

形成期の水星におけるコア-マントル間の硫黄の分配と水星の材料物質 Partitioning of sulfur between core and mantle on early Mercury and its building materials

笹森 映里^{1*}; 倉本 圭¹
SASAMORI, Eri^{1*}; KURAMOTO, Kiyoshi¹

¹ 北海道大学大学院理学院

¹ Hokkaido University, Graduate school of Science

水星は自重による圧縮の効果を除くと太陽系の中で最も高密度の惑星であり、大きなコアを持つことが示唆されている。近年、水星を周回探査した MESSANGER 探査機による γ 線スペクトロメータを用いた観測により、水星表面の元素組成が初めて詳しく求められた (Evans et al., 2012)。その結果、S 濃度が予想外に大きく、1.9-2.7 wt% であった。S はコア形成時に熔融金属に分配されやすいため、太陽系の岩石惑星の岩石圏では一般に存在度が低いと考えられている。例えば地球の大陸地殻には 0.04 wt% 程しか含まれておらず、水星表面になぜ高濃度の硫黄が存在するのかはわかっていない。一方で、同様の観測から求められた Fe 濃度は 1.6-2.2 wt% であった。これは FeO 濃度に換算すると 2.1-2.8 wt% と、地球 (約 8 wt%) や火星 (約 16 wt%) の地殻平均値よりも少なく、地上からの反射スペクトル観測から推定されてきた FeO に乏しい水星表面組成と調和的である。鉄の酸化還元度に着目した隕石学的考察から、水星の材料物質として FeO に乏しい E コンドライト様の化学組成をもつ物質が有望視されている (Wasson, 1988)。

一般的に S はコア形成時に金属相に選択的に分配されるため、岩石圏ではごく低濃度になると考えられている。しかし硫黄分配の傾向は酸化還元状態によって変化し、還元的な環境ではケイ酸塩メルトに分配される硫黄が多くなることが知られている。そのため、水星が還元的な物質から形成したならば、水星表面に見られる高濃度の硫黄は、コア形成時にケイ酸塩相に分配されたものに由来する可能性がある。

そこで本研究では、形成期の水星におけるコア-マントル間の硫黄の分配を、工業化学分野で経験的に知られているケイ酸塩メルトへの硫化物溶解度モデルを拡張して調べ、そして水星表面の組成から水星の材料物質を推定することを試みた。ケイ酸塩メルト相と熔融金属鉄相間の化学平衡を考えることによって、任意に与えた水星材料物質組成に対して、硫黄分配を支配する重要な熱力学量の一つである酸素フガシティー f_{O_2} を得、そして硫化物溶解度モデルからケイ酸塩メルト中の S 濃度が得られる。硫化物の溶解度を示すサルファイドキャパシティーには Taniguchi et al. (2009) のモデルを採用した。水星材料物質の組成は、次のように仮定する。まず E コンドライト平均組成における相対元素存在度を保持して、酸化物と非鉄系 (陽イオンが非親鉄性元素) の硫化物を混ぜたものをケイ酸塩メルトの基準組成モデルとする。また同様に金属鉄と硫化鉄を混ぜたものを金属メルトの基準組成モデルとする。そこから出発組成や圧力を変化させて元素分配計算を行った。材料物質組成に対する依存性は、FeO/Si 比、非鉄系硫化物/Si 比、金属相の S 濃度を変化させることで調べた。温度は全熔融を仮定し 2000 K とし、圧力依存性は、反応による体積変化から推定し、1-10 GPa の範囲で計算を行った。

基準組成モデルに対して元素分配計算を行った場合、ケイ酸塩相に分配される S 濃度、FeO 濃度はそれぞれ 1.6 wt%、0.024 mol% と、S 濃度は観測値とほぼ一致したが、FeO 濃度は観測される Fe 濃度を説明するには、2 桁小さい結果となった。材料物質の FeO/Si 比を大きくするほど分配される S 濃度は小さくなる。また、非鉄系硫化物/Si 比を大きくするほど FeO 濃度は小さくなり、S 濃度と FeO 濃度の増減は逆相関の関係にある。金属相の S 濃度を上げると、ケイ酸塩メルトの S 濃度はあまり変化せずに、最大 0.06 wt% まで FeO 濃度が大きくなる。S の分配結果に圧力依存性はほとんど見られなかったが、圧力が上がるにつれて分配される FeO 濃度がやや減少した。

以上のように E コンドライトの組成に近い出発組成を与えて分配計算を行うと、幅広い条件で観測値を説明できる濃度の S がケイ酸塩相に分配される。これは水星の材料物質が実際に E コンドライト様の物質であることを支持する。しかしながら、同時にケイ酸相中に分配される FeO 濃度は Fe の観測値を説明するには小さすぎるように見える。観測原理上、水星表面の Fe の酸化還元状態は現時点では不明なことには注意が必要である。水星表面の Fe は、コア形成後に水星表面に付加した Fe や、隕石衝突により薄い水星マントルを貫いて掘削され放出されたコア由来の Fe で説明できるかもしれない。

キーワード: 水星, 硫黄, 分配

Keywords: Mercury, sulfur, partitioning