

平成 30 年 6 月 7 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K17837

研究課題名(和文) 初期太陽系円盤におけるダスト高温加熱期間の解明

研究課題名(英文) Chronology of high-temperature dust formation processes in the solar protoplanetary dust

研究代表者

川崎 教行 (Kawasaki, Noriyuki)

北海道大学・理学研究院・助教

研究者番号：50770278

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、隕石中の難揮発性包有物CAIの形成年代の精密測定から、初期太陽系円盤の高温環境における、CAIダスト凝縮プロセスの継続期間を明らかにした。三つの高温凝縮物CAIの形成年代に成功し、一つは太陽系誕生時(±5万年)に形成したものであったが、他二つは、その $10 \pm 4$ 万年後と $17 \pm 4$ 万年後に、それぞれ形成したものであった。高温凝縮物CAIの中で、太陽系誕生時と有意に異なる形成年代をもつものが初めて発見された。本研究により、初期太陽系円盤において、ダスト凝縮プロセスと溶融プロセスが、太陽系誕生から少なくとも約20万年間、同時に起き続けていたことが示唆された。

研究成果の概要(英文)：This study revealed a time duration of condensation processes of high-temperature dusts formed in the solar protoplanetary disk by high-precision dating of Ca-Al-rich inclusions (CAIs) in meteorites. We measured three high-temperature condensate CAIs and they show a formation age spread of  $0.17 \pm 0.04$  Myr. Our findings demonstrate that both condensation and melting of minerals in a hot nebular gas occurred contemporaneously to form various types of CAIs and continued for at least  $\sim 0.2$  Myr after the birth of the Solar System.

研究分野：宇宙化学

キーワード：隕石 難揮発性包有物 Al-Mg年代 初期太陽系円盤

### 1. 研究開始当初の背景

隕石に含まれる CAI (Ca-Al-rich inclusion) は、太陽系最古の岩石であり (Connelly et al., 2012, Science), 太陽組成の高温ガスから凝縮した鉱物により構成されている (e.g., Grossman, 1972, GCA)。ほとんどの CAI は、娘核種  $^{26}\text{Mg}$  の過剰として検出可能な量の  $^{26}\text{Al}$  を、その形成時に含んでいた (MacPherson et al., 1995, Meteoritics)。 $^{26}\text{Al}$  は、半減期約 70 万年で  $^{26}\text{Mg}$  へと放射壊変する短寿命放射性核種である。その性質を利用した、 $^{26}\text{Al}$ - $^{26}\text{Mg}$  相対年代系は、初期太陽系の年代学的研究に広く用いられている。近年、二次イオン質量分析法により、CAI の高精度  $^{26}\text{Al}$ - $^{26}\text{Mg}$  鉱物アイソクロンが取得され始め、個々の CAI それぞれの、形成時の  $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$  初生比が明らかになってきた (e.g., MacPherson et al., 2012, EPSL)。それらのデータによれば、fluffy Type A CAI や fine-grained, spinel-rich inclusion といった「高温凝縮物 CAI」は、約  $5.2 \times 10^{-5}$  の均一な  $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$  初生比をもつが、太陽系円盤内で溶融・再固化を経験したとされる「火成 CAI」は、約 5.2 から  $4.2 \times 10^{-5}$  にかけた  $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$  初生比の広がりをもつ。この火成 CAI の  $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$  初生比の広がりには、約 20 万年の形成年代幅に対応する。しかし、高温凝縮物 CAI の高精度  $^{26}\text{Al}$ - $^{26}\text{Mg}$  鉱物アイソクロンの測定例は、これまでに三例のみと少数であるため (MacPherson et al., 2010, ApJL; MacPherson et al., 2012, EPSL), その形成年代幅を、火成 CAI と単純に比較することは困難であった。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、初期太陽系円盤で高温のガスから凝縮した、「高温凝縮物 CAI」の形成年代分布を追求し、火成 CAI の形成年代分布と比較することである。それにより、初期太陽系における高温プロセスの一つ、CAI 形成イベントの継続期間を明らかにした。

### 3. 研究の方法

まず、すでに先行研究により、高温凝縮物 CAI であることが示されている二つの CAI (fluffy Type A CAIs, Katayama et al., 2012, MaPS; Kawasaki et al., 2012, MaPS) と、新たに始原的な炭素質コンドライト隕石である、エフレモフカ隕石から探し出した高温凝縮物 CAI (fine-grained, spinel-rich inclusion) の形成年代を測定した。具体的には、上記三つの高温凝縮物 CAI の局所アルミニウム - マグネシウム同位体分析を、北海道大学設置のマルチコレクター型二次イオン質量分析装置 (Cameca ims-1280HR) を用いて行った。高温凝縮物 CAI を構成する鉱物のアルミニウム - マグネシウム同位体組成から、 $^{26}\text{Al}$ - $^{26}\text{Mg}$  鉱物アイソクロンを定義した (図 1)。

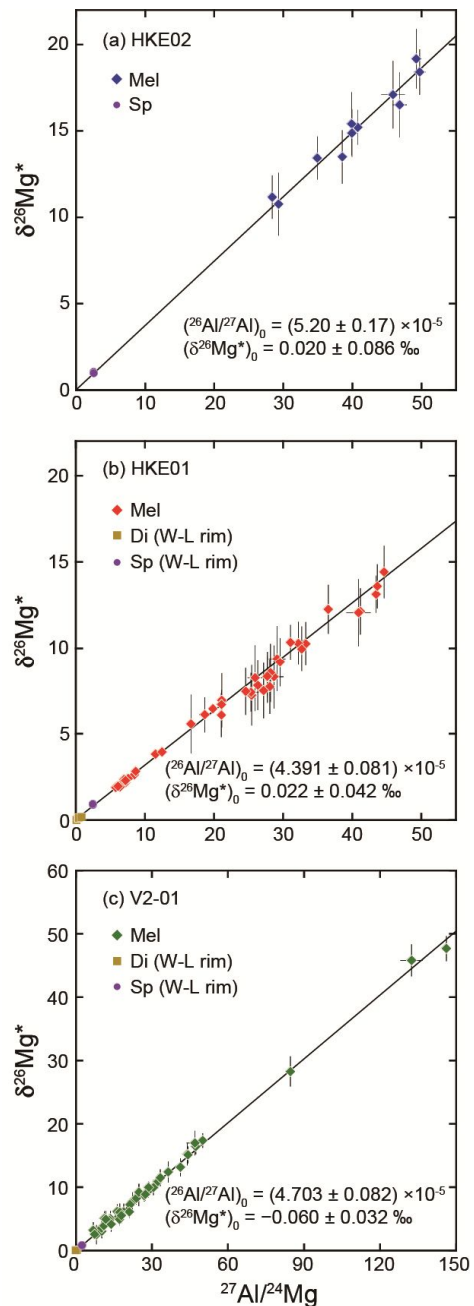


図 1 凝縮物 CAI の  $^{26}\text{Al}$ - $^{26}\text{Mg}$  鉱物アイソクロン図。

### 4. 研究成果

本研究により得られた、高温凝縮物 CAI の  $^{26}\text{Al}$ - $^{26}\text{Mg}$  鉱物アイソクロンデータを図 1 に示す。図 1a の高温凝縮物 CAI (fine-grained, spinel-rich inclusion) の  $^{26}\text{Al}$ - $^{26}\text{Mg}$  鉱物アイソクロンは、 $(5.20 \pm 0.17) \times 10^{-5}$  という  $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$  初生比を示した。この値は、これまでの三例の高温凝縮物の測定値 (MacPherson et al., 2010, ApJL; MacPherson et al., 2012, EPSL) および CV コンドライト隕石中の CAI の全岩アイソクロンから求められたカノニカル (始原的)  $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$  比 (約  $5.2 \times 10^{-5}$ ) (Jacobsen et al., 2008, EPSL; Larsen et al., 2011, ApJL) と誤差内で一致する。一方で、二つの fluffy Type A CAI

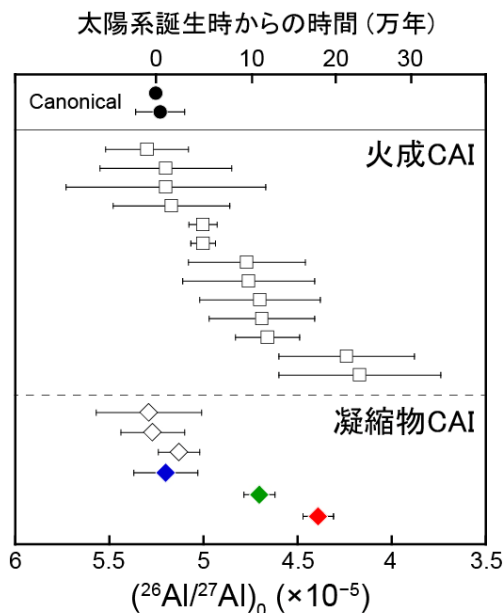


図 2 火成 CAI と凝縮物 CAI の形成年代分布 (太陽系誕生時からの経過時間)。色付きのダイヤモンド形のプロットが、本研究で分析した高温凝縮物 CAI の形成年代値である。

はそれぞれ、 $(4.391 \pm 0.081) \times 10^{-5}$  と  $(4.703 \pm 0.082) \times 10^{-5}$  という初生比を示した (図 1b, c)。これらは、他の高温凝縮物 CAI の  $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$  初生比およびカノニカル  $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$  比よりも明らかに低い。本研究により求めた、高温凝縮物の  $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$  初生比の  $(5.20 \pm 0.17)$  から  $(4.703 \pm 0.082) \times 10^{-5}$  の広がりには、 $17 \pm 4$  万年の形成年代幅に相当し、これまでに求められていた火成 CAI の形成年代幅である約 20 万年と調和的である (図 2)。

高温凝縮物 CAI (fluffy Type A CAI および ine-grained, spinel-rich inclusion) と火成 CAI の形成年代幅の類似性から、太陽系星雲において、高温凝縮物 CAI と火成 CAI がそれぞれ、太陽系誕生時から約 20 万年間、同時期に形成し続けていたことが示唆される。以上、本研究成果から、太陽系誕生から約 20 万年間、太陽系星雲の高温ガス下において、鉱物の凝縮と溶融プロセスが繰り返し起き、種々の CAI が形成されていたことが明らかとなった。

### 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 2 件)

1. Kawasaki N., Simon S. B., Grossman L., Sakamoto N. and Yurimoto H. (2018) "Crystal growth and disequilibrium distribution of oxygen isotopes in an igneous Ca-Al-rich inclusion from the Allende carbonaceous chondrite"

*Geochimica et Cosmochimica Acta*, 221, 318–341. (査読有り)

2. Kawasaki N., Itoh S., Sakamoto N. and Yurimoto H. (2017) "Chronological study of oxygen isotope composition for the solar protoplanetary disk recorded in a fluffy Type A CAI from Vigarano" *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 201, 83–102. (査読有り)

[学会発表] (計 19 件)

1. Abe M., Yada T., Okada T., Sakamoto K., Yoshitake M., Nakano Y., Matsumoto T., Kawasaki N., Kumagai K., Matsui S., Nishimura M. and Yurimoto H. (2018) "Curation facility for asteroid sample return mission in Japan" *49th Lunar and Planetary Science Conference*, #1211, Houston, USA, 2018. 3.
2. Sakamoto N., Makino Y., Kawasaki N. and Wakaki S. (2018) "Refractory siderophile elements depleted in AOA metal" *Solar-System symposium in Sapporo 3S 2018*, Rusutsu, Japan, 2018. 2.
3. Kawasaki N., Park C., Sakamoto N., Park S., Kim H., Kuroda M. and Yurimoto H. (2018) "Contemporaneous formation for condensates and melted CAIs inferred from  $^{26}\text{Al}$ - $^{26}\text{Mg}$  Systematics of CV CAIs" *Solar-System symposium in Sapporo 3S 2018*, Rusutsu, Japan, 2018. 2.
4. Abe M., Yada T., Okada T., Sakamoto K., Yoshitake M., Nakano Y., Matsumoto T., Kawasaki N., Kumagai K., Matsui S., Nishimura M. and Yurimoto H. (2017) "Regardless of receiving and curation facility for Hayabusa2 asteroid sample return mission" *Hayabusa 2017: 5th symposium of Solar System Materials/The eighth Symposium on Polar Science*, Tachikawa, Japan, 2017.12.
5. Yada T., Sakamoto K., Yoshitake M., Kumagai K., Nakano Y., Matsumoto T., Kawasaki N., Nishimura M., Matsui S., Okada T., Abe M., Yurimoto H. and Fujimoto M. (2017) "The samples recoveries from the Hayabusa sample catcher in the past and the future" *Hayabusa 2017: 5th symposium of Solar System Materials/The eighth Symposium on Polar Science*, Tachikawa, Japan, 2017.12.
6. Sas M., Kawasaki N., Shane P., Sakamoto N., Yurimoto H. and Zellmer G. (2017) "Developing high resolution analysis of  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  in plagioclase using SIMS, and application to deposits from Okataina volcano, New Zealand" *IAVCEI 2017*, Oregon, USA, 2017.8.

7. Kawasaki N. and Yurimoto H. (2017) “ $^{26}\text{Al}$ - $^{26}\text{Mg}$  mineral isochrons of nebular condensates from the Efremovka CV3” ***Goldschmidt Conference***, #1957, Paris, France, 2017.8.
  8. 川崎教行, サイモン スティープ, グロスマン ローレンス, 坂本直哉, 坎本尚義 (2017) アエンデ隕石の火成 CAI にみられる鉱物の結晶成長と酸素同位体の非平衡分布との関係, 日本地球惑星科学連合 連合大会 2017 年大会, 幕張, 日本, 2017 年 5 月
  9. Abe M., Yada T., Okada T., Sakamoto K., Yoshitake M., Nakano Y., Matsumoto T., Kawasaki N., Kumagai K., Matsui S., Nishimura M. and Yurimoto H. (2017) “JAXA’s Astromaterials Science Research Group and curation facility for Hayabusa and Hayabusa2 asteroids sample return mission” ***48th Lunar and Planetary Science Conference***, #1760, Houston, USA, 2017.3.
  10. Kawasaki N. and Yurimoto H. (2017) “Al-Mg systematics of nebular condensates in the Efremovka CV3 chondrite” ***48th Lunar and Planetary Science Conference***, #1091, Houston, USA, 2017.3.
  11. Kawasaki N., Simon S. B., Grossman L., Sakamoto N. and Yurimoto H. (2017) “Crystal growth and disequilibrium distribution of O isotopes in an igneous CAI from Allende” ***Solar-System symposium in Sapporo 3S 2017***, Rusutsu, Japan, 2017. 2.
  12. Sakamoto N. and Kawasaki N. (2017) “Solar component survey in carbonaceous chondrites” ***Solar-System symposium in Sapporo 3S 2017***, Rusutsu, Japan, 2017. 2.
  13. Abe M., Yurimoto H., Yada T., Okada T., Sakamoto K., Yoshitake M., Nakano Y., Matsumoto T., Kawasaki N., Kumagai K., Matsui S. and Nishimura M. (2016) “Current status of Hayabusa2 returned samples curation facility” ***Hayabusa 2016: 4th symposium of Solar System Materials/The seventh Symposium on Polar Science***, Tachikawa, Japan, 2016.11.
  14. Hashiguchi M., Nakamura T., Tsuchiyama A., Tomioka N., Uesugi M., Han J., Nakato A., Yada T., Yoshitake M., Kumagai K., Nishimura M., Matsumoto T., Sakamoto K., Kawasaki N., Nakano Y., Matsui S., Okada T., Abe M., Yurimoto H. (2016) “Current status of consortium study for silica-containing Hayabusa-returned particle” ***Hayabusa 2016: 4th symposium of Solar System Materials/The seventh Symposium on Polar Science***, Tachikawa, Japan, 2016.11.
  15. Nakato A., Tsuchiyama A., Nakamura T., Uesugi M., Uesugi K., Takeuchi A., Nakano T., Yada T., Yoshitake M., Kumagai K., Nishimura M., Matsumoto T., Sakamoto K., Kawasaki N., Nakano Y., Matsui S., Okada T., Abe M. and Yurimoto H. (2016) “Current status of the consortium study for Hayabusa-returned sample: RB-QD04-0040 containing Fe-S-Ni phase” ***Hayabusa 2016: 4th symposium of Solar System Materials/The seventh Symposium on Polar Science***, Tachikawa, Japan, 2016.11.
  16. Yada T., Abe M., Okada T., Yurimoto H., Yoshitake M., Sakamoto K., Matsumoto T., Kawasaki N., Nishimura M., Kumagai K., Matsui S., Nakano Y., Uesugi M., Karouji Y., Nakato A., Hashiguchi M. and Fujimoto M. (2016) “Recent results of initial descriptions of Hayabusa samples and their 4th international announcement of opportunity” ***Hayabusa 2016: 4th symposium of Solar System Materials/The seventh Symposium on Polar Science***, Tachikawa, Japan, 2016.11.
  17. Kawasaki N., Simon S. B., Grossman L., Sakamoto N. and Yurimoto H. (2016) “The origin of oxygen isotope disequilibrium in an Allende Type B1 CAI” ***Hayabusa 2016: 4th symposium of Solar System Materials/The seventh Symposium on Polar Science***, Tachikawa, Japan, 2016.11.
  18. Kawasaki N., Simon S. B., Grossman L. and Yurimoto H. (2016) “Melting of an Allende Type B1 CAI in  $^{16}\text{O}$ -rich nebular gas” ***Goldschmidt Conference***, #1464, Yokohama, Japan, 2016.6.
  19. 川崎教行, 伊藤正一, 坂本直哉, 坎本尚義 (2016) ヴィガラノ隕石 fluffy Type A CAI に記録された初期太陽系円盤の酸素同位体組成変化の Al-Mg 年代学, 日本地球惑星科学連合 連合大会 2016 年大会, 幕張, 日本, 2016 年 5 月
- 〔その他〕  
ホームページ等  
<http://vigarano.ep.sci.hokudai.ac.jp/kawasaki/index.html>
6. 研究組織  
(1)研究代表者  
川崎 教行 (KAWASAKI, Noriyuki)  
北海道大学・理学研究院・助教
- 研究者番号 : 50770278