

論文内容の要旨

論文題目 Fe-Ni metal bearing eucritic meteorite EET92023:
Possible relationship between mesosiderite and HED meteorite parent body

(ユークライト的組織を持つ含 Fe-Ni metal 隕石 EET92023:
メソシデライトと HED 隕石母天体の関連性について)

氏名 金田 謙太郎

メソシデライトは角礫化した石質相中に Fe-Ni 金属が貫入したような構造を持つ石鉄隕石で、その母天体上に Fe-Ni 金属を多く含む隕石が落下・衝突して形成されたと考えられている。この隕石は形成年代、酸素同位対比、石質相の化学的・鉱物学的特徴が HED (ホルダイト・ユークライト・ダイオジェナイト) 隕石と類似しているため、HED 隕石とメソシデライトは同一母天体を起源とすると考えられてきた。しかしながら、近年になって(1)メソシデライト中に含まれる輝石の Fe/Mn 比が HED 隕石に比べて小さい、(2)HED 隕石中に還元作用を伴う大規模な溶融または金属相と石質相の混合がみられない、(3)メソシデライト中の石質相に含まれる Ar ガスの量が HED 隕石より少ないなどの相違点が指摘されており、メソシデライトは HED 隕石と起源を異にするという意見もでてきている。

EET92023 隕石は、親鉄元素に富んでいるが、親鉄元素を除くバルク組成が集積岩ユークライトの Moore County 隕石と非常に似ていることが指摘されており、集積岩ユークライトに分類されていた。ところが EET92023 の薄片を光学顕微鏡・SEM で観察したところ、この隕石は集積岩ユークライトに非常に似た構造

を持っているが、ユークライトにはみられない Fe-Ni 金属相を含んでいることが判明した。今までに発見されてきたメソシデライトは、ホルダイト的な石質相を持つポリミクト角礫岩と Fe-Ni 金属との混合体であったが、石質相がユークライト的なもののみから成るものは発見されておらず、ユークライト的な組成を持つメソシデライトの発見が求められてきた。そのため EET92023 はメソシデライトと HED 隕石を結ぶミッシングリンクになりうるのではないかと考え、他のメソシデライト・ユークライトと化学組成・構造を比較し、前述のメソシデライト・HED 隕石の相違点について考察を行った。

本研究ではメソシデライトとユークライトの両隕石の特徴を持つ EET92023 隕石と比較するため、3つのユークライト (EET87520: 普通ユークライト、EET87548: 集積岩ユークライト、Talapaya: Mg-rich ユークライト) と4つのメソシデライト (Asuka87106、Asuka882023、Sahara98088、Sahara98488) を用意した。これらの隕石に対し EPMA (Electron Probe Micro Analyzer) を用いて定量分析、CMA (Chemical Map Analysis) を用いて定性分析、FE-SEM (Field Emission Scanning Electron Microscopy) を用いて微細組織の画像観察を行った。また、EET92023 に対してのみ INAA (Instrumental Neutron Activation Analysis) と RNAA (Radiochemical Neutron Activation Analysis) を用いてバルク組成、LAM-ICP-MS (Laser Abrasion Microprobe – Inductivity Coupled Plasma – Mass Spectrometry) を用いて金属中の微量元素を測定した。

EET92023 は主に輝石~59.1%、斜長石~38.9%、トロイライト~1.0%、Fe-Ni 金属~0.4%、シリカ鉱物~0.4%、リン酸塩~0.1% からなり、斜長石と輝石は集積構造を示している。輝石の平均粒径は 300-400 μm で最大 2mm に達するものもあり、平均幅 5 μm 以下のオーザイトの離溶ラメラが輝石全体に観察された。斜長石は平均粒径 200 μm で、自形のコアを持ち、その外側を不定形のリムが覆っていた。Fe-Ni 金属はテーナイトとカマサイトがみられ、特にテーナイトには中心 (Ni~35wt%) から縁 (Ni~53wt%) に向かって強い化学ゾーニングが見られた。

EET92023 の輝石の組成を EPMA で分析したところ、ホスト相は $\text{Wo}_2\text{En}_{45}\text{Fs}_{53}$ 、離溶ラメラは $\text{Wo}_{41}\text{En}_{36}\text{Fs}_{23}$ で、これは今回分析した隕石の中では集積岩ユークライト EET87548 の輝石 ($\text{Wo}_2\text{En}_{52}\text{Fs}_{46}$ 、 $\text{Wo}_{45}\text{En}_{18}\text{Fs}_{46}$) に近く、バルク組成が似ていた Moore County の輝石とほぼ等しい。4つのメソシデライト中の輝石は $\text{Wo}_3\text{En}_{64}\text{Fs}_{33}$ 、 $\text{Wo}_{45}\text{En}_{43}\text{Fs}_{12}$ 付近に分布していた。従って、主要元素において、

EET92023 の輝石はメソシデライトと異なり、集積岩ユークライトに似ていることが判った。

また、HED 隕石とメソシデライトの相違点であるとされた輝石中の Fe/Mn 比を調べてみると、EET92023 の平均 Fe/Mn 比は~31 で、ユークライト (~30) とほぼ等しく、メソシデライト(~25)より大であり、EET92023 中の輝石はユークライト系列であることが確認された。

EET92023 中の斜長石は $An_{\sim 93}$ の Ca に富んだ均質な自形のコアを持ち、その外側を $An_{\sim 85}$ とコアより Na に富んだ不定形のリムが覆うような構造を示している。他のユークライトに含まれている斜長石の組成は (EET87520: $An_{90}Ab_{9.5}Or_{0.5}$ 、EET87548: $An_{94}Ab_{5.8}Or_{0.2}$ 、Talampaya: $An_{93}Ab_{6.5}Or_{0.5}$) で、EET92023 の斜長石集積岩ユークライト系統に似ている。一方メソシデライトも同様な組成の斜長石 (Asuka87106: $An_{94}Ab_{5.7}Or_{0.3}$ 、A882023: $An_{94}Ab_{5.5}Or_{0.5}$ 、Sahara98088: $An_{93}Ab_{6.8}Or_{0.2}$ 、Sahara98488: $An_{91}Ab_{8.8}Or_{0.2}$) を含んでいる。従ってユークライト中とメソシデライト中の斜長石を区分するのは不可能だが、EET92023 はユークライト的な組成の石質相を持つと考えられる。

メソシデライト中には金属層の周囲を取り囲むようにウイトロカイトやシリカ鉱物が分布していることが知られている。これはリン化合物により輝石が還元され、金属鉄、リン酸塩とシリカ鉱物が生成したためといわれている。

これらの鉱物が還元反応で生じたかを確認するため、メソシデライト中の金属相周囲の元素マップをとったところ、Fe-Ni 金属に接している輝石は、金属相に向かうに従い Mg に富んでいくような化学ゾーニングを示していた。また、Fe-Ni 金属が輝石と接している部分では Fe の濃度が金属中心部より高くなっていた。このような化学ゾーニングは、その程度に差はあるが、4つのメソシデライト全てに観察され、メソシデライト中で還元反応が生じたであろうことを示唆している。

メソシデライトと同様に EET92023 中の金属鉄の周囲にもウイトロカイトとシリカ鉱物が観察された。おそらく EET92023 中にもリン化合物による還元反応が生じたものと考えられる。

EET92023 に含まれる Fe-Ni 金属とメソシデライト中のものが同一起源であるかを調べるため、主要元素は EPMA、微量元素は LAM-ICP-MS を用いて組成分析を行った。LAM-ICP-MS のスタンダードとして Gibeon、Toluca 鉄隕石を使用した。またバルク組成を INAA、RNAA で測定した。結果として EET92023 のバ

ルク組成は Re/Ir、Ge/Ir がそれぞれメソシデライトの 1.3 倍、0.4 倍になっており、よく似ていた。EET92023 の金属相は一般的なメソシデライト中の金属より Co(~1.5wt%)、Cu(~600 μ g/g)を多く、Ga(~5 μ g/g)、Au(~2 μ g/g)、Ir(~9 μ g/g)、Cr(~30 μ g/g)、As(~7 μ g/g)の 5 元素をメソシデライト中の金属とほぼ同量含んでいた。また EET92023 の金属に含まれる Ru(~17 μ g/g)、Mo(~5 μ g/g)、Pd(~5 μ g/g)の量はメソシデライトの金属の起源と考えられている IIIAB 鉄隕石とほぼ同じであった。Ga、Au、Ir、Cr、As もメソシデライト中及び、IIIAB 中の含有量とほぼ同じであった。従って、EET92023 中の金属鉄とメソシデライト中のものは同一グループ(IIIAB)の鉄隕石起源とする可能性が高いと考えられる。

EET92023 とメソシデライト中の Fe-Ni 金属にみられるウイドマンシュテッテン構造を利用して、Ni の拡散シミュレーションを行い、低温での冷却速度を見積もった。その結果、EET92023 の冷却速度は~0.3 $^{\circ}$ C/My、4つのメソシデライトは~0.5~1 $^{\circ}$ C/My と見積もられ、EET92023 はメソシデライトと同様の冷却速度であったと考えられる。

以上をまとめると、EET92023 はユークライト的な石質相中にメソシデライト的な金属相を持つ隕石であることが判明し、これは新しい発見である。また、EET92023 隕石は、還元反応によって生じたと推測される鉱物組み合わせ、高温での急冷、低温での冷却速度などメソシデライトの特徴を持っている。

結果として EET92023 の成因として (1) メソシデライト母天体と異なる HED 母天体に、メソシデライト中の金属に極めて似た組成の鉄隕石が衝突した (2)HED 母天体とメソシデライト母天体は同一母天体であり、メソシデライトと同時に形成された (3)HED 母天体とは異なったメソシデライト母天体上で形成、といった 3 パターンが考えられる。メソシデライトの特徴として HED 隕石の相違点として上げられていた、Fe/Mn 比、還元反応を伴う石質相と金属鉄の混合の有無、という点が明快な区分にならなくなったことを考慮すると、メソシデライトと HED 隕石の母天体を同一とすることは否定できない。