



研究課題名 超高压実験による地球コアの軽元素組成の解明

東京大学・大学院理学系研究科・教授

ひろせ けい
廣瀬 敬

研究課題番号： 21H04968

研究者番号： 50270921

研究期間： 令和3年度～令和7年度 研究経費（期間全体の直接経費）： 483,700千円

キーワード： 地球内部、コア、軽元素、超高压

【研究の背景・目的】

本研究は、主にダイヤモンドセル(DAC)装置を用いた実験により、地球コアの超高压高温下での鉄合金の特性を明らかにし、地球コアの軽元素組成を解明する。コアの中心部には固体の内核、その外側に液体の外核がある（コア全体の95%は外核）。鉄を主成分とするコアは、5%程度のニッケルに加え、多量の軽元素を含むとされる。1952年から70年近くに渡り、コアの軽元素の正体（候補は硫黄・ケイ素・酸素・炭素・水素）について活発に議論されて来たが、未だに地球科学の第一級の問題として残されている。

本研究では、これまでコア組成の解明を阻んで来た実験技術的な問題を克服し、また第一原理計算で実験を補いつつ、これら5つの軽元素を含む、液体と固体の鉄合金の密度・地震波伝播速度・状態図・分配をコアの圧力下で得る。それらを観測と比較し、8つの独立な制約を使って、外核の5つの軽元素組成を解明する（内核の組成は元素分配を使って外核組成から計算できる）。コアの軽元素組成は、現在のコアの状態だけでなく、そのダイナミクスと地球磁場形成、地球全体の化学組成、地球集積・コア形成プロセスなどの理解に向けて大きな意味を持つ。

【研究の方法】

本研究は、レーザー加熱式のダイヤモンドアンビルセル(DAC、写真)を用いた、地球コアに相当する超高压高温環境下での実験が主となる。同装置を用いた静的圧縮実験によって、現在すでに地球中心の圧力温度を上回る極限環境での実験が可能である。東大・東工大で行う実験に加え、大型放射光施設 SPring-8 における X 線回折・X 線非弾性散乱 (IXS) 測定を行って、鉄合金の密度・音速を高压高温下で決定する。さらに水素を含む鉄合金試料については北大の低温二次イオン質量分析法 (SIMS) を用いて化学分析し、状態図や元素分配を決定する。

このような高压実験とそれを補う理論計算を用いて、上に記した5つの軽元素を含む液体と固体の鉄合金の密度・地震波伝播速度を決定し、外核と内核の密度・速度の観測を説明するそれぞれの可能な組成範囲を得る。この両者の組成は、本研究で明らかにする、液体-固体鉄間の軽元素分配と整合的でなければならない。さらに外核の組成は、本研究で決定する、軽元

素に乏しい固体鉄が結晶化する液体鉄合金の組成範囲内にある必要がある。また現在の外核は SiO_2 に飽和している可能性が高い。本研究で得るコア-マントル間の軽元素分配を基に計算される初期コア組成からも、地球史における化学進化を考慮した上で、現在のコア組成を制約できる。このように、合計8つの独立な制約を使って、外核・内核の5つの軽元素組成を解明する。

【期待される成果と意義】

本研究が目指すのは「地球コアの化学組成（軽元素組成）の解明」である。鉄合金の融解温度や物性は、軽元素組成に強く依存する。現状それが不明なため、外核-内核境界の温度の見積もりは千度以上もの差がある。ゆえに、コア-マントル境界の温度の見積もりにも千度近くもの幅が生じる。これはマントル深部の状態・マントル全体の対流運動の理解に大きな影響がある。鉄合金の熱伝導率や電気伝導率も軽元素（つまり不純物）次第で値が大きく変化する。やはり軽元素がケイ素と水素の場合で、コアの熱伝導率は倍以上の差が生まれる。これではそもそもコアの対流メカニズムを知ることが難しい。コアの軽元素組成の解明により、現在のコアの状態や熱史の理解が格段に進む。

また、コアの質量は地球全体の3分の1もあり、軽元素は質量にしてその約1割、原子比にすると数割にもなる。コアの軽元素組成が不明であるゆえに、地球全体の化学組成もわかっていない。ゆえに、太陽系における惑星形成時に、地球にどのような物質が集積したのか、太陽系の地球より外側からどれだけの揮発性成分（水、有機物など）が、どのタイミングで輸送されてきたのか、といった「地球の起源」の解明も進んでいない。コアの軽元素組成の解明は地球の形成過程を理解する鍵であり、その意義は大きい。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ Ohta, K., Kuwayama, Y., Hirose, K., Shimizu, K., Ohishi, Y., Experimental determination of the electrical resistivity of iron at Earth's core conditions, *Nature*, 534, 95-98, 2016.
- ・ Hirose, K. et al., Crystallization of silicon dioxide and compositional evolution of the Earth's core, *Nature*, 543, 99-102, 2017.
- ・ 「できたての地球—生命誕生の条件」岩波科学ライブラリー 廣瀬敬著

【ホームページ等】

<http://www-solid.eps.s.u-tokyo.ac.jp/~hirose/>