

(LNS Experiment : #2455, #2472)

SNC隕石Y000593の化学組成の特徴

白井直樹, 大浦泰嗣, 海老原充

東京都立大学大学院理学研究科 (192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

Chemical Characteristic of Antarctic SNC
Meteorite Y000593

N. Shirai, Y. Oura and M. Ebihara

Graduate School of Science, Tokyo Metropolitan University, 1-1 Minami-Osawa, Hachioji, Tokyo 192-0397

Three activation analysis methods, that is, prompt gamma ray analysis, instrumental neutron activation analysis and instrumental photon activation analysis, were applied to Antarctic nakhlite, Yamato-000593 together with Nakhla and other shergottites for the non-destructive determination of major and trace elemental contents. Powder samples representing six different portions within Y000593 were analyzed for discussing the chemical heterogeneity. As a result, major elements are homogeneously distributed within $\pm 7\%$, and trace elements are homogeneously distributed within $\pm 11\%$ except for H, B, Cl, Br and rare earth elements. Based on similarity of chemical composition, crystallization age and cosmic-ray exposure age between Y000593 and Nakhla, these two meteorites were estimated to leave same meteoroid and to fall at separate point of the Earth.

§ 1. はじめに

隕石は、小惑星や他の惑星の破片と考えられている。その中で、SNC隕石と呼ばれるグループは shergottite, nakhlite, chassignite の3つのサブグループに分類され、酸素同位体組成などから同一母天体からきたものと考えられている。そして、SNC隕石に含有されている希ガスの同位体組成が火星に着陸したバイキング探査機によって測定された火星大気中の希ガス同位体組成とよく一致していることや、結晶化年代が他の隕石に比べて若いことなどの理由により SNC隕石は火星起源の隕石であると考えられている。

2000年に南極大陸にて発見された Yamato-000593 は nakhlite に属する隕石である。これまでに nakhlite は Nakhla をはじめ計6個しか見つかっておらず、Y000593 は南極大陸ではじめて発見された nakhlite である。

本研究では、3種類の非破壊放射化分析法、即ち即発 γ 線分析法(PGA)、機器中性子放射化分析法(INAA)及び機器光量子放射化分析法(IPAA)を用いてY000593の化学組成を求めた。Y000593は13.7kg回収されており、元素分布の均一性を検討するには最適の試料である。そこでY000593の数箇所の異なる位置で試料を採取し、それぞれ分析を行い、元素分布の均一性について検討した。また、得られた化学組成に基づき、Y000593とNakhlaの関係について検討した。

§ 2. 実 験

本研究で用いた試料は、国立極地研究所から提供された南極隕石 Y000593 である。Y000593 全岩の中でそれぞれ数 cm から10数 cm 離れた位置で重さ 2 g~3.5g の試料 6 個（それぞれ Y000593, 40~Y000593, 45と呼ぶ）を採取した。各試料をめものう乳鉢を用いて均一に粉末にした後、分析に用いた。また同時に Nakhla, 55 (naxhlite) の分析も行った。PGA, INAA 及び IPAA による定量のための比較標準として、産総研地質総合研究センターから配布されている JB-1 (玄武岩) または Smithsonian Institution から配布されている Allende 隕石試料を用いた。また、一部の元素については高純度試薬を比較標準試料とした。以下に、各放射化分析法の概略を示す。

PGA：粉末状試料約100mgを四フッ化エチレン六フッ化プロピレンフィルム袋に入れ、日本原子力研究所 JRR-3M 実験ホール内の即発 γ 線分析装置により、約1時間冷中性子照射しながら即発 γ 線を測定した。

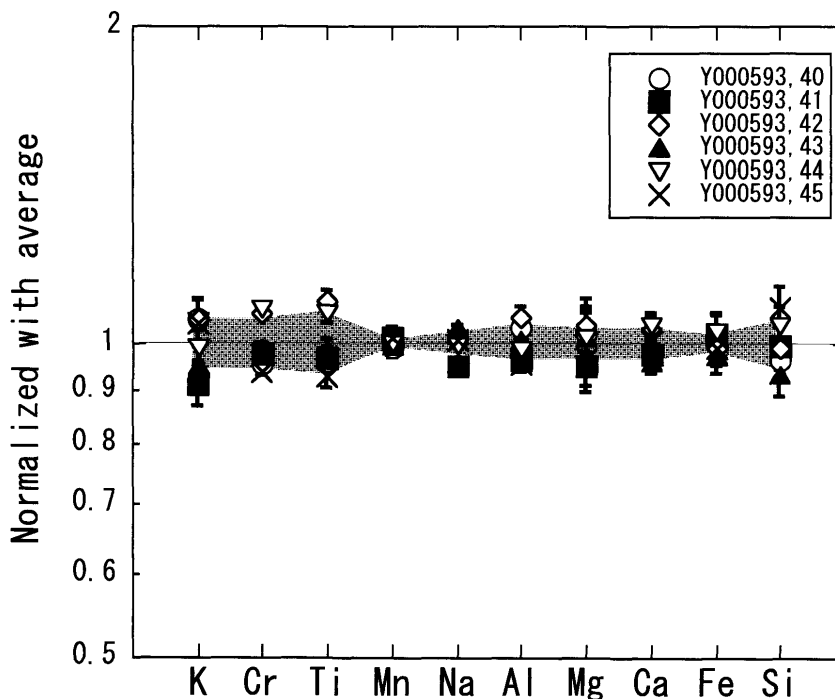
INAA：粉末状試料約50mgをポリエチレン袋に入れ JRR-3 PN-3 にて10秒間中性子を照射し、ただちに γ 線を測定した。その後、同試料を JRR-4 T パイプにて1分ならびに20分間照射し、東京都立大学 RI 研究施設にて適当な時間間隔で数回 γ 線を測定した。

IPAA：PGAにより分析した試料のうち約50mgを純度99%のAl箔で二重に包み、直径1cmのペレット状に整形して照射試料とした。これを、fluxを補正するための金箔と一緒に石英管内に常圧封入した。これを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30MeVの制動放射線で30分間照射し、ただちに γ 線を測定した。その後、同試料を3時間30分照射し、東京都立大学RI研究施設にてINAAと同様な測定を行った。

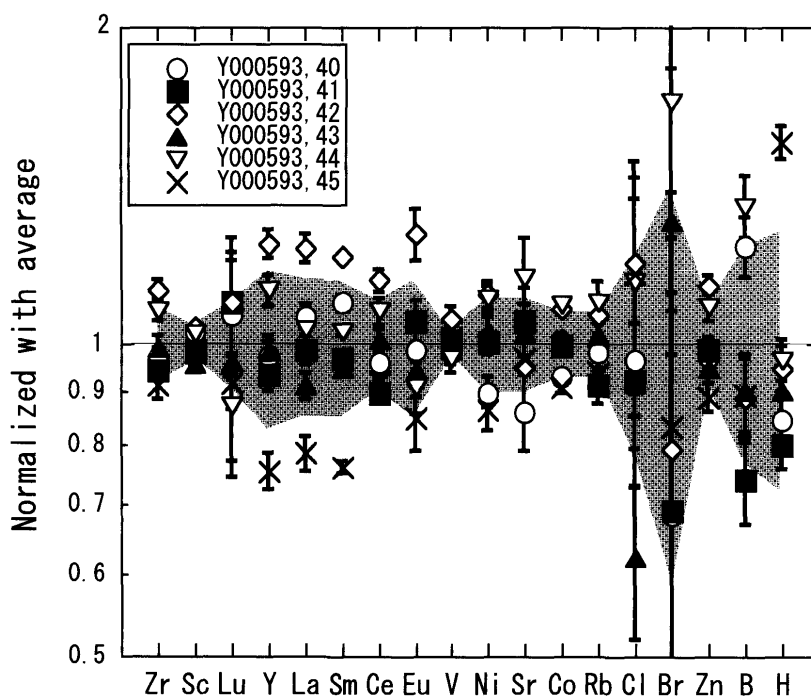
§ 3. 結果と考察

3つの非破壊放射化分析法を組み合わせることにより28元素が定量できた。第1図と第2図に、Y000593, 40からY000593, 45それぞれの定量値をそれらの平均値で規格化した値を示した。図中に6試料間での定量値の変動幅を標準偏差1 σ で帯により示した。これらの定量値のばらつきには試料間の不均一性によるものと測定統計変動の両方が含まれている。主要元素濃度はその値によらずどの元素も試料2~3.5g単位では $\pm 6\%$ 以内で均一に分布していることがわかった。またMnは特に均一に分布していた。微量元素濃度は主要元素より試料間のばらつきが大きい。特にClとBrのばらつきが大きい。が、 γ 線測定による相対統計誤差が約60%あり、ばらつきの主な原因の一つと考えられる。HはY000593, 45のみ他の5つの試料より1.7倍大きく、これを除くと $\pm 7\%$ 内で均一であった。Y000593, 45中の他の微量元素濃度は概して他の5つの試料中で一番小さい。一方、Y000593, 42は、他の試料より微量元素濃度は大きく、この傾向は特に希土類元素で著しい。Y000593, 45とY000593, 42を除くとB, Cl, Br, H以外の微量元素は $\pm 11\%$ 内で均一であった。なお6試料では $\pm 17\%$ 内で均一であった。

第1表にNakhla, 55とY000593の定量値をLodders [1]によるNakhlaの編集値とともに示した。Nakhla, 55の本研究による定量値はLodders [1]による編集値とほとんどの元素で誤差範囲内でよく一致したが、Na, Br, Rbは編集値より20~30%大きい。さらに、Clは編集値よりも10倍以上大きい。Nakhla, 55はNASAの月試料取扱施設にて塊の内部から採取された後、分析試料調製直前まで不活性ガス中に密封されていたため、地球上での汚染は非常に考えにくい。本研究でのY000593中のCl濃度が約80から110ppm



第1図 Y000593の主要元素分布の均一性。帯は各元素の試料間のばらつきを標準偏差(1σ)で示した。横軸には濃度が低い元素から順に並べた。



第2図 Y000593の微量元素分布の均一性。帯は各元素の試料間のばらつきを標準偏差(1σ)で示した。横軸には宇宙化学的凝縮温度が高い元素から順に並べた。

まで変動していることを考えると、Clは非常に不均一に分布していることを示唆しているのであろう。Clの報告値はほとんどなく、Brとともに今後さらなる分析が必要である。

NakhlaとY000593の6試料の平均値は、多くの元素において誤差範囲内でよく一致した。また、いくつかの元素ではNakhlaの定量値はY000593の6試料の定量値の変動内におさまった。ただし、Y000593中のBrはNakhlaの約1/5倍、Znは約1.5倍高かった。Y000593とNakhlaの化学組成は、特定元素の不均一性を

第1表 NakhlaとY000593の定量結果

		Nakhla,55	Nakhla	Y000593		
		本研究	Lodders (1998)	平均値	最大値 ¹⁾	最小値 ²⁾
主要元素 (%)	Na	0.459 ± 0.003	0.34 ± 0.05	0.452 ± 0.013	0.468 ± 0.003	0.430 ± 0.003
	Mg	7.15 ± 0.43	7.3 ± 0.2	6.25 ± 0.22	6.49 ± 0.39	5.95 ± 0.35
	Al	1.02 ± 0.02	0.89 ± 0.11	1.12 ± 0.05	1.19 ± 0.02	1.07 ± 0.02
	Si	22.9 ± 1.0	22.7 ± 0.8	22.8 ± 1.2	24.7 ± 1.1	21.3 ± 1.1
	K	0.114 ± 0.005	0.107 ± 0.019	0.120 ± 0.007	0.126 ± 0.006	0.109 ± 0.006
	Ca	11.0 ± 0.3	10.5 ± 0.5	10.1 ± 0.3	10.5 ± 0.3	9.7 ± 0.3
	Ti	0.210 ± 0.005	0.202 ± 0.025	0.224 ± 0.015	0.246 ± 0.006	0.207 ± 0.005
	Cr	0.197 ± 0.002	0.177 ± 0.028	0.177 ± 0.011	0.191 ± 0.001	0.165 ± 0.001
	Mn	0.407 ± 0.009	0.382 ± 0.31	0.423 ± 0.004	0.428 ± 0.010	0.421 ± 0.009
	Fe	15.6 ± 0.6	16.0 ± 1.2	17.4 ± 0.4	17.8 ± 0.7	16.8 ± 0.7
微量元素(ppm)	H	560 ± 32		842 ± 233	1305 ± 48	673 ± 37
	B	2.47 ± 0.20	4.6	2.53 ± 0.60	3.41 ± 0.23	1.87 ± 0.17
	Cl	1053 ± 101	80	91.3 ± 19.8	159 ± 8	79.9 ± 3.6
	Sc	55.4 ± 0.1	51 ± 4	56.2 ± 1.9	58.3 ± 0.1	53.5 ± 0.1
	V	211 ± 6	192	197 ± 6	208 ± 6	191 ± 6
	Co	49.8 ± 0.6	48 ± 5	49.5 ± 3.7	53.7 ± 0.6	44.8 ± 0.5
	Ni	71.0 ± 2.4	90	65.2 ± 6.7	72.6 ± 2.1	56.3 ± 2.4
	Zn	56.8 ± 1.7	54 ± 11	75.7 ± 6.8	85.6 ± 2.3	67.1 ± 2.1
	Br	5.32 ± 0.53	4.5 ± 0.2	1.01 ± 0.42	1.72 ± 0.63	0.61 ± 1.32
	Rb	5.02 ± 0.21	3.8 ± 0.8	3.19 ± 0.23	3.49 ± 0.16	2.90 ± 0.12
	Sr	58.5 ± 7.4	59 ± 10	67.5 ± 2.80	88.1 ± 7.6	65.5 ± 5.5
	Y	3.93 ± 0.16	3.3 ± 1.1	4.75 ± 0.80	5.91 ± 0.19	3.58 ± 0.15
	Zr	9.99 ± 0.29	8.8 ± 1.0	10.7 ± 0.9	12.0 ± 0.3	9.78 ± 0.28
	La	2.37 ± 0.05	2.06 ± 0.33	2.52 ± 0.34	2.94 ± 0.05	1.97 ± 0.06
	Ce	6.01 ± 0.17	5.87 ± 0.37	6.93 ± 0.67	7.96 ± 0.19	6.22 ± 0.16
	Sm	0.856 ± 0.009	0.77 ± 0.08	1.02 ± 0.15	1.23 ± 0.01	0.777 ± 0.010
	Eu	0.255 ± 0.013	0.235 ± 0.030	0.300 ± 0.045	0.381 ± 0.022	0.254 ± 0.018
Lu	0.055 ± 0.008	0.055 ± 0.007	0.068 ± 0.007	0.074 ± 0.009	0.059 ± 0.007	

1) 6 試料の中での最大濃度

2) 6 試料の中での最小濃度

第2表 Y000593とNakhlaの結晶化年代と宇宙線照射年代

	Y000593	Nakhla
結晶化年代	1.33Ga (K-Ar) ¹⁾	1.3Ga (Ar-Ar) ²⁾
宇宙線照射年代	12.16Ma (²¹ Ne) ¹⁾	11Ma (³ He) ³⁾
		12Ma (²¹ Ne) ⁴⁾

1) R. Okazaki et al. (2002) [2] K-Ar法、²¹Ne法による年代

2) D. D. Bogard (1995) [3] Ar-Ar法による年代

3) M. J. Drake et al. (1994) [4] ³Heに基づく年代4) M. J. Drake et al. (1994) [4] ²¹Neに基づく年代

除けば、ほぼ一致していると思なしてよいであろう。また、Y000593とNakhlaの結晶化年代（第2表）はともに1.3Gaであることから、両隕石は火星の同じ位置からもたらされたlaunching pairであると考えられる。又、Y000593とNakhlaの宇宙線照射年代（第2表）はそれぞれ12.2Maと11~12Maであり、ほぼ等しいことから、両隕石が同一meteoroidに属し、各隕石に分かれた後、相ついで地球の別々の地点に落下したと考えられる。

謝 辞

本研究は Yamato nakhlite consortium 研究の一つとして行われ、Y000593 は国立極地研究所より提供していただいた。Nakhla, 55は M. Gardy により提供していただいた。PGA と INAA は原研施設共同利用制度により行われた。IPAA を行うにあたり制動放射線照射ならびに放射線測定において東北大学核理研助教授・大槻勤氏と結城秀行博士にご協力いただいた。深く感謝する。

参 考 文 献

- [1] K. Lodders: Meteorit. Planet. Sci. 33 (1998) A183.
- [2] R. Okazaki, K. Nagao, N. Imae and H. Kojima: Antarctic Meteorites. XXV II (2002) 134.
- [3] D.D. Bogard: Lunar Planet. Sci. XXVI (1995) 143.
- [4] M.J. Drake, T.D. Swindle, T. Owen and D.S. Musselwhite: Meteoritics. 29 (1994) 854.