

学 位 論 文 題 名

Phylogeography of Asian Weaver Ants
Oecophylla smaragdina

(ツムギアリ *Oecophylla smaragdina* の系統地理学)

学位論文内容の要旨

ツムギアリは、熱帯アジアからオーストラリアにかけて広く分布する樹上性のアリである。ミトコンドリア DNA のシトクローム b 遺伝子領域 (Cytb)、同じくミトコンドリア DNA のシトクローム・オキシダーゼ・サブユニット 1 遺伝子領域 (CO I)、核 DNA の視物質遺伝子の一つである long wavelength opsin gene (LWRh) の塩基配列、および 7 遺伝子座のマイクロサテライト領域の分析から、ツムギアリについて系統地理学的研究を行った。主な結果は以下の通りである。

- 1) ツムギアリ・同属のアフリカツムギアリ・他の 7 種のアリについて、Cytb の 405 塩基対から近隣結合法による系統樹を作成したところ、ツムギアリ属の単系統性と、ツムギアリとアフリカツムギアリは別種として扱うに十分な遺伝距離があることが示された。
- 2) アフリカツムギアリを外群とし、Cytb の 647 塩基対、CO I の 1026 塩基対から近隣結合法による系統樹を作成したところ、ツムギアリの遺伝子型はどちらの系統樹でも次の 7 つのグループにはっきりと分かれた。

「オーストラリア・ニューギニア」「ハルマヘラ」「スラウェシ」「フィリピン」「ソロール諸島」「インドシナ半島・マレー半島・ボルネオ・ロンボクおよびスンバワ島を含む大スンダ列島」「インド」

- 3) LWRh については、ツムギアリで 2 種の遺伝子型 (Smaragdina A・Smaragdina B) が見つかった。「インドシナ半島・マレー半島・ボルネオ・ロンボクおよびスンバワ島を含む大スンダ列島」のグループだけが Smaragdina A を示し、残りのツムギアリはすべて Smaragdina B を示した。2 つの遺伝子型は第 466 番目のサイトの塩基だけが異なり、A ではチミン、B ではシトシンになっている。アフリカツムギアリを含め、他の数種の膜翅目昆虫ではこのサイトはシトシンであるため、この結果は、「インドシナ半島・マレー半島・ボルネオ・ロンボクおよびスンバワ島を含む大スンダ列島」の系統が、他のグループから分岐した後独自の進化を遂げたことを示唆するものである。

- 4) マイクロサテライト分析の結果、「ソロール諸島」と「ロンボクおよびスンバワ島を含む大

スンダ列島」との間の遺伝的なギャップは、「ロンボクおよびスンパワ島を含む大スンダ列島」と「インドシナ半島・マレー半島」との間のギャップより大きいことが分かった。

5) ミトコンドリア DNA の塩基配列が示すツムギアリの 7 グループは、必ずしも形態学的なグループ分けとは一致しない。

これらの結果と、地史的な証拠・分子時計による推測をまとめると、ツムギアリの進化の歴史はおおよそ次のように考えられる。

ツムギアリとアフリカツムギアリは 1330 万年前から 1130 万年前（中新世後期）に分岐した。これは、ヨーロッパでこの 2 種の共通祖先種とされる化石が中新世のコハクの中から見つかったことと矛盾しない。ツムギアリはその後アジアに分散し、おそらくスラウェシ島経由でニューギニアついでオーストラリアにも渡り、780 万年前から 360 万年前ごろ（中新世終期から鮮新世中期）に前述の 7 グループが分岐・独立した。オーストラリア・ニューギニアグループでは 470 万年前ごろからグループ内の分岐が始まり、「フィリピン」「スラウェシ」「ソロール諸島」のグループと同様、その後ボトルネックを経験せずに現在の個体群を形成してきたと見られるが、「インドシナ半島・マレー半島・ボルネオ・大スンダ列島」のグループでは、鮮新世に何らかのボトルネックを経験したと考えられ、グループ内の放散は更新世に入ってから起きたと推測される。ボトルネックは、寒冷化に伴う乾燥による熱帯雨林の縮小によって起きた可能性が高い。「インド」のグループが「インドシナ半島・マレー半島・ボルネオ・大スンダ列島」とは独立であること、また「インドシナ半島・マレー半島・ボルネオ・大スンダ列島」グループの放散が遅れたことは、氷期に熱帯雨林が縮小し、インドシナの一部とインド亜大陸の南端に近いところの 2 カ所に熱帯雨林が残って森林性生物の避難所になっていたという仮説とよく一致する。更新世の氷期には海面が現在より 180~200m 低かったとされ、アジア大陸と大スンダ列島・ボルネオ島は陸続きになっていたと考えられる。「インドシナ半島・マレー半島・ボルネオ・大スンダ列島」グループは更新世にこの陸塊上で分散して、現在のような地理的遺伝構造を形成したと推測される。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 東 正 剛

副 査 教 授 岩 熊 敏 夫

副 査 助 教 授 鈴 木 仁

副 査 教 授 片 倉 晴 雄 (大学院理学研究科)

副 査 教 授 緒 方 一 夫

(九州大学熱帯農学研究センター)

学 位 論 文 題 名

Phylogeography of Asian Weaver Ants

Oecophylla smaragdina

(ツムギアリ *Oecophylla smaragdina* の系統地理学)

ツムギアリ属 *Oecophylla* はヨーロッパやアフリカで発見されている 11 化石種と、アフリカツムギアリとツムギアリ *O. smaragdina* の 2 現存種からなる。このうちツムギアリはアリ科約 1 万種の中でも最も広い分布域を示すアリの 1 つであり、インド、東南アジア、西太平洋諸島、オーストラリア北部域を含むアジア・オセアニアの熱帯域に分布している。幼虫が吐き出す絹糸を用いて樹上に営巣するが、街路樹にも容易に営巣できることから採集は最も簡単なアリの 1 種である。申請者は、祖先化石種がヨーロッパで見つかっていること、分布域が極めて広いこと、採集が簡単であることなどに着目し、分子系統学的手法を用いてツムギアリ集団の遺伝構造を解析するとともに、分子時計を用いてこのアリの分散過程を推定した。最近、人為的に広域分散したアルゼンチンアリやヒアリに関する遺伝構造解析は行われているが、自然広域分布を示すアリの遺伝構造解析は初めてであり、申請者はアフリカツムギアリを 2 地域から 2 コロニー、ツムギアリを 35 地域から 149 コロニー採集し、系統地理学的に重要な成果を得ている。短期間に 37 の地域から 151 コロニーを集められたのは、採集のし易さに負うところが大きく、昆虫の専門家である緒方副査と片倉副査は、まず申請者の着眼の良さを高く評価した。

本論文の内容は、1) ミトコンドリアの Cytb (シトクロム b) 遺伝子と COI (シトクロム c オキシゲナーゼサブユニット 1) 遺伝子を用いた個体群間系統解析、2) 核の LWRh (長波長オプシン) 遺伝子とマイクロサテライト DNA を用いた個体群間比較、3) Cytb の置換速度に基づく分子時計を用いた地史的遺伝構造動態、4) 分散法の推定、から成っている。まず、Cytb の 405bp に配列について、データベースに登録されているケアリ属やマアリ属なども含めて系統解析を行ない、*Oecophylla* が単系統であること、アフリカツムギアリとツムギアリは遺伝的に異なることを確認している。そこで、アフリカツムギアリを外群とし、Cytb の 647bp と COI の 1026bp についてツムギアリの個体群間比較を行い、I. I

ド、II. インドシ半島・ボルネオ島・大スンダ列島（ロンボク・スンバワを含む）、III. フィリピン、IV. ソロモン諸島、V. スラウェシ、VI. ハルマヘラ、VII. オーストラリア・ニューギニアという7つの遺伝集団に分かれること、II は他の集団より最近になって放散した集団であること、V、VI、VII は比較的近縁の集団であること、などを明らかにした。II とIV の間の大きなギャップはミトコンドリアDNAによって、II が最新の集団であることはLWRh遺伝子によっても支持されている。広域分布を示す種についてこれ程綿密に遺伝構造を明らかにした例は少なく、生物地理学的に非常に貴重な成果である。

これらの成果とCytbの塩基置換速度に基づき、申請者はツミギアリの分散過程を次のように推測している。*Oecophylla sicula* を共通祖先種とするツミギアリとアフリカツミギアリは約12Maに分化し、前者はアジア・オセアニア地域に分布を拡げていった。6～4Ma頃には7つの集団が次々と分化し、オーストラリア・ニューギニアやスラウェシなどでは集団内分化も4～2Maには始まった。一方、当時大きな陸塊を形成していたインドシ・ボルネオ・スマタラでは乾燥化が進み、ツミギアリ集団は一部の熱帯雨林周辺に閉じ込められ、ボトルネック効果を受けたが、約1.8Ma頃から再び放散を始め、現在に至った。

分子時計の信頼性の問題から推定年代には幅があるが、地理的に近いインドとインドシの個体群が遺伝的に異なることは氷期に熱帯雨林のレジアがインドシとインドにあったとする有力な説と一致すること、今回の結果は化石証拠の多い哺乳類に関するこれまでの研究結果とも整合する点が多いこと、などから、分子系統学の専門家である鈴木副査はDNA解析に基づく申請者の推測を高く評価した。

また、このアリの特異的な点は、他のアリ類に比べて大洋島に広く分散していることであるが、1) このアリの女王は体が大きく、他のアリの女王よりも飛翔能力が優れているとは言えないこと、2) 絹糸で編まれた樹上巣は海水に浮くこと、3) 巣内には常に幼虫がおり、いつでも生殖虫の生産が可能なこと、などから、巣が海流によって分散したと推測している。これは、太平洋諸島の昆虫類に関する過去の研究から明らかになっている「飛翔力の高い昆虫よりも、生活史の中で樹木中で過ごす時期のある昆虫の方が海洋島への分散力が高い」という事実とも一致しており、信頼性が高い。

審査員一同は、これらの成果を高く評価し、また申請者が研究者として誠実かつ熱心であり、大学院課程に於ける研鑽や取得単位なども併せ、博士（地球環境科学）の学位を受けるのに十分な資格を有すると判定した。