

令和元年6月17日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K05592

研究課題名(和文) 眼の起源と古生物の視覚の復元に挑む

研究課題名(英文) Challenging for an origin of eye and vision of ancient animals

研究代表者

田中 源吾 (Tanaka, Gengo)

金沢大学・GS教育系・助教

研究者番号：50437191

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：眼の起源はカンブリア紀までさかのぼれる。現時点で、最古の眼の化石は、約5億2500万年前の三葉虫の複眼である。申請者は、さらに古い時代の生物の化石産地を調査したが、眼を持つ古生物を発見できなかった。カンブリア紀初期の眼を持つ化石の有力な候補地を、ある程度特定することができた。オルドビス紀とデボン紀の三葉虫について、保存の良い化石をCTスキャンにかけて、3次元座標を取得して各個眼の光軸を求め、視野を推定した。遠洋性と考えられているオルドビス紀の三葉虫は、視野が広く、表層付近に棲息していたことが推定できた。一方、浅海性のデボン紀の三葉虫は、垂直方向の視野が狭いものの、解像度の高い眼を持っていた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

眼がいつ誕生したのかについては、分子生物学や古生物学から、程度推定されている。しかし、化石に遺された眼については、推定値よりかなり若返ってしまう。本研究は最古の眼の化石について、発見こそできなかったが、有力な化石産地を絞りこむことに成功した。また、オルドビス紀の三葉虫やデボン紀の三葉虫について、視野や眼の解像度を定量的に推定することができた。これらの手法を用いることで、絶滅生物の視界が復元できる。

研究成果の概要(英文)：The origin of the eye can be traced back to the Cambrian. At the moment, the oldest fossil of the eye is the compound eye of the trilobite about 525 million years ago. We investigated the fossil localities of the older age, but we could not find organisms with eyes. We were able to identify to some extent potential sites for the fossils with eyes on the Early Cambrian strata.

Regarding Ordovician and Devonian trilobites, CT scan was performed using well-preserved fossils, three-dimensional coordinates were acquired, the optical axis of each individual eye was determined, and then the field of view was estimated. The Ordovician trilobite, which is considered to be pelagic, can be estimated to have a wide field of view and live near the surface. On the other hand, the shallow-sea Devonian trilobite had a high resolution eye, though the vertical field of view was extremely narrow.

研究分野：古生物学

キーワード：眼の化石 カンブリア紀 保存の良い化石 複眼 カメラ眼 ノープリウス眼 単眼 先カンブリア時代

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

(1) 先カンブリア時代末からカンブリア紀にかけての化石標本の調査・研究と分子時計を用いた生物の門レベルでの分岐年代の精度が飛躍的に進展している。その結果、カンブリア紀には2回の生物大進化があったことがわかってきた。最初の生物大進化は、約5億4100万年前～約5億2100万年前に起こり、次の大進化は5億2100万年前～約5億1000万年前に起こった。2回目の生物大進化は、肉眼で見える動物化石の出現で特徴付けられる。Platonick *et al.* (2010)は、2回目の生物大進化は5億2100万年前に出現したチェンジャン動物群の体サイズとそれらの生物の持つエネルギー量が、カンブリア紀初めの微小有殻化石群やエディアカラ生物群とは大きく異なっていることに着目している。つまり、生物の栄養段階数の増大と、体の巨大化に伴う生存競争の激化が、カンブリア紀の1回目の生物大進化から2回目の生物大進化の間に段階的に起こり、最終的に5億2100万年前、三葉虫に感覚器の中で最も複雑・高性能な眼が初めて現れたことで、生存競争の速度が劇的に増大したと考えられる。このことは、分子時計によって後生動物が多様化したと推定されている6億5600万年前～6億年前には、眼をつくる遺伝子がすでに、一部の後生動物には備わっていたことを示唆する。

(2) 一方で、申請者は15年前より、古生物の眼の機能形態学的研究を継続している。近年、5億2100万年前のチェンジャン動物群の節足動物「アラルコメネウス」の複眼を調査し、左右1対のダンベル形の眼を報告しただけでなく、眼につながる視神経や、視覚情報を解析する脳を含む中枢神経系が保存されていることを発見した。また、3億年前の絶滅魚類の網膜の化石を発見し、そこに色を識別する錐体が保存されていることを示し、少なくとも3億年前には魚類は色を識別していたことを明らかにした。

2. 研究の目的

そこで本研究では、上海科技館、南京地質古生物学研究所、および八公山地質博物館に保管されている先カンブリア時代のぜん虫の標本を観察するとともに、野外調査も行い標本を採取し、淮南生物群の眼の構造の有無を確認した。さらに、個眼の1つ1つが保存された三葉虫の視野の復元や、羽毛恐竜の眼の形態学的な観察をおこない、異なる地質時代の古生物がどのような視覚を持っていたのかを明らかにした。

3. 研究の方法

目的の達成のため、中国およびモロッコの研究機関が所蔵している標本を調査・研究した。同時に各国の共同研究者と野外調査を実施し、化石の産状や堆積環境についてもデータを取得した。具体的には以下のような内容で、年度ごとに1つの研究テーマをまとめるよう課題を進めた。①平成28年度は、中国の淮南生物群について、現地調査・標本観察を行い、眼の有無を調べた。②平成29年度は、熱河動物群（中国東北部）の羽毛恐竜や絶滅鳥類について、主として標本観察をもとに、眼の機能形態学的研究や古生態の復元を行った。③平成30年度は、モロッコのデボン紀の三葉虫の複眼について、視野や個眼1つ1つのF値を求めることで視覚を復元した。現地地質調査を行い、三葉虫の生息環境についても議論した。

4. 研究成果

(1) 現時点で、眼の起源はカンブリア紀までさかのぼれる。最古の眼の化石は、約5億2500万年前の三葉虫の複眼である。申請者は、先カンブリア時代のさらに古い時代の生物の化石産

地を調査したが、眼を持つ古生物を発見できなかった。ただ、カンブリア紀初期の眼を持つ化石の有力な候補地を、本研究によってある程度特定することができた。

(2) オルドビス紀とデボン紀の三葉虫について、保存の良い化石をCT スキャンにかけて、3次元座標を取得して各個眼の光軸を求め、視野を推定した。遠洋性と考えられているオルドビス紀の三葉虫は、視野が広く、表層付近に棲息していたことが推定できた。一方、浅海性のデボン紀の三葉虫は、垂直方向の視野が狭いものの、解像度の高い眼を持っていた。また、中国の前期白亜紀の地層から、保存の良い絶滅鳥類の眼を発見した。SEM による観察の結果、網膜組織の一部が保存されていることが明らかになった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 28 件)

- ① Peep Männik, Takumi Maekawa, Takumi, Gengo Tanaka, Toshifumi Komatsu, David Siveter, Mark Williams, Olle Hints, Thijs Vandenbroucke, The Ordovician and Silurian conodonts of Japan: Their biostratigraphical and paleobiogeographical significance, Island Arc, 査読有, in press
- ② David Siveter, Gengo Tanaka, Mark Williams, Peep Männik, Japan's earliest ostracods, 査読有, Island Arc, in press
- ③ Christopher Stocker, Derek Siveter, Philip Lane, Mark Williams, Tatsuo Oji, Saimon Wallis, Gengo Tanaka, Toshifumi Komatsu, David Siveter, Thijs Vandenbroucke, The paleobiogeographical significance of the Silurian and Devonian trilobites of Japan, 査読有, Island Arc, in press
- ④ Gengo Tanaka, David Siveter, Mark Williams, Devonian shallow-marine ostracods from central Japan, 査読有, Island Arc, in press
- ⑤ Toshifumi Komatsu, Ryota Urakawa, Toshitaka Inada, Kazuki Yamauchi, Takumi Maekawa, Reishi Takashima, Mark Williams, Phong D. Nguyen, Hung D. Doan, Minh T. Nguyen, Shuji Niko, Gengo Tanaka, Tatsuhiko Yamaguchi, The Kellwasser events in the Upper Devonian Frasnian to Famennian transition in the Toc Tat Formation, northern Vietnam, 査読有, Island Arc, in press
- ⑥ Thijs Vandenbroucke, Olle Hints, Mark Williams, Simon Wallis, Jules Velleman, Toshiyuki Kurihara, Gengo Tanaka, Toshifumi Komatsu, Peep Mannik, David Siveter, Tim de Backer, Chitinozoans and scolecodonts from the Silurian and Devonian of Japan, 査読有, Island Arc, in press
- ⑦ Gengo Tanaka, Hiroshi Moriwaki, Upper Miocene Ostracoda in a gravity flow deposit in Central Japan: significance of paleogeography and paleoceanography, 査読有, Journal of Paleontology, in press
- ⑧ Gengo Tanaka, Yasuhisa Henmi, Masuda Tatsuya, Hiroshi Moriwaki, Toshifumi Komatsu, Baochun Zhou, Takumi Maekawa, Sota Niiyama, Phong Nguyen, Hung Doan, Noriyuki Ikeya, Recent ostracod distribution in western Kyushu, Japan, related to the migration of Chinese continental faunal elements, 査読有, Marine Micropaleontology, in press
- ⑨ 田中源吾, 熊本大学平成28年度地学基盤実験履修者, 地学実験における更新統小串層の介形虫化石群の有用性, 査読なし, 御所浦白亜紀資料館報, in press
- ⑩ Gengo Tanaka, Takumi Maekawa, Ryota Urakawa, Toshifumi Komatsu and Yasuhisa Henmi,

- Checklist of ostracods from the Pleistocene Ogushi Formation, Amakusa City, Kumamoto, southwestern Japan, 査読なし, Bulletin of Goshoura Cretaceous Museum, in press
- ⑪ Christopher Stocker, Mark Williams, Tatsuo Oji, Gengo Tanaka, Toshifumi Komatsu and Simon Wallis, Spirits of Yokokurayama: shrine of the Japanese trilobites, 査読有, Geology Today, in press
- ⑫ Sota Niiyama, Gengo Tanaka, Toshifumi Komatsu, Hung Doan, Hung Nguyen, Ha Trinh, Minh Nguyen, Recent ostracod assemblages from the Co To Islands, northeastern Vietnam, 査読有, Journal of Micropalaeontology, in press
- ⑬ Hirokazu Ozawa and Gengo Tanaka, Paleoenvironmental analysis from ostracod fossil assemblages of the Middle Pleistocene Naganuma Formation in the Sagami Group, central Japan, 査読有, Bulletin of the Geological Survey of Japan, in press
- ⑭ Christopher Stocker, Derek Siveter, Philip Lane, Mark Williams, Tatsuo Oji, Gengo Tanaka, Toshifumi Komatsu, Simon Wallis, David Siveter, Thijs Vandenbroucke, The Silurian and Devonian proetid and aulacopleurid trilobites of Japan and their palaeogeographical significance, 査読有, Fossils and Strata, in press
- ⑮ 松島義章, 萬年一剛, 千葉 崇, 野村律夫, 田中源吾, 宮田 眞, 滝澤晶子, 山口麻衣, 鈴木 茂, 遠藤 邦彦, 神奈川県鎌倉市で発見された江戸期の特異な堆積物～津波が関与した可能性の検討～, 歴史地震, 査読有, 33号, 2018, 167-186
- ⑯ Takumi Maekawa, Toshifumi Komatsu, Gengo Tanaka, Mark Williams, Christopher Stocker, Masatoshi Okura, Akihiro Umayahara, Missourian (Kasimovian, Late Pennsylvanian) conodonts from limestone boulders, Mizuboradani Valley, Gifu Prefecture, central Japan, *Paleontological Research*, 査読有, vol.22, 2018, 279-289
- ⑰ 田中源吾, 動物の眼の進化, *aromatopia*, 査読なし, vol.27, 2018, 2-5
- ⑱ 岡崎浩子, 石井明夫, 金子 稔, 田村 亨, 群馬県立太田女子高等学校地学部(今橋春日, 原島 舞, 佐藤有花, 猪口華蓮, 松倉亜里紗), 加藤久佳, 伊左治鎮司, 田中源吾, 更新統下総層群木下層からのヒゲクジラ類化石の発掘調査報告—堆積相・微化石・地中レーダー探査, 千葉県立中央博物館自然史研究報告, 査読有, 14巻, 2018, 19-28
- ⑲ Gengo Tanaka, Yukio Miyake, Teruo Ono, Aihua Yuan, Masahiro Ichida, Haruyoshi Maeda, Sylvie Crasquin, Early Permian (Cisuralian) ostracods from Japan: characteristic ostracod assemblage from a seamount of the Panthalassic Ocean, 査読有, *Zootaxa*, vol. 4515, 2018, 1-67
- ⑳ Christopher Stocker, Gengo Tanaka, Derek, Siveter, Philip Lane, Yukiyasu Tsutsumi, Toshifumi Komatsu, Simon Wallis, Tatsuo Oji, David Siveter, Biogeographical and biostratigraphical significance of a new Middle Devonian phacopid Trilobite from the Naidaijin Formation, Kurosegawa Terrane, Kyushu, southwest Japan, 査読有, *Paleontological Research*, vol.22, 2018, 75-90
- ㉑ Christopher Stocker, Toshifumi Komatsu, Gengo Tanaka, Mark Williams, David Siveter, Callorine Benett, Simon Wallis, Tatsuo Oji, Takumi Maekawa, Masatoshi Okura, Thijs Vandenbroucke, Carboniferous ostracods from central Honshu, Japan, 査読有, *Geological Magazine*, vol. 155, 2018, 98-108
- ㉒ Gengo Tanaka, Yasuhisa Henmi, Toshifumi Komatsu, Koji Hirose, Hiroaki Ugai, Shigenori Kawano, Haruyoshi Maeda, First discovery of Eocene coastal-estuarine ostracods from

Japan, with the geological history of the migration of estuarine genera in the Far East, 査読有, Geological Magazine, vol.155, 2017, 1742-1760

- ②③ 森脇 広, 永迫俊郎, 西澤文勝, 松島義章, 鈴木毅彦, 田中源吾, テフラ編年と¹⁴C年代に基づく鹿児島湾奥, 新島(燃島)の海成堆積物の編年とその意義, 査読有, 地学雑誌, 126巻, 2017, 557-579
- ②④ Gengo Tanaka, Baochun Zhou, Yunfei Zhang, David J. Siveter, Andrew R. Parker, Rods and cones in an enantiornithine bird eye from the Early Cretaceous Jehol Biota, 査読有, Heliyon, 2017, vol.3, e00479
- ②⑤ 金子稔, 野村正弘, 田中源吾, 微化石を使った地学部の指導, 査読有, 地学教育と科学運動, 79号, 2017, 1-8
- ②⑥ Hidetaka Nomaki, Tomohiro Mochizuki, Tomo Kitahashi, Takuro Nunomura, Kazuno Arai, Gengo Tanaka, Shuichi Shigeno, Eiji Tasumi, Katsunori Fujikura, Shuichi Watanabe, Effects of mass sedimentation event after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake on benthic prokaryotes and meiofauna inhabiting the upper bathyal sediments, 査読有, Journal of Oceanography, vol. 72, 2016, 113-128
- ②⑦ Gengo Tanaka, Redescription of two krithid species (Crustacea, Ostracoda) from the Sea of Japan, with a comment on the taxonomic characters of Krithidae, 査読有, Paleontological Research, vol.20, 2016, 31-47
- ②⑧ Mark Williams, Simon Wallis, Toshifumi Komatsu, Gengo Tanaka, Tatsuo Oji, Nicoka Clark, Dragons, brimstone and the geology of a volcanic arc on the island of the last Samurai, Kyushu, Japan, 査読有, Geology Today, vol.32, 2016, 21-26.

[学会発表] (計9件)

- ① Gengo Tanaka, Permian ostracod assemblages from southwest Japan and their biogeographical significances(会議名: Third Asian Ostracod Meeting) (2018/08/07)
- ② Gengo Tanaka et al., Early Devonian ostracod assemblages from central Japan have ambiguous biogeographical signatures (会議名: Third Asian Ostracod Meeting) (2018/08/07)
- ③ 田中源吾, デボン紀福地層(下部石灰岩部層)から産出した介形虫化石群(会議名: 日本古生物学会第167回例会) (2018/02/03)
- ④ 田中源吾, デボン紀三葉虫 *Erbenochile* sp. の複眼の光学的解析(会議名: 日本古生物学会第166回例会) (2017/01/28)
- ⑤ 田中源吾ほか, 内湾性介形虫 *Pistocythereis bradyi* (Ishizaki, 1968) と *P. bradyformis* (Ishizaki, 1968) の分類学的再検討(会議名: 日本古生物学会第166回例会) (2017/01/28)
- ⑥ 田中源吾ほか, 上天草維和島に分布する始新統白岳層より介形虫化石群の発見(会議名: 日本古生物学会2016年年会) (2016/06/25)
- ⑦ 田中源吾, 光学的古生物学: 眼の化石の研究がもたらす進化学へのインパクト. 日本古生物学会第165回例会(会議名: 日本古生物学会第165回例会) (2016/01/29)
- ⑧ Gengo Tanaka et al., Permian ostracods from Japan - their palaeoecological & palaeobiogeographical significances(会議名: 122nd Annual Meeting of the Geological Society of Japan, international session 'Early Tectonics and Paleogeography of East Asia)

- ⑨ 田中源吾，介形虫の殻表面にみられる微小摩耗痕(会議名：日本古生物学会 2015 年年会) (2015/06/27)

〔図書〕(計 2 件)

- ① 小松俊文・前田晴良・田中源吾，基礎編 1 1．地球上で生命はどのように進化してきたか，新しい地球惑星科学，西山忠男・吉田茂生(編)，培風館，2019. ISBN 978-4-563-02522-9
- ② 小松俊文・前田晴良・田中源吾，応用編 1 1．生物の進化と地球史，新しい地球惑星科学，西山忠男・吉田茂生(編)，培風館，2019. ISBN 978-4-563-02522-9

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

○取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

金沢大学 研究者情報

<https://ridb.kanazawa-u.ac.jp/public/detail.php?id=4603>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：前田 晴良

ローマ字氏名：(MAEDA, Haruyoshi)

所属研究機関名：九州大学

部局名：九州大学総合研究博物館

職名：教授

研究者番号(8桁)：10181588

* 科研費による研究は，研究者の自覚と責任において実施するものであるため，研究の実施や研究成果の公表については，国の要請等に基づくものではなく，その研究成果に関する見解や責任は，研究者個人に帰属される。