

女王アリによる長期間の精子貯蔵メカニズムとその進化の解明

甲南大学 理工学部 後藤彩子

社会性ハチ目昆虫（アリ、ハチ）では、女王は羽化後まもない時期にしか交尾しないため、この時に受け取った精子を体内の「受精囊」の中に寿命が続く限り貯蔵します。アリ科の多くの種の女王の寿命は10年以上と昆虫としては例外的に長寿のため、精子貯蔵期間も10年以上と極端に長いといえます（図1）。この特異な繁殖システムの進化は、特に高度な社会性をもち、女王が卓越した繁殖能力を進化させたアリの生態的繁栄を考える上でも重要です。また、細胞が他者の体内でこのような長期にわたり生存することは細胞生物学の常識を覆すものですが、そのメカニズムは長年不明でした。

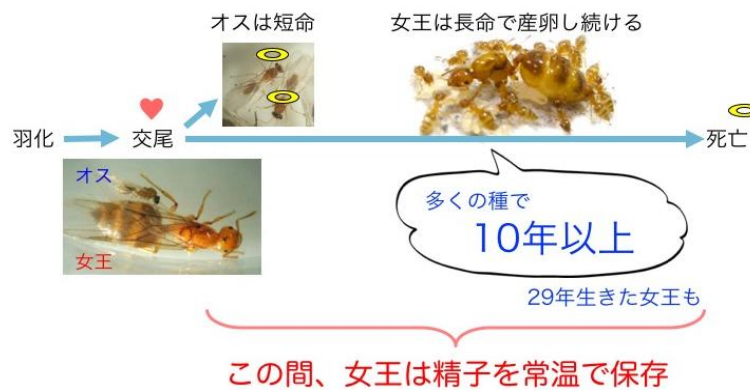


図1 アリ科女王の生活

本研究では、A: どのようなメカニズムで女王アリが長期間の精子貯蔵を可能にしているのか?、B: そのメカニズムはどのように進化してきたのか? という2つの問いを立て、研究をすすめました。

A: どのようなメカニズムで女王アリが長期間の精子貯蔵を可能にしているのか?

精子貯蔵メカニズムを明らかにする上で、精子を直接保護している女王アリの受精囊の機能の重要性に着目しました。精子は受精囊リザーバーという袋状の構造の中で保存され、そのリザーバー上皮細胞は小分子をやりとりしていることが形態から推測されています（図2）。また、受精囊腺という分泌組織からの分泌物がリザーバー内の環境に影響しているとも考えられています。本研究では、① 体液と比較して、受精囊リザーバー内で多い物質

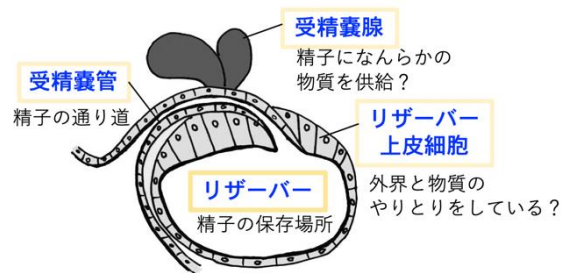


図2 アリ科女王の受精囊の構造

(タンパク、糖、脂質、各種イオン) や特徴をプロテオーム解析やメタボローム解析などで網羅的に調査し、②受精囊リザーバー内で特徴的な因子をそれぞれ模倣した培地で保存した精子の質を評価することで、精子の生存に寄与する因子を特定しました。

現在、精子生存に寄与する因子として3つが見つかりました。1つ目はリザーバー内の無酸素状態で、精子生存率の維持の他に精子の不動化を引き起こすことが分かりました(Gotoh et al., 2023)。精子を不動化させることは活性酸素の発生や物理的な損傷を抑制できるため、長期間の精子貯蔵に重要な要素であると考えられます。しかし、人為的な無酸素環境に置いた精子の生存率は日を迫うごとに低くなっていたことから、無酸素以外の要素もさらに必要であることが分かりました。その他の2つは、タンパク質 X と代謝産物 Y です (未発表データ)。これらは、これまで細胞を保存する因子としては注目されてきませんでした。そのため、今後はこれらがアリの精子にどのように作用し、細胞機能を維持しているかを解析する必要があります。また、これらの因子を利用して、他の生物の精子を常温で保存するプロジェクトも展開する予定です。

また、ほとんどの種では、女王アリは実験に使用できるほどの個体数を確保することが困難です。今回の研究テーマを遂行するにあたり、大量に採集でき、飼育が容易なキイロシリアゲアリ (*Crematogaster osakensis*) を女王アリ研究のモデル生物として確立するための基礎的な知見の整備や、精子の解析を効率的におこなう方法の確立をおこないました (ゲノム解読: Gotoh et al., 2025、効率的な精子生存判定方法の確立: Takeshima and Gotoh, 2024)。これにより今後、精子貯蔵以外のさまざまな女王アリの能力に迫る研究に展開できることが期待できます。

B: 女王アリの精子貯蔵メカニズムがどのように進化してきたのか?

女王アリの精子貯蔵に関わる特徴について、アリ類が属するハチ類のメスの精子貯蔵の特徴を系統樹および社会性の発達段階 (ハチには社会性をもたない種もいる) と照らし合わせ、精子貯蔵システムの進化の道筋を明らかにすることを目指しました。18科 111種のハチを調べたところ、精子貯蔵期間が長ければ、メスが受精嚢リザーバー内に貯蔵している精子が不動化されている傾向がありました (未発表データ)。今後はさらに多くの種を調べ、より解像度の高い結果を得る予定です。また、一部のハチでみられる貯蔵精子の不動化が、アリと同様にリザーバー内の無酸素状態で引き起こされているかを調べるために、微小空間での酸素濃度の測定方法の確立を目指しています。さらに、タンパク質 X と代謝産物 Y の受精嚢内での存在や精子への影響もハチで調べる予定です。

参考文献

- Gotoh, A., Takeshima, M. and Mizutani, K. (2023) Near-anoxia induces immobilization and sustains viability of sperm stored in ant queens. *Scientific Reports* 13:3029.
- Gotoh, A., Toyoda, A., Yamabe, T. and Itoh, T. (2025) Whole-genome sequencing of *Crematogaster osakensis* (Hymenoptera: Formicidae: Myrmicinae). *DNA Research* dsaf012
- Takeshima, M. and Gotoh, A. (2024) Establishment of a rapid, cost-effective, and accurate method for assessing insect sperm viability. *Journal of Insect Physiology* 158: 104682