

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 26 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26800259

研究課題名（和文）北中国Jixian地域の中期原生代の地質層序の復元

研究課題名（英文）Chronostratigraphy for the Mesoproterozoic strata in Jixian, North China

研究代表者

澤木 佑介（Sawaki, Yusuke）

東京工業大学・理学院・助教

研究者番号：00635063

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：北中国地塊東部において基盤となっている正片麻岩とそれを覆う原生代の堆積岩の年代制約は十分とは言えない。本研究では正片麻岩、堆積岩及びそれに貫入している花崗岩からジルコンを分離し年代測定を行った。正片麻岩中のジルコンのコア部分は約25.2億年前の年代を示し、これは元となった花崗岩の形成年代を意味する。ジルコンのリム部分の年代は25～18億年前の年代を示し、複数回の変成作用を受けていた事を明らかにした。堆積岩から分離した碎屑性ジルコンは、年代制約に有用なものは無かったが、22億年前の地質体からの物質供給があった事を明らかにした。貫入花崗岩の年代は2.06億年前と非常に若い事が分かった。

研究成果の概要（英文）：In the eastern North China Craton (NCC), basement gneisses are covered by poorly dated Proterozoic sediments. This study reports new zircon data from the Jixian area to constrain the protolith age of basement gneisses, the detrital ages of cover clastic sediments, and the age of a post-tectonic intrusive granite. The cores in zircons have $207\text{Pb}/206\text{Pb}$ peak ages at 2520 Ma that constrain the minimum protolith age of the gneiss, whereas the rims have a wide $207\text{Pb}/206\text{Pb}$ age range from ca. 2500 Ma to 1800 Ma. This reflects a Paleoproterozoic overprint on the basement of the NCC. Overlying clastic sediments mainly contain 2.5-2.7 Ga zircons derived from the basement rocks. 2200 Ma detrital zircons were no doubt derived from 2200 Ma igneous rocks, probably from the southern NCC. The intrusive granite contains euhedral zircon grains with clear oscillatory zones that yield a Concordia age of 205.6 ± 1.1 Ma, and was likely generated during early Mesozoic delamination of the eastern NCC.

研究分野：地球史

キーワード：中期原生代 ジルコン 北中国蘇県 LA-MC-ICP-MS

1. 研究開始当初の背景

日本の研究機関に限らず、現在の地球史研究において中期原生代(16-10 億年前)の地層は研究対象としての優先順位は低かった。それは、化石に乏しい、砂岩などの碎屑岩が多くを占めるため地層に絶対年代を与える事が難しい、氷河性堆積物などの環境変動の痕跡も無いため、極端な環境変動の可能性を考えにくい事などが理由として考えられ、**中期原生代は“退屈な時代”**とされていた。しかし、以下に示す近年の研究により、中期原生代は生命進化において重要な時代であった事が明らかになりつつある(図1)。

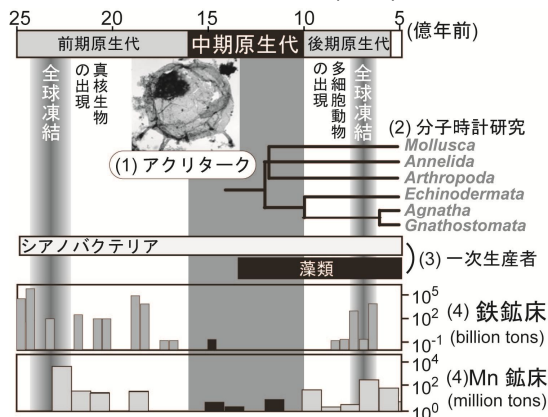


図1 地球史における中期原生代

- (1) 多様なアクリターク(球状化石)が発見され、生物種の多様化は中期原生代からである。
- (2) 分子時計研究から、中期原生代に動物の遺伝子レベルの分岐が確認された。
- (3) 堆積岩中の Mo 濃度などの変化より、1次生産者としてシアノバクテリアに代わり光合成能力の高い藻類が主流になったと考えられ、生態系の変化も示唆される。また、下記のような報告から、古環境を考える上でも中期原生代の地層の重要性が増している。
- (4) 小規模ながらも中期原生代の地層中からも縞状鉄鉱床(BIF)や Mn 鉱床の存在が確認された。これらは微生物活動の追跡や古環境の推定に有用である。
- (5) これまで深海は Sulfidic(H_2S に富む)と考えられていたのに対し、Ferruginous(溶存鉄に富む)な痕跡が見つかり始め、中期原生代の酸化還元状態の解明の重要度が増した。

中期原生代の地層は一般に年代測定が可能な凝灰岩などの火成岩が少なく、堆積年代の制約が少ないため地質層序の復元が困難である。本研究では (1)約 17-8 億年前の地層があるとされ、(2)化石が同時代の他地域に比べ豊富で、(3)同位体比測定などに有用な炭酸塩岩を多く含み、(4)Mn 鉱床も含有する、という利点を持った北中国 Jixian 地域に産出する中期原生代の地層を対象として選定した。この地層における堆積構造や堆積場に関する情報は乏しく、古環境復元を行う

際に基本的な情報が十分に得られていなかった。

2. 研究の目的

北中国 Jixian 地域の中期原生代地層に関して地質調査・岩石採取を行い、(1)年代測定を通じた地質層序の正確な復元と(2)堆積構造や同位体記録から古堆積環境を推定する事、を目的とする。

3. 研究の方法

(1) 北中国 Jixian 地域における地質調査と岩石採取

天津市蘇県(Jixian)周辺において中期原生代地層から全 156 試料の岩石採取を行った(図2)。連続的に岩石が露出するような露頭は非常に限られていたが、可能な限り連続採取を試みた。また、堆積岩中に見られる堆積構造の記載や岩石薄片の鉱物観察も行った(図3, 4)。

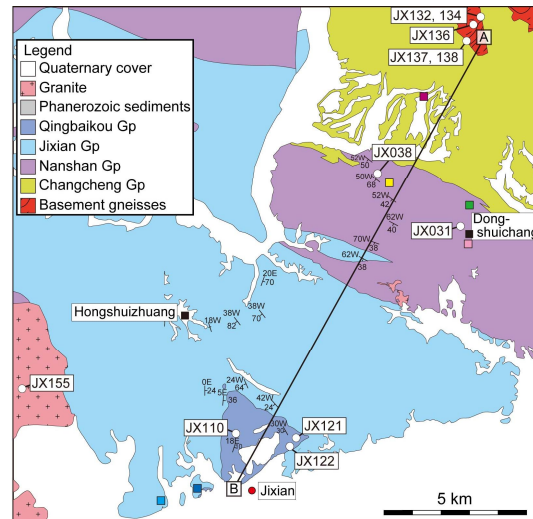


図2 Jixian 地域周辺の地質図及び岩石試料採取地点(Sawaki et al., 2016 を改編)

(2) ジルコン U-Pb 年代分析を利用した堆積年代の制約

本研究では中期原生代地層の基盤片麻岩、砂岩、貫入花崗岩に対し、ジルコンの U-Pb 年代測定を通じて年代制約を行うと共に、ジルコン年代頻度分布から古堆積場の復元を行った。

(3) Sr 同位体比を利用した大陸風化強度の見積もり

炭酸塩岩中の Sr 同位体比($^{87}Sr/^{86}Sr$ 比)を測定することにより、中期原生代における大陸風化量を見積もった。

4. 研究成果

(1) 比較的浅く、酸化的な堆積環境

図3に示す通り、Jixian 地域の堆積岩にはストロマトライトや Storm Rock、リップル構造など、非常に浅い堆積環境で形成される構造が多数の層準において確認された。またこの地域に含まれるマンガン鉱石はクトナホ

ライトと呼ばれる炭酸塩であると先行研究により記載されていた。その中を細かく見ると、マンガンの酸化物が粒状に含まれていた(図4)。この事は、このマンガン鉱石が元々は酸化物として沈殿したのち、続成作用の過程で炭酸塩に変化した事を示すと共に、この時代の浅海域がマンガンが酸化される程度にまで酸化的であったことを意味する。

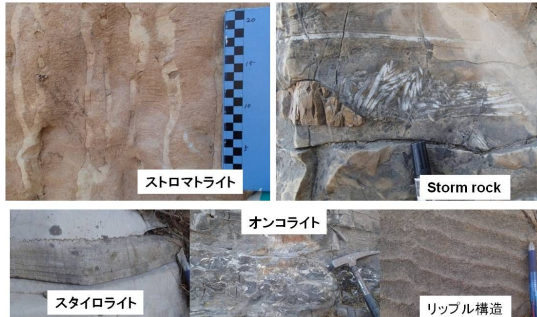


図3 中期原生代地層に見られる堆積構造

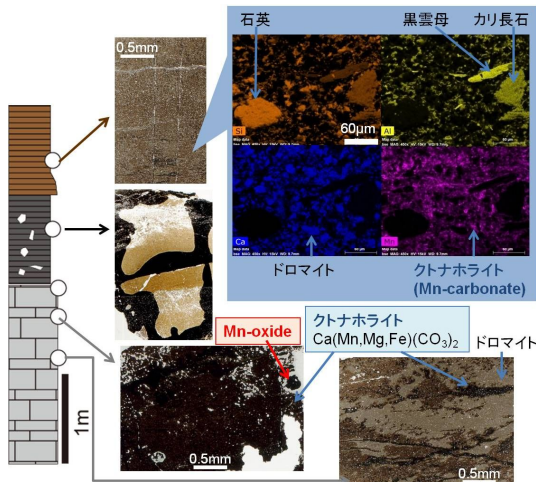


図4 薄片中の鉱物記載

(2) 基盤正片麻岩に記録された複数回の変成作用

基盤岩となっている正片麻岩(図2右上)からジルコンを分離し、カソードルミネッセンス像を確認したところ、ジルコンのリム部分に変成由来と考えられる構造を確認した。ジルコン中心部の年代は25.2億年前にピークを持ち、リム部分の年代はそれよりも若く一番若いものを18億年前である事が分かった。これは正片麻岩の基となった花崗岩形成が25億年前に起こり、それがその後の数回に渡って変成を受け、最後の変成作用が18億年前であった事を意味する。

(3) 貫入花崗岩の年代は2.06億年前

Jixian 地域の堆積岩に貫入している花崗岩(図2左下)から火成起源のジルコンを分離し、U-Pb年代分析を行った。その結果、花崗岩の貫入年代は2.06億年前である事が明らかになった。この年代は中期原生代の年代に比べると8億年若く、当該地域の地層への年

代制約にはあまり貢献は無い。北中国内他地域の花崗岩の年代と比較すると、同時代の沈み込みに由来する花崗岩が豊富に存在しており、一連の造山活動によって形成された花崗岩の一部であると考えられる。

(4) 中期原生代を通じた不活発な造山運動

様々な層準から採取した砂岩から碎屑性ジルコンを分離し、最後の火成活動を記録していると考えられる部分のU-Pb年代測定を行った。その結果を先行研究の結果と共に図5に示す。

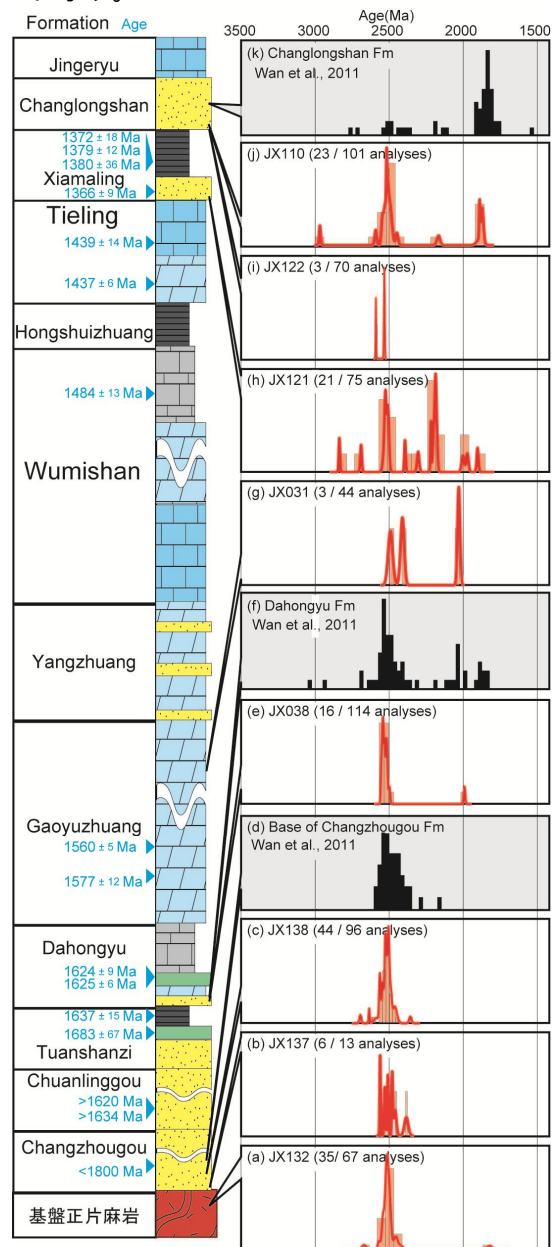


図5 各試料のジルコンの年代頻度分布

図5より、中期原生代を通じて碎屑性ジルコンの最大の供給源は25億年前と18億年前の地質体である事がわかる。前者は基盤岩となっている正片麻岩であり、25億年前を示す碎屑性ジルコンの内部構造は正片麻岩に含まれるジルコンと類似性が高い。また、後者は北中国で普遍的に見られる19-18億年前

の大陸衝突に由来する変成岩・火成岩体であると考えられる。つまり碎屑性ジルコンの起源は北中国地塊内に限られ、他の地塊からのジルコンの供給は中期原生代を通じて少なかったものと考えられる。

また Jixian 地域から採取した炭酸塩岩を用いて $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 値を測定した。このうち、Wumishan Fm(雲迷山累層)、Tieling Fm(鉄鈴累層)からは初生的と考えられる値を得る事ができ、その値はそれぞれ 0.70477、0.70460 であった。この値は中期原生代の値としては最低値に近く、この低い値はこの時代の大陸風化が不活発であったことを意味する。ジルコンの年代分析結果と併せると、少なくとも北中国においては大陸衝突などに起因する造山運動や大陸風化の観点からは中期原生代は不活発で " 退屈 " な時代であったかもしれない。

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 25 件)

- (1) Sawaki, Y.、他 6 名、New chronological constraints on Neoproterozoic gneisses, Proterozoic cover sediments, and Triassic granite, Jixian, China、Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology、査読有、459、2016、pp. 182 197、
doi.org/10.1016/j.palaeo.2016.07.008
- (2) Sato, H.、Sawaki, Y.(3 番目)、他 7 名、A high-resolution chemostratigraphy of post-Marinoan Cap Carbonate using drill core samples in the Three Gorges area, South China、Geoscience Frontiers、査読有、7、2016、pp. 663 671、
doi:10.1016/j.gsf.2015.07.008
- (3) Fujisaki, W.、Sawaki, Y.(2 番目)、他 5 名、Tracking the redox history and nitrogen cycle in the pelagic Panthalassic deep ocean in the Middle Triassic to Early Jurassic: Insights from redox-sensitive elements and nitrogen isotopes、Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology、査読有、449、2016、pp. 397 420、
doi.org/10.1016/j.palaeo.2016.01.039
- (4) Shimojo, M.、Sawaki, Y.(5 番目)、他 11 名、Occurrence and geochronology of the Eoarchean, ~3.9 Ga, Iqaluk Gneiss in the Saglek Block, northern Labrador, Canada: Evidence for the oldest supracrustal rocks in the world、Precambrian Research、査読有、278、2016、pp. 218 243、
doi:10.1016/j.precamres.2016.03.018
- (5) Ueda, H.、Sawaki, Y.(3 番目)、他 4 名、Reactions between komatiite and CO_2 -rich seawater at 250 °C and 350 °C, 500 bars: Implications for hydrogen generation in the Hadean seafloor hydrothermal system、Progress on Earth and Planetary Sciences、査読有、3(35)、2016、pp. 1 14、
doi.10.1186/s40645-016-0111-8
- (6) Tahata, M.、Sawaki, Y.(2 番目)、他 6 名、Three-step modernization of the ocean: Modeling of carbon cycles and the revolution of ecological systems in the Ediacaran/Cambrian periods、Geoscience Frontiers、査読有、6、2015、pp. 121 136、
doi:10.1016/j.gsf.2014.05.005
- (7) Usui, Y.、Sawaki, Y.(3 番目)、他 2 名、Rock magnetism of tiny exsolved magnetite in plagioclase from a Paleoproterozoic granitoid in the Pilbara craton、Geochemistry, Geophysics, Geosystems、査読有、16、2015、pp. 112 125、
doi:10.1002/2014GC005508
- (8) Yoshiya, K.、Sawaki, Y.(2 番目)、他 3 名、In-situ iron isotope analysis of pyrites in ~ 3.7 Ga sedimentary protoliths from the Isua supracrustal belt, southern West Greenland、Chemical Geology、査読有、401、2015、pp. 126 139、
doi:10.1016/j.chemgeo.2015.02.022
- (9) Tahata, M.、Sawaki, Y.(2 番目)、他 7 名、The Marine Environments encompassing the Neoproterozoic glaciations: evidence from C, Sr and Fe isotope ratios in the Hecla Hoek Supergroup in Svalbard.、Precambrian Research、査読有、263、2015、pp. 19 42、
doi:10.1016/j.precamres.2015.03.007
- (10) Yoshiya, K.、Sawaki, Y.(2 番目)、他 5 名、In-situ iron isotope analyses of pyrites from 3.5 to 3.2 Ga sedimentary rocks of the Barberton Greenstone Belt, Kaapvaal Craton、Chemical Geology、査読有、403、2015、pp. 58 73、
doi:10.1016/j.chemgeo.2015.03.007
- (11) Kendall, B.、Sawaki, Y.(11 番目)、他 15 名、Uranium and molybdenum isotope evidence for an episode of widespread ocean oxygenation during the late

- Ediacaran Period、 *Geochimica et Cosmochimica Acta*、 査読有、 156、 2015、 pp. 173 193、
doi:10.1016/j.gca.2015.02.025
- (12) Fujisaki, W., Sawaki, Y.(4 番目)、 他 6 名、 Ordovician ocean plate stratigraphy and thrust duplexes of the Ballantrae Complex, SW Scotland: Implications for the pelagic deposition rate and forearc accretion in the closing Iapetus Ocean、 *Tectonophysics*、 査読有、 662、 2015、 pp. 312 327、
doi:10.1016/j.tecto.2015.04.014
- (13) Asanuma, H., Sawaki, Y.(6 番目)、 他 9 名、 Reconstruction of ocean plate stratigraphy in the Gwna Group, NW Wales: Implications for the subduction-accretion process of a latest Proterozoic trench-forearc、 *Tectonophysics*、 査読有、 662、 2015、 pp. 195 207、
doi:10.1016/j.tecto.2015.04.016
- (14) Suzuki, K., Sawaki, Y.(3 番目)、 他 4 名、 Ancient oceanic crust in island arc lower crust: evidence from oxygen isotopes in zircons from the Tanzawa Tonalitic Pluton、 *Lithos*、 査読有、 228-229、 2015、 pp. 43 54、
doi:10.1016/j.lithos.2015.04.005
- (15) Komiya, T., Sawaki, Y.(4 番目)、 他 8 名、 Geology of the Eoarchean, >3.95 Ga, Nulliak supracrustal rocks in the Saglek Block, northern Labrador, Canada: The oldest geological evidence for plate tectonics、 *Tectonophysics*、 査読有、 662、 2015、 pp. 40 66、
doi:10.1016/j.tecto.2015.05.003
- (16) Sato, T., Sawaki, Y.(2 番目)、 他 8 名、 Redox condition of the late Neoproterozoic pelagic deep ocean: 57Fe Mössbauer analyses of pelagic mudstones in the Ediacaran accretionary complex, Wales, UK、 *Tectonophysics*、 査読有、 662、 2015、 pp. 472 480、
doi: 10.1016/j.tecto.2015.08.002
- (17) Saito, T., Sawaki, Y.(7 番目)、 他 7 名、 Geochemistry of accreted metavolcanic rocks from the Neoproterozoic Gwna Group of Anglesey-Llwyn, NW Wales, U.K: MORB and OIB in the Iapetus Ocean、 *Tectonophysics*、 査読有、 662、 2015、 pp. 243 255、
doi:10.1016/j.tecto.2015.08.015
- (18) Sawaki, Y.、 他 7 名、 The anomalous Ca cycle in the Ediacaran ocean: evidence from Ca isotopes preserved in carbonates in the Three Gorges area, South China、 *Gondwana Research*、 査読有、 25、 2014、 pp. 1070 1089、
doi:10.1016/j.gr.2013.03.008
- (19) Maruyama, S., Sawaki, Y.(2 番目)、 他 4 名、 Initiation of leaking Earth: An ultimate trigger of the Cambrian explosion、 *Gondwana Research*、 査読有、 25、 2014、 pp. 910 944、
doi:10.1016/j.gr.2013.03.012
- (20) Santosh, M., Sawaki, Y.(3 番目)、 他 2 名、 The Cambrian Explosion: Plume-driven birth of the second ecosystem on Earth、 *Gondwana Research*、 査読有、 25、 2014、 pp. 945 965、
doi:10.1016/j.gr.2013.03.013
- (21) Okada, Y., Sawaki, Y.(2 番目)、 他 6 名、 New chronological constraints for Cryogenian to Cambrian rocks in the Three Gorges, Weng ' an and Chengjiang areas, South China、 *Gondwana Research*、 査読有、 25、 2014、 pp. 1027 1044、
doi:10.1016/j.gr.2013.05.001
- (22) Kikumoto, R., Sawaki, Y.(4 番目)、 他 6 名、 Nitrogen isotope chemostratigraphy of the Ediacaran and Early Cambrian platform sequence at Three Gorges, South China、 *Gondwana Research*、 査読有、 25、 2014、 pp. 1057 1069、
doi:10.1016/j.gr.2013.06.002
- (23) Shimura, T., Sawaki, Y.(3 番目)、 他 5 名、 In-situ analyses of phosphorus contents of carbonate minerals: Reconstruction of phosphorus contents of seawater from the Ediacaran to early Cambrian、 *Gondwana Research*、 査読有、 25、 2014、 pp. 1090 1107、
doi:10.1016/j.gr.2013.08.001
- (24) Suzuki, K., Sawaki, Y.(3 番目)、 他 10 名、 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、 *Lithos*、 査読有、 196-197、 2014、 pp. 301 320、
doi:10.1016/j.lithos.2014.02.010
- (25) Saito, T., Sawaki, Y.(4 番目)、 他 6 名、 Accreted Kula plate fragment at 94Ma in the Yokonami-Melange, Shimanto-Belt, Shikoku, Japan、 *Tectonophysics*、 査読有、 623、 2014、 pp. 136 146、

doi:10.1016/j.tecto.2014.03.026

〔学会発表〕(計 54 件)

- (1) **澤木 佑介**、他 4 名、Chronological constraints on Paleoproterozoic strata in Gabonese Republic、日本地球惑星科学連合 2016 年大会、2016 年 5 月 25 日、幕張メッセ(千葉)
- (2) **澤木 佑介**、Radiogenic Sr isotope excursions in the Ediacaran seawater、日本地球惑星科学連合 2016 年大会、2016 年 5 月 26 日、幕張メッセ(千葉)
- (3) **Sawaki, Y.**、Ohno, T.、Komiya, T.、Secular variation in $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio of seawater in the Ediacaran、Goldschmidt 2016 Conference、2016 年 6 月 27 日、パシフィコ横浜(神奈川)
- (4) **澤木 佑介**、浅沼尚、Lithostratigraphy of mesoproterozoic stratum at Jixian, north China、日本地球惑星科学連合 2015 年大会、2015 年 5 月 25 日、幕張メッセ(千葉)
- (5) **澤木 佑介**、Euxinic conditions at Three Gorges area as opposed to global oxidation event, around PC/C boundary、日本地球惑星科学連合 2015 年大会、2015 年 5 月 24 日、幕張メッセ(千葉)
- (6) **澤木 佑介**、Deciphering surface environments during the Ediacaran、日本地質学会第 122 年学術大会、2015 年 9 月 13 日、信州大学(長野)
- (7) **澤木 佑介**、丸山茂徳、Ancient ocean environment in the Ediacaran to Cambrian、日本地球惑星科学連合 2014 年大会、2014 年 4 月 28 日、パシフィコ横浜(神奈川)
- (8) **澤木 佑介**、丸山茂徳、エディアカラ紀に起きた生命の大型化とそれを引き起こした環境変動、日本進化学会年大会 第 16 回大阪大会、2014 年 8 月 21 日、高槻現代劇場(大阪)
- (9) **澤木 佑介**、丸山茂徳、原始地球環境下での低温アンモニア合成、日本進化学会年大会 第 16 回大阪大会、2014 年 8 月 23 日、高槻現代劇場(大阪)
- (10) **澤木 佑介**、他 4 名、ウェールズ北西部に露出する付加体の堆積年代の制約とその後背地推定、日本地質学会第 121 年学術大会、2014 年 9 月 15 日、鹿児島大学(鹿児島)
- (11) **Yusuke Sawaki**、Shigenori Maruyama、

Tomohiko Sato、The radiogenic Sr isotope excursion during the Ediacaran and early Cambrian、Geological Society of America Annual Meeting、2014 年 10 月 19 日、バンクーバー(カナダ)

(12) **Yusuke Sawaki**、Shigenori Maruyama、The stepwise increase of continental weathering in the Ediacaran and early Cambrian: evidenced from radiogenic Sr isotope excursion in the strata at Three Gorges, South China.、AGU Fall Meeting、2014 年 12 月 19 日、サンフランシスコ(アメリカ)

〔その他〕

ホームページ等

(1) 東京工業大学ホームページ
http://t2r2.star.titech.ac.jp/cgi-bin/researcherpublicationlist.cgi?q_researcher_content_number=CTT100511199

(2) 自身のホームページ

<https://y-sawaki.jimdo.com/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

澤木 佑介 (SAWAKI Yusuke)

東京工業大学・理学院・助教

研究者番号：00635063