

# ハイパワーレーザーおよびXFELを用いた珪酸塩鉱物の高圧物性に関する研究 Behavior of dynamically compressed silicates by high-power lasers and XFEL

佐藤友子、尾崎典雅、梅田悠平、関根利守、丹下慶範、瀬戸雄介、高橋謙次郎、宮西宏併、  
松岡健之、兒玉了祐、富樫格、犬伏雄一、藪内俊毅、矢橋牧名

T. Sato, N. Ozaki, Y. Umeda, T. Sekine, Y. Tange, Y. Seto, K. Takahashi, K. Miyanishi,  
K. Matsuoka, R. Kodama, T. Togashi, Y. Inubushi, T. Yabuuchi, M. Yabashi

広大理、阪大工、JASRI、神戸大理、阪大レーザー研、理研  
Hiroshima Univ., Osaka Univ., JASRI, Kobe Univ., RIKEN

ケイ酸塩は地球や惑星の最も主要な構成成分である。惑星の初期形成と進化の過程は、ケイ酸塩の超高压高温下における性質と密接に関係しており、動的圧縮手法によるケイ酸塩物性研究の多くは地球惑星科学的興味に動機づけられている。動的圧縮は、静的圧縮では到達不可能な温度圧力を実現できるだけでなく、惑星衝突時に起こる高歪み速度下における物質の破壊・変形・転移などの動的な過程を再現できる方法として、今後、より重要になっていくと考えられる。特に、ハイパワーレーザーとX線自由電子レーザー（XFEL）の組み合わせによる衝撃圧縮下その場X線回折は、極めて短い時間間隔で起こる構造変化を追う手段として非常に有用である。我々は、従来の大型レーザー施設における精度のよい衝撃波速度測定と、XFEL施設におけるその場X線回折実験を並行して進めている。

ハイパワーレーザー誘起衝撃圧縮下その場X線回折測定は、SACLAのBL3・EH5ハッチにおいて、エネルギー10keV・エネルギー幅 $\Delta E/E \sim 0.5\%$ ・パルス幅10fsecのX線を用いて実施した。高強度ナノ秒パルスレーザー（パルス幅3ns・エネルギー10J・波長532nm・試料位置での集光径 $\phi 200 \sim 400 \mu\text{m}$ ）を試料に照射し、X線は衝撃波が試料中を伝播する間の適切なタイミングに照射された。試料には単結晶石英を用い、到達圧力は最大100GPa程度と見積もられる。

また、 $\text{MgSiO}_3$ 組成のエンスタタイト、およびその高压相であるブリッジマナイトについて、線結像型干渉計（VISAR）と放射温度計を用いた衝撃波速度と温度測定を実施している。実験は大阪大学レーザー研究所の激光レーザーを用いて行った。レーザーのパルス幅と波長はそれぞれ2.5ns、527nm、 $\phi 1\text{mm}$ 程度に集光して試料に照射し、その全エネルギーとエネルギー密

度はそれぞれ500–750Jと $10^{12} \sim 10^{13} \text{ W/cm}^2$ 程度であり、到達圧力は400–600GPaと測定された。

図1には衝撃圧縮下における単結晶石英のX線回折パターンの時間変化を示す。時間 $t$ は試料裏面に衝撃波が到達してからの経過時間である。 $t=4\text{ns}$ では衝撃波が未到達の母相に由来するスポットに加え、圧縮された領域からの回折スポット（灰色の丸で囲ったもの）が観察された。これらのスポットの広がりや母相と同程度であり、 $a$ 軸方向には全く縮んでいないが、 $c$ 軸方向には10%程度（一般に知られるユゴニオ弾性限界と同程度）縮んでいることを示しており、石英は一軸的・弾性的に圧縮されていると考えられる。一方、 $t=9\text{ns}$ では、非常にブロードなスポットが複数観察され、試料が塑性変形しモザイク化したことを明瞭に示している。さらに、石英では説明し得ないスポット（灰色丸）も観察されており、方位関係を保ったまま未知の高圧相が生成したことが示唆される。

エンスタタイトのユゴニオは、過去の報告（Spaulding et al. 2012）と大きく異なり、流体のユニバーサルユゴニオ（Ozaki et al. 2016）とよく一致している。また、粒子速度7.9km/s付近にユゴニオの不連続が示唆され、フォルステライトと同様に（Sekine et al. 2016）、晶出した $\text{MgO}$ の再溶融が起こっている可能性がある。

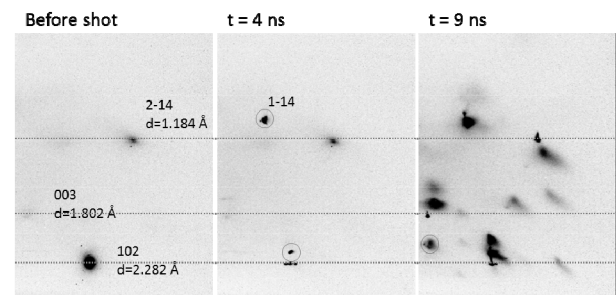


Fig.1. Time-resolved XRD pattern of Z-cut quartz shock-compressed with a nanosecond pulse laser. Gray dotted lines are guide for eyes.