

特集論文

農業における外来種問題 —施設栽培トマトにおけるマルハナバチの使用—

西村 武司

Invasive Alien Species in Agriculture: The Use of Bumblebees for Greenhouse Tomato Pollination in Japan

Takeshi NISHIMURA

Research Center for Sustainability and Environment, Shiga University

Since 1991, when large earth bumblebees (*Bombus terrestris*) were introduced as pollinators in Japan, this alien species has been extensively used by tomato producers for greenhouse tomato pollination. On September 1, 2006, however, Japan's Invasive Alien Species Act banned the raising, planting, storing, carrying, importing, and releasing of this alien species, except for the purposes of research or the maintenance of bread-and-butter jobs. According to the Act, using *B. terrestris* for agricultural purposes is allowed only with the permission of the Minister of the Environment. This permission is given on the conditions that farmers cover greenhouses with nets for preventing the bees' escape, and that they properly dispose of used hives. This paper discusses tomato producers' incentives for substituting Japanese native bumblebees for *B. terrestris*, for covering greenhouses with nets, and for disposing of used bumblebee hives. If the substitution of native bumblebees for *B. terrestris* is desirable, subsidies for using native bumblebees may be necessary to facilitate that substitution. Without monitoring and enforcement, there will be no incentives for farmers to use nets or to dispose of used bumblebee hives, in which case, the government may not be able to protect ecosystems from the threats posed by *B. terrestris* in order to ensure biodiversity.

Keywords: invasive alien species, bumblebee, *Bombus terrestris*, pollinator, greenhouse tomato

1. はじめに

1993年に発効された「生物の多様性に関する条約」(生物多様性条約)をきっかけとして、生物多様性保全への関心が高まってきている。この生物多様性を脅かすもののひとつに外来種問題がある。同条約第8条では、締約国は「生態系、生息地若しくは種を脅かす外来種の導入を防止し又はそのような外来種を制御し若しくは撲滅すること」とされている。同条約に基づいて、日本では、1995年に生物多様性国家戦略が策定され、2003年には全面的な見直し

を経て新・生物多様性国家戦略が策定された。そこでは、侵入の予防を重点に考えることが効果的な対策であることを前提とした、外来種問題に対する姿勢と方針が明確にされている。これを受けて、2005年に「特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律」(外来生物法)が施行された。同法では、「海外から我が国に導入されることによりその本来の生息地又は生育地の外に存することとなる生物」(外来生物)のうち「生態系等に係る被害を及ぼし、又は及ぼすおそれがあるもの」を特定外来生物に

指定している。ここでいう「生態系等に係る被害」には、生態系への被害、人の生命・身体への被害、そして、農林水産業への被害が含まれる。特定外来生物に指定されると、飼養等（飼養、栽培、保管、運搬）、輸入、譲渡し等（譲渡し、譲受け、引渡し、引取り）が原則的に禁止され、野外へ放つこと等（放つこと、植えること、まくこと）が禁止され、そして、防除の措置が講じられる。

農業においては鳥獣害が農業者の耕作意欲を減退させることで問題視されており、その鳥獣の中には外来種が少なからず存在している。例えば、アライグマやヌートリアはペットや商業目的で輸入・飼育されていたものが野生化し、今日では農業に深刻な被害をもたらしている。これらは農業が被害を受ける例である。一方、農業に貢献している外来種もまた存在する。セイヨウミツバチやセイヨウオオマルハナバチがそうである。前者はスイカやメロンなどの花粉媒介昆虫として、後者はトマトやナスなどの花粉媒介昆虫として日本全国で使用されている。これらは外来種であることから、生態系への被害をもたらす可能性がある。このように、農業は外来種による被害を受ける場合がある一方で、外来種を通して生態系への被害の原因となり得る。農業が外来種の被害を受ける場合、農業側の対策としてはその被害を取り除くための捕獲や駆除が課題となる。一方、農業が被害を与える側になる場合は、その被害を軽減ないし根絶する農業技術の開発および普及が課題となる。

2006年9月、生態系への被害をもたらすことが懸念されていたセイヨウオオマルハナバチが特定外来生物に指定された。セイヨウオオマルハナバチが特定外来生物に指定されるまでのプロセスにおいては、保全生態学や応用昆虫学などの専門家による慎重な議論がなされた¹⁾。慎重にならざるを得なかったのは、特定外来生物の指定には規制による社会経済的影響が考慮されるためである²⁾。1991年に日本に導入されたセイヨウオオマルハナバチはこのときすでに施設栽培トマトにおいて欠かすことのできない農業資材となっていたため、この種が使用禁止になるかどうかは施設栽培トマトの存続を、ひいては、トマト産地の存続をも左右するほどの問題であった³⁾。そのため、セイヨウオオマルハナバチの指定にあたっては、既存の農業技術を前提とした農業生産の効率性を維持しながら、生物多様性を保全しなければならず、これらの両立が問題とされた。ただし、外来生物法における飼養等の原則的禁止の例外として、「学術研究の目的その他主務省令で定める目的」で「主務大臣の許可」を受けた者は飼養等が可能になる（同法第

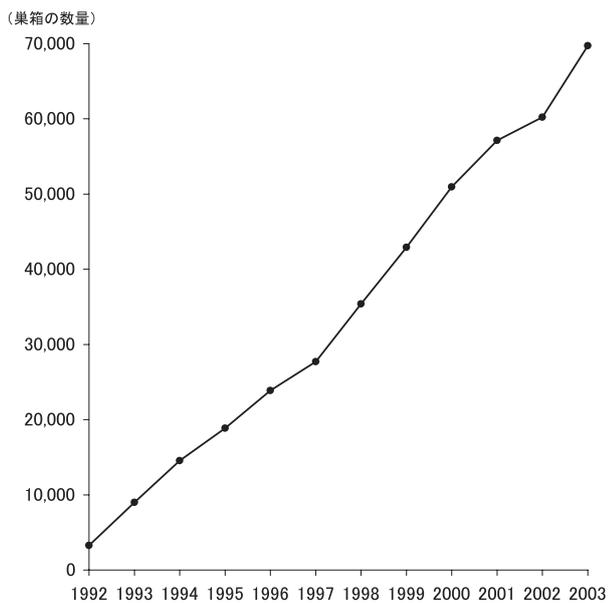
5条）。ここで許可の対象となり得る学術研究以外の目的は「特定外来生物被害防止基本方針」で定められており、「展示や教育、許可規制を行うことで遺棄や逸出等に対して十分な抑止力が働く生業などの場合」とされている。したがって、施設栽培トマトでは「許可規制を行うことで遺棄や逸出等に対して十分な抑止力が働く生業」であることを根拠として、セイヨウオオマルハナバチの継続的な使用が可能となり得た。結局、農業者によるセイヨウオオマルハナバチの使用は「逃亡防止用ネットの展張」と「使用済み巣箱の適正処分」を条件とした許可制に落ち着いた。

セイヨウオオマルハナバチが特定外来生物に指定されるプロセスにおいて社会経済的影響が考慮されたにもかかわらず、それらの影響を扱った経済学的研究はほとんど存在しない。岡（2006）では、客観的な生態リスク指標を導入することにより、この規制の費用効果分析が試みられている。また、河野（2007）は、在来種マルハナバチの絶滅に対する国民意識をCVMにより評価し、生態系に配慮したトマトに対する消費者の支払意思額をコンジョイント分析により推計している。しかしながら、規制が農業者の行動をどのような方向に導くのか、あるいは、規制の方法が外来種対策として効果的なものなのかどうかに関する検討は行われていない。

本稿では、セイヨウオオマルハナバチの特定外来生物への指定が、この種を使用してきた農業者の行動にどのように影響し得るのかについて議論する。第2節では、施設栽培トマトにおいてセイヨウオオマルハナバチが使用されるようになった経緯とそれが特定外来生物に指定された背景について概観する。第3節では、農業者のインセンティブの観点から規制の効果を検討する。そして、第4節では本稿の議論を整理してまとめとする。

2. 施設栽培トマトにおけるセイヨウオオマルハナバチの使用

施設栽培トマトでは、自然による風媒や虫媒による受粉が期待できないため、植物ホルモン剤を開花中の花に噴霧することによって着果および果実肥大を促進させる技術が普及してきた⁴⁾。植物ホルモン剤の噴霧は花ひとつひとつに対して要求されるため非常に労働集約的な技術であり、施設栽培トマトの規模拡大における障害となっていた。こうした受粉技術を代替するものとして、1991年にセイヨウオオマルハナバチを使用する受粉技術がヨーロッパから



出所：マルハナバチ普及会(2004)より作成。

図1 セイヨウオオマルハナバチの巣箱の流通量

導入され、施設栽培トマトに不可欠な農業技術として日本全国に徐々に普及していった⁵⁾。

日本におけるセイヨウオオマルハナバチの巣箱の流通量の推移は図1に示す通りである。1992年から本格的に販売され始めたセイヨウオオマルハナバチの巣箱の流通量は、2003年には約7万箱にまで達した。導入後3年目では日本の施設栽培トマトの3から5%ほどしか普及していなかったが、2003年には約70%にまで普及し、花粉媒介昆虫としてのセイヨウオオマルハナバチの使用は施設栽培トマトにおいては不可欠な農業技術となった⁶⁾。トマトは花蜜を分泌しないため、花粉のみが花粉媒介者の餌資源となる。そのため、ミツバチは花粉媒介昆虫の役割を果たすことができず、振動集粉をするハナバチのみがその候補となり得る。その中でも大量増殖法が確立され、商業生産に成功したものがセイヨウオオマルハナバチであり、この種がヨーロッパだけでなく世界中で使用されるようになった(加藤(1993))。

セイヨウオオマルハナバチが日本に導入された当初は、労働節約的技術として位置づけられていたが、さまざまな試験研究によりそれ以外の利点も見出されるようになった。そのひとつは、受粉過程を経ることによってトマトの品質が向上することが明らかになったことである⁷⁾。また、セイヨウオオマルハナバチを施設内で使用するためには化学農薬の使用を制限せざるを得ないため、農業者やマルハナバチ取扱業者の間では安全な農産物の生産に貢献する農

業技術として理解されるようになった(光畑(2000))。さらに、受粉に昆虫を使用していることから連想されるイメージの良さにより、環境保全型農業技術として好意的に受け入れられるようになった(小野(1996))。こうした複数の要因により、日本でもセイヨウオオマルハナバチを受粉媒介昆虫として採用する農業者が増加した。

しかしながら、1996年に北海道で野生巣が発見されたことにより、セイヨウオオマルハナバチに対する見方は一変する。この野生巣の発見を受けて、五箇(1998)や鷲谷(1998)などにより、セイヨウオオマルハナバチが施設外へ逃亡し、定着することによる生態系への実際の被害について議論がなされるようになった。それ以前にも、加藤(1993)ではセイヨウミツバチが小笠原諸島等に定着した経験を踏まえて、導入当初からセイヨウオオマルハナバチの定着の可能性が指摘され、小野(1994、1996)でも同様に、将来的にはセイヨウオオマルハナバチに代わる在来種の実用化が必要であることが指摘されていた。ただし、この時点では実際に定着した事例は報告されていなかったため、セイヨウオオマルハナバチがもたらす生態系への被害は不確定であった。

セイヨウオオマルハナバチがもたらす生態リスクにはさまざまなものが考えられ、米田ら(2008)はそれらを4つに整理している。すなわち、第1に、在来種マルハナバチとの営巣空間や餌資源などの獲得競争が生じる可能性であり、とくにセイヨウオオマルハナバチの密度の増加によってその女王バチによる在来種マルハナバチの巣の乗っ取りが増加する可能性が指摘されている。第2に、顕花植物の種子生産の低下をもたらす可能性が挙げられる。セイヨウオオマルハナバチには開花植物の花弁にかみ傷をつけて花蜜を吸う習性(盗蜜行動)があり、この盗蜜行動は植物の花粉媒介には貢献しないとされている。在来種マルハナバチにもこの習性は確認されているが、狭い地域内でセイヨウオオマルハナバチの密度が極端に上昇した場合、野生植物の種子生産に悪影響が生じる可能性がある。また、リンドウなどの花弁も盗蜜行動によって傷がつけられることがあるため、生態系だけでなく農業への被害の可能性も指摘されている。第3に、在来種マルハナバチと交雑する可能性であり、遺伝的攪乱ないし繁殖攪乱のリスクをもたらすことになる。そして第4に、商品とともに寄生生物が海外から持ち込まれる可能性であり、未知の寄生生物や病気などが蔓延することによって在来種マルハナバチを衰退させる可能性が指摘されている。

農業者による継続的な使用を前提としてこれらの生態リスクを予防するためには、農業者に施設外への逃亡防止を強制する必要がある⁸⁾。2006年9月にセイヨウオオマルハナバチが外来生物法の特定外来生物に指定されたことにより、飼養等、輸入、譲渡し等、野外への放出等が禁止されるが、社会経済的影響が考慮されたため農業生産においては例外的に飼養等が認められた。農業生産において使用する場合は一定の基準を満たした特定飼養等施設において飼養等を行うことを申請し、環境大臣の許可を受けなければならない。施設栽培トマトでセイヨウオオマルハナバチを使用する場合は、施設への「逃亡防止用ネットの展張」と「使用済み巣箱の適正処分」が義務づけられる。また、飼養等の許可に必要な書類を提出し、毎年、巣箱の数量を報告しなければならない。これに違反すると、個人では3年以下の懲役もしくは300万円以下の罰金、法人では1億円以下の罰金が科されることになる。一度申請して許可を受けると3年の期限付きで飼養等が可能になり、3年後に再び飼養等を望む場合は更新手続きを行わなければならない。

3. 農業者のインセンティブと規制の効果

前節で述べた通り、セイヨウオオマルハナバチの特定外来生物への指定に伴って、農業者がそれらを継続的に使用するためには、逃亡防止策や各種書類作成などに必要なコストを負担しなければならない⁹⁾。その一方で、在来種マルハナバチの使用には外来生物法の効力は及ばないため、外来種から在来種のクロマルハナバチなどに切り替えることにより、農業者は余分なコストを負担することなくこれまで通り花粉媒介昆虫の便益を享受することができる。在来種マルハナバチは、セイヨウオオマルハナバチと比べて働きが悪く受粉効率が劣ることが知られていたため、あまり普及してこなかったが、近年になって管理技術が改善され、ほぼ同等の受粉処理が行えるようになった。ところが、五箇・マルハナバチ普及会(2003)や米田ら(2008)では、たとえ在来種であったとしても採取地点が異なる場合、外来種と同様に生態系に悪影響を及ぼす可能性があることが指摘されており¹⁰⁾、在来種マルハナバチを使用する場合でもネット展張による逃亡防止策を施すことが推奨されている。ただし、これには法的拘束力はない。

ここで施設栽培トマトを生産する農業者は、逃亡防止策への投資と各種書類の提出を行ってセイヨウオオマルハナバチの使用を継続するか、規制の対象ではない在来種マル

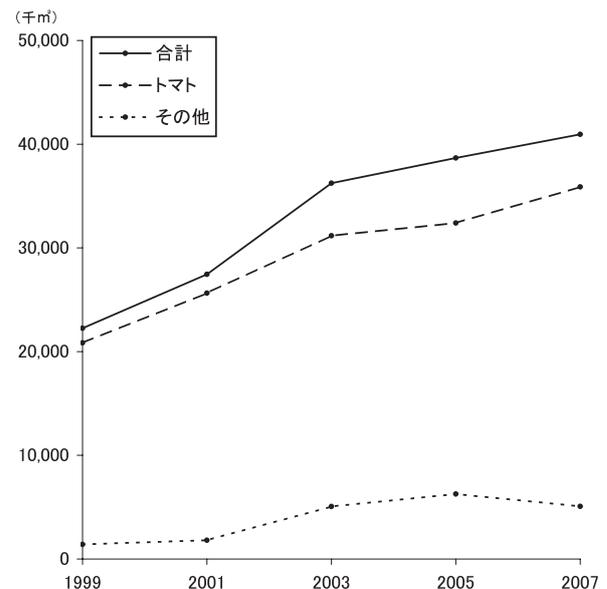
ハナバチに切り替えるかの選択に迫られることになる。あるいは、ホルモン剤の噴霧といった花粉媒介昆虫に頼らない旧来の農業技術に戻る可能性もあり、また、他の代替的な農業技術を採用するという選択肢もあり得る¹¹⁾。

外来生物法は、セイヨウオオマルハナバチの使用を許可制にすることによって規制するにとどまり、将来的に農業者にその使用をやめさせる制度にはなっていない。しかも、生業の維持という目的があれば、新規にセイヨウオオマルハナバチを使用することさえ可能である。一方、農林水産省は在来種マルハナバチへの切り替えを指導する立場をとっている(庭瀬(2005))。

以下では、セイヨウオオマルハナバチから在来種マルハナバチへの切り替え、逃亡防止用ネットの展張、そして、使用済み巣箱の適正処分のそれぞれに関して、農業者のインセンティブの観点から、規制がどのように効いているのかを検討する。

(1) 在来種マルハナバチへの切り替え

農林水産省の統計資料『園芸用ガラス室・ハウス等の設置状況』には、マルハナバチを使用する施設の延面積が示されており、そこから近年のマルハナバチの使用状況の推移を把握することができる。ただし、この数値にはセイヨウオオマルハナバチだけでなく在来種マルハナバチを使用する施設の延面積も含まれているため、この数値の増減が



出所：農林水産省大臣官房統計部経営・構造統計課『園芸用ガラス室・ハウス等の設置状況』の1999年(1998年7月～1999年6月間実績)から2007年(2006年7月～2007年6月間実績)までの隔年版より作成。

図2 施設野菜におけるマルハナバチの使用状況(延面積)

そのまま規制の影響を表すことにはならないことに注意が必要である。しかしながら、セイヨウオオマルハナバチが特定外来生物に指定された2006年を挟んだデータとしては、これが唯一利用可能なものであることから、一時的接近としては有益な情報であろう。図2に、このマルハナバチを使用する施設の延面積の推移を示した。

マルハナバチを使用する施設野菜全体の延面積は、1999年から2007年にかけて一貫して増加している。ただし、トマト以外の施設野菜では、2005年から2007年にかけて使用延面積の減少がみられる。このことは、セイヨウオオマルハナバチが特定外来生物に指定されたことにより、それを使用していた施設の一部において、代替的な受粉技術への切り替えが起こったことを示唆している。したがって、セイヨウオオマルハナバチから在来種マルハナバチへの切り替えは起こっていない可能性がある。一方、施設栽培トマトについては、2005年から2007年においても、マルハナバチを使用する施設の延面積は増加している。この増加は、在来種マルハナバチに切り替えた農業者がその使用量を増加させたことによるものかもしれないし、セイヨウオオマルハナバチの使用量の増加によるものかもしれない。あるいは、在来種マルハナバチの使用量の増加とセイヨウオオマルハナバチの使用量の増加が同時に起こっている可能性もある。このことに関して実態を把握するためには、マルハナバチを使用している農業者から直接データを収集する必要がある。ただし、以下の理由により、在来種マルハナバチへの切り替えは起こっていると、限定的であることが推測できよう。

在来種マルハナバチへの切り替えを考える場合、農業者がそれを市場で入手可能であることが前提となる。セイヨウオオマルハナバチが世界的に普及したのは、その大量増殖法が確立されたためであった。一方、在来種についても同様に大量増殖できる可能性はある。在来種の大量増殖に関する研究は比較的早くから進められており、1998年にはオオマルハナバチが試験的に販売され、1999年からはクロマルハナバチが北海道を除く地域で販売されるようになった¹²⁾。ただし、実用化研究により大量増殖が可能となったとしても、一般的には、在来種マルハナバチの増殖にはセイヨウオオマルハナバチよりも大きなコストが必要となる¹³⁾。そのため、花粉媒介昆虫の使用を望む農業者は、割高な在来種を購入するか、安価なセイヨウオオマルハナバチを購入するかの選択に迫られることになる。

ただし、管理技術が改善されてきているとはいえ、花粉

媒介昆虫としては在来種マルハナバチはセイヨウオオマルハナバチと同等かそれよりも劣る働きしかしない。また、在来種は規制の対象にはなっていないが、農業者には逃亡防止用ネットの展張が推奨されているため、もし農業者が外部からの技術指導に従うならば、在来種を選択したとしてもコスト面でのメリットはほとんど得られない¹⁴⁾。したがって、在来種マルハナバチがセイヨウオオマルハナバチよりも高い価格で販売された場合、前者の需要はほとんど見込めないだろう。価格に関する公開されたデータは存在しないが、松浦（1993）では1箱あたり3万円を超えるとしていたセイヨウオオマルハナバチの巣箱が、藤田ら（2007）では2万円から2万5千円までとされており、この間に何らかの理由により価格が低下していることが示唆される¹⁵⁾。セイヨウオオマルハナバチの価格低下と在来種マルハナバチの増殖コストの相対的な高さを考慮すると、在来種マルハナバチがセイヨウオオマルハナバチよりも安く販売できる余地はほとんどないであろう。

そこで、在来種マルハナバチへの切り替えを促進する手段のひとつとして、マルハナバチ取扱業者が販売する巣箱に対して補助金を与える政策が考えられる。この補助金政策によって在来種の供給曲線が下方にシフトし、在来種の需要が増えることで、外来種の需要が減る可能性がある。ただし、補助金の金額と補助金もたらす在来種への切り替えの効果について検討するためには、マルハナバチに対する需要曲線と供給曲線を調べる必要がある。また、農業者は在来種と外来種との使用割合を変更することによって部分的に在来種への切り替えを行うかもしれないが、このことを考慮に入れた分析が求められよう。在来種への切り替えを促進する政策としては、在来種への補助金の他に、外来種の輸入に対する関税も考えられ、この効果についても詳細な検討が必要である。

(2) 逃亡防止用ネットの展張

もしマルハナバチを使用する施設に逃亡防止用ネットを展張しないことにより、すべてのマルハナバチが施設外に逃亡してしまうならば、農業者には自主的に逃亡防止用ネットを展張するインセンティブがあるはずである。しかしながら、帰巣本能により、ほとんどのマルハナバチは逃亡しない。ただし、マルハナバチの帰巣本能を過大評価することには注意が必要である。

セイヨウオオマルハナバチ導入の初期段階では、農業試験場やマルハナバチ取扱業者による試行錯誤を伴った実用

化および普及のプロセスがあった。光畑・和田（2005）は、当初、マルハナバチの記憶した花に対する選好性が訪花特性として強調されていたことを指摘している。いったん施設内の花に訪花するようになると、施設外の花には訪花しないと信じられており、農業者はマルハナバチが施設外に出ることを気にしなかった。また、和田・栗原（1992）では、「ハウスの気温が35℃を超えると活動を低下させるので、ハウスのサイドをあける方が巣のためには良い（外に出て戻ってくる）」（p. 134）とされており、施設の開口部の確保が重要だと考えられていた。しかしながら、その後、施設内の花粉よりも施設外の餌資源（花蜜および花粉）の方が豊富な場合、マルハナバチは施設内の受粉には貢献しなくなることがわかり、できるだけマルハナバチが施設外の花へ訪花する機会をつくらないようにすべきだと考えられるようになった。こうしたマルハナバチの花選好はHeinrich（1979）によって指摘されていたが、光畑（2000）が述べているように、普及の初期段階では日本の関係者が有するマルハナバチに関する知識はほとんどなかった。

逃亡防止用ネットを展張することによって農業者が得られる便益としては、上述した施設内の花の受粉効率の向上の他に、天敵による捕食被害や露地作で散布された農薬の施設内への持ち込みの回避が指摘されている。また、ヨトウガやオオタバコガなどの大型鱗翅目害虫の侵入を防ぐことも可能である（光畑・和田（2005））。

ところが、施設栽培トマトにおいてマルハナバチを使用する農業者のすべてがネットを展張するとは限らない。光畑・和田（2005）によると、マルハナバチを使用している施設のネット展張率は2003年時点で45%と半分にも満たない。このことから、農業者には逃亡防止用ネットを展張するインセンティブが必ずしもあるわけではないことがわかる。

特定外来生物に指定された後のセイヨウオオマルハナバチを使用する施設のネット展張率について公開されたデータは存在しない。セイヨウオオマルハナバチについては外来生物法違反として摘発された事例はこれまでにないことから、もし農業者がセイヨウオオマルハナバチの使用許可を求めて申請する際に正直に申告しているならば、ネット展張率は100%になっているはずである。

ただし、逃亡防止用ネットの展張だけでマルハナバチの逃亡を完全に防止できるわけではない。国武・五箇（2006）では、逃亡防止用ネットが老朽化した場合に補修や張替えが行われているかどうかについて監視する必要があること

が指摘されている。ネット展張のコスト負担を考えれば、農業者が効果的なネット展張とその維持管理を怠る可能性は否定できない。また、小出ら（2008）による逃亡防止用ネット展張技術に関する実験では、ネットではなく施設の老朽化が原因でできた隙間からマルハナバチが逃亡したことが確認されている。これらのことから、農業者がよほど注意しない限り、セイヨウオオマルハナバチの逃亡の可能性は常に存在し、時間の経過とともにその可能性が増すと考えられる。

また、農業者が購入したマルハナバチの働きが悪かった場合、マルハナバチ取扱業者が新しい巣箱を提供することがある（藤田（2007））。販売する巣箱の中のマルハナバチが花粉媒介に貢献するかどうかには不確実性があり、このリスクは農業者ではなくマルハナバチ取扱業者が負っていることになる。このことは、農業者による逃亡防止用ネット展張のインセンティブを低下させるはずである。例えば、施設内の受粉が行われなかった原因が、農業者が施設の開口部へのネット展張を怠り、マルハナバチが施設外の花に訪花したためであったとしても、新しい巣箱の提供を受けられるのであれば、農業者はコスト負担を避けるためにネットを展張しないかもしれない。ただし、もしマルハナバチ取扱業者による監視が強化されており、新しい巣箱の提供に対して厳しい審査基準があるならば、農業者による機会主義的行動は減り、逃亡防止用ネットの展張率は高まるだろう。

セイヨウオオマルハナバチの使用は規制されてはいるが、農業者が逃亡防止のための努力をしているかどうかは、申請時に適切にネットを展張しているかどうかだけで判断される。そして、ネットを展張していたとしても逃亡する可能性のある隙間をなくすことは不可能に近く、逃亡防止用のネットは老朽化することでその効果が低下し、また、農業者が施設への出入りなど日常作業における注意を怠ることで、マルハナバチが逃亡する機会は常に発生し得る。こうした農業者による逃亡防止のための努力は監視されおらず、その努力に対する報酬や努力を怠ることに対する罰則は何もない。そのため、規制によって形式的には逃亡防止用ネットの展張率は高まるかもしれないが、それが生態リスクを低下させる効果をもっているかどうかについては不明であり、詳細なデータに基づいて検討しなければならない。

(3) 使用済み巣箱の適正処分

セイヨウオオマルハナバチが逃亡するタイミングには上記の他に巣箱の使用後にある。巣箱の使用後とは働きバチが生産されなくなり、花粉媒介の役割を果たさなくなった状態のことを指し、1つの巣箱の使用可能期間は1か月から2か月である（和田・栗原（1992））。

温帯のマルハナバチの基本的な生活史は1年性であり、越冬した女王が春に単独で巣を創設して、数十から数百の働きバチが生産される。その後、新女王と雄バチが生産されるようになり、やがてコロニーは解散する（松浦（1993））。新女王と雄バチは施設内の受粉には貢献しないが、生態系への被害をもたらす原因にはなり得る。また、この新女王と雄バチを施設外に逃亡させなければその種が野外に定着する可能性はないため、生態リスクはかなり低減できるはずである。ところが、Thomson（1997）は、新女王と雄バチが生産され始めた段階でも巣箱には受粉に役立つ働きバチがまだ多く残っているため、この時期には農業者に巣箱を破壊して処分するインセンティブはないことを指摘している。

外来生物法では使用済み巣箱の適正処分が義務づけられているが、処分の時期に関しては明記されていない。農業者が、購入した巣箱の中に花粉媒介に貢献する働きバチがいる限りそれを使用し続けたいと考えるならば、巣箱の使用期間は長くなるはずである。そのため、農業者が自主的に巣箱を処分する時期には、その巣箱の大部分は、逃亡すれば野外に定着する可能性が高い新女王と雄バチによって構成された状態になっているだろう。

また、農業者に巣箱の適正処分を任せることが、生態系への被害の予防の観点からは決して望ましいこととは言えない。2005年12月に開催された特定外来生物等専門家会合におけるセイヨウオオマルハナバチを特定外来生物の指定対象とすることが適切であるとの意見に対して寄せられたパブリックコメントの中には、「日本人的感觉からして働いてくれたマルハナバチの使用後の処分は法的規制（回収義務や第三者による確認）が徹底しない限り放置される可能性大であり、精神文化の問題が解決されていない」¹⁶⁾といったものがある。松永（2005）では、セイヨウオオマルハナバチの野生巣が発見された1996年を振り返って、「当時、農家は使い終わった後の巣箱をハウスの外に放置していた。授粉に精一杯働いたハチの巣には新しい命が宿っている。農家は感謝の気持ちを込め、女王バチや雄バチが巣立つままにしていたのだ」（p. 12）と述べられてい

る。巣箱の処分に関しては農業者を倫理的なジレンマに追いつめることになる。すなわち、将来の生態系への被害と現在の生き物の命の大きさを天秤にかけ、前者に重きを置かなければならない。そして、巣箱の処分は誰にも監視されることなく、段ボールとプラスチックとハチの死骸とに分別され、自治体のゴミ処理方法に従って処分されることになる。

同じ花粉媒介昆虫でもミツバチは養蜂家からのレンタル制であるため、こうした負担は農業者にはない。また、松浦（1993）では、「ヨーロッパでは、受粉作業がハチ販売会社の請負制になっている場合が多いので、ハチの管理や受粉のチェックが行き届いている」（p. 176）と述べられている。日本のように小規模な施設栽培が多数存在する場合は、ヨーロッパのような方法の導入は非現実的であろう。しかしながら、マルハナバチ取扱業者に使用済み巣箱の回収を義務づけることも検討すべきではなからうか。例えば、農協などにその業務を委託すれば実行不可能とは言えない。ただし、そのときには農業者にも使用済み巣箱の回収に協力するインセンティブを与えなければならず、これに対してはデポジット制度の導入が有効な解決策であるかもしれない。

使用済み巣箱の適正処分に関しては法律によって農業者に義務づけられてはいるものの、それが適正に行われているかどうかを監視する制度はなく、実態がどうなっているのか把握されていない。そのため、より適正な巣箱の管理のあり方に関する考察は、逃亡防止用ネットの展張よりも複雑かつ重要な問題であろう。

4. おわりに

本稿では、まず保全生態学および応用昆虫学における既存の文献をたよりに、施設栽培トマトにおいてセイヨウオオマルハナバチが使用されるようになった経緯を整理し、続けて、セイヨウオオマルハナバチが外来生物法の規制対象となる特定外来生物に指定された背景について簡単にまとめた。その後、施設栽培トマトの農業者のインセンティブという観点から、在来種への切り替えと、外来生物法が義務づける逃亡防止用ネットの展張、使用済み巣箱の適正処分について議論した。在来種への切り替えを促進するためには、補助金などが有効な政策であるかもしれない。また、監視がない場合、農業者には逃亡防止用ネットの展張および使用済み巣箱の適正処分のインセンティブはなく、生態系への被害に対する予防の効果はない可能性がある。

ただし、これらに関するより具体的な議論は詳細なデータに基づいて行う必要がある。

2006年9月に、セイヨウオオマルハナバチが特定外来生物に指定され、外来生物法の規制の対象となった。この指定にあたっては、既存の農業技術を前提とした農業生産の効率性を維持しながら、生物多様性を保全しなければならない、この両立が問題とされた。しかしながら、現状では前者が優先されており、生態系への被害が完全に予防されているとは言えない。こうした点を踏まえた上で、どのような制度設計が望ましいかに関する検討において、経済学が果たす役割は大きいと考えられる。

注

- 1) 外来生物法第2条3項に基づいて、学識経験者の議論の場として、特定外来生物等専門家会合の下に設置された昆虫類グループ会合の下にさらにセイヨウオオマルハナバチ小グループ会合が、環境省により設置され、2004年11月から2005年12月にかけて7回この会合が開催された。そのうち4回までの議論については庭瀬（2005）に要約されている。
- 2) 「特定外来生物被害防止基本方針」では、「特定外来生物の選定に当たっては、原則として生態系等に係る被害の防止を第一義に、外来生物の生態的特性や被害に係る現在の科学的知見の現状、適正な執行体制の確保、社会的に積極的な役割を果たしている外来生物に係る代替物の入手可能性など特定外来生物の指定に伴う社会的・経済的影響も考慮し、随時選定していくものとする」とされている。社会経済的影響が考慮されている極端な例として、アメリカザリガニが挙げられる。詳細については、藤田（2006）を参照。
- 3) 松永（2004）において、「昨年、外来生物被害防止法案の検討が始まり、トマト産地の農協などはセイヨウオオマルハナバチを特定外来生物に指定しないように、環境省や国会に意見書などを提出した」（p. 17）と述べられていることから、セイヨウオオマルハナバチの使用禁止がトマト産地に与える影響は大きかったと考えられる。
- 4) 他に、電気振動器を用いて開花花房に振動を与えることで花粉を飛散させる方法もある。この受粉技術はヨーロッパなどでは普及したのに対して、日本ではあまり一般的ではない。
- 5) セイヨウオオマルハナバチの導入プロセスおよび実用化試験等、普及の初期段階については池田・忠内（1992）と岩崎（1995）が詳しい。また、施設栽培トマトにおけるセイヨウオオマルハナバチの普及のプロセスの詳細については、光畑（2000）を参照。
- 6) 日本の施設栽培トマトにおける普及率については、小野（1994）およびマルハナバチ普及会（2004）を参照。一方、松浦（1993）において、「1992年には、北ヨーロッパを中心に20か国を越える3,500ha以上で利用され、トマトの場合、国によっては栽培面積のほぼ100%に達している」（p. 173）と述べられているように、この農業技術はヨーロッパでは急速に普及した。
- 7) 松浦（1993）では、空洞果の減少、食味の向上、ビタミンCの含有量の増加、着果率の向上、ホルモン過剰害の回避などといった果実の品質向上や植物生理への好影響が指摘されている。ただし、これらは植物ホルモン剤を噴霧した場合との比較であり、電気振動器の代替技術としてみた場合、品質向上は期待できない。
- 8) 寄生生物の持ち込みに関する生態リスクについては税関での検疫によって予防する方法も考えられるが、それを実現するための法律がないのが実態である。五箇ら（2000）では、「我が国では古くから産業利用されているセイヨウミツバチは家畜とみなされ、「家畜伝染病予防法」によって、病原菌や寄生性ダニ等の持ち込みは厳しく制限されている。しかし、セイヨウオオマルハナバチを含む、多くの生物資材に関しては、何ら検疫に関わる法的規制はない」（p. 47）と述べられている。
- 9) 逃亡防止用ネットの展張コストは施設の形状によりさまざまである。国武・五箇（2006）では、「例えば、トマトハウスへのネット展張コストは10a当たり約10万円かかる（全国農業協同組合連合会）。また自力での展張が困難な高齢化した農家では、業者に依頼するための費用も加算される」（p. 197）とされている。
- 10) 池田（2000）でも同様の記述がみられるが、そこでは生態系への悪影響の過大評価が問題視されており、これらの論調とは異なる。
- 11) 例えば、もし花粉媒介昆虫を採用した理由が労働の節約ではなく品質向上にあるのであれば、電気振動器を採用する可能性もある。ただし、施設規模に比較して労働力が不足する場合は、労働節約的技術は不可欠であり、花粉媒介昆虫を使用し続けなければならないかもしれない。
- 12) 五箇・マルハナバチ普及会（2003）および光畑・和田（2005）を参照。クロマルハナバチが北海道で販売されない理由は、北海道はクロマルハナバチがもともと生息していない地域であり、マルハナバチ取扱業者が販売を自主規制しているためである。
- 13) 例えば、光畑・和田（2005）では、「トラマルハナバチ（*B. diversus*）を2001年から2002年にかけて試験的に販売した。しかし、本種はオオマルハナバチ亜種の種と比較すると3倍以上の増殖コストがかかることがわかり、生産を中止している」（p. 308）と述べられており、在来種マルハナバチの増殖コストの高さの一例が示されている。
- 14) 在来種マルハナバチを使用する場合は、セイヨウオオマルハナバチを使用するために必要な許可申請書類を作成する必要はなく、また、使用済み巣箱の適正処分も義務づけられない。そのため、在来種に切り替えることにより、これらに必要なコスト負担は回避できる。
- 15) 藤田ら（2007）は「セイヨウは価格競争に陥り、ビジネスのうまみがない」（p. 48）というマルハナバチ取扱業者の言葉を引用し、マルハナバチ取扱業者間における価格競争によるセイヨウオオマルハナバチの価格低下を指摘している。日本国内で販売されているセイヨウオオマルハナバチのほとんどはヨーロッパから輸入されていることから、この事業への参入障壁と撤退障壁は低いはずである。この状況では正の利潤が獲得できる限り新規参入が起こるため、既存の取扱業者が参入を排除するために価格を下げている可能性が考えられる。
- 16) 環境省による「特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律施行令の一部を改正する政令」について」と題された2006年7月14日付の報道発表資料の添付資料2「特定外来生物の指定対象等に係るパブリックコメントの意見の概要と対応の考え方」（http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=8290&hou_id=7334）を参照。

参考文献

池田二三高（2000）「外来生物の定着の現状と問題点を考える」『バ

- イオコントロール』第4巻第2号、pp. 29-34。
- 池田二三高・忠内雄次（1992）「わが国へのツチマルハナバチの導入経緯と果菜類のポリネーターとしての実用性」『農業および園芸』第67巻第11号、pp. 1213-1216。
- 岩崎正男（1995）「日本へのマルハナバチ利用技術の導入」『ミツバチ科学』第16巻第1号、pp. 17-23。
- 岡敏弘（2006）『環境経済学』岩波書店。
- 小野正人（1994）「マルハナバチの利用—その現状と将来—」『ミツバチ科学』第15巻第3号、pp. 107-114。
- 小野正人（1996）「日本在来種マルハナバチの実用化に関する研究」『環境研究』第103号、pp. 21-25。
- 加藤真（1993）「セイヨウオオマルハナバチの導入による日本の送粉共生系への影響」『ミツバチ科学』第14巻第3号、pp. 110-117。
- 河野磨美子（2007）「生物多様性に対する国民意識の経済評価分析—外来生物セイヨウオオマルハナバチを例に—」『地球環境学ジャーナル』創刊号、pp. 105-143。
- 国武陽子・五箇公一（2006）「農業用導入昆虫の生態リスク管理と将来展望—セイヨウオオマルハナバチの特定外来生物指定—」『植物防疫』第60巻第4号、pp. 196-198。
- 小出哲哉・山田佳廣・矢部和則・山下文秋（2008）「温室におけるマルハナバチ逃亡防止のためのネット展張技術」『日本応用動物昆虫学会誌』第52巻第1号、pp. 19-26。
- 五箇公一（1998）「侵入生物の在来生物相への影響—セイヨウオオマルハナバチのケース」『国立環境研究所ニュース』第17巻第3号、pp. 7-8。
- 五箇公一・岡部貴美子・丹羽里美・米田昌浩（2000）「輸入されたセイヨウオオマルハナバチのコロニーより検出された内部奇生性ダニとその感染状況」『日本応用動物昆虫学会誌』第44巻第1号、pp. 47-50。
- 五箇公一・マルハナバチ普及会（2003）「マルハナバチ商品化をめぐる生態学的問題のこれまでとこれから」『植物防疫』第57巻第10号、pp. 452-456。
- 庭瀬功（2005）「セイヨウオオマルハナバチに関する「特定外来生物」選定作業の経緯と今後の対応」『施設と園芸』第129号、pp. 47-50。
- 藤田香（2006）「外来種はどこまで排除すべきか？」『日経エコロジー』2006年4月号、pp. 117-119。
- 藤田香（2007）「外来種のハチの規制が本格施行 煩雑な管理にトマト農家が悲鳴」『日経エコロジー』2007年4月号、p. 19。
- 藤田香・馬場未希・山根小雪（2007）「在来種を育てて収益を上げる—道路脇の緑化やハチで業界に先駆ける」『日経エコロジー』2007年10月号、pp. 47-48。
- 松浦誠（1993）「マルハナバチによるトマトの花粉媒介」『植物防疫』第47巻第4号、pp. 173-176。
- 松永和紀（2004）「外来生物の被害防止法が成立 規制種選定で経済利益と衝突も」『日経エコロジー』2004年7月号、pp. 16-17。
- 松永和紀（2005）「マルハナバチに託す部会3代、夢の系譜」『農業経営者』2005年7月号、pp. 9-14。
- マルハナバチ普及会（2004）「日本におけるマルハナバチ利用の現状—その経済効果と現地での取り組みなど—」（第1回 特定外来生物等分類群専門家グループ会合（昆虫類）セイヨウオオマルハナバチ小グループ会合における光畑雅宏氏による説明資料（http://www.env.go.jp/nature/intro/4document/sentei/ins_bombus01/ext02.pdf））。
- 光畑雅宏（2000）「マルハナバチ普及の現場から—ポリネーターとしての利用の現状と将来—」『ミツバチ科学』第21巻第1号、pp. 17-25。
- 光畑雅宏・和田哲夫（2005）「作物受粉における在来種マルハナバチの利用の可能性と課題」『植物防疫』第59巻第7号、pp. 305-309。
- 米田昌浩・土田浩治・五箇公一（2008）「商品マルハナバチの生態リスクと特定外来生物法」『日本応用動物昆虫学会誌』第52巻第2号、pp. 47-62。
- 鷺谷いづみ（1998）「保全生態学からみたセイヨウオオマルハナバチの侵入問題」『日本生態学会誌』第48巻、pp. 73-78。
- 和田哲夫・栗原純（1992）「北ヨーロッパからのマルハナバチの利用」『ミツバチ科学』第13巻第3号、pp. 133-136。
- Heinrich, Bernd（1979）, *Bumblebee Economics*, Cambridge: Harvard University Press（井上民二監訳、加藤真・市野隆雄・角谷岳彦訳（1991）『マルハナバチの経済学』文一総合出版）。
- Thomson, James（1997）, 鷺谷いづみ訳「日本におけるセイヨウオオマルハナバチの野生化についてのコメント」『保全生態学研究』第2巻第1号、pp. 28-35。