

シロアリの局所的な相互作用から引き起こされる 系全体の統計量の変化

宮本健太郎¹ 木原久美子²

概要：社会性昆虫の中でも分生態学的に重要な位置にあるシロアリの集団行動がどのように個体の行動によって規定されるのかを理解するために、シロアリの小集団における個体の行動の詳細な解析を試みた。その結果、シロアリは、職蟻と兵蟻で行動様式が異なる様子が確認できた。特に、壁際に沿って存在するのは兵蟻で強く傾向が見られた。またシロアリ同士の距離にも、カーストの影響があることがわかった。兵蟻同士では距離を遠く保つが、職蟻同士は距離を近く保った。

キーワード：社会性昆虫、集団、シロアリ、行動解析、速度

1. 背景と目的

生き物は個体が単独で生活するだけではなく、種の生存戦略に応じて、同種の生物の個体同士が物理的な接触や距離を保ちながら生活している。例えば、単細胞生物である大腸菌や緑膿菌などの細菌は、単独で遊泳生活を行うこともできるが、バイオフィームなどの構造の中でクオラムセンシングによるコミュニケーションをとりながら細胞同士が緩やかに接触した集団としても生存している。また例えば、細胞性粘菌はその生活環の中で、単細胞期と多細胞期の両方の時期を繰り返して生存しており、細胞同士が物理的に密着するか否かによって、生物としての個の概念が変わっていく。このような、個としての振る舞いが集団としての振る舞いを規定するような有様は、微生物にだけ起こることではなく、目に見えるサイズの多細胞生物にも存在する。例えば、社会性昆虫は、各個体が生物として生存する機能を有するものの、その個体が集団（コロニー）となったときに初めて、個体が集団の恩恵を受けて生存しやすくなったり、集団が個体の働きによって繁栄したりする。しかも社会性昆虫では、集団の中に存在する役割分担に応じて外観の異なる個体（カースト）が存在している。すなわち、社会性昆虫の集団は、同種の生物ではあるが、カーストとして異なる性質を持つ個体同士が、物理的な接触や距離を保ちながら生活している集団だといえる。

社会性昆虫が集団として機能するためには、単純に、集団の構成要素である個体同士が一定の距離以下の範囲内に存在しなくてはならない。しかしだからといって、個体同士が動けないほど強く接触しているわけでもないし、集団の中で個体が止まって動かないわけでもない。実際には、個体は、集団を構成するという緩やかな距離条件の下で相互に関わり合いながら動き回っている。集団の中で個体は、

互いにどのくらいの距離を保ち、どのような関係性をもって動いているのだろうか。また集団の中の一部の近傍の個体群によって構成される局所的な性質が、集団全体の挙動に影響を与える事があるのだろうか。個体の行動や集団の状態に、異なるカーストの個体の存在は影響するのだろうか？

そこで本研究では、社会性昆虫の中でも分解者及び被食者として生態学的に重要な位置づけである上に、身近で実験的に取り扱いやすいヤマトシロアリを対象とし、シロアリの小集団における個体の行動を詳細に解析することによって、これらの問いに答えることを試みた。特に、自然界ではヤマトシロアリは数万頭以上にのぼるコロニーを形成して生活しているが、そのすべての行動を詳細に解析することは困難である。そこで本研究では、将来的には社会性昆虫シロアリの大集団の挙動の解析を目標としつつ、そのためのステップとして、コロニーから分取した小さな部分集団が、障壁のない平滑な空間でみせる挙動を解析することによって、個体間の関係性と集団全体の挙動に存在する関係性を解明できないかを試みた。

2. 方法

2.1 シロアリの行動観測

ヤマトシロアリのカーストは、王と女王の他に、大部分は職蟻から構成され、自然界では職蟻 100 頭に 1～3 頭程度の割合で兵蟻が存在している。本研究では、野外からヤマトシロアリのコロニーを取得し、そこから職蟻と兵蟻からなる 30 頭の小集団を分取して観察対象とした。25 度の室内にて 35mm シャーレ内に、観察対象とする合計 30 頭のシロアリを入れてから 300 秒間の行動を動画で撮影し記録した。シャーレは底面が平滑で円形であるため方向性が

¹ 熊本高等専門学校 生物化学システム工学科
Department of Biological and Chemical Systems Engineering, National Institute of Technology, Kumamoto College

² 熊本高等専門学校 拠点化プロジェクト系/生物化学システム工学科
Faculty of Project Centers / Department of Biological and Chemical Systems Engineering, National Institute of Technology, Kumamoto College

ない点において、行動特徴を抽出するのに適した容器である。兵蟻は人為的に決めた割合（0, 1, 3, 9, 15, 21, 27, 29, 30頭）で職蟻と混合することで、カースト比率が異なる小集団を構成した。職蟻と兵蟻の混合割合ごとに、3回ずつ異なるシロアリの集団を用いて行動を観測し、9条件3繰り返し合計21回の観察を行った。

2.2 動画データの前処理と行動位置を表す座標の取得

まず、実験開始時と終了時のノイズを除去するために、300秒の動画の始まりと終わりの10秒ずつをクリッピングし、280秒分のデータを取得した。次に、撮影した動画データ上にて、processingを用いて、手作業でシロアリの行動をトラッキング（軌跡を追尾）することによって、軌跡の座標と時刻の情報を取得した。シロアリ各個体の行動に関するデータが膨大であることから、取り扱いを容易にするために、ここから1秒間隔でデータを抽出した。シロアリ1頭ごとに280データ、1シャーレあたり30頭であることから合計8400データ、9条件3繰り返しであるので、合計2268000データの取得を試みた。ただし、軌跡情報をうまく取得できなかったシロアリ個体については取り除き、結果的に合計805頭（職蟻400頭、兵蟻405頭）に関するデータを以降の解析に用いた。

2.3 シロアリの速度

シロアリのトラッキングデータから、シロアリがどのような速さで行動をしているのかに関するデータを得た。具体的には、1秒間隔で取得した位置時間情報を元に、1秒間に移動した距離から、秒速を求めた。本研究で観測した、全シロアリ、全職蟻、全兵蟻の、すべての時間（1秒間）における速度をヒストグラムとして視覚化した。簡便のために、シャーレの直径を1とした距離指標を用いて図示した。

2.4 シロアリの行動量の解析

シロアリのトラッキングデータから、シロアリが5分間の観測時間において、どのくらいの距離を移動するのかに関する解析を行った。職蟻だけで構成される30頭の場合と、自然界と同じような条件である兵蟻が1-3%程度混在している場合と、そこから逸脱した場合とでは、職蟻や兵蟻の行動量に差があるのだろうか。これを比較するために、移動距離の頻度をヒストグラムとして視覚化した。

2.5 シロアリの空間的な存在位置の特徴

一般に生物は、生態系の「食う食われるの関係」（捕食-被捕食の関係）のなかで、身を守りながら生活している。特にシロアリは、生態系ピラミッドの最下層に位置づけられる生物で、クオアリを始めとする多くの捕食者に狙われている生物である。このような生物は、何もない平滑平面を自由に歩き回るよりも、障壁のある空間で身を隠しながら行動している可能性が高いとも考えられた。このことから、本研究では観測場としてシャーレを用いており、シャーレ中央の平滑部分と、シャーレの縁の有壁部分では、シロアリの存在確率や行動様式に差があるのではないかと考えら

れた。そこで、シャーレの中心から縁までの距離に応じたシロアリの存在頻度を求めた。簡便のために、シャーレの直径を1とした距離指標を用いて図示した。

2.6 シロアリの移動方向

生物によっては行動に方向性があるものも知られている。例えば、群れを構成する魚では、個体そのものには左右の偏りなく曲る性質を有するのに、集団になると回転方向が一方向に決まる性質があるものがある。また例えば、ある種のクオアリには左右の偏向性があることも実験的には知られている[1]。シロアリにも行動に方向嗜好性が存在するのだろうか？容器の等方性が確保されている円形シャーレの中で、シロアリの行動方向を調べるために、シロアリ個体の置かれた位置を中心とした4領域を次のように定

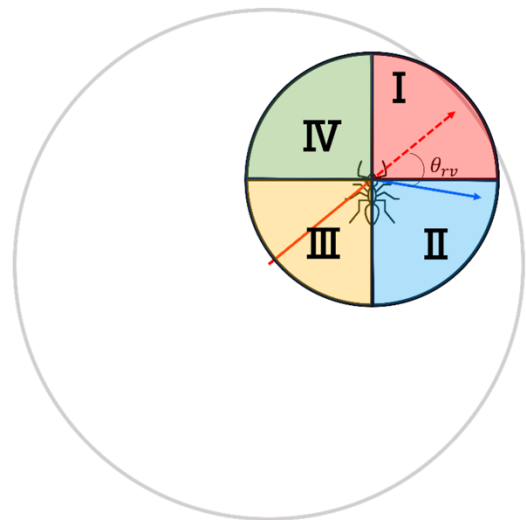


図1 シロアリを中心とした方向の定義

義した。

シャーレ中央からシロアリ個体の位置に向けて半径方向に直線を引き、またこれと直行する方向にシロアリ個体から直線を引く。このようにして引かれたシロアリ個体を中心とする4方向の直線に対して、それぞれ左右45度方向の領域を4つ取る事ができる（領域I, II, III, IV）[図1]。領域Iは壁方向、領域IIは反時計回り方向、領域IIIは中心方向、領域IVは時計回り方向と定義した。シロアリが動いた時の方向 θ_{rv} を求め、どの領域に属するかを1秒ごとに判定し、これを図示した。

2.7 シロアリ同士の距離

本研究では30頭のシロアリのカースト比率を人為的に変えてシャーレの中に混合させた。シロアリはヒトのような音声による言葉を介したコミュニケーションはできないが、体毛により近隣の物理的環境を知覚したり、触覚等により化学物質を認識したりするなどによって、コロニー内の仲間の存在を確認しコミュニケーションをとっていると推測される。もしシロアリが直接触れる事によってのみ他個体を認識するのだとすれば、触れることのできない他個

体が大量に存在する中で、どうやって巨大なコロニー全体を制御し、コロニー全体として最適な行動を取れるのかという疑問が生じる。この問いの糸口を探すために、まずここでは、個体間の距離をカーストごとに観測することを試みた。職蟻同士、職蟻と兵蟻、兵蟻同士の距離を1秒毎に計算し、個体間距離の分布を求めて視覚化した。

3. 結果と考察

3.1 シロアリの速度分布

シロアリの速度分布を描いた[図2]。横軸は1が35mm/sとなるような相対速度で示した。全シロアリの速度分布を灰色で、職蟻だけの速度分布を青色で、兵蟻だけの速度分布を赤色で示した。シロアリの職蟻は、コロニーの活動を

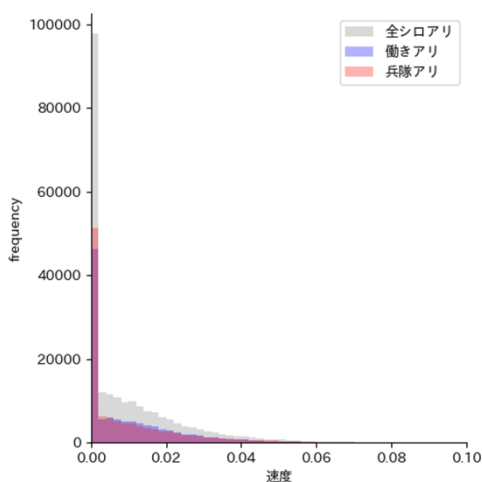


図2 シャーレ内における速度分布

維持するために、巣の構築修繕を行ったり、卵や幼虫の世話を行ったり、巣の外へ出て餌を探索したりする。その一方で、兵蟻は、巣や職蟻を外敵から防衛する。このことから、職蟻のほうが兵蟻よりも長い距離を早く移動するのではないかと考えられた。しかし得られたデータを確認する限りでは、職蟻と兵蟻の速度分布には明瞭な差は見られなかった。速度ゼロの頻度が高く、シャーレ内で動かない瞬間(1秒)が占める割合が高いことがわかった。更に、相対速度0.03(1mm/s)以下で活動している瞬間が占める割合が大部分であることもわかった。

3.2 シロアリの行動量の解析

シロアリのトラッキングデータから、シロアリが5分間の観測時間にどのくらいの距離を移動するのかについてヒストグラムを描いた。職蟻の移動量のグラフから、移動量は100-150mmをピークにした山形の分布であることがわかった[図3]。

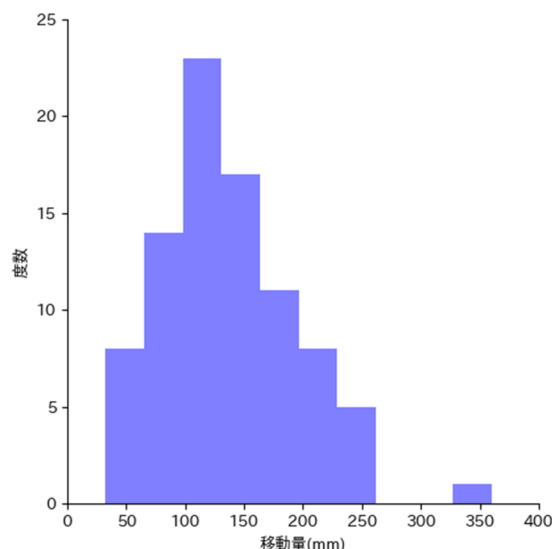


図3 職蟻の移動距離の分布

3.3 シロアリの空間的な存在位置の特徴

シロアリは被食者であることから、何も無い平滑平面よりも壁際などの空間を好むのではないかと予想された。シロアリのカーストの違いによる役割の差を考えると、職蟻よりも兵蟻のほうが外的に対して弱いことから、壁際に存在しやすいのではないかと予想された。

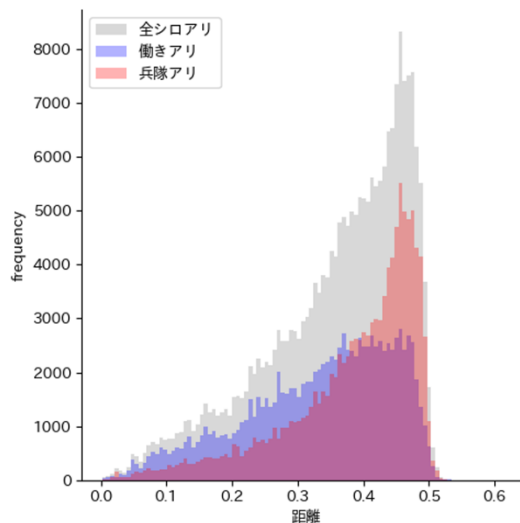


図4 シロアリの存在位置分布

そこで、中心からの距離を横軸にとり、縦軸に存在頻度を描いたグラフを描画した[図4]。縦軸の値が0.5のところはシャーレの縁である。全シロアリの存在位置分布を灰色で、職蟻だけの存在位置分布を青色で、兵蟻だけの存在位置分布を赤色で示した。灰色の全シロアリの存在位置分布から、シロアリはシャーレの中央部分の平滑なところにいるのではなく、壁に近い領域に存在する傾向があることがわかった。更に、職蟻よりも兵蟻のほうが、シャーレの壁際に存在する傾向が顕著であることもわかった。この事は、予想と反する結果であり、兵蟻が壁際に沿って行動するこ

とが、巢の防衛や外敵との闘争において、有益に働いている可能性が考えられた。その一方で、職蟻は壁際ではなくそこから少し離れた場所に分布している様子がわかった。たしかに、営巣しているシロアリの状態を観察すると、巢の内部に形成された各部屋の壁際ではなく中央部分に職蟻が位置していることも多い。この状況を反映した結果なのかもしれないと考えられた。

3.4 シロアリの移動方向

生物によっては行動に方向性があるものも知られているが、シロアリにもその傾向はあるのだろうか。これについて、シロアリの動く方向が、4つの方向に区切った領域のうちどちらを取るかという点でグラフを図示した。

領域 I と II は同じ傾向を、領域 II と IV が同じ傾向を示したが II のほうがピークが高かった。このことから、シロアリは時計回りに進む傾向があることが示唆された。

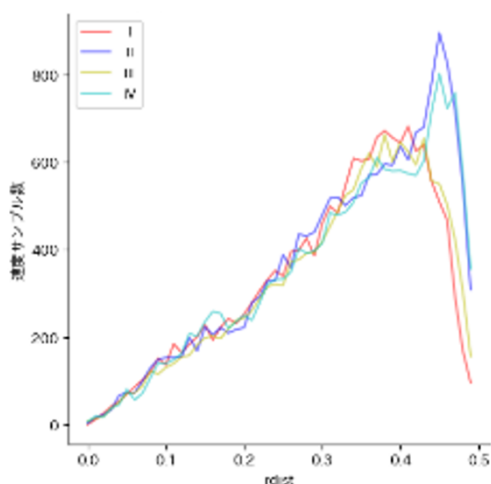


図5 シロアリの移動方向

3.5 シロアリ同士の距離

シャーレの中に存在するシロアリ同士の距離を図示した [図 6]。混合させた。職蟻と職蟻の間の距離を青色で、職蟻と兵蟻の間の距離を赤色で、兵蟻と兵蟻の間の距離を灰色

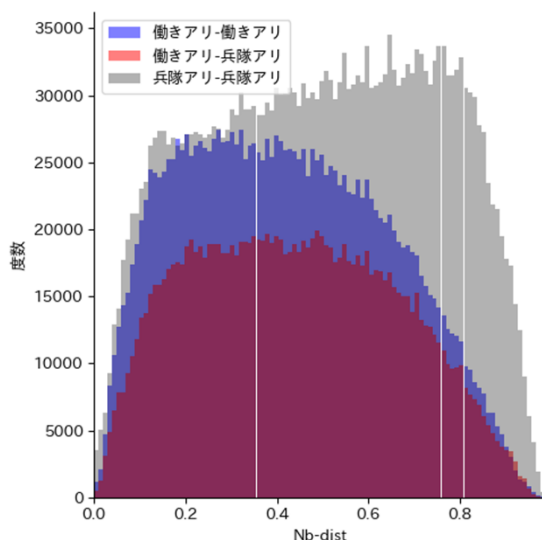


図6 シロアリ同士の距離

で、その存在度数を示した。職蟻同士のほうが兵蟻同士よりも距離が近い傾向が見受けられた。その一方で、兵蟻同士の距離は遠いことが顕著に確認された。

4. 結論

シロアリは、職蟻と兵蟻で行動様式が異なる様子が確認できた。特に、壁際に沿って存在するのは兵蟻で強く傾向が見られた。またシロアリ同士の距離にも、カーストの影響があることがわかった。兵蟻同士では距離を遠く保つが、職蟻同士は距離を近く保った。

参考文献

- [1] 稲垣 薪, アリの丁字形迷路状における歩行の左右への偏向性 (その一), 北海道教育大学紀要, . 1953, vol. 4, no. 2, p.70-76.