



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	地質調査所標準試料JNdi-1のNd同位体比の測定
Author(s)	折橋, 裕二; 前田, 仁一郎; 新井田, 清信 他
Citation	HUEPS Technical Report, 1, 1-17
Issue Date	1997-06
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/62040
Type	report
File Information	HUEPS_TR_1.pdf



ISSN 1343-0912

HUEPS Technical Report - 1

地質調査所標準試料 JNdi-1 の同位体比の測定

折橋裕二・前田仁一郎・新井田清信・石原舜三

**Analysis of Nd isotope ratio for the GSJ
reference sample JNdi-1**

Yuji ORIHASI, Jinichiro MAEDA, Kiyoaki NIIDA
and Shunso ISHIHARA

June, 1997

DIVISION OF EARTH AND PLANETARY SCIENCES
(EARTH AND PLANETARY MATERIALS SCIENCE)
GRADUATE SCHOOL OF SCIENCE
HOKKAIDO UNIVERSITY
SAPPORO, JAPAN

地質調査所標準試料 JNdi-1 の Nd 同位体比の測定

折橋裕二・前田仁一郎・新井田清信・石原舜三*

北海道大学大学院理学研究科地球惑星科学教室

* 現所属：通産省工業技術院地質調査所

Analysis of Nd isotopic ratio for the GSJ reference sample JNdi-1

Yuji ORIHASHI, Jinichiro MAEDA, Kiyoaki NIIDA and Shunso ISHIHARA*

Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Hokkaido University,
Sapporo 060, Japan

* Present address: Geological Survey of Japan, 1-1-3 Higashi, Tsukuba 305, Japan

We have alternately measured Nd isotopic ratios for JNdi-1, newly issued by the Geological Survey of Japan, and La Jolla. The results of 13 analyses are as follows; JNdi-1: $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.5121003 \pm 0.0000104$ (SD: standard deviation); $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 1.141846 \pm 0.000031$ (SD); $^{145}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.3484038 \pm 0.0000089$ (SD) and La Jolla: $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.5118455 \pm 0.0000069$ (SD); $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 1.141843 \pm 0.000047$ (SD); $^{145}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.3484007 \pm 0.0000041$ (SD). The mean value of $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ratio for JNdi-1, normalized to the proposed value of La Jolla (0.511858) is 0.512113, which agrees well with a previous determination (0.512119) by Tanaka et al. (1996).

1. はじめに

近年、表面電離型質量分析計は多くの地学系大学・研究機関に導入され、Sr・Nd 同位体比を中心とした大量でかつ良質な測定結果が報告されるようになった (例えば, Morris and Kagami, 1989; Takahashi and Masuda, 1990; Arakawa, 1992; Togashi et al., 1992; Notsu et al., 1995; Maeda and Kagami, 1996; Asahara et al., 1996). これらの測定用標準試料として, Sr 同位体比の場合は SRM 987 (NIST 発行) が, また Nd 同位体比の場合には La Jolla (UC San Diego の Lugmair 教授が供給している) が世界的に使用されている. しかしながら, 後者の La Jolla はそのストックに限りがあり, 長期間の分析に必要な量を手に入れるのは難しい. そのため, これに代わる新しい Nd 同位体比測定用標準試料の発行が期待されていた. このような状況から地質調査所 (GSJ) では独自の Nd 同位体比測定用標準試料 (JNdi-1) を準備した. 幸いにも 1996 年 1 月, 富樫茂子博士 (GSJ) から JNdi-1 が北大に送付されてきた.

今回, 北海道大学理学研究科地球惑星科学教室設置の表面電離型質量分析計 Finigan MAT262 を

用いて JNdI-1 (split 1/position 14) を検定する目的で計 13 回の Nd 同位体比の測定を行った。また、測定結果の信頼性をクロスチェックする目的で La Jolla についても JNdI-1 と交互に計 13 回測定を行った。以下にその結果について報告する。

2. JNdI-1 試料調製および測定条件

JNdI-1 (split 1/position 14) は、Merck 社製の 65%硝酸 (suprapur[®]) を超純水^{注1} で 2.5 N に希釈した硝酸水溶液に溶解し、その Nd 濃度が 300 ppm になるように調製した。測定の際、これを Nd が 300 ng になるように分取し、Ta フィラメントに塗布した。La Jolla および JNdI-1 試料をフィラメントに塗布した後、これらのフィラメント・ブロックを交互にマガジン (1 つのマガジンに計 13 個のフィラメント・ブロックを装着することができる) に装着した。

Nd 同位体比の測定には北海道大学理学研究科地球惑星科学教室設置の表面電離型質量分析計 Finigan MAT262 を用いた。同分析計は 7 つのファラデー・コレクターを装着しており、分析はスタティック・モードで行った。加速電圧は 10 kV で、Nd のイオン化 (Nd⁺) は Ta-Re ダブルフィラメントを用いて行い、同イオンビーム発生中のイオン源の真空度は常に 10⁻⁸ Torr オーダーの条件を維持するようにした。測定は 1 ブロック 10 スキャンで計 10 ブロック (100 スキャン)^{注2} 行い、その平均値および測定誤差 (2SE: 2σ of standard error) を測定値とした。得られた ¹⁴²Nd/¹⁴⁴Nd 比、¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 比および ¹⁴⁵Nd/¹⁴⁴Nd 比は ¹⁴⁶Nd/¹⁴⁴Nd = 0.7219 で規格化することで測定中に生じる質量分別の補正を行った。測定の際の ¹⁴⁴Nd のシグナルは La Jolla で約 1.7 V、JNdI-1 で約 2.0 V であり、¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 比の測定誤差 (2SE) はそれぞれ ±0.0000069 から ±0.0000099、±0.0000059 から ±0.0000087 であり、これらの内部精度 [2SE/測定値 × 100 (%)] はそれぞれ 0.00135%–0.00184%、0.00123%–0.00170% であった。また、測定の際の ¹⁴⁷Sm のシグナルは常に < 0.1 mV であった。なお、1 試料の測定に要する時間は、フィラメントのプレヒート、カレントの調整およびゲイン・キャリブレーションの測定時間を含めて約 50 分であった。一般に 1 マガジンの測定に要する時間は約 11 時間である。

3. 分析結果

La Jolla および JNdI-1 の測定結果を Table 1, 2 に示す。La Jolla の 13 回の Nd 同位体比の平均は ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd = 0.5118455 ± 0.0000069 (SD), ¹⁴²Nd/¹⁴⁴Nd = 1.141843 ± 0.000047 (SD), ¹⁴⁵Nd/¹⁴⁴Nd = 0.3484007 ± 0.0000041 (SD) であり、JNdI-1 は ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd = 0.5121003 ± 0.0000104 (SD), ¹⁴²Nd/¹⁴⁴Nd = 1.141846 ± 0.000031 (SD), ¹⁴⁵Nd/¹⁴⁴Nd = 0.3484038 ± 0.0000089 (SD) であった。1994 年 6 月 15 日から

注1 同実験用超純水は、10 μm のプレフィルタを通過させた水道水をヤマト科学社製のピュアライン WL-100 (イオン交換樹脂用ハウジングの前後に 5 μm の活性炭フィルタと 0.2 μm のメンブレンフィルタを装着) で精製し、さらに同社製のピュアライン WL-21 (高純度イオン交換樹脂用カートリッジの前後に 0.2 μm および 0.1 μm のメンブレンフィルタを装着) で脱イオン化した後、石英ガラス蒸留装置でサブボイルドしたものをいう。

注2 1 スキャンの測定時間は 8 秒で計 10 スキャンを 1 ブロックとしている。1 ブロック (10 スキャン) の測定中に生じた各同位体比の異常値は Dixon 法に従い統計的に除外している。各ブロック毎に質量数 144.5 においてベースライン測定を行っている。その測定時間は 16 秒 (ブランクは 8 秒間) である。

1996年4月28日の期間、計73回のLa Jollaの平均は $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.5118475\pm0.0000082$ (SD), $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=1.141854\pm0.000034$ (SD), $^{145}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.3483992\pm0.0000073$ (SD) であり、長期間にわたり再現性のよい分析結果がえられている (Table 3). 今回測定した13回のLa Jollaの平均値と計73回の平均値との間に有意の差はなく、また、国内外の複数の研究機関で報告されたLa Jollaの分析値の範囲; $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$: 0.511829–0.511864 (国内), $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$: 0.511842–0.511873 (国外) と極めて整合的な値を示す (Table 4 参照). 今回得られた13回毎のLa Jollaの測定結果をLugmair教授の推奨する $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.511858$ の値に規格化することで得られたJNdi-1の $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比の平均値は 0.5121127 ± 0.000099 (SD) である. この再現性 (RSD) は0.0019%であり、La Jollaに規格化していない場合 (0.0020%) に比べて若干よくなっている (Fig. 2 参照). このことから、測定毎に標準試料で規格化することは測定期間中に生じる変動の補正に効果的であるといえる.

なお、1995年12月末までの予備的なJNdi-1の分析で $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$: 0.512119 (Tanaka et al., 1996) が得られており、今回得られたJNdi-1の測定結果はこれと極めてよく一致している.

謝辞 地質調査所の富樫茂子博士および名古屋大学理学部地球惑星科学教室の田中 剛教授にはJNdi-1を送付していただくとともに有益なご助言をいただいた. 新潟大学自然科学研究科の加々美寛雄教授およびサーモクレスト株式会社の金沢延行氏には日頃から有益なご助言・ご教示をいただいている. カリフォルニア大学サンディエゴ校のG. W. Lugmair教授, メリーランド大学のR. J. Walker教授および神戸大学発達科学部の寺門靖高教授には貴重なNd同位体比測定用標準試料La JollaおよびAmesをわけていただいた. 北海道大学理学研究科地球惑星科学教室の渡辺暉夫教授には粗稿を読んでいただき有益なご助言をいただいた. 同教室の質量分析計運営委員会の方々には質量分析計を使用するにあたり便宜をはかっていただいた. 同教室大学院生の田中亮史氏, 前原恒祐氏, Y. Litasov氏, A. M. Agashev氏および銭谷竜一氏には日頃から質量分析計の維持・管理にご協力いただいた. また、同研究に要した研究費の一部に平成8年度文部省科学研究費・基盤研究 (A) (課題番号08304035, 代表者: 田中 剛教授) と平成5–7年度文部省科学研究費・重点領域研究 (領域番号232, 代表者: 久城育夫教授) を用いた. 記して謝意を表する.

引用文献

- Arakawa, Y. (1992) $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ratio of twelve GSJ rock reference samples and reproducibility of the data. *Geochem. J.*, **26**, 105–109.
- Asahara, Y., Tanaka, T., Kamioka, H. and Nishimura, A. (1996) Asian continental nature of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios in north central Pacific sediments. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **105**, 105–116.
- Cousens, B. L., Spera, F. J. and Tilton, G. R. (1990) Isotopic patterns in silicic ignimbrites and lava flows of the Mogan and lower Fataga formations, Gran Canaria, Canary Islands: temporal changes in mantle source compositions. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **96**, 319–335.
- Halliday, A. N., Mahood, G. A., Holden, P., Metz, J. M., Dempster, T. J. and Davidson, J. P. (1989) Evidence for long residence times of rhyolitic magma in the Long Valley magmatic system: the isotopic record in pre-caldera lavas of Glass Mountain. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **94**, 274–290.
- Hole, M. J. (1990) Geochemical evolution of Pliocene–Recent post-subduction alkalic basalts from Seal Nunataks, Antarctic Peninsula. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **40**, 149–167.

- Iizumi, S., Morris, P. A. and Sawada, Y. (1995) Nd isotope data for GSJ reference samples JB-1a, JB-3 and JG-1a and the La Jolla standard. *Mem. Fac. Sci. Shimane Univ.*, **29**, 73–76.
- Maeda, J. and Kagami, H. (1996) Interaction of a spreading ridge and an accretionary prism: implications from MORB magmatism in the Hidaka magmatic zone, Hokkaido, Japan. *Geology*, **24**, 31–34.
- Makishima, A., Ishikawa, T., Shibata, T., Yoshikawa, M. and Nakamura, E. (1993) Improvement of mass spectrometer performance for Sr, Nd, Ce and Pb isotope analyses by modification of preamplifiers. *Technical Report of ISEI, Okayama Univ. Ser. B*, **11**, 18 p.
- McDonough, W. F. and McCulloch, M. T. (1987) The southeast Australian lithospheric mantle: isotopic and geochemical constraints on its growth and evolution. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **86**, 327–340.
- Morris, P. and Kagami, H. (1989) Nd and Sr isotope systematics of Miocene to Holocene volcanic rocks from Southwest Japan: volcanism since the opening of the Japan Sea. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **92**, 335–346.
- Noble, S. R., Lightfoot, P. C. and Scharrer, U. (1989) A new method for single-filament isotopic analysis of Nd using in situ reduction. *Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.)*, **79**, 15–19.
- Notsu, K., Fujitani, T., Ui, T., Masuda, J. and Ercan, T. (1995) Geochemical features of collision-related volcanic rocks in central and eastern Anatolia, Turkey. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **64**, 171–192.
- 岡野 修・金沢延行・土佐礼子・松本 普 (1989) 可変式マルチコレクター表面電離型質量分析計 MAT262 による同位体比測定システムと標準岩石試料の測定例. 1989 年日本地球化学会年会要旨, 268.
- Paces, J. B. and Bell, K. (1989) Non-depleted sub-continental mantle beneath the Superior Province of the Canadian Shield: Nd-Sr isotopic and trace element evidence from Midcontinent Rift basalts. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **53**, 2023–2035.
- Patchett, P. J. and Ruiz, J. (1987) Nd isotopic ages of crust formation and metamorphism in the Precambrian of eastern and southern Mexico. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **96**, 523–528.
- Stille, P., Oberhänsli, R. and Wenger-Schenk, K. (1989) Hf–Nd isotopic constraints on the genesis of alkaline and calc-alkaline lamprophyres. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **96**, 209–219.
- Takahashi, K. and Masuda, A. (1990) The new technique for the measurement of isotope abundance of ^{143}Nd without chemical removal of other rare earth elements. *Mass Spectrometry*, **38**, 101–105.
- Tanaka, T., Shimizu, H., Kawata, Y. and Masuda, A. (1987) Combined La–Ce and Sm–Nd isotope systematics in petrogenetic studies. *Nature*, **327**, 113–117.
- Tanaka, T., Tanimizu, M., Asahara, Y., Yonezawa, C., Togashi, S. and Kamioka, H. (1996) A variety of $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ratios among six high purity neodymium oxide reagents. *J. Mass Spectrom. Sci. Jpn.*, **44**, 79–83.
- Terakado, Y., Shimizu, H. and Masuda, A. (1988) Nd and Sr isotopic variations in acidic rocks formed under a peculiar tectonic environment in Miocene Southwest Japan. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **99**, 1–10.
- Thirlwall, M. F. (1991) Long-term reproducibility of multicollector Sr and Nd isotope ratio analysis. *Chem. Geol.*, **94**, 85–104.
- Togashi, S., Tanaka, G., Yoshida, K., Ishikawa, K., Fujinawa, A. and Kurasawa, H. (1992) Trace elements and Nd–Sr isotopes of island arc tholeiites from frontal arc of Northeast Japan. *Geochem. J.*, **26**, 261–277.
- Voshage, H., Sinigoi, S., Mazzucchelli, M., Demarchi, G., Rivalenti, G. and Hofmann, A. W. (1988) Isotopic constraints on the origin of ultramafic and mafic dikes in the Balmuccia peridotite (Ivrea Zone). *Contrib. Mineral. Petrol.*, **100**, 261–267.
- Walker, R. J., Shirey, S. B. and Stecher, O. (1988) Comparative Re–Os, Sm–Nd and Rb–Sr isotope and trace element systematics for Archaean komatiite flows from Munro Township, Abitibi Belt, Ontario. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **87**, 1–12.
- 山元正継・丸山孝彦 (1996) MAT261 による Sr, Nd 同位体比の測定と Rb, Sr の定量. 秋田大学鉱山学部資源地学研究施設報告, **61**, 17–30.

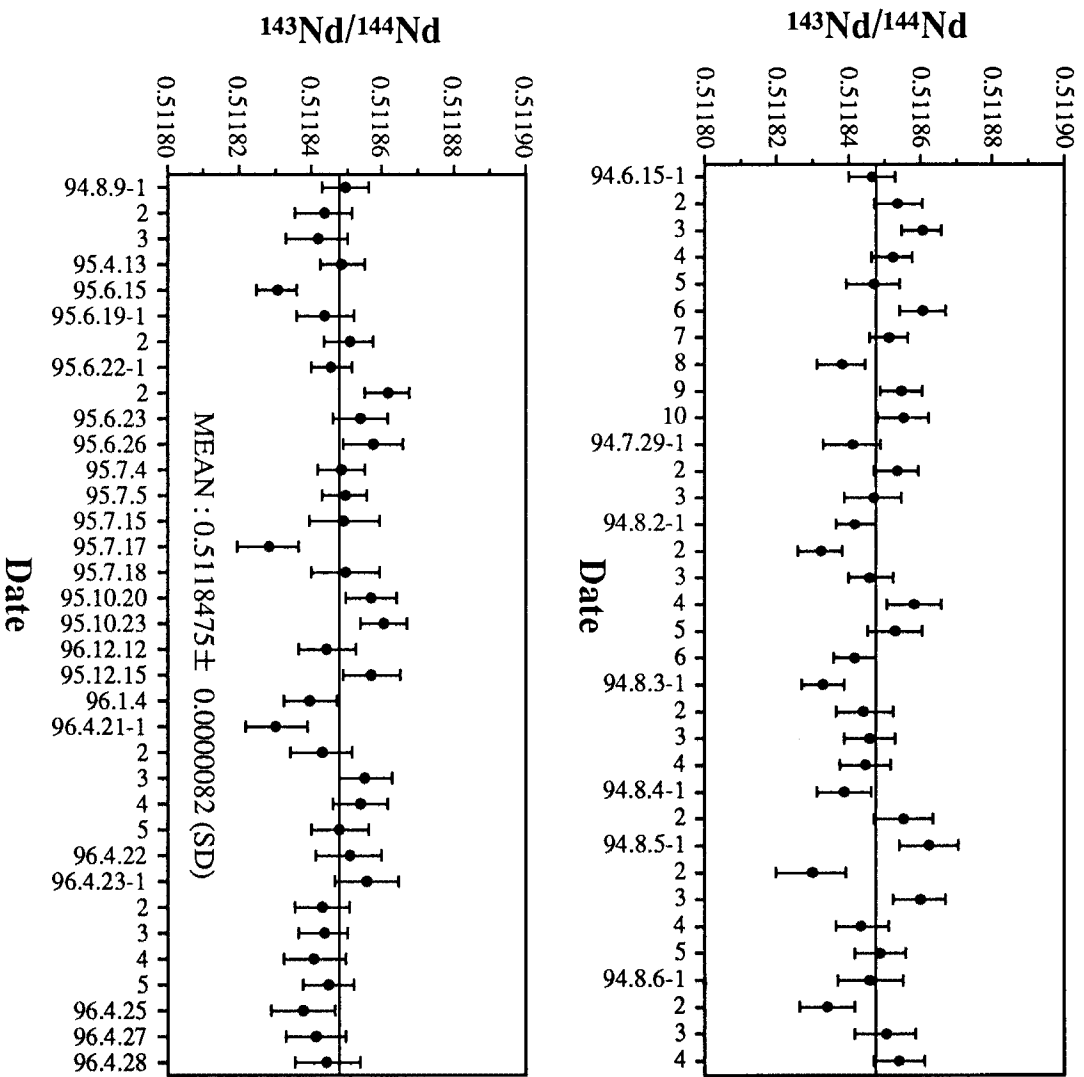


Fig. 1 Multiple analyses of Nd isotopic ratio for La Jolla using MAT262.
Error bar of each run shows 2 sigma of standard error.

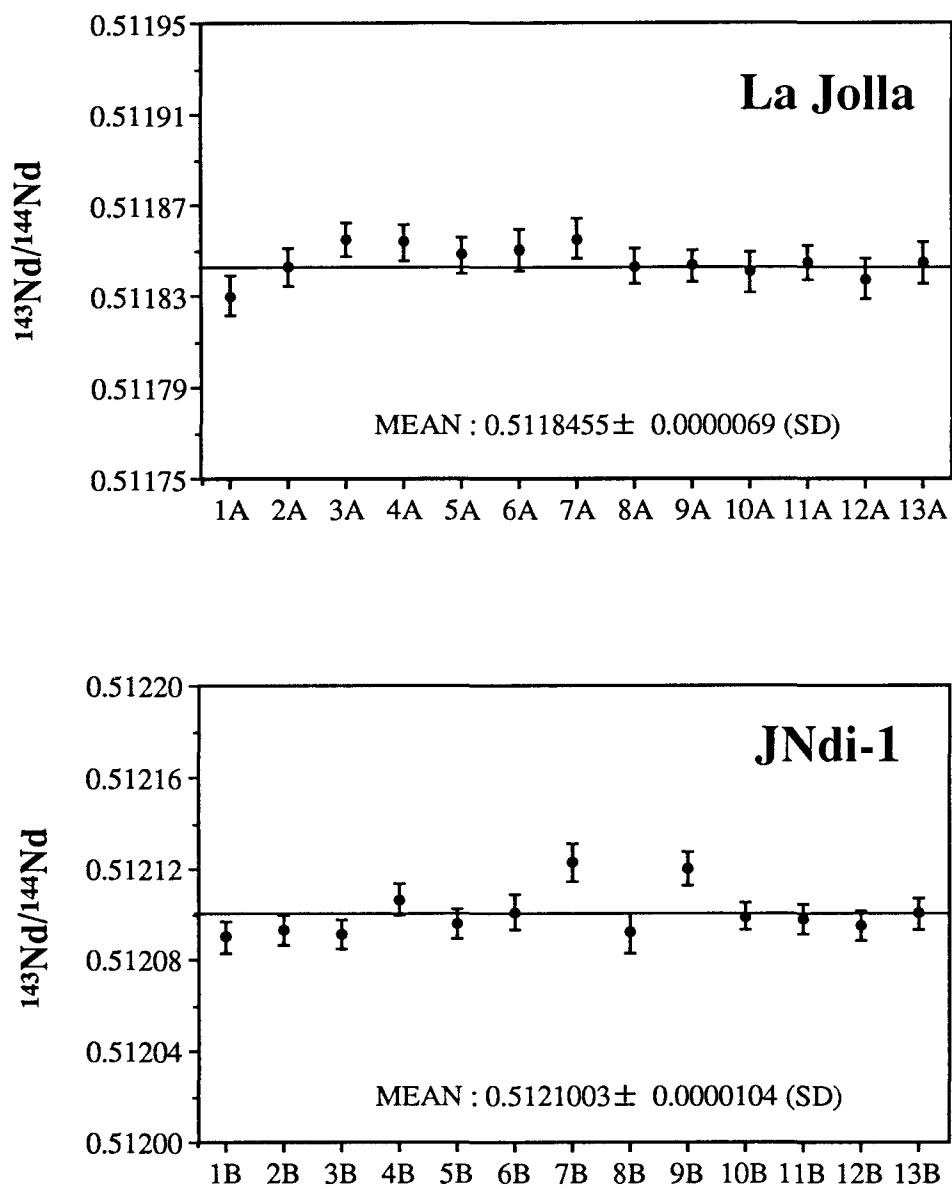


Fig. 2 Results of multiple analyses of Nd isotopic ratio for La Jolla and JNdi-1 using Finigan MAT262.

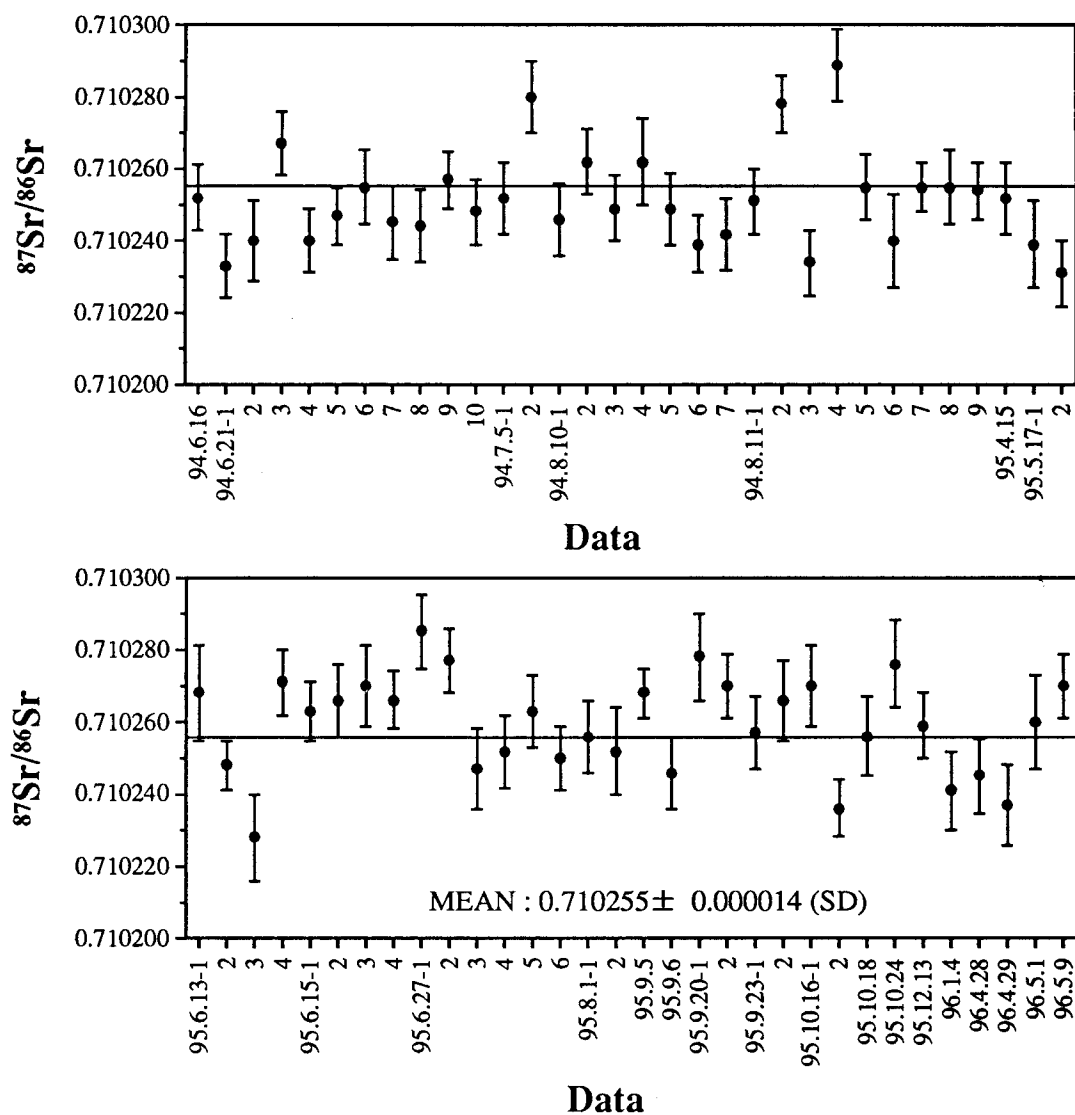


Fig. 3 Multiple analyses of Sr isotopic ratio for SRM 987(NIST) using MAT262.
Error bar of each run shows 2 sigma of standard error.

Table 1 Analytical results of Nd isotopic ratio for La Jolla

Date	¹⁴⁴ Nd(V)	Scan (N)	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	2SE	La Jolla		¹⁴⁵ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	2SE	Factor
					¹⁴² Nd/ ¹⁴⁴ Nd	2SE			
1A 96.4.21	1.4-1.3	100	0.5118304 ± 0.0000086		1.141799 ± 0.000025		0.3484065 ± 0.0000053		1.00005392
2A 96.4.21	1.5-1.3	100	0.5118430 ± 0.0000087		1.141820 ± 0.000034		0.3484000 ± 0.0000057		1.00002931
3A 96.4.21	1.7-1.4	100	0.5118553 ± 0.0000073		1.141895 ± 0.000021		0.3483981 ± 0.0000046		1.00000527
4A 96.4.21	2.2-1.7	100	0.5118538 ± 0.0000078		1.141913 ± 0.000026		0.3483960 ± 0.0000052		1.00000821
5A 96.4.21	1.7-1.4	100	0.5118482 ± 0.0000079		1.141886 ± 0.000019		0.3483998 ± 0.0000054		1.00001915
6A 96.4.22	1.7-1.4	120	0.5118506 ± 0.0000094		1.141781 ± 0.000029		0.3484010 ± 0.0000048		1.00001446
7A 96.4.23	1.5-1.4	100	0.5118554 ± 0.0000089		1.141886 ± 0.000022		0.3484071 ± 0.0000055		1.00000508
8A 96.4.23	1.6-1.3	100	0.5118434 ± 0.0000077		1.141824 ± 0.000020		0.3483953 ± 0.0000054		1.00002852
9A 96.4.23	2.1-1.9	100	0.5118435 ± 0.0000069		1.141869 ± 0.000020		0.3483945 ± 0.0000046		1.00002833
10A 96.4.23	1.7-1.5	100	0.5118411 ± 0.0000088		1.141836 ± 0.000025		0.3483985 ± 0.0000048		1.00003302
11A 96.4.23	1.7-1.4	100	0.5118450 ± 0.0000073		1.141786 ± 0.000024		0.3483973 ± 0.0000048		1.00002540
12A 96.4.25	1.5-1.4	100	0.5118378 ± 0.0000088		1.141821 ± 0.000022		0.3484112 ± 0.0000061		1.00003947
13A 96.4.28	1.9-1.6	100	0.5118446 ± 0.0000092		1.141848 ± 0.000020		0.3484037 ± 0.0000042		1.00002618
MEAN			0.5118455 ± 0.0000069	SD	1.141843 ± 0.000047	SD	0.3484007 ± 0.0000041	SD	

LaJolla was supplied from Prof. Lugmair, UC San Diego. 2SE : 2sigma of standard error; SD: standard deviation

Table 2 Analytical results of Nd isotopic ratio for JNdi-1

Date	¹⁴⁴ Nd(V)	Scan (N)	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	2SE	JNdi-1		¹⁴⁵ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	2SE	(143/144)n
					¹⁴² Nd/ ¹⁴⁴ Nd	2SE			
1B 96.4.21	2.2-1.8	100	0.5120900 ± 0.0000072		1.141829 ± 0.000017		0.3484044 ± 0.0000043		0.5121176
2B 96.4.21	2.1-1.7	100	0.5120930 ± 0.0000067		1.141835 ± 0.000022		0.3484037 ± 0.0000048		0.5121080
3B 96.4.21	2.0-1.8	100	0.5120909 ± 0.0000067		1.141856 ± 0.000022		0.3484031 ± 0.0000051		0.5120936
4B 96.4.21	2.2-1.8	100	0.5121065 ± 0.0000069		1.141871 ± 0.000018		0.3483940 ± 0.0000044		0.5121107
5B 96.4.21	2.5-2.4	100	0.5120957 ± 0.0000067		1.141861 ± 0.000015		0.3483907 ± 0.0000049		0.5121055
6B 96.4.22	1.9-1.2	100	0.5121009 ± 0.0000079		1.141818 ± 0.000022		0.3484026 ± 0.0000051		0.5121083
7B 96.4.23	2.1-1.8	100	0.5121226 ± 0.0000081		1.141905 ± 0.000018		0.3483981 ± 0.0000045		0.5121252
8B 96.4.23	2.0-1.7	100	0.5120918 ± 0.0000087		1.141784 ± 0.000021		0.3484123 ± 0.0000050		0.5121064
9B 96.4.23	2.1-1.7	100	0.5121202 ± 0.0000077		1.141882 ± 0.000019		0.3483950 ± 0.0000041		0.5121347
10B 96.4.23	2.7-2.0	100	0.5120988 ± 0.0000059		1.141844 ± 0.000018		0.3484204 ± 0.0000037		0.5121157
11B 96.4.23	2.1-1.8	100	0.5120978 ± 0.0000066		1.141827 ± 0.000018		0.3484130 ± 0.0000044		0.5121108
12B 96.4.25	2.5-2.3	100	0.5120950 ± 0.0000063		1.141837 ± 0.000018		0.3483987 ± 0.0000043		0.5121152
13B 96.4.28	2.6-2.4	100	0.5121003 ± 0.0000069		1.141849 ± 0.000018		0.3484139 ± 0.0000037		0.5121137
MEAN			0.5121003 ± 0.0000104	SD	1.141846 ± 0.000031	SD	0.3484038 ± 0.0000089	SD	0.5121127

JNdi-1 (Split 1/Position 14), 2SE : 2sigma of standard error; SD: standard deviation.

Table 3 Multiple analyses of Nd isotpic ratio for LaJolla using MAT262

		La Jolla					
	Date	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	2SE	$^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	2SE	$^{145}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	2SE
1	94.6.15	0.5118466 ± 0.0000065		1.141839 ± 0.000018		0.3483891 ± 0.0000038	
2	94.6.15	0.5118537 ± 0.0000067		1.141872 ± 0.000018		0.3484005 ± 0.0000038	
3	94.6.15	0.5118604 ± 0.0000054		1.141936 ± 0.000014		0.3483964 ± 0.0000039	
4	94.6.15	0.5118521 ± 0.0000058		1.141887 ± 0.000015		0.3483946 ± 0.0000037	
5	94.6.15	0.5118469 ± 0.0000074		1.141862 ± 0.000019		0.3484108 ± 0.0000044	
6	94.6.15	0.5118606 ± 0.0000065		1.141855 ± 0.000018		0.3484047 ± 0.0000036	
7	94.6.15	0.5118510 ± 0.0000052		1.141829 ± 0.000017		0.3483979 ± 0.0000043	
8	94.6.15	0.5118381 ± 0.0000068		1.141824 ± 0.000018		0.3484010 ± 0.0000037	
9	94.6.15	0.5118546 ± 0.0000057		1.141855 ± 0.000017		0.3483923 ± 0.0000043	
10	94.6.15	0.5118554 ± 0.0000070		1.141909 ± 0.000017		0.3483983 ± 0.0000046	
11	94.7.29	0.5118410 ± 0.0000078		1.141843 ± 0.000018		0.3484087 ± 0.0000066	
12	94.7.29	0.5118533 ± 0.0000060		1.141849 ± 0.000014		0.3483929 ± 0.0000039	
13	94.7.29	0.5118468 ± 0.0000080		1.141867 ± 0.000019		0.3483909 ± 0.0000042	
14	94.8.2	0.5118419 ± 0.0000055		1.141826 ± 0.000016		0.3483990 ± 0.0000034	
15	94.8.2	0.5118321 ± 0.0000062		1.141773 ± 0.000016		0.3483997 ± 0.0000041	
16	94.8.2	0.5118460 ± 0.0000062		1.141839 ± 0.000016		0.3484015 ± 0.0000043	
17	94.8.2	0.5118584 ± 0.0000077		1.141888 ± 0.000022		0.3483986 ± 0.0000043	
18	94.8.2	0.5118528 ± 0.0000076		1.141886 ± 0.000019		0.3483930 ± 0.0000042	
19	94.8.2	0.5118417 ± 0.0000061		1.141856 ± 0.000017		0.3483953 ± 0.0000038	
20	94.8.3	0.5118329 ± 0.0000061		1.141821 ± 0.000016		0.3483909 ± 0.0000046	
21	94.8.3	0.5118443 ± 0.0000081		1.141857 ± 0.000020		0.3484058 ± 0.0000048	
22	94.8.3	0.5118458 ± 0.0000070		1.141857 ± 0.000019		0.3483999 ± 0.0000040	
23	94.8.3	0.5118447 ± 0.0000068		1.141829 ± 0.000019		0.3483975 ± 0.0000038	
24	94.8.4	0.5118390 ± 0.0000076		1.141822 ± 0.000019		0.3483909 ± 0.0000042	
25	94.8.4	0.5118553 ± 0.0000081		1.141851 ± 0.000023		0.3484014 ± 0.0000044	
26	94.8.5	0.5118622 ± 0.0000082	max	1.141882 ± 0.000020		0.3483953 ± 0.0000047	
27	94.8.5	0.5118298 ± 0.0000097		1.141760 ± 0.000036	min	0.3483918 ± 0.0000050	
28	94.8.5	0.5118598 ± 0.0000072		1.141890 ± 0.000026		0.3483939 ± 0.0000040	
29	94.8.5	0.5118438 ± 0.0000074		1.141873 ± 0.000019		0.3483801 ± 0.0000048	
30	94.8.5	0.5118490 ± 0.0000071		1.141834 ± 0.000018		0.3483930 ± 0.0000050	
31	94.8.6	0.5118461 ± 0.0000091		1.141868 ± 0.000022		0.3484088 ± 0.0000056	
32	94.8.6	0.5118339 ± 0.0000077		1.141829 ± 0.000021		0.3483932 ± 0.0000047	
33	94.8.6	0.5118503 ± 0.0000086		1.141847 ± 0.000022		0.3483932 ± 0.0000044	
34	94.8.6	0.5118540 ± 0.0000070		1.141869 ± 0.000021		0.3483946 ± 0.0000046	
35	94.8.6	0.5118525 ± 0.0000050		1.141929 ± 0.000014		0.3483938 ± 0.0000034	
36	94.8.9	0.5118498 ± 0.0000067		1.141852 ± 0.000018		0.3484024 ± 0.0000045	
37	94.8.9	0.5118436 ± 0.0000080		1.141856 ± 0.000022		0.3483807 ± 0.0000062	min
38	94.8.9	0.5118419 ± 0.0000085		1.141864 ± 0.000020		0.3484011 ± 0.0000051	
39	95.4.13	0.5118488 ± 0.0000060		1.141843 ± 0.000018		0.3484139 ± 0.0000040	
40	95.6.15	0.5118305 ± 0.0000056		1.141825 ± 0.000019		0.3484010 ± 0.0000029	
41	95.6.19	0.5118440 ± 0.0000080		1.141852 ± 0.000025		0.3483954 ± 0.0000048	
42	95.6.19	0.5118507 ± 0.0000069		1.141889 ± 0.000020		0.3484156 ± 0.0000039	max
43	95.6.22	0.5118457 ± 0.0000055		1.141859 ± 0.000011		0.3484112 ± 0.0000028	
44	95.6.22	0.5118613 ± 0.0000062		1.141937 ± 0.000015	max	0.3484039 ± 0.0000036	
45	95.6.23	0.5118539 ± 0.0000077		1.141856 ± 0.000020		0.3483912 ± 0.0000062	

Table 3 (continued)

				La Jolla			
Date	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	2SE		¹⁴² Nd/ ¹⁴⁴ Nd	2SE	¹⁴⁵ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	2SE
46	95.6.26	0.5118573 ± 0.0000084		1.141861 ± 0.000021		0.3484056 ± 0.0000051	
47	95.7.4	0.5118486 ± 0.0000063		1.141843 ± 0.000016		0.3483992 ± 0.0000035	
48	95.7.5	0.5118495 ± 0.0000061		1.141845 ± 0.000015		0.3484126 ± 0.0000045	
49	95.7.15	0.5118493 ± 0.0000096		1.141848 ± 0.000013		0.3484140 ± 0.0000061	
50	95.7.17	0.5118282 ± 0.0000084	min	1.141816 ± 0.000024		0.3483996 ± 0.0000039	
51	95.7.18	0.5118495 ± 0.0000095		1.141873 ± 0.000034		0.3484069 ± 0.0000063	
52	95.10.20	0.5118567 ± 0.0000071		1.141862 ± 0.000019		0.3483889 ± 0.0000034	
53	95.10.23	0.5118604 ± 0.0000065		1.141873 ± 0.000022		0.3484048 ± 0.0000047	
54	96.12.12	0.5118446 ± 0.0000080		1.141868 ± 0.000022		0.3484033 ± 0.0000044	
55	95.12.15	0.5118571 ± 0.0000078		1.141870 ± 0.000020		0.3483930 ± 0.0000031	
56	96.1.4	0.5118399 ± 0.0000076		1.141823 ± 0.000037		0.3484021 ± 0.0000044	
57	96.4.21	0.5118304 ± 0.0000086		1.141799 ± 0.000025		0.3484065 ± 0.0000053	
58	96.4.21	0.5118430 ± 0.0000087		1.141820 ± 0.000034		0.3484000 ± 0.0000057	
59	96.4.21	0.5118553 ± 0.0000073		1.141895 ± 0.000021		0.3483981 ± 0.0000046	
60	96.4.21	0.5118538 ± 0.0000078		1.141913 ± 0.000026		0.3483960 ± 0.0000052	
61	96.4.21	0.5118482 ± 0.0000079		1.141886 ± 0.000019		0.3483998 ± 0.0000054	
62	96.4.22	0.5118506 ± 0.0000094		1.141781 ± 0.000029		0.3484010 ± 0.0000048	
63	96.4.23	0.5118554 ± 0.0000089		1.141886 ± 0.000022		0.3484071 ± 0.0000055	
64	96.4.23	0.5118434 ± 0.0000077		1.141824 ± 0.000020		0.3483953 ± 0.0000054	
65	96.4.23	0.5118435 ± 0.0000069		1.141869 ± 0.000020		0.3483945 ± 0.0000046	
66	96.4.23	0.5118411 ± 0.0000088		1.141836 ± 0.000025		0.3483985 ± 0.0000048	
67	96.4.23	0.5118450 ± 0.0000073		1.141786 ± 0.000024		0.3483973 ± 0.0000048	
68	96.4.25	0.5118378 ± 0.0000088		1.141821 ± 0.000022		0.3484112 ± 0.0000061	
69	96.4.27	0.5118413 ± 0.0000084		1.141862 ± 0.000025		0.3484002 ± 0.0000054	
70	96.4.28	0.5118446 ± 0.0000092		1.141848 ± 0.000018		0.3484037 ± 0.0000042	
MEAN		0.5118475 ± 0.0000082	SD	1.141854 ± 0.000034	SD	0.3483992 ± 0.0000073	SD

2SE : 2sigma of standard error; SD: standard deviation. LaJolla was supplied from Prof. Lugmair, UC San Diego.

Table 4 Published Nd isotopic data of La Jolla standard among the different laboratories

La Jolla	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	2SD	N	location	reference
<i>Japan</i>	0.51183 ± 0.00002†		1	GSJ	Tanaka et al. (1987)
	0.511852 ± 0.000012		6	Tokyo	Terakado et al. (1988)
	0.511849 ± 0.000010*		12	Finigan MAT	Okano et al. (1989)
	0.511859 ± 0.000010		4	Tokyo	Takahashi and Matsuda (1990)
	0.511864 ± 0.000024*		18	Tsukuba	Arakawa (1992)
	0.511848 ± 0.000024†		?	GSJ	Togashi et al. (1992)
	0.511847 ± 0.000031*		8	ISEI (PML)	Makishima et al. (1993)
	0.511848 ± 0.000002		3	Shimane	Iizumi et al. (1995)
	0.511843 ± 0.000006		10	Nagoya	Tanaka et al. (1996)
	0.511829 ± 0.000048		7	Akita	Yamamoto and Maruyama (1996)
	0.511848 ± 0.000016		73	Hokkaido	This study
<i>Foreign countries **</i>	0.511858 ± 0.000023		58	Tusco	Patchett and Ruiz (1987)
	0.511873 ± 0.000021		17	ANU	McDonough and McCulloch (1987)
	0.511848 ± 0.000030		14	Mainz	Voshage et al. (1988)
	0.511865 ± 0.000018		30	DTM	Walker et al. (1988)
	0.511860 ± 0.000020		?	Carleton	Paces and Bell (1989)
	0.511859 ± 0.000011		8	Zurich	Stille et al. (1989)
	0.511855 ± 0.000034		18	Michigan	Halliday et al. (1989)
	0.511858 ± 0.000018		9	ROM	Noble et al. (1989)
	0.511842 ± 0.000019		37	BGS	Hole (1990)
	0.511850 ± 0.000020		7	Santa Barbara	Cousens et al. (1990)
	0.511856 ± 0.000007		24	Wisconsin	Thirlwall (1991)

Errors are 2 standard deviation (2SD); †: 2 sigma of standard error (2SE); *: 2SD recalculated from 2SE quoted

** Compiled by Thirlwall (1991); N : number of analyses

付録：HHS-1 と SRM 987 の測定結果

長期間の測定に十分な LaJolla の入手が困難なため、北海道大学理学研究科地球惑星科学教室においても Nd 同位体比測定用のインハウス・スタンダード；HHS-1 (Hokudai in-House Standard 1) を作成し、1995 年 6 月 16 日からその測定を開始した。同インハウス・スタンダードとして純度 99.99% の Aldrich Chemical Co. の Nd_2O_3 (Lot No. 06401EY) を用い、これを Merck 社製の 65% 硝酸 (suprapur[®]) を超純水 (本文の脚注 1 を参照) で 2.5 N に希釈した硝酸水溶液に溶解し、Nd 濃度が 450 ppm になるように調製した。測定方法は JNdi-1 の際と同様である。

Table A1 に HHS-1 の分析結果を示す。1995 年 6 月 16 日から 1996 年 7 月 27 日の期間における 30 回の平均は $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.5115465 \pm 0.0000093$ (SD), $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 1.141849 \pm 0.000042$ (SD), $^{145}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.3484052 \pm 0.0000107$ (SD) であった。同測定期間中における LaJolla と Ames の平均値は、LaJolla ($n = 30$): $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.5118477 \pm 0.0000080$ (SD), $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 1.141853 \pm 0.000035$ (SD), $^{145}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.3484019 \pm 0.0000068$ (SD), Ames ($n = 4$): $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.5121405 \pm 0.0000075$ (SD), $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 1.141890 \pm 0.000019$ (SD), $^{145}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.3484049 \pm 0.0000022$ であった。なお、Lugmair 教授の推奨する LaJolla の値 ($^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.511858$) に規格化した HHS-1 の $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比は 0.511557 である。

SRM 987 の Sr 同位体比の測定には前述した表面電離型質量分析計 Finigan MAT262 を用い、スタティック・モードで行った。加速電圧は 10 kV で、Sr は Ta-Re ダブルフィラメントを用いてイオン化 (Sr^+) した。得られた $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0.1194$ で規格化した。測定は^{注1} 1 ブロック 10 スキャンで計 10 ブロック (100 スキャン) 行い、その平均値および測定誤差 (2SE: 2σ of standard error) を測定値とした。測定の際の ^{86}Sr のシグナルは 0.4–0.6 V であり、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比の測定誤差は ± 0.000007 (2SE) から ± 0.000013 (2SE) であり、内部精度 [$2\text{SE}/\text{測定値} \times 100 (\%)$] は 0.00098% から 0.00169% であった。また、測定中の ^{85}Rb のシグナルは < 0.1 mV であった。

Table A2 に SRM 987 (NIST) の分析結果を示す。1994 年 6 月 16 日から 1996 年 5 月 9 日の期間における 63 回の平均値は $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.710255 \pm 0.000014$ (SD), $^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.056488 \pm 0.000009$ (SD) であった。Table A3 に国内外の複数の研究機関により報告された SRM 987 の分析値をまとめた。国内における SRM 987 の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比の範囲は 0.710203–0.710275, 国外では 0.710197–0.710280 であり、今回得られた SRM 987 の平均値は国内外ともその範囲内にある。また、同平均値は、国内では Kagami et al. (1989) の分析値に、国外では Patchett and Ruiz (1987) の分析値に極めてよく一致している。

引用文献

- Arakawa, Y., Murakami, H., Kimata, H. and Shimoda, S. (1992) Strontium isotope compositions of anorthite and olivine phenocrysts in basaltic lavas and scorias of Miyake-jima volcano, Japan. *J. Mineral. Petrol. Econ. Geol.*, **87**, 226–239.
- Asahara, Y., Tanaka, T., Kamioka, H. and Nishimura, A. (1996) Asian continental nature of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios in north central Pacific sediments. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **105**, 105–116.
- 藤巻宏和・王成玉・青木謙一郎・加藤祐三 (1992) 北部北上山地の階上深成岩体の Rb-Sr 年代. 岩鉱, **87**, 187–196.

^{注1} Sr 同位体比測定の場合、1 スキャンの測定時間は 16 秒で、ベースラインの測定は質量数 88.5 において 16 秒間 (ブランクは 10 秒) である。

- Halliday, A. N., Mahood, G. A., Holden, P., Metz, J. M., Dempster, T. J. and Davidson, J. P. (1989) Evidence for long residence times of rhyolitic magma in the Long Valley magmatic system: the isotopic record in pre-caldera lavas of Glass Mountain. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **94**, 274-290.
- Hole, M. J. (1990) Geochemical evolution of Pliocene-Recent post-subduction alkalic basalts from Seal Nunataks, Antarctic Peninsula. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **40**, 149-167.
- Iizumi, S., Maehara, K., Morris, P. A. and Sawada, Y. (1994) Sr isotope data of GSJ rock reference samples. *Mem. Fac. Sci. Shimane Univ.*, **28**, 83-86.
- Johnson, C. M., Lipman, P. W. and Czamanske, G. K. (1990) H, O, Sr, Nd and Pb isotope geochemistry of the Latir volcanic field and cogenetic intrusions New Mexico, and relations between evolution of a continental magmatic center and modifications of the lithosphere. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **104**, 99-124.
- Kagami, H., Yokose, H. and Honma, H. (1989) $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ratios of GSJ rock reference samples; JB-1a, JA-1 and JG-1a. *Geochem. J.*, **23**, 209-214.
- Makishima, A., Ishikawa, T., Shibata, T., Yoshikawa, M. and Nakamura, E. (1993) Improvement of mass spectrometer performance for Sr, Nd, Ce and Pb isotope analyses by modification of preamplifiers. *Technical Report of ISEI, Okayama Univ. Ser. B*, **11**, 18 p.
- McDonough, W. F. and McCulloch, M. T. (1987) The southeast Australian lithospheric mantle: isotopic and geochemical constraints on its growth and evolution. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **86**, 327-340.
- 野津憲治・平尾良光 (1990) 自動制御マルチコレクター質量分析装置によるストロンチウム同位体比の迅速精密定量. 保存科学, **29**, 51-59.
- 岡野 修・金沢延行・土佐礼子・松本 普 (1989) 可変式マルチコレクター表面電離型質量分析計 MAT262 による同位体比測定システムと標準岩石試料の測定例. 1989 年日本地球化学会年会要旨, 268.
- Paces, J. B. and Bell, K. (1989) Non-depleted sub-continental mantle beneath the Superior Province of the Canadian Shield: Nd-Sr isotopic and trace element evidence from Midcontinent Rift basalts. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **53**, 2023-2035.
- Patchett, P. J. and Ruiz, J. (1987) Nd isotopic ages of crust formation and metamorphism in the Precambrian of eastern and southern Mexico. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **96**, 523-528.
- Terakado, Y., Shimizu, H. and Masuda, A. (1988) Nd and Sr isotopic variations in acidic rocks formed under a peculiar tectonic environment in Miocene Southwest Japan. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **99**, 1-10.
- Thirlwall, M. F. (1991) Long-term reproducibility of multicollector Sr and Nd isotope ratio analysis. *Chem. Geol.*, **94**, 85-104.
- 山元正継・丸山孝彦 (1996) MAT261 による Sr, Nd 同位体比の測定と Rb, Sr の定量. 秋田大学鉱山学部資源地学研究施設報告, **61**, 17-30.
- Walker, R. J., Shirey, S. B. and Stecher, O. (1988) Comparative Re-Os, Sm-Nd and Rb-Sr isotope and trace element systematics for Archaean komatiite flows from Munro Township, Abitibi Belt, Ontario. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **87**, 1-12.

Table A1 Replicate analyses of Nd isotopic ratio for HHS-1.

HHS-1						
Date	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	2SE	$^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	2SE	$^{145}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	2SE
1	95.6.16	0.5115531 ± 0.0000051	1.141884 ± 0.000014		0.3483959 ± 0.0000037	
2	95.6.18	0.5115408 ± 0.0000056	1.141843 ± 0.000014		0.3484000 ± 0.0000035	
3	95.6.20	0.5115560 ± 0.0000073	1.141835 ± 0.000018		0.3484156 ± 0.0000040	
4	95.6.21	0.5115446 ± 0.0000061	1.141752 ± 0.000017		0.3484058 ± 0.0000039	
5	95.6.23	0.5115525 ± 0.0000063	1.141901 ± 0.000013		0.3484088 ± 0.0000038	
6	95.6.26	0.5115559 ± 0.0000074	1.141861 ± 0.000021		0.3484056 ± 0.0000051	
7	95.6.27	0.5115511 ± 0.0000077	1.141815 ± 0.000022		0.3484139 ± 0.0000049	
8	95.7.5	0.5115318 ± 0.0000059	1.141777 ± 0.000022		0.3484223 ± 0.0000038	
9	95.7.5	0.5115547 ± 0.0000071	1.141855 ± 0.000015		0.3483931 ± 0.0000056	
10	95.7.5	0.5115427 ± 0.0000061	1.141847 ± 0.000017		0.3484058 ± 0.0000040	
11	95.7.15	0.5115450 ± 0.0000056	1.141855 ± 0.000017		0.3484071 ± 0.0000035	
12	95.7.15	0.5115446 ± 0.0000102	1.141855 ± 0.000023		0.3484029 ± 0.0000051	
13	95.7.15	0.5115454 ± 0.0000068	1.141841 ± 0.000019		0.3484230 ± 0.0000044	
14	95.7.15	0.5115437 ± 0.0000074	1.141858 ± 0.000018		0.3484077 ± 0.0000044	
15	95.7.17	0.5115528 ± 0.0000071	1.141847 ± 0.000020		0.3484094 ± 0.0000039	
16	95.7.18	0.5115344 ± 0.0000070	1.141825 ± 0.000021		0.3484086 ± 0.0000046	
17	95.7.18	0.5115326 ± 0.0000079	1.141811 ± 0.000020		0.3483926 ± 0.0000053	
18	95.10.20	0.5115502 ± 0.0000071	1.141856 ± 0.000017		0.3484113 ± 0.0000037	
19	95.10.21	0.5115538 ± 0.0000057	1.141877 ± 0.000016		0.3484075 ± 0.0000036	
20	95.12.12	0.5115585 ± 0.0000047	1.141895 ± 0.000013		0.3483995 ± 0.0000029	
21	95.12.13	0.5115262 ± 0.0000050	1.141751 ± 0.000014		0.3483674 ± 0.0000028	
22	96.1.7	0.5115541 ± 0.0000079	1.141848 ± 0.000023		0.3483945 ± 0.0000050	
23	96.2.2	0.5115513 ± 0.0000078	1.141921 ± 0.000021		0.3484207 ± 0.0000047	
24	96.4.19	0.5115440 ± 0.0000075	1.141866 ± 0.000022		0.3484035 ± 0.0000048	
25	96.4.22	0.5115422 ± 0.0000080	1.141866 ± 0.000018		0.3484149 ± 0.0000046	
26	96.4.25	0.5115551 ± 0.0000061	1.141834 ± 0.000020		0.3484063 ± 0.0000042	
27	96.4.27	0.5115280 ± 0.0000074	1.141807 ± 0.000020		0.3484100 ± 0.0000047	
28	96.4.28	0.5115617 ± 0.0000077	1.141897 ± 0.000022		0.3484014 ± 0.0000044	
29	96.6.24	0.5115515 ± 0.0000057	1.141920 ± 0.000016		0.3484030 ± 0.0000037	
30	96.7.27	0.5115372 ± 0.0000089	1.141881 ± 0.000024		0.3483987 ± 0.0000046	
MEAN		0.5115465 ± 0.0000093	1.141849 ± 0.000042		0.3484052 ± 0.0000107	

HHS-1 : Hokudai in-House Standard for Nd isotopic ratio No. 1 (Aldrich Neodymium Oxide 99.99%, Lot No. 06401EY).

The error of means are shown in a standard deviation.

Table A2 Multiple analyses of Sr isotopic ratio for SRM987(NIST) using MAT262

		SRM 987					
	Date	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	2SE	$^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	2SE		
1	94.6.16	0.710252	± 0.000009	0.056474	± 0.000005		
2	94.6.21	0.710233	± 0.000009	0.056489	± 0.000009		
3		0.710240	± 0.000011	0.056487	± 0.000007		
4		0.710267	± 0.000009	0.056486	± 0.000005		
5		0.710240	± 0.000009	0.056490	± 0.000006		
6		0.710247	± 0.000008	0.056498	± 0.000007		
7		0.710255	± 0.000010	0.056489	± 0.000006		
8		0.710245	± 0.000010	0.056483	± 0.000007		
9		0.710244	± 0.000010	0.056488	± 0.000005		
10		0.710257	± 0.000008	0.056500	± 0.000006		
11		0.710248	± 0.000009	0.056476	± 0.000005		
12	94.7.5	0.710252	± 0.000010	0.056489	± 0.000006		
13		0.710280	± 0.000010	0.056478	± 0.000006		
14	94.8.10	0.710246	± 0.000010	0.056487	± 0.000006		
15		0.710262	± 0.000009	0.056492	± 0.000004		
16		0.710249	± 0.000009	0.056489	± 0.000005		
17		0.710262	± 0.000012	0.056479	± 0.000005		
18		0.710249	± 0.000010	0.056494	± 0.000006		
19		0.710239	± 0.000008	0.056488	± 0.000008		
20		0.710242	± 0.000010	0.056490	± 0.000006		
21	94.8.11	0.710251	± 0.000009	0.056493	± 0.000004		
22		0.710278	± 0.000008	0.056480	± 0.000005		
23		0.710234	± 0.000009	0.056494	± 0.000004		
24		0.710289	± 0.000010	max	0.056484	± 0.000006	
25		0.710255	± 0.000009		0.056485	± 0.000004	
26		0.710240	± 0.000013		0.056487	± 0.000008	
27		0.710255	± 0.000007		0.056485	± 0.000004	
28		0.710255	± 0.000010		0.056495	± 0.000006	
29		0.710254	± 0.000008		0.056496	± 0.000006	
30	95.4.15	0.710252	± 0.000010		0.056487	± 0.000006	
31	95.5.17	0.710239	± 0.000012		0.056486	± 0.000006	
32		0.710231	± 0.000009		0.056498	± 0.000004	
33	95.6.13	0.710268	± 0.000013		0.056472	± 0.000007	
34		0.710248	± 0.000007		0.056481	± 0.000005	
35		0.710228	± 0.000012	min	0.056465	± 0.000007	min
36		0.710271	± 0.000009		0.056485	± 0.000005	
37	95.6.15	0.710263	± 0.000008		0.056488	± 0.000005	
38		0.710266	± 0.000010		0.056479	± 0.000006	
39		0.710270	± 0.000011		0.056485	± 0.000007	
40		0.710266	± 0.000008		0.056500	± 0.000005	
41	95.6.27	0.710285	± 0.000010		0.056472	± 0.000006	
41		0.710277	± 0.000009		0.056485	± 0.000005	
42		0.710247	± 0.000011		0.056515	± 0.000007	max
43		0.710252	± 0.000010		0.056496	± 0.000007	
44		0.710263	± 0.000010		0.056494	± 0.000007	

Table A2 (continued)

	Date	SRM 987		$^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	2SE
		$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	2SE		
45		0.710250 ± 0.000009		0.056489 ± 0.000005	
46	95.8.1	0.710256 ± 0.000010		0.056484 ± 0.000005	
47		0.710252 ± 0.000012		0.056492 ± 0.000007	
48	95.9.5	0.710268 ± 0.000007		0.056499 ± 0.000005	
49	95.9.6	0.710246 ± 0.000010		0.056500 ± 0.000005	
50	95.9.20	0.710278 ± 0.000012		0.056494 ± 0.000009	
51		0.710270 ± 0.000009		0.056492 ± 0.000005	
52	95.9.23	0.710257 ± 0.000010		0.056471 ± 0.000006	
53		0.710266 ± 0.000011		0.056469 ± 0.000006	
54	95.10.16	0.710270 ± 0.000011		0.056493 ± 0.000006	
55		0.710236 ± 0.000008		0.056495 ± 0.000006	
56	95.10.18	0.710256 ± 0.000011		0.056478 ± 0.000006	
57	95.10.24	0.710276 ± 0.000012		0.056503 ± 0.000008	
58	95.12.13	0.710259 ± 0.000009		0.056492 ± 0.000006	
59	96.1.4	0.710241 ± 0.000011		0.056483 ± 0.000007	
60	96.4.28	0.710245 ± 0.000010		0.056506 ± 0.000006	
61	96.4.29	0.710237 ± 0.000011		0.056503 ± 0.000008	
62	96.5.1	0.710260 ± 0.000013		0.056490 ± 0.000008	
63	96.5.9	0.710270 ± 0.000009		0.056491 ± 0.000006	
MEAN		0.710255 ± 0.000014	(SD)	0.056488 ± 0.000009	(SD)

2SE: 2 sigma of standard error; SD: standard deviation

Table A3 Published Sr isotopic data of SRM 987 among different laboratories

SRM 987	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	2SD	N	location	reference
<i>Japan</i>	0.710240	± 0.000040	6	Tokyo	Terakado et al. (1988)
	0.710252	± 0.000014	14	ISEI	Kagami et al. (1989)
	0.71024	± 0.00003*	10	Finigan MAT	Okano et al. (1989)
	0.710244	± 0.000028	4	Tokyo	Notsu and Hirao (1990)
	0.710237	± 0.000039*	15	Tsukuba	Arakawa et al. (1992)
	0.710227	± 0.000010	7	Tohoku	Fujimaki et al. (1992)
	0.710203	± 0.000021	9	ISEI (PML)	Makishima et al. (1993)
	0.710275	± 0.000007†	2	Shimane	Iizumi et al. (1994)
	0.710237	± 0.000033	92	GSJ	Asahara et al. (1996)
	0.710241	± 0.000044	139	Akita	Yamamoto and Maruyama (1996)
	0.710255	± 0.000028	63	Hokkaido	This study
<i>Foreign countries **</i>	0.710255	± 0.000032	65	Tusco	Patchett and Ruiz (1987)
	0.710197	± 0.000033	67	ANU	McDonough and McCulloch (1987)
	0.710280	± 0.000024	44	DTM	Walker et al. (1988)
	0.710230	± 0.000030	?	Carleton	Paces and Bell (1989)
	0.710242	± 0.000029	13	Michigan	Halliday et al. (1989)
	0.710235	± 0.000020	76	BGS	Hole (1990)
	0.710240	± 0.000070	50	Wisconsin	Johnson et al. (1990)
	0.710248	± 0.000023	427	RHBNC	Thirlwall (1991)

Errors are 2 standard deviation (2SD); †: 2 sigma of standard error (2SE); *: 2SD recalculated from 2SE quoted

** Compiled by Thirlwall (1991); N : number of analyses