割れ粃がカスミカメ 2 種 (カメムシ目: カスミカメムシ科) による 斑点米被害に与える影響: 8 品種を用いた比較

田 淵 研^{1,*}・櫻井 民人²

¹ 農業・食品産業技術総合研究機構東北農業研究センター

² 農業・食品産業技術総合研究機構中央農業研究センター

Relationship between the Occurrence of Split-hull Paddies and Incidence of Pecky Rice Damage Caused by Adults of Two Mirid Pests, *Stenotus rubrovittatus* and *Trigonotylus caelestialium* (Hemiptera: Miridae): A Comparison of Eight Rice Varieties. Ken TABUCHI^{1,*} and Tamito SAKURAI² ¹Tohoku Agricultural Research Center, NARO; 4 Akahira, Shimo-kuriyagawa, Morioka, Iwate 020–0198, Japan. ²Central Region Agricultural Research Center, NARO; 2–1–18 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305–8666, Japan. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 63: 181–188 (2019)

Abstract: To evaluate the relationship between the occurrence of split-hull paddies and incidence of pecky rice damage caused by two mirid pests, *Stenotus rubrovittatus* (Matsumura) (Heteroptera: Miridae) and *Trigonotylus caelestialium* (Kirkaldy) (Heteroptera: Miridae), among eight rice varieties, we conducted release experiments in a greenhouse. For each variety, we released a male and female pair of adult mirids onto a rice panicle for 3 days with three replications. By examining the correlation between the percentage of split-hull paddies and the pest species to the incidence of pecky rice damage, only the percentage of split rice hulls was significant. There was no pest species effect, indicating adults of the two species examined have a similar potential to cause pecky rice damage. Thus, the number of split-hull paddies and the level of pecky rice damage caused by adults of the two mirid pests were related regardless of the rice variety. Further studies are needed to predict pecky rice damage caused by the two mirids in the field, because the abundance of both adults and nymphs of *T. caelestialium* are known to be related to the level of pecky rice damage.

Key words: Sorghum plant bug; rice leaf bug; damage comparison; damage prediction; species difference

緒 言

斑点米カメムシ類はイネ害虫のうち被害面積が最大の重要害虫として知られており (農林水産省, 2018), 粃の頂部や側部等を吸汁して玄米に部分着色粒を産出する被害を起こす (以下, 斑点米被害もしくは被害と記す). 斑点米被害に影響する要因としてはこれまでに数多くの知見が蓄積され, 水田内外の生物学的・非生物的要因によることが整理されている (田淵ら, 2015). 水田内の生物的要因のうち, イネそのものの形質によって左右される要因の一つが割れ粃である. 割れ粃は主要加害種のうちカスミカメ 2 種 (アカスジカスミカメ *Stenotus rubrovittatus* (Matsumura)・アカヒゲホソミドリカスミカメ *Trigonotylus caelestialium* (Kirkaldy) (カメムシ目: カスミカメムシ科)) による被害, 特に玄米の側部被害を助長することが過去の知見から明らかになっている (宮田, 1991; 米沢ら, 2005). 一方, これ

までの研究では単一自治体内の 2, 3 品種のみを対象とした被害の発生状況比較事例が多く (大場・小野, 2004; 田村ら, 2017), 多数の品種を扱った一般的な傾向についての検討 (例えば, 上野, 2004) はまれである. 作付品種が異なる自治体間, または同一地域内で複数品種を栽培している場合には, 品種やそれに伴う生育的特性の違いから被害発生程度が異なることが予想されるものの, 現状では複数品種間の被害発生程度の比較や評価が困難であり, これまでに得られた知見は乏しい.

また, 斑点米被害を起こす種ごとの違いについても近年の発生状況に対応した検討が必要である. 関東・北陸・東北地方のうち, クモヘリカメムシ *Leptocoris chinensis* Dallas (カメムシ目: ホソヘリカメムシ科) の分布していない地域における斑点米カメムシの主要種は日本海側と太平洋側で異なり, 2000 年代半ばまで前者ではアカヒゲホソミドリカスミカメ, 後者ではアカスジカスミカメが主要種と

*E-mail: tabuchik@affrc.go.jp

2019 年 2 月 1 日受領 (Received 1 February 2019)

2019 年 7 月 27 日登載決定 (Accepted 27 July 2019)

DOI: 10.1303/jjaez.2019.181

されていた(菊地ら, 2004)。しかし, 2000年代半ば頃からアカヒゲホソミドリカスミカメが優占していた日本海側の各県でアカスジカスミカメ個体数が増加し, 種構成が変化したことが報告されている(田淵ら, 2015)。これは過去データの解析から前年の高温による世代数の増加と, 第1世代卵の孵化日の同調性が影響していること(Osawa et al., 2018a), 分布拡大や移動経路として道路の法面や耕作放棄地が重要であったことが明らかになっている(Osawa et al., 2018b)。現在, 東北と北陸日本海側の各県では加害主体がアカヒゲホソミドリカスミカメからアカスジカスミカメに置き換わる, もしくは両種が混発してイネへの加害主体となっている(田淵ら, 2015; 樋口ら, 2019)。一方, 太平洋側の東北地域ではアカヒゲホソミドリカスミカメが分布しているにもかかわらず, その加害主体はアカスジカスミカメである(田淵ら, 2015; Tabuchi et al., 2017)。これらの加害主体の変化や品種の違いに対応し, 被害の発生可能性を評価することができれば, 農薬散布回数の決定や防除労力の適切な配分によって栽培にかかるコストを下げることや環境への負荷を軽減することが可能になると期待される。

そこで本研究では関東, 北陸, 東北地域で栽培される8品種を用いて室内で斑点米を起すカスミカメ2種の放飼試験を行い, 共通した条件において割れ粳と被害に一定の関係が見られるかどうかを検討した。

本文に先立ち, 原稿へ貴重な指摘をいただいた査読者2名に感謝申し上げる。

材料および方法

1. 試験設計

透明のプラスチックポット(縦8.5×横8.5×高さ12.5cm)に, セルトレー育苗または直播したイネを1容器当たり1苗として, 4ポットを一つのバケツ(縦20×横20×高さ25cm)に入れて湛水条件で栽培した。2006年は4月28日播種, 5月12日移植の苗, 2007年は6月6日に直播, 2008年は5月10日に直播した苗を試験に供した。試験には主に関東, 北陸, 東北地域で栽培されている「あきたこまち」「コシヒカリ」「ササニシキ」「つがるロマン」「はえぬき」「ひとめぼれ」「むつほまれ」「ゆめあかり」の8品種を用いた((公社)米穀安定供給確保支援機構, 2019)。2006年はこのうち「あきたこまち」「ササニシキ」「つがるロマン」「ひとめぼれ」「むつほまれ」「ゆめあかり」の6品種を, 2007年は「コシヒカリ」「はえぬき」の2品種, 2008年はすべての品種について試験を実施した。2006年および2007年は, 試験に際し, 割れ粳を誘発するために減数分裂期から出穂直前までを低温処理(20℃)した区(以下, 多発区), 2008年は割れ粳を抑制するため温度勾配実験施設内で同時期に高温処理(外気温+2℃)をした区(以下, 少発区)を設定

し, 各区の各品種でバケツ3個ずつ, 3反復となるよう栽培した。

カスミカメ2種の放飼試験は農研機構東北農業研究センター内の温室にポット植えイネを静置して行った。出穂20~22日後の乳熟期にポリエステル円筒容器(直径7cm, 高さ20cm)で穂1本と止葉を覆い, アカスジカスミカメ, もしくはアカヒゲホソミドリカスミカメの雌雄1対を放飼して3日後に回収した。放飼に用いた穂は各バケツからランダムに選んだ。試験は品種ごと, カメムシ種ごとに3反復行った。試験に供試したカスミカメ2種は, アカヒゲホソミドリカスミカメは山形県天童市で2005年に, アカスジカスミカメは2006年に岩手県盛岡市で採集して累代飼育した系統を用いた。雌雄の日齢は羽化後7日齢前後の個体を用いた。両区とも出穂40日目前後に収穫して割れ粳率を調査し, 全玄米について斑点米被害を調査した。

2. 統計解析

斑点米被害に影響する要因群の解析にはR ver. 3.4.4 (R Core Team, 2018)を用いた。全斑点米被害, 頂部斑点米被害, 側部斑点米被害については逆正弦変換して正規分布を仮定し, 変換済み被害率を目的変数とした一般線形混合モデル(General linear mixed models: LMMs)で解析した。説明変数はカメムシ種, 割れ粳数とその交互作用とした。今回は品種に関係なく割れ粳程度と斑点米被害の関係を検討することが目的であるため, イネ品種と試験区は変量効果とした。LMMの解析にはパッケージ「nlme」(Pinheiro et al., 2018), 修正済み赤池情報量基準(Akaike's Information Criterion with a correction for small sample sizes: AICc)によるモデル選択にはパッケージ「MuMIn」(Barton, 2018)のdredge()関数, 説明変数の統計値算出にはパッケージ「car」(Fox and Weisberg, 2011)のAnova()関数をそれぞれ用いた。

結 果

1. 品種ごとの割れ粳程度の比較

今回の試験条件下で割れ粳多発区と少発区を比較すると, 非常に大きな違いがあった(Fig. 1)。多発区では割れ粳率の平均値が45~84%と野外でまれに見られる程度の割れ粳率であり, 既知見で割れ粳の起こりにくいことで知られる「コシヒカリ」や「ひとめぼれ」でもそれぞれ平均で45.8%, 51.4%の割れ粳率だった。一方, 少発区では0.3~1.9%と低く, すべての品種においてばらつきが少ない状況だった。

2. 品種ごとの斑点米被害の比較

アカスジカスミカメとアカヒゲホソミドリカスミカメの雌雄成虫を穂当たり1対放飼した結果, 割れ粳多発区, 少発区ともすべての品種で玄米等級が規格外の水準となる被害が発生した。このような斑点米被害の多発した条件下に

Fig. 1. The percentage of split-hull paddies (%) of eight rice varieties used in the pest release experiment. The high-level (a) and low-level (b) treatments of split-hull paddies are shown. The numbers below the bars indicate the numbers of grains examined. The order of rice varieties from left to right is based on their cropping area in Japan in 2017 (Association of Stable Rice Supply Assistance, 2019).

Fig. 2. The percentage of pecky rice damage (%) of eight rice varieties in the release experiment. The results of the high-level (a) and low-level (b) split-hull paddy treatments are shown. The numbers of grains examined are the same as Fig. 1.

において、割れ粳多発区と少発区の斑点米被害は大きな違いが見られた (Fig. 2). 品種ごとの斑点米被害平均値は少発区で 2.4~4.8%, 一方で多発区では 12.5~27.4% だった. 頂部加害は少発区で 1.8~4.4%, 多発区で 1.2~4.0% と区間差が小さかったが、側部加害は少発区と多発区で大きく異なり、それぞれ 0.3~2.2% と 11.3~25.8% であった.

3. イネ 8 品種における斑点米被害と割れ粳の関係

斑点米被害率に影響する要因を解析して AICc によるモデル選択を行った結果、斑点米被害全体については AICc が最も小さい最良モデルに割れ粳率が選択され (Table 1a, 2a), 割れ粳率と斑点米被害には正の関係が見られた (Fig. 3a). 最良モデルと次点モデルの AICc 値の差は 0.69 であ

Table 1. Summary of the top five linear mixed models (LMMs) describing the variation in the level of pecky rice with pest species, percentage of split-hull rice, and their interaction^{a,b}

$\Delta AICc^c$	Pest species	Percentage of split-hull paddies ^d	Pest species $\times$ percentage of split-hull paddies	Intercept
(a) Total pecky rice damage				
—		0.23***		11.4
0.75	+	0.23***		11.34
6.67				18.05
7.21	+			17.91
8.1	+	0.23***	+	11.34
(b) Pecky rice damage caused on the apical parts of grains				
—				7.64
0.17	+			7.90
6.77		−0.0022		7.70
6.98	+	−0.0011		7.91
13.99	+	0.0037	+	7.98
(c) Pecky rice damage caused on the lateral parts of grains				
—		0.24***		6.96
0.59	+	0.24***		6.77
7.9	+	0.25***	+	6.47
10.02				13.9
10.25	+			13.6

^a Both the rice variety and high- and low-level treatments of split-hull paddies are included as random effects, and the number of grains was included as an offset term in the model. Empty cells show that each parameter was not selected in the model.

^b Bold font indicates significant variables.

^c Akaike's Information Criterion with a correction for small sample size.

^d Arcsine transformed data were examined.

*** $p < 0.001$.

り、最良モデルと同等の性能を示すと考えられる AICc 差の 2 (Burnham and Anderson, 2002) を下回った。次点モデルは割れ率とカメムシ種の違いで構成されたが、統計的に有意な要因は割れ率のみであり、カメムシ種をモデルに組み込むことで予測精度に寄与することは示されたが被害粒率への影響は小さかった。

斑点米被害のうち頂部被害のみで解析を行うと、最良モデルにはいずれの要因も選択されず (Table 1b)、割れ率と斑点米被害の関係は不明瞭だった (Fig. 3b)。次点モデル (AICc 差 0.16) にはカメムシ種が選択されたが、統計的に有意ではなかった ($p=0.63$)。一方、側部被害のみの解析結果は被害率全体の解析と同様の結果を示し、最良モデルに割れ率のみが選択された (Table 1c, 2c)。次点モデル (AICc 差 0.43) にはカメムシ種が選択されたが、カメムシ種の効果は統計的に有意ではなかった ($p=0.56$)。割れ率と斑点米被害には正の関係が見られた (Fig. 3c)。

Table 2. Summary of LMMs of lowest AICCs examining the variation in the level of pecky rice damage associated with pest species, percentage of split-hull paddies,^a and their interaction^b

	df	LR Chisq ^c	p-value
(a) Total pecky rice damage			
Percentage of split-hull paddies	1	23.86	<0.001
(c) Pecky rice damage caused on the lateral parts of grains			
Percentage of split-hull paddies	1	20.33	<0.001

^a Arcsine transformed data were examined.

^b No fixed factors were included in the lowest AICc model of pecky rice damage caused on the apical parts of grains.

^c Likelihood ratio chi-squared.

考 察

本研究では 8 品種のイネを用いた斑点米カメムシ 2 種成虫の放飼試験から、割れ粉発生程度とカメムシ種の違いが斑点米率に及ぼす影響を解析した。割れ粉程度が甚発生と少発生 の 2 条件で中発生 のイネが少なかった点を考慮する必要があるが、得られた結果から割れ率はイネ品種にかかわらず斑点米被害と正の関係があることが示された (Fig. 3)。またカメムシ種と斑点米被害の交互作用が最適モデルに選択されなかったことから (Table 1, Supplemental Table 1)、今回の試験設定においては両種とも割れ粉の増加に対して同程度に加害が多くなることが示された。これまで、同一品種を用いて割れ率と斑点米被害の関係を検討した報告はいくつかあり (宮田, 1991; 中場ら, 2000; 小嶋・小松, 2003)、野外圃場で割れ粉と斑点米被害を品種間比較した事例 (上野, 2004) もあるが、カメムシ種の違いを含めて同一条件下で割れ粉と斑点米被害の関係を定量的に示したのは本研究が初めてである。また、斑点米の被害部位別の解析から、側部被害は割れ率と正の関係にあることが示され、既知見の結果 (宮田, 1991; 上野, 2004) と一致した。

一方、頂部被害についてはカメムシ種、イネ品種共に影響しないことが示された。本研究ではカメムシ密度一定条件下、かつ出穂後の日数をそろえているが、頂部被害のばらつき要因については、カメムシ密度や玄米の登熟程度、カメムシによる加害時期が関係していると考えられる (奥山・井上, 1974; 宮田, 1992; 武田・清水, 2009)。これまでの割れ率を用いた被害程度の評価は側部被害によるものが中心である (田村ら, 2017)。割れ率が低い場合の頂部被害の多少や、頂部被害が斑点米被害の主体となる場合の被害については、本研究で扱っていない品種の抵抗性 (杉浦ら, 2017) や選好性、早晚性といった要因群の検討が必要になるだろう。例えば、アカヒゲホソミドリカスミカメの水田への侵入は栽培面積が小さく、出穂期が早い品種へ成虫侵入が集中しやすく、成虫数の品種間差異が生じ

Fig. 3. The relationships between the percentage of split-hull rice (%) and the percentage of rice grains damaged. Total pecky rice damage (a) and pecky rice damage caused on the apical (b) and lateral parts (c) of rice grains are shown. All the data were arcsine transformed and the data of *S. rubrovittatus* and *T. caelestialium* were pooled.

Supplemental Table 1. Summary of full LMMs examining the variation in the level of pecky rice damage associated with pest species, percentage of split-hull paddies and their interaction^a

	df	LR Chisq ^b	p value
(a) Total pecky rice damage			
Pest species	1	0.027	0.871
Percentage of split-hull paddies	1	23.269	<0.001
Interaction	1	0.000	0.997
(b) Pecky rice damage caused on the apical parts of grains			
Pest species	1	0.222	0.638
Percentage of split-hull paddies	1	0.016	0.968
Interaction	1	0.065	0.936
(c) Pecky rice damage caused on the lateral parts of grains			
Pest species	1	0.345	0.557
Percentage of split-hull paddies	1	19.919	<0.001
Interaction	1	0.198	0.656

^a Arcsine transformed data were examined.

^b Likelihood ratio chi-squared.

やすい (石本, 2004).

さらに本研究では放飼試験に供試したカスミカメ 2 種の加害程度に統計的に有意差が認められなかった (Table 1, Supplemental Table 1). 両種の加害特性は異なり, アカスジカスミカメは穂を選好して吸汁し, 一方でアカヒゲホソ

ミドリカスミカメは葉や穂の両方から吸汁する (Nagasawa and Higuchi, 2012; Nagasawa et al., 2012). また寄主植物としてのイネの適性については, 室内での放飼試験において両種の産卵場所が異なるものの, 出穂・開花して葯が出た状態のイネは両種幼虫の発育に適さない (Nagasawa and Higuchi, 2012; Nagasawa et al., 2012).

本研究で扱ったカスミカメ 2 種の加害能力について, これまでに永野 (1990) は両者の加害能力に差がないことを, また田中・小嶋 (2003) はアカヒゲホソミドリカスミカメよりアカスジカスミカメの加害能力が高いことを報告している. 両報告とも統計的な解析を行っていないため判断は難しいが, 本研究結果も考慮して総合的に判断すると, 少なくとも 2 種の成虫に明瞭な加害能力の違いがあることは考えにくい. 今回扱ったカスミカメ 2 種による斑点米被害は出穂期 10 日後の乳熟期から 40 日後の黄熟期まで続くことが知られており (宮田, 1992; 伊藤, 2004; 石本・永瀬, 2005; 樋口ら, 2019), 登熟中後期に増加する割れ粳が, 側部斑点米被害に影響する. アカスジカスミカメでは出穂 18~23 日後までの成虫密度と割れ粳が斑点米に大きく影響する (宮田, 1992). 本研究のカスミカメ 2 種放飼時期は出穂 20~22 日後の乳熟期に当たり, アカスジカスミカメによる割れ粳加害の起こる時期と一致している. アカヒゲホソミドリカスミカメは登熟中後期の平均成・幼虫数が斑点米率と高い正の関係を持つ (石本, 2008) ため,

本研究の放飼時期は妥当だと考えられる。

これらのことから、アカスジカスミカメ・アカヒゲホソミドリカスミカメ2種の混発する地域、もしくは片方の種のみが加害主体の地域の両方においてイネ品種にかかわらず被害発生程度を評価可能なことが示唆された。このことは近年の両種の発生状況と斑点米被害を考える上で本研究が重要な意義を持つことを示す。すなわち、本研究から今回扱ったカスミカメ2種成虫の加害能力が同等であることが示されたため、2種が混発する、もしくは1種のみが加害主体となる地域での潜在的な被害発生について、密度条件が同一の場合には両者の区別なく被害程度の予測や広域比較に利用可能なことが示唆された。一方、野外におけるアカスジカスミカメとアカヒゲホソミドリカスミカメでは加害する発育ステージに違いがあり、単純には2種を同等に扱えないことも考えられる。アカスジカスミカメは加害主体が成虫にほぼ限られてイネへの産卵はまれにしか見られない (Nagasawa et al., 2012; 武田, 2016) のに対し、アカヒゲホソミドリカスミカメでは水田に侵入した成虫がイネに産卵して次世代幼虫と成虫が加害主体となり (石本, 2004; 石本・永瀬, 2005; 新山, 2009), 割れ粃が水田内の幼虫生存率や斑点米被害と関係する (石本, 2007)。このため、アカヒゲホソミドリカスミカメによる被害については過大評価となる可能性があり、成・幼虫の加害能力の違いについて今後比較検討すべきである。

イネは生育途中の気象条件 (松浦・岩田, 1968; 浜名, 1987) や圃場の土中の可給態ケイ酸含量 (小嶋・小松, 2003) などによって割れ粃率にばらつきが出るものの、品種ごとに割れ粃の出やすさが異なり、「あきたこまち」は「コシヒカリ」や「ひとめぼれ」、「はえぬき」、「ササニシキ」より割れ粃発生率が高いことが複数報告されている (小嶋・小松, 2003; 田淵ら, 2015)。Tabuchi et al. (2017) ではアカスジカスミカメが加害主体の「ひとめぼれ」作付地域で斑点米カメムシ防除が1回条件の地域を対象として、成虫発生量を調べることなく作付状況などの土地利用情報のみを用いた斑点米被害予測モデルから被害発生程度を推定し、ハザードマップとして視覚化している。このモデルを「ひとめぼれ」以外の品種作付地域に外挿する際、本研究の知見は重要な科学的根拠として利用可能である。すなわち、「ひとめぼれ」の平均的な割れ粃率と外挿地域の主要作付品種の割れ粃率の違いを元に被害発生程度を補正することでアカスジカスミカメが加害主体で「ひとめぼれ」以外の品種を栽培している地域においてもハザードマップ作成に寄与できる。また、地域や県などをまたいで広域で作付けされるイネ品種について、また同一地域内で複数品種を栽培する営農法人などの経営体においても潜在的な被害発生可能性の評価が可能になるだろう。

本研究の結果から、作付品種が異なる場合や加害主体と

なるカスミカメ種が異なる、もしくは2種が混発する場合にもカメムシ発生量が同程度の条件下では割れ粃率を利用して潜在的な被害を相対的に比較可能になり、広域での予測に応用できる可能性が示唆された。Tabuchi et al. (2017) によるハザードマップは害虫の発生数を使わず、土地利用情報のみで対象地域の潜在的な被害発生可能性を評価するものであるが、アカスジカスミカメが加害主体で単一品種 (「ひとめぼれ」) が優占する地域を対象とした予測であり、出穂期の異なる品種が混在する条件や年次変動は考慮していない。以上のことを総合すると、単一品種が優占する場合、もしくは各地域で主力となる品種を対象とする場合には品種の違いを超えてアカスジカスミカメを対象とした被害予測が可能で、またカスミカメ2種の混発条件でも被害予測の可能性を示している。また、今後、気象条件を用いた割れ粃発生やカスミカメ2種の発生量予測などを組み入れることで斑点米被害予測の高度化が図られるだろう。

摘 要

水稻害虫のカスミカメ2種 (アカスジカスミカメとアカヒゲホソミドリカスミカメ) による斑点米被害と割れ粃との関係について、品種に関係なく一定の関係が見られるかどうかについて検討するため、室内で成虫の放飼実験を行った。試験では関東、北陸、東北地域で栽培される8品種を用い、袋掛けした出穂20~22日後のイネの穂に雄と雌1対の成虫を放飼して3日間加害させた。斑点米率に対して割れ粃率と害虫種、その交互作用を解析した結果、割れ粃率のみが斑点米率に影響し、害虫種の影響は検出されなかった。このため、品種にかかわらず割れ粃発生程度と2種カスミカメによる斑点米被害には一定の関係があり、2種カスミカメの成虫は同等の加害能力を持つことが示唆された。アカスジカスミカメでは成虫が加害主体なのに対し、アカヒゲホソミドリカスミカメは成虫と幼虫両方が加害主体で被害に影響するため、後者の加害は過大評価となる可能性があるものの、作付品種が異なる場合や加害主体となるカスミカメ種が異なる条件、もしくは2種カスミカメが混発する条件下でも割れ粃率で補正することにより潜在的な被害発生程度を相対比較できる可能性が示された。

引 用 文 献

- Barton, K. (2018) MuMIn: Multi-Model Inference. R package version 1.40.4. <https://cran.r-project.org/web/packages/MuMIn/MuMIn.pdf>
- Burnham, K. P. and D. R. Anderson (2002) *Model Selection and Multimodel Inference. A Practical Information—Theoretic Approach*. Springer-Verlag, New York. 488 pp.
- 中場 勝・神保恵志郎・佐藤利美・永峯淳一 (2000) 水稻玄米の部分着色粒による品質低下要因とその対策 第1報 「あきたこまち」における割れ粃の発生実態. 東北農業研

- 究 53: 29–30. [Chuba, M., K. Jimbo, T. Satoh and J. Nagamine (2000) Factor and countermeasure of deterioration in quality by pecky rice 1. Occurrence of hull cracked rice grains in rice variety “Akitakomachi.” *Tohoku Agr. Res.* 53: 29–30.]
- Fox, J. and S. Weisberg (2011) *An R Companion to Applied Regression*. 2nd ed. SAGE Publications, Inc., Thousand Oaks, CA. 449 pp.
- 浜名光衛 (1987) 高冷地における水稻の割れ粳と着色米の発生に関する研究. 福島農試報 26: 22–32. [Hamana, M. (1987) Studies on the outbreaks of split-hull paddy and colored rice grain in high altitude cool regions in Fukushima Prefecture. *Bull. Fukushima Pref. Agric. Exp. Stn.* 26: 22–32.]
- 樋口博也・石本万寿広・高橋明彦 (2019) カメムシによる斑点米をふせぐ—カスミカメムシ類の生態と管理—. 農林統計出版, 東京. 83 pp. [Higuchi, H., M. Ishimoto and A. Takahashi (2019) *Ecology and Management of Rice Bugs Causing Pecky Rice*. Agriculture and Forestry Statistics Publishing Inc., Tokyo. 83 pp.]
- 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. [Ishimoto, M. (2004) Seasonal prevalence of occurrence of the rice leaf bug, *Trigonotylus caelestialium* (Kirkaldy) (Heteroptera: Miridae) on paddy rice plants. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 48: 79–85.]
- 石本万寿広 (2007) イネの登熟段階と割れ粳の発生がアカヒゲホソミドリカスミカメ幼虫の発育に及ぼす影響. 応動昆 51: 107–114. [Ishimoto, M. (2007) Effects of the ripening stage and the occurrence of split-hull paddy of rice plant on development of nymphs of the rice leaf bug, *Trigonotylus caelestialium* (Kirkaldy) (Heteroptera: Miridae). *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 51: 107–114.]
- 石本万寿広 (2008) 新潟県におけるアカヒゲホソミドリカスミカメの発生生態の解明と防除体系の確立. 新潟農総研報 9: 1–71. [Ishimoto, M. (2008) Study on ecological characteristics of the rice leaf bug, *Trigonotylus caelestialium* Kirkaldy in paddy field and its control system in Niigata Prefecture. *J. Niigata Agric. Res. Inst.* 9: 1–71.]
- 石本万寿広・永瀬 淳 (2005) アカヒゲホソミドリカスミカメに対する薬剤散布適期. 北陸病虫研報 54: 29–38. [Ishimoto, M. and A. Nagase (2005) Proper application timing of insecticide to the rice leaf bug, *Trigonotylus caelestialium* (Kirkaldy) (Heteroptera: Miridae). *Proc. Assoc. Plant Prot. Hokuriku* 54: 29–38.]
- 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. [Ito, K. (2004) The role of the feeding habits of *Trigonotylus caelestialium* (Kirkaldy) (Heteroptera: Miridae) on the production of pecky rice grains with special reference to the occurrence of split-hull paddy. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 48: 23–32.]
- 菊地淳志ら (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. [Kikuchi, A. et al. (2004) A survey on the occurrence of rice-ear bugs and their damage in the Tohoku region from 1999 to 2002. *Bull. Natl. Agric. Res. Cent. Tohoku Reg.* 102: 101–180.]
- (公社) 米穀安定供給確保支援機構 (2019) 米ネット: 消費動向調査・DI 調査・POS 情報・品種別作付. <http://www.komenet.jp/jishuchousa/index.html> [Association of Stable Rice Supply Assistance (2019) Rice net: Survey of consumer trends, DI survey, POS information, cropping by variety. <http://www.komenet.jp/jishuchousa/index.html>]
- 小嶋俊彦・小松茂雄 (2003) 斑点米の要因となる割れ粳に及ぼす施肥・遮光による影響ならびに品種間差. 関西病虫研報 45: 41–42. [Kojima, T. and S. Komatsu (2003) Effects of shading, fertilization and cultivars on the occurrence of hull cracked rice as a factor in pecky rice. *Proc. Kansai Pl. Prot. Soc.* 45: 41–42.]
- 米沢 悟・佐藤宏朗・新山徳光・杏澤朋広 (2005) 近年の秋田県における割れ粳と斑点米との関係. 北日本病虫研報 56: 99–101. [Maisawa, S., K. Sato, T. Niiyama and T. Kutsuzawa (2005) Relationship between hull-cracked rice and pecky rice in recent years in Akita Prefecture. *Ann. Rept. Plant Prot. North Japan* 56: 99–101.]
- 松浦 欣・岩田 忠 (1968) 水稻における開穎粳発生の早晩生間差異と気象条件について. 日作北陸会報 4: 1–4. [Matsuura, K. and T. Iwata (1968) Differences of early- and late-maturing rice varieties and weather conditions on the occurrence of unclosed glume grains. *Hokuriku Crop Sci.* 4: 1–4.]
- 宮田将秀 (1991) アカスジメクラガメによる斑点米に対する割れ粳の影響. 北日本病虫研報 42: 106–108. [Miyata, M. (1991) Effect of hull cracked rice on pecky rice caused by the sorghum plant bug, *Stenotus rubrovittatus* Matsumura. *Ann. Rept. Plant Prot. North Japan* 42: 106–108.]
- 宮田将秀 (1992) アカスジメクラガメによる斑点米に対する割れ粳の影響 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. [Miyata, M. (1992) Effect of hull cracked rice on pecky rice caused by the sorghum plant bug, *Stenotus rubrovittatus* Matsumura: 2. Study of releasing period and density. *Ann. Rept. Plant Prot. North Japan* 43: 93–95.]
- 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. [Nagano, T. (1990) Occurrence of pecky rice caused by releases of four species rice bugs. *Ann. Rept. Plant Prot. North Japan* 41: 125–126.]
- Nagasawa, A. and H. Higuchi (2012) Suitability of poaceous plants for nymphal growth of the pecky rice bugs *Trigonotylus caelestialium* and *Stenotus rubrovittatus* (Hemiptera: Miridae) in Niigata, Japan. *Appl. Entomol. Zool.* 47: 421–427.
- Nagasawa, A., A. Takahashi and H. Higuchi (2012) Host plant use for oviposition by *Trigonotylus caelestialium* (Hemiptera: Miridae) and *Stenotus rubrovittatus* (Hemiptera: Miridae). *Appl. Entomol. Zool.* 47: 331–339.
- 新山徳光 (2009) アカヒゲホソミドリカスミカメの発生生態の解明と減農薬防除技術の確立に関する研究. 秋田農試研報 49: 147–180. [Niiyama, T. (2009) Studies on ecology and reduced pesticide control to rice leaf bug, *Trigonotylus caelestialium* (Kirkaldy). *Bull. Akita Agric. Exp. Stn.* 49: 147–180.]
- 農林水産省 (2018) 作物統計 (普通作物・飼料作物・工芸農作物) 平成 29 年産. http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_kome/index.html [Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (2018) Crop statistics (Common crops, forage crops,

- and industrial crops) in 2017. http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_kome/index.html]
- 大場淳司・小野 亨 (2004) 冷害年における割れ粃の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. [Ohba, A. and T. Ono (2004) Influence of hull-cracked rice caused by cold summer condition on the infestation by pecky rice bugs. *Ann. Rept. Plant Prot. North Japan* 55: 122–124.]
- 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—. 北海道農試報 30: 85–94. [Okuyama, S. and H. Inoue (1974) On the relation between the occurrence of the black rot of rice grains and insects especially the relation of rice leaf bug (*Trigonotylus coelestialium* Kirkaldy). *Bull. Hokkaido Pref. Agric. Exp. Stn.* 30: 85–94.]
- Osawa, T., K. Yamasaki, K. Tabuchi, A. Yoshioka, Y. Ishigooka, S. Sudo and M. B. Takada (2018a) Climate-mediated population dynamics enhance distribution range expansion in a rice pest insect. *Basic Appl. Ecol.* 30: 41–51.
- Osawa, T., K. Yamasaki, K. Tabuchi, A. Yoshioka and M. B. Takada (2018b) Detecting crucial dispersal pathways using a virtual ecology approach: A case study of the mirid bug *Stenotus rubrovittatus*. *Ambio* 47: 806–815.
- Pinheiro, J., D. Bates, S. DebRoy, D. Sarkar and R Core Team (2018) nlme: Linear and nonlinear mixed effects models. R package version 3.1-131.1. <https://cran.r-project.org/web/packages/nlme/nlme.pdf>
- R Core Team (2018) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>
- 杉浦和彦・中村 充・加藤 満・伊藤 晃・野々山利博・中嶋泰則 (2017) 斑点米カメムシ抵抗性イネ品種・系統の選定. 育種学研究 19: 1–7. [Sugiura, K., M. Nakamura, M. Kato, A. Ito, T. Nonoyama and Y. Nakajima (2017) Screening of cultivars and lines for resistance to rice-ear bugs in rice (*Oryza sativa* L.). *Breed. Res.* 19: 1–7.]
- 田 淵 研ら (2015) 東北地域における斑点米カメムシ類: 2003–2013 年の発生動向と被害実態. 東北農研研報 117: 63–115. [Tabuchi, K. et al. (2015) Rice bugs in the Tohoku region: the occurrence and their damage from 2003 to 2013. *Bull. Natl. Agric. Res. Cent. Tohoku Reg.* 117: 63–115.]
- Tabuchi, K., T. Murakami, S. Okudera, S. Furihata, M. Sakakibara, A. Takahashi and T. Yasuda (2017) Predicting potential rice damage by insect pests using land use data: A 3-year study for area-wide pest management. *Agric. Ecosyst. Environ.* 249: 4–11.
- 武田 藍 (2016) 千葉県におけるアカスジカスミカメの発生生態解明および発生予察手法開発に関する研究. 千葉農林研特報 7: 55–99. [Takeda, A. (2016) Studies on ecology of *Stenotus rubrovittatus* (Matsumura) (Hemiptera: Miridae) and its forecasting system in Chiba Prefecture. *CAFRC Spec. Res. Bull.* 7: 55–99.]
- 武田 藍・清水喜一 (2009) アカスジカスミカメによる加害時期別の斑点米被害の特徴. 関東東山病虫研報 56: 85–87. [Takeda, A. and K. Shimizu (2009) Characteristics of the damaged grain caused by the sorghum plant bug, *Stenotus rubrovittatus* (Hemiptera: Miridae) at different infection periods. *Ann. Rept. Kanto Pl. Prot. Soc.* 56: 85–87.]
- 田村恵里佳・猫塚修一・高田 真 (2017) 側部型斑点米の発生に関するリスク要因分析. 北日本病虫研報 68: 144–149. [Tamura, E., S. Nekoduka and M. Takada (2017) Risk factor analysis for injuries at sutures of pecky rice grains in Iwate Prefecture, Japan. *Ann. Rept. Plant Prot. North Japan* 68: 144–149.]
- 田中 豊・小嶋俊彦 (2003) 斑点米カメムシ類の種類と発生パターンの加害時期発生状況. 滋賀農総セ農試研報 43: 98–107. [Tanaka, Y. and T. Kojima (2003) Species of rice sting bugs and pecky rice patterns by time of damage. *Bull. Shiga Agric. Res. Cent. Exp. Stn.* 43: 98–107.]
- 上野 清 (2004) 山形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. 山形農事研報 37: 53–78. [Ueno, K. (2004) Studies on control of pecky rice bugs in Yamagata Prefecture. *Issu. Yamagata Pref. Agric. Res.* 37: 53–78.]