

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月30日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2011～2012

課題番号：23840013

研究課題名（和文） 隕石ジルコンの同位体分析による太陽系年代学と惑星化学

研究課題名（英文） Deciphering the solar system chronology and planetary chemistry using meteorite zircon

研究代表者

飯塚 毅 (IIZUKA TSUYOSHI)

東京大学・大学院理学系研究科・講師

研究者番号：70614569

研究成果の概要（和文）：本研究では、惑星の地殻進化の時間スケールを理解し、さらに、相対年代測定法に絶対年代基準を与えるために、様々なエコンドライト隕石についてウラン-鉛絶対年代分析を行った。その結果、それらの隕石は45.63-44.40億年前までの年代範囲を示し、また、ユークライト Agoult と未分類隕石 Ibitira 及び NWA 6704 が年代基準として利用できることが分かった。そして、これらの隕石について、ニオブ-ジルコニウム同位体分析を行った結果から、初期太陽系のニオブ-92の存在量とその均一性を評価した。

研究成果の概要（英文）：We have conducted U-Pb dating of various achondrites to understand the timescale of planetary crust evolution and to establish new reliable time anchors. We found that the studied achondrites have a wide range in U-Pb age from 4563 Ma to ca. 4440 Ma and that the eucrite Agoult and the ungrouped achondrites Ibitira and Northwest Africa 6704 can potentially serve as the time anchors. We have further investigated the Nb-Zr isotope systematics of these meteorites. The results allow us to define the Solar System initial ^{92}Nb abundance and to evaluate its uniformity.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2011年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2012年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地球宇宙化学

キーワード：ジルコン・年代学・ジルコニウム同位体・ハフニウム同位体

1. 研究開始当初の背景

近年の観測天文学や地球物理学の進歩により、太陽系開始から惑星形成までの描像-分子雲の冷却、凝縮物質の集積による小惑星成長とその分化、小惑星衝突による惑星形成とその分化-が、明らかになってきた。これらの太陽系初期に起きた素過程の順序、及び正確な時間スケールを決定することは、惑星

の初期進化を理解する上で不可欠である。この順序付け、及び時間スケールの決定は、隕石試料の年代測定によって実行できる。例えば、未分化な隕石、コンドライトに含まれる難揮発性包有物 CAIs やコンドリュールの形成年代は、太陽系史初期における凝縮過程を反映し、一方、石質隕石や鉄隕石の結晶化年代は、コア、マントル、地殻の形成など、小

惑星の分化過程の年代を反映する。太陽系開始から惑星形成の時間スケールが、おおよそ千万年(10 Myr)のスケールで起こりうること、さらにそれぞれの素過程の時間スケールは、それよりも小さいであろうことを考えると、初期太陽系年代学では、 <1 Myr の年代測定精度が求められる。

多くの長寿命核種を用いた同位体年代法の精度は低い(>10 Myr)ため、初期太陽系年代学には、 ^{182}Hf - ^{182}W , ^{92}Nb - ^{92}Zr , 及び ^{26}Al - ^{26}Mg 同位体年代法などの短寿命消滅核種の放射壊変を利用した方法が、主に用いられている。しかし、消滅核種同位体年代法は、相対年代しか与えない。一方、U-Pb 同位体年代法は、二つの長寿命核種 ^{238}U , ^{235}U から ^{206}Pb , ^{207}Pb への壊変を利用した年代法で、太陽系初期物質の高精度・絶対年代測定を可能とする。そして、同一試料について、高精度 U-Pb 年代測定と消滅核種同位体年代測定の両方を行えば、その当時の消滅核種の存在量を決定することができ、消滅核種同位体相対年代に絶対年代基準を与えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、太陽系進化を明らかにする上で重要となる消滅核種を用いた初期太陽系年代決定法を確立することである。消滅核種を用いた初期太陽系年代決定法を確立するためには、太陽系初期に形成された隕石物質について、絶対年代を決定すると共に、消滅核種を用いた相対年代を決定し、相対年代測定法に絶対年代基準を与えることが必要となる。本研究では消滅核種 ^{92}Nb から ^{92}Zr への壊変を利用した相対年代測定法に絶対年代基準を与えようと試みた。さらに、異なる母天体由来する隕石を使って、Nb-Zr 相対年代と U-Pb 絶対年代を対比させることにより、初期太陽系における ^{92}Nb 分布の均一性を評価しようと試みた。

3. 研究の方法

Nb-Zr 同位体相対年代法に、絶対年代基準を与えるとともに、初期太陽系における ^{92}Nb 分布の均一性を評価するため、異なる天体から飛来した分化隕石について、U-Pb 及び Nb-Zr 同位体学を実施した。

これまでに隕石の正確な絶対年代は、Pb 同位体分析により決定されてきたが、それらの年代決定ではウラン同位体比 $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ が太陽系内で均質であるという仮定がおかれていた。しかし近年、この仮定が実際には成立しておらず、正確な隕石の年代を決定するためには U-Pb 同位体分析が必要であることが示された。そこで、本研究では、次の3種類の母天体を起源にもつ隕石試料について、分析を行った:1. Northwest Africa 6704-沈積岩エコンドライト; 2. Ibitira-玄武岩エコンド

ライト; 3. Eucrites Northwest Africa 049, Agoult, Camel Donga & Dar Al Gani 380-玄武岩エコンドライト。

4. 研究成果

高精度 U-Pb 年代分析の結果から、以下のことが明らかになった。1. Northwest Africa 6704 の結晶化年代は 45.6289 ± 59 億年前である。この隕石は、沈積岩隕石の中で最も古い隕石の一つであり、太陽系最古の固体物質 CAIs が形成された400万年後には分化した惑星のシリケート部分が結晶化していたことを示す。2. Ibitira の結晶化年代は 45.56 ± 23 億年前であり、玄武岩質地殻の形成が CAIs 形成後900万年後に進んでいた。3. Eucrites の U-Pb 年代は非常に幅広い範囲をもち、最も若いものでは、44.5 億年前である。また、44.5 億年前の試料の鉱物組成は、流体によって変質を受けていたことを示すことから、eucrites の母天体には ~ 44.5 億年前に流体が存在したことが示唆される。4. eucrites の $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ は、誤差範囲を超える変動を示し、このことは、微惑星 Vesta と考えられている eucrites 母天体において、U 同位体の変動を引き起こすような地質学的過程が存在していることを示す。今後は、他の安定同位体変動を併せて調べることにより、どのような過程がこの同位体変動を引き起こしたのかについて、調べていく。これらの成果は、2013年の Lunar and Planetary Science Conference にて発表された。

絶対年代が分かった隕石試料 (について、高精度で Nb-Zr 同位体比を決定し、太陽系初期の $^{92}\text{Nb}/^{93}\text{Nb}$ の存在比が、 10^{-5} であることを明らかにした。また、3つの隕石試料が調和的な結果をもたらしたことから、太陽系初期において ^{92}Nb は均質に分布していたことが分かった。これらの研究成果は、2012年の地球惑星科学連合大会、地球化学会、ゴールドシュミット国際会議にて報告された。また、現在国際学術雑誌に公表すべく、論文執筆中である。また今後は、本研究で確立された Nb-Zr 年代測定法を様々な隕石試料に適用していくことにより、太陽系初期の様々なイベントに時間的制約を与えていくことを目指す。

隕石試料についての研究を進めるのと同時に、アフリカの主要河川の川砂に含まれるジルコン試料についてもハフニウム同位体分析を行ってきた。そして、その結果からアフリカ大陸の進化について制約を与えた。この結果は、2012年の地質学会と2013年の European Geophysical Union General Assembly で報告され、さらに、国際学術雑誌 *Geochimica et Cosmochimica Acta* に出版された。

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 7 件)

- ① Rumble D., Bowring S., Iizuka T., Komiya T., Lepland A., Rosing M.T., Ueno Y. (2013) The oxygen isotope composition of Earth's oldest rocks and evidence of a terrestrial magma ocean. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* doi: 10.1002/ggge.20128 査読有り.
- ② Yamamoto S., Komiya T., Yamamoto H., Kaneko Y., Terabayashi M., Katayama I., Iizuka T., Maruyama S., Yang J., Kon Y., Hirata T. (2013) Recycled crustal zircons from podiform chromitites in the Luobusa ophiolite, southern Tibet. *Island Arc* v. 22, 89-103 査読有り.
- ③ Iizuka T., Campbell I.H., Allen C.M., Gill J.B., Maruyama S., Makoka F. (2013) Evolution of the African continental crust as recorded by U-Pb, Lu-Hf and O isotopes in detrital zircons from modern rivers. *Geochimica et Cosmochimica Acta* v. 107, 96-120 査読有り.
- ④ Huyskens M., Iizuka T., Amelin Y. (2012) Evaluation of colloidal silicagels for lead isotopic measurements using thermal ionisation mass spectrometry. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* v. 27, 1439-1446 査読有り.
- ⑤ Iizuka T., Nebel O., McCulloch M.T. (2011) Tracing the provenance and recrystallization processes of the Earth's oldest detritus at Mt. Narryer and Jack Hills, Western Australia. *Earth and Planetary Science Letters* v. 308, 350-358 査読有り.
- ⑥ Iizuka T., Eggins S.M., McCulloch M.T., Kinsley L.P.J., Mortimer G.E. (2011) Precise and accurate determination of $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ and $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ in monazite using laser ablation- MC-ICPMS. *Chemical Geology* v. 282, 45-57 査読有り.
- ⑦ Nebel O., Vroon P. Z., van Westrenen W., Iizuka T., Davies G.R. (2011) The effect of sediment recycling in subduction zones on the Hf isotope character of new arc crust, Banda arc, Indonesia. *Earth and Planetary*

Science Letters v. 303, 240-250 査読有り.

[学会発表] (計 20 件)

- ① Iizuka T., Kaltenbach A., Amelin Y., Stirling C.H. and Yamaguchi A. U-Pb isotope systematics of eucrites in relation to their thermal history. *44th Lunar and Planetary Science Conference*. 2013 年 3 月 20 日 The Woodlands Waterway Marriot Hotel and Convention Center, Texas, USA.
- ② Iizuka T., Amelin Y., Puchtel I.S., Walker R.J., Irving A.J., Yamaguchi A., Takagi Y., Noguchi T. and Kimura M. U-Pb age, Re-Os isotopes, and HSE geochemistry of Northwest Africa 6704. *44th Lunar and Planetary Science Conference*. 2013 年 3 月 18 日 The Woodlands Waterway Marriot Hotel and Convention Center, Texas, USA.
- ③ Iizuka T. Calibration of the Nb-Zr isotope chronometer using U-Pb dated achondrites. *Workshop: Cosmochemical perspective on the early evolution of the solar system*. 2013 年 2 月 22 日 北海道大学, 札幌, 北海道.
- ④ Iizuka T., Amelin Y., Yamaguchi A., Takagi Y., Noguchi T. and Kimura M. U-Pb chronology of the unique achondrite Northwest Africa 6704. *The 35th Symposium on Antarctic Meteorites*. 2012 年 11 月 29 日 国立国語研究所, 立川, 東京.
- ⑤ Iizuka T., Campbell I.H., Allen C.M. and Maruyama S. 川砂ジルコンの鉛, ハフニウム, 酸素同位体組成から探るアフリカ大陸地殻進化. *日本地質学会年会*. 2012 年 9 月 17 日 大阪府立大学, 中百舌鳥, 大阪.
- ⑥ Iizuka T., Akram W., Amelin Y. and Schönbächler M. U-Pb 年代既知エコンドライトの Nb-Zr 同位体学. *日本地球化学会年会*. 2012 年 9 月 13 日 九州大学, 箱崎, 福岡.
- ⑦ Suzuki H., Ohta Y., Sano Y., Iizuka T., Mikouchi T., Ozawa K. and Nagahara H. Water content of the angrite parent body estimated from D'Orbigny phosphate. *75th Meteoritical Society Meeting*. 2012 年 8 月 14 日 Cairns Convention Centre, Cairns, Australia.
- ⑧ Campbell I.H., Gill J., Iizuka T., and Allen C.M. What detrital zircons tell us about growth of the continental crust. *22nd VM Goldschmidt Conference*.

2012年6月26日 Palais des Congres,
Montreal, Canada.

- ⑨ Iizuka T., Akram W., Amelin Y. and Schönbacher M. Nb-Zr isotope systematics of U-Pb dated achondrites. *22nd VM Goldschmidt Conference*. 2012年6月25日 Palais des Congres, Montreal, Canada.
- ⑩ Iizuka T., Akram W., Amelin Y. and Schönbacher M. ウラン-鉛年代既知エコンドライトのニオブ-ジルコニウム同位体学. *地球惑星科学関連連合大会*. 2012年5月23日 幕張メッセ, 幕張, 千葉.
- ⑪ Iizuka T., Amelin Y., Ireland T. R. and Kagi H. Geochronology, geochemistry and Raman spectroscopy of meteorite zircons. *Korea-Japan Joint Meeting of Isotope Ratio Mass Spectrometry*. 2011年11月25日 海雲台グランドホテル, 釜山, 韓国.
- ⑫ Huyskens M., Iizuka T. and Amelin Y. A new highly effective silicagel emitter for lead isotopic measurements. *21st VM Goldschmidt Conference*. 2011年8月21日 Prague Congress Centre, Prague, Czech.
- ⑬ Iizuka T., Campbell I. H. and Allen C. M. Evolution of the African continental crust from Pb-Hf-O isotope systematics of detrital zircons. *21st VM Goldschmidt Conference*. 2011年8月19日 Prague Congress Centre, Prague, Czech.
- ⑭ Allen C. M., Campbell I. H. and Iizuka T. Continental growth periods deduced from river sand U-Pb-dated zircons with O and Lu-Hf isotope analyses. *21st VM Goldschmidt Conference*. 2011年8月19日 Prague Congress Centre, Prague, Czech.
- ⑮ Iizuka T., Nebel O. and McCulloch M. T. モナザイトから得られた冥王代大陸地殻の否定的証拠. *地球惑星科学関連連合大会*. 2011年5月23日 幕張メッセ, 幕張, 千葉.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

飯塚 毅 (IIZUKA TSUYOSHI)

東京大学・大学院理学系研究科・講師

研究者番号：70614569

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし