

論壇

授粉昆虫マルハナバチの利用技術—過去、現在、そして未来（夢）

小野 正人

玉川大学大学院農学研究科資源生物学専攻 応用動物昆虫科学研究分野

1. はじめに

地球の人口は現在 73 億人に迫ろうとしている。これからも増え続けるとの予測がある「人の口」を満たす食料を確保する方策の一つとして、環境に負荷の少ない「持続可能な食料増産法」の開発が期待されている。いわゆる「環境保全型農業」と銘打って各署に英知が寄せられている中で「昆虫の機能利用」は大変ユニークと言える。化学農薬での殺虫に代えて、標的害虫の天敵を放ってその発生を作物の収量や品質に経済的な損失をもたらさないレベルに制御したり、授粉昆虫を利用して農作業の省力化、秀品率の向上を図ろうというものである。さらにそれらの有用生物を大量増殖、商品化し安全性の高い化学農薬と組み合わせて植物を保護していく「総合的病害虫管理（IPM）」という概念は、宇宙船地球号の船内環境を十分に配慮した食料増産を念頭において人口増加に対応していかなければならない 21 世紀を生きる私たちにとって無視できないものと言えよう。そのような潮流の中で、日本に主に施設栽培作物の授粉用として欧州で商品開発されたセイヨウオオマルハナバチが導入されてから早 24 年が経過した。このハチの利用技術の導入は、主に施設トマトの生産者を植物ホルモン剤の散布などの重労働から解放し、IPM の促進、生産物の秀品率の向上なども加わって瞬く間に日本全国に普及することとなった（図 1）。その一方で、施設から逸出した個体が野外で繁殖し日本の生態系への負のインパクトも問題となっている。本稿では、日本で授粉用マルハナバチの利用が開始されてからの四半世紀を振り返り、将来に向かって取り組むべき課題について考察したい。



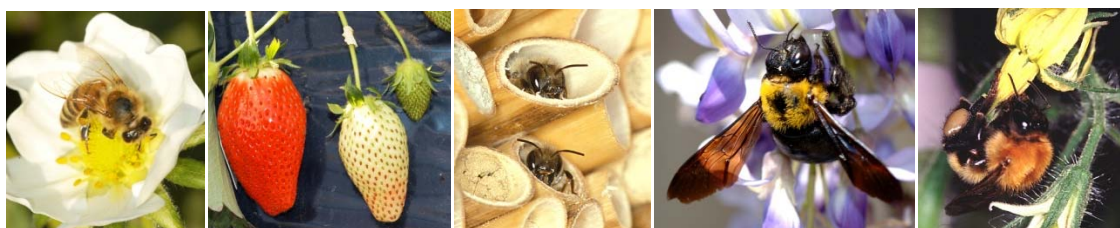
振動採粉する働きバチ トマト温室内の商品巣箱 授粉して実ったトマト（左）

図 1 施設栽培の授粉昆虫として輸入されたセイヨウオオマルハナバチ

2. 適蜂適作物

花をつけて実を結ぶ農作物の中には、その生産工程の中に「授粉」が不可欠なものが多い。米国などの広大な果樹園を営む園主にとって、ポリネータによる送粉は、生産性の維持・向上に無くてはならないものとなっている。事実、授粉によって生み出される農作物の生産効果は、米国だけでも年間50～100億ドルと試算されている。産業動物として養蜂で使われているミツバチの経済効果は、実はハチミツ、ビーワックス、ローヤルゼリーといった直接生産物の100倍以上に及ぶと言われているのである（佐々木,1994）。

一口に授粉昆虫といっても、その中にはミツバチを筆頭に、マルハナバチ、クマバチ、マメコバチなど幾つかのグループがあげられ、各々の中に数種が含まれる場合もある。それらのポリネータたちは、訪れる花の構造、開花時期などとの関係で相性の良い組合せがある。人間社会にも「適材適所」という言葉があるが、ハナバチにもグループに応じて得意とする花（作物）がある。例えば、イチゴの授粉にはミツバチが非常に高いパフォーマンスを発揮する。花上でおしべを中心に毛深い体をくるくると回転させながら花粉を集める過程で均等に授粉が成され、形の良いイチゴの果実ができるのである。日本では、ハウス内で冬季に栽培されるイチゴの授粉にミツバチは欠かせない存在であり、数年前に起きたミツバチ不足の状態の時には、授粉用ミツバチ巣箱の入手ができない栽培農家にとって深刻な問題が提示された。青森県等のリンゴ園では、ミツバチよりも小型なツツハナバチの一種であるマメコバチが珍重される。また、マレーシアなどではトケイソウの仲間のパッションフルーツには、大型のクマバチが授粉に適しているとされている。さらに、花に蜜腺が無い上に、花粉も葯という袋の中に収納されているナス科植物のトマトやナスの授粉には、葯に大顎で噛みついて取り着き、細かな振動を与えて花粉を落として採集する「振動採粉」という行動形質をもつマルハナバチが大貢献しており、各々の目的に応じて使い分けられている（Free, 1993；小野・和田, 1996；図2）。



セイヨウミツバチとイチゴ

マメコバチ

クマバチ

トラマルハナバチ

図2 作物の授粉に利用されるハナバチ類

3. マルハナバチ革命

「振動採粉：Buzz foraging」という行動形質をもち、花を揺らして花粉を集める能力をも有するマルハナバチは、生態系において機能的な送粉者として多くの植物の種子繁殖を通じて遺伝的多様性を維持する担い手となっている。ミツバチの生息できない標高の高山植物のお花畑や白夜のある高緯度地域に分布する多くの植物種がマルハナバチをパートナーとして共進化してきたことは、花の形とマルハナバチの舌長などの対応から強く示唆される（図3）。



図3 米国コロラドロッキーのお花畑とマルハナバチ

欧州ではダーウィンの時代からマルハナバチのもつ高い送粉能力が評価され、1800年代後半に英国からニュージーランドへ船で運ばれた女王バチの子孫が牧草としてのレッドクローバーの種子生産で大活躍しており、同国の経済基盤としての酪農を支える縁の下の力持ちとして認知されている。マメ科植物として有効なレッドクローバーを移入したものの、花の入り口から花蜜腺までの距離が長いこと適するポリネータがおらず、ダーウィンのサジェッションによってマルハナバチの移入も進められ功を奏したのである（小野・和田, 1996；図4）。



図4 レッドクローバーの授粉に活躍するマルハナバチ

このように欧州で約 200 年前から益虫としての認知度が上がっていたマルハナバチであるが、1980 年代の後半になって革命的なことが起こった。セイヨウオオマルハナバチ(*Bombus terrestris*)の生活史を完全に室内で再現するだけでなく大量増殖法の確立が 1987 年ベルギーの de Jonghe 博士によってなされたのである。約 1 世紀かけて熱心な研究者の試行錯誤によって完成されたマルハナバチの飼養化と授粉用巣箱としての商品化については、オランダの Velthuis and van Doorn (2006)の詳細な総説がある。de Jonghe 博士の尽力によって工場内で育てられたコロニーが綺麗なパッケージ巣箱に納められ Biobest 社で施設栽培作物の授粉用として出荷された。その後、ほぼ時を同じくしてオランダ、英国、フランスなど欧州各国を中心にニュージーランドを含めて生産販売を行う会社は急増した (Donovan, 1993 ; 図 5)。



外 観

整然と並ぶ巣箱

室内繁殖

図 5 オランダの授粉用マルハナバチ生産会社(Koppert 社)

世界で約 250 種(Williams による)知られているマルハナバチ属の種の中からこのようにして室内での大量増殖に成功したセイヨウオオマルハナバチ 1 種が商品として世界各国に輸出され、トマトを中心とする施設栽培作物の授粉技術として日の出の勢いで普及していくこととなった。日本には、1991 年 12 月に主に温室トマトの授粉試験用としてベルギーから 14 群が輸入されたのが最初である (岩崎, 1995)。その翌月にあたる 1992 年 1 月には、オランダの Koppert 社製のセイヨウオオマルハナバチの巣箱の輸入が開始され、本格的な使用が始まった。このマルハナバチの機能を活かした技術の普及を目的とした「マルハナバチ利用技術研究会」も発足され 1993 年からの研究は毎回大盛会で生産農家の関心の高さが感じられた。商品化されたセイヨウオオマルハナバチは、温室トマトの生産農家に①労働力の軽減 (従来人手をかけて実施していた植物ホルモン剤処理が不要になる)、②収穫物の品質向上 (授粉させるので種子形成がなされ空洞果が無くなり秀品率が高まる)、③減農薬栽培がなされる (蜂にも影響のある化学農薬の散布が軽減される)、④生物農薬 (天敵) などの利用を併用した IPM が具現化する、などの大きなメリットを提供し、瞬く間に全国に広がっ

た。さらに、その利用対象は、ナス、イチゴ、メロンといった果菜類への展開をみせ、巣箱の生産会社も増加、さらには日本国内でセイヨウオオマルハナバチの増殖・生産に踏み切る企業も現れた。輸入開始後わずか約 10 年間で、日本国内でのセイヨウオオマルハナバチ巣箱の年間利用数は実に 70,000 箱に至っている(Goka, 2010)。世界的にみれば、ベルギーやオランダの主要な生物産業関連企業で生産された授粉用の巣箱が各国に輸出されて、例えばスペインのトマト生産など施設栽培の農作物生産にその利用技術が大貢献しており、その総生産数は数十万箱を越えているのではないかと思われる。地球人口の急増に応じた食料生産を IPM を基盤とする持続可能な施策で実行しなければならない 21 世紀の農学的課題の中で、この授粉用巣箱の大量生産法の発明はまさに「マルハナバチ革命」といえるのではないだろうか。

4. 農業への恩恵 vs.生態系へのリスク

1990 年代に入り、日本で「環境保全型農業」を基軸とした新しい政策としての「マルハナバチ利用技術」が注目され始めたとき、生態学的見地から日本に土着しないセイヨウオオマルハナバチを移入して授粉に使用することに対する危惧が指摘された(加藤, 1993)。1993 年には、日本昆虫学会、日本応用動物昆虫学会、日本生態学会の大会会期中に、農業の目的で輸入されたセイヨウオオマルハナバチが日本の生態系に侵入して定着した際に想定される様々な懸念からその導入について異を唱える文書が配布されたほどである。一方、世界的なマルハナバチブームの中、北米やカナダでは、欧州産のセイヨウオオマルハナバチの輸入を禁じ、在来種の増殖と商品化を行う方策をとった(図 6)。



カナダ西部のトマト温室で使用される *B. terricola*

東部の *B. impatiens*

図 6 西部と東部で各々の在来種マルハナバチを商品化し使い分けるカナダ

日本には在来種マルハナバチとして 15 種とそれらの亜種が分布している(小野・和田, 1996; 鷲谷ら, 1997; 木野田ら, 2013)。著者は、落合弘典氏や片山栄

助博士の協力を得ながら 1988 年より日本在来種マルハナバチの室内周年飼育法の確立とその飼育技術を使った真社会性ハナバチ研究を深化させるプロジェクトを開始していた。そのタイミングが、セイヨウオオマルハナバチの輸入が本格的に始まろうとしていた時とも重なり、京都大学の故井上民二博士、筑波大学の鷺谷いづみ博士を始め様々な方々からコンタクトを受けることとなった。1995～1997年度の3年間には科学研究費補助金を受けて本格的に日本産マルハナバチの周年飼育法の確立とその花粉媒介への利用に関する研究」に取り組み、前述の日本在来種の内、11種について室内飼育を試み、9種で生殖個体（新女王とオス）の誕生に成功した（小野, 1998）。その中からセイヨウオオマルハナバチと同じ *Bombus* 亜属に含まれるクロマルハナバチ(*B. ignitus*)とオオマルハナバチ(*B. hypocrita*)の2種に注目し、実験室内で育てたコロニーをトマト温室に導入して授粉能力も高いことを確認した(小野, 1996; Asada and Ono, 1996)。日本で授粉用マルハナバチの販売に関わる主要な企業、農林水産省との産官学の在来種実用化を目指しての事業も始まり大きな転機が起こりつつあった。しかし、セイヨウオオマルハナバチの温室からの逸失と生態系への侵入についての時間は止めることが叶わず、1995年6月には北海道の野外で導入種の女王バチが捕獲され、その翌年には民家の床下で成熟巣も採集されるという深刻な事態が起こってしまった（小野, 1998；図7）。セイヨウオオマルハナバチのもたらすリスクとして、①日本在来種が抵抗性をもたない天敵の導入、②日本産近縁種との交雑、③巣の乗っ取り、④餌資源、営巣場所資源を巡っての競合、などの問題を挙げ、②と③については、室内実験でそれが起こる事を確認した(Ono, 1997；図8)。日本産マルハナバチの女王を刺殺して巣を乗っ取るセイヨウオオマルハナバチ女王の高い攻撃性や日本産の新女王に交尾する欧州産のオスの行動はセンセーショナルであり、1996と1997の2年間だけでもテレビ(NHKなど)、新聞社(朝日、読売、毎日、北海道など)、各種雑誌など合計40回以上のマスコミ関係者からの取材が繰り返され、大きな注目を集めた（小野, 1998）。

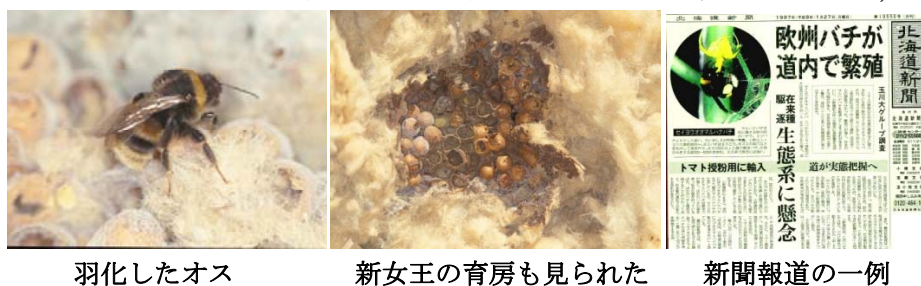


図7 1996年に北海道でセイヨウオオマルハナバチの野生巣が発見



巢を乗っ取る欧州産女王（右）

在来種の女王と交尾する欧州産のオス(右)

図8 セイヨウオオマルハナが日本在来種に与える負のインパクト

このように農業生産の向上の目的で日本に輸入された授粉用セイヨウオオマルハナバチが、日本の生態系に侵入して引き起こす負のインパクトの問題も含めて、「環境保全型農業と生物多様性の保全」を包括的に捉えた時に大学関係者だけが主体的に研究活動していくことへの限界を感じ始めていたおり、大きな好機が訪れた。1997年に北海道大学で開催された日本生態学会の第44回大会において「セイヨウオオマルハナバチの帰化問題を考える」と題したシンポジウムが開催され、著者自身もパネリストの一人として討論を展開した時のことである（浅田・小野, 1997）。その会場に国立環境研究所の五箇公一博士がおられ、事の重大さと問題点を共有してくれたのである。

五箇博士は、大会後に間をおかずに玉川大学を訪れ、日本在来種マルハナバチの飼育状況をご覧になり、この問題の解決に向けての意見交換を交わすことができた。その後、彼が研究代表者となり環境省、農林水産省、日本のマルハナバチ関連企業、大学、さらにはトマトなどの生産者を含めた総合的な見地から研究プロジェクトが計画された。このプロジェクトの進め方が優れていたのは、第一次産業を支える生産現場へ研究者が赴いて議論を重ねた事と、様々な外来生物がもたらす生物多様性に対する負のインパクトに論点を広げ、セイヨウオオマルハナバチ問題を全体の中の一つのモデルケースとして扱った事ではなかったかを感じている。この研究プロジェクトでは、海外の著名な研究者を招いての国際ワークショップ開催の他、多くのポスドクが大活躍して各々研究成果をあげられ、事後には大学などにポストを得た者も多く、若手研究者のキャリアパス形成としても機能した。誌面の関係で詳細には述べきれないが、日

本応用動物昆虫学会の英文誌（第 45 巻 1 号）にも研究成果の特集が生まれ、11 編もの論文が掲載されている(Goka, 2010 ; 他)。

5. 外来生物法による規制

商品化されたセイヨウオオマルハナバチのパッケージは、農作物の授粉という農業面においては卓越した生物資材となったが、日本のようにその種が分布していない地域に導入され、逃げ出して侵入種化した時には受け手となる生態系にとっては驚異となる。特にセイヨウオオマルハナバチと生態的地位が似ている在来種にとっては、競争が激化し最悪の場合には絶滅のリスクさえも危惧されている。日本在来種マルハナバチがいなくなれば、それとパートナーシップを結んで共進化してきた植物の繁殖にも悪影響は避けられないと考えられ、保全生態学的にも大きな問題となる（鷲谷, 1998）。イスラエルでは、導入されたセイヨウオオマルハナバチの帰化蔓延化に伴い、競争に負けた在来種の衰退が起きているとの報告がある（Dafni and Shimida, 1996）。

これまでも生物の人為的な移入により、生態系に大きな負のインパクトが与えられた例は枚挙に暇が無い。2005 年になって日本政府は、「特定外来生物による生態系、人の生命・身体、農林水産業への被害を防止し、生物の多様性の確保、人の生命・身体の保護、農林水産業の健全な発展に寄与することを通じて、国民生活の安定向上に資すること」を目的とした新しい法律として「外来生物法：Invasive Alien Species Act」を制定した。その法律の中で、「特定外来生物」とは、外来生物（海外起源の外来種）であって、生態系、人の生命・身体、農林水産業へ被害を及ぼすもの、又は及ぼすおそれがあるものの中から指定される、とあり、それに指定された外来生物の輸入、移動、飼育に法的規制がかけられることになったのである。アライグマなどの哺乳類から、鳥類、ハ虫類、両生類…植物と広きに亘る生物群に特定外来生物が認められるが、昆虫類としてセイヨウオオマルハナバチは 2006 年 9 月 1 日に指定され、その授粉巣箱の使用にも規制が加えられるようになった。

6. 生態系に優しい在来種の利用

このような状況の中で日本の関連企業の努力の成果として、1996 年から日本在来種であるクロマルハナバチが商品化された（図 9）。現在では、授粉用マルハナバチを商品とするほとんどの企業で、クロマルハナバチを扱っておりセイヨウオオマルハナバチの特定外来生物指定に伴って在来種利用へと切り替わっていくことが期待されている。その一方で、同じ日本国内に分布する在来種であっても地理的な遺伝的固有性がある可能性も指摘され、また工場内で大量増殖された個体群の遺伝的変異性の低さなどの懸念もあり、野外に放任して使用

することについては、慎重であるべきとの考えが強い。工場内で養殖された個体群の遺伝子が野生の地域個体群に流れ込むリスクを防止するという法の枠にとらわれない配慮も求められているのである。在来種の遺伝子分析についても既にいくつかの知見があるが、さらなる検討が必要である (Shao *et al.*, 2004)。



室内での交尾

営巣を開始した女王

トマトで振動採粉

図9 商品化に成功した日本在来種クロマルハナバチ

7. 解決しなければならない問題

前項で述べた問題の他にもう一つ越えなければならない大きな壁がある。国内でも有数のトマトの産地をもつ北海道には、クロマルハナバチが分布していないのである。そのため、日本在来種マルハナバチの商品と言っても、クロマルハナバチの北海道への導入には国内移入上での生態学的問題が出てしまうのである。その解決のためには、北海道士着種の商品化が是非とも必要といえる。著者らは、セイヨウオオマルハナバチやクロマルハナバチとも同じ亜属のエゾオオマルハナバチ (*B. hypocrita sapporoensis*) に着目しているが、大量増殖の要となる新女王の生産性が極めて低く、それを高める飼育法の改良が必須の状態である。現在も、幾つかの企業や研究機関でこの問題の解決に心血を注いでいる。いつの日かエゾオオマルハナバチの商品化の夢が叶えば、外来生物法の規制のもとで使用されているセイヨウオオマルハナバチの使用を止め、完全に日本在来種マルハナバチで施設作物の授粉を賄える日が到来するかもしれない。



室内での人工飼育

振動採粉する働きバチ

図10 商品化が羨望されるエゾオオマルハナバチ

このような環境に配慮した食料の生産には、相応のコストがかかり、それが生産物の価格に反映されてしまう事は否めない。生産コストを抑える企業努力は期待したいが、生態系に配慮した持続可能な 21 世紀型農業への負担に歩み寄る消費者意識の改革も求められているのではないかと感じられる(小野, 2000)。

中国の故事成句の一つに「飲水思源」がある。喉が渇いて井戸の水を飲む時に、苦勞してその井戸を掘った人のことを思え」という意味の教訓である(小野, 2010)。安全で安心して口にできる美味しい農作物を手にした時に、その実りに貢献したポリネータに思いを馳せる日本人でありたいものである。

8. 引用文献

Asada, S. and M. Ono (1996) Crop pollination by Japanese bumblebees, *Bombus* spp. (Hymenoptera: Apidae) Tomato foraging behavior and pollination efficiency. *Appl. Entomol. Zool.* 31:581-586.

浅田真一・小野正人(1997)セイヨウオオマルハナバチを取り巻く諸問題の解決に向けて. 保全生態学研究 2 : 105-113.

Dafni, A. and A. Shimida (1996) The possible ecological implications of the invasion *Bombus terrestris* (L.) (Apidae) at Mt. Camel Israel. In *The Conservation of Bees* (eds. A. Matheson et al.). IBRA and Academic Press, London, UK. pp.183-200.

Donovan, B. J. (1993)ニュージーランドにおける輸入マルハナバチの歴史と利用. ミツバチ科学 14 : 145-152.

Free, J. B. (1993) *Insect Pollination of Crops*, 2nd Edition. Academic Press, London. 684 pp.

Goka, K. (2010) Special Feature for Ecological Risk Assessment of Introduced Bumblebees. *Appl. Entomol. Zool.* 45: 1-87.

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 16 : 17-23.

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 14 : 110-114.

木野田君公・高見澤今朝雄・伊藤誠夫 (2013) 日本産マルハナバチ図鑑. 北海道大学出版会, 札幌. 191pp.

小野正人(1994)マルハナバチの利用ーその現状と将来ー. ミツバチ科学 15 : 107-114.

小野正人(1996)第 23 回環境賞 (優良賞) 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 103 : 21-25.

Ono, M. (1997) Ecological implication of introduced *Bombus terrestris*, and significance of domestication of Japanese native bumblebees (*Bombus* spp.). Proc. International Workshop on Biological Invasions of Ecosystem by Pests and Beneficial Organisms. NIAES, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan, Tsukuba, Japan. pp. 244-252.

小野正人企画(1998) 特集・外来生物と生物多様性の危機. 遺伝 52 (5).

小野正人企画(1998) 特集・マルハナバチ. 昆虫と自然 33 (6).

小野正人(1998) 日本産マルハナバチ類の周年飼育法の確立とその花粉媒介への利用に関する研究 (課題番号 07556018). 平成 9 年度科学研究費補助金「基盤研究(A)(2)」研究成果報告書, 48 pp.

小野正人(2000) 日本在来種マルハナバチの実用化. 暮らしと農業 14 : 46-49.

小野正人企画(2010) 特集・ポリネータ昆虫. 昆虫と自然 45 (8).

小野正人・和田哲夫 (1996) マルハナバチの世界ーその生物学的基礎と応用ー. 社団法人 日本植物防疫協会, 東京. 132 pp.

佐々木 正己 (1994) 昆虫の利用科学シリーズ 5 「養蜂の科学」.サイエンスハウス, 東京. 159 pp.

Shao, Z.-Y., H.-X Mao, W.-J. Fu, M. Ono, D.-S. Wang, M. Bonizzoni and Y. -P. Zhang (2004) Genetic structure of Asian populations of *Bombus ignitus* (Hymenoptera: Apidae). J. Heredity 95:46-52.

Velthuis, H. H. W. and A. van Doorn (2006) A century of advances in bumblebee domestication and the economic and environmental aspects of

its commercialization for pollination. *Apidologie* 37: 421-451.

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 48: 73-78.

鷺谷いづみ・鈴木和雄・加藤真・小野正人(1997) マルハナバチ・ハンドブック
ー野山の花とのパートナーシップを知るためにー. 文一総合出版,東京. 49 pp.

Williams, P.H. <http://www.nhm.ac.uk/research-curation/research/projects/bombus/>