

西オーストラリア・クリバービル地域の形成史 Reconstruction of tectonic history of the Cleaverville area in Coastal Pilbara Terrane, western Australia

相原 悠平^{1*}; 清川 昌一¹; 田中 亮吏²; 中村 栄三²; 坂口 千恵²

AIHARA, Yuhei^{1*}; KIYOKAWA, Shoichi¹; TANAKA, Ryoji²; NAKAMURA, Eizo²; SAKAGUCHI, Chie²

¹九州大学理学府地球惑星科学専攻, ²岡山大学地球物質科学研究センター

¹Earth and Planetary Science, Kyushu University, ²Pheasant Memorial Laboratory, Institute for the Study of the Earth's Interior at Misasa

The Dixon Island - Cleaverville formations of the Coastal Pilbara Terrane, Western Australia, is one of the most complete sections of a volcano-hydrothermal sequence of the immature island arc (Kiyokawa & Taira, 1998). These formations composed of the Dixon Island (DX) Formation, Dixon pillow basalt and the Cleaverville (CL) Formation. The CL Formation is unconformably overlain by the Lizard Hills Formation. The Lizard Hills Formation was formed in syncline basin (66 Hill Member) during collisional D1 deformation and pull-apart basin (44 Hill Member) during sinistral slip D2 deformation (Kiyokawa et al., 2002).

In this study, depositional ages of the CL Formation and the Lizard Hills Formation (44 Hill Member and 66 Hill Member) were examined by the analysis of U-Pb zircon dating. Zircons were measured using SHRIMP2 at National Institute of Polar Research. Metamorphic age of the DX Formation was obtained by the whole-rock 87Rb-86Sr isochron using TIMS (Thermo TRITON and MAT253) at the Pheasant Memorial Laboratory, Institute for the Study of the Earth's Interior at Misasa.

As a result, U-Pb zircon age of felsic tuff in the CL Formation is 3108(+14/-7) Ma. Detrital zircon ages of the 44 Hill Member showed main peaks at 3280-3200Ma and 3030-3020Ma. Detrital zircon ages of the 66 Hill Member also showed peaks at 3300-3200Ma, 3100-3050Ma, and minor group of 3700Ma. The Rb-Sr data define clear correlation line in the 87Rb-87Sr evolution diagram which corresponds to an age of 2210+/-60 Ma.

In conclusion, sedimentation age of the DX formation is 3195+/-12Ma (Kiyokawa et al., 2002) and the CL Formation is 3108(+14/-7) Ma. The average of sedimentation rate in DX-CL formations is 2~3mm/ky as total thickness between these ages is 250m. After the sedimentation of the CL Formation, syncline basin (the Sixty-Six Hill Member) was formed by D1 during 3088~3020 Ma. D2 faulting with pull-apart basin (44 Hill Member) was formed after the quartz porphyry (3020Ma) and the massive tonalite became to expose on land surface. The Rb-Sr age in the DX Formation as 2210+/-60 Ma corresponds to the timing of Ophthalmanian orogeny (2145~2215Ma) in the southern margin of the Pilbara Craton (Rasmussen & Sheppard, 2005). The DX-CL formations probably had been affected by wide scale metamorphism at this timing.

34.5 億年前南アフリカバーバートン玄武岩の Lu-Hf 同位体システムティクスと初期マントル進化 Lu-Hf isotope systematics of 3.45Ga Barberton basalts : implications for early mantle evolution

山口 能央^{1*}; 飯塚 毅¹; 外西 奈津美²; 中井 俊一²; ドビット マーティン³
YAMAGUCHI, Takao^{1*}; IIZUKA, Tsuyoshi¹; HOKANISHI, Natsumi²; NAKAI, Shun'ichi²; DEWIT, Martin³

¹ 東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻, ² 東京大学地震研究所, ³ ネルソンマンデラ首都大学

¹University of Tokyo, Graduate school of Science Department of Earth and Planetary Science, ²Earthquake Research Institute, University of Tokyo, ³Neison Mandela Metropolitan University

Bulk Silicate Earth(以下,BSE)の分化過程は、地球全体における元素分布を支配し、地球内部の温度分布や熱進化、マントル対流などのダイナミクスを大きく左右したと考えられる。従って、BSEの分化過程を理解することは、地球の進化を議論する上で必要不可欠である。そのための強力な手法の一つに Lu-Hf 放射性同位体地球化学がある。この手法は 2000 年以降急速にその研究報告が増え、従来から用いられてきた Sm-Nd 系と組み合わせることで、地球形成初期の深部溶融の可能性等、幾つか新しい知見が Lu-Hf 系列の研究によって得られている (Rizo et al., 2011)。

しかし、Lu-Hf 壊変系列を太古代試料に適用した先行研究のデータをコンパイルしていくと、二つの不確実性の存在が浮かび上がる。一つは、変成変質の影響をしっかりと評価している試料とそうでない試料が混在したまま、議論が展開されている点。もう一つは、コマチアイトの Hf 同位体組成と玄武岩の Hf 同位体組成を同列に扱って議論をしている点である。変成変質の影響をしっかりと吟味した試料だけで議論していくことは当然として、地球史を通じたマントルの分化を議論する際、異なるタイプの岩石の同位体比を同列に扱うことの妥当性にはまだ不明な点が多く、どちらかの試料で揃えて議論していくことも必要であろう。特に、今回のコンパイルからは、 ϵ_{Hf} が顕著に正を示し始め、幾つかの先行研究で現世のプレートテクトニクスが始まったと主張されている 35 億年前後の試料が、他の年代の試料と異なり、コマチアイトに限られていることが確認された。

そこで、本研究では、35 億年前後の玄武岩の Hf 同位体比を提出するため、34.5 億年前の南アフリカバーバートンの玄武岩の高精度 Hf 同位体分析を行った。現在は、Kromberg Complex から採取され 7 種 8 サンプルの分析を終え、その結果は全 ± 8 サンプルで、 $2801 \pm 690\text{Ma}(\text{MSWD}=49.2, \sigma, N=8)$ という年代値を示し、また、岩石学的地球化学的情報からより初生的な情報を保持していると判断される試料のみを用いると、そのアイソクロン年代は $3890 \pm 1100\text{Ma}(\text{MSWD}=9.62, 2, \sigma, N=4)$ となった。更に、分析試料の形成年代が 3450Ma として計算した初生 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ は 0.28043 ± 0.00051 で、この結果をコンドライトからの相対的なずれで表すと、 $\epsilon_{Hf}(3445\text{Ma})$ は 2.66 ± 0.66 となる。このことは、バーバートンの玄武岩のソースマントルが 35 億年より以前に既に溶融を経験し、液相濃集元素に枯渇していたことを示す。また、他地域の太古代玄武岩の同位体組成と併せて、マントル Hf 同位体進化線を推定すると、その線は 40 億年前に分化イベントを経験し、Lu/Hf 比が 0.296 になっていたとすると説明できることが分かった。この Lu/Hf 比は、BSE のそれよりも有意に高く、MORB ソースマントルの Lu/Hf 範囲内となる。従って、太古代初期のマントルは、現在の上部マントルと同程度の Lu/Hf 分別を経験していたことが分かった。更に、既に報告されている Nd 同位体比と組み合わせて議論を行い、バーバートン地域のコマチアイトや玄武岩の同位体的類似性を確認し、バーバートン地域のコマチアイトと玄武岩の作り分けを含む形成モデルの提案をした。また、マントル分化が地球深部で行われていた可能性と、その痕跡が何らかのメカニズムによって希釈されてきた可能性を示した。発表当日は、データ数をさらに増やし、より精緻な議論を上記の内容に関して行う予定である。

キーワード: マントル進化, 玄武岩, バーバートン, Lu-Hf, 太古代, 同位体分析

Keywords: Mantle Evolution, Basalts, Barberton, Lu-Hf, Archean, Isotopic Analysis

『隠された貯蔵庫』の主成分元素組成と生成条件 Major element composition and forming condotion of the hidden reservoir

近藤 望^{1*}; 小木曾 哲¹
KONDO, Nozomi^{1*}; KOGISO, Tetsu¹

¹ 京都大学大学院人間・環境学研究科

¹ Graduate School of Human and Environmental Studies, kyoto University

マグマオーシャンの固結とそれに続くマントル-地殻分化は、固体地球の進化や水圏の進化に大きな影響を与えた可能性がある。しかし、その詳細は未だ不明な点が多い。先行研究で、コンドライト隕石と地球の地殻・マントルを合わせた組成 (BSE) の間に $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 値の差があることが報告されているが、これはケイ酸塩に不適合な元素に富んだ貯蔵庫が初期地球で形成されたのち地球内部に隠されたか、地球外部に失われたことに由来するものと示唆されている。この『隠された貯蔵庫』の組成や起源については様々な説が提案されてきているが、それらは主成分元素組成には焦点を当ててこなかった。しかし、主成分元素組成は隠された貯蔵庫の密度を知り、それが果たして上昇して初期地殻を形成したのか、それともマントル中で沈降したのかを調べる上で非常に重要である。よって本研究では、この隠された貯蔵庫の主成分元素組成を求めるために、過去と現在のマントルの $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 、 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 系の制約の下、隠された貯蔵庫をつくる融解条件を推定した。

Solomatov and Stevenson(1993)によれば、固結していくマグマオーシャン中で、メルトが分離するのは圧力 10GPa 以下の上部マントル浅部である可能性が高い。この推定に基づいて、本研究では隠された貯蔵庫は 10GPa 以下で生成されると仮定した。そしてこの仮定のもと、コンドライト隕石と BSE の間の $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 値の差に整合的な Sm/Nd 比を計算し、この Sm/Nd 比を満たす部分融解度を推定した。この計算により、部分融解度は 1 GPa で < 5.2%、3 GPa で < 3.2%、7 GPa で < 1.4% となった。そしてこれらの部分融解度と先行研究の実験データを用いて隠された貯蔵庫の主成分元素組成を推定すると、それぞれ不適合元素に富んだソレアイト、ピクライト、コマチアイトとなった。

過去のマントルが現在よりも高温だったと考えると、マントルはより深部で融けていたことになる。一方で、本研究によって部分融解度は小さいと推定されている。マントル深部で融解が起こり、かつ小さな部分融解度となるには、リソスフェアが厚いことが必要である。マントルが高温の時に厚いリソスフェアがある可能性は、Korenaga(2009)によって示唆されている。これらの結果から、隠された貯蔵庫の主成分元素組成は微量元素に富んだピクライトからコマチアイトである可能性が高い。

Solomatov and Stevenson(1993), *Journal of Geophysical Research*, **98**, 5407-5418

Korenaga(2009), *Geophysical Journal International*, **179**, 154-170

キーワード: 隠された貯蔵庫, 初期地殻, $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$

Keywords: hidden reservoir, proto-crust, $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$

西オーストラリア・ノースポール玄武岩から推定される太古代マンツルの分化と物質循環 Differentiation and material recycling of Archaean mantle estimated from North pole basalt, Western Australia

佐野 文音^{1*}; 中村 仁美¹; 小宮 剛²; 横山 哲也¹; 宇野 正起³; 木村 純一⁴; 常 青⁴; 岩森 光¹
SANO, Ayane^{1*}; NAKAMURA, Hitomi¹; KOMIYA, Tsuyoshi²; YOKOYAMA, Tetsuya¹; UNO, Masaoki³; KIMURA, Junichi⁴; CHANG, Qing⁴; IWAMORI, Hikaru¹

¹ 東京工業大学, ² 東京大学, ³ 東北大学, ⁴ 海洋研究開発機構
¹ Tokyo Institute of Technology, ² The University of Tokyo, ³ Tohoku University, ⁴ JAMSTEC

Mid-ocean ridges and hotspots are the prominent surface manifestations of mantle upwelling with different mechanisms. In these domains, two types of basalts, i.e., mid-oceanic basalt (MORB) and oceanic island basalt (OIB) occur. Recent statistical analysis on the global data set of the Sr-Nd-Pb isotopic compositions demonstrates that modern MORB and OIB are clearly separated: MORB is derived from a mantle source that has undergone long-term depletion in a "melt component", while OIB is derived from a mantle source with long-term enrichment in the melt component through the recycling of subducted plate material (Iwamori and Albarede, 2008; Iwamori et al., 2010). Therefore, when plate recycling started to develop the geochemical domains is of great importance to understand the material differentiation and evolution of the Earth.

In this study, we present new trace element and Sr-Nd isotope composition of Archaean MORB and OIB, in order to discuss the differentiation of the mantle at that period and compositional evolution of the mantle for a longer period of the Earth's history. The basaltic rocks of ca. 3.5 Ga from North Pole in northwestern Australia have been analyzed, which include have been classified as MORB and OIB by their geological occurrence and stratigraphy in by Komiya et al. (2002). The rocks have undergone greenschist to amphibolite facies transition metamorphism (Komiya et al., 2002). The original rock compositions may have been modified by metamorphism. In order to examine potential metamorphic modification of the bulk rock composition, so we have measured composition of igneous clinopyroxene which shows original igneous texture, in addition to bulk composition, with special reference to equilibrium/disequilibrium partitioning of trace elements between clinopyroxene and the bulk rock to estimate the effect of metamorphism using partition coefficient.

The composition of North Pole MORB (NP MORB) and OIB (NP OIB) show slightly different trace element patterns. Some spikes in alkaline elements and alkaline earth metal elements and variability of the initial Sr isotopic compositions may result from metamorphic modification effect. The initial Nd isotopic compositions of NP MORB and NP OIB are similar to each other. However, most of the samples have $\epsilon\text{Nd} < 0$, which is not typically expected for a mantle-derived basalt. characteristic is typical for felsic rocks. The apparent elemental partitioning between partition coefficient of clinopyroxene and the estimated 'melt', as well as a relatively clear correlation between Sm/Nd and Nd isotopic ratio, suggests that metamorphism has also disturbed Nd isotopic compositions even for clinopyroxene which preserves igneous texture, resulting in $\epsilon\text{Nd} < 0$ of the bulk rocks. The isochron may show the metamorphic age of ca. 3.1 Ga. These approaches, therefore, may provide a quantitative measure for metamorphic geochemical modification of us, we need to gain the original composition from Archaean rocks, and will be useful, or even compulsory to discuss the true mantle signatures. to discuss the differentiation of mantle.

Keywords: Archaean, North Pole, basalt, mantle, isotope, differentiation

碎屑性モナザイトのU-Pb年代測定によるアフリカ大陸構造発達史の推定 Development of the African continent constrained from U-Pb chronology of detrital monazite

板野 敬太^{1*}; 常 青²; 飯塚 毅¹; 木村 純一²

ITANO, Keita^{1*}; CHANG, Qing²; IIZUKA, Tsuyoshi¹; KIMURA, Jun-ichi²

¹ 東京大学大学院地球惑星科学専攻, ² 海洋研究開発機構・地球内部ダイナミクス領域

¹Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo, ²Institute For Research on Earth Evolution, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Monazite, a light rare earth element phosphate, occurs as an accessory mineral in peraluminous felsic rocks and metamorphic rocks from subgreenschist- to granulite-facies. Because monazite has high U and Th and low common Pb contents, it is suitable for precise U-Pb chronology. In addition, monazite is moderately resistant to chemical and mechanical weathering, detrital monazites are well preserved and potentially record the timing and nature of peraluminous igneous activities and a wide range of metamorphic events in their provenance area. Consequently, detrital monazites from large rivers can provide valuable insights into orogenic events in the drainage basins on a continental scale (Hietpas et al., 2013). In this study, we have determined U-Pb ages of ca. 100 detrital monazite grains from the Nile and Niger Rivers, which give chronological information on orogenic events in the African continent with a high time resolution.

The African continent comprises several Archean-Paleoproterozoic cratons, which are rimmed by orogenic belts. A significant part of igneous and metamorphic basement rocks are covered by sediments and therefore inaccessible to in situ sampling at present. Considering that detrital monazites sampled from river sands would partly be derived from the currently inaccessible basement rocks over an extensive area, U-Pb dating of detrital monazite from large rivers can provide chronological information of the basement rocks complementary to studies of the exposed geology. The samples used in this study were collected at the river mouths of the Nile and Niger Rivers. The sand samples used in this study were previously used for zircon U-Pb dating and Hf isotopic studies by Iizuka et al. (2013). Monazite grains were newly concentrated from the river sand samples using the conventional magnetic and heavy liquid separation techniques. Monazites were randomly hand-picked from the aliquots of monazite concentrates and mounted in an epoxy mount. Before analysis, each grain was imaged by BSE using FE-SEM to check elemental zonation and the presence of inclusions. Monazite U-Pb isotopic dates were measured using 200nm-FsLA-ICP-MS. Reference monazite 44069 (U-Pb age 425 Ma) is used to correct for instrumental Pb/U fractionation.

The monazite grains from the Nile River gave U-Pb ages between 560 and 2100 Ma with a dominant population at 580-800 Ma. Furthermore, the U-Pb age population indicates a sharp peak at 600 Ma. The age peak at 600 Ma of Nile River suggests metamorphic and/or felsic igneous events occurred at that time in the drainage basin, probably related to the collision of the East and West Gondwana continents.

The monazite age population of Niger River is dominated by Neoproterozoic ages with the most prominent peak at 580 Ma and peaks at 625 and 645 Ma. The peaks shown in the Niger River monazite (580 Ma and 620-630 Ma) correspond with the timing of previously known orogenic events in Northwest Africa. A peak at 620-630 Ma is consistent with a metamorphic event at ca. 625 ± 29 Ma, likely related to the collision of the West Africa Craton and West Gondwana continent (Agbossoumonde et al., 2007). The other peak at 590-600 Ma is consistent with a ca. 576 ± 4 Ma post-collisional igneous event at the Pan-African Belt in Cameroon (Kuekam et al., 2013).

The age difference in the most prominent peaks of Nile and Niger monazites suggests that the timing of orogenic event in Northwest Africa was prior to that of in East Africa by ca. 10 Ma.

The accumulated monazite age distribution shows populations at 580-590 Ma, 630-640 Ma and 710-720 Ma, corresponding with the timing of Snowball Earth glaciation events. The chronological correspondence can be interpreted that the multiple Pan-African orogenic events during the Gondwana supercontinent assembly enhanced the rates of erosion and weathering via supermountain building that in turn decrease atmospheric carbon dioxide concentration resulted in glaciation.

キーワード: モナザイト, U-Pb 法, LA-ICP-MS, 汎アフリカ造山運動

Keywords: monazite, U-Pb age, LA-ICP-MS, Pan-African

海洋下部地殻における脱水素反応と生命活動 Significance of serpentinization of lower crust in deep-sea hydrothermal biosphere

安藤 祐美^{1*}
ANDO, Yumi^{1*}

¹ 埼玉大学 教育学部
¹Department of Education, Saitama University

現在確認されている最古の生命化石は西オーストラリアのピルボラ地方にある、35 億年前の海嶺熱水脈から見つかったものとされている。海底熱水脈中の古細菌（アーケア）は、海洋カンラン岩層の蛇紋岩化に伴う脱水素反応によって生成された、水素や硫化水素をエネルギー源としていたと考えられている。（東京工業大学 上野准教授）しかし、海洋地殻表層より 7~8 km 以上深いカンラン岩層から発生した水素と古細菌活動域には深さ方向に大きなギャップが存在する。また、35 億年前の海洋地殻は現在よりさらに厚い（50 km 以上）との研究結果もあるので、アーケアがエネルギー源とした水素は、カンラン岩層より上部から発生していた可能性が考えられる。

中央海嶺の断裂により海洋地殻に進入した海水は下部地殻の斑レイ岩層で超臨界の熱水を形成している。斑レイ岩層にもカンラン石が含まれるので、カンラン石の蛇紋岩化に伴う水素形成はおこりうる。また、古細菌は熱水条件下でも安定に存在できるので斑レイ岩層内での熱水熱水に生息している可能性がある。そこで、斑レイ岩層から岩石を採取し、分析を行っていく。

キーワード: 原始生命, 蛇紋石化, 斑レイ岩

Keywords: the oldest biosphere in early Earth, serpentinization, gabbroic rocks

蛇紋岩熱水系における炭化水素の生成メカニズムの解明：強アルカリ性白馬八方温泉の同位体解析
Production mechanism for hydrocarbons in serpentinite-hosted hydrothermal systems: Hakuba Happo hot spring

須田 好^{1*}; 上野 雄一郎¹; 丸山 茂徳²
SUDA, Konomi^{1*}; UENO, Yuichiro¹; MARUYAMA, Shigenori²

¹ 東工大地球惑星科学, ² 東工大地球生命研究所

¹Department of Earth & Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, ²Earth-Life Science Institute, Tokyo Institute of Technology

Serpentinite-hosted hydrothermal systems have been considered to be important environment for birth or evolution of earlier life. Serpentinite is a rock that results from the geological processes of hydration and metamorphic transformation of ultramafic rock from the Earth's mantle. Although ultramafic rocks are rarely exposed at the surface of the Earth today, they were likely to be an abundant component of the early crust owing to the higher potential temperatures compared to the present-day mantle [Komiya et al., 2004]. The presence of hydrocarbons has been reported in serpentinite-hosted systems at not only seafloor but also continental settings [e.g., Charlou et al., 2002; Proskurowski et al., 2008; Etiope et al., 2011; Szponar et al., 2013]. However, production mechanisms of the hydrocarbons in serpentinite-hosted hydrothermal systems so far has not been satisfactorily understood. In this study, we conducted chemical and isotopic analyses of hydrocarbons from a continental serpentinite-hosted hydrothermal system; Hakuba Happo hot spring in central Japan. Hakuba Happo hot spring is situated in the ultramafic rock body and is a site where serpentinization processes are likely to be ongoing at low-temperature of 50-60 °C [Suda et al., 2014]. The water at Hakuba Happo is strong alkaline (pH >10.5) and rich in H₂ and CH₄. Gas and water samples were obtained directly from two drilling wells in November 2013. Water temperature, pH, dissolved oxygen level (DO), oxidation-reduction potential (ORP) and salinity were measured at the sampling points using portable sensors. The water temperatures and chemistries were almost exactly the same as that at previous investigations conducted in 2010 and 2011. The hydrocarbon constituents of CH₄, C₂H₆, C₃H₈, iso-C₄H₁₀ and normal-C₄H₁₀ were detected from gas samples of Hakuba Happo hot spring. We report the isotopic analyses of hydrocarbons and discuss the process of hydrocarbons generation in serpentinite-hosted hydrothermal systems. °C

キーワード: 蛇紋岩熱水系, 炭化水素, 同位体分析, 無機的合成

Keywords: serpentinite-hosted hydrothermal system, hydrocarbon, isotopic analyses, abiotic synthesis