

棚田における栽植密度と除草管理法の違いが 水稲収量に及ぼす影響

荒瀬輝夫*・内川義行**

* 信州大学農学部附属アルプス圏フィールド科学教育研究センター

** 信州大学農学部森林科学科

要 約

棚田の保全と雑草管理についての基礎的知見を得るため、姨捨棚田地域（長野県千曲市）において、雑草および水稲の生長と収量を調査した。実験計画は、栽植密度（疎植区、密植区）と除草方法（6パターン）を要因とする2反復の2元配置とした。栽培管理および調査は、2009年5月～9月に実施した。水田内で19種の植物が確認され、主要雑草はコナギとホタルイであった。植生調査データに基づくV値による分析では、疎植区で除草の作業労力と主要雑草量との相関が有意であったが、密植区では除草効果が不明瞭で、作業効率も悪かった。収量は平均408～637kg/10aで、栽植密度によって除草効果の現れかたが異なっていた。6月、7月、8月の雑草量を説明変数とした収量の予測では、係数の値の異なる有意な重回帰式が得られ、6月と8月の除草がより効果的であった。また、雑草量のあるレベル以下に抑えれば、水稲収量の減収は僅少であることが確認された。

キーワード：棚田、姨捨、栽植密度、除草管理、収量予測

1. はじめに

耕作放棄される棚田の増加への危機感が高まる中、全国各地で各種の棚田保全対策が実施されている。その1つに棚田オーナー制度があり、概ね、地権者に対し農業者以外の都市住民等非農家が一定金額の借地料を支払い「オーナー」となり、耕作・収穫物を得ることによって棚田を保全するものである。オーナー自身が体験耕作するものが多いが、資金提供のみで耕作は地元農家組織等に委託するものもある。いずれにせよ、農業経験の乏しいオーナーのみによる耕作は困難なため、地元農家組織による支援なくしては成立しえない。

オーナーは農作業体験だけでなく、食の安全・安心の確保や棚田景観保全への貢献等の思いを抱きながら制度に参加している。特に昨今の農産物への安全・安心に対する関心の高まりから、自らの手で少しでも生産に関与したい、あるいはその保障のある収穫物を得たいという要望が強い。

そうした中、耕作上の障害の一つに水田雑草への対応がある。中山間地の水田では、一般に減水深が大きく、後発生雑草の出芽が梅雨期にあたるため落

水による防除が難しく、除草剤の施用が効率的であるが、水源地に位置するため環境保全に対する要求も高い（横尾 1997）という矛盾を抱えている。オーナーは除草剤を使用しない耕作方法を希望するが、管理する地元農家組織は労力負担が大きく利害の衝突がみられる。

本研究では、長野県千曲市姨捨棚田地域（図1）におけるオーナー制度（正式名「棚田貸します制度」）を対象に調査区を設置し、異なる栽植密度と除草方法による雑草発生量と水稲（*Oriza sativa* L.）収量への影響について、データの収集と考察を行った。一般の農業者によらない、棚田オーナー制度という状況下での水田雑草への対応方法の模索は従来みられないが、棚田米の付加価値化等にもつながり、棚田保全の新たな展開も期待できることから、まずは基礎的な調査から開始した。

2. 調査方法

2009年5月～9月にかけて、長野県千曲市姨捨棚田で棚田オーナー制度の実施されている姪石地区において調査を行った。

2.1 水稲の栽培方法と生育および収量調査

品種はコシヒカリを用い、2009年4月12日に苗床へ播種、5月30日に苗取りと本田への移植（田植

受付日 2011年1月7日

受理日 2011年2月10日

え)を行なった。田植えは手植えにより実施した。なお、苗作りおよび田植え後の管理労力の観点から、疎植(条間30cm×株間30cm)と密植(条間30cm×株間15cm)の2つの栽植密度を設定した。水管理およ

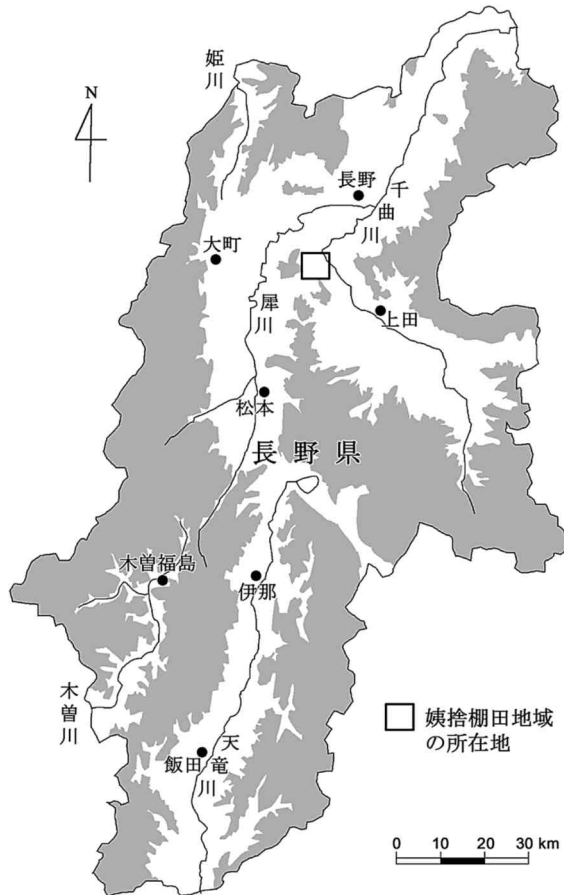


図1 姨捨棚田地域の所在地
網掛け部分は、標高1,000m以上の山地を示す。

び肥培管理は当該地域の栽培基準に準拠した。

2.2 雑草の管理方法と群落調査

雑草管理には除草剤は用いず、人力の除草機または手取りによる除草を行なった。除草時期は、6月、7月および8月(水稻の生育調査と同日)を設定し、各時期の除草の有無と方法を組み合わせて、労力の異なる6つの除草法(放任区を含む)を設定した。実験配置は、水稻の栽植密度(2水準)×除草管理法(6水準)の2元配置で、全12調査区である。1区の大きさは5.4m²(1.2m×4.5m)とした。除草管理法の一覧を表1に示した。選択的除草は、出現種のうち本調査地での発生量が多く、水稻に強害を及ぼすと推測されるものを笠原(1968)に準拠して主要雑草とし、選択的に除草の対象としたものである。なお、作業労力は、作業時間をもとに順位付けしたものである。

2.3 水稻の生育および収量調査と雑草の群落調査

水稻の生育調査(草高、葉齢、分けつ数など)を、6月19日(田植え20日後)、7月8日(田植え39日後)、8月11日(田植え73日後)の3回実施し、生育状況を確認した。調査のため固定コドラート(50cm×50cm)を各調査区2地点ずつ設けた。水稻の収穫は9月24日(田植え117日後)に行い、固定コドラート内の株を手刈でサンプリングした。収穫時の生育状況(稈長、穂長、穂数など)を計測後、室内風乾の後に脱穀して籾重および玄米重を秤量し、面積あたり収量(kg/10a)に換算した。

雑草の群落調査は、水稻調査と同一の固定コドラート(面積50cm×50cm、2反復)で行なった。調

表1 本調査における除草管理法

調査区 No.	栽植密度	除草時期と方法			作業労力 (順位)
		6月19日 (田植え20日後)	7月8日 (田植え39日後)	8月11日 (田植え73日後)	
1	疎植区	—	—	—	6
2	条間0.3m	—	機, 手	手	2
3	×株間0.3m	—	機, 手(選)	手(選)	1
4		機	—	—	5
5		機	機	—	4
6		—	機	—	3
7	密植区	—	—	—	6
8	条間0.3m	—	機, 手	手	2
9	×株間0.15m	—	機, 手(選)	手(選)	1
10		機	—	—	5
11		機	機	—	4
12		—	機	—	3

除草方法の略記は、それぞれ、機：除草機、手：手取り、選：選択的除草、—：除草なし(放任)を示す。

査時期は水稻の生育調査日および収穫日の4回とし、除草後に田水が透明になってから実施した。調査項目は、種名、種ごとの草高と被度（調査面積に対する百分率）である。なお、調査区ごとに正確な雑草発生量を測定することは、固定コドラート内の雑草すべてのサンプリングを伴うので、除草管理法の設定条件が損なわれる。そこで、群落調査データから、コドラート内に出現した草種ごとに「被度×草高」

（体積に相当する値）を求め、

$$V \text{ 値} = \sum (\text{被度} \% \times \text{草高 cm})$$

を算出し (Kawada et al. 2005), その常用対数値を雑草発生量の目安とすることにした。なお、V値は、全ての種を込みにしたもの（以下、全雑草量）と、主要雑草のみで計算したもの（以下、主要雑草量）とを求めた。

2.4 統計処理

時期別の雑草発生量および水稻の生長、水稻の収量に関する計測値について、2元配置の分散分析により、栽植密度、除草方法、およびそれらの交互作用の効果を検定した。区ごとの平均値間の差の多重検定法として、TukeyのHSD法を用いた。

除草の作業労力と雑草発生量、水稻収量との関係については、順位変換ののちにSpearmanのρを

求め、正確法によって検定した。また、水稻収量への除草時期の影響を判定するため、6月、7月、8月の雑草発生量（V値の対数値）を説明変数とする重回帰分析を行なった。統計処理はすべて、Microsoft Excel 2003上の手動計算により行なった。

3. 結 果

3.1 雑草の種類組成と発生消長

種類別の水田内雑草の発生消長を表2に示した。確認された種は19種（藻類、水生の苔類を含む）であり、疎植区と密植区とで種組成にはほとんど差異は認められなかった。全期間を通じて高い頻度で出現したのは、コナギ (*Monocholia vaginalis* (Burm. f.) Presl var. *plantaginea* (Roxb.) Solms-Laub.), ホタルイ (*Scirpus juncooides* Roxb. var. *hotarui* Ohwi), マツバイ (*Eleocharis acicularis* (L.) Roem. et Schult. var. *longiseta* Sven.) の3種であった。初期（6～7月）に発生ピークが認められた種としては、ミズハコベ (*Callitriche verna* L.) やスズメノテッポウ (*Alopecurus aequalis* Sobol. var. *amurensis* (Komar.) Ohwi) などが挙げられ、一方、後期（8～9月）にピークの認められた種としては、キ

表2 雑草の種類別の発生消長（出現したプロットの%）

種名	疎植区				密植区			
	6月	7月	8月	9月	6月	7月	8月	9月
コナギ	100	100	100	100	100	100	100	100
ホタルイ	50	75	100	100	50	83	100	92
マツバイ	100	100	100	100	100	83	83	100
ミズハコベ	100	100	25		100	58		
アオウキクサ	75	100	100		100	100	92	8
スズメノテッポウ	25	25	8		25	8		
藻類 (アオミドロ?)	50	8			25	8		
ウキクサ		83	17		50	100	17	
サヤヌカグサ		8						
イチョウウキゴケ						17		
キカシグサ		33	92	100	25	17	83	92
イトトリゲモ		25	75			42	75	
ミズオオバコ			8				42	
オモダカ							25	8
ヨシ				8		8		8
アゼナ				33			25	42
タマガヤツリ			8	33				17
チョウジタデ				17			8	8
キツネノボタン				17				
出現種数	7	11	11	9	9	12	11	10

*調査面積は各プロット0.5×0.5m。調査プロット数は、n=4（6月）、n=12（7～9月）。

カシグサ (*Rotala indica* (Willd.) Koehne var. *uliginosa* (Miq.) Koehne), アゼナ (*Lindernia procumbens* (Krock.) Borbas), タマガヤツリ (*Cyperus difformis* L.) などが挙げられた。これらのうち、主要雑草は、コナギとホタルイの2種と判断された。なお、一般的に水田の強害雑草として知られるヒエ類 (*Echinochloa* spp.) は、調査地内では確認されなかった。

3.2 雑草発生量と除草方法の影響

調査区ごとの雑草発生量 (V値の対数値) の推移は、表3の通りである。まず放任区 (1区および7区) について、6月~8月 (田植え20~73日後) の増加が著しく、その後の8~9月には増加がほぼ頭打ちに達している様子が伺えた。分散分析の結果、除草方法の違いによる効果は全期間を通じて有意であったが、8月以降には栽植密度の違いによる効果も有意となった。9月期には、疎植区において特に主要雑草量が2~5区で1区 (放任区) の46~78%程度まで減少した。しかし、密植区において8区のみが7区 (放任区) の雑草量の60%台まで減少していたものの、9~12区では全雑草量は放任区と同等で、主要雑草量では放任区を上回る区も見られた。

3.3 水稻の生長と収量

水稻の生長は表4のとおりである。草高は8月までは栽植密度、除草方法による差異は認められず、9月期に栽植密度の違いによる効果が有意となり (F検定, $p < 0.01$), 疎植区 (平均95.5~104.3 cm) のほうが密植区 (平均95.9~100.6 cm) よりやや高くなった。株あたりの分けつ数は7月以降で栽植密度、除草方法の違いによる効果がともに有意 (F検定, それぞれ $p < 0.001$, $p < 0.05$) となり、

9月期には疎植区で平均24.8~32.0, 密植区で平均13.5~21.5となった。葉齢は7月以降で栽植密度の違いによる効果が有意 (F検定, $p < 0.001$) となり、9月期 (止葉の状態) では疎植区 (平均12.5~13.0) が密植区 (平均11.9~12.1) を上回った。また収穫時の状況については、穂数では栽植密度の違いによる効果のみが有意で、稈長, 穂長, 有効分けつ率 (穂数/分けつ数 $\times 100$) では栽植密度、除草方法の違いによる効果がともに有意となった (F検定)。稈長は、放任区において疎植区では最小, 密植区では最大となった。

水稻の収量について表5に示す。まず、収量構成要素に関して、 m^2 あたり穂数, 1穂あたり粒数は栽植密度の違いによる効果が有意 (F検定, それぞれ $p < 0.05$, $p < 0.001$) であり、大まかに前者で疎植区 (平均251.4~291.7) < 密植区 (平均272.2~363.0), 後者で疎植区 (平均66.5~84.0) > 密植区 (平均58.6~72.8) であった。なお1000粒重については、平均24~26 gで区間に有意差は認められなかった。有効歩合に関して、登熟歩合は平均88~96%, 玄米重/粒重は平均79~81%程度で、それぞれ区間に有意差は認められなかった。収量に関して、粒収量 (平均408~637kg/10a), 玄米収量 (平均325~513kg/10a) とも、栽植密度 \times 除草方法の交互作用のみが有意 (F検定, $p < 0.05$) であった。粒収量についてみると、疎植区では4区が最も多収であり (637.2kg/10a), これに比べて1区 (放任区) と6区 (7月のみ除草) が64~69%という有意に小さな値となった (TukeyのHSD, $p < 0.05$)。一方、密植区では6区が最も最も多収であったが (630.4kg/10a), 放任区よりも減収と

表3 時期別の雑草量 (V値の対数値)

調査区 No.	栽植密度	除草時期				全雑草量				主要雑草量 (ホタルイ, コナギ)			
		6月	7月	8月	6月	7月	8月	9月	6月	7月	8月	9月	
1	疎植区	—	—	—	2.4 \pm 0.1	3.1 \pm 0.3	3.5 \pm 0.2	3.5 \pm 0.1	1.1 \pm 0.1	2.4 \pm 0.3	2.9 \pm 0.2	2.8 \pm 0.2	
2		—	○	○		2.1 \pm 0.1	2.3 \pm 0.0	2.8 \pm 0.2		1.1 \pm 0.1	1.6 \pm 0.0	1.5 \pm 0.0	
3		—	○	○		2.3 \pm 0.2	3.1 \pm 0.1	3.2 \pm 0.0		1.5 \pm 0.2	2.5 \pm 0.1	1.3 \pm 0.4	
4		○	—	—	1.3 \pm 0.0	2.1 \pm 0.2	2.7 \pm 0.5	3.2 \pm 0.0	0.2 \pm 0.0	1.2 \pm 0.3	2.1 \pm 0.6	1.8 \pm 0.2	
5		○	○	—		2.3 \pm 0.1	3.0 \pm 0.2	3.1 \pm 0.0		1.5 \pm 0.0	2.4 \pm 0.2	2.2 \pm 0.0	
6		—	○	—		2.5 \pm 0.0	3.4 \pm 0.2	3.3 \pm 0.0		1.7 \pm 0.0	2.8 \pm 0.2	2.2 \pm 0.0	
7	密植区	—	—	—	2.0 \pm 0.2	2.6 \pm 0.1	3.1 \pm 0.0	3.3 \pm 0.0	1.1 \pm 0.1	1.9 \pm 0.0	2.5 \pm 0.0	1.8 \pm 0.5	
8		—	○	○		2.4 \pm 0.0	2.4 \pm 0.1	2.3 \pm 0.0		1.6 \pm 0.0	1.6 \pm 0.2	1.1 \pm 0.6	
9		—	○	○		2.5 \pm 0.1	3.4 \pm 0.0	3.2 \pm 0.0		1.7 \pm 0.2	2.8 \pm 0.0	2.0 \pm 0.1	
10		○	—	—	1.3 \pm 0.1	2.3 \pm 0.0	2.6 \pm 0.1	3.2 \pm 0.1	0.1 \pm 0.1	1.0 \pm 0.3	1.7 \pm 0.0	1.6 \pm 0.0	
11		○	○	—		2.0 \pm 0.3	2.8 \pm 0.2	3.2 \pm 0.1		1.2 \pm 0.5	2.0 \pm 0.3	2.2 \pm 0.2	
12		—	○	—		2.1 \pm 0.0	2.6 \pm 0.1	3.2 \pm 0.1		1.3 \pm 0.0	1.8 \pm 0.2	1.8 \pm 0.0	
要因の効果		栽植密度	ns	ns	*	**	**	ns	ns	**	ns		
		除草方法	*	**	**	**	**	**	**	**	**		
		交互作用	ns	*	*	**	**	ns	*	*	*		
平均値間の最小有意差 (TukeyのHSD法, $p < 0.05$)					1.3	0.6	0.7	0.3	0.3	0.9	0.9	1.1	

数値は、平均値 \pm 標準偏差 (n=2) を示す。V値= Σ (被度 \times 草高cm)。

*, **, ***は、要因の効果がそれぞれ $p < 0.05$, 0.01, 0.001で有意 (F検定) であることを示す。

表4 水稻の生長

調査区 No	栽植密度	除草時期			草高 (cm)				分けつ数 (株あたり)			
		6月	7月	8月	6月	7月	8月	9月	6月	7月	8月	9月
1	疎植区	—	—	—	30.6±0.5	57.4±0.9	92.3±0.4	95.5±1.8	11.5±3.9	31.3±3.5	24.4±1.6	25.6±4.1
2		—	○	○		58.3±0.0	96.3±1.4	103.0±1.4		31.3±1.8	29.3±1.1	28.8±2.8
3		—	○	○		52.8±1.4	92.5±0.4	99.6±0.9		29.9±0.9	26.0±1.1	24.8±0.4
4		○	—	—	31.3±0.4	59.0±3.5	98.6±1.6	104.3±0.4	11.9±2.7	36.8±2.1	30.5±1.1	32.0±2.5
5		○	○	—		55.1±2.7	97.0±3.2	102.4±2.3		34.5±0.0	30.5±0.4	29.5±0.7
6		—	○	—		56.8±1.8	94.8±2.1	100.8±0.0		29.3±2.5	26.0±0.7	27.6±3.0
7	密植区	—	—	—	32.9±0.8	58.5±0.7	99.8±3.9	99.3±1.3	10.7±1.2	21.6±1.1	15.6±1.5	14.7±0.5
8		—	○	○		55.2±0.9	97.3±0.7	97.4±0.4		19.1±0.1	15.8±0.8	13.5±0.0
9		—	○	○		57.0±4.2	93.8±1.3	96.8±2.1		17.6±3.2	16.3±3.7	15.1±4.6
10		○	—	—	31.9±1.8	56.7±3.3	96.8±3.8	97.2±3.8	11.4±0.4	22.9±2.0	17.6±0.8	20.1±0.4
11		○	○	—		55.6±1.8	91.9±4.6	95.9±5.3		20.7±1.9	15.8±2.4	19.2±0.2
12		—	○	—		58.6±3.9	99.9±1.5	100.6±2.9		23.8±2.2	19.3±1.3	21.5±4.0
要因の効果		栽植密度			ns	ns	ns	**	ns	***	***	***
		除草方法			ns	ns	ns	ns	ns	*	*	*
		交互作用			ns	ns	ns	*	ns	ns	*	ns
平均値間の最小有意差 (TukeyのHSD法, $p < 0.05$)					—	—	—	9.4	—	8.2	6.3	10.1
調査区 No	栽植密度	除草時期			葉 齢				収穫時の状況			
		6月	7月	8月	6月	7月	8月	9月	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数(株あたり)	有効分けつ率
1	疎植区	—	—	—	6.3±0.0	9.6±0.3	12.8±0.4	12.8±0.4	68.8±0.4	16.5±0.0	21.3±3.2	83.0±0.7
2		—	○	○		9.5±0.1	12.8±0.0	12.8±0.0	75.6±0.5	17.3±0.4	25.4±0.2	88.7±8.1
3		—	○	○		9.4±0.3	12.6±0.2	12.6±0.2	73.4±0.2	16.8±1.1	23.6±0.5	95.5±3.5
4		○	—	—	6.2±0.0	9.6±0.2	12.8±0.7	12.8±0.7	77.9±1.6	18.8±0.7	26.3±1.8	82.5±11.9
5		○	○	—		9.6±0.0	13.0±0.0	13.0±0.0	72.8±0.7	17.0±0.0	24.8±1.1	83.9±1.6
6		—	○	—		9.4±0.1	12.5±0.0	12.5±0.0	72.1±0.5	16.6±1.6	22.6±0.2	82.4±8.3
7	密植区	—	—	—	6.3±0.1	9.4±0.2	12.0±0.0	12.0±0.0	74.3±1.8	15.8±0.5	13.1±1.1	89.1±4.4
8		—	○	○		9.1±0.1	12.1±0.1	12.1±0.1	72.0±1.4	16.3±0.4	12.3±0.1	90.7±0.9
9		—	○	○		9.2±0.0	12.0±0.0	12.0±0.0	70.8±1.8	16.3±0.2	12.7±4.2	83.6±2.7
10		○	—	—	6.4±0.2	9.2±0.1	11.9±0.1	11.9±0.1	69.2±1.6	15.4±0.1	14.6±0.6	72.7±4.2
11		○	○	—		9.1±0.0	12.0±0.0	12.0±0.0	63.3±4.5	14.3±0.0	13.8±0.9	72.1±4.0
12		—	○	—		9.4±0.2	12.0±0.0	12.0±0.0	66.6±1.1	14.4±0.4	16.3±2.4	76.3±3.3
要因の効果		栽植密度			ns	***	***	***	***	***	***	*
		除草方法			ns	ns	ns	ns	**	*	ns	*
		交互作用			ns	ns	ns	ns	***	*	ns	ns
平均値間の最小有意差 (TukeyのHSD法, $p < 0.05$)					—	0.6	0.9	0.9	6.8	2.5	7.3	21.8

数値は、平均値±標準偏差 (n = 2) を示す。

*, **, ***は、要因の効果がそれぞれ $p < 0.05$, 0.01, 0.001で有意 (F検定) であることを示す。

表5 水稻の収量

調査区 No	栽植密度	除草時期			収量構成要素			有効歩合 (%)		収量 (kg/10a)	
		6月	7月	8月	m ² あたり穂数 (a)	1穂あたり籾数 (b)	1000籾重(g) (c)	登熟歩合 (d)	玄米重/籾重 (e)	籾収量 (a × b × c)	玄米収量 (a × b × c × e)
1	疎植区	—	—	—	236.1±35.4	66.5±2.6	26.0±0.5	96.0±1.4	79.6±0.1	408.8±69.7	325.5±56.0
2		—	○	○	281.9±2.0	80.0±0.4	26.3±0.0	95.0±0.0	80.9±0.2	593.7±6.8	480.6±6.4
3		—	○	○	262.5±5.9	73.7±1.5	25.0±0.9	91.5±0.7	79.9±0.3	483.9±38.9	386.6±32.7
4		○	—	—	291.7±19.6	84.0±0.0	26.0±0.5	96.5±2.1	80.9±0.3	637.2±54.5	515.2±42.0
5		○	○	—	275.0±11.8	80.6±2.5	26.2±0.7	94.5±0.7	80.9±0.6	580.7±58.8	469.5±44.0
6		—	○	—	251.4±2.0	71.9±3.2	24.3±0.5	88.0±9.9	80.1±0.6	439.5±14.5	352.0±9.1
7	密植区	—	—	—	290.7±23.6	72.8±5.4	25.2±0.2	91.0±2.8	79.8±0.4	530.9±8.7	423.9±5.0
8		—	○	○	272.2±2.6	65.5±6.3	25.5±1.2	95.5±3.5	81.6±1.1	455.2±60.5	371.9±54.6
9		—	○	○	281.5±94.3	70.4±1.5	24.8±0.2	92.5±0.7	80.7±0.8	492.7±170.4	398.5±141.5
10		○	—	—	324.1±13.1	65.3±7.5	25.5±0.7	92.0±0.0	81.7±2.3	539.3±55.1	439.8±32.5
11		○	○	—	307.4±21.0	58.6±6.7	26.2±0.7	93.0±1.4	81.0±0.5	469.8±34.7	380.8±30.4
12		—	○	—	363.0±52.4	67.7±4.7	25.7±1.4	93.5±2.1	81.3±1.3	630.4±100.1	513.2±89.4
要因の効果		栽植密度			*	***	ns	ns	ns	ns	ns
		除草方法			ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
		交互作用			ns	ns	ns	ns	ns	*	*
平均値間の最小有意差 (TukeyのHSD法, $p < 0.05$)					138.2	17.0	—	—	—	280.3	231.6

数値は、平均値±標準偏差 (n = 2) を示す。

*, **, ***は、要因の効果がそれぞれ $p < 0.05$, 0.01, 0.001で有意 (F検定) であることを示す。

なった調査区 (8, 9, 11区) もあり, 調査区の間
に有意差は認められなかった。このように, 水稻収
量については栽植密度によって除草方法の効果の現
れかたが異なる様子が伺えた。

除草の作業労力と雑草発生量, 水稻収量との関係
を表 6 に示した。作業労力と雑草発生量との相関は,
疎植区の主要雑草量についてのみ有意 (Spearman
の $\rho = -0.777$, 正確法, $p < 0.01$) であったものの,
それ以外では $\rho = -0.41 \sim +0.01$ と相関が低かった。
水稻の収量との相関についても, 疎植区, 密植区
とも有意ではなかった (それぞれ $\rho = -0.057$,
 -0.198 ; ns)。

水稻の収量予測として, 10a あたり収量を被説
明変数 (y), 除草を行なった 6 月, 7 月, 8 月期
のデータを説明変数 (それぞれ x_6, x_7, x_8) とする
重回帰分析を行なったところ, 表 7 のようになった。
まず, 雑草量 (V 値の対数値) を説明変数とすると,
重回帰は疎植区のみで有意となり (F 検定, $n = 12$,
 $R^2 = 0.891 \sim 0.898$),

全雑草量による式:

$$y = 1151.9 - 79.1x_6 - 61.9x_7 - 105.7x_8$$

主要雑草量による式:

$$y = 912.1 - 105.3x_6 - 43.7x_7 - 100.9x_8$$

となった。また, より単純化して除草の有無 (有の
とき $x_6, x_7, x_8 = 1$, 無しするとき 0) を説明変数と

表 6 除草の作業労力との相関 (Spearman の ρ ,
 $n = 12$)

栽植密度	項目	ρ	有意性
疎植区	全雑草量 (9 月)	-0.410	ns
	主要雑草量 (9 月)	-0.777	$p < 0.01$
	水稻収量	-0.057	ns
密植区	水稻収穫期の全雑草量	-0.283	ns
	水稻収穫期の主要雑草量	0.014	ns
	水稻収量	-0.198	ns

した数量化 I 類 (重回帰分析のノンパラメトリック
版) を行なうと, 疎植区のみで有意となり (F 検定,
 $n = 12$, $R^2 = 0.707$),

除草の有無による式:

$$y = 430.6 + 184.8x_6 - 12.9x_7 + 121.1x_8$$

が得られた。前者と異なり係数の符号が+になって
いるのは, 例えば 6 月除草の実施により $+184.8\text{kg}/$
 10a の増収を期待できることを意味する。説明変数
の選び方によらず, 係数の絶対値は均等ではなく x_6 ,
 $x_8 > x_7$ となっており, 収量に与える除草の効果が時
期によって異なることが判明した。

表 7 の結果をふまえ, 水稻収量にとって重要と思
われる 8 月期の主要雑草量を取り上げたところ, 収
量との関係は図 2 のようになった。疎植区では主
要雑草量を示す V 値の対数値が概ね 2 以上では V 値
の減少とともに収量が直線的に増加するものの,
V 値の対数値が 2 を下回ると, 収量の増加は漸減し
て頭打ちとなる様子が読み取れた。多項式による曲
線回帰を行うと, 上に凸の有意な 2 次曲線が得られ
た ($R^2 = 0.682$, $n = 12$, $p < 0.0006$)。一方, 密植
区では 8 月期の主要雑草量と収量との間に明確な
関係は認められなかった。

4. 考 察

4.1 雑草発生量

雑草発生量は, 除草方法だけでなく栽植密度の影
響を大きく受けることが判明した (表 3)。疎植区
では除草方法の違いが雑草量に反映されており, 除
草の作業労力と主要雑草量との順位相関も有意で
あった (表 6) ので, 疎植区のほうが除草管理とい
う視点では作業の効果を予測しやすい栽培条件であ
るといえる。一方, 密植区では, 8 区を除くと除草
効果が明確ではなかった。著者らの観察でも, 密植
区では株間が狭く, 水稻の生長とともに水田内の移
動が困難になり, 設定どおりの除草作業を行なうこ

表 7 雑草量および除草の有無による水稻収量についての重回帰式 ($n = 12$)

栽植密度	説明変数	決定係数 R^2	有意性 p	係数の推定値			
				定数項	6 月	7 月	8 月
疎植区	全雑草量 (V 値の対数値)	0.891	0.00034	1151.9	-79.1	-61.9	-105.7
	主要雑草量 (V 値の対数値)	0.898	0.00026	912.1	-105.3	-43.7	-100.9
	除草の有無 (有 = 1, 無 = 0)	0.707	0.016	430.6	184.8	-12.9	121.1
密植区	全雑草量 (V 値の対数値)	0.116	ns	-	-	-	-
	主要雑草量 (V 値の対数値)	0.096	ns	-	-	-	-
	除草の有無 (有 = 1, 無 = 0)	0.282	ns	-	-	-	-

除草の有無についての係数は, 数量化理論 I 類により求めた。

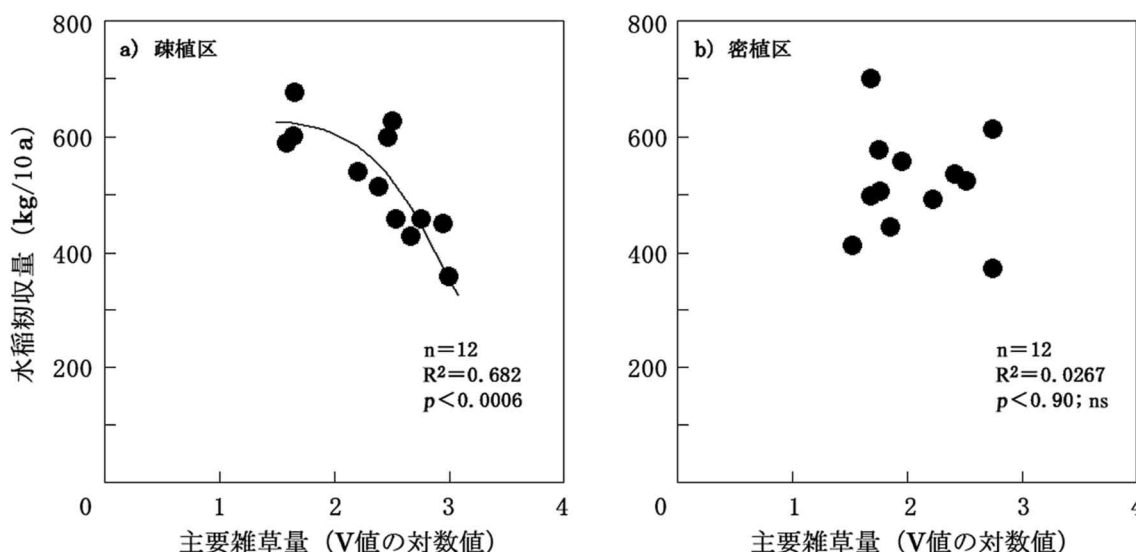


図2 水稻収量と8月期の主要雑草量との関係

とが重労働であり、密植区は除草管理という視点では効果を予測しにくい栽培条件であるといえる。その反面、雑草発生量は密植区の放任区で比較的少なかったが、これはおそらく水稻による被圧によるものと推測される。除草労力が限られるのであれば、水稻を密植するという手段も有効である可能性もある。ただし、本調査地は全国的に水田の強害雑草とされるヒエ類を欠くので、本結果が全国的に適合するかどうかは検討を要する。一般に、雑草による水稻の生育阻害は光と養分をめぐる競合によって生じるが、雑草の影響は発生量だけでなく種類（生育型）によって決まるとされる（荒井・川島 1956）。生育型でヒエ類に相当するのは、本調査地ではホタルイである。ホタルイ類は競合力が強く、主に種子によって繁殖するが、乾燥や埋設には弱いとされる（岩崎 1985）。また、コナギは水稻幼植物によって発芽を促進されるが、水稻が大苗になるとその効果はなくなるとされる（川口ら 1993）。したがって、冬季の耕起や、田植え時の苗サイズなども、本調査地における雑草発生量に影響する要因の1つとして検討する価値がある。また、本調査地において調査期間を通じて高い頻度で出現したマツバイについては、アレロパシー（多感作用）により他の草種を抑制する効果が知られており（一前ら 1997）、防除対象にするのではなく、生態的雑草防除手段として逆に利用できる可能性もある。

なお、本研究では、雑草発生量を除草処理後に間接的に計測（植生調査データからV値を算出）しており、正確なバイオマス量は把握できていない。雑草発生量、水稻の生長や収量への影響をより正確に把握するためには、バイオマス量の実測値とV値と

の関係を検証し、除草前の発生量も調査することが必要であろう。

4.2 水稻の生長と収量への雑草の影響

水稻の分けつ数、稈長や穂長などに対する影響は、栽植密度の影響が非常に大きく、除草方法の影響も有意であった（表4）。密植区では疎植区より稈長が小さく、稈が細くなって扁平になることが報告されており（王・星川 1989）、本報においても、稈長は疎植区のほうが密植区よりも大きかった。ただし、密植区では、おそらく雑草に対する水稻の競合能力が原因で、7区（放任区）で稈長が最大であったことから、密植区では雑草により倒伏の危険性が高まる可能性も示唆された。また、分けつ数は疎植区>密植区（表4）、収量構成要素のうち m^2 あたり穂数は疎植区<密植区、1穂あたり粒数は疎植区>密植区で、最終的な収量については栽植密度の影響は有意ではなかった（表5）。本報では、栽植密度によらず最終収量が一定となるという法則に適合していると思われるが、この法則は肥料などの栽培条件によって変化しうるということが報告されている（秋田 1982）。姨捨棚田地域における最適な栽植密度は、施肥や除草管理なども総合的に踏まえて決定する必要がある。

6月、7月、8月の除草管理を説明変数とした収量の予測では、係数の値、すなわち収量への影響が大きさの異なる重回帰式が得られ、係数の絶対値の大きさから、6月と8月の除草効果がより大きかった（表7）。直播水田では、全生育期間の中でも播種後30日前後の除草が重要であり（Johnson et al. 2004）、本調査の6月除草はこれに相当すると考えられる。一方、8月は水稻にとって出穂期で、多く

の雑草の開花結実期でもある。翌年以降の発生につながる雑草の結実は避けたほうがよく、土中種子数に基づいて数年後を見越すとタイヌビエでは96%以上の除草効果が必要であることが報告されている(渡邊ら 2004)。本調査地でも、田植え後の6月期1回だけでなく、8月期にも2回目の除草管理をすることがより効果的と考えられた。また、除草の有無(1, 0というダミー変数)だけでも決定係数 $R^2=0.7$ 以上の収量予測式が得られたことは、ある時期の除草が、結果としてどのくらいの増収につながるのかを推測できることを示しており、実用性が高い。作業労力が限られている条件であれば、最も効果の高い時期に投入すべきであり、本結果は中山間地の除草管理にとって有益な情報をもたらすものと期待される。

図2からは、8月期の主要雑草量がV値の対数値=2以下になれば、水稻収量はそれほど変わらないことが読み取れた。ヒエ類については、本数によらず、ある程度の草高を越えないと水稻収量に対する被害はほとんど生じないことが報告されている(荒瀬・草薙 1993)。本調査結果からも、雑草発生量がある程度のレベル以下に抑えれば、少なくとも当年の水稻収量への影響は僅少であることが推測された。

5. 摘 要

本報では、長野県千曲市姨捨棚田で棚田オーナー制度の実施されている水田において、異なる栽植密度と除草方法を設定して雑草の発生と水稻の生長および収量を調査した。得られた結果は以下のとおりである。

- 1) 確認された雑草は19種で、疎植区と密植区とで種組成に差異は認められなかった。全期間を通じて高い頻度で出現したのは、コナギ、ホタルイ、マツバイの3種であった。
- 2) 植生調査データに基づくV値による分析から、雑草発生量は除草方法だけでなく栽植密度の影響を大きく受けることが判明した。疎植区では除草の作業労力と主要雑草量との相関が有意であったが、密植区では除草効果が明確ではなく、作業効率も悪かった。
- 3) 水稻の分けつ数、稈長や穂長などに対する影響は、栽植密度の影響が非常に大きく、除草方法の影響も有意であった。籾収量は平均408~637kg/10a, 玄米収量は平均325~513kg/10aで、ともに栽植密度によって除草効果の現れかたが異なっ

いた。

- 4) 6月, 7月, 8月の雑草量を説明変数とした収量の予測では、係数の値の異なる重回帰式が得られ、6月と8月の除草効果がより大きかった。除草の有無だけでも決定係数 $R^2=0.7$ 以上の収量予測式が得られた。また、雑草発生量があるレベル以下に抑えれば、水稻収量への影響は僅少であることが推測された。

謝 辞

本調査研究の実施にあたり、棚田区画の借用をはじめ各種ご協力を頂いた千曲市および地元支援農家組織「名月会」の方々には厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 秋田謙司(1982) 作物の競合並びに補償に関する研究 第9報 水稻の諸形質に及ぼす栽植密度の影響. 神戸大学農学部研究報告, 15: 5-10
- 2) 荒井正雄・川島良一(1956) 水稻栽培における雑草害の生態学的研究 I・II, 日本作物学会紀事, 25: 115-119
- 3) 荒瀬輝夫・草薙得一(1993) 乾田直播栽培における雑草の発生生態と雑草害の発生様相. 雑草研究, 38(別号): 162-163
- 4) 一前宣正・青木美里・倉持仁志・近内誠登(1997) マツバイが水稻収量および水田雑草の初期生育に及ぼす影響, 雑草研究, 42: 144-146
- 5) 岩崎桂三(1985) ホタルイ類水田雑草の防除に関する生理生態学的研究, 雑草研究, 30: 93-106
- 6) Johnson, D.E., Wopereis, M.C.S., Mbodj, D., Diallo, S., Powers, S. and Haefele, S.M. (2004) Timing of weed management and yield losses due to weeds in irrigated rice in the Sahel. *Field Crop Research*, 85: 31-42
- 7) 笠原安夫(1968) 日本雑草図説. 養賢堂, 東京. 518pp.
- 8) Kawada, K., Vovk, A.G., Filatova, O.V., Araki, M., Nakamura, T. and Hayashi, I. (2005) Floristic composition and plant biomass production of steppe communities in the vicinity of Kharkiv, Ukraine. *Journal of Grassland Science*, 51: 205-213
- 9) 川口 俊・竹内安智・小笠原勝・米山弘一・近内誠登・前田忠信・竹松哲夫(1993) 水田雑草, コナギの種子発芽と成長に対するイネ幼植物の促進作用—イネの生育ステージの違いと効果—, 植物科学調節学会研究発表記録集, 28: 59-60
- 10) 王 善本・星川清親(1989) イネの倒伏に関する研究 第7報 栽植密度が節間の形態的形質, とくに節

- 間の太さと扁平率におよぼす影響, 日本作物学会紀
事, 58 (別号2) : 247-248
- 11) 渡邊寛明・内野 彰・橘 雅明 (2004) 積雪寒冷地
におけるタイヌビエの許容残草量と土中種子数推移
の予測に基づく要防除水準. 雑草研究, 49 (別
号) : 80-81
- 12) 横尾浩明 (1997) 中山間棚田地帯における水田及び
畦畔雑草防除の今後, 海と台地, 5 : 23-30

Effect of differences in planting density and weed control methods on rice yields in terraced paddy fields

Teruo ARASE* and Yoshiyuki UCHIKAWA**

*Education and Research Center of Alpine Field Science, Faculty of Agriculture,
Shinshu University

**Department of Forest Science, Faculty of Agriculture, Shinshu University

Summary

In order to obtain the basic information for conservation and weed control in a terraced paddy field, we examined the growth of weeds and rice (*Oryza sativa*) and estimated rice yields in Obasute in Chikuma, Nagano Prefecture, Japan. The experiment had a two-way layout with two replicates, and employed rice planting density (sparse and dense) and method of weed control (6 patterns) as factors. Rice cultivation and the investigation were conducted from May to September 2009. Nineteen weed species were identified, with two species considered dominant (*Monochoria vaginalis* and *Scirpus juncooides*). Analysis of the V-values, based on the vegetation data, showed that weeding effort was correlated with dominant weed quantities in sparsely planted plots. However, in densely-planted plots, weeding was difficult and the effect was not apparent. The average yield of unhulled rice was 408 to 637 kg/10 a, and the effect of weeding differed according to planting density. Using weed quantity in June, July and August as explanatory variables for predicting rice yields, the magnitude of the regression coefficients for each month differed from one another, i.e. weeding in June and in August were more effective for increasing rice yields. In addition, weed quantity under a certain level appeared to decrease rice yields only slightly.

Key words : terraced paddy field, Obasute, planting density, weed control, prediction of rice yield