

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 農 学 )	氏名	小西 堯生
論文題目	シロアリの資源分配機構に関する社会生理学的研究		
(論文内容の要旨)			
<p>社会性昆虫には、王や女王として繁殖に専念する個体と、ワーカーや兵隊として繁殖以外の労働に従事する個体が存在する。王と女王は巣内の繁殖を一手に担っており、資源は生殖カーストへ集中的に分配される。繁殖に必要な資源を王と女王に集中させる機構の解明は、社会性昆虫の分業システムを理解する上で鍵となる。本研究ではヤマトシロアリを用いて、コロニー内個体間で受け渡される特定の物質の利用能が王と女王に限定されることで資源が繁殖を行う個体に集中するという仮説を立て、検証を試みた。さらに、資源分配機構の解明を糸口として、シロアリの繁殖分業を支える様々な巣レベルの機構を発見した。本論文は以下のように要約される。</p> <p>第1章では、生物の集団的ふるまいを対象とした研究の意義について述べるとともに、社会性昆虫における分業システムと資源の分配に関する研究について概観した。さらに研究モデルとしてシロアリを用いる妥当性を主張し、本研究の目的を示した。</p> <p>第2章と第3章では、繁殖において重要な窒素化合物の利用に着目し、RNA-seqを用いた遺伝子発現解析によって窒素代謝に関連する遺伝子の発現量をカースト間で比較した。その結果、窒素代謝産物である尿酸を分解する酵素(尿酸オキシダーゼ)の遺伝子が、王と女王のみで発現していることを発見した。そこで、RNA干渉を用いた尿酸オキシダーゼ遺伝子のノックダウンおよび尿酸オキシダーゼ阻害剤の投与を行い、尿酸の分解が繁殖に寄与することを実証した。また、ワーカーからの給餌物で構成される女王の中腸内容物を分析することで、尿酸がワーカーから生殖カーストに供給されていることを明らかにした。以上の結果から、王と女王のみがコロニー内個体間で受け渡される尿酸の分解能を有することにより、繁殖に有用な物質を得ていることが示唆された。これらを踏まえて、尿酸の分解が繁殖に寄与するメカニズムに着目した。遺伝子発現解析の結果、尿酸からタンパク質の材料であるアミノ酸を合成する経路に必要な酵素の遺伝子は、いずれのカーストにおいても検出されなかった。この結果は、尿酸が窒素源として利用されるのではなく、その代謝産物が持つ生理機能が繁殖において有用であることを示唆する。次に、尿酸の受け取り手である王と女王をコロニーから除去し、王と女王の存在が巣内の尿酸フローに与える影響を調べた。その結果、王と女王の不在下では、ワーカー体内の尿酸量が増加することが確認された。また、体内の尿酸量が増加したワーカーでは、免疫機能が低下した個体に対して病原性を示すセラチア菌に曝露した際の死亡率が上昇することを発見した。これらの結果から、王と女王による尿酸の分解が、コロニーの免疫機能を維持する上でも重要であることが示唆された。</p> <p>第4章では、広域分布種であるヤマトシロアリを対象に全国規模の野外調査を行う中で発見された、巣レベルの繁殖システムにおける地理的変異について報告した。単為生殖による女王位継承(asexual queen succession: AQS)と呼ばれる特殊な繁殖シ</p>			

システムを持つ本種では、創設王が死亡して二次王がコロニー内の繁殖を引き継ぐと、近親交配が生じてコロニーは終焉を迎えると推測されてきた。実際に、本州以南では採集されたコロニーの約85%で創設王と二次女王が繁殖を担っていた。一方で、分布の北限である北海道では採集されたすべてのコロニーで二次王と二次女王が繁殖を担っていた。飼育実験の結果、北海道個体群では本州個体群と比較してより多くの個体が二次王の下で維持されることが確認された。また、北海道個体群ではより多くの個体が二次王および二次女王へ分化するなど、カースト分化にも個体群間で差異がみられた。さらに、RNA-seqを用いて網羅的遺伝子発現解析を行ったところ、個体群間で124の発現変動遺伝子が検出され、これには免疫や代謝に関わる可能性がある遺伝子が含まれていた。以上の結果を踏まえ、有翅虫によるコロニーの創設が困難な寒冷地に適応する上で、AQSという洗練された繁殖システムを犠牲にして、多数の二次王と二次女王が近親交配によりコロニーを維持する二次戦略としての繁殖システムを進化させたというシナリオを提起した。

第5章では、巣レベルの異物排除システムである非巣仲間への攻撃行動に着目して、シロアリの行動形質がコロニーの最も重要な構成要素である王と女王の存在といった社会環境要因によって変化することを実証した。巣の物理構造を考慮した行動評価系を確立して侵入者に対する攻撃性に影響を与える要因の検証を行った結果、王と女王の存在下では不在下と比較してワーカーや兵隊の非巣仲間に対する攻撃性が高いことを発見した。また、巣内に王と女王が存在することにより、非巣仲間と接触したワーカー・兵隊のうち、攻撃行動を示す個体の割合が増加することも明らかになった。これらの結果から、巣内の位置に応じて個体の攻撃性を変化させることにより、コロニー防衛のコストを削減していることが示唆された。

第6章では、本研究の総合考察として、社会生理学的研究の今後の展望を示すとともに、現象の分子生理学的基盤と生態学的背景の双方に着目する重要性を強調した。

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し  
審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(続紙 2 )

(論文審査の結果の要旨)

社会性昆虫に見いだされる繁殖分業の背景には、王や女王への資源の集中をはじめ、生殖カーストの繁殖に寄与する様々な機構が存在することが合理的に予測される。そのような機構の解明は、社会性昆虫の分業システムを理解する鍵となる。本学位論文では、社会性昆虫であるシロアリの繁殖分業を支える機構を、巣レベルのマクロな視点から現象を捉える社会生理学的アプローチにより理解することを目的として研究を行った。本研究の評価できる点は、以下の通りである。

1. シロアリのコロニー内個体間で受け渡される尿酸の利用能が王と女王に限定されることで、資源が繁殖を行う個体に集中することを明らかにした。この発見は、社会性昆虫における資源分配機構の一端を解明するものである。
2. 王と女王の不在下でワーカー体内の尿酸量が増加し、尿酸の蓄積が感染症リスクを増加させることを明らかにした。これらの結果から、生殖カーストと非生殖カーストが存在することで相補的に成立する尿酸の代謝分業がコロニーの免疫機能の維持にも寄与するという、巣レベルでの代謝と免疫の生理学的連関が示された。
3. 広域分布種であるヤマトシロアリにおいて巣レベルの繁殖システムに地理的変異がみられることを明らかにし、社会性昆虫における環境に応じた柔軟な社会システムの適応進化について議論した。

以上のように、本論文は社会性昆虫の繁殖分業を支える分子生理基盤に関する新たな知見を提供するものであり、社会生物学および昆虫生態学の発展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、令和6年1月22日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。

注) 論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。

ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降（学位授与日から3ヶ月以内）