

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 27 日現在

機関番号：12608

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2012～2013

課題番号：24840021

研究課題名(和文)レニウム・オスミウム分析を用いた原生代後期の環境変動解読

研究課題名(英文)Deciphering surface environment in the late Proterozoic using Re-Os measurement.

研究代表者

澤木 佑介 (Sawaki, Yusuke)

東京工業大学・理工学研究科・助教

研究者番号：00635063

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円、(間接経費) 690,000円

研究成果の概要(和文)：カンブリア紀よりも前の地層は化石が乏しいため異なる地域間の地層対比は難しい。凝灰岩などの火成岩も豊富には無いため、本研究では黒色頁岩中に含まれるレニウムとオスミウムの同位体比測定を通じてアイソクロンによって年代制約を試みた。

南中国三峡地域にて採取した掘削試料から粉末試料を作成し、海洋研究開発機構の表面電離型質量分析計を用いてレニウムとオスミウムの同位体比測定を行った。その結果、従来年代の決まっていなかったDoushantuo Fm上部に5.78億年前、Shuijingtuo Fm最下部に5.12億年前と堆積年代を制約できた。この手法はカンブリア紀以前の地層に年代を与える有効な手法である。

研究成果の概要(英文)：Global correlation of Precambrian stratigraphic successions can be conducted by the coarse resolution of biostratigraphic and chemostratigraphic records, because of the scarcity of precise U-Pb zircon dating. Re-Os isotope systems of organic matter-rich black shales became one of the reliable indicators of the depositional age, due to the recent developments in Re-Os analysis.

Rock powders were prepared from drill-core collected at Three Gorge, South China. Re and Os isotopic compositions were measured by TIMS at JAMSTEC. The $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$ and $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ ratios of the black shales show linearity in the isochron plot. The model 3 isochron ages were 578 Ma (error is 12 Ma) for the black shale at the lower Member 4 of the Doushantuo Fm, with initial $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ ratios of 1.02 (2SD=0.09). The Re-Os isochron plot for all analyses yields an age of 512 (error is 12 Ma) for the black shale at the bottom of the Shuijingtuo Fm, with initial $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ ratios of 1.15 (2SD=0.19).

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学

キーワード：後期原生代 レニウム・オスミウム Sulfidic 南中国三峡地域

1. 研究開始当初の背景

(1) 研究の位置づけ

- **カンブリア大爆発時の古環境推定**

地球史を通じて生命は段階的な進化を経験してきた。後期原生代(10-5.4億年前)には大型で多細胞な動物が出現し、カンブリア紀になると現存する全ての動物門が一斉に化石として姿を残すようになった(カンブリア大爆発)。この尋常ならざる生命進化の原因解明に関する研究は、これまでは主に化石の形態観察から行われてきた。しかし地球史に目を移すと、生命は環境を変え、環境に影響を受けながら進化を続けてきた。後期原生代の地球表層環境変動を明らかにし、それを化石記録と比較する事により、何故この時代に生命が短期間で進化・多様化したのかという謎の答えに近づける。

(2) これまでの研究

- **多元素同位体比分析 環境も多段階進化**

南中国地塊には、原生代後期からカンブリア紀の連続地層が含まれる。申請者を含む東京工業大学を中心としたグループは南中国三峡地域において、**風化の影響が少なく連続的な岩石試料**を採取するために陸上掘削を行った。東京工業大学や東京大学を中心とするグループはこの岩石試料を用い、古環境を推定するために炭酸塩の炭素同位体比($^{13}\text{C}_{\text{carb}}$)や酸素同位体比(^{18}O)、有機物の炭素同位体比($^{13}\text{C}_{\text{org}}$)や窒素同位体比(^{15}N)など様々な元素の同位体比測定を行ってきた。この多元素同位体比分析から分かってきた事は、**生命進化同様、環境も多段階で進化してきた事である。**

(3) 問題点・次の課題

- **地質柱状図に年代の目盛りが少ない**

三峡の地層から推定される環境変動を同時代の他地域の変動と対比するためには絶対年代が必要である。一般にカンブリア紀よりも前の地層は化石に乏しく、これまで酸性凝灰岩中のジルコンの U-Pb 年代法が用いられてきた。しかし、この時代の地層には酸性凝灰岩でさえ非常に稀である。そこで本研究では黒色頁岩中に含まれる Re と Os の同位体比を測定する事によって、アイソクロン法によって地層に絶対年代を与えて行く。

2. 研究の目的

以上の背景を踏まえ、申請者は掘削試料の Re と Os の濃度・同位体比分析を行い、Re-Os アイソクロン年代決定法によって地層に絶対年代を与える。また、Re と Os は共に海洋の酸化還元状態に敏感であり、岩石中の濃度と同位体比組成から酸化還元状態の変化を読み取る。得られたデータと他の環境変動の指標の結果を併せ、原生代後期の古環境の変遷を推定する。推定された環境を化石記録と照合し、生命進化と環境変化の因果関係を明らかにする。申請者が注目した**黒色頁岩は対**

象としている時代の堆積物中に高頻度に産出する。本手法が達成されると、後期原生代の地層にも Re-Os アイソクロン年代決定法の有用性が示され、**堆積岩中に化石、火成岩が含まれなくとも、地層に詳細に年代を与えていく事が可能となる。**

3. 研究の方法

南中国三峡地域には原生代後期・エディアカラ紀～初期カンブリア紀の主に浅海底で堆積した黒色頁岩や炭酸塩岩が連続的に露出している(図1)。岩石を連続的に採取するために三峡地域内の10箇所において陸上掘削を行った。

有機物や硫化物に富む黒色頁岩は岩石中に Re を高濃度で含む事が多い。採取した掘削試料から岩石薄片を作成し、上記基準を基に試料の選定を行った(図2)。試料にはエディアカラ紀後期、初期カンブリア紀の黒色頁岩を用いた。

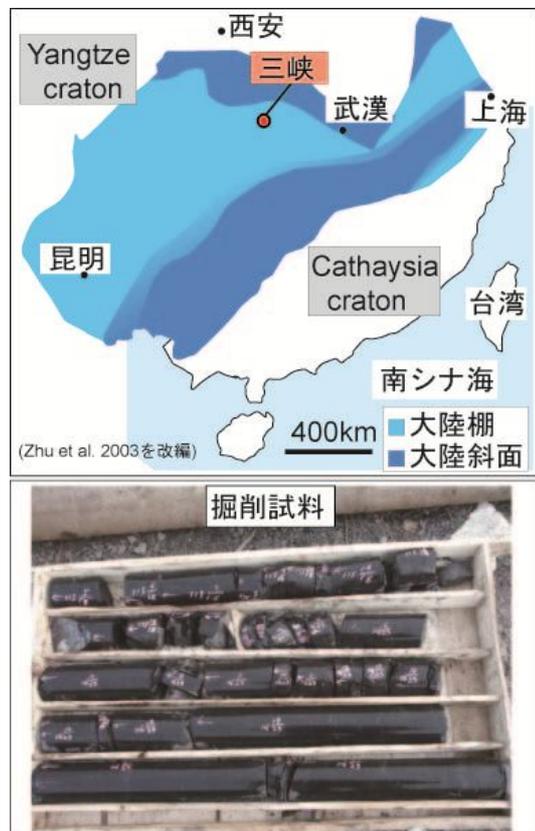


図1 南中国の約6億年前の古地理図と三峡地域にて採取した掘削試料の写真。

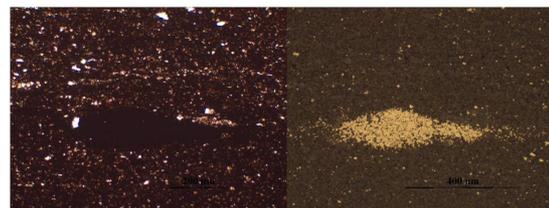


図2 有機物と黄鉄鉱を豊富に含む黒色頁岩の顕微鏡写真(左:透過、右:反射)。

^{187}Re は半減期約 435 億年で ^{187}Os へと放射壊変する。親核種である Re と娘核種である Os の同位体比を測定する事により、その堆積年代が高精度で決定される。 所有している掘削岩石試料からマイクロサンプリングにより粉末試料を作成した。粉末試料から Re と Os を分離する作業は海洋開発研究機構の研究室を利用させていただいた。スパイクを添加した岩石試料をクロム酸 硫酸と共にカリアシチュープに封入し、240 °C で 48 時間熱分解を行った。四塩化炭素や臭化水素による溶媒抽出やイオン交換によって Re と Os を抽出、純化した。Re と Os 同位体比の測定については海洋研究開発機構の表面電離型質量分析計 (TIMS) を利用させていただいた。Re と Os の濃度については同位体希釈法により算出した。

4. 研究成果

(1) 結果

濃度・同位体比分析の結果、作成した粉末試料中の Re 濃度は 30.76 ppb ~ 3.207 ppm、Os 濃度は 566.6 ppt to 28.09 ppb の範囲内であった (図 3)。同位体比に関しては $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$ 比が 236.6 to 1635、 $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 比は 3.173 to 15.14 であった。

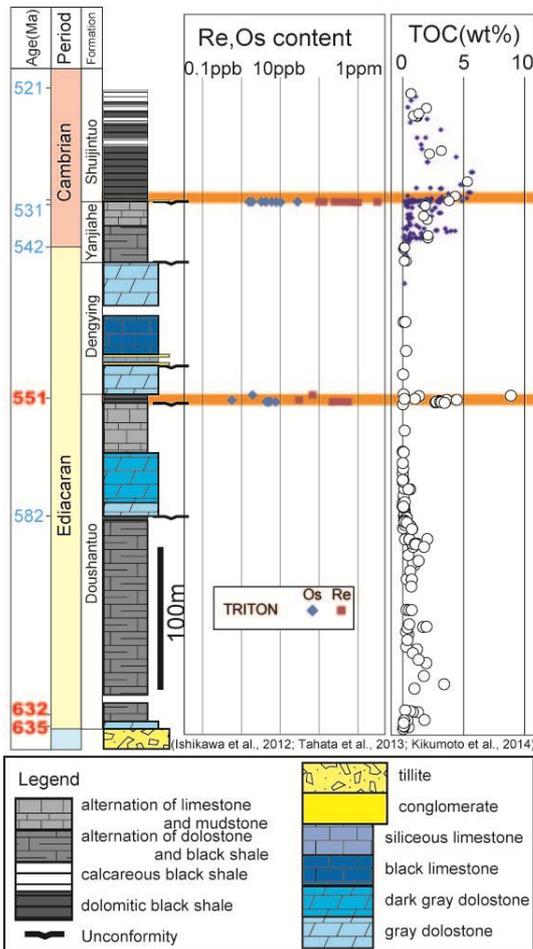


図 3 南中国三峡地域の地質柱状図と Re と Os 濃度の分析結果。赤字の数字は酸性凝灰岩によって年代制約が行われている層準。橙色で示した層準のアイソクロンを図 4 に示す。

また、いくつかの岩石試料については Re と Os 共に濃度が低く、ブランク (作業環境や試薬からの混入) の割合が大きかったため、正確な濃度・同位体比が測定できなかった。ここではそれらのデータは除いてある。

(2) 議論

堆積年代の制約

エディアカラ紀後期の地層である Doushantuo Fm 上部と初期カンブリア紀の地層である Shuijintuo Fm 最下部の地層 (図 3 中橙) からは集中的に粉末試料を作成した。この 2 層準から得られた結果から得られたアイソクロンを図 4 に示す。

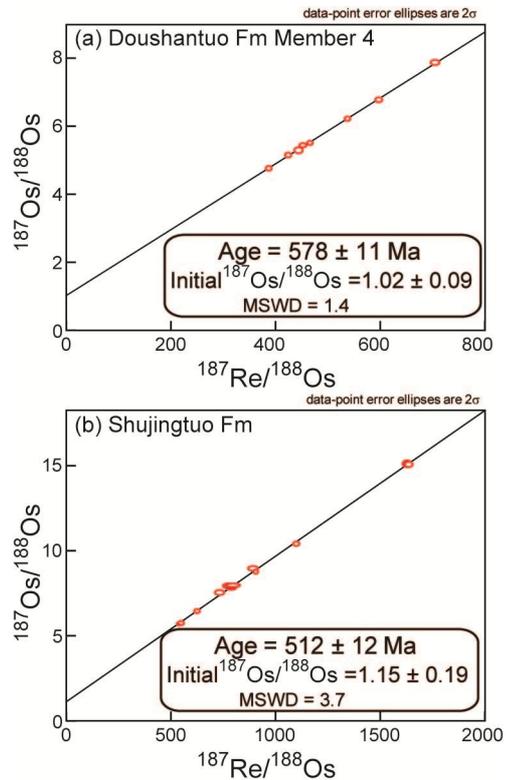


図 4 Doushantuo Fm 上部(a)と Shuijintuo Fm 最下部(b)の地層から得られた Re-Os アイソクロン

それぞれ 5.78 ± 0.11 億年前、 5.12 ± 0.12 億年前という絶対年代が得られた。ここでは省略するが、 $1/^{192}\text{Os}$ と $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 比の間に明瞭な相関は見られず、上記年代は堆積年代若しくは初期の続生作用の年代を保存しているものと解釈できる。これらの年代はジルコン U-Pb 年代 (図 3 中赤数字) や微化石から推定される年代と調和的である。また、Doushantuo Fm 上部から得られた年代はカナダのエディアカラ動物群の初出年代 (575 ± 0.01 億年前) とほぼ同時期である。

海洋の酸化還元状態

生命の歴史は大局的には酸素濃度の変遷と関連し、頁岩中の Mo 濃度などを見ても顕生代では高い酸素濃度を示す結果が得られ

ている(図5)。本研究が分析対象とした黒色頁岩について、Re や Os 濃度が原生代の地層に比べて高い(図3)。これはこの三峡の堆積場が強還元的環境であった事を示す。また、この濃度の地球史の中での位置づけを見ると、それまでの時代に比べて高い濃度を示す事が見て取れる(図5)。またアイソクロンによって得られる堆積当時の海水の $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 比も 1.0 前後とそれまでの時代に比べて非常に高い値を示す(図5)。堆積岩中にこのような高濃度の Re と Os を濃集させ、海水の Os 同位体比をこれほど上昇させるためには大気・海洋が酸化的になり、酸化的な風化が促進される必要がある。分析に用いた三峡の堆積物自体は還元的な環境で堆積したもののだが、そこに保存された Re、Os 濃度、 $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 比は大気・海洋が酸化的になった証拠とも考えられる。

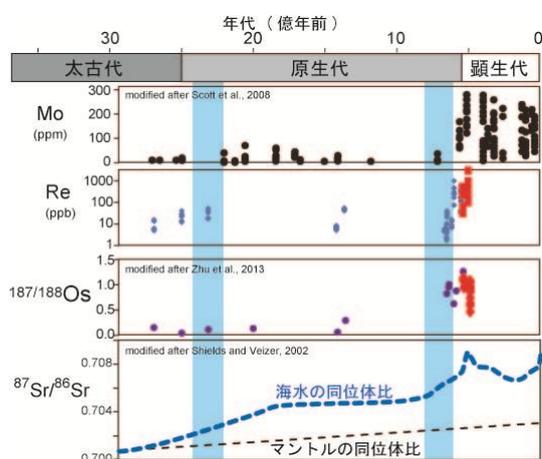


図5 地球史を通じた Mo, Re 濃度、放射性起源 Os, Sr 同位体比変動。赤点が本研究による分析点。

生命進化と表層環境

Shuijingtuo Fm 最下部の年代(図4b)に関しては、南中国内の他地域でも硫化物に富んだ黒色頁岩から同様の年代が得られており、同時期に広範囲で強還元的な環境が存在した事が示された。これらの地層の直上からは多様なカンブリア紀の化石が報告されている。全球的に酸化的になりつつある表層環境の中で南中国では強還元的な環境が広がった事が、後の生物の多様化に重要だったのかもしれない。

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13件)

著者名: K. Suzuki, Y. Sawaki (3番目), 他10名, 論文表題: Zircon U-Pb dating from the mafic enclaves in the Tanzawa Tonalitic Pluton, Japan: Implications for arc history and formation age of the lower-crust. 雑誌名: Lithos, 査読: 有,

in press.

著者名: T. Saito, Y. Sawaki (4番目), 他6名, 論文表題: Accreted Kula plate fragment at 94 Ma in the Yokonami-Melange, Shimanto-Belt, Shikoku, Japan. 雑誌名: Tectonophysics, 査読: 有, in press.

著者名: Y. Sawaki, 他7名, 論文表題: The anomalous Ca cycle in the Ediacaran ocean: evidence from Ca isotopes preserved in carbonates in the Three Gorges area, South China. 雑誌名: Gondwana Research, 査読: 有, 巻: 25, 発行年: 2014, ページ: 1070-1089.

著者名: S. Maruyama, Y. Sawaki (2番目), 他4名, 論文表題: Initiation of leaking Earth: An ultimate trigger of the Cambrian explosion. 雑誌名: Gondwana Research, 査読: 有, 巻: 25, 発行年: 2014, ページ: 910-944.

著者名: M. Santosh, Y. Sawaki (2番目), 他2名, 論文表題: The Cambrian Explosion: Plume-driven birth of the second ecosystem on Earth. 雑誌名: Gondwana Research, 査読: 有, 巻: 25, 発行年: 2014, ページ: 945-965.

著者名: Y. Okada, Y. Sawaki (2番目), 他6名, 論文表題: New chronological constraints for Cryogenian to Cambrian rocks in the Three Gorges, Weng ' an and Chengjiang areas, South China. 雑誌名: Gondwana Research, 査読: 有, 巻: 25, 発行年: 2014, ページ: 1027-1044.

著者名: R. Kikumoto, Y. Sawaki (4番目), 他6名, 論文表題: Nitrogen isotope chemostratigraphy of the Ediacaran and Early Cambrian platform sequence at Three Gorges, South China. 雑誌名: Gondwana Research, 査読: 有, 巻: 25, 発行年: 2014, ページ: 1057-1069.

著者名: T. Shimura, Y. Sawaki (3番目), 他5名, 論文表題: In-situ analyses of phosphorus contents of carbonate minerals: Reconstruction of phosphorus contents of seawater from the Ediacaran to early Cambrian. 雑誌名: Gondwana Research, 査読: 有, 巻: 25, 発行年: 2014, ページ: 1090-1107.

著者名: M. Tahata, Y. Sawaki (4番目), 他9名, 論文表題: Carbon and oxygen isotope chemostratigraphies of the Yangtze platform, South China: Decoding temperature and environmental changes through the Ediacaran. 雑誌名: Gondwana Research, 査読: 有, 巻: 23, 発行年: 2013, ページ: 333-353.

著者名: K. Aoki, Y. Sawaki (4番目), 他7名, 論文表題: Chemical composition and K-Ar age of Phengite from Barrovian metapelites, Loch Leven, Scotland. 雑

誌名: The Journal of the Geological Society of Japan, 査読: 有, 巻: 119, 発行年: 2013, ページ: 437-442.

著者名: T. Shibuya, Y. Sawaki (9 番目), 他 10 名, 論文表題: Depth variation of carbon and oxygen isotopes of calcites in Archean altered upper oceanic crust in the Archean. 雑誌名: Earth and Planetary Science Letters, 査読: 有, 巻: 321-322, 発行年: 2012, ページ: 64-73.

著者名: K. Yoshiya, Y. Sawaki (3 番目), 他 8 名, 論文表題: In situ iron isotope analyses of pyrite and organic carbon isotope ratios in the Fortescue Group: Metabolic variations of a Late Archean ecosystem. 雑誌名: Precambrian Research, 査読: 有, 巻: 212-213, 発行年: 2012, ページ: 169-193.

著者名: 澤木佑介, 論文表題: エディアカラ紀-カンブリア紀の地球表層環境変化, 雑誌名: 生物の科学 遺伝, 査読: 無, 巻: 66, 発行年: 2012, ページ: 502-508.

[学会発表](計 5 件)

発表者名: 澤木佑介, 他 6 名, 発表表題: Oxic ocean in the late Ediacaran and early Cambrian, 学会名: 日本地質学会第 120 年学術大会, 発表年月日: 2013 年 9 月 15 日, 発表場所: 東北大学(仙台).

発表者名: 澤木佑介, 他 2 名, 発表表題: Intensive continental weathering rate in the Lower Cambrian: evidenced from Sr isotope ratios preserved in the strata at the Three Gorges, 学会名: 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 発表年月日: 2013 年 5 月 19 日, 発表場所: 幕張メッセ(千葉).

発表者名: 澤木佑介, 他 4 名, 発表表題: Petro-genesis of Mn-ore in the Neoproterozoic, 学会名: 日本地質学会第 119 年学術大会, 発表年月日: 2012 年 9 月 15 日, 発表場所: 大阪府立大学.

発表者名: 澤木佑介, 他 6 名, 発表表題: The ferruginous ocean in the Ediacaran; evidence from iron isotope ratios in pyrite, 学会名: 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 発表年月日: 2012 年 5 月 24 日, 発表場所: 幕張メッセ(千葉).

発表者名: 澤木佑介, 丸山茂徳, 発表表題: The stepwise surface environmental changes during the Ediacaran and Cambrian, 学会名: 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 発表年月日: 2012 年 5 月 21 日, 発表場所: 幕張メッセ(千葉).

[その他]

ホームページ等

東京工業大学ホームページ

http://t2r2.star.titech.ac.jp/cgi-bin/researcherinfo.cgi?q_researcher_content_number=CTT100511199

海洋研究開発機構ホームページ

<http://www.jamstec.go.jp/personal/003342.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

澤木 佑介 (SAWAKI YUSUKE)

東京工業大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号: 00635063