

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K03787

研究課題名(和文) 東アジア大陸における白亜紀古気候の時空変化：温暖期の大気循環システムの解明

研究課題名(英文) Spatiotemporal paleoclimate transition in East Asia during Cretaceous

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) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、白亜紀における東南アジアの古気候の時空変遷を明らかにしてきた。具体的な調査地域は、北ベトナム・イエンチャウ(北緯20°付近)、中南部ベトナム・ニャチャン(北緯15°付近)、南ベトナム・フーコック(北緯10°付近)、マレーシア・クチン(北緯0°付近)の4地点である。白亜紀前期においては、全ての調査地域が熱帯雨林気候帯相当の古気候であった。しかし、白亜紀中期の極温暖期においては、北緯20°にて極端な乾燥化が、北緯15°付近では中程度の乾燥化が検知された。この結果から、極端な温暖化が低緯度地域の乾燥化を引き起こされることが判明し、その範囲も特定することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

東南アジアが白亜紀中期に砂漠化した証拠は先行研究でも示されてきた。しかし先行研究は内陸域において実施されたものなので、内陸性気候特有のローカルな気候変化にすぎない可能性を否定できなかった。今回の研究では、全て沿岸域を研究対象として選定している。したがって、本結果は全球的な気候変動の表れであることが示された。また、白亜紀中期は温暖化が進行した代表的な地質時代であり、近未来、人類と地球が直面するであろう環境変動の予測に役立つ研究対象である。本研究では、温暖化が東南アジア低緯度地域の乾燥化を引き起こすことを示唆した。したがって、近未来、同様の環境変動が発動されることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：In this study, we clarified the spatiotemporal changes in the ancient climate of Southeast Asia during the Cretaceous period. The specific survey areas were four locations: Yenchau, northern Vietnam (near 20°N); Nha Trang, central-southern Vietnam (near 15°N); Phu Khoq, southern Vietnam (near 10°N); and Kuching, Malaysia (near the equator). In the Early Cretaceous, all survey areas had an ancient climate equivalent to the tropical rainforest climate zone. However, during the mid-Cretaceous extreme warming period, extreme drought was detected at 20°N and moderate drought at around 15°N. From these results, it was revealed that extreme warming causes aridification in low-latitude regions, and the extent of this phenomenon was successfully identified.

研究分野：地質学

キーワード：古気候 東南アジア 白亜紀

1. 研究開始当初の背景

白亜紀中期は温暖化が極度に進行したことによって、地球システムの転換が発動したとされている。例えば、海洋圏では塩熱循環・鉛直循環の停滞、大気圏ではハドレー循環の拡大や熱帯収束帯の南方変位などが挙げられる。したがって、地球温暖化に伴う地球システムの転換を理解するうえで、白亜紀中期は重要な研究対象となる。本研究の目的は、温暖化がトリガーとなって引き起こされる大気循環システムのスイッチングを解明することにある。

白亜紀前期の地球温暖モードでは、ハドレー循環が拡大すると考えられている(Farrell, 1990)。しかし、さらに温暖化が進行した白亜紀中期の極温暖モードではハドレー循環が縮小するという見解(Hasegawa et al., 2012; Hey and Floegel, 2012)や、ハドレー循環全体が南方変位するという見解(Wagner et al., 2013)が出されており、未解決である。したがって、極温暖期に確立される大気循環システムと、砂漠化地域と湿潤化地域の緯度分布の詳細が不明なままである。本研究の核心をなす学問的問いは、極温暖モードにおける大気循環システムを、地質学的プロキシデータから解明することである。

2. 研究の目的

本研究では、東アジア大陸の9地点(黒竜江省、河北省、モンゴル、浙江省、山東省、北ベトナム、中部ベトナム、南ベトナム、ボルネオ)において、白亜紀前期と中期における後背地風化作用を定量化して、諸地域の乾燥化・湿潤化を解析する。これによって、中緯度高圧帯とハドレー循環の時空間変動を復元する。最終的には、温暖化が各地に及ぼす気候変動の応答を解明することにある。

3. 研究の方法

本研究では、泥岩試料の化学組成から、地球化学的風化指標(W値)を求めて、当時の後背地風化作用や土壌化作用を定量化する。原理としては、気候に応じてW値が変動するので、その値から古気候を推定する。

図1の下部は、世界各地の現世の土壌のW値を緯度・気候帯別にまとめたものである(Ohta et al., 2011)。W値は、気候帯の判別に有効であり、これを白亜紀に適用すれば、当時の気候帯推定が可能となる。ただし、隣接する気候帯同士においてW値に相当な重なりがあり、気候帯の厳密な断定が難しいという弱点があげられる。たとえば、図1下部における、現世土壌のSpodosolとMollisolのW値は、ほとんど重なっているため、W値からは寒冷気候と温暖気候を識別することは不可能である。

しかしながら、今回の研究目的達成のためには上記の点は問題とならない。

なぜなら、W値の最大の特徴は熱帯雨林気候帯(Ultisol, Oxisol)と乾燥気候帯(Aridisol)における値のコントラストが非常に大きい点であり(図1)、両者を見誤る可能性はない。今回の研究目的は、ハドレー循環の位置を推定することなので、熱帯収束帯(熱帯雨林気候帯)と中緯

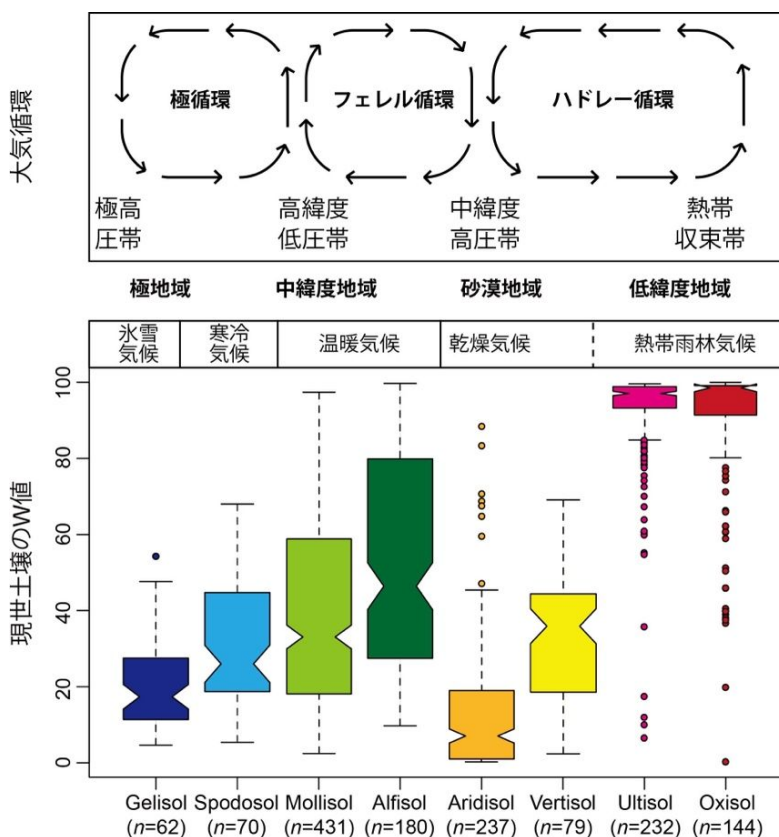


図1. 下部は各気候帯に分布している現生土壌の後背地風化度(W値)。上部は各気候帯に対応する大気循環の概要(Ohta et al., 2011を一部改変)。

度高压帯（乾燥気候帯）さえ同定できれば、本研究の目的を達成できる。ハドレー循環南限である熱帯収束帯（Ultisol と Oxisol）を、W 値を利用すれば、他の気候帯と見誤る可能性は少ない（図 1）。ハドレー循環北限である中緯度高压帯（Aridisol）については、氷雪気候帯（Gelisol）と W 値が類似する。しかし、白亜紀に氷雪気候帯が低緯度まで南下した可能性はない。したがって、W 値を利用すれば、ハドレー循環の位置推定が容易にできる。

#### 4. 研究成果

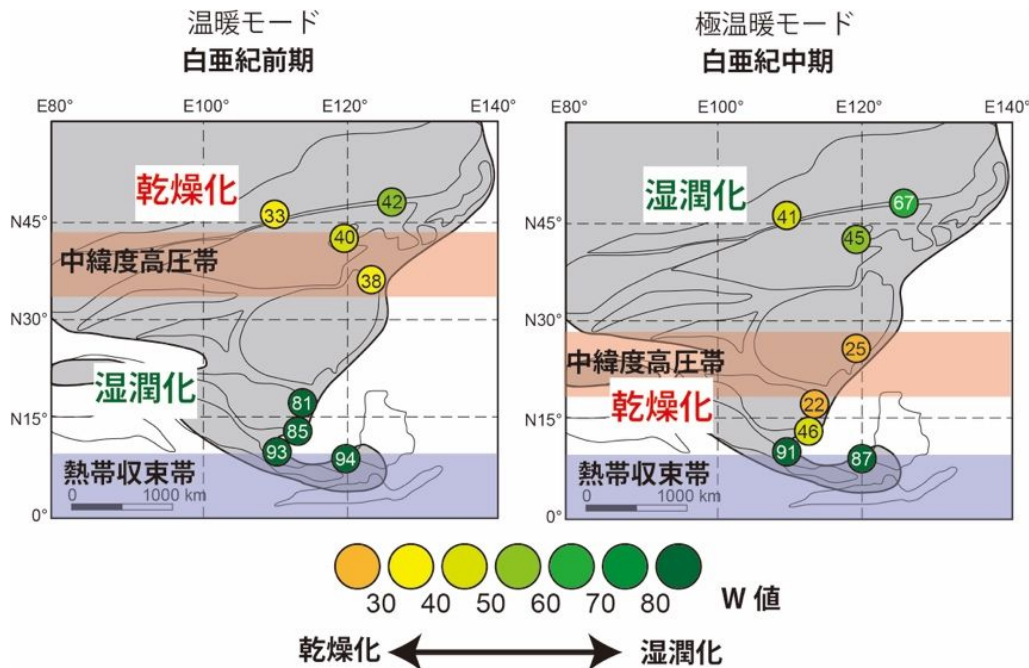


図 2 . 白亜紀前期の温暖モードと白亜紀中期の極温暖モードにおける各地の W 値と推定される中緯度高压帯の位置。

図 2 には、各地の W 値の時空間変化をまとめた。中緯度地域（N30～40°）においては、白亜紀前期に乾燥気候が優勢だったが、白亜紀中期にやや湿潤化する傾向にある。したがって、極温暖期（白亜紀中期）には中緯度高压帯がこの位置から移動したことが示唆される。

一方で、低緯度地域（N15～30°）においては熱帯雨林気候に相当する W 値を白亜紀前期に示していたのが、白亜紀中期には砂漠気候に相当する W 値に変化した。ただし、さらに南方の赤道直下地域（南ベトナム、ボルネオ）では白亜紀前期から中期を通して、熱帯雨林気候を維持していた。したがって、低緯度地域（N15～30°）のみが白亜紀中期に乾燥気候に転じており、この位置に中緯度高压帯が移動してきた可能性があげられる。

この古気候の時空間変遷は、中緯度地域が湿潤化して、かつ、低緯度地域が乾燥化しているので、極温暖化に伴うハドレー循環の縮小モデル（Hasegawa et al., 2012; Hey and Floegel, 2012）と調和的な結果が得られたことになる。ただし、ハドレー循環を縮小して安定化させる地球物理学的メカニズムが不明である点がこのモデルの弱点である。

低緯度地域の乾燥化を説明する他のシミュレーションモデルとしては、ウォーカー循環の摂動が関与した可能性もあげられる（Farnsworth et al., 2019）。このモデルでは、白亜紀中期における大西洋の拡大が支配的要因になって、東南アジア沖に位置しているウォーカー循環の上昇流地域が東方に遷移したと主張している。そうすると東南アジア沿岸域は降雨量が減少すると考えられる。

もう一つのモデルとしては、Higuchi et al. (2021) が、チベット高原がなかった白亜紀において、温暖化が進行すると、モンスーンが弱体化して東南アジアが乾燥化するというシミュレーション結果を示した。

上記の 2 つのシミュレーションは、いずれも東南アジア地域が温暖化に伴い乾燥化することを示しており、その点では本研究の結果と整合的ではある。しかし、本研究の結果は熱帯雨林気候が乾燥気候に転換するほどの乾燥化を抽出しているため、この規模の乾燥化はシミュレーションでは再現されていないという問題が残る。

一方、白亜紀中期における中緯度地域の湿潤化は、パラテチス海（N30°，E90° 付近）の海進が関与していた可能性がある。白亜紀中期に Tajik 盆地や Tarim 盆地が海進によって水没した（Xi et al., 2016; Zhang et al., 2016）。アジア大陸の南西部に侵攻した海水から湿った大気が偏西風に乗って、アジア大陸内陸部に湿潤化をもたらした可能性があり、その現れが今回の、

中緯度地域 (N30~40°) における、白亜紀前期に乾燥気候が優勢だったが、白亜紀中期にやや湿潤化した結果を説明できる可能性がある。

引用文献：

- Farnsworth, A., Lunt, D. J., Robinson, S. A., Valdes, P. J., Roberts, W. H., Clift, P. D., Markwick, P., Su, T., Wrobel, N., Bragg, F., Kelland, S., and Pancost, D. R., 2019. Past East Asian monsoon evolution controlled by paleogeography, not CO<sub>2</sub>. *Science Advances*, **5**.
- Hasegawa, H., Tada, R., Jiang, X., Sugauma, Y., Imsamut, S., Charusiri, P., Ichinnorov, N. and Khand, Y., 2012. Drastic shrinking of the Hadley circulation during the mid-Cretaceous supergreenhouse. *Clim. Past*, **8**, 1323-1337.
- Hay, W. W., and Floegel, S., 2012. New thoughts about the cretaceous climate and oceans. *Earth Sci. Rev.* **115**, 262-272.
- Higuchi, T., Abe, A., and Chan, W., 2021. Differences between present-day Cretaceous hydrological cycle responses to rising CO<sub>2</sub> concentration. *Geophys. Res. Lett.* **48**.
- Ohta, T., Li, G., Hitano, H., Sakai, T., Kozai, T., Yoshikawa, T., and Kaneko, A., 2011. Early Cretaceous Terrestrial Weathering in Northern China: Relationship between Paleoclimate Change and the Phased Evolution of the Jehol Biota. *J. Geol.* **119**, pp.81-96.
- Wagner, T., Hofmann, P., and Flögel, S., 2013. Marine black shale deposition and Hadley Cell dynamics: a conceptual framework for the Cretaceous Atlantic Ocean. *Mar. Pet. Geol.*, **43**, 222-238.
- Xi, D., Cao, W., Cheng, Y., Jiang, T., Jia, J., Li, Y., W, Q., 2016. Late Cretaceous biostratigraphy and sea-level change in the southwest Tarim Basin. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* **441**, 516-527.
- Zhang, L., Wang, C., Cao, K., Wang, Q., Tan, J. and Gao, Y., 2016. High elevation of Jiaolai Basin during the Late Cretaceous: Implication for the coastal mountains along the East Asian margin. *Earth Planet. Sci. Lett.* **456**, 112-123.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Hasegawa Hitosh et al.	4. 巻 12
2. 論文標題 Decadal?centennial-scale solar-linked climate variations and millennial-scale internal oscillations during the Early Cretaceous	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-16
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-022-25815-w	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 該当する

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1件

1. 著者名 太田 亨	4. 発行年 2023年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 160
3. 書名 組成データ解析入門	

〔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
---------	---------