

ミツバチの採蜜・貯蔵行動を表現するモデルの作成

古川まき*1 鈴木泰博*1 中村純*2 森敏彦*1

*1 名古屋大学大学院情報科学研究科

*2 玉川大学ミツバチ科学研究センター

ミツバチの集団的知性 (Collective Intelligence) の代表的な例として、巣内の蜂蜜需要量に応じた労働調整がある。明確な言語などの情報伝達なしに採蜜蜂が適切な労働調整を行う挙動は以前から注目されていたが、蜂蜜の必要量が巣のミツバチの個体数や季節、時間帯、そのときの貯蔵量など考慮すべき点が多く複雑なため今までモデル化が行われていない。本研究では、巣の中の限られた少数の貯蔵用空き巣穴を対象とし、採蜜蜂から受け取った蜜を貯蔵蜂が空き巣穴を探しあてて貯蔵する素過程に絞ってコンピュータシミュレーションした。本報告はこのモデルが現実の蜜蜂の採蜜・貯蔵行動の連携行動を表現するに有効であるということを示すものである。

Modeling of Cooperation of Honey-bees in Hoarding Process

Furukawa Maki*1, Suzuki Yasuhiro*1, Nakamura Jun*2, Mori Toshihiko*1

*1 Graduate School of Information Science, Nagoya University

*2 Honeybee Science Research Center, Tamagawa University

It is well known that labor quantity is controlled depending on amount of demanded honey as a typical example of a collective intelligence of honey bee. It has attracted attention long before this is conducted without any information media such as a language, but a modeling of this labor control has not been carried out because there are many complicated things to be considered. In this paper, for simplicity a few limited hoarding cells are treated and the thing simulated by a computer is restricted that a field workers has picks nectar from a flower, gives it to an inside bee and a latter see looks for and hoards to a cell

1 緒言

蜂は社会性昆虫の典型であり、高度に組織化された社会構造の中で『集団的知性 (CI: Collective Intelligence)』を発揮するシステムを構成し、蜂個体は単純な機能しか持たないが全体として一つの高機能な有機体のように振舞うことを可能にしている。

このような技術を在庫管理や情報伝達分野で応用することが期待されており、モデル化の研究が進められている。採蜜行動は観察が容易であり、既にモデル化がなされているが、貯蔵行動まで含めた異なった役割を持つ蜂間の連携をモデル化しようという試みは、定式化が困難であるため未だ行われていない。

本研究ではミツバチの採蜜、受け渡し、貯蔵の素過程に絞ったモデルの構築を研究対象とし、コンピュータシミュレーションによって受け渡し過程の有効性の検証を行う。

2 対象

シミュレーション対象は働き蜂であり、産卵能力を持たない雌である。働き蜂は日齢につれて体の構造が変化し、成虫後六日以内は飛行能力を持たず、巣内で蜜を貯蔵する役割を持つものを貯蔵蜂と呼ぶ。成虫後六日以後に飛行能力を持つようになった働き蜂その中で蜜を採取してくる役割を持つものを採蜜蜂と呼ぶこととする。なお、働き蜂の半数近くは通常活動しないで繁忙期にのみ作業し、予備役と呼ばれる。

巣入り口で採蜜蜂は貯蔵蜂へ蜜の受け渡しを行い、その所要時間の多寡によって自ら労働最適化を行う。巣が満杯近くで貯蔵用空き巣房が少なくなると採蜜蜂の労働力が節減され、逆に巣入り口付近に貯蔵蜂が比較的多数存在する場合には蜜の需要を感じ、採蜜蜂が予備役採蜜蜂を招集する。これをコンピュータシミュレーションを用いて確認する。

3 設定

3-1 シミュレーション条件

採蜜蜂・貯蔵蜂間の連絡機能を実現するため以下の四つの要素を実装したプログラムを JAVA 言語によって作成する。

(1) 季節や天候、温度や湿度などの外的要因の変化は考慮しないこととした。

(2) 図 1 に対象とする巣部分を示す。

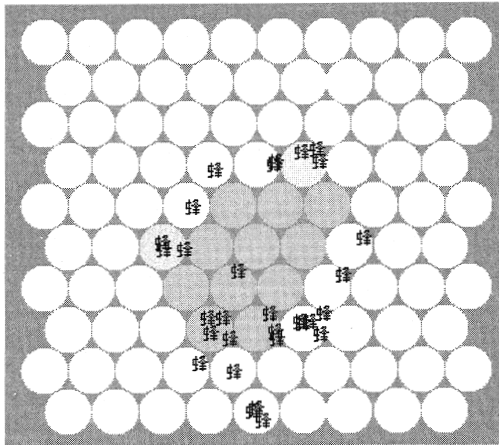


図 1 シミュレーションで使用する巣

一つの巣房の最大蜜貯蔵量は 320(mg)とし、巣全体より空の巣房 95 個のみを切り取る。入り口は巣下部の中心巣房とし、貯蔵蜂と採蜜蜂の初期位置、蜜の受け渡し場所もこの位置とした。

なお、類似の状況を設定し実際の蜂を使用した実験を著者の一人が行っている。

(3) 巣付近の採蜜源となる花畑は一箇所とし、常に採取が可能とする。また、採取できる花蜜の糖度は貯蔵時と同等とし、蜜の濃縮は行わない。

(4) 蜂は各自の状態、近傍の状態およびいくつかの簡単なルールに基づいて行動する。

・蜂相互の巣穴使用状況に関する情報交換は無いため、探索するまで空き巣穴は未知とする。

・全体を統制する蜂はおらず、個々に自律行動する。

・採餌能力や飛行能力に個体差は無いものとする。

(4-1) 採蜜蜂

各採蜜蜂の持つ変数として、巣からの座標と蜜胃中の蜜量を変える。なお、蜜胃の花蜜最大保持量は 20mg とし、飛行に際しては 1mg/km を消費する。

行動は以下に述べるとおりである。

・すべての採蜜蜂は 24km/h で飛行し、到達したら蜜胃を満杯するのに 1 分かかるものとする。

・帰巣した採蜜蜂は巣入り口にて受け渡しを待つ貯蔵蜂を探し、採取した蜜を 1 匹の貯蔵蜂に一分間ですべて渡す。限界探索時間を 10 分とし、それより探索が長くなると、採蜜蜂は休止するものとする。

・貯蔵蜂に蜜を渡し終えると再び採蜜に向かう。

・巣の入り口における貯蔵蜂の数に比べ採蜜蜂の数が少ない場合、その採蜜蜂は予備役を探して採蜜行動に復帰させる。

(4-2) 貯蔵蜂

・巣入り口において採蜜蜂から花蜜を受け取る。

・巣内を移動し、空き巣房の座標と一致したとき渡された蜜を巣房に貯蔵する。なお、空き巣探索は直前に貯蔵した巣房を出発点として開始する。

・蜜を持った採蜜蜂が巣入り口の所定の場所にいない場合、見つかるまで探すものとし、貯蔵蜂は採蜜蜂のような休止機能を設けない。

・蜜の濃縮や他の蜂への蜜の再分配は重要な貯蔵蜂の行動であるが、今後検討する。

(4-3) 採蜜蜂のみ予備役を考慮し、休止して待機中は食糧消費もしないこととする。

(5) 時間

実際と同様の時間が流れるものとする。

(6) 記録

・稼働採蜜蜂数として作業に従事している採蜜蜂の数を 1 分ごとに測定する。

・貯蜜充填状況として、巣内に貯蔵された蜂蜜の充填率を 1 分ごとに測定する。

4 実験 — 労働力自律調整機能の検証

入り口における蜜を持った採蜜蜂と蜜を受け取る貯蔵蜂の相対数には、貯蔵時間の多少も影響する。巣内に蜜が充填し空き巣穴が少なくなると入り口で採蜜蜂を待つ貯蔵蜂が少なくなり蜜の受け渡しが行われず、採蜜蜂による貯蔵蜂の搜索時間が増えるため採蜜蜂は休憩し予備役が増え、労働力が節減される。

図2にシミュレーション時間経過につれての、巣内の蜜充填率 R_f と実労働採蜜蜂数 N_f の推移を示す。 R_f は対象巣房における貯蔵量とその最大容量 $320 \times 95 = 30400\text{mg}$ の比で表し、 N_f は採蜜蜂数から休止蜂を差し引いた値である。採蜜蜂数、貯蔵蜂数ともに100一定とし、花畑までの距離を2,3,4kmとした。

例として図2(c)をあげると、蜜胃花蜜最大保持量20mgに対し、花畑までの往復に $4 \times 2\text{mg}$ を消費するので、一回の採蜜で巣内には $20 - 8 = 12\text{mg}$ の蜜を増加させる。往復に21分要するので、採蜜蜂100匹が採取してきた時間当たりの巣内蜜充填率増加量は $12 \times 100 / 21 \times 30,400 = 0.0018797/\text{min}$ となる。1400minあたりまでの R_f 一定増加量は $0.0008/\text{min}$ 程度であり、約2/5になっている。1,400minを超えると、急激に休止する採蜜蜂が増加している。この切り替わりはあたかも相変態が起こっているようである。

一方、花畑までの距離2km,3kmの場合には、当初より休止する採蜜蜂が現れている。

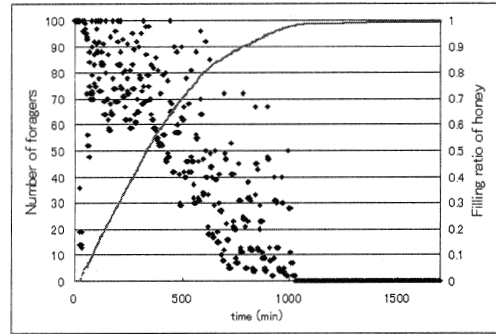
ここで、貯蔵蜂の巣入り口と貯蔵巣房までの往復所要時間 T_a と各花畑までの往復所要時間 $T_{b,\ell}$ (ℓ = 花畑までの距離) に関して検討する。

空き巣探索時間 t_s なしの巣中心までの最短所要時間は9minであるので

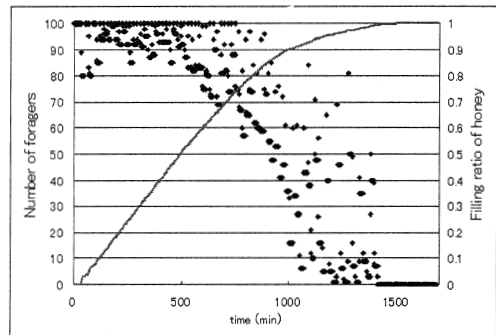
$$T_a = t_s + 9 \text{ (min)}$$

一方、 $T_{b,\ell}$ は $T_{b,2} = 4/24 \times 60 + 1 = 11\text{min}$, $T_{b,3} = 6/24 \times 60 + 1 = 16\text{min}$, $T_{b,4} = 8/24 \times 60 + 1 = 21\text{min}$ である。

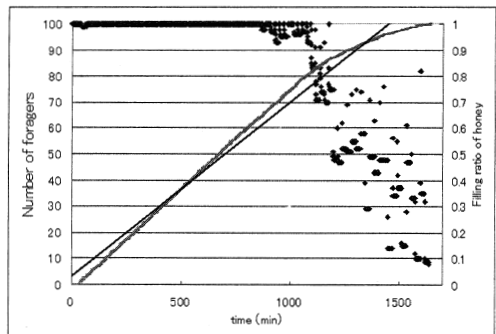
花畑までの距離 ℓ を変えた場合に、労働調整が行われる機構を巣入り口の採蜜蜂数、貯蔵蜂数をモデル的に図3に描いて検討する。



(a) 花までの距離 2km



(b) 花までの距離 3km



(c) 花までの距離 4km

● N_f : Number of foragers
— R_f : Filling ratio of honey

図2 巣から花畑までの距離を変化させたときの花蜜充填状況と稼働採蜜蜂数の時間変化 (巣穴数 95 採蜜蜂 100 貯蔵蜂 100)

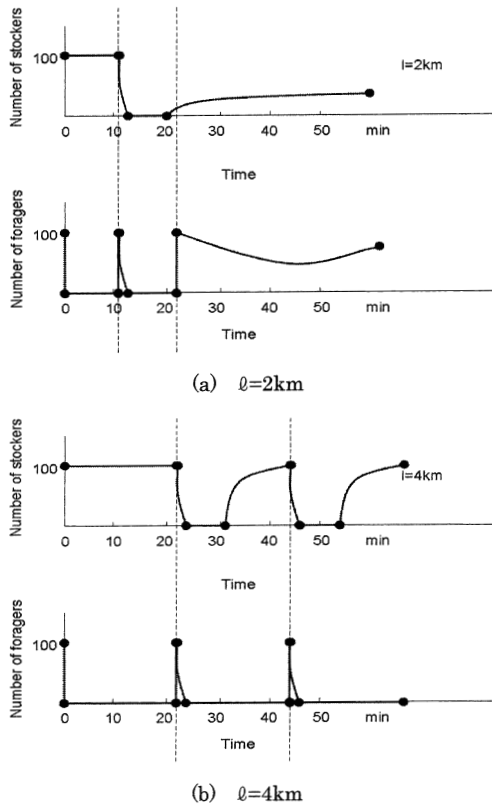


図3 巣入り口における採蜜蜂・貯蔵蜂数

シミュレーション開始前にすべての蜂は巣入り口にいるが、開始と同時に採蜜蜂は飛び立ち0匹となる。 $l=2\text{km}$ では11分、 $l=4\text{km}$ では21分経つとすべての採蜜蜂が戻ってきて、それまで待った貯蔵蜂に採ってきた蜜をいっせいに渡すこととなる。その後、貯蔵蜂の貯蔵所要時間に差がで始める。ただし、図4-1(b)の $l=4\text{km}$ の場合には、次に採蜜蜂が戻ってくる42minまでにはすべての貯蔵蜂が巣入り口に戻ってきており、いっせいに受け渡しがなされる。一方、 $l=2\text{km}$ の場合には、 $20=11+9\text{min}$ 経過して、徐々に貯蔵蜂が戻り始めるが、すべての採蜜蜂が戻る22minまでにすべての採蜜蜂までは戻ることができず、受け渡しができない。採蜜蜂が現れる限界搜索時間10min経つとこの蜂は休憩し、予備役となる。開始から33min経つて三度目に飛び立った蜂が戻り、待っていた蜂が受け渡しの先

を越されることも起こる。このように休止する機会が次第に増える。

つまり、巣から花までの距離が近いと早期に蜜が貯蔵され、採蜜蜂は早期から減少する。その際、緩やかな採蜜蜂数の減少が見られる。これは休止する採蜜蜂と、貯蔵蜂に蜜を受け取ってもらえて働き続ける採蜜蜂数との均衡が初期から存在しているためである。

逆に、花までの距離が遠いと後期に至って急激な減少が起こる。図3のように、巣入り口付近に貯蔵蜂が常に存在し、働き続ける採蜜蜂数のほうが圧倒的に多いため、休止する採蜜蜂を即座に仕事に復帰させることができるからである。このとき両者の均衡は後期に至るまで存在しない。

この受け渡しの均衡によって採蜜蜂の労働調整が行われていると見ることができる。巣内の蜜の充填率は採蜜蜂の関知するところではないが、充填率の上昇に従って稼働採蜜蜂数は減少している。

5 結論

蜂の花蜜の受け渡し機能が発生した当初の原因は成虫後6日以内の蜂は飛ぶ能力を持っていないという生理的な理由によるものであると考えられる。しかし、この受け渡し機能によって採蜜蜂数の労働調整を行うことができることを確認した。

花までの距離を変更し比較したことで、巣全体への蜜流入量の過多が労働調整の反応速度に影響を与える可能性を指摘した。

参考文献

- (1) 佐々木 正巳：ニホンミツバチ - 北限の *Apis cerana* 海遊社 (1999)
- (2) トーマス・D・シーラー：ミツバチの知恵 - 蜜蜂コロニーの社会生理学 青土社(1998)
- (3) Han de Vries, Jacobus C. Biesmeijer: Modeling collective foraging by means of individual behaviour rules in honey-bees (1998)
- (4) Adam G. Hart, Francis L. W. Ratnieks: Why do honey-bee (*Apis mellifera*) foragers transfer nectar to several receivers? Information improvement through multiple sampling in a biological system (2004)