

## 変形実験と高解像度組織観察を用いた脆性－塑性遷移領域の微視的変形機構の解明

地学専攻 博士課程後期3年 古川美穂

地殻の断層帯では深さに伴い卓越する変形機構が変化し、浅部では脆性変形（粉砕）が、深部では塑性変形（流動）が卓越する<sup>[e.g., 1]</sup>。このうち内陸大地震が発生するのは、岩石が脆性と塑性の両者の中間的な変形をする深さ領域である。しかしながら、地殻を構成する石英長石混合系の脆性－塑性遷移について、微視的な変形機構が明らかになっていなかった。本研究では、石英長石混合系を対象とし、脆性－塑性遷移領域の変形機構を明らかにするため剪断変形実験を行った。

はじめに、Griggs型固体圧変形試験機を用いて、複数の深さ環境を模した温度圧力条件下で石英長石混合粉末を変形させた<sup>[2]</sup>。力学結果は、浅部条件では深さに伴い最大応力が増加する一方、深部条件では深さに伴い最大応力は減少した。微細組織は、浅部条件では粉砕が卓越した一方、深部条件では流動的な構造が見られた。さらに、透過電子顕微鏡を用いた詳細な組織観察の結果、深部条件の試料内に粒径数十ナノメートルの極めて微小な粒子を発見した。これらの結果から、脆性－塑性遷移領域において、ナノ粒子部分の粒界滑りが岩石の強度を著しく低下させるという結論を得た。

さらに、これらの実験回収試料を用いて、試料内部の3次元亀裂ネットワーク構造を可視化した。高解像度 $\mu$ -CT解析の結果、脆性変形の卓越する浅部条件の試料で亀裂が発達する様子を捉え、塑性変形の卓越する深部条件の試料と比較することができた。

以上の実験に加え、少量の水を付加した実験も行った<sup>[3]</sup>。実験間で温度圧力条件を同一とし、付加する水の量のみを変化させた結果、水付加量に関わらず試料中にナノ粒子が見られた。その一方で、力学結果としては、水の増加に伴って最大応力が減少した。付加した水の量が最も多い試料では欠陥密度の高い領域が見られたことを考慮すると、水の付加によって転位の生成が促されつつナノ粒子間の粒界滑りも活性化され、全体の強度が低下した可能性があると考えた。

博士研究を通じて、地殻内部の深さに伴う変形機構の変化を実験に基づいて示すことができた。断層におけるナノ粒子分布の普遍性を考えると、岩石変形機構を考えるうえで流体－ナノ粒子間の相互作用が重要であることを示唆している。

### 参考文献

[1] Kohlstedt et al. (1995, *JGR: Solid Earth*) <https://doi.org/10.1029/95JB01460>

[2] Furukawa et al. (2025, *JGR: Solid Earth*) <https://doi.org/10.1029/2025JB031249>

[3] Furukawa et al. (2025, *JpGU*)