

従来よりも短い¹⁴⁶Sm 半減期の測定結果と、¹⁴⁶Sm-¹⁴²Nd を用いた太陽系年代に及ぼす影響

1. 発表概要

α 放射性核種のサマリウム-146 は宇宙・地球科学において年代測定に使われている核種で、我々のグループは ¹⁴⁶Sm/¹⁴⁷Sm 放射能比と原子数比から ¹⁴⁶Sm の半減期を新たに測定し、現在用いられている値よりも 34% 短い値が得られた。この得られた半減期を使って地球、月、火星の岩石試料から報告されている ¹⁴⁶Sm-¹⁴²Nd 年代を再検討したところ、従来よりも古い年代が得られ、太陽系の進化に関して非常にインパクトのある結果となった。

2. 発表内容

サマリウム-146 は α 放射性核種で、半減期が 103 Ma とされ地球の年齢よりも十分短く天然に存在しない。¹⁴⁶Sm は ¹⁴²Nd に壊変するので隕石などに ¹⁴²Nd 同位体異常が観測されており、太陽系誕生時には存在していた証拠になる。また ¹⁴²Nd 同位体異常は固化年代測定に用いられ、地球、月、火星についてはいくつかの報告がされており、¹⁴⁶Sm の半減期が再検討されるとこれらの年代も再検討しなければならない。一方で、¹⁴⁶Sm のような長寿命核種の半減期 $T_{1/2}$ の測定は放射能 A と原子数 N の関係 $A=0.693/T_{1/2} \times N$ から算出する。特に質量分析による原子数の測定は同重体が目的核種の測定に干渉し過大評価になる。また、質量分析を避ける方法として、¹⁴⁶Sm に壊変する ¹⁴⁶Eu を製造し放射能測定により ¹⁴⁶Eu 壊変後の ¹⁴⁶Sm 原子数を定量する方法もあるが、おびただしい量の ¹⁴⁶Eu 放射能測定やバックグラウンドに埋もれそうなピーク解析をしなければならず定量値に問題が生じる。我々のグループでは、これらの問題を回避可能な加速器質量分析を用いた ¹⁴⁶Sm の原子数測定と α 線測定による放射能測定により ¹⁴⁶Sm の半減期を測定し、得られた半減期を用いて ¹⁴⁶Sm-¹⁴²Nd 年代について再検討した。放射能と原子数測定において絶対測定は困難で、サマリウムの同位体である ¹⁴⁷Sm は ¹⁴⁶Sm と同じく α 壊変し天然に存在する放射性核種であり、¹⁴⁷Sm と比較することで

$$T_{1/2}^{146} = \frac{A_{147}}{A_{146}} \times \frac{N_{146}}{N_{147}} \times T_{1/2}^{147}$$

により計算する方法が簡便である。

¹⁴⁷Sm を出発物質に ¹⁴⁷Sm(p,2n ϵ)¹⁴⁶Sm 反応、¹⁴⁷Sm(γ ,n)¹⁴⁶Sm 反応、¹⁴⁷Sm(n,2n)¹⁴⁶Sm 反応により ¹⁴⁶Sm を製造し、化学操作により Sm のみを生成し α 線測定を行い、¹⁴⁶Sm/¹⁴⁷Sm 放射能比 (A_{146}/A_{147}) の測定を行った。 α 線測定後、測定に用いた試料をアメリカ Argonne National Laboratory の ATLAS 施設にて加速器質量分析により ¹⁴⁶Sm/¹⁴⁷Sm 原子数比 (N_{146}/N_{147}) の測定を行った。ECR イオン源に装てんした Sm 試料から ¹⁴⁶Sm²²⁺を引き出し、超伝導ライナックを用いて 1GeV 近くまで加速し、ガス充てん型電磁石を用いて ¹⁴⁶Sm²²⁺と不純物として混入する ¹⁴⁶Nd²²⁺の分離を行い、質量~150 付近での質量分析による同重体の分離に世界で初めて成功した。加速器質量分析は世界中で行われている長寿命の放射性核種の測定非常に有効な手法であるが、質量が大きくなるに従い分離が困難になり、十分な分離には大きな加速エネルギーが必要で、1GeV にまで加速できたことが加速器質量分析成功のきっかけである。これらの測定により得られた ¹⁴⁶Sm/¹⁴⁷Sm 放射能比と原子数比より 68 ± 7 (1 σ) Ma の ¹⁴⁶Sm の半減期が得られ、現在採用されている値よりも 34% 短い値となった。

月から採取された斜長石 FAN60025 において、従来の ^{146}Sm 半減期 (103 Ma) を用いて得られた ^{146}Sm - ^{142}Nd 年代 (250_{-30}^{+38} Ma) は Pb-Pb 年代 (208.8 ± 2.4 Ma) と ^{147}Sm - ^{143}Nd 年代 (201 ± 11 Ma) と矛盾が見られていた。本研究で得られた 68 Ma を用いて FAN60025 の ^{146}Sm - ^{142}Nd 年代は 175_{-20}^{+25} Ma と得られ、誤差内で Pb-Pb 年代と ^{147}Sm - ^{143}Nd 年代と一致し、宇宙・地球科学的手法により半減期の確度を検証することができた。また現在までに報告されている ^{146}Sm - ^{142}Nd 年代を再検討すると表 (4. 添付資料) に示される年代となった。

なお本研究は、以下の資金による研究成果である。

- ・ 科学研究費補助金 (木下哲一: 若手研究 (B) 20740161)
- ・ US DOE, Office of Nuclear Physics (DE-AC02-06CH11357)
- ・ US NFS JINA (PHY0822648)

3. 発表雑誌

雑誌名: **Science** (2012 年 3 月 30 日号)

論文タイトル: A Shorter ^{146}Sm Half-Life Measured and Implications for ^{146}Sm - ^{142}Nd Chronology
in the Solar System

(従来よりも短い ^{146}Sm 半減期の測定結果と、 ^{146}Sm - ^{142}Nd を用いた太陽系年代に及ぼす影響)

著者: N. Kinoshita (木下哲一), M. Paul, Y. Kashiv, P. Collon, C. M. Deibel, B. DiGiovine, J. P. Greene, D. J. Henderson, C. L. Jiang, S. T. Marley, T. Nakanishi (中西孝), R. C. Pardo, K. E. Rehm, D. Robertson, R. Scott, C. Schmitt, X. D. Tang, R. Vondrasek, A. Yokoyama (横山明彦)

4. 問い合わせ先

金沢大学 理工研究域 物質化学系 教授 横山明彦

Tel: 076-264-6127 FAX: 076-264-5742

E-mail: yokoyama@se.kanazawa-u.ac.jp

5. 添付資料

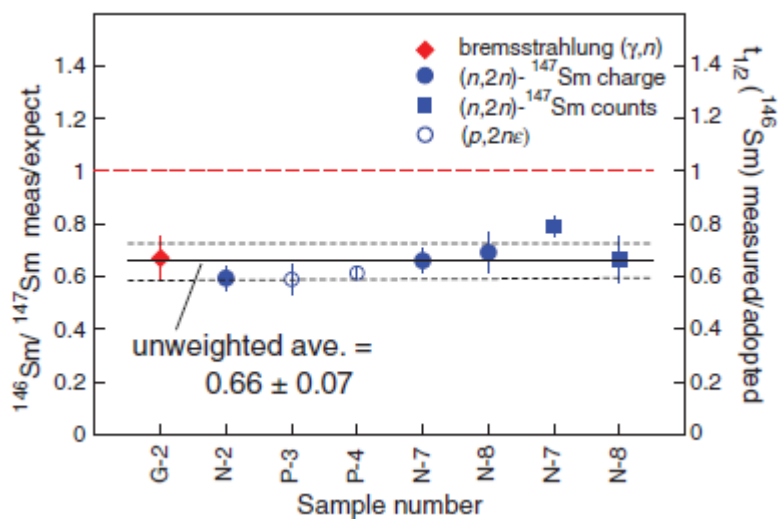


図 1 ^{146}Sm 半減期測定結果

3つの方法で製造したサンプルにおいて同様な半減期が得られ、現在使われている値よりも 34% 短い値となった。

表 1 本研究で得られた ^{146}Sm の半減期 (68 ± 7 Ma) を用いて再検討された ^{146}Sm - ^{142}Nd 年代

Planetary body	Sample/Mantle differentiation event	Time after start of solar system formation (My)	
		From ref. in column 3	Revised in present work
Earth	Terrestrial rocks 18 ppm higher than CHUR / Depleted–enriched reservoirs	≤ 30	No change
	Archean array, Isua, Greenland / Depleted source	170 ± 7	120 ± 5
	Nuvvuagittuq greenstone belt, northern Quebec, Canada / Enriched source ¹	287^{+81}_{-53}	205^{+54}_{-35}
Moon	Lunar array / LMO solidification	242 ± 22	170 ± 15
	FAN 60025 / LMO solidification	250^{+38}_{-30}	175^{+25}_{-20}
Mars	Nakhlites / Solidification of depleted source	8 – 25	Favors young age
	Enriched shergottites / Solidification of source	~110	~90

^{146}Sm の半減期 68 Ma を用いることで地球、月、火星の岩石試料において ^{146}Sm - ^{142}Nd 年代が古くなった。また月の試料 FAN60025 について ^{147}Sm - ^{143}Nd 年代と Pb-Pb 年代も報告されており、本研究によりこれらの年代が一致することになった。