

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 17 日現在

機関番号：82101
 研究種目：基盤研究 C
 研究期間：2010 年～2012 年
 課題番号：22570031
 研究課題名（和文）侵略的外来種アルゼンチンアリにおけるスーパーコロニーの進化と維持機構の解明
 研究課題名（英文）The evolution and maintenance of supercolony in the invasive Argentine ant
 研究代表者：井上 真紀 (Maki Inoue)
 独立行政法人国立環境研究所・生物・生態系環境研究センター・特別研究員
 研究者番号：80512590

研究成果の概要（和文）：

南米原産のアルゼンチンアリは、複数の多女王制巢からなるスーパーコロニー（SC）を形成する。本研究では、同じ遺伝子型を持つ非敵対性 SC が世界中に広く分布している一方、小規模で異なる遺伝子型を持つ SC が局所分布していることが明らかになった。また、側所分布する 4 つの SC は遺伝的に互いに独立しており、ひとつの繁殖ユニットとして機能することが示された。局所的に分布する小規模 SC が逃避行動を示し、巨大 SC は集団敵対性が強いことが明らかになった。このことから、他コロニーを駆逐し優占し、巨大 SC が世界中に分布すると考えられる。

研究成果の概要（英文）：

The Argentine ant, *Linepithema humile*, is highly polygynous and possesses a social structure, called supercolony (SC). In this study, different populations widely distributed across the continent share the same haplotype, whereas small SCs are pettily distributed in the restricted areas. The genetic analysis suggested that gene flow among SCs is very limited, and SCs are closed reproductive units. Furthermore, the workers from small SC showed their escape behavior and whereas the workers from massive SC attacked the workers from other SCs in groups. Our findings suggested that a massive SC displace other SCs and form the huge colonies across the globe.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
2012 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：基礎生物学：生態・環境

キーワード：社会性昆虫、外来生物、スーパーコロニー、遺伝子流動、マイクロサテライト

1. 研究開始当初の背景

侵略的外来種アルゼンチンアリ（写真右）は、南米原産で、世界中に侵入し、分布拡大している。侵入地では、在来種の減少などの生態系影響や農作物や人への被害が報告されており (Holway 1999)、**国際自然保護連合の侵略的外来種ワースト 100** に選定されている。

多くのアリ類では、女王とその娘ワーカーから成るコロニーを作り、女王が産卵を、ワーカーが育児や採餌を担う。ワーカーは同種を含む侵入者から巣を守り、血縁選択を通じてワーカーの形質が子孫へと伝えられると考えられている。しかし、アルゼンチンアリのコロニーは多数の女王を有し、そのサイズは巨大で、数百あるいは数千の巣がネットワークで繋がり、女王やワーカーは巣間を自由に移動することができる。この社会構造を**スーパーコロニー**という。スーパーコロニー内の個体間血縁度はきわめて低く、なぜこのような社会構造が進化し維持されているかは、社会性進化における大きな謎とされてきた。

他の外来アリも侵入地でスーパーコロニーを形成するが、いずれも規模は小さい (Holway 1999)。アルゼンチンアリは、侵入地であるヨーロッパ南部の地中海沿岸で、6000kmにわたって1つのスーパーコロニーを形成することが知られている (Giraud et al. 2002)。同様に、カリフォルニアでは 900km、オーストラリアでは 100km に及ぶ (Tsutsui et al. 2003; Suhr et al. 2009)。原産地では、25-500m 程度の小規模スーパーコロニーが多数分布し、その分布や数は年変動する (Vogel et al. 2009)。このことから、侵入地で**巨大なスーパーコロニーを形成することにより、種内競争コストを削減し、生態的優位性を獲得した結果、侵入種として成功し**

ていると考えられている。日本では、関東以西に侵入しているが、そのほとんどの個体群が1つの非敵対性スーパーコロニーに属する (Sunamura et al. 2007)。さらに、Sunamura et al. (in press)による行動学的手法と申請者 (Inoue & Goka 2009)による分子遺伝学的手法によりヨーロッパおよびアメリカ、日本、オーストラリアに分布するアルゼンチンアリは、敵対せず、同じミトコンドリア DNA 遺伝子型を持つことが明らかになった。つまり**1つの巨大な非敵対性スーパーコロニーが世界中に分布している**といえる。一方、ヨーロッパおよびカリフォルニアには、巨大スーパーコロニーのほか小規模なスーパーコロニーが局所的に分布している。日本にも、兵庫県神戸市に4つのスーパーコロニーが側所分布しており、スーパーコロニー間で敵対行動が見られ (Sunamura et al. 2007)、さらに異なる遺伝子型を持つ (Inoue & Goka 2009)。

2. 研究の目的

これまで巨大スーパーコロニーの生態特性は、原産地の小規模スーパーコロニーとの比較で行われており、侵入地の小規模スーパーコロニーとは行われてこなかった。そこで、本研究では、侵入地のスーパーコロニーの生態特性を明らかにするとともに、スーパーコロニーにおける遺伝構造や血縁度を明らかにすることで、**アルゼンチンアリの巨大スーパーコロニーと小規模スーパーコロニーの進化と維持機構**の解明を目指すことを目的とする。

3. 研究の方法

(1) サンプル採集

アルゼンチンアリは、国内全ての侵入地で採集を行った。海外個体群においては、侵入地ハワイを含むアメリカ合衆国、オーストラリ

ア、ニュージーランド、スペインのサンプルを収集した。

(2) mtDNA の分子系統解析

DNA データバンクおよび文献情報から、プライマーを設計し、PCR 法によりミトコンドリア DNA の COI、COII および cytochrome *b* 領域の増幅を行い、ABI 3770 DNA analyzer で塩基配列情報を取得した。得られた塩基配列情報と、DNA データバンクの配列情報は、MEGA5 を用いてアライメントを行い、最節約系統樹を作成した。

(3) 繁殖虫の出現消長

兵庫県神戸市に分布する 4 つのスーパーコロニー (Kobe A, Kobe B, Kobe C, Japanese main) を対象に、各 3 巣の女王とオスの出入りを 16:30~19:30 の間に 10 分間カウントした。

(4) 敵対性試験

ワーカーのオスに対する敵対性レベルを明らかにするために、兵庫県神戸市の 4 つのスーパーコロニー各 3 巣からワーカーとオスを採集し、直径 4cm のプラスチック容器に導入し、敵対行動を 5 分間観察した。スコアは、0: 無視、1: 逃避、2: 防御、3: 攻撃、4: 負傷・死亡とし、ワーカー・オスの 6 ペア、コントロールとしてワーカー同士 2 ペアを戦わせた。得点は最大値の平均値とした

また、ワーカー間の敵対性レベルの季節変動を明らかにするために、同調査地でワーカー同士 6 ペアを対象に 2 ヶ月おきに実施した。

さらにワーカー同士 6 ペアの敵対性試験を 3 回実施し、逃避行動の回数を計数するとともに、ワーカー同士 1 つのスーパーコロニーから 10 個体、対するスーパーコロニーから 1 個体を敵対させて集団敵対行動を観察した。

(5) マイクロサテライト遺伝子座解析

繁殖期の前後にあたる 5 月、9 月に兵庫県神戸市の各巣からワーカー 20 個体を採集し、マイクロサテライト 7 遺伝子座の解析を実施した。プライマーは、Lhum-3, Lhum-18, Lhum-19, Lhum-28, Lhum-52, Lihu-M1, Lihy-S3 (Kriger & Keller 1999; Tsutui et al. 2000) を用いた。

(6) 餌探索能力

ワーカーを約 40~50 個体容器 (ミニコロニー) に入れ、24 時間絶食状態にし、50cm×30cm の容器の片方にミニコロニーを、もう片方に砂糖水を設置し、1 個体目、2 個体目の到達時間を計った。また、2 個体目到達以降、2 分間で採餌した個体数を数えた。

4. 研究成果

(1) アルゼンチンアリの遺伝構造

国内外の 38 の侵入地から mtDNA を解析した結果、6 つのハプロタイプがみつきり、内 5 つのハプロタイプを日本の侵入個体群が有することが明らかになった。ハプロタイプ LH1 は、日本、ヨーロッパ、北米、オーストラリア、ニュージーランドと広く世界中に分布していた。ハプロタイプ LH3 は、日本 (Kobe B) および北米の複数のスーパーコロニーが共有していた。3 つのハプロタイプ LH2、LH5、LH6 は、それぞれ日本の Kobe A と Tokyo、スペインの Catalanian スーパーコロニーが有していた。ハプロタイプ LH4 は、日本の Kobe C とアメリカ・フロリダ個体群が共有していた。それぞれのスーパーコロニーは 1 つのハプロタイプのみを有していた。

(2) 繁殖虫の季節消長

いずれのコロニーでも、女王・オスともに 5 月下旬から出現をはじめ、7 月上旬から下旬にかけて観察された。Kobe C は、オスのピー

クが6月上旬から下旬にみられ、他のスーパーコロニーと異なっていた。また、繁殖虫は巣穴付近にとどまり、結婚飛行は観察されなかった。

(3) ワーカーのオスに対する敵対行動

ワーカー同士の敵対性レベルは、平均 3.44 ± 0.28 であったのに対して、ワーカーとオスのペアでは、 1.57 ± 0.30 と低く、スーパーコロニー間におけるワーカーのオスへの攻撃は弱いことが明らかになった。

(4) ワーカー間の敵対性レベルの季節変動

ワーカー間の敵対性レベルに変動がみられたが、季節とは相関がなかった。また、Japanese main は他のスーパーコロニーの敵対性レベル変動に同調傾向があった。

(5) 逃避行動と集団敵対行動

Kobe C が有意に他コロニーに対して逃避行動をとった (T test, $P < 0.05$)。一方、集団敵対行動では、敵対性レベルはいずれの組み合わせでも高かったが、行動に違いがみられた。10 個体の抽出が Japanese main と Kobe B の場合、他コロニーの1個体に対して、複数のワーカーが攻撃を行ったのに対して、Kobe A と Kobe C では、戦う個体以外は避ける傾向があった。

(6) マイクロサテライト遺伝解析

遺伝子座あたりの対立遺伝子数は、平均 8.57 (1~9) であり、Kobe C がもっとも遺伝子座あたりの対立遺伝子数が多く、Japanese main がもっとも少なかった。相関係数 F_{ST} 値は、 $0.027 \sim 0.414$ で、コロニー間および同じコロニーでも季節間で有意に大きかった ($P < 0.05$)。5月の、Kobe C と Japanese main 間、もっとも遺伝的分化が大きかった。また、

地理的距離と遺伝的距離に相関はなかった。STRUCTURE 解析を行った結果、遺伝子流動は非常に低頻度で起きていることが明らかになった。

(7) 餌探索能力

1 個体目、2 個体目それぞれの餌への到達時間は、スーパーコロニー間で有意に差はなかったが (One-way ANOVA, $P > 0.05$)、Kobe A は他コロニーより時間がかかる傾向があった。一方、2 分間の採餌個体数はスーパーコロニー間で有意に異なり ($P < 0.05$)、特に Kobe C が他コロニーに比べ、採餌個体の割合が多かった。このことから、スーパーコロニー間で採餌行動に異なる傾向がみられた。

以上の結果から、(1) アルゼンチンアリのスーパーコロニー間では遺伝子流動がほとんどなく、スーパーコロニーはひとつの繁殖ユニットとして機能している可能性が示唆された、(2) スーパーコロニー間で異なる行動様式 (animal personality) がみられた。このことから新天地に有利な行動様式を持つ巨大スーパーコロニーが優占し、他スーパーコロニーと遺伝流動がないことで、その形質が維持され、広域に分布を拡大したことが推測された。

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 2 件)

① Inoue MN, Sunamura E, Suhr EL, Ito F, Tatsuki F & Goka K. (2013) Recent range expansion of the Argentine ant in Japan. Diversity and Distribution 19(1): 29-37.

② 井上真紀 (2012) 外来アリの世界侵略史と社会構造. 地球環境 17(2): 119-126

[学会発表] (計 15 件)

- ① Maki Inoue & Koichi Goka.
Understanding invasion history and the eradication project of the Argentine ant in Japan. XXIV International Congress of Entomology. Deagu, Korea. AUG 2012.
- ② Maki Inoue, Fuminori Ito & Koichi Goka. Understanding invasion history: the recent range expansion and population genetics of the Argentine ant in Japan. 3rd Meeting of IUFRO Working Unit 7.03.12. Tokyo, Japan. JUN 2012
- ③ Maki Inoue. Eradication projects of the alien insects in the Great Economic, Japan. Joint Meeting the 59th Annual Meeting of ESJ and the 5th EAFES International Congress. Shiga, Japan. MAR 2012
- ④ Maki Inoue & Koichi Goka. Understanding invasion history and the eradication project of the Argentine ant in Japan. 25th International Congress for Conservation Biology. Auckland, New Zealand. DEC 2011.
- ⑤ Maki Inoue. Argentine ant genetics in Japan. International Invasive Ant Management Workshop. Darwin, Austria, APRIL 2010.

他 10 件

[図書] (計 1 件)

- ① 井上真紀 (2012) 第 13 章 遺伝子で見た野生生物の人為流動－外来アリ類を例に. 「生態系の暮らし方 アジア視点の環境リスク－マネジメント」 小池文人・金子信博・松田裕之・茂岡忠義編著, p. 193-209. 東海大学出版会

6. 研究組織

(1) 研究代表者 井上真紀

(Maki Inoue)

独立行政法人国立環境研究所・生物・生態系環境研究センター・特別研究員
研究者番号：80512590

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者 伊藤文紀

(Fuminori Ito)

香川大学・農学部・教授
研究者番号：50260683