

第3章 部門・センターの研究活動

(構成員は2013年1月現在)

3.1 数理系研究部門

教授	本多 了 (部門主任), 小屋口剛博, 瀬野徹三, 山下輝夫
准教授	亀 伸樹, 宮武 隆, 波多野恭弘
助教	鈴木雄治郎
特任研究員	石橋秀巳, 清杉考司, 堀内俊介
外来研究員	小園誠史, 森重 学, 桑野 修, 安藤亮輔
大学院生	伊藤 諒 (M2), 日下部哲也 (M2), 藤田哲史 (D1), 平野史郎 (D4), 稲川 聡 (M1)
学振PD	川田祐介

本部門では、地震や火山活動およびそれに関連する現象を理解するために、数学・物理学・化学・地質学の基本原理に基づく理論モデリングの研究を行っており、その内容は多岐にわたる。本年度におけるその概要を以下に示す。

3.1.1 地震発生過程の研究

(1) 流体圧変化および熱発生を考慮に入れた動的地震破壊の数理的研究

断層に平行な方向の透水係数は、直交方向のものに比べて数桁大きいことが知られている。この事実に基づき、流体が断層に平行方向に流れる場合のスロースリップの発生可能性について検討した。これにより、スロースリップの進展速度、微動振幅や、すでに破壊が終了した方向に逆伝播をする微動の移動速度などが包括的に説明できることがわかった。なお、流体が断層に平行方向に流れると仮定して、観測で得られるスロースリップの進展速度をモデル化する場合には、直交方向への流れを仮定する場合に比べて、数桁大きい透水係数を仮定しなければならないこともわかった。これは、典型的な流体拡散距離の違いによる。上記研究をさらに拡張し、脱水反応を考慮にいった定式化も開始している。断熱および非排水条件下では、三つの無次元数で系の振る舞いが支配されることが示され、定常状態での解が解析的に求められた。

(2) 媒質界面と断層挙動の相互作用についての数理的・数値的研究

近年の詳細な観測研究によれば、媒質界面の存在が断層の挙動に強い影響を与えているようであり、これを対象とする理論的研究を進展させた。我々は、複素関数の諸性質を考慮に入れることにより、2層媒質中を動的に伝播するモードIII型破壊について、応力応答関数を解析的に導出することに成功した。これを用い数値解析を行い、硬い媒質に破壊がぶつかると、滑りが一時的に抑制されることを明らかにした。我々は、また、層状媒質中での形状自由な断層の動的挙動の解析を可能にする新たな数値計算法の開発に取り組んでいる。定式化には、任意形状の亀裂の解析に適した境界積分方程式法 (Boundary Integral Equation Method: BIEM) を基に、これを不均質媒質に拡張する (eXtended BIEM=XBIEM)。簡単なモードIII型断層の場合に対して必要となる応力応答関数の導出を行い、これを利用した数値計算コードを作成し、最も単純な平面界面問題に対して計算精度の検証をおこなった。今後、界面形状が複雑な場合やモードIIの場合に拡張させていく。

(3) 室内岩石摩擦実験に基づく地震トリガリングの研究

我々は、計測部門の室内岩石摩擦実験から新たに得られた摩擦強度の正確な修正発展則によって、これまで行われてきた地震発生のシミュレーションの結果にどのような変化が生じるかを検討している。地震サイクルシミュレー

ションにおいて、地震発生に先行する強度低下が従来の摩擦則より大きくなることを受け、この強度低下を天然の断層において地震波探査により測定可能な定量的見積もりを行った。また、ステップ的な応力载荷に対する地震トリガリングの数値シミュレーションを行った所、载荷応力の増加に対して、限定された条件下において、従来とは全く正反対にトリガー時刻が遅くなる興味深い結果が得られた。応力-すべり速度相空間にて解析した所、修正摩擦則では応力载荷により安定化付近に一旦近づき、再び不安定すべりの軌動に戻ることが原因であることがわかった。今後、このすべり安定化の実験室での再現が待たれる。

(4) 震源域の構造不均質と地震発生過程の研究

震源域の構造不均質が地震の震源過程に及ぼす影響を研究することは震源過程を理解する上で重要である。そこで詳細な3次元地下構造が推定されていて、かつそこで発生した大地震の震源過程も詳細に研究されている2004年中越地震域をターゲットとして研究を行った。まず、この地域の3次元構造モデルにプレート運動起源の様な強制変位を境界条件として与えて、それに静岩圧を加えることで断層面上の不均質応力場を計算した。地殻応力の絶対値は不明なので、上記強制変位は未知パラメータとなる。もし静摩擦係数、動摩擦係数が与えられると断層面上の地震時に可能な応力降下量分布が推定できる。中越地震震源域で応力降下を起し同程度の規模の地震を発生させることを条件としてこれらパラメータの範囲を拘束することができた。また、計算の結果、地震発生可能な場合にはすべて、地殻構造不均質モデルから生じる応力降下域は現実の地震のアスペリティ域に一致した。このことは地殻構造が震源過程をコントロールするという仮説を支持する。

(5) 岩石と粉体の摩擦法則に関する研究

地震は地殻のすべり破壊であり、岩石の摩擦特性がその破壊伝播ダイナミクスに決定的な影響を与える。そのすべり速度は年間数センチ程度(プレート運動)から1メートル毎秒程度(地震)に至るまで実に10桁にわたって変化する。地震発生過程の研究ではこのような幅広い速度レンジにおける摩擦特性を系統的に解明することが必要である。しかし精度よい実験は技術上なかなか困難であり、定性的な実験結果はこれまでいくつか知られていたものの、統一かつ定量的な経験則はこれまで知られていなかった。従って、背後にある物理過程も憶測の域を出なかった。我々は圧力・すべり速度・温度を精度よくコントロールできる回転式摩擦実験装置を用いて、幅広い速度レンジにおける岩石の摩擦係数の系統的測定にまず成功した。実験結果の解析を通じて、摩擦特性がすべり速度に応じて定性的に異なる3つのステージに分類されることを提唱し、複数ステージ間の移り変わりが微視的物理過程のクロスオーバーに起因することを明らかにした。各ステージにおける物理過程について微視的理論をそれぞれ構築し、摩擦緩和過程を特徴づける長さスケールと時間スケールのシステムサイズ依存性を解明した。

3.1.2 地球テクトニクスの研究

「地球テクトニクス分野」では、西太平洋-東アジア地域のプレート運動、プレート内応力場、プレート運動原動力、スラブ内地震の成因、プレート間地震の発生メカニズム、衝突のメカニズム、プレート内地震の発生メカニズムなどの考察を行っている。具体的には、M9以上のプレート間地震が発生する条件を、境界における間隙流体圧と地震の応力降下の二つの観点から考察した。また、関東地震-富士山噴火-南海トラフ巨大地震の発生連鎖が、宝永型地震にのみ見られ、安政型地震の場合には見られないことを見いだした。

3.1.3 地球ダイナミクスの研究

「地球ダイナミクス分野」では地球深部起源と思われる地球科学的現象について、主に数値シミュレーションの手法を用いてモデルを構築し、解明している。沈み込み帯のジャンクション付近の流れは、明らかに三次元的であると考えられる。このような三次元流れが、地球科学的な現象にどのような影響を与えるかを調べる為に、千島-東北弧のジャンクション付近の流れを再現した。この結果により推定された地震波異相性が実際との観測と整合的である事を示した。また、千島弧と東北弧におけるスラブの遷移層における振る舞いが、ジャンクションによって生じる流れの性質により、ある程度説明出来る事も判明した。

3.1.4 火山現象の数理的研究

「理論火山学分野」では、主に (1) 火道上昇流のダイナミクス、(2) 火山噴煙・火砕流のダイナミクス、という 2 課題について、理論モデルの開発を行っている。「火道上昇流のダイナミクス」については、マグマの 1 次元定常上昇流に関する解析解に基づいて、マグマの噴出率とマグマの性質および地質条件 (火道の径、マグマ溜りの深さ) の関係を推定する手法を開発している。近年は、この手法を気相と液相の相対速度を含む場合まで拡張し、非爆発的噴火から爆発的噴火までの多様な噴火タイプをもたらす条件を明らかにしつつある。さらに、マグマの火道上昇流において、結晶化、気相の過剰圧力、気泡の核形成・成長の影響を調べる理論モデルの開発が進んでいる。非定常な爆発的噴火については、気泡を含む高粘性マグマの衝撃波管問題に対する理論的研究を衝撃波実験結果に適用することによって、マグマの破碎基準などの火道流の物理素過程の研究を進めている。また、溶岩ドームを形成するような非爆発的噴火については、噴出率とマグマ溜りの圧力の時間変動を再現する 1 次元非定常モデルの解析及び力学系モデルの安定性解析を進めている。「火山噴煙・火砕流のダイナミクス」については、噴煙高度・半径や噴煙形成と火砕流発生の遷移条件を支配する乱流混合過程と、火山灰の輸送・堆積過程を精密に再現する 3 次元数値モデルを開発している。乱流混合過程に関しては、火口形状や衝撃波・膨張波の発生、周囲の風が混合の効率に与える影響について系統的に研究を進めている。火山灰の輸送・堆積過程に関しては、噴出源での粒子サイズ構成や周囲の風速・風向の違いが降灰分布に与える影響について大規模シミュレーションに基づいた研究を進めている。また、実際の噴火で多项目的に得られた観測データを整合的に説明することを目的に、霧島山新燃岳の 2011 年噴火事例の再現研究を進めている。

3.2 地球計測系研究部門

教授	加藤照之, 大久保修平 (兼任), 吉田真吾 (兼任)
准教授	新谷昌人 (兼任), 今西祐一, 中谷正生, 山科健一郎 (部門主任)
助教	高森昭光, 田中愛幸
特任研究員	直井 誠
外来研究員	村上 理
研究生	Teguh Purunama Sidiq

地球計測系研究部門では、GPS 観測を手がかりにしてプレート運動などの実態を解明する研究、精密な重力観測に基づいて地球内部で起きている現象を解明する研究、最先端の地震観測や地殻変動観測等によって地震発生や火山活動などを詳細に解析する研究、観測や室内実験のデータと理論を結びつける研究、超精密機械工作やレーザー干渉など最先端の技術を用いた高度な観測機器を開発するための研究などを進めている。

3.2.1 GPS 観測と地殻ダイナミクス

プレート運動や地殻変動を計測する手段として、GPS (全地球測位システム) は最有力の武器である。地震研究所の GPS 研究グループは、全国の大学の地殻変動研究者で組織する「GPS 大学連合」の本部・事務局をつとめるほか、各種の国内・国際共同研究の企画・調整・推進を行っている。ここでは、地震研の GPS グループが中心となって実施した観測・研究のうち、主なものを紹介する。

(a) 国内における GPS 観測研究

東海地方直下で発生するスロースリップの実態解明のため、静岡大・東海大等とも協力しつつ、東海地方に稠密 GPS アレイを構築して 2004 年から連続観測を行っている。また、2008 年度からは監視機能を高度化するため、9 点についてテレメータ化すると共に、1Hz の高頻度サンプリングを実施している。これらのデータを用いて、スロイイベントや固着域の時空間分布とひずみ分布の関係などを継続的に調査している。また 2010 年度には、科研費により伊東・相良・静岡の 3 点で 50Hz の GPS 観測を開始した。これらのうち伊東と相良の点は、2011 年 3 月の東北地方太平洋沖地震を受けて、2012 年 3 月に茨城県と福島県に移設した。このような高頻度サンプリングによる GPS 観測により、GPS が地震計として活用できるかどうかの調査も行っている。

(b) GPS を利用した新技術の開発