

Singularity of Clay Minerals and Iridium Concentration at Cretaceous-Tertiary (K-T) Boundary

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2021-07-19 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00061654

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



報 文

K-T境界における粘土鉱物の特異性とイリジウム

田崎和江*・荒谷美智**・矢野倉実**・海保邦夫***・野田修司****

* 島根大学理学部地質学教室

〒690 松江市西川津町1060

** 理化学研究所

〒351-01 和光市広沢2-1

*** 東北大学理学部地質学古生物学教室

〒980 仙台市青葉区荒巻字青葉

**** 島根県工業技術センター

〒699-01 八東郡東出雲町出雲郷219

**Singularity of Clay Minerals and Iridium Concentration at
Cretaceous-Tertiary (K-T) Boundary**

Kazue TAZAKI*, Michi ARATANI**, Minoru YANOKURA**,
Kunio KAIHO*** and Shuji NODA****

* Department of Geology, Shimane University

Matsue, Shimane 690

** The Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN)

Wako, Saitama 351-01

*** Institute of Geology and Paleontology, Tohoku University

Sendai Miyagi 980

**** Institute of Industrial Science and Technology, Shimane

Higashiizumo, Shimane 699-01

Abstract

Spherical heating-shocked mica clays are found in Cretaceous-Tertiary (K-T) boundary sediments in the eastern district of Hokkaido, northernmost Japan. The K-T boundary sediments contain relatively high Ir concentrations suggesting an asteroid struck the Earth and caused mass extinctions at the end of the Cretaceous. Foraminifera are totally absent in the grayish black clay. Mineralogical investigations of the claystone have been carried out by the use of X-ray powder diffraction, high resolution electron microscope, energy dispersive spectrometer and heavy-iron Rutherford scattering. Singularity of clay minerals of a continuous stratigraphic section spanning the K-T boundary reveals that the spherical interstratified clay in $< 2\mu\text{m}$ fraction are largely decomposed. The spherical clay shows characteristic stacking disorder of 14\AA , 10\AA , 7\AA phase, which is suggested to be heating events in the K-T boundary.

Key Words : K-T boundary, spherical mica clays, iridium.

1992年(平成4年)4月20日受付, 1992年(平成4年)6月6日受理

1. はじめに

地球規模の変動によって、その当時生息していた生物種の多くが絶滅した事件が、白亜紀と第三紀の境界にあったらしい。その事件を示唆する地球規模の環境異変が地球の表面に刻み込まれている。その一つが、白亜紀と第三紀の境界におけるイリジウムの存在である。わずか1~2cmの粘土層からイリジウムの異常濃集が Alvarez父子ら¹⁾によって発見されて以来、現在もなお、世界中で、次々とK-T境界層においてイリジウムの異常濃集が報告されている²⁻⁵⁾。この境界の地層から、もともと地球に少なくとも隕石に多く含まれているイリジウムが高い濃度で発見されたことから、隕石の落下と種の絶滅を結び付けるさまざまな研究がなされてきた⁶⁻⁸⁾。隕石の衝突で巻き上げられた大量の粘土質の微粒子は、大きな火山の爆発よりも多く、かつ比較にならないほど長期間大気中に滞留し、生物種の保持をむずかしくしたという。イリジウム濃集層からは微化石を産しないという事実は、一部の例外を除いてはほとんどのK-T境界層に共通している。しかし、K-T境界層における異常堆積を全地球規模の大火山活動に求める一派もある⁹⁻¹¹⁾。その一人 Hallam¹¹⁾は、球顆の続成作用による形成や粘土層中の金属元素が濃集される過程を重視し、カオリン粘土層は、単なる海退運動に伴って、沿岸で形成されたに過ぎないと報告している。また、Johnssonら¹²⁾は、K-T境界層の粘土は、カオリン、イライト等の現地性の生成物であり、その上下の地層からも普遍的に産出すると述べている。さらに、デンマークのステーブンス・クリントにおけるK-T境界粘土層の大部分は、火山噴出物起源のMg-スメクタイトであると報告されている¹³⁾。その他の説や理論については、八木・平⁹⁾が、堆積学的問題に絞って、レビューしている。

本論文では、K-T境界を、粘土鉱物学的に検討し、その粘土鉱物の微形態、結晶構造、一連の地層における変化、特徴、多様性について考察し、地球環境異変を解明することを目的とした。粘土は、外界の変化にたいして非常に敏感であり、かつ地球環境の変化の痕跡をも刻み込んでいる。今回の研究結果は、粘土鉱物学が、このK-T境界の議論にも大いに関与し、貢献できることを示した。さらに、電子顕微鏡による、粘土鉱物などの粉末試料の形態や微

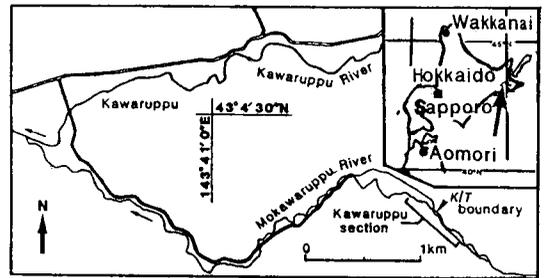


Fig. 1 Location of the K-T boundary section in eastern Hokkaido, Japan. (After Kaiho and Saito, 1986)

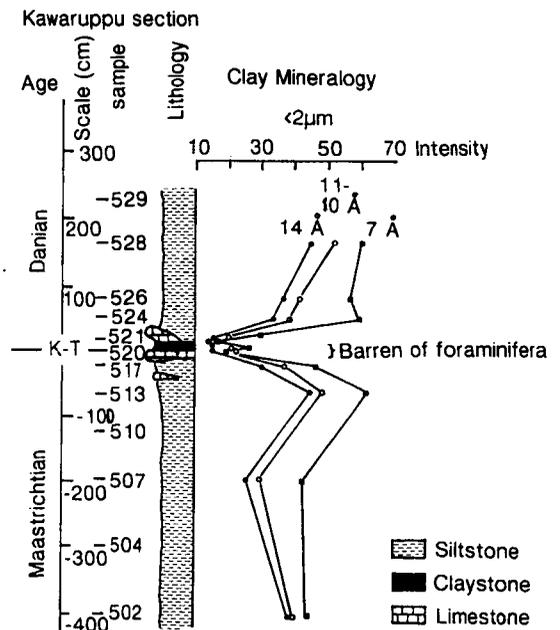


Fig. 2 Lithology and clay mineralogy of the K-T boundary interval in the Kawayuruppu section, eastern Hokkaido. (Columnar section from Kaiho and Saito, 1986)

細構造の研究が、地球環境を検討する上で有効であることを明らかにした。

2. 試料と実験方法

北海道北東部の川流布の活平層の木炭片を含む暗灰色泥岩層中に、層厚6~10cmの灰黒色粘土岩より成るK-T境界層が認められる (Fig. 1)。この境界では、著しく減少した裸子、被子両植物の花粉群と

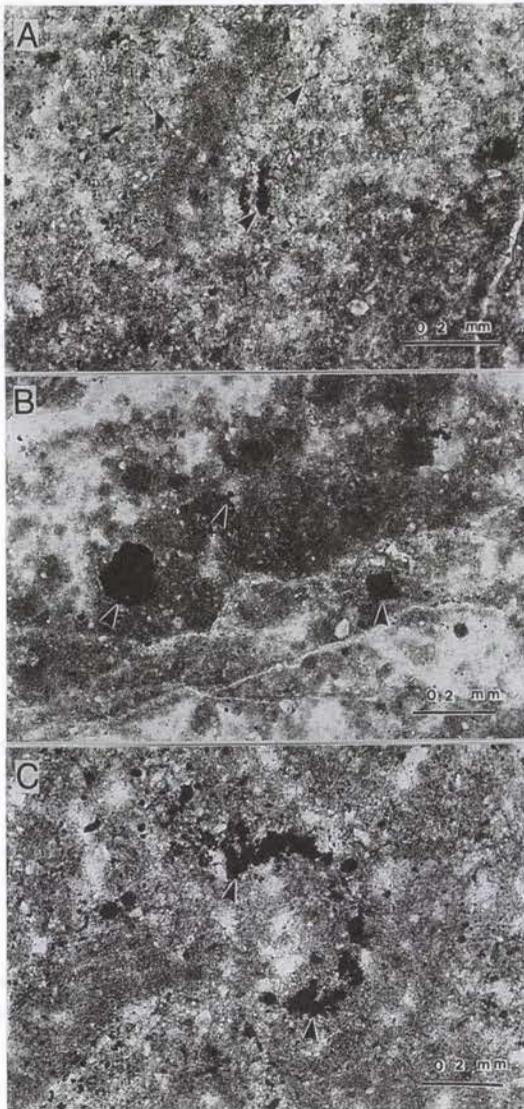


Fig. 3 Optical thin sections of upper (A-sample 524), lower (C-sample 513) and K-T boundary (B-sample 520-3) sediments. Arrows are showing pyrite.

相対的に増加したシダ植物の孢子群が認められるが、有孔虫化石は、ほとんど欠如している^{6,14)}。また、この K-T 境界では総イオウム量が減少し、 $\delta^{34}\text{S}$ CDT 値も $-0.2 \sim -13.3 \%$ と急激に減少する¹⁵⁾。露頭における岩相、層厚、試料番号を、Fig.2 に示し、粘土分の X 線粉末回折結果もあわせて、プロットし

た。

各地層を数センチオーダーで採集した試料の岩石薄片を作成し、偏光顕微鏡で観察した。また、各々の試料について、全岩試料と水篩して集めた、 $2\mu\text{m}$ 以下のサイズについて、粉末 X 線回折分析を行った。さらに、 $2\mu\text{m}$ 以下の微粉末の化学組成を、エネルギー分散と重イオン加速器により、その懸濁液をマイクログリッド上に乗せて観察した。X 線粉末回折は、理学電機 (株) 製ガイガーフレックス D-1 型 2013 X 線回折装置を使用し、カウンターモノクロメーターによる $\text{CuK}\alpha$ 線を用い、電圧 35kV 、電流 20mA で測定を行った。走査型電子顕微鏡とエネルギー分散分析は、日本電子製 JEOL・JSM-T 220A を用い、加速電圧 20kV 、測定時間 800 秒で定量分析を行った。透過型電子顕微鏡は、日本電子製 JEOL・JEM 2000 EX を用い、加速電圧 160kV で使用した。重イオンラザフォード散乱では、理化学研究所重イオン線型加速器からの重イオンビーム $^{40}\text{Ar}^{4+}$ 、 $^{40}\text{Ar}^{6+}$ 、 $^{40}\text{Ar}^{8+}$ 、 $^{84}\text{Kr}^{9+}$ 、 $^{129}\text{Xe}^{13+}$ を用いた。エネルギーはいずれも 1 核子あたり 1.25MeV 以下で、ラザフォード散乱に最適の範囲に入っている。検出角度 $15^\circ \sim 60^\circ$ 、ビーム電流 $\sim 10\text{nA}$ で照射を行った。ビームサイズは、約 $1.5\text{mm} \times 2\text{mm}$ である。

3. 結 果

3.1 薄片観察

K-T 境界層をはさむ上位と下位の地層は、均質なシルト岩であり、マトリックスは黄褐色の粘土質を呈する。長石類、石英が卓越し、多量のパイライトが認められる。パイライトは、小球粒体または、立方体よりなる単独結晶の場合と、数珠状に連結したり (Fig.3A)、フランボイダルな塊状 (Fig.3C) をなす場合とがある。

K-T 境界層 (試料 520-3) は、黒褐色のち密な粘土岩であり、塊状、フランボイダル状、立方体のパイライトを含有する (Fig.3B)。小球粒状パイライトの単独結晶も多く、 1mm 前後の炭酸塩鉱物も認められる。さらに、マトリックスには、石灰質の微化石も多く存在する。サンプル 520-5 の K-T 境界層は、約 0.5mm の厚さの積層の堆積状況をよく示しているが、低変成作用と考えられる微褶曲、傾斜構造または、ラメラの変形も見られる。

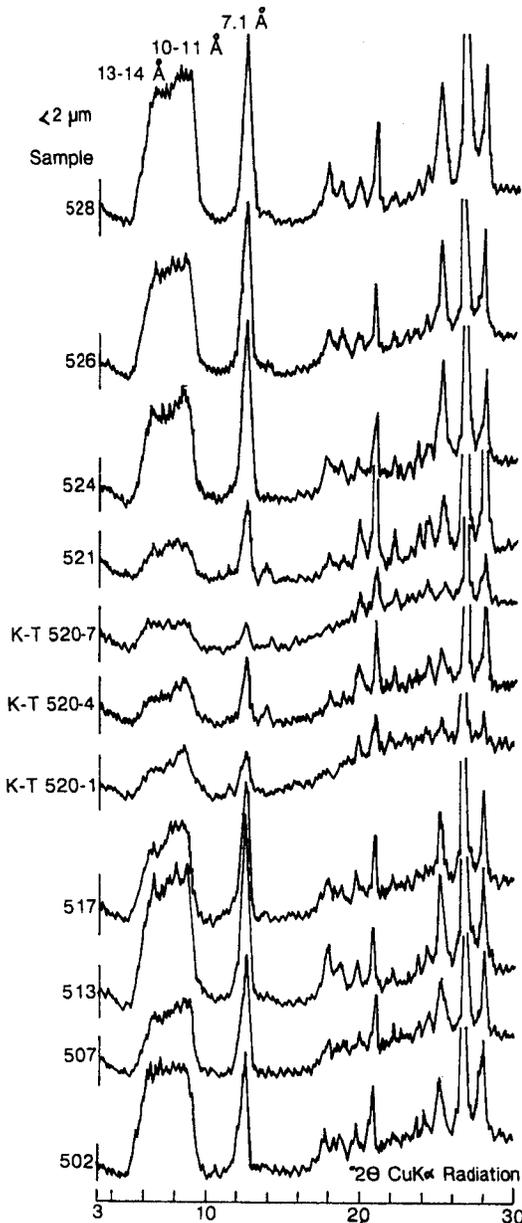


Fig. 4 X-ray powder diffractions of $< 2\mu\text{m}$ size fraction showing low crystallinity of clay minerals at K-T boundary (sample 520-7,4,1).

3.2 X線粉末回折分析

K-T境界層およびその上下の地層の全岩の不定方位試料におけるX線粉末回折結果は、いずれもよく似

たパターンを示し、主に石英、長石類、粘土鉱物からなる。また、少量のパイライトも認められる。粘土鉱物では、7.1Åのカオリン鉱物が卓越しており、特にK-T境界層の上位の試料(526, 528)に多い。K-T境界層とその下位のカオリン鉱物のピークの強さは、ほぼ同じであり、きわだった傾向は認められない。6°から9°にかけて、ブロードな台形のピークが認められるが、試料526, 528については、比較的反射が強く、他の試料については、非常に弱い。全岩試料の鉱物組成からの一般的な傾向は、認められない。

一方、 $2\mu\text{m}$ 以下の定方位試料のX線粉末回折結果は、K-T境界層とその上下層において、粘土鉱物の反射強度に、はっきりと違いがあらわれた(Fig.4)。6°から9°の台形の反射強度は、K-T境界層の試料(520-7, 520-4, 520-1)において、顕著に弱く、その上下層においては、強い反射を示している。7.1Åのカオリン鉱物の反射も同様に、K-T境界で急激に弱まり、その上下層においては、強い反射を示している。3.197Åの長石類の反射も同じく、K-T境界層において、その反射を弱めている。含有粘土鉱物、鉱物の反射強度が、K-T境界層で、顕著に弱まっている事実は、この層における粘土鉱物粒子の、結晶度が低いこと、含有量が少ないこと、結晶の不規則性の増加などの可能性を示唆している。

粘土鉱物の同定を行うため、加熱処理による反射の変化を見た。K-T境界層の上位の試料524では、6°から9°に見られる台形のピークは、200°C、1時間加熱で14Åと10.3Åに分離し、600°C加熱処理で、14Åのピークは消失し、10.5Åはシャープになって存在した。また、7.1Åのピークは、450°Cで急速に弱まり、600°Cでは、完全に消失した。従って、この試料の粘土鉱物組成は、膨潤性緑泥石または、Mg-パーミキュライト、加水雲母類粘土鉱物、カオリン鉱物よりなっていることを示している。なお、通常の緑泥石は存在しない(Fig.5)。一方、K-T境界層の試料520-4の粘土鉱物組成は、14Åに緑泥石を含み、加水雲母粘土鉱物、カオリン鉱物より成っている。いずれも、これらの粘土鉱物の結晶度が低いことが特徴である(Fig.6)。K-T境界層の下位層の試料513の粘土鉱物は、同様の加熱処理で、緑泥石、加水雲母類粘土鉱物、カオリン鉱物の含有を示した。これらの粘土鉱物の反射が、K-T境界層のピークと比べて、シャ-

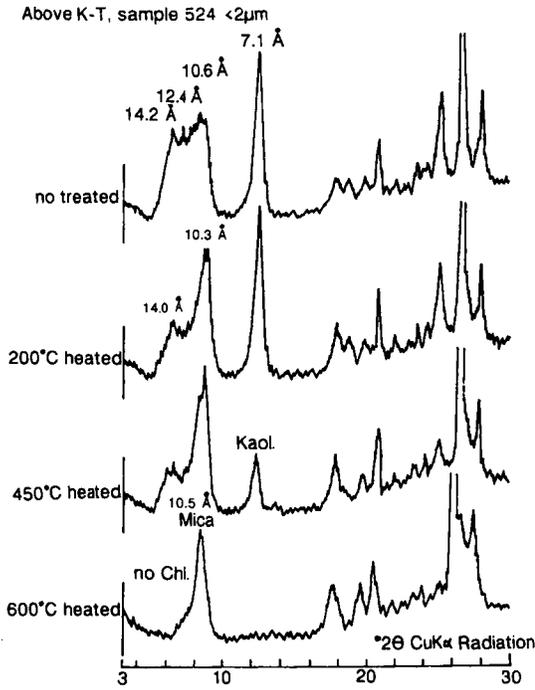


Fig. 5 X-ray powder diffractions of heating treated sample 524 above K-T boundary. Kaol.; Kaolin minerals, Chl.; Chlorite, Mica; Mica clay minerals.

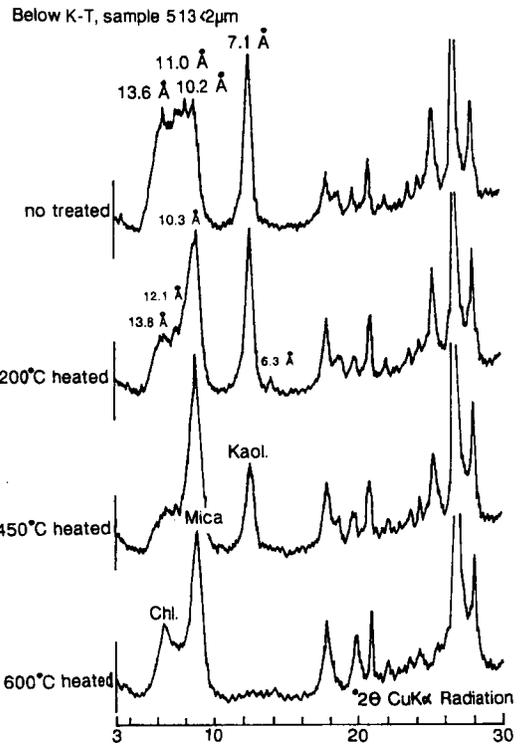


Fig. 7 X-ray powder diffractions of heating treated sample 513 below K-T boundary. Symbols are the same as Fig.5.

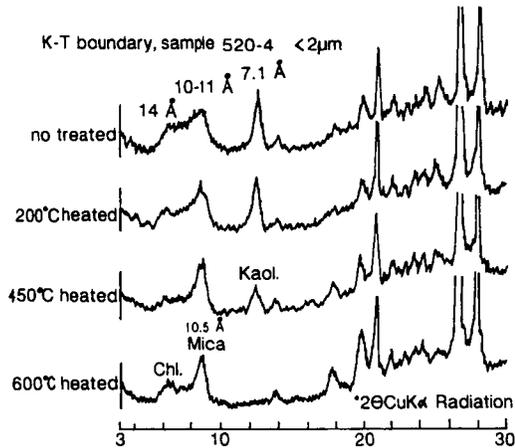


Fig. 6 X-ray powder diffractions of heating treated sample 520-4 at K-T boundary. Symbols are the same as Fig.5.

であることが特徴である (Fig.7).

2μm 以下の試料中の14, 11-10, 7Åの相対的な反

射の強さを層序と対応させてプロットすると (Fig. 2), 灰黒色粘土岩層の試料520は, 粘土鉱物の反射強度が極端に低下していることが明らかである. 含有粘土鉱物をさらに詳しく検討すると, 加熱処理によって, 反射が単独でシャープなピークにならず, ショルダーまたはブリッジ状になることから, 混合層粘土鉱物の混在が示唆される. そこで, X線の感度を上げ, エチレングリコール処理をすると, K-T 境界層の上位層では, 14Åのピークが, 14.6Åと17.0Åに分離することからスメクタイトも共存していることが明らかである. また, 30.6Å, 25.4Å, 20.4Åなどの長周期反射も認められることから, イライト-スメクタイト混合層鉱物も共存している (Fig.8 試料528). K-T 境界の下位層には, イライト-スメクタイトの混合層鉱物の存在も, 14.6Å, 29.4Åなどの反射から示唆される (Fig.8 試料517). K-T 境界層とその上下層中のカオリン鉱物 (7.1-7.2Å), 加水

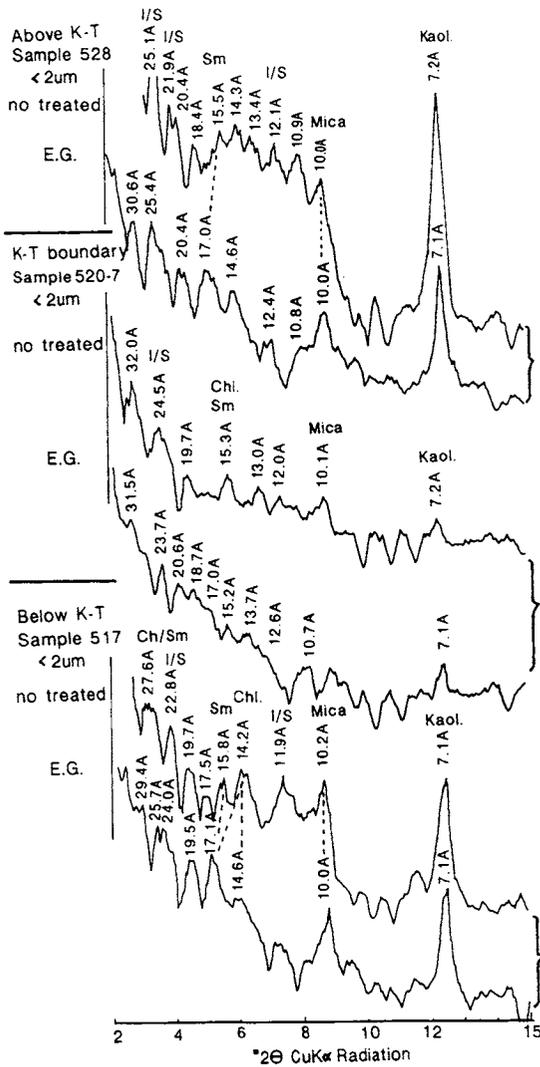


Fig. 8 X-ray powder diffractions of sample 528, 520-7 and 517 showing presence of random interstratified minerals. E.G.; Ethylene glycol treatment.** I / S ; Illite-Smectite interstratified minera, Sm ; Smectite, Ch / Sm ; Chlorite-Smectite interstratified mineral. The other symbols are the same as Fig.5.

雲母鉱物 (10.0-10.2Å), 緑泥石 (14.2-14.3Å), スメクタイト (15.3-15.8Å), 混合層鉱物 (10.9-11.9Å) は, いずれもK-T 境界層で反射強度の低下が明

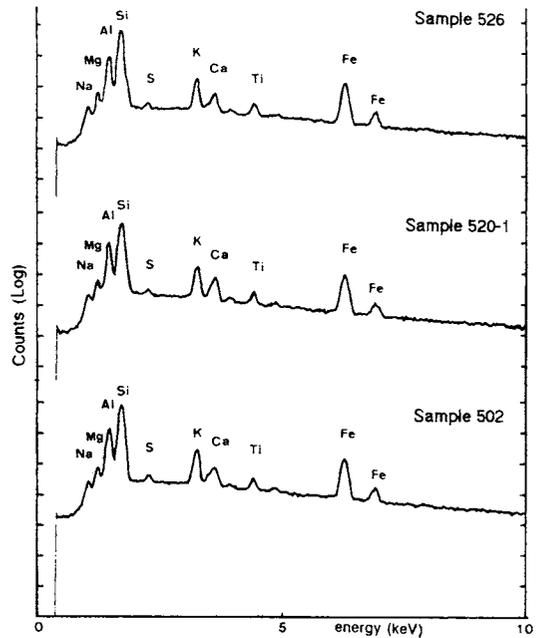


Fig. 9 Energy dispersive X-ray analyses of sample 526 above K-T boundary, sample 502 below K-T boundary and sample 502-1 at K-T boundary.

らかである (Fig.8 試料520-7) .

3.3 エネルギー分散分析

K-T 境界層の試料 (520-1) とその上位層 (526) と下位層 (502) における<2μm サイズのエネルギー分散分析を行った. X 線粉末回折に用いたスライドから少量とった粉末は両面テープに付着させ, カーボン蒸着をほどこした. その結果は, Fig.9 に示したように, Na, Mg, Al, Si, S, K, Ca, Ti および Fe が主であるが, 反射像による光沢部分の点分析により, パイライト (Fe と S) の存在が顕著に認められた. さらに, Ti のみ, Ba と S, Zr のみ, Cu のみを各々持つ微粒子が混在していた. さらに, 試料 502中には, Ba, Zr, La, Cs なども認められた. ZAF 補正をほどこした定量分析結果は, K-T 境界とその上下層とで, <2μm 粒子の化学組成が異なることを示した (Table 1) . MgO, Al₂O₃, CaO および TiO₂ は K-T 境界で濃度が高く, その反面, SiO₂ 量は, K-T 境界で低くなっている. Na₂O, SO₃,

Table 1. EXD quantitative analyses of sample 526 above K-T boundary, sample 520-1 at K-T boundary, and sample 502 below K-T boundary

Sample	526	520 ⁻¹	502
			wt%
Na ₂ O	3.12	2.53	2.48
MgO	1.50	1.83	0.95
Al ₂ O ₃	15.01	19.40	16.33
SiO ₂	67.84	62.19	66.65
SO ₃	0.32	0.41	0.66
K ₂ O	2.90	3.39	3.59
CaO	1.20	2.06	1.26
TiO ₂	0.85	1.01	0.86
Fe ₂ O ₃	7.27	7.17	7.21
Total	100.01	99.99	99.99

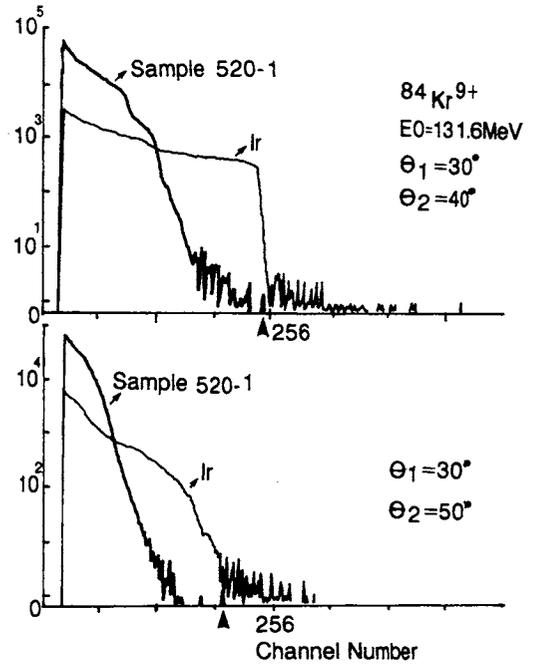


Fig. 11 HIRS energy spectra of the black-grey clay shows that Ir contains in the sediment at (sample 520-1) K-T boundary.

少の傾向を示しているが、Fe₂O₃量は、ほとんど変化しない。K-T境界における顕著なAl₂O₃の増加(3~4%)と顕著なSiO₂の減少(4~5%)は、有意な差である。

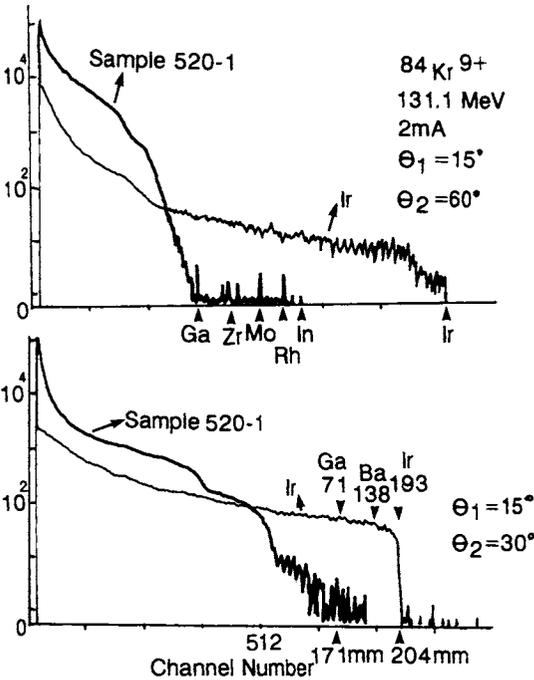


Fig. 10 HIRS energy spectra of the black-grey clay at K-T boundary show that heavy metals are contained in sample 520-1.

3.4 重イオン加速器によるラザフォード散乱分析

K-T境界層および、その上下層の全岩試料13を重イオン加速器で分析したところ、いずれの試料も、O, Al, Si, Ca, Feといった通常の鉱物、粘土鉱物の組成をあらわし、大きな差異は認められなかった。一方、2μm以下の微粉末について、⁸⁴Kr⁹⁺、131.1MeVで、60度と30度の二つの角度から分析したところ、K-T境界層のみに、Ga, Zr, Mo, Inおよび少量のIrが検出された(Fig.10)。なお、K-T境界の上下層からは、これらの元素は認められなかった。さらにK-T境界層の試料520-1について、詳細な検討を行った結果、⁸⁴Kr⁹⁺、131.6MeVビームで、40度、50度、60度の三つの角度からIrが検出された(Fig.11)。スタンダード試料にイリジウム薄を使用し、K-T境界層の微粉末試料と比較すると、Siに

K₂OはK-T境界をはさんで、漸移的に増加または減

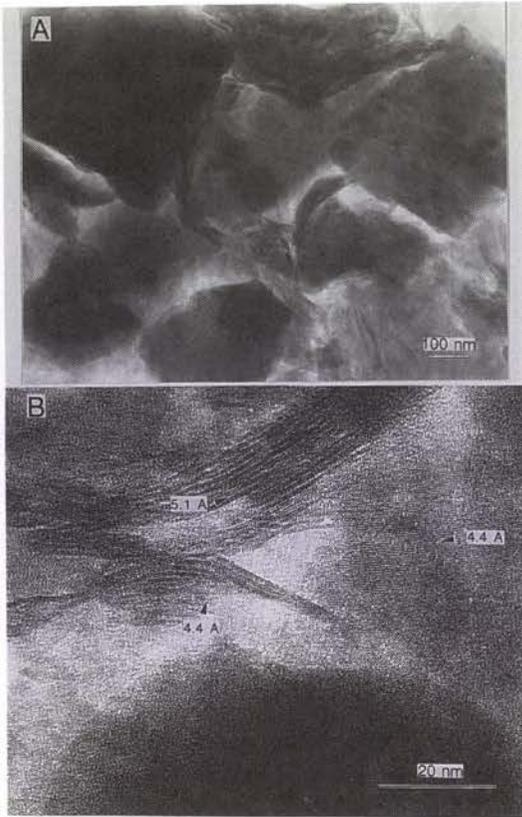


Fig. 12 TEM micrographs of sample 513 (below K-T boundary) under low magnification (A) and under high magnification (B) showing mica clay minerals.

対して Ir 含有量は、約 9ppm 含有である。

重イオンプローブとしては $^{40}\text{Ar}^{6+}$ または $^{40}\text{Ar}^{6+}$, 50MeV, および $^{129}\text{Xe}^{13+}$, 164.7MeV も用いた。なぜならば Ar, Kr, Xe では、軽いイオンの方がイオン電流を大きくできるという特徴があり、重いイオンの方が質量分解能、および厚さ分解能においてすぐれているからである。試料507 (K-T境界より、2 m 下) および試料528 (K-T境界より 1.6 m 上) について Ar および Xe を用いて分析を行ったが、Ir は検出されなかった。

なお、ラザフォード散乱では試料を平滑にする必要があるが、K-T境界層試料と高純度 Si において、鏡面研磨したものと梨地仕上げのものとを比較すると、粉末の表面の粗さは不純物の濃度の測定値に影響しないという結果が得られた。巨視的に見て、試

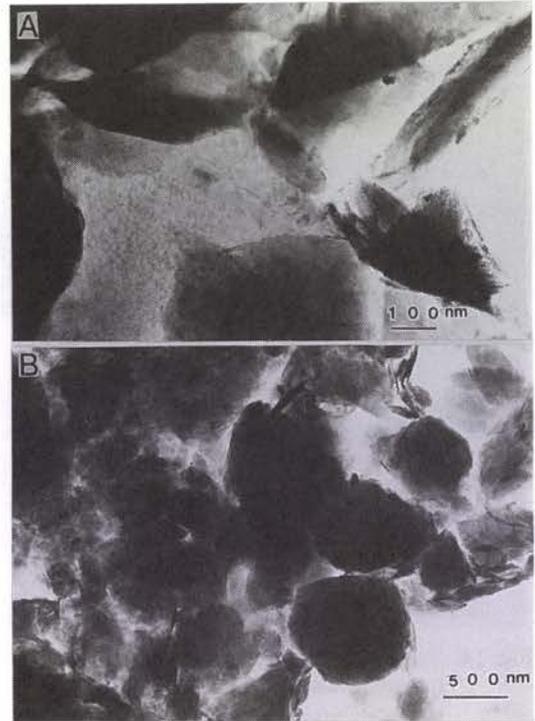


Fig. 13 TEM micrographs of sample 524 above K-T boundary (A) and sample 520-4 at K-T boundary (B) showing spherical mica clays.

料が平面であれば入射ビームの入射角、検出器を置く検出角が一義的に決まるので、試料520と507、528等との相互比較は可能である。K-T境界で検出された Ir の 9 ppm という値は K-T境界の上・下位層と比較し、かなり大きく、Ar, Kr, Xe で分解能最小の Ar でも ^{193}Ir と ^{197}Au とは充分識別できる。

3.5 透過型電子顕微鏡

K-T境界層 (試料520-4) とその上・下位層 (試料524, 513) 中の $2\mu\text{m}$ 以下の微粒子は、フレーク状や球粒状を呈するものが多く、典型的な雲母類やカオリン鉱物が通常よくしめす六角板状の粒子は認められなかった (Fig.12, 13)。K-T境界層の下位層 (試料513) は、粒子の外形が、多少角張ったものが多く、ふちの部分が、フレーク状にカールし、 4.4\AA や 5.1\AA の格子像が認められる (Fig.12)。一方、K-T境界層 (試料520-4) および、その上位層 (試料524) 中には、球粒状のものが多く認められる (Fig.

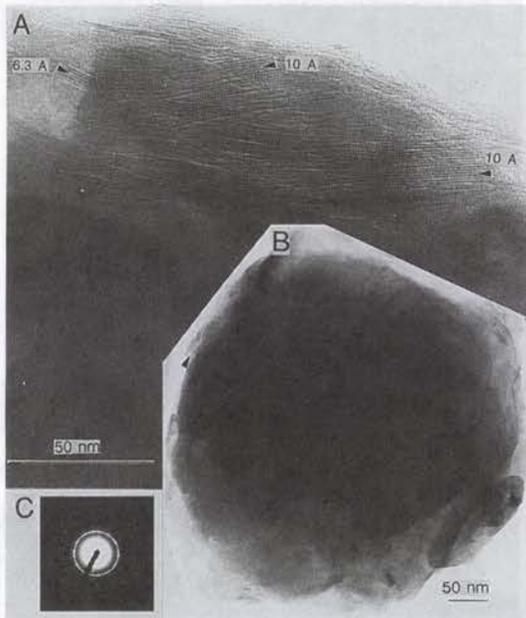


Fig. 14 TEM micrographs of sample 520-4 at K-T boundary showing spherical mica clays (B), the high magnification of (B arrow), and the electron diffraction pattern.

13 B)。そのふちの部分には、雲母類粘土鉱物を示す10Åの格子像や、電子線回折による強いスポットおよびリングが認められる (Fig.14)。さらに、K-T境界層の球粒のふちには、10Å, 5Å, 4.5Åの雲母類粘土鉱物の面間隔の他に、6.2Åや4.2Åの面間隔を持つ混合層鉱物が複雑に混在している (Fig.15)。雲母およびその混合層鉱物の格子像を詳細に検討すると、格子の転位が多く認められ、また、14Å, 7Åの格子像を持つ粒子にも、転位が多く、その上、このタイプには、ほとんどの場合、積層不整が認められた (Fig.16)。観察した格子像の面間隔は、Fig.8のX線粉末回折分析結果が示したのと同様、7Å, 10Å, 11-12Å, 14Å, 15Åの基本面間隔に、これらの混合層鉱物の面間隔が加わり、多様の構造を示す。

4. 考 察

K-T境界において粘土鉱物組成が変化することは、世界各地で認められている。例えば、デンマークのStevns KlintやNye Klovや、フロリダ半島沖

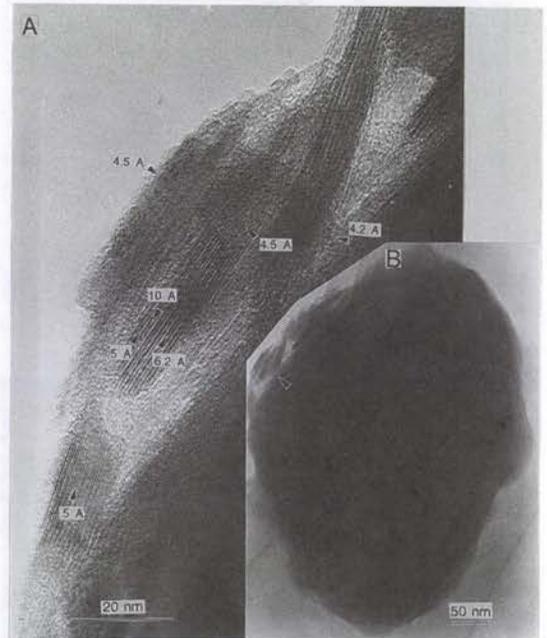


Fig. 15 TEM micrographs of spherical mica clays (B) at K-T boundary and the high resolution electron micrograph of (Barrow) showing stacking disorder in 5, 6.2 and 10Å mica clay.

では、K-T境界でスメクタイトが増加している^{16,17)}。また、アメリカのDogie CreekやスペインのCaravacaでは、スメクタイトとカオリン鉱物が増加し、アメリカのRaton BasinやイタリアのGubbioでは混合層鉱物が増加している¹⁷⁾。世界各地のK-T境界層で観察された粘土鉱物の種類は異なっている、いずれもその含有量を増加させている事実は、浸食の増加を示しており、通常関連していると思われる原因を上まわる位、火山岩類の侵食が促進され、地域的な堆積物の供給が広く行なわれていたことを示している。それはたぶん地質学的な崩壊、例えばテクトニックな不安定さや海水準の低下を意味している¹⁷⁾。これらのK-T境界の複雑な粘土鉱物組成からだけでは、地球上に起こった事件を考察することはむずかしい。しかし、地域的な微環境の影響を受けて異なる粘土鉱物を生成したにしても、このK-T境界で、スメクタイト、カオリン鉱物、スメクタイト+カオリン鉱物、混合層鉱物が一様に含有量を増加させて

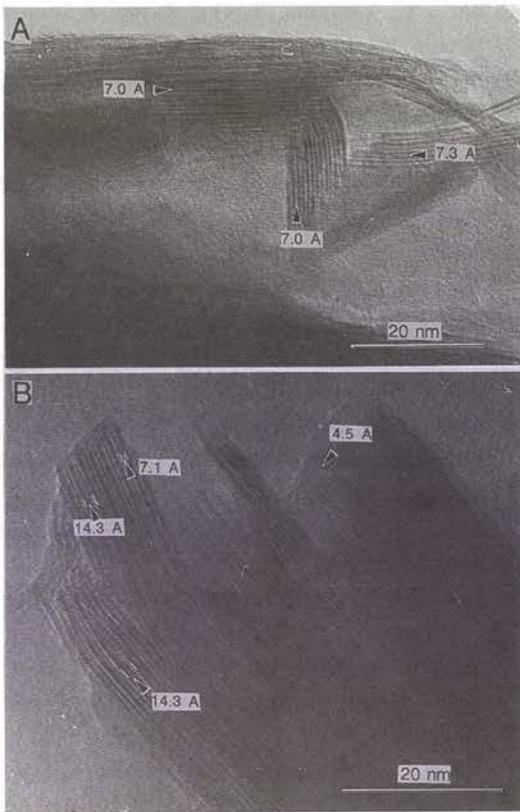


Fig. 16 TEM micrographs of spherical mica clays (B) at K-T boundary and the high resolution electron micrograph of (Barrow) showing stacking disorder in 5, 6.2 and 10Å mica clay minerals.

いる事実は、地球全体にわたるような環境変化を暗示している。地球上、特に陸上における地球環境の変化に対し、粘土を主とする堆積物は、非常に敏感に反応し、その記録をとどめているであろう。K-T境界で、これらの粘土鉱物が含有量を増加させた原因の一つは、テクトニックな不安定や海水準の低下よりむしろ、風化・変質を促進させ、岩石から、物理的・化学的に陽イオンを溶脱させる雨量の増加と温暖化であろう。K-T境界に見られる植物相の変化は、これらを如実に物語っており、年平均気温が10℃も上がったことを示唆している⁸⁾。また、北米の西、コロラドに見られるイリジウム濃集粘土層中では、ある種の花粉やシダ類の胞子の数が急激に変化し、陸上の生態系の変化を示唆している⁴⁾。この粘土

層の下は、白く風化したカオリナイト質の粘土岩であるが、このイリジウム濃集粘土層(6 ng/g)では、このカオリナイトが非晶質へと変化している上、Sc, Ti, V, Cr, Sbなどを含んでいるのが特徴である。その他K-T境界層には、Irの他白金族元素(Ru, Rh, Pd, Os, Pt)も集積している^{18,19)}。HaitiのK-T境界層堆積物中のガラス(テクタイト)の化学組成は、FeO, CaO, Na₂O, SiO₂について、他の一般のガラスの組成と大きな差が認められている²⁰⁾。今回の研究における、2μm以下の粒子の化学組成のうち、FeO, CaO, Na₂O, SiO₂の含有量は、Kring and Boynton²⁰⁾が各地のテクタイトの化学組成と比較している範囲内に入っているうえ、今回のK-T境界内においては、多量のTiと少量のGa, Zr, Mo, Rh, In, Ba, Irなどの重イオンも検出された。さらに、Tschudyら⁴⁾が報告している、K-T境界におけるカオリナイトの非晶質化は、当研究におけるカオリン鉱物およびイライト-スメクタイト混合層鉱物の結晶度の低下または不規則性の増加と、共通した要素を含んでいる。結晶度の低下は、結晶格子の転位や積層不整と関連しており、その原因の一つは、熱による変質作用が考えられる。混合層鉱物の結晶学的性質と生成温度の間には深い関係があることが、地熱坑井や温泉地帯で明らかにされている。金原・大久保²¹⁾によれば、緑泥石は90℃以上で、緑泥石-モンモリロナイト混合層は110℃-170℃で、絹雲母-モンモリロナイトは150℃-180℃で生成されるという。アメリカのGulf coast地域では約2000mの深さで、スメクタイトが60℃-80℃の熱を受け、イライト-スメクタイト混合層に変化し始める。イライト-スメクタイト混合層が緑泥石-スメクタイト混合層に変化し始める温度は約100℃であり、緑泥石の生成は120℃前後と推測されている²²⁾。Murchison隕石中には、衝撃による熱のために、含有する水とから、積層不整をもった層状珪酸塩鉱物が生成された^{23,24)}。当研究地におけるK-T境界のIrを含む粘土鉱物の結晶度の低下、球状の雲母類鉱物、格子の転位、積層不整などの特徴は、地球外物質の、衝撃等による加熱に原因するのかもしれない。それに付随する気候の変化と雨量の増加、風化・変質の促進の結果、Al₂O₃の増加やSiO₂の減少、Irの付加などの化学組成の変化も起こったのであろう。Al₂O₃の増加やSiO₂の減少は、激しい溶脱を暗示させる。彗星が衝

突した場合、pH が 0-1.5 の酸性雨がグローバルに降るとい研究報告²⁵⁾もあるが、K-T 境界の上位層においてカオリナイトの発達が顕著なことは、K-T 境界以降の気候が温暖～熱帯性でかつ、酸性の環境であったことを暗示している。成分変化に伴う構造変化の様式は、地域や生成環境によって差が認められるが、このように、粘土鉱物組成から、地質時代の地球環境の変化を読み取ることができる。

5. ま と め

北海道の北東部の川流布の活平層における K-T 境界層は次のような点で特徴づけられる。

1. 浮遊性有孔虫の顕著な減少 (Kaiho and Saito¹⁴⁾, Saito, et al.⁶⁾, Kaiho²⁵⁾),
2. パイライトの形成, 総イオウ量と $\delta^{34}\text{S}$ CDT 値の減少 (Kajiwara and Kaiho¹⁵⁾),
3. $2\mu\text{m}$ 以下のサイズにおいて, カオリン鉱物, イライト-スメクタイト混合層鉱物, 緑泥石-スメクタイトの結晶度の低下と結晶の不規則性の増加,
4. Al_2O_3 の増加と SiO_2 の減少,
5. Ga, Zr, Mo, In, Ir の濃集,
6. 球状の雲母類粘土鉱物や雲母との混合層鉱物の形態的特徴, 格子の転移, 積層不整。

以上の点はいずれも、地球全体にわたるような熱的環境異変があったことを暗示している。

参 考 文 献

- 1) Alvarez, W., Kauffman, E.G., Surlyk, F., Alvarez, L.W., Asaro, F. and Michel, H.V. (1984) *Science*, **223**, 1135-1140.
- 2) Orth, C.J., Gilmore, J.S., Knight, J.D., Pillmore, C.L., Tschudy, R.H. and Fassett, J. E. (1982) *Geological Society of America, Special Paper* **190**, 423-433.
- 3) Orth, C. J. (1989) In; *Mass extinction : Processes and evidence*, S. K. Donovan (ed.) Balhaven Press, London, 37-72.
- 4) Tschudy, R.H., Pillmore, C.L., Orth, C.J., Gilmore, J.S. and Knight, J.D. (1984) *Science*, **225**, 1030-1032.
- 5) 八木下晃司・平 朝彦 (1990) *地質学雑誌*, **96**, 51-64.
- 6) Saito T., Yamanoi, T. and Kaiho, K. (1986) *Nature*, **323**, 253-255.
- 7) Bourgeois, J., Hansen, T.A., Wiberg, P.L. and Kauffman, E.G. (1988) *Science*, **241**, 567-570.
- 8) Wolfe, J.A. (1990) *Nature*, **343**, 153-156.
- 9) Zoller, W.H., Parrington, J.R. and Kotra, J.M.P. (1983) *Science*, **222**, 1118-1121.
- 10) Officer, C.B. and Drake, C.L. (1985) *Science*, **227**, 1161-1167.
- 11) Hallam, A. (1987) *Science*, **238**, 1237-124
- 12) Johnsson, M.J. and Reynolds, R.C. (1986) *Jour. Sedim. Petrol.*, **56**, 501-509.
- 13) Elliott, W.C., Aronson, J. L., Millard, H.T.JR. and Gierlowski-Kordes, E. (1989) *Geol. Soc. Am. Bull.*, **101**, 702-710.
- 14) Kaiho, K. and Saito, T. (1986) *Proc. Japan Academy*, **62**, 145-148.
- 15) Kajiwara, Y. and Kaiho, K. (1991) *Ann. Rep., Inst. Geosci., Univ. Tsukuba*, **17**, 69-73.
- 16) Kagami, H., Ishizuka, T. and Aoki, S. (1983) *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, **76**, 429-436.
- 17) Robert, C. and Chamley, H. (1990) *Palaeogeography, Palaeoclimatology, palaeoecology*, **79**, 205-219.
- 18) Ballhaus, C.G. and Stumpfl, E.F. (1986) *Contrib. Mineral. Petrol.*, **94**, 193-204.
- 19) Hydland, M. M. and Bankroft, G.M. (1990) *Geochim. Cosmochim. Acta*, **54**, 117-130.
- 20) Kring, D.A. and Boynton, W. V. (1991) *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **55**, 1737-1742.
- 21) 金原啓司・大久保太治 (1978) *岩石鉱物鉱床学会誌*, **73**, 125-136.
- 22) 井上厚行 (1986) *土を見つめる*, 三共出版, 73-79.
- 23) 赤井純治 (1987) *粘土科学*, **27**, 104-116.
- 24) Akai, J. (1990) *Proceeding of the NIPR Symposium on Antarctic Meteorites, No.3*, 55-68.
- 25) Kaiho, K. (1992) *Marine Micropaleontology*, **18**, 229-259.
- 26) Prinn, R.G. and Fegley, B., Jr. (1987) *Earth Planet, Sci. Lett.* **83**, 1-15.