

外来昆虫の侵入リスクと生態影響の評価

生物環境安全部 昆虫研究グループ長

松井 正春

1. はじめに

近年の交通手段の進歩と経済のグローバル化に伴って、世界的に物流と人の交流が著しく増大している。このため、多くの生物種が、農産物などに付着・混合・寄生し、あるいは意図的に導入されることによって、それまで気象や地形などの自然障壁によって限られていた棲息域（原産地）から、新天地に移動、定着している。新たな地域に定着した外来生物の中には、原産地において共進化してきた天敵類や競争種のネットワークから自由になり、原産地では見られないほどの爆発的な個体数増加と分布拡大を起こし、その結果、経済的被害や生態系のかく乱、生物多様性の減退などの影響を及ぼしているものがある。

地球や地域の環境の持続性を高め、それがもたらす恩恵を持続的に利用していくためには、物理化学的な側面だけでなく、生物学的側面からも研究し、対策を考えていく必要がある。1992年に締結された生物多様性条約は、前文で「生物多様性の保全および持続可能な利用が、増加する世界の人口が必要とする食糧、保健、その他を満たすために決定的に重要である」と述べている。また、第8条では、このために「生態系、生息地もしくは種を脅かす外来種の導入を防止し、そのような外来種を制御あるいは撲滅すること」の必要性を述べている（地球環境研究会編、1995）。2002年に改訂されたわが国の新生物多様性国家戦略においては、生物多様性に対する三つの危機として、人間活動に伴うインパクト、人間活動の縮小に基づくインパクト、外来種等によるインパクトを挙げている（環境省編、2002）。このように侵略的な外来種は、生物多様性の保全とその持続的利用を脅かすものとして、国内外で緊急な課題となっている。

わが国に明治以降に非意図的、あるいは意図的に導入された外来昆虫の種類は、324種に上っている（Morimoto & Kiritani, 1995）（図1）。最近では、天敵、花粉媒介虫、ペット用昆虫（クワガタムシなど）などの輸入が急増している。また、1970年以降にわが国に侵入した害虫だけでも30種近くに及んでおり、外来昆虫の生態的および経済的リスクを評価していく研究がますます必要と

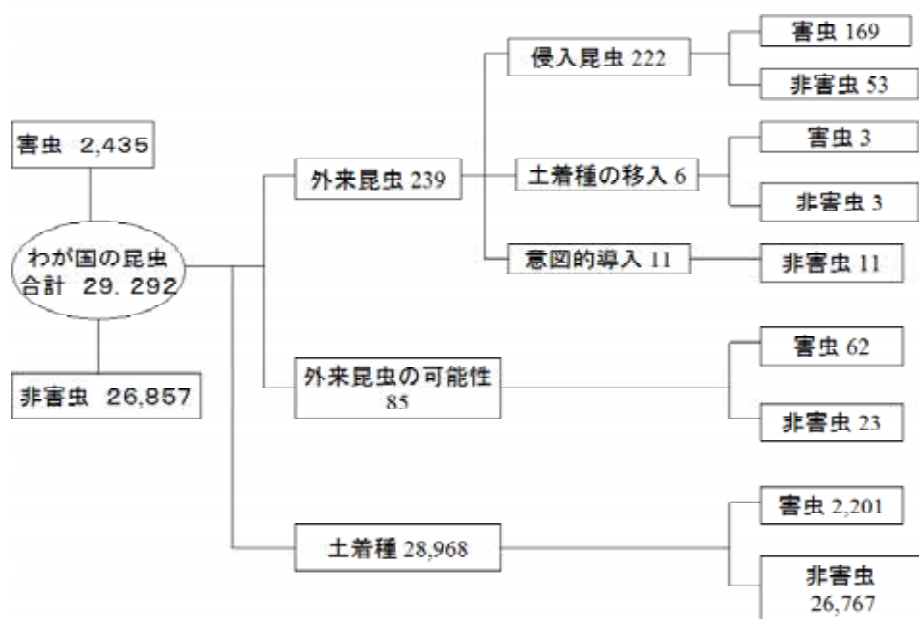


図1 わが国における外来昆虫と昆虫相（Morimoto & Kiritani, 1995）。注）数字は種数を示す。

なっている。さらに、侵略的な外来種の導入規制と防除に関する措置を定めた法律が今国会に上程される状況にあるなど、外来種問題に対して関心が高まっている。

生物環境安全部においては、植生、昆虫、微生物の各専門分野で、外来種の侵入リスク、侵入経路・分布拡大の解析、交雑過程を通じた生態影響、導入天敵の生態影響などに関する研究を行っている。ここでは、昆虫研究グループで行ってきた外来昆虫の侵入リスクと生態影響について、独法化後を中心に研究の流れとその成果を紹介する。

2. 病害虫の侵入を阻止するための植物検疫措置の理論的裏付け

病害虫がわが国へ侵入するのを防止するために、植物防疫法に基づく植物検疫が行われている。1994年のガットウルグアイ・ラウンドでSPS協定（衛生植物検疫措置の適用に関する協定）が締結され、植物検疫措置が非関税障壁とならないように、その実施に当たっては科学的根拠を明示することが必要となった。このため、これまでに植物検疫に関して、下記のような内容について理論的な究明を行ってきた。

1) 病害虫侵入阻止率に基づく輸入植物検疫のサンプリング法の評価

輸入植物検疫において、病害虫の侵入がどれだけ阻止されているかについて推定する確率モデルを作成した。これに基づいて現行の輸入植物検疫規程を含む幾つかのサンプリング法の効果を検討した。その結果、現行の輸入植物検疫規程で用いられているサンプリング法は、荷口の一つ一つの安全性の保証と、輸入植物全体の安全性の保証という二つの要求を満たしていることを理論的に示した（平成9年度主要成果）(Yamamura & Sugimoto, 1995)。

2) 害虫の加害痕を利用する輸出植物検疫サンプリング検査の効果

わが国に未侵入のリンゴ害虫コドリガが侵入する危険性が高いために、アメリカ産のリンゴ果実については輸出前に薫蒸、低温処理等の殺虫処理を行った場合に限り、わが国への輸入が許可されている。しかし、システムアプローチというより厳しい検査法を取り入れることによって、殺虫処理に置き換えたいという提案がなされた。システムアプローチとは、従来のように検疫対象害虫だけを見るのではなく、その害虫の加害痕も検査対象とする。サンプリング検査を複数回行う。これによって荷口の合格・不合格を決定するというものである。これに対して、システムアプローチによって検査した場合の検査効果を推定する式を提案した。その結果、加害痕を利用することにより、その検査効果は向上するものの、それは現行の殺虫処理を代替するほどの効果はないということを示した（平成11年度主要成果）(Yamamura & Katsumata, 1999)。

3) 害虫の侵入定着を防止し所定の安全レベルを達成するための植物検疫強度の推定法

わが国の輸入植物検疫における貨物の荷口検査のサンプリング法の妥当性は、上記のような統計的理論に基づくモデルによって裏付けられている。一方、最近の国際的傾向では、害虫の侵入防止のための理論として、侵入定着の危険度分析（Pest Risk Analysis）に基づいて、検疫の強さを定める動きがある。しかし、その理論的根拠は必ずしも明確ではない。このため、各種害虫の侵入確率を的確に推定し、侵入確率を所定のレベル以下に低下させるのに必要なサンプリング検査の程度と検疫処理の程度の組み合わせを決定するための式を導いた。この式と害虫の定着確率から、所定の安全レベルを達成するのに必要な検疫強度（サンプリング強度と検疫処理の強度の組み合わせ）を推定できるようにした（図2）（平成13年度主要成果）(Yamamura & Sugimoto, 2001)。

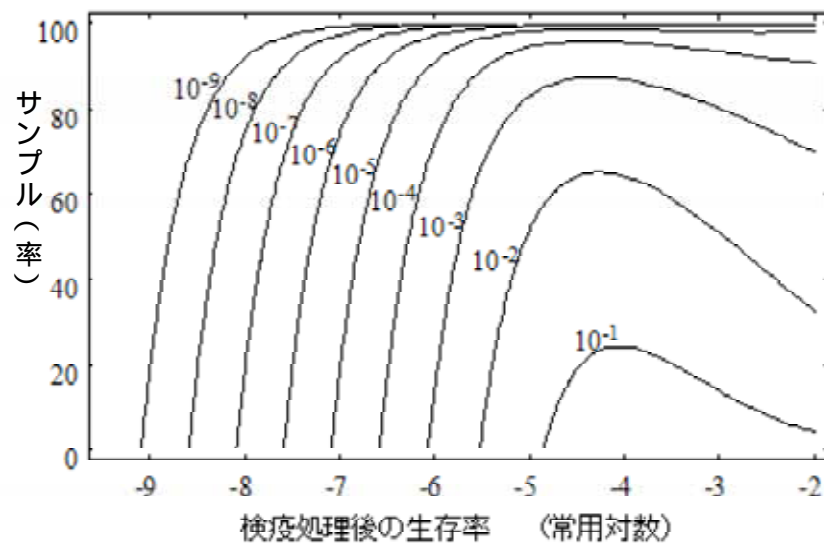


図2 メキシコミバエの荷口当たりの侵入確率をサンプル率と検疫処理後の生存率の関数として示す（荷口内の果実数が 10^5 の場合）。この等高線から、所定の侵入確率を達成するために必要なサンプル率と検疫処理の組み合わせを直ちに読み取ることができる。（山村ら，平成13年度主要成果）

4) 輸入元における病害虫の寄生率のばらつきを考慮したわが国への侵入確率の推定

わが国への病害虫の侵入確率を推定するときに、輸出元における寄生率のばらつきを考慮した場合には、一定とした場合よりも侵入リスクが大きくなることを示した。例えば、リンゴ火傷病が日本に侵入する確率の推定において、輸出元における火傷病の感染確率のバラツキを考慮した新たな侵入リスクの推定法を提案した。これを用いて火傷病のわが国への侵入リスクを推定すると、侵入リスクがより大きくなることを明らかにした（平成15年度主要成果）(Yamamura et al., 2001)。

3. 外来昆虫による生態影響の評価

1) ブタクサの繁殖を抑制するブタクサハムシ

ブタクサハムシは、1996年にわが国ではじめて発生が確認されたが、非意図的に導入された外来昆虫である。本種は、既に帰化雑草として生育しているブタクサ（1880年代に発見）およびクワモドキ（オオブタクサ）（1953年に発見）を良く食害し、そのほか選好性は低いがおオオナモミ、ヒマワリも食害する。これらの植物は全てキク科の外来植物である。ブタクサおよびクワモドキは、風媒花で花粉を大量に放出して、夏秋期における花粉アレルギーの原因植物となっている。

ブタクサハムシは、原産国における共進化ネットワークからはずれて、わが国に非意図的に導入されたために天敵相が極めて少ない（守屋ら，2002）。このため、ブタクサ群落にブタクサハムシが移入すると、個体数が爆発的に増加し、食草となるブタクサ群落をことごとく食い尽くして枯死させ、結実に至らしめない場合がある（図3）。ブタクサハムシの個体群には、移動分散能力の低い個体と高い個体が混じっており、圃場規模の調査ではランダムウォークモデルによってその移動分散を良く説明できた（図4）(Yamamura et al., 2003)。これまでに、

ブタクサハムシの繁殖・生育特性，摂食特性，移動分散性などのシミュレーションモデルを作成する上で必要なパラメータがかなり得られたので，今後これらを利用してモデルを作成し，ブタクサハムシがブタクサに及ぼす影響を定量的に推定できるようにする。

以上のように，外来昆虫ブタクサハムシは，人間にとってプラスの生態影響を及ぼす一方，経済作物では唯一ヒマワリを食害（江村，2000）するために，マイナスの影響も及ぼすという二面性を持つ外来昆虫である。



図3 ブタクサハムシ(左)とその食害によって枯れ上がったブタクサ(右)(田中原図)

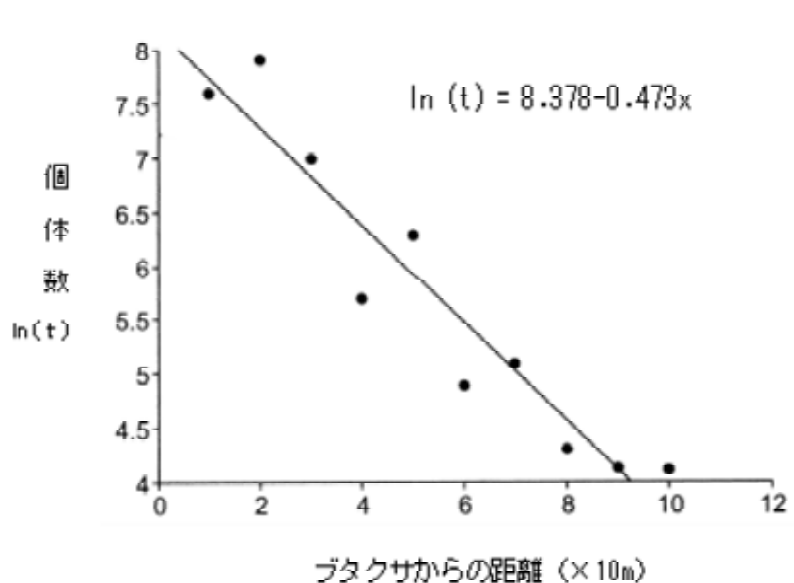


図4 ブタクサハムシの移動分散性（圃場規模の実験）(Yamamura et al., 2003)

2) 導入天敵による生態影響の評価

農業分野においては，過去に例えば，イネ，サツマイモ等の作物，馬などの家畜，柑橘を加害するイセリアカイガラムシに対する捕食性天敵ベダリアテントウなど，数多くの生物が導入された。外来生物の導入は，生物資源の多様化をもたらし，それが持続的に利用されることによって，生活の向上に役立てられてきた。生物多様性条約の目的にも生物多様性のもたらす恩恵を享受し，これを持続的に利用するために，その機能をかく乱する生物の侵入・蔓延を防止

すべきことが謳われている。

海外から害虫が侵入すると、害虫は原産地における共進化ネットワークによる抑制機構から解放される。一方、わが国の土着天敵相が侵入害虫に十分に対応できないこともあり、この場合には、害虫の爆発的な増殖を許し、甚大な経済的被害と環境影響が生じる。このような場合に、その害虫の原産地からわが国に有力天敵を導入することにより、侵入害虫の密度抑制に成功した例が数多く知られている。

しかし、天敵の導入が、生態系機能や生物多様性の保全に影響するのではないかという懸念もあることから、事前に影響評価を行うことの重要性が指摘され、環境省は2000年に「天敵農薬環境影響調査検討会」報告を取りまとめた。農林水産省においても、このことについての検討が行われた。

このような背景の下で、導入昆虫の生態系影響評価に関する研究が行われている。平成13年には農業環境技術研究所で「導入昆虫の生態系への影響とその評価法」と題するシンポジウムを開催し、この問題に関する国際的動向、国内情報等の集約と論議を行った。

侵略的外来種の導入を規制するための法律が国会に上程されていることから、意図的な導入種に対する関心が高まると思われるので、導入天敵についての生態影響評価に関わる知見の一層の蓄積が重要である。

3) マメハモグリバエ防除に導入された寄生蜂の影響評価

マメハモグリバエは、1990年にわが国への侵入が確認された野菜や花きの重要害虫である。その幼虫は、葉に潜り込んで白く曲がりくねった食害痕をつける。マメハモグリバエの幼虫に寄生する寄生蜂の種類は多様であり、土着種28種および導入種1種が記録され、これらを網羅した図解検索が作成されている(小西, 1998)。マメハモグリバエの寄生蜂には、寄主であるハモグリバエの幼虫体内に卵を生み込み、孵化した幼虫がその内部を食べて育つ内部寄生の型と、寄生蜂の成虫がハモグリバエの幼虫の外側に卵を産み付け、孵化した幼虫がハモグリバエの幼虫を食べて育つ外部寄生の型がある。ちなみに、わが国にはマメハモグリバエ防除用に2種類の寄生蜂が導入されたが、このうち、ハモグリコマユバチ(*Dacnusa sibirica*)は内部寄生型であり、もう1種のイサエアヒメコバチ(*Diglyphus isaea*)は外部寄生型である。後者は日本にも分布している。

同一の寄主(ハモグリバエの幼虫)で2種類の寄生蜂を競争させた場合に、導入寄生蜂が常に土着寄生蜂に勝つとなれば、導入寄生蜂によって生態影響が生じる可能性がある。そこで、まず、ともに外部寄生である導入寄生蜂イサエアヒメコバチと土着寄生蜂カンムリヒメコバチ(*Hemiptarsenus varicornis*)とを飼育箱内に同居させたところ、両者間の競争関係に優劣は認められなかった。しかし、導入あるいは土着の外部寄生蜂と内部寄生蜂を同じように同居させた場合には、導入・土着に関わりなく、いずれも外部寄生蜂の方が内部寄生蜂よりも競争力が強いという結果が得られた。

また、外来種である内部寄生蜂ハモグリコマユバチは、通常ハモグリバエの1齢幼虫によく産卵するが、ヨーロッパの原産地で同所的に棲息する外部寄生蜂イサエアヒメコバチが同居する実験条件下では、これとの共寄生を避けるために、産卵対象をより齢期の進んだ幼虫に移す現象が見られる。しかし、ハモグリコマユバチは、共進化の過程を持たないわが国土着の外部寄生蜂カンムリヒメコバチを同居させてもそのような行動を示さないことから、カンムリヒメコバチによって、より共寄生を受けやすいことが分かった。

これらのことから、外来の外部寄生蜂は、土着の内部寄生蜂に影響を及ぼす可能性がある

推定されるが、更に、野外条件に一步近づけた、より大きな規模の条件下で評価を行う必要がある。

5．外来生物のデータベース構築

外来生物の問題は、上記のようにわが国のみならず世界的に、あるいは、わが国と地域的に関係の深いアジア・太平洋地域においても大きな問題となっている。特に、近年におけるこの地域への侵入生物としては、新大陸からのものが共通的に多く見られ、また、熱帯、亜熱帯からわが国に南方系害虫として侵入するケースも多い。

こうしたことから、アジア・太平洋地域の農業生態系への侵入生物に関する情報を共有することは、各国における侵入とその蔓延の防止に役立つ。このため、平成15年に「アジア・太平洋諸国における侵入生物の生態影響とデータベース構築」と題する国際セミナーを開催し、参加各国間で侵入生物に関する情報の交換を図るとともに、「アジア・太平洋地域外来生物データベース」(APASD)のシステム(英語版)を構築した(Yamanaka & Matsui, 2003)(図5)。

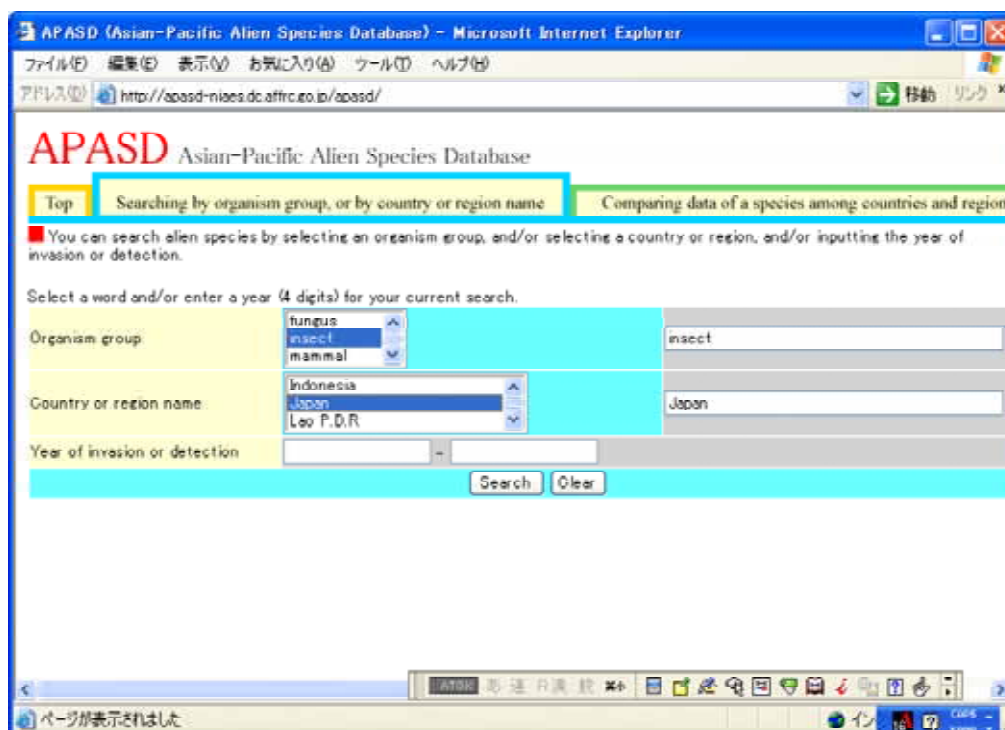


図5 外来生物データベース (APASD : Asian-Pacific Alien Species Database) の生物種検索のための初期画面

本データベースの特徴は、リレーショナル・データベースであるので大量のデータを容易に入力、検索、出力できること、植物、昆虫、微生物、線虫、哺乳類など各国の多様な外来生物群をカバーできること、外来生物に関する環境影響、経済的被害、写真など、多様な内容を入力できることである(図6)。また、各項目について各国間のデータを容易に比較できる検索システムも設けている。

今後、このデータベースの発展を図るために、引き続き国内情報の収集、および本年秋に予定されている台湾でのワークショップを通じてネットワーク作りとデータ入力を進めていきたい。

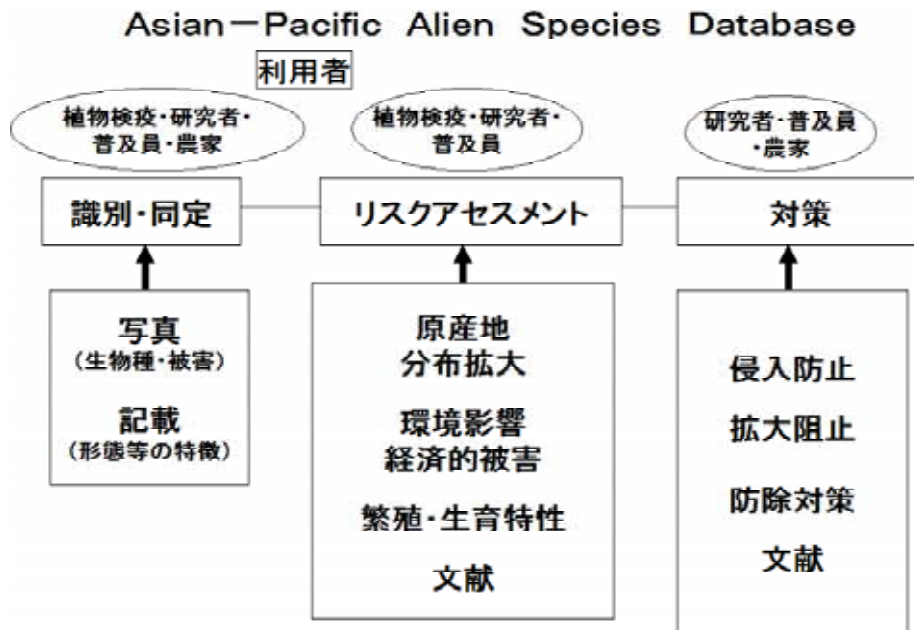


図6 外来生物データベース (APASD) の記載項目と利用者

6. 今後の課題

経済的、生態的に悪影響を及ぼす侵入生物の問題に関しては、植物検疫に関わる侵入リスク評価、未侵入あるいは侵入間もない生物の経済的・生態的影響評価、侵入経路・分布拡大の分析と予測など、リスク分析に関わる部分を重点的に研究していく必要がある。

また、意図的な生物の導入については、外来種新法の成立を考えて、それらの生態影響とリスク評価、導入の可否を判断するのに役立つ評価基準の作成とその手法開発を重視していく必要がある。

外来生物に関するデータベースについては、現在、APASD (Asian-Pacific Alien Species Database) を構築中であるが、早い時期に一般公開を目指す。また、外来種新法に関連して、農業生態系にかかわる導入生物のデータ蓄積を図るとともに、外来生物に関する科学的知識の普及手段としてのデータベースも考えていく必要がある。

引用文献

- 地球環境研究会編 (1995) 地球環境条約集, pp.609, 中央法規, 東京.
- 江村 薫 (2000) プタクサハムシ, 農業および園芸, 75, 210-214.
- 環境省編 (2002) 新生物多様性国家戦略 - 自然の保全と再生のための基本計画 -, pp.315, ぎょうせい, 東京.
- 小西和彦 (1998) マメハモグリバエ寄生蜂の図解検索, 農環研資料, 22, 27-76.
- Morimoto, N. and K. Kiritani (1995) Fauna of exotic insect in Japan. Bull. Natl. Inst. Agro-Environ. Sci., 12, 87-120.
- 守屋成一・田中幸一・山村光司・清水徹・初宿成彦 (2002) プタクサハムシの国内での分布域拡大状況と天敵相, 関東東山病害虫研究会報, 49, 131-132.
- Yamamura, K. and T. Sugimoto (1995) Estimation of the pest prevention ability of the import plant quarantine in Japan, Biometrics, 51, 482-490.
- Yamamura, K. and H. Katsumata (1999) Efficiency of export plant quarantine inspection

n by using injury marks , Journal of Economic Entomology , 92 , 974-980 .

Yamamura, K. and H. Katsumata (1999) Estimation of the probability of insect pest introduction through imported commodities , Res. Popul. Ecol. , 41 , 275-282 .

Yamamura, K., H. Katsumata and T. Watanabe (2001) Estimating invasion probabilities: a case study of fire blight disease and the importation of apple fruits , Biological Invasion , 3 , 373-378 .

Yamamura, K., S. Moriya and K. Tanaka (2003) Discrete random walk model to interpret the dispersal parameters of organisms , Ecological Modeling , 161 , 151-157 .

Yamanaka, T. and M. Matsui (2003) Development and utilization of APASD (Asian-Pacific Alien Species Database), p.155-176 , In Proceeding of International Seminar on Biological Invasions. Environmental Impacts and the Development of a Database for the Asian-Pacific Region , pp.326 , IAES & FFTC, Tsukuba .