

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 20 日現在

機関番号：62611

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26650168

研究課題名（和文）極限環境を生き抜く南極クマムシの生存戦略に迫る

研究課題名（英文）Life history strategy of the Antarctic tardigrade

研究代表者

辻本 恵 (Tsujiimoto, Megumu)

国立極地研究所・研究教育系・特任研究員

研究者番号：90634650

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、南極の固有クマムシ種を用いて室内実験を行うことで、南極の極限環境に生息する陸上動物の生活史や繁殖特性を初めて明らかにすると共に、緩歩動物門における繁殖老化についても世界で初めて解析した。さらに、南極で採取され30年と半年の間凍結していたコケ試料からクマムシを抽出し、蘇生と繁殖に成功したことで、南極クマムシの驚異的な長期生存能力を示すこともできた。

研究成果の概要（英文）：In this study, we observed survival and reproduction of the tardigrade species endemic to Antarctica and revealed the life history and reproductive strategy of the terrestrial animals living in Antarctica. In addition, we succeeded in documenting recovery conditions and reproduction immediately following revival of tardigrades retrieved from a moss sample collected in Antarctica in 1983 and stored frozen for 30.5 years.

研究分野：生態学

キーワード：クマムシ 南極 生存戦略 繁殖 長期生存 極限環境

1. 研究開始当初の背景

クマムシ(緩歩動物)は、世界中の陸域や海域に生息する微小動物である。クマムシはその極限環境耐性能力(乾燥、低温、真空、放射線等)に大きく焦点が当てられ、国内外で耐性能力の限界や、耐性機能の生理学的機構とその遺伝学的な背景に関して様々な研究が進められている。これらの研究でクマムシの極限環境耐性能力として調べられているのは主に、乾燥した状態で生命活動を休止している「乾眠」と呼ばれるステージにおける耐性能力と、その後に水分回復した際の蘇生(生命活動の再開)、あるいは蘇生卵の孵化である。しかしながら、生物が現実の極限環境を生き抜くとは、厳しい環境に耐えながらも、その環境中でいかに成長、繁殖をつづけて生活史を回し、個体群を存続できるかであるという観点が欠けている。

実際の生息環境内での生態がほとんど知られていないクマムシでは、飼育系が初めて確立されたのはごく最近のことである。応募者は地球上の極限環境の一つである南極に生息するクマムシの飼育系を確立した。南極の陸上環境は1年の4分の3以上は凍結(乾燥)している。生物が生命活動を行うことができるのは、生理反応に利用できる水供給のある、夏先の雪解け開始後の数カ月未満であると考えられる。南極の陸上環境は、極度の低温や乾燥、限られた繁殖期間という、まさに生物にとっての極限環境である。

2. 研究の目的

そこで応募者は、南極の詳細な生息環境を把握すると共に、南極クマムシの生活史や繁殖生態、またそれらの温度特性や環境ストレスとの関係性を調べることで、極限環境を生き抜くクマムシの生存戦略を明らかにできると考えた。

3. 研究の方法

南極の固有種であり、南極域でも最も過酷な陸上環境で広域に分布し優先しているクマムシ種 *Acutuncus antarcticus* (Richters, 1904) の飼育個体を用いて室内実験を行い、生活史と温度特性、環境ストレス下の生活史を明らかにする。また、南極でフィールド調査を行い *A. antarcticus* の生息環境の年間変動を把握する。それらのデータから、南極の極限環境において *A. antarcticus* がどのように成長し、繁殖しているのかを明らかにする。以上の結果から、極限環境を生き抜く南極クマムシ *A. antarcticus* の生存戦略を明らかにする。

4. 研究成果

まずは 5、10、15、20 の異なる温度下で *A. antarcticus* を飼育し、南極クマムシの生活史や繁殖、それらの温度特性を調べた。

その結果、15 で飼育した南極クマムシは卵の孵化率が 97%以上と非常に高く、これまで報告のある温帯種のクマムシに比べて繁殖能力が高いことが分かった (Tsuji moto et al. 2015 Polar Biology)。

また、一定温度下で飼育した *A. antarcticus* の繁殖に関するデータを詳細に解析し、孵化率や孵化にかかる日数などの繁殖パラメーターは日齢の影響はほとんど受けずに、本種においては繁殖老化がほとんど起らないことを明らかにした (Tsuji moto et al. 2016 Hydrobiologia)。緩歩動物門において繁殖老化について言及をしたのは本研究が世界で初めてである。

さらに、わずかな温度差で、*A. antarcticus* の生存期間や世代時間、繁殖成績が大きく変化することが分かった。また、*A. antarcticus* は 10 から 15 において最も繁殖成績が高く、南極に生息する固有種であるにも関わらず、その至適温度は比較的高いことがわかった。南極に生息する微小動物の生活史や繁殖の温度特性について明らかにしたのは、本研究が初めてである。



図1)30年半の凍結後に蘇生した南極クマムシ *Acutuncus antarcticus* の子孫 (スケールバーは0.1mm)

また別の実験では、南極の昭和基地周辺で1983年11月に採取され、30年と半年の間凍結保存されていたコケ試料から南極クマムシ *A. antarcticus* を取り出し、その蘇生直後の回復と繁殖の様子を記録することに成功した(図1、Tsuji moto et al. 2016 Cryobiology)。クマムシのこれまでの長期生存記録は9年が最長であったため、その記録を大幅に更新した。クリプトビオシス能力で知られる動物の長期生存記録の中で、30年以上の保存からの

蘇生だけでなく、蘇生直後の回復状態やその後の繁殖までを詳細に報告したのは本研究が世界で初めてである。さらに、蘇生後の回復状況や繁殖状況までを詳細に記録したことにより、30年以上にわたる長期保存によってDNA損傷が蓄積されていた可能性や、それらを蘇生後に徐々に回復している可能性が、新たに明らかとなった。

加えて、南極クマムシの生息環境を調べることを目的に、第56次日本南極地域観測隊に参加しフィールド調査を行った。2015年1月に、昭和基地周辺露岩域に生育するギンゴケ群落内に温湿度ロガーを設置し、本ロガーの記録データを2016年2月に回収した。しかしながら回収データに致命的なエラーがみつき、*A. antarcticus*が生息する南極のギンゴケ群落内における、繁殖期間の長さ、繁殖期間における温度変動と環境ストレスの頻度や強度を明らかにするには至らなかった。

本研究課題においては、南極に広域に分布している固有種であるクマムシ *A. antarcticus* を用いて室内実験を行うことで、南極の極限環境に生息する陸上動物の生活史や繁殖の温度特性を初めて明らかにすると共に、緩歩動物門における繁殖老化についても世界で初めて言及することができた。

さらに、南極で採取され30年と半年の間凍結していたコケ試料から *A. antarcticus* を抽出し、蘇生と繁殖に成功したことで、南極クマムシの驚異的な長期生存能力を示すこともできた。この研究では、30年以上にわたる長期保存によってDNA損傷が蓄積されていた可能性や、それらを蘇生後に徐々に回復している可能性が示され、長期生存研究に新たな視点を提供した。本研究成果は国内外の新聞、各種ウェブサイト等のメディアで大々的に取り上げられ、研究界においても一般社会においても非常に大きなインパクトを与えることができた。

本課題を実施することにより、これまで謎に包まれていた南極陸上動物の生存戦略に関する理解が多いに進展した。今後、本課題で得られた手法やデータを基盤とした、さらなる研究の展開が期待される。

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3件)

Tsujimoto, M., Komori, O., and Imura, S. Effect of lifespan and age on reproductive performance of the tardigrade *Acutuncus antarcticus*: minimal reproductive senescence. *Hydrobiologia* 772: 93-102, 2016. 査読有
doi: 10.1007/s10750-016-2643-8.

Tsujimoto, M., Imura, S., and Kanda, H.

Recovery and reproduction of an Antarctic tardigrade retrieved from a moss sample frozen for over 30 years. *Cryobiology* 72: 78-81, 2016. 査読有
doi: 10.1016/j.cryobiol.2015.12.003.
Tsujimoto, M., Suzuki A.C., and Imura, S. Life history of the Antarctic tardigrade, *Acutuncus antarcticus*, under a constant laboratory environment. *Polar Biology*, 38, 1575-1581, 2015. 査読有
doi: 10.1007/s00300-015-1718-8.

[学会発表](計9件)

Tsujimoto, M., Convey P. and Imura, S. Reproductive strategy of the Antarctic tardigrade, *Acutuncus antarcticus*, contributing to its widespread distribution within Antarctica. VII Symposium on Polar Science 2016年11月29日 国立極地研究所(東京都立川市)
Tsujimoto M., Suzuki A.C., McInnes S.J., Convey P., Nakai R. and Imura S. Tardigrade diversity of Inhovde, Dronning Maud Land in East Antarctica. VII Symposium on Polar Science 2016年11月29日~30日 国立極地研究所(東京都立川市)

Suzuki A.C., Tsujimoto M., Kagoshima H. and Imura S. An undescribed tardigrade of genus *Milesium* from Inhovde, East Antarctica. VII Symposium on Polar Science 2016年11月29日~30日 国立極地研究所(東京都立川市)

Tsujimoto M., Imura S. and Kanda H. Recovery and reproduction of an Antarctic tardigrade retrieved from a moss sample frozen for over 30 years. XXII International Conference of Zoology 2016年11月17日~18日 沖縄コンベンションセンター(沖縄県宜野湾市)

Tsujimoto, M., Convey P. and Imura, S. Life history strategy of the endemic tardigrade species, *Acutuncus antarcticus*. Scientific Committee on Antarctic Research Open Science Conference, 2016年8月22日 クアラルンプール(マレーシア)

Tsujimoto, M., and Imura, S. How will the Antarctic terrestrial invertebrates respond to the change in the ambient temperature? VI Symposium on Polar Science 2015年11月17日 国立極地研究所(東京都立川市)

Tsujimoto, M. and Imura, S. Effect of temperature on generation time and reproductive success in the Antarctic tardigrade, *Acutuncus antarcticus*. 13th International Symposium on

Tardigrada 2015年6月24日 モデナ
(イタリア)

辻本 恵、小森 理、鈴木 忠、伊村 智、
南極クマムシ *Acutuncus antarcticus* の
15 飼育下における生活史、日本動物学会
第85回大会、2014年9月13日 東北大学
川内北キャンパス(宮城県仙台市)
Tsuji moto, M. and Imura, S. Temperature
affects the survival and reproduction
of the Antarctic tardigrade, *Acutuncus
antarcticus*. XXXIII Scientific
Committee on Antarctic Research Open
Science Conference 2014年8月25日
オークランド(ニュージーランド)

[その他]

プレスリリース:

南極のクマムシ、30年を超える凍結保存
から目覚め、繁殖に成功(2016年1月14
日発表)

<http://www.nipr.ac.jp/info/notice/20160114.html>

報道:

- Science & Vie (フランス 4月号 p19)「actus CONGELÉ PENDANT TRENTE ANS, UN TARDIGRADE REVIENT À LA VIE」2016年4月1日発行
- 産経新聞(11面)「科学 30年の凍結後に復活」2016年2月29日掲載
- 東京新聞(4面)「未知との遭遇 漂う「生命」の根源探す」2016年2月1日掲載
- 朝日中高生新聞、「GOGO 高校 大学 「地球最強」クマムシの謎に迫る」2016年2月21日掲載
- PÚBLICO(ポルトガル 32-33面)「CIÊNCIA Ursinhos-de-Água Estes animais são tão incríveis que voltaram à vida ao fim de 30 anos congelados」2016年1月23日掲載
- Macleans(カナダ)「Even 30 years of deep freeze can't stop the water bear」2016年2月22日発行
- 読売新聞(多摩版)「クマムシ蘇生 30年の保存から」2016年1月21日掲載
- 朝日新聞(1面)「天声人語」2016年1月19日掲載
- BBC radio(イギリス 5 Live)「The animals frozen for 30 years brought back to life」2016年1月18日ラジオ生出演
- FOX28(アメリカ)「Frozen 'water bears' revived after 30 years」2016年1月18日掲載
- Discover (アメリカ)「Tardigrades, Frozen for 30 Years, Spring Back to Life」2016年1月18日掲載
- Sydney Morning Herald(オーストラリア)「The creatures that came in from the cold」2016年1月17日掲載
- The Huffington Post(アメリカ)「Animals Kept In Deep Freeze For 30 years Brought

Back To Life」2016年1月17日掲載

- 毎日新聞夕刊、「近事片々 2016.1.16」2016年1月16日掲載
- Telegraph(イギリス)、「Animal brought back to life after spending 30 years frozen」2016年1月15日掲載
- Wall Street Journal(アメリカ Japan Real Time)「Japanese Researchers Revive Frozen 'Micro-animal' After 30 Years」2016年1月15日掲載
- BBC News(イギリス News From Elsewhere)「Japan: 'Water bear' reproduces after 30 years on ice」平成28年1月15日掲載
- 毎日新聞夕刊(10面)「30年冷凍クマムシが蘇生」2016年1月15日掲載
- 朝日新聞、「冷凍30年 復活・繁殖に成功」2016年1月15日掲載、他

6. 研究組織

(1)研究代表者

辻本 恵(TSUJIMOTO, Megumu)

情報・システム研究機構・国立極地研究所・特任研究員

研究者番号: 90634650