

令和4年度持続的生産強化対策事業
養蜂等振興強化推進事業(全国公募事業)

養蜂技術指導手引書 2022

ミツバチを知るための

ミツバチデータブック

生物学編

中村 純



一般社団法人 日本養蜂協会

養蜂技術指導手引書 2022

ミツバチを知るための

ミツバチデータブック
生物学編

中村 純

一般社団法人 日本養蜂協会

目次

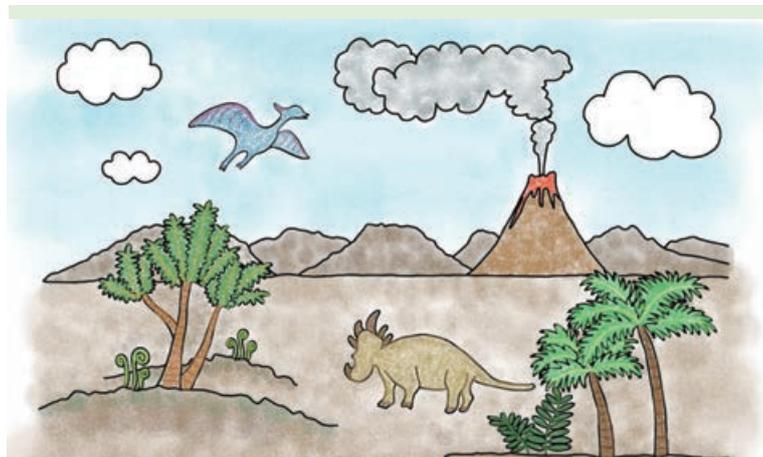
ミツバチ登場	4
ミツバチの種類	6
ミツバチの形態	10
ミツバチの社会	12
ミツバチの繁殖	16
ミツバチの多回交尾	18
ミツバチの働き方	20
ミツバチの巣	22
ミツバチの巣の環境調節	24
ミツバチの食料と栄養	26
ミツバチの採餌圏と資源	30
ミツバチの一年	34
ミツバチ用語集	36
日本語で読めるミツバチの生物学	44
主な参考文献	46
あとがき	47

ミツバチ登場

花の進化を追いかけて地球に登場したミツバチ

46億年前に誕生した地球上で、生命は38億年前に出現した。植物はすでに34億年前には誕生したと考えられるが、ようやく4億年前頃から地上に植物や他の生物が上陸し、シダ植物などを利用する動物も徐々に登場してきた(図1①,②)。1億5,000万年前頃に植物の中で、「花」を持つもの(被子植物)が出現し(図1③)、花粉による受精が植物の繁殖様式のひとつとして加わった。その花粉を利用する昆虫としてハナバチ類が1億3,000万年前に現れ(図1④)、花の側では、より効率のよい花粉媒介を促すために、花蜜を生産するようになり(図1⑤)、花蜜を利用できる多種類の昆虫が花粉媒介を手助けするようになった。

ハナバチの中で、花粉をさらに効率よく集めるために、後肢に「花粉バスケット」を持つものが1億年～9,000万年前頃に出現した。これがミツバチの遠い祖先にあたる。ミツバチのような社会を持った、つまり産卵をしない働き蜂を含む、真社会性のハナバチの登場は7,000万年前頃とされ、現在のミツバチの祖先種は4,000万～3,000万年前に登場したと考えられている(図1⑥)。



①恐竜の時代

中生代ジュラ紀(約2億130万年前～1億4,500万年前)、恐竜が大繁栄し、草食恐竜の餌はシダ植物やソテツ、マツ、イチョウなどの裸子植物であった。



②ハチ類登場 2億年前頃

原始的なハチ目昆虫が登場。現存のキバチやハバチなどの祖先にあたり、植食性だった。

③被子植物の登場

中生代ジュラ紀の終わりにモクレンやハスの祖先にあたる植物群の中で原始的な花をつけるものが登場し、白亜紀に植物界全体に急速に広がった。

当初は花粉だけが利用可能で甲虫が主要な送粉者であったが、やがて花粉より低コストな花蜜を作るようになり、多様な昆虫を呼ぶようになった。送粉者が増え、送粉効率が上がり、大量の花蜜を作る必要がなくなった。

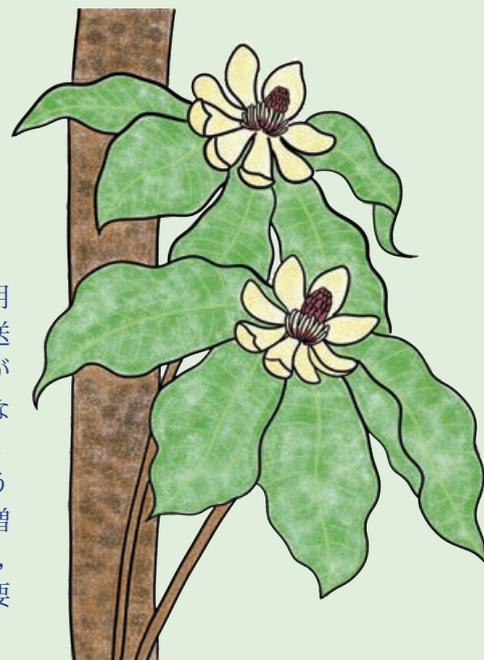


図1 花とミツバチの進化 植物の花とミツバチの進化は「共進化」

現存のミツバチのうち、コミツバチやオオミツバチのように開放空間に一枚の巣（単葉巣）を作るミツバチは、1,000万年前に、セイヨウミツバチやトウヨウミツバチのように閉鎖空間に複葉巣を設けて営巣するミツバチはおよそ600万年前に登場した（図2）。

そのうちヨーロッパやアフリカに進出したセイヨウミツバチの祖先種は300万～200万年前に登場したと考えられている。

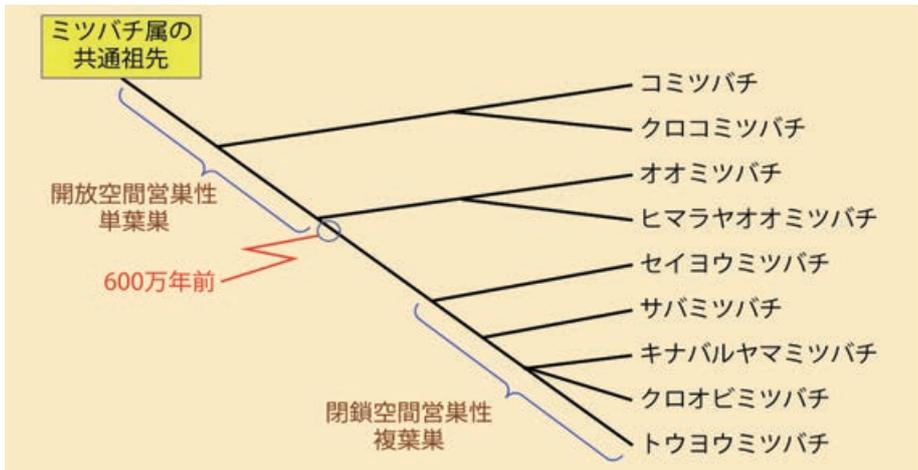
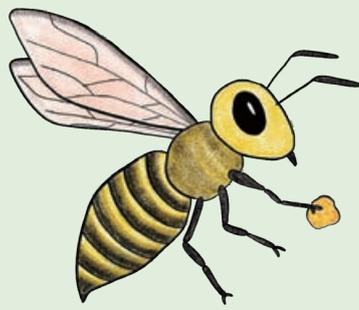


図2 ミツバチ属の種分化の模式的過程

Oldroyd & Wongsiri (2006) を改変して模式的に表示した。各ミツバチの特徴については表1を参照。



④ハナバチ登場
1億3,000万年前頃

栄養価の高い花粉を幼虫の餌として利用するハチ類が出現。花粉を集めやすい分枝毛や、花粉を運ぶ特殊な毛（ポケット）などが発達。



⑥ミツバチ登場
4,000万年前

- ・花粉を捉える体毛
- ・各付属肢の花粉ブラシ
- ・後肢の花粉バスケット
- ・長い口吻（舌）
- ・大型の蜜胃
- ・強い定花性
- ・花粉からミルクへ

⑤被子植物の繁栄
1億年前から現在まで

- ・視覚的に誘引する目立つ花卉
- ・糖液を分泌する蜜腺
- ・糖度の高い花蜜の分泌
- ・蜜腺の在りかを示す蜜標
- ・花蜜量の増加
- ・花粉を集めやすい雄しべ
- ・栄養価の高い種子や果実（動物の食料→種子散布）



被子植物は送粉を動物に頼り、花粉と花蜜を利用する動物と共進化し続けている。

ミツバチの種類

ミツバチは1属9種

ミツバチはハチ目(膜翅目) Hymenoptera ミツバチ科 Apidae に含まれるハチの総称で、19世紀には10属178種の記載があった。1964年にGoetsによっていったん4種にまでまとめられたが(表1)、その後、種としての再確認や新種の発見もあり、現在は1属(3亜属)に所属する9種をいう。

亜属ごとに、コミツバチ亜属 *Micrapis* にはコミツバチ *Apis florea* Fabricius 1787(図4-1)とクロコミツバチ *Apis andreniformis* Smith 1858が、オオミツバチ亜属 *Megapis* にはオオミツバチ *Apis dorsata* Fabricius 1871(図4-2)とヒマラヤオオミツバチ *Apis laboriosa* Smith 1871が、ミツバチ亜属 *Apis* にはトウヨウミツバチ *Apis cerana* Fabricius 1793(図4-3)、サバミツバチ *Apis koschevnikovi* Enderlein 1906、キナバルヤマミツバチ *Apis nulensis* Tingek, Koeniger and Koeniger 1996、クロオビミツバチ *Apis nigrocincta* Smith 1861、およびセイヨウミツバチ *Apis mellifera* Linnaeus 1758が含まれる。

なお、オオミツバチの2亜種を、それぞれ独立種 *Apis breviligula* Maa 1953 および *Apis binghami* Cockrell 1906としてオオミツバチ亜属に含め、ミツバチを全11種とする研究者もいる。

このうち家畜種として、現在、世界中で飼養され、人為的にはあるが南極大陸以外のすべての地上に分布を広げているセイヨウミツバチ(ヨーロッパ産の数系統)を除けば、他のミツバチはほぼそれぞれの原生息域にのみ分布している(図3)。

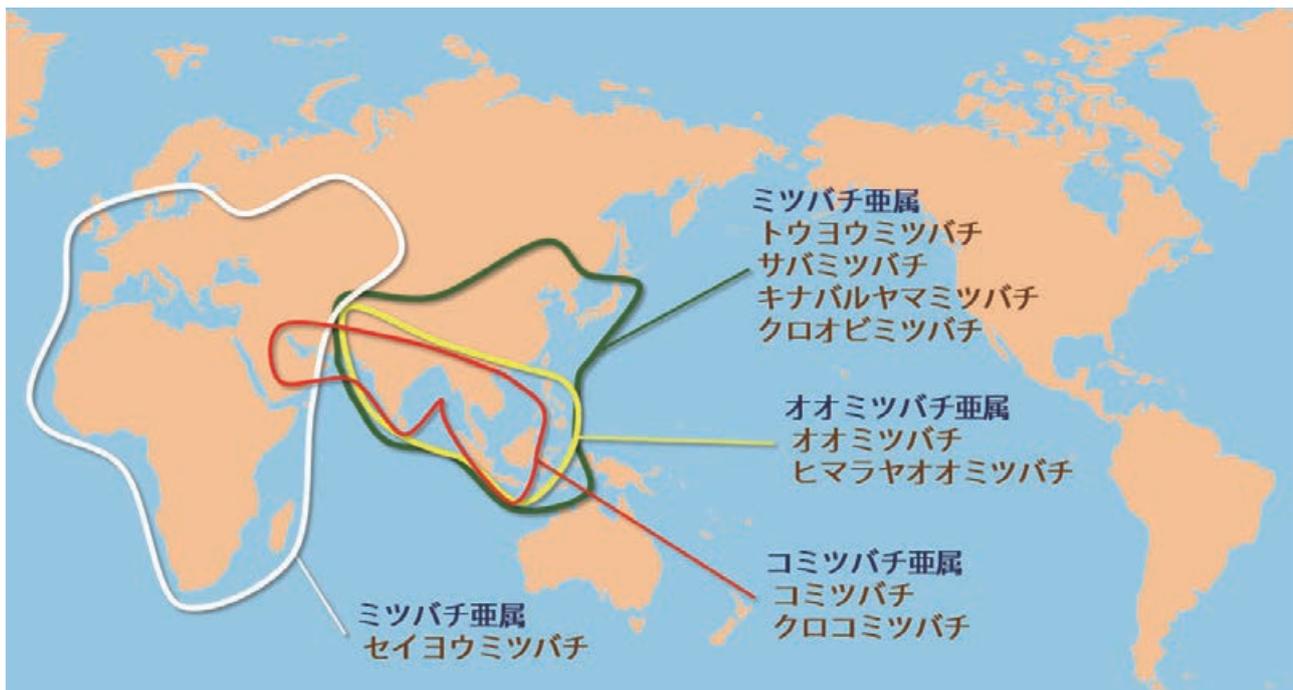


図3 世界のミツバチの基本分布

セイヨウミツバチの原生息地は、東限を中国西部、西限をヨーロッパ・アフリカ大西洋岸、北限は北歐南部、南限は南アフリカと極めて広い。現在の人為的な分布域は、南極大陸を除くすべての大陸となっている。なお、形態計測に基づいた24亜種が知られていたが、分子生物学的手法を用いて、ヨーロッパ11亜種、アフリカ13亜種、中近東・西アジア9亜種の全33亜種が提唱されている(Ilyasov et al., 2020)。トウヨウミツバチは沿海州から南西アジアまでが原生息範囲となり、現生息域もほぼ変わらないが、ニューギニア島への人為的な移入があったり、船舶に便乗した「ヒッチハイク」でオーストラリアに継続的に侵入している。亜種数については、形態計測に基づいた4亜種が提唱されてきたが、分子系統解析によって東アジアの亜種が細分化されており、全体では10～15亜種程度にもなると推測される。残りのミツバチは南アジアから東アジアを原生息地とし、偶発的な分布外営巣など(例えば国内では川崎市内でオオミツバチの営巣が確認されたことがある)を除けば、現在もその生息範囲を広げていない。

表1 主要なミツバチの比較

	コミツバチ	オオミツバチ	トウヨウミツバチ	セイヨウミツバチ
亜属	<i>Micrapis</i>	<i>Megapis</i>	<i>Apis</i>	<i>Apis</i>
蜂群サイズ	6,000 匹	37,000 匹	7,000 匹	40,000 匹
巣板枚数	1 枚 (単葉)	1 枚 (単葉)	複葉	複葉
巣の大きさ	高さ15×幅15 cm	高さ0.5×幅1 m	営巣場所による	営巣場所による
巣の場所	樹木の枝	樹木の枝・岩壁	樹洞等	樹洞等
働き蜂巣房の直径	2.8~2.9 mm	5.3~6.3 mm	4.2~4.8 mm	4.8 ~ 5.4 mm
働き蜂の体長	7~10 mm	17 mm	10~13 mm	12~14 mm
働き蜂の前翅長	6.0~6.9 mm	12.5~13.5 mm	7.3~9.0 mm	7.6~9.7 mm
働き蜂の口吻長	2.8~3.4 mm	4.5~7.1 mm	4.1~6.3 mm	6.2~7.0 mm
蜂群の移動	地域内移動	渡り (季節移動)	ほぼ固定	固定
逃去性	ある	ある	ある	ほぼない
攻撃性	低い	高い	低い	低い
飼育の難易度	難	難	可能 (やや難) *	可能 (容易)

記上の4種が Goets (1964) によってとりまとめられたものである。

それぞれの種の特性は Seeley (1985), Oldroyd & Wongsiri (2006) などを元に加筆。

* トウヨウミツバチは、インド、スリランカをはじめとする南アジアから東南アジア、あるいは中国 (海南島) など、各地でセイヨウミツバチ用と同等の可動枠式巣箱を用いて飼育されている。



図4 主なミツバチとその巣

コミツバチ (1a) とタイの市場で売られていた幅20 cmの巣 (1b)

オオミツバチ (2a) とタイのジャングル内の幅1.5 m以上の巣 (2b)

トウヨウミツバチ (3a) と
空間容積約18 Lの巣 (3b)

国内のみツバチは2種

ニホンみツバチ *Apis cerana japonica* Radoszkowski 1877 は、トウヨウみツバチの日本亜種として日本に古来より生息し、南は鹿児島県から北は青森県まで、また標高 1,000 m 程度を上限として分布している。人が用意した巣箱に営巣するものを含め、基本的には野生生活者としてのみツバチである。「日本書紀」の7世紀の記事に登場し、また平安時代には宮廷へのハチミツの献上の記録があり、江戸時代には養蜂の技術面の発達が見られ、各地に広く飼育技術の普及が図られた。現在、セイヨウみツバチ用の可動枠式巣箱や、採蜜用にフローハイブの導入なども進められているが、基本的には伝統的な養蜂の位置づけを維持している。一部の自治体で飼育数の記録があるが、野生の蜂群を含め、全国の生息数およびその推移を推定できる信頼度の高い情報はない。

セイヨウみツバチは、1877年（明治10年）にアメリカより導入され、近代的な飼育技術の普及が進められた。明治末期までには飼育者も増え、また各地の蜜源の調査も行われ、採蜜を目的とした養蜂体系が大正時代までに確立され、全国に展開した。かつては女王蜂の導入が比較的自由だったため、国内のセイヨウみツバチは多系統の雑種と考えられるが、現在でも純血統のイタリアンやカーニオランが導入され、また養蜂家が独自に維持する系統などもあって、系統的には複雑で多様である。飼育群数は、1980年に32万群でピークに達したが、2009年には17万群と半減し、その後再び増加して、2021年1月現在での飼育届出数は22万群を超えている。

国内では、ニホンみツバチは主として趣味養蜂における社会家畜の位置づけとなり、セイヨウみツバチはハチミツ生産や農作物の花粉交配を目的とした商業養蜂や農業における産業家畜としての利用が主体となる。家畜伝染病予防法においては、みツバチを種ごとに区別せず、いずれも家畜として扱うこととしている。また養蜂振興法では、種によらずみツバチを飼育するすべての人が飼育届の届出をする建て前となっているが、飼育の形態や目的によって届出が不要な例外規定が設けられている。

表2 ニホンみツバチとセイヨウみツバチの比較

	ニホンみツバチ	セイヨウみツバチ
生活体系	野生	家畜（一部野生化）
蜂群サイズ	数千～2万匹	2～4万匹
採餌圏	狭い（1～2 km）	広い（平均2 km以上）
働き蜂の体長	10～13 mm	12～14 mm
働き蜂の体重	60～90 mg	70～120 mg
働き蜂の発育期間（産卵～出房）	19日	21日
働き蜂巣房の直径（対辺長）	4.6 mm	5.2 mm
雄蜂蜂児蓋の孔	あり	なし
逃去	頻繁に起きる	ほぼ見られない
巣門での扇風行動	頭部が外向き	腹部が外向き
シマリング	顕著	みられない
分蜂蜂球の形成場所	太い枝など	細い枝を取り込む
雄蜂の交尾出巣時間帯	13:15～16:30	11:30～15:00
女王蜂の交尾出巣時間帯	13:15～17:00	12:15～15:00
無王群での働き蜂産卵	無王後4～5日	無王後22～37日
変成王台	できにくい	できやすい
ハチミツの生産	年1回採蜜が主流	くり返し採蜜が可能
ハチミツの味わい	花の特徴が出にくい	花の特徴が出やすい
蜜ろうの酸価	5～7	17～20（乳化性が高い）
プロポリス	樹脂を集めない	樹脂を集めて作る

※吉田（2000）、佐々木（1999）などを元に加筆。

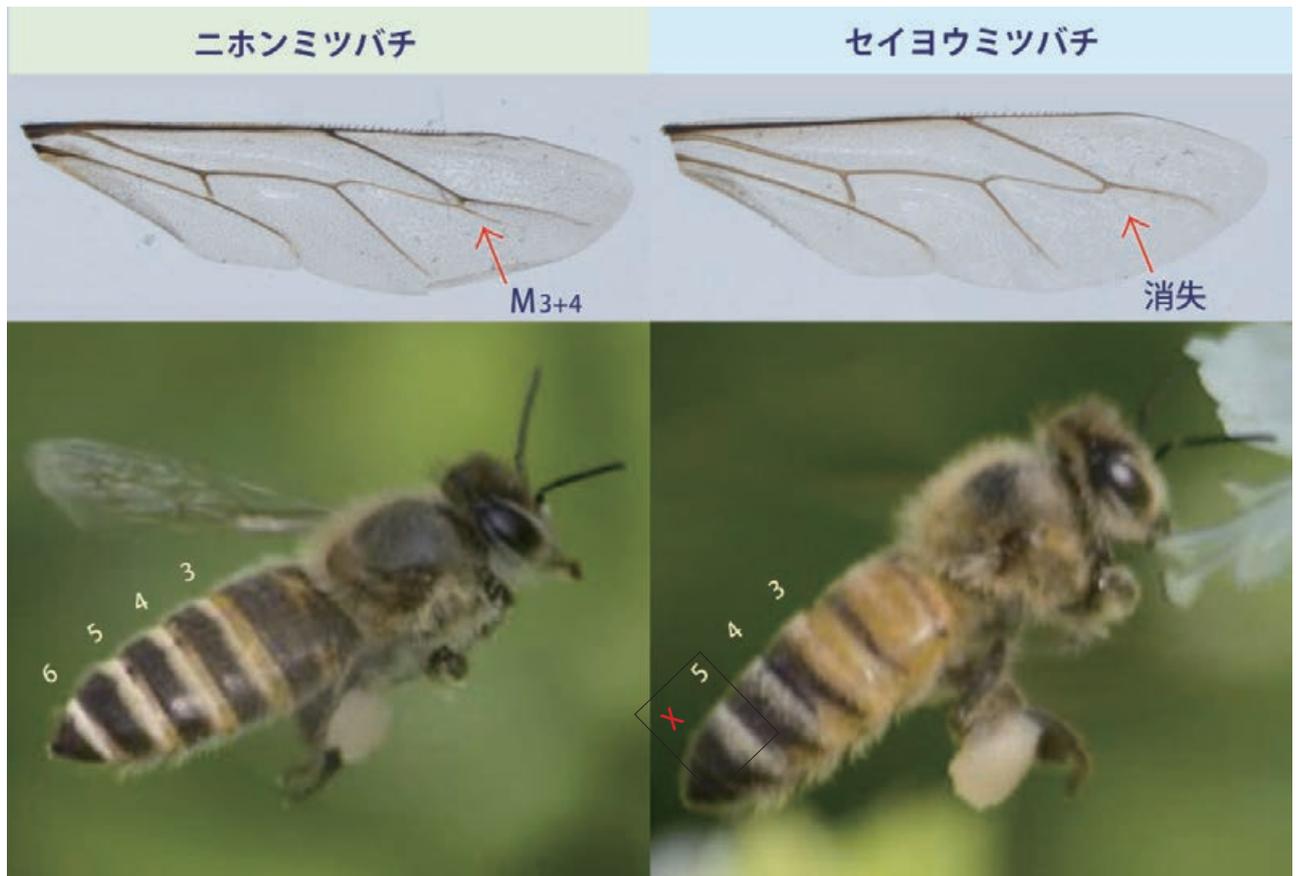


図5 ニホンミツバチとセイヨウミツバチの分別点
 上：後翅の翅脈のうち中脈 M3+4 の有無，下：腹部微毛帯のうち第 6 節の微毛帯の有無。

2種のミツバチの相違点と分別

ニホンミツバチとセイヨウミツバチは近縁種として外見的には似ているが、行動面等において多数の相違点がある（表2）。生息地の環境（気候や外敵の存在など）へのそれぞれの適応の結果でもあるが、これが野生種および家畜種の境界となっていることも間違いない。

外見的分別は、通常、後翅の中脈 M3+4 の有無（明瞭ならニホンミツバチ，消失していればセイヨウミツバチ）で行う（図5上）。ただし、標本を得られない場面や、屋外で見かけた際の分別，あるいは画像や動画等の視覚素材を用いた分別では、腹部背板の微毛帯を確認するのが確実である。ニホンミツバチでは白っぽく見える微毛帯が，腹部第3節から第6節まで計4本確認できるが，セイヨウミツバチではこの微毛帯は第3節から第5節までで第6節にはない（図5下）。したがって，腹部端の白色の微毛帯があり，4本に見えることでニホンミツバチであるかどうかを判断できる。

ニホンミツバチは一般に体色に赤みが乏しく，例えば腹部前方の大きな第3節の色調から，ニホンミツバチは黒褐色，セイヨウミツバチは橙色（図5下）と，体色を感覚的な分別に利用することも可能ではある。しかし，ニホンミツバチでも腹部第3節が褐色から橙色系となることがあり（図6），特に高温期は橙色の個体の割合が増えてくるため，分別点としては不向きである。またセイヨウミツバチでもカーニオランは腹部第3節の背板は暗褐色から黒色となるため，色調に基づいた種の分別はどうしても確度が低くなる。



図6 腹部第3節が赤みを帯びたニホンミツバチ
 高温期に出現しやすい。

ミツバチの形態

飛翔昆虫としての形態

ミツバチも他の昆虫と同じく、成虫は頭部、胸部、腹部の3部から構成される(図7)。

頭部には複眼、単眼、触角、口器が備わっている(口器についてはP.11)。胸部は3節からなり、第1節の前胸には比較的大きな第1気門が開口し、前肢が付属する。第2節の中胸には中肢と前翅が、第3節の後胸には後肢と後翅が付属する(付属肢についてはP.11)。翅は前後2対の4枚であるが、後翅前縁に約20個ある翅鉤(図5上参照)で前翅と連結して1対の翅として飛翔する。見かけ上の胸部の最後方は、最もくびれた腹柄までの腹部第1節が接合しており、腹柄の後方に腹部第2節から第7節までが働き蜂では配置され、各節両側に気門がある。また第4節から第7節までの腹板にろう腺が計4対ある(図24参照)。第7節の背板基部には第6節の背板で覆い隠される位置に集合フェロモンを放出するナサノフ腺がある。腹部の第8節は第7節の内部に位置して体外から見ることはできないが(雄蜂では第8節背板も露出する)、第9節、第10節(肛節)とともに刺針室を構成している。

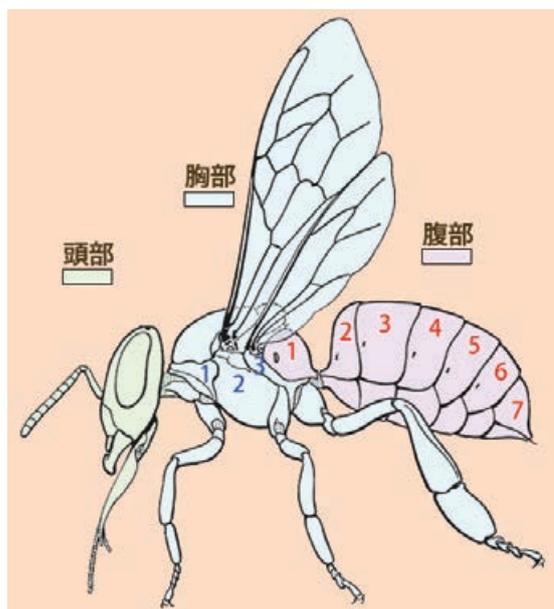


図7 働き蜂の体節構成 数字は節番号

1) 内部構造

働き蜂の頭部には脳および唾液腺(下咽頭腺、後脳腺、大顎腺)がある。胸部にも胸部唾液腺があるが、その容積のほとんどは上下・前後方向に走行する飛翔筋で満たされる。腹部には蜜胃に続く消化管や針が含まれる(図8)。

ミツバチの消化管のうち、消化吸収能を持たない蜜胃は花蜜採集の容器として利用され、その際は直後の前胃部の弁が閉じられる。通常、食物は胃(中腸とも)に送られ、囲食膜に包まれた状態で消化作用を受け、栄養素は上皮から吸収される。後腸に送られた未消化物は糞として後腸後半の直腸に貯められ、脱糞飛行時に巣の外で排泄される。

ミツバチは開放血管系で、腹部背面に位置する背脈管をポンプに体軸の前方に送り出される血液が、外骨格で囲まれた体内の空隙に広がり栄養を届ける。また各気門から体内に入りこむ気管系がよく発達して、各組織に酸素を届けている。この気管の主幹部は膨張して、空気を貯留できる気嚢となり、体密度を下げることで飛行を助ける。脳から続く神経索は、体の腹部側を走行して腹部末端まで到達するが、要所に脳の機能を分担する全7個の神経節を配置する。

針はミツバチの防衛機能上重要な器官であるが、女王蜂と働き蜂では、その構造、毒成分、刺針時の針の脱落の有無など、針と毒を使う対象の違いから大きく異なっている。

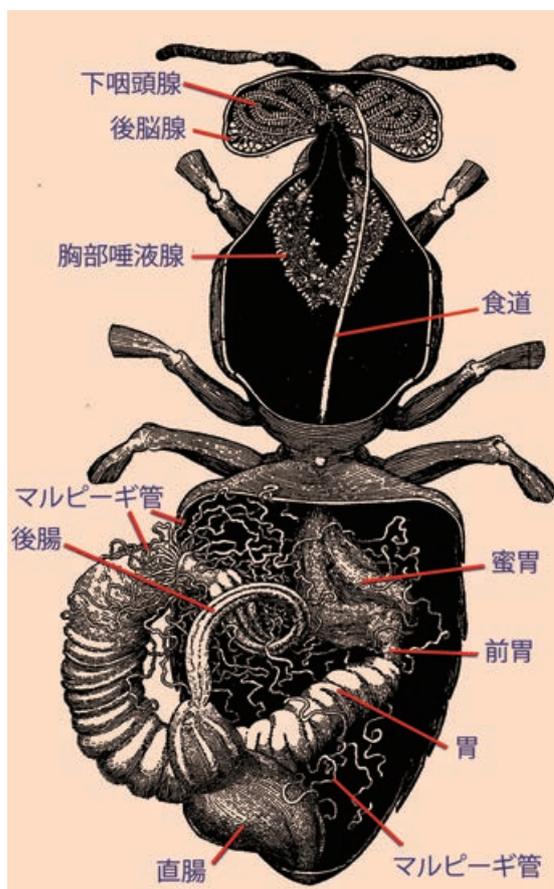


図8 働き蜂の消化管構造

2) 口器

ミツバチの形態で特筆すべきひとつが口器である(図9左)。ミツバチも一般の昆虫のように、上唇、上顎(大顎または大腮)、下唇、下顎(小腮)の4つを基本部品としている。チョウのようなストロー状の口吻構造は持っておらず、花蜜や貯蜜を扱う際には、左右の小腮の外葉と、左右の下唇鬚の4枚を束ね合わせる形で管状の口吻を形成する。

口吻の断面は、中心に中舌が位置する特殊な構造となり(図9右)、薄い花蜜の場合は口吻で吸い、中舌は特に機能していないが、花蜜が濃くなると中舌の先端のスプーン状の唇弁を使って掬い

取るように花蜜を舐め取り、また口吻内の液体を中舌で刺激して流動性を上げる。これによって水(糖度0%)から十分に濃縮されたハチミツ(糖度80%以上)までを扱うことができる。なお中舌の中心部には唾液を通す管が走行しており、中舌の途中に開口部がある。

口器は通常は折りたたまれており、中舌、下唇鬚、外葉の先端は胸側を向いている。水の蒸発や貯蜜の濃縮などを行う際は、水や貯蜜を折りたたんだままの外葉の上(下唇前基節の下側)に吐き戻し、外葉を下方に曲げて開くことで、水滴状に広げ、これに巢内の気流をあて、さらにこの動作をくり返すことで水分を効率よく蒸発させることができる。

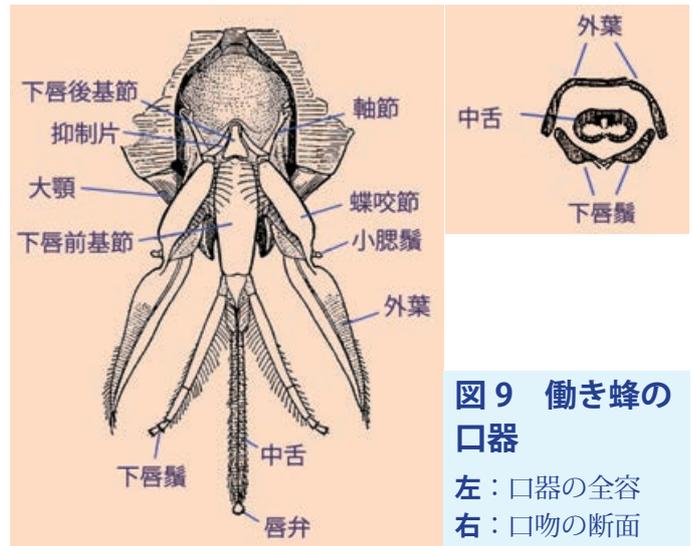


図9 働き蜂の口器

左：口器の全容
右：口吻の断面

3) 付属肢

ミツバチの付属肢は3対で、それぞれ体側から、基節、転節、腿節、脛節、および5小節からなる跗節(脛節側の大きな小節を基跗節、末端で爪を擁する小節を前跗節と呼ぶ)の5節で構成されている。前肢が前向きに、後肢が後方、中肢はその中間的な向きで配置され(図7, 図14参照)、体を支え、歩行の他、飛行中に花粉を集める作業のために複雑に動く。

前肢には雄蜂、女王蜂にも存在する触角掃除機があり、触角に付いたゴミなどを排除できる。働き蜂では口器が花蜜を集めるために特異的な発達を見せているのと同様に、付属肢が花粉を集めるために特殊な発達を遂げている。各付属肢の基跗節の内側には花粉ブラシが見られる(図10, 図13参照)。花粉ブラシは全身、特に胸部の分枝した体毛(図14参照)に付着した花粉を集める働きをする。中肢の脛節には太い棘状の突起があり、これは花粉を集めてきた採餌蜂が巣房内に花粉ダンゴを落とし込む際に用いられる。後肢の基跗節は働き蜂では太く、この内側にある花粉ブラシは特に発達している。花粉採餌中の働き蜂は、左右の花粉ブラシを摺り合わせて花粉をまとめ、反対側の脛節末端部にある花粉櫛を用いて花粉を上方向に掻き上げ、それを基跗節と脛節間の花粉圧縮器で圧縮しながら、体の外側に押し出し、脛節の外側の長い体毛に囲まれた花粉バスケットに入れていく(図10)。花粉バスケットには、ダンゴの串の位置になる1本の毛があり、圧縮された花粉は、この毛を中心に回転しながらダンゴ状にまとまっていく。

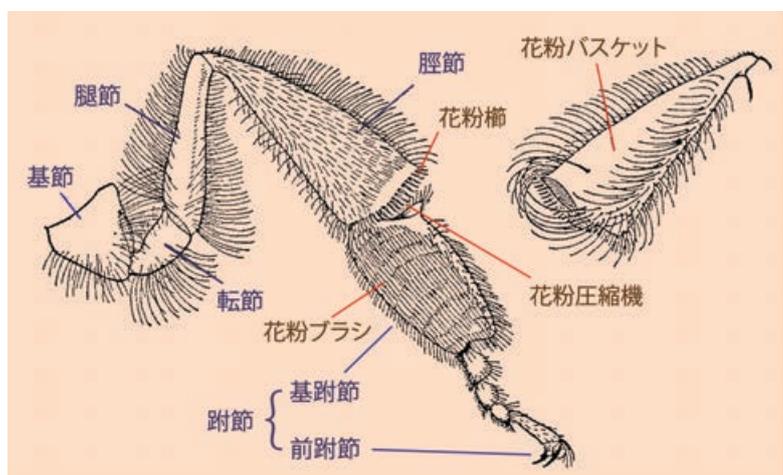


図10 働き蜂の右後肢(左：内側、右：脛節外側)

ミツバチの社会

ミツバチの社会の構成員は3種類 (表3)

1) 女王蜂

ミツバチの社会は単女王制をすべての種で共通としており、常態でひとつの蜂群(コロニー)に1匹の女王蜂がいる(図11)。女王蜂は雌としての生殖能をすべて持ち、蜂群内においては産卵のみを分担する。特に卵巣が発達しており、体重も働き蜂の2倍以上になる。一日の産卵数は数百から千個以上に及ぶが、季節や栄養状態、また蜂群の大きさによっても大きく変動する。働き蜂が与えるローヤルゼリーを食べ、それを卵に変換する「産卵機械」として位置付けることもできる。

女王蜂が分泌する低揮発性のフェロモン「女王物質」によって、働き蜂が有する卵巣は発達が抑制され、また新たな王椀の生産も抑制される。王椀の生産抑制は女王蜂の加齢に伴い弱まることが知られている。

通常、春の繁殖期に王台(図12)で育った新しい女王蜂は、母女王蜂の分蜂によって巣を譲渡され、羽化後1週間程度のうちに交尾を行い、その数日後、産卵を開始して蜂群を引き継ぐ。

女王蜂の寿命は働き蜂に比べて非常に長いといえるが、受精嚢に貯えた精子の枯渇が女王蜂の機能的寿命ともいえ、実質的には3~4年の寿命となる。



図11 働き蜂に取り囲まれる女王蜂

女王蜂の体表の女王物質を働き蜂が舐め取って蜂群内の他の働き蜂に広げていく。



図12 女王蜂は王台で育つ

王椀に卵が産み付けられると、大きく改築されて王台となる。左：女王蜂の出房後の王台内には食べきれなかったローヤルゼリーが大量に残っているのが普通である(画像は蛹化2日目の女王蜂)。中：王台は複数がほぼ同時に作られることが多いが、先に出房した新女王蜂によって他の王台が破壊されるか、同時に出房した場合は、生き残りをかけて新女王蜂同士で決闘を行うことになる。右：女王蜂を失った蜂群に見られる変成王台。働き蜂の幼虫から緊急対応として女王蜂を作ることができるが、一般に体型は小型となり、自然王台の女王蜂に比べて産卵性能が低いことが多い。また雄蜂がいる時期でなければ交尾はできない。結果として巣を引き継ぎ、蜂群を存続維持するための確実な保険として有用というわけでもない。



図 13 女王蜂と働き蜂の相違点

雌として、同じ遺伝子を持ちながら、外見も機能もまったく違う女王蜂と働き蜂は、生殖とその他の労働について分業をしている。女王蜂は大きな卵巣と、精子を貯える受精囊を持ち、雌雄の産み分けを自分で調節できるが、小さな卵巣のみを持つ働き蜂は、交尾をして精子を受け取ることはできず、受精卵を産むことはない。一方で、花蜜を集めるための蜜胃や、花粉を集めるための花粉ブラシ（各付属肢の跗節の内側）などの採餌機能を持つ形態は働き蜂でのみ発達し、女王蜂では縮小、あるいは完全に退化している（表 3 参照）。
 ※卵巣および消化管は白色組織のためメチレンブルーで染色して構造が確認できるように調整してある。

コラム 1

ローヤルゼリーを食べたら女王蜂？

いずれも雌の卵から発生する女王蜂と働き蜂では、形態や機能に非常に大きな差がある（図 13）。両者は、まず、卵を産み付けられて育つ巣房が、下垂した王台か（図 12）、横向きの働き蜂巣房か（図 27 左）のちがいがあ。また働き蜂から与えられる餌にも大きな差がある。女王蜂は幼虫期の全期間にわたってローヤルゼリーだけを与えられ、働き蜂は最初はミルク（蜂ミルク）だが、幼虫期後半には花粉も与えられるようになる。このためローヤルゼリー中に女王蜂化を促す物質があると考えられてきた。しかし、室内での人工飼育において、同じローヤルゼリー（水分を調整し流動性を維持するために加糖調製する）を多量に与えると女王蜂に、少量を間欠的に与えると働き蜂になることから、食べた餌の質よりも、食べた量が女王蜂化において重要であると考えられる。あるいは、女王蜂化に関係した成分をどれだけ摂取することができるかによって、女王蜂になるか働き蜂になるか決まってくるようである。

同じ遺伝子のセットを持っているが、餌の栄養学的な刺激を環境要因として働くエピジェネティクスによって発現する遺伝子の種類や発現頻度が異なることで、形態と機能に大きな差が生じる。女王蜂では生殖関連の遺伝子が発現し、一方でハナバチ的形態を形づくる遺伝子が抑制される。働き蜂ではこれと逆になる。なお雌の幼虫が、働き蜂と女王蜂のどちらになるかは孵化後 3～4 日までに決定される。

2) 働き蜂

ミツバチの働き蜂はすべて雌で、基本的に産卵以外のすべての労働を担当する。花粉を集めやすい外部形態は、共通の祖先を持つハナバチ類の中でも最も発達している（図14）。また、長舌で蜜胃も非常によく発達し、花蜜を集めやすい。巣材となる蜂ろうを分泌するろう腺、女王蜂や幼虫の餌となるミルクを作る下咽頭腺、巣を外敵から守るための針に付属する毒腺など、それぞれ必要な時期に発達が見られ、仕事に応じた生理状態となる（表4参照）。

女王蜂が多数の雄蜂の精子を利用して受精させた卵から発生する働き蜂は、父親由来の遺伝的背景を持つ、いわば異父姉妹であり、各行動を解発・継続する刺激の閾値に差を設けて（図21参照）、必ずしも一律に動かないことで、蜂群として必要な労働力の確保を常に最適化できるように調節している。

また、蜂群が大きくなると、全体の3割程度の働き蜂がよく働いていて（エリートと呼ぶ）、残りの労働参加頻度は低い状態が維持される。これは流蜜など、予測の付かない巣の外部環境の変化、特に資源利用に臨機応変に対応するための予備役（リザーブ）を確保している状態でもある。なお、エリートとリザーブの間に遺伝的な偏りや能力的な差はないとされる。



図14 主役は働き蜂

蜂群の基本的運営を実質的に決定している働き蜂だが、実際には、複雑な分業体制をもとに、特定のリーダーを持たないまま、高度な秩序社会を実現している。

3) 雄蜂

ミツバチの性決定は特殊で、受精卵から雌（女王蜂または働き蜂）、未受精卵から雄が発生する。女王蜂は産卵に際して、産み付ける巣房のサイズを計測して、やや大きい雄蜂用の巣房の場合には受精させずに未受精卵を産み落とす。

雄蜂（図15）は蜂群内では労働参加はせず、繁殖期に巣外の雄蜂の集合場所に行き、他巣の新しい女王蜂と交尾をする役割だけを担う。羽化後、8日目頃から定位飛行を行うが、性成熟は12日目以降となる。他の昆虫と異なり硬質な陰莖を持たず、交尾に際しては精嚢を反転して精子を女王蜂に与えるため、交尾成功すれば腹部端がちぎれてその場で死亡する。交尾相手に出会えなかった場合は帰巣するが、繁殖期は基本的にどの蜂群に戻っても受け入れられるため、別の蜂群に戻ることもあり、結果として、一つの蜂群内に多様な雄蜂が見られることも珍しくない。

寿命は1か月以上に及ぶが、繁殖期の過ぎた夏には働き蜂によって巣から排除される。蜂群における雄蜂への投資は限定的でもあり、自然条件下では、分蜂を機に雄蜂の生産は大幅に縮小されてしまい、結果として雄蜂用の巣板は利用度が低くなる。



図15 巣の中で女王蜂と出会う雄蜂

雄蜂は巣の中で女王蜂と出会っても、一切の反応を示さない。

表3 ミツバチの女王蜂, 働き蜂, 雄蜂の比較

	女王蜂	働き蜂	雄蜂
性別	雌	雌	雄
数	1匹	数千から数万匹	最大数千匹
発生する卵	受精卵	受精卵	無精卵
産卵(成育)場所	王椀(王台)	働き蜂巣房	雄蜂巣房
巣房の大きさ	大(数個/群)	825~850個/100 cm ²	500~540個/100 cm ²
卵期間	3日	3日	3日
幼虫期間	4.6日	6.0日	6.3日
蛹期間	7.5日	12.0日	14.5日
成長期合計	16(15~17)日	21(19~22)日	24(24~25)日
成虫寿命	2~5年	春夏 1~1.5か月 越冬期 3~6か月	1~2か月
体重	178~292 mg	81~151 mg	196~225 mg
幼虫期の餌	ローヤルゼリー*	ミルク*, 花粉	ミルク*, 花粉
成虫期の餌	ローヤルゼリー*, 貯蜜	花粉, 貯蜜, ミルク*	貯蜜, 花粉, ミルク*
触角の化学受容器	1,600個	2,400個	30,000個
前肢の触角掃除器	あり	あり	あり
複眼の個眼数	3,000~4,000個	4,000~6,900個	7,000~8,600個
大顎	大きく切れ込みあり	大きい	小さい
口吻	短い	長い	短い
蜜胃	小さい	大きい	小さい
花粉ブラシ	ない	発達	ない
針(刺針鞘)	あり(かえしなし)	あり(かえしあり)	ない
ろう腺	ない	あり(4対)	ない
ナサノフ腺	ない	あり	ない
生殖器官	交尾器あり 大きな卵巣1対	交尾器なし 縮小した卵巣1対	交尾器あり 精巣1対
卵巣小管	160~180本/卵巣	2~12本/卵巣	—
受精嚢	大きい	痕跡	—
産卵数	最大1,500個/日 17.5~20×10 ⁴ 個/年	不定 一巣房に多数卵が特徴	—
精液量	交尾直後で28 μL	—	1.7 μL/匹
精子数	交尾直後の受精嚢内 5.3~5.7×10 ⁶ 個	—	成熟精巣内 11×10 ⁶ 個
役割	産卵	育児, 造巣, 貯蔵, 採餌, 巣の防御, その他	交尾

* ローヤルゼリー以外のミルクについて, 働き蜂ゼリー, 雄蜂ゼリーと区別する研究者もいるが, ローヤルゼリー自体の栄養学的な変動が大きく, それぞれ3種が異なるものとして用意されている可能性は低い。

ミツバチの繁殖

ミツバチの繁殖は「分蜂」

温帯でのミツバチの繁殖期は春であるが、飼育下では採蜜時期との関係で、養蜂家による繁殖期の先送りがなされるのが一般的である。また、熱帯・亜熱帯では明確な繁殖期がなく、常時、雄蜂が見られ、繁殖可能な状態が続くか、年2回程度の繁殖期が見られる。蜂群の強さにもよるが、早春期から雄蜂は生産され始め、年間では5,000～20,000匹が育てられる。女王蜂は、蜂児生産が最盛期を迎えて蜂児圏の利用率が90%を超え、また働き蜂の数が増えて労働従事できない不活性なものが増え、働き蜂の密度が高く、現在の産卵女王蜂の女王物質が行き届かなくなることを刺激に生産が始まる。通常の蜂群では年間10匹程度の女王蜂が生産されるが、このうち雄蜂との交尾まで進み、実際に巣を引き継ぐものは最大でも4匹程度で、一般的には1匹のみ場合が多い。

ミツバチの繁殖は、巣を分割する分蜂を基本様式としており、通常年1～3回程度、蜂群の状態に合わせて分蜂を行い、蜂群数が増える(図16)。第一分蜂では、産卵能力のある母女王蜂を含む一団が出巣するが、この出巣時点で元群の67±13%の働き蜂(かつ10日齢以下の若い働き蜂が全体の70%を占める)が参加しているとされる。出巣のタイミングは、新女王蜂が幼虫期を終えて、王台に蓋がけされてから出房までの期間となる。また、出巣時には、出巣する働き蜂の体重の40%近い貯蜜を持ち出す。残存する側では、働き蜂の大量喪失によって、幼虫の死亡率が一時的に上がるものの、大量の花粉、貯蜜、有蓋蜂児があり、新女王蜂が交尾して産卵開始するまで10～20日かかるものの、蜂群は急速に回復する。

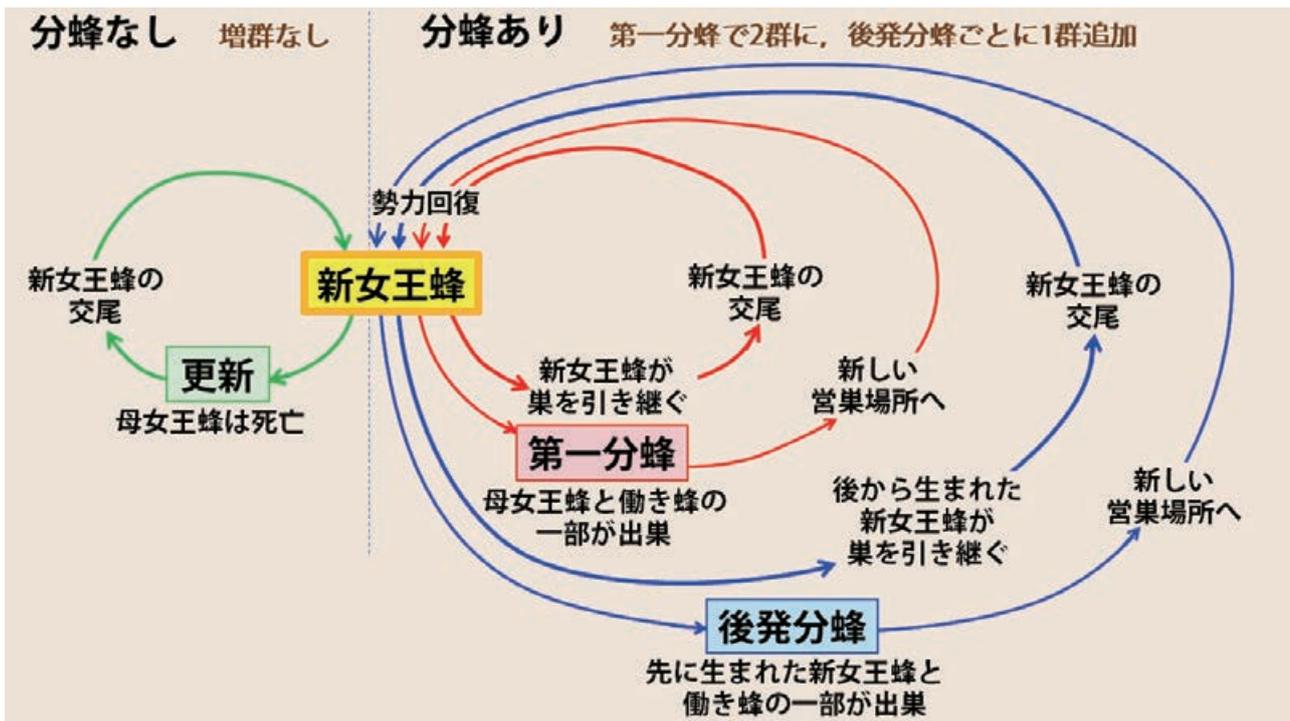


図16 ミツバチの繁殖様式

新女王蜂の育児開始が繁殖の起点となる。最初の分蜂(赤線:第一分蜂)では、新女王蜂が巣を引き継ぎ(内側)、母女王蜂が出巣して新たに営巣を開始する。後発分蜂(青線)は蜂量が多い場合などに複数回見られることもあり、後から生まれる女王蜂が巣を引き継ぎ(内側)、先に生まれた女王蜂(多くは未交尾のまま)が出巣して新たに営巣を開始する。分蜂回数に応じて蜂群数が殖える様式ではあるが、セイヨウミツバチの野生群では、母巣を引き継いだ蜂群の越冬成功率が82%となるのに対して、出巣した蜂群の越冬成功率はわずか26%にとどまり、必ずしも殖えやすい生物とはいえない。

分蜂の場合、新たに巣を作るための資源上の、かつ時間的な猶予が必要で、一般的な分蜂時期を過ぎると、分蜂を伴わない女王蜂の「自然更新」が起き、女王蜂だけが若返るものの、群数は増えない(緑線)。

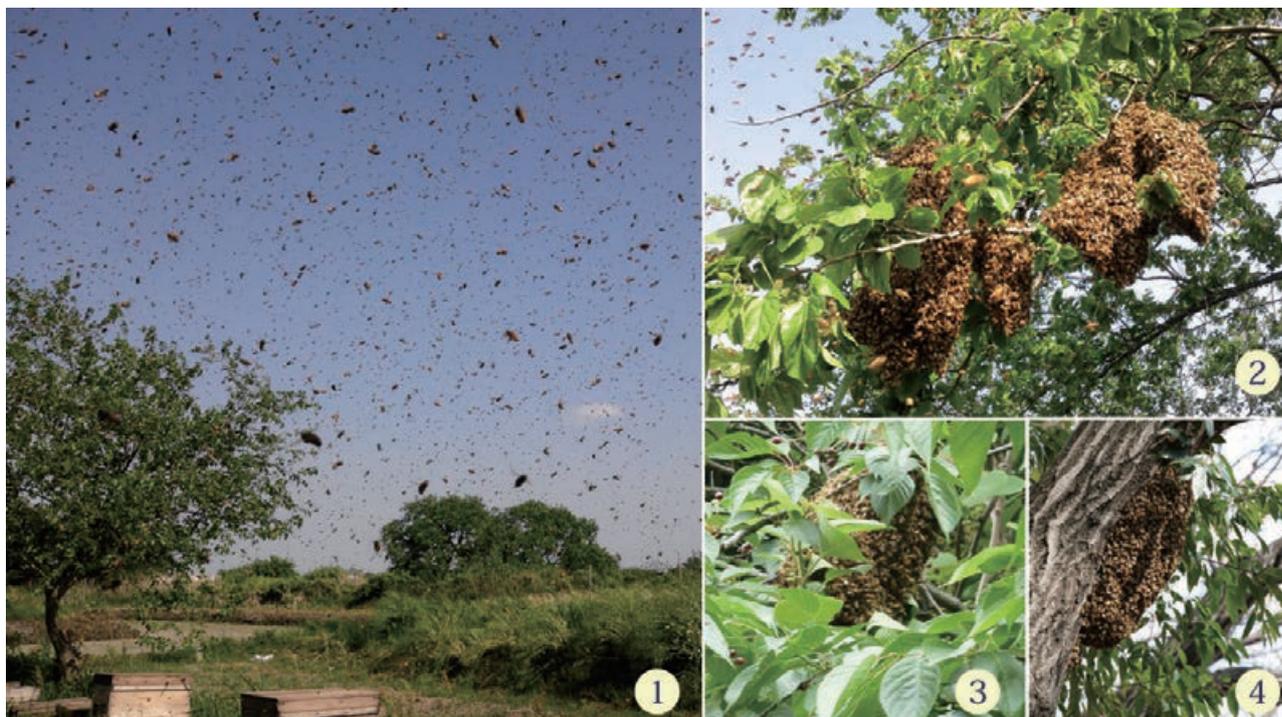


図 17 分蜂時の群飛とセイヨウミツバチの分蜂蜂球 (詳細説明は本文参照)

分蜂から営巣まで

分蜂群は、出巣後、短時間の群飛 (図 17 ①) を行い、通常、巣から 20～30 m 以内の立木などに集結する。この集結状態を分蜂蜂球と呼び、セイヨウミツバチでは一般的に樹木の梢に近いところで、細い枝や葉を取り込むように形成される (図 17 ②)。小さな分蜂蜂球の場合には、葉に埋もれてしまって発見するのが難しくなる (図 17 ③)。なお、早春の分蜂時にはニホンミツバチのように樹木の幹や太い枝に形成することもあり (図 17 ④)、蜂球の状態だけでミツバチの種類は特定できない。

セイヨウミツバチでは集結後に、一部の働き蜂が蜂球から飛び立って新たな営巣場所候補の探索を行う。13～34 か所もの新営巣場所候補の情報が集められ、これをダンスを用いた多数決方式で一つに選定し、一斉に飛び立って群飛をしながら移動する。移動までの時間は、新規営巣場所の探索の状況、天候なども大きく関わってくるが、条件がよければ 2～3 時間以内にも移動を開始する。新規営巣場所は、樹洞がよく選択されるが、樹洞がない環境では、養蜂用の空箱や、屋根裏など人工物の内部といった閉鎖的な空間が選択され、移動完了した蜂群を見つけるのは容易ではない。

なお、セイヨウミツバチは、営巣場所の容積として 15～80 L、巣門となる出入口が南向きで、開口部面積は 75 cm² 以下、空間の底側にあって、ただし地上高数 m の位置にあるものが好まれる。また母巣からは 100～400 m 程度の距離で、以前にそこを利用した蜂群の巣の跡があるようなものを選ぶ傾向が実験的には示されているが、現実にはそのような理想的な場所はほとんどなさそうである。

適当な営巣空間が見つけれられない場合、分蜂蜂球のまま開放的な空間に営巣を開始することもある (図 18)。都市部など、スズメバチの攻撃を受けない場所や、寒さを凌げる場所の場合にはそのまま越冬し、春を迎えられることさえある。



図 18 開放空間の自然巣

マツの木の枝下に作られていたセイヨウミツバチの巣

ミツバチの多回交尾

ミツバチは一妻多夫

ミツバチは一妻多夫の交尾様式を持ち、女王蜂は巣内ではなく、巣から数 km 離れた交尾場所（雄蜂の集合場所；DCA）で、1 回の交尾飛行の間に複数の雄蜂と交尾を行う。これを多回交尾と呼ぶ（図 19）。女王蜂は産卵開始までに最大で 5 回の交尾飛行を行う。その際の交尾相手の雄蜂の総数は、解析精度が上がったこともあり、これまでいわれていた 17 匹程度から、大幅に増えて 34 ~ 77 匹にもなるようである。

女王蜂は交尾に際して複数の雄蜂から総計約 2 億個の精子を受け取るが、実際に受精嚢に貯えられるのは 500 万個程度（受け取った量の 2.5%）である。産卵時には雌雄を産み分け、雌の卵はこれを利用して受精させる。受精における精子効率が高く、1 卵当たり 1 ~ 10 個の精子で受精させられ、異なる雄蜂の精子を受精させた異父姉妹となる働き蜂を作り出せる（図 20）。



図 19 女王蜂に引き寄せられる雄蜂

風船からぶら下げた黒いケージ（右側）には処女王が入れており、これを雄蜂が追う。このように女王蜂を使って、雄の集合場所を探索できる。ただし、養蜂場の上空などでは、女王蜂も雄蜂もおそらく離れた雄蜂の集合場所に到達する前に出会ってしまい、その場で交尾しているのが目撃される。

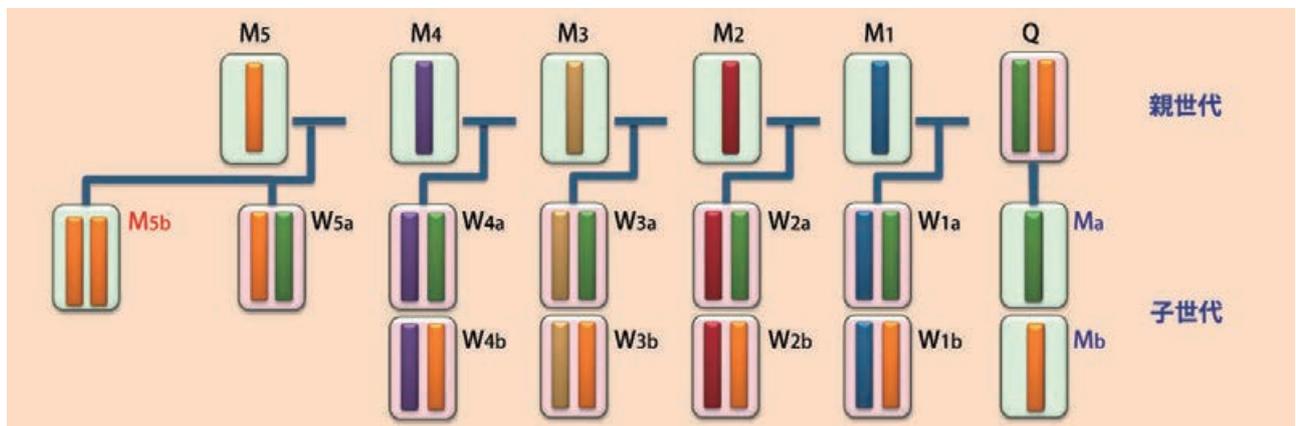


図 20 ミツバチの性決定と血縁度

女王蜂 (Q) は、未受精卵を産んで雄蜂 (Ma と Mb) を作る (単為生殖)。一方、受精卵からは、それぞれ父親となる雄蜂 (図中では M1 ~ M5) の遺伝的特性を受け継ぐ働き蜂 (W1a ~ W5a) を作る。女王蜂と血縁的に近い雄蜂 (M5) の場合、同じ性決定遺伝子同士のコホモ接合が生じ、受精していても雄蜂 (M5b) となる。この二倍体の雄蜂は幼虫期初期に働き蜂によって排除されるため、自然界では存在しない。蜂群のメンバーの血縁度 (r) は、女王蜂と娘にあたる働き蜂、あるいは女王蜂と息子にあたる雄蜂では $r=0.5$ であるが、働き蜂同士ではやや複雑で、同父の場合、女王蜂から受け取った遺伝子セットが同一の場合 (例えば W1a 同士) は $r=1.0$ 、異なる場合 (W1a と W1b) は $r=0.5$ で、全体として $r=0.75$ となり親子間よりも高い。一方で、異父姉妹の場合は、女王蜂から受け継ぐ遺伝子セットが同じ場合 (例えば W1a と W2a) は $r=0.5$ 、異なる場合 (W1a と W2b) では $r=0.0$ で、異父姉妹全体では $r=0.25$ となる。集団内で親子間よりも姉妹間の血縁度が高くなるのが、姉妹協働による社会進化の起点とされているが、現在のミツバチは蜂群内の血縁度の高さよりも、さらに働き蜂の遺伝的多様性の向上を優先しているといえる。

多回交尾の意義

交尾飛行は約 20 分間、巣から数 km 離れた雄蜂の集合場所を往復するもので、蜂群にとって 1 匹しかいない女王蜂の交尾のコストが大きいという面もあるが、それに見合う利益をミツバチにもたらしているのは間違いない。多回交尾によって蜂群内の働き蜂の父親が多様となり、同じ父親を持つ働き蜂の父系グループ（1 蜂群内の父系グループは 10～30 にもなる）は、それぞれ父親から受け継ぐ遺伝子により、特定の行動を解発する刺激に対する反応閾値に差を持つ、つまり遺伝的な傾きのある集団構造となる（図 21）。

ミツバチが巣の温度を下げるために行う換気は、働き蜂が高温を感知して扇風行動（図 22）を解発することで実現している。この場面で、1 匹の雄蜂の精子を人工授精した女王蜂で構築した蜂群の場合は、刺激のレベルにかかわらず多数の働き蜂が、従事している仕事をやめて扇風行動を始めて温度を下げようとする。一方、多数の雄蜂と自然交尾した女王蜂で構築した蜂群では、刺激のレベルに応じて、つまり刺激が小さい場合はごく一部の限られた父系の働き蜂が、刺激が大きい場合は複数の父系の働き蜂が扇風行動を解発し、巣の換気を促進することになる（図 21）。扇風行動は、日齢や現在従事している仕事に関係なく、刺激を受け取った働き蜂が解発する行動で、刺激に応じた調節ができることは、温度の恒常性維持の効率を高めることはもちろん、同時に現在の仕事を中断する働き蜂の数を抑制し、通常の営みの持続の安定性にも貢献する。

同様に、採餌における花粉集めへの偏りや分蜂時の新営巣場所の探索に行く傾向に父系ごとの差があることも知られ、蜂群内に仕事への従事傾向に差のある多様な働き蜂が存在することは、耐病性の向上や採餌効率の向上にもつながる。このように仕事への従事傾向に差があることは、他の個体が代わりに従事する仕事によって、自分への利益が期待できる状態が維持されていることでもあり、そのような相互利他的傾向が、ミツバチの社会の根幹になっている。

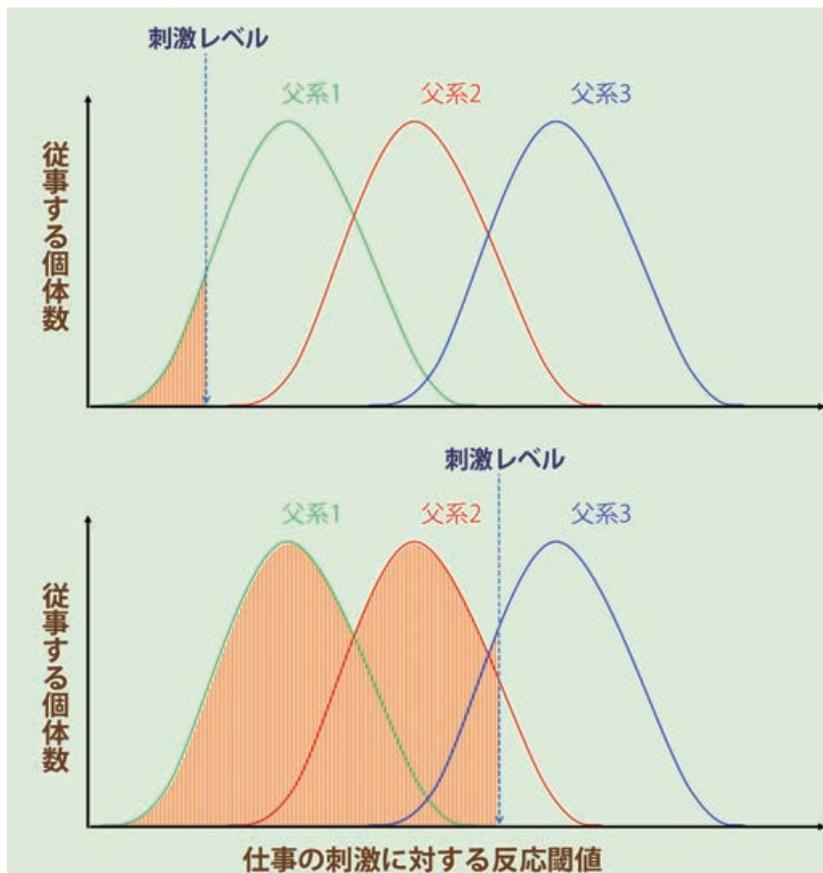


図 21 反応の異なる働き蜂グループが仕事の量を調節

上：刺激レベルが小さい場合は反応閾値の小さい（小さな刺激に反応する）父系の働き蜂のみが行動を解発する（塗りつぶし部分）。
下：刺激レベルが大きくなると、反応閾値の大きな父系の働き蜂も行動を解発し、多数の働き蜂がこの仕事に従事することになる。



図 22 ミツバチの扇風行動

上：巣門で見られる扇風行動。
下：巣板上でも頻繁に見られる扇風行動。両者の組み合わせで、巣の換気が実現する。

ミツバチの働き方

働き蜂の分業

蜂群内で働き蜂が従事する仕事は多岐に及ぶが、羽化後の日齢に沿って仕事を順次変えていく「日齢分業（齢差分業とも）」によって効率よく分業が行われている（図23）。日齢分業の観察は、比較的小さな観察巣箱内の蜂群について調べられており、個々の働き蜂が現在従事している仕事には蜂群の状態が大きく影響するため、単純に日齢から従事している仕事を判断するのは無理がある。このため内勤（掃除、育児、巣作り、貯蔵）と外勤（採餌）のふたつ、あるいは1か月ほどの成虫寿命を10日間ずつに分け、それぞれの期間での主要な仕事を代表として、育児蜂、貯蔵蜂、採餌蜂と三分して考えることもある（表4）。

また、それぞれに仕事には、働き蜂の体の生理的な変化が伴う（表4）。例えば、新たな造巣作業に従事する働き蜂はろう腺が発達してろうを分泌するようになる（図24）。こうした生理変化も蜂群の状態（特に蜂量、蜂児量、餌の量）によって大きな影響を受け、結果として分業の進行の変動も大きくなる。例えば最初に外勤活動（採餌）を開始する日齢は蜂群の状態によって10～20日以上之差が生じる。また、前項で述べたように父系グループごとに仕事への従事傾向にも差が生じる。さらに、越冬明けなど、実際の日齢とは無関係に従事する仕事が決まり、その場合、必要な器官の再活性化が見られ、分業に関連した生理変化には高い可塑性があることも示されている。

基本的にはすべての働き蜂が、成虫になってからの時間経過に伴って必要な仕事に従事するが、個体差も大きく、特によく働く個体（「エリート」と呼ぶ）とそうでない個体に分けられる。エリートは全体の3割程度といわれ、これは同じ社会性昆虫であるアリ類でも同様の数値であるが、ミツバチの場合は、巣の環境調節に動員される個体が多くなるため、小型の蜂群では、仕事に従事している働き蜂の割合は高くなる。

また、巣内のパトロール、換気のための扇風行動（図22）などは明確に日齢に依存せず、他の仕事に従事している働き蜂が行うことも多い。それとは別に、ごく一部（通常1%以下）の働き蜂だけが担当する仕事もあり、死体捨て、水汲み、樹脂集め（図25）などがこれに相当する。特定の働き蜂が一生のある時期にこうした仕事を独占的、連続的に担当するため、そのような働き蜂を「スペシャリスト」と称する。

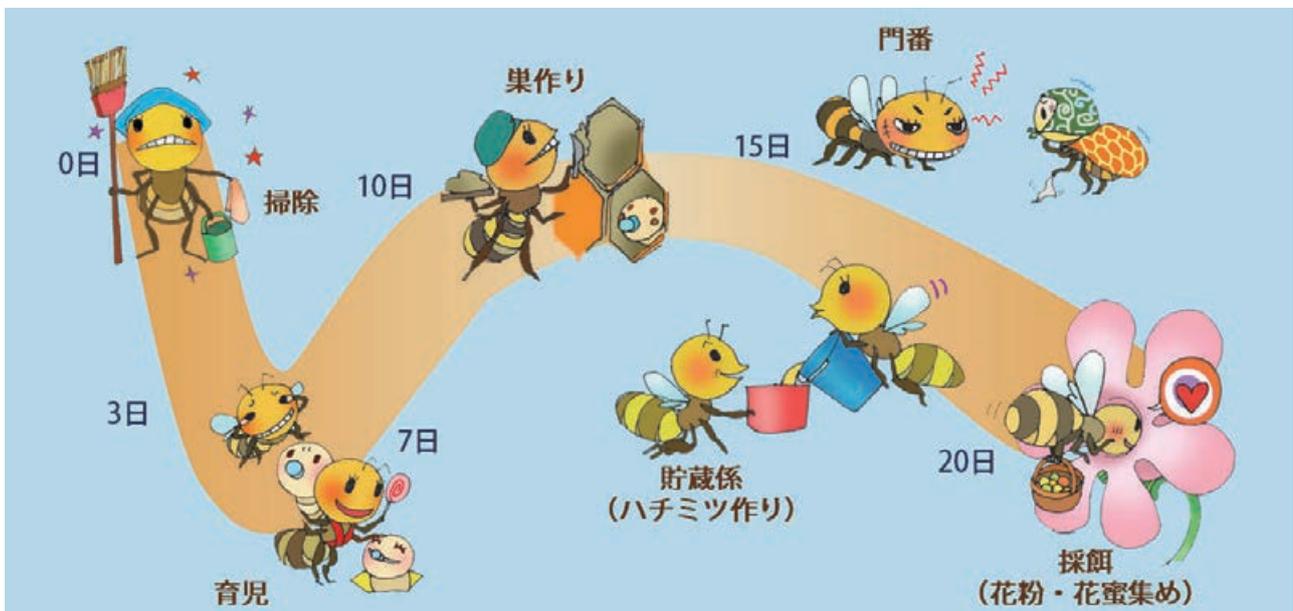


図23 働き蜂の分業の基本的な進行

内勤のうち死亡率が低く、すべての働き蜂がひととおり内勤のすべての仕事に従事してから外勤となる。外勤は捕食者などの遭遇機会が増え、また天候なども死亡要因として存在するため、死亡率は急激に上昇する。若い働き蜂の方が体力的に採餌を担当した方がよさそうにも見えるが、その結果、その後を担当すべき内勤的な仕事に欠員が生じてしまう。ミツバチの分業進行は、蜂群の運営上、利点が多い。

表4 働き蜂の分業と生理変化

	育児蜂（内勤前期）	貯蔵蜂（内勤後期）	採餌蜂（外勤期）
日齢*	1～10日	11～20日	21日以降
脳＝学習能力	向上	高度維持	高度維持
下咽頭腺	ミルクタンパク質合成	ハチミツ用酵素合成	活性低下
大顎腺	ミルク脂肪酸合成	活性低下	警報フェロモン合成
ろう腺	未活発	蜂ろう合成	活性低下
毒嚢＝毒成分	合成増加	大量貯蔵	大量貯蔵→減少*
主要な仕事内容	巣房の掃除 幼虫への給餌 女王蜂への給餌 蜂児巣房の蓋がけ	巣の増築・補修 貯蜜の蓋がけ 貯蜜の移動・濃縮 花蜜の受け取り	門番（巣の防衛） 花蜜の採集 花粉の採集 水の採集** 樹脂の採集**

* 日齢の進んだ採餌蜂では毒嚢は縮小し、ほとんど毒を持っていないものが増える。

** 水および樹脂の採集は限られたごく一部の働き蜂によって行われる。



図24 ろう腺の発達と巣作り

左：腹部のろう腺に全部で8枚のろう片を分泌できる（ろう片の厚さは変動が大きい）。

中：脚を使って腹部のろう腺から外したろう片を、今度は大顎を使って、造巣位置に貼り付ける。

右：作り始めは噛み砕いたろう片を貼り付け、あとで鉋をかけるように縁を削って仕上げていく。



図25 専門家（スペシャリスト）が従事する仕事

左：死体を扱う専門家がいることで、感染症の拡大を抑制している可能性もある。

中：水汲みは、内勤期に水を受け取っていたものが、外勤期の初期に水を求めて外に行くと考えられる。

右：樹脂集めは、水汲み同様に、内勤期に樹脂関連の仕事に従事していたものの一部が担当する。

水汲みや樹脂集めに従事するものは、仕事量の低下に伴って、花蜜や花粉を集める一般的な採餌蜂にシフトし、いったん採餌蜂になるとこの仕事には戻らないようである。

ミツバチの巣

自前の材料で巣を作るミツバチ

セイヨウミツバチは、通常は閉鎖的な空間、自然状態では立木の洞（樹洞）、人の生活圏の近くでは、建物やその他の人工物の内部に巣を作る。巣材は貯蜜を食べてろう腺から分泌する蜂ろうである（図 24）。

ミツバチによる糖質からろうへの変換効率率は 0.2 とされ、つまり糖質 10 g から蜂ろう 2 g を生産できる計算となる。水分 20% のハチミツ 10 g であれば蜂ろう 1.6 g、さらに薄い貯蜜、例えば水分 50% の貯蜜であれば 10 g から 1 g の蜂ろうが生産できる。ミツバチは 1 g の蜂ろうを用いて表面積 20 cm² の巣板を作る。分蜂直後の働き蜂は、蜜胃に 35 mg の貯蜜を持っており、1 万匹の分蜂群であれば、その平均的な糖度を 70% とすると糖質の総量は 250 g になり、これで 50 g（ろう片にして約 80,000 枚分 = 1 匹 8 枚としてちょうど 1 万匹分）の蜂ろうを生産でき、上記の計算通りであれば作られる巣板の表面積は 1000 cm² になる。ただし、これは最終的な巣のサイズの 5% ほどにしかない。越冬に必要な貯蜜（約 20 kg）を入れられる標準的なサイズの巣はおおよそ 1 kg の蜂ろうで完成するが、群蜂が年間に消費する 60 kg のハチミツのうち、約 6 ~ 7 kg がその原料として割り当てられる。

1) 巣房の種類

セイヨウミツバチの巣は、複数の巣板で構成され、ひとつひとつの巣板は、断面が六角形の空洞の角柱（巣房）の集合体である。巣房には、育児に関して雄蜂用と働き蜂用の 2 種類がある（図 26）。

飼育下の蜂群では雄蜂巣房が少ないため、春から初夏にかけては、雄蜂巣房で構成される巣板（養蜂上はいわゆるムダ巣）ができやすい。新たな造巣時に雄蜂用を作るかどうかは、現在の巣内の雄蜂用の巣の総量を働き蜂が感知して決定する。

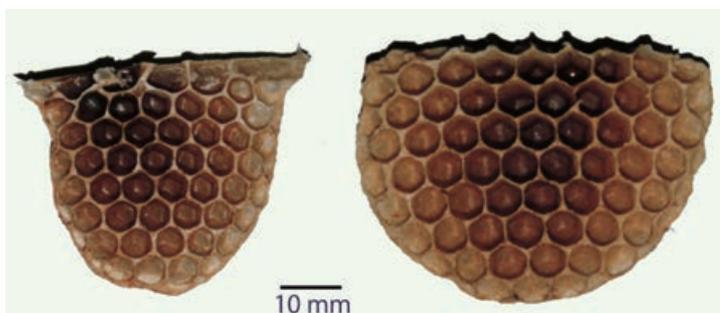


図 26 大きさの異なる 2 種類の巣房

実験的に各時期に巣内に空間を設けて巣作りをさせたところ、働き蜂巣房（開口幅 5.2 mm, 左）は年間作られ、雄蜂巣房（開口幅 6.2 mm, 右）は春によく作られ、女王蜂の更新後、一時的には生産が止まり、晩秋に再び作られた。

2) 巣房の用途

雄蜂用と働き蜂用の巣房は、いずれも食料の貯蔵と育児の両方に使われるが、雄蜂用の巣房は、どちらの用途に関しても利用率が低い傾向にある。

巣房の内容物は、一般的に重量のある貯蜜が巣の上方の巣房（作り始めは働き蜂用の巣房で構成される）を利用して貯えられ、育児に必要な花粉が巣の中央に置かれる。やがて花粉を消費しながら蜂児圏が構成されるため、花粉は場所が固定されにくい。育児が始まって時間が経つと、中心部は育児に集中的に利用されて蜂児圏（無蓋蜂児：卵、幼虫、有蓋蜂児：蛹）となり、その周辺部に花粉が貯蔵されるようになる（図 27）。



図 27 典型的な巣房の利用パターン

この巣板の左下側が巣の中心部で、右側が外側にあたる。貯蜜は上部から外側に、育児圏は巣の中心に位置する。その間に花粉が貯蔵されるが、花粉の貯蔵期間は短い。

3) 六角形を選択

巣房を六角形で構成しているのは、ほぼ円筒形の蛹を収納する際にムダが小さくなる利点によると考えられる。

ミツバチの場合はさらに、下方への加重を支持できる強度と、材料を少なくできることの両方を同時に成立させるために六角形が選択されているといえる(図28)。

造巣にあたっては、例えばアシナガバチでは、巣房として円柱を並べていくと互いに壁面が干渉し合い、結果として断面が六角形の見かけとなる。ミツ

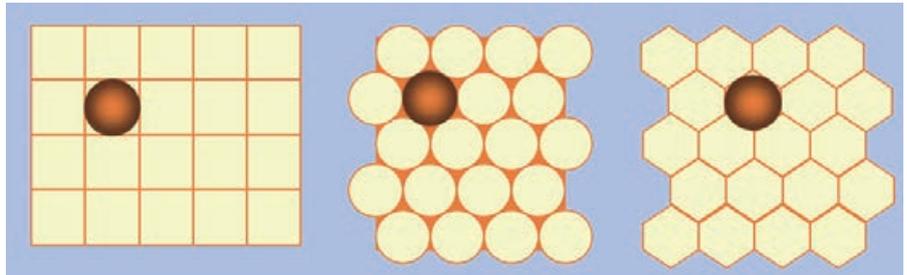


図28 六角形を選択

左：柱を立てて人が建築するものはその重量を地面が支えているが、ミツバチの巣は上からぶら下がるため、巣房断面が仮に四角形だった場合には巣の重さ(引っ張り)に耐えられない。中：円形は収納物との関係ではもっともムダがない。また壁が厚く強度は高いが、材料もその分多く必要になる。右：六角形であれば円形の52%の材料でできる。巣部屋の壁の厚みは0.073 mm、巣房底の厚みも0.176 mmと極めて薄い。しかし、巣房底の中心に裏側の巣房壁の交点が合わさっており強度は極めて高い(右図)。

バチの場合はこれとは違い、巣房を作り合わせるのではなく、巣板全体の基礎(この時点で各頂角が120°の正六角形として描く)の構築を優先して行い、その後、基礎に合わせて巣房壁を盛り上げて巣房を完成させる。なお、内容物が落ちにくいように巣房は水平方向について、若干上側を向いている。

4) 巣房の容積・量的指標

巣房はセイヨウミツバチの場合、10 cm×10 cm (100 cm²) の巣板上に片面 820 巣房(働き蜂巣房の場合)ある。開口幅 5.2 mm (六角形の辺心距離の2倍)で底面積 23.4 mm²、深さが 11 mm の働き蜂巣房の容積は約 0.26 mL である。これを満たす糖度 80% のハチミツ(比重 1.4)の重量は 0.36 g となり、100 cm² の巣房数をかけ合わせると約 300 g となる。大人の手のひらがおおよそ 100 cm² であるので、これを目安に面積を推定することで、蜂児量や貯蜜量も見当付けることができる。

5) 蓋がけ素材

巣材は蜂ろうであるが、着色部などにはリサイクル材料も使用する。使用目的に応じた差もあり、12日間しか利用しない育児巣房の蓋と、より長期に利用する貯蜜巣房の蓋に使う材料(特に蜂ろうの使用割合)は大きく異なる(図29)。

育児巣房は、幼虫が吐く繭糸による蓋の裏打ちがあり、また中で蛹が呼吸しているため、空気の透過が可能で、やや脆い構造で、蜂ろうの比率は相対的に小さい。一方、糖度 80% に濃縮したハチミツは、蓋なしで放置すれば吸湿してしまうため、基本的に空気の透過を遮断した、ほぼ純粋な蜂ろうだけを薄く延ばした蓋をかけることになる。

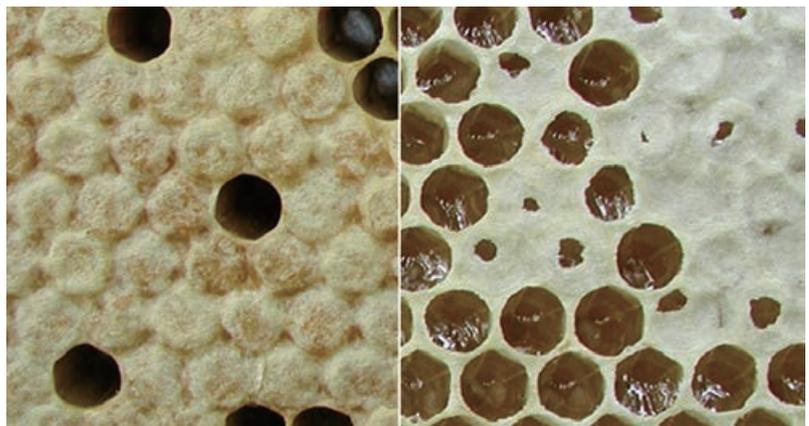


図29 巣房の蓋の素材は使い分ける

左：働き蜂の育児巣房の蓋。褐色に点在するものはリサイクルした巣蓋などで、繭糸が含まれる。このため、巣蓋を溶解した際の残渣が50%を超える。なお内側には幼虫が蛹化直前に繭糸を吐いて裏打ちしている。

右：貯蜜巣房の蓋。貯蜜糖度80%から蓋がけをする。巣房の周辺部分から始めて、かなり薄い平滑な蓋を掛ける。こちらは純度の高い蜂ろうが使われていて、溶解残渣はほぼ0%となる。

ミツバチの巣の環境調節

調節するのは温度，湿度，二酸化炭素濃度

巣の微気象的環境として，変動するものは温度，湿度，二酸化炭素濃度であり，状況によりこれを調節する必要がある（表5）。調節で最も重要なのは扇風行動（図22）による換気である。外気を取り込むことで，多くの場面で巣内環境恒常性の課題の解決が図れるが，換気だけでは恒常性を保てず，実際にはさまざまな行動を組み合わせなければ，巣の環境調節は実現しない（図30）。

巣内環境	目標値	変動要因	対策
温度 (中心部)	34.5℃	上昇要因：外気，呼吸代謝熱	換気 打ち水
		下降要因：外気	発熱
湿度（水分）	65～75%	上昇要因：呼吸，貯蜜の濃縮	換気
二酸化炭素	夏：1% 冬：2～6%	上昇要因：呼吸	換気

1) 温度

ミツバチの巣の中心部の温度は平均して 34.5℃に保たれている（表5）。この温度は育児に必要で，ヒトの体温並みに精密に調節される。上昇した巣内の温度を下げるためには換気が有効だが，それでも下がらない場合には巣内で水を蒸発させ，気化熱を利用して温度を下げる（図30）。逆に巣の温度を上げるためには筋肉振動による発熱を利用するが，エネルギー消費も大きく，温度の維持を諦める場面もある（図31）。

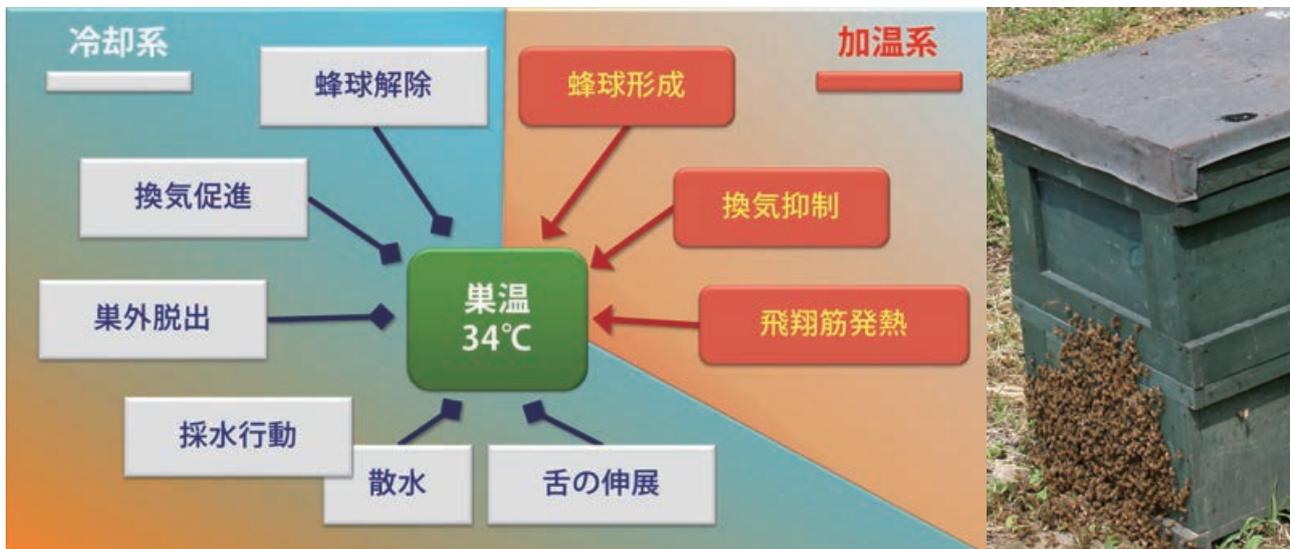


図30 巣の温度の調節法

巣内温度が高いときには，働き蜂同士の間隔を開けて巣内の換気を促進する。特に熱の発生源である有蓋蜂児の上には働き蜂がほぼいない状態になる。それでも温度が下がらない場合は，空気の流路を確保するため多数の働き蜂が巣の外に避難する（右図）。特に，外勤蜂が戻った夕方は顕著で，夏には「夕涼み」といわれる状態になる。それでも温度が上昇する場合は水を集めてきて，巣内に撒いたり，口吻を使って水を水滴状にして巣内の気流にあてて蒸発させ，その気化熱を利用して温度を下げる。

一方，温度を上げるためには，働き蜂同士の距離を近づけ，体毛を利用して暖まった空気をとどめ，扇風行動自体をやめて換気量を減らす。それでも温度が低下する場合には，飛翔筋を振動させて発熱し，発熱している働き蜂を取り囲んで熱を逃がさないよう蜂球を形成する。育児をしている場合は蜂児の呼吸熱も重要な熱源となり，また温まった貯蜜も比熱が大きいので，巣内の温度の急激な低下を防ぐ働きをする。

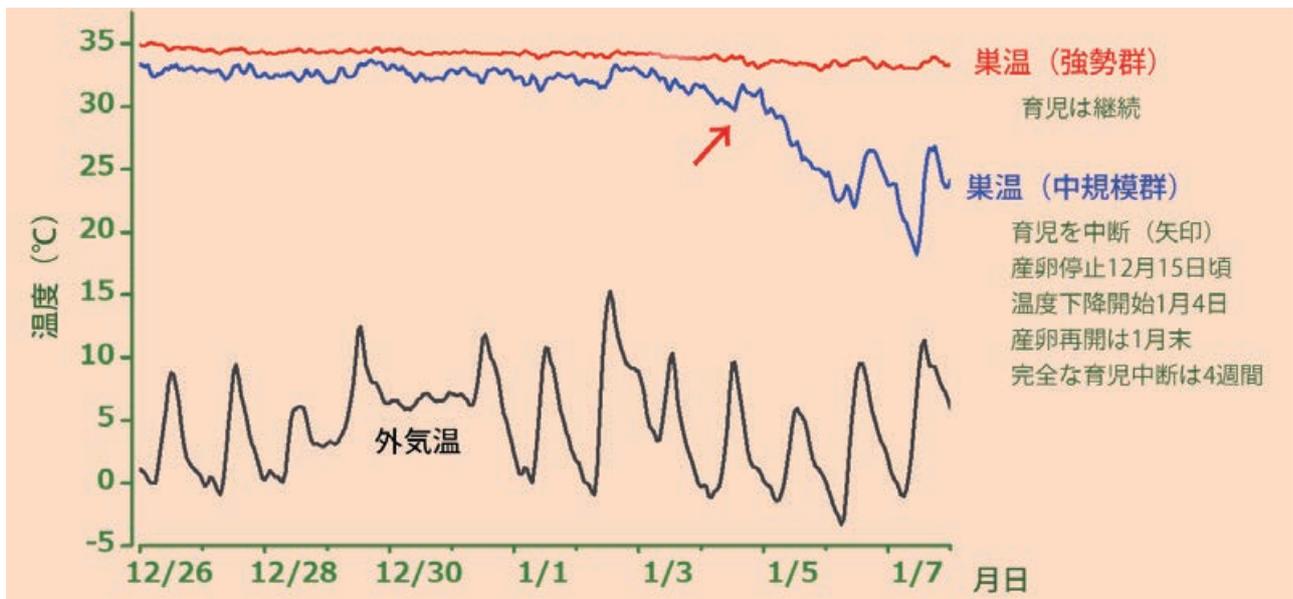


図 31 巣の温度の維持か貯蜜の温存か

冬に働き蜂が発熱して巣の温度を高く維持するためには、貯蜜を一週間に 1 kg 程度消費する。強群では、貯蜜量も多く、熱源として有意な有蓋蜂児が常にいることで、巣温の恒常性を保ちやすく、育児を継続できることが多い。しかし、弱群や中規模群では、気温の影響を受けやすいため、育児を中断して目標温度を 20℃程度にまで下げ、貯蜜の消耗を防ぐ。1 か月間の育児中断で最大 4 kg ほどの貯蜜の節約になる。

2) 湿度 (相対湿度)

温度が比較的安定に保たれているので、巣内の相対湿度の変動は大きくはない (表 5)。貯蜜の濃縮や呼吸で過剰な水分が生じる場面では、換気を利用して外気を取り込みこれを下げることができる。初夏の貯蜜生産期には、夜間の気温が下がるので、冷えた空気を取り込み、これを巣内で温めることで、容積当たりの空気に含ませられる水分量を増やし、貯蜜から発生する大量の水分を廃棄できる (コラム 2)。

3) 二酸化炭素 (CO₂)

二酸化炭素は成蜂だけでなく、蜂児の呼吸によっても発生するが、冬に巣を温めるために飛翔筋を振動させて発熱する際にも巣内の発生量が大きく増える。夏は換気によって外気 (二酸化炭素濃度は 0.04%) を取り込めば濃度は下げられるが、冬に換気をすれば温度も下げることになる。そのため夏には 1%程度に抑えられている二酸化炭素濃度が、冬には自然拡散以外で下げることができず、最大で 6%程度まで上昇することがある (表 5)。

コラム 2

ハチミツ作りには“時機”がある

ミツバチは、冬のある地域に住む自然状態においては、一蜂群当たり年間におおよそ 60 kg (越冬用が 40%程度) のハチミツを作る。花があればいつでもハチミツが作れそうであるが、原料となる花蜜を得る花は春から初夏に主要なものが開花するため、生産時期は原料の観点からも限定される。初夏は日長も長く、日中の気温が高いことでミツバチの活動量も増え、また花蜜も花上で濃縮されるので、糖度の高い花蜜を大量に巣に運び込むことができるからである。

ここで、実は初夏の気温の日較差がハチミツ生産にとって極めて重要な意味を持つ。夜間、気温 15℃の外気の飽和水蒸気量は約 13 g/m³、これを巣内に取り込んで巣温の 35℃まで温めると飽和水蒸気量を約 40 g/m³ に上げられ、巣内で 27 g/m³ の水を追加で含ませることができる。十分な換気状態では 1 時間に約 3 m³ 以上の空気を排出できるので、温度差利用で 1 時間に約 80 g、一晩で 800 g 程度の水分が排出可能となる (理想値)。日中に糖度 60%の花蜜 3 kg を集めた場合、一晩で貯蜜を糖度 80%近くまで濃縮できる。ニセアカシアのハチミツが中 3 日で完成する原理はこれである。これに対して夏は、外気温が高くて飽和水蒸気量の差を利用した水分排出が困難となり、また一般に夏に開花する植物の花蜜は一部の例外を除いて糖度が低く、ハチミツ生産効率は大幅に低下する。

ミツバチの食料と栄養

ミツバチは花蜜と花粉を加工して食べる

ミツバチは、エネルギー源として糖質であるハチミツを利用し（実際にはまだハチミツとしては未完成の糖度がそれほど高くない貯蜜も使う）、そのための原料として一蜂群当たり、年間 120 kg の花蜜を集める。春から夏の活動期にこのうちの 70 kg を消費し、残りの 50 kg で越冬用の貯蜜を作る。

貯蜜巣房（[図 32 上](#)）には糖度 50% 以上に濃縮したものから入れ始め、濃縮作業をくり返し、糖度に応じて再配置しながら、徐々に高糖度のものを巣の上方に配置し、糖度が 80% に達したところで蓋がけを開始する。蓋がけによって吸湿が防がれ、果糖が主要糖のため結晶しにくく、高糖度かつ酸性のため微生物の繁殖が抑制され、高い利用性を維持したままハチミツとして長期保存される。

一方、ミツバチは糖質以外の栄養をすべて花粉に頼っている。育児や女王蜂の産卵のためのミルク（ローヤルゼリー）を生産するためには、年間に 20 kg の花粉を集め、働き蜂や雄蜂になる幼虫には、ミルク以外に花粉もそのまま与えられる。働き蜂 1 匹を作るのに約 130 mg の花粉が必要とされる。

花粉は貯蔵に際して、ミツバチ自身が脂肪酸類を加え、また乳酸生成菌の存在で一定の防腐効果が得られるものの、栄養価は急速に低下してしまう。このため長期の保存は目指されていないが、外部資源としての花粉の供給量の激しい変動を緩和するため、通常、巣内に 1 kg 程度の花粉が貯蔵されている状態が維持される（[図 32 下](#)）。

ハチミツは長期保存が可能のため、有用な蜜源植物の開花時期で、かつハチミツを作りやすい気象条件下（[コラム 2 参照](#)）において短期的に作りおく。そのためには糖度の高い花蜜を大量に分泌する木本蜜源や、広大な面積で咲く草本蜜源など、資源量の大きい植物が向く。一方の花粉は、巣の外に季節ごとに開花している多様な植物を利用することになる。その場合、栄養的な変動が植物ごとに大きいことから、できるだけ多種類の植物から新鮮な花粉を集めて利用できることが、ミツバチにとって理想的な状況といえる。

これは私たちが、主食となる穀物については年 1 回の収穫に頼り、副食となる野菜や肉類などは常に新鮮なものを入手している状況と同等と考えると理解しやすい。特に花粉については、種類が偏ることで栄養上の問題が発生したり、免疫機能が低下することも報告されている。この点も私たちが偏食を重ねることでさまざまな健康上の問題を抱えることを想像すればわかりやすい。

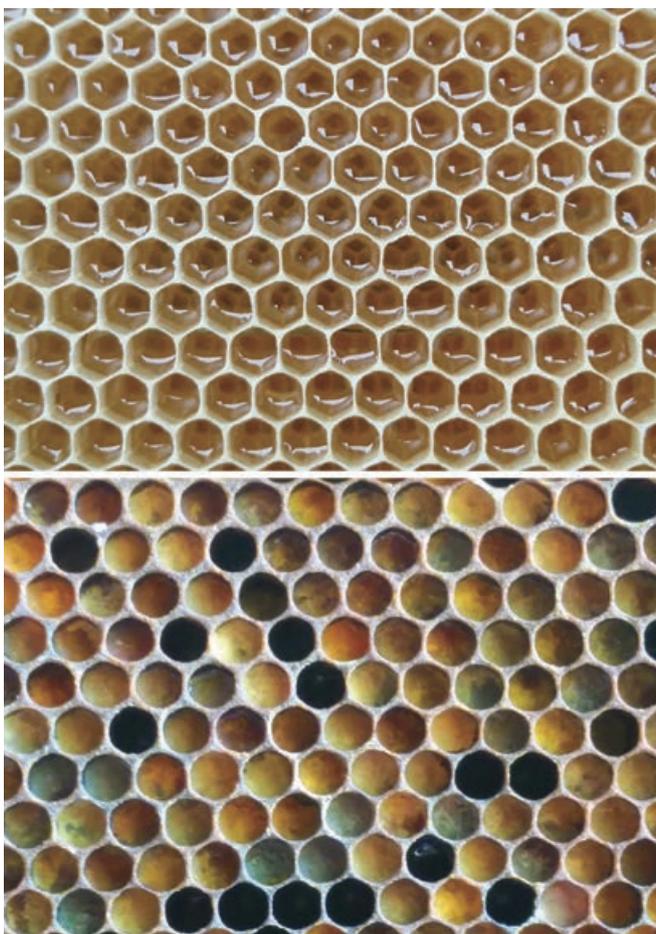


図 32 貯蜜と貯蔵花粉

上：採餌蜂によって持ち帰られた花蜜は、必ず貯蔵係の働き蜂に渡され、糖度 50% 以上に濃縮されてから巣房に貯えられる。その後も濃縮作業は続けられ、糖度 80% 前後で蓋がけが開始される。

下：花粉は後肢に花粉団子としてまとめられ、持ち帰った採餌蜂自身が巣房に落とし（[右図](#)）。その後、貯蔵係の働き蜂や育児蜂が花粉を食べる際に押し込んでいく。巣房ごとに色調が異なるのは多様な花粉が利用されている証拠でもある。



1) 花蜜

花蜜は植物の開花中、くり返し分泌され、ミツバチに限らず多くの飛翔昆虫やアリ類なども含めて、日常的な活動エネルギー源として利用される。花によっては多様なカリバチ（舌が短い）が吸蜜していて（**図 33**），その光景には新鮮な感覚を覚える人もいるかも知れないが、カリバチ類も受粉に貢献しており、植物からその報酬を得ていると理解すればよい。ハナバチ以外の訪花昆虫が見られる植物は、少なくとも花蜜を分泌していると見なせる。

ただ、ミツバチの口吻長は 7 mm 程度で、蜜腺までが深い花では花蜜を得られないこともある。例えばホワイトクローバーでは問題なく吸蜜できるが、同属のレッドクローバーでは、花粉をよく集めているものの、ほとんどの場合、花管が深すぎて花蜜を利用することができない（**図 40 参照**）。

花蜜は、各種アミノ酸や多様なフェノール化合物を含んでいるが、栄養学的にはほぼ糖質源としてとらえてよい。糖組成は植物ごとに異なり、ショ糖主体のもの、還元糖（果糖とブドウ糖）主体のもの、ショ糖・果糖・ブドウ糖が均等なものなどがある。ミツバチはそれらを混合して利用し、またハチミツになる過程で、果糖が主要糖となるように酵素による糖組成の改変加工を行う。

糖度 80% というハチミツの完成目標を持つ前提では、原料となる花蜜の糖度はミツバチにとっては喫緊の問題であるが、植物ごとに大きな差異があり、ミツバチが訪花するものでも 20 ~ 70% と幅広い。実際に訪花しているミツバチを花の上で捕獲し、蜜胃内容物を吐き戻させて糖度を測定すると（**図 34**），糖度の高い花蜜を集める傾向があることがわかる。糖度 50% 以上の花蜜を分泌する植物には、養蜂における主要な蜜源植物が含まれており（**表 6**），糖度 80% のハチミツを生産するミツバチにとって、原料となる花蜜の糖度が高いことが重要であることは明らかである。

そうしてみると糖度が高ければ高い方がよりよさそうに思えるが、実はチョウのように長い口吻を持つものは高糖度の花蜜は粘度が高すぎて吸うことができない。一般に糖度が 35 ~ 40% になると、粘度が高くなって吸える花蜜の量が制限されるようになる。ミツバチもこの点は同等であるが、ミツバチは薄い花蜜は口吻で吸い、濃い花蜜は舌で舐め取ることができる。それでも糖度が 60% 以上になると蜜胃（容量は約 50 μL ）を満たすことが困難になり、巣に持ち帰る時点での花蜜量は最大でも 30 μL 程度になる。ただ、糖度 60%（比重 1.3）の花蜜 30 μL は糖として 23 mg に達するが、糖度 20%（比重 1.1）の花蜜 50 μL は 11 mg に留まる。糖度の低い花蜜では糖を使って水を運ぶことにもなり、やはり糖度の高さは重要になる。



図 33 カリバチによる吸蜜

ウドの花で吸蜜するキイロスズメバチとドロバチの一種



図 34 蜜胃内容物の測定

訪花中の働き蜂を捕獲し、腹部を圧迫して、蜜胃の内容物を吐き戻させ、容量と糖度を計測する。**表 6** の花蜜糖度はこの方法で求めた。

表 6 花蜜糖度と蜜源植物としての有用性

花蜜糖度*	種数	主な植物（青字は養蜂上の主要蜜源）**
60 ~ 69	12	ショカツサイ、ツツジ、 フジ 、ツタ、イロハモミジ、 クローバー 、 ニセアカシア 、ネギ、ニラ、イヌツゲ
50 ~ 59	19	ウメ、 クロガネモチ 、ネズミモチ、 ゲンゲ 、 ミカン 、タイム、 ナタネ 、 ソバ 、ヤブカラシ、ビワ、タンポポ
40 ~ 49	16	ボケ、ヒメツルソバ、カキノキ、 ヘアリーベッチ 、ナツミカン、キク、コスモス、セイトカアワダチソウ
30 ~ 39	14	ローズマリー、タラノキ、ブルーベリー、トウネズミモチ、ツワブキ、ラベンダー、ヒマワリ
20 ~ 29	4	スイカ、ゼニアオイ

* 訪花中のミツバチの蜜胃内容物の糖度（Brix %）

** 調査対象植物 65 種中の代表種

2) 花粉

ミツバチは花粉に糖質以外のすべての栄養を依存しているが、最も重要なものはタンパク質である。花粉が含むタンパク質の量は植物間で2～61%と非常に幅が広く、特にスギやマツなどの木本の風媒花の花粉は栄養価が低い。

ハナバチ類のように幼虫の餌として花粉を利用するものが集める花粉はタンパク質含有率が少なくとも12%以上となっていて、これよりも少ない花粉は、ミツバチにとっても有用とはいえ、またあまり集めていないと思われるが、花の花粉の栄養学的評価を採餌蜂がしているとは考えにくく、実際、表7のヒメジョオン花粉を集めているのも目撃されることがある。

栄養価の高い花粉としては、ヤナギ属、ケシ属、クローバー類、クリ属、ナタネ類、果樹類、中程度のものとしてキク科やアオイ科などの草本類や、イネ科などの草本風媒花が挙げられる。キク科は、花粉殻が厚めで、その分タンパク質含有率が下がる傾向が見られる(表7)。

花粉は、植物の側から見れば精細胞であり、比較的大量に作るとはいえ、花蜜のように開花中に継続的に提供することは稀で、基本的に一度しか利用できない資源である。ハナバチ類の中には出現時期の開花植物のうち限られた種類の花の花粉のみを利用するものがあるが、年間を通じて活動するミツバチでは種類を特定した花粉利用はみられない。

表7 主要な植物の花粉のタンパク質含有率

植物名	含有率 (%)
ムラサキ科ハゼリソウ	58.9
ムクロジ科アカバナアメリカトチノキ	49.2
カエデ科ヒロハカエデ	46.2
アブラナ科カブ類	44.1
ツツジ科ブルーベリー	42.9
マタタビ科キウイフルーツ	42.2
ヤナギ科ノヤナギ	39.3
ウリ科カボチャ類	38.6
バラ科モモ	38.0
マメ科ホホワイトクローバー	35.4
トケイソウ科トケイソウ	34.6
アブラナ科セイヨウアブラナ	31.9
キク科ヒマワリ	30.6
イネ科トウモロコシ	23.9
キク科ヤグルマギク	26.2
キク科セイヨウタンポポ	19.2
キク科ヒメジョオン	9.7

Roulston et al. (2000) ほかによる(乾燥重当たり)。タンパク質含有率の分析値は同一植物であっても文献によって大きく変動があることには注意。

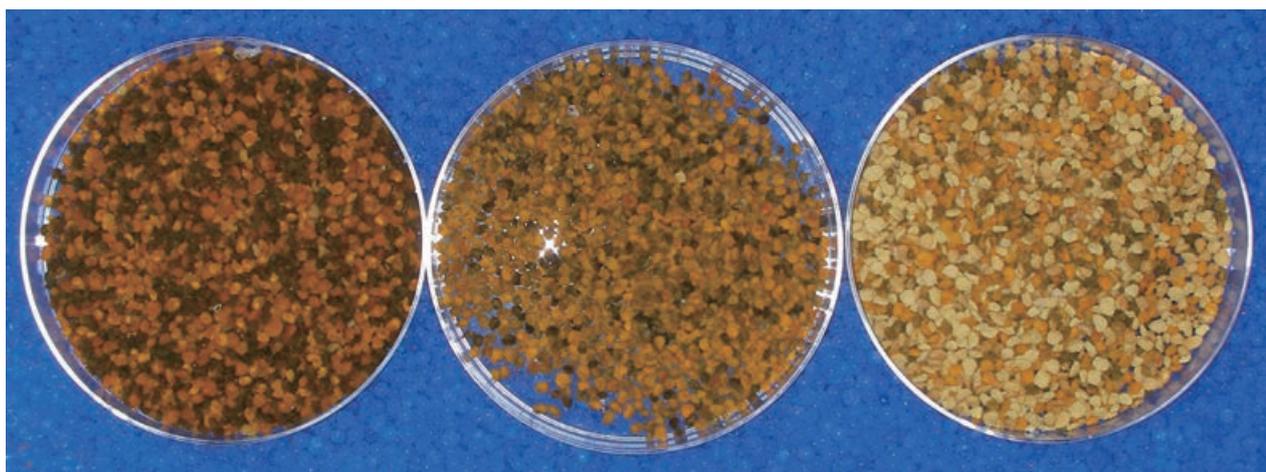


図35 日に日に移り変わる利用花粉

左：2009年7月11日，中：7月15日，右：7月18日に，国分寺市内に設置した蜂群が集めた花粉を花粉トラップを利用して回収したもの。7月11日には多く含まれていたレッドクローバーの花粉(暗緑褐色)や濃橙色の花粉(種名不明)も減っていき，18日からは淡黄色の花粉(種名不明)へと採餌の対象が劇的に移り変わっていった。

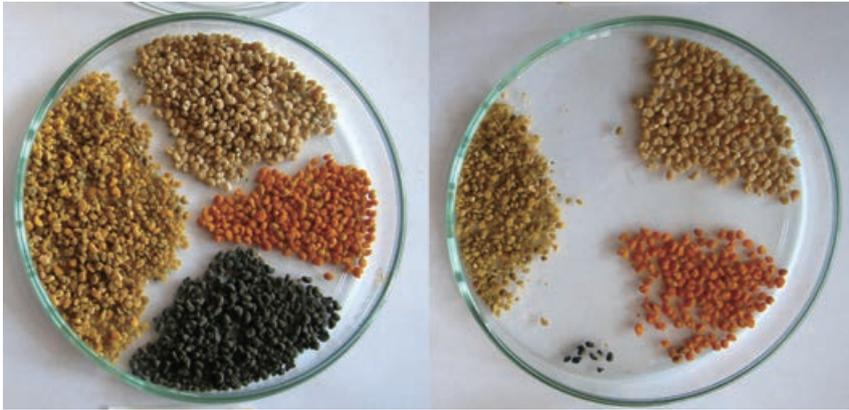


図 36 時間帯と花粉の利用

タイのマカダミア農園に設置した蜂群が同一日に集めてきた花粉（上側のベージュ色のものがマカダミアの花粉）。マカダミアやオレンジ色の花粉の量は大きな差がないが、黒い花粉は時間帯による採餌量の減少が顕著である。

左：11:00～12:00

右：15:00～16:00

開花期が長い植物もあるが、ミツバチが集めてくる花粉からは短い時間の中で劇的に移り変わっていることがわかる（図 35）。また、同じ場所で飼育されている蜂群間でも花粉目的で利用する植物が異なることが多い。さらに一日の中でも花粉を利用できる時間帯が限定的な花もある（図 36）。

花粉がミツバチにとっての栄養の根幹となっており、栄養学的に高品質な花粉によって、蜂群の健康状態が高く維持されている。植物が高品位な精細胞としての花粉と、それをやりとりする送粉者のための花蜜を作った状況が、その両方を効率よく使うミツバチが進化した背景として重要と考えられる（図 1）。

3) 水

水自体に栄養はないが、水分が 60%以上含まれるミルクを分泌する働き蜂にとってはミルクの調製用の水分の入手は重要な位置づけとなる。巣内の貯蜜以外に水分を含むものがない場合、特に冬や雨天が続いた後などには、新鮮な花蜜の搬入がなく、貯蜜の糖度が高止まりになっているため、ミルクのための水分の不足が深刻な状態に陥る。そのような時期は、同時に花粉の入手も難しく、女王蜂の産卵も低下するので、蜂群として必要なミルクの総量も少なくなるものの、水への要求度は高いまま維持される。普段でも、夜間のうちに働き蜂の蜜胃内容物の糖度が上がるので、新鮮な花蜜が入るまでの午前中は一時的な水不足になる。

このため、冬でも、雨天後でも、あるいは普段の早朝でも、気温が高いわけではないのに水を集める働き蜂が見られる場合は、ミルク調製用の水分収集が目的である。水採集は図 25 中に示すようにスペシャリストによって行われ、外勤蜂のうち最大で 2%程度がこれに従事する。

4) その他

ミツバチは、花以外にも多様なものを訪れる。植物に寄生したアブラムシやカイガラムシが分泌する甘露は、ハチミツの原料となるほどの量が利用可能な場面もある。果樹の落果の果汁も花蜜の代用となる。同様に、特に都市部では清涼飲料の空き缶を訪れているのがよく観察される（図 37）。清涼飲料の製品糖度は 10%台だが、廃棄された空き缶が直射日光で熱され、飲み残しが濃縮されて、ミツバチにとって魅力的な代用資源になっている。

またそれとは別に、他の昆虫がミネラル類や他の物質（例えばアンモニウムイオンなど）の補給を行うのと同様の、口吻を用いた吸汁行動もよく観察される。個体の要求に基づくものと推察されるが詳細は不明である。代表的なものに家畜尿尿、堆肥、干物などがある。

この他、キク科植物（レタスやダリアなど）の新芽（生長点部分）を嚼る行動がニホンミツバチで知られている。農業被害ともなり得るほどだが、この位置づけも今のところよくわかっていない。



図 37 空き缶とミツバチ

都市部ではよく見られる光景となっている。

ミツバチの採餌圏と資源

ミツバチが利用する資源範囲

ミツバチの採餌圏は巣の周囲の資源植物の分布および量に大きく依存している。このため基本的に、花が多い春はより狭い範囲で、逆に花が少なくなる夏にはより広い範囲を採餌圏として利用することになる。

採餌圏の規模は、帰巢した働き蜂が示すダンス情報の解読によって調べられてきた(図38)。しかし、5,000 ダンス以上の解析を行った研究では、花粉を集めてきた蜂のダンスは全体の2割にも達しておらず、資源種によってダンスをするかしないかの偏りがあるため、実際の採餌圏の推定は難しい。

従来、半径2 km 程度の円内といわれてきたのは、調べた蜂群が小型で、かつ農地など条件のいいところでの調査だったため、実際よりも採餌圏サイズが過小評価されていた可能性がある」と指摘されている。しかし、やや遠距離にスポット状のよい資源(蜜源)があった場合、例えば、採餌距離が平均5.5 km、かつ採餌蜂の10%が9.5 km 超の採餌距離を示したとする観察事例もあるが、こうした距離情報により採餌圏は過大に評価されてしまう。実際には、ダンス数も示される場所も日々顕著な変動があり、採餌圏の実態ははるかに動的で、かつ単純に円形内に均等分布するものではないという理解は必要になる(図38)。

なお、距離としての2 km は決して長い距離ではないが、半径2 km の円は面積として1,256 haにもなり、残念ながら踏査で植物資源を把握するには広すぎる。採餌圏の資源状態を知るには、ダンスを解析する以外に、最近では巣箱重の自動計測を行う方法も有望視されている。両者を組み合わせることで、面積的な観点と、実際の資源の物理量を同時に評価することができる。

1) 定花性

ミツバチは、蜂群としては春から秋まで、広大な面積の中の多様な植物を利用することになるが、個々の働き蜂にしてみれば、採餌蜂としての活動期間は短く、それほど多種の花を利用する必然はない。例えば蜂群として10種類以上の花粉が運び込まれているときでも、特定の花粉採餌蜂は1種類の花しか利用していないのが普通で、花粉採餌蜂のうち70~90%が1日に1種類の花を利用し、40~60%は1週間同じ花を利用したとの観察結果もある。ある花から報酬(花蜜か花粉)を得た場合、90%の採餌蜂が再度その花に通い、3回同じ報酬が得られると100%その花に固執するようになるという。ちなみに1回の採餌飛行中に複数の種類の花を利用する採餌蜂は13%程度いるものの、花粉ダンゴが複数の花粉で構成されるものは3%以下であったとされる。花蜜については調べた研究はないものの、花蜜が分泌される期間は相対的に長いので、基本的には採餌期間中、つまりは一生の間、同じ花に通い詰めているものが大半であろう。

このように定花性は、ミツバチが持つ特異的な性質というよりは、効率のよい餌集めにおいて、外勤期の長さや植物の開花期間の長さが偶然にも同等であることに負う部分が大きいのと思われる。

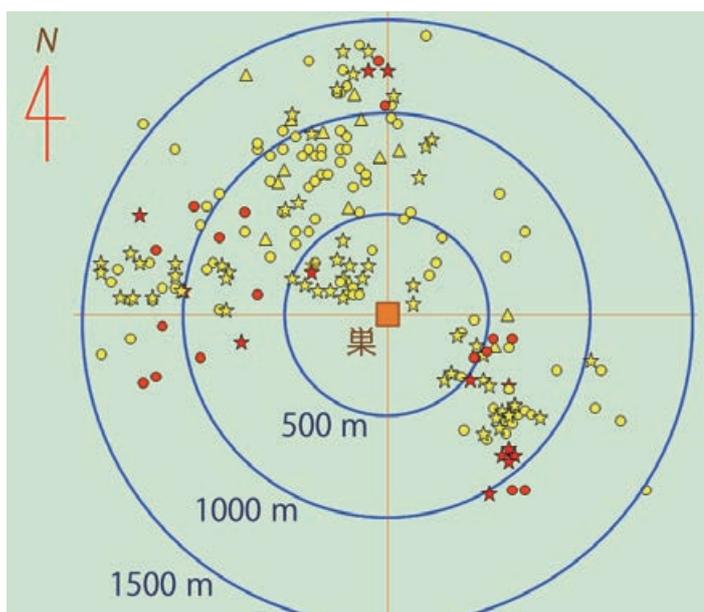


図38 均質には利用されない採餌圏

初夏(黄)と秋(赤)にダンスが示した地点を解読して地図上に配置したところ、すべて1,500 m以内であった。面積的に大規模な植栽はないものの、北西側には畑地や公園、樹木の多い住宅地、南東側も住宅地があり、初夏と秋にほぼ同じ範囲が利用されていることも確認できた。南西側は大学の敷地内で、当時(2009年)は開花植物の植栽量が少なく、ダンスで示される地点がなかった。

2) 採餌ダンス (尻振りダンス)

採餌ダンス (図 39) は、餌資源の場所を方角と距離の情報を用いて伝えるもので、起源的には分蜂時の新営巣場所情報の交換のために、資源の情報交換には必要ないほど精度の高いものが進化したと考えられている。以前は円ダンスと 8 の字ダンスを区別していたが、最近では連続的なものと理解されている。

巣の外での平面を、巣内の垂直面で表現するために、巣内の反重力方向を太陽の方角に置き換える太陽コンパスが利用され、また腹部を振動させながら前進する際の発音の長さが距離をコードし、さらにダンスのテンポによって資源の有用性も表現できる高度な「言語」となっている。ただ、以前いわれていたほどには採餌におけるダンスの位置づけは大きくないようである。



図 39 ダンスで場所を伝えるミツバチ

巣内で、花粉ダンゴを付けたままダンスを踊って仲間に花の在りかを伝える働き蜂 (矢印)。

3) 資源の探索と評価

ミツバチの採餌蜂には、巣の周囲で資源を探して仲間を呼び寄せる探索蜂と、その探索蜂からダンスで情報を得て資源に向かう招集蜂の 2 種類がいる。通常、採餌蜂の 1/4 ほどが探索蜂であるが、資源が乏しい場合はその割合が 35% 程度にまで増え、逆に大流蜜期には 5% ほどに減る。資源が乏しい場合は、多くの招集蜂が仕事を失うので、探索にコストを費やす方がよく、逆に豊かな資源がある場合は、すでに見つけたものを多くの招集蜂を動員して集めた方が効率がよいといえる。

花蜜の場合は、持ち帰る糖質量 (花蜜の糖度と入手できる量、必要なコスト) が、花を訪れる採餌蜂と巣内での受け取り係の二段階で評価され、巣の内外のサイクルがそれぞれ担当する働き蜂を動員することができ、結果としてよりよい (糖度の高い) ものを効率よく集め、巣に貯えることができるシステムが構築されている。

花粉不足、あるいは需要増に伴う蜂群内のシグナルや、花粉団子を入れるための巣房の準備が進むことで、採餌蜂が花粉を集め続ける。花蜜の場合と異なり、栄養上の質の評価ができないため、過不足の情報だけで採餌を調節することになるが、資源の種類に応じて異なる調節がなされている点も、ミツバチの採餌システムが高性能である査証となる。

4) 花粉源か蜜源か

イネ科の風媒花のように花蜜がない植物はそもそも花粉源として利用するしかないが、ミツバチが利用する多くの植物は花蜜も花粉も提供しているので (図 40)、原則的にはミツバチは両方とも資源化できる。しかし、帰巣したミツバチの 58% が花蜜だけ、25% が花粉だけ、17% が花蜜と花粉の両方を持ち帰ったという観察例もあるように、ナタネ類やホワイトクローバーなどの一部の例外を除けば、採餌に際して両方の資源を持ち帰る採餌蜂、あるいは植物種は実際には非常に限定的な印象を受ける。特に資源規模の大きなものは、ハチミツ作るために花蜜採餌にだけ集中して利用され、その場合、花粉はあっても無視されやすい。

どの花を蜜源あるいは花粉源として利用するかは、単純には決まっていない。例えばヘアリーベッチは、蜜も花粉も提供するよい資源植物であるが、ほとんどの採餌蜂が蜜源として利用することもあれば、同時に有力蜜源のミカンが開花する場所では、ほぼ花粉源としての利用に限定される。同様に、ニセアカシアとレンゲが同時に開花する状況では、レンゲの方は花粉に限定して利用されているのが観察される。

複数の良好な資源が利用できる場合、見方によってはそれは植物間の「送粉者集め競争」の結果ともいえそうであるが、ミツバチが主に花蜜採餌の効率を優先して、特に有用な蜜源の場合にダンスによる招集を行うことから、資源の種類への対応を使い分けることが、特定の花の利用の仕方に影響を与えている。



図 40 主要な養蜂植物の資源性

<p>ニセアカシア</p> <p>採餌対象：花蜜（花粉）</p> <p>採餌蜂：濃厚な花蜜に集中し、花上の滞在時間が長い。極小の花粉ダンゴを付けることがある。樹齢 20 年までが流蜜性が高い。</p> <p>※産業管理外来種</p>	<p>レンゲ（ゲンゲ）</p> <p>採餌対象：花蜜 / 花粉</p> <p>採餌蜂：花蜜に集中するが、競合蜜源があると花粉に集中することもある（花粉を集める場合の花粉ダンゴは大きい）。</p> <p>北海道・北東北以南で栽培可。</p>	<p>クログネモチ</p> <p>採餌対象：花蜜 / 花粉</p> <p>採餌蜂：花蜜に集中し、花上では落ち着いている。</p> <p>関東以西に分布し、街路樹としても庭木としても普及している。</p>
<p>ナタネ類（アブラナ）</p> <p>採餌対象：花蜜 + 花粉</p> <p>採餌蜂：花蜜と花粉の両方を集める個体が多い。</p> <p>栽培面積は増えつつあり、また放置して毎年咲かせることも可能。</p>	<p>イロハモミジ</p> <p>採餌対象：花蜜 / 花粉</p> <p>採餌蜂：どちらかを集めるが、花蜜に集中しやすい。</p> <p>本州以南に分布し、庭木としても利用される。</p>	<p>フジ</p> <p>採餌対象：花蜜</p> <p>採餌蜂：花蜜に集中する。花の扱いが難しいようで、一度、キムネクマバチが訪花した花を好んで利用する。</p> <p>本州から九州に分布。</p>
<p>ホワイタクローバー（シロツメクサ）</p> <p>採餌対象：花蜜 + 花粉</p> <p>採餌蜂：花蜜と花粉の両方を集めるものが多い。花粉ダンゴは大きい。</p> <p>通年開花または年に 2 回ほど開花期がある。</p>	<p>ヘアリーベッチ（ビロードクサフジ）</p> <p>採餌対象：花蜜 / 花粉</p> <p>採餌蜂：どちらかを集める。花蜜の場合は滞在時間が長い。</p> <p>1 年草だがこぼれダネで毎年開花する。</p> <p>※産業管理外来種</p>	<p>イヌツゲ</p> <p>採餌対象：花蜜</p> <p>採餌蜂：花蜜に集中し、花上の滞在時間は長い。</p> <p>本州から九州に分布。生け垣などに利用する。花数が多い。</p>
<p>ウメ</p> <p>採餌対象：花粉 / 花蜜</p> <p>採餌蜂：花蜜も花粉も集める。気温が低いときには花粉だけを集める。</p> <p>果樹園以外にウメ園や庭木としても栽培される。</p>	<p>タイム</p> <p>採餌対象：花蜜</p> <p>採餌蜂：花蜜に集中する（花上の滞在時間は長い）。</p> <p>小型の植物であるが木本のため、補助事業等で木本推奨の場合に利用価値が大きい。</p>	<p>ヤブカラシ</p> <p>採餌対象：花蜜</p> <p>採餌蜂：花蜜に集中するため、花蜜を分泌している花では滞在時間は長い。全体に落ち着きがない。</p> <p>雑草だが、夏のよい蜜源となる。</p>
<p>リンゴ</p> <p>採餌対象：花蜜 + 花粉</p> <p>採餌蜂：花蜜と花粉の両方を集めるものがある程度いる。大型の花粉ダンゴを作るものが多い。</p> <p>栽培様式が変わり、利用性は低下している。</p>	<p>ヤグルマギク</p> <p>採餌対象：花蜜 / 花粉</p> <p>採餌蜂：花蜜に集中するものが多い。体表に花粉を纏ったままダンゴにしないものをよく見かける。</p> <p>ある程度まとまった植栽も見かけるようになった。花蜜は濃黄色。</p>	<p>バラ（一重咲き品種）</p> <p>採餌対象：花粉</p> <p>採餌蜂：雄しべの露出したものは、花粉採餌に利用される。</p> <p>多花卉のものはほぼ利用されないが、ノイバラを含め花卉の少ないものが花粉源となる。</p>
<p>ウンシュウミカン</p> <p>採餌対象：花蜜</p> <p>採餌蜂：花蜜は集めやすく、持ち帰る量も多い。</p> <p>他の柑橘類は花粉源としても利用されるがウンシュウミカンには花粉はほぼない。</p>	<p>レッドクローバー（アカツメクサ）</p> <p>採餌対象：花粉</p> <p>採餌蜂：舌を伸ばすものもいるが、花蜜はほとんど集められない（花の大きさや品種にもよる）。花粉はよく集め。花粉ダンゴも大きい。</p> <p>開花期長く、夏の花粉源となる。</p>	<p>トウモロコシ</p> <p>採餌対象：花粉</p> <p>採餌蜂：花の下側から体当たりして花粉を受け、ホバリングしながら花粉ダンゴにする。</p> <p>イネよりも開花時間が長く、花の総量も多く、よく利用される。</p>

花蜜 + 花粉：有意に両方を集める、花蜜 / 花粉：通常どちらかを利用、(花粉)：花粉はほぼ無視される。
佐々木（2010）ほかを参考に表記。

ミツバチの1年

大きく変わる蜂群の姿

ミツバチの蜂群は、「超個体」ともいわれ、哺乳動物の一個体と同じように考えることができる。野生の哺乳類の場合、特に冬に向けて栄養を取り込んで体重を増やし、春までにはその分をほとんど消費するが、ミツバチも同様である。北米で蜂群の重量を計測した記録では、前年の夏前の2か月半に貯えたものを、越冬期を挟む9月から翌年4月までに消費しきることが確認されている。ミツバチの場合は蜂群を構成する働き蜂の数にも大きな変化をきたす。成虫寿命は活動量に影響を受けるので、活動的な時期は短く、消耗が激しいが、一方で活動の結果として入手できる資源によって補充が利く。一方、活動が不活発なときは採餌蜂の寿命も延び、消耗は避けられる。ただ資源は入手できないので新しい働き蜂を補充することはできない。また働き蜂が不活発な厳冬期にも貯蜜は消耗し、特に越冬期後半で育児が始まると急激に消費される。このため早春期に蜂群は最も縮小する(図41)。そこからの回復(建勢)が、蜂群の生存にとって大きな位置づけとなる。

蜂群の年間推移

日本は国土が南北に長く生物季節の地域変動が大きいことから蜂群の年間推移を表現するのは難しい。また飼育下と自然条件下では、分蜂の有無や貯蜜の動きが大きく異なる。飼育下の蜂群では、養蜂家が本来の繁殖期の分蜂を抑制し、その時期から3か月ほどを採蜜に充て、夏に女王蜂を更新した上で、9月以降に大量の給餌が行われる。また、一般的に継ぎ箱や巣板の加除によって巣の容積や巣板の総面積を調整でき、貯蜜による蜂児圏の圧迫が回避される。野生状態の蜂群は、巣の容積や巣板の総面積の調整はできず、またあるべき時期に分蜂をし、越冬用の貯蜜を夏前に巣に貯める必要があるなど、まったく異なる生物として生きている。

ここでは、セイヨウミツバチ本来の姿として、自然状態の蜂群が南関東近辺でどのような1年を過ごすことになるかを、分蜂群の営巣状況およびその後の帰結、飼育下ながら放任管理した蜂群や採蜜を行わないままの弱小群の動向等から推定し、年間の推移と(図41)、蜂群の内部構成の変化を表8および図42に示した。

自然状態の蜂群では、巣の容積や巣板の面積はほぼ固定となり、資源と蜂児がその利用において強く競合する。特に花蜜資源が豊富な時期は、採餌が優先され貯蜜の占める割合が増えて、育児は抑制される。また貯蔵のスペースがなくなると採餌も抑制され、蜂群は不活発になり、早期に分蜂期を迎えることになる。これは結果として、雄蜂への投資を抑えられる点では大きな利点となっている。分蜂期以降は、ハイペースな採餌も育児もなく、蜂群の状態は比較的小さな変動をくり返す。大きな蜂群ではこのゆらぎは相対的に小さくなるが、小さな蜂群では無視できず、資源状態やスズメバチ類による捕食の程度によっては、女王蜂の産卵停止や、最悪、蜂群の崩壊も起こり得る。育児の減退は働き蜂の寿命の延長によって補償されるが、越冬前に働き蜂をある程度更新しておかないと越冬成功率は下がる。同様に越冬明けの時期に働き蜂の更新が進まない、その年の繁殖成績に大きな影響が出る。

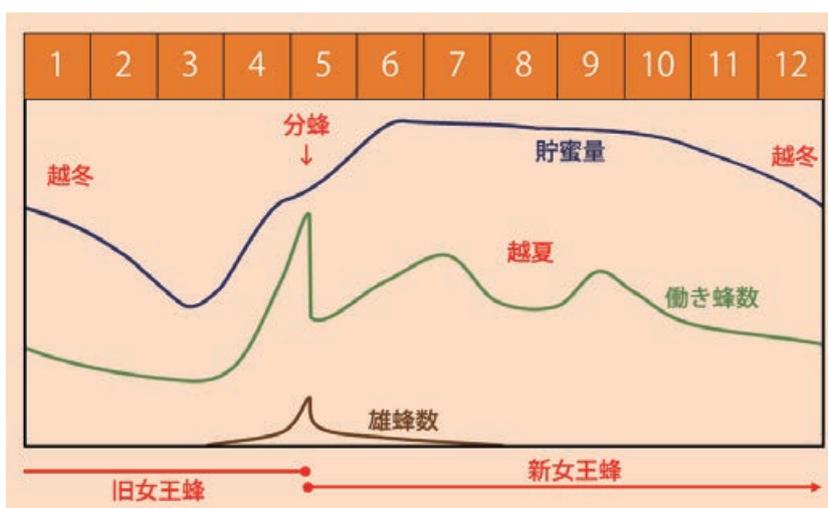


図41 蜂群の年間推移

働き蜂数も貯蜜量も越冬明けに最低となり、そこから分蜂期までの蜂群の成長(働き蜂数と貯蜜量)が、結果として次の越冬の成否を決定している。蜂群成長期が雄蜂の生産期でもあり、分蜂後は中断するため自然状態では比較的短期で、雄蜂への投資は少ない。

セイヨウミツバチの野生化が普遍的に起きている北米などと異なり、我が国でセイヨウミツバチが生き延びるのにはふたつの大きなハードルがある。ひとつは、越冬成功率の高い、樹洞などの気密性が高く大型の営巣空間が見つからないこと、もうひとつは、秋のオオスズメバチの被害を回避することが困難なことである。資源状態がどう影響するかについては現状では評価が難しいが、結果として、国内（オオスズメバチ被害がなく、温暖な小笠原諸島や南西諸島、都市部を除く）では、セイヨウミツバチの野生化は実質的に不可能に近い。

表8 自然状態のセイヨウミツバチの一年間（南関東標準）

時期	蜂群状態（丸数字は図42参照）
建勢期 3～4月	自然の巣ではスペースが有限のため、育児圏と貯蜜圏が早くからせめぎ合い、②と③の状態を交互にくり返し、比較的早期に育児も採餌も不活発な状態に陥って、飼育下よりも早く分蜂期を迎える。
分蜂期 4～5月	強群ほど早期に分蜂し、母群では一時的に若い蜂児のない状態⑤となる。採餌蜂が多いため採餌は早期に回復する。新女王蜂の産卵開始までに旧王の残した有蓋蜂児が羽化し、育児蜂が補充される。出巣した分蜂群はよい営巣場所を確保できず、開放空間に営巣してしまう頻度が有意に高い（図18）。
貯蜜期 5～6月	分蜂後の貯蜜が越冬のための貯えとなる。開花植物も多い時期で、花蜜の採餌が優先され、育児に建勢期の勢いはなく②の状態が維持される。
越夏期 7～8月	開花植物が減り、採餌が低下し、育児も停滞する。弱群では断続的に女王蜂の産卵停止に陥ることもある。労働量が減り成虫寿命は延びるが、新規補充が間に合わず一時的に蜂量が減少する。
越冬準備期 9～10月	秋の花粉源植物の開花で育児が増加し③、蜂量は夏前までの状態に回復する。この時期に羽化した働き蜂が越冬集団の中心となる。ただしオオスズメバチの被害を回避できる確率が極めて低い。
越冬前期 11～12月	強群では女王蜂の産卵が停止せず、育児が続く④。その場合、週に1kg程度の貯蜜を消耗する。弱～中程度の蜂群では12月に入ると女王蜂の産卵が停止④'、年内に育児は中断⑤、有蓋蜂児があるうちは貯蜜を消耗し続けるが、無蜂児となった段階⑥で巣の温度を下げ（図31）、貯蜜を節約する。
越冬後期 1～2月	強群では育児も盛んで③、この時点である程度の働き蜂が新しく更新され、早期に建勢期に入り始める。中程度の蜂群では育児が盛んになるが⑧、貯蜜は大幅に減耗していて、2月後半以降の開花状況や戻り寒波の影響で餓死のリスクが高くなる。弱群でも一般に1月中旬頃から女王蜂が産卵を開始して育児が始まり⑦、貯蜜の消耗も再開する。弱群では働き蜂の更新が進まず、建勢期の準備・進行が大幅に遅れ、その年には分蜂できない場合もある。

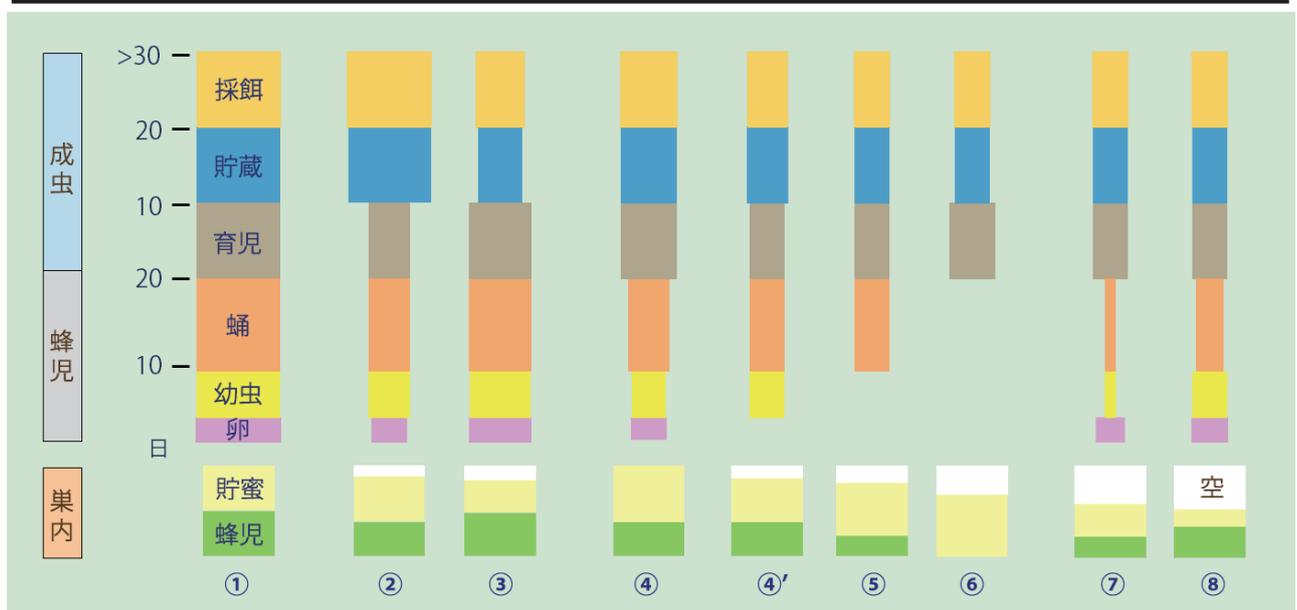


図42 蜂群構成要素の量的推移

蜂児は卵からの日数、成虫は実日齢ではなく分業の主要3要素で区分。巢内は蜂児と貯蜜のバランスで示す。

理想時：①女王蜂の最大産卵が続き、貯蜜と蜂児のバランスのよい理想状態。

通常時：②採餌が盛んで貯蜜による蜂児圏の圧迫が発生し、③貯蜜の整理が進んで再び育児が増加。

越冬前期：④育児継続中の強群、④'女王蜂が産卵停止した中弱群、⑤育児停止、⑥無蜂児状態。

越冬後期：⑦産卵・育児再開、⑧建勢へ向けて育児が増加。

ミツバチ用語集

あ

アミラーゼ amylase：ミツバチが持つ消化酵素のひとつ。デンプンをブドウ糖や麦芽糖に分解する酵素(ミツバチのアミラーゼは α -アミラーゼ)で、下咽頭腺から分泌されハチミツ中にも含まれる。ジアスターゼ diastase とも。

アラタ体 corpus allatum (pl. allata)：昆虫の頭部にあって、成育や行動を制御する幼若ホルモンを分泌する器官。

α -グルコシダーゼ α -glucosidase：ミツバチが持つ消化酵素のひとつ。ショ糖や麦芽糖などの二糖類の α -1,4-グルコシド結合を加水分解する酵素で、下咽頭腺から分泌され、ハチミツ中にも含まれる。また、ハチミツ中では高濃度のブドウ糖から逆反応によって麦芽糖を生成する。

い

胃 ventriculus：ミツバチの前胃に続く消化管の大きな部位で、実質的に胃としての機能を持つ。縦横2方向の筋肉に包まれ伸縮性がある。中腸 midgut とも。P.10 図8

育児 nursing / brood care：ミツバチの場合は自分の子ではなく、自分の妹(弟)にあたる幼虫への給餌などの世話を意味する。

育児蜂 nurse bees：内勤期の前半部分を担当する働き蜂のこと。育児は働き蜂の分業の前半部分の主要な仕事として位置付けられる。P.21 表4

胃腸膜 peritrophic membrane：ミツバチの胃は内胚葉性で傷つきやすいため、ムコ多糖やタンパク質からなる胃腸膜の中に食物を入れ、膜を通じて消化酵素を分泌し、また栄養を吸収する。さらに感染性の微生物から胃の柔組織を守っている。

う

羽化 emergence：蛹から成虫への変態のこと。ミツバチの蛹は巣房内で羽化して、そのまま成虫(imago)として1日弱を過ごしてから出房するため、出房と羽化を混同して扱うことが多い。

え

衛生行動 hygienic behavior：働き蜂が疾病等で死亡したり健康上の不調を抱えた幼虫や蛹を検出して、蛹の場合には巣房蓋を取り除いてから廃棄する行動で、遺伝的に検出の感度や廃棄の行

動解発性に差がある。成虫の死体に対する死体捨て係 undertaker の行動は、通常含まない。

栄養交換 trophallaxis：液状食料の個体間のやりとりで、「口移し」とも呼ぶ。単なる栄養交換としてだけではなく、採餌蜂間では、餌の質に関する情報の交換にもなる。

越冬 overwintering：社会性のハチ類の中で、ミツバチだけが高緯度地域に生息しながらも冬眠をせず、冬の間も、巣内の貯蔵食料をエネルギー源として、蜂群としての活動を維持したまま冬を過ごして春を迎える。

お

王台 queen cell：女王蜂となる幼虫・蛹が育つ大きく、下垂した特別な育房。P.12 図12

王椀 queen cup：女王蜂となる卵が産み付けられる、王台の前駆的な浅い巣房。産卵後、孵化までに王台に改築される。

大顎 mandible：ミツバチの口器のひとつで、もの噛んだり、押しつけたり、削ったりと多機能に動く。女王蜂と働き蜂では形態に大きな差がある。

大顎腺 mandibular gland：頭部の大顎の基部内部に位置し、女王蜂では女王物質の生産器官となる。働き蜂では育児期にミルクの脂肪酸を合成する(ローヤルゼリー中の10-ヒドロキシデセン酸など)。また巣の防衛においては警戒フェロモンとなる2-ヘプタノンを放出する。女王蜂が不在で産卵を始めた働き蜂の大顎腺は、女王物質の主成分である9-オキソデセン酸を産生するようになる。

雄蜂 drone：ミツバチの雄蜂は未受精卵から発生する半数体である。基本的に繁殖期にのみ見られ、蜂群内では特に労働を担当せず、巣の外での他巣の新女王蜂との交尾のみを担当する。繁殖期には交尾飛行から他巣に戻っても受け入れられるが、繁殖期以降は自巣からも排除される。P.14

雄蜂の集合場所 Drone Congregation Area; DCA：ミツバチの交尾場所で、多数の蜂群から雄蜂が集まってきたところに、女王蜂が飛来して多回交尾が実現する。ミツバチの種ごとに地形的条件などが異なるとされる。P.18

温度調節 thermoregulation：ミツバチの巣内環境調節の根幹で精度が極めて高い。扇風や発熱、

水汲みなど多様な仕事を統合して実現しており、直接間接に担当する働き蜂も多く、また巣の構造や営巣場所も重要で、エネルギーも大きく消費する。P.24 表 5 図 30, P.25 図 31

か

カースト caste: ミツバチでは厳密には雌性カースト(生殖に関して分業する女王蜂と働き蜂)を指し、働き蜂間の分業における職業カーストにも用いる(→サブカースト)。社会性昆虫のカーストは、発生開始時にはどのカーストにもなれる前提で、それが複数の環境要因によるカースト分化の結果として分かれる。かつては雄蜂を含めた巣の構成員を3種のカーストと呼ぶことも多かったが、カースト分化の結果でなく必ずしも適切でない。

カースト分化 caste differentiation: 栄養条件などの環境要因が雌の幼虫に作用して女王蜂になるか働き蜂になるかが決定すること。また働き蜂の分業においても、その働き蜂を取り巻く多様な環境要因によって労働内容がそれぞれ決定すること。

外勤蜂 forager: 巣の外での労働に従事する比較的日齢の進んだ働き蜂。採餌蜂のこと。

下咽頭腺 hypopharyngeal glands: 唾液腺の一種で働き蜂の頭部にあり、育児を担当する時期にはミルクタンパク質を作り、貯蔵を担当する時期からはハチミツに加える酵素を合成する。P.10 図 8

かえし barb: 働き蜂の針を刺針軸 stylet とともに構成する2本の刺針鞘 lancet にある逆鉤状の構造。各刺針鞘に1列10本ほどある。対象物に刺さった針が抜けにくくなり、また刺針鞘が交互に動いて、針が対象に直角に深く刺さるための支点となる。女王蜂の針には見られない。

果糖 fructose: ハチミツ中の第一糖の単糖で、結晶しにくく、これがハチミツの液体としての利用性を保持している。

花粉 pollen: 植物の精細胞で、雄しべの先端の葯にあり、雌しべの先端の柱頭に到達して、花粉管を伸ばし胚嚢内の卵細胞に受精する。そのため、風や振動などに頼るものや、昆虫などの訪花生物に花粉のやりとりを依存するものも多い。ミツバチは糖質以外の栄養素をすべて花粉に頼っている。P.28 表 7, P.29

花粉圧縮器 pollen press: 働き蜂の後肢の基跗節の脛節側は外側に張り出しており、ここに花粉ブラシに付着した花粉を脛節の花粉櫛で掻き出す

ように入れて、両関節を動かして花粉を圧縮して固め、脛節の外側に押し出す装置。P.11 図 10

花粉櫛 rastellum: 働き蜂の後肢の脛節末端で内側を向いた棘状の構造が並んだ部分。花粉ブラシに付いた花粉を花粉圧縮器荷送り込むのに用いる。レーキ rake とも。P.11 図 10

花粉ダンゴ pollen load: ミツバチが花粉バスケットに付着させて運ぶ花粉の塊。粘性のない花粉には貯蜜を含ませることもある。平均して1個10mgに満たない。P.26 図 32, P.28 図 35, P.29 図 36

花粉バスケット pollen basket / corbicula: ミツバチは花から得た花粉を巣に運ぶ際にダンゴ状にまとめて運ぶが、その花粉ダンゴを付着させる後肢の脛節の外側の構造。ハナバチ7科443属中で30属のみが発達させている。P.11 図 10

花粉ブラシ pollen brush: 働き蜂の各付属肢の基跗節内側にあり、体表に付いた花粉を集め、最終的に後肢の花粉ブラシに集められた花粉は花粉櫛でかきとられて花粉圧縮器に入る。P.11 図 10, P.13 図 13

花蜜 nectar: 植物の蜜腺(花外蜜腺を含む)が分泌する糖質を含む液体。糖度は20~70%と幅があり、送粉を行う訪花昆虫のエネルギー源となり、さらにミツバチはこれを集めてハチミツを作り、長い冬を越すために巣に貯える。P.27 表 6 図 33

換気 ventilation: ミツバチの巣の環境恒常性において最も重要な位置づけで、働き蜂の扇風行動によって実現されている。営巣空間における巣門の大きさ、位置なども関係し、またプロポリスを樹洞の内壁に塗り込めるのも換気効率を高めていると推測されている。P.19 図 22, P.24 表 5 図 30, P.25

甘露 honey dew: アブラムシやカイガラムシなど植物寄生性の吸汁昆虫が分泌する糖質を含む液体。糖質中では、三糖のメレイトースなどが特異的に少量含まれる。ミツバチは昆虫が放出しているもの、あるいは葉に落ちてやや濃縮されたものを花蜜の代用として集める。P.29

き

気管 trachea: 昆虫では血管系に変わって酸素を組織に届ける器官として発達している。ミツバチでも気門に開口した気管が、体軸に沿って2本平行に前後方向に走行しており、そこから毛細な気管が筋肉や各組織に到達している。さらに根幹部では大きな気嚢を形成する。

気嚢 tracheal sac：成虫の頭部、胸部後半、腹部の前半にある気管の膨大部で、体密度を下げることで飛行時の浮力を増加させる働きをする。

気門 spiracle：幼虫期には中胸部以降の各体節に10対の気門がある。成虫では前胸に第1気門があり、蓋状の構造物はあるが、開口部は最大で直径0.25 mmとなる。胸部第2気門は小さく、日齢の進んだ働き蜂では視認できない。腹部の気門は第1節から第7節までの背板の両側部に開口しているが、それぞれ気室（前室）があり、外部からの異物の侵入を防いでいる。P.10

く

クイーンパイピング queen piping：女王蜂が発する音で、胸部の飛行筋を振動させ、胸部を巣板に打ち付けることで435 Hzの振動を起こす。空気伝播して人の耳にも聞こえるが、働き蜂は巣板上の振動を感知している。

グルコースオキシダーゼ glucose oxidase：ミツバチが持つ酵素のひとつ。ブドウ糖を酸化してグルコノラクトンを生成し、さらに加水分解によってグルコン酸にする。その反応過程において過酸化水素も生成される。下咽頭腺から分泌されハチミツ中に含まれる。ハチミツを希釈・加水するとこの酵素が働き、過酸化水素を発生させ、これがハチミツの抗菌活性の本体となる。

け

警報フェロモン alarm pheromone：ミツバチの働き蜂が大顎腺から放出する2-ヘプタノンと毒腺から放出するイソペンチルアセテートなどの混合物。巣を守る際に使用し、刺針行動を解発させる。

血縁度 relatedness：社会性昆虫における雌の生殖分業は、子よりも姉妹の血縁度が高くなることで説明される。ミツバチの社会も基本は血縁集団であるが、あえて遺伝的背景を複雑にしておき、蜂群内の働き蜂間の血縁度は $r = 0 \sim 1.0$ の間となる。近縁度とも。P.18 図20

血球細胞 blood cell：ミツバチの血球は10種類以上が知られ、機能的には食作用や殺菌作用などを行う白血球様のものが多い。

血糖 blood sugar：ミツバチの幼虫および出房前の働き蜂成虫の血糖はトレハロースのみであるが、巣内で貯蜜を食べることにより、徐々に果糖やブドウ糖の血糖全体における比率が増す。出巣時の働き蜂の血糖は $35.4 \pm 0.8 \text{ mg/mL}$ と変動は小さく恒常性

が認められる。糖組成はトレハロース62%、果糖16%、ブドウ糖22%などの計測値がある。

こ

口器 mouth parts：ミツバチの口器は前口腔、下咽頭（舌）、大顎（大腮）、小腮、小唇から構成され、このうち小腮と小唇は口吻を形成して液体食料の摂取に用いられる。P.11 図9

後肢 hindleg：後胸の付属肢で、働き蜂では、前肢や中肢と異なり、脛節および跗節は幅が広がる。女王蜂や雄蜂ではこのような形態差は見られない。働き蜂の後翅は花粉を集めるための機能性を大きく付与したものとなっていて、脛節外面には花粉バスケットが、基跗節内側に花粉ブラシがある。また脛節と跗節の接合部を花粉圧縮器として利用する。P.11 図10

後翅 hindwing：ミツバチの後胸に付属する後翅は飛行時には前翅の後縁と翅鉤で連結される。P.9, P.10

後腸 hindgut：胃の後ろに続く消化管で、細い前半と、肥大する後半に分かれ、後半は直腸と称する。肛門陥入に由来する外胚葉性で、胃とは起源が異なる。P.10 図8

交尾飛行 mating flight：女王蜂が雄蜂の集合場所に出かけて行って、複数の雄蜂と交尾をすること。十分な精子を得られるまで、複数回の交尾飛行が行われる。雄蜂は女王蜂と出会うまで、1日に3~5回出巣する。雄蜂の集合場所や交尾の時間帯がミツバチの種ごとに異なることで、種間の交雑が避けられている。一度産卵を始めた女王蜂は二度と交尾飛行は行わない。結婚飛行 nuptial flight とも。P.18 図19

交尾標識 mating sign：女王蜂が雄蜂と交尾すると、腹部端に雄蜂の陰茎球の断端や粘液が残り、女王蜂の体色とはコントラストのある白色を呈する。これが他の雄蜂の交尾を促す標識となり、全体的な交尾の質を向上させる働きがあるとされる。

口吻 proboscis：ミツバチが液状の食料を扱うときに用いる環状の口器構造。実際には、左右の小腮および小唇、計4枚の部品を束ねる形で構成され、さらに内部に中舌が通った特殊な構造になっている。P.11 図9

コロニー colony：社会性昆虫において、協働して巣を営み、子を育てるひとつの集団をこのように表現する。構成する動物数で大きさを示し、例えばセイ

ヨウミツバチのコロニーは標準的には2~4万匹である。蜂群のこと。

さ

採餌 forage : 花蜜や花粉を巣の外から集めてくること。採餌蜂は通常一日に10回程度の採餌を行うとされるが、人工的な餌台や巣の近くの水源などには一日に100回以上通うこともある。

蛹 pupa (pl. pupae) : ミツバチの幼虫期に続く成育段階をいう。幼虫期の終わりに巣房は蓋がけされる。蛹化から羽化までは、女王蜂で4~5日、働き蜂で8~9日、雄蜂で7.5~8日となる。

サブカースト subcaste : ミツバチの日齢分業における労働種別ごとの働き蜂のグループ。時限カースト temporal caste とも。

し

色覚 color vision : ヒトの色覚域400~700 nmに対し、ミツバチは300~650 nmと短波長側にずれ、ヒトにとっての赤色を色として感知できないが、ヒトが知覚できない紫外部を色として利用できる。

翅鉤 hamulus (pl. hamuli) : ミツバチの後翅前縁部に約20個ある鉤型の突起で、飛翔時には前翅後縁部の巻き返した部分をレール状に通過させ、前後の翅を可動的に連結した状態にする。P.9 図5, P.10

自然巣 natural nest : 自然状態のミツバチの巣。すでに野生状態で生活しているミツバチのほか、飼育下のミツバチの分蜂群によるもの(野生化群)を含め、人為的なサポートのないままに営巣しているミツバチの巣を指す。P.17 図18

シマリング shimmering : 飛来する外敵に対する視覚的な威嚇行動で、働き蜂が同期して腹部を持ち上げて振る。開放空間営巣性のミツバチで顕著だが、トウヨウミツバチ(ニホンミツバチ)も巣門の周囲でよく行う。セイヨウミツバチでは見られない。

翅脈 wing vein : ミツバチの翅脈は前翅・後翅ともに縦方向に4本ずつの翅脈がある簡素な構造である。翅脈は羽化時には送り込んだ体液の圧力で翅を伸展させる。一部の翅脈には神経もあり、翅にある受容器の情報を収集する。また体液を保湿剤として翅のキチン質の過剰な硬化も防ぐ。

樹脂 resin : セイヨウミツバチはプロポリスを作るために植物の樹脂(新芽, 新葉, 果実)を集め、花粉バスケットに付着させて巣に持ち帰る。P.21 図25

受精囊 spermatheca : 女王蜂の腹部にあり、雄蜂から受けた精子を貯えておく気管網に包まれた直径約

1.2 mmの球形の器官。交尾直後には5百万個の精子を貯蔵する。産卵時にこの中の精子を1~10個ほど利用して1個の受精卵を産む。P.13 図13

出房 emergence : 巣房内で羽化(成虫脱皮)したミツバチが巣房の蓋を破って出てくること。

招集蜂 recruit bee : ダンスによって餌場に導かれる採餌蜂のこと。P.31

女王蜂 queen : ミツバチの雌のうち、生殖を担当するカーストで、通常、蜂群内に1匹しかいない。P.12

女王物質 queen substance : 女王蜂が体表に放出する低揮発性のフェロモンで、働き蜂の産卵の発達を抑制し、また王椀や雄蜂巣房の構築も抑えている。同時に、女王蜂の存在を知らせる重要な物質で、働き蜂が群れとして集合体でいられるための重要なカギとなる。

触角 antenna : ミツバチの頭部に左右1対あり、基部から柄節、^{へいせつ}梗節、^{きょうせつ}鞭節の3節で構成され、働き蜂と女王蜂では鞭節は全10環節、雄蜂は11環節で構成される。鞭節には多数の化学受容器や機械受容器を備え、梗節には音を聞くジョンストン器官がある。P.15 表3

触角掃除機 antenna cleaner : ミツバチの前肢の基跗節にある触角の直径と同等の切り欠きと、脛節末端から伸びる把握器で構成される器官で、切り欠きにアンテナを通し、表面に付いた花粉やゴミなどを除去する装置。

ショ糖 sucrose : 代表的な二糖で多くの花の花蜜に含まれる。ミツバチは α -グルコシダーゼを用いてこれを加水分解し、果糖とブドウ糖にする。

尻振りダンス waggle dance : 採餌蜂が行うダンスで、餌場の方角と距離を示す。方角は尻振り走行の角度と太陽を反重力方向と見なす太陽コンパスで、距離は尻振り走行時の250 Hzの発音時間で示す。セイヨウミツバチでは発音1秒で700 mほどの距離を示す。あるいは100 mごとに発音時間が0.75 ms増加する。P.31 図39

神経 nerve : ミツバチの神経は、脳および脳の機能を分担する神経球、その間を走行する神経、さらに脳から複眼や触角に伸びる神経網、神経球から各組織に伸びる神経網で構成される。

神経節 ganglion : 働き蜂の体内に全7個(幼虫期は11個)あり、脳の機能を分担する。末端の第7神経節は刺針時に針とともに離脱し、脳との接続を失うことで刺針鞘を律動させる。

す

巣 nest：ミツバチの生活の場で、育児を行い、食料を貯蔵し、冷気や風雨を凌ぐ場所である。P.17 図 18

巣仲間認識 nestmate recognition：同巣の働き蜂を見分ける能力で、春にはややあいまいで、他巣の働き蜂を容易に受け入れるが、秋には厳格になる。

巣板 comb：ミツバチの巣の構成単位で、巣房の集合体である。巣脾とも。P.22 図 26 図 27

巣房 cell：ミツバチの巣板の構成単位で断面が六角形をした部屋。働き蜂用と雄蜂用がある P.22 ~ 23

巣房蓋 cell capping：育児巣房においては給餌が不要になる蛹期を迎えるタイミングで、貯蜜巣房においては貯蜜の糖度が 80% に達するタイミングで蓋がけが行われる。内容物によって使用する素材や構造が異なる。P.23 図 29

せ

精子 sperm / spermatozoa：ミツバチの精子は長さ 250 μm 前後、精核を含む頭部は 10 μm、頭部の直径が 0.5 μm の細長い糸状の形状である。

精巣 testis：雄蜂の腹部に左右一対ある造精器官で、蛹期の後半に長さ 5 mm 程度にまで発達する。精巣で作られた精子は貯精嚢に貯留される。

成虫 adult / imago：ミツバチの成育段階の最終点。巣房内で先行羽化し、出房する。

前胃 proventriculus：蜜胃と胃をつなぐ短い消化管で、その先端に三角形の唇弁構造が 4 枚あり、これが蜜胃の後端部を閉じる弁として、採餌蜂が花蜜を運ぶ「袋」にする。前胃の後端部には胃内に入り込んだ噴門弁があり、食物が逆流するのを防いでいる。P.10 図 8

前肢 foreleg：前胸の付属肢で、女王蜂、雄蜂を含め触角掃除機が備わる。また働き蜂では基跗節内側に花粉ブラシが発達する。P.11 図 10

前翅 forewing：ミツバチの中胸に付属する。前縁脈と亜前縁脈が太く発達して強度を付与している。前翅長は種間差形質としてよく計測されており、セイヨウミツバチでは 7.6 ~ 9.7 mm である。

染色体 chromosome：ミツバチの染色体は 16 本。二倍体の雌は $2n=32$ 、半数体の雄は $n=16$ となる。

前蛹 prepupa (pl. prepupae)：ミツバチの成育段階において、幼虫の終点で、蛹への準備期間に入っている中間的な位置を指す。通常、摂食は完了し、ガットパーシ（腸の内容物の排出で、ミツバチの幼虫はこの時に初めて肛門が開口して脱糞す

る）が起こる。成育ステージとして扱うこともあるが、幼虫からの脱皮は未完了である。

そ

送粉者 pollinator：訪花して植物の花粉のやりとりに貢献する生物。ミツバチを含むハナバチ類に限らず多様な昆虫が含まれる。花粉媒介者とも。

た

多回交尾 multiple mating：ミツバチでは一妻多夫の交尾様式により、女王蜂が遺伝的背景の異なる雄蜂の精子を得ている。その結果として、蜂群内の働き蜂の遺伝的多様度を上げ、適応度を上げている。P.18 ~ 19

脱皮 ecdysis：ミツバチは完全変態で、孵化、蛹化、羽化の 3 回の変態に伴う脱皮があり、また幼虫期に 4 回の脱皮がある。幼虫期には第 1 齢から 4 齢まで、ほぼ 1 日ごとに脱皮が起こる。

脱糞飛行 cleansing flight：ミツバチの働き蜂は花粉を摂取して育児を行った後、まだ採餌蜂になる前に直腸に貯めた糞を排出する。その際、巣からあまり遠くない場所まで飛行して脱糞する。

単為生殖 parthenogenesis：ミツバチにおいて通常の雄蜂は女王蜂が受精させずに産んだ未受精卵から発生し、これを単為生殖と呼ぶ。P.18 図 20

単眼 ocellus (pl. ocelli)：ミツバチの頭部に 3 個あり。光の強度や偏光の受容に関与する。

探索蜂 scout bee：探索を行う採餌蜂で、採餌蜂の 1/4 程度の数にあたり、資源の状態によってその割合が変動する。P.31

ダンス dance：ミツバチが持つコミュニケーションの手段のひとつで、採餌ダンス以外に、貯蔵係を動員するダンス、グルーミングを促すダンス、逃去時のダンスなど多種類が知られる。

ち

中肢 middle leg：中胸の付属肢。働き蜂では脛節末端寄りに花粉ダンゴを外すための太い突起があり、基跗節内側に花粉ブラシがある。P.11 図 10

超個体 superorganism：一般的な動物は細胞の集合体を 1 個体として扱うが、ミツバチのように、個体の集合体であるコロニー（蜂群）が一単位になる生物では、コロニーの状態をそのように称する。P.34

直腸 rectum：後腸の後半部分で、腹部第 10 節の肛門へと続く消化管の末端器官である。全体に薄い柔組織で構成され伸縮自在で、脱糞飛行前には糞を貯めた状態で最大容積となる。P.10 図 8

貯蔵蜂 storer bees：内勤期の育児に続く労働に従事する働き蜂。仕事の種類が多く、必ずしも貯蔵のみに従事するわけではない。P.21 表 4

貯蜜 store honey：花から集めた花蜜を巣に貯蔵した状態のもの。通常糖度 50%以上で巣房に貯え始め、濃縮され、80%で蓋がけされる。働き蜂が加えた酵素で糖組成が改変される。P.26 図 32

て
定位飛行 orientation flight：巣外の活動に先行して巣の場所を覚えるための短時間の飛行。一般に巣を向いて飛行するので、採餌のための出巣とは区別がつく。働き蜂の「時騒ぎ」もこれにあたる。

定花性 flower constancy：個々の働き蜂が1回の採餌飛行中に同種の花だけを選んで訪花すること。探索蜂によるダンス情報を利用することで単一の植物を利用するようになるとの考えから、蜂群レベルの定花性の存在も指摘されるが、現実にはそのような資源利用の明確な統制は見られない。P.30

と
逃去 absconding：ミツバチが周囲の環境の悪化や外敵による攻撃から逃れるため、巣を捨てて、新たな営巣場所に移動する退避行動。資源がパッチ状の空間では、資源状態の改善が目的になることもある。

盗蜂 robbing：ミツバチが他のミツバチの巣から貯蜜を盗むこと。同種間でも異種間でも見られる。蜂群間の距離が 1 km までは発生する可能性があり、2 km 離れると発生しないとされる。

盗蜜 nectar robbing：訪花昆虫が花の花弁に穴を穿つなどして花蜜だけを搾取すること。ミツバチでは他のハナバチが利用した穴の流用がよく見られる。

毒腺 poison gland：毒囊の先端部に管状の組織があり細く二股に分かれて毒腺を構成する。

毒囊 poison sac：針に付属する器官で、毒腺で作られた毒を貯留する。刺針時には針とともに腹部から脱落し、刺針鞘の自立的律動に合わせて毒液を刺針対象物に注入する。

共食い cannibalism：ミツバチが育てきれない蜂児（幼虫および硬化する前の若い蛹）を廃棄せずに、タンパク質資源として回収すること。

な
内勤蜂 house bee：巣内の各種労働に従事している若い働き蜂。P.20～21

ナサノフ腺 Nasanov's gland：ミツバチの働き蜂が

もつ腹部の器官で、集合フェロモン（主成分はゲラニオール）を放出する。P.10

に
日齢分業 age polyethism / temporal polyethism：働き蜂間の労働分業は日齢に沿って行われる。齢差分業とも。P.20 図 23

二倍体 diploid：受精して相同染色体を2組持つ個体で、ミツバチの雌はすべて二倍体である。

二倍体の雄 diploid drone：受精によって性決定遺伝子が同型接合（ホモ接合）することで、受精卵から発生する雄蜂。孵化直後に排除される。P.18 図 20

の
脳 brain：働き蜂では、幅 2 mm、重量 2 mg、容積は 0.4～0.6 mm³、神経細胞数として 100 万個（記憶を司るキノコ体だけで 30 万個）で構成される（ちなみにヒトの脳の神経細胞数は 100 億個）。

は
麦芽糖 maltose：デンプンを分解産物の二糖で、ハチミツ中では経時的にブドウ糖から逆生成もされる。

働き蜂 worker：ミツバチの雌のうち生殖以外の労働を担当するカースト。女王蜂が一生の間に産む子の 95%に相当する。蜂群当たり数千から数万匹おり、それぞれ固有の遺伝的背景を持つ父系の集団で構成される。P.14

働き蜂産卵 worker laying：女王蜂がいなくなって、女王物質による卵巣発達の抑制が解けた働き蜂が産卵をすること。成熟卵を産むが、受精はしていないのですべて雄蜂になる。巣房内に複数の卵が不規則に産み落とされるのが特徴となる。

蜂毒 bee venom：ミツバチ（一般的には働き蜂）が持つ毒。刺針時には毒囊内の全量（3～4 μL）が1分以内に対象物に放出される。巣を襲う大型の動物に有効な成分を含んでいる。

蜂パン beebread：ミツバチが巣房内に貯えた花粉。採餌蜂が落とし込んだ花粉ダンゴを押し固めてあり、防腐用に脂肪酸が加えられる。P.26 図 32

ハチミツ honey：ミツバチが花蜜などを原料に作る高糖度のエネルギー食品。糖度が高く浸透圧が大きいこと、水分が少なく、酸性で微生物の繁殖が抑制され、また果糖が主要糖のため結晶化しにくい。結果として保存性が高く、液体としての利用性も維持されている。P.25 コラム 2, P.26

蜂ろう beeswax：働き蜂のろう腺から分泌されるろう（ワックス）で、巣材として利用される。脂肪酸モノ

エステルが全体の35%を占め、働き蜂の体表ワックスの半分以上を占める炭化水素は14%しかない。ミツバチの巣を融かして人が利用するために生成したものは「蜜ろう」と呼ぶ。P.22

ハナバチ bees：ミツバチ上科 Apoidea に属する7科に含まれるハチ類（同上科にはアナバチなど3科のカリバチも含まれる）。分枝毛など形態的特徴以上に、幼虫期に花粉を食べる生活史がハナバチの定義として重要である。P.4～5

翅 wing：前後2対あり、飛行時には前後を連結する。1 μm に満たない厚さのキチン質の膜が多層に重なってできていて、中に翅脈が走行する。

はばたき wing beat：ミツバチの飛行時の翅のはばたき（振動数）は230 Hz 前後で、環境温度や翅長により200～250 Hz の幅がある。

針 sting / stinger：ミツバチの雌の腹部端にある毒針で刺針軸 stylet とそれを支える一対の刺針鞘 lancet からなる。また毒腺と蜂毒を貯蔵する毒嚢が付属する。働き蜂は巣を外敵から守るために使用し、刺針対象の皮膚に針が毒腺とともに残る。女王蜂にとってはライバルとなる女王蜂と戦うための武器で、相手を刺しても抜けることはない。なお針は産卵管の派生器官であるが、ミツバチでは産卵に針が利用されることはない。

半倍数性 haplo-diploidy：ハチ類に見られる性決定の様式のひとつで、ミツバチの場合は、未受精卵から発生する雄蜂が半数体、受精卵から発生する雌（女王蜂と働き蜂）が倍数体である。P.18 図 20

ひ

飛行距離 flight distance：働き蜂は800 km 飛ぶと一生を終えるともいわれるが、一日に往復5 km の採餌飛行を平均10回、採餌蜂として1週間活動し続けたとしても350 km にしかならない。

飛行速度 flight speed：ミツバチは24 km/h（10.9～29.0 km/h）で飛行できる。蜜胃を満たした状態では6.5 m/s、空の状態では7.5 m/s となる。

飛行筋 flight muscle：ミツバチの胸部を前後方向と上下方向に走行する筋肉で、飛行時に翅を動かす。また筋肉振動による発熱器官でもある。

ふ

複眼 compound eye：個眼が多数集合したもので、左右に1対ある。個眼数は働き蜂で4,000～5,000個、女王蜂で3,000～4,000個、雄蜂では7,000～8,000個にもなる。ただし雄蜂の複

眼の上半分の個眼は色覚を持たない。

父系 patriline：働き蜂の遺伝的背景は、多回交尾によって女王蜂が受精嚢に貯えた精子によって決まる。女王蜂に精子を渡した雄蜂側から見た働き蜂の系譜を父系という。P.18 図 20

ブドウ糖 glucose：ほとんどの生物で重要なエネルギー分子として働く単糖で、デンプンやショ糖の分解で生成する。ハチミツ中では酸化されるため、果糖に対して量比が低くなる。

プロポリス propolis：ミツバチが植物の樹脂を集めて巣内に持ち込み、巣の補強に用いる。巣門を狭めたり、割れ目などからの隙間風を防ぎ、樹洞内壁を滑面にして換気を向上させる物理的な機能のほか、木部の腐敗を遅らせたり、ミツバチの感染症の予防まで、抗菌的な一面も合わせ持つ。

分蜂 swarming：ミツバチの繁殖様式で、新しい女王蜂に巣を譲って、古い女王蜂が蜂群の半数以上と出巣し、新規に営巣を開始する。P.16～17

分蜂蜂球 swarm cluster：分蜂時に巣を出たミツバチが巣の近くで一時的に集まるときに作る集団。この蜂球の上で、新たな営巣地に関する意思決定がダンスを用いた多数決方式で行われる。P.17 図 17

へ

変成王台 emergency queen cell：女王蜂が斃死したときに、働き蜂となるべく育ち始めた幼虫を女王蜂にするために、働き蜂用の巣房を改築して王台にしたもの。通常の王台から出房する女王蜂より一般的に小型の女王蜂となる。P.12 図 12

ほ

蜂児 brood：ミツバチの成虫以外の成長段階のものを総称する用語。巣房の蓋がけ状態から、卵と幼虫を無蓋蜂児、蛹を有蓋蜂児と呼ぶこともある。

蜂児フェロモン brood pheromone：蜂児が放出するフェロモンの総称で、例えば飢餓を感じた幼虫が放出するE-β-オシメンは育児蜂の巣房へのアクセスを増加させる働きを持つ。

蜂群密度 colony density：蜂群の自然状態での密度は、セイヨウミツバチでは温帯で0.5～5.1群/km²、熱帯で5～100群/km²、トウヨウミツバチでは22～27群/km²などの調査結果がある。

ま

迷い蜂 drifting：ミツバチが近隣の同種の巣に入りこむこと。雄蜂で頻繁に起きるが、蜂群の密度が高い場合には働き蜂でも起きやすい（2.5 km

離れても発生する)。

マルピーギ管 Malpighian tubule：昆虫において尿酸を含む老廃物の排泄や体内の浸透圧調整を行う管状器官で、胃と後腸の接合部に開口し、ミツバチでは100本以上あるとされる。老廃物は消化管からの糞に混合される。**P.10 図8**

み

未交尾女王蜂 virgin queen：まだ交尾飛行に出していない、あるいは交尾飛行には出ても交尾が完了していない女王蜂。未交尾の期間は最大で1か月ほどと猶予はあるが、それ以上では未交尾のまま産卵を開始して、未受精卵だけを産むようになる。

水汲み water collector：水を集める働き蜂。水は巣の環境調節にも餌の調製にも不可欠である。**P.21 図25, P.29**

蜜胃 honey stomach / crop：ミツバチが花蜜を運ぶときに利用する。容量は50 μLほどである。胃と称するが消化吸収機能はない。

蜜標 nectar guide：花の花弁上にあつて蜜腺の在りかを訪花昆虫の視覚に訴えて伝える構造。可視光を反射する場合はヒトにも見えるが、紫外線を反射するパターンの場合には、紫外線を知覚できるミツバチなどが利用する。蜜腺指標とも。

ミルク (蜂ミルク) bee milk：ミツバチと他のハナバチを分ける栄養上の重要点と餌としてのミルクの利用である。花粉は幼虫期後半および成虫期初期のみ消化可能で、若い働き蜂が生産するミルクが蜂群のメンバーのタンパク質需要を満たしている。女王蜂に与えられるものをローヤルゼリーと称する。

む

無王 queenless：蜂群に女王蜂がいない状態。

も

門番 guards：巣の入口(巣門)付近にいて、巣への侵入者に対して威嚇・攻撃行動を取る働き蜂。採餌係になる前の時期で、毒腺が発達し、毒嚢に貯えた毒量が最も多くなる。

ゆ

有王 queenright：蜂群に女王蜂がいる状態。

よ

幼若ホルモン juvenile hormone：幼虫期に成長制御ホルモンとして働くが、成虫の生理状態も調整する。分子生物学的解明が進むまでは、カースト分化においても、中心的な役割を果たす物質的自体と見なされていた。

幼虫 larva (pl. larvae)：卵から孵化し、蛹化するまでの成長段階で、ミツバチでは5齢期ある。幼虫期を通じて体重が卵の、働き蜂で900倍、女王蜂で1,700倍、雄蜂で2,300倍になる。

ら

卵 egg：重さ0.12~0.22 mg、長さ1.3~1.8 mmほどの円筒形で、女王蜂が巣房に産み付ける際には、将来の胚の腹部末端側が巣房底側になる。産卵後、卵割が始まり、多核化し発生開始後53時間で胚が形成される。孵化までは約3日である。

卵巣 ovary：卵巣小管の集まりで、ミツバチの女王蜂ではよく発達し、各卵巣が160~180本の卵巣小管で構成される。働き蜂にも縮小したものがあつり、卵巣小管数2~12本である。**P.13 図13**

卵巣小管 ovariole：卵巣を構成する造卵器。1本の卵巣小管の造卵速度は最大で2~3個/日と推測される。働き蜂は幼虫期には多数の卵巣小管を持っており、幼虫5日目には卵巣あたり130本程度に増えるが、その後ほとんどが消失する。

れ

齢 instar：幼虫期の脱皮ごとの成長段階で、ミツバチでは5齢までで、1~4齢期はいずれも約1日。

ろ

ローヤルゼリー royal jelly：女王蜂の幼虫および成虫に与えられるタンパク質に富んだミルク状の餌で、働き蜂が花粉を食べて体内で合成する。女王蜂が1,000個の卵を産む場合、材料として200 mg程度のローヤルゼリーが必要で、これは女王蜂の体重に匹敵する。働き蜂や雄蜂の幼虫、あるいは成虫に与えられるミルクをそれぞれ区別することもあつるが、ローヤルゼリー自体の栄養成分の量比も変動は大きく、それぞれ異なるものを作っているとは思にくい。**P.12 図12, P.13 コラム1**

ろう腺 wax gland：働き蜂の腹部第4腹板から第7腹板に各2つ、計4対あり、巣材となるろうを分泌する。**P.21 表4 図24**

ろう片 wax scale：ろう腺上に分泌された透明なろうの薄片で、長辺は2 mm程度で、厚さ(一般的には0.1 mm)と重さ(同0.7~0.9 mg)は変動が大きい。働き蜂は付属肢を用いてろう腺からろう片を取り外し、大顎で噛み砕いて造巣部位に貼り付け、巣作りを行う。**P.21 図24**

注1) 英文表記の(pl.)は複数形。

注2) 緑文字は関連ページおよび関連図表を指す。

日本語で読めるミツバチの生物学

ミツバチの科学

岡田一次

1975. 玉川大学出版部. 182 pp.

蜜蜂の生活

M・メーテルリンク

(山下知夫, 橋本綱訳)

1981. 工作舎. 291 pp.

ニホンミツバチ

北限の *Apis cerana*

佐々木正己

1999. 海游舎. 191 pp.



ニホンミツバチの

社会をさぐる

吉田忠晴

2005. 玉川大学出版部. 148 pp.

ミツバチの世界

坂上昭一

1983. 岩波書店. 221 pp.

ミツバチの世界 (上・下)

L・ハリフマン

(金光節訳)

1988. 理論社. 155 + 158 pp.

ミツバチ学 ニホンミツバチの研究を通し 科学することの楽しさを伝える

菅原道夫

2005. 東海大学出版会. 186 pp.

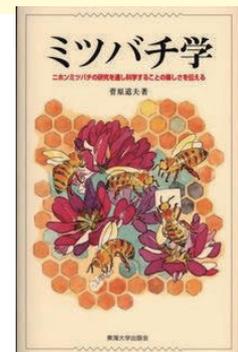
ミツバチの生態学

社会生活での適応とは何か

トーマス・D・スィーレイ

(大谷剛訳)

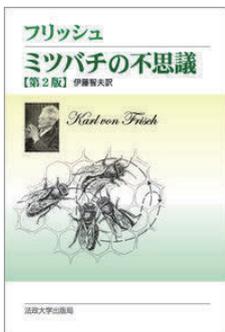
1989. 文一総合出版. 256 pp.



ミツバチのたどったみち

坂上昭一

2005. 新思索社. 328 pp.



ミツバチの不思議

カール・フォン・フリッシュ

(伊藤智夫訳)

1992. 法政大学出版局. 192 pp.

蜂からみた花の世界 四季の蜜源植物と ミツバチからの贈り物

佐々木正己

2010. 海游舎. 413 pp.



ミツバチの知恵

トーマス・D・シーラー

(長野敬, 松香光夫訳)

1998. 青土社. 362 pp.

ミツバチの世界 個を超えた驚きの行動を解く

Jürgen Tautz

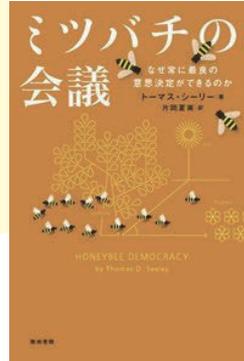
(丸野内棣訳)

2010. 丸善. 300 pp.

社会性昆虫の進化生物学
東正剛・辻和希（編）
2011. 海游舎. 477 pp.

ミツバチの教科書
フォーガス・チャドウィックほか
（伊藤伸子訳）
2017. エクスナレッジ. 221 pp.

ミツバチの会議
なぜ常に最良の意思決定ができるのか
トーマス・D・シーラー
（片岡夏実訳）
2013. 筑地書館. 291 pp.



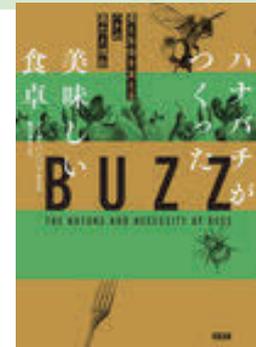
比較ミツバチ学
ニホンミツバチとセイヨウミツバチ
菅原道夫
2015. 東海大学出版会. 166 pp.



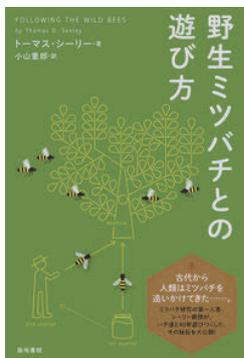
ミツバチの世界へ旅する
原野健一
2017. 東海大学出版会. 343 pp.



ハナバチがつくった美味しい食卓
食と生命を支える蜂の進化と現在
ソーア・ハンソン
（黒沢令子訳）
2021. 白揚社. 326 pp.



世界のミツバチ・ハナバチ百科図鑑
ノア・ウィルソン＝リッチ
（矢能千秋ほか訳）
2015. 河出書房新社. 223 pp.



野生ミツバチとの遊び方
トーマス・D・シーラー
（小山重郎訳）
2016. 筑地書館. 187 pp.

野生ミツバチの知られざる生活
トーマス・シーラー
（西尾義人訳）
2021. 青土社. 347 pp.

ミツバチの生物学的側面を知るための、科学的記述のある書籍のうち、養蜂技術に特化したものは除外して示した（発行年順）。

※表紙画像は版元ドットコム提供のものを利用。

主な参考文献

★は翻訳書あり (P.44 ~ 45 参照)

ミツバチの生物学

- Free, J. B. 1977. The Social Organization of Honey Bees. Edward Arnord, 68 pp.
- Frisch, K. von. (Transl. by Chadwick, L. E.) 1967. The Dance Language and Orientation of Bees. Harvard University Press. 566 pp.
- Hepburn, H. R. 1986. Honeybees and Wax. An Experimental Natural History. Springer-Verlag, 205 pp.
- Hepburn, H. R., Pirk, C. W. W. and Duangphakdee, O. 2014. Honeybee Nests. Comparison, Structure, Function. Springer, 389 pp.
- Oldroyd, B. P. and Wongsiri, S. 2006. Asian Honey Bees: Biology, Conservation, and Human Interactins. Harvard University Press, 340 pp.
- Ribbands, R. 1953. The Behaviour and Social Life of Honeybees. Bee Research Association, 352 pp.
- 坂上昭一. 2005. ミツバチのたどったみち. 進化の比較社会学. 新思索社, 328 pp.
- 佐々木正己. 1999. ニホンミツバチ—北限の *Apis cerana*. 海游舎, 191 pp.
- Seeley, T. D. 1985. Honeybee Ecology. A Study of Adaptation in Social Life. Princeton University Press, 201 pp. ★
- Seeley, T. D. 1996. The Wisdom of the Hive: The Social Physiology of Honey Bee Colonies. Harvard University Press, 318 pp. ★
- Seeley, T. D. 2010. Honeybee Democracy. Princeton Univrsity Press, 273 pp. ★
- Seeley, T. D. 2019. The Lives of Bees: The Untold Story of the Honey Bee in the Wild. Princeton University Press, 353 pp. ★
- Tautz, J. 2008. The Buzz about Bees. Biology of a Siperorganism. Springer, 284 pp. ★
- Winston, M. L. 1987. The Biology of the Honey Bee. Harvard University Press, 281 pp.
- 吉田忠晴. 2000. ニホンミツバチの飼育法と生態. 玉川大学出版部, 136 pp.

ミツバチ・ハナバチの分類学

- Gromaldi, D. and Engel, M. S. 2005. Evolution of the Insects. Cambridge University Press, 755 pp.
- Ilyasov, R. A., Lee, M.-L., Takahashi, J., Kwon, H. W. and Nikolenko, A. G. 2020. A revision of subspecies structure of western honey bee *Apis mellifera*. Saudi Jounal of Biological Sciences 27: 3615-3621.
- Michener, C. D. 2000. The Bees of the World. John Hopkins University Press, 953 pp.
- Ruttner, F. 1987. Biogeography and Taxonomy of Honeybees. Springer-Verlag, 284 pp.

ミツバチの解剖, 形態, 機能

- Dade, H. A. 1994. Anatomy and Dissection of the Honeybee. International Bee Research Association 158 pp. + 20 plates.
- Goodman, L. 2003. Form and Function in the Honey Bee. International Bee Research Association, 220 pp.
- Snodgrass, R. E. 1956. Anatomy of the Honey Bee. Cornell Universitu Press, 334 pp.
- Stell, I. 2012. Understanding Bee Anatomy: A Full Colour Guide. Catford Press, 199 pp.

ミツバチと植物

- Kirk, W. D. J. and Howes, F. N. 2012. Plants for Bees. A guide to the Plants that Benefit the Bees of the British Isles. International Bee Research Association, 311 pp.
- Nicolson, S. W., Nepi, M. and Pacini E. (eds.) 2007. Nectaries and Nectar. Springer, 395 pp.
- Rouston, T. H., Cane, J. H. and Buchmann, S. 2000. What governs protein content of pollen: Pollinator preferences, pollen-pistil interactions, or phylogeny? Ecological Monographs 70: 617-643.
- 佐々木正己. 2010. 蜂からみた花の世界. 四季の蜜源植物とミツバチからの贈り物. 海游舎, 413 pp.

あとがき

本書は、農林水産省の令和4年度持続的生産強化対策事業、養蜂等振興強化推進事業における養蜂技術指導研修会で利用するテキストとして、また、関係各位にミツバチの生物学を理解していただくための簡便な参考書として、ミツバチを知るための基本事項を取り上げて説明するスタイルの冊子として企画されたものである。

ミツバチの生物学は、一昆虫としての生物学以上に、ミツバチの社会性、ミツバチと植物との関係、さらにはミツバチの環境への強い依存性と親和性など、多方面での特殊性ゆえに分野として非常に幅が広く、また極めて奥が深い。しかし冊子という全体量に制限がある媒体での掲載ということで、内容はごく一部だけを取り上げることになった。本書では、本文の説明不足を用語集で補う試みはしたものの、十分な情報量には到底なり得てはいないので、本書内で紹介した関連の書籍（P.44～45）や参考文献（P.46）などもぜひ活用して、ミツバチの生物学を修得していただきたい。なお、生物学という分野の知見は、ミツバチに限ったことではないが、日々アップデートされており、従前の知識がいつまでも通用する保証はない。養蜂という応用分野への適用には、研究の継続と情報の更新が常に必要なこともご理解いただければ幸いである。

本書には、参考書籍などを教科書として、基本事項についての最新の情報や、特に貴重な文献値をデータとして取り込むことを目指した。その中にかつての玉川大学農学部卒業生の多数の卒業研究の中から、学術論文としての質ではなかったものでも、貴重かつ共有価値の高い実験データを取り入れて活用させていただいた。また本書内の画像については、著者自身のフィールドワークの中で撮影したものも多数利用したが、その撮影場所の提供や素材の準備・調達等において、長年にわたりたくさんの養蜂関係各位のご協力をいただいていた。末筆ながら合わせて感謝申し上げたい。

（著者）

養蜂技術指導手引書 2022

ミツバチを知るための
ミツバチデータブック
生物学編

令和4年11月発行 ©2022

発行者

一般社団法人 日本養蜂協会

〒104-0033 東京都中央区新川2丁目6-16 馬事畜産会館6階

著者

中村純

玉川大学農学部先端食農学科食品科学領域
玉川大学学術研究所ミツバチ科学研究センター

図版著作権

P.1～2 図1 ©2022 松岡さつ紀

P.10～11 図7, 8, 9, 10 ©1956 Cornell University Press, renewed 1984.

* これらの図版はコーネル大学出版部の Comstock シリーズの Anatomy of the Honey Bee
(R. E. Snodgrass 著) より、出版社の許諾を得て使用した。

P.20 図23 ©2022 朝賀雅楽

その他の全図版 ©2022 中村 純

【非売品】

本書のスクリーン、デジタル化等の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。

お問い合わせ

一般社団法人日本養蜂協会

〒104-0033 東京都中央区新川 2 丁目 6-16 馬事畜産会館 6 階

TEL.03-3297-5645 FAX.03-3297-5646

<https://www.beekeeping.or.jp/>