

ミニ特集：導入天敵の現状と展望

海外における導入天敵のリスク評価

独立行政法人 農業環境技術研究所 ^{もち}望 ^{つき}月 ^{あつし}淳

はじめに

「沈黙の春」(CARSON, 1962)の出版により、化学農薬の生態系に与える影響が注目されるようになり、天敵生物を用いた害虫防除法が人畜や生態系に安全な方法として脚光を浴びるようになった(BARRATT et al., 2010)。海外から侵入する農業害虫を防除する方法として、その害虫の原産国から天敵を探索してきて放飼する、いわゆる伝統的天敵放飼法が考案された。この方法は、いったん天敵が定着してしまえば、その後は天敵が害虫密度を低下させるので、天敵の探索と輸入にかかる費用以外は不要なため、安価な方法として注目されてきた。しかし、少数の天敵個体を放飼しただけでは定着率が低いことから、近年では、天敵を飼育して大量に放飼する、いわゆる増強的放飼法または、接種的放飼法と呼ばれる方法が利用されるようになってきている。後者は、化学農薬と使用方法が似ていることから、生物農薬とも呼ばれ、農業メーカーが増殖、販売している場合が多い。

I 海外から導入する天敵の在来生態系への影響

近年、外来生物の在来生態系への影響を懸念する意見が多くなり、海外から輸入・利用する天敵(以下、「導入天敵」と呼ぶ)も外来生物として生態系影響を評価すべきだと言われるようになった。HOWATH (1983; 1991)は、導入天敵によって防除対象外の生物(非標的生物)の絶滅や大幅な個体群の減少等を引き起こした例を収集し、導入天敵の在来生態系への悪影響として報告した。例えば、ココナツの害虫ココナツガ *Levuana iridescens* の防除の目的で、マレーシアからフィジーに導入された寄生バエ *Bessa remota* が、ココナツガだけでなく、農業害虫ではないマダラガの1種 *Heteropan dolens* にも寄生し、これを絶滅させたと言われる例や、アジアから北米に導入されたナナホシテントウ *Coccinella septempunctata* とナミテントウ *Harmonia axyridis* が北米で優占種となり、在来のテントウムシ *Adalia bipunctata* などの個体

数が減少したという例(OBRYCKI et al., 2000)などが、報告されている。欧米諸国では、この報告を機に導入天敵の在来生態系への影響を調査・研究する動きが活発化した。

導入天敵の在来生態系への影響の主なものは、防除対象ではない非標的生物に及ぼす影響であり、次のようなことが考えられる。①導入天敵が標的害虫よりも非標的昆虫のほうを好んで捕食・寄生し、非標的種を絶滅に追いやること、②非標的種への在来天敵と導入天敵の相加作用により、非標的種の個体数が極端に減少すること、③在来天敵が導入天敵を攻撃して、標的害虫の防除効果が劣ってしまうこと、④導入天敵と在来天敵が同じ標的害虫の捕食・寄生を巡って競争し、在来天敵が少なくなってしまうこと、⑤導入天敵と在来天敵との交雑による遺伝子汚染によって、遺伝的多様性が減少すること、等である。

II 海外からの天敵の輸入と放飼に対する規約

外来種としての天敵の在来生態系への影響を最小限にするため、その輸入と放飼には判断基準を設けて規制をすべきであるという意見がある。オーストラリア、ニュージーランド、カナダ、米国の4か国では、古くから外来雑草を防除することを目的として植食性昆虫などを海外から輸入して利用してきたため、輸入の際に寄生範囲などの生物学的調査を義務づけるなど、農作物への被害を防止するための規約が整備されていた。この規約は、農業害虫防除のための導入天敵にも適用できるように改正されている(HUNT et al., 2008)。しかし、他の国々では、規約がない場合が多く、統一的な規約が必要という観点から、国連食糧農業機構(FAO)は、国際規約として、「導入天敵の輸入と放飼に関する取り扱い規約(Code of Conduct for the Import and Release of Exotic Biological Control Agents)」を1996年に発表し(FAO, 1996)、2005年には植物防疫の国際基準(ISPM3)の中で、天敵や有用生物の輸出、輸入と放飼に関するガイドラインを示している(IPPC, 2005)。これらは、天敵などを国際間で移動する場合、各国の責任当局が行わなければならないこととして、天敵の種の同定、生態、寄主範囲、非標的生物への影響、病害微生物等の未混入などの情報

Risk Assessment for Biological Control Agents of the World.
By Atsushi MOCHIZUKI

(キーワード：導入天敵, 生物的防除, 生態影響評価, リスク評価手法)

を収集して文書化し、これに基づく輸入の可否判断を求めている。しかし、この規約は強制力はなく、ヨーロッパの主要国でも、この統一的な規約に従わない、あるいは専門家が不足して従えない国も多いのが現状のようである。ヨーロッパは、50以上の地続きの国から成るので、この規約を守っている国にも規約を持たない国に導入された天敵が、飛翔などにより移入することが考えられる。そこで、ヨーロッパ-地中海沿岸諸国植物保護機構 (EPPO) は、ISPM3 に準じた基準を作成して、ヨーロッパの広い地域での天敵導入を統一的に管理しようとしている (EPPO, 1999; 2000)。また、2006年から2007年までヨーロッパ連合 (EU) の出資による、REBECA プロジェクトでは、ヨーロッパにおける生物的防除資材の輸入規制を取り巻く問題が整理され、規約の透明性と統一性の確保に大いに貢献した (EHLERS, 2011)。その後、EPPO と国際生物学的防除機構 (IOBC) とが、ヨーロッパ諸国での天敵利用とリスク評価に関して協議を続けており、ヨーロッパおよび地中海沿岸諸国で少なくとも5年以上使用されて生態系影響の報告がない、生態系に安全な天敵について、原産国などの各種情報をインターネット上で公表している (http://archives.epppo.int/EPPOStandards/biocontrol_web/bio_list.htm)。

やはり、地続きの国から形成される北アメリカ大陸では、北アメリカ植物防疫機関 (NAPPO) が、カナダ、米国、メキシコ間の天敵の輸入と放飼に関する判断についての調整を行っている。

III 導入天敵の定量的リスク評価手法と導入の判断

ヨーロッパでは、1998年から2002年まで、生物的防除資材 (天敵) の導入における環境リスク評価プロジェクト (ERBIC) が行われ、定量的で客観的な評価手法が提案された (HOKKANEN et al., 2003)。この手法は、ニュージーランドの化学物質のリスク評価手法を参考にしており (MOEED et al., 2006)、生態系影響のリスクを程度 (Magnitude) とその確率 (Likelihood) に分割し、その積であるリスク指標を用いて、種間のリスクを定量的に比較するというものである。具体的には、非標的地域への定着性、分散能力、寄主範囲、想定される非標的生物への直接および間接影響の各項目について、その程度 (M) と確率 (L) を5段階で評価し (表-1)、その点数の積 ($L \times M$) の総和を計算して、各天敵のリスク指標として比較するという方法である (表-2)。REBECA では、導入判断にかかる時間とコストの低減を目的として、図-1 に示すような多段的な評価手法を推奨してい

表-1 導入天敵のリスク評価基準

点数	確率 (L)	非標的地域への定着性	分散能力	寄主範囲 (非標的種)	非標的生物への直接影響	非標的生物への間接影響
1	ごくまれ	ごくまれ	< 10 m	0 種	ごくまれ	ごくまれ
2	まれ	まれ	10 ~ 100 m	1 ~ 3 種	まれ	まれ
3	可能性あり	可能性あり	100 ~ 1,000 m	4 ~ 10 種	可能性あり	可能性あり
4	よくある	よくある	1,000 ~ 10,000 m	11 ~ 30 種	よくある	よくある
5	可能性大	可能性大	> 10,000 m	> 30 種	可能性大	可能性大

点数	程度 (M)	非標的地域への定着性	分散能力	寄主範囲 (非標的種)	非標的生物への直接影響	非標的生物への間接影響
1	極小	局所 (一時)	< 1%	種レベル	5%以下の死亡率	5%以下の死亡率
2	小	< 10%	< 5%	属レベル	5 ~ 40%の死亡率	5 ~ 40%の死亡率
3	中	10 ~ 25%	< 10%	科レベル	40%以上の死亡率あるいは10%以上の短期間個体群抑制	40%以上の死亡率あるいは10%以上の短期間個体群抑制
4	大	25 ~ 50%	< 25%	目レベル	40%以上の短期間個体群抑制あるいは10%以上の恒常的個体群抑制	40%以上の短期間個体群抑制あるいは10%以上の恒常的個体群抑制
5	甚大	> 50%	> 25%	目を超える	40%以上の長期個体群抑制あるいは地域個体群の絶滅	40%以上の長期個体群抑制あるいは地域個体群の絶滅

(HOKKANEN et al., 2003 より)。

表-2 導入天敵のリスク指標の計算例

種名	定着性	分散能	寄主範囲	直接影響	間接影響	リスク指標
オンシツツヤコバチ	L	1	3	2	5	
<i>Encarcia formosa</i>	M	1	1	3	1	20
	L × M	1	3	6	5	
タマゴバチの一種	L	5	2	5	5	
<i>Trichogramma brassicae</i>	M	5	4	5	2	73
	L × M	25	8	25	10	
ハナカメムシの一種	L	5	4	5	5	
<i>Orius insidiosus</i>	M	5	3	5	2	77
	L × M	25	12	25	10	

(HOKKANEN et al., 2003 より).

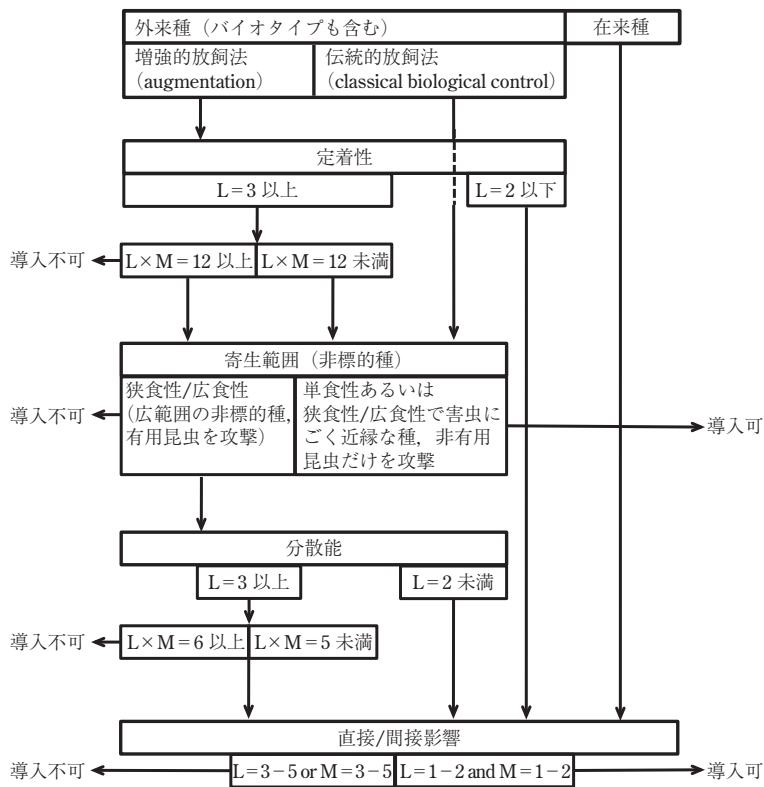


図-1 導入天敵の多段的リスク評価手法 (van LENTEREN et al., 2006 より)

る (van LENTEREN and LOOMANS, 2006 ; van LENTEREN et al., 2006)。この方法は、導入天敵をその利用方法により、増強的放飼法と伝統的放飼法とに区別し、前者は定着性についてまず評価を行う。後者は、そもそも定着を目的として行うので定着性の評価は跳ばして寄主範囲の評価から始めるというもので、各段階の評価は、ERBICで提案された評価基準を用いることとしている。例えば、

定着性の確率 (L) が3 以上の場合は、定着性における $L \times M$ を計算し、12 点以上である場合は導入不可と判断するか、場合によっては、寄主範囲の評価を加味する、 $L \times M$ が 12 未満の場合は、寄主範囲の評価に進むという手順をとり、生態系影響の少ない天敵を導入することを目標としている。

しかし、導入天敵の生態系影響を懸念するあまり、本

来の侵入害虫防除の役割を無視することはできない。え、農業に対する抵抗性を獲得した状態で侵入する害虫には、導入天敵以外に防除手段があまりない場合がある。そこで、最終的な海外からの天敵導入の判断は、リスクと便益との両者を比較・評価して行うべきであることが、ERBICやREBECAで述べられているが、生態系影響と農業利益とを単純比較できないことから、リスク-便益評価のための定量的で客観的な手法は、提案されていないのが現状である。

IV 導入天敵を巡る問題

まず、天敵の分類の問題が重要である。天敵の中には、種の同定が難しいものが多い。また、以前は一種とされていたものが、研究の進歩により多くの種に分けられる場合もある。例えば、かつて *Chrysoperla carnea* とされていたクサカゲロウ科昆虫は、北半球広域に分布するとされており、アブラムシの天敵として、欧米諸国では生物農薬として販売されている。しかし、この天敵には、交尾前に雄雌が交わす交信音の異なる、多くの隠蔽種が含まれていることが判明し、欧米諸国で販売されているクサカゲロウ剤の中には、交信音の異なる別種が混入していた事例も報告されている (HENRY and WELLS, 2007)。我が国でもヤマトクサカゲロウ剤が、ドイツから輸入され生物農薬として販売されていた (2001年農業登録, 2009年失効)。この種は、日本在来種 *C. nipponensis* とは、交信音が異なる狭義の *C. carnea* であり、外来種である (MOCHIZUKI et al., 2007)。また、DNAの塩基配列の比較により隠蔽種の存在が判明する場合も少なくない (例えば、SHA et al., 2007)。このような天敵の分類に関する新しい知見に、どのように対応すべきかについては、今後の課題であろう。

次に、生物多様性条約 (CBD) の目的の一つである、「遺伝資源の利用から生じた利益の公平な配分 (ABS)」に関連した問題がある。ABSとは、遺伝資源を持ち出して利益をあげた際は、その原産国に利益を還元すべきという議論である。これが導入天敵に適用されれば、導入天敵を利用した害虫防除で農業所得が向上して利益が上がった場合は、その原産国に利益の還元をすべきということになる。今のところABSは議論段階で結論は出ていないが、これに過敏に反応して、天敵を他国に輸出しないという事態も起きている (COCK et al., 2010)。

例えば、ケニアでは、マンゴーを加害するミバエの一種 *Bactrocera invadens* が侵入したため、防除のため天

敵を害虫の原産国であるスリランカで探索し、輸出許可を申請したが、いまだに許可が得られていない例がある。スリランカはCBD加盟国ではないが、ABSに関心を示し自国の資源を守ろうとしていると推察されている。また、各種野菜の害虫のアシゲロハモグリバエ *Liriomyza huidobrensis* の有効な天敵を原産国のペルーで探索するプロジェクトがヨーロッパで開始されたが、その途中で、ペルー政府が、すべての生物 (死んだ個体を含む) の海外への持ち出しを禁止するという規約を制定したため、天敵を持ち出すことができなくなった。ペルーには、これらの天敵類の同定ができる研究者がいないため、未同定のままになっているようである。

おわりに

このように海外からの天敵導入は多くの問題を抱え、年々厳しい状況となっている一方で、流通システムの発達により海外からの侵入害虫は増え続けており、今後、生態系と農業の調和という観点から導入天敵の問題を議論して行く必要があると考える。

引用文献

- 1) BARRATT, B. I. P. et al. (2010): *Biological Control* 52: 245 ~ 254.
- 2) CARSON, R. (1962): *Silent Spring*, The Riverside Press, MA, USA, 368 pp.
- 3) COCK, M. J. W. et al. (2010): *BioControl* 55: 199 ~ 218.
- 4) EHLERS, R-U (ed.) (2011): *Regulation of Biological Control Agents*, Springer, 417 pp.
- 5) EPPPO (1999): EPPPO Standard PM6/1 (1).
<http://archives.eppo.int/EPPStandards/biocontrol.htm>.
- 6) ——— (2000): EPPPO Standard PM6/2 (1).
<http://archives.eppo.int/EPPStandards/biocontrol.htm>
- 7) FAO (1996): <https://www.ippc.int/IPP/En/default.jsp>
- 8) HENRY, C. S. and M. L. M. WELLS (2007): *American Entomologist* 53: 42 ~ 47.
- 9) HOKKANEN, H. M. T. et al. (2003): EU-FAIR5- CT97-3489 (ERBIC), Brussels, 149 pp.
- 10) HOWATH, F. G. (1983): *Proceedings of Hawaiian Entomological Society* 24: 239 ~ 244.
- 11) ——— (1991): *Annu. Rev. Entomol.* 36: 485 ~ 509.
- 12) HUNT, E. J. et al. (2008): *J. Appl. Entomol.* 132: 89 ~ 123.
- 13) IPPC (2005): *Revision of ISPM No. 3*.
<https://www.ippc.int>
- 14) MOCHIZUKI, A. et al. (2007): *Ann. Mus. civ. St. nat. Ferrara*, 8: 197 ~ 202.
- 15) MOEED, A. et al. (2006): In *Environmental Impact of Invertebrates for Biological Control of Arthropods*, F. Bigler et al. eds., CABI Publishing, Oxon, UK: p. 241 ~ 253.
- 16) OBRZYCKI, J. J. et al. (2000): In *Nontarget Effects of Biological Control*, P. A. Follett and J. J. Duan eds., Springer, p. 127 ~ 145.
- 17) SHA, Z.-L. et al. (2007): *J. Zool. Syst. Evol. Res.* 45: 128 ~ 135.
- 18) van LENTEREN, J. C. and A. J. M. LOOMANS (2006): In *Environmental Impact of Invertebrates for Biological Control of Arthropods*, F. Bigler et al. eds., CABI Publishing, Oxon, UK: p. 254 ~ 272.
- 19) ——— et al. (2006): *Annu. Rev. Entomol.* 51: 609 ~ 634.