

特集：作物保護と生物多様性

天敵利用と生物多様性

九州大学大学院農学研究院 高木正見

はじめに

天敵を利用して害虫を防除する技術、すなわち生物的防除は、環境にやさしく、農産物の化学物質汚染もないでの、理想的な害虫防除技術として期待されてきた（高木、2004）。しかし、外国産の天敵を導入する場合、生物多様性への影響を無視することはできない。もちろん導入天敵が侵入害虫の防除に役立って生物多様性の保全に貢献する場合もあるが、逆に土着生物に悪影響を与える場合もある。本稿では、天敵利用と生物多様性の保全の関係をどのように考え、また伝統的生物的防除の目的で外来天敵を導入したり、天敵農薬として利用する場合、どのような判断をすべきかについて議論する。

I 海外の動向

生物的防除が標的外生物へ悪影響を与える可能性があることについては、以前から認識されていた。しかし、その重要性が特に注目されるようになったのは、HOWARTH (1983; 1991) 以降である。ハワイのビショップ博物館の HOWARTH は、ハワイの希少生物や絶滅危惧種に与えた導入天敵の影響に危機感を覚え、生物的防除の危険性を主張した。それ以来、生物的防除の標的外生物への影響について、多くの議論が行われてきた（広瀬、1994；SIMBERLOFF and STILING, 1996；矢野、1999；FOLLETT et al., 2000；LYNCH et al., 2001；矢野、2001；LOUDA et al., 2003 等）。その結果、欧米では様々な規制が行われるようになった。

しかしその規制の程度は、欧米でも国ごとにかなり温度差があった。国際的に統一された初めての外国産天敵の導入規制は、1995年にFAOで採択されたFAO Code of Conduct for the Import and Release of Exotic Biological Control Agent (外国産生物的防除資材の輸入と放飼に関するFAO取扱規約) である。この少し後に、EPPO (ヨーロッパ及び地中海地区植物防疫機構) とCABI Bioscience が共同でヨーロッパにおける生物的防

除の安全性と効率化に関するワークショップを開催した。このワークショップでは、FAOの基準を基本的に承認したが、規制は生物的防除資材の導入を遅延させるべきではないと、FAO規約よりも具体的な独自の指針を出した (EPPO, 1999; 2001)。さらに、EPPO加盟国で既に問題なく使用されている生物的防除資材をポジティブリストとして公表し、これらはヨーロッパで使う場合は安全な種であるとした (EPPO, 2002)。

一方、北米大陸 (カナダ、米国、メキシコ) でもNAPPO (北米植物保護機構) が2000年にGuidelines for Petition for Release of Exotic Entomophagous Agents for Biological Control of Pests (生物的防除目的での外来天敵放飼を申請するためのガイドライン) を出版した。ヨーロッパと北米で出されたこれらの基準は、生物的防除資材を利用しようとする側の立場を配慮したものになっている (BABENDREIER et al., 2006)。ただし米国では、州の法律などで、NAPPOのガイドラインよりも厳しい規制をかけようとする動きもある (例えば、ハワイ州)。

欧米での規制に対して、ニュージーランドとオーストラリアではもっと厳しい規制が敷かれている。これらの国の規制は、欧米のものと比べ導入の決定により社会が参加するシステムになっており、またリスクに対してより慎重である。例えば、ニュージーランドでは土着民族マウイ族に対する影響までも考慮している。しかし、このニュージーランドの厳重なHSNO Act 1996のもとでも、生物的防除の目的での外来天敵の導入は、現在でも、一定の手続きを経て着実に行われている (BARRATT and MOEED, 2005)。

国によって異なる天敵の利用と規制に関する基準を統一するべく、1999年にカナダでOECD参加国との会議が開催され、規制と利用促進をより調和させたOECD guidance document (OECD, 2004) が制定された。この基準には、①特徴と同定に要する情報、②人の安全と健康の評価のための情報、③環境リスク評価のための情報、の三つが含まれているが、ここでは本題に関係ある③についてのみ示した (表-1)。この表を見てまず気づくことは、どの事項も入手可能な (available) 情報となっているが、既に発表されている情報の収集だけでも、ある程度のリスク評価が可能で、どこまで詳細な調査を

Utilization of Natural Enemies and Biological Control. By
Masami TAKAGI

(キーワード：生物的防除、外来天敵、標的外生物、環境影響評価、リスクと便益)

表-1 生物的防除資材の環境リスク評価に関するOECDの文書が要求する情報(OECD, 2004)

| 3. 環境リスク評価のための情報 | |
|---|--|
| 3.1 当該環境に与える可能性のある危険性についての認定 | |
| (a) 導入前の生態系における当該生物の役割、天敵のタイプ（捕食寄生者、捕食者、寄生者）、当該天敵が攻撃する生物のタイプ、標的と非標的に対する攻撃の影響、ギルド内の影響、上位栄養段階への影響、生態系への影響に関して、入手可能な情報 | |
| (b) 放飼地域における標的生物の既存天敵に関して、入手可能な情報 | |
| (c) 以前に実施した生物的防除の非標的影響に関して、入手可能な情報 | |
| 3.2 寄主特異性の試験 | |
| (a) 起こる可能性のある直接影響に関して、入手可能な情報またはデータ | |
| ・標的寄主（餌）に近縁の非標的寄主（餌）（系統学的に近縁な場合、生態学的に近縁な場合）に対して | |
| ・近縁ではないが絶滅危惧種である非標的生物に対して | |
| ・他の生物との競争や競争置換に関して | |
| ・土着天敵の系統やバイオタイプとの交雑の可能性に関して | |
| ・植物に関して（標的植物及び非標的植物） | |
| (b) 生物的防除資材の定着と分散の可能性に関して、入手可能な情報 | |
| (c) 起こる可能性のある間接的影響に関して、入手可能な情報 | |
| (d) 非標的生物に悪影響を与える可能性のある感染性ウイルスや微生物に関して、入手可能な情報（飼育施設から、野外で） | |
| 3.3 放飼地域と分布可能地域における寄主（餌）範囲に関して、入手可能な情報またはデータ | |
| 3.4 環境的利益に関して、入手可能な情報（現在行われている、または代わりに行われる防除法と比較しての放飼効果） | |
| 3.5 環境的リスク評価のための情報の要約 | |

行うべきかについては規定していない。

II 日本の現状

我が国での外来天敵導入規制は、欧米に比べると遅れていた。しかし、2004年に外来生物規制法（正式には、特定外来生物による生態系等に係わる被害防止に関する法律）が公布され、有用生物であっても外国産の生物を我が国に持ち込む場合は、法的な規制を受けることになった。一方、天敵利用にかかる最も基本的法律として農薬取締法があり、生物的防除の目的で外来天敵を導入する場合はむしろこの法律の規制を受け、実際的には外来生物規制法で二重の規制を受けることはない。この農薬取締法は少し古く1948年に制定された法律で、本来の目的は農薬の品質保証をはかるものであった。しかし、この法律は2003年に改正され、農薬を使用する際の安全性や環境への配慮が重要視されるようになった。そのため、商品として販売されるものだけではなく、病害虫防除の目的で農家が使用する病害虫防除資材はそのすべてが規制されることになった。またその趣旨から、永続的防除効果をねらって外来天敵を放飼する場合（=伝統的生物的防除）でも、天敵は農薬と見なされる。

実際の環境影響評価については、1999年に環境省（環境庁、当時）の水質保全局から天敵農薬にかかる

環境影響評価ガイドラインが公表されており、外来天敵を生物農薬として利用する場合には、このガイドラインにそって農薬登録を取ることになる。しかし、天敵の農薬的な利用と異なり、伝統的生物的防除では実際に導入して定着させ、さらに数年たってみるとその効果の判定は困難なことが多い。農薬登録に当たっては、その防除効果試験の結果を求められており、伝統的生物的防除の目的で外来天敵を利用する場合どのような形で農薬登録を取るのかという問題は、今後の検討課題である。

III 環境リスク評価をいかに行うか

伝統的生物的防除にしても天敵の農薬的利用にしても、外来天敵を我が国に導入する場合は、生物多様性への影響評価が必要である。また、生物多様性へ何らかの悪影響が予測され、その影響が重大と思われる場合は、とりあえず導入を見合わせなければならない。しかし、外来天敵導入の環境リスクに対する事前評価法はまだ十分には確立していない。我が国の環境省ガイドラインも含めて、これまでに提案された規約などにある天敵利用の環境影響評価基準は国によって温度差があるが、その原因は標準的基準が確立していないことによる。

このような状況を開拓するために、ヨーロッパでは

EUが資金を出して行ったERBICプロジェクト(Evaluating Environmental Risks of Biological Control Introductions into Europe)とOECDが協力して、天敵農薬的利用の総合的なリスク評価基準の確立が試みられた(Van LENTEREN et al., 2003)。

これを参考に、伝統的生物的防除も含めて天敵利用に際し、その環境リスク評価を行う手順について、現在、最も合理的であると考えられているものの概略を示す。まず、外来天敵だけでなく土着天敵も含めた天敵利用の段階的なリスク評価の全体の流れは図-1のようになる(Van LENTEREN et al., 2006)。これよって、不必要的調査を省略することができる。

次に、土着天敵や外来天敵を放飼増強法(=天敵農薬的利用)で利用し、その種が越冬不可能などの理由で定着しない場合は寄主範囲の調査は必要ない。その次は寄主範囲の評価になる。この寄主範囲評価の第一歩は、まず文献調査である。調査の進んだ種であれば文献調査でかなりの評価できるが、文献による寄主範囲調査の精度は当然のこととして、そのデータベースの質に依存しており問題点も多い(BABENDREIER et al., 2005)。既知の情報が少ないとときは、独自に試験を行う必要がある。そ

の試験方法として、対象種だけを与える非選択実験と複数種の寄主と同時に与える選択実験があり、どちらがより真実を反映できるのか、あるいはこれらの試験をどのように解釈すべきかで色々な意見がある。これに対して、図-2に示したような手順で、より簡単な非選択実験から、段階的に大規模な試験に進む手順が提唱されている。また、何種類くらい試験すれば十分なのかという疑問に関しては、文献調査の情報や原産地での野外調査の結果を総合して対象種を決定すれば、かなり少ない種数で問題ないとされている。

なお図-1で「分散が地域限定」というのは約100m以下のことで、「分散が広範囲」というのは10km以上を想定している。分散能力については、農薬的な利用の場合、使用している場所からの分散能力があまりに強い種は好ましくないであろう。しかし、伝統的生物的防除の場合、標的害虫が生息する環境内では、むしろ分散

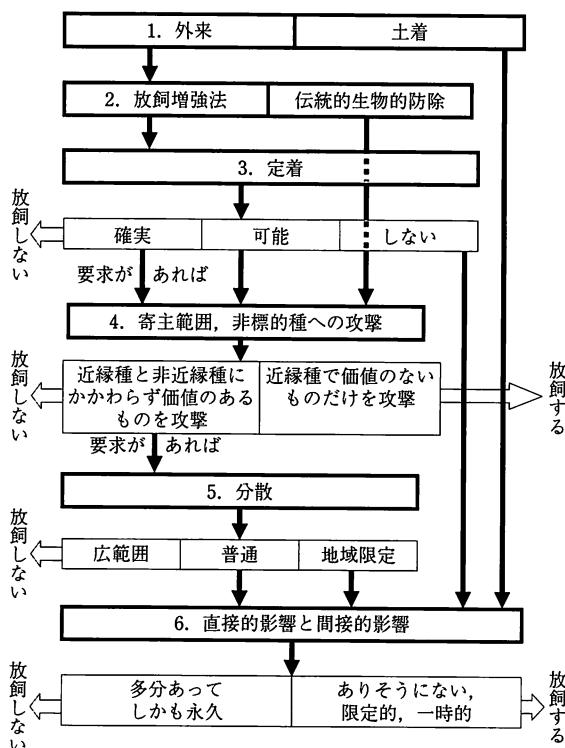


図-1 生物的防除資材のリスク評価の簡単な流れ図 (Van LENTEREN et al., 2006)

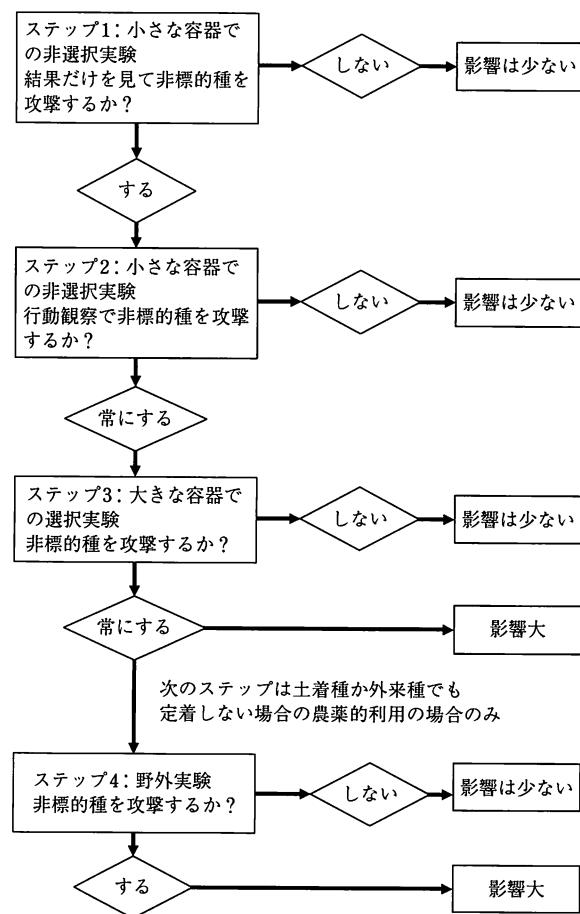


図-2 生物的防除資材の寄主範囲評価の流れ図 (Van LENTEREN et al., 2005)

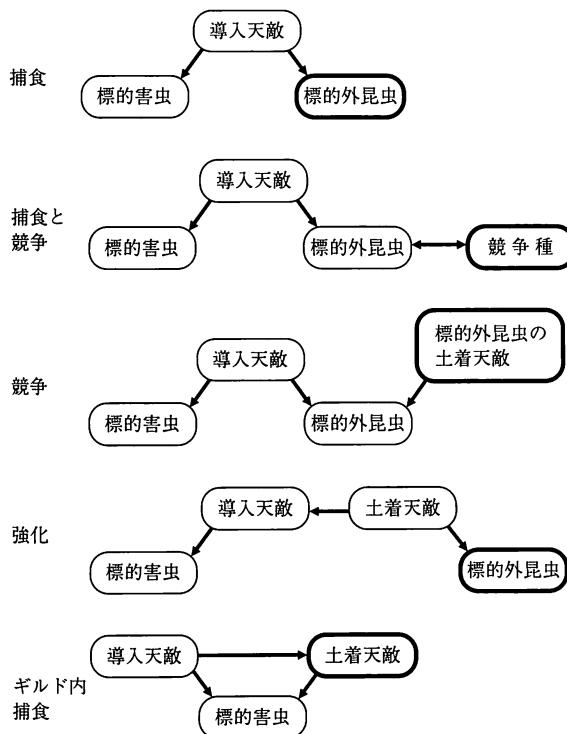


図-3 生物群集のモジュールから見た導入天敵の非標的影響のメカニズム (HOLT and HOCHBERG (2001) を改変)
太枠の種が影響を受ける種。

能力は強くてもよいと思われる。

最後に、非標的種への直接的影響と間接的影響の評価であるが、これは、死亡率や個体群抑制効果の評価で、「ありそうにない、限定的、一時的」というのは、死亡率でいえばおおむね 40% 以下を想定している（具体的なランク付けについては、Van LENTEREN et al. (2006) 参照）。ただし、非標的種への影響は個体群過程を通じて起こるので、そのメカニズムは様々である（図-3）。したがって、放飼前の事前評価を正確に行うのは、現時点ではかなり困難である。それで、外来の多食性天敵については、その利用は当分の間は慎重にしておいたほうが無難であろう。

ただしここ 10 年ほどに、天敵利用の環境に与える非標的生物に与える影響評価に関して、かなりの研究の蓄積が見られる (BABENDREIER et al., 2005; BIGLER et al., 2006)。これらの研究の積み重ねで、徐々に問題点が整理され、天敵利用の環境リスク評価の方法も、さらに整備されたものになっていくと思われる。特に、過去に行われた伝統的生物的防除の成功例について、事後の非標的生物に対する影響評価結果を分析すれば、多食性天敵も場合によっては問題となる可能性もある。

IV 生物多様性の保全に役立つ天敵利用

ほとんどかく乱のない自然生態系へ侵略的外来生物が侵入し、その生態系へ重大な影響を与えるようになった

表-2 無脊椎動物の生物的防除資材を利用するときのコストと便益 (BIGLER and KÖLLIKER-Ott, 2006)

| カテゴリ | コスト | 便益 |
|-----------|--|--|
| 経済 | | |
| 申請者/配布者 | 資材の開発（研究、飼育、申請書類、マーケティング） | 資材の販売、利益、持続な商売（時間空間的に想定されるマーケット） |
| 農家 | 資材の価格とその使用上の手間 | 効率よい害虫防除、収穫量の増加と商品の品質、高収入 |
| 消費者 | 価格の上昇と見かけ上の品質低下（食糧、衣料、その他） | 価格の低下と見かけ上の品質上昇（食糧、衣料、その他） |
| 社会 | 政府からの助成金 | ほとんど人や動物、環境に対するリスクなしの害虫防除 |
| 人間と動物の健康 | アレルギー 刺されたり噛まれたりする不快感 | 他の防除手段（例えば、化学防除）では起こりうる危険性（利用者の被曝と食糧や餌への残留）がない |
| 環境 | | |
| 土、水、空気 | コストなし | 他の防除手段（例えば、化学防除）で起こる汚染の防止 |
| 生物多様性と生態系 | 植物と動物、微生物、生態系の機能に対する悪影響 もし導入種が定着したら根絶できない | 植物や動物、微生物とそれらの機能にほとんど影響なしの害虫防除 環境に強い影響を与える防除手段の置き換え |

ときに使える唯一の防除手段は、生物的防除だけである (BIGLER and KÖLLIKER-Ott, 2006)。ガラパゴス諸島に侵入したイセリアカイガラムシ (CHARLOTTE, 2005) とカナリーチ諸島に侵入したハカマカイガラムシの1種 *Orthezia insignis* (FOWLER, 2005) の生物的防除がその好例である。

いずれも海洋島で、特にガラパゴス諸島は絶滅危惧種の宝庫でもあり、島外からの新たな生物を導入するなど全く考えられないケースであった。しかし、防除困難なイセリアカイガラムシの防除にペダリテントウの導入を試みたところ見事に成功し、その生物多様性の保全に大きく寄与した。もちろん、天敵導入に際して普通以上に厳重な環境影響評価を行ったのはいうまでもない。

おわりに

侵入害虫の防除に外国産の天敵を利用する、いわゆる伝統的生物的防除は、これまでに120年にわたって世界中で試みられ、少なくとも165種以上の害虫の防除に役に立っている (BIGLER et al., 2006)。また、大量増殖した天敵を時々放飼する防除法、すなわち天敵の放飼増強法は90年以上にわたって試みられ、現在では世界中で150種以上の天敵が約100種の害虫に対して利用されている (BIGLER et al., 2006)。これらの例では、生物的防除が化学農薬の利用を控えることを可能にし、生物多様性の保全にも大きく寄与していることは明らかである。

どのような害虫防除法にもリスクと便益があるので、生物的防除のリスクと便益に関しても、それらを注意深くかつバランスよく評価していくべきである (BABENDREIER et al., 2006)。生物的防除のコストと便益について表-2に示した。生物的防除資材を使うか使わないかは、リスクとコストに対する便益を天秤にかけて決定することになる。しかし、それぞれの項目にどのような重みをかけるのかは、国 (あるいは州) によって異なるのかもしれない。それぞれの社会の利害関係者 (stake holder) が議論して決める事になるのであろう。

我が国の天敵利用をめぐる状況が、外来生物規制法と改正農薬取締法との関係でどのようになっていくのか、

不確定な部分も残されている。しかし、生物的防除を基盤にしたIPM (総合的害虫管理) が、環境にやさしく、かつ安全な食糧生産に欠かせない病害虫防除法であることに変わりはない。これら二つの法律を機械的に適用すると、外来害虫は頻繁に侵入してくるのに、その天敵は速やかに導入できないという矛盾が生じる。今後、環境にやさしい農業のためにも、利用可能な天敵の導入は迅速に行える体制を整えていく必要がある。

引用文献

- 1) BABENDREIER, D. F. et al. (2006) : Environmental Impact of Invertebrates for Biological Control of Arthropods (BIGLER, F. et al., eds.), CABI Publishing, Oxon, p. 1 ~ 14.
- 2) ——— et al. (2005) : BioControl 50 : 812 ~ 870.
- 3) BARRATT, B. I. P. and A. MOEED (2005) : Biological Control 35 : 247 ~ 252.
- 4) BIGLER, F. et al. (2006) : Environmental Impact of Invertebrates for Biological Control of Arthropods (BIGLER, F. et al., eds.), CABI Publishing, Oxon, 299 pp.
- 5) ——— and U. KÖLLIKER-Ott (2006) : Environmental Impact of Invertebrates for Biological Control of Arthropods (BIGLER, F. et al., eds.), CABI Publishing, Oxon, p. 273 ~ 286.
- 6) CHARLOTTE, E. A. (2005) : Publication FHTET-2005-08 1 : 64 ~ 76.
- 7) EPPO (1999) : EPPO Bulletin 29 : 271 ~ 272.
- 8) ——— (2001) : ibid. 31 : 33 ~ 35.
- 9) ——— (2002) : ibid. 32 : 447 ~ 461.
- 10) FOWLER, S. V. (2005) : Publication FHTET-2005-08 1 : 52 ~ 63.
- 11) FOLLETT, P. A. et al. (2000) : Ame. Entomologist 46 : 82 ~ 94.
- 12) 広瀬義躬 (1994) : 農業技術 49 : 145 ~ 149.
- 13) HOLT, R. D. and M. E. HOCHBERG (2001) : Evaluating Insect Ecological Effects of Biological Control (WAINBERG, E. W. et al., eds.), CABI Publishing, Oxon, p. 13 ~ 37.
- 14) HOWARTH, F. G. (1983) : Hawaiian Entomological Society 24 : 239 ~ 244.
- 15) ——— (1991) : Ann. Rev. Entomol. 36 : 485 ~ 509.
- 16) LOUDA, S. M. et al. (2003) : Ann. Rev. Entomol. 48 : 365 ~ 396.
- 17) LYNCH, L. D. et al. (2001) : Evaluating Indirect Ecological Effects of Biological Control (WAINBERG, E. W. et al., eds.), CABI Publishing, Oxon, p. 99 ~ 125.
- 18) OECD (2004) : ENV/JM/MONO (2004) 1 : 3 ~ 22.
- 19) SIMBERLOFF, D. and P. STILING (1996) : Ecology 77 : 1955 ~ 1974.
- 20) 高木正見 (2004) : 新農業環境工学 (日本生物環境調節学会編), 養賢堂, 東京, p. 268 ~ 269.
- 21) VAN LENTEREN, J. C. et al. (2003) : BioControl 48 : 3 ~ 38.
- 22) ——— et al. (2006) : Ann. Rev. Entomol. 51 : 609 ~ 634.
- 23) ——— and A. J. M. LOOMANS (2006) : Environmental Impact of Invertebrates for Biological Control of Arthropods (BIGLER, F. et al., eds.), CABI Publishing, Oxon, p. 254 ~ 272.
- 24) 矢野栄二 (1999) : 農及園 74 : 435 ~ 436.
- 25) ——— (2001) : 同上 76 : 100 ~ 106.