

天然鉱物と高圧実験から固体天体内部の現象を探る

スタッフ 准教授 久保 友明
助教 上原 誠一郎*

*2020年3月末日 定年退職予定

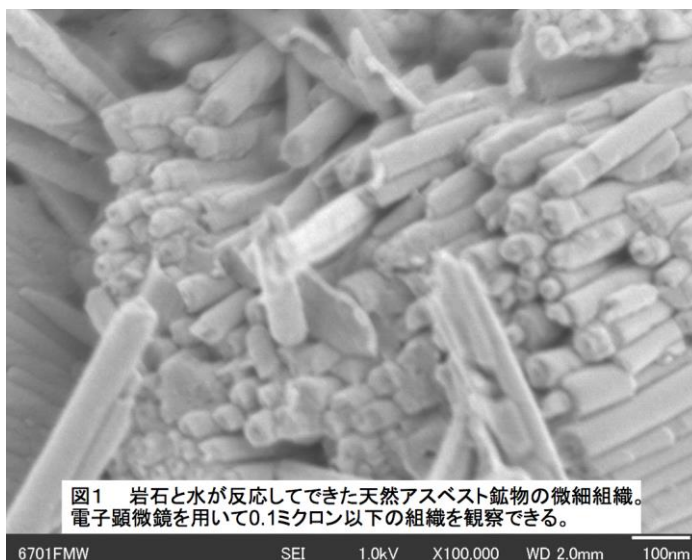
プレート運動やマントル対流運動など固体地球惑星で起こるダイナミックな現象を理解する鍵はミクロな物質科学にあります。我々は、岩石、鉱物、隕石、氷など地球惑星を構成する物質を対象に、主に二つのアプローチによって固体天体内部で起こる様々なプロセスの解明に取り組んでいます。

一つは地球表層を構成する鉱物をナノスケールで研究する“Nano Mineralogy”です。天然の鉱物にはそれが形成された環境やプロセスに関する様々な情報が記録されています。国内外でのフィールド調査により鉱物試料を採集し、X線回折分析や電子顕微鏡観察による詳細な分析からそれらを解き明かします。

もう一つは人間が到達できない惑星内部の高圧環境を実験室に再現して研究する“High-Pressure Mineral Physics”です。扱える試料サイズは小さいですが、地球物理学的な観測事実に基づいて作業仮説を立て系統的な実験を行っていくことで、天体内部のマクロな現象を支配しているミクロな岩石プロセスに迫ることができます。

(1) Nano Mineralogy: 地球表層部での鉱物多様性の実証的解明

地球の表層部には多量の水が存在します。地球生成以来、水と岩石が反応し、鉱物の生成と変化を繰り返しています。溶液を反応場とする鉱物、特に粘土鉱物の生成と変化を明らかにし、地球表層部の進化の理解を深めることを目指します。一方で、微粒の粘土鉱物は極めて反応性に富む鉱物であり、その分布は人類の生活の場と重なり、粘土鉱物の性質を理解することは、有害物質による汚染等の環境問題や新しい機能を有する物質の創製にも寄与しています。また、地球表層は私たちが鉱物を直接手にとって観察し、採集出来る貴重なフィールドです。ここでは約5000種の鉱物が記載されていますが、まだ、未発見の新種の鉱物も残されていますので、記載鉱物学的手法による鉱物の多様性に関する研究も進めています。最新のX線回折装置と電子顕微鏡を相補的に用いて、ナノスケールにおよぶ詳細な物質研究を展開しています(図1)。



(2) High-pressure Mineral Physics: 地球惑星深部で起こる相転移と流動現象の解明

岩石惑星や太陽系外縁部の氷天体内部では、岩石や氷が高密度の結晶構造に相転移して層構造が形成されるとともに、それらが固体のまま流動して熱対流運動が起こっています。我々は“Deep Rock Dynamics”をキーワードに、直接見ることのできない惑星内部の Deep な現象を高圧変形装置によって再現し、放射光 X 線を使ってその場観察する実験研究を行っています。研究対象となる Rock とは、地球深部岩石や高压鉱物、惑星氷、衝撃を受けた隕石などです。特に相転移動力学や固体流動など岩石の Dynamics に着目し、惑星内部の動的挙動を理解することを目指しています。

例えば、地球深部に沈み込んだプレートで起こる深発地震や月内部で起こる深発月震は大きな謎です。我々は高压下で岩石が相転移や部分熔融することで、変形が局所化して断層運動(つまり地震)が起こる可能性について検討しています(図2)。

また太陽系氷天体のテクトニクスや内部海の存在、系外氷惑星のマンテル対流運動に関連した惑星氷の相転移や変形実験も行っています(図3)。惑星氷はこれまでの予想以上に塑性流動しやすいことが明らかになりつつあり、極低温環境下で活発な地質活動が起こる原因と考えられます。

さらに隕石の衝撃変成作用の解明にも取り組んでいます。天体衝突によって高温高压状態が発生しますが、その時間スケールは数秒以下と短いため、隕石中には非平衡もしくは準安定な相転移がしばしば観察されません。それを実験的に再現し衝突の時間スケールを見積もることで、impactor サイズを制約することができます。このように惑星深部物質の相転移と流動現象を実験的に解明しながら、天体内部で起こる様々なダイナミック現象を解き明かす研究を行っています。



図2 放射光X線を使って高温高压下で岩石の相転移や変形挙動、断層運動などをその場観察できる実験装置

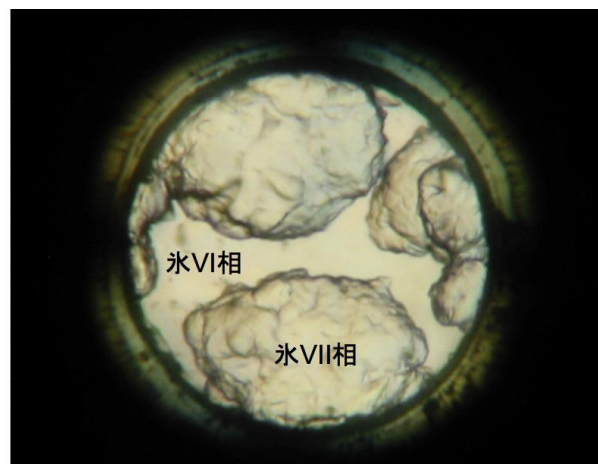


図3 大型氷天体内部の層構造形成に関わる氷のVI-VII相転移の観察(常温, 約2万気圧, 穴の直径が約300ミクロン)。