

還元的な組成を持つ水星の内部構造と熱進化

Internal structure and thermal evolution of Mercury with highly reduced composition

中山 陽史^{1*}, 倉本 圭²Akifumi Nakayama^{1*}, Kiyoshi Kuramoto²¹ 北海道大学理学部地球惑星科学科, ² 北海道大学大学院理学院宇宙理学専攻¹Department of Earth Sciences, School of Science, Hokkaido University, ²Department of CosmoSciences, Graduate School of Sciences, Hokkaido University

2008年から探査を開始したMESSENGERによって得られた地形、表面組成、そして重力場のデータを用いて、水星の内部構造についての新たな提案がなされている (Smith et al., 2012). 新たに得られた慣性率に基づいて推定されたコア半径は 2030 ± 37 km, 固体マントル密度は 3650 ± 225 kg m⁻³ であり、高いマントル密度を説明するために、マントル下部にFeS層が存在することが示唆される。また、MESSENGERによって得られた水星の表面組成 (Nittler et al., 2011) はFeOに乏しい。これは水星がエンスタタイト (E) コンドライトの様な還元的な材料物質から形成されたことを示唆する (Wasson, 1988)。これらの結果は従来の内部構造モデルと大きく違い、水星の材料物質や熱進化の見直しが必要である。

E コンドライトは金属成分に多量のSを含む。もし水星のコアにも多量の軽元素が含まれているなら、高い水星の平均密度を説明するには、珪酸塩マントル層は極めて薄いと考えられる。従来考えられてきた相対的に厚い珪酸塩マントルを仮定した熱進化モデル (Stevenson et al., 1983 など) では、マントルの熱輸送効率が速やかに減少し、現在においては流体核が熱対流を起こさないと考えられていた。これを受け入れるとコア中でFeSが析出することも困難である。しかしマントルが薄ければ、マントル中の熱輸送効率がそれほど低くならず、十分低い温度までコアが冷却できるかもしれない。

そこで本研究では新しい内部構造に則した水星の熱進化計算を行い、水星の熱史とコアの熱的状态について考察を行う。球対称を仮定し、珪酸塩マントルの熱収支計算はAbe (1997) の混合距離理論、コアの熱収支計算はStevenson et al. (1983) のボックスモデルにそれぞれ従う。そして、水星の珪酸塩成分と金属成分はそれぞれEコンドライトと同様の化学組成を持つと仮定した。Smith et al. (2012) で推定されたコア半径および固体マントル密度と1標準偏差内で合致する珪酸塩マントル厚は170-340 kmであり、コア密度は6000-6981 kg m⁻³である。計算では水星の平均密度が説明できるよう、コア内の硫黄濃度を調節しながらマントル厚を仮定した。水星の珪酸塩マントルを想定したエンスタタイトの粘性率は地球上部マントルの約1000倍であり、対流による熱輸送の効率は低いと考えられる。初期条件としてマントルにはエンスタタイトのソリダス温度を与え、コアにはコア-マントル境界 (CMB) でマントルの温度と連続的になるような断熱温度分布を与える。コアの初期温度はFe-S合金の融解曲線よりも高く、コアは全溶融している。

今回計算を行ったすべてのマントル厚のモデルにおいて、対流による熱輸送は急速に弱まり、10億年程度で熱伝導主体の熱輸送に切り替わる。従来のモデルよりも珪酸塩マントルが薄い場合、熱伝導によって熱の輸送が効率的に行われる。珪酸塩マントルが270 kmよりも薄い場合、45億年の熱進化を経てCMBの温度がFe-FeS共晶系の共晶点程度まで低下する。これは、固体FeS層の形成を説明する。さらに、45億年後のCMB熱流量はコア中を熱伝導のみで輸送される熱流量を超えることが分かった。これは熱対流によって液体外核ダイナモを駆動することが可能であることを示唆する。

キーワード: 水星, 熱進化

Keywords: Mercury, thermal evolution