タービダイトシーケンスの地球化学的研究による 古海洋環境推定： 千葉県房総半島安房層群安野層の例

鹿園直建* 岩井修平* 石原与四郎**
中野孝教*** 五十嵐智秋*

Paleoceanic Environment Deduced from Geochemistry of Turbidite-Sequence in Anno Formation, Awa Group, Boso Peninsula, Chiba Prefecture, Japan

Naotatsu SHIKAZONO*, Shuhei IWAI*, Yoshiro ISHIHARA**,
Takanori NAKANO*** and Chiaki IGARASHI*

Abstract

Geochemical and geological studies were performed on the turbidite sequence of Anno Formation, Awa Group, Boso Peninsula, Chiba Prefecture.

Based on the correlation of major, trace, and rare earth elements (REEs) contents with SiO₂ content, elements are divided into positive correlation group (K, Rb, Zr, Nb, Ba, Hf, Ta, Pb, Th, U) and negative correlation group (Ti, total-Fe, Mn, Mg, Ca, P, Sc, V, Co, Cu, Zn, Sr, Y). This is considered to have been caused by an increase in the acidic component derived from the island-arc during the sea level declining period, and an increase in the basic component from fore-arc basalt during the sea level rising period. An increase in the organic carbon content and a decrease in organic carbon isotopic composition ($\delta^{13}\text{C}$) are recognized during the sea level declining period. This is thought to have been caused by the increase in the biogenic productivity related to the upwelling of deep seawater and the settling of organic matter-clay mineral compounds.

⁸⁷Sr/⁸⁶Sr ratio and other geochemical data (REE pattern, La/Yb ratio) indicate that the hemipelagite is mostly composed of fore-arc basalt with variable amounts of carbonate and acidic component probably derived from the island-arc.

These geochemical variations with time are consistent with the variations of $\delta^{18}\text{O}$ of foraminiferal shell carbonate, the amount of turbidite sedimentation, and the hemipelagite thickness. Therefore, the geochemical data obtained by this study support the conclusion of Ishihara *et al.* (1997) who indicated that the temporal variation of turbidite in the Anno Formation is caused by the variations of seawater level.

* 慶應義塾大学理工学部応用化学科地球環境化学研究室

** 福岡大学理学部地球圏科学科

*** 大学共同利用機関法人人間文化研究機構総合地球環境研究所

* Department of Applied Chemistry (Earth's Environmental Geochemistry), Faculty of Science and Technology, Keio University

** Department of Earth System Science, Faculty of Science, Fukuoka University, Japan

*** Research Institute for Humanity and Nature, Interuniversity Research Institute, Ministry of Education, Culture, Sports, Science, and Technology

Key words : turbidite sequence, hemipelagite, geochemistry, Boso Peninsula, monsoon, paleoceanic environment, fore-arc, igneous activity, Anno Formation

キーワード : タービダイトシークエンス, 半遠洋性泥岩, 地球化学, 房総半島, モンスーン, 古海洋環境, 前弧, 火成活動, 安野層

I. はじめに

近年, タービダイト-半遠洋性泥岩互層に, 地球表層環境変動が記録されている可能性が指摘されている (増田ほか, 1989; Ito and Katsura, 1993; 石原ほか, 1997; 辻ほか, 1999; Pickering *et al.*, 1999)。例えば, 石原ほか (1997) は, タービダイト-半遠洋性泥岩互層中に挟み込まれるタービダイトの堆積量の変化は, 氷河性海水準変動の影響を受けると考えた。すなわち, 半遠洋性海域では, 海水準が低い時にはタービダイトの堆積は多くなり, 逆に海水準が高い時はタービダイトの堆積は少なくなると考えた。

タービダイトシークエンスに認められる周期性についての研究は, 古くから多くある (Dean and Anderson, 1967; Ricci-Lucchi, 1975; Rupke, 1977; Martini *et al.*, 1978; Shanmugan, 1980; Ghanbudo, 1980; Kasper *et al.*, 1987)。しかし, これらの研究では, 周期性を時系列として検討してはいない。半遠洋性泥岩層厚を便宜的に時間軸とする時系列でタービダイトの堆積量を検討した例としては, Kimura (1966) の三宝山・四万十累層群, Nishiwaki (1977), 滝川 (1985) の和泉層群, 増田ほか (1989) の上総層群と石原ほか (1997) の安房層群のタービダイトを用いた研究があげられる。いずれもタービダイト-半遠洋性泥岩互層から周期性を見出している。

本研究で対象とした層準の安野層は, タービダイト-半遠洋性泥岩互層により構成される。混濁流によってもたらされたタービダイトは非常に短時間で堆積したのに対し, 半遠洋性泥岩は極めてゆっくりと堆積すると考えられる。つまり, タービダイトシークエンスでは, 半遠洋性泥岩積算層厚を時間軸とすることができる。一般に, タービダイト-半遠洋性泥岩互層について, 挟まれる

タービダイトの堆積の周期または変動は, 氷河性海水準変動に影響を受けると考えられている (Posamentier and Vail, 1988)。つまり, 海水準が低い時にはタービダイトの堆積は多くなり, 逆に海水準が高い時はタービダイトの堆積は少なくなると考えられる。

海水準の低下は, 海岸と海底谷や陸棚縁辺部の距離を近くし, タービダイトの堆積物への碎屑物の大量の供給をもたらしたと考えられる (Posamentier and Vail, 1988; 辻ほか, 1999)。一方, 実際にタービダイトの堆積を引き起こすと考えられる地震の頻度や規模も, 長期間にわたって変動する可能性がある。しかしながら, これらとタービダイトの層厚や頻度の関係は, ランダム過程やフラクタル則である可能性が指摘されている (石原ほか, 1997; Hiscott *et al.*, 1992; Rothman *et al.*, 1994), また, 石原ほか (1997) は, この地域のタービダイトの堆積 (層厚, 層数) の変動の周期を数万年~10 万年と求めており, ここでは氷河性海水準変動をその原因と考える。

このように安野層などのタービダイト-半遠洋性泥岩互層に関する地質学的研究はいくつかなされ, これまでに重要な知見が得られているが, タービダイト-半遠洋性泥岩互層の地球化学的研究にもとづく古堆積環境についての推定が詳細になされた研究例は少ない。

そこで本研究では, タービダイトの堆積のリズムを半遠洋性泥岩層厚を時間軸とする時系列でとらえ, タービダイトの堆積と半遠洋性泥岩の主成分・微量・希土類元素組成, 構成鉱物組成, 同位体比の関係を比較・検討し, 古海洋環境を推測する。そして, 石原ほか (1997) により指摘されたタービダイトの堆積の変動期が, 氷河性海水準変動によるという考えについて, 本研究による半遠洋性堆積物の組成変動の解析をもとに評価を行う。

II. 地質概略

本研究対象地域は、千葉県房総半島に分布する中新統-鮮新統安房層群に属する安野層である

(図1)。安野層は、房総半島の西部の富津市から東部の勝浦市にかけ、ほぼ東西方向に分布する。層序的には、下位の清澄層を整合に覆い、上位は黒滝不整合を介して上総層群に覆われている

図1 研究地域の位置 (A), 地質図 (B), サンプルングポイント (B).
サンプルングルート
①三谷川, ②大鹿倉線, ③東山線, ④旅名線. Boso P.: 房総半島.

Fig. 1 Location (A) and geologic map (B) of study area and sampling points (B).
Sampling route,
①Sangaya River, ②Ooshikagura road, ③Higashiyama road, ④Tabina road.
Boso P.: Boso Peninsula.

*Datum planes of planktonic foraminifera (Ma) from Takahashi *et al.* (1996)
 **FT age (Ma) of tuff from Tokuhashi *et al.* (2000)

図 2 研究地域の堆積岩の層序の年代。

Fig. 2 Stratigraphic age of sedimentary rocks in study area.

(図 2)。安野層は 3 層準に砂勝ち互層を含むが、全体としては泥岩が優勢な泥勝ち互層である (中嶋, 1978)。砂泥互層中の泥岩層には多数の凝灰岩鍵層が挟まれていて、その凝灰岩鍵層を用いたタービダイト単層の追跡がなされている (徳橋・岩脇, 1975)。最大層厚は約 450 m であり、半島中央部で厚く、東西に泥勝ちで薄くなっている。安野層の年代データは少なく、絶対年代などの直接的な証拠に乏しい。徳橋ほか (2000) は、凝灰岩鍵層中のジルコンの年代を測定し、An49 が 3.9 ± 0.4 Ma, An73 が 3.7 ± 0.2 Ma とした。Oda (1977) は浮遊性有孔虫からおおよそ後期鮮新世前期の年代を約 3 Ma とした。Kimura (1974) は清澄層上部および安野層をギルバート逆磁極期に対比し、安野層内の 2 つの正磁極期をそれぞれ Nunivak Polarity Event および Event 'C1' and 'C2' に相当するとした。新妻 (1997) は安野層上部を赤道太平洋域の第 3 正磁極節に、安野層下部を第 4 逆磁極節上部に対比し、おおよそ後期鮮新世前後の年代であることを示した。Takahashi *et al.* (1996) は、安野層群の年代データをまとめた。

一方、本研究で検討を行った層準は、タービダイトを多く挟在し、その周期的な傾向が認められる An85 ~ An27 層準に相当する。清澄層および安野層のうち、タービダイトを多く挟在する層準の積算層厚は、石原ほか (1997) に基づくと約 200 m と見積もられ、堆積期間はおおよそ 3.6 ~ 5.2 Ma, すなわち、160 万年間と推定される。検討を行った区間はこのうちの上部の 55 m 程に相当し、半遠洋性泥岩の全体の積算層厚からみて、3.60 ~ 4.04 Ma, おおよそ 44 万年間であったと推測される。

III. 試料採取地点と岩石試料記載

本研究では、前章で述べた安野層のタービダイト-半遠洋性泥岩層互層のうち、半遠洋性泥岩を採取し、分析試料として用いた。

安野層の半遠洋性泥岩には、タービダイトや凝灰岩が挟まれ、単層は、ほとんどは 30 cm 以下の厚さである。半遠洋性泥岩のサンプリングは、生物擾乱などにより混在する可能性のある上位・下位のタービダイトや凝灰岩の粒子を避ける必要がある。そのため、上位・下位のこれらの層から十分に離れた単層のほぼ中央部で、直径 10 cm 程度の大きさのブロックとして採取し、露頭における風化部分を除去し、サンプリングを行った。

試料の採取は、凝灰岩鍵層 An85 から An27 までの層準で行った。この層準は安野層に見られる 3 回のタービダイト卓越層準を含む。削剥や断層による地層の欠如を避け、計 4 ルート (三川谷川、林道大鹿倉線、林道東山線、林道旅名線) で試料採取した (試料数 125) (図 1)。研究対象地域の模式柱状図を図 3 に示す。

岩石試料記載として、サンプル番号、採取したルート、凝灰岩鍵層 An85 を基準とした半遠洋性泥岩積算層厚、その層準の鍵層凝灰岩、粒度、色調、パミス (軽石) の有無を表 1 に示す。

IV. 分析手法・結果

1) 粉末試料の調整法

採取した試料は、まず、ハンマーにより岩石を豆粒程度に粗割した。この際、ハンマーの打撃面

図 3 研究地域の模式柱状図。
Ta Slump: 凝灰岩鍵層 An21 と An20 の間に挟まれる堆積性スランプで、広域的に分布する。

Fig. 3 Schematic columnar section of study area.
Ta Slump: Widely distributed sedimentary slump occurring between An21 and An20.

と岩石とが直接触れないように紙で包装して行った。その後、風化変質部分を除去し、めのう製 ($\text{SiO}_2 = 99.999\%$) 回転式ポットミルにより回転数 250 rpm で 10 分間粉碎した。粉碎試料を 24 時間、 110°C のドライオーブンで乾燥させ吸着水を除去し、めのう乳鉢で指先で摘んで粒感のない程度まで粉碎した。

2) XRD, EPMA, FE-SEM による構成鉱物同定, 化学組成分析

粉末試料は、X 線粉末回折分析装置 (XRD) (理学電機製, RAD-C) により構成鉱物の同定を行った。測定条件としては、対陰極 Cu-K α 線、管電圧 40 kV、管電流 50 mA、走査速度 $4^\circ/\text{min}$ で

行った。同定された構成鉱物は、石英、長石、炭酸塩鉱物 (方解石、ドロマイト)、黄鉄鉱、粘土鉱物 (スメクタイト、緑泥石、カオリナイト、イライト) であった。また、炭酸塩鉱物が極めて顕著に多い試料も認められた。本研究試料のイライトの結晶度 (English, 1999) が $0.2\text{--}0.4$ の範囲であるため、本研究試料のイライトは、続成作用 (結晶度 > 0.4)、及び強い変質作用 (結晶度 < 0.2) でできたものではないと考えられる。

試料中に含まれる構成鉱物の化学組成は、電子線マイクロプローブ分析装置 (EPMA) と電界放出形走査電子顕微鏡 (FE-SEM: Field Emission Scanning Electron Microscope) により分析を行った。構成鉱物の EPMA 分析は、JXA733 (日本電子製) にて、以下の条件で行った。加速電圧 15 kV、試料電流 $1.2 \times 10^{-8} \text{ amp}$ ・ペリクレス上)、標準試料: 珪灰石 (Ca, Si)、アルバイト (Na)、K-長石 (K)、 Al_2O_3 (Al)、ペリクレス (Mg)、 Fe_2O_3 (Fe)。補正は ZAF 法を用い、分析誤差は $\pm 1\text{wt.}\%$ 以内である。EPMA で分析した試料と同定された鉱物は次の通りである。

AN-20: スメクタイト、石英、長石、AN-21: 長石、スメクタイト、AN-27: 雲母、輝石、カンラン石、石英、クロライト、イライト、AN-84: スメクタイト、黄鉄鉱、長石、輝石、AN-97: カオリナイト、スメクタイト、長石

粉末試料を導電性テープを用いてステージ上に固定し、イオンスパッター (日立製作所製, E-1030) で Pt-Pd 合金を蒸着し、これを FE-SEM 用試料とした。この試料を、FE-SEM + EDX (日立製作所製, S-4700) にて測定した。測定条件は、測定時間 100 秒、パルス処理時間 P3、電子線入射角度 90.0° 、X 線取り出し角度 30.0° で行った。EPMA によって、XRD により同定された鉱物の他に、輝石、雲母、カンラン石が確認された。

FE-SEM + EDX で分析した試料と同定された鉱物は次の通りである。

AN-12: 長石、AN-13: 長石、AN-33: 長石、AN-53: 石英、AN-61: 石英

表 1 研究試料 (タービダイトシークエンス) の記載.

Table 1 Description of samples studied (turbidite sequence).

Sample No.	Route	C.T. (m)	K.T.	grain size	color	pumice size (mm)
AN-01	4	0.31	An85	m	D.G.	3
AN-02	4	0.51		m	D.G.	0.5
AN-03	4	0.81		m	D.G.	0.5
AN-04	4	0.89	An83	m ~ c	D.G.	0.5
AN-05	4	0.93		m ~ c	D.G.	5
AN-06	4	1.18		m ~ c	D.G.	5
AN-07	4	1.75		c	D.G.	5
AN-08	4	1.84		m ~ c	D.G.	3
AN-09	4	2.01		m ~ c	D.G.	1
AN-10	4	2.13	An80	m	D.G.	5
AN-11	4	2.36		m ~ c	D.G.	3
AN-12	4	2.54		m	D.G.	5
AN-13	4	2.60		m	D.G.	5
AN-14	4	3.78	An77	c	D.G.	1
AN-15	4	3.87		c	D.G.	1
AN-16	4	3.91		c	D.G.	5
AN-17	1	4.19	An75	c	D.G.	1
AN-18	1	4.29		c	D.G.	3
AN-19	1	4.49		f ~ m	D.G.	1
AN-20	1	4.55	An73	c	D.G.	5
AN-21	1	4.68		c	D.G.	5
AN-22	1	5.00		c	D.G.	3
AN-23	1	5.02	An71	c	D.G.	1
AN-24	1	5.10		c	D.G.	5
AN-25	1	5.58		c	D.G.	5
AN-26	1	5.82	An70	c	D.G.	3
AN-27	1	5.88	An69	c	D.G.	3
AN-28	1	6.08	An67, 68	c	D.G.	5
AN-29	1	6.21		c	D.G.	5
AN-30	1	6.48		c	D.G.	5
AN-31	1	8.55	An64, 65	c	D.G.	1
AN-32	1	8.63		c	D.G.	1
AN-33*	1	8.64		f	B	N.I.
AN-34	1	8.73		c	D.G.	3
AN-35	1	9.40	An63	c	D.G.	1
AN-36	1	9.44		c	D.G.	1
AN-37	3	9.96	An62	m	D.G.	3
AN-38	3	10.02		m	D.G.	1
AN-39	3	10.06		m	D.G.	1
AN-40	3	10.49		c	D.G.	5
AN-41	3	11.19	An58 ~ 60	c	D.G.	N.I.
Sample No.	Route	C.T. (m)	K.T.	grain size	color	pumice size (mm)
AN-42	3	11.48		c	D.G.	N.I.
AN-43	3	11.88		m	D.G.	N.I.
AN-44	3	12.03	An57	m	D.G.	N.I.
AN-45	3	12.68		m	D.G.	5
AN-46	3	13.11		m	D.G.	N.I.
AN-47	3	13.34	An56	m	D.G.	3
AN-48	3	13.44		m	D.G.	5
AN-49*	2	15.31	An55	c	B	N.I.
AN-50	2	15.37		m	D.G.	1
AN-51*	2	15.41	An53	c	B	N.I.
AN-53	2	17.57		m	D.G.	5
AN-54	2	17.75		m	D.G.	5
AN-55	2	17.83		m	D.G.	1
AN-56	2	17.94		m	D.G.	0.5
AN-57*	2	18.06		f	B	N.I.
AN-58*	1	19.42	An51	f	B	N.I.
AN-59	1	19.46		m	D.G.	1
AN-60	1	19.68	An50	m	D.G.	5
AN-61	2	20.50		m	D.G.	3
AN-62	2	20.66		m	D.G.	3
AN-63	2	20.87		m	D.G.	1
AN-64	2	21.31	An49	m	D.G.	1
AN-65*	2	21.46		f	B	N.I.
AN-66	2	21.60		m	D.G.	0.5
AN-67	2	21.79		m	D.G.	N.I.
AN-68	2	22.05		m	D.G.	N.I.
AN-69*	2	22.12		f	B	N.I.
AN-70	2	22.33		m	D.G.	N.I.
AN-71	2	22.65		m	D.G.	2
AN-72	2	22.89		m ~ vf	D.G.	1
AN-73*	2	23.14		m	D.G.	N.I.
AN-74	2	23.40		m	D.G.	0.5
AN-75	2	23.94		m	D.G.	3
AN-76	2	24.08		m	D.G.	N.I.
AN-77	2	24.17		m	D.G.	N.I.
AN-78	2	24.26		m ~ f	D.G.	N.I.
AN-79	2	24.28		m ~ c	D.G.	3
AN-80	2	24.58		m ~ c	D.G.	3
AN-81	1	26.09	An45	m	D.G.	0.5
AN-82	1	26.47		m	D.G.	0.5
AN-83	1	26.63		m	D.G.	0.5
Sample No.	Route	C.T. (m)	K.T.	grain size	color	pumice size (mm)
AN-84	1	27.27	An40	m	D.G.	0.5
AN-85	1	29.37		m	D.G.	1
AN-86	1	29.79		m	D.G.	0.5
AN-87	1	30.60		m	D.G.	0.5
AN-88	1	30.67		m	D.G.	2
AN-89	1	31.29		m	D.G.	2
AN-90	1	31.50	An37	c	D.G.	1
AN-91	1	31.69		m ~ c	D.G.	5
AN-92	1	32.27		c	D.G.	2
AN-93	1	32.46		c	D.G.	1
AN-94	1	32.72		c	D.G.	1
AN-95	1	33.76		c	D.G.	5
AN-96	1	34.03		c	D.G.	1
AN-97	1	34.45		c	D.G.	3
AN-98	1	35.22		c	D.G.	1
AN-99	1	35.31		c	D.G.	0.5
AN-100	1	37.43	An33, 34	c	D.G.	5
AN-101	1	38.54		c	D.G.	5
AN-102*	1	39.01		f	B	N.I.
AN-103	1	39.09		c	D.G.	1
AN-104	1	40.51	An31	c	D.G.	1
AN-105	1	40.71		f	B	N.I.
AN-106	1	40.86		m	D.G.	1
AN-107	1	41.36		m	D.G.	5
AN-108	1	41.40		m	D.G.	1
AN-109	1	41.46		f	B	N.I.
AN-110	1	41.54		m	D.G.	2
AN-111	1	42.01		m	D.G.	3
AN-112	1	42.06		m ~ f	B	N.I.
AN-113	1	42.61		m	D.G.	0.5
AN-114	1	42.79		m	D.G.	5
AN-115	1	43.53	An30	m	D.G.	1
AN-116	1	43.98		m	D.G.	1
AN-117	1	44.30		m	D.G.	5
AN-118	1	44.50		m	D.G.	1
AN-119	1	44.80		m	D.G.	N.I.
AN-120	1	47.64	An29, 28	f ~ vf	B	N.I.
AN-121	1	47.73		m	D.G.	3
AN-122	1	48.03		m	D.G.	1
AN-123	1	48.48		vf	B	N.I.
AN-124	1	48.55		f	B	N.I.
AN-125	1	48.63		m	D.G.	5

ルート: 1: 東山ルート, 2: 大鹿倉ルート, 3: 三谷山ルート, 4: 旅人ルート, C.T.: 積層厚, K.T.: 凝灰岩鍵層, *: 砂岩サイズ (タービダイトシークエンス中の代表的な砂岩の粒子サイズ), pumice size: 凝灰岩鍵層中の最大パミースサイズ, D.G.: 暗灰色, B: 茶色, c: 粗粒, m: 中粒, f: 細粒, vf: 微細粒, N.I.: not included (パミースが含まれていないという意味).

Route: 1: Higashiyama route, 2: Sangaya river route, 3: Tabinase route, C.T.: Cumulative thickness, K.T.: key tuff bed, *: sandstone size (representative grain size of sandstone in turbidite-sequence), pumice size: maximum size of pumice in key tuff bed, D.G.: dark gray, B: brown, c: coarse, m: medium, f: fine, vf: very fine, N.I.: not included (pumice is not included).

3) XRF による主成分元素定量分析

粉末試料の主成分元素組成 (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P) を、蛍光 X 線分析装置 (XRF) (理学電機製, RIX1000) により定量分析した。あらかじめマッフル炉中で空焼きして秤量しておいたルツボに粉末試料をとり、この粉末試料を入れたルツボを秤量した。粉末試料の入ったルツボを 900℃ のマッフル炉中で 24 時間強熱し、粉末試料中の揮発性成分 (S, C, H₂O (−)) を散逸させた。その後、デシケーター中で冷却し、これを再び秤量した。この時の粉末試料減量は、強熱減量 (LOI: Loss on ignition) として計算した。こうして得られた試料 0.4 g に対して、Li₂B₄O₇ (和光純薬株式会社製、純度 min. 99.0%) を 4.0 g 混合し、これを白金ルツボに入れ、ビードサンプラーで 1150℃, 7 分間溶解し、冷却させ、均質なガラスビードを得た。また、剥離剤として LiI (無水) を溶液中に少量添加した。作成したガラスビードの分析を XRF により行った。測定は、Cr 管球を用い、管電圧 50 kV, 管電流 50 mA で行った。分析条件の詳細は、後藤・巽 (1991) に従った。

4) ICP-MS による微量成分・希土類元素定量分析

粉末試料の微量元素組成 (Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ba, Hf, Ta, Pb, Th, U, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) は、誘導結合プラズマ質量分析装置 (ICP-MS) により定量分析した。粉末試料 100.0 mg を蓋付きテフロン容器内で、2 ml (HClO₄) + 2 ml (HCl/HNO₃ = 1:1) + 2 ml (HF) で混酸処理を施した (130℃, 24 時間)。混酸処理を施した試料は、蒸発乾固を行い、放冷後 5 ml (HNO₃) を添加した。ここで、溶け残りがあればもう一度混酸処理を繰り返した。これに内標準溶液として 10 ppm の In 溶液 0.20 g を添加し、Milli-Q 水により 100.0 g に定容したものを ICP-MS 用の分析溶液とした。作成した分析溶液は、産業技術総合研究所の ICP-MS 分析装置 (横川電気製, HP4500) により分析を行った。標準試料として Jk-1,

JSI-1, JSI-2 (産業技術総合研究所) を用いた。分析条件の詳細は、Imai (1990) に従った。

試料の主成分・微量・希土類元素組成を付録 1, 2, 3 に示す。

5) 全有機炭素・硫黄定量分析

粉末試料の全有機炭素含有量, 全硫黄含有量は、酸素気流中高周波加熱燃焼-赤外線吸収法による炭素/硫黄分析装置 (堀場製, EMIA-320V) により定量分析した。

粉末試料を 1NHCl 処理し炭酸塩鉱物として含まれる炭素を除去した。これをルツボに入れ、高周波誘導加熱炉中にて 2000℃ 以上で燃焼させ、CO, CO₂, SO₂ ガスを発生させ赤外線検出器にて検出した。標準試料としては、JSS152-11 (C; 0.26 wt%, S; 0.04 wt%) を使用し、助燃剤として W, Sn, Fe を添加した。これによって求められた炭素含有量及び硫黄含有量を、全有機炭素含有量 (TOC) 及び全硫黄含有量 (TS) とした。バルク試料の全有機炭素含有量と全硫黄含有量を表 2 に示す。

6) ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 同位体比分析

粉末試料のバルクの ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 同位体比分析を、質量分析計 (Finningan Mat 社製, MAT-262) で行った。粉末試料を 1 規定 HCl で処理し炭酸塩鉱物を除去した。処理後の試料 100.0 mg を蓋付きテフロン容器内で、2 ml (HClO₄) + 2 ml (HCl: NO₃ = 1:1) + 2 ml (HF) で混酸処理を施した (130℃, 24 時間)。混酸処理を施した試料は、蒸発乾固を行い、放冷後 1 ml の 1NHCl を添加した。この溶液をイオン交換カラムに流し、さらに適宜 HCl + HNO₃ を流すことにより Sr とそれ以外の元素に分離した。得られた Sr を測定用試料とした。標準試料としては、NBS987 を使用し、この ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 同位体比は 0.7102 であった。⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 同位体比分析の詳細は、Nakano *et al.* (1995) に従った。⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 同位体比組成の分析結果を表 2 に示す。

7) 炭素同位体 (δ¹³C) 分析

試料中の炭酸塩鉱物を除くために、試料を粉碎し約 1NHCl に浸し加温して一夜放置後、HCl を除くため蒸留水で洗浄し乾燥した。洗浄・粉碎し

表 2 全岩試料の全有機炭素（重量％），全硫黄（重量％）， $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比， $\delta^{13}\text{C}$ データ。

Table 2 TOC (wt. %), TS (wt. %), $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and $\delta^{13}\text{C}$ data on bulk rock sample.

Sample No.	TOC	TS	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\delta^{13}\text{C}$
AN-10	0.066	0.009	0.7047	-24.1
AN-13	0.049	0.036	0.7045	-
AN-14	0.155	0.126	0.7048	-23.2
AN-19	0.056	0.017	0.7052	-24.7
AN-22	0.027	0.040	0.7039	-
AN-26	0.067	0.013	0.7048	-23.7
AN-49	0.102	0.036	0.7063	-26.8
AN-58	0.297	0.111	0.7066	-27.3
AN-73	0.089	0.040	0.7068	-25.8
AN-87	0.268	0.460	0.7076	-24.0
AN-105	0.299	0.118	0.7071	-26.4
AN-120	0.092	0.021	0.7067	-24.3

た試料を白金ボードに正確に量り取り，真空系の燃焼装置に接続し，200℃で排気しながら約1時間脱気（乾燥）した。脱気後，燃焼系内に酸素（ O_2 ）を導入し，酸化銅（ CuO ）炉を800℃に加熱した後，燃焼炉の温度を950℃まで上げた。約15分間燃焼させ，燃焼ガスを CuO 炉を通して液体窒素で冷却したトラップに捕集した。トラップの液体窒素をすばやくn-ペンタンを液体窒素により冷却した寒剤に代え，気化して出てくる二酸化炭素（ CO_2 ）を液体窒素で冷却したトラップに捕集した。トラップを温め CO_2 を試料容器に移し，その CO_2 の同位体比を質量分析計（Finnigan MAT 社 delta S）により測定した。分析試料における誤差は， $\pm 0.1\%$ 以内であった。全岩試料の $\delta^{13}\text{C}$ を表2に示す。

V. 半遠洋性泥岩の起源物質

半遠洋性泥岩を構成する起源物質として，(1) 陸起源碎屑物，(2) 火成・熱水活動起源物質，(3) 生物生産起源物質，があげられる。

(1) は陸を構成する物質が，風成塵や河川水によって海水中に運ばれ，半遠洋性泥岩中に含まれる陸源碎屑物である。しかし，同じ陸源碎屑物であっても (i) 風成塵としてアジア大陸からも

たらされた大陸起源碎屑物と (ii) 日本列島からもたらされた島弧起源碎屑物とに区分できる。これを解析するために，まず， Al_2O_3 と SiO_2 の関係をみた（図4）。図4に，産業技術総合研究所の標準岩石試料である花コウ岩（JG-1, JG-1a, JG-2, JG-3），玄武岩（JB-1, JB-1a, JB-2, JB-3）組成もプロットした。これより，本研究試料の Al_2O_3 ， SiO_2 含有量は，玄武岩と花コウ岩の間に広く分布しているが，玄武岩組成に近いのことが多いといえる。

(2) は海底などの火成活動によりもたらされた火山碎屑物や，熱水と岩石が反応することによってもたらされたものである。特に，本研究対象地域は中新統にかけて，南方からフィリピン海プレート，東方から太平洋プレートがそれぞれ沈み込む北米プレートの南東縁部に当たり，伊豆・小笠原弧北部の火山活動は極めて活発であったことが知られている（斎藤ほか，1992；高橋，1998）。

(3) は，海洋表層の生物活動によりもたらされた物質である。主な生物として，珪藻と有孔虫が考えられる。珪藻は，オパール化により SiO_2 殻を生成させ，Pを同時に取り込むことも知られており，Si, P含有量が珪藻の生物活動の指標となる。

図 4 Al_2O_3 含有量- SiO_2 含有量図。
JG-1, JG-1a, JG-2, JG-3: 日本における花崗岩
の標準試料; JB-1, JB-1a, JB-2, JB-3: 日本にお
ける玄武岩の標準試料。

Fig. 4 Al_2O_3 content vs. SiO_2 content diagram.
JG-1, JG-1a, JG-2, JG-3: Standard sample of granit-
ic rock in Japan; JB-1, JB-1a, JB-2, JB-3: Standard
sample of basaltic rock in Japan.

以下では、本研究対象堆積岩に対する上記の
(1)-(3)の寄与についての考察を行う。

1) 陸源碎屑物

酸性-中性-塩基性岩の指標となる SiO_2 含有量
との相関から、分析した元素を以下の3種類の
元素群に分類する。

- (a) Si と正の良い相関の元素群: K, Rb, Zr,
Nb, Ba, Hf, Ta, Pb, Th, U
- (b) Si と負の良い相関の元素群: Ti, Fe, Mn,
Mg, Ca, P, Sc, V, Co, Cu, Zn, Sr,
Y
- (c) Si と明瞭な相関が認められない元素群:
Al, Na, Cr, Ni, Mo, REEs

元素群 (a) は酸性岩の性質を持ち、元素群 (b)
は塩基性岩の性質を持つことが考えられる。

このことは、一般的に酸性岩に比べて塩基性岩
の方が高いとされる Eu/Eu^* から確認できる。
なお、 Eu/Eu^* (Eu 異常) は、以下の式から算
出した。

$$\text{Eu}/\text{Eu}^* = (3\text{Eu}/\text{Eu}_{\text{NASC}}) / (2\text{Sm}/\text{Sm}_{\text{NASC}} + \text{Tb}/\text{Tb}_{\text{NASC}})$$

ここで、NASC は平均北アメリカ頁岩試料 (Gro-
met *et al.*, 1984) を表す。

Eu/Eu^* と正の良相関である元素群 (b) は塩
基性岩の性質を持ち、逆に負の良相関である元素
群 (a) は酸性岩の性質を持つことが確認される。

ところで、遠洋性堆積物の場合、 SiO_2 含有量
と Al_2O_3 含有量に負の相関があることはよく知ら
れている (例えば, Kimura *et al.*, 2004)。これは、
 SiO_2 は生物源シリカであり、 Al_2O_3 は碎屑物源
であることによる。本研究試料の場合、 SiO_2 含
有量と Al_2O_3 含有量には明瞭な負の関係はみられ
ない。 Al_2O_3 は生物源は考えられないので、 SiO_2
の多くが生物源でないことが予想される。また、
上で述べたように Si, Al などの元素の多くが酸
性岩や塩基性岩などが起源であるならば、 SiO_2
含有量と Al_2O_3 含有量にはやや負の関係が存在す
るだろう。実際に SiO_2 と Al_2O_3 の相関係数は
 -0.3 である。しかしながら、以上の議論から
は、 SiO_2 含有量の全てが非生物源であるとはい
えない。生物源 SiO_2 と非生物源 SiO_2 の比率が
問題となる。生物源シリカの割合 (%) は、全
 SiO_2 含有量 % (分析値) より、碎屑物 (長石など)
の SiO_2 含有量 % を引いて求めることができる。
そこで、生物源シリカ % = SiO_2 (%) - Al_2O_3 (%)
 $\times 4.2$ を用いて生物源シリカ % を求めた。なおこ
の式は、Al のすべてが碎屑物源であり、碎屑物
の Al_2O_3 含有量が 16 %、上式は、碎屑物中の
 SiO_2 含有量が 67 % という仮定をもとに導かれた
式である (Tada, 1991)。計算の値として $-15 \sim$
 8 が得られた。これより、生物源オパールはほと
んど含まれていないことが示唆される。

粘土鉱物組成からもこの傾向は確認される。第
四系日本海表層堆積物の鉱物学的研究 (井上・成
瀬, 1990) によると、粘土鉱物組成は、酸性岩起
源の粘土鉱物ではイライトが卓越するのに対し、
塩基性岩起源の粘土鉱物ではスメクタイトが卓越
する。K はイライトを構成する主要な元素であ
る。この他に、K は K-長石、白雲母に含まれて
いる。これらのイライト、K-長石、白雲母は全
て酸性岩に多いが、塩基性岩には含まれない。一
方、Ti は、磁鉄鉱、輝石など塩基性岩中に多い
鉱物に含まれている。以上より、酸性岩起源の物
質量の寄与が多いほど K/Ti 比は増加する傾向に

図 5 K/Ti 比と Eu/Eu* の関係.

Fig. 5 K/Ti ratio vs. Eu/Eu* diagram.

あると考えられる。この K/Ti 比と正の良相関である元素群 (a) は、酸性岩起源物質の寄与が多く、逆に負の良相関である元素群 (b) は塩基性岩起源物質の寄与が多いと考えられる。なお、イライト/スメクタイト比(粉末X線回折線ピーク)と K/Ti 比の関係を求めたところ、正の関係があることがわかった。

図 5 には、K/Ti 比、Eu/Eu* の関係を示す。これより K/Ti 比と Eu/Eu* は、明瞭な逆相関であることが認められる。

塩基性岩質物質の起源としては、前弧における玄武岩質火山岩が考えられ、他の起源は考えにくい。しかしながら、酸性岩質物質の起源としては、いくつか考えられる。それらとして、(1) 大陸からの風成塵、(2) 島弧の酸性岩、(3) 島弧の風化した岩石類、(4) 島弧から運搬される過程での粒度変化による SiO₂ の多い鉱物(石英、長石)の濃集があげられる。(2)、(3)、(4) は河川によって運ばれた島弧物質である。

以上の (1)~(4) の中でどの可能性が高いのかを決めるのは難しい。(1) については、鮮新世では、アジア大陸からの風成塵のフラックスは第四紀に比べてはるかに小さく (Rea *et al.*, 1998), 検討した層準の安野層の半遠洋性泥岩の平均堆積速度 (12.5 cm/1,000 年) に比べて一割

にも達しないであろう。後でも示すように、この酸性岩質物質の全体に比べての割合は、二割程度と考えられるので、この多くは大陸風成塵起源とはいえないであろう。

(2)、(3)、(4) の中でどれが最も可能性が高いのかを示すことは難しいが、鮮新世において、この地域近くで広く酸性岩が分布していたとも思えない。また、一般に低海水準期よりも高海水準期の方が風化が進み、より酸性的になると思われるので、(2)、(3) も考えにくい。したがって、(4) が考えやすいだろう。実際に、表 1 に示した砂岩試料の SiO₂ 含有量は、他の半遠洋性泥岩試料の SiO₂ 含有量よりも高い。すなわち、砂岩試料の SiO₂ 含有量 (wt.%) は、次の通りである。AN-33 : 64.5, AN-49 : 65.3, AN-51 : 65.3, AN-57 : 62.6, AN-58 : 67.0, AN-65 : 63.4, AN-69 : 66.0, AN-73 : 65.7, AN-102 : 66.3, AN-113 : 60.8。一方、半遠洋性泥岩の SiO₂ 含有量の多くは、55 ~ 60 (wt.%) の範囲に入る。

しかしながら、河川経由にしても、(1) 検討を行った層準を通じ、主たる供給源(河川)が大きく変化した証拠は今のところ認められていない、(2) 安野層の層準は、凝灰岩鍵層によって良く対比されており、半遠洋性泥岩層厚が東西に追跡されているが、顕著な堆積地形変化のなかった(石原・徳橋, 2005) 検討層準では、ほぼどの場所でも同一層厚であり、陸源物質は海洋中で十分拡散し、半深海へと降り積もってきた可能性が高いであろう。

起源物質をより明確に特定するためには、今後、当時の後背地の地質、風化、各試料の粒度の測定、これらと鉱物組成、化学組成、同位体組成との関係についてのより詳細な検討が必要である。

2) 火成・熱水活動

本研究対象地域は、前述したように伊豆・小笠原弧北部の火山活動が極めて活発であったことが知られている。例えば、高橋 (1998) は、房総半島の堆積岩における火山碎屑物の影響を調べ、玄武岩、安山岩の火山碎屑物の火成活動があったことを明らかにしている。

この玄武岩、安山岩の火山碎屑物の火成活動は、化学組成をもとに検討すると、塩基性岩質である島弧起源碎屑物と同様の組成を持つと考えられる。したがって、本研究では島弧起源碎屑物と火成活動によってもたらされた塩基性火山碎屑物起源を同種のものであるとして議論することにする。

また、鏡下観察や EPMA 分析による鉱物学的検討からは、元素群 (b) が卓越する試料に輝石やカンラン石などの塩基性岩に多い鉱物が認められ、塩基性火成活動の影響が確認された。また、帯磁率からもこのような傾向は認められる。一般に、火山碎屑物には多くの磁性鉱物(磁鉄鉱など)が含まれているため、帯磁率は大きくなる。

火成活動が盛んであったということは、同時に熱水活動も盛んであったことを示すと考えられるが、本研究地域においては熱水活動の影響は小さかったと考えられる。このことは、熱水の組成が元素群 (a) と (b) に区別されないことから推測される。特に、Mg は熱水にほとんど含まれていないことなどから推測される。

3) 生物生産性

ここでは、全有機炭素含有量 (TOC)、全硫黄含有量 (TS)、炭素同位体組成 ($\delta^{13}\text{C}$) をもとに、生物生産性についての議論を行う。

TOC と TS は、ほぼ正の相関関係にあり、両値とも同様に半遠洋性泥岩中の有機物量を示すことが考えられる。このことは、有機物により海成硫酸イオンが還元され、硫化水素、鉄硫化物が生成されたことを意味している。TOC と TS とともに、元素群 (a) と正の良相関であり、元素群 (b) と負の良相関の関係を持っている。また、酸性岩物質の寄与の増加を示す K/Ti との正の良相関が認められる。つまり、これらのことは、半遠洋性泥岩において島弧起源碎屑物の寄与が大きいと考えられる低海水準期において、有機物含有量が増加したことを示す。

$\delta^{13}\text{C}$ は、元素群 (a) の含有量、K/Ti 比と負の良相関であり、元素群 (b) の含有量と正の良相関の関係をもっている。 $\delta^{13}\text{C}$ は、半遠洋性泥岩中の陸成有機物と海成有機物の混合比を示すことは知られている (Sackett and Thompson,

1963)。Nissenbaum *et al.* (1972) のデータによれば、陸成有機物の $\delta^{13}\text{C}$ は $-25 \sim -27\%$ であるのに対し、海成有機物の $\delta^{13}\text{C}$ は $-19 \sim -22\%$ である。このこと及び本研究による $\delta^{13}\text{C}$ の結果より有機物の起源について以下のように考える。低海水準期は海水準が低いため、物理的に陸からもたらされる陸成有機物が多かったことや、低海水準期には酸化分解される陸成有機物の量が小さいために、分解されずにそのまま保存された陸成有機物が多かったことなどが考えられる。その結果、低海水準期には陸成有機物の寄与が多く、高海水準期には海成有機物の寄与が多いことが考えられる。

VI. 半遠洋性泥岩の構成成分の定量的検討

以上、半遠洋性泥岩の起源物質について検討してきたが、本研究ではそれらの半遠洋性泥岩中の構成成分を定量的に検討することを試みた。半遠洋性泥岩の構成成分としては、酸性岩物質 (Acidic component) と日本列島や近傍の火成活動によってもたらされた塩基性岩質の前弧火成活動起源碎屑物 (Basic component) と有孔虫起源であると考えられる炭酸塩 (Carbonate) の 3 成分系を考えた。

酸性岩物質と島弧・前弧火成活動起源碎屑物の割合を求めるために、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比を用いた。この $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は、陸源碎屑物の寄与の指標としてしばしば用いられる値である (Quade *et al.*, 1997)。本研究試料の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は、 $0.7044 \sim 0.7075$ の範囲である。これは、大陸性酸性岩物質 (黄土、花こう岩) の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比 = $0.7110 \sim 0.7210$ (Rea, 1994; Pettke *et al.*, 2000)、日本の花こう岩 = $0.706 \sim 0.720$ (Shibata and Ishihara, 1979) と、伊豆-小笠原弧の島弧起源碎屑物の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比 = $0.7033 \sim 0.7038$ (Notsu, 1983)、特に三浦層群三崎層の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比 = 0.7035 (谷口ほか, 1991) の中間的な値を持ち、両者の混合比と考えられる。そこで、La/Yb 比から推定した $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比 (以下、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}^*$ 比と記す) を用いて両者の比を求めた。La/Yb 比も、陸源碎屑物の寄与を知るために使われる値である (Gallet *et*

al., 1996; Weber et al., 1996)。

La/Yb 比と $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}^*$ 比の関係は以下で表される。

$$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}^* = 3.59 \times 10^{-4} \text{La/Yb} + 0.7042 \quad (R = 0.91)$$

この式から求めた $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}^*$ 比と分析によって求めた $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}^*$ 比： $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比 = 1 : 1 の直線関係にある。

前述した方法によって求めた $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}^*$ 比と、酸性岩物質及び伊豆-小笠原弧の島弧起源砕屑物の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比を用いて、酸性岩物質と塩基性岩物質の割合を求めた。図 6A は、塩基性岩物質： $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}^*$ 比 = 0.7035, 酸性岩物質： $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}^*$ 比 = 0.7150 を用いて計算した混合比より求めた。図 6B は、塩基性岩物質： $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}^*$ 比 = 0.7035 で一定とし、酸性岩物質： $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}^*$ 比 = 0.7100, 0.7150, 0.7200 と変化させた時の混合比より求めた。横軸は、半遠洋性泥岩の堆積速度を一定として、半遠洋性泥岩積算層厚から求めた時間軸である。

酸性岩物質の寄与の小さい試料 (AN-10, 13, 14, 19, 22 の平均) と酸性岩物質の寄与の大きい試料 (AN-48, 50, 105, 109, 122 の平均) と 1NCHI により溶解させた炭酸塩試料 (AN-96 の炭酸塩)、及び全試料の平均の希土類元素組成 (コンドライト規格値) パターンを求めた。希土類元素パターンは、酸性岩物質に乏しい試料と酸性岩物質に富む試料では明らかな相違が認められた。特に、軽希土類元素において相違が認められ、酸性岩物質に富む試料の軽希土類元素は酸性岩物質に乏しい試料と比べて含有量が多い。また、炭酸塩試料は全体的に希土類元素含有量が少ない。

VII. タービダイトシークエンスの周期性と地球化学データ

タービダイトの性質 (半遠洋性泥岩層層厚にして、2 m におけるタービダイトの積算層厚、層数) と元素間の相関を表 3 に示す。タービダイトの性質と元素群 (a), (b) との相関には明らかな相違が認められる。元素群 (a) がタービダイトの性質との相関が正の相関であるのに対し、元素

図 6 (A) 塩基性成分, 酸性成分含有量 (塩基性成分： $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7035$, 酸性成分： $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7150$) の時間的変動。
(B) 酸性成分含有量 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.710, 0.715, 0.720$) の時間的変動。

Fig. 6 (A) Contents of basic and acidic components (Basic component: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7035$, Acidic component: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7150$) variation with time.
(B) Variation of acidic component ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.710, 0.715, 0.720$) with time.

群 (b) は負の相関である。

以上のタービダイトシークエンスの地球化学的性質、地球化学的性質とタービダイトの層厚、層数との関係より、タービダイトの性質が氷河性海水準変動に支配されるとすると、低海水準期に酸性岩質物質 (島弧起源または大陸起源砕屑物) の寄与が多く、高海水準期に塩基性岩質である前弧

表 3 元素組成とタービダイト組成間相関係数.
(a): 元素群 (a) (Si と良い相関の元素群), (b): 元素群 (b) (Si と負の相関の元素群)

Table 3 Correlation coefficients between contents of elements and turbidite.

(a): elemental group (a) which has positive correlation with Si, (b): elemental group (b) which has negative correlation with Si.

	group	turbidite thickness	turbidite number
SiO ₂	(a)	0.19	0.29
TiO ₂	(b)	-0.12	-0.29
Al ₂ O ₃		-0.09	-0.22
Fe ₂ O ₃ *	(b)	-0.23	-0.40
MnO	(b)	-0.23	-0.25
MgO	(b)	-0.27	-0.43
CaO	(b)	-0.16	-0.23
Na ₂ O		-0.07	-0.17
K ₂ O	(a)	0.18	0.33
P ₂ O ₅	(b)	-0.11	-0.13
LOI		0.12	0.26
Sc	(b)	-0.13	-0.38
V	(b)	-0.16	-0.43
Cr		0.10	0.16
Co	(b)	-0.11	-0.34
Ni		0.10	0.15
Cu	(b)	-0.11	-0.38
Zn	(b)	0.09	-0.19
Rb	(a)	0.23	0.26
Sr	(b)	-0.15	-0.31
Y	(b)	-0.01	-0.18
Zr	(a)	0.38	0.35
Nb	(a)	0.35	0.33
Mo		-0.04	0.05
Ba	(a)	0.06	0.27
Hf	(a)	0.27	0.47
Ta	(a)	0.12	0.13
Pb	(a)	0.18	0.35
Th	(a)	0.23	0.34
U	(a)	0.17	0.28
La		-0.02	-0.01
Ce		-0.04	-0.04
Pr		-0.07	-0.07
Nd		-0.05	-0.05
Sm		-0.09	-0.14
Eu		-0.12	-0.20
Gd		-0.05	-0.11
Tb		-0.13	-0.23
Dy		-0.11	-0.19
Ho		-0.14	-0.24
Er		-0.13	-0.24
Tm		-0.14	-0.26
Yb		-0.09	-0.17
Lu		-0.05	-0.13
Total REE		-0.06	-0.08

起源碎屑物の寄与が多いと考えられる。

増田ほか(1989)は、本研究地域の層序学的上位にある上総層群のタービダイト-半遠洋性泥岩互層から周期性を見出し、酸素同位体比曲線との関連からこれをミランコビッチ周期であるとした。また、本研究地域のタービダイトシーケンスについて、半遠洋性泥岩層厚とタービダイトの層厚、層数から検討した石原ほか(1997)によると、タービダイトの堆積の周期は約数万年～10万年としている。

石原ほか(1997)の求めた本地域のタービダイトの堆積の周期性は、約数万年～10万年であるので、これは、 $\delta^{18}\text{O}$ の周期性(Shackleton *et al.*, 1995)との適合がある。この約数万年～10万年の周期性とは、ミランコビッチ周期、または第四紀のモンスーンの卓越周期に合致する(福澤ほか, 1994)。しかし、このどちらかであるかを断定することは今のところ難しい。

VIII. ま と め

本研究結果を、以下のようにまとめることができる。

1. 半遠洋性泥岩に挟みこむタービダイトの堆積量と半遠洋性泥岩の化学組成の間に、極めて明瞭な相関が認められた。これは、タービダイトの堆積量が大きい低海水準期には、元素群(Si, K, Rb, Zr, Nb, Ba, Hf, Ta, Pb, Th, U)に代表される酸性物質碎屑物の寄与が大きくなり、タービダイトの堆積量が小さい高海水準期には元素群(Ti, Fe, Mn, Mg, Ca, P, Sc, V, Co, Cu, Zn, Sr, Y)に代表される塩基性物質の寄与が大きくなることに起因すると考えられる。

2. 低海水準期に、酸性物質の寄与が大きくなったことの原因としては、海水準の低下による陸源物質の供給、碎屑物運搬・堆積の過程における粒度分別に伴う鉱物組成の変化が考えられる。

3. 以上のような半遠洋性泥岩を構成する成分の変動が、石原ほか(1997)で見出されたタービダイトの約数万年～10万年の周期性に対応している。このことは、半遠洋性泥岩の地球化学データは、タービダイトの性質とともに、海水準

変動を反映していることを意味している。

4. したがって、以上より、島弧近辺の堆積速度の比較的大きいと考えられる環境で生成した半遠洋性堆積岩の地球化学的特徴(主成分・微量・希土類元素組成、同位体組成($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比, $\delta^{13}\text{C}$))を明らかにすることにより、古海洋環境変動を推測することが可能となったといえる。今後は、粒度の違いによる鉱物組成、化学組成、同位体組成の詳細な分析により、上の2, 3についてのさらに詳しい検討が必要である。

謝 辞

EPMA分析、ICP-MS分析の際に大変お世話になった東京学芸大学中田正隆博士、産業技術総合研究所今井登博士に感謝の意を表します。2名の匿名査読者の大変有益なコメントにより、本内容が大幅に書き改められた。記して感謝致します。

文 献

- Dean, W.E. Jr. and Anderson, R.Y. (1967): Correlation of turbidite strata in the Pennsylvanian Haymond Formation, Marathon Region, Texas. *J. Geol.*, **75**, 59-75.
- English, L.T.P. (1999): The use of magnetic susceptibility and trace element geochemistry for the correlation of fine-grained siliciclastic sequences: a Late Llandovery example from northwest England. *Geol. Mag.*, **136**, 437-451.
- 福澤仁之・落合浩志・大場忠道・小泉格(1994): ジャワ島沖ピストンコアによる記録された氷期ステージの解体プロセス. 月刊地球, **16**, 662-666.
- Gallet, S., Jahn, B. and Torii, M. (1996): Geochemical characterization of the Luochuan loess-paleosol sequence, China, and paleoclimatic implications. *Chem. Geol.*, **133**, 67-88.
- Ghanbaudo, G. (1980): Deep-sea fan deposits in the Macigno Formation (Middle-Upper Oligocene) of the Gordana Valley, Northern Apennines, Italy. *J. Sediment. Petrol.*, **50**, 723-742.
- 後藤篤・巽好幸(1991): 蛍光X線分析装置による岩石試料の定量分析(1). *Rigaku-Denki J.*, **22**, 28-48.
- Gromet, L.P., Dymek, R.F., Haskin, L.A. and Korotev, R.L. (1984): The "North American shale composite": Its compilation, major and trace element characteristics. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **48**, 2469-2482.
- Hiscott, R., Collella, A., Pezard, P., Loell, M. and Malinverno, A. (1992): Sedimentology of deep water volcanoclastics, Oligocene Izu-Bonin fore-arc basin, based on formation microscanner images. *Proc.*

- ODP, *Sci. Results*, **126**, 75-96.
- Imai, N. (1990): Multi element analysis of rocks with the use of geological certified reference material by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Anal. Sci.*, **6**, 389-396.
- 井上克弘・成瀬正敏 (1990): 日本海沿岸の土壌及び古土壌中に堆積したアジア大陸起源の広域風成塵. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **33**, 327-345.
- 石原与四郎・徳橋秀一 (2005): 房総半島安房層群上部安野層の堆積様式-前弧堆積盆を埋積するタービダイト・システムの一例. *地質学雑誌*, **111**, 269-285.
- 石原与四郎・宮田雄一郎・徳橋秀一 (1997): 房総半島安房層群上部のタービダイトシークエンスの時系列解析. *地質学雑誌*, **103**, 579-589.
- Ito, M. and Katsura, Y. (1993): Depositional sequences in turbidite successions of the lower Kazusa Group, the Plio-Pleistocene forearc basin fill in Boso Peninsula, Japan. *J. Geol. Soc. Japan*, **99**, 813-829.
- Kasper, D.C., Larue, D.K. and Meeks, Y.J. (1987): Fine-grained terrigenous turbidites in Barbados. *J. Sediment. Petrol.*, **57**, 440-448.
- Kimura, S., Shikazono, N., Kashiwagi, H. and Nohara, M. (2004): Middle Miocene-early Pliocene paleo-oceanic environment of Japan Sea deduced from geochemical features of sedimentary rocks. *Sediment. Geol.*, **164**, 105-129.
- Kimura, T. (1966): Thickness distribution of sandstone beds and cyclic sedimentations in the turbidite sequences at two localities in Japan. *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, **44**, 561-607.
- Kimura, T. (1974): Magnetic stratigraphy of Late Cenozoic sedimentary sections in Boso Peninsula, Japan. *J. Geol. Soc. Japan*, **80**, 579-592.
- Martini, I.P., Sagri, M. and Doveton, J.H. (1978): Lithologic transition and bed thickness periodicities in turbidite successions of the Antola Formation, Northern Apennines, Italy. *Sedimentology*, **25**, 605-623.
- 増田富士雄・桂 雄三・渡辺幸一・吉野 隆・伊藤 慎 (1989): タービダイト層に記録されたミランコビッチ周期, 房総半島の鮮新-更新統上総層群. 堆積学研究会報, **31**, 43-48.
- 中嶋輝充 (1978): 房総半島におけるフリッシュ堆積物の堆積環境-黄和田層・黒滝層・安野層のフリッシュ相と縁辺相の関係を中心に-. *地質学雑誌*, **84**, 645-660.
- Nakano, T., Choon-ki, Na, Tazawa, K., Sakagawa, M. and Ito, T. (1995): A systematic and practical method of liquid chromatography for the determination of Sr and Nd isotopic ratios and REE concentrations in geological samples. *Chem. Geol. (Isotope Geoscience Section)*, **123**, 225-237.
- 新妻信明 (1997): インド洋の海底コアからみたモンスーンの消長. *地学雑誌*, **106**, 226-239.
- Nishiwaki, N. (1977): Statistical analysis of the geologic column data of the Cretaceous Izumi Group, Central Japan, with special reference to the sedimentological model. *Mem. Fac. Sci. Kyoto Univ., Ser. Geol. Mineral.*, **44**, 127-211.
- Nissenbaum, A., Presley, B.J. and Kaplan, I.R. (1972): Early diagenesis in a reducing fjord, Saanich Inlet, British Columbia-I. Chemical and isotopic changes in major components of interstitial water. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **36**, 1007-1027.
- Notsu, K. (1983): Strontium isotope composition in volcanic rocks from the Northern Japan arc. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **18**, 531-548.
- Oda, M. (1977): Planktonic foraminiferal biostratigraphy of Late Cenozoic sedimentary sequence, Central Honshu, Japan. *Tohoku Univ. Sci. Rep. 2nd Ser. (Geol.)*, **48**, 1-72.
- Pettke, T., Halliday, A.N., Hall, C.M. and Rea, D.K. (2000): Dust production and deposition in Asia and the north Pacific Ocean over the past 12 Myr. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **178**, 397-413.
- Pickering, K.T., Souter, C., Oba, T., Taira, A., Schaaf, M. and Platzman, E. (1999): Glacio-eustatic control on deep-marine clastic forearc sedimentation, Pliocene-mid-Pleistocene (c.1180-600 ka) Kazusa Group, SE Japan. *J. Geol. Soc. Lond.*, **156**, 125-136.
- Posamentier, H.W. and Vail, P.R. (1988): Eustatic controls on clastic deposition II-sequence and systems tract models. in *Sea-level changes: An integrated approach* edited by Wilgus, C.K., Hastings, B.S., Kendall, C.G. St. C., Posamentier, H.W., Ross, C.A. and Van Wagoner, J.C., *SEPM Spec. Publ.*, **42**, 125-154.
- Quade, J., Roe, L., DeCelles, P.G. and Ojha, T.P. (1997): The late Neogene ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr record of Lowland Himalayan rivers. *Science*, **276**, 1828-1831.
- Rea, D.K. (1994): The paleoclimatic record provided by eolian deposition in the deep sea: the geologic history of wind. *Rev. Geophys.*, **32**, 159-195.
- Rea, D., Snoeckx, H. and Joseph, L.H. (1998): Late Cenozoic eolian deposition in the North Pacific: Asian drying, Tibetan uplift, and cooling of the northern hemisphere. *Paleoceanography*, **13**, 215-224.
- Ricci-Lucchi, F. (1975): Depositional cycles in two turbidite formation of Northern Apennines (Italy). *J. Sediment. Petrol.*, **45**, 3-43.
- Rothman, D., Grotzinger, J. and Flemings, P. (1994): Scaling in turbidite deposition. *J. Sediment. Res.*, **A64**, 59-67.
- Rupke, N.A. (1977): Growth of an ancient deep sea fan. *J. Geol.*, **85**, 725-744.
- Sackett, W.M. and Thompson, R.R. (1963): Isotopic organic carbon composition of recent continental derived clastic sediments of eastern Gulf Coast, Gulf of Mexico. *Bull. Am. Assoc. Pet. Geol.*, **47**, 525-528.
- 斎藤実篤・吉田武義・青木謙一郎 (1992): 房総半島に発達する火山岩及び火砕岩類の化学組成とそのテクトニクス上の意義. 東北大学核理研研究報告, **25**,

- 241-255.
- Shackleton, N.J., Hall, M.A. and Pate, D. (1995): Pliocene stable isotope stratigraphy of site 846. *Proc. ODP, Sci. Results*, **138**, 337-355.
- Shanmugan, G. (1980): Rhythms in deep sea, fine-grained turbidite and debris-flow sequences, Middle Ordovician, eastern Tennessee. *Sedimentology*, **27**, 419-432.
- Shibata, K. and Ishihara, S. (1979): Initial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios of plutonic rocks from Japan. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **70**, 381-391.
- Tada, R. (1991): Origin of rhythmical bedding in middle Miocene siliceous rocks of the Onnagawa formation, northern Japan. *J. Sediment. Petrol.*, **61**, 1123-1145.
- 高橋雅紀 (1998): 房総半島に分布する海成中新統に挟在するスコリアの起源とテクトニクスな意義. 地質調査所月報, **49**, 157-177.
- Takahashi, M., Oda, M. and Usami, E. (1996): Preliminary results and potential for integrated stratigraphy of the volcanosedimentary sequence in the Boso Peninsula, Central Japan. in *Miocene Stratigraphy: An Integrated Approach* edited by Montanari, A., Odin, G. S. and Coccioni, R., Elsevier, Amsterdam, **15**, 575-579.
- 滝川利美 (1985): 和泉山脈西部地域の和泉層群における堆積学的研究. 構造地質研究会・碎屑性堆積物研究会編「スランプ相」の形成とテクトニクス, 125-132.
- 谷口英嗣・徐 垣・小川勇二郎 (1991): 三崎層に含まれる火山岩類の起源とそのテクトニクス. 月刊地球, **13**, 31-34.
- 徳橋秀一・岩脇丈夫 (1975): フリッシュ型砂泥互層の面的単層解析. 地球科学, **29**, 262-274.
- 徳橋秀一・檀原 徹・岩野英樹 (2000): 房総半島安房層群上部の8凝灰岩のフィッシュン・トラック年代. 地質学雑誌, **106**, 560-573.
- 辻 隆司・宮田雄一郎・中水 勝 (1999): 堆積物中に記録された周期性を利用した年代層序の可能性. 石油技術協会誌, **64**, 94-106.
- Weber, E.T., Owen, R.M., Dickens, G.R., Halliday, A.N., Jones, C.E. and Rea, D.K. (1996): Quantitative resolution of eolian continental crustal material and volcanic detritus in North Pacific surface sediment. *Paleoceanography*, **11**, 115-127.

(2005 年 10 月 11 日受付, 2007 年 1 月 15 日受理)

付録 1 研究試料中の主成分元素組成データ (重量%).

Appendix 1 Major element contents data on the samples studied (wt.%).

XRF (Bulk Sample) (wt%)

Sample No.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ *	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI
AN-01	55.82	0.76	15.78	7.64	0.11	2.86	7.96	1.95	1.27	0.11	5.74
AN-02	53.51	0.78	17.26	7.81	0.14	2.81	9.65	2.13	0.93	0.11	4.85
AN-03	54.71	0.74	15.04	7.16	0.11	2.73	9.56	1.83	1.20	0.13	6.78
AN-04	56.08	0.76	15.56	7.58	0.12	2.83	8.48	2.31	1.13	0.12	5.03
AN-05	57.22	0.73	15.17	7.25	0.09	2.58	7.88	2.23	1.32	0.13	5.42
AN-06	56.02	0.73	14.94	7.64	0.14	2.48	8.56	1.92	1.31	0.13	6.15
AN-07	55.56	0.75	15.23	7.15	0.11	2.68	8.93	2.07	1.22	0.12	6.18
AN-08	56.75	0.70	14.75	6.68	0.10	2.46	8.19	2.34	1.45	0.12	6.46
AN-09	60.15	0.64	14.32	5.78	0.06	2.26	6.17	2.00	1.76	0.10	6.77
AN-10	53.89	0.89	17.18	10.73	0.18	3.38	8.26	1.83	0.52	0.10	3.05
AN-11	60.79	0.66	14.15	6.24	0.06	2.20	5.45	1.79	1.59	0.08	6.98
AN-12	55.72	0.86	15.27	8.49	0.12	2.64	8.42	2.00	0.87	0.12	5.52
AN-13	54.45	1.01	16.58	11.45	0.17	3.29	7.97	2.06	0.42	0.10	2.51
AN-14	55.53	0.96	16.08	10.39	0.17	3.41	8.22	2.11	0.70	0.12	2.31
AN-15	56.58	0.83	15.30	8.58	0.12	2.89	7.87	1.98	1.15	0.11	4.60
AN-16	57.19	0.75	14.79	7.55	0.11	2.62	7.69	1.92	1.37	0.11	5.91
AN-17	58.18	0.90	15.61	9.24	0.14	2.90	6.03	2.12	1.02	0.11	3.74
AN-18	56.80	0.87	16.00	9.68	0.13	3.01	6.83	2.17	0.98	0.10	3.44
AN-19	57.57	0.99	14.93	10.09	0.17	2.80	6.46	2.44	0.69	0.14	3.73
AN-20	56.30	0.84	16.62	8.59	0.14	3.14	7.56	2.04	0.86	0.11	3.81
AN-21	61.71	0.71	15.21	6.54	0.08	2.52	3.30	1.67	1.67	0.07	6.53
AN-22	58.88	0.84	14.46	8.93	0.19	2.31	6.17	2.77	0.71	0.13	4.60
AN-23	58.21	0.86	15.56	9.15	0.15	2.91	6.08	2.01	1.11	0.10	3.88
AN-24	52.87	0.80	15.94	10.01	0.15	3.28	9.75	1.79	0.71	0.11	4.59
AN-25	53.88	0.82	15.50	9.93	0.15	3.21	8.88	1.72	0.85	0.10	4.96
AN-26	55.51	0.90	15.44	9.65	0.17	3.12	8.16	2.14	0.75	0.11	4.06
AN-27	56.23	0.70	15.98	7.42	0.11	2.77	7.70	2.18	0.96	0.11	5.84
AN-28	55.18	0.76	16.00	8.32	0.13	3.02	8.07	1.96	0.92	0.12	5.52
AN-29	56.43	0.77	16.04	7.64	0.12	2.67	6.82	2.26	0.90	0.14	6.22
AN-30	58.61	0.69	14.97	6.38	0.08	2.39	6.69	1.89	1.35	0.10	6.83
AN-31	62.63	0.69	14.66	6.43	0.07	2.17	3.25	1.88	1.61	0.07	6.56
AN-32	62.14	0.72	15.13	6.69	0.10	2.32	3.58	1.82	1.55	0.08	5.88
AN-33	64.55	0.63	13.72	6.72	0.08	1.92	2.95	1.78	1.65	0.07	5.95
AN-34	58.38	0.77	14.55	8.53	0.17	1.99	4.76	2.36	0.93	0.11	7.46
AN-35	62.34	0.72	15.06	6.97	0.08	2.31	3.26	1.92	1.55	0.09	5.71
AN-36	59.85	0.78	15.08	7.31	0.11	2.41	4.62	2.03	1.32	0.11	6.39
AN-37	59.38	0.67	14.78	7.21	0.11	2.54	4.82	1.75	1.80	0.20	6.74
AN-38	57.85	0.75	14.41	11.99	0.07	1.93	3.21	1.71	1.70	0.07	6.31
AN-39	60.15	0.69	15.15	7.30	0.09	2.44	3.75	1.76	1.80	0.09	6.78
AN-40	61.76	0.66	14.60	6.68	0.09	2.27	4.34	1.98	1.76	0.09	5.79
AN-41	61.28	0.70	15.33	6.55	0.07	2.07	4.10	1.79	1.83	0.08	6.21
AN-42	57.46	0.75	15.24	7.77	0.11	2.38	6.49	1.95	1.47	0.12	6.27
AN-43	58.42	0.74	15.70	6.89	0.08	2.45	6.11	1.63	1.76	0.11	6.11
AN-44	57.84	0.73	16.05	7.20	0.09	2.49	3.97	1.54	1.85	0.08	8.16
AN-45	59.85	0.71	15.43	7.13	0.11	2.41	4.96	1.87	1.77	0.11	5.65
AN-46	58.00	0.73	15.45	8.52	0.13	2.72	6.31	1.87	1.59	0.11	4.58
AN-47	58.75	0.97	15.00	8.48	0.17	2.28	6.09	2.81	0.89	0.26	4.31
AN-48	65.40	0.72	15.42	5.01	0.07	1.85	2.83	2.04	1.94	0.08	4.64
AN-49	65.29	0.57	14.73	6.43	0.07	1.86	3.17	2.07	1.85	0.13	3.83
AN-50	61.85	0.71	15.52	5.66	0.05	2.20	4.20	1.80	1.81	0.11	6.11
AN-51	61.77	0.66	14.97	6.69	0.10	1.94	3.98	1.84	1.78	0.10	6.17
AN-52	58.16	0.68	15.11	5.28	0.07	2.25	7.23	1.95	1.70	0.15	7.42
AN-53	61.76	0.79	16.68	6.59	0.07	2.09	3.15	1.75	1.58	0.07	5.49
AN-54	63.16	0.78	16.61	5.78	0.07	2.08	3.52	1.90	1.58	0.09	4.45
AN-55	58.46	0.77	15.52	5.88	0.08	2.18	7.01	2.06	1.40	0.19	6.45
AN-56	59.97	0.71	15.24	5.40	0.06	2.09	6.28	1.88	1.62	0.12	6.63
AN-57	62.56	0.68	14.30	7.01	0.05	1.56	2.26	1.70	1.86	0.05	7.98
AN-58	66.96	0.47	13.94	4.94	0.06	1.37	2.26	2.44	2.78	0.04	4.76
AN-59	58.47	0.71	15.31	6.38	0.08	2.35	6.54	1.81	1.64	0.09	6.63
AN-60	60.38	0.71	15.23	6.10	0.07	2.34	6.14	1.76	1.74	0.09	5.46
AN-61	61.48	0.72	15.72	5.93	0.06	1.90	2.66	1.65	1.70	0.08	8.10
AN-62	56.69	0.70	14.76	6.44	0.10	2.22	7.88	1.73	1.45	0.12	7.91
AN-63	54.81	0.85	16.08	8.81	0.14	2.77	9.78	2.14	0.90	0.14	3.58

付録 1 (つづき).

Appendix 1 (continued).

XRF (Bulk Sample) (wt%)

Sample No.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ *	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI
AN-64	61.80	0.71	14.73	5.40	0.09	1.95	4.79	2.01	1.65	0.10	6.77
AN-65	63.44	0.64	14.07	7.56	0.06	1.71	3.27	1.79	1.68	0.07	5.71
AN-66	58.65	0.78	14.13	7.27	0.15	1.64	6.47	2.57	1.08	0.16	7.09
AN-67	63.72	0.70	15.32	5.31	0.06	1.83	2.72	1.93	1.94	0.07	6.39
AN-68	62.08	0.75	15.41	6.11	0.09	2.10	5.13	2.06	1.66	0.09	4.53
AN-69	65.99	0.64	14.48	6.36	0.08	2.04	3.09	2.01	1.85	0.06	3.41
AN-70	58.47	0.76	14.80	6.26	0.12	1.89	7.46	2.05	1.29	0.15	6.76
AN-71	57.28	0.76	15.20	6.27	0.07	2.22	6.71	1.75	1.57	0.11	8.07
AN-72	61.57	0.78	15.25	6.09	0.08	2.07	5.90	1.99	1.60	0.11	4.57
AN-73	65.71	0.57	14.94	6.65	0.07	1.56	2.82	1.90	1.92	0.06	3.83
AN-74	56.15	0.83	15.75	7.58	0.11	2.41	7.80	1.88	1.25	0.13	6.12
AN-75	61.69	0.72	16.06	5.48	0.05	2.03	4.84	1.76	1.76	0.08	5.53
AN-76	62.51	0.73	16.45	5.04	0.04	2.02	3.12	1.57	1.95	0.06	6.50
AN-77	62.27	0.75	16.40	5.28	0.05	2.25	4.20	1.76	1.88	0.08	5.07
AN-78	61.46	0.77	17.07	5.30	0.05	2.18	2.88	1.70	1.96	0.07	6.57
AN-79	66.91	0.62	14.11	5.55	0.08	2.44	3.47	2.23	1.79	0.05	2.73
AN-80	59.88	0.73	15.89	5.85	0.07	2.43	4.08	1.75	1.79	0.08	7.45
AN-81	59.30	0.80	15.07	7.11	0.11	2.40	7.20	1.98	1.46	0.12	4.47
AN-82	57.81	0.72	14.58	5.78	0.07	2.35	7.53	1.73	1.65	0.11	7.67
AN-83	53.74	0.75	14.65	7.12	0.16	2.65	10.57	2.08	1.08	0.14	7.08
AN-84	56.49	0.66	14.70	5.91	0.06	2.27	8.68	1.81	1.48	0.11	7.83
AN-85	56.76	0.69	15.59	6.46	0.09	2.64	8.53	2.02	1.39	0.13	5.70
AN-86	59.25	0.66	15.06	5.73	0.06	2.40	7.56	1.62	1.80	0.11	5.75
AN-87	62.33	0.52	14.34	4.98	0.08	1.73	6.18	2.12	2.17	0.11	5.44
AN-88	56.99	0.75	15.65	7.17	0.09	2.62	8.15	1.73	1.51	0.13	5.23
AN-89	61.17	0.70	15.17	6.39	0.08	2.44	5.71	1.75	1.85	0.09	4.67
AN-90	60.83	0.66	15.30	6.42	0.09	2.31	6.27	2.16	1.73	0.10	4.15
AN-91	59.61	0.72	15.81	7.56	0.09	2.69	6.27	1.90	1.47	0.10	3.79
AN-92	56.67	0.88	16.38	9.77	0.13	3.12	6.78	2.07	1.09	0.10	3.03
AN-93	58.68	0.83	16.31	8.44	0.13	2.84	6.09	2.20	1.06	0.11	3.32
AN-94	57.04	0.77	16.42	9.08	0.15	3.15	6.48	1.86	1.04	0.10	3.89
AN-95	53.81	0.71	14.58	7.92	0.13	2.66	10.03	1.85	1.03	0.17	7.11
AN-96	43.93	0.64	14.29	8.65	0.43	3.11	19.31	1.77	0.39	0.17	7.30
AN-97	52.34	0.74	14.85	8.62	0.15	2.69	10.50	1.72	0.99	0.17	7.23
AN-98	57.88	0.70	15.42	6.61	0.08	2.57	6.45	1.70	1.61	0.09	6.88
AN-99	54.66	0.74	15.33	7.93	0.12	2.88	10.20	1.97	1.14	0.14	4.89
AN-100	59.82	0.70	15.15	6.51	0.07	2.54	5.09	1.75	1.73	0.08	6.56
AN-101	57.57	0.75	15.93	8.94	0.11	2.76	7.00	2.04	1.16	0.10	3.64
AN-102	66.30	0.59	14.70	6.01	0.09	1.77	3.11	2.20	1.84	0.06	3.33
AN-103	57.04	0.70	15.62	6.82	0.09	2.33	7.49	2.10	1.45	0.14	6.22
AN-104	61.94	0.64	15.28	5.67	0.07	2.20	4.08	1.99	1.97	0.07	6.08
AN-105	65.47	0.58	14.59	5.74	0.06	1.86	2.67	1.99	2.08	0.05	4.92
AN-106	58.65	0.66	15.62	6.14	0.06	2.33	6.41	1.95	1.67	0.11	6.41
AN-107	62.11	0.62	15.44	5.82	0.10	2.10	4.25	2.01	1.81	0.09	5.65
AN-108	61.81	0.67	15.55	5.65	0.06	2.42	3.89	1.83	2.04	0.07	6.02
AN-109	64.50	0.75	13.30	8.84	0.12	2.37	3.23	2.12	1.77	0.06	2.95
AN-110	60.55	0.71	15.93	6.01	0.06	2.36	5.21	1.90	1.74	0.09	5.44
AN-111	61.04	0.72	16.79	5.98	0.07	2.29	4.06	1.83	1.76	0.08	5.39
AN-112	65.41	0.58	13.79	7.06	0.08	2.26	3.36	2.10	1.77	0.07	3.54
AN-113	60.77	0.71	15.93	5.78	0.06	2.38	3.95	1.80	1.88	0.08	6.66
AN-114	61.05	0.71	16.17	5.68	0.06	2.33	3.59	1.58	1.94	0.07	6.82
AN-115	62.88	0.71	15.98	5.17	0.05	2.17	2.73	1.73	2.04	0.07	6.47
AN-116	59.63	0.70	16.01	6.00	0.09	2.30	5.85	2.16	1.62	0.12	5.52
AN-117	60.18	0.63	14.76	5.47	0.09	2.23	5.60	1.93	1.79	0.12	7.20
AN-118	61.39	0.70	15.07	5.76	0.10	2.22	4.72	1.75	1.99	0.09	6.21
AN-119	61.65	0.68	14.96	5.85	0.07	2.13	4.66	1.79	1.98	0.10	6.15
AN-120	68.14	0.57	13.86	5.41	0.07	1.98	3.08	2.24	1.95	0.05	2.66
AN-121	62.48	0.68	15.77	5.08	0.05	2.36	4.04	1.94	1.96	0.07	5.57
AN-122	60.45	0.66	15.37	5.02	0.05	2.28	4.87	1.69	1.97	0.09	7.57
AN-123	64.92	0.64	14.53	6.25	0.13	1.96	2.64	1.88	1.91	0.06	5.08
AN-124	63.97	0.63	13.42	8.81	0.13	1.97	2.85	1.77	1.78	0.06	4.61
AN-125	62.99	0.62	15.35	5.18	0.07	2.08	3.92	1.96	1.96	0.09	5.79

付録 2 研究試料中の微量元素組成データ (ppm).

Appendix 2 Trace element contents data on the samples studied (in ppm).

ICP-MS (Bulk Sample) (ppm)

Sample No.	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ba	Hf	Ta	Pb	Th	U
AN-01	40.4	217	13.0	17.2	7.9	68.0	92.7	39.1	275	32.6	83.5	4.0	0.4	232	2.3	0.6	8.5	4.7	1.6
AN-02	43.9	191	10.3	16.6	6.4	48.6	85.1	27.2	328	34.1	69.1	2.6	0.5	177	1.9	0.3	5.9	3.4	1.2
AN-03	41.5	179	16.3	15.8	9.3	53.0	92.7	41.1	352	36.5	84.9	3.9	0.5	228	2.3	0.6	8.2	4.7	1.9
AN-04	41.5	187	14.2	15.5	8.2	52.3	74.9	30.8	293	37.3	83.2	3.0	0.5	210	2.3	0.5	7.0	3.4	1.2
AN-05	40.2	164	13.5	14.3	7.6	40.3	71.7	37.5	293	42.3	119.9	4.3	0.8	234	3.3	0.4	7.5	5.3	1.7
AN-06	41.5	199	15.9	14.7	6.4	54.8	77.6	36.0	290	37.5	82.5	3.7	0.6	227	2.4	0.5	7.4	4.3	1.8
AN-07	46.1	304	16.7	17.2	7.4	58.1	87.8	35.2	287	40.2	84.3	3.1	0.6	232	2.7	0.3	6.8	4.2	2.1
AN-08	36.7	203	18.9	14.0	9.4	41.8	80.9	42.9	294	39.4	95.7	3.3	0.8	264	2.6	0.3	8.5	4.9	2.1
AN-09	28.2	136	18.5	11.2	7.1	33.7	79.5	60.7	251	33.8	93.5	5.8	0.6	325	2.7	0.8	10.8	7.5	2.1
AN-10	62.0	267	30.2	23.1	14.3	74.0	92.3	13.5	219	34.6	53.4	1.1	0.9	118	1.6	0.2	3.3	1.2	0.3
AN-11	28.8	138	32.5	10.3	15.4	31.4	80.4	62.7	255	32.3	95.4	5.8	0.8	308	3.1	0.9	11.6	7.2	1.3
AN-12	52.0	247	29.5	19.2	14.4	70.4	91.4	26.2	281	45.8	87.7	2.3	0.9	172	2.5	0.3	6.1	3.0	0.9
AN-13	68.0	483	29.0	26.9	14.4	94.2	106.2	7.2	212	40.6	56.2	0.7	1.0	108	1.7	0.1	2.8	0.8	0.3
AN-14	80.4	467	29.7	27.5	14.4	108.1	103.1	13.3	250	55.6	63.9	0.8	1.0	158	1.9	0.2	4.6	1.6	0.8
AN-15	62.3	350	35.0	20.6	15.5	73.7	98.8	37.8	287	51.1	76.1	3.8	1.1	210	2.3	0.8	7.6	5.3	1.9
AN-16	50.0	209	43.3	16.4	15.9	59.9	93.2	48.2	288	47.5	79.2	4.5	1.0	232	2.3	1.3	8.7	6.4	1.9
AN-17	66.0	315	41.0	19.4	14.9	67.1	109.3	33.3	240	54.3	81.8	3.5	0.8	220	2.3	0.8	7.2	4.6	0.9
AN-18	68.4	361	35.4	18.5	13.8	68.9	99.7	28.5	219	42.6	68.1	2.7	1.1	216	2.1	0.6	7.0	4.1	1.4
AN-19	79.4	377	29.7	22.2	13.6	111.7	114.4	10.1	342	68.9	78.7	0.7	0.9	366	2.3	0.2	4.5	0.9	0.7
AN-20	72.6	265	32.4	22.6	14.1	63.4	106.0	24.5	228	46.7	68.7	2.3	0.8	186	2.0	0.6	6.4	3.4	0.7
AN-21	43.2	180	44.8	14.9	16.1	40.5	93.9	62.4	194	36.5	96.4	6.6	0.8	338	2.8	1.5	13.7	8.8	1.3
AN-22	74.0	153	36.2	16.6	12.9	52.6	102.6	8.3	260	67.1	90.3	0.5	1.1	198	2.7	0.2	4.5	0.6	0.2
AN-23	67.1	312	41.4	18.8	14.1	65.8	98.9	33.6	222	56.6	89.7	3.1	0.8	227	2.5	0.8	7.9	4.7	0.7
AN-24	82.8	418	43.1	25.3	14.4	72.8	98.4	22.2	284	45.3	57.0	1.9	0.7	151	1.7	0.5	5.5	3.0	0.7
AN-25	77.2	403	50.9	24.0	17.8	75.1	97.3	36.0	286	44.2	64.7	2.7	0.9	183	1.9	0.7	6.5	3.8	0.9
AN-26	75.5	386	57.4	21.9	20.2	76.5	101.1	17.8	285	55.5	72.4	1.4	1.3	189	2.2	0.4	5.4	2.1	0.5
AN-27	55.2	223	55.6	17.1	20.1	46.0	93.6	27.9	283	49.0	76.7	2.6	1.1	198	2.3	0.7	7.4	3.7	1.1
AN-28	64.8	214	56.5	18.2	20.6	37.7	106.8	28.5	279	48.2	74.7	3.1	1.2	182	2.1	0.8	6.8	4.0	1.6
AN-29	61.1	179	53.9	14.4	19.8	33.3	100.2	23.0	246	52.2	78.7	2.2	1.1	177	2.3	0.5	5.9	3.0	0.8
AN-30	48.3	166	28.8	15.6	14.6	36.1	92.3	46.3	271	46.6	94.8	4.4	0.9	296	2.7	0.9	10.0	6.6	2.1
AN-31	36.8	144	30.6	10.7	17.9	32.8	88.1	68.4	184	42.8	102.4	5.8	0.9	358	2.7	1.4	14.0	9.8	1.5
AN-32	41.1	154	33.2	12.7	18.2	37.5	88.2	58.4	190	46.9	94.8	5.0	1.0	321	2.5	1.1	11.3	8.0	1.3
AN-33	30.7	151	29.0	15.4	13.7	29.3	78.9	58.8	197	36.9	94.9	6.0	0.9	379	2.6	1.2	11.4	7.4	1.3
AN-34	35.5	126	24.3	14.4	12.4	31.8	94.1	16.0	245	76.2	104.1	1.4	1.0	264	2.6	0.2	5.6	1.9	0.5
AN-35	31.6	154	25.2	13.5	14.3	37.2	106.8	57.5	196	30.6	106.6	5.3	0.9	315	3.1	0.8	10.4	5.3	1.4
AN-36	41.0	177	21.6	17.5	12.9	41.1	105.5	37.7	257	39.6	88.3	3.7	0.9	264	2.5	0.8	7.6	3.2	0.8
AN-37	27.2	143	31.9	12.3	14.9	31.2	87.6	65.3	278	34.7	95.6	6.5	1.1	326	2.6	1.5	11.2	6.3	2.2
AN-38	24.3	188	35.7	15.4	15.6	40.9	84.7	60.9	228	28.4	109.7	5.5	5.4	300	2.6	1.4	13.3	5.7	1.0
AN-39	29.1	150	24.4	12.4	14.2	31.0	86.8	66.7	256	30.7	102.6	6.8	1.0	337	2.9	1.4	12.0	6.4	1.7
AN-40	28.4	146	22.1	15.2	13.5	25.9	90.3	63.4	267	33.9	87.1	5.6	0.9	339	2.5	1.2	9.6	5.5	1.3
AN-41	27.6	151	24.6	12.8	13.4	34.3	95.0	67.7	237	31.2	94.5	6.3	1.1	324	2.7	1.5	11.9	6.0	1.1
AN-42	37.0	240	22.7	14.4	13.0	41.8	95.7	56.3	333	44.9	89.5	5.1	1.0	281	2.5	1.2	8.4	4.8	1.7
AN-43	32.7	241	22.5	14.2	13.3	43.9	96.3	67.9	306	34.9	97.4	5.0	0.9	302	2.7	0.8	10.9	6.1	1.5
AN-44	31.3	163	23.0	11.7	13.6	45.4	102.5	71.7	231	37.7	106.2	5.9	1.0	299	2.9	1.1	13.3	6.7	1.3
AN-45	26.0	145	26.9	12.5	13.0	30.7	87.4	63.8	262	32.7	91.4	5.1	0.9	327	2.5	0.8	11.1	5.6	1.2
AN-46	34.3	190	21.3	13.9	12.2	47.0	92.6	57.5	298	39.7	85.8	5.3	0.9	287	2.3	1.0	9.0	4.8	1.4
AN-47	48.8	188	20.6	16.9	12.5	50.6	106.9	16.3	313	56.5	105.4	1.8	1.4	223	3.1	0.4	4.8	0.7	0.5
AN-48	22.0	123	20.7	11.6	12.7	24.1	84.7	72.8	219	26.0	98.8	7.6	0.9	363	2.8	1.6	10.7	6.4	1.2
AN-49	24.0	132	19.0	20.7	11.9	22.9	94.7	67.2	227	26.8	87.1	5.8	0.8	384	2.3	1.3	9.6	5.2	1.0
AN-50	24.6	130	20.2	9.9	13.5	30.4	93.0	72.6	260	33.3	98.8	7.3	0.8	330	2.8	1.6	12.1	6.9	1.2
AN-51	23.6	132	19.3	12.0	13.4	29.9	91.4	65.6	232	28.9	93.0	4.6	0.9	329	2.5	0.8	11.2	6.3	1.7
AN-52	29.4	143	19.7	12.0	12.9	37.9	91.6	61.0	337	38.3	99.5	6.1	0.9	295	2.8	1.5	10.1	5.8	1.8
AN-53	34.7	173	21.4	11.2	13.5	49.0	109.5	61.0	186	32.5	91.1	5.7	0.7	300	2.6	1.1	11.0	6.2	1.8
AN-54	34.9	213	88.0	21.5	29.2	59.5	121.3	51.4	190	18.6	126.7	8.8	0.6	282	3.3	0.5	14.5	5.4	1.8
AN-55	34.0	207	66.1	18.7	35.2	61.1	118.7	48.1	269	30.7	109.8	7.2	0.7	246	3.0	0.5	10.4	4.7	1.6
AN-56	26.6	170	59.0	20.7	36.8	48.4	122.2	54.8	251	31.8	105.5	6.7	0.7	256	2.8	0.5	10.8	5.2	2.2
AN-57	15.9	163	112.6	8.3	30.3	31.0	60.7	61.5	166	11.6	113.9	8.3	4.4	319	2.8	0.5	15.1	4.5	1.4
AN-58	13.7	109	66.1	9.1	19.6	21.0	77.0	99.2	130	25.4	125.8	32.7	2.1	288	4.0	2.0	13.8	10.5	2.6
AN-59	28.5	190	91.6	18.7	28.2	56.4	105.3	56.8	242	25.6	106.4	9.4	0.8	260	2.9	0.7	13.1	6.1	1.8
AN-60	24.7	170	75.7	16.1	27.3	46.1	98.5	58.8	223	27.1	104.2	6.3	0.7	272	2.7	0.4	11.1	5.8	1.5
AN-61	22.2	185	69.2	13.1	26.0	51.6	96.5	58.2	124	17.1	113.0	8.8	0.8	273	3.0	0.5	11.9	5.0	2.1
AN-62	30.3	189	86.5	16.9	28.2	52.5	101.9	51.7	270	26.7	100.1	6.7	0.6	234	2.6	0.5	9.6	4.7	2.4
AN-63	41.7	395	51.6	29.6	24.2	97.3	113.5	25.2	284	26.0	74.3	3.2	0.8	167	2.1	0.2	6.9	2.2	1.4

付録 2 (つづき).

Appendix 2 (continued).

ICP-MS (Bulk Sample) (ppm)

Sample No.	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ba	Hf	Ta	Pb	Th	U
AN-64	19.6	131	84.7	14.0	46.8	33.0	89.4	51.8	194	23.4	110.0	7.6	3.3	294	3.0	0.5	10.7	4.8	1.1
AN-65	17.6	162	67.2	21.5	24.6	30.5	81.3	54.2	186	15.6	109.0	8.5	0.7	323	2.8	0.4	12.0	4.9	1.2
AN-66	27.0	120	40.4	16.4	19.1	39.1	92.6	23.8	217	33.7	113.3	3.3	1.0	213	3.3	0.2	7.2	2.0	0.8
AN-67	14.9	113	55.7	14.3	22.0	34.1	86.5	56.9	120	16.8	106.0	7.8	0.7	321	3.3	0.6	11.8	5.1	1.3
AN-68	18.2	112	71.4	16.8	27.2	29.6	92.2	44.0	186	22.2	96.0	6.5	1.2	308	3.0	0.6	10.8	4.1	1.2
AN-69	14.0	114	268.6	14.2	112.8	23.9	66.9	53.4	151	11.6	86.3	7.4	14.3	365	2.6	0.6	12.8	4.1	0.9
AN-70	21.5	110	37.8	11.9	15.6	35.1	80.1	33.9	227	26.3	94.3	4.4	0.6	246	3.2	0.4	8.2	3.2	1.1
AN-71	21.9	119	45.7	11.3	17.7	39.2	72.8	46.9	229	24.1	110.9	6.4	0.6	282	4.0	0.7	10.7	6.9	2.5
AN-72	26.6	127	57.4	12.7	17.2	32.8	80.0	48.4	242	28.4	130.7	7.7	0.6	345	4.5	0.7	11.2	8.0	1.8
AN-73	10.3	77	40.7	14.6	17.1	17.7	59.2	50.9	150	9.7	84.6	6.6	0.9	376	3.1	0.5	12.0	5.0	1.4
AN-74	21.1	144	54.8	15.3	17.2	47.2	77.2	37.3	211	22.5	79.5	5.2	0.6	224	2.9	0.5	8.8	4.0	1.2
AN-75	28.4	125	61.3	10.5	21.7	34.9	83.8	47.3	180	17.3	143.8	9.1	0.6	289	4.6	0.9	10.3	7.0	1.4
AN-76	15.2	114	60.5	10.5	28.1	36.2	84.0	53.3	133	15.3	113.8	8.7	0.6	301	3.6	0.6	15.1	5.7	1.6
AN-77	18.7	120	50.7	13.4	25.1	35.7	87.3	46.9	158	18.2	112.7	8.0	0.5	293	3.8	0.7	12.7	6.2	1.8
AN-78	13.0	121	56.9	15.1	25.0	37.8	98.1	53.6	115	19.8	98.5	8.5	0.6	283	3.3	0.8	15.2	5.1	1.8
AN-79	15.6	100	65.1	11.2	17.1	14.4	61.7	49.0	212	11.0	80.7	6.9	0.7	376	2.9	0.7	9.7	5.3	1.4
AN-80	16.2	101	62.1	13.0	22.8	31.8	82.5	46.1	159	20.4	114.4	7.4	0.6	293	4.0	0.7	13.3	6.5	2.4
AN-81	18.5	127	56.6	12.8	17.0	44.4	78.2	34.9	224	21.8	93.0	5.3	0.7	250	3.2	0.5	9.6	4.4	1.2
AN-82	14.9	114	57.3	10.7	18.6	34.7	71.2	49.8	237	22.0	88.2	6.1	0.6	286	3.2	0.7	10.7	5.2	2.3
AN-83	27.0	127	46.7	14.9	17.7	43.0	76.1	33.9	272	37.4	90.8	3.7	0.9	204	3.1	0.4	7.4	3.8	1.5
AN-84	36.6	123	58.0	11.9	19.7	34.1	77.6	50.2	294	43.8	132.5	6.9	0.9	265	4.9	0.7	9.6	9.9	4.1
AN-85	36.6	127	60.5	13.6	19.7	35.2	74.8	43.6	307	37.1	134.0	6.4	0.8	262	4.3	0.6	8.8	7.6	2.1
AN-86	16.8	126	54.6	13.0	23.7	34.6	80.1	58.4	266	20.1	92.1	7.4	0.6	297	2.8	0.6	10.7	5.2	1.7
AN-87	13.6	117	39.8	9.6	19.1	26.9	65.3	59.1	208	27.7	125.0	6.8	0.9	362	4.1	0.6	12.9	6.0	1.7
AN-88	62.1	168	66.1	16.2	20.1	52.5	81.9	67.1	286	66.4	179.0	6.9	0.8	285	5.7	0.7	9.5	12.1	2.9
AN-89	22.5	171	72.0	16.1	27.4	44.7	96.0	55.2	209	18.5	98.4	8.5	1.3	297	2.9	0.7	10.6	4.9	1.7
AN-90	24.4	158	60.9	16.4	22.9	39.7	87.3	54.5	232	23.4	105.2	6.8	0.8	330	3.1	0.6	10.3	5.0	1.6
AN-91	30.6	181	62.7	17.5	22.5	45.0	84.5	44.6	243	21.1	108.1	6.1	0.7	293	3.0	0.5	9.9	4.8	1.7
AN-92	36.2	382	53.7	25.0	23.1	66.2	100.7	36.0	206	26.6	79.3	4.6	0.8	224	2.4	0.4	7.2	2.9	1.1
AN-93	32.2	280	49.3	18.2	21.1	49.1	95.3	32.0	208	26.2	84.3	4.2	0.7	231	2.5	0.3	7.7	2.6	0.6
AN-94	35.3	229	48.2	22.5	25.2	62.3	94.7	32.4	209	26.8	85.4	3.5	0.7	252	2.5	0.2	6.3	2.8	0.8
AN-95	31.0	269	50.3	17.3	17.9	55.4	88.2	31.2	286	24.5	66.5	2.9	0.7	209	2.1	0.2	6.3	2.5	1.4
AN-96	32.9	211	30.1	22.2	13.6	54.1	74.7	6.3	250	19.0	40.7	0.9	0.8	118	1.4	0.1	2.7	0.4	0.2
AN-97	30.9	269	42.1	16.0	16.0	54.1	89.6	31.1	289	22.1	68.4	4.4	0.6	200	2.2	0.4	5.8	2.8	1.0
AN-98	25.0	169	81.9	16.4	24.8	43.7	101.3	53.8	231	20.3	85.1	6.9	0.9	323	2.6	0.6	11.9	5.1	1.3
AN-99	31.2	287	65.1	17.4	17.7	57.2	90.0	37.6	296	23.5	77.1	4.3	0.6	250	2.4	0.4	6.8	3.1	1.2
AN-100	23.1	174	83.2	14.6	24.4	46.2	97.4	56.0	185	21.8	85.9	6.9	0.6	331	2.7	0.5	10.8	5.7	2.0
AN-101	21.7	165	51.8	18.5	19.7	39.9	91.3	31.4	204	16.7	60.8	4.0	1.0	241	2.2	0.4	8.6	2.5	1.2
AN-102	14.6	94	47.2	9.7	16.3	18.2	58.8	53.7	159	14.3	78.0	6.0	0.9	412	2.7	0.4	10.3	5.0	1.5
AN-103	19.6	187	64.8	14.2	22.1	37.2	84.7	42.6	223	21.1	86.7	5.1	1.3	279	2.9	0.4	9.5	3.8	1.5
AN-104	12.2	102	208.1	14.6	109.7	30.2	82.0	57.7	111	17.4	85.5	7.1	13.4	353	3.0	0.7	13.4	5.5	1.3
AN-105	12.1	95	42.9	8.4	16.2	19.5	58.9	58.6	97	11.8	85.0	6.8	0.9	405	2.8	0.6	13.4	5.5	1.2
AN-106	16.9	119	62.6	12.6	19.6	32.1	74.2	45.2	181	19.6	84.0	6.0	0.6	289	2.9	0.6	10.8	5.0	1.8
AN-107	15.1	113	42.4	10.5	18.0	29.8	74.6	49.4	184	17.9	95.5	5.4	0.6	338	3.4	0.4	12.0	4.9	1.8
AN-108	13.0	108	64.3	11.3	20.9	26.8	71.1	57.4	156	15.4	84.9	7.4	0.6	351	3.0	0.7	13.4	5.7	1.5
AN-109	15.2	132	82.0	13.7	22.0	14.8	65.4	46.8	205	10.8	77.8	6.6	1.8	435	3.1	0.6	12.6	9.2	2.0
AN-110	16.2	112	71.2	11.4	24.9	27.9	76.5	48.6	199	18.6	80.3	6.1	1.7	324	3.2	0.6	12.6	5.6	2.0
AN-111	16.4	135	66.2	9.6	16.5	33.5	69.6	46.7	156	13.7	84.0	6.2	0.8	306	3.2	0.5	12.5	5.5	2.0
AN-112	12.7	79	45.3	11.2	17.1	12.3	51.7	46.6	174	12.6	68.5	4.4	1.3	403	2.9	0.4	11.3	6.1	1.7
AN-113	14.6	119	602.1	14.4	192.5	36.7	80.5	51.7	170	18.5	88.7	7.1	27.1	339	3.5	0.7	14.6	6.3	2.9
AN-114	13.8	111	57.4	11.4	21.0	30.6	76.9	51.4	156	16.7	91.0	7.6	2.4	335	3.7	0.7	16.5	6.5	1.8
AN-115	14.0	111	66.4	7.7	17.9	28.7	67.9	56.0	129	11.8	98.3	7.8	2.6	388	3.8	0.8	15.7	7.1	2.4
AN-116	15.6	107	57.6	12.2	19.6	30.6	71.9	42.6	184	19.2	82.7	5.0	2.5	309	3.4	0.3	14.4	5.2	1.7
AN-117	13.6	97	43.6	12.4	19.8	26.4	71.1	50.4	196	19.9	86.8	6.0	2.4	319	3.5	0.6	12.2	6.0	2.2
AN-118	13.2	113	45.0	11.4	20.4	30.0	76.2	60.4	177	16.7	93.4	7.0	2.4	359	3.6	0.8	16.2	7.4	2.1
AN-119	13.8	111	66.4	11.4	20.2	29.1	76.4	61.4	180	18.7	70.0	5.0	2.5	434	3.0	0.6	16.0	7.4	2.4
AN-120	11.6	87	66.4	12.0	17.7	13.3	62.9	56.8	164	15.1	43.8	5.0	2.6	422	1.9	0.3	12.7	6.9	1.7
AN-121	13.1	101	40.1	9.4	19.3	23.4	77.0	52.5	176	15.1	85.7	7.0	2.4	416	4.0	0.7	16.7	8.2	2.5
AN-122	13.6	99	65.2	9.8	21.6	25.8	78.1	62.0	199	18.9	72.4	5.1	2.5	420	2.9	0.4	17.0	8.5	3.7
AN-123	10.1	84	43.7	11.2	16.7	18.7	65.8	45.6	114	11.3	76.1	6.5	3.3	420	3.6	0.7	17.4	7.1	2.2
AN-124	10.7	82	40.5	11.1	15.8	14.2	58.2	44.9	140	11.6	68.5	4.8	3.2	387	3.4	0.5	15.4	6.8	2.2
AN-125	12.0	85	65.4	9.4	20.0	21.8	69.8	54.9	159	20.0	61.6	4.5	2.6	338	2.9	0.6	16.3	7.9	3.1

付録 3 研究試料中の希土類元素組成データ (ppm).

Appendix 3 REE contents data on the samples studied (in ppm).

ICP-MS (Bulk Sample) (ppm)

Sample No.	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
AN-01	15.1	30.6	3.7	17.5	4.6	1.3	4.0	1.0	5.0	0.9	3.1	0.4	3.3	0.5
AN-02	11.1	25.1	2.9	14.7	4.2	1.3	4.0	0.9	5.1	0.9	3.1	0.5	3.4	0.5
AN-03	15.5	33.7	3.7	18.1	4.8	1.4	4.3	1.0	5.5	1.0	3.3	0.5	3.7	0.5
AN-04	12.2	25.8	3.3	16.3	4.7	1.4	4.4	1.0	5.7	1.0	3.4	0.5	3.8	0.6
AN-05	14.6	31.5	3.7	18.5	5.0	1.5	4.7	1.1	6.0	1.1	3.7	0.6	4.2	0.6
AN-06	15.0	29.6	3.7	17.8	4.8	1.3	4.4	1.0	5.8	1.0	3.4	0.5	3.9	0.6
AN-07	13.9	30.6	3.5	17.7	4.8	1.4	4.6	1.1	6.1	1.1	3.8	0.6	4.2	0.6
AN-08	16.1	33.7	4.0	19.4	5.1	1.4	4.5	1.0	5.8	1.0	3.5	0.5	3.8	0.6
AN-09	23.4	45.0	5.2	23.3	5.5	1.3	4.4	1.0	5.2	0.9	3.1	0.5	3.4	0.5
AN-10	5.2	12.9	1.7	10.0	3.5	1.3	3.8	0.9	5.4	1.0	3.4	0.5	3.7	0.6
AN-11	20.9	42.8	4.7	21.4	5.1	1.3	4.3	0.9	5.1	0.9	3.2	0.4	3.4	0.5
AN-12	10.9	26.5	3.1	16.4	5.1	1.5	5.1	1.2	7.0	1.3	4.6	0.6	4.7	0.7
AN-13	4.6	12.2	1.7	10.7	3.9	1.4	4.4	1.1	6.4	1.2	3.9	0.6	4.3	0.6
AN-14	7.8	19.6	2.6	15.4	5.4	1.8	5.9	1.4	8.2	1.4	5.0	0.7	5.2	0.8
AN-15	16.9	37.5	4.1	21.0	6.0	1.8	5.8	1.3	7.5	1.2	4.6	0.7	4.8	0.7
AN-16	20.4	43.7	4.6	22.6	6.1	1.6	5.6	1.2	6.9	1.1	4.1	0.6	4.4	0.7
AN-17	15.6	34.9	4.0	20.5	6.0	1.8	6.0	1.3	7.7	1.3	4.9	0.7	4.9	0.8
AN-18	12.6	27.4	3.2	16.7	5.1	1.6	5.0	1.1	6.7	1.1	4.0	0.6	4.2	0.6
AN-19	7.2	20.3	2.9	18.1	6.6	2.2	7.2	1.7	9.9	1.6	6.0	0.9	6.2	0.9
AN-20	11.0	26.7	3.1	16.4	5.1	1.7	5.3	1.2	7.2	1.2	4.3	0.6	4.4	0.7
AN-21	24.4	50.4	5.4	24.8	6.1	1.6	5.0	1.1	5.9	0.9	3.4	0.5	3.7	0.6
AN-22	6.1	19.5	2.8	17.7	6.6	2.2	7.2	1.7	10.1	1.7	6.1	0.9	6.4	1.0
AN-23	16.6	38.4	4.3	22.3	6.5	1.9	6.4	1.5	8.3	1.4	5.1	0.7	5.3	0.8
AN-24	11.3	26.6	2.9	15.3	4.6	1.5	4.8	1.1	6.6	1.1	4.0	0.6	4.2	0.6
AN-25	13.4	31.7	3.3	17.4	5.2	1.6	5.0	1.1	6.6	1.1	4.0	0.6	4.2	0.6
AN-26	9.8	24.8	3.0	17.0	5.6	1.9	6.0	1.4	7.8	1.3	4.7	0.7	5.0	0.7
AN-27	13.6	31.8	3.6	19.2	5.6	1.7	5.5	1.2	7.2	1.2	4.4	0.6	4.6	0.7
AN-28	14.3	32.8	3.7	18.8	5.5	1.8	5.5	1.2	7.3	1.2	4.3	0.6	4.5	0.7
AN-29	11.0	28.5	3.3	18.3	5.8	1.9	6.0	1.4	8.0	1.3	4.9	0.7	5.0	0.8
AN-30	19.4	42.2	4.6	22.7	6.1	1.7	5.7	1.3	7.1	1.2	4.3	0.6	4.5	0.7
AN-31	29.7	62.1	6.5	29.9	7.0	1.7	5.9	1.2	6.5	1.0	3.7	0.6	3.9	0.6
AN-32	25.6	55.9	5.9	27.8	7.1	1.9	6.2	1.3	7.3	1.2	4.2	0.6	4.5	0.7
AN-33	22.0	45.3	5.0	23.4	5.5	1.5	4.8	1.0	5.7	0.9	3.4	0.5	3.6	0.6
AN-34	12.7	20.0	4.6	26.1	8.7	2.6	9.1	2.0	11.3	1.8	6.7	1.0	7.2	1.0
AN-35	23.9	49.7	5.6	26.4	6.9	1.8	5.7	1.3	6.8	1.2	3.9	0.6	4.4	0.6
AN-36	18.2	41.6	4.8	24.2	7.1	2.1	6.6	1.5	8.4	1.4	4.8	0.7	5.2	0.8
AN-37	31.8	63.4	6.9	31.3	7.8	1.9	6.4	1.4	7.3	1.2	4.2	0.6	4.6	0.7
AN-38	28.0	59.9	6.1	27.9	7.0	1.7	5.7	1.3	6.8	1.1	3.5	0.5	3.8	0.5
AN-39	28.4	58.7	6.3	28.7	7.1	1.7	5.8	1.3	6.8	1.2	3.9	0.6	4.3	0.6
AN-40	29.7	61.9	6.7	30.3	7.6	1.9	6.2	1.4	7.5	1.3	4.3	0.6	4.5	0.7
AN-41	28.5	58.7	6.4	28.6	7.3	1.7	6.0	1.3	7.0	1.2	3.9	0.6	4.3	0.6
AN-42	30.2	65.6	7.1	33.1	8.8	2.2	7.7	1.7	9.4	1.6	5.2	0.8	5.8	0.9
AN-43	30.6	65.7	6.8	30.7	7.7	1.9	6.3	1.4	7.4	1.3	4.1	0.6	4.6	0.7
AN-44	34.1	74.9	7.8	35.3	9.0	2.1	7.2	1.6	8.5	1.4	4.7	0.7	5.0	0.7
AN-45	29.6	60.4	6.6	30.0	7.6	1.9	6.2	1.4	7.3	1.2	4.1	0.6	4.4	0.6
AN-46	26.9	58.0	6.2	28.4	7.6	1.9	6.6	1.5	8.1	1.4	4.7	0.7	5.1	0.8
AN-47	11.4	31.8	4.3	25.3	8.9	2.6	8.7	2.1	11.8	2.0	6.8	1.0	7.1	1.0
AN-48	30.8	63.8	6.5	28.1	6.6	1.6	5.1	1.1	5.7	1.0	3.2	0.5	3.5	0.5
AN-49	24.8	52.0	5.4	23.9	6.0	1.6	4.9	1.1	6.0	1.0	3.4	0.5	3.7	0.6
AN-50	35.8	74.1	7.7	33.7	8.3	1.9	6.5	1.4	7.4	1.2	4.1	0.6	4.4	0.6
AN-51	28.4	58.4	6.2	27.8	6.8	1.7	5.6	1.2	6.5	1.1	3.6	0.5	3.9	0.6
AN-52	31.1	62.8	7.0	31.8	8.2	1.9	6.9	1.5	8.2	1.4	4.7	0.7	5.0	0.8
AN-53	28.9	57.2	6.4	28.7	7.3	1.8	6.3	1.4	7.4	1.3	4.2	0.6	4.6	0.7
AN-54	8.6	16.9	1.9	9.7	2.4	0.7	2.4	0.4	2.6	0.4	1.3	0.2	1.9	0.3
AN-55	10.9	20.6	2.3	12.6	3.2	0.9	3.4	0.5	3.5	0.6	1.8	0.2	2.4	0.4
AN-56	13.5	24.8	2.8	14.5	3.5	0.9	3.7	0.6	3.7	0.6	1.9	0.2	2.5	0.4
AN-57	8.8	15.3	1.7	8.1	1.8	0.5	1.6	0.2	1.5	0.2	0.8	0.1	1.1	0.2
AN-58	13.5	24.0	2.5	12.4	3.0	0.4	2.9	0.5	3.1	0.5	1.6	0.2	2.3	0.4
AN-59	11.8	22.4	2.5	12.8	3.1	0.8	3.1	0.5	3.1	0.5	1.6	0.2	2.3	0.4
AN-60	13.4	25.7	2.7	14.1	3.3	0.8	3.3	0.5	3.2	0.5	1.6	0.2	2.3	0.4
AN-61	9.2	16.5	1.9	9.5	2.2	0.6	2.2	0.3	2.2	0.3	1.1	0.1	1.6	0.3
AN-62	12.1	22.6	2.4	12.6	3.0	0.8	3.0	0.5	3.1	0.5	1.6	0.2	2.3	0.4
AN-63	6.1	12.5	1.5	8.5	2.5	0.8	2.8	0.5	3.2	0.5	1.6	0.2	2.2	0.4

付録 3 (つづき).

Appendix 3 (continued).

ICP-MS (Bulk Sample) (ppm)

Sample No.	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
AN-64	11.5	22.3	2.5	12.9	3.1	0.8	3.1	0.5	3.1	0.5	1.5	0.2	2.1	0.3
AN-65	10.1	18.5	2.0	10.3	2.3	0.6	2.2	0.3	2.1	0.3	1.1	0.1	1.5	0.2
AN-66	6.7	16.0	1.9	11.8	3.4	1.0	3.9	0.6	4.4	0.7	2.3	0.3	3.1	0.5
AN-67	12.0	22.9	2.5	12.4	2.7	0.6	2.4	0.4	2.4	0.4	1.2	0.2	1.7	0.3
AN-68	10.8	22.1	2.5	13.7	3.3	0.9	3.3	0.5	3.6	0.6	1.7	0.2	2.3	0.4
AN-69	9.3	16.5	1.9	9.4	1.9	0.5	1.8	0.3	2.0	0.3	0.9	0.1	1.3	0.2
AN-70	9.3	19.9	2.2	12.7	3.4	0.9	3.5	0.6	3.9	0.6	2.0	0.3	2.8	0.4
AN-71	12.8	28.2	2.9	15.4	3.6	1.0	3.7	0.6	4.0	0.6	2.1	0.3	2.9	0.5
AN-72	12.9	29.9	3.2	17.9	4.5	1.2	4.6	0.8	5.2	0.8	2.7	0.3	3.6	0.6
AN-73	9.2	17.9	1.8	9.1	1.9	0.5	1.7	0.3	1.8	0.3	0.9	0.1	1.3	0.2
AN-74	10.5	21.5	2.4	13.1	3.3	0.9	3.4	0.5	3.7	0.6	1.8	0.2	2.5	0.4
AN-75	9.0	19.4	2.1	11.3	2.7	0.7	2.6	0.4	3.1	0.5	1.6	0.2	2.3	0.4
AN-76	11.0	20.4	2.3	11.9	2.6	0.6	2.4	0.4	2.6	0.4	1.2	0.2	1.7	0.3
AN-77	10.4	20.8	2.3	12.2	2.9	0.7	2.8	0.5	3.1	0.5	1.5	0.2	2.1	0.3
AN-78	13.2	25.2	3.0	15.7	3.5	0.9	3.4	0.5	3.5	0.5	1.7	0.2	2.2	0.3
AN-79	9.7	20.4	1.9	9.8	2.0	0.6	1.9	0.3	1.9	0.3	1.0	0.1	1.4	0.2
AN-80	11.0	22.7	2.5	13.6	3.2	0.8	3.3	0.5	3.6	0.6	1.9	0.2	2.6	0.4
AN-81	10.6	20.4	2.5	13.9	3.4	0.9	3.5	0.6	3.7	0.6	1.8	0.2	2.5	0.4
AN-82	13.1	27.2	2.8	14.8	3.3	0.8	3.3	0.5	3.5	0.5	1.7	0.2	2.4	0.4
AN-83	10.4	23.2	2.4	13.7	3.7	1.1	4.3	0.7	5.0	0.8	2.6	0.3	3.6	0.6
AN-84	16.9	37.3	3.6	19.6	4.8	1.4	5.3	0.9	6.4	1.0	3.3	0.4	4.7	0.8
AN-85	12.8	30.5	3.0	16.8	4.3	1.2	4.7	0.8	5.4	0.8	2.9	0.4	4.2	0.7
AN-86	13.9	25.2	2.8	14.1	3.0	0.7	2.8	0.4	2.8	0.4	1.4	0.2	1.9	0.3
AN-87	16.3	31.9	3.5	17.8	4.0	0.9	3.8	0.6	4.0	0.6	2.1	0.3	2.9	0.4
AN-88	22.7	49.9	4.8	25.8	6.7	1.9	7.4	1.2	8.6	1.4	4.6	0.6	6.4	1.0
AN-89	11.7	20.7	2.4	12.5	2.7	0.7	2.6	0.4	2.7	0.4	1.3	0.2	1.9	0.3
AN-90	12.4	25.5	2.6	13.4	3.1	0.8	3.1	0.5	3.2	0.5	1.7	0.2	2.3	0.3
AN-91	10.0	20.8	2.1	11.2	2.7	0.7	2.7	0.4	3.0	0.5	1.6	0.2	2.1	0.4
AN-92	8.5	17.9	2.0	11.3	3.0	0.9	3.2	0.5	3.7	0.6	1.9	0.2	2.5	0.4
AN-93	8.0	16.7	1.9	10.9	2.9	0.9	3.2	0.5	3.5	0.6	1.8	0.2	2.4	0.4
AN-94	9.2	19.6	2.1	11.8	2.9	0.9	3.2	0.5	3.6	0.6	1.8	0.2	2.5	0.4
AN-95	7.6	16.5	1.7	9.7	2.6	0.8	2.9	0.5	3.3	0.5	1.7	0.2	2.3	0.4
AN-96	2.0	5.4	0.7	4.9	1.7	0.6	2.2	0.4	2.7	0.4	1.4	0.2	1.9	0.3
AN-97	7.5	16.2	1.7	9.3	2.4	0.7	2.7	0.5	3.1	0.5	1.6	0.2	2.1	0.3
AN-98	12.2	23.8	2.6	13.4	3.0	0.8	2.9	0.5	3.0	0.5	1.5	0.2	2.0	0.3
AN-99	8.6	19.3	2.0	10.9	2.7	0.8	3.1	0.5	3.3	0.5	1.7	0.2	2.3	0.4
AN-100	14.2	26.2	2.9	14.8	3.2	0.8	3.0	0.5	3.1	0.5	1.5	0.2	2.1	0.3
AN-101	7.8	14.5	1.8	9.9	2.5	0.7	2.5	0.4	3.2	0.5	1.5	0.2	2.0	0.3
AN-102	13.0	23.7	2.5	12.3	2.6	0.7	2.2	0.4	2.5	0.4	1.2	0.2	1.7	0.3
AN-103	11.4	21.5	2.6	13.7	3.3	0.9	3.2	0.5	3.8	0.5	1.7	0.2	2.3	0.4
AN-104	14.7	27.5	3.0	15.4	3.4	0.8	3.1	0.5	3.5	0.5	1.5	0.2	2.0	0.3
AN-105	12.1	22.1	2.4	11.8	2.4	0.6	2.1	0.3	2.3	0.3	1.0	0.1	1.5	0.2
AN-106	12.7	24.1	2.7	13.9	3.1	0.8	3.1	0.5	3.5	0.5	1.6	0.2	2.3	0.3
AN-107	12.0	23.3	2.6	13.4	3.1	0.8	2.9	0.5	3.3	0.5	1.5	0.2	2.2	0.3
AN-108	13.7	25.3	2.9	14.3	3.1	0.8	2.8	0.4	3.1	0.4	1.3	0.2	1.9	0.3
AN-109	14.5	33.2	3.0	14.1	2.9	0.6	2.4	0.4	2.5	0.4	1.1	0.1	1.6	0.2
AN-110	13.1	25.2	2.8	14.9	3.5	0.9	3.2	0.5	3.8	0.6	1.7	0.2	2.4	0.4
AN-111	10.5	19.4	2.2	11.0	2.5	0.7	2.3	0.4	2.7	0.4	1.3	0.2	1.9	0.3
AN-112	13.3	25.9	2.7	13.3	2.9	0.8	2.5	0.4	2.7	0.4	1.2	0.2	1.7	0.3
AN-113	13.9	25.8	3.0	15.7	3.6	0.9	3.4	0.5	3.8	0.6	1.7	0.2	2.4	0.4
AN-114	13.5	25.8	3.0	15.0	3.5	0.9	3.3	0.5	3.7	0.5	1.6	0.2	2.3	0.4
AN-115	11.0	21.5	2.3	11.8	2.6	0.7	2.3	0.4	2.6	0.4	1.2	0.2	1.7	0.3
AN-116	11.6	22.6	2.6	14.4	3.5	1.0	3.4	0.6	4.0	0.6	1.8	0.2	2.5	0.4
AN-117	13.7	26.4	3.0	15.6	3.5	0.9	3.4	0.5	3.9	0.6	1.8	0.2	2.5	0.4
AN-118	16.2	31.6	3.4	16.8	3.7	0.9	3.3	0.5	3.6	0.5	1.5	0.2	2.2	0.3
AN-119	16.7	36.8	3.5	17.3	4.0	1.0	3.7	0.6	4.0	0.6	1.9	0.2	2.6	0.4
AN-120	17.1	34.0	3.2	15.6	3.3	0.8	2.9	0.4	3.1	0.4	1.4	0.2	2.0	0.3
AN-121	13.6	26.6	3.0	15.1	3.4	0.9	3.3	0.5	3.8	0.5	1.7	0.2	2.4	0.4
AN-122	19.5	39.8	4.0	19.6	4.2	1.1	4.0	0.6	4.3	0.6	1.9	0.3	2.8	0.4
AN-123	13.1	25.2	2.7	13.5	2.8	0.8	2.5	0.4	2.7	0.4	1.3	0.2	1.9	0.3
AN-124	14.3	26.4	2.8	13.6	2.9	0.8	2.5	0.4	2.8	0.4	1.3	0.2	1.9	0.3
AN-125	18.7	40.5	3.9	19.7	4.5	1.1	4.3	0.7	4.7	0.7	2.2	0.3	3.0	0.5