

早稲田大学大学院 創造理工学研究科

# 博士論文概要

## 論文題目

層状チャートを用いたカーニアン多雨事象におけるパンゲア  
大陸内陸域の古環境解析

Reconstruction of paleoclimate condition in Pangean interior during  
the Carnian Pluvial Episode from the abyssal bedded chert sequence

申請者

張 天逸  
Tenichi CHO

地球・環境資源理工学専攻 堆積学研究

2022年12月

後期三疊紀カーニアン期（約 230Ma）は、恐竜の多様化をはじめとした、陸上生態系が大きく変化した時代であった。この原因としては、ランゲリラ洪水玄武岩の噴出に起因する、湿潤化イベントであるカーニアン多雨事象（Carnian Pluvial Episode: CPE）が関与していると指摘されている。カーニアン多雨事象の研究は、主にテチス海沿海に位置していた欧州域で進められているが、湿潤度変化の地域性が大きく、年代制約も乏しい。このため、CPE 時の古環境動態については、未だ十分に理解が進んでいない。そこで CPE 解明の一環として、本研究では、年代が高精度に制約されている、美濃帯の遠洋性層状チャートに含まれる、超大陸パンゲア内部の広大な乾燥地帯から舞い上がった風成塵から大陸内部の情報の復元を試みた。

第 1 章は序章であり、カーニアン多雨事象研究の現状と本研究の位置づけを述べるとともに、本論文の構成を示した。

第 2 章では、本研究の対象地点である美濃帯犬山地域の地質概略と層状チャート、及び本研究の検討セクションであるカーニアン階の層準（Section R, Section Q）について、詳細な地表踏査の結果と本検討セクションにおける年代制約についてまとめた。美濃帯犬山地域に分布する層状チャートは海溝における底付付加によって付加した地帯であり、激しい地層の変形が随所にみられる。微褶曲や小規模の断層が各所に発達しているため、連続層序の構築には航空写真と地表踏査の併用による丹念な露頭調査が必要となる。本研究では、放散虫化石、コノドント化石によって制約されているカーニアン階の層準全体を含む区間において、層状チャートの単層スケールでの連続層序を確立した。

第 3 章では、層状チャートの挟みの泥岩層について、主要成分全岩化学組成の測定結果を報告し、泥岩層が保持する情報を堆積岩岩石学的手法と多変量統計学的手法を用いた探索的データ解析を行った。層状チャートの挟みの泥岩層は珪質生物遺骸の希釈の影響が比較的少なく、陸源物質の情報を保持していると考えられる。CaO wt.%と P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> wt.%の高い正の相関とその傾きは、本研究によるデータセット中の CaO と P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> の変動は主にアパタイトの寄与によるものであることを示唆した。

層状チャート中の陸源物質の供給源を推定するために、Roser and Korsch (1998) による堆積場判別図を適用したところ、ほとんどの試料が“Quartzose sedimentary provenance”の領域に属した。層状チャートは、海溝によって陸域からの河川による物質供給から断絶された深海平原堆積したので、含まれる陸源物質は大陸内部からもたらされる風成塵由来であるとの見地と、本研究による堆積場判別図から推定された供給源は調和的であった。

全岩化学組成のクラスター解析の結果、陸源物質クラスター ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ), アパタイトクラスター ( $\text{CaO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), マンガンクラスター ( $\text{MnO}$ ) の明瞭な 3 つのクラスターに区分された。この結果は、堆積物中におけるこの 3 成分の量比の変動が全岩組成の差異に大きな影響を与えていることを示唆した。

主成分分析の結果、第一主成分はデータセット全体のばらつきの 38.9%を反映し、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  について正の負荷量を示し、 $\text{MnO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{CaO}$  について負の負荷量を示した。第一主成分について正の負荷量を示す元素は、クラスター解析において陸源物質クラスターに属する元素群と一致している。一方で、アパタイトクラスターとマンガンクラスターに属する元素はすべて第一主成分について負の負荷量を示す。このことから、PC1 はアパタイトやマンガンといった海洋由来の物質に対する陸源物質の相対的な濃集度を反映している潜在変数であると言える。第一主成分得点と生物生産性を反映する  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  の層序変化の検討から、第一主成分の層序変化は風成塵供給量変動を表す変数であることが示唆された。また、第一主成分得点は Julian/ Tuvalian 境界付近に位置する、厚い泥岩層 CS-1 において最も高い値を示し、第一主成分得点の解釈が岩相からも支持された。

第 4 章では、層状チャート中の陸源物質が保持している化学風化度の情報を定量的に見積もるために、新たな化学風化指標 RW index を導入した。RW index は火成岩とその風化産物のデータセットを用いた 6 つの主要成分元素の独立成分分析に基づく指標であり、指標値の計算には  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  を必要としないために、これらの元素を主成分とする生物源物質や続成由来物質の混入に対して強固な指標となった。RW index を 2 種類の対照的な化学組成をもつ母岩上に発達したサプロライト、現世の成帯性土壌、炭酸塩を濃集した古土壌の鉛直プロファイルにそれぞれ適用し、有用性評価を行った。RW index により、生物源 Si, Ca, P を多く含む堆積物である層状チャートにおいて、含有する陸源物質の化学風化度を定量化することが可能となったため、カーニアン階のデータに RW index を適用したところ、カーニアン多雨事象に該当する区間において、遠洋域にもたらされる陸源物質の風化度の上昇が検知された。

第 5 章では、第 3 章、第 4 章において得られた陸源物質供給量とその化学風化度変動を浅海域から得られた各種地質記録と対比することで、カーニアン多雨事象におけるパンゲア大陸内陸域の環境変動の様式について議論した。テチス地域で認識されたカーニアン多雨事象に伴う炭素同位体変動 NCE-3 と同調して、遠洋深海域への風成塵供給量と風化度が増加したことは、カーニアン多

雨事象期間中では、湿潤期には風成塵の生産と化学風化が促進された一方、乾燥期にはその輸送が促進されたことを示唆する。これは超大陸パンゲアの形成に起因するメガモンスーン気候を背景に、カーニアン多雨事象時においては風成塵の発生源となる内陸地域における湿潤期と乾燥期の気候の差異が強化された結果であると解釈された。

第6章は、本学位論文の結論である。

以上のように、本研究では、付加体に産出する層状チャートを用いて、カーニアン多雨事象における陸域環境変動の解析を行った。研究の空白地帯であった陸域内部の情報を復元したことは、カーニアン多雨事象における全球的な気候変動への理解に重要な示唆を与えた。本研究で用いた一連の手法は付加体に産出する他の時代の層状チャートについても適用可能なので、今後層状チャートを用いた様々な地質事象における大陸内陸域の古気候解析をするうえで、必要不可欠な基盤を構築した研究である。

## 早稲田大学 博士（理学） 学位申請 研究業績書

氏名：張 天逸

印

(2022年 12月 現在)

種類別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
論文	<p>○ <u>Cho, T.</u>, Ohta, T., 2022, “A robust chemical weathering index for sediments containing authigenic and biogenic materials”, <i>Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology</i>, <b>608</b>, 111288.</p> <p>Chen, W., Kemp, D., Newton, R., He, T., Huang, C., <u>Cho, T.</u>, Izumi, K, 2022, “Major sulfur cycle perturbations in the Panthalassic Ocean across the Pliensbachian-Toarcian boundary and the Toarcian Oceanic Anoxic Event”, <i>Global and Planetary Change</i>, <b>215</b>, 103884.</p> <p>○ <u>Cho, T.</u>, Ikeda, M., Ohta, T., 2022, “Increased terrigenous supply to the pelagic Panthalassa Superocean across the Carnian Pluvial Episode: A possible link with extensive aridification in the Pangean interior”, <i>Frontiers in Earth Science</i>, <b>10</b>:897396.</p> <p>Kemp, D., Chen, W., <u>Cho, T.</u>, Algeo, T., Shen, J. Ikeda, M, 2022, “Deep-ocean anoxia across the Pliensbachian-Toarcian boundary and the Toarcian Oceanic Anoxic Event in the Panthalassic Ocean”, <i>Global and Planetary Change</i>, <b>212</b>, 103782.</p>
講演 (国際学会)	<p>Chen, W., He, T., Kemp, D., Xiong, Y., Izumi, K., <u>Cho, T.</u>, Huang, C., Newton, R., Poulton, S., 2022, “Shallow and deep ocean Fe cycling and redox evolution across the Pliensbachian-Toarcian”, Goldschmidt conference 2022 (virtual), European Association of Geochemistry.</p> <p>Okano, K., Nakano, A., <u>Cho, T.</u>, Ohta, T., Li, G., 2020, “Paleoclimate evaluation during the mid-Cretaceous in Zhejiang Province, southeast China”, 35th IAS Meeting of Sedimentology (virtual) Book of Abstracts p.331, International Association of Sedimentologist.</p> <p><u>Cho, T.</u>, Ohta, T., 2020, “A robust chemical weathering index applicable to a wide range of sedimentary rocks”, Goldschmidt conference 2020 (virtual), European Association of Geochemistry.</p> <p><u>Cho, T.</u>, 2020, “Reconstruction of climate condition in the Carnian from bedded chert by using a new index of chemical weathering”, JpGU-AGU Joint Meeting (virtual), Japan Geoscience Union.</p> <p><u>Cho, T.</u>, Mantani, H., Ohta, T. Li, G., 2019, “Evaluation of Cretaceous hinterland weathering and climate in the Sichuan Basin SW China”, <i>Open Journal of Geology</i>, <b>9</b>, 696-699.</p> <p><u>Cho, T.</u>, Ohta, T., 2019, “Late Triassic continental weathering fluctuation recorded in pelagic sediments distributed in Inuyama section, central Japan”, 34th IAS Meeting of Sedimentology (Rome, Italy) Book of Abstracts p.251, International Association of Sedimentologist.</p> <p><u>Cho, T.</u>, Mantani, H., Ohta, T., Li G., 2019, “Evaluation of hinterland weathering and paleoclimate of the Cretaceous strata in the Sichuan basin, central China”, Japan Geoscience Union Meeting 2019 (Chiba, Japan), Japan Geoscience Union.</p>

## 早稲田大学 博士（理学） 学位申請 研究業績書

氏名：張 天逸

印

(2022年 12月 現在)

種類別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
講演 (国内学会)	<p>張天逸, 太田亨, 2022, “生物源物質の混入と続成作用による化学組成改変を補正する化学風化指標 (RW index) の提示”, 日本地質学会学術大会講演要旨, 日本地質学会.</p> <p>張天逸, 池田昌之, 太田亨, 2022, “美濃帯層状チャートを用いた遠洋域への風成塵供給量の復元: Carnian Pluvial Episodeにおける陸域環境変動への示唆”, 日本堆積学会2022年オンライン大会講演要旨, 日本堆積学会.</p> <p>張天逸, 海老澤駿, 太田亨, 2019, “犬山層状チャートに記録された後背地風化度変動と後期三疊紀湿潤化イベントの関係”, 日本地質学会学術大会講演要旨2019 (0), 453-, 日本地質学会.</p> <p>張天逸, 太田亨, 2018, “犬山層状チャートの挟在泥岩化学組成を用いた風成塵供給量の復元によるパンゲア・メガモンスーン仮説の検証”, 日本地質学会学術大会講演要旨2018 (0), 475-, 日本地質学会.</p>
その他(報告)	<p>張天逸, “地球生命共進化メカニズムの解明: 中生代三疊紀における火成活動, 陸域気候, 海洋環境の同時復元”, 2022, 理工総研第11期アーリーバードプログラム研究成果報告, 早稲田大学理工学術院総合研究所. 48-50.</p> <p>張天逸, “IAS巡検「Sedimentary structure of Microbial carbonate platform」参加報告”, 2020, 堆積学研究, 78巻, 111-115.</p>