

論文審査の結果の要旨

氏名 佐多 永吉

本論文は 5 章からなり、第 1 章は『はじめに』、第 2 章は『高圧相の状態方程式』、第 3 章は『FeO の高温高圧相』、第 4 章は『地球コアへの応用』、第 5 章は『まとめ』が述べられている。

第 1 章では、過去の地震学および鉱物物理学の研究をレビューすることで、地球コアが鉄と軽元素の合金である可能性が高いこと、および軽元素の有力候補として酸素が挙げられることが示されている。本研究では、FeO の高温高圧下における振るまいに関して新しい知見を得ることでコアの軽元素に関する考察を行うことを目的としているが、これを遂行する手段としてレーザー加熱式ダイヤモンドアンビル装置と放射光の組み合わせによる高温高圧下その場 X 線回折実験を採用している。第 1 章では、実験の技術的側面についても簡単に述べられている。

第 2 章では、本研究で使用した圧力スケールについて述べられている。高圧下その場 X 線回折実験では、圧力値は X 線回折で決定した標準物質の格子体積から状態方程式を用いて算出するが、本研究では、圧力スケールとして使用する NaCl の高圧相 (B2 構造) について、状態方程式の精密測定を行うところから始めている。高圧状態の試料 (NaCl) の偏差応力を緩和するために、レーザーの照射による焼きなましを行った。また、B2 構造の NaCl のように高圧下でのみ存在する物質の体積と圧力の関係を表すのに適した形に状態方程式を変形した。これらにより、本研究で提案する B2 構造の NaCl の状態方程式は、過去の報告に比べ精度の向上が見られている。

第 3 章では、高温高圧下における FeO の結晶構造と状態方程式について述べられている。実験は、40GPa - 150GPa · 1500K の条件で行われた。FeO は、少なくとも 130GPa 程度までは B1 構造を保持し、より高圧側で B8 構造に相転移する可能性が示された。B8 構造には、NiAs 構造と同一の normal タイプと、鉄と酸素のサイトを入れ替えた inverse タイプの 2 種類があるが、本研究で得られた回折パターンは、FeO の高圧相が normal タイプの B8 構造であることを示唆している。物性理論計算によれば、normal タイプは金属、inverse タイプは絶縁体であると報告されている。FeO の金属化は、鉄-酸素系の相関係に大きな影響

を与える可能性がある。過去の研究では、B8 構造への転移圧力は 70GPa 程度であり、normal タイプと inverse タイプを積み重ねたような構造であると報告されている。本論文では、過去の報告との矛盾について、過去の研究が偏差応力の影響を受けている可能性を指摘している。また、B1 構造相について、1500K における状態方程式を決定した。2 次のバーチ・マーナガン状態方程式への回帰計算の結果として、0GPa・1500K のパラメータとして体積 $12.62\text{cm}^3/\text{mol}$ および体積弾性率 128.4GPa を得た。

第 4 章では、本研究で測定した B1 構造の FeO の状態方程式、過去の報告による Fe の状態方程式、および地震学によるコアの密度の情報を用いて、コアの組成に関する考察を行っている。得られた結果は、液体の outer コアと固体の inner コアで、酸素量はそれぞれ 27atomic%と 15atomic%となった。現在までに報告されている 20GPa 程度までの鉄-酸素系の相関係からは、FeO の金属化が鉄-酸素系の相関係に大きな影響を与えない限り、大量の酸素が鉄に溶け込むことを説明することは困難である。したがって、現在までに報告された鉱物物理学的データからは、コアの軽元素を主に酸素であるとして説明することは難しいという結論に達した。

第 5 章では、本論文の内容が簡潔にまとめられている。

本研究は、第 3 章の過去の研究との食い違いに関して、(本研究の) 正当性を立証できていない等の問題点を残している。しかし、150GPa 領域までの実験を行うことは容易ではなく、したがって、データの公表は重要である。また、矛盾を説明するためのモデルの提案を行っており、博士論文としての最低基準はクリアしていると認められる。ただし、提案したモデルの正当性の検証など、過去の研究との矛盾を説明するため、今後、実験データを蓄積することを強く要請する。

本論文第 2 章は、G. Shen、M. L. Rivers、S. R. Sutton との共同研究、また、第 3 章は、G. Shen、M. L. Rivers、S. R. Sutton、L. Dubrovinsky との共同研究であるが、論文提出者が主体となって行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上により、博士(理学)の学位を授与できると認める。