

(総説)

## ポレンビーとその利用

松香 光夫

玉川大学ミツバチ科学研究施設 〒194 町田市玉川学園6-1-1  
(1997年4月30日受理)

Pollen Bees and their Management

Mitsuo MATSUKA

*Honeybee Science Research Center, Tamagawa University  
6-1-1 Tamagawa-gakuen, Machida, Tokyo, 194 Japan*

Honey bees, especially *Apis mellifera*, are used to pollinate strawberries in greenhouses, melons and vegetables, etc. inside and outside greenhouses, and fruit trees in orchards. Bumble bees are also used for greenhouse tomato buzz pollination. Other bees could be used in crop production if rearing and management techniques could be developed. About 50 years ago, leaf cutter bees (Megachilidae) were used for apple (*Osmia cornifrons*) pollination in Japan and for alfalfa (*Megachile rotundata*) pollination in California. These techniques were successful and stimulated research on use of wild bees as pollinators.

This article discusses bees belonging to the Apoidea except Apidae as pollen bees. These bees collect pollen and nectar to make brood cake but they do not store honey in their nests. Management of several pollen bee species and research on management are described.

**Key words :** pollen bees, honey bees, pollination, Andrenidae, Anthophoridae, Halictidae, Melittidae, Megachilidae

### ポレンビー

花を訪れる動物は多い。主な理由は食料となる花蜜と花粉を求めるためといってよいだろう。植物の側も送粉してもらえるというメリットがあるので、その関係は密接であり、共進化の代表例としても扱われる(井上・加藤, 1993; 加藤, 1993)。花の側からみると受粉生物学、動物側からは送粉生物学などと呼ばれる関係である(日本花粉学会, 1994)。Proctor et al.

(1996)の「The Natural History of Pollination」はよくまとまった本で必読書として勧めたい。また、花生態学という扱い方もある(例えばクーゲレル, 1966; Dafni, 1992)。日本に於ける花生態学の歴史については、田中(1996)による最近のレビューがあるので参照されたい。

送粉者(pollinators)としては、コウモリのような哺乳類や、ハチドリなどの鳥類を含む脊椎動物や、昆虫類が代表的であるが、多様な植物に対応している

という点では昆虫類の右に出るものはない (Kevan and Baker, 1983; 田中, 1989). この関係を利用して農業上の利用をはかり, 作物生産をあげてきた (Free, 1993). 中でもハナバチ類が中心的な存在である (McGregor, 1976; 松香, 1996a). ハナバチはその名の通り, 花に依存して生きるなかまであり, 昆虫分類学的にいえばミツバチ上科の昆虫である. 非常に多様で世界に2万種余りが知られている. 世界に11科が知られているが (O'toole and Raw, 1991), 分類上の特徴となるのは, 送粉とかかわりの強い後脚の集粉毛の形, 口器のほか, 頭部骨格の構造, 翅脈などである. 日本産7科の種数と世界のそれとを表1に示した (平嶋, 1989; 平嶋・ほか, 1989).

日本におけるハナバチの研究は進んでおり, 特に分類学的な整理 (幾留, 1994; 1995) や, 営巣行動などの生態に関する研究成果は多い (岩田, 1971; 1982; 坂上, 1971) が, 応用的な研究はほとんどミツバチとマメコバチに限られ, ハナバチの多様性とは対応していない. 本稿では, ミツバチ類については最初に触れるのみで詳しいことは成書あるいは下記の引用文献を参照していただくこととし, 主として欧米の例を引きながら, 多様なハナバチ類の利用について紹介したい.

ミツバチは良く知られている昆虫である. 一般にミツバチといえは, セイヨウミツバチ (*Apis mellifera*) を指しているが, 日本にはニホンミツバチ (*Apis cerana japonica*) がいて, 一般には区別さ

れていないと考えてよい. この2種を含めてミツバチ属 (*Apis*) には, アジアを中心に7種が知られていたが (小野, 1992; 佐々木, 1995), 1996年に2種が追加された. これからも増える可能性は高い. ミツバチの特徴は, もちろんハチミツを貯えるところにあるので, この面を捉えたネーミングである. 養蜂種としてのセイヨウミツバチ (以下単にミツバチ) は家畜であって, 多種の養蜂生産物を提供し, 特異な昆虫である (松香, 1996b). ポリネーターとしてミツバチが使える時には管理下にあるミツバチを使うのがよい.

ミツバチと花粉の関係については以前に本誌にまとめたことがあり (松香・佐々木, 1988), またミツバチの利用法などについては数多くの文献類がある (Crane, 1990; Hoopengarner and Waller, 1992; 松香, 1996a). ただし, ミツバチがポリネーターとして万能というわけではなく, ミツバチが使いにくい作物や状況を対象にする場合があって, ミツバチ以外のハナバチの出番ということになる.

これらのハナバチ (表1の6科) は, 主として花粉を利用するといつてよい. エネルギー源として花蜜を利用するし, 幼虫の餌としては花粉を花蜜で練って利用しているが, 蜜を独立に貯えることをしない. この特徴を捉えてカフンバチ (pollen bees) と呼ぼうという提案がある (Batra, 1994b). ミツバチは honey bees であり, これに対抗するネーミングである. これにはポリネーターとしてミツバチ以外のハナバチ

表1 日本産および世界のミツバチ上科昆虫種数

科名	科名	日本産種数 <sup>a</sup>	世界の種数 <sup>b</sup>
ムカシハナバチ	Colletidae	29	> 3000
コハナバチ	Halictidae	100	> 5000
ヒメハナバチ	Andrenidae	83	> 4000
ケアシハナバチ	Melittidae	5	300
ハキリバチ	Megachilidae	52	> 3000
コシブトハナバチ	Anthophoridae	112	> 4000
ミツバチ	Apidae	17	> 1000
		398	>20300

<sup>a</sup>平嶋ほか (1989), <sup>b</sup>平嶋 (1989)

この他, 次の4科が知られているが (O'toole and Raw, 1991), いずれも分布が限られており日本に産せず, ポレンビーとしての利用もほとんどない.

ケブカムカシハナバチ (Stenotritidae), ケラハナバチ (Oxaeidae), クシハナバチ (Ctenoplectridae), ツボハナバチ (Fidelidae)

(non-*Apis* bees, Richards, 1993) が使われるようになってきた状況がある。そういった目的のためにこれらのハナバチ類を利用するのはそう古いことではないが、今後はその花粉媒介機能の評価がますます高まると考えられる。そのようなハナバチ類に関する会議が開かれることも多くなった。1992年8月にアメリカ・ユタ州立大学で開かれた「ミツバチ以外のハナバチに関する国際ワークショップ」には120名が集まった。ここに参加した研究者は、「ミツバチ以外の・・・」といわざるを得ない状況に、何か自分たちが外れたところの仕事をしているような感じがしゃくに触ったのだろうか、アメリカ農務省(USDA)のBatra博士の提唱で、これらの蜂をポレンビーと呼ぶことに合意が得られたという(Batra, 1995a)。

面白い発想だし、合理的な一面もある。野生ハナバチ(wild bees)とも呼ばれることがあるが(前田, 1976)、一部のミツバチは野生する場合もあるので適当でないし、さらに管理して使うとなれば、野生とも言えない。ただし、ミツバチは既に和名としても定着しているが、カフンバチは何かしっくり来ない。しっくり来ない原因は表記だけが原因ではなく、その概念が含む実体がいかにアンバランスであることにもあるのだろう。ミツバチはミツバチ科の数種(蜜が利用できるという意味でハリナシバチの一部を入れても数十種)に対応しているのに対して、カフンバチは数千種を含み、しかも分類学的にも異なったレベルのグループを含んでいるからである。しかし、本稿では新しい概念としてのpollen beesを紹介するために、ポレンビーをそのまま表記として採用しておく。

Batra博士らの提案では、ミツバチ亜科とハリナシバチ亜科を除くハナバチがポレンビーと呼ばれている。マルハナバチ亜科のものはポレンビーである。確かにマルハナバチはかれらの花粉媒介機能が意図的に利用された最初のハナバチ(Donovan, 1993)であり、その後も有効利用が試みられてきた(Holm, 1966)。しかし、本稿ではミツバチ科に属する昆虫は扱わないこととしたい。最近のマルハナバチのポリネーターとしての活躍は目ざましく、注目を浴びているが、小野・和田(1996)のまとまった紹介があり、日本産マルハナバチ(鷲谷・ほか, 1997)の利用についての記事(小野, 1994; 浅田, 1997)もあるので、参照していただきたい。

因みに日本にいないハリナシバチ亜科の蜂はなじみがないが、少量ながら蜜を貯え、特に南米などを中心にハチミツを利用してもいる(松香, 1996a)。しかし、

ポリネーターとしての意図的な利用は遅れており、むしろ、試験的な日本での研究が数少ない例の1つとなっている(前田, 1992)。

### ポレンビーの利用—アルファルファハキリバチ—

ポレンビーのどこが新しいのだろうか?昆虫の分類という点からいえば、かなり異なる分類群を含めた総称となって、かえって不正確である。むしろ、人為的に花粉媒介を行わせるために管理・利用することを念頭に、その対象になるハナバチに対する呼称であると理解したい。実はミツバチも家畜として扱いやすいことから、ポリネーターとして大いに利用されているし、その実績も大きい(Robinson et al., 1989; 松香, 1996a)。しかし上記したように、それ以外のハナバチ類の存在を強調しようという意図からの概念なのである。送粉昆虫としてミツバチは万能ではない。その弱点を補う適材適所という観点でハナバチを見ていくと、色々の使いみちが見えてくることになるのである。

最初に、人工的に増殖利用されているポレンビーの代表としてアメリカ、カナダなどで大活躍のアルファルファハキリバチ(*Megachile rotundata*, ハキリバチ科)の例から紹介したい(Peterson et al., 1992; Richards, 1987)。

ハキリバチは巣を作るのに木材の坑道や竹筒、地中の坑道を利用し、植物の葉を切り集めて繭の入れ物をつくることからつけられた名前である。花粉を集めるためのスコパ(花粉ブラシ)とよばれる集粉毛が腹部腹面によく発達しているのも際立った特徴で、単独性であることもミツバチなどとは異なっている。世界中に3000種以上が知られており、日本には52種がいる。

アルファルファハキリバチは名の通りアルファルファを得意とする、典型的なハキリバチ属のハナバチである。北米の在来種ではなくて、1930年代後半にユーラシアから偶然にアメリカ東海岸に導入されたものである。その後だんだんに広がってゆき、1950年代には西海岸まで達した。次に述べるマメコバチよりは一回り小さいハキリバチで、筒に管巢する。筒の内径は5-7mm程度を好み、楕円形に切り取った葉や花卉を15枚ほどで綴った育房を作る。そこに蜜で練った花粉塊を貯め、その上に卵を産む。筒の奥がメス、入口側がオス、その性比はほぼ2対1、数本の筒に12-16程度の卵を産む。人工的な飼養は、木に穴をあけた板で人工飼育をしたのが始まりで、これを標準

化したもののほかダンボール製の穴や紙筒などが利用されている (Peterson et al., 1992).

利用対象となるアルファルファは中央アジア原産のマメ科牧草であるが、今では世界中に広められており、最も重要な牧草といえる。アルファルファを大規模に栽培している米国西部では、1950年代にミツバチに頼っていたアルファルファの採種効率を改善するため、在来種の見直しが行われた (Bohart, 1972)。その結果、アルファルファハキリバチとアルカリバチ (コハナバチ科、後述) の飼養が成功したのである。それまでの採種量は170kg/ha程度であったものが、これらのハナバチの導入で10倍以上になった。北米での1990年におけるアルファルファ栽培面積は米国で46,000ha、カナダで22,000haに及んでいる。最近ではカナダでの伸びが大きいという (Richards, 1993)。アルファルファにはポリネーターとしてミツバチも利用しているが、トリッピングがスムーズに行われ易いカリフォルニアのような高温・乾燥地帯を除いては受粉の効率が悪く、アルファルファハキリバチに期待がかかっている。1haあたり5000匹程度が適当とされており、まだまだ需要が高まるであろう。アルファルファ以外にも、二年生・多年生のマメ科牧草にも有効であるが、一年生のものには適していないようである (Richards, 1995; 1996)。現在ではフランス、チリ、ニュージーランドを初めとして世界20か国あまりで利用されている (前田, 1993)。

アルファルファハキリバチの年間の管理は次の通りである。冬の間5度に保っておき、開花予想日の21日前に30℃に移す。これらの保存処理は暗所で相対湿度は40-60%がよい。羽化後に、開花が遅れたりした場合には、15-20℃の温度なら2-3週間は保存しておける。2万匹のメスに対してその3-4倍の巣穴を用意する。自分の巣穴の認識がしやすいように目印をつけておくといよい。9月に圃場から引き上げ、2-3週間は自然温度に保って幼虫を成熟させ、低温で保存して翌春を待つ。2つの管理システムが開発されている。一つは米国ワシントン、オレゴン州などで一般に行われている方法で、ボンデローサマツの板 (120×15×7cm) に直径5mm、深さ65mmの穴を2000個ほどあけたものを巣材とする。数年間繰り返して使え、使ったもののほうが次の年にハチを誘引しやすいが、病気や天敵も増えるので徐々に計画的に入れ換えていく (Stephen, 1961)。もう一つの方法はルーズセル方式で、蛹になった頃を見計らってこれを葉で包まれた状態で取り出し、容器に移して冷蔵する

のである。管に作らせた巣から押し出すか、溝を掘った板を合わせた巣の場合にははがして取り出す (Peterson et al., 1992)。

カナダでは主としてルーズセル方式で生産したハチを、数年間で3億匹をアメリカのほか、アルゼンチン、ヨーロッパ、旧ソ連諸国に売っているという。

日本でもアルファルファに適用が試みられたが、定着しなかったようである (前田, 1983)。

## リングとマメコバチ

同じハキリバチ科でツツハナバチ属のマメコバチ (*Osmia cornifrons*) のリングへの利用を、日本で開発、研究された実際の成功例としてとりあげたい (前田, 1993)。このハナバチは、1940年代に青森県五所川原農林学校の松山栄久教諭が開発した技術を基にして普及がはかられたもので、その後国や県の試験研究機関が乗り出して各県で連絡をとりながらこの技術が定着してゆくが、現在の普及率は青森県で80%、長野県で60%程度という。この両県ではポリネーターとしてのミツバチの利用が少ないが、それはマメコバチの活躍のせいである。

日本のリング栽培面積は約5万ha、そのうち主産地である青森県と長野県で全体の70%を占める。品種構成の単純化、殺虫剤の使用による野生ハナバチ類の減少などをカバーするために人工受粉技術が開発された。その手順は、蕾を摘んで人工的に開花させて花粉を集め、石松子 (ヒカゲノカズラの孢子) で希釈したのちそれを耳かきのような毛玉につけて開花しているめしべにつけるのである。花粉を集めるのもつけるのも大変に手間のかかる方法である。現在ではその人手のかわりにミツバチとマメコバチが花粉媒介を行っている。

マメコバチは年一化性で、枯れ木にカミキリムシがあけた穴や、農家の屋根に使われたアシや竹筒などを巣として生活をしている。筒を利用した巣のしきりを葉片でなく土などで作るのが特徴である。前の年に繭の中で成虫化したのち休眠して冬を越し、4月に出現する。長さ15cm、内径が7.0-7.4mmの筒を人工的に用意してやれば、それを良く利用してよく営巣する。花資源が豊富な条件では巣筒あたり10個程度の育房を作る。育房には花粉だんごが貯蔵され、卵が産みつけられ、仕切り壁を作って次の育房を作る。筒の奥の方にはメスが続き、つづいて入口側にオスが連続的に産みつけられる。1匹のメスは数本の筒を利用して

10 - 15 卵を生むのが普通であるが、条件が良いと 40 - 50 にもなることがある。この営巣期間は約 1 か月で、その間に花粉媒介を行うことになる。

これらの性質を利用して、リング栽培に役立てるには次のような方法が開発されている。巣筒の材料は先に述べたサイズを考慮すればかなり自由度が高い（北村・前田, 1983）。ただしプラスチックなどの人工物では定着率が良くないので、今後の改良が必要である。アシ筒を利用する場合には節を挟んで 30cm に切り、両側から利用させると便利である。適当な本数を針金で束ねればそれでよい。軒下にぶら下げてもよいし、リング園の広さによっては何か所かに雨風がしのげる工夫をした巣の置場（巣箱）を作っておけばよい。リング箱を利用するのが普通である。自然発生を待つとリングの開花よりも早く出てくることが多いので、花粉が不十分となり営巣にいたる前に逃亡してしまう。そこでリングに合わせるためには、5°C 程度の低温で貯蔵しておき時期をずらして放飼してやればよい。ハチのためには営巣開始時に花が十分あるのが好適であるが、目的はリングの花粉媒介にあり、リングでは最初に咲くいわゆる中心花を果実にしたてるのであるから、これが咲く前に営巣が始まるようにするのである。

どのぐらいのハチが要るのだろうか？ マメコバチの採餌範囲は広いものではなく、受粉効果は巣箱からの距離に応じて下がる。経済的受粉範囲は 50m 程度である。前田（1993）はこれらを考慮して長野県でデリシャスやふじを栽培する場合に、180本/ha のリング樹があったとして、1000 匹が必要と試算している。1 個体あたりの受粉効率をミツバチと比較すると少なく見積もってもマメコバチはミツバチの 20 倍以上、別の観察結果からの計算では 80 倍もの働きを示すという。この効率の秘密はマメコバチの行動パターンにある。1 分間の訪花数を調べるとミツバチが 9 花、マメコバチは 15 花である。採餌時間や回数をかけあわせると 1 日あたりの訪花数はミツバチの 720 に対して 4050 となる。花上での行動からめしべ（柱頭）に接触する率はマメコバチではほとんど 100% であるのに対して、ミツバチは盗蜜するものもあって 20% ほどにしかならない（前田・北村, 1981）。こうみてるとういかにマメコバチが働き者か、あるいはリングに合っているかということがわかるであろう。

現在ではマメコバチの利用技術の適用範囲は暖地リング（吉田・前田, 1988）、和ナシ（前田・ほか, 1993）、オウトウ、キウイ、ハウスイチゴなどへと広がっている（前田, 1993）。ブルーベリーも品種によっ

ては好結果が得られる（前田・ほか, 1990a）。リングでの成功が評価されて、いまでは米国、中国、韓国、デンマークなどへも輸出されている（Free, 1993）。

マメコバチでの成功に刺激されて、米国や EU ではおなじツツハナバチ属の飼養管理が図られている（Williams, et al., 1991 ; Williams, 1996）。例えば米国では在来種であるコルリツツハナバチ（*O. lignaria*）が良く研究され、リング（600 匹/ha が最適という）やアーモンド（同じく 750 匹）園での働きや、管理のしやすさが評価されている（Torchio, 1985）。この種の日本への導入も試みられている（前田, 1988）。ヨーロッパでは *O. cornuta* が早くからリング、アーモンドなどに使われ、米国への導入もされている（Torchio and Asensio, 1985）。この種はスペインでは巣材ともども商用化されている（Bosch, 1994; Bosch and Blas, 1994）。ポルトガルでは野生のツツハナバチから有望種を探索した（Marciel Correia, 1991）。ブルーベリーには各種のポリネーターが比較され、なかなか決定的なものがないが、候補の 1 種として *O. ribifloris* が利用され（Torchio, 1990a）、アルファルファハキリバチとの比較もされている（Stubbs et al., 1994）。

## その他のポレンビー

ポレンビーとしてハキリバチを利用した先駆的な例として 2 種について述べた。

ミツバチ上科には、これまでに述べた 2 科以外にもポリネーターとして利用され、あるいは利用が試みられているハナバチがいる（バトラ, 1984 ; Parker et al., 1987）。それらのうち主なものについて紹介していきたい。違う科に属するものは、それだけでずいぶん違う性質をもっており、利用法もそれに依って違ってくるので、本来は一まとめに紹介するのは無理がある。しかし、現在ではそれぞれについてくわしく論ずるほどのデータが揃っていない。種の多さと今後の研究の余地が大いにあるということを示すにとどまることになる。

### ヒメハナバチ科

オーストラリアを除く世界に 4000 種以上が分布している短舌類（中舌の長さは 2mm 以下）で、地中に営巣する単独性のハナバチである。日本でも 83 種が知られている。アルファルファを初め多くの花上で観察され、一部はアルファルファのポリネーターとして

導入の試みもある。インドのアブラナ科植物での観察では7目117種の訪花昆虫が記録されたが、その中でヒメハナバチ類が質量ともに最も豊富で、コミツバチ、コハナバチがこれに次ぎ、この3群で80%以上を占めたという (Free, 1993)。リンゴで *Andrena carantonica* が良く働く例が報告されている (Chansigaud, 1975)。ウツギノヒメハナバチ (*Andrena prostomias*) のように特定の花を訪れる狭訪花性を示すものが多い (前田・ほか, 1988)。

#### コシプトハナバチ科

ケブカハナバチともいう。春に空中に留まるように浮かんでいる大型のハチに気がつかれる方も多はずである。これはクマバチで、コシプトハナバチの仲間である。英語ではカーペンタービー (大工バチ) で、枯れ枝に自分で穴を掘って営巣するため顎が丈夫である特徴に由来している。一部の木本性マメ科植物 (特に熱帯性の) は固く閉じられた花弁をもち、クマバチに適應していることが知られている。春にみかけるのは雄蜂が自分のなわばりを守っている姿である。大型であるだけに羽音も大きく、蜂をこわがる人には恐ろしい存在かもしれないが、実は大変におとなしく、危害を加えられることはほとんどない。

この仲間もまたすぐれたポリネーターとしての資格がある。世界中に分布する5000種以上が知られ、日本にも112種がいる。単独性の種が多い。熱帯などで大型の花や樹木類の送粉者として重要である。大型なのでさぞかしポリネーターとしての効率が良さそうに思われるが、植物側で用意すべき花蜜量も多いことが要求されるせいか、作物への利用は限られている。日本のケブカハナバチ (*Anthophora pilipes*) がリンゴのほか、ブルーベリーに役立つことが期待されて米国への移入が試みられている (Batra, 1994a)。ブルーベリーはマルハナバチを除いて確実なポリネーターがなく、色々な試みがあるが、米国東南部では *Habropoda laboriosa* も候補であるという (Cane and Payne, 1988)。ハワイなどでパッションフルーツ、インドのウリ類、ヘチマ類、南アフリカでアルファルファへの利用などの例も知られている (Free, 1993)。

クマバチ亜科の中に小型で青い金属光沢をもつ美しいツヤハナバチがあり、その一部は社会性である。インドではこれらのうちアルファルファツヤハナバチ (*Pithitis smaragdura*) が実験的に用いられ (前田, 1976)、米国への導入もはかられ、ハキリバチなどとの能力比較が行われた (Batra, 1976)。米国東部でア

ルファルファ花上で多く観察される野生の *Florilegus condignus* もコシプトハナバチの一種であり、土中に密度高く営巣していて、有望種の一つと考えられている。同様にヒゲナガハナバチ (*Eucera*) 属のハチもアルファルファを多く訪れ、トリップ率も90%以上と高い (Free, 1993)。

#### ムカシハナバチ科

旧称ミツバチモドキ科で3000種以上が世界中に知られており、特にオーストラリアに多い。日本には29種が知られている。砂地に営巣する種類のうち、米国の同所性の *Colletes* 3種をベリー類に試みている Batra (1980) は、大あごフェロモンを合成して砂地にまき、特定の場所に営巣させることに成功しており、このようなテクニックが今後重要になるだろうと自画自賛している。

#### コハナバチ科

5000種以上が世界中に分布する大きなグループで、日本にも100種が記録されている。ほとんどは単独性だが、坂上 (1992) はホクダイコハナバチ (*Lasioglossum duplex*) の社会構造を明らかにしている。広訪花性が一般的である。

アルファルファは世界中で最も重要な牧草ともいえるので、同じ目的で各種のハナバチが導入されている。その中で、コハナバチ科に属するアルカリバチ (*Nomia melanderi* アルカリアオスジコハナバチとされる場合もある) がいる (Bohart, 1972; 前田, 1976 参照)。変わった名前はカルシウムやカリウム、ナトリウムなどのアルカリ性の金属を多く含むアメリカ北西部の適度に湿った粘土質あるいは砂質のローム層に限り住んでいるところからつけられたものである。セイヨウミツバチの3分の2ぐらいの大きさで、1m<sup>2</sup>あたり500個もの巣を造るほど高密度で住んでいることがある。アルファルファ群落での訪花習性やトリップ率は優れているのだが、変わった習性から人工的な飼養にまではいたらず、越冬幼虫のいる部分を切り出してそっと別の場所へ移すというやり方で利用されるのが普通である。この土壌の置場をビーベッドと称しており、ポリエチレンシートを敷きこむなどの工夫をして、湿度やアルカリ度の調整をする。30haのアルファルファ畑に対して、250m<sup>2</sup>のビーベッドで済むという。ただしこの方法では長距離の輸送には向かないので、幼虫を取り出して短く切ったジュース用のストローを入れた皿に移し、蛹化するのを待つ。その

後望む場所に移して土をかけておくことも開発された。それでも高密度のためにもあって土質も変化するのでなかなか居つくのは大変で、数年後には新たな蜂を追加する必要があるようである。

1960～70年代にかけては、アルファルファだけでなくタマネギ、スイートクローバー、ミントなどに多く使われたが、管理の点でアルファルファハキリバチに譲るところがあり、最近では少なくなっているという (Richards, 1993)。

#### ケアシハナバチ科

短舌類，地中営巣性が普通でいずれも単独性。南米を除いて300種ほどが知られ，オーストラリアには1種，日本には5種がいる。シロスズケアシハナバチがアキノノゲシなどにいくようにほとんどが狭訪花性を示している。ケアシハナバチ (*Melitta*) 属のものがアルファルファや，ブルーベリーを訪花して注目されている (Free, 1993)。

### ポレンビーの特性

ポレンビーは花粉を効率よく集めるという点ではミツバチ類と共通であるが，その行動習性は，社会性に基盤をもつミツバチ類とはむしろ対照的であるといえる。一部は人工的に管理しやすいハナバチの条件ということも念頭にまとめてみた。

1. 一化性 1年に1回だけ出現する性質を一化性という。多くの場合特定の植物の開花と同調して短期間に現れることになるので，次項とも関連が深い。成虫の寿命は比較的短く，産卵がすむと死んでしまい，残った子供は次の出現期まで前蛹または羽化した成虫のどちらかのステージで休眠して過ごす。親子の共存はなく，単独性である。時には年に2回出現することがあるが，これは管理上むしろ面倒なことになるので，安定した一化性のもので選んで飼養することが多い。

2. 訪花性 出現期が短いことと関連して，特定種の花を訪れる傾向が強い。Schemske (1983) によれば，米国産3500種の1/3～2/3は同じ属（あるいは科）を訪花する程度に限られているという（狭訪花性，oligotropic，単一種を対象にするものは monotropic，花粉採集に注目するとき，oligolectic などともいう，Eickwort and Ginsberg, 1980）。単独性のハナバチ類は狭訪花性のスペシャリストが原則である。ハキリバチの中では広食性を示すマメコバチは70種ほどの花を訪れることが記録されているが，そのうち

の40%はバラ科植物であり，リンゴが咲き出すと集中的に訪花するようになるので，リンゴの花粉媒介にはうってつけな性質をもっているといえる。その点で効率はよいが，望む農作物のポリネーターとして使うには，出現時期のタイミングとともに限界があることになる。

3. 定花性 非常に広い範囲の花を訪れる（広訪花性，polytropic）ミツバチでも，働き蜂が集める花粉だんご中の花粉種を分析してみると，ほとんどが同種の花粉で構成されており，連続して同種を訪花するいわゆる定花性 (flower constancy, Free, 1993) ははっきりしている。上述したように，よく使われるマメコバチや，アルファルファハキリバチもかなり広食性の種であるが，この定花性を利用して，競合種に目をむけずにリンゴやアルファルファに行かせることができるのである。

4. 構造適応 ハナバチ媒花の形態は，筒状，ブラシ状，旗状などの多様性が知られているが，一方で共進化してきたハナバチにも高度の適応放散がみられる。特に蜜を吸うための口吻の形態とその長さ，花粉を採集・運搬するための集粉構造の発達のみごとである。加藤 (1993) は，日本産ハナバチの形態や習性を整理して提示し，集粉方法を5つに分類している。

- (1) 花粉を飲み込んで運搬する（ムカシハナバチ類）。
- (2) 腹部腹面の刷毛（集粉毛，scopa）に集める（ハキリバチ）。
- (3) 後肢の腿節と脛節の毛に集める（コハナバチ，ヒメハナバチ，など）。
- (4) 後肢の脛節と第1ふ節の毛に集める（ケブカハナバチ，ケアシハナバチなど）。
- (5) 後肢脛節の花粉かごに花粉だんごとして集める（ミツバチ科）。

Roberts and Vallespir (1978), Thorp (1979) も集粉毛の構造を電子顕微鏡を用いて観察し，その機能や適応を論じて参考になる。

5. 振動送粉 (buzz pollination) 一部のハチは振動採餌を行う。これは，マルハナバチがトマトの栽培に用いられるようになって注目されてきたことでもあるが，トマトのようなナス科の植物はおしべの葯の構造のために，花粉を集めるためには葯を叩いて出す必要がある。マルハナバチは胸部にある飛行筋を震わせてこれができるのである（小野・和田，1996）。果樹での問題はブルーベリー（ツツジ科）であろう (Free, 1993)。特にラビットアイと呼ばれる系統は花口が狭いため，口吻の長いマルハナバチや，小型の

ハナバチのうちで振動採餌のできるものが送粉可能であり、適合種が少ないのである。前田ら（1990b）はハナバチ相の貧弱なところではこの系統の栽培は不適であるといっている。振動採餌をするハナバチは数科にわたり、*Colletes*, *Andrena*, *Melitta*, *Augochoropsis*, *Xylocopa*, *Bombus*, *Amegilla*, *Tetrapedia*, *Habropoda*, *Anthophora* などがあげられる（Batra, 1994a）。ブルーベリーに対するいくつかの試みについてはハキリバチ、コシブトハナバチの項で述べた。

6. 高い送粉効率 ハナバチ類はいずれも子供のために花粉を集める必要があるため、どの種においても花粉媒介効率は高いが、特に単独性のハナバチは次世代の繁殖が自分の働きにかかっているし、短い期間にそれをなしとげようとするために、一個体の働きは目覚ましい。リングについてマメコバチとミツバチとの比較については既に述べた。アルファルファについても多くの研究があるが、新しいポリネーターの導入をはかろうとする時にはこれらの比較研究は重要な課題である（例えば Batra, 1976）。

7. 管理の容易さ 一年に一回だけ現れるので、管理が必要なのは一時期だけで、人手と経費がかからないといえる。また、おそらく単独性であるためになかまを守る必要がないので攻撃性が低く、比較的小となしことも管理上の利点である。採餌範囲が狭いことはいつも利点というわけではないが、利用計画をたてやすい。

マメコバチやアルファルファハキリバチをポリネーターとして利用するのに成功している理由としては、人工環境に適応して営巣するので管理・移動が容易である、温度制御などによって休眠の打破が調節できるので目的とする作物の開花に人為的に合わせる事が可能である、などの利点を持っていることも見逃せない。

8. その他の特性 ミツバチは社会性昆虫の代表であり、最近の社会生物学の発達によって、かれらの持つシステムのありかたや、適応性が注目されている（例えば Seeley, 1995）。ミツバチ以外のハナバチ類にも、同じグループの中に単独性の生活から社会性のものまでを含む場合があって、社会性の発達を研究するのに良い材料を提供している（例えば坂上, 1992）。ハチを意識したときに社会の成立条件は、二世世代のメス成虫が育児中の巣内で併存する状態をもつことと考えられ、この条件を満たすのはミツバチ以外に、コシブトハナバチ中のクマバチ亜科、それにコハナバチ亜科の

一部である（坂上, 1992）。これらの種では親が継続的に子供の世話、特に給餌をすることになるので、餌である花蜜と花粉を自分の分だけでなく子供たちの分まで集め、一群あたりの個体数も大きい傾向があることから、それだけ送粉のチャンスが増えるのである。同時に群としての性質を維持する期間が長くなることから、特定の時期に咲く花だけに依存することはできずに、色々な花を訪れる性質が必要になりジェネラリスト（広訪花性）になる傾向が強い（松香, 1996a）。

## 今後の展望

約2万種のハナバチがポレンビーとして該当するのだが、ヒトが農作物の生産のためにポリネーターとしてかなり人為的に利用している、あるいはしようとしている狭い意味でのポレンビー（本稿で扱ってきたもの）は、今のところこれまで述べてきたわずかに数十種であるから、まだまだ研究の余地が残されている。

最近になってこの種の研究が注目されてきたのは、いくつかの理由がある（松香, 1996a）。

生産効率をあげるために単一作物を広い範囲にわたって栽培しようとする近代農業は、必然的に本来の生態系とはことなるいわゆる農業生態系を形成することとなり、ポリネーターを含む生物相の単純化が進んでその密度が低下してきた。また、農薬の使用によって昆虫相の貧弱化が進み、十分な花粉媒介能が得られなくなった。さらに自然条件下ではポリネーターの発生に年ごとのむらがあるために予想が困難で、作物生産管理上不都合である。

家畜化されているミツバチのポリネーターとしての役割が認識されるようになると、それを意識的に増殖利用することも技術の一環としてとりいれるようになってきた（Hoopingartner and Waller, 1992）。ポリネーターとしてのミツバチの貢献度は大きい（松香 1996a）、一方でミツバチが万能ではないことも知られ、本稿で述べてきたポレンビーの活動が注目されるようになってきた。Torchio（1991）や Batra（1995b）は、環境の変化の中でのポレンビーの位置づけを述べている。また、Torchio（1990b）は各種のポリネーターを組み合わせることで、より高い生産性が得られると主張し、そのための効果的な実験・研究手順を次のように述べている。

- (1) 目標とする作物にどのような昆虫（特にハナバチ）が訪花しているかを調査する。
- (2) 有望な昆虫の生物学的研究を行う。



- (3) その成果を生かしてこの昆虫の営巣効率, 幼虫生存, 害敵防除, 越冬生存率などを高めるような方法を開発する.
- (4) 野外捕獲群を用いて農耕環境に定着させる方法を探索する.
- (5) 農耕・自然環境における当該昆虫の採餌生物学的研究.
- (6) 目標作物における送粉効率の定量的調査を行う.
- (7) 一定数の放飼による定着と次世代の増減調査, うまく運べば人工飼養・増殖を経て実用にいたる.

ただし, ポレンビーの多くは野生性が強いために, 好条件下での繁殖率は高いが, 人工管理下での大量繁殖・飼育技術が確立されにくい傾向がある. 例えば, 土中営巣のものが多く, それらの制御や移動はかなりの困難を伴うことになる. また, 管理可能な場合にも, 天敵や病害などの有無や, それらの防除方法の研究も並行することが要求されることになる. これらの開発がすすめばもっと広く使われるようになるはずである.

いずれにしても, 今後はますますポリネーターの役割が強く意識されるようになるであろう. これまでは, 温帯地域の先進的農業の生産効率向上に役立ってきたわけだが, 今後は現在の生産性が必ずしも高くない地域, 特に熱帯における生産性向上が注目されるべきである. その点で Roubik (1995) の資料が役に立つことになるだろう (松香, 1996c).

近年では「生物多様性」に対する関心が高まっており, 一つには多様なポリネーターの存在を保証するような環境づくりや, その中での人工的な利用が論じられるようになってきた (例えば Matheson et al., 1996). 本来ポリネーターの役割は栽培作物の生産にとどまらず, 野生生物生態系の中でも大きいものである. 野生の重要植物の65%はハナバチ媒花をつけるという指摘もあり, ハナバチ相がその地域の自然度を示す指標になるともいえよう. ハナバチの活躍で, 地表を覆う植物群が健全な生育をすれば, それによって土壌表層の栄養物質の流亡が防げるし, 水の確保にもつながってくる.

また, 人工的なポリネーターの導入の影響については最近の話題としてマルハナバチについて論じられることが多い (Dafni and Shmida, 1996 など) が, それ以前に導入されたミツバチと野生ハナバチの競争なども再考されようとしている (Sugden et al., 1996; Buchmann, 1996). このような自然と人工的環境のバランスについても常に意識していきたいが, 主

題とは離れるので本稿では扱わない.

## 引用文献

- 浅田真一 1997. 日本産マルハナバチの実用化にむけて. ミツバチ科学 18(1), 21-28.
- Batra, S.W.T. 1976. Comparative efficiency of alfalfa pollination by *Nomia melanderi*, *Megachile rotundata*, *Anthidium florentinum* and *Pithitis smaragdula* (Hymenoptera: Apoidea). *J. Kansas Entomol. Soc.* 49(1), 18-22.
- Batra, S.W.T. 1980. Ecology, behavior, pheromones, parasites and management of the sympatric vernal bees *Colletes inaequalis*, *C. thoracicus* and *C. validus*. *J. Kansas Entomol. Soc.* 53(3), 509-538.
- バトラ, S.W.T. 1984. 単独生活をするハナバチ. サイエンス 14(4), 164-172.
- Batra, S.W.T. 1994a. *Anthophora pilipes villosula* Sm. (Hymenoptera: Anthophoridae), a manageable Japanese bee that visits blueberries and apples during cool, rainy, spring weather. *Proc. Entomol. Soc. Wash.* 96(1), 98-119.
- Batra, S.W.T. 1994b. Diversify with pollen bees. *Amer. Bee J.* 143, 591-594.
- Batra, S.W.T. 1995a. The evolution of 'eusocial' and the origin of 'pollen bees'. *MD Natur.* 39 (1-2), 1-4.
- Batra, S.W.T. 1995b. Bees and pollination in our changing environment. *Apidologie* 26, 361-370.
- Bohart, G.E. 1972. Management of wild bees for the pollination of crops. *Annu. Rev. Entomol.* 17, 287-312.
- Bosch, J. 1994. The nesting behaviour of the mason bee *Osmia cornuta* (Latr.) with special reference to its pollinating potential (Hymenoptera, Megachilidae). *Apidologie* 25, 84-93.
- Bosch, J. and M. Blas 1994. Foraging behaviour and pollinating efficiency of *Osmia cornuta* and *Apis mellifera* on almond (Hymenoptera, Megachilidae and Apidae).

- Appl. Entomol. Zool.* 29(1), 1-9.
- Buchmann, S.L. 1996. Competition between honey bees and native bees in the Sonoran Desert and global bee conservation issues. In Matheson et al. 1996. 125-142.
- Cane, J.H. and J.A. Payne. 1988. Foraging ecology of the bee *Habropoda laboriosa* (Hymenoptera, Anthophoridae) an oligolege of blueberries (Ericaceae, *Vaccinium*) in the south-eastern United States. *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 81, 419-427.
- Chansigaud, J. 1975. Etude de comportement d'*Andrena carantonica* Perez au cours de la floraison des pommiers de la variété Golden Delicious. *Apidologie* 6, 341-359.
- Crane, E. 1990. Bees and Beekeeping. Science, Practice and World Resources. Heinemann Newnes. pp. 614.
- Dafni, A. 1992. Pollination Ecology. A Practical Approach. IRL Pr. pp. 250.
- Dafni, A. and A. Shmida 1996. The possible ecological implications of the invasion of *Bombus terrestris* (L.) (Apidae) at Mt Carmel, Israel. In Matheson et al. 1996. 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(4), 145-152.
- Eickwort, G.C. and H.S. Ginsberg 1980. Foraging and mating behavior in Apoidea. *Annu. Rev. Entomol.* 25, 421-446.
- Free, J.B. 1993. Insect Pollination of Crops. 2nd ed. Acad. Pr. pp. 684.
- 平嶋義宏監修 1989. 日本産昆虫総目録 I. pp. 540.
- 平嶋義宏, 森本桂, 多田内修 1989. 昆虫分類学. 川島書店. pp. 597.
- Holm, S.N. 1966. The utilization and management of bumble bees for red clover and alfalfa seed production. *Annu. Rev. Entomol.* 11, 155-182.
- Hoopingartner, R.A. and G.D. Waller 1992. Crop Pollination. In *The Hive and the Honey Bee* (Graham, J.M. ed.). Dadant & Sons. 1043-1082.
- 幾留秀一 1994. 日本産花蜂類の分類群と和名. 鹿児島女子短大紀要 29, 1-23.
- 幾留秀一 1995. 日本産ハナバチ類の和名について. *昆虫と自然* 30(2), 24-27.
- 井上民二, 加藤 真編 1993. 花に引き寄せられる動物-花と送粉者の共進化-. 平凡社. pp. 286.
- 岩田久仁雄 1971. 本能の進化 - 蜂の比較習性学的研究 -. 真野書店. pp. 504.
- 加藤 真 1993. 送粉者の出現とハナバチの進化. 花に引き寄せられる動物 (井上・加藤, 1993) 33-78.
- Kevan, P.G. and H.G. Baker 1983. Insects as flower visitors and pollinators. *Annu. Rev. Entomol.* 28, 407-453.
- 北村泰三, 前田泰生 1983. マメコバチ用人工巣の開発. *長野果樹試報告* 1, 21-30.
- クーグレル 1966. 中野治房訳, 原著 1955. 花生態学. 廣川書店. pp. 260.
- 前田泰生 1976. 野生ハナバチの利用. *インセクトリウム* 13(4), 218-223.
- 前田泰生 1983. 牧草類の採種栽培技術の確立に関する研究. 農林水産技術会議事務局. 80-85.
- 前田泰生 1988. コルリツツハナバチの巣の構造と天敵. *中国昆虫* 2, 1-7.
- 前田泰生 1992. 熱帯生物資源であるハリナシバチの実用化, 特にハウス作物のポリネーターとしての利用に関する研究. 科研費補助金研究成果報告書. pp. 77.
- 前田泰生 1993. マメコバチを利用したリンゴの受粉. 花に引き寄せられる動物 (井上・加藤, 1993) 195-232.
- 前田泰生, 北村泰三 1981. マメコバチの受粉効果と必要飼養数. *ミツバチ科学* 2, 65-72.
- 前田泰生, 佐々木陽一, 藤本義園 1988. 但馬, 楽音寺のウツギノヒメハナバチ. *インセクトリウム* 25(2), 18-25.
- 前田泰生, 岡村信三, 植田尚文 1990a. ブルーベリーにおけるマメコバチのポリネーターとしての利用. *応動昆虫中国支会報* 32, 33-42.
- 前田泰生, 岡村信三, 植田尚文 1990b. ブルーベリーの訪花昆虫相と主要種の受粉行動. *中国昆虫* 4, 15-24.
- 前田泰生, 郷右近勝夫, 手塚俊行 1993. 和ナン園におけるマメコバチの利用. *中国昆虫* 7, 1-12.
- Marciel Correia, M.L. 1991. Selection of pollinators from the Portuguese fauna of wild bees. *Acta Horticult.* 288, 69-70.

- Matheson, A., S.L. Buchmann, C. O'toole, P. Westrich and I.H. Williams 1996. The Conservation of Bees. Linn. Soc. Symp. Ser. 18. Acad. Pr. 254 pp.
- 松香光夫 1996a. ポリネーターの利用. サイエンスハウス. pp. 153.
- 松香光夫 1996b. ミツバチ生産物の特性と利用. 研究ジャーナル 19(5), 20-25.
- 松香光夫 1996c. 熱帯におけるポリネーションと養蜂. ミツバチ科学 17(4), 164-168.
- 松香光夫, 佐々木正己 1988. 花粉とミツバチ. 日本花粉学会誌 34(1), 87-94.
- McGregor, S.E. 1976. Insect pollination of cultivated crops. Agric. Handb. No. 496. pp. 411.
- 日本花粉学会編 1994. 花粉学事典. 朝倉書店. pp. 496.
- 小野正人 1992. アジアのミツバチ. ミツバチ科学 13(1), 13-19.
- 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 13(1), 13-19.
- 小野正人, 和田哲夫 1996. マルハナバチの世界. 日本植物防疫協会. pp. 132.
- O'toole, C. and A. Raw 1991. Bees of the World. Blandford. pp. 192.
- Parker, F.D., S.W.T. Batra and V.J. Tepedino 1987. New pollinators for our crops. Agric. Zool. Rev. 2, 279-304.
- Peterson, S.S., C.R. Baird and R.M. Bitner 1992. Current status of the alfalfa leafcutting bee, *Megachile rotundata*, as a pollinator of alfalfa seed. *Bee Science* 2(3), 135-142.
- Proctor, M., P. Yeo, and S. Lack 1996. The Natural History of Pollination. Timber Press. pp. 479.
- Richards, K.W. 1987. Alfalfa leafcutter bee management in Canada. *Bee World* 68, 168-178.
- Richards, K.W. 1993. Non-*Apis* bees as crop pollinators. *Rev. Suis. Zool.* 100(4), 807-822.
- Richards, K.W. 1995. The alfalfa leafcutter bee, *Megachile rotundata*, a potential pollinator for some annual forage clovers. *J. Apic. Res.* 34(3), 115-121.
- Richards, K.W. 1996. Comparative efficacy of bee species for pollination of legume seed crops. In Matheson, et al., 1996. 81-103.
- Roberts, R.B. and S.R. Vallespir 1978. Specialization of hairs bearing pollen and oil on the legs of bees (Apoidea:Hymenoptera). *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 71, 619-627.
- Robinson, W.S., R. Nowogrodski and R.A. Morse 1989. The value of honey bees as pollinators of US crops. I & II. *Amer. Bee J.* 129, 411-423, 477-487.
- Roubik, D.W. ed. 1995. Pollination of Cultivated Plants in the Tropics. FAO Agric. Serv. Bull. 118. FAO. pp. 196.
- 坂上昭一 1971. ミツバチのたどったみち. 思索社. pp. 327.
- 坂上昭一 1992. ハチの家族と社会. 中公新書. pp. 210.
- 佐々木正己 1995. 養蜂の科学. サイエンスハウス. pp. 159.
- Schemske, D.W. 1983. Limits to specialization and coevolution in plant-animal mutualisms. In *Coevolution* (M.H. Niteeki, ed., Univ. Chicago Pr.), 67-109.
- Seeley, T.D. 1995. The Wisdom of the Hive. Harvard Univ. Pr. pp. 295.
- Stephen, W.P. 1961. Artificial nesting sites for the propagation of the leafcutter bee, *Megachile* (*Eutricharaea*) *rotundata*, for alfalfa pollination. *J. Econ. Entomol.* 54, 989-993.
- Stubbs, C.S., F.A. Drummond and E.A. Osgood 1994. *Osmia ribifloris biedermannii* and *Megachile rotundata* (Hymenoptera, Megachilidae) introduced into the lowbush blueberry agroecosystem in Maine. *J. Kansas Entomol. Soc.* 67, 173-185.
- Sugden, E.A., R.W. Thorp and S.L. Buchmann 1996. Honey bee-native bee competition, focal point for environmental change and apicultural response in Australia. *Bee World.* 77, 26-44.
- 田中 肇 1989. 虫媒花と昆虫. ミツバチ科学 10(3), 115-120.
- 田中 肇 1996. 日本における花生態学の歴史的概観 (1), (2) 日本花粉学会誌 42(1), 41-49; 42(2), 117-

- 126.
- Thorp, R.W. 1979. Structural, behavioral, and physiological adaptations of bees (Apoidea) for collecting pollen. *Ann. Missouri Bot. Gard.* **66**, 788-812.
- Torchio, P.F. 1985. Field experiments with the pollinator species, *Osmia lignaria propingua* Cresson, in apple orchards, V (1979-1980). Methods of introducing bees, nesting success, seed counts, fruit yields. *J. Kansas Entomol. Soc.* **58**, 448-464.
- Torchio, P.F. 1990a. *Osmia ribifloris*, a native bee species developed as a commercially managed pollinator of highbush blueberry (Hymenoptera, Megachilidae). *J. Kansas Entomol. Soc.* **63**, 427-436.
- Torchio, P.F. 1990b. Diversification of pollination strategies for US crops. *Environ. Entomol.* **19**, 1649-1656.
- Torchio, P.F. 1991. Bees as crop pollinators and the role of solitary species in changing environments. *Acta Horticult.* **288**, 49-61.
- Torchio, P.F. and E. Asensio 1985. The introduction of the European bee, *Osmia cornuta* Latr. into the US as a potential pollinator of orchard crops, and a comparison of its manageability with *Osmia lignaria propingua* Cresson. *J. Kansas Entomol. Soc.* **58**, 42-52.
- 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. 文一総合出版.  
pp. 50.
- Williams, I.H., S.A. Corbet and J.L. Osborne  
1991. Beekeeping, wild bees and pollination in the European Community. *Bee World* **72**, 170-180.
- Williams, I.H. 1996. Aspects of bee diversity and crop pollination in the European Union. *In* Matheson, et al., 1996. 63-80.
- 吉田 亮, 前田泰生 1988. 暖地リンゴにおけるマメコバチの利用. *ミツバチ科学* **9**(1), 1-6.
-