

# 明日の資源と新材料

## —地質調査所における宇宙物質の研究—

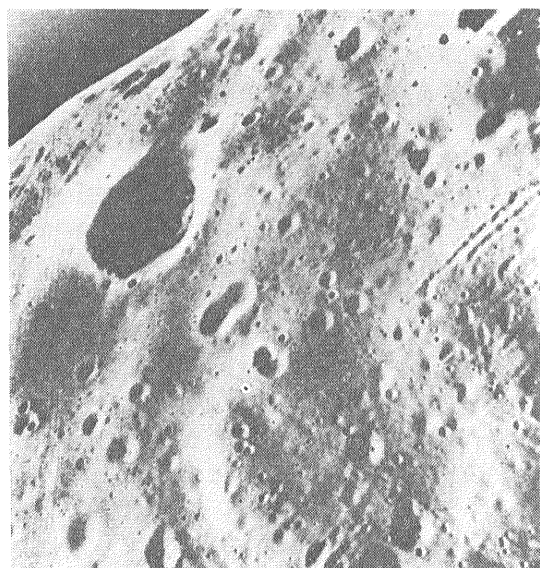
田中 剛 (技術部)  
Tsuyoshi TANAKA

### 1 はじめに

[西暦2006年5月4日 宇宙空間における惑星の利用・領有に関する国際決議]<sup>1)</sup>

- a : 本件は太陽系の資源を最大限有効かつ平和的に利用するために決められたものである。
- b : 太陽系内において直径1 km 以上の天体(惑星 衛星 小惑星など)はその開発と利用を国連の監督のもとに行うものとし 直径1 km 以下の小天体についてはその発見国に帰属するものとする(このような小天体は地上からは発見できない)。
- c : .....

西暦1982年 今深海底資源と極地の資源が揺れ動いている。かつてこれらは学問的研究対象として国際的な共同管理下にあったものであるが 技術の進歩とともに営利対象物として単一国家・私企業の手の届くものとなったからであろう。これら新資源の開発に関しては日本にも発言権がある。なぜなら開発技術を持つことは



第1図 バイキング1号による火星の衛星フォボスの写真。衛星から 530kmの地点から撮影したもの<sup>2)</sup>。

もちろんであるが そのような資源となる物質・地域について極地研究所(昭和基地) 地質調査所 海洋研究所などにおける長期にわたっての基礎研究の無言の実績があるからである。

今から20年 次の資源は何だろうか? 隕石の研究は従来宇宙生成論といった純学問的興味のみからなされてきた。筆者もそれに携わってきた一人である。しかし 隕石の研究は純学問的な面のみならず 資源や新材料といった工学的な面からも重要な意義を持つと思われる。ここでは後者の視点から宇宙資源に触れてみたい。

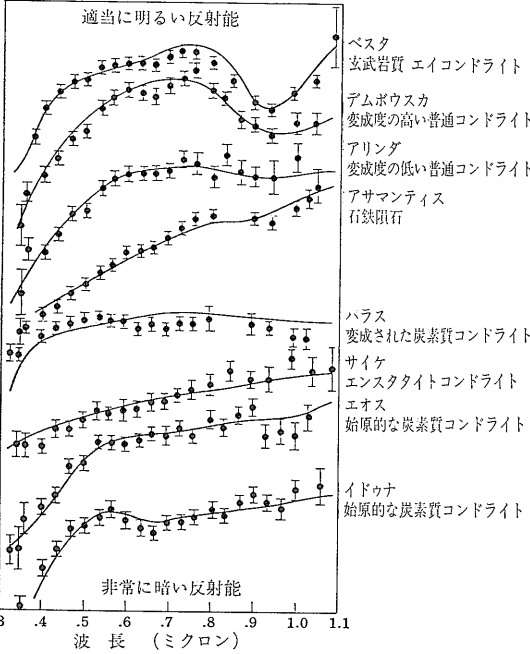
### 2 隕石から推定される小惑星の資源

太陽系には9個の惑星とその衛星の他に約2,000個の小惑星が存在する。セレス パラス などのように個有名を持つ直径数百キロメートルのものもあるが 大部分は直径20~80km である。これらは地上から望遠鏡で光学的に観測されるものであるが 地上から観測し得ない直径数千メートル以下のものは数十万個あると試算されている。また アポロ・アモール群と呼ばれる一群の小惑星のようにその軌道が地球のそれにきわめて接近するものも存在する。カナダに多数みられる地質時代の大クレーターはこのような小天体の衝突によると考えられている<sup>3)</sup>。

小惑星を構成する物質についてはいくつかの方法によりその推定がなされている。一つはバイキング1号による火星の衛星フォボスの写真撮影である(第1図)。小惑星にはこのように近接撮影されたものはないが 破片状にしたその不規則な型や後述の赤外リモートセンシングによる表面物質の推定から 小惑星はフォボスに類似すると考えられている<sup>3)</sup>。いやむしろフォボスは小惑星が火星の引力圏内に捕えられたものとする考えもある。第二は小惑星の運動に生じた摂動<sup>4)</sup>の観測による小惑星の質量とその直径とから求めた密度である。それによるとベスタと呼ばれる小惑星は約  $3.5\text{g/cm}^3$  セレスとパラスは  $2\sim 3\text{g/cm}^3$  と計算される<sup>5)</sup>。前者は隕石や地球上のかんらん岩 後者は炭素質隕石と分類される原始的な隕石の密度に似た値である。そして最も多数の情報は小惑星の赤外スペクトルの解析によって得られている。これは小惑星が太陽光を反射する時その

第1表 小惑星表面の物質とその特性

| 小惑星             | スペクトル型 | 鉱物組成            | 隕石への対比           |
|-----------------|--------|-----------------|------------------|
| 1 Ceres         | F      | Si1(O), Opg(M)* | C4 {Karoonda}    |
| 2 Pallas        | F      | Si1(O), Opg(M)* | C4 {Karoonda}    |
| 3 Juno          | RA-1   | NiFe ~ (O1>Px)  | O1-Px Stony-Iron |
| 4 Vesta         | A      | Cpx             | Eucrite          |
| 6 Hebe          | RA-2   | NiFe > Cpx      | Mesosiderite     |
| 7 Iris          | RA-1   | NiFe, O1, Px    | O1-Px Stony-Iron |
| 8 Flora         | RA-2   | NiFe ≥ Cpx      | Mesosiderite     |
| 9 Metis         | RF     | NiFe, (Si1(E))  | E. Chon. Iron    |
| 10 Hygiea       | TB     | Phy, Opg(C)     | C1-C2            |
| 11 Parthenope   | RF     | NiFe, (Si1(E))  | E. Chon. Iron    |
| 14 Irene        | RA-3   | NiFe, Px        | Px Stony-Iron    |
| 15 Eunomia      | RA-1   | NiFe ~ (O1>Px)  | O1-Px Stony-Iron |
| 16 Psyche       | RR     | NiFe, Si1(E)    | E. Chon. Iron    |
| 17 Thetis       | RA-2   | NiFe, Cpx       | Mesosiderite     |
| 18 Melpomene    | TE     | Si1(O), Opg(C)  | C3               |
| 19 Fortuna      | TA     | Phy, Opg(C)     | C1-C2            |
| 25 Phocaea      | RA-2   | NiFe, Px, Cpx   | Px Stony-Iron    |
| 27 Euterpe      | RA-2   | NiFe, Px, Cpx   | Px Stony-Iron    |
| 28 Bellona      | TE     | Si1(O), Opg(C)  | C3               |
| 30 Urania       | RF (?) | ---             | ---              |
| 39 Laetitia     | RA-1   | NiFe ~ (O1>Px)  | O1-Px Stony-Iron |
| 40 Harmonia     | RA-2   | NiFe > Px       | Mesosiderite     |
| 48 Doris        | TA     | Phy, Opg(C)     | C1-C2            |
| 51 Nemausa      | TC     | Phy, Opg(C)     | C1-C2            |
| 52 Europa       | TA     | Phy, Opg(C)     | C1-C2            |
| 58 Concordia    | TABC   | Phy, Opg(C)     | C1-C2            |
| 63 Ausonia      | RA-3   | NiFe, Px        | Px Stony-Iron    |
| 79 Eurynome     | RA-2   | NiFe ~ Cpx      | Mesosiderite     |
| 80 Sappho       | TD     | Si1(O), Opg(C)  | C3               |
| 82 Alkmene      | TE     | Si1(O), Opg(C)  | C3               |
| 85 Io           | F      | Si1(O), Opg(M)* | C4 {Karoonda}    |
| 88 Thisbe       | TB     | Phy, Opg(C)     | C1-C2            |
| 130 Elektra     | TABC   | Phy, Opg(C)     | C1-C2            |
| 139 Juwea       | TB     | Phy, Opg(C)     | C1-C2            |
| 140 Siwa        | RR     | NiFe, Si1(E)    | E. Chon. Iron    |
| 141 Lumen       | TA     | Phy, Opg(C)     | C1-C2            |
| 145 Adeona      | TA     | Phy, Opg(C)     | C1-C2            |
| 163 Erigone     | TA     | Phy, Opg(C)     | C1-C2            |
| 166 Rhodope     | TC     | Phy, Opg(C)     | C1-C2            |
| 176 Iduna       | TA     | Phy, Opg(C)     | C1-C2            |
| 192 Nausikaa    | TA-2   | NiFe ~ (Px>O1)  | Px-O1 Stony-Iron |
| 194 Prokne      | TC     | Phy, Opg(C)     | C1-C2            |
| 210 Isabella    | TABC   | Phy, Opg(C)     | C1-C2            |
| 213 Lillaea     | F      | Si1(O), Opg(M)* | C4 {Karoonda}    |
| 221 Eos         | TD     | Si1(O), Opg(C)  | C3               |
| 230 Acharnantis | RF     | NiFe, (Si1(E))  | E. Chon., Iron   |
| 324 Bamberga    | TABC   | Phy, Opg(C)     | C1-C2            |
| 335 Roberta     | F      | Si1(O), Opg(M)* | C4 {Karoonda}    |
| 349 Dembowska   | A      | O1, (NiFe)      | O1. Achondrite   |
| 354 Eleonora    | RA-1   | NiFe ~ O1       | Pallasite        |
| 433 Eros (e)    | --     | Px ~ O1, NiFe   | H Chondrite      |
| 462 Eriphyla    | RF (?) | ---             | ---              |
| 481 Emita       | TABC   | Phy, Opg(C)     | C1-C2            |
| 505 Cava        | TA     | Phy, Opg(C)     | C1-C2            |
| 511 Davida      | TB     | Phy, Opg(C)     | C1-C2            |
| 532 Herculline  | TE     | Si1(O), Opg(C)  | C3               |
| 554 Peraga      | TA     | Phy, Opg(C)     | C1-C2            |
| 654 Zelinda     | TC     | Phy, Opg(C)     | C1-C2            |
| 674 Rachele     | RF (?) | ---             | ---              |
| 704 Interamnia  | F      | Si1(O), Opg(M)* | C4 {Karoonda}    |
| 887 Alinda      | TD     | Si1(O), Opg(C)  | C3               |
| 1685 Toro (f)   | --     | Px, O1          | L Chondrite (?)  |



第2図 小惑星の赤外スペクトル (バーの付いた点) とそれに対比される隕石のスペクトル (実線)<sup>5)</sup>

波長特性が表面の構成物質により変化することを用いたもので、その例と隕石への対比を第2図に示す<sup>5)</sup>。

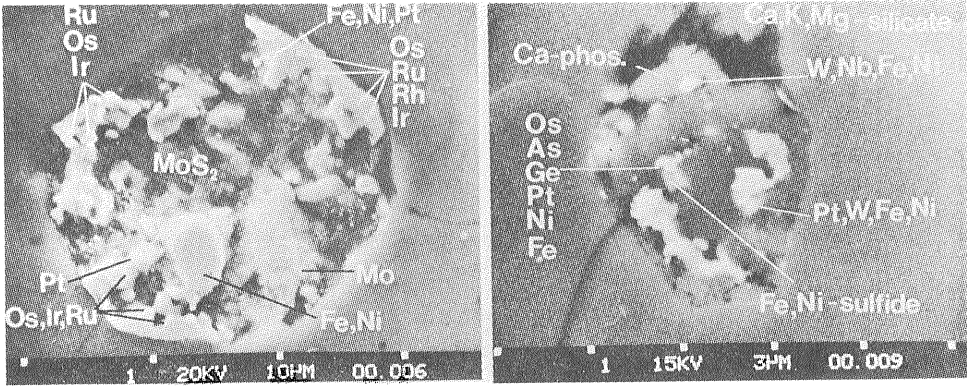
第1表に示すように多数の観測の結果 小惑星の表面は珪酸塩と金属元素で構成されるものと 不透明な炭素質物質を含むものに大きく区分されることがわかった<sup>6)</sup>。前者は鉄・ニッケル金属相 トロイライト (FeS) および輝石やかんらん石などの珪酸塩鉱物からなる普通コンドライト隕石 又は鉄・ニッケル合金とかんらん石や輝石が混在している石鉄隕石に対比される。後者は珪酸塩鉱物とともに水や炭素を含む炭素質コンドライト隕石に対比されるものである。

鉄・ニッケルが資源として有用なことはここに改めて述べるまでもない。直径1kmの隕鉄は約40億トン。1980年の世界の粗鋼生産量は7億トン余であるから世界中が5年間鉄を使える。地球のどこかに隕鉄を落とし製鉄所を作っても十分採算が合うだろう。いやそんな危険なことをするより地球の周辺空間において太陽熱などで精錬・加工をすれば良い。そこは公害など全く気になくて良い所でもあろう。

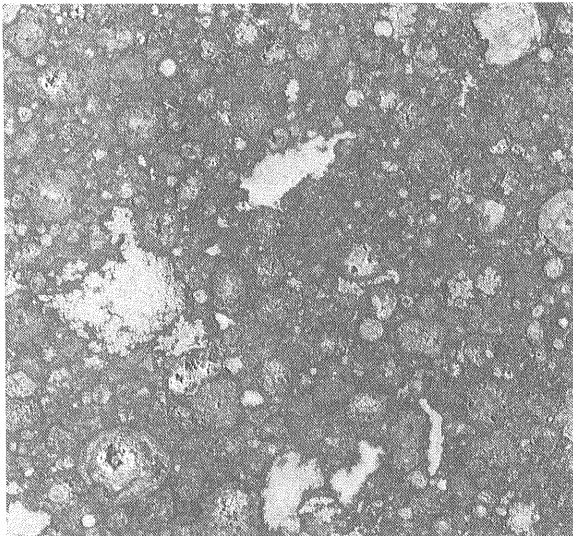
鉄のように単価が安いものは投資に値しないと言われるかもしれない。それなら第3図を見ていただきたい。ルテニウム モリブデン オスミウム イリジウム 白金 タングステン ニオブ ゲルマニウム……いずれ

も高純度の金属塊である。これらは Allende 隕石とよばれる炭素質コンドライト隕石中に多数見出される<sup>7)</sup>。炭素質コンドライト隕石 (第4図) は地上に落下したものは他種類の隕石に比べ少数である。しかし前述の赤外リモートセンシングの結果 小惑星の半数近くはこの隕石に類するもので構成されることがわかっており 宇宙資源として量的にも有望なものである。

Allende 隕石の詳細は拙著 宇宙の地角斜<sup>8)</sup> 原始太陽系 地質ニュース281号 (1978)<sup>9)</sup> を参照していただきたいが その最たる特徴の1つはこの隕石を構成する元素は地球上の金属資源のように 熔融-固化といったマグマ作用でなく 高温ガス-凝縮の過程で元素(資源)の濃縮が起ったと考えられることである。その理論計算値を第5図に示す<sup>9)</sup>。この理論値は顕微鏡による隕石

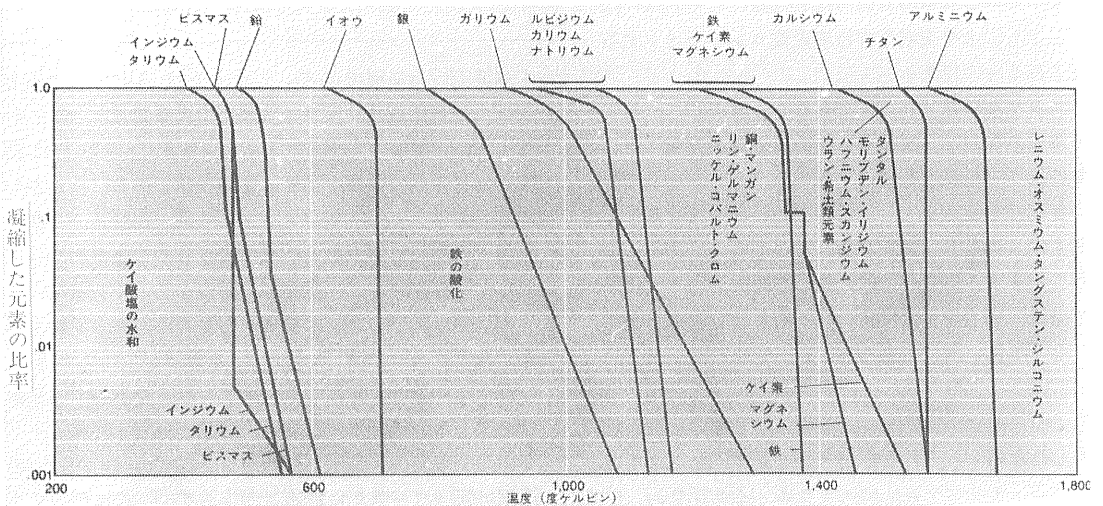


第3図 Allende 隕石中にみられる貴金属塊の例<sup>7)</sup>



第4図 Allende 隕石の切断面。図の長辺は約 3 cm、丸いのはかんらん石を主体とするコンドルール、不規則な形をしたものが Ca-Al に富む鉱物集合体、マトリクスは微細なかんらん石粒を主体とする。炭素 水もマトリクス部分に含まれる。

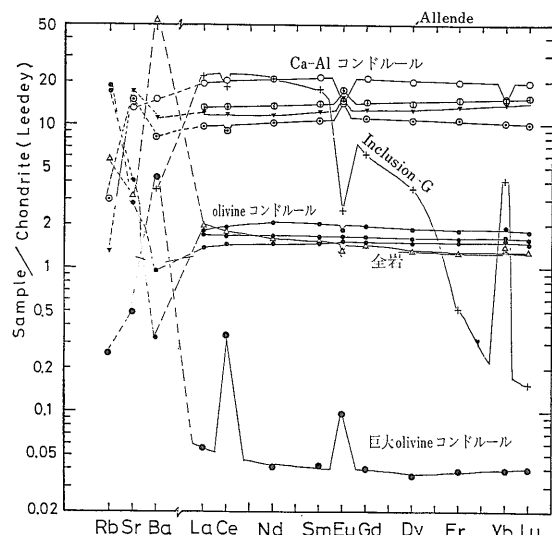
の鉱物生成順序の観察とも合致するものである。第5図によると 第3図に示された オスミウム イリジウム 白金 といった貴金属はいずれも 1500°K 以上で凝縮・生成したものであることがわかる。地球上では白金金属元素は末期マグマ鉱床や砂鉱床として かんらん岩やその風化分解したものに胚胎する。しかし第6図からわかるように 宇宙ではこのような白金金属元素はかんらん石 ( $Mg_2SiO_4$ ) の生ずる温度より 高温域で Ca-Al を主成分とするコランダム ( $Al_2O_3$ ) メリライト ( $CaMgSi_2O_6$ ) ペロプスカイト ( $CaTiO_3$ ) といった鉱物とともに生じている。したがって 炭素質隕石の小惑星で貴金属鉱脈を発見するためにはかんらん石でなく 上記のような Ca-Al 鉱物を指標としなければならない。もちろん第3図の貴金属塊も Ca-Al 鉱物集合体中に発見されたものである。 ついでながら金はより低温の 1100°C 付近でアルカリ長石などととも凝縮するし ビスマス イリジウム タリウムは 400°K~500°K で既に凝縮している単金属と合金を作ったり、 単独で金



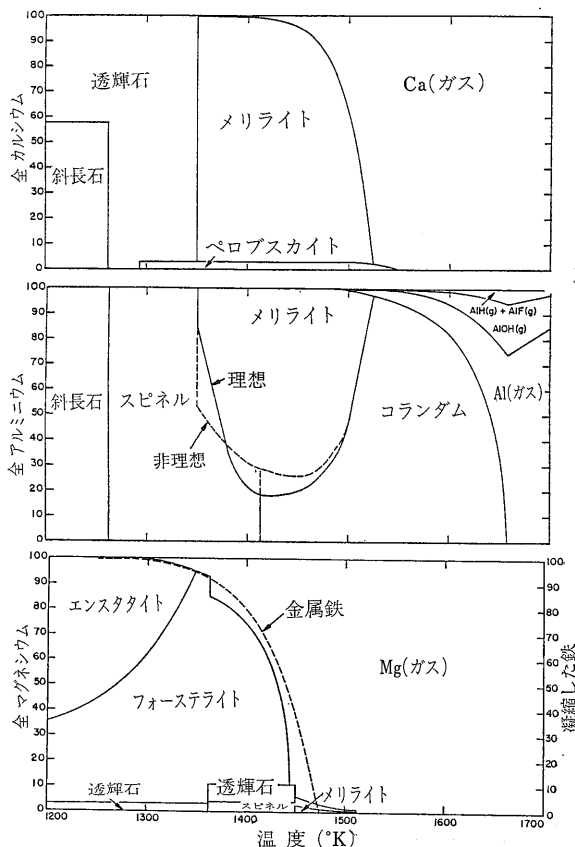
第5図 原始太陽系星雲のある場所での全圧が  $10^{-4}$  気圧であるとした場合 温度と凝縮する元素の関係<sup>8)</sup>

属塊として凝縮する。

第5図・第6図から容易に想像されるが Ca-Al 鉱物中には新金属資源の一つである希土類元素も多く含まれる。 Allende 隕石中の各部分の希土類元素含有量は地質調査所の質量分析計を用いて同位体希釈法により世界で最も精密に定量されている<sup>11)12)</sup>。 第7図にその例を示す。 分析値を平均的な化学組成をもつ Leedey 隕石中の値で規格化したものである。 希土類元素は Ca-Al に富むコンドルール (隕石中の球型をした inclusion) に多い。 Inclusion-G はその鉱物組成は前者に似るがより細粒で不規則な形をしたものである。 このような200倍にも達する希土類元素相互の分化は地上の岩石には存在しない。 重希土に乏しいことと Eu・Yb がなめらかな曲線からはずれることから この Inclusion-G は重希土に富む物質がより高温で凝縮した残りのガスから分別凝縮したものと考えられる。 計算によるとこの inclusion は 1670°K で凝縮したものでらしい<sup>13)</sup>。 Olivine コンドルールは隕石全岩とほぼ等しい希土類元素存在度を持つ。 これは前2者より低温で生成固化したものである。 最も希土類元素に乏しい巨大 Olivine コンドルールはマグネシウムに富むかんらん石組成の球状をした inclusion で 大部分の希土類元素が既に取り除かれたやや低温のガスからゆっくりと生長したものであろう<sup>12)</sup>。 これは第5図の希土類元素の凝縮温度と第6図のマグネシウムかんらん石の生成温度を比較すれば容易に理解されよう。 それは希土類元素の中でやや揮発性の Eu が相対的に多いことから支持される。 こ



第7図 Allende 隕石中の各種 inclusion 中の希土類元素存在度を Leedey コンドライト隕石中の存在度で規格化した図<sup>11) 12)</sup>

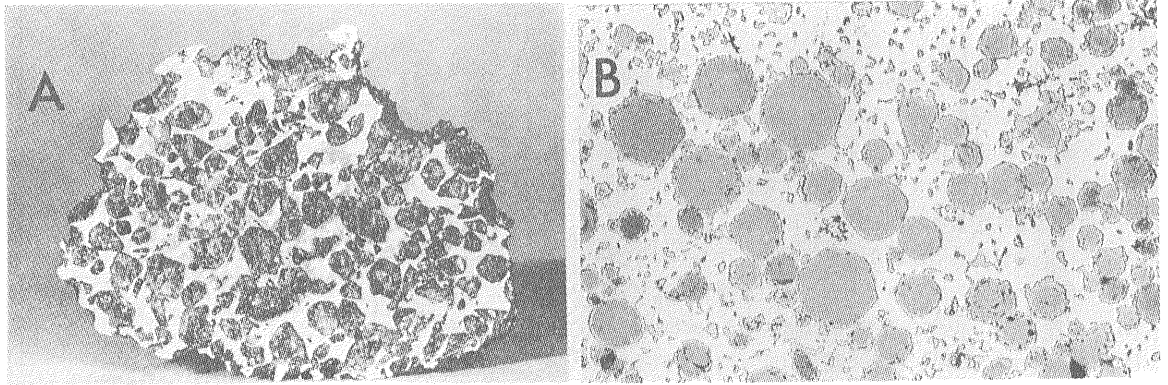


第6図 原始太陽系星雲の温度と主要化学成分元素 (Ca Al Mg Fe) の作る相<sup>10)</sup>

の Inclusion が Ce に富むことは Ce が高温で他の希土類元素に比べて凝縮しにくかったことを示す。 これは極めて酸化状態のガス中でおこなうことである。

最後になったが もちろん 希土類元素・ウラン・トリウムも第3図に示したようなそれが10%以上濃縮した塊の存在が報告されている<sup>14)</sup>。

隕石についての希土類元素 白金元素を始めとする元素の分布状態の研究は アポロによる月試料の研究に取ってかわり ここ数年来急速に発展している。 隕石はその大きさから資源として直接には役立たないかもしれない。 しかし 前述の研究結果がわずかに握りの隕石試料から得られたものであることと 地上の任意の岩石 1 kg の調査から取り出し得るであろう資源についての情報量の差に注目すれば 隕石には宇宙資源の密度がいかに高いか理解されよう。 今後 NASA により計画されているように地球周辺の有用資源に富む小惑星を無人のタグボートで地球の衛星軌道に持って来られるならその利用は無限のものとなる<sup>15)</sup>。 第2図を思い出し



第8図 A: Ollague パラサイト(石鉄隕石)の断面。黒い部分はかんらん石 白い部分は鉄・ニッケル合金<sup>18</sup>。  
 B: ロケットを用いて無重力下で合成されたニッケル・チタンカーバイド合金<sup>19</sup>  
 両者とも地上での熔融では上下に2分してしまう。

てほしい。5年前までフォボスは一点の光として天文学者の持ち物だったものである。今ここに見るクレーターにおおわれた岩石塊を研究できるのは誰だろうか? 言うまでもなく天文学者ではない。ハンマーを持ったこれからの地質学者である。月・火星を始めとし土星の衛星タイタンに至るまでの星はすでに地に落ちかかっているのである。地質調査所はそれまでに資源・鉱脈探査の新法則と技術を確立しなければならない。

### 3 新材料研究の指標としての隕石 (スターライト計画)\*

近年新材料の研究が叫ばれている。一昨夏の筑波の地で開かれた人間と技術の将来に関する講演会でも期待される新物質として炭・珪素セラミクス 希有元素合金などが考えられ さらにプラズマ状態の超高温とか無重力状態がその生成場として有望視されている<sup>16)17)</sup>。

NASA あるいは 科学技術庁は無重力下で新材料を作るためにロケットやスペースシャトルに莫大な投資を行ってきた。しかし 我々は既に無重力下で超高温プラズマ域(超新星)から極低温に至る温度範囲で46億年前に合成された物質(隕石)を多数手にしているのである。以下にその数例を示そう。

まず第8図Aをみていただきたい。これは鉄・ニッケル合金中にかんらん石(Mg<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>)が浮遊するものである<sup>18)</sup>。前者は密度7.8 後者は3.4(少し鉄を含む)。地上でなら両者は完全に分離する。この隕石は石鉄隕石(パラサイト)と分類されるもので 隕石母天体のやや中心部(弱重力場)で熔融・固結した結果 両成分が分離しなかったものと考えられる。この Texture がロケットを用いて無重力下で合成された新材料ニッケル・チタンカーバイド合金のそれと極めてよくにていることは注目し値しよう(第8図B)。

第2表 隕石に含まれ地上では未発見の鉱物

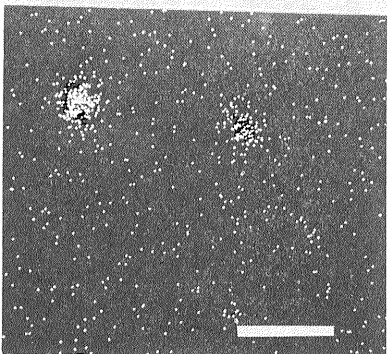
| 鉱物名           | 化学式   |
|---------------|---|
| Brezinaite    | Cr <sub>3</sub> S <sub>4</sub>  |
| Barringerite  | (Fe Ni) <sub>2</sub> P  |
| Brianite      | Ca Na <sub>2</sub> Mg (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>                       |
| Carlsbergite  | Cr N  |
| Daubreelite   | Fe Cr <sub>2</sub> S <sub>4</sub>   |
| Farringtonite | Mg <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>                             |
| Gentnerite    | Cu <sub>8</sub> Fe <sub>3</sub> Cr <sub>11</sub> Si <sub>18</sub>           |
| Haxonite      | Fe <sub>23</sub> C  |
| Krinovite     | Na Mg <sub>2</sub> Cr Si <sub>8</sub> O <sub>10</sub>                       |
| Lawrencite    | (Fe Ni) Cl <sub>2</sub>   |
| Majorite      | Mg <sub>3</sub> (Mg Si) Si <sub>3</sub> O <sub>12</sub>                     |
| Merrhueite    | (K, Na) <sub>2</sub> Fe <sub>5</sub> Si <sub>12</sub> O <sub>30</sub>       |
| Niningerite   | (Mg, Fe) S  |
| Oldhamite     | Ca S  |
| Osbornite     | Ti N  |
| Perryite      | (Ni, Fe) <sub>5</sub> (Si, P) <sub>2</sub>                                  |
| Panethite     | (Ca, Na) <sub>2</sub> (Ee, Mg) <sub>2</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> |
| Roedderite    | (K, Na) <sub>2</sub> Mg <sub>5</sub> Si <sub>12</sub> O <sub>30</sub>       |
| Ringwoodite   | (Mg, Fe) <sub>2</sub> Si O <sub>2</sub>                                     |
| Sinoite       | Si <sub>2</sub> N <sub>2</sub> O  |
| Stanfieldite  | Ca <sub>4</sub> (Mg, Fe) <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>6</sub>       |
| Troilite      | Fe S  |
| Ureyite       | Na Cr Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  |

以上の外に主として炭素質隕石中には多数の含希元素新鉱物が発見されている。それらは粒子が小さいため十分な鉱物学的な記載ができず、名前が付けられていないものが多い

その成因がすべて無(弱)重力場によるものか否かは明確でないが 隕石中には地球上で天然に未発見の鉱物が

#### スターライト計画

この研究は月あかり(ムーンライト計画)のように周囲を照らす必要はない。ましてや太陽(サインジュイン計画)のように光と熱に満ち溢れることも要しない。ただ北極星のように新材料開発のゆく手を指し示す一点のあかりとなれば十分である。

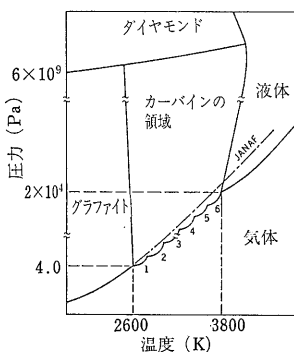
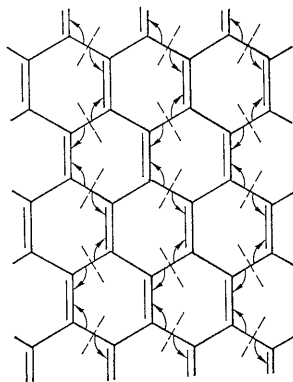


第9図  
Allende 隕石  
中にみられる  
Ba の濃縮部  
分(上). この  
部分は Ti の  
濃縮部分(下  
図)に一致する.  
白線の長さは  
10 $\mu$ m.<sup>21</sup>.

多数みつがっている。その多くはまだ名前もつけられることなく置かれているが トロイライト (Fe S) オスポーナイト (Ti N) オルダマイト (Ca S) シノアイト (Si<sub>2</sub> N<sub>2</sub> O) などは隕石中にもみ出される鉱物として著名なものである (第2表)。

強誘電体材料である Ba Ti O<sub>3</sub> も隕石中に存在する。Ba Ti O<sub>3</sub> は常温で 26 $\times$ 10<sup>-2</sup> (C/m<sup>2</sup>),  $\sim$ 5000 ( $\epsilon_a/\epsilon_0$ ) という大きな自発分極と比誘電率をもつ最新のエレクトロニクス材料である。これは地質調査所の質量分析計による隕石中の希土類元素 バリウムの精密定量の過程でバリウム粒子の存在が予言され EPMA で探査・発見されたものである<sup>20)</sup>。第9図に示すように Ba Ti O<sub>3</sub> は微粒子として存在するためにその鉱物学的特性は未知である。計算では原始太陽系星雲の通常の凝縮過程では単独粒子として生成し得ないものが小さいながら粒子として存在することは強誘電体として相互に付着成長する性質が強く働いたものと考えられる<sup>21)</sup>。

グラファイトとダイヤモンドの中間物質にカーバインがある。これは第10図に示すように (-C=C-)n の鎖状のものが6角型に結合したものである。相平衡図によれば大部分のカーバインは 2600°K $\sim$ 3800°K で存在するが、ある種のカーバインは solid-vapor ラインに沿ってより低温まで安定であると考えられている<sup>22)</sup>。地上のグラファイトにカーバインが共生する場合も知られているが電子線回折の結果 前述の炭素質コンドライト



第10図  
カーバインの構造模  
式図(上)と相平衡  
図(下)<sup>22)</sup>.

隕石に含まれる炭素の内90%がこのカーバインであることがわかった。そしてそのカーバインが強い宇宙線のシャワーにさらされながら 太陽系形成以前の希ガス (Ne Ar Xe) を 46億年後の今日なお強固に保持しているのである<sup>23)</sup>。転じてそのガス保持能力は工学面からも検討評価すべきものではないだろうか。

#### 4 宇宙の宝石箱

以上に紹介したものは隕石を構成するものの内ごく一部のものである。まだまだ隕石には未知のものが含まれている。しかしハンマーやたがねで叩き出すと脆弱な隕石はすべてが粉碎されてしまいその研究が難しくなる。著者は天然の岩石が長い年月かかって水により風化されるように実験室内で隕石の凍結・融解の過程をくり返した。その結果 隕石試料の構成物を破碎することなく そっくり取り出し得た。その一部を第11図に示す。色をお見せできないのが残念であるが 赤 青 黄 ピンク 緑 白とさまざまな鉱物あるいはその集合体がみられる。丸いのはコンドラール 赤とピンクはスピネル (Mg Al<sub>2</sub> O<sub>4</sub>) 青いのはヒボナイト (Ca Al<sub>2</sub> O<sub>10</sub>) とスピネル 黄色はかんらん石 (Mg Fe Si O<sub>4</sub>) 透明なのは輝石 (Mg Si O<sub>3</sub>) と かんらん石 (Mg<sub>2</sub> Si O<sub>4</sub>) 金色をしたのは硫化物であろう。すべて無重力下で形成されたもので 地球上の天然物にはみられない様々な



微量元素存在度を持つものが期待される。

地質調査所ではアポロ計画による月試料の地球化学的研究にひきつづき 昨年度から経常研究の1つとして 年度予算20万円で隕石およびその構成鉱物の調査を開始した。予算は NASA・科学技術庁に及ぶべくもないが 宇宙物質による新材料開発の指針というそのアイデアは地質証査所に芽ばえたものである。微量元素分布・結晶構造からの研究を手はじめとして 将来はその物性(工学)的特性についても調べる予定である(スタート計画)。そしてそれを明日の新材料と宇宙資源の研究に少しでも役立てなければと考えている。

なにぶん筆者は資源・材料については知識が少なく 的はずれの点もあると思うが 小論が今後の地質調査所における宇宙資源・新材料(隕石)の研究に対して御批判・御指導をいただくきっかけとなれば幸いである。なを 隕石と地質学・地球化学の接点に関しては拙著“宇宙の地向斜? 原始太陽系”地質ニュース 281 (1978)<sup>9)</sup>を参照していただきたい。

## 文 献 と 解 説

- 1) これは筆者の空想である。
  - 2) ウェザリル, G. W. (1979): アポロ天体. サイエンス 9, P. 8—21 原著者はアポロ天体は彗星起源と考えている。
  - 3) Veverka J. (1978): “Asteroids: An Exploration Assessment” NASA Conference Publication 2053, p. 207—223.
  - 4) 惑星の運動が他の惑星の引力により1時的に乱されること
  - 5) Chapman C. R. (1975): The Nature of Asteroids. Scientific Am. v. 232, p. 24—33.  
赤外リモートセンシングについては鎌田浩毅・月村勝宏による解説がある。地質ニュース 311, P. 30—43 (1980).
  - 6) McCord T. B. (1978) “Asteroids: An Exploration Assessment” NASA Conference Publication 1053, p. 109—125.
  - 7) ElGoresy A., Nagel K. and Ramdohr P. (1978); Proc. Lunar Planet. Sci. Conf. 9th, p. 1279—1303.
  - 8) 田中 剛 (1978): 宇宙の地向斜? 原始太陽系. 地質ニュース 281, P. 20—29.
  - 9) Grossman L. (1975): The Most Primitive Objects in the Solar System. Scientific Am. 232, p. 30—38.
  - 10) Grossman L. (1974): Early Chemical History of the Solar System. Rev. Geophys. Space Phys. 12, p. 71—101.
  - 11) Tanaka T. and Masuda A. (1973): Rare-Earth Elements in Matrix, Inclusions, and Chondrules of the Allende Meteorite. ICARUS, v. 19, p. 523—530.
  - 12) Tanaka T., Nakamura N., Masuda A. and Onuma N. (1975): Giant Olivine Chondrule as a possible Later-Stage Product in the Nebula. Nature, 256, p. 27—28. 第7図には未公表データも含む。
- 
- 13) Davis A. M. and Grossman L. (1979): Condensation and Fractionation of rare earths in the solar nebula. Geochim. Cosmochim. Acta 43, p. 1611—1632.
  - 14) Lovering J. F., Hinthorne J. R. and Conrad R. L. (1976): Direct <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb Dating by Ion Microprobe of Uranium-Thorium-rich Phases in Allende Calcium-Aluminium-rich Clasts. Proc. Lunar Planet. Sci. Conf. 7th P. 504—506.
  - 15) 朝日新聞科学部 (1979): 身近な科学の話題154, 朝日ソノラマ刊。
  - 16) 柳田博明 (1980): 新材料への挑戦, '80 筑波総合シンポジウム予稿集 (通産省工業技術院) P. 41—48.
  - 17) 神原 周 (1980): 新材料への挑戦, 同上 P. 49—55.
  - 18) Mason B. (1962): Meteorites, John Wiley and Sons, Inc. P. 274.
  - 19) 宇宙開発事業団 (1981): 宇宙実験 (パンフレット)
  - 20) Tanaka T. and Okumura K. (1977): Ultrafine barium titanate Particles in the Allende meteorite, Geochem. Jour. 11, P. 137—145.
  - 21) Masuda A. and Tanaka T. (1977): How did barium titanate Particulates stick together in the nebula? Nature 267, P. 231—233.
  - 22) Whittaker A. G. (1978): Carbon: A new view of its high-temperature behavior Science 200, P. 763—764.
  - 23) Whittaker A. G., Watts E. J., Rewis R. S. and Anders E. (1980) Pre-Print.