

論文内容の要旨

Chemical reaction and wetting behavior between molten iron and silicate perovskite

融解鉄とシリケートペロブスカイト 間の化学反応と濡れの振る舞い

高藤 尚人

コンドライト中の金属成分とシリケート成分の分離と移動プロセス(いわゆるcore formation)は、その後生成するマントルや核の組成に大きな影響を与える。その、core formation の物理メカニズムの一つに”濡れ”(permeable flow)がある。過去にも、熔融鉄とマントル構成鉱物間の“濡れ”に関する研究は数多く行われてきた(e.g. Shannon & Agee, 1996, 1998)。しかし、熔融鉄とマントル構成鉱物間は“濡れない”関係である事が下部マントル最上部の条件まで明らかにされてきた。しかし、熔融鉄とシリケートが反応することにより熔融鉄中に酸素やシリコンなどが溶解する事を明らかになってきている(Ito et al, 1995)。軽元素は、金属の表面張力を下げる働きがある事が知られているため、より地球深部では濡れる可能性がある。本実験では、まずその可能性を調べた。また、熔融鉄と下部マントル構成鉱物(ペロブスカイト)間では、反応により反応生成相が生じる事が報告されている。Knittle and Jeanloz. (1989,91)及びGoarant et al, (1992)は、下部マントルの最上部(~23 GPa)から最下部マントル(~135 GPa)の条件下で、熔融鉄とシリケートペロブスカイトが反応して、 SiO_2 , $(\text{Fe}, \text{Mg})_x\text{O}$, Fe_xSi_y が反応生成相として鉄とペロブスカイトの境界に生成する事を報告した。しかし、最近になってHillgren and Boehler (1998)は、そのような反応生成相は、DAC 中に含まれる湿気成分(H_2O)が還元剤及び酸化剤に働いたため生成したと主張した。彼等は、Ar 雰囲気下100 度で完全に湿気成分を除去してから、熔融鉄とシリケートの反応関係を調べたところ100 万気圧までそのような反応生成相は生じなかったと報告している。その後、安定した加熱ができるマルチアンビル装置やX 線と組み合わせた高圧実験でも反応相は報告されていない(Shannon and Agee, 1998, Saxena et al, 2001)。このように、下部マントル条件下での熔融鉄とシリケート間の反応関係は徐々

に明らかになってきてはいるが、熔融鉄中へのシリコン及び酸素の溶解量に関してはまだ定量性にかける。このため、本研究では熔融鉄中に溶け込むシリコン及び酸素の溶解量を広く下部マントル条件下で定量的に決定する事も試みた。

出発試料には、鉄粉末(99.9 % purity)と $(\text{Mg}_{0.9}, \text{Fe}_{0.1})\text{SiO}_3$ もしくは $(\text{Mg}_{0.8}, \text{Fe}_{0.2})\text{SiO}_3$ 組成のゲル及び MgSiO_3 組成の結晶との混合物(8:92 in weight)を使用した。高温高压実験装置には、マルチアンビル装置とレーザー加熱式ダイヤモンドアンビル装置を使用した。実験条件は、圧力は25から78万気圧、温度は2500から3200 K の範囲で行った。回収試料の2面角の測定は、透過電子顕微鏡を用いて行った。また、熔融鉄中のシリコンの定量分析には、エネルギー分散型検出器を使用した。また、酸素の定量分析には、EPMA 及び電子エネルギー損失分光検出器を用いた。

従来の研究同様、下部マントル最上部条件(~ 25 万気圧)では、熔融鉄とペロブスカイトは濡れない(~93 度)関係にある事が確かめられた。しかし、圧力が増加するにつれ2面角の値は減少した。37 万気圧, 3000 K の条件下で、~63 度、46 万気圧, 3000 K の条件下で~51 度を示し、この条件から濡れる事を確かめた。

分析の結果、熔融鉄中へのシリコン及び酸素の溶解量は圧力、温度の増加とともに顕著に上昇した。シリコン及び酸素の溶解量は、圧力25, 46, 78 万気圧 下でそれぞれ~0.3, ~1.7, ~3.3 wt%及び~0.7, ~3.3, ~5.6 wt%であった。

46 万気圧, 3000 K の条件下で熔融鉄とペロブスカイト間の2面角は60度を下回った。2面角の値が60度よりも下回ったので、熔融鉄はどのような体積比率を持っていてもペロブスカイト間を濡れて分離できる。このことにより、従来まではシリケイトも融けなければ、鉄成分とシリケイト成分は分離できなかったが、シリケイトが融けない領域でも分離が可能になった。

外核には、軽元素が含まれており純鉄に比べて10 %程度密度が低くなっている事が知られている(Birch 1952)。最近、Poirier (1994), Anderson and Isaak (2002)等は、鉄および鉄合金の高温高压下での状態方程式と地震波(PREM)の密度データを組み合わせて外核の密度欠損は酸素がそれぞれ9.0, 5.6 wt%熔融鉄中に溶け込んでいれば説明できると報告した。本研究では、熔融鉄とペロブスカイトが反応する事により78万気圧条件下で約5.6 wt%の酸素が熔融鉄に入っている。熔融鉄とペロブスカイトが反応する場としては、core formation時と核-マントル境界がある。この反応によって外核の密度欠損が説明できる可能性がある。さらに、この反応は熔融鉄に圧力78万気圧下でシリコンを約3.3 wt%溶かし込む。仮に、地球がコンドライト組成からなる物質からできており、かつ上部マントルと下部マントルが同じペリドタイト組成ならば、外核中にシリコンが3.5から7.3 wt%のシリコンが入っている必要があると報告されている(Ringwood 1975, Allegre et al. 1995)。この熔融鉄とペロブスカイトの反応は、コンドライト組成とペリドタイト組成の差を埋める役割を果たしているのかもしれない。