

千葉県におけるアカスジカスミカメの発生生態解明
および発生予察手法開発に関する研究

武田 藍

目 次

第1章 緒言	55
第2章 千葉県雑草地および水田における斑点米カメムシ類の発生生態	60
第3章 アカスジカスミカメによる被害の推定	
第1節 加害時期および割れ粃がアカスジカスミカメ被害に与える影響	72
第2節 初期侵入量、穂揃期防除、割れ粃率をもとにした被害推定	76
第4章 合成性フェロモントラップの利用方法の開発	
第1節 アカスジカスミカメ合成性フェロモントラップの水田内設置位置が捕獲数に与える影響	81
第2節 アカスジカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメの合成性フェロモン剤併用トラップと すくいとりによる2種カスミカメムシ発生活長および捕獲数の比較	82
第3節 併用フェロモントラップによる被害推定	86
第5章 総合考察	90
引用文献	93
謝辞	97
英文摘要	98

第1章 緒 言

1. 千葉県における斑点米カメムシの発生状況

アカスジカスミカメ *Stenotus rubrovittatus* (Matsumura) (カメムシ目:カスミカメムシ科, 写真1左) およびアカヒゲホソミドリカスミカメ *Trigonotylus caelestialium* (Kirkaldy) (カメムシ目:カスミカメムシ科, 写真1右) は, イネ *Oryza sativa* L. の穂を吸汁することにより, 玄米表面が変色した「斑点米」を生じさせ, 品質の低下を引き起こす「斑点米カメムシ」の一種である. 玄米の品質を評価する米穀検査において, 斑点米を含む着色粒の混入率の最高限度は等級別品位基準の一つに規定されており, 混入率が 0.1 %以内であれば 1 等米, 0.1 %を超えると 2 等米, 0.3 %を超えると 3 等米, 0.7 %を超えると規格外へと等級付けされる (農林水産省, 2001). このため, 斑点米カメムシによる被害は玄米の品質および買い取り価格に大きな影響を及ぼし, 水稻における主要害虫として全国的に防除対象となっている (渡邊・樋口, 2006).

斑点米を生じさせるカメムシ類は 70 種以上が報告されているが (川沢・川村, 1975), その主要種は斑点米カメムシによる被害が顕在化した 1970 年代から現在までに大きく変化した. 1970 年代はクモヘリカメムシ *Leptocorisa chinensis* Dallas (カメムシ目:ホソヘリカメムシ科) やホソハリカメムシ *Cletus punctiger* (Dallas) (カメムシ目:ヘリカメムシ科) といった大型で狭食性のカメムシによる被害が主であったが, 近年はアカスジカスミカメやアカヒゲホソミドリカスミカメなどの, より小型

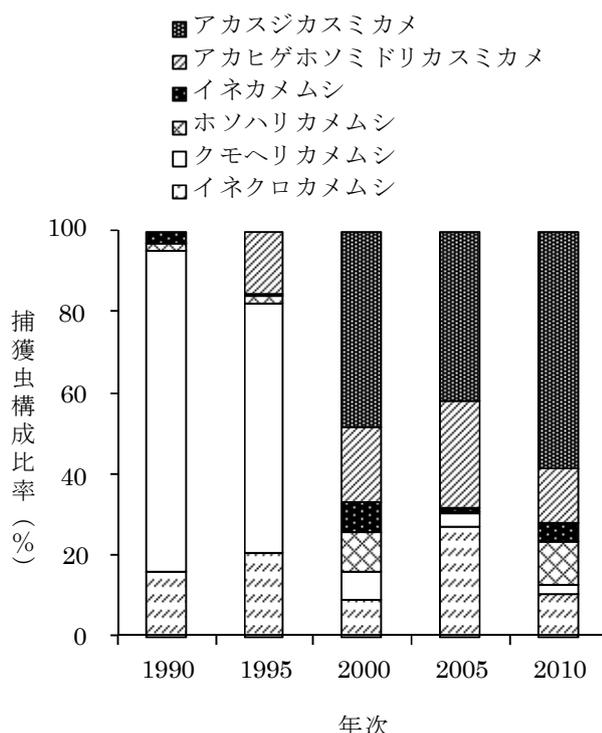
で広食性・多化性のカメムシに主要種が移り (桐谷, 2007), 加害種の変化に応じた発生予察・防除手法の確立が求められている.

アカスジカスミカメによる被害の最も古い報告は, イネにおける被害ではなく, 千葉県におけるスーダングラス *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf. の不稔被害として行われている (加藤・長谷川, 1950). イネにおける斑点米被害が報告され始めたのは 1980 年代であり, 岩手県 (田中ら, 1988), 宮城県 (高橋ら, 1985) および広島県 (林, 1986) と, 時をほぼ同じくして日本国内の離れた地域で報告された. それ以降, 東北・北陸地方を中心に被害および分布域が拡大している (高田ら, 2000; 大鷲ら, 2003; 神名川ら, 2004; 菅ら, 2006; 渡邊・樋口, 2006). アカヒゲホソミドリカスミカメは 1970 年代から 80 年代に北海道で水稻, コムギ *Triticum aestivum* L. の害虫として報告されていた (奥山・井上, 1974; 奥山ら, 1983). この間, 北陸地域における本種の報告は少ないが, 近年は富山県, 青森県, 秋田県, 山形県, 新潟県など北日本の日本海側を中心に多発傾向が続いた (松崎, 2001; 石岡ら, 2000; 新山, 2000; 本田ら, 2001, 石本, 2004).

千葉県では 2000 年以降, 水田や周辺雑草地におけるアカスジカスミカメやアカヒゲホソミドリカスミカメの捕獲割合が急速に高まった (第1図, 千葉県農林総合研究センター病害虫防除課). 加藤・長谷川 (1950) はスーダングラスに隣接するトウモロコシ *Zea mays* L. 等のイネ科



写真1 アカスジカスミカメ (左) およびアカヒゲホソミドリカスミカメ (右) 成虫



第1図 千葉県内4か所の予察灯で5~9月に捕獲された斑点米カメムシ類の構成比率 (千葉県農林総合研究センター病害虫防除課)

作物やイヌムギ *Bromus catharticus* Vahl 等のイネ科雑草においてアカスジカスミカメの若干の発生を認めているが、本県において斑点米被害が問題化し始めた1970から90年代の主要種は主にクモヘリカメムシなどの大型のカメムシであり(遠藤ら, 1977), ここ50年程の間にカスミカメムシ類が「ただの虫」から斑点米カメムシの主要種に変化したことが窺える。2005年には、県北部の主に利根川沿い地域において、水稻品種「あきたこまち」で斑点米被害が多発した。片瀬ら(2007)は、2006年に本地域のイネ科雑草地および水田における斑点米カメムシ類の発生調査を行い、雑草地ではアカスジカスミカメが優先種であり、水田内へ本種が侵入していることを述べた。しかしながら本調査は単年度の調査であり、雑草地と水田内

における発生状況の関連性は明瞭ではない。

2. カスミカメムシ類の生態と発生源管理

アカスジカスミカメやアカヒゲホソミドリカスミカメは通常、イネ科雑草地や牧草地を生息・繁殖・越冬場所としている(第1表, 奥山, 1974; 林・中沢, 1988)。イタリアンライグラス *Lolium multiflorum* Lam., メヒシバ *Digitaria ciliaris* (Retz.) Koel., スズメノテッポウ *Alopecurus aequalis* Sobol., スズメノカタビラ *Paspalum thunbergii* Kunth ex Steud.では両種の発生が確認されている(林, 1986; 菊地・小林, 2001)。また、アカスジカスミカメはイネ科植物以外にも、カヤツリグサ科のイヌホタルイ *Scirpus juncooides* Roxb. var. *ohwianus* T. Koyama およびシズイ *Scirpus nipponicus* Makino への寄生や産卵が認められている(大友ら, 2005; 加進ら, 2009)。アカスジカスミカメはこれら寄主植物の穂への依存性が高く、成虫の発生は寄主植物が出穂している時にしか認められないほか(林・中沢, 1988), 産卵も小穂内へ行うことが観察されている(加藤・長谷川, 1950; 林, 1986; 長澤, 2007)。一方、アカヒゲホソミドリカスミカメは寄主植物が出穂していないときでも発生し、葉鞘や葉舌の内側にも産卵が認められている(樋口ら, 2001)。

アカスジカスミカメはイネが出穂すると水田内に侵入し、加害する(林・中沢, 1988)。水田内における本種の発生消長は、すくいとりによる調査では出穂期(4~5割の穂が出穂する時期)後7~14日後で捕獲数が最大となる報告が多い(片瀬ら, 2007; 永野ら, 1988)。イネへの産卵はまれであるとされているが(Nagasawa *et al.*, 2012), 水田内にヒエ類やカヤツリグサ類が繁茂・出穂している水田では、これらの寄主植物上でふ化したと考えられる幼虫が捕獲されている(後藤ら, 2000; 大友ら, 2005; 加進ら, 2009)。アカヒゲホソミドリカスミカメはアカスジカスミカメと同様にイネの出穂後に水田内に侵入するが、出穂期以前に第1世代成虫の侵入が認められること、出穂後に侵入した第2世代成虫がイネに産卵し、

第1表 アカスジカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメの生態的違いに関する知見

	アカスジカスミカメ	アカヒゲホソミドリカスミカメ	文献
寄主植物	イネ科, カヤツリグサ科	イネ科	奥山, 1974 林・中沢, 1988 大友ら, 2005 加進ら, 2009
産卵場所	穂	穂, 葉鞘	Nagasawa <i>et al.</i> , 2012
水田への侵入時期	出穂後	出穂前および出穂後	林・中沢, 1988 石本, 2004
イネへの産卵	稀にしか認められない	葉鞘で認められる	Nagasawa <i>et al.</i> , 2012

次世代の幼虫、成虫の発生も認められる点が異なる(石本, 2004)。

このような生態から、カスミカメムシ類の水田への侵入源となるイネ科群落の管理が被害に与える影響は大きいと考えられる。一般的に、害虫・天敵の多くは様々なスケールにおいて作物と非作物間を移動しており、圃場内外にある雑草などの非作物植生は、害虫や天敵にとって代替寄主や餌 (e.g. Fleischer et al., 1988; Horton et al., 1988), 越冬場所 (e.g. Cleveland, 1982; Negron and Riley, 1991), 産卵場所 (e.g. Busching and Turpin, 1976; Boivin and Stewart, 1983) などの役割を果たすことで、圃場内における害虫や天敵の状態に著しく影響を及ぼすことが知られている (Norris and Kogan, 2000)。害虫の発生源になりうる雑草などの植生を圃場近辺から除去することは、すでに圃場衛生として IPM における重要な要素として認知され (Coaker, 1987), 雑草-害虫・天敵間の相互作用を利用した防除の一環として発生源管理手法に関する知見も蓄積されている (e.g. Fleischer et al., 1988; Panizzi, 1992)。しかしながら、景観構造を考慮した広域的な発生源管理の知見は乏しく、実際の利用は圃場単位で行われている場合がほとんどである (Kogan, 1998)。

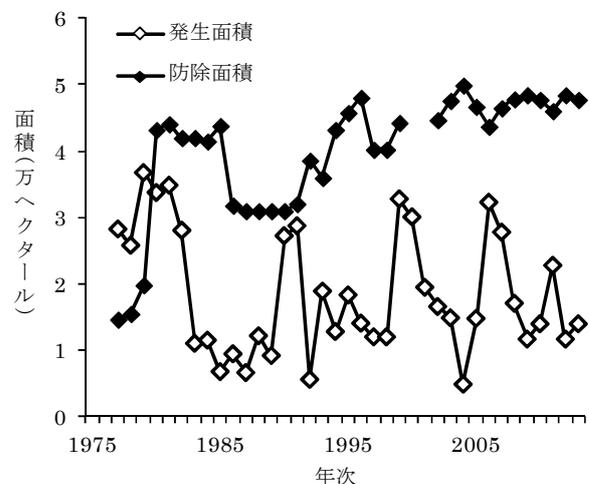
その理由の一つが、スケールの大規模化により複雑化する昆虫の移動・分布様式である (Fleischer et al., 1988; Kogan, 1998)。カスミカメムシ類においても、水田内侵入量や被害量には水田内および周辺の雑草地・牧草地の状態が大きく影響する事例が報告されており (加進ら, 2009; 小野ら, 2007), 圃場の畦畔雑草管理により被害軽減が可能とされている (寺本, 2003)。カスミカメムシ類の全国的拡大の要因としても、休耕田や牧草地などの寄主植物の増加が挙げられている (新山, 2000; 伊藤, 2004)。しかしながら、広域的発生源管理の必要性は強く認識されているものの、圃場レベルではなくより広域的な評価に関する知見は乏しい。水田地域における休耕田や牧草地、畑地などの土地利用分布をもとに、景観レベルに空間スケールを拡張した生態解明と被害低減に関する研究の取り組みは行われ始めたばかりである。このような中で、主な発生源となる雑草地管理を効果的に行うための基本的な情報となる、雑草地-水田間におけるカスミカメムシ類の移動パターンや移動範囲を詳細に調査した例はない。移動パターンや移動範囲を明らかにすることにより、周辺発生源の的確な評価が可能となり、それを利用した発生源管理手法や防除体系の確立につながると考えられる。

3. 被害推定による防除要否の判断

現在、斑点米カメムシ類防除に大きな役割を果たしているのが薬剤散布である。千葉県では主にイネ穂揃期におけ

る薬剤散布が推奨されているが(千葉県農林水産部安全農業推進課, 2014), 発生面積は年次間差が大きいにも関わらず防除面積は変動が少なく(第2図, 千葉県農林総合研究センター病害虫防除課), 実際には不必要な水田にも薬剤が散布されていると考えられる。しかしながら、アカスジカスミカメでは防除要否を判断するための基準は検討されておらず、要防除水準の設定が望まれている。カスミカメムシ類被害の予測は、主にアカヒゲホソミドリカスミカメにおいて、水田内侵入量をもとに過去にも試みられている。八谷(1985)はすくいとり捕獲数と出穂期の平年日数から重回帰により斑点米発生率の予測を試み、追加防除の要防除水準を設定した。渡辺ら(2003)は出穂期から収穫期までのすくいとり捕獲数の平均値を用いたロジスティック回帰モデルにより、斑点米率多発生確率の予測が可能としている。割れ籾発生率や地域・年次間差を踏まえた一回目防除の要否判断のための被害予測は高橋ら(2012)が取り組んでおり、出穂期後5日間のフェロモントラップ捕獲数により個々の圃場における斑点米率多発生確率の予測が可能としている。一方で、アカスジカスミカメについて穂揃期防除の要否を判断するための初期侵入量をもとにした被害予測についてはまだ知見が積み上げられていない。

より精度の高い被害推定のためには存在量を的確に把握する必要がある。現在、斑点米カメムシ類の発生予察の手段としては、予察灯および捕虫網を用いたすくいとり調査が広く用いられている。しかし、予察灯は設備や設置に経費がかかるために設置場所が限られ、すくいとり調査は風雨等の天候条件や調査者の経験・技術により捕獲効率に差が生じやすい。また、どちらの調査法も対象害虫の選別に多くの労力が必要という難点がある。そこで、これらの既存手法の欠点を補う手法として合成フェロモン剤を誘



第2図 斑点米カメムシ類発生面積と防除面積の推移 (千葉県農林総合研究センター病害虫防除課)

引源としたトラップの開発が期待されている。

昆虫のフェロモンはとくにチョウ目昆虫で発生予察や大量誘殺、交信かく乱への利用が進んでおり(e.g. 里田ら, 1997), 合成フェロモン剤を用いたトラップは設置や調査が簡単かつ安価であり安定的な調査が可能なることから、従来の手法にかわって発生予察に利用されている(佐藤, 1992)。カメムシ目についても多くの種においてフェロモンが同定され、一部が実用化されている(e.g. 安田, 2004)。斑点米カメムシ主要種の中ではクモヘリカメムシの集合フェロモンが同定されているが(Leal *et al.*, 1996), カスミカメムシ科のカメムシは、雌が性フェロモンを放出し、雄を誘引する例が報告されている(e.g. Scales, 1968)。アカスジカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメにおいても雌が性フェロモンを放出することにより雄を誘引しており(Kakizaki and Sugie, 1997; Okutani-Akamatsu *et al.*, 2007), それぞれの種において性フェロモン成分が同定されている(Kakizaki and Sugie, 2001; Yasuda *et al.*, 2008, 2009)。合成性フェロモンを利用したトラップを用いてカスミカメムシ類の水田内侵入量を早期に把握し、被害予測、防除要否判断につなげることができれば、本種の個体群管理上極めて重要な技術となる。そのためにはフェロモントラップ利用方法の最適化と基準化が不可欠である。既存手法である予察灯やすくいとりについても、全国および過去のデータとの比較を可能にするため、使用する器具や操作方法が細かく定められている(農林水産省農蚕園芸局植物防疫課, 1986)。また、複数の手法が混在する場合、それぞれの手法の特徴を把握した上で手法間のデータを比較する必要がある。アカヒゲホソミドリカスミカメの合成性フェロモントラップではトラップの形状が検討され、粘着板を2枚背中合わせにし、粘着板の底部とイネの草冠高がほぼ同じ高さになるように垂直に設置する方法が最も誘殺数が多くなる(石本, 2005; 滝田, 2005)。また、捕獲数は畦畔からの距離に関わらず一定であり、設置位置は水田内の任意の位置でよいとされた(滝田, 2006)。さらに、水田内における発生消長の把握に有効であることが示されている(石本ら, 2006)。一方、アカスジカスミカメでは、同様の器具を利用できることはわかっているものの(Yasuda *et al.*, 2008), 発生予察に利用可能かは評価されていない。また、アカヒゲホソミドリカスミカメの合成性フェロモントラップによる捕獲数は、既存手法であるすくいとりと比較した場合高密度条件下では頭打ちになるという報告があるが(石本ら, 2006), アカスジカスミカメの合成性フェロモントラップについてはこのような既存方法との比較はまだなされていない。

さらに、アカスジカスミカメにおいて被害推定に重要な

役割を果たすと考えられる要因の一つが割れ粃である(写真2)。カスミカメムシ類では、口吻で粃殻を貫通し吸汁することは難しく(河辺, 1972), 粃頂部の内穎と外穎のわずかな隙間あるいは粃側部の内穎と外穎の鉤合部の隙間から吸汁していると考えられており(林, 1989; 宮田, 1994), 吸汁場所が限られるため、鉤合部に隙間のある割れ粃の発生が多いほど斑点米被害が増加する(宮田, 1991, 1992; 鈴木, 2005; 吉村ら, 2007)。2005年に千葉県北部で発生した斑点米被害は、割れ粃が発生しやすい品種である「あきたこまち」(中場ら, 2000)でとくに多いことが報告されている(片瀬ら, 2007)。

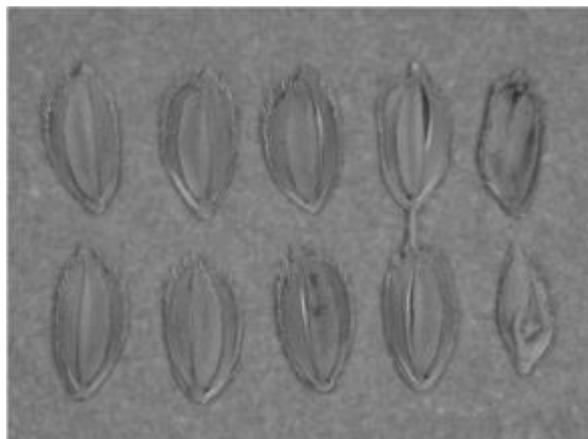


写真2 正常粃(左1列) および割れ粃(右4列)
注) 写真の品種は「あきたこまち」。

4. 本論文の主旨

本研究ではこれらの背景を踏まえ、発生源管理と被害予測の組み合わせにより、地域全体の農薬使用量の削減と被害の低減に繋がる防除体系の提案を大目的に据えた。この目的を達成するため、千葉県内の発生源および水田における斑点米カメムシ類の発生生態の解明、被害の推定に必要な要因の評価、合成性フェロモントラップの開発とそれによる被害推定モデルの構築に取り組んだ。第2章では発生源となる雑草地、水田、そして雑草地-水田間における斑点米カメムシ類の発生生態の解明を目的とし、アカスジカスミカメの水田への侵入時期や範囲、雑草地における寄主植物が水田侵入量に与える影響を調査した。第3章では、アカスジカスミカメの初期侵入量による被害推定を目的とし、第1節では加害時期と割れ粃が被害に与える影響を、第2節では初期侵入量と防除の有無が被害に与える影響を解析した。第4章ではアカスジカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメの合成性フェロモントラップの利用方法確立を目的とし、第1節では水田内の設置位置の検討、第2節ではアカスジカスミカメとアカヒゲホソミドリカスミカメの合成性フェロモンを併用したトラップ

について、発生消長および捕獲数をすくいとりと比較した。第3節では併用フェロモントラップを用いた被害推定手法の検討を行った。最後に第5章の総合考察において、

本研究において得られた知見と既存知見をもとに今後考えられるアカスジカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメの管理技術について提言した。

第2章 千葉県の雑草地および水田における斑点米カメムシ類の発生生態

千葉県では2000年以降、アカスジカスミカメやアカヒゲホソミドリカスミカメなどのカスミカメムシ類の増加が確認され、斑点米カメムシの主要種となっている(第1図, 千葉県農林総合研究センター病害虫防除課)。2005年に斑点米被害が多発した県北部の利根川沿岸地域においても、利根川堤防法面の雑草地およびその近隣水田においてアカスジカスミカメが優占していることが確認されたが、雑草地と水田内における発生状況の関連性は明瞭ではなかった(片瀬ら, 2007)。

アカスジカスミカメはイネ科雑草地を生息地としており、イネが出穂すると水田周辺のイネ科雑草地から水田内に侵入する(林・中沢, 1988)。そのため、本種の水田内侵入量や被害量には、水田周辺の寄主植物が大きく影響する事例が多く報告されている(小野ら, 2007)。個々の水田における発生源管理手法としては、畦畔雑草管理の手法が提案されているものの(寺本, 2003)、耕作放棄水田や牧草地、雑草地などの大規模発生源を効率的に管理するために必要な基本的情報は不足している。発生源-水田間の移動動態を調査することにより、集落・地域単位で使用可能な、広域的な発生源管理手法の確立が求められている。

そこで本章では、大規模イネ科植物群落である利根川堤防法面とそれに隣接した均一な水田地帯を持つ利根川沿岸地域を、大規模発生源のある水田地帯のモデルと位置づけ、発生源-水田間におけるアカスジカスミカメの発生生態を調査した。第一に、本種の発生源から水田への移動範囲を明らかにするため、堤防法面から数百m以内の水田におけるアカスジカスミカメの分布を経時的に調査した。第二に、堤防法面および水田における本種の発生状況を比較し、発生源における寄主植物の生育・管理状況が発生源および水田におけるカスミカメムシ類発生状況に及ぼす影響を考察した。

1. 材料と方法

調査は2008年および2009年に、利根川下流域の水田地帯である千葉県香取郡神崎町神崎神宿(以下神崎)および千葉県香取市三ノ分目(以下三ノ分目)の、利根川堤防法面および水田で行った(第3図, 写真3)。斑点米カメムシ類の発生状況の調査は、直径36cmのドイツ式鋼鉄製四折式枠捕虫網(柄の長さ120cm)を用いて1か所あたり20回振りすくいとりを2回行い、20回振り当たりの平均値を算出した。

(1) 水田および堤防法面におけるアカスジカスミカメの発生状況調査

水田では、2008年神崎において幅約200m、堤防法面か

ら290m以内の18地点(品種「コシヒカリ」)、2009年三ノ分目において幅約400m、堤防法面から750m以内の12地点(品種「あきたこまち」)で調査を行い(第2表, 第4図)、解析1および2に供した。また、2008年三ノ分目、2009年神崎では堤防法面に最も近い水田それぞれ1地点で調査を行い、2008年神崎および2009年三ノ分目の同様の調査地点の結果とともに堤防法面における発生状況調査との比較に供した。

各調査地点は畦畔から10m以上水田内部に入った場所であり、他の調査地点とは20m以上離れて設定した。各調査地点において、出穂予定時期の2週間前から出穂期3週間後まで、原則3から4日間隔ですくいとりによりアカスジカスミカメ成虫の捕獲数を調査した。各調査地点と堤防法面との最短距離を、発生源からの距離としてArcGIS version 9.2(ESRI, 2004)で計測した。調査した水田地帯では、堤防法面以外の大規模雑草地は認められなかったことから、調査水田へのアカスジカスミカメの侵入は、堤防法面からによるものと見なした。飛来源からの飛翔は本来ランダムな方向に行われるが、本調査地域では均一な水田地帯に発生源が帯状に分布していることから、発生源から水田地帯への一方の移動として簡略化して捉えることが可能と見なした。

堤防法面では、上記の調査水田に最も近い地点において、水田内と同様にすくいとり調査を行うとともに、雑草地における優占雑草種やイネ科植物の出穂の有無を調査した(第4図)。神崎では、堤防上を通る国道を挟んで北側(利根川側, 以下神崎北法面)と南側(水田側, 以下神崎南法面)の2か所で調査を行った(写真3)。堤防法面における調査期間および頻度は、2008年は5月1日から同年10月15日、



第3図 千葉県香取市三ノ分目および千葉県香取郡神崎町神崎神宿の位置関係
注) 元地図は国土地理院電子国土Webを利用した。

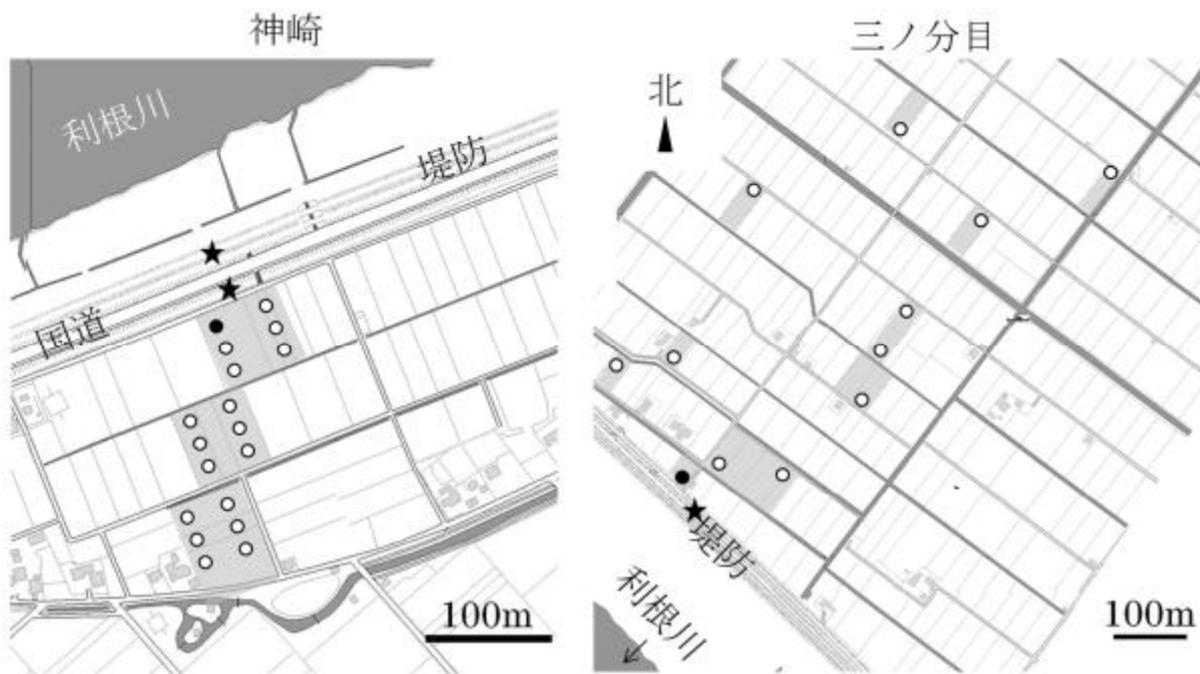


写真 3 調査雑草地および水田
 (左上図：神崎南法面および水田，右上図：神崎北法面，下図：三ノ分目法面および水田)

第 2 表 調査水田の概要

年次	調査地域	品種	調査地点数	調査範囲 ¹⁾	出穂期
2008	香取郡神崎町神崎神宿	コシヒカリ	18	290	8/4
	香取市三ノ分目	あきたこまち	1	15	7/23
2009	香取郡神崎町神崎神宿	コシヒカリ	1	50	7/29
	香取市三ノ分目	あきたこまち	12	750	7/13

注) 堤防法面から最も遠い調査地点までの距離 (m).



第4図 調査地の配置

注) 図中の星印は調査雑草地, 丸印は水田の調査地点を示す. 丸印のうち黒丸では, 堤防直近の調査地点として雑草地と同じ2か年調査を行った.

2009年は5月6日から同年10月22日とし, 原則7日間隔とした.

(2) 解析1: 水田への侵入期間

水田への侵入が起こっている期間においては, アカスジカスミカメの水田内捕獲数と発生源からの距離を分散モデルに当てはめることが可能と考えられる. 分散源からの距離と捕獲数を変数とした昆虫の分散モデルは経験的モデルがいくつか報告されているが, Taylor (1978) はこれらを比較して Wallace (1966) が提唱した

$$\log y = a + b\sqrt{x} \quad (\text{式 1})$$

のモデルが最も望ましいと報告している. 式中の y は捕獲数, x は分散源からの距離, a および b はパラメータを示している. 今回の解析では, 侵入動態の雌雄間差を考慮するために説明変数として性別を加え, 目的変数を出穂期を起点として0, 3, 7, 10, 14, 17, 21日後におけるアカスジカスミカメ捕獲数 $\log(y + 1)$, 説明変数を各調査地点から堤防法面までの距離 \sqrt{x} (m) とした.

これらの捕獲数データを同一地点で経時的に調査を行った経時的反復測定データと見なし, 複数応答を扱う解析である多変量分散分析 (MANOVA) により解析を行った. 計画行列は式2のように指定した. 計画行列の各列はそれぞれの反復データを示しており, 各行は比較する応答の組み合わせを指定している. 式2では各行において, 出穂期0日後と3日後, 3日後と7日後というようにそれぞれの調査日と次の調査日における捕獲数を比較するように設定されている.

$$\begin{bmatrix} 1 & -1 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & & \ddots & & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (\text{式 2})$$

MANOVA において発生源からの距離もしくは雌雄の効果のどちらかが有意になった場合には, 下位検定により出穂期後時期別に効果の変化を解析した. その際は調査回数により P 値を調整し, 有意水準を $0.007 (\leq 0.05 / 7)$ とした. 統計的解析には JMP® 10.0.0 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) を用いた.

(3) 解析2: 水田への分散距離の推定

侵入期間中の平均分散距離を推定するため, 平均分散距離をパラメータとしたモデルへのあてはめを行った. Yamamura *et al.* (2003) は一次元空間を想定し, 平均分散距離 $1/\sqrt{\lambda_D}$ をパラメータとしたモデル

$$f(x) = \frac{n_0}{2} \sqrt{\lambda_D} \exp(-|x|\sqrt{\lambda_D}) \quad (\text{式 3})$$

を提唱している. このとき, n_0 は一次元空間における発生源 (距離 0 m) から分散した総個体数, x は発生源からの距離, λ_D は移動個体が1地点に留まる割合 λ を分散係数 D (distance²/time) で割った値 (λ/D) を示す. $f(x)$ は距離 x m の地点に留まる個体数を示す.

Yamamura *et al.* (2003) はマーキングした個体群を1か所から一度に放ち, それをフェロモントラップを用いて一定期間にわたって継続的に捕獲し, 式3にあてはめた. 一方, 本調査では, 1か所の発生源から分散行動が継続的に起こっ

たとえられ、捕獲はある時点における生息数の代表値を反映するすくいとり法を用いている。この相違について、Turchin and Omland (1999) は本調査のような手法においても標識再捕獲法と同様の解析ができると述べていることから、Yamamura *et al.* (2003) のモデルが適用可能と見なした。また、Yamamura *et al.* (2003) では二次元空間を仮定したモデルも提唱しているが、本研究の調査地では水田地域に隣接する堤防法面が帯上に配置されており、分散が堤防法面から垂直に起こったと見なすことができることから一次元空間を仮定したモデルを選択した。そこで、本研究では式 3 を次のように定義し直した。

$$g(x) = c \times \exp\left(-\frac{x}{d}\right) \quad (x > 0) \quad \text{式 4}$$

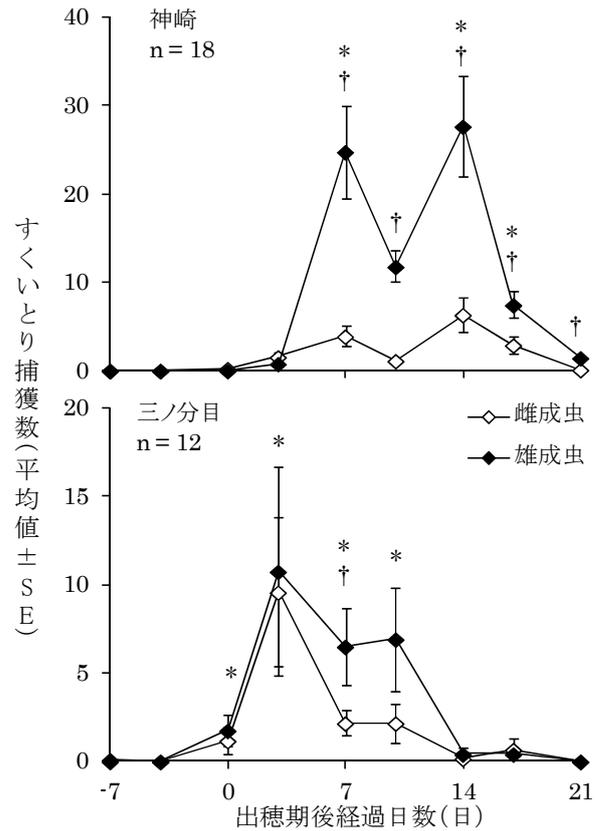
ここで、パラメーター c および d は式 3 における $\frac{n_0}{2} \sqrt{\lambda_D}$ 、 $\frac{1}{\sqrt{\lambda_D}}$ をそれぞれ表わし、 $g(x)$ は MANOVA で明らかにした水田への侵入期間における総捕獲数を示す。

パラメーターの推定は最尤推定により行い、さらにモデルの適合性評価を行うために、適合性の高いモデルとされている式 1 (Taylor 1978) とデビアンズ比の G 検定による比較を行った。解析には R ver. 2.13.2 (The R Foundation for Statistical Computing, 2011) を用い、パラメーターの推定には bblme パッケージ (Bolker, 2014) を用いた。

2. 結果

(1) 水田におけるアカスジカスミカメ侵入期間

アカスジカスミカメはイネの出穂前には捕獲が認められず、神崎では出穂期 7 日後、三ノ分目では出穂期 3 日後に捕獲数が急激に増加して 1 週間程度で減少した (第 5 図)。MANOVA の結果、いずれの地域においても堤防法面からの距離および雌雄差が捕獲数に与える効果が有意であり、これらの効果が調査時期により変化することを示していた (第 3



第 5 図 各調査地域の水田におけるアカスジカスミカメ捕獲数の推移

注 1) すくいとり捕獲数は 20 回振り当たりを示す。

2) 図中の*は発生源からの距離の効果が有意であった時期、†は雌雄の効果が有意であった時期を示す (MANOVA 後輪切り検定で $P < 0.007$)。

表)。輪切り検定の結果から、発生源からの距離が捕獲数に有意に影響を及ぼす時期は、神崎では出穂期 7、14、17 日後、三ノ分目では出穂期 0 から 10 日後であった (第 5 図、第 4 表)。また、雄の捕獲数は神崎では出穂期 7 から 17 日後、三ノ分目では出穂期 7 日後にのみ有意に雌の捕獲数を上回った (第 5 図、第 4 表)。有意差は検出されなかったも

第 3 表 出穂期後経過日数別アカスジカスミカメ捕獲数を目的変数とした MANOVA¹⁾

地域	要因	自由度 $df^{2)}$	F 値 ³⁾	$P(\text{Prob} > F)^{4)}$	
神崎	モデル全体	12/56	15.67	<0.0001	***
	切片	6/28	45.11	<0.0001	***
	雌雄	6/28	22.10	<0.0001	***
	距離 ⁵⁾	6/28	22.07	<0.0001	***
三ノ分目	モデル全体	12/32	12.06	<0.0001	***
	切片	6/16	68.64	<0.0001	***
	雌雄	6/16	3.98	0.0130	*
	距離 ⁵⁾	6/16	33.61	<0.0001	***

注 1) 出穂期から 21 日後までの期間に 7 回行われた調査において捕獲されたアカスジカスミカメ成虫数を対数変換し、多変量解析に供した。

2) 分子自由度/分母自由度。

3) モデル全体の F 値は Wilks' lambda による概算値。

4) * $P < 0.05$, *** $P < 0.001$ 。

5) 調査地点と堤防法面間の距離の平方根 (\sqrt{m})。

第4表 アカスジカスミカメ捕獲成虫数¹⁾のMANOVA輪切り検定結果

出穂期後 経過日数	要因	神崎				三ノ分目			
		推定値	df ²⁾	F値 ³⁾	P値 ⁴⁾ (Prob > F)	推定値	df ²⁾	F値 ³⁾	P値 ⁴⁾ (Prob > F)
0	モデル全体		2/33	1.3	0.2906		2/21	14.4	0.0001 *
	切片	0.07	1/33	1.1	0.3020	0.84	1/21	43.1	<0.0001 *
	性別	0.03	1/33	2.1	0.1575	-0.03	1/21	0.5	0.5010
	距離 ⁵⁾	-0.00	1/33	0.5	0.4957	-0.04	1/21	28.4	<0.0001 *
3	モデル全体		2/33	1.2	0.3072		2/21	50.9	<0.0001 *
	切片	0.10	1/33	0.2	0.6290	1.95	1/21	172.1	<0.0001 *
	性別	0.07	1/33	1.9	0.1757	0.05	1/21	0.8	0.3925
	距離 ⁵⁾	0.01	1/33	0.5	0.4709	-0.09	1/21	101.0	<0.0001 *
7	モデル全体		2/33	147.8	<0.0001 *		2/21	72.5	<0.0001 *
	切片	2.30	1/33	361.1	<0.0001 *	1.41	1/21	261.8	<0.0001 *
	性別	-0.38	1/33	141.1	<0.0001 *	-0.13	1/21	15.4	0.0008 *
	距離 ⁵⁾	-0.12	1/33	154.4	<0.0001 *	-0.06	1/21	129.5	<0.0001 *
10	モデル全体		2/33	27.5	<0.0001 *		2/21	14.1	0.0001 *
	切片	0.77	1/33	15.3	0.0004 *	1.18	1/21	49.5	<0.0001 *
	性別	-0.38	1/33	54.3	<0.0001 *	-0.17	1/21	7.0	0.0152
	距離 ⁵⁾	-0.01	1/33	0.6	0.4406	-0.04	1/21	21.3	0.0002 *
14	モデル全体		2/33	74.1	<0.0001 *		2/21	2.5	0.1070
	切片	2.26	1/33	207.6	<0.0001 *	0.23	1/21	7.9	0.0106
	性別	-0.36	1/33	74.5	<0.0001 *	-0.02	1/21	0.3	0.6120
	距離 ⁵⁾	-0.11	1/33	73.8	<0.0001 *	-0.01	1/21	4.7	0.0415
17	モデル全体		2/33	14.4	<0.0001 *		2/21	0.1	0.2453
	切片	1.40	1/33	45.3	<0.0001 *	0.28	1/21	0.2	0.0346
	性別	-0.20	1/33	12.7	0.0011 *	-0.01	1/21	0.00	0.9657
	距離 ⁵⁾	-0.07	1/33	16.1	0.0003 *	-0.01	1/21	0.14	0.0976
21	モデル全体		2/33	4.7	0.0161		2/21	0.0	1.0000
	切片	0.25	1/33	2.7	0.1113	0.00	1/21	0.0	1.0000
	性別	-0.12	1/33	8.9	0.0053 *	0.00	1/21	0.0	1.0000
	距離 ⁵⁾	-0.01	1/33	0.5	0.4919	0.00	1/21	0.0	1.0000

注1) 応答変数はそれぞれの調査時におけるアカスジカスミカメ捕獲成虫数の対数変換値とした。

2) 分子自由度/分母自由度を示す。

3) モデル全体のF値はWilks' lambdaによる概算値とした。

4) 有意水準は調査回数で補正し、* $p < 0.007$ とした。

5) 調査地点と堤防法面間の距離の平方根(\sqrt{m})を説明変数とした。

の、三ノ分目の出穂期10日後においても、雄成虫捕獲数平均値は雌を上回っていた(第5図)。

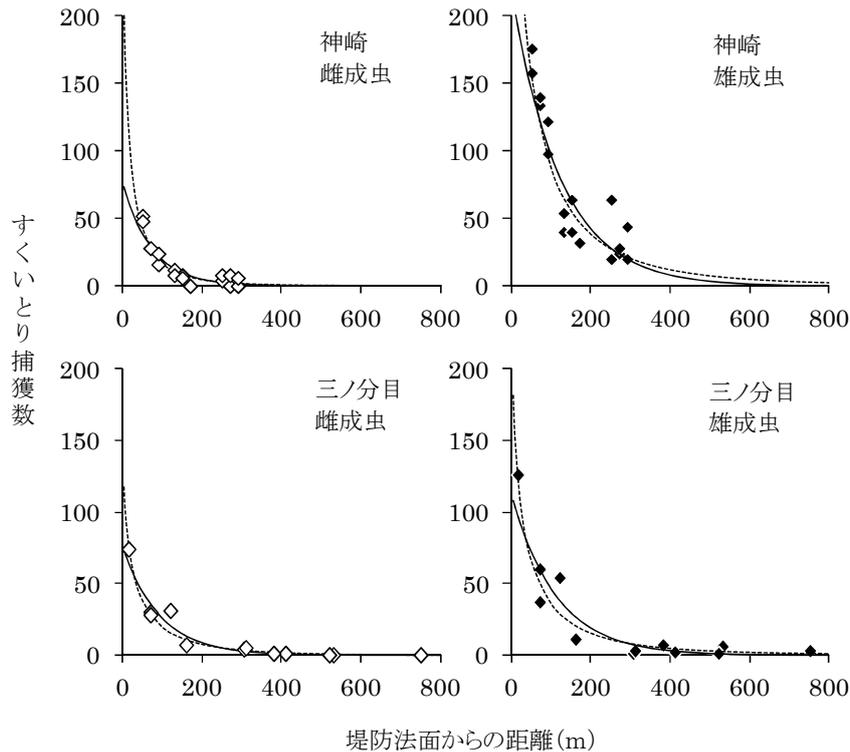
(2) 発生源からの分散距離

MANOVAにおいて堤防法面からの距離が捕獲数に有意な影響を与えている期間(神崎では出穂期7から17日後、三ノ分目では出穂期0から10日後)における総捕獲数は、式1および4によく当てはまった(第6図)。二つのモデルから得られた曲線はほぼ一致し、有意差は検出されなかった(第5表)。式4へのあてはめの結果、神崎における雌

雄別平均分散距離(95%上側CI)は雄で122.0(134.0)m、雌で72.0(84.0)m、三ノ分目では112.9(128.5)m、92.1(108.6)mとそれぞれ推定された(第5表)。侵入時期が神崎よりも早かった三ノ分目では、雌成虫の分散距離は一定であったが、雄成虫の分散距離は最初雌成虫よりも小さくその後増加し、雌成虫を上回った(第7図)。

(3) 利根川堤防法面におけるイネ科雑草の発生状況

神崎北法面および南法面では、2008年に春季、夏季、秋季の3回除草が行われたが、2009年は春季、秋季の2回で



第6図 アカスジカスミカメの水田内分布と各モデルによる推定結果

- 注1) 図中の実線は Yamamura *et al.* (2003) のモデルによる推定値, 破線は Wallace (1966) のモデルによる推定値を示す。
 2) 捕獲数は, 神崎は出穂期 7 から 17 日後における総捕獲数, 三ノ分目は出穂期 0 から 10 日後における総捕獲数を示す (それぞれ 20 回振り)。

第5表 モデル¹⁾で推定されたパラメーター推定値とデビアンズ比の G 検定結果

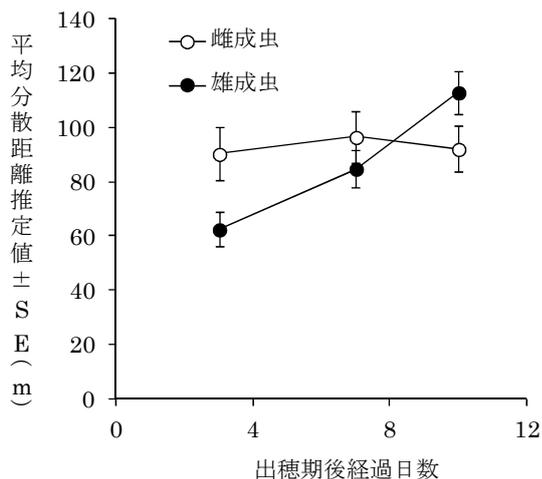
地域	雌雄	モデル	パラメーター	推定値	SEM	z value	P 値 Prob (z)	デビアンズ (デビアンズ比 ²⁾)	P 値 (>G)	
神崎	雌	Wallace (1966) ³⁾	a	6.06	0.24	25.27	<0.0001	***	123.83	
			b	-0.32	0.02	12.82	<0.0001	***		
		Yamamura (2003) ⁴⁾	c	79.06	10.12	7.81	<0.0001	***		
			d	71.98	6.14	11.72	<0.0001	***		(1.12) >0.05
	雄	Wallace (1966) ³⁾	a	6.48	0.10	65.47	<0.0001	***		203.83
			b	-0.20	0.01	21.15	<0.0001	***		
		Yamamura (2003) ⁴⁾	c	220.78	12.13	18.19	<0.0001	***		
			d	121.97	6.15	19.84	<0.0001	***		
三ノ分目	雌	Wallace (1966) ³⁾	a	5.27	0.15	35.69	<0.0001	***	56.53	
			b	-0.23	0.02	13.69	<0.0001	***		
		Yamamura (2003) ⁴⁾	c	77.42	8.16	9.49	<0.0001	***		
			d	92.05	8.44	10.91	<0.0001	***		(1.09) >0.05
	雄	Wallace (1966) ³⁾	a	5.67	0.11	50.59	<0.0001	***	98.23	
			b	-0.21	0.01	17.47	<0.0001	***		
		Yamamura (2003) ⁴⁾	c	112.98	8.94	12.64	<0.0001	***		
			d	112.93	7.93	14.24	<0.0001	***		(1.24) >0.05

注1) 目的変数は, 神崎では出穂期 7 から 17 日後, 三ノ分目では出穂期 0 から 10 日後の期間に捕獲されたアカスジカスミカメ成虫捕獲数を用いた。

2) デビアンズ値の最大値/最小値の値を示す。

3) $\log y = a + b\sqrt{x}$ (x は堤防法面からの距離, y はアカスジカスミカメ捕獲数, a および b は定数)。

4) $g(y) = c \times \exp(-\frac{x}{d})$ (x は堤防法面からの距離, y はアカスジカスミカメ捕獲数, c および d は定数 (平均分散距離))。



第7図 三ノ分目におけるアカスジカスミカメの雌雄別平均分散距離推定値の推移

注) 推定値は $g(y) = c \times \exp(-\frac{x}{d})$

(xは堤防法面からの距離, yはアカスジカスミカメ捕獲数, cおよびdは定数(平均分散距離)を示す)への当てはめ結果.

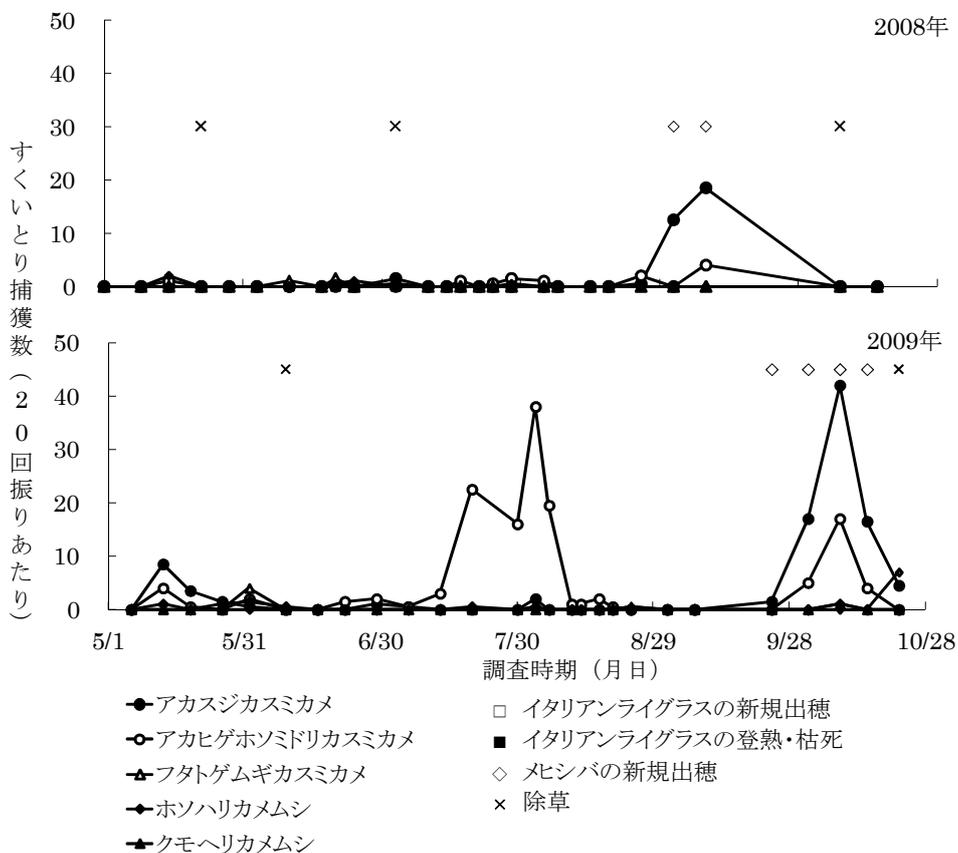
あった(第6表). 神崎南法面ではイタリアンライグラスは優占しておらず, ハルガヤ *Anthoxanthum odoratum* L., カラスムギ *Avena fatua* L., イヌムギなどのイネ科雑草が混在し, 秋にはメヒシバが優占した(第8図). 2009年は夏季に除草が行われなかったため, 2008年に比べて上記のイ

第6表 調査雑草地の除草日

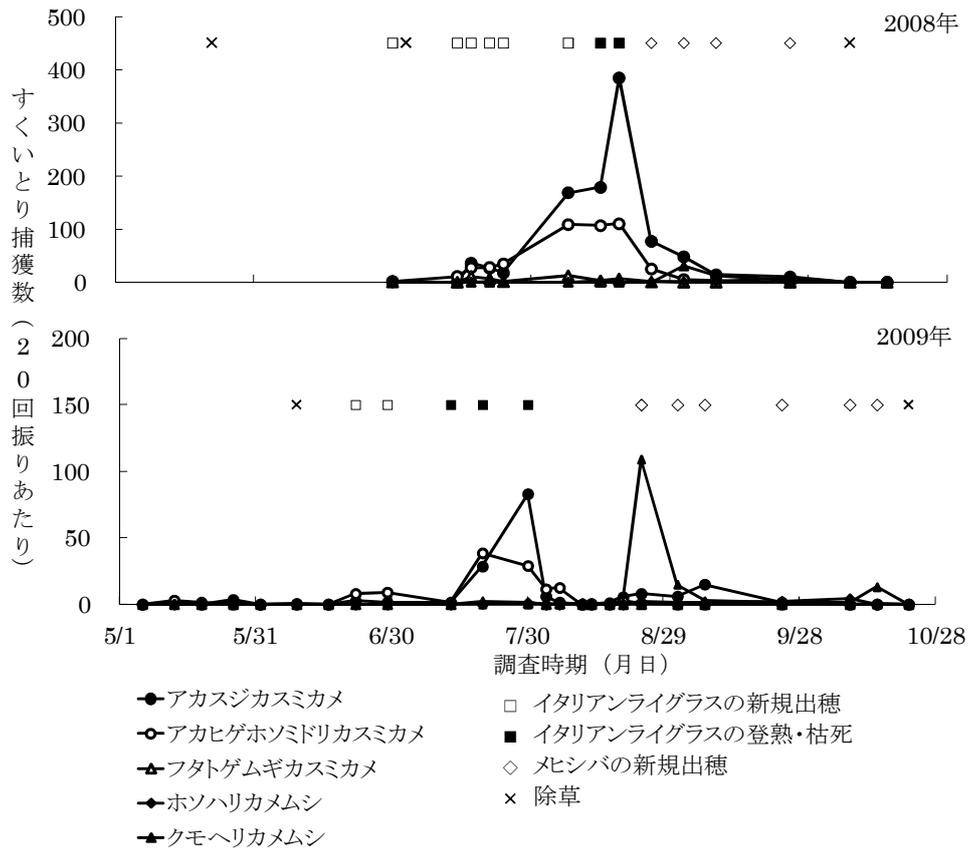
調査雑草地呼称 (所在地)	除草日					
	2008			2009		
	春季	夏季	秋季	春季	夏季	秋季
神崎北法面, 神崎南法面 (香取郡神崎町神宿)	5/22	7/3	10/7	6/9	-	10/22
三ノ分目法面 (香取市三ノ分目)	5/22	7/14	10/7	5/13	7/24	10/15

ネ科雑草が繁茂し, 出穂した. 神崎北法面では, 春から夏はイタリアンライグラス, その後はメヒシバが優占した(第9図). 2008年は7月3日に除草が行われたが, その後すぐにイタリアンライグラスの生育が回復して出穂した. イタリアンライグラスは8月後半に枯死し, 徐々にメヒシバに置き換わった. 2009年は夏季の除草が行われず, 7月に入るとそれまで出穂していたイタリアンライグラスが徐々に枯死し, 8月後半からメヒシバが出穂した.

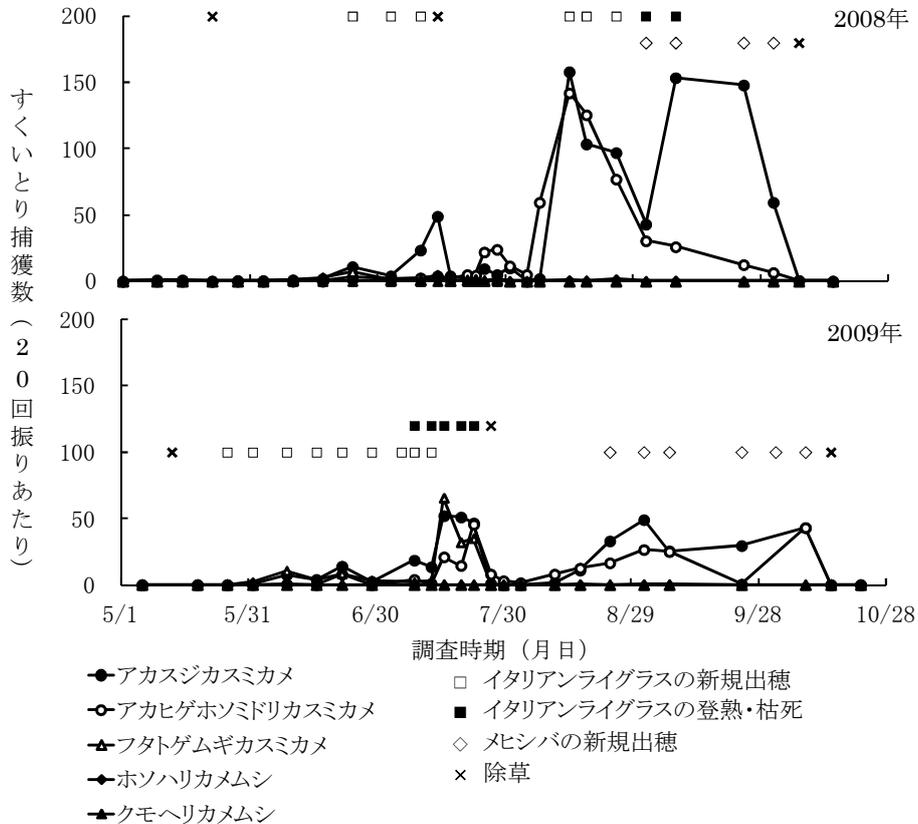
三ノ分目法面では, 2008, 2009年ともに春季の除草後はイタリアンライグラスが優占し, 5月から6月に出現し始めた(第10図). 2008年と2009年で除草の回数および時期に大きな違いはなかったものの, 夏季の除草の時点で, 2008年ではイタリアンライグラスの草勢が旺盛でまだ枯死していなかったが, 2009年では大部分が枯死していた. 夏季の除草後, 2008年は, 再度イタリアンライグラスが出穂し,



第8図 神崎南法面における斑点米カメムシ類および主要イネ科雑草の発生状況



第9図 神崎北法面における斑点米カメムシ類および主要イネ科雑草の発生状況



第10図 三ノ分目法面における斑点米カメムシ類および主要イネ科植物の発生状況

8月後半から徐々にメヒシバに置き換わったが、2009年は8月後半にメヒシバが出穂するまでイタリアンライグラスの出穂は少なかった。

(4)利根川堤防法面における主要な斑点米カメムシ類とその発消長

優占斑点米カメムシ種は、3か所の調査雑草地いずれにおいてもアカシジカスミカメもしくはアカヒゲホソミドリカスミカメであった(第8～10図)。アカシジカスミカメの捕獲は、2008年では5月15日から、2009年では5月13日から開始され、アカヒゲホソミドリカスミカメの捕獲は、2008年では5月9日から、2009年では5月13日から開始された。捕獲期間中のアカシジカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメ発消長は調査地点と年次によって大きく異なっていた。

神崎南法面では、アカシジカスミカメは2008年および2009年ともに9月以降メヒシバが出穂すると捕獲数が増加したが、それまで密度が高くなることはなかった(第8図)。これに対し、アカヒゲホソミドリカスミカメは2009年の7月から8月にかけて捕獲数が顕著に増加した。神崎北法面では、2008年は夏季の除草から約4週間後にアカシジカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメの捕獲数が急激に増加した(第9図)。しかし2009年は夏期の除草が行われず、イタリアンライグラスが枯死するとともに捕獲数が減少し、その後の捕獲数は少なかった。また、2008年、2009年ともにイタリアンライグラスが枯死した後、メヒシバが出穂したが、アカシジカスミカメの捕獲数は増加しなかった。

三ノ分目法面においては、2008年、2009年ともに7月に入ると捕獲数が増加したが、両年ともに夏季の除草後の4週間は捕獲数が低く推移した(第10図)。その後、2008年は、8月中旬に捕獲数が急激に増加し、その後は捕獲数が多かった。一方2009年は、除草後約5週間で50頭前後まで捕獲数が徐々に増加し、夏季の除草以降のアカシジカスミカメの発消長は両年で大きく異なった。

そのほかの斑点米カメムシ類は、クモヘリカメムシが2009年に神崎北法面で8月後半に急激に増加した(第9図)。また、フタトゲムギカスミカメ *Stenodema calcarata* (Fallen)が、三ノ分目法面で2009年夏季に除草されるまでアカシジカスミカメと同程度に増加した(第10図)。ホソハリカメムシはどの調査地でもわずかな発生であり、そのほかの斑点米カメムシ類は捕獲されなかった。

(5)堤防法面と水田におけるカスミカメムシ類発生状況の関係

堤防法面と水田における斑点米カメムシ類発生状況を比較するため、堤防法面から最も近い水田における、2か年・2地域の捕獲数推移を、堤防法面における推移とともに第11図および第12図に示した。なお、堤防法面の結果は水田

における調査時期に合わせて図8から10を改変して示した。

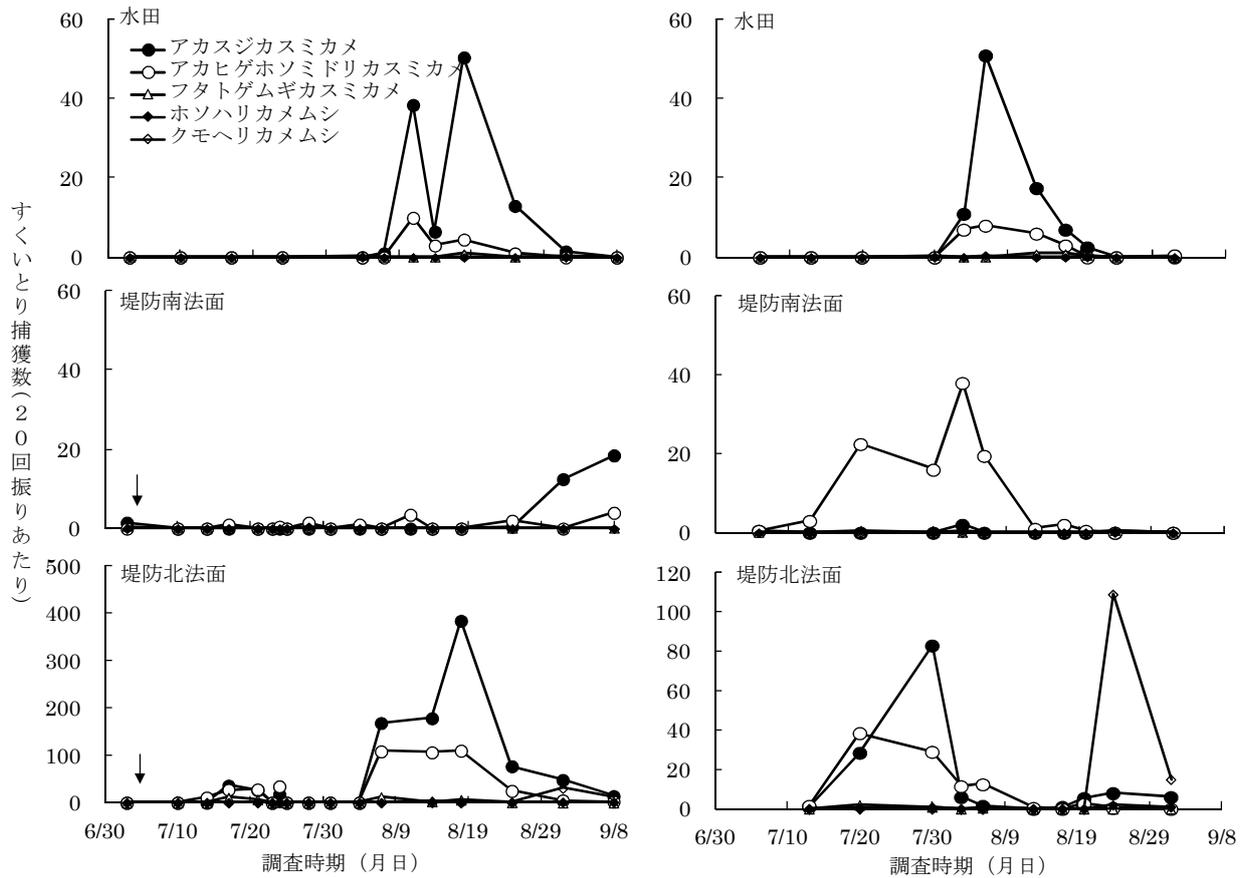
いずれの地域・年次においても水田内ではアカシジカスミカメが優占していた(第11図および第12図)。水田におけるアカシジカスミカメ捕獲数の最大値は、2008年三ノ分目で2.5頭(20回振り当たり、以下同様)であったのに対し、2009年三ノ分目、2008年・2009年神崎では50頭以上であり、大きく異なった。2008年三ノ分目法面では、イネ出穂期10日前にはアカシジカスミカメ捕獲数が49頭であったが、除草とともに減少し、イネの出穂期1週間前から21日後までは0から10頭と低く推移した。一方、2009年三ノ分目法面、2008年・2009年神崎北法面では、それぞれイネ出穂期3～10日後、3～14日後、出穂期当日にアカシジカスミカメ捕獲数が50頭以上認められ、イネ出穂期および登熟期前半に当たる時期に、堤防法面における捕獲数が増加していた。イネ登熟期後半の堤防法面における捕獲数は、2008年三ノ分目法面において出穂期22日後以降にアカシジカスミカメが100頭以上捕獲されたのに対し、2009年三ノ分目法面および2009年神崎北法面ではアカシジカスミカメ捕獲数が10頭以下であった。

水田内では、アカヒゲホソミドリカスミカメの捕獲数はアカシジカスミカメと比較して少なかったが、いずれの年次・場所においても発生源と考えられる堤防法面ではアカシジカスミカメと同程度、もしくはアカシジカスミカメに優占して発生していた(第11図および第12図)。加えて2009年の三ノ分目法面では、フタトゲムギカスミカメもアカシジカスミカメと同程度捕獲されているが、水田内における捕獲はアカシジカスミカメと比較して非常に少なかった。

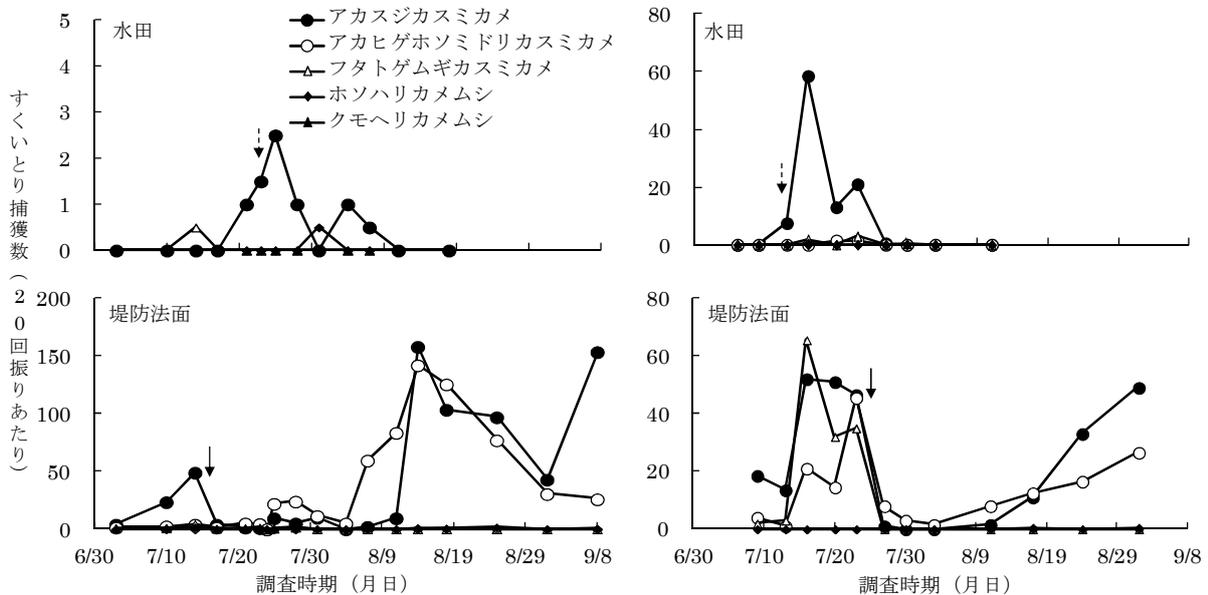
アカシジカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメの幼虫は、水田における捕獲数が少なく、三ノ分目では2008年は両種ともに捕獲されず、2009年は7月30日にアカシジカスミカメが0.5頭捕獲されたのみであった。神崎では、2008年は両種ともに捕獲されず、2009年は8月6日以降にアカシジカスミカメが最大2.5頭、アカヒゲホソミドリカスミカメが0.5頭捕獲された。

3. 考察

害虫がどこを発生源としてどのくらいの範囲まで移動するのかという情報は、発生源管理の際に非常に重要である。本研究において、水田内捕獲数が堤防法面からの距離を変数とした分散モデルに当てはまったことで、堤防法面のような大規模イネ科群落から水田にアカシジカスミカメが実際に飛来していることが裏付けられた。また、移動範囲や発生源を中心とした分布が明らかになり、水田個々の発生源管理のみならず地域単位における発生源管理手法確立のための重要な知見が得られた。



第11図 神崎の水田および堤防法面における2008年(左)と2009年(右)の斑点米カメムシ類発生状況
 注1) 図中の点線矢印はイネ出穂期, 実線矢印は法面の除草時期を示す。
 2) 堤防法面のグラフは図8および図9の抜粋である。



第12図 三ノ分目の水田および堤防法面における2008年(左)と2009年(右)の斑点米カメムシ類発生状況
 注1) 図中の点線矢印は水田の出穂期, 実線矢印は法面の除草時期を示す。
 2) 堤防法面のグラフは図10の抜粋である。

水田周辺のイネ科雑草が水田へのカスミカメムシ類の侵入源になっていることは以前から指摘されており、休耕田や牧草地の増加がカスミカメムシ類の被害が急増した一因とされている(新山, 2000; 伊藤, 2004)。近年本試験以外にも、水田地域における休耕田や牧草地などの土地利用分布や GIS データをもとに、景観レベルの生態解明と被害低減に関する研究の取り組みが始まった。その中で、アカスジカスミカメの水田内密度に影響を与える雑草地の範囲を Yasuda *et al.*, 2011 は 300 m 程度, Takada *et al.*, 2012 は 400 m 程度と推定している。小野ら(2007)も牧草地に近接した水田では、少なくとも 100 m 離れた地点まで被害が及ぶとしている。本研究において、平均分散距離推定値が最長となった神崎の雄成虫では、134.0 m (95 % 上側信頼限界値)と推定された。分散行動解明の観点からアプローチした本結果は、その他の生態学的な知見と大きくは乖離しておらず、本種が数百メートル単位で分散していることを裏付けた。

一方、室内実験によりアカスジカスミカメ雄成虫の平均飛行速度は 1.20 m/s と測定されており(小林, 2007)、連続 3 時間は飛行可能との知見もある(安藤ら, 未発表)。これらの知見を合わせると、本種一日当たりの飛行可能距離は 13 km ($\approx 1.20 \times 60 \times 60 \times 3 / 1000$)と推定され、本調査における推定値を大きく超える値となる。自然条件下では、昆虫の分散は方向の定まらない飛行行動が繰り返されるため、実験室で直線距離として測定される距離よりも小さくなることが知られている(小林, 2007)。本研究が対象にしたアカスジカスミカメも、自然界では短時間で方向の定まらない飛行行動を繰り返しており、実験室で測定された値よりも分散エリアは限定されると考えられる。

分散範囲と同様に、発生源管理において重要となる知見として密度分布が挙げられる。本研究では、水田への侵入量は発生源に近いほど指数関数的に増加することが示された。この事実はアカスジカスミカメの分散範囲内であっても、発生源に近いほど侵入量が大幅に増加することを示しており、利根川堤防法面のように生産者による個別管理が不可能な発生源がある水田地域では、発生源に近接した水田から優先して薬剤散布するなど、優先順位を考慮して防除する必要があることを示唆している。一方、700 m 近く離れた水田においても、堤防法面から侵入したと考えられるアカスジカスミカメが少量ではあるが捕獲された。発生源からの分散総数は発生源における密度が反映され、要防除範囲や経済的被害許容範囲はそれにより変化すると考えられるため、実際に被害がどの程度の範囲に及ぶかは発生源における発生状況や水田への侵入状況をその都度把握する必要がある。

発生源である堤防法面と水田において、アカスジカスミカメ発生状況を比較した結果、堤防法面におけるイタリアンラ

イグラス等の寄主植物の状況が、堤防法面および水田における本種の発生状況に大きく影響していた。堤防法面における夏季のイタリアンライグラスの除草は、そこにおけるカスミカメムシ類密度を低下させ、その後 4 週間程度は密度上昇を抑えていたと推察される。水田においても、アカスジカスミカメ発生量はイネ出穂期および登熟期前半に当る時期の堤防法面における本種の発生量を反映しており、堤防法面の除草が水田内への侵入量に影響を与えたと考えられる。また、除草以外に発生量に大きく影響を与える要因として、寄主植物の枯死が挙げられる。2008, 2009 年の神崎北法面や 2009 年の三ノ分目法面では、イタリアンライグラスの枯死によりカスミカメムシ類密度が急激に低下したと推察される。また、2009 年神崎北法面では、イネの出穂期前後にイタリアンライグラスが枯死し、寄主植物を失ったアカスジカスミカメが大量に水田内に侵入した可能性が示唆される。

水田周辺の発生源管理は、薬剤防除と並んで斑点米カメムシの重要な防除手段と捉えられている(渡邊・樋口, 2006)。これまでは、発生源管理の主な対象は、水田管理者個々で管理が可能な水田畦畔であった。水田畦畔はイネ科植物が繁茂すると、カスミカメムシ類の発生源や水田侵入への中継地点となる(湯浅, 2006)。寺本(2003)は、ホソハリカメムシとアカスジカスミカメが優占する滋賀県での試験で、イネ出穂期 3 週間前頃と出穂期の 2 回除草により高い斑点米被害軽減効果が得られると報告しており、安田ら(2013)は本調査と同じ千葉県香取市における調査で、出穂期前 2 ~ 1 週間および出穂期後 1 ~ 2 週間の 2 回除草の効果が高いと報告している。いずれもイネの出穂前後に畦畔のイネ科植物の出穂を抑制することがカメムシ類の生息密度抑制と斑点米被害軽減に有効であると示している。本研究のような大規模発生源における調査結果もこれを支持しており、小規模発生源と比較して水田に与える影響やその範囲が大きくなると予想されるため、その管理の重要性は増すと考えられる。

しかしながら、無計画な除草は効果が無いだけでなく、カスミカメムシ類の密度増加を助長する恐れもある。イタリアンライグラスの生育が旺盛な時期に除草が行われた 2008 年神崎北法面および三ノ分目法面では、イタリアンライグラスが再度出穂して寄主として好適な状況が回復したことにより、除草の約 4 週間後に雑草地におけるカスミカメムシ類密度の上昇が著しかったと考えられる。滋賀県においても、除草によってイネ科雑草が均一に繁茂し、斑点米カメムシ類にとって好適な状態となるため、成虫の大量飛来を受けやすいとされる事例が報告されている(湯浅, 2006)。これらは、イネ科植物は生長点が地際にあるため、除草後の回復が他の植物より早く、過度の除草によりイネ科植物が優占種になりやすい(稲垣ら, 2012)ためと推察される。一方、2009 年三ノ分目法面では、夏季の除草時にイタリアンライグラスが

すでに枯死していたため、除草後のイタリアンライグラスの再生はほとんど認められず、その後のカスミカメムシ類の捕獲数の増加が抑えられたと考えられる。このように、過度の除草やタイミングによってはイネ科植物の繁茂を促し、斑点米カメムシに好適な環境を提供してしまう側面もあるため、効率的な発生源管理が求められる。

さらに本調査では、神崎南法面のようにアカヒゲホソミドリカスミカメのみが増加し、アカスジカスミカメの発生が見られない雑草地も認められた。神崎南法面にはイタリアンライグラスは優占しておらず、ハルガヤ、カラスムギ、イヌムギなどのイネ科雑草が混在し、出穂も少なかった。アカスジカスミカメは穂に対する依存性が高く、寄主植物の小穂内に産卵を行い（加藤・長谷川，1950；林，1986），出穂していない場合には発生量が増加しないことが報告されている（林・中沢，1988）。一方、アカヒゲホソミドリカスミカメでは出穂していなくても葉鞘や葉舌の内側に産卵が観察され（Nagasawa and Higuchi, 2012；樋口ら，2001），アカスジカスミカメよりも穂への依存性が低いことが報告されている。神崎南法面における両種の発生の相違はこのような産卵部位選好性の違いによるものと考えられる。この結果は、好適条件でない雑草地では発生が見られないことも示している。水田畦畔などにシソ科のアジュガ *Ajuga reptans* L.

やユリ科のリュウノヒゲ *Ophiopogon japonicus* KerGawl などカメムシ類が生息できない被覆植物をグラウンドカバープランツとして導入し、イネ科植物の繁茂を抑制する手法の有効性も報告されており（寺本，2003），今後研究の進展が求められる。

以上のように、アカスジカスミカメの分散行動や分散範囲、水田内侵入量に関与する要因が解明され、発生源管理における重要な知見が得られた。景観レベルの発生源管理は、水田周辺に牧草地や休耕地が増加する近年において（伊藤，2004；新山，2000），ますます重要になると考えられる。一方、水田は大規模な雑草地だけでなく畦畔など多くの小規模発生源に囲まれており、これらも斑点米カメムシの水田侵入への経路地点となるため、斑点米被害に大きな影響を持っている（湯浅，2006）。また、ヒエ *Echinochloa frumentacea* Link やイヌホタルイなどの水田内雑草は、イネより速く出穂して斑点米カメムシの侵入を助長するため、斑点米被害を大きくする（後藤ら，2000；加進ら，2009）。このように、大規模な雑草地だけでなく様々な発生源の存在が斑点米カメムシ水田侵入量に与える影響を総合的に評価することができれば、発生源管理のための戦略構築に非常に有用となると考えられる。

第3章 アカスジカスミカメによる被害の推定

不必要な薬剤使用を削減するためには、防除要否の判断根拠となる被害推定が不可欠である。アカヒゲホソミドリカスミカメにおいては出穂期から収穫期もしくは出穂から数日間の捕獲数から被害を予測する試みはなされているが(渡辺ら, 2003; 高橋ら, 2012), アカスジカスミカメについて穂揃期防除要否を判断するための被害予測の試みは未だなされていない。アカスジカスミカメはイネの出穂を機に水田に侵入するため(林・中沢, 1988), 出穂期におけるすくいとり捕獲数から被害が推定できれば、穂揃期防除の要否判断に利用可能と考えられる。そこで本章では、アカスジカスミカメの初期侵入量による被害推定を目的とし、第1節では加害時期と割れ籾が被害に与える影響を、第2節では初期侵入量と防除の有無が被害に与える影響を解析した。

第1節 加害時期および割れ籾が アカスジカスミカメ被害に与える影響

カスミカメムシ類が稲の穂を吸汁する際、籾殻に口吻を貫通させることが難しいため(河辺, 1972), 籾頂部の隙間あるいは鈎合部の隙間に口吻を差し込んでいると考えられている(林, 1989; 宮田, 1994)。鈎合部に隙間のある「割れ籾」(写真2)の発生が多いと、斑点米被害が増加することも報告されている(宮田, 1991, 1992; 鈴木, 2005; 吉村ら, 2007)。このため、本種の加害生態や割れ籾の発生状況は、被害推定に大きく影響を及ぼすと考えられる。

そこで本節では、出穂期における捕獲数を用いた被害推定の前段として、出穂期を含めた加害時期別の被害発生状況、割れ籾が被害に及ぼす影響を明らかにするため、出穂期後時期別の放飼試験を行った。また、2005年に千葉県北部で発生した斑点米被害は水稻品種「あきたこまち」で特に多く(片瀬ら, 2007)、「あきたこまち」は割れ籾の発生が多い品種とされているが(中場ら, 2000)、千葉県における主要栽培品種において割れ籾発生程度を比較した例はない。そこで、千葉県における主要栽培品種4品種について、割れ籾発生状況を調査した。

1. 材料と方法

(1) 出穂期後時期別アカスジカスミカメ放飼試験

放飼試験には1/5000aワグネルポットで栽培した「あきたこまち」を供試した。これらは2007年4月26日に葉齢5.5の苗をワグネルポットに4本ずつ移植し、屋外で栽培した。出穂は7月23日であり、出穂後は、支柱を立てて直径60cmの捕虫網でポット全体を覆い、他の害虫類の侵入を防



写真4 放飼試験中の「あきたこまち」ワグネルポットの様子

いだ(写真4)。

放飼したアカスジカスミカメは野外から採取した成虫で、放飼の際、雌雄の判別は行わなかった。放飼時期は出穂期0, 7, 14, 21, 28日後からそれぞれ3日間とし、各放飼時期につき3ポットを用いて1ポット当たり20頭を放飼した。放飼期間終了後、放飼虫を取り除き、エトフェンプロックス粉剤を十分に散布し、収穫時まで捕虫網をかけた状態を維持した。

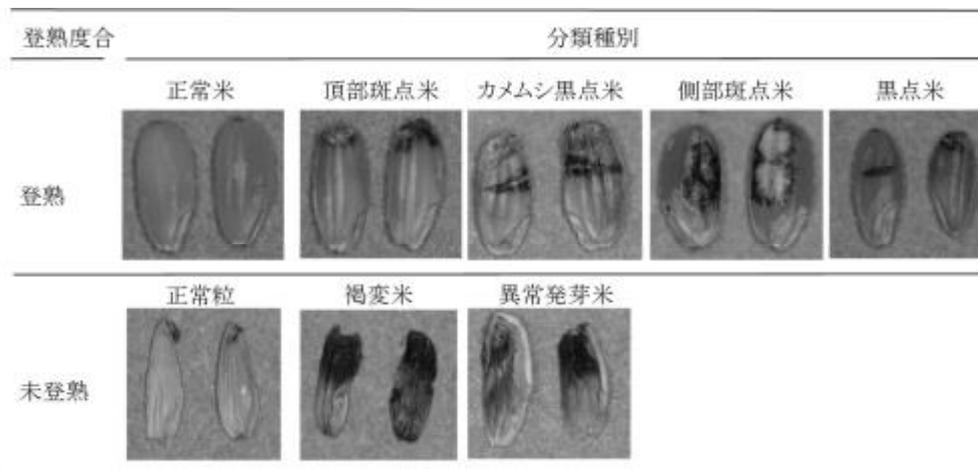
8月27日にポットごとに穂を収穫し、脱穀後に正常に肥大した籾について割れ籾および正常籾に分類した。それぞれ籾すり後に被害粒を調査した。未登熟籾については、籾を手で除去して被害粒を調査した。各放飼時期ごとに被害粒およびその構成比率について尤度比カイ二乗検定により放飼期間差を検定した。統計解析にはJMP® 5.0.1 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)を用いた。

(2) 千葉県主要品種における割れ籾発生程度

2008年から2014年に、圃場ごとに収穫した籾それぞれ約

第7表 品種・年次ごとの調査圃場数

品種	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
あきたこまち	2	17	8	6	5	14	10
コシヒカリ	4	17	6	12	15	15	10
ふさこがね	0	0	2	3	0	13	10
ふさおとめ	1	0	0	2	3	1	9



第13図 放飼試験で発生した被害粒の分類

注) 被害粒の分類は川村 (2007) に倣った。

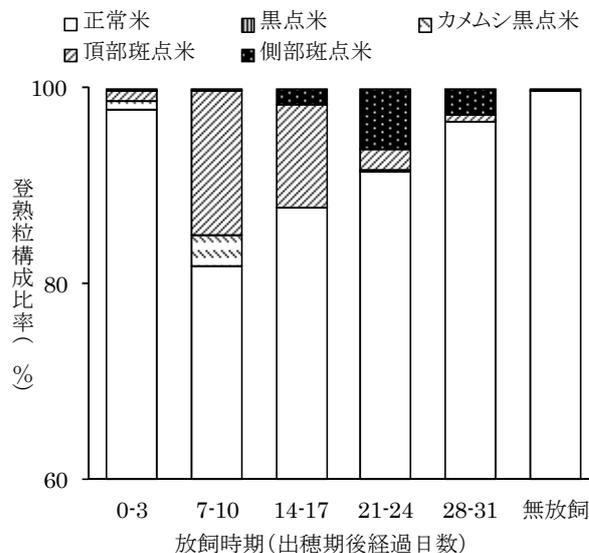
1,000粒について、割れ粳と正常粳を分類した(第7表)。品種を固定効果、圃場をランダム効果とし、品種による割れ粳率の差を、二項分布を仮定した一般化線形混合モデルで解析した。リンク関数はlogitとした。品種間差が有意であった場合には、Tukey法による品種間の多重比較を行った。また、すべての年に調査を行った「あきたこまち」と「コシヒカリ」について、年次、品種、その交互作用を説明変数として同様に各要因の効果を検定した。統計解析にはR ver. 2.13.2 (The R Foundation for Statistical Computing, 2011)、パッケージとしてcar (Fox et al., 2014)、lme4 (Bates et al., 2014)、multcomp (Hothorn et al., 2014)、を用いた。

2. 結果

(1) 出穂期後時期別アカスジカスミカメ放飼試験

強制的に多数の成虫に加工させたため、各放飼区ともに被害粒が高い割合で発生した。登熟粒由来の玄米中には、頂部が黒変した頂部斑点米、内穎と外穎の鉤合部に当たる粒の側部が斑点状に褐変した側部斑点米の他に、くさび状の亀裂が入った被害粒が観察された(第13図)。くさび状の亀裂が入った被害粒には、亀裂のみの被害粒と、亀裂とともに頂部に吸汁痕のある被害粒が観察された。川村(2007)の呼称に倣い、前者を黒点米、後者をカメムシ黒点米として分類を行った。

被害粒の形状ならびに発生率は、成虫放飼時期によって有意に異なった(第14図、尤度比カイ二乗検定 $\chi^2 = 1185, P < 0.0001$)。頂部斑点米は出穂期7日後の放飼区で12%と



第14図 登熟粒における放飼時期と各被害粒発生率の関係

注1) 1/5000 a ワグネルポット植え「あきたこまち」による放飼試験(1区1ポット、反復3)。放飼虫はアカスジカスミカメ成虫20頭(雌雄無分別)。

注2) 被害粒の分類は川村(2007)に倣った。

最大値を示し、その後の放飼時期では発生率は徐々に低下した。カメムシ黒点米は出穂0および7日後の放飼区のみで観察された。側部斑点米は主に登熟期後半に現れ、21日後放飼区でピーク(約6%)となった。黒点米はごくわずかで

第8表 登熟粒におけるアカスジカスミカメ放飼時期別被害粒発生数

放飼時期(出穂期後経過日数)	登熟粒総粒数	正常粒					割れ粒				
		正常粒	黒点米	カメムシ黒点米	頂部斑点米	側部斑点米	正常粒	黒点米	カメムシ黒点米	頂部斑点米	側部斑点米
0-3	1629	1048	0	14	15	0	545	0	0	3	4
7-10	1429	807	0	44	196	0	363	0	0	16	3
14-17	1808	1458	0	0	180	3	129	0	0	12	26
21-24	2093	1737	0	0	36	11	179	1	0	11	118
28-31	1862	1547	0	0	5	0	250	2	0	8	50
無放飼	2041	1627	4	0	0	0	410	0	0	0	0

注1) 1/5000 a ワグネルポット植え「あきたこまち」による放飼試験(1区1ポット, 反復3). 放飼虫はアカスジカスミカメ成虫20頭(雌雄無分別).

2) 数字は3ポット当たりの合計数を示す.

3) 被害粒の分類は川村(2007)に倣った.

あり, 無放飼区でも発生した. 黒点米を除く被害粒の発生率は, 出穂直後の放飼では低かったが, 出穂7日後放飼で約24%と最大値を示し, その後の放飼時期では徐々に低下した.

割れ粒率は平均21.0%であった. 正常粒において生じていた被害はほとんどが頂部斑点米およびカメムシ黒点米であったのに対し, 割れ粒において生じていた被害はほとんどが側部斑点米であり(第8表), 割れ粒と正常粒では被害粒の構成比率が有意に異なった(尤度比カイ二乗検定 $\chi^2 = 535, P < 0.0001$).

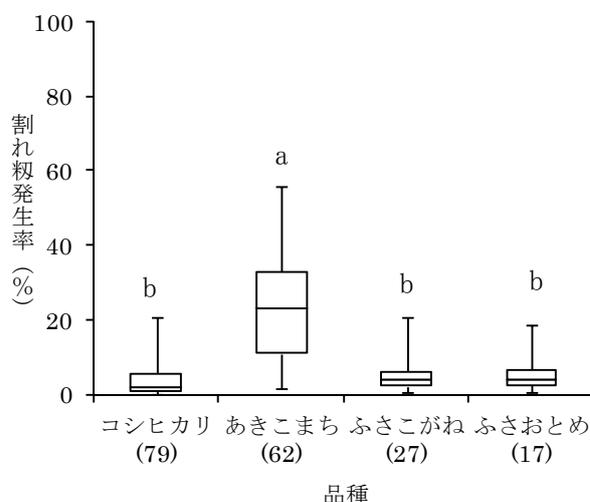
未登熟粒における被害粒には, 頂部もしくは粒全体が褐変している被害粒のほかに, 粒の中で異常に発芽している被害粒が生じ, 前者を褐変米, 後者を異常発芽米として分類した(第13図). 褐変米および発芽米の発生数は出穂後7日の放飼区で最大となり, その後は減少した(第9表).

(2) 千葉県主要品種における割れ粒発生程度

4品種における割れ粒率を第15図に示した. 品種別の割れ粒率平均値は「あきたこまち」で23.5%, 「コシヒカリ」で3.9%, 「ふさこがね」で5.4%, 「ふさおとめ」で5.9%であった. 調査した4品種間で割れ粒率に差が検出され(GLMM Type II ANOVA, $\chi^2 = 187.5, df = 3, P < 0.0001$), 多重推定の結果「あきたこまち」はそれ以外の3品種よりも割れ粒率が有意に高く, それ以外の3品種間で割れ粒率に有意な差は認められなかった(第15図, 第10表). また, 「コシヒカリ」では, 2008年から2014年の間における割れ粒率平均値の最小値は0.6%(2008年), 最大値は9.8%(2012年)であり, 「あきたこまち」ではそれぞれ5.6%(2011年), 33.9%(2012年)であった. GLMMの結果, 両品種においては品種間差に加え, 年次間差およびその交互作用にも有意な効果が検出された(第11表, 第16図).

3. 考察

アカスジカスミカメをイネの出穂期後に人工的に放飼し



第15図 品種ごとの割れ粒発生率

注1) 図中のエラーバーは最大値(正方向)および最小値(負方向)を, 箱は上側四分位(上端), 中央値(中央線)および下側四分位点(下端)を示す.

2) 品種下の括弧内は調査圃場数を示す.

3) 図中のアルファベットは異なる文字間で割れ粒率に品種間差があることを示す(GLMM後 Tukeyの多重比較, $P < 0.05$).

第9表 未登熟粒におけるアカスジカスミカメ放飼時期別被害粒発生数

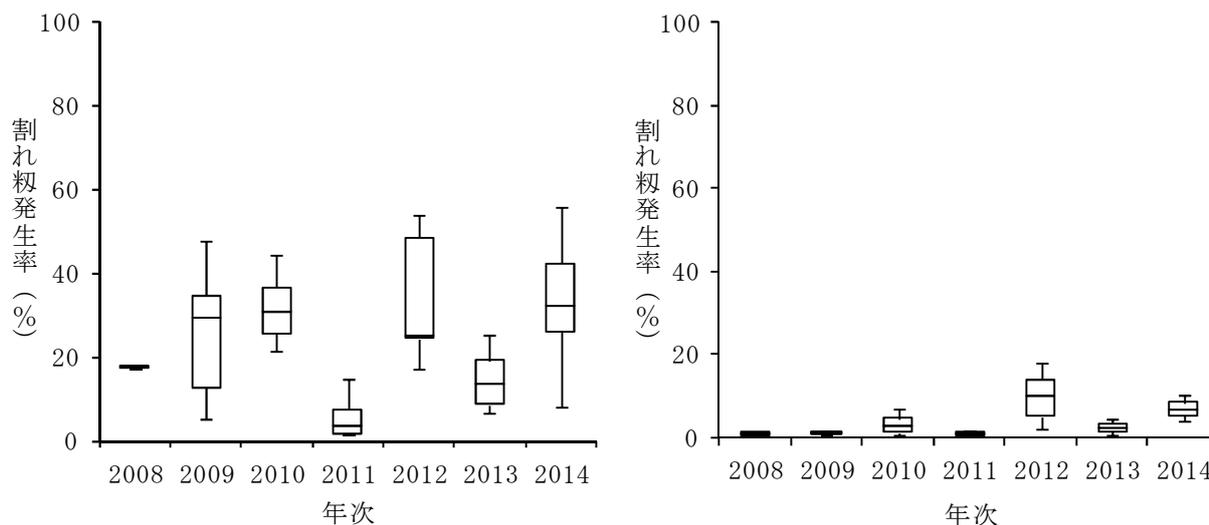
放飼時期(出穂期後経過日数)	未登熟粒総数	褐変米	発芽米
0-3	272	54	3
7-10	361	134	30
14-17	200	75	0
21-24	117	12	0
28-31	267	4	0
無放飼	167	3	0

注1) 1/5000 a ワグネルポット植え「あきたこまち」による放飼試験(1区1ポット, 反復3). 放飼虫はアカスジカスミカメ成虫20頭(雌雄無分別).

2) 数字は3ポット当たりの合計数を示す.

第 10 表 GLMM および Tukey による割れ粳率品種間差の多重比較推定結果

比較品種	偏回帰係数	標準誤差	z 値	P 値> z)
ふさこがね—あきたこまち	-1.80	0.24	-7.56	<0.001 ***
ふさおとめ—あきたこまち	-1.67	0.28	-5.90	<0.001 ***
コシヒカリ—あきたこまち	-2.37	0.18	-13.46	<0.001 ***
ふさおとめ—ふさこがね	-0.13	0.32	0.40	0.98
コシヒカリ—ふさこがね	-0.57	0.23	-2.45	0.07
コシヒカリ—ふさおとめ	-0.79	0.28	-2.51	0.06



第 16 図 「あきたこまち」(左図) および「コシヒカリ」(右図) の年次別割れ粳率

注) 図中のエラーバーは最大値(正方向)および最小値(負方向)を, 箱は上側四分位(上端), 中央値(中央線)および下側四分位点(下端)を示す。

第 11 表「コシヒカリ」および「あきたこまち」における割れ粳率の GLMM 分散分析結果 (Type II ANOVA)

	χ^2	df	P(>Chisq)
品種	415.08	1	< 10 ⁻¹⁶ ***
年次	178.87	6	< 10 ⁻¹⁶ ***
品種×年次	36.74	6	2.0×10 ⁻⁰⁶ ***

た結果, 出穂期直後の加害による斑点米被害の発生は少なく, 最も被害が多く発生するのは出穂期 1 週間後であった。野外調査では, イネ出穂期における本種捕獲数は少なく, 出穂期 1 週間後前後に捕獲数が最大値となる事例が多い(片瀬ら, 2007; 永野ら, 1988)。このことから, 実際の水田における出穂期加害の被害はわずかであり, 被害の多くは出穂期 1 週間後以降に生じると考えられる。このことは, 被害の少ない出穂期捕獲数をもとに被害を推定し, 被害が増加する前の穂揃期に防除を行うという本研究のもくろみの効果を支持するものである。一方, 登熟期後半の加害により, 割れ粳において高い割合で側部加害粒が生じた。これは割れ粳多発条件下では登熟期後半に側部加害が多発することを示唆しており, このような場合には, 穂揃期防除のみでは登熟期後半の加害を防げない恐れが示唆された。

本試験で観察された, 放飼時期による被害粒発生率やその種類の変化は, 米粒の肥大に伴い起こると推察される。米粒は長さ, 幅, 厚さの順に成長し, 開花 6 日後程度で長さは最大となるとされている(星川, 1975)。アカスジカスミカメは登熟期前半には粳上部の隙間から吸汁することから(河辺, 1972), 出穂直後では粳上部から米粒に届かないか, もしくは届いた場合でも, その後肥大が停止して未登熟粒となると考えられる。米粒の長さが最大となった後の加害では, 肥大の程度により肥大が停止して未登熟粒となるか, 停止せずに登熟が進めば頂部斑点米となり, その際に米粒に亀裂が生じたものがカメムシ黒点米になると推測できる。米粒の幅は開花約 15 日後, 厚さは約 20 日後に最大となる(星川, 1975)。割れ粳の発生経過には品種間差はあるものの, 増加するのは出穂 20 日後以降とされており(寺西ら, 1981), 割れ粳の吸汁により側部斑点米が生じると考えられる。同様の事象は宮田(1992)および林(1989)によっても報告されており, 本試験の結果を裏付けている。アカヒゲホソミドリカスミカメによっても同様の被害が生じることが報告されており(滝田, 2002), 割れ粳の発生はカスミカメムシ類による被害程度を左右する大きな要因であることが改めて示された。

本試験では黒点米の発生がわずかであり、無放飼区においても発生した。吸汁痕が見られなかったこと、イネシナガレセンチュウ *Aphelenchoides besseyi* Christie やセジロウンカ *Sogatella furcifera* (Horváth) によっても同様の被害が発生すること (林, 2000) から、アカスジカスミカメの被害ではないと見なした。

「あきたこまち」と「コシヒカリ」はそれぞれ別々の品種との間で過去に割れ粃率が比較されている。「あきたこまち」は割れ粃発生率が 20 % 以上で、「どまんなか」および「はえぬき」と比較して割れ粃が発生しやすい (中場ら, 2000)。一方「コシヒカリ」は、登熟期に高温になると割れ粃が発生しやすくなるが、それでも 6 % 程度であり (小嶋, 2004)、寺西ら (1981) も「ハウネンワセ」や「はつかおり」ら 13 品種で比較して「コシヒカリ」を割れ粃発生しにくい品種として分類している。本試験においても両品種は同様の傾向を示した。千葉県育成品種である「ふさこがね」および「ふさおとめ」は「コシヒカリ」と同様に割れ粃の発生しにくい品種であり、「あきたこまち」と比較してカスミカメムシ類による被害を受けにくいと推察される。アカスジカスミカメによる被害が問題となった 2005 年当時 10 % 近くあった「あきたこまち」の千葉県内作付面積比率は、2013 年には 4.4 % に減少し、現在では「コシヒカリ」、「ふさこがね」、「ふさおとめ」の栽培が主流となっている (第 12 表, 千葉県農林水産部生産販売振興課, 2013)。これらのことから、千葉県における主要品種は割れ粃が発生しにくいと見なすことが可能と考えられる。

一方、割れ粃率には品種間差だけでなく年次間差も大きいことが明らかとなった。「コシヒカリ」における年次別割れ粃発生率の最大値は「あきたこまち」における年次別割れ粃発生率の最小値を上回っており、割れ粃率が低いとされる品種においても気象条件などによって割れ粃発生率が平均よりも高くなる恐れのあることが示された。割れ粃の発生は内・外穎発育期間 (出穂前 4 ~ 14 日) の日照不足や低温、玄米肥大期の高温により増加するとされており (松浦・岩田, 1968; 京谷, 2002)、気象条件による影響も大きいとされている。また、寺西ら (1981) は割れ粃を減少させる方法として穂肥の施用を挙げている。本試験で明らかになった年

次別変動は、気象要因などをもとにした割れ粃発生解析に応用が可能であり、今後長期予報などのデータによる割れ粃発生予測手法の確立に貢献するものと考えられる。また、割れ粃多発条件下における割れ粃抑制手法に関しても今後解明が求められる。

第 2 節 初期侵入量、穂揃期防除、割れ粃率をもとにした被害推定

第 1 節では出穂期直後の加害による斑点米被害の発生が少ないことが示され、出穂期の侵入量をもとに被害推定が可能であれば、被害が増加する前に穂揃期防除の必要性を判断することが可能と考えられた。また、割れ粃の発生は品種間差および年次間差があり、被害に大きく影響を及ぼすことが示された。また、これらの要因のほかに防除の有無や回数も当然被害に影響を及ぼすと考えられる。千葉県で推奨されている穂揃期防除は、斑点米カメムシの主要種がクモヘリカメムシからアカスジカスミカメに変遷する前から推奨されていた防除であり、アカスジカスミカメに対する試験事例はなかった。他県では多発条件下における試験で穂揃期とその 7 日後の 2 回の効果が実証されているが (小野ら, 2010)、小発条件下ではまず一回目の散布の要否が検討されるべきである。そこで本節では出穂期におけるアカスジカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメの出穂後時期別侵入量、割れ粃発生率、穂揃期防除と被害の関係を明らかにするために解析を行った。

1. 材料と方法

(1) 調査地および調査方法

調査は千葉県内の水田において 2010 から 2013 年にのべ 57 圃場で実施した (第 13 表)。57 圃場のうち 23 圃場では穂揃期前後に本田防除が行われ、その内容を第 14 表に示した。各水田の出穂期、1 週間後、2 週間後に、畦畔から 10 m 以上内部に入った場所において第 2 章と同様の 20 回振りすくいとりを行い、アカスジカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメ成虫の捕獲数を調査した。

収穫期に 1 圃場あたり 20 株を刈り取り、天日乾燥後、各

第 12 表 千葉県における水稻作付面積比率の変化 (千葉県農林水産部生産販売振興課, 2013)

順位	2005 年		2012 年	
	品種	作付面積比率 (%)	品種	作付面積比率 (%)
1	コシヒカリ	69.2	コシヒカリ	66.7
2	ふさおとめ	11.3	ふさこがね	13.2
3	あきたこまち	9.6	ふさおとめ	10.5
4	ひとめぼれ	4.9	あきたこまち	4.4
5	ヒメノモチ	2.0	ヒメノモチ	2.3

第 13 表 被害推定に用いた調査圃場の概要

調査年次	品種	穂揃期防除 ²⁾		計
		なし	あり	
2010	あきたこまち	1	3	4
2011	あきたこまち	3	3	6
	コシヒカリ	4	8	12
	ふさこがね	0	3	3
	ふさおとめ	0	2	2
2012	あきたこまち	4	1	5
	コシヒカリ	7	3	10
2013	あきたこまち	5	0	5
	コシヒカリ	5	0	5
	ふさこがね	5	0	5
計		34	23	57

注 1) いずれの圃場も千葉県内の圃場である。

2) 穂揃期防除には穂揃期前後の集団防除および個人防除が含まれる。

第 14 表 調査圃場における穂揃期防除の内容

防除の分類	圃場数	使用薬剤
集団防除	10	ラブサイドジョーカーフロアブル (ヘリコプター) アミスタートレボン SE ビームエイトゾル スタークル液剤 10 ヒノバイジット粉剤 カスミンバリダシン液剤 MR ジョーカーEW カスラプトレボンゾル モンガードゾル
個人防除	13	スタークル粒剤 スミチオン乳剤 ラブバッサバリダスミ粉剤 DL

2. 結果

圃場当たり少なくとも 500 粒について割れ粒率を調査した。残った粒は粒すり後、1.8 mm 以上の玄米について第 13 図の分類をもとに頂部斑点米、カメムシ黒点米、側部斑点米の発生率を調査した。なお、アカスジカスミカメとアカヒゲホソミドリカスミカメによる斑点米の発生量およびその被害粒の特徴はほぼ同じであり、両種による被害は区別できない(永野, 1990)。一方、大型のカメムシ類による被害粒は、変色部の周囲が褐色で縁取られ、中央部が白く口吻を突き刺した跡が明瞭に残ることが多いため(永井ら 1971; 永野 1990), これらの粒は被害解析には含まなかった。

(2) 解析

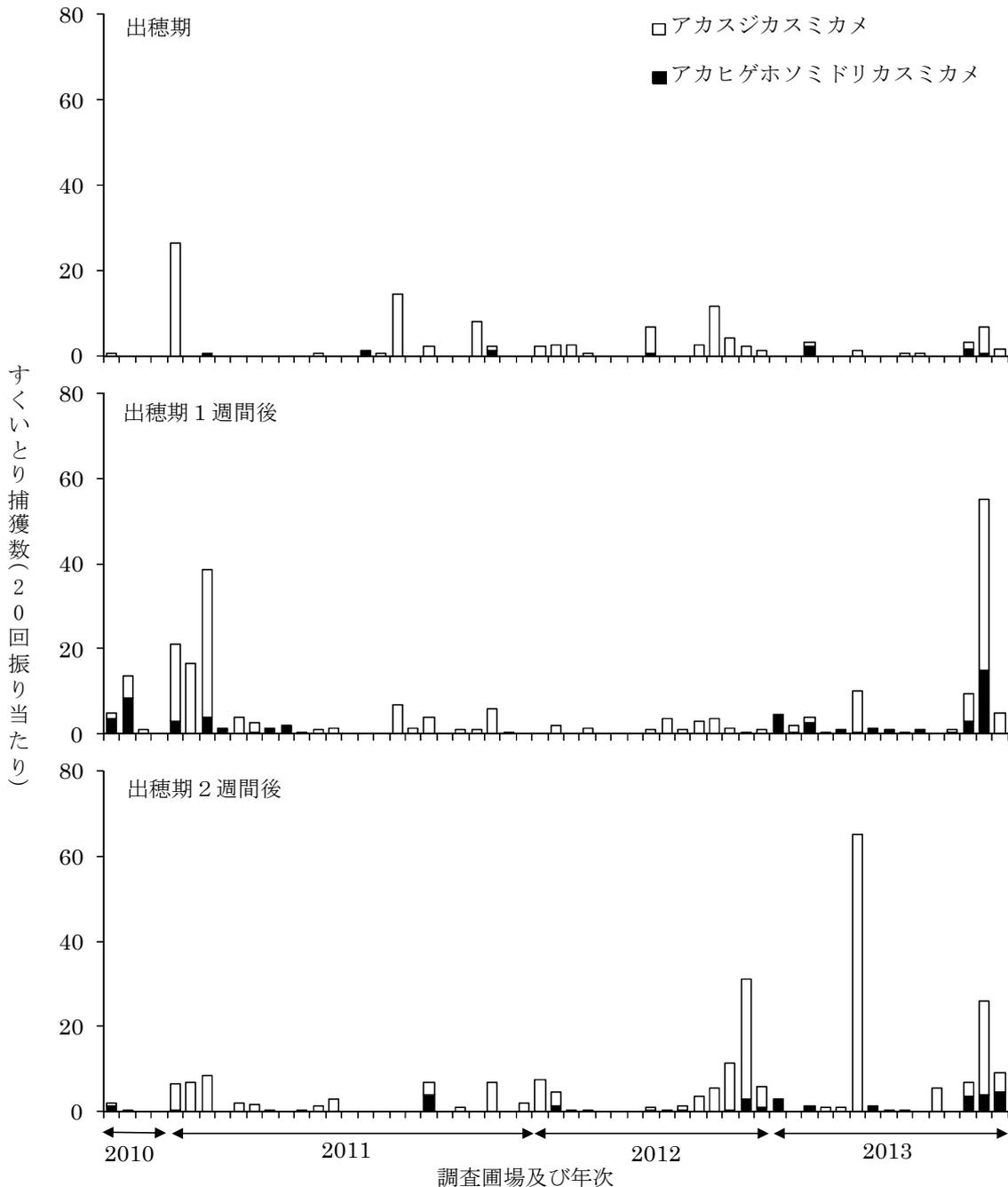
解析は一般化線型モデルを用いた。目的変数はカスミカメムシ類による斑点米被害(頂部斑点米, カメムシ黒点米, 側部斑点米の合計)の発生率が 1 等米基準である 0.1 %を超えたか否かの 2 値とし、二項分布に従うと仮定した。説明変数は出穂期, 1 週間後, 2 週間後におけるアカスジカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメ成虫の 20 回振り捕獲数(対数変換値), 割れ粒率(角変換値), 穂揃期防除の有無, 年次, およびそれぞれ総当たり 2 次の交互作用とし, link 関数は logit を用いた。解析はそれぞれの捕獲時期ごとに別々に行い, 統計モデルの当てはまりの良さを評価するための指標である赤池情報量規準(以下 AIC 値)が最小になる説明変数の組み合わせを選択モデルとした。穂揃期防除の判断に望ましいと考えられる出穂期捕獲数をもとにした選択モデルとそれ以降の捕獲時期における選択モデルについて適合性評価を行うために, 逸脱度の G 検定による比較を行った。解析には R ver. 2. 13. 2 (The R Foundation for Statistical Computing, 2011) および MASS パッケージ (Ripley *et al.*, 2014) を用いた。

出穂期, 1 週間後, 2 週間後におけるアカスジカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメの捕獲数は, いずれの捕獲時期においてもアカスジカスミカメの捕獲数が有意に上回っていた(第 17 図, 対数変換後に paired T-test, 出穂期; $t = 4.18$, 1 週間後; $t = 3.61$, 2 週間後; $t = 4.60$, いずれも $df = 56$, $P < 0.001$)。出穂期にいずれかのカスミカメムシ類が捕獲されたのは 57 圃場中 27 圃場であった。モデル選択の結果, 出穂期およびその 1 週間後の捕獲数を用いた場合は, アカスジカスミカメ捕獲数, 割れ粒率, 穂揃期防除の有無, 割れ粒率と防除の交互作用を説明変数としたモデルの AIC 値が最小となった(第 15 表)。出穂期 2 週間後の捕獲数を用いた場合は, アカスジカスミカメ捕獲数, アカヒゲホソミドリカスミカメ捕獲数, 割れ粒率を説明変数としたモデルの AIC 値が最小となった。いずれの捕獲時期を用いた場合も, 年次およびそれを含む交互作用は選択されなかった。G 検定の結果, 各捕獲時期のモデル間で逸脱度に有意差は検出されなかった($G = 4.00$, $P = 0.14$)。第 2 節における品種別割れ粒発生程度から, 割れ粒発生率が低い品種である「コシヒカリ」や「ふさおとめ」, 「ふさこがね」程度(5%), 割れ粒発生率が高い「あきたこまち」程度(20%)における, 出穂期捕獲数を用いた 2 等落等確率推定値を第 18 図に示した。出穂期における捕獲数が 1 頭であった場合, 割れ粒率が 5%における 2 等落等確率(推定値±S.E.)は, 穂揃期防除なしで 57.4 ± 14.5 , ありで $0.5 \pm 0.1\%$ であるのに対し, 割れ粒率が 20%の場合はそれぞれ $64.4 \pm 21.0\%$, $62.4 \pm 23.0\%$ であり, 割れ粒率により穂揃期防除ありの場合の 2 等落等確率推定値は大きく異なった。一方, 出穂期における捕獲数が 0 頭であった場合, 割れ粒率が 5%における 2 等落等確率は, 穂揃期防除がなしで $8.7 \pm$

6.1, ありで 0.4 ± 0.1 %, 割れ粗率が 20 %ではそれぞれ 11.3 ± 9.3 , 10.5 ± 11.2 %であり, いずれも低い値となった. 穂揃期防除がない場合における 2 等落等確率が 30 %および 50 %となる捕獲数の逆推定値(および下側 90 %信頼限界値)は, 割れ粗率が 5 %である場合はそれぞれ 0.40 (0.00) 頭, 0.75 (0.25) 頭, 割れ粗率が 20 %の場合はそれぞれ 0.48 (0.10) 頭, 0.85 (0.47) 頭であった.

3. 考察

出穂期においてアカスジカスミカメが捕獲された圃場は多くなく, 捕獲数も少なかったが, 出穂期 1 週間後および 2 週間後の捕獲数と同様に被害推定モデルが得られた. 調査時期ごとに選択された変数は異なったものの, カスミカメムシ類捕獲数および割れ粗率は 2 等落等確率を上げる効果が, 穂揃期防除は下げる効果が認められ, 合理的な結果であった.



第 17 図 各調査圃場における出穂期, 1 週間後, 2 週間後のアカスジカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメの捕獲数

第 15 表 アカスジカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメ捕獲数、割れ粗率、穂揃期防除の有無、年次を説明変数とした GLM による推定結果

捕獲時期	選択モデルの変数および偏回帰係数	SE	<i>z</i>	<i>P</i> (> <i>z</i>)	VIF	AIC, <i>D</i> , ϕ
出穂期	切片	-2.55	1.13	-2.25	0.0244 *	-
	アカスジカスミカメ	8.80	2.57	3.43	0.0006 ***	3.72
	割れ粗率	0.98	2.92	0.34	0.7363	1.73
	穂揃期防除の有無 (有り)	-9.15	3.28	-2.79	0.0053 *	
	割れ粗率×防除 (有り)	18.13	6.71	2.70	0.0069 **	
出穂期 1 週間後	切片	-2.39	0.91	-2.61	0.0090 **	-
	アカスジカスミカメ	3.76	1.15	3.27	0.0011 **	1.64
	割れ粗率	2.52	2.03	1.24	0.2141	1.40
	穂揃期防除の有無 (有り)	-3.72	1.76	-2.12	0.0344 *	
	割れ粗率×防除 (有り)	6.56	4.30	1.53	0.1266	
出穂期 2 週間後	切片	-3.67	0.97	-3.77	0.0002 ***	-
	アカスジカスミカメ	3.22	1.07	3.00	0.0027 **	1.18
	アカヒゲホソミドリカスミカメ	4.20	1.87	2.24	0.0248 *	1.19
	割れ粗率	3.48	1.71	2.04	0.0419 *	1.01

注 1) 変数および偏回帰係数は AIC 値が最も低いモデル (最適モデル) として選択されたもののみを示す。

2) VIF = Vatince Inflation Factor.

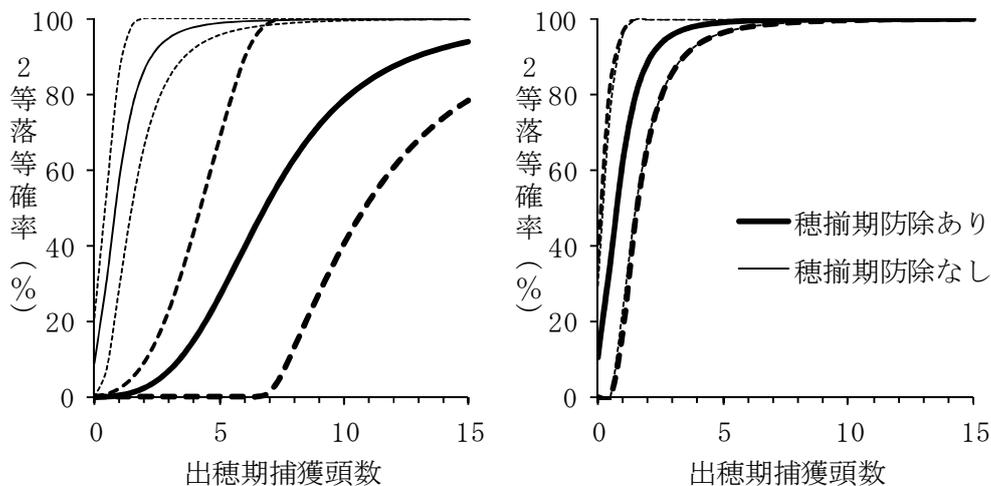
3) ϕ = Dispersion parameter = Pearson の χ^2 /残差自由度.

4) 変数のアカスジカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメは捕獲時期における 20 回振りすくいとりの捕獲成虫数の対数変換値を $(\log(x+1))$, 割れ粗率は角変換値を示す。

5) * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$.

出穂期におけるアカスジカスミカメ捕獲数を用いた推定結果により、穂揃期防除には 2 等落等確率を低下させる効果があり、その効果は割れ粗率が低いほど得られやすいことが示された。千葉県主要栽培品種である「コシヒカリ」, 「ふさこがね」, 「ふさおとめ」では、「あきたこまち」と比較して割れ粗率が低く 5 %程度であるため、穂揃期の防除には斑点米被害抑制の効果が期待できると推察される一方、割

れ粗率が 20 %と「あきたこまち」程度に高い場合、2 等落等確率は穂揃期防除の有無にかかわらずほとんど変わらず、その効果が低いことを示している。アカスジカスミカメ多発条件下および割れ粗多発生下では、穂揃期に加えて 1 週間程度後に再度防除する 2 回散布の効果が認められており (鈴木, 2005, 小野ら, 2010), このような条件が増加する状況下では 2 回目防除の要否判断の目安も求められる。また、



第 18 図 割れ粗率が「コシヒカリ」程度 (5 %, 左図) および「あきたこまち」程度 (20 %, 右図) を想定した GLM による 2 等落等確率推定結果

注) 図中の点線は SE を示す。

割れ籽が発生しにくい品種への栽培品種の変更や、施肥の適正化(寺西ら, 1981)により割れ籽の発生を抑えることも、斑点米被害の抑制や薬剤使用量の削減につながることを示唆される。

一方、今回調査した圃場では、ほとんどの圃場で出穂期におけるアカスジカスミカメの捕獲数が1頭未満であり、防除の有無・割れ籽率によらず2等落等確率が低い圃場と推定された。このことは防除が不要な可能性のある圃場が多くあり、出穂期の捕獲数をもとにした防除要否判断により不要な防除を減らせること示唆している。ところが、アカスジカスミカメ捕獲数の偏回帰係数は8.80と大きく、推定曲線の傾きが急であり、無防除の圃場では出穂期捕獲頭数が1頭以上になると、2等落等確率推定値が50%を越え急激に高まった。このことは、防除要否判定に用いるには精度の高い調査が必要であることを示唆しているが、今回調査に用いたすくいと調査は気象条件や調査者により捕獲数が影響を受け

る恐れが指摘されており、低密度条件下における推定は難しいと考えられる。次章で取り上げる合成性フェロモントラップのように、調査者や気象条件に左右されにくい調査方法の確立により、このような課題が克服されることが考えられる。

なお、出穂期および1週間後の捕獲数を用いたモデルにおいてアカヒゲホソミドリカスミカメ捕獲数が変数として選択されなかったことは、アカスジカスミカメと比較して捕獲数が少なかったためと考えられる。本地域のようにアカスジカスミカメが優占している場合には本推定結果が使用可能と考えられるが、アカヒゲホソミドリカスミカメがアカスジカスミカメと同程度もしくはそれ以上発生する場合には異なる推定結果が得られる可能性が高く、両種が様々な割合で混在している状況下における調査データを追加してさらに検討する必要がある。

第4章 合成性フェロモントラップの利用方法の開発

水田内における斑点米カメムシ類の調査は、これまで捕虫網を用いたすくいとり調査により行われてきた。しかし、すくいとり調査は天候条件や調査者により捕獲効率がばらつくことや、対象害虫の選別に多くの労力が必要という難点が指摘されてきた。そこで、すくいとり調査の欠点を補う手法として、合成フェロモン剤を誘引源としたトラップの開発が期待されている。合成フェロモン剤を用いたトラップは、設置や調査が簡便かつ安価で安定的な調査が可能であるという利点がある（佐藤，1992）。アカヒゲホソミドリカスミカメに関しては水田内設置位置等の合成性フェロモントラップの利用方法の確立が進んでいるが（石本，2005；滝田，2005；滝田，2006；石本ら，2006），アカシカスミカメにおいては研究が遅れている。また、この2種のカスミカメムシ類については、合成性フェロモン剤を1つのトラップに併用してもお互いの捕獲数に影響を及ぼさないことが示されており（Yasuda *et al.*, 2010），両種が混在する条件下における利用方法の開発が求められている。そこで本章では、アカシカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメの合成性フェロモン併用トラップの利用方法の確立を目的とし、第1節においてアカシカスミカメ合成性フェロモントラップの水田内の設置位置の検討、第2節において既存手法であるすくいとり法と発生消長や捕獲数の比較、第3節では併用フェロモントラップを用いた被害推定手法の検討を行った。

第1節 アカシカスミカメ合成性フェロモントラップの水田内設置位置が捕獲数に与える影響

合成性フェロモンを利用する場合、その実用化に当たってまずフェロモンの性質を把握し、使用方法を最適化する必要がある。中でもフェロモントラップの設置場所は、発生予察調査の際の労力に大きく影響すると考えられ、畦畔から近い場所に設置した方が労力は小さくなる。一方、大規模発生源が周辺にある水田では、設置場所によってはフェロモンにより発生源から水田内に雄成虫を誘引し、水田内の密度を正確に把握できなくなる恐れがある。そこで本節では、アカシカスミカメ合成性フェロモントラップを発生源に面した畦畔から距離別に設置し、その捕獲数を比較することで設置位置の最適化を図った。

1. 材料と方法

(1) フェロモントラップ

誘引源として Hexyl butyrate, (*E*)-2-Hexenyl butyrate, (*E*)-4-Oxoheptanal の 20 : 4 : 40 (μ g) 混合物を Halo-butyl isoprene 灰色ゴムキャップ (1F Sleeve Stopper 1888 Gray, 8 mm outside diameter; West Pharmaceutical Services Singapore Pte Ltd., Singapore) に含浸させたものを用いた (Yasuda *et al.*, 2009)。アカヒゲホソミドリ

カスミカメの調査方法（石本ら，2006）に従い、粘着板（24×30 cm，白色，害虫発生予察用 SE トラップ粘着板，サンケイ化学株式会社）2枚を背中合わせで垂直に置き、その両端を2本の支柱にダブルクリップで固定し、誘引源を粘着板上辺の中央部に設置したものをフェロモントラップとした（写真5）。設置高は粘着板の底部とイネの草冠高がほぼ同じ高さになるように毎回調節した。



写真5 水田内に設置したフェロモントラップ

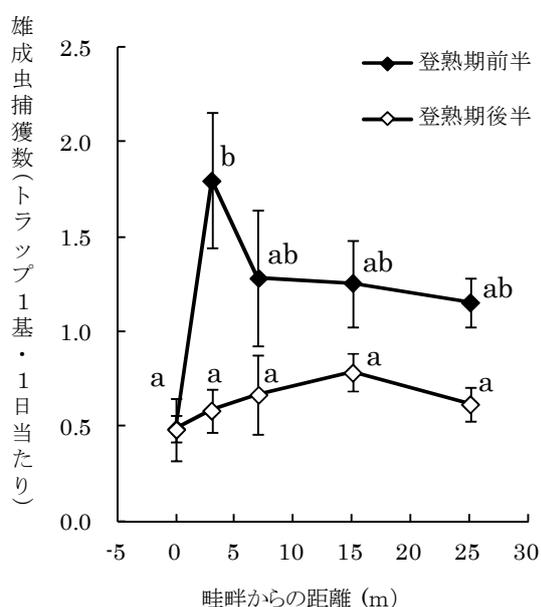
(2) 現地調査

調査は2007年に香取市三ノ分目の水田で行った。なお、調査水田の出穂期は7月18日、品種は「あきたこまち」であった。本水田の南辺はイネ科雑草を主体とする利根川堤防法面に畦畔を介して接しており、水田の出穂期にかけて堤防法面には出穂したイタリアンライグラスを主体としたイネ科植物が繁茂していた。畦畔は除草剤により除草されていた。調査水田の東西、北側には水田が一面に広がっており、調査水田の法面側以外の畦畔にはイネ科植物の繁茂は認められなかった。7月18日（出穂期）にこの南辺畦畔際から水田内に0, 3, 7, 15, 25 m離れた地点にフェロモントラップを3基ずつ設置した。3基の間隔は25 mとした。フェロモントラップ設置から収穫日直前の8月20日までの期間に5から9日間隔で5回、誘引源および粘着板の交換を行った。調査期間を出穂期から2週間（登熟期前半；7月18日から7月31日）およびそれ以後から収穫期（登熟期後半；8月1日から8月20日）まで（登熟期後半）の2期間に分け、雄成虫総誘殺数について、1日あたりの誘殺数の対数変換値を算出し、Tukeyの多重比較検定により設置位置間の誘殺数の比較を行なった。統

計ソフトは JMP ver. 6.0.0 (SAS institute, 2005) を用いた。

2. 結果

フェロモントラップ捕獲数は、いずれの設置位置においても出穂期後 1~2 週間の期間に最大値をとった。イネ登熟期前半におけるフェロモントラップ誘殺数は、畦畔から 0 m 地点に比較して 3 m 地点で有意に多くなったが (対数変換 $\log(x+0.5)$ 後, Tukey's HSD test で $P < 0.05$)、それ以外の地点においては、畦畔からの距離にかかわらず有意差は検出されず、7 m 地点から水田内部の地点では誘殺数の平均値もほぼ同じ値となった (第 19 図)。水稻登熟後半における捕獲数は前半に比べて少なく、地点間の誘殺数に有意差は認められなかった。



第 19 図 フェロモントラップの設置位置とアカヒゲホソミドリカスミカメ雄成虫捕獲数の関係

注 1) 数字は雄成虫捕獲数の平均値, バーは標準誤差 ($n = 3$) を示す。

2) 登熟期前半は 7 月 18 日から 30 日, 後半は 8 月 1 日から 20 日を示す。

3) 図中のアルファベットは同じ文字間で有意差がないことを示す (対数変換 $\log(x+0.5)$ 後の Tukey's HSD test で $P > 0.05$.)。

3. 考察

アカヒゲホソミドリカスミカメ合成性フェロモントラップの直接的な有効範囲は 1 m 程度とされており (安田・安田, 2013), 畦畔際に設置したトラップの捕獲数は、畦畔や隣の水田の発生状況を反映すると考えられる。本試験の登熟期前半の捕獲数について、畦畔から 0 m 地点における捕獲数が 3 m 地点と比較して少なかったのは、0 m 地点ではトラップの一方が除草された畦畔にあたり、有効範囲内のアカヒゲホソミドリカスミカメが少なかったためと考えられる。このことから、水田内におけるアカヒゲホソミドリカスミカメ誘殺数

の代表的な値を得るには、畦畔から 3 m 以上は水田内に入った地点にトラップを設置するのが適切と考えられる。一方、アカヒゲホソミドリカスミカメについては、滝田 (2006) は畦畔から 0.5, 5, 10 m に設置した合成性フェロモントラップによる捕獲数を比較し、差は認められなかったとしているが、柿崎 (2013) は本種のフェロモントラップの直接の有効範囲を 5 m 程度としている。併用フェロモントラップについて、今回の試験において設置位置の検討は行っていないが、両種のフェロモン剤の有効範囲を考慮して、畦畔から少なくとも 5 m 以上入った水田における設置が望ましいと考えられる。

第 2 節 アカヒゲホソミドリカスミカメの合成性フェロモン剤併用トラップとすくいとりによる 2 種カスミカメ発生消長および捕獲数の比較

第 2 章および第 3 章の調査では、水田における優占種はアカヒゲホソミドリカスミカメであったが、アカヒゲホソミドリカスミカメの捕獲も若干の認められた。第 3 章第 2 節において、アカヒゲホソミドリカスミカメが優占している条件下では出穂期におけるアカヒゲホソミドリカスミカメのすくいとり捕獲数のみから被害を推定することが可能であったが、様々な混在条件下ではアカヒゲホソミドリカスミカメの密度も被害に大きく影響すると考えられる。合成性フェロモン剤は種特異性が強く、特定の種しか誘引することができないが、アカヒゲホソミドリカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメでは、2 種のフェロモン剤を 1 基のトラップに併用してもその誘引性が変わらないことが示された (Yasuda *et al.*, 2010)。また、これまで使用されてきた両種のフェロモン剤について担体の改良が行われた (Yasuda *et al.*, 2013 b)。そこで、2 種の新フェロモン剤を併用したトラップの実用化を図るため、既存手法であるすくいとりと発生消長および捕獲数の比較を行った。

1. 材料と方法

(1) フェロモントラップ

前節ではアカヒゲホソミドリカスミカメの合成性フェロモン剤として、20 : 4 : 40 (μg) 混合物を Halo-butyl isoprene 灰色ゴムキャップに含浸させたものを用いたが、本節では有効期間が改善されている新誘引剤を用いた。新しい誘引源は Hexyl butyrate, (*E*)-2-Hexenyl butyrate, (*E*)-4-Oxo-hexenal の 5 : 1 : 10 混合物を Dodecyl acetate で希釈し、長さ 10 cm の赤色ポリエチレンチューブに充填したものである (Yasuda *et al.* 2013; 望月ら, 2013, SE ルアーアカヒゲホソミドリカスミカメ, 信越化学工業株式会社)。アカヒゲホソミドリカスミカメの合成性フェロモン剤は、hexyl hexanoate, (*E*)-2-hexenyl hexanoate, octyl butyrate の 100 : 40 : 3 混合物を Dodecyl acetate で希釈し、長さ 10cm の赤色ポリエチレンチューブに充填したものを用いた (望月ら, 2012, SE ルアーアカヒゲホソミドリ

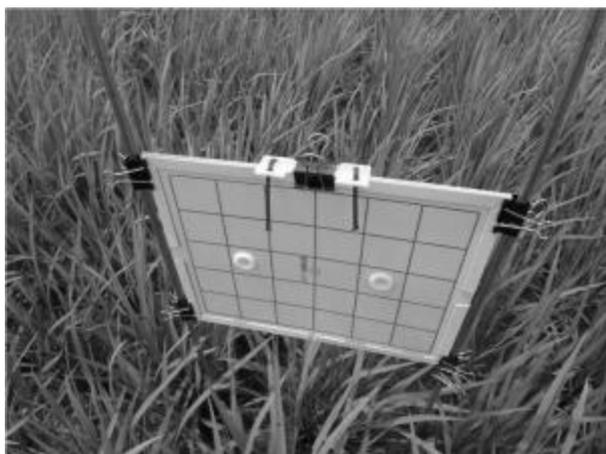


写真6 水田内に設置した併用フェロモントラップ

カスミカメ, 信越化学工業株式会社) . 2種の誘引剤を第1節と同様に粘着板上辺の中央部に設置し, これをモニタリングトラップ (以下, 併用フェロモントラップ) とした (写真6) .

(2) 発生生長の比較

調査は2012年に, 香取市の水田AからLの12圃場で行った (第16表) . 「あきたこまち」水田には7月3日に, 「コシヒカリ」水田には7月6日もしくは13日に, 各水田内の畦畔際から10mの地点に併用フェロモントラップを1基設置し, 誘殺されたアカスジカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメ成虫数を3~7日間隔で調査した. また併用フェロモントラップ調査時にトラップ周囲で第2章と同様の20回振りすくいとりを行った. 各水田における捕獲数は, 併用フェロモントラップは1基1日当たり, すくいとりは20回振り当たりに換算し, 発生生長を比較した.

(3) 捕獲数の比較

調査は2012および2013年に, (2)において発生生長の比較を行った圃場を含む千葉県内の42圃場で実施した (第17表) . 各水田の出穂期から1週間の間に併用フェロモントラップにより捕獲されるアカスジカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメ成虫数を雌雄別に調査した. また, 出穂期および1週間後に, 併用フェロモントラップの周囲で第2章と同様の20回振りすくいとり調査を2回行った. 併用フェロモントラップ捕獲数として,

第16表 発生生長の比較に用いた調査水田の概要

水田	品種	所在地	出穂期
A	あきたこまち	香取市三ノ分目	7月17日
B	あきたこまち	香取市三ノ分目	7月17日
C	あきたこまち	香取市三ノ分目	7月17日
D	あきたこまち	香取市三ノ分目	7月17日
E	あきたこまち	香取市大倉	7月17日
F	あきたこまち	香取市大倉	7月17日
G	コシヒカリ	香取市大倉	8月10日
H	コシヒカリ	香取市大倉	8月10日
I	コシヒカリ	香取市大倉	8月10日
J	コシヒカリ	香取市大倉	8月10日
K	コシヒカリ	香取市三ノ分目	8月03日
L	コシヒカリ	香取市三ノ分目	7月27日

出穂期から1週間の捕獲数の対数変換値, すくいとり捕獲数として出穂期および出穂期1週間後における捕獲数の平均値の対数変換値を用いて両者の関係を解析した. その際, 雄成虫のみを考慮した場合と, 雌雄成虫をあわせて考慮した場合に分けて行った. 解析にはR ver. 2.13.2 (The R Foundation for Statistical Computing 2011) を用いた.

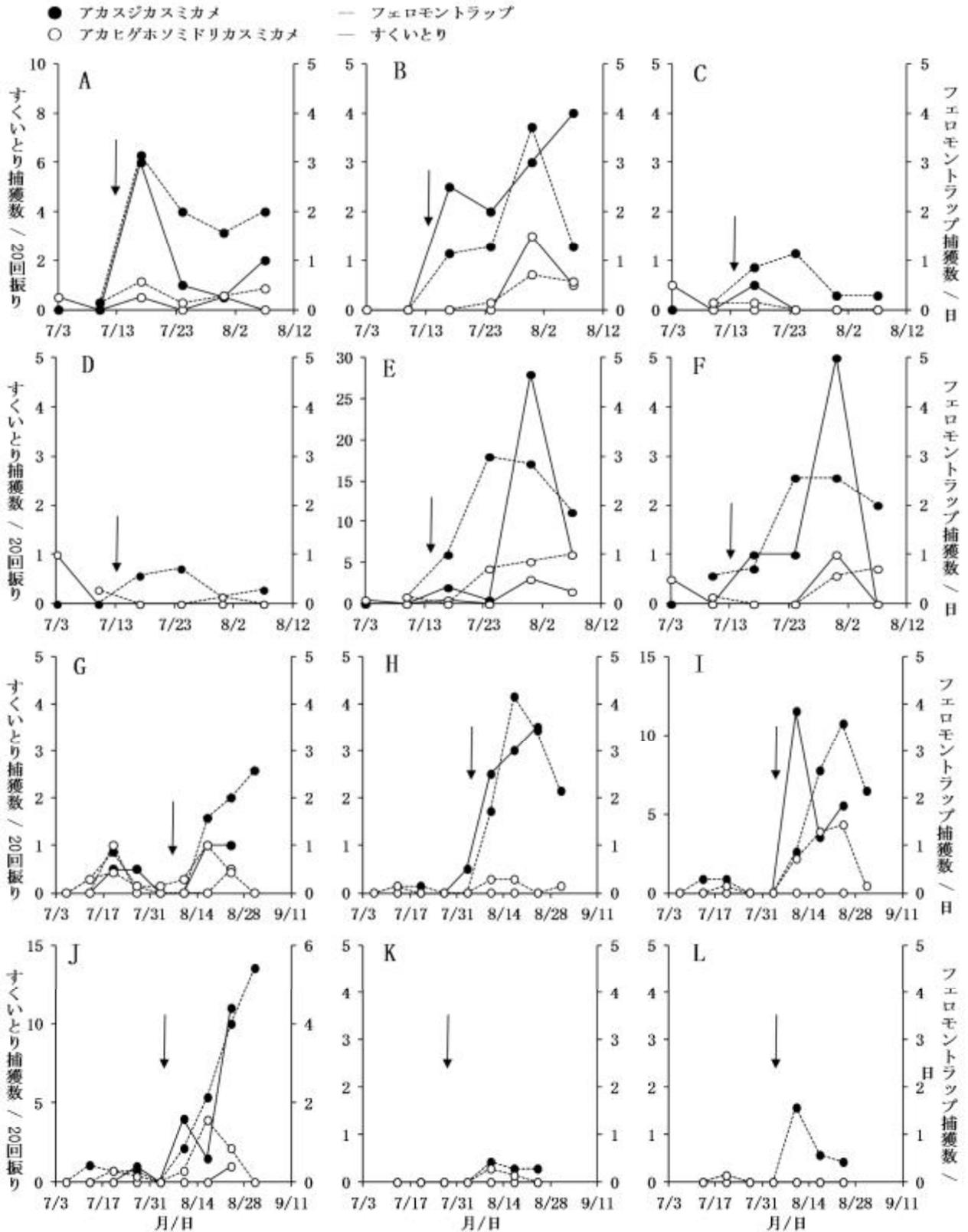
2. 結果

(1) 発生生長の比較

すくいとりと併用フェロモントラップによる発生生長は, いずれの圃場においても大まかに一致しており, 出穂期後の密度増加を両調査において捉えていた (第20図) . 出穂期後のすくいとりではまったく両種の捕獲が認められなかった水田D, K, Lにおいても, 併用フェロモントラップにより出穂後の侵入が捉えられていた. また, アカスジカスミカメ捕獲数はいずれの水田においてもアカヒゲホソミドリカスミカメを上回っており, すくいとりと併用フェロモントラップで同様の傾向を示した. 一方, 調査圃場のうち, アカスジカスミカメすくいとり捕獲数の最大値28.0頭 (20回振りあたり, 以下同様) を記録した水田Eにおける併用フェロモントラップ捕獲数最大値は3.0頭 (1日当たり, 以下同様) であったのに対し, すくいとり頭数最大値が6.0および3.4頭であった水田AおよびHにおけるフェロモントラップ捕獲数最大値は, 水田Eのフェロモントラップ捕獲数を上回る3.1および4.1頭であ

第17表 捕獲数の比較に用いた調査圃場の概要

調査年	品種	所在地 (圃場数)
2012	コシヒカリ	香取市 (11), 千葉市 (1), 市原市 (1), 東金市 (1), 横芝光町 (1)
	あきたこまち	香取市 (6)
	ふさこがね	東金市 (1), 山武市 (1), 芝山町 (1), 勝浦市 (1)
	ふさおとめ	南房総市 (1)
2013	コシヒカリ	香取市 (5), 横芝光町 (1)
	あきたこまち	香取市 (5)
	ふさこがね	香取市 (5)



第20図 すくいとりおよび併用フェロモントラップによるアカスジカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメの発生消長
注) 図注の矢印は調査水田の出穂期を示す。

った。

(2) 捕獲数の比較

フェロモントラップにおける雌成虫の捕獲はわずかであり、アスジカスミカメは42圃場中2圃場のみで認められ、アカヒゲホソミドリカスミカメはまったく認められなかった。両種ともに雌成虫と雄成虫のすくいとり捕獲数には有意な正の直線関係が認められた(第21図)。

併用フェロモントラップとすくいとりによる雄成虫捕獲数には、両種ともに有意な正の相関関係が認められた(第22図 a, c, Pearson's product-moment correlation, アスジカスミカメ; $R=0.85, t=10.4, df=40, P<0.0001$, アカヒゲホソミドリカスミカメ; $R=0.98, t=29.4, df=40, P<0.0001$)。アスジカスミカメのすくいとり捕獲数が0頭であった19圃場のうち、13圃場ではフェロモントラップにより捕獲されたが、フェロモントラップで捕獲数が0頭であった6圃場では、すくいとりによる捕獲されなかった。また、アカヒゲホソミドリカスミカメのすくいとり捕獲数が0頭であった27圃場のうち、15圃場ではフェロモントラップにより捕獲されたが、フェロモントラップで捕獲数が0であった12圃場では、すくいとりでも捕獲されなかった。

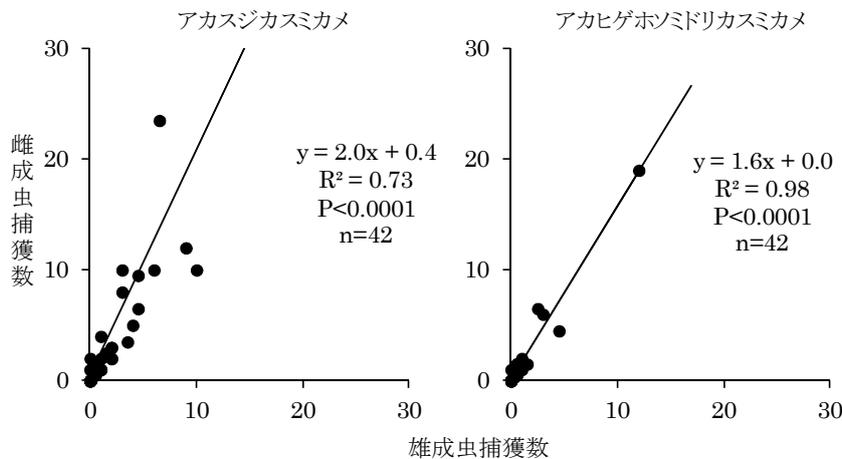
そこで、すくいとり捕獲数が少ない場合は傾きが急で、多くなるに従い傾きが緩くなる飽和曲線 ($y = ax / (1 + bx) + c$) を当てはめ、直線 ($y = ax + c$) に当てはめた場合と当てはまりの良さを比較するために残差平方和の F 検定を行った。その結果、アスジカスミカメでは飽和曲線の残差平方和が直線と比較して有意に小さかった(第22図 a, $F=16.0, P<0.001$)。一方アカヒゲホソミドリカスミカメでは、有意な差は検出されなかった(第22図 c, $F=2.9, P=0.097$)。雌雄を分類しない総成虫数を比較した場合も同様であった(第22図 b, d, アスジカスミカメ; $F=5.7, P<0.0001$, アカヒゲホソミドリカスミカメ; $F=1.8, P=0.2$)。

3. 考察

発生消長調査の結果、アスジカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメの合成性フェロモン剤を使用した併用フェロモントラップにより、すくいとりと同様に両種の発生消長を把握することが可能であった。また、すくいとりによる両種の捕獲が出穂後に認められなかった3圃場においても、フェロモントラップにより両種の侵入が捉えられており、低密度水田における調査の精度がフェロモントラップの利用により向上する可能性が示唆された。

合成性フェロモンは処女雌の抽出物の解析結果をもとに作られており、雄成虫にしか誘引性が認められないため、今回捕獲されたアスジカスミカメ雌成虫は偶然粘着板に付着したものと考えられる。本種が誘引源のない状況においても粘着板に若干捕獲があることは安田らによっても報告されている(Yasuda *et al.*, 2008; 2010)。すくいとり捕獲数における雌雄比は一定であり、両手法ともに雌雄の判別を行わなくても発生消長の把握や被害推定には支障はないと考えられた。

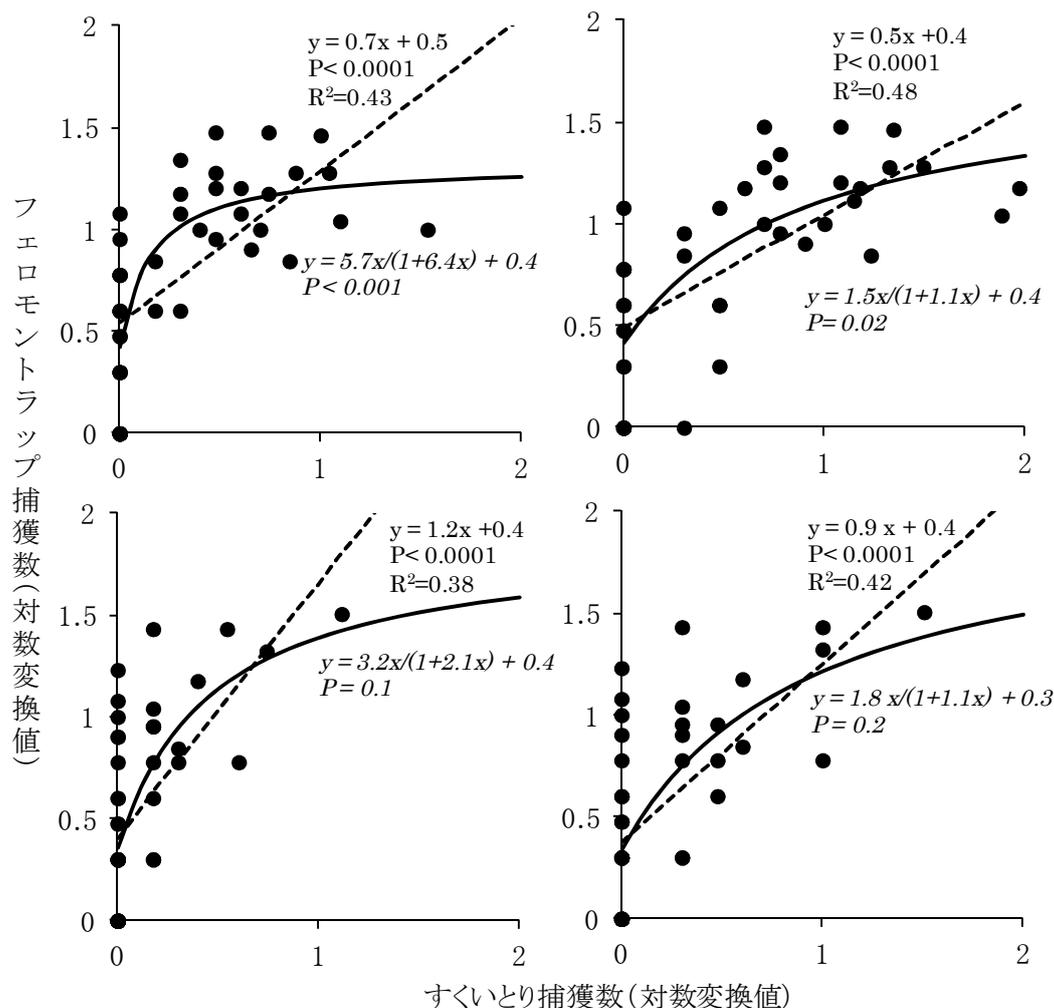
フェロモントラップによる捕獲数は、一定期間誘引が継続することによる積算値であるのに対して、すくいとりによる捕獲数は、ある時点における生息数の代表値である。このため両手法による捕獲数を比較し、単純に一方から一方を推定することは困難と考えられるが、水田における大まかな密度の高低を把握することは重要である。すくいとりは調査期間が限定され、気象や調査者による影響を受けやすいことを考慮すると、フェロモントラップの捕獲数はより安定的であると推察される。しかしながら、フェロモントラップの捕獲数はすくいとり捕獲数を必ずしも反映していない傾向が認められた。アスジカスミカメでは、すくいとり捕獲数が多い圃場では併用フェロモントラップ捕獲数は頭打ちになる傾向が認められた。このように、フェロモントラップ捕獲数が頭打ちになる原因のひとつ



第21図 アスジカスミカメ(左)およびアカヒゲホソミドリカスミカメ(右)のすくいとりによる雄成虫および雌成虫捕獲数の関係

注1) 捕獲数は出穂期および1週間後のすくいとり捕獲数の平均値(20回振り当たり)を示す。

2) 図中の直線と数字は直線あてはめの結果を示す。



第22図 アカスジカスミカメ(上段)およびアカヒゲホソミドリカスミカメ(下段)のすくいとり捕獲数と併用フェロモントラップ捕獲数との関係

注1) 左が雄成虫のみ, 右が雌雄成虫の合計捕獲数による結果を示す。

注2) すくいとり捕獲数は出穂期および1週間後の捕獲数の平均値(20回振り当たり), 併用フェロモントラップ捕獲数は出穂期から1週間の捕獲数を示す。

注3) 図中の点線と数字は直線あてはめの結果, 実線および斜体数字は飽和型曲線への当てはめ結果を示す。斜体のP値は直線あてはめと残差平方和のF検定の結果を示す。

として, トラップの誘引源と野外雌が雄の誘引に関して競合関係になることが考えられる。チョウ目や甲虫目の害虫では雌の合成性フェロモン剤を誘引源としたトラップの誘殺効率は個体群密度に影響を受け, 雌が高密度のときより低密度のときに, 雄はより多くトラップに誘引されることが報告されている (Roach, 1975; 中野・玉木, 1986 など)。ほかのカメムシ類においては警報フェロモンとして 2-hexenal や 2-octenal が分泌される場合があるが (兼久, 1984), カスミカメムシ類においてはこれらの物質の分泌はごくわずかであり (安田, 私信), 警報フェロモンによる捕獲数の頭打ちとは考えにくい。また, 本種の大きさ (雄成虫の体長 3.4~4.6 mm) に対して粘着板は 24×30 cm と十分に大きく, 捕獲虫により粘着面が覆われたことが捕獲数の頭打ちの理由にはなりにくいと考えられる。アカヒゲホソミドリカスミカメでは直線と飽和曲線との間に有意差が検出されなかったが, 石本ら (2006) は

アカヒゲホソミドリカスミカメについてもフェロモントラップ捕獲数が頭打ちになる傾向を報告している。本調査ではアカヒゲホソミドリカスミカメがアカスジカスミカメと比較して捕獲数が少なかったため, 多発圃場のデータも踏まえて再度解析する必要があると考えられる。フェロモントラップを利用する際はすくいとり捕獲数と必ずしも直線関係にはならないことを念頭に置いて捕獲数を考察するべきであることが示された。

第3節 併用フェロモントラップによる被害推定

第3章ではすくいとり捕獲数を用いた2等落等確率の推定を行い, 捕獲数が0頭から1頭に増加するだけで落等確率が急上昇してしまうため, 低密度における防除要否の判断にはより精度の高い調査方法が必要と考えられた。前節において, 併用フェロモントラップは, すくいとりでは

捕獲の少ない低密度条件下における調査に適していることが明らかになったため、併用フェロモントラップは落等確率の推定がすくいとりよりも高い精度で行える可能性がある。そこで、本節では要防除水準の設定につなげるため、無防除圃場におけるフェロモントラップ捕獲数をもとに斑点米被害リスクの推定を試みた。

1. 材料と方法

(1) 現地調査

調査は 2012 年および 2013 年に、前節の調査圃場を含む香取市内の水田のべ 56 圃場で実施した（「コシヒカリ」29 圃場、「あきたこまち」17 圃場、「ふさこがね」10 圃場）。なお、穂揃期防除の要否を判定するため、調査圃場はすべて本田防除を実施しない圃場とした。本章第 2 節と同様に併用フェロモントラップを設置し、出穂期 1 週間前から出穂 3 週間後まで、1 週間ごとにアカスジカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメ捕獲数を調査した。また、第 3 章第 2 節と同様に被害粒および割れ粒率を調査した。

(2) 解析

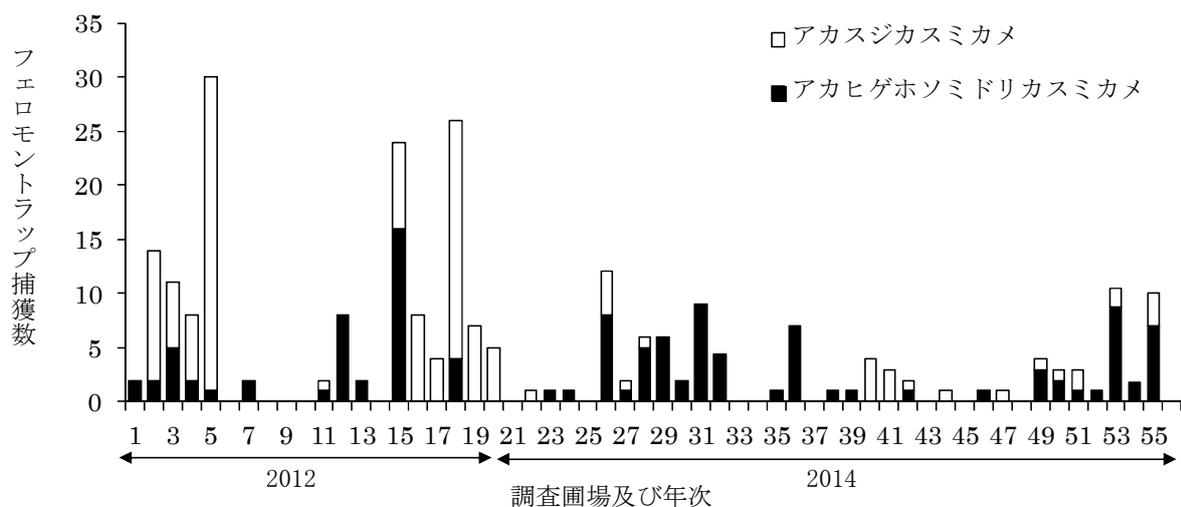
第 3 章第 2 節における解析手順と同様に、目的変数をカスミカメムシ類による斑点米被害の発生が 1 等米基準である 0.1 % を超えるか否かの 2 値とし、二項分布を仮定した一般化線型モデルにあてはめを行った。説明変数には出穂期 1 週間前から出穂 3 週間後までの 1 週間ごとのアカスジカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメ成虫の捕獲数と割れ粒発生率、これらの 2 次までの交互作用、年次とした。解析はそれぞれの捕獲時期ごとに行い、AIC 値が最小になる説明変数の組み合わせを選択モデルとした。また、アカスジカスミカメおよびアカヒゲホソミドリ

カスミカメ両方の捕獲数を変数として選択された場合には、穂揃期防除の判断に資するため、両者の捕獲数の和を説明変数とした場合についても解析を行った。得られた選択モデルについて適合性評価を行うために、デビアンズ比の G 検定による比較を行った。解析には R ver. 2. 13. 2 (The R Foundation for Statistical Computing 2011), MASS パッケージ (Ripley *et al.*, 2014) および DAAG パッケージ (Maindonald and Braun, 2014) を使用した。

2. 結果

出穂期前 1 週間のアカスジカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメの捕獲数を第 23 図に示す。いずれかのカスミカメムシが捕獲されたのは 57 圃場中 44 圃場であり、アカスジカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメの捕獲数に有意差は認められなかった (対数変換後に paired T-test, $t = -0.72$, $df = 55$, $P = 0.47$)。

モデル選択の結果、出穂期前 1 週間、出穂期後 1 週間の捕獲数を用いた場合、アカスジカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメ両方の捕獲数を説明変数としたモデルが選択された (第 18 表)。出穂期から 1 ~ 2 週間後の捕獲数を用いた場合には、アカスジカスミカメ捕獲数および割れ粒率を説明変数としたモデルが、出穂期から 2 ~ 3 週間後の捕獲数を用いた場合にはアカスジカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメ両方の捕獲数、割れ粒率を説明変数としたモデルが選択された。AIC 値は出穂期 2~3 週間後の捕獲数を用いた場合の選択モデルが一番低い値であったが、G 検定の結果、各捕獲時期のモデル間で逸脱度に有意差は検出されなかった ($G = 1.19$, $P = 0.88$)。また、年次やそれを含む交互作用は、いずれの調査時期においても選択されなかった。



第 23 図 出穂期前 1 週間における各調査圃場の併用フェロモントラップ捕獲数
注) 調査圃場番号は便宜的につけた連番を示す。

第18表 2等落等確率を目的変数, アカスジカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメ併用フェロモントラップ捕獲数, 割れ粗率, 年次を説明変数とした GLM

捕獲時期 (出穂期基点)	選択モデルの変数および 偏回帰係数	SE	z	P (> z)	VIF	AIC, D	ϕ		
前1週間	切片	-1.95	0.56	-3.49	4.89×10^{-04}	***	-	63.94	1.09
	アカスジカスミカメ	2.40	0.95	2.53	1.13×10^{-02}	*	1.03	57.94	
	アカヒゲホソミドリカスミカメ	2.61	1.00	2.62	8.90×10^{-03}	**	1.03		
後1週間	切片	-4.56	1.44	-3.17	1.54×10^{-03}	**	-	65.10	1.12
	アカスジカスミカメ	3.61	1.15	3.13	1.74×10^{-03}	**	1.07	59.10	
	アカヒゲホソミドリカスミカメ	0.93	0.65	1.42	1.57×10^{-01}	.	1.07		
後1~2週間	切片	-8.50	2.51	-3.39	7.11×10^{-04}	***	-	69.90	1.08
	アカスジカスミカメ	5.41	1.69	3.21	1.34×10^{-03}	**	1.32	57.38	
	割れ粗率	5.77	2.50	2.31	2.10×10^{-02}	*	1.32		
後2~3週間	切片	-7.85	2.33	-3.37	7.53×10^{-04}	***	-	58.38	0.97
	アカスジカスミカメ	5.05	1.58	3.20	1.38×10^{-03}	**	1.30	50.39	
	アカヒゲホソミドリカスミカメ	5.26	2.57	2.04	4.10×10^{-02}	*	1.32		
	割れ粗率	1.35	0.81	1.66	9.68×10^{-02}	.	1.05		
前1週間	切片	-2.23	0.63	-3.55	3.83×10^{-04}	***	-	61.01	1.06
	アカスジ+アカヒゲ	3.37	0.94	3.58	3.43×10^{-04}	***	-	57.01	

注1) 変数および偏回帰係数は AIC 値が最も低いモデル (最適モデル) として選択されたもののみを示す。

2) VIF = Vatince Inflation Factor.

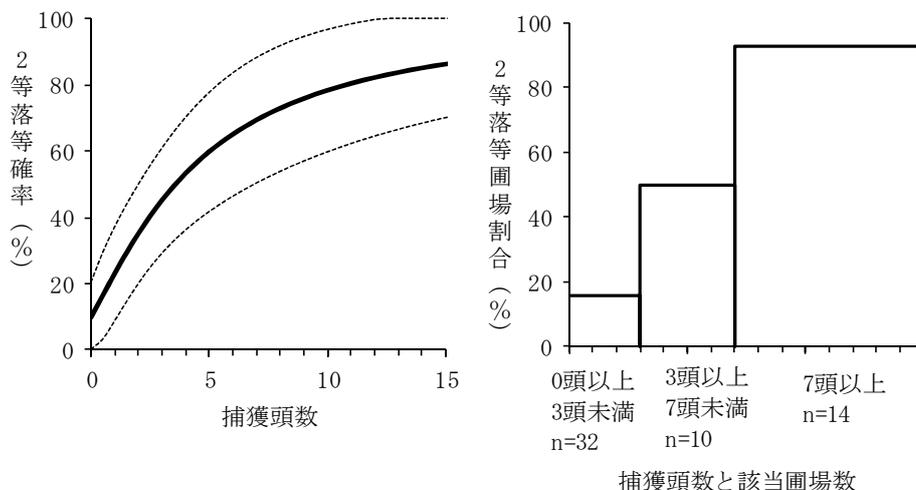
3) ϕ = Dispersion parameter = Pearson の χ^2 /残差自由度.

4) 変数のアカスジカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメは捕獲時期における併用フェロモントラップ捕獲成虫数の対数変換値を ($\log(x+1)$), 割れ粗率は角変換値を示す。

穂揃期防除に実用的であると判断される出穂期前1週間の捕獲数を用いたモデルについて, アカスジカスミカメとアカヒゲホソミドリカスミカメの捕獲数の和を説明変数とした場合は, 捕獲数の和のみが説明変数として選択され, 逸脱度の G 検定の結果, 両種を別々に変数としたモデルとの間で有意差は検出されなかった ($G=0.01, P=0.93$, 第18表)。

出穂期前1週間のアカスジカスミカメおよびアカヒゲホ

ソミドリカスミカメの捕獲数の和を用いたモデルについて, 推定結果を第24図に示した。解析に用いた圃場について, 出穂期前1週間の両種捕獲数が3頭未満であった圃場は32圃場あり, そのうちカスミカメムシ類による被害粒率が0.1%を超えたのは15.6%にあたる5圃場であった(第24図)。3頭以上7頭未満であった圃場は10圃場, 7頭以上であった圃場は14圃場であり, それぞれ50%に当たる5圃場, 約93%に当たる13圃場で被害粒率が



第24図 出穂期前1週間のアカスジカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメ併用フェロモントラップ捕獲数の和による2等落等確率の推定結果(左図)と実測値(右図)

注1) 左図中の実線は推定値, 点線は95%CIを示す。

2) 右図中の棒グラフは調査した圃場のうち2等落等圃場の割合を示す。

0.1 %を超え、推定結果と概ね一致した。2 等落等確率が 30 %および 50 %となる捕獲数の逆推定値（および下側 90 % CI）はそれぞれ 1.6 (0.4) 頭、3.6 (2.1) 頭であった。

3. 考察

出穂期前 1 週間の併用フェロモントラップ捕獲数により、2 等落等確率の推定が可能であり、第 3 章第 2 節で述べたすくいとりと同様の結果が得られた。一方、すくいとり捕獲数を用いたモデルと異なり、併用フェロモントラップ捕獲数を用いたモデルにはアカヒゲホソミドリカスミカメ捕獲数も変数として選択された。これはすくいとり捕獲数により被害推定を行った調査と比較して、併用フェロモントラップによるアカヒゲホソミドリカスミカメの捕獲数が多かったためであり、フェロモントラップが低密度条件下における調査に適していることを裏付ける結果である。両種の捕獲数がモデルに組み込まれたことにより、両種の混在下においても 2 等落等確率の推定が可能と考えられる。

また、すくいとり捕獲数を用いたモデルでは、2 等落等確率が 30 %および 50 %となる捕獲数の逆推定値（および下側 90 %信頼限界値、穂揃期防除なし、割れ粍率 5 %

の場合）は、それぞれ 0.40 (0.00) 頭、0.75 (0.25) 頭と 1 頭を下回ったのに対し、併用フェロモントラップ捕獲数を用いた場合はそれぞれ 1.6 (0.4) 頭、3.6 (2.1) 頭であり、より精度の高い推定が可能と考えられる。

これらのことから、併用フェロモントラップは、すくいとりを用いた被害推定モデルと比較して、シンプルな説明変数でかつ精度の高い被害推定が可能であり、防除要否の判定に有用と考えられる。仮に要防除水準を 2 等落等確率 50 %となる逆推定値をもとに 3 頭と設定した場合、調査した 56 圃場中半分以上の 32 圃場では防除が不要と判断することができ、このような推定手法は薬剤使用量の低減を希望する生産者や地域にとって重要な情報となるだろう。一方、要防除水準を設定する際には、リスクをどの程度取るかについて意見が分かれる恐れがある。米の品質を重要視するか、農薬使用量の削減を重要視するか、また色彩選別機などの設備や経営的環境によっても、防除の意思決定基準は異なる。そのため、単純に「要防除水準」として基準値を一つのみ示すのではなく、根拠となる推定法を示して個々の担い手に判断をゆだねる手法も検討されるべきである。

第5章 総合考察

斑点米カメムシは玄米の品質低下, 買い取り価格の下落を招く重要害虫に位置づけられている. アカスジカスミカメは斑点米カメムシの一種であり, 同じカスミカメムシ類のアカヒゲホソミドリカスミカメとともに2000年代から被害が全国で増加した(渡邊・樋口, 2006). その背景には水田周辺の牧草地や耕作放棄水田などの侵入源の増加があると考えられている(新山, 2000; 伊藤, 2004). カスミカメムシ類については要防除水準の設定が進んでおらず, 侵入源となるイネ科植物群落の管理手法についても明確な基準はない. このため, 現状では予防的な薬剤散布に頼る傾向が強く, 防除面積が発生面積を大きく上回る状況が続いている. しかしながら, このような画一的で予防的な薬剤散布は, 環境負荷の増大, 労力・コストの非効率率, 薬剤抵抗性発達など様々な負の側面も大きい. また, 担い手の多様化による品種や作期の違い, また, 販売戦略に関係して防除方法・手段にたいする考え方の違いは, 一律の被害許容水準や防除手法ではなく様々な経営スタイルに使用可能な柔軟な防除戦略の提案が求められている.

このような中で, カスミカメムシ類の効率的防除のために二つの視点からのアプローチが求められている. 一つは水田個々もしくは地域全体における発生源管理である. 斑点米被害を増加させる水田周辺環境について, 時期, 範囲, 植生などの具体的な条件を明らかにすることにより, 除草や薬剤防除についての判断根拠を提示できる. もう一つは要防除水準の設定である. 初期侵入量をもとに被害程度を推定できれば, 斑点米被害発生リスクの低い圃場では薬剤散布を省略し, リスクの高い圃場において重点的に散布を行うといった防除のメリハリ化が可能になる. これらのアプローチを組み合わせることで, 地域全体の薬剤使用量および被害の低減につながると考えられる. 以上の視点から, 既存知見と本試験の結果をまとめ, 今後考えられるアカスジカスミカメの管理技術について考察する.

まず発生源管理手法確立へのアプローチにおいて, 水田周辺のイネ科植物群落はアカスジカスミカメの侵入源となり, その位置, 植生, 管理が水田への侵入に大きく係わることが示された. 水田周辺の発生源を監視する際, まず考慮すべきは発生源が影響を及ぼす範囲である. 本研究では, アカスジカスミカメの発生源からの分散距離は130 m程度と推定された. 一方で, 700 m近く離れた水田においても発生源から侵入したと考えられる個体がわずかに捕獲され, 本種が数百メートル単位で分散していることを示唆していた. アカスジカスミカメの水田内密度に影響を与える雑草地の範囲をYasuda *et al.* (2011) は300 m程度, Takada *et al.* (2012) は400 m程度と推定しており, 本研究の結果を概ね支持していると考えられる. また, 水田への侵入量は発生源に近いほど指数関数的に増加することが示された. これらの結果から, 水田から130 m

以内に発生源が存在するかを考慮し, 存在する場合には除草等の管理を行うか, もしくは発生源に近い水田から優先して薬剤散布等の対策を講じる必要がある. この際の要防除範囲や経済的被害許容範囲は, 発生源における本種の発生密度に応じて変化することが推察され, 実際に被害がどの程度の範囲に及ぶかは水田への侵入状況をその都度把握する必要があると考えられる.

発生源においては草種, 出穂状況, 枯死や除草が発生源および水田におけるアカスジカスミカメの発生・侵入状況に大きな影響を及ぼしていた. 調査した堤防法面では, 夏はイタリアンライグラス, 秋はメヒシバが両種のおもな寄主植物となっており, これらの出穂によりアカスジカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメの発生量が増加した. 一方, アカスジカスミカメと比較して穂への依存性の少ないアカヒゲホソミドリカスミカメは, これらのイネ科植物種が出穂していない場面でも増加が確認され, 両種の産卵・摂食部位の選好性の違いが現れていた. イタリアンライグラスの出穂は, 千葉県ではイネの出穂時期と重なるため, 水田侵入量や斑点米被害への影響も大きいと推察される. 本種がアカスジカスミカメとアカヒゲホソミドリカスミカメの好適寄主であるという報告は多く(林, 1986; 菊池・小林, 2001; 長澤, 2007), 本県においてもこの両カメムシ種の発生量増加の大きな要因となっていると考えられた. このような植物種を最重点植生とし, 水田周辺の植生を調査することで斑点米被害リスクを捉えることが可能と考えられる.

一方, 両カメムシ種に共通の寄主植物にはナガハグサ(ケンタッキーブルーグラス) *Poa pratensis* L., コヌカグサ(レッドトップ) *Agrostis gigantea* Roth, コムギ, スーダングラス, カモガヤ(オーチャードグラス) *Dactylis glomerata* L., トウモロコシなどの飼料作物や普通作物も含まれている. また, そのほかにも水田周辺には様々なイネ科・カヤツリグサ科植生があり, そのすべての種について両カメムシ種の選好性が解明されているわけではない. したがって地域の水田周辺に存在する様々なイネ科植生について, カスミカメムシ類の発生量を増加させる可能性を明らかにし, 警戒すべき植生を特定しておく必要がある.

畦畔の除草は斑点米被害軽減に寄与するとされ(菊池・小林, 2001; 寺本, 2003; 小野ら, 2010), 本調査においても水田の出穂約10日前から収穫期において, 堤防法面で除草や寄主植物の枯死などによりカスミカメムシ類の発生量が少なくなっている場合には, 水田内への侵入量も少なくなると考えられる事例があった. 一方, 除草や枯死のタイミングによっては, 逆にカスミカメムシ類にとって好適な出穂条件を助長してしまったり, 水田への侵入を促してしまったりする恐れのあることが示唆された. 除草が頻繁になりすぎるとイネ科植物が優占種になりやすい

とされ（稲垣ら，2012），過度の除草はカスミカメムシ類の好適植生を増加させ，地域の発生源を増加させかねない。除草作業は労力的な負担が大きく，上述したようにタイミングや回数がカメムシの水田への侵入防止効果に大きく影響すると考えられるため，効率的で効果的な除草時期を明らかにすることが重要である。寺本（2003）は，イネ出穂3週間前頃と出穂期の2回除草が，安田ら（2013）は出穂前2～1週間および出穂後1～2週間の2回除草がカメムシの侵入防止効果が高いと報告しており，いずれも水田の出穂時に，事前に発生源における発生量を低くしておくこと，その状態をイネの収穫まで維持することが共通している。カスミカメムシ類が侵入・加害する時期に，事前に水田周辺の発生量を低く抑えることが重要と考えられる。また，Yasuda *et al.*（2013 a）は6月に水田周辺の雑草地を集中的に除草しておくことにより，その地域のアカスジカスミカメ個体群密度を減少させることが可能と述べており，イネの出穂に先駆けて地域の好適植生を減少させておくことで，地域全体の個体群密度を減少させ，被害の減少に繋がると示唆される。

このように，好適植生や分散能力など発生生態の解明により，水田周辺の発生源管理に活用可能な知見が得られた。一方，実際の発生量は気象条件や前年の産卵数，天敵生物の密度など様々な影響を受けると考えられる。よりきめ細かな対策を講じるためには個々の水田における初期侵入量を考慮して最終的な防除要否の判断を行うための被害予測手法の確立が必要である。

本研究では，千葉県において以前から推奨されていた穂揃期防除について，その効果を検証するとともに，防除要否判断に利用可能な被害推定モデルの開発に取り組んだ。その結果，出穂期におけるすくいとりおよびフェロモントラップの捕獲数により，被害が増加する前に2等落等確率を推定することが可能であった。出穂期におけるすくいとり捕獲数を用いた被害解析の結果，割れ籾の発生率が低いほど穂揃期防除に2等落等確率を低下させる効果が認められた。割れ籾率がカスミカメムシ類の被害に与える影響は大きいという報告は多く（高橋ら，2012），本研究における放飼試験においても割れ籾に側部斑点米が高い割合で生じることが示された。一方，割れ籾率は気温や施肥による影響よりも品種による影響が大きことが裏付けられ，千葉県において栽培されている主要3品種は割れ籾が発生しにくいことが示された。この3品種の割れ籾率を被害解析に考慮すると，穂揃期防除には2等落等確率を低下させる一定の効果が期待できると推定される。

一方，無防除条件下における推定の結果から，少発生条件下において穂揃期防除の有無を判断する場合に考慮すべき変数は捕獲数のみと考えられた。すくいとりによる捕獲数を用いた場合には50%逆推定値が1頭以下となり，防除を省略する判断に用いるためには，少発生条件下において調査精度の高いフェロモントラップ捕獲数を用いる方が適していると考えられた。併用フェロモントラップ

は，アカスジカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメ混在化においても使用が可能であり，被害推定により2等落等リスクが低いと判断された圃場においては穂揃期防除を省略することが可能と推察された。

本研究の中で，様々な課題も見いだされた。一つ目は要防除水準の設定である。ある一定の基準を超えるか否かの確率を推定するモデルを用いて要防除水準を設定する場合，基準をどこに設定するか，また基準を超える確率が何%となる条件を要防除水準とするかについての入念な議論が必要となる。米の品質が重要視される現代においては要防除水準を低く設定せざるを得ない状況にあるとも言えるが，一方で色彩選別技術の発達・普及や環境保全型農業への関心の高まり，栽培面積の大規模化など多様な場面で利用可能な基準が求められている。そのような中ではある一定の考えの基に要防除水準を一つだけ設定するより，単純なモデルをもとにそれぞれの担い手が実情に合った判断を支援することが必要である。

二つ目の課題は2回目防除の必要性である。本研究では穂揃期防除要否の判断基準策定を目的とした解析を行ったが，アカスジカスミカメ多発条件下や割れ籾多発条件下では穂揃期防除による効果が十分に得られない場合が想定された。調査水田における捕獲数分布や栽培品種構成から考慮すると対象水田は少ないと考えられるが，このような場合には小野ら（2010）の様に2回目の防除や彩選別などの対策を追加する必要がある。

三つ目の課題はアカスジカスミカメとアカヒゲホソミドリカスミカメの生態の違いである。本研究では併用フェロモントラップを用いることにより，両種の出穂期前1週間における総捕獲数をもとに被害粒率が0.1%を超える確率の推定が可能であった。両種の捕獲数を別々にモデルに組み込むよりもはるかに単純なモデルであり，現場で利用しやすいという利点があるが，水田内生態の異なる両種を一まとめに扱うことには疑問が呈されるだろう。アカスジカスミカメは，雑草発生がない限り次世代幼虫の発生は稀であり（中田，2000；大友ら，2005；片瀬ら，2007），防除対象の主体は侵入成虫であるのに対し（小野ら，2010），アカヒゲホソミドリカスミカメ成虫の水田への侵入は長くは続かず，次世代幼虫が斑点米形成に大きく関与する（石本，2004）。このように両種は加害生態の異なるため，初期侵入量と最終的な被害の関係は両種で異なることが予想される。本モデルは千葉県内という限られた地域の限られた発生状況をもとに作成されており，両種それぞれが単独で優占している地域や，本県と混在条件が異なる地域におけるデータも加味する必要がある。現在までに検討されているアカヒゲホソミドリカスミカメ捕獲数による被害推定モデルでは，本モデルで用いた捕獲時期よりも後の捕獲数を用いた推定を目指しており，単純に比較はできない。より一般的な推定モデルを得るため，検証を重ねる必要がある。

四つ目はフェロモントラップと既存手法であるすくい

とりとの使い分けである。すくいとり調査はクモヘリカメムシなどほかの大型の斑点米カメムシ類、ウンカ類などの水稻害虫の調査にこれからも利用が続くと考えられる。すくいとり調査とフェロモントラップによる調査が混在する状況や、今まですくいとりで調査していた圃場ですくいとりになりフェロモントラップによる調査を行う場合も考えられる。先にも述べたがすくいとり捕獲数が少ない水田においてもフェロモントラップによる捕獲が認められ、低密度条件における発生状況の把握に適していると考えられたが、逆にすくいとり頭数が非常に多い圃場ではフェロモントラップ捕獲数が頭打ちになる傾向があった。このような傾向を示す理由は解明されておらず、今後原因の解明が期待される。フェロモントラップは大まかな発生消長の把握や混在状況の把握は可能と考えられるが、特徴を十分に認識した上での利用を普及するべきと考えられる。

五つ目の課題は雌雄による分散動態の違いである。本研

究では、移動分散能力や水田内における生態について、雌雄で性質が異なることを示唆する結果がいくつか得られた。このことは直接防除手法に活かせるかどうかは不明であるが、このような雌雄間における生態の違いを明らかにすることは、性フェロモントラップの利用手法の高度化のみならず、圃場—発生源間を移動する様々な害虫・天敵の管理手法を確立する上で重要な知見となる可能性がある。以上のように、水田および発生源をとりまくアカスジカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメの発生生態の解明、被害推定、合成性フェロモントラップ利用方法の確立を通し、発生源管理と防除要否判断による防除のメリハリ化による管理体系の構築につながる知見が多く得られた。今後はこのような技術を導入した場合に変化する様々なリスクやコストについて、多様な担い手が利用するための経営的要因を考慮した調査も望まれる。

引用文献

- Bates, D., M. Maechler, B. Bolker, S. Walker, R. H. B. Christensen, H. Sigmann and B. Dai, (2014) 'lme4': Linear mixed-effects models using Eigen and S4. R package version 1.1-7.
- Boivin, G. and R. K. Stewart (1983) Seasonal development and interplant movements of *Phytophagous Mirids* (Hemiptera: Miridae) on alternate host plants in and around an apple orchard. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 76: 776-780.
- Bolker, B. (2014) 'bbmle': Tools for general maximum likelihood estimation. R package version 1.0.17.
- Busching, M. K. and F. T. Turpin (1976) Oviposition preferences of black cutworm moths among various crop plants, weeds, and plant debris. *J. Econ. Entomol.* 69: 587-590.
- 千葉県農林水産部安全農業推進課(2014)平成26年版 農作物病害虫雑草防除指針 pp. 19.
- 千葉県農林水産部生産販売振興課 (2013) 千葉の園芸と農産 pp. 25.
- 中場 勝・神保恵志郎・佐藤利美・永峯淳一 (2000) 水稲玄米の部分着色粒による品質低下要因とその対策. *東北農業研究* 53 : 29-30.
- Cleveland, T. C. (1982) Hibernation and host plant sequence studies of tarnished plant bugs, *Lygus lineolaris*, in the Mississippi delta. *Environ. Entomol.* 11: 1049-1052.
- Coaker, T. H. (1987) Cultural method: the crop. In: *Integrated pest management* (A. J. Burn, T. H. Coaker, and P. C. Jepson eds.). pp 79-80. Academic press, England,
- 遠藤亘紀・清水喜一・丸 論 (1977) 穂揃期から乳熟期の水田におけるホソハリカメムシとクモヘリカメムシの成虫のすくいとり効率. *千葉農試研報* 18 : 105-111.
- ESRI (2004) ArcGIS version 9.2. Environmental Systems Research Institute, Redlands.
- Fleicher, S. J., M. J. Gaylor and N. V. Hue (1988) Dispersal of *Lygus lineolaris* (Heteroptera: Miridae) adults through cotton following nursery host destruction. *Environ. Entomol.* 17: 533-541.
- Fox, J., S. Weisberg, D. Adler, D. Bates, G. Baud-Bovy, S. Ellison, D. Firth, M. Friendly, G. Gorjanc, S. Graves, R. Heiberger, R. Laboissiere, G. Monette, D. Murdoch, H. Nilsson, D. Ogle, B. Ripley, W. Venables, A. Zeileis and R-Core (2014) 'car': Companion to Applied Regression. R package version 2.0-21.
- 後藤純子・伊東芳樹・宍戸 貢 (2000) 水田内におけるヒエ類とアカスジカスミカメ (旧称: アカスジメクラガメ) による斑点米との関係. *北日本病虫研報* 51: 162-164.
- 八谷和彦 (1985) アカヒゲホソミドリメクラガメの要防除水準. *北海道農試験報* 53 : 43-49.
- 林 英明 (1986) アカスジメクラガメの生態と防除. *植物防疫* 40: 321-326.
- 林 英明 (1989) アカスジメクラガメの生態と防除に関する研究 第2報 加害能力と斑点米症状の発現について. *広島農試報告* 52: 1-8.
- 林 英明 (2000) 広島県内のイネの虫害による部分着色粒の発生実態と問題点. *広島農技セ研報* 68 : 31-43.
- 林 英明・中沢啓一 (1988) アカスジメクラガメの生態と防除に関する研究 第1報 生息場所と発生推移. *広島農試報告* 51: 45-53.
- 樋口博也・高橋明彦・美馬純一 (2001) 秋季にアカヒゲホソミドリカスミカメが産卵を行う畦畔雑草. *北陸病虫研報* 49: 15-17.
- 本田浩央・遠藤秀一・渡辺和弘・阿部雄幸・永峯淳一 (2001) 山形県における斑点米カメムシ類の多発生と防除対策 1. 発生の特徴と多発生要因. *北日本病虫研報* 52: 149-153.
- Horton, D. R., J. L. Capinera and P. L. Chapman (1988) Local differences in host use by two populations of the Colorado potato beetle. *Ecology* 69: 823-831.
- 星川清親 (1975) 解剖図説 イネの生長. pp.262. 農山漁村文化協会, 東京.
- Hothorn, T., F. Bretz, P. Westfall, R. M. Heiberger and A. Schuetzenmeister (2014) 'multcomp': Simultaneous Inference in General Parametric Models. R package version 1.3-6.
- 稲垣栄洋・市原 実・松野和夫・濱木千恵子・山口 翔・水元 駿輔・山下雅幸・澤田 均 (2012) 水田畦畔の植生管理の違いが斑点米カメムシおよび土着天敵の個体数に及ぼす影響. *日緑工誌* 38 : 240-243.
- 石本万寿広 (2004) アカヒゲホソミドリカスミカメの水田内発生消長. *応動昆* 48: 79-85.
- 石本万寿広 (2005) アカヒゲホソミドリカスミカメ合成性フェロモントラップの形状と設置高. *北陸病虫研報* 54 : 13-17.
- 石本万寿広・佐藤秀明・村岡裕一・青木由美・滝田雅美・野口忠久・福本毅彦・望月文昭・高橋明彦・樋口博也 (2006) 合成性フェロモントラップによるアカヒゲホソミドリカスミカメの水田内発生消長の把握. *応動昆* 50: 311-318.
- 石岡将樹・木村利幸・木村勇司 (2000) 1999年に青森県で多発した斑点米 2. アカヒゲホソミドリカスミカメの多発に影響した気象要因と斑点米の発生特徴. *北日本病虫研報* 51:158-161.

- 伊藤清光 (2004) 近年の斑点米カメムシ類の多発生とその原因-水田の利用状況の変化. 北日本病虫研報 55: 134-139.
- 柿崎昌志 (2013), アカヒゲホソミドリカスミカメの性フェロモンの長期間徐放性誘引製剤と網円筒トラップによるモニタリング. 植物防疫 67: 296-299.
- Kakizaki, M. and H. Sugie (1997) Attraction of males to females in the rice leaf bug, *Trigonotylus caelestialium* (Kirkaldy) (Heteroptera: Miridae). Appl. Entomol. Zool. 32: 648-651.
- Kakizaki, M. and H. Sugie (2001) Identification of female sex pheromone of the rice leaf bug, *Trigonotylus caelestialium*. J. Chem. Ecol. 27: 2447-2458.
- 菅 広和・大友令史・鈴木敏男 (2006) 2005年岩手県における斑点米多発要因. 北日本病虫研報 57: 118-121.
- 神名川真三郎・今関美菜子・門間陽一 (2004) 宮城県における斑点米多発とその要因. 北日本病虫研報 55: 125-127.
- 兼久勝夫 (1984) 昆虫類の防御物質とその分泌. 化学と生物 22: 156-163.
- 加進丈二・畑中教子・小野 享・小山 淳・城所 隆 (2009) イヌホタルイの存在が水田内のアカスジカスミカメ発生動態および斑点米被害量に与える影響. 応動昆 53: 7-12.
- 片瀬雅彦・清水喜一・椎名伸二・萩原邦彦・岩井 宏 (2007) 千葉県北部における斑点米カメムシ類の発生状況. 関東東山病虫研報 54: 99-104.
- 加藤静夫・長谷川仁 (1950) スーダングラスの害蟲アカスジメクラガメ. 應用昆蟲 6: 149.
- 河辺信雄 (1972) アカヒゲホソミドリメクラガメによる斑点米および芽ぐされ米の発生について. 北日本病虫研報 23: 134.
- 川村 満 (2007) 黒点米と斑点米. 152pp. 全国農村教育協会, 東京.
- 川沢哲夫・川村 満 (1975) カメムシ百種. 301pp. 全農協, 東京.
- 菊地淳志・小林徹也 (2001) 除草がアカヒゲホソミドリカスミカメの増殖に及ぼす影響. 北日本病虫研報. 52:143-145.
- 桐谷圭治 (2007) 地球温暖化と土地利用の変化によるカメムシ問題. 植物防疫 61: 359-363.
- 京谷 薫 (2002) 登熟期の時期別高温が割れ籾に及ぼす影響. 東北農業研究 55: 43-44.
- 小林徹也 (2007) アカヒゲホソミドリカスミカメとアカスジカスミカメの飛翔速度の測定. 北日本病虫研報 58: 96-98.
- Kogan, M. (1998) Integrated pest management: historical perspectives and contemporary developments. Annu. Rev. Entomol. 43: 243-270.
- 小嶋俊彦 (2004) 斑点米の要因となる割れ籾の発生に及ぼす遮光・高温による影響. 関西病虫研報 46: 79-80.
- Leal, W. S., Y. Ueda and M. Ono (1996) Attractant pheromone for male rice bug, *Leptocoris chinensis*: Semiochemicals produced by both male and female. J. Chem. Ecol. 22: 1429-1437.
- Maindonald, J. H. and W. J. Braun, (2014) 'DAAG': Data Analysis and Graphics data and functions. R package version 1.20.
- 松崎卓志 (2001) 富山県における斑点米カメムシ類の防除対策. 植物防疫 55: 451-454.
- 松浦欣哉・岩田忠寿 (1968) 水稲における開穎籾発生の早晩生間差異と気象条件について. 日作北陸会報 4: 1-4.
- 宮田将秀 (1991) アカスジメクラガメによる斑点米に対する割れ籾の影響. 北日本病虫研報 42: 106-108.
- 宮田将秀 (1992) アカスジメクラガメによる斑点米に対する割れ籾の影響 第2報 放飼時期および頭数についての検討. 北日本病虫研報 43: 93-95.
- 宮田将秀 (1994) アカスジメクラガメの加害時期と斑点米発生量との関係. 北日本病虫研報 45: 137-138.
- 望月文昭・安田哲也・樋口博也・高橋明彦・石本万寿広・中島具子・西島裕恵・佐藤正和 (2012) アカヒゲホソミドリカスミカメ用の新規フェロモン剤. 植物防疫 66: 150-155.
- 望月文昭・安田哲也・武田藍・奥谷恭代 (2013) アカスジカスミカメの発生予察用フェロモン剤. 植物防疫 67: 300-303.
- 永井清文・萱嶋砂夫・浜砂武久 (1971) 数種カメムシの稲穂加害について. 九州病虫研報 17: 137-139.
- 永野敏光 (1990) 4種のカメムシ類放飼による斑点米の形成. 北日本病虫研報 41: 125-126.
- 永野敏光・藤崎祐一郎・宮田将秀 (1988) 宮城県におけるアカスジメクラガメの発生消長. 北日本病虫研報 39: 167-169.
- 長澤淳彦 (2007) アカヒゲホソミドリカスミカメおよびアカスジカスミカメの産卵するイネ科雑草. 北陸病虫研報 56: 29-31.
- Nagasawa, A., A. Takahashi and H. Higuchi (2012). Host plant use for oviposition by *Trigonotylus caelestialium* (Hemiptera: Miridae) and *Stenotus rubrovittatus* (Hemiptera: Miridae). Appl. Entomol. Zool. 47: 331-339.
- 中野勇樹・玉木佳男 (1986) ヒメコガネ (*Anomala rufocuprea* MOTSCHULSKY) の発生調査のための性フェロモントラップの利用. 応動昆 30: 260-267.
- 中田 健 (2000) 水田域におけるアカスジカスミカメの発生動向. 植物防疫 54: 316-321.
- Negron, J. F. and T. J. Riley (1991) Seasonal migration and overwintering of the chinch bug (Hemiptera: Lygaeidae) in Louisiana. J. Econ. Entomol. 84: 1681-1685.

- 新山徳光 (2000) アカヒゲホソミドリカスミカメ. 植物防疫 54: 309-312.
- Norris, R. F. and M. Kogan (2000) Interactions between weeds, arthropod pests, and their natural enemies in managed ecosystems. Weed Sci. 48: 94-158.
- 農林水産省 (2001) 農産物規格規定. 農林水産省告示第二百四重四号. pp.17.
- 農林水産省農蚕園芸局植物防疫課 (1986) 農作物有害動物発生予察事業調査実施基準. (最終改訂 2014 年. 農林水産省消費・安全局植物防疫課). pp.6.
- Okutani-Akamatsu, Y., T. Watanabe and M. Azuma (2007) Mating attraction by *Stenotus rubrovittatus* (Heteroptera: Miridae) females and its relationship to ovarian development J. Econ. Entomol. 100: 1276-1281.
- 奥山七郎 (1974) アカヒゲホソミドリメクラガメの生活史に関する研究 第 1 報 発生消長について. 北日本病虫研報 25: pp 53.
- 奥山七郎・井上 寿 (1974) 黒蝨米に関する研究 (2) アカヒゲホソミドリメクラガメの成, 幼虫による黒蝨米の発現. 北日本病虫研報 25: pp 52.
- 奥山七郎・春木 保・八谷和彦 (1983) 北海道におけるアカヒゲホソミドリメクラガメによるコムギの被害. 北日本病虫研報 34: 26-29.
- 小野 亨・加進丈二・城所 隆 (2007) アカスジカスミカメの繁殖地の草刈りと斑点米被害の抑制. 北日本病虫研報 58: 75-79.
- 小野 亨・加進丈二・城所 隆・佐藤浩也・石原なつ子 (2010) アカスジカスミカメに対する繁殖地の密度抑制技術と新規殺虫剤による斑点米被害の抑制. 宮城古川農試報 8 : 35-45.
- 大友令史・菅 広和・田中誉志美 (2005) アカスジカスミカメの生態に関する 2, 3 の知見. 北日本病虫研報 56: 105-107.
- 大鷲高志・神名川真三郎・林かずよ・日向真理子 (2003) 宮城県における斑点米多発年の被害の特徴. 北日本病虫研報 54: 96-98.
- Panizzi, A. R. (1992) Performance of *Piezodorus guildinii* on four species of *Indigofera legumes*. Entomol. Exp. Appl. 63: 221-228.
- R Development Core Team (2011) R, a language and environment for statistical computing. R Foundation, Vienna. <http://www.R-project.org>
- Ripley, B., B. Venables, D. M. Bates, K. Hornik, A. Gebhardt and D. Firth (2014) 'MASS' : Support Functions and Datasets for Venables and Ripley's MASS. R package version 7.3-34.
- Roach, S. H. (1975) *Heliothis zea* and *H. virescens*: moth activity as measured by blacklight and pheromone traps. J. Econ. Entomol. 68: 17-21.
- 里田史朗・千田修治・福崎英一郎 (1997) 昆虫フェロモンの合成と害虫防除への応用. 化学と生物 35: 35-40.
- 佐藤力郎 (1992) 発生予察利用のためのフェロモントラップの特質. 植物防疫 46 : 12-16.
- Scales, A. L. (1968) Female tarnished plant bugs attract males. J. Econ. Entomol. 61: 1466-1467.
- 鈴木敏男 (2005) 岩手県における発生環境 (水田雑草, 割れ粃の多少) に応じたアカスジカスミカメに対する薬剤散布適期. 北日本病虫研報 56: 102-104.
- 高田 真・田中英樹・千葉武勝 (2000) 岩手県における 1999 年の斑点米多発の実態. 北日本病虫研報 51: 165-169.
- Takada, M. B., A. Yoshioka, S. Takagi, S. Iwabuchi, and I. Washitani (2012) Multiple spatial scale factors affecting mirid bug abundance and damage level in organic rice paddies. Biol. Contl. 60: 169-174.
- 高橋明彦・石本万寿広・中島具子 (2012) 圃場単位の要防除水準の策定 (1) 斑点米被害予測モデルの構築. 植物防疫 66 : 419-422.
- 高橋富士男・永野敏光・佐藤智美 (1985) 宮城県北部におけるアカスジメクラガメによる斑点米の発生. 北日本病虫研報 36: 38-40.
- 滝田雅美 (2002) 準野外におけるアカヒゲホソミドリカスミカメの加害時期と斑点米の発生. 北日本病虫研報 53: 173-175.
- 滝田雅美 (2005) アカヒゲホソミドリカスミカメ合成性フェロモントラップの種類の検討. 北日本病虫研報 56 : 108-110.
- 滝田雅美 (2006) 水田内におけるアカヒゲホソミドリカスミカメ 合成性 フェロモン トラップの設置条件. 北日本病虫研報 57 : 126-128.
- 田中英樹・千葉武勝・藤岡庄蔵・千葉忠男・伊藤正樹・中南 博 (1988) 岩手県における斑点米の発生実態と原因カメムシの種類. 北日本病虫研報 39: 162-166.
- Taylor, R. A. J. (1978) The relationship between density and distance of dispersing insects. Ecol. Entom. 3:63-70.
- 寺本憲之 (2003) 斑点米カメムシ類の個体群抑制を考慮した畦畔管理技術. 滋賀農総セ農試研報 43: 47-70.
- 寺西敏子・大橋幸雄・山本尹男・松下真一郎 (1981) 水稲の割れ粃発生とその防止対策. 農業および園芸 56 : 661-665.
- Turchin, P. and K. S. Omland (1999) Quantitative analysis of insect movement. In: Ecological entomology (C. B. Huffaker, A. P. Gutierrez eds.). pp 479-488. Wiley, New York.
- Wallace, B. (1966) On the dispersal of *Drosophila*. Am. Nat. 100: 551-563.
- 渡辺和弘・山村光司・土門 清・阿部雄幸 (2003) アカヒゲホソミドリカスミカメすくいとり調査による斑点米多発発生確率の予測. 北日本病虫研報 54 : 110-112.

- 渡邊朋也・樋口博也 (2006) 斑点米カメムシ類の近年の発生と課題. 植物防疫 60: 201-203.
- Yamamura, K., M. Kishita, N. Arakaki, F. Kawamura and F. Sadoyama (2003) Estimation of dispersal distance by mark-recapture experiments using traps: correction of bias caused by the artificial removal by traps. Popul. Ecol. 43:149-155.
- Yasuda, M., T. Mitsunaga, A. Takeda, K. Tabuchi, K. Oku, T. Yasuda and T. Watanabe (2011) Comparison of the effects of landscape composition on two mired species in Japanese rice paddies. Appl. Entomol. Zool. 46: 519-525.
- Yasuda, M., A. Takeda, K. Tabuchi, T. Yasuda and T. Watanabe (2013) Effects of Japanese rice field boundary vegetation on *Stenotus rubrovittatus* (Hemiptera: Miridae) abundance. Appl. Entomol. Zool. 48: 289-294.
- 安田美香・武田 藍・安田哲也 (2013) 千葉県における斑点米カメムシ類 2 種の防除対策としての適切な畦畔除草管理時期の推定. 関東東山病虫害研究会報 60: 87-89.
- 安田哲也 (2004) カメムシ類のフェロモン—集合をめぐる—. 植物防疫 58: 304-308.
- Yasuda, T., S. Shigehisa, K. Yuasa, Y. Okutani-Akamatsu, N. Teramoto, T. Watanabe and F. Mochizuki (2008) Sex attractant pheromone of the sorghum plant bug *Stenotus rubrovittatus* (Matsumura) (Heteroptera: Miridae). Appl. Entomol. Zool. 43: 219-226.
- Yasuda, T., K. Oku, H. Higuchi, S. Shigehisa, Y. Okutani-Akamatsu, T. Watanabe, A. Takahashi, W. Sugeno, M. Yamashita, T. Fukumoto and F. Mochizuki (2009) Optimization of blends of synthetic sex pheromone components for attraction of the sorghum plant bug *Stenotus rubrovittatus* (Matsumura) (Heteroptera: Miridae). Appl. Entomol. Zool. 44: 611-619.
- Yasuda, T., K. Oku, H. Higuchi, T. Suzuki, J. Kashin, T. Kichishima, T. Watanabe, A. Takeda, M. Yasuda, K. Tabuchi, A. Takahashi, M. Yamashita, T. Fukumoto and F. Mochizuki (2010) A multi-species pheromone lure: A blend of synthetic sex pheromone components for two mirid species, *Stenotus rubrovittatus* (Matsumura) and *Trigonotylus caelestialium* (Kirkaldy) (Heteroptera: Miridae). Appl. Entomol. Zool. 45: 593-599.
- Yasuda, T., F. Mochizuki, M. Yasuda, A. Takeda, H. Higuchi, T. Watanabe, M. Yamashita and T. Fukumoto (2013) Performance of polyethylene tubes as pheromone lures for the sorghum plant bug, *Stenotus rubrovittatus* (Hemiptera: Heteroptera: Miridae). Appl. Entomol. Zool. 48: 325-330.
- 安田哲也・安田美香 (2013) フェロモン剤はどの程度の距離からアカスジカスミカメを誘引するのか? 第 60 回関東東山病虫害研究会講演要旨. 関東東山病虫害研報 60. pp.156.
- 吉村具子・池田泰子・竹田富一 (2007) 水田内におけるアカヒゲ ホソミドリカスミカメの発生消長と割れ籾および斑点米の発生推移. 北日本病虫研報 58: 80-83.
- 湯浅和宏 (2006) 水田畦畔雑草と斑点米カメムシ類および斑点米発生の関係. 植物防疫. 60 : 211-214.

謝辞

本研究のとりまとめに当り、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センター 情報利用研究領域長 渡邊朋也博士、千葉大学大学院 園芸学研究科 生物生産環境学領域 中牟田潔教授および野村昌史准教授には、終始懇切なご指導とご助言並びに御校閲を賜った。独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構中央農業総合研究センター 樋口博也氏（現在龍谷大学）、平江雅宏氏、安田哲也氏（現在農研機構本部）、安田美香氏（現在森林総合研究所）、光永貴之氏、田淵研氏（現在東北農業研究センター）、高橋明彦氏（現在東北農業研究センター）、菅野亘氏（現在農業生産法人株式会社 GRA）、奥圭子氏、石崎摩美氏には、本研究の現地調査および解析に当たり、多大なご尽力を賜った。千葉県農林総合研究センター病害虫防除課、香取農業事務所および生産者各位に

は、現地調査にあたり調査圃場選定やその提供に多大なご協力を賜った。千葉大学生物生産環境学領域各位および、各県の斑点米カメムシ担当者各位には本研究の計画およびとりまとめにご助言をいただいた。なお、本研究は千葉県農林総合研究センター在職中に行ったものであり、清水喜一氏（現在住友化学株式会社）、吉井幸子氏には本研究の初年度に当り、昆虫調査の基本をご教授いただいた。また、片瀬雅彦氏（現在千葉県立農業大学校）、大井田寛氏（現在千葉県立農業大学校）上遠野富士夫氏（現在法政大学教授）、牛尾進吾氏他、千葉県農林総合研究センター各位には研究の遂行にあたり多大なご助言とご配慮をいただいた。これらの方々のご厚意なくしては本研究の遂行は困難であった。ここに深く感謝の意を表する。

Summary

Studies on Ecology of *Stenotus rubrovittatus* (Matsumura) (Hemiptera: Miridae) and its Forecasting System in Chiba Prefecture

Ai TAKEDA

Key words : *Stenotus rubrovittatus*, sorghum plant bug, stained grain, sex attractant pheromone, monitoring

The sorghum plant bug, *Stenotus rubrovittatus* (Matsumura) (Hemiptera: Miridae) and rice leaf bug, *Trigonotylus caelestialium* (Kirkaldy) (Hemiptera: Miridae), are principal pests of rice, *Oryza sativa* L., in Japan, causing pecky rice (kernel spotting). They usually breed and overwinter on gramineous plants in grassy fields or meadows, migrate to paddy fields just after rice heading. The management of these species depends on preventive pesticide spray because of serious damage even if in limited migration. For these reason, habitat manipulation and damage risk estimation were needed to be developed for pesticide reduction and damage suppression on landscape level. In this study, I clarified population occurrence of both Miridae species causing pecky rice on habitats and paddy fields in Chiba prefecture, determinate factors affects pecky rice damages, and made a damage estimation model.

1. Population occurrence and habitat manipulation

S. rubrovittatus and *T. caelestialium* abundances in habitats were greatly influenced by host plant; were increased by the heading of gramineous host plants, especially Italian ryegrass *Lolium multiflorum* Lam., and were decreased by weedings and withering of host plants vegetations. The occurrence in a habitat had a heavy impact on the immigration into paddy fields. Keeping habitat vegetation inadequate for Miridae species from some weeks before rice heading until harvest can decrease Miridae immigration into paddy fields. On the other hands, there is a possibility that overweeding induces luxuriation and heading of gramineous host plant or drives Miridae populations into paddy fields. The average dispersal distance during immigration of estimated to be about 130 m and its influence may be broader. The immigrant densities in paddy fields increased exponentially as they approached a large-scale habitat of the insect. These facts indicated that the large scale habitat a hundred meter within the paddies should be paid enough attention and demands improving management.

2. Factors affect pecky rice

The spotted rice was not caused by *S. rubrovittatus* infestation just after rice heading, the beginning immigration. The damage estimation by the immigration density at rice heading may in-

dicating farmers the necessity of pesticide control in rice heading completed. The damage caused by *S. rubrovittatus* differs according to the timing of infestation: infestation during the late grain-filling period caused heavier damage than earlier infestations because of split-hull paddies. Split-hull paddies are less likely to occur in 'Koshihikari', 'Fusakogane' and 'Fusaotome', main cultivars grown in Chiba prefecture. The possibility of downgrading quality rank was able to be estimated by immigration density captured by sweepings at rice heading period. The model indicated that the pesticide control in the end of rice heading can suppress the possibility of downgrading in low occurrence of split-hull paddies. The model also indicated that in non-pesticide field, the possibility of downgrading is above 50 % when only one *S. rubrovittatus* is captured at rice heading. The investigation method with higher precision than sweeping is needed to necessity decision of pesticide control at the end of rice heading.

3. The synthetic sex pheromone traps for prevalence reconnaissance and damage estimation

The combination lures of two mirid bugs within one trap could be useful for monitoring occurrence of these pests. Pheromone traps were suitable for low density situations when no bugs were caught by sweepings. The possibility of downgrading was able to be estimated by immigration density captured by pheromone traps for one week before rice heading. The estimation curve has a more gentle inclination than that with sweeping. This estimation model was useful for necessity decision of pesticide control at the end of rice heading.