

滋賀県の水稲栽培における除草剤の効率的使用技術 (第1報)

— 湛水直播栽培における一発処理剤の使用技術 —

鳥塚 智・山田 善彦*・大西 功男**

Efficient Use of Herbicides in Paddy Rice Culture in Shiga Prefecture (1)

— Use of Single-application Agents in Direct Sowing in Flooded Paddy Fields —

Satoshi TORITSUKA, Yoshihiko YAMADA and Isao ONISHI

キーワード：アメダスデータ、一発処理剤、水稲、タイヌビエ、湛水直播、日平均気温積算値

水稲栽培における雑草防除に関わる環境負荷軽減のため、タイヌビエ、イヌホタルイ等の主要雑草の発生、生育相を把握し、効果的かつ省力的な除草剤使用技術を検討した。

- 1) タイヌビエは、代かき後の日平均気温積算値（代かき日を含む、以下代かき後の積算温度という）が約100℃で発生始期となり、葉齢進展も代かき後の積算温度と高い相関があった。
- 2) 代かきを行い、播種後に湛水管理の伴う湛水直播栽培における一発処理剤の処理適期は、除草適期幅の晩限であった。ノビエ2葉期まで効果のある一発処理剤の処理適期を代かき後の積算温度により推定すると、270℃が指標になった。
- 3) 代かき日を5月1日とし、アメダスデータを用いてノビエ3葉期まで効果のある一発処理剤の処理適期を推定すると、県下水田の大部分で5月19～21日の3日間に集中した。

1. 緒 言

本県の農業粗生産額に占める米の割合は63%（2000年）と大きい。しかし、米の生産農家は零細な副業的農家が大部分を占めており、水稲の栽培管理に従事する時間が少なく、栽培法は粗放化する傾向にあり、効果的な農薬使用が難しくなっている。

一方、本県は琵琶湖を抱えており、稲作では、低コスト栽培技術の開発とともに水質保全を図るための、環境負荷の少ない生産技術が求められている。

このため、本県における水稲の稚苗早植栽培ならびに湛水直播栽培におけるタイヌビエ、イヌホタルイ等の主要雑草の発生と生育相を把握し、除草剤使用方法の改善を図ることにより、環境負荷の少ない省農薬かつ効果的な雑草防除技術を検討したので報告する。

2. 材料および方法

2. 1 湛水直播栽培における除草剤の使用法と除草効果

1994～1996年に、湛水散播栽培のわく試験（滋賀農試栽培部；蒲生郡安土町大中、一区面積10㎡（2.5×4 m）、2反復）において、初期剤1剤、中期剤1剤、後期剤2剤、一発処理剤4剤を供試した。代かきを播種4日前とし、播種は概ね5月中旬に行い、播種後は湛水条件下で管理した。

湛水直播で登録のある一発処理剤の単用処理効果、およびピラゾレート粒剤を初期剤とした中期剤あるいは一発処理剤、後期剤との体系処理効果、また新規剤を含めた湛水直播に適用可能な一発処理剤のタイヌビエの葉齢別処理効果について、残草量調査を行い比較した。

* 現 滋賀県農政水産部農産流通課

** 現 （財）日本植物調節剤研究協会滋賀試験地

なお、雑草の葉齢調査は財団法人日本植物調節剤研究協会の水稲作用除草剤試験実施基準によった。

2. 2 場内における気温に基づく雑草の発生と生育相の解析

雑草の発生と生育相は、農試栽培部および湖北分場（伊香郡木之本町千田）の水稲除草剤適用性試験において調査するとともに（1988～1996年）、農試栽培部では4月中旬～5月中旬の期間内において4回代かきを行い調査した（1997～1998年）。

なお、気温は場内観測値を用い、雑草調査との関連を解析した。

2. 3 現地における気温に基づく雑草生育相の解析

1995～1997年に、県内各地に農薬展示ほを設け、除草剤の処理時におけるタイヌビエの葉齢を調査した（㊸ 滋賀県植物防疫協会農薬展示ほ（除草剤））。移植

は、4月下旬～5月中旬に行った。

現地ほ場の気温については、農林水産省農業環境技術研究所清野氏の開発した「アメダスデータのメッシュ化プログラム」を使用し、「アメダスデータ」、「メッシュ気候値」、「国土数値情報」により推定した。

3. 結 果

3. 1 湛水直播栽培における除草剤の使用法と除草効果

湛水直播栽培における体系処理では、ピラゾレート粒剤とモリネートSM粒剤の組み合わせで残草がなく、最も除草効果が高く、一発処理剤とシハロホップブチル・ペンタゾン液剤等の後期剤との組み合わせでも除草効果が概して高かった。また初期剤と一発処理剤の組み合わせでは、広葉雑草の除草効果が不安定であったが相対的には残草が少なかった（表1）。

表1 湛水直播栽培における各種除草剤の効果

年次	薬 剤 名	処理時期	草種別除草効果(生体重の無除草区比)							合 計
			タイヌビエ	カヤツリグサ	コナギ	その他広葉	イヌホタルイ	ミズガヤツリ	ウリカワ	
1994	ピラゾレート粒 → モリネートSM粒	+6→+32	0	0	0	0	0	—	—	0
1994	ベンスルフロンメチル・ジメピペレート粒	+11	0	0	0	2	1	—	—	t
1994	イマゾスルフロン・エトベンザニド・ダイムロン粒	+6	0	t	t	1	t	—	—	t
1996	イマゾスルフロン・エトベンザニド・ダイムロン1kg粒	+9	t	38	t	1	0	0	4	t
1994	ピラゾレート粒 → ベンスルフロンメチル・メフェナセット・ダイムロン粒	+6→+32	0	0	0	t	t	—	—	t
1995	ピラゾレート粒 → ベンスルフロンメチル・メフェナセット・ダイムロン粒	+9→+49	0	0	t	72	6	0	0	2
1994	ベンスルフロンメチル・ジメピペレート粒 → ペンタゾン粒	+11→+48	t	0	0	0	0	—	—	t
1995	ベンスルフロンメチル・ジメピペレート粒 → シハロホップブチル・ペンタゾン液	+16→+61	1	0	0	0	0	0	5	t
1996	ベンスルフロンメチル・ジメピペレート粒 → シハロホップブチル・ペンタゾン液	+10→+55	t	0	t	1	0	0	t	t
1994	無除草区残草生体重 g/m ²		44	383	3363	132	86	—	—	4008
1995			193	31	1227	11	680	143	4	2291
1996			850	1	1342	11	110	18	10	2343

注)処理時期は播種後日数を示す、tは四捨五入して1未満。

播種日：1994年；5/19、1995年；5/10、1996年；5/16

一発処理剤：ベンスルフロンメチル・ジメピペレート粒、イマゾスルフロン・エトベンザニド・ダイムロン粒、

イマゾスルフロン・エトベンザニド・ダイムロン1kg粒・ベンスルフロンメチル・メフェナセット・ダイムロン粒。

初 期 剤：ピラゾレート粒 中期剤：モリネートSM粒。

後 期 剤：ペンタゾン粒、シハロホップブチル・ペンタゾン液。

表2 湛水直播栽培における一発処理剤の処理時期と効果

年次	薬 剤 名	処理時期	草種別除草効果(生体重の無除草区比)							合 計
			タイヌビエ	カヤツリグサ	コナギ	その他広葉	イヌホタルイ	ミズガヤツリ	ウリカワ	
1995	ベンスルフロンメチル・ジメピペレート粒	+9	1	0	55	17	t	8	60	30
		+16(タイヌビエ2L)	t	4	t	11	7	0	38	2
1995	エトベンザニド・ピラゾスルフロンエチル1kg粒	+9	0	13	11	17	t	0	0	6
		+16(タイヌビエ2L)	0	4	2	10	t	5	136	2
1995	イマゾスルフロン・エトベンザニド・ダイムロン1kg粒	+9	t	t	3	21	t	4	91	2
		+16(タイヌビエ2L)	t	0	t	11	t	2	169	1
1996	シハロホップブチル・ピラゾスルフロンエチル・ブタミホス1kg粒	+10	t	31	t	3	t	0	14	t
		+12	t	4	t	6	t	0	0	t
		+15(タイヌビエ3L)	t	46	t	5	t	0	0	t
1995	無除草区残草生体重 g/m ²		193	31	1227	11	680	143	4	2291
1996			850	1	1342	11	110	18	10	2343

注)処理時期は播種後日数を示す、tは四捨五入して1未満。
播種日：1995年；5/10、1996年；5/16。

しかし一発処理剤の単用処理では、初期剤と中期剤、一発処理剤と後期剤の体系処理に比べてカヤツリグサや広葉雑草の残草が多くなった（表1）。

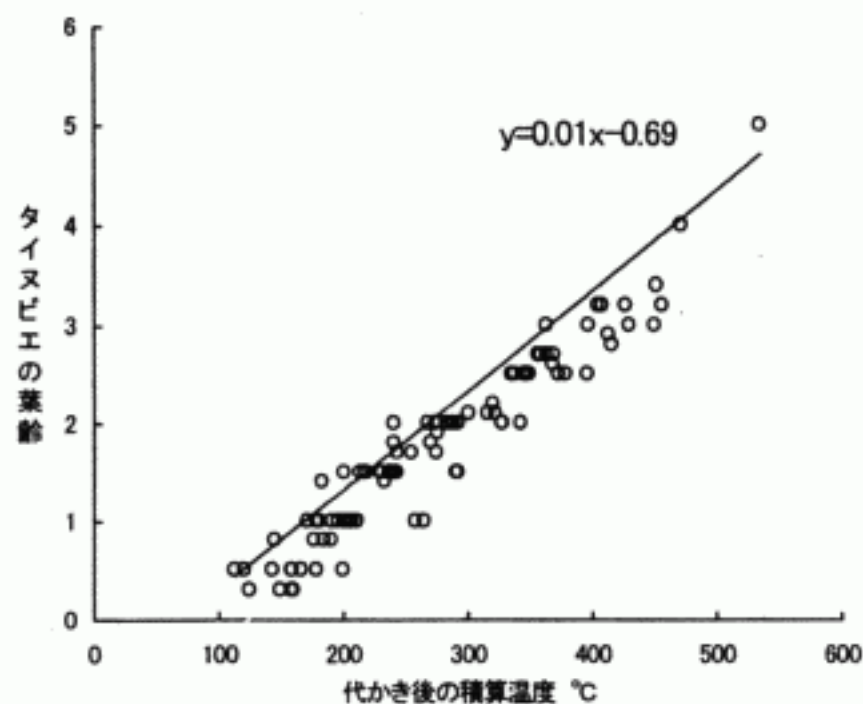
一方、一発処理剤の単用処理における処理時期別の除草効果では、播種後日数または稲の葉齢で示される早限または早限に近い処理については、広葉等の残草が多くなり除草効果が劣ったが、ノビエの殺草限界葉齢で示される晩限処理については、除草効果が比較的高かった（表2）。

3. 2 タイヌビエの発生、葉齢進展と気温

1988～1996年の農試栽培部および湖北分場の水稲除草剤適用性試験では、タイヌビエの葉齢進展と代かき後の積算温度とには、高い正の相関（ $r=0.96^{***}$ （ $n=96$ ））が見られた（図1）。

1997～1998年に異なる代かき日を設定し、タイヌビエの発生始期（葉齢0.5葉）と代かき後の積算温度の関係を調査したところ、1997年は約100℃で発生始期となり、その後の葉齢進展も代かき後の積算温度との相関が高かった（図2）。1998年は、彦根気象台における4月および5月の日平均気温と日最低気温の月平均値が1894年以来の極値を更新した⁷⁾。このような場合でも、タイヌビエの発生始期は代かき時期の早晚にかかわらず代かき後の積算温度が約100℃の時期であっ

た。しかし、その後のタイヌビエの葉齢進展は作成した回帰式による推定値を上回った。特に4月28日代かきにおける測定値は、代かき後の積算温度約220℃で3葉になり、回帰式における3葉到達温度とは約140℃の差があった（図1、3、4）。



注1) 直線は1988～1996年の栽培部、湖北分場におけるタイヌビエ葉齢と積算温度の回帰式の95%信頼区間上限。

図1 栽培部、湖北分場におけるタイヌビエの葉齢進展と代かき後の積算温度。

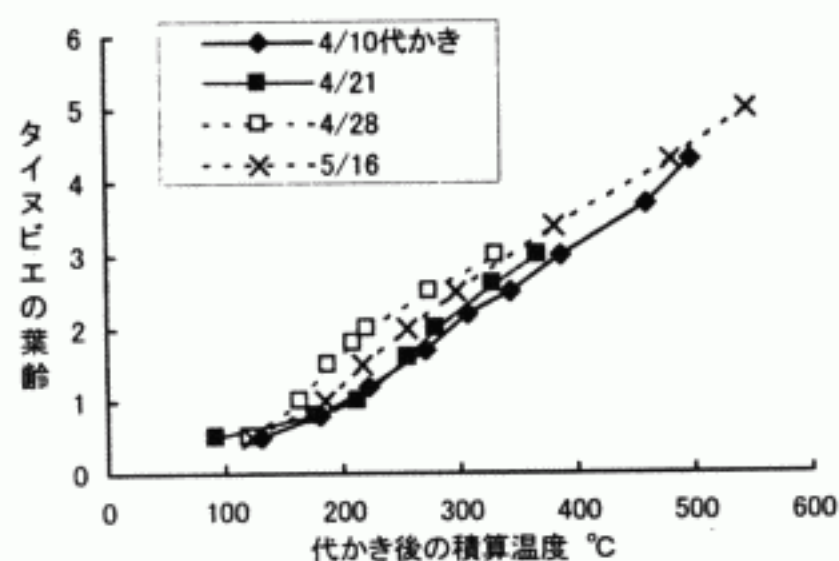


図2 1997年におけるタイヌピエの葉齢進展と代かき後の積算温度.

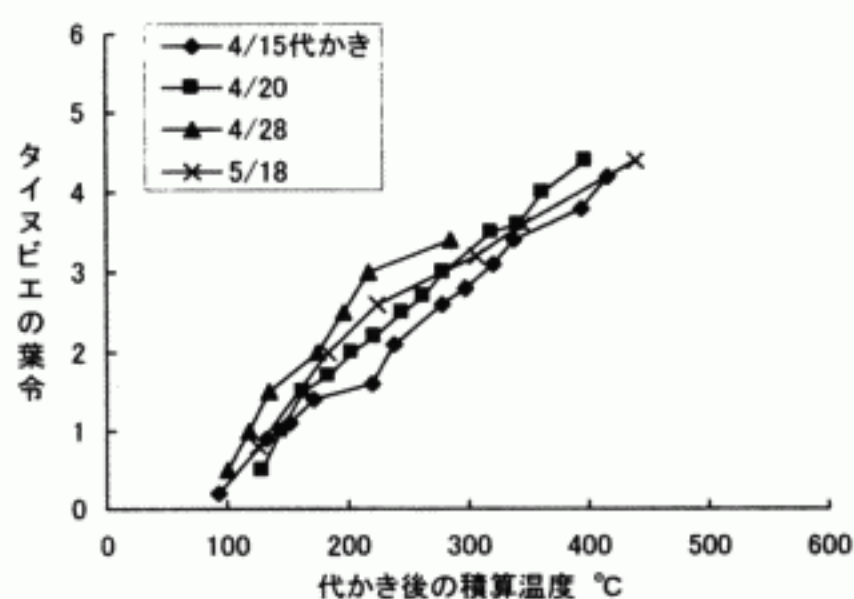


図3 1998年におけるタイヌピエの葉齢進展と代かき後の積算温度.

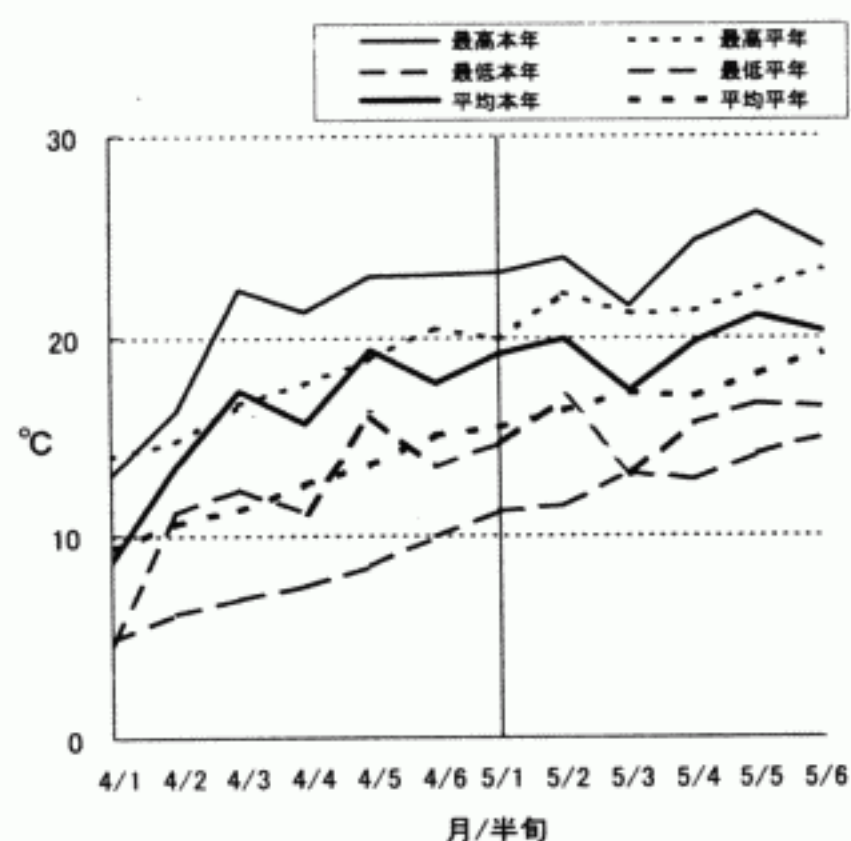


図4 1998年4～5月半旬別気温 (蒲生郡安土町大中).

3. 3 イヌホタルイの発生、葉齢進展と気温

1993～1996年の農試栽培部および湖北分場の水稻除草剤適用性試験では、イヌホタルイの葉齢進展と代かき後の積算温度とには高い相関 (栽培部; $r = 0.95^{**}$ ($n = 26$), 湖北分場; $r = 0.96^{**}$ ($n = 20$)) が見られたが、発生始期 (葉齢0.5葉) は代かき後の積算温度に約100℃の違いがあった (図5). また1997～1998年では、代かき時期が異なった場合、発生始期の代かき後の積算温度に80～100℃の違いが見られた (図6, 7).

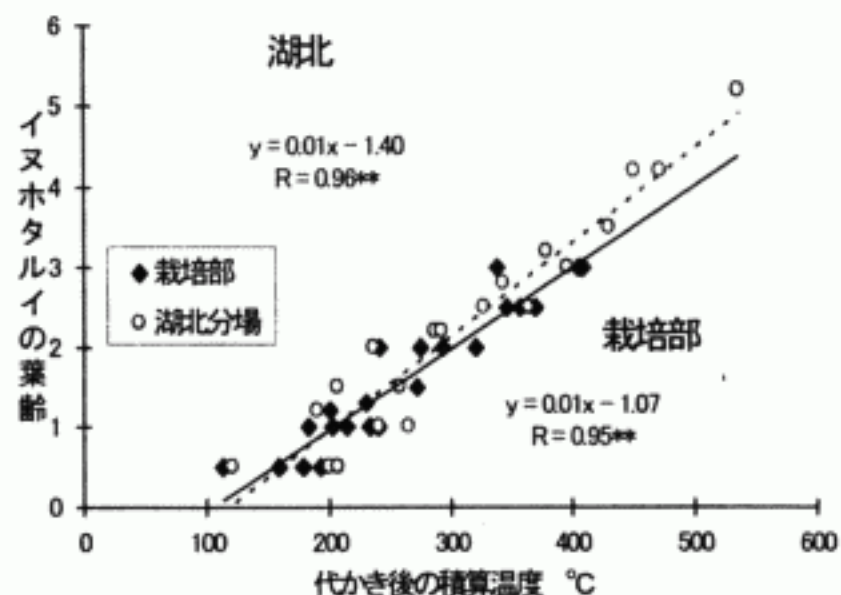


図5 栽培部、湖北分場におけるイヌホタルイの葉齢進展と代かき後の積算温度 (1993～1996年).

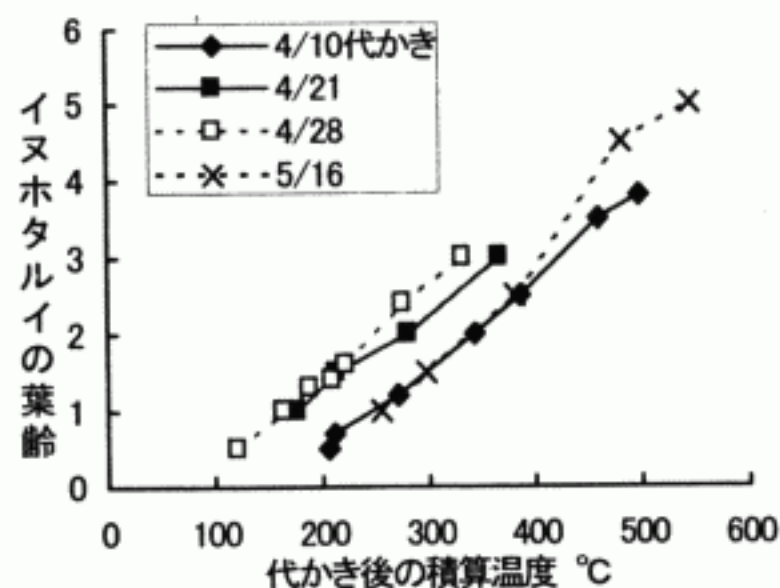


図6 1997年におけるイヌホタルイの葉齢進展と代かき後の積算温度.

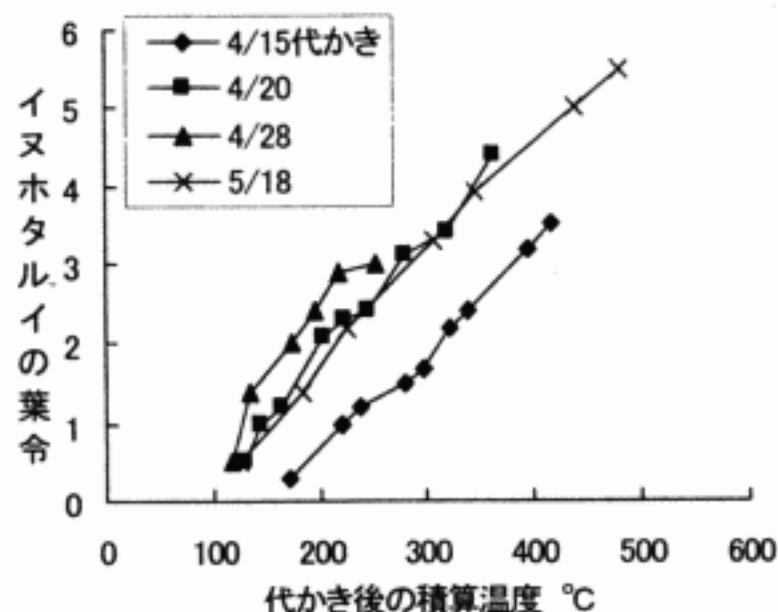


図7 1998年におけるイヌホタルイの葉齢進展と代かき後の積算温度.

3. 4 一発処理剤の処理時期の指標

代かき後の積算温度に基づくタイヌビエの葉齢推定により、一発処理剤の処理適期幅の晩限を推定すると、ノビエ2葉期まで効果のある一発処理剤では、代かき後の積算温度270℃が晩限の指標となり、ノビエ3葉期まで効果のある一発処理剤では、360℃が晩限の指標となった（図1）。

3. 5 アメダスデータを利用したタイヌビエ生育モデルの現地ほ場への適応

県内のアメダス観測地点の平均気温平年値をもとに、代かき日を5月1日とし、県域における代かき後の積算温度が320℃に達する日を図示した（図8）。

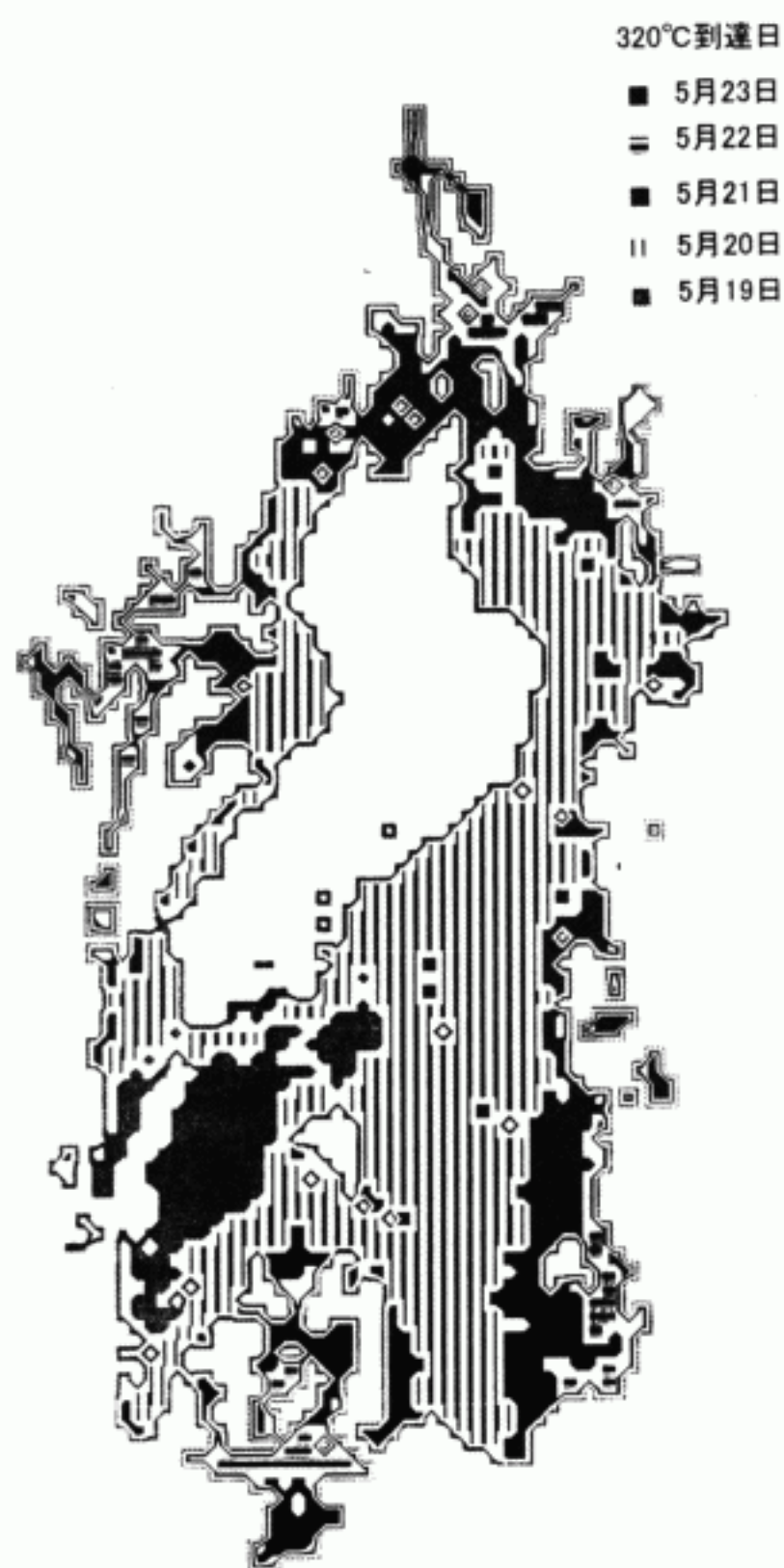


図8 アメダスデータに基づく代かき（5月1日）後の積算温度が320℃に到達する日の推定。

最も早いのは大津・湖南にかけての琵琶湖周辺地域で、5月19日が到達日となった。次いで甲賀から湖北・湖西にかけての平坦地域で5月20日となった。また、中山間地域は5月21～23日となったが、ほとんどの地域では5月19～21日にかけての3日間に集中した（図8）。

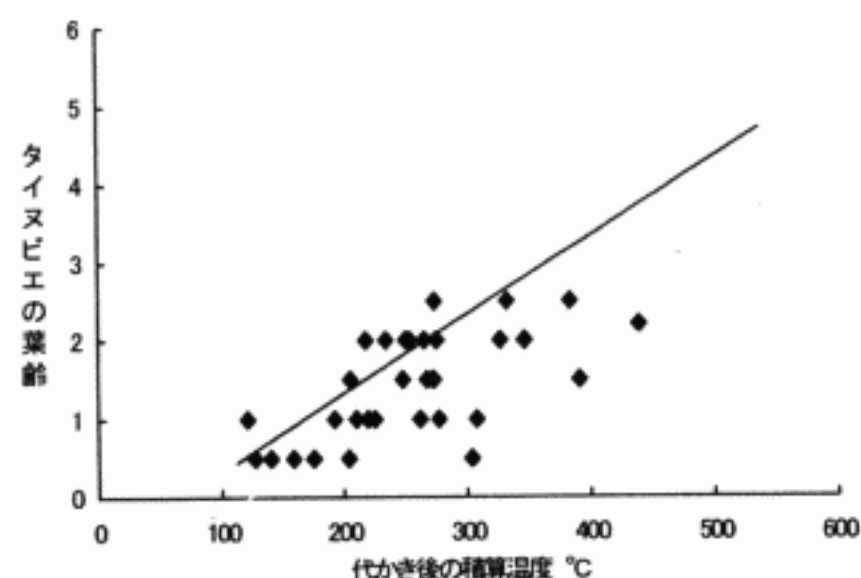
アメダス観測地点における過去19年間（1979～1997年）の気温の観測結果では、代かき後の積算温度が320℃に到達するまでの最長時期と最短時期の差は4～5日であり、平年値と最短時期の差は3日以内であった（表3）。

表3 アメダス観測地点における代かき後の積算温度が320℃に到達する日

地点名	平年値	過去19年間の極値と較差		
		最長時期	最短時期	較差
今津	5月20日	5月23日	5月18日	5日
虎姫	5月20日	5月22日	5月18日	4日
南小松	5月20日	5月22日	5月18日	4日
彦根	5月20日	5月21日	5月17日	4日
蒲生	5月20日	5月22日	5月17日	5日
大津	5月19日	5月21日	5月17日	4日
信楽	5月21日	5月24日	5月20日	4日
土山	5月21日	5月23日	5月19日	4日

注）1979～1997年において、代かきを5月1日とした場合のアメダス観測地点における代かき後の積算温度が320℃に到達する日を示した。

一方、県内における農薬展示ほのタイヌビエ葉齢と代かき後の積算温度（推定値）との関係は、概ね場内における95%信頼区間の上限に適合したが、推定葉齢より大きい個体も散見された（図9）。



注1）直線は1988～1996年の栽培部、湖北分場におけるタイヌビエ葉齢と積算温度の回帰式の95%信頼区間上限。

注2）展示ほは1995～1997年のタイヌビエ葉齢測定値と推定した代かき後の積算温度により作図。

図9 農薬展示ほにおける除草剤処理時のタイヌビエの葉齢と代かき後の積算温度。

4. 考 察

4. 1 湛水直播栽培における除草剤の使用技術

雑草の発生と生育相は、気温や地温（水温）との関係が深いことはよく知られており^{13, 15)}、近年環境保全型農業に対応し、水田雑草制御技術の開発における雑草生態の把握が再び注目されている。そこで、効果的な除草剤の処理時期の指標として、雑草の葉齢確認が重要となるが、湛水直播栽培、特に散播方式におけるノビエ葉齢の確認は、知識と経験に基づく高度な観察力を要するとされており、簡便なノビエ葉齢の把握法が求められている。

また、湛水直播栽培では、水稻の出芽が不安定で生育期間も長くなり、しばしば雑草が多く発生し除草剤の使用増加を招いており、効率的な使用技術の確立が急がれている。

福島ら⁸⁾は、早期栽培では普通期栽培に比べて雑草の発生期間が長くなり、一発処理剤の処理時期は処理適期の範囲内で遅くする方が除草効果が高いとしている。一般に湛水直播栽培では、雑草は稲の出芽より早く発生し発生期間も長くなるため、除草必要期間は移植栽培より長くなる。また、稲の生育相が要因となり、適用薬剤が限定される。このため、一発処理剤の単用処理よりも体系処理で除草効果が高くなると考えられる。

4. 2 タイヌビエの発生および葉齢進展の解析

水田雑草、特にノビエの生育モデルでは、葉齢進展の指標として植代後の日数、平均気温の積算値^{2, 3, 5)}、単純有効積算気温^{4, 6, 11)}等を用いて、各地の試験ごとに、気温に基づいたノビエ葉齢の推定精度の向上を図っている。

森田¹⁰⁾は、単純有効積算気温については、低温条件下で生育し、葉齢進展に要する日数（時間）が長くなる寒地や寒冷地では精度が向上するが、暖地では平均気温の積算値を指標とした場合との差が少ないとしている。また、単純有効積算気温は、特定の地点や作期等、範囲を限定して算出した場合には、広域に求めた場合より推定精度が向上するとしている。さらに、精度の優れた方法として、加重有効積算気温による推定^{12, 16)}も報告している。

しかし、滋賀県では、移植時期が集中しており、異常高温年を除き日平均気温の積算値により、タイヌビ

エの発生および葉齢進展の推定が可能と考えられる。また、観測値の入手しやすい日平均気温を用いることにより、生産現場での葉齢推定が容易にできる。

4. 3 一発処理剤の日平均気温による処理適期の推定

ノビエ2葉期を処理適期幅の晩限とする一発処理剤の効果的な処理時期は、代かき後の積算温度270℃が指標になるが、本指標の適用場面では作成に用いたデータ範囲から、移植時期については4月下旬～5月中旬が前提となる。この場合、観察を省いて除草適期の判定が可能となり、作業計画策定が容易になると考えられる。なお本指標は、代かきを行い、播種後に湛水管理を伴う湛水直播栽培に適用可能であり、播種後に無湛水（落水）管理を行う場合には、水稻の出芽、初期生育や、雑草の発生活消長の変化が予想されるので適用できない。

同様に、ノビエ3葉期を処理適期幅の晩限とする一発処理剤の効果的な処理時期は、代かき後の積算温度360℃が指標となる。しかし、県内農業展示ほにおけるタイヌビエ葉齢の測定値は、作成したタイヌビエ生育モデルによる推定値より葉齢の進んだ個体が散見されており、実用上は代かき後の積算温度320℃、タイヌビエ2.5葉期頃が確実な除草効果を期待しうる処理晩限と考えられる。なお、ノビエ3葉期を処理適期幅の晩限とする除草剤を使用した場合、ホタルイ、ウリカワ等の多年生雑草の防除適期幅は、ノビエ2葉期を処理適期幅の晩限とする除草剤と変わらず、多年生雑草が処理適期幅の制限因子となる除草剤が多い。

4. 4 アメダスデータを利用したタイヌビエ生育モデルの県域への適応性

県下では、移植が5月上旬のゴールデンウィークに集中的に行われており、アメダスデータを用い、代かきの集中する日を前提とした場合、本報で示したタイヌビエ生育モデルは広域適応性を有すると考えられた。なお、地域的には、湖南地域では一発処理剤の処理適期は他地域に比べて早くなり、山脚地ではやや遅くなることが明らかとなり、本モデルにより作成された指標が現地における指導上、効果的に活用できると考えられる。

4. 5 一発処理剤の処理時期指標の適用拡大と精度向上

1998年の4～5月のような異常高温の場合には、4月15日の早期代かきでも、作成した回帰式によるタイヌビエ葉齢の推定値と実測値には較差が見られ、4月20日以降の代かきではさらに較差が大きくなった。このことから、代かき前後より平年を上回る高温が続く場合、タイヌビエの葉齢進展速度が速まるため、回帰式の再考が必要と考えられる。

一方、近年稲作期間の高温化現象による玄米の外観品質低下の防止対策技術として、早生品種の遅植（5月下旬移植）が指導されている。この時期は、気温が高くノビエ葉齢の進展速度が速まることが予測される。しかし、代かき前後から気温は高く、移植後の急激な気温の変動はまれで、一発処理剤の処理時期は処理適期幅の範囲内で早めに設定し、とりこぼし雑草を少なくする対応が必要と考えられる。1998年の4月28日代かきでは、代かき後の積算温度が約180℃でタイヌビエ葉齢が2葉に達し、代かき後約8日が、ノビエ2葉期までを処理適期とする一発処理剤の晩限と想定される。遅植における除草作業計画策定に当たっては、一発処理剤の選択枝が制限されることに注意する必要がある。

今後、タイヌビエの生育モデルの精度向上には、種子の休眠覚醒^{1) 9)}にかかわる湛水時期、代かき方法の影響等、種子および幼植物の生理・生態面からの研究の深化が求められる。

なお、イヌホタルイの生育モデル¹⁰⁾作成に当たっては、発生始期の年次変動が大きいこと、幼植物の種の判別や、タイヌビエに比べて葉齢の把握が難しいことなど、検討課題が多いと考えられる。

本報では、除草剤の多投入が懸念される直播栽培のなかで、代かきを行い播種後湛水管理する湛水直播栽培における効率的な一発処理剤の使用技術を、タイヌビエの生育モデルとアメダスデータを用いて検討した。今後、慣行となっている播種後無湛水（落水）管理する湛水直播栽培における雑草の発生、生育相を把握し、本手法の適用性を検討する必要がある。

謝 辞

本研究の遂行に当たっては、元農試技師勝島治美氏、技師三崎清道氏、同吉岡善明氏の労に負うところが大きい。また、指導・協力をいただいた栽培部の各員に対し、ここに記して謝意を表する。

引用文献

- 1) 荒井正雄・宮原益次, 1962. 水田雑草タイヌビエの生理生態学的研究, 第2報種子の一次休眠について(2)土壌中における一次休眠の覚醒. 日作紀, 31(1): 73-77.
- 2) 岩崎桂三・榎原敏夫・出野桑太郎・綿島朝次・萩本宏, 1978. 圃場におけるタイヌビエの生育とビペロホス・ジメタメトリン粒剤の効果. 雑草研究, 23: 23-28.
- 3) 柴谷得郎・林伸英, 1992. 水田雑草の発生・生長予測法の開発, 農業生産管理システム構築のための情報処理技術の開発. 農林水産技術会議, 研究成果, 265: 142-143.
- 4) 土井康生・村上利男, 1977. 北海道におけるタイヌビエの発生生態に関する地域性. 北海道農試研報, 119: 1-8.
- 5) 鳥塚智・山田善彦, 1998. 湛水直播栽培における除草剤の効果的使用法. 平成9年度近畿中国農業研究成果情報: 11-12.
- 6) 中山治彦・江口和雄・湯村悦子, 1966. ケイヌビエの発生生態について. 雑草研究, 5: 72-76.
- 7) 彦根地方气象台, 1998. 滋賀県気象月報, 平成10年4～5月, 日本気象協会.
- 8) 福島祐助・大隅光善・田中浩平, 1995. 北部九州の水稲早期栽培における雑草の発生消長と除草剤の処理適期. 雑草研究, 40(1): 1-7.
- 9) 宮原益次, 1983. タイヌビエその他主要一年生雑草の生態と防除に関する研究. 雑草研究, 28: 1-11.
- 10) 村上士明・阪上和久・與語靖洋・中村明功, 1989. イヌホタルイの発生消長と葉齢進展－タイヌビエとの比較－. 雑草研究, 34(別): 101-102.
- 11) 村上士明・馬庭義則・阪上和久, 1990. タイヌビエの葉齢進展の推定法とプレチラクロールの散布適期の表示方法. 雑草研究, 35(3): 253-260.
- 12) 村上利男・土井康生・森田弘彦, 1987. 寒地における水田雑草の出葉の温度反応とその地域性. 雑草研究, 32(2): 112-122.
- 13) 森田弘彦, 1996. 有効積算気温による雑草ヒエの葉齢進展予測. 雑草の発生・生育と除草剤の動態モデルに関する研究会講演要旨集: 65-77.
- 14) 森田弘彦, 1999. 1時間気温値の加重型有効積算気温を用いた野生ヒエとイヌホタルイの葉齢進展.

雑草研究, 44 (3) : 218-227.

- 15) 森田弘彦, 2000. 有効積算気温とノビエの発生. 雑草とその防除, 37 : 14-17.

Summary

In an effort to reduce the environmental impact of weed control in paddy rice culture, the occurrence and growth of major weeds such as barnyard grass and Japanese bulrush were characterized to establish an effective, energy-saving method of herbicide application.

1) Barnyard grass began to occur at a cumulative daily mean air temperature after puddling (including the day of puddling, hereinafter referred to as post-puddling cumulative temperature) of about 100°C, with plant age in leaf number also showing a high correlation to post-puddling cumulative temperature.

2) The appropriate timing for application of single-application agents in direct sowing in flooded paddy fields (which involves puddling and subsequent submerged seedling management after sowing) corresponded to the latest stage of the weed control period. From post-puddling cumulative temperature, the appropriate timing for application of single-application agents showing sustained effect until the 2-leaf stage of wild barnyard millet was estimated to correspond to 270°C.

3) Using AMeDAS data, and assuming the day of puddling to be May 1, the appropriate timing for application of single-application agents showing sustained effect until the 3-leaf stage of wild barnyard millet was estimated to be the three days from May 19 to 21 for the great majority of paddy fields in Shiga Prefecture.