

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ベ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

(フランス・IPGP P.Lognonne 教授との共同研究), 高エネルギー素粒子地球物理学研究センター・田中宏幸准教授のグループと共同で取り組んでいる高エネルギーニュートリノによる氷衛星内部構造探査法の開発, 潮汐発熱による活動的氷衛星の構造熱進化の研究 (ドイツ・DLR H.Hussmann 博士のグループとの共同研究) などである。また火星の最近の火山活動の研究をフランス・MPO D.Baratoux 博士のグループと共同で取り組んでいる。

3.3.3 地震波帯域における岩石の非弾性特性の研究

地球内部の3次元速度構造から地球内部の温度分布や流体分布を定量的に推定するためには, 岩石の非弾性特性の解明が不可欠である。しかし, 地震波帯域での実験を高温高圧下で行うことは難しく, 非弾性特性については未知の部分が多い。そこで我々は, 有機多結晶体を岩石のアナログ物質として用い, 試料のヤング率 E と減衰 Q を様々な周波数 (10-0.1 mHz) で精密に測定できる強制振動型の変形実験装置を開発した。これまでの実験から (Takei et al., 2011; McCarthy et al., 2011), 減衰スペクトル $Q(f)$ の温度 T , 粒径 d , メルト分率 ϕ 依存性には相似則が存在し, マックスウエル周波数 $f_M(T, d, \phi)$ を用いて $Q(f, T, d, \phi) = Q(f/f_M)$ と表せることが分かった。

同様の相似則がオリビン多結晶体のデータについても成り立ち, $Q(f/f_M)$ がアナログ物質と同一の曲線上に載ることから, 多結晶体の非弾性の持つ普遍性を明らかにすることができた。しかし, マントルのマックスウエル周波数で地震波の周波数を規格化すると, 実験の規格化周波数 ($f/f_M < 5 \times 10^4$) よりも2桁以上高周波になり ($f/f_M = 10^6 - 10^9$), 実験データが地震波帯域をカバーしていないことも分かった。そこで今年度は実験手法を改良してこれまでより高周波, 低温領域でアナログ試料の非弾性データを取得し, $f/f_M = 10^7$ までの高規格化周波数領域で非弾性データを取得した。これまでに得られた予備的実験データは, 高規格化周波数帯域では, マックスウエル周波数を用いた単純な相似則が成り立たないことを示唆している。今後はさらに系統的なデータを取得し, 地震波に相当する規格化周波数帯域での非弾性の振る舞いを解明したい。

3.3.4 多結晶体特性からみた地球内部ダイナミックスの素過程

マントル内の主要な変形機構である拡散クリープにおいて, オリビンの選択配向が形成されることを実験的に見出した。本研究室で合成された鉍物多結晶体を大気圧, 1160 - 1360 度下, 歪速度 10^{-5} から $10^{-4}/\text{sec}$ で圧縮・引張クリープさせた。その結果, 圧縮実験では, 圧縮方向に強いオリビンのb軸配向, 引張実験では, 引張方向にa軸配向することが判明した。この結果から予想されるのは, オリビン結晶内の転位クリープ下におけるa軸b面すべりである。しかし, 応力-歪速度の解析により, 応力指数1が得られ, 拡散クリープ下で, 著しい選択配向が形成されたことが分かった。微細構造解析が行われ, オリビン粒子形が異方性を持つ場合に, 配向性が強くなることが判明した。また, その異方性は, 粒界面における結晶学的な面の発達で決まる。現在, 結晶学的面に支配された粒界面における粒界すべりによって, 選択配向が形成されることを推定しており, その検証を行っている。マントル異方性の成因は, 主に, オリビンの転位クリープによる選択配向とされてきたが, 本研究によって, 全く別なメカニズムの存在が出てきた。

3.3.5 浅部マグマ活動に関する研究

浅部マグマ活動に関する研究では, マグマ活動の実体を明らかにすることを目標に, 火山噴出物中の含水量測定手法の開発と天然の火山噴出物の解析に取り組んでいる。

マグマ中の揮発性成分量は火山の爆発的噴火のポテンシャルであり, 噴火の準備過程や噴火の進行とともに変化するマグマ中の揮発性成分量をなんらかの方法で定量してやることで噴火の推移の予測につながる。斑晶ガラス包有物の分析はマグマ中の揮発性成分量を求める有効な方法の1つであり, 我々の研究グループでは, 噴出物の含水量を迅速に定量分析する方法として顕微FTIR反射分光法の開発を行っている。これまでは玄武岩質マグマを対象にしてかんらん石斑晶中のガラス包有物の分析だけを行っていたが, 今年度は安山岩~デイサイト質マグマに含まれる斑晶(斜長石, 斜方輝石, 石英)について取り組み, スペクトルの特性等の基礎データの収集を開始した。また, 前年度に導入した高感度検出器を導入によって $20 \times 20 \mu\text{m}$ の微小な斑晶ガラス包有物でも誤差0.5wt%精度で水の定量が可能になった。

この手法を天然の火山噴出物の分析に適用し、2011 年霧島新燃岳噴火、富士山宝永噴火、桜島安永噴火について火山噴火予知研究センター等と共同研究を実施した。鉱物組成情報と含水量を組み合わせることによって、マグマだまりの温度・圧力環境の推定を従来よりも狭めることに取り組んでいる。

3.3.6 高温高压実験装置を用いた地球内部の物質科学的研究

我々の研究室では川井型マルチアンビル高温高压発生装置やダイヤモンドアンビル高温高压発生装置等を用いて、地球の進化や地球内部の物理化学的状態を明らかにするための研究を行っている。昨年度から今年度にかけては主に、インピーダンスアナライザーとマルチアンビルとを組み合わせ、地殻から上部マントルにかけてのひろい温度圧力領域において地球内部物質の電気伝導度を測定する環境を整え、現在までに実際にいくつかの鉱物について測定データを得ることに成功している。今後、鉱物・メルト・フルイドを含む様々な状態の地球内部物質の電気伝導度を高温高压下で測定し、地球電磁気観測データと比較することにより地球内部の情報を定量的に理解することを目指す。

3.3.7 地球化学分野

「地球化学グループ」は、火山の諸現象、地球や惑星を構成する物質の進化、地球内での物質循環などを探求する研究を、微量元素、同位体などのトレーサーを用いた地球化学的手法で行っている。

海底熱水系は鉱床形成の場、生命の発生の場として注目されている。海底熱水活動の持続時間が熱水系に生息する生物の遺伝子レベルでの分化に影響を与えているかについて、生物系の研究者などと共同研究を行っている。熱水から沈殿した硫化鉱物の年代を ^{230}Th - ^{234}U 放射非平衡年代で求める手法を確立した。1000 年程度の若い鉱物にも適用が可能である。ESR 年代などと比較して、放射非平衡法で得られた年代の評価を進めている。南マリアナトラフで採取した硫化物クラストについて ^{234}U - ^{230}Th 放射非平衡年代は ESR 年代と関連した年代を示したが、 ^{226}Ra - ^{210}Pb 年代より 1-2 桁大きな年代を示した。このクラストは連続的に成長しているため、異なる放射壊変系が示す年代が大きな差を持つと解釈できる。他のコア試料での解析を進め、沖縄、南マリアナトラフ地域での熱水活動史にせまる予定である。

次に火山岩のみならず、変成岩や堆積岩の微小部分、例えば個々の斑晶鉱物やメルト包有物、さらには鉱物結晶の累帯構造の各部分に残された記録を読み解いて、マグマや源岩の化学進化を解明する研究も同グループの重要な課題である。2004 年度に導入された 213 nm 波長 Nd-YAG レーザーアブレーション・システム (UP-213 型) と旧型 ICP 四重極型質量分析計 (VG PQ3 型) を独自に改良することで、高感度・低バックグラウンドの分析を可能とし、国際レベルの分析精度を達成している。同分析装置を用いて 1) 鉱物・メルト包有物の局所微量元素分析、2) ジルコン結晶の局所 U-Pb 年代測定、3) XRF 分析装置とカップリングして行う迅速性の高い主・微量元素全岩分析を精力的に行っている。現在、前述した研究テーマで、国外では韓国やロシア、チリ、アルゼンチン、ブラジルの研究者らと共同研究を実施中であり、国内では地震研共同利用を通じて他研究機関の共同研究を受け入れている (本年度は国際・学際共同研究 1 件)。

また、火山岩や隕石中に含まれる希ガス同位体組成を調べ、それをもとに火成活動の時空分布、惑星内部からの脱ガスや大気形成過程、惑星の形成・進化史の解明を目的とした研究も行っている。希ガスは不活性なため物理的プロセスを探求するのに有用なトレーサーであり、また ^4He 、 ^{40}Ar 、 ^{129}Xe など年代測定に応用できる放射起源同位体を有する。現在は特に、小惑星や月起源隕石の希ガスデーターにもとづく惑星形成時の熱源や熱史の解明、月惑星表層のレゴリス形成史の解明、地球型惑星の大気進化モデル構築、およびレーザー照射源を用いての K-Ar 年代測定システム (小型 LIBS-QMS システム) の開発などを進めている。また、はやぶさ回収試料の希ガス分析 (東大理学部他)、来る月探査・はやぶさ 2 探査における年代測定法・ガス分析法の確立 (JAXA 他) を目指す共同研究にも参加している。

3.4 災害科学系研究部門

教授	壁谷澤寿海、瀬瀬一起 (部門主任)
助教	飯田昌弘、三宅弘恵