

## 地震すべりの物理化学 - ナノ粒子潤滑 -

## Dynamic mechanochemistry of seismic slip -nano spherules lubrication -

# 田中 秀実 [1]; 陳 維民 [2]; 陳 一銘 [3]; 宋 艷芳 [3]; 馬 國鳳 [2]

# Hidemi Tanaka[1]; Wei-Min Chen[2]; Yi-Ming Chen[3]; Yen-Fang Song[3]; Kuo-Fong Ma[2]

[1] 東大・理・地球惑星; [2] 台湾中央大学; [3] 台湾国家同步輻射研究中心

[1] Dept. of Earth and Planet Sci., Univ. Tokyo; [2] NCU, Taiwan; [3] NSRRC, Taiwan

1999年に台湾中部で発生した集集 (Chi-Chi) 地震の活断層である車籠埔 (Chelungpu) 断層について、2004年から2005年にかけて地下深部 (1100 m) における断層帯の貫通掘削が行なわれ、断層破砕帯物質が回収された。掘削孔は Hole A, B, C の3つからなり、そのうちの Hole A, C の掘削コアを用いて、1999年の地震滑り面の同定、熱属性の測定、摩擦熱エネルギーの計算、破壊エネルギーの定量が行なわれた (Tanaka et al 2006, GRL, Ma, Tanaka et al., 2006, Nature, Tanaka et al 2007, GRL)。本発表では Hole C コアで見いだされた滑り帯の断層岩 (ultra-cataclastite) について、その超微粒子部の TEM および TXM による形状観察の結果、および XRD, HR-TEM を用いた SAD, EDX 解析に基づく、超微粒子の鉱物学的特徴を記述し、形成過程について議論する。

回収された Hole C コアの滑り集中帯は約 12 cm の厚さを持ち、その中には粉碎微粒子からなる 4 枚の層が認められた。滑り集中帯の下位には、未破壊の泥岩母岩が接している。微粒子層はそれぞれ 3 cm 程度の厚みを示し、最大粒径は約 0.1 mm である。微粒子層の底部にはさらに細粒な粒子からなる厚さ 1 cm 弱の超微粒子層が存在し、上部の微粒子層と接している。超微粒子層には肉眼で確認できる粒子は含まれていない。微粒子層と超微粒子層は構造的に漸移的な関係にあり、微粒子層 + 超微粒子層ですべり帯の一単位をなしているように見える。XRD 解析によって、この層はほとんど石英からなることが分かった。

超微粒子層の粒径を最大粒子 (約 100  $\mu\text{m}$ ) から粉碎起源の最小粒子 (100 nm) まで、光学顕微鏡, SEM, HR-TEM を使用して測定し、その粒径分布モデルを得た ( $N(D) = 0.0045D^{-2.3}$ ;  $N$ , 粒子数,  $D$ , 粒径)。SEM (SEI) の観察では、破砕粒子を包むように、粘性の高い物質が薄い膜を作り、その粘性物質が破砕粒子の端部から糸を引く産状が確認された。この組織は大規模かによって、滑り変形実験後の試料に観察された組織と同じものであると考えられる。

HR-TEM によって確認された粒子の最小粒径は 3 nm であった。100 nm より大きな粒径の粒子は、粒径分布が上記のベキ状則で近似され、また不規則な形状を示すのに対し、100 nm 以下の粒子は、小さくなるほどより球形に近い形状を示し、等間隔、等粒状の粒径分布を示し、組織は魚卵状を呈する。この粒子を仮にナノ球顆と呼ぶ。ナノ球顆の粒径分布は上記モデルでは記述できない。SAD および EDX の観察の結果ナノ球顆は一部に非晶質の粒子が認められるものの、ほとんどが結晶性の高い石英からなり、ごくわずかに炭酸塩を含んでいた。この結果は XRD 解析の結果と調和する。

以上の観察結果から次の3つのことが考察される。(1) 石英ナノ球顆の粒径分布 (破壊の粒径分布モデルで記述できないこと) および形状 (球形) から判断してこれらが破壊のみによって生じたわけではないことは明らかである。(2) SEI 観察の結果を考慮すると、ナノ球顆は、破砕粒子を包む粘性的な挙動を印象づける物質を構成しているものと考えられる。(3) 母岩の泥岩には比較的少量の雲母系粘土鉱物や長石類が含まれており、一方で超微粒子層にはそれらが欠乏していることは、滑りに伴うメカニカルな粉砕とともに溶解-元素散逸-石英選択的沈殿が発生したことを物語っている。したがってこれらは co-seismic なすべり帯の物理化学過程の一つをなすものであろう。Di Toro の報告 (DiToro, Goldsby, and Tullis 2004, Nature) 以来、地震滑りに匹敵する速度の滑り実験で、ダイナミックな剪断強度の低下が見いだされている。いくつかの実験では、実験生成物にゲルが含まれることを確認している。今回の観察結果とこれまでの研究例を比べると、大きな相違はナノ球顆の存在 (ある場合とない場合がある) と物質の結晶性ということがわかる。これらの存在説明がなされれば、上記の物理化学過程は、複数あると考えられるすべり帯の動的弱化過程の一つをなすものとみなされ、ある程度重要である。粉碎-反応-溶解沈殿に関する定量的な過程を考えてみたので、発表時に紹介する。