特集 圃場と周辺環境をつなぐ生物の営みをさぐる 農地の種子食昆虫による雑草埋土種子の低減

市原 実*

キーワード：生物的雑草防除，散布後種子捕食，ゴミムシ類，コオロギ類，景観要因

Keywords：biological weed control, postdispersal seed predation, carabid beetles, crickets, landscape factor

はじめに

農地には植物種子を捕食する様々な生物が生息している。ゴミムシ類やコオロギ類などの種子食昆虫類，ミミズ類，ナメクジ類，げっ歯類，鳥類など，多種の生物が雑草等の種子を餌資源として利用している (Zhang *et al.* 1997; Evans *et al.* 2011; Ichihara *et al.* 2011; 山下 2011)。一方，植物にとって種子生産は，世代交代や分布拡大，個体群の増減に関わる重要な生活史ステージであるため，種子捕食は雑草個体群の時間的および空間的な動態に大きな影響を及ぼしうる (Zhang *et al.* 1997)。種子捕食は，その強度によっては雑草個体群を強く抑制しうるため，近年では総合的雑草管理 (IWM: Integrated Weed Management) における生物的防除手段としての利用が期待されている (Westerman *et al.* 2003a, 2005)。防除手段の一つとして種子捕食を組み込んだ IWM を構築するためには，雑草抑制における種子食者の機能や，雑草と種子食者の生物間相互作用について詳しく理解する必要がある。

種子捕食は，その生じるタイミングによって「散布前捕食」と「散布後捕食」に分類される。散布前捕食は，植物体から散布される前の種子に対する捕食であり，植物体上で生じる。その捕食者の多くは昆虫類で，特定の植物の種子を捕食するスペシャリストである (Crawley 2000) ため，しばしば強害な外来雑草に対する生物的防除資材として利用される (Rees and Hill 2001; Shea *et al.* 2005)。一方，散布後捕食は，植物体から散布された後の種子に対する捕食であり，主に地表面で生じる。その捕食者はゴミムシ類やコオロギ類などの昆虫類やげっ歯類，鳥類など幅広く，多くは様々な植物種の種子を捕食するジェネラリストである (Crawley 2000)。これらジェネラリストによる散布後捕食は，幅広い雑草種に対する防除

手段となりうる。本稿では特に，後者の散布後種子捕食に焦点を当てる。

散布後種子捕食を雑草の生物的防除に適用するためには，種子食者による雑草種子の低減効果や，雑草個体群動態への影響を明らかにすることがまず必要である。さらに，種子捕食の効果を高めるためには，農地の種子食者を保全することが重要である。このような，雑草管理の観点からの散布後種子捕食の研究は，主に欧米諸国で進展しつつある (Menalled *et al.* 2000; Westerman *et al.* 2003a,b, 2005; Heggenstaller *et al.* 2006; Davis and Raghu 2010)。一方，アジア地域での研究は極めて少ないが，最近では日本でも，種子食者による雑草種子の低減効果を評価する取り組みが始まった (Ichihara *et al.* 2011, 2012; 山下 2011)。日本の農地では，ゴミムシ類やコオロギ類などの種子食昆虫類 (第 1 図)，げっ歯類および鳥類が主な散布後種子捕食者である (Ichihara *et al.* 2011)。これらの中でも，特にゴミムシ類やコオロギ類は農地に多く生息し，またげっ歯類や鳥類と比べ，作物に対する害が生じにくいいため，IWM における生物的防除資材としての有用性を検討する価値があると考えられる。

本稿では，まず (1) 日本の農地における重要な種子食昆虫であるゴミムシ類とコオロギ類について解説する。次に (2) 野外における散布後種子捕食の調査方法について解説し，(3) 種子食昆虫による雑草種子の低減効果についての国内外の研究を紹介する。さらに (4) 種子食昆虫の保全における圃場周辺環境の重要性と，(5) 今後の研究の展望について述べる。

1. 農地の重要な種子食昆虫

(1) ゴミムシ類

ゴミムシ類は地表徘徊性の甲虫であり，一部の種が植物種子を捕食する。欧米の温帯地域の農地では，ゴミムシ類が最も重要な種子食昆虫とされており，雑草管理の観点からゴミムシ類を対象とした研究が進展している。欧米の農地における種子食ゴミムシ類は，*Harpalus* 属や *Amara* 属が優占することが多い (山下 2011)。これらのゴミムシ類は，種子の物理的 (大きさ，硬さなど)・化学的 (栄養価など) 特性により選好性の違いがあるものの，様々な雑草種の種子を幅広く捕食する (Honek *et al.* 2003; Lundgren and Rosentrater 2007)。Bohan *et al.* (2011) は，イギリス全土の 257 圃場における調査データを解析し，ゴミムシ類が農地の雑草埋土種子の減少に関与していることを明らかにした。

* 静岡県農林技術研究所
〒438-0803 静岡県磐田市富丘 678-1
minoru1_ichihara@pref.shizuoka.lg.jp
Minoru Ichihara: Reduction of weed seedbank through seed predation by insects in farmlands
Shizuoka Prefectural Research Institute of Agriculture and Forestry,
678-1 Tomigaoka, Iwata-shi, Shizuoka 438-0803, Japan
(2012 年 10 月 23 日受付，2012 年 12 月 19 日受理)

第1図 ネズミムギの種子を捕食する (a) エンマコオロギおよび (b) ゴミムシ類

日本でのゴミムシ類の種子捕食についての知見はまだ少ないが、静岡県の水田転換コムギ圃場では、クロゴモクムシ (*Harpalus niigatanus*), ウスアカクロゴモクムシ (*Harpalus sinicus*), ツヤアオゴモクムシ (*Harpalus chalcatus*), ホシボシゴミムシ (*Anisodactylus punctatipennis*), ゴミムシ (*Anisodactylus signatus*) が生息しており (Ichihara *et al.* 2011), これらはネズミムギ (*Lolium multiflorum*) やシロザ (*Chenopodium album*) など複数の雑草種の種子を捕食することが確認されている (Ichihara *et al.* 2011; 山下 2011)。畑地以外にも、水田畦畔 (香川ら 2008; 李ら 2008) や休耕地 (Yamazaki *et al.* 2003) に、*Harpalus* 属, *Amara* 属, *Anisodactylus* 属が多く生息している。

ゴミムシ類は繁殖時期によって、春繁殖型と秋繁殖型の2タイプに分類される。春から初夏に繁殖する春繁殖型ゴミムシと、夏から秋に繁殖する秋繁殖型ゴミムシは、それぞれこの時期に種子の捕食数が増加する (Honek *et al.* 2006)。春から初夏に散布される冬雑草の種子と夏から秋に散布される夏雑草の種子は、それぞれ春繁殖型ゴミムシと秋繁殖型ゴミムシによる捕食を受けると考えられる。

(2) コオロギ類

コオロギ類はゴミムシ類よりも体長が大きく、雑草種子の採食能力が極めて高い (Carmona *et al.* 1999; Lundgren and Rosentrater 2007; White *et al.* 2007)。コオロギ類の種子捕食についての研究は、ゴミムシ類ほど多くはないが、北アメリカに広く分布する *Gryllus pennsylvanicus* (フタホシコオロギ属) については、種子の採食能力 (Carmona *et al.* 1999; Lundgren and Rosentrater 2007; White *et al.* 2007) や雑草の出芽への影響 (Brust 1994; White *et al.* 2007), 圃場における個体群密度 (Carmona *et al.* 1999; O'Rourke *et al.* 2006) などが調査されている。*G. pennsylvanicus* は種子の特性によって選好性の違いがあるものの、アキノエノコログサ (*Setaria faberi*) やオニメヒシバ (*Digitaria sanguinalis*), シロザなど様々な雑草種の種子を幅広く捕食す

る (Carmona *et al.* 1999; Lundgren and Rosentrater 2007; White *et al.* 2007)。アメリカ・アイオワ州のトウモロコシ-ダイズ輪作圃場では、*G. pennsylvanicus* が種子食昆虫類の中で優占しており、アキノエノコログサ種子の低減に最も貢献していた (O'Rourke *et al.* 2006)。また、コオロギ類は植物種子のみでなく、昆虫なども捕食する広食性捕食者である (Bechinski *et al.* 1983; Burgess and Hinks 1987)。そのため、雑草種子が存在しなくとも昆虫などの代替餌が存在すれば、コオロギ類は個体群を維持できると考えられ、雑草の侵入抑制にも貢献すると考えられる (Ichihara *et al.* 2012)。

日本の農地には、エンマコオロギ (*Teleogryllus emma*) やハラオカメコオロギ (*Loxoblemmus campestris*), ツヅレサセコオロギ (*Velarifictorus micado*) など多種のコオロギ類が生息している。それらの多くは夏から秋に成虫が出現するため、メヒシバ (*Digitaria ciliaris*) など同時期に種子を散布する夏雑草は、その種子捕食の影響を受けやすいと考えられる。また、春から初夏に散布される冬雑草の種子でも、夏期に地表面に残存しているものは、コオロギ類の捕食を受けると考えられる。エンマコオロギは、ネズミムギ (Ichihara *et al.* 2011) やシロザ (山下 2011) など複数の雑草種の種子を捕食することが確認されている。

コオロギ類は水田畦畔にも生息している。水田の落水後には、コオロギ類が畦畔から水田内部に侵入し、水田の強害雑草であるイヌビエ (*Echinochloa crus-galli* var. *crus-galli*) の種子を捕食する (市原 未発表)。そのためコオロギ類は、水田内の雑草種子低減に一定の役割を果たしていると考えられる。コオロギ類は野菜類には幼苗期に加害することがあるが、水稻への加害は認められていないため、特に水田地域における雑草の生物的防除資材として有用であると考えられる。

2. 散布後種子捕食の調査方法

近年欧米を中心に、農地における散布後種子の捕食率や種子捕食者を推定する研究が増えつつある。本節では、種子捕食率および種子捕食者の一般的な推定方法について解説する。

(1) 種子捕食率の推定法

散布後種子の捕食率は、地表面に種子を一定期間放置し、捕食されずに残った種子数を調査することにより推定できる。種子の設置方法にはいくつかあるが、次の2つが最も一般的である。1つは、土壌を詰めたペトリ皿に種子を置いて地表面に埋土する方法である (Cardina *et al.* 1996)。この方法は、実際の圃場地表面に近い条件で捕食率を推定できる一方、設置や種子の回収に時間がかかるという欠点がある。もう1つは、雑草種子を紙やすりに糊づけした「種子カード」を地表面に設置する方法である (Westerman *et al.* 2003a,b) (第2図)。この方法は、種子カードの作成から設置、種子の回収までを効率的に行うことができる。現在では種子捕食に関する多くの研究で、種子カードによる方法が採用されている。しかし

第2図 種子カードによる種子捕食率の推定

種子カード（紙やすりの表面に一定数の種子を糊付けし、種子以外の部分に砂を糊付けしたもの）を地表面に一定期間設置し、残存種子数から種子捕食率を推定する。

種子カードは種子を糊づけしているため、昆虫類が種子を持ち去りにくくなり、捕食率が過小評価される危険性が指摘されている (Shuler *et al.* 2008)。

種子捕食率を推定する際、供試種子の密度についても注意すべきである。Westerman *et al.* (2008) は、圃場地表面におけるアキノエノコログサの埋土種子密度と捕食率の関係を解析し、種子捕食の程度が密度依存的に変化しうることを示唆した。そのため供試種子の密度は、圃場における対象とする雑草種の埋土種子密度と同程度にする必要がある。

さらに種子捕食率の推定と同時に、風雨など捕食以外の要因による種子減少率を評価する必要がある。Westerman *et al.* (2003a,b) はこれを評価するため、種子カードを円形のふりい内部に設置し、種子食者の侵入を防ぐため上部を金網（メッシュサイズ：1 cm）で覆い、側面に両面粘着テープを巻いた。これを支柱により地上 10 cm の高さに設置した。

(2) 種子捕食者の推定法

地表面に設置した種子を、金網で覆うことにより、種子捕食者がある程度（昆虫類またはげっ歯類および鳥類）まで絞り込める (Cardina *et al.* 1996; Westerman *et al.* 2003b; Jacob *et al.* 2006)。例えば、網なし区と金網（メッシュサイズ：1 cm）区という処理区を設けた場合を想定してみよう（第3図）。金網区では、そのメッシュサイズよりも小さい動物のみが種子に到達できるため、主に昆虫類（コオログキ類やゴミムシ類等）による捕食率を推定できる。一方、網なし区では、すべての種子食者による捕食率を推定できるため、昆虫類による捕食率（金網区）を差し引くことにより、げっ歯類および鳥類による捕食率を算出できる。また、さらに細かいメッシュサイズ 5 mm の金網を用いることにより、コオログキ類やゴミムシ類よりも小さい昆虫類（アリ類等）による捕食率を推定する

(a) 網なし区

(b) 金網 (1cm) 区

(c) 金網 (5mm) 区

第3図 種子捕食者推定のための処理区

(a) 網なし区では、昆虫類、げっ歯類および鳥類による捕食率、(b) 金網 (1 cm) 区では昆虫類による捕食率、(c) 金網 (5 mm) 区ではアリサイズの昆虫による捕食率を推定できる。

第4図 (a) 地表性昆虫捕獲用のピットフォールトラップと (b) 雨よけの覆い

第5図 デジタルカメラを用いた種子捕食者の特定方法
種子カードの上部に自動撮影のデジタルカメラを設置し、さらに夜間撮影を可能にするためカードの横から赤色光を照射する。

第6図 野外に設置した種子カードの種子を捕食するエンマコオロギ

こともできる。

さらにピットフォール（落とし穴）トラップを定期的に圃場に設置することにより、種子食昆虫類の種構成と季節消長を把握できる (Mauchline *et al.* 2005 ; O'Rourke *et al.* 2006 ; Westerman *et al.* 2008)。ピットフォールトラップは、プラスチックカップなどを地表面に埋め込んだもので、地表性昆虫類を捕獲するためによく用いられる（第4図）。捕獲された昆虫類が種子食かどうかを判定するためには、ペトリ皿内で種子を与えて飼育し、捕食の有無を調査する。一方、げっ歯類の捕獲のためにはシャーマントラップ（ネズミ捕獲用の金属箱）がよく用いられる (Westerman *et al.* 2008)。

しかし上述のような、種子の金網処理やトラップの利用は、種子捕食者の間接的な推定方法であり、実際に何が種子を捕食しているのかを断定することはできない。近年では、赤外線ビデオカメラを用いた直接的な種子捕食者の特定方法もある (Navntoft *et al.* 2009) が、機材が高価であるため多数設置することは通常困難であろう。著者らは最近、種子捕食者を簡易に直接的に特定する方法として、比較的安価なデジタルカメラを利用する方法を考案した (市原 未発表)。種子カードの上部に自動撮影のデジタルカメラ (GardenWatchCam ; Brinno Incorporated) を設置し、数秒～数十秒おきに撮影することにより、種子捕食者を特定できる (第5図、第6図)。ただし、コオロギ類やゴミムシ類等の種子食者は、主に夜間に種子を捕食するため (市原 未発表)、夜間撮影を行う必要がある。そこで、種子カードの横から、赤色セロハンを装着した懐中電灯で光を照射することにより、夜間撮影が可能となる。調査で得られた画像はカメラに内蔵の USB メモリに保存され、パソコン上で動画形式で再生したり、画像として保存することができる。

3. 種子食昆虫による雑草種子の低減効果

本節では、欧米の農地における種子食昆虫の捕食による雑草種子の低減効果や、雑草個体群および雑草群集への影響についての研究を紹介するとともに、日本国内における著者らによる研究を紹介する。

(1) 欧米の農地における研究

種子食者による雑草種子の低減効果を評価するためには、種子散布と種子捕食の季節消長を把握し、植物体から散布された種子のうち何割が捕食されるのかを推定する必要がある。Westerman *et al.* (2003a) は、オランダのコムギ圃場に優占する雑草 10 数種について、散布種子数の季節消長を調査するとともに、種子カード法により種子捕食率の消長を調査した。その結果、散布後の雑草種子の 32～70% が、種子捕食によって失われていることが示された。ここでの種子捕食者はげっ歯類とゴミムシ類であり、一部の調査圃場ではゴミムシ類が主捕食者であった。

さらに Westerman *et al.* (2005) は、種子捕食が雑草の個体群動態に及ぼす影響を定量化した。アメリカ・アイオワ州の2年輪作体系（トウモロコシ—ダイズ）と4年輪作体系（トウモロコシ—ダイズ—ライコムギ・アルファルファ混作—アルファルファ）の圃場において、アオイ科雑草イチビ (*Abutilon theophrasti*) の生活史データ（埋土種子数、出芽率、実生生存率、散布種子数、種子捕食率など）を収集し、個体群動態モデルにより、イチビ埋土種子量の20年間の推移をシミュレートした。その結果、4年輪作ではコオログイ類やゴミムシ類などによる種子捕食率が高く、その高い捕食圧がイチビ個体群を安定的に抑制することが示された。なお4年輪作で種子捕食が強化されるのは、ライコムギやアルファルファが種子食者に好適な生息環境をもたらすためである。これらの結果から、種子捕食は雑草の生物防除手段の1つとなりうることが示された。

種子食昆虫は、農地の雑草の群集構造にも影響しうる。Brust (1994) は、複数の雑草種の種子を播種した区画に、ゴミムシ類とコオログイ類 (*G. pennsylvanicus*) を放飼し、これらによる種子捕食が各草種の出芽や生長に及ぼす影響を調査した。その結果、これらの種子食昆虫は、イネ科雑草の種子よりも広葉雑草の種子を好んで捕食し、広葉雑草の競争力を低下させることが示された。実際、これらの種子食昆虫の多く生息する圃場では、広葉雑草が少なかった (Brust 1994)。日本に生息するゴミムシ類やコオログイ類についても、種子選好性や出芽への影響を明らかにすることにより、雑草群集への影響を予測できると考えられる。

(2) 日本の農地における研究

日本の農地においても近年、種子食者による雑草種子の低減効果を評価する取り組みが始まった。本州以南のコムギ圃場では、外来雑草ネズミギの蔓延による被害が顕在化しており、除草剤のみによる防除が困難であることから、IWMの構築が求められている (浅井・與語 2005)。そのためには、ネズミギの個体群動態の解明や、個体群の抑制要因についての詳細な理解が必要である。そこで Ichihara *et al.* (2011) は、静岡県内の水田転換コムギ圃場において、ネズミギ種子散布後（コムギ収穫後）の種子捕食率の季節消長を種子カード法により調査し、散布後種子の捕食率を推定した。その結果、圃場内では散布後種子の35~43%が、畦畔では42%が、捕食によって失われることが示された (第1表)。種子捕食者は、圃場内部では昆虫類（コオログイ類、ゴミムシ類）、げっ歯類および鳥類、畦畔では主に昆虫類（コオログイ類、ゴミムシ類）であった。本研究より、日本の水田転換コムギ圃場においても、種子捕食は雑草埋土種子の重要な減少要因の1つであることが証明された。

しかし本調査圃場では、種子捕食がネズミギ個体群を強く抑制するには至らないと考えられた (Ichihara *et al.* 2011)。

第1表 水田転換コムギ圃場の内部と畦畔における外来雑草ネズミギの散布後種子捕食率 (%)

種子捕食者	2006		2007	
	圃場内部	畦畔	圃場内部	畦畔
昆虫類+げっ歯類+鳥類	43	-	35	42
昆虫類（コオログイ類+ゴミムシ類）	34	-	13	33

Ichihara *et al.* (2011) を改変。上段は昆虫類、げっ歯類および鳥類による種子捕食率、下段は昆虫類（コオログイ類およびゴミムシ類）のみによる種子捕食率を示している。

(a) 調査1回目

(b) 調査2回目

第7図 (a) 調査1回目と (b) 2回目における、エンマコオログイの密度とネズミギの出芽率の関係
異符号間には Tukey の多重比較において 5% 水準で有意差があることを示す。垂線は標準誤差を示す。

調査圃場におけるネズミギ種子散布後の埋土種子密度は $4,000 \sim 5,000 \text{ m}^{-2}$ と極めて高く (市原ら 2010)、そのうち 40% 程度が捕食されたとしても $2,400 \sim 3,000 \text{ m}^{-2}$ と高密度で存在

することとなる。実際、調査翌年のネズミムギの発生程度は、前年とほぼ同じであった。ネズミムギ個体群の抑制のためには、さらに高い割合の種子が捕食される必要がある。この調査圃場は、圃場整備された大規模農業地域に位置しており、種子食昆虫の重要な生息地となる畦畔面積が小さく、さらに降雨により圃場内が湛水しやすい水田転換圃場であったため、種子食昆虫の生息には不適と考えられた (Ichihara *et al.* 2011)。圃場の環境条件や立地環境によっては、種子捕食率が本研究結果よりもさらに高い可能性がある。この点については次の4節で論じた。

さらに Ichihara *et al.* (2012) は、コオロギ類の密度とネズミムギの出芽率の関係について調査した。試験圃場内に波板区画 (区画面積: 2.25 m^2) を設置し、各区画にネズミムギの種子を 1,000 粒播種した。そして、エンマコオロギを異なる密度 (0~8 個体/ 2.25 m^2) で2週間放飼した後、ネズミムギの出芽率を調査した。これらの調査を2回行った。その結果、エンマコオロギが存在しない場合のネズミムギの出芽率は 90.9~97.2% であったが、一方、エンマコオロギが2個体/ 2.25 m^2 の場合は 49.7~50.3% と出芽率が半減した (第7図)。さらに、8個体/ 2.25 m^2 の場合の出芽率は 0.5~2.5% と大きく低下した。このように、エンマコオロギの密度が増加するにつれて、ネズミムギの出芽率が低下した。したがって、農地のコオロギ類の個体群密度が高まるほど、種子捕食が強化され、雑草の生物的防除への貢献度が高まると考えられた。

4. 種子食昆虫の保全における圃場周辺環境の重要性

種子食昆虫による雑草種子の捕食は、農地の在来生物が人間にもたらす恵み (生態系サービス) の一つと捉えることができる。この“種子捕食サービス”を維持、向上させるためには、農地の種子食昆虫を保全することが必要である。圃場周辺部の畦畔等の草地は、ゴミムシ類 (香川ら 2008; 李ら 2008) やコオロギ類 (市原 未発表) の重要な生息地であり、農地の種子食昆虫を支持するうえで重要な役割を果たしていると考えられる。そのため、農業地域における畦畔草地の割合や、これらの形状、空間的な配置といった農地の景観構造が、圃場内の種子捕食に大きく影響するであろう。アメリカ・ミシガン州のトウモロコシ圃場では、景観構造によって圃場内の種子捕食率が変動することが示されている (Menalled *et al.* 2000)。一方、農地の多くを水田が占めるアジア地域においては、景観構造と種子捕食の関係についての研究はなく、今後、定量的な評価を行う必要があるだろう。アジアの水田地域における種子捕食サービスの持続的利用のためには、水田における種子食昆虫の発生量や種子捕食強度を決める景観要因を理解することが重要である。

農地の種子食昆虫を保全するためには、これらの重要な生

息地である圃場周辺部を適切に管理することが必要である。圃場周辺部の植生管理は、高強度の草刈りや非選択性除草剤の利用が一般的である。しかし、種子食昆虫は攪乱の少ない、植生に被覆された環境を好むと考えられる。近年では、畦畔の草刈り高を通常よりもやや高めることで、斑点米カメムシ類の発生源となるイネ科雑草を抑制する新たな草刈り技術 (高草刈り) (稲垣ら 2012) や、雑草を枯死させずに生育を抑制することで畦畔の裸地化を防ぐ抑草剤が開発されている。これらの攪乱の少ない植生管理技術が種子食昆虫に及ぼす影響を評価することにより、種子食昆虫の保全にも有効な管理技術を見いだせる可能性がある。

一方、中山間地など農家の高齢化が深刻な地域では、畦畔など圃場周辺部の管理が困難になりつつある。このような地域では、農家高齢化への対応と生態系サービスの確保を両立できる畦畔管理を行うことが必要であろう。農家高齢化に対応した畦畔の省力的管理技術の一つとして、近年ではカバープランツ (ヒメイワダレソウやシバザクラなど) の植栽が注目されており、雑草抑制や土壌侵食防止などの効果が期待されている (角ら 2007; 大谷ら 2007; 川口ら 2012)。カバープランツの植栽畦畔では、草刈りや除草剤などの攪乱が少ないため、種子食昆虫が増加する可能性がある。実際、ヒメイワダレソウやシバザクラの植栽畦畔では、コオロギ類の個体群密度や種子捕食率が高いことが確認されている (市原 未発表)。圃場周辺部の省力的管理の必要とされる地域では、今後カバープランツの導入が進むことが予想されるため、種子食昆虫への影響を明らかにしておく必要もあるだろう。

5. 今後の研究の展望

農地生態系は、種子食昆虫による雑草種子捕食の他にも、クモ類等の天敵による害虫捕食や、ハチ類等の送粉者による作物授粉など、多様な生態系サービスを提供することで、持続的な農業生産を支持している (Kremen and Ostfeld 2005; Isaacs *et al.* 2009; Taki *et al.* 2010; Kobayashi *et al.* 2011; Takada *et al.* 2011)。今後は、単一の生態系サービスのみ注目するだけでなく、複数のサービスを高める環境条件や農地管理方法についても明らかにしていく必要があるだろう。多様な生態系サービスを活用するためには、サービス間のトレードオフや相乗効果について理解する必要がある (Wratten *et al.* 2012)。例えば、農地において肉食性のクモ類が増加すると、種子食昆虫が多く捕食され、雑草種子捕食に負の影響を及ぼす可能性がある。Davis and Raghu (2010) は、アメリカ・イリノイ州のトウモロコシ圃場において、クモ類の増加が、種子食昆虫による雑草種子捕食を低下させることを示している。クモ類による害虫捕食と、種子食昆虫による雑草種子捕食の両方のサービスを高めるためには、これらの生物の共存を促進する環境条件および管理条件を解明すること

が必要であろう。

近年では、農地生態系の劣化が国内外で深刻な問題となっている。農地の生態系サービスの評価や利用、生物間相互作用についての研究は、欧米諸国において進展しつつあるが、日本を含むアジア地域での取り組みはまだ始まったばかりである。農地生態系のもたらすサービスを適正に評価し、これらの活用および保全手法を考えていくことは、生態系を重視した持続的農業の発展に必須であり、さらに農地生態系の保全と再生を前進させるだろう。

謝 辞

本特集は、日本雑草学会第51回大会の「若手の会」における講演内容について取りまとめたものである。若手の会開催にあたって、ご協力いただいた大会関係者の皆様に心より感謝いたします。

引用文献

- 浅井元朗・與語靖洋 2005. 関東・東海地域の麦作圃場におけるカラスミギ、ネズミミギの発生実態とその背景. 雑草研究 50, 73-81.
- Bechinski, E.J., J.F. Bechinski and L.P. Pedigo 1983. Survivorship of experimental green cloverworm (Lepidoptera: Noctuidae) pupal cohorts in soybeans. Environ. Entomol. 12, 662-668.
- Bohan, D.A., A. Boursault, D.R. Brooks and S. Petit 2011. National-scale regulation of the weed seedbank by carabid predators. J. Appl. Ecol. 48, 888-898.
- Brust, G.E. 1994. Seed-predators reduce broadleaf weed growth and competitive ability. Agric. Ecosyst. Environ. 48, 27-34.
- Burgess, L. and C.F. Hinks 1987. Predation on adults of the crucifer flea beetle, *Phyllotreta cruciferae* (Goeze), by the northern fall field cricket, *Gryllus pennsylvanicus* Burmeister (Orthoptera: Gryllidae). Can. Entomol. 119, 495-496.
- Cardina, J., H.M. Norquay, B.R. Stinner and D.A. McCartney 1996. Postdispersal predation of velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) seeds. Weed Sci. 44, 534-539.
- Cammona, D.M., F.D. Menalled and D.A. Landis 1999. *Gryllus pennsylvanicus* (Orthoptera: Gryllidae): laboratory weed seed predation and within field activity-density. J. Econ. Entomol. 92, 825-829.
- Crawley, M.J. 2000. Seed predators and plant population dynamics. In: "Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities" ed. by M. Fenner, 2nd ed., CABI Publishing, New York, pp. 167-182.
- Davis, A.S. and S. Raghu 2010. Weighing abiotic and biotic influences on weed seed predation. Weed Res. 50, 402-412.
- Evans, D.M., M.J.O. Pocock, J. Brooks and J. Memmott 2011. Seeds in farmland food-webs: Resource importance, distribution and the impacts of farm management. Biol. Conserv. 144, 2941-2950.
- Heggenstaller, A.H., F.D. Menalled, M. Liebman and P.R. Westerman 2006. Seasonal patterns in post-dispersal seed predation of *Abutilon theophrasti* and *Setaria faberi* in three cropping systems. J. Appl. Ecol. 43, 999-1010.
- Honek, A., Z. Martinkova and V. Jarosik 2003. Ground beetles (Carabidae) as seed predators. Eur. J. Entomol. 100, 531-544.
- Honek, A., P. Saska and Z. Martinkova 2006. Seasonal variation in seed predation by adult carabid beetles. Entomol. Exp. Appl. 118, 157-162.
- 市原 実・山下雅幸・澤田 均・石田義樹・稲垣栄洋・木田揚一・浅井元朗 2010. コムギーダイズ連作圃場における外来雑草ネズミミギ (*Lolium multiflorum* Lam.) の埋土種子動態と出芽動態—耕起体系と不耕起体系の比較. 雑草研究 55, 16-25.
- Ichihara, M., K. Maruyama, M. Yamashita, H. Sawada, H. Inagaki, Y. Ishida and M. Asai 2011. Quantifying the ecosystem service of non-native weed seed predation provided by invertebrates and vertebrates in upland wheat fields converted from paddy fields. Agric. Ecosyst. Environ. 140, 191-198.
- Ichihara, M., H. Inagaki, K. Matsuno, C. Saiki, M. Yamashita and H. Sawada 2012. Post-dispersal seed predation by *Teleogryllus emma* (Orthoptera: Gryllidae) reduces the seedling emergence of a non-native grass weed, Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.). Weed Biol. Manage. 12, 131-135.
- 稲垣栄洋・丹野夕輝・山下雅幸・済木千恵子・松野和夫・市原 実 2012. 高刈りによるイネ科雑草と斑点米カメムシの抑制. 「農業技術体系作物編追録 33」, 農文協, 東京, pp. 1077-1081.
- Isaacs, R., J. Tuell, A. Fiedler, M. Gardiner and D. Landis 2009. Maximizing arthropod-mediated ecosystem services in agricultural landscapes: the role of native plants. Front. Ecol. Environ. 7, 196-203.
- Jacob, H.S., D.M. Minkey, R.S. Gallagher and C.P. Borger 2006. Variation in postdispersal weed seed predation in a crop field. Weed Sci. 54, 148-155.
- 香川理威・伊藤 昇・前藤 薫 2008. スケールのモザイク植生で構成される農地景観における歩行虫類の種構成. 昆虫 (ニューシリーズ) 11, 75-84.
- 角龍市朗・伊藤操子・伊藤幹二 2007. 防草シートを利用したシバザクラ植被形成における雑草の影響とその防除. 雑草研究 52, 57-65.
- 川口佳則・井上拓弘・沖 陽子 2012. センチピードグラスおよびヒメイワダレソウを植栽した滋賀県内の畦畔における雑草発生の現状把握. 雑草研究 57, 9-13.
- Kobayashi, T., M. Takada, S. Takagi, A. Yoshioka and I. Washitani 2011. Spider predation on a mirid pest in Japanese rice fields. Basic Appl. Ecol. 12, 532-539.
- Kremen, C. and R.S. Ostfeld 2005. A call to ecologists: measuring, analyzing, and managing ecosystem services. Front. Ecol. Environ. 3, 540-548.
- 李 哲敏・長井良浩・広渡俊哉・石谷正宇・石井 実 2008. 圃場整備による水田畦畔のゴミムシ類群集の変化. 昆虫と自然 43, 6-10.
- Lundgren, J.G. and K.A. Rosentrater 2007. The strength of seeds and their destruction by granivorous insects. Arthropod Plant Interact. 1, 93-99.
- Mauchline, A.L., S.J. Watson, V.K. Brown and R.J. Froud-Williams 2005. Post-dispersal seed predation of non-target weeds in arable crops. Weed Res. 45, 157-164.
- Menalled, F.D., P.C. Marino, K.A. Renner and D.A. Landis 2000. Post-dispersal weed seed predation in Michigan crop fields as a function of agricultural landscape structure. Agric. Ecosyst. Environ. 77, 193-202.
- Navntoft, S., S.D. Wratten, K. Kristensen and P. Esbjerg 2009. Weed seed predation in organic and conventional fields. Biol. Cont. 49, 11-16.
- O'Rourke, M.E., A.H. Heggenstaller, M. Liebman and M.E. Rice 2006. Post-dispersal weed seed predation by invertebrates in conventional and low-external-input crop rotation systems. Agric. Ecosyst. Environ. 116, 280-288.
- 大谷一郎・渡辺 修・伏見昭秀 2007. 畦畔法面への利用を前提としたグラウンドカバープランツの生育および土壌保全機能と植栽斜面方位との関係. 近中四農研報 6, 39-53.
- Rees, M. and R. L. Hill 2001. Large-scale disturbances, biological control and the dynamics of gorse populations. J. Appl. Ecol. 38, 364-377.
- Shea, K., D. Kelly, A.W. Sheppard and T.L. Woodburn 2005. Context-dependent biological control of an invasive thistle. Ecology 86, 3174-3181.

- Shuler, R.E., A. DiTommaso, J.E. Losey and C.L. Mohler 2008. Postdispersal weed seed predation is affected by experimental substrate. *Weed Sci.* 56, 889–895.
- Takada, M.B., A. Yoshioka, S. Takagi, S. Iwabuchi and I. Washitani 2011. Multiple spatial scale factors affecting mirid bug abundance and damage level in organic rice paddies. *Biol. Cont.* 60, 169–174.
- Taki, H., K. Okabe, Y. Yamaura, T. Matsuura, M. Sueyoshi, S. Makino and K. Maeto (2010) Effects of landscape metrics on *Apis* and non-*Apis* pollinators and seed set in common buckwheat. *Basic Appl. Ecol.* 11, 594–602.
- Westerman, P.R., J.S. Wes, M.J. Kropff and W. van der Werf 2003a. Annual losses of weed seeds due to predation in organic cereal fields. *J. Appl. Ecol.* 40, 824–836.
- Westerman, P.R., A. Hofman, L.E.M. Vet and W. van der Werf 2003b. Relative importance of vertebrates and invertebrates in epigeic weed seed predation in organic cereal fields. *Agric. Ecosyst. Environ.* 95, 417–425.
- Westerman, P.R., M. Liebman, F.D. Menalled, A.H. Heggenstaller, R.G. Hartzler and P.M. Dixon 2005. Are many little hammers effective? Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) population dynamics in two- and four-year crop rotation systems. *Weed Sci.* 53, 382–392.
- Westerman, P.R., J.K. Borza, J. Andjelkovic, M. Liebman and B. Danielson 2008. Density-dependent predation of weed seeds in maize fields. *J. Appl. Ecol.* 45, 1612–1620.
- White, S.S., K.A. Renner, F.D. Menalled and D.A. Landis 2007. Feeding preferences of weed seed predators and effect on weed emergence. *Weed Sci.* 55, 606–612.
- Wratten, S.D., M. Gillespie, A. Decourtye, E. Mader and N. Desneux 2012. Pollinator habitat enhancement : Benefits to other ecosystem services. *Agric. Ecosyst. Environ.* 159, 112–122.
- 山下伸夫 2011. 無脊椎動物による畑地雑草の種子損耗とその雑草管理への利用性. *雑草研究* 56, 182–190.
- Yamazaki, K., S. Sugiura and K. Kawamura 2003. Ground beetles (Coleoptera : Carabidae) and other insect predators overwintering in arable and fallow fields in central Japan. *Appl. Entomol. Zool.* 38, 449–459.
- Zhang, J., F.A. Drummond, M. Liebman and A. Hartke 1997. Insect predation of seeds and plant population dynamics. *MAFES Tech. Bull.* 163 : 32pp.