

学位論文要旨

Shock Compression of Earth Materials and Implications for the Composition of the Earth's Deep Interior

(地球物質の衝撃圧縮と地球深部の組成の推定に関する研究)

氏名 張友君

本論文は6章から構成され、第1章の序で始まり、第2章と第3章の蛇紋石の下部マントル条件での動的挙動に関する内容と第4章と第5章のコア物質に関する軽元素の種類と量の問題に関する内容、およびまとめの第6章からなる。

第1章は序である。地球内部の化学組成と構造の理解は、地球科学における長年の挑戦的課題である。このことは地球の形成過程を紐解き、現在の地球の活動や運動を説明し、未来の地球を考える上でも重要である。その為には、地球を構成する物質の地球内部条件での物性を詳細に知る必要がある。そこで本博士論文研究では、地球マントルとコアの化学組成と挙動を理解するために、高温高压下での地球深部物質の物理的性質を調べることを目的にした。

第2章と第3章は蛇紋石の下部マントル条件での検討である。蛇紋石の一種であるアンチゴライト（化学組成は $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ で代表される）について調べた。蛇紋石は沈み込み帯やマントルあるいは隕石中に存在している。アンチゴライトに関する挙動、安定不安定性、分解を調べる為に二段式軽ガス銃での衝撃圧縮実験を実施した。粒子速度の時間分解計測から約 130 GPa までのユゴニオを決定し、同時に衝撃圧縮下にあるアンチゴライトの音速を見積もった。その結果から3つの領域に分かれ、43 GPa までのアンチゴライトとしての低圧相領域と 43 GPa 以上での短時間圧縮時の準安定低圧相領域と長時間圧縮時の高压相領域が認められた。このように衝撃圧縮時間の相違で異なる動的挙動が明らかになった。ユゴニオ上での温度は計算によって求め、圧力-密度、圧力-音速、圧力-温度の関係からアンチゴライトの分解反応が準安定圧縮時に比べて体積増、音速の増大、温度の低下を伴うことを明らかにした。この反応の活性化エネルギーは大きく、分解が遅い反応である。先行研究で研究された他の蛇紋石に関するユゴニオも考慮して、蛇紋石の高温高压下での分解生成物の推定を行なった所、最近発見された高密度含水マグネシウムケイ酸塩を含む生成物になることを明らかにした。このことは音速結果とも調和的である。このアンチゴライトに関する衝撃実験から蛇紋石の対衝突準安定性が地球の形成過程での水の運搬役として、また蛇紋石の高温高压分解生成物の安定性から地球下部マントル深部への水の運搬役として重要な役割を担うと言える。

第4章と第5章は地球コア物質に関する軽元素の種類と量の問題に関する。地球コアに関しては、地震学的証拠からその組成が鉄-ニッケルに軽元素が含まれると推定され

ている。地球化学的見地から種々の軽元素が考えられていて、それを特定すべく多くの研究が行なわれている。しかし、地球コア条件での正確なデータが欠けているため、温度や圧力に関する外挿値での比較が多く、決定的な議論になっていない。そこで本実験では、地球コア条件を実現できる衝撃圧縮法を使い、地球コア候補組成の状態方程式および音速データを取得した。これらのデータをコアに関する地震波データと直接比較し、コア中の軽元素の特定化と量の推定を試みた。使用したモデル組成は、先行研究結果を参考にして Fe-9Ni-10Si 合金とした。二段式軽ガス銃で高速衝突実験を行い、衝撃波速度と粒子速度の両者を同時測定することで、この合金に関するユゴニオを決定した。また粒子速度の時間変化の記録に基づき高温高压下での音速を 280 GPa まで決定した。その結果得られた圧力-密度関係と音速-密度関係を利用し、地震波観測結果に基づく密度-深さ（圧力）および音速（地震波速度）-深さ（圧力）のコアに関する関係と比較した。圧縮下での融解が 147 GPa 以上の圧力で検出された。この融解開始条件は、純鉄の場合の 225 GPa に比べて相当低圧で起きることが明らかになった。この融解開始温度は、熱力学的検討から算出され、この点を通る融解曲線をリンデマン則で近似した。この近似融解曲線は、90 GPa までの先行研究結果と調和的であることが明らかになった。実験条件はユゴニオ上での温度・圧力であるので、得られた密度-圧力および音速-圧力をコアの温度-圧力に沿って補正する必要がある。コアの温度分布は測定では決定できないので、147GPa での融解時の温度を断熱的に変化させたものを使用した。熱力学的な温度計算に基づき衝撃圧縮時の温度を求め、この値をコアの断熱温度分布に補正した密度と音速を算出し、それらとの比較を行なった。その結果、Fe-Ni-Si 系での結果だけでは、コアの密度と音速の両者を同時に十分に満足される組成は実現困難であった。先行研究での Fe-O 系や Fe-S 系の結果でも同時に満足する組成は困難であったが、先行研究の結果を加味して Fe-Ni-Si-S-O 系まで混合モデルを使い拡張した所、密度と音速の両者を同時に満足される組成として Fe-Ni に約 6 wt% Si、約 2 wt% S、約 1-2.5 wt% O を持つ組成なら十分可能であることが明らかになった。このことからコア内核と外核の境界での温度は 5200 K と推定され、鉄だけの場合より 600-1000 K 低温になる。このように本研究では、地球コア物質に関する衝撃圧縮実験によるユゴニオ測定での密度の変化と音速測定での融解の検出と地震学的なコアの密度と地震波速度とを直接コア状態での値で比較し、コア中の軽元素の種類と量の見積もりを行い、シリコンがコア中の主要な軽元素であることとコアの温度はこれまで考えられていたより 1000K 近く低温の可能性を示唆している。このことは地球の熱史やコア形成過程を考える上で重要な束縛条件を与える。

第6章はまとめである。