

# 農耕地周辺の土地利用に注目した広域害虫管理： これまでの研究動向と今後の展望

中央農業総合研究センター 田 渕 けん研\*  
森林総合研究所 滝 ひさとも智

## はじめに

害虫や天敵昆虫は農耕地のみに依存しているわけではなく、周辺の非農耕地も利用している。現在までに、害虫や天敵昆虫の発生量が農耕地の周辺環境に依存しているという多数の報告がなされており、カメムシ類などの移動性の高い種においては、森林などで増殖して農耕地へ侵入するものも存在する。こうした場面ではランドスケープエコロジー（表-1）の見地から広域スケールで害虫を管理するための研究に取り組む必要があるだろう。

近年、土着の天敵昆虫類の発生条件やこれら天敵昆虫類によって供される害虫抑制効果（生態系サービス（表-1）の中の害虫抑制サービス）を決定する要因が注目されている。最近の研究から、農耕地周辺の土地利用の配置（ランドスケープ構造、表-1）が複雑だと、天敵昆虫類の多様性が高い（e.g. BIANCHI et al., 2006）ことや害虫個体群の抑制効果が増加する（THIES and TSCHARNTKE, 1999；BIANCHI et al., 2008；GARDINER et al., 2009）ことが示されてきた。環境負荷の少ない農業を持続的に行うためにはこれら農耕地周辺環境に生息する土着の天敵を積極的に活用すべきであろう。本稿では農耕地と非農耕地間の生物の行き来を考慮した“広域害虫管理（areawide pest management）”や天敵昆虫類による害虫抑制サービスの評価と利用の研究に関して概観するとともに、今後の可能性について関連研究を紹介しながら概説したい。

本文に先立ち、草稿に対して有益な意見をいただいた守屋成一、長坂幸吉、高田まゆら、山浦悠一の四氏に厚くお礼申し上げる。また、本稿を作成するに当たり、滝久智は地球環境研究総合推進費（H-081）の支援を受けた。

## I 広域的な視点の重要性～「圃場単位」から「集落・市町村単位」を対象とした広域的な害虫管理へ

これまでの害虫管理では、年間の発生世代数や発生消長といった生活史を解明して防除適期を判断し、薬剤や生物的防除資材等を用いた適切な防除手段によって被害を回避することで、「圃場単位」で様々な害虫に対する防除を成功させてきた。また、現在では複数の圃場の空間スケールを対象とした交信かく乱剤の利用や選択的殺虫剤との組み合わせなどによる“土着天敵の保護・増強による生物防除（conservation biological control）”（BARBOSA, 1998）を実践するための栽培管理技術の開発が数多く行われている。

しかしながら、これら「圃場単位」の防除体系の構築では対応しきれない害虫も存在する。日本では、1970年代から温暖化や土地利用政策の変化（減反・スギ単一植林等）が原因で果樹（チャバネアオカメムシ・クサギカメムシ等）や水稻（斑点米カメムシ類）・ダイズ（ホソヘリカメムシ・ミナミアオカメムシ等）におけるカメムシ類の被害が顕在化しており、現在も被害が拡大している（KIRITANI, 2007）。カメムシ類のように移動能力が高く、複数の生息地間を広域分散して頻繁に圃場へ侵入する害虫に対しては、「圃場単位」での防除には限界がある。このような移動性の高い害虫類の被害軽減のためには圃場侵入以前の発生場所を特定する研究や、広域的な視点から発生しやすい環境条件を明らかにする研究が重要である。

このような圃場単位を超えた広域スケールを扱うのがランドスケープエコロジー（表-1）である。地理情報システム（geographic information system, GIS）やリモートセンシング等の技術普及と空間統計学の発達によって膨大な広域データが比較的容易に扱えるようになったため、近年急速に発達している学問分野である。現在の応用昆虫学分野では害虫や天敵の発生量を決定する要因の解明に用いられる場合が多い。具体的には①調査地点周辺をGISで定量化し（既に定量化されたデータを用いる場合もある）（図-1参照）、②対象昆虫の発生量デー

Pest Management at Landscape Scale : A Review and Future Directions. By Ken TABUCHI and Hisatomo TAKI

（キーワード：害虫防除，生態系機能，生物多様性）

\* 現所属：東北農業研究センター

表-1 本稿で用いる用語の定義と解説

| 単語                                      | 定義と解説                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 生態系 (ecosystem)                         | ある地域に住むすべての生物とその地域内の非生物的環境 (気候・土壌・水質など) をまとめて捉えたもの <sup>a)</sup> 。                                                                                                                                                                                                               |
| 生態系サービス (ecosystem services)            | 自然生態系から人間にもたらされる利益のこと <sup>b)</sup> 。生態系サービスの“サービス”は経済学用語であり、お金を払って得られるもののうち、保存・運搬のできないものを“サービス”と呼ぶ <sup>c)</sup> 。国連はミレニアム生態系評価 (Millennium Ecosystem Assessment, MA) の中で生態系サービスを供給, 調節, 文化, 基盤サービスの四つに分類している。応用昆虫学には調節サービスが深く関係し, 天敵の存在による病害虫の個体群抑制や花粉媒介等, 生物的調節に関するサービスが含まれる。 |
| ランドスケープ (landscape, 景観)                 | 少なくとも一つの要因において空間的に不均一な区域 <sup>d)</sup> 。その範囲は対象によって異なり, 数十 $\text{m}^2$ ~ 数千 $\text{km}^2$ となることもある。「景観」という用語は古くから造園学分野で用いられ, 「風景」に近い用語としてのイメージが強いので, 本稿では「ランドスケープ」を用いる。                                                                                                         |
| ランドスケープエコロジー (landscape ecology, 景観生態学) | 空間パターン (土地利用・地形等) が生態的プロセス (移動・分散・分布等) に与える影響を検討する学問 <sup>d)</sup> 。生物多様性保全, 地域生態系の管理, 都市計画等土地利用にかかわる様々な場面で応用されている。                                                                                                                                                              |
| ランドスケープ構造 (landscape structure)         | ランドスケープの各要素の配置や面積。                                                                                                                                                                                                                                                               |

<sup>a)</sup> 八杉ら, 1996; <sup>b)</sup> Millennium Ecosystem Assessment, 2007; <sup>c)</sup> 竹中, 2002; <sup>d)</sup> TURNER et al., 2004.

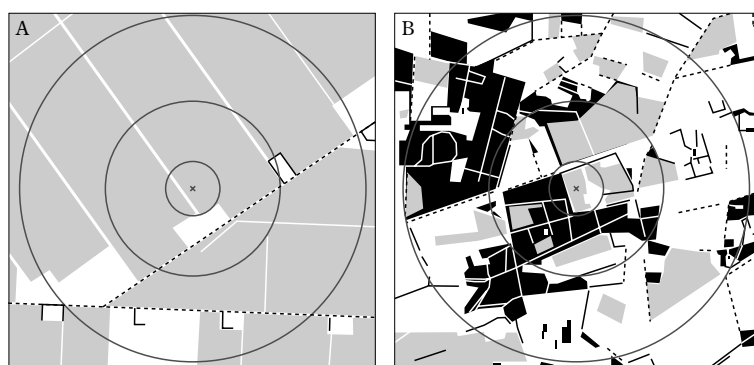


図-1 GISによって定量化された調査地周辺の土地利用図 (BIANCHI et al., 2008 より)

灰色は農耕地, 黒は森林, 白はその他の土地利用, 点線は並木を示している。Aは寄生率が最も低かった地点 (4%)。Bは最も寄生率の高かった地点 (94.1%)。Aでは調査地点周辺が農耕地に囲まれた単純な土地利用なのに対し, Bでは森林や農耕地等がモザイク状に入り組んだ複雑なランドスケープ構造であることがわかる。

タから発生量を決定する各種の要因 (一定範囲内にあるランドスケープ要因の面積, 空間スケール, 気象要因等) を検討する。

害虫に関して先駆的にこの手法を用いたのが CARRIÈRE et al. (2006) の研究である。この論文では, ワタ害虫のカスマカメの一種 western tarnished plant bug : *Lygus hesperus* の発生源となるランドスケープ要因 (作付け) とその影響する空間スケールを解明するため, アリゾナ

の農耕地 109 圃場で週 1 回のすくい取り調査を数か月行った。彼らはこれらの圃場とその周辺環境  $12 \times 30 \text{ km}$  の範囲を GIS によって定量化した後, 発生源 (source)・滞留場所 (sink) となるランドスケープ要素や圃場でのカスマカメ発生数に影響する範囲を解析した。結果として, ①発生源は飼料用・種子用アルファルファ圃場と雑草地であり, ②発生源として影響する範囲は飼料用・種子用アルファルファでそれぞれ 375,

500 m, 雑草地は1,500 mであった。また③ワタ圃場はカスミカメの滞留場所となり, 半径750 m以内の近接したワタ圃場におけるカスミカメ発生量には影響しないことなどが明らかになった。

害虫のみならず天敵昆虫類の密度に及ぼす範囲についても様々な研究事例が報告され, 広域的な視点が重要なことが示されている。冬コムギ圃場においてクモ類の密度と相関が高い空間スケールを検討した SCHMIDT et al. (2008) は, 空間スケールが種ごとに異なり, 半径95 m ~ 3 kmであることを示した。

このような研究は GIS による調査地の定量化や対象昆虫の発生量調査に多大な労力がかかることなどから世界的に見ても数例しか実行されていない。ましてや, 国内における研究は始まったばかりである (e.g. 高田, 2010)。しかしながら, 「圃場単位」の防除体系構築では対応しきれない害虫の被害対策が求められる昨今では, 「集落・市町村単位」などの広域的な視点から害虫の動態を解明して, 根本的な被害対策を確立することが重要だろう。具体的には, 圃場の立地条件と害虫の発生源を検討し, 近くに発生源がない圃場においては予防的な農薬散布を大幅に減らすことが可能になるだろう。

## II 天敵による害虫抑制効果とランドスケープ構造

農耕地は地球上の陸地面積の約24%を占め (Millennium Ecosystem Assessment 2007), 生物多様性に果たす役割が大きいと考えられている。世界的な農耕地の拡大・集約化が進行している中, 集約的な農耕地では生物多様性が減少するという報告が増えている (BIANCHI et al., 2006)。農業生態系における生物多様性の中でも, 天敵類の多様性を決定する要因の解明は, 天敵昆虫類による経済的価値の評価・改善を目的に研究が行われてきた (VOLLHARDT et al., 2008 など)。その過程で, ランドスケープ構造が複雑だと天敵類の種数や密度が増加することが示されてきた (BIANCHI et al., 2006)。いくつかの成功事例では天敵による害虫抑制効果も増加することが報告されてきている (LETOURNEAU et al., 2009) ので, 以下に紹介する。

天敵昆虫による害虫抑制効果とランドスケープ要因の量的関係を初めて解明した THIES and TSHARTKE (1999) はナタネを加害するケシキスイの一種 (*Meligethes aeneus*) に寄生するヒメバチ科寄生蜂3種の寄生率が半径1.5 km以内の非農耕地の割合と正の関係があることを示した。同グループは別の研究 (ROSCHWITZ et al., 2005) からコムギの害虫アブラムシ3種 (ムギヒゲナガアブラムシ・ムギウスイロアブラムシ・ムギクビレアブ

ラムシ) に対する寄生蜂種群 (コバチ上科) の寄生率は半径1 ~ 2 kmにおける土地利用の多様度が高く, ランドスケープ構造が複雑だと増加することを報告した。

その他の具体的な事例として, コナガの寄生蜂 (*Diadegma* spp.: ヒメバチ科) の寄生率に影響する要因を特定した BIANCHI et al. (2008) が挙げられる。彼らは, オランダの有機栽培芽キャベツ圃場22箇所においてポット植え植物に接種したコナガの寄生率を調査し, ランドスケープ要因 (土地利用タイプ, 道路・森林等の境界長と面積, 単独の木の数, 空間スケール (半径0.3, 1, 2, 10 km)) と気象要因 (風速・平均気温・相対湿度・降雨量・日照時間) を解析した。そして, コナガに対する *Diadegma* spp. の寄生率には森林面積 (半径0.3, 1, 2, 10 km以内)・林縁長 (半径1, 2 km以内)・道路の境界 (1 km以内) が影響していることを明らかにした。この中で, 最も影響力の強かったのは森林縁面積であり, 寄生率と正の有意な関係が認められた (図-1, 2)。森林縁は寄生蜂の越冬場所や蜜源を提供することが知られており, 寄生率の向上に貢献したと考えられた。

天敵昆虫類を利用して害虫管理を行う際には, 単食・狭食性天敵に加えて広食性天敵を利用するほうが効果的な場合が多い (SYMONDSON et al., 2002)。寄主範囲の狭い寄生蜂のみならず, 広食性天敵に関してもランドスケープ構造が害虫抑制効果を促進する結果が得られている。GARDINER et al. (2009) はアメリカ中北部のダイズ圃場26箇所において, ダイズアブラムシ (*Aphis glycines*) の捕食者群とランドスケープ構造の関係を検討した。その中で最も有力だった天敵はテントウムシ科の昆虫 (特にナミテントウ *Harmonia axyridis*) であり, 密度と害虫抑制効果にランドスケープ構造が影響する空間スケール

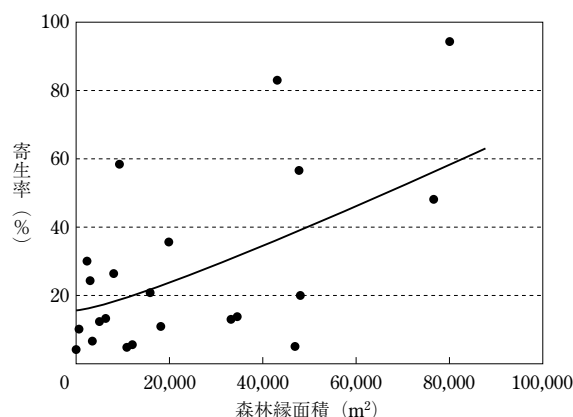


図-2 林縁の面積と *Diadegma* spp. によるコナガの寄生率の関係 (BIANCHI et al., 2008 を一部改変)

ルは半径 1.5 km であると結論づけた。

### III 農耕地周辺からの生態系サービス利用による害虫管理の可能性

我が国において土着天敵の利用を考える際、農耕地の周辺環境が重要なことは指摘されてきたが、その範囲まではほとんど考慮されてこなかった(田中, 2009)。前章で述べたように、天敵による害虫抑制効果が期待できるかどうかは圃場のランドスケープ構造に左右されるので、空間スケールを意識しつつ、天敵の供給源として特定の非農耕地の存在量を評価する必要がある。

こうした応用へ向けた取り組みとしては、冒頭で触れたように土着天敵の保護・増強による生物防除が着目され、活発に研究が行われている(e.g. TSCHARNTKE et al., 2007; PIMENTEL, 2008; 田中, 2009)。土着天敵の保護・増強による生物防除は害虫個体群の抑制サービスを積極的に利用する技術の総称である。生息場所管理(habitat management)(LANDIS et al., 2000)を基幹としており、農耕地やその周辺に天敵類の生活基盤(生息場所や餌資源)を提供して天敵の多様度や密度、適応度を上げて害虫抑制効果の増強を目指すものである。日本では「圃場単位」の空間スケールで取り扱われがちであるがヨーロッパでは、ランドスケープ構造に着目した天敵の利用が大きな構成技術として掲げられている(e.g. JONSSON et al., 2008)。西ヨーロッパ各国では生息場所管理が重要視され、畦への草生帯や花畑の造成、垣根の維持などが政府によって推奨されており、agro-environmental scheme(環境の利益を生む農業従事者への直接支払い制度)として実践されている。

一方、安田ら(2009)が指摘しているように、日本の農生態系は欧米と比較して小規模で、非農耕地や複数の作物圃場がモザイク状に入り組んでいるという特徴をもつ。TSCHARNTKE et al. (2005)は生息場所管理による多様性の保護・増強は(天敵にとって生息地などの資源が不足し、かつ生息場所の改善効果がある種が多い)単純なランドスケープにおいて最も有効であると主張している。日本のように欧米と比較して農地のランドスケープ構造が複雑な場所では意識せずに生態系サービスによる害虫抑制の恩恵を受けているか、生息場所管理による恩恵が少ない可能性も考えられる。この想定も今後検証していく必要がある。

これまで、土着天敵の利用が試みられてきたが、施設での成功事例とは対照的に、野外の圃場における成功例は非常に少ない。これは、施設と比較して制御できない要因が多いことに加えて、天敵の生息場所である非農耕

地での調査が圧倒的に不足していることと、天敵による害虫個体群の抑制効果の定量的な評価が欠けたまま利用が試みられていること等が要因として考えられる。今後は、ランドスケープエコロジーの視点から①天敵昆虫の密度に影響するランドスケープ要因と空間スケールを特定し、②特定されたランドスケープ要因と天敵の密度・害虫抑制効果にどのような因果関係があるのか、また③特定の空間スケールでランドスケープ要因がなぜ重要になるのかを解明していくべきだろう。これらの研究を積み重ねることで、どのような生息場所管理が天敵昆虫類による害虫抑制効果の最適化に有効なのか、具体的な技術開発に結びつけることができるだろう。

また、先行研究では農耕地の管理手法の違い(薬剤散布や雑草管理)とその配置が農耕地間での害虫-天敵個体群の動態に及ぼす影響に着目した事例はない。スケールの小さな日本の農業体系や移動性の低い小型の害虫類-天敵昆虫のケース(カスミカメ・小蛾類等)ではこういった条件に着目した解析が応用技術の開発に直結するかもしれない。また、日本において数少ない単一作物栽培である水稻においては、このような管理手法の違いや、発育スケジュールの異なる品種の配置が害虫の発生と天敵による害虫抑制効果にどのような影響を及ぼすのか、ランドスケープ構造に着目して研究することが必要だろう。

これらの調査は多大な労力を伴うことが予想されるが、現在日本各地の様々な自然環境情報が整備され始め、GIS データが無償で入手可能になっている(e.g. 環境省生物多様性情報センター, 1998)ため、将来的には調査地の定量化は比較的容易になるだろう。また、フェロモンなどを利用した省力的な調査法が普及すれば、発生量調査もより容易に行われるかもしれない。

### お わ り に

本稿では農耕地周辺の土地利用に注目し、天敵による害虫抑制サービスを利用した害虫の広域管理と土着天敵の保護・増強利用に関して、「農耕地の周辺環境」と「空間スケール」の重要性に焦点を当てて紹介してきた。こうした観点から、農耕地において天敵昆虫による害虫抑制サービスを向上するための様々な技術(生息地場所管理)の詳細や、天敵間の相互作用(ギルド内捕食など)に関する問題は詳述しなかった。これらのトピックに関しては矢野(2003)や安田ら(2009)等を参照していただきたい。

天敵昆虫類による害虫抑制サービスの報告はそれぞれが断片的であり、農業生態系における積極的利用の研究

はまだ始まったばかりである。今回紹介した研究は現状では基礎研究の域にあり、今後はどのように栽培・防除体系に組み込んでいけるのか、技術の開発を目的とした実証研究が求められるだろう。そして、実際に農薬を削減した栽培によって生み出される経済的な価値を評価していく必要がある (TERMORSHUIZEN and OPDAM, 2009)。

現在、IPM 体系の構築が盛んに行われているが、農薬一辺倒の防除からこのような状況になるまでには 40 年近くかかった (安田ら, 2009)。今後、土着天敵による生態系サービス (害虫抑制サービス) を利用した、持続可能で環境への負荷の少ない低投資型の農業が普及するにはまだまだ時間がかかるかもしれない。このような農業の普及を目指して、本稿で紹介したランドスケープエコロジーの視点からの研究・技術開発を進めていきたい。

### 引用文献

- 1) BARBOSA, P. (1998) : Conservation Biological Control. Academic Press, San Diego, 396 pp.
- 2) BIANCHI, F. J. J. A. et al. (2006) : Proc. Roy. Soc. B : Biol. Sci. **273** : 1715 ~ 1727.
- 3) ——— et al. (2008) : Landscape Ecol. **23** : 595 ~ 602.
- 4) CARRIERE, Y. et al. (2006) : Entomol. Exp. Appl. **118** : 203 ~ 210.
- 5) GARDINER, M. M. et al. (2009) : Ecol. Appl. **19** : 143 ~ 154.
- 6) JONSSON, M. et al. (2008) : Biol. Cont. **45** : 172 ~ 175.
- 7) 環境省生物多様性センター (1998) : 生物多様性情報システム, <http://www.biodic.go.jp/J-IBIS.html>

- 8) KIRITANI, K. (2007) : Global Change Biol. **13** : 1586 ~ 1595.
- 9) LANDIS, D. A. et al. (2000) : Annu. Rev. Entomol. **45** : 175 ~ 201.
- 10) LETOURNEAU, D. K. et al. (2009) : Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst. **40** : 573 ~ 592.
- 11) Millennium Ecosystem Assessment (2007) : 生態系サービスと人類の将来 (横浜国立大学 21 世紀 COE 翻訳委員会訳), オーム社, 東京, 241 pp.
- 12) PIMENTEL, D. (2008) : Biol. Cont. **45** : 171.
- 13) ROSCHEWITZ, I. et al. (2005) : Agri. Ecosyst. Environ. **108** : 218 ~ 227.
- 14) SCHMIDT, M. H. et al. (2008) : J. Biogeogr. **35** : 157 ~ 166.
- 15) SYMONDSON, W. O. C. et al. (2002) : Annu. Rev. Entomol. **47** : 561 ~ 594.
- 16) 高田まゆら (2010) : 保全生態学の技法 (鷺谷いづみら編), 東京大学出版会, 東京, p. 217 ~ 237.
- 17) 竹中明夫 (2002) : 国立環境研究所ニュース **21** : 7 ~ 8.
- 18) 田中幸一 (2009) : 生物間相互作用と害虫管理 (安田弘法ら編), 京都大学出版会, 京都, p. 225 ~ 243.
- 19) TERMORSHUIZEN, J. and P. OPDAM (2009) : Landscape Ecol. **24** : 1037 ~ 1052.
- 20) THIES, C. and T. TSCHARNTKE (1999) : Science **285** : 893 ~ 895.
- 21) TSCHARNTKE, T. et al. (2005) : Ecol. Lett. **8** : 857 ~ 874.
- 22) ——— et al. (2007) : Biol. Cont. **43** : 294 ~ 309.
- 23) TURNER, M. G. et al. (2004) : 景観生態学 : 生態学からの新しい景観理論とその応用 (中越・原監訳), 文一総合出版, 東京, 399 pp.
- 24) VOLLMER, I. et al. (2008) : Agri. Ecosyst. Environ. **126** : 289 ~ 292.
- 25) 八杉龍一ら編 (1996) : 岩波生物学辞典第 4 版, 岩波書店, 東京, 2027 pp.
- 26) 矢野栄二 (2003) : 天敵 : 生態と利用技術, 養賢堂, 東京, 296 pp.
- 27) 安田弘法ら編 (2009) : 生物間相互作用と害虫管理, 京都大学出版会, 京都, 319 pp.

### (新しく登録された農薬 26 ページからの続き)

だいず : 一年生イネ科雑草 (スズメノカタビラを除く), スズメノカタビラ  
 てんさい : 一年生イネ科雑草 (スズメノカタビラを除く), スズメノカタビラ, シバムギ, レッドトップ  
 かんしょ : 一年生イネ科雑草  
 キャベツ : 一年生イネ科雑草  
 たまねぎ : 一年生イネ科雑草  
 にんじん : 一年生イネ科雑草  
 にんにく : 一年生イネ科雑草  
 ●デスメディファム・フェンメディファム・メトラクロール乳剤 ※名称変更  
 22578 : ホクサンベタダイア A 乳剤 (北海三共) 10/02/03  
 デスメディファム : 2.3%, フェンメディファム : 10.0%, メトラクロール : 12.0%  
 てんさい (移植栽培) : 畑地一年生雑草  
 ●グリホサートイソプロピルアミン塩液剤 ※名称変更  
 22580 : ホクサンクサトリキング (北海三共) 10/02/03  
 グリホサートイソプロピルアミン塩 : 41.0%  
 果樹類 (キウイフルーツ, パイナップルを除く) : 一年生雑草, 多年生雑草  
 豆類 (種実, ただし, だいず, らっかせいを除く) : 一年生雑草  
 だいず : 一年生雑草  
 えだまめ : 一年生雑草  
 小麦 : 多年生イネ科雑草, 一年生雑草, 多年生雑草

麦類 (小麦を除く) : 一年生雑草  
 キャベツ : 一年生雑草  
 はくさい : 一年生雑草  
 だいこん : 一年生雑草  
 はつかだいこん : 一年生雑草  
 ねぎ : 一年生雑草  
 たまねぎ : 一年生雑草  
 ねぎ : 一年生雑草  
 たまねぎ : 一年生雑草  
 水田作物 (水稻を除く) : 一年生雑草  
 移植水稻 : 一年生雑草  
 直播水稻 : 一年生雑草  
 水田作物 (水田刈跡) : 一年生雑草, 多年生雑草  
 水田作物 (水田畦畔) : 一年生雑草, 多年生雑草  
 水田作物, 畑作物 (休耕地) : 一年生雑草  
 牧草 (牧野, 草地 (更新・造成)) : 一年生雑草, 多年生雑草  
 樹木等 (公園, 庭園, 堤とう, 駐車場, 道路, 運動場, 宅地, 鉄道, のり面等) : 一年生雑草, 多年生雑草, スギナ  
 林木 (林地, 放置竹林, 畑地) : 竹類  
 畑作物 (林地, 放置竹林, 畑地) : 竹類  
 ●ピリミノバックメチル剤 ※新剤型  
 22586 : ヒエクリーン豆つぶ 250 (クミアイ化学工業) 10/02/17  
 ピリミノバックメチル : 4.8%  
 移植水稻 : ノビエ

(48 ページに続く)