

論文審査の結果の要旨

氏名 本馬 佳賢

微惑星の形成過程の解明は、太陽系の惑星の起源と多様性を理解するうえで重要である。隕石は初期の太陽系の物質進化を記憶する物質であり、その年代情報、岩石学的・宇宙化学的特徴から、微惑星形成過程に関する直接的な知見を引き出すことが可能である。始原的な隕石からは未分化の微惑星、特に原始惑星系円盤からの凝縮過程を、また分化した隕石からは微惑星での火成・変成・物質変化過程に関する情報を得ることができる。パラサイト隕石は分化した隕石の一種であり、ほぼ同量のかんらん石とFeNi金属相を含む。かんらん石とFeNi金属相は、それぞれマントルとコアの主要な構成要素であるため、パラサイトは惑星のマントルとコアの両方の情報を保持しており、微惑星内部進化の調査に有用であると考えられてきた。しかし、こうした重要性にもかかわらず、主として岩石学的・鉱物学的研究の難しさから、パラサイト隕石の熱史や岩石学的特徴を説明する包括的形成モデルの確立は遅れている。本研究では、パラサイトの金属とかんらん石の両方から形成年代と熱履歴を抽出するとともに、Al-26およびFe-60等の消滅核種に由来する熱源を加味した天体冷却計算に基づき惑星冷却モデルの再構築を図った研究であり、高い学術的意義を有する。

本論文は全5章から構成されている。

第1章では太陽系内での惑星形成過程に関する主要な先行研究のレビューを行うとともに、パラサイト隕石の宇宙化学的特徴と惑星形成過程研究への有用性、さらに残された研究課題などが記述されている。

第2章では、パラサイト隕石に含まれるFeNi金属相に対しハフニウム-タングステン年代分析法を適用した。タングステンの同位体はHf-182の放射性崩壊の付加にくわえ、太陽系星雲の同位体不均質と宇宙線照射誘起中性子捕獲効果により変化しうる。測定されたW-183/W-184比から、パラサイトには核合成由来の同位体異常がないことを確認した。一方で白金同位体測定からは、いくつかのパラサイトで中性子捕獲効果による同位体変動が検出された。この中性子捕獲効果を補正した後のハフニウム-タングステン年代では、パラサイトの金属相がCAI形成後 $0.08 \pm 1.08 \text{ Myr}$ に分化したことが明らかとなった。

第3章では、パラサイト隕石のクロム鉄鉱-かんらん石間での元素拡散に基づいて冷却速度を決定した。パラサイトの鉱物学的観察から、隣接するクロム鉄鉱とかんらん石が固相条件下で反応し、二価のFeとMgの交換が進んでいたことが確認された。かんらん石-スピネル間で元素濃度分布が元素拡散速度によるものと仮定することで、かんらん石-スピネル相の冷却速度が百万年あたり10 - 30 K程度であることが明らかとなった。この冷却速度は、パラサイト中のFeNi金属相の冷却速度と調和的であった。

第4章では、本研究を通して得られた年代と冷却率に基づいて、パラサイト母天体の新しい熱進化モデルを提案している。Al-26とFe-60の放射壊変による熱生成を考慮すると、半径20 km程度の惑星の冷却速度が大幅に緩和されることが明らかとなった。一方で半径50 kmを超える惑星は冷却速度が遅くなるため、半減期の短い放射性核種の影響は限定的となる。かんらん石-スピネル系から推定された冷却速度は、75 kmサイズの惑星のコアとマンツルの境界領域で実現できる。パラサイト隕石から推定された母天体の熱史から、半径100 km未満の微惑星がCAI形成後1.2 Myr以内にコアとマンツルに分化していたことが明らかとなった。

第5章では、パラサイト隕石の宇宙化学的情報と精密年代情報を組み合わせて得た隕石母天体の熱史や微惑星の形成過程を総括している。

以上のように、本論文はパラサイトの金属とかんらん石の両方から形成年代と熱履歴情報を引き出すとともに、理論的観点から惑星冷却モデルの再構築を図った研究であり、きわめて学術的価値の高いものとなっており、またそれは論文提出者の優れた研究能力を示すものである。

以上の理由により、本馬 佳賢氏に博士（理学）の学位を授与できると認める。