11 － 4　岩石の高温高圧変形実験から探るスラブ内地震発生メカニズム
Mechanism for intra-slab earthquakes illuminated by rock deformation experiments under high pressure and temperature

東北大学大学院理学研究科地学専攻　澤燦道
Department of Earth science, Faculty of Science, Tohoku University, Sando Sawa

スラブ内地震は沈み込む海洋プレート深部，60-660 km，ときには 700 km もの深さで発生する．地下深部は高温高圧なため，岩石は脆性的ではなく塑性的に変形すると推測されている．したがって，スラブ内地震の発生メカニズムはプレート境界地震のような浅い地震とは異なっていると考えられている [1)]．

スラブ内地震の中でも特に，60-300 km の深さで発生する地震を稍深発地震と呼ぶ．海洋プレートの温度構造と変成岩の相図，震源分布から，含水鉱物が豊富に存在している領域に稍深発地震の震源が集中することが明らかになった [2-3)]．そこで，含水鉱物が脱水することで岩石にかかる有効法線応力を下げ，脆性破壊を可能とする脱水脆性化モデルが地震発生メカニズムの一つとして有力に支持されるようになった．冷たい沈み込み帯において二重深発地震面上面を構成する青色片岩中には含水鉱物のローソン石を含むことがあり，ローソン石の脱水が稍深発地震を引き起こす可能性が実験的に明らかにされた．一方，青色片岩中には藍閃石も含まれており，Incel et al. (2017) では，藍閃石の高温高圧変形実験から藍閃石の相転移が地震を引き起こすとした [4)]．しかし，これらの実験は稍深発地震が発生する領域の中でも浅い場所に相当する圧力であったため，Shiraishi et al. (2021) ではローソン石のより高圧での変形実験を行った [5)]．放射光を変形中の岩石試料に照射しその場 X 線回折観察を行うことで, 変形中の岩石の相変化を同時に観察することができる．結果, ローソン石が脱水する前に急激な強度低下が観察された（第 1 図）．その後，ローソン石の脱水が起きるが，脱水に伴う強度低下は緩やかであった．回収試料を走査型電子顕微鏡で観察したところ，大きな変位を伴う断層が形成されていることが確認された．ローソン石の脱水が X 線回折から確認されなかった試料でも断層が形成していたことから，断層形成にはローソン石の脱水は必ずしも必要でないことが明らかになった．一方, ローソン石の強度には圧力依存性がなかったことから, ローソン石全体としては塑性挙動を示しつつ，局所的な脆性破壊が生じるような半脆性挙動であることが示された．スラブ深部でも，断層形成つまり稍深発地震の発生には含水鉱物の脱水が必ずしも必要でないことが示唆される．

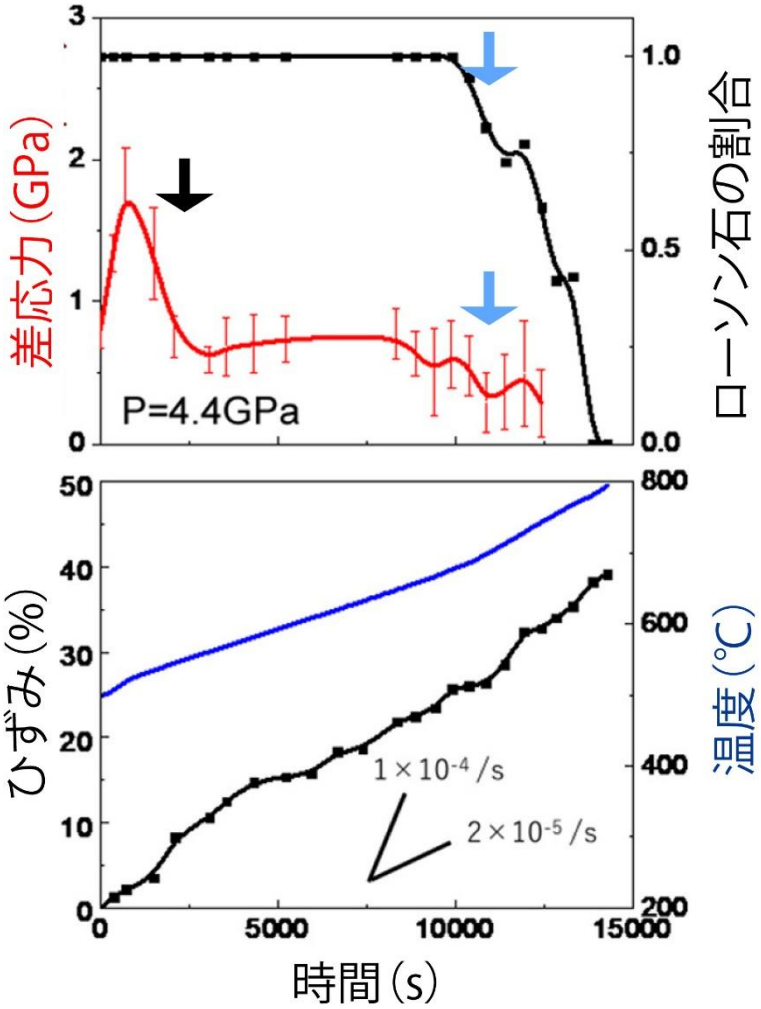
深さ 400-660 km の深さで発生するスラブ内地震は深発地震と呼ばれる．深発地震の震源の多くは，かんらん石の相転移が低温のため遅れている領域（準安定かんらん石相領域：MOW）に位置するため，かんらん石のウォズレアイト（β 相）やリングウッダイト（γ 相）への相転移が断層形成過程に少なからず寄与していると考えられている．しかし，400-660 km 深さ相当の圧力でかんらん石の変形実験を行うことは技術的に容易ではなく，かんらん石のアナログ物質の 1 つであるゲルマニウムかんらん石を用いて変形実験が行われてきた．ゲルマニウムかんらん石はかんらん石のおよそ 10 分の 1 の圧力で γ 相へ相転移する．ゲルマニウムかんらん石を用いた変形実験によって，相転移の際に生じる細粒な γ 相が断層形成に大きく寄与していることが明らかになった．しかし，実験室で再現される断層形成と天然で生じる断層形成には大きなスケールの隔たりがあった．そこで，我々は岩石の変形に用いる試験機に圧電素子の一種である AE センサを取り付け，変形中の

AE 観測を行った．AE は地震波と同じく弾性波であるが, 計測されるのは電圧であるため, レーザードップラ干渉計を用いて，電圧の単位を速度の単位に校正した．校正することで，天然の地震波と同じ解析を行い，天然の地震波特性と比較することが可能となる．実験室で観測された AE のコーナー周波数と地震モーメントの関係は, 天然の地震のスケーリング則に従うことが明らかになった．また，応力降下量は温度の違いによって異なり，100 ℃の違いが数百 MPa の応力降下量の違いを生じさせた．このように，AE センサを校正することで，実験室で再現される地震と天然の地震との定量的な比較が可能になりつつある．

（東北大学　澤　燦道）
Sawa Sando

参考文献

1) Frohlich, C. (1989), *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, **17**, 227. The nature of deep-focus earthquakes.
2) Hacker et al. (2003), *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **108**(B1). Subduction factory 2. Are intermediate‐depth earthquakes in subducting slabs linked to metamorphic dehydration reactions?
3) Kita et al. (2006), *Geophysical Research Letters*, **33**(24). Existence of a seismic belt in the upper plane of the double seismic zone extending in the along‐arc direction at depths of 70–100 km beneath NE Japan.
4) Incel et al. (2017), *Earth and Planetary Science Letters*, **459**, 320-331. Laboratory earthquakes triggered during eclogitization of lawsonite-bearing blueschist.
5) Shiraishi et al. (2022), *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **127**(2). Localized deformation of lawsonite during cold subduction.



第 1 図　ローソン石の変形実験での応力・ひずみ・温度・ローソン石の時間発展曲線．黒矢印と青矢印はそれぞれ，急激な応力降下と脱水に伴うゆるやかな応力降下を示す．

Fig. 1　Stress, strain, temperature, fraction of lawsonite - time curves in the deformation experiment on lawsonite. Black and blue arrows indicate fast stress drop and slow stress drop accompanied with the dehydration, respectively.