

ISSN 0388-810X

茨城県農業試験場研究報告

第 3 1 号

BULLETIN

OF THE

IBARAKI-KEN AGRICULTURAL EXPERIMENT INSTITUTE

No. 3 1

1 9 9 1

茨 城 県 農 業 試 験 場

水戸市・上国井町

IBARAKI-KEN AGRICULTURAL EXPERIMENT INSTITUTE

KAMIKUNII-CHO, MITO, JAPAN

農業試験場研究報告第31号 正誤表

ページ、欄、行	誤	正
23ページ 第2表 注)	又ケ	x2はx ² 、x3はx ³ を意味する
42ページ 左上 4	基肥粒窒素量	基肥窒素量
49ページ 第9図 縦軸	稈長	稈長
49ページ 第9図 横軸	連年水田(標地)	連年水田(標肥)
66ページ 左下 9	基肥粒窒素量	基肥窒素量
90ページ 左下11	窒素	重窒素
90ページ 第1図 縦軸上から	20, 14, 10	2.0, 1.4, 1.0
90ページ 第1図 横軸左から	200, 400, 600, 800	20, 40, 60, 80
92ページ 第2図 回帰式	$y = -1.514 + 1.508x$	$y = 1.514 - 1.508x$
111ページ 右上 4	79 %	7.9 %
143ページ 右下 7	6 %	6 mg
145ページ 第1図 上10	—	←
145ページ 第1図 下 3	不溶渣	不溶性

※ 21~40ページ 文中の1穂穎数、1穂粒数、1穂穎花数はいずれも同義である。

茨城県農業試験場研究報告 第31号 目次

落花生新準奨励品種「サヤカ」について

…………… 泉澤 直・中川悦男・石原正敏 …………… 1

ヘリコプターを利用した水稲湛水土壤中直播栽培技術に関する研究

…………… 小貫和裕・間谷敏邦・平沢信夫・友部弘道・狩野幹夫・窪田 満・
木野内和夫・弓野 功・滑川裕之 …………… 7

積算気温による水稲発育シミュレータ（RIPROS-I）およびDVI別気象値を 説明変数とする収量構成要素予測のための重回帰モデル（RIPROS-II）の開発

…………… 幸田浩俊・石原正敏 …………… 21

輪換田水稲の栽培法に関する研究

第1報 輪換田水稲の生理生態的特性と窒素の施肥法

…………… 狩野幹夫・加藤弘道・酒井 一・小川吉雄・笠井良雄・石原正敏 …………… 41

フロアブル型水田用除草剤を利用した省力的散布技術の開発

…………… 小貫和裕・間谷敏邦・平沢信夫・木野内和夫・弓野 功 …………… 77

輪換田における畑作物の窒素施肥量に関する研究

第1報 輪換畑小麦の窒素施肥量の診断

…………… 山根隆重・小川吉雄・酒井 一 …………… 87

大豆の不耕起播種栽培に関する研究

…………… 木野内和夫・滑川裕之・狩野幹夫・笠井良雄・間谷敏邦 …………… 101

落花生用マルチ除去機の開発

…………… 滑川裕之・木野内和夫・間谷敏邦 …………… 117

そば跡小麦栽培における自生化したそばの混入防止対策

…………… 弓野 功・木野内和夫・間谷敏邦 …………… 127

一寸ソラマメの自家採種法に関する研究

…………… 窪田 満・笠井良雄・鯉淵幸治 …………… 133

陸稲輪作による連作障害軽減効果の機作に関する研究

第2報 陸稲中に含まれる糖、アミノ酸、フェノール性酸

…………… 林 幹夫・小山田 勉 …………… 141

落花生新準奨励品種「サヤカ」について

泉澤 直・中川悦男*・石原正敏

On the New Semi Recommended Cultivar
“Sayaka” in Ibaraki Prefecture

Tadashi IZUMISAWA, Etsuo NAKAGAWA and
Masatoshi ISHIHARA

「サヤカ」は、千葉県農業試験場で交配・育成された品種で、「ナカテユタカ」に比べ多収で倒伏は少なく、病害に対する抵抗性も強く、食味も良好で、さらに莢が硬く加工適性にも優れる。

本品種は、1991年に「ナカテユタカ」に替わり茨城県の準奨励品種に採用された。

I 緒 言

茨城県の落花生作付面積、収穫量は千葉県に次ぐ全国第2位で主産地として定着している。しかし、作付面積は'61年の20,700 haをピークに減少傾向が続き'81年に10,000 haを割ってから減少程度が大きく、'91年は2,930 haとなっている。

落花生作付面積減少の原因としては価格が不安定なこと、機械化の遅れ、連作障害の発生等が考えられる。さらに近年は国内需要が減少するとともに、中国やアメリカからの輸入量も多く、国内生産を圧迫している。

落花生は、サツマイモネコブセンチュウ、ミナミネグサレセンチュウ等が寄生しない数少ない作物であり、畑作上輪作作物としてきわめて重要である。そのため、落花生の生産を維持発展して行くことは、長期的な畑作経営基盤の安定上必要であり、有利であると考えられる。

本県の落花生作付品種構成は、「ナカテユタカ」約60%、「千葉半立」40%となっている。「千葉半立」はやや晩生で低収であるが、食味が優れることから「筑波落花生」の銘柄で流通しており、良食味品種として生産を

奨励している。「ナカテユタカ」は「千葉半立」より早生で早掘適性及び晩播適応性が高く、草型は立性で栽培しやすく多収である。しかし、収穫が遅れると品質が低下しやすく、またいり莢加工中に莢が割れやすい等により実需者の評価は必ずしも高くない。

「サヤカ」は「ナカテユタカ」のこれらの欠点をほぼ補うことができ、「ナカテユタカ」に替えて準奨励品種に採用することにより本県落花生の品質、収量の向上と生産の安定化を図ることができると考えられる。

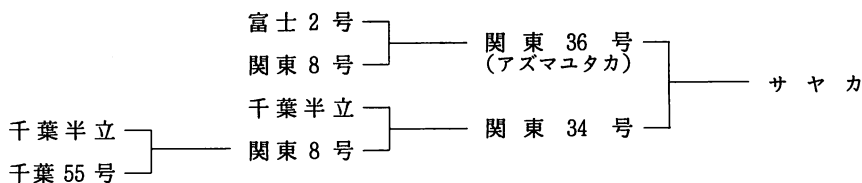
以下、選抜経過並びに特性の概要について報告する。

II 来 歴

第1図に「サヤカ」の系譜を示した。

「サヤカ」は'73年に千葉県農業試験場において「関東36号（アズマユタカ）」を母に、「関東34号」を父として人工交配を行い選抜固定された品種である。本県では'84年に「八系255」として配布を受け、奨励品種決定調査に供試した。'85年からは「関東61号」として試験を行い、'86年からは現地調査に組み入れ、'91年に準奨励品種に採用された。

* 境地区農業改良普及所



第1図 「サヤカ」の系譜

Ⅲ 試験方法

第1表に試験場所、年次別の耕種概要を示した。現地試験の栽培は、慣行に基づいて行った。

調査は、主茎長、最長分枝長等地上部の生育特性値は1区10株、莢実数および収量等は20株を供試した。

1区面積、区制は、農業試験場は12㎡・2区制、現地は4.8㎡・3区制とした。

第1表 耕種概要

試験場所	試験年次	土壌条件	播種期 月・日	栽植密度 畦幅 株間	施肥量 (kg/a)			備考
					N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
農業試験場	'84～'90	表層腐植質 黒ボク土	5・13～17	畦幅 60 cm 株間 24 cm	0.3	1.0	1.0	前作はソルゴー、陸稲休閑等
荻崎町	'86～'87	表層腐植質 黒ボク土	5・15～22	畦幅 60 cm 株間 27 cm	0.7～0.8	0.8～1.0	0.8	前作はスイカ、ラッカセイ
玉造町	'86～'90	淡色 黒ボク土	5・21～29	畦幅 60 cm 株間 24 cm	0.2～0.4	0.8～1.6	0.8～1.6	前作はゴボウ、ハクサイ、ミョウガ等
牛久市	'88～'90	厚層腐植質 黒ボク土	5・24～25	畦幅 60 cm 株間 24 cm	0.2	0.6～0.7	0.6～0.7	前作はキョウナ、サトイモ

注) 播種様式は2条千鳥播き、2粒播きで出芽後1株1本立とした。すべてマルチ栽培。農業試験場、牛久市以外は収穫期までマルチを除去しなかった。

Ⅳ 試験結果

1. 形態および生態的特性

形態および生態的特性を第2表に示す。草型は中間型で「千葉半立」に似る。開花期は「千葉半立」より3日

早く「ナカテユタカ」と同じである。倒伏は試験期間中全く見られず極めて強い。各種病害の発生は、汚斑病が「千葉半立」よりわずかに多いものの、「ナカテユタカ」よりは少ない。褐斑病、黒波病は「千葉半立」、「ナカテユタカ」とほぼ同等である。

第2表 形態および生態的特性

品種・系統	草型	開花期 月・日	病害			倒伏程度
			褐斑病	汚斑病	黒波病	
サヤカ	中間型	6・30	微	微～少	無～微	無
ナカテユタカ	立性	6・30	微～少	中	無～微	中
千葉半立	中間型	7・3	微	微	無～微	少

注) 農業試験場'84～'90年の7年間平均値

落花生新準奨励品種「サヤカ」について

2. 生育及び収量

農業試験場での生育・収量調査結果を第3表に、現地における調査結果を第4表に示した。

「サヤカ」は「千葉半立」, 「ナカテユタカ」に比べ主茎長が10cm前後短く, このことが倒伏にきわめて強い理由と考えられる。

収量性は, 農業試験場および玉造町では「ナカテユタカ」に比べ多収となった年次が多く, その他の年次もほぼ同程度の収量であった。農業試験場での莢実重は, 7年間の平均で「ナカテユタカ」より9%, 「千葉半立」より17%多収となった。同様に玉造町の5年間の平均は「ナカテユタカ」に対し3%, 「千葉半立」より19%の

増収となった。

荃崎町では供試した2年間とも「ナカテユタカ」に比べやや低収であった。育成地の成績によれば, 「サヤカ」は多肥栽培での適応性が「ナカテユタカ」より低いとされており, この圃場は前作がスイカで施肥量も他に比べかなり多かったことによるものと考えられる。

牛久市の'88年の収量はきわめて低かったが, これは生育期間中全般にわたり天候が不順で病気が多発したことと, 生育後期に滞水したことによる。その他の年次は「サヤカ」は「ナカテユタカ」より多収であった。

以上から, 「サヤカ」は多収性の「ナカテユタカ」と同等以上の多収性を持つと判断される。

第3表 農業試験場における生育収量

品 種	年 度	主茎長 cm	主茎節 数	最長分 枝長 cm	分枝数 本/株	莢実重 kg/a	上莢 歩合 %	莢実数 莢/株	子実重 kg/a	剥実 歩合 %	上実 百粒 重 g	粒の 品質
サ ヤ カ	84	26	20.4	50	33.6	44.4	87	34.0	31.6	71	94.7	や上~上
	85	27	17.8	56	41.9	50.6	85	36.9	36.5	72	95.1	やや上
	86	26	19.8	48	34.7	36.9	89	33.5	26.2	71	81.5	やや上
	87	29	21.8	50	34.9	43.9	94	40.4	31.4	72	83.4	中
	88	27	19.9	46	32.2	29.4	92	27.7	20.8	71	78.0	中~や上
	89	25	19.0	52	39.0	46.6	94	37.9	32.7	70	88.5	やや上
	90	27	22.2	47	36.1	43.8	94	33.4	31.8	73	96.1	やや上
	平均	27	20.2	50	36.1	42.2 (109)	91	34.8 (115)	30.1 (112)	71	88.2 (99)	やや上
ナカテユタカ (標準)	84	38	17.9	45	35.6	38.4	83	30.5	25.0	65	89.0	や上~上
	85	41	19.0	58	48.3	40.9	86	30.0	28.7	70	97.1	中~や上
	86	42	18.1	49	40.8	33.3	87	26.7	23.5	71	89.4	や上~上
	87	46	19.8	52	32.2	37.8	93	32.5	26.7	71	77.5	上
	88	39	21.2	47	25.2	30.0	92	26.2	19.5	65	80.0	や下~中
	89	45	20.0	53	31.7	47.1	95	36.7	32.7	70	89.9	上
	90	38	21.8	47	31.7	43.4	95	29.0	31.6	73	100.7	
	平均	41	19.7	50	35.1	38.7 (100)	90	30.2 (100)	26.8 (100)	69	89.1 (100)	やや上
千 葉 半 立 (比較)	84	26	19.0	50	37.9	45.8	77	37.8	29.7	65	80.0	や上~上
	85	36	21.7	63	37.2	36.1	84	29.4	25.6	71	88.6	中
	86	33	19.4	54	36.7	24.3	82	26.6	17.1	70	69.5	やや上
	87	39	26.0	58	34.2	36.9	93	32.3	25.4	69	76.5	中
	88	36	24.4	55	33.9	26.1	92	26.0	17.3	67	72.7	中~や上
	89	37	22.7	62	39.1	35.4	91	32.3	23.6	66	86.3	やや上
	90	32	25.9	51	40.2	45.6	92	35.3	33.3	73	93.8	上
	平均	34	22.7	56	37.0	35.7 (92)	87	31.4 (104)	24.5 (91)	69	81.1 (91)	やや上

注) () はナカテユタカを100とした時の比率, 以下の表も同様

第4表 現地における生育収量

試験場所	品種系統	年度	主茎長	主茎節数	最長分枝長 cm	分枝数 本/株	莢実重 kg/a	上莢歩合 %	莢実数 莢/株	子実重 kg/a	剥実歩合 %	上実百粒重 g	粒の品質
茎崎町	サヤカ	86	25	19.0	52	44.1	28.1	80	27.6	19.8	70	85.1	やや下
		87	25	22.9	52	41.6	38.4	89	39.5	24.5	64	87.0	下
		平均	25	21.0	52	42.9	33.3	85	33.6	22.2	67	86.1	やや下
	ナカテユタカ (標準)	86	36	17.5	48	43.5	31.1	84	26.4	21.8	70	89.5	中
		87	39	25.1	49	45.7	38.5	88	35.7	25.4	66	91.3	やや下
		平均	37	21.3	49	44.6	34.8	86	31.1	23.6	68	90.4	中
	千葉半立 (比較)	86	29	23.1	54	46.3	23.8	81	24.9	16.2	68	73.9	やや上
		87	34	25.5	59	42.2	30.8	76	35.9	18.0	58	83.2	やや下
		平均	32	24.3	57	44.3	27.3	79	30.4	17.1	53	78.6	中
玉造町	サヤカ	86	20	18.0	45	33.3	49.0	81	40.6	35.9	73	96.2	中
		87	23	23.0	50	37.8	53.0	95	46.5	38.1	72	88.9	中
		88	24	22.2	44	29.6	36.5	89	33.6	26.0	71	82.7	中～やや上
		89	23	20.4	48	44.7	44.6	93	43.3	29.1	65	92.0	やや上
		90	21	22.8	46	36.9	36.9	91	27.0	24.5	67	94.2	やや上
	ナカテユタカ (標準)	86	31	15.5	40	35.1	48.7	81	37.1	36.1	74	96.0	やや上
		87	32	22.6	41	43.3	47.2	91	43.8	32.3	68	83.7	やや上
		88	34	19.8	39	33.9	38.4	90	32.0	26.4	69	84.6	中
		89	36	20.6	47	42.4	40.2	91	39.7	24.5	61	92.5	上
		90	28	23.0	42	41.0	39.4	90	27.6	25.7	65	101.7	上
	千葉半立 (比較)	86	22	19.1	50	36.5	39.8	70	40.2	28.0	70	75.9	やや上
		87	27	23.1	57	45.4	40.3	90	43.3	27.1	67	76.9	中
		88	36	25.5	51	32.0	27.0	84	30.0	16.9	63	74.9	やや上
		89	30	21.2	52	50.5	38.5	92	39.3	25.1	65	85.8	上
		90	23	23.2	49	38.9	34.5	87	27.3	22.0	64	87.5	上
牛久市	サヤカ	88	29	20.6	42	28.1	9.6	73	11.6	6.5	67	72.0	やや下～下
		89	32	21.9	51	35.2	50.8	96	39.1	36.7	72	89.5	中
		90	24	23.0	44	40.6	54.3	88	46.6	37.6	69	95.2	やや上
		平均	28	21.8	46	34.6	38.2	86	32.4	26.9	69	85.6	中
							(97)		(97)	(97)		(96)	
	ナカテユタカ	88	40	19.0	44	34.5	18.5	83	19.5	12.4	67	75.8	中～やや下
		89	40	18.8	51	32.6	48.0	97	37.2	35.0	73	92.0	上
		90	33	22.1	43	41.9	51.6	86	43.1	36.0	70	100.3	上
		平均	38	20.0	46	36.3	39.4	89	33.3	27.8	70	89.4	やや上
							(100)		(100)	(100)		(100)	
	千葉半立	88	40	21.9	55	33.6	17.7	83	19.5	11.8	67	76.5	中～やや上
		89	36	22.4	61	42.1	44.0	92	38.6	30.7	69	84.1	やや上
		90	28	25.0	49	46.3	48.8	87	43.3	35.0	72	86.2	上
		平均	35	23.1	55	40.7	36.8	87	33.8	25.8	69	82.3	やや上
							(93)		(102)	(93)		(92)	

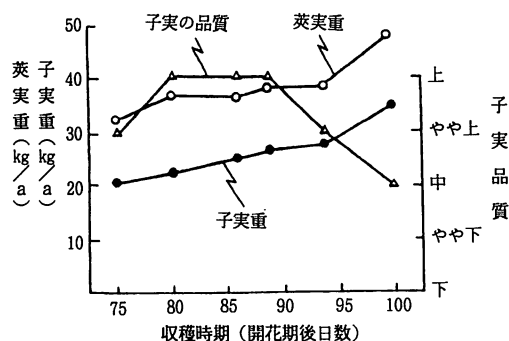
落花生新準奨励品種「サヤカ」について

3. 収穫時期と収量品質

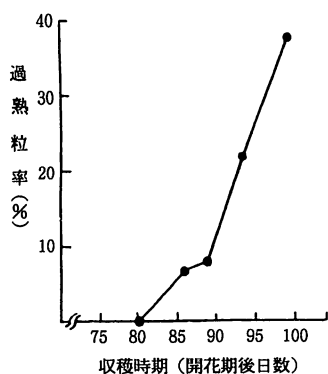
落花生の収穫適期は、莢、子実の品質等から判定され、適期を過ぎたものは莢の外観及び子実の品質が劣り、食味も低下する。

第2図は「サヤカ」の収穫時期と収量・品質の関係について、第3図は収穫時期と過熟粒の発生率の関係について示したものである。子実重および莢実重は開花期後の日数の経過とともに増加する。しかし、子実の品質は開花期後80日から90日までは「上」と判定されるが、それ以降は過熟粒の割合の急増により著しく低下する。

これらのことから、「サヤカ」の収穫適期は開花期後85日前後と考えられ、「ナカテユタカ」より5日程度遅く、熟期は中生の晩に分類される。従来「ナカテユタカ」の収穫適期は水稻の収穫時期と競合するため収穫が遅れ品質が低下しがちであったが、「サヤカ」は収穫適期がやや遅いことからこれら競合が緩和され、良品生産に有利と考えられる。



第2図 サヤカの収穫時期と収量品質の関係 (1986)



第3図 サヤカの収穫時期と過熟粒の関係 (1986)

4. 莢の硬さ

煎莢加工に当たり洗莢および煎莢中の莢の割れは、商品性を著しく損なうため実需者に嫌われ、莢が柔らかく割れやすい「ナカテユタカ」は不評であった。

第5表は加工中の割れ莢発生率を品種別にみたものである。「サヤカ」は「千葉半立」より割れ莢の発生率が高いものの「ナカテユタカ」よりは明らかに少なく、莢が硬く加工適性が高い。

第5表 加工中の割れ莢発生率

品 種	洗莢中の割れ莢率	煎莢中の割れ莢率	計
サ ヤ カ	18 %	10 %	28 %
ナカテユタカ	31	11	42
千 葉 半 立	7	4	11

注) 1. 調査莢は約1,700莢(4kg)
2. 各処理の供試莢は割れ莢を除去したものを。
3. 数字は莢数%
4. 洗莢は家庭用洗濯機を用い、約15分洗った。

5. 食 味

第6表は「サヤカ」の食味試験の結果を示したものである。硬さは「千葉半立」, 「ナカテユタカ」に比べ柔らかく甘みに富み、総合評価は「千葉半立」に近く、「ナカテユタカ」に優る。

第6表 食味試験結果(いり莢)

品種・系統	固 さ	甘 さ	総合評価
サ ヤ カ	-0.28	+0.59	+0.67
千 葉 半 立	+0.36	+0.46	+0.71
ナカテユタカ	0	0	0

注) '86年~'88年の平均値
基準品種を0とし、-5(不良)~+5(良)の11段階の評価を行った
パネラー17名~36名

V. 適地および栽培上の注意

「サヤカ」は茨城県の落花生栽培地帯全域に適する。栽培上の注意点としては、「ナカテユタカ」同様収穫が遅れると品質及び食味が低下しやすいので、適期収穫を励行することが重要である。

VI. 謝 辞

試験に際し、農業試験場管理部の諸氏、現地試験担当農家ならびに関係各地区農業改良普及所の職員の方々に御協力を頂いた。

さらに、本品種の奨励品種採用に当たっては、県営農再編対策課、流通園芸課の関係各位に御尽力頂いた。

これらの方々に、心から感謝の意を表します。

VII. 参 考 文 献

- 1) 茨城県農林水産部営農再編対策課(1991)：茨城の普通作物
- 2) 千葉県農業試験場(1991)：らっかせい新品種決定に関する参考成績書「関東61号」

ヘリコプターを利用した水稲湛水 土壌中直播栽培技術に関する研究

小貫和裕・間谷敏邦・平沢信夫・友部弘道・狩野幹夫
窪田 満・木野内和夫・弓野 功・滑川裕之

Studies on Direct Seeding by Helicopter with Coated Rice in Submerged Paddy Field

Kazuhiro ONUKI, Toshikuni AITANI, Nobuo HIRASAWA, Hiromiti TOMOBE, Mikio KANOU, Mituru KUBOTA, Kazuo KINOUTI, Isao YUMINO and Hiroyuki NAMEKAWA

ヘリコプターを利用して、播種・除草剤散布・追肥・病害虫防除などの作業を行って水稲湛水土壌中直播栽培を実施した。1990年の東村の実証圃場（7.5 ha）での結果は、収量は492 kg/10 a、10 a当たり延作業時間は8.8時間であった。

20 haの圃場でこの水稲栽培を実施することを前提に経済性を試算した結果では、10 a当たり第1次生産費は78,923円、第2次生産費は108,576円であり、玄米60 kg当たり第1次生産費は9,480円、第2次生産費は12,958円で、県平均の63~68%に低下した。ヘリコプターを利用した水稲湛水土壌中直播栽培は極めて省力的かつ低コスト化が可能な水稲生産技術であることを実証した。

目 次

I 緒 言	7
II 試験方法	8
III 試験結果	9
1. ヘリコプターを利用した各作業の作業性能	9
1) 播種作業	9
2) 除草剤散布作業	12
3) 追肥作業	14
4) 防除作業	15
2. 作業体系と作業時間	15
3. 生育および収量	15
4. 経済性	16
IV 総合考察	18
V 摘 要	19
VI 謝 辞	20
引用文献	20

I 緒 言

わが国の農業をめぐる環境は年々厳しさを増し、農産物の輸入自由化に対応して、国際化に対応できるよう農業の技術基盤を強化することが必要とされている。

特に、米についてはGATTのウルグァイ・ラウンドにからんで、関税化・自由化が強く求められている。品質および価格の両面から外国農産物に対抗できるようにする必要があり、特に、価格面から水稲生産の省力化、低コスト化が強く求められている。

このため、省力化技術として水稲直播栽培が注目されるようになったが、従来の湛水直播栽培は土壌表面に播種されたため、苗立不良や倒伏の問題があった。酸素供給剤の開発に伴い、湛水土壌中直播機（条播用）が開発され、水稲湛水土壌中直播栽培（条播）が確立された。この湛水土壌中直播栽培をより省力化するために条播から散播に変え、播種・除草剤散布・追肥・病害虫防除などの作業にヘリコプターを利用して、省力化・低コスト

化を目指した水稻生産技術を確立しようとする試みが昭和58年から始められ、昭和60年からヘリコプターによる水稻湛水土壤中直播栽培の実証試験が埼玉、石川、熊本の本3県で開始された^{5) 6)}。

本県でも昭和63年度から3か年間に、社団法人農林水産航空協会の実用化促進事業の一環としてヘリコプターを利用した水稻湛水土壤中直播栽培の現地実証試験を実施したので、その結果を報告したい。

II 試験方法

1. 試験場所 茨城県稲敷郡東村清久島、脇川
2. 試験年次 1988年～'90年
3. 土 壤 型 細粒グライ土
4. 試験面積と現地圃場図(第1図)
1988年 2.73 ha
1989～'90年 7.26 ha
5. 耕種概要
 - 1) 品 種 初 星
 - 2) 播種期 5月10日('88), 4月25日('89, '90)
 - 3) 播種量 目標4.5 kg/10 a (乾籾)

- 4) 供試ペレット 4.5倍重ペレット(種子:カルパー
A:ソフトシリカ:タチガレエース粉剤=1:3:
0.5:0.005)

5) 施肥量 (kg/10 a)

基肥	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	4.8	6.7	5.8 ('88, '89)
	5.4	5.4	5.4 ('90)
追肥(目標)	3.0	—	3.0 ('88, '89)
	1.7	—	1.7 ('90)

(注) 十分なおし程度の追肥を穂肥の前後に行った。

6) 除草剤散布

初期処理: パイサー粒剤(目標3 kg/10 a)

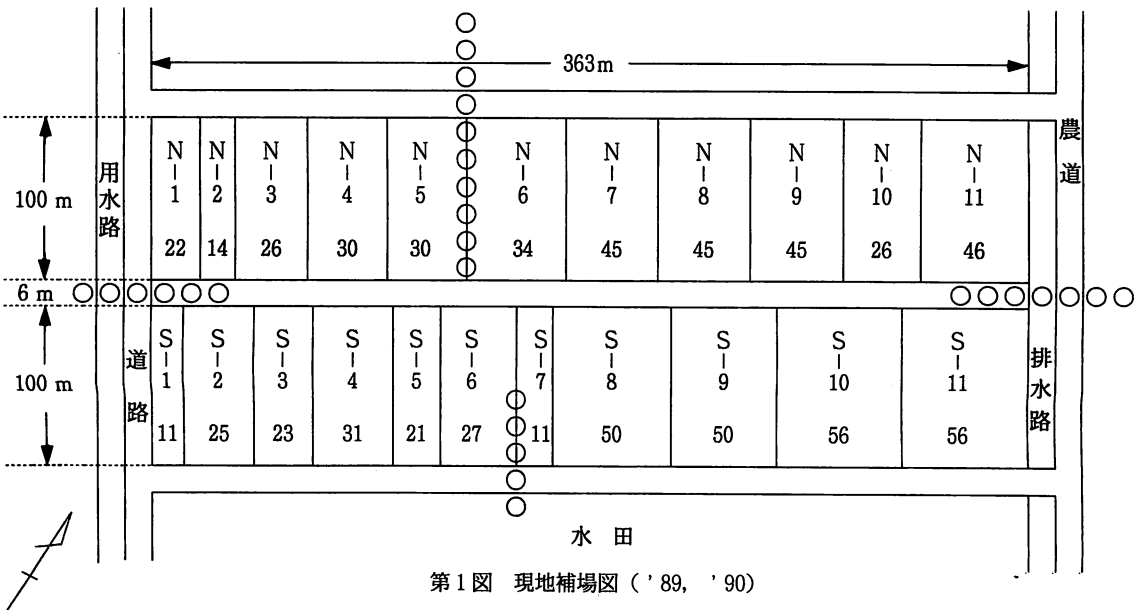
('88, '89はサンバード粒剤)

中期処理: プッシュ粒剤(目標3 kg/10 a)

7) 病虫害防除

第1回 ウンカ, ヨコバエ, イモチ, モンガレ対象: モンセレンフロアブル, オフナック乳剤, ラブサイドゾルの混合農薬30倍液 3 ℓ/10 a (村の空散)

第2回 カメムシ, イネツトムシ, イモチ, モン



- 注) 1. ○印は採集枠設置地点(2 m間隔)
2. 圃場内数字は面積(単位; a)

ヘリコプターを利用した水稲湛水土壤中直播栽培技術に関する研究

ガレ対象：ラブサイドゾル，モンカットフロアブル，バイジット乳剤混合農薬 30 倍液 3 ℓ / 10 a

8) 水管理

- ・代かき後湛水し，播種前日の夕方から落水。
- ・除草剤散布前日の夕方から入水。
- ・芽干し 出芽揃いの時期（1990 年には 5 月 8 日～11 日）に 3～4 日間程度
- ・圃場内に排水溝掘り 芽干し終了後，長辺方向に沿って 10m 間隔に施工
- ・中干し 最高分けつ期ごろから 1 週間程度（1990 年には 6 月 20 日～26 日）実施。
- ・中干し後，間断灌がい

6. 作業方法

作業は原則として営農集団構成員の共同出役で行った。

水管理は代表者 4 人が圃場を分担して担当した。

村の共同防除を除くヘリコプターによる作業法は第 1 表の通り実施した。

III 試験結果

1. ヘリコプターを利用した各作業の作業性能

1) 播種作業

(1) カルパー・コーティング

湛水土壤中直播栽培で重要なことは，出芽・苗立数を目標どおり確保することと，種子を土壤中に埋没させる

ことによって株の支持力を強化させ，転び苗や倒伏を防止することである。土壤中に埋没した種子の発芽率を高めるため，酸素供給剤（カルパー）²⁾ をコーティングし，酸素を供給する。航空播種で種子を土壤中に埋没させるには種子の 3 倍量をコーティングして乾物の 4 倍の重さが必要とされている。そこで，重さを増すために航空播種用に開発されたのがカルパー粉粒剤 A で，その組成は過酸化カルシウム 11%，焼石膏 25%，炭酸カルシウム 14%，オリビンサンド（加重剤）50% である。

また，本研究では 4 月下旬の播種であるため低温条件下で出芽促進効果のあるソフトシリカ³⁾（種子の 0.5 倍重）とタチガレエース粉剤（種子の 0.005 倍重）をカルパー粉粒剤 A と同時にコーティングし，4.5 倍重のペレットを作成して播種した。

(2) 播種時の圃場条件

代かきは播種 2～4 日前に行い，代かき後は湛水状態を保ち，播種前日の夕方から落水した。'90 年の播種時に代の硬さを調査した結果は第 2 表に示すように，さげふり貫入深の平均は 10.8 cm で，ヘリコプター播種に適した 10～13 cm の範囲内にあった。また，落水は圃場の低い部分に 1～3 cm の湛水が残っている状態であった。

(3) 播種時の気象条件

ヘリコプター散布における風速の許容限度は作業の種類で異なり，微量・少量散布，微粒剤 F 散布，粉剤散布は地上 1.5m 位置の風速で 3.0m/sec，液剤散布，粒剤

第 1 表 ヘリコプターによる作業

('90)

作業名	播種	除草剤散布 1	除草剤散布 2	追肥	防除
作業期日	4月25日	4月28日	5月24日	7月27日	8月11日
ヘリ機種	ベル47G3BKH4	ベル47G3BKH4	ベル47G3BKH4	ベル47G3BKH4	ヒューズ500D型
散布装置	TDA-G1	TDA-G1	TDA-G1	TDA-G1	シンビレックス5000型
航空会社	日本農林ヘリ	日本農林ヘリ	日本農林ヘリ	日本農林ヘリ	日本農林ヘリ
飛行速度	25MPH	35MPH	35MPH	25MPH	40～45MPH
飛行高度	10～12m	10～12m	10～12m	10～12m	8～10m
飛行間隔	15m	13m	13m	15m	30m
飛行方法	隣接往復2回	隣接往復1回	隣接往復1回	隣接往復2回	隣接往復1回
散布量	ペレット	パイサー粒剤	ブッシュ粒剤	NKC6	3種混合農薬
(10a当たり)	18.0kg	4.0kg	4.0kg	10.0kg	30倍液 3ℓ

散布は5.0m/secである。コーティング種子の播種では風速5.0m/sec以下が望ましい⁴⁾。

播種時の風速は3ヶ年とも3m/sec以下の条件で実施できた。'90年の播種時の気象条件は第3表に示すとおりである。

(4) 播種作業行程と播種前の準備

播種作業のためのヘリコプターの飛行は、播種ムラを極力少なくするために、圃場の長辺方向に散布幅15mで隣接往復飛行して1回目の散布を行い、2回目は1回目の中間点を逆方向から飛行する2回散布を行った。

長辺方向の中間に排水路(排水路を含めて隣接圃場の

間隔6m)があるが、播種ムラをなくすため種子の損失はやむをえないものとして、この部分も播種した。

前もってヘリコプターの飛行位置の両端に印をしており、誘導員が両端にいて旗をもって立ち、ヘリコプターを誘導した。また、散粒機を駆動するモーターのスイッチを切る位置を示すために圃場端から20mの位置に旗を立てた。スイッチを入れる位置は特に示さず、最初は操縦士の感でスイッチを入れ、種子の落下位置をチェックして2行程目から操縦士に修正させた。

播種作業に入る前に、散粒機の吐出量の調整を行った。その調整方法は、①ヘリコプターが地上にいる状態で、

第2表 播種時の圃場条件

('90)

代かき後日数(日) (作業月日)	圃場番号	さげふり貫入深 (cm)	ゴルフボール 沈下深(cm)	耕盤までの 深さ(cm)
2日 (4月23日)	N-9	10.0	3.9	20.2
	N-11	9.3	3.6	18.4
	S-10	10.9	4.4	16.0
3日 (4月22日)	N-10	11.7	4.6	17.8
	S-9	10.5	4.3	19.1
4日 (4月21日)	S-1	11.3	4.0	23.3
	S-4	11.6	4.5	20.7
平均値		10.8	4.2	19.3
変異係数(%)		8.2	8.6	11.9

第3表 播種時の気象条件

(1990.4.25)

観測時刻	5:50	6:00	6:10	6:20	6:30	6:40	6:50	7:00	7:10	7:20
気温(°C)	7.5	6.7	7.6	7.1	7.4	8.4	9.0	9.5	11.0	10.7
風速(m/s)	0.5	0.4	0.1	0.9	0.8	0.8	0.4	0.5	1.9	2.4
風向	SW	NW	SSW	WSW	NNW	NW	W	SSW	NE	NE
飛行時間	作業開始6:08									

7:30	7:40	7:50	7:55
11.3	10.8	10.8	12.5
2.3	2.2	3.0	2.2
NE	ENE	NNE	ENE
▶ 7:54 作業終了			

ヘリコプターを利用した水稻湛水土壤中直播栽培技術に関する研究

エンジン回転数を作業時と同程度にして散粒機のスイッチを入れ、15秒間ペレット種子を吐出させて計量する。
 ②15秒間の播種面積は、播種作業に適したヘリコプターの飛行速度が40 km/hとして、秒速11.1 m×15 m（散布幅）=166.5 m²、③10 a 当たり播種ペレット重20.3 kg（乾粉4.5 kg）を2回重複散布するので、1行程では20.3 kg/2=10.15 kg、ヘリコプターの両側に装着した散粒機で播種するので、片側5.08 kg/10 a 吐出すればよい。④15秒間に846 g 吐出すれば散粒機の調整は完了する。

(5) 播種作業能率

ヘリコプターによる播種作業能率は第4表に示すとおりである。作業人員はヘリコプターの操縦士を除き、種子補給4人と誘導2人の計6人である。

ha 当たりの播種作業時間は0.4時間前後であったが、作業面積が2.73 ha の'88年と比較して、7.26 ha に増加した'89、'90年のha 当たり作業時間は減少した。圃場作業効率は10%以下であったが、試験であるため、種子を補給する前に散粒機から残量種子を取り出して計量する時間と吐出量の調整を厳密に行い、この調整時間を播種作業時間に入れたためである。

(6) 播種作業精度

① 播種量

第1図に示すように、圃場内外に2 m間隔で設置した採集枠（内径52.5 cm のタライ）への落下量とヘリコプターのワンフライトごとの播種量を調査して、圃場内播種量と圃場外飛散量を推計した結果は第5表に示す通りである。

ヘリコプターの作業速度は40 km/h を目標にした。'90年の平均作業速度はほぼ目標どおりであったが、この時の播種量は設定値の94%であったが、'88年と'89年は45 km/h 前後と早かったため、播種量は設定値の90%以下であった。作業速度が早くなると播種量の減少につながることを明らかに示している。

圃場外への飛散は、ヘリコプターの飛行線上の圃場に入る前に散布するものと圃場から外へでる時に圃場外に散布するスイッチ ON, OFF のタイミングにかかわるものと、飛行線の横で圃場外に飛散するものがある。この飛散量が全散布量の6~12%あったが、作業面積が少ない程多くなった。

第4表 播種作業能率

年 度 (年)	1988	1989	1990
作 業 面 積 (ha)	2.73	7.26	7.26
全 作 業 時 間 (分)	78.1	139.7	169.1
実 作 業 時 間 (分)	5.1	13.0	14.9
内 旋回・移動時間 (分)	9.5	23.5	27.8
補 給 時 間 (分)	6.1	14.7	32.0
残 量 調 査 (分)	35.0	29.5	34.4
訳 播 種 量 調 整 (分)	18.5	49.1	60.0
そ の 他 (分)	3.9	9.9	0
作 業 速 度 (km/hr)	44.27	45.60	40.58
有 効 作 業 幅 (m)	7.5	7.5	7.5
ha 当たり作業時間 (hr/ha)	0.48	0.32	0.39
圃 場 作 業 量 (ha/hr)	2.10	3.12	2.58
有 効 作 業 量 (ha/hr)	33.20	34.21	30.40
圃 場 作 業 効 率 (%)	6.3	9.1	8.5

第5表 播 種 量

年 度 (年)	散布面積 (ha)	全散布量 (kg)	圃場内播種量 (kg)	10 a 当たり播種量			圃場外飛散量 (kg)	同 左 割 合 (%)
				ペレット (kg)	乾 粉 (kg)	設定比 (%)		
1988	2.82	486.58	426.81	15.14	3.38	84.5	59.77	12.3
1989	7.48	1,345.00	1,236.50	16.53	3.15	90.0	108.50	8.1
1990	7.48	1,654.00	1,554.80	20.80	4.24	94.2	99.20	6.0

注) 1. 中央排水路を含めて播種面積として試算した。

② 播種粒数の変異

飛行方向に対して直角に2m間隔で設置した採集枠に落下した種子の粒数を㎡あたりに換算して種子落下量の変異(1990年度結果)を示したのが第2図である。

圃場内の㎡当たり播種粒数は、145±38粒で、変異係数は26%で、3カ年とも同程度の変異であった。この程度の変異係数であれば播種ムラは少ないと考えてよい。

③ 播種深度

湛水土壌中直播栽培では、播種深度が2cm以上になると出芽できなくなるが、倒伏させないためには1cm程度の播種深度が欲しいとされている⁹⁾。代かき後日数と土壤硬度を円錐下げ振り貫入深で調査した圃場において播種深さを調査した結果は、第6表に示すように、平均値で0.4~0.9cmであった。代かき後湛水しており播

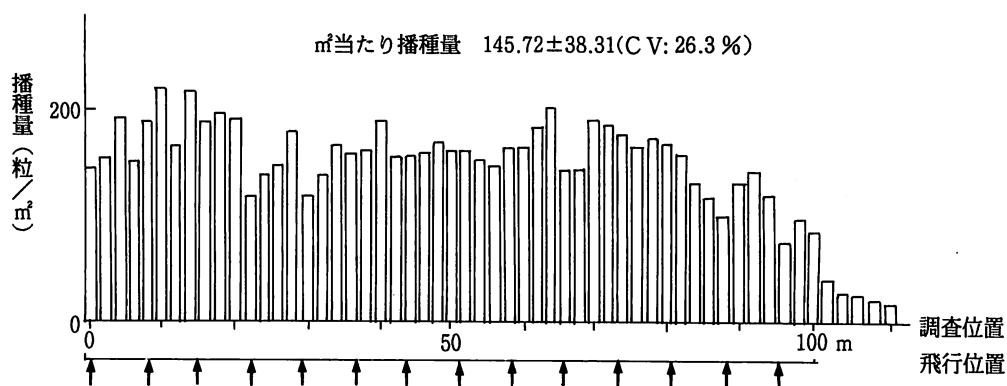
種前日の夕方から落水する条件であれば、播種2~4日程度前の代かきではヘリコプター播種に適しているとされている円錐下げ振り貫入深10~13cmの範囲内に収まった。

また、円錐下げ振り貫入深が大きく土壤硬度が柔らかい場合、播種深度が深くなる傾向はあるが、圃場の落水が完全でなく、1~3cm程度湛水している部分に落下したペレットは、水のクッションで播種深度が浅くなる事が観察された。

2) 除草剤散布作業

(1) 供試除草剤と目標散布量

除草剤は、初期処理にパイサー粒剤('88, '89はサンバード粒剤)、中期処理にプッシュ粒剤を用いた。初期処理は播種後1~3日目に、中期処理は播種後約1カ月してから行った。



第2図 播種量の変異(ペレット数) (1990)

目標散布量は初期、中期処理とも'88, '89は3kg/10aとした。'88は圃場内散布量が少なく、'89はほぼ目標量を散布できたが、一部圃場で除草効果が劣ったため、'90には4kg/10aを目標散布量とした。

(2) 除草剤散布条件

ヘリコプターによる除草剤散布時には地上散布と同様圃場を湛水して置く。風速は3m/sec以下が散布基準になっている⁴⁾。

'90の初期除草剤散布時の気象条件は第7表に示す通りである。風速0.3~0.4m/secと無風に近い状態で散布作業には好適であった。

第6表 圃場条件(代かき後日数)と出芽本数(1990)

代かき後日数(日)	圃場No	円錐下げ振り貫入深(cm)	播種深度(cm)	出芽本数(本/㎡)
2	N-9	10.0	0.62	56.2
	N-11	9.3	0.44	68.8
	S-10	10.9	0.40	60.8
3	S-9	10.5	0.70	63.0
	N-10	11.7	0.92	48.4
4	S-1	11.3	0.78	58.0
	S-4	11.6	0.49	62.4

第7表 初期除草剤散布時の気象条件

(1990.4.28)

観測時刻	5:50	6:00	6:10	6:20	6:30	6:40
気温(°C)	12.5	12.4	12.8	13.0	13.3	12.9
風速(m/s)	0.3	0.3	0.3	0.35	0.25	0.4
風向	NW	N	N	N	NNW	WNW
飛行時間	作業開始 5:55					6:43 作業終了

(3) 除草剤散布作業能率

散布前に行う散粒機の吐出量調整は播種とほぼ同様に行った。ヘリコプターの目標作業速度は 60 km/h で、播種作業の 5 割増しの速度である。除草剤散布作業は隣接往復 1 回散布としたが、散布幅は、'88, '89 には 15 m, '90 には 13 m とした。

調査結果は第 8 表に示す通りであるが、ha 当たり作業時間は 0.2 時間程度で、播種作業の約 1/2 の能率であった。県内で利用が多い人力散粒機による作業時間 1.5 時間/ha の 13% に過ぎなかった。

(4) 除草剤散布作業精度

① 散布量

播種と同様に、圃場内外に 2 m 間隔で設置した採集枠への落下量とヘリコプターでの散布量を調査して、圃場内散布量と圃場外飛散量を推計した結果は第 9 表に示す通りである。

10 a 当たり散布量は '88 は目標とした設定量の 85% と少なかったが、'89, '90 はほぼ設定量に近い量を散布できた。

② 散布量の分布

2 m 間隔で設置した採集枠に落下した除草剤の重量を

第 8 表 初期除草剤散布作業能率

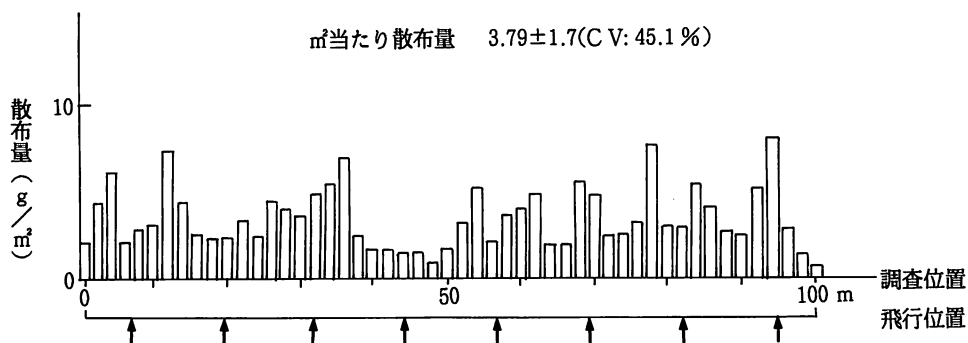
年 度 (年)	1988	1989	1990
作業面積 (ha)	2.73	7.26	7.26
全作業時間 (分)	46.9	75.2	90.3
実作業時間 (分)	1.5	5.0	5.8
内 旋回・移動時間 (分)	6.7	11.3	10.8
補給時間 (分)	3.7	7.7	11.3
残量調査 (分)	18.3	14.2	15.2
訳 吐出量調整 (分)	15.0	34.3	35.0
そ の 他 (分)	1.7	2.7	12.2
作業速度 (km/hr)	74.30	60.80	60.41
有効作業幅 (m)	15.00	15.00	13.00
ha 当たり作業時間 (hr/ha)	0.29	0.17	0.21
圃場作業量 (ha/hr)	3.49	5.76	4.82
有効作業量 (ha/hr)	111.45	91.20	78.50
圃場作業効率 (%)	3.10	6.30	3.20

第 9 表 初期除草剤散布量

年 度 (年)	散布面積 (ha)	全散布量 (kg)	圃場内 散布量 (kg)	10 a 当たり		圃場外 飛散量 (kg)	同 左 割 合 (%)
				散布量 (kg)	設定比 (%)		
1988	2.82	80.4	71.8	2.55	85.0	8.6	10.7
1989	7.48	238.2	225.6	3.01	100.3	12.6	5.3
1990	7.48	306.9	298.3	3.80	95.0	8.6	2.8

注) 1. 中央排水路を含めて散布量を試算した。

2. 1988, 1989 年はサンバード粒剤, 1990 年はバイサー粒剤を使用した。



第3図 除草剤散布量の変異 (1990)

m² 当たり に換算して落下量の分布状態を示したのが第3図である。m² 当たりの散布量は 3.8 ± 1.7 g で、変異係数は 45 % であった。他年度の結果も含めると変異係数は 29 ~ 50 % であった。

3) 追肥作業

(1) 供試肥料と目標散布量

追肥に用いた肥料はNK化成 (17-0-17) である。目標散布量は '88, '89 には窒素成分で 3.0 kg / 10 a, '90 には 1.7 kg / 10 a とした。

(2) 追肥時の作業条件

追肥時には圃場を湛水しておく。ヘリコプターによる追肥にはコーティング種子の播種と同様、風速 5 m / sec

以下が適している。

追肥時における '90 の気象条件は第 10 表に示すように、6 m / sec の風が吹いた。このため、作業が困難となり、往復散布を行うとヘリコプターの飛行速度が一定しないため、風上に向かっての一方散布とした。

(3) 追肥作業行程

ヘリコプターの飛行位置は播種作業と全く同じであるが、'90 には前記のように風が強かったので往復散布でなく、一方散布になった。

(4) 追肥作業効率

追肥に用いた散粒機は播種に用いたのと同じものである。散粒機の吐出量の調整は播種時と同様に行った。へ

第 10 表 追肥時の気象条件

(1990. 7. 27)

観測時刻	6 : 10	6 : 20	6 : 30	6 : 40	6 : 50	7 : 00	7 : 10	7 : 20	7 : 30	7 : 40
気温(°C)	22.5	22.5	22.3	23.4	23.7	23.7	24.0	24.7	25.0	24.6
風速(m/s)	6.5	3.0	3.0	3.5	3.0	5.0	3.0	4.0	3.5	6.0
風向	NE	NE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE
飛行時間	作業開始 6 : 08									
	7 : 50	8 : 00	8 : 10							
	25.2	25.8	26.4							
	6.0	4.0	3.5							
	NNE	NNE	NNE							
▶			8 : 10 作業終了						

ヘリコプターを利用した水稲湛水土壤中直播栽培技術に関する研究

リコプターによる追肥作業能率は第 11 表に示すとおりである。作業人員は播種と同様、肥料補給 4 人とヘリコプター誘導 2 人の計 6 人である。

ha 当たりの追肥作業時間は、'88 には 0.5 時間であったが、作業面積の多くなった'89 は 0.2 時間に短縮された。しかし、'90 は一方向散布としたため、旋回、移動、休止（作業の調整、連絡）時間が多くなり、ha 当たり作業時間は 0.3 時間となった。

(5) 追肥作業精度

肥料散布量を播種量と同様に調査した結果は第 12 表に示すとおりである。'88 の 10 a 当たり散布量は、目標の 85 % と少なかったが、'90 は目標の 95 % であった。

散布量の変異を播種と同様、落下肥料を採集枠に採って調査した。m² 当たり落下量の変異係数は、'88 には 52 % と高かったが、'90 の結果は第 4 図に示すとおり 25 % で、強風下での作業であったが変異は少なく高い精度で散布できたとみてよい。

4) 防除作業

ヘリコプターによる防除作業については既にできあがった技術であるので、作業能率を調査するに止めた。作業能率を調査した結果は、第 13 表に示した通りである。

各年度とも液剤を散布したが、ヘリコプターによる作業可能な風速は 3 m/sec 以下である。ha 当たり作業時間は 0.04~0.08 時間であった。

2. 作業体系と作業時間

7.26 ha の現地実証圃場において行われた耕耘から調

製までの作業体系と作業時間を第 14 表に示した。このうち、ヘリコプターを利用して行った作業は、播種、除草剤散布 2 回、追肥、病虫害防除 2 回（内 1 回は村の空散事業）の合計 6 回である。

'90 の ha 当たり機械利用時間は 65.8 時間、延作業時間は 84.5 時間（'88 : 109.4 時間、'89 : 91.7 時間）であった。

3. 生育および収量

3 カ年の水稲の生育収量を第 15, 16 表に示す。最高分けつ期は 3 カ年の結果から播種後 60 日頃であった。

第 11 表 追肥散布作業能率

年 度 (年)	1988	1989	1990
作 業 面 積 (ha)	2.73	7.26	7.26
全 作 業 時 間 (分)	83.6	85.1	119.0
実 作 業 時 間 (分)	5.3	12.7	14.2
内 旋回・移動時間 (分)	18.3	18.8	24.8
補 給 時 間 (分)	9.5	8.1	15.9
残 量 調 査 (分)	18.5	7.9	17.1
吐 出 量 調 整 (分)	32.0	33.0	47.0
其 他 (休 止) (分)	—	4.6	(39.6)
作 業 速 度 (km/hr)	39.42	50.20	41.50
有 効 作 業 幅 (m)	7.5	7.5	7.5
ha 当 たり 作 業 時 間 (hr/ha)	0.51	0.20	0.27
圃 場 作 業 量 (ha/hr)	1.96	5.11	3.70
有 効 作 業 量 (ha/hr)	29.57	37.65	31.13
圃 場 作 業 効 率 (%)	6.6	13.6	11.9

注) 1990 年の休止時間は全作業時間に計上しなかった。

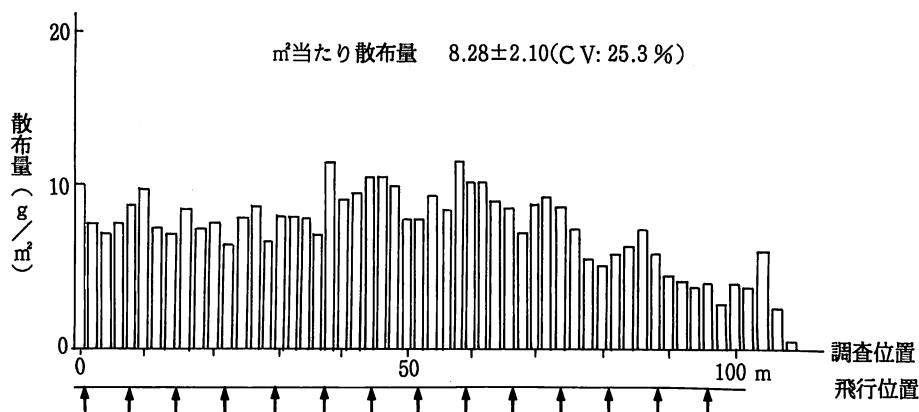
第 12 表 追肥散布量

年 度 (年)	散布面積 (ha)	全散布量 (kg)	圃場内散布量 (kg)	10 a 当 たり		圃場外飛散量 (kg)	同 左 割 合 (%)
				散布量 (kg)	設定比 (%)		
1988	2.66	447.25	397.13	14.9	84.6	50.12	11.2
1989	7.48	1,280.95	—	—	—	—	—
1990	7.48	764.70	711.20	9.5	95.1	53.50	7.0

注) 1. 中央排水路を含めて散布面積として算出した。

2. 供試肥料 : NK-C 6

3. 1989 年は降雨のため測定不能。



第4図 追肥散布量の変異 (1990)

第13表 防除作業能率

年	度 (年)	1988	1989	1990
作 業 面 積 (ha)		2.73	7.26	7.26
全 作 業 時 間 (分)		13.4	17.5	33.5
実作業時間 (分)		1.6	3.5	3.6
内 旋回・移動時間 (分)		4.2	—	4.4
補 給 時 間 (分)		7.6	14.0	25.5
残 量 調 査 (分)		0	0	0
訳 吐 出 量 調 整 (分)		0	0	0
その他(休止) (分)		0	0	0
作 業 速 度 (km/hr)		72.07	75.00	58.20
有 効 作 業 幅 (m)		18	30	30
ha 当 たり 作 業 時 間 (hr/ha)		0.08	0.04	0.08
圃 場 作 業 量 (ha/hr)		12.20	25.01	13.01
有 効 作 業 量 (ha/hr)		129.7	225.0	174.6
圃 場 作 業 効 率 (%)		9.4	11.1	7.5

注) 1. 供試薬剤: 1988年 カスラブバリダゾル
 1989年 ラブサイドモンガードゾ
 ル, バイジット乳剤
 1990年 ラブサイドゾル, モンカッ
 トフロアブル, バイジット
 乳剤
 2. 目標散布量: 30倍希釈液, 3,000ml/10a散布

最高分けつ期の茎数は m^2 当たり 700~1,000 本程度で、穂数は 390~580 本であった。坪刈の 10 a 当たり収量は 520~550 kg であった。平均実収は初年度には 427 kg で、年毎に増加し最終年度には 492 kg と目標の 500 kg に極めて近い収量をあげることができた。

各年度とも倒伏がみられたが、倒伏のタイプは挫折型より転び型が多かった。このことは風雨などの外圧が加

わったことと、播種深度が浅いことから根の支持力が弱まったことが一因と考えられる。

4. 経済性

本試験での栽培面積は初年目 2.73 ha, 2~3 年目 7.26 ha であるが、この規模で生産費の試算も行っても、ヘリコプターや機械の利用経費が大きくなり過ぎて意味がないので、次のような前提条件を置いて試算を行った。

1) 営農集団の規模

保有面積 30 ha, 構成農家数 3 戸

2) 作物別作付面積

水稲 20 ha, 大豆 10 ha, 麦 10 ha

3) ヘリコプター利用規模 20 ha

4) 使用資材, 機械施設および労働時間等は本試験での実施結果を用いた。

ヘリコプターを利用した水稲湛水土壤中直播栽培の 10 a 当たり生産費の試算結果と '89 の県平均水稲生産費および '88 都府県規模別生産費を第 17 表に示した。

ヘリ湛直の 10 a 当たり第 1 次生産費は 74 千円から 79 千円で、第 2 次生産費は 104 千円から 109 千円であった。県平均と比較すると第 1 次生産費では 60~63 % に、第 2 次生産費では 65~68 % に低下しており、都府県の 10 ha 以上の大規模水稲生産家の生産費よりも下まわり、ヘリコプターを利用した湛水土壤中直播栽培のコスト低減効果が高いことを示している。

ヘリコプターを利用した水稻湛水土壤中直播栽培技術に関する研究

第14表 作業体系と作業時間

(1990)

作業名	作業時期	使用機械	使用資材	機械利用時間 (hr/ha)	組人員 (人)	延作業時間 (hr/ha)
耕耘(1回)	12上	ロータリ180		3.8	1	3.8
耕耘(2回)	4中	"		3.2	1	3.2
種子予措	4.12~20			-	-	5.5
基肥施用	4.16	ブロードキャスト	化成(15-15-15)	0.54	2	1.08
コーティング	4.21	コーティングマシン	カルパーA他	1.6	4	6.4
代かき	4.21~23	水田ハロ		3.4	1	3.4
播種	4.25	ヘリコプター		0.39	6	2.34
同上準備	4.24			-	-	1.0
除草剤散布(初期)	4.28	"	パイサー粒剤	0.21	4	0.84
同上準備	4.27			-	-	0.5
除草剤散布(中期)	5.24	"	プッシュ粒剤	0.15	4	0.6
同上準備	5.23			-	-	0.5
追肥 1	6.15	背負式動力散布機	硫安	2.1	1	2.1
追肥 2	7.11~13	背負式動力散布機	NK-C 6	2.1	1	2.1
病虫害防除1(村)	7.15	ヘリコプター	3種混合	0.08	3	0.24
同上準備	7.13			-	-	0.5
追肥 3	7.27	"	NK-C 6	0.27	6	1.62
同上準備	7.26			-	-	0.5
病虫害防除2	8.11	"	3種混合	0.08	3	0.24
同上準備	8.10			-	-	0.5
水管理他				-	-	20.0
収穫	9.3~4	汎用コンバイン		5.0	1	5.0
収穫物運搬	9.3~4	軽トラ+刎運搬機(2台)		4.1	2	8.2
乾燥	9.3~5	循環型乾燥機		36.0	1	2.0
調製袋詰	9.4~5	刎摺調製装置		3.0	4	12.0
合計				65.82		84.46

第15表 生育経過

年次別	項目	苗立	播種後30日		播種後40日		播種後50日		播種後60日		播種後70日	
		本数 (本/m ²)	草丈 (cm)	莖数 (本/m ²)	草丈 (cm)	莖数 (本/m ²)	草丈 (cm)	莖数 (本/m ²)	草丈 (cm)	莖数 (本/m ²)	草丈 (cm)	莖数 (本/m ²)
1988	最高	99	17	292	29	803	39	1,079	45	1,089	64	1,050
	最低	48	16	157	27	436	37	739	43	809	61	810
	平均	78	17	224	28	620	38	939	44	987	63	952
1989	最高	124	-	-	-	-	28	688	40	912	49	909
	最低	83	-	-	-	-	23	349	33	497	39	607
	平均	98	-	-	-	-	25	455	35	677	43	638
1990	最高	82	18	143	27	430	-	-	49	810	-	-
	最低	62	13	62	19	243	-	-	43	648	-	-
	平均	70	16	119	24	347	-	-	47	761	-	-

第16表 成熟期の生育収量

年次別	項目	生 育			※	
		稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	玄米重 (kg/a)	千粒重 (g)
1988	最高	87	19.7	754	60.0	22.1
	最低	79	17.6	472	46.6	20.7
	平均	83	18.7	579	54.8	21.3
1989	最高	84	19.4	612	57.1	23.9
	最低	70	17.0	435	44.8	21.9
	平均	77	18.2	540	51.6	23.0
1990	最高	87	19.8	436	58.6	21.6
	最低	78	17.7	318	43.8	20.7
	平均	83	18.8	388	51.8	21.1

(注) ※玄米重は坪刈収量である。

10a当たり平均実収は'88: 427 kg, '89: 446 kg, '90: 492 kg

IV 総合考察

1. 品種および播種期の選択

品種は、品質食味、耐倒伏性、収量性などが高いものが望ましいが、現地では8月一杯で灌漑水が止まるため、9月上旬、遅くとも中旬には収穫できる品種と播種期の組み合わせでなければならない。品種の選択では、キヌヒカリが品質食味、耐倒伏性などの点で有望視されたが、成熟期が遅いため初星を選択した。初年目には播種期を5月10日としたが、収穫期が9月下旬になったため、2年目以降は4月25日に早めた。このように、湛水土壤中直播栽培は稚苗栽培より成熟期が遅くなるので、品種と播種期を決める場合には現地の水利慣行と併せて十分検討する必要がある。

播種期が早い場合、出芽・苗立をよくするため水稲種子用には未登録であるが、試験のために、ソフトシリカを種子の0.5倍量コーティングした。しかし、播種期が5月上旬以降であれば必要ないものと考えられる。

第17表 10a当たり生産費

(単位: 円)

費 目	へり 湛 直			県平均 ³⁾ 1989年	大規模階層の生産費(都府県: 1988年) ⁷⁾		
	1988年	1989年	1990年		3.0-5.0ha	5.0-10.0ha	10.0ha以上
種 苗 費	1,736	1,736	2,387	2,666	2,219	4,241	2,024
肥 料 費	8,813	8,813	6,103	6,943	8,583	8,805	7,927
農 業 薬 剤 費	10,634	11,322	16,105	5,657	7,003	5,541	7,610
光 熱 動 力 費	2,686	2,686	2,764	2,963	3,036	2,800	5,182
そ の 他 諸 材 料 費	-	1,500	-	2,758	1,327	1,390	388
水 利 費	6,600	6,600	6,600	9,770	7,182	6,156	1,946
建物・土地改良設備費	398	1,625	1,625	3,256	3,505	3,955	5,989
賃借料及び料金	13,089	10,752	10,593	8,411	3,289	3,962	2,553
農 機 具 費	17,369	20,146	20,146	34,414	34,573	27,447	33,723
労 働 費	13,080	13,800	12,600	51,986	35,913	36,438	28,206
費 用 合 計	74,405	78,980	78,923	128,824	106,630	100,735	95,602
副 産 物 価 額	0	0	0	3,474	2,896	2,906	1,834
第 1 次 生 産 費	74,405	78,908	78,923	125,350	103,734	97,829	93,768
資 本 利 子	2,536	2,607	2,653	7,194	6,865	6,745	8,557
地 代	27,000	27,000	27,000	27,288	41,786	44,772	39,725
第 2 次 生 産 費	103,941	108,587	108,576	159,832	152,385	149,346	142,050

2. 播種量および播種深度

湛水土壤中直播栽培における苗立数は m^2 当たり 70～100 本でよいとされている¹⁾。種籾の千粒重を 27 g, 出芽率を 70% とすると 10 a 当たり播種量は 3～4 kg が適していると考えてよい。

播種深度は、2 cm 以上になると出芽できなくなるので、0.5～1.0 cm 程度が望ましい。

3. 水管理

播種前の水管理は、代かき後湛水しておき、播種前日の夕方から落水した。

出芽揃いの時期に 3～4 日間落水して芽干しを行った。この芽干しは、播種深さが 0～1 cm と浅いため浮苗になりやすいので、根張りをよくするために行う。

最高分けつ期以降に中干しを 10～15 日間行い、中干し後は稚苗栽培と同様間断灌がいを行う。

4. ヘリコプターを利用した各作業の作業性能

(1) 播種作業

ha 当たり作業時間は、0.4 時間前後で極めて能率が高い。また、隣接往復 2 回播種を行うことで、 m^2 当たり播種粒数の変異係数は 26% 程度であったが、播種作業ではこの程度の変異はやむを得ないものと考えられる。

播種深さについては、播種時の代の硬さと関係する。ヘリコプターによる播種に適した代の硬さは、さげ振り貫入深で 10～13 cm とされており⁶⁾、代かき後湛水して置く条件で、実証試験を実施した土壌条件であれば、播種前 4 日以降に代かきを行えばこの代の硬さを保て、0.5～1.0 cm の播種深さが得られるようであった。

(2) 除草剤散布作業

ha 当たり作業時間は、隣接往復 1 回散布としたので、0.2 時間程度であるが、 m^2 当たり散布量の変異係数は 45% 程度とやや大きい数字になった。しかし、除草剤については成分の溶出、拡散が期待され、除草効果も高かったため、この程度の変異であれば特に問題にはならないものと考えられる。

(3) 追肥作業

ha 当たり作業時間は隣接往復 2 回散布としたが、播種作業と比較して補給時間が少なかったため 0.2 時間で

作業を行えた。 m^2 当たりの散布量の変異係数は 25% 程度であったが、この程度の変異はやむおえないものと考えられる。

5. 作業体系の問題点

ヘリコプターによる作業以外でやや問題になるのは、あるまとまった面積に同一品種を同じ日に播種するため、各種作業が集中することである。特に問題になるのは代かきと収穫乾燥作業である。

代かき作業については、1 区画 20 ha を作付する場合、4 日程度の間で代かきを行わなければならない。作業面では 1 日に 5 ha 程度の代かきは 30～50 PS のトラクタ 2～3 台で作業が可能であるが、同じ場所で代かき作業が集中するので、用水確保が困難となる可能性がある。

収穫乾燥については、5～6 日の間に収穫乾燥ができるよう機械と人員の確保をしておく必要がある。

6. 経済性

ヘリコプターを利用した水稲湛水土壤中直播栽培は ha 当たり延作業時間が 85 時間程度と省力的な栽培法である。このため、労働時間当たりの生産性は極めて高く、1 区画 20 ha 規模で生産すれば、10 a 当たりおよび 60 kg 当たり生産費は慣行栽培と比較して低くなる。しかし、収量が慣行の稚苗移植栽培より 60 kg 前後低下するので、スケールメリットが活かしきれない比較的小規模な農家集団のなかで、省力化より収量性を重んじる農家が何戸かあると、面積がまとまらなくてはできないこの栽培法が導入できなくなる。現在は、色々な考え方をもつ人があり、話を纏めるのは大変なことであるが、都市化、高齢化、担い手不足、水稲以外の作物に経営の重点があつて水稲の手を抜きたいなど集落単位で水稲栽培の省力化を目指す状況になった時に威力を発揮する栽培法であろう。

V 摘 要

ヘリコプターを利用して播種、除草剤散布、追肥、病害虫防除などの作業を行う水稲湛水土壤中直播栽培を 1988～1990 年の 3 カ年間、稲敷郡東村の実証圃場 (7.5 ha) で実施した。

1. ヘリコプターで播種作業を行った結果、ha 当たり作業時間は0.4時間、播種量の変異係数は26%であった。播種深さの平均値は0.4~0.9 cmで、出芽本数は年度と圃場によって異なるが、m² 当たり50~90本程度であった。

2. 除草剤散布作業のha 当たり作業時間は0.2時間で、m² 当たり散布量の変異係数は45%だった。

3. 追肥作業のha 当たり作業時間は0.2時間で、m² 当たり散布量の変異係数は25%であった。

4. 作業体系としてのha 当たり延作業時間は85時間であった。

5. 実証試験地全体を通しての10a 当たり実収は427 kg ('88), 446 kg ('89), 492 kg ('90) であった。

6. 経済性については、20ha 規模でヘリコプターを利用した湛水土壤中直播栽培を実施する場合、10a 当たり第1次生産費は74~79千円(県平均の60~63%) 第2次生産費は104~109千円(県平均の65~68%) となった。

VI 謝 辞

本試験の遂行にあたり、現地実証全体のマネージメントを行った県改良普及課および共同して現地実証に携わった江戸崎地区農業改良普及所の関係者に厚く感謝したい。

また、本試験の機会を与えて下さった社団法人農林水産航空協会およびご協力を賜った稲敷郡東村の役場、農協、現地農家の方々にも心から感謝いたします。

引用文献

- 1) 狩野幹夫, 酒井 一 (1990) : 水稻の湛水土壤中直播栽培に関する研究第5報 散播栽培における生理生態的特性と窒素の施肥法, 作物学会関東支部会報 第5号, 33~34
- 2) 片野 学 (1990) : 酸素供給資材 農業技術体系作物編2, 農山漁村文化協会 技522, 68~72
- 3) 関東農政局茨城統計情報事務所編 (1990) : 茨城農林水産統計年報(平成元年~平成2年), 124~125
- 4) 農林水産航空協会編 (1991) : 農林水産航空事業技術指針(農業・肥料等散布編)
- 5) - : 省力栽培をめざして, 翼を持った農林業 PART VI
- 6) - (1990) : 航空播種による水稻湛水土壤中直播栽培試験成績書, 1988~1990
- 7) 農林水産省統計情報部 (1990) : 昭和63年産農産物生産費調査報告 米及び麦類の生産費, 164~165
- 8) 渡辺富男 (1990) : ソフトシリカ, 農業技術体系作物編2, 農山漁村文化協会 技522, 62~66

積算気温による水稻発育シミュレータ (RIPROS-I) および DVI 別気象値を説明変数とする収量構成要素 予測のための重回帰モデル (RIPROS-II) の開発

幸田 浩俊*・石原 正敏

A Computer Simulation Model based on Accumulated Temperature
for Rice Growth in IBARAKI Pref. (RIPROS-1) and a Multiple
Regression Model for Yield Components (RIPROS-2)

Hirotohi KOHDA and Masatoshi ISHIHARA

日平均気温の積算値をもとに、茨城県水稻奨励品種の稚苗移植栽培を対象にした発育シミュレータを開発した。田植え期の変化と到穂積算気温・成熟期迄積算気温の変化との関係に直交多項式をあてはめ一般化し、施肥法や土壌が変わった場合の補正値を計算することによって精度を高めた。田植期を0、幼穂形成期を1、出穂期を2、成熟期を3とするDVI(発育指標)を用いることによって、減数分裂期の推定もほぼ可能となった。出穂前30日のこのモデルの予測誤差は、県内16箇所の試験地において±2日であった。

次に、水稻生育期間5日ごとの生育指数(DVI)を求め、各DVIに達する前5日間の気象値(平均気温、日照時数など)を説明変数とし収量構成要素を目的変数とする重回帰式モデルを作った。このモデルから求めた予測値は、実測値の傾向とほぼ一致した。

I はじめに

作物の生育が環境によって左右され、その結果、収量の大きな地域間差や年次変動となって現れることは、経験的によく知られている。農作物の中でも単収が最も安定して高い水稻でさえ収量の年次変動は大きく、不良天候年の最善と考えられる条件下での収量が、好天に恵まれた年の標準区の収量に及ばないことなどから、著者らは栽培研究者の無力感を何回か味わってきた。また、気温、日射量、土壌養水分等の各環境要素が水稻の生理に及ぼす影響に関して、これまでに全国的に膨大な量のデータが蓄積されているにもかかわらず、それを生かした水

稻生育の定量的予測方法を持たず、僅かに毎年ほぼ同じ栽培法で実施されている水稻奨励品種決定調査事業圃場の生育データと観察結果とから、経験的に予測するだけであることにたいして、歯がゆい思いをしてきた。発育ステージの正確な予測ができれば、追肥、病害予防のための薬剤散布、収穫の適期実施によって単収が向上するのみならず、品種別栽培面積の最適化など経営計画改善にも役立つと考えたからであった。

茨城県では1986年から農作物生育診断手法の開発が開始された。普通作物については農業試験場が担当し、88年までに基礎的な手法を検討したのち、89年から91年までに水稻、麦類、ダイズ、ラッカセイ、サツマイモについての生育予測モデルを開発するという計画であった。

* 茨城県立農業大学校

Ibaraki prefectural agriculture special school

水稻については過去の栽培データの蓄積が多いことから、他作物にさきがけて3年間で予測できるモデルを作るといった時間的制約が課せられた。そこで、積算気温による発育ステージ予測モデルをまず開発し、つぎに暦日半旬別気象値から収量構成要素を予測する重回帰モデルを作り、更にこれに堀江ら⁹⁾の発育指標(DVI)概念を導入することによって、様々な作期に適応し得るように、モデルの一般化を試みることにした。

現在もよりよいモデルの作成をめざして努力している途中である。ここでは、1990年から普及に移したモデルについて紹介したい。

II 積算気温による水稻発育シミュレータ (RIPROS-I)

水稻の出穂・開花・成熟といった発育の進行は、主に気温や日長によって支配される。そして、日本国内では、気温に対する感受性は早生品種ほど、あるいは高緯度地域に分布するものほど高く、一方、日長に対する感受性は晩生品種ほど、あるいは低緯度地域に分布するものほど高いことが知られている。従って、発育ステージ予測モデルは、イネの各品種の感温性・感光性に対応した適切な気象要因を選択し、ある関数形に当てはめることによって作成される場合が多い。

茨城県は東経139度40分～140度50分、北緯35度45分～36度57分、その水田標高は0m～700mの間にある。夏至における緯度による日長差は5分、標高によるそれは9分であり、県内で栽培されている品種はおおむね感光性より感温性が強いので、積算気温を用いた発育ステージ予測モデルを作成することにした。

1. 移植期の変化に伴う出穂期・成熟期までの積算気温の変化

1983年から3年間、竜ヶ崎試験地において主要品種の作期移動試験がおこなわれた。これは、4月25日から6月25日まで15日ごとに2.2齢(不完全葉を含まない葉齢)の稚苗を移植し、生育や収量を調査することによって、大規模稲作の計画的安定栽培技術を確立しようとするものであった。^{2,3,4)}

主な品種の、移植期の変化に伴う出穂期・成熟期の変化は、第1表のとおりである。

移植期が4月、5月、6月と遅くなるほど、出穂期に

第1表 移植期の変化に伴う出穂期・成熟期の変化 (茨城農試竜ヶ崎試験地：中粗粒グライ土)

年	品 種	移植期 (月・日)	出穂期 (月・日)	到穂 日数 (日)	到穂積 算気温 (℃・日)	成熟期 (月・日)	成熟 日数 (日)	成熟期 迄積算 気温 (℃・日)
1983	初	4.25	7.25	92	1,707	9.07	39	953
		5.10	8.01	84	1,632	9.12	42	1,250
		5.25	8.09	77	1,571	9.24	46	1,277
	星	6.10	8.20	72	1,564	10.11	52	1,300
		6.24	8.28	66	1,494	10.22	55	1,282
コ		4.25	8.01	99	1,885	9.16	46	1,333
	シ	5.10	8.05	88	1,735	9.24	50	1,386
	ヒ	5.25	8.12	80	1,648	10.01	50	1,322
	カ	6.10	8.20	72	1,563	10.13	54	1,331
	リ	6.24	8.26	64	1,449	10.18	53	1,271
1984	初	4.25*	7.29	96	1,875	9.04	37	983
		5.10*	8.01	84	1,731	9.08	38	988
		5.25	8.05	73	1,637	9.12	38	970
	星	6.10	8.13	65	1,551	9.30	48	1,115
		6.25	8.24	61	1,532	10.15	52	1,077
コ		4.25*	8.06	104	2,094	9.15	41	1,038
	シ	5.10*	8.08	91	1,925	9.19	42	1,037
	ヒ	5.25	8.12	80	1,830	9.22	42	1,019
	カ	6.10	8.17	69	1,662	10.03	48	1,099
	リ	6.25	8.25	62	1,555	10.15	51	1,054
1985	初	4.25	7.23	90	1,784	8.30	38	1,017
		5.10	7.30	82	1,729	9.08	40	1,065
		5.25	8.08	76	1,706	9.16	42	1,057
	星	6.10*	8.21	73	1,740	10.05	45	1,013
		6.25	8.26	63	1,590	10.15	50	1,078
コ		4.25	7.30	97	1,976	9.08	40	1,065
	シ	5.10	8.15	88	1,894	9.16	42	1,075
	ヒ	5.25	8.12	80	1,810	9.24	43	1,051
	カ	6.10*	8.21	73	1,740	10.07	47	1,050
	リ	6.25	8.24	61	1,540	10.17	51	1,115

注) 日数や積算気温は、移植した日、出穂した日、成熟(収穫)した日を含む。出穂期は、その品種について全茎の40～50%が出穂した時期を示す。これは全株の40～50%が出穂した時期より1～2日遅い。1983年の成熟期は収穫期を示す。*印は移植期の半旬平均気温が平年より1℃以上低いことを示す。積算気温の計算にはAMeDAS竜ヶ崎観測地点の日平均気温を用いた。

達するのに必要な積算気温 (ここでは、以後これを到穂積算気温とあらわす) は小さくなった。またその年次変化は大きく、特に旬別平均気温の平年値との差が、1.0℃以上になった年 (84年4月下旬, 5月中旬, 85年5月下旬から6月上旬) の変動が大きかった。

そこで、移植期の旬別平均気温が平年値より1℃以上低い年を除外し、初星・チョニシキ・コシヒカリ・大空について、到穂積算気温と、出穂期から成熟期迄の必要積算気温 (以後これを成熟迄積算気温とあらわす) の平年値と移植期との関係に直交多項式をあてはめ、各作期

に対応する出穂期・成熟期までの温度必要量 (積算気温) を数式で表現した。

また、奨励品種決定調査事業のなかで早植え栽培 (5月始め移植), 遅植え栽培 (5月下旬~6月上旬移植), 極遅植え栽培 (6月下旬~7月上旬移植) を行っている品種について、同様の手法で移植期と到穂積算気温・成熟期迄積算気温との関係を示す数式を求めた。

これらの、移植期から出穂期・成熟期までの温度必要量は第2表のとおりである。

6月以降に移植すると、コシヒカリと大空の到穂積算

第2表 各作期に対応する到穂積算気温と成熟期迄積算気温

熟性	品 種 名	式	回帰における分散分析の有意水準 (α)
早生種	トドロキワセ	到穂積算気温 $y_1 = 1785 + CF - 3.577x$	0.05
		成熟期迄積算気温 $y_2 = 878 + CF + 0.5769x$	0.05
初 星	初 星	到穂積算気温 $y_1 = 2200 + CF - 27.1618x + 0.43151x^2 - 0.00247x^3$	0.20
		成熟期迄積算気温 $y_2 = 920 + CF - 1.41914x + 0.023735x^2$	0.20
チョニシキ	チョニシキ	到穂積算気温 $y_1 = 2270 + CF - 23.966x + 0.34061x^2 - 0.00183x^3$	0.20
		成熟期迄積算気温 $y_2 = 639 + CF + 10.9451x - 0.08448x^2$	0.10
中生種	コシヒカリ	到穂積算気温 $y_1 = 2073 + CF - 3.64678x - 0.0396x^2$	0.10
		成熟期迄積算気温 $y_2 = 968 + CF - 0.1608x + 0.00634x^2$	0.10
大 空	大 空	到穂積算気温 $y_1 = 2250 + CF - 8.79132x$	0.005
		成熟期迄積算気温 $y_2 = 830 + CF + 4.8058x - 0.03407x^2$	0.10
キヌヒカリ	キヌヒカリ	到穂積算気温 $y_1 = 2194 + CF - 8.2692x$	0.01
		成熟期迄積算気温 $y_2 = 972 + CF - 0.03077x$	0.01
青 い 空	青 い 空	到穂積算気温 $y_1 = 2183 + CF - 7.981x$	0.01
		成熟期迄積算気温 $y_2 = 1012 + CF - 0.5769x$	0.05
晩生種	日 本 晴	到穂積算気温 $y_1 = 2406 + CF - 8.8462x$	0.05
		成熟期迄積算気温 $y_2 = 1083 + CF - 1.9231x$	0.05

注) xは4月1日を起点とする日数 CFは後述する土壤・施肥法によって変化する補正值
ここでは分散分析の結果の有意性がより高い回帰式より、あてはまりの良い式を進んだ。

気温はほぼ等しくなり、15日以後に移植すると、早生品種のチョニシキ・初星より中生のコシヒカリ・大空のほうが早く出穂する傾向が認められたが、これは極晩播栽培を行った場合に観察される事実と一致した。

また、6月以降に移植すると、大空とチョニシキの成熟迄積算気温は、それ以前に移植した場合と比べて小さくなるのに対し、コシヒカリと初星のそれは大きくなる傾向を示した。移植期を4月25日から6月29日まで変化させた場合の成熟迄積算気温は、最も変化が大きかつ

たチョニシキでも50℃・日以内で、到穂積算気温の変幅に比べて極めて小さく、各品種ともそれぞれほぼ一定とみなしても差し支えないほどであった。

2. 同一移植期における環境条件の差異と到穂積算気温、成熟迄積算気温

1) 施肥量による差異

(1) 基肥施用量の影響

稚苗移植栽培が行われるようになってからの奨励品種決定調査事業のデータ¹⁾(本場水戸)をもとに、各品種

の移植期から出穂期、出穂期から成熟期までの積算温度を基肥施用量別に求めた。

その結果は、第3表のとおりである。

トドロキワセ、初星の基肥施用量が窒素で1.1kg/aと極めて多い場合は、到穂積算気温がやや増加した。しかし、他の品種では基肥施用量による到穂積算気温の変動は小さかった。一方、成熟期迄積算気温は、各品種とも基肥施用量を増すと大きくなった。到穂日数と到穂積算気温の変動とをそれぞれの標準偏差で比較すると、コシヒカリでは、到穂日数の標準偏差が3.7～4.6日であるのに対し、到穂積算気温の標準偏差は42.0～50℃・日であった。これを出穂期の日平均気温をもとに日数に換算すると1.7～2.0日に相当し、データの年次変動は2分の1以下に小さくなった。成熟迄日数の標準偏差は

2.9～4.0日、成熟迄積算気温のそれは61～93℃・日(日数換算2.8～4.2日)で、出穂期から成熟期までの年次変動はどちらを用いてもほぼ同じであった。

コシヒカリを除く各品種の到穂日数の標準偏差、到穂積算気温の標準偏差(内はその日数換算値)は、トドロキワセ:3.8～4.5日、46～68℃・日(1.8～2.7日)、初星:3.2～3.6日、34～43℃・日(1.4～1.7日)、チヨニシキ:2.5～3.0日、53～69℃・日(2.1～2.8日)、大空:3.1～3.8日、31～41℃・日(1.2～1.6日)、キヌヒカリ:3.2～3.8日、33～47℃・日(1.3～1.9日)、青い空:2.8～3.7日、32～50℃・日(1.3～2.0日)、日本晴:3.0～3.4日、38～57℃・日(1.5～2.3日)となった。

成熟迄日数の標準偏差、成熟迄積算気温の標準偏差

第3表 各品種の基肥施用量による到穂日数・到穂積算気温、成熟迄日数・成熟迄積算気温

品 種	標肥(N 0.7 kg/a)				多肥(N 0.9 kg/a)				極多肥(N 1.1 kg/a)				試 験 実施年
	出穂期		成熟期		出穂期		成熟期		出穂期		成熟期		
	日数 日	Temp ℃	日数 日	Temp ℃	日数 日	Temp ℃	日数 日	Temp ℃	日数 日	Temp ℃	日数 日	Temp ℃	
トドロキワセ													
平均値	84.0	1,650	36.7	897	84.2	1,656	37.1	901	84.7	1,669	37.2	911	1975
標準偏差	4.4	63.4	2.9	57.7	4.5	68.0	3.0	66.3	3.8	45.9	2.7	49.5	～86
初 星													
平均値	84.5	1,663	36.1	886	84.2	1,654	37.0	898	84.8	1,671	37.8	921	1975
標準偏差	3.2	39.8	2.7	54.3	3.6	43.2	2.5	61.1	3.2	34.1	2.5	74.2	～86
チヨニシキ													
平均値	88.6	1,730	36.2	910	88.8	1,735	36.2	911	88.6	1,729	36.8	925	1982
標準偏差	2.5	52.7	2.4	50.2	2.9	68.5	1.9	50.1	3.0	63.3	1.9	57.8	～86
コシヒカリ													
平均値	92.0	1,849	41.0	970	92.0	1,843	41.0	975	92.0	1,842	42.8	1,023	1975
標準偏差	4.6	50.9	3.2	83.3	4.3	46.2	2.9	60.5	3.7	42.0	4.0	92.6	～86
大 空													
平均値	94.1	1,900	40.0	954	94.0	1,894	41.0	967	93.8	1,896	43.0	1,008	1975
標準偏差	3.8	41.0	3.3	48.9	3.8	38.3	3.4	48.9	3.1	31.3	4.2	57.0	～86
キヌヒカリ													
平均値	93.6	1,881	39.7	975	94.0	1,890	40.0	992	93.3	1,873	40.3	984	1984
標準偏差	3.8	46.2	2.3	16.4	3.5	47.3	3.5	50.6	3.2	33.1	4.0	52.3	～86
青 い 空													
平均値	93.4	1,872	42.0	993	94.7	1,898	42.1	992	94.0	1,884	42.3	997	1,979
標準偏差	3.7	50.1	2.4	54.6	2.8	32.5	3.4	38.4	2.8	44.4	3.5	43.1	～86
日 本 晴													
平均値	100.8	2,066	44.8	1,006	100.0	2,053	45.6	1,023	101.0	2,066	45.0	1,010	1975
標準偏差	3.4	37.8	4.1	67.4	3.2	50.3	4.6	87.8	3.0	57.1	4.3	73.0	～86
8 品 種 平 均	1,826		949		1,828		957		1,829		972		

(内はその日数換算値) は、トドロキワセ: 2.7~2.9日, 50~66°C・日 (2.2~2.9日), 初星: 2.5~2.7日, 54~74°C・日 (2.3~3.2日), チヨニシキ: 1.9~2.4日, 50~58°C・日 (2.5~2.5日), 大空: 3.3~4.2日, 49~57°C・日 (2.3~2.7日), キヌヒカリ: 2.3~4.0日, 16~52°C・日 (0.8~2.5日), 青い空: 2.4~3.5日, 38~55°C・日 (1.8~2.6日), 日本晴: 4.1~4.6日, 67~88°C・日 (3.5~4.6日) となった。

このことから、移植期から出穂期を予測するには、所要日数より積算気温を用いる方が各品種とも正確さを増すこと、成熟期予測も積算気温を用いた方がやや正確さを増すことが判明した。

各品種の基肥窒素施用量による出穂積算気温、成熟迄積算気温を多湿黒ボク土 (本場水戸) と中粗粒グライ土 (竜ヶ崎試験地) について比較した。

基肥窒素施用量が標準 (N0.6kg/a), 多肥 (0.8kg/a), 極多肥 (1.0kg/a) と増えると、中粗粒グライ土における出穂積算気温は、トドロキワセ・初星・チヨニシキ・コシヒカリ・大空の5品種の平均で、それぞれ1,813°C・日, 1,818°C・日, 1,824°C・日とほぼ一定で、成熟迄積算気温は990°C・日, 985°C・日, 966°C・日とやや少なくなる傾向を示した。多湿黒ボク土では出穂積算気温はそれぞれ1,758°C・日, 1,756°C・日, 1,761°C・日とほぼ一定であったが、成熟迄積算気温はそれぞれ923°C・日, 930°C・日, 958°C・日と増加する傾向を示した。

(2) 中間追肥の影響

基肥窒素施用量を減らしその一部を中間追肥として施用 (5 齢期に施用) すると、同量の窒素を基肥として施用する場合より、出穂積算気温は日本晴で2,083°C・日と約20°C・日, コシヒカリで1,897°C・日と約50°C・日, トドロキワセで1,732°C・日と約80°C・日大きくなった。成熟迄積算気温は逆に、日本晴で998°C・日, コシヒカリで959°C・日, トドロキワセで908°C・日と、3品種とも約10°C・日小さくなった。

2) 土壌の種類による差異

奨励品種決定調査の現地試験圃場は、土壌の種類が異なる。

そこで1979年から86年までの水戸市上国井町の農試本場 (多湿黒ボク土) とA. 常澄村下大野試験地 (細粒強グライ土), B. 常陸太田市島町試験地 (細粒強グライ土), C. 龍ヶ崎市大徳町試験地 (中粗粒グライ土) とにおける標準的施肥量の場合の出穂積算気温を比較した。(細粒強グライ土の2つの圃場では、成熟期の正確な観測が行われていなかったため、成熟迄積算気温の比較は除外した。)

その結果、トドロキワセの出穂積算気温は、農試本場の1,650°C・日に対し、A + 67°C・日, B + 77°C・日, C + 25°C・日で、初星のそれは1,663°C・日に対し、A + 65°C・日, B + 45°C・日, C + 59°C・日で、チヨニシキのそれは1,730°C・日に対し、A + 36°C・日, B + 39°C・日, C + 44°C・日で、コシヒカリのそれは1,849°C・日に対し、A + 63°C・日, B + 57°C・日, C + 79°C・日で、キヌヒカリのそれは1,881°C・日に対し、A + 54°C・日, B + 74°C・日, C + 65°C・日であった。このように、沖積土壌のイネは各品種とも多湿黒ボク土のイネより出穂積算気温が大きいことが判明した。

3. 最高分け時期迄積算気温と幼穂形成期迄積算気温

1968年~85年までの18年間の水稲作況試験⁹⁾に供試された、苗質の異なる各品種の最高分け時期、幼穂形成期 (ここでは穂長が1mm以上になった茎が全体の80%を超えた時を示す)、出穂期 (全圃場の半分の株が1部でも出穂した状態になったとき)、成熟期 (穂軸の3分の1が黄化したとき) 迄の積算気温は、第4表のとおりである。

最高分け時期迄の積算気温についてみると、どの品種も稚苗移植5本植では925°C・日とほぼ一定であった。同3本植では960°C・日であった。成苗 (ビニール畑苗代) 3本植では、早生品種と中生品種は約970°C・日, 晩生品種は約980°C・日であった。

幼穂形成期迄の積算気温についてみると、稚苗であれば植付本数には影響されないようで、トドロキワセで1,120°C・日, コシヒカリで1,280°C・日, 日本晴で1,430°C・日であった。成苗は早・中生品種で約100°C・日, 晩生品種で約50°C・日, 稚苗より少なかった。

第4表 水稲作況試験からみた各品種の最高分げつ期, 幼穂形成期, 出穂期, 成熟期迄の所要日数と積算気温

品種 苗質	移植期 (月・日)	最分期		幼穂形成期		出穂期		成熟期		実施年
		日数	Temp	日数	Temp	日数	Temp	日数	Temp	
ホウネンワセ 成苗3本植										
平均値	5.10	52.2	965	54.2	1,005	78.3	1,568	114.8	2,478	1968
標準偏差		3.5	55	3.3	45	3.2	47	4.6	50	~79
トドロキワセ 稚苗5本植										
平均値	7.01	51.7	926	61.2	1,124	87.0	1,733	126.0	2,650	1980
標準偏差		3.9	25	4.6	42	3.1	38	5.3	68	~85
コシヒカリ 成苗3本植										
平均値	5.10	53.0	974	62.4	1,176	88.3	1,814	128.0	2,759	1968
標準偏差		0	32	1.4	41	1.5	47	2.8	67	~75
コシヒカリ 稚苗3本植										
平均値	5.10	52.8	961	67.7	1,288	92.6	1,897	133.7	2,852	1973
標準偏差		4.8	65	4.3	50	3.2	46	4.6	68	~85
コシヒカリ 稚苗5本植										
平均値	5.10	51.7	926	67.8	1,274	93.8	1,897	135.5	2,856	1980
標準偏差		3.9	25	3.8	50	2.7	60	4.0	75	~85
日本晴 成苗3本植										
平均値	5.10	53.0	981	70.8	1,385	97.2	2,041	142.4	3,059	1968
標準偏差		3.3	50	2.5	48	2.8	61	4.5	81	~79
日本晴 稚苗5本植										
平均値	7.01	51.7	925	74.5	1,429	101.3	2,083	152.3	3,081	1980
標準偏差		3.9	25	2.3	35	2.8	65	11.1	37	~85

幼穂形成期から出穂期までの積算気温についてみると、トドロキワセの稚苗5本植では約610°C・日、コシヒカリでは稚苗5本植が約620°C・日、同3本植が約610°C・日、成苗が約640°C・日とやや差が認められたが、5本植を標準に日数に換算すると1日以内の差であった。晩生の日本晴では稚苗・成苗共に約650°C・日であった。

成熟期迄積算気温についてみると、移植時の苗質や植付本数にかかわらず、早生品種では910~920°C・日、中生品種では950°C・日、晩生品種では約1,000°C・日であった。

4. 発育指標 (DVI : Development Index) の計算

松島 (1970) の穂・穎花の発育過程に関する研究¹⁾を もとに、観察が行われた1953年と54年の平均気温 (東京地方気象台観測) から、穂・穎花の発育に要する積算気温を計算した。

結果は、第5表のとおりである。

Yoshida, S (1986) によれば、幼穂形成 (幼穂長が1mmの長さになる時期) から出穂期までの期間は、温帯・

熱帯地方ともに約23~25日間であるとされている¹²⁾。そこで、第3表、第4表と第5表とをともに品種別に様々な発育ステージに達するまでの積算気温とDVIを求めた。

DVIとは、発育段階を出芽時に0 (本報では移植時に0)、出穂時に1、成熟時に2の値をとる連続変数で表し、出芽後n日目のDVIをその日までの発育速度 (Developmental Rate) の積算値、 $DVI = \sum DVI_i$ で与える概念であるので、発育段階を標準化することが容易である。

初星 (早生)、コシヒカリ (中生)、日本晴 (晩生) の結果は、第6表のとおりである。

水稲の出穂期の早晩生は、最高分げつ期から穂首分化期までのいわゆるラグ期の長短による。全く異なる2つのデータをもとに、早中晩3品種の発育ステージを指標化した。第6表の3品種の穂首分化期のDVI値と最高分げつ期のDVI値との差の大小は、ラグ期の長短の関係をうまく表していると考えられる。

第5表 穂・穎花の各発育段階と必要とする積算気温 (松島(1970)より)

発育段階	平年天候時の 期間(日数)*	出穂前 日数	出穂前積算 気温(°C・日)	D V I 出穂期=1
穂首分化期	2.0	31~32	800	0.605
ほう増加期	1.0			
一次枝梗分化初期	1.0	28~29	760	0.630
一次枝梗分化中期	2.0			
一次枝梗分化後期	1.0			
二次枝梗分化初期	1.0	24~25	720	0.650
二次枝梗分化終期	1.5			
穎花分化開始期	1.0	22~23	670	0.677
穎花分化初期	3.0			
穎花分化中期	1.2			
穎花分化後期	3.2			
花粉母細胞分化期	1.8	14	410	0.802
減数分裂期	1.8	12~14		0.830-0.855
花粉外殻形成初期	1.6			
花粉外殻形成中期	2.5	9		
花粉内容充実初期	2.0			
花粉内容充実期	5.0	5	160	0.920
出穂期		0	0	1.000

注) 1954年の場合で、DVIは移植期を0とした。

第6表 3品種の各発育段階までに必要とする積算気温とDVI

発育段階	初 星		コシヒカリ		日 本 晴	
	積算気温	D V I	積算気温	D V I	積算気温	D V I
活 着 期	80	0.07	89	0.071	80	0.057
最 分 期	930	0.83	940	0.75	930	0.67
穂首分化期	1,000	0.89	1,119	0.90	1,250	0.89
一次枝梗分化期	1,050	0.93	1,165	0.94	1,300	0.93
二次枝梗分化期	1,080	0.96	1,200	0.97	1,340	0.96
穎花原基分化期	1,130	1.00	1,250	1.00	1,400	1.00
花粉母細胞分化期	1,330	1.39	1,484	1.40	1,660	1.39
減数分裂期始	1,380	1.47	1,535	1.48	1,715	1.47
同 終	1,420	1.55	1,580	1.56	1,766	1.55
花粉内容充実期	1,530	1.75	1,700	1.76	1,900	1.75
出穂期	1,663	2.00	1,850	2.00	2,066	2.00
開花期	1,725	2.07	1,920	2.07	2,140	2.07
乳熟期	1,911	2.30	2,120	2.28	2,350	2.28
糊熟期	2,115	2.50	2,345	2.51	2,580	2.51
黄熟期	2,336	2.76	2,590	2.76	2,830	2.76
成熟期	2,549	3.00	2,820	3.00	3,072	3.00

注) DVIは、穎花原基分化期を1、出穂期を2、成熟期を3とした。

5. 生育障害と出穂期の変化

1) 移植直後の低温と植傷み

1968年以降の水稻本田生育状況をみると、活着不良だった年は、68年、75年、81年、84年、86年、89年であった。これらの年はいずれも5月10日の移植から5日以内に最低気温10℃以下、平均気温13℃の日が2～3日連続していた。このような状態になると苗は植傷みを生じ、田植後20日頃の初期茎数は植傷みを受けない場合より約10%少なくなった。植傷みによる生育抑制は、その後の好天によって消去され出穂期に直接影響を及ぼすことはなかったが、低温期が去ってから移植した水稻から予測した出穂期より、実測値は1～2日遅れた。

そこで、こうした経験から以下の値によって補正することにした。

植傷み : 移植後5日以内に平均気温12℃以下に1回遭遇すると-10℃の遅れ

2) 減数分裂期頃 (DVI=1.47～1.55) の低温

水稻は減数分裂期頃に20℃以下の低温に遭遇すると不稔歩合が高くなることが知られている。1989年、本県北部の早生水稻がちょうど穂ばらみ期に入っていた7月22日～31日にかけて20℃以下の低温にみまわれた。このため県北部では不稔歩の発生率が平均30%になり、

平年より約2～3俵減収した。

このとき出穂は遅々として進まず平年より5日遅れ、穂ぞろい期と乳熟期とが重複するほどであった。

こうした障害型冷害に伴う出穂期の遅延は1969年と80年にも観察され、69年は平年より2日、80年は5日、出穂が遅れた。

そこで、内島(1976)の冷却量¹¹⁾1単位あたりの出穂遅延量を求めたところ、茨城県では約10℃・日分だけ出穂が遅延することが判明した。(冷却量Qは $Q = \sum (20 - T)$ Tは日平均気温)

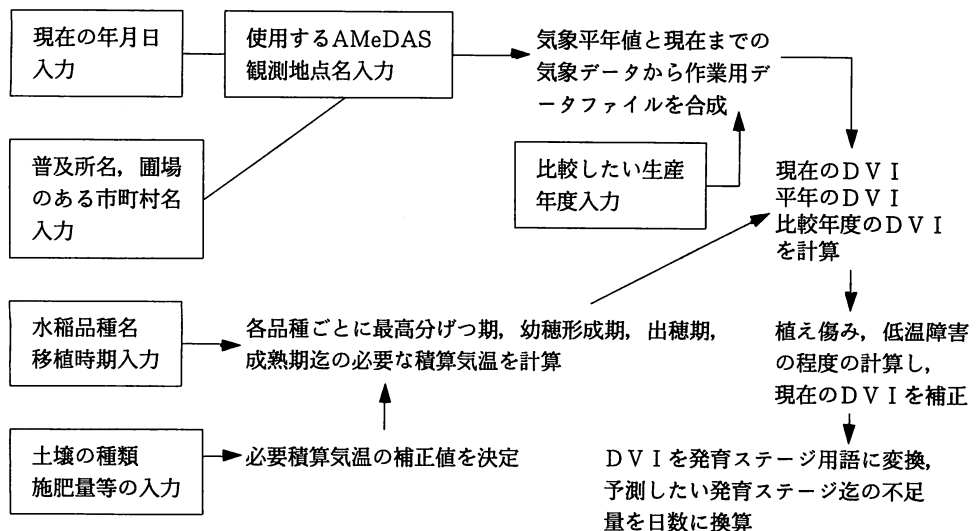
6. 発育ステージ予測モデル

以上の事柄を基礎に、発育ステージ予測モデル(RIPROS-I, Rice Production Simulator-1の省略)を作成した。

このモデルのブロックダイアグラムは、第1図のとおりである。

7. 気象データはAMeDASから収集

茨城県では、1987年から日本気象協会のMICOS-LANより県内22箇所、周辺25箇所のAMeDAS特別データを入手しデータベースを作成(ホストコンピュータHITAC M-240D, データベースはACE3)している。RIPROSでは、このデータベースからデータをダウンロード



第1図 RIPROS-1 のブロックダイアグラム

どし、パソコンで読み書きできるように変換したうえで日別平均、最高、最低気温、降水量、日照時数（これは気象台公表データに書き換えている）を求め、フロッピーディスクに保存、利用する。

現在までの日データ、前年のデータおよび1979年からのAMeDAS日データの平均値から、作業用の気象データファイルを作成し、この作業用データファイルの平均気温データを加算し、前項のDVI値を基準に水稻の発育ステージを推定する。

なお、作業用気象データファイルには、平均気温が平年値より2℃高い場合、2℃低い場合、平年値の場合の3つが含まれている。

8. 使用時に入力するデータは以下の8項目である。

- ① 現在年月日、② 普及所名、圃場のある市町村名、③ 用いるAMeDAS観測地点の名前、④ 比較したい生産年度、⑤ 水稻の品種名、⑥ 移植月日、⑦ 土壌の種類、⑧ 施肥量の多少

9. 出力されるデータ

出力例は第2図のとおりである。

続いて、Bドライブ上のフロッピーディスクに現在月日・品種名・移植期・気象データの作業ファイル・各発育ステージのDVI値が出力され、収量構成要素の予測モデル (RIPROS-II) に処理が移行する。

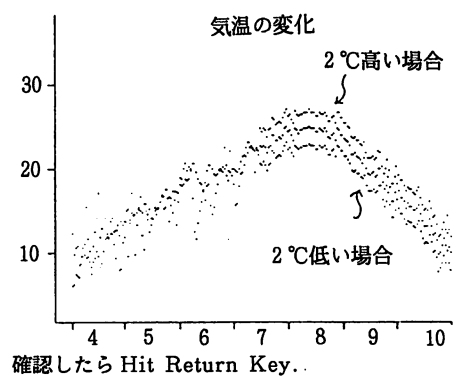
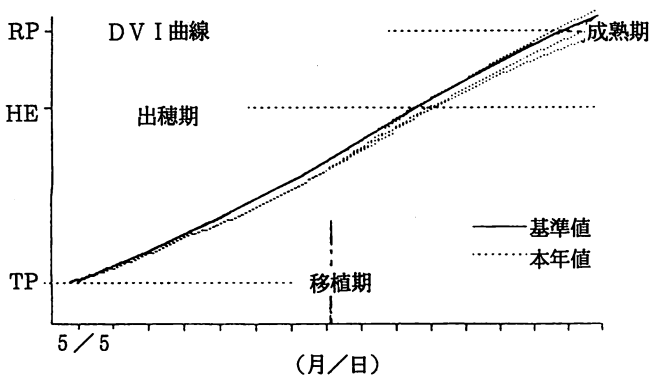
10. 1989年の試用結果

大子・麻生・土浦・江戸崎地区の各普及所で、RIPROS-Iが試用された。出穂約1カ月前（7月15日）の予測値（7月16日以降の気温は平年値を用いた）と実測値、およびその差は、第7表のとおりである。

地名は試験田の大字名である。No.4の差の原因は不明である。麻生農業改良普及所管内は予測値と実測値との差が大きいが、これは霞ヶ浦湖岸地域にAMeDASの観測地点がなく、銚田観測地点のデータで代用したためと思われる。なお、AMeDAS佐原観測地点のデータで千葉農試北総営農技術指導所水田作営農研究室で栽培したコシヒカリを予測したところ実測値と一致した (No.9)。No.16は基肥をやや多めに施用した場合であった。

平成元年7月15日現在の予測 基準年ファイル=B: DAIGJUN.AVE
5月5日に田植したコシヒカリについて：土壌の種類=細粒グライ土

平年気象に基づく推定値 (70%信頼区間)	前年値	基準年値	
最高分けつ期 : 7月1日頃 確定値	7月2日	6月27日	-1は、登熟に達しないことを示す。
穂首分化期 : 7月12日頃 確定値	7月14日	7月9日	
幼穂形成期 : 7月17日頃 (7/17~7/18)	7月21日	7月15日	
減数分裂期 : 7月31~33日 (7/30~8/4)	8月4日	7月28日	
出穂期 : 8月14日頃 (8/11~8/16)	8月18日	8月10日	
開花盛期 : 8月19日頃 (8/17~8/22)	8月23日	8月16日	
成熟期 : 9月27日頃 (9/20~10/8)	10月3日	9月23日	



第2図 RIPROS-Iの出力例 (第7表の大子普及所管内、矢田試験田の場合)

第7表 水稻発育シミュレータ (RIPROS-I) の予測精度 (1989年)

普及所名	品種名	地名	出穂期 (予測値:実測値:差)
大子地区 農業改良普及所	コシヒカリ	1 矢田	8.14 : 8.14 : 0
		2 外大野	8.17 : 8.17 : 0
		3 下金沢	8.17 : 8.17 : 0
		4 大生瀬	8.18 : 8.21 : -3
	キヌヒカリ	5 外大野	8.17 : 8.17 : 0
		6 下金沢	8.16 : 8.15 : +1
		7 大生瀬	8.12 : 8.13 : -1
麻生地区 農業改良普及所	コシヒカリ	8 潮来	8.07 : 8.09 : -2
		9 佐原*	8.08 : 8.08 : 0
		10 玉造	8.12 : 8.10 : +2
	初星	11 佐原	7.30 : 8.02 : -3
		12 北浦	7.31 : 7.29 : +2
土浦地区 農業改良普及所	コシヒカリ	13 出島坂	8.07 : 8.08 : -1
		14 新治沢辺	8.09 : 8.09 : 0
		15 つくば中根	8.09 : 8.10 : -1
	キヌヒカリ	16 つくば妻木	8.09 : 8.11 : -2
		17 新治高岡	7.29 : 7.29 : 0
江戸崎地区 農業改良普及所	初星	18 東下須田	7.29 : 7.29 : 0

11. このモデルの主な仕様

①必要ハードウェア

パソコン本体 : NEC PC9801または日立 B-16EX
の各シリーズ

ディスプレイ : 高解像度カラーディスプレイ

プリンタ : NEC PC-PR201系など

ハードディスクまたはRAMディスク (1MB程度)
がないと、処理時間が長くなる。

②OSならびに仕様言語

OS : MS-DOS(Ver3.1以降)

仕様言語 : N88-BASICまたはGW-BASIC

③データ類

システム内蔵データ : 茨城県の地図, 前年度までの
AMeDAS日別気象値, 準平年値 (1977年~1989年ま
での各AMeDAS観測地点日別気象値の平均値), 茨城
県水稻奨励品種の発育段階別必要積算気温

外部依存データ : 当年のAMeDAS日別気象値

④ソースプログラムの長さ

ASCIIコードで保存した状態で約67KB

12. 考察

1) 1992年までRIPROS-1の予測精度は、日平均気
温のみの積算モデルであるにもかかわらず、Takezawa,
K Tamura, Y(1991)のノンパラメトリック法¹⁰⁾により
求めたTM-DVR値 (日平均気温と発育速度の値) を積
算する予測方法より高く、TM-DVR値とDL-DVR値
(日長時間と発育速度の値) の2次元要因の積算値から
発育ステージを予測するモデルとほぼ同程度の予測精度
となっている。

Takezawa, K Tamura, YのTM-DVR値は、早植え
栽培でも遅植え栽培でも、「日平均気温20℃における1
日の発育量は同じである」とみなす。しかし、日平均気
温が同じであっても、生育期間が比較的長い早植え栽培
における一日の発育量は、生育期間が比較的短い遅植え
栽培におけるそれよりも小さいと考える方が、われわれ
栽培研究者にはなじみやすい。本シミュレータの予測精
度が、気温・日長2次元要因積算値モデルと同程度であ

ることは、任意の移植期に対応した到穂積算気温を直交多項式で補間推定して求める本モデルの手法が、移植期移動に伴う日長変化の影響を到穂積算気温の変化曲線で吸収している事を示すと考えられる。

2) このRIPROS-1は、現在普及に移され、県内各普及所で水稻生育の早晩の判定、追肥時期や病害虫防除時期の決定、収穫期予測と作業手順の作成等の、稲作農家に対する技術指導に役立てられている。5月の連休期間から6月上旬までに移植した稲に対しては、1989年から3年間は各普及所とも予測値と実測値とがよく一致したが、4月下旬に移植した稲では予測誤差が+4~+7日(+=実測値よりも遅れることを示す)にもなること普及サイドから報告された。

この時期に田植えを行うのは県西部と県南部の一部地域の沖積土水田地帯で、代かきの均平化と田植え後の浅水管理により、気温12℃以下でも地温水温の上昇を確保できる地帯である。こうした地帯では本モデルの植え傷み補正值(移植後5日以内に平均気温12℃以下に1回遭遇すると-10℃・日の遅れ)は大きすぎるので、1992年に県西部南部におけるこの補正值は0に改めた。

植え傷みに関する基礎データは、茨城農試本場の各種栽培試験から得た。本場の水田は火山灰土壌の陸田であり日減水深が大きく周辺水田との用水競合も起こるため、田植え後の浅水管理ができないことが、植え傷み補正值を大きく見積もることになった原因と考えられる。

3) RIPROS-1は圃場内の気温ではなくAMeDAS観測地点の日平均気温を積算して稲の発育を推定している。したがって、福島県南部の白河から小名浜周辺の初星、栃木県大田原から佐野にかけての初星・コシヒカリ・キヌヒカリ、千葉県佐倉から佐原にかけての初星・コシヒカリなどで茨城県と同様の栽培法を行ってれば、それらを本県におけるのと同程度の精度で予測することは可能であろう。

4) 中苗栽培および湛水土壤中直播栽培についても、主要品種の移植期の移動に伴う発育ステージの移動の関係に関する基礎データはすでに収集を終え、到穂積算気温などを求める場合の直交多項式のあてはめによる回帰

式の計算も終了している。間もなくこれらの栽培法に対する発育シミュレータ試作品ができあがるであろう。

III 生育量と収量構成要素に関するDVI 概念導入重回帰モデル(RIPROS-2)

生育量や収量構成要素をモデル化するには、光合成、呼吸、光合成産物の転流分配など、植物の生長にともなうプロセスを簡略化し、これを積み上げてゆく方法が用いられている。なかでも、堀江(1988)のSIMRIW⁷⁾や岡田ら(1987)のPRISM⁹⁾は広く知られている。

このようなメカニスティックモデルを作成するには、気温や日長が大きく異なる条件下の生育データを、入手しなければならない。

一方、茨城県には、長年同じ品種(トドロキワセ・チヨニシキ・初星・コシヒカリ・キヌヒカリ・青い空・日本晴)を同一の作期で栽培し続けたいわゆる典型的「団子データ」がある。そこで、これをもとに統計的モデルをつくり、次に移植期を変えても同一モデルが適用できるように、モデルの一般化を試みることにした。

1. 収量構成要素と半旬別気象との相関

1968年から19年間のデータがある農試本場のコシヒカリについて^{1),5)}、その収量構成要素と半旬別平均気温、最高気温、最低気温、日照時数との相関を求めた。平均気温との相関と最高気温や最低気温との相関は類似点多かったため、ここでは平均気温・日照時数との相関について紹介する。その結果は、第8表のとおりである。

この表より、およそ次の事柄を読み取ることができる。

- ① 移植時期が暖かく曇天であれば活着がよく、その後日照に恵まれ夜温が低めに経過すると分けつが増加し、花粉母細胞分化期頃の気温がやや低いと穂数が増えやすく、穂揃期の気温が高いと弱勢分けつの有効化が進み穂数が増える
- ② 1穂初数は移植後が低温で活着不良となり、その後夜温が高く分けつ発生が抑えられるなど穂数が少なくなりやすい条件下で増加しやすく、最高分けつ期や減数分裂期頃が高温だと増加する
- ③ 登熟歩合は最高分けつ期から穎花原基分化期の間のいわゆるラグ期が多照で穎花原基分化期がやや高温だと高くなる
- ④

第8表 コシヒカリの収量構成要素と半月気象値との関係(相関係数)

発育 段階	月	半 旬 番 号	同 左 通 番	積 算 気 温 ℃	D V I 値	平 均 気 温					日 照 時 数				
						穂数	1穂 粒数	登熟 歩合	千粒 重	玄米 重	穂数	1穂 粒数	登熟 歩合	千粒 重	玄米 重
移 植	5 月	1	0	-76	-.061	.703	-.340	-.170	-.454	.065	-.159	-.303	.089	.221	-.202
		2	1	0	0	.464	-.372	.033	-.274	.090	-.386	.239	.192	-.033	-.103
		3	2	111	.089	.004	-.052	-.082	-.393	-.363	-.135	-.167	.151	.117	.033
		4	3	194	.155	-.362	.348	-.420	-.204	-.410	.484	-.045	.191	-.586	.117
		5	4	280	.224	.101	.058	.039	-.281	.030	.529	-.112	.231	-.456	.372
		6	5	369	.295	-.295	.198	.090	-.209	-.233	.202	-.153	-.088	.272	.422
有効分 決定期 最分期	6 月	1	6	476	.381	.038	.000	.034	.237	.008	.153	-.027	-.071	-.265	-.150
		2	7	573	.458	-.017	-.063	.320	.612	.269	.360	-.293	-.448	-.345	-.041
		3	8	670	.536	.059	.144	-.132	-.223	-.237	.100	-.007	.200	-.090	.250
		4	9	769	.615	-.029	.073	.256	-.047	.419	.130	.195	-.202	-.548	-.235
		5	10	869	.695	-.337	.286	-.140	-.249	.061	.033	-.252	.218	-.119	-.246
		6	11	971	.777	-.028	.578	-.280	-.148	-.241	.264	-.321	.347	-.017	.219
幼形期 減分期	7 月	1	12	1,075	.860	-.067	.158	.007	.102	.276	-.069	-.041	.459	.152	.270
		2	13	1,184	.947	-.068	.176	.259	.082	.319	.303	-.309	.317	.047	.340
		3	14	1,298	1.076	.243	-.061	.423	.445	.381	.181	-.144	.098	.235	.300
		4	15	1,416	1.262	-.083	.065	-.135	.061	.094	-.148	.131	.180	.387	.187
		5	16	1,537	1.453	-.513	.224	-.147	.172	.000	-.139	.089	.096	.460	.387
		6	17	1,663	1.651	-.214	.351	-.191	.392	-.076	-.102	.001	.282	.409	.464
出穂期 乳熟期 糊熟期	8 月	1	18	1,816	1.893	-.081	.243	.017	.170	-.055	-.121	.311	.038	-.007	.329
		2	19	1,943	2.061	.184	.127	-.271	.035	.234	.119	.140	.183	-.129	.494
		3	20	2,070	2.192	.386	.016	-.235	-.063	.214	.193	-.065	.210	.131	.188
		4	21	2,195	2.320	.104	.059	-.157	-.252	-.026	.143	-.296	.210	.189	.245
		5	22	2,318	2.447	.363	.119	.136	-.146	.346	.297	-.411	.246	.129	.566
		6	23	2,439	2.572	.164	-.159	-.130	-.140	.323	.523	.066	.024	-.333	.213
黄熟期 成熟期	9 月	1	24	2,580	2.717	-.191	-.041	-.100	.020	.147	.025	.182	.049	.188	.199
		2	25	2,693	2.833	-.252	.002	.023	.147	.097	.126	.028	-.089	-.409	-.014
		3	26	2,801	2.944	-.106	-.013	.127	.198	.094	-.104	-.153	.041	.042	-.339
		4	27	2,904	3.050	.185	-.152	.046	.198	.067	-.231	.395	.337	.326	
		5	28	3,003	3.152	.195	-.185	-.267	.304	-.093	-.596	-.045	.222	-.037	
		6	29	3,097	3.249	-.027	.027	.043	.318	.443	-.601	.493	.147	.557	

注) 1968年~86年迄の19年間

土壌: 多湿黒ボク土 移植期: 5月10日 施肥量: 基肥 N 0.4kg/a 追肥 -20日 N 0.4kg/a

DVI値は移植期を0, 幼穂形成期(二次枝梗分化終期ごろで穎花原器分化開始期に相当する時期)を1, 出穂期を2, 成熟期を3とした

H₀: ρ = 0 に対する敷居値は、n=19のとき、Pr[r>.456]=0.05、Pr[r>.389]=0.10、Pr[r>.308]=0.20

千粒重は移植後 20～30 日頃高温で初期分けつの生長が旺盛で穎花原基分化期から減数分裂期にかけて高温多照だと重くなる ⑤玄米重は最高分けつ期から糊熟期まで、特に減数分裂期から糊熟期頃までが多照だと重くなること等である。

第 8 表の読み取りから収量構成要素の重回帰による予測が可能であるという感触をえた。そこで、この 19 年間のデータを用いて、収量構成要素を予測する重回帰モデルを作成することにした。

2. 重回帰モデルの作成

稈長、穂長、穂数、1 穂粒数、登熟歩合、千粒重、玄米重、倒伏程度を目的変数とし、6 月末、7 月中旬、末、8 月中旬、末、9 月中旬、末の各時期までの平均気温、日照時数の半旬値を説明変数とする重回帰モデルを作成することにした。その手順は以下の通りである。

① 目的変数 (稈長) と説明変数 (平均気温) の相関係数行列の数値を 3 グループ (+ の相関の高いもの、- の相関の高いもの、無相関と思われるもの) に分け、それぞれから約 6 個をとりフルモデルとし、ステップワイズ法により重回帰モデルを作る。② この中から、寄与率が高く、AIC (Akaike's information criterion) が小さく、選ばれた説明変数の数が少なくかつ栽培研究者にとってリーズナブルなものを選ぶ。③ これを 6 月末から 9 月末まで 7 回繰り返し、各時期に対応したモデルを選ぶ。④ 目的変数を変え、①～③を繰り返す。⑤ さらに説明変数の種類を日照時数の半旬値に変え、①～④を繰り返す。⑥ ある目的変数 (稈長など) について、運び出された異種の説明変数間の相関の高いものを除き、個数を 18 以下にしてフルモデルを作り、ステップワイズ法により、寄与率、AIC、分散拡大要因 (VIF) 等に注意しながら、重回帰モデルを作成する。

このようにして求めたコシヒカリの収量構成要素の予測式は第 9 表、10 表のとおりである。

1) 穂数について

穂数の平均気温モデル (第 9 表、穂数の上欄) の回帰係数をみると、「移植直前 (半旬通番 0 以下) 内に半旬通番を記す) が暖かく地温水温が上昇し、移植後約 10 日

やや冷涼で、最高分けつ期 (11) から穎花分化終期 (16) にかけて涼しいと、増加する」。日照時間モデル (第 9 表、穂数の中欄) では、「移植期 (1) に日照が少なく、その後多くなり分けつ最盛期 (7) と穂首分化期 (13) に多照だと穂数が増える」などの事柄を読みとれる。平均気温、最高気温、最低気温、日照時数のすべてを説明変数としたモデル (第 9 表穂数の下欄 以後これを混合モデルと呼ぶ) は、移植直後 (2～3) 最高気温は低い最低気温が高い日が続く、10 日以後 (4～7) は最高気温が低くて日照の多い日が続く、減数分裂期 (17) に最低気温が高くて日温較差が小さいと穂数が増加することを示している。選択された移植直後の気象条件は蒸散量の減少により植え傷みを少なくし、その後の気象条件は光合成を高め発根分けつを促進し、減数分裂期の気象条件は遅発分けつの有効化をもたらすので、リーズナブルなモデルであるといえる。この混合モデルは寄与率が高いが AIC が大きい。

2) 1 穂粒数について

1 穂粒数の平均気温モデルは、移植期から移植後 15 日位まで (0～3) 平均気温がやや低く、分けつ盛期にかけて (6～8) やや低く、最高分けつ期 (11) からラグ期 (12) にかけてやや高く減数分裂期に低いと増加することを示し、日照時間モデルは分けつ盛期 (6) ラグ期 (12) 出穂直前 (18) に日照が多いと増加する事を示しているが、これも解りにくい点がある。混合モデルは、移植直後 (2～3) の平均気温が低く最高気温が高く、分けつ盛期 (6) がやや低温で、最高分けつ期 (11) が高温やや寡照、穂首分化期も寡照で、出穂直前に多照になると、1 穂粒数が増加することを示している。選択された移植直後や穂首分化期の気象条件は穂数を減少させる要因であり、穂数が少ない年は 1 穂粒数が多いという事実と一致している。どのモデルも寄与率は高く、AIC は小さい。

3) 登熟歩合について

平均気温モデルや日照時数モデルはいずれも寄与率が小さい。これに対し混合モデルは、寄与率も高く AIC も小さく、最高分けつ期 (11)、穂首分化期 (13)、減数分裂期 (17) に多照で、乳熟期前後 (20～21) の最低気温がやや低いと、登熟歩合は高まることを示している。

第9表 コシヒカリの収量構成要素の様々な時期別予測式(その1)

収量構成要素	時期	予測式	予測式に関する情報
穂数			
6月末		$y = 575.595 - 15.4651\text{avet}(0) + 14.6030\text{avet}(1) - 7.33269\text{avet}(11)$	$R^2 = .607$ AIC=131.5
7月末		$y = 959.974 - 22.3748\text{avet}(2) + 6.69800\text{avet}(3) + 17.6301\text{avet}(4) - 4.29673\text{avet}(11)$ $- 16.3237\text{avet}(13) - 5.47796\text{avet}(16)$	$R^2 = .932$ AIC=114.6
8月末		$y = 274.842 - 21.0825\text{avet}(0) + 8.97552\text{avet}(4) - 8.65484\text{avet}(5) + 7.36987\text{avet}(8)$ $- 17.2198\text{avet}(13) + 9.38188\text{avet}(22) + 20.2731\text{avet}(23)$	$R^2 = .980$ AIC=100.6
.....			
7月末		$y = 320.166 - 2.25242\text{suns}(1) + 0.86340\text{suns}(3) + 2.16889\text{suns}(7) + 1.10695\text{suns}(13)$	$R^2 = .743$ AIC=187.4
.....			
6月末		$y = 565.549 + 11.29270\text{mint}(3) - 9.48606\text{maxt}(3) - 4.24971\text{maxt}(4) + 2.07924\text{suns}(4)$ $- 7.66427\text{mint}(6) + 1.05611\text{suns}(7)$	$R^2 = .860$ AIC=177.8
7月末		$y = 693.92 + 10.1047\text{mint}(2) - 5.92461\text{maxt}(3) - 5.95441\text{maxt}(4) + 2.08853\text{suns}(4)$ $- 11.1327\text{mint}(6) + 0.71738\text{suns}(7) - 15.0158\text{avet}(17) + 13.2100\text{mint}(17)$	$R^2 = .910$ AIC=173.3
1穂粒数			
6月末		$y = 52.6035 - 4.91922\text{avet}(0) - 2.34639\text{avet}(2) - 2.01469\text{avet}(3) + 0.84547\text{avet}(6)$ $- 2.79754\text{avet}(8) + 2.81531\text{avet}(11)$	$R^2 = .975$ AIC=47.2
7月末		$y = 131.573 - 1.10893\text{avet}(7) - 2.90497\text{avet}(8) + 3.66712\text{avet}(12) - 2.09558\text{avet}(17)$	$R^2 = .879$ AIC=60.41
.....			
8月始		$y = 67.0434 - 0.32774\text{suns}(2) + 0.45875\text{suns}(6) - 0.59926\text{suns}(11) + 0.55863\text{suns}(12)$ $- 0.76873\text{suns}(13) + 0.41362\text{suns}(15) - 0.23194\text{suns}(16) + 0.66924\text{suns}(18)$	$R^2 = .886$ AIC=117
.....			
6月末		$y = 39.6306 - 2.51937\text{mint}(2) + 2.13946\text{maxt}(3) - 1.149680\text{mint}(3) - 3.04177\text{avet}(6)$ $+ 1.46408\text{mint}(8) + 3.43847\text{maxt}(11) - 0.25968\text{suns}(11)$	$R^2 = .925$ AIC=106.5
8月始		$y = 13.0301 - 2.01399\text{mint}(2) + 1.97028\text{mint}(3) - 0.75093\text{avet}(10) + 3.50895\text{maxt}(11)$ $- 0.17305\text{suns}(11) - 0.17884\text{suns}(13) + 0.27430\text{suns}(18)$	$R^2 = .859$ AIC=118.5
登熟歩合			
7月末		$y = -3.5341 + 1.83913\text{avet}(1) - 0.73636\text{avet}(9) + 1.8773\text{avet}(12)$	$R^2 = .626$ AIC=75.7
8月末		$y = 79.5952 + 1.25432\text{avet}(7) - 1.30667\text{avet}(11) - 0.67413\text{avet}(15) + 1.85883\text{avet}(18)$ $- 1.71549\text{avet}(19) + 0.90275\text{avet}(20)$	$R^2 = .616$ AIC=97.6
.....			
7月末		$y = 89.0047 - 0.09128\text{suns}(7) + 0.10028\text{suns}(10) + 0.06687\text{suns}(11) + 0.11599\text{suns}(13)$	$R^2 = .641$ AIC=96.35
.....			
8月始		$y = 119.34 - 0.12586\text{suns}(7) + 0.43001\text{maxt}(9) + 0.11176\text{suns}(11) - 0.24041\text{maxt}(13) + 0.11962$ $\text{suns}(13) - 0.61576\text{mint}(16) + 0.10960\text{suns}(17) - 1.14092\text{mint}(18)$	$R^2 = .919$ AIC=72.07
8月末		$y = 123.79 - 0.36844\text{avet}(3) - 0.07547\text{suns}(7) + 0.43952\text{maxt}(9) - 0.77426\text{avet}(11) + 0.06543$ $\text{suns}(11) + 0.05152\text{suns}(17) - 0.67188\text{mint}(20) - 0.41300\text{mint}(21)$	$R^2 = .926$ AIC=70.26

注) avetは平均気温, maxtは最高気温, mintは最低気温, sunsは日照時数を示し, ()内の数字は移植期を1とした場合の半旬番号(表8の半旬通番)を示す。各収量構成要素のうち, 上欄は本文の③段階, 中欄は⑤, 下欄は⑥段階の結果である。

第 10 表 コシヒカリの収量構成要素の様々な時期別予測式 (その 2)

収量構成要素 時期	予 測 式	予測式に関する情報
千粒重		
6 月末	$y = 31.6966 - 0.21651\text{avet}(1) - 0.52731\text{avet}(5) - 0.23619\text{avet}(7) - 0.09690\text{avet}(9)$	$R^2 = .876$
7 月末	$y = 21.4027 - 0.32016\text{avet}(1) - 0.06612\text{avet}(2) + 0.14757\text{avet}(7) - 0.19628\text{avet}(9) - 0.13883\text{avet}(11) + 0.26813\text{avet}(12) + 0.18758\text{avet}(17)$	$R^2 = .995$ AIC = -14.23
8 月末	$y = 23.0068 - 0.31966\text{avet}(1) - 0.07095\text{avet}(2) + 0.11876\text{avet}(7) - 0.17401\text{avet}(9) - 0.16526\text{avet}(11) + 0.28714\text{avet}(12) + 0.19761\text{avet}(17) - 0.06126\text{avet}(20)$	$R^2 = .999$ AIC = -46.9
7 月末	$y = 21.6475 - 0.04904\text{suns}(3) - 0.03166\text{suns}(9) + 0.03165\text{suns}(12) + 0.02954\text{suns}(15)$	$R^2 = .732$
6 月末	$y = 20.9205 - 0.15475\text{mint}(2) - 0.03195\text{suns}(3) + 0.23096\text{mint}(7) - 0.04676\text{suns}(9)$	$R^2 = .734$
7 月末	$y = 16.2132 - 0.04122\text{suns}(3) + 0.20468\text{mint}(7) - 0.03244\text{suns}(9) + 0.17807\text{mint}(14)$	$R^2 = .750$
8 月末	$y = 27.4838 - 0.08538\text{mint}(2) - 0.01946\text{suns}(4) + 0.04565\text{suns}(5) + 0.30400\text{mint}(6) - 0.13625\text{mint}(7) - 0.00934\text{suns}(7) - 0.30410\text{maxt}(11) + 0.27971\text{mint}(14) - 0.31861\text{mint}(23)$	$R^2 = .949$ AIC = 20.50
玄米重		
6 月末	$y = 791.765 - 20.863\text{avet}(2) + 7.6997\text{avet}(3) + 22.731\text{avet}(4) - 8.15425\text{avet}(5) - 11.6755\text{avet}(11)$	$R^2 = .929$ AIC = 114.5
7 月末	$y = 996.468 - 19.908\text{avet}(2) + 3.3583\text{avet}(3) + 23.2209\text{avet}(4) - 13.5839\text{avet}(5) + 4.87725\text{avet}(6) - 2.48914\text{avet}(7) + 6.70481\text{avet}(10) - 15.6026\text{avet}(11) - 6.97176\text{avet}(13) + 3.52767\text{avet}(14) - 3.68022\text{avet}(16)$	$R^2 = .995$ AIC = 13.05
8 月末	$y = 820.752 - 5.06287\text{avet}(3) + 11.8813\text{avet}(7) - 25.1831\text{avet}(8) + 12.1849\text{avet}(9) - 4.85522\text{avet}(14) + 2.91366\text{avet}(19) + 13.0160\text{avet}(20) - 29.2505\text{avet}(21) + 11.3604\text{avet}(23)$	$R^2 = .994$ AIC = 90.10
9 月中	$y = 679.07 - 3.6162\text{maxt}(1) - 13.8293\text{maxt}(3) + 5.22628\text{maxt}(6) - 9.2446\text{maxt}(7) + 11.8218\text{maxt}(9) - 7.90405\text{maxt}(11) + 9.6723\text{maxt}(14) - 10.2702\text{maxt}(22) + 22.1017\text{maxt}(25) - 12.5531\text{maxt}(27)$	$R^2 = .955$ AIC = 169.9
	$y = -480.972 - 15.6206\text{mint}(3) - 15.6255\text{mint}(6) + 8.4161\text{mint}(7) + 13.7403\text{mint}(9) - 4.00856\text{mint}(12) + 15.1220\text{mint}(13) + 9.20748\text{mint}(17) + 14.0584\text{mint}(23) + 11.080\text{mint}(24) + 19.004\text{mint}(26) - 11.4261\text{mint}(27)$	$R^2 = .961$ AIC = 169.3
	$y = 497.78 + 1.75942\text{suns}(5) - 4.5186\text{suns}(6) + 1.74927\text{suns}(10) + 1.5279\text{suns}(11) + 1.64903\text{suns}(13) + 1.83295\text{suns}(19) + 1.06969\text{suns}(22) - 2.03628\text{suns}(26)$	$R^2 = .930$ AIC = 174
6 月末	$y = 788.23 - 15.1066\text{mint}(3) + 1.87546\text{suns}(6) - 9.22541\text{avet}(8) + 11.51830\text{maxt}(9) - 11.2523\text{avet}(11)$	$R^2 = .795$ AIC = 188.6
7 月末	$y = 354.536 + 11.8546\text{avet}(2) - 9.72728\text{avet}(3) - 12.3874\text{mint}(3) + 1.17848\text{suns}(4) + 1.65921\text{suns}(5) - 3.63009\text{mint}(7) - 4.71825\text{avet}(8) + 15.3881\text{avet}(9) - 18.5385\text{maxt}(11) - 2.36703\text{suns}(11) + 8.8227\text{maxt}(12) - 0.87243\text{suns}(13) + 15.2427\text{avet}(14) - 0.98289\text{suns}(14)$	$R^2 = .997$ AIC = 123.1
9 月中	$y = 182.241 + 0.65017\text{suns}(5) + 20.16570\text{mint}(7) - 0.97879\text{suns}(10) + 0.84329\text{suns}(13) + 2.47436\text{suns}(22) - 2.06725\text{suns}(26)$	$R^2 = .9189$ AIC = 173.1

注) avetは平均気温、maxtは最高気温、mintは最低気温、sunsは日照時数を示し、()内の数字は移植期を1とした場合の半旬番号(表8の半旬通番)を示す。各収量構成要素のうち、上欄は本文の③段階、中欄は⑤、下欄は⑥段階の結果である。

4) 千粒重について

各モデルとも寄与率は比較的高く、AICも小さい。移植期頃(1~2)、分けつ盛期(7)、有効分けつ決定期(9)が低温で、幼穂形成期(14)の最低気温が高く、減数分裂期が暑く、糊熟期(23)の最低気温が低いと、千粒重は重くなることを示している。減数分裂期が暑いと充実した花粉が生産され、登熟期の夜温が低いと呼吸が抑えられることを考慮すると、リーズナブルなモデルであるといえる。

5) 玄米重について

平均気温を用いた7月末モデルはAICが小さくあてはまりがよいが、他の各モデルは寄与率が高いがAICが大きいものもあり、あてはまりは必ずしも良くない。このモデルは、移植直後(3~4)は比較的暖かく、分けつ中期(5)が涼しく分けつ盛期(6)と有効分けつ決定期(10)が暑く、最高分けつ期からラグ期にかけて(11~13)涼しく、幼穂形成期(14)が暑いと、玄米重は重くなることを示している。選択された説明変数の寄与率からみるとこの時期までで玄米重の約70%が決定されている。

この時期以降、「減数分裂期(17)の最低気温が高く出穂期(19)~乳熟期(22)にかけて高温多照で、糊熟期頃から(23~26)残暑が続くと玄米重は重くなる」と読み取れる。

移植直後から幼穂形成期までの選択された気象条件は、活着がよく有効茎が早く確保でき無効分けつが少ないことを意味し、その後の気象条件は、登熟歩合が高く千粒重が重くなることを意味していると考えられる。

6) 倒伏程度について

コシヒカリは倒伏程度によって収量が大きく左右される。そこで倒伏程度を予測する回帰式を求めた。結果は以下のとおりである。

5月末の予測式： $y=7.44465-0.31825\text{avet}(0)+0.49852\text{avet}(1)-0.44887\text{avet}(5)$ $R^2=.754$ $AIC=32.5$

7月末の予測式： $y=-13.85-0.51967\text{avet}(0)+0.55103\text{avet}(1)+0.31459\text{avet}(3)-0.14154\text{avet}(4)+0.15434\text{avet}(11)+0.31911\text{avet}(15)+0.12108\text{avet}(16)$

$R^2=.969$ $AIC=13.5$

すなわち、活着(0~3)はほぼ順調で分けつ初期(4~5)に低温にみまわれ分けつ開始が遅れ、最高分けつ期(11)

が高温で下位節間が伸長し、穎花分化期(15~16)が高温だと1穂粒数が増え、倒伏につながる、と読み取れる。

7) 最終的モデルの選択

現在MICOS-LANで送られてくる日照データは0~3の4段階の階級値であり、正確な日照時数をその日の内に計算することは困難である。前述のように混合モデルは栽培研究者にとってリーズナブルなものが多いが、これを利用するには日照時数データが不可欠であり気象旬報の発行を待たなければならないため、混合モデルを速報的予測に適用することはできない。RIPROS-IIは、各地区普及所で日別気象データファイルを作り、管内の稲の生育状況や収量を予測することを目的にしているので、合理性にやや欠けるきらいはあるが、一般的に寄与率が高くAICが小さい特徴を持つ平均気温モデルで予測プログラムを作成することにした。

8) 1987年コシヒカリの収量構成要素予測結果

平均気温モデルで1987年の奨励品種決定調査圃5月7日移植コシヒカリの収量構成要素を予測した結果は、第11表のとおりである。

6月末の予測では平年作であったが、7月に入ると高温多照になり中旬予測では穂数増加により平年をやや上回り、下旬予測では粒数増加によりさらに高い収量が期待された。8月始め(出穂期頃)に6月初旬並の低温にみまわれたが、その後高温多雨となり残暑もきびしく、下旬予測では千粒重の増加によって平年を大きく上回る収量がみこまれた。

予測値と実測値とを比較すると、登熟歩合・玄米重は見事に一致した。穂数・1穂粒数は誤差が大きいものの、両者の積である m^2 当たり粒数は予測値3万7千粒で実測値と完全に一致した。千粒重だけやや異なった。

こうしたことから、この平均気温による統計的モデルは、データを採取した茨城農試本場の5月上旬移植のコシヒカリに対しては極めてよく適合することが判明した。

3. D V I 概念導入発育段階標準化重回帰モデル

1) 重回帰モデル拡張の考え方

環境要因を説明変数とする収量予測モデルは、モデルに用いたデータの範囲を越えると適用できない場合が多

第 11 表 1987 年コシヒカリ収量構成要素の予測値と実測値

		穂数(本/)	1 穂粒数	登熟歩合(%)	千粒重(g)	玄米重(/a)
予測時期	6 月末	378	53	—	20.4	605
	7 月	544	63	85	22.0	665
	8 月末	544	68	84	23.9	704
実測値	1	459	76	82	23.1	673
	同 2	510	76	84	22.9	728
平均		485	76	83	23.0	701

注) 実測値 1 は 5 月 8 日移植の奨励品種決定調査圃標肥区で倒伏程度 3、同 2 は多肥区で倒伏程度 3.5

い。この原因には、説明変数として用いる月別の気温・降水量・日照時間の間に高い相関があること（内部共線性がおおきいこと）、モデルが説明変数の特異点に引きずられやすいことなどが考えられる。RIPROS-II で、もし混合モデルを採用すれば気温と日照などの気象特性値間の多重共線性が問題になり得るが、半旬別平均気温のみを説明変数とした本モデルでは、内部共線性はより小さいと考えられるので、5 月初旬移植の早植え栽培だけでなく 4 月下旬移植の早期栽培から 6 月上旬移植の遅植え栽培まで適用できるように、本モデルを拡張してみることにした。

移植後の半旬別平均気温を説明変数にした場合、半旬通番は暦日経過を表しているため、5 月初旬に移植したコシヒカリの発育段階を示すことになる。ところが到穂日数は 4 月下旬移植で 93 日、6 月上旬移植で 70 日と、23 日（5 半旬強）も異なり、成熟迄日数は 38 日に対して 48 日と 10 日（2 半旬）も異なる。例えば移植後第 17 半旬は、5 月初旬移植では減数分裂期に相当するが、6 月上旬移植では開花盛期に相当する。したがって、移植期の異なる稲に対して同一半旬通番を発育の指標にすることはできない。そこで、前述の DVI (Developmental Index) 概念を導入し、発育段階の標準化を計ることにした。すなわち、基準生育水稲（5 月 10 日移植、水戸市上国井町茨城農試水田、基肥窒素施用量 0.4kg/a、追肥 出穂前 20 日に窒素 0.4kg/a）の DVI を計算した。第 8 表のそ

れぞれの半旬通番に対応した DVI 値がそれである。そして基本となった重回帰モデルの半旬通番平均気温の代わりに、その生育段階に達する前 5 日の半旬別平均気温を説明変数とするようにプログラムを変更した。さらに将来の気温が準平年値より 2℃ 高い場合と低い場合についても、収量構成要素の予測値が求められるように改善した。

2) 拡張モデルの予測結果

この DVI 概念導入発育段階標準化による半旬別平均気温を説明変数とする重回帰モデルの、移植期が異なる場合の予測結果は、第 12 表のとおりである。

なお、このモデルでは生育量（稈長・穂長）を予測するルーチンをつけ加えた。

稈長は 88 年 4 月 28 日、5 月 25 日、6 月 10 日を除いて実測値との誤差は 10% 以内であった。

穂長・穂数・1 穂粒数・玄米重は、穂いもちにより減収した区と 89 年 5 月 10 日移植区を除いて実測値との差は小さかった。一方、登熟歩合と千粒重は実測値との差がやや大きかった。全体的にみて、穂いもち等の病害発生年を除けば、拡張モデルは早期栽培や遅植え栽培にも適用可能と判断できる。

3) DVI 概念導入発育段階標準化重回帰モデルによる、地域を異にした 1990 年産コシヒカリの収量構成要素の予測結果

このモデルを用い 1990 年産コシヒカリの収量構成要素

第12表 8月10日現在の予測値 (Es) と実測値 (Ob)

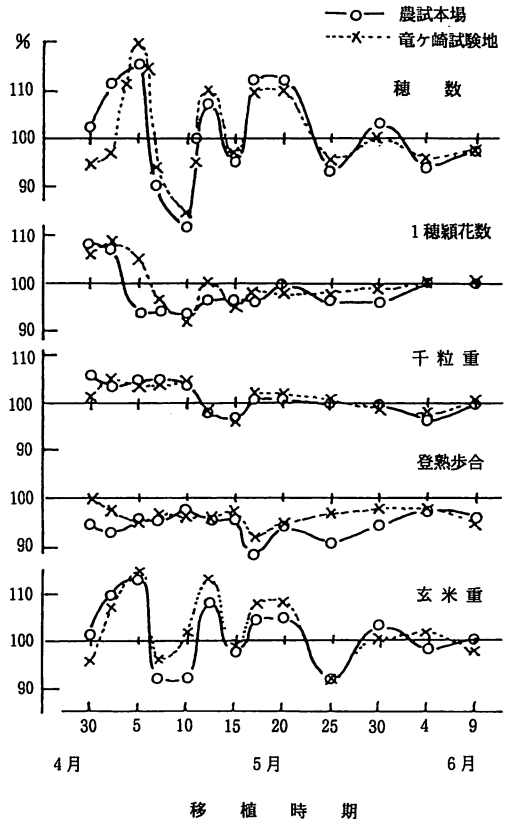
年	移植期		稈長	穂長	穂数	1穂粒数	登熟歩合	千粒重	玄米重	備考
1987	5.10	Ob	86.0 cm	18.8 cm	506 本/m	75.0	87.0 %	21.6 g	59.8 kg/a	
		Es	79.4	17.7	483	72.2	95.2	19.8	58.0	
1988	4.28	Ob	92.6	17.6	541	69.7	69.6	19.1	56.9	
		Es	81.5	18.0	531	64.4	75.7	20.9	57.8	
	5.10	Ob	82.4	17.9	414	65.8	78.4	21.7	50.9	
		Es	75.6	17.8	398	68.9	94.3	19.1	47.6	
	5.25	Ob	83.3	18.9	442	82.3	59.8	20.5	51.1	穂いもち
		Es	56.1	17.2	555	85.6	88.4	17.7	62.8	
	6.10	Ob	84.8	16.5	358	65.7	42.0	21.4	32.6	穂いもち
		Es	54.5	18.5	417	82.1	89.8	16.7	59.7	
1989	4.26	Ob	90.9	20.0	491	85.2	85.8	20.7	49.4	
		Es	88.0	18.9	485	88.6	84.2	21.4	45.8	
	5.10	Ob	68.9	17.8	413	60.4	83.6	22.6	50.1	
		Es	75.0	17.1	339	76.7	89.6	20.8	50.1	
	5.25	Ob	84.7	18.4	393	69.5	79.2	21.7	53.1	
		Es	83.5	18.5	404	65.8	80.5	18.2	52.2	

注) 網掛けは、実測値と予測値との差が大きいことをしめす

を90年8月10日現在でシミュレートした結果は、第3図のとおりである。

1990年は4月下旬から5月第1半旬までと第5半旬がかなり低温寡照であった。それを除くと、6月第5半旬までは平年より5°C近く高温に経過した。ところが6月第6半旬から7月第3半旬まで一転して低温傾向が続いたため、竜ヶ崎試験地(5月6日移植)と水戸本場(5月10日移植)の生育診断圃の生育データは採取ミスを疑いたくなるほど大きく異なった。そこで、移植期を2~3日単位で4月30日から6月10日まで移動した場合について、1979年から1989年のAMeDAS日データの平均値でモデルを稼働した収量構成要素の値を平年値とし、1990年の水戸観測地点と竜ヶ崎観測地点における気温で稼働した各収量構成要素の予測値を、それと対比してみたのである。

一見して両地域とも移植期による穂数と玄米重の変動が激しいこと、千粒重は平年よりやや重く登熟歩合はやや低いことがわかる。細かくみると、5月10日移植の水戸本場(○印)では穂数・1穂穎花数が少なく玄米重も軽いが、5月6日移植の竜ヶ崎試験地(×印)では穂数は多く1穂穎花数(1穂粒数)も多く千粒重も重く玄米重



第3図 平成元年産水稻(コシヒカリ)の収量構成要素

も重いことがわかる。

これを実測値と比べると、(実測値の平年値は水戸・竜ヶ崎とも1975年からの奨励品種決定調査事業の標肥区の平均値を用いた)、実測値の対平年指数は本場-多湿黒ぼく土5月10日植; 穂数:87 1穂粒数:78 千粒重:104 登熟歩合:103 玄米重:85, 竜ヶ崎試験地-中粗粒グライ土5月6日植; 穂数:109 1穂粒数:105 千粒重:96 登熟歩合:97 玄米重:103 であった。

本場の登熟歩合、竜ヶ崎試験地の千粒重を除けば、収量構成要素の平年対比傾向はよく一致したといえる。

したがって、このDVI概念導入発育段階標準化重回帰モデルを用いれば、茨城県内平坦地水田地帯であれば地域や土壌を異にしても、収量構成要素の傾向を予測することができると考えられる。

4. 考 察

1) DVI概念導入発育段階標準化収量構成要素予測重回帰モデルは、移植期や地域、土壌を異にしても適用が可能なことが判明した。これは従来の統計的モデルでは考えられないことであり、DVI概念の操作性の高さを示したものといえよう。また、モデルを作成するために用いたデータの範囲を越えて適用することはできないという従来の統計的モデルの欠点のうち、少なくとも作期と地域性については、各県・地域に存在する同一品種を同一方法で長年栽培したいわゆる団子データを生かして、拡張性を持ったモデルを作成できる道を開いたといえる。本報ではDVIのもととなるDVRには積算気温の逆数を用いたが、Takezawa,K Tamura,Y(1991)の平滑化手法によるTM-DVR値とDL-DVR値を用いることは勿論できる。どちらの予測精度が高いかはまだ検討していない。

2) 著者らは既に17年間のデータを蓄積している初星、13年間のデータを持つトドロキワセ・日本晴、9年間のチヨニシキ・青い空、6年間のキヌヒカリについても、同様の手法で収量構成要素を予測するモデルを作成している。初星については実用化可能な予測精度であるが、チヨニシキ・青い空・キヌヒカリでは20~30%も誤差が

あるうへ8月初旬にならないと予測式が決定できない。こうしたことから考えて、ほぼ満足できる予測精度を得るには15年間以上の団子データが必要であるといえよう。

3) 本報では予測結果を実数で示した。時によっては10%を越える誤差があり実数表示では認めがたい場合もあるので、予測偏差が過去10数年間の実測値の±1σ以内であれば「平年並み」、それを越えるときは「平年値以上」または「平年値以下」と言葉で表示するようにプログラムを改めている。

4) 予測時期が遅くなるほど確度が高まるが、現在のモデルでは梅雨明けにならないと正確な予測ができない。また稲が病害や気象災害などのダメージを受けた場合の予測は全然できない。7月15日頃に梅雨明け後と同じ程度の正確さで予測できるようにする事が今後の課題である。

Summary

A growth model to simulate the heading and maturing stages of paddy rice in IBARAKI prefecture is presented. Accumulated temperature is calculated in different cropping seasons, different amount of basal dressing and different soil types. And then, a model based on orthogonal polynomials with the accumulated temperature, is developed. This model allows us only 2 days deviation in the heading and maturing stages.

Next, a multiple regression model which predicts the yield components of rice, is presented. The development index (DVI:0 gives transplanting, 1 give panicle formation stage, 2 gives heading, 3 gives maturing) of every 5 days, is calculated based on a recommended variety KOSHIHIKARI which has been cultivated for 19 years. This model takes the average temperature during 5 days just before each DVI value is attained as the independent variable. The estimated values

by this model coincide well with the observed values.

引用文献

- 1) 茨城県農業試験場(1975-1987) : 水稻奨励品種決定調査事業成績書
- 2) 茨城県農業試験場(1984) : 昭和58年度茨城県農業試験場試験成績概要書, 茨城県農業試験場, 28
- 3) 茨城県農業試験場(1985) : 昭和59年度茨城県農業試験場試験成績概要書, 茨城県農業試験場, 37
- 4) 茨城県農業試験場(1986) : 昭和60年度茨城県農業試験場試験成績概要書, 茨城県農業試験場, 41
- 5) 関東農政局(1986) : 作況試験累年成績書, 関東農政局茨城統計情報事務所
- 6) 堀江 武・中川博視・吉良智彦(1986) : 日作紀55, 別1, 214~215
- 7) 堀江 武(1988) : 営農技術の情報システム化研究会, 講演要旨集, 1~19
- 8) 松島省三(1970) : 稲作の科学, 富士出版, 379 p
- 9) 岡田益己(1987) : 気象環境と作物の生長, 発育のモデル化に関する研究会資料集, 33~42
- 10) Takezawa, K., Tamura, Y. (1991) : Agriculture and Forest Meteorology, 57, 129-145
- 11) 内島立郎(1976) : 農業気象31, 199~202
- 12) Yoshida, S. (1986) : 稲作科学の基礎, 博友社, 59p