

# シロアリの多様な巣の構造はいかにして生じるか？

## -集団による構造物形成の種内変異を引き起こすメカニズムの提示-

### 概要

水元惟暁 京都大学大学院農学研究科博士後期課程学生（日本学術振興会特別研究員 DC1）、小林和也 同研究員（日本学術振興会特別研究員 PD）、松浦健二 同教授らのグループは、シロアリが集団で作る構造物に明確な種内変異が見られることを実験的に示し、その多様な構造を生み出すメカニズムを理論予測しました。これまでの集団による構造物形成において、種内変異が生じる要因は環境の影響や集団サイズが調べられてきましたが、同一条件下で生じる種内変異についてはほとんど知見がありませんでした。今回の研究成果は、個体レベルの反応の変異と集団レベルの形質である構造物の変異を初めて結びつけたものであり、シロアリだけでなく、集団生活を営む様々な生物が建設する構造物の種内変異を理解する上で、極めて重要な意味を持ちます。

本研究成果は、2015年11月4日に、英国王立協会のオープンアクセス誌「Royal Society Open Science」にて掲載されました。

### 1. 背景

精巧で複雑な構造を持つアリ塚や張り巡らされた地下トンネルのように、アリ・ハチ・シロアリのような社会性昆虫は、多数の個体からなる集団が協力することで、巨大な構造物を作り出します。彼らの構造物形成では、われわれヒトの構造物形成とは大きく異なり、リーダーや設計図は存在しません。それぞれの個体は認知できる狭い範囲の情報にのみ反応し、互いの行動に影響を与え合うことだけで、全体としては秩序だった構造物を作ることができます。これは自己組織化と呼ばれ、単純な規則から複雑な構造を作り上げるシステムとして知られてきました。一方で、単純な建設ルールを持つにもかかわらず、社会性昆虫の構造物は、種内においても様々な形や大きさを見せます。この多様化はどのようにして生じるのでしょうか。

構造物の建設に影響を与える要因として、これまで知られているものに集団サイズと環境の違いがあります。集団サイズの違いは、建設過程における個体の密度に変化を生じさせ、構造物のサイズと形の両方に影響を与えます。温度や材料といった環境の違いもまた、個体の反応に影響を与えることによって、構造物の多様化を促進します。しかし、同一環境下においてさえもシロアリはコロニー間で異なる構造物を作り上げることが近年我々の研究で明らかになってきました。これはこれまで知られている要因では説明することができません。

### 2. 研究手法・成果

ヤマトシロアリは北海道から九州まで日本に広く分布している昆虫で、地下トンネルや地上の蟻道で巣の間を連結することにより、複数の朽木にまたがって営巣しています。私たちはこのヤマトシロアリの蟻道建設行動に着目しました。蟻道は木片や土粒、シロアリの分泌物から形成されるチューブ状のもので、シロアリはこの中に身を隠すことで、天敵や日光から身を守ります。蟻道建設は働きアリのみによって行われ、材料となる木片を次々と張り合わせることで作られていきます（図1）。また働きアリ達はそれぞれの建設場所で、セメントフェロモンと呼ばれる揮発性物質によって建設途中であるという情報を共有します。セメントフェロモンは木片と同時に塗布され、塗布された場所にさらに次の木片が張り付けられるように誘引します。つまり、同じ場所への木片の蓄積は、フェロモンの蓄積につながり、

さらに多くの働きアリを引き寄せることになります。このような雪だるま式の加速は正のフィードバックと呼ばれ、建設行動においても重要な役割を果たします。



図1 ヤマトシロアリによる蟻道建設行動

本研究ではまず、野外において採集したヤマトシロアリの5つのコロニーから、それぞれ複数の分集団を作成し、それぞれの分集団が蟻道建設を行った結果出来上がった構造物のパターンを解析しました。その結果、構造物のパターンに明確なコロニー間の違いが見られました(図2)。実験は同一の状況で行っているため、コロニー間でワーカーの持つ行動特性に違いがあることが示唆されます。

次に、このようなコロニー間での構造物の違いが、どのような個体レベルの違いから生じうるかを確かめるために、シロアリの蟻道建設行動を模した格子モデルを構築し、建設シミュレーションを行うことで、どのような要因が建設行動に影響を与えるかを調べました。その結果、個体のセメントフェロモンへの感受性の強さと、建設行動に参加する個体の割合を変化させることによって、実験で見られた構造物のパターンと非常によく似たパターンを再現することができました(図2)。これらの個体の性質は正のフィードバックの強度と強い関係を持っており、正のフィードバックの強度の変化が異なる構造物を生み出すことに重要であることが明らかになりました。

### 3. 波及効果と今後の展望

今回、異なるコロニー由来のシロアリは、同一の環境でも異なる構造物を作りだすことを実験的に示し、またその違いは個体の環境への反応の強さの違いから説明できるということ、格子モデルを構築することで理論予測しました。このメカニズムは構造物だけでなく、集団行動や意思決定などその他の自己組織化により形成されるパターンの多様性をも説明するもので、重要な意義を持ちます。本論文で提示した新たなメカニズムは、シロアリだけでなくその他の生物の研究によっても確かめられていくことが期待されます。

また社会性昆虫の働きアリは、巣の建設の他にも幼虫の世話や、採餌など様々な仕事を同時に行っています。各コロニーに最も必要な仕事はなにであるかは、それぞれのコロニーの状態によって左右されるため、働きアリ達はどの仕事にどれだけの労力を割くかを常に調整する必要があります。そのため、今回見られたコロニー間での建設行動の違いは、それぞれのコロニーが建設行動の必要に応じて、フェロモンへの感受性や建設従事個体数といった活動性を調整した結果だと考えられます。今後建設行動とその他の仕事との関係を調べていくことで、自己組織化システムが昆虫の社会において果たしている役割を更に明らかにしていくことができると考えています。

## 実験でシロアリが建設した構造

## シミュレーションによる再現

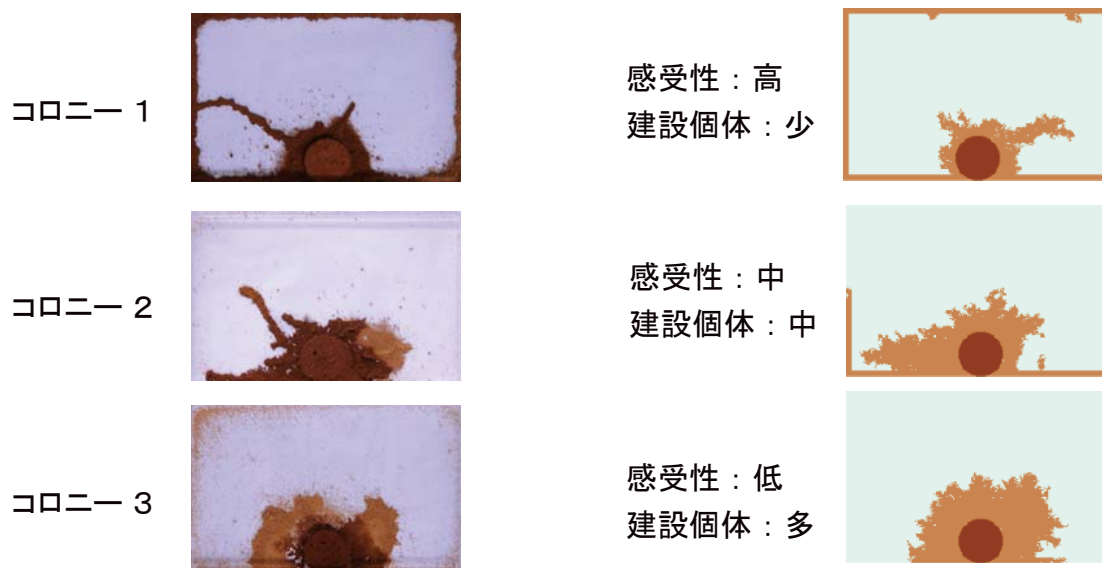


図2 実験で実際にシロアリが建設した構造と、シミュレーションによって再現された構造の比較

### <論文タイトルと著者>

論文タイトル:

Emergence of intercolonial variation in termite shelter tube patterns and prediction of its underlying mechanism

著者:

Nobuaki Mizumoto\*, Kazuya Kobayashi, Kenji Matsuura

\*) 責任著者

### <用語解説>

※コロニー： 同じ巣やなわばりで生活する血縁者の集団