



## アジア熱帯地域における送粉昆虫の 現状と課題について

宮永 龍一

### はじめに

花粉媒介に基づく被子植物と昆虫との関係、すなわち「送粉系」は、陸上生態系における重要な相互作用系の1つであり (Kearns *et al.* 1998)、送粉昆虫は被子植物を中心とした生物多様性および景観構造の維持に関して鍵となる重要な役割・機能を担っているものと考えられている (Senapathi *et al.* 2016)。われわれ人間の生活についてみれば、作物生産の多くは送粉系のもとで成り立っており、送粉昆虫の維持・管理は経済活動においても重要である (IPBES 2016)。その一方で、生態系の人的攪乱に伴う生物多様性の喪失により、近年では世界各地で送粉系の衰退が指摘され、大きな社会問題となっている (多田内 2020)。このような状況のもと、2000年にケニアで開催された生物多様性条約第5回締結国会議では、送粉者の多様性保全と回復、持続可能な利用に向けて「国際送粉者イニシアティブ (International Initiative for the Conservation and Sustainable Use of Pollinators : IPI)」が設立され、送粉者保護の行動計画が示された。さらに第14回締結国会議では「国際送粉者イニシアティブ行動計画 2018-2030 (The International Pollinator Initiative Plan of action 2018-2030)」が採択

MIYANAGA Ryoichi : A Review of Pollination Studies in Tropical Asia.

され、国連食糧農業機関 (FAO) の主導のもとで、送粉者保護の取り組みが加速化されることとなった。

アジア熱帯地域では 380 種あまりの商品作物が栽培されているが (Roubik 1995)、それらの送粉昆虫に関する基本的な情報は不足している (Warrit *et al.* 2023)。また、上記のように送粉系の衰退には人為的攪乱が影響しているというが、その実態には不明な点が多く (Ghazoul 2005)、長期的なモニタリングを通して地域の送粉昆虫に関する知見を集積することが求められている。本稿では、送粉昆虫の中でもとくに重要とされる野生ハナバチ類に注目し、アジア熱帯地域における現状と課題について紹介する。

### 1. 送粉者としてのハナバチ

ハナバチ類は花粉と花蜜を餌として利用するミツバチ上科の一群である。南極を除くすべての大陸に分布しており、これまで世界で7科およそ2万2000種あまりが知られている (多田内 2020)。乾燥暖地に適応したグループとされ (Michener 2007)、とくに北米大陸南西部、地中海盆地から中東、オーストラリア大陸南部、南米大陸南部が種多様性の高い「ホットスポット」とされている (Orr *et al.* 2020)。一方で意外なことに、熱帯地域におけるハナバチ類の多様性はそれほど豊かではなく (Michener 1979)、南ヨーロッパ

や北米南西部と比較すると、単位面積あたりの種数はその半分程度と見積もられている (Roubik 1989)。全体として見れば、分布のマクロパターンは赤道を中心に広がる熱帯低緯度地域の外側、すなわち南北半球の中緯度乾燥帯に種多様性の高い地域が東西に連なる「二峰性」を示す。実際のところ、湿潤な日本では南西諸島も含めて、その総種数は400種にも満たないが (多田内・村尾 2014)、国土面積では日本の1.3倍程度のスペインからは1100種以上が記録されている (Ortiz-Sanchez *et al.* 2018)。

ハナバチ類が送粉昆虫としてとくに注目される理由の1つに、その訪花性がある。花粉や花蜜を餌として利用する昆虫は、ハナバチ類に限らずチョウ類、コウチュウ類、ハエ類など多くの分類群で見られる。自然界でもまれな高カロリー食品である花蜜、高タンパク食品である花粉は、それを利用できる動物にとっては魅力的な餌資源となる。ハナバチ類がこれらの訪花性昆虫類と大きく異なるのは、成虫のみならず幼虫も、わずかな例外を除いて、花粉と花蜜を唯一の餌とする点にある。巣を設け、子育てを行うハナバチ類のメス成虫は、自分の胃袋に加えて巣の幼虫のそれも満たさねばならず、そのために頻繁に花を訪れることとなる。

子育て中のメス成虫は、繰り返し花を訪れるには、花粉と花蜜を巣の育房 (幼虫のための小部屋) に運び込む。一般に花粉は後脚にある花粉採集毛に集積して「花粉荷 (pollen load)」とし、花蜜は飲み込んで「蜜胃」に留めて運搬する。多くのハナバチ類は「一括給餌」を採用しており、幼虫が蛹化するまでに必要とする餌をすべて蓄えた後に産卵し、育房を閉鎖する。温帯地方でもっとも普通に

見られるコハナバチ類を例にとると、1つの育房を貯食するのに、メスは1日10回ほど巣と餌場 (花) を往復する。午後遅く、その日最後の採餌から戻ったメスは、花粉荷と花蜜を育房内に補填し、一旦育房から退出する。育房の外で念入りにグルーミングしたメスは、改めて育房内に進入し、貯食物の「整形」に取りかかる。これは貯食物に自らの分泌物を加え、念入りに練って「花粉団子 (pollen ball)」を作製する作業である。団子が完成すると、メスはその頂部に卵を産付して育房から退出し、出入り口を土栓で閉じる。あとは孵化した幼虫が団子を食べて成長することとなる。種類によって多少の違いはあるが、メスは巣あたり10個前後の育房を作製・貯食・産卵して<sup>いし</sup>育仔活動を終える。

ハナバチ類のなかには、このような育仔作業を複数のメス成虫が共同で行うものがある。社会性ハナバチ類と呼ばれるグループで、主としてミツバチ科とコハナバチ科で知られている。共同作業に参加するメスのうち、主に産卵を担うものを「クイーン」、採餌や育房の作製など産卵以外の作業を担うものを「ワーカー」と呼んでいる。これらが共存して形成されるコロニーは基本的には血縁集団で、母バチがクイーン、娘バチがワーカーとなるのが通例である。このように母娘成虫が共存して役割分担しつつ、育仔活動を行う社会を「真社会性」と呼ぶ。ミツバチ類や、後で述べるハリナシバチ類は、ほかの真社会性種と異なり、クイーンが単独で生活する時期がない。生活史のどの時期をとってもクイーンがワーカーとともにコロニーで生活しているものをとくに「高次真社会性」と言う。真社会性ハナバチ類の巣あたりのワーカー数は、数個体程度のものから数万個体に達する

ものまでさまざまあるが、作物の送粉者としてとくに重要となるのは、多数のワーカーを擁する高次真社会性種ということになる。

上記したようにハナバチ類は、他の多くの昆虫類とは異なり、熱帯地方で種多様性が高くなるわけではない。一方で、地域に分布するハナバチ種全体に対する社会性種の割合は、温帯よりも熱帯で高くなることが知られている (Inoue *et al.* 1993)。これは後で述べる高次真社会性のハリナシバチ類が、この地域で多様に種分化していることと関係している。

## 2. アジア熱帯地域におけるハナバチ類の研究

アジア熱帯地域が占める陸上面積は世界全体の4%にも満たないが、たとえばチョウ類は既知種の20%にあたるおよそ3500種が、トンボ類では25%にあたるおよそ1450種が分布するとみられている (コーレット 2013)。このような豊かな種多様性は古くから注目を集め、主として欧米の研究機関による現地調査が進められてきた。日本の研究者らによるこれら地域への組織的なアプローチは、1957年に大阪市立大学 (現在の大阪公立大学) によって編成された研究チームの熱帯林研究に遡る (Kira & Umesao 1961)。その後、京都大学を中心に国内10数大学とインドネシア・アンダラス大学によって実施されたスマトラ自然研究プロジェクト (堀田ほか 1992)、京都大学とマレーシア・サラワ

ク州森林局によるサラワク林冠生物調査プログラム (井上 2001) など、日本の研究チームは大型研究プロジェクトを成功させ、大きな成果を収めてきた。このようなプロジェクトでは、とくに熱帯雨林の生物多様性に着目し、その創出や維持に寄与するメカニズムの解明を大きな目的のひとつとしている。送粉昆虫についてみれば、たとえば植物との間で成立している相利共生系の実態に着目した行動生態学的研究や、東南アジア島嶼部の低地熱帯林で観測される「一斉開花現象 (主としてフタバガキ科樹種による同調的な開花・結実現象)」に伴う送粉昆虫類の動態など、先駆的な研究が進められてきた (Roubik *et al.* 2005)。近年ではサラワク州保護林における生物多様性の評価とその基礎情報の活用を目指し、京都大学を中心とした日本側研究機関とサラワク州政府機関との間で共同研究プロジェクト<sup>1</sup>が進められている。

アジア熱帯地域の送粉昆虫については、このような「外部」の研究者による熱帯雨林研究のプロセスで、その知見が集積されてきた。しかし、送粉サービスの維持に向けての世界的な取り組みに触発されて、近年ではアジア熱帯地域の各国研究者らによる知見の再整理や (Corlett 2004)、その利用を促進するためのデジタルアーカイブの構築が進められつつある。たとえばフィリピン、タイ、ベトナム3カ国のハナバチ類については、FAOと国際養蜂協会連合 (Apimondia) が現地研究者や養蜂業者の協力のもと、ミツバチやハリナシバチ類などの社会性ハナバチ類に加え、単独性ハナバチ類の分布状況や送粉サービスの実態、保全に向けての取り組みなどをとりまとめ、FAOが管理運営しているデータベース (DAD-IS: 家畜種に関する情報デー

<sup>1</sup>サラワク州の保護区における熱帯雨林の生物多様性多目的利用のための活用システム開発プロジェクト (The Project on Development of Management Systems for Multiple Utilization of Biodiversity in the Tropical Rainforests at the Protected Areas in Sarawak) <http://www.kurs50008.sakura.ne.jp/sarawak/#menu01> (アクセス日: 2025年1月23日)

データベース) に得られた情報を登録している (Cervancia *et al.* 2023)。これによると、3カ国でもっとも多様性に富む送粉昆虫はミツバチ科の真社会性ハナバチ類のハリナシバチで、合わせて10属48種が分布している。その内訳はタイに35種、ベトナムに16種、フィリピンに16種とされている。また、同じくミツバチ科の真社会性ハナバチ類であるマルハナバチは16種が記録され、ベトナムで8種、フィリピンで6種、タイで4種となっている。一方、ミツバチ科のミツバチは3カ国合わせて7種が分布し、このうち4種、すなわちトウヨウミツバチ *Apis cerana*、セイヨウミツバチ *A. mellifera*、オオミツバチ *A. dorsata*、クロコミツバチ *A. andreniformis* が共通種と述べられている。このような社会性種のほか、単独性ハナバチ類については、フィリピンで249種、タイで54種、ベトナムで14種が記録されている。ただし、これらの国々に比べてはるかに国土面積の小さいシンガポールからは、単独性ハナバチ類が100種あまり記録されていることから考えると (Ascher *et al.* 2022)、データベースに登録された単独性種の情報は不十分と考えざるを得ない。

### 3. 期待されるハリナシバチ

ハリナシバチは熱帯・亜熱帯に分布する汎熱帯性の高次真社会性ハナバチ類で、上述したとおりミツバチ科に属する。これまでに世界で45属605種が報告されており、このうち470種あまりが新熱帯に分布する (Engel *et al.* 2023)。アジア熱帯地域からは10属57種が記録されている (Ascher & Pickering 2022)。ミツバチ同様、高度に組織化された社会を構築し、数百から数千頭のワーカーが1頭のク

イーンとともにコロニーを形成する。Heard (1999) は熱帯地方で栽培されている有用作物の多くが、ミツバチ類が自然分布しない新熱帯やオーストラリアに由来するとし、ハリナシバチ類はこれらを含め60種以上の有用熱帯作物の送粉に寄与しているとしている。

アジア熱帯地域においてハリナシバチ類は、ハチミツ、プロポリス、花粉などの生産を目的に飼養されてきた歴史があり、今日ではセイヨウミツバチに替わる養蜂種として注目されつつある (Locsin *et al.* 2021)。近年では栽培作物の送粉昆虫として、その送粉能力に関する実証試験が進んでいる。たとえばフィリピンでは、ハリナシバチの一種である *Tetragonula biroi* が大規模なマンゴー園で送粉者として利用され、増収に大きく貢献したとの報告がある。本種はこのほかにもココナッツ、グアバ、タマリンドなどの商品作物において有効な送粉昆虫とされている (Cervancia 2018)。

インドネシアには10属40種のハリナシバチ類が分布する (Kahono *et al.* 2018)。Atmowidi *et al.* (2022) は、このうちの2種、*T. laeviceps* と *Heterotrigona itama* のハウス栽培イチゴとハウス栽培メロンに対する送粉能力を検証した。その結果、*T. laeviceps* を放飼した実験区では、野外に比べてイチゴの株あたり果実数、果実のサイズおよび重量が増加し、奇形果が減少したことから、本種をイチゴの有効な送粉昆虫としている。また *H. itama* についても、その放飼によりメロンの収量が増加したと述べられている。*T. laeviceps* については、露地栽培トマトとトウガラシでも高い評価を得ており、本種を放飼した場合、収量は無放飼区に対して3~10倍に達し (Mubin *et al.* 2022)、トウガラシ

についてみれば、その送粉効果は慣用送粉昆虫であるトウヨウミツバチと同等と評価されている (Putra *et al.* 2014)。本種は露地栽培レモンでも効果が認められており、本種を放飼しても他の訪花昆虫の訪花頻度には影響しないことから、野生送粉昆虫が減少している農生態系での補完的な送粉昆虫として期待されている (Nurdiansyah *et al.* 2024)。同様の事例はインド・西ベンガル地方の露地栽培スイカで放飼されたハリナシバチの一種 *T. iridipennis* でも確認されている。観察された訪花昆虫 14 種のうち、最適な送粉昆虫は単独性コハナバチ類 2 種と判断されたが、これらの訪花頻度が十分でない場合、セイヨウミツバチおよび *T. iridipennis* の放飼が収量の維持に同程度に有効であること、セイヨウミツバチを放飼した場合、野生訪花昆虫の訪花頻度は低下するが、*T. iridipennis* ではその影響がほとんど見られないことが報告されている。

タイの農村部では、多年生作物、果樹園、水田で構成された農地が今でもよく見られる。多くの果樹園は複数種の果樹で構成され、これが森林パッチの中に点在している。このような複合果樹園を対象に行われた調査によると (Wayo *et al.* 2020)、園内で開花しているさまざまな開花植物 35 種から、8 属 13 種のハリナシバチ類が採集されている。もっとも多くハリナシバチ類の訪花を受けた植物はランブータンで、次いでドリアン、マンゴー、ココナッツの順であった。この調査では果樹園に出現するハナバチ類の種多様性に景観構造が与える影響についても考察されており、ハリナシバチ類では森林パッチとの接続性が (Wayo *et al.* 2020)、そのほかのハナバチ類については園内の下草管理

の重要性が指摘されている (Tangtorwongsakul *et al.* 2018)。

ハリナシバチ類のコロニーを飼養管理 (マネージメント) し、送粉昆虫として利用する試みは、日本でも過去に幾度か行われている。たとえば、前田ほか (1992) はブラジル産のハリナシバチの一種、*Nannotrigona testaceicornis* をハウス栽培イチゴで放飼し、本種に高い送粉能力があることを示している。また、Hikawa & Miyanaga (2009) は同じくブラジル産の *Melipona quadrifasciata* をハウス栽培トマトで放飼し、その送粉能力をトマトの慣用送粉昆虫であるセイヨウオオマルハナバチ *Bombus terrestris* と比較している。夏季の高温期を除けば、ハリナシバチの送粉効果はセイヨウオオマルハナバチと同等であることが示されている。このように温帯域の作物でも高い送粉能力を発揮するハリナシバチ類ではあるが、自然分布しない日本では利用に向けてのハードルは高い。ミツバチ以外に高次真社会性種が分布しない日本からみると、ハリナシバチ類が多産するアジア熱帯地域は、マネージメント候補となる送粉昆虫の宝庫のようにも思える。

#### 4. 単独性ハナバチ類の重要性

これまで述べてきたように、送粉昆虫として注目されるハリナシバチ類ではあるが、森林の断片化や農薬の過剰使用、モノカルチャーの拡大などにより、その生息環境は急速に悪化している (Wayo *et al.* 2020)。このため、送粉サービスの担い手として、単独性ハナバチ類の重要性が改めて認識されている。筆者は 2017 年から 2022 年まで、タイおよびベトナム各地でハナバチ類の生息状況に関する調査を行ってきたが、平地の集落周辺

ではハリナシバチ類よりもむしろ、単独性ハナバチ類が優占している印象を受けた。たとえばベトナム・ホーチミンシティ郊外で行った調査では、河川敷、林縁部、集落周辺の3地点で計12回の花上サンプリングを行い、2科7属13種のハナバチ類を採集した。最優占種は高次真社会性のコミツバチ *Apis florea* であったが、次いで優占したのは、クマバチの一種 *Xylocopa aestuans* とツヤハナバチの一種ミドリシッポウハナバチ *Ceratina smaragdula* で、いずれもミツバチ科の単独性種であった (Le *et al.* 2021)。ベトナム・タイニン地方に点在する複合果樹園3地点で行った調査では、花上サンプリングと設置型トラップを併用した結果、3科12属27種のハナバチ類が採集された。ここでの最優占種は上記したミドリシッポウハナバチ、次いでコハナバチ科の一種 *Lasioglossum* sp. とツヤハナバチの一種 *C. nigrolateralis* で、いずれも単独性種であった (Le *et al.* 2024)。ミドリシッポウハナバチはインドから東アジア熱帯・亜熱帯域に広く分布する小型のハナバチで、1960年代にインド・パンジャブ農業大学の研究チームが、マメ科牧草を中心に21品目の作物に訪花することを明らかにし、作物の送粉昆虫としての有用性を示している (Kapil & Kurmar 1969)。1970年代初頭には、米国・ユタ州立大学の研究チームが、マメ科作物の送粉を目的に米国でのマネージメントを試みている (Daly *et al.* 1971)。ちなみに本種は宮古諸島の宮古島を北限として、沖縄・南西諸島にも分布している。

世界各地で作物の送粉に商業利用されているセイヨウミツバチとセイヨウオオマルハナバチは、いずれもミツバチ科の社会性ハナバチ類である。一方、単独性種の中にも、コハ

ナバチ科のアルカリハナバチ *Nomia melanderi* やハキリバチ科のアルファルファハキリバチ *Megachile rotundata* など20種あまりでマネージメントが成功し、分布する地域の栽培現場で利用されているものがある。その中の一種、ハキリバチ科のマメコバチ *Osmia cornifrons* は、日本でマネージメント技術が完成し (前田 1978, 1993)、現在では中国や韓国でもリンゴの送粉などに広く利用されている (Osterman *et al.* 2021)。

## おわりに

アジア熱帯地域では送粉昆虫として有用な単独性ハナバチ類が数多く存在するものと思われるが、これらを保全利用するうえで不可欠なインベントリー、たとえば地域の野生ハナバチ相の解明などが遅れている。日本では1960年代以降、全国各地で同一手法を用いた野生ハナバチ類の定期サンプリング調査が行われており、これが地域のハナバチ相解明に大きく貢献してきた。アジア熱帯地域で同様の調査を行うことは、環境の違いにより困難と思われるが、それでもこのような「ベースライン」を意識した研究が進みつつある (たとえば Long *et al.* 2012)。アフリカ、EU、北米、ブラジル、オセアニアでは、それぞれ送粉者イニシアティブが設立され、単独性ハナバチを主体とした野生ハナバチ類のモニタリングが進められている (鈴木ほか 2014)。アジア地域では「アジア送粉者イニシアティブ・アライアンス (APIA)」が世界自然保護基金 (WWF) の支援により設立され、タイを中心に活動している。今後、このような組織的な取り組みが発展することを期待したい。

参考文献

- Ascher, J. and Pickering, L. (2022): Discover life bee species guide and world checklist (Hymenoptera: Apoidea: Anthophila). [https://www.discoverlife.org/mp/20q?guide=Apoidea\\_species](https://www.discoverlife.org/mp/20q?guide=Apoidea_species) (アクセス日: 2024年12月1日).
- Ascher, J., Zestin, W., Soh, W., Chui, S., Soh, E., Ho, B., Lee, J., Gajanur, A. and Ong, X. (2022): The bees of Singapore (Hymenoptera: Apoidea: Anthophila): First comprehensive country checklist and conservation assessment for a Southeast Asian bee fauna. *Raffles Bulletin of Zoology*, 70: 39-64.
- Cervancia, C. (2018): A review of pollination biology research in selected Asian countries. *The Philippine Entomologist*, 32(1): 3-36.
- Cervancia, C., Fajardo Jr., A., Baroga-Barbecho, J., Alvarez, P., Collantes, T., Desamero, M. and Estacio, M. (2024): Production, resiniferous plants, chemistry, and therapeutical uses of *Tetragonula biroi* (Friese, 1898) propolis from the Philippines. In: Vit, P., Bankova, V., Popova, M. and Roubik W. (eds) *Stingless Bee Nest Cerumen and Propolis volume 2*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-43887-5\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-031-43887-5_15)
- Cervancia, C., Duangphakdee, O., Disayathannoowat, T., Dinh, Q., Bfaroga-Barbecho, J., Cortez, M., Locsin, A., Merillo, M., Avante, L., Jamparat, W., Cuc, N., Baumung, R. and Leroy, G. (2023): Diversity of bees and wild pollinators in the Philippines, Thailand and Viet Nam. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma 145p.
- Engel, M., Rasmussen, C., Ayala, R. and Oliveira, F. (2023): Stingless bee classification and biology (Hymenoptera, Apidae): a review, with an updated key to genera and subgenera. *Zookeys*, 1172: 239-312.
- Daly, H., Bohart, G. and Thorp, R. (1971): Introduction of small carpenter bees into California for pollination 1. Release of *Pithitis smaragdula*. *Journal of Economic Entomology*, 64 (5): 1145-1150.
- Ghazoul, J. (2005): Buzziness as usual? Questioning the global pollination crisis. *Trends in Ecology and Evolution*, 20 (7): 367-373.
- Heard, T. (1999): The role of stingless bees in crop pollination. *Annual Review of Entomology*, 44: 183-206.
- Hikawa, M. and Miyanaga, R. (2009): Effects of pollination by *Melipona quadrifasciata* (Hymenoptera: Apidae) on tomatoes in protected culture. *Applied Entomology and Zoology*, 44 (2): 301-307.
- 堀田 満・井上民二・小山直樹編著 (1992): スマトラの自然と人々. 八坂書房. 175p.
- Inoue, T., Nakamura, K., Salmah, S. and Abbas, I. (1993): Population dynamics of animals in unpredictably-changing tropical environments. *Journal of Biosciences*, 18: 425-455.
- 井上民二 (2001): 熱帯雨林の生態学. 八坂書房. 347p.
- IPBES. (2016): The assessment report on

- pollination and food production: summary for policymakers. <https://www.ipbes.net/assessment-reports/pollinators> (アクセス日: 2024年12月1日).
- Kahono, S., Chantawannakul, P. and Engel, M. (2018): Social bees and the current status of beekeeping in Indonesia. In: Chantawannakul, P., Williams, G. and Neumann, P. (eds) *Asian Beekeeping in the 21<sup>st</sup> Century*. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-8222-1\\_13](https://doi.org/10.1007/978-981-10-8222-1_13)
- Kapil, P. and Kumar, S. (1969): Biology of *Ceratina bingham* Cockerell (Ceratinini: Hymenoptera). *Journal of Research, Punjab Agricultural University, Ludhiana* 6: 359-371.
- Kearns, C., Inouye, D. and Waser, N. (1998): Endangered mutualisms: The conservation of plant-pollinator interactions. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29: 83-112.
- Kira, T. and Umesao, T. (1961) : *Nature and life in Southeast Asia Vol.I. Fauna and Flora Research Society. Kyoto* 454p.
- Le, T., Son, D., Shimizu-Kaya, U. and Miyanaga, R. (2021): Species diversity and distribution of wild bees (Hymenoptera: Apoidea) in Binh Chanh District, Ho Chi Minh City. *The Dau Mot University Journal of Science*, 3 (1): 25-35.
- Le, T., Shimizu-Kaya, U., Dang, V., Pham, T. and Miyanaga, R. (2024): Evaluation of wild bee diversity in fruit orchards within the Ba Den Mountain area, Tay Ninh Province, Vietnam. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1349 012020.
- Locsin, A., Cuevas, A., Polintan, E., Baroga-Barbecho, J. and Cervancia, R. (2021): Economics of the stingless bee, *Tetragonula biroi* (Friese), production in the Philippines. *The Philippine Entomologist*, 35(1): 8-21.
- Long, K., Hue, L., Hoa, D. and Phong, P. (2012): A preliminary study on bees (Hymenoptera: Apoidea: Apiformes) from northern and north central Vietnam. *Tap Chi Sinh Hoc*, 34 (4): 414-421.
- 前田泰生 (1978) : 日本産ツツハナバチ類の比較生態学的研究. 特に花粉媒介昆虫としての利用とマネジメントについて. *東北農業試験場研究報告*, 57: 1-221.
- 前田泰生 (1993) : マメコバチを利用したリンゴの受粉. 井上民二・加藤 真編, 「シリーズ地球共生系・花に引き寄せられる動物花と送粉者の共進化」, 平凡社. 東京. : p. 195-232.
- 前田泰生・手塚俊行・灘野宏行・鈴木謙治 (1992) : ブラジル産カベハリナシバチのイチゴのポリネーターとしての利用. *ミツバチ科学*, 13 (2): 71-78.
- Michener, C. (1979): Biogeography of the bees. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 66: 277-347.
- Michener, C. (2007): *The bees of the world*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London. 953p.
- Mubin, N., Kusmita, A., Roman, A. and Nurmansyah, A. (2022): Estimated economic value of pollination by *Tetragonula laeviceps* (Hymenoptera:

- Apidae: Meliponini) on tomato and chili. *Biodiversitas*, 23 (5): 2544-2552.
- Nurdiansyah, M., Abduh, M., Aos, A., Hidayat, A. and Permana, A. (2024): The effects of meliponicultural use of *Tetragonula laeviceps* on other bee pollinators and pollination efficacy of lemon. *PeerJ*, 12: e17655 <https://doi.org/10.7717/peerj.17655> (アクセス日: 2024年12月1日).
- Ortiz-Sanchez, F., Martin, L. and Ornos, C. (2018): Bee diversity in Spain. Population trend and conservation measures (Hymenoptera, Apoidea, Anthophilia). *Ecosistemas*, 27(2): 3-8.
- Orr, M., Hughes, A., Chesters, D., Pickering, J., Zho, C. and Ascher, J. (2020): Global patterns and drivers of bee distribution. *Current Biology*, 31: 451-458 [online] URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982220315967> (アクセス日: 2024年12月1日).
- リチャード T. コーレット (2013): アジアの熱帯生態学. 長田典之・松林尚志・沼田真也・安田雅俊共訳. 東海大学出版会. 276p
- Osterman, J., Aizen, M., Biesmeijer, J., Bosh, J., Howlett, B., Inouye, D., Jung, C., Marins, D., Medel, R., Pauw, A., Seymour, C. and Paxton, R. (2021): Global trends in the number and diversity of managed pollinator species. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 322 107653 [online] URL: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107653> (アクセス日: 2024年12月1日).
- Roubik, D. (1989): Ecology and natural history of tropical bees. Cambridge University Press. New York 514p.
- Roubik, D. (1995): Pollination of cultivated plants in the tropics. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma. 196p.
- Roubik, D., Sakai, S., Jamid, A. and Karim, H. (2005): Pollination ecology and the rain forest: Sarawak studies. Springer. New York. 307p.
- Senapathi, D., Goddard, A., Kunin, W. and Baldock K. (2016): Landscape impacts on pollinator communities in temperate systems: evidence and knowledge gaps. *Functional Ecology*, 31 (1): 26-37.
- 鈴木まほろ・石井博・安部哲人 (2014): ハナバチと訪花性双翅目の多様性研究の必要性. *日本生態学会誌* 64: 3-6.
- 多田内 修・村尾竜起編 (2014): 日本産ハナバチ図鑑. 文一総合出版. 479p
- 多田内 修 (2020): 野生ハナバチ類の分類, 生態, その減少と保全. *農業及び園芸* 95 (4): 291-300.
- Tangtorwongsakul, P., Warrit, N. and Gale, G. (2018): Effects of landscape cover and local habitat characteristics on visiting bees in tropical orchards. *Agriculture and Forest Entomology*, 20: 28-40.
- Warrit, N., Ascher, J., Basu, P., Belavadi, V., Brockmann, A., Buchori, D., Dorey, J., Hughes, A., Krishnan, S., Ngo, H., Williams, P., Zhu, C., Abrol, D., Bawa, K., Bhatta, C., Borges, R., Bossert, S., Cervancia, C., Chatthanabun, N., Chesters, D., Chinh, P., Devkota, K., Duc, H., Ferrari, R., Garibaldi, L., Ge, J., Ghosh, D., Huang, D., Jung, C.,

Klein, A., Koch, J., Krichilsky, E., Knute, K., Ling, T., Liu, S., Liu, X., Luo, A., Luo, S., Mu, J., Nidup, T., Niu, Z., Nur-Zati, A., Olsson, S., Otis, G., Ouyang, F., Peng, Y., Priawandiputra, W., Proshchalykin, M., Raffiudin, R., Rameshkumar, A., Ren, Z., Suruliraj, A., Sane, S., Shi, X., Sinu, P., Smith, D., Soh, Z., Somananthan, H., Stritongchuay, T., Stewat, A., Sun, C., Tang, M., Thanooosing, C., Tschardtke, T., Vereecken, N., Wang, S., Wayo, K., Wongsiri, S., Zhou, X., Xie, Z., Zhang, D., Zou, Y., Zu, P. and Orr, M. (2023): Opportunities and challenges in Asian bee research and conservation. *Biological*

*Conservation*, 285 [online] URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320723002744> (アクセス日: 2024年12月1日).

Wayo, K., Sritongchuay, T., Chuttong, B., Attasopa, K. and Bumrungsri, S. (2020): Local and landscape compositions influence stingless bee communities and pollination networks in tropic mixed fruit orchards, Thailand. *Diversity*, 12(12) 482 <https://doi.org/10.3390/d12120482> (アクセス日: 2024年12月1日).

(島根大学生物資源科学部教授)