

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 31 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24540499

研究課題名(和文) 古生代末～中生代初期のパンサラッサ海における劣悪環境の出現と解消

研究課題名(英文) Onset and termination of harsh environments during the latest Paleozoic to earliest Mesozoic Panthalassic Ocean

研究代表者

佐野 弘好 (Sano, Hiroyoshi)

九州大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：80136423

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：ペルム紀末絶滅に伴う環境劣悪化の終結・解消に焦点を絞って研究を行った。その結果、(1)遅くとも前期三畳紀後期オレネキアン期後半には海洋の貧～無酸素状態はほぼ解消し、放射虫の生産が回復(チャート堆積)していた。しかし短期間の無酸素状態が再出現した。(2)中期三畳紀前期に貧酸素状態と富酸素状態が短周期で繰り返した後、完全に富酸素状態に移行した。以上は前期三畳紀後半の不安定な環境を意味する。(3)下部三畳系珪質岩中に玄武岩質砂岩・礫岩を見出し、珪質岩の基盤岩として玄武岩の存在を推定した。その運搬は土石流及び乱泥流によるもので、前期三畳紀後半に深海域底層水塊の攪拌が発生していた。

研究成果の概要(英文)：We focused upon termination of harsh environments in the aftermath of end-Permian extinction event. Results are summarized as follows; (1) Marine harsh condition (O<sub>2</sub>-depleted) almost terminated no later than late Olenekian (Spathian) and radiolarian ecosystem fully recovered in a pelagic realm. Late Olenekian oxic condition was punctuated by short-lived dysoxic events, which resulted in deposition of thin high-C claystone within grayish bedded chert. (2) Fully oxic condition returned in early Middle Triassic (early Anisian) after repetition of oxic/dysoxic condition. These two points mean unstable environments in late Early Triassic. (3) We found basaltic sandstone and conglomerate in the Lower Triassic siliceous claystone and postulate basaltic rocks as basement for Lower Triassic siliceous claystone. Displacement of basaltic debris by turbiditic and debris flows implies movement of water mass that has potential for mixing of seawater and oxygen supply into deep-marine environment.

研究分野：堆積岩石学

キーワード：ペルム紀末大量絶滅 環境回復 前期三畳紀 パンサラッサ海

### 1. 研究開始当初の背景

2000年代から2010年代初期には顕生代最大規模といわれるペルム紀末の生物大量事件の原因、環境変動の実態、絶滅のパターンやテンポなどに注目が集まっていた。研究代表者らもわが国の付加体で発見した深海堆積物からなるペルム紀-三畳紀境界層の岩相・化石層序、年代、地球化学指標(全有機炭素量、炭素安定同位体比)を用いた環境変化を検討し、公表した(文献1,2)。この動向と並行して、2000年代中盤以降には絶滅と破滅的環境からの回復過程に注目が集まり始め、前期三畳紀における海洋環境の不安定が指摘された(文献3)。つまりペルム紀末の大量絶滅にほぼ同期して出現した海洋の劣悪環境(無酸素化)の解消・終結から環境と生態系の回復過程が問題視され始めた。ただし上記文献4のようにこの種の研究はテチス海やパングア縁辺の浅海陸棚炭酸塩岩を題材として研究されたが、パンサラッサ海遠洋域での研究は行われていなかった。

### 2. 研究の目的

上記のような背景の中で、本研究計画では(1)ペルム紀末に劇的に発生した環境劣悪化(無酸素化:文献3)の解消の実態を明らかにすることを主な目的とした。申請段階では劣悪環境の出現についても検討課題としていたが、当該研究分野の動向からなどから、劣悪環境の解消の検討に焦点を絞った。

いっぽう(2)下部三畳系珪質岩の堆積場(とくに基盤岩)の理解も上記研究目的の達成に重要な意味をもつと考えた。そこで研究の途中段階で下部三畳系珪質岩の基盤岩の解明も研究目的に加えた。

### 3. 研究の方法

研究目的(1)については、層序の保存が良好な下部三畳系珪質岩セクションにおける柱状図の実測および試料採集。野外観察では珪質岩の色調変化にとくに注意を払った。代表的珪質岩試料の鏡下観察。微化石(コノドント、放散虫)による年代検討。X線粉末回折法による構成鉱物の検討。酸化・還元状態に鋭敏とされる元素(Mn、U、Moなど)の蛍光X線分析装置を用いた定量による下部三畳系珪質岩堆積場における酸化・還元状態の復元。

研究目的に加えた上記(2)については野外観察と鏡下観察を主な手法として研究を進めた。

### 4. 研究成果

#### 4-1. 酸化・還元的環境の回復

上記(1)の目的に合う珪質岩セクションを代表者・分担者が共同で美濃・丹波・秩父帯各地の下部三畳系珪質岩セクションを検討した。その結果大分県津久見市網代島海岸の下部~中部三畳系珪質岩セクション(網代島セクション1,2)を対象として選定した( )

写真1,2)



写真1. 網代島セクション下部の暗灰色チャート・淡緑灰色珪質粘土岩互層(スパシアン)



写真2. 網代島セクション最上部の紫灰色チャートと赤褐色チャートの繰り返し(アニシアン)

調査の結果、網代島セクション(層厚約90m)は下位より( )高有機質黒色粘土岩、( )暗灰色チャートを含む淡緑灰色珪質粘土岩、( )暗灰色チャート・淡緑灰色珪質粘土岩互層、( )灰、紫灰色、赤褐色層状チャートの順に重なることが明らかになった(図1,2)。( )のチャートから前期三畳紀後期(スパシアン亜期)のコノドントを得たほか(本研究課題)( )の層状チャートは中部三畳系下部(アニシアン亜階)に対比されている(文献4)。

網代島セクション全体からは上位に向かってチャートが優勢になっていること、すなわち放散虫生産量が時代とともに増加していたことがわかる。しかしその増加傾向は一様ではなく、数10cm~数m厚さの珪質粘土岩層及び黒色粘土岩を挟んでいる(図1)。またチャート・珪質粘土岩の細互層、黒色チャートもときおり挟まれている。この岩相変化から、前期三畳紀後期スパシアン亜期にはチャートの堆積、すなわち放散虫生産が復活しており、パンサラッサ海遠洋域では三畳紀最初期におけるような無酸素状態はすでに解消していたと考えられる。この結果は、前期三畳紀を“chert gap”(チャート堆積の中

断期)とする従来の見解を改訂する必要があることを明確にした。

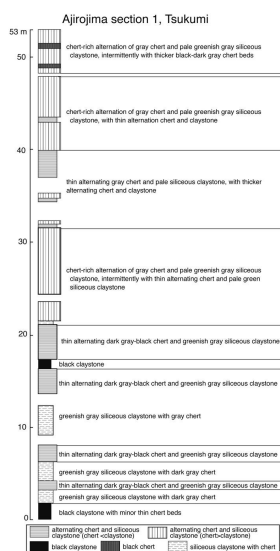


図1. 網代島セクション1

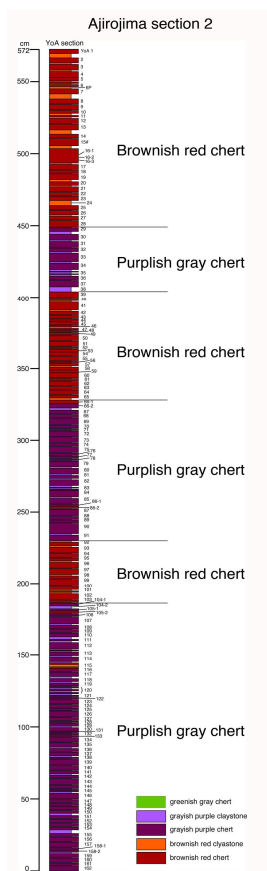


図2. 網代島セクション2

さらに網代島セクション最上部ではチャートの色調が灰色から赤褐色に変化することが明らかになった(図2)。詳細を見るとチャートの色調が紫灰色から赤褐色への垂直変化を3回繰り返している。この色調の変化は、灰色チャートで示されるやや還元的(貧酸素)環境から、やや紫灰色チャートで

示される酸化的環境と赤褐色チャートが示す酸化的(富酸素)環境を反復しながら、最終的に酸化的環境が回復した環境変化を反映したとする仮説を考えた。言い換えれば、網代島セクション最上部(アニシアン亜階)は回復過程最終期における酸化・還元的環境の短周期での反復が起きていたと推定した。

そこでX線粉末回折法によって網代島セクション最上部の灰色、紫灰色、赤褐色チャートに伴う泥質薄層を用いて鉱物組成を検討した。その結果、赤褐色チャートに挟まれる赤褐色泥質薄層のみから赤鉄鉱が検出され、他からは赤鉄鉱は見出されなかった。この結果は、赤褐色チャートが酸化的環境で堆積したとする上記の仮説を支持するものと考えられる。紫灰色チャートからも赤鉄鉱が検出されることを期待したが検出限界以下の含有量である可能性が考えられるため、今後は粉末試料の水簸処理等によってこの点を確かめる必要がある。

また網代島セクション最上部において、酸化・還元状態に鋭敏とされる元素(Mn、U、Moなど)の定量を行い、酸化・還元状態の時系列変化の解明を試みた。その結果、UおよびMoの含量がきわめて低く、変化傾向を求めることが難しいことが明らかになった。しかしMnの含量が網代島セクション最上部において上昇する傾向を見ることができた。すなわちアニシアン亜期では、やや還元的環境から酸化的環境に移行し、三疊紀最初期における劣悪環境(海洋の無酸素化)が解消したことが明らかになった。

以上の網代島セクションでの検討は未了であるが、三疊紀前期後半における環境不安定を反映したものと考えている。この環境不安定は中国南部の下部三疊系炭酸塩堆積物の炭素安定同位体比の数回にわたる変動に比較できる可能性がある。

#### 4-2. 下部三疊系珪質岩の基盤岩の解明

下部三疊系珪質粘土岩が三疊紀・ジュラ紀海洋プレート層序の最下部を占めている場合、その基盤は海洋地殻最上部を構成する玄武岩と考えられ、海洋プレート層序と形成過程が提案されている(たとえば文献5)。しかし、下部三疊系珪質粘土岩と玄武岩の連続層序は確認されていない。本研究課題推進のための野外調査の中で、両者の密接な随伴関係を示唆する露頭を検討する機会を得た。この問題は下部三疊系珪質岩の堆積場の推定につながるると同時に、その堆積場での劣悪環境の変動を考えるうえで重要な意味をもつと考え、野外調査および鏡下観察を行った。今回見出した事例を以下にあげる。

(ア)最下部三疊系と思われる高有機質黒色粘土岩中に厚さ10数cm厚さの玄武岩質火山碎屑岩の挟在(写真3)(イ)下部三疊系上部緑灰色珪質粘土岩中に厚さ約20cmの玄武岩質火山碎屑岩の挟在、(ウ)下部三疊系上部灰色珪質粘土岩中に玄武岩および珪質粘土



岩の垂円礫に富む厚さ約 10 cm の礫岩層（写真 4）の挟在、（エ）チャート薄層を含む下部三畳系上部灰色珪質粘土岩で覆われる玄武岩溶岩の 4 例である。これらのうち、（エ）は下部三畳系珪質粘土岩が玄武岩を直接に覆って堆積したことを示す。また（イ）と（ウ）は間接的ながら下部三畳系珪質粘土岩の回到玄武岩が存在したことを暗示する。

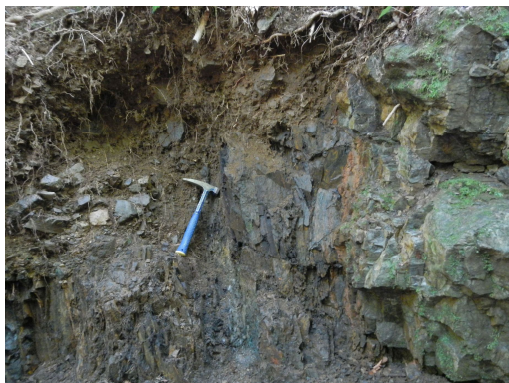


写真 3 黒色高有機質粘土岩中の玄武岩質火山砕屑岩



写真 4 玄武岩と珪質粘土岩の垂円礫に富む礫岩（層理面に平行な研磨断面）

以上の野外・鏡下観察の結果、下部三畳系珪質粘土岩堆積の基盤に玄武岩が存在したことはほぼ疑いない。この玄武岩が地形的高まりを形成していたか、あるいは平坦な深海底を形成していたかは前期三畳紀のパンサラッサ海遠洋域の深海環境を大きく左右すると考えられる。

#### < 引用文献 >

1. Sano, H. et al., 2010. *Paleont. Res.*, 14, 293-314.
2. Sano, H. et al., 2012. *Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol.*, 363-364, 1-10.
- 3: Payne et al., 2004. *Science*, 305, 506-509.
4. Onoue, T. et al., 2011. *Geology*, 39, 567-570.
5. Wakita, K., 2012, *Tectonophysics*, 568-569, 74-85.

#### 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 5 件)

Sano, H., Wada, T., and Naraoka, H., Late Permian to Early Triassic environmental changes in the Panthalassic Ocean: Record from the seamount-associated deep-marine siliceous rocks, central Japan.

*Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.*, 査読有, 363-364, 2012, 1-10.

DOI:10.1016/j.palaeo.2012.07.018

Sano, H., Kuwahara, K., Yao, A., Agematsu, S., Stratigraphy and age of the Permian-Triassic boundary siliceous rocks of the Mino terrane in the Mt. Funabuseyama area, central Japan. *Paleont. Res.*, 査読有, 16, 2012, 124-145.

DOI:10.2517/1342-8144-16.2.124

Agematsu, S., Sano, H., Sashida, K., Natural assemblages of *Hindeodus* conodonts from a Permian-Triassic boundary sequence, Japan. *Paleontology*, 査読有, 57, 1277-1289.

DOI:10.1111/pala.12114.

〔学会発表〕(計 13 件)

佐野弘好, 桑原希世子, 八尾 昭, 上松佐知子, パンサラッサ海起源のペルム紀・三畳紀境界遠洋性珪質岩層の岩相・化石層序の比較. 日本地質学会第119年学術大会講演要旨. 2012年9月. 大阪府立大学.

指田勝男, 上松佐知子, 佐野弘好, 美濃帯舟伏山東方地域のチャートから産する前期三畳紀 *Parentactinia nakatsugawaensis* 放散虫動物群. 日本古生物学会2013年年会, 2013年, 熊本大学.

佐野弘好, 桑原希世子, 八尾 昭, 上松佐知子, 放散虫化石群集と珪質岩相から見たパンサラッサ海深海底の P-T 境界環境変動. 日本古生物学会第 163 回例会シンポジウム (招待講演). 2014 年 1 月, 兵庫県立人と自然の博物館.

Kuwahara, K., Sano, H., Upper Permian radiolarian biostratigraphy of deep-sea chert sections from Mino Terrane, Japan. 14<sup>th</sup> INTERAD 2015, 2015, Antalya, Turkey.

佐野弘好, 炭酸塩岩からみた西南日本のジュラ紀付加体. 日本地質学会西日本支部平成 27 年度年会 (支部長講演), 2016 年 2 月, 熊本大学.

上松佐知子, 上杉健太郎, 佐野弘好, 指田勝男, X 線イメージングを用いたコノドント自然集合体の器官復元, 日本古生物学会第 165 回例会, 2016 年, 京都大学.

〔図書〕(計 1 件)

指田勝男, 化石になるのは恐竜だけじゃない, 2015 年, 自然史学会連合監修, 理科好きな子に育つ不思議なお話 365, 230 p.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

佐野弘好 (SANO, Hiroyoshi)  
九州大学・大学院理学研究院・教授  
研究者番号：80136423

### (2) 研究分担者

指田勝男 (SASHIDA Katsuo)  
筑波大学・大学院生命科学研究科・教授  
研究者番号：60134201

上松佐知子 (AGEMATSU Sachiko)  
筑波大学・大学院生命科学研究科・准教授  
研究者番号：50466661

桑原希世子 (KUWAHARA Kiyoko)  
芦屋大学・教育学部・講師  
研究者番号：20507131