

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：15501

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K15857

研究課題名（和文）クマムシ類における脳と頭部感覚器官の進化

研究課題名（英文）Evolution of cephalic sensory organs in tardigrades

研究代表者

藤本 心太（Fujimoto, Shinta）

山口大学・大学院創成科学研究科 ・助教

研究者番号：40779758

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究はクマムシ類の中でも研究の進んでいない異クマムシ綱海産分類群について、その頭部感覚器官の進化を解明すべく実施した。なるべく多くの分類群について、電子顕微鏡による感覚器官内部の超微細構造の観察を試み、その結果、感覚器官内部の構造について新たな知見を得ることができた。そして異クマムシ綱に共通するパターンや分類群によって異なる部分もある程度判明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義
海産クマムシ類における頭部感覚器官の進化の全貌解明とはならなかったものの、解像度の高い、頭部感覚器官内部の超微細構造に関する新たな知見が得られたことで、異クマムシ綱海産分類群の感覚受容に関する研究の形態学的情報を充実させることができ、また汎節足動物における脳と感覚器官の進化を考えるための基礎的な情報を増やすことができた。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to revealed the evolution of the cephalic sensory organs in the poorly studied tardigrade taxa, marine heterotardigrades. The cephalic sensory organs of marine heterotardigrades were observed using electron microscopes and new insights were obtained. Through the observation of multiple taxa, some common patterns among heterotardigrades and taxon-specific characteristics were recognised.

研究分野：系統分類学

キーワード：超微細構造 電子顕微鏡 緩歩動物門

1. 研究開始当初の背景

異クマムシ綱海産分類群では様々な形態の頭部感覚器官が知られ、分類群の同定に用いられるなど“分類学の中で”重要とされているものの(e.g. Fontoura et al. 2017)、頭部感覚器官がどのような内部形態を持っているのか、どのような機能を持っているのか、どのような進化を経て現在に至るのか、という点に注目した研究は乏しく、異クマムシ綱海産分類群の頭部感覚器官の内部形態に注目しそれを詳細に報告した研究は Kristensen (1981)のみである。この研究では頭部感覚器官と呼ばれるもののうち感覚毛(cirrus)について詳細に報告し、棍角(clava)と呼ばれる器官については無数の微絨毛があることを簡単に述べるにとどまっていた(Kristensen 1981)。以降、異クマムシ綱海産分類群の頭部感覚器官の内部形態の情報が論文に登場したのは、Kristensen (1984) (詳しい言及なし)、Kristensen and Neuhaus (1999) (画像のみ)と Persson et al. (2014) (詳しい言及なし)、異クマムシ綱陸産分類群でも Dewel et al. (1993)が報告したのみと盛んに研究されてきたとは言い難い。

2. 研究の目的

本研究は異クマムシ綱海産分類群の頭部感覚器官について、様々な分類群の内部形態を比較観察し、海洋環境でクマムシ類の頭部感覚器官がどのように多様化・進化してきたのか、を明らかにすることを目的に実施した。

3. 研究の方法

研究開始当初、最も解像度の高い像の得られる透過型電子顕微鏡で超薄切片の観察を実施したが、切片の枚数が各個体で少なくとも数百枚と膨大で、解像度も走査型電子顕微鏡(JEOL JSM-7800 PRIME)の反射電子観察モードで十分であることが判明したことから、より試料作製が容易で、操作もしやすい走査型電子顕微鏡で観察することとした。また頭部感覚器官の3次元的情報を得るためにどの程度の厚さの間隔で切片を観察する必要があるのか、実際に電子顕微鏡観察した結果、1 μm 間隔では構造の連続性を追うことが難しく、連続超薄切片が最適であることが判明した。これらのことから、走査型電子顕微鏡の反射電子観察モードでの連続超薄切片観察(連続とならない時もあった)を本研究では実施した。また観察対象のクマムシ類の体長が100 μm から300 μm 程度で、切片作製のための樹脂包埋後、目的の頭部だけ薄切することが難しく、また頭部の輪郭から突出した形態の感覚器官もあるため、目分量で、頭部周辺の前後あるいは左右に広めに薄切する領域を設定した。そのため切片数が増え、電子顕微鏡観察時に目的箇所を探す時間も余計にかかることとなった(残念ながら、時間を短縮する方法は見つけることができなかった)。得られた切片像は順番に並べ、構造(主に細胞)の把握に努めた。また必要に応じて、走査型電子顕微鏡の二次電子観察で、観察に用いたグループの頭部感覚器官の外部形態を観察した。

試料の採集は青森県、岩手県、三重県、山口県で実施した。

4. 研究成果

(本研究の成果の一部について学会発表を行っているものの、すべて論文として発表前の段階にあるため、ここで詳述しないことをご容赦願いたい)

本研究によって、はじめて異クマムシ綱海産分類群の棍角と呼ばれる頭部感覚器官の内部の微細構造を基部も含め詳細に観察することに成功した。個体数の確保しやすいトゲクマムシ目イソトゲクマムシ科 *Echiniscoides* の未記載種について最も多くのデータが得ることで、その成果を日本動物学会で発表した。この種で得られた情報を基礎として、複数の海産分類群の観察と1種の陸産分類群の予備的観察を行った。採集で得られた個体数と試料作製の困難さから、全ての種について完璧な観察データが得られたわけではないが、異クマムシ綱の中で共通する基本的パターンを把握することができた。また頭部感覚器官について海産分類群間で異なる形質も確認したが、観察種数が少なかったことから、系統進化のどのレベルで保存され、あるいは、多様化したものなのか、特定することはできなかった。Fujimoto et al. (2017)によれば異クマムシ綱で最も早く分岐した可能性のある Coronarctidae 科 *Coronarctus* (採集できたが試料作製に失敗した)と特徴的な頭部感覚器官をもつ Styraconyxidae 科 *Angursa* (採集を試みたものの採集することができなかった)と Renaudarctidae 科 (採集できたが試料作製に失敗した)を観察できなかった点も頭部感覚器官の進化を理解する上で足枷となった。研究期間は終了したが、今後も採集と観察を実施していく予定である。

本研究は当初掲げた、海産クマムシ類における頭部感覚器官の進化の全貌解明という目標に到達することはできなかったものの、頭部感覚器官について極めて高い分解能の形態情報を得ることに成功し、先行研究(Kristensen 1981)で得られた知見を大きく更新するものとなった。

本研究によって異クマムシ綱における感覚受容に関する研究で、頭部感覚器官の棍角の重要性が増し、また形態学的アプローチの基礎的情報を充実させることができた。今回の手法で、今回観察できなかった *Coronarctus* や *Angursa* などを含め観察分類群数を増やしていくことでいずれ感覚器官の進化を明らかにすることができると思われる。クマムシ類における頭部感覚器官の進化への理解を深めることは、汎節足動物の中での（これら感覚器官を支える）脳の進化を考える上でも極めて重要であると考えられる。形態学的アプローチでの知見が充実したことで、今度は行動学的アプローチや分子生物学的アプローチから感覚受容を研究することで、頭部感覚器官の機能を絞り込んでいくことも可能になると期待される。

本研究から派生する発展的研究を有利に進める上で重要な飼育実験系については、現在受給中の科研費基盤研究 C (22K06353) で研究を遂行している。

引用文献

Kristensen RM 1981. Sense organs of two marine arthrotardigrades (Heterotardigrada, Tardigrada). Acta Zoologica 62, 27–41.

Kristensen RM 1984. On the biology of *Wingstrandarctus corallines* nov. gen. et spec., with notes on the symbiotic bacteria in the subfamily Florarctinae (Arthrotardigrada). Videnskabelige Meddelelser fra Dansk Naturhistorisk Forening 145, 201–218.

Kristensen RM, Neuhaus B 1999. The ultrastructure of the tardigrade cuticle with special attention to marine species. Zoologischer Anzeiger 238, 261–281.

Dewel RA, Nelson DR, Dewel WC 1993. Chapter 5 Tardigrada. In: Microscopic Anatomy of Invertebrates Volume 12: Onychophora, Chilopoda, and Lesser Prostomata, 143–183.

Fontoura P, Bartels PJ, Jørgensen A, Kristensen RM, Hansen JG 2017. A dichotomous key to the genera of the Marine Heterotardigrades (Tardigrada). Zootaxa 4294, 1–45.

Fujimoto S, Jørgensen A, Hansen JG 2017. A molecular approach to arthrotardigrade phylogeny (Heterotardigrada, Tardigrada). Zoologica Scripta 46, 496–505.

Persson DK, Halberg KA, Jørgensen A, Møbjerg N, Kristensen RM 2014. Brain Anatomy of the Marine Tardigrade *Actinarctus doryphorus* (Arthrotardigrada). Journal of Morphology 275, 173–190.

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 藤本心太・Kristensen, Reinhardt M. |
| 2. 発表標題 イソトゲクマムシ属の1未記載種の頭部感覚器官の内部形態について |
| 3. 学会等名 日本動物学会第93回早稲田大会 |
| 4. 発表年 2022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 |
|-------|---|-----------------------|----|
| 研究協力者 | クリステンセン ラインハルト M. (Kristensen Reinhardt M.) | | |

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 |
|---------|---------|