

早期早植水田域における環境指標生物の選抜 および評価手法の開発

江村 薫*・矢ヶ崎 健治**

Development of a Method for Selection of Bioindicator Species and Its Use for Functional Agrobiodiversity in Rice Paddy Fields to Transplant Early in Saitama Prefecture

Kaoru EMURA, Kenji YAGASAKI

要約 埼玉県の水稲早期早植栽培地域の水田において、15種(類を含む)の環境指標生物候補種を提示した。すなわち、水田対象ではアキアカネ、アジアイトトンボ、ウスイロササキリ、ヒメアメンボ、アタマアブ類、クロヘリヒメテントウ、ハイイロゲンゴロウ、コガムシ、トゲバゴマフガムシ、アシナガグモ類、コモリグモ類、カエル類(トウキョウダルマガエルとニホンアマガエル)、ヒメタニシ、集落対象ではハグロトンボとツマキチョウであった。

早期栽培水田での環境を評価する指標生物について6つの群(類)に絞り込みを行い、調査法と調査時期を設定して各個体の密度別評価点を提示した。専門的知識を有しないで生物調査が可能な共通性と簡易性を前提とした。具体的には、①6月上旬にタモ網での水中すくい取り法による水生甲虫類成幼虫(ゲンゴロウ類、ガムシ類)とトンボ類幼虫(主にアカネ類)、②7月上旬に畦畔見取り法によるカエル類成体、③8月中旬に水田内の捕虫網すくい取り法によるアシナガグモ類成幼体とイトトンボ類成虫、同時期のイネ株見取り法によるコモリグモ類成幼体を調べる。これらの指標生物の密度から水田環境を定量的に評価する。

環境保全型農業の推進において、農業・農村の持つ多面的機能としての生物多様性への寄与を定量的に評価する手法が求められている。2012年2月2日に改訂した農林水産省生物多様性戦略では、生物多様性の保全は、国民に安全で良質な農林水産物を安定的に供給するためにも必要不可欠であり、環境保全型農業をはじめとする農林水産関連施策の実施にあたっては、生物多様性に配慮しつつ行っているものの、その効果を定量的に把握す

ることが可能な科学的根拠に基づく指標が開発されておらず、これらの農林水産関連施策を効果的に推進する上でも、指標の開発が必要であるとしている(農林水産省, 2012)。生物多様性について日高(2004)は、環境分野における生物・生態系研究とは何か。つきつめると、「生物多様性の保全と生物資源の持続可能な利用のための研究」に行きつくとしている。これは、ワーキンググループ報告書(総合科学技術会議, 2004)巻頭言であり、

本研究の一部は、第54回日本応用動物昆虫学会第54回大会(2010年3月)、同55回大会(2011年3月)に発表した。

*元病害虫防除技術担当, **水田農業研究所

報告では、生物多様性の価値を定性的・定量的に評価する手法の開発に早急に取り組む必要性を述べている。

水田については、1980年に日本がラムサール条約（正式名称は「特に水鳥の生息地として重要な湿地に関する条約」、湿地の定義の中に水田を含む）の締約国参加を契機に、水田での生物との共生と役割の重要性が増した（山下弘文, 1993）。その後、昆虫やカエルなどの生き物調査が全国的に注目され（桐谷圭治, 2009）現在に至っている。

以上の背景から、環境保全の視点に基づいて水田環境を指標生物によって評価するための環境指標生物を選抜し、その生息状況を点数化して水田の評価を行う手法を開発した。

本研究は、機能的な農業での生物多様性（Functional agrobiodiversity）（平井一男, 2009）保全を探るために設定された、農林水産省委託プロジェクト研究「農業に有用な生物多様性の指標及び評価手法の開発・集落単位」（2008～2011年）として、関東平坦一毛作水田地帯（早期早植水田域）を対象に実施した成果の一部である。プロジェクト全体で得られた成果について、「調査・評価マニュアル」が報告されている（農林水産省農林水産技術会議事務局ら, 2012a, 2012b）。

材料および方法

1 指標生物の選抜

(1) 指標生物の選抜手順と考え方

殺虫剤の使用に着目し、①無農薬型、②減農薬型、③慣行防除型の3地域の水田を対象に、小動物を調査した。いくつかの捕獲法や観察法によって、判断が容易な約3mm以上の種を対象に網羅的に種名と個体数を調べ、環境指標となる種（または群、類）を選抜した。

選抜は、統計的判断に基づいて無農薬や減農薬で特徴的に出現する小動物とし、個体数と出現回数検定は、山村（2002）の示した変換法で求めた。その他の個体数検定も同法によった。総合的病害虫管理（IPM：Integrated Pest Management）の概念を用い、無農薬型をIPM-A区（無殺虫・殺菌剤に努め、必要と判断した場合に投入するタイプ）、減農薬型をIPM-B区（箱施薬を行い、必要に応じ

て薬剤を投入するタイプ）、慣行区（箱施薬と出穂期の2回、殺虫剤を投入するタイプ）を比較した。

(2) 調査地域、ほ場の設定

2008～2009年に実施した。調査場所は利根川から旧利根川流域に至る、中川低地上流部のコシヒカリ主体の早期早植地帯である。5月上旬までに移植し、9月上旬までの収穫を主とする、一毛作単作地帯である。この地域から、殺虫剤の使用に特徴のある3集落を選定し、試験区を設けた（表1）。すなわち、無農薬型区（以下、「IPM-A区」：幸手市上吉羽）、減農薬型区（以下、「IPM-B区」：杉戸町木野川）、慣行防除型区（以下、「慣行区」：加須市（旧北川辺町）麦倉）である。調査水田は各集落に3ほ場、合計9ほ場を設け、IPM-A1～3、IPM-B1～3、慣行1～3ほ場とした。栽培品種は全てコシヒカリである。なお、2009年には、殺虫・殺菌剤を用いないIPM-A区の3ほ場と対比するために、その隣接水田に慣行水田（IPM-A区の集落内の慣行水田「慣行・幸手区」）を設けた（表2）。

慣行区とIPM-B区で用いた箱施薬剤はフィプロニル粒剤（移植時処理）、慣行区での本田防除剤はジノテフラン粒剤（出穂期処理）、各ほ場とも、本田での殺菌剤の使用はなかった。水田除草剤は、試験区すべて、3種混合（ピラクロニル・イマゾスルフロン・プロモブチド）フロアブル剤を移植後7日前後に処理した。畦畔雑草防除のために、慣行区とIPM-A区はグリホサートを6月に1回、草刈りを年に2回程度、IPM-B区はグリホサートを年3回、草刈りを年3回程度実施している。

(3) 調査方法

a 水田内調査（本田調査）

(a) 病害虫調査と収量調査

1ほ場当たり1畦25株を4箇所、合計100株の見取り調査と次に記す捕虫網によるすくい取り調査を、5月下旬～8月上旬に月1～2回行った。

収量は1ほ場当たり3箇所、1箇所当たり20株を刈り取り、乾燥脱穀後1.8mm篩での精玄米重量を計測し、刈取り面積から収量を求めた。

(b) 水田内でのすくい取り法

直径36cm、鋼鉄製杵に1mの柄を取り付けた捕

表1 調査地域の特徴と調査水田でのこれまでの殺虫・殺菌剤使用状況

調査地域の地形区分 (調査年次)	区名 「類型」	市町村	集落・地域の特徴	地域の殺虫・殺菌剤使用状況 (地域の病害虫対策)	調査水田の防除の実態	
					箱施薬	本田防除
中川低地上流部 (2008~2011)	IPM-A区 「無農薬型」	幸手市	旧利根川の河畔砂丘に隣接。大型の屋敷林と桜並木の植栽がある。	大規模水田作が多く、殺虫・殺菌剤の使用量が少ない。被害許容水準により防除を実施。(少農薬地域)	×	×
	IPM-B区 「減農薬型」	杉戸町	下総大地に隣接。台地側には屋敷林と古墳の森がある。	イネミズゾウムシが多発したため、箱施薬中心で防除が行われている。(箱施薬主体地域)	○	×
	慣行区 「慣行防除型」	加須市 (旧北川辺町)	2つの大川に隣接した平坦な水田地帯。小規模な屋敷林がある。	斑点米カメムシが多発しており、その対策が地域として定着。(防除歴重視地域)	○	○

1) IPM-Bの調査地集落は杉戸町である。しかし調査水田は、集落に隣接した春日部市に属する。

表2 調査ほ場の区名、耕種概要 (2008~2011年度)

区名 (場所)	調査年度	農業処理回数 (成分数)				施肥kg (化成はN成分量) /10a	
		合計成分数	殺虫剤	殺菌剤	除草剤	2008年	2009年以降
IPM-A区 (幸手)	2008~2011	3	0	0	3	(基肥のみ) 化学合成 4.2	(基肥のみ) 鶏糞150 化学合成2.8
IPM-B区 (杉戸)	2008~2011	4	1 (箱1)	0	3	(基肥+追肥) 化学合成 3.0+1.0	(基肥+追肥) 化学合成 3.0+1.0
慣行区 (北川辺)	2008~2011	5	2 (箱1+ 本田1)	0	3	(基肥+追肥) 化学合成 4.0+0.5	(基肥+追肥) 化学合成 4.0+0.5
慣行・幸手区 (幸手)	2009	5	2 (箱1+ 本田1)	0	3	-	(基肥のみ) 鶏糞150 化学合成2.8

1) 慣行・幸手区は幸手市のIPM-A地域内に設けた慣行防除体系のほ場。

2) 殺虫剤の項目の()内の「箱1」は箱施薬剤「フィプロニル粒剤」1回処理、本田1は出穂日後にジノテフラン粒剤を1回処理。

3) 除草剤はピラクロニル・イマゾスルフロン・プロモプロチドの3種混合フロアブル剤、移植後7日前後に水面処理。

虫網を用いた。2008年は1ほ場20回振りを1回、2009年は20回振りを3回(3箇所)、合計60回振りの捕獲を行った。調査時期は、2008年は6月1日~8月16日、2009年は6月9日~8月25日、各月2回、合計年6回行った。

(c) 水田内での見取り法

水生生物について、水田内を目視で計数した。2008年はカエル類幼生、アメンボ類、タニシ類について1ほ場あたり1㎡を3箇所、合計3㎡、ガムシ類とゲンゴロウ類(体長約1cm以上)について3㎡を3箇所、合計9㎡を調べた。2009年は、上記のタニシ類、ガムシ類、ゲンゴロウ類について、10㎡を3箇所、合計30㎡を調べた。調査時期は、2008年は6月1日、2009年は5月10日、同21日、6月9日の3回である。

(d) 水田内での水中ライトトラップ法

チヨダサイエンス社製の水中ライトトラップSA22型を用い、2009年に実施した。夕方、畦畔から光源を水田中央に向けて設置し、翌朝に回収

した。調査時期は、中干しのために落水する前の6月2日と同9日である。

b 畦畔調査

(a) 畦畔でのすくい取り法

畦畔20mについて、前記の捕虫網を用いて50回振りを行った。調査時期は、2009年6月9日~8月25日の間、月2回、合計6回である。

(b) 畦畔での見取り法

カエル類の成体について、畦畔20mを目視で計数した。調査時期は、2009年7月9日である。

c 集落全体の調査

(a) 集落でのルートセンサス法

集落から調査水田、農道、農道沿いの水路のルートを1kmについて、徒歩20分を要して観察し、目視で種名判断ができる大型トンボ類とチョウ類を計数した。調査時期は、2008年は4月15日~10月25日に11回、2009年は4月19日~10月18日に10回、月の上旬と下旬に行った。

江村ら：早期早植水田域における環境指標生物の選抜

表3 2010・2011年度に追加調査した慣行防除地域（加須低地の同一地域内・ほ場単位）内での試験の区名と概要

調査地域の 地形区分 (調査年次)	区名 「類型」	市町村・字	集落・地域の特徴	地域の殺虫殺菌剤使用状況 (地域の病害虫対策)
加須低地 (2010～2011)	IPM-A・加須区 「無農薬型」 慣行・加須区 「慣行防除型」	久喜市六万部と 加須市水深 久喜市六万部と 加須市水深	屋敷林・一般住宅と水田が混 在している。	個々の農家が防除暦により、個別 防除を実施。

表4 2010・2011年度に追加した加須低地での調査ほ場の区名、耕種概要

区名	調査年度	農薬処理回数（成分数）				施肥kg（N成分量）/10a
		合計成分数	殺虫剤	殺菌剤	除草剤	
IPM-A・加須区	2010～2011	3	0	0	3	(基肥+追肥) 化学合成 4.0+1.0
慣行・加須区		5	2 (箱1+本田1)	0	3	

1) 使用した殺虫剤、除草剤の種類と処理時期は表3に同じ。

2 指標生物による評価手法の開発

(1) 評価に用いる指標生物の絞り込みと評価手順

前年までに選抜した種を基礎に調査を継続し、簡易性を考慮して数種類に絞り込み、その指標生物の個体数から水田環境の点数化を導いた。

(2) 調査地域、ほ場の設定

2010～2011年に実施した。前年まで指標生物の選抜に用いた中川低地上流部 IPM-A 区、IPM-B 区、慣行区、各 3 ほ場に加えて、中川低地の北西に隣接する加須低地の同一地域（加須市水深・久喜市六万部）に無農薬型の「IPM-A・加須区」と慣行防除型の「慣行・加須区」をランダムに各 3 ほ場設置し（表 3, 4）、合計 15 調査ほ場を設けた。

(3) 調査方法

a 水田内調査(本田調査)

(a) 水田内のすくい取り法

前記の補虫網を用い、1 ほ場 20 回振りを 3 回、合計 60 回振りを行った。調査時期は、2010 年は 7 月 20 日と 8 月 10 日に、2011 年は 7 月 11 日と 8 月 15 日に、クモ類、ヒラタアブ類、イトトンボ類、ウンカ・ヨコバイ類を計数した。

(b) イネ株かき分け見取り法

畦畔から 3 列目の 5 株×4 箇所、1 ほ場当たり合計 20 株について、2010 年はハンディ小型掃除機「三洋電機製：sattle-01」（図 1）および吸虫管を

用いて、全てのクモ類を捕獲し計数した。調査時期は 7 月 21～23 日と 8 月 11～14 日の 2 回行った。2011 年はコモリグモ類（中齢・約 3mm 以上）について目視で計数した。調査時期は 7 月 12～13 日と 8 月 16～17 日の 2 回行った。



図 1 クモの見取り法の吸引捕獲に用いたハンディ型小型掃除機。

(c) 畦畔からのイネ株・水中・水面見取り法

畦畔 10m×4 箇所、1 ほ場当たり合計 40m について、イネ株は畦畔から 3 畦までの株、水中・水面は 3 畦までの水域を目視で調べた。

イネ株調査では、トンボの羽化個体を対象としてアキアカネが羽化する 6 月下旬から 7 月上旬に、脱皮殻と成虫数を調べた。

水中・水面調査は、水生甲虫類のゲンゴロウ類、ガムシ類、アメンボ類について、中干し前の 6 月上旬を中心に成幼虫数を調べた。

(d) 畦畔からの水中すくい取り法

魚取り用のタモ網（D 型、網目は約 2mm）を用い、畦畔沿いに 3m×4 箇所、1 ほ場当たり合計 12m について、2011 年 6 月 6 日と同 13 日に行った。

b 畦畔調査

(a) 畦畔での見取り法

カエル類の成体について、畦畔 10m×4 箇所、1 箇所あたり合計 40mの畦畔について目視で計数した。調査時期は、2010 年は 5 月 24 日、6 月 8 日、同 15 日、同 21 日、2011 年は 6 月 6 日、同 13 日、同 24 日、7 月 4 日である。

結果および考察

1 指標生物の選抜

(1) 調査ほ場の病害虫、畦畔雑草とイネの収量

各ほ場とも病害虫の発生は比較的少なく、表 2 に示した防除計画以外の薬剤は不要であった。畦畔の雑草について、その概略を表 5 に、6 月上旬の雑草の被覆状況を図 2 に示した。全ほ場に共通的な優占種はスギナであり、初夏まではナガバギシグシ、夏季以降はエノキグサが多かった。雑草量は IPM-A 区および慣行・幸手区が最も多く、スギナ群落为主体であった。IPM-B 区は裸地状態であり、慣行区はスギナとイネ科雑草が混在した。

各試験区の平均収量 (1.8mm 篩を使用) を表 5 に示した。調査実施年の県内作況指数は 2008 年は

99, 2009 年は 101 であり平年並みであった。この作況指数で用いられる収量は 1.7mm 篩での収量 (表 5 注 2)) から算出しているが、表 5 で示した各試験区の収量は、現在一般に用いられている 1.8mm 篩での収量であり、作況指数に用いる収量との比較は困難である。そこで、表 5 注 4) で示した 1.8mm 篩での県平均収量を 100 とした指数で各試験区の収量を比較すると、IPM-A 区は 2 年間とも収量が最も低い結果であったものの、2008 年は県平均比 99, 2009 年は同 101 であり、県平均収量と同等であった。収量性の低いコシヒカリを用いていること、無追肥栽培であることを考慮して、目標収量を県平均収量の約 5%減の 450kg/10a としていたものの、懸念された減収は明らかでなかった。2009 年に比較対象のために設けた、IPM-A 区隣接ほ場での慣行防除栽培「慣行・幸手区」の収量は、IPM-A 区の 3 箇所平均収量より 0.6%増収したが、この数値は僅かであり、病害虫の薬剤防除による増収効果は明らかでなかった。

(2) 環境指標生物の候補種の探索

a 水田内でのすくい取り法

結果を表 6 に示した。IPM-A 区で多発の種は、

表5 調査ほ場の畦畔植生の状況とイネの収量 (2008~2009)

区名 (場所)	調査圃場の畦畔の植生	収量 kg/10a (1.8mm篩・水分15%精玄米重)	
		2008年	2009年
IPM-A区 (幸手)	スギナが多く、初夏まではナガバギシグシ、夏季からはエノキグサが多い。全体的にスギナ群落が形成されている。	469± 8.3	491±13.9
IPM-B区 (杉戸)	除草剤の多投入と草刈りにより、裸地状態である。スギナ、ナガバギシグシ、エノキグサ、スカシタゴボウが点在。	500±12.5	518±20.8
慣行区 (北川辺)	スギナが多く、初夏まではナガバギシグシ、夏季からはエノキグサが多い。多くのイネ科雑草が混在している。	487± 3.4	539±12.7
慣行・幸手区 (幸手)	上記、IPM-A区と同じ (管理者が同じ)。	-	494

- 1) 収量は3圃場平均値±SE。但し、慣行・幸手区は 1 圃場の数値。試験区間にはTukey-KramerのHSD検定により5%水準で有意差なし。
- 2) 調査年次の埼玉県水稲平均収量 (1.7mm篩を使用) は、2008年は491kg/10a, 作況指数99, 2009年は497kg/10a, 作況指数101 (農水省統計部)。
- 3) 本研究における収量の定義は、実際の流通で行われている1.8mm篩で示した。
- 4) 調査年次の埼玉県水稲平均収量 (1.8mm篩を使用) は、2008年は476kg/10a, 2009年は485kg/10aである (農水省統計部)。



①IPM-A 区 (幸手市上吉羽) ②IPM-B 区 (杉戸町木野川) ③慣行区 (加須市「旧北川辺町」麦倉)

図 2 2009 年 6 月 9 日における調査地畦畔の特徴的な状態。慣行・幸手区は①と同様である。
(①IPM-A 区はスギナが優占種, ②IPM-B 区は裸地状態, ③慣行区はスギナとイネ科が混

江村ら：早期早植水田域における環境指標生物の選抜

表6 水田内での捕虫網すくい取り法による主要な捕獲種の1ほ場当たり出現回数と総個体数の平均

目	種名	ステ ージ	区名	調査 水田数	2008年 (20回振り捕獲数)		2009年 (60回振り捕獲数)	
					6回調査/年 (6月1日～8月16日)		6回調査/年 (6月9日～8月25日)	
					出現回数/区±SE	総個体数/区±SE	出現回数/区±SE	総個体数/区±SE
コウチュウ目 Coleoptera	◎クロヘリヒメテントウ <i>Scymnus (Neopullus)</i> <i>hoffmanni</i>	成虫	IPM-A区	3	0.3 ± 0.3ns	0.3 ± 0.3ns	3.0 ± 0.6ns	11.0 ± 1.5*
			IPM-B区	3	0.3 ± 0.3	0.7 ± 0.7	1.3 ± 0.9	3.0 ± 2.5
			慣行区	3	0.7 ± 0.7	0.7 ± 0.7	3.0 ± 0.6	6.7 ± 1.9
			慣行・幸手区	1	—	—	2.0	5.0
	ヒメカメノコテントウ <i>Propylea japonica</i>	成虫	IPM-A区	3	1.0 ± 0.6ns	0.7 ± 0.3ns	2.0 ± 0.0ns	3.0 ± 1.0ns
			IPM-B区	3	0.3 ± 0.3	0.3 ± 0.3	1.7 ± 0.3	3.0 ± 0.6
			慣行区	3	0.3 ± 0.3	0.3 ± 0.3	1.7 ± 0.3	3.7 ± 2.2
			慣行・幸手区	1	—	—	1.0	3.0
	ジュウサンホシテントウ <i>Hippodamia</i> <i>tredecimpunctata</i>	成虫	IPM-A区	3	0.3 ± 0.3ns	0.3 ± 0.3ns	1.0 ± 0.6ns	0.7 ± 0.3ns
			IPM-B区	3	0.3 ± 0.3	0.3 ± 0.3	1.3 ± 0.7	1.7 ± 0.9
			慣行区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.3 ± 0.3	0.3 ± 0.3
			慣行・幸手区	1	—	—	0.0	0.0
アオバアリガタハネカクシ <i>Paederus fuscipes</i>	成虫	IPM-A区	3	0.3 ± 0.3ns	0.3 ± 0.3ns	0.7 ± 0.3ns	0.7 ± 0.3ns	
		IPM-B区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	
		慣行区	3	0.3 ± 0.3	0.3 ± 0.3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	
		慣行・幸手区	1	—	—	0.0	0.0	
ハネカクシ科(上記種以外) Staphylinidae	成虫	IPM-A区	3	0.3 ± 0.3ns	0.3 ± 0.3ns	0.3 ± 0.3ns	0.3 ± 0.3ns	
		IPM-B区	3	0.3 ± 0.3	0.7 ± 0.7	0.7 ± 0.3	0.7 ± 0.3	
		慣行区	3	0.7 ± 0.7	0.7 ± 0.7	0.3 ± 0.3	0.3 ± 0.3	
		慣行・幸手区	1	—	—	0.0	0.0	
コガタノミズアブ (=コガタミズアブ) <i>Odontomyia garatas</i>	成虫	IPM-A区	3	1.3 ± 0.3ns	1.7 ± 0.3ns	1.3 ± 0.7ns	1.3 ± 0.7ns	
		IPM-B区	3	1.3 ± 0.3	1.3 ± 0.3	0.3 ± 0.3	0.7 ± 0.7	
		慣行区	3	1.0 ± 0.0	1.7 ± 0.7	2.0 ± 0.0	3.0 ± 0.6	
		慣行・幸手区	1	—	—	1.0	1.0	
ホソヒラタアブ <i>Episyrphus balteatus</i>	成虫	IPM-A区	3	1.7 ± 0.3ns	2.3 ± 0.7ns	2.3 ± 0.3ns	2.3 ± 0.3ns	
		IPM-B区	3	1.0 ± 0.0	1.7 ± 0.3	1.0 ± 0.6	2.0 ± 1.5	
		慣行区	3	0.7 ± 0.7	0.7 ± 0.7	0.7 ± 0.7	1.0 ± 1.0	
		慣行・幸手区	1	—	—	3.0	3.0	
ハエ目 Diptera	◎アタマアブ類(科) Pipunculidae	成虫	IPM-A区	3	1.3 ± 0.3a	1.7 ± 0.3a	2.0 ± 0.0a	14.0 ± 1.7a
			IPM-B区	3	2.0 ± 0.0a	3.3 ± 0.3a	2.0 ± 0.0a	10.7 ± 2.7a
			慣行区	3	0.0 ± 0.0b	0.0 ± 0.0b	0.7 ± 0.3b	1.0 ± 0.6b
			慣行・幸手区	1	—	—	0.0	0.0
キリウジガガンボ <i>Tipula (Yamatotipula)</i> <i>aino</i>	成虫	IPM-A区	3	0.0 ± 0.0ns	0.0 ± 0.0ns	3.3 ± 0.3ns	11.3 ± 2.9ns	
		IPM-B区	3	1.3 ± 0.7	2.0 ± 1.0	5.3 ± 0.7	15.3 ± 3.4	
		慣行区	3	0.7 ± 0.3	0.7 ± 0.3	4.3 ± 0.3	9.7 ± 1.2	
		慣行・幸手区	1	—	—	3.0	6.0	
ヒゲナガヤチバエ <i>Sepedon aenescens</i>	成虫	IPM-A区	3	2.3 ± 0.3ns	3.3 ± 0.9ns	3.3 ± 1.2ns	5.7 ± 1.9ns	
		IPM-B区	3	2.7 ± 0.3	10.3 ± 1.9	4.0 ± 2.0	42.7 ± 22.0	
		慣行区	3	3.0 ± 0.0	24.3 ± 19.3	5.0 ± 0.0	38.7 ± 6.6	
		慣行・幸手区	1	—	—	3.0	8.0	
ハチ目 Hymenoptera	ハナバチ類 (=ミツバチ上科) Apoidea	成虫	IPM-A区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0ns	0.0 ± 0.0ns
			IPM-B区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.3 ± 0.3	0.3 ± 0.3
			慣行区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
			慣行・幸手区	1	—	—	1.0	1.0
ヤドリバチ類 (=寄生性ハチ類) Parasitica	成虫	IPM-A区	3	0.3 ± 0.3ns	0.3 ± 0.3ns	—	—	
		IPM-B区	3	0.3 ± 0.3	0.7 ± 0.7	—	—	
		慣行区	3	0.7 ± 0.7	0.7 ± 0.7	—	—	
		慣行・幸手区	1	—	—	—	—	
バッタ目 Orthoptera	◎ウスイロササキリ <i>Conocephalus chinensis</i>	成虫	IPM-A区	3	3.3 ± 0.3ns	5.3 ± 1.3ns	4.0 ± 1.2ns	28.3 ± 7.5a
			IPM-B区	3	2.0 ± 0.0	4.3 ± 1.2	2.3 ± 0.3	17.3 ± 2.6b
			慣行区	3	3.0 ± 1.5	2.3 ± 0.7	3.3 ± 0.9	7.0 ± 2.6b
			慣行・幸手区	1	—	—	2.0	3.0
	ハネナガヒシバッタ <i>Euparattix insularis</i>	成虫	IPM-A区	3	0.7 ± 0.3ns	1.3 ± 0.7ns	0.7 ± 0.3ns	0.7 ± 0.3ns
			IPM-B区	3	1.0 ± 0.6	1.0 ± 0.6	0.3 ± 0.3	0.7 ± 0.7
			慣行区	3	0.3 ± 0.3	0.7 ± 0.7	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
			慣行・幸手区	1	—	—	1.0	3.0
	◎コバネイナゴ <i>Oxya yezoensis</i>	幼虫	IPM-A区	3	2.3 ± 0.3a	7.7 ± 2.3a	4.3 ± 0.9a	30.7 ± 15.2a
			IPM-B区	3	0.0 ± 0.0b	0.0 ± 0.0b	0.3 ± 0.3b	1.0 ± 1.0b
			慣行区	3	1.7 ± 0.3a	3.0 ± 0.6a	2.0 ± 0.6ab	3.3 ± 0.9b
			慣行・幸手区	1	—	—	0.0	0.0
クサキリの一種 <i>Homocoryphus</i> sp.	成虫	IPM-A区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	2.0 ± 0.0a	3.0 ± 1.0ns	
		IPM-B区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0b	2.3 ± 0.9	
		慣行区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.3 ± 0.3b	0.7 ± 0.7	
		慣行・幸手区	1	—	—	0.0	0.0	
クサキリの一種 <i>Homocoryphus</i> sp.	幼虫	IPM-A区	3	0.3 ± 0.3ns	1.3 ± 1.3ns	1.3 ± 0.3ns	4.7 ± 2.3ns	
		IPM-B区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	
		慣行区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	1.0 ± 0.6	1.3 ± 0.9	
			慣行・幸手区	1	—	—	1.0	1.0

表6 水田内での捕虫網すくい取り法による主要な捕獲種の1ほ場当たり出現回数と総個体数の平均 つづき

目	種名など	ステ ージ	区名	調査 水田数	2008年(20回振り捕獲数)		2009年(60回振り捕獲数)	
					6回調査/年(6月1日~8月16日)		6回調査/年(6月9日~8月25日)	
					出現回数/区±SE	総個体数/区±SE	出現回数/区±SE	総個体数/区±SE
カマキリ目 Mantodea	チョウセンカマキリ <i>Tenodera angustipennis</i>	幼虫	IPM-A区	3	0.3 ± 0.3ns	0.3 ± 0.3ns	0.3 ± 0.3ns	0.3 ± 0.3ns
			IPM-B区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
			慣行区	3	0.3 ± 0.3	0.3 ± 0.3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
			慣行・幸手区	1	—	—	0.0	0.0
トンボ目 Odonata	◎アキアカネ <i>Sympetrum frequens</i>	成虫	IPM-A区	3	0.7 ± 0.3ns	0.7 ± 0.3ns	1.7 ± 0.3ns	3.0 ± 0.5a
			IPM-B区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.3 ± 0.3b	0.3 ± 0.3b
			慣行区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0b	0.0 ± 0.0b
			慣行・幸手区	1	—	—	0.0	0.0
	◎アジアイトトンボ <i>Ischnura asiatica</i>	成虫	IPM-A区	3	1.7 ± 0.3a	2.7 ± 0.6a	2.7 ± 0.7ns	4.7 ± 1.2ns
			IPM-B区	3	0.7 ± 0.3ab	1.0 ± 0.6ab	1.0 ± 0.6	1.3 ± 0.9
			慣行区	3	0.0 ± 0.0b	0.0 ± 0.0b	1.3 ± 0.7	2.7 ± 1.3
			慣行・幸手区	1	—	—	1.0	1.0
シオカラトンボ <i>Orthetrum albistylum speciosum</i>	成虫	IPM-A区	3	0.3 ± 0.3ns	0.3 ± 0.3ns	0.7 ± 0.3ns	0.7 ± 0.3ns	
		IPM-B区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	
		慣行区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	
		慣行・幸手区	1	—	—	0.0	0.0	
	ハラビロトンボ <i>Lyriothemis pachygastra</i>	成虫	IPM-A区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.3 ± 0.3ns	0.3 ± 0.3ns
			IPM-B区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
			慣行区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
			慣行・幸手区	1	—	—	0.0	0.0
アミメカ ゲロウ目 Neuroptera	クサカゲロウ類(科) Chrysopidae	成虫	IPM-A区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	1.7 ± 0.3ns	3.0 ± 1.2ns
			IPM-B区	3	0.3 ± 0.3	0.7 ± 0.7	1.7 ± 0.3	1.7 ± 0.3
			慣行区	3	0.3 ± 0.3	1.0 ± 1.0	0.3 ± 0.3	0.3 ± 0.3
			慣行・幸手区	1	—	—	1.0	1.0
	幼虫	IPM-A区	3	0.0 ± 0.0ns	0.0 ± 0.0ns	0.0 ± 0.0ns	0.0 ± 0.0ns	
		IPM-B区	3	0.7 ± 0.3	1.7 ± 1.2	0.7 ± 0.3	0.7 ± 0.3	
		慣行区	3	0.3 ± 0.3	0.3 ± 0.3	1.3 ± 0.3	4.0 ± 1.5	
		慣行・幸手区	1	—	—	0.0	0.0	
カメムシ 目 Hemiptera	マキバサシガメ類(科) Nabidae	成虫	IPM-A区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.3 ± 0.3ns	0.3 ± 0.3ns
			IPM-B区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
			慣行区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.3 ± 0.3	0.3 ± 0.3
			慣行・幸手区	1	—	—	0.0	0.0
	◎アシナガモ類(属) ①Tetragnatha	成幼 体	IPM-A区	3	4.7 ± 0.3ns	45.7 ± 6.8a	5.7 ± 0.3ns	39.3 ± 5.5ns
			IPM-B区	3	4.0 ± 0.6	33.7 ± 3.8a	5.0 ± 0.6	29.0 ± 4.2
			慣行区	3	3.7 ± 0.3	12.7 ± 2.8b	4.3 ± 0.7	20.7 ± 1.3
			慣行・幸手区	1	—	—	4.0	55.0
クモ目 Araneae	カニグモ類(科) ②Thomisidae	成幼 体	IPM-A区	3	1.3 ± 0.3ns	4.3 ± 2.4ns	2.7 ± 0.9ns	9.3 ± 0.9ns
			IPM-B区	3	0.7 ± 0.3	1.7 ± 0.9	1.0 ± 0.0	2.3 ± 0.9
			慣行区	3	2.0 ± 1.2	3.7 ± 2.3	2.3 ± 0.3	5.3 ± 1.2
			慣行・幸手区	1	—	—	2.0	3.0
	コモリグモ類(科) ③Lycosidae	成幼 体	IPM-A区	3	—	—	1.7 ± 0.7ns	3.7 ± 1.8ns
			IPM-B区	3	—	—	2.0 ± 0.0	2.3 ± 0.3
			慣行区	3	—	—	2.3 ± 0.3	3.7 ± 0.3
			慣行・幸手区	1	—	—	1.0	1.0
クモ類 (アシナガ・カニを除く) Araneae (Except ①②)	成幼 体	IPM-A区	3	2.7 ± 0.9ns	10.3 ± 2.0ns	—	—	
		IPM-B区	3	3.0 ± 0.6	8.7 ± 3.3	—	—	
		慣行区	3	3.7 ± 0.7	9.3 ± 3.4	—	—	
		慣行・幸手区	1	—	—	—	—	
	クモ類 (アシナガ・カニ・コモリを 除く) Araneae (Except ①②③)	成幼 体	IPM-A区	3	—	—	1.3 ± 0.7ns	1.7 ± 0.9ns
			IPM-B区	3	—	—	2.0 ± 0.6	4.7 ± 0.3
			慣行区	3	—	—	1.7 ± 0.3	4.3 ± 1.5
			慣行・幸手区	1	—	—	4.0	7.0
カエル目 Anura	ニホンアマガエル <i>Hyla japonica</i>	成体	IPM-A区	3	1.3 ± 0.3ns	3.0 ± 0.6a	2.7 ± 0.7ns	4.3 ± 1.2ns
			IPM-B区	3	0.7 ± 0.3	0.7 ± 0.3b	2.0 ± 0.0	4.7 ± 1.7
			慣行区	3	1.0 ± 0.6	1.3 ± 0.7ab	2.3 ± 1.5	18.7 ± 17.2
			慣行・幸手区	1	—	—	1.0	2.0

1) アルファベット異文字間はlog(n+0.5)変換後Tukey-KramerのHSD検定p<0.05.
 2) * は3区の平均値においてp<0.10.
 3) IPM-A区あるいはIPM-B区で有意に多発性を示した種に◎を付した.

江村ら：早期早植水田域における環境指標生物の選抜

表7 水田内での見取り法により確認した主要種の1ほ場当たり出現回数と総個体数の平均

目など	種名など	ステ ージ	区名	調査 水田数	2008年 (9 m ² 当たり確認数)		2009年 (30m ² 当たり確認数)	
					1回調査/年 (6月1日)		3回調査/年 (5月10日~6月9日)	
					出現回数±SE	総個体数±SE	出現回数±SE	総個体数±SE
コウチュウ目 Coleoptera	◎ハイイログンゴロウ <i>Eretes sticticus</i>	成虫	IPM-A区	3	0.7 ± 0.3ns	0.7 ± 0.3ns	1.3 ± 0.3a	1.7 ± 0.3a
			IPM-B区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0b	0.0 ± 0.0b
			慣行区	3	0.7 ± 0.3	1.0 ± 0.6	0.0 ± 0.0b	0.0 ± 0.0b
			慣行・幸手区	1	—	—	0.0	0.0
	◎コガムシ <i>Hydrochara affinis</i>	成虫	IPM-A区	3	0.3 ± 0.3ns	0.3 ± 0.3ns	1.3 ± 0.3a	1.7 ± 0.7a
			IPM-B区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.3 ± 0.0ab	0.3 ± 0.3ab
			慣行区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0b	0.0 ± 0.0b
			慣行・幸手区	1	—	—	0.0	0.0
			IPM-A区	3	0.3 ± 0.3ns	0.3 ± 0.3ns	0.3 ± 0.3ns	0.7 ± 0.3ns
			IPM-B区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.3 ± 0.3	0.3 ± 0.3
カメムシ 目 Hemiptera	◎ヒメアメンボ <i>Gerris latiauratus</i>	成幼虫	IPM-A区	3	1.0 ± 0.0ns	29.0 ± 10.1a	—	—
			IPM-B区	3	1.0 ± 0.0	4.0 ± 2.1b	—	—
			慣行区	3	1.0 ± 0.0	5.0 ± 2.5b	—	—
			慣行・幸手区	1	—	—	—	—
	◎ヒメタニシ <i>Bellamyia (Sinotania) quadrata</i>	不明	IPM-A区	3	1.0 ± 0.0ns	8.0 ± 1.5a	3.0 ± 0.0ns	27.7 ± 1.2a
			IPM-B区	3	0.7 ± 0.3	1.0 ± 0.6b	2.7 ± 0.3	8.0 ± 2.1b
			慣行区	3	0.3 ± 0.3	0.3 ± 0.3b	2.0 ± 0.6	4.3 ± 1.7b
			慣行・幸手区	1	—	—	3.0	13.0
			IPM-A区	3	1.0 ± 0.0ns	43.0 ± 9.8a	—	—
			IPM-B区	3	1.0 ± 0.0	5.3 ± 1.5b	—	—
カエル目 Anura	◎カエル類 (目) Anura	幼生	IPM-A区	3	1.0 ± 0.0	3.7 ± 1.5b	—	—
			IPM-B区	3	1.0 ± 0.0	3.7 ± 1.5b	—	—
			慣行区	3	1.0 ± 0.0	3.7 ± 1.5b	—	—
			慣行・幸手区	1	—	—	—	—

- 1) アルファベット異文字間はlog(n+0.5)変換後Tukey-KramerのHSD検定p<0.05.
2) IPM-A区で有意に多発性を示した種に◎を付した。

クロヘリヒメテントウ、アタマアブ類、ウスイロササキリ、コバネイナゴ、アキアカネ、アジアイトトンボ、アシナガグモ類であり、候補種として有望であった。アタマアブ類はツマグロヨコバイ寄生性であり、その他はコバネイナゴを除いてすべてが捕食性天敵としての有効性が想定される。ウスイロササキリは、イネを食害する害虫説もある(農と自然の研究所, 2009)が、筆者らは確認しておらず、竹内(2008)は茨城県つくば市での生活史の解析から、斑点米カメムシ類の卵捕食者としての役割の重要性に注目している。

コバネイナゴはIPM-A区で多いが、害虫の要素があるため候補種から除外した。本種は周辺雑草に多くを依存している場合も多く、許容水準以下の個体数での指標性論議は今後の課題と思われる。

b 水田内での見取り法

結果を表7に示した。IPM-A区で多い種は、ハイイログンゴロウ、コガムシ、ヒメアメンボ、ヒメタニシ、カエル類幼生であった。水田内での見取り法で調査対象となった生物は、すべて指標候補として有望であった。

c 水田内での水中ライトトラップ法

結果を表8に示した。IPM-A区で多い種は、ト

ゲバゴマフガムシとカエル類の幼生であり、指標生物として有望であった。ミズムシ科はIPM-A区で多発傾向であったものの幼虫は微小個体であり、さらに捕獲数の変動が顕著であることから、指標種から除外した。カイ類とドジョウは区間に差異が認められるものの農法との関係が認められず、指標生物として適していないと考えられた。また、ゴマフガムシは慣行区で多い傾向を示したが、これは、周囲で水生花卉の生産が行われていることなどにより、そこからの移動個体と考えられた。

d 畦畔でのすくい取り法

結果を表9に示した。IPM-A区での明らかな多発種は認められなかった。ウスイロササキリはやや多発傾向であり、水田内のすくい取りと一致した。同様の多発傾向種は害虫の側面を持つコバネイナゴおよびオンブバッタであり、畦畔雑草の繁茂に起因すると考えられた。

スギナ群落の発達したIPM-A区で、スギナハバチ類が多発した。この種はスギナを特異的に摂食することから、雑草の抑制に有用なグループと推定された。IPM-B区はハネナガヒシバッタとトゲヒシバッタ、ミズギワカメムシが有意に多く、ヒシバッタ科の幼虫が多発傾向を示した。これらの種は水際の裸地環境を好むためと考えられた。

表8 水田内での水中ライトトラップ法による主要な捕獲種の1ほ場当たり出現回数と総個体数の平均

目 など	種名 など	ステ ージ	区名	調査 水田数	2回調査/年 (6月2日・6月9日)	
					出現回数±SE	総個体数±SE
コウチュウ目 Coleoptera	ヤマトゴマフガムシ <i>Berosus japonicus</i>	成虫	IPM-A区	3	0.0 ± 0.0ns	0.0 ± 0.0ns
			IPM-B区	3	0.7 ± 0.3	0.7 ± 0.3
			慣行区	3	0.3 ± 0.3	0.3 ± 0.3
			慣行・幸手区	1	1.0	1.0
	◎トゲバゴマフガムシ <i>Berosus lewisius</i>	成虫	IPM-A区	3	2.0 ± 0.0a	11.3 ± 2.7a
			IPM-B区	3	1.3 ± 0.3ab	4.3 ± 2.0ab
			慣行区	3	0.7 ± 0.3b	0.7 ± 0.3b
			慣行・幸手区	1	0.0	0.0
	△ゴマフガムシ <i>Berosus signaticollis</i>	成虫	IPM-A区	3	0.0 ± 0.0ns	0.0 ± 0.0a
			IPM-B区	3	0.3 ± 0.3	0.3 ± 0.3ab
			慣行区	3	1.0 ± 0.0	1.3 ± 0.3b
			慣行・幸手区	1	0.0	0.0
ゴマフガムシ属 <i>Berosus</i>	幼虫	IPM-A区	3	0.7 ± 0.3ns	0.7 ± 0.3ns	
		IPM-B区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	
		慣行区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	
		慣行・幸手区	1	0.0	0.0	
チビゲンゴロウ <i>Guignotus japonicus</i>	成虫	IPM-A区	3	0.0 ± 0.0ns	0.0 ± 0.0ns	
		IPM-B区	3	0.3 ± 0.3	1.0 ± 1.0	
		慣行区	3	0.7 ± 0.7	0.7 ± 0.7	
		慣行・幸手区	1	0.0	0.0	
	幼虫	IPM-A区	3	0.3 ± 0.3ns	0.3 ± 0.3ns	
		IPM-B区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	
		慣行区	3	0.7 ± 0.3	4.3 ± 3.8	
		慣行・幸手区	1	0.0	0.0	
カメムシ目 Hemiptera	ミズムシ類 (科) Corixidae	幼虫	IPM-A区	3	1.3 ± 0.7ns	8.3 ± 6.4ns
			IPM-B区	3	1.0 ± 0.6	2.7 ± 1.8
			慣行区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
			慣行・幸手区	1	0.0	0.0
	ヒメアメンボ <i>Gerris latiabdominis</i>	成幼虫	IPM-A区	3	1.7 ± 0.3ns	6.7 ± 2.3ns
			IPM-B区	3	1.0 ± 0.0	12.7 ± 10.7
			慣行区	3	1.3 ± 0.3	7.7 ± 5.7
			慣行・幸手区	1	2.0	7.0
トンボ目 Odonata	アキアカネ <i>Sympetrum frequens</i>	幼虫	IPM-A区	3	0.3 ± 0.3ns	0.3 ± 0.3ns
			IPM-B区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
			慣行区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
			慣行・幸手区	1	0.0	0.0
	アジイトトンボ <i>Ischnura asiatica</i>	幼虫	IPM-A区	3	0.3 ± 0.3ns	0.3 ± 0.3ns
			IPM-B区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
			慣行区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
			慣行・幸手区	1	0.0	0.0
カエル目 Anura	◎カエル類 (目) Anura	幼生	IPM-A区	3	2.0 ± 0.0ns	21.7 ± 5.7a
			IPM-B区	3	1.3 ± 0.3	3.0 ± 1.0b
			慣行区	3	1.3 ± 0.3	3.3 ± 0.9b
			慣行・幸手区	1	2.0	7.0
軟体動物門 Mollusca	△ヒメモノアラガイ <i>Austropeplea oillula</i>	-	IPM-A区	3	0.0 ± 0.0ns	0.0 ± 0.0a
			IPM-B区	3	2.0 ± 0.0	140.7 ± 62.7b
			慣行区	3	1.7 ± 0.3	23.3 ± 15.2ab
			慣行・幸手区	1	0.0	0.0
	△ヒラマキガイ類 (科) Planorbidae	-	IPM-A区	3	0.0 ± 0.0a	0.0 ± 0.0a
			IPM-B区	3	1.3 ± 0.3b	3.7 ± 2.7a
			慣行区	3	2.0 ± 0.0b	91.0 ± 49.7b
			慣行・幸手区	1	0.0	0.0
	△その他、マキガイ類 (腹足 綱) Gastropoda	-	IPM-A区	3	1.3 ± 0.3ns	4.7 ± 0.7a
			IPM-B区	3	1.7 ± 0.3	9.3 ± 3.8a
慣行区			3	2.0 ± 0.0	41.7 ± 8.4b	
慣行・幸手区			1	0.0	0.0	
△二枚貝類 (綱) Bivalvia	-	IPM-A区	3	0.0 ± 0.0ns	0.0 ± 0.0a	
		IPM-B区	3	1.7 ± 0.3	18.0 ± 10.4b	
		慣行区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0a	
		慣行・幸手区	1	0.0	0.0	
魚類: コイ目 Cypriniformes	ドジョウ <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	-	IPM-A区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
			IPM-B区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
			慣行区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
			慣行・幸手区	1	1.0	10.0

- 1) その他、総個体数が少な種、小型生物として、ハエ類幼虫、ゲンゴロウ類幼虫、魚類、多数のミジンコ類が捕獲された。
- 2) アルファベット異文字間はlog(n+0.5)変換後Tukey-KramerのHSD検定p<0.05。
- 3) IPM-A区で有意に多発性を示した種に◎を、少発性を示した種に△を付した。

江村ら：早期早植水田域における環境指標生物の選抜

表9 畦畔でのすくい取り法による主要な捕獲種の1ほ場当たり出現回数と総個体数の平均

目	種名 など	ステ ージ	区名	調査 水田数	2009年 (畦畔20m, 捕虫網50振り捕獲数)	
					6回調査/年 (6月9日~8月25日)	
					出現回数±SE	総個体数±SE
バッタ目 Orthoptera	ハラヒシバツタ <i>Tetrix japonica</i>	成虫	IPM-A区	3	1.7 ± 0.3ns	4.0 ± 2.1ns
			IPM-B区	3	1.3 ± 0.3	3.0 ± 1.5
			慣行区	3	1.3 ± 1.3	3.3 ± 3.3
			慣行・幸手区	1	3.0	5.0
	△ハネナガヒシバツタ <i>Euparattix insularis</i>	成虫	IPM-A区	3	1.3 ± 0.3ns	2.3 ± 0.9a
			IPM-B区	3	2.7 ± 0.3	8.3 ± 0.9b
			慣行区	3	0.7 ± 0.7	0.7 ± 0.7a
			慣行・幸手区	1	0.0	0.0
	△トゲヒシバツタ <i>Criotettix japonicus</i>	成虫	IPM-A区	3	0.3 ± 0.3a	0.3 ± 0.3a
			IPM-B区	3	2.0 ± 0.0b	5.0 ± 1.0b
			慣行区	3	0.0 ± 0.0a	0.0 ± 0.0a
			慣行・幸手区	1	0.0	0.0
	△ヒシバツタ科 Tetrigidae	幼虫	IPM-A区	3	0.7 ± 0.7ns	1.7 ± 1.7ns
			IPM-B区	3	2.3 ± 0.9	6.3 ± 3.8
			慣行区	3	0.7 ± 0.3	1.0 ± 0.6
			慣行・幸手区	1	2.0	4.0
	◎ウスイロササキリ <i>Conocephalus chinensis</i>	幼虫	IPM-A区	3	3.0 ± 0.6a	12.7 ± 4.7*
			IPM-B区	3	0.3 ± 0.3b	1.0 ± 1.0
			慣行区	3	1.7 ± 0.7ab	4.0 ± 3.0
			慣行・幸手区	1	1.0	3.0
	クサキリ的一种 <i>Homorocoryphus</i> sp.	幼虫	IPM-A区	3	1.0 ± 0.6ns	1.3 ± 0.9ns
			IPM-B区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
			慣行区	3	0.7 ± 0.7	1.0 ± 1.0
			慣行・幸手区	1	0.0	0.0
◎コバネイナゴ <i>Oxya yezoensis</i>	成虫	IPM-A区	3	0.7 ± 0.7ns	2.0 ± 2.0ns	
		IPM-B区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	
		慣行区	3	0.3 ± 0.3	0.3 ± 0.3	
		慣行・幸手区	1	0.0	0.0	
オンブバッタ <i>Atractomorpha lata</i>	幼虫	IPM-A区	3	5.7 ± 0.3a	32.7 ± 15.6a	
		IPM-B区	3	1.0 ± 0.6b	1.7 ± 0.9b	
		慣行区	3	1.7 ± 0.7b	3.0 ± 1.0b	
		慣行・幸手区	1	1.0	11.0	
ショウリョウバッタ <i>Acrida cinerea</i>	成虫	IPM-A区	3	1.0 ± 0.0	7.7 ± 1.2a	
		IPM-B区	3	0.3 ± 0.3	0.3 ± 0.3b	
		慣行区	3	0.3 ± 0.3	0.7 ± 0.7b	
		慣行・幸手区	1	0.0	0.0	
カメムシ目 Hemiptera	△ミズギワカメムシ <i>Saldula saltatoria</i>	成虫	IPM-A区	3	3.7 ± 0.3a	27.3 ± 7.4a
			IPM-B区	3	0.3 ± 0.3b	0.3 ± 0.3b
			慣行区	3	3.3 ± 1.5a	18.7 ± 15.7ab
			慣行・幸手区	1	4.0	13.0
ハチ目 Hymenoptera	◎スギナハバチ類 (属) <i>Dolerus</i> or <i>Loderus</i>	幼虫	IPM-A区	3	0.3 ± 0.3ns	2.0 ± 2.0ns
			IPM-B区	3	0.3 ± 0.3	0.3 ± 0.3
			慣行区	3	1.7 ± 0.3	3.7 ± 0.3
			慣行・幸手区	1	1.0	1.0
ハエ目 Diptera	△ヒゲナガヤチバエ <i>Sepedon aenescens</i>	成虫	IPM-A区	3	2.0 ± 0.6ns	2.7 ± 1.2*
			IPM-B区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
			慣行区	3	1.0 ± 0.6	2.3 ± 1.9
			慣行・幸手区	1	2.0	2.0
コウチュウ目 Coleoptera	ヒメカミナリハムシ <i>Altica caerulescens</i>	成虫	IPM-A区	3	1.0 ± 0.6ns	1.3 ± 0.7ns
			IPM-B区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
			慣行区	3	0.3 ± 0.3	1.3 ± 1.3
			慣行・幸手区	1	0.0	0.0
バッタ目 Orthoptera	◎コバネイナゴ <i>Oxya yezoensis</i>	成虫	IPM-A区	3	0.0 ± 0.0a	0.0 ± 0.0a
			IPM-B区	3	2.0 ± 0.0b	10.0 ± 3.8b
			慣行区	3	0.0 ± 0.0a	0.0 ± 0.0a
			慣行・幸手区	1	0.0	0.0
ハチ目 Hymenoptera	◎スギナハバチ類 (属) <i>Dolerus</i> or <i>Loderus</i>	幼虫	IPM-A区	3	3.3 ± 0.3a	113.0 ± 63.3a
			IPM-B区	3	0.3 ± 0.3b	4.0 ± 4.0b
			慣行区	3	3.0 ± 0.6a	26.3 ± 12.9ab
			慣行・幸手区	1	3.0	31.0
ハエ目 Diptera	△ヒゲナガヤチバエ <i>Sepedon aenescens</i>	成虫	IPM-A区	3	0.3 ± 0.3ns	1.0 ± 1.0a
			IPM-B区	3	2.0 ± 0.0	3.0 ± 0.6ab
			慣行区	3	2.7 ± 0.7	18.7 ± 9.8b
			慣行・幸手区	1	0.0	0.0
コウチュウ目 Coleoptera	ヒメカミナリハムシ <i>Altica caerulescens</i>	成虫	IPM-A区	3	1.7 ± 1.2ns	8.7 ± 7.2ns
			IPM-B区	3	1.3 ± 0.3	5.7 ± 2.2
			慣行区	3	1.3 ± 0.3	9.3 ± 4.8
			慣行・幸手区	1	2.0	9.0

1) その他、総個体数が2個体以下の種：バッタ目「ノミバッタ成虫、マダラスズ幼虫」、コウチュウ目「ジュウサンホシテントウ成虫、ナナホシテントウ成虫、ヒメカメノコテントウ成虫、マメハンミョウ成虫、アオバアリガタハネカクシ成虫」、ハチ目「ハナバチ類成虫、フタモンアシナガバチ成虫」、カメムシ目「ルリクチブトカメムシ成虫、イトカメムシ成虫」、アミメカゲロウ目「クサカゲロウ類成虫」、チョウ目「ベニシジミ成虫、ヤマトシジミ成虫」が捕獲された。

2) アルファベット異文字間はlog(n+0.5)変換後Tukey-KramerのHSD検定p<0.05。

3) * は3区の平均値においてp<0.10。

4) IPM-A区で有意に多発性を示した種に◎を、少発生を示した種に△を付した。

5) スギナハバチ類は2属が知られており、その判別を行っていない。

表10 畦畔での見取り法によるカエルの1ほ場当たり出現回数と総個体数の平均

目	種名	ステ ージ	区名	調査 水田数	2009年(畦畔20m当たり目視での確認数)	
					1回調査/年(7月9日)	
					出現回数±SE	総個体数±SE
カエル目 Anura	◎ニホンアマガエル <i>Hyla japonica</i>	成体	IPM-A区	3	1.0 ± 0.0	11.3 ± 2.3a
			IPM-B区	3	1.0 ± 0.0	59.7 ± 24.7b
			慣行区	3	1.0 ± 0.0	7.0 ± 1.5a
			慣行・幸手区	1	1.0	7.0
	◎トウキョウダルマガエル <i>Rana porosa porosa</i>	成体	IPM-A区	3	1.0 ± 0.0	44.7 ± 6.1a
			IPM-B区	3	1.0 ± 0.0	4.3 ± 1.2b
			慣行区	3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0b
			慣行・幸手区	1	1.0	52.0

- 1) アルファベット異文字間はlog(n+0.5)変換後Tukey-KramerのHSD検定p<0.05.
- 2) IPM区で有意に多発性を示した種に◎を付した.

表11 集落のルートセンサスにおいて屋敷林の多いIPM-AおよびIPM-B区で多発傾向のハグロトンボとツマキチョウの出現回数と確認総個体数

種名	ステ ージ	集落名 (区名)	2008年		2009年		
			11回調査/年(4月15日~10月25日)		10回調査/年(4月19日~10月18日)		
			出現回数	確認総個体数	出現回数	確認総個体数	
トンボ目 Odonata	◎ハグロトンボ <i>Calopteryx atrata</i>	成虫	IPM-A区	6	65	5	39
			IPM-B区	3	10	3	8
			慣行区	0	0	0	0
チョウ目 Lepidoptera	◎ツマキチョウ <i>Anthocharis scolymus</i>	成虫	IPM-A区	1	12	1	8
			IPM-B区	1	9	1	5
			慣行区	0	0	0	0

- 1) 屋敷林の多いIPM-A区あるいはIPM-B区に特徴的に多発した種に◎を付した.
- 2) ツマキチョウの出現回数1は, 2008年は4月15日, 2009年は4月19日.
- 3) 調査期間での総確認種数は, トンボ類は7種, チョウ目のいわゆるチョウ類は29種であった.
- 4) シオカラトンボとモンシロチョウは個体数が多いが, 水路やアブラナ科野菜作との関係が強く, それ以外は個体数が少なかった.

e 畦畔での見取り法

結果を表10に示した. 2009年7月9日の調査において, IPM-A区での明かな多発種はトウキョウダルマガエルであり, ニホンアマガエルはIPM-B区で明かな多発傾向を示した. これらのことから, カエル類は環境の指標種として有望と考えられた. なお, IPM-A区に隣接した慣行・幸手区の畦畔においてもトウキョウダルマガエルが多発している. この観察個体は, 地域として個体密度が高いことを反映したものと考えられた. 慣行・幸手区の水中ライトトラップでの幼生捕獲数(表8)は比較的少ないことから, 本種は移動力が強く, 畦畔の個体数調査では, 隣接水田も含めた地域性が示されるものと推定した.

f 集落でのルートセンサス法

3集落, 2年間の調査においてトンボ類7種, チョウ類29種を確認した. 年間総個体数で比較すると, ハグロトンボとツマキチョウは明らかにIPM-A区で多発傾向を示し, IPM-B区でも一定量の発生を確認したのに対し, 慣行区では確認でき

なかった(表11).

ハグロトンボの幼生期は水性植物の存在する流水で過ごし, 成虫期は屋敷林などの下草で過ごすことから, 環境保全的集落での指標生物のとされ(関東農政局農村計画部資源課, 2008), 今回の結果と同様であった.

ツマキチョウは年1回, 4~5月に成虫が出現するため, 長期間の卵から蛹期の生存環境として, 人手が頻繁に入らない植生管理環境が必要と考えられる. 利根川水系の旧久喜市内を対象とした500mメッシュ内の個体数調査事例(萩原昇ら, 1988)では, 河畔砂丘などに形成された屋敷林と農地の境界部(林縁部), すなわち, 生物多様性保全に有効な農地周辺での発生が多く, 環境保全的集落の指標生物としての有効性が報告されており, 今回の結果も同様であった.

(3) 指標生物候補の選抜, 発生消長と調査時期の検討

a 指標生物候補種の選抜

これまでの各々の調査によって得られた表6~11の結果から, 環境保全型水田のIPM-A区ある

いは IPM-B 区で多発傾向を示した指標生物候補種(群)は、水田を調査対象とした場合には、①クロヘリヒメテントウ、②ハイイロゲンゴロウ、③コガムシ、③トゲバゴマフガムシ、⑤アタマアブ類「属」、⑥ウスイロササキリ、⑦アキアカネ、⑧アジアイトトンボ、⑨ヒメアメンボ、⑩アシナガグモ属、⑪ヒメタニシ、⑫カエル類：「トウキョウダルマガエルとニホンアマガエル」の12種(群を含む)、集落を対象とした場合には①ハグロトンボ、②ツマキチョウの2種であった。

これらの生物については、年間調査での出現回数と総個体数による選抜であったが、実際の調査は、発生消長や水管理などのほ場管理の制約を考慮した調査時期が必要となる。そこで、環境評価を行う場合に想定される調査の時期、種の特性からの問題点について調査法と分類群別に検討した。

b 指標生物としての妥当性と調査時期の検討

(a) 水田内での調査

トンボ類のアキアカネ成虫は6月下旬から7月上旬に羽化することが一般に知られており、今回の調査と一致し、本種成虫の調査時期は7月1日前後と考えられた(図3)。しかし、捕獲個体はすべてが羽化直後の翅が固化する前であり個体数が少なかった。本種の特徴として、羽化翌日には水田から移動するため、羽化殻調査、あるいは魚取り用のタモ網での幼虫調査の有望性が考えられた。

アジアイトトンボ成虫は、6月下旬から8月に捕獲され、調査時期は7月から8月の長期にわたって可能と考えられた(図3)。

ウスイロササキリ成幼虫の発生は双山型となり、8月に増加する傾向であるため、調査時期は8月上中旬、あるいは、越冬世代の発生する6月中旬から7月上旬と考えられた(図3)。本種は、東北や中部地方では年1化、暖地では2化とされ(井上尚武, 2006)、今回の調査から、関東平坦部では年2化の生活史と推察された。

アタマアブ類成虫はイネの生育後期の8月に増加し、寄主であるツマグロヨコバイの増加時期と一致した。これは、本種の生活史の特性を示しており、調査時期は8月中旬と考えられた(図3)。

クロヘリヒメテントウ成虫は、6月上旬と8月に多発する傾向を示した。調査時期は、2009年の

IPM-A 区で明らかな多発傾向を示した6月上旬と考えられた(図3)。

アシナガグモ属成幼体は6月と8月に多発する傾向であり、調査時期は6月と8月と考えられた(図3)。なお、2009年の慣行・幸手区において6月上旬に有意に多発した。この結果は、隣接する土手の草刈り直後の調査データであり、周辺草地からの飛び込みに起因したと推察された。

水生甲虫類のハイイロゲンゴロウとコガムシは水面下を目視で計数し、トゲバゴマフガムシは水中ライトトラップで捕獲した。水面下の目視調査は藻類や浮遊物、濁りによってきわめて調査が困難であり、その労力と発見能力の個人差を考慮し、調査の一般化を目的とした場合は採用が困難と考えられた。一方、水中ライトトラップは調査能力の個人差が生じない利点がある。これら、水生甲虫類の調査は田水深が必要であるため、中干し前の6月上旬に行い、この時期のタモ網での捕獲は、アキアカネ幼虫との同時調査が可能と考えられた(表7, 8)。

水生半翅目のヒメアメンボは水面上の個体を目視で計数し、水中ライトトラップでも捕獲できた。2008年の目視調査ではIPM-A区で多発傾向であったが、水中ライトトラップでは区間差は認められず、個体数の変動が顕著であった。成虫は極めて飛翔による移動が旺盛なこと、水面上では集団を形成するなど、定量的調査には困難性を伴い、さらに検討が必要と思われた(表7, 8)。

貝類のヒメタニシは水面下の徘徊個体を目視調査するため、田植直後から中干し前までの調査が可能と思われた。しかし、藻類や浮遊物による調査の困難性、水田内での生息場所の偏りを考慮すると、調査法の検討が必要と思われた。

カエル類の幼生は目視で調査が可能であるが、藻類や浮遊物が観察を妨害するための困難性があった。一方、水中ライトトラップでは多数の個体が捕獲され、定量化の困難な本グループの調査法として優れていると思われた(表8, 9)。調査時期は、水管理の制約から、6月上旬と考えられた。

(b) 水田畦畔と集落での調査

畦畔すくい取り法では、水田内調査で環境指標生物となったウスイロササキリがIPM-A区とB

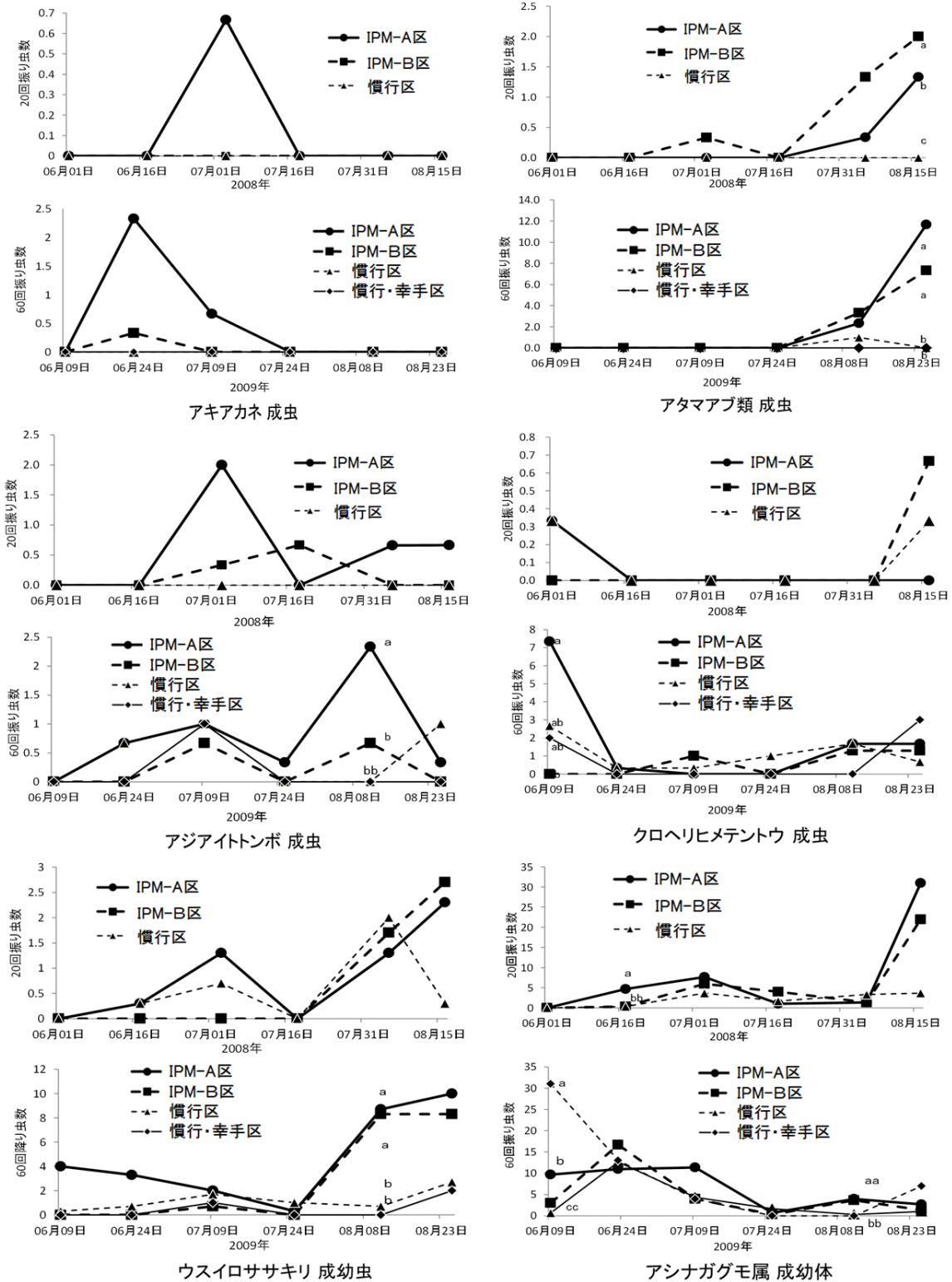


図3 水田内すくい取り法による指標生物候補種の各試験区での捕獲推移
異なるアルファベット間は $\log(n+0.5)$ 変換後 Tukey-Kramer の HSD 検定 $p < 0.05$.

区で多発傾向となり（表 9）、水田内すくい取りと同様、調査時期は多発する 8 月と考えられた。

畦畔のカエル類成体は、IPM 区の指標生物として優れており（表 10）、その調査時期はトウキョウダルマガエルとニホンアマガエルが変態して上陸する、6 月下旬から 7 月上旬と考えられた。

集落のルートセンサス法でのハグロトンボの調査時期は、成虫は発生時期が長期にわたるため 6 月下旬から 9 月上旬と考えられた。一方、ツマキチョウは、春季の年一回発生の生活史であるため、4 月中下旬が調査時期と推定されるが、春季の寒暖の年次変動を考慮する必要がある（表 11）。

2 指標生物による評価手法の開発

(1) 各種調査法と調査時期による指標性の検討

a 水田内調査

(a) 水田内でのすくい取り法

ヒラタアブ類は IPM-A 区で僅かに多発を示したが、個体数が少なく、指標生物として有効でなかった（表 12）。

イトトンボ類はアジアイトトンボが確認され、2 年間のすべての調査で IPM-A 区で多発傾向を示し、指標生物とし有望であった（表 12）。

アシナガグモ類は IPM-A 区と慣行区の差が認められなかった（表 12）。しかし、2008～2009 年の調査では有意性が認められたこと、特徴的な形態のため調査が容易であること、プロジェクト参加の各機関において、有意性が示されていること（農林水産省農林水産技術会議事務局、2012a）から、指標生物として尊重されると考えられた。今回の調査地とした慣行区の加須市（旧北川辺町）は、一部が渡良瀬遊水地となっており、利根川河川敷を含めて移動力の強いアシナガグモ類の密度が地域全体として高いことも、IPM-A 区との差が生じない要素と考えられた。

オニグモ類は 2010 年には捕獲できなかったが 2011 年は 8 月に確認され、IPM-A 区で僅かに多いが、個体数が著しく少なく指標性は劣った。

以上の結果を踏まえて、水田内のすくい取り法において、8 月中旬のイトトンボ類とアシナガグモ類を、環境評価生物として採用した。

殺虫剤の害虫への影響を知るため、ツマグロヨコバイとヒメトビウンカを調べた。両種に有効と

されるジノテフラン粒剤処理は、ツマグロヨコバイを顕著に抑制した。しかし、ヒメトビウンカに対しては効果は認められず、逆に 2010 年の事例では、IPM-A 区は慣行区より、また IPM-A・加須区は慣行・加須区より明らかな少発生の傾向が認められた（表 12）。本種がジノテフランに対して感受性低下が生じている情報が得られていない。今回の結果は、薬剤防除によってヒメトビウンカが増加した事例であり、感受性低下、天敵抑制による害虫密度の増加、同一の生態的地位を有するツマグロヨコバイとの干渉など、今後の研究が課題と思われる。

(b) イネ株かき分け見取り法

コモリグモ類は IPM-A 区において、7 月と 8 月に多発が認められた。特に、収穫前の 8 月に個体数が増加することから、8 月のコモリグモ類の調査は、環境評価法として優れると考えられた。コモリグモ類は、キバラコモリグモが優先種であり、キクヅキコモリグモとの 2 種での構成であった。なお、本種群は地上徘徊性であることから、農薬処理によって排除された場合は、周辺からの移動が緩慢な特性に起因して、水田全体が低密度状態を継続するものと考えられた。

一方、小型種のコサラグモ類、アゴブトグモ、ヒメアシナガグモ類は IPM-A 区で明らかに少なく、大型のコモリグモ類の存在が小型クモ類の生存に対して抑制的に働いていると考えられた。

アシナガグモ類は区間の差異が明らかでなかった（表 13）。

(c) 畦畔からのイネ株見取り法

アカネ類の羽化殻数が IPM-A 区で確認され、それ以外の区では確認できなかった（表 14）。アキアカネと推定され、環境指標性が高いと考えられた。しかし個体数が少なく、大雨や強風で飛ばされるなど、羽化殻数の把握は不安定と思われた。

(d) 畦畔からの水面・水中見取り法

アメンボ類は、2010 年 5 月 24 日は IPM-A 区で多発傾向であったが、同年 6 月 15 日は慣行区で著しく多いものの生息密度にバラツキが多く、また、2011 年は慣行区で多い傾向が示されたことから

環境指標性は乏しいと考えられた。その理由として、極めて高い飛翔性にあると思われた(表15)。

水生甲虫類はIPM-A区および同-B区で生息を確認できたものの、確認数が極めて少なく、この調査法では指標性が乏しいと考えられた(表15)。

(e) 畦畔からの水中すくい取り法

アカネ類幼虫は、2011年6月6日と同13日も、明らかに多く、優れた環境指標性が示された。水生甲虫類はハイイロゲンゴロウとコガムシから構成され、両種ともIPM-A区で多発傾向であり、両種を合わせた水生甲虫類とすることで、優れた環境指標性があると考えられた(表16)。

b 畦畔調査

(a) 畦畔での見取り法

ダルマガエル類(トウキョウダルマガエル)は7月上旬に変態して水中から上陸するため、2011年7月4日のIPM-A区では顕著に多発した。アマガエル類(ニホンアマガエル)は6月上旬から当年世代成体が見られ、IPM-A区で多かった。カエル類は環境指標性が高く、調査時期は、当年世代成体が出現する7月上旬と考えられた(表17)。

(2) 指標生物による水田環境の点数化の試み

これまでの調査結果を踏まえて、栽培期間中3時期に生物調査を行い、各調査方法による指標生物の個体数(密度)を0~3点、6生物群、計18点を満点とする簡易な集計表を提案した(表18)。すなわち、1回目は中干し前の6月上旬に魚取り

表12 水田内での捕虫網すくい取り法による対象生物の1ほ場当たり捕獲個体数の平均(個体数/1ほ場60回振り:20回×3回) 調査は各3ほ場

目	種名	ステージ	区名	2010年		2011年	
				7月20日	8月10日	7月11日	8月15日
				個体数±SE	個体数±SE	個体数±SE	個体数±SE
ハエ目 Diptera	ヒラタアブ類(亜科) Syrphinae	成虫	IPM-A区	2.0 ± 1.2ns	1.0 ± 0.6ns	0.0 ± 0.0ns	0.7 ± 0.7ns
			IPM-B区	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
			慣行区	0.3 ± 0.3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.3 ± 0.3
			IPM-A・加須区	0.3 ± 0.3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
			慣行・加須区	0.7 ± 0.3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
トンボ目 Odonata	◎アジアイトトンボ <i>Ischnura asiatica</i>	成虫	IPM-A区	1.0 ± 0.6ns	1.7 ± 0.3a	1.7 ± 0.7ab	1.7 ± 0.7a
			IPM-B区	0.0 ± 0.0	1.3 ± 0.3a	0.0 ± 0.0ac	0.7 ± 0.3ab
			慣行区	0.7 ± 0.3	0.0 ± 0.0b	1.0 ± 0.6a	0.0 ± 0.0b
			IPM-A・加須区	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0b	0.0 ± 0.0ac	0.7 ± 0.3ab
			慣行・加須区	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0b	0.3 ± 0.3a	0.0 ± 0.0b
クモ目 Araneae	アシナガグモ類(属) <i>Tetragnatha</i>	成幼体	IPM-A区	2.0 ± 0.6ab	2.0 ± 0.6ab	0.7 ± 0.0ns	3.7 ± 2.2ns
			IPM-B区	1.7 ± 1.2ab	0.7 ± 0.3a	0.7 ± 0.0	0.0 ± 0.0
			慣行区	6.0 ± 2.1b	4.3 ± 0.9b	3.0 ± 0.0	1.3 ± 0.9
			IPM-A・加須区	0.3 ± 0.3a	0.7 ± 0.3a	0.7 ± 0.0	0.7 ± 0.7
			慣行・加須区	2.3 ± 0.7ab	1.0 ± 1.0ab	0.0 ± 0.0	1.7 ± 0.9
オニグモ類(属) <i>Araneus</i>	成幼体	IPM-A区	0.0 ± 0.0ns	0.0 ± 0.0ns	0.0 ± 0.0ns	2.0 ± 0.6ns	
		IPM-B区	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	1.3 ± 0.9	
		慣行区	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.7 ± 0.3	
		IPM-A・加須区	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.3 ± 0.3	
		慣行・加須区	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	1.3 ± 0.3	
◎ツマグロヨコバイ <i>Nephotettix cincticeps</i>	成虫	IPM-A区	39.0 ± 8.5ns	751.3 ± 287.4a	7.3 ± 2.8a	812.0 ± 92.8a	
		IPM-B区	20.3 ± 5.93	438.0 ± 111.0a	13.0 ± 1.0ab	739.0 ± 169.1a	
		慣行区	51.7 ± 18.4	32.7 ± 9.0b	6.3 ± 0.9a	4.0 ± 2.3bc	
		IPM-A・加須区	9.0 ± 0.6	133.3 ± 53.2a	3.3 ± 0.9ac	76.3 ± 15.6d	
		慣行・加須区	15.0 ± 6.7	2.3 ± 2.3b	6.3 ± 1.2a	0.3 ± 0.3b	
カメムシ目 Hemiptera	ヒメトビウンカ <i>Laodelphax striatella</i>	幼虫	IPM-A区	36.3 ± 19.1a	3567.3 ± 855.9a	2.7 ± 1.2a	6010.7 ± 1610.8a
			IPM-B区	21.0 ± 13.5a	1215.0 ± 315.5a	12.3 ± 0.9b	7173.7 ± 1839.9a
			慣行区	42.0 ± 25.7a	50.0 ± 21.8b	0.0 ± 0.0a	0.7 ± 0.7b
			IPM-A・加須区	0.3 ± 0.7b	1673.0 ± 620.8a	1.3 ± 0.3a	1758.7 ± 610.2c
			慣行・加須区	0.7 ± 0.3b	0.0 ± 0.0c	0.7 ± 0.9a	0.0 ± 0.0b
成虫	IPM-A区	26.0 ± 9.1a	157.0 ± 45.6a	5.3 ± 1.3ns	507.7 ± 57.3a		
	IPM-B区	17.3 ± 0.9ab	532.3 ± 49.5b	3.3 ± 0.7	1288.3 ± 88.1b		
	慣行区	107.3 ± 41.5ac	485.3 ± 93.7bc	9.0 ± 1.0	652.3 ± 157.7ab		
	IPM-A・加須区	52.3 ± 8.1a	122.3 ± 21.5a	6.0 ± 1.0	1456.0 ± 403.8b		
	慣行・加須区	31.0 ± 10.7a	1694.3 ± 330.4bd	6.7 ± 0.9	1321.0 ± 214.5b		
幼虫	IPM-A区	12.3 ± 4.1ns	185.0 ± 35.8a	0.7 ± 0.7ns	417.0 ± 111.0ns		
	IPM-B区	8.3 ± 2.4	340.7 ± 47.2ab	4.0 ± 1.5	864.7 ± 234.2		
	慣行区	89.7 ± 53.2	864.7 ± 66.7b	3.7 ± 1.9	476.7 ± 45.6		
	IPM-A・加須区	3.3 ± 0.9	320.7 ± 98.1a	2.3 ± 0.3	830.0 ± 239.3		
	慣行・加須区	21.0 ± 3.1	519.0 ± 129.1ab	0.7 ± 0.7	422.0 ± 190.5		

1) アルファベット異文字間はlog(n+0.5)変換後Tukey-KramerのHSD検定p<0.05。
 2) カメムシ目の2種はイネの害虫、それ以外のハエ目、トンボ目、クモ目は害虫の捕食性天敵。
 3) IPM-A区あるいはIPM-B区で有意に多発性を示した種に◎を付した。

江村ら：早期早植水田域における環境指標生物の選抜

表13 イネ株かき分け見取り法による調査対象クモ類の20株当たり個体数の平均（個体数/1ほ場20株：5株×4箇所）調査は各3ほ場

種名	ステージ	区名	2010年		2011年	
			7月21-23日	2013/8/11-14	7月12-13日	8月16-17日
			個体数±SE	個体数±SE	個体数±SE	個体数±SE
◎コモリグモ類 (科) Lycosidae	成幼体	IPM-A区	7.3 ± 2.6a	25.0 ± 8.5a	5.3 ± 2.3a	17.3 ± 1.5a
		IPM-B区	0.0 ± 0.0b	3.0 ± 3.0b	0.7 ± 0.3b	1.7 ± 0.9b
		慣行区	0.3 ± 0.3b	8.7 ± 3.7ab	0.0 ± 0.0b	0.3 ± 0.3b
		IPM-A・加須区	0.3 ± 0.3b	1.7 ± 1.7b	0.0 ± 0.0b	6.3 ± 2.4ab
		慣行・加須区	1.0 ± 1.0b	0.7 ± 0.3b	0.0 ± 0.0b	1.7 ± 1.2b
コサラグモ類 (属) <i>Aprifrontalia</i>	成幼体	IPM-A区	6.3 ± 1.8ab	11.3 ± 2.9a	調査対象から除外	
		IPM-B区	43.0 ± 8.1ac	34.3 ± 6.9b	—	—
		慣行区	14.3 ± 2.6a	35.3 ± 10.5b	—	—
		IPM-A・加須区	13.7 ± 2.2a	22.7 ± 2.3a	—	—
		慣行・加須区	32.7 ± 13.4a	8.3 ± 1.5ab	—	—
アゴブトグモ <i>Pachygnatha clercki</i>	成幼体	IPM-A区	0.7 ± 0.7ns	0.7 ± 0.7ns	調査対象から除外	
		IPM-B区	2.7 ± 1.5	2.7 ± 0.9	—	—
		慣行区	3.0 ± 2.1	1.7 ± 1.5	—	—
		IPM-A・加須区	0.0 ± 0.0	2.8 ± 1.2	—	—
		慣行・加須区	0.0 ± 0.0	0.7 ± 0.3	—	—
ヒメアシナガグモ類 (以下2種の合計個体数) ヒメアシナガグモ <i>Pachygnatha tenera</i> ヨツボシヒメアシナガグモ <i>P. quadrimaculata</i>	成幼体	IPM-A区	5.0 ± 1.0a	12.3 ± 3.2a	調査対象から除外	
		IPM-B区	23.3 ± 2.6bc	45.0 ± 8.5ab	—	—
		慣行区	2.7 ± 1.8a	34.0 ± 9.9a	—	—
		IPM-A・加須区	9.0 ± 3.2b	25.3 ± 1.8a	—	—
		慣行・加須区	3.7 ± 1.2bd	11.7 ± 6.2ac	—	—
アシナガグモ類 (属) <i>Tetragnatha</i>	成幼体	IPM-A区	2.3 ± 1.5ns	2.7 ± 0.9ns	調査対象から除外	
		IPM-B区	0.0 ± 0.0	1.7 ± 0.9	—	—
		慣行区	0.7 ± 0.3	4.0 ± 1.5	—	—
		IPM-A・加須区	0.0 ± 0.0	1.7 ± 0.3	—	—
		慣行・加須区	0.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	—	—

- 1) アルファベット異文字間はlog(n+0.5)変換後Tukey-KramerのHSD検定p<0.05.
- 2) コモリグモ類はキバラコモリグモ*Pirata subpiraticus* (優先種) とキクヅキコモリグモ*Pardosa pseudoannulata*が確認された.
- 3) ヒメアシナガグモ類について：今までヒメアシナガグモ属*Dyschiriognatha*に含まれていたヒメアシナガグモとヨツボシヒメアシナガグモについて、谷川明男 (2009) は、アゴブトグモ属*Pachygnatha*に転属しているため、この表の属名は谷川に従った。
表中のヒメアシナガグモとヨツボシヒメアシナガグモは体長、体型、生態が類似し、同所的に生活していることから一括し、ヒメアシナガグモ類として取り扱った。
- 4) IPM-A区あるいはIPM-B区で有意に多発性を示した種に◎を付した。

表14 畦畔からのイネ株見取り法によるトンボ類の羽化殻の畦畔40m当たり発見個体数の平均（個体数/1ほ場40m：畦畔から3株×10m×4箇所）調査は各3ほ場

種名	区名	2010年			2011年			
		6月21日	6月28日	7月5日	6月13日	6月24日	6月28日	7月4日
		個体数±SE	個体数±SE	個体数±SE	個体数±SE	個体数±SE	個体数±SE	個体数±SE
アカネ類 (羽化殻)	IPM-A区	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.7 ± 0.3ns	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	1.7 ± 1.2ns	1.0 ± 0.6ns
	IPM-B区	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
	慣行区	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
	IPM-A・加須区	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
	慣行・加須区	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0

- 1) トンボ類成虫の確認日：IPM-A区において7月5日に当日羽化のアカネ成虫を1個体発見した。そのほかのトンボ類成虫は未確認。

表15 畦畔からの水面・水中見取り法による40m当たり発見個体数の平均（個体数/1ほ場40m：畦畔から3株×10m×4箇所）調査は各3ほ場

種名	区名	2010年				2011年			
		5月24日	6月8日	6月15日	6月21日	6月6日	6月13日	6月24日	7月4日
		個体数±SE	個体数±SE	個体数±SE	個体数±SE	個体数±SE	個体数±SE	個体数±SE	個体数±SE
アメンボ類 成幼虫 (水面見取り)	IPM-A区	17.7 ± 4.7a	6.0 ± 0.7a	3.3 ± 1.8ns	中干し・調査不能	1.7 ± 0.7a	0.7 ± 7.0a	中干し・調査不能	中干し・調査不能
	IPM-B区	1.0 ± 0.6b	0.7 ± 0.3ab	4.0 ± 1.5	—	1.7 ± 0.7a	1.7 ± 7.0a	—	—
	慣行区	5.3 ± 2.9ab	15.0 ± 7.2ac	25.0 ± 22.1	—	6.3 ± 1.2b	3.3 ± 0.3b	—	—
	ヒメアメンボが生息	IPM-A・加須区	0.7 ± 0.3b	0.3 ± 0.3a	1.7 ± 1.7	—	1.0 ± 0.6a	0.0 ± 0.0a	—
	慣行・加須区	0.0 ± 0.0b	0.3 ± 0.3a	0.0 ± 0.0	—	0.3 ± 0.3a	0.0 ± 0.0a	—	—
水生甲虫類 成幼虫 (水中見取り)	IPM-A区	1.0 ± 0.6ns	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0ns	中干し・調査不能	水中すくい取りを実施のため中止			
	IPM-B区	0.7 ± 0.7	0.0 ± 0.0	1.0 ± 0.6	—	—	—	—	—
	慣行区	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	—	—	—	—	—
コガムシ・ハイイログ ンゴロウが主体	IPM-A・加須区	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	—	—	—	—	—
	慣行・加須区	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	—	—	—	—	—

- 1) アルファベット異文字間はlog(n+0.5)変換後Tukey-KramerのHSD検定p<0.05.

表16 畦畔からの水中すくい取り法による12m当たり捕獲個体数の平均(個体数/1ほ場12m:畦畔と1株目の間×3m×4箇所) 調査は各3ほ場, 2011年

区名	アカネ類幼虫		ハイロゲンゴロウ成幼虫①		コガムシ成幼虫②		水生甲虫類(左記①+②)	
	6月6日	6月13日	6月6日	6月13日	6月6日	6月13日	6月6日	6月13日
	個体数±SE	個体数±SE	個体数±SE	個体数±SE	個体数±SE	個体数±SE	個体数±SE	個体数±SE
IPM-A区	4.3 ± 1.9a	3.7 ± 1.7a	1.3 ± 0.7ns	1.0 ± 0.6ns	1.3 ± 0.3a	0.7 ± 0.3ns	2.7 ± 0.9a	1.7 ± 0.7a
IPM-B区	0.0 ± 0.0b	0.0 ± 0.0b	0.7 ± 0.3	0.3 ± 0.3	0.0 ± 0.0b	0.3 ± 0.3	0.7 ± 0.3ab	0.7 ± 0.3ab
慣行区	0.0 ± 0.0b	0.0 ± 0.0b	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.7 ± 0.3ab	0.0 ± 0.0	0.7 ± 0.3ab	0.0 ± 0.0b
IPM-A・加須区	0.0 ± 0.0b	0.0 ± 0.0b	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0b	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0b	0.0 ± 0.0b
慣行・加須区	0.0 ± 0.0b	0.0 ± 0.0b	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0b	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0b	0.0 ± 0.0b

1) アルファベット異文字間はlog(n+0.5)変換後Tukey-KramerのHSD検定p<0.05.

表17 畦畔見取り法による40m当たり発見個体数の平均(個体数/1ほ場40m:畦畔・畦畔わき10m×4箇所) 調査は各3ほ場

種名	区名	2010年				2011年			
		5月24日	6月8日	6月15日	6月21日	6月6日	6月13日	6月24日	7月4日
		個体数±SE	個体数±SE	個体数±SE	個体数±SE	個体数±SE	個体数±SE	個体数±SE	個体数±SE
ダルマガエル類 成体 (畦畔見取り)	IPM-A区	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.3 ± 0.3ns	0.3 ± 0.3ns	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	45.3 ± 11.7a
	IPM-B区	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.3 ± 0.3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0b
	慣行区	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.3 ± 0.3b
	IPM-A・加須区	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0b
トウキョウダルマガエルが 生息	慣行・加須区	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0b
	IPM-A区	0.3 ± 0.3ns	21.7 ± 9.0a	20.7 ± 2.2a	65.0 ± 21.9a	9.0 ± 3.5a	8.0 ± 1.0a	45.7 ± 6.2a	59.7 ± 7.0a
	IPM-B区	0.0 ± 0.0	1.3 ± 1.3b	1.0 ± 1.0b	0.3 ± 0.3b	1.0 ± 0.6b	0.7 ± 0.7b	13.3 ± 10.8b	14.0 ± 8.5b
	慣行区	0.7 ± 0.3	2.0 ± 1.2b	8.3 ± 2.6ac	5.7 ± 2.4b	1.0 ± 0.6b	10.3 ± 1.9a	2.0 ± 0.6b	2.0 ± 1.0b
ニホンアマガエルが生 息	IPM-A・加須区	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0b	1.6 ± 0.9bc	2.3 ± 1.9b	0.0 ± 0.0b	0.7 ± 0.3b	4.3 ± 2.4b	1.3 ± 0.7b
	慣行・加須区	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0b	0.7 ± 0.3b	1.7 ± 1.2b	0.0 ± 0.0b	0.7 ± 0.7b	7.7 ± 3.5b	6.7 ± 2.3b

1) アルファベット異文字間はlog(n+0.5)変換後Tukey-KramerのHSD検定p<0.05.

用のタモ網を用い、畦畔沿いの水中すくい取り法により水生甲虫類の成幼虫とトンボ類幼虫を捕獲、2回目は7月上旬に畦畔の見取り法によりカエル類成体を観察、3回目は8月中旬に捕虫網での水田内のすくい取り法によりトンボ類とアシナガガモ類を捕獲、ならびにイネ株元かき分け見取り法によりコモリグモ類を観察することである。

2011年の調査結果の個体数から、各試験区の水田環境評価点を算出した(表19)。その結果、無

農薬型のIPM-A区の得点は13点、減農薬型のIPM-B区は5点、慣行区は2点となり、評価の適合性が得られた。一方、加須低地の同一耕地内における無農薬型のIPM-A・加須区は5点、慣行・加須区は3点であり、僅かに無農薬型のほ場で評価点が高かったものの、その差異は少なかった。それは、耕地全体が一般防除地域であるために、個別の無農薬型水田の生物相が増加しなかったためと推察された。

表18 指標生物による水田環境評価のための年間スケジュールと評価点の提案

調査時期(背景)	調査方法	対象生物(分類の階級)	単位当たり個体数(密度)	評価点			
				0点	1点	2点	3点
6月上旬(中干し前)	魚取り用D型フレーム網での水中すくい取り(直径30cm)	水生甲虫類(目)成幼虫	個体数/5m×4箇所合計	0	1	2~3	4以上
		トンボ類(目)幼虫		0	1	2~3	4以上
7月上旬	畦畔の見取り法	カエル類(目)成体	個体数/10m×4箇所合計	0	1~9	10~19	20以上
8月中旬(出穂後)	捕虫網すくい取り(直径36cm)	トンボ類(目)成虫	個体数/20回振り2回合計	0	1	2~3	4以上
		アシナガガモ類(属)成幼虫		0	1~9	10~19	20以上
	イネ株元かき分け見取り法	コモリグモ類(科)成幼虫	個体数/5株×2箇所合計	0	1	2~3	4以上

1) 個体数が小数点(圃場を平均して評価する)の場合は小数点以下を四捨五入で整数化する。

表19 指標生物による水田環境評価のための調査事例(2011年調査における平均個体数から算出)

調査時期	対象生物(分類の階級)	調査月日	IPM-A区		IPM-B区		慣行区		IPM-A・加須区		慣行・加須区	
			個体数	得点	個体数	得点	個体数	得点	個体数	得点	個体数	得点
6月上旬(中干し前)	水生甲虫類(目)成幼虫	6月13日	2.8	2	1.2	1	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	トンボ類(目)幼虫		6.2	3	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
7月上旬	カエル類(目)成体	7月4日	105.0	3	14.0	2	2.3	1	1.3	1	6.7	1
8月中旬(出穂後)	トンボ類(目)成虫	8月15日	1.1	1	0.5	1	0.0	0	0.5	1	0.0	0
	アシナガガモ類(属)成幼虫		2.5	1	0.0	0	0.9	1	0.5	1	1.1	1
	コモリグモ類(科)成幼虫	8月16~17日	8.7	3	0.9	1	0.2	0	3.2	2	0.9	1
各試験区の得点			13		5		2		5		3	

1) 個体数の算出:前記した表12,13,15,17の調査結果の個体数を水田環境評価のための密度単位(表18)に換算して計算。

総合考察

本研究は、日本の農村集落の構成要素である水田に着目し、集落単位で環境保全型農法に取り組んだ場合に特徴的に出現する指標生物を選抜し、それを用いて評価を試みることを目的とした。しかし、集落の生物を定量的に把握する手法、それを比較して評価する手法は多岐にわたるため、結果的には、農薬の使用実態から試験区を設定した。当初、集落を比較することは、風土が異なるために科学的根拠に乏しいのではないかと考えた。利根川流域の中川低地上流部はコシヒカリ早期栽培の一毛作が広範囲に広がる地域であるため、そこに着目した。利根川に隣接した加須市（旧北川辺町）を中川低地に含まめるかの論議はあるが、同一地域とみなした。

研究の開始にあたって想定していた、指標生物としての害虫寄生性天敵については、アタマアブ類の指標性が確認された。本種群は頭の大きな特徴的な形体を持つこと、寄生率がサンプルによっては100%に達する（矢野宏二，2002）ことから指標生物として期待したが、個体数は比較的少なく、さらに、寄主である主要害虫のツマグロヨコバイに依存するため、指標生物として評価に用いることは困難とした。合わせて、害虫に寄生する寄主特異性の高い天敵は、害虫の多発に連動して多発するので、環境指標生物としての取り扱いには注意が必要と思われた。

今回の研究結果から、年間の調査時期を3回、6群の指標生物を用いる提案となった。限られた期間での早期一毛作地域での調査結果であり、多くの作型や地域、農法での検討がさらに必要であろう。桐谷圭治（2013）が述べているように、これからの農業は安全・安心な生物多様性を視野に入れた新しい農法が必要であり、すべての生物との共存の道を追求するためにも、多方面の観点からの環境指標生物の活用が必要と考える。

引用文献

萩原昇・江村薫（1989）：久喜市におけるツマキチヨウの分布調査。久喜市の動植物（Ⅱ）（久喜市

- 史編さん室編）178-187，久喜市，埼玉。
- 平井一男（2009）：農業環境政策における生物多様性と植物保護。植物防疫 63，646-650。
- 日高敏隆（2004）：必然としての生物多様性。p.i，総合科学技術会議，東京。
- 環境研究推進プロジェクトチーム，生物・生態系研究開発調査検討ワーキンググループ（2004）：必然としての生物多様性。p.24，総合科学技術会議，東京。
- 関東農政局農村計画部資源課（2003）：農村地域環境管理計画策定手法確立調査（生物保全型）「榎挽・妻沼地区」総合報告書，p.77。関東農政局，埼玉。
- 桐谷圭治（2009）：いまなぜ「田んぼの生きもの全種リスト」「田んぼの生きもの指標」か。耕（山崎農業研究所），118，33-39。
- 同（2013）：ただの虫にも安心安全な農業・総合的的生物多様性管理（IBM）。日本の科学者 48，208-213。
- 農林水産省（2012）：農林水産省生物多様性戦略。p.40，農林水産省，東京。
- 農林水産省農林水産技術会議事務局・（独）農業環境技術研究所・（独）農業生物資源研究所（2012a）：農業に有用な生物多様性の指標，生物調査・評価マニュアルⅠ調査法・評価法。pp.65。
- 同（2012b）：農業に有用な生物多様性の指標生物調査・評価マニュアルⅡ資料。pp.56。
- 農と自然の研究所（2009）田んぼの生きもの指標。p.21-22。農と自然の研究所，福岡。
- 竹内博昭（2007）：クモヘリカメムシの発生动態ならびに斑点米被害予測に関する研究。中央農研研究報告 9，17-74。
- 谷川明男（2009）：アシナガグモ科 Tetragnathidae。日本産クモ類（小野展嗣編）405-419，東海大学出版会，東京。
- 山村光司（2002）：正しい分散分析結果を導くための変数変換法。植物防疫 56，436-441。
- 山下弘文（1993）：ラムサール条約と日本の湿地—湿地保全と共生への提言—。pp.203，信山社出版，東京。
- 矢野宏二（2002）：水田の昆虫誌。pp.107-108，東海大学出版会，東京。