

令和 6 年 5 月 10 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K03728

研究課題名（和文）白亜紀海洋無酸素事変の原因としての“風化仮説”の検証

研究課題名（英文）Examination of the weathering hypothesis as a triggering cause of the Cretaceous OAEs

研究代表者

太田 亨 (Ohta, Tohru)

早稲田大学・教育・総合科学学術院・教授

研究者番号：40409610

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,500,000円

研究成果の概要（和文）：白亜紀に発生した海洋無酸素化事変（OAEs）は、温室期における地球システムを理解する上で、重要な研究対象であり、本研究では、OAEsの発動要因として注目されている“風化仮説”の実態と影響を検証した。その結果、極度の温暖化が進行した時期に、海洋無酸素化が引き起こされたことが知られているが、この現象には大陸地殻の風化作用の増大が深く関与していることが明らかになった。特に、今回の結果は、閉鎖的な地域の研究事例ではなく、大海洋である太平洋沿岸で検知されたので、温暖化に伴う汎世界的な気候変動応答であることが示唆される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球温暖化は様々な社会的・環境的・生態的な影響を及ぼすことが知られている。温暖化の影響としてあまり注目されていない応答として、大陸地殻の風化作用増大があげられる。風化作用の増大は海洋に流出する栄養塩を増加させる効果があり、これが一次生産性の増大と海洋中の溶存酸素の欠乏を招くことになる。この結果、海洋環境と生態系の悪化を招くことになるが、本研究ではこのシナリオが過去の地球温暖期に発動したことを明らかにした。したがって、本研究は温暖化が進行している近未来に発動し得るもう一つの環境摂動の警鐘となる。

研究成果の概要（英文）：The ocean anoxia events (OAEs) that occurred in the Cretaceous period are an important research subject for understanding the Earth system in greenhouse periods. In this research, we verified the reality and impact of the "weathering hypothesis," which is attracting attention as a triggering factor for OAEs. As a result, it is known that ocean anoxia was caused during periods of extreme warming, but it became clear that the increased weathering of the continental crust is deeply involved in this phenomenon. Especially, the results of this time were detected not in a closed regional research case, but along the Pacific Ocean, which is a large ocean, suggesting a global climate change response associated with warming.

研究分野：堆積学

キーワード：海洋無酸素事変 白亜紀 蝦夷層群 風化作用

1. 研究開始当初の背景

白亜紀中期に温暖化が極度に進行した結果として、いくつかの海洋無酸素事変(Oceanic Anoxic events: OAEs)が発生し、有機物に富む黑色泥岩が堆積した。一方で、OAEsは温暖化の負のフィードバックとしても作用し、大気二酸化炭素を黑色泥岩に変換することによって温暖化の暴走を阻止する役目を担っていたと考えられている(Kuypers et al., 1999; Kuhnt et al., 2011)。したがって、OAEsは、温室期における地球システムを理解する上で、重要な研究対象となる。

OAEs発動の原因としては、海洋循環の滞留(Arthur et al., 1987)、海洋一次生産の増大(Erbacher et al., 1996)など様々な要因があげられている。このうち、Weissert et al. (1998)は、“風化仮説”を打ち立て、これがOAEsの発動要因となり得ると述べている。このモデルでは、地球温暖化と火山性二酸化炭素の増加によって大陸地殻の風化作用が増大し、風化作用が海洋への栄養塩の流入を促進し、富栄養化による一次生産性の増大を招き、大量に発生した有機物の酸化分解によって海洋の溶存酸素が減少した、という連鎖反応によってOAEsが発動したと説明している。

2. 研究の目的

本研究では、OAEsと大陸地殻風化作用の関係性を、地質学的プロキシデータから解明することである。本研究では、小平地域と大夕張地域に分布する蝦夷層群の泥岩試料の化学組成分析からW値(Ohta and Arai, 2007)を算出して、白亜紀の東アジア大陸縁辺における後背地風化作用の推移を明らかにする。

Weissert et al. (1998)は、OAE 2の発生要因として“風化仮説”を概念として提唱した。その後、数値シミュレーションによって、大陸地殻の風化作用増大が、海洋無酸素事変を引き起こす要因として重要であることが示された(Misumi et al., 2009; Ozaki et al., 2011; Monteiro et al., 2012)。

また、地球化学的プロキシデータからも、テチス海地域においてOAE 1a, OAE 2と大陸地殻風化度の相関関係が明らかとなった(Frija and Parente, 2008; Blattler et al., 2011; Bottini et al., 2012; Pogge von Strandman et al., 2013)。

したがって、数値シミュレーションと地質学的な記録の、両面から“風化仮説”が海洋無酸素化の引き金として重要視されるようになってきた。しかし、地質学的な記録からの検証には、さらなる検討が要する状況である。この検証を要する問題点を埋めるのが本研究である。

第一の問題点は、地質学的側面からの検証はテチス海域に偏っており、全球を網羅したデータが不足している点である。第二は、テチス海は閉鎖的な海域であったので、グローバル気候変化以外にも、ローカルな事変によっても海流の停滞や無酸素化が起き得る場合が考えられる点である。

したがって、本研究計画は、大海洋であった太平洋西岸における検証になり、“風化仮説”検証の問題点となる、地域的偏りを解消するデータを提示することになる。また、大海洋は、ローカルな地形・海流の変化に左右されることなく、グローバルな変動の記録を保持している可能性が高い。したがって、大陸地殻風化と海洋無酸素化のグローバルな呼応を検知できると期待される。

3. 研究の方法

本研究では、小平地域と大夕張地域に分布する蝦夷層群の泥岩試料の化学組成分析からW値を算出して、白亜紀の東アジア大陸縁辺における後背地風化作用の推移を明らかにする。

具体的に、後背地風化作用については、古土壌や泥岩の化学的な風化度指標であるW値(Ohta and Arai, 2007)によって定量化する。図1は、世界各地の現世土壌のW値を気候帯別にまとめたものである(Ohta et al., 2011)。一般的に、大陸地殻の風化作用は温暖で多雨な地域において極大化して、寒

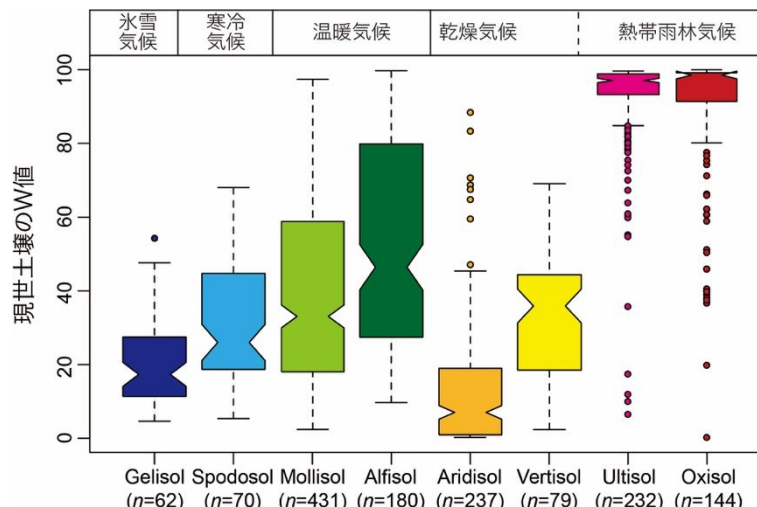


図1. 下部は各気候帯に分布している現世土壌の後背地風化度(W値)。上部は各気候帯に対応する大気循環の概要(Ohta et al., 2011を一部改変)。

冷や乾燥した地域において極小化する。W 値はこの関係を明瞭に再現しており、氷雪気候帯・寒冷気候帯・温暖湿潤気候帯・熱帯雨林気候帯という気温上昇の順で指標値が増加している(図1)。また、乾燥気候帯・半乾燥気候帯(Vertisol)・熱帯雨林気候帯という降水量上昇の順でも指標値が上がっている。この W 値によって、白亜紀の温暖化と大陸地殻風化作用を定量化することが本研究の主な手法となる。

#### 4. 研究成果

図2は、白亜紀を通じた泥岩から W 値を算出した例である。W 値の大局的变化は当時の古気温変化に類似し(図2の実線矢印のトレンド)、局所的变化は当時の二酸化炭素濃度に類似する(図2の波線トレンド)。したがって、泥岩試料においても、W 値は過去の後背地風化の要因となる気温上昇・二酸化炭素濃度上昇を検知できると考えられる。過去の後背地風化作用を再現する手法を開発・採用している点も本研究の独創的な部分であると考えている。

#### Teshionakagawa area

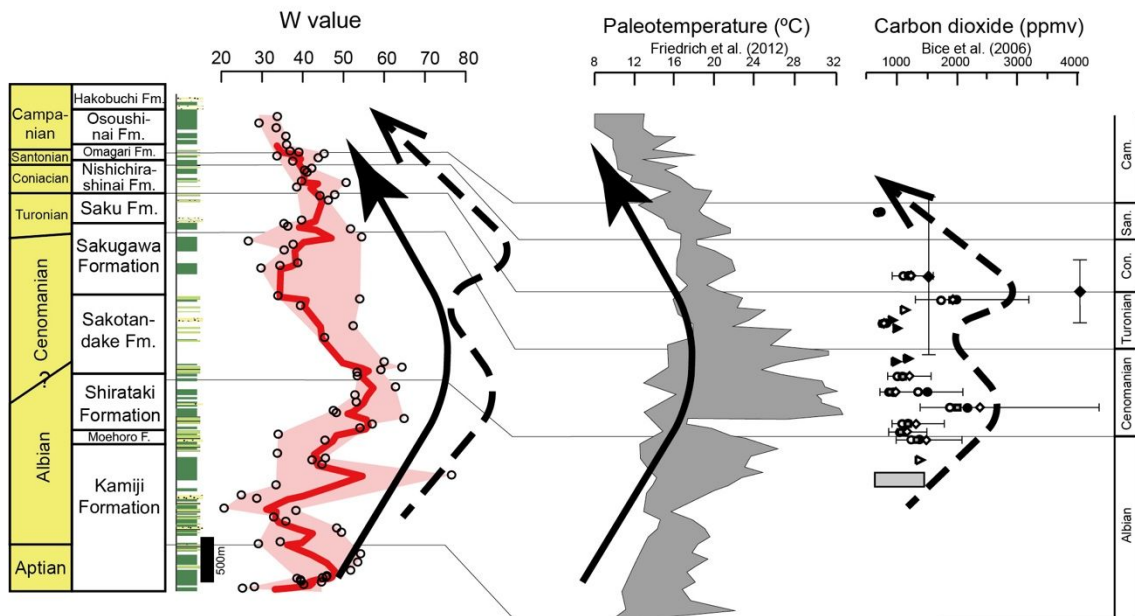


図2. 蝦夷層群の W 値(後背地風化度)と白亜紀の古気温と二酸化炭素濃度の比較。

本研究では、白亜系分布域の小平地域の OAE 2 層準について、後背地風化度の推移を明らかにした(図3)。W 値は 35 程度から、OAE 2 層準で 40~45 に上昇して高い値を保持している。したがって、“風化仮説”のシナリオを支持する結果が得られた。また、W 値の上昇は OAE 2 に先行するように上昇しており、このことは、大陸地殻の風化作用が先行して、その結果として海洋無酸素化が発動するという「風化仮説」シナリオの時系列と合致した結果が得られたと言える。

#### Obira area

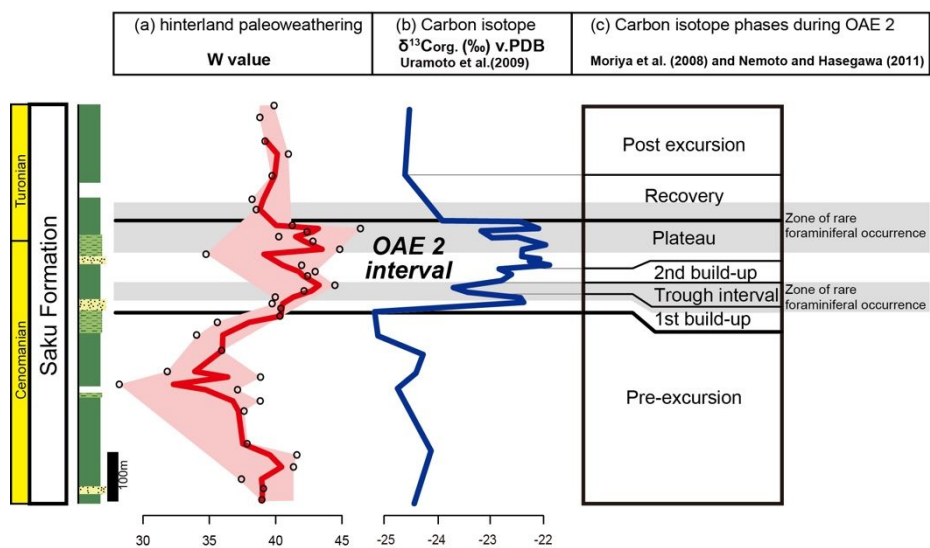


図3. 小平地域の OAE 2 層準における W 値(後背地風化度)の変化。

まとめると、本研究計画では、OAEsの発動要因として注目されている“風化仮説”の実態と影響を検証した。その結果、極度の温暖化が進行した時期に、海洋無酸素化が引き起こされたことが知られているが、この現象には大陸地殻の風化作用の増大が深く関与していることが明らかになった。特に、今回の結果は、閉鎖的な地域の研究事例ではなく、大海洋である太平洋沿岸で検知されたので、温暖化に伴う汎世界的な気候変動応答であることが示唆される。

#### 引用文献:

- Arthur et al., 1987, *Geol. Soc. London, Spec. Publ.* **26**, 401-420
- Bice et al., 2006, *Paleoceanogr. Paleoclimat.* **21**, PA2002
- Blattler et al., 2011, *Earth Planet. Sci. Lett.* **309**, 77-88
- Bottini et al., 2012, *Geology* **40**, 583-586
- Erbacher et al., 1996, *Geology* **24**, 499-502
- Friedrich et al., 2012, *Geology* **40**, 107-110
- Frijia and Parente, 2008, *Palaeo3* **261**, 15-29
- Kuhnt et al., 2011, *Geology* **39**, 323-326
- Kuypers et al., 1999, *Nature* **399**, 27-30
- Misumi et al., 2009, *Earth Planet. Sci.* **286**, 316-323
- Monteiro et al., 2012, *Paleoceanogr. Paleoclimat.* **27**, PA4209
- Ohta and Arai, 2007, *Chem. Geol.* **240**, 280-297
- Ohta et al., 2011, *J. Geol.* **119**, 81-96
- Ozaki et al., 2011, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **304**, 270-279
- Pogg von Strandman et al., 2013, *Nat. Geosci* **6**, 668-672
- Weissert et al., 1998, *Palaeo3*. **137**, 189-20

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Cho Tenichi, Ohta Tohru	4. 巻 608
2. 論文標題 A robust chemical weathering index for sediments containing authigenic and biogenic materials	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology	6. 最初と最後の頁 111288 ~ 111288
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.palaeo.2022.111288	査読の有無 有
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0件

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

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