

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 6月 5日現在

機関番号：13801

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23740384

研究課題名（和文）三葉虫の稜線構造と行動特性の関係：

接触感知機能による外界情報認識システムの解明

研究課題名（英文）Role of terrace ridges in mechanoreceptive system in trilobites:

analogy study on fossil and extant arthropod cuticular sense organs

研究代表者

鈴木 雄太郎（SUZUKI YUTARO）

静岡大学・理学部・講師

研究者番号：50345807

研究成果の概要（和文）：三葉虫の外骨格上に分布する「稜線構造」について、神経行動学的知見を踏まえて現生甲殻類（イワガニ）の形態および行動観察との比較検討を行い、機能的な役割が接触刺激の配向性の発現であることを明らかにした。イワガニはこの感知機構にもとづいて、動作もしくは静止状況の適・不適を判断している。三葉虫においても、同様の機構にもとづいて、海底面との接触状況の適・不適の監視を行っていたと強く示唆される。

研究成果の概要（英文）：Based on the analogy and functional morphology study on exoskeletal terrace ridges of fossil trilobite and extant decapod *Pachygrapsus grassipes*, its mechanoreceptive role to revalate directivity in touch stimula is clarified. Using the perception mechanisms, the animal could judge the present situation as suitable or not. Trilobites equipped with similar perception mechanisms could monitor the condition of itself against ambient environments, such as against substrate.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・層位・古生物学

キーワード：機能・形態

1. 研究開始当初の背景

1) 顕生代における古生物の適応放散様式を明らかにする目的で、これまでに化石として保存される骨格形態の理論・機能形態学の視点から、幾何学的・力学的な機能や特性について多くの研究がなされてきた（Okamoto, 1988; Savazzi, 1999; Ubukata, 2010 など）。一方、絶滅生物の諸生命現象が、進化や適応放散様式に与えてきた影響については、ほとんど考察された例がなかった。これは、生物の行動や生理生体機構の役割を担う軟体部が化石として残らず、それらの特性がどのような様相で骨格形態に反映されるのか、理解されていないことが原因である。

2) 生物の行動特性は、外界情報の認識とそれに応じた運動によって決められる。近年の神経行動学的研究によれば、三葉虫を含む節足動物は、外界情報のインプットが、あたかも本能を表すような反射的かつ固定的行動パターンを引き起こす（Zeil & Hemmi, 2006 など）。つまり、三葉虫の行動特性とその進化様式は、節足動物に一般的な外部情報認識システムの復元によって解明できる。節足動物における外界の認識は、視覚による光学的情報だけでなく、外骨格に配列した剛毛の接触状態による物理的情報に基づく（Randall et al., 2002）。特に後者の剛毛は、個体自身の姿勢や障害物との接触状況を認識できるため、堆積物に対して常に一様な埋没および

生息姿勢を維持できるだろう(砂に潜行するエビや石の下に潜り込むカニなど)。これらの剛毛は、多くの節足動物の骨格表面に認められる稜線構造に沿って配列している(Schmalzfuss, 1978)。したがって、本研究の対象である三葉虫の表面装飾の一種、稜線構造についても、稜線構造に伴う接触感知機構を介して、「外骨格-堆積物」の関係を三葉虫自身が把握し、姿勢の維持や行動にフィードバックしていたと考えられる。申請者は、これら神経生理学や神経行動学の知見を基に、三葉虫に見られる稜線構造から接触感知システムとその生態行動的な進化様式を解明できると考え、本研究の着想に至った。

2. 研究の目的

絶滅生物である三葉虫の生息姿勢とその生理生体的特性の解明を目的として、三葉虫の外骨格上に分布する外界情報の認知機構「稜線構造」を機能形態学的に解析する。形態的な差異が著しい三葉虫を素材に、稜線構造の分布様式とその微細構造の三次元立体構築によって形態復元を行い、それらの共通性および種固有性を見出す。三葉虫が海底の堆積物上で生活していたことを考えると、底面と接触する外骨格領域では、稜線構造の機能的分化が形態の違いとして認められる可能性が高い。そこで、一連の結果を現代の神経行動学的知見と照らし合わせ、三葉虫の姿勢や行動生態的側面を、接触感知機能の点から明らかにすることを目指す。

3. 研究の方法

現生甲殻類において、危険を察知すると素早く岩の隙間に逃げ込む行動特性を持つイワガニの体サイズの異なる3個体を検討対象として、その背甲上の稜線構造および感覚毛の種類と分布様式の変化を検討する。感覚毛の分布が稜線に平行に配列することが既に判明している。体サイズ増加に伴って、稜線+感覚毛群の密度分布変化を明らかにすることで、背甲上での感知鋭敏/鈍感領域の判別が可能となる。これら感知鋭敏/鈍感領域と逃避行動との関係性を明らかにすることで、稜線+感覚毛群の機能を特定し、生命現象が失われた化石生物への適応が行えることとなる。

形態的に膨らみが著しい三葉虫 *Nileus* sp. を検討対象として、それらの骨格形態の高精細三次元立体構築を行う。これにより、骨格形態上のあらゆる位置における稜線構造の分布様式・微細形状の解明が可能となる。また、骨格形態上の相同点の座標値が求まることから、複数の相同点を投影した骨格投影断面を作成する。骨格形態の差異が稜線構造にどう影響しているのかを見積もるため、投影断面の均一化も行い、相同

的な位置における稜線構造の分布・形状の比較を行う。この結果にもとづき、稜線構造の骨格形態間での共通領域と固有領域を見出して、形態外界情報認識システムの観点から「稜線-姿勢維持/移動行動」の関係性について議論を行うべく。

4. 研究成果

アナロジーとなる現生甲殻類の「稜線構造」と感覚剛毛の組み合わせが、どのような効果を接触感知機構にもたらすのか、岩礁に生息するイワガニを題材にして感覚剛毛の配列様式と密度分布と行動時の接触刺激との関係を検討した(図1)。

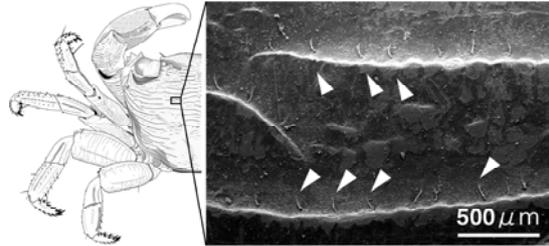


図1：現生カニ類(イワガニ)の背甲における稜線構造の分布様式(左)とその拡大写真。白三角が接触感知器の剛毛。

その結果、骨格へ加わる刺激の方向性を水平もしくは鉛直方向のものとして分画受容する効果があることを見出した。この刺激分画受容は、40 μm前後の高さをもつ「稜線構造」に対して、麓に位置する感覚剛毛が屹立して毛先が尾根より突出することで水平成分の接触刺激を受容し、一方では横臥した状態となることで、水平成分の刺激を受容できずに鉛直成分の刺激受容に限定される仕組みとなっていた。水平刺激受容の感覚剛毛の密度分布は偏在性が高く、高い密度の部分は岩礁への隠遁時に接触する外骨格領域と合致する。

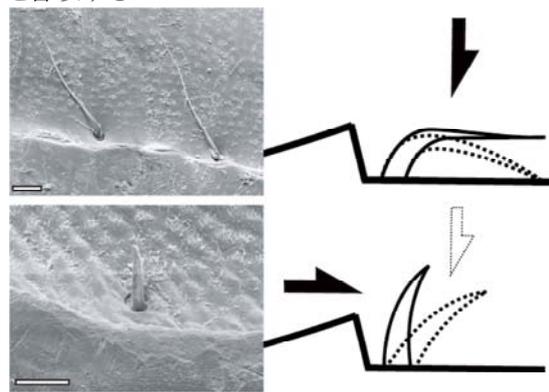


図2：鉛直刺激受容機構と水平刺激受容機構における稜線構造と感覚網の関係、および模式図。スケールは20 μm。

一方の鉛直刺激受容の感覚剛毛はほぼ一様の密度で分布する。これらの結果を総合すると、水平刺激方向の受容は、逃避中などの動作中における外部周辺物との接触状況をもとに逃避ル

ートの適不適の判断を、一方の鉛直刺激方向については隠遁姿勢など静止状態の適不適の判断を行っている」と示唆される(図2).

三葉虫では、一般的に外骨格背側では稜線構造が周縁部に発達し、内側(腹側)への外骨格折り返し領域(ダビュラー)では、同心円状の分布様式となる。本研究で三葉虫の稜線構造モデル種として検討した*Nileus* sp.において、海底と接する機会が最も高い外骨格折り返し領域における稜線構造の分布様式を詳細に復元した(図3).

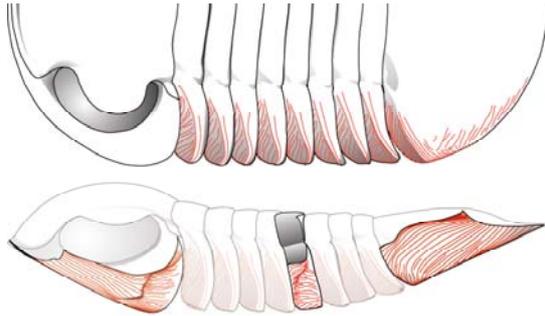


図3：三葉虫*Nileus*における稜線構造(線状の表面装飾)の分布様式。上図は背面左側、下図は側面視。側面視では外骨格内側の稜線構造を示している。

また、折り返し構造上の稜線において、図4のように微小孔が平行に配列する状態を発見した。微小孔のサイズは直径10 μ m以下で、現生節足動物全般における感覚毛の毛根部の孔と同等である。このように、孔サイズと稜線との配置関係が一致することから、三葉虫におきてもイワガニで明らかにした接触感知機構が備わっていたことが支持される。同様の稜線+感覚毛ユニットは、昆虫類、鋏角類、多足類においても予察的に確認しており、節足動物に普遍的に認められるクチクラ上の接触感知システムである可能性が強く示唆される。

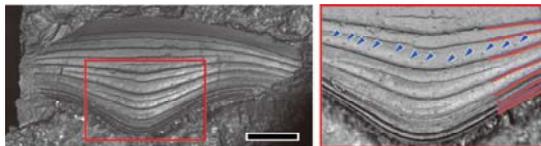


図4：三葉虫の外骨格折り返し構造(ダビュラー)における微小孔群。スケールは1mm。微小孔のサイズや配列様式は、イワガニにおける稜線構造と感覚毛の配置関係に対比可能である。

現生イワガニにおける稜線+感覚毛群による接触配向性分画機構を踏まえると、底質などの周囲状況との接触様式を運動時と静止時でモニタリングすることにより、結果的に自らの姿勢の自己受容を行い、呼吸や採餌などの生命維持に不可欠な行動の適不適を判断していることが示唆されることとなる。

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)

(1) Yuta Shiino, Osamu Kuwazuru, Yutaro Suzuki, Satoshi Ono, Swimming capability of the remopleurid trilobite *Hypodicranotus striatus*: hydrodynamic functions of the exoskeleton and the long, forked hypostome、査読有、*Journal of Theoretical Biology*, Vol.300, No.1, 2012, pp. 29-38

DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtbi.2012.01.012>

(2) Yuta Shiino, Osamu Kuwazuru, Yutaro Suzuki, Satoshi Ono, Chihiro Masuda, Exquisite hydrodynamic morphology of the remopleurid trilobite *Hypodicranotus striatulus*: Functional insights into the mode of life、査読有、*The 5th Conference on Trilobites and their relatives abstracts*, 2012, p. 52

(3) Yutaro Suzuki, Shokei Yamada, Satoshi Ono, The function of terrace ridges associated with sensory setae in the carapace of the decapod *Pachygrapsus crassipes*: implications for trilobite biology、査読有、*The 5th Conference on Trilobites and their relatives abstracts*, 2012, p. 56

[学会発表] (計5件)

①大野悟志・鈴木雄太郎、定住性イレニモルフ三葉虫の視覚特性、日本古生物学会、2013年1月27日、横浜国立大学(神奈川県)

②牧野淳平・鈴木雄太郎、球体化防御姿勢の構築における形態的メカニズム:ハマダングムシ *Tylos granuliferus* を例に、日本古生物学会、2013年1月27日、横浜国立大学(神奈川県)

③Yutaro Suzuki, Shokei Yamada, Satoshi Ono, The function of terrace ridges associated with sensory setae in the carapace of the decapod *Pachygrapsus crassipes*: implications for trilobite biology、*The 5th Conference on Trilobites and their relatives (TRILO2012)*、2012年7月3日、プラハ(チェコ)

④Yuta Shiino, Osamu Kuwazuru, Yutaro Suzuki, Satoshi Ono, Chihiro Masuda, Exquisite hydrodynamic morphology of the remopleurid trilobite *Hypodicranotus striatulus*: Functional insights into the mode of life、*The 5th Conference on Trilobites and their relatives (TRILO2012)*、2012年7月3日、プラハ(チェコ)

⑤牧野淳平・鈴木雄太郎、三葉虫 *Ellipsocephalus polytomus* のカプセル型 enroll 姿勢:適応放散を促した姿勢構築機構、日本古生物学会、2011年7月2日、金沢大学(福井県)

[図書] (計1件)

(1) 日本進化学会編、鈴木雄太郎分担執筆、
共立出版、進化学事典、2012、975

〔その他〕

ホームページ等

・日本古生物学会優秀ポスター賞

<http://www.palaeo-soc-japan.jp/Japanese/awards.html#bestposter>

・修士課程地球科学専攻1年生 牧野淳平さん
(鈴木雄太郎研究室)が、日本古生物学会2011
年年会において、優秀ポスター賞を受賞

<http://www.shizuoka.ac.jp/stars/detail.html?CN=787>

・大野悟志さん・鈴木雄太郎講師が日本古生物
学会優秀ポスター賞を受賞

<http://www.sci.shizuoka.ac.jp/news/409.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 雄太郎 (SUZUKI YUTARO)

静岡大学・理学部・講師

研究者番号：50345807

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし