

ミツバチの巣の形成過程とその時空間一様性

大崎 浩一*・宮木 優**・河盛 月美**・中田 梨菜**・大谷 剛***

はじめに

社会性昆虫であるミツバチは、仲間と協働し、コームとよばれる半円盤状の巣を複数枚造る。ミツバチの巣といえば通常、この複数枚のコームの集合をいう。コーム両面には正六角形の巣室が整然と並んでいる。巣室は、底面で表裏が互い違いに接しており、1つの巣室の底面は菱形12面体を頂点でカットした形になっている。まれに切頂8面体のものも観察される(ボール 2011)。微小な脳しか持たないミツバチが、このような精巧な形を造り上げることは注目に値する。私たちの研究グループでは、実際にミツバチを飼い、その造巣過程を、群れの行動と協働作業という視点から理解する目的で観察した。本論文では、巣の形成に際し、コームが成長する様子ならびに、着色した蜜ロウを与えた結果と、そこから導き出せる結論や予想について述べる。

観察方法

関西学院千刈キャンプ(兵庫県三田市香下)において、2階建て建物の北側2階テラスに木製巣箱(外形の寸法 縦455mm 横540mm 高さ345mm)を設置し、市販のセイヨウミツバチを入れて観察を行った。ミツバチの数は約6000匹ならびに女王バチ1匹である。巣箱におけるミツバチの出入口(巣門)の方角は、木々等の障害物による制約から東向きとした。購入時付属の巣枠をすべて取りさって自然な造巣過程を観察したかったが、その条件下では群の逃亡が直前の予備実験で起こった。そこで新たに群を購入し、巣枠を残して観察を開始した。

設置後はじめの11日間は、群が安定するまで大きなコームを造らせないよう、付属の巣枠3枚と給餌器な

らびに制限板を用いて、ミツバチの居住スペースを制限した(内部の寸法 縦180mm 横481mm 高さ251mm)。12日目に群が安定したと判断し、この時点で蜜が多く入った巣枠1枚を制限空間の外に置き、制限空間の横幅を広げた(縦221mm 横481mm 高さ251mm)。具体的には、給餌器から4cmの間隔(巣枠側面をミツバチが往来できる程度)を空けて巣枠を1枚、さらにそこから7cm(ミツバチがコームを1枚追加できる程度)を空けて巣枠をもう1枚と制限板を配置した(以下、7cm間隔の空間を、7cm空間とよぶ)。制限板にはミツバチが出入りできる隙間があり、制限空間の外側の蜜を食料にすることができる。また、群が逃亡しないよう女王バチの羽1枚の半分を切り取って飛びづらいうようにした。結果の節で述べるように、この7cm空間には新しいコーム(以下、第1コーム)が造られ、その発展の様子を13日間観察した。第1コームに幼虫が産みつけられる等、安定状態に入ったことを確認した25日目に、7cm空間を、新たなコーム形成を促す目的で、12cmに広げ、観察を続けた(以下、12cm空間)。またその際、赤色に着色された1cm角の蜜ロウシートを、5cm間隔で12cm空間側面の巣枠上部に手で押し付けて貼り付けた。26日目には、12cm空間にさらに新しいコームが造られ(以下、第2コーム)、それを4日間観察した。31日目に、ムダ巣の2つの巣室の奥に緑色の微小蜜ロウ一片を入れ、およそ1日経過させた。また、この日に12cm空間を、さらにコームを作らせる目的で、15cm(以下、15cm空間)に広げた。上述の巣箱内の様子は図1の通りである。

結 果

【ムダ巣の形成】巣枠上側にムダ巣が造られた。一般に、巣枠の外に造られる巣をムダ巣という。ムダ巣最下段の巣室は、整然とした六角形ではなく、ときおり他の多角形状をなしていた。巣枠からはみ出た部分にも六角形セルが形成された。また、給餌器側面にもムダ巣が形成された。給餌器側面のムダ巣2つがつながって、長いものになるものもあった(図2)。

【第1コームの形成】12日目に巣枠間隔を7cmに広げた。その直後(12日目)は、7cm空間をなす巣枠側面

* 〒669-1337 : 三田市学園 2-1 関西学院大学理工学部 (2-1, Gakuen, Sanda, Hyogo 669-1337, Kwansei Gakuin University)

** 〒669-1337 : 三田市学園 2-1 関西学院大学理工学部数理科学科 4年 (2-1, Gakuen, Sanda, Hyogo 669-1337, Kwansei Gakuin University, B4)

*** 〒669-1337 : 三田市学園 2-1 関西学院大学数理科学研究センター (2-1, Gakuen, Sanda, Hyogo 669-1337, Research Center for Mathematical Sciences, Kwansei Gakuin University) 2016年2月8日受理

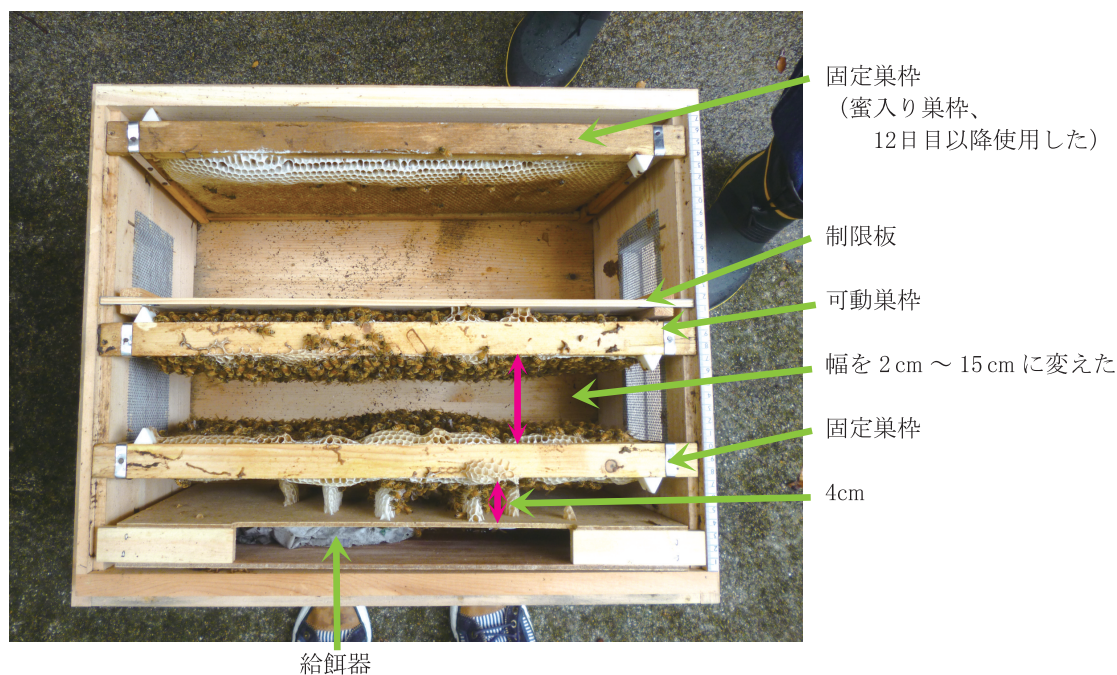


図1 実験巣箱を上から見た図。



図2A



図2B

図2 給餌器に形成されたムダ巣。小さなコームが2つ形成され (A), それがつながって大きなコームへと成長した。左から3番目のコーム (B)。

ならびに巣箱底面に一様にミツバチが広がった。13日目以降には巣枠側面にチェーン状に連なったものが2層 (以上) になってぶら下がった。16日目に巣箱を開けると、巣枠に平行に縦3cm 横5cmの第1コームが形成されていた。第1コームは、40日目には縦20.5cm 横33cmにまで成長した (図3)。

【第2コームの形成】25日目に12cm空間に広げた。26日目に12cm空間に横10cm 縦8.5cmの第2コームが形成された。第1コーム形成と比べて短時間にコームが形成されたが、これは、第1コーム隣にムダ巣が張り付いたものがあり、それを利用したためであると考えられる。第2コームは、40日目には縦16cm 横23.5cmにまで成長した (図3)。

【第3コームの形成】31日目に15cm空間に広げた。32日目に巣箱を開けると3つめのコーム (以下、第3コーム) ができており、大きさは縦10cm 横7.5cmであった。第3コームは、40日目には縦13.5cm 横13cmにまで成長した (図3)。

第1, 第2ならびに第3コームの縦と横の長さの時間発展をグラフにして、図4にまとめた。

【ロウ片とミツバチによるかじり取り】25日目に貼り付けた3つの赤ロウ片は次の日 (26日目), 第1コームから1番遠いものはほとんど変化がなかった一方で、中央のものは全てかじり取られてなくなっていた。加えて、周辺のムダ巣表面に赤いロウが一樣に付着していた。第1コームに1番近い赤ロウ片も半分程度がか

じり取られており、近いムダ巣表面が赤く着色していた（図5）。また、そこから離れた場所にわずかであるが赤いロウが付着しているところが数カ所存在した。

巣室の奥に緑色の微小蜜ロウ片を入れる実験では、すべての場合にその蜜ロウ片がどこかに取り去られてしまった。



図3 出来上がった3つのコーム。写真奥から、第1、第2、第3コームと3枚がほぼ等間隔に並んでいる。

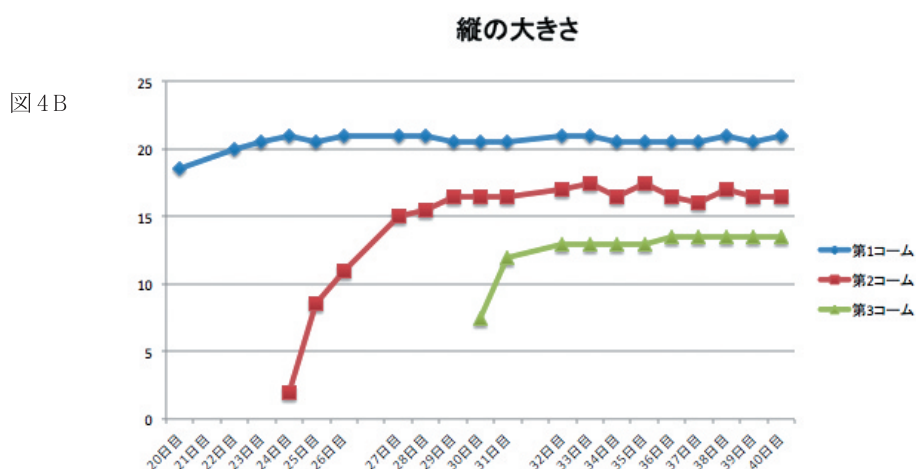
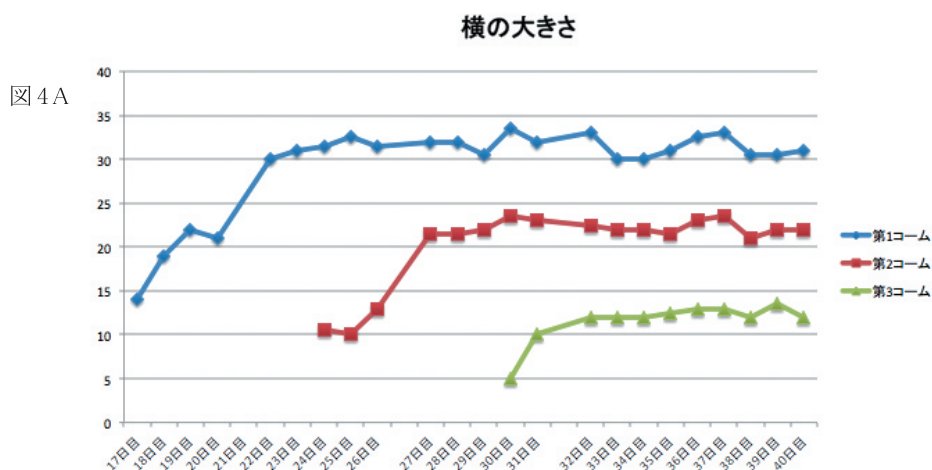


図4 第1、第2、第3コームの縦と横の長さの時間発展。最長部分の長さを測定した（A横，B縦）。グラフの傾きでコームの成長速度が分かる。特に第2コームの縦の長さの伸びが他に比べて速いことが分かる。



図 5A



図 5A 拡大



図 5B



図 5B 拡大

図 5 給餌器に 1 番近い巣枠の上部に市販の赤い蜜ロウシートを 1 cm 角に 3 枚切り取り、5 cm の間隔をおいて、手で押しつけ、貼り付けた。第 1 コームに 1 番近いロウ片 (A では 1 番右、B では 1 番手前) に貼り付けた直後、ミツバチが群がった (A)。約 1 日経過後、第 1 コームから 1 番遠いロウ片 (A では 1 番左、B では 1 番奥) はほとんど変化がなかった一方で、中央のものは全てかじり取られてなくなっており、周辺ムダ巣表面には赤いロウが一樣に付着していた。第 1 コームに 1 番近いロウ片も半分程度がかじり取られており、周辺ムダ巣面が赤く着色していた (B)。

考 察

一般に養蜂では、巣枠に巣の土台となる蜜ロウのシート (巣礎) を貼り付け、それを造巣のきっかけとさせる。一方、そのようなきっかけが存在しない場合は、ミツバチたちがまず造巣の契機となるロウの塊を形成する。このロウの塊は一定時間経過後、しばしば 3 本の指でつまんだような形状になる。平坂ほか (2013) は、これを三角つまみパターンとよんだ。三角つまみパターンは、時間発展の後、魚の骨様の細長い形状に成長すると同時に、そこが天井や壁面への接着部分となり、コームへと成長する。上道ほか (2013) は、このコーム接着面にできる形状を魚骨パターンとよんだ。今回観察された小さな魚骨パターンの長さは 4 cm から 5 cm 程度であり、そこを接着面として小さなコームを形成していた。さらにそれらのいくつかはうまく接続して大きなコームへと成長した (図 2)。

ムダ巣の巣室の魚骨パターンに最も近いところ (最下段と呼ぶことにする) はいびつな六角形やときおり六角形でない多角形状を成し、コーム先端に見られるような整然とした正六角形ではなかった。最下段と 2 段目以上の巣室の形成過程の違いを考えたとき、それは巣が発展した後の整形が容易か否かにあると思われる。実際、コームが地面に対して垂直に形成されることを考えれば、木などの物質との接着部分である最下段を整形するには、蜜ロウを一度そこから全て取り外さなければならない一方で、2 段目以上であれば、接着部分はすべて蜜ロウなので、整形をよりたやすく行うことができると考えられる。

Karihaloo ら (2013) は、巣室の正六角形形成はロウの表面張力に起因するという予想を立て、ある条件下では三叉路に相当する部分が実際に構成されうるとを数理物理的に証明した。確かに、ミツバチが胸の

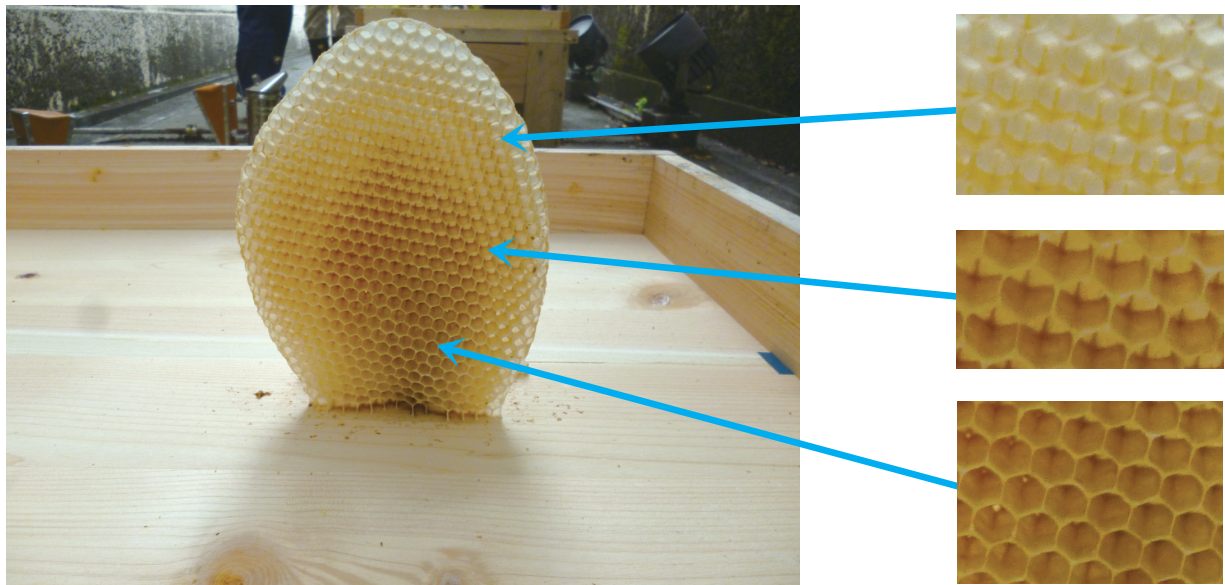


図6 第1 コーム。周辺の古い褐色の蜜ロウを使って造られた領域と、働きバチ自身で分泌した新しい白い蜜ロウで造られた領域が交互に、あたかも標的模様のようにになっている。

1日目	実験開始 居住スペース（180×481×251mm）に給餌器と 2枚の巣枠を設置し制限板で仕切る。
12日目	居住スペース（221×481×251mm）を広げ7cm空間をつくる。 制限板の外に蜜入り巣枠を設置。 第1 コーム確認（16日目）。
25日目	居住スペース（271×481×251mm）を広げ12cm空間をつくる。 赤色蜜ロウを与える。 第2 コーム確認（26日目）。
31日目	居住スペース（301×481×251mm）を広げ15cm空間をつくる。 緑色蜜ロウを与える。 第3 コーム確認（32日目）。
40日目	実験終了

図7 実験開始の1日目から実験終了の40日目までの実験経過。

筋肉を震わせるなどすれば、蜜ロウを柔らかくできる程度の熱（43℃程度）を発することができ、それが正六角形形成の助けになる可能性がある。しかしながら、コーム全体に正六角形が整然と並ぶためには、ミツバチによる発熱と自然冷却が広範囲に、しかも一様に行われることが必要であって、著者たちは、それは実現が難しいことであろうと考えている。実際、今回の観察でもそうであったが、群れからはみ出るほどの大きなコームが形成されることが、通常の場合でも多々起こり、その大きさのコームを群れが一様に温めたり冷やしたりすることは難しいように思われる。また今回、

巣枠からはみ出た部分に正六角形の巣室が観察されたが、この部分には表面張力は効きにくいと考えられる。したがって、著者たちは、正六角形形成の要因は表面張力の他、ミツバチの蜜ロウのかじり取りと再付着による整形があると考えている。ミツバチが蜜ロウをかじり取って整形することは、ダーウィンの「種の起原」や Huber（2012）などでも述べられている。巣室の奥に緑色の微小蜜ロウ片を入れた今回の実験においては、すべての場合で微小蜜ロウ片がどこかに取り去られてしまったが、これも正六角形を構成するための巣室壁面以外の蜜ロウについては余分なものとしてかじり取っ

てしまうことを示唆している。そのロウだけ成分が違いため取り除いたという見方もできなくはないが、逆にそのロウを使って造巣した箇所もあるため、成分の違いだけから取り除いてしまうとは断言できない。かじり取った蜜ロウについては、巣箱底面に同様のロウ片は落ちていなかったの、造巣に活用したか、元の緑ロウ片に再び戻したか、もしくは巣の外に捨てたかのどれかということになるが、ムダ巣に緑ロウが多数付けられていたことから、造巣に活用した可能性が一番高いと著者たちは考えている。

一般にミツバチは、自身で蜜ロウを分泌して造巣することは知られているが、既に存在する巣の蜜ロウをかじり取って別の部分の材料にすることはあまり知られていない。また今回の実験で、赤ロウ片3つのうち中央のものが最も多くかじり取られたが(図5)、このことにより、周辺に造巣が活発化した直径5 cm程度の円領域(以降、活性領域)が存在したことが予想される。実際、活性領域が存在しないならば、赤ロウ片のかじられ方に偏りは起こらず、3つのロウ片はまんべんなく一様に減るはずである。また、幼虫が多く産みつけられていた第1コームに近い側のロウ片の減りの方が少ないという事実も、そこから一定距離離れた箇所に活性領域が存在したことを裏付けている。加えて、同時に第1および第2コームも成長していたことから、これらのコーム先端にも活性領域が存在していたはずで、このとき赤ロウ片を利用してもよい状況であったにも関わらず、そこには付着しておらず、代わりに分泌したての白いロウのみが使われていた。このことは次の事柄を示唆する：活性領域にいるミツバチは、自身で分泌した蜜ロウないし、かじり取った蜜ロウを使って造巣する場合、その活動を一定時間行う。例えば、蜜ロウを分泌してそれを使って造巣するときは、一定時間その作業を続け、かじり取る方法とはならない。またその逆も成り立つ。このことは、造巣に関して時間局所的な一様性があることを意味している。また、活性領域程度の広がりでも空間的にムラなく一様に蜜ロウを付着させてもいたが、これは造巣に関する空間局所的な一様性が存在することを示している。造巣に関する時空間一様性が存在することの顕著な例が、第1コームに見られる模様である。図6を見ると、まるで標的模様のように、新しい蜜ロウと古い蜜ロウの領域が存在することが分かる。これは、自身で分泌した白い蜜ロウもしくは、周囲の巣枠に存在していた褐色の古い蜜ロウを使って、ある程度の時間、ある程度の領域に対して、ミツバチたちが一様に造巣したことを示している。

ところで、造巣に関する空間一様性が観察されたことから、ミツバチの能力に、以下の(I)ないし(II)のどちらかもしくは双方が備わっていることが予想できる：

(I) 活性領域において、空間一様に群がることができ、さらにほぼ同時に同様に造巣作業を行うことができる。

(II) 蜜ロウを付着させたばかりの箇所ならびに、付着させて一定時間以上が経過した箇所を判別することができ、さらに前者を選択した際には、そこに蜜ロウを付着させることができる。

赤ロウ片は活性領域よりも離れた箇所にも付着していた。この事実は、造巣ミツバチがランダムウォークのように、特に方向性のない移動をして巣箱内を飛び、ないし歩き回ったのち蜜ロウを付着するといった、付着場所と付着タイミングに関して確率的な要因も存在していたことを示している。

謝 辞

関西学院千刈キャンプ専任職員である益田博さんをはじめとするスタッフの皆さんには、ミツバチを飼育する場所を検討ならびに、提供していただくとともに、本研究が滞りなく行えるよう、さまざまなご協力をいただきました。九州産業大学・鳴海孝之先生ならびに関西学院大学大学院博士後期課程の上道賢太君には、魚骨パターン形成に関して議論していただきました。平坂優衣さんには、ミツバチの蜜ロウかじり取りに関する「種の起源」ならびに、Huber (2012)の本を紹介していただくとともに、蜜ロウのカラーシートが市販されていることを教えていただきました。ここに感謝の意を示します。本研究は科学研究費補助金・基盤研究(C) No.26400180の援助を受けています。

引用文献

- ボール, P. 2011. かたち：自然が創り出す美しいパターン. 早川書房.
- 平坂優衣・大谷 剛・大崎浩一・上道賢太. 2013. セイヨウミツバチの造巣行動の研究(1)「三角つまみパターン」と「かんながけ行動」. 日本昆虫学会第73回大会要旨.
- Huber, F. 2012. Huber's new observations upon bees. The complete volumes I & II, X-Star Publishing Company.
- Karihaloo, B. L., K. Zhang. and J. Wang. 2013. Honey bee combs: how the circular cells transform into rounded hexagons. J. Roy. Soc. Interface 10, 20130299.
- 上道賢太・大崎浩一・大谷 剛. 2013. セイヨウミツバチの造巣初期段階における高温部分形成. 兵庫生物, 14(4): 265-269.