

水稻の有機栽培開始初期における水生生物の発生状況

畑中満政 好岡江里子* 山中省子** 山中悟** 長尾文尊**

Status of some aquatic creatures on chemical-free rice farming in the initial stage

HATANAKA Mitsumasa, YOSHIOKA Eriko, YAMANAKA Syouko
YAMANAKA Satoru, NAGAO Fumitaka

要 旨

水稻の有機栽培開始初期における水生生物の発生状況を調査した結果、種類数では機械除草および冬期湛水水田、個体数では有機栽培水田が慣行栽培水田を上回った。また、機械除草および布マルチ栽培水田ではハエ類、冬期湛水栽培水田ではイトミミズ類が多く、これらを餌にするコウチュウ類も多く確認され、特に冬期湛水栽培水田で顕著であった。なお、機械除草および冬期湛水栽培水田ではホソミイトトンボやツブゲンゴロウなど慣行栽培水田では見られない水生生物が多く確認されるとともに、冬期湛水開始後2年目にはニホンアカガエルの産卵が確認されるなど、多様な生物の生息場所として機能していた。

キーワード: 水田, 有機栽培, 水生生物, コドラート, 水中ライトトラップ

1. 緒言

近年、安全・安心な農産物に対する消費者の関心が高まる中、農業生産分野においては有機農業や環境保全型農業など、環境への負荷を低減する取り組みが進められている。中でも有機農業は農業の自然循環機能の増進や生物多様性に及ぼす影響を低減させるための取り組みであるとされている(農林水産省, 2014)。また、有機栽培技術として冬期に水を張る冬期湛水栽培は、生物多様性の保全以外にイトミミズ類の発生による雑草抑制効果も指摘されている(栗原, 1983a)。このような中、国は生物多様性基本法に基づき、2012年に生物多様性国家戦略2012-2020を策定し、農林水産業の分野では、生物多様性の評価が可能な科学的根拠に基づく指標の開発や農林水産業が生物多様性に果たす役割を明らかにし、国民的・国際的な理解を深めることを推進することが明記されており(環境省, 2012)、今後、農業分野における生物多様性評価に関する研究の蓄積が重要となっている。しかしながら、有機栽培水田における水生生物の発生状況に関する研究事例は少なく(浜崎, 1999; 西条, 2002; 田中, 2004; 長, 2012)、定量的な調査手法についても、大澤ら(2004)による箱型採集器を用いた調査や長(2012)によるプラスチック製コンテナによる調査、

田中(2004)によるコドラート調査(50cm×20cmの枠を土中に挿し、その中を網ですくうというもの)以外に有効な報告事例が少ないのが現状である。筆者らは、2009年から農林水産研究所で実施した有機栽培技術確立試験の一環として、水稻の有機栽培水田における生物多様性評価試験を実施し、2011年には23年間無農薬栽培を実施していた水田における水生生物の発生状況や定量的な調査手法について報告した(畑中ら, 2010)。

本報では、2011年より新たに有機栽培を開始した水田において、筆者らが考案した透明アクリル板によるコドラート(山中ら, 2013)および市販の水中ライトトラップを用いて水生生物の発生状況を調査したので報告する。

2. 材料および方法

2.1 調査対象水田の状況

試験は農林水産研究所のA15~18号水田において2012年および2013年に実施した。またA17号水田では、冬期湛水開始前のイトミミズ類を把握するため、2011年にも調査を実施した。試験水田における2009年以降の栽培状況を表1に示した。本試験の開始前の2010年の作付状況は野菜作のA16号水田以外は水稻作である。またA15号水田は2010

* 農地整備課 ** 衛生環境研究所生物多様性センター

年, A16 および A17 号水田は 2011 年から有機栽培を開始した。2012 年からは, A15 号水田は有機栽培技術のうち機械除草栽培技術 (以下「機械除草区」), A16 号水田は布マルチ直播栽培技術 (以下「布マルチ区」), A17 号水田は冬期湛水栽培技術 (以下「冬期湛水区」) を導入して水稻栽培を行った。また A18 号水田では化学肥料および化学合成農薬を使用した慣行技術 (以下「慣行区」) による水稻栽培を行った。栽培品種はヒノヒカリで肥培管理等の栽培履歴を図 1 に示した。

表 1 試験水田における栽培状況

試験水田	面積	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年
A15 号	15a	○	◎(機械除草)◎(布マルチ)◎(機械除草)◎(機械除草)			
A16 号	16a	□(ネギ他)	□(ネギ他)	◎(冬期湛水)◎(布マルチ)◎(布マルチ)		
A17 号	19a	○	○	◎(機械除草)◎(冬期湛水)◎(冬期湛水)		
A18 号	19a	○	○	○	○	○

※ ◎ : 有機栽培 (機械除草 ; 機械除草栽培技術、布マルチ ; 布マルチ栽培技術、冬期湛水 ; 冬期湛水栽培技術), ○ : 水稻慣行栽培, □ : 野菜栽培。

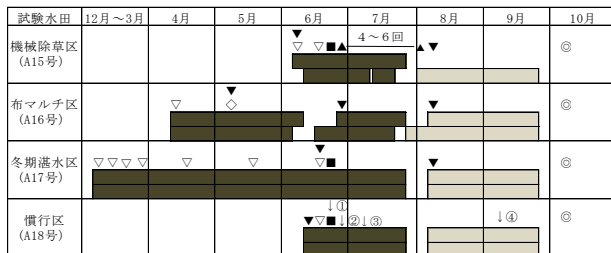


図 1 試験水田における水稻の栽培履歴

※1 ■ は湛水, □ は間断湛水で上段は2012年, 下段は2013年の水管理を示す。また2011年のA17号は機械除草区 (A15号) に準じた。
 ※2 ■ : 田植え, ◇ : 布マルチ敷設 (は種), ▼ : 代かき, ▲ : 施肥, ▲ : 機械除草, ↓① : 箱施薬, ↓② : 除草剤 (2013年はメタアルデヒド粒剤も散布), ↓③ : メタアルデヒド粒剤散布 (2012年のみ), ↓④ : 本田防除 (2013年はジノアフラン水和剤を8/26, 9/12に追加散布), ◎ : 収穫

2.2 生物調査方法

調査はコドラート調査と水中ライトトラップ調査を実施した。コドラート調査は縦 20cm, 横 50cm, 高さ 25cm の透明アクリル製枠 (5mm 厚) を用い、畦畔から 2~3 列目の条間内に各 4 か所、コドラートを土壌中に 5cm (冬期湛水区におけるイトミミズ類の調査は 10cm) の深さに埋め込んだ。その後枠内の全ての田面水をポリエチレンスコップですくい取り、1.0mm メッシュの D 型フレームネットですくい取り、水中内に生息している水生生物を採集した。また貝類などの土壌表層付近に生息しているベントス類やコドラート内に残った水生生物を採集するため、枠内の 2cm までの深さの土壌をポリエチレンスコップですくい取った。また冬期湛水

区では土壌中に生息しているイトミミズ類を採集するため、さらに 3cm (合計 5cm) の深さの土壌をすくい取った。なお 8 月および 9 月の調査では、中干しによって土壌が硬化したため、ポリエチレンスコップによる採集が困難となったことから、園芸用の立鎌 (刃幅 105mm) で枠内の土壌をかき取った後ポリエチレンスコップですくい取り、上法により水生生物を採集した。採集した水生生物は縦 20cm, 横 30cm, 高さ 5cm の白色バットに小分けして移し、肉眼で同じ種もしくは種群ごとの個体数をカウントした。同定の困難なものは 80%エタノールで固定後実体顕微鏡下で観察し同定した。

水中ライトトラップ調査は、カエル類の幼生 (オタマジャクシ) や中型以上のゲンゴロウ成虫など動きの速い水生生物の採集が可能であるが、ベントス類の採集が困難で、種類別の個体数もコドラート調査と異なる結果が得られている (畑中ら, 2010)。また昆虫のグループによって捕獲効率に違いがあることも指摘されている (三田村ら, 2012) ことから、種数の確認などコドラート調査の補完的な調査として実施した。使用した水中ライトトラップは(株)池田理化のトラップ (SA-01/02) を用い、コドラート調査の実施日または 1~5 日後の 16 時以降に畦畔から 2~3 列目の条間内に各区 4 か所、開口部を水田内に向けて設置し、翌朝 8 時まで回収した後、1.0mm メッシュの D 型フレームネットですくい取り、水中内に生息している水生生物を採集した。採集した水生生物は上法により種もしくは種群の同定を行った。

調査日は田植え後の 6 月 (布マルチ区は 5 月) から 9 月までの間、月 1 回の頻度で水田内が湛水状態時に 4 回実施した。さらに冬期湛水区では田植え前のイトミミズ類を把握するため、2012 年および 2013 年の 1 月~5 月までの間にもコドラート調査を 4 回実施した。

2.3 統計解析方法

コドラート調査 (冬期湛水区におけるイトミミズ類の調査を除く) について、一元配置分析によって各試験区の個体数の差の検定を行い、有意差が認められた項目については Tukey-Kramer の多重比較検定を実施した。有意水準は 0.05 に設定した。

また、各試験区における水生生物の多様性を評価するため、Shannon-Wiener の多様度指数 (H') を次式により求めた。

$$H' = -\sum_{i=1}^s \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N}$$

S:種の数, n_i : i 番目の個体数, N :全個体数

この指数は、生物多様性を定量的に評価するもので、種数が多く、かつ個体数が均一なほど高い値を示すが、個体数が特定の種に偏ると多様度指数は低くなる。

3. 結果

3.1 コドラート調査

採集された水生生物の種数および個体数を表 2 に示した。

種数は 2012 年は機械除草区が 26 種と最も多く、次いで冬期湛水区 (25 種)、布マルチ区 (24 種)、慣行区 (23 種) であった。2013 年も同様の傾向であり、機械除草区が 29 種と最も多く、次いで冬期湛水区 (22 種)、布マルチ区および慣行区 (21 種) の順であった。

多様度指数 (H') は、2012 年は慣行区 > 機械除草区 > 布マルチ区 > 冬期湛水区、2013 年は布マルチ区 > 慣行区 > 機械除草区 > 冬期湛水区の順となり、両年とも冬期湛水区が最も低かった。また、土壌採集部分を除く田面水のみが多様度指数は、2012

年は慣行区が最も高く次いで冬期湛水区、機械除草区、布マルチ区の順であった。一方 2013 年は布マルチ区が最も高く、機械除草区、冬期湛水区および慣行区はほぼ同じ値を示した。

個体数は機械除草区、布マルチ区および冬期湛水区 (以下「有機栽培区」) が慣行区に比べて多く、特に冬期湛水区では両年とも他の区との間で有意差が認められた。また各区の優占種は、冬期湛水区ではイトミミズ類、その他の区はハエ類であった。

種類別の個体数を見ると、スクミリンゴガイ (*Pomacea canaliculata*) は 2012 年は慣行区が有機栽培区に比べて有意に多く、2013 年は布マルチ区が他の区に比べて有意に多かった。またヒメマルマメタニシ (*Gabbia kiusiuensis*) は両年とも慣行区が有機栽培区に比べて有意に多く、ニナ類は 2012 年は慣行区、2013 年は布マルチ区が他の区に比べて有意に多かった。サカマキガイ (*Physa acuta*) およびヒメモノアラガイ (*Austropeplea ollula*) は両年とも機械除草区が他の区に比べて有意に多かった。またヒラマキガイ科 (*Planorbidae*) は 2013 年の慣行区が有機栽培区に比べて有意に多く、モノアラガイ類は両年とも機械除草区が他の区に比べて有意に多かった。なお貝類全体をみると 2013 年の機械除草区および布マルチ区が慣行区に比べて有意に多かった。イトミミズ科 (*Tubificidae*) は両年とも冬期湛水区が他の区に比べて有意に多く、イ

表 2 コドラート調査における水生生物の種数及び個体数

(個体数/0.1 m²)

網目	科	種	学名	ステージ	2012 年				2013 年			
					機械除草区	布マルチ区	冬期湛水区	慣行区	機械除草区	布マルチ区	冬期湛水区	慣行区
両生無尾	アマガエル	ニホンアマガエル	<i>Hyla japonica</i>	幼生	0	0	0.75	0	0	0	0.25	0
		無尾目の一種	Anura	幼生	0	0.50	0.75	0.25	0	0	0.25	0
小計					0 b	0.50ab	1.50 a	0.25ab	0	0	0.50	0
ウスムシウスムシ		ウスムシ目の一種	Tricladida		0	0	0	4.50	0	0	0	0.50
		線形動物門の一種	Nematoda		0	1.00	2.75	0	0.50	0.25	13.75	0
マキガイイナ	リンコガイ	スクミリンゴガイ	<i>Pomacea canaliculata</i>		0.50 c	16.75bc	35.50 b	55.50 a	5.50 b	118.00 a	12.25 b	12.00 b
		エゾマメタニシ	<i>Gabbia kiusiuensis</i>		0 b	0.25 b	0 b	29.75 a	0 b	0 b	0.50 b	8.00 a
計					0.50 c	17.00bc	35.50 b	85.25 a	5.50 b	118.00 a	12.75 b	20.00 b
モノアラガイ	サカマキガイ	サカマキガイ	<i>Physa acuta</i>		87.00 a	0.50 b	0 b	0 b	128.25 a	0.25 b	0.25 b	0.25 b
		ヒメモノアラガイ	<i>Austropeplea ollula</i>		8.25 a	0.25 b	0 b	0.25 b	20.75 a	0 b	0 b	0 b
ヒラマキガイ		ヒラマキスマイマイ	<i>Gyraulus chinensis</i>		1.00 b	0 b	4.25ab	8.50 a	0	0	0.25	0
		ヒラマキガイ科の一種	Planorbidae		1.00	0	6.25	5.25	0.25 b	0 b	1.25 b	6.25 a
計					97.25 a	0.75 b	10.50 b	14.00 b	149.25 a	0.25 b	1.75 b	6.50 b
小計					97.75	17.75	46.00	99.25	154.75 a	118.25 a	14.50 b	26.50 b
箕毛ナカミズ	イトミミズ	イトミミズ科の一種	Tubificidae		1.25 b	910.75 b	7184.75 a	4.25 b	88.00 b	41.25 b	4262.75 a	0.50 b
		ヒル型ヒル	Erpobdellidae		5.75 b	19.50 a	10.00ab	2.50 b	1.50 b	15.50 a	16.25 a	0.25 b
小計					5.75 b	19.50 a	10.00ab	2.75 b	1.50 b	15.50 a	16.25 a	0.25 b
甲殻	ホリネエビ	ホリネエビ	<i>Branchinella kugenumaensis</i>		0.25	0.25	0	13.75	0.25	0.25	0	0
		カブトエビ	<i>Triops longicaudatus</i>		0	0	0	0	0.25	0	0	0
カイエビ	カブトエビ	アメリカカブトエビ	Conchostraca		3.50	72.75	0.25	54.25	5.00	1.00	0	63.50
		ワラシムシ	Asellidae		0	0	1.25	0	0.50	0	0	0
小計					3.75	73.00	1.50	68.00	6.00	1.25	0	63.50

水稻の有機栽培開始初期における水生生物の発生状況

表2 コドラート調査における水生生物の種数及び個体数 つづき

(個体数/0.1 m²)

網目科種	学名	ステージ	2012年				2013年				
			機械除草区	布マルチ区	冬期湛水区	慣行区	機械除草区	布マルチ区	冬期湛水区	慣行区	
昆虫カゲロウ科カゲロウ	カゲロウ科の一種	Baetidae	幼虫	2.75ab	0 b	14.00 a	1.25ab	2.00	1.50	3.75	0
	カゲロウ目の一種	Ephemeroptera	幼虫	1.25 b	1.00 b	8.75 a	1.00 b	1.00	3.50	11.00	0.75
計				4.00 b	1.00 b	22.75 a	2.25 b	3.00	5.00	14.75	0.75
トンボイトトンボ	アモンイトトンボ	<i>Ischnura senegalensis</i>	幼虫	0	0	0	0	0	0	0.25	0
	イトトンボ科の一種	Agrionidae	幼虫	0	0	0.25	0	3.00	0.25	0.75	0.25
	イトトンボ亜目の一種	Zygoptera	幼虫	0.25	0	0	0	0	0	0	0
ヤンマ	キンヤンマ属の一種	<i>Anax</i> sp.	幼虫	0	0	0	0	0.25	0	0	0
	ヤンマ科の一種	Aeshnidae	幼虫	0	0	0	0	0.25	0	0	0
トンボ	シオウトンボ属の一種	<i>Orthetrum</i> sp.	幼虫	0	0	0	0	0.25	0.50	0	0
	ウスハキトンボ	<i>Pantala flavescens</i>	幼虫	0	0	0	0	0.25	0.25	0	0.50
	トンボ科の一種	Libellulidae	幼虫	0	0	0	0.25	0.75	0.75	0	1.25
	トンボ目の一種	Odonata	幼虫	0.25	0	0	0	0	0	0	0
計				0.50	0	0.25	0.25	4.75	1.75	1.00	2.00
カメムシカタブアメンボ	カタブアメンボ科の一種	Veliidae	成虫	1.00	12.25	1.00	2.25	2.75 b	2.75 b	8.50 a	0.25 b
			幼虫	0.50	1.00	0.25	1.00	2.25	0.50	1.25	2.50
アメンボ	アメンボ科の一種	Gerridae	幼虫	0.50	0	0	0	0	0	0.50	0
マツモムシ	マツモムシ	<i>Anisops ogasawarensis</i>	成虫	0 b	0 b	3.25 a	0 b	0	0	0	0
	マツモムシ科の一種	Notonectidae	幼虫	0	0	0.25	0	0.25	0	0	0
コイムシ	コイムシ	<i>Appasus japonicus</i>	成虫	0	0	0.25	0	0	0	0.50	0
ミスムシ	ミスムシ科の一種	Corixidae	成虫	0	0	0	0	0.25	0	0.25	0
計				2.00	13.25	5.00	3.25	5.50	3.25	11.00	2.75
トビケラ	トビケラ目の一種	Trichoptera	幼虫	0.25	0	0	0	0	0	0	0
コウチュウゲンゴロウ	ツブゲンゴロウ	<i>Laccophilus difficilis</i>	成虫	0.25	0	0	0	0	0	0	0
	チビゲンゴロウ	<i>Hydroglyphus japonicus</i>	成虫	2.00ab	6.75 a	4.75ab	1.25 b	2.50ab	4.25ab	6.50 a	0.50 b
			幼虫	4.50ab	8.25ab	31.25 a	0 b	1.25 b	3.50 b	23.50 a	0.25 b
	ハイロゲンゴロウ	<i>Eretes sticticus</i>	成虫	0	0	0	0	0.25	0	0	0
			幼虫	0.50	0.75	0.25	0	0.25	0	0	0
	ゲンゴロウ科の一種	Dytiscidae	幼虫	0	0	0	0	0.25	0	0	0
カムシ	トゲハゴマフカムシ	<i>Berosus lewisius</i>	成虫	0	0	0	0.25	0	0	0	0.25
	ゴマフカムシ属の一種	<i>Berosus</i> spp.	幼虫	3.25ab	2.75 b	12.75 a	0 b	3.25	0.25	4.50	3.75
	ヒラカムシ属の一種	<i>Enochrus</i> spp.	成虫	0.75	1.00	0.75	0.75	1.25ab	2.00 a	0.75ab	0 b
			幼虫	1.25	2.25	3.75	0	0	0.50	5.75	0.25
	コカムシ	<i>Hydrochara affinis</i>	幼虫	0.25	0.50	0	0	0	0	0	0
	ヒカムシ	<i>Sternolophus rufipes</i>	成虫	0	0.25	0	0	0	1.00	0	0
			幼虫	0.50	0	1.50	0.25	0	0	0	0
	ヒカムシ属の一種	<i>Sternolophus</i> sp.	幼虫	0 b	1.00 a	0 b	0 b	0	0	0	0
	カムシ科の一種	Hydrophilidae	幼虫	0	0.25	0.50	1.00	2.75	1.25	3.00	0.25
	コウチュウ目の一種	Coleoptera	幼虫	0	0	0	0	0	0	0.25	0
計				13.25 b	26.00 b	55.50 a	3.50 b	11.75 b	12.75 b	44.25 a	5.25 b
ハエカ	カ科の一種	Culicidae	幼虫	55.00	38.50	12.00	4.25	3.25 b	91.75 a	4.75 b	0.50 b
			蛹	0	0	0	0	0.50ab	2.50 a	1.50ab	0 b
ヌカカ	ヌカカ科の一種	Ceratopogonidae	幼虫	0.75	0.25	1.25	0	0.50	0	0.50	0
ユスリカ	モンユスリカ亜科の一種	Tanypodinae	幼虫	60.00 b	3.50 b	210.50 a	11.25 b	3.25 b	1.00 b	126.00 a	2.75 b
	エリュスリカ亜科の一種	Orthoclaadiinae	幼虫	23.75 a	3.25 b	0.50 b	0.50 b	1.00	4.00	2.50	0.75
	ユスリカ亜科の一種	Chironominae	幼虫	760.50 b	1767.50 a	558.50bc	125.50 c	613.00	514.75	565.00	250.00
	ユスリカ科の一種	Chironomidae	幼虫	37.00ab	56.75 a	28.00 b	11.00 b	657.25 a	308.75ab	247.50ab	183.50 b
ミスアブ	ミスアブ科の一種	Stratiomyidae	幼虫	0.50	0.25	0.75	0.25	0.50	0.25	0	0.50
ハナアブ	ハナアブ科の一種	Syrphidae	幼虫	0	0	0.25	0	0	0	0	0
アブ	アブ科の一種	Tabanidae	幼虫	0	0	0	0	0	0	0	0.25
	ハエ目の一種	Diptera	幼虫	7.00	4.75	2.25	3.50	6.50ab	17.75 a	4.75 b	1.75 b
			蛹	53.50 a	85.50 a	43.00ab	1.25 b	29.75ab	62.00 a	31.50ab	7.25 b
計				998.00 b	1960.25 a	857.00 b	157.50 c	1318.00	1002.75	984.00	447.25
小計				1080.00 b	2000.50 a	940.50 b	166.75 c	1343.00	1024.25	1055.00	458.00
	個体数計			1126.50 b	3023.00 b	8187.00 a	345.75 b	1593.75 b	1202.00 b	5362.75 a	549.25 b
	種数計			26	24	25	23	29	21	22	21
	多様度指数 (H')			1.422	1.277	0.803	2.585	1.431	1.866	0.912	1.538
				(1.848)	(1.589)	(2.207)	(2.878)	(2.001)	(2.306)	(1.999)	(2.053)

※1 個体数は、5~9月の4回調査の合計を示す。

※2 種数および多様度指数は、種名が「・・・の一種」で他の種と重複する可能性がある場合はカウントから除外した。

※3 多様度指数の括弧内は、土壌採集分を除く田面水のみ水生生物の指数を示す。

※4 表中の各年において異なるアルファベット間には有意差があることを示す (Tukey-Kramer, p<0.05)。

シビル科(Erpobdellidae)は2012年は布マルチ区、
2013年は布マルチ区および冬期湛水区が慣行区に

比べて有意に多かった。カゲロウ類幼虫およびコマ
ツモムシ (*Anisops ogasawarensis*) 成虫は2012年の

冬期湛水区が他の区に比べて有意に多かった。チビゲンゴロウ (*Hydroglyphus japonicus*) 成虫は、2012 年は布マルチ区、2013 年は冬期湛水区が慣行区に比べて有意に多かった。チビゲンゴロウ幼虫は、両年とも冬期湛水区が慣行区に比べて有意に多かった。ゴマフガムシ属 (*Berosus*) 幼虫は2012 年の冬期湛水区が、ヒラタガムシ属 (*Enochrus*) 成虫は2013 年の布マルチ区が慣行区に比べて有意に多かった。コウチュウ類は両年とも有機栽培区が多く、特に冬期湛水区はその他の区に比べて有意に多かった。カ科 (*Culicidae*) は、幼虫、蛹とも2013 年の布マルチ区が慣行区に比べて有意に多かった。モンユスリカ亜科 (*Tanypodinae*) 幼虫は両年とも冬期湛水区が、エリユスリカ亜科 (*Orthoclaadiinae*) 幼虫は2012 年の機械除草区が、ユスリカ亜科 (*Chironominae*) 幼虫は2012 年の機械除草区および布マルチ区が慣行区に比べて有意に多かった。ハエ類および昆虫類全体は両年とも有機栽培区が慣行区よりも多く、2012 年は慣行区との間に有意差が認められた。

またアオモンイトトンボ (*Ischnura senegalensis*) 幼虫やツブゲンゴロウ (*Laccophilus difficilis*) 成虫など17 種が有機栽培区のみで確認され、トゲバゴマフガムシ (*B. lewisius*) 成虫など4 種が慣行区のみで確認された。

3.2 冬期湛水区におけるイトミミズ類の調査

湛水開始時期は2012 年は前年の12 月25 日、2013 年は前年の12 月20 日であった。

イトミミズ類の個体数の推移を図2 に示した。冬期湛水前の2011 年(有機栽培1 年目で機械除草栽培)は調査開始の6 月時点ではほとんど見られず、8 月のピーク時でも130 個体/0.1 m²程度であった。2012 年(有機栽培2 年目で冬期湛水栽培)は2 月に100 個体/0.1 m²を超えた後4 月まで大きな変化が見られなかったが、5 月から徐々に増加し、7 月には3000 個体/0.1 m²を超えるまでに急増、ピーク時の9 月には4800 個体/0.1 m²にまで増加した。また2013 年(有機栽培3 年目で冬期湛水栽培2 年目)は2 月時点で既に700 個体/0.1 m²が見られ、4 月には2500 個体/0.1 m²にまで増加した後増減を繰り返す、ピーク時の7 月には3000 個体/0.1 m²を超えていた。

なお、2013 年2 月の調査時にはニホンアカガエル (*Rana japonica*) の卵塊(写真1)が見られた。

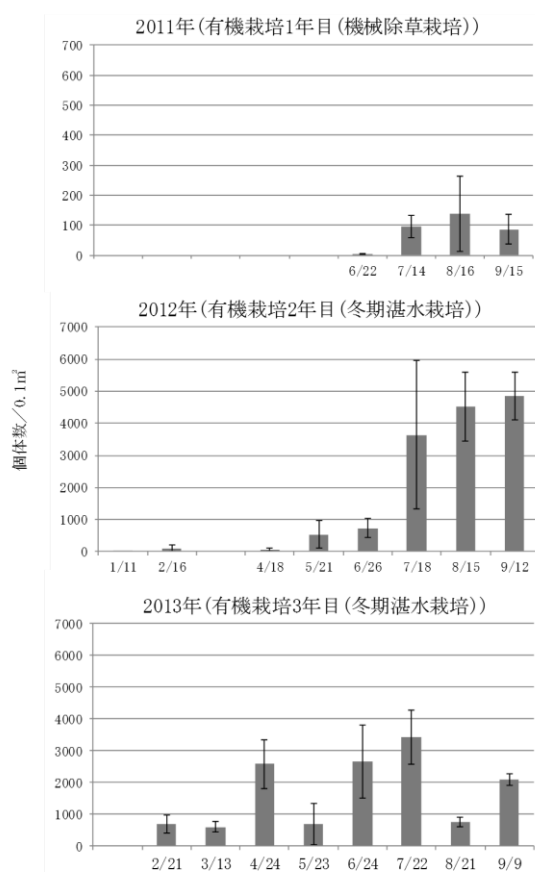


図2 冬期湛水区におけるイトミミズ類の個体数の推移
縦線は標準誤差を示す (n=4)



写真1 冬期湛水区におけるニホンアカガエルの卵塊 (2013年2月)

3.3 水中ライトトラップ調査

採集された水生生物を表3 に示した。2012 年は冬期湛水区が30 種と最も多く、次いで機械除草区28 種、慣行区23 種、布マルチ区20 種の順であった。2013 年は機械除草区が29 種で最も多く、次いで冬期湛水区(25 種)、布マルチ区および慣行区(23 種)の順であった。ホソミイトトンボ (*Aciagrion*

migratum) 幼虫やマルミズムシ (*Paraplea japonica*) 成虫など 18 種が有機栽培区のみで確認され、コオイムシ (*Appasus japonicus*) 成虫が慣行区のみで確認された。

コドラート調査と合わせた確認種数では、2012 年は冬期湛水区が 34 種で最も多く、次いで機械除草区 (32 種)、慣行区 (28 種)、布マルチ区 (27 種)、2013 年は機械除草区が 38 種で最も多く、その他の区はいずれも 29 種であった。有機栽培区のみで確認された種は 18 種で、特に機械除草区 (11 種) および冬期湛水区 (10 種) が多かった (表 4)。

4. 考察

コドラート調査における確認種数は、両年とも機械除草区および冬期湛水区が慣行区よりも多く、水中ライトトラップ調査と合わせた確認種数は、機械除草区が両年とも多かった。2009 年に筆者らが実施した冬期湛水栽培を除く試験 (畑中ら, 2010) における確認種数は、布マルチ区 (前年は水稲の有機栽培) > 機械除草区 (同水稲の慣行栽培) > 慣行区 (前者に同じ) で、布マルチ区が最も多かった。今回の試験では布マルチ区の確認種数は慣行区とほぼ同等の結果となった。これは、前年の作付状況について他の区が水稲栽培であったのに対し、布マルチ区では野菜栽培であったため、水田で生育・越冬する貝類や水田土壤中に卵で越冬するトンボ類などがいなかったことが水生生物の種数に影響した

のではないかと思われたが、年次変動の可能性も考えられることから、引き続き検討する必要がある。

表 4 有機栽培区または慣行区のみで確認された水生生物の種類

種名	ステージ	機械除草区	布マルチ区	冬期湛水区	慣行区
線形動物門の一種		●	◎	◎	
カワニナ				○	
カブトエビ科の一種		◎			
ワラジムシ目		●		○	
ミズムシ科の一種				○	
アオモンイトトンボ	幼虫			●	
ホソミイトトンボ	幼虫			○	
ヤンマ科の一種	幼虫	●			
シオカラトンボ属の一種	幼虫	●	●		
マルミズムシ	成虫	●	●		
カメムシ目		●		●	
ミズムシ科の一種	成虫	●		●	
トビケラ目の一種	幼虫	○		○	
コシマゲンゴロウ	成虫		●		
ツブゲンゴロウ	成虫	○			
コガシラミズムシ	成虫			●	
セマルガムシ	成虫		●		
ヌカカ科の一種	幼虫	◎	○	◎	
ハナアブ科の一種	幼虫			○	
アブ科の一種	幼虫				●
チョウバエ科の一種	幼虫	●			
計		11 (32) (38)	6 (27) (29)	10 (34) (29)	1 (28) (29)

※1 ○は 2012 年, ●は 2013 年, ◎は両年にコドラートまたは水中ライトトラップ調査で確認された種を示す。

※2 計の括弧内はコドラートまたは水中ライトトラップ調査で確認された種数を示す (上段: 2012 年, 下段: 2013 年)。

表 3 水中ライトトラップ調査において確認された水生生物

綱	目	科	種	学名	ステージ	2012 年				2013 年			
						機械除草区	布マルチ区	冬期湛水区	慣行区	機械除草区	布マルチ区	冬期湛水区	慣行区
両生	無尾	アマガエル	ヌマガエル	<i>Fejervarya limnocharis</i>	成体					○	○	○	○
			アマガエル	ニホンアマガエル	<i>Hyla japonica</i>	幼生			○				○
			無尾目の一種	<i>Anura</i>	幼生	○	○	○	○	○	○	○	○
ウスムシ	ウスムシ	ウスムシ目の一種	<i>Tricladida</i>			○	○	○	○	○	○	○	
			線形動物門の一種	<i>Nematoda</i>							○		
マキカイ	ニナ	カリニナ	カリニナ	<i>Semisulcospira libertina</i>				○					
			リンコガイ	スクミリンコガイ	<i>Pomacea canaliculata</i>		○	○	○	○	○	○	○
		エゾマメタニシ	ヒメマルマメタニシ	<i>Gabbia kiusiuensis</i>				○	○			○	
		モノアラガイ	サカマキガイ	サカマキガイ	<i>Physa acuta</i>		○	○		○	○	○	
			モノアラガイ	ヒメモノアラガイ	<i>Austropeplea ollula</i>		○			○	○		
ヒラマキガイ	ヒラマキガイ	ヒラマキガイ	<i>Gyraulus chinensis</i>		○	○	○	○					
	ヒラマキガイ	ヒラマキガイ科の一種	<i>Planorbidae</i>		○	○	○	○			○	○	
貧毛	ナガミズ	トミズ	トミズ科の一種	<i>Tubificidae</i>		○	○	○	○	○	○	○	
			ヒル型	ヒル	イシヒル科の一種	<i>Erpobdellidae</i>		○	○	○	○	○	○
ヒル	ヒルト	ヒルト	ウマヒル	<i>Whitmania pigra</i>		○	○	○					
			ヒル目の一種	<i>Arhynchobdellida</i>							○		
			甲殻	ホウネエビ	ホウネエビ	ホウネエビ	<i>Branchinella kugenumaensis</i>		○	○	○	○	○
カイエビ	ワラシムシ	ミスムシ	カブトエビ科の一種	<i>Triopsidae</i>		○			○				
			カイエビ目の一種	<i>Conchostraca</i>		○	○	○	○	○	○	○	
			ミスムシ科の一種	<i>Assellidae</i>				○					

表3 水中ライトトラップ調査において確認された水生生物 つづき

網目	科	種	学名	ステージ	2012年				2013年			
					機械除草区	布マ ルチ区	冬期 湛水区	慣行 区	機械 除草区	布マ ルチ区	冬期 湛水区	慣行 区
昆虫	カゲロウ	カゲロウ科の一種	Baetidae	幼虫	○	○	○	○			○	○
		カゲロウ目の一種	Ephemeroptera	幼虫	○	○	○	○	○	○	○	○
	トンボ	ホミイトンボ	<i>Aciagrion migratum</i>	幼虫			○					
		イトトンボ科の一種	Agrionidae	幼虫	○				○			
		ウスハネトンボ	<i>Pantala flavescens</i>	幼虫					○	○		○
		トンボ科の一種	Libellulidae	幼虫	○	○			○			○
	カメムシ	カサハシアメンボ	カサハシアメンボ科の一種	Veliidae	成虫	○	○	○	○	○	○	○
			幼虫	○	○	○	○	○	○	○	○	
		アメンボ	ヒアメンボ	<i>Gerris latiabdominis</i>	成虫			○		○		○
			アメンボ科の一種	Gerridae	幼虫				○			○
		マツモムシ	コマツモムシ	<i>Anisops ogasawarensis</i>	成虫	○		○	○			○
			マツモムシ科の一種	Notonectidae	幼虫							○
		コオイムシ	コオイムシ	<i>Appasus japonicus</i>	成虫				○			
		タイコウチ	ミスアカキリ	<i>Ranatra chinensis</i>	成虫							○
					幼虫							○
マルミスムシ		マルミスムシ	<i>Paraplea japonica</i>	成虫					○	○		
	ミスムシ科の一種	Corixidae	成虫								○	
トビケラ	カメムシ目	カメムシ目の一種	Hemiptera	幼虫							○	
		トビケラ目の一種	Trichoptera	幼虫			○					
	コリチュウ	ケンゴロウ	<i>Hydroglyphus japonicus</i>	成虫	○	○	○	○	○	○	○	○
				幼虫	○	○	○					○
		ハイロケンゴロウ	<i>Eretes sticticus</i>	成虫			○	○	○	○	○	○
				幼虫	○	○	○	○	○	○	○	○
		コシマケンゴロウ	<i>Hydaticus grammicus</i>	成虫						○		
		ケンゴロウ科の一種	Dytiscidae	幼虫					○			○
		コカシラミスムシ	<i>Peltodytes intermedius</i>	成虫								○
		カムシ	トケハゴマフカムシ	<i>Berosus lewisius</i>	成虫	○	○	○	○	○	○	○
			コマフカムシ属の一種	<i>Berosus</i> spp.	幼虫			○		○		○
			ヒラカムシ属の一種	<i>Enochrus</i> spp.	成虫	○	○	○	○	○	○	○
					幼虫		○	○				○
			コカムシ	<i>Hydrochara affinis</i>	成虫			○		○	○	○
					幼虫	○		○	○			
	ヒメカムシ	<i>Sternolophus rufipes</i>	成虫	○	○	○	○	○	○	○		
			幼虫	○	○	○	○			○		
	ヒメカムシ属の一種	<i>Sternolophus</i> sp.	幼虫		○							
	セマルカムシ	<i>Coelostoma stultum</i>	成虫					○				
	カムシ科の一種	Hydrophilidae	幼虫		○			○	○	○		
ハエ	カ	カ科の一種	Culicidae	幼虫	○	○	○	○	○	○	○	
		蛹							○	○	○	
	ヌカカ	ヌカカ科の一種	Ceratopogonidae	幼虫	○		○				○	
	ユスリカ	モンユスリカ亜科の一種	Tanypodinae	幼虫	○		○				○	
		エリユスリカ亜科の一種	Orthoclaadiinae	幼虫	○	○	○					
		ユスリカ亜科の一種	Chironominae	幼虫	○	○	○	○	○		○	
		ユスリカ科の一種	Chironomidae	幼虫	○	○	○	○	○	○	○	
	ミスアブ	ミスアブ科の一種	Stratiomyidae	幼虫	○	○		○			○	
	チョウハエ	チョウハエ科の一種	Psychodidae	幼虫					○			
	ヤチハエ	ヤチハエ科の一種	Sciomyzidae	幼虫					○		○	
	ハエ目の一種	Diptera	幼虫	○	○		○	○	○	○		
			蛹	○	○	○		○	○	○		
種数計					28	20	30	23	29	23	25	23

※ 種数は、種名が「・・・の一種」で他の種と重複する可能性がある場合はカウントから除外した。

次に生物多様性を評価する手法の一つである多様度指数 (H') をみると、両年とも冬期湛水区が最も低く慣行区を下回る結果となった。この原因として冬期湛水区では個体数は多かったが、イトミミズ類が2012年が87.8%、2013年が79.5%と大半を占めていたことが多様度指数を低下させたといえる。しかし、土壌を除く田面水中の水生生物の多様度指

数は、2012年は慣行区より低いものの、他の有機栽培区より高い値となり、2013年は慣行区とほぼ同じ値を示す結果となった。また他の有機栽培区でも2012年は慣行区よりも低い値であったが2013年は慣行区と同等かそれ以上の値を示した。今回の試験区は有機栽培を始めて2年目および3年目であり、さらに有機栽培を継続していくことによって多様

度指数も高くなる可能性が示唆された。

個体数は兩年とも有機栽培区が慣行区を上回る結果となり、特に冬期湛水区は慣行区に比べ 2012 年で 23.7 倍、2013 年でも 9.8 倍となり、その大半をイトミミズ類が占めていた。栗原 (1983a) はイトミミズ類が多発する水田では雑草の生え方が抑制される。その理由として、土壌のコンベアベルト的移送による種子の還元層への埋め込み、土壌表層の攪拌による芽生え初期の雑草の倒伏を上げている。またイトミミズ類を多発させた水田では、イトミミズ類は 6 月下旬には 30000 個体/m²に達した後、9 月まではほぼ一定の数を維持し、期間中の雑草の被度は 5%以下とほぼ雑草の生育を抑制したとしている (栗原, 1983b)。今回の試験では 2012 年は 7 月以降には 1 m²あたりに換算すると 30000 個体に達していたが、田植え直後の 6 月時点では 6000 個体と少なかった。一方、2013 年は 4 月時点で既に 25000 個体を超え、ピーク時の 7 月には 30000 個体を超える生息数となったことから、冬期湛水区では少なくとも 1 年目の後半から雑草の発生を抑制する機能を有していたと考えられた。また、冬期湛水区では前年の 12 月末から湛水を開始したが、2 年目のほ場でニホンアカガエルの卵塊を確認した。本種は愛媛県のレッドリストにおいて準絶滅危惧種に指定され、早春に水の残った水田や湿地の水溜まりなど、浅い止水で繁殖するが、早春に水のある水田や湿地が近年著しく減少しているとされている (愛媛県レッドデータブック改訂委員会, 2014)。岩田ら (2006) は一年中湛水されるハス田で 4~5 月にニホンアカガエルの幼生を多く確認している。冬期湛水によって早春期に浅い止水域が形成されることにより、ハス田と同様、本種の産卵場所として利用されていた。

また、有機栽培区では慣行区に比べ昆虫類が多かったが大半がユスリカ幼虫などのハエ類であった。またこれらを捕食するコウチュウ類は冬期湛水区で最も多く、他の有機栽培区でも慣行区の個体数を上回っていたことから、ハエ類やイトミミズ類がコウチュウ類の増加に影響している可能性が示唆された。

機械除草区および冬期湛水区ではアメリカカブトエビ (*Triops longicaudatus*) やアオモンイトトンボ幼虫、ツブゲンゴロウ成虫など、慣行区では見られない水生生物が多く確認された。また機械除草区ではヒメモノアラガイやサカマキガイなどのマキガイ類も多かったが、筆者らが 2009 年に実施した

試験 (畑中ら, 2010) では、逆に機械除草区が布マルチ区および慣行区を下回っていたことから、機械除草作業による貝類の影響などさらなる調査が必要と思われた。

布マルチ区では 2013 年にスクミリングガイやヒル類、ハエ類が多く、ヒル類は 2013 年の冬期湛水区でも多い傾向であった。スクミリングガイは稲の生育初期に若苗を食害して問題となっており、本田においても必要に応じて手取り駆除を実施していた (木村ら, 未発表)。しかしながら布マルチ下に生息しているスクミリングガイについては駆除されず多くの個体が生存していたのではないかと思われた。ヒル類は水生昆虫の幼虫や貝類、イトミミズなどを食べるとされており (近藤ら, 2005)、これらの餌生物の増加が影響している可能性も考えられるが、貝類は機械除草区にも多かったことから、明確な関連性を見出すことはできなかった。

慣行区では 2012 年はスクミリングガイやヒメマルマメタニシのニナ類及びヒラマキミズマイマイ (*Gyraulus chinensis*) が有機栽培区に比べて多かったが、2013 年は個体数の減少が見られ、特にスクミリングガイで顕著であった。本種に対してはメタルデヒド粒剤による防除が実施されており、その効果がみられたものと思われるが、他の貝類にも影響を及ぼしている可能性が示唆されることから、今後の動向に注意が必要である。

今回の試験ではコドラート調査に合わせて水中ライトトラップ調査を実施したが、ホソミイトトンボ幼虫をはじめマルミズムシ成虫やコシマゲンゴロウ (*Hydaticus grammicus*) 成虫など有機栽培区のみで確認された種が多く、有機栽培開始初期から様々な生物が生息していることが明らかとなり、特に機械除草区および冬期湛水区で顕著であった。また冬期湛水区ではコウチュウ類が増加するほかニホンアカガエルが産卵場所として利用し、さらにはイトミミズ類の増加により雑草の発生を抑制する機能も有するなど、多様な効果が期待されるものとなった。

当研究所では 2009 年から 5 年間実施した有機栽培技術確立試験の成果として、有機栽培マニュアルを作成した (愛媛農水研, 2013)。今後、本マニュアルを活用して新たに有機農業に取り組む農業者が増加することにより、身近に存在する水田において、生き物に優しい農業が広がるよう期待するものである。

引用文献

- 愛媛県レッドデータブック改訂委員会 (編)
 (2014) : 愛媛県レッドデータブック 2014
 愛媛県の絶滅のおそれのある野生生物, 愛媛
 県県民環境部環境局自然保護課, 99
- 愛媛県農林水産研究所 (2013) : 有機農業に取
 り組んでみませんか 水稻編
- 浜崎健児 (1999) : 慣行農法水田と有機農法水
 田におけるアメリカカブトエビ *Triops*
longicaudatus (LeConte) の発生, 応動昆, **43**
(1), 35-40.
- 畑中満政, 好岡江里子, 篠崎由紀 (2010) : 水
 稲の有機栽培圃場における水生生物の発生
 状況, 愛媛衛環研年報, **13**, 34-40.
- 岩田樹, 藤岡正博 (2006) : ハス田とイネ田に
 おける冬季湛水の有無が作物成長期の水生
 動物に与える影響, 保全生態学研究, **11**, 94
 -104.
- 環境省 (2012) : 生物多様性国家戦略 2012-2020
 豊かな自然共生社会の実現に向けたロード
 マップ, 209.
- 近藤繁生, 谷幸三, 高崎保郎, 益田芳樹 (2005) :
 ため池と水田の生き物図鑑 動物編, トンボ
 出版, 23.
- 栗原康 (1983a) : イトミミズと雑草 水田生態
 系解析への試み (1), 化学と生物, **21** (4),
 243-249.
- 栗原康 (1983b) : イトミミズと雑草 水田生態
 系制御への試み, 化学と生物, **21** (6), 398-
 404.
- 三田村敏正, 荒川昭弘, 岸正広, 山田真孝, 岡
 崎一博 (2012) : 水中ライトトラップを利用
 した水田の水生昆虫調査, 北日本病虫研報,
63, 150-156.
- 農林水産省 (2014) : 有機農業の推進に関する
 基本的な方針, 4.
- 長雄一 (2012) : 水田農法別の陸生・水生・土
 壌動物相の比較, 北海道環境研報, **2**, 41-
 46.
- 大澤啓志, 井上剛, 勝野武彦 (2004) : 都市域
 谷戸水田における冬季の管理条件が春季の
 水生生物に及ぼす影響, ランドスケープ研究,
67 (4), 335-338.
- 西条洋 (2002) : 止水性水生昆虫の生活史にお
 ける養魚水田の役割, 日生態会誌, **52**, 155
 -165.
- 田中幸一 (2004) : 水田生態系における昆虫の
 多様性, 農業技術, **59** (1), 23-28.
- 山中省子, 長尾文尊, 山中悟, 畑中満政, 好岡
 江里子 (2013) 水田における水生生物の調査
 手法の検討, 愛媛衛環研年報, **17**, - .
 (印刷中)