

ミツバチのふたつのダンス

Thomas D. Seeley

地球の冷温帯地域に生息するすべての昆虫のなかで、ミツバチが厳しい冬を生き延びていくために選んだ手段は独自のものである。冬の寒さに屈して休眠状態になるのではなく、反対に巢内の限定された小居住空間の温度を暖かく保ち続けて、寒さに立ち向かっている。ミツバチは身体を寄せ集め、バレーボール程度の大きさの断熱効果が高い蜂球をつくり、さらに強力な飛行筋を動かして代謝熱を作り出すのである。この温度調節機能はきわめて有効で、気温が -20°C に下がる冬の夜でも、蜂球の最も外側にいるミツバチが 0°C 以下にまで冷えてしまうことは稀であり、蜂球中心部にいる蜂は 12°C あるいはもう少し高い快適な温度で過ごしている。蜂達が冬中動かし続けるこの暖房装置の燃料こそが、ミツバチという名前の由来ともなった、彼らが巢の中に大量に備蓄するハチミツなのである。

温度を保ちながらの越冬はエネルギーが多くかかる。冬期ミツバチコロニーには約1万5千匹の蜂がいて、 $20\sim 40\text{W}$ 相当のエネルギーを消費しており、小さな電球をつけたままにしているのと同じくらいである。ハチミツ消費量でいえば週に $0.45\sim 0.9\text{kg}$ 、一冬で約 27kg が費やされる。そこでコロニーの長期的生き残り戦略として、冬期間の膨大なエネルギー消費に備えて、花々が豊富に花蜜をたたえる夏の間集中的にエネルギー貯蔵に励む必要がある。

ミツバチにとって生憎のことだが、自然は頼りになるコンスタントな花蜜供給をしてくれない、むしろ突然爆発的に増加する食糧供給状況にミツバチコロニーの方がうまく対応しなければならぬ。花蜜が大量に溢れ出る一養蜂家が

「流蜜期」と呼ぶ一時期の後には、花蜜がほとんどない時期がすぐにとってかわることになる。

私の住まいがあり、ミツバチも飼育しているニューヨーク州中部を例にとると、5月下旬～6月上旬のニセアカシアが満開の頃の暖かな日には、1群が 5kg もの花蜜を集めることができる。これは 2.5kg のハチミツに相当する量である。しかしこの流蜜はわずか1週間ほどで終わってしまい、その後はラズベリーとハゼノキが咲き始める6月下旬までコロニーは花蜜をほとんど集められない。

第1のダンス

このように増減幅がきわめて大きい花蜜供給事情に対応するため、コロニーにはふつう約5千匹もの大量の採餌蜂がいて、豊富な花蜜があればいつでもすぐに大量動員して対応できる。採餌蜂を訪花に向かわせる方法が、有名な尻振りダンス(waggle dance)である(図1)。こ



図1 尻振りダンス。8の字を描く際、直線部分で腹部を左右に振動させる。このときに発生する音(翅が 260Hz で振動している)の長さがダンスを追従する蜂に距離を伝える。

のダンスは1940年代に偉大なオーストリアの動物学者カール・フォン・フリッシュによって解説された、ある採餌蜂が溢れんばかりに花蜜がある開花中の区域（花パッチ）を見つけると、彼女はその花蜜を蜜胃にためて、巣に飛び戻り、巣内で尻振りダンスを踊って自分のすばらしい発見を宣伝する。このダンスは小さな8の字を描くように走る：まず細かく身体を左右に振りながら走る尻振り走行、続いて右折して円を描きながらスタート地点に戻る、また細かく身体を振りながら走り、今度は左折してぐりと回って元の地点に戻る。左回り、右回りを交互にくり返し8の字型に尻振りダンスは続けられる。このうちの尻振り走行の部分が、有望な花パッチを見つけて飛び戻った採餌蜂の行動のうち、最も驚異的で多量の情報を含む場面である。体を横方向に、腹部の先端をもっともはげしく振ることと、翅を震わせることが目立つ特徴である。ふつうダンスを踊る蜂を数匹の蜂が追従し、花パッチまでの距離、巣からの方向とその花の匂いの情報を読みとる。追従蜂は情報をもとに特定された花を目指して巣から飛び立っていく。

尻振りダンスは良好な採餌機会がきたらいつでも、コロニーが花蜜採集速度をいっきに加速することを可能にする。たとえば、あるときガラス観察巣箱にいるコロニーの1匹の採餌蜂を巣から約3km離れた餌場のシヨ糖液入りの皿に餌づけした。その蜂は私の準備した人工“花蜜”源で採餌しはじめ、糖液を担って帰巢する度に、激しく尻振りダンスを踊ってその餌場を宣伝した。その効果は劇的であった。実験開始から3時間後には餌場から巣に食料を運び込む蜂は46匹にまで増えた（図2）。そのまま餌場を取り外さずにいれば、通ってくるミツバチの数は数百匹にまで跳ね上がったであろう。

食物貯蔵蜂の仕事

巣外で花蜜を集める蜂の数をいっきに増やすことは、多量の流蜜を察知したコロニーがチャンスをも有効利用するための調整手段のひとつに過ぎない。もう一つ、同等に重要な調整が、集

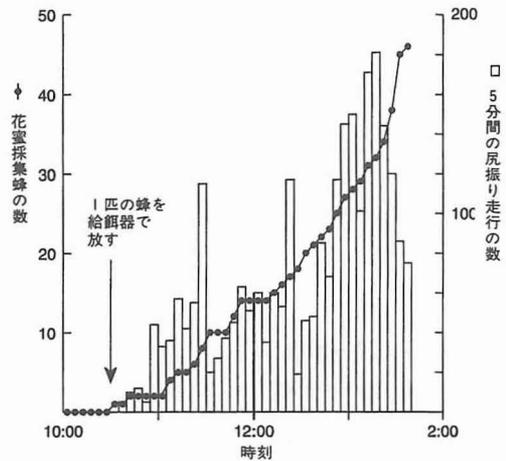


図2 尻振りダンスによって急激に増加する花蜜採集蜂数（「ミツバチの知恵」より）。

められたばかりの新鮮な花蜜を、巣の中で受け取るミツバチの数を急激に増やすことである。採餌蜂が花蜜を運んで帰巢したとき、その蜂が直接自分で蜜巣に貯蔵するわけではない。彼女は花蜜を吐き戻し、コロニーの食物貯蔵蜂に渡す。食物貯蔵蜂はその後花蜜をハチミツに変えるために必要な手順をすべておこなっていく。採餌蜂と食物貯蔵蜂とははっきり分かれた労働集団である。双方は日齢、機能のどちらも明確に異なっており、採餌蜂はコロニー最年長のグループで、巣外の明るくそよ風の吹く世界でせっせと働いている。いっぽう食物貯蔵蜂はコロニーでは中期の日齢で、その働き場は暗く、混みあった巣の内部である。巣の入り口付近で帰巢する採餌蜂を待ち受け、持ち帰られた新鮮な花蜜を受け取って、蜜巣板に運び、最後に蜂ろう製の巣房にしまう。花蜜は次第に蒸発により水分を失い、やがて“ハチミツ”へと熟成していくのである。

食物貯蔵蜂と採餌蜂はハチミツ製造の陰と陽である。コロニーが越冬するのに十分なハチミツを得るためには、双方がそれぞれの役割をうまく果たさなければならない。さらに重要なことは、両グループの仕事速度がかみ合っていることで、さもないとハチミツ生産のどこかの過程で障害が発生する（図3）。例えば仮にコロニーが急激に花蜜採集蜂を増やしたときに、それに

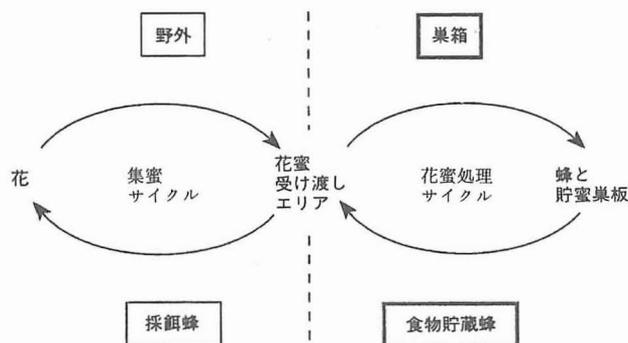


図3 花蜜採集を構成するふたつのサイクル（「ミツバチの知恵」より）。

呼応して食物貯蔵蜂の数も増加しなかったなら、採餌蜂は花蜜を受け取ってもらうまで、長く待たされることになる。これではいずれコロニーのハチミツ生産効率は低下する。なぜなら採餌蜂は野外でせっせと働くのではなく、巣内でぶらぶらして時間を浪費することになるからである。

私たち人間も銀行や食料品店で同じような効率の悪い障害に出ている。お客がどんどん増えてきても、それに呼応して窓口の行員やレジの店員は増員されない。そこで私たちも列を作り、自分の順番が来るのを待ちながらいらして、明らかな非効率に苦しむのである。

こんないらだたしい障害を避けるには、働き手の数を増やし、彼らが提供するサービスの総量が、顧客が求めるサービスの総量に見合うようにすればよいのである。例えば多くの大型食料品店では、1日の仕事を終えて帰宅途中の客が押し寄せる午後4時から6時の間は、すべてのレジに係員がいるように配慮している。最近明らかにすることができたが、ミツバチもまったく同様に、採餌蜂の花蜜持ち込み速度の上昇に見合うように、食物貯蔵蜂の数を増やせるのである。帰巣して花蜜受け渡しまでの待ち時間が、許容範囲を超えて長くなったときに、採餌蜂は特別の情報信号を発して、より多くの食物貯蔵蜂を召集できる、そんな方法を用いているのである。

第2のダンスとその意味

この特別な信号は身震いダンス（tremble

dance, 図4）と呼ばれ、1920年代にフォン・フリッシュによって最初に記述された。彼は次のように魅力的に述べている。「時として餌場や他の場所から戻ったミツバチが不思議な行動を見せる。まるで突然舞踏病にかかったかのようなのである。巣板上をあちらこちらとゆっくり走り回り、肢を小刻みに震わせているので体も前後左右にずっと揺れ続けるのだ。このとき蜂は4本肢で歩き回りますが、ちょうど犬が何かを欲しがって前脚を持ち上げるような位置まで、震えている2本の前脚を引き上げる。」

身震いダンスがどのような重要な意味を持つのか、フォン・フリッシュにはわからなかった。このダンスも尻振りダンスと同様に、明らかに情報伝達の信号のように見えたが、身震いダンスを誘発する原因は何か、また巣内の他の



図4 身震いダンス。巣板の上で激しく体を揺する働き蜂。持ち帰った花蜜を受け取る食物貯蔵蜂に出会うまでの時間が長くなると、採餌蜂がこのダンスを踊る。このダンスによって食物貯蔵蜂が増えることが確認された。

蜂にどのような影響を及ぼすのか、彼は特定できなかった。そこで彼は、身震いダンスは何の情報も他の蜂に伝えない、だから他の蜂も身震いダンスに関心を示さない、恐らくこのダンスは蜂が巣の外の世界で災難に遭ったために生じる、ノイローゼのようなものに過ぎないのだろう、と結論づけた。

しばらく前から私は身震いダンスについてのフォン・フリッシュの結論は間違いではないか、本当はコロニーのハチミツ生産体制で重要な役割を演じているのではないかと思いはじめた。この疑問は、食物貯蔵蜂も視野に入れた実験で思いがけない結果が出たことから浮かび上がった。それはあるコロニーから大部分の食物貯蔵蜂を取り去り、採餌蜂に与える影響を観察するものだった。予想どおり、巣に戻った採餌蜂は食物貯蔵蜂をさかんに探し回った（このときの搜索時間は平均約40秒）。ところが多くの採餌蜂が帰巣時に身震いダンスを踊ることも観察された。これは思いがけないことだった。

さらに約2時間後になると、それまでには身震いダンスが少なくなり、採餌蜂は最早受け渡しの相手を熱心に捜さなくても良くなっていた（搜索時間平均約10秒）。あきらかに私が取り去った蜂の代わりに新しい食物貯蔵蜂が現れていたのだ！

これらの思いもよらぬ発見から、私は身震いダンスについての2つの部分からなる仮説を立てた：第1には、ダンスは採餌蜂が巣に戻ってもなかなか花蜜を受け渡す食物貯蔵蜂に逢えないことが原因になる、第2に、身震いダンスが与える影響とは、新たに食物貯蔵係になるように蜂を促すことである。つまり身震いダンスはハチミツ製造過程の障害を、もっと受け取り手が必要だとの信号を出すことで除去する役割を果たしている、と私は提案したのである。

次に、これらの仮説を確かめるため、ニューヨーク州北部のアディロンダック公園内にある克蘭ベリー湖生物学実験施設で実験をおこなった（図5）。この施設の周辺は100年以上も伐採されたことのない密集した森林が何マイルも広がっていて、この種の実験には打ってつけ

の環境である。夏の間克蘭ベリー湖近辺にはほとんど花がなく、したがってミツバチの自然の食糧源はまず皆無である。「ミツバチの地獄」だなど私は思うのだが、実際ここには野生群がまったくいない。ミツバチは私が実験のために持ち込んだ群だけである。このような環境なので、ミツバチの重要な採餌先は私が準備した実験用の餌場に限られ、助手の手を借りてこの餌場を訪れるミツバチの数を調整できるので、私はコロニーに採餌蜂が蜜を持ち込む速度を容易に制御できるのである。

身震いダンスを引き起こす原因についての私の仮説を試すため、観察巣箱の1群と2か所の餌場を設置し、糖液を集めに訪れた採餌蜂を捕獲することで、花蜜を巣に持ち込む蜂の数を調整した。

採蜜して帰る蜂が30匹のみと少数だったときは、巣に戻るとすぐに食物貯蔵蜂を見つけられ（搜索時間は平均10秒）採餌蜂はほとんどすべてが尻振りダンスを踊った。

ところが花蜜を持ち込む採餌蜂を120匹に

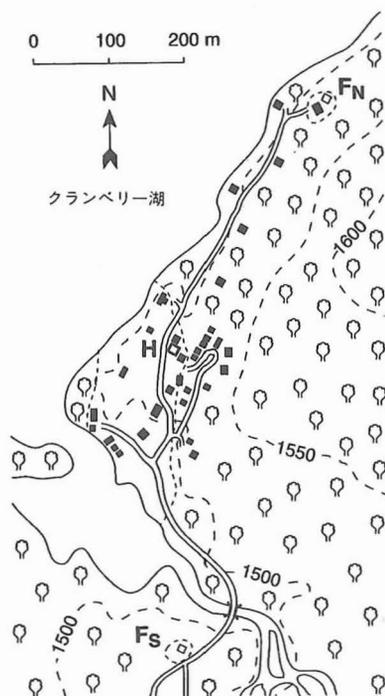


図5 クランベリー湖の実験地。Hは観察巣箱、FNは北側の餌場、FSは南側の餌場を示す。等高線上の数字の単位はフィート（「ミツバチの知恵」より）。

増やすと、受け取る蜂が見つけにくくなり（平均搜索時間 45 秒）、尻振りダンスが止まった。変わって彼らは身震いダンスを始めたのである。結果をまとめると、帰巣後 20 秒以内に食物貯蔵蜂を見つけられれば採餌蜂は尻振りダンスを踊る。しかし 40 秒以上搜索を続けても受け取り手が現れないときは、身震いダンスを踊りがちである。

検証実験／仮説の検証

身震いダンスの効果についての私の仮説を確かめるのに、再び同様の実験を行い、帰巣する採餌蜂数を調整した。今回は蜜を持ち込む蜂が少ない日と多い日、つまり身震いダンスのない日と、たくさん踊られる日を 2 日続きで設定し、それぞれの日に蜜を受け取る食物貯蔵係として働く蜂の数を数えた。貯蔵蜂を数えるために、観察巣箱の側面のガラスを 1 枚はずして、代わりに硬いナイロンメッシュ（バレリーナの着る短い衣装用素材、チュールレース）を貼り、採餌蜂から花蜜を受け取るように見える蜂はすべて背中にペンキを塗った。身震いダンスの効果は明らかだった。例えば、1994 年 7 月 19 日の実験では採餌蜂の集蜜速度が遅く（帰巣する蜂は 3 匹/分）身震いダンスを踊るものがないので、ほんの 550 匹ほどが受け取り手として働いていた。しかし、翌日は集蜜速度を引き上げた（帰巣する蜂は 25 匹/分以上）ところ、巣内で同時に 15 匹以上が身震いダンスを踊り、2,000 匹以上が食物貯蔵蜂として働いた（図 6）。

身震いダンスに関する最近の発見により、ミツバチコロニーが形づくっている不思議な内部世界、特にハチミツを作るための蜂の社会構造のすばらしさを、私たちは一段と深く理解できるようになった。人類はこれまで、ミツバチが尻振りダンスによって遠くにある豊かな食物源の情報を採餌仲間に伝えることを驚異の目でみてきた。そして今、尻振りダンスがコロニーの花蜜収集能力をいっしょに高める効率のよさが、新たな課題をミツバチにもたらしていることに私たちは気づいた。つまり急激に数を増す

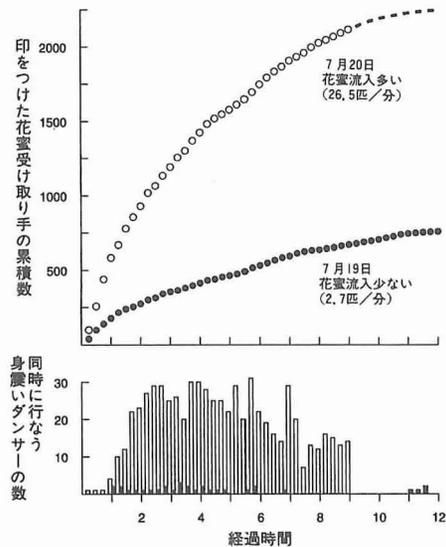


図 6 クランベリー湖の実験地。H は観察巣箱，FN は北側の餌場，FS は南側の餌場を示す。等高線上の数字の単位はフィート（「ミツバチの知恵」より）。

採餌蜂グループが求める花蜜の受け渡しに對し、十分見あうだけの食物貯蔵蜂をどうやって召集するか、という問題である。その解決策が実は身震いダンス、つまり採餌から戻った蜂が花蜜受け渡しの搜索時間が余り長くなったときに踊るもうひとつのダンスなのである（図 7）。

このすばらしいミツバチの知恵から、私たち人間社会が学ぶべきものはないだろうか。銀行、食料品店やその他の場所で沢山のお客が順番待ちを余儀なくされている。そこにミツバチ

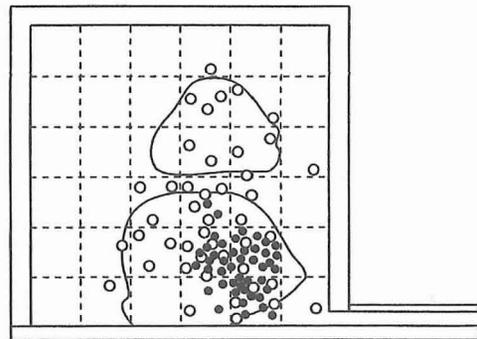


図 7 身震いダンスの踊り場○と尻振りダンスの踊り場●。身震いダンスを始めるのは巣門の近くであるが、尻振りダンスとは異なり、巣の奥へと踊り場を広げる。図中の囲み線は蜂児圏を示す（「ミツバチの知恵」より）。

コロニーのようなシステムを取り入れたらよいだろう。行列がどんどん伸びているときは、係りの人がもっと来てくれないかとじっと待ち望むだけでなく、係員をすぐ増やして下さいとお客が要求できるようにするのである。

(著者の住所は下記参照) (翻訳 榎本ひとみ)

THOMAS D. SEELEY. A tale of two dances. *Honeybee Science* (2000) 21 (2): 49-54. Department of Neurobiology and Behavior, Cornell University, Ithaca, New York 14853, USA.

A honey bee colony must cope with great variation in the supply of nectar, as honey flows alternate with times of scarcity. When nectar is plentiful, a colony must increase both the nectar foragers, older bees which gather the nectar from the flowers, and the nectar receivers, middle-age bees who receive and store the freshly collected nectar. Additional nectar foragers are activated by means of one dance, the WAGGLE dance. This dance is performed by foragers that have found rich sources of nectar and have not experienced difficulty finding a receiver bee upon return to the hive.

Additional nectar receivers are also activated by a dance, the TREMBLE dance. This dance, like the waggle dance, is performed foragers that have found rich sources of nectar. But what tells these bees to perform tremble dances rather than waggle dances is the experience of difficulty in finding a receiver bee. By performing the tremble dance, a nectar forager activates more bees to function as receiver bees, thereby eliminating a bottleneck in a colony's honey-production process.

編集委員会より

この論文は、2000年1月16日に開催された第22回ミツバチ科学研究会および1月19日に開催された兵庫県養蜂講習会での講演内容を Seeley 教授が本誌向けにあらためてまとめたものです。さらに詳しく知るためには、下記の書籍をご参考下さい。

Seeley, T.D. 1995. *The Wisdom of the Hive*. Harvard University Press. Cambridge. 邦題「ミツバチの知恵 ミツバチコロニーの社会生理学」トーマス・D・シーリー著, 長野 敬, 松香光夫訳 (1998) 青土社. 362 pp. ISBN4-7917-5660-6. (アジア養蜂研究協会でも斡旋販売しています)