

氏名(本籍)	寺崎英紀(福岡県)
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	博甲第2871号
学位授与年月日	平成14年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	地球科学研究科
学位論文題目	Viscosity of Liquid Iron-Alloy under High Pressure : Physical Properties of Core Forming Melts in the Earth's Interior (高圧下における鉄合金融体の粘性：地球内部での中心核形成融体の物性)
主査	筑波大学教授 理学博士 宮野 敬
副査	筑波大学教授 理学博士 梶原 良道
副査	筑波大学教授 理学博士 木股 三善
副査	筑波大学助教授 理学博士 加藤 工

## 論文の内容の要旨

液体状態である現在の地球外核の流動様式や熱史、および初期地球での中心核形成過程における核形成融体の沈降速度は、核融体の粘性により決定される。地震学的研究から外核中には質量比にして10%程度の密度欠損が存在し、これは軽元素が鉄中に溶解することにより説明されている。特に硫黄、炭素は広範な温度・圧力範囲において鉄中へ溶解できる元素であるため、少なくともこれら2元素は外核中での存在が有力視されている。

本論文の目的は、Fe-S、Fe-C、Fe融体について、放射光X線影像落球法による高温高圧下での粘性をその場測定より、粘性に対する温度・圧力・軽元素濃度の効果を決定し、その結果に基づいて、現在の地球中心核の粘性と初期地球の中心核形成過程への制約を与えることである。今回の独自の工夫として、鉄合金試料上部に更にケイ酸塩の層を配置し、その中にもマーカー球を封入するセルを開発・使用した。採用したケイ酸塩は試料よりも高融点、低密度かつ試料と不混和であるため、球は試料融点より高温のケイ酸塩融点までこの層に保持される。ケイ酸塩の種類を選択することにより、温度の制御が可能である。また試料が部分溶解状態で落球するという問題もこの方法により解決された。

Fe<sub>72</sub>S<sub>28</sub>融体については、1233 - 1923K、1.5 - 6.9GPaの温度・圧力条件での粘性係数は、0.008 - 0.036Pa-sという値が得られた。粘性係数の温度・圧力依存性およびアレニウスの関係式から、Fe<sub>72</sub>S<sub>28</sub>融体の粘性流動の活性化エネルギーおよび活性化体積は、それぞれ30kJ/mol、1.5cm<sup>3</sup>/molとなった。硫黄含有量の効果については、1923K、2.7 - 2.8GPaの温度圧力条件、S = 0 - 28wt%の組成範囲においては、硫黄含有量の増加とともに粘性係数は減少傾向が見られ、その割合は純鉄に比べS = 28wt%では15%ほど粘性係数が減少した。炭素含有量の効果については、1605 - 1923K、2.8 - 3.1GPaの温度・圧力条件、C = 0 - 6.7wt%の組成範囲で実験を行った。この組成範囲においてFe-C融体の粘性係数は、0.004 - 0.018Pa-sとなり、共融組成付近(C = 3.5wt%)で粘性係数は最小値をとった。Fe融体の粘性に対する硫黄、炭素の含有量の効果は、一気圧下での報告例が数多くあり、それら常圧での結果は、高圧下での本結果と同様にそれぞれの共融組成付近で最小になる傾向を示す。融体の構造解析から、純鉄から共融組成までの組成範囲において、溶解した硫黄・炭素原子は最密充填したFeの隙間に入り、融体は侵入型構造をとる。そのとき融体の最隣接原子間距離は侵入原子により共融組成付近で最も広がるためと解釈される。Feについては、1893 - 2023K、2.8 - 7.0GPaの温度・圧力条件で測定した。粘性係数の圧力依存性は5GPaまでは単調増

加傾向が見られたが、5GPaで急激な粘性減少があり、5GPa以上の圧力範囲では再び増加するという傾向が見られた。この圧力は、融点直下の固相の $\delta-\gamma$ 転移圧と一致し、融体の局所構造が融点直下の固相構造を反映し、構造転移を起こしている可能性を示唆する。

以上の実験結果より、地球内部条件における核形成融体の粘性を推定した。外核中の軽元素を全て硫黄と仮定すると、密度欠損を説明し得る核組成は $\text{Fe}_{90}\text{S}_{10}$ となる。現在の外核の粘性は、下部マントル-外核境界条件(3850-4300K, 136GPa)で、0.6-1.5Pa-s, 外核-内核境界条件(4890-6000K, 329GPa)で17.9-198Pa-sと計算された。また、高温の初期地球内部での核形成融体の粘性は、0.015-0.42Pa-sとなった。この粘性値と同位体年代測定から推定されている地球の核形成時間(6200万年)を目安にすると、固体マントル中において核形成融体の占める割合は0.021-0.026と推定される。

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

本研究は、放射光X線影像落球法により、金属融体に対して信頼できる高圧下での粘性測定を行った世界初の成果である。また、X線回折による標準物質の状態方程式測定との組み合わせにより、精密な実験条件の制御という点にも特筆すべき特徴がある。実験は、SPring-8において、地球内部流体の粘性研究を目指した国際的研究協力グループの共同利用実験課題の一部として行われ、寺崎英紀氏は、金属融体に関する実験の中心的実行者、その他ケイ酸塩融体については共同研究者として重要な役割を果たした。その結果、地球中心核のありうる硫黄含有量の範囲で、粘性の圧力温度組成依存性が定量的に明らかにされ、これらの値の妥当性が金属融体の構造に基づいて十分に検証された。これらの成果は、地球深部物質の物性研究の最先端であり、地球深部科学の広範な分野から注目される成果であると考えられる。

よって、著者は博士(理学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。