

分化した隕石とは

森 寛 志 (東京大学理学部)
Hiroshi MORI

1 隕石の分類と分化した隕石について

隕石を大きく2つに分類するとしたら始原的な隕石と分化した隕石にわけることができる。始原的な隕石とはコンドライトのことでその化学組成は太陽大気から水素ヘリウムなど極端に揮発性の元素を除いたものの組成によく似ているので、元素の宇宙存在度もしくは太陽系存在度をかなりよく保持している原始的な物質であると考えられている。そしてコンドライトにはコンドルールと呼ばれる球形の粒を含んでいるものが多い。これに対して始原的な物質が一度溶けて再び固まる際に物理的・化学的に分離を起こして元素の宇宙存在度もしくは太陽系存在度から分化した化学組成を示すグループの隕石がある。これが分化した隕石と呼ばれるものである。分化した隕石を構成する物質は主にケイ酸塩鉱物と鉄・ニッケル合金である。そして鉄・ニッケル合金の量が少なく、ほとんどケイ酸塩鉱物からなる石質隕石をコンドライトと対比させてエコンドライトと呼ぶ。逆にケイ酸塩鉱物の量がわずかでほとんど鉄・ニッケル合金だけからなる隕石を鉄隕石と呼ぶ。さらに両者の中間的な隕石もあり、石鉄隕石と呼ばれている(第1図)。ここでは分化した隕石の中でもエコンドライトと石鉄隕石についての簡単な紹介を行ないたい。

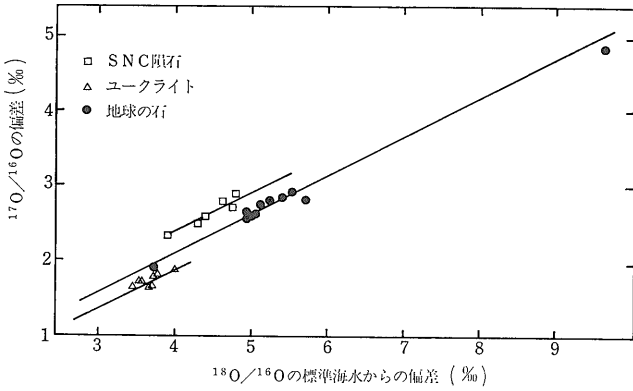
2 分化した隕石相互の関係

分化した隕石は原始太陽系星雲を作っていた微細で始原的な物質がしだいに微惑星、小惑星、さらに惑星といった分化した天体に集積されてきたものと考えられる。原料物質と分化作用の違いによりさまざまに分化した隕石が存在するわけで、互いに深い成因的関連があると思われる隕石も少なくない。これら成因的に深い関連がある隕石は同じ天体由来のものと考えられる。分化した隕石をもともと存在していた天体ごとに分類する上で有用な情報として酸素同位体比がある。第1図は酸

第1表 隕石の分類

始原的隕石	コンドライト	炭素質コンドライト エンスタタイト・コンドライト 普通コンドライト { H コンドライト L コンドライト LL コンドライト
分化した隕石	石質隕石 (エコンドライト)	ユークライト eucrite ダイオジェナイト diogenite ハワルダイト howardite シャゴツタイト shergottite } SNC ナクライト nakhlite } 隕石 シャシナイト chassignite } ユレイライト ureilite オーブライト aubrite アングライト angrite 月から来た隕石
	石鉄隕石	パラサイト pallasite メソシデライト mesosiderite ロドラナイト lodranite
	鉄隕石	ヘキサヘドライト hexahedrite オクタヘドライト octahedrite アタクサイト ataxite

素の同位体比 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ に対する $^{17}\text{O}/^{16}\text{O}$ の割合が標準海水の値からどれくらい偏っているかを表わしたものであるが、超新星の爆発で生じた ^{16}O に富む物質が原始太陽系星雲中に打ち込まれたために原始太陽系物質は ^{16}O の分布に関して不均一であったという考えに基づいて、CLAYTON らによって提出されたものである。 ^{16}O の混入の割合は太陽系星雲の地理的位置によって変化するため、同一の領域で作られたものは第1図の中で同じ位置かもしくは同位体分別によって引き起こされる勾配 1/2 の同一線上にプロットされる。この分類によるとユークライト、ダイオジェナイト、ハワルダイト、パラサイト、メソシデライトが同一線上にプロットされ、同じ天体由来するようである。シャゴツタイト、ナクライト、シャシナイトの3つ(SNC隕石と呼ばれる)は別の線上にプロットされ、別の天体(恐らく火星)に属するようである。最近南極で発見された Allan Hills 81005 という隕石は、月から来たただ一つの隕石とされているが、確かに地球・月の岩石が持つ同位体分別の線



第1図 エコンドライトの酸素同位体比による分類 (CLAYTON & MAYEDA, 1983)

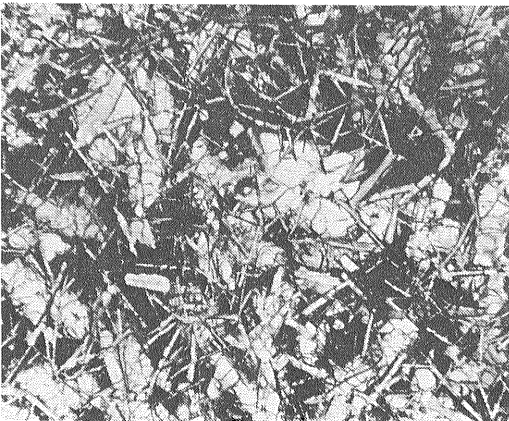
上にプロットされる。ユレイライト アングライト オーブライト ロドラナイトに関しては他の分化した隕石との関係はわかっていない。

3 分化した隕石の紹介

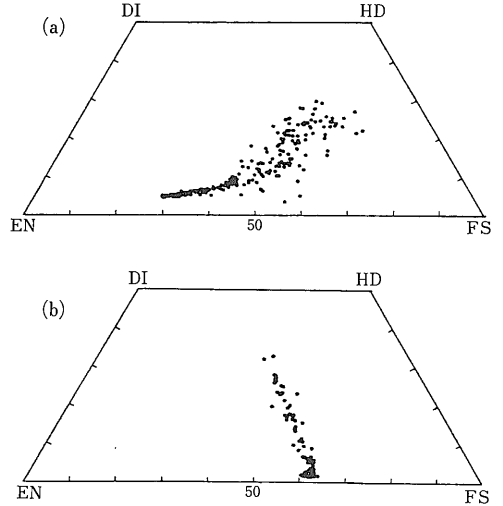
3-1 エコンドライト

(a) ユークライト

ユークライトはピジョン輝石と斜長石からなるエコンドライトで玄武岩的な組織をしたものからハンレイ岩的なものまで存在する。第2図は玄武岩的な組織を持つ Pasamonte 隕石で主にピジョン輝石 (60%) と斜長石 (35%) がサブオフィティックな組織をしており他に少量のシリカ イルメナイト トロイライト 金属鉄などが含まれている。第3図(a)はこの Pasamonte 隕石中に含まれている輝石の化学組成を示したものであるがこの幅広い組成分布は Mg に富む結晶中心部から Fe と Ca に富むふちの部分まで連続的なゾーニングが存在

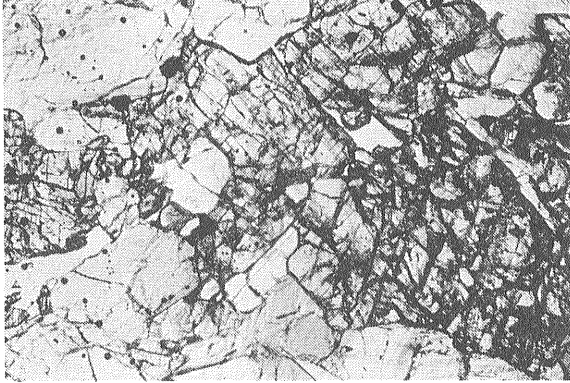


第2図 Pasamonte 隕石の薄片写真(横幅5mm)



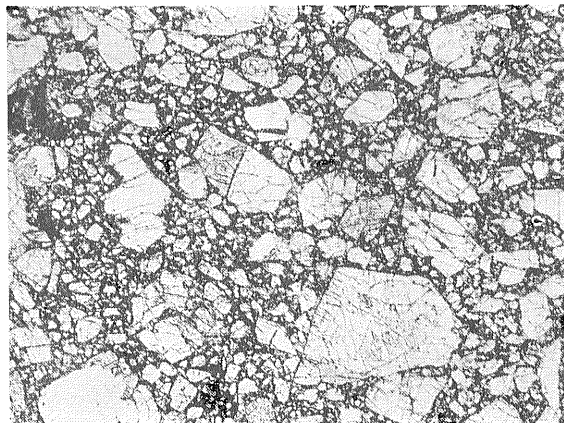
第3図 Pasamonte 隕石(a)と Stannern 隕石(b)中の輝石の化学組成 (REID & BARNARD, 1979)

在するためである。第3図(b)は Stannern 隕石中の輝石の組成を示したもので Fe/(Fe+Mg) 比が 0.6 の線に分布している。これはピジョン輝石と普通輝石が細かい離溶組織を作って低 Ca 側と高 Ca 側に分かれているためである。実は Stannern 隕石中の輝石もマグマから冷えて固まった時には Pasamonte 隕石同様激しいゾーニングをしていたのが 焼きなましを受けた際に均一化されゾーニングが消えたものである。他の多くのユークライトもマグマから固結した後 岩石組織は保たれたままそれぞれの構成鉱物が熱変成作用のために変化している。このユークライトの存在していた天体における熱変成作用とはどのような物理的現象によって引き起こされたものであろうか。2通りの熱源が有力である。一つは短寿命放射性核種 ^{26}Al の崩壊による内部からの熱 もう一つは天体に物体が急速に降り注ぐ時 運動エネルギーから変換された外部からの熱である。現在の段階ではユークライトの熱変成作用の原因がこのいずれであるかわからない。ユークライトに関してもっとも重要な点は Pb-Pb 法で求められた結晶化年代が 45.4 ± 0.2 億年という古さを示すことである。これは我々の太陽系で記録に残っている最初の出来事 (つまり Allende 隕石に含まれるような高温凝縮物が作られた事件) からほんの数千年しか経たないうちにユークライトの存在していた天体では火成作用により“玄武岩”が作られていたことを意味する。このユークライト玄武岩を作り出した火成作用はユークライトの存在していた天体が原始太陽系星雲から作り出されたのとはほとんど同時に起こったと想像される。第4図に示すのは

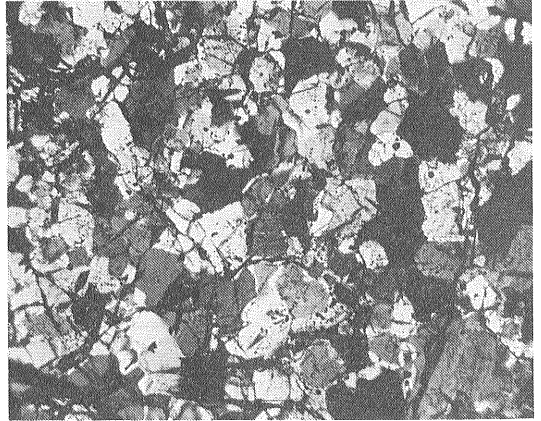


第4図 Moore County 隕石の薄片写真(横幅5 mm)

ハンレイ岩的な組織を持つ Moore County 隕石である。粗粒のピジョン輝石と斜長石が半々の割合いで存在する。玄武岩質ユークライトはマグマがほとんど結晶分化作用を起こさずにそのまま固結した岩石であるのに対して Moore County ユークライトは天体内部の比較的深いところでマグマが結晶分化を起こしながら固結した岩石である。では玄武岩質ユークライトを作ったマグマがそのまま天体内部の深い所で固結すれば Moore County 型のハンレイ岩質ユークライトになるかと言うとそうではないのである。それはハンレイ岩質ユークライト中のピジョン輝石は玄武岩質ユークライトマグマよりずっと Fe に富んだマグマとしか平衡に共存できないからである。玄武岩質ユークライトマグマが作られた時よりももっと大規模に進んだ部分融解が起こり このマグマがカンラン石と斜方輝石を結晶分化させた残りの Fe に富んだマグマが地下深い所でさらにピジョン輝石と斜長石の結晶分化作用を起こしてできたのが Moore



第5図 Johnstown 隕石の薄片写真(横幅12 mm) (MASON, 1963)

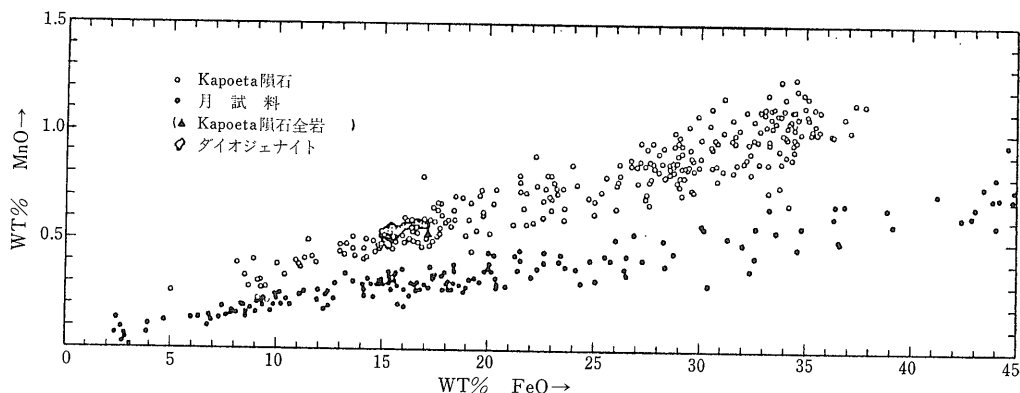


第6図 Yamato 74013 隕石の薄片写真(クロスニコル, 横幅3 mm)

County 型のハンレイ岩質ユークライトではないかと考えられる。

(b) ダイオジェナイト

ダイオジェナイトは現在までに10個余りが知られているだけの小グループの隕石である。このエコンドライトはほとんど斜方輝石だけからなり(第5図) 輝岩が打ち砕かれ再び焼き固められたような組織を持ち他に少量の斜長石 トリディマイト クロム鉄鉱 トロイライト 金属鉄が含まれている。斜方輝石はだいたい Fs 25 の組成を持ち均一である。ダイオジェナイトはユークライトと同一の天体に存在していた岩石だと考えられている。ユークライトがコンドライト的な原料物質の部分融解によって生じた岩石として解釈できるのに対してダイオジェナイトはほとんど斜方輝石だけからなる“輝岩”であるだけにこの岩石が作られるまでに複雑な部分融解と結晶分化の組み合わせが考えられる。ダイオジェナイトの存在していた天体ではコンドライト的な原料物質が分化作用を起こした場合 ユークライトの母岩である“玄武岩”・“ハンレイ岩”とダイオジェナイトの母岩である“輝岩”の他に多量の“カンラン岩”が生じたはずであるが単一の隕石としてこの“カンラン岩”そのものは発見されていない。第6図は完全に再結晶化したダイオジェナイトである。これはダイオジェナイトの存在していた天体で大規模な衝突が起こった時 衝撃圧縮を受けずさまじい高温高圧状態になった標的物質が固体状態のまま完全に再結晶化してもとの“輝岩”の組織を失ってしまったものである。ダイオジェナイトは天体内部数 km の深い場所で結晶化した“深成岩”であると思われるのでダイオジェナイトの母



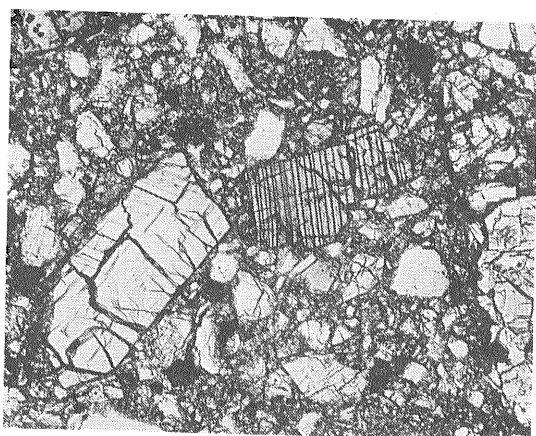
第8図 Kapoeta 隕石と月試料中の輝石中の FeO 量と MnO 量の比較 (DYMEK et al., 1976).

岩である“輝岩”を掘りおこすほどのクレーターを作った衝突物体も直径数 km の大きさであったと想像される。これは km サイズの物体が秒速 10km 程度で衝突した時にできるクレーターの深さは衝突物体の直径とだいたい同じで その直径は20倍くらいの大きさになることが知られているからである。今までに知られている10数個のダイオジェナイトの中でも再結晶化を起こすほど激しい衝撃変形を受けたものはこの隕石だけであり他のダイオジェナイトは“輝岩”が破碎角レキ化しただけのカタクラスティックな変形にとどまっている。

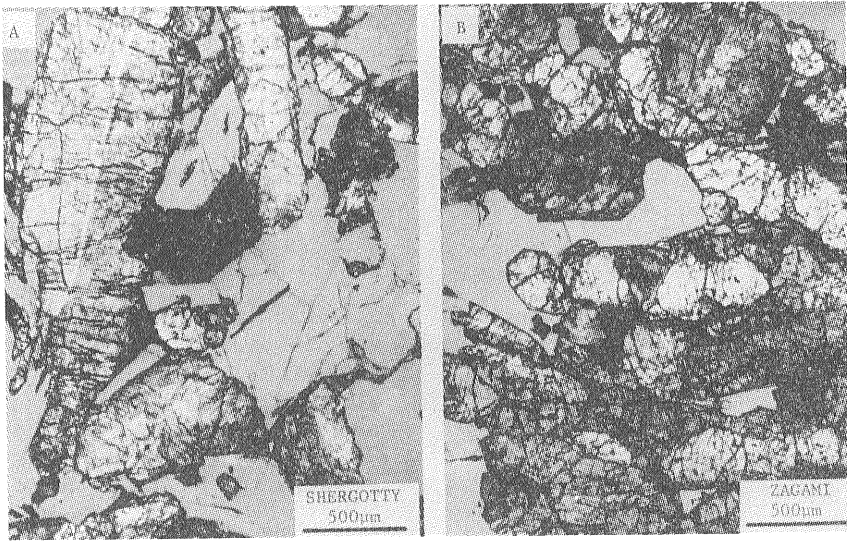
(c) ハワルダイト

ハワルダイトは“玄武岩”“ハンレイ岩”“輝岩”さらに少量の“カンラン岩”が粉々に砕かれ 焼きなましによって再び固結した角レキ岩である(第7図)。ここで“玄武岩”“ハンレイ岩”と呼んでいるのは前述のピジョン輝石 斜長石からなるユークライトとほとんど同

一の岩石であり“輝岩”はほとんど斜方輝石だけからなるダイオジェナイトに相当している。簡単に言うとハワルダイトはユークライトとダイオジェナイトが混合された隕石と考えてよい。ユークライト ダイオジェナイトも量的には少ないながら互いに重なり合う岩石タイプのものを含んでいることが多い。ユークライト ハワルダイト ダイオジェナイトの3種類の隕石は同一の天体を作っていた岩石が隕石衝突による破碎 混合でできたエコンドライトである。ハワルダイトにはユークライト ダイオジェナイトには含まれていない“カンラン岩”に由来すると思われる岩片が少量含まれている。この“カンラン岩”に対応するエコンドライトはいまだに単一の隕石として発見されていないもののユークライト ダイオジェナイト ハワルダイトの存在していた天体の内部に必ず存在すると思われる岩石タイプである。このようにハワルダイトは幅広い岩石タイプを含む集合体であるので 逆にハワルダイトの存在していた天体がどのような岩石で構成されていたのかを知ることができる。第8図は Kapoeta ハワルダイトと月試料中のさまざまな輝石の FeO と MnO 量を横軸と縦軸にとってプロットしたものである。ハワルダイト中の輝石は FeO/MnO の重量比が35の直線上に分布しているのに対して月試料中の輝石のそれは約60である。これはマグマの中から輝石が晶出する際に輝石中に取り込まれる FeO 量と MnO 量がいつも同じ割合であるのに もともと月とハワルダイトの存在していた天体では生じたマグマ中の FeO/MnO 比が異なっていたために生じた結果である。このようにカンラン石や輝石中の FeO/MnO 比は隕石の存在していた天体ごとに一定の値を持つので隕石相互の関係を調べるのに有用である。月試料にはハワルダイトによく似た多種類の岩石タイプの岩片を含む角レキ岩が多数存在する。その岩



第7図 Yamato 790727. 隕石の薄片写真(横幅5 mm)



第9図
Shergotty 隕石(A)と
Zagami 隕石(B)の薄
片写真 (SHIH et al.,
1982).

石タイプの中では斜長岩(アノソサイト)が優勢であり月の地殻の形成に斜長岩が重要な役割をはたしたことがわかっている。つまり月の形成初期において表層が溶けて厚さ数百 km のマグマの海(マグマ・オーシャンと呼ばれる)が形成され、この溶融帯中での結晶分化によって斜長岩が月地殻上層部を作ったと考えられている。しかし、ハワルダイト中には斜長岩がほとんど発見されておらず、ハワルダイトの存在していた天体では月とは異なった大規模な溶融を伴わない分化過程によって地殻が形成されたらしい。

(d) SNC 隕石 (火星から来た隕石)

SNC 隕石とはシャゴツタイト (shergottite) ナクライト (nakhilite) シャシナイト (chassignite) の3種類の隕石のことで、これら3つの隕石の頭文字を合わせて呼ばれるものである。シャゴツタイトは Shergotty Zagami Allan Hills 77005 Elephant Moraine 79001 の4個、ナクライトは Nakhla Lafayette Governador Valadares の3個、シャシナイトは Chassigny の1個が知られている。これら8個の隕石の結晶化年代は13億年と他の隕石に比較して30億年も若い。もちろん月の岩石でもこのように若い年代を与えるものは知られていない。月の“海”と呼ばれている地域に溶岩が月深部からあふれ出てきたのは月が作られてから数億年を経た後であつたらしい。しかし、この火成活動も今から25億年前までに終わってしまったと考えられる。惑星やその衛星ができた直後にはこれらの天体そのものが作られたことによって発生した熱や ^{26}Al が崩壊して生じた熱で十分に熱かつたと思われる。その後天体はしだ

いに冷えてゆくのである。しかし、地球は現在も盛んに火成活動を行うほど“熱い”天体である。これは放射性核種が地球深部で燃えて熱を盛んに発生させているからである。SNC 隕石の存在していた天体は今から少なくとも13億年前まで盛んに火成活動が行われるほど“熱い”天体であつたと思われる。このような天体を他の多くの隕石の生まれ故郷である小惑星帯に求めるのは困難で、むしろ火星のような惑星に注目した方がよさそうである。さらに SNC 隕石を産み出した天体内部の微量元素の存在度と酸化還元状態からながめてみても火星説の方が有力である。

i) シャゴツタイト

シャゴツタイトには4個の隕石が知られている。Shergotty 隕石と Zagami 隕石は輝石(70%)と斜長石(20%)を主要構成鉱物として持つエコンドライトである(第9図)。輝石にはピジョン輝石と普通輝石の両方が存在し、沈積組織をなしている。斜長石は激しい衝撃変形を受けて完全にガラス化している。同じシャゴツタイトに分類されていても南極で発見された Allan Hills 77005 隕石はカンラン石、輝石、斜長石からなるエコンドライトで、第10図に見られる通り Shergotty 隕石や Zagami 隕石とは全く異なる岩石である。しかし、両者はみかけこそ異なるものの主要元素や微量元素の存在度から結晶分化作用の道筋を考えると成因的に極めて深い関連があることがわかった。つまり両者は共通のマグマから生じた兄弟のような岩石だと考えられている。そしてこのことは南極で第4のシャゴツタイト Elephant Moraine 79001 が発見されたことによってさらに確からしくなってきた。なぜならこの隕石は

輝石と斜長石が Shergotty 隕石的な組織で結晶している部分と沈積結晶と思われるカンラン石 斜方輝石に富んだ部分からなる2種類の岩石が層をなして接しているからである。地球上の大きな岩体の中で結晶した火成岩にも堆積岩的な層状構造がよく見られる。一方 シャゴッタイト中の希土類元素の存在度及び Sm-Nd 同位体組成に関する研究からまず軽希土に富んだ前駆物質の長期間にわたる連続的な部分融解によってシャゴッタイトマグマを作り出すもになった軽希土に乏しい液が作られたのではないかと考えられている。もしこの軽希土に富んだ前駆物質が部分融解を起こした時の残渣がザクロ石であれば有効に軽希土に乏しい液が作られることになるのだが ザクロ石は高压下でのみ安定な鉱物である。ザクロ石が安定に存在できる天体は直径が1000 kmをはるかに越えるような大きな天体であるが小惑星帯にこのような大きな天体は存在しない。やはりシャゴッタイトを含め SNC 隕石は小惑星起源より火星起源の方が有力である。たとえシャゴッタイトマグマの分化にザクロ石が関係していなくても多数回にわたる複雑な物質の分化過程は火星のような惑星サイズの天体内部ではじめて可能になるプロセスのように思われる。

ii) ナクライト

ナクライトは普通輝石(79%)を主要構成鉱物とする輝岩で他にカンラン石(16%) 斜長石(4%) 磁鉄鉱(1%)などの鉱物が含まれている。柱状の自形ないし半自形の輝石が互いに枕を並べたように配列した沈積組織が顕著である(第11図)。これはマグマの中で普通輝石が結晶分化作用により沈積してできた組織である。

ナクライトには磁鉄鉱(Fe₃O₄)が含まれており鉄の一部が鉱物中に Fe³⁺ の形で取り込まれた証拠である。ナクライトをはじめとする SNC 隕石中で鉄は主にケイ

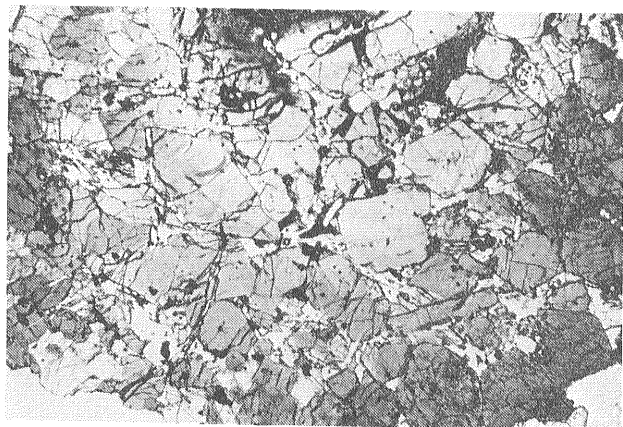
酸塩鉱物及び酸化鉱物中に Fe²⁺ と Fe³⁺ の形で取り込まれており もちろんこれらの鉱物が金属鉄と共存することはない。しかし ユークライトなど他のエコンドライト中では Fe³⁺ の鉄は存在せず ケイ酸塩鉱物や酸化鉱物が金属鉄と共存している。これは両方のグループの隕石の存在していた天体内部の酸化還元状態が異なるためである。SNC 隕石の存在していた天体は地球とさほど変わらない酸化還元状態にあったと想像される。

iii) シャシナイト

シャシナイトはカンラン石(90%) 輝石(5%) 長石(2%) クロマイト(1%)からなるカンラン岩である(第12図)。カンラン石の組成は Fa⁹² とかなり鉄に富んでおり 衝撃変形が顕著である。長石はアルカリ(Na K)に富んだ組成をしており ユークライトの Caに富んだ斜長石とは対照的である。さらにシャシナイトには極少量ながら含水鉱物の角セン石が含まれている。こうした含水の角セン石は他の隕石には全く知られておらず シャシナイトがユークライトなどのエコンドライトとは全く性格の異なる天体で作られた火成岩であることを示唆している。

(e) ユレイライト

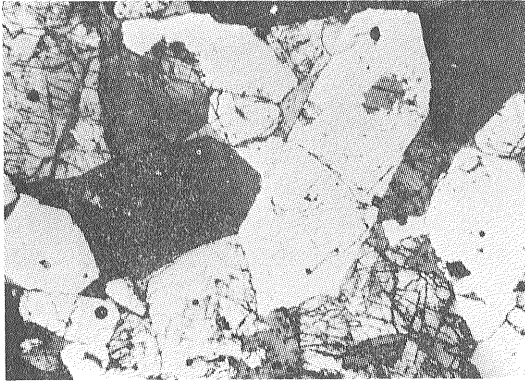
ユレイライトは粗粒のカンラン石とピジョン輝石からなり 深成岩的な組織を持つエコンドライトである(第13図)。他に少量のグラファイト ダイヤモンド 金属鉄などが含まれる。ダイヤモンドはユレイライトの存在していた天体で起こった衝突の際に発生した高温高压



第10図 Allan Hills 77005 隕石の薄片写真(横幅4 mm)

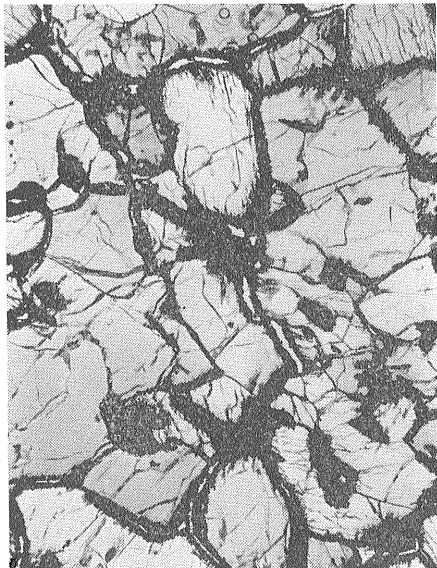


第11図 Nakhla 隕石の薄片写真(横幅は8.4 mm)
(BUNCH et al., 1975)



第12図 Chassigny 隕石の薄片写真 (横幅は 3 mm)
(FLORAN et al., 1978)

によりグラファイトが変化したものと考えられる。カンラン石はグラファイトと反応して Fe^{2+} が Fe に還元され 金属鉄を析出している。しかしカンラン石の還元は結晶のふちの部分数+ミクロンに限られており不完全な形で終わっている。もし両者が長時間高温状態にあったとしたらカンラン石はグラファイトが使い尽されるまで還元されたはずである。なぜカンラン石とグラファイトの反応は短時間しか続かなかったのだろうか。ユレイライトが深成岩として冷却固結した後グラファイトが混入されたとする説が出されているがユレイライトの岩石組織を見る限りグラファイトはカンラン

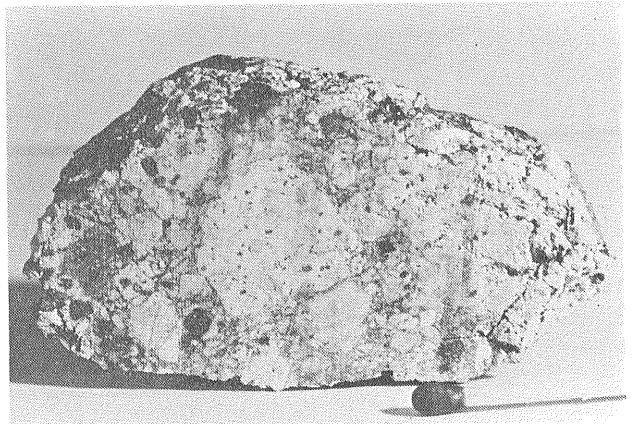


第13図 Allan Hills 78019 隕石の薄片写真
(横幅 3 mm)

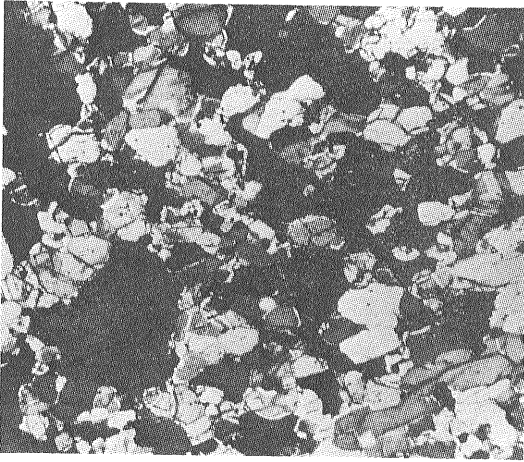
石が晶出した時からもともと共存していたように思われる。もしユレイライトが高い圧力で作られたとしたらたとえ高温状態でもカンラン石とグラファイトの反応を抑えることができる。なぜならグラファイトが酸化されて炭酸ガスになる反応が高圧で抑えられカンラン石は高温状態でもグラファイトと共存できるようになるからである。この高圧とは数百気圧もあれば十分に小さな(直径数百 km 程度の)天体でも数十 km の深さで実現する圧力である。もしユレイライトの存在していた天体で深さ数十 km のクレーターのできるような衝突が起きたとしたら高温高圧下にあったユレイライトは天体深部から掘り出され 圧力低下と共にカンラン石とグラファイトの反応が急冷を受ける短時間だけ進行したと考えることができる。一方ユレイライトは深成岩的な組織を持ちながら高温 (1200°C以上) から急冷されたと思われるいくつかの特色を持っている。それはカンラン石中の Ca 量が非常に高く高温状態の Ca 量が凍結されていること 共存する普通輝石・ピジョン輝石の組成がやはり高温状態に凍結されていること ピジョン輝石がゆっくりと冷えた時にできる離溶組織が見られないことなどである。普通輝石のスピンノーダル分解組織から推定した冷却速度は1時間に 20°C の速さである。これは数十 cm の大きさの物体が高温から放射冷却するときを実現する冷却速度に等しい。結局ユレイライトは天体深部数十 km の深さにあった高温の深成岩が天体に起こった衝突によって放り出されて急冷された岩石であると思われる。

(f) オーブライト

オーブライトは別名エンスタタイトエコンドライトと呼ばれるようにほとんどエンスタタイト ($MgSiO_3$ 組成



第14図 Allan Hills 78113 隕石の切断面
(写真は極地研究所提供)



第15図 Angra dos Reis 隕石 (横幅 4.8mm)
(PRINZ et al., 1977)

の斜方輝石) だけからなる隕石である(第14図)。他に Mg_2SiO_4 組成のカンラン石 透輝石 斜長石 鉄・ニッケル及び硫化鉱物が少量含まれている。オーブライトの最大の特徴はケイ酸塩鉱物中にほとんど鉄が含まれていないことである。これはオーブライトの作られた環境が極端に還元的であったために鉄が Fe^{2+} としてケイ酸塩鉱物中に取り込まれなかったためである。オーブライトはこのように超還元的な環境で作られた隕石であるだけに オルダマイト (CaS) をはじめとしてとても地球上には存在しそうな新鉱物が多数発見されたことでも有名である。オーブライトと他の分化した隕石との関連についてはよくわからないのが現状であるが エンスタタイト・コンドライトというやはりエンスタタイトを多量に含む始原始的な隕石とは深いかかわりがあるらしい。恐らくエンスタタイト・コンドライト的な原料物質が分化作用を受けてオーブライトを生じたのであろう。

(g) アングライト

アングライトは Angra dos Reis 隕石 1 個しか知られていないエコンドライトである。その 9 割以上を単斜輝石が占め 残りはカンラン石 スピネル リン酸塩鉱物及び金属鉄から成っている(第15図)。単斜輝石は Ti と Al に富むファッサイトという特殊な組成の輝石である。この隕石のストロンチウムの同位体比 $^{87}Sr/^{86}Sr$ は他のエコンドライトより初生的な組成比を示し 生成年代も 45.5 億年と古い。アングライトを結晶分化作用などのプロセスで他のエコンドライトと関係づけるのは無理なようで 原料物質を異にする別の天体での分

1984年 9 月号

化作用を考える必要があるらしい。

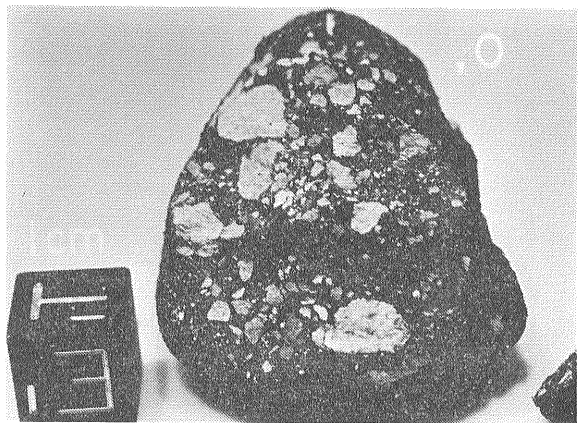
(h) 月から来た隕石

月から地球に落ちてきた隕石は最近南極で発見された Allan Hills 81005 ただ 1 個しか知られていない。この隕石はアノソサイト トロクトライト ノーライトなどの岩石を打ち砕いて焼き固めたような岩石である(第16図)。現在この隕石に関して詳しい研究が進行中の段階であるが第 8 図に示した輝石中の FeO/MnO 比をこの隕石に応用してみると確かに月の岩石のそれ(約 60)に一致する。さらに酸素同位体組成を含めてこの隕石が月から来た岩石であることを裏づけるデータが続々と出されている。

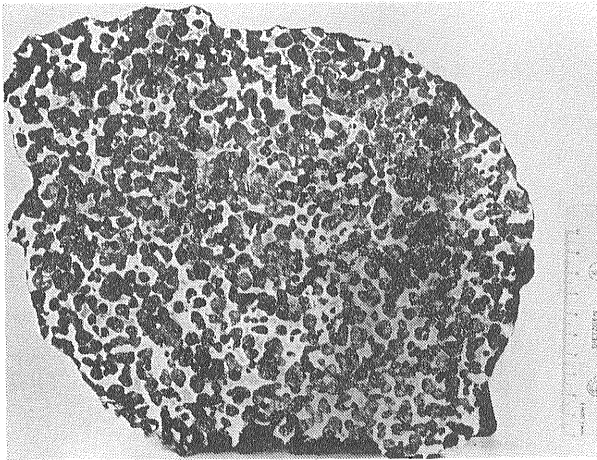
3-2 石鉄隕石

(a) パラサイト

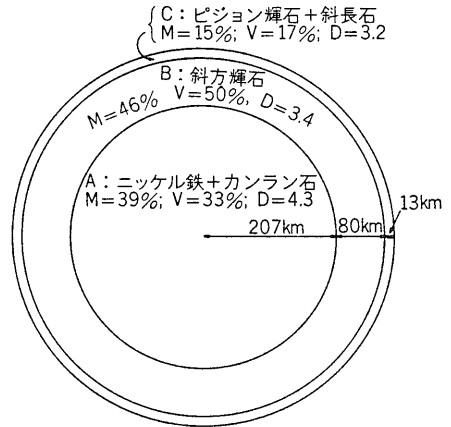
パラサイトはカンラン石と鉄・ニッケル合金からなる石鉄隕石である。現在までに40個余りのパラサイトが知られているが 落下を目撃されたのはわずか2個にすぎない。パラサイトに含まれているカンラン石は自形をしたもの 丸い形をしたもの(第17図) さらに破碎されて角ばったもの(第18図) などさまざまで 大きさは数 cm に達する大きなものもある。化学組成は Fa10 から Fa-20 の間に分布しており均一である。鉄・ニッケル合金の組成はだいたい Fe-10% Ni のものが多く 他に少量 (0.5~0.6%) の Co が含まれている。パラサイトは鉄・ニッケル合金の中に大きなカンラン石が浮んでいるという地球の石と比べると奇想天外な組み合わせの岩石であるため 昔から多くの地球科学者の関心を集め成因に関して多くの議論がなされてきた。パラサイトにまつわる最大の疑問はカンラン石 鉄・ニッケル合金とい



第16図 Allan Hills 81005隕石の断面
(写真は NASA 提供)



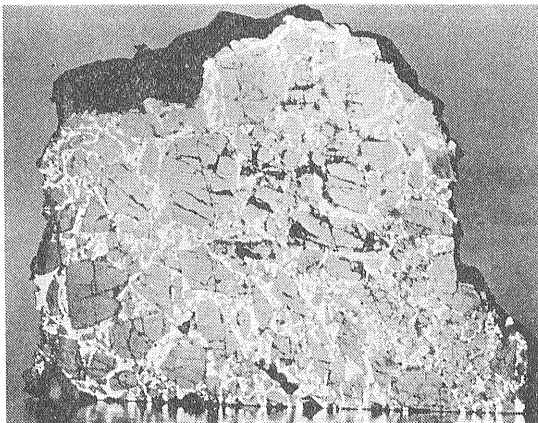
第17図 Brenham 隕石の切断面 (横幅26cm)
(MASON, 1963)



第19図 Mason (1967) によるパラサイト
ダイオジェナイト ユークライトから
なる分化した天体

り比重差の大きい2種類の物質がどうして分離せずに均一に混ざり合ったのかという点である。その解釈としてパラサイトが重力の作用が小さい天体深部で形成された物質だからではないかという考えが出されている。これには地球のような核の存在する天体の場合なら核とマントルの境界付近に由来する物質だとする説とたとえ核の存在しない天体でも金属鉄のたまり場のような場所が存在してここでパラサイトが形成されたとする二つの説がある。いずれにせよカンラン石が晶出した後に熔融した鉄・ニッケル合金が侵入してきたと考えられる。一方 同じ天体内部の別々の場所で晶出したカンラン石と鉄・ニッケル合金が隕石の衝突によってかき混ぜられた後焼きなましを受けて再結晶した可能性も十分に考えられる。酸素同位体組成に関する研究からパラサイトはメソシデライトと共にユークライト ハワルダイト ダイオジェナイトといったエコンドライトと同じ

原料物質の分化作用で生じた可能性が強く もしかすると同一の天体で作られた隕石であるかもしれない。メソシデライトはユークライト ハワルダイト ダイオジェナイトに鉄・ニッケル合金が混ざり合った後 多少の焼きなましを受けて生じた石鉄隕石だと考えられる。またパラサイトも“カンラン岩”と鉄・ニッケル合金が混合したものだと考えられる。しかし この“カンラン岩”はまだ単一の石質隕石として地球に落下していないのである。Mason は1967年コンドライト的な原料物質が集積してできた天体が分化した場合 第19図に示すような層状構造を持つ天体ができることを示した。この天体は深部がパラサイトの物質(カンラン石+鉄・ニッケル合金)からなり この上にダイオジェナイト(斜方輝石) さらに表層部にユークライト(ピジョン輝石+斜長石)が存在する。そして天体が隕石による激しい爆撃を受けた際に内部で破碎・混合・焼きなましが繰り返され これらの隕石群が作られたと考えられる。惑星科学的情報が飛躍的に増大した現在でもユークライト ハワルダイト ダイオジェナイト パラサイト メソシデライトらの隕石群の成因は大筋として Mason のモデルに従って説明できると思われる。



第18図 Eagle Station 隕石の切断面 (MASON, 1963)

(b) メソシデライト

メソシデライトは斜方輝石 ピジョン輝石 斜長石からなる玄武岩 ハンレイ岩 輝岩のかけらと鉄・ニッケル合金が混ざり合った石鉄隕石である(第20図)。ケイ酸塩鉱物部分を取り出してみるとユークライト ハワルダイト ダイオジェナイトといった石質隕石と化学組成組織が非常に似ている。しかし ケイ酸塩部分と金属鉄部分が混合された後 焼きなましによる変成作用を受

けているのでメソシデライトが上記の石質隕石群と完全に同一のケイ酸塩部分を持つわけではない。パラサイトの場合にはもともと天体深部で形成されたカンラン岩が天体の中心部に存在していた鉄・ニッケル合金と混合されたとしてもさほど不思議ではないのだが、メソシデライトにおいては天体の表層付近で固結した玄武岩が天体深部の核を形成していた金属鉄と混合したとは考えにくい。天体のさほど深くない部分にも分化作用の際にケイ酸塩部分から分離した金属鉄が溜りを作って存在していたものが、天体に激しい隕石の爆撃があった際に再びケイ酸部分と混合されたと考える方がよさそうである。つまり直径数百 km 程度の小さな天体の内部では分化作用の際分離濃集した金属鉄は重力の作用で天体深部へ有効に沈み込むことがなかったかもしれない。一方金属鉄はもともと天体内部にあったのではなくて天体に隕鉄として降り注いだ鉄・ニッケル合金がメソシデライトを作ったとする考えもある。

(c) ロドラナイト

ロドラナイトにはカンラン石、斜方輝石及び鉄・ニッケル合金がほぼ等量づつ含まれている(第21図)。カンラン石は自形ないし半自形を呈し、その化学組成は平均してFa12.6であるが結晶のふちの部分でFe量が減少するゾーニングが見られる。このゾーニングはカンラン石が何らかの原因で還元されたために生じたものと思われる。斜方輝石は均一でFs13.8の組成をもつ。自形を呈するケイ酸塩鉱物のすき間をくまなくうめている鉄・ニッケル合金がなぜ分離せずに共存しているのかという疑問はパラサイトなどすべての石鉄隕石に共通する問題である。ロドラナイトは主要元素や微量元素の存在度に関する研究からHとEコンドライトの中間的な原料物質の分化作用によって生じた可能性が指摘されている。

他の分化した隕石との関連についてはよくわかっていないが、IAB鉄隕石中のケイ酸塩包有物やウィノナイトと呼ばれる隕石群と成因的な関係があるかもしれない。

文献

BUNCH T.E. and REID A.M. (1975): The Nakhilites part I: petrography and mineral chemistry, *Meteoritics* v.10, p.303-315.

CLARKE R.S. and MASON B. (1982): A new metal-rich mesosiderite from Antarctica, RKPA 79015, *Mem. Natl. Inst. Polar Res. Special Issue no. 25*, p.78-85.

CLAYTON R. N. and MAYEDA T. K. (1983): Oxygen isotopes in eucrites, shergottites, nakhlites and chassignites, *Earth Planet. Sci. Lett.* v.62, p.1-6.

DYMEK R. F. et al. (1976): Petrography of isotopically dated clasts in the Kapoeta howardite and petrologic constraints on the evolution of its parent body, *Geochim. Cosmochim. Acta* v.40, p.1115-1130.

FLORAN R. J. et al. (1978): The Chassigny meteorites: a cumulate dunite with hydrous amphibole-bearing melt inclusions, *Geochim. Cosmochim. Acta* v.42, p.1213-1229.

MASON B. (1963): The hypersthene achondrites, *American Museum Novitates*, no.2155, p.13.

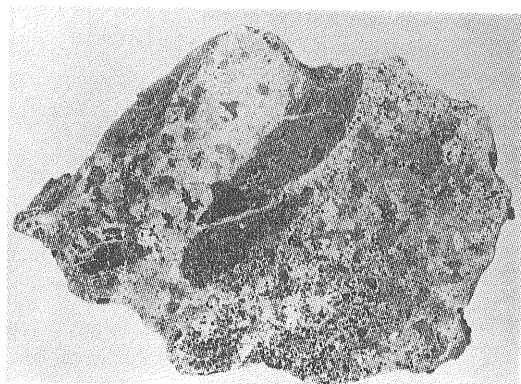
MASON B. (1963): The pallasites, *American Museum Novitates*, no.2163, p.19.

MASON B. (1967): *Amer. Sci.* v.55, p.429.

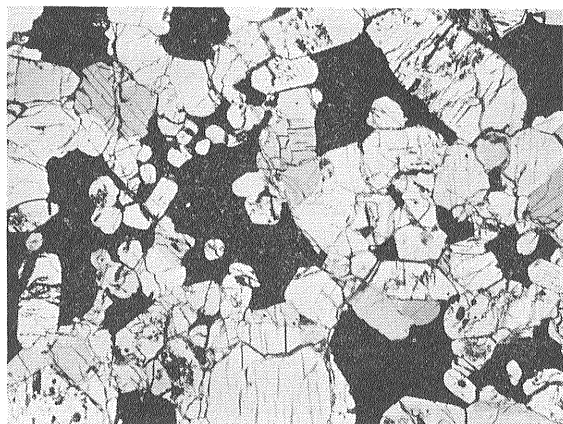
PRINZ M. et al. (1977): *Studies of Brazilian Meteorites*, III. Origin and history of the Angra dos Reis achondrite, *Earth Planet. Sci. Lett.* v.35, p.317-330.

REID A. M. and BARNARD B. M. (1979): Equilibrated and unequilibrated eucrites, *Lunar Planet. Sci.* X, p.1019-1021.

SHIH C. Y. et al. (1982): Chronology and petrogenesis of young achondrites, Shergotty, Zagami, and ALHA 77005: late magmatism on a geologically active planet, *Geochim. Cosmochim. Acta* v.46, p.2323-2344.



第20図 Reckling Peak A 79015隕石の切断面 (横幅 15.5cm) (CLARKE & MASON, 1982)



第21図 Rodran 隕石の薄片写真 (横幅 4mm)