

黒色カンラン石の電子顕微鏡観察による火星隕石の衝撃温度圧力履歴の推定 Shock P-T history of Martian meteorites as revealed by electron microscopy of "brown" olivine

竹之内 惇志^{1*}; 三河内 岳¹; 山口 亮²

TAKENOUCHI, Atsushi^{1*}; MIKOUCHI, Takashi¹; YAMAGUCHI, Akira²

¹ 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, ² 国立極地研究所

¹Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo, ²National Institute of Polar Research

1. はじめに 火星隕石の多くは非常に強い衝撃を受けており様々な衝撃変成組織を示す。その中でもカンラン石の黒色化は火星隕石特有のものである。TEM による詳細な観察によると、カンラン石の黒色化の原因はカンラン石中に晶出した直径 5 – 20 nm ほどの金属鉄または磁鉄鉱のナノ粒子であることが知られている。これら鉄ナノ粒子は火星での衝撃変成作用により形成されると考えられているが、形成条件や形成過程の詳細については不明な点が多く、これらを解明することで火星での天体衝突現象に新たな制約を与えることが期待される。本研究では、黒色カンラン石を含む火星隕石と含まない火星隕石、強い衝撃を受けた普通コンドライトを観察、比較し、黒色カンラン石の形成過程と形成条件を明らかにすることで、火星での天体衝突現象の特異性を探ることを試みた。

2. 試料 観察には火星隕石 8 つ (NWA 1950, LAR 06319, LEW 88516, Y984028, NWA 1068, RBT 04262, LAR 12095, Tissint) と強い衝撃を受けている L コンドライト 1 つ (NWA 4719) を用いた。NWA 1950, LAR 06319, LEW 88516, Y984028 はカンラン石が黒色化しており、他の隕石では黒色化していない。

3. 結果と考察 薄片観察では、カンラン石粒子内で数十 μ m のスケールでの不均質な着色が見られた。また、LAR 06319, LEW 88516, Y984028 ではショックメルトの周囲でカンラン石の再結晶化が観察され、そのような部分ではカンラン石の着色が見られなかった。

黒色化領域は無着色領域に比べて SEM による BSE 像で明るいコントラストを呈し、クラックが少なく、EBSD による結晶構造解析によると結晶度も悪かった。NWA 1950 の黒色カンラン石では、その明るい領域は微小なレンズ状集合体であり、周囲にはサブミクロンサイズの鉄粒子が存在する。TEM と STEM による観察では、従来の鉄ナノ粒子に加えて、サイズの大きい薄膜状やロッド状の鉄粒子が見られ、いずれも周囲に Si の濃集相は見られなかった。また、EBSD とラマン分光による分析によると黒色カンラン石を含む火星隕石にはショックメルトの側でリングウッドイトなどの高压鉱物が存在せず、ショックメルト中に気泡や自形のカンラン石が存在することから、このメルトは減圧後に固化したと考えられる。

黒色カンラン石を含まない火星隕石とコンドライトにおいてはショックメルトの周囲で高压鉱物が確認されるためメルトは高压の間に冷却・固化したと考えられ、そのような領域では局所的にカンラン石の着色が見られた。それらの領域は黒色カンラン石に似た微細組織を示すことから同様の形成過程を持つと考えられ、ショックメルトの周囲などに存在することから、黒色化 (鉄ナノ粒子の形成) には短時間の高温が必要であることが推測される。これは、黒色カンラン石の不均一な着色が温度の不均一を反映している可能性を示唆している。結晶内の温度不均一は熱伝導により 1 秒以内に解消されてしまうため鉄ナノ粒子もそれに近い時間スケールで形成されたと考えられる。

ナノ粒子の形成は周囲に Si の濃集相が見られないことなどからカンラン石の還元実験の初期に見られる機構に近いと考えられ、その場合、鉄粒子の形成速度はカンラン石中の鉄の拡散が律速することが知られている。しかし、カンラン石中での鉄の拡散は遅く温度の不均一を反映できないため、カンラン石よりも拡散速度が数桁速い高压相 (wadsleyite や ringwoodite) に転移した際に拡散が起こったことが必要である。黒色カンラン石中のレンズ状の低結晶度領域はもともと高压相である可能性があり、その場合、温度の不均一性を十分反映可能である。黒色カンラン石を含む火星隕石は、隕石全体のカンラン石が高压相転移するような高温高压の状態に一時的に (数 ms) 置かれた可能性がある。黒色カンラン石を含む隕石によく見られたカンラン石の再結晶化や高压相の消失は、全体が高温になりショックメルト周囲の冷却が遅れて引き起こされたと考えられる。

4. 結論 このように黒色カンラン石を含む隕石は隕石全体で瞬間的に不均一な高温高压状態が存在し、全体的に高温になるような特異な温度圧力履歴を持ち、それは火星からこれらの隕石を放出した衝撃が他の衝突に比べ大規模であった事に対応していると考えられる。衝突温度圧力履歴の見積もりは主に高压鉱物の存在により推定がなされているが、黒色カンラン石を含む隕石は高压鉱物を含まないにも関わらずより強い衝撃を受けた可能性がある。これは高压鉱物の有無だけでは必ずしも衝撃の規模は推定できず、詳細な観察に基づいた速度論的な面からの推定が重要であることを示唆している。

キーワード: 火星, 火星隕石, 高压鉱物, 衝撃, 黒色カンラン石

Keywords: Mars, Martian meteorite, High pressure mineral, shock, brown olivine