

西南日本内帯のチャート層に連続的に記録された 古生代後期～中生代前期の古海洋システム変動の 高解像度解析

多田隆治* 渡部哲子* 柏山祐一郎*
田近英一* 加藤拓弥* 山本信治*
磯崎裕子* 佐久間広展*

High-resolution Analysis of Late Paleozoic – Early Mesozoic Variability of Paleoceanographic System Recorded in Bedded Chert Sequence in the Inner zone of Southwest Japan

Ryuji TADA*, Satoko WATANABE*, Yuichiro KASHIYAMA*,
Eiichi TAJIKA*, Takuya KATO*, Shinji YAMAMOTO*,
Yuko ISOZAKI* and Hironobu SAKUMA*

I. はじめに

約2億5千万年前のペルム紀/三畳紀(P/T)境界付近では、顕生代最大の生物絶滅イベントがあったと言われ、その原因の一つとして、海洋無酸素事変が提唱されている(例えば、Wignall and Hallam, 1992)。P/T境界における還元環境の発達や、それに伴う古生物学的、地球化学的変動に関しては世界各地で検討されているが、その多くは当時のテーチス海周辺もしくは北のボレアル海周辺の浅海性炭酸塩岩を対象としている(例えば、Wignall and Twitchett, 2002)。

一方、日本のジュラ紀付加体は、当時の地球表層の70%をしめるパンサラッサ海の情報を持ち、当時の海洋環境の検討に重要である(Isozaki, 1994, 1997)。ジュラ紀付加体では、これまでに、P/T境界付近におけるコノドントや放射虫層序

(山北, 1987; Sugiyama, 1992など)を基に、ペルム紀チャート 珪質泥岩 黒色頁岩 珪質泥岩 三畳紀チャートという一連のシークエンスが確認され、2層準の珪質泥岩に挟まれる層序区間のどこかにP/T境界が位置することが示唆された(石賀・山北, 1993; Isozaki, 1994)。しかし、その厳密な位置は確定していない。

チャート、珪質泥岩および黒色頁岩は、各々物性が異なるため、付加体中へ取り込まれる過程でそれらの岩相境界で切断されやすく、連続した層序を得る事は困難であり(中江, 2000)これまでの研究において岩相ユニットレベルでしか環境変動の議論が出来なかった原因の一つとなっている。特に、三畳紀前期における黒色頁岩 珪質泥岩 チャートの連続性は悪く、また三畳紀最初期の放射虫示準化石が未解明であるために、三畳紀最初期の層序は確立していない。日本のチャー

* 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

* Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, the University of Tokyo

ト相における P/T 境界の位置に関しては、最近、京都府北部兔原において、黒色頁岩の基底で三疊紀最初期の示準種であるコノドント *Hindeodus purvus* が報告され、P/T 境界が黒色頁岩の基底付近にある可能性が示唆された (Yamakita *et al.*, 1999)。しかし、厳密には黒色頁岩の基底付近に層理に平行な滑り面が見つかっており、基底付近に欠落がある可能性も否定できない。

本研究では、黒色頁岩において三疊紀最初期の示準種である *H. purvus* が報告されている兔原の層序と郡上八幡地域の層序を比較することによってペルム紀後期から三疊紀最初期における層序の連続性を検証し、また三疊紀初期の黒色頁岩から珪質泥岩、チャートへの変化を連続的に追える可能性が高い犬山地域において三疊紀初期の岩相層序を構築することによって、日本のチャートシークエンスにおける P/T 境界前後の詳細な層序を確立すること、黒色頁岩の有機物の同位体組成から海洋無酸素事変時の海洋表層での生物生産システムを明らかにすること、を目的として調査を行った。

II. 調査地点

調査および試料採取は、ペルム紀のチャートから珪質泥岩、黒色頁岩が観察される美濃帯の岐阜県郡上八幡地域と三疊紀初期の黒色頁岩、珪質泥岩、チャートが報告されている美濃帯の愛知県犬山地域桃太郎神社セクションの 2 地域で行った (図 1)。丹波帯の兔原地域については、すでに著者らの一部によって採取された試料を用いた。郡上八幡地域の調査地点は、Kuwahara *et al.* (1998) によって放散虫層序が、Yao *et al.* (2001) によってコノドント層序が確立されている GA セクション上部および GB、GC セクションと同地点である。犬山地域桃太郎神社セクションは、八尾・桑原 (1997) の Mt セクションとほぼ同地点である。

III. 岩相記載および層序復元

1) 郡上八幡地域

Kuwahara *et al.* (1998) の GA セクション

の上部と GB セクション 8.5 m (*Neobaillella ornithoformis* 帯と *N. optima* 帯下部) について岩相記載を行い、約 50cm おきに試料を採取した (図 1)。GA セクションは、膨縮が比較的激しいペルム紀後期の灰色層状チャートからなり、泥岩薄層をしばしば挟む。また、その中部に赤色を呈す層状およびノジュール状のヘマタイト質チャートがしばしば認められる。

GC セクションについては、層厚 3.5 m の全層準について岩相記載を行い、上部 1.3 m については、エンジンカッターを用いて、連続試料採取を行った。GC セクションでは、下位から泥岩薄層を挟むペルム紀後期 (*N. optima* 帯) 灰色層状チャート、その上位にペルム紀後期 (*N. optima* 帯) 灰色塊状珪質泥岩が重なる。塊状珪質泥岩の下部には、層理に概ね平行に、複数の黄茶色碎屑性岩脈が貫入している。塊状珪質泥岩の上には黒色頁岩が重なり、その上限は断層で切られている。黒色頁岩は、灰色珪質泥岩薄層を挟み、両者にはしばしば細粒の pyrite が濃集している。また、黒色頁岩部には、小断層や層内褶曲などの変形構造が見られるが、層序的欠落を引き起こす様な断層は認められず、堆積記録が連続的に保存されている。

2) 犬山地域桃太郎神社セクション

このセクションでは、褶曲と断層が頻繁に見られたが、地質構造を解析して層序復元を試みた。このセクションの層序は、最下位に黒色頁岩、その上に整合的に重なる黒色の石灰岩単層、黒色頁岩薄層を頻繁に挟む泥質な灰色層状チャート (中部に灰色の石灰岩単層を挟む)、黒色頁岩薄層を頻繁に挟む緑灰色珪質泥岩という一連のシークエンスからなり、その層厚は 7.5 m におよぶ。従来の放散虫層序研究では、この層序区間の年代層序は確定していないが、岩相層序から見て、最下部の黒色頁岩は、三疊紀最初期のものであると思われる。更にその上位では、灰色層状チャートから赤色層状チャート、そして再び灰色層状チャートへの変化が確認された (図 1)。八尾・桑原 (1997) は、この赤色層状チャートから、三疊紀初期後期を示す放散虫 *Parentactinia*

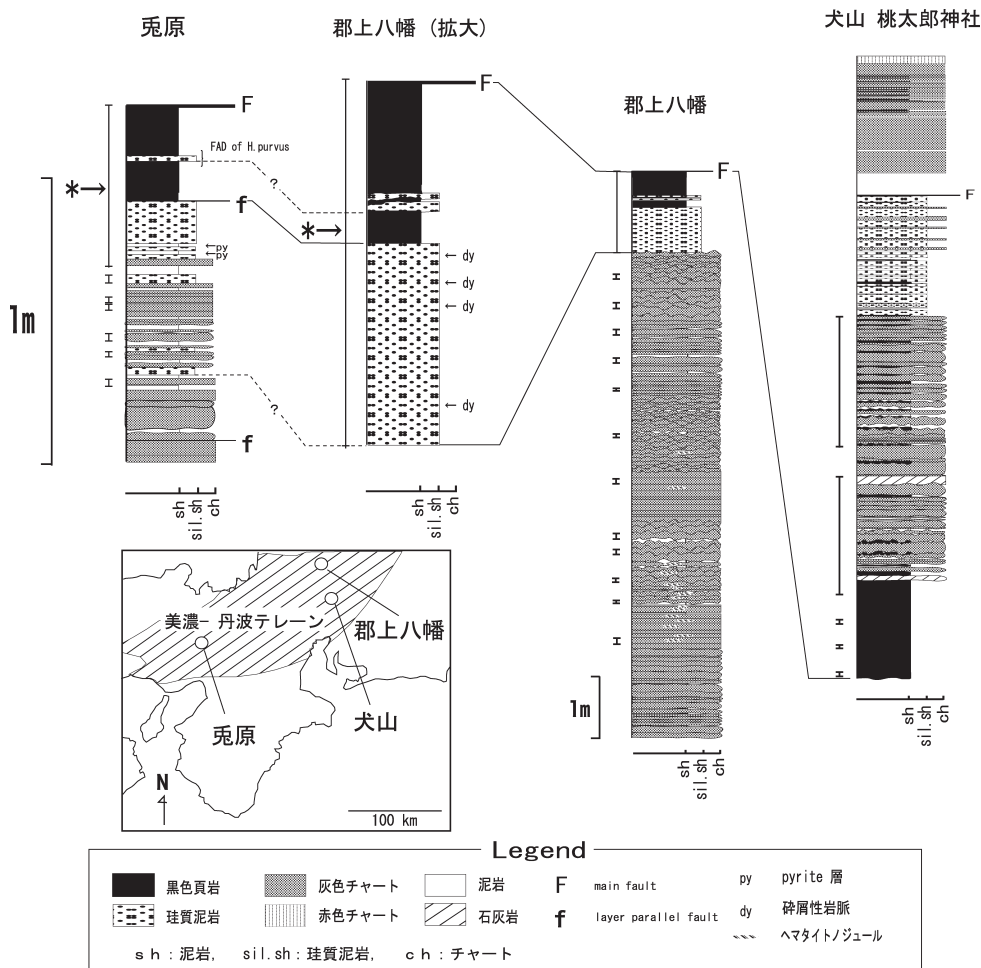


図 1 調査地域の位置図（左下図）. および郡上八幡地域と犬山地域における二畳紀後期から三畳紀初期に渡る連続柱状図（右図）. 郡上八幡地域と菟原地域における P/T 境界付近の拡大柱状図の比較（左図）. 柱状図左の棒線は、試料取得層準を示す. 星印は、有機分析に用いた試料の取得位置を示す.

Fig. 1 A locality map of the studied areas.

A continuous columnar section of the bedded chert sequence covering late Permian to earliest Triassic at Gujo-hachiman and Inuyama areas (right), and correlation of the magnified columnar sections around the P/T boundary between Gujo-hachiman and Ubara areas (left). Bars on the left side of the columnar sections represent sampling intervals. Stars indicate horizons from where samples used for organic analysis were taken.

nakatsugawaensis を報告している。

IV. 有機分析結果

本研究では、有機物の起源とその特徴から、P/T 境界の黒色頁岩を堆積させた古海洋環境の解

明を目指している。これまでに、菟原セクションの黒色頁岩（Uba 2 1）および郡上八幡セクションの黒色頁岩（Gujo h0）の 2 試料について、全岩の有機炭素と有機窒素の含有量および安定同位体比分析を行った（表 1）。結果のうち特に注

表 1 P/T 境界前後の遠洋生堆積物中に挟在する黒色頁岩についての全岩有機分析結果。元素分析計/オンライン/同位体質量分析計を用いて測定した。

Table 1. Results of bulk organic matter analysis of black shales at the P/T boundary.

Locality	Sample ID	$\delta^{15}\text{N}\text{‰}$	$\delta^{13}\text{C}\text{‰}$	N (wt%)	C (wt%)	C/N
Ubara Area	Ub 2 1	- 1.1	- 28.4	0.07	1.1	15.7
Gujo-hachiman Area	Gujo h0	- 1.9	- 26.7	0.05	0.9	18.0

目すべきは、有機窒素の同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$) が、菟原と郡上の両方の試料で、それぞれ - 1.1‰、- 1.9‰と非常に低い値を示した点である。有機窒素の同位体比は、窒素の起源や当時の海洋における窒素プロセスに関する情報を持つ。現在の海洋底堆積物中の有機窒素は 3 ~ 14‰、過去の堆積物も、一般的には 2 ‰以上の高い値を持つ。これは、通常の海洋における生物生産では、光合成プランクトンが主に深層から湧昇してくる硝酸 (平均 6 ‰) を取り込んで同化していることを反映するためである。一方、白亜紀の海洋無酸素事変 (OAE) においては、有機物の窒素同位体比が - 3 ~ 0 ‰という低い値を示す (Rau *et al.*, 1987; Ohkouchi *et al.*, 1997)。多くのシアノバクテリアや光合成細菌は、硝酸に枯渇する貧栄養海域で溶解態の窒素ガス (約 0.5 ‰) を同化する窒素固定能を持っており、これにより生産された有機物の窒素同位体比は - 3 ~ 0 ‰である。このため、海洋無酸素事変時の海洋においては、シアノバクテリアや光合成細菌が一次生産の主体をなしていたと解釈された (Rau *et al.*, 1987; Ohkouchi *et al.*, 1997)。P/T 境界の堆積物中の有機窒素同位体比についてはこれまで報告がなかった。本研究の結果は、P/T 境界の黒色頁岩堆積時にも、窒素固定を行うシアノバクテリアなどが主要な一次生産を支える特殊な海洋表層環境が出現していた可能性を示唆するものである。また、有機物の C/N 比が 15.7 (菟原) 18.0 (郡上八幡) と通常の海洋堆積物に典型的な 1 ~ 9 と比べて高いという特徴も、白亜紀 OAE の特徴と一致する (Ohkouchi *et al.*, 2003)。これらのことから、P/T 境界と白亜紀 OAE の黒色頁岩が、類似した海洋セッティングで堆積した可能性が示唆され

る。ただし、今回分析したサンプルに含まれる有機窒素の含量は 0.1% 以下と低いため、堆積物中の粘土鉱物などに吸着している無機窒素の同位体比の影響を受けている可能性は否定できない。

V. まとめと今後の課題

今回の調査により、ペルム紀後期から三畳紀初期にかけて層厚 18 m に渡るチャート、珪質泥岩、黒色頁岩シークエンスの連続柱状図を作成するとともに、高密度の試料採取を行った。但し、三畳紀最初期の黒色頁岩部については、郡上八幡地域において、基底部から 60 cm に渡っての連続性が確認できたものの、犬山地域桃太郎神社セクションにおける黒色頁岩層との cm スケールでの対比を行うには至らなかった。従って、両セクションの黒色頁岩層間で重複あるいは欠落があるかの確認は、今後の課題である。

今回はまた、郡上八幡地域 GC セクションの珪質泥岩から黒色頁岩にかけての約 1.3 m の層序区間について、連続試料採取を行った。その試料の解析は、現在進行中であるが、予察的観察結果によれば、黒色頁岩部においては、細かな平行葉理が認められるものの、その発達は、間欠的である。また、珪質泥岩部においても、細かな平行葉理が認められ、珪質泥岩堆積時から無酸素環境が発達し始めた事を示唆する。更に、黒色頁岩の予察的有機物窒素同位体分析結果は、シアノバクテリアや光合成細菌など窒素固定をする微生物が、一次生産者であった可能性を示唆している。

今後、今回採取した試料を基に、ペルム紀末期から三畳紀初期にかけての底層水の酸化還元度変動を高解像度で復元して行くとともに、それと有機物の窒素、炭素同位体比変動の関係を調べて行

く予定である。

謝 辞

本研究は、平成 16 年度東京地学協会研究・調査助成金を用いて行われた。深く感謝する。

文 献

- 石賀裕明・山北 聡 (1993) 遠洋性堆積物中の P/T 境界研究の紹介。地質調査所月報, **44**, 419-423.
- Isozaki, Y. (1994) Superanoxia across the Permian-Triassic boundary: Record in accreted deep-sea pelagic chert in Japan. *Canadian Soc. Petrol. Geol. Memoir.*, **17**, 805-812.
- Isozaki, Y. (1997) Permian-Triassic boundary superanoxia and stratified superocean: Records from lost deep sea. *Science*, **276**, 235-238.
- Kajiwara, Y., Yamakita, S., Ishida, K., Ishiga, H. and Imai, A. (1994) Development of a largely anoxic stratified ocean and its temporary massive mixing at the Permian-Triassic boundary supported by the sulfur isotopic record. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **111**, 367-379.
- Kuwahara, K., Yao, A. and Yamakita, S. (1998) Reexamination of upper Permian radiolarian biostratigraphy. *Earth Science (Chikyū Kagaku)*, **52**, 391-404.
- 中江 訓 (2000) 西南日本内帯ジュラ紀付加複合体の広域対比。地質学論集, **55**, 73-98.
- Ohkouchi, N., Kawamura, K., Wada, E. and Taira, A. (1997) High abundances of hopanols and hopanoic acids in Cretaceous black shales. *Ancient Biomolecules*, **1**, 183-192.
- Ohkouchi, N., Kuroda, J., Okada, M. and Tokuyama, H. (2003) Why Cretaceous black shales have high C/N ratios: Implications from SEM-EDX observations for Livello Bonarelli black shales at the Cenomanian-Turonian boundary. *Frontier Res. Earth Evol.*, **1**, 239-241.
- Rau, G.H., Arthur, M.A. and Dean, W.E. (1987) $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ variations in Cretaceous Atlantic sedimentary sequences: Implication for past changes in marine nitrogen biogeochemistry. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **82**, 269-279.
- Sugiyama, K. (1992) Lower and Middle Triassic radiolarians from Mt. Kinkazan, Gifu prefecture, central Japan. *Trans. Proc. Palaeontol. Soc. Japan, New Ser.*, **167**, 1180-1223.
- Wignall, P.B. and Hallam, A. (1992) Anoxia as a cause of the Permian/Triassic mass extinction: Facies evidence from northern Italy and the western United States. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **93**, 21-46.
- Wignall, P.B. and Twitchett, R.J. (2002) Extent, duration and nature of the Permian-Triassic superanoxic event. *Geol. Soc. Amer., Spec. Pap.*, **356**, 395-413.
- 山北 聡 (1987) 四国東部秩父帯中のチャート相二畳三畳系間の層序関係。地質学雑誌, **93**, 145-148.
- Yamakita, S., Kadota, N., Kato, T., Tada, R., Ogihara, S., Tajika, E. and Hamada, Y. (1999) Confirmation of the Permian/Triassic boundary in deep-sea sedimentary rocks; Earliest Triassic conodonts from black carbonaceous claystone of the Ubara section in the Tamba belt, Southwest Japan. *J. Geol. Soc. Japan*, **105**, 895-898.
- 八尾 昭・桑原希世子 (1997) ペルム紀新世から三畳紀中世にかけての放散虫群集の変遷。大阪微化石研究会誌, **10**, 87-96.
- Yao, J.X., Yao, A. and Kuwahara, K. (2001) Upper Permian biostratigraphic correlation between conodont and radiolarian zones in the Tamba-Mino terrane, Southwest Japan. *J. Geosci. Osaka City Univ.*, **44**, 97-119.