

高圧下における Fe-FeS 系融体の構造と物性

Structure and physical properties of molten iron-sulfur alloys at high pressures

浦川 啓[1], 寺崎 英紀[2], 桂 智男[3], 舟越 賢一[4], 内海 渉[5]

Satoru Urakawa[1], Hidenori Terasaki[2], Tomoo Katsura[3], Kenichi Funakoshi[4], Wataru Utsumi[5]

[1] 岡大・理・地球, [2] 筑波大・地球, [3] 岡大・固地研, [4] 高輝度光セ, [5] 原研・関西研

[1] Dept.of Earth Sci., Okayama Univ., [2] Geosci., Univ. of Tsukuba, [3] ISEI, Okayama Univ., [4] JASRI, [5] JAERI

惑星核の構成物質の候補である Fe-FeS 系合金メルトの圧力下における構造を、放射光を用いた X 線構造解析から研究した。Fe-FeS 二成分系では Fe 端成分から共融組成 (Fe₆₉S₃₁) までは連続的な構造変化を示し、最密充填した Fe 原子中にランダムに S 原子が入り込んだ侵入型構造モデルで説明できる。FeS メルトの構造は Fe と S に異種原子対が最近接原子対であるモデルが妥当である。共融組成メルトでは圧縮による原子間距離の減少と配位数の増加は観測されたものの、その侵入型構造には 7GPa までの圧力では大きな変化は認められなかった。Fe-FeS 系メルトの構造はその粘性率と拡散係数の研究と調和的であった。

地球を始め太陽系の内惑星の核は主に金属鉄からなる。地球では現在も外核は熔融状態であるが、その他の惑星でも核の形成期には少なくとも熔融状態であったと考えられる。このため、鉄合金メルトの物性 (密度、粘性、拡散など) の研究は地球や惑星の核の形成過程、進化、現在の状態、やダイナミクスを解明するために必須である。圧力と温度によって変化するメルトの物性を理解するには、その構造を解明することは欠かすことのできない。このような観点から、我々は高圧下における金属メルトの物性と構造の関係に焦点を絞り実験的研究を進めている。本発表では Fe-FeS 系融体に関する放射光を用いた高圧 X 線構造解析から解明した構造について報告し、構造と粘性・拡散などの物性との関係を議論する。本発表は本セッションで寺崎らによって報告される Fe-FeS 系共融メルトの粘性率測定の研究と対を成す。

高圧下における X 線回折実験は SPring-8 の BL04B1 に設置されている高圧装置 SPEED-1500 および、PF の BL14C において (故 ?) MAX90 を用いて行なった。Fe-FeS 二成分系の構造変化を 3GPa・1400-1650 度 C において調べ、Fe-FeS 共融組成メルトの構造の圧力変化を 3GPa・1000 度 C から 7GPa・1175 度 C で調べた。メルトの構造は、X 線回折データから得られる構造因子をフーリエ解析して求めた次元の動径分布関数として表される。動径分布関数から得られる情報は原子間距離と配位数である。

Fe-FeS 二成分系では Fe 端成分から共融組成 (Fe₆₉S₃₁) までは連続的な構造変化が観察されたが、FeS 端成分は明らかに前者とは異なる構造を示した。Fe から Fe₆₉S₃₁ までの構造変化は、最密充填した Fe 原子中にランダムに S 原子が入り込んだ侵入型構造モデルで説明できる。一方、FeS メルトの構造は Fe と S に異種原子対が最近接原子対であるモデルが妥当である。また、圧力変化を調べた Fe-FeS 系共融メルトでは圧縮による原子間距離の減少と配位数の増加は観測されたものの、その侵入型構造には 7GPa までの圧力では大きな変化は認められなかった。

本研究で明らかになった高圧下の Fe-FeS メルトのシンプルな構造は、寺崎らによって調べられたその低い粘性率と調和的である。Fe-FeS 共融メルトの粘性率は 1 気圧から 10GPa までの広い圧力範囲でほぼ 10mPa·s 程度と一定である。これは、メルトの構造が圧力によって大きく変化しないことと対応している。また、粘性率と本研究で求めた原子間距離を用いて、Stokes-Einstein の関係式から拡散係数を見積もると $10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$ 程度となる。この値も一般的な鉄合金の値と一致し、Dobson らによって最近求められた高圧下の拡散係数ときわめて近い。このように、高圧下におけるメルトを理解するにはその構造と物性を明らかにしていく必要がある。