

マルチエージェント・アプローチを用いた偵察蜂の定足数反応による最適巣作り場所の決定作用に関する研究

西山 幸寛[†]

村上 和人[†]

愛知県立大学 大学院情報科学研究科[†]

1 はじめに

Thomas らは、ミツバチの分蜂行動の観察研究 [1] から、次の2つを成し遂げた。一つ目は、分蜂群における偵察蜂らが最適な巣作り場所を決定し、分蜂に至るまでには一連のプロセスが存在することを発見したことである。二つ目は、偵察蜂らが最適な巣作り場所を“正確”かつ“迅速”に決定する規則として、“定足数反応”を用いているという仮説を立証したことである [2][3]。しかしながら後者の観察による仮説の立証において、分蜂現象の観察自体の困難性から、サンプル数が少なく、また巣箱の設置箇所や設置巣箱数、分蜂群のスケールなどの条件が限定的になっており、定足数反応による最適巣作り場所の決定作用について、一般性が欠けてしまうのが問題点となっていた。

そこで本稿では、マルチエージェント・アプローチ [4] を用い、Thomas らが行った検証実験より広い条件下において、定足数反応による最適巣作り場所の決定作用について、その正確性と迅速性を検証する。

2 分蜂現象のエージェント・ベース・モデリング

シミュレーションで用いる空間のイメージを図1に示す。ミツバチの分蜂可能領域の具体的なスケールは地平面方向にはおよそ3kmに及ぶのに対し、高さ方向にはたかだか数十メートルと1/100程度であるため、二次元平面で領域を近似する。シミュレーションモデルでは60×60の実数空間とし、中心(30,30)に分蜂群が存在するものとした。領域内には巣箱エージェントと偵察蜂エージェントの存在を仮定した。以下では、それぞれ巣箱エージェントと偵察蜂エージェントの設定について説明する。

巣箱エージェントの数を N_B とした。巣箱エージェントの設置位置については、シミュレーション空間の中心(30,30)からユークリッド距離30以内の領域に、ランダムに設置した。巣箱エージェントがもつ属性として、容積、外的侵入の困難度合いなど [1] を総合的に捉えた指標である *Score* を設定し、おのおのの巣箱エージェントの *Score* は1から100の離散一様乱数にて与えた。

偵察蜂エージェントの数を N_{SB} とした。偵察蜂エージェントは、シミュレーション開始直後は分蜂群上に存在し、その後、おのおのが分蜂群から飛び立ち、巣作り場所候補地(巣箱)を探し出すために分蜂行動の

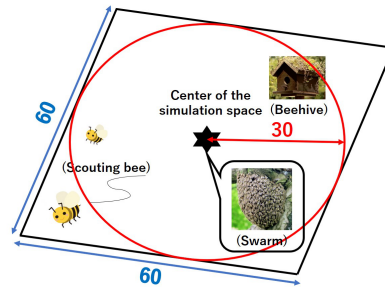


図1 シミュレーションで用いる空間のイメージ

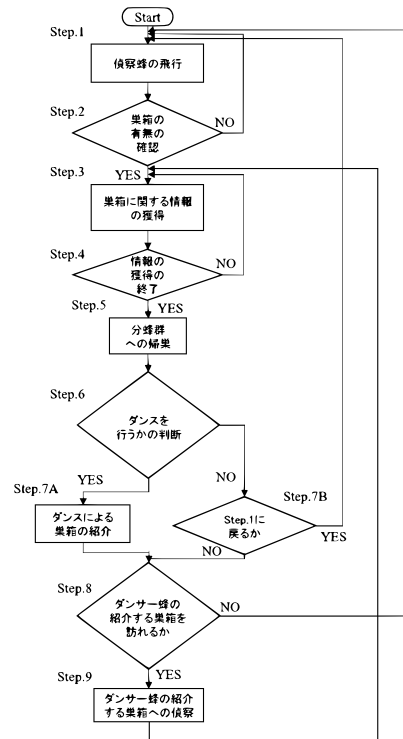


図2 分蜂行動プロセス

一連のプロセスにもとづいて行動をおこす。このプロセスを図2に示す。大まかな内容は、下記に示す4つの処理である。

① Step. 1～3 : 偵察蜂の飛行と巣箱の評価

偵察蜂は中心(30,30)から半径30以内を飛び回り、候補地が見つければ巣箱の評価を行う。

② Step. 4～5 : 分蜂群への帰巣

評価を終えた偵察蜂は分蜂群(30,30)に帰巣する。

③ Step. 6～8 : ダンスによる巣箱の紹介

帰巣した偵察蜂は、評価を行った巣箱が良ければ、ダンサー蜂としてダンスを行い、他の偵察蜂にその巣箱を紹介する。

Study on the Nest-site Selection Process of Honeybee Swarms by Applying Multi-agent Approach

[†]Yukihiro NISHIYAMA, Kazuhito MURAKAMI

[†]Graduate School of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

④ Step. 9 : ダンスを行う蜂の紹介する巣箱への偵察

偵察蜂はダンサー蜂が紹介する巣箱へ向かい評価を行う。

偵察蜂らの巣箱の評価のモデル表現として、各偵察蜂らの巣箱の評価値を、平均：巣箱の *Score*、標準偏差：5 の正規乱数とした。

このプロセスの終了条件として、各ステップごとに定足数反応による最適巣作り場所の決定規則を適用した。ここで、最適巣作り場所の決定規則とは、ある巣箱について、その巣箱を訪れている偵察蜂数の総和が、あらかじめ定められた定足数 *Quorum* を上回ったとき、その巣箱を最適巣箱とする規則である。

3 シミュレーション条件と結果

文献 [2][3] の結果と比較検討を行うため、巣箱エージェント数: $N_B = 5$, 偵察蜂エージェント数: $N_{SB} = 150$ とした。各定足数 (*Quorum*: 5, 6, ..., 150) において、10 回のシミュレーション試行を行い、分蜂群が一番 *Score* の高い巣箱 (最適巣箱) を選択できた率、ならびに分蜂群が最適巣箱を決定するまでにかかったステップ数を正規化した値の平均を計測し、95% 信頼区間を得るためにこの値を 10 回算出した。以降、前者を R_{BS} と表記し、後者を R_S と表記する。

10 回のシミュレーション試行で分蜂群が最適巣箱を選択できた回数を N_{BS} とし、 R_{BS} を、

$$R_{BS} = \frac{N_{BS}}{10} \quad (1)$$

と定義した。この値を各定足数について算出した。

分蜂群が最適巣箱を決定するまでにかかる最小ステップ数は 1 である。一方、最適巣箱を決定するまでにかかる最大ステップ数 *MAXstep* は 10000 ステップとした。 i 回目 ($1 \leq i \leq 10$) のシミュレーション試行について、シミュレーション終了ステップ数を $N(i)$ と表記すると、 i 回目の試行における $R_S(i)$ は

$$R_S(i) = 1 - \frac{N(i) - 1}{MAXstep - 1} \quad (2)$$

となる。 R_S は、 $R_S(i)$ の平均値と定義し、

$$R_S = \sum_{i=1}^{10} R_S(i) \quad (3)$$

とした。この値を各定足数について算出した。最適巣箱の選択率 R_{BS} および終了ステップ数の正規化値の平均 R_S を、それぞれ図 3、図 4 に示す。

シミュレーションの結果、最適巣箱の選択率を最大にする定足数は 20 であった。すなわち、分蜂群において巣箱の選択という意味決定を正確に行う定足数は 20 であると考えられる。また、終了ステップ数の正規化値の平均について、*Quorum* が 20 を超えると急激な減少が見受けられた。このことから、分蜂群において巣箱の選択という意味決定を迅速に行うためには、定足数が 20 以下である必要があると考えられる。これら二つの知見から、最適な巣作り場所の決定を正確、かつ迅速に行うには、定足数が 20 である必要があると推測

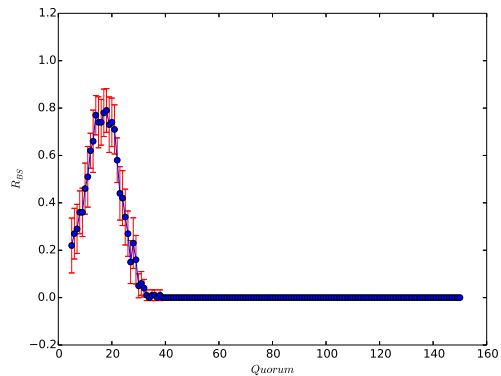


図 3 最適巣箱の選択率 R_{BS}

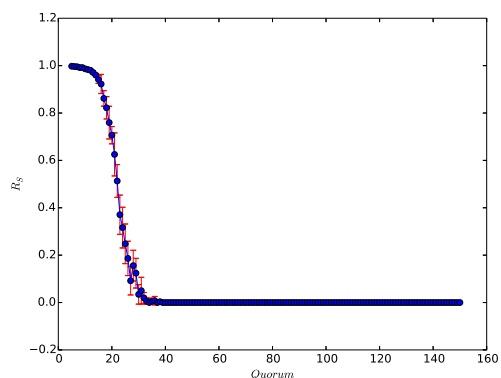


図 4 終了ステップ数の正規化値の平均 R_S

される。

4 おわりに

本稿では、巣箱の設置位置、ならびに巣箱の評価値 *Score* の変化に対する、定足数反応による最適巣作り場所の決定作用について、その正確性と迅速性を検証した。その結果、最適巣箱の選択率を最大にする定足数は 20 となり、終了ステップ数の正規化値の平均について、*Quorum* が 20 を超えると急激な減少が見受けられた。これら二つの知見から、最適な巣作り場所の決定を正確、かつ迅速に行うには、定足数が 20 である必要があると推測された。

今後は、巣箱の設置箇所数、ならびに分蜂群における偵察蜂数を考慮したシミュレーション検証を行う予定である。

参考文献

- [1] Thomas D. Seeley, 『Honeybee Democracy』, Princeton Univ Pr, 2010.
- [2] Thomas D. Seeley, P. Kirk Visscher, “Quorum sensing during nest-site selection by honeybee swarms”, Behav Ecol Sociobiol, DOI 10.1007/s00265-004-0814-5, pp.594-601, 2004.
- [3] Thomas D. Seeley, Susannah C. Buhrman, “Nest-site selection in honey bees: how well do swarms implement the “best-of-N” decision rule?” Behav Ecol Sociobiol, DOI 10.1007/s002650000299, pp.416-427, 2001.
- [4] 大内東, 山本雅人, 川村秀憲, 『マルチエージェントシステムの基礎と応用-複雑系工学の計算パラダイム-』, コロナ社, 2002.
- [5] 山影進, 『人工社会構築指南- artisoc によるマルチエージェント・シミュレーション入門』, 書籍工房早川, 2008.