

Yamato-74442 LL コンドライトにおけるアルカリ分別年代

Rb-Sr age of K-rich LL-chondrite Yamato-74442

西谷 七代 (Nanayo NISHIYA)¹⁾

岡野 修 (Osamu OKANO)²⁾

加々美 寛雄 (Hiroo KAGAMI)³⁾

中村 昇 (Noboru NAKAMURA)⁴⁾

Yamato-74442, a brecciated LL-group chondrite, consists of fragments with igneous texture, chondrules, mineral fragments, and host. The fragments involve K-rich fragments as well as normal ones. Typically, both fragments consist mainly of euhedral porphyritic olivines and a few orthopyroxenes in a glassy groundmass. EPMA analyses for these fragments indicate that olivines and orthopyroxenes have a range of Fe/(Fe+Mg) ratio of 27.19~31.33 and 20.10~26.91 mol%, respectively. There is no significant difference in these ratios between K-rich ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} < 1$) and normal fragments. The K_2O contents of groundmass for K-rich fragments range from 0.51 to 4.89 wt% and that of the normal fragments is 0.38~0.90 wt%. K_2O contents of groundmass vary from fragment to fragment but are rather homogeneous in a single fragment.

Rb-Sr isotopic determination on eighteen K-rich fragments (1.5 to 9.5mg in weight) gave an internal isochron age of 4.514 ± 0.022 (2 σ) Ga ($\lambda^{87}\text{Rb} = 1.42 \times 10^{-11} \text{y}^{-1}$) and initial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio of 0.7016 ± 0.0024 . This age is somewhat old compared with a whole rock isochron age of LL chondrites (4.493 ± 0.018 Ga; Minster and Allègre, 1981). From a comparison of the present result with others so far reported, it is inferred that the alkali differentiation as observed in Yamato-74442 probably occurred prior to or during a process of accumulation from LL chondrite parent material in the early solar nebula.

Keywords: LL-chondrite, Rb-Sr age, Sr isotope, K-rich fragment

1. はじめに

地球をはじめとする太陽系内惑星は太陽系の平均組成と比べてカリウムの含有量が少ないことが知られている。このアルカリの分化がいつどのようにして起こったのかという問題は、太陽系惑星物質の形成過程を明らかにする上での重要な争点の一つである。一方、ある種の隕石の中にKに富む岩片を含むも

のが見つかっており、そのアルカリ分化過程を調べることは、この問題を考えるにあたって非常に興味深いテーマと思われる。こうしたKに富む岩片は、これまで南極産のYamato-74442やKrähenberg、Bholaなどいくつかの角礫岩化したLLコンドライト中に見つかっており、特にKrähenbergとBholaでは、数cmにも達するKに富む岩片が見つまっている。Ikeda and Takeda (1979) は、Yamato-74442の構成鉱物と石基の主化学組成を調べ、このコンドライトにおけるアルカリ分化がLLコンドライト母天体の形成後のショックメルトや衝突による角礫岩化などに伴って生じたものと推察した。また、Wlotzka et al.

1) 岡山大学理学部地球科学科、〒700 岡山市津島中3-1-1

現在：通産省中部近畿鉱山保安監督部

〒460 名古屋市中区三の丸2-5-2

2) 岡山大学自然科学研究科、〒700 岡山市津島中3-1-1

3) 岡山大学地球内部研究センター (現在 固体地球研究センター)

〒682-01 鳥取県東伯郡三朝町

4) 神戸大学理学部地球科学科、〒657 神戸市灘区六甲台町1-1

(1983) は、微量元素を含む化学組成の詳しい検討を行い、Krähenberg や Bholá に見られるアルカリ分が、LLコンドライト母天体上で起きたアルバイト質斜長石とカリ長石の間での、NaとKの気相交換反応によって形成されたものであると結論している。これらの考えはいずれもこうしたアルカリ分別が隕石母天体の形成後に生じた過程とするものである。しかし、Kempe and Müller (1969) によれば、KrähenbergコンドライトのK-richフラグメントから得られたRb-Srアイソクロンは 46.0 ± 0.14 億年という極めて古い年代を示しており、LLコンドライト母天体の形成後にKに富む岩片が形成したという解釈とは矛盾しているように思われる。なぜなら、LLコンドライトの全岩アイソクロン年代から得られたLLコンドライト母天体の形成年代 (44.93 ± 0.18 億年; Minster and Allègre, 1981) は、これよりも若いからである。この矛盾について Minster and Allègre (1981) は、Krähenbergの古い年代値には分析上の問題がある可能性を示唆した。一方、Okano et al. (1990) は Yamato-74442 についての予察的なRb-Sr年代を報告しており、その年代 (45.31 ± 0.44 億年) は、KrähenbergのRb-Sr年代よりはやや若いものの、Sr同位体初生比を考慮するとKrähenbergの古いRb-Sr年代があながち誤りとは言えない可能性を示している。いずれにせよ、Kに富む岩片の精密な年代決定は、LLコンドライトのアルカリ分生成環境のみならず、太陽系惑星物質の初期形成過程を明らかにする上で一つの重要な鍵となることが期待される。そこで本研究では特にこのアルカリ元素分が太陽系惑星物質形成過程のどの段階で起きたのかを明らかにすることを目的として、南極産のYamato-74442コンドライト中のKに富む岩片について、Rb-Sr年代測定とEPMAによる主成分組成分析を行った。

2. 試料及び分析方法

Yamato-74442 は、南極のやまと山脈 (75. 51'S, 35. 30'E) から採集された重量173.3gの角礫岩化したタイプ4のLLコンドライトである (Yanai et al.,

1978; Yanai, 1979)。本研究には国立極地研究所から提供された約1.5gの試料Yamato-74442,87と研磨薄片 (Yamato-74442,101-3) を用いた。このコンドライトは、溶融-再結晶した岩片、鉱物片、コンドリュール、ホストから成り、溶融-再結晶化した岩片は、肉眼において暗色の岩片として識別できる。Yamato-74442,87試料では大きなものでは径約2mm程度の暗色岩片が含まれていた。また、肉眼では確認できないほど小さいが、同様の組織を示す岩片はホスト中に多数存在する。これらの暗色岩片は化学組成からKに富む岩片と富まない岩片に分けられる。Kに富む岩片の典型的なものは、鏡下において、茶色のガラス質石基中に多量の自形の斑状かんらん石と少量の斜方輝石を含む火成岩組織を示す。岩片とホストとの境界は明瞭である。かんらん石は骸晶状の結晶形態を示すことも多い。また、まれに放射状輝石からなる岩片も見られる。コンドリュールはごくまれであるが、研磨薄片 (Yamato74442,101-3) において、放射状斜方輝石からなるものが認められた。また今回観察した限りにおいて、斜長石は認められなかった。本研究では、粗く砕いた隕石試料の中からこれらの暗色岩片を実体顕微鏡下でハンドピックによって取り出し (計25個: 1.0~9.8mg、その各岩片について、一部をEPMAによる主成分分析に用い、残りをRb-Sr同位体分析に用いた。EPMA分析には、岡山大学理学部のX線マイクロアナライザー JEOLJXA-733を、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位体比とRb-Sr定量分析には岡山大学地球内部研究センター (現在は岡山大学固体地球研究センターに改称) の表面電離型質量分析計 Finnigan MAT-261を使用した。これらの分析は、基本的にはOkano et al. (1990, 1994) の方法にしたがった。また、年代計算には、 ^{87}Rb の壊変定数として $1.42 \times 10^{-11} \text{ y}^{-1}$ を用い、引用したRb-Sr年代もすべて同じ壊変定数を用いた値に統一した。

3. 結果

3-1 主成分元素組成

A) かんらん石と輝石

かんらん石と輝石については、Mg-Fe-Caの3成分

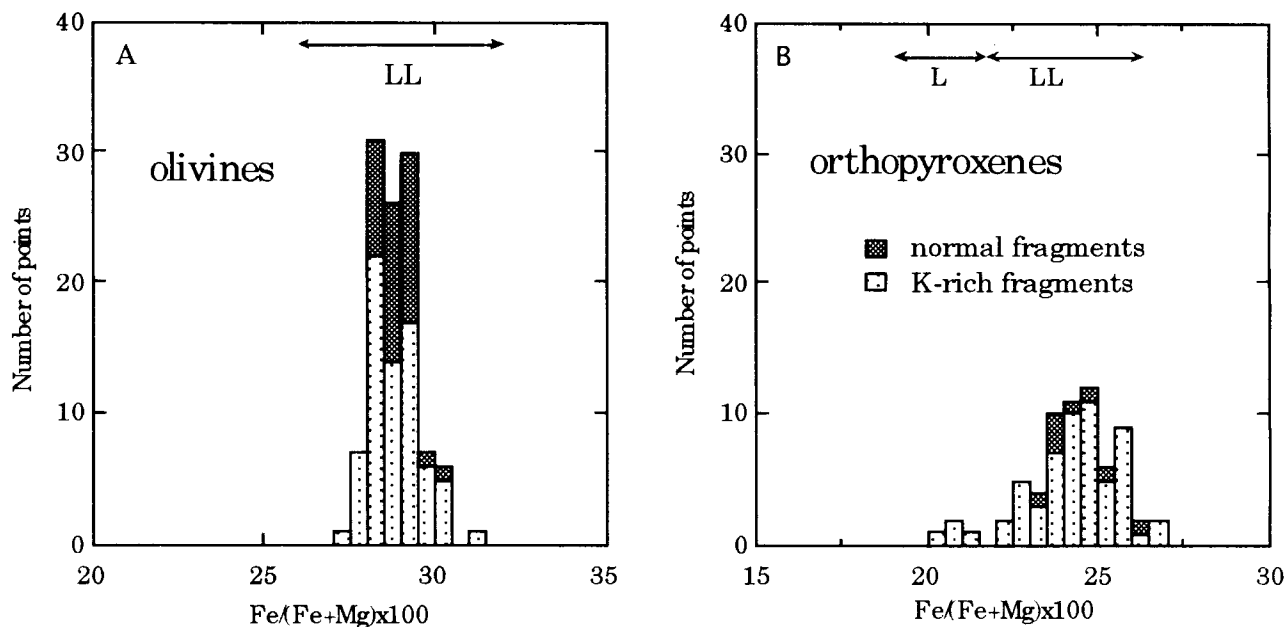


図1 Yamato-74442コンドライト中のかんらん石 (A) と斜方輝石 (B) のFe/(Fe+Mg)比.

のEPMA分析結果から化学組成を計算し、合計が95~102wt%の範囲のものをデータとして使用した(付表1, 2)。輝石のほとんどは斜方輝石であり、Ca-richなものは見られなかった。かんらん石のFe/(Fe+Mg) × 100は27.19~31.33mol%斜方輝石のFe/(Fe+Mg) × 100は20.10~26.91mol%の範囲であり、タイプ4以上のLLコンドライト中のかんらん石と斜方輝石の平均値の示す範囲(26.0~32.6mol%、21.9~25.5mol%; Dodd, 1981)にほぼおさまっていることが確認された。また、かんらん石と輝石の組成は、Kに富む岩片とそれ以外の岩片中のものとの間でどちらの場合も平均値は良く一致しており特に差は認められないが、Kに富む岩片中のものの方が組成の変動範囲がやや大きい傾向がある(図1A, B)。

B) 岩片中のガラス質石基

ガラス質石基の部分は、いくつかのKに富む岩片から計28ポイント、それ以外の岩片からの5ポイントについてEPMAによる分析を行った(付表3A, B)。測定を行った岩片は、主に自形の斑状かんらん石の間を茶褐色のガラス質石基が埋めているものであった。本研究では、Wlotzka et al. (1983)の基準に従い、石基のNa₂O/K₂Owt%比が1以下のものをKに富む岩片と呼ぶこととした。Kに富む岩片のK₂O含有量は、全体では0.51~4.89wt%の変動範囲

表1 Yamato-74442, 87のRb-Sr分析結果

Sample	Rb (ppm)	Sr (ppm)	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr
#1	9.8	9.5	3.04	0.90246 ± 0.00003
#3	177.2	12.0	59.79	4.86421 ± 0.00005
#4	61.8	12.9	15.27	1.72085 ± 0.00002
#7	15.6	13.8	3.35	0.92342 ± 0.00001
#8	89.5	10.7	28.64	2.61541 ± 0.00004
#10	20.4	10.9	5.62	1.07671 ± 0.00002
#12	53.2	11.3	14.94	1.69219 ± 0.00002
#13	19.2	15.9	3.57	0.93637 ± 0.00002
#15	27.5	11.5	7.24	1.17762 ± 0.00002
#17	20.5	11.9	5.13	1.04424 ± 0.00002
#18	54.6	10.6	16.35	1.76741 ± 0.00003
#19	51.0	11.2	14.38	1.63723 ± 0.00002
#20	34.0	12.7	8.16	1.23751 ± 0.00002
#22	14.2	11.7	3.58	0.93525 ± 0.00002
#23	7.5	7.2	3.05	0.89678 ± 0.00002
#25	22.9	9.0	7.75	1.21999 ± 0.00003
#26	11.6	10.8	3.18	0.91399 ± 0.00002
#27	26.5	12.8	6.22	1.11190 ± 0.00002
#29	37.2	11.5	9.95	1.34889 ± 0.00003

であったが、同一岩片中ではかなり一定したK₂O含有量を示す。一方、それ以外の岩片のK₂O含有量は、0.38~0.90wt%であった。Kに富む岩片の石基部分のNa₂O/K₂Owt%比は平均で0.31(範囲: 0.12-1.43)、それ以外の岩片の石基部分のNa₂O/K₂Owt%比は平均で11.11(8.33-25.00)であり、両者の間には明瞭な差

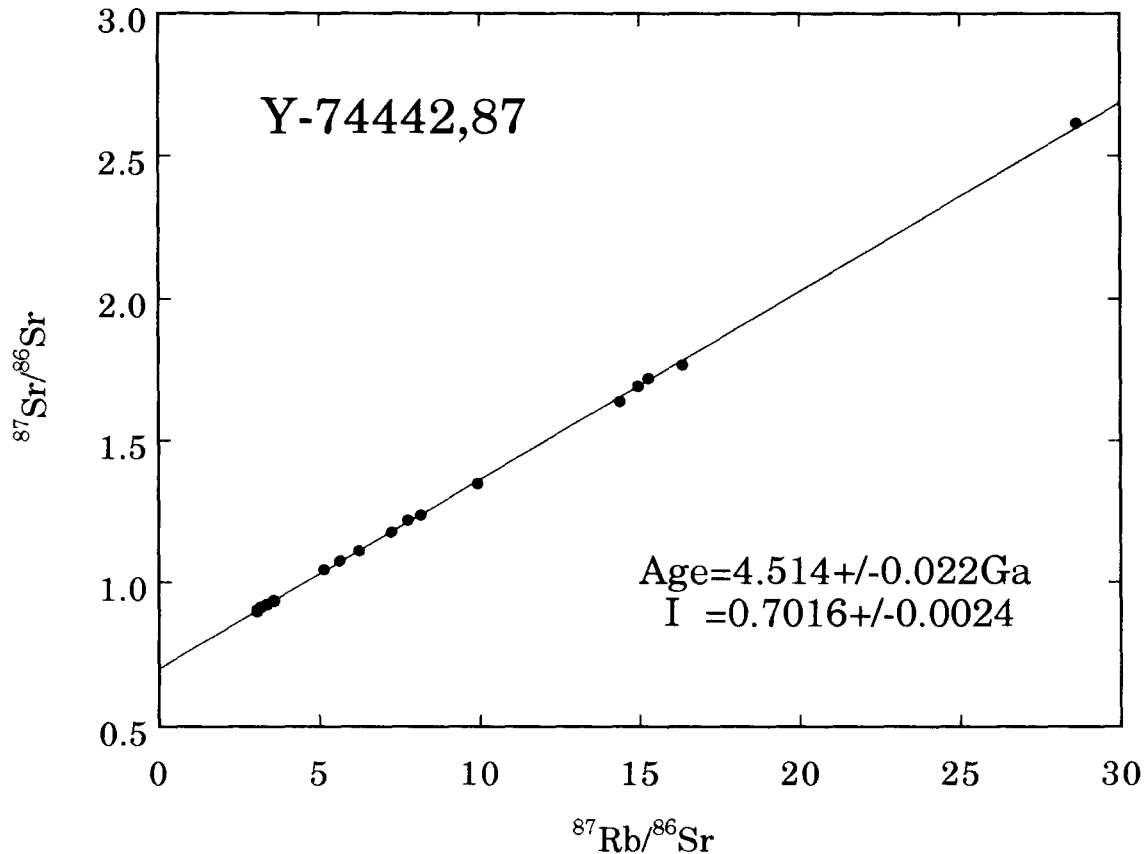


図2 Yamato-74442, 87 の Rb-Sr アイソクロン図

が見られた。また、K に富む岩片の石基部分では Na+K、Si、Al が多く、Fe、Mg 及び Ca に乏しい傾向が認められる。

3-2 Rb-Sr 年代

Y-74442 から取り出した 18 個の暗色岩片試料の Rb-Sr 同位体分析 (表 1) から、 45.14 ± 0.22 億年の年代と 0.7016 ± 0.0024 の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初生比が得られた (図 2)。なお試料 # 3 は分析誤差が大きいために、計算から除外した。この結果は、Okano et al. (1990) が全岩と dark clast と host material rich fraction の 3 点から求めた Rb-Sr アイソクロンの値 (45.31 ± 0.44 年の年代と 0.6998 ± 0.0020 の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初生比) と誤差の範囲内で一致している。Yamato-74442 について得られたこれらの年代は、同様に K に富む岩片を含む LL コンドライトである Krähenberg について得られている 46.00 ± 0.14 億年 (Kempe and Müller, 1969) の Rb-Sr アイソクロン年代と比べるとやや若い。それと同時に LL コンドライトの全岩アイソクロンから得られた 44.93 ± 0.18 億年の年代 (Minster

and Allègre, 1981) に比べると、誤差範囲内では一致しているものの、やや古い年代となっている。

4. 考察

Rb-Sr アイソクロンから得られた年代を横軸に、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初生比を縦軸にとったコンドライトの Sr 同位体進化図 (図 3) に、今回得られた Y-74442 コンドライトのデータを、これまでに報告されているいくつかの精度の良いコンドライトのデータとともにプロットした。この図において、楕円は各データの誤差範囲を表わしており、矢印付きの線は各コンドライトの $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位体比の時間経過に伴う進化方向を示している。非平衡コンドライトである Tieschitz (H3) のコンドリュールから求められた内部アイソクロンデータが、H コンドライトの全岩アイソクロンデータとほとんど一致した古い年代と低い Sr 同位体初生比を示すのに対し、平衡コンドライトの Soko Banja (LL4), Jilica (LL6), Richardton (H5) のデータはいずれもより若い年代とより高い Sr 同位体比を

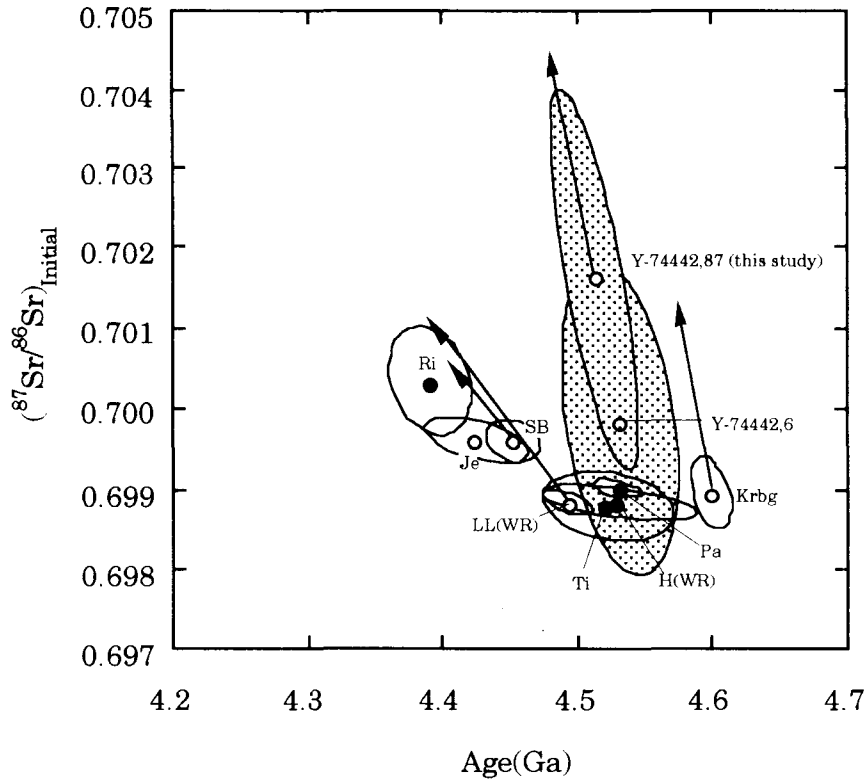


図3 コンドライトの $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位体比初生値と年代

白丸=LLコンドライト；黒丸=Hコンドライト；矢印線と楕円はそれぞれ各コンドライトの進化線と誤差範囲を示す（本文参照）。WR=全岩アイソクロンデータ；SB=Soko Banja (LL4)，Krbg=Krähenberg (LL5)，Je=Jelica (LL6)，Ti=Tieschitz (H3)，Pa=Parnallee (H3)，Ri=Richardton (H5)。H(WR)とTiはMinster and Allègre (1978)，LL(WR)，JeおよびSBはMinster and Allègre (1981)，RiはEvensen et al. (1979)，KrbgはKempe and Müller (1969)，Y-74442,6はOkano et al. (1990)より引用。

持っており、H, L, LLコンドライトの全岩アイソクロンのデータが示す進化線の延長線上もしくはその周辺にプロットされる。このことは、母天体形成後の変成作用によりこれらのコンドライトのRb-Sr系がリセットされたとする考えによってうまく説明することができる。一方、Kに富む岩片を含むLLコンドライトであるKrähenbergは、46.0億年の極めて古いRb-Sr年代を示し他のコンドライトの進化線からかなりはずれた領域にプロットされる。このコンドライトが示す急傾斜の進化線の出発点が、通常のLLコンドライトの進化線上にあったとするなら、即ち、Krähenbergを含むLLコンドライトがすべて、同じSr同位体組成を持った均質な起源物質から由来したとするなら、その出発点の年代が46億年より古いばかりでなく、その時点の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位体比はこれまで報告されている最も低いAllende隕石中のCAI包有物の値(0.69877)よりさらに相当低く(<0.697)な

(図3参照)。しかし、このような結論を導くことになるKempe and Müller (1969)によるKrähenbergのRb-Srデータについては、分析上の問題を指摘する意見もある(Minster and Allègre, 1981; Minster et al, 1981)。

Krähenbergと同様にKに富む岩片を多く含むY-74442隕石について今回得られたRb-Srアイソクロンは、Krähenbergほど古いRb-Sr年代は示さない。しかし、誤差がやや大きいものの、その年代(45.14 ± 0.22億年)はLLコンドライトの全岩アイソクロン年代44.93 ± 0.18億年(Minster and Allègre, 1979)よりやや古いにもかかわらず、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位体初生比はむしろ高い。これと類似した傾向の値(45.3 ± 0.2億年、0.69900 ± 0.00009)が、Parnallee隕石(LL3)について得られている(Evensen et al., 1979)こと、また、今回と同様の分析操作により求めたAllegan(H5)コンドライトについてのRb-Srアイソクロン

(年代 = 44.2 ± 1.7 億年, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初生比 = 0.6997 ± 0.0014 ; Okano et al., 1994) が、特に古い年代を示すこともなく、平衡コンドライトとして普通の値を持っていることを考えると、今回および Okano et al. (1990) で得られた Y-74442 が、LL コンドライトの Rb-Sr 全岩アイソクロン年代 (Minster and Allègre, 1979) と同じかやや古い年代を示すという結果を分析上の誤りあるいは誤差によるものとは考えにくい。したがって、特に古い Krähenberg の Rb-Sr 年代を別にしても、Y-74442 に見られるアルカリ分別は、LL コンドライト物質の初期集積過程においてすでに起こっていたものと考えられる。

現在のところ、このアルカリ分別がどのようなメカニズムで生じたかは不明である。しかしながら、この問題は、コンドリュール形成機構の謎とともに、コンドライト物質の集積過程の詳細を解明する上で極めて重要と思われる。残念ながら、今回分析を行った Y-74442 試料中には取り出して分析できるようなコンドリュールが少なく、コンドリュールのアイソクロン年代決定はできなかった。この点については、さらに今後の課題として取り組むつもりである。

5. 結論

1) Yamato-74442 コンドライト中のかんらん石と斜方輝石の化学組成は、K に富む岩片とそれ以外の岩片のいずれにおいても平衡 LL コンドライトの組成範囲にあり、両者の岩片の間で特に差は認められない。

2) K に富む岩片とそれ以外の岩片の石基の化学組成は、 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ wt% 比の平均がそれぞれ 0.31 と 11.11 と際だった違いがあるほか、K に富む岩片の石基では Na+K、Si、Al が多く、Fe、Mg、Ca に乏しい傾向がある。

3) この隕石の Rb-Sr 内部アイソクロンから 45.14 ± 0.22 億年の年代と 0.7016 ± 0.0024 の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 生比が得られた。この年代は、LL コンドライトの全岩アイソクロン年代と比べて誤差の範囲では重なっているもののやや古い年代を示している。このことは、アルカリの分化が LL コンドライト物質の初期集積

過程においてすでに起こっていた可能性を示唆している。

謝辞

本研究を行うにあたり、岡山大学地球内部研究センターの本間弘次教授には質量分析計使用の便宜をはかって頂いた。理学部地質学講座の野坂俊夫博士には、EPMA 分析に際して御教示ならびに有益な助言を頂いた。鉱物学講座の山川純次博士、斎藤俊明技官には、薄片の作成及び EPMA 測定においてお世話になった。地球化学講座の山本雅弘教授、松田敏彦助教授、Frank K. Nyame 氏をはじめとする院生の方々には、本研究期間中いろいろな面での援助を頂きました。以上の方々に深く感謝いたします。

引用文献

- Dodd, R. T. (1981): Meteorites. pp. 368, Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Evensen, N. M., Carter, S. R. Hamilton, R. K., O'Nions, R. K. and Ridley, W. I. (1979): A combined chemical-petrological study of separated chondrules from Richardton meteorite. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 42 223-236.
- Kempe, W. and Müller, O. (1969): The stony meteorite Krähenberg. In *Meteorite Research* (ed. P. M. Millman), pp. 418-428, D. Reidel Publ. Comp.
- Ikeda, Y. and Takeda, H. (1979): Petrology of the Yamato-74442 chondrite. *Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue*, 15, 123-139.
- Minster, J. F. and Allègre, C. J. (1979): ^{87}Rb - ^{87}Sr chronology of H chondrites: Constraint and speculations on the early evolution of their parent body. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 42, 333-347.
- Minster, J. F. and Allègre, C. J. (1981): ^{87}Rb - ^{87}Sr dating of LL chondrites. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 56, 89-106.
- Minster, J. F., Birck, J.L. and Allègre, C. J. (1982): Absolute age of formation of chondrites studied by the ^{87}Rb - ^{87}Sr method. *Nature*, 300, 414-419.
- Okano, O., Nakamura, N. and Nagao, K. (1990): Thermal history of the shock-melting Antarctic LL-chondrites from the Yamato-79 collection.

- Geochim. Cosmochim. Acta, 54, 3509-3523.
- Okano, O., Nishiya, N. and Kagami, H. (1994):
Determination of Rb-Sr age for separated
chondrules from the Allegan chondrite.
Okayama Univ. Earth Science Report, 1, 27-
36.
- Wlotzka, J., Palme, H. Spettel, B., Wänke, H.,
Fredriksson, K. and Noonan, F. A. (1983): Alkali
differentiation in LL-chondrites. Geochim.
Cosmochim. Acta, 47, 743-757.
- Yanai, K., Miyamoto, M. and Takeda, H. (1978): A
classification for the Yamato-74 chondrites
based on the chemical compositions of their
olivines and pyroxenes. Men. Natl. Inst. Polar
Res., Spec. Issue, 8, 110-120.
- Yanai, K. (1979): Catalog of Yamato Meteorites.
Natl. Inst. Polar Res., Tokyo, pp.188

付表1 Y-74442 のかんらん石のEPMA分析結果

Point #	MgO	FeO	CaO	Fe/(Fe+Mg)	Point #	MgO	FeO	CaO	Fe/(Fe+Mg)
	(wt%)			(mol%)		(wt%)			(mol%)
K-rich fragments					26,1	36.19	25.85	0.03	28.61
1,5	36.71	25.01	0.06	27.65	26,2	36.02	25.54	0.00	28.46
1,10	36.42	25.18	0.02	27.95	26,4	35.35	25.93	0.24	29.16
2,1	35.30	26.70	0.02	29.79	26,7	35.60	26.83	0.01	29.72
2,2	34.17	27.79	0.01	31.33	26,8	36.63	25.73	0.03	28.27
2,3	35.42	26.98	0.01	29.94	26,9	37.13	25.30	0.00	27.66
2,10	35.68	27.52	0.02	30.20	27,1	36.03	26.79	0.03	29.44
4,3	36.27	25.97	0.02	28.66	27,4	34.52	24.38	0.53	28.38
4,4	36.28	26.58	0.03	29.13	27,5	36.60	26.08	0.01	28.56
4,5	36.09	26.46	0.04	29.15	27,6	35.66	27.10	0.00	29.89
7,2	36.04	25.37	0.04	28.31	27,8	36.68	25.63	0.02	28.16
7,5	36.35	25.52	0.04	28.26	29,4	35.74	26.85	0.02	29.65
7,7	36.59	25.62	0.02	28.20	29,6	35.64	27.28	0.00	30.04
7,8	36.60	25.31	0.03	27.95	29,8	35.82	26.24	0.02	29.13
7,10	36.32	25.27	0.04	28.08	30,1	36.11	26.18	0.01	28.91
7,13	36.38	25.77	0.01	28.44	30,2	36.54	26.38	0.01	28.83
8,1	34.44	26.55	0.21	30.19	average	36.07	26.11	0.07	28.89
8,2	36.50	25.71	0.05	28.32	Normal fragments				
8,3	34.99	25.94	0.03	29.37	C	36.33	25.60	0.05	28.33
10,1	37.02	25.57	0.03	27.93	D	36.62	25.80	0.04	28.33
10,2	35.83	26.90	0.05	29.64	E	36.26	25.94	0.03	28.64
10,5	36.60	25.51	0.09	28.11	H	35.91	26.26	0.05	29.09
10,6	36.18	26.41	0.01	29.05	I	35.82	26.68	0.04	29.47
10,7	36.38	26.13	0.02	28.72	K	36.11	26.41	0.05	29.09
12,3	35.57	26.31	0.09	29.33	L	36.75	25.64	0.04	28.13
13,1	36.59	25.91	0.05	28.43	M	36.48	25.74	0.03	28.36
13,2	36.02	26.78	0.02	29.43	N	36.02	26.45	0.04	29.18
14,3	36.31	24.17	0.03	27.19	O	36.16	26.24	0.05	28.93
14,7	36.60	25.01	0.03	27.71	P	36.57	25.88	0.02	28.42
15,2	35.62	26.35	0.02	29.33	Q	36.29	26.25	0.03	28.87
15,3	35.75	26.43	0.04	29.32	U	36.38	25.48	0.03	29.78
15,4	35.71	26.11	0.03	29.09	V	35.99	25.58	0.06	30.10
15,6	35.99	26.57	0.03	29.29	W	36.40	26.04	0.05	28.64
15,7	32.60	29.52	1.80	33.69	X	35.74	26.09	0.04	29.06
17,1	36.40	26.49	0.05	28.99	Y	36.01	26.25	0.03	29.03
17,2	36.92	25.72	0.03	28.10	Z	35.32	25.80	0.04	29.07
17,3	36.46	25.98	0.03	28.56	AA	35.79	26.40	0.04	29.27
17,4	36.34	26.00	0.02	28.64	AB	36.54	25.92	0.04	28.47
17,6	37.09	25.14	0.04	27.55	AD	36.34	26.24	0.02	28.83
17,7	36.65	25.75	0.02	28.27	AE	36.19	26.18	0.08	28.87
18,1	36.83	25.85	0.05	28.25	AF	36.12	26.10	0.03	28.85
18,2	36.70	26.59	0.03	28.90	AG	35.62	25.98	0.05	29.04
18,5	36.61	25.93	0.08	28.44	AH	36.49	26.33	0.33	28.82
18,6	36.94	25.86	0.01	28.20	AL	35.66	26.55	0.03	29.46
18,7	36.92	25.66	0.05	28.05	AM	35.63	25.98	0.05	29.03
19,1	35.47	27.10	0.04	30.00	AN	36.54	25.76	0.04	28.34
19,2	36.01	26.75	0.02	29.42	AO	35.84	26.33	0.04	29.19
19,4	36.29	26.72	0.03	29.23	AP	42.12	19.50	0.01	20.62
20,1	36.55	25.88	0.05	28.43	AQ	36.75	25.78	0.03	28.24
20,4	36.44	25.63	0.03	28.30	AR	36.19	26.32	0.04	28.98
20,5	36.14	26.43	0.04	29.09	AS	36.26	26.60	0.06	29.16
21,1	35.79	26.04	0.02	28.99	AT	36.39	25.80	0.03	28.46
22,3	36.55	25.70	0.01	28.29	AW	36.28	26.29	0.06	28.90
23,2	36.43	25.32	0.01	28.05	AX	31.63	25.27	0.01	30.95
23,4	34.11	26.28	0.04	30.18	AY	35.79	25.91	0.03	28.88
25,1	36.14	26.07	0.13	28.81	AZ	36.57	26.14	0.02	28.62
25,3	36.40	26.30	0.02	28.84	average	36.21	25.88	0.05	28.72
25,4	35.21	25.95	0.01	29.25					

付表2 Y-74442 の輝石のEPMA 分析結果

#	MgO	FeO	CaO	En	Fs	Wo	$\frac{\text{Fe}}{\text{Fe+Mg}}$	#	MgO	FeO	CaO	En	Fs	Wo	$\frac{\text{Fe}}{\text{Fe+Mg}}$
	(wt%)			(mol%)			(mol%)		(wt%)			(mol%)			(mol%)
K-rich fragments															
1,2	26.95	17.77	1.08	71.49	26.45	2.06	27.00	21,2	26.89	15.75	0.94	73.87	24.27	1.86	24.73
1,4	27.18	15.73	0.98	74.04	24.04	1.92	24.51	21,3	26.68	16.21	1.34	72.62	24.76	2.62	25.42
1,6	27.25	16.24	0.97	73.53	24.59	1.88	25.06	21,5	26.75	16.68	1.29	72.23	25.27	2.50	25.92
1,7	27.11	15.97	1.07	73.59	24.32	2.09	24.84	21,6	26.30	16.39	1.23	72.29	25.28	2.43	25.91
1,8	27.29	16.48	0.92	73.37	24.86	1.78	25.31	22,1	27.98	15.46	0.79	75.17	23.30	1.53	23.66
1,9	27.41	15.72	1.03	74.14	23.86	2.00	24.34	22,2	27.59	15.30	0.82	75.05	23.35	1.60	23.73
1,11	26.62	17.30	1.02	71.83	26.19	1.98	26.72	22,5	28.34	15.45	0.62	75.67	23.14	1.19	23.42
1,13	27.02	17.04	1.01	72.43	25.63	1.95	26.13	22,6	26.86	15.49	1.50	73.33	23.73	2.94	24.45
3,2	27.46	15.90	1.22	73.70	23.94	2.35	24.52	25,2	27.51	15.58	1.25	74.05	23.53	2.42	24.11
3,5	27.88	15.85	1.04	74.31	23.70	1.99	24.18	25,6	25.39	16.66	1.12	71.44	26.30	2.26	26.91
4,2	27.93	15.59	0.83	74.93	23.47	1.60	23.85	27,2	26.87	16.50	1.26	72.56	25.00	2.45	25.62
4,6	27.32	14.80	1.99	73.73	22.41	3.86	23.31	27,3	26.07	16.19	1.04	72.62	25.30	2.08	25.84
7,3	28.04	14.62	0.87	76.06	22.25	1.70	22.63	28,1	27.72	15.67	0.89	74.61	23.66	1.72	24.08
7,4	28.27	14.44	0.63	76.77	22.00	1.23	22.27	28,2	28.11	15.46	0.68	75.42	23.27	1.31	23.58
7,6	28.22	14.86	0.70	76.15	22.50	1.36	22.81	29,3	27.71	14.60	0.46	76.48	22.61	0.91	22.82
7,12	28.49	14.56	0.65	76.74	22.00	1.26	22.28	29,5	26.18	16.27	0.95	72.74	25.36	1.90	25.85
7,14	29.24	13.55	0.90	78.00	20.28	1.73	20.63	29,9	27.69	16.12	0.86	74.13	24.21	1.65	24.62
12,1	27.44	15.13	0.94	74.96	23.19	1.85	23.63	30,3	26.95	16.79	1.34	72.19	25.23	2.58	25.90
12,2	26.82	16.40	1.15	72.79	24.97	2.24	25.54	30,4	27.23	16.15	1.14	73.38	24.42	2.21	24.97
12,4	27.25	15.45	0.89	74.54	23.71	1.75	24.13	30,6	26.24	17.74	1.13	70.91	26.90	2.19	27.50
13,3	27.61	15.51	1.05	74.49	23.48	2.04	23.96	30,7	27.25	16.07	1.12	73.51	24.32	2.17	24.86
13,4	27.66	16.03	1.06	73.93	24.04	2.04	24.54	av.	27.42	15.79	1.03	74.07	23.93	2.00	24.42
13,5	27.00	16.42	1.09	72.98	24.90	2.12	25.44	Normal fragments							
14,1	27.00	16.73	1.21	72.47	25.19	2.33	25.80	A	27.35	15.15	0.74	75.18	23.36	1.46	23.71
14,4	28.06	15.02	0.57	76.05	22.84	1.11	23.10	B	27.32	14.76	2.99	72.37	21.94	5.69	23.26
14,5	27.22	14.40	1.89	74.26	22.04	3.71	22.89	F	27.96	15.47	0.95	74.92	23.26	1.83	23.69
14,6	27.50	15.79	1.22	73.85	23.79	2.35	24.36	G	26.88	15.55	0.97	74.05	24.03	1.92	24.50
15,1	27.49	15.54	1.01	74.43	23.61	1.97	24.08	J	28.13	15.48	0.90	75.09	23.18	1.73	23.59
18,8	30.44	13.65	0.34	79.39	19.97	0.64	20.10	AC	27.16	15.57	1.24	73.83	23.75	2.42	24.34
19,3	28.17	16.70	0.66	74.10	24.65	1.25	24.96	AU	25.94	16.41	0.83	72.57	25.76	1.67	26.19
19,5	27.54	15.91	1.09	73.93	23.96	2.10	24.48	AV	27.24	16.18	0.89	73.71	24.56	1.73	25.00
20,2	27.59	14.57	1.83	74.41	22.05	3.55	22.86	av.	27.25	15.57	1.19	73.96	23.73	2.31	24.28
20,8	27.75	16.29	0.76	74.13	24.41	1.46	24.77								

付表 3A Y-74442 中の K-rich fragments のガラス質石基の化学組成 (Total=100% に換算)

	2-A	2-B	2-C	2-D	2-E	3-B	3-C	4-D	8-A	14-A	14-C	18-A	18-C	18-D
SiO ₂	49.73	57.57	57.18	61.05	56.21	46.94	55.82	56.23	49.87	63.04	59.94	57.8	57.37	58.47
TiO ₂	0.17	0.23	0.43	0.38	0.42	0.19	0.34	0.23	0.44	0.37	0.62	0.39	0.4	0.32
Al ₂ O ₃	6.24	6.88	4.92	7.88	7.41	5.81	7.51	7.93	5.7	7.94	6.46	6.64	7.82	8.25
Cr ₂ O ₃	0.12	0.06	0.76	0.31	0.25	0.03	0.05	0.35	0.35	0.98	0.28	0.21	0.22	0.61
FeO	15.44	12.58	12.67	7.78	11.7	16.69	10.95	8.6	12.68	6.84	8.92	8.53	10.82	6.53
MnO	0.33	0.24	0.27	0.18	0.53	0.21	0.39	0.34	0.25	0.2	0.34	0.22	0.19	0.23
MgO	18.18	8.88	10.71	6.56	6.04	24.07	8.81	7.63	15.85	5.1	10.07	7.3	13.94	8.16
CaO	4.72	8.06	9.05	9.37	11.91	0.78	9.7	13.54	8.76	8.52	8.98	12.66	4.33	12.9
Na ₂ O	0.99	1.43	0.41	1.33	0.75	0.71	1.32	0.86	1.35	1.2	0.53	1.97	1.4	1.11
K ₂ O	3.73	3.71	3.43	4.58	4.05	4.57	4.61	3.65	4.58	5.23	3.67	3.95	3.06	2.8
P ₂ O ₅	0.36	0.37	0.16	0.6	0.74	-	0.49	0.65	0.17	0.59	0.2	0.31	0.46	0.63
Na ₂ O/K ₂ O	0.27	0.39	0.12	0.3	0.18	0.16	0.29	0.24	0.29	0.23	0.14	0.5	0.46	0.4
Quartz	-	2.85	5.6	10.15	5.59	-	-	3.59	-	14.71	10.34	2.85	2.67	9.05
Corundum	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Orthoclase	22.04	21.95	20.27	27.05	23.92	27.01	27.26	21.59	26.59	30.92	21.66	23.35	18.05	16.52
Albite	8.36	12.12	3.47	11.23	6.32	4.45	11.17	7.32	-	10.19	4.5	12.15	11.82	9.39
Anorthite	1.58	1.38	1.45	2.01	1.17	-	0.94	6.95	-	0.79	4.41	-	6.04	9.25
Leucite	-	-	-	-	-	-	-	-	0.39	-	-	-	-	-
Nepheline	-	-	-	-	-	-	-	-	2.06	-	-	-	-	-
Na-Metasilicate	-	-	-	-	-	-	-	-	1.78	-	-	1.05	-	-
Diopside	15.88	30.01	34.86	33.35	44.47	3.14	36.26	46.02	34.4	31.05	31.68	49.99	10.1	41.09
Enstatite	4.75	7.28	9.28	8.93	9.16	1.01	9.32	12.39	10.62	8.05	9.49	13.39	3.15	12.81
Ferrosilite	2.99	7.61	7.89	7.5	13.14	0.52	8.59	10.26	5.92	7.27	5.96	11.23	1.76	7.15
Wollastonite	8.14	15.12	17.69	16.92	22.17	1.62	18.34	23.36	17.67	15.72	16.23	25.37	5.19	21.12
Hyperthene	9.77	30.35	32.19	13.64	14.28	0.09	17.69	12.1	-	8.84	25.37	8.81	49.15	11.71
Enstatite	5.99	14.84	17.4	7.41	5.87	0.07	9.2	6.62	-	4.65	15.58	4.79	31.56	7.51
Ferrosilite	3.78	15.51	14.79	6.23	8.41	0.03	8.49	5.48	-	4.19	9.79	4.02	17.59	4.2
Olivine	41.02	-	-	-	-	64.54	4.82	-	33.04	-	-	-	-	-
Forsterite	24.19	-	-	-	-	41.26	2.39	-	20.22	-	-	-	-	-
Fayalite	16.83	-	-	-	-	23.28	2.42	-	12.82	-	-	-	-	-
Chromite	0.18	0.08	0.64	0.46	0.37	0.04	0.08	0.51	0.51	1.44	0.41	0.31	0.33	0.9
Ilmenite	0.32	0.43	0.82	0.71	0.79	0.36	0.65	0.43	0.84	0.71	1.17	0.74	0.77	0.61
Apatite	0.83	0.85	0.38	1.4	1.7	-	1.15	1.5	0.4	1.36	0.47	0.73	1.07	1.46
	20-B	20-C	26-A	26-F	29-B	29-E	30-E	6	7	8	9	10	1,1	1,5
SiO ₂	53.38	59.6	50.71	57.34	49.75	49.08	51.52	66.84	65.63	61.34	57.62	62.06	59.61	57.93
TiO ₂	0.64	0.36	0.08	0.28	0.25	0.3	0.08	0.27	0.46	0.4	0.3	0.42	-	-
Al ₂ O ₃	6.56	7.79	4.08	6.67	4.89	6.5	3.35	8.96	9.71	5.63	3.75	8.78	6.66	8.15
Cr ₂ O ₃	0.06	0.36	0.09	0.36	0.61	0.98	1.47	0.11	0.19	0.41	0.08	0.17	0.72	0.98
FeO	16.19	9.79	17.81	9.82	14.32	11.9	16.08	7.5	7.21	10.61	15.03	10.51	4.09	7.38
MnO	0.17	0.24	0.19	0.46	0.3	0.44	0.79	0.23	0.28	0.19	0.4	0.28	-	-
MgO	7.29	9.17	23.57	8.46	18.03	14.6	23.5	5.63	4.26	8.88	18.61	12.56	9.95	8.47
CaO	11.29	7.7	0.67	12.77	7.94	12.45	2.21	5.82	7.45	9.06	1.68	1.1	13.36	11.54
Na ₂ O	1.14	0.93	1.06	1.32	1.09	1.1	0.33	0.78	1.11	0.42	0.34	0.83	3.24	1.8
K ₂ O	3.01	3.47	1.43	2.05	2.43	2.19	0.52	3.58	3.25	2.52	1.98	2.74	2.25	3.12
P ₂ O ₅	0.28	0.59	0.31	0.47	0.39	0.46	0.14	0.28	0.45	0.54	0.2	0.55	0.13	0.63
Na ₂ O/K ₂ O	0.38	0.27	0.74	0.65	0.45	0.5	0.63	0.22	0.34	0.17	0.17	0.3	1.43	0.58
Quartz	-	10.37	-	6.59	-	-	-	25.91	24.6	17.2	5.5	18.58	3.32	4.56
Corundum	-	-	0.33	-	-	-	-	-	-	-	-	3.77	-	-
Orthoclase	17.79	20.5	8.42	12.12	14.38	12.94	3.07	21.14	19.23	14.91	11.69	16.2	13.3	18.41
Albite	9.66	7.87	8.97	11.18	9.21	6.81	2.76	6.64	9.38	3.53	2.91	7	21.75	15.24
Anorthite	3.87	6.83	1.29	6.22	1.29	6.32	6.15	10.36	11.92	6.05	2.84	1.85	-	4.95
Leucite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nepheline	-	-	-	-	-	1.36	-	-	-	-	-	-	-	-
Na-Metasilicate	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Diopside	42.31	22.56	-	44.49	28.93	42.64	3.14	13.78	18.4	29.09	3.44	-	52.21	39.27
Enstatite	8.22	6.27	-	11.79	8.93	13.08	1.01	3.46	4.15	7.74	1.04	-	19.48	11.94
Ferrosilite	13.08	4.8	-	10.14	5.14	7.67	0.51	3.36	5.02	6.59	0.63	-	5.41	7.19
Wollastonite	21.02	11.49	-	22.57	14.86	21.89	1.62	6.96	9.23	14.76	1.76	-	27.31	20.14
Hyperthene	20.39	29.28	49.29	17.23	9.87	-	70.72	20.84	14.28	26.62	72.48	50.26	6.76	14.67
Enstatite	7.87	16.58	31.6	9.27	6.26	-	46.99	10.56	6.46	14.37	45.31	31.29	5.29	9.16
Ferrosilite	12.53	12.7	17.68	7.97	3.61	-	23.74	10.28	7.82	12.25	27.17	18.97	1.47	5.51
Olivine	4.04	-	30.71	-	34.07	26.87	11.49	-	-	-	-	-	-	-
Forsterite	1.46	-	19	-	20.83	16.32	7.38	-	-	-	-	-	-	-
Fayalite	2.58	-	11.72	-	13.24	10.55	4.11	-	-	-	-	-	-	-
Chromite	0.08	0.54	0.14	0.53	0.9	1.44	2.16	0.16	0.28	0.6	0.12	0.28	1.07	1.43
Ilmenite	1.21	0.69	0.14	0.53	0.46	0.57	0.15	0.52	0.87	0.75	0.56	0.8	-	-
Apatite	0.64	1.36	0.71	1.09	0.89	1.07	0.33	0.66	1.04	1.26	0.45	1.27	0.3	1.45

付表 3B Y-74442 中の normal fragments のガラス質石基の化学組成.

	1,2	1,4	5,2	5,3	5,4
SiO ₂	67.58	66.48	64.02	63.44	63.27
Al ₂ O ₃	18.71	20.56	15.61	15.66	16.74
Cr ₂ O ₃	0.84	-	0.15	0.6	0.19
FeO	0.98	0.26	1.15	1.36	2.05
MgO	0.07	0.24	3.97	3.88	3.78
CaO	2.3	2.25	6.26	6.78	5.22
Na ₂ O	9.13	9.33	7.96	7.46	7.76
K ₂ O	0.37	0.88	0.84	0.76	0.9
P ₂ O ₅	0.01	0.01	0.05	0.07	0.09
Na ₂ O/K ₂ O	25	11.11	9.09	10	8.33
Quartz	8.09	3.51	2.29	1.78	0.21
Corundum	-	0.21	-	-	-
Orthoclase	2.21	5.18	0.91	4.51	5.32
Albite	77.22	78.92	67.37	63.14	65.63
Anorthite	9	11.1	6.41	6.97	8.21
Leucite	-	-	-	-	-
Nepheline	-	-	-	-	-
Na-Metasilicate	-	-	-	-	-
Diopside	2.05	-	19.29	20.79	13.74
Enstatite	0.15	-	7.61	8.18	4.78
Ferrosilite	0.92	-	1.52	1.67	1.83
Wollastonite	0.98	-	10.16	10.94	7.14
Hyperthene	0.17	1.07	2.71	1.77	6.41
Enstatite	0.02	0.6	2.26	1.47	4.64
Ferrosilite	0.15	0.48	0.45	0.3	1.77
Olivine	-	-	-	-	-
Chromite	1.25	0	0.23	0.88	0.28
Ilmenite	-	-	-	-	-
Apatite	0.02	0.02	0.12	0.16	0.21