

天敵利用の展開

—天敵放飼の環境影響と関連して—

九州大学 (名誉教授) 広瀬 義 躬

はじめに

我が国では最近、急速に施設園芸を中心とした害虫防除への天敵利用が普及し始めた。しかし北ヨーロッパでは、施設害虫の防除への天敵利用は既に1920年代にイギリスで行われていた。その後、イギリスとオランダを中心に1970年代に普及し始め、1980年代には現在の天敵利用システムが広く普及するようになっていた。最近の我が国での天敵利用の進展は、そのような20年ほど前の海外の状況に今ようやく追いつこうとしているということになる。

さて、今ようやく普及が進み、今後さらに発展が期待される我が国の天敵利用であるが、今後の発展の支障となる、様々な問題を現在、抱えていることも事実である。本稿では、そのような問題に触れながら、我が国の天敵利用が今後目指す方向について私見を述べてみたい。当面する様々な問題の中で、天敵放飼の環境影響は今後の天敵利用の展開に重要と考えるので、この問題を中心に取り上げることにする。

I 天敵利用の区分

本題に入る前に本稿で用いる天敵利用の区分を簡単に説明しておく。本稿では害虫防除への天敵利用を①導入天敵の永続的利用、②天敵の生物農薬の利用、③土着天敵の保護利用、の三つに大別している。このうち、導入天敵の永続的利用は一名、伝統的生物的防除とも呼ばれ古くから行われてきた方法である。害虫の原産地など海外から導入した天敵を最初ごく少数放飼して、以後その天敵が定着し自然に増殖、さらに分散していくのに任せる、導入天敵の定着が前提の利用法である。天敵の生物農薬の利用は一名、放飼増強法ともいわれ、導入天敵、土着天敵のいずれをも用いるが、導入天敵の永続的利用と異なり、天敵を繰り返し放飼し、いわば化学農薬のように使用するもので、導入天敵の場合でもその定着を前提としない。したがって、もし防除が成功したとして

も、その成功は一時的である。土着天敵の保護利用は土着天敵の自然制御力を最大限に活用するため、その生息環境を改善して、その保護に努めるものである。

II 導入天敵の永続的利用の環境影響

導入天敵の永続的利用はかつて害虫防除への天敵利用法としては理想的なものと考えられた。天敵が一度導入されて定着し、防除効果が現れると、その効果が半永久的に持続し、そのような天敵導入の経済的効果は計りしれないからである。また、以前の化学農薬のように生態系に悪影響を及ぼさず、環境的にも全く安全なものとかつては主張されていたからである(例えば DeBACH, 1974)。導入天敵の永続的利用のリスクを最初に指摘したのは HOWARTH (1983) である。「伝統的生物的防除—万能薬、それともパンドラの箱—」という彼の論文の表題が示すように、当時、有害動植物の防除手法として理想に近いものとされていた導入天敵の永続的利用は、いったん導入した天敵が定着すれば防除対象外の土着生物の激減や絶滅など取り返しのつかない災いの元になることもあるという警告を世界で最初に発したものであった。

HOWARTH の問題提起は、その後、1980年代後半から1990年代前半にかけてアメリカを中心とする論争を巻き起こした。特に彼が1991年に著した導入天敵の永続的利用の環境影響についての総説 (HOWARTH, 1991) は導入天敵の生態系へのリスクの実例を世界中から集めて提示したため、その論争に拍車がかかった。この論争を契機とし1995年、FAOにより「外来の生物的防除素材の導入と放飼のための取扱規約」が制定され、各国政府にこの規約の遵守が求められるに至ったが、その後も論争は今日まで継続されている。

この論争の経緯は省略するが、以下に論争の要点を述べる。まず導入天敵の永続的利用に反対する SIMBERLOFF and STILLING (1996) や STRONG (1997) は自然保護を重視する生態学者で、①これまでの多くの天敵生物の導入が防除対象外の土着生物に有害な影響を与えているにもかかわらず、そのような生態系へのリスクに対する配慮が十分でないこと、②前記 FAO の天敵導入の国際規約もその点では不十分で、このまま環境上のコストを考慮しない生物的防除を続ければ大きな社会的反発を招くこ

と、を主張した。また、STRONG and PEMBERTON (2001) はアメリカで侵入害虫であるアブラムシの1種 *Diuraphis noxia* の防除のため1986年から93年まで実施された多数の捕食性・寄生性天敵の海外からの導入が実際には極めて小さなものであったことを指摘した。彼等は、その結果が捕食性天敵として導入されたナナホシテントウによる土着のテントウムシ数種の個体数の減少を招いたとして、天敵導入のリスクを回避できるよう生物的防除の改革を求めたのであった。

一方、これに対する反論はTHOMAS and WILLIS (1998) に代表され、彼等は①天敵の導入が環境保全上むしろ必要な場合があること(例えば1993~94年、セントヘレナ島でゴムノキの1種 *Commidendrum robustum* を加害するカイガラムシの1種 *Orthezia insignis* の防除のため、単食性のテントウムシの1種 *Hyperaspis pantherina* を導入して害虫を劇的に減少させ、この島に固有な上記ゴムノキの1種とその樹に生息する貴重な土着生物種の絶滅を回避できた)、②導入天敵の永続的利用をしないで、例えば化学的防除を利用すれば、やはり環境上、問題となるので、生物的防除と他の防除法とのリスクと便益の比較の必要があること、を主張した。彼等は生物的防除にリスクがあることを認めたくて、なおかつ生物的防除の必要性を説いたのであった。

また、天敵導入のリスクを強調してきた人達も、その根拠とした環境影響事例の頻度や客観性となると極めて曖昧で、前記HOWARTH (1991) の集めた事例にもこれらの点で問題があった。そこで、最近、ヨーロッパの研究者により実施された「ヨーロッパの生物的防除上の導入に関する環境リスク評価」(略称ERBIC) という研究プロジェクトで世界中から収集した事例を基に作成されたデータベースの分析が行われた(LYNCH and THOMAS, 2000)。その結果を害虫の防除のために捕食性や寄生性の天敵昆虫を導入して永続的利用で用いた事例についてみると、全部で5,279の天敵導入例(同じ害虫と導入天敵の組み合わせでも場所が違えば別の導入例と数える)のうち防除対象外生物への影響がなんらかの形で記録されたのはわずか92例(1.7%)であった。このうち、なんらかの影響を認めたのは87例で、そのうち防除対象外生物への影響の激しいものは17例(19.5%)、島とはいえ明らかに絶滅に至った例はたった1例に過ぎなかった。これらの分析結果は、データのもつ著しい偏りや影響の激しさの判定の問題を考慮すると、そのまま受け取るわけにはいかないが、導入天敵の永続的利用が土着昆虫に悪影響を与えることは少ないと推察される。

この分析結果でも、前記アメリカでのナナホシテント

表-1 害虫の侵入・土着の有無と天敵の導入・土着の有無の組み合わせで異なる自然制御上有力な天敵タイプ。有力な天敵タイプは寄生(餌)特異性の程度から類別

害虫タイプ	天敵タイプ	自然制御上有力な天敵タイプ
侵入害虫	導入天敵	単食性または寡食性天敵
侵入害虫	土着天敵	多食性天敵
土着害虫	導入天敵	寡食性または多食性天敵
土着害虫	土着天敵	単食性、寡食性または多食性天敵

ウの導入はその多食性のため環境影響の激しいものと判定されているが、実際の影響は局地的であり導入地域全体の土着種の激減とはなっていない(OBRZYCKI et al., 1999; LOUDA et al., 2003)。また、やはりアメリカでの多食性天敵の導入の環境影響例としては、マイマイガの防除のために100年近くも前に導入されたヤドリバエの1種 *Compsilura concinnata* が土着のヤマムユガの2種 *Hyalophora cecropia* と *Callosamia promethea* の激減に関与していたという衝撃的な最近の報告(BOETTNER et al., 2000)もある。しかし、この激減の一因は生息地の減少にもあるといい(LOUDA et al., 2003)、その判定は微妙である。多食性天敵は島では導入のリスクが大きいため、島への導入を避けるべきだが(HIROSE, 1999)、大陸のように広大で複雑な環境では導入が深刻な影響をもたらすとは思えない。日本は大陸ではないが、面積も広く生物相も複雑なので、今後、多食性天敵の導入を全面的に禁止する必要はないと考える。

導入天敵の永続的利用はアメリカでは以前から盛んで、環境影響が問題化した現在でも依然として活発に実施されている。これにはアメリカで重要害虫全600種のうち実に39%が侵入害虫である(SAILER, 1983)という事情がある。侵入害虫に単食性または寡食性の導入天敵を組み合わせれば防除の成功が高いこと(表-1)はよく知られた事実であり、いったん成功すれば、劇的ともいえる大きな成功も可能なので、成功率が10%程度でも導入天敵の永続的利用を試みざるを得ない。しかし、全害虫2,243種のうち侵入害虫の割合がわずか8%に過ぎない日本(桐谷・森本, 1993)では導入天敵の永続的利用の余地は限られる。

III 天敵の生物農薬的利用の環境影響

天敵の生物農薬的利用は導入天敵、土着天敵のいずれも用いることができるが、問題になるのは導入天敵の場合である。前記ERBICの分析結果では、導入天敵を用いた生物農薬的利用の83記録(場所、導入天敵、防除対象外生物の組み合わせ別に数える)中、防除対象外生物への影響が激しいものはわずか2記録(2.4%)に過

ぎなかった (LYNCH and THOMAS, 2000)。導入天敵を用いた生物農薬の利用では、永続的利用と違って天敵の定着を前提としていないから、永続的利用ほど生物農薬の利用の環境影響の程度は強くないと考えられ、上記 ERBIC の分析結果はある程度うなずける。

生物農薬の利用に限ったことではないが、天敵の導入前に天敵が生態系へのリスクをどの程度もつか予測できればリスク回避に好都合である。ごく最近、ERBIC では主に生物農薬的利用が行われている導入天敵 25 種について、リスクの指数を算出して数値でリスクを示すことを試みている (van LENTEREN et al., 2003)。この指数の算出法の説明は省略するが、調査した天敵では指数が最低 7 から最高 105 までの値を示した。この指数が 34 以下の天敵は放飼を無条件に可、71 以上の天敵は放飼勧告が不可、35~70 の天敵は放飼についての結論を出す前にさらに情報を示すよう勧告することが提案された。ちなみに 34 以下の天敵にはオンシツツヤコバチやチリカブリダニなどがあり、71 以上の天敵にはナミテントウやアメリカ産のヒメハナカメムシの 1 種 *Orius insidiosus* など多食性のものが多い。この指数では同じ種の天敵であっても使用する場所が露地と施設では異なり、さらに施設でも南ヨーロッパとオランダのように使用する地域で異なる。実際、地域を政治的単位である国ではなく、類似の生物相と気候をもち、そのため天敵導入のリスクに関して同様な懸念のある生態的地域 (ecoarea) を対象にリスクの指数を求めること (van LENTEREN et al., 2003) は当然である。我が国でも国内の地域間 (例えば沖縄と本州) でリスクは相違するはずである。

天敵の生物農薬的利用では、これまで導入天敵の環境影響が問題にされてきたが、土着天敵でも大量の天敵放飼には懸念を示す研究者もいる。カナダの森林ではトウヒノシントメハマキの防除のため、土着天敵であるタマゴバチの 1 種 *Trichogramma minutum* 4 億 8 千万頭を 30 ha の地域に放飼したが、この放飼事業に従事した研究者の 1 人である BOURCHIER (2003) はこのような天敵の大量放飼が土着チョウ目昆虫の希少種に与える環境影響を懸念している。彼はこのタイプの天敵放飼が土着チョウ類に及ぼす影響のリスク評価を行い、153 種中 2 種、最大 27 種のチョウにリスクの可能性を認めた。しかし、土着希少種のいない一般の農耕地で土着天敵の大量放飼が頻繁に行われるとしても、その環境影響が問題になるとは思えない。ただ、上記の例のように、森林など希少種の生息地で土着天敵の生物農薬的利用を行うと希少種が減少する可能性はあろう。

IV 土着天敵の保護利用の重要性

導入天敵の永続的利用、天敵の生物農薬的利用と二つの天敵利用法を環境影響との関連で考察してみると、当然、環境影響のない土着天敵の保護利用の重要性が注目される。今後はこのタイプの天敵利用を推進していく必要がある。土着天敵の保護利用の具体的な方策としては、土着天敵の繁殖場所や造巣場所、かくれ場所の確保、土着天敵の代用寄主や代用餌の供給、化学農薬の使用の制限、土着天敵に有害な生物の排除などがある。これらの方策の実例については、紙数もないので、近年、海外で相次いで出版された、この関係の成書 (BARBOSA, 1998; PICKETT and BUGG, 1998) や総説 (LANDIS et al., 2000) に譲りたい。我が国での土着天敵の保護利用はいくつか実例はあるもの (矢野, 2003)、海外とくらべ研究も非常に遅れている。しかし、その海外でさえ、このタイプの天敵利用は導入天敵の永続的利用や天敵の生物農薬的利用にくらべて最も遅れた分野とされている (EHLER, 1998)。

土着天敵の保護利用と関連して注目されるのは、土着天敵の自然制御力の評価である。そして侵入害虫でも土着害虫でも自然制御力上有力な土着天敵は多食性天敵である (表-1)。土着害虫に対する多食性天敵、特に多食性捕食者の有効性については、既によく知られているが、侵入害虫についても多食性捕食者は自然制御力を発揮する。例えば、露地ナスでは侵入害虫のミナミキイロアザミウマが土着の多食性捕食者のナミヒメハナカメムシによってかなり自然制御され (永井, 1990)、この点を利用して選択性殺虫剤と組み合わせた総合防除体系が考案された。また、MICAUD (2002) はフロリダでカンキツを加害するミカンハモグリガなどの侵入害虫が土着の多食性捕食者により自然制御されていることを指摘した。彼は侵入害虫といえば反射的に導入天敵の永続的利用に走るアメリカの研究者を批判し、侵入害虫に対する土着の多食性捕食者の働きを前提に、害虫が侵入したらすぐに天敵を導入するのではなく、侵入後しばらく害虫の発生の様相を見極めるべきだとさえ主張している。なお、土着天敵の自然制御力の評価は総合的害虫管理との関連でも今後ますます重要になるということを一言つけ加えておく。

おわりに

天敵放飼の環境影響の問題を考慮して、今後、我が国の天敵利用は土着天敵の利用、特にその保護利用にもっと重点を移すことを提案してきた。しかし、この提案と

関連して、我が国の場合に大きな障害となるのは、天敵、特に寄生蜂の分類の未発達である。現実に日本産の寄生蜂の分類同定は非常に困難な状態となっており、早急にこの点を解決しないと、我が国の天敵利用も将来の発展は望めないであろう。

導入天敵の永続的利用や天敵の生物農薬の利用についても、今後なお研究を進める必要がある。侵入害虫の少ない我が国の場合、導入天敵の永続的利用がアメリカほどの重要性はないとしても、今後も一定程度の害虫の侵入は予想されるので、環境影響のない天敵導入を計画、実施する必要はある。また天敵の生物農薬の利用については、導入天敵の場合、環境影響は永続的利用より小さいが、今後も導入される多食性天敵の環境影響の評価は進めねばならない。生物農薬の利用で、天敵の大量生産技術とそれに関連して天敵の品質管理は大きな課題であり、後者については最近、成書 (van LENTEREN et al., 2003) も出たが、今後まだ大いに発展の余地がある。

最後に、本稿の草稿を読んで助言された矢野栄二氏に感謝する。

引用文献

- 1) BARBOSA, P. (1998) : Conservation Biological Control, Academic Press, San Diego, 396 pp.
- 2) BOETTNER, G. H. et al. (2000) : Conserv. Biol. 14 : 1798~1806.
- 3) BOURCHIER, R. S. (2003) : Can. Entomol. 135 : 449~466.
- 4) DeBACH, P. (1974) : Biological Control by Natural Enemies, Cambridge Univ. Press, London, 323 pp.
- 5) EHLER, L. E. (1998) : In: Conservation Biological Control

- (BARBOSA, P., ed.), Academic Press, San Diego, pp. 1~8.
- 6) HIROSE, Y. (1999) : In: Biological Invasions of Ecosystem by Pests and Beneficial Organisms (YANO, E. et al., eds.), NIAES, Tsukuba, pp. 224~232.
 - 7) HOWARTH, F. G. (1983) : Proc. Hawaii Entomol. Soc. 24 : 239~244.
 - 8) ——— (1991) : Ann. Rev. Entomol. 36 : 485~509.
 - 9) 桐谷圭治・森本信生 (1993) : インセクタリアム 30 : 120~129.
 - 10) LANDIS, D. A. et al. (2000) : Ann. Rev. Entomol. 45 : 175~201.
 - 11) LOUDA, S. M. et al. (2003) : ibid. 48 : 365~396.
 - 12) LYNCH, L. D. and M. B. THOMAS (2000) : Biocontr. News Info. 21 : 117 N~130 N.
 - 13) MICHAUD, J. P. (2002) : Ann. Entomol. Soc. Am. 94 : 531~540.
 - 14) 永井一哉 (1990) : 応動昆 34 : 109~114.
 - 15) OBRZYCKI, J. J. et al. (2000) : In: Nontarget Effects of Biological Control (FOLLETT, P. A. and J. J. DUAN, eds.), Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 127~145.
 - 16) PICKETT, C. H. and R. L. BUGG (1998) : Enhancing Biological Control. Univ. of California Press, Berkeley, 422 pp.
 - 17) SAILER, R. I. (1983) : In: Exotic Plant Pests and North American Agriculture (WILSON, C. L. and C. L. GRAHAM, eds.), Academic Press, New York, pp. 15~38.
 - 18) SIMBERLOFF, D. and P. STILLING (1996) : Ecology 77 : 1965~1974.
 - 19) STRONG, D. R. (1997) : Science 277 : 1058~1059.
 - 20) ——— and R. W. PEMBERTON (2001) : In: Evaluating Indirect Ecological Effects of Biological Control (WAJNBERG, E. et al., eds.), CABI Publishing, Wallingford, UK, pp. 57~79.
 - 21) THOMAS, M. B. and A. J. WILLIS (1998) : TREE 13 : 325~329.
 - 22) van LENTEREN, J. C. (2003) : Quality Control and Production of Biological Control Agents : Theory and Testing Procedures, CABI Publishing, Wallingford, UK, 327 pp.
 - 23) ——— et al. (2003) : BioControl 48 : 3~38.
 - 24) 矢野栄二 (2003) : 天敵—生態と利用技術—, 養賢堂, 東京, 296 pp.

新しく登録された農薬 (15.9.1~9.30)

掲載は、種類名、登録番号：商品名：(製造業者又は輸入業者)登録年月日、有効成分および含有量、対象作物：対象病害虫：使用時期および回数など。ただし、除草剤については、適用雑草：使用方法を記載。(…日…回は収穫何日前まで、何回以内散布又は摘採何日前まで何回以内の散布の略)。(登録番号 21102~21103)

〔殺虫剤〕

●石灰硫黄合剤

21102 : 石灰硫黄合剤 (大塚化学) 2003/9/3
多硫化カルシウム 27.5%

みかん：カイガラムシ類・ハダニ類 (冬期), ハダニ類・そうか病・黒点病・かいよう病 (夏期), ヤノネカイガラムシ (5~6月), りんご：腐らん病 (休眠期), モニリア病・うどんこ病 (開花期), 黒星病 (発芽前), もも：縮葉病・胴枯病・黒星病：発芽前, なし：黒星病：発芽前, 落葉果樹：カイガラムシ類・ハダニ類：発芽前, くり：芽枯病：

発芽前, かき：黒星病・うどんこ病, びゃくしん：赤星病, 麦類：さび病・赤かび病・うどんこ病, 茶：ハダニ類 (冬期, 夏期), 桑：カイガラムシ類・胴枯病, たばこ：うどんこ病, りんご：摘花：満開後2回：立木全面散布

〔除草剤〕

●ピリミノバックメチル粒剤

21103 : ワンステージ1キロ粒剤 (日本農薬) 2003/9/17
ピリミノバックメチル 1.2%
移植水稻：ノビエ：湛水散布：1回