

受入年度：2022 年度 後期

提出日：2023 年 05 月 22 日

共同利用の種類： 一般共同利用

課題名：含水スティショバイトの合成と含水量が弾性的性質に与える影響-下部マントル中
域地震波散乱体へのインプリケーション

共同研究員氏名： 森 悠一郎

所属・職名： 東京大学大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻

分担者氏名： 芳野 極

分担者所属・職名： 岡山大学 惑星物質研究所 教授

研究報告・ワークショップ実施報告：

本課題の目的は、**高圧下での含水 post stishovite その場弾性波測定実験をおこない、水が SiO₂ 多形へ与える弾性的性質の影響を探索することにある。**

地震学的観測から、下部マントルには小規模な不均質が偏在し短波長の地震波が散乱されることが知られている[e.g., Kaneshima and Helffrich (1999) Science]。これらの散乱体は沈み込むスラブに沿って多く見られ、なかでも 1400-1600 km に散乱体の数が多くそれ

より深い部分では散乱体が見られる頻度は減る。一方で、1900 km 以下では見られていないことが知られている。[e.g., Kanshima (2018) PEPI]。これらは沈み込む海洋地殻を構成する鉱物によるものであると考えられ、散乱体の生成要因の有力な候補として SiO_2 stishovite の強弾性転移にともなう剪断速度 V_s の著しい低下によるものが挙げられる。 SiO_2 stishovite の強弾性転移は~50 GPa 以上[Ono et al. (2007) EPSL]でおこり、地震波散乱体が見られる領域よりも高圧力である。しかし、沈み込むスラブに存在する SiO_2 は古くより Al の固溶とそれに伴う H_2O 固容量の増大が指摘されており[e.g., Chung and Kagi (2002) GRL]、これらの固溶した stishovite は相転移圧力は大きく下がることが高圧実験によって示されてきた [Lakshtanov et al. (2007) PNAS]。また、Al を含まない pure な stishovite はこれまで ppm オーダーでしか水を含むことができないとされてきた[Bolfan-Casanova et al., (2009) PEPI]。しかし、2011 年の高圧下水熱合成に合成された wt%オーダーで水を固溶した stishovite の研究を皮切りに[Spektor et al., (2011) PNAS]、Al を含まない stishovite へ metastable な状態で大量に水が溶け込むことがわかってきた [Spektor et al., (2016) Ame Min]。これらの研究で用いられた NMR によって、hydrous stishovite 結晶中の H の濃度は Si 濃度と相関していることが明らかになり、灰礬柘榴石中での四面体配位で見られるハイドロガーネット欠陥の様な具合で八面体サイトの Si 欠陥が $\text{Si}^{4+} \rightarrow 4\text{H}^+$ で直接置換することによって多量の水を含むと考えられている [Spektor et al., (2011) PNAS; Pafley et al., (2022) JGR]。このことから stishovite でも見られ、また、高圧下では含水 stishovite、含水 post-stishovite がより安定になり、加えて CaCl_2 構造であ

る post-stishovite への相転移圧力点も低下することが実験的にも確認されている[Nisr et al., (2017) JGR; Nisr et al., (2017) Ame Min]。

そこで、本研究では沈み込むスラブ中に存在する stishovite がより地球科学的により現実的な系 (Al-, H-を含んだ系) でおこない地球科学的インプリケーションを行うと同時に水が SiO₂ 多形へ与える弾性的性質の影響の炙り出しをおこなう。 H を含んだ post-stishovite [Lin et al., (2020) PNAS; Nisr et al., (2020) PNAS] や Al, H を含んだ post-stishovite [Zhang et al., (2022) JGR; Ishii et al., (2022) PNAS] は下部マントル中域圧力でも分解せずに水を保持したままコア・マントル境界の深さまで沈み込むことが示唆されている。一方で、これらの弾性波速度の測定実験は数が非常に限られ、それらも地震波散乱体の深さに相当するような下部マントル中域までの圧力で強弾性転移にともなう弾性波速度の低下をターゲットにしたものが多く、下部マントルの中域～マントル最下部までを一貫しておこなった実験はこれまでにない。

弾性波測定の出発試料である含水 stishovite ならびに含水 Al bearing stishovite の合成のため、IPM の一軸加圧式川井型超高压発生装置(USSA-5000)を用いておこなった。

当初、含水 stishovite の試料合成は先行研究でおこなわれた手法を踏襲したが [Spektor et al. (2016) Am. Mineral., Nisr et al. (2017) JGR. Solid Earth など]、coesite の共存や stishovite の無水化などにより、実験条件最適化に時間を要した。最終的には、Silicic acid (SiO₂ · nH₂O) を出発物質として、Pt カプセル中にいれている。先行研究より高圧・低温・加熱保持時間の大幅な短縮によって ~4 wt% water を含んだ含水 stishovite 単相を作ること

に成功した。一方で、含水 Al-stishovite の多結晶合成は、29 GPa, 1800 °Cの条件で Al bearing hydrous post-stishovite の回収と 15 GPa, 1400 °Cの条件で Al bearing hydrous post-stishovite の回収に成功している。

これらの弾性波測定はチューリッヒ工科大学に設置の Brillouin 散乱測定装置を使用する。高圧発生は DAC を用いて、Brillouin 散乱測定装置に組み込むことで、高圧下“その場”弾性波速度測定実験をおこなう。ここで、DAC + Brillouin 散乱測定装置をもちいた弾性波測定は多結晶体でおこなう。弾性波速度異方性（正確には多結晶であるので、弾性波速度の角度依存性）の影響をなくすためにも試料は細粒であることが望まれる。現在、研究代表者は IPM で合成した試料をチューリッヒ工科大学に持ち込み、DAC を用いた超高压下弾性波測定実験をおこなっている最中である。