

捕獲電子を用いた年代測定と熱年代学の新しい展開

Trapped charge dating and thermochronology: recent advances

*塚本 すみ子¹

*Sumiko Tsukamoto¹

1. Leibniz Institute for Applied Geophysics

1. Leibniz Institute for Applied Geophysics

Trapped charge dating methods including luminescence and electron spin resonance (ESR) dating are based on the accumulation of unpaired electrons in minerals due to the natural radioactivity. Utilising the most abundant minerals on the earth, quartz and feldspar, the methods can cover the age range from a few years to more than a million years. The methods also have high potential as low-temperature thermochronometers due to the very low closure temperatures ($< 100^{\circ}\text{C}$). For the last 15 years, significant methodological advances took place in the luminescence dating and thermochronology, which made the method robust Quaternary geo- and thermo-chronological tools. ESR dating technique is currently not as robust as luminescence, but the method is an attractive alternative to luminescence dating for extending the age range. In this presentation, I outline the principles of luminescence and ESR dating and introduce several important technical developments including, 1) extended age range of infrared stimulated luminescence (IRSL) dating of feldspar using stable signals and its limitation, 2) recent developments of quartz ESR dating using single aliquots and 3) luminescence and ESR thermochronology.

キーワード：光ルミネッセンス、赤外励起ルミネッセンス、電子スピン共鳴、低温熱年代学

Keywords: optically stimulated luminescence, infrared stimulated luminescence, electron spin resonance, low-temperature thermochronology

^{14}C 年代測定法の試料採集基準とカマン・カレホユックの ^{14}C 編年への応用例

The criteria of sampling for ^{14}C dating and its example of application to Kaman- Kalehöyük chronology

*渥美 晋¹

*Shin Atsumi¹

1. 無所属

1. Independent

本研究では、現在の炭化物試料の前処理の最も基本となるABA法について、これまで詳細に検証されてこなかった試料の材質、洗浄溶液の濃度、洗浄時間に対する化学的検証を行った結果に基づいている。本研究は考古実試料によって放射年代測定の年代値の収束性の改善結果を確認することを第一の目的とした。さらに、従来、試料数と採集位置の点で本格的導入例のなかったベイズ統計学的手法を年代較正に導入した。これによる放射年代による分析結果と考古学的編年との違いの有無を明らかにすることを第二の目的とした。この過程で、地質学的変動よりも短期の変動である考古編年を扱った。同編年は、遺物あるいは生物遺骸の変化や過去の自然／社会的事件に基づく時代区分である考古代の時系列的集合体である。この結果、ABA法のアルカリ洗浄段階において、考古実試料のうち1 mol/lのNaOH溶液に溶解する試料を棄却した。年代値は9層準中4層準で50 ^{14}C yr以下の良好な収束性が観察された。3層準でも66~85 ^{14}C yr程度の年代値の収束が見られた。すなわち、この遺跡では数百年の期間を遡る古材の再利用や樹齢数百年の木材の利用はほぼ起きていない。この事実は木炭試料の年代値はほぼ建設年代を示している可能性を意味する。測定で得られた慣習的 ^{14}C 年代値は、年代補正プログラムOxCal ver.3.10によって、年代較正をおこなった。暦年代較正はINTCAL04を用いた。カマン・カレホユックのIVa層とIVb層の境界の年代は、紀元前22世紀初頭から紀元前21世紀末だった。これはメソポタミアではウル第III王朝期にあたる。さらに、放射性炭素年代と相対年代の手法を用いて、カマン・カレホユックと西アナトリアのトロイの前期青銅器時代末から後期青銅器時代までの編年を対比することが出来た。この結果、トロイとキュルテペの考古遺物の形態分析による層序分析と、今回年代測定によって得られた放射年代値による比較との間には、ほぼ一文化亜層程度のずれが観察された。

キーワード： ^{14}C 年代測定(AMS)、考古遺跡、検証基準

Keywords: ^{14}C dating(AMS), Archaeological sight, criteria

低温領域の熱年代学的手法を用いた東北日本弧の隆起・削剥史の解明 Elucidating uplift/denudation histories of NE Japan by using low-temperature thermochronology

*福田 将真¹、末岡 茂²、長谷部 徳子³、田村 明弘³、荒井 章司³、田上 高広¹

*Shoma Fukuda¹, Shigeru Sueoka², Noriko Hasebe³, Akihiro Tamura³, Shoji Arai³, Takahiro Tagami¹

1. 京都大学大学院理学研究科、2. 日本原子力研究開発機構、3. 金沢大学理工研究域

1. Graduate School of Science, Kyoto University, 2. Japan Atomic Energy Agency, 3. Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University

東北日本には沈み込み帯に平行な複数列の山脈が分布し、世界的にも典型的な島弧として知られる。そのテクトニクスは太平洋プレートやフィリピン海プレートによって支配され(高橋 2006)、プレート沈み込みに伴う応力によって陸域の山脈や地形構造は形成されてきたと考えられている。東北日本の主要なテクトニクス変遷は大まかに、30 Ma以前の大陸縁の時代から、25 Ma頃から始まる引張応力場の日本海拡大(Otofuji et al. 1985; Tosha and Hamano 1988)、13.5 Maに日本海拡大が終了し、10 Ma頃から始まる圧縮テクトニクス、そして5 Maから現在まで続く圧縮応力場によるInversion Tectonics(佐藤 1996)によって陸域が隆起する、といった応力場の大規模な変化を経験している。東北日本の地形の大半は鮮新世から第四紀に形成されたと考えられ(米倉ほか 2001)、引張場によって形成された断層が最近の強い圧縮応力場で再活動し隆起に作用させたと考えて差し支えない。しかし、島弧横断方向の山地の隆起史はそれぞれ異なっている可能性がある。

地殻の変形像を把握する手段には、様々なタイムスケールを対象とした観測手法が存在する。測地学的手法として、日本は世界的にも稠密なGPS観測網が発達しており(Sagiya et al. 2000)、100年以下のオーダーの隆起速度は非常に精度よく求められている。しかし、山地の隆起や成長速度は $10^6 \sim 10^7$ 年のスケールだと考えられているので、GPS観測で得られた短期間のタイムスケールの隆起速度が、そのまま山地形成のタイムスケールの隆起速度に外挿できるとは限らない。さらに、地質学的タイムスケールの歪速度は適用範囲に制約があり、特に山地地域では困難であった。このような理由で、 $>10^6$ 年単位での隆起速度を定量的に評価した研究は数少ない。

本研究では、複雑な東北日本弧のテクトニクスが山地の発達に与える影響や、地質学的タイムスケールの変形像を定量的に解明する目的で、低温領域の熱年代学的手法を用いた。この手法は 10^6 年単位の山地地域の熱史を推定する手法であり、上記の課題に関して解決策となりうると考えられる。研究地点はSueoka et al. (2016)によってアパタイトとジルコンの(U-Th)/He(順に、AHeおよびZHe)年代が報告されている阿武隈山地～奥羽脊梁山地～朝日山地(南測線)を対象とし、アパタイトフィッシュョン・トラック(AFT)法による年代測定とFT長を利用した逆解析を実施した。AFT法を適用した理由としては、①AFT法の閉鎖温度($90 \sim 120^\circ\text{C}$)がAHe法とZHe法の閉鎖温度の中間であり(AHe: $55 \sim 80^\circ\text{C}$, ZHe: $160 \sim 200^\circ\text{C}$)、これらのデータと合わせると $60 \sim 200^\circ\text{C}$ までの連続的な熱史の復元が可能であること、②AFT法ではFT長分布を利用した熱史の逆解析が可能であり(例えば、Ketcham 2005)、トラックの $10 \sim 90\%$ 保持領域であるPartial Annealing Zone (PAZ)の $60 \sim 130^\circ\text{C}$ までの熱史を高精度に推定できること、の2点が挙げられる。

本研究の結果として、阿武隈山地で $79.5 \sim 66.0$ Ma、奥羽脊梁山地で $29.8 \sim 5.5$ Ma、朝日山地で $21.0 \sim 17.6$ MaのAFT年代が得られた。これらは、先行研究のFT年代(後藤 2001, Ohtani et al. 2004)やHe年代(Sueoka et al. 2016)の年代値と整合的な値を示している。また、HeFTy(Ketcham 2005)を用いたトラック長による逆解析では熱史の最終変曲点から年代を読み取り、阿武隈山地では $80 \sim 60$ Ma以降徐冷のパターン、奥羽脊梁では約1 Ma以降の急冷、朝日山地では $6 \sim 5$ Ma以降の急冷パターンが検出される結果と

なった。これらの推定された熱史をもとに、先行研究の構造史 (Sato 1994; Yoshida et al. 2013; Nakajima 2013) や熱史 (Takahashi et al. 2016) との比較検討を行った。

1)前弧側では、白亜紀以降安定的な削剥環境であることと、50 Ma以降の削剥量が約2 km程度であることが推定された。つまり25 Maから始まる日本海拡大以降のテクトニクスの影響は少なく、白亜紀後期以降は非常に緩やかな削剥環境であったことが推測される。ただし、第四紀以降の削剥速度 (Regalla et al. 2013) や最近12万年間での隆起速度 (Suzuki 1989) はそれぞれ0.1~0.2 mm/yr, 0.2~0.6 mm/yrと算出されており、本研究手法では検出できなかったが、第四紀以降の削剥が加速した可能性がある。

2)奥羽脊梁は6 Ma頃から始まる東西圧縮や3~2 Ma頃から始まる強圧縮によって隆起したとされている (Sato 1994; Nakajima 2013)。山脈の中心部ではこの頃のテクトニクスの影響を示唆するAHe年代 (2~1 Ma) およびAFT年代 (6~5 Ma) や、逆解析による最終変曲点が約1 Maとされ、奥羽脊梁の隆起開始や最近2 Ma以降の急激な冷却を示唆する熱史が推定された。一方、縁辺部では>30 Maの古いAFT年代やZHe年代も得られており、脊梁山地内でも熱史は異なっていることが示唆された。これらの古い年代値は、日本海拡大期における第四紀の火山活動によるPartial Resetの可能もあり、解釈は容易ではない。ただし、大陸縁時代の年代値は数少なく、これらの古い年代値はその頃の熱史を復元できる可能性がある。

3)背弧側は、AHe年代がすべて10 Maを切っていることや、トラック長による逆解析によって推定された熱史で約6~5 Ma頃に最終変曲点を持つことから推測すると、奥羽脊梁と同様に10 Maまでの東西圧縮の影響を受けている可能性がある。ただし、30 Ma付近の年代値の解釈は、グリーンタフ変動で知られる活発な火山活動や海進等の影響による沈降により、困難を極める。

今後の課題として、①測定数が不足している地点 (特にST13, ST15) のAFT年代およびFT長の追加測定によってデータの信頼度を向上させる、②南測線のより詳細な熱史復元のため、ZFT法やU-Pb法などの他の分析手法を用いる、③Sueoka et al. (2016)によってHe年代が報告済みの北測線 (北上山地~奥羽脊梁山地~太平・白神山地) のFT分析は手つかずの状態であるため、これらの測定が急がれる、などの課題が挙げられる。

キーワード：熱年代学、(U-Th)/He法、フィッショントラック法、東北日本弧

Keywords: thermochronology, (U-Th)/He method, Fission Track method, NE Japan Arc

大町テフラのジルコンのU-Pbおよび(U-Th)/He年代測定 Zircon U-Pb and (U-Th)/He dating to Omachi Tephra

*伊藤 久敏¹、Danišík Martin²、大石 雅之³、中里 裕臣⁴

*Hisatoshi Ito¹, Danišík Martin², Masayuki Oishi³, Hiroomi Nakazato⁴

1. 電力中央研究所、2. Curtin University、3. 立正大学、4. 農業・食品産業技術総合研究機構

1. Central Research Institute of Electric Power Industry, 2. Curtin University, 3. Rishso University, 4. Institute for Rural Engineering

更新世の指標テフラの一つである大町テフラから分離したジルコンを用い、LA-ICP-MSによるU-Pb年代測定を実施した。今回対象とした大町テフラは長野県大町市の露頭から採取したA1PmとDPmであり、同露頭で下位よりA1Pm, A2Pm, A3Pm, B Scoria, DPm, EPmの6枚のテフラを確認した。A1PmとDPmは斜方輝石の屈折率等で同定を確認した。A1PmのU-Pb年代測定結果は、 0.43 ± 0.02 Ma (誤差は95% confidence level) であり、層序や既存のフィッシュン・トラック年代測定結果と概ね整合する結果が得られた。DPmのU-Pb年代測定結果は 0.28 ± 0.05 Maであり、層序から推定されている年代である約0.1 Maとはかい離れた結果が得られた。U-Pb年代はジルコンがマグマから晶出した年代を示すため、テフラの噴出年代を示す訳ではない。これに対し、(U-Th)/He年代はテフラの噴出年代を示すと期待される。現在、(U-Th)/He年代測定を実施中であり、発表ではこの結果も含めて報告する。

キーワード：第四紀、テフラ、U-Pb年代測定、(U-Th)/He年代測定

Keywords: Quaternary, tephra, U-Pb dating, (U-Th)/He dating

パカ火山の $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代測定から見た北部ケニアリフト拡大軸上火山岩の全岩化学組成の時間変化

Temporal change in geochemistry of volcanic rocks in northern Kenya Rift: Insights from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology at Paka

*周藤 正史¹、Strecker Manfred. R.¹、Friese Andrea²、Hahne Kai²、Frei Michaela²、Riedl Simon¹、Lopeyok Tito³、Mibei Geoffrey³

*Masafumi Sudo¹、Manfred R. Strecker¹、Andrea Friese²、Kai Hahne²、Michaela Frei²、Simon Riedl¹、Tito Lopeyok³、Geoffrey Mibei³

1. University of Potsdam、2. Federal Inst. Geoscience Natur. Resource、3. Geothermal Development Company

1. University of Potsdam, 2. Federal Inst. Geoscience Natur. Resource, 3. Geothermal Development Company

ケニアリフトは、リフト中に見られる新鮮な第四紀カルデラ地形の分析などにより、陸上で最も活動的なリフトの一つと考えられている。そのうちケニアリフトの北半分には6個の火山の噴出中心が、玄武岩やトラカイトを噴出し、中規模のトラカイト質盾状火山を形成している。

これらのうちの一つ、パカ火山の活動時期が、主に溶岩からなる最新の32火山岩試料の $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代測定により0.58 Maから0.012 Maであることが示された。これらは石基試料から得られたプラト一年代とアイソクロン年代を注意深く吟味して得られた年代値であり、北部ケニアリフトの形成史の理解に大変有効である。活動期間中には3度の相対的に噴火回数の多い時期が、0.4 Ma、0.15 Ma頃及び、0.05 Maより若い時期に見られた。これに基づいてパカの全活動時期を0.6-0.35 Ma (I)、0.35-0.1 Ma (II)、0.1-0 Ma (III)の3期に分けてパカの火山活動史を調べると、活動が進むと共に噴火口の分布が現在のケニアリフトの方向であるNNE-SSW方向に収束することが見られた。

また得られた年代をC.I.P.W.ノルム鉱物と組み合わせてみると、Dunkley et al. (1993)による北部ケニアリフトの地質調査の報告において、考察されたパカの活動史とは異なる姿が明らかになった。パカにおいて火山活動は0.58 Maにノルムネフェリンを持つ玄武岩(Lower Basalt)の噴出で始まる一方、ノルムハイパーシンを持つ玄武岩は、0.43 Ma以来0.01 Maまで活動が続くトラカイトマグマの噴出中に並行して0.3から0.1 Maの間でのみ噴出した(図)。

Dunkley et al. (1993)及び今回得られた全岩化学組成では、ノルムハイパーシンを持つ玄武岩は、ノルムネフェリンを持つ玄武岩よりも広範囲にパカの周囲に分布し、一方ノルムネフェリンを持つ玄武岩はパカでのみ分布する。しかしながらDunkley et al. (1993)では、パカ火山はそれらノルムハイパーシンを持つ玄武岩溶岩流の上に乗っており、また最も若いノルムハイパーシンを持つ玄武岩溶岩流(Young Basalt)がパカや隣接するシラリ、及びコロシ火山のさらに上位層として存在すると考えられたが、今回得られた年代値はこのモデルを支持しない。上記の通り、ノルムハイパーシンを持つ玄武岩は、実際にはむしろパカ火山形成中の中頃の時期にのみ噴出し、一方パカで最も古い玄武岩はノルムネフェリンを持つ玄武岩であった。

この得られた新しい噴出の順序では、むしろよりシンプルに、パカの直下に1つの熱いマンテルダイアピルが断熱上昇して玄武岩マグマを順に分離したというモデルで、パカ火山のマグマ生成システムを実験岩石学の成果を用いて説明することができる。ダイアピルからは初めにより高圧下で少量のノルムネフェリンを持つ玄武岩マグマが生成して噴出し、さらにより浅い低圧下ではより高い部分熔融度でより多量のノルムハイパーシンを持つ玄武岩マグマが生成され、噴出したと考えられる。

さらに、上記で分けられた3期に沿って、火山岩中の、マンテル鉱物に対する不適合元素の比であるNb/Zr比が減少することが観察された。このことも、パカ直下に上昇してきた単一の熱いマンテルダイアピルからの玄武岩質マグマの分離の繰り返しというモデルで説明できる。なぜならマンテルからの分別融解の繰り返しによって分離した玄武岩マグマ中のNb/Zr比は、マンテル鉱物に対するZrの僅かに高い分配係数によって徐々に減少するため、その玄武岩及び玄武岩に由来するトラカイトに維持されていると考えられるからである。

以上の議論により、パカ火山の火山活動史は、単一のマントルダイアピルの上昇と玄武岩マグマの分離という比較的単純なモデルで説明することが可能である。これまで北部ケニアリフト中の洪水玄武岩とトラカイト質盾状火山は、それぞれ別のマグマ噴出物として考えられることが多かったが、今回の結果は、それらのマグマが同一のマグマ生成システムに由来し、同一の火山から噴出したと考えられる場合があることを示唆している。我々はまた、今回の年代測定によって得られたパカ火山の新しい火山地質層序を提案する。

Reference: Dunkley P. M., M. Smith, D. J. Allen and W. G. Darling (1993): International Series, Research Report SC/93/1, 185pp, British Geological Survey

キーワード：ケニアリフト、アルゴンアルゴン年代測定、第四紀火山、玄武岩、トラカイト、全岩化学組成
Keywords: Kenya Rift, Ar/Ar dating, Quaternary volcano, basalt, trachyte, whole-rock chemistry

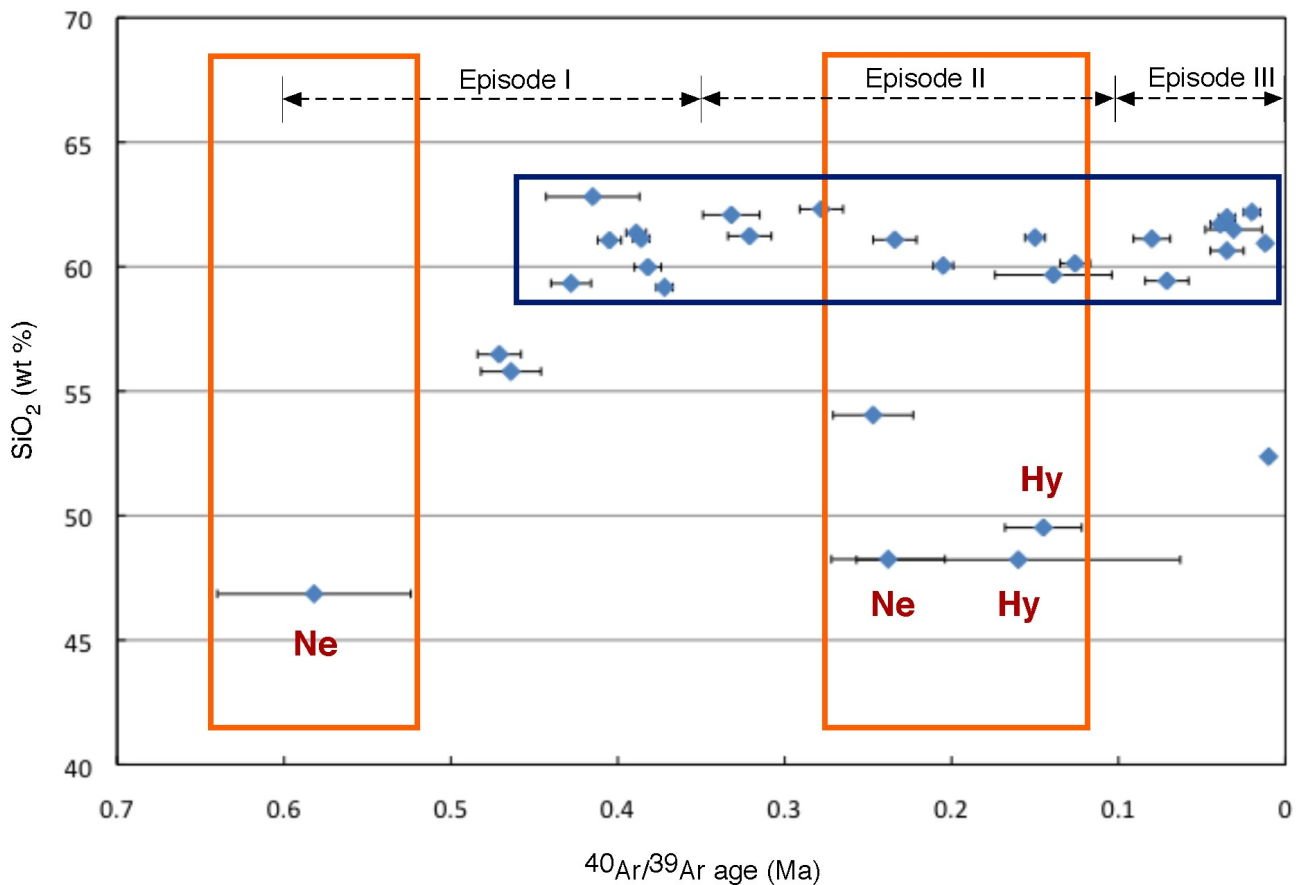


Fig. Plot of SiO₂ contents against ⁴⁰Ar/³⁹Ar ages of volcanic rocks from Paka. Ne; nepheline-normative basalts, Hy; hyperthene-normative basalts.

開放温度と緩和時間

Unclosure Temperature and Relaxation Time

*兵藤 博信¹

*Hironobu Hyodo¹

1. 岡山理科大学自然科学研究所

1. Research Institute of Natural Sciences, Okayama University of Science

球状物体中の拡散は厳密な解析解が存在する。Dodson(1973)は拡散方程式のArrhenius関係に着目し、ある程度の温度以下では拡散が急激に減少し放射性核種の生成率が拡散を上回ってほとんど増加分のみとみなせる温度を閉止温度 T_c と定義した。 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代測定で用いられる段階加熱は実験室での短い加熱時間ではあるが二次的再加熱過程とみなされる。また種々の鉱物の拡散パラメーターは拡散関係、Arrhenius関係を用いて計算されてきた。岩体の冷却過程を二次的再加熱の逆過程とみなすことにより閉止温度の意味を再検討した。球状物体中の拡散において蓄積した放射起源同位体の全体の20%以上が失われることは元の年代を再構築できないことにつながる。これを開放温度と名付け、閉止温度に対応する物の下限と考えた。また系の99%を失う領域では拡散が卓越する。これを T_{dc} と呼ぶことにし、 T_c と T_{uc} および T_{dc} の比較を行った。Dodsonの定義からは T_{dc} の直下がほぼ T_c ということになる。しかし結果は T_c は T_{uc} の値に近い。また鉱物粒径（拡散半径）が大きくなる(>100ミクロン)につれて不一致、特に T_{dc} での不一致が大きくなることが見られた。これらの結果について考察する。

キーワード：拡散、球状物体、開放温度

Keywords: diffusion, sphere, unclosure temperature

隕石に見られる鉄より重い元素の核合成起源同位体異常と地球型惑星の起源

Nucleosynthetic isotope anomalies of trans-iron elements in meteorites: implication for the origin of terrestrial planets

*横山 哲也¹、中本 泰史¹、奥住 聡¹、DeMeo Francesca²

*Tetsuya Yokoyama¹, Taishi Nakamoto¹, Satoshi Okuzumi¹, Francesca Eleanora DeMeo²

1. 東京工業大学理学院地球惑星科学系、2. マサチューセッツ工科大学

1. Department of Earth and Planetary Sciences, School of Science, Tokyo Institute of Technology, 2. Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology

The chemical composition of the Earth has been a matter of debate for more than several decades. Classical models assumed that the bulk Earth had CI chondrite-like relative abundances for refractory elements. This view has been challenged by the discovery of nucleosynthetic isotope anomalies in bulk aliquots of meteorites; a series of studies on high precision isotope analysis of meteorites concluded that carbonaceous chondrites (CCs) and ordinary chondrites (OCs) have stable isotope compositions resolvable from those of the Earth for a variety of lithophile and siderophile elements (e.g., Ti, Cr, Mo, Ru) [1-3]. By contrast, enstatite chondrites (ECs) have stable isotopic compositions similar to those of the Earth for the same elements. Such observations suggest that a large fraction of the building blocks of the Earth is composed of enstatite chondrite-like materials rather than the other chondrites including CI [4].

Our recent high precision isotope analyses on chondritic and non-chondritic (NC) meteorites for some trans-iron elements (e.g., Sr, Mo, Nd) support this interpretation [5-7]. In the most cases, the extent of isotope anomaly is in the order of Earth \sim NC \sim EC $<$ OC $<$ CC, which generally corresponds to the current location of meteorite parent bodies in the asteroid belt as a function of heliocentric distance [8]. This implies that stable isotopes of these elements were nearly homogeneously distributed in the feeding zone of the Earth where parent bodies of ECs and some NCs have formed, whereas distinct isotopic compositions for the same elements are observed in the outer asteroid belt where parent bodies of CCs are located. Unlike this observation, however, some refractory heavy elements (Hf, W, and Os) have uniform stable isotope compositions across all classes of meteorites [9-11], indicating that stable isotopes of these elements were homogeneously distributed from the Earth (1 AU) toward the outer part of the asteroid belt (\sim 5 AU).

The origin of heterogeneous/homogeneous distribution of stable isotopes for the above-mentioned elements within the inner solar system ($<$ \sim 5 AU) is poorly constrained. Two contrasting models have been proposed so far to account for the observed isotope variabilities in meteorites. The first model advocates that late injection of a nearby supernova sprinkled isotopically anomalous grains into the protoplanetary disk, followed by aerodynamic sorting of grains in different sizes that resulted in planetary scale isotope heterogeneities [12]. However, recent theoretical studies argue that ccSNe generate only low-mass r-nuclides ($A < 130$), which contradicts the observed isotope anomalies in Ba, Sm, and Nd. Alternatively, the second model postulates that nebular thermal processing caused selective volatilization of isotopically anomalous components from presolar grains, associated with physical separation of gas and remaining solid [1, 13-14]. In this case, isotope anomalies can be observed for elements with intermediate 50% condensation temperature (~ 1000 K $<$ $T_{50\%}$ $<$ ~ 1600 K), because ultra-refractory and moderately volatile elements are preferentially distributed into the solid and gas phases during the heating event,

respectively. Therefore, isotope anomalies in meteorites would be useful for tracking the thermal history of dust grains in the solar nebula, which ultimately provide important clues for understanding the origin of terrestrial planets.

References: [1] Trinquier, A. et al. (2009) *Science* **324**, 374. [2] Burkhardt, C. et al. (2011) *EPSL* **312**, 390. [3] Fischer-Gödde, M. et al. (2015) *GCA* **168**, 151. [4] Dauphas, N., et al. (2014) *EPSL* **407**, 96. [5] Yokoyama, T. et al. (2015) *EPSL* **416**, 46. [6] Nagai, Y. and Yokoyama, T. (2016) *Goldschmidt conf.* [7] Fukai, R. and Yokoyama, T. (2016) *Goldschmidt conf.* [8] DeMeo, F.E. and Carry, B. (2014). *Nature* **505**, 629. [9] Sprung, P. et al. (2010). *EPSL* **295**, 1. [10] Kleine, T. et al. (2004). *GCA* **68**, 2935. [11] Yokoyama, T. et al. (2010) *EPSL* **291**, 48. [12] Dauphas, N. et al. (2010) *ApJ* **720**, 1577. [13] Burkhardt, C. et al. (2012) *EPSL* **357-358**, 298. [14] Yokoyama, T. and Walker, R.J. (2016) *RiMG* **81**, 107.

キーワード：核合成起源同位体以上、隕石、小惑星帯

Keywords: Nucleosynthetic isotope anomaly, Meteorites, Asteroid belt

太古代のジルコンに包有されるアパタイトのストロンチウムと水素同位体測定

Strontium and Hydrogen Isotopes of Apatite Inclusion in Archaean Zircon

*佐野 有司¹、石田 章純¹、高畑 直人¹、David Jean²、Pinti Danilele²

*Yuji Sano¹, Akizumi Ishida¹, Naoto Takahata¹, Jean David², Danilele L Pinti²

1. 東京大学大気海洋研究所海洋地球システム研究系、2. ケベック大学モントリオール校地球科学教室

1. Division of Ocean and Earth Systems, Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo, 2. GEOTOP, University of Quebec at Montreal

太古代に形成された岩石や鉱物試料は、後の地質時代の熱変成や熱水変質のために、オリジナルな地球化学的情報を保持している例は極めて少ない。例えば38億年前のグリーンランドの縞状鉄鉱床に含まれるアパタイトに包有される炭素質物質の $\delta^{13}\text{C}$ 値が低いことから生命の起源が議論された[1]。しかし、そのアパタイトは約15億年前の熱変成で600度まで加熱された可能性があり、炭素同位体比の結果は疑問視されている[2]。ジルコンは熱変成に強く、形成時にウランを取り込み、鉛を排出するため年代測定ができる最適な鉱物である[3]。我々はカナダの太古代の火成岩から分離したジルコンのウラン-鉛年代をNanoSIMSにより測定した。次に、アパタイトを包有物として含むジルコンを選び、アパタイトのストロンチウムと水素同位体比の測定をNanoSIMSにより試みた。

カナダ、ケベック州のNuvvuagittuq地域で採取されたトータル岩から通常の手法でジルコンを分離・抽出した[4]。得られたジルコンを年代の標準試料(QGNG)と一緒にエポキシ樹脂に埋め込み、表面を鏡面になるまで研磨した。金蒸着を施した後、NanoSIMSを用いてウラン-鉛年代測定を行った。5nAの酸素一次ビームを直径15ミクロンに絞って試料表面に照射し、二次イオンを質量分析した。得られた Pb^+/UO^+ 比を標準試料の値と比較してウラン-鉛年代を求めた[5]。ジルコンに包有されるアパタイトのストロンチウム同位体比は、直径5ミクロンに絞られた酸素ビームで分析した[6]。一方、水素同位体比は直径1ミクロンに絞られたセシウム一次ビームを10x10ミクロンの領域をラスタして内側の2.5x2.5ミクロンの領域を分析した[7]。どちらの同位体比も、地球の標準試料の測定結果と比較して更正した。

ジルコンのウラン-鉛年代は36億3千万年であった。ジルコンに包有されるアパタイトの $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は0.7095から0.7153まで変動した。さらに $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 比と弱い正の相関を示し、アイソクロンあるいは2成分のミキシングを示唆する。水素同位体比(δD 値)は-210‰から+65‰まで変動し、水素濃度と正の相関を示した。こちらは2成分のミキシングを示唆する。

References: [1] Mojzsis et al. (1996) *Nature* 384, 55-59. [2] Sano et al. (1999) *Nature* 400, 127. [3] Willaims (1998) *Rev. Economic Geol.* 7, 1-35. [4] David et al. (2009) *GSA Bull.* 121, 150-163. [5] Takahata et al. (2008) *Gond. Res.* 14, 587-596. [6] Sano et al. (2014) *J. Asian Earth Sci.* 92, 10-17. [7] Koike et al. (2016) *Geochem. J.* 50, 363-377.

キーワード：太古代、ストロンチウム同位体、水素同位体、ウラン-鉛年代測定、二次イオン質量分析計
Keywords: Archaean, Strontium isotopes, Hydrogen isotopes, U-Pb dating, NanoSIMS

NanoSIMSを用いたZagamiとRBT04261中のリン酸塩鉱物のウラン-鉛年代測定

Uranium-Lead dating of Zagami and RBT04261 phosphates by NanoSIMS

*森田 拓弥¹、佐野 有司¹、小池 みずほ¹、音田 知希¹、比屋根 肇²、高畑 直人¹、新原 隆史³

*Takuya Morita¹, Yuji Sano¹, Mizuho Koike¹, Satoki Onda¹, Hajime Hiyagon², Naoto Takahata¹, Takafumi Niihara³

1. 東京大学大気海洋研究所、2. 東京大学大学院理学系研究科、3. 東京大学総合研究博物館

1. Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 2. Graduate School of Science, The University of Tokyo, 3. The University Museum, The University of Tokyo

[1]導入

火星隕石のうちシャーゴットタイトに分類される隕石は、火成活動に由来した岩石であると考えられている。このシャーゴットタイトの年代学的な情報、特に結晶化年代を考えることは火星の火成活動の歴史を制約するのに重要である[1][2]。

シャーゴットタイトの年代学的研究は様々な放射性同位体を用いて研究されており、その多くは約2億年を示している(例:[1])。特にウランは半減期が長く、また、ウラン-鉛系列は2つの壊変系が存在するため、火星隕石の年代測定によく用いられる。TIMSを用いたZagami隕石の全岩²³⁸U-²⁰⁶Pb年代は230±5 Maであった[3]。また、SIMS(IMS 1280)を用いたZagami中のリン酸塩鉱物における²³⁸U-²⁰⁶Pb年代として153±81 Maが報告されており[4]、TIMSと調和的である。一方、Bouvier et al. [2]らは²⁰⁷Pb-²⁰⁶Pb年代として4048±17 Maという年代を報告している。Bouvierらは41億年がシャーゴットタイトの結晶化年代で、そのほかの年代は、衝撃変成もしくは水質変成によりリセットされた年代であると主張した。水質変成や衝撃変成に強いパデライトを用いた鉱物年代測定では、RBT 04261に対して235±37 Maという鉱物年代が報告されており、約2億年という年代が結晶化年代とされた[5]。

本研究ではリン酸塩鉱物に着目し、玄武岩質シャーゴットタイトであるZagamiとレルゾライト質シャーゴットタイトであるRBT 04261の²³⁸U-²⁰⁶Pb年代測定、²⁰⁷Pb-²⁰⁶Pb年代測定を行った。さらに、結晶化年代を得るために2つの年代測定法を用いて「U-Pb 3D年代」を求め、得られた年代から火星がマグマ活動を行っていた年代について考察することを目的とした。

[2]方法

測定に用いたZagamiの厚片は東京大学の杉浦先生、RBT 04261の厚片はNASA-JSCからそれぞれ借用した。東京大学理学部のSEM-EDS (S-4500)、および大気海洋研究所のEPMA (JXA-8900)を用いてZagami、RBT 04261中のカルシウムに富むリン酸塩鉱物(アパタイト、メルリライト[Ca₉NaMg(PO₄)₇])の観察および同定を行った。

大気海洋研究所のNanoSIMS 50を用いて²³⁸U-²⁰⁶Pb年代を求めた。その後、同じスポットで²⁰⁷Pb-²⁰⁶Pb年代を求め、3D年代を決定した。

[3]結果、考察

得られた²³⁸U-²⁰⁶Pb年代はそれぞれZagami: 164±240 Ma、RBT04261: 261±72 Ma(どちらも誤差は2σ)と求まった。

²⁰⁷Pb-²⁰⁶Pb年代は誤差が大きく、意味のある年代は得られなかった。

2つの隕石の3D年代はそれぞれ、Zagami: 245±80 Ma、RBT 04261: 248±41 Maと求まった。回帰直線が両方で引けたので、年代系が2次的な変成の影響を受けていないことが分かった。したがって、求めた年代は隕石の結晶化年代と考えられる。2つの結晶化年代はおよそ250 Ma(2.5億年前)で一致した。さらに、先

行研究[3][4][5]の ^{238}U - ^{206}Pb 年代と本研究で得られた2つの3D年代は誤差の範囲内で一致した。

また、Zagamiの初期鉛同位体比（以下初生比と表す）は $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=14.46\pm 0.82$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.45\pm 0.65$ と求まり、RBT04261の初生比は $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=10.1\pm 2.2$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=12.7\pm 1.1$ と求まった。2つの隕石は初生比が異なっていることから、初生比の異なるマグマで結晶化したか、初生比の異なる鉛が混入したかという可能性が考えられる。したがって2つの可能性が考えられる：（1）250 Maに形成した初生比の異なるマグマが複数あり、2つの隕石は別々のマグマで結晶化したという可能性。（2）250 Maの1つのマグマでZagamiとRBT 04261が結晶化したものの、浅部で形成されたと考えられているZagamiが高温で火星表層に噴出した際に、隕石中に火星表層の初生比の異なる鉛が混入したという可能性。上記の仮説を証明するためには、他の年代系や隕石中の微量元素などの情報を合わせてさらに議論する必要がある。

[4]参考文献

[1] Nyquist et al. (2001) SS. 96, 105-164. [2] Bouvier et al. (2005) EPSL. 240, 221-233. [3] Chen and Wasserburg (1986) GCA. 50, 955-968. [4] Zhou et al. (2013) EPSL. 374, 156-163. [5] Niihara T. (2011) JGR. 116, E12008.

キーワード：火星隕石、年代学、Zagami、RBT04261、NanoSIMS、リン酸塩鉱物

Keywords: Martian meteorite, Chronology, Zagami, RBT04261, NanoSIMS, Phosphate

Refining the Geomagnetic Polarity Timescale: High-precision U-Pb geochronology from Late Cretaceous of US Western Interior and NE China

*Jahandar Ramezani¹, Kaori Tsukui¹, William C. Clyde², Tiantian Wang³, Kirk R. Johnson⁴, Scott Wing⁴, Samuel A. Bowring¹

1. Massachusetts Institute of Technology, 2. University of New Hampshire, 3. China University of Geosciences, 4. National Museum of Natural History

An accurate and precise reconstruction of the Earth history is essential to resolving the mode and tempo of biotic evolution and its interrelationship to environmental change in deep time. However, this goal cannot be accomplished without high-fidelity intercalibrations of various geochronometers that are used to scale geologic time. Abrupt reversals in the Earth's magnetic polarity form the basis of the Geomagnetic Polarity Timescale (GPTS) and serve as ideal timelines for stratigraphic correlation, especially in depositional environments where diagnostic marine fossils are absent. The Neogene part of the GPTS has been calibrated using astrochronological models that are based on orbital forcing of climate manifested in cyclic sedimentary successions. The application of these approaches to the pre-Neogene timescale has nonetheless been complicated given the uncertainties of orbital models and the chaotic behavior of the solar system farther back in time. Absolute calibration of the GPTS can be achieved at high resolution by radioisotopic dating of volcanic ash deposits intercalated with stratigraphically complete successions with well-preserved magnetostratigraphic records.

The Late Cretaceous to Paleocene segment of the GPTS is of particular interest as it encompasses a critical period of Earth history marked by the Cretaceous greenhouse climate, the peak of dinosaur diversity, the end-Cretaceous mass extinction and its paleoecological aftermaths. Here we present a refined calibration of the GPTS based on high-precision U-Pb geochronology of ash beds within predominantly continental strata of the Western Interior Basin of North America and the Songliao Basin of Northeast China. Results from the Songliao Basin (end-C34), Bighorn Basin of Wyoming (end-C32) and Denver Basin of Colorado (C29 to C28) place tight constraints on the Late Cretaceous –Paleocene GPTS, by either directly constraining the chron boundaries and/or by testing their underpinning astrochronological age models. Our new GPTS calibration displays good consistency with those from the most recent astrochronology- and radioisotope-based studies of other coeval continental and marine records. Together, they demonstrate the power of a multi-chronometer approach to the calibration of the Earth history.

Keywords: U-Pb geochronology, Geomagnetic Polarity Timescale, Cretaceous, Western Interior Basin, Songliao Basin

Short-lived U- and Th-series isotopes: Tracers and chronometers of Earth surface processes through Anthropocene to global change time frame

*Bassam Ghaleb¹, Claude Hillaire-Marcel¹, Ana-Carolina Ruiz-Fernandez², Florent Barbecot¹

1. University of Quebec at Montreal, GEOTOP, Montreal, Canada, 2. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, Calz. Joel Montes Camarena s/n, Col. Playa Sur, Mazatlán, Sin., México

A large array of short-lived natural U and Th-series isotopes are useful tools for the documenting of on-going geochemical and sedimentological processes as well as for the calculation of geochemical fluxes between reservoirs (e.g., ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{228}Ra , ^{228}Th , ^{234}Th , with time scales ranging from $\sim 10^3$ to $\sim 10^{-1}$ years). In combination with nuclear fallout isotopes (e.g., ^{137}Cs , ^{241}Pu ...), they may be used for estimating the behavior and fluxes of aerosols, soil evolution and weathering processes (across all time scales above), particulate and colloidal transport in continental and marine waters, as well as for the documenting of extreme events (floods, storminess, etc.) and more generally, the fate of sediments in rivers, lakes and the marine realm (from accumulation rates to on-going sedimentological processes). Applications in the domains of hydrothermal systems and of volcanology are also of importance. Examples illustrating the use of a few of the above isotopes for the documenting of Earth surface processes from the Anthropocene (*sensu lato*) through the present global change frame, will be discussed, with a focus on short-lived isotopes of the U and Th-series. They include (i) downscaling through time-dependent processes in carbonate-rich Mediterranean soils, (ii) the monitoring of geochemical properties of recent basaltic lava flows (Hawaii & Bali), (iii) evolution of hydrothermal systems (Denizli area, Anatolia) (iv) the recording of extreme events in estuarine and coastal areas from the Sinaloa coast (Mexico)

Keywords: U-series, short lived isotopes