

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K08152

研究課題名（和文）長寿命昆虫ヤマトシロアリの生存戦略

研究課題名（英文）Survival strategy of the long-lived termite, *Reticulitermes speratus*

研究代表者

井内 良仁 (Iuchi, Yoshihito)

山口大学・大学院創成科学研究科 准教授

研究者番号：60272069

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）：短寿命の昆虫種の中にあつて「寿命と生殖のトレードオフ」を打ち破り、10年以上の超長寿命と多産を可能にしたヤマトシロアリの生存戦略について、抗酸化システムに注目した解析を行った。その結果ヤマトシロアリは他種の昆虫に比べて非常に優れた抗酸化システムを有しており、特に長寿の生殖虫では抗酸化酵素そして酸化傷害修復酵素がその長寿命と高い生殖能に積極的に働いていることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

長寿を可能にしたシロアリの戦略はヒトとは一見異なるように見える。しかし、本研究からヒトの老化抑制・健康寿命延長にも応用可能な知見が得られたと我々は考えている。今まで老化・寿命の生物モデルとして扱われてこなかった生物を、真に長寿命な生物として研究対象として取り扱うことが可能であることを示したことで、今後のこの分野のブレークスルーが期待できる。

研究成果の概要（英文）：Almost of all insects exemplify the theory of “trade-off” between longevity and reproduction. Among these, Japanese one of the eusocial insects, *R. speratus* break through that theory and have extraordinary long lifespan with high reproductivity. We hypothesised that long-lived termites have strong oxidative defence mechanisms and investigated. As a result, we found that *R. speratus* have an excellent antioxidative system. Especially, termite reproductives showed high expression of the antioxidant enzymes as well as injury repair enzymes. These indicates that an efficient antioxidant system positively functions to their longevity.

研究分野：生化学

キーワード：長寿命解析 シロアリ 抗酸化システム 活性酸素 抗酸化酵素

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

一般的に動物は寿命の長いものほど子供の数が少なく、短いものほど多産であり、これは一方を取れば他方を犠牲にしなければならない関係すなわち「寿命と生殖のトレードオフ」として広く知られている。ほとんどの昆虫は寿命が数週間～1年未満であるが非常に多産という「寿命と生殖のトレードオフ」を体現している代表種であるが、その中にそのトレードオフを打破し、長寿命で且つ多産な昆虫種が存在する。それがシロアリに代表される社会性昆虫の生殖虫(王・女王)で、短命な昆虫の中にあって10年以上という超長寿命を誇る。このことは寿命に関する興味だけではなく、長期にわたって生殖能力を維持しているという事を意味し、老化抑制・健康寿命という観点からも注目に値する。しかしながら長寿命と多産を可能としたシロアリの生存・生殖戦略については全く未解明であった。

### 2. 研究の目的

短寿命の昆虫種の中にあって「寿命と生殖のトレードオフ」を打ち破り、10年以上の超長寿命と多産を可能にしたシロアリ生殖虫の生存戦略について、ヒトの老化抑制・健康寿命延長に繋がるような知見を得ることを目的とする。

### 3. 研究の方法

我々はまず、活性酸素による傷害に代表される酸化ストレスの大きい環境下ではどのような生物も長生きは不可能であろうと考え、長寿命生物は優れた抗酸化システムを有しそれを生存・生殖戦略に役立てているのではないかと仮説を建てた。本研究室ではヤマトシロアリを不老長寿の生物モデルとして用い、抗酸化システムに注目した解析を行った。

### 4. 研究成果

1) 各種昆虫間で体内に有する抗酸化能(フリーラジカル消去能)を比較したところ、ヤマトシロアリカースト全体的に他の昆虫種に比べて抗酸化能が顕著に高かった。LC-MS/MSを用いた分析から、この抗酸化物質が尿酸であることがわかった。また、この尿酸がシロアリの長期生存に必須であり、なおかつ尿酸を体内で抗酸化物質として積極的に利用していることを明らかにした。

2) ヤマトシロアリ女王を低酸素環境におくと好気呼吸を抑制し、嫌気代謝を行うことがわかってきた。さらに、単に低酸素に耐える能力が強い訳ではなく、通常酸素濃度よりも低酸素濃度下で生存率が上昇し、低酸素にすることで産卵を始めることがわかった。このことは、女王が通常酸素ではなく巣の中核のような低酸素条件を好み、その環境に合わせて代謝調節を行いそして生殖活動を行うことを意味する。

3) 抗酸化システムは抗酸化物質のみで成立する物では無く、抗酸化酵素も重要な働きを行っている。ヤマトシロアリカースト全体で様々な抗酸化酵素活性及びその発現を調べた結果、女王でスーパーオキシドディスムターゼ、カタラーゼ、そしてペルオキシレドキシンの発現が顕著に高く、また女王では酸化傷害も抑制されていた。これは、女王では抗酸化酵素がその長寿と生殖双方にポジティブに働いている可能性を示唆する。

4) ヤマトシロアリは活性酸素の発生自体を抑制していることに加え、高い抗酸化酵素活性を有するが、わずかの酸化傷害も生じさせないことは不可能である。特に生殖虫は傷害を受けた生体分子を修復する能力も優れているのではないかと仮説を建て、DNA修復関連遺伝子についてその発現をカースト間で調べた。その結果、生殖虫において、DNA修復関連

酵素遺伝子の顕著に高い発現を認めた。

以上のように、ヤマトシロアリは他種の昆虫に比べて非常に優れた抗酸化システムを有しており、特に長寿の生殖虫では抗酸化酵素そして酸化傷害修復酵素がその長寿命と高い生殖能に積極的に働いていることが示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Tasaki E, Mitaka Y, Nozaki T, Kobayashi K, Matsuura K, Iuchi Y	4. 巻 10
2. 論文標題 High expression of the breast cancer susceptibility gene BRCA1 in long-lived termite kings.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Aging-US	6. 最初と最後の頁 2668-2683
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.18632/aging.101578">https://doi.org/10.18632/aging.101578</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Utsumi T, Matsuzaki K, Kiwado A, Tanikawa A, Kikkawa Y, Hosokawa T, Otsuka A, Iuchi Y, Kobuchi H, Moriya K	4. 巻 13
2. 論文標題 Identification and characterization of protein N-myristoylation occurring on four human mitochondrial proteins, SAMM50, TOMM40, MIC19, and MIC25.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0206355
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206355">https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206355</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Srianta I, Zubaidah E, Estiasih T, Iuchi Y, Harijono, Yamada M	4. 巻 24
2. 論文標題 Antioxidant activity of pigments derived from <i>Monascus purpureus</i> -fermented rice, corn, and sorghum.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Food Research Journal	6. 最初と最後の頁 1186-1191
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Tasaki E, Sakurai H, Nitao M, Matsuura K, Iuchi Y	4. 巻 12
2. 論文標題 Uric acid, an important antioxidant contributing to survival in termites	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0179426
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179426">10.1371/journal.pone.0179426</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tasaki E, Kobayashi K, Matsuura K, Iuchi Y	4. 巻 2018
2. 論文標題 Long-Lived Termite Queens Exhibit High Cu/Zn-Superoxide Dismutase Activity	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Oxidative Medicine and Cellular Longevity	6. 最初と最後の頁 5127251(8pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1155/2018/5127251	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tasaki E, Kobayashi K, Matsuura K, Iuchi Y	4. 巻 12
2. 論文標題 An Efficient Antioxidant System in a Long-Lived Termite Queen.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0167412
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0167412	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tasaki E, Matsuura K, Iuchi Y	4. 巻 27
2. 論文標題 hypoxic conditions enhance survival and reproductive activity in royals.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Insect Molecular Biology	6. 最初と最後の頁 808-814
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/imb.12519	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 1.Tasaki E, Matsumoto S, Tada H, Kurahashi T, Zhang X, Fujii J, Utsumi T, Iuchi Y	4. 巻 60
2. 論文標題 Protective role of testis-specific peroxiredoxin 4 against cellular oxidative stress.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J Clinic Biochem Nutr	6. 最初と最後の頁 156-161
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3164/jcbrn.16-96	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 田崎 英祐, 松浦 健二, 井内 良仁
2. 発表標題 長寿かつ多産を実現する抗酸化システム: シロアリの女王特異的に発現するカタラーゼの機能解析
3. 学会等名 第41回日本分子生物学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮本実奈, 栗林宏美, 橋本麻奈美, 田崎英祐, 佐伯真二郎, 井内良仁
2. 発表標題 肥満モデルマウスに対する昆虫資源の機能性評価
3. 学会等名 第71回日本酸化ストレス学会学術集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田崎英祐, 小林和也, 松浦健二, 井内良仁
2. 発表標題 長寿昆虫シロアリ女王の優れた抗酸化システム
3. 学会等名 第71回日本酸化ストレス学会学術集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮本実奈, 栗林宏美, 橋本麻奈美, 佐伯真二郎, 井内良仁
2. 発表標題 昆虫食の認知と普及について
3. 学会等名 日本農芸化学会中四国支部第51回講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田崎 英祐, 小林 和也, 松浦 健二, 井内 良仁
2. 発表標題 真社会性昆虫ヤマトシロアリの長寿命分子メカニズムの解明に挑む
3. 学会等名 2017年度生命科学系学会合同年次大会 (ConBio2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 井内 良仁, 栗林 宏美, 藤田 晃大, 柿園 博美, 田崎 英祐, 佐伯 真二郎
2. 発表標題 昆虫食のメタボリックシンドローム改善効果
3. 学会等名 2017年度生命科学系学会合同年次大会 (ConBio2017)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<a href="http://www.agr.yamaguchi-u.ac.jp/member/iuchi/index.html">http://www.agr.yamaguchi-u.ac.jp/member/iuchi/index.html</a>
---

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