

学位論文として提出された土井樹氏の論文は、ミツバチの各個体を QR コードで識別し、約 1000 匹のハチの巣内での行動観察したデータを用いて、ハチの集団行動を解析し、その研究成果をまとめたものである。特に高い運動エネルギー(K)を持った個体の運動に注目し、それがどのように集団内に伝搬していくか、その集団全体が示す K のバースト現象（時間的に急激な立ち上がり）を取り上げて解析した。本研究のオリジナルな貢献として、内因性のバーストと外因性のバーストが区別されること、外勤ハチ(forager bee)の半分がバーストを引き起こす最初のハチ (pioneer bee) になること、物理的接触の連鎖でバーストが引き起こされること、などが報告されている。本博士論文は全 6 章から成っている。

第 1 章では、ミツバチの巣内での同期現象を扱うという動機と目的が解説されている。特に日周期という時間周期が巣内に持ち込まれるメカニズムについて、いくつかの仮説を取り上げ、以後に続く解析と考察への準備としている。

第 2 章では、解析対象となるイリノイ大学のジーン・ロビンソンのグループのミツバチのデータの取得方法とデータそのものに関し、詳細な解説が行われている。データの解析からわかったハチの集団運動の特徴のひとつとして、運動エネルギー(K)のバースト現象が議論されている。この K の時間変化のパターンと各個体の運動の解析から、バーストを巣の外部の情報を口述伝承する内因性のバーストと、巣の掃除などによって K が立ち上がる外因性のバーストに分けて分類している。日周期とは異なる小さな時間スケールでのバースト現象は、世界的にもきちんとした報告のない、論文提出者のオリジナルなものとして評価できる。

第 3 章では、伝染病の確率過程モデルとして知られる SIR モデルを、このハチのバースト現象を説明するためのモデルとして提案している。K の大きな個体を「感染者」とみなし、平面でのエージェントベース・モデルのシミュレーション実験を行うことで、バースト現象が、ある程度まで SIR モデルで説明できることを立証した。簡単なモデルとはいえこうした理論による解析を行うことで、バースト現象を理解可能なものになっていることは、これからの集団運動研究の重要なステップとなる。

第 4 章では、バーストを引き起こす個体を pioneer bee と名付け、このハチの同定手法である NMF (非負行列分解法) の解説、その結果として pioneer bee と同定されたハチの凡そ 5 割が外勤個体(forager bee)から構成されていることが報告されている。残りの 5 割の pioneer bee は、外から戻ってきた forager bee の 2 次的 3 次的な情報伝播個体であることも報告されている。巣の外をまわってくる個体の行動と、その個体が引き起こすバーストを結びつけた点はオリジナリティが高く、今後の研究でより詳細に追求されることが期待できる。こうした解析は、社会性昆虫の分野に新しい視点を投入するものとして高く評価できる。

第 5 章では、全体を通しての議論が行われている。特に、バーストの機能的な役割はなにか、個体の主観的な時間の自己組織化に寄与するか、などを議論した上で、論文全体を通じた巣のダイナミクスとしての統一的な観点を議論している。

第 6 章では全体のまとめを簡潔に行っている。本論文は、数年前から広がってきたデータサイエンスとしての社会性動物の研究に大きく貢献するものであり、類似の研究を始めようとしている研究者にとって大きく参

考になるものである。またよく知られた数理モデルでの解析を与え、全体のストーリーを作ってみせることで、本論文は社会性動物の新しい研究スタイルの可能性を開き、この研究分野の流れに一石を投じるものとして、大きな意義があると審査委員会では考えた。

以上、当博士論文の研究は、ミツバチの個体のビッグデータ解析から、ユニークな発見と提案をなしていると考えられ、以上の点から本論文は、博士(学術)の学位を与えるのにふさわしい内容であると、審査委員会は全員一致で判定した。