

学位論文題名

Phase transformations and physical properties
of minerals with the pyroxene composition
under high-pressure and -temperature in the
Earth's interior and meteorites

(地球深部及び隕石における輝石組成鉱物の高温高压相転移と物性)

学位論文内容の要旨

地球深部の物質構成やそれらの挙動及び隕石の衝撃変成過程を知る上で、地殻や上部マントル、コンドライト隕石の主要構成鉱物である輝石の高压相の相転移と物性の解明は非常に重要な課題である。本論文では特に、メジャーライト、珪酸塩イルメナイト、珪酸塩ペロブスカイトに着目し、上記課題を解明する目的で、マルチアンビル装置による超高压実験、分析透過電子顕微鏡(分析電顕)による高压合成試料及び天然の高压鉱物の解析、マルチアンビル型超高压装置と放射光を組み合わせた高温高压下でのX線その場観察実験を行った。

具体的には以下の3つの課題に取り組んだ。1) 衝撃を受けた隕石中の珪酸塩イルメナイトとペロブスカイトの発見とそれらの生成機構の解明、2) 超高压合成した(Mg,Fe)SiO₃メジャーライトの結晶内微細構造と立方-正方相転移の解明、3) MgSiO₃イルメナイトの高温高压X線その場観察と状態方程式の導出。以下、それぞれの課題について得られた結果を述べる。

課題1) : 分析電顕により天然ではじめて、珪酸塩イルメナイト及びペロブスカイトを衝撃変成を受けたTenham隕石中に発見した。これらは衝撃溶融脈中の岩片中に母相の輝石(エンスタタイト (Mg,Fe)SiO₃) に接して見られ、母相の輝石と同じ化学組成を持つ。両鉱物は隕石母天体の衝撃による高温高压状態で固相のままエンスタタイトから直接転移したものと考えられる。珪酸塩イルメナイトは粒状、柱状の2種類の形態を持つが、柱状の粒子は隣接するエンスタタイトとトポタキシャルな方位関係をもち、これはマルテンサイト的な相転移を示していると考えられる。珪酸塩ペロブスカイトは粒状では電子線回折は斜方晶を示す。ペロブスカイトは電子線照射によるダメージを受けやすく、アモルファス化しやすい。今回見出された珪酸塩イルメナイトとペロブスカイトはこれまで実験的に知られているよりかなり多くのFeを含み、これらは衝撃圧縮による短時間の高温高压状態により、エンスタタイトから準安定的に形成されたものであろう。Tenham隕石の衝撃変成におけるピークの温度・圧力は、衝撃溶融脈を構成するAlに富むメジャーライトがメルトから平衡晶出したと仮定すると、圧力22-26 GPa、温度2000℃以上と推定される。珪酸塩イルメナイトは秋本俊一

氏にちなんで新鉱物「秋本石」として承認された。

課題 2) : 圧力 20 GPa, 温度 1950~2200 °C で合成した出発組成 $X=0-0.27$ の $(\text{Mg}_{1-x}, \text{Fe}_x)\text{SiO}_3$ メジャーライト, 及び Tehham 隕石中の天然のメジャーライトについて分析電顕で解析を行った. 電子線回折から合成したメジャーライトは全て正方晶であった. 約 1950 °C 以上の温度から急冷した試料には {101} 双晶, 変調構造の一種であるツイード構造が高頻度で見られたが, 約 1950 °C 以下の温度から急冷した試料には, これらの組織はほとんど見られなかった. 一方, 天然の立方晶メジャーライトにはいずれの組織も見られない. これらの観察から, 正方晶メジャーライト中の {101} 双晶やツイード構造は, 試料急冷の際の立方-正方転移により形成されたものと考えられる. 立方晶メジャーライトは 20GPa では, 約 1950 °C 以上に広い安定領域を持つものと推定された.

課題 3) : 圧力約 21GPa, 温度 1000 °C までの高温高圧下での放射光 X 線その場観察実験を行い, 得られた格子定数をもとに MgSiO_3 イルメナイト (アキモトアイト) の状態方程式の決定を行った. 300 K での体積弾性率 $K_{300,0}$ を 212 GPa (Weidner and Ito 1985) に, 熱膨張係数 $\alpha_{300,0}$ を 2.44 K^{-1} (Ashida et al. 1988) に固定して, 得られた MgSiO_3 イルメナイトの圧力-格子体積-温度データを 3 次のバーチ-マーナガン状態方程式にフィッティングした結果, 体積弾性率の圧力微分 $K_{300,0}'=1.85(5)$, 体積弾性率の温度微分 $(\partial K_{T,0}/\partial T)_P=-0.019(4) \text{ GPa/K}$, 熱膨張係数 $\alpha=a_0+a_1T$ について, $a_0=2.12 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, $a_1=1.07(53) \times 10^{-8} \text{ K}^{-2}$ の値を得た.

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 藤 野 清 志
副 査 教 授 中 嶋 悟
副 査 助 教 授 菊 地 武
副 査 講 師 三 浦 裕 行
副 査 教 授 八 木 健 彦 (東京大学大学院理学系研究科)

学 位 論 文 題 名

Phase transformations and physical properties of minerals with the pyroxene composition under high-pressure and -temperature in the Earth's interior and meteorites

(地球深部及び隕石における輝石組成鉱物の高温高压相転移と物性)

かんらん石と輝石およびそれらの高压相は、地球および隕石を構成する主要な鉱物である。しかし、かんらん石に比べその複雑さの故に、輝石組成鉱物の高温高压下における構造と物性および相関係については、未知の部分が多い。

本論文は、 $(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3$ の輝石組成を持つ高压相、とりわけメジャーライトガーネット、珪酸塩イルメナイト相およびペロブスカイト相について、それらの高温高压下における構造と物性、および相関係と相転移の様子を解明するために、天然の試料と合成試料について、超高压実験と分析電子顕微鏡観察、および放射光による高温高压X線その場観察の手法を用いて研究したものである。

その結果、衝撃を受けた隕石中に天然産の珪酸塩イルメナイト相とペロブスカイト相を世界に先駆けて発見し、隕石の母天体における衝撃によりそれら高压相が生成される機構と条件に関する重要な結果を得ることができた。また、 $(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3$ メジャーライトガーネットは、20 Gpa, 1950 °Cを越える高温高压下の広い領域で立方晶系であるが、それが冷却すると正方晶系に転移し、その際に双晶を形成することを示唆する結果を得た。さらに、 MgSiO_3 イルメナイトについて、高温高压下での構造データから、まだ十分に高い精度ではないが、高温高压下の状態方程式を得る事に成功した。

これらの結果の一部は、すでにサーキュレーションの高い国際誌および国内誌に掲載され、おおきな反響を呼んでいる。

以上、本研究により、著者は高温高压下における輝石組成鉱物の構造と物性、および相関係と相転移について、重要な成果をあげた。

よって著者は、北海道大学博士(理学)の学位を授与される資格あるものと認める。