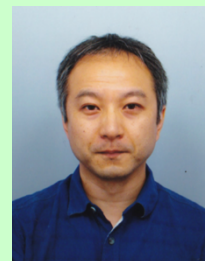


**マントル遷移層スラブの軟化と深発地震に関する実験的研究**  
Experimental study on syn-deformational reaction processes at high pressures: Implications for slab weakening and deep earthquakes

課題番号：18H05232

久保 友明 (KUBO, TOMOAKI)

九州大学・理学研究院・教授



研究の概要（4行以内）

D-DIA 型および D-111 型の高圧変形装置、放射光単色 X 線、AE 測定システムを用いた変形・相転移その場観察実験と実験回収試料および衝撃変成隕石の微細組織観察から、相転移と変形の相互作用プロセスを明らかにし、スラブ地震学の成果と合わせて検討することにより、相転移が遷移層スラブの軟化と深発地震発生に果たしている役割を解明する。

研 究 分 野：地球内部物質科学

キ ー ワ ー ド：地球内部物質、相転移、変形破壊、高温高圧、放射光

### 1. 研究開始当初の背景

マントル遷移層に沈み込んだ海洋プレート（遷移層スラブ）の挙動は地球マントル対流を理解する鍵である。本研究では長年未解決とされてきたスラブの軟化と深発地震の発生という2つの問題に着目する。これまでに相転移による細粒化が変形の局所化を誘起し、岩石の軟化やせん断不安定化をいたる可能性が指摘されているが、遷移層圧力下での実験研究が欠けており実証されていない。本研究では非平衡相転移と変形の相互作用というダイナミックな観点から直接的な実験研究を行い、隕石鉱物学、スラブ地震学の成果と組み合わせ、相転移が遷移層スラブの軟化と深発地震発生に果たしている役割を考察する

### 2. 研究の目的

上記の背景をふまえ本研究では以下の3点を目的とし研究を進める。1) D-111 型高圧変形装置と放射光単色 X 線、acoustic emission (AE)測定システムを組み合わせた遷移層圧力下における変形・相転移実験手法の確立、2) せん断変形場でオリビンスピネルおよびポストスピネル相転移実験を行い、細粒化と軟化、変形の局所化と不安定化プロセスを解明する、3) これらの実験研究と隕石鉱物学、スラブ地震学の成果を組み合わせ、両相転移が遷移層スラブの変形と多様性、深発地震発生に果たしている役割を解明する。

### 3. 研究の方法

D-DIA 型および D-111 型の高圧変形装置を用いてせん断変形場で  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$  および  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  のオリビンスピネル相転移、および  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  のポストスピネル相転移実験を行う。放射光単色 X 線および AE 測定システムを組み合わせ、相転移速度曲線と応力-歪み曲線、AE 活動を同時その場測定する。また回収試料の相転移および変形微細組織を FE-SEM、EBSD および FIB-TEM を用いて分析し、衝撃変成隕石に見られる組織との比較検討も行う。その他関連する高圧相転移についても同手法で検討を行い、力学データと微細組織観察から相転移と変形との相互作用を考察する。さらに深発地震からの地震波およびその変換波を解析し、準安定オリビン領域や 660km 不連続面の凹凸、多重不連続面、それらと深発地震の震源分布との関係などを調査する。これら岩石物性とスラブ地震学の結果に基づき、遷移層スラブの変形挙動について考察する。

### 4. これまでの成果

世界最大級の D-111 型高圧変形装置をデザインして九州大に導入し、大容量試料を用いた遷移層条件での高圧変形実験が可能になった(図1)。平行して放射光施設 PF-AR NE7 ビームラインの高度化を行い、遷移層圧力下のせん断変形場において変形・相転移プロセスのその場観察が可能になった。さらにこれ

までの 6 端子 D-DIA 型 AE 測定システムを改良し、オシロスコープの高度化と AE 受信機の開発を進め、8 端子 D-111 型 AE 測定システムの立ち上げを行っている (図 2)。

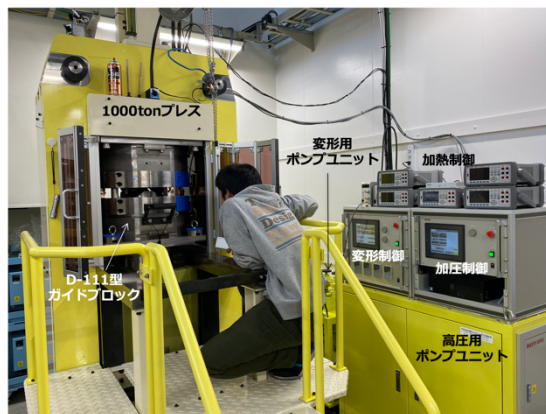


図1 九州大に導入した1000ton D-111型高圧変形装置

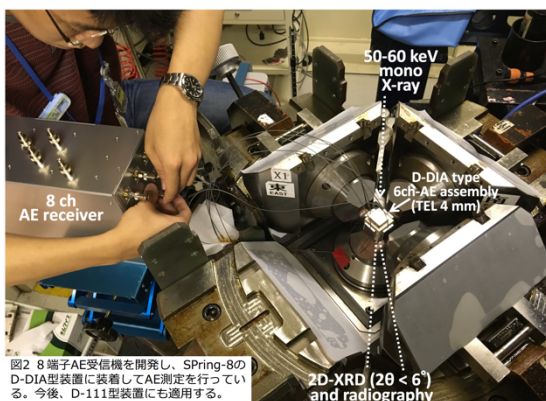


図2 8端子AE受信機を開発し、SPRING-8のD-DIA型装置に装着してAE測定を行っている。今後、D-111型装置にも適用する。

それらの技術に基づき、 $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$  および  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  のオリビン-スピネル相転移について、5-25GPa の条件で一軸圧縮およびせん断変形場の相転移実験を進めている。相転移にともなう歪み速度の増加や流動応力の減少といった反応誘起の軟化現象を検出しており、特に大過剰圧下でその傾向が顕著である。また  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$  のオリビン-スピネル相転移に関しては、8GPa の高圧力下においても低温では相転移とともに AE 活動が活発になることが明らかになった。

変形-相転移実験試料を FE-SEM および EBSD を用いて解析した結果、どちらの相転移も、主応力軸に垂直な方向へ選択的に粒界反応および粒内反応が進行する傾向があり、特に大過剰圧下で歪み量が増加すると、細粒反応相が連結したネットワーク組織が形成される。AE 活動が見られた試料では変形の局所化も起こり始めている。同様に衝撃変成を受けた隕石の剪断変形による熔融脈や多様な相転移機構の FIB-TEM 観察も平行して行っている。

また深発地震からの地震波や変換波を詳細に解析することで、下部マントルスラブ周辺の地震波散乱体を系統的に調査し、沈み込

んだ海洋地殻物質の挙動を検討した。同様にポストスピネル相転移が原因とされる 660 km 地震波不連続面の微細構造を解析した結果、特に冷たいスラブ内部に限って不連続面が二重に分裂していることを見いだした。カイネティクスを考慮すると、その二重不連続面はポストスピネル相転移が 2 段階に分かれて進行することで説明できる。2 段階で進行すると生成する共析コロニーはより粗粒化する傾向があり、下部マントルスラブのレオロジーに影響を与えると考えられる。

その他に、リングダイトがパイエルス機構で変形した場合の遷移層スラブ強度を推定した。また緑泥石のポリタイプによる構造変化とせん断不安定化の関係、オリビンと蛇紋石 2 相系における変形の局所化、アナログポストペロフスカイト相転移と変形の相互作用といった、遷移層スラブ以外の反応についても幅広く検討し、高圧相転移による強度変化とせん断不安定化プロセスの多様性と普遍性を検討している。

## 5. 今後の計画

現在開発中の 8 端子 D-111 型 AE 測定システムを早期に完成させ、D-DIA 型および D-111 型両方の装置について、AE 測定と放射光分析の同時その場観察をルーチン化させる。そして  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  のオリビン-スピネル相転移についても AE をともなうせん断不安定化条件を探索し、 $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$  の結果と比較しながら普遍性を見いだす。また D-111 型装置を用いた  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  のポストスピネル相転移実験を開始し、特に共析コロニーの形成にともなう強度変化を明らかにする。それらの力学データを微細組織観察から解釈し、衝撃変成隕石で見られるプロセスとも比較しながら相転移にともなう強度変化とせん断不安定化プロセスを解明する。また、準安定オリビンの存在領域と震源分布関係などスラブ地震学の手法で見いだされる結果と物質科学の知見を総合し、相転移が遷移層スラブの変形挙動と深発地震の発生にどのように関わっているのか明らかにする。

## 6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

**Kubo, T., Moriyama, K., Mori, Y., Imamura, M., Koizumi, S., Nishihara, Y., Suzuki, A. and Higo, Y.**, In-situ X-ray observations of the olivine-spinel transformation under shear deformation: preliminary results on the reaction-induced weakening, JPGU meeting 2019, Makuhari, May 27, 2019

**S. Kaneshima**, Seismic scatters in the lower mantle near subduction zones, *Geophys. J. Int.*, 218, 1873-1891, 2019

## 7. ホームページ等 : 該当なし