

河北潟周辺の圃場におけるラジコンヘリによる農薬の一斉空中散布前後での陸生無脊椎動物群集の比較

高橋 久・川原奈苗・黒川貴弘

河北潟湖沼研究所

〒 929-0342 石川県河北郡津幡町北中条ナ 9-9

要約：石川県河北潟周辺の水田において広域で実施されているラジコンヘリによる農薬の空中散布の実施前後に、スウィーピングによる陸生無脊椎動物の調査を実施した。種数と個体数及び多様度を全圃場で比較した場合は農法間の差違は明確ではなかったが、種構成においては農法間での差違が確認され、圃場条件の類似する圃場では、無農薬の方が減農薬や慣行よりも種数が多く多様度が高くなっていた。空中散布後は無農薬や減農薬の圃場では個体数や種数の減少は確認されなかったが、慣行農法では種数と個体数の減少が確認された。カメムシ類は一斉空中散布実施後の調査で、ほとんどの圃場において減少が確認された。しかし、空中散布のターゲットである斑点米被害をもたらすカメムシ類は1回のサンプリングで最大で3個体しか捕獲されておらず、個体数の変動幅はきわめて小さかった。一方、ウンカ・ヨコバイ類については、空中散布の有無にかかわらず、すべての水田で空中散布後に増加していた。空中散布後の個体数の変化は種群によって様相が異なっており、クモ類では減少がみられなかった。隣接する水田が空中散布を実施することにより、空中散布をおこなっていない水田の生物群集にも影響を与えている可能性が示唆された。無脊椎動物群集の構成の決定には、圃場ごとの農薬以外の環境条件の違いや畦の管理、周辺環境なども関係していることが示唆された。

キーワード：農薬の空中散布，水田，河北潟，陸生無脊椎動物群集，ネオニコチノイド

はじめに

石川県河北潟周辺域で実施されているラジコンヘリによる農薬の空中散布は、カメムシ防除を目的としたものである。毎年の県の農業試験場による予察に基づく注意報を根拠として、イネの出穂期に合わせて1回の散布が実施されている。予察の結果からは2009年以降、斑点米カメムシ類は毎年増加しており、近年では毎年注意報が出され、徹底した防除が推奨される（石川県農林総合研究センター，2014）。

河北潟周辺地域の多くの農家は空中散布への参加を選択しているが、選択の大きな理由としては、カメムシ被害の抑制効果への期待よりも、空中散布に参加しないことによる周辺農家との軋轢の回避や被害発生時の責任の回避、農協との関係が挙げられている（未発表データ）。つまり、空中散布が実際の害虫被害のリスクをもとに選択されるのではなく、

農家を取り巻く社会関係におけるリスク回避のために選択されている。実際には、河北潟地域においては近年の深刻なカメムシ被害の報告は見当たらないが、必要性が吟味されないままに広域に化学物質が散布されているのが現状である。

河北潟湖沼研究所では、水田の生物多様性の保全上、カメムシ防除のための一斉空中散布は取りやめるべきであると考え、畦の除草剤散布と空中散布をおこなわない新しいブランド米として「生きもの元気米」の取り組みをおこなっている（河北潟湖沼研究所，2014）。しかし同時に、河北潟周辺地域において一斉空中散布が生物多様性に与えている影響が科学的に明確になっているわけではなく、一斉空中散布を中止することの効果を知るためには、継続的な生物群集に関する研究が必要であり、取り組みと並行して調査を実施している。既に予備的調査として、2013年に農薬を施用していない水田と、慣行農法により空中散布を含め農薬を施用している水田

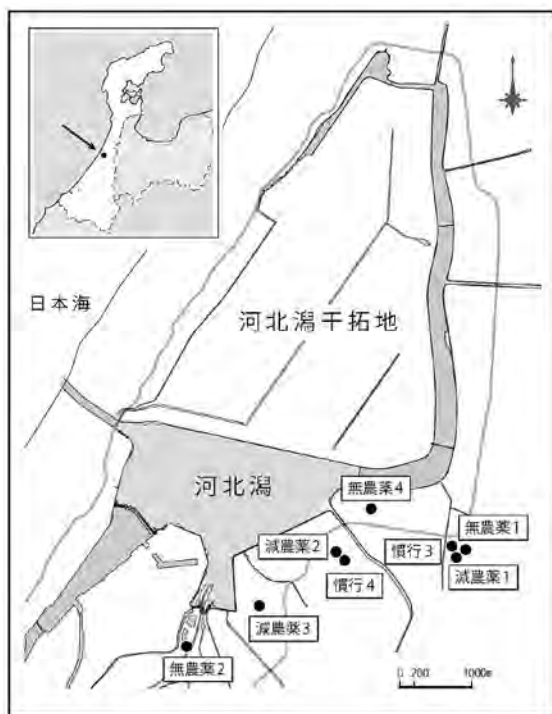


図1. 調査地.

との、陸生無脊椎動物相を比較した調査結果を報告している（高橋・川原，2014）。

本報は、2014年度の調査報告の第1報として、空中散布が実施された8月2日～3日を挟み、前後に実施した陸生無脊椎動物の調査データについて解析した結果について述べる。なお、本調査の実施にあたって、2014年度一般社団法人アクト・ビヨンド・トラスト「ネオニコチノイド系農薬に関する企画」助成を活用させていただいた。

調査地及び方法

調査は、河北潟の周辺エリアの無農薬栽培をおこなっている3つの水田（無農薬1～2, 4）、空中散布を取りやめた3つの水田（減農薬1～3）、一斉空中散布を含め慣行農法をおこなっている2つの水田（慣行3～4）において実施した（図1）。本調査は継続的なモニタリング調査として実施しているもので、各水田の呼称は、先行する高橋・川原（2014）に対応している。新規に調査を実施した水田には、

連続する番号を振っている。また減農薬1は、高橋・川原（2014）の慣行1、減農薬2は慣行2と同じ水田であり、農法の変更により名称を変更した。

無農薬2は、金沢市が造成した公園内にある水田で、公園の造成の際に客土により整備された水田である。2002年の開園以来、無農薬でもち米の栽培を続けている農薬使用履歴を持たない水田である。また、公園内にあるため周辺の圃場とは隔離されている。無農薬1は、河北潟湖沼研究所により2012年より七豊米ブランドで無農薬栽培がおこなわれている水田である。2011年までは慣行栽培がおこなわれていた。無農薬4は、2014年より生きもの元気米の栽培に参加した水田で、既に2012年より一斉空中散布を取りやめている水田である。2014年よりは圃場へ農薬を施用しておらず、畦への除草剤も使用していない。減農薬1～3は、2014年より生きもの元気米栽培をはじめた水田で、一斉空中散布への参加と畦の除草剤使用を取りやめた水田である。以前は慣行農法を実施していた水田である。慣行3～4は、慣行農法を続けている水田で、2014年の一斉空中散布に参加している。また、畦の除草剤管理は除草剤によりおこなっている（表1）。

調査は2014年5月から2014年9月まで月2回の割合で実施しているが、慣行農法の水田では8月2日から3日にかけてラジコンヘリによる空中散布が実施されており、本報では、ラジコンヘリによる一斉航空防除の前後の7月31日と8月7日に陸生無脊椎動物に対して実施した調査についてとりまとめた。空中散布の実施者からの聞き取りにより、ラジコンヘリにより散布された薬剤は、ピームエイトスタークルゾル（ジノテフラン・トリシクラゾール水和剤）8倍希釈ということであった。

調査は各圃場において同日に実施した。口径50cm、柄長150cmの捕虫網を使用し、1調査地点あたり20回振りのスウィーピング法による定量調査を行った。水田内のみを対象とし、畦を歩きながら水田内の稲に対してスウィーピングをおこなった。

採集した試料はいったん冷凍庫に保存した後、ソーティングと同定をおこなった。各圃場の陸生無脊椎動物群集の多様性の解析には、中村（2000）を参考に、Simpsonの多様性度指数 $1/\lambda$ と Shannon-Weaver 関数の H' を用いた。

表 1. 各圃場の特徴.

圃場名	圃場面積	2014年の 農薬使用状況	過去の農薬履歴	肥料	栽培品 種	その他特徴
無農薬 1	750 m ² + 530 m ²	農薬使用なし	過去2年間、農薬使用履歴なし。無農薬栽培田	化学肥料	コシヒカリ	近年の基盤整備なし。土水路（排水）が脇を流れる。
無農薬 2	640 m ²	農薬使用なし	水田造成以来、空中散布履歴なし。無農薬栽培田	化学肥料	かぐらもち	金沢市の自然との共生をテーマにした公園内に造成された水田。2002年に開園
無農薬 4	3,500 m ²	農薬使用なし	過去3年間、空中散布なし。畦への除草剤使用なし。2014年度は農薬使用履歴なし。	牛糞もみがら堆肥、里山ほか	コシヒカリ	近年の基盤整備により面積拡大、客土あり。
減農薬 1	1590 m ²	農薬使用 (除草剤：ヒエク リーン (田))	2013年度まで空中散布および畦への除草剤散布あり。2014年度は空中散布および畦除草なし。	化学肥料を含む(カルテック、バチルス、硫酸)	コシヒカリ	近年の基盤整備なし。土水路（排水）が脇を流れる。
減農薬 2	4,000 m ²	農薬使用 (除草剤：土日 エース (田))	2013年度まで空中散布および畦への除草剤散布あり。2014年度は空中散布および畦除草なし。	化学肥料 (一発タ イプ)	コシヒカリ	近年の基盤整備により面積拡大、客土あり。
減農薬 3	1,734 m ²	農薬使用 (除草剤：バッチ リ粒剤 (田))	2013年度まで空中散布および畦への除草剤散布あり。2014年度は空中散布および畦除草なし。	化学肥料 (一発タ イプ)	コシヒカリ	近年の基盤整備により面積拡大、客土あり。一方が水路及び緑地に面し、高木が並ぶ。
慣行 3	770 m ²	農薬使用 (除草剤：ヒエク リーン、空散： ピームエイトス タークルゾル)	農薬の空中散布毎年1回、畦は除草剤による管理	化学肥料 (液肥)	コシヒカリ	近年の基盤整備なし。四方のうち一方が川に面しており、二日市川が流れる。
慣行 4	3,500 m ²	農薬使用 (除草剤：ラウン ドアップ (畦)、 バッチリ粒剤 (田)、空散：ピー ムエイトスター クルゾル)	農薬の空中散布毎年1回、畦は除草剤による管理	化学肥料 (一発タ イプ)	コシヒカリ	近年の基盤整備により面積拡大、客土あり。

表 2. 出現種一覧及びスウィーピングによる捕獲数 (20 振りあたり) .

クモ目	無農薬 1		無農薬 2		無農薬 4		減農薬 1		減農薬 2		減農薬 3		慣行 3		慣行 4	
	31-Jul	7-Aug	31-Jul	7-Aug	31-Jul	7-Aug	31-Jul	7-Aug	31-Jul	7-Aug	31-Jul	7-Aug	31-Jul	7-Aug	31-Jul	7-Aug
カニミジンクモ <i>Phycosoma mustelinum</i>																
ヒメグモ科の複数種 Theridiidae spp.	6	32	50	12	22	44	9	2	2	9	2	24	10	13	6	3
アシナガクモ <i>Tetragnatha praedonia</i>	8	11	12	12	25	10	2	7	10	8	1	9	14	6	15	6
トガリアシナガクモ <i>Tetragnatha caudicula</i>					1				1							
ウロコアシナガクモ <i>Tetragnatha squamata</i>						3						1				
アシナガクモ科の複数種 Tetragnathidae spp.																
フクログモ科の複数種 Clubionidae spp.																
ドクオウニグモ <i>Neoscona adianta</i>																
ナカムラオニグモ <i>Larinioides cornutus</i>	1	1	2													
ナゴカクモ <i>Argiope bruennichi</i>	1	1	1						2							
コガネグモ科の複数種 Araneidae spp.																
ハナグモ <i>Ebrechella tricuspidata</i>			3						5				2	1	2	2
ワカバグモ <i>Oxyate striatipes</i>																
カニグモ科の複数種 Thomisidae spp.																
ネコハエトリ <i>Carphotus xanthogramma</i>	2	3	1	4			10		3				4	16		1
オスククハエトリ <i>Manduca canescirinii</i>																
ミスジハエトリ <i>Plexippus setipes</i>																
ハエトリグモ科の複数種 Salticidae spp.																
クモ目の若虫 Araneae nymph																
アヤトビムシ科の複数種 Entomobryidae spp.																
アオモンイトトンボ <i>Ischnura senegalensis</i>																
アジアイトトンボ <i>Ischnura asiatica</i>																
セズジイトトンボ <i>Paracercion hieroglyphicum</i>	1															
ウススイロササキ <i>Conocephalus chinensis</i>	3	30	4	1	19	24	3	3	8	5			7	1	1	1
クサヒバリ <i>Svisitella bifasciata</i>																
シヨウリヨババツタ <i>Acrida chinera</i>																
オンアバツタ <i>Attractomorpha lata</i>																
ハネナガイナゴ <i>Oxya japonica</i>																
イナゴ属の若虫 <i>Oxya</i> nymph	1		18													
アブアラム上科の複数種 Aphidoidea spp.																
キジラミ科の複数種 Psyllidae spp.																
セジロウシ <i>Sogatella furcifera</i>	2	14		7			4	9	1	15			2	3	3	5
ヒメトビウシ <i>Laodelphax striatella</i>	1	1			32	70	2	2	7	40				6	3	2
ヒシウシ <i>Pennisiridius apicalis</i>																
ウシカ科の若虫 Delphacidae nymph																
ヤブガラシグンバシ <i>Cystoecyba chiniana</i>																
アヲチンウンバシ <i>Corythucha marmorata</i>	2															
ツマグロヨコバシ <i>Nephotettix cincticeps</i>	2	2			5											
ヒメフタテンヨコバシ <i>Macrostelus strifrons</i>	1															
ミドリカスリヨコバシ <i>Balclutha incisa</i>	3															
ヨツモンヒメヨコバシ <i>Empoasca nana limbata</i>																
アオズキンヨコバシ亜科の一種 <i>Iassinae</i> sp.																
ヨコバシ科の複数種 Cixiellidae spp.																
アカスジカミカメ <i>Stenotus rubrovittatus</i>	1															
イネホシミドリカミカメ <i>Trigonoryllus caelestium</i>																

表 3. 各圃場の個体数, 種群数, 多様度の比較.

		無農薬 1	無農薬 2	無農薬 4	減農薬 1	減農薬 2	減農薬 3	慣行 3	慣行 4
個体数合計	31-Jul	525	218	284	271	371	228	302	316
	7-Aug	728	240	912	476	661	110	291	138
種群数合計	31-Jul	25	17	22	19	19	30	23	16
	7-Aug	25	19	19	19	20	21	15	15
1/λ	31-Jul	19.54	7.44	6.64	12.43	11.01	10.61	10.88	5.95
	7-Aug	4.75	5.07	5.41	10.77	5.17	7.35	7.15	6.89
H'	31-Jul	4.18	3.29	3.18	3.62	3.57	3.93	3.70	3.01
	7-Aug	3.01	2.96	2.99	3.59	3.07	3.40	3.07	3.11

1/λ 及び H' の算定にはクモ類の若虫, ウンカ類の若虫、小型ハエ目は除いている。

結果および考察

各圃場における陸生無脊椎動物群集の構成

今回の 2 日間のサンプリング調査からは, 未同定種を含め約 90 種群の無脊椎動物が確認された (表 2). 本表において, クモ類及びウンカ類の同定ができなかった若虫については, それぞれひとまとめにして個体数を示している. また, 体長が 1mm 台からそれ以下のハエ目については多数の種群が確認されたが, 一括して小型ハエ目として扱った.

各圃場間で群集の構成には差違が見られ, 公園内のため周辺に抽水植物の生育する水辺や自然を模したせせらぎが整備されている無農薬 2 は, 他の圃場ではほとんど確認されていないアオモンイトトンボが多く確認された. また, イナゴ類の若虫が多くみられた. トビイロシワアリや小型のハチ類などハチ目が多かったのも特徴的であった.

無農薬 1 と減農薬 1 は水路を挟んで隣接する圃場であり, 種構成において共通点が多かった. また, 種は異なるがいずれからもイトトンボ類が確認された. 同様に隣接する水田であり, 周辺が水田に囲まれており単調な環境に見える減農薬 2 と慣行 4 の種構成は類似しており, 群集構成はやや貧弱であった.

無農薬 1 と減農薬 1, 慣行 3 は, 最近 30 年間に圃場の基盤整備がされていない区域で, 水田 1

筆あたりの面積が小さく, 乾田化の客土もおこなわれていないために, やや湿田の傾向がある. また, それぞれの調査水田に面して植生を伴う土水路が残っている. これらの 3 つの水田では, 確認された種は近似性が高く, 種数も多かった.

無農薬 4, 減農薬 2, 減農薬 3, 慣行 4 は, 1990 年代以降の基盤整備を経た圃場で, 面積が広く乾田化の客土がおこなわれている. 用排水路は矢板護岸とコンクリートにより整備し直されている. 減農薬 3 を除いて, これらの水田では種構成は概ね貧弱であった. 一方, 減農薬 3 は, 四方のうち一方が大きな水路に面しており, 水路の対岸は緑地で高木が生育しており, 一見して他の 3 つの基盤整備が施された水田とは周辺の様相が異なっている. 減農薬 3 では, 種構成が豊富であり, 特にクモ類やカメムシ類, 甲虫類が多く確認された (表 2).

農薬使用にかかるとる農法間の生物群集の差違

慣行 4 では, 個体数や種数は無農薬や減農薬の圃場と比較して少なくなっていたが, 慣行 3 では, 特に空中散布前の種構成は多様で, 農薬使用にかかるとる農法間での陸生無脊椎動物群集の構成に明瞭な差はみられなかった. 多様度指数 1/λ は, 各圃場, 各調査日間で 20 ~ 5 の間で変動したが, 慣行農法の圃場が無農薬や減農薬の圃場よりも高い場合もあり,

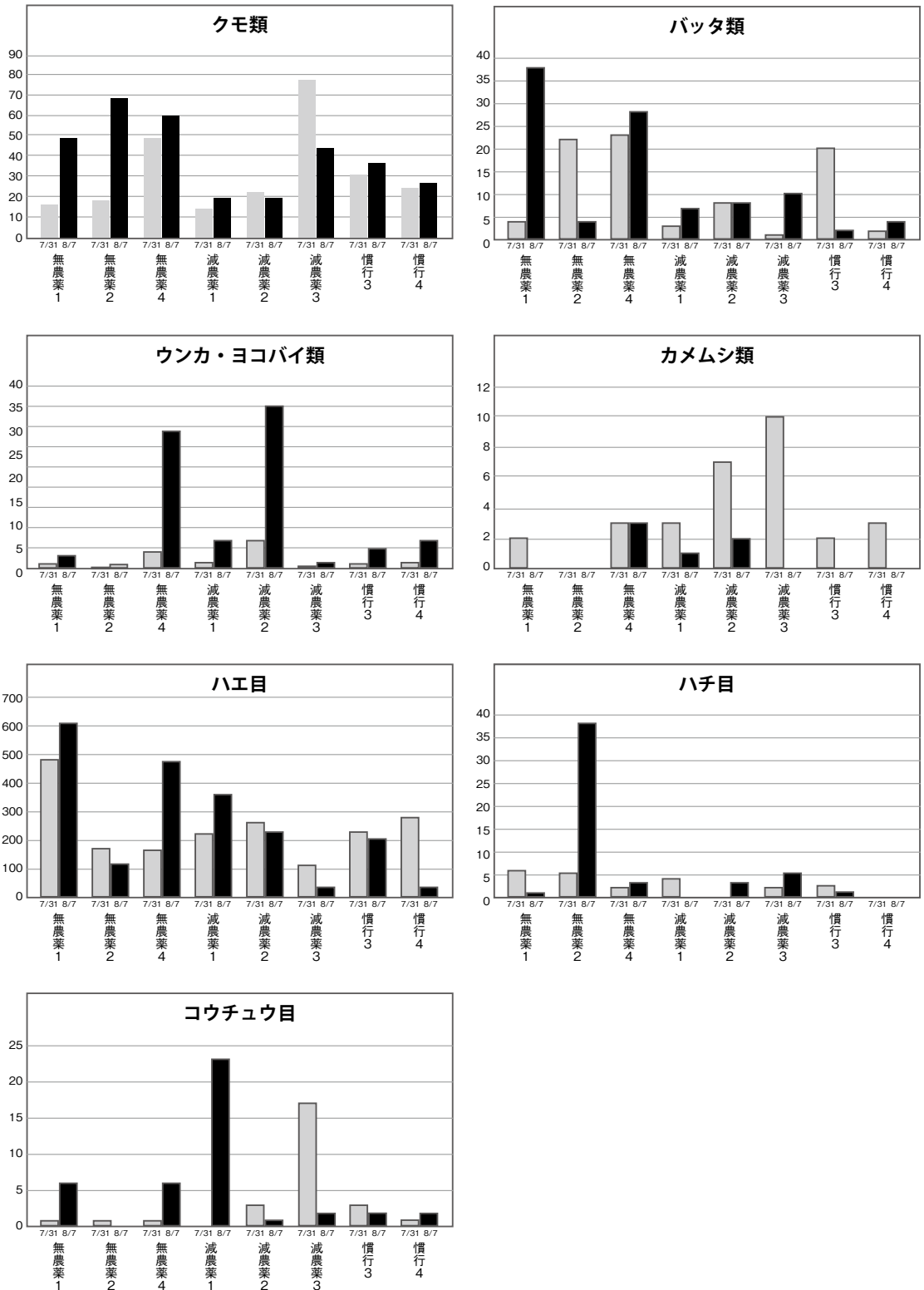


図 2. 分類群ごとの各圃場での空中散布前後での出現状況の比較。グレーの縦棒は一斉空中散布の行われる前の 7 月 31 日，黒の縦棒は一斉空散後の 8 月 7 日のデータ。

農法の比較においては差が明確ではなかった。多様性指数 H' は、各圃場、各調査日とも概ね 3~4 の値を示しており、慣行農法の水田において必ずしも低くならなかった (表 3)。

農薬使用履歴がない無農薬 2 を農薬の影響のない理想的なコントロールとしてみる事ができるが、ここでは生物多様性指数は必ずしも高くなく、確認種数も多くなかった。しかし、他の圃場ではほとんど確認されていないアオモンイトトンボが多く確認されていた。その他、アリ類、チョウ目、クモ類が他の圃場と比較して目立っていた。また、真正クモ目とハチ目はおおむね農薬を使用していない水田や空中散布をおこなわず畦への除草剤散布をおこなわなかった水田の方が空中散布の前後にかかわらず多かった。コウチュウ目は近くに土水路や樹木がある減農薬 3 で多かった (図 2)。このように、種数と個体数及びそれらから計算される多様性からは農法間の差は明確ではなかったが、種構成の内容をみると農法間での差違が確認された。

今回の調査は、現実に耕作されている水田から地権者の許可を得て実施しているもので、また、無農薬や空中散布を実施していない圃場は少ないため、実験圃場のように農薬使用以外の条件を均一にすることは難しく、また、実験場を隔離することもできない。先に述べたとおり、実際に圃場毎に陸生生物群集の成立にかかる条件が異なっていることが考えられ、そのために農薬使用による影響を隠蔽している可能性を考慮する必要があるものと思われる。

圃場条件の類似する圃場を選んで比較した場合は、農薬使用の有無による違いを見出すことができる。例えば、最近 30 年間以内に圃場の基盤整備がされていない区域であり、それぞれの位置が近い無農薬 1 と減農薬 1、慣行 3 を比較すると、概ね無農薬の方が種数も多く、減農薬や慣行よりも多様性が高くなっていた。

空中散布の影響

慣行農法の空中散布後の個体数や種数は無農薬や減農薬の圃場と比較して少なくなっていた。空中散布を行った 2 つの圃場のうち慣行 4 で、カメムシ類とハエ目の顕著な減少が確認されたが、慣行 3 ではそうした傾向が見られなかった。一方、慣行 3 では、

空中散布を行う前にはバッタ類が多く発生していたが、空中散布後は顕著なバッタ類の減少が確認された。慣行 4 については、元々バッタ類の発生は少なく、空中散布前後での顕著な違いは確認されなかった (図 2)。

空中散布をおこなっていない水田では、減農薬 3 を除いて空中散布後の種数や個体数、多様性の減少は確認されなかった。減農薬 3 は空中散布を実施していないが、周辺のほとんどの水田が空中散布を実施していることからカメムシ類やハエ目の減少が起こったものと思われた。カメムシ類は空中散布後の調査では、空中散布の実施の有無に関わらずほとんどの圃場で減少が確認されている。一方、ウンカ・ヨコバイ類については、空中散布の有無にかかわらず、すべての水田で空中散布後に増加しており、これらの種群には空中散布は効果がない可能性がある (図 2)。

圃場条件の近い無農薬 1、減農薬 1、慣行 3 の比較では、空中散布後の個体数の合計は無農薬 1 と減農薬 1 で増加したのに対して、慣行 3 では減少した。また、隣接する減農薬 2 と慣行 4 を比較すると、空中散布後に減農薬 2 では個体数が増加したが、慣行 4 では減少した。

今回の結果からは、空中散布後の陸生無脊椎動物の個体数の変動は種群によって様相が異なっており、種群によっては農薬の影響は限定的であったと考えられる。その点で特筆されるのは、クモ類に空中散布後の減少がみられなかったことである。一方、空中散布のターゲットであるカメムシ類は減少していたが、この中には害虫の天敵である捕食性のヒメハナカメムシ類も含まれている。もともと斑点米被害をもたらすカメムシ類は 1 回のサンプリングで最大で 3 個体しか捕獲されておらず (減農薬 2)、個体数の変動幅としてみた場合はきわめて小さかった。空中散布の実施は、減農薬 3 でのヒメハナカメムシ類やハエ目の減少など、空中散布をおこなっていない圃場への影響も同時にもたらしたことが疑われる。小型のハエ目には寄生性の天敵も多く含まれることから、ターゲットに対して大規模すぎる空中散布のマイナスの効果も大いに留意する必要があると思われる。

ネオニコチノイド系農薬等の浸透性・残効性のある農薬使用の問題

今回空中散布で使用されているビームエイトスタークルゾルの主成分ひとつであるジノテフランはネオニコチノイド系農薬であり、植物体への浸透移行性と長い残効性を特徴としている。同じネオニコチノイド系農薬のイミダクトプリドにおいては、水田の水生動物への長期的な影響があることが指摘されている (Hayasaka *et al.*, 2012, 早坂・他, 2013)。こうした残効性は陸生無脊椎動物でも無視するべきではなく、空散直後のみの調査では確認されない影響も考慮する必要がある。また、残効性のある農薬が過去に使用されていた場合により群集構造が影響されている可能性も合わせて考える必要がある。一方、同じネオニコチノイド系農薬でも成分によって種の感受性が異なることも指摘されており (山下, 2005)、種間での感受性の違いも指摘されている (Hayasaka *et al.*, 2012)。今後、種ごとの影響を細かく調べる必要がある。

今回の調査でウンカ類の空中散布後の増加が示されたが、Matsumura *et al.* (2014) は、イミダクロプリドはトビイロウンカに対する効果が低下していることを指摘している。また、中国のヒメトビウンカがイミダクロプリドに対して抵抗性を示したことを指摘しているデータもあり (Otuka *et al.*, 2010)、こうした知見から河北潟周辺域のウンカ類の動向を説明できる可能性がある。

文 献

Hayasaka, D., T. Korenaga, K. Suzuki, F. Saito, F. Sánchez-Bayo K., Goka. 2012. Cumulative ecological impacts of two successive annual treatments of imidacloprid and fipronil on aquatic communities of paddy mesocosms. *Ecotoxicol Environ Saf.* 80: 355-62.

早坂大亮・永井孝志・五箇公一. 2013. 農薬による生物多様性影響評価の重要性：個体評価から群集評価へ－生物多様性に配慮した農薬管理の在り方－. *日本生態学会誌*, 63:193-206.

石川県農林総合研究センター. 2014. 注意報第1号斑点米カメムシ類の多発に注意. 石川県. https://www.pref.ishikawa.lg.jp/noken/noushi/byougaityu_yosatsu/documents/14chuiho01.pdf.

河北潟湖沼研究所. 2014. パンフレット「ひろめよう！生きもの元気米」. 河北潟湖沼研究所. <http://kahokugata.sakura.ne.jp/pdf/pamph/ikimonogenkimai.pdf>.

Matsumura M., S. Sanada-Morimura, A. Otuka, R. Ohtsu, S. Sakumoto, H. Takeuchi, M., Satoh. 2014. Insecticide susceptibilities in populations of two rice planthoppers, *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera*, immigrating into Japan in the period 2005-2012. *Pest Manag Sci.* 70(4): 615-22.

中村寛志. 2000. 生物群集の解析手法と環境アセスメント. *信州大学農学部紀要*, 36(1) : 1-10.

Otuka, A., M., Matsumura, S., Sanada-Morimura., H., Takeuchi, T., Watanabe, R., Ohtsu, H., Inoue. 2010. The 2008 overseas mass migration of the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus*, and subsequent outbreak of rice stripe disease in western Japan. *Appl. Entomol. Zool.* 45: 259-266.

高橋 久・川原奈苗. 2014. 河北潟周辺の水田におけるタイプの異なる水田における無脊椎動物相の比較－農法、殺虫剤の空中散布及び周辺環境が与える影響についての予備的調査. *河北潟総合研究*, 17 : 7-15.

山下 泉. 2005. タイリクヒメハナカメムシに対する殺虫剤の影響評価. *高知農技セ研報*, 14 : 13-18.