

クモヘリカメムシの発生動態ならびに 斑点米被害予測に関する研究

竹内 博昭*

目 次

I はじめに	17	1. 斑点米の種特異的な加害痕の特徴	39
II クモヘリカメムシの発生動態と その変動要因	20	2. 4種斑点米カメムシ類が主に加害する 籾の登熟段階	45
1. イネ科牧草・雑草上におけるクモヘリ カメムシとホソハリカメムシの発生動態	20	3. 3種斑点米カメムシ類の発生圃場率と イネの登熟段階との関係	49
2. 水田に設置した網枠内におけるクモヘリ カメムシ個体数と斑点米発生数との関係 およびその変動要因	25	4. クモヘリカメムシの斑点米発生率に 及ぼす割れ籾の影響	53
3. 水田, ダイズ圃場, 圃場外のイネ科雑草群落に 設置したクモヘリカメムシ卵の主な死亡要因	30	5. 水田におけるすくい取り調査に基づく クモヘリカメムシ斑点米被害の予測	55
4. 水田におけるクモヘリカメムシの卵期の 捕食性天敵	34	IV 総合考察	60
III クモヘリカメムシの加害生態ならびに 被害予測方法の解明	39	摘要	63
		引用文献	64
		Summary	72

I はじめに

斑点米カメムシ類とは、イネ *Oryza sativa* L. の穂を吸汁加害し、玄米に黒～褐色の斑紋を生じさせるカメムシ類の総称である。斑紋が生じた米粒は、一般的に「斑点米」と呼ばれる。斑点米の玄米への混入率が0.1%を超えると、農産物検査では2等以下に格付けされ、価格が低下する。斑点米を生じさせる可能性のあるカメムシ類は9科65種が知られている⁽¹⁹⁵⁾が、日本各地で重要種となっているのは十数種類である^(28, 150)。斑点米カメムシ類が重要害虫とされ始めたのは、米の自給率が達成されて市場で要求される米の外観品質の水準が高くなった以降のこ

とである。第二次世界大戦前後には、米の外観品質の重要性は低く、斑点米が問題となることはなかった⁽⁴¹⁾。現在は斑点米カメムシ類として知られているクモヘリカメムシ *Leptocorisa chinensis* Dallas やイネカメムシ *Lagynotomus elongatus* (Dallas) は、当ても水稲害虫に含まれているが⁽¹⁸⁴⁾、穂を加害して登熟を妨げる害虫とされ、斑点米を発生させることについての記述はない。

斑点米の被害が問題となった最初の事例は明らかでないが、1957年には宮崎県でミナミアオカメムシ *Nezara viridula* (Linnaeus) による斑点米が大きな

問題となっている⁽¹³⁹⁾。この頃から他の地域でも斑点米の被害が報告されるようになり、水田に生息する他のカメムシ類についても注意が向けられ始めた⁽²²⁾。そして、米の生産調整が始まった1970年頃からは、斑点米の発生は全国的に多くなり⁽⁵⁶⁾、斑点米カメムシ類はイネの重要害虫の一つになった⁽⁶⁵⁾。その後現在に至るまで、全国で農産物検査等級「1等」の格付けを得るための取り組みが行われている。現在のような米の需給状況と、米の価格の形成に品質や産地ブランドが影響を与える状況が続く限りは、斑点米カメムシ類が重要害虫であり続ける可能性が高い。

斑点米カメムシ類の主要種は地域ごとに異なり^(8, 60, 79, 159, 176, 181, 182)、また、それぞれの地域で重要とされるカメムシの種構成が変遷したことが知られている⁽²⁸⁾。1990年代末以降には、クモヘリカメムシと2種のカスミカメムシ類の分布が拡大し密度が増加しているとの報告がある⁽¹⁵⁸⁾。このうちクモヘリカメムシは、東北以南の太平洋側から西日本全域における重要種であり、本種の発生消長、生活史、加害生態等については、関東から九州までの各地域で調査されている^(5, 24, 77, 90, 101, 102, 138, 149, 196, 203)。しかし、本種の発生動態には未解明な部分が残され、近年の多発生傾向を説明できる知見は少ない。

斑点米被害の防止対策としては、カメムシ類の耕種的防除法、化学的防除法および斑点米の物理的選別法がある。耕種的防除法については、水田内や地域の斑点米カメムシ類個体群の密度を低下させるために、発生源となる畦畔、農道、耕作放棄地等の除草の有効性が報告されている^(43, 69, 103, 179, 187, 193)。畦畔や農道の除草管理は、日常的な作業の一環として行えるが、カメムシ類は一般的に移動性が高いため一定以上の面積で同時に行わなければ効果が期待できないことから、多大な労力が必要である。化学的防除法については、殺虫剤の散布時期や防除効果について検討されている^(36, 82, 102, 118, 130, 153, 175, 201)。殺虫剤による防除は広く普及しているが、近年は農薬の投下量が少ないことも品質の一つの基準となりつつある。また、農業の担い手が減少して散布作業が行えない場合が増えている。さらに、薬剤抵抗性が発達した地域が現れ⁽⁴⁵⁾、殺虫剤のみに頼った防除が困難であることが再認識されている。斑点米の物理的選別法については、玄米中の斑点米を物理的に除去

する機械⁽¹⁴³⁾が開発され普及してきている。収穫後の選別は省力的で環境負荷も少ないが、機械選別だけで斑点米被害を防止するには、機械の導入に多額の投資を必要とし、産地によっては実現困難である。これらのことから、斑点米被害の防止対策は複数の防除法を組み合わせる必要があることが示唆される。そして、防除法を的確に組み合わせるためには、斑点米被害の発生予測情報が必要であると考えられる。

斑点米発生率の予測をするために、一般的に捕虫網によるすくい取り調査が行われている。すでに、クモヘリカメムシ、ホソハリカメムシ *Cletus punctiger* (Dallas)、アカヒゲホソミドリカスミカメ *Trigonotylus caelestialium* (Kirkaldy) ではすくい取り捕獲数と斑点米発生率との関係が調査され、斑点米発生率の予測法と要防除水準が報告されている^(18, 108, 151, 188)。しかし、これらの予測法の多くは、斑点米発生率が高い場合の被害は予測可能であっても、一等米に格付けされる基準近くの被害程度を予測できる精度を実現していない。そのため、この予測結果を、防除法の選択や防除法を組み合わせのための情報として用いることができない。防除対策の判断に利用できる精度の高い予測を行うためには、斑点米カメムシ類の加害生態、すくい取り個体数と斑点米被害との関係の変動要因、イネの登熟段階などが斑点米カメムシ類の発生消長や加害生態に及ぼす影響の知見が必要である。しかし、これらに関してもこれまで断片的な研究しかない。

そこで本研究では、近年多発生の傾向にあるクモヘリカメムシの発生動態および加害生態の解明、ならびに斑点米被害の予測法の開発を目的として、以下の方針で研究を進めた。なお、発生動態や加害生態は、イネカメムシ、ホソハリカメムシ、アカスジカスミカメ *Stenotus rubrovittatus* (Matsumura) についても同様な調査を行い、クモヘリカメムシとの比較を行った(図1)。

本報告のⅡ章では、発生源であるイネ科雑草群落ならびに水田におけるクモヘリカメムシの発生動態解明とその密度変動要因の抽出を行った。まず、イネ科牧草、雑草上における本種とホソハリカメムシの発生動態を比較することにより、本種の動態の特徴を明確にした。水田内でのクモヘリカメムシの自然発生密度は通常非常に低い。そこで、水田に設置

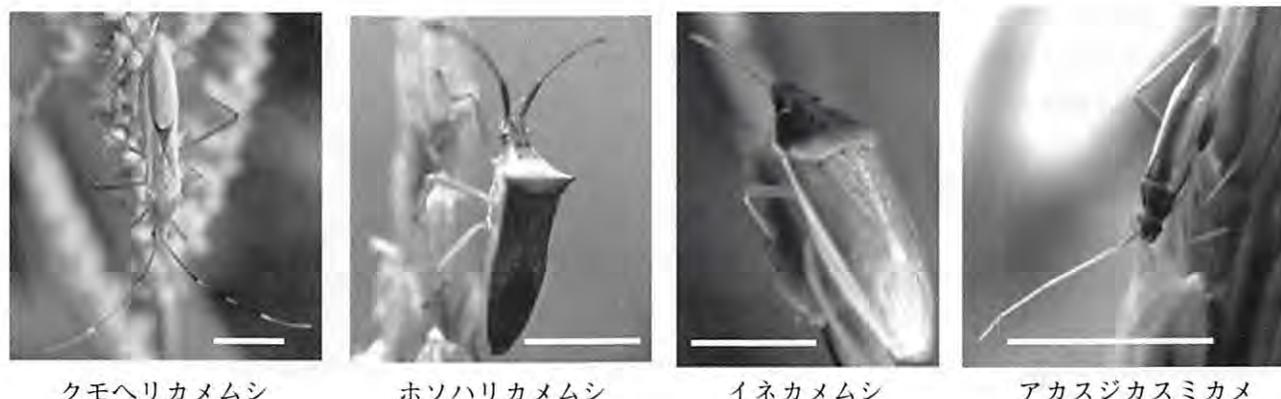


図1 研究対象とした斑点米カメムシ類。
写真内の白線はいずれも5mmの長さを示す。

した網枠内にクモヘリカメムシの卵を放飼することにより、水田におけるクモヘリカメムシの密度変動要因を解明した。さらに、水田、ダイズ圃場および圃場外のイネ科雑草群落にクモヘリカメムシの卵を設置して、異なる植生における卵期の主要な死亡要因を解明した。また、卵の付け加え、農薬散布による天敵除去などを組み合わせることにより、水田におけるクモヘリカメムシの卵期の捕食性天敵種を明らかにした。

Ⅲ章では、クモヘリカメムシを中心として、①被害の特徴の整理、②加害を受けやすい籾、穂の状態ならびにその予測方法の開発、③クモヘリカメムシの密度と斑点米被害発生確率のモデル化を行った。まず、3種カメムシ類によって引き起こされる玄米上の加害痕の特徴を調査して、斑点米被害の形状から加害種を推定する方法を提案した。次に、カメムシ類を放飼した穂における籾の登熟段階と加害籾数との関係を調査して、選好加害する籾の登熟段階を解明した。さらに、カメムシ類が選好加害する登熟段階の籾の量的な推移を水田内で調査した結果から、品種、出穂時期の異なる水田における斑点米カメムシ類の発消長を統一的に表わす方法を提案した。また、クモヘリカメムシ密度と斑点米発生数との関係に及ぼす割れ籾の影響を解明した。そして最後に、すくい取り調査結果と斑点米被害との関係から被害予測のためのロジスティック回帰モデルの作成を試みた。

本研究の遂行およびとりまとめにあたり、終始懇切なご指導とご助言を賜った東京農工大学農学部岩

淵喜久男教授に対し厚くお礼申し上げる。農業生物資源研究所平井一男氏には、本研究に取り組むに必要な基盤的な技術をご指導頂いた。中央農業総合研究センター虫害防除部生物防除研究室長鈴木芳人氏には、本研究の開始当初からとりまとめまでの全体に渡って有益なご指導を頂いた。同部虫害防除システム研究室長渡邊朋也氏には、本研究の遂行およびとりまとめにあたって数多のご教示とご助言を頂いた。以上の方々に厚くお礼申し上げる。

本研究の大部分は、農業・生物系特定産業技術研究機構の交付金プロジェクト研究「環境負荷低減のための病害虫群高度管理技術の開発」の一環で実施されたものであり、多くの方々にご指導、ご援助を頂いた。虫害防除システム研究室石崎摩美氏、De-Ling Ma氏、奥 慎太郎氏、橘 真一郎氏、農業生物資源研究所安田哲也氏には、研究を共同して進めて頂き絶えず貴重なご意見を頂いた。生物防除研究室後藤千枝氏には、とりまとめに至るまで常日頃より有益な議論をして頂いた。熊本県病虫害防除所杉浦直幸氏、宮城県病虫害防除所大鷲高志氏、鳥取県農業試験場奥谷恭代氏には、野外調査に協力して頂くだけでなく貴重なご意見を頂いた。害虫生態研究室水谷信夫氏には、寄生蜂の分類についてご教示頂いた。害虫生態研究室伊藤健二氏、総合研究第3チーム石川哲也氏、虫害防除システム研究室E. Rubia-Sanchez氏、九州沖縄農業研究センター松村正哉氏、浦野 知氏には、論文のとりまとめにあたり有益なご教示を頂いた。以上の方々に厚くお礼申し上げます。

中央農業総合研究センター業務科職員各位には、圃場管理および野外調査にあたり多大なご協力を頂いた。とりわけ業務第2科吉田治男氏、野口卓志氏、大上 猛氏には、圃場管理担当者として、試験区の管理や防除作業、収穫物の調整に多大なご協力を頂いた。また、虫害防除システム研究室小関則子氏には、飼育実験および被害粒調査にご協力を頂いた。

これらの方々のご協力なくしては本研究の遂行は不可能であった。ここに記して感謝の意を表す。

本報告は東京農工大学に提出した学位論文を基に編集、加筆したものであり、内容の一部は既に発表済みである^(166, 167, 168, 169, 170, 171, 172)。転載にあたっては日本応用動物昆虫学会とアメリカ昆虫学会 The Entomological Society of America に利用許可を頂いた。

II クモヘリカメムシの発生動態とその変動要因

クモヘリカメムシは、水田外のイネ科雑草群落を発生源とし、出穂後に水田に侵入して増殖することが知られている^(148, 196)。しかし、イネ科雑草群落における発生動態を詳細に調査した例は少なく、近年の本種の多発生要因は解明されていない。また、イネ科雑草群落や水田における本種の密度変動要因について検討した例はない。

本報告Ⅱ章-1では、イネ科牧草、雑草上における発生動態を調査して、クモヘリカメムシの各世代の発生時期を解明するとともに、近年の本種の多発生要因を、ホソハリカメムシの発生動態との比較を通じて考察する。Ⅱ章-2では、水田に設置した網枠内にクモヘリカメムシ卵を放飼して、水田における本種の密度の変動要因と、斑点米発生数を予測するうえで重要な発育段階を解明する。Ⅱ章-3では、水田、ダイズ圃場および圃場外のイネ科雑草群落にクモヘリカメムシの卵を継続的に設置して、卵期の主要な死亡要因を解明する。Ⅱ章-4では、水田における卵期の主な死亡要因である捕食性天敵の種を、天敵除去法等を用いて解明する。

1. イネ科牧草・雑草上におけるクモヘリカメムシとホソハリカメムシの発生動態

1) はじめに

近年のクモヘリカメムシ発生密度の増加傾向の要因として、イタリアンライグラス *Lolium multiflorum* Lam. を代表とするイネ科の牧草・地力増進作物を栽培する転換田の存在が恒常化し、さらにイネ科牧草が畦畔、堤防などで雑草化したことが指摘されている⁽¹⁵⁸⁾。この検証や、水田における被害防止対策の構築のためには、発生源におけるクモヘリカメムシの発生動態の解明が必要である。

クモヘリカメムシの年間の発生世代数について

は、飼育実験に基づいて鹿児島県では年2～4世代を経過すると推定した例⁽⁵⁾や、有効積算温度⁽¹⁰⁹⁾に基づいて佐賀県では年3世代経過すると推定した例⁽⁸⁴⁾がある。さらに、滋賀県では、クモヘリカメムシの発生活長ならびに雌成虫の卵巣発育状態が調査され、6月上中旬に越冬世代成虫が畦畔や草地に飛来し、その後2世代増殖することが報告されている⁽²⁴⁾。また、茨城県北部でも本種の発生活長が調査され、7月上旬～下旬に牧草地に越冬世代成虫が出現し、年1～2世代経過することが報告されている⁽¹⁹⁶⁾。しかし、越冬世代成虫の産卵開始日を特定したうえで、有効積算温度に基づいて年間発生世代数や各世代の発生時期を推定し、水田の出穂期と比較した例はない。

ホソハリカメムシは、クモヘリカメムシ同様に主要な斑点米カメムシ類の一種として知られている^(56, 151)。しかし、本種はクモヘリカメムシとは異なり、近年の急激な発生増加傾向は認められていない。したがって、ホソハリカメムシとクモヘリカメムシの発生動態の特徴を比較することにより、クモヘリカメムシの近年の発生増加要因を推定できる可能性がある。

そこで、茨城県において2002～2004年にイネ科牧草、雑草上でのクモヘリカメムシの発生活長を調査するとともに、飼育実験により雌成虫の産卵前期間の発育パラメータを求めて、クモヘリカメムシの年間の発生世代数や各世代の発生時期を推定した。また、ホソハリカメムシの発生活長についても同時に調査して、伊藤⁽⁵⁰⁾によるホソハリカメムシの休眠覚醒、寄主植物群落への侵入や寄主植物間の移動などに関する報告とあわせて、ホソハリカメムシとクモヘリカメムシの発生動態の特徴を比較した。

2) 材料および方法

(1) 調査地と調査時期

a) イタリアンライグラス圃場

本調査は渡邊ら⁽¹⁸⁹⁾と同じ、茨城県つくば市観音台の中央農業総合研究センター（以下、中央農研、北緯36度01分、東経140度06分）の畑圃場で2003、2004年に行った。東西12m南北70mの圃場に前年の10月末にイタリアンライグラスを播種し、圃場を東西に2調査区（E区画とW区画）に分け、調査開始前あるいは期間中に調査区ごとに時期をずらして地上部を刈り取り再生させる処理を施した。イタリアンライグラスは例年7月末には枯死するため、個体数調査を行う期間は5～7月、調査間隔は3～7日とした。

b) イネ科雑草地（つくば市）

前述のイタリアンライグラス圃場から約500m離れた中央農研の研究用土貯留場（約20a）内の幅5m、長さ60mのイネ科雑草群落（以下、イネ科雑草地（つくば市））において、2002～2004年の6～10月に7日間隔で個体数を調査した。本調査地では、6月までは雑草化したイタリアンライグラスの出穂がみられた程度で、イネ科植物の穂の量はわずかであった。7月以降にメヒシバ*Digitaria adscendens* (H. B. K.) Henr., イヌビエ*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv., エノコログサ*Setaria viridis* (L.) Beauv.が出穂し、8月以降メヒシバが優占種となった。

c) イネ科雑草地（友部町）

2002年に茨城県友部町（北緯36度19分、東経140度18分、つくば市の調査地から約40km北方）の元牧草地（以下、イネ科雑草地（友部町））において5～10月に7日間隔で個体数を調査した。調査地は数年前までイネ科牧草が栽培されていた約5haのイネ科牧草、雑草の混生地で、5、6月はオニウシノケグサ*Festuca arundinacea* Schreb., ナガハグサ*Poa pratensis* L., イタリアンライグラスの穂などが優占し、7月はオニウシノケグサ、イタリアンライグラス、8月以降はイヌビエ、メヒシバ、エノコログサの穂が優占した。

(2) 個体数調査方法

個体数調査には直径36cm柄長120cmの捕虫網を用い、5ないし10回振りを1単位として、調査面積とカメムシ類の発生状況に応じて5～60単位のすくい

取り調査を行った。捕獲個体は室内に持ち帰り、-20℃で凍結死させた後、種、幼虫・成虫別に個体数を記録した。

(3) クモヘリカメムシ雌成虫の卵巣発育

2002年に、イネ科雑草地（つくば市）とイネ科雑草地（友部町）で捕獲したクモヘリカメムシ雌成虫の一部を、実体顕微鏡下で0.9%食塩水中で解剖し、卵巣の発達程度を調査した。卵巣発達程度は長谷川ら⁽²⁴⁾の基準に準じて、段階1：卵巣小管内に卵の形成がまったくみられない、段階2：卵細胞が肥大を始めている、段階3：成熟した大ききの卵が卵巣小管内に存在するが輸卵管に達していない、段階4：成熟卵が輸卵管内に存在する、段階5：産卵が終了し卵巣小管内に卵が認められない、の5段階に分けて記録し、卵巣未発達（段階1）個体の割合と蔵卵雌率（段階4の個体の割合）の推移を2地点間で比較した。なお、解剖調査個体数は捕獲日ごとに20頭を目標に行ったが、友部町での7月25日、8月15日、9月19～10月3日については1捕獲日あたり4～8頭の成虫しか確保できなかった。

(4) クモヘリカメムシの産卵前期間の温度依存性

クモヘリカメムシの発育パラメータに関してはすでに中沢・林⁽¹⁰⁹⁾、石崎ら⁽⁴⁷⁾の報告がある。しかし、石崎ら⁽⁴⁷⁾は、室内飼育実験によって得られた発育パラメータから推定された年間世代数はすくい取り調査による野外の発生消長と一致しないため、とくに雌成虫の産卵前期間に関するパラメータの再検討が必要としている。そこで、2003年7月中旬～8月中旬にイネ科雑草地（つくば市）で採集した5齢幼虫を用いて産卵前期間の温度依存性を調査した。幼虫には新鮮なイヌビエ、メヒシバ、エノコログサの穂を給餌して、25℃長日（16L: 8D）の条件で飼育し、成虫の羽化を毎日観察した。羽化後1日以内の雌雄1対を石崎ら⁽⁴⁷⁾が用いたものと同じプラスチック容器に入れ、蒸留水をろ紙を用いて給水し、冷凍保存した乳熟期の稲穂を解凍して給餌した。飼育温度は22、25、28、31℃の4段階、日長は16L: 8Dとし、産卵の有無を毎日調査して、羽化日から初産卵日までの日数を産卵前期間として記録した。各温度区22～24対を用いて調査した。得られた各温度条件の平均産卵前期間を用いて、産卵前期間の発育零点と有効積算温度を求めた。

(5) クモヘリカメムシの世代区分

上記の飼育実験で得られたクモヘリカメムシの産卵前期間の発育零点および有効積算温度と、石崎ら⁽⁴⁷⁾が報告している卵期間および幼虫期間の値(発育零点は卵, 幼虫それぞれ13.5, 12.0°C, 有効積算温度はそれぞれ92.4, 316.2日度)を用いて, 2002~2004年のつくば市および2002年の友部町におけるクモヘリカメムシの世代区分を試みた。気温データとしてつくば市については農業環境技術研究所総合気象観測データの日別平均気温を, 友部町については, 近隣のアメダス観測地点である笠間(北緯36度23分, 東経140度14分)における日別平均気温を使用した。

渡邊ら⁽¹⁸⁰⁾は, イタリアンライグラス圃場でクモヘリカメムシ越冬世代成虫が初めて採集された日には蔵卵率は0%であったが, 7日後には80%の個体が蔵卵していたことを報告している。結果で述べるように, イネ科雑草地(つくば市)の調査では越冬世代の飛来時期は明確ではなかった。そこで2002~2004年のつくば市では, イタリアンライグラス圃場で越冬世代成虫が初めて採集された日から7日後を産卵開始日として以降の計算を行った。友部町では, イネ科雑草地(友部町)で越冬世代成虫が初めて採集された日から7日後を産卵開始日とした。

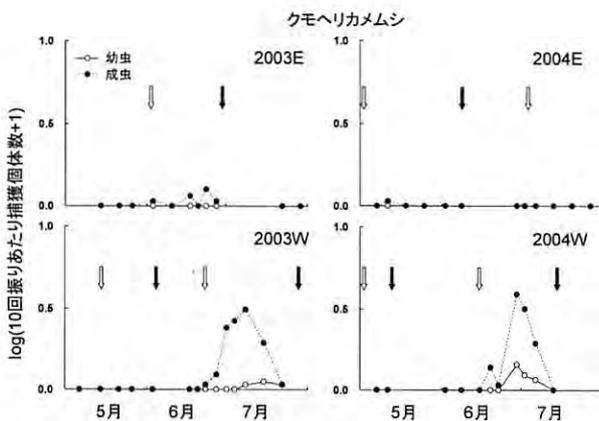


図2 イタリアンライグラス圃場におけるクモヘリカメムシ越冬世代成虫の飛来時期と次世代幼虫の発生時期(2003, 2004年)。

圃場(東西12m南北70m)を東西に2調査区(E区画とW区画)に分け, 時期をずらして地上部を刈り取り再生させる処理を施した。↓: 刈り取り日, 罫: 出穂日。

3) 結果

(1) 発生消長

a) イタリアンライグラス圃場への越冬世代の飛来

クモヘリカメムシ越冬世代成虫の飛来は両年とも6月下旬に出穂した区画のみで明瞭に観察され, 2003年は7月上旬, 2004年は6月末に個体数がピークとなり, 引き続いて幼虫の発生がみられた(図2)。これに対して, ホソハリカメムシの飛来は両年とも調査を開始した5月はじめから7月上旬まで, イタリアンライグラスが出穂するごとに確認されたが, 幼虫は6月下旬までほとんど発生しなかった(図3)。

b) イネ科雑草地(つくば市)での発生消長

クモヘリカメムシは7月以前にはほとんど捕獲されず, 越冬世代成虫の飛来時期は明確でなかったが, 7月末から8月にかけて幼虫の急激な増加とそれに引き続く成虫の増加が起こった(図4)。また, 10月末の調査終了時まで成幼虫が連続的に捕獲された。ホソハリカメムシは6月中にはイタリアンライグラス圃場と同様に成虫のみが観察され, 幼虫はほとんど捕獲されなかった(図5)。また, 7月以降に成幼虫の増加が始まったが, その後も明瞭なピークは観察されなかった。2004年は7月以降しか調査していないが, 他の2年に比べて8~9月のピーク

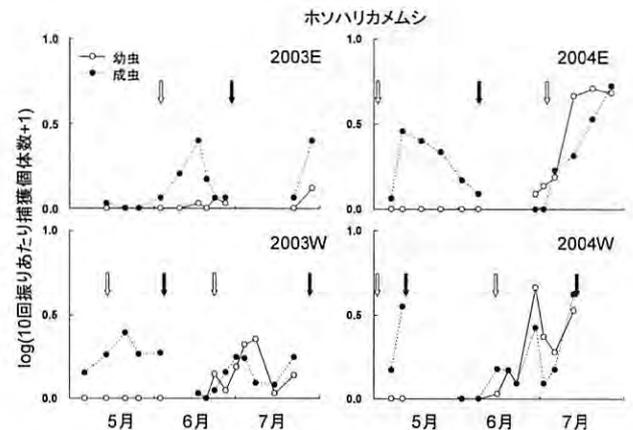


図3 イタリアンライグラス圃場におけるホソハリカメムシ越冬世代成虫の飛来時期と次世代幼虫の発生時期(2003, 2004年)。

圃場(東西12m南北70m)を東西に2調査区(E区画とW区画)に分け, 時期をずらして地上部を刈り取り再生させる処理を施した。↓: 刈り取り日, 罫: 出穂日。

時の成幼虫密度は、クモヘリカメムシでは3～5倍、ホソハリカメムシでは7～10倍と高かった(図4、5)。

c) イネ科雑草地(友部町)での発生消長

2002年には、クモヘリカメムシ越冬世代成虫は7月11日の調査で始めて捕獲され、その後、10月までに明瞭な2山の幼虫ピークとそれに引き続く成虫のピークが認められた(図6)。ホソハリカメムシの発生消長は、イネ科雑草地(つくば市)でのパター

ンとほぼ同様であり、6月から成虫が捕獲されたが、成幼虫の増加は7月に入ってから始まり、その後の個体数ピークはクモヘリカメムシほど明瞭ではなかった(図6)。

(2) クモヘリカメムシ雌成虫の卵巣発育

2002年にイネ科雑草地(つくば市)ならびにイネ科雑草地(友部町)で捕獲したクモヘリカメムシ雌成虫の卵巣発育の継時的変化は、両地点が離れてい

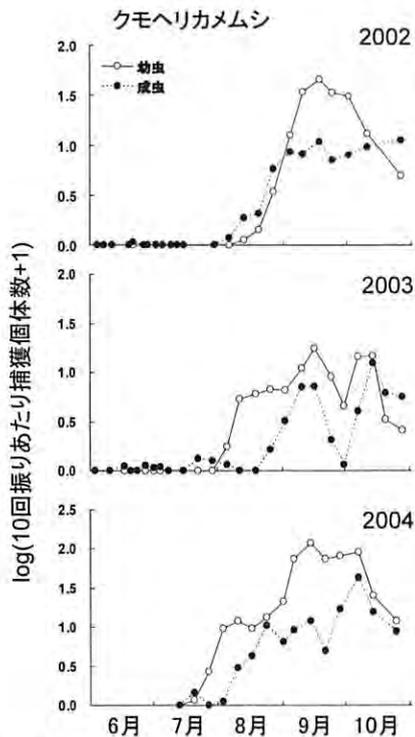


図4 イネ科雑草地(つくば市)におけるクモヘリカメムシ成幼虫の発生消長(2002～2004年)。

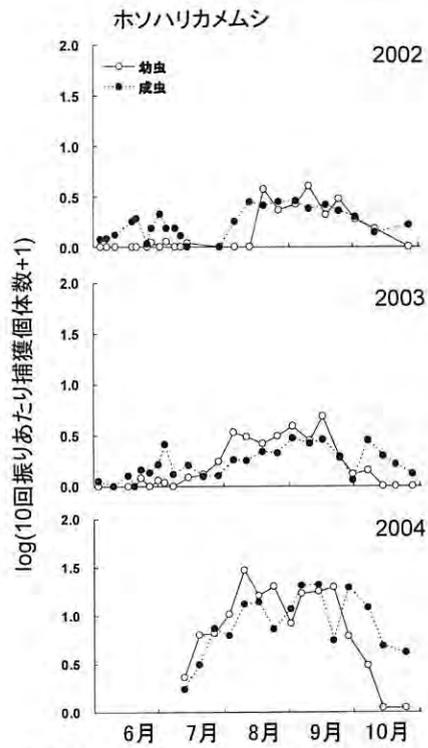


図5 イネ科雑草地(つくば市)におけるホソハリカメムシ成幼虫の発生消長(2002～2004年)

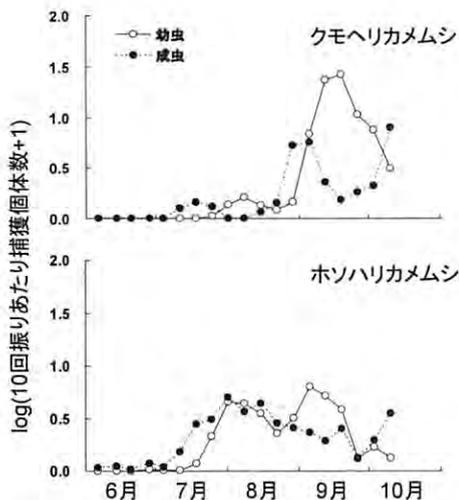


図6 イネ科雑草地(友部町)におけるクモヘリカメムシとホソハリカメムシ成幼虫の発生消長(2002年)。

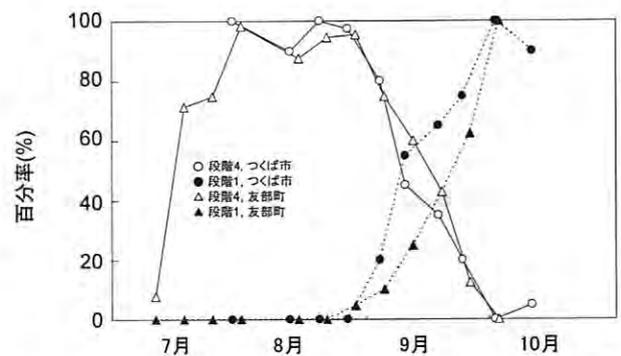


図7 2002年のイネ科雑草地(つくば市)とイネ科雑草地(友部町)におけるクモヘリカメムシ雌成虫の卵巣の発達状態の変化。

段階1：卵巣小管内に卵の形成がまったくみられない発達段階。
段階4：成熟卵が輸卵管内に存在する発達段階。

るにもかかわらず、きわめて良く似ていた(図7)、越冬世代成虫は両イネ科雑草地に飛来後に卵巣発育が起こり、個体群の蔵卵雌率(段階4の個体の割合)は7月下旬にほぼ100%に達した。8月中旬にいったん蔵卵雌率は低下したがすぐに90%以上になった。しかし、9月はじめから蔵卵雌率が急速に低下するとともに卵巣未発達(段階1)個体の割合が増加し、9月末に採集された個体はすべて卵巣未発達であった。

(3) 有効積算温度を用いた世代区分

2003年に行った飼育実験から、クモヘリカメムシ雌成虫の平均産卵前期間D(日)と飼育温度t(°C)との関係は $1/D=0.0065(t-15.0)$ ($R^2=0.98$)となり、クモヘリカメムシの産卵前期間の発育零点は15.0°C、有効積算温度は153.9日度と計算された。

2002~2004年のつくば市および2002年の友部町におけるクモヘリカメムシの世代区分を推定した(表1)。クモヘリカメムシ越冬世代成虫の侵入開始はいずれの年も6月下旬から7月上旬であるが、その後の気温変動は大きく、第1世代成虫および第2世代成虫の出現開始はそれぞれ8月5~28日、9月7日~10月17日と年次間差が大きかった。

4) 考察

2003~2004年のクモヘリカメムシの越冬世代成虫は、5月~6月中旬に出穂したイタリアンライグラスではほとんど捕獲されず、6月下旬出穂の区画でのみ6月末から7月上旬にかけて個体数の増加が認められた(図2)。また2002年にイネ科雑草地(友部町)で行った個体数調査においても、クモヘリカメムシ越冬世代成虫は7月上旬から捕獲された(図6)。渡邊ら⁽¹⁸⁹⁾が2002年にイタリアンライグラス圃場でクモヘリカメムシ越冬世代成虫の飛来を確認したのも7月上旬であった。一方、ホソハリカメムシの越冬世代成虫はいずれの年も5月から発生が認められた(図3, 5, 6)。以上の結果は、ホソハリカメムシとクモヘリカメムシの越冬地から寄主植物への移動時期が種間で異なることを示している。

伊藤⁽⁵⁰⁾は、ホソハリカメムシの越冬場所から寄主植物への移動は、4月中~下旬で半旬平均気温が約15°Cになる時期に起こるとしている。クモヘリカメムシ越冬世代成虫の飛来を確認した時期は初夏から盛夏にかけての気温の急激な上昇期にあたり、ク

表1 有効積算温度によるクモヘリカメムシ各世代の推定発生開始日

世代	つくば市			友部町
	2002	2003	2004	2002
越冬世代 ^a	7月9日	7月1日	6月26日	7月11日
第一世代	8月5日	8月28日	8月7日	8月8日
第二世代	9月23日	10月17日	9月7日	10月4日

^aつくば市のイタリアンライグラス圃場またはイネ科雑草地(友部町)で越冬世代成虫が初めて採集された日。この日から7日後を産卵開始日として以降の世代の発生開始日を推定した。

モヘリカメムシでも気温の上昇が越冬成虫の寄主植物への移動の刺激となっている可能性がある。つくば市におけるクモヘリカメムシの2002~2004年の移動開始時期の半旬平均気温は、それぞれ22.1, 22.3, 22.6°C、友部町(2002年)では22.8°Cであり、ホソハリカメムシと比較すると移動開始時期の平均気温は約7°C高い。

ホソハリカメムシ越冬世代成虫は、4~5月に越冬地から春のイネ科雑草(スズメノテッポウ *Alopecurus aequalis* Sobol., スズメノカタビラ *Poa annua* L., カズノグサ *Beckmannia syzigachne* (Steud.) Fernald等)に移動して摂食する⁽⁵⁰⁾。ホソハリカメムシの成熟卵蔵卵雌の割合は5月中旬から上昇し、6月上旬には80~90%となる^(25, 50, 109)。ただし、本種の産卵数は6月下旬までは少なく⁽²⁵⁾、幼虫の本格的な増加は6月下旬~7月に認められている^(25, 50)。調査した5月はじめから7月上旬まで、イタリアンライグラスが出穂するごとにホソハリカメムシ越冬世代成虫の飛来は確認されたが、幼虫は6月下旬までほとんど発生しなかった(図3)。また、ホソハリカメムシの脂質含量は6月上旬ごろに年間を通じて最も高い値となることが明らかにされている⁽⁵⁴⁾。春のイネ科雑草は6月上旬に少なくなり、その後はヒエ類やメシバなど夏のイネ科雑草が出穂するまで好適な寄主植物が少ない時期となるが、春のイネ科雑草を摂食できれば、その後餌がなくても7月下旬までかなりの割合の越冬世代成虫が生存できる可能性が指摘されている⁽⁵³⁾。これらのことから、ホソハリカメムシ越冬世代成虫の卵巣成熟、生存およびその後の増殖には、イタリアンライグラスよりも6月中旬くらいまで利用できるイネ科雑草が重要な影響を与えていることが示唆される。

一方、クモヘリカメムシは、イタリアンライグラ

ス圃場に6月末から7月上旬にかけて初めて飛来した後、卵巣を速やかに成熟させて増殖した(図2)。クモヘリカメムシの増殖に好適な寄主は一部のイネ科植物に限られており、イネ以外にはメヒシバ、イヌビエ、エノコログサなどが報告されている⁽¹⁰⁾。これら夏のイネ科雑草は、調査地付近では7月以降に出穂が始まる。イタリアンライグラスの穂は、越冬成虫の出現開始から夏のイネ科雑草の出穂までの期間に豊富に存在する数少ない寄主植物である。これらのことから、クモヘリカメムシ越冬世代成虫の卵巣成熟やその後の増殖には、イタリアンライグラスが重要な影響を与えていることが示唆される。卵巣を発達させるときに利用する寄主植物の種間の違いが、近年の発生の増加傾向の違いを生じさせている要因である可能性がある。

両種とも2004年のイネ科雑草地(つくば市)における侵入次世代の発生量は他の調査年の発生量の数倍程度となった(図4, 5)。イタリアンライグラス圃場への越冬世代の侵入量には大きな年次変動はみられず、冷夏であった2003年以外の2年間の夏の気温に極端な差はなかった。発生量の変動に関しては、気温以外の要因、たとえば寄主植物の状態(発生量、餌としての質)、天敵類の動態なども考慮する必要がある。

2002~2004年のつくば市および友部町におけるクモヘリカメムシ越冬世代成虫の侵入開始時期ならびに有効積算温度を利用した世代区分から、本種は茨城県中南部では年2世代発生していると推定された(表1)。しかし、年によっては第1世代成虫の推定発生時期が8月末になった。雌成虫の蔵卵率は9月以降急速に低下したが、これは短日による生殖休眠の誘導によると考えられる。したがって、越冬世代の侵入時期やその後の気温推移によっては、第1世代がほとんど蔵卵せず生殖休眠に入り越冬する年がある可能性が示唆される。

つくば市周辺の一般水田では、主に品種コシヒカリが4月末~5月上旬に移植される。本報告Ⅱ章-3で論じるように、水田へのクモヘリカメムシの成虫の侵入に好適な時期は、出穂始めからの有効積算温度(下限10℃)が50~300日度(出穂後数日から20日後頃)の時期であり、侵入最適期は、50~150日度(出穂後数日から10日後頃)の時期である。この侵入最適期は、5月上旬にコシヒカリを移植した

中央農研水田圃場またはつくば市内の農家圃場では、2002, 2004年は7月下旬~8月上旬、冷夏の2003年は8月中旬であり、いずれの年も第1世代成虫の羽化開始時期の推定日の前に終わっていた。したがって、本地域で通常第1世代成虫の羽化ピーク頃と重なる8月中旬に出穂する作付けをした場合は、クモヘリカメムシの侵入を受けやすくなると推測され、逆に、7月中旬以前に出穂する作付けをした場合は、越冬成虫の飛来侵入を受ける可能性がある。当地域でのコシヒカリは耕種的にはクモヘリカメムシの被害を受けにくい時期に作付けされていると言えよう。

2. 水田に設置した網枠内におけるクモヘリカメムシ 個体数と斑点米発生数との関係およびその変動 要因

1) はじめに

Ⅱ章-1で示したように、クモヘリカメムシは、水田外のイネ科雑草群落を発生源とし、水田には出穂後に侵入して産卵、増殖する。このため、出穂後の水田におけるクモヘリカメムシの密度と斑点米発生数との関係および本種の密度変動要因を明らかにすることは、被害防止対策を構築するうえできわめて重要である。

水田内の斑点米カメムシ類密度と斑点米発生率との関係を求める場合、通常、捕虫網を用いたすくい取り調査で得られるすくい取り個体数が利用されている。中沢ら⁽¹¹⁾は、クモヘリカメムシが主に発生している水田において、すくい取り個体数に対する斑点米発生率の回帰直線を求め、登熟前半に比べて登熟後半の捕獲数の寄与率が高いことを見出した。そして、斑点米カメムシ類の密度と斑点米発生数との関係の変動要因として、カメムシの齢期による加害能力の差異や登熟段階が異なるイネに対する加害量の差異などを挙げているが、十分な検討は行われていない。

斑点米カメムシ類のすくい取り効率は、クモヘリカメムシ成虫では8~31%、ホソハリカメムシ成虫では16~38%とされている⁽⁷⁾。また、斑点米カメムシ類や斑点米の水田内分布には偏りがあるとされている^(9, 56, 111, 117, 127, 209, 201)。これらの報告から、斑点米カメムシ類の密度調査法ならびに斑点米発生数調査法の推定精度自体も、水田内の斑点米カメムシ類の密

度と斑点米発生数との関係を不明確にしている要因の一つであると考えられる。

クモヘリカメムシの個体数と斑点米発生数との関係を精度良く調査することを目的として、小型の網枠を用いた短期間の放飼試験が行われており、齢期やイネの登熟状態によって発生する斑点米数が異なることが明らかにされている^(5, 124, 152, 186, 203)。ただし、これらの放飼条件は、クモヘリカメムシの発育やイネの登熟の進行とともにクモヘリカメムシの生存率が変動する水田内の状態と大きく異なる。このため、その結果をクモヘリカメムシの密度推定に基づく斑点米発生数予測に直接反映させることは難しい。

そこで、カメムシの動態と斑点米の発生数との関係を実際の水田により近い状態で、かつできるだけ高い精度で調査することを目的として、水田内に設置した網枠内にクモヘリカメムシの卵を放飼した後、ふ化卵数、収穫時生存個体数を調査して斑点米発生数との関係を解析するとともに、水田におけるこれらの関係の変動要因について考察した。

2) 材料と方法

実験に用いたクモヘリカメムシは、2003年7月25日～8月8日に、茨城県つくば市観音台の筑波農林研究団地の資材置き場のイネ科雑草群落において数回に分けて100頭以上採集した。そして、自然日長のガラス室内（気温20～30℃、上限温度は空調装置により制御）に置いた網箱内（60×60×100cm、目合1mmのポリエチレン製防虫網で作成）において、イヌビエ、エノコログサおよびメヒシバを与えて飼育した。3種のイネ科雑草は、出穂している株を数日おきに野外から掘りとり、1/5,000aワグネルポットに植え替えて用いた。

放飼試験に適した産卵基質を選ぶために予備試験

を実施した。上述の網箱内に、クモヘリカメムシ成虫と3種イネ科雑草および1/5,000aワグネルポットで栽培した出穂しているイネを入れ、2日間産卵させた。その後、卵塊が付着した葉全体を葉と葉鞘の境から1～2cm下の部位で切り取り、水に挿して同じガラス室内に3日間保持した。次に、これらの葉の卵塊が付着した部分を、約1cmの長さに切り取り、ピンセットを用いて荷札用の薄いプラスチックラベル（2×4cm、以下ラベルと呼ぶ）に接着剤（コニシ株式会社、ボンド木工用）で貼り付けた。これらの作業を進める間にイネの葉は乾燥により強く巻き込むことが多く、ラベルに貼付するためにピンセットで展葉すると葉上の卵が脱落することがあった。イヌビエ、エノコログサ、メヒシバでは、イネに比べて葉の巻き込みの程度が弱く、ラベルへの貼付作業中の卵の脱落は少なかった。そこで本研究では、産卵基質として、これら3種のイネ科雑草を用いることにした。

放飼試験は2003年に茨城県谷和原村にある中央農研水田圃場で行った。圃場には5月8日にイネ（品種：コシヒカリ）を30×18cm間隔で移植し、慣行に従って栽培したが、殺虫剤は使用しなかった。7月上旬に全体を3ブロックに区切り（面積各6.6a）、鉄枠（1.6×1.6×1.5m）を各ブロックに7個、1枠あたり40株が入るように設置した（図8）。出穂が始まる直前（8月1日）に鉄枠を目合1mmのポリエチレン製防虫網で覆って放飼試験に供した。防虫網で覆う際に、枠内に生息する節足動物等の除去は行わなかった。圃場全体の穂の10～20%が出穂した日、すなわち出穂始め（星川⁽³⁶⁾の定義による）は、8月6日であった。なお、同時に出穂した隣接水田で登熟期間中にクモヘリカメムシをすくい取り調査したが、自然発生した個体は捕獲されなかった。

網枠内に放飼する卵は以下のように準備した。クモヘリカメムシを飼育している網箱内に、8月8日に3種イネ科雑草を入れ、8月11日、15日、18日に、卵塊が付着した葉全体を予備試験と同様の部位で切り取り、水に挿してガラス室内に保持した。そして、8月18日にこれらの葉の卵塊が付着した部分を、予備試験と同じ方法でラベルに貼り付けた。ラベル1枚あたりの卵数は6、12、18、24、30、36の6段階とし、それぞれ3反復分準備した。ふ化日のばらつきを等しくするため、どのラベルにも、8月11、15、



図8 水田内に設置した網枠

18日に採集した卵塊を貼付し、それぞれの卵塊の卵数が全卵数の1/3になるように、余分な卵はピンセットで除去した。その後、ラベルは湿らせたろ紙とともに密閉可能なプラスチック容器に入れ、上述のガラス室内に翌朝まで保存した。

本報告のⅢ章-3で述べるように、水田では胚乳の生長が縦または幅伸長途中の段階の籾が最も多くなる時期からクモヘリカメムシ幼虫の発生が確認されるようになる。そこで、試験水田のイネがこの登熟段階に到達したと推定された8月19日（出穂始めから13日後、13日間の平均気温23.0℃）に卵の放飼を開始した。卵を貼り付けたラベルは、付属している針金を用いて、網枠内中央のイネ株の止葉葉鞘に1枚取り付けた。無放飼区としてラベルを取り付けない網枠も設定した。クモヘリカメムシのふ化は放飼当日から始まった。卵のふ化が終了していた8月25日（出穂始めから19日後）にラベルを回収した。ラベルをイネに取り付けていた期間中の平均気温は25.5℃であり、降雨はなかった。なお、別途7日間室内で、ラベルに貼り付けた卵塊が付着した葉片を観察し、葉片および卵の脱落がないことを確認した。

回収されたラベル上の卵を未ふ化卵、ふ化済みの卵および消失卵に分類して計数した。卵殻が開き、内部が空の卵をふ化済みの卵、未ふ化卵およびふ化済みの卵以外を消失卵とした。消失卵には卵殻が完全に消失した卵の他、卵殻の一部あるいは大部分が破損した卵が含まれる（図17）。消失卵のふ化の有無は判定できない。そこで本実験では便宜的にふ化済みの卵数を推定ふ化数とした。未ふ化卵は回収後、25℃の恒温室に2週間保持して卵寄生蜂の出現の有無を調査した。卵保持期間中に新たなクモヘリカメムシ幼虫のふ化はなかった。9月16日（出穂始めから41日後）に網枠内のクモヘリカメムシ生存個体数を全数調査し、イネを全株刈り取った。なお、全生存個体のうち成虫は69頭、5齢幼虫は1頭であった。そこで、網枠毎に羽化成虫数と5齢幼虫数を合計し、収穫時生存個体数として解析した。

刈り取ったイネは脱穀し、得られた籾を玄米（粒厚1.8mm以上）に調整した後、網枠ごとに全玄米重とそこから抽出した玄米2,000粒の重さを測定し、網枠内の玄米粒数を推定した。さらに、全玄米中の斑点米数を調査した。本研究では奈須田⁽¹¹³⁾の報告を参考に、カメムシの加害による斑紋が認められた

玄米を斑点米と定義した。

クモヘリカメムシの各发育段階の個体数（放飼卵数、推定ふ化数、収穫時生存個体数）の間の関係、およびそれらと斑点米発生数との関係は単回帰分析を用いて検討した。また密度依存性は、推定ふ化率と収穫時生存個体数に0.5を加えて対数変換した後に、単回帰分析を用い推定した。これらの解析には、統計解析ソフトウェアStatView for Windows ver. 5.0⁽¹⁴¹⁾を用いた。

3) 結果

推定ふ化率（推定ふ化数/放飼卵数×100）のヒストグラムは、0～20%と80～100%の階級の頻度が高い分布を示した（図9）。そのため推定ふ化数は、同じ放飼卵数の網枠間でも変動が大きくなった（図10）。推定ふ化率が0%に近い6つの網枠のデータを除くと、放飼卵数と推定ふ化数との間の単回帰分析結果は、回帰係数が0.87、切片が-1.02となり（ $R^2=0.93$ 、図10）、切片の値は $y=0$ との間に有意差が認められなかった（ t 検定、 $P>0.05$ ）。推定ふ化率が0%に近い6つの網枠では、ふ化済み卵以外は全て消失卵であり、ラベル上には、卵殻の破片の一部が残っている場合が多かった。また、放飼したいずれのラベル上にも卵寄生蜂に寄生された卵は観察されなかった。

幼虫生存率（収穫時生存個体数/推定ふ化数×100）は、20～40%の階級にピークを持つ分布を示した（図9）。推定ふ化数が0であった3つの網枠のデータを除いた場合の、推定ふ化数に対する収穫時生存個体数の回帰係数の値は0.96と1に近く（ $R^2=0.57$ 、図11）、本実験における放飼密度の範囲内では、密度依存的な死亡⁽⁸⁶⁾は検出されなかった。

放飼卵数に対する斑点米発生数の単回帰分析は有意であったが（分散分析、 $P<0.05$ ）、決定係数は0.20と低かった（図12上段）。推定ふ化数に対する斑点米発生数の回帰直線の回帰係数は3.9、切片は8.5であった（ $R^2=0.68$ ）。切片の値は $y=0$ との間に有意差が認められなかった（ $P>0.05$ ）。そこで、原点を通る回帰直線をあてはめると、回帰係数は4.4となった（ $R^2=0.86$ 、図12中段）。収穫時生存個体数に対する斑点米発生数の回帰直線については、回帰係数は8.1、切片は15.2となり（ $R^2=0.81$ 、図12下段）、切片の値は $y=0$ との間に有意差が認められた（ $P<$

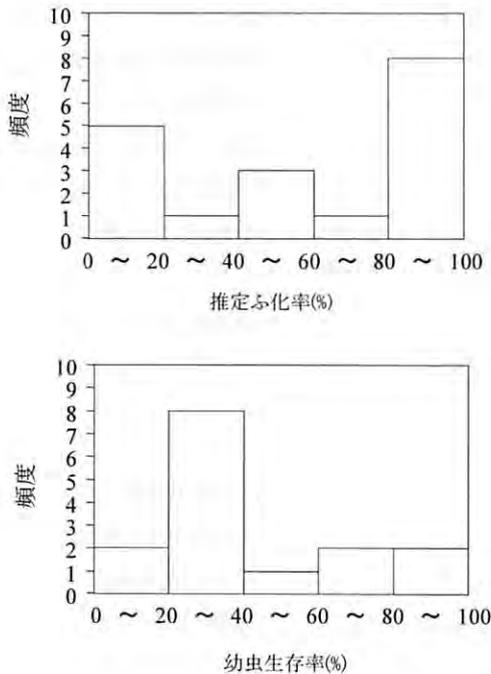


図9 水田内に設置した網枠内のクモヘリカメムシ推定ふ化率（推定ふ化数／放飼卵数×100）および幼虫生存率（収穫時生存個体数／推定ふ化数×100）のヒストグラム。

推定ふ化数：回収されたラベル上のふ化済みの卵数。
階級の区切りの値は上位の階級に属す。ただし、100%のみは下位の階級に属す。

0.05)。

クモヘリカメムシの卵を放飼した網枠内に発生した斑点米の割合は、0%から0.35%の間であった。無放飼区の網枠内には斑点米が発生しなかった（表2）。

4) 考察

放飼したクモヘリカメムシ卵の推定ふ化率のヒストグラムは0~20%と80~100%の階級の頻度が高い分布を示した（図9）。放飼卵数に対する推定ふ化数の散布図では、同じ放飼卵数の網枠間の推定ふ化数の変動は大きかった（図10）。推定ふ化率が0%に近い6つの網枠のデータを除いた場合、放飼卵数に対する推定ふ化数の回帰直線の回帰係数および決定係数は1に近かった（図10）。したがって、推定ふ化率が高いこれらの網枠では、放飼卵のほぼ全てがふ化したと考えられた。一方、推定ふ化率が0%に近い6つの網枠では、ふ化済み卵以外は全て

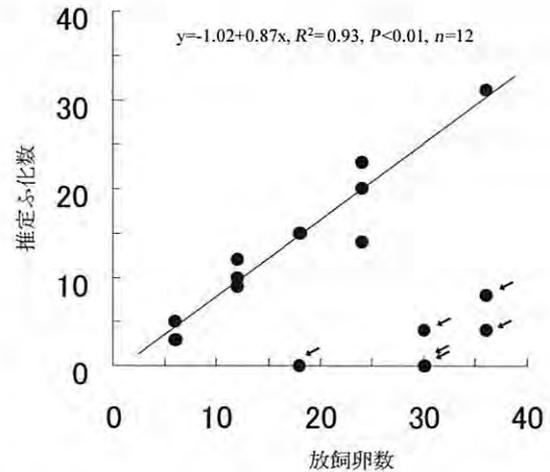


図10 水田内に設置した網枠内における放飼卵数と推定ふ化数との関係

推定ふ化数：回収されたラベル上のふ化済みの卵数。
回帰直線は矢印で示したデータを除いて求めた。

消失卵であった。したがって、消失卵を発生させた要因が、放飼卵数に対する推定ふ化数の変動を大きくしたと考えられた。

マレーシアの水田において、タイワンクモヘリカメムシ *Leptocoris oratorius* Fabricius の卵の放飼試験を行った Ito et al. (55) の報告では、卵殻の破片を残して消失した卵が観察され、捕食性天敵として、ササキリ類の一種 *Conocephalus longipennis* (de Haan) が重要である可能性が指摘されている。本実験では、収穫時の網枠内にササキリ類やコモリグモ類など複数種の捕食性天敵が生息していた。回収したラベル上に、卵殻の破片を残して消失した卵が多数観察された。これらのことから、消失卵の発生要因は捕食性天敵である可能性が高いと考えられる。ただし、その種類についてはさらに検討する必要がある。

ミナミアオカメムシの卵期の死亡要因として、卵寄生蜂や捕食者などの天敵類、台風などの気象要因、ふ化前の生理的要因が挙げられており (72)、クモヘリカメムシについてもこの3つが考えられる。しかし、推定ふ化率が0%に近い6つの網枠では、未ふ化卵および卵寄生蜂による寄生卵は認められなかった。したがって、卵寄生蜂やふ化前の生理的要因が、水田におけるクモヘリカメムシの卵期の生存率の変動を大きくしている可能性は低いと考えられる。なお、ラベルをイネに取り付けていた期間中に台風の通過はなく、天候は安定していたため、本実験では

表2 網枠ごとの玄米重と斑点米発生数

放飼卵数	玄米重 ^a (g)	玄米粒数 ^b	斑点米発生数	斑点米発生率(%)
6	910	45,255	24	0.05
	899	45,168	16	0.04
	988	48,890	2	<0.01
12	910	44,595	31	0.07
	966	46,792	62	0.13
	698	34,740	24	0.07
18	888	44,114	67	0.15
	863	43,062	28	0.07
	725	35,423	0	0
24	959	46,660	75	0.16
	768	38,152	96	0.25
	881	43,120	72	0.17
30	974	47,461	9	0.02
	854	41,460	48	0.12
	957	46,839	0	0
36	898	44,562	155	0.35
	956	47,757	49	0.10
	955	46,953	83	0.18
0	852	41,564	0	0
	892	42,650	0	0
	966	46,801	0	0

^a 粒厚1.8mm以上.

^b 玄米粒数: 網枠内の玄米重/抽出した2000粒の玄米重×2000.

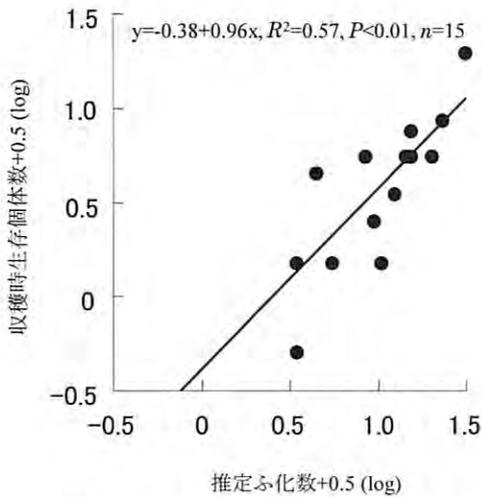


図11 水田内に設置した網枠内における推定ふ化数と収穫時生存個体数との関係.

推定ふ化数：回収されたラベル上のふ化済みの卵数.

台風の影響について検討できなかった。卵期の死亡要因については次の実験以降でさらに検討を行う。

斑点米カメムシ類の幼虫期の水田内における死亡要因については、Kiritani⁽⁷²⁾によって調査されたミナミアオカメムシ以外には詳細な報告はない。ミナミアオカメムシの幼虫期の死亡要因として、クモ類

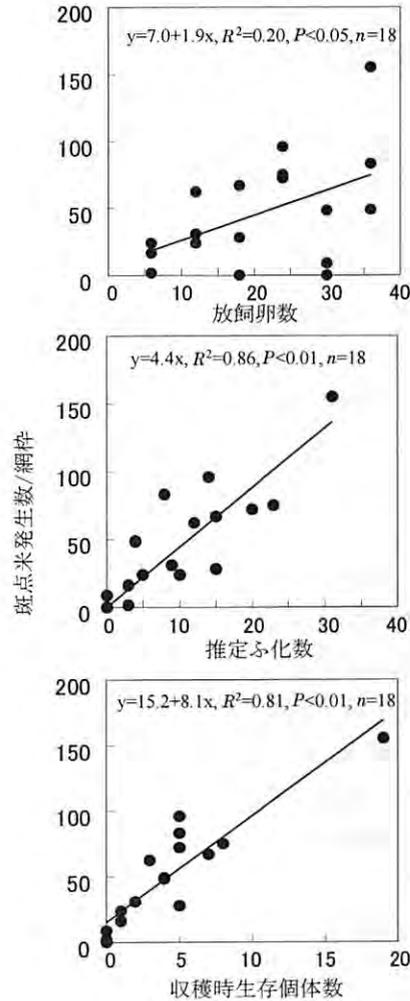


図12 水田内に設置した網枠内における放飼卵数、推定ふ化数および収穫時生存個体数と斑点米発生数との関係.

推定ふ化数：回収されたラベル上のふ化済みの卵数.

やカエル類などの天敵類、台風などの気象要因、脱皮の失敗等が挙げられ、老齢幼虫では密度依存的な死亡があることが報告されている^(72, 73)。また、ミナミアオカメムシでは、幼虫期の生存率の変動は小さく、齢期別生存率の推定が可能であることが報告されている⁽⁷⁵⁾。本実験では、クモヘリカメムシ幼虫について個々の死亡要因は検討できなかったが、放飼した密度の範囲内では密度依存的な死亡は検出されなかった(図11)。また、幼虫生存率のヒストグラムは20~40%の階級にピークを持つ分布を示し、半分以上の網枠がこの階級に含まれていた(図9)。さらに、推定ふ化数に対する収穫時生存個体数の回帰直線の決定係数は高かった(図12)。これらの結果は、クモヘリカメムシの幼虫期の生存率の

変動が小さいことを示唆している。

推定ふ化数に対する斑点米発生数の原点を通る回帰直線を求めたところ、回帰係数は4.4であった(図12)。したがって、放飼から刈り取りまでの29日間に、ふ化幼虫1頭あたり4.4粒(1日当り0.15粒)の斑点米が発生したと推定された。これまでも、1日1頭あたり斑点米発生数のカメムシ種間の比較を目的として、小型の網枠を用いた放飼試験が行われている^(5, 124, 186, 203)。そして、クモヘリカメムシ成虫による1日1頭あたりの斑点米発生数は0.09~1.3粒であるとまとめられている^(67, 108)。これらの値は特定の登熟段階のイネに短期間クモヘリカメムシを放飼して求められている。本実験で求めたふ化幼虫1頭あたり斑点米発生数の推定値は、水田内個体群のふ化幼虫期から成虫までの生存率も加味した斑点米発生数の推定値であり、ふ化幼虫期の密度推定による斑点米発生数予測に有効な情報である。

これまで、侵入世代成虫すくい取り調査に基づくふ化幼虫密度の推定が試みられている。しかし、清水・丸⁽¹⁵¹⁾は千葉県におけるすくい取り調査結果を解析して、クモヘリカメムシ、ホソハリカメムシでは、侵入世代成虫密度がピークとなる穂揃期から幼虫密度がピークとなる乳熟後期への増加率の変動係数が高かったことを報告している。中筋⁽¹⁰⁸⁾も高知県におけるすくい取り調査結果を解析して、出穂期から乳熟期の斑点米カメムシ類密度の増加率の変動は大きく、出穂時の密度調査結果から以後の密度を予測することは難しいことを報告している。本実験では、網枠を用いた放飼試験を行って放飼卵数と推定ふ化数との関係を解析したが、同じ放飼卵数の網枠間で推定ふ化数の変動は大きく(図10)、この要因として捕食性天敵の効果が考えられた。これまで水田における侵入成虫密度と卵密度との関係の報告はないが、侵入成虫密度と侵入成虫すくい取り個体数との関係については、すくい取り時の水田の状態の違い等の影響が指摘されている⁽⁷⁾。また、清水・丸⁽¹⁵¹⁾は、千葉県内の水田において、斑点米カメムシ類すくい取り調査と抽出した玄米の斑点米発生率調査を行っているが、穂揃期の侵入成虫すくい取り個体数と斑点米発生率との間に相関を認めない。これらのことから、クモヘリカメムシ侵入成虫すくい取り個体数を用いて、ふ化幼虫密度および斑点米発生数を高い精度で推定することは難しいと考

えられる。

本実験では、放飼卵数に対する斑点米発生数の回帰直線の決定係数は低かったが、推定ふ化数および収穫時生存個体数に対する斑点米発生数の回帰直線の決定係数は高かった(図12)。さらに、クモヘリカメムシの幼虫期の生存率には密度依存性は認められなかった(図11)。クモヘリカメムシによる斑点米は主に乳熟期以降の幼虫による加害で生じるとされている⁽¹⁹⁷⁾。清水・丸⁽¹⁵¹⁾は、水田における4回のすくい取り調査結果から求めたクモヘリカメムシ延べ幼虫数と斑点米発生率との間に高い相関を認めている。これらのことから、斑点米発生数を予測するうえで、侵入成虫密度の推定よりもふ化幼虫密度の推定が重要であると考えられる。

3. 水田、ダイズ圃場、圃場外のイネ科雑草群落に設置したクモヘリカメムシ卵の主な死亡要因

1) はじめに

Ⅱ章-2の結果から、クモヘリカメムシの被害予測法を構築するうえで、卵期の死亡要因解明の重要性が示唆された。クモヘリカメムシは水田外のイネ科雑草群落を発生源とし、水田へは出穂後に侵入し、1回増殖する。このため、卵期の主な死亡要因は、イネ科雑草群落と水田との間で異なる可能性がある。しかし、本種の卵期の死亡要因については、これまで水田内の卵寄生蜂種に関する報告⁽¹⁹⁸⁾があるのみで、詳細な検討は行われていない。これは、ダイズ*Glycine max* L.を加害するカメムシ類の卵期の死亡要因が詳細に調査されている^(33, 68, 98, 119, 121, 163, 164)のとは対照的である。

クモヘリカメムシの卵寄生蜂の優占種としてヘリカメクロタマゴバチ*Gryon japonicum* (Ashmead)が知られている^(120, 198)。ヘリカメクロタマゴバチは、クモヘリカメムシの卵以外に、ホソハリカメムシ*Riptortus clavatus* (Thunberg)、ホソハリカメムシ、ハリカメムシ*Cletus rusticus* Stålの卵にも寄生することが知られている⁽¹²⁰⁾。ホソハリカメムシ、ホソハリカメムシ、クモヘリカメムシは、イネやダイズの栽培開始直後から発生するのではなく、ダイズの莢あるいはイネの穂が圃場に現れると、圃場外のイネ科やマメ科植物群落などから飛来して産卵し、増殖する^(49, 114)。定期的にホソハリカメムシ卵をダイズ畑の周辺部のマメ科植物に設置した場合には、5月

ごろからヘリカメクロタマゴバチの寄生が認められること、ダイズ圃場に設置した場合には、ダイズの開花が終わり、莢が伸び始めた時期に寄生が認められることが報告されている⁽¹²¹⁾。

そこで、水田、ダイズ圃場、圃場外のイネ科雑草群落においてクモヘリカメムシの卵を人為的に設置するいわゆる「おとり法」を継続的に行って、クモヘリカメムシ卵のふ化卵率、寄生卵率および消失卵率の消長を調査し、卵寄生蜂や捕食者などの天敵類、台風などの気象要因、ふ化前の生理的要因が本種の死亡率に与える影響について検討した。

2) 材料と方法

調査は2003年7～9月に中央農研および隣接している農業生物資源研究所内で行った。クモヘリカメムシ卵を設置する場所として、水田、ダイズ圃場、圃場外のイネ科雑草群落2カ所（以下、雑草地A、雑草地B）、の4カ所を選定した。これらは互いに少なくとも200m、最大900m離れていた。雑草地A（約300m²）は、II章-1のイネ科雑草地（つくば市）と同じ場所である。雑草地B（約1,000m²）は、サワラ（ヒノキ科）の防風林に隣接した場所で、一部が資材置き場となっていた。雑草地A、Bいずれも春季から調査終了まで除草をしなかった。

水田（面積500m²）には、5月14日に水稻（品種、コシヒカリ）を移植し、殺虫剤無散布で栽培した。ダイズ圃場（800m²）には、6月1日に大豆（品種、タチナガハ）を播種し、殺虫剤無散布で栽培した。水田、雑草地Aでは毎週、雑草地Bでは月に2回、クモヘリカメムシ、ホソハリカメムシの発生量を直径36cmの捕虫網を用いたすくい取りにより調査した。なお、ダイズ圃場にはクモヘリカメムシは発生しないが、クモヘリカメムシの卵寄生蜂の優占種であるヘリカメクロタマゴバチは、ダイズ害虫のホソハリカメムシ卵にも寄生するのでダイズ圃場も調査区とした。

前実験と同様に、卵を採集するためのクモヘリカメムシ成虫を飼育した。採卵は、2日おきに行い、卵塊が付着した葉はポリエチレンの袋に入れて14℃に保存した。そして、野外に卵を設置する直前に、イネ科植物の葉の卵塊が付着した部分を、前実験と同様の方法でプラスチックラベル（9×4.5cm、以下ラベルと呼ぶ）に貼り付けた。ラベル1枚あたり



図13 クモヘリカメムシ卵が産み付けられたイネ科植物葉片を貼付したラベル。

の卵数は14卵に調整した。

7月15日～9月9日の間に、4日おきに、雑草地A、Bでは農業用の支柱（長さ1m、太さ1cm）を約7m間隔で8本立て、水田、ダイズ圃場ではイネまたはダイズの株を同じ間隔で8株選び、それぞれに卵を貼り付けたラベルを1枚、付属している針金を用いて、地上または水上30～60cmの高さに取り付け付けた（図13）。取り付け付けたラベルは4日後に回収し、試験管（直径13mm、長さ9cm）に湿らせたろ紙片とともに入れて、25℃に保った。4週間後、実体顕微鏡を用いて卵殻の状態や卵の内部を観察して、ふ化しなかった卵を寄生卵、死亡要因不明卵、消失卵に分類した。寄生卵は、卵内部に卵寄生蜂幼虫、蛹の発育が認められたか、寄生蜂成虫が羽化した卵とした。死亡要因不明卵は、クモヘリカメムシがふ化せず、卵寄生蜂の幼虫の発育も認められなかった卵とした。消失卵は、卵の一部または全部が消失した卵とした。

消失卵については、消失前の状態が不明であるため、消失卵以外の卵における寄生卵の割合を寄生卵率、死亡要因不明卵の割合を死亡要因不明卵率として計算した。さらに、設置した卵の中の消失卵の割合を消失卵率として計算した。そして、寄生卵率、死亡要因不明卵率、消失卵率の高さや推移を卵設置場所間で比較した。さらに、中央農研に隣接した農業環境技術研究所の総合気象観測データから卵設置期間中の平均気温、降水量を求め、消失卵率との関係を検討した。

3) 結果

雑草地A, B, 水田, ダイズ圃場それぞれに設置した卵のうちの死亡要因不明卵率は, 9~14%, 寄生卵率は7~45%, 消失卵率は27~35%であった。死亡要因不明卵率は, どの場所においても低かった(図14)。

雑草地A(Ⅱ章-1のイネ科雑草地(つくば市)と同じ場所)では, 6月までは一部にイタリアンライグラスの出穂がみられたがわずかであり, 7月以降にメヒシバ, イヌビエ, エノコログサが出穂を開始した。雑草地Aにおける15回の卵設置のうち, 寄生卵が生じたのは10回であり, 8月下旬まではほぼ毎回寄生卵が認められた(図15)。雑草地Aにおけるクモヘリカメムシ, ホソハリカメムシの発生活消長は, 図4, 5に示した。7~9月のクモヘリカメムシ成虫, ホソハリカメムシ成虫の最高捕獲数は, 10回振りあたり1~2頭であった。

雑草地Bでは, 6月下旬以降イヌビエやエノコログサが出穂し, 7月以降には, メヒシバが出穂した。雑草地Bにおける15回の卵設置のうち, 寄生卵が生じたのは14回であり, ほぼ毎回寄生卵が認められた(図15)。クモヘリカメムシ成虫は, 卵設置開始前から発生し, 7~8月は10回振りあたり15~20頭が捕獲された。

水田の出穂始めは8月11日であった。水田における15回の卵設置のうち, 寄生卵が生じたのは3回であった(図15)。寄生卵が連続して認められたのは, 8月14日~22日のクモヘリカメムシ成虫侵入最適期

(有効積算温度(下限10℃)が50~150日度の時期, Ⅲ章-3による)であった。すくい取り調査では, 8月26日に10回振りあたり0.4頭のクモヘリカメムシ成虫を捕獲したが, 他の調査日には成幼虫とも確認できなかった。なお, ホソハリカメムシは捕獲されなかった。

ダイズ圃場のダイズの開花が始まったのは7月下旬であった。ダイズ圃場における15回の卵設置のうち, 寄生卵が生じたのは6回であった(図15)。寄生卵率は, 卵の設置開始直後は0%であったが, 莢が増加した8月24日以降連続して高くなった。

2003年の7~9月は, 平年よりも平均気温が低く, 降水量が多かった。15の卵設置期間中, 12の期間で

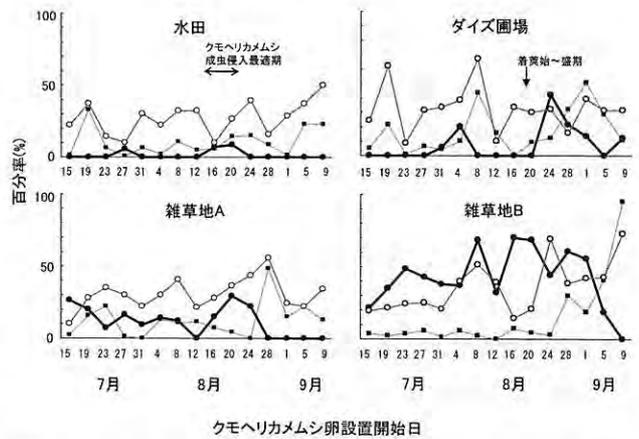


図15 水田, ダイズ圃場, 雑草地A, B, に設置したクモヘリカメムシ卵における寄生卵, 消失卵および死亡原因不明卵率の推移。

●: 寄生卵, ○: 消失卵, ■: 死亡原因不明卵。

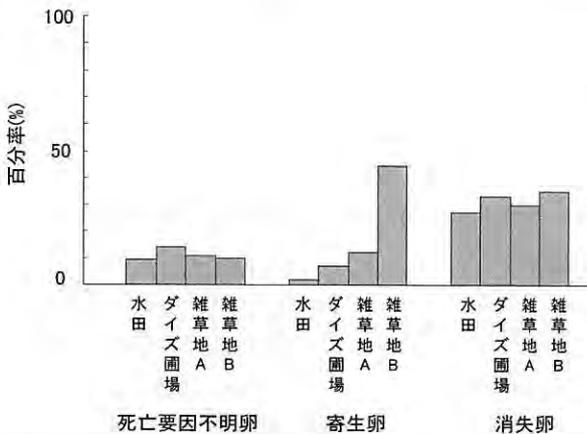


図14 水田, ダイズ圃場, 雑草地A, Bに設置した全卵中の死亡要因不明卵, 寄生卵, 消失卵率。

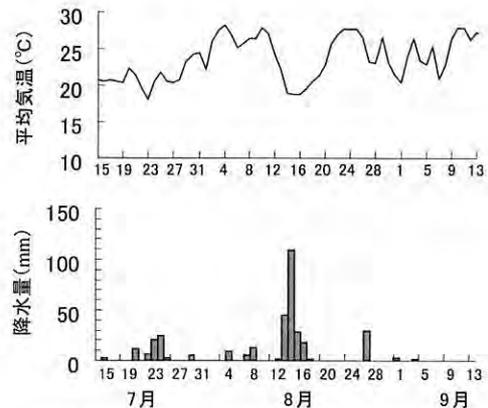


図16 卵の設置期間中の平均気温と降水量の推移。

降雨が観測された（図16）、8月12～16日には、気温が急激に低下し、降水量が増加したが、この期間に設置した卵では消失卵の急激な増加は認められなかった。消失卵率の角変換値と卵設置期間中の平均気温との間の相関係数は、0との間に有意差が認められた（ $r = 0.49$, $n = 60$, $P < 0.01$ ）。一方、消失卵率の角変換値と卵設置期間中の平均風速、降水量との間の相関係数は、5%有意水準で0との間に有意差は認められなかった。

4) 考察

設置したクモヘリカメムシ卵の主要な死亡要因は、ヘリカメクロタマゴバチの寄生と卵の消失であった。死亡要因不明卵率は低かった（図14）。Kiritani⁽⁷²⁾は、卵寄生蜂や捕食者などの天敵類、台風などの気象要因、ふ化前の生理的要因をミナミアオカメムシの卵期の死亡要因として挙げており、クモヘリカメムシについてもこの3つが考えられるが、この中でふ化前の生理的要因による死亡は、クモヘリカメムシの主要な死亡要因ではないと考えられる。

雑草地A、Bでは、卵設置開始前から寄主のカメムシ類の成虫が発生し（図4、5）、15回の卵設置のうち、10～14回でヘリカメクロタマゴバチによる寄生卵が確認された（図15）。寄主カメムシ類の密度が高い雑草地Bの寄生卵率は、寄主カメムシ類の密度が低い雑草地Aの寄生卵率より高い場合が多かった。これらから、ヘリカメクロタマゴバチは、イネ科雑草群落におけるクモヘリカメムシの主な死亡要因と考えられる。

水田やダイズ圃場では、卵設置後しばらくの間、ヘリカメクロタマゴバチによる寄生卵は発生しなかった（図15）。連続して寄生卵が発生したのは、水田では、8月中旬のクモヘリカメムシ成虫の侵入最適期（Ⅲ章-3）の前半であり、ダイズ圃場では、7月下旬の開花が開始したところと莢が増加した8月下旬以降であった（図15）。寄生卵率の最大値は、雑草地A、Bでは30～70%、ダイズ圃場では42%であったが、水田では9%であった。水田でクモヘリカメムシ成虫の発生、産卵に好適な期間は出穂始め以降の数日間とされている（Ⅲ章-3）。一方、ダイズ圃場におけるホソヘリカメムシの産卵期間は1ヶ月程度続いた例がある^(97, 98, 114)。ヘリカメクロタマ

ゴバチ雌成虫の卵から羽化までの期間は25℃で約19日であることが知られている⁽¹²¹⁾。したがって、イネ科雑草群落やダイズ圃場では、本種は数世代を経過して増殖することが可能であると考えられる。一方、水田では、ヘリカメクロタマゴバチは世代を重ねることが難しく、水田内の本種の密度はクモヘリカメムシ侵入好適期ごろの水田外からの侵入量に依存していると考えられる。

中沢・林⁽¹¹⁰⁾は、ホソヘリカメムシの卵を用いたおとり法を行って、ヘリカメクロタマゴバチの寄生は牧草地や休閑畑では認められたが、水田では全く認められなかったことを報告し、水田で寄生卵が認められない要因は、卵寄生蜂が寄主カメムシ類の水田への移動についていけないためと考察している。一方、茨城県北部の水田では、ヘリカメクロタマゴバチによるクモヘリカメムシ卵の寄生卵率が23～83%であった例がある⁽¹⁹⁸⁾。この調査は、クモヘリカメムシが高密度で発生する山沿いの地域で行われている（横須賀、私信）。本調査では、水田と雑草地A、Bとの間は、少なくとも200m離れていた。このことから、水田における寄主密度が高く、卵寄生蜂の生息場所が水田の近くに存在する場合には、水田への卵寄生蜂の侵入量が多くなり、卵寄生蜂の寄生卵率も高くなる場合があると考えられる。

本調査では、消失卵率が寄生卵率や死亡要因不明卵率よりも高い場合が多かった（図15）。卵の設置期間中の降雨は多かったが、消失卵率と卵設置期間中の平均風速や降水量との間に相関は認められなかった。したがって、通常発生する範囲の降雨や強風が卵の主要な消失要因になる可能性は低いと考えられる。

本調査では、卵の一部のみが残った卵や、貼付したイネ科植物が消失したラベルが回収された場合があった。また、卵設置期間中の平均気温が高いと消失卵率が高い傾向が認められた（図15、16）。7～9月の平均気温は平年より低かったことから、気温が高いほど天敵類の活動性が高かった可能性がある。したがって、卵の主な消失要因は捕食性天敵であると考えられる。Ⅱ章-2では、ササキリ類が消失卵の発生要因の一つと推定されたが、ササキリ類は、湿度や日当たりの良さなど環境条件によって生息している種が異なる⁽¹²³⁾。したがって、水田とイネ科雑草群落との間で捕食性天敵の種が異なる可能

性が高い。水田におけるクモヘリカメムシ卵の捕食性天敵の種については被害予測のために特に重要であるので、Ⅱ章-4でさらに検討する。

4. 水田におけるクモヘリカメムシの卵期の捕食性天敵

1) はじめに

ここまでの調査ではクモヘリカメムシの卵期の死亡要因として捕食性天敵の重要性が示唆された。東南アジアでは、タイワンクモヘリカメムシの卵期の捕食性天敵として、ササキリ類の一種 *C. longipennis* とコオロギ類 *Anaxipha* spp. が報告されている^(55, 91, 134)。これらの種は、イネの害虫のコブノメイガ類 (例えば *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée) の卵の捕食性天敵としても知られている⁽⁶⁾。しかし、クモヘリカメムシの卵期の捕食性天敵種がこれまで報告された例はない。

昆虫の卵を野外に設置して、卵期の死亡要因を調査するおとり法は、マレーシアにおいてタイワンクモヘリカメムシ卵の捕食性天敵の *C. longipennis* の研究で用いられている^(55, 91)。また、殺虫剤による天敵除去法は、害虫に対する天敵の影響を評価するために多くの報告で用いられている⁽⁸⁸⁾。さらに、卵塊の摂食痕の特徴の調査は、捕食者の種を推定する有用な方法であるとされている⁽¹⁾。そこで、これら天敵の影響を調査する手法を組み合わせて、クモヘリカメムシの卵期の死亡要因、特に捕食性天敵について調査して、水田におけるクモヘリカメムシの卵期の死亡率の変動要因について考察した。

2) 材料および方法

調査は2004年に茨城県谷和原村にある中央農研水田圃場の水田A (520m²) と水田B (1,000m²) において行った。水田Aと水田Bは互いに570m離れていた。水田Aには4月23日に早生品種の「彩の華」を移植し、水田Bには5月10日に中生品種の「コシヒカリ」を移植した。いずれの水田にも移植後7日に除草剤を散布したが、殺虫剤は実験前には全く散布しなかった。

おとり法で設置する卵は、Ⅱ章-2の方法と同様に、クモヘリカメムシ成虫を飼育して1~2日間隔で採卵した。そして、プラスチックラベル (3×3.5cm, 以下ラベルと呼ぶ) に接着剤で貼り付けた。ラベル1枚あたりの卵数は14卵に調整した。

おとり法を用いた実験を行う際には、水田AとBそれぞれに3つのブロックを設定した後、それぞれのブロックをさらに半分に区切り、殺虫剤処理区、無処理区とした。殺虫剤処理区には、穂揃期に1,000倍に希釈したエトフェンブロックス10%乳剤を0.15リットル/m²散布した。殺虫剤の散布日は、水田Aでは7月15日、水田Bでは8月2日とした。殺虫剤処理区と無処理区それぞれに、21枚のラベル (各区合計294卵) を設置した。ラベルの設置日は、水田Aでは7月16日、水田Bでは8月2日とした。ラベルを設置するイネ株は、互いに1.5m以上の距離をおいて選択し、ラベルに付属している針金を用いて1株に1枚のラベルを取り付けた。クモヘリカメムシ卵塊は、穂に近い止め葉とその次葉に産下される場合が多い⁽¹⁹⁹⁾ので、ラベルを取り付ける位置は、止葉の葉鞘とした。

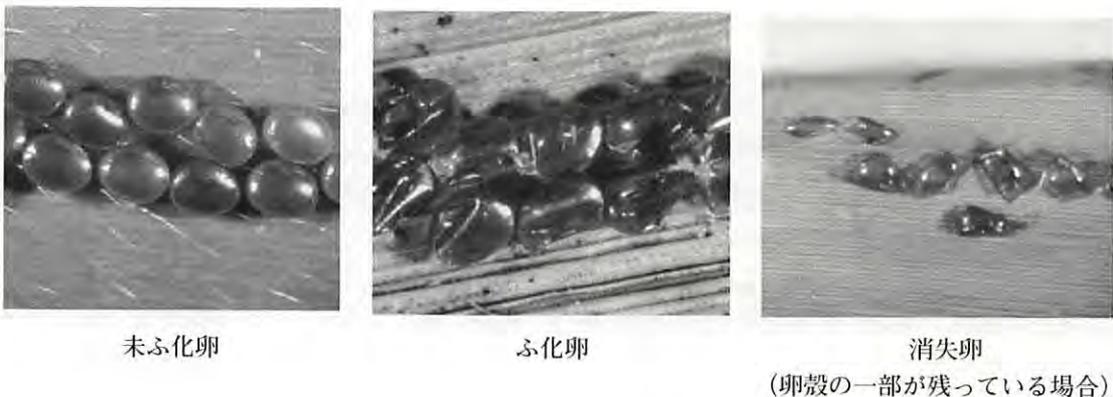


図17 水田に設置したラベル上の未ふ化卵、ふ化卵および消失卵。

設置したラベルは毎日観察し、ラベルごとに未ふ化卵数とふ化卵数を記録した。ふ化卵はその外観から明瞭に未ふ化卵、消失卵と識別できた(図17)。ラベルの回収は卵設置7日後に行った。そして、実顕微鏡を用いて、回収したラベルそれぞれの未ふ化卵数、ふ化卵数を調査した。卵が消失していた場合には、ラベル上に卵殻の破片が残っているかどうか観察して記録した。未ふ化のクモヘリカメムシ卵は試験管に入れて、25℃に保った。そして、3週間後までに卵寄生蜂が羽化した卵または卵内部に卵寄生蜂の蛹が認められる卵の数を寄生卵数として記録した。

回収したラベルにおける未ふ化卵数、ふ化卵数、消失卵数の平均値の差は対応のある t 検定を用いて検定した。消失卵の割合の分布については、水田AとBの殺虫剤処理区、無処理区に分けてヒストグラムに示した。さらに、回収したラベルを消失卵の特徴から3つのタイプ(タイプI、タイプII、その他)に分類して記録した(図18)。すなわち、タイプIは、ラベル上の80%以上の卵(14個中12個以上)が消失し、卵の破片が残っているラベル、タイプIIは、ラベル上の80%以上の卵が消失し、卵の破片が残っていないラベル、その他は、消失卵の割合が80%未満のラベルとした。

水田AとBの殺虫剤処理区と無散布区において、卵の捕食性天敵の可能性のあるバッタ目の昆虫の密度調査を行った。調査は、殺虫剤散布の前に1回(水田A：7月15日、水田B：8月1日)、散布後の

ラベルの設置期間中に2回(水田A：7月18、21日、水田B：8月6、9日)の計3回行った。密度調査方法は、直径36cmの捕虫網の20または30回振りを1単位としたすくい取り調査とし、調査時刻は午前9時ごろとした。捕獲したバッタ目の昆虫は種と発育段階を記録した後、捕獲した場所に戻した。同時に捕獲された斑点米カメムシ類についても種と発育段階を記録した後、調査区に戻した。バッタ目の種は、これまでの報告^(10, 11, 12, 13, 14, 37, 71)を参考に分類した。殺虫剤処理区と無散布区との間のバッタ目の昆虫の捕獲数の平均値の差は、対応のある t 検定で検定した。

水田AとBに生息していたバッタ目の昆虫がクモヘリカメムシの卵塊を摂食した場合に残す摂食痕の特徴を明らかにするために、室内で摂食試験を行った。調査したバッタ目の昆虫は、ウスイロササキリ *Conocephalus chinensis* (Redtenbacher)、クビキリギス *Euconocephalus varius* (Walker)、ツユムシ *Phaneroptera falcata* (Poda) およびコバネイナゴ *Oxya yezoensis* Shirakiの成幼虫である。これらの昆虫は、2004年の7～9月に中央農研の水田圃場ですくい取り法によって捕獲した後、すぐに実験に用いた。なお、水田圃場の生息密度が非常に低い種があったため、摂食試験の反復数は種により9～42とした。

摂食試験は次のように行った。透明なポリエチレンの袋(26×38cm)に、バッタ目の昆虫1頭、水田に設置したものと同様に作製したおとり卵のラベル、湿らせたろ紙を入れ、25±2℃に保った。そし

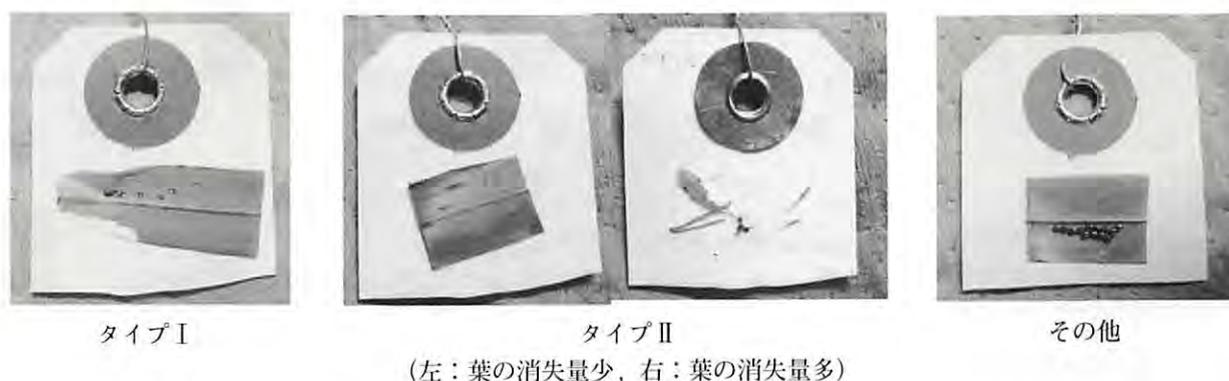


図18 水田に7日間設置したラベルまたは摂食試験後のラベルの3つのタイプ

タイプI：80%以上の卵(14個中12個以上)が消失、卵の破片残る。
 タイプII：80%以上の卵が消失、卵の破片残らない。
 その他：消失卵の割合が80%未満(14個中11個以下)。

て、2日後に摂食された卵の数および摂食された卵塊の特徴を調査した。摂食試験後のラベルの特徴は、上述のタイプⅠ、タイプⅡ、その他の3つに分けて記録した(図18)。タイプⅠまたはタイプⅡを残した個体数の種間の差については、カイ二乗検定を用いて検定した。

3) 結果

水田Aの殺虫剤処理区および無処理区では、ラベルの設置期間中に消失卵数の著しい増加は認められなかった(図19)。水田Aから回収したラベルの消失卵数の平均値±標準誤差は、殺虫剤処理区、無処理区の順に30±6個、53±7個であり、ふ化卵数の平均値は、同じ順に207±14個、225±7個であった。水田Aにおける消失卵数およびふ化卵数の平均値には、殺虫剤処理区と無処理区との間に有意な差は認められなかった(対応のあるt検定; $P>0.05$)。

水田Bの無処理区では、ラベルの設置期間中に消失卵数の著しい増加が認められたが、殺虫剤処理区

では、消失卵数の増加は僅かであった(図19)。水田Bから回収したラベルにおける消失卵数の平均値は、殺虫剤処理区、無処理区の順に21±9個、143±23個であり、ふ化卵数の平均値は同じ順に244±10個、140±19個であった。水田Bにおける消失卵数およびふ化卵数の平均値には、殺虫剤処理区と無処理区との間に有意な差が認められた(対応のあるt検定; $P<0.05$)。

卵寄生蜂 *Gryon* sp. に寄生された卵数の平均値は、水田Bの殺虫剤処理区では1.3±1.3個であった。他の区から回収した未ふ化卵では卵寄生蜂の寄生は認められなかった。

水田から回収したラベルにおける消失卵の割合の頻度分布は、3つのブロックをまとめた場合、水田Aの殺虫剤処理区および無処理区では、いずれも0~20%の階級の頻度のみが高い一山型であった(図20)。一方、水田Bでは、殺虫剤処理区と無処理区との間で分布の違いが認められ、殺虫剤処理区では0~20%の階級の頻度が高い一山型、無処理区では0~20%と80~100%の階級の頻度が高い二山型であった(図20)。消失卵が多かった水田Bの無処理区では、タイプⅠのラベルは平均7.7±0.3個、タイプⅡのラベルは平均1.7±1.2個であり、2つのタイプのラベル数の間に有意な差が認められた(対応のあるt検定; $P<0.05$)。

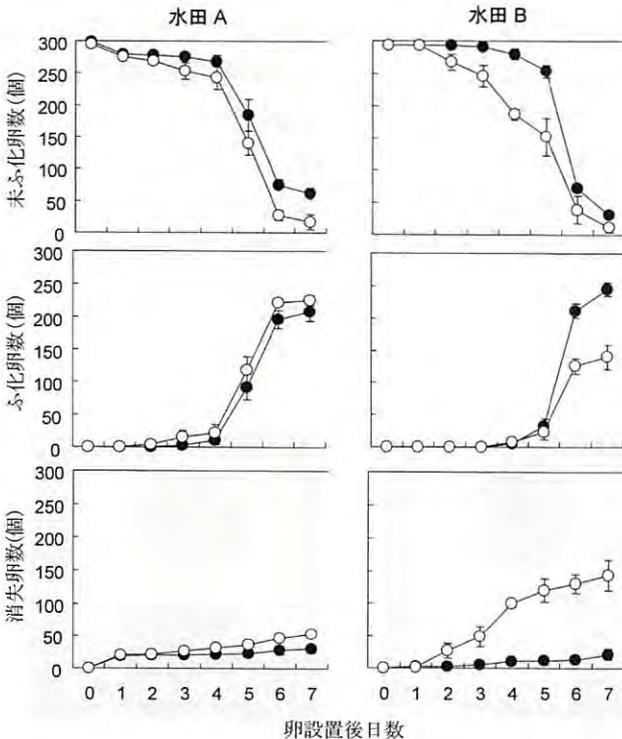


図19 2ヵ所の水田の殺虫剤処理区、無処理区に設置したクモヘリカメムシ卵における未ふ化卵、ふ化卵、消失卵数の推移(平均値±S.E., $n=3$ ブロック)。

●: 殺虫剤処理区, ○: 無処理区。

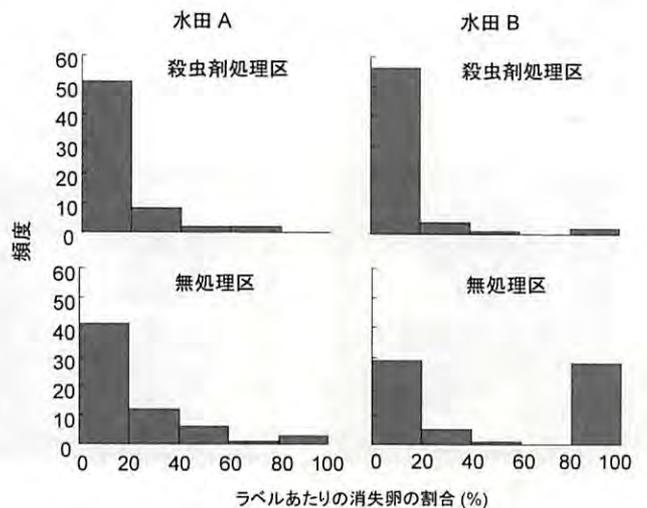


図20 2ヵ所の水田の殺虫剤処理区、無処理区に7日間設置した後、回収したラベルにおける消失卵の割合(消失卵数/14卵×100)の頻度分布。

1ラベルに14卵を貼付して設置 ($n=63$ ラベル)。

表3 水田A, Bにおける4種バッタ目昆虫の平均捕獲数 (n=3)

			水田 A (20回振り当たり)			水田 B (30回振り当たり)		
			7月15日 ^a	7月18日	7月21日	8月1日	8月6日	8月9日
ウスイロササキリ 成虫	無処理 処理	0.7 ± 0.7	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0.3 ± 0.3	
		0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	
幼虫	無処理 処理	0 ± 0	0.3 ± 0.3	0 ± 0	4.0 ± 2.3	9.7 ± 2.2	6.3 ± 0.9	
		0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	5.7 ± 4.7	0 ± 0	1.3 ± 0.9	
クビキリギス 幼虫	無処理 処理	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0.3 ± 0.3	
		0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	
ツユムシ 幼虫	無処理 処理	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	1.0 ± 1.0	0.7 ± 0.3	
		0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	
コバネイナゴ 幼虫	無処理 処理	0 ± 0	0.3 ± 0.3	0 ± 0	0 ± 0	1.0 ± 0.6	1.3 ± 0.3	
		0 ± 0	0 ± 0	0.7 ± 0.7	0 ± 0	1.0 ± 0.6	0.3 ± 0.3	

^a 殺虫剤散布直前にすくい取り調査。

卵を設置していた期間中に水田Aで捕獲されたバッタ目は、ウスイロササキリ2齢幼虫および成虫とコバネイナゴ幼虫であった。これらの種の20回振りあたり捕獲数は、殺虫剤処理区、無処理区いずれでも0~0.7頭と少なかった。一方、水田Bでは、卵を設置していた期間中にクビキリギス、コバネイナゴ、ツユムシの幼虫が捕獲された。これらの種の30回振りあたり捕獲数は0~1.3頭で少なかった。さらに、水田Bではウスイロササキリの2~4齢幼虫も捕獲され、30回振りあたり捕獲数は、無処理区では4.0~9.7頭、殺虫剤処理区では0~1.3頭であった。水田Bのウスイロササキリ幼虫捕獲数の平均値は、殺虫剤処理区と無処理区との間に有意な差が認められた(対応のあるt検定; $P < 0.01$)。散布した殺虫剤はウスイロササキリの幼虫に対して殺虫効果があったと考えられた(表3)。

水田Aではクモヘリカメムシ成虫が捕獲され、その捕獲数は20回振りあたり0.3~0.7頭で少なかった。水田Bではクモヘリカメムシの捕獲個体はなかった。両水田では、イネカメムシ、アカスジカスミカメも捕獲されたが、その捕獲数は、20または30回振りあたりで0~2.0頭であった。したがって、いずれの水田でも設置したクモヘリカメムシ卵以外の斑点米カメムシ類の卵は少なかったと考えられた。

室内におけるクモヘリカメムシ卵の摂食試験では、ウスイロササキリ、クビキリギス、ツユムシ、コバネイナゴのいずれの種でもクモヘリカメムシ卵の摂食が認められた。しかし、ポリ袋内のラベルに残された摂食痕の特徴は種ごとに異なった。ウスイ

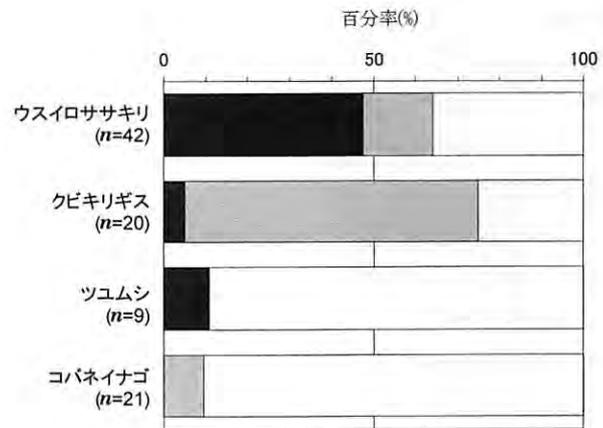


図21 実験室内で行った摂食試験におけるバッタ目昆虫4種の摂食痕の特徴。

■: タイプI(ラベル上の80%以上の卵が消失し、卵の破片が残っている)。
 ■: タイプII(ラベル上の80%以上の卵が消失し、卵の破片が残っていない)。
 □: その他(消失卵の割合が80%未満)。

ロササキリ、クビキリギス、ツユムシは、タイプIの摂食痕を残す場合があったが、その割合は、ウスイロササキリで最も高かった(図21)。タイプIの摂食痕を残した個体の割合は調査した4種間に有意な差が認められた($\chi^2=24$, $df = 3$, $n=92$, $P < 0.01$)。ウスイロササキリ、クビキリギス、コバネイナゴは、タイプIIの摂食痕を残す場合があったが、その割合はクビキリギスで最も高かった。タイプIIのラベルを残した個体の割合は調査した4種間に有意な差が認められた($\chi^2=29$, $df = 3$, $n=92$, $P < 0.01$)。

4) 考察

水田Bの無処理区から回収したラベルには、数多

くの消失卵が認められ(図19)、タイプI(80%以上の卵が消失し、卵の破片が残っている)のラベルの割合が高かった。東南アジアでは、ササキリ類の一種の*C. longipennis*が、タイワンクモヘリカメムシの卵の捕食性天敵として知られている^(55, 91, 134)。*C. longipennis*に摂食されたタイワンクモヘリカメムシの卵塊は、卵塊を構成していた全ての卵が摂食された頻度が高く、摂食痕には卵塊の破片が残っている場合があったと報告されている^(55, 91)。したがって、水田に設置したクモヘリカメムシ卵を捕食した天敵の摂食生態は、*C. longipennis*と類似している可能性が高いと考えられた。

東南アジアでは、*C. longipennis*がサンカメイガ *Scirpophaga incertulas* (Walker) の卵の重要な捕食性天敵として知られている^(133, 136)。日本には*C. longipennis*は分布していないが、同じ*Conocephalus*属であるウスイロササキリが分布しており⁽¹³⁾、本種は、ニカメイガ *Chilo suppressalis* (Walker) の卵の捕食性天敵として知られている⁽¹²²⁾。これらのことは、ウスイロササキリと*C. longipennis*の摂食生態が類似していることを示唆している。

ウスイロササキリのすくい取り捕獲数は、水田Bの無処理区において多く、水田Bの殺虫剤処理区および水田Aの各区では少なかった(表3)。水田Bの無処理区では、クビキリギス、コバネイナゴ、ツムシなど他のバッタ目の昆虫も捕獲されたが、その密度はいずれも低かった。Anaxipha属のコオロギ類はどの水田の調査区でも捕獲できなかった。これらから、調査水田における最も有力なクモヘリカメムシの卵の捕食性天敵は、ウスイロササキリであると考えられた。

室内における摂食試験でクモヘリカメムシ卵を摂食した個体の割合が高かったのは、ウスイロササキリとクビキリギスの2種であった(図21)。ただし、摂食痕の特徴は種間で異なり、ウスイロササキリは主にタイプI、クビキリギスはタイプIIのラベルを残した。多くの場合、クビキリギスはクモヘリカメムシの卵のみを摂食するのではなく、ラベルに糊付けされているイネ科植物の葉も摂食し、タイプIIのラベルを残した(図18)。水田におけるおとり法の試験では、タイプIIのラベルはほとんど発生しなかったが、タイプIのラベルは、消失卵が多かった水田Bの無処理区で高い頻度で発生した。したがって、

本研究を行った水田では、ウスイロササキリが他のバッタ目の昆虫よりも重要な捕食性天敵であると考えられた。

これまで、タイワンクモヘリカメムシの卵寄生蜂についての報告は多く、フィリピンでは、*Gryon nixon* (Masner)、マレーシアでは*Gryon flavipes* (Ashmead)、パプアニューギニアでは、*Ooencyrtus erionotae* Ferriereが優占種であるとされている^(87, 100, 133, 134, 135)。クモヘリカメムシの卵寄生蜂については、ヘリカメクロタマゴバチ、ホソヘリクロタマゴバチ *Gryon nigricorne* (Dodd)、カメムシタマゴトビコバチ *Ooencyrtus nezarae* Ishiiの3種が報告されている^(120, 198)。今回の調査では、回収した卵から*Gryon* sp.がふ化したが、被寄生卵の割合は0.5%であった。Ⅱ章-2およびⅡ章-3における実験でも水田における寄生卵の割合は低かった。タイワンクモヘリカメムシでは、卵寄生蜂の影響がいくつかの要因によって限定され、その一つは寄主のカメムシ類の生息密度であり、高い寄生率となるのは水田に高い密度で寄主のカメムシ類が生息している場合に限られると報告されている⁽¹³⁴⁾。クモヘリカメムシの密度は、出穂前の水田では非常に低く、出穂した後の短い期間のみで高くなるのが一般的である^(151, 197)。Ⅱ章-1で述べたとおり、現在の茨城県南部の水田の作型では、クモヘリカメムシの多発生は起こりにくい。これらのことから、本研究を行った地域では、卵寄生蜂は水田におけるクモヘリカメムシの主要な死亡要因および個体群密度の変動要因となっている可能性は低いと考えられた。

水田Bから回収したラベル上の消失卵数は、殺虫剤処理区と無処理区との間で有意な差が認められ、その差から水田Bでは少なくとも42%の卵が捕食性天敵によって捕食されたと考えられた(図19)。タイワンクモヘリカメムシでは、卵から終齢幼虫までの間に90%以上の個体が死亡し、そのおよそ半分が捕食性天敵による死亡と推定されている⁽¹³⁴⁾。ウスイロササキリは、日本全国に分布している⁽¹³⁾。したがって、本種は、日本各地の水田におけるクモヘリカメムシの卵期の主要な死亡要因である可能性がある。

クモヘリカメムシ卵に対する捕食圧は、水田Aと水田Bとの間で異なった(図19)。水田Aでは卵の設置期間中にウスイロササキリの密度は低く、その発育段階は主に成虫であった(表3)。一方、水田B

では本種の密度は高く、その発育段階は2齢から4齢幼虫であった。これらのことから、ウスイロササキリによるクモヘリカメムシ卵の死亡率の変動要因を明らかにするためには、ウスイロササキリの発生消長、選好する生息場所、移動要因などを明らかに

する必要がある。しかし、ササキリ類に関してはいくつかの生理学的、分類学的な報告はあるものの^(13, 71, 123)、生態学的な研究はほとんど行われていない。水田におけるウスイロササキリの個体群動態の解明は今後の課題である。

Ⅲ クモヘリカメムシの加害生態ならびに被害予測方法の解明

斑点米カメムシ類の成虫の水田内における密度は、イネの出穂に伴い上昇し、熟期の進行とともに低下するのが一般的であるとされている^(31, 59, 74, 107, 125, 130, 197)。また、カメムシの吸汁による籾の被害形態や加害量は加害されるイネの登熟段階によって異なることが報告されている⁽¹⁰⁸⁾。したがって、斑点米カメムシ類の発生消長や加害生態は、イネの登熟段階と密接な関連があると考えられる。しかし、イネの登熟段階を十分に記述してクモヘリカメムシの発生消長や加害生態を解明した報告はなく、被害予測方法の構築が困難な要因の一つとなっている。

そこで、Ⅲ章-1では、クモヘリカメムシなど3種カメムシ類が加害した籾を調査して、斑点米の加害痕の特徴から加害種を推定する方法を解明する。Ⅲ章-2では、クモヘリカメムシなど4種カメムシ類が加害した穂を調査して、本種が主に加害する籾の登熟段階を解明する。Ⅲ章-3では、クモヘリカメムシなど3種カメムシ類が加害選好する籾の量的な推移を調査して、品種、出穂時期の異なる水田において斑点米カメムシ類の発生消長を統一的に表すためのイネの量的な登熟段階を明らかにする。Ⅲ章-4では、網棗を用いた放飼試験を行って、クモヘリカメムシの斑点米発生率に及ぼす割れ籾の影響を解明する。そしてⅢ章-5では、Ⅲ章-1～4の知見をもとに、すくい取り捕獲数と斑点米被害との関係のモデルを構築して、被害予測のための回帰式を推定する。

1. 斑点米の種特異的な加害痕の特徴

1) はじめに

水田内には複数の斑点米カメムシ類が同時に発生する場合があるうえ、種ごとに1日1頭あたり斑点米発生数は異なる⁽¹⁰⁸⁾。したがって、防除対策を構築するためには、加害種ごとに斑点米を分けて種ごとの加害量を明らかにする必要がある。

カメムシに吸汁された斑点米の表面には変色した斑紋が形成されるが、奥山・井上⁽¹²⁶⁾はこの斑紋の位置から斑点米を5つの型に類別することを提案し、アカヒゲホソミドリカスミカメによる斑点米の特徴を報告している。また、林⁽²⁷⁾はアカスジカスミカメによる斑点米の斑紋の位置、色や形等を観察してカスミカメ類による斑点米と、カメムシ科などによる、斑紋に黒色ないし淡褐色の縁取り線があるいわゆる標準的斑点米とを類別している。カスミカメ類による斑点米の被害解析ではこれら斑紋の特徴を用いた調査が既に行われている^(29, 46, 93, 161)。一方、クモヘリカメムシやホソハリカメムシによる標準的斑点米についても斑紋の型は調査されている^(2, 64, 104, 173, 186)が、両種間に明瞭な違いは見いだされていない。川村⁽⁶¹⁾は斑紋の型に替わる指標として斑点米の斑紋中に認められる、カメムシが口吻を挿入した痕すなわち「加害痕」に着目し、その位置から加害種を類別している。この類別では標準的な斑点米を作る種は3つに分けられ、鈎合部加害型にはクモヘリカメムシが、基部加害型にはイネカメムシなど数種が類別され、ホソハリカメムシなどその他の多くの種は無差別加害型に類別されている。ただし、クロアシホソナガカメムシ *Paromius exiguus* (Distant) による斑点米の例⁽⁶⁶⁾のように、斑点米カメムシ類の類別は加害時の子実粒の発達段階の違いや試験条件、調査方法の相違で少しずつ異なるパターンを示す場合がある⁽⁶¹⁾。

カメムシの被害には稔実歩合の低下と斑点米の発生とがある⁽¹⁰⁸⁾が、経済的被害に結びつくのは主に品質の低下をもたらす斑点米の混入である。また、斑点米の発生は若い齢の幼虫による加害であっても十分起こりうるということが知られている⁽¹⁵²⁾。ところが、これまで玄米に混入した斑点米の特徴や幼虫による斑点米の特徴についての調査例は少なく、加害痕の特徴から加害種を精度よく推定するための知見は得

られていない。さらに、これまで加害生態の調査の一環としてカメムシ類による口針鞘の付着部位調査や、加害方法の観察が個別に行われている^(16, 62, 125, 149)ものの、口針鞘付着部位と糊の穿孔部位、玄米上の加害痕位置を関連づけて調査した例は少ない。

そこで、クモヘリカメムシ、イネカメムシ、ホソハリカメムシを齢期ごとに出穂後日数の異なる穂に放飼して、玄米に混入した斑点米の加害痕位置を調査した。さらに、3種のカメムシ種により生じた口針鞘の付着部位、糊の穿孔部位、玄米上の加害痕位置を調査して、斑点米の加害痕の位置に特徴が生じる要因を調査した。そして斑点米の加害痕の位置から加害種を推定できる可能性を検討した。

2) 材料および方法

(1) 出穂後日数、カメムシ齢期ごとの斑点米上の加害痕位置の特徴

斑点米上の加害痕位置についてカメムシ種ごとの特徴を調査した。供試したカメムシはクモヘリカメムシ、イネカメムシ、ホソハリカメムシの3種であり、これらはそれぞれ川村⁽⁶¹⁾によって鈎合部加害型、基部加害型、無差別加害型と分類されている。クモヘリカメムシは室内(25℃, 16L: 8D)で冷凍稲穂を与えて飼育している茨城県つくば市採集系統を用いた。また、イネカメムシ、ホソハリカメムシは茨城県谷和原村とつくば市の中央農研の水田およびその周囲のイネ科雑草群落で採集した個体を用いた。採集した個体が所定の齢期に達していない場合は、自然日長の人工気象器内(昼温28℃, 夜温23℃)で出穂したイネ、メヒシバ、イタリアンライグラスを与えて飼育した後、実験に供した。放飼する齢期は2~5齢幼虫と雄雌成虫とした。

イネ(品種:コシヒカリ)は、2001年4月に1/5,000aワグネルポットに直播し、試験に供するまで屋外で栽培した。

放飼試験は2001年8~9月に自然日長で空調装置が設置されたガラス室内(試験期間中の室内平均気温は27.7℃)において行った。カメムシを放飼する穂の登熟状態をそろえるため、出穂後7, 14, 21, 28日目に以下の状態の穂を選んで供試した。すなわち、出穂後7日目は穂先糊の胚乳の縦伸長が完了した穂、14日目は穂全体が緑色で穂先糊の胚乳の肥大成長が完了した穂、21日目は穂全体の1/4~1/2が変

色した穂、28日目は穂全体の4/5以上が変色した穂である。所定の登熟状態の稲穂1本に円筒状の枠(直径約7cm, 高さ約16cm)にテロンゴースを張った網かごをかぶせ、カメムシ1頭を3日間放飼した後、カメムシと網かごを取り除いた。イネは収穫期までガラス温室内で栽培した後、穂首から切り取り、脱穀、糊すり後、粒厚1.8mm以上の玄米から斑点米を肉眼で選別した。なお本研究では奈須田⁽¹¹³⁾の報告に準じ、斑点米とはカメムシの加害による斑紋が認められた玄米(粒厚1.8mm以上)と定義した。斑点米上の加害痕の位置は実体顕微鏡下で観察した。加害痕は斑紋のほぼ中央にあるカメムシの口吻により形成された玄米果皮の穴と定義した。ただし、この穴を観察できない場合には、斑紋の中央付近に存在する細胞の変色から加害痕の位置を推定した。変色が観察できない場合は後述する染色法で検出し、染色によっても加害痕を確認できない場合は斑紋の中央を加害痕の位置とした。加害痕の位置は基部、鈎合部縦稜線、その他の3つに区分して記録した。このうち基部とは玄米の小穂軸付着部位から胚の中央までの範囲、鈎合部縦稜線とは鈎合部の下の玄米表面が隆起した縦稜線と凹んだ縦溝線との斜面で基部以外の部位、その他とは基部と鈎合部縦稜線に含まれない玄米の表面部分とした(図22)。各区2~6反復を調査した。齢期と出穂後日数が3種カメムシそれぞれの種特異的な加害痕の位置の割合

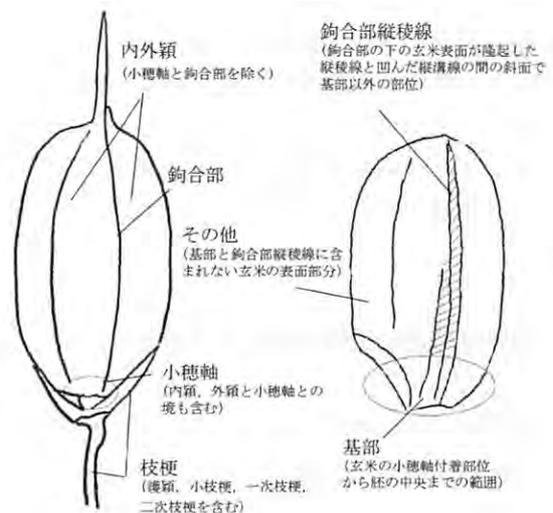


図22 小穂(左)と玄米(右)の部位の区分。

に及ぼす影響は、その割合を角変換した後、二元配置分散分析で検定した。

(2) 染色による加害痕確認方法

Sugimoto and Nugaliyadde⁽¹⁵⁵⁾は玄米に残る口針鞘をエリスロシンで染色して調査している。本研究で予備的にこの染色法を試したところ、斑点米を長く液浸するとひび割れが生じ加害痕が不明瞭になることがあった。そこで、糠層の剥離程度を評価するニューMG染色⁽¹⁷⁷⁾で使われており、果皮に生じた傷を短時間で染色可能なメチレンブルーを用いて加害痕の確認をした。メチレンブルー1%水溶液に斑点米を2秒間浸漬した後水洗し、実体顕微鏡下で斑点米表面を観察するか、果皮をはがして糊粉層面に残る青い染色痕を観察して加害痕の位置を確認した。

(3) 糊の口針鞘付着部位および穿孔部位

3種カメムシによる玄米上の加害痕位置が種特異的である要因を明らかにするために、糊の口針鞘付着部位、穿孔部位および玄米上の加害痕位置の関係を調査した。なお、本研究では糊の口針鞘付着部位とはカメムシの口針鞘が固着した小穂表面の部位であり、糊の穿孔とはカメムシの口吻により形成された糊殻を貫通した穴である。ただし、糊殻の穴の有無が不明瞭な場合は、玄米の斑紋の有無から穴の存在を推測し、加害痕の位置から穿孔部位を推測した。

本試験にも上記3種のカメムシを用い、いずれの種も放飼する齢期は3齢幼虫と雌成虫とした。イネ(品種：コシヒカリ)は1/5000aのワグネルポットで栽培して用いた。放飼する登熟段階は糊熟期と黄熟期とした。糊熟期とは糊全体が緑色で胚乳の縦伸長

が終了し、肥大成長もほぼ終了した状態と定義し、黄熟期とは内外穎が変色したが小穂軸、枝梗はまだ緑色の糊と定義した。

クモヘリカメムシとホソハリカメムシの放飼試験は2002年7月3～5日に実施し、放飼期間中のガラス室内平均気温は26.7℃であった。イネカメムシの放飼試験は2002年8月24～26日に実施し、放飼期間中のガラス室内平均気温は27.4℃であった。放飼試験には加害痕位置の試験と同じ網かごを用い、所定の登熟状態でかつ割れ糊ではない糊を一次枝梗に20～30粒残し、残りは取り外した1穂に網かごを被せ、カメムシ1頭を2日間放飼した。網かごとカメムシを取り除いた後、5日間栽培して穂を切り取り、実体顕微鏡下で穂の部位ごとに口針鞘の付着数を調査した。穂の部位の区分は1)枝梗(護穎、小枝梗、一次枝梗、二次枝梗を含む)、2)小穂軸(内穎、外穎と小穂軸との境も含む)、3)鉤合部、4)内外穎(小穂軸と鉤合部を除く)の4つとした(図22)。口針鞘が付着した糊についてはカメムシによる穿孔部位と玄米上の加害痕の位置を調査した。糊の穿孔部位は小穂軸、鉤合部、内外穎の3つに分けて記録し、口針鞘が付着していても穿孔が存在しない場合は、穿孔なしと記録した。

いずれのカメムシについても調査は3～4反復行ない、齢期、登熟段階が口針鞘付着数と口針鞘付着糊数に及ぼす影響を二元配置分散分析で、口針鞘付着部位、糊の穿孔部位の構成に及ぼす影響を度数法を用いた分散分析⁽¹⁶⁰⁾で検定した。

表4 クモヘリカメムシ、イネカメムシ、ホソハリカメムシの種特異的な糊上の加害部位の割合に与えるイネの登熟段階とカメムシ発育段階の影響についての二元配置分散分析表

変動要因	クモヘリカメムシ (鉤合部の割合)			イネカメムシ (基部の割合)			ホソハリカメムシ (その他の割合)		
	ss	df	F	ss	df	F	ss	df	F
イネの登熟段階	0.5935	3	1.702 n.s	0.4432	3	2.212 n.s	0.6780	3	4.316 **
カメムシの発育段階	0.8584	5	1.477 n.s	0.1293	5	0.387 n.s	0.3867	5	1.477 n.s
登熟段階と発育段階 の交互作用	2.2504	15	1.291 n.s	1.1503	15	1.148 n.s	0.8831	15	1.124 n.s
誤差	7.9026	68		4.0740	61		2.6179	50	

角変換後に二元配置分散分析。
(n.s.: not significant, **: P<0.01)

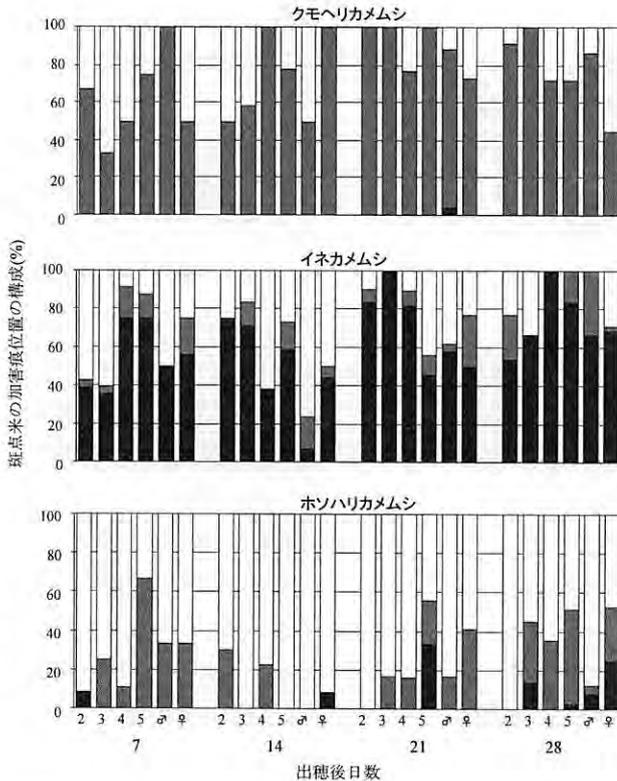


図23 3種カメムシによる斑点米の加害痕位置の構成。

2, 3, 4, 5: それぞれ2齢~5齢幼虫を示す。

■: 鉤合部, ■: 基部, □: その他。

3) 結果

(1) 出穂後日数、カメムシ齢期ごとの玄米上の加害痕位置の特徴

3種カメムシによる斑点米の加害痕位置の構成を齢期ごと、出穂後日数ごとに図23に示した。クモヘリカメムシによる斑点米の加害痕位置は鉤合部縦稜線の割合が最も高く、次いでその他の割合が高かった。鉤合部縦稜線の割合に対する齢期と出穂後日数の効果は認められなかった(表4)。

イネカメムシによる斑点米の加害痕位置は基部の割合が最も高く、次いでその他の割合が高かった。基部の割合に対する齢期、出穂後日数の効果は認められなかった(表4)。

ホソハリカメムシでは斑点米の加害痕位置はその他の割合が最も高く、次いで鉤合部縦稜線の割合が高かった。その他の割合に対する齢期の効果は認められなかったが、出穂後日数の効果は認められた(表4)。

(2) 初め口針鞘付着部位および穿孔部位

クモヘリカメムシ、イネカメムシ、ホソハリカメ

ムシを放飼した穂の口針鞘の平均付着数とその付着部位の構成を図24に示した。クモヘリカメムシを放飼した穂の口針鞘付着部位は鉤合部の割合が最も高く、次いで枝梗の割合が高かった。これらの傾向は齢期、登熟段階間に有意差は認められなかった。なお、穂あたり口針鞘付着数についても齢期、登熟段階間に有意差は認められなかった。

イネカメムシを放飼した穂の口針鞘付着部位は多くの区で小穂軸の割合が最も高かったが、雌成虫を黄熟期に放飼した区では枝梗の割合が最も高かった。なお、穂あたり口針鞘付着数は齢期、登熟段階間に有意差は認められなかった。

ホソハリカメムシを放飼した穂の口針鞘付着部位は、いずれの区でも内外穎の割合が最も高く、次いで枝梗の割合が高かった。これらの傾向は登熟段階間に有意差が認められたものの、齢期間に有意差は認められなかった。なお、穂あたり口針鞘付着数は3齢幼虫放飼区より雌成虫放飼区が有意に多かったが、登熟段階間に有意差は認められなかった。

3種カメムシを放飼した初め口針鞘付着初数と初め穿孔部位の構成を図25に示した。さらに、今回の調査で観察された全ての口針鞘についてその初め上の位置をカメムシ種ごとに図26に示した。

クモヘリカメムシを放飼した初め穿孔部位の割合は鉤合部、穿孔なしの順に高く、齢期、登熟段階間に有意差は認められなかった。クモヘリカメムシの鉤合部における穿孔のうち71%は鉤合部の外穎下の内穎に行われており、29%は内穎と外穎の隙間に口吻を通して玄米に直接行われていた。なお、クモヘリカメムシを放飼した初め平均口針鞘付着初数は齢期、登熟段階間に有意差は認められなかった。

イネカメムシを放飼した初め穿孔部位の割合は、穿孔なし、小穂軸の順に高く、齢期、登熟段階間に有意差は認められなかった。なお、イネカメムシを放飼した初め平均口針鞘付着初数は齢期、登熟段階間に有意差は認められなかった。

ホソハリカメムシを放飼した初め穿孔部位の割合は内外穎、穿孔なしの順に高く、齢期、登熟段階間に有意差は認められなかった。ホソハリカメムシを放飼した初め平均口針鞘付着初数は3齢よりも雌成虫を放飼した穂で多かったが、登熟段階間に有意差は認められなかった。

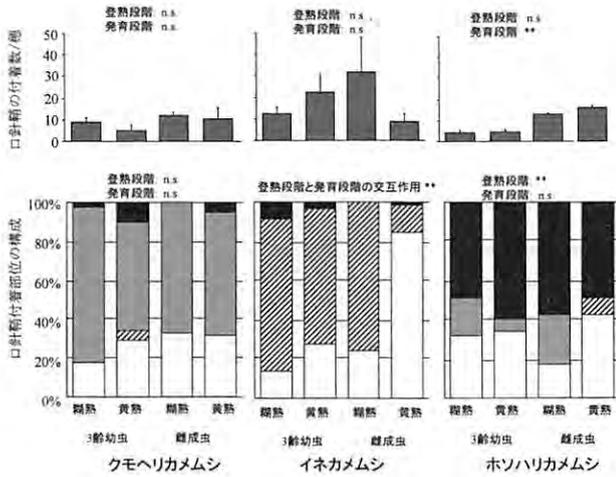


図24 クモヘリカメムシ、イネカメムシ、ホソハリカメムシを放飼した穂の口針鞘の平均付着数(平均値±S. E.) とその付着部位の構成。
登熟段階と発育段階の効果は二元配置分散分析で検定。
n. s.: not significant, **: $P < 0.01$.
□: 枝梗, ▨: 小穂軸, ■: 鈎合部, ■: 内外穎

4) 考察

本実験では3種カメムシの齢期や出穂後日数など放飼条件を変えて生じさせた斑点米(粒厚1.8mm以上)の加害痕位置の特徴を調査した。その結果、クモヘリカメムシによる斑点米の加害痕の位置は鈎合部縦稜線の割合が高く、この傾向は齢期や出穂後日数によらず一定であった(図23)。イネカメムシにより発生した斑点米の加害痕の位置は基部の割合が高く、この傾向も齢期、出穂後日数間によらず一定であった。さらにホソハリカメムシにより発生した斑点米の加害痕の位置は、その他の割合が高く、この傾向は齢期間に有意差が認められず、出穂後日数間に有意差が認められた。この理由は不明であるが、全体としてはその他の割合が高いことに変わりなかった。したがって、調査した3種の間では、斑点米上の加害痕の位置は加害齢期やイネの出穂後日数など放飼条件に関わらず種特異性が高いと考えられた(図27)。

これらの3種による玄米上の加害痕位置の種特異性が生じる要因を明らかにするために、籾の口針鞘付着部位および穿孔部位、玄米上の加害痕位置を関連づけた調査を行った。その結果、調査した3種カメムシによる口針鞘付着部位には種ごとの特徴が認められた(図24)。クモヘリカメムシを放飼した穂

では口針鞘付着部位は鈎合部の割合が高く、内外穎や小穂軸の割合は低かった。鈎合部の加害の多くは鈎合部外穎下の内穎の薄くなった部分を穿孔して生じていた。イネカメムシを放飼した籾の口針鞘付着部位は小穂軸の割合が高く、籾表面や鈎合部の割合は低かった。ホソハリカメムシを放飼した籾の口針鞘付着部位は内外穎全体に一樣に存在した。以上から、クモヘリカメムシは鈎合部を、イネカメムシは小穂軸を選択して加害しようとするが、ホソハリカメムシは籾上の特定部位を選択する行動はしないと考えられた。そして、この籾の加害部位を選択する性質の違いが玄米上の加害痕位置に種特異性が認められる要因と考えられた。

本実験では、どのカメムシでも口針鞘の下の籾殻に穿孔が存在しない場合があった(図25)。これまで、籾表面に口針鞘が付着していた場合、カメムシがその部位で玄米の吸汁活動を行ったとみなされていた(16, 149, 150)が、今回の結果からは、カメムシによって籾殻や枝梗に口針鞘が形成されていても、必ずしも玄米の加害を伴っているわけではないことが明らかとなった。カメムシ類は玄米だけでなく籾殻や枝梗に対しても吸汁を行う場合があると考えられた。

ホソハリカメムシでは齢期間に加害生態の違いがあると考えられた。ホソハリカメムシ雌成虫では3齢幼虫よりも、穂の口針鞘付着数および平均口針鞘付着籾数が多く(図24)、齢期が進むと吸汁回数が多くなると考えられた。一方、ホソハリカメムシの口針鞘付着部位には登熟段階間の差が認められ、イネカメムシでは口針鞘付着部位に齢期、登熟段階間に交互作用が認められた。しかし、これらの要因は明確にできなかった。

調査した3種カメムシ種については、これまで個別に加害生態が調査されている。川村(61)はクモヘリカメムシの斑点米の加害痕は鈎合部の側方に生じることを報告している。古家・清田(16)はクモヘリカメムシを放飼した籾ではほとんどの口針鞘が鈎合部に形成されたこと、ホソハリカメムシを放飼した糊熟期以前の籾では内穎、外穎、鈎合部いずれの部位でも口針鞘が確認されたことを報告している。清水(149, 150)は、クモヘリカメムシとホソハリカメムシが多発生し立穂が発生した水田の穂では口針鞘は籾の鈎合部に多かったこと、健全籾であっても口針鞘

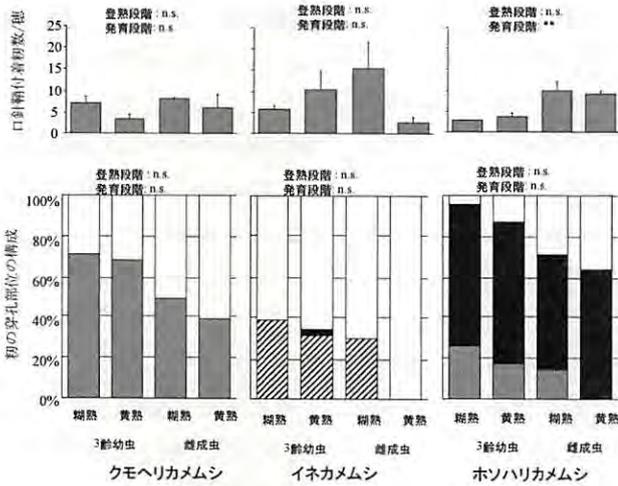


図25 クモヘリカメムシ、イネカメムシ、ホソハリカメムシを放飼した籾の平均口針鞘付着回数(平均値±S. E.)と籾の穿孔部位の構成。
登熟段階と発育段階の効果は二元配置分散分析で検定。
n. s.: not significant, **: P<0.01.
▨:小穂軸, ▤:鈎合部, ■:内外穎, □:穿孔なし。

が付着した籾の割合が高かったことを報告している。イネカメムシについては、小川ら⁽¹²⁵⁾はイネカメムシを放飼した穂における口針鞘の付着部位は籾の下端、護穎と穎との間と報告している。以上の報告はいずれも今回の結果と同じ傾向を示している。

籾殻にはカメムシが加害しにくい硬い部分と比較的柔らかくカメムシが加害し易い部分とがあると考えられる。籾殻は、登熟が進むにつれ水分が減少し、厚膜組織は木化が進み、内外穎の上表皮は珪酸が沈積・肥厚して硬くなり、乳頭状突起が発達する^(36, 144, 145, 146)。一方、小穂軸、鈎合部の重なり部分およびふ先は表皮の突起が存在しないか小型化した部分である^(36, 58, 89)。これら比較的柔らかくカメムシにとって加害し易いと考えられる部分とカメムシが種特異的に選択する籾の加害部位は共通である。本実験では、クモヘリカメムシは鈎合部を選択し、イネカメムシは小穂軸を選択して加害することが明らかとなった。アカスジカスミカメはふ先を選択して加害する⁽¹⁶⁵⁾ことが明らかとなっている(図28)。ただし、これらのカメムシが、加害し易いと考えられる籾の部位からそれぞれ異なる部位を選択する要因は明確にできなかった。

加害部位を選択するカメムシ種と選択しないカメムシ種とは寄主植物の範囲が異なる。イネカメムシ

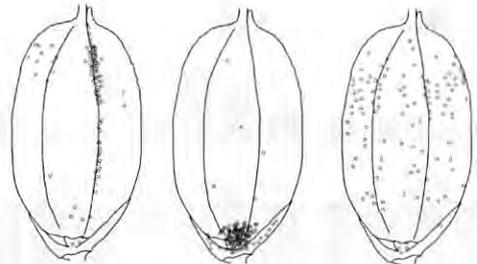


図26 クモヘリカメムシ、イネカメムシ、ホソハリカメムシの口針鞘付着部位。

はイネ単食性とされ⁽²²⁾開花直後の穂を特に好み⁽¹³⁰⁾、玄米など乾燥した種子で増殖できた報告はない。クモヘリカメムシも玄米など乾燥した種子で増殖できないカメムシ種であり⁽¹⁴⁷⁾、寄主植物はイネ科に限られる⁽¹⁰¹⁾。アカスジカスミカメの寄主植物は17種が知られ⁽²⁶⁾、その大部分がイネ科植物であり、玄米など乾燥した種子で増殖できた報告はない。籾の加害しやすい部分を選択する性質を持つ種とイネ科への依存度が高い種とは共通であると考えられる。

一方、ホソハリカメムシは玄米など乾燥した種子や、タデ科など広範囲の植物で増殖できるとの報告がある^(48, 96, 101)。ホソハリカメムシと同様に、川村⁽⁶¹⁾が類別した無差別加害型に属するシラホシカメムシ *Eysarcoris ventralis* (Westwood), トゲシラホシカメムシ *Eysarcoris aeneus* (Scopoli), オオトゲシラホシカメムシ *Eysarcoris lewisi* (Distant), アオクサカメムシ *Nezara antennata* Scott, ミナミアオカメムシなどは野菜類もしくはマメ類などイネ科以外の植物の害虫としても知られている^(162, 191)。したがって、籾の加害部位を選択する性質を持たないカメムシ種は寄主植物の幅が広いと考えられる。このような、籾表面での吸汁加害行動と寄主植物範囲の幅との関連性については、今後さらに多くのカメムシ種について検討する必要がある。

本実験では標準的斑点米⁽²⁷⁾であってもその加害痕位置の特徴から加害種を推定できる可能性が示唆された。ただし、割れ籾では玄米が露出するため寄主特異性は低くなり、加害痕位置の特徴のみで加害種を推定することが困難な場合があると考えられる。カスミカメムシ類では割れ籾が多いと側面の加害が増加することが知られており⁽¹²⁶⁾、オオトゲシラホシカメムシでも割れ籾が多いと斑点米が増加す

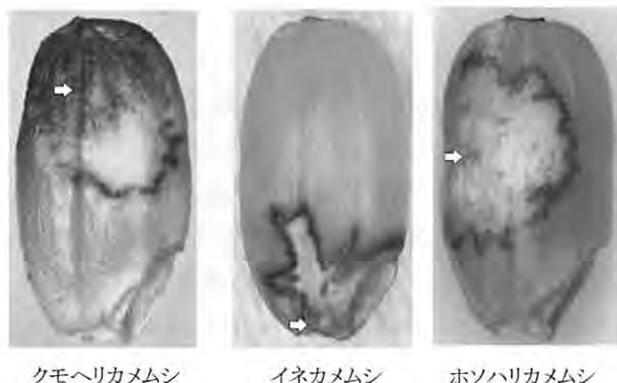


図27 クモヘリカメムシ，イネカメムシ，ホソハリカメムシの斑点米とその加害痕の位置（⇒）の一例。



図28 ふ先に口吻を刺しているアカスジカスミカメ成虫。

ることが知られている⁽²⁾。したがって、水田において発生した斑点米から加害種を推定する際には、斑点米の加害痕位置に加え、割れ粳率やすくい取りなどによるカメムシ発生相調査の結果も利用する必要がある。

2. 4種斑点米カメムシ類が主に加害する粳の登熟段階

1) はじめに

カメムシの発消長、粳の被害形態および加害量とイネの登熟段階とを関連づけて表す場合、登熟段階については出穂後の日数や「乳熟期」、「糊熟期」といった定性的な表現を用いることが一般的である。これらの表現は、いずれも圃場全体の穂の平均的な状態を表している。しかし、各穂の出穂日にはばらつきがあるばかりでなく、穂1本中の粳の開花日にも数日の幅がある。また、個々の粳の登熟速度は穂内の着粒位置によって異なることが知られている^(36, 106)。すなわち、ある時点の圃場内には異なる登熟段階の粳が同時に存在するので、カメムシによる被害形態や加害量は水田内の粳の登熟段階の構成によって変動すると考えられる。これまで、同じ開花日の粳のみを残した穂にカメムシを放飼して、被害形態および加害粳数を調査した研究例があり、特定の登熟段階の粳における加害粳数や被害形態は明らかにされている^(27, 28, 63, 152)。しかし、異なる登熟段階の粳が存在する穂において、どの登熟段階の粳をカメムシが加害しているのかは明らかでない。

そこで、茨城県における主要な斑点米カメムシ類

4種を、発育段階別に出穂後日数を異にする穂に放飼し、粳の着粒位置に基づいて決めた穂内の区分ごとの加害粳数を調査した。その結果に基づき、4種カメムシが主に加害する粳の登熟段階を明らかにした。

2) 材料および方法

供試したカメムシはクモヘリカメムシ、イネカメムシ、ホソハリカメムシ、アカスジカスミカメの4種である。これらのカメムシは、Ⅲ章-1の実験と同様に、クモヘリカメムシについては室内（25℃、16L: 8D）で飼育している系統を用い、他の3種カメムシについては、水田およびその周辺のイネ科雑草群落から採集して用いた。採集した個体が所定の齢期に達していない場合は、自然日長の人工気象器内（昼温28℃、夜温23℃）で飼育した後、実験に用いた。放飼する発育段階は3～5齢幼虫と雄雌成虫とした。

イネ（品種:コシヒカリ）は、2001年4月に1/5000aワグネルポットに直播し、試験に供するまで屋外で栽培した。放飼試験は2001年8～9月に空調装置が設置された自然日長のガラス室内（試験期間中の室内平均気温は27.7℃）において行った。カメムシを放飼する穂の粳の登熟段階別の構成をそろえるため、出穂後7、14、21、28日目の穂から以下の穂を選択した。すなわち、出穂後7日目は穂先粳の玄米の縦伸長が完了した穂、14日目は穂全体が緑色で穂先粳の玄米の肥大成長が完了した穂、21日目は穂全体の1/4～1/2が黄色の穂、28日目は穂全体の

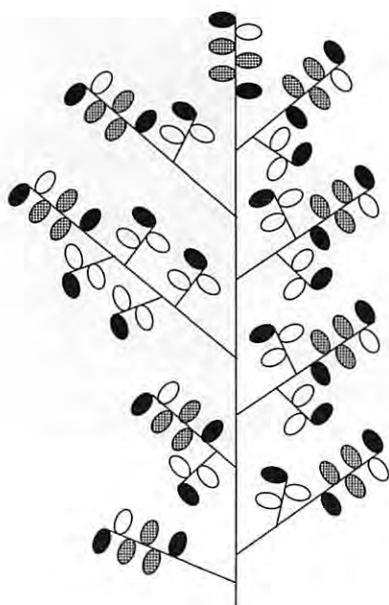


図29 着粒位置に基づく1穂内の籾の3区分。

- : 区分A, 一次枝梗と二次枝梗の先端および一次枝梗で穂軸に最も近い位置の籾。
- ◐ : 区分B, 一次枝梗で, 先端, 先端から2番目および穂軸に最も近い位置以外の位置の籾。
- : 区分C, 一次枝梗の先端から2番目の籾と二次枝梗で先端以外の位置の籾。

4/5以上が黄色の穂である。Ⅲ章-1の実験と同様に、穂1本にカメムシ1頭を3日間放飼した後、そのままガラス室内で登熟させ、穂首から切り取って乾燥させた。この穂を未希釈の塩素系漂白剤に浸し、室温で4時間漂白した後に水洗し、水中で下から光を当てて加害籾の数を調査した。「加害籾」とはカメムシの吸汁により玄米の全体あるいは一部が変色した籾とした。調査は原則として3反復行った。

一次枝梗内では先端の穎花が最初に、最下位の穎花が2番目に、以降は順次上位に開花して、第2位の穎花が最も遅く咲く。また、開花が遅い穎花は充実が悪く、発芽力が弱い弱勢穎花になり易い⁽³⁶⁾。そこで、開花順序に基づいて、穂内の籾を着粒位置から次のとおり3つに区分した(図29)。区分A:一次枝梗と二次枝梗の先端および一次枝梗で穂軸に最も近い位置の籾、区分B:一次枝梗で、先端、先端から2番目および穂軸に最も近い位置以外の位置の籾、区分C:一次枝梗の先端から2番目の籾と二次枝梗で先端以外の位置の籾である。なお、調査した穂の各区分の一穂あたり平均籾数は、区分A、区分B、区分Cの順に、27.4、21.1、27.1個であった。

受精した穎花の子房は、縦伸長、幅伸長(粒の背腹方向)、厚さ伸長の順に生長が完了する⁽³⁶⁾。本実

験で放飼に用いた穂の各区分では、以下のような玄米を持つ籾が多かった。すなわち、区分Aでは、出穂後7日には幅伸長途中、出穂後14日には厚さ伸長途中、出穂後21、28日には厚さ伸長完了であり、区分Bでは、出穂後7日には縦伸長途中、出穂後14日には厚さ伸長途中、出穂後21、28日には厚さ伸長完了であり、区分Cでは出穂後7日には未伸長または縦伸長途中、出穂後14日には幅伸長途中、出穂後21日には幅伸長または厚さ伸長途中、出穂後28日には厚さ伸長途中または厚さ伸長完了である。

加害された籾の登熟段階と加害籾数との関係を明らかにするために、放飼した穂に生じた総加害籾数および3つの穂内区分別の加害籾数に対するカメムシ種、カメムシの発育段階、出穂後日数による効果を、三元配置分散分析で検定した。出穂後日数については加害籾数との関係を一次、二次、三次成分に分けて検定した⁽¹⁹⁰⁾。

3) 結果

放飼した穂に生じた総加害籾数に対するカメムシ種、カメムシの発育段階、出穂後日数の効果および出穂後日数の一次、二次、三次成分の効果の検定結果を表5に、カメムシ種、カメムシの発育段階、出穂後日数別の総加害籾数の平均値および穂内区分ごとの加害籾数の平均値を図30に示した。

全体に総加害籾数はカメムシの発育段階によって異なり、発育段階間に5%水準で有意な差が認められたが(表5)、一定の傾向は検出できなかった(図30)。総加害籾数と出穂後日数との関係について全発育段階をこみにした値を計算した(図30)。その結果、クモヘリカメムシ、イネカメムシ、アカスジカスミカメの総加害籾数は、出穂後7日に最も多く、ホソハリカメムシの総加害籾数は、出穂後7日、14日に多かった。総加害籾数については、出穂後日数の一次成分に0.1%水準で有意な効果が認められたが、二次、三次成分には5%水準で有意な効果は認められず(表5)、いずれのカメムシの総加害籾数も、出穂後日数が経過した段階になるにつれて直線的に減少した(図30)。

出穂後7日の総加害籾数は、イネカメムシ、クモヘリカメムシ、アカスジカスミカメ、ホソハリカメムシの順に多かったが、出穂後日数が経過した段階

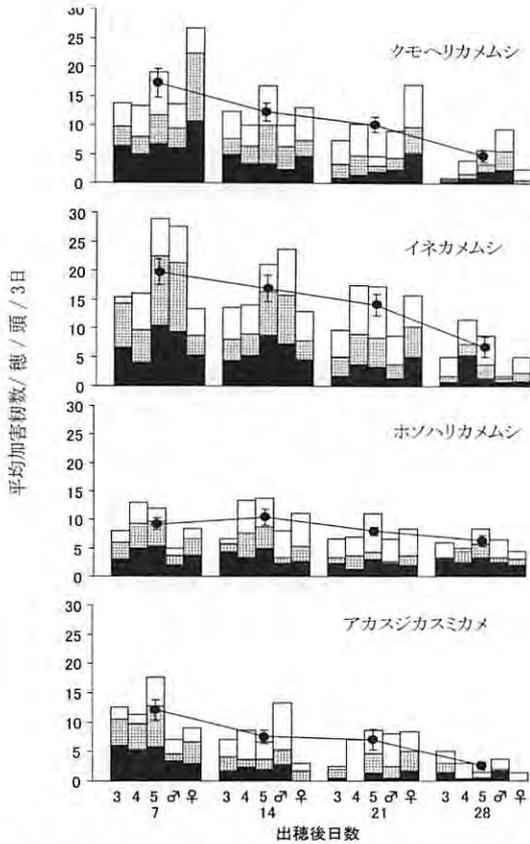


図30 カメムシ種、カメムシの発育段階、出穂後日数別の総加害初数の平均値および穂内区分ごとの加害初数の平均値。

3, 4, 5は3齢, 4齢, 5齢幼虫を示す。反復は2-4穂。折れ線グラフは、発育段階をこみにした場合の総加害初数を示す(平均±S.E., n=11-17穂)。
 ■: 区分A, ▨: 区分B, □: 区分C。

になるにつれて種間の違いは小さくなった。総加害初数は、カメムシ種間に0.1%水準で有意な差が認められた(表5)。

3つの穂内区分に生じた加害初数に対するカメムシ種、カメムシの発育段階、出穂後日数の効果および出穂後日数の一次、二次、三次成分の効果の検定結果を表6に、カメムシ種、出穂後日数、穂内区分ごとの、全発育段階をこみにした場合の加害初数の変化を図31に示した。

区分Aおよび区分Bの加害初数については、カメムシの発育段階間に5%水準で有意な差は認められなかった(表6)。区分Aおよび区分Bの加害初数については、出穂後日数の一次成分に0.1%水準で有意な効果が認められ(表6)、いずれのカメムシ種でも、出穂後日数が経過した段階になるにつれて直線的に減少した(図31)。区分Aおよび区分Bの加害初数とカメムシ種との関係では、イネカメムシ、クモヘリカメムシ、アカスジカスミカメ、ホソハリカメムシの順に出穂後7日の加害初数が多かったが、出穂後日数が経過した段階になるにつれて種間の違いは小さくなった。区分Aおよび区分Bの加害初数については、カメムシ種間に0.1%水準で有意な差が認められた(表6)。

表5 放飼した穂に生じた総加害初数に対するカメムシ種、カメムシの発育段階、出穂後日数の効果についての三元配置分散分析表

変動要因	SS	df	F	P
カメムシ種	1694.8	3	14.37	<0.001
カメムシの発育段階	467.4	4	2.97	0.020
出穂後日数	2891.2	3	24.50	<0.001
1次成分	2770.7	1	70.50	<0.001
2次成分	70.0	1	1.80	0.181
3次成分	50.5	1	1.30	0.255
誤差	9031.2	230		

表6 3つの穂内区分に生じた加害初数に対するカメムシ種、カメムシの発育段階、出穂後日数の効果についての三元配置分散分析表

変動要因	df	区分A			区分B			区分C		
		SS	F	P	SS	F	P	SS	F	P
カメムシ種	3	182.4	8.99	<0.001	269.8	10.87	<0.001	144.6	6.15	<0.001
カメムシの発育段階	4	31.7	1.17	0.325	63.6	1.92	0.108	96.5	3.08	0.017
出穂後日数	3	548.6	27.03	<0.001	532.0	21.44	<0.001	251.5	10.69	<0.001
1次成分	1	525.6	77.70	<0.001	516.0	62.38	<0.001	48.7	6.21	0.013
2次成分	1	22.6	3.34	0.069	0.4	0.05	0.823	188.7	24.06	<0.001
3次成分	1	0.4	0.06	0.807	15.6	1.89	0.171	14.1	1.80	0.181
誤差	230	1555.8			1902.4			1803.9		

区分Cでは、全体に加害初数は、発育段階間に5%水準で有意な差が認められたが、カメムシの発育段階と加害初数との関係について一般的な傾向は見出せなかった(表6, 図30)。区分Cの加害初数については、出穂後日数の一次成分、二次成分にそれぞれ5%, 0.1%水準で有意な効果が認められ(表6)、区分Cの加害初数と出穂後日数との関係について全発育段階をこみにして計算した場合、全体に加害初数は上に凸の曲線状に推移した(図31)。区分Cでは、出穂後7日の加害初数はクモヘリカメムシ、イネカメムシ、アカスジカスミカメ、ホソハリカメムシの順に多く、出穂後14日、21日の加害初数についてはイネカメムシ、クモヘリカメムシ、ホソハリカメムシ、アカスジカスミカメの順に多く、出穂後28日の加害初数の種間差は小さかった。区分Cの加害初数については、カメムシ種間に0.1%水準で有意な差が認められた(表6)。

4) 考察

本実験では、異なる登熟段階の籾が存在する穂に4種カメムシを放飼して、開花順序に基づいて区分した着粒位置別に加害初数を調査した。その結果、区分A、区分Bの加害初数は出穂後7日に最も多く、出穂後日数が経過した段階になるにつれて減少し

た。区分Cの加害初数は出穂後14, 21日に多く、出穂後28日には減少した(図31)。また、出穂後7日では、区分Aと区分Bの加害初数は区分Cより多く、出穂後14日と21日では、区分Cの加害初数が区分A、区分Bより多かった。加害初数が多かったのは、玄米が伸長途中の籾が多い区分であり、4種カメムシは、一定の登熟段階の籾を選択的に加害していると考えられた。

下元⁽¹³²⁾は、同じ開花日の籾のみを残した穂を準備した後、クモヘリカメムシ成幼虫を開花5, 10, 15, 20日から3日間放飼した結果、加害初数は開花5日の放飼の場合で多く、10, 15, 20日の放飼の場合で少なかったことを報告している。林^(27, 28)は、同様の籾登熟段階の調整を行った後に、アカスジカスミカメとホソハリカメムシの成虫を開花から3日ごとに3日間放飼して、ホソハリカメムシでは開花後3~9日、アカスジカスミカメでは開花後0~9日に加害初数が多く、その後の放飼の場合には少なかったことを報告している。さらに、林⁽²⁷⁾はアカスジカスミカメを放飼した穂(品種: アキヒカリ)では、玄米が開花6日後には全長に、開花10日後には全幅に、開花20日後には全厚に達していたことを報告している。

以上の報告のように籾登熟段階の調整を行って放飼した場合も、本実験のように未調整の穂に放飼した場合も、カメムシの加害初数が多い籾の登熟段階は共通していた。このことは、カメムシにとって加害が容易な籾登熟段階とカメムシが選択的に加害する籾登熟段階が共通であることを示唆している。

これまで、クモヘリカメムシ、イネカメムシ、アカスジカスミカメでは玄米など乾燥した種子による飼育の成功例はないが、ホソハリカメムシではいくつかの例がある^(48, 49, 96)。さらに、Ⅲ章-1の結果と竹内・鈴木⁽¹⁶⁵⁾から、クモヘリカメムシ、イネカメムシ、アカスジカスミカメは籾殻上の特定の部位から加害するが、ホソハリカメムシは籾殻上の様々な場所から加害することが分かっている。したがって、4種カメムシはいずれも一定の登熟段階の籾を選択的に加害するものの、選択的に加害する籾の登熟段階の範囲は、クモヘリカメムシ、イネカメムシ、アカスジカスミカメとホソハリカメムシとの間で異なる可能性があると考えられる。

本実験の結果では、クモヘリカメムシ、イネカメ

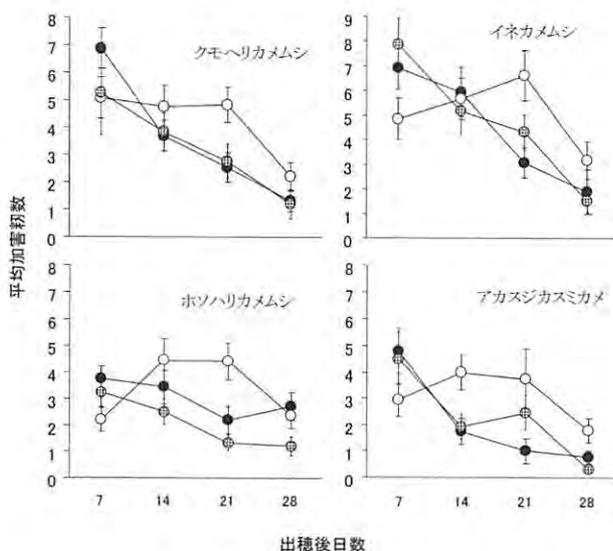


図31 カメムシ種、出穂後日数、穂内区分ごとの、全発育段階をこみにした場合の加害初数の変化(平均値±S. E., n=11-17穂)。

●: 区分A, ●: 区分B, ○: 区分C。

ムシ、アカスジカスミカメの総加害初数は出穂後7日から14日の間に減少したのに対し、ホソハリカメムシの総加害初数の変化は小さかった(図30)。出穂後7日の穂では、玄米が縦伸長途中から幅伸長途中の籾が多く、出穂後14日の穂では、玄米が幅伸長途中から厚さ伸長途中の籾が多かった。したがって、クモヘリカメムシ、イネカメムシ、アカスジカスミカメは、玄米が縦伸長途中から幅伸長途中の籾を主に加害するのに対し、ホソハリカメムシは、玄米が縦伸長途中から厚さ伸長途中まで、より幅広い登熟段階の籾を加害すると考えられる。

カメムシの種を問わず、出穂後28日の総加害初数は少なかった(図30)。出穂後28日ではいずれの穂内区分でも、大部分の籾が黄化していた。玄米の水分含量は受精後7~8日ころに最大となり以後減少すること、籾殻水分含有率は受精時には多いが出穂後14日後ごろまでに大きく低下すること、さらに籾殻上表皮への珪酸の蓄積は受精から登熟まで継続することが知られている^(36, 144, 145, 146)。出穂後28日の穂では、籾全体の水分が少なく、籾殻の珪酸含量が多いために、カメムシによる加害が困難である可能性が考えられる。

本実験では、カメムシは加害が容易な登熟段階の籾を選択的に加害していることが明らかになった。このことから、水田のような異なる登熟状態の籾が同時に存在する条件では、選択的に加害する籾の量的な変動がカメムシの発生消長との間に関連が認められる可能性が示唆される。この可能性についてはⅢ章3で検討する。

3. 3種斑点米カメムシ類の発生圃場率とイネの登熟段階との関係

1) はじめに

水田における斑点米カメムシ類の発生消長は、イネの登熟段階と密接な関連があり、穂揃期ごろに成虫が侵入し、その後幼虫が発生するのが一般的とされている。このような発生消長は、これまで出穂後日数や、「乳熟期」などのような穂の登熟段階によって表された例が多い^(31, 39, 105, 107, 108, 125, 130, 151, 197)。しかし、斑点米カメムシ類の密度と斑点米被害との関係を詳細に解析するためには水田の穂の量的な登熟段階を用いる必要がある。

Ⅲ章-2の実験では、クモヘリカメムシ、イネカ

メムシ、アカスジカスミカメは玄米が縦伸長途中から幅伸長途中の籾を主に加害することを明らかにした。このことは、水田における特定の登熟段階の籾の量的な推移が、斑点米カメムシ類の発生消長と関連がある可能性を示唆している。

これまで、収穫適期を推定するために積算温度が用いられた例は多い^(32, 78, 85, 183)。したがって、水田における特定の登熟段階の籾の量的な推移も積算温度によって統一的に表せる可能性がある。

そこで本実験では、まず、Ⅲ章-2の結果をもとに籾の登熟段階を3つのステージに区分し、水田でそれぞれのステージの初数を継続的に調査した。次に、クモヘリカメムシ、イネカメムシ、アカスジカスミカメのすくい取り調査を継続的に行った。そして、積算温度を用いて、各ステージの初数の推移および3種斑点米カメムシ類の発生圃場率の推移を表し、各ステージの籾の量的な推移と3種斑点米カメムシ類の発生圃場率との関係を解析した。

2) 材料および方法

(1) 籾の登熟段階

2003年に、谷和原水田圃場の水田A(280m²)、水田B(1000m²)、水田C(340m²)を用いて籾の登熟段階を調査した。水田Aには早生品種である「彩の華」を4月25日に移植し、水田B、水田Cには中生品種の「コシヒカリ」を、順に5月8日、6月19日に条間30cm、株間18cmで移植した。窒素は成分合計で1,000 m²あたり6.6kgを彩の華に、3.5kgをコシヒカリに施用した。

籾の登熟段階は、以下の3つに区分した(図32)。ステージⅠ(初期)は、籾殻の半分の長さまで胚乳が伸長する前の籾、ステージⅡ(中期)は、籾殻の半分の長さ以上に胚乳が伸長し、胚乳と籾殻の間に空間が認められる籾、ステージⅢ(後期)は、胚乳が籾殻の幅まで生長し、胚乳と籾殻の間の空間が認められなくなった籾とした。なお、Ⅲ章-2で明らかにしたように、ステージⅡは、クモヘリカメムシ、イネカメムシ、アカスジカスミカメが選好して加害する籾の登熟段階である。

出穂始め以降、週に2回、午前8時30分から10時の間に、乱数表を用いて水田A、Cでは6株、水田Bでは9株を選択して刈り取った。出穂始めは、水田Aは7月13日、水田Bは8月6日、水田Cは8月25日

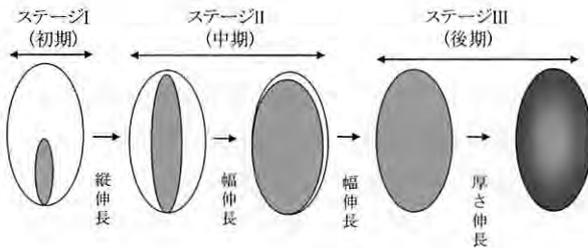


図32 籾の登熟段階の3つの区分。

- ステージⅠ：籾殻の半分の長さまで胚乳が伸長する前の籾。
 ステージⅡ：籾殻の半分の長さ以上に胚乳が伸長し、胚乳と籾殻の間に空間が認められる籾。
 ステージⅢ：胚乳が籾殻の幅まで伸長して、胚乳と籾殻の間の空間が認められなくなった籾。

であった。なお、出穂始めは圃場全体の10～20%の穂が出穂した日である⁽³⁶⁾。

刈り取ったイネ株は、実験室に持ち帰り、出穂している穂を穂首から切り取った後、穂に着生している籾を、透過光を用いながら肉眼でステージⅡと他のステージの籾とに分けた。他のステージの籾は、80℃に48時間おいて乾燥させた後、透過光を用いながら肉眼でステージⅠとステージⅢの籾に分けた。その後、それぞれのステージの籾数を自動粒数計測器（藤原製作所、KC-10）または手作業で計数した。そして、籾のステージごと、水田ごとに、株あたり籾数の平均値を、出穂始め後の日数または積算温度を横軸として、グラフに示した。積算温度は、出穂始め以降の日平均気温-10℃の積算値とした。日平均気温は、中央農研水田圃場の気象観測装置で観測した値を用い、穂の発育限界温度の下限はこれまでの報告に準じて10℃とした^(21, 57)。

(2) 斑点米カメムシ類3種の発生圃場率

2001～2003年にクモヘリカメムシ、イネカメムシ、アカスジカスミカメの発生圃場率を、中央農研の9枚の水田に設定したのべ47調査区を用いて調査した(表7)。各調査区のイネの栽植密度は、上述の実験と同じとした。窒素は成分合計で1,000 m²あたり3.5kgをコシヒカリに、6.6kgを他の品種に施用して栽培した。出穂始めから3～10日間隔で、20または30回振りを1セットとした捕虫網（直径36cm）を用いたすくい取り調査を行った。そして、捕獲したクモヘリカメムシ、イネカメムシ、アカスジカスミカメについては、圃場内または実験室で成虫および幼虫捕獲数を調査した。さらに、クモヘリカメムシの幼虫については幼虫の発育段階に分けて捕獲数を

表7 2001～2003年にすくい取り調査を行った調査区の構成

No.	調査年	品種	面積 (a)	移植日	出穂始め
1	2001	彩の華	3.0	4月26日	7月7日
2	2001	彩の華	5.2	4月26日	7月10日
3,4	2001	あきたこまち	1.1	5月9日	7月15日
5,6	2001	あきたこまち	1.1	5月9日	7月18日
7,8	2001	こころまち	0.7	5月30日	7月27日
9,10	2001	初星	0.7	5月30日	7月30日
11,12	2001	チヨニシキ	0.7	5月30日	8月2日
13,14	2001	ひとめぼれ	0.7	5月30日	8月2日
15,16	2001	キヌヒカリ	0.7	5月30日	8月6日
17,18	2001	コシヒカリ	0.7	5月30日	8月6日
19	2001	コシヒカリ	2.0	5月30日	8月10日
20～23	2001	朝の光	1.1	6月20日	8月23日
24～26	2002	彩の華	1.7	4月26日	7月14日
27	2002	あきたこまち	2.2	5月30日	8月6日
28	2002	コシヒカリ	2.2	5月30日	8月9日
29	2002	ひとめぼれ	2.2	5月30日	8月9日
30	2002	日本晴	2.2	5月30日	8月16日
31～34	2002	あきたこまち	2.3	6月20日	8月18日
35～38	2002	ひとめぼれ	2.3	6月20日	8月23日
39～41	2003	彩の華	1.2	4月25日	7月13日
42～44	2003	ひとめぼれ	1.7	5月8日	8月1日
45～47	2003	コシヒカリ	1.7	6月19日	8月25日

調査した。なお、アカスジカスミカメの幼虫については水田内の発生密度が非常に低いので^(17, 107) 調査しなかった。捕獲数の調査後、捕獲虫は捕獲した調査区に解放した。

斑点米カメムシ類の水田内の発生密度は一般的に低いので、本実験では、発生圃場率を用いて3種斑点米カメムシ類の発生時期を解析した。まず、それぞれのすくい取り調査を積算温度で50日度間隔の階級に分けた。そして、それぞれの階級ごとに、すくい取りを行った調査区の中のカメムシを捕獲した調査区の割合を発生圃場率として求めた。

3) 結果

(1) 籾の登熟段階

ステージⅠの籾数の平均値は、出穂始め以降急速に増加し、水田A, B, Cの順（以下同じ）でそれぞれ出穂始め9, 6, 5日後、または95.8, 97.5, 76.4日度（図33）に最も高くなった。ステージⅡの籾数の平均値は、出穂始め16, 13, 12日後、または168.8, 171.5, 168.4日度で最も高くなった（図34）。ステージⅢの籾数の平均値は、出穂始め23, 20, 19日後ごろ、または274.1, 279.9, 274.4日後ごろに急激な増加が終わりほぼ一定の値となった（図35）。どのステージの籾数の平均値も、積算温度によって表した場合のほうが出穂始め後の日数によって表した場合よりも水田間の変動が少なかった。なお、水

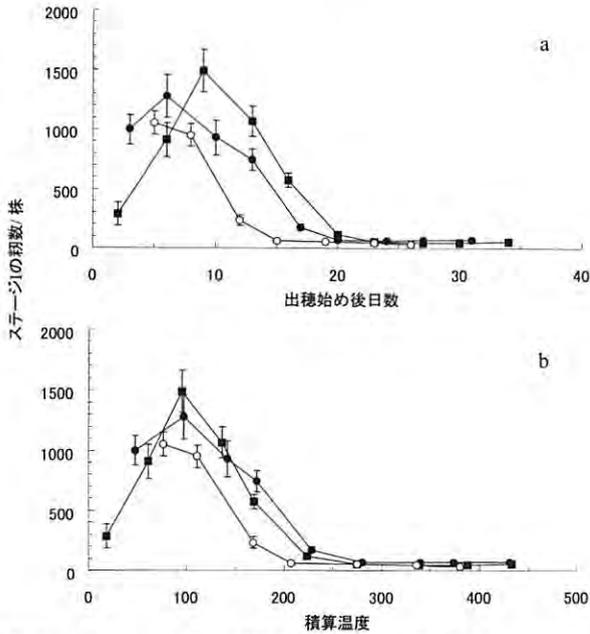


図33 ステージⅠの初数の推移 (平均値±S. E., n=6または9株).

a: 出穂始め後日数で表した初数の推移.
 b: 積算温度で表した初数の推移.
 ステージⅠ: 初数の半分まで胚乳が伸長する前の初.
 積算温度: 出穂始めからの日平均気温-10℃の積算値.
 ■: 水田A, ●: 水田B, ○: 水田C.

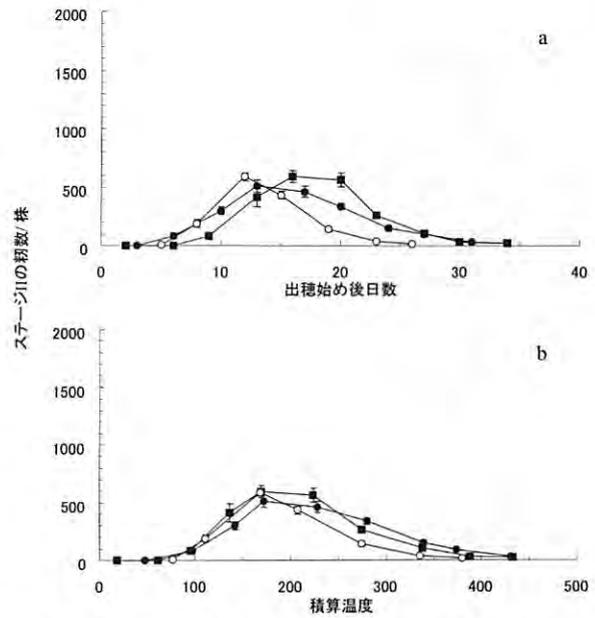


図34 ステージⅡの初数の推移 (平均値±S. E., n=6または9株).

a: 出穂始め後日数で表した初数の推移.
 b: 積算温度で表した初数の推移.
 ステージⅡ: 初数の半分の長さ以上に胚乳が伸長し、胚乳と初殻の間に空間が認められる初.
 積算温度: 出穂始めからの日平均気温-10℃の積算値.
 ■: 水田A, ●: 水田B, ○: 水田C.

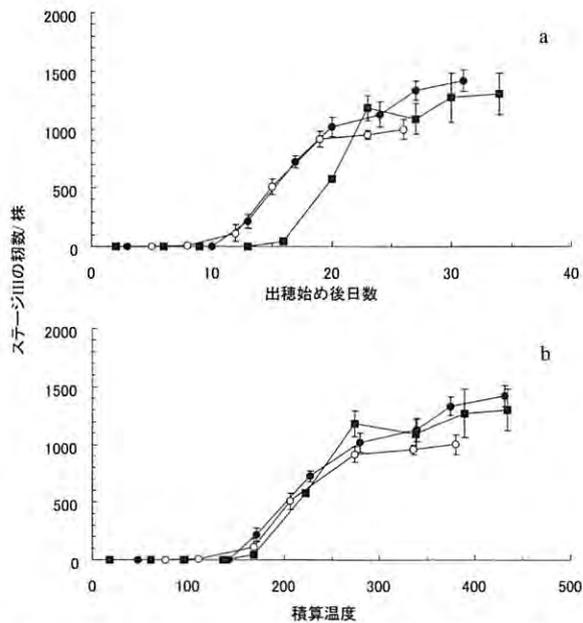


図35 ステージⅢの初数の推移 (平均値±S. E., n=6または9株).

a: 出穂始め後日数で表した初数の推移.
 b: 積算温度で表した初数の推移.
 ステージⅢ: 胚乳が初殻の幅まで伸長して、胚乳と初殻の間の空間が認められなくなった初.
 積算温度: 出穂始めからの日平均気温-10℃の積算値.
 ■: 水田A, ●: 水田B, ○: 水田C.

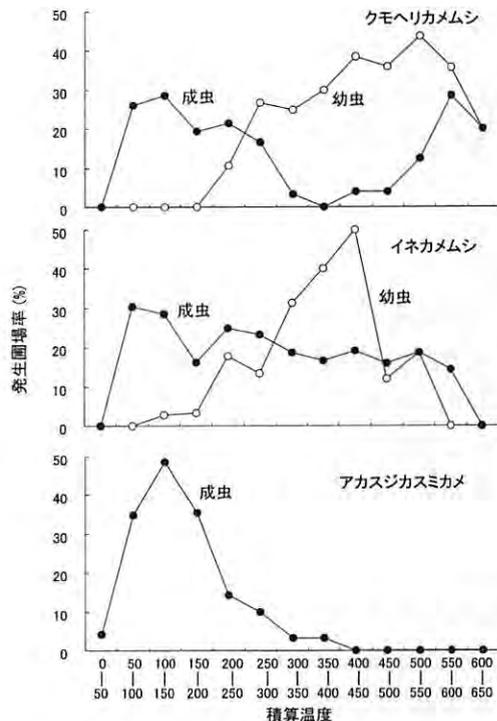


図36 クモヘリカメムシ、イネカメムシ、アカスジカシカメの発生圃場率の推移.

発生圃場率: カメムシを捕獲した調査区数/すくい取り調査した調査区数×100.
 積算温度の各区切りにおける境界の値は上位の区切りに属す.

田A, B, Cにおいて穂全体の40~50%が出穂した日(出穂期)の積算温度は、およそ30~50日度であった。

(2) 斑点米カメムシ類3種の発生圃場率

20回振りあたりに換算したすくい取り捕獲数の最大値は、クモヘリカメムシ成虫では6.0, 2.0, 2.7頭(2001, 2002, 2003年調査の順, 以下同じ), クモヘリカメムシ幼虫では, 5.0, 6.7, 4.0頭, イネカメムシ成虫では, 15.0, 10.7, 7.0, イネカメムシ幼虫では, 7.0, 8.7, 4.0頭, アカスジカスミカメ成虫では, 6.0, 6.0, 6.0頭であった。

斑点米カメムシ類3種の成虫の発生圃場率は、いずれの種も0~50日度においては低かったが、50~100日度に著しく上昇した(図36)。発生圃場率が最も高かったのは、クモヘリカメムシ成虫とアカスジカスミカメ成虫では100~150日度、イネカメムシ成虫では50~100日度であった。

クモヘリカメムシ幼虫とイネカメムシの幼虫の発生圃場率は、いずれの種も0~200日度では低かったが、200~250日度に上昇を始めた(図36)。発生圃場率が最も高かったのは、クモヘリカメムシ幼虫では500~550日度、イネカメムシ幼虫では400~450日度であった。

クモヘリカメムシの1齢幼虫の発生圃場率が最も高かったのは、200~250日度であった。2齢, 3齢幼虫では250~300日度に、4齢, 5齢幼虫では、500~550日度に発生圃場率が最も高かった(図37)。これらの発生圃場率の最高値は幼虫の発育段階の順に現れた。

4) 考察

これまでの報告では、水田の穂の登熟段階を表すために、乳熟期や収穫適期といった定性的な登熟段階の表現が用いられてきた。これらの登熟段階は、積算温度など気象要素によって推定できることが報告されている^(23, 35, 57, 85, 183)。一方、幼穂長, 穂重, 帯緑色歩合といった定量的な登熟段階も水田の穂の登熟段階を表すために用いられてきた^(36, 83)。幼穂長は積算温度によって推定された例がある⁽¹¹²⁾。しかし、これら定性的あるいは定量的な登熟段階は、登熟初期から中期にかけての水田の穂の登熟段階を連続的に表すことができない。

本調査では、水田の穂の登熟段階を量的に表すためにステージⅠ~Ⅲの籾の数を用いた(図32)。ど

のステージの籾数の推移も、出穂始め後の日数よりも積算温度を用いて表したほうが水田間の変動が小さかった(図33, 34, 35)。したがって、積算温度は、出穂始め後日数よりも水田の穂の量的な登熟段階を精度良く表すことができると考えられた。また、積算温度を用いれば、出穂始め日が異なっても、統一的に水田の穂の登熟段階を表すことができると考えられた。

Ⅲ章-2では、クモヘリカメムシ, イネカメムシ, アカスジカスミカメは、ステージⅡの籾(玄米が縦伸長から幅伸長途中の籾)を選好して加害することを明らかにした。ステージⅡの籾が豊富な時期は、およそ100から300日度であり、0から600日度までの水田の穂の登熟期間と比べると非常に短い(図34)。クモヘリカメムシ幼虫については、発育限界温度の下限は12.0°C、有効積算温度は316.2日度である⁽⁴⁷⁾。茨城県の水田におけるイネカメムシ幼虫の発育期間は、およそ30日である⁽¹³⁰⁾。ステージⅡの籾が豊富な時期は、これら幼虫の発育期間と比べても短い。本調査では、クモヘリカメムシ幼虫とイネカメムシ幼虫の発生圃場率は、ステージⅡの籾が豊富な200~250日度から上昇を始めたが、大部分がステージⅢの籾となった後も高かった(図36)。クモヘリカメムシ幼虫の発生圃場率は、幼虫の発育段階の順に連続して高くなった(図37)。これらのこ

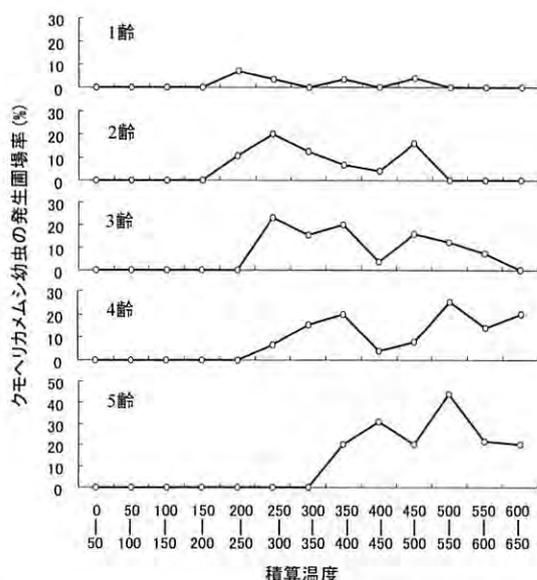


図37 クモヘリカメムシ幼虫の発生圃場率の推移。積算温度の各区切りにおける境界の値は上位の区切りに属す。

とから、クモヘリカメムシやイネカメムシの若齢幼虫は、水田においてステージⅡの籾が量的に豊富な短い期間に同期して発生している可能性があると考えられた。

成虫の発生圃場率が最も高かったのは、いずれのカメムシ種でも出穂始め後50～150日度であった。この時期はステージⅠの籾数の平均値が最も高くなった時期に近かった(図33, 36)。クモヘリカメムシの卵については、発育限界温度の下限は13.5℃、有効積算温度は147日度である⁽⁴⁷⁾。茨城県の水田におけるイネカメムシの卵期間は、5～7日間である⁽¹³⁰⁾。これらのことと、若齢幼虫の発生時期から、クモヘリカメムシとイネカメムシの卵の発生圃場率が最も高くなる時期は、ステージⅠの籾が量的に豊富な時期の近くにあると考えられた。そして、ステージⅡが少ないこの時期に成虫が水田に侵入して産卵するので、ステージⅡの籾が量的に豊富な時期に合わせて若齢幼虫が発生することができると考えられた。

定性的な登熟段階と出穂後日数は、クモヘリカメムシとアカスジカスミカメの成虫密度が最も高くなる時期を表すためにこれまで用いられてきた^(31, 39, 107, 151, 197)。しかし、定性的な登熟段階は、水田の穂の登熟段階と密接に関連づけて表すことが難しい。そのため、品種や移植時期がそれぞれ異なる水田群における斑点米カメムシ類の発生消長を詳細に示すことが難しかった。

今回行った籾の登熟段階の推移の調査によって、3つのステージいずれの籾の量的な推移も、積算温度で精度良く表せることが明らかになった。さらに、これら3つのステージの籾の量は斑点米カメムシ類3種の発生圃場率と密接な関係があることが明らかになった。これらのことから、積算温度を指標とすれば、それぞれの品種や移植時期が異なる水田であっても斑点米カメムシ類の発生消長や発生圃場率の推移を統一的に表すことができると考えられた。

4. クモヘリカメムシの斑点米発生率に及ぼす割れ籾の影響

1) はじめに

登熟した籾では内穎と外穎の接合が外れ、籾の鉤合部に隙間が生じる場合があり、割れ籾または開穎籾と呼ばれている。割れ籾の発生には生育、登熟期

間の気象条件が関与することが知られている^(20, 80, 178, 180)。さらに、その発生頻度は、品種や着生している枝梗によって異なることが報告されている^(42, 99, 115)。また、割れ籾率が高い場合には、アカヒゲホソミドリカスミカメやアカスジカスミカメの斑点米発生率が高くなり易いとされている^(30, 40, 44, 46, 70, 92, 93, 94, 95, 116, 128)。一方、Ⅲ章-1で明らかにしたように、クモヘリカメムシは、籾を加害する際に鉤合部を選択的に加害するため、カスミカメムシ類同様に、割れ籾発生率が高いと斑点米発生率が高くなりやすい可能性がある。しかし、クモヘリカメムシについて割れ籾発生率と斑点米発生率との関係を調査した例はない。

そこで、本実験では、割れ籾の発生頻度が異なる2品種を栽培した水田に網枠を設置して、クモヘリカメムシを放飼し、放飼個体の生存率や斑点米発生率の品種間差を調査した。そして、割れ籾発生率と斑点米発生率との関係について検討した。

2) 材料と方法

実験は2002年に、谷和原水田圃場の3枚(各10a)の水田で行った。割れ籾発生率が高い品種として「あきたこまち」を、発生率が低い品種として「ひとめぼれ」を用いた。両品種を5月9日に18×30cm間隔で、それぞれ1区画2.5a、1水田2反復、合計6反復植え付け、殺虫剤無散布で栽培した。各品種の水田内には、7月上旬に鉄枠(縦横1.5m、高さ1.4m、面積2.25㎡)を区画あたり4個ずつ約3m間隔で設置した。その際イネが枠内に40株(5条×8株)入るように調整した。出穂始めは、あきたこまちでは7月22日、ひとめぼれでは7月27日であった(表8)。出穂が始まる直前に鉄枠を目合1mmのポリエチレン製防虫網で覆って放飼試験に供した。防虫網で覆う際に、枠内に生息する節足動物等の除去は行わなかった。

各区画に設置した4個の網枠をランダムに穂揃期放飼区、乳熟期放飼区、糊熟期放飼区および無放飼区とし、表8に示した放飼日にクモヘリカメムシ幼虫の放飼を行った。それぞれの放飼日にはクモヘリカメムシふ化後1～3日の1齢幼虫20頭を口径8cm、深さ4cmのプラスチック容器に入れ、この容器を網内の中央株付近に立てた棒の穂首の高さの位置にクリップでとめた。放飼したクモヘリカメムシは、Ⅲ章-1と同様の室内(25℃, 16L: 8D)で冷凍保存

した稲穂を与えて飼育している系統である。

放飼後は、イネが登熟するまで網で覆った状態を保ち、それぞれの品種が刈り取り適期となった日に、網枠内のイネを網に接した外周株22株と中央株18株に分けて刈り取った(表8)。網枠内のクモヘリカメムシは、刈り取り日にすべて回収し、齢期別の生存個体数を調査した。

一般的に斑点米発生率は1,000粒に数粒程度である。そこで、本実験では放飼場所に近く、斑点米発生率が比較的高いと予想される網枠内の中央株から脱穀した籾を用いて、割れ籾と斑点米との関係を調査した。まず、脱穀した粗籾100gを比重1.06の塩水選にかけ、沈んだ籾を自動粒数計測器(KC-10M, 藤原製作所)で計数した。計数した籾は未希釈の塩素系の漂白剤に4時間浸漬して漂白し、水洗後、カメムシの吸汁により変色した部分が玄米に認められる「被害籾」と玄米に変色部が認められない「無被害籾」とに分けた。さらに、被害籾は実体顕微鏡下で、鉤合部に隙間がある「割れ籾」と隙間のない「正常籾」とに分けた。無被害籾については、150粒を抽出して割れ籾率を調査し、無被害籾中の割れ籾数と正常籾数を推定した。そしてこれらから、塩水選で沈んだ籾の割れ籾率を求めた。さらに、割れ籾と正常籾における斑点米発生率を求め、品種ごとに比較した。

網枠の中央株から脱穀した残りの籾と外周株から脱穀した籾については、籾摺りし、玄米(粒厚1.8mm以上)に調整した後、それぞれから同数抽出した6000粒について、斑点米発生数を調査した。そして、放飼時期毎に1000粒あたり斑点米発生数を品種間で比較した。

3) 結果

塩水選で沈んだ籾における割れ籾率は、あきたこまちでは5%、ひとめぼれでは1%であり、品種間に有意な差が認められた(角変換後対応のあるt検定, $P < 0.01$)。いずれの品種でも割れ籾の斑点米発生率は正常籾の斑点米発生率よりも有意に高かった(角変換後対応のあるt検定, $P < 0.01$, 図38)。

穂揃期、乳熟期放飼区では、刈り取り日のクモヘリカメムシの生存個体数は、あきたこまちとひとめぼれとの間に有意な差は認められなかった(t検定, $P > 0.05$, 図39)。一方、糊熟期放飼区の生存個体数は、ひとめぼれよりあきたこまちで多く、品種間で有意な差が認められた(t検定, $P < 0.01$, 図39)。

刈り取り日における放飼個体の発育段階は、穂揃期、乳熟期放飼区では、全て成虫であり、糊熟期放飼区では、全生存個体49頭中、4頭が5齢幼虫であった。穂揃期放飼区の一部では次世代幼虫が発生した。

いずれの放飼時期でも、1,000粒あたり斑点米発生数に品種間の有意な差は認められなかった(角変換後t検定, $P > 0.05$, 図40)。なお、無放飼区には、斑点米は認められなかった。

4) 考察

割れ籾率はあきたこまちでは5%、ひとめぼれでは1%であり、一般的に知られているとおり¹⁷⁾、あきたこまちの割れ籾率は高かった。放飼虫の刈り取り日における生存個体数は、穂揃期、乳熟期放飼区では、品種間に有意な差が認められなかった。一方、糊熟期放飼区では、有意な差が認められ、あきたこまちではひとめぼれより生存個体数が多かった(図39)。割れ籾が生じるのは登熟後半または糊熟期

表8 放飼試験の試験区の構成と処理日

品種	放飼時期	反復	移植日	出穂始め	放飼日	刈り取り日	出穂始めから放飼日までの 日平均気温-10℃の積算値(日度)
あきたこまち	穂揃期	6	5.9	7.22	7.29	9.2	132
あきたこまち	乳熟期	6	5.9	7.22	8.5	9.2	254
あきたこまち	糊熟期	6	5.9	7.22	8.12	9.2	384
あきたこまち	無放飼	6	5.9	7.22	—	9.2	—
ひとめぼれ	穂揃期	6	5.9	7.27	8.2	9.7	121
ひとめぼれ	乳熟期	6	5.9	7.27	8.9	9.7	245
ひとめぼれ	糊熟期	6	5.9	7.27	8.16	9.7	363
ひとめぼれ	無放飼	6	5.9	7.27	—	9.7	—

以降とされている^(51, 178, 180)。クモヘリカメムシでは玄米が縦伸長から幅伸長途中の登熟段階の籾を選択して加害することが知られており(本報告Ⅲ章-2)、割れ籾が生じる時期はクモヘリカメムシが選好する登熟段階の籾が少なくなった時期にあたる。これらのことから、割れ籾の存在がクモヘリカメムシ幼虫の生存率に影響を与えている可能性が示唆された。

これまで、アカスジカスミカメ^(30, 93, 94, 95)、アカヒゲホソミドリカスミカメ^(40, 44, 46, 70, 92, 116, 128)では、割れ籾率が高いと斑点米発生率が高くなりやすいことが報告されている。また、オオトゲシラホシカメムシでも同様の傾向が報告されている⁽²⁾。本実験の結果から、クモヘリカメムシは正常籾より割れ籾を加害しやすいことが明らかになった(図38)。しかし、1,000粒あたり斑点米発生数には、いずれの放飼時

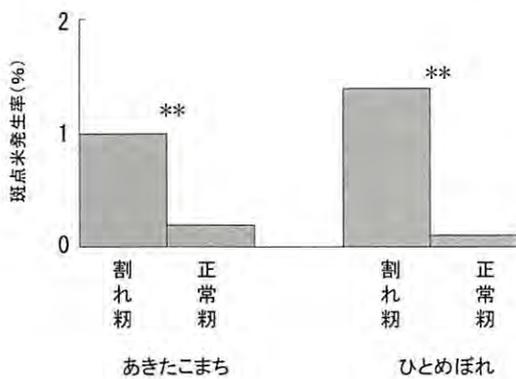


図38 あきたこまち、ひとめぼれにおける割れ籾と正常籾の斑点米発生率。

** : $P < 0.01$, 角変換後対応のある t 検定。

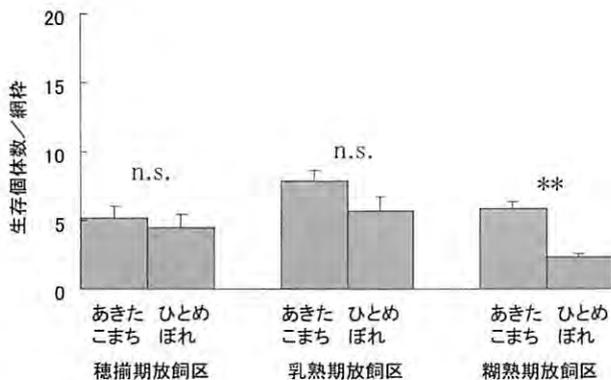


図39 網枠あたり生存個体数(平均値+S.E.)。

それぞれの放飼日に20頭放飼して刈り取り日に調査。
n.s. : $P > 0.05$, ** : $P < 0.01$, t 検定。

期でも品種間に有意な差は認められなかった(図40)。したがって、割れ籾率が5%の場合には、割れ籾がクモヘリカメムシによる斑点米発生率を上昇させる可能性は低いと考えられた。ただし、アカヒゲホソミドリカスミカメやアカスジカスミカメでは、割れ籾率が20%を超えるような場合には、斑点米発生率の上昇が顕著であったことが報告されている^(92, 95)。割れ籾率が高い場合における割れ籾率と斑点米発生率との関係については、別途検討する必要がある。

5. 水田におけるすくい取り調査に基づくクモヘリカメムシ斑点米被害の予測

1) はじめに

斑点米カメムシ類など、害虫に対する防除の実施や防除回数は、広域的な発生予察情報と米生産者の主観的、経験的な判断によって決まることが多い^(34, 81)。しかし、農家の基幹的農業従事者が減少し、受託栽培などが増加する中で、個々の水田における害虫の発生に関する経験の蓄積が難しくなり、防除要否や防除回数に用いる客観的な基準の重要性が高まっている。

個々の圃場で害虫の防除の要否を判断するために、害虫の密度と被害量との関係および防除価、防除費用などから策定される要防除密度⁽⁸⁵⁾が用いられる場合は多い。しかし、害虫の防除に対する考え方や防除に投入できる労力は多様化してきている。農業をできるだけ散布したくない場合や防除作業を委託する場合がある。このような状況下では、一定の値の要防除密度を設定しても活用できる場面が限

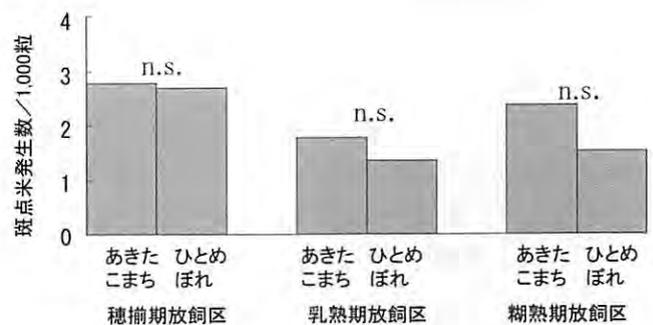


図40 1,000粒あたり斑点米発生数。

n.s. : $P > 0.05$, 角変換後 t 検定。

定されてしまう可能性がある⁽¹⁵⁷⁾。多様な条件においても活用できる防除の意思決定のための基準として、確率的な数値を用いることが提案されている⁽¹³²⁾。斑点米カメムシ類についても確率的な数値を、防除回数や防除方法を選択する際に活用できる可能性がある。

捕虫網によるすくい取りは、最も一般的なクモヘリカメムシ密度の調査法であり、これまで、すくい取り捕獲数と斑点米発生率との関係が調査された例は多い^(111, 151)。しかし、これらの報告で斑点米発生率の予測が可能とされたのは、斑点米発生率が高い場合に限られ、玄米の外観品質の検査基準値の一つである斑点米発生率0.1%付近の場合には、すくい取り調査による被害予測は難しいとされている。捕虫網によるクモヘリカメムシ成虫のすくい取り効率には、8~31%の幅があり⁽⁷⁾、密度の推定精度の変動が大きいことが、すくい取り調査に基づく斑点米発生率の予測を難しくしている要因の一つと考えられる。斑点米発生率の正確な推定が困難なことから、その替わりとして斑点米が多発生(0.2%以上)する確率の推定を、アカヒゲホソミドリカスミカメのすくい取り調査結果を用いて行った例がある⁽¹⁸⁸⁾。このことから、変動が大きいすくい取り調査結果であってもクモヘリカメムシの斑点米発生率が0.1%を超える確率(以下、被害発生確率)を推定する際に利用できる可能性が示唆される。

そこで、クモヘリカメムシすくい取り捕獲数や出穂開始日など、複数の独立変数を様々な組み合わせで取り入れたロジスティック回帰モデルを作成し、その中から、被害発生確率の予測に最適のモデルを選択した。さらに、モデルのパラメータ推定を行って、被害発生確率の予測のための回帰式を求めた。

2) 材料と方法

2000~2004年に谷和原水田圃場の水田9枚とつくば市にある中央農研の水田1枚および農家の水田2枚において、すくい取り調査と斑点米発生率の調査を行った。調査区(面積0.6~5.0a)は、それぞれの水田を区切ったのべ50ヵ所設定した(表9)。調査区ごとに出穂期の異なる品種を、可能な限り異なる日に、30×18cm間隔で移植した。いずれの調査区も慣行に従って栽培したが、殺虫剤は使用しなかった。

すくい取り調査は、出穂始め以降3~10日間隔で、原則として午前9時から12時の間に行った。降雨や強風の場合には調査を行わなかった。すくい取りは、直径36cm、柄長120cmの捕虫網を、穂の高さで、左右180°に振って行った。すくい取り回数は、10回振りを1単位としたすくい取りを、100㎡あたり1単位以上とした。水田圃場で捕獲したクモヘリカメムシは、捕獲直後にその場で捕獲個体数と幼虫については発育段階を調査した後、解放した。農家の水田で捕獲したクモヘリカメムシは、並行して行った別の調査のために実験室に持ち帰って冷凍庫で殺虫し、捕獲個体数と幼虫の発育段階を調査した。

イネが成熟した後、すくい取り調査を行った場所付近で刈り取りを行った。刈り取りは、面積100㎡あたり1ヵ所以上とし、1ヵ所あたり刈り取り株数は20または40株とした。刈り取ったイネ株は自然乾燥させ、脱穀、砕すりし、玄米(粒厚1.8mm以上)に調整し、2000~2001年には約1万粒を、2003~2004年には約10万粒を抽出して、目視と品質判定機(RS2000、静岡精機株式会社)によって斑点米を選別した。なお、クモヘリカメムシ以外に、アカヒゲホソミドリカスミカメ、アカスジカスミカメ、イネカメムシ、ホソハリカメムシがすくい取り調査で捕獲された調査区の斑点米については、本報告Ⅲ章1やこれまでの報告⁽²⁹⁾に基づいて斑紋や斑紋中にある加害痕の位置の特徴を調査して、クモヘリカメムシによる斑点米の特徴を持つ米粒の混入割合を求め、これを斑点米発生率とした。

検討するロジスティック回帰モデルの従属変数は斑点米発生率が0.1%を超えたか否かとし、独立変数は以下の6つの変数またはその組み合わせとした。まず、品種を早生品種と中晩生品種とに分けて独立変数とした。これまで、品種ごとの早晚性と斑点米発生率との間に関連があるとの報告がある⁽⁵⁶⁾。本調査では、早生品種は「チヨニシキ」、「こころまち」、「ひとめぼれ」、「初星」、「彩の華」、中晩生品種は「朝の光」、「コシヒカリ」、「キヌヒカリ」、「日本晴」である。次に、出穂開始日(出穂始めの日)を7月と8月の2つに分けて独立変数とした。これまで、出穂日の早いイネでは斑点米の発生率が高い傾向が報告されている^(44, 56, 174, 191)。

クモヘリカメムシの成虫は、出穂後に水田に侵入して産卵し、増殖する。そこで、出穂始めからの日

表9 2000～2004年の調査区の構成

No.	調査年	面積 (m ²)	品種	出穂始め	すくい取り捕獲数/30回振り			斑点米発生率(%)
					登熟初期 (70～170日度 ^a)		登熟中期 (200～300日度 ^a)	
					成虫	成虫	幼虫	
1	2000	56	朝の光	8月23日	0.0	0.0	4.0	0.11
2	2000	56	朝の光	8月23日	8.0	2.0	12.0	0.15
3	2000	56	朝の光	8月23日	12.0	10.0	2.0	0.06
4	2001	70	チヨニシキ	8月2日	0.0	0.0	0.0	0.01
5	2001	70	チヨニシキ	8月2日	0.0	0.0	0.0	0.09
6	2001	70	こころまち	7月27日	0.0	0.0	0.0	0.01
7	2001	70	こころまち	7月27日	0.0	0.0	0.0	0.00
8	2001	70	ひとめぼれ	8月2日	0.0	1.5	0.0	0.03
9	2001	70	ひとめぼれ	8月2日	0.0	0.0	0.0	0.00
10	2001	70	コシヒカリ	8月6日	0.0	0.0	0.0	0.00
11	2001	70	コシヒカリ	8月6日	0.0	0.0	0.0	0.06
12	2001	70	キヌヒカリ	8月6日	0.0	0.0	0.0	0.02
13	2001	70	キヌヒカリ	8月6日	1.5	0.0	0.0	0.03
14	2001	70	初星	7月30日	0.0	0.0	0.0	0.05
15	2001	70	初星	7月30日	0.0	4.5	0.0	0.02
16	2001	200	コシヒカリ	8月10日	0.0	2.0	0.0	0.06
17	2001	400	彩の華	7月10日	0.0	0.0	3.0	0.04
18	2001	110	朝の光	8月23日	4.5	0.0	0.0	0.06
19	2001	110	朝の光	8月23日	0.0	0.0	4.5	0.03
20	2001	110	朝の光	8月23日	9.0	0.0	0.0	0.07
21	2001	110	朝の光	8月23日	1.5	1.5	0.0	0.01
22	2002	220	コシヒカリ	8月9日	0.0	0.0	0.0	0.10
23	2002	220	日本晴	8月16日	3.0	3.0	0.0	0.34
24	2002	220	ひとめぼれ	8月9日	0.0	0.0	0.0	0.03
25	2002	220	ひとめぼれ	8月23日	2.0	0.0	3.0	0.12
26	2002	220	ひとめぼれ	8月23日	1.0	1.0	6.0	0.17
27	2002	230	ひとめぼれ	8月23日	2.0	0.0	5.0	0.12
28	2002	230	ひとめぼれ	8月23日	2.0	0.0	7.0	0.57
29	2003	500	彩の華	7月13日	0.9	0.0	1.2	0.00
30	2003	500	コシヒカリ	8月25日	0.0	0.0	2.0	<0.01
31	2003	500	コシヒカリ	8月25日	0.0	1.5	2.0	0.02
32	2003	500	ひとめぼれ	8月1日	0.0	0.0	0.0	<0.01
33	2003	500	コシヒカリ	8月11日	0.0	1.8	0.0	<0.01
34	2003	500	コシヒカリ	8月5日	0.0	0.0	1.2	0.00
35	2003	500	コシヒカリ	8月5日	0.0	0.0	0.6	0.00
36	2003	340	コシヒカリ	8月5日	2.4	0.6	2.4	<0.01
37	2003	340	コシヒカリ	8月5日	0.0	0.0	2.4	<0.01
38	2004	500	コシヒカリ	7月27日	0.0	0.0	0.0	<0.01
39	2004	500	コシヒカリ	7月27日	0.0	0.0	0.0	<0.01
40	2004	340	コシヒカリ	7月25日	0.0	0.0	1.2	0.02
41	2004	340	コシヒカリ	7月25日	0.0	0.0	1.2	0.03
42	2004	150	コシヒカリ	8月16日	0.0	0.0	1.0	<0.01
43	2004	150	コシヒカリ	8月16日	1.0	0.0	0.0	<0.01
44	2004	150	コシヒカリ	8月16日	1.0	0.0	0.0	<0.01
45	2004	160	コシヒカリ	8月16日	1.0	0.0	1.0	0.02
46	2004	160	コシヒカリ	8月16日	0.0	0.0	0.0	0.02
47	2004	160	コシヒカリ	8月16日	0.0	0.0	0.0	<0.01
48	2004	160	コシヒカリ	8月16日	2.0	0.0	1.0	0.01
49	2004	160	コシヒカリ	8月16日	0.0	0.0	0.0	0.03
50	2004	160	コシヒカリ	8月16日	1.0	0.0	0.0	0.03

*: 出穂始めからの日平均気温-10度の積算値。

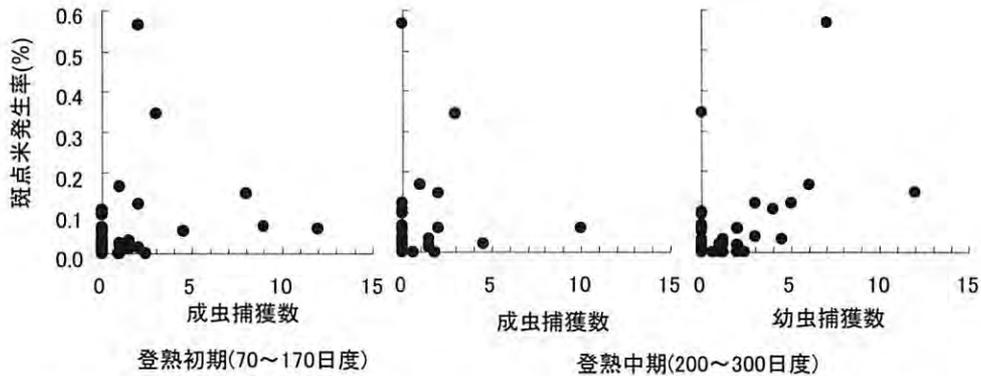


図41 30回振りあたりすくい取り成虫・幼虫捕獲数と斑点米発生率との関係。

平均気温 -10°C の積算値が70~170日度（以下、登熟初期）に行ったすくい取り調査における成虫捕獲数（以下、成虫1）を独立変数とした。また、若齢幼虫の発生頻度が高いのは、出穂始めからの日平均気温 -10°C の積算値が200~300日度（以下、登熟中期）であることがⅢ章-3で明らかになっている。そこで、登熟中期のすくい取り調査における幼虫捕獲数（以下、幼虫捕獲数）を独立変数とした。さらに、登熟中期には、幼虫と一緒に成虫が捕獲される場合があるので、登熟中期の成虫捕獲数（以下、成虫2）および成虫と幼虫の捕獲数の合計（以下、成虫2+幼虫）も独立変数とした。

独立変数のすべての組み合わせならびにそれらの1次の交互作用を取り入れて、複数のロジスティック回帰モデルを作成し、その中から、被害予測に最適なモデルを赤池情報量基準（AIC）⁽¹⁴⁰⁾によって選択した。2次以上の交互作用を含んだモデルは解釈が困難なことから検討しなかった。また、被害予測の際に、すくい取り調査が登熟初期と中期の2回必要となるモデルは、労力の問題から実現困難であるので検討しなかった。さらに、成虫2と成虫2+幼虫の組み合わせのように、相関関係が高い変数の組み合わせが含まれるモデルは検討しなかった。そのため、検討したモデルに取り入れた独立変数間の相関係数は、最大でも0.3である。以上の解析には、統計解析ソフトウェアJMP ver. 4⁽¹⁴²⁾を用いた。

3) 結果

調査区の内、農家水田の調査区（面積3.5~5a）では、すくい取り調査を5回行ったが、いずれの調査でも捕獲したクモヘリカメムシを除去した。のべ

除去個体数は、成虫0~5頭、幼虫0~19頭であった。除去個体数は少なく、クモヘリカメムシの除去が斑点米発生率に与えた影響は小さいと考えられた。そこで、これらの調査区のデータは、クモヘリカメムシを除去しなかった調査区のデータと区別せずに以下の解析を行った。

登熟初期の成虫捕獲数（成虫1）、登熟中期の成虫捕獲数（成虫2）および幼虫捕獲数に対する斑点米発生率（角変換値）の回帰直線を求めたところ、決定係数は順に0.06、0.01、0.24であり、いずれの場合もこれまでの報告と同様にすくい取り捕獲数に対する斑点米発生率の回帰直線のあてはまりは良くなかった（図41）。

斑点米発生率が0.1%を超えたか否かを従属変数として検討したロジスティック回帰モデルの中で、AICが最も小さかったのは、幼虫捕獲数のみを独立変数としたモデルであった（表10）。このモデルと成虫2、幼虫捕獲数および交互作用を独立変数としたモデルまたは出穂開始日、幼虫捕獲数を独立変数としたモデルとの間のAICの差は1以下で小さかったものの、幼虫捕獲数のみを独立変数としたモデルは変数の数が最も少なかったので、被害予測に最適と考えられた。

幼虫捕獲数のみを独立変数としたモデルの回帰式の切片は -4.07 、回帰係数は 0.92 と推定され（表11）、いずれの値も0との間に1%水準で有意な差が認められた（Wald検定）。推定されたモデルは飽和モデルとの間に5%水準で有意な差は認められず（デビアンズによる適合度の検定、 χ^2 : 6.95, 自由度12, $P=0.86$ ）。適合度は良いと考えられた。被害発生確率（斑点米発生率が0.1%を超える確率）の計算値

表10 作成したロジスティック回帰モデルとその適合性

説明変数	パラメータ数	対数尤度	AIC
幼虫	2	-9.45	22.9
成虫2, 幼虫, 交互作用	4	-7.72	23.4
出穂開始日, 幼虫	3	-8.76	23.5
品種, 出穂開始日, 幼虫	4	-7.99	24.0
品種, 幼虫, 交互作用	4	-8.14	24.3
品種, 幼虫	3	-9.18	24.4
成虫2, 幼虫	3	-9.37	24.7
出穂開始日, 幼虫, 交互作用	4	-8.76	25.5
品種, 成虫1, 交互作用	4	-9.31	26.6
品種, 出穂開始日, 成虫2+幼虫	4	-10.46	28.9
品種, 成虫2+幼虫, 交互作用	4	-10.63	29.3
品種, 成虫2+幼虫	3	-12.38	30.8
出穂開始日, 成虫2+幼虫	3	-12.53	31.1
成虫2+幼虫	2	-13.54	31.1
出穂開始日, 成虫2+幼虫, 交互作用	4	-12.53	33.1
品種, 出穂開始日, 交互作用	4	-14.48	37.0
品種, 出穂開始日, 成虫1	4	-14.97	37.9
品種, 出穂開始日	3	-16.48	39.0
品種, 成虫1	3	-17.20	40.4
品種, 出穂開始日, 成虫2	4	-16.22	40.4
出穂開始日	2	-18.55	41.1
成虫1	2	-19.13	42.3
品種	2	-19.14	42.3
出穂開始日, 成虫2	3	-18.48	43.0
出穂開始日, 成虫1, 交互作用	4	-17.82	43.6
出穂開始日, 成虫1	3	-18.82	43.6
品種, 成虫2	3	-18.98	44.0
成虫2	2	-20.15	44.3
出穂開始日, 成虫2, 交互作用	4	-18.48	45.0
品種, 成虫2, 交互作用	4	-18.72	45.4

は、実測値における斑点米発生率が0.1%を超えた調査区の割合との間に大きな違いは認められなかった(図42)。

推定された回帰式を用いて、被害発生確率が10%および90%となる30回振りあたり幼虫捕獲数を逆推定したところ、順に2.0頭(95%信頼区間: -0.73, 3.5), 6.8頭(同: 4.9, 15.6)と推定された。

4) 考察

検討したロジスティック回帰モデルの中では、幼虫捕獲数のみを独立変数としたモデルが被害予測に最も適していると考えられた(表10)。AICが小さい上位8個のモデルいずれでも、独立変数として幼虫捕獲数が取り入れられていた。本報告のⅡ章-2で行った網枠内の放飼試験では、推定ふ化数に対する斑点米発生数の回帰直線の決定係数が高かったことが報告されている。これらから、登熟中期の幼虫すくい取り調査によって被害発生確率を推定できると考えられた。

登熟初期の成虫捕獲数(成虫1)を独立変数の一

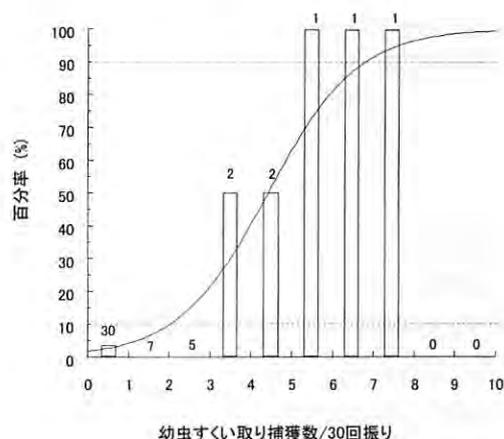


図42 幼虫すくい取り捕獲数と斑点米発生率が0.1%を超える確率と斑点米発生率が0.1%を超えた調査区の割合との関係。

曲線: 回帰式 $y = 1 / (1 + \exp(4.07 - 0.92x))$ による計算値。
棒グラフ: 斑点米発生率が0.1%を超えた調査区の割合。
棒上の数字は調査区の数。

つとして取り入れたモデルは、いずれも幼虫捕獲数を独立変数の一つとして取り入れたモデルより不適であった(表10)。これまで、水田における穂揃期ごろのすくい取り捕獲数と斑点米発生率との関係を回帰分析して、0.1%付近の斑点米発生率を予測できた例はない⁽¹⁵¹⁾。今回の調査結果でも同様であった(図41)。また、クモヘリカメムシによる斑点米は、成虫が産下した卵から孵化した幼虫の加害により、主に乳熟期以降に生じるとされている^(151, 197)。Ⅱ章-4の調査結果では、クモヘリカメムシの卵期の生存率には水田間で違いが認められ、その要因として卵期の捕食性天敵の影響が大きかった。これらは登熟初期の成虫すくい取り調査による被害発生確率の推定が難しいことを示唆している。

登熟中期の成虫捕獲数(成虫2)または成幼虫捕獲数(成虫2+幼虫)を独立変数の一つとして取り入れたモデルは、いずれも幼虫捕獲数を独立変数の一つとして取り入れたモデルより不適であった(表10)。さらに、幼虫捕獲数と成虫2を独立変数としたモデルは、幼虫捕獲数のみを取り入れたモデルよりも不適であった。Ⅱ章-3で明らかにしたように、出穂始め後300日度頃までが、クモヘリカメムシ成虫にとって水田への侵入に好適な時期にあたる。これは、登熟中期に捕獲される成虫はやがて移出するので、斑点米の発生に大きな影響を及ぼしていない可能性を示唆している。したがって、登熟中期のす

表11 幼虫捕獲数を説明変数としたロジスティック回帰モデルのパラメータ推定値

項目	パラメータ推定値	標準誤差	カイ2乗値	P値
回帰係数	0.92	0.31	8.78	<0.001
切片	-4.07	1.07	14.34	0.003

くい取り調査では、幼虫数と成虫数を分けて記録することが重要である。

品種や出穂開始日を独立変数としたモデルはいずれも最適ではなかった(表10)。今回の結果からは、品種の早晚性や出穂開始日の早遅と被害の発生確率との関連は小さいと考えられた。

以下に、このモデルの適用について考察する。アカヒゲホソミドリカスミカメについては、割れ糲の発生頻度が高い品種では、斑点米発生率が高くなることが知られ^(19, 51, 70, 92, 99)、割れ糲率の高い品種では、一般の品種とは異なる要防除水準が設定されている^(18, 19)。本調査では、あきたこまちなど割れ糲の発生頻度が高い品種の調査区が解析の対象になかった。割れ糲率が高い品種における被害予測に、このモデルを適用できるのかは別途検討が必要である。

推定した回帰式による被害発生確率の計算値は、観察値の推移と大きな違いはなかった(図42)。回帰式は実際の被害発生確率によく適合している可能性があるが、モデルの一般性の検証については別途データを集めて検討する必要がある。

斑点米の外観品質の検査基準には、0.1、0.3、0.7%の3つの混入率の基準がある。今回は、0.1%より高い斑点米発生となる確率のみを検討したが、

今後、0.3、0.7%それぞれの斑点米発生率を超える確率を推定するモデルが明らかになれば、すくい取り調査等から得られる被害予測情報が多くなり、防除回数を選択の際に活用し易くなると考えられる。

求めた回帰式から、被害発生確率が10%である幼虫捕獲数は2.0頭(95%信頼区間: -0.73, 3.5)、90%である幼虫捕獲数は6.8頭(同: 4.9, 15.6)と推定された。ただし、これらの推定値の95%信頼区間は広いので、幼虫すくい取り捕獲数と被害発生確率との関連はゆるやかなものであると考えられる。したがって、防除要否の判断の際には、すくい取り調査に基づいて推定した被害発生確率だけでなく、広域的な発生予察情報などを踏まえる必要がある。

これまで、クモヘリカメムシに対する殺虫剤の散布回数について客観的な判断基準はなかった。求めた回帰式は、登熟初期の殺虫剤散布をした後に、追加散布の必要性を、独自で設定する被害発生確率の基準で判断する場合に利用できる可能性がある。ただし、本推定方法に必要な労力は少なくない。より効率的な幼虫のすくい取り調査方法を検討する必要があると考えられる。また、近年は防除場所の重点化、斑点米の混入が多いと予想される水田の分別収穫・分別調整、色彩選別機による個々の斑点米の収穫物からの除去なども斑点米被害防止方法として検討されてきている^(38, 137, 143, 175, 185)。すくい取り調査による被害発生確率の推定値は、これら多様な防除対策を組み合わせる際にも活用できるであろう。

IV 総合考察

本研究では、近年の分布拡大と密度の増加が顕著な斑点米カメムシ類の一種であるクモヘリカメムシを主な研究対象として、発生動態、密度変動要因、加害生態および斑点米被害の予測方法に関する一連の調査・解析を行った。総合考察では、得られた結果をまとめ、今後の問題点を指摘するとともに、本研究で十分に触れることのできなかつたいくつかの点について議論する。

米の外観品質を低下させる斑点米カメムシ類は、米の生産調整が始まったころから発生が多くなり、全国的な多発生が1970年代前半⁽⁵⁶⁾や1990年代後半⁽¹⁵⁴⁾に起きている。クモヘリカメムシは、近年の

分布の拡大と密度の増加が顕著な種として知られている⁽¹⁵⁸⁾。茨城県では1970年代には本種の密度は高くなかったが、1980年代後半から県北地域で密度が極めて高い水田が認められるようになり、1990年代末には全県で発生が多くなり問題となった^(200, 202)。1970年代と近年の斑点米カメムシ類の発生状況の違いは、クモヘリカメムシの分布拡大と密度増加要因の解明の手がかりになると考えられる。

本研究では、発生源であるイネ科牧草・雑草上におけるクモヘリカメムシの発生動態を3年間に渡って調査した(Ⅱ章-1)。その結果、茨城県南部地域におけるコシヒカリの栽培体系では、第1世代成虫

の羽化開始時期よりも前に、クモヘリカメムシ成虫の水田への侵入最適期が終わる場合が多いと推定され、本地域のコシヒカリは耕種的に被害を受けにくい栽培体系であると考えられた。また、1970年代の斑点米被害拡大の際には、作期の前進化がその要因の一つとして挙げられている⁽⁵⁶⁾が、近年の主要な作期や品種はほとんど変化していない、したがって、栽培方法の変化がクモヘリカメムシの分布拡大と密度増加要因になったとは考えにくい。

クモヘリカメムシと同様にカスミカメムシ類は近年の分布の拡大と密度の増加が著しい種として知られている⁽¹⁵⁸⁾。イネカメムシは1970年代以前からほとんど発生しなくなっていたが、局地的に密度が高くなった事例がある⁽¹⁵⁾。本研究では、クモヘリカメムシ、イネカメムシ、アカヒゲホソハリカメムシの加害生態を調査した。その結果、クモヘリカメムシなど3種とホソハリカメムシとの間で加害生態が大きく異なることが明らかになった。クモヘリカメムシなど3種では、籾上の特定の部位を加害する性質が認められたが、ホソハリカメムシでは特定の部位を選択して加害する性質は認められなかった(Ⅲ章-1)。また、クモヘリカメムシなど3種が主に加害する籾の登熟段階は、玄米が縦伸長途中から幅伸長途中の籾であったが、ホソハリカメムシは玄米が縦伸長途中から厚さ伸長途中まで、より幅広い登熟段階の籾を主に加害すると考えられた(Ⅲ章-2)。これまで、クモヘリカメムシなど3種は玄米など乾燥した種子で増殖できないカメムシ種であり^(22, 147)、寄主植物はイネ科にほぼ限られることが報告されている^(26, 101)。一方、ホソハリカメムシは玄米など乾燥した種子や、タデ科など広範囲の植物で増殖できることが報告されている^(48, 96, 101)。以上から、クモヘリカメムシ、イネカメムシ、アカヒゲホソハリカメムシは、ホソハリカメムシに比較すると利用可能な寄主植物種や子実の登熟状態の範囲が狭いと考えられた。このことは、これらのカメムシ種の分布域や密度が、特定の寄主植物の密度の影響を受けやすい可能性を示唆している。

1970年代の斑点米被害拡大の要因として、転作による休閑地の増加が挙げられている⁽⁵⁶⁾。当時、イタリアンライグラスではカメムシ類の生息事例は報告されているが、被害拡大要因として指摘された例は少ない^(56, 65, 108)。一方、近年の被害拡大要因とし

て、転作の拡大による飼肥料作物の作付け増加または雑草化したイネ科牧草が生育している堤防、畦畔、休閑地の増加が挙げられ、イタリアンライグラスについてもその影響が指摘されている^(28, 52, 158)。本研究では、イタリアンライグラスがクモヘリカメムシの生活環の形成に重要な影響を与える寄生植物と考えられた(Ⅱ章-1)。ただし、イタリアンライグラスがいつごろから雑草化して広がりを見せたのか、広域的、長期的調査が行われていないので、カメムシ類の被害増加との関係を直接実証することは難しい。しかし、イタリアンライグラスなどライグラス類は各地で野生化し⁽¹⁹²⁾、このうちイタリアンライグラス(ネズミムギ)は、人為的に導入した緑化資材からの逸出が蔓延に関与している可能性が高いと考えられている^(4, 192)。また、冬作ムギにおいてはカラスムギ *Avena fatua* L. やイタリアンライグラスの雑草害が問題となっている^(3, 4)。1970年代と比べ近年のイタリアンライグラスの発生量が増加している可能性は高い。今後の休閑地の増加ならびに好適な寄生植物の密度の変化は、クモヘリカメムシの分布拡大と密度増加要因の解明ならびに広域的発生予察方法確立のための重要な手がかりになると考えられる。

気象条件は昆虫の生理や行動に直接的な影響を与えるだけでなく、食物である植物への影響を通じて間接的に影響を与える。さらにこれらの物理的条件はその種の競争種や天敵との力関係をも変化させるとされている⁽⁷⁶⁾。1970年代の斑点米被害拡大の要因として、気象条件は挙げられていないが、近年の斑点米被害拡大には、気象条件の影響が指摘されることが多い^(56, 156)。これまで、熊本県では、気温と被害米の割合との関係に正の相関が認められたと報告され⁽¹⁵⁶⁾、クモヘリカメムシでは、高温条件で産卵数が増加すると報告されている⁽²⁰²⁾。アカヒゲホソミドリカスミカメやトゲシラホシカメムシでも、高温傾向で被害が大きくなる可能性が報告されている^(46, 92, 118, 131)。一方で、アカヒゲホソミドリカスミカメでは、極端な高温乾燥は発生を抑制したと指摘されている⁽⁷⁰⁾。気象条件がクモヘリカメムシの発生量に与える影響は、広域的な被害予測のうえでも重要であるので、今後詳細に検討する必要があると考えられる。

クモヘリカメムシの要防除水準については、これまで研究例^(108, 151)はあったが、侵入成虫とふ化幼虫

との関係の変動が大きいために、0.1%付近の被害予測は実現していなかった。また、その変動が大きい要因は検討されていなかった。本研究では水田に設置した網枠内における放飼試験結果から、クモヘリカメムシの斑点米発生数を予測するうえで、侵入成虫密度の推定よりもふ化幼虫密度の推定が重要であると考えられた(Ⅱ章-2)。さらに、卵期の死亡要因が放飼卵数と斑点米発生数との関連を不明瞭にしていると考えられた。これまでクモヘリカメムシの天敵は卵寄生蜂以外ほとんど研究されていなかった⁽¹⁹⁸⁾。そこで、水田、ダイズ圃場、圃場外のイネ科雑草群落にクモヘリカメムシ卵を設置して死亡要因を調査したところ、卵の主要な死亡要因は、ヘリカメクロタマゴバチと捕食性天敵であることが明らかになった(Ⅱ章-3)。さらに、水田においてクモヘリカメムシの卵期の捕食性天敵を調査したところ、ウスイロササキリがクモヘリカメムシ卵の捕食性天敵の一種であることが明らかになった(Ⅱ章-4)。これらから、天敵類の密度変動が水田におけるクモヘリカメムシの増殖率の変動を大きくしている可能性が示唆された。さらに、水田におけるすくい取り捕獲数と斑点米被害との関係を解析したところ、登熟中期の幼虫すくい取り捕獲数を説明変数としたロジスティック回帰モデルが、成虫のすくい取り捕獲数を変数としたモデルよりも被害推定に適していた(Ⅲ章-5)。いずれの結果も、被害予測のためには幼虫のすくい取り調査が重要であることを示している。

クモヘリカメムシが主に加害する籾の登熟段階は、玄米が縦伸長途中から幅伸長途中の籾であった(Ⅲ章-2)。さらに、この結果から3とおりの籾の登熟段階を定義してそれぞれの籾の量的な推移を調査したところ、条件が異なる水田であっても積算気温を用いて統一的にイネの穂の登熟段階やカメムシ類の発生消長を表せることが明らかになった(Ⅲ章-3)。本研究で推定した0.1%を超える斑点米が発生する確率を推定する回帰式は、登熟中期(出穂始めからの積算気温が200~300日度)の幼虫すくい取り捕獲数を用いて予測する(Ⅲ章-5)。密度調査時期が積算気温によって明確に示されているので、今後必要な回帰式の検証が容易になると考えられる。

本研究では、割れ籾率が5%の場合には、斑点米発生率が上昇する可能性は低かった(Ⅲ章-4)。しか

し、割れ籾は正常籾より斑点米に成りやすい傾向は認められたので、割れ籾の発生頻度が高い品種での被害予測方法については、別途検討する必要がある。

1970年代のような広域的発生予察とそれに対応する広域的防除体制が整っていた時期と比べ、近年は、米生産者個人や受託組織などの単位で斑点米カメムシ類を防除することが多くなっている。そのため、殺虫剤による防除要否や防除回数は、広域的発生予察情報だけでなく米生産者の主観的、経験的な判断によって決まることが多い⁽³⁴⁾。しかし、基幹的農業従事者が減少し、受託栽培や法人等の組織的な栽培が増加する中で、個々の水田における害虫発生傾向の特徴を経験的に蓄積することが難しくなり、客観的に防除要否を判断できる基準の重要性が高まっていると考えられる。一方で、米生産者が防除作業に投入できる労力や斑点米の発生による品質低下の経営的影響は多様化し、一定の値の要防除水準を決めても適用できる場面が限定されてしまう可能性がある⁽¹⁵⁷⁾。そこで本研究では、0.1%を超える斑点米被害が発生する確率を客観的に予測する方法を提案した(Ⅲ章-5)。これまでの要防除水準と異なり、多様な条件の米生産者が独自の基準で判断して、斑点米カメムシ類の防除法やその組み合わせ法を決める際に参考にできると考えられる。

本研究では、登熟初期のクモヘリカメムシのすくい取り捕獲数によって、0.1%を超える被害発生確率を精度よく予測することは困難と考えられた(Ⅲ章-5)。このことは、出穂前または出穂直後に行う防除法やその組み合わせ法を客観的に決めるためには、広域的発生予察情報が重要であることを示している。しかし、多様な植生が混在する地域内の斑点米カメムシ類の発生密度を正確に把握することは一般的に難しい。したがって、広域的な発生予察では、発生時期の予測が最重要と考えられる。本報告Ⅱ章-1では、成虫の発生開始日を推定して、クモヘリカメムシ成虫が水田に侵入する可能性が低い作期があることを明らかにした。しかし、成虫の推定発生開始日やイネの生育状態だけでは、カメムシ類の防除法およびその組み合わせ法を決定する際の情報として利用することは難しい。今後は、カメムシ類の発生時期やイネの生育状態から推定した地域ごとの斑点米被害発生確率を、広域的発生予察の中で示す方法を研究することも重要と考えられる。

摘 要

斑点米カメムシ類とは、イネの穂を吸汁加害し、玄米に黒～褐色の斑紋を生じさせるカメムシ類の総称である。斑紋が生じた米粒は、「斑点米」と呼ばれる。玄米中へのわずかな斑点米の混入（0.1～0.7%）が、品質低下の重要な要因のひとつとなる。クモヘリカメムシは、東北以南の太平洋側から西日本全域に分布する斑点米カメムシ類の重要種であり、近年多発生の傾向にある。しかし、本種の発生動態に関する知見は非常に少ない。また、防除対策を決める際に利用できる被害予測方法はまだない。そこで本研究では、茨城県南部におけるクモヘリカメムシを中心とした斑点米カメムシ類の発生動態、密度変動要因を明らかにするとともに、加害生態の解明ならびにクモヘリカメムシの密度と斑点米被害発生確率との関係のモデル化を行った。

①クモヘリカメムシの発生動態と密度変動要因の解明

イネ科牧草・雑草上におけるクモヘリカメムシの発生動態を同所的に生息するホソハリカメムシと比較しながら調査した。クモヘリカメムシの越冬世代成虫は、6月末から7月上旬にかけて出現した。そのすぐ後に第1世代幼虫が出現し、10月までに2回幼虫の発生ピークが現れた。一方、ホソハリカメムシの越冬世代成虫は5月はじめにはすでに発生が認められたが、幼虫は6月下旬～7月中旬までほとんど発生せず、その後もクモヘリカメムシほど明瞭な個体数ピークは観察されなかった。クモヘリカメムシの出現開始時期および有効積算温度から、本種は茨城県中南部では年2世代発生すると推定した。本地域でのコシヒカリは耕種的にはクモヘリカメムシの被害を受けにくい時期に作付けされていると考えられた。

水田内でのクモヘリカメムシの自然発生密度は通常非常に低い。そこで、水田に設置した網枠内にクモヘリカメムシの卵を放飼することにより、水田におけるクモヘリカメムシの密度と斑点米発生数との関係を調査した。放飼卵数に対する斑点米発生数の変動は大きく、決定係数の高い回帰式は得られなかった。卵期の死亡要因が放飼卵数と斑点米発生数の主要な変動要因であり、クモヘリカメムシによる斑点米発生数の予測には、侵入成虫密度の推定よりも

ふ化幼虫密度の推定が重要であると考えられた。

開放系の水田、ダイズ圃場、圃場外のイネ科雑草群落において、クモヘリカメムシ卵を用いたおとり法によって調査して、ヘリカメクロタマゴバチと捕食性天敵がクモヘリカメムシの卵期の主要な死亡要因であることを明らかにした。さらに、水田ではおとり法と農薬散布による天敵除去法を組み合わせることで調査して、クモヘリカメムシの卵期の主要な捕食性天敵は、ウスイロササキリであり、その働きには水田間の違いが認められることを明らかにした。

②斑点米カメムシ類の加害生態の解明とクモヘリカメムシの密度と斑点米被害発生確率との関係のモデル化

籾における加害部位にカメムシの種による特異性を認め、クモヘリカメムシでは鈎合部、イネカメムシでは小穂軸、ホソハリカメムシでは籾全体で吸汁行動が行われることを明らかにした。そして、斑点米の加害痕の位置の特徴から加害種を推定する方法を提案した。

カメムシ類を放飼した穂における籾の登熟段階と加害籾数との関係を調査して、クモヘリカメムシ、イネカメムシ、アカスジカスミカメは、胚乳が縦伸長途中から幅伸長途中の籾を主に加害し、ホソハリカメムシはより登熟が進んだ籾も加害することを明らかにした。

品種・出穂時期の異なる水田において、小穂をその玄米の発育程度により3段階に区分して、各段階の籾数の推移を調査した。各段階の籾の存在量は、品種・出穂時期によらず出穂始め以降の積算温度によって同様に推移することを明らかにした。そして、積算温度を指標として、カメムシ類の水田への侵入時期やその後の増殖パターンを、品種や移植時期を問わず統一的に表わす方法を提案した。

クモヘリカメムシ密度と斑点米発生数との関係に及ぼす割れ籾の影響を解明するために、水田に設置した網枠内への放飼試験を行って、割れ籾率が5%の場合には、割れ籾が本種による斑点米発生率を上昇させる可能性は低いことを明らかにした。

これらの調査から得られた知見をもとに、クモヘリカメムシの斑点米被害の有無を従属変数とし、す

くい取り捕獲数などを独立変数とした複数のロジスティック回帰モデルを構築し、その中から最適モデルの選択を試みた、そして、幼虫捕獲数のみを独立変数としたモデルが被害予測に最も適していること、登熟初期の成虫捕獲数を独立変数として取り入れたモデルは、幼虫捕獲数を独立変数として取り入

れたモデルより被害予測には不適であることを明らかにした。捕獲効率の変動が大きいとされるすくい取り調査であっても登熟中期（出穂開始からの積算気温が200～300日度）の幼虫捕獲数を用いれば被害発生確率を推定できると考えられた。

引用文献

1. Andow, D. A. (1990) Characterization of predation on egg masses of *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 83, 482-486
2. 有坂通展 (1993) 割れ粃とオオトゲシラホシカメムシによる斑点米の発生との関係. *北陸病虫研報*, 41, 27-30
3. 浅井元朗 (2002) ムギ作の強雑草カラスムギ-その謎と防除に挑む. *雑草とその防除*, 39, 25-28
4. 浅井元朗・與語靖洋 (2005) 関東・東海の水田におけるカラスムギ・ネズミムギの発生消長とその背景. *雑草研究*, 50, 73-81
5. 馬場口勝男・深町三朗・瀬戸口 脩 (1973) クモヘリカメムシの発生生態ならびに被害解析. *鹿児島農試研報*, 1, 42-53
6. De Kraker, J., A. Van Huis, J. C. Van Lenteren., K. L. Heong, and R. Rabbinge (2000) Identity and relative importance of egg predators of rice leafhoppers (Lepidoptera: Pyralidae). *Biol. Control*, 19, 215-222
7. 遠藤巨紀・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取り効率. *千葉農試研報*, 18, 105-111
8. 藤崎祐一郎 (1982) 宮城県における水田に生息するカメムシ類と斑点米発生の検討. *宮城農セ報*, 49, 45-58
9. 福田博年・千代西尾伊彦 (1981) カメムシ類に関する研究 (第3報) 山間地水田に発生するトゲカメムシの発生経過と2, 3の生態について. *鳥取農試研報*, 19, 49-59
10. 福原植男 (1982) 水田に見られる直翅目害虫の見分け方 (1). *植物防疫*, 36, 524-528
11. 福原植男 (1982) 水田に見られる直翅目害虫の見分け方 (2). *植物防疫*, 36, 571-575
12. 福原植男 (1983) 水田に見られる直翅目害虫の見分け方 (3). *植物防疫*, 37, 262-267
13. 福原植男 (1983) 水田に見られる直翅目害虫の見分け方 (4). *植物防疫*, 37, 498-502
14. 福原植男 (1984) 水田に見られる直翅目害虫の見分け方 (5). *植物防疫*, 38, 571-577
15. 船生岳人 (2001) おとり田を利用したイネカメムシの耕種的防除の実証. *関西病虫研報*, 43, 115
16. 古家 忠・清田洋次 (1993) 斑点米カメムシの種類と粃の吸汁部位. *九病虫研会報*, 39, 82-84
17. 後藤純子・伊藤芳樹・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
18. 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. *北海道立農試集報*, 53, 43-49
19. 八谷和彦・橋本直樹 (2001) 「ほしのゆめ」における斑点米カメムシの要防除水準. *北農*, 68, 8-12
20. 浜名光衛 (1987) 高冷地における水稲の割れ粃と着色米の発生に関する研究. *福島農試研報*, 26, 22-32
21. 羽生寿郎・内島立郎 (1962) 作物の生育と気象との関連に関する研究 第1報 水稲の出穂期と気温との関係. *農業気象*, 18, 109-117
22. 長谷川 仁 (1961) 最近水稲に発生する2,3のカメムシ類. *植物防疫*, 15, 143-146
23. 長谷川利拡・宮地好徳・柴垣秀明・高野順也・三浦 学・崎原 健・片野 学 (1995)

- 熊本県における気象からみた水稻生育・収量予測に関する研究 I. 发育ステージの予測について. 九州東海大農紀要, 14, 9-15
24. 長谷川美克・田中伊和夫・川田 和 (1976) クモヘリカメムシの生殖組織の季節的变化と発生消長について. 滋賀農試研報, 18, 37-44
25. 長谷川美克・川田 和・保積隆夫・渡辺健三 (1979) 斑点米に関与するカメムシ類に関する研究 (第3報) ホソハリカメムシの年間発生回数. 滋賀農試研報, 21, 33-38
26. 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
27. 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
28. 林 英明 (1997) 斑点米カメムシ発生相の変遷と防除対策. 植物防疫, 51, 455-461
29. 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
30. 林 英明・梅田公治 (1985) イネを加害するアカスジメクラガメの生態について. 農薬研究, 32 (2), 48-56
31. 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
32. 林 恭弘・森下年起・山本浩之 (2000) 水稻早期栽培米の収穫適期に関する研究. 和歌山農林水技セ研報, 1, 139-145
33. 樋口博也 (1997) ダイズ害虫イチモンジカメムシの発生生態と個体群制御要因としての卵寄生蜂. 九農試報告, 31, 23-100
34. 広島県農林水産部 (2001) 広島県植物防疫シリーズ 第11号, 斑点米とカメムシ No. 2. 「2000年の発生状況とその対応について」. 広島県農林水産部, 43p.
35. 広田年信 (1992) 徳島県における水稻の生育診断予測技術 第1報 水稻奨励品種の出穂期および成熟期の推定. 徳島農試研報, 28, 7-21
36. 星川清親 (1975) イネの生長. 農山漁村文化協会, 317p.
37. 市川顕彦 (1998) 絵とき検索日本のササキリ類. 昆虫と自然, 33 (1), 30-34
38. 一守貴志・田中英樹・浦川福一・平野 稔 (1991) 殺虫剤によるアカスジメクラガメの防除と斑点米の発生. 北日本病虫研報, 42, 101-102
39. 飯村茂之 (1994) アカスジメクラガメの加害時期と要防除密度の検討. 北日本病虫研報, 45, 132-136
40. 井上 寿 (1974) 斑点米の原因となるカメムシ類の生態と特徴. 農業および園芸, 49, 781-786
41. 井上 寿 (1974) 黒触米. 今月の農薬, 18 (11), 21-24
42. 井上俊作・長谷川理成・大木寛幸・宮崎豊 (1981) 割れ粳に関する調査研究. 千葉原農研報, 3, 1-6
43. 石川浩司・田中太一・駒形健二・関 正利 (1995) 農道畦畔の除草と殺虫剤散布による斑点米の発生防止. 北陸病虫研報, 43, 13-16
44. 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
45. 石本万寿広 (2004) アカヒゲホソミドリカスミカメのfenitrothion抵抗性個体群の発生. 応動昆, 48, 348-352
46. 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, 165-169
47. 石崎摩美・竹内博昭・渡邊朋也・鈴木芳人 (2002) 发育パラメータを用いたクモヘリカメムシの世代数推定. 関東病虫研報, 49, 95-96
48. 伊藤清光 (1982) ホソハリカメムシ成虫の餌植物選好性と水田への移動. 応動昆, 26, 300-304
49. 伊藤清光 (1985) ホソハリカメムシの生活史と餌植物. 植物防疫, 39, 157-160
50. 伊藤清光 (1989) ホソハリカメムシの生活史に関する研究. 農研センター研報, 14, 39-103
51. 伊藤清光 (2004) アカヒゲホソミドリカスミカメの加害による斑点米発生: 特に割れ粳との関係. 応動昆, 48, 23-32
52. 伊藤清光 (2004) 近年の斑点米多発生とその要因-水田の利用状況の変化. 北日本病虫研報,

- 55, 134-139
53. Ito, K. (1984) The effect of feeding on the subsequent starvation longevity in post-hibernating *Cletus punctiger* (Heteroptera: Coreidae). *Appl. Entomol. Zool.*, 19, 461-467
 54. Ito, K. (1985) Seasonal changes of lipid content in adult *Cletus punctiger* (Heteroptera: Coreidae). *Appl. Entomol. Zool.*, 20, 350-351
 55. Ito, K., H. N. Kin, and Chang P. M. (1995) *Conocephalus longipennis* (de Hann) (Orthoptera: Tettigonidae): a suspected egg-predator of the rice bug in the Muda area, west Malaysia. *Appl. Entomol. Zool.*, 30, 599-601
 56. 岩田俊一・葭原敏夫 (1976) 斑点米を発生させるカメムシ類 全国アンケート調査より. *植物防疫*, 30, 127-132
 57. 神田英司・鳥越洋一・小林 隆 (2002) 有効積算気温を用いた簡易モデルの穂の発育ステージ予測への適用. *日作紀*, 71, 394-402
 58. 兼子 真・片岡勝美・武田 哲 (1988) イネ籾表面構造の形成 成熟過程における観察. *日作紀*, 57, 311-315
 59. 嘉藤省吾・若松俊弘・関口 亘 (1973) ホソハリカメムシの生態と防除について. *北陸病虫研報*, 21, 53-57
 60. 河辺信雄 (1975) 福島県内で採集されたカメムシの種類とその斑点米形成状況. *北日本病虫研報*, 26, 74
 61. 川村 満 (1993) “カメムシによる作物の被害: カメムシの種類による被害子実粒 (斑点米) の特徴と被害子実粒の形成のされかた”. *日本原色カメムシ図鑑*. 友国雅章 監修. 全国農村教育協会, p.278-286.
 62. 川村 満 (1995) カメムシによるイネの被害粒 (斑点米) とその判定上の問題点. *四国植防*, 30, 1-12
 63. 川村 満・高井幹夫 (1987) カメムシ類による傷害米の発生経過. *四国植防*, 22, 83-94
 64. 川沢哲夫・斉藤 誠・大平幸子 (1975) カメムシ類と斑点米. *農薬グラフ*, 53, 8-11
 65. 川沢哲夫・川村 満 (1977) カメムシ百種. *全国農村教育協会*, 301p.
 66. 川沢哲夫・川村 満・高井幹夫 (1987) クロアシホソナガカメムシの斑点米発現能力について. *農薬研究*, 34, 54-61
 67. 川澤哲夫 (1993) “カメムシによる作物の被害斑点米の産出能力”. *日本原色カメムシ図鑑*. 友国雅章 監修. 全国農村教育協会, p.276-277.
 68. 菊地淳志・内藤 篤・松浦博一 (1995) イチモンジカメムシおよびホソハリカメムシ卵の野外設置による卵寄生蜂の寄生率の向上. *農研センター研報*, 24, 61-66
 69. 菊地淳志・小林徹也 (2005) 斑点米カメムシ対策としての畦畔・農道除草. *農業および園芸*, 80, 15-22
 70. 菊地淳志・菅野洋光・木村利幸・後藤純子・小野 亨・新山徳光・滝田雅美・松木伸浩・大場淳司・堀末 登 (2004) 東北地域における斑点米カメムシ類の発生と被害実態調査. *東北農研研報*, 102, 101-180
 71. Kim, T. W., and J. I. Kim (2002) Taxonomic study of the genus *Conocephalus* Thunberg in Korea (Orthoptera: Tettigoniidae: Conocephalinae). *Korean J. Entomol.*, 32, 13-19
 72. Kiritani, K. (1964) Natural control of populations of the southern green stink bug, *Nezara viridula*. *Res. Popul. Ecol.*, 6, 88-98
 73. Kiritani, K. (1964) The effect of colony size upon the survival of larvae of the southern green stink bug, *Nezara viridula*. *Jap. J. Appl. Ent. Zool.*, 8, 45-54
 74. Kiritani, K., N. Hokyo and S. Iwao (1966) Population behavior of the southern green stink bug, *Nezara viridula*, with special reference to the developmental stages of early-planted paddy. *Res. Popul. Ecol.*, 8, 133-146
 75. Kiritani, K. and F. Nakasuji (1967) Estimation of the stage-specific survival rate in the insect population with overlapping stages. *Res. Popul. Ecol.*, 9, 143-152
 76. 桐谷圭治 (2001) *昆虫と気象*. 成山堂書店, 177p.
 77. 北見寿昭・中村保宏・丸 論・清水喜一 (1976) ホソハリカメムシとクモヘリカメムシの越冬. *関東病虫研報*, 23, 80
 78. 小林彌一 (1983) 水稻の収穫適期の予測に関

- する研究 第1報 施肥法の差による籾の黄化、積算気温と収穫適期との関係. 福島農試研報, 22, 55-63
79. 小島秀治郎・内田康雄 (1974) 滋賀県西部における斑点米の発生と防除について. 滋賀農試研報, 16, 34-41
80. 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. 関西病害虫研報, 46, 79-80
81. 紺屋直樹 (2000) 病害虫発生予察システムによる情報の経済効果. 農経論叢, 56, 39-49
82. 湖山利篤 (1953) イネカメムシとBHC. 農業と病虫, 4, 4-8
83. 小山 豊・渡部富男・斉藤幸一・武市義雄・深山政治 (1985) 帯緑色籾歩合による水稲の刈取適期の判定 第1報 刈取適期判定の指標としての帯緑色籾歩合の適合性. 千葉農試研報, 26, 1-8
84. 口本文孝 (2001) 佐賀県における斑点米カメムシ類の発生と防除対策. 今月の農業, 45 (6), 38-41
85. 工藤 悟・香村敏郎・高松美智則・釈 一郎・中嶋泰則 (1982) 稲品種の特性解析に関する試験 第4報 収穫時期と米質変動. 愛知農総試研報, 14, 31-39
86. 久野英二 (1988) “発生予察・被害解析”. 新応用昆虫学 訂正版. 斎藤哲夫・松本義明・平嶋義宏・久野英二・中島敏夫 共著. 朝倉書店, p.123-133.
87. Li, C. S. (1985) Biological and ecological studies of the rice bug, *Leptocoris oratorius* (F.) (Hemiptera: Alydidae) and its control in Papua New Guinea. *Mushi*, 50, 1-12
88. Luck, R. F., R. M. Shepard, and P. E. Kenmore (1999) “Evaluation of biological control with experimental methods”. *Handbook of Biological Control*. Bellows, T. S. and T. W. Fisher eds. San Diego, Academic Press, 225-242
89. 前田英三 (1972) 走査電子顕微鏡によるイネ籾表面構造の観察. 日作紀, 41, 459-471
90. 前田博文・滝広徳男・中藪正之・木村陽登 (1974) 斑点米の発生原因と防除に関する研究 第1報 西部山間地域における発生原因について. 広島農試報告, 33, 15-22
91. Manley, G. V. (1985) The predatory status of *Conocephalus longipennis* (Orthoptera: Tettigoniidae) in rice fields of west Malaysia. *Ent. News*, 96, 167-170
92. 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, 7-10
93. 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
94. 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
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
96. 宮崎俊和・上遠野富士夫・清水喜一 (1976) ホソハリカメムシの幼虫の発育に及ぼす飼料の影響. 関東病虫研報, 23, 81-82
97. 水谷信夫・広瀬義躬・樋口博也・和田 節 (1996) 卵寄生蜂カメムシタマゴトビコバチの夏ダイズ圃場における発生消長. 応動昆, 40, 199-204
98. 水谷信夫 (2001) 卵寄生蜂カメムシタマゴトビコバチとダイズカメムシ類の寄主・寄生者関係に関する研究. 九州沖縄農研報告, 39, 15-78
99. 森村克美 (1975) 水稲の割れ籾と黒触米との関係. 農業技術, 30, 401-404
100. Morrill, W. L. and L. P. Almazan (1990) Effect of host plant species and age of rice bug (Hemiptera: Alydidae) eggs on parasitism by *Gryon nixonii* (Hymenoptera: Scelionidae). *J. Entomol. Soc.*, 25, 450-452
101. 永井清文・野中耕次 (1976) カメムシ類の生態ならびに防除に関する研究 第2報 主要種の各種植物における発育と選好程度. 九病虫研会報, 22, 88-91
102. 永井清文・野中耕次 (1977) カメムシ類の生態ならびに防除に関する研究 第5報 主要種に対する各種薬剤の効果. 九病虫研会報, 23, 96-98

103. 永峯淳一 (2003) 牧草地および雑草地におけるアカヒゲホソミドリカスミカメの発生と水田への移動. 北日本病虫研報, 54, 105-109
104. 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
105. 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活長. 北日本病虫研報, 39, 167-169
106. 長戸一雄 (1941) 穂上位置に依る米粒成熟の差異に就いて. 日作紀, 13, 156-169
107. 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
108. 中筋房夫 (1973) 稲穂を加害するカメムシ類の発生の特徴と要防除密度. 植物防疫, 27, 372-378
109. 中沢啓一・林 英明 (1983) 斑点米の原因となるカメムシ類の生態. 第1報 シラホシカメムシおよびホソハリカメムシの発育と休眠雌の出現. 広島農試報告, 46, 21-32
110. 中沢啓一・林 英明 (1984) 斑点米の原因となるカメムシ類の生態. 第2報 シラホシカメムシ及びホソハリカメムシの寄生性天敵. 広島農試報告, 48, 35-48
111. 中沢啓一・河野富香・梅田公治 (1972) 結実期の水稻から採集されたカメムシ類. 広島農試報告, 32, 7-15
112. 中園 江・井上君夫 (2001) 積算気温を用いた水稻の幼穂長および冷害危険期の推定. 日作紀, 70, 247-254
113. 奈須田和彦 (1976) 着色米・変質米とその種類について. 北陸病虫研報, 24, 40-45
114. 夏原由博 (1985) ホソハリカメムシの移動と産卵. 植物防疫, 39, 153-156
115. 二瓶信男 (1980) 水稻割れモミの発生とその性質. 農業技術, 35, 167-168
116. 新山徳光 (2000) 1999年の斑点米カメムシ類の多発生 (1) アカヒゲホソミドリカスミカメ. 植物防疫, 54, 309-312
117. 新山徳光・飯富暁康 (2000) 割れ初および斑点米の水田内分布. 北日本病虫研報, 51, 175-177
118. 新山徳光 (2002) アカヒゲホソミドリカスミカメの発生活態と防除. 今月の農業, 46 (6) , 21-24
119. 野田隆志 (1989) 数種のマメ科植物上におけるホソハリカメムシの卵寄生蜂の季節的発生活長. 応動昆, 33, 257-259
120. 野田隆志 (1990) ヘリカメクロタマゴバチ *Gryon japonicum* (Ashmead) の寄主範囲の推定. 応動昆, 34, 249-252
121. 野田隆志 (1993) ヘリカメクロタマゴバチの寄生行動に関する生態的研究. 農環研報, 9, 1-51
122. 野里和雄・桐谷圭治 (1976) ニカメイガの減少傾向と卵期天敵の役割. 植物防疫, 30, 259-263
123. 小田健一 (2000) ササキリ類における色彩多型と体色変化. 昆虫と自然, 36, 14-17
124. 小川 宏・川沢哲夫 (1981) 普通期稲の穂を吸収するおもなカメムシの斑点米産出能力について. 四国植防, 16, 87-95
125. 小川正行・池内辰雄・山本譲三郎 (1960) イネカメムシについて. 高知農試研報, 2, 45-47
126. 奥山七郎・井上 寿 (1974) 黒蝕米の発生とカメムシ類との関連について—特にアカヒゲホソミドリメクラガメとの関係. 道農試集報, 30, 85-94
127. 小野塚 清・小幡武志 (1990) オオトゲシラホシカメムシの水田への侵入と分布. 北陸病虫研報, 38, 18-22
128. 大場淳司・小野 亨 (2004) 冷害年における割れ初が発生が斑点米カメムシ類の加害に与える影響. 北日本病虫研報, 55, 122-124
129. 大沢守一・河辺信雄・斎藤 満 (1980) 福島県において斑点米を発生させるカメムシ類の生態と防除に関する研究 第2報 斑点米発生状況について. 福島農試研報, 19, 65-71
130. 大内 実 (1953) イネカメムシの新しい防除. 植物防疫, 7, 306-308
131. 大鷲高志・鈴木芳人 (2002) 気象条件が斑点米の発生に及ぼす影響. 北日本病虫研報, 53, 162-164
132. Peterson, R. K. D. and Hunt, T. E. (2003) The probabilistic economic injury level: incorporating uncertainty into pest management decision-making. *J. Econ. Entomol.*, 96, 536-542

133. Reissig, W. H., E. A. Heinrichs, J. A. Listneger, K. Moody, L. Fiedler, T. W. Mew and A. T. Barrion (1985) Illustrated guide to integrated pest management in rice in tropical Asia. Manila, International Rice Research Institute, 411p.
134. Rothschild, G. H. L. (1970) Observations on the ecology of the rice-ear bug *Leptocorisa oratorius* (F.) (Hemiptera: Alydidae) in Sarawak (Malaysian Borneo). *J. Appl. Ecol.*, 7, 147-167
135. Rothschild, G. H. L. (1970) *Gryon flavipes* (Ashmead) (Hymenoptera, Scelionidae), an egg-parasite of the rice earbug *Leptocorisa oratorius* (Fabricius) (Hem. Alydidae). *Entomophaga*, 15, 15-20
136. Rothschild, G. H. L. (1971) The biology and ecology of rice-stem borers in Sarawak (Malaysian Borneo). *J. Appl. Ecol.*, 8, 287-322
137. 齋藤仁蔵 (2004) 水稲局所管理システムの導入条件. フェーミングシステム研究, 6, 176-188
138. 崎村 弘・永井清文 (1976) カメムシ類の生態ならびに防除に関する研究 第3報 ミナミアオカメムシおよびクモヘリカメムシの越冬. 九病害虫研究会報 22, 91-22.
139. 鮫島徳造 (1960) ミナミアオカメムシの発生と被害. 植物防疫, 14, 242-246
140. 坂元慶行・石黒真木夫・北川源四郎 (1983) 情報量統計学. 共立出版, 236p.
141. SAS Institute (1998) StatView, version 5.0. Cary, North Carolina, SAS Institute Inc.,
142. SAS Institute (2000) JMP, version 4.0. Cary, North Carolina, SAS Institute Inc.,
143. 佐竹 覚・福森 武 (2001) 高性能色彩選別機の開発. 日本醸造協会誌, 96, 688-695
144. 徐 錫元・太田保夫 (1982a) 水稲の登熟に及ぼす初穀の役割 第1報 登熟過程における初穀の無機成分の動態. 日作紀, 51, 97-104
145. 徐 錫元・太田保夫 (1982b) 水稲の登熟に及ぼす初穀の役割 第3報 初穀における珪素, りん, カリウムおよびカルシウムの局在性について. 日作紀, 51, 349-353
146. 徐 錫元・太田保夫 (1982c) 水稲の登熟に及ぼす初穀の役割 第5報 初穀からの水分損失と米粒の発育について. 日作紀, 51, 529-534
147. 清水喜一 (1976) カメムシ類の人工飼育における諸問題. 植物防疫, 30, 142-146
148. 清水喜一 (1978) 最近の稲作におけるカメムシ類の発生状況 千葉県防除と対策. 今月の農業, 22 (9), 16-19
149. 清水喜一 (1988) カメムシ類の発生と斑点米. 農業研究, 34 (4), 12-17
150. 清水喜一 (1991) 米のコスメティック虫害と防除対策. 植物防疫, 45, 473-476
151. 清水喜一・丸 論 (1978) イネを加害するカメムシ類の要防除密度. 植物防疫, 32, 325-330
152. 下元満善 (1998) 吸穂性カメムシ類の生態と防除 第1報 加害時期・加害ステージと斑点米発生との関係. 高知農技セ研報, 7, 11-20
153. 下元満善 (1999) 吸穂性カメムシ類の生態と防除 第2報 防除薬剤と防除体系. 高知農技セ研報, 8, 5-11
154. 白石正美 (2001) 斑点米カメムシ類の今夏の発生状況について. 植物防疫, 55, 445-446
155. Sugimoto, A. and L. Nugaliyadde (1995) Damage of rice grains caused by the rice bug, *Leptocorisa oratorius* (Fabricius) (Heteroptera: Alydidae). *JIRCAS J.*, 2, 13-17
156. 杉浦直幸 (2002) 熊本県におけるカメムシ類による斑点米多発生の予測. 今月の農業, 46 (6), 25-31
157. 鈴木芳人 (2000) IPM理念の抜本的見直し. 植物防疫, 54, 217-221
158. 鈴木芳人 (2001) イネにおける虫害防除のポイント. 今月の農業, 45 (1), 24-27
159. 菖蒲信一郎・善 正三郎・松崎正文 (1998) 佐賀県における斑点米を発生させるカメムシ類の水稲およびイネ科植物での生息状況. 九病害虫研究会報, 44, 45-49
160. 田口玄一・横山巽子 (1987) 経営工学シリーズ18実験計画法. 東京. 日本規格協会, 370p.
161. 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
162. 高井幹夫 (1993) “カメムシによる作物の被害: 野菜および花き”. 日本原色カメムシ図鑑. 友国雅章 監修. 全国農村教育協会, 287-291,

163. 高須啓志・広瀬義躬 (1985) 福岡市におけるダイズ加害性カメムシ類の卵寄生蜂の季節的寄生消長. 九病虫研会報, 31, 127-131
164. Takasu K., Y. Hirose, and M. Takagi (1998) Occasional interspecific competition and within-plant microhabitat preference in egg parasitoids of the bean bug, *Riptortus clavatus* (Hemiptera: Alydidae) in soybean. *Appl. Entomol. Zool.*, 33, 391-399
165. 竹内博昭・鈴木芳人 (2003) アカスジカスミカメ *Stenotus rubrovittatus* (Matsumura) の稲穂における穿孔部位. 関東病虫研報, 50, 123-126
166. 竹内博昭・渡邊朋也・鈴木芳人 (2004) クモヘリカメムシ, イネカメムシ, ホソハリカメムシの加害によって生じた斑点米の種特異的な加害痕の特徴. 応動昆, 48: 39-47.
167. 竹内博昭・渡邊朋也・鈴木芳人 (2004) クモヘリカメムシ, イネカメムシ, ホソハリカメムシ, アカスジカスミカメに加害される籾の登熟段階. 応動昆, 48: 281-287.
168. 竹内博昭・渡邊朋也・石崎摩美・奥 慎太郎・安田哲也・橋 真一郎・奥谷恭代・鈴木 芳人 (2005) イネ科牧草・雑草上におけるクモヘリカメムシとホソハリカメムシの発生動態. 応動昆, 49, 237-243
169. 竹内博昭・渡邊朋也・石崎摩美・De-Ling Ma・鈴木芳人 (2005) クモヘリカメムシ個体数と斑点米発生数との関係およびその変動要因. 応動昆, 49, 63-69
170. Takeuchi, H., T. Watanabe, I. Mami, S. Oku, and Y. Suzuki (2005) The relationship between developmental stages of rice spikelets and incidence of the rice bugs *Leptocorisa chinensis*, *Lagynotomus elongatus*, and *Stenotus rubrovittatus* in rice fields. *Appl. Entomol. Zool.*, 40, 351-357
171. Takeuchi, H., T. Watanabe (2006) Mortality Factors of Eggs of *Leptocorisa chinensis* (Hemiptera: Alydidae) in Rice Fields. *J. Econ. Entomol.*, 99, 366-372
172. 竹内博昭 (2006) 水田におけるクモヘリカメムシのすくい取り捕獲数を用いた斑点米被害の予測. 応動昆, 50, 137-143
173. 滝本雅章・浅山哲・五十川是治・中込暉雄・加藤晋朗・上林譲 (1989) クロアシホソナガカメムシの生態と防除. 愛知農総試研報, 21, 69-77
174. 田村市太郎 (1987) “カメムシ類”. 作物病害虫百科 1イネ. 農山漁村文化協会 編. 農山漁村文化協会, 311-326,
175. 田中英樹・一守貴志・千葉武勝 (1991) カメムシ類による斑点米の発生と部分防除の実用性. 北日本病虫研報, 42, 103-105
176. 田中英樹・高田 真・千葉武勝 (2000) 岩手県における斑点米の発生予察法の検討. 北日本病虫研報, 51, 170-174
177. 谷 達雄・竹生新治郎・鹿野忠雄 (1951) 穀粒に対する一新M・G染色法について (第1報) 精麦及び精米への応用. 食研報 3: 75-78.
178. 立田久善・高城哲男・浪岡 実 (1981) 低温年における水稻の割れ籾の発生について. 東北農業研究, 29, 53-54
179. 寺本憲之 (2001) 水田畦畔の雑草管理による斑点米カメムシ類の発生抑制と斑点米軽減. 植調, 35, 22-35
180. 寺西敏子・大橋幸雄・山元尹男・松下真一郎 (1981) 水稻の割れ籾発生とその防止対策. 農業及び園芸, 56, 661-665
181. 杖田浩二・矢島幹之・田口義宏・鈴木俊郎 (2002) 岐阜県平坦地域における斑点米カメムシ類の発生種とその消長. 関西病虫研報, 44, 13-20
182. 土岐昭男・藤村建彦・不破みはる・藤田謙三 (1976) 斑点米の原因となるカメムシ類に関する研究 1. 青森県内の水田ならびにその付近において採集されたカメムシ類. 青農試研報, 21, 13-20
183. 鳥生誠二 (1989) 愛媛県における作物の生育ステージの予測に関する研究 第2報 水稻奨励品種の出穂期および成熟期の推定. 愛媛農試研報, 29, 104-111
184. 内田俊郎・野村健一 (1953) “農林害虫”. 応用昆虫学. 安松京三・内田俊郎・野村健一・山崎輝男 共著. 朝倉書店, 234-248,
185. 梅原吉広・作井英人 (1983) 着色米に関する

- 研究 18. 畦畔沿い「がくぶち」防除による斑点米および着色米の防除. 北陸病虫研報, 31, 21-23
186. 梅津由美子・門間陽一・永野敏光 (2001) カメムシ類放飼による斑点米の形成. 北日本病虫研報, 52, 146-148
187. 渡辺和弘・石井正市・土門 清 (2002) 耕耘によるアカヒゲホソミドリカスミカメ高密度発生源除去対策. 北日本病虫研報, 53, 168-172
188. 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取り調査による斑点米多発生確率の予測. 北日本病虫研報, 54, 110-112
189. 渡邊朋也・竹内博昭・石崎摩美・奥慎太郎・鈴木芳人 (2003) クモヘリカメムシとホソハリカメムシ越冬成虫のイタリアンライグラス圃場への飛来. 関東病虫研報, 50, 131-134
190. 山村光司 (1993) 多重比較法とその選び方 (1) 多重比較否定論. 植物防疫, 47, 370-375
191. 山下 泉 (1993) “カメムシによる作物の被害: マメ類およびマメ科飼料作物”. 日本原色カメムシ図鑑. 友国雅章 監修. 全国農村教育協会, 292-294
192. 山下雅幸 (2002) 外来牧草の野生化. 日草誌, 48, 161-167
193. 山代千加子・小嶋昭雄・藤巻雄一 (1996) 畦畔の雑草管理による斑点米の発生抑制効果. 北陸病虫研報, 44, 47-50
194. 八尾充陸 (2002) トゲシラホシカメムシの発育, 年間世代数および有効積算温度と翌年の越冬後個体数との関係. 応動昆, 46, 15-21
195. 安永智秀・高井幹夫・山下 泉・川村 満・川澤哲夫 (1993) 日本原色カメムシ図鑑 (友国雅章 監修). 全国農村教育協会, 380p.
196. 横須賀知之 (1996) 斑点米の原因となるクモヘリカメムシの生態. 茨城病虫研会報, 35, 1-4
197. 横須賀知之 (2001) 斑点米の原因となるクモヘリカメムシの発生と防除対策. 植物防疫, 55, 455-458
198. 横須賀知之・米山一海・上田康郎 (1998) 茨城県北部におけるクモヘリカメムシの卵寄生蜂の種類. 関東病虫研報, 45, 165-166
199. 横須賀知之・原 敬之助・小森隆太郎 (1991) クモヘリカメムシの卵塊サイズと産卵位置. 関東病害虫研報, 38, 163-164
200. 横須賀知之・関谷銃造・原 敬之助・仲田道生・小森隆太郎 (1991) 1989年の水稲におけるカメムシ類と斑点米の多発生について. 茨城病虫研会報, 30, 14-17
201. 横須賀知之・諏訪順子 (2000) クモヘリカメムシに対する数種農薬の防除効果. 関東病虫研報, 47, 109-112
202. 横須賀知之・諏訪順子 (2003) 夏期の高温がクモヘリカメムシの発生に及ぼす影響. 茨城病虫研会報, 42, 39-42
203. 横山佐太正・高崎登美雄・藤吉 臨・内田信義・近藤啓一・田中節男・吉武清晴 (1972) イネを加害するカメムシ類の発生予察に関する研究 第2報 被害について. 九病虫研会報, 18, 53-55
204. 湯浅和宏・中野 学 (2001) 斑点米の水田内分布の一事例. 関西病虫研報, 43, 61-62

Population Dynamics of *Leptocorisa chinensis* (Hemiptera: Alydidae) and Forecasting of Damage Occurrence in Rice Fields

Hiroaki Takeuchi*

Summary

Rice bugs are considered to be important pests of rice in Japan. When rice bugs infest a spikelet, brown or black marks appear on the grain. These stained grains are called pecky grain. Hulled rice grains that contain over 0.1% of pecky grains have reduced commercial value according to Japanese rice quality regulations. *Leptocorisa chinensis* Dallas is a major rice bug species in central and western regions of Japan. Recently, the prevalence occurrences and distribution area of this species have been increasing. Furthermore, there have been increases in the number of areas where the severity of pecky grain contamination damage has intensified compared to previous records. In this study, to clarify the reasons for the recent high prevalence of *L. chinensis* and methods to forecast pecky rice contamination damage, 1) Population dynamics and mortality factors of *L. chinensis* and 2) Feeding characteristics of rice bugs and modeling of the relationship between the density of *L. chinensis* and the probability of damage occurrence were investigated. The results obtained in each chapter are summarized as follows.

1. Population dynamics and mortality factors of *L. chinensis*

1) Overwintering adults of *L. chinensis* appeared in grass fields in southern Ibaraki Prefecture from late June to early July. Their progeny appeared soon after, and the subsequent population fluctuation was bimodal. In contrast, overwintering adults of *Cletus punctiger* appeared much earlier, in early May, while the next-generation nymphs were seldom observed until late June. Based on the immigration dates of overwintering adults and the cumulative effective temperature for development and ovarian maturation, it was confirmed that *L. chinensis* is bivoltine in the study area. Peak occurrence of *L. chinensis* adults in grass fields did not coincide with the heading date of mid-season rice cultivated most widely in southern Ibaraki Prefecture. This reveals that current rice cultivation practices in this area are suitable to prevent the massive invasion of *L. chinensis*.

2) Using cages set in rice fields, the relationship between the number of *L. chinensis* and the number of pecky rice grains were investigated. Eggs of *L. chinensis* were released, in number ranging from 6 to 36, into 1.6×1.6×1.5m cages at the milk ripening stage in a rice field. The number of pecky grains was highly correlated with the number of hatched nymphs and the number of individuals (both of adults and nymphs) at harvest, but not with the number of eggs released. Furthermore, the number of hatched nymphs was highly correlated with the number of individuals at harvest, but not with the number of eggs released. The egg survival rate was bimodal, with peaks at 0-20 or 80-100%, suggesting that predators caused an all-or-nothing type mortality to the eggs masses. These results indicate that an estimation of the density of hatched nymphs is more important than those of immigrant adults for obtaining a highly accurate estimation of pecky rice damage in rice fields.

3) To clarify factors causing mortality of *L. chinensis* eggs, sentinel egg masses were exposed at intervals of four days in two gramineous weed areas, a rice field, and a soybean field, from July to September. Parasitized eggs occurred in the retrieved sentinel egg masses in the four areas. The peak parasitized egg ratio was 30%, 70% in the each of the two gramineous weed areas, respectively, 9% in the rice field, and 42% in the soybean field. Some

missing eggs also occurred in the four areas. The peak missing egg ratios were 56%, 73%, 50%, and 67%, respectively. These findings indicate that *Gryon japonicum* and egg predators are major mortality factors of *L. chinensis* eggs.

4) Trial sentinel eggs, application of insecticides, and field censuses were employed to clarify the species of *L. chinensis* egg predators in the two rice fields that had been transplanted on 23 April (Field B) and 10 May (Field A). The average numbers of hatched and missing eggs did not differ significantly between the sprayed and control plots in field A. In field B, however, the numbers were significantly different. The percentage of missing eggs in damaged egg masses ranged from 80-100%. In the laboratory, we found that the feeding marks caused by the meadow grasshopper, *Conocephalus chinensis*, have characteristics that are similar to those on the eggs exposed in the rice fields. The density of *C. chinensis* was low in control plots of Field A. In contrast, the density was high in those of Field B. These observations suggest that the density of egg predators, e.g. *C. chinensis*, was a mortality factor of *L. chinensis* eggs in rice fields.

2. Feeding characteristics of rice bugs and modeling of the relationship between the density of *L. chinensis* and the probability of damage occurrence.

1) Feeding marks on grains were investigated to clarify species specific characters. The feeding marks caused by *L. chinensis* and *Lagynotomus elongatus* were mostly found on the grain surface along the hooking portion and the basal part of the grain, respectively, while those caused by *C. punctiger* were found everywhere under lemma and palea. The position of the feeding marks on rice grains was species-specific, and independent of the ripening stage of the rice and the developmental stage of rice bugs. These results provide useful information for specifying the major species causing the pecky rice.

2) To clarify the ripening stages of spikelets preferentially attacked by *L. chinensis*, *L. elongatus*, *C. punctiger*, and *Stenotus rubrovittatus* in paddy fields, rice bugs were individually released for three days onto a rice panicle at various stages of maturation (7, 14, 21 and 28 days after heading, DAH). The spikelets were classified into three groups, Group A (early flowering), Group B (mid-flowering), and Group C (late flowering), according to the position in a panicle, which is closely related to the flowering order. The bugs chose to feed on the spikelets in Group A and Group B on 7 DAH. At 14 and 21 DAH, however, bugs preferred the spikelets in Group C to those in the other two groups. In *L. chinensis*, *L. elongatus*, and *S. rubrovittatus*, the total number of damaged spikelets decreased with maturation of the panicle, whereas there was no remarkable change in the number of spikelets damaged by *C. punctiger*. These results suggest that all species of rice bugs except *C. punctiger* selectively damage spikelets of ovaries are developing with lengthwise to sidewise elongation, whereas *C. punctiger* mainly attacks spikelets of ovaries developing with lengthwise to thickness elongation.

3) To clarify the relationship between the occurrence patterns of *L. chinensis*, *L. elongatus* and *S. rubrovittatus* and the developmental stage of panicles in rice fields, we observed the development of spikelets in three paddy fields. Spikelets were classified into three stages based on ovarian development: Stage I (initial), Stage II (middle), and Stage III (fullness). Variations in the average number of each stage of spikelet development among the three plots expressed in cumulative degree-days were smaller than those expressed in days after the initial heading stage. The peaks of adult incidence were near the peak of Stage I at 50-150 degree-days. The incidence of nymphs began to increase near the peak of Stage II at 200-250 degree-days. The occurrence patterns of all the three rice bug species were found to be closely related to the abundance of the three stages of spikelets. Cumulative degree-days can be used to uniformly express the changes in the incidence of rice bugs among different rice varieties, seasons, and fields.

4) In order to clarify the effect of split-hull paddy on the ratio of pecky rice grains caused by *L. chinensis*, we carried out an experiment using cages set in rice fields where two rice varieties, 'Akitakomachi' or 'Hitomebore' were

transplanted. The ratio of split-hull paddy was about 5% in Akitakomachi and 1% in Hitomebore. The numbers of pecky grains per 1000 hulled grains did not differ significantly between the two varieties. These results indicate that the split-hull paddies tend to be infested by *L. chinensis*. However, when the split-hull ratio is less than 5%, the ratio of pecky rice grains does not show a remarkable increase.

5) To estimate the occurrence of pecky grain damage caused by *L. chinensis* in rice fields, I constructed 30 logistic regression models using the data obtained from field censuses. The explanatory variables of each model were: different combinations of rice variety, date of initial heading stage, number of adults at early ripening stage, and numbers of adults, nymphs and their total at the mid-ripening stage. Akaike's information criteria indicated that a model whose explanatory variable was the number of nymphs at the mid-ripening stage was statistically better than the other models. These results suggest that a census of nymphs at the mid-ripening stage, which is 200-300 day-degrees from the initial heading stage, is an appropriate way to estimate the occurrence of pecky grains