

(LNS Experiment : #2574, #2585)

3種ユークライト隕石 (Dhofar 007, Juvinas, Stannern) の希ガス および全岩化学組成に関する研究

竹田光世, 大浦泰嗣, 海老原充

首都大学東京大学院理工学研究科 (192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

Noble Gas and Bulk Chemistry Study of Three Eucrites Juvinas, Stannern and Dhofar 007

M. Takeda , Y. Oura , and M. Ebihara

*Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Metropolitan University, 1-1
Minami-Ohsawa, Hachioji, Tokyo 192-0372*

We performed bulk chemical and noble gas analyses of three eucrite meteorites, Juvinas, Stannern and Dhofar 007 (Dho 007) for their single specimens and estimated $^{244}\text{Pu-Xe}$ age. Juvinas and Stannern are brecciated noncumulate eucrites. Dho 007 is an anomalous cumulate eucrite, which is suggested to be a possible relationship with mesosiderites. We present here new data of bulk chemical composition and chronological information for Dho 007 in addition to these for the other eucrites, Juvinas and Stannern.

§ 1. はじめに

ユークライト隕石は小惑星の地殻由来の物質であると考えられている隕石である。ユークライト隕石母天体である小惑星は火成活動を経て分化したと考えられており、この小惑星由来の隕石の分析は、惑星進化過程の解明に繋がると考えられている。隕石の初期進化過程を推測する方法の一つとして、放射性核種を利用した年代測定法が挙げられる。中でも、消滅核種（太陽系の年齢~45.6億年と比較して短い半減期を持つため現在は存在しない核種） ^{244}Pu （半減期~8100万年）とその自発核分裂片であるXeを利用した $^{244}\text{Pu-Xe}$ 相対年代法はユークライト隕石の初期形成過程を考察する上で非常に有力な手段である。

1999年にオマーン砂漠で発見された Dhofar 007 (Dho 007) はその鉱物および化学組成は集積岩ユークライトの範囲に入るが、金属片を含み Yamaguchi *et al.* [1] によってユークライトとは異なる隕石グループの一つであるメソシデライトとの関連性が示唆された隕石である。これまでにこの Dho 007 に関する形成年代は得られていない。そこで本研究では Dho 007 および、非集積岩ユークライトである Juvinas, Stannern について化学組成と希ガス同位体組成を求め、この隕石の Angra dos Reis (^{207}Pb - ^{206}Pb 年代 4.5578 ± 0.0004) [2] に対する $^{244}\text{Pu-Xe}$ 相対年代を算出することを試みた。

§2. 実 験

東京大学地殻化学実験施設より提供された3つのユークライト隕石 (Juvinas, Stannern, Dho 007) を試料として用いた。試料はそれぞれ希ガス同位体分析用 (125~190 mg) と全岩化学組成分析用 (180~265 mg) の二つに分け、希ガス同位体分析は東京大学地殻化学実験施設の希ガス質量分析装置 (VG-5400、MS-II) を用いて行った。全岩化学組成は即発 γ 線分析 (PGA)、機器中性子放射化分析 (INAA)、機器光子放射化分析 (IPAA) の3種の放射化分析法により求めた。さらに、ここでは詳細を省略するが Ba、希土類元素、Th、U 濃度を誘導結合プラズマ質量分析により求めた。放射化分析の概略を以下に示す。

PGA：全岩化学分析用の試料 (粗粒状) の全量を四フッ化エチレン六フッ化プロピレンフィルム封入し、日本原子力研究開発機構 (JAEA) JRR-3M 実験ホール内の即発 γ 線分析装置にて約3時間、中性子照射・測定を行った。

INAA：PGA後の試料をメノウ乳鉢で粉末化し、一部 (20 から 30 mg) を高純度ポリエチレンフィルムに封入した。これらの試料に対し、JAEA の JRR-3、PN-3 にて10秒間中性子照射を行い、その後速やかに γ 線を測定した。またこの試料を約2ヶ月冷却し、JAEA の JRR-4、T-pipe にて20分間中性子照射した後、適当な冷却時間を置いて、首都大学東京 RI 研究施設にて γ 線測定を複数回行った。

IPAA：PGA後粉末化した試料の一部 (約30 mg) を Al 箔に包み、直径10 mm の円板状に整形した。比較標準試料である岩石標準試料 JB-1、Allende 隕石も同様に調整した。これをフラックス補正の為に金箔と共に石英管に常圧封入し、東北大学原子核理学研究施設電子線形加速器にて最大エネルギー30 MeV の制動放射で30分間照射し、ただちに γ 線測定を行った。更に測定後の試料を約4時間半照射し、適当な冷却時間を置いて、首都大学東京 RI 研究施設にて γ 線測定を複数回行った。

§3. 結果と考察

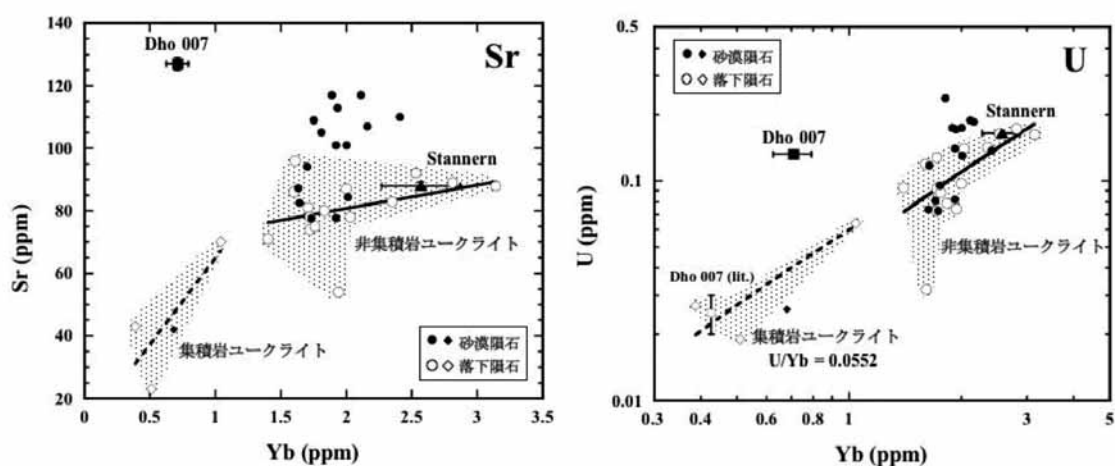
3つの放射化分析の組み合わせにより主要・微量元素が、また ICP-MS により Ba、希土類元素、Th、U が定量できた。放射化分析による定量結果を第1表にまとめた。Juvinas、Stannern ではすべての元素で、Kitts and Lodders (1998) [3]の編纂値の範囲に入った。しかし Dho 007 では、得られた結果が Yamaguchi *et al.* (2006) の値と大きく異なり、特に希土類元素では文献値の2~3倍の濃度を示し、希土類元素存在度パターンも異なる傾向を示した。Dho 007 は発見された総量がおおよそ21 kg と大きく、Yamaguchi *et al.* (2006) とは試料の提供源が異なる。このことから、Dho 007 の組成の違いは隕石の部位の違いによる不均一が原因であると考えられるが、本研究では鉱物学的観察等は行っておらず、今後の課題である。

計算法の詳細は省略するが、この結果と希ガス同位体分析の結果を用いて $^{244}\text{Pu-Xe}$ 相対年代を算出したところ、Juvinas (-24 ± 5 Ma)、Stannern (-103 ± 30 Ma) については文献値 (Juvinas: -10 ± 23 Ma、Stannern: -124 ± 13 Ma) [4]と良く一致する年代が得られたが、Dho 007 では年代値として妥当な値を得ることができなかった。この原因として、Dho 007 が地球上での風化を受けている可能性が挙げられる。 $^{244}\text{Pu-Xe}$ 相対年代を求めるには隕石の Ba、軽希土類元素 (LREE; La + Ce + Nd) の比と U の含有量が必要である [3]。しかし Dho 007 は砂漠隕石であり、これらの元素濃度が地球上での風化の影響により本来の濃度から変化した可能性があるため、これを考慮して年代を算出する必要がある。横軸に Yb、縦軸に Sr や Ba などの風化の影響を受けやすい元素をとって文献値 [5, 6]と共にプロットすると、Dho 007 は他のユークライト隕石で見られる元素の相関から明らかに外れたところにプロットされる (第1図)。これよ

第 1 表 即発 γ 線分析、機器中性子放射化分析、機器光量子放射化分析によるユークライト隕石の定量結果。

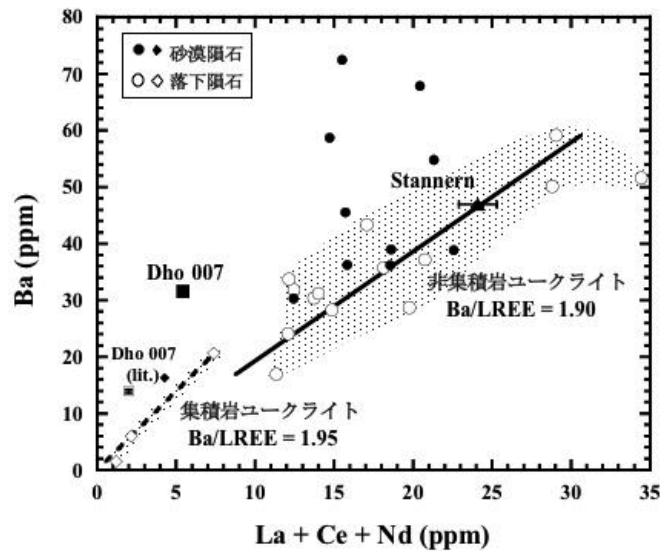
		Juvinas		Stannern		Dhofar007	
		this work	lit.*	this work	lit.*	this work	lit.**
Si	%	22.6 ± 0.5	22.97 ± 0.3	23.3 ± 0.5	23.00 ± 0.45	22.9 ± 0.5	21.6
Ti	%	0.437 ± 0.001	0.3713 ± 0.0231	0.576 ± 0.001	0.586 ± 0.0272	0.219 ± 0.001	0.123
Al	%	6.87 ± 0.06	6.93 ± 0.20	6.20 ± 0.04	6.47 ± 0.37	5.80 ± 0.04	6.67
Cr	ppm	1940 ± 3	1783 ± 369	2119 ± 3	2081 ± 330	2854 ± 5	3052
Fe	%	14.48 ± 0.04	13.9 ± 0.9	14.7 ± 0.0	14.1 ± 1.0	13.3 ± 0.0	12.2
Mn	%	0.435 ± 0.010	0.404 ± 0.020	0.434 ± 0.011	0.392 ± 0.361	0.409 ± 0.010	0.403
Mg	%	3.89 ± 0.33	4.22 ± 0.10	4.28 ± 0.40	4.23 ± 0.24	6.61 ± 0.49	5.67
Ca	%	6.50 ± 0.02	7.66 ± 0.40	6.89 ± 0.02	7.54 ± 0.31	5.95 ± 0.02	8.22
Na	%	0.300 ± 0.001	0.320 ± 0.028	0.412 ± 0.001	0.403 ± 0.046	0.278 ± 0.001	0.257
K	%	0.026 ± 0.005	0.0328 ± 0.0064	0.062 ± 0.008	0.0646 ± 0.0078	0.033 ± 0.005	0.0241
B	ppm	0.90 ± 0.11	0.965 ± 0.474	1.17 ± 0.14	3.390 ± 3.361	0.987 ± 0.136	
S	%	0.705 ± 0.044	0.15 ± 0.10	0.52 ± 0.05	0.19 ± 0.12	2.76 ± 0.07	0.465
Cl	ppm	n. d.	28.50 ± 14.80	n. d.	34.5	305 ± 19	
V	ppm	59.3 ± 3.8	85 ± 16	54.5 ± 3.7	77.0 ± 12.0	86.9 ± 4.0	81.6
Sc	ppm	31.13 ± 0.07	28 ± 1.6	31.05 ± 0.08	31.2 ± 0.85	24.81 ± 0.06	21.61
Co	ppm	6.58 ± 0.08	4.7 ± 0.9	4.89 ± 0.07	6.6 ± 3.4	50.5 ± 0.2	59.8
Ni	%	n. d.	4 ± 3.4	n. d.	7 ± 2.8	0.115 ± 0.001	0.0929
Sr	ppm	70.2 ± 3.0	74.9 ± 5.2	88.0 ± 1.3	88.8 ± 6.0	127 ± 2	
Y	ppm	19.5 ± 0.7	16.5 ± 0.7	30.3 ± 1.0	27 ± 1.2	8.06 ± 0.48	
Zr	ppm	45.1 ± 0.7	44.9 ± 1.6	93.8 ± 0.9	88 ± 1.1	21.03 ± 0.53	
La	ppm	2.95 ± 0.04	2.582 ± 0.238	5.13 ± 0.06	5.166 ± 0.320	1.14 ± 0.03	0.386
Ce	ppm	8.92 ± 0.45	6.934 ± 0.563	13.9 ± 0.6	13.344 ± 0.694	2.21 ± 0.49	0.908
Sm	ppm	1.90 ± 0.01	1.623 ± 0.128	3.13 ± 0.01	3.227 ± 0.175	0.632 ± 0.006	0.261
Eu	ppm	0.71 ± 0.05	0.624 ± 0.036	0.84 ± 0.07	0.808 ± 0.047	0.420 ± 0.022	0.330
Yb	ppm	1.88 ± 0.07	1.602 ± 0.188	2.96 ± 0.10	2.663 ± 0.314	0.899 ± 0.046	0.427
Lu	ppm	0.27 ± 0.01	0.255 ± 0.024	0.41 ± 0.02	0.408 ± 0.028	0.128 ± 0.009	0.067
Ir	ppb	n. d.	0.096 ± 0.08	n. d.	0.12 ± 0.01	54.9 ± 1.4	49
Au	ppb	n. d.	4.3 ± 3.4	n. d.	6.85 ± 9.43	19.9 ± 1.2	9.2

*Kitts and Lodders (1998). **Yamaguchi *et al.* (2006).



第 1 図 集積岩ユークライト、非集積岩ユークライトにおける元素濃度の相関。影の部分は砂漠隕石を除いた隕石の取る値の範囲を、破線および実線はそれぞれ集積岩ユークライト、非集積岩ユークライトに対する回帰曲線を示す。(a)Yb 濃度と Sr 濃度の相関。(b)Yb 濃度と U 濃度の相関。

り、Dho 007ではSr、Ba、LREE、Uで風化の影響を受けていることが判った。さらに、Yamaguchi *et al.* (2006) の値からも外れた所にプロットされていることが分かる。これは前述の通り試料部位の差によると考えられ、隕石の部位によって風化の度合いも異なることを示している。以上から、U含有量は第1図(b)のU/Ybから、またBa/LREEはBaとLREEの相関(第2図)から見積もった値を用い、Dho 007の $^{244}\text{Pu-Xe}$ 相対年代を算出したところ、 -10 ± 2 Maという値を得ることができた。



第2図 第2図 集積岩ユークライト、非集積岩ユークライトにおけるBaとLREE(La + Ce + Nd)の相関。影および破線、実線の示すものは第1図に同じ。

他のユークライト隕石の年代[3]と比較した結果、この隕石がユークライト隕石の中でも、かなり古い年代を示すことが判った。このDho 007については今後用いた部位について鉱物学的観察を行い、その結果と合わせてこの年代値の意味を考える必要がある。

§4. まとめ

特異な集積岩ユークライトであるDho 007を含めた3つのユークライト隕石について、放射化分析と質量分析により、希ガス同位体組成、全岩化学組成を求めた。この結果からこれら3つの隕石について $^{244}\text{Pu-Xe}$ 相対年代を算出した。Dho 007では風化の影響を考慮して年代を得たが、この結果からこの隕石がユークライト隕石の中で、かなり古い年代を持つものであることが判った。

謝辞

本研究を行うにあたり良質な電子ビームを供給していただいた東北大学原子核理学研究施設マシニンググループの方々と、試料照射ならびに放射線測定でお世話になった大槻勤准教授と結城秀行博士に深く感謝する。

参 考 文 献

- [1] Yamaguchi *et al.*: Meteorit. Planet. Sci. **41** (2006) 863.
- [2] Lugmair and Galer: Geochim. Cosmochim. Acta **56** (1992) 1673.
- [3] Kitts and Lodders: Meteorit. Planet. Sci. **33** (Suppl.) (2000) A197.

- [4] Miura *et al.*: *Geochim. Cosmochim. Acta* **62** (1998) 2369.
- [5] Barrat *et al.*: *Meteorit. Planet. Sci.* **35** (2000) 1087.
- [6] Barrat *et al.*: *Geochim. Cosmochim. Acta* **67** (2003) 3959.