

第2章 千葉県の雑草地および水田における斑点米カメムシ類の発生生態

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

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

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

1. 材料と方法

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

(1) 水田および堤防法面におけるアカスジカスミカメの発生状況調査

水田では、2008年神崎において幅約200m、堤防法面か

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

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

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



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

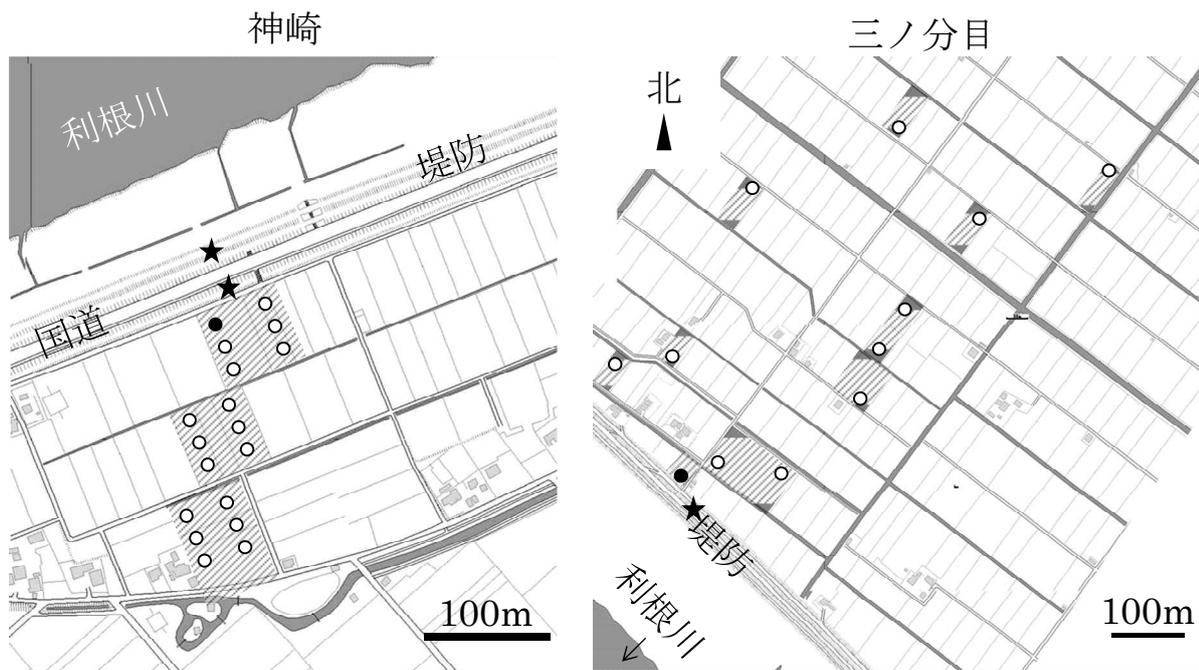


写真 3 調査雑草地および水田
 (左上図：神崎南法面および水田，右上図：神崎北法面，下図：三ノ分目法面および水田)

第 2 表 調査水田の概要

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

注) 堤防法面から最も遠い調査地点までの距離 (m).



第4図 調査地の配置

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

2009年は5月6日から同年10月22日とし, 原則7日間隔とした.

(2) 解析1: 水田への侵入期間

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

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

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

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

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

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

(3) 解析2: 水田への分散距離の推定

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

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

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

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

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

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

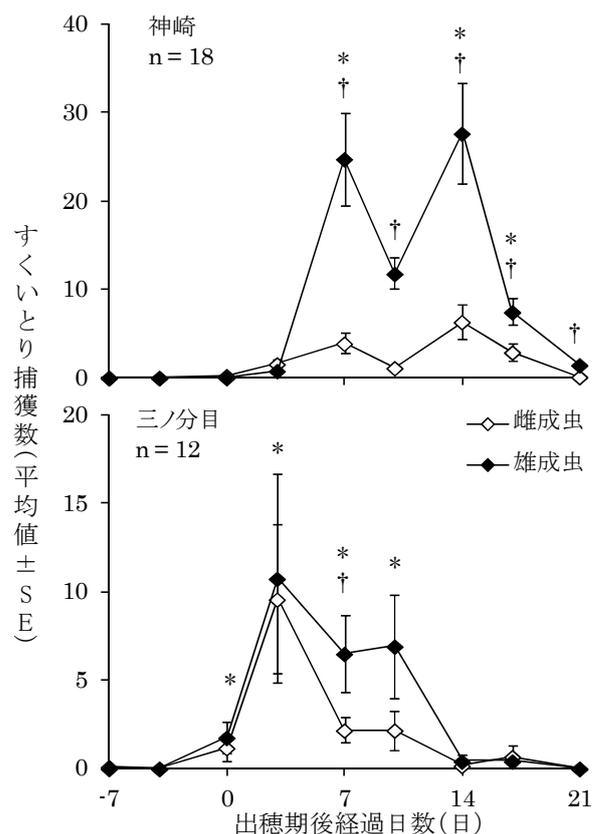
ここで、パラメーター c および d は式 3 における $\frac{n_0}{2} \sqrt{\lambda_D}$ 、 $\frac{1}{\sqrt{\lambda_D}}$ をそれぞれ表わし、 $g(x)$ は MANOVA で明らかにした水田への侵入期間における総捕獲数を示す。

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

2. 結果

(1) 水田におけるアカスジカスミカメ侵入期間

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



第 5 図 各調査地域の水田におけるアカスジカスミカメ捕獲数の推移

注 1) すくいとり捕獲数は 20 回振り当たりを示す。

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

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

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

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

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

2) 分子自由度/分母自由度。

3) モデル全体の F 値は Wilks' lambda による概算値。

4) * $P < 0.05$, *** $P < 0.001$ 。

5) 調査地点と堤防法面間の距離の平方根 (\sqrt{m})。

第4表 アカスジカスミカメ捕獲成虫数¹⁾のMANOVA輪切り検定結果

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

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

2) 分子自由度/分母自由度を示す。

3) モデル全体のF値はWilks' lambdaによる概算値とした。

4) 有意水準は調査回数で補正し、* $p < 0.007$ とした。

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

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

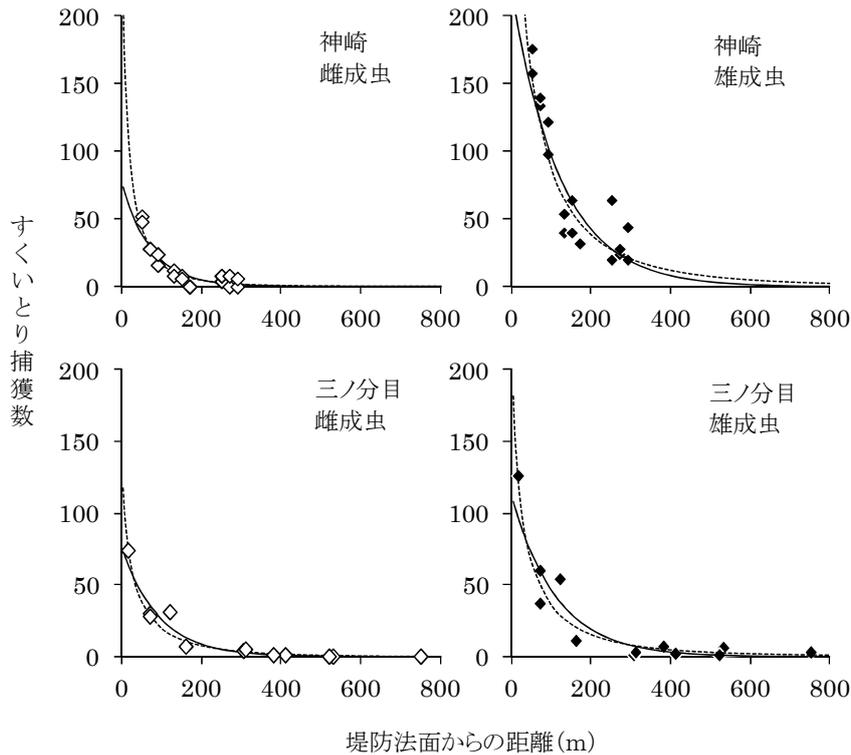
(2) 発生源からの分散距離

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

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

(3) 利根川堤防法面におけるイネ科雑草の発生状況

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



第6図 アカスジカスミカメの水田内分布と各モデルによる推定結果

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

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

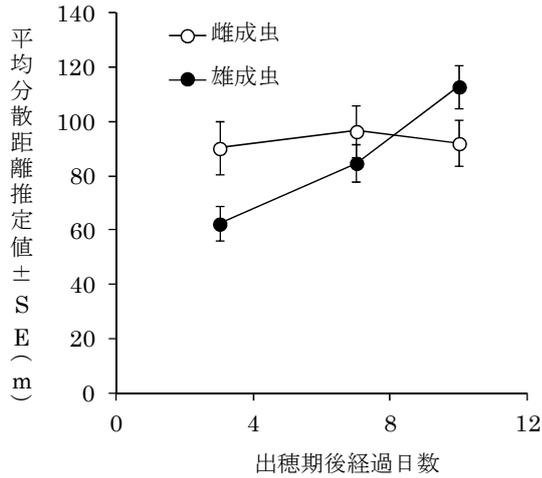
地域	雌雄	モデル	パラメーター	推定値	SEM	z value	P 値 Prob (z)	デビアンズ (デビアンズ比 ²⁾)	P 値 (>G)
神崎	雌	Wallace (1966) ³⁾	a	6.06	0.24	25.27	<0.0001	***	123.83
			b	-0.32	0.02	12.82	<0.0001	***	
		Yamamura (2003) ⁴⁾	c	79.06	10.12	7.81	<0.0001	***	138.69 (1.12) >0.05
			d	71.98	6.14	11.72	<0.0001	***	
	雄	Wallace (1966) ³⁾	a	6.48	0.10	65.47	<0.0001	***	203.83
			b	-0.20	0.01	21.15	<0.0001	***	
		Yamamura (2003) ⁴⁾	c	220.78	12.13	18.19	<0.0001	***	234.87 (1.15) >0.05
			d	121.97	6.15	19.84	<0.0001	***	
三ノ分目	雌	Wallace (1966) ³⁾	a	5.27	0.15	35.69	<0.0001	***	56.53
			b	-0.23	0.02	13.69	<0.0001	***	
		Yamamura (2003) ⁴⁾	c	77.42	8.16	9.49	<0.0001	***	51.76 (1.09) >0.05
			d	92.05	8.44	10.91	<0.0001	***	
	雄	Wallace (1966) ³⁾	a	5.67	0.11	50.59	<0.0001	***	98.23
			b	-0.21	0.01	17.47	<0.0001	***	
		Yamamura (2003) ⁴⁾	c	112.98	8.94	12.64	<0.0001	***	121.94 (1.24) >0.05
			d	112.93	7.93	14.24	<0.0001	***	

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

2) デビアンズ値の最大値/最小値の値を示す。

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

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



第7図 三ノ分目におけるアカスジカスミカメの雌雄別平均分散距離推定値の推移

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

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

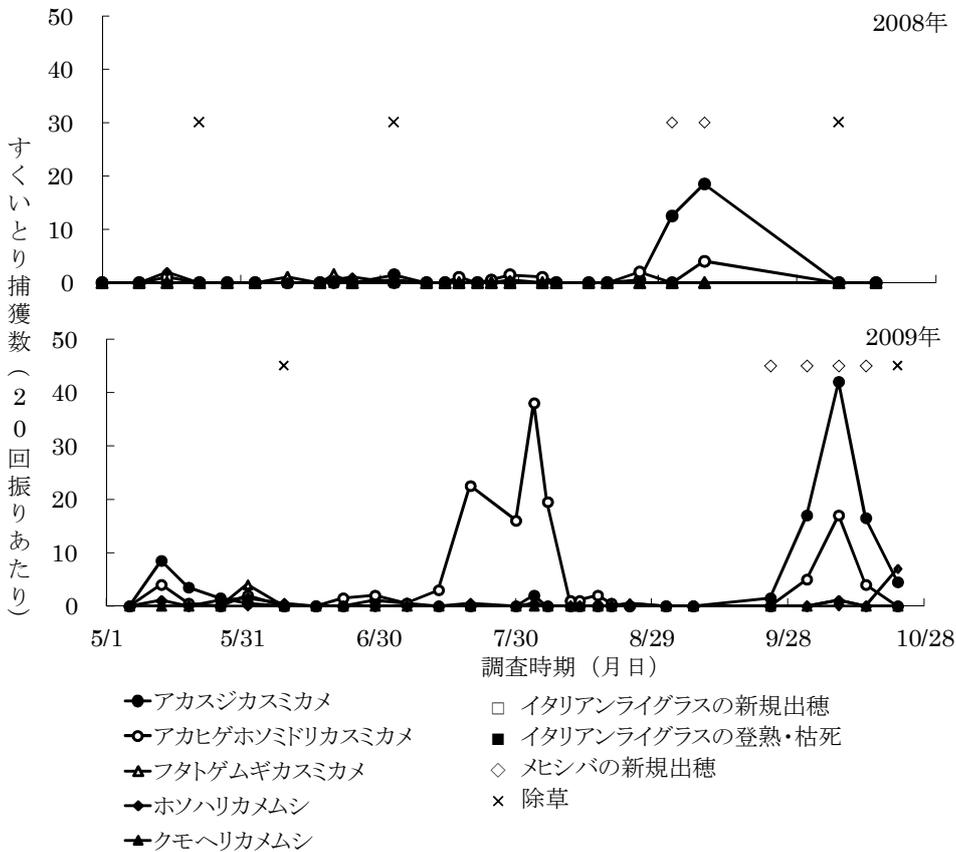
あった(第6表). 神崎南法面ではイタリアンライグラスは優占しておらず, ハルガヤ *Anthoxanthum odoratum* L., カラスムギ *Avena fatua* L., イヌムギなどのイネ科雑草が混在し, 秋にはメヒシバが優占した(第8図). 2009年は夏季に除草が行われなかったため, 2008年に比べて上記のイ

第6表 調査雑草地の除草日

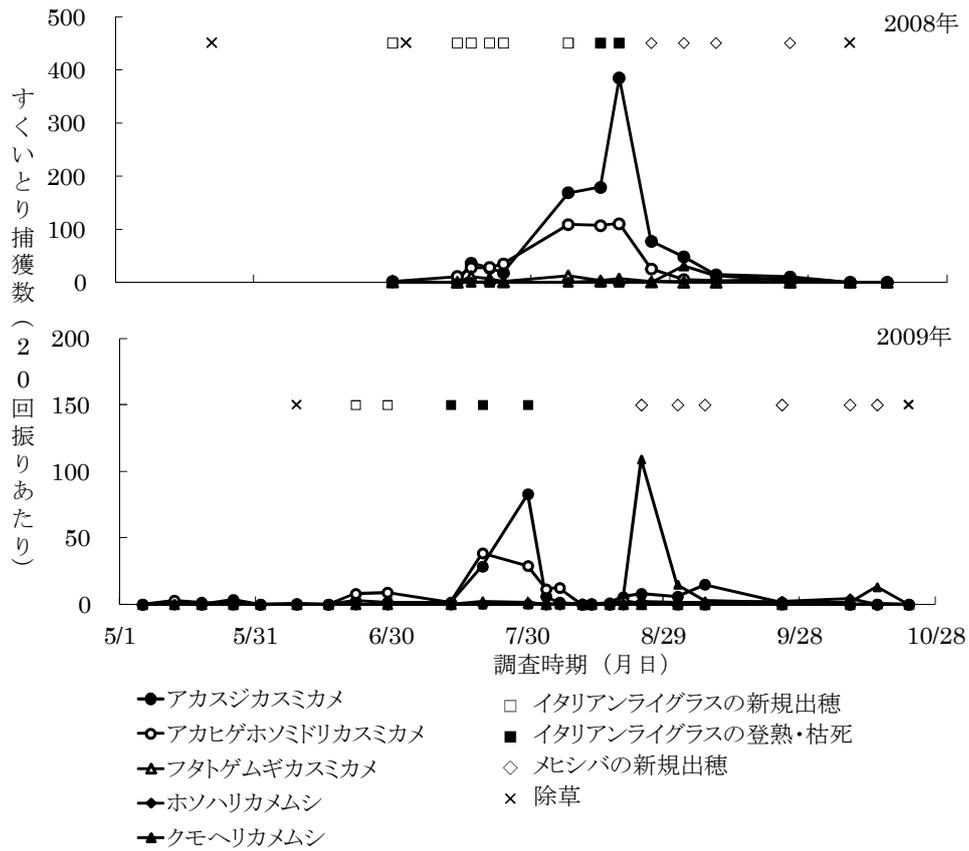
調査雑草地呼称 (所在地)	除草日					
	2008			2009		
	春季	夏季	秋季	春季	夏季	秋季
神崎北法面, 神崎南法面 (香取郡神崎町神宿)	5/22	7/3	10/7	6/9	-	10/22
三ノ分目法面 (香取市三ノ分目)	5/22	7/14	10/7	5/13	7/24	10/15

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

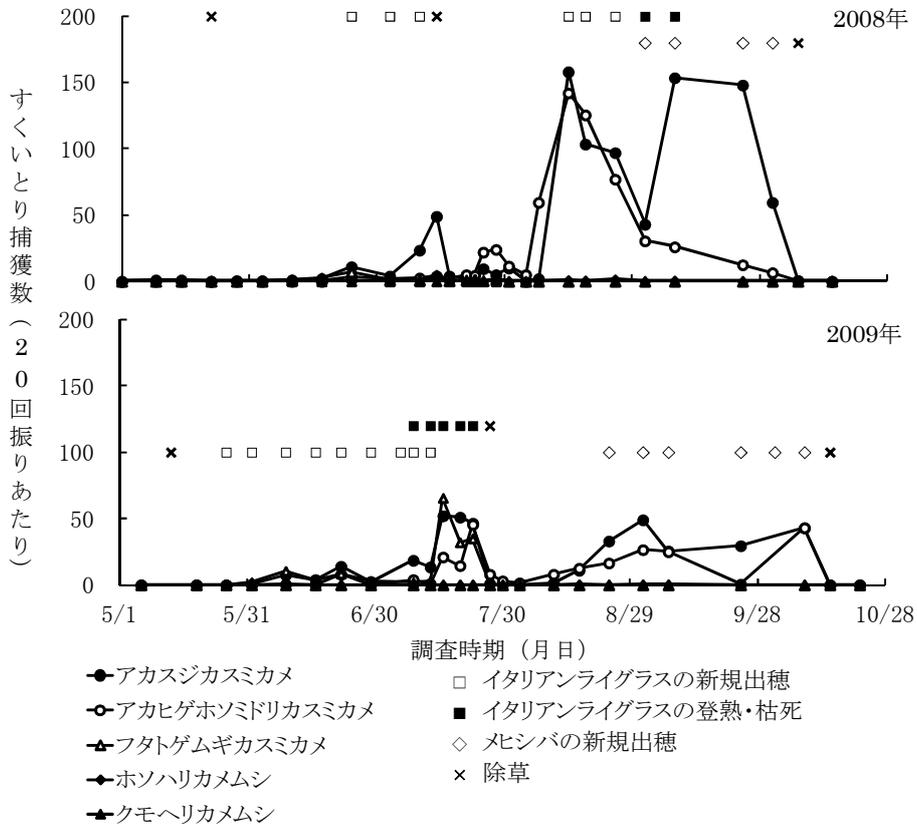
三ノ分目法面では, 2008, 2009年ともに春季の除草後はイタリアンライグラスが優占し, 5月から6月に収穫し始めた(第10図). 2008年と2009年で除草の回数および時期に大きな違いはなかったものの, 夏季の除草の時点で, 2008年ではイタリアンライグラスの草勢が旺盛でまだ枯死していなかったが, 2009年では大部分が枯死していた. 夏季の除草後, 2008年は, 再度イタリアンライグラスが出穂し,



第8図 神崎南法面における斑点米カメムシ類および主要イネ科雑草の発生状況



第9図 神崎北法面における斑点米カメムシ類および主要イネ科雑草の発生状況



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

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

(4)利根川堤防法面における主要な斑点米カメムシ類とその発消長

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

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

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

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

(5)堤防法面と水田におけるカスミカメムシ類発生状況の関係

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

における調査時期に合わせて図8から10を改変して示した。

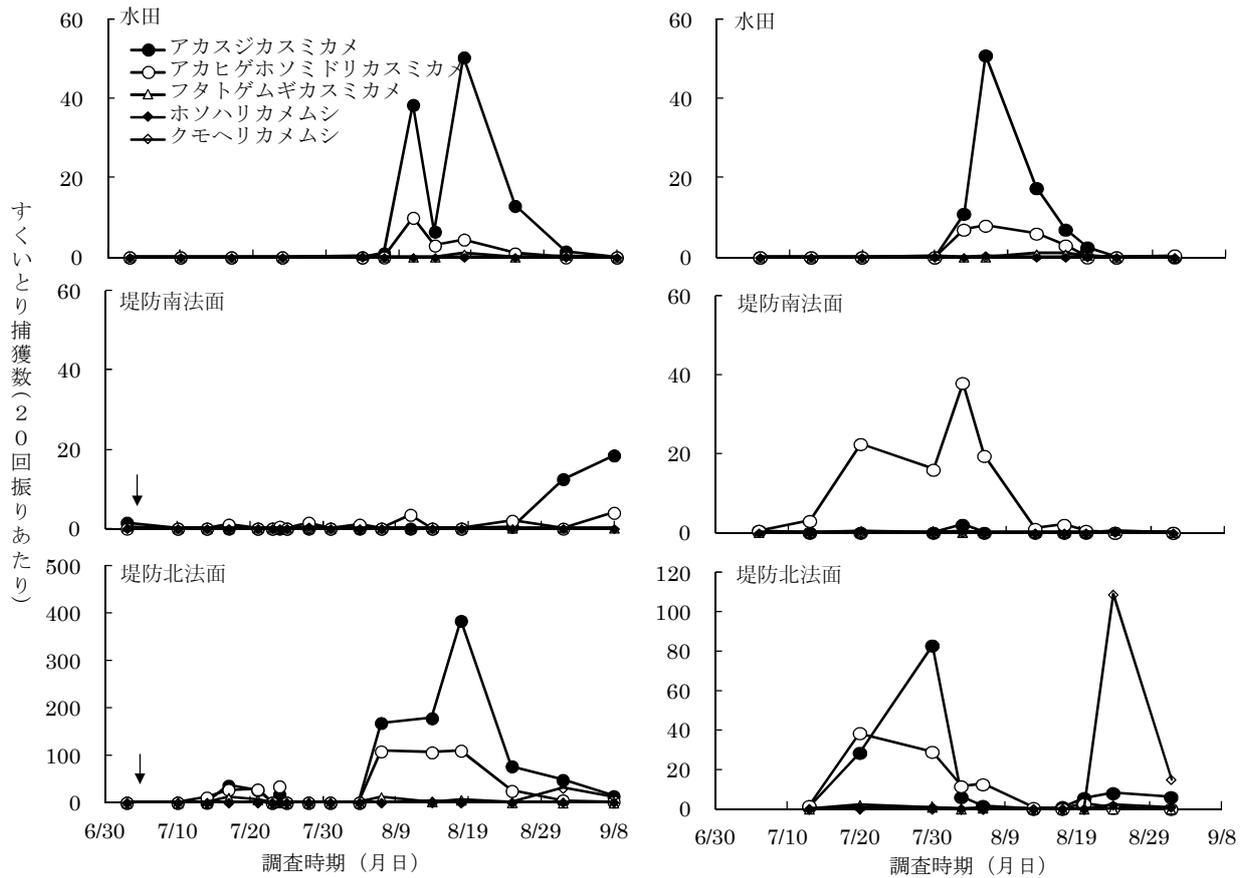
いずれの地域・年次においても水田内ではアカシジカスミカメが優占していた(第11図および第12図)。水田におけるアカシジカスミカメ捕獲数の最大値は、2008年三ノ分目で2.5頭(20回振り当たり、以下同様)であったのに対し、2009年三ノ分目、2008年・2009年神崎では50頭以上であり、大きく異なった。2008年三ノ分目法面では、イネ出穂期10日前にはアカシジカスミカメ捕獲数が49頭であったが、除草とともに減少し、イネの出穂期1週間前から21日後までは0から10頭と低く推移した。一方、2009年三ノ分目法面、2008年・2009年神崎北法面では、それぞれイネ出穂期3～10日後、3～14日後、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

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

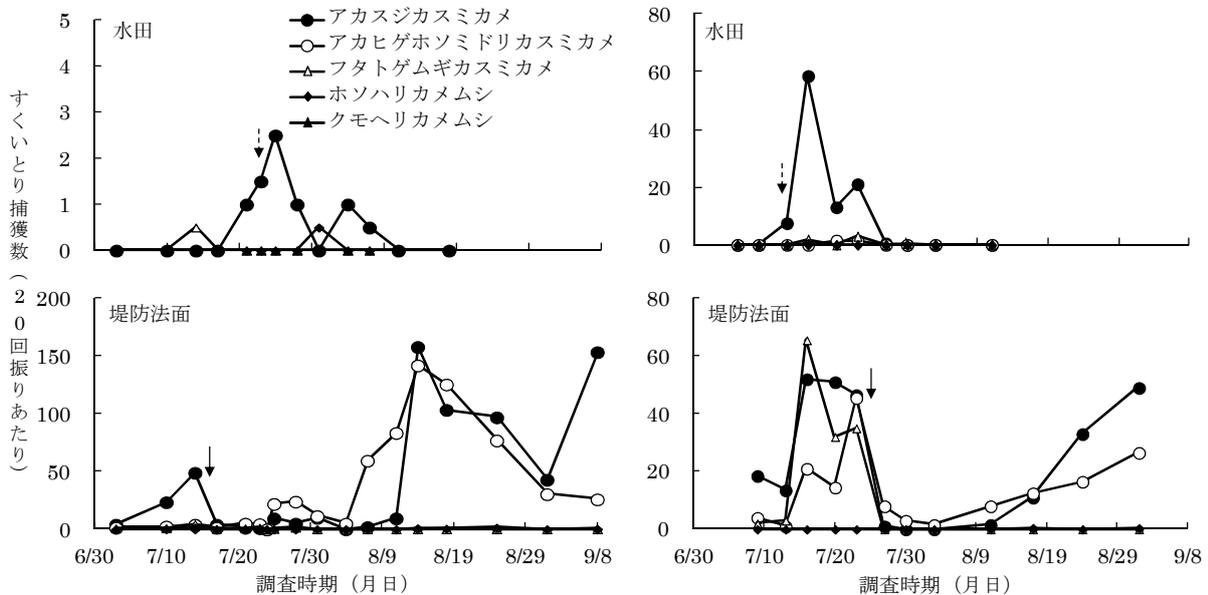
アカシジカスミカメおよびアカヒゲホソミドリカスミカメの幼虫は、水田における捕獲数が少なく、三ノ分目では2008年は両種ともに捕獲されず、2009年は7月30日にアカシジカスミカメが0.5頭捕獲されたのみであった。神崎では、2008年は両種ともに捕獲されず、2009年は8月6日以降にアカシジカスミカメが最大2.5頭、アカヒゲホソミドリカスミカメが0.5頭捕獲された。

3. 考察

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



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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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