

令和 5 年 6 月 2 日現在

機関番号：82617

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K03818

研究課題名（和文）中期白亜紀の劇的な古海洋変動に伴う珪藻生物圏の進化的応答

研究課題名（英文）Mid-Cretaceous turnover of diatoms

研究代表者

山崎 智恵子（嶋田智恵子）（Yamasaki, chieko）

独立行政法人国立科学博物館・地学研究部・協力研究員

研究者番号：60597186

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：珪藻にとって中生代とは分類群としての成立期にあたり、この時代の化石記録を検討することはその進化史を理解する上で極めて重要であるが、白亜紀中期のセノマニアン期～チューロニアン期の化石記録は絶望視されてきた。代表者らは北海道北部天塩中川地域に産出するこの時代の含アンモナイト化石炭酸塩岩にそれぞれ全く異なる珪藻化石群集を見出したため、国内で入手可能な試料を検討し、産出する珪藻殻の顕微鏡写真を網羅的に撮影し同定した。そして、白亜紀中期に漠然と示唆されていた珪藻化石群集の大転換を天塩中川地域において認め、かつその地質年代が両期の間であると断定した。この成果を「地質学雑誌」に2編の論文として公表した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

こんにちの水圏において生態学的に最も成功した一次生産者である珪藻にとって、中生代とは分類群としての成立期にあたり、この時代の化石記録を検討することは珪藻の進化史を理解する上で極めて重要であるが、中生代（事実上は白亜紀）特に、白亜紀の中期（約1億～8980万年前）については絶望視されてきた。

白亜紀の中期に予想される超温暖化や海洋無酸素事件は、地球史上最も苛烈な古海洋事件の1つである。こうした例外的な環境変動と低次生態系との相互作用（物質循環や進化的放散）の実態を指示する直接証拠である珪藻の化石記録が得られたことは極めて意義深いといえる。

研究成果の概要（英文）：Diatoms have flourished through the almost entire Cenozoic hydrosphere as one of the most important eukaryotic primary producers, so their evolutionary history is worthy of understanding. Yet their early evolution during the Cretaceous, particularly the mid-Cretaceous interval (Cenomanian to Turonian age) is unclear owing to extremely few fossil records. I presented new fossil records of Cenomanian and Turonian opaline diatoms in carbonate concretions hosting ammonites from Hokkaido, Northwestern Pacific Ocean. The Cenomanian diatoms are basically similar to the late Early Cretaceous flora, but somewhat transitional in associating with a few taxa typical of the late Late Cretaceous time. By contrast, most of the Turonian taxa are found to be typical of the late Late Cretaceous. I thus succeeded to confirm the mid-Cretaceous diatoms to have drastically overturned in the Cenomanian-to-Turonian interval, when the extreme paleoceanographic crisis known as the Ocean Anoxic Event 2 onset.

研究分野：古生物学

キーワード：珪藻化石 白亜紀 古海洋 進化 生態

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

白亜紀の古気候は、活発な火成活動に起因する著しい温室効果や、有機物に富む特異な黑色泥岩の堆積の繰り返しを伴う複数回の海洋無酸素事件 (Ocean Anoxic Event ; OAE) で特徴づけられる。なかでも、最も大規模で主に大西洋-テチス海域で典型的な、白亜紀の中期の OAE-2 (セノマニアン・チューロニアン両期境界付近, 93.9Ma, 以下 Ma は 100 万年前) については必ずしも全容が明らかになったわけではなく、その時間空間規模について活発な議論が続いている。ともあれ、OAE-2 は地球史上最も苛烈な古海洋事件の 1 つであり、こうした例外的な変動と低次生態系との相互作用によってもたらされる物質循環を描像することは、未来予測に際しても不可欠であるといえる。このため、堆積物中で保存され易い珪質殻を持つ微細藻類である珪藻の化石群集が、海洋における一次生産者の地質学的過去の挙動を記述する直接証拠の 1 つとして期待される。

なお、先行研究による世界の白亜紀珪藻化石はすべてが海成層由来であり、多くは前期のアプチアン~アルビアン期 (125~100.5Ma) と後期のカンパニアン~マーストリヒチアン期 (83.6~66.0Ma) にそれぞれ少数報告され、両者は全く異なる群集組成を示す。前者では、円筒状・円盤状など単純な形態の原始的な大型付着性分類群が中心であるのに対し、後者ではこれらが一斉に姿を消して、有極状や羽状の形態を持つ小型浮遊性分類群が代わって優勢になり、現生海生群集に匹敵する多様性の高い組成となる。

このように白亜紀の前・後期間で群集組成が激変 (ターンオーバー) することが注目される一方、中期産とされる白亜紀珪藻の化石記録は前後の地質時代に比べて極端に少なく、それらには保存が非常に悪いか編年の精度が低いかの深刻な問題がある。このため、確かな化石記録のあるアルビアン期とカンパニアン期の間のどこかの時期に、珪藻生物圏に何らかの重大な事件が生じた可能性が漠然と示唆されてはいたものの、OAE-2 との関わりが具体的に議論されることはなく、この時代の化石記録は言わば珪藻進化の「ミッシングリンク」とされた。ところが代表者らはこのほど、北海道北部中川町に分布する中部蝦夷層群の佐久川層 (セノマニアン期前期) と、上位の佐久層 (チューロニアン期後期) に産出する 2 層準の試料群より、組成が著しく異なる珪藻化石群集を予察的に認めた。セノマニアン期の珪藻化石群集には、*Rhynchopyxis* など円筒状形態の分類群が圧倒的に多産するが、チューロニアン期の場合 *Hemiaulus* や *Triceratium* 等の有極状形態の分類群が優占する。また、これら 2 層準の珪藻化石群集は、示準アンモナイト化石に随伴することで、地質年代の精度も保証される。

### 2. 研究の目的

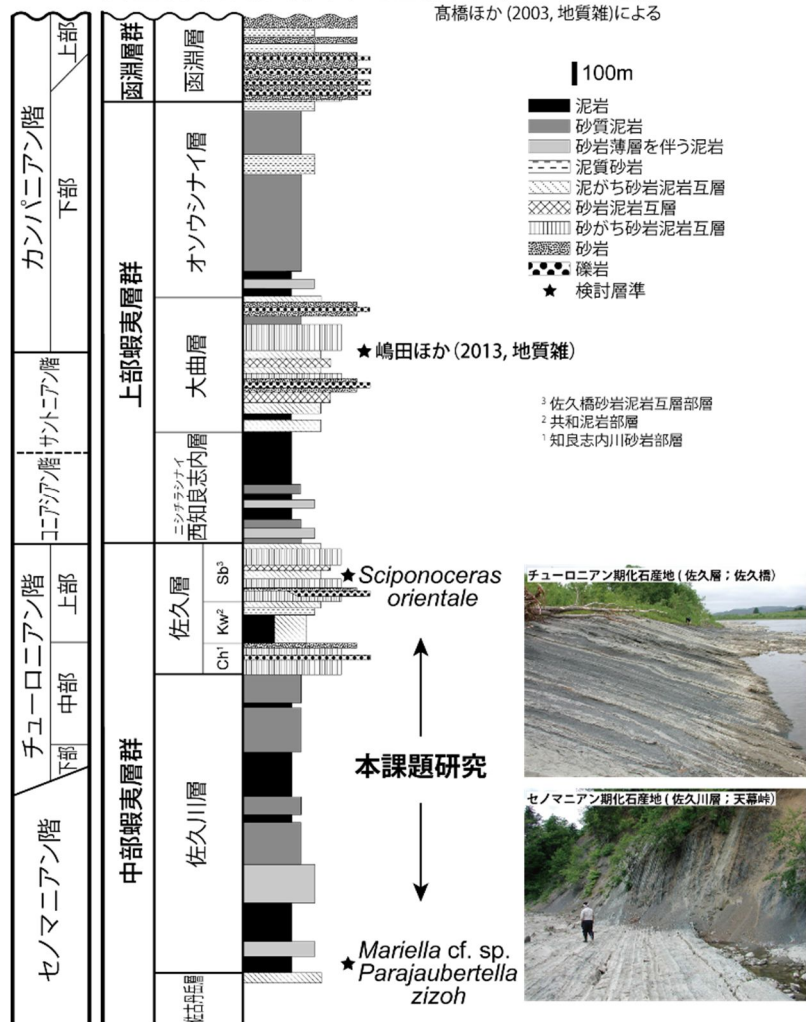
本課題研究では、白亜紀の中期の珪藻化石群集の分類学的検討や古生態の推定を事実上世界で初めて行い、最終的に例外的な古海洋変動である OAE-2 に対し、北西太平洋の珪藻生物圏が、どのような進化的適応戦略をとっていたのかの議論に繋げることを目的とする。

### 3. 研究の方法

本課題研究では、北海道北部中川町に分布する中部白亜系由来の、アンモナイトや脊椎動物等の大型動物化石を包含する炭酸塩の団塊(概ね数~数10センチ大で不定形な楕円体の、地層母岩から独立した不連続な岩石で、コンクリ-ションまたはノジュールともよばれる)を試料とする。一般に大型動物化石は、地層の母岩ではなく炭酸塩の団塊の核として産出することが多く、珪藻化石はその炭酸塩岩部分に稀に随伴する。中川町自然誌博物館では町内および近隣地域で産出した夥しい数の未剖出大型動物化石標本を収蔵しており、標本数は現在も増え続けている。本課題研究ではこうした標本の炭酸塩岩を網羅的に分析するほか、必要に応じて町内および関連する地域の露頭より新たに入手する。天塩中川地域には現在のところ、OAE-2の核心期に相当するセノマニアン階とチューロニアン階が直接接する露頭が確認されていないが(中川町自然誌博物館, 足田吉識氏私信), 可能な限り層序的に境界近傍の試料を得るように努める。なお、珪藻化石群集を産出する最低限の試料は、前述のように既に確保しており、新たに入手する試料群が仮に無化石であっても、影響は甚大ではない(右図)。

### 天塩中川地域に分布する上部白亜系の模式層序

高橋ほか(2003, 地質雑)による



下部アンモナイト化石を包含するセノマニアン期前期の炭酸塩団塊 2 点 (佐久川層 44°42'45"N, 142°02'12"W; 天幕峠)

- (1) *Mariella* cf. sp.
- (2) *Parajaubertella zizoh* Matsumoto, Yokoi and Kawashita

下部アンモナイト化石を包含するチューロニアン期後期の炭酸塩団塊 2 点 (佐久川層 44°44'38"N, 142°2'37"W; 佐久橋)

- (3) *Sciponoceras orientale* Matsumoto and Obata A 個体
- (4) *Sciponoceras orientale* Matsumoto and Obata B 個体

数gの新鮮な試料に5%蟻酸を加え炭酸塩を除去する。続いて遠心機を用いて除酸した懸濁液を適切な濃度に希釈し、永久スライドとしたものを光学顕微鏡(OLYMPUS; BX51)による観察・デジタル撮影用とする。また、この懸濁液をフィルタ上に展開したものを走査型電子顕微鏡(JEOL; JSM-6390)観察用試料とする。

#### 4. 研究成果

本課題研究においては、中川町自然誌博物館および国立科学博物館が収蔵する、中期白亜紀の北海道産含アンモナイト化石団塊を大量に検討したが、実際のところ上記の試料を凌駕する良質な試料は得られなかったのが残念である。

佐久川層から得られたセノマニアン期の珪藻化石群集は、主に円筒状および円盤状の形態を持つ分類群から構成される。この珪藻化石記録は、精度の高い大型（アンモナイト）化石層序に照らし編年された地層から得られており、先行研究に比べると地質年代の信憑性が高い。この群集においては頂軸方向に伸長した大型頑健な円筒状形態を持つ分類群や休眠細胞が多数を占め、有極状および羽状形態の分類群は極めて限られるか、または全く見出だされないかである。随伴種の *Anuloplicata ornata*、白亜紀後期および古第三紀に著しく多産・多様化する二極状形態の珪藻属 *Hemiaulus* 属、そして *Paralia crenulata* の3分類群は、天塩中川地域を含む世界各地の上部白亜紀系（カンパニアン～マーストリヒチアン階）からも報告される。しかし佐久川層由来のセノマニアン期の珪藻化石群集では極めて少数である。*Hemiaulus* 属同様白亜紀後期および古第三紀に非常に繁栄し、*Triceratium* 属に代表される三～多極の蓋殻形態を持つ分類群の産出は認められなかった。

一方、佐久川層の上位に位置する佐久層の含アンモナイト化石炭酸塩コンクリーションから得られた珪藻化石群集は *Costopyxis* 属のほか *Hemiaulus* 属および *Triceratium* 属を多産し、本論で優占する *Rhynchopyxis* 属などの大型円筒状分類群のほとんどを欠く。

つまり、本課題研究のセノマニアン期の珪藻化石群集は、前期白亜紀の群集に概ね類似しつつも、後期白亜紀の群集の要素をも僅かに持ち合わせた過渡期にある群集であると考えられる。これに対してチューロニアン期の珪藻化石群集は、後期白亜紀の珪藻化石群集と主要分類群が概ね一致するが、セノマニアン期の群集とは著しく異なっていることが明らかである。

このように本課題研究は、白亜紀の中期のどこかの時期に示唆されていた珪藻化石群集の大転換を天塩中川地域において認め、かつその地質年代がセノマニアン期とチューロニアン期の間であると断定できたことになる。

前期白亜紀の珪藻化石群集は、全てが絶滅分類群でその生態は確実ではないが、大型で堅牢な殻を持つ分類群や休眠細胞と推定される殻が優勢であることから、環境の変動が激しい沿岸域に付着性として分布していたとする見解がある。後期白亜紀の後期の群集においては一方、*Hemiaulus* など浮遊性分類群が明らかに優占することから、より外洋への分布域の拡大が示唆されるだろう。白亜紀の中期には、大規模な火成活動に起因する高濃度の温室効果ガスの放出、海洋循環の停滞、気温上昇や海岸線（海水準）の変化など、地球史上最も苛烈な環境変動が引き起こされたと推測されており、これらが珪藻に生態戦略の大転換、すなわち、より外洋に向けた進化的放散を促す古海洋学的背景のひとつとなった可能性がある。

以上の成果については、国際的な学術誌への公表を予定している。また両群集からは、新属あるいは新種であることが疑われる珪藻が多数認められているので、今後も引き続き分類学的検討を行う。

#### 5. 謝辞

代表者による一連の白亜紀珪藻化石研究は、共同研究者をはじめとした多くの皆様、そして日本学術振興会科学研究費基金（中期白亜紀の劇的な環境変動にともなう珪藻群集の進化的応答；18K03818）のお力添えなしには遂行し得なかった。なお、代表者が筆頭で執筆した関連論

文 (Shimada, C., Saito-Kato, M., Jenkins, R.G., Yamasaki, M., Tanaka, Y. and Hikida, Y., 2022. Late Cretaceous diatoms (Bacillariophyta) from the Teshio-Nakagawa area, Hokkaido, northern Japan: Significance for their origin and biostratigraphy. *Paleontological Research*, **26**, 301-313.doi:10.2517/PR200029) には, 日本古生物学会によって論文賞が授与された。

記して心より御礼を申し上げます。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 嶋田智恵子・齋藤めぐみ・山崎 誠・田中裕一郎・疋田吉識	4. 巻 128
2. 論文標題 北海道北部天塩中川地域から産出した白亜紀中期チューロニアン期の珪藻化石群集	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 地質学雑誌	6. 最初と最後の頁 307-312
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5575/geosoc.2022.0036	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 Shimada, C., Saito-Kato, M., Jenkins, R.G., Yamasaki, M., Tanaka, Y. and Hikida, Y.	4. 巻 26
2. 論文標題 Late Cretaceous diatoms (Bacillariophyta) from the Teshio-Nakagawa area, Hokkaido, northern Japan: Significance for their origin and biostratigraphy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Paleontological Research	6. 最初と最後の頁 301-313
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2517/PR200029	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 嶋田智恵子・齋藤めぐみ・山崎 誠・田中裕一郎・疋田吉識	4. 巻 127
2. 論文標題 北海道北部天塩中川地域から産出した白亜紀中期セノマニアン期の珪藻化石群集	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 地質学雑誌	6. 最初と最後の頁 667-672
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5575/geosoc.2021.0026	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 嶋田智恵子・疋田吉識	4. 巻 9
2. 論文標題 北海道北部天塩中川地域の含骨化石炭酸塩コンクリーションから産出した白亜紀珪藻化石	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 自然誌の研究	6. 最初と最後の頁 10-13
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 無
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 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 嶋田智恵子・Robert G. Jenkins・齋藤めぐみ・山崎誠・田中裕一郎・疋田吉識
2. 発表標題 北海道中央部三笠市に分布する中部蝦夷層群三笠層より産出した日本最古の珪藻化石群集
3. 学会等名 日本古生物学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 嶋田智恵子・齋藤めぐみ・山崎 誠・田中裕一郎・疋田吉識
2. 発表標題 白亜紀珪藻化石研究の現状
3. 学会等名 MRC発表会（招待講演）
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 嶋田智恵子・齋藤めぐみとして「珪藻」項を執筆	4. 発行年 2023年
2. 出版社 丸善出版株式会社	5. 総ページ数 800
3. 書名 古生物学の百科事典	

〔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
---------	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------