

# 化学情報と視覚情報を組み合わせた トビイロケアリの採餌行動の定量的解析

荻原悠佑, 前田一樹, 泉俊輔, 秋野順治<sup>1</sup>, 粟津暁紀, 西森拓

広島大学大学院 理学研究科 数理分子生命理学専攻,  
京都工芸繊維大学大学院 工芸化学研究科 応用生物学専攻<sup>1</sup>

## 概要

トビイロケアリは、視覚による方向認識とフェロモンを用いた集団経路形成により採餌を行うことが知られている。本研究では、トビイロケアリがフェロモンによる化学情報と視覚より得られる情報をどのように使い分けて採餌行動をしているのか、実験的に考察した。実験では、まず、人工的に巣と餌場をつなぐフェロモンの経路を与えることで、フェロモンに沿った餌場からの帰巣経路（化学情報）とアリが視覚的に認識している巣の方向（視覚情報）が一定角度ずれている状況を作り、そのずれ角度に依存した採餌行動の様子をビデオ撮影し、画像解析を行った。実験の結果、帰巣時の化学情報と視覚情報のずれ角度が小さい場合、アリはフェロモンによる経路に従い帰巣することが分かった。また逆に、そのずれ角度が大きくなると、アリは巣の方向に向かって最短経路で帰巣する、つまり視覚情報に従って帰巣することが分かった。

## Quantitative analysis of foraging of the *Lasius Japonicus* using chemical cues and visual cues

Yusuke Ogihara, Kazuki Maeda, Shunsuke Izumi, Toshiharu Akino<sup>1</sup>, Akinori Awazu,  
Hiraku Nishimori

Department of Mathematical and Life Sciences, Hiroshima University.  
Department of Materials and Life Science, Kyoto Institute of Technology<sup>1</sup>.

## Abstract

*Lasius Japonicus*, a typical species of garden ant, collects food using both chemical cue and visual cue. In this study, we conduct systematic experiments to investigate how they perform the combinatorial use of chemical cue and visual cue in their foraging trip. Specifically, we set a conflicted situation in which the homing direction for ants according to chemical cue and that according to visual cue are different from each other for a finite angle  $\theta$ , and by varying  $\theta$ , the transition of the preferential cue from the chemical cue to the visual cue is observed. These process is recorded by a video camera, hence, an image analysis is performed to quantify the results. We find that *Lasius Japonicus* preferentially uses chemical cue when the relative angle  $\theta$  between the directions given by chemical cue and visual cue is small, and as the relative exceeds a critical angle a finite fraction of *Lasius Japonicus* comes to rely on visual cue.

## 1 はじめに

アリは集団(コロニー)を形成し生活する社会性昆虫の典型例である。彼(女)らは様々な情報に従うことで、多くの集団行動を可能にする。例えば採餌の際には、餌を見つけたアリはフェロモンを分泌しながら巣に戻り、そのフェロモンを他のアリが辿っていくことで経路を形成する。このようにアリは化学情報のやりとりによって、遠くにある餌を効率よく巣に持って帰ることが出来る [1]。またある種の蟻は、太陽光の角度、巣からの歩数、景色などの視覚情報をもとに、巣の位置を把握している事が報告されている [2][3]。そのような中でトビロケアリは、視覚情報と化学情報の双方を利用し採餌を行うことが報告されている [5]-[7]。そこで我々はトビロケアリが化学情報と視覚情報をどのように処理しているのか採餌実験を通して研究した。特に化学情報と視覚情報の指し示す帰巣方向がトビロケアリにとって不整合になる状況で、トビロケアリはどちらの情報に従い行動するのか調べた。

## 2 飼育・実験

### 飼育環境

本研究では2010年の4月に広島大学の構内から採取したトビロケアリを用いた。トビロケアリの巣は、内部が石膏で固められたプラスチックケース(23 × 12 × 3.5 cm)を用いた。巣の中に光が入らないように、プラスチックケースの周りには黒いプラスチック板で覆った。その巣で女王アリの居ないトビロケアリを200~300匹程を飼育した。そして巣は、トビロケアリが逃げ出さないようにフルオンが塗られたプラスチックケース(72 × 44 × 23 cm)に入れ、暗室内で管理した。暗室内は、LEDライトにより8:00~20:00まで照射されており、温度は25 °C、湿度は60%以上を保った。また餌として砂糖水(2日に1回)とミールワーム(週に1回)を与えた。

### 実験準備

化学情報と視覚情報に不整合がある状況でのトビロケアリの採餌行動を調べるため、まず巣と餌場を直線ではない経路で結ぶように「く」の字型にフェロモンを塗り初期経路を設定した(図1)。この設定によって、化学情報と視覚情報の指し示す帰巣方向に不整合がある状況になる。

トビロケアリがフェロモンの塗られた初期経路

を選択し帰巣するならば、化学情報に従い帰巣するものと見なした。また、トビロケアリが最短経路を選択し帰巣するならば、視覚情報に従い帰巣するものと見なした。

実験は我々の飼育しているトビロケアリを使い、暗室内で行った。実験中、暗室内ではLEDライトを固定した1カ所から照射し、温度は25 °C、湿度は60%以上を保ち、餌は砂糖水を使用した。

実験容器としてとして、まずフルオンが塗られたプラスチックケース(72 × 44 × 23 cm)を用意し、その中に実験フィールドとなる新しい紙(21 × 29.7cm)を置いた。そしてその紙の上に巣と餌場を固定し、その2カ所をつなぐ「く」の字型の経路にフェロモンを塗り、初期経路を作った(図1)。そして採餌行動の様子を1時間ビデオ撮影した。フェロモンは、トビロケアリ100匹をヘキサンに浸し、カラムクロマトグラフィーを用いて抽出したものを使用した。抽出されたフェロモンは、トビロケアリが帰巣の際に分泌するフェロモンに比べ濃度が濃いフェロモンとなっている。撮影後、動画をパソコンに取り込み、画像解析ソフト(ImageJ)を用いて解析した。

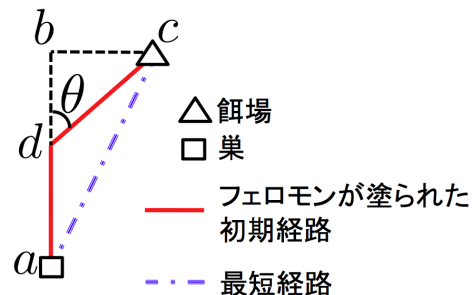


図1: 実験の初期設定。a,b,cを固定し、dをab上で動かし、実験毎にθを変化させる。(ab=16cm, bc=12cm, ac=20cm)

そして初期経路を屈曲させる角度を $\theta(0 < \theta \leq 90)$ とし(図1)、実験は $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ$ の場合について5回ずつ繰り返した。 $\theta(0 < \theta \leq 90)$ が大きいほど、帰巣時のトビロケアリにとって化学情報と視覚情報の不整合が強い状況になる。

## 3 結果

$\theta = 60^\circ, 45^\circ$ の場合はフェロモンが塗られた初期経路を選択し採餌を行い、 $\theta = 90^\circ$ の場合は最短経路を選択し採餌を行う様子が定性的に確認できた(図2)。

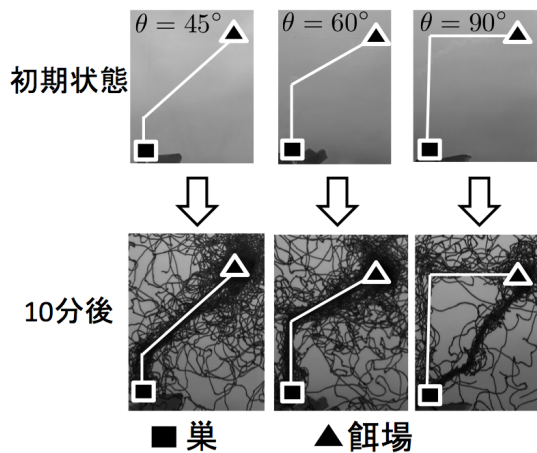


図 2:  $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ$  の場合の実験結果。上図は初期状態、下図は実験を開始して 9 分 40 秒後 ~ 10 分後間におけるトビイロケアリの軌跡

次に各  $\theta$  における経路選択の様子を定量的に確認するために、経路選択の指標  $\phi(\theta, t)$  を以下のように定義した。

$$\phi(\theta, t) = \frac{q_A(\theta, t) - q_B(\theta, t)}{q_A(\theta, t) + q_B(\theta, t)}$$

$q_A$  は領域 A (トビイロケアリにとって初期経路の方が最短経路より近い領域) のトビイロケアリの数密度、 $q_B$  は領域 B (トビイロケアリにとって最短経路の方が初期経路より近い領域) のトビイロケアリの数密度を示す (図 3)。化学情報に従うトビイロケアリが多い場合は、初期経路を選択するトビイロケアリが多くなり、 $\phi(\theta, t) > 0$  となる。逆に視覚情報に従うトビイロケアリが多い場合は、最短経路を選択するトビイロケアリが多くなり、 $\phi(\theta, t) < 0$  となる。

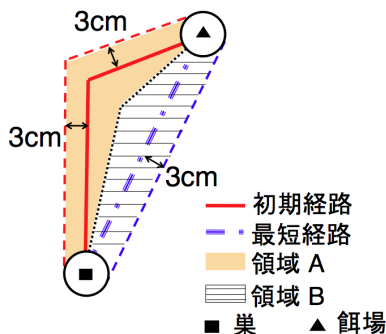


図 3: トビイロケアリの密度を計算する領域。巣を中心とする半径 3cm の円と餌場を中心とする半径 3cm の円の内側の領域 (白い領域) のトビイロケアリは無視する。

そして  $\phi(\theta, t)$  のサンプル平均を計算した。図 4 より  $\theta = 90^\circ$  の場合は  $\theta = 60^\circ, 45^\circ$  の場合と違って、最短経路に近い領域にトビイロケアリが現れる、つまり  $\theta$  を大きくすると視覚情報に従うトビイロケアリが現れることが定量的に確認できた。

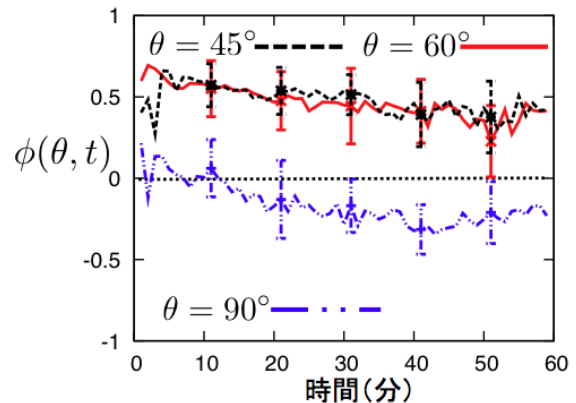


図 4:  $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ$  における  $\phi(\theta, t)$  の時間変化のサンプル平均。サンプル数は 5 である。

また上の実験中で新たに最短経路を構築した  $\theta = 90^\circ$  の場合のみ、経路変化の様子を確認するため、領域 A と領域 B を  $5\text{mm} \times 5\text{mm}$  の正方形格子に分け、各格子におけるトビイロケアリの数密度のサンプル平均を計算した。

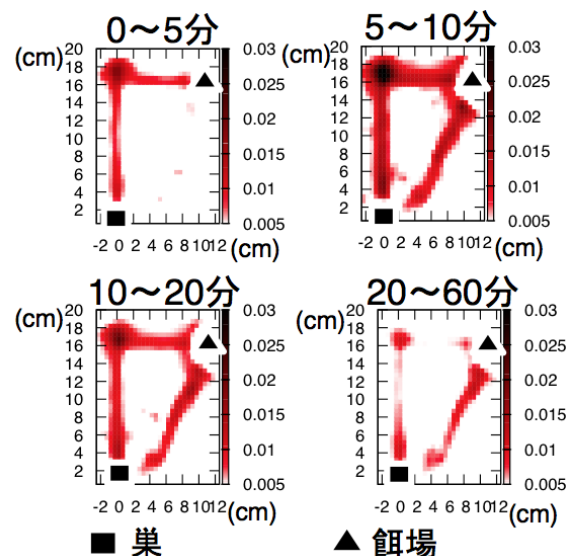


図 5:  $\theta = 90^\circ$  におけるトビイロケアリの密度のサンプル平均。サンプル数は 5 である。巣を中心とする半径 3cm の円と餌場を中心とする半径 3cm の円は計算しない。

図5より、個々のトビイロケアリは最短経路か初期経路のみを選択し、帰巢の途中で経路短縮を行わないことが確認できた。同様に  $\theta = 90^\circ$  の場合に、領域 A と領域 B のトビイロケアリの流れを調べるために、トビイロケアリの流れの指標  $f(i, t)$  を以下のように定義した。

$$f(i, t) = \frac{j_{out}(i, t) - j_{in}(i, t)}{j_{out}(i, t) + j_{in}(i, t)}$$

$i = A \text{ or } B$

$j_{out}(i, t)$  は領域  $i$  において、巣を中心とした半径 4cm の円から出て行くトビイロケアリの数、 $j_{in}(i, t)$  は領域  $i$  において、巣を中心とした半径 4cm の円に入ってくるトビイロケアリの数とする。領域  $i$  において、餌場に向かうトビイロケアリが多いときは  $f(i, t) > 0$  となり、巣に帰るトビイロケアリが多いときは  $f(i, t) < 0$  となる。そして領域 A、領域 B における  $f(i, t)$  のサンプル平均を計算した。

図6より、領域 A では餌場に向かうトビイロケアリの割合が高く、領域 B では巣に帰るトビイロケアリの割合が高いことが確認できた。

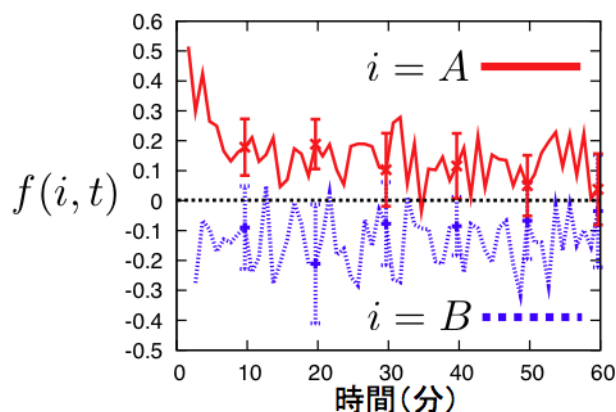


図6:  $\theta = 90^\circ$  における  $f(i, t)$  の時間変化のサンプル平均。サンプル数は5である。

#### 4 結論と今後の展望

今回、化学情報と視覚情報の双方に従うトビイロケアリが2つの情報をどのように処理しているのかを調べるため、帰巢時のトビイロケアリにとって化学情報と視覚情報の指し示す帰巢方向に不整合がある状況を設定し、採餌行動を観察した。

その結果、巣から餌場に向かう際にトビイロケアリが従う情報は化学情報と視覚情報の不整合の度合いによらず化学情報に従うが、帰巢時に従う情報

は化学情報と視覚情報の不整合の度合いによって異なることが分かった。まず化学情報と視覚情報の不整合度が弱い場合は、化学情報のみに従い帰巢することが分かった。そして化学情報と視覚情報の不整合度が強くと、化学情報のみに従い帰巢するトビイロケアリだけでなく、視覚情報のみに従い採餌を行うトビイロケアリも現れることが分かった。

また図5より、トビイロケアリは最短経路か初期経路のみを選択し、初期経路の途中から経路短縮を行わないことが確認できた。つまり化学情報のみに従って帰巢しているトビイロケアリは、帰巢途中から視覚情報のみに従い帰巢することができないと考えられる。

そしてある種の蟻は、巣から餌場までの距離を覚え採餌を行うことが出来る [4]。そこで今後は、巣から餌場までの距離が帰巢しようとするトビイロケアリの化学情報と視覚情報のどちらに従うかの選択に影響するのか、実験を行い研究しようと考えている。

#### 謝辞

本研究の一部はグローバル COE プログラム「現象数理学の形成と発展」の支援のもとに行われた。

#### 参考文献

- [1] S. Goss, S. Aron, J. L. Deneubourg, and J. M. Pasteels. *Naturwissenschaften* **76**, 579- 581 (1989)
- [2] R. Wehner, *Ann. Rev. Entomol.* **29**:277-298(1984)
- [3] R. Wehner, F. Raber, *Experientia.* **35**:1569-1971(1979)
- [4] M. Wittlinger, R. Wehner, H. Wolf, *Science.***312**: 1965-1967 (2006)
- [5] S. E. F. Evison, O. L. Petchey, A. P. Beckerman and F. L. W. Ratnieks , *Behav Ecol. Sociobiol.***63**: 261-267 (2008)
- [6] Christoph Gruter, Tomer J. Czaczkes, Francis L. W. Ratnieks, *Behav Ecol. Sociobiol.***65**: 141-148 (2011)
- [7] S. Aron, R. Beckers, J. L. Deneubourg, and J. M. Pasteels. *Ins. Soc.* **40**: 369-380 (1993)