

個の振る舞いとその全体の雰囲気の関係性

A relation between individual behaviors and the global atmosphere

土井樹^{*1}
Itsuki Doi

池上高志^{*1}
Takashi Ikegami

^{*1} 東京大学総合文化研究科

Graduate School of Arts and Sciences, University of Tokyo

Many global patterns and dynamics observed in a social system often reflects/amplifies the underlying characteristics of its components. There are many studies to link the global and the local dynamics/patterns, however, the organized social atmosphere is not fully understood yet. We claim that *patterns of individual agents self-organize the global atmosphere of its society*. Using a big data of social bees, we quantified the social activity levels and its each individual activity to investigate the individual/global relationship.

1. はじめに

これまで多くの科学は、ある現象における要素の特性 = 個性を考えないようにし、より基礎となる一般法則に注目することで偶発的要素を減らす努力をしてきた。個性について考え始めると状況は非常に複雑となり、これまでとは比べ物にならない大量のデータを解析する必要に迫られる。そのために科学は、個性について考える必要のないレベルまで現象を細分化するか、或いは個性を統計学的手法によって考えずにすむようにしてきた。

個性を無視することで一般法則を探ることが可能となり、おかげで科学は大いに発展したが、しかし言い換えると、これまでの科学は個性を無視してさえも現れる現象のみ見てきたとも言える。

ここで我々の生活する階層を眺めてみると、我々の生活階層では個性に依存している現象が極めて多いことに気がつく。また個人個人の特性が、属するチームや社会の「雰囲気」を構成しているといえるだろう。これらの現象は個性を考えなければ立所に消えてしまう。こういった個性や個性間に依存するような現象を考えたい。

そこで我々は社会性昆虫の代表であるミツバチに着目し、巣に存在するハチ全ての座標と方位を毎秒、1週間にわたって記録し分析することで、様々な特性を持った「個」の行動と、その「社会の雰囲気」がどういった風に関係しているかについて解析を試みた。

2. 方法

2.1 解析法

全てのデータは、大野克嗣氏を通して、T. Gerna氏、G. Robison氏から提供していただいた。

ミツバチの活動を計測するため我々はミツバチの運動エネルギー K を以下のように定義した。

$$K = \Delta x^2 + \Delta y^2 \quad (1)$$

Δx 及び Δy は 1 秒あたりのミツバチの移動量である。ミツバチの体重の個体間差は無視できるほど小さいとした。

また個々のハチのアクティビティと巣の雰囲気の関係性を計測するために、相互相関解析を行った。時系列における相互相関解析は、神経回路の機能的結合を推測するために用いられることがある [Ostojic 2009]。

$$K_{Whole}(t) = \sum_{Individual=1}^n K_{Individual}(t) \quad (2)$$

$$C(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} K_{Whole}(t) K_{Individual}(t+\tau) dt \quad (3)$$

ここで $K_{Whole}(t)$, $K_{Individual}(t)$ はある時間 t での巣、またはミツバチの運動エネルギーを表し、 $K_{Whole}(t)$ は全ハチの $K_{Individual}(t)$ の合計である。また、 T は計測期間。 τ は K_{Whole} と $K_{Individual}$ の時間差を表している。

3. 結果

初めに巣全体の活動を計測するために、各時間におけるハチ全体の K_T を加算し、時系列を作成した(図 2)。図 2 より、巣の activity は常に振動しており、時折バースト様の振る舞いを示すことが分かった。

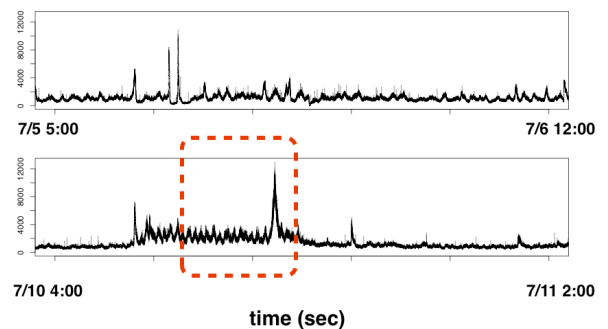


図 2: 巣の活動パターンの例

続いて、図 2 の赤線によって囲われた部分における各ハチの振る舞いの時系列を観察することで、巣のバースト(Bursting phase)に全く参加しないハチ、Bursting phase に遅れて運動エ

エネルギーが増加するハチ, そして **Bursting phase** に先立って運動エネルギーが増加するハチが存在することが分かった(図 3).

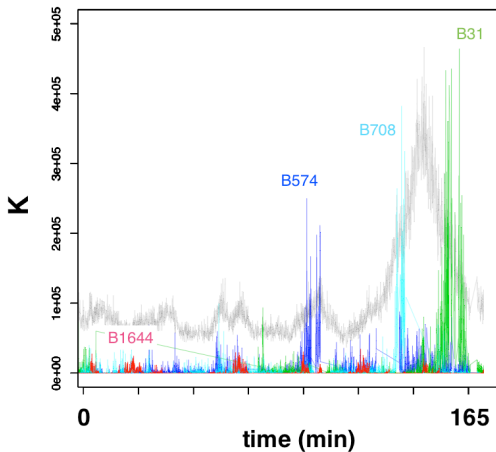


図 3: 各ハチの振る舞いの例. 色付き数字はハチに割り当てられた ID. 黒線は巣全体の運動エネルギーの平均を示している. B1644 は女王バチ.

さらに, **Bursting phase** の前に小さな振動が起きていることも分かった. また, 各ハチと巣の運動エネルギー時系列に対して相互相関関数を用いることで, それぞれのハチが **Bursting phase** のピークから何秒ずれて運動エネルギーが増加するかを解析した. 図 4 はその一例である. B31 は **Bursting phase** のピークから 378 秒遅れて運動エネルギーが増加し, B708 は 115 秒先立って運動エネルギーが増加した. この結果は図 3 の時系列と一致した. さらに図 5 より **Bursting phase** のピークから遅れて 50 秒以内に活動が活発になるハチが最も多く, ついで **Bursting phase** のピークから先立ち 50 秒以内に活発になるハチが多いことが明らかとなった. また, 遅れて活発になるハチと先立って活発になるハチではその分布が異なることが分かった(図 5.A). さらに遅れて活発になるハチの分布を-500~0 秒にかけて両対数プロットすると, 冪乗分布を示し, 冪指数は 1.33 となった.

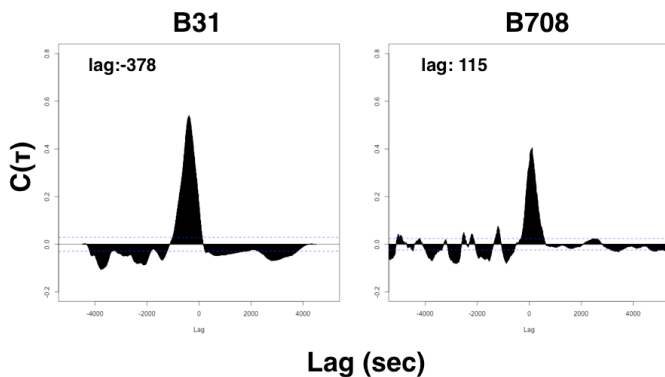


図 4: B31 及び B708 と巣の運動エネルギー時系列の相互相関解析. 点線は 95%信頼区間を表す.

4. 考察

本稿では, ある期間において巣全体が非常に活発になる **Bursting phase** が存在すること, **Bursting phase** に先立って活動をするミツバチが存在することを示した. この結果は少数の働きバチの行動が巣全体の雰囲気を作り出している可能性を示唆している. しかし, 相互相関解析のみでは, 因果関係を明ら

かにすることはできない. また, 先行して行動始めるハチが常に **Bursting phase** に先立って活動始めるのか, さらにそれらのハチの空間行動における特徴は分かっておらず現在解析中である.

図 5 では遅れて活発になるハチと先立って活発になるハチではその分布が異なることを示した. この結果はそれぞれにおいて背後に潜む法則が異なることを示唆している.

付け加えて図 2 において **Bursting phase** 前の振動と **Bursting** の関係も明らかにする必要がある. 会場では本稿の結果に加え, 新たな解析結果を示し議論したい.

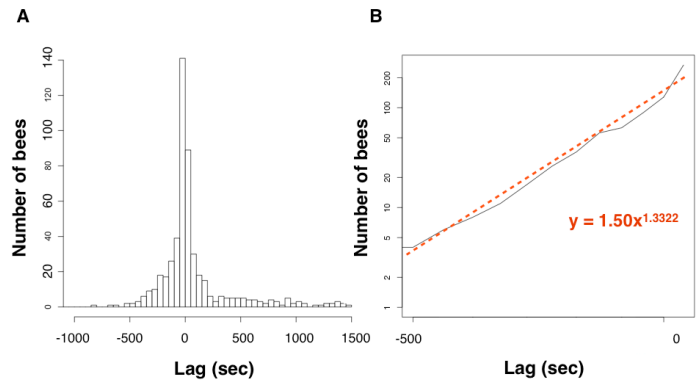


図 5: **Bursting phase** 付近で活発になるハチと, 巣の運動エネルギー時系列の Lag の分布 (A). Lag が-500 から 0 秒におけるミツバチの頭数の分布の両対数プロット (B).

参考文献

- [Blom1993] J. van der Blom : Individual differentiation in behaviour of honey bee workers., *Insectes Sociaux*, 40- 4: 345-361 (1993).
- [Ostojic 2009] Srdjan Ostojic, Nicolas Brunel, Vincent Hakim: How connectivity, background activity, and synaptic properties shape the cross-correlation between spike trains., *J. Neurosci.*, 29(33):10234-53(2009).