

太陽系における原始惑星の形成と進化

— Re-Os年代測定法からみた鉄隕石, 石鉄隕石 —

平田岳史¹⁾・増田彰正²⁾

1. はじめに

太陽系が形成されてから現在に至るまでの45億年の間に、太陽系内の物質は様々な化学進化を経てきました。太陽系の化学進化の道筋をたどることによって、地球の形成史や、生命の誕生といった未知の問題に、化学的な知見を得ることが可能です。太陽系の進化を考える上で、重要な情報源となるものに隕石があります。隕石と一口に言っても、太陽系形成以来、殆ど二次的な分別過程を受けずに現在まで生き残っているものから、大規模な化学的分別を経験してきたもの(分化した隕石)まで様々です。太陽系形成時の初期の情報を探るために“未分化”な隕石から得られる情報が重要であることは言うまでもありませんが、分化した隕石もまた、重要な情報源となり得るのです。これは、分化の度合の異なる隕石が、45億年の太陽系の化学的進化の“途中経過”をそれぞれ記憶しているものだと考えられるからです。こう考えると、隕石に限らず、財産とも言える貴重な地球化学的試料を、分析のためとは言え、化学的に分解してしま

うのは、いささか気がひけることがあります。一つの隕石試料からできるだけ多くの情報を引き出す、という姿勢が大切であると感じています。

流れ星を見ると神秘的な気持ちになります。これは、落下物がこちらにやっこない、という安心感があるためでしょう。しかし、隕石の落下を目にした人は、冷静に“願いごと”を唱えたりは出来ないと思います。石質の隕石は、落下寸前に粉々になることが多く、雨の様に天から降ってくることがあります。記録に残っているもので最も古いものでは、1492年の Ensisheim 隕石の落下が有名です(写真1)。当時、戦中であったオーストリア王の MAXIMILIAN は、この隕石の落下のおかげで、戦いに勝ったと言います。隕石の落下を目にした敵兵が、神の怒りにふれたと思い、逃げだしたためです。では、鉄の塊である鉄隕石の落下はどうかと言いますと、これまた壮観な眺めを呈すると考えられます。鉄隕石は、Fe-Ni 合金から成る隕石ですので、落下時に石質隕石のように粉々になることが少なく、巨大なクレーターをつくる可能性があります。アリゾナ砂漠にある直径1.2

Tjon dem donnerstein gefallē jm r̄cūj. iar:vor Ensisheim.

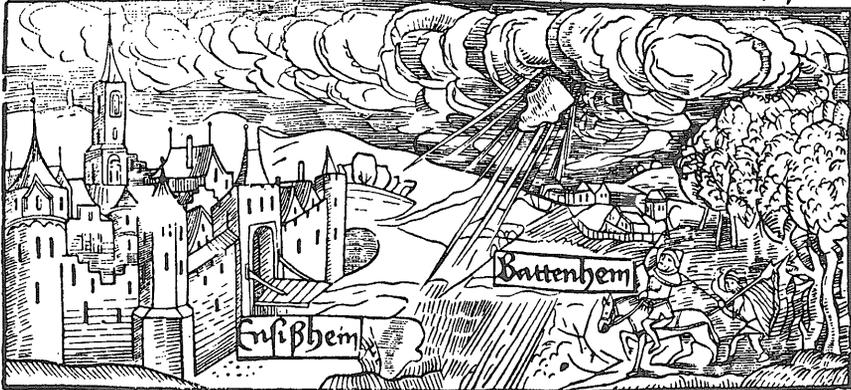


写真1 1492年11月7日に落下した Ensisheim 隕石。この隕石は、落下が目撃された最も古い隕石である。
(ROWLAND, 1990 より引用)

1) 地質調査所 地殻化学部

2) 東京大学 理学部

キーワード: 隕石, レニウム-オスミウム系, 年代測定法, 原始太陽系



写真2 アリゾナにある巨大隕石孔。Canyon Diablo 鉄隕石が、今から2万5千～5万年前に落下した際につくられた。(田中氏による)

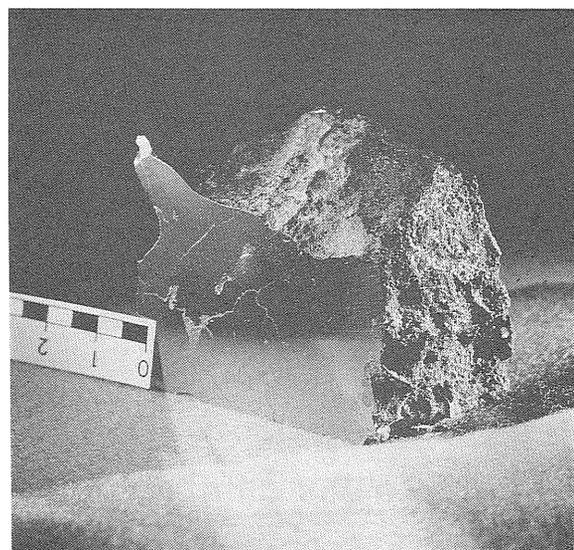


写真3 Fe-Ni 合金からなる鉄隕石。切断面にきれいな金属光沢が見える。(田中氏による)

km の隕石孔は、Canyon Diablo と呼ばれる鉄隕石が一瞬にしてつくったものです(写真2)。

ここで、取り上げる隕石は、後者の鉄隕石と呼ばれるものです。その名の通り、全体が Fe-Ni 合金からなる

研究は遅れていました。ようやく、年代学的な観点から鉄隕石の生成過程についての詳しい議論がなされるようになったのは、1980年代に入ってからのことと言えます。この時、鉄隕石の年代学的研究の“突破口”を切り開いた年代測定法の一つが Re-Os 年代測定法です。ここでは、最近、実用化の進んでいる Re-Os 年代測定法と、その応用例の一つとして、Re-Os 法からみた鉄隕石及び石鉄隕石の化学的進化について紹介したいと思います。

2. Re-Os 年代測定法

^{187}Re の β -壊変による ^{187}Os の同位体成長を利用した Re-Os 年代測定法は、Re 及び Os のいずれもが金属相に取り込まれやすい元素(親鉄性元素といいます)であるため、鉄隕石などといった金属相からなる試料の年代測定に適していると考えられています(FAURE, 1986)。1948年に ^{187}Re が放射性核種であることが発見され、当時から年代測定法としての重要性が指摘されていました。そして、1961年に HERR 等により初めて Re-Os 年代測定法の鉄隕石試料への適用が試みられました。しかしながら、精度の良い年代を得るには至りませんでした。

この先駆的な研究の後、この年代測定法は、多くの研究者に潜在的な注意を払われながらも実用化が遅れ、再度、研究が盛んに行われるようになったのは、それから約20年後の1980年代になってからでした。もっとも、理由無くして実用化が遅れていたわけではありません。Re, Os は、共にイオン化ポテンシャルが高いため、従来、高精度同位体分析に用いられている表面電離型質量分析計では安定したイオンビームが得難く、高感度・高精度の質量分析が困難であったためです。更に、 ^{187}Re の β 壊変にともなう β 線の最大エネルギーが2.5KeV程度と低く、時計の“秒針”に相当する壊変定数の決定が、 β 線の直接計測(direct counting)では困難である、などの問題が残っていたのです。

1980年代に入ると、二次イオン質量分析計(SIMS)、共鳴イオン化質量分析計(RIMS)、加速器質量分析計

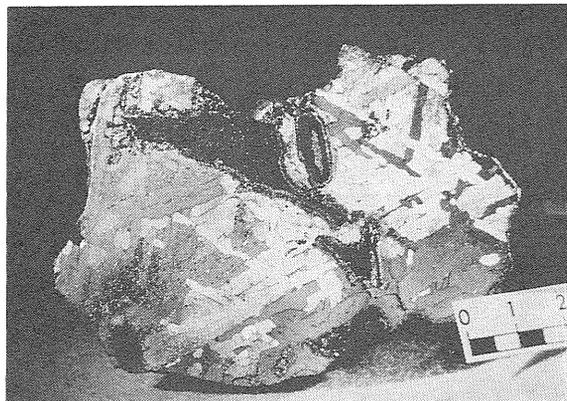


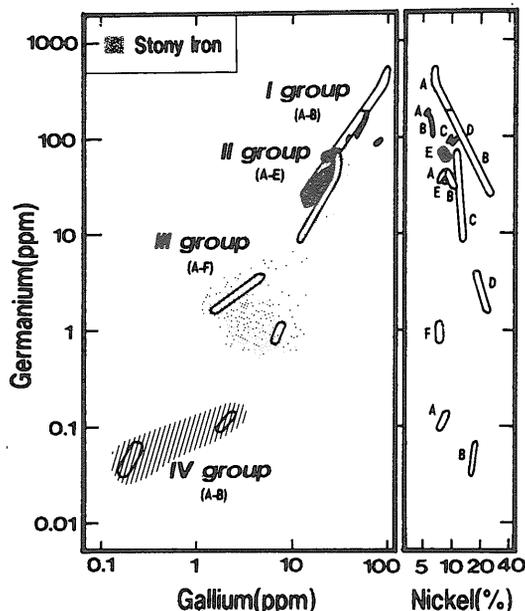
写真4 I A族鉄隕石に分類される Odessa 鉄隕石。切断面を希酸で処理すると特徴的なウィドマンシュテッテン構造が現れる。(田中氏による)

実験室内での測定が盛んに行われるようになり、次第に信頼性の高い値が得られるようになりました。

3. 鉄隕石・石鉄隕石

隕石は、化学組成により鉄隕石・石鉄隕石・石質隕石の三つに大別されます。この中で、コンドリュールを含まない石質隕石であるエコンドライトと鉄隕石、石鉄隕石は分化した隕石であると言われていています(小沼, 1987)。鉄隕石は、ニッケル含有量によりヘキサヘドライト、オクタヘドライトおよびアタキサイトに分類されます。オクタヘドライトは、 α 相であるカマサイトが薄板状になり γ 相であるテーナイトと八面体方向に並び、特徴的なウィドマンシュテッテン構造が見られます(写真4)。更に鉄隕石は、主成分元素である Ni 存在量と、微量成分である Ga, Ge 等の存在度に基づいて細分化がなされており、微量元素存在度から、その化学的分別過程などが詳しく研究されています。ここで用いられた、Ga, Ge は、Re, Os と同じく親鉄性元素であり、金属相に濃縮される傾向の強い元素ですが、Re, Os と比べて揮発性が高い点で異なります。従って、単純に考えれば、高温での分化過程を強く受けるほど Ga, Ge 存在量が低くなると言えます。WASSON は、1970年代に、鉄隕石のうち入手可能な80%以上の鉄隕石中の Ga, Ge 存在量を中性子放射化分析により分析し、Ga, Ge 存在量の高いものから順に、I~IVの番号をつけました。その後、グループはA, B, C...等のサブグループに細分化されました(第1図, WASSON, 1985)。

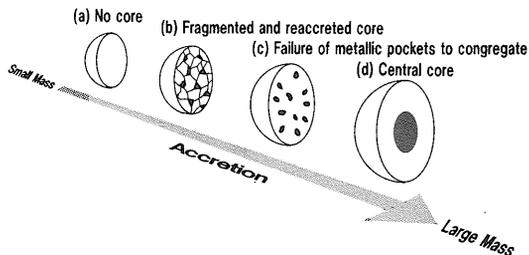
I A Bグループ (I AおよびI Bは、お互いに成因が関係があるのでI A Bと書かれることがあります。II A B, III C D等



第1図 WASSONによる鉄隕石の分類。Ga及びGeは揮発性が高いため、高温凝縮物であるIV B族、III F族鉄隕石中の存在度は低い。

も同じ。)が、Ga-Ge-Ni 元素存在比が太陽系の平均的な値とよく合っており、更に微量に含まれるケイ酸塩相がコンドライトの組成によく似ている、希ガスに富んでいる等の理由から、生成後大規模な溶融過程を経ておらず、初期の状態をよく保持している鉄隕石であると考えられています。第1図から、I A Bグループの鉄隕石は、Ga-Ge 存在度、Ge-Ni 存在度が直線的に広い分布を示しているのが分かります。III C Dグループ鉄隕石も、I A Bに似た分布をしており、両者は似た形成過程を経たものであると考えられています。

一方、IV B及びIII F鉄隕石は、Ga, Ge 存在度が低くなっています。これらの鉄隕石は、微量元素存在度が原始太陽系星雲から熱平衡的に凝縮(蒸気→固体への昇華)した場合の存在量とよく一致し、星雲ガスからの、それぞれ1300°C, 1200°Cでの凝縮物であると考えられています。IV Aグループも、Ga, Ge 存在量が低いのですが、これは、IV BやIII Fとは異なり高温凝縮物ではありません。このグループの鉄隕石は金属鉄が部分的に溶け、濃集成長したが、大きなコアに沈降するまでには至らなかった金属塊であると考えられています。多くの鉄隕石試料が分類されるIV A, II A B, III A Bに加え、III C Dグループの鉄隕石は、ニッケル-微量元素存在度パターンに似た傾向があり、お互いに似たような分化過程を経たものと考えられています。これらのグループの鉄隕



第2図 考え得る母天体中の金属相の形態.

(a) 分散型金属相 (コアなし), (b) 衝突時の熱で局部的に形成された金属相, (c) 溶融したが集積するには至らなかった金属相, (d) 中心に沈降・集積した金属相 (金属コア).

天体の大きさが大きくなるにつれて, 金属相の分離とコアの形成は大規模に進む. 図中の天体の大きさの違いは実際のものを表しているのではない.

石は, それぞれ大きさの異なる小天体のコアを形成していたものと考えられており. 惑星のコアの形成過程を調べる上で重要です. 但し, コアと一口に言っても, 地球のコアの様に中心に集まったものだけでなく, 第2図のようないろいろなタイプが考えられます. ウィドマンシュエッテン構造を持つ金属相からは, その隕石の冷却速度を見積ることが出来ます (小沼, 1987; WASSON, 1985; McSWEEN, 1987). これによって, 隕石の母天体の大きさ, 母天体内での深さに関する情報を得ることが出来ます. 鉄隕石の冷却速度からは, 鉄隕石の母天体のコアは, 我々になじみ深い地球型コア (第2図(d)) ではないものが殆どであると考えられています.

石鉄隕石は, 鉄隕石と同じ Fe-Ni 合金とケイ酸塩のほぼ等量混合物であり, ケイ酸塩鉱物の種類に準じてパラサイト・メソンデライト・シドロファイアーおよびロ

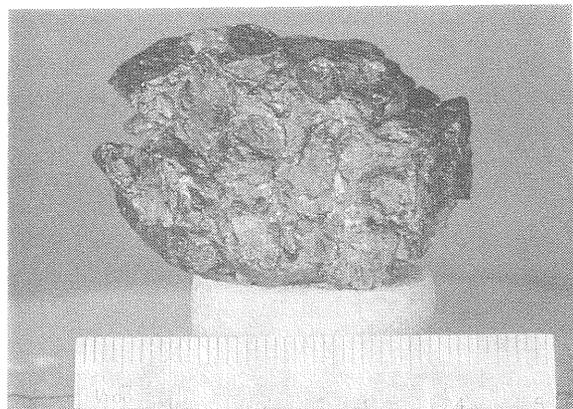


写真5 南極のやまと山脈で発見されたパラサイト石鉄隕石, Yamato-74044 隕石. 径約6mmの球状部がカンラン石で, これを取り囲む部分が金属相である.

(国立極地研究所提供)

ードラナイトの4種類に分類されています. このうち, シドロファイアーとロードラナイトはそれぞれ一種類が知られているに過ぎません. パラサイトは, ケイ酸塩相としてのカンラン石がFe-Ni合金中に散りばめた様なものになっています (写真5). この組成は, 地球の岩石には見られないもので, 地球外物質であると確認された最初の隕石でした.

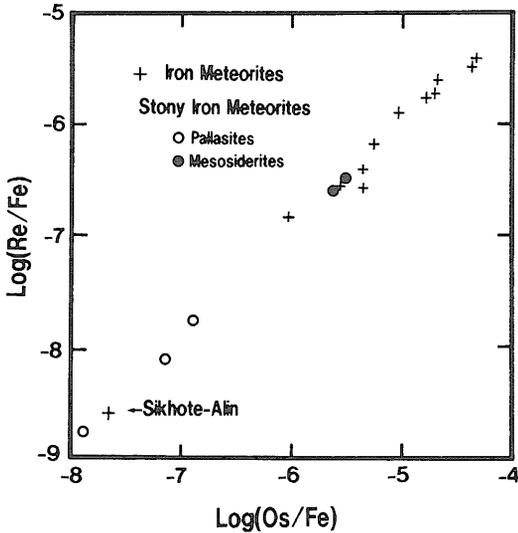
4. Re-Os 年代測定法からみた鉄隕石, 石鉄隕石の化学進化

1980年代に入り, Re-Os 年代測定法の実用化に成功したのは, パリ大学の ALLEGRE 等のグループでした (FAURE, 1986). 彼らは, SIMS を用いて Os の同位体分析を行い, 鉄隕石のほか, Ir-Os 鉱物, 硫化鉱床に対して Re-Os 年代測定法の適用に成功しました. 彼らは, ¹⁸⁷Re の壊変定数の不確かさの問題を回避するため, 鉄隕石の Re-Os 年代が45.5億年であるとして, 逆に壊変定数の決定を行いました. しかし ALLEGRE らは, 鉄隕石について Re・Os の高精度な分析データを出しながらも, Re・Os 存在度から鉄隕石の成因を殆ど考察していませんでした.

著者を含む MASUDA グループは, 1985年から高周波誘導結合プラズマ質量分析計 (ICP-MS) を用いて Re・Os の定量分析, Os の同位体分析を試みてきましたが, 分析感度の向上, 濃度及び同位体比の同時定量など, 分析法の改良に成功した結果, 精度の高い分析が可能となり, 鉄隕石, 石鉄隕石の成因について興味深い結果を得るに至りました.

5. 鉄隕石・石鉄隕石での Re, Os 化学分別

鉄隕石と石鉄隕石中の Re と Os 定量結果を第3図に示します. 最も Re と Os 存在量が高かったのはIVB族鉄隕石でした. このグループの鉄隕石は, 前にも述べた通り原始太陽系星雲からの直接凝縮物である可能性が高い鉄隕石です. Re と Os は, 難揮発性元素であり, ガスから凝縮する際, 最も早く (高温の時期に) 析出する (固体になる) 元素の一つです. 従って, Re と Os がこの種の鉄隕石に濃縮していることは自然なことと考えられます. また, IVB族隕石は, 他の鉄隕石に比べ, 冷却速度が大きく (McSWEEN, 1987), カリウムなどの放射性核種の存在量が低かったか, または母天体の大きさが小さかったと考えられており, この鉄隕石は, 形成以来大きな二次的分化過程を受けずに現在まで生き残った試料であると言えます.



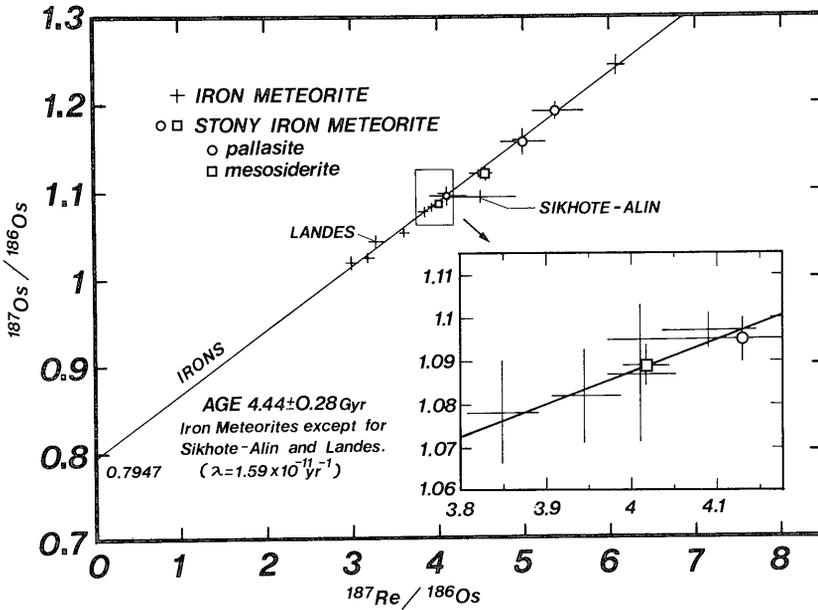
第3図 鉄隕石、石鉄隕石の金属相中の Re-Os 存在量の相関。

鉄隕石の中で Re と Os 存在度が最も小さかったものは II B 族鉄隕石に分類される Sikhote-Alin でした。同じ II 族鉄隕石でも、II A 族鉄隕石に分類される Boguslavka 鉄隕石中の Re と Os 存在量は IV B 族鉄隕石程度の高い存在量を示しました。II 族鉄隕石は、I A B 族鉄隕石と同じく、Fe/Ni 存在比が太陽系元素平均存在度 (Solar Abundance) に近く、極めて還元的な条件下で形成されたと考えられています。しかし、II A B 族鉄隕石中の難揮発性元素存在度は大きな変動を示し、この点で I A B 族鉄隕石と異なります。II A B 族鉄隕石中の難揮発性元素の変動性を考慮しても、Sikhote-Alin 中の Re と Os 存在量は異常に低い値を示しています。

今回の分析試料中では、パラサイト石鉄隕石の金属相中の Re と Os 存在量が最も低い値を示しました。先ほどの IV B 族鉄隕石に比べると $1/1000$ 以下という低い存在量でした。石鉄隕石の成因として、コンドライト様物質が、コアとマントルに完全に分化・分離していないものであるという説がありますが、この簡単なモデルでは、石鉄隕石の金属相中の Re と Os の低い存在度はうまく説明出来ません。つまり、石鉄隕石の金属相の成因が鉄隕石と似たような機構であったとすれば、Re・Os といった親鉄性元素存在度は鉄隕石程度であると期待されるためです。ケイ酸塩—金属鉄の元素分配では、Re・Os といった親鉄性元素は殆ど金属相に取り込まれるため、Re と Os 存在量が鉄隕石よりも低くなるのが説明できないのです。Re と Os 存在量を低くさせるために、Re や Os を含まない純粋な Fe 相による“希釈”があったと考えれば、どの鉄隕石よりも低い Re・Os 存在

量を説明することが可能ですが、具体的に親鉄性元素を含まない Fe 相供給源の候補は分かっていません。一旦、ケイ酸塩相に取り込まれた Fe が還元されて金属鉄となれば、これらの条件を満たす供給源が得られるかも知れません。増田と平田は、これほど大きな濃度幅をつくるほどの Fe 供給源が本当に存在していたとは考え難く、むしろ原始太陽系星雲の凝縮が始まったごく初期のうちに、Re あるいは Os と Fe が分別したという考えを示しています。つまり、Re や Os といった難揮発性元素が凝縮した高温の時期に、Re/Fe, Os/Fe 分別が起こったと考えるのです。Fe が少ない領域では、Re や Os といった難揮発性元素が、析出してくる Fe によって“希釈”されることなく温度が下がり、IV B 鉄隕石といった難揮発性元素に富む隕石が形成されたものと考えられます。この様に、高温での分別効果を調べる上では、Re や Os といった難揮発性元素存在度が非常に重要であることが分かります。

一方、メソジドライト石鉄隕石は、同じ石鉄隕石に分類されるパラサイト石鉄隕石に比べて、高い Re・Os 存在量を示し、ほぼ鉄隕石の平均的な存在度と同じ値を示しました。メソジドライトとパラサイトは酸素同位体比から HED 隕石 (Howardite, Eucrite, Diogenite から成るエコンドライトのグループ。酸素同位体比から同一の母天体を持ち、層状構造を成す母天体の異なる“層”から由来すると考えられている隕石グループ) と関連が深く、おそらくパラサイト、メソジドライト石鉄隕石は HED 隕石と同一の母天体であろうと考えられています。メソジドライト石鉄隕石のケイ酸塩相が HED 隕石と異なる点は、角レキ化して以来、熱変成を受けたものが多いことです。また、化学組成もカンラン石の破片ごとに変化に富むものであることから、メソジドライト石鉄隕石の起源として、HED 隕石のような層状構造を持った母天体に、あまり固化していない (冷えていない) 鉄隕石が衝突して混合したという説が最もよく受け入れられています。鉄隕石との衝突によりかなりの高温状態が発生し、元素の分配が起こったとしても、ケイ酸塩相と Fe-Ni 金属相との分配では、Re や Os といった親鉄性元素はケイ酸塩相に移動することは殆どないので、メソジドライト石鉄隕石の金属相中の Re・Os 存在量が鉄隕石と殆ど同じであるという実験結果は、“衝突説”と調和的であると言えます。メソジドライト石鉄隕石の金属相の冷却速度は多くの鉄隕石の冷却速度よりも小さいことが分かっています。従って、メソジドライト石鉄隕石の金属相のもとになった鉄隕石の冷却速度が小さかったか (衝突以前の冷却速度を表していると考えられる。衝突によって金属相が加熱されても、再溶融には至らなかった。)、または衝突によるエネルギー



第4図 鉄隕石、石鉄隕石の $^{187}\text{Re}/^{186}\text{Os}$ - $^{187}\text{Os}/^{186}\text{Os}$ ダイアグラム。

ギー解放によって冷却速度が小さくなった（衝突以後の冷却速度を表していると考える。）ものと解釈できます。酸素同位体比分析では、メソジダライトとパラサイトは、同じ起源の母天体を有していると考えられていますが、Re や Os といった微量元素存在度からは、両者は全く異なる化学的進化を経てきたものと考えられます。

本研究で分析した鉄隕石・石鉄隕石の Re・Os 定量結果を見ると、Re・Os 存在度は約4桁近くの変動を示したにもかかわらず、Re/Os 存在比は比較的小さい変動しか示さず、隕石の化学的進化において Re と Os の両元素が、極めて似た挙動を取っていたことがわかります。地球上では、これらの隕石と異なり、マントル/地殻物質において、大きな Re/Os 分別が起こっている (FAURE, 1986) ことが分かっています。この違いが何に由来しているのかを調べれば、地殻の形成過程について有用な知見が得られるものと期待できます。

6. Re-Os 年代の示す意味

Re-Os 年代測定法では、 ^{187}Re の β 壊変に基づく ^{187}Os の同位体変化により年代を決定します。従って、初めから存在した ^{187}Os と、現在の ^{187}Os 存在度の差 (^{187}Re の放射壊変により生成された ^{187}Os の量) と、親核種の量が分かれば、同位体比の変化に必要な年代、つまり試料の年代が得られることとなります。しかし、通常出発時の ^{187}Os の存在量は分からないため、同一起源であろうと考えられる試料で、異なる Re/Os 存在比を持つ複数の

試料を用い、初生の ^{187}Os 存在量と試料の年代を同時に求める方法を用います。またここでは、 ^{187}Os と ^{187}Re の絶対存在量は実験的に求め難いため、放射壊変による変動の無い ^{186}Os 同位体との比を議論に用います。

Re/Os 存在比と $^{187}\text{Os}/^{186}\text{Os}$ 同位体比を軸としたグラフ上に実験結果をプロットすると、等時線 (アイソクロン) とよばれる直線が得られます (第4図)。この直線の切片が初生同位体比 (隕石が形成されたときの Os 同位体比) を、傾きが年代を表します。ここでは、同位体分析精度の低い Sikhote-Alin と、試料分解の際若干の溶け残りがあった Landes については、結果の信頼性に欠くと考え、年代計算には使いませんでした。また、Re・Os 存在量が低かった石鉄隕石についても、ここでは年代学的な詳しい議論を行わないことにしました。 ^{187}Re の壊変定数として、LINDNER et al. (1986) の報告値、 $1.59 \times 10^{-11} \text{ yr}^{-1}$ を用いると、鉄隕石から得られる Re-Os 年代は、 44.4 ± 2.8 億年となります。得られた年代は、誤差範囲でコンドライトの形成年代である 45.5 億年と一致していますが、最近になって報告された LINDNER et al. (1989) の壊変定数、 $1.64 \times 10^{-11} \text{ yr}^{-1}$ を用いると、Re-Os 年代は 43.0 ± 2.7 億年となり、得られた年代の中心値はコンドライトの形成年代よりも若くなります。さらに、 ^{187}Re の壊変定数として β 線カウンティングにより得られた値、 $1.98 \times 10^{-11} \text{ yr}^{-1}$ (NALDRETT, 1983) を用いると、36 億年という Re-Os 年代が得られます。もし、鉄隕石の Re-Os 年代がコンドライトの形成年代より、有意の差で若かったとすると、(1)コンドライト様物質が

集積しケイ酸塩相と金属相の分別が起こるのに時間がかかった、(2)鉄隕石の冷却速度が小さく、Re-Os 時計が動き出すまでに数億年が必要であった、などの解釈が可能です。鉄隕石の形成年代がコンドライトの形成年代よりも若い可能性は十分に考えられますが、本実験で得られた Re-Os 年代から、鉄隕石の形成年代がコンドライトの形成年代よりも若くなるという結論を出すことには、慎重にならなければなりません。これは、Re-Os 年代が示す意味が明確になっていないためです。つまり、アイソクロンにおける Re/Os 存在比の化学的分別機構を明らかにしなければ、得られた Re-Os 年代に明確な意味をもたせることが難しいためです。

例えば、同じ放射性同位体元素を用いた年代測定法に Rb-Sr 法というものがあります。この年代測定法は、 ^{87}Rb の β 壊変による ^{87}Sr 同位体成長を利用しています。Rb と Sr とでは結晶化の際、鉱物への取り込まれ易さが異なるため、鉱物が形成される際に Rb と Sr の化学分別を受けます。Rb/Sr 存在比は、鉱物が形成され元素の拡散が無視し得る程度に冷却した際に決定されることになります。従って、Rb-Sr 年代は、系全体が閉鎖系である限り、結晶固化・冷却年代と言えます。一方、Re-Os 年代測定法の場合、Re/Os 比の化学分別がどのような機構で行われたかが明確ではないため、Re-Os 年代に明確な意味をもたせることが難しいわけです。例えば、Re と Os の分配係数に少しでも差があれば、Re-Os 年代に意味をもたせることが出来ます。WASSON (WASSON, 1985) をはじめとしたいくつかのグループが Ni 存在量と Re および白金族元素の相関を調べ、ある種の隕石試料において、Ni 存在量と Re/Os 比とに相関があるとしていますが、依然として Re/Os 分別過程については不明な点が残っています。また、中性子放射化分析を用いて行われた実験では、炭素質隕石において変成が進むにつれて Re/Os 比が系統的に変動する可能性が指摘されましたが、その後の同位体希釈法による精密分析においては、この傾向は明確にはされませんでした。Re はマンガン属元素、Os は白金族元素なので、両者の化学的性質は異なります。従って、二次的な分化作用により Re/Os 比の化学的分別がおこったとする解釈は非常に説得力のあるものではありませんが、現時点では、これを直接支持するデータは得られていません。

次に、隕石の化学進化において、どこで Re/Os 分別効果が働いたかが問題となります。SCOTT (1972) は、Re-Os の化学的分別がおおきく分けて二つのステージで起こると考えました。最初のステージは原始太陽系星雲から固体となって析出する過程、二つ目が鉄隕石の Ni-Ga-Ge 存在量に基づくグループに分割された時

す。Re と Os とはいずれも難揮発性元素であり、原始太陽系星雲から最初に析出してきた元素の一つであると考えられています。従って、もし鉄隕石の Re-Os 年代が 45.5 億年よりも若いのであれば、Re-Os 年代は二段目の事件を記憶しているということが出来ます。ここで、本実験で得られた等時線は、複数の種類の鉄隕石からなる全岩アイソクロンであることを思い出す必要があります。原始太陽系星雲から直接凝縮して、その後それほど大きな分別過程を受けずに生き残った試料である IVB 族鉄隕石がこの等時線に乗っているということは、二段目の事件は原始太陽系星雲凝縮後、本実験で得られた年代の誤差である 2.8 億年以内に起こったということになります。ただし、二段目の事件で Re/Os 比の分別が起こったという保証は全く無いわけで、Re-Os 年代によって二段目の事件の年代を求めるためには、一つの隕石のみから Re-Os 年代を得ることが出来る鉱物アイソクロン (インターナルアイソクロン) か、または、鉄隕石のグループごとの Re-Os 年代を求めることが重要になります。鉄隕石のグループ内での Re-Os 年代測定は技術的に難しくないですが、隕石の成因を調べる上では、鉱物アイソクロンによる年代測定が最も直接的な情報源となり得ます。鉄隕石は、体心立方のカマサイトと面心立方のターナイトという二つの鉱物が殆どですが、少量ではあるもののトロイライトと呼ばれる FeS 相を含むものがあります。カマサイトとターナイトを分別溶解し、Re と Os の分析を行う試みもされましたが、Os は酸化的条件で揮発性の高い OsO_4 を形成し、試料分解の際、揮散・損失の可能性が強く、実験が困難です。トロイライトは分別溶解は困難ですが、物理的に金属相と分離することはそれほど難しくありません。予備的な実験では、トロイライト中の Re/Os 存在比が金属相中と異なる可能性が強く、もし金属相とトロイライト相において Re/Os 定量分析および Os 同位体分析が可能になれば、鉱物アイソクロンが得られる可能性が出てきました。それぞれの隕石及びのグループごとに Re-Os 年代が得られれば、鉄隕石・石鉄隕石の成因にきわめて重要な知見が得られるものと期待できます。

7. あとがき

1980 年初頭からこれまで、Re-Os 年代測定法の実用化に成功したのは、ごく限られたグループのみでした。この理由は、Os の精密同位体分析が市販の質量分析計では困難であることによると考えられます。現時点でも、Os 同位体分析は難しく、まだルーチン分析には至っておらず、また Re-Os 年代測定法に残された問題も

少なくありません。しかし、ここ数年の Os に関する報告論文数を見るだけでも、質量分析計の進歩にともなう Re-Os 年代測定法の実用化は相当な勢いで進んでいます。ここで紹介した Re-Os 年代測定法の鉄隕石・石鉄隕石への応用は、Re-Os 年代測定法の適用例の一端に過ぎないことを強調しなければなりません。白金族元素を用いた地球化学的研究の重要性には多言を要しないでしょうが、これから近い将来、白金族パターン（希土類元素における Masuda-Coryell Plot に等しい）と Re-Os 年代測定法の実用化は、インフレーション的な勢いで進むものと考えております。

最後になりましたが、地殻化学部の田中 剛博士、富樫茂子博士には、原稿作成にあたり貴重な助言をいただきました。ここに、感謝の意を表したいと思います。

引用文献

FAURE, G. (1986): Principles of Isotope Geology 2nd Edition: John Wiley and Sons (New York).

GRAY, A. L. (1988): Inductively coupled plasma source mass spectrometry. in Adams, F., Gijbels, R. and Van Grieken, R., ed., Inorganic Mass Spectrometry: John Wiley and Sons (New York).
 MCSWEEN JR., H. Y. (1987): Meteorites and Their Parent Planets: Cambridge University Press (New York).
 小沼直樹 (1987): 始原惑星物質: 隕石. 「地球科学 13」小沼直樹, 水谷 仁篇, 岩波書店, 89~150.
 ROWLAND, I. D. (1990): A contemporary account of the Ensisheim meteorite, 1492: Meteoritics, 25, 19~22.
 SCOTT, E. R. D. (1972): Chemical fractionation in iron meteorites and its interpretation: Geochim. Cosmochim. Acta, 36, 1205-1236.
 WASSON, J. T. (1985): Meteorites: Their Record of Early Solar-System History: W. H. Freeman and Company (New York).

HIRATA Takafumi and MASUDA Akimasa (1990): Re-Os systematics on iron and stony iron meteorites.

<受付: 1990年8月16日>

豆辞典

アラン・デート メモリアル賞

地球科学にはその歴史の長さを物語るように、幾多の学会賞があり、それらのいくつかは広く世界にまたがる業績を対象としている。アラン・デート メモリアル賞もその1つである。

アラン・デート博士 (Dr. Alan Richard DATE) は、英国地質調査所において、高周波誘導結合プラズマ質量分析法 (ICP-MS) を用いた地球科学試料の化学分析の第一人者であった。DATE 博士は希土類元素、白金族元素において先駆的な研究を行い、地球科学における ICP-MS の重要性を広めた (1986年には筑波の地質調査所も訪問されている) が、1988年ガンのため弱冠 44 歳で他界した。

ICP-MS を始めて市販した、英国の VG・Elemental 社は、彼の偉業を称え、この賞を設けた。この賞は、英国化学会の監修のもとに毎年一人ないし二人の、特に若い科学者に与えられる。

昨年度はカナダの D. BEACHEMIN と英国の K. JARVIS の二人に与えられ、本年度は地質調査所地殻化学部の平田岳史技官が本賞を受賞した。賞の対象は「ICP-



Alan Richard DATE, 1943-1988

MS を用いた極微量のレニウム、オスミウム分析法の開発」で、この手法は太陽系および地球の形成時期におけるコア・マントル・地殻の相互関係を時間軸を含めて解析できる最も優れたものとなろう。

(地殻化学部 田中 剛)