

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

我々は 1996 年頃より日立造船(株)等との共同研究によって GPS 津波計の開発を行ってきた。2009 年 4 月に開始された科学研究費補助金「GPS 海洋ブイを用いた革新的海洋・海底総合防災観測システムの開発」には研究分担者として参加し、海底地殻変動連続観測のシステム開発に新たに取り組み始めている。この GPS ブイにより、2011 年東北地方太平洋沖地震による津波記録を取得することに成功した。現在このシステムは室戸市の南方沖約 40km のところに設置され、リアルタイム監視が実施されている。2012 年度は、遠洋でのリアルタイム測位の精度向上のためのソフトウェア開発を行うと共に、11 月に技術試験衛星 VIII 型「きく 8 号」によるデータの衛星通信実験が成功裏に行われた。

3.2.2 精密な重力観測に基づく研究

(a) マグマ・地下水等の流体移動を、重力変化から検知する観測研究

地震・火山活動に伴ってマグマや地下水などの地殻内流体が移動すれば、質量分布が変化する。したがって重力変化に地殻変動の補正を施すと、地殻内流体が地震・火山活動にどのように関わっているかについて手がかりが得られる。そこで、測地重力グループは絶対重力測定と相対測定を同時に行うハイブリッド測定を、活動的火山である伊豆大島火山で 2012 年に実施した。その結果は現在解析中であるが、2009 年の測定結果と比較することにより、マグマの移動についての知見が得られる見込みである。

また、2008 年から現在まで、桜島火山の噴火を監視するために、桜島昭和火口の南 2.2 km の有村において、絶対重力連続観測を継続している(京都大学との共同研究)。同地では、土壌水分観測も同時に実施し、地下水物理学モデルによって、降雨・地下水変動等の環境起源の重力変動を除去している。得られた重力変化から、マグマ頭位の変動を推定したところ、頭位低下期が爆発のない静穏期(vice versa)に良く対応することが判明した。

(b) 超伝導重力計による精密重力観測

超伝導重力計は、きわめて高い感度と安定性を有する相対重力計である。この装置を用いて、長野県松代および岐阜県神岡において重力変化の連続観測を行っている。主な研究対象は、地震に伴う重力変化、地球自由振動、地球の流体核における浮力振動などである。2 台の重力計は、2011 年東北地方太平洋沖地震のあと、現在も継続している余効変動あるいは粘弾性効果をとらえていると考えられるので、それらが正確に記録されるように、装置の状態を最良に保つように最大限の注意を払っている。

重力を精密に観測すると、地表付近の流体、特に水の影響が顕著に現れてくる。この効果が興味深いのは、観測地点によって現れ方がまったく異なることである。それを、重力観測と気象観測のデータから分析することによって、水の挙動についてのユニークな情報を得ることができる。松代では、岩盤中を流れる「押し出し流(translatory flow)」が主要なプロセスであることがわかった。神岡は松代と比べて系のサイズが大きく、冬季の積雪も非常に多いので、松代と同じモデルを適用できるとは考えにくい。積雪量などの測定を行うことで、山体内の水のダイナミクスを解明しようと努めている。

2012 年 2 月には、新たに沖縄県石垣島に超伝導重力計を設置して重力観測を開始した。ここでは、琉球弧の下で発生しているスロースリップに関係する重力変化をとらえることを目的としている。

(c) 海洋プレートの沈み込みや巨大地震によって生じる重力変動の観測研究

小型・堅牢で信頼性の高い絶対重力計 FG5 を用いて、プレートの沈み込みによって日本列島に生じる 10 年スケールの中長期的重力変化の研究に取り組んできた。測定は北海道(厚岸、えりも)、東北(女川、仙台)、東海(御前崎、豊橋)、九州(宮崎)の太平洋岸の各地で年間 1-2 回の頻度で繰り返されてきた。特に御前崎については、国土地理院との共同研究として 1997 年以来毎年 4 回程度の観測を繰り返し、十分なデータが集積した。その結果、同地域の沈降データから期待される重力変化よりもはるかに小さい変動しか生じていない、という一見奇妙な事実が明らかになった。今後、東海スロースリップの原因や深部で起こっているプロセスを解明する上で貴重なデータになる。東北地方太平洋沖地震に伴う地震時及び地震後の重力変化をとらえるため、上記の観測点に加え、八戸、水沢江刺での観測も開始した。現在、解析を進めているが、地震時に地殻の密度変化が生じることが地上観測により初めて明瞭にとらえられたことが分かってきた。

一方、2003 年に発生した十勝沖地震(マグニチュード M8.0)の際には、震源域を取り囲む 3 箇所(えりも、帯広、厚岸)で絶対重力観測を実施したが、これは、海溝沿いに起こる巨大地震に伴う重力変化を絶対重力計でとらえた世界最初の例となった。GPS データに基づく断層モデルに大久保の重力変化理論を適用して重力変化を計算したと

ころ、3地点の観測値をほぼ再現する結果が得られた。2004年釧路沖地震(M7.1)の際にも、5日後に厚岸において絶対重力の再測定を実施した。重力変化の実測値+1.8マイクロガルは、断層モデルに基づく計算値+1.0マイクロガルと測定誤差の範囲で一致した。

スロースリップに伴う間隙流体の変動を明らかにするため、東海地域に加え、沖縄八重山地方での重力観測も開始した。これらの観測結果についての検討を進めており、スロースリップ中の重力変化がとらえられつつある。今後、観測を継続すると共に精度を上げていくことで、流体移動の可能性をさらに追求していく予定である。

3.2.3 地震、地殻変動等の最先端観測や新しい観測の試み

(a) 南アフリカ鉱山における半制御地震発生実験

他機関と協力して、南アフリカのイズルウィーニ金鉱山の地下1000mのサイトに25点の高感度微小破壊センサーをこれまでボアホール設置してきた。これにより、よく位置の特定された大規模な天然の地質断層を取り囲む観測網で、活発な微小破壊活動の観測ができるようになった。半径100m以上の範囲にわたってMが4以下という微小破壊(破壊の広がり数cm程度)までを検出、全波形を記録して高精度に位置標定できる観測は画期的で、次のような多くの新しい知見が得られている。

- 毎日の採掘発破によって大量の微小破壊が誘起される。その多くは採掘空洞直近で発生し、規模別頻度分布は観測下限までべき乗則に従う。また、採掘発破直後(1分以内)であっても、30時間以上経過した後であっても、同じべき指数(約1.3)であることも確認された。発生時刻と発破点や観測点の正確な位置情報から、採掘発破そのものによる震動を見分けることにも成功し、以前に他のグループがべき乗則の乱れに基づいて主張した摩擦滑り型地震の下限サイズ(M1程度)は、採掘発破による震動を地震と誤認したものであることがほぼ確実となった。
- 差応力が極めて高い採掘空洞直近から離れた場所で、薄い面状に強く集中して微小破壊が起こっているところを複数見つけた。大規模なものは、断層やジョイントなどの地質的弱面に一致している。
- 上記の微小破壊活動の面状集中域のひとつで、100m級の広がりを持つものがあるが、その面内の10m程度の領域を破壊するM0級の地震が2つ、10分差で発生した。その余震分布からは、1つめのM0級地震は既存弱面が分岐する部分で停止し、その破壊端から2つめのM0級地震の破壊が開始したことが推察された。
- 微小破壊センサーのP波初動に対する応答を現場校正することに成功し、既存断層面を描き出すように発生している微小破壊個々の押し引き分布を解析した。その結果、これらが断層面全体と同じ走向・傾斜の節面を持つ正断層滑りのイベントであることが推察された。
- 採掘前線から20m程度先の岩盤内で、微小破壊活動の平面状集中域が新たに誕生し、その広がりが2ヶ月で差し渡し20m程度まで拡大したケースが確認された。これは、既存弱面上でまとまって変位する領域が時間と共に準静的に広がっていったことの現れである可能性がある。また、これらの微小破壊活動の中で、より小さなイベントの占める割合が時間的に低下(b値が2.45から1.49まで低下)したが、これは、岩石破壊実験での巨視的不安定破壊に向う過程の変化と似ており、自然の大地震でも同様の現象が見られるとの指摘もある。

採掘の進行に伴う活発な微小破壊活動は、現在も続いている。採掘の後期のステージには破壊領域が100mを超える大規模な地震が起こりやすいが、これを完全に収録するために、1イベントあたりの記録長がより長い収録システムの追加・調整を行っている。

(b) 干渉合成開口レーダーを用いた地殻変動の検出

合成開口レーダー(SAR)の干渉処理を用いた地殻変動検出を行ってきた。この手法は、火山の火口、山間部、極域、海外の政情不安定地域など、現場へのアクセスが不可能な地域の地殻変動の検出のための唯一の手段である。日本の衛星JERS1や欧州宇宙機構のERS1/2のデータを用いて、三宅島1983年、伊豆大島1986年の噴火後の地殻変動を検出した。また、グリーンランドのIce-dammed lakeの周囲での荷重変形を検出し、水位変化量を推定した。さらに米国のキャニオンランズ国立公園での塩(しお)テクトニクスを初めて実測し、年間2-3mmの速度での地殻変動が0.8mm/年の精度で検出できることを示した。キャニオンランズ国立公園には、近年開発されたPermanent Scatterer法も適用し、その有効性を検証した。また、2006年に打ち上げられた日本の衛星ALOS(だいち)に搭載

された SAR センサー PALSAR のデータの解析も行っている。これらの研究は、国際測地学協会の Bomford 賞を受賞するなど、高い評価を得ている。

3.2.4 観測や室内実験と理論を結びつける研究

(a) 地球のグローバルな変形・重力変動の理論の高度化

球対称な粘弾性体地球モデルについて、コサイスミックな変形およびポストサイスミックな緩和過程についての理論的な定式化を行い、点震源が励起するグリーン関数の計算を完成させた。他のこれまでの研究では、非圧縮性を仮定したり、自己重力を無視したりなど不十分な仮定にもとづいて定式化されていたが、本研究によりこれらの仮定を外した一般的な取り扱いが可能となった。これまでに鉛直変位・重力変化の定式化や水平変位の取り扱いを完成させてきたが、この理論を用いて、衛星重力ミッション (CHAMP, GRACE, GOCE) によって検出できる最小の地震のマグニチュードを決めた。例えば横ずれ断層の場合は、M8 以上の大地震によって生じるジオイドと重力の変化を GRACE 衛星から検出できることがわかった。また、スマトラ大地震や 2010 年 2 月のチリ地震によって生じるコサイスミックおよびポストサイスミックの変形場 (変位・重力・ジオイド) なども計算されている。現在、3 次元不均質構造を取り入れたモデルについて理論研究を進めており、粘性の不均質を考慮したモデルがほぼ完成している。また、ポストグレイシャルリバウンドのモデルについても、3 次元不均質構造を取り入れた球体モデルの開発を進めており、粘性の水平不均質を考慮したモデルを完成させた。現在も解析を進めているが、開発した手法を 2004 年スマトラ島沖地震に適用し、GRACE 重力データに余効すべりと粘弾性緩和の両方の寄与が含まれていることが明らかになりつつある。

(b) 室内実験にみられる岩石摩擦の特徴から予測される地震発生の準備過程

室内実験で知られるようになった岩石摩擦の重要な特徴は、いわゆる摩擦強度以下の载荷応力レベルでもゆっくりした滑りは常に進行しているということである。これまで、その特徴を取り入れて、準静的な震源核形成を含む地震発生の準備過程の研究が進められてきた。一方、最近の地震観測から滑り弱化特性距離と地震サイズの間に強い相関関係があることがわかってきた。これは、地震の最終的破壊サイズと、準備過程の規模の間に相関が期待できるかという点で決定的に重要な課題である。そこで、準静的滑りから動的滑りまでを全て計算する数値実験を JAMSTEC と協力して行った。その際、最近提唱された有力な仮説である、滑り弱化特性距離のパッチ状分布による大小のアスペリティの階層的構造を設定したモデルを採用した。この状況では、エネルギー的考察から大きな地震の発生に必要なと考えられる規模の準備過程が、大きな滑り弱化特性距離を持つ大きなアスペリティ自体の大規模な準静的核形成で実現される場合もあれば、大きなアスペリティの中の部分的に脆い部分として設定された小アスペリティの地震で代用される場合もある。多数の地震サイクルを繰り返し起こす数値実験では、過去の地震によって残された応力の不均質によって、どちらの場合も起こりうること、しかし、両者の割合は、大小のアスペリティの相対的なサイズで強く規定されることが見いだされた。さらに、直前の大きな準静的核形成を小アスペリティの地震で代用するためには、大きなアスペリティの剥れが広域に進行している必要があり、それは大地震発生サイクルの最終段階の比較的短い期間に限定されそうだとすることが示唆された。また、そのような状況では、2011 年東北地方太平洋沖地震の広域な震源域で 10 年ほど前から観察されている固着の剥れを示唆する種々の現象 (異常に大きな余効滑り等) が起こりやすいことも示唆された。

なお、摩擦実験の結果をより正確に表わす新たな摩擦則を数年前に提案したが、それによって理論的に予想される地震活動の特徴がどう変わるかについて数理部門と協力して研究している。結果は数理部門の項に紹介した。

(c) 日本列島の地震活動を予測するモデルの作成

地震研究所では、日本列島地域で起こる地震を事前に予測する検証実験 (CSEP) を 2009 年から国際共同研究として進めている。これに呼応して、地震研究所発の新しい予測モデルを作成し、さらに、改善のための検討を継続した。予測は、過去の地震活動の特徴に基づいたもので、参照する過去の活動の範囲、期間などを吟味し、さらに、対象とする大きさの地震が参照期間に一度も起きていない場合の予測値を実態に合わせるなど、重要と思われるいくつかの要素について検討を加えた。また、余震活動の影響は ETAS と呼ばれる考え方を取り入れたが、余震ではない活動の予測は地点ごとにきめ細かく推測し、これに ETAS 項を付け加える形をとることにした。一方、予測期間に起きた余震がさらにその予測期間内に新しい余震を生む可能性についても評価し、予測に加えた。このような検討の結果、予測の確からしさをかなり改善できることが確かめられた。

(d) 地震発生予測の有効性を検証する手法の見直し

地震活動予測検証実験 (CSEP) の試みなど、予測の科学を進展させるためには、予測がどのくらい当たったかを評価するものさしが適切に準備されていることが求められる。しかしながら、広く利用されている尤度計算や CSEP で採用されている主要な評価関数は、通常はポアソン分布に基づいている。概略を把握するにはそれでも役に立つが、本震と余震の関係など、事象の間に相関がある場合の影響については考慮されておらず、そこに大きな欠陥があることが見過ごされてきた。そのため、実際のデータセットで相関の度合いがどのくらいあるかを確認し、尤度や CSEP の評価関数を相関を取り入れて計算することを提案した。このような新しい取り扱いを体系的に確立し、整合性のある検証を推し進めることが望まれる。

3.2.5 高度な観測機器を開発するための研究**(a) 精密機械工作技術を用いた小型傾斜計の開発**

海底ボアホールや陸域の深部ボアホール、あるいは海底面など、観測例の乏しい「観測フロンティア」での傾斜観測を目的とした小型傾斜計の研究開発を行っている。この傾斜計の核として、小型でありながら長い固有周期を実現できる折りたたみ振り子を開発した。試作した折りたたみ振り子では、物理的には数 cm 程度の高さでありながら実効的に 1m 以上の長さの振り子に相当する長周期を得た。これは、前述したような狭い設置場所、特に高さに制限のある場所において精度の高い傾斜観測を行うのに非常に有利な特性である。また、周辺温度の変化による問題を避けるため、振り子はベリリウム銅の単一部分材から一体切り出し加工することによって形成した。その際、電界溶融法・電界研磨法といった超精密機械工作技術を用いて、厚さ 30 ミクロン以下のヒンジ厚を実現することによって上記の長周期を実現することが可能となった。

(b) 光ファイバー変位計の研究開発

新開発の小型傾斜計に使われる振り子の位置読み取り用に、光ファイバーバンドルと高輝度・低コヒーレント長光源を用いた光ファイバー変位計の研究開発も行っている。このセンサーは、レーザー干渉計とは相補的な役割を果たすことが期待できる。すなわち、分解能についてはレーザー干渉計で達成される極限的分解能より 1-2 桁低い性能にとどまるが、絶対的な変位が測定できるため、観測の中断・再開が可能である他、広い動作レンジや長い寿命、低コストといった、長期観測に適した特徴がある。そのため、例えばネットワーク観測において、観測拠点にレーザー干渉計を組み込んだ傾斜計を配置し、光ファイバー変位計を用いた傾斜計を周辺の広い領域に多数の観測点として展開することにより、コストをおさえつつ、精度の高い観測を行うことが可能となる。実際に開発したセンサーでは、高輝度 SLD 光源を用いることによって $10^{-10} \sim 10^{-11}$ m オーダーの分解能が得られることを実証した。また、より簡易・安価な光源として、LED や通信用 LD の採用についても研究を行っている。

(c) 超伝導体を用いた新型回転地震計の開発

近年、地震動に伴う地面の回転運動が新しい観測量として注目されつつある。これを直接観測するために、超伝導技術を応用した回転地震計の開発を行っている。新型回転地震計では、第 2 種高温超伝導体のピン止め効果を利用することにより、受動的・安定に浮上させた永久磁石を参照振子として用いることを最大の特徴とする。永久磁石と超伝導体の形状や配置を工夫することによって、浮上支持された磁石は対称軸を除く 5 自由度については強い拘束を受ける一方、対称軸周りには自由回転させることが可能になる。このような浮上磁石を基準として地面の相対角度を測定することは、通常の地震計で無定位の振り子を基準として地面振動を観測することに相当し、精度の高い広帯域回転観測を実現する。このような動作原理に基づく回転地震計に必要な非接触の静電容量型センサーやアクチュエータといった要素技術を開発し、回転地震計を試作して、実際に試験的観測を試みた。その結果、回転地震振幅の上限値を実測することに成功し、また、装置をさらに改良するための指針を得た。

(d) 光アクチュエータによる物体制御技術の研究開発

開発中の回転地震計や人工衛星搭載型加速度計では、浮上体の運動を計測・制御することによって目的の観測量を取得する。非接触の光計測技術 (レーザー干渉計や光ファイバー変位計) では、光を用いることによって参照浮上体の自然な運動を乱すことなく計測を行うことが可能である。一方、浮上体に接触することなく制御を行うアクチュエータを用いることができれば、その機械的振動による雑音の導入を抑制することができる。このようなアクチュエータとしてコイル磁石型や静電型のものがあるが、これらは外部磁場変動や帯電による雑音に弱いという問題が

あった。これを解決するため、極めてクリーンなアクチュエータとして、光の輻射圧を利用した光アクチュエータの研究開発を開始した。具体的には、回転地震計内部の浮上体に強力なレーザー光を照射して、その回転角を制御する試みに取り組んでいる。

(e) 多点観測用微気圧計の研究開発

上記の (b) で述べた光ファイバー変位計と気圧変動に敏感に応答する参照ペローズを組み合わせることによって、微気圧計を開発する研究に取り組んでいる。このような方式を採用することによって、高分解能で低コスト、高い運用性を実現することができる。具体的な応用例としては、精密重力観測の大気圧補正のための観測や、インフラサウンド観測ネットワークなどが考えられる。これまでの研究から、これらの用途には高分解能微気圧計による稠密多点観測が必要であることが示唆されているが、市販の微気圧計では導入、運用コストの面で実現することが難しい。本部門で開発した技術を組み合わせることによってこの課題を克服することが本研究の目的である。簡単なプロトタイプを試作して市販の微気圧計と比較した結果、同程度の性能を有していることが立証できた。実用化を進めるための研究開発に取り組んでいる。

3.3 物質科学系部門

教授	栗田 敬, 中井俊一 (部門主任)
准教授	平賀岳彦, 武井 (小屋口) 康子, 安田 敦
助教	三部賢治, 三浦弥生, 折橋裕二
特任研究員	SAHOO YuVin, 鈴木彩子, 賞雅朝子
外来研究員	羽生 毅, 原田雄司, 武藤龍一
特別研究員	小泉早苗
研究補佐員	高木菜都子
大学院生	樋口澄人 (D3), 宮崎智詞 (D3), 猿谷友孝 (D2), 仲小路理史 (D1), 西川泰弘 (D1), 野口里奈 (D1), 庄司大悟 (D1), 柄澤 史也 (M2), 黒川愛香 (M2), 田中大允 (M2), 山口能央 (M2), 末善健太 (M1), 吉田朱里 (M1)

本部門では、物質を対象とする研究を通じて、地震・火山などに関連する素過程を明らかにすることを始めとして、地球・惑星での諸現象を理解することを目指している。理論、数値シミュレーション、室内モデル実験、超高圧実験、元素・同位体分析など様々な方法に基づいて研究を行っており、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。

3.3.1 粉状体・複合体の物性の研究

惑星表層はレゴリス層に覆われ、粒状体としての物性が表層環境をコントロールしている。また粒状体は液体と固体の両者の性質を示す「第4の相」として物理的にも興味を集めている。粒状体の流動特性、熱特性、輸送特性の解明を実験、数値シミュレーションを通して行ってきた。惑星の表層部の層構造が軌道からの熱慣性の測定に与える影響を実験的に見積もり、また水・粒子混合系での凍結時に生じるアイスレンズの形成過程を明らかにした (A. Rempel 教授との共同研究)。粒子・水の均質な混合体が低温での凍結の進行とともに氷単一相・アイスレンズが形成される過程は部分熔融状態からのメルトの分離と類似して興味深い。粒状体と液体の混合物はマグマの物性としても興味を持たれている。粒子体積分率が高い状態では非線形のレオロジーを示し「複雑流体」としての特徴を有する。マグマのアナログ物質としてサーモゲルを用い、固相体積分率の増加に伴う降伏応力の発現、Ageing 効果、非ニュートンレオロジーの発現を明らかにした。サーモゲル溶液のポアズイユ流動の圧力の自励的変動を計測し、火山性微動との対比を行っている。

3.3.2 惑星・衛星の内部構造・進化の研究

惑星探査への地球物理学的手法の応用を目指して研究課題の開発を行ってきた。地球計測系部門の新谷昌人准教授のグループと共同で取り組んでいる火星探査用地震計の開発・およびそれを用いた火星内部構造解明手法の開発