

ミツバチの貯蔵行動における協調作業

古川まき 鈴木泰博 森敏彦
名古屋大学大学院情報科学研究科

社会性昆虫の一つであるミツバチ集団は巣の中で行う多様な仕事に対し非常に分業が進んでいる。コロニー全体を統括する存在なしに単純な機能を持つ働き蜂個体が相互に交換する最低限の情報と単純なルールによって巣全体は一つの有機体のように見える『群知能』の状態となっている。本研究ではミツバチの群知能の中から貯蔵行動を取り上げ、巣外の採蜜係の蜂と巣内の貯蔵係の蜂、相互の協調行動をプログラム化し、貯蔵行動をシミュレーションし、結果を考察する。本研究はコロニーにおいて個々の蜂が活動する数理モデルを構築するための前段階と位置付けられる。

Cooperation of Honey-bees in Hoarding Process

Furukawa Maki, Suzuki Yasuhiro, Mori Toshihiko
Graduate School of Information Science, Nagoya University

In a colony of honeybee, which is a kind of social insects, a huge variety of tasks in a cellular are conducted on the division of labor. Although there is not a controller all over the colony, worker bees having only a simple function exchange minimum information and use simple rules and then the over all cellular acts as an organic body, what is, a state of "a group intelligence". In the paper a hording behavior is dealt with among group intelligences, a cooperative behavior between a bee collecting nectar out of cellular and a bee hoarding it the cellular is simulated.

1 緒言

蟻や蜂のような社会性昆虫は、高度に組織化された集団であり、単純な機能を持つ個体の集団が全体で一つの高機能な有機体となる『群知能』を獲得し、それらを対象としたバイオミメティックスの研究は多岐にわたる。ミツバチの群知能に関しても、複数蜜源から高糖度の蜜を効率よく採取するモデルの開発は⁽¹⁾、『巡回セールスマンモデル』の解法の一つになる可能性があり、採取蜜の巣内での運搬経路と巣内の情報伝達の関連性を述べた研究は⁽²⁾新しい形の情報伝達システムのモデルを提供すると思われる。

本研究ではミツバチの貯蔵行動を研究対象とする。ミツバチは上位からの命令なしに自律的に適切な行動を選択しており、貯蔵行動もきわめて単純なルールによって実現されていると推測され、単純な機能を持つ個体が相互に最低限の情報交換をするマルチエージェントシステムでシミュレーションを進めていく。最終的にミツバチ独特の社会システムを在庫管理や情報伝

達の分野で応用する。

2 ミツバチの貯蔵行動⁽³⁾

働き蜂は成虫以後日数により仕事の役割分担が変わり、羽化後一兩日は自分がいた巣穴の掃除をし、次第に巣内での雑用をこなす(内勤蜂)、飛べるようになってからは巣外で餌を集めるようになる(外勤蜂)。

外勤蜂が巣外で採取した花の蜜は巣入り口で内勤の貯蔵係に受け渡され、貯蔵係が空いた巣穴を探してそこに収納する。一方花粉は採蜜係が所定の巣穴まで運び、自分で収納する。

特に蜜の貯蔵プロセスにおいて、情報、制御に下記の欠如が外見上存在しながら、巣全体における貯蔵行動は効率よく進んでいることに興味を持たれる。

(1) 巣穴使用状況に関する情報の欠如

蜂相互の巣穴使用状況の情報交換は無いため、探索するまで空き巣穴は未知である。

(2) 個体個々の行動を統制する個体の欠如

全体を統制する蜂がいないため、蜂は個々に自律行動をしなければならない。

実は蜜の貯蔵行動においては、巢入り口において蜜の受け渡しプロセスがはいることにより、外勤蜂に対し採蜜要求、労働最適化のサインが出されていると見ることができる。貯蔵量が少ない間には空き巣探索時間は短く、内勤蜂は巢入り口で待ち受け採蜜要求をしていることになるが、貯蔵量が増えるにしたがい内勤蜂の探索時間が長くなり、逆に採取してきた外勤蜂が受け渡しできずに待たされることになり、採取必要量が減じた状況を知らせることになる。採蜜に飛び立つ蜂も自然に減り、巢全体の労働最適化が計られる。本研究ではこのプロセスをシミュレーションする。

3 シミュレーションの仕様

プログラミング言語にはマルチエージェントシステムに適するオブジェクト指向の Java を使用する。

外勤蜂と内勤蜂の蜂エージェントによる協調作業に対して蜜貯蔵の状態は以下で表現される。

3.1 巣クラス Su

巣クラス Su は巣の状態を表し、巣穴数 `su_size` と巣穴クラス Nakami から構成される。巣穴クラス Nakami は巣穴個々の状態を表し、座標 (x, y) と貯蔵量 `ryou` から構成される。

3.2 貯蔵係クラス Stocker

貯蔵係クラス Stocker は貯蔵係エージェントの状態を表し、座標 (x, y) と保管する蜜量 `crop` から構成される。エージェントが移動し、空き巣穴の座標と一致したとき保管する蜜は巣穴に貯蔵され、蜜量 `crop` を Nakami の `ryou` に加える。

3.3 採蜜係クラス Worker

採蜜係クラス Worker は採蜜係エージェントの状態を表し、巣からの距離 `ave` と保管する蜜量 `crop` から構成される。`ave=0` のときそこに貯蔵係エージェントがいれば、蜜の受け渡しがなされ、採蜜係の `crop` の値は貯蔵係の `crop` の値へと書き換えられる。

両エージェントは各自の状態、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。

4 個々のエージェントの行動

4.1 時間

シミュレーションでは、エージェントの単位行動、一回実施の所要時間を 1 単位時間として積算し、時間とした。

4.2 採蜜係エージェント

採蜜係エージェントに対し、「巣に対する 1 単位距離の移動、蜜の採取、貯蔵係の探索、貯蔵係への蜜の受け渡し、休止、貯蔵係からの呼びかけの確認」を単位行動とする。

採蜜係の初期座標、巣の入り口座標を $(1, 1)$ とし、採取した蜜の受け渡し場所もこの座標とした。なお、採蜜係の能力には個体差はつかなかった。

4.3 貯蔵係エージェント

貯蔵係エージェントに対し、「巣内の移動、蜜の収納」を単位行動とする。

巣穴の蜜貯蔵量は 320 (mg) であり、貯蔵係は満杯になるまで同じ巣穴に蜜を運びつづけ、次に別の巣穴を探す。また、全ての貯蔵係の能力に個体差が無いものとする。

シミュレーション条件は以下とする。

- (1) 周囲の花蜜は十分とする。
- (2) 働き蜂が一回に採取できる蜜量を 20 (mg) とする。
- (3) 採蜜係、貯蔵係の数は 10 ~ 60 匹で変化させる。

4.4 ルール

シミュレーションにおけるルールを以下に示す。

- (1) 貯蔵、採蜜両係のエージェントに順に番号をふり、行動は採蜜係、貯蔵係の順に決定し、全てのエージェントの行動を決めて単位時間の経過とした。
- (2) 両係の蜜受け渡しにおいて、採蜜係が巢入り口で何回か待たされるとその採蜜係は休止状態となり、貯蔵係に召集されるまでは仕事をせず、その分総労働量は減少する。一方、貯蔵係は休止する機能を持たない。このようにして両係は労働量を均等に保ちながら作業を行う。

5 実行結果

5.1 採蜜係、貯蔵係の数が蜜満杯所要時間に与える影響

図1は採蜜係、貯蔵係の数を増減させた場合の蜜満杯所要時間を示したものである。巣穴数は49、花までの所要時間は5単位時間に一定とした。両係の数とも増やすに従い所要時間は減少している。ただし、採蜜係貯蔵係の数の組み合わせによって、所要時間増減の傾向は異なっている。それで、図2に(a)採蜜係の数を一定にし、貯蔵係の数を増やした場合と、(b)貯蔵係の数を一定にし、採蜜係の数を増やした場合における所要時間の推移を描いた。

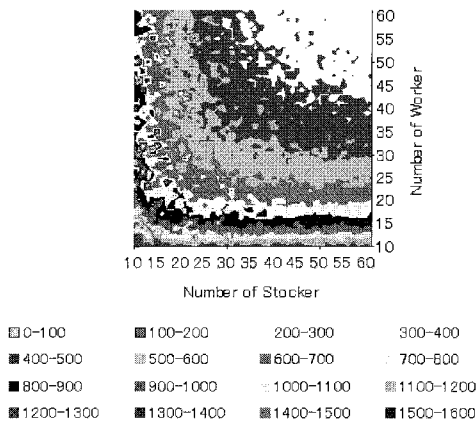


図1 蜜満杯所要時間

(巣穴数=49 花までの距離=5単位時間)

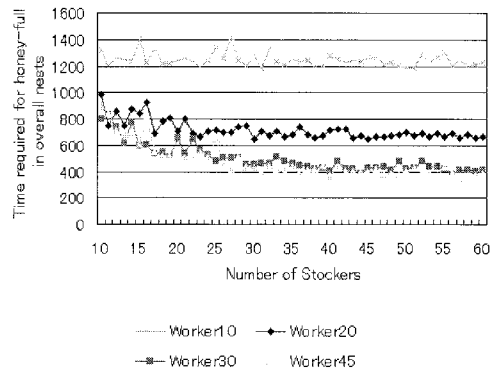
(a)の各線図において、貯蔵係の数を増やした場合、採蜜係の数に一致するまでは所要時間は減るが、それ以上貯蔵係の数を増やしても所要時間は減ることはなく無意味となる。一方(b)では、どの貯蔵係の数においても採蜜係の数を40あたりまで増やしていくと所要時間は減っている。ただし、それ以上増やしても所要時間はほとんど減らない。なお、採蜜係の数30あたりまでは、貯蔵係の数20,30,45のグラフは重なる。

以上をまとめると所要時間を効果的に減らす条件は

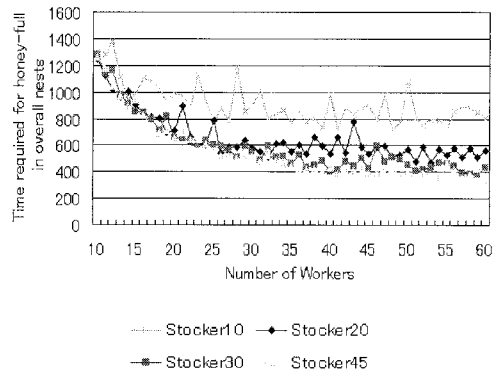
(1) 採蜜係の数>貯蔵係の数

(2) 巣穴数などのシミュレーション条件によるが、採蜜係の数<40

なお、(a)において貯蔵係の数が10と少ない場合、蜜満杯所要時間にばらつきが生じているが、これは蜜の受け渡しにおけるタイミングのわずかなずれが累積したためであり、これを生じないようにするため、貯蔵係の数に下限があるか、または別の群知能ルールが働いていると思われる。



(a) 採蜜係の数一定、貯蔵係の数を増加



(b) 貯蔵係の数一定、採蜜係の数を増加

図2 他方の係の数を一定にした場合の蜜満杯所要時間

5.2 採蜜係休止による労働効率化

図3は時間経過につれて、働いている採蜜係の数を貯蔵係20、採蜜係30の場合でプロットしたものである。当初は30匹全数が採蜜に働いているが、次第に休止する採蜜係が増え、蜜満杯寸前では2匹のみが働

いている時間帯もある。蜜量が増えるにつれ貯蔵係が空き巣穴探索に時間を要するからであり、巣全体として採蜜要求が減り、群知能が働いている。なお、このグラフは30匹全数働くプロットと、次第に減少する1本の曲線状のプロットに明瞭に分かれている。

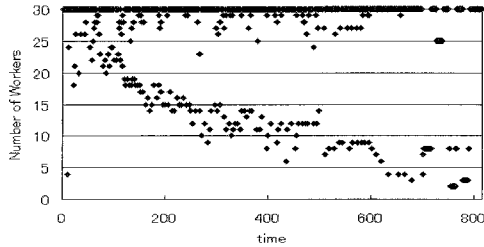


図3 働いている採蜜係の数
(貯蔵係20、採蜜係30の場合)

5.3 各組み合わせに対する総労働時間

図4は総労働時間を、蜜満杯所要時間×(採蜜係の数+貯蔵係の数)、で求め、採蜜係の数に対してプロットしたものである。各線図とも採蜜係の数が貯蔵係の数を若干越えるまで減少しつづけ、最小となった後に再び増加する。全体における最小は貯蔵係20、採蜜係27~32あたりに見られる。

図5はさらに、総労働時間から採蜜係の休止時間を差し引き実総労働時間を求め、塗り潰しプロットで示したものである。先の総労働時間は白抜きで示してある。実質総労働時間が最小となる組み合わせは貯蔵係の数20、採蜜係の数20あたりに見られる。

5.4 採蜜係と貯蔵係の最適組み合わせ数

図2の蜜満杯所要時間を効果的に減少させ、図4の総労働時間、図5の実質総労働時間を最小とする組み合わせは、巣穴数49、花までの距離5単位距離時間の条件において、採蜜係の数30、貯蔵係の数20であった。なお、貯蔵係の数を減らしすぎると蜜満杯時間などの数が不安定となる。

6. 結論

ニホンミツバチの貯蔵行動における協調作業をコン

ピュータシミュレーションし、群知能の挙動を明確にした。

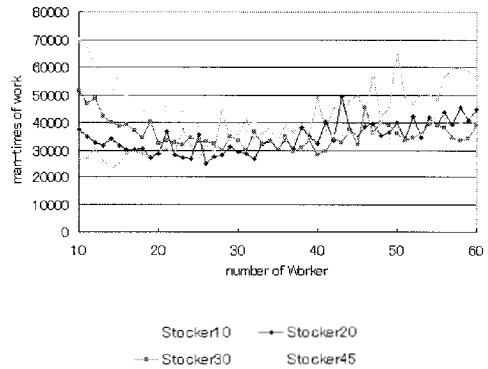


図4 貯蔵係の数を一定にした場合の総労働時間

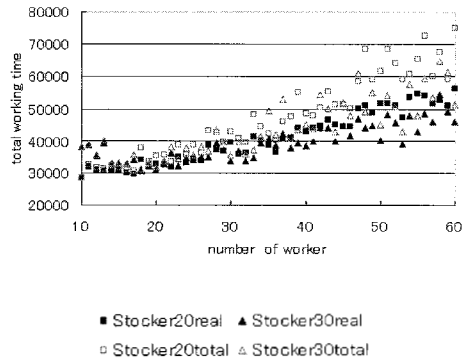


図5 総労働時間の比較

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) Carl hayden bee research center WebBeePop <http://gears.tucson.ars.ag.gov/beepop/>
- (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 mifer) foragers transfer nectar to several receivers? Information improvement through multiple sampling in a biological system (2004)