素吸収が高まり穂

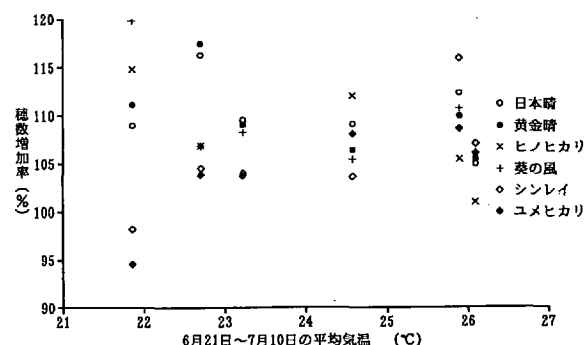


図17 穂数への増肥効果と6月21日~7月10日の平均気温の関係

注1：奨励品種決定調査生産力検定試験，1989~'94年
注2：穂数増加率は標準施肥区に対する多肥区の比率

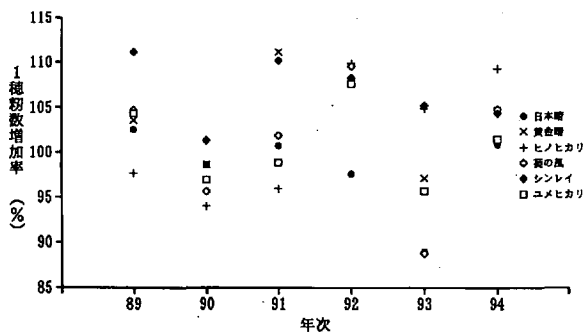


図18 増肥による1穂粒数増加率の年次変動

注1：奨励品種決定調査生産力検定試験，1989～94年
 注2：1穂粒数増加率は，標準施肥区に対する多肥区の比率

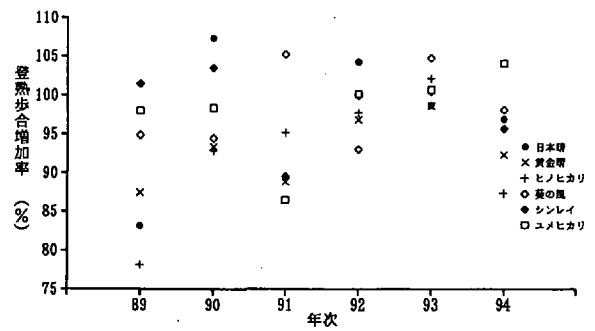


図19 増肥による登熟歩合増加率の年次変動

注1：奨励品種決定調査生産力検定試験，1989～94年
 注2：登熟歩合増加率は，標準施肥区に対する多肥区の比率

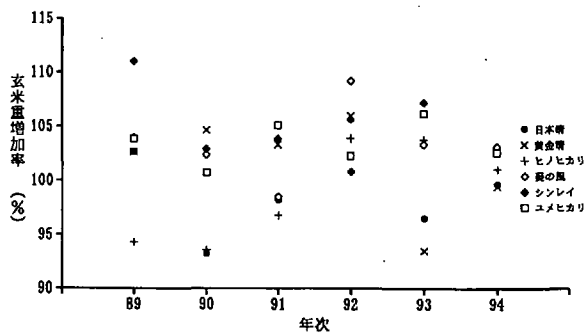


図20 増肥による玄米重増加率の年次変動

注1：奨励品種決定調査生産力検定試験，1989～94年
 注2：玄米重増加率は，標準施肥区に対する多肥区の比率

数増加率が向上したものと推察される。一方，晩生種であるシンレイ，ユメヒカリは6月下旬・7月上旬の気温が高くなると増肥効果が大きくなる傾向にあった。生育初期が低温であると地力窒素の発現が遅く，晩生種では分けつ期後半に通常年より地力窒素の供給が多くなり，その結果過繁茂を招き，受光体勢が不良になり有効茎歩合が低下すると推定されるが，この点については明確でなく，検討が必要であると思われる。

また，穂数に対する増肥効果は晩生種で低い傾向にある。これは晩生種は停滞期の期間が早生品種と比較して長く，そのため気象の影響を受け易くなり，増肥により茎数が増加しても有効茎歩合が低下し増肥の効果が現れ難いものと推察される。

イ. 増肥が1穂粒数に及ぼす影響

増肥による1穂粒数増加率の年次変動を図18に示した。

1穂粒数に及ぼす増肥の影響には，年次，品種間に大きな違いが見られる。年次別にみると，1990

年および1993年で増肥の効果は少なかった。これについては，1990年は穂数が多かったためと推察され，1993年は前述したように減数分裂期頃の寡照・多雨の不良環境の影響が大きかったためと推定される。また，品種別に見るとヒノヒカリ，葵の風等の偏穂重型品種では年次間差が大きかった。これは穂重型品種ほど粒数の変動が大きいためと考えられる。なお，穂数型品種であるシンレイの増肥の効果は，年次を問わず安定して高い傾向にあった。

1穂粒数に対する増肥の効果は，穂数の多少および穂肥の施用時期等により大きく影響されるためさらに検討が必要である。

ウ. 増肥が登熟歩合，玄米重に及ぼす影響

増肥による登熟歩合増加率の年次変動を図19に示した。

登熟歩合に対しては増肥による効果はあまり認められずマイナスに働くことが多く，特に偏穂重型品種である黄金晴，ヒノヒカリ，葵の風はその他の品種より増加率が低い年次が多い。これは，粒数の増加による登熟歩合の低下が大きく影響している。

玄米重に対しては，日本晴，ヒノヒカリで増肥効果が低い年次が多かった(図20)。この要因としては，日本晴，ヒノヒカリでは増肥することにより単位面積あたりの総粒数が増加し，登熟歩合が低下しやすくなるためと思われる。それに加え両品種は晩生種に比べ，登熟初期が高温で経過するため，晩生種よりも登熟歩合が低下しやすく増肥の収量に及ぼす効果は少ないと考えられる。

一方，シンレイおよびユメヒカリでは，どの年

次でも増肥による玄米重の増加が認められ、異常気象下においても他品種より安定していた。しかし、ユメヒカりは、1993年では低温・寡照によりいもち病が多発している。そのため、低温・寡照年での増肥には注意が必要である。

この解析に使用したデータは、基肥および穂肥ともに増肥しており、また穂肥の時期は熟期によって違うが、施肥量はどの品種でも同量であり、品種の特性を活かした施肥は実施していない。そのため増肥に対する気象要因の影響を詳細に解析するためには、基肥のみまたは穂肥のみ増肥した場合の検討や施肥利用率等の検討が必要である。

2) 異常気象下における技術対策

1993年の異常気象は、夏期全般にわたったものであったが、夏期前半あるいは後半のみ異常気象の様相を呈する年次は今までに度々ある。本解析では、1993年の異常気象による影響による被害は熟期あるいは品種で程度が異なった。また、1991年の大型台風襲来時においても作期・熟期の違いにより被害の程度がことなっていた²⁾。そのため、1993年のような異常気象あるいは台風災害回避の

ためには熟期分散が重要である。

1993年の普通期水稻の晩生種は、登熟期の気温が登熟限界温度を下回り登熟が低下した。1993年は近年にない低温であったが、中山間部においては品種選定を誤ると年により登熟期が登熟限界温度を下回る可能性は高い。そのため、地域の気象条件を十分に把握し、作型および品種を選定する事が重要である。加えて、用水温の低い地域では障害型冷害の危険性も懸念されるため、用水の昇温対策も重要である。

本報告の解析では登熟初期の高温が登熟を低下させることは明らかであった。登熟期間初期の高温を回避することは、西南暖地においては難しいが、高温登熟性の高い品種の選定、あるいは作型の検討で高温による影響を低減する必要がある。

本報告では触れていないが、気象要因が品質に及ぼす影響も大きい。近年、食味も含めた良質米生産が非常に重要となっている。そのため、生育・収量のみならず品質・食味の上でも気象要因による影響を軽減できる作型および品種の選定が重要である。

5. 摘 要

1) 1993年と1994年の異常気象下での水稻の生育・収量の特徴とそれに影響を及ぼす気象要因について解析した。また、通常年と異常気象年を比較し、気象要因が水稻収量および収量構成要素におよぼす影響を分析し、異常気象年の技術方策を検討した。

2) 1993年の早期水稻の減収要因は、生育初期の低温・寡照の影響は小さく、登熟期に襲来した台風7号の強風による倒伏およびその後の長雨による籾の充実不足および穂発芽の多発によるものであった。

3) 穂数は、出穂前30日～16日間の平均日射量と正の相関がみられた。しかし、1993年の低温・寡照の気象条件下ではその関係は異なった。

4) 1993年においては、1穂籾数は出穂前15日間

の平均日射量との間に正の相関が認められたが、通常年では明確な関係は認められなかった。

5) 登熟歩合は出穂後10日間の気温が高いと低下する傾向が認められた。ところが、登熟初期が高温でも登熟期間の日射量が多く、同化生産量の多い条件下では多日射量が登熟歩合を向上させるのに大きく影響していることが認められた。

6) 1993年の普通期水稻の減収は、生育前半の寡照による単位面積当たりの籾数の減少の影響が大きかった。また晩生種では、出穂後31日～成熟期までの低温により登熟歩合が低下した。

7) 1994年の早期および普通期水稻は、登熟期間の多日射量により登熟歩合が向上し多収となった。

8) 異常気象に対する水稻栽培の方策技術として

は、地域の気象特性を考慮して品種、作型による熟期分散を図り、気象災害を受けやすい生育

ステージを分散させることが重要である。

6. 謝 辞

本報告を取りまとめるにあたり当场作物部長西野敏勝氏、当场彼岸茶業支場長今村俊清氏には綿密なご校閲とご指導を賜った。心から感謝申し上げます。

また本報告は、長崎県総合農林試験場内で1982年から1994年までの13ヶ年間の水稲作況試験および1988年から1994年までの水稲奨励品種決定調査成績を取りまとめたものであり、この試験

に携わられた、当场作物部作物科研究員船場貢氏、現佐世保農業改良普及センター佐田利行氏、現西彼農業改良普及センター松原功氏に感謝の意を表します。また、栽培管理、調査面等で始終ご協力頂いた当场原種科技師井手彦道氏、坂口真津巳氏、真崎信治氏、濱崎一夫氏に心から感謝する。

7. 引用文献

- 1) 岩下友記・新屋明・山川恵久・土井修・上原裕美・鳥山国土：水稲の高温登熟について—品質の変化と品種間差異—, 日作九支報, 39, 48~57
- 2) 小川義雄・泉省吾他：長崎県における平成3年大型台風17号, 19号, 9号の気象特性と水稲被害の実態および解析, 長崎県総合農林試験報, 20, 34~64
- 3) 金川修造・神近牧男：暖地早期水稲の高温登熟条件下における夜温の高低が登熟ならびに米質に及ぼす影響, 九農研, 35, 74~75
- 4) 田中稔：水稲の冷水並びに出穂遅延障害に関する研究, 青森農試研報, 7, 1~107
- 5) 手塚隆久・上原泰樹・伊藤延男：出穂後の夜温が登熟に及ぼす影響, 日作九支報, 53, 5~8
- 6) 長戸一雄・江幡守衛・反田嘉博：早期栽培稲の米質に関する研究, 日作紀, 28, 359~362
- 7) 廣川智子・伊藤純雄・北川靖夫：水稲による施肥窒素の吸収利用率と施肥後の気温および日照との関係, 富山県農技センター研報, 10, 11~17
- 8) 松島省三, 真中多喜夫：水稲収量の成立と予察に関する作物学的研究XXXIX 水稲の登熟機構の研究(5), 日作紀, 25, 203~206
- 9) 松島省三, 角田公正：水稲収量の成立と予察に関する作物学的研究XLV 生育各期の気温の高低並びに較差の大小が水稲の生育・収量並びに収量構成要素に及ぼす影響, 日作紀, 26, 243~244
- 10) 村田良男：わが国の水稲収量の地域性に及ぼす日射と温度の影響について, 日作紀, 33, 59~63
- 11) 山本良孝・川口祐男・浅生秀孝・高橋渉：水稲における登熟期間の気象類型別適正穎花数, 北陸作物学協会報, 24, 11~14
- 12) 和田源七, 松島省三, 松崎照夫：水稲収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究 第87報出穂期までの乾物生産に及ぼす窒素の影響並びに乾物生産と単位面積あたり穎花数の成立内容との関係, 日作紀37, 557~564
- 13) 和田学：有効分けつ終止期をめぐって「稲作大百科III」農文協, p241~244 (1990)

Effect of abnormal weather on the growth
and yield of rice plants

Nobuyuki SHIMOYAMA, Hidetoshi MAEDA, Yoshio OGAWA

Summary

- 1) The characteristics of the rice growths and yields under the abnormal weather in 1993 and 1994 were investigated, and the climatic factors influencing on them were analyzed as well. The effect of climatic factors on rice yields was also analyzed on the basis of the comparison between normal years and abnormal years. From these results, technical measures in the years of abnormal weather were examined.
- 2) Concerning the yield-decreasing factors of early-season paddy-cultures in 1993, the effects of low temperature and poor sunshine in the early growing stages were found minor. The major decreases in yields were brought about by lodging due to the strong wind of the typhoon 9307 which hit on the ripening period, as well as by the subsequent poor grain growth and massive development of viviparous rice caused by the continuous rain.
- 3) The ear number showed a positive correlation with the solar radiation for the period from 30 to 16 days before the heading date, but the relation was not evident under the low temperature and poor sunshine in 1993.
- 4) While, in 1993, a positive correlation was observed between the grain number per ear and the solar radiation during a 15-day period before the heading, any evident differences were observed in normal years.
- 5) The percentage of ripened grains was found to decrease when the air temperature during a 10-day period after the heading was high. However, it was observed that high solar radiation affected to a large extent, even under high temperatures, improving the percentage of ripened grains under the conditions of high solar radiation for the ripening period, and thus, of high assimilation products for the period.
- 6) The major factors in yield decreases of the normal-season paddy rice in 1993 were found to be as follows; i.e. in early varieties, the yield decreases were mainly ascribed to the decreases of paddy number per unit area due to the decreases of paddy number per ear caused by low solar radiation at the reduction division stage, and, on the other hand, in medium and late maturing varieties, the reductions of the percentage of ripened grains caused by the low temperature during from 31 days after heading to maturing time were the main factor which affected the yield decreases.
- 7) The paddy rice of early-season and normal-season cultures in 1994 were improved in the percentages of ripened grains owing to the high solar radiation during the ripening periods, and thus, resulted in high yields.
- 8) When technical measures to cope with abnormal weather in paddy rice cultivation are considered, an important aspect is to disperse the growth stages vulnerable to climatic damages on the basis of maturing time dispersion by the applications of appropriate varieties and cropping types after the climatic characteristics of areas have been taken into account.