

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：32612

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K14786

研究課題名(和文) 社会性アブラムシにおける寿命の進化を駆動する生態的・生理的要因の解明

研究課題名(英文) Ecological and physiological factors driving the evolution of longevity in social aphids

研究代表者

植松 圭吾 (Uematsu, Keigo)

慶應義塾大学・法学部(日吉)・助教

研究者番号：00793861

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、ムネアブラムシ族のアブラムシがイスノキに形成する完全閉鎖型のゴール(虫こぶ)内で長期生存する際の個体数の変化・生理状態の変化について、野外調査および室内実験に基づいて検証した。その結果、無翅成虫は加齢に伴い体重を大幅に減少させながらも長期にわたり生存すること、また完全閉鎖ゴール内は低酸素環境であることが明らかになった。加えて、RNA-seqを用いた遺伝子発現解析により、加齢に応じて発現が亢進・減少する遺伝子・転移因子等を同定した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

老化を理解することは学術的のみならず、高齢社会を迎えた我々にとって重要な社会的・経済的課題である。ムネアブラムシ族は、アブラムシの中では非常に長寿であり、また繁殖終了後の利他行動が進化した、昆虫において重要なグループである。本研究結果は、虫こぶ内の閉鎖環境という生態に着目し、生態学的・生理学的に解析し、なぜ閉鎖環境化で長寿および利他行動が進化したのかを系統的に探る上で重要となる基礎データを得た先駆的な研究である。

研究成果の概要(英文)：We examined seasonal changes in the population structure and physiology of the gall-forming nipponaphidine aphids in the completely closed gall formed on *Distylium racemosum* by using field surveys and laboratory experiments. We found that the aged individuals survived while significantly losing their body weight and that the closed space inside the gall was in a hypoxic environment. In addition, by using RNA-seq we identified genes and transposable elements whose expression increased or decreased with aging.

研究分野：進化生態学

キーワード：虫こぶ アブラムシ 寿命 酸素濃度 遺伝子発現 進化

1. 研究開始当初の背景

なぜ、誰しもが老い・死を迎えるのだろうか？どうすれば健康に長生きできるのだろうか？老化を理解することは学術的のみならず、超高齢社会を迎えた我が国にとって喫緊の社会的・経済的課題である。進化生態学では生活史の進化理論によって、老化をもたらす究極要因の説明に対する試みが行われてきた。また、ショウジョウバエなどのモデル生物を用いた実証研究によって、老化・長寿の生理メカニズムについても明らかにされつつある。モデル生物以外では、アリ・ハチ・シロアリなどの真社会性昆虫で、女王・ワーカー間での寿命の違いをもたらす生理的・遺伝的基盤が盛んに研究されている。

これまでの研究代表者の研究から、社会性を持つアブラムシ類でも長寿が進化したことがわかってきた。ムネアブラムシ族はイスノキに閉鎖的なゴール（虫こぶ）を作り、巣として利用する。このグループでは、無翅成虫が繁殖終了後も3週間以上にわたり生存し、利他的な自己犠牲行動を行うことがわかっている。また、この繁殖終了後も生存する無翅成虫は、約1年にわたり生存する。これは *r* 戦略の典型例として認識されているアブラムシの中では異常なほどの長寿である。

研究代表者の研究してきたムネアブラムシ族は、この繁殖終了後の利他行動が進化した昆虫において重要なグループであるが、これまで行動生態学的な研究にとどまり、長寿をもたらす生理機構・分子機構についての研究は皆無であった。また、なぜ閉鎖ゴールを示す種で長寿が進化したのか、その生態的要因・適応的意義は未解明であった。

2. 研究の目的

本研究では、社会性アブラムシにおける長寿の進化について、異なる種間・表現型多型間比較によって長寿に関わる生理・分子メカニズムを特定し、閉鎖空間への適応が長寿の進化を駆動した可能性を検証することを目的とした。

具体的には、以下の課題について研究を行った。

- (1) 閉鎖ゴール内部の酸素濃度の測定
- (2) 閉鎖ゴール内部のアブラムシの集団レベル・個体レベルでの季節に応じた生理的变化
- (3) 無翅成虫における加齢に伴う遺伝子発現の変化

3. 研究の方法

- (1) 繁殖終了後の長期生存に伴う生理的变化を調べるため、2週間もしくは1ヶ月毎にゴールを野外で採集し、ゴールの重量変化、内部のアブラムシ全体の重量変化、無翅成虫1個体の体重変化、有翅成虫1個体の体重変化について計測した。
- (2) 光学式酸素濃度測定システム (NeoFox-GT, Ocean Optics 社) と、付属するニードル型の酸素プローブを用いてゴール内部へ穿孔し、励起光を照射した際の蛍光強度の減少の程度から、ゴール内の酸素濃度を計測した。
- (3) モンゼンイスアブラムシにおいて、無翅成虫の若齢成虫と老齢成虫間で遺伝子発現をRNAseqにより比較した。total RNAを虫体から抽出し、cDNAライブラリーを調製後、Illumina社のシーケンサー (Novaseq 6000) で配列を解析し、得られた配列データから統計解析により、老齢成虫で有意に発現が亢進・減少する遺伝子を抽出した。

4. 研究成果

(1) 完全閉鎖ゴール内の酸素濃度を計測した結果、ムネアブラムシ族のゴール内部は大気中よりも酸素濃度が有意に低下していた（図1）。特に、閉鎖ゴールの存続期間が長く、繁殖終了後の寿命も数ヶ月にわたるモンゼンイスアブラムシにおいては、酸素濃度も11-16%と最も低く、長寿に酸素濃度の低下がもたらす低代謝が関連している可能性が示唆される。

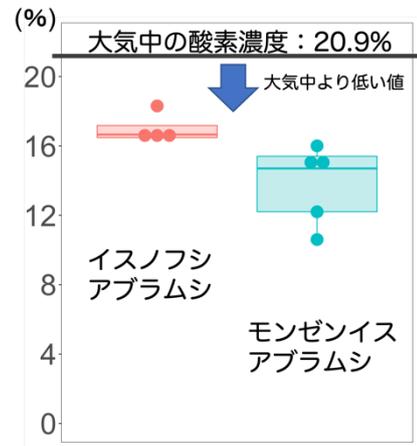


図1. ゴール内の酸素濃度.

(2) 加えて、内部のアブラムシの齢構成および、生理状態の指標として体重を測定した。その結果、モンゼンイスア

ブラムシではゴール形成最終年度の無翅成虫は、繁殖を終了するに伴い体重が減少し、ゴールが裂開する直前の11月には繁殖期の約4分の1から5分の1の体重になりながら、長期にわたって生存することがわかった（図2）。一方で有翅虫はゴール裂開直前に急激に成長・増加し、最終的に有翅成虫の体重は誕生時の約100倍、無翅成虫の約40倍にもなった。また、ゴール内の虫の体重変化は裂

開直前に急激に増加し、最終的にゴール重量の1割以上を占めるようになった。これらの結果は、ゴール内で生涯を終える無翅成虫への投資を可能な限り抑え、ゴール脱出後の繁殖に貢献する有翅成虫により多くの資源を分配するというコロニー全体としての生活史戦略を反映しており、それらが無翅成虫の長寿、および繁殖終了後の利他行動が進化する前段階にあったことが示唆される。

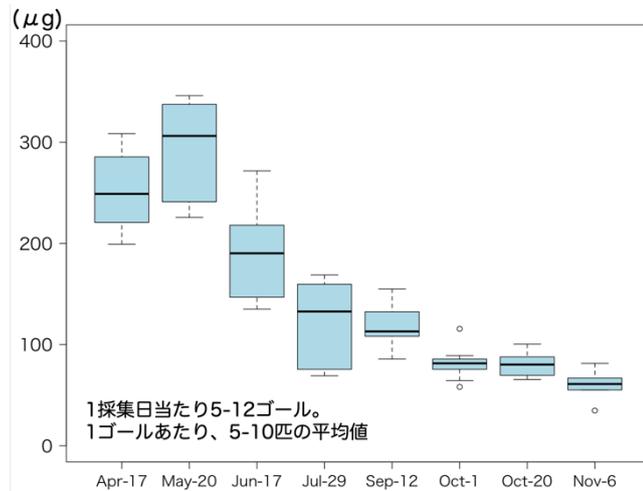


図2. 無翅成虫の体重変化.

(3) また、モンゼンイスアブラムシの繁殖終了後も生き残る無翅成虫については、春の繁殖中の成虫と繁殖を終えた成虫についてRNAseq解析を行い、加齢に伴い発現が大きく変動する遺伝子、特に発現が増加する遺伝子を統計的に解析した。その結果、非常に多数のレトロトランスポゾン（転移因子）が高発現していることがわかった。また、細胞膜の物質輸送に関わるとされるイオンチャネル・トランスポータータンパク質遺伝子の発現が亢進していた。これらのレトロトランスポゾンの高発現が老齢成虫の細胞および個体としての機能に何らかの影響を及ぼしていることが示唆されるが、今後、より詳細な組織学的・分子生物学的解析によって明らかにする必要がある。また、老齢の無翅成虫が防衛行動を行うヨシノミヤアブラムシでも同様の遺伝子発現パターンを示すかについても調査することが重要となるだろう。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 植松圭吾
2. 発表標題 社会性アブラムシにおける長寿の進化をもたらす要因
3. 学会等名 日本動物行動学会大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------