

益虫の機能を伸ばす研究が  
人類に22世紀の美しい景色を見せてくれる!?



小野正人 研究室

研究内容

昭和24(1949)年4月1日、全国一斉に新制大学が発足し玉川大学においては農学部の充実が図られた。その機に学校法人玉川学園の創立者小原國芳先生に乞われ、教授として赴任した岡田一次博士により、玉川の丘の昆虫学研究室は産声をあげた。以来70年以上の歴史が流れている。本学に着任した岡田教授は、農学部昆虫学研究室において、旧7帝大などの農学部では既に行われていた「害虫を叩く(害虫防除)研究」ではなく、逆サイドの「益虫を伸ばす(機能利用)研究」に着眼された。当時、益虫と言えば「カイコ」であったが、先見の明をもって日本ではほとんど注目されていなかった「ミツバチ」の総合的研究(後にスズメバチ、マルハナバチなど関連の昆虫も包括してミツバチ科学と称される)に着手されたのである(図1)。以来一貫して益虫を伸ばす研究が、後継者たちにより受け継がれている。岡田教授はいつも「Study nature, not books!」と生前ハーバー

ド大学で教壇に立たれた故アガシー教授の言葉を引用し、自然界で生活するありのままの生物の姿を観る実物学修を最重要視され、その伝統が今も息づいている。昭和52(1977)年に大学院農学研究科修士課程、その2年後(1979)に博士課程が設置され、現在に至るまでに昆虫学関連で69名の修士号、23名の博士号取得者を輩出し、人材養成へも尽力してきた。

以上の長年に亘る経緯の中で、日本における唯一のミツバチ科学の総合研究・教育機関として、その地位は揺るぎないものとなっている。近年の主な研究業績などを挙げれば、次のようになる。

1. 捕食者-被食者間の相互作用に関する研究

真社会性ハチ類は、巨大な血縁集団を生存の基本単位(超個体)としている。そのシステムは効率の良い「採餌戦略」によって支えられている。1頭の働き蜂にとって問題なのは、個体の飢えではなく、コロニー全体の飢えであり、巣内の膨大な数の幼虫や内勤蜂といった血縁



図1. 温室イチゴの授粉に必須のミツバチ



図2. ニホンミツバチの対オオスズメバチ熱殺蜂球 (右は、その赤外線画像)

者(同祖遺伝子の共有者)の食料の確保をも担っている。餌集めのための超高感度センサーと収穫物を運搬するための洗練された形態を備えている。しかしその反面、コロニーは栄養の塊と化し、様々な天敵からの強力な捕食圧にさらされる結果を招いているのも事実である。そのような状況の中で、被食者側に進化した「防衛戦略」の仕組みを総合的に明らかにすることは大変興味深い。

私たちは、ニホンミツバチが、捕食者オオスズメバチに対して示す「熱殺蜂球」を発見した(Ono *et al.* 1995, *Nature*)。オオスズメバチは8月も半ばを過ぎ、コロニーが大きく成長し巣内で育てられる幼虫の数が急増すると多量のタンパク質源を効率良く集めるために他の社会性ハチ類の巣を集団攻撃する。その端緒は、ミツバチなどの巣を見つけた一匹のスカウト蜂による「餌場マークフェロモン」による匂い付けで、近くで餌の探索をしていた仲間が集まると巣箱の前に陣取り、反撃するミツバチを徹底的に噛み殺す。欧州からの導入種セイヨウミツバチのコロニーは、例え2、3万匹もの働き蜂を擁していたとしても、僅か30匹のオオスズメバチの集団攻撃により、2、3時間で全滅に追い込まれてしまう。ところが、在来種のニホンミツバチは、単独でこの同所性の天敵に抵抗することはなく「餌場マークフェロモン」を傍受し、最初の一匹のスカウト蜂を巧みに巣内に誘い込む戦術をとる。巣門の内側では多数の働き蜂が、待ち伏せしており、侵入してきたオオスズメバチに一斉に飛びかかって、団子状に封じ込めてしまう。その際に毒針は使わずに「蜂球」内の温度を急上昇させて捕食者を熱殺してしまうのである。オオスズメバチは45°Cで死んでしまうが、蜂球の中心温度は48°Cに至ることもある(図2)。変温動物である昆虫が、体温を上げて天敵を撃退す

る防衛戦略を進化させていたという点とその行動に係わる化学物質の介在は世界の研究者の注目を浴び、プレスリリースがかかると国内外の多くのマスメディアからの取材オファーが殺到した。

その後、東京大学大学院理学系研究科との共同研究により、熱殺蜂球を形成している働き蜂が46°Cに暴露されると脳のキノコ体にあるケニオン細胞内で高温情報に対して即時応答する遺伝子(*Ackakusei*)が発現し、興奮を治め胸部飛翔筋での発熱が止まるという、いわばサーモスタット機能を担う分子機構の存在も示唆された(Ugajin *et al.* 2012, *PLoS One*)。熱殺蜂球に参加する働き蜂は、余命が少ない老齢であることも判明した。それに参加するともし生き残っても余命がさらに1/4程度に縮まってしまうハイリスクな行動であることも明らかになった。加えて、熱殺蜂球に参加経験のある働き蜂が2度目以降のスズメバチへの対応に率先して向かう傾向があることも確かめられ、ミツバチ社会の合理性が浮き彫りになった(Yamaguchi *et al.* 2018, *Behav. Ecol. Sociobiol.*)。ごく最近の成果として、東北大学大学院生命科学科とのRNA-seq解析を用いた共同研究により、働き蜂が46°C下におかれると、ロドプシン様遺伝子が発現していることも確認された。それにより高温を感じなくなってしまうことで、熱殺蜂球の中で働き蜂が暑さから逃げずにじっと耐えられているのではないかという興味深い考察がなされている(Kamioka *et al.* 2022, *BMC Ecol. Evol.*)。

オオスズメバチのフェロモンをカイロモンとして機能させ、防衛につなげる戦略は、食われる側の小型のスズメバチ類やアシナガバチ類にも認められ、中心的な研究課題として、現在も詳しい解析が続けられている。



図3. オオスズメバチの警報フェロモンの生物検定：合成したフェロモン成分を塗布した濾紙（左）とそれに反応して土中の巣内から噴き出してきた働き蜂

## 2. スズメバチの情報化学物質に関する研究

スズメバチを中心とするハチ類の刺害により、日本だけで毎年十数名もの尊い命が失われている（1984年には73名/年）。私はもう40年間もスズメバチと付き合ってきたが、スズメバチの巣に近づき門番の蜂に刺激を与え、その蜂が毒液を噴射すると多数の蜂が巣内からスクランブル発進してきて周辺が緊迫する状況に急変してしまうことを幾度となく経験していた。この経験より、蜂毒の中に巣仲間以外敵の襲来を知らせる「警報フェロモン」が含まれているのではないかと気づいていた。一方、国際的には蜂毒に含まれる酵素、ペプチド、生体アミンなどの高分子生理活性物質の研究は進められていたものの、揮発性生理活性物質の研究はほとんど手つかずの状態であった。そこで、日本産のスズメバチ属7種の毒液中から揮発する成分を固相マイクロ抽出法（SPME）で捕集して、ガスクロマトグラフ質量分析装置で解析した。その結果、多様なアルコール、エステル、ケトンなどの成分が同定でき、そのほとんどが私たちの身近な日用品や食料品の中にも含まれる物と極似するものであることも分かった。オオスズメバチの場合には、2-ペンタノール、イソアミルアルコール、イソ吉草酸 2-ペンチルという3種類の物質の混合物が警報フェロモンの活性の本体であることが突き止められ、ネイチャーに掲載された（Ono *et al.* 2003, Nature, 図3）。この毒液に含まれる複数成分系の警報フェロモンを構成する個々の揮発性香り成分は、食品や日用品にも含まれている可能性が高い事も指摘し、一般の人々や製造業者にも情報共有を図ることで、刺害リスク軽減の一助となり、社会貢献に資する昆虫学の研究成果として国際的に高い評価を得た。この他にも、

発酵糖液から発散するスズメバチ類の誘引物質や逆に忌避的に作用する物質の探索などの研究も行われている。スズメバチ類の刺針は巣の防衛に使われるので、カヤブユと異なり全く針を使わなくとも生存して行くことができる。スズメバチを情報化学物質で管理して、刺害のリスクを減らすことで、多くの農林害虫を捕食するという良い面を引き出すことができ、化学農薬の使用削減にもつながる天敵を利用した植物保護策の1つになる可能性がある。

## 3. 日本在来種マルハナバチの機能利用に関する研究

自然界におけるマルハナバチの送粉能力の高さは、ダーウィンの時代より注目されていた。牧草レッドクローバーの授粉はもちろんのこと、数多くの植物がマルハナバチと共生関係にあることが指摘され、生態系における「キーストーン」的な存在となっている。そのようなマルハナバチを農作物の授粉に活用しようという流れが、欧州を中心に始まった。そして、1987年ベルギーでセイヨウオオマルハナバチの大量増殖法が開発され、商品化された授粉用コロニーが流通するようになると、瞬く間に欧州で施設トマトの授粉技術として活用されるようになった。日本にも1991年から輸入が始まり、2005年には年間7万箱が利用されるに至っている。

その外来マルハナバチの日本向け輸入が開始された当初から、施設内から逃げ出して定着した場合に起こりうる生態リスクを危惧して、日本在来種マルハナバチの実用化とその適切な利用法の確立の必要性を唱え、神奈川県農業総合研究所、関連企業、管轄省庁と課題解決に向けて取り組んできた（Asada and Ono 2000, Appl. Ent.



図4. 日本在来種マルハナバチの実用化研究：トマトに訪花するクロマルハナバチ（左）と室内で成長するコロニー

Zool.)。2004年環境省により外来生物法が施行され、2006年にはセイヨウオオマルハナバチも特定外来生物に指定されることになった。このような状況の中で、減農薬栽培、労力削減、生産物の秀品率向上といった恩恵を農業生産の現場にもたらすマルハナバチの機能利用技術の安定化のために日本在来種の実用化が羨望された。企業との共同研究が続き、日本在来種マルハナバチの中から大量増産に適合する種としてクロマルハナバチを選抜し、授粉用巣箱の商品化が達成された。現在では、日本の多くの施設栽培農家に利用されている（図4）。今後は、日本在来種マルハナバチの地域個体群の遺伝的固有性の問題など保全生態学的な面も考慮したきめ細やかな検討もなされることが期待されている。

#### 4. 社会貢献

日本学術会議第二部農学委員会に置かれた応用昆虫学分科会の委員長として、提言「衛生害虫による被害抑制をめざす衛生動物学の教育研究の強化」を2019年4月9日に食料科学委員会獣医学分科会および基礎医学委員会病原体分科会と合同で発出した。社会のグローバル化が進む中で、人の移動に伴う感染症の蔓延、温暖化に伴う病原体を媒介する昆虫類の分布拡大、都市の空き家などにも営巣域を広げるスズメバチ類への対策などを俯瞰的にまとめた時宜を得た提言として評価を得ている。

一般社団法人日本応用動物昆虫学会の代表理事(会長)として、地球人口の急増に伴う将来の食料危機や環境問題などの解決における応用昆虫学の役割についての学術交流の場を創造している。学会賞、論文賞、英語プレゼンテーションアワードなど奨励制度や日本農学賞の選考

など学会関係者と協力した事業展開を図っている。

昆虫学関連の17学協会が加盟する日本昆虫科学連合の代表として、日本学術会議と共催の公開シンポジウムの運営、第27回国際昆虫学会議（ICE, 2024 Kyoto）組織委員会の設置と運営などを担い、国内外との協働体制を維持している。特に2024年8月25日～30日に国立京都国際会館で開催されることが決定したICE, 2024 Kyotoは、全世界から昆虫学関連の研究者が集う最大規模の学術集会であり、組織委員会の委員長として準備に尽力している（図5）。

様々な市民講座、イベント、テレビ出演などを通じた研究成果を啓蒙するアウトリーチ活動にも積極的に関わっている（図6）。アウトリーチ活動を通じて、小さな子供からお年寄りまで、幅広い属性の方々に多様性と



図5. 第27回国際昆虫学会議のロゴとテーマ



図6. マスメディアに出演してのアウトリーチ活動



図7. 研究・学修活動の一コマ



図8. 故ウィルソン教授と昆虫と人類の未来を語る

協調性により、私たち人類が地球上に現れる遥か以前より息づいてきた昆虫類の素晴らしさを分かり易く伝える意義を感じている。

研究室創設以来、一貫して取り組まれてきた「益虫を伸ばす研究」は、今日では多くの大学や研究機関で盛んに取り組まれるようになってきている。私たちの研究室では、真社会性ハチ類のもつ卓越した機能を解明し、それを支える原動力ともなっている情報伝達の仕組みに係わる情

報化学物質群の解析を通じて、人々の生活の様々な場面に、彼らを応用することを念頭においた研究を展開していきたいと考えている(図7)。ミツバチ、マルハナバチ、スズメバチ、アシナガバチといった昆虫には、まだまだ未知の機能が秘められている。宝の山と分かっているものの発掘作業には、時間や経費が掛かる。しかし、その地道な研究の延長線上に、将来の私たちが待ち望んでいるものがある以上、学生たちとともにその「夢」を追いかけて行きたいと考えている。

あと約80年を残した21世紀を人類が全うして、22世紀を迎えられるかは、今を生きる私たちの「生き方、考え方」にかかっていると看做しても過言ではない。無事に22世紀に入り、未来人たちが過去を振り返る時、今を生きる私たちが昆虫の獲得した素晴らしい機能を取り入れたなら、それを評価し感謝してくれるかもしれないと真面目に考えている(図8)。

### 略歴

1988年3月玉川大学大学院農学研究科博士課程修了(農学博士)、同年4月玉川大学助手、以後講師、助教授を経て、2005年玉川大学教授。2013～2019年玉川大学農学部長/大学院農学研究科長/農産研究センター長、2019年～現在 玉川大学学術研究所長、2013年～現在 学校法人玉川学園評議員、

1998～1999年カナダ国サイモンフレーザー大学理学部客員研究員、2006～2016年神奈川県環境影響評価審査会委員、2013～2015年日本昆虫学会副会長、2014～現在日本学術会議連携会員、2015年～現在社会福祉法人こどもの国協会評議員、2017年～現在日本学術会議農学委員会応用昆虫学分科会委員長、2019～2020年一般社団法人日本応用動物昆虫学会副会長(代表理事)、2020年～現在 第27回国際昆虫学会議組織委員会(議長/委員長)、2021年～現在一般社団法人日本応用動物昆虫学会長(代表理事)、2021年～現在日本昆虫科学連合代表

### 受賞

1990年井上研究奨励賞、1996年環境賞優良賞、2004年日本応用動物昆虫学会学会賞、2022年日本昆虫学会論文賞