

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：18001

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2013～2017

課題番号：25304014

研究課題名(和文) 分子情報に基づく熱帯起源生物の移動ルートの解明

研究課題名(英文) Elucidation of dispersal patterns based on genetic variation in exotic species originated from tropical regions

研究代表者

立田 晴記 (TATSUTA, Haruki)

琉球大学・農学部・教授

研究者番号：50370268

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：植物防疫法や国際自然保護連合(IUCN)の凡世界的外来種ワースト100にもリストアップされているアリモドキゾウムシ、ツヤオオズアリを対象に、アフリカ・熱帯アジア地域を中心に分子遺伝マーカー情報を用いた系統解析・ネットワーク解析をおこない、分布拡大起源となった地域と伝播経路の推定を実施した。アリモドキゾウムシについてはインド産標本がマダガスカル産標本の一部と同じ単系統群(祖先を同じくする系統的まとまり)を形成したことから、本種が Gondwana 超大陸起源で、マダガスカル-インド亜大陸を経て熱帯アジア地域に広がっていったものと推察される。ツヤオオズアリについては別種の確認も含め、解析を継続している。

研究成果の概要(英文)：In order to explore the phylogeographic origin and expansion patterns of invasive sweetpotato weevil *Cylas formicarius* and the bigheaded ant *Pheidole megacephala*, we conducted field survey mainly in the African Continent and Madagascar, and then performed phylogeographic and network analyses based on molecular genetic data. In *C. formicarius*, samples from Madagascar constituted monophyletic clade together with those from India, suggesting that the weevils originated in Gondwanaland and then had spread their distribution via conjoined Madagascar and India which had been split off from Gondwanaland. The phylogenetic studies on *P. megacephala* are ongoing in consideration of the species status and classification.

研究分野：進化生物学

キーワード：系統地理 侵入種 分布拡大 ツヤオオズアリ アリモドキゾウムシ

1. 研究開始当初の背景

熱帯地域はさまざまな生物種の起源となった場所として知られる。特にアフリカ地域は昆虫から脊椎動物に至るまで、多様な生物資源が分布する宝庫である。アフリカ大陸のサハラ砂漠以南はエチオピア区に含まれ、特にアフリカ大陸の南東部に位置するマダガスカル島は固有種の宝庫となっている。特に植物、両生は虫類、鳥類、哺乳類には固有種が多く含まれることがわかっており、他の生物についても同様と考えられる。このような固有性が高い背景には、地史的要因が大きく関与しているものと推測される。マダガスカルの主要部は Gondwana 大陸の一部を形成していたが、約 1 億 3500 年前の大陸分裂の際にアフリカ大陸から分離し、約 7000 万年前にインド亜大陸がマダガスカルから分裂したと考えられている。それから現在に至るまで孤立した島であったことから、他地域から渡り等で侵入した生物を除き、島独自の生物多様性が保存されてきた。このような理由から、アフリカ大陸と地理的に近いにもかかわらず、熱帯アジアと分布を共有する種が存在するのも興味深い点である。まず注目したいのが、南西諸島にも定着している外来生物である。これらの多くは少数個体が海路もしくは空路によって人為的に運ばれ定着したと考えられ、侵入から定着に至る経緯の推定は容易でない。まして全世界的に拡がった外来生物の原産地特定の困難さと言うまでもない。南西諸島は外来種の入り込む「玄関」となっており、これまで多数の侵略的重要害虫が侵入・定着した事で知られている。植物防疫法で特殊病害虫に指定されているアリモドキゾウムシ、また国際自然保護連合(IUCN)の凡世界的外来種ワースト 100 にもリストされているツヤオオズアリはその代表例である。これらの種は日本だけでなく、新旧熱帯・亜熱帯まで広範囲に分布しており、生態系攪乱や農業被害などが報告されている。日本の南西諸島でもこれらの種は既に定着しているが、どのような侵入経緯を辿ったのか、また侵入後の定着・分布拡大に至った経緯は不明である。またこれらの昆虫には寄生生物(寄生蜂、ダニ)が存在することが近年明らかになっており (Maeto & Uesato 2007; Le Breton, Tsuji, *et al.* 2006)、これらは宿主に随伴して侵入した可能性の他、元来在来近縁種に寄生していたものが侵入種に宿主転換した可能性も指摘されている。こうした侵入・随伴生物が分布拡大してきた歴史を紐解くためには、熱帯・亜熱帯地域における分布情報を把握し、形態分類を行うと共に、様々な遺伝情報を集約し、系統推定をおこなうことで、それらの起源や伝播経路を推定する必要がある。これまで申請者らはツヤオオズアリ、アリモドキゾウムシについてゲノム情報に基づく系統推定をおこなってきた。ツヤオオズアリについては、“動く遺伝子”として知られるマリナー様配列に着目し、東アフリカ、

西アフリカ、南西諸島の3つの大きく異なる地域から捕獲された標本について塩基配列情報を取得し、系統関係を調べた。その結果、東アフリカ産の標本と南西諸島のものが単系統群を形成し、西アフリカ産の標本とは明確な差の存在が明らかになった(川西ら, 2008)。従って南西諸島に入り込んだ集団は、西アフリカではなく、東アフリカに生息するコロニーと遺伝的に近いものであるという推測ができる。一方アリモドキゾウムシについてはアフリカ産の標本が入手出来ておらず系統推定は不十分だが、これまで遺伝解析が完了した標本のうち最も西側に位置するインド集団が最も原始的な配列を持つことがわかっている。地史的にはアフリカ南東部に位置するマダガスカルがインドから分離した時代は、アフリカ大陸と離れた時代よりも 7000 万年ほど遅かったことから、実はインド集団はマダガスカル集団に端を発しているのかもしれない。

2. 研究の目的

DNA 情報に基づく解析から熱帯起源と考えられるツヤオオズアリ、アリモドキゾウムシ、そしてそれらの随伴生物の移動分散ルートの解明を目指す。アフリカ地域はこれらの生物分布の起源となった場所の有力候補であるが、本課題で扱う侵入種では、「アフリカ起源説」と「熱帯アジア起源説」が唱えられており、未だ決着が付いていない(Parker *et al.* 1992; Holway *et al.* 2002 など)。そこで近縁種が多く生息するアフリカ・熱帯アジア地域を中心とした調査をおこない、形態および分子系統解析から、発生源となった地域の特定を目指す。

3. 研究の方法

アフリカ北西部、東部、南部、および熱帯アジア地域からアリ、ゾウムシを採集し、同定後に遺伝解析をおこなう。主に種内レベルの多型情報を比較したいので、塩基置換速度が比較的速いミトコンドリアDNAと核DNA上の遺伝子座の解析を実行する。これらから得られるDNA多型情報に基づいて、地域集団間の系統関係、および個体・集団の移動・分布拡大過程などを推定することで、対象生物の起源と伝播経路の推定をおこなう。

4. 研究成果

アリモドキゾウムシ、ツヤオオズアリの研究用標本については、その分布が集中するアフリカ大陸東部から南部にかけての帯、およびマダガスカル各地、西アフリカ(ベナン、ナイジェリア)で採集と分布調査を実施した。特にケニア、マダガスカルでは集中的に現地調査をおこない、ゾウムシについては研究対象種であるアリモドキゾウムシ *Cylas formicarius* とと思われる個体を異なる地域で多数採集できた。興味深い点として、既知のフェロモントラップに誘引されなかった地域

集団が見られたことである。害虫化している3つの種（正確には種群:species group）の性フェロモン主成分は既に同定されているものの、既知成分に反応しない集団が見つかったのは大変興味深い。つまり外見的には同種と思える集団であっても、遺伝子等に相違が見られる『隠蔽種(cryptic species)』が存在することを示唆している。採集された標本の遺伝子を解析し、系統推定したところ、マダガスカル集団の一部は全く分岐年代が異なる位置にクレードを形成した。また研究当初の疑問であった原産地については、インド産サンプルがマダガスカル産の一部サンプルと同じクレードを形成し、外群と最も近い位置になったことから、 Gondwana 超大陸で祖先種から分化し、マダガスカル-インド亜大陸を経て熱帯アジア地域に拡がっていったと推測される。ただしマダガスカル-インド亜大陸で本種が祖先種から分化したのか、既に Gondwana で種分化していた *C. formicarius* 集団の一部が亜大陸の分離と共に分離したのかについては更なる調査解析を必要とする。また近縁種とされるゾウムシ(*C. brunneus*, *C. puncticolis*)も採集され、*C. formicarius* と同所的に分布している地域も複数見られた。またフェロモントラップも野外で試したが、上記近縁種は誘引されなかった。*C. formicarius* 同様、フェロモン成分感受性の相違がこれらにも存在する可能性があり、外部形態も大変酷似していることから、今後分類学的再検討も含めた解析が不可欠である。

またツヤオオズアリと考えられるコロニーもマダガスカル、ケニアで採集された。こちらは同属近縁と考えられる別種も混じっている可能性が高く、形態形質を用いた同定を慎重に行いながら解析を進めている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 12 件)

Tatsuta H, KH Takahashi, Y Sakamaki. (2018) Geometric morphometrics in entomology: Basics and applications. *Entomological Science* 21: 164-184. 査読有 . DOI:10.1111/ens.12293

Tsurui K, N Kumano, A Honma, T Matsuyama, D Haraguchi, K Teruya, T Toyosato, H Tatsuta. (2018) Host plants influence female oviposition and larval performance in West Indian sweet potato weevils *Euscepes postfasciatus* (Coleoptera: Curculionidae). *Applied Entomology and Zoology* 53: 107-115. 査読有 . DOI: 10.1007/s13355-017-0535-7

Suzuki S, K Futami. (2018) Predatory risk increased due to egg-brooding in

Armadillidium vulgare (Isopoda: Onischidea). *Ethology* 124: 256-259. 査読有 . DOI: 10.1111/eth.12731

足達太郎. (2018) アフリカ昆虫学史序説. *生物科学* 69: 176-187. 査読有 .

Kato M, H Tatsuta, K Tsuji. (2017) Rapid evolution of a Batesian mimicry trait in a butterfly responding to arrival of a new model. *Scientific Reports* 7: Article ID6369. 査読有 . DOI:10.1038/s41598-017-06376-9

Bugrov AG, YY Ilinsky, AA Strunov, MV Zhukova, EV Kiseleva, S Akimoto, H Tatsuta. (2016) First evidence of *Wolbachia* infection in populations of the grasshopper *Podisma sapporensis* Shiraki (Orthoptera, Acrididae). *Entomological Science* 19: 296-300. 査読有 . DOI:10.1111/ens.12187

Ohba S, H Tatsuta. (2016) Young giant water nymphs prefer larger prey: Changes in foraging behavior with nymphal growth in *Kirkaldyia deyrolli*. *Biological Journal of the Linnean Society* 117: 601-606. 査読有 . DOI: 10.1111/bij.12693

溝田浩二. (2016) マダガスカル生き物図鑑 18 ヘクソドン(コガネムシ科) マダガスカル研究懇談会ニュースレター 34: 12-17. 査読無 .

溝田浩二, 立田晴記. (2015) マダガスカルの自然と昆虫(1). *昆虫と自然* 50: 12-15. 査読無 .

Fonzi E, Y Higa, AG Bertuso, K Futami, N Minakawa. (2015) Human-mediated marine dispersal influences the population structure of *Aedes aegypti* in the Philippine Archipelago. *PLoS Neglected Tropical Diseases* 9: e0003829. 査読有 . DOI: 10.1371/journal.pntd.0003829

Kuriwada T, N Kumano, K Shiromoto, D Haraguchi. (2014) Laboratory adaptation reduces female mating resistance in the sweet potato weevil. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 152: 77-86. 査読有 . DOI: 10.1111/eea.12202

Kuriwada T, N Kumano, K Shiromoto, D Haraguchi. (2014) Mass-rearing conditions do not affect responsiveness to sex pheromone and flight activity in sweet potato weevils. *Journal of Applied Entomology* 138: 254-259. 査読有 . DOI: 10.1111/jen.12087

〔学会発表〕(計 10 件)

伊佐睦美,熊野了州,立田晴記.(2018) オスがメスに気づく時:イモゾウムシ体表成分が行動の意思決定に与える影響.第62回日本応用動物昆虫学会大会.鹿児島大学.

立田晴記.(2017)ゾウムシを追ってアフリカへ:現地での格闘の経緯を語ります.第77回日本昆虫学会大会.愛媛大学.

立田晴記,熊野了州,高梨琢磨.(2016)イモゾウムシの発音器官特定と発音時間に見られる地理的変異.日本昆虫学会・日本応用動物昆虫学会合同大会.大阪府立大学.

栗山賢人,立田晴記.(2016)ゴマダラカミキリにおける震動に対する驚愕反応.日本昆虫学会・日本応用動物昆虫学会合同大会.大阪府立大学.

森本然,立田晴記,辻瑞樹(ペンネーム:辻和希),熊野了州,鶴井香織.(2016)イモゾウムシのメス不妊虫は不妊虫放飼法に貢献するか?日本昆虫学会・日本応用動物昆虫学会合同大会.大阪府立大学.

里見大輔,小笠航,立田晴記,小汐千春,工藤慎一.(2014)フタイリカミキリモドキにおける性的形質と配偶行動の個体群間変異.日本動物行動学会第33回大会.長崎大学.

熊野了州.(2014)配偶行動を応用する~南の島のゾウムシ退治~.日本動物行動学会第33回大会.長崎大学.

熊野了州.(2014)アリモドキゾウムシの鞘翅形状の季節変動とマーカーとしての利用.第58回日本応用動物昆虫学会大会.高知大学.

鶴井香織,熊野了州,城本啓子,豊里哲也,松山隆志.(2014)イモゾウムシの食草利用と生息密度-グンバイヒルガオはenemy free spaceか-.第61回日本生態学会大会.広島国際会議場.

Kumano N, H Tatsuta.(2013) Elytral shape of mass-reared weevil differs from that of wild one in the sweetpotato. *The 3rd International Symposium on Biological Shape Analysis*. The University of Tokyo.

〔図書〕(計 2 件)

Tatsuta H, N Kumano.(2015) Sexual differences in distress sounds in the West Indian sweet potato weevil *Euscepes postfasciatus*. *Proceedings of the 3rd*

International Symposium of the Biological Shape Analysis, P. Lestrel (ed), pp. 79-89, World Scientific, Singapore.

Kumano N, K Tsurui, T Toyosato, H Tatsuta.(2015) Morphometric analysis of intraspecific variation of the elytral shape between the wild- and mass-reared sweet potato weevil *Cylas formicarius*. *Proceedings of the 3rd International Symposium of the Biological Shape Analysis*, P. Lestrel (ed), pp. 90-105, World Scientific, Singapore.

〔産業財産権〕

○出願状況(計 1 件)

名称:振動を用いた害虫の行動制御により植物を保護する方法

発明者:高梨琢磨,小池卓二,松井康浩,上地奈美,立田晴記ら(他6名)

権利者:同上

種類:特許

番号:特許願 2016-244162

出願年月日:平成28年12月16日

国内外の別:国内

〔その他〕

<http://sites.google.com/site/harukitatsuta>

6. 研究組織

(1)研究代表者

立田 晴記 (TATSUTA, Haruki)

琉球大学・農学部・教授

研究者番号:50370268

(2)研究分担者

辻 瑞樹 (TSUJI, Mizuki)

琉球大学・農学部・教授

研究者番号:20222135

二見 恭子 (FUTAMI, Kyoko)

長崎大学・熱帯医学研究所・特任助教

研究者番号:30432983

足達 太郎 (ADATI, Taro)

東京農業大学・国際食料情報学部・教授

研究者番号:50385506

溝田 浩二 (MIZOTA, Koji)

宮城教育大学・環境教育実践研究センター・准教授

研究者番号:00333914

熊野 了州 (KUMANO, Norikuni)

帯広畜産大学・環境農学研究部門・准教授

研究者番号:90621053

(3)連携研究者
なし

(4)研究協力者
ラジェミソン・バルサマ (RAJEMISON,
Balsama): チンバザザ動植物公園