

# 宇宙の地向斜？ 原始太陽系

～そのプレートテクトニクス論～

## Geosyncline in Space? Primitive Solar Nebula

～an Application of the Plate Tectonics Theory～

田中 剛 (技術部)

### 1 はじめに

是に天つ神諸の命以ちて 伊耶那岐命・伊耶那美命二柱の神に 「是のただよへる国を修理り固め成せ」と詔りて 天の沼矛を賜ひて 言依さし賜ひき。故 二柱の神 天の浮橋に立たして 其の沼矛を指し下ろして画きたまへば 塩こをろこをろに画き鳴して 引き上げたまふ時 其の矛の末より垂り落つる塩累なり積りて島と成りき。是れ淡能基呂島なり。 — 古事記 —

このような神代の考え方は 現代の科学においてもその重要な支えとなっている。宇宙創世紀における元素の生成 物理学での基本粒子の考え そして地質学における岩石生成源としてのマントル 地層学における地向斜。いずれもなんとなく此が無いと事が始まらないし そこを出発点として考えている。これらは大方の研究者にとって 神聖にして侵すべからざるものとして意識の外にデンと鎮座ましましている。それらはすべての能力を持っており 何となくすべてを包み込んでいる。そして筆者のような地質屋はマントルとか地殻から適当に岩石(マグマ)を引っぱり出し その責任の多くを母なる包容力の大きなマントルに押しつけている。

さて 話を地向斜に移そう。上に書いた 地質現象の出発点としての地向斜はその周辺陸地を構成していたものが削剝され 堆積した堆積の場であるとされている。他方 地向斜は その後背地が削剝されたものと 遠洋からプレートにより運搬されたものの掃き溜めであるとする考えがある。後者によれば 地向斜の中にあるものは たまたまそこに共存しているだけのものが多く そこにある化石はそれが地向斜に掃き込まれた時代を示していないことになる。 このような議論は木村(1971) 服部(1972b・1973) 堀越(1976) などが興味深い。

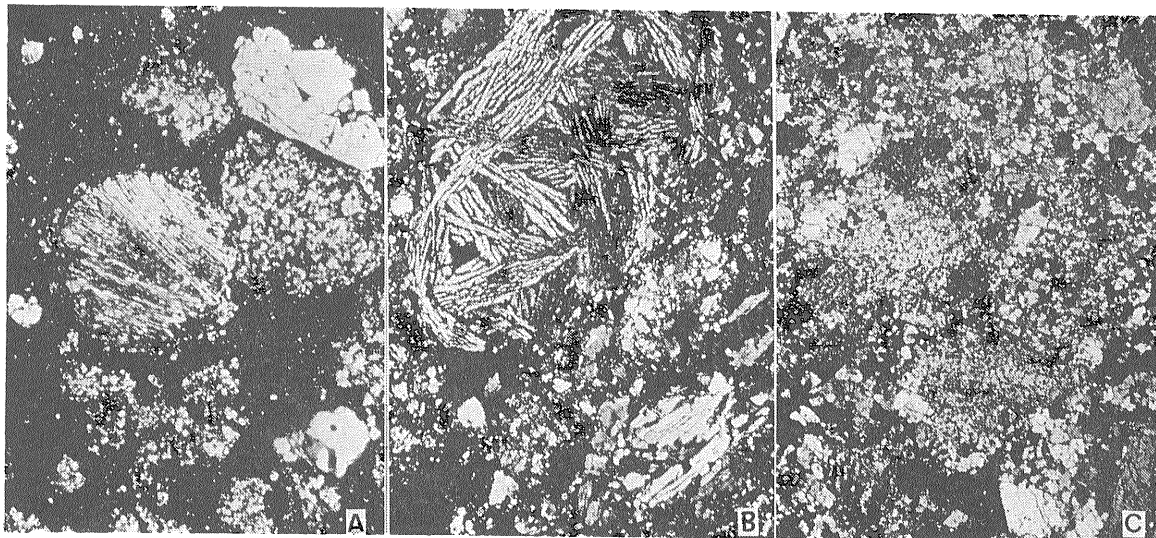
本邦中・古生界のいわゆる秩父地向斜といわれてきたものについては そこに含まれる火山岩の岩石化学的特徴 礫岩・碎屑岩の性質など 多方面の研究から これ

らの物質は遠く外洋から地向斜内に運び込まれたものではないことがわかった 杉崎・水谷(1972) 服部(1972a) 田中(1977)。さらに最近 清水・増田(1977)によれば 美濃帯のチャートも陸の影響を大きく受けた所で生成したという。いずれにしても内帯古生層には遠洋からの掃き溜め物質であるというものは見つかっていない。

当所地球化学課ではここ数年間 経常研究の一つとして 地球上での地質現象に関する研究とともに 月の岩石・隕石などについて多くの研究を行ってきた。そして最近 この分野において 太陽系を作った物質は宇宙の多方面からの掃き溜め物質であり 掃き寄せられた原始的な塵をそのまま残している物があることが明らかにされた。 まさに宇宙の大プレートテクトニクス論? ではなかろうか。以下にこの話を紹介し それにより地質学が受ける影響について考えてみたい。

### 2 “宇宙の砂岩” Allende 隕石

ここに一つの隕石が登場する。この隕石はこれからの話の主役を演じるわけだがなぜだろう。一つにはこの隕石が大きく 多方面の研究に用いられたことである。Allende 隕石は 1969年メキシコに隕石雨として落下したもので 少なくとも2トンの隕石が回収されている。二つめにはこの隕石が“粗粒の砂岩”にたとえられることである。もちろん 隕石に砂岩などというものはないのであるが 第1図を見ていただければその意味が理解できよう。第1図Aには丸くてころころした粒や何か妙な形をした包有物がみえる。そしてその周囲は黒くみえるマトリクスが囲んでいる。丸い粒はコンドルールと呼ばれるもので これを含む隕石をコンドライトと呼ぶ(含まない隕石もある)。ところが 第1図Bになるとそのコンドルールが何となく不明瞭になり 第1図Cになるとその判別さえ難しくなる。また第1図Aにおいて黒かったマトリクス部分が結晶してしまっている。つまりここで見られる現象は砂岩が変成作用に



第1図 第1図Aは Allende 隕石(炭素質コンドライト隕石)の顕微鏡写真(透過・偏光)で 丸くみえるのがコンドラールである。大きさは直径1mm以下のものから1cmに達するものまでである。それらを埋めている黒い部分は かんらん石組成を持つ細粒のマトリクスである。ここでは見ることができないが 同じ隕石の反射光による写真では 白く不規則な形をしたものがある。これは第1表中不規則集合体と記したものに相当し カルシウム-アルミニウムに富む鉱物の集合体である。(地質ニュース 282号 1978-2 表紙参照)  
 第1図Bは Wellman 隕石(普通コンドライト隕石)の顕微鏡写真(透過・偏光)で Allende 隕石に比べて全体が結晶化している。コンドラールも写真のようにゆがんで変形しているものが多い。  
 第1図Cは St. Severin 隕石(普通コンドライト隕石)の顕微鏡写真(透過・偏光)で かなりコンドラールの存在を確認できる程再結晶化が進んでいる。また 鉱物相互にも化学的に平衡に達している。  
 これら3枚の写真は宇宙における“砂岩”(A)から“片麻岩”(C)に至る変成度を示すものと言えよう。  
 これらの写真はいずれも長辺が約3mmである。

より 砂質片岩になり 更に片麻岩になる過程と同じである。従って 砂岩ならそれぞれの構成粒子(鉱物)には本来の性質が保たれ その性質を調べることによりその供給源の状態を推定することができるのと同様に 砂岩としての Allende 隕石からは それぞれの構成粒子の源を研究することができるのである。では我々もこの隕石の構成物をながめてみよう。

Allende 隕石は大体細粒のマトリクス60% コンドラール30% 白く不規則な形をした包有物10%から構成されている。マトリクスは鉄に富むかんらん石(平均して  $Fe_2SiO_4$  50%)で コンドラールはマグネシウムに富むかんらん石(平均して  $Fe_2SiO_4$  9%)から構成されている。白い不規則な形をした包有物には多種類の Ca-Al 鉱物が含まれている。これらをまとめて第1表に示す。

Allende 隕石は上述のように砂岩として捉えることができるが その砂岩を構成する粒子はすべて火成岩(気成岩?)である(火成岩源ではなく個々の粒子=個々の源岩)。この源岩としての粒子のほとんどは原始太陽系という熱いガス溜りのあちこちで それぞれ異なった温度圧力条件下で凝縮したものと考えられ その凝縮温度が調べられている(第2表)。

第2表に得られた結果は 最初に高温の原始太陽系星

雲があり だんだんと冷えていく時に凝縮がおり 固相あるいは鉱物が生じる最初の温度を示している。地球上でのマグマの固結に似て 宇宙でも結晶生成の後期になると 既に生じている固相と気相が反応し 別の鉱物が生じることもわかっている。しかし その反応は地球上におけるものとは全く異なったものである。

第1表 Allende 隕石にみつかった鉱物名とその存在箇所

Name	Formula	Mineral location		
		Matrix	Chondrules	Aggregates
Kamacite .....	(Fe,Ni)			x
Awaruite .....	$Ni_3Fe$	x		x
Copper .....	Cu	x		
Troilite .....	FeS	x	x	
Pentlandite .....	$(Fe,Ni)_5S_8$	x	x	
Chromite .....	$FeCr_2O_4$	x		
Spinel .....	$MgAl_2O_4$		x	x
Hercynite .....	$FeAl_2O_4$			x
Perovskite .....	$CaTiO_3$			x
Olivine .....	$(Mg,Fe)_2SiO_4$	x	x	
Enstatite .....	$MgSiO_3$			x
Clinoenstatite .....	$MgSiO_3$		x	
Clinohypersthene .....	$(Mg,Fe)SiO_3$	x		
Diopside .....	$CaMgSi_2O_6$			x
Augite (fassaite) .....	$Ca(Mg,Al,Ti)(Al,Si)_2O_6$		x	x
Ferroaugite .....	$Ca(Fe,Mg,Al)(Al,Si)_2O_6$			x
Anorthite .....	$CaAl_2Si_2O_8$		x	x
Gehlenite .....	$Ca_2Al_2Si_2O_8$		x	x
Grossular .....	$Ca_3Al_2Si_3O_{12}$			x
Nepheline .....	$NaAlSi_3O_8$		x	x
Sodalite .....	$Na_4Al_3Si_3O_{14}Cl$		x	x
Cordierite .....	$Mg_2Al_4Si_2O_{14}$			x

(この表は アメリカ合衆国スミソニアン博物館のクラークら(1971)により作成されたものである)

第2表 原始太陽系の高温星雲ガスが冷却するにつれ凝縮する固相と凝縮が始まる温度

固相(鉱物)の種類		凝縮がはじまる温度(絶対温度・K)
オスmium	Os	1925
タングステン	W	1885
酸化ジルコニウム	ZrO <sub>2</sub>	1840
レニウム	Re	1839
コランダム	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1742
酸化ハフニウム	HfO <sub>2</sub>	1719
酸化イットリウム	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1719
酸化スカンジウム	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1715
モリブデン	Mo	1684
ペロプスカイト	CaTiO <sub>3</sub>	1632
希土類元素の酸化物		1632
イリジウム	Ir	1629
ルテニウム	Ru	1614
ゲーレンナイト	Ca <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> SiO <sub>7</sub>	1608
スピネル	MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1533
酸化タンタル	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1499
酸化トリウム	ThO <sub>2</sub>	1496
透輝石	CaMgSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	1450
かんらん石	Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	1444
斜長石	CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	1362
エンスタタイト	MgSiO <sub>3</sub>	1349
コバルト	Co	1274
アルカリ長石	(Na, K)AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	~1000
トロイライト	FeS	700
マグネタイト	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	405
氷	H <sub>2</sub> O	≤200

グロスマン(1972)(1973)による(10<sup>-8</sup>気圧を基準としたもの)

また我々地質屋にとって興味があることはそれぞれの鉱物の結晶化する順序も地球上の火成作用による場合とは大きく異なっていることである。第2表によるとコランダム・ペロプスカイト・ゲーレンナイト・スピネルなどは非常に早期にまだ原始太陽系星雲の温度が1500~1600°Kもあるうちから晶出する。したがって宇宙鉱物学ではこのような鉱物を高温鉱物と名付けている。また地球上でなら鉱床を作るようなモリブデン・タングステンなども極く初期に固化してしまう元素である。マグネシウムに富むかんらん石などは比較的後期の星雲の温度が1400°K程に下ってからの凝縮晶出鉱物である。晩期に凝縮するのは水である。天地創造最後の年には原始惑星上にザーザーと何日も雨が降り続いたという人もある。

さてこのように鉱物種とその凝縮順序はあたかも地下のマグマ溜りにおいて結晶がつつぎと生じるように均質な高温ガスの冷却に従って炭素質コンドライト

ト隕石にみられるすべての鉱物が生じたように思われた。ところが最近このAllende隕石を中心とするいくつかの炭素質コンドライト隕石を構成する各種の包有物・コンドルールなどの酸素の同位体比が測定されその様相は一変してしまっただけである。

### 3 “見えない物質”太陽系外の塵

地質学では岩石・鉱物・鉱床あるいは石油・石炭・化石更には地下水などの起源と生成過程を調べるために各種元素の同位体組成が測定される。その中で最も一般的かつ有用であるのは最も身近な酸素同位体組成である。酸素には16・17・18と3つの異なった質量数を持つ同位体がある。

通常の地質学的な研究では<sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O比しか測定しないのだが実験的に優れたシカゴ大学のCLAYTON達のグループでは<sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O比とともに<sup>17</sup>O/<sup>16</sup>O比を測定した。同位体分別現象ではそれが平衡でも平衡への途中にあっても質量数の差に比例する同位体分別がみられる。つまり<sup>17</sup>O/<sup>16</sup>O比が1%変化すれば<sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O比は2%変動する。そして月・地球上のすべての物質にみられる分別はこの規則に従っている。ところが上記のCLAYTON達の結果は第2図のようになった。つまり図中の(b)という傾きが1の線上に乗ったのである。(a)の線は月・地球にみられる同位体分別の理論に合致する線である。(b)の線に沿って変化をさせる場合は<sup>17</sup>Oと<sup>18</sup>Oを等量減少させるか<sup>16</sup>Oだけを加えてやらなければならない。前者は考えにくいので後者の場合を考えると太陽系内には大きく同位体組成の違う物質つまりそれが生成された場所とその生成核反応が大きく異なったものがまぎれ込んでいることになる。そう地向斜内に遠方海洋で堆積したチャート・マンガンノジュールとか火山岩が掃き込まれているとする考えと同じである。

一度このような異物質がありそうな事がわかると世界中の研究者達は競って各種同位体の組成を調べ始めた。そして<sup>26</sup>Mgの過剰<sup>202</sup>Hg/<sup>196</sup>Hg比の異常などが報告されている。またわれわれ地質屋にとって最も身近な<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr比についてもその初生値が非常に低い例がありこれは別の核合成過程により生じたものが太陽系内で均質化されずに残っているものではないかという考えもなされている。

世界中の研究者たちの懸命な努力によりこの異常な同位体組成は同位体異常を持つ物質がこのあたりに存在することに因るものだろうという見当がたった。

しかし妙なことに今だに世界中で誰もそれを見るこ

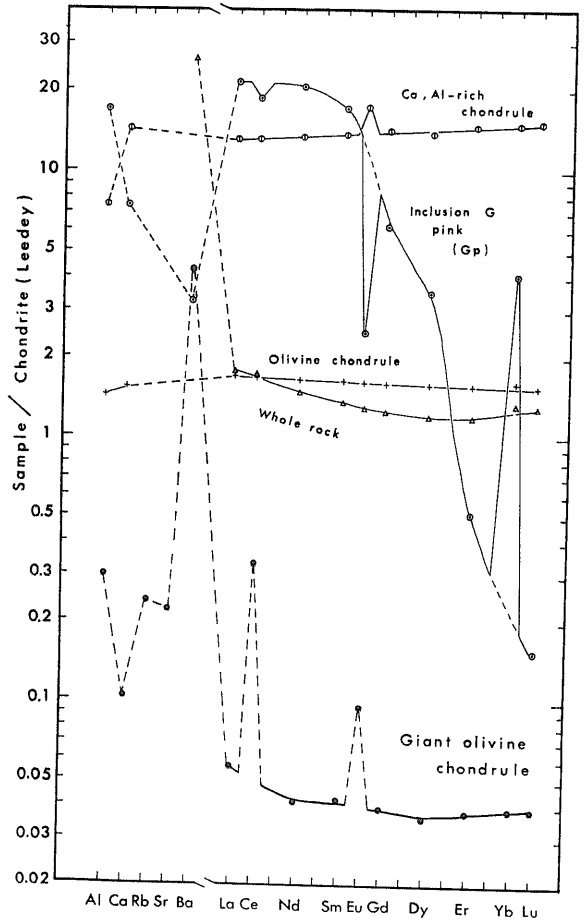
とができないのである。ある人は今日もまた電子顕微鏡で懸命に探しているし、ある人はこの異常物質は熱作用により周囲の鉱物に同化されてしまい、その姿はもう見えなくなってしまったのだと嘆いているのである。

#### 4 謎の物質？ チタン酸バリウム

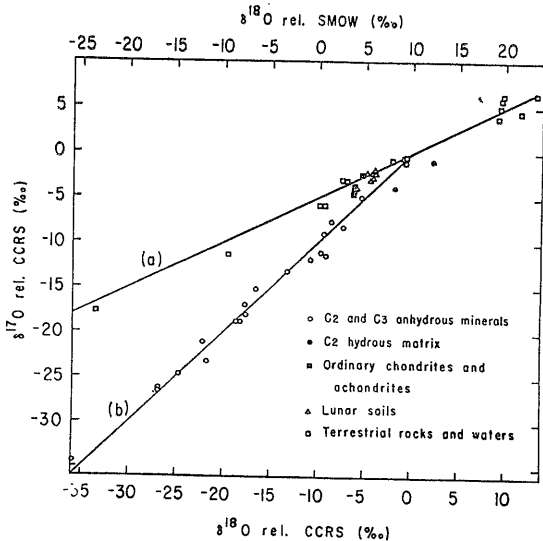
さて地質調査所において筆者らのグループでは多数の地球上の古い火成岩・月の岩石などをその元素および同位体存在度から研究を行なっている。さらにその始源に逆のぼり、それらの生成を調べる必要から地球などの惑星を作った物質の太古の姿を保っている。この Allende 隕石とその包有物の研究を始めた。これは数ミリグラム～数十ミリグラムの試料中に含まれる ppm 以下の元素を誤差 1～2% 以内で測定するもので化学処理・その測定に多くの困難を伴うが、測定に質量分析計を用いることにより最も信頼度の高いデータを出している。その結果の一部を第3図に示す。普通コンドライト隕石はどの部分でも全岩としてほぼ均一であるが Allende 隕石は、その構成粒子をそれぞれ分析すると各粒子ごとに大きく異なった化学組成を持つ。もちろんこれが先に述べたように“砂岩”であるゆえんでもある。

希土類元素が多く含まれている。カルシウム-アルミニウムに富む物質は、原始太陽系星雲内でごく初期に凝縮したものであろうし、逆に希土類元素の少ない巨大コンドライトは、星雲凝縮の末期に生成したものであろう。

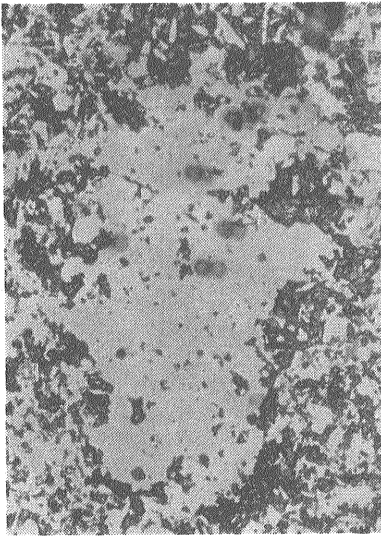
ここに見られる希土類元素存在度パターンは地球上の岩石にみられるものとは大きくその性質が異なっているが、いずれにしてもその主な部分は前記の凝縮モデル



第3図 Allende 隕石にみられる各種の不規則な型をした包有物・コンドライトなどの元素存在度を、各種隕石の内でも最も平均的な化学組成をもつ Leedy コンドライト隕石中の元素存在度で割った値をプロットした図 (TANAKA ほか 1975)。1より上はこれらの元素に富むことを示し、1より下はこれらの元素に乏しいことを示す。このように真空中では1000倍にも及ぶ元素相互の分別が容易に起っていることがわかる。これには元素の分別凝縮のみならず、分別蒸発・ガス体の移動とそれに伴う電場・磁場の影響が関与しているであろう (TANAKA and MASUDA 1973)。



第2図 Allende 隕石を主とするいくつかの炭素質コンドライト隕石にみられる酸素同位体組成  $^{17}\text{O}/^{16}\text{O}$  と  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  の変化を、月および地球上の岩石・水にみられる変化と比較して示した図 (CLAYTON ほか 1973)。月・地球上の物質はすべて図中の (a) の線に沿って変動し、それは同一起源の物質が同位体分別の理論に従って変化していることを表わしている。両軸はある基準値に対して、そこからの変動の割合を千分率 (%) で示してある。月・地球の上では  $^{17}\text{O}/^{16}\text{O}$  が 10% 変化すると  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  は 20% 変化していることがわかる。(b) の線は炭素質隕石にみられる同位体組成変化の線で、 $^{17}\text{O}/^{16}\text{O}$  も  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  も同じ割合だけ変化している。これは  $^{16}\text{O}$  に富む“異常”な物質が加わった場合における変化である。本図中の分析値は、ややばらつきが大きい。最近の情報によれば、再分析の結果は (a) (b) の線とならび、更に微細な現象までわかりかけてきたようである。



第4図A カルシウム—アルミニウムに富む 高温凝縮鉱物の小さな集合体(第4図A)とそこにみられるバリウムおよび他の主成分元素の分布図(第4図B)。

第4図Bは本文中で述べたようにコンピュータにより作られた元素の定量的分布図で数値が大きいほど高い濃度を示す(第4図B付表参照)。第4図B中にコンピュータで打たれたそれぞれの数字(1~9およびX)は上表の立字(1~9およびX)に対応し、その立字はその両側にある数字(斜字)の間の元素存在度(%)を示している。Xはその左側にある元素存在度(%)を越えていることを示す。

第4図C(25頁)は従来の方法による各元素の特性X線像を示す。この図では定性的な元素分布はわからない。それぞれ第4図Bに対応する場所があるが上が約45°回転している。この鉱物集合体の長径は約200μである。(TANAKA and OKUMURA 1977参照)。

Table with columns for elements Ba, Ti, Ni, K, Ca, Mg, Fe, Al, Si, Mn, Zn, Pb, Sr, Rb, Cs, Th, U, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Sn, Sb, Te, Bi, Po, At, Rn, Fr, Ra, Ac, Th, Pa, U, Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Es, Fm, Md, No, Lr. Each element has a list of numbers representing its distribution pattern.

第4図 B

第4図 B 付表

Table listing element distribution patterns for BaO, TiO2, Na2O, K2O, Al2O3, CaO, SiO2, FeO, and MgO. Each element has a series of numbers representing its distribution pattern.

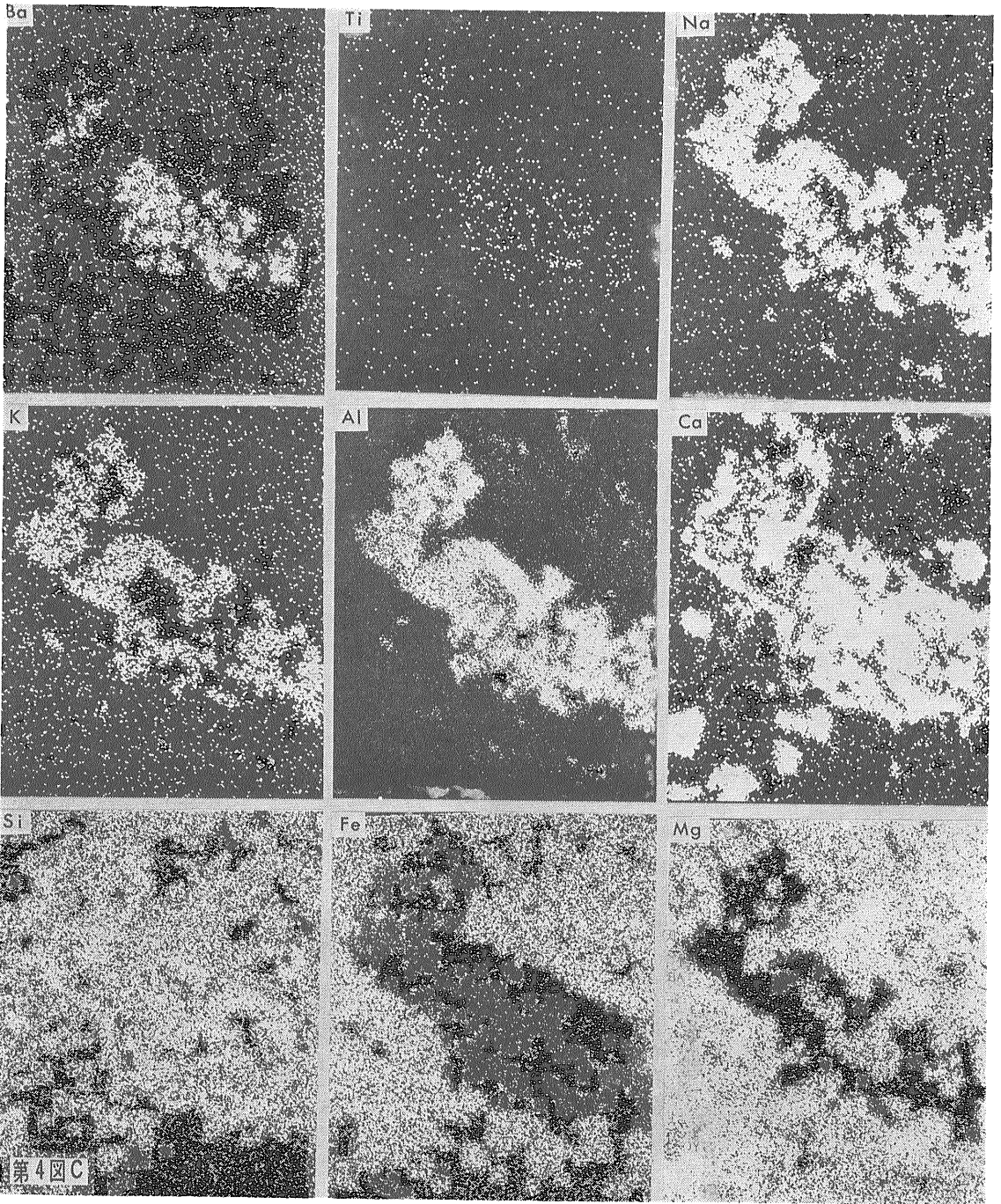
ルでも説明がつきそうなのである。

ところがここに大変なことが生じた。多くの隕石中で Allende 隕石のみがその全岩中のバリウム存在度が大きくかつ異常にばらつくのである。なかには 900 ppm とか 1000ppm という値まで現われてきた。

通常 隕石全岩としては バリウムの含有量はきわめて均一で 常に 2—4 ppm であり 地球上の一般的な火成岩でも 100—500ppm ということからすれば 上記の値が実験中の汚染などということでは片付けられないことであることが理解されよう。バリウムの分析値が測定

のたびに大きくばらつくことは バリウムを含むものが偏在していることを示し バリウム鉱物が肉眼(顕微鏡)で発見されていないことから推定すれば その鉱物としてのモードは 1%以下であると思われた。さすれば必然的にそのバリウム鉱物は 少なくとも十パーセントのバリウムを含むことになる。

先に紹介した 原始太陽系の平衡凝縮モデルでは バリウムは宇宙の微量元素として CaTiO3 とともに凝縮し 十パーセントを越えるバリウム含有量を持つ物質の生成はとても考えられないものである。また 隕石中での元素再移動により バリウムばかりが集合したと



考えられない。とすれば これこそ太陽系外から飛来し 酸素同位体異常をおこしているものではなからうか？

そしてバリウムをそれ程含むのなら 容易にX線マイクロアナライザーで検出されると思えた。ここに登場

するのが 当地質調査所で 奥村・曾屋両技官と日本電子の共同開発になる コンピューターで自動制御された X線マイクロアナライザーである。これについては 奥村ほか (1976) に詳述されているので これを参照していただきたいが とにかくバリウムのように感度が悪



<p><b>Ba</b></p> <p>122 12561 2442 111</p> <p>121 13741 6X61- 2541- 11</p>	<p><b>Ti</b></p> <p>1 123 2521 11</p> <p>11 1361 1782 143</p>	<p><b>Mg</b> 168877688657765567777 2377888886456765687788 137766887667776676887 221-146678876677677667767 5321234788766787765556567 33212347876778776654345677 353566676777765556557678 6766666687777556457766567 7776545788765577767763566 7776544688645587676566677 7766533587556677665567777 78766533577556766666677765 7776532356667765567767766 667776422445765667767876 7776654333467887778778877 8876554332356897777677776 8887654234667887787787666 88877764556776787767775446 88977777777657886456674323 888788888776548875458742- 78799888777556755578752--</p>
--	---	---

第5図 バリウムとチタンがかんらん石組成のマトリクスに直接埋め込まれている例を示す。 図中にコンピューターにより書かれた数値の基準は第4図とは異なり バリウムのみかけの最高濃度は約30%である。 このバリウム濃縮体の大きさは直径約1μと推定される (TANAKA and OKUMURA 1977参照)。

く それほど多量に含まれていない元素の存在状態を検索するには最も有効な装置である。

調査の結果 バリウムがあちこちに塊りとなって存在しているのが発見された。 その一例を第4図および第5図に示す。 第4図に示したのは バリウムがチタンと共に小さな結晶の中心部にその骨格を形づくるように分布しているもので そのまわりにアルミニウムとアルカリ元素に富む部分 更にその外側にはカルシウムと珪素に富む部分がある。 それらは鉄とマグネシウムに富む物質に埋め込まれている。 更にもう一つ 第5図に示すように バリウム自身がチタンと共に 直接鉄・マグネシウムに富む物質(おそらく隕石のマトリクス部分)に埋め込まれたものも存在することがわかった。

田中・奥村(1977)はこのようなバリウムの濃縮物は個々の直径が0.2ミクロン以下の純粋なチタン酸バリウムが 木いちごの実のように集合したものであろうと考えた。 純粋なチタン酸バリウムが太陽系星雲から凝縮することが考えにくいこと その粒子が鉱物中に分布している形態から このチタン酸バリウム粒子は太陽系を作った原料物質であり 先太陽系物質の“化石”であ

らうと推論した。 さらに増田・田中(1977)はこのチタン酸バリウムが強誘電体であることが その集合体の生成に大きな役割を演じたと考えた。

広い宇宙にはおもしろい星が多い。 よく知られているパルサーとか準星などととも に バリウムが異常に多いバリウム星と名付けられている星がある。 今 私の手の中にあるバリウム粒子は そのような星の亡骸が光速に近いスピードの“宇宙プレート”として 我が“原始太陽系地向斜”に運び込まれたものだろうか? 名古屋の足立守氏により発見された上麻生礫岩が 非變成古生層中において20億年の歴史をとどめ 今その素顔を我々の目に見せてくれたように 先太陽系時代のバリウム粒子も非變成(本当は微變成)の“Allende 砂岩”の中に保存されていたからこそ ここに見ることができたのであろう。

5 宇宙化学と地質学

本論のはじめに神代のお話を書いたが 特にその中で岩石学において天照大神が祭られている例を示そう。

ある時 ある著名な人が火山岩・超塩基性岩などの化学組成から マグマの作られたマントルはこのような組成であろうと論文を書く。 しばらくたって ある岩石を研究している人は 前の論文に載っている化学組成のみをながめ この岩石はマントルからこのような条件で出来たものだ!! と書く。 ここにおいてマントルは混沌の世界を支配する神として奉られているのである。 もちろん 地球上の岩石あるいは塩基性ノジュールからマントルを研究するのも一方法であろう。

美女を眺めるのには 何も彼女の顔から見ていくばかりが能ではない。 始めに足くびを愛でるのが粋だという人もあれば いや 俺は腰だという人もいる。 顔を見た人はそこから下半身を想像するし 足を見た人はそれに似合った上半身のスタイルを考える。 ちょっと触って押してみたいと思うのは地球物理屋であろう。

同様に 地殻下部とかマントル それらの歴史的な変化またそれに伴う地質現象を調べるために 地球上に出てくる岩石を研究するのも手であろうが その原料となった隕石を調べるのも一つの方法であろう。 さらにはその像はゆがんでいるが 月・火星などが地球の太古の姿を写している鏡であることもまた事実らしい。

先に述べたように 原始太陽系星雲から早期に凝縮したものは ウラン・トリウムあるいは現在は安定した元素であるが 元素合成の初期には強い放射能を持って

た元素などを含み 放射性に富む カルシウム—アルミニウム鉱物であると考えられている。 早期に凝縮したものは より質量の大きなものとして 加速度的にその周囲に多くの物質をあつめ 小惑星あるいは原始惑星の芽として成長していくであろう。 より早期に集まったものが物事を中心を成し あとから集まるものがその周囲に群がるのは天地の理であるから 原始地球の中心は早期に集積した 最も放射性元素に富むものの金属相だったかも知れない。 その多くはより後期に凝縮した鉄化合物あるいはかんらん石などと 地球内部での力関係(密度差)により 上下が逆転したのであろう。 逆転により ポッカリと島のように地球表層部に顔を出したものが45億年に近い年代をもつ 原始大陸であっても不思議ではない。

地質学でよく利用される スロンチウムや鉛にはそれぞれ ルビジウムやウランから生じた同位体も含まれている。 そして現在のスロンチウムや鉛の同位体比を測ることにより 昔岩石が作られた年代や 昔の同位体比 あるいはその当時の放射線量などを知ることができる。 地球の顔だけをなで その内部を混沌の大海としか考えられなかった地球化学は 一つの事実として 地球内部は放射能が少なく(例えば そこから生ずる物はスロンチウムの同位体比 ( $^{87}\text{Sr}/^{90}\text{Sr}$ ) が低いという) 大陸にのみ放射能が多いと考えてきた。 しかし 前記のような珪長質大陸は隕石のカルシウム—アルミニウム物質に似て 高い放射能と隕石に近い低いストロチウム同位体初生値を持つだろう。 他方 現在もまだ地球中心部に埋っている高温凝縮物としてのカルシウム—アルミニウム物質もあるだろう。 それに含まれる放射性元素から発生する熱は現在でもなお極めて大きく “ホットスポット” の源として十分なものである。 そのような所はスロンチウム・鉛などの同位体もより放射性が強いはずである。 現世火山岩のスロンチウム同位体比が高いから 大陸物質の混入だなどとは簡単に断言できなくなって来よう。 また逆に古い大陸を構成する珪長質岩のスロンチウム初生値が低いからと言って マントル起源のマグマだとも限らなくなって来よう。

## 6 宇宙資源 — その基礎研究 —

昨年(1973年)の3月 アメリカのヒューストンで月科学の会議が開かれたが それについてのパンフレットをながめてみる。 その中に 地球に似た速度で太陽を回転している直径100メートル以上の小惑星は数千個あると思われるが それをゆっくりと地球軌道の近くまで引っぱって来よう という記事がある。 技術的にも 採算の面で

第3表 反射スペクトル分析によりわかった小惑星表面物質と隕石タイプの対応

小惑星の名前	隕石タイプとその性質
ヴェスタ	ホワースナイト—玄武岩質エイコンドライト
デムボウスカ	L L 6 コンドライト—強く変成作用を受けた普通コンドライト (第1図Cの隕石と同種のもの)
アリンダ	H 3 コンドライト—少し変成を受けた普通コンドライト
アサマンティス	メソシデライト—石鉄隕石
パラス	C 4 コンドライト—変成作用をうけた炭素質コンドライト
サイケ	エンスタタイト(ガンカ輝石) コンドライト
エオス	C 2 コンドライト—原始的な炭素質コンドライト
イドゥナ	C 2 コンドライト—原始的な炭素質コンドライト

上から下へおおよその輝度の順にならべてある  
CHAPMAN AND SALISBURY (1973) による

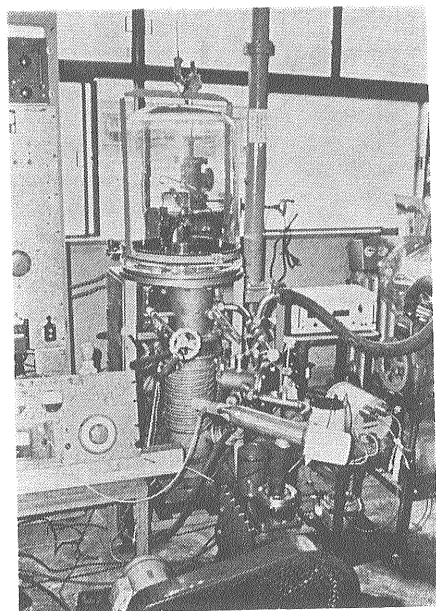
も決して夢ではなさそうである。 もちろん 科学的な研究面からの意味も含まれているが むしろ資源としてあるいは 宇宙の工場として使おうとするようである。

さて 日本においては 海洋資源も200海里専管時代を迎え あわただしい動きを見せているが 何となく手遅れの感がないでもない。 今 少しづつ話が聞こえて来るのは南極の資源のようである。 もし ここで日本に多少なりとも発言権があるとすれば それは学問的な見地から 20年の長期にわたり基礎的な活動をしてきた昭和基地を始めとする極地における多方面にわたる研究の無言の業績によるところが大であろう。

アメリカでは 1980年代には上記のような宇宙資源開発に手をつけたいようである。 もちろん 我が国独自の力でそれと同等なことを始めることは困難であろう。 しかし そのような事業に対しできるだけ強い発言権を持つことが望まれる。 そのためには通産省においても 海洋底資源・極地開発にも増して 月・惑星科学に関する基礎研究を早期に推進することが必要であろう。

火星の衛星が 炭素質コンドライト隕石と同種のものらしいことが明らかになったと新聞に報道されたのは最近のことであるが 既にくつかの小惑星はそれがどのようなものからできているのかが その反射スペクトルから明らかになっている(第3表)。 ここにはそれ全体が有用元素であるというものは出ていないが 隕石から推測すると 鉄・ニッケルなどの塊りも多数発見されるであろう。 小惑星全体ではないが 第3表にも多くみられる 炭素質コンドライト隕石の中には 白金・タングステン・レニウム・モリブデン などの貴金属をそれ





第6図(写真)

真空中における珪酸塩岩石の蒸発と 固化に伴う元素分別実験に用いた装置(電子衝撃加熱装置)。

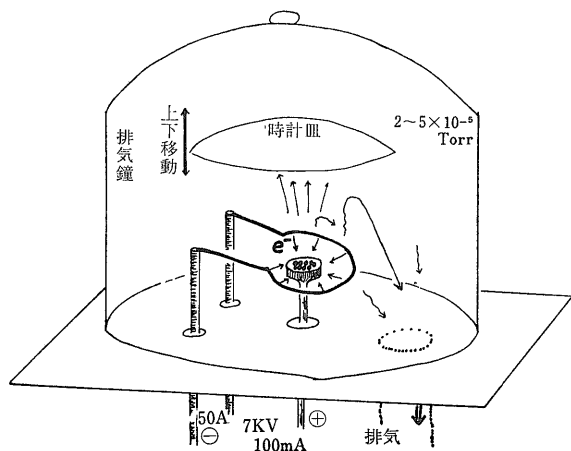
本装置は 東京大学原子核研究所にあるもので 本来は核反応生成物をみるために 高速の素粒子を打ち当てるターゲットとする金属薄膜を作るためのものである。本装置は同研究所の金子象太郎教授の御好意により使用させていただいた。最近 宇宙科学を目的とする同種の加熱装置が神戸大学 理学部の増田研究室に設置された。また地質調査所の実験地学グループでも 目的を異にした やや小型の装置の試験運転を始めている。

示すようなものであるが この中を真空中に引き 内部のつばで珪酸塩を加熱・気化すると ナトリウム・カリウム・ルビジウムは最も遠方(低温領域)で凝縮し 希土類元素・アルミニウム・カルシウムなどはつばに非常に近い高温領域で凝縮固化することがわかった。予備実験の結果を第8図に示す。宇宙空間において 太陽熱あるいは核エネルギーで岩石を気化し その分離に電場・磁場を併用するなら イオン交換により元素を分離するように 多数の希元素を極めて効率よく大量に分離・回収することができよう。そこは公害など全く考えなくても良い所である。

ぞれ パーセントに近い量だけ含む物質が発見されている。

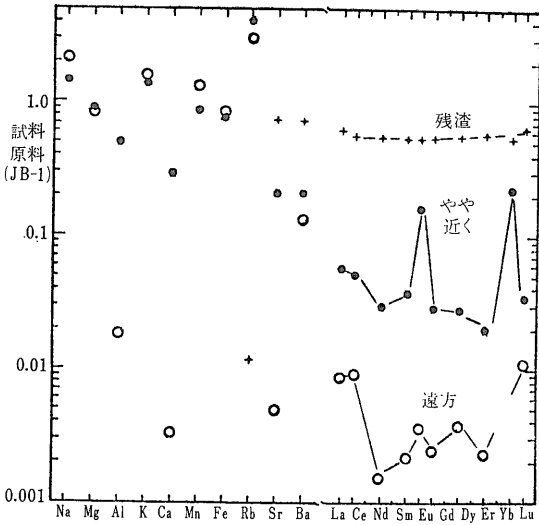
地質調査所では 地球化学グループにおいて アポロ計画による月試料の研究にひきつづき 隕石についての研究を進めている。他方 実験地学グループではその研究の1つとして 地球深部に関する実験的研究とともに 宇宙空間を模した環境での岩石・鉱物の加熱凝縮実験を行なっている。もちろんこれは高温の原始太陽系星雲から物質の凝縮に伴う元素の分別を調べるものであるが 将来 宇宙空間における岩石・鉱物の精錬・加工にも応用できるものである。装置は第6図 第7図に

上記のような実験地学の研究は 小惑星あるいは 宇宙空間における資源探査の指針ともなり得るだろう。地球上では 金・銀・白金・銅・錫・チタン・ニッケル・コバルト・タングステン・ニオブ・タンタルなどその多くはマグマ鉱床・気成鉱床・熱水鉱床などとして地殻の中から熱により様々の形で抽出されたもの つまりより後期の固結物として存在している。ところが 炭素質隕石の中では これらの有用金属は 極く初期の太陽系星雲からの固結物として カルシウム-アルミニウム鉱物とともに存在することが多い。自づから資源探査法も 地球上におけるそれとは大きく異なるであろう。しかし まだ世界中で誰もそれに関する十分な知識を持



第7図

第6図に示した装置の主要部分を示す。この部分全体は大きな排気鐘の中に入れており 真空中に排気されている。中心にあるのがタンタル製のつばで その中に試料を入れる。その周囲を丸くとり巻いているのが太いニクロム線で約50Aの電流により赤熱される。ニクロム線とつばの間に高電圧をかけると ニクロム線から出る多量の熱電子が つばに集中し 強熱される。ガス化した試料(岩石)は つばからの距離をいろいろ変えた捕集装置上に付着凝縮する。



第8図

第7図の装置で コレクターとしての時計皿に捕集された物質の化学組成を蒸発の原料として使用した玄武岩 (JB-1) の化学組成で割ったもの、多数回の実験の内、つばから最も遠方で捕集したもの (図中の○印) やや近くで捕集したもの (図中の●印) および蒸発残渣 (図中の+印; 試料の全量が気化する前に加熱を中止したもの) の元素存在度パターンを示す。本実験において、捕集された物質中には Na・K・Rb が多く Ca・Al・Sr・Ba および希土類元素に乏しいことがわかった。またこの●印と○印の間の空間では Ca・Al・Sr に富み Ba・Sr・希土類元素を含むものが凝縮したことが計算される。蒸発残渣の希土類元素存在度パターンから、希土類元素はほぼ均一に気化したと思われるが ●印では相対的に Eu・Yb に富み ○印ではすべての希土類元素に乏しい、よってつばの近くの空間では、希土を比較的多量に含み、相対的に Eu・Yb に乏しい物質、中間の空間では相対的に Eu と Yb に富むもの、さらに遠方ではすべての希土類元素に乏しい物質が凝縮したと想像される。

ち合わせていないのである。

### 7 おわりに

“地角斜”の検討はそのテクトニクスの見地から“地角斜玄武岩”という表題で服部により 本誌に解説がなされた。今年はその①が印刷になってからすでに5年を経た。以来地角斜とそのテクトニクスについて数多くの研究が発表されている。しかし 筆者の知る限り服部による解説以降 特記すべき成果は少ないようにみえる。やはり地質学は地質現象と同じく 時に断層や噴火といった大きな変動を見せる以外は 地質学的年代スケールでしか進まないものだろうか? 今 太陽系のプレートテクトニクスと宇宙 (地球) 科学の夢を画いた。何時になったらこんな夢が本当に見られるのだろうか。地球科学の夢は地球科学の現象と同じく 始まった時にすでにその90%は終わっているようにも思える。

最後にこの話は偏見に満ち満ちた神代の夢を文字にしたものであるから 読まれたらすぐ忘れていただければ 調査所に宿を借るあまのじゃくとしては幸いこの上ないことである。

本文の作成にあたり 薄片の作成においては特殊技術課の大野正一技官・宮本昭正技官・村上正技官・安部正治技官および佐藤芳治技官にお世話になった。また岩石蒸発用をつばは 同じく竹内三郎技官の作成によるものである。またここに用いた写真は正井義郎技官により撮影されたものである。これらの方々に厚くお礼申し上げる。

本誌次号 (282号・1978-2) の表紙には Allende 隕石の反射光による写真が掲載される予定である。そこでは Allende 隕石に特有な 白い雲のような カルシウム-アルミニウム-鉄物の集合体を はっきりと見ることができよう。

### 参考文献

CLAYTON, R. N., GROSSMAN, L. and MAYEDA, T. K. (1973): A component of primitive nuclear composition in carbonaceous meteorites. *Science* 182, p. 485-488.

服部 仁 (1972 a): 地角斜玄武岩①——古生代地角斜の復元とグローバルテクトニクス. *地質ニュース* 215 p. 1-16

服部 仁 (1972 b): 地角斜玄武岩②——陸と海の火山および火山岩. *地質ニュース* 216 p. 1-15

服部 仁 (1973): 地角斜玄武岩③——フィールドからラボへ. *地質ニュース* 229 p. 1-18

堀越 叡 (1976): Dietz 説による地角斜ならびに討論. *地学雑誌* 85 No. 4 p. 38-53

木村敏雄 (1971): “地角斜の概念” 鉱床形成の場の基礎的諸問題 第一編 鉱山地質特別号4号 p. 1-16

奥村公男・曾屋竜典・河内洋佑 (1976): ミニコンピュータによるX線マイクロアナライザーのオンラインコントロール. *地質ニュース* 265 p. 1-11

SHIMIZU, H. and MASUDA, A. (1977): Cerium in chart as an indication of marine environment of its formation. *Nature* 266, p. 346-348.

杉崎隆一・水谷伸治郎 (1972): 日本列島の古生代地角斜とその火山活動. *科学* 42 No. 4 p. 170-180

田中 剛 (1977): 本邦古生界地角斜玄武岩の希土類元素存在度とその地質学的意義. *地調月報* 28 No. 8 p. 27-57

TANAKA, T. and OKUMURA, K. (1977): Ultrafine barium titanate particles in the Allende meteorite. *Geochem. J.* 11, p. 137-146

ここには総説的な文献を中心として掲げた。個々の専門的な文献について必要があれば上記文献から検索していただきたい。隕石とその宇宙化学について 小沼直樹著 宇宙化学—コンドライトから見た原始太陽系—。講談社現代の化学シリーズ4 1972年 講談社 は我々の目の前で原始太陽系を燃やしてみせた本である。