

# 生物の探索行動と建設行動のパターン形成アルゴリズムに関する研究

水元 惟暁

## 要約

群れ行動や歩行軌跡、活動リズムなど、生物の行動のもつ法則性は、時空間上に規則的なパターンを生じさせる。本研究では、マクロレベルのパターンを生じさせる行動のメカニズムと、進化プロセスを明らかにすることを目的として、生物の配偶者探索行動および、集団建設行動の行動アルゴリズムの解析を行った。以下に、本論文の成果を要約する。

第1部では、オスとメスが互いのパートナーを得るための配偶者探索において、雌雄はそれぞれどのように探索することが最適なのかについて、理論と実証の両面から検証した。第2章と第3章では、目標物の位置情報がない場合の最適行動パターンを求める「ランダム探索問題」の物理学的アプローチを配偶者探索に適用し、雌雄の最適な動きのパターンを求めた。数理モデルにより様々な動きのパターンの探索効率を比較したところ、限られた探索時間の中では、雌雄で異なる動き方が最適な戦略になりうることを発見した。また進化シミュレーションを行い、雌雄で異なる動きのパターンを持つ集団が一様な集団から生じることを示した。特に、配偶者探索が局所的に有効な誘引シグナルにより媒介される条件下では、シグナルを送信する性が遅く、非拡散的に動くことで遭遇効率が最大になることを明らかにした。これらの理論予測をもとに、第4章ではシロアリを用いた行動実験を行った。シロアリの歩行による配偶者探索では、一度ペアになったオスとメスがはぐれた場合に、メスがその場に立ち止まり、オスが辺りをくまなく探すという歩行パターンの性差が生じることを明らかにした。この状況を再現したシミュレーションを実験データから作成し、観察された歩行パターンは、はぐれた状況において効率がよいことを明らかにした。更に第5章では、微小昆虫の自由歩行行動を計測する実験機器として、サーボスフィアの有用性を評価した。

また、シロアリの探索行動に関する多くの新しい知見を得た。第6章と第7章では、ペア形成に失敗したシロアリの探索行動を観察し、シロアリの配偶者探索行動に概日リズムがあることを明らかにした。全暗条件においても、探索活動に概日リズムが検出されることから、シロアリの探索活動のリズムに体内時計が寄与することが示唆された。更に、配偶者探索の概日リズムとシロアリの群飛時刻との関係性から、シロアリは最も遭遇効率が高くなる時間に探索活動を集中させることを示した。第8章では、コロニー内での群飛の同調には、環境要因以外にも個体間の相互作用が重要な役割を果たすことを明らかにした。第9章では、シロアリの配偶者探索にかかるコストを調べた。配偶者探索を行った後にコロニー創設した個体は、群飛後すぐにコロニー創設した個体と比べ、創設成功率と生産する卵と幼虫の数が減少した。また探索を行った個体はペア形成を積極的に行うことから、探索のコストは配偶者選択の基準を緩和することが示唆された。第10章では、シロアリのオス同士によ

るペア形成の適応的意義を明らかにした。同性でのペア形成はオスの生存率を上昇させ、生存した同性ペアのオスは周囲の初期コロニーのオスと置換することで、繁殖が可能になることを解明した。数理モデルを構築し、同性ペアを形成する行動は、配偶者探索時の被食リスクが高い時に有利であることを示した。

第2部では、単純な行動アルゴリズムと個体間の局所的な相互作用から、複雑な構造物の建設を可能にする自己組織化システムに着目し、シロアリの集団による構造物建設のメカニズムと進化プロセスについて調べた。第11章では、シロアリの蟻道建設行動に着目し、ヤマトシロアリの蟻道形成パターンをコロニー間で比較した。コロニーを複数の集団に分け、それぞれに蟻道を形成させるバイオアッセイから、同コロニー由来の集団は似た構造を作る一方、同一環境下であっても、由来コロニーが異なれば構造も大きく異なるというコロニー特異性を発見した。第12章では、異なる集団サイズで建設された構造物と、建設行動を模した格子モデルでの計算結果を比較し、構造物の種内変異は、同一の行動アルゴリズムから、主に建設に用いられるフェロモンへの感受性の変化により生じることを示した。第13章では、コロニーの成長に伴い生じる有翅虫生産と、蟻道建設行動との間に負の相関を発見した。この結果から、構造物の種内変異は、コロニーの成長段階の変化に伴う建設行動への需要の変化に応じて、建設行動が適応的に制御された結果である可能性が示唆された。

第14章では、下等シロアリの蟻道建設行動について先行研究の情報をまとめ、生活史において通常は蟻道を建設することのないシロアリ種も、蟻道建設を行う能力を有する可能性について考察した。第15章では、通常は蟻道を建設しない祖先的な種であるネバダオオシロアリの壁建設行動の観察を行った。その結果、実際に蟻道を建設する種の行動アルゴリズムと類似したものが、ネバダオオシロアリでも認められた。これらの結果から、シロアリの進化に伴う構造物の多様化は、共通した建設行動アルゴリズムのパラメーターのチューニングによって説明可能であることが示唆された。

第16章では、本研究の総合考察として、動物行動学における構成的アプローチの役割と、理論研究と実証研究の連携の重要性を示した。