

「微動」の発見以来15年あまりを経て、スロー地震研究のステージは「発見」から「理解」へとその重心を移しつつある。低速変形から高速すべりまでの地震現象の統一的な理解へ向けて、世界各国の地震学者がスタートを切っているのではないだろうか。

その一方、地震学者にとってはほとんど異分野であろう非平衡物理学においても、多様な摩擦現象の理解へ向けた新たな試みが開始されている。たとえば、透明な弾性体を用いた室内摩擦実験では、「その場観察」によってスロー地震に酷似した複雑な時空ダイナミクスが発見されている。のみならず、遅いすべりは不安定すべりに先行するが、これは巨大地震に先行するスロー地震を想起させる。このような「遅い運動と速い運動の切り替わり」は、弾性体のみならず流体系においても見られる。例えば粘弾性流体の界面運動では高速破壊的な運動とゆっくりした粘性的運動が競合する。これらの実験系はもちろんプレート境界のすべりと同一ではないが、弾性体や流体には固有の長さ定数がないので、原理的には巨大な系とのアナロジーが成立する可能性がある。

他方、すべり現象一般において重要な物理である摩擦法則に関しては、面のトポグラフィなどを通じて固有の長さ定数が入り込む可能性がある。岩石の摩擦を調べる実験は地球科学分野で古くから行われているが、その結果を実験室スケールから断層スケールまで外挿するロジックは現在のところ存在しない。室内摩擦実験の結果を地球科学スケールへつなげるために、摩擦法則を始めとする室内実験結果のスケール依存性を解明することが必要である。以上の点を踏まえて、本計画研究においては主に以下三つの課題に取り組む。

1. スロー地震と通常の地震の相互作用：室内アナログ実験

プレート境界を「時定数（安定性）の異なる複数の運動機構が共存・競合する系」とみて、同じ特徴をもつ実験系を構築する。物性や境界条件を自由に制御できる室内実験のメリットを生かし、複数の運動機構が出現する過程やそれらの競合・協同現象を解明する。具体例は「透明な弾性体によるすべり実験」や「粘弾性流体の界面進行の実験」などである。いずれも界面運動をその場観察し、高速すべりと遅いすべりのスイッチ・分岐機構を定量的に特徴付ける。

さらに、実験系の数理モデルを構築し、時定数や安定性の異なる多様な運動モードが競合・干渉する系に共通する普遍的メカニズムを抽出したい。単なるアナログではなく、現象の数理的な理解を通じて、複雑なすべりダイナミクスの一般論へ迫ることが目標である。

2. 実験室とプレート境界のスケールギャップを埋める理論的研究

摩擦現象における固有の長さ定数の有無とそのスケール依存性を解明する。とくに上記のアナログ実験、およびB02班で行う摩擦・透水実験に関して、その結果を地球科学的スケールまで適用する際の変換規則を理論的に解明し、実験室における現象とプレート境界との対応関係を明らかにする。この作業は、C01班の地球科学的モデルで仮定される摩擦法則の物理的基礎とスケール依存性を与えることにもなり、領域内計画研究の有機的な結合に寄与する。

3. プレート境界の物理的実体に即したミニマル数理モデルの構築・解析

すべりによる摩擦熱・微小亀裂の生成・流体移動という三つの物理的要因だけを仮定し、それらが動的に相互作用しながらすべり速度が決まる数理モデルを構築する。モデルの解析を通じてスロー地震から通常の地震までを支配する統一的なメカニズムを解明する。同時に、地質学的時間スケールまでシミュレーションを実行し、B02班で明らかになった地質（地震学的・水理学的）構造やC01班で仮定されるレオロジー構造の物理的根拠を与えることによって、本領域の目的に貢献する。

物理班の研究は、プレート境界そのものからはあえて少し距離を置き、抽象的・数理的な理解を深めようとする点に特徴がある。一般的には、モデルを頑張って実地に近づけようとするほど複雑になっていき、系統的なパラメタ依存性などの調査が困難になるというジレンマがある。我々はまさに逆方向へと努力する：実地の詳細はできる限り捨てることによって、詳細には依らない普遍的ダイナミクスを明らかにしたい。

このような抽象化は、室内アナログ実験の重視にもつながっていく。地球科学における室内実験は「スケールが違うので信頼できない」という理由から然るべき注意を払われない傾向がある。しかし、実験結果の数理解理解を通じてそのスケール特性まで解明できれば、室内アナログ実験を一種の普遍モデルまで高めることができる。とくに、物理学の理論は「スケールを大きくしていったときに現象がどう変わっていくか」を考えることで発展してきた面がある。スケール依存性に関する物理学の方法論を地球科学に持ち込み、室内実験を地球スケールまでつなげる方法論を確立することによって、今後の地球科学は大きく変わっていくであろう。

将来的には、地球科学の範疇を超えた学際的研究の創生まで期待したい。たとえばB02班で発見される物質科学的性質を物理班が物性物理観点から解明することで、新奇な摩擦特性を持つ物質開発への道が拓けるかもしれない。また、株式市場や所得分布などの社会・経済系でも地震類似の現象が知られているが、スロー地震的な現象もあるのだろうか？本領域でその普遍的ダイナミクスを解明することにより、経済・社会現象においても「遅いイベントと速いイベントの競合」という観点が重要になるかもしれない。物理は一つなのだから、地球物理学者が「地球」に縛られる理由はあまり無いのである。