

## [001]附属環境工学研究教育センター研究活動報告

<https://doi.org/10.15017/2553402>

---

出版情報：附属環境工学研究教育センター研究活動報告. 1, 2019-06-28. Center for Research and Education of Environmental Technology, Faculty of Engineering, Kyushu University

バージョン：

権利関係：

## 2. 研究活動の記録



## 2-1. グローバル課題研究ハブ

### 2-1-1. 有害廃棄物の安定化に関する研究（出光研究室）

（研究目的）エネルギー資源の有効利用による持続可能型社会を実現するため、高度な核燃料サイクル技術の確立を目指し、軽水炉・高速炉燃料および破損燃料の物性評価、放射性廃棄物の処理処分技術の開発等に関する研究を行っている。

（研究概要）

#### ・計算化学を用いたアクチノイド核種の粘土中での拡散挙動評価（有馬）

東日本大震災による原子炉過酷事故においては、核燃料や被覆管、その他構造材が溶融し、格納容器にまで到達していることが明らかになりつつある。放射性核種の一部（Cs, Sr など）は東北・北関東地域を中心に広範囲に飛散し、サイト内からは放射性核種を含む汚染水も大量に発生した。一方、発電用原子炉から発生する高レベル放射性廃棄物や核燃料の長期安定な処分システムの性能評価は従来からの課題となっている。この研究では、処分システムの緩衝材や土壌に多く存在する粘土鉱物として主にモンモリロナイトを対象に、量子化学計算や分子動力学計算を使って、ミクロな視点からウラニルイオンやネプツニルイオンの粘土中での吸着・拡散挙動を評価することを進めている。

#### ・大規模核燃料取扱施設の廃止措置技術の開発（有馬）

原子力発電所の老朽化に伴う廃炉やウラン濃縮施設の廃止など、今後大規模核燃料取扱施設の解体・処分が進められる予定である。ここで鍵となるのは、効率的かつ安全に施設解体・処分を可能にする技術の開発である。この研究では、施設の解体に伴って発生する大型装置や構造材の一部に対して、レーザー照射技術を使って、汚染した表面だけを効率的に除去することのできる技術の開発を行っている。特に、レーザー照射と材料の相互作用について、化学熱力学の観点から評価し、照射条件（温度や雰囲気等）へフィードバックすることを目的とした。

#### ・ガラス固化体の長期溶解／変質と核種浸出の速度論的評価（稲垣）

使用済核燃料再処理過程で発生する高レベル放射性廃液はホウケイ酸ガラスで固化され、オーバーパック（炭素鋼）や緩衝材（ベントナイト）の人工バリアを配して深地層中に処分される。この地層処分ではガラス固化体の数万年以上にわたる超長期の核種保持性能（浸出挙動）を評価する事が必要であり、地下水との接触によるガラス固化体の溶解／変質について多くの研究が行われているが、その反応は複雑であり、十分に信頼性の高い評価には至っていない。例えば、ガラス固化体の溶解速度は接触する地下水の pH や組成、温度、共存物質との相互作用等の環境条件により大きく変化する。また、ガラス固化体は溶解とともに安定なケイ酸塩鉱物へ変質し、この鉱物化過程はガラス溶解速度や核種浸出挙動と密接に関係する。そこで、米仏英独等の研究機関と共同して国際標準 6 成分ガラス固化体試料を開発・作製し、新たに開発したマイクロリアクタ流水試験法や Si 同位体を用いたガラス固化体の溶解／変質実験により、様々な環境条件でのガラス溶解速度を精密に測定し、ガラス長期溶解機構の理解を含む速度論的評価を行っている。

#### ・放射性ヨウ素廃棄物の固定化：ヨウ化銀（AgI）の溶解挙動評価（稲垣）

使用済核燃料再処理過程で発生する放射性ヨウ素（I-129）は長半減期、低吸着性の主要な TRU 廃棄物であり、化学的に安定な化合物（固化体）として地層処分することが検討さ

れている。その安全性評価には、処分環境におけるヨウ素固化体の溶解および酸化還元に関する基礎化学的特性を理解する必要があるが、反応は複雑であり現在必ずしも十分に理解されていない。そこで、代表的なヨウ素化合物である AgI およびヨウ素を吸着させた吸着剤（アルミナ）を HIP 固化処理した岩石固化体について、処分環境で予想される還元雰囲気の種類条件での溶解実験を行い、その溶解機構の理解を含む速度論的評価を行っている。（(株)神戸製鋼所との共同研究）

・Cs吸着ゼオライトの熔融ガラス固化条件に関する研究（稲垣・有馬）

福島第一原発事故の汚染水処理で発生している吸着材廃棄物（Cs吸着ゼオライト）を合理的に安定化処理する方法として熔融ガラス固化が検討されている。熔融ガラス固化では、熔融温度やガラス融剤の種類／添加量等の熔融ガラス固化条件が固化体の減容率やCs固定化率、化学的耐久性といった固化体の諸特性に大きく影響し、さらには廃棄物最終処分の安全性や合理性にも影響する。そこで本研究では、熔融ガラス固化条件と固化体の諸特性との関係を明らかにし最適な固化条件を評価する事を目的とし、熔融温度／時間、ガラス融剤添加量等の固化条件をパラメタとして固化体の組織均一性、Cs固定化率、水に対する溶解速度、熱伝導率および熔融時のガラスの粘性率等の固化体の諸特性を実験と計算化学の両面から評価している。（(株)IHIとの共同研究）

・ベントナイト中の鉄腐食生成物、ヨウ素、セレン、アクチニド元素の移行挙動（出光）

ベントナイト（粘土）は、高レベル放射性廃棄物処分システムにおいて緩衝剤として使用されることが予定されている。緩衝剤中の放射性核種の移行挙動は、処分場の安全評価のために必要不可欠の情報である。ベントナイトは層状構造をしているが結晶構造の欠陥により負に帯電している。この電荷を補償するため層間に陽イオン（ナトリウム）を保持している。多くの元素はこの層間をナトリウムとイオン交換しながら移行するものと考えられる。本研究は、拡散実験や、電気化学的移行実験によりベントナイト中の陰陽両イオンの移行挙動を明らかにすることを目的とし、還元環境下でのベントナイト中の鉄腐食生成物、ヨウ素、セレン、アルカリ元素、アルカリ土類元素、ランタニド元素、プルトニウムの拡散係数と分散長を電気泳動試験により得た。今年度はオーバーパック候補材料である銅に着目し、銅の電気化学的実験を開始した。銀/塩化銀に対して500mVまでの陽極腐食では、銅は一価の陽イオンとして溶出し、ベントナイト中に侵入する。その拡散係数は、乾燥密度  $1.0 \text{ Mg/m}^3$  の精製ベントナイト中で、およそ  $10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$  であった。プルトニウムに関しては、炭酸イオンの影響を調べるための試験を開始し、プルトニウムと重炭酸ソーダを混合したものをベントナイト試料に塗布し拡散を開始した。ストロンチウムの拡散に対する炭酸の影響を調べる実験を行った。炭酸濃度が高くなるにつれて、ストロンチウムの拡散係数は遅くなる傾向が見られた。これは陽イオンよりも大きなストロンチウム炭酸錯体が生成することによると考えられる。また、ベントナイト中に元々ストロンチウムが含まれていて、天然組成の Sr ではバックグラウンド濃度が高いので、トレーサとして、 $^{84}\text{Sr}$ （安定同位体）と  $^{85}\text{Sr}$ （放射性）を使用し、全ストロンチウム濃度依存性も併せて試験した。全濃度が高いほど炭酸の影響を受けにくくなる。ネプツニウムの拡散の炭酸濃度依存性について試験した。炭酸濃度の上昇と共に、ネプツニウムの拡散係数は若干低下する傾向が見られた。

## 2-1-2. 「元素戦略」に基づいた環境調和型社会への取り組み（林研究室）

固体・物性化学を軸に、様々な合成技術を駆使して、環境・エネルギー・エレクトロニクス分野に貢献する、セラミックスを中心に新しい機能性材料を創出することを目指しています。セラミックスは、一般にありふれた原料から作られる環境調和性の高い材料であり、化学的安定性と多彩な機能性の両立を生かした応用がなされています。H28年度からは、科学研究費・新学術領域「複合アニオン化合物の創製と新機能」に、中心研究グループの一つとして参画しており、他大学の研究グループとの連携・共同研究を活発に行っています。

### ・複合アニオン化合物の創製と新機能

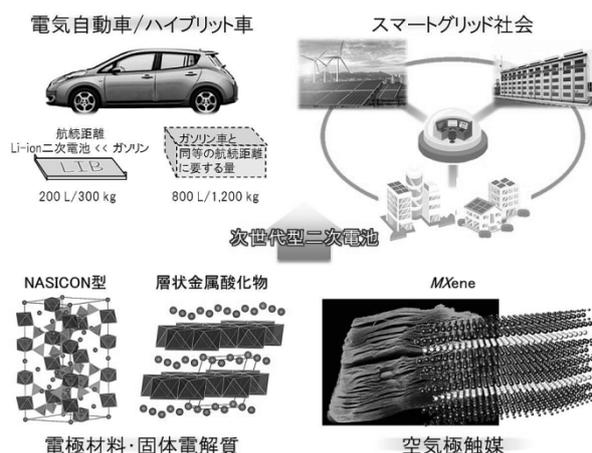
従来の金属カチオン中心の結晶構造設計に対し、アニオン中心の無機材料設計を行う複合アニオンという概念を提唱し、新たな配位構造による新しいセラミックス材料の創製と新機能の創出を目指します。林教授は、解析班・班長として、アニオン配位・結合・秩序の可視化を担当しています。



### ・次世代型二次電池の開発

(ナトリウムイオン二次電池・マグネシウム二次電池・金属-空気二次電池など)

将来のスマート・グリッド社会に不可欠な高エネルギー密度の次世代型二次電池を実現するために、セラミックスを基軸にした要素技術を開拓します。二次電池には、要素部材として、高速ナトリウムイオン伝導性セラミックス、ナノ構造カーボン・酸化物・金属からなる電極、有機電解液などの多様な材料が含まれます。各部材に関して、導電性やイオン伝導性の向上が鍵であり、結晶構造・粒子形態のデザインを通して、二次電池の高性能化を目指すことが重要です。

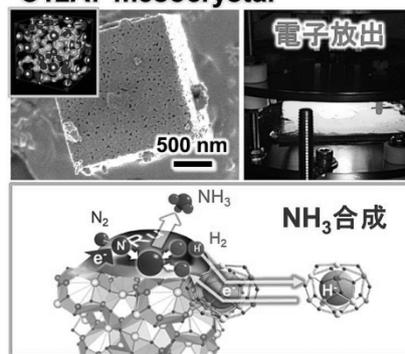


当研究室では、ナトリウムイオン二次電池やマグネシウム二次電池の固体電解質や電極材料の開発のほか、**MXene** と呼ばれる層状金属炭化物の空気触媒への応用研究を行っています。

### ・ 活性アニオンが起源の機能を持つセラミックス

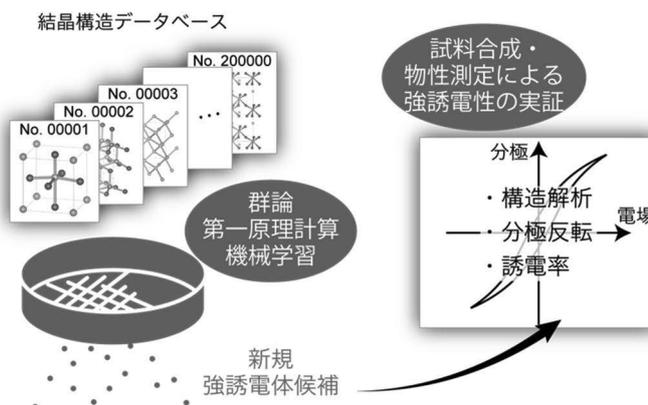
12CaO·7Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (C12A7)やその派生型の結晶は、さまざまな陰イオンを取り込むナノサイズの空隙構造を持ち、これに起因したマルチタレント材料となります。例えば、この空隙に活性な H<sup>-</sup>イオンを取り込んだものは、紫外線照射によって絶縁体から電子導電体に変化する機能性を持ちます。また電子自体を取り込んだ C12A7「エレクトライド」は電子の放出・注入のための優れたカソード材料やユニークな触媒担体になります。

C12A7 mesocrystal



### ・ 材料インフォマティクスに基づく環境調和性の高い強誘電材料探索

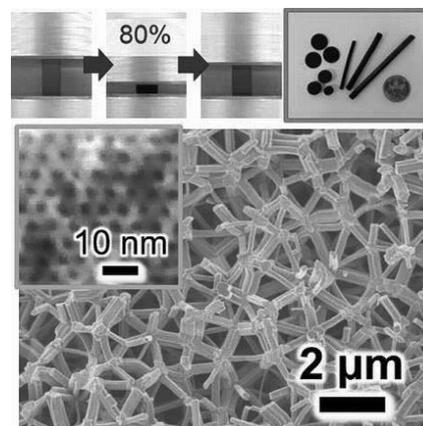
強誘電体は、圧電性や電気光学効果など多彩な性質を併せもつことからセンサ、アクチュエータや光学素子などの多種多様なデバイスに利用されている。現在多くの圧電素子に使われている材料は Pb(Zr,Ti)O<sub>3</sub> という酸化物であり、Pb<sup>2+</sup>の非共有電子対や Zr<sup>4+</sup>、Ti<sup>4+</sup>の空の d 軌道といった、構成元素のもつ特異な電子状態が強誘電性の起源となっている。近年は、鉛などの毒性の高い元素を含まない、環境調和性の高い強誘電・圧電材料の開発が要求されているが、そのような強誘電体材料の設計指針は確立されていない。そのため、既存の強誘電体の延長線上にない革新的な材料の開拓や、強誘電発現機構の体系化が求められている。そこで、本研究室では、材料インフォマティクス的手法により、結晶構造データベースに埋もれている新規強誘電体を見出し、それらを実際に合成して、強誘電性を実証し、強誘電メカニズムを解明するという方法論の確立を目指して研究を行なっている。



### ・ 多孔性架橋高分子ゲルの細孔構造制御と機能性炭素材料への展開

高分子の重合系に、添加物を加えることで相分離を引き起こし、その過渡的構造をゾルーゲル転移により、ゲル中に固定化することで、狭い細孔径分布を有する多孔性高分子ゲルを作製することができます。このような構造を有する低密度材料は、高強度かつ柔軟な低密度材料として、衝撃吸収材や断熱材として期待できます。

また、得られた様々な樹脂を炭素化することで、異なる細孔構造・表面特性をもつ炭素材料へと変換することができ、吸着材や触媒・電極への応用を目指しています。



## 2-1-3. アジア・アフリカ地域における環境配慮型鉱物資源探査の推進（今井研究室）

### 1. 次世代グローバル研究者によるアジア・アフリカ鉱物・地熱資源パートナーシップの確立

日本学術振興会：研究拠点形成事業（H29～31年度）

コーディネーター：米津幸太郎（九州大学）

国内参加研究者：渡邊公一郎、（九州大学）、今井亮（九州大学）、高橋亮平（秋田大学）、実松健造（産総研）、中西哲也（九州大学）大竹翼（北海道大学）

九州大学大学院工学研究院・地球資源システム工学部門の応用地質学研究室がこれまでにさまざまなプロジェクトにより交流を築いてきたネットワークを基礎にアジア間、アフリカ間、アジア・アフリカ間の相互ネットワークを若手研究者の育成を含めて構築するプログラムで、現地大学・研究機関との国際共同研究として行うことで、若手研究者の地球資源分野、特に鉱物資源・地熱資源分野における国際教育を兼ねた学際的な研究を行っている。2019年2月および3月には新たなアジア・アフリカ地域のパートナーであるボツワナを相互訪問し、ボツワナ・日本それぞれの国にてシンポジウムを開催した。ボツワナでは、白金族鉱床の地質調査、ダイヤモンド鉱山の見学など、新たな資源分野の共同研究にも力を注ぎ、さらなるパートナーシップの拡大を図ってきた。

### 2. 戦略的イノベーション創造プログラム：次世代海洋資源調査技術（海のジパング計画） 研究開発課題名「鉱床モデルの構築に向けた熱水化学反応の解明」（H27～30年度）

代表者：石橋純一郎 分担者：米津幸太郎、大野正夫、辻健 連携機関：北海道大学、東北大学、筑波大学、高知大学、琉球大学、大成建設、蒜山地質

我が国は国土面積の12倍を超える管轄海域を有しており、これまでの調査で、当該海域には鉱物資源の存在が確認されているが、これらの鉱物資源に対して広大な面積を効率良く調査する技術は開発途上にある。我が国が高効率の海洋資源調査技術を世界に先駆けて確立し調査を加速することは、海洋資源開発、環境保全及び資源安全保障の観点から重要である。未開拓の部分が多い海洋において、国が主導して民間企業とともに効率的な調査技術を確立することにより、海洋資源調査産業の創出を目指す。その中で、海洋資源の成因に関する科学的研究を海洋資源の試料採取・分析により、海底下の鉱物・鉱床の成因を解明することを主目的として、本研究を行っている。2016年11-12月には地球深部探査船「ちきゅう」を用いた科学掘削、2017年9月の「よこすか」航海、2018年のJ-MARESドリルコア採取航海などに参加し、沖縄トラフ熱水域より海底下の岩石・鉱石試料に対して、鉱物組成、化学組成、流体含有物均質化温度測定などを通じ、海底面下の鉱体の形成過程の解明と資源量の調査を行ってきた。

### 3. NEDO 地熱発電技術研究開発／地熱エネルギーの高度利用化に係る技術開発／酸性熱水利用のための化学処理システム開発 分担（機関代表） 代表：西日本技術開発（H30～32年度）

代表者：米津幸太郎 連携機関：西日本技術開発（株）、富山大学

2014年4月に「エネルギー基本計画」が閣議決定され、その中で、地熱発電は2030年までに設備容量155万kW（2012年度実績53万kW）、発電電力量113億kWh（2012年度実績26億kWh）の導入拡大が掲げられている。2011年の東日本大震災以降、再生可能エネルギー導入拡大が望まれる中、世界第3位となる地熱資源を有する我が国では、ベース電源として活用可能な地熱発電が大きな注目を集めている。

地熱発電所では、地下数kmに存在する地熱流体を生産井から湧出させて、蒸気と熱水に分離し、その蒸気で発電を行い、熱水は還元井を通して地下へ還元されている。この際、熱水のpHは多くの発電所では中性付近であるが、pH3（室温値）以下の酸性熱水を噴出している生産井も存在している。生産井からは、酸性熱水のみを噴出する場合や、中性と酸性の流体が異なる深度（フィードゾーン）から噴出している場合がある。酸性熱水が噴出する場合、生産井、地上設備、還元井の配管の腐食が生じると共に、中性熱水との混合によるスケールが配管やセパレータや還元井内に多量に生成する。このため、現状では酸性井は未利用であるか、利用できても定期的な配管の交換やスケール洗浄を行っており、地熱発電を運営する上での課題となっている。海外での先行事例では、酸性井坑内に中和剤を注入して腐食を抑制しているが、薬注管が腐食や劣化により破損するとともに、中和処理によりスケールが沈殿するトラブルが報告されている。本プロジェクトでは、酸性熱水による配管腐食やスケール析出を防止する化学処理技術や配管被覆技術を中心に開発を行い、未利用酸性熱水の有効活用を図るものである。海外などの先行事例を参考にし、生産井-地上配管-還元井まで考慮した酸性熱水利用に適した効率的で経済性の高い最適な化学処理システムを構築することを目標としている。

酸性熱水の中和時に起こりうる化学反応についての室内実験及び現場試験（八丁原地熱発電所）では、pHがある領域になることで流体の濁度が急激に増加し、沈殿物の量も増えることから、その領域に達する前のpHに適切にコントロールすることで、少なくとも沈殿物の量はコントロールできることがわかった。しかし、流体中のシリカ濃度・塩濃度・微量金属濃度が沈殿物の形成に大きく寄与していることから、これらの条件を整理していく必要が今後ある。また、室内実験および現場試験（澄川地熱発電所・八丁原地熱発電所・滝上地熱発電所）での腐食試験では、さまざまな腐食条件を整え、人工的に作った腐食金属片の表面で、どのような反応が起こっているのかの分析・評価を中心に行ったが、腐食＝重量減少と考えられていたものが、それほど単純ではなく、腐食の初期は重量減少をしながらも、表面に新たな沈殿物（スケール）が生成していることがLA-ICP-MSおよびSEM-EDXでの金属片の表面近傍の精密観察で明らかとなった。腐食によって減少する元素と物質量、増加する元素と物質量を定量的に評価する方法を検討することで、あらゆる地熱水に対応できるデータを今後も室内実験・現場試験（山川地熱発電所）を通じて収集する予定である。

## 2-2. インターフェース課題研究ハブ

### 2-2-1. 身近な原料を用い大規模汚染を防止する 環境浄化材料の開発（原研究室）

様々な機能性有機高分子を重合し、これを用いて有害重金属やレアメタル等有用元素を吸着し、廃棄物から回収、さらには海水から捕集する研究を行った。また、その周辺研究として、地球環境をはじめとする非平衡開放系を理解するための基礎研究、環境応答アクチュエータを目指した機能性材料の基礎研究、環境評価を目的とした植物の光学的計測の研究も行った。以下 30 年度の実績について項目別に述べる。

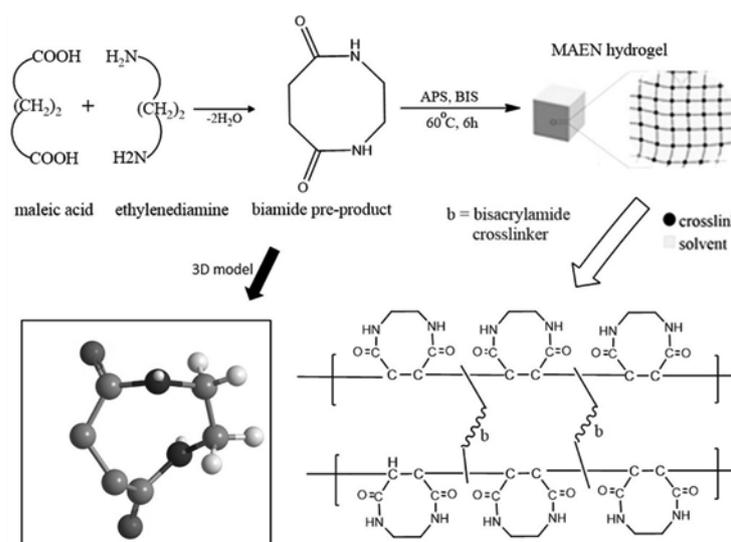
#### レアメタル・重金属のリサイクルを可能にする機能性材料開発

選択性の無い吸着材を用いた場合、有害イオンを吸着することによって環境浄化が可能であるが、複数のイオンが吸着した吸着材の後処理は難しく、一般的には水酸化処理を行って固形化し、埋め立てることによって、再資源化は困難になる。しかし、選択的な吸着が可能となれば、リサイクルは容易で、環境浄化を行った上で再資源化し、資源の循環を確立することが容易になる。この様な観点から、選択性のある吸着材の研究を行い、以下の様な成果を得た。

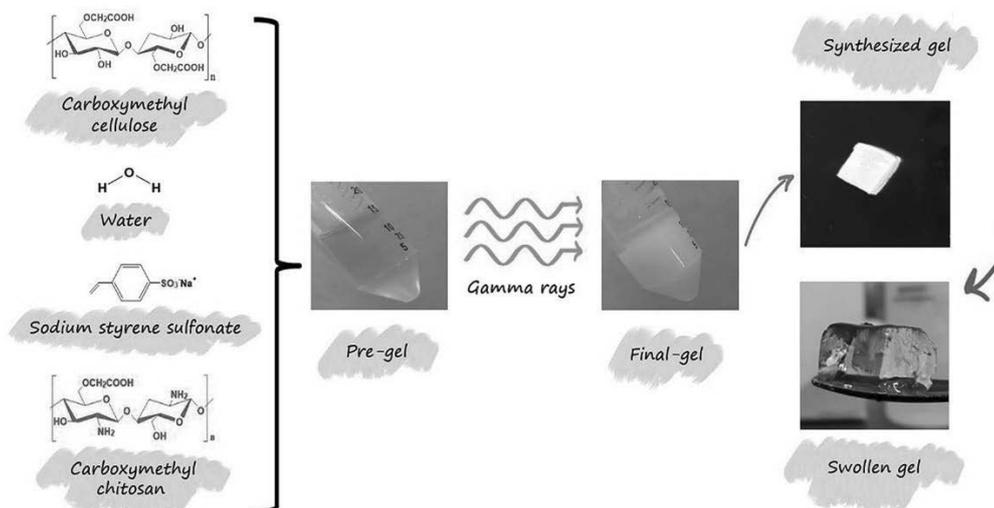
ガンマ線照射法により様々の官能基をグラフト接合した天然物由来ペクチンヒドロゲルを新たに作製し、多元素存在下における各元素に対する吸着能を調べ、多元素吸着競合状態における目的元素と官能基との相互作用の違いが吸着選択性に与える影響について初めて明らかにした。またその中において、銀イオンに対し極めて高い吸着選択性を示すペクチンヒドロゲルの作製に初めて成功した。

また、高分子ネットワーク内に新しい環状活性部位を組み込んだ新しい高分子ゲルを合成し、赤外分光および核磁気共鳴分析を行って構造の確認を行った。クラウンエーテルなどの環状部位はその環径や環内元素の配置によって特定のイオンとのホストゲスト効果により選択的な吸着を行うことが知られてきたが、今回新たに合成した新しい環構造においてもこれまでに知られていないホストゲスト効果によって特定イオンにおいて高い選択性を得ることが出来た。

以上の様に、選択性は非常に重要であるが、同様に、溶媒を効率よく取り込むための膨潤性も重要である。そこで、ガンマ線照射を利用し、多糖類ベースのグラフト化スチレンスルホン酸ナトリウム超吸水性ヒドロゲルの合成を試み、ガンマ線照射量および組成比などを変えて様々な膨潤比を有するヒドロゲルを調製することに成功し、さらに膨潤比が溶液中の金属イオン除去率に影響を及ぼすことを明らかにした。



新たな環状活性部位を持つ高分子ゲル



### ガンマ線による超吸水性ヒドロゲルの合成

#### 液晶を用いた乱流と多孔質媒質の輸送現象の研究

地球環境をマクロなスケールで見ると、エネルギーの注入と散逸が存在する非平衡開放系である。そして、非平衡開放系の秩序構造である散逸構造とそのマクロ揺動によって、局所的な秩序構造と大局的な無秩序構造が共存した弱い乱流状態にある。弱い乱流は、発生機構の解明などの研究はなされてきたが、輸送現象についての実験研究はほとんど行われていない。そこで、弱い乱流の実験に最適な液晶電気対流をモデル系として、乱流による物質輸送（乱流拡散）の実験研究を行った。その結果、弱い乱流の発生に寄与する南部-ゴールドストーン・モードが、通常の拡散とは異なり弾道的な要素を含む優拡散の発生にも強く関与していることを明らかにした。

一方、液晶中に高分子ネットワークを作製し、液晶の非平衡構造が高分子ネットワークから受ける影響についての研究も行っている。これは、近年機能性材料として活発な研究が行われている高分子/液晶複合系を、非平衡状態へ拡張したものである。また、高分子ネットワーク中の液晶電気対流は、地球資源採集と密接に関係する多孔質媒質系の流体輸送とみなすことができる。

このような現象の解明が進むことによって、地球環境などの非平衡系の輸送現象を理解するための基礎的知見が得られることが期待される。

#### 液晶エラストマーによる環境応答材料の開発

環境応答ソフトアクチュエータの利用は今後益々高まると予想される。我々は、高分子主鎖に液晶分子が結合し、さらに主鎖が架橋された液晶エラストマー(LCE)に注目し研究を進めている。今年度は、弾性率の温度変化を調べ、スメクチック性のあるLCEの弾性が相転移を境にエネルギー弾性からエントロピー弾性が支配的になることを見いだした。

#### 極微弱生化学発光測定によるマイクロ波ストレスの評価

細胞呼吸の副産物である活性酸素を起源とする極微弱生化学発光（通称生物フォトン）には、生体の様々なストレス情報が含まれている。今年度はマイクロ波の生体への影響を調べるため、マイクロ波とジュール加熱で同様な温度変化となる加熱を行って、発光強度の違いを調べた。その結果、マイクロ波加熱ではヒートスポットによると考えられる相対的に強い発光の観測に成功した。

## 2-2-2. 漂流漂着ゴミによる越境汚染の研究（清野研究室）

漂流漂着ゴミは、海洋環境問題として地域間、国際的”越境汚染“問題となっている。その原因は陸上の廃棄物の拡散であり、対策は人間社会のシステムの変革が必要なことも知られてきた。しかし散乱ごみの発生抑制は国内外で顕著な進展がなかった。しかし2015年からの持続可能な開発目標（SDGs）に海洋が位置づけられ、2018年には国連はじめ主要な国際会議の議題となり、国際協調と各国の変革が必要な問題として進展した。

当研究室は、海岸を中心に、河川の流域から外洋までの水域環境の調査研究を行ってきた。海ごみ問題は、まさに河川から外洋に連続する汚染であり、循環型社会への変革なくしては解決しない包括的な環境問題である。

当研究室では、以下のような地域社会の自然の管理の視点から調査研究、教育普及を継続している。

- ・海ごみの発生源調査と海岸生態系、地域社会への影響の現地調査。国内外の多様な主体の協働による解決の提案（九州西部海域）：図1、図2
- ・世界遺産に指定された海域の海ごみなど環境管理計画作成（宗像、五島）
- ・砂浜と干潟の土砂管理とECO-DRR（生態系を活かした防災）と管理政策
- ・海洋保護区、ジオパークへの地域知と科学知を活用した地域振興。参加型調査による地域振興の基礎研究（島嶼地域）：図2、図3
- ・国際的な絶滅危惧種カブトガニの生息地保全・再生（今津、津屋崎、曾根、中津の干潟）：図4
- ・環境DNAメタバーコーディングによる沿岸や流域の生態系のモニタリング（対馬、五島、糸島、日田）
- ・災害からの復興での地域知の活用。制度的課題の研究（東北太平洋沿岸、九州北部山間地）

海ごみ問題ははじめ、地球規模の環境問題の解決には、地域～全国～国際の連続的な対策と合意形成が必要である。当研究室では、地域社会での自然観察会を協働開催し、九州水フォーラムを企画し、国の海岸等の政策、生物多様性・水・市民参加に関する国際条約関係会議にコミットしている。



図1 大量の漂着ごみ（対馬西岸）

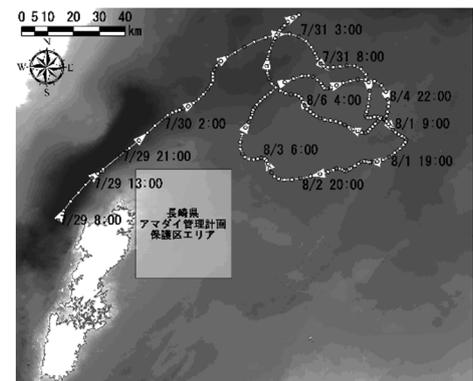


図2 漂流ブイによる対馬渦の観測



図3 島嶼の溶岩台地の円畑（五島）



図4 カブトガニ生息地の保全・再生

## 2-3. ローカル課題研究ハブ

### 2-3-1. 廃棄物の適正処理および循環資源化に関する研究（島岡研究室）

島岡研究室では、1. 循環型社会の構築、2. 最終処分技術開発、3. 廃棄物適正処理、4. 地球環境問題解決への貢献を目的とした研究活動を実施している。



図 1 都市物質代謝機構と主要研究課題

表 1 平成 30 年度研究課題

研究課題	資源循環	プラスチック	災害廃棄物	最終処分	土壌汚染	温室効果ガス	環境計画・評価
都市ごみ焼却灰からの水素ガス発生特性と発生促進	●						
都市ごみ焼却灰のセメント原料化のための脱塩技術	●						
魚滓を有効利用した都市ごみ焼却飛灰中の重金属の不溶化	●						
産業用プラスチック資材の資源循環フローとストックの推定	●	●					●
UAV画像解析による海岸漂着プラスチック量の推定		●					
災害廃棄物処理マネージメントシステムに関する研究			●				●
災害廃棄物発生量と処理フロー推定のためのマテリアルフロー分析			●				●
ドローンを利用した除染廃棄物仮置場キャッピングの破損部・破損危険部の検出			●				
除染事業のLCA評価を目的とした仮置場撤去に伴うジオシンセティック処理の現状把握			●				
災害廃棄物を受け入れた埋立地の環境リスク評価			●	●			
微生物環境の時空間的制御が可能な廃棄物埋立処分システムの構築				●		●	
廃棄物焼却残渣固化式処分システムの環境経済評価				●		●	●
都市ごみ焼却残渣固化式処分場の埋立特性に関する研究				●			
都市ごみ焼却残渣固化体の物理・化学・生物・鉱物学的挙動に関する研究				●			
海面処分場の早期安定化を目的とした都市ごみ焼却灰の開水路分級技術の開発				●			
ウルトラファインバブルによる埋立廃棄物の安定化促進				●			
都市ごみ溶融飛灰の最終処分の最適化に関する研究				●			
気候変動に伴う極端豪雨が最終処分場に及ぼす影響				●			
廃棄物埋立地における埋没遮水シートの耐久性評価に関する研究				●			
知能を有する遮水工システムの開発				●			
アフガニスタンカブール市における廃棄物処理の適正化に関する研究					●		●
高濃度の水銀汚染に適応できる土壌溶媒洗浄技術に関する研究					●		

### (1) 微生物環境の時空間的制御が可能な廃棄物埋立処分システムの構築

東アジア圏を対象に、廃棄物埋立地の環境安全性、早期安定化の観点に加え、温室効果ガスの放出抑制、埋立ガスの有効利用等の観点から、地域に適し、かつ低コストな埋立処分および埋立地の維持管理手法の研究を実施している。

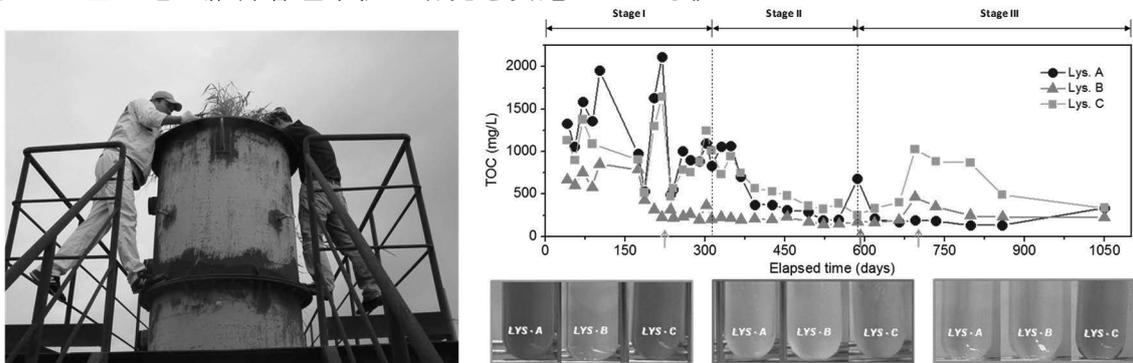


図2 上海市老港廃棄物処分場に設置したライシメータ

図3 採取した浸出水の TOC 濃度の推移と色の変化

### (2) 途上国の廃棄物埋立地における温室効果ガス放出量の推定

廃棄物埋立地からは、人為起源によるメタンガスの約1割が放出されている。廃棄物埋立地からのメタン放出量の面的分布を効率的に計測するための研究を行っており、現地観測、数値モデル、リモートセンシングを組み合わせたモニタリング手法を開発している。



図4 インドネシアタマカハ処分場におけるメタン濃度計測

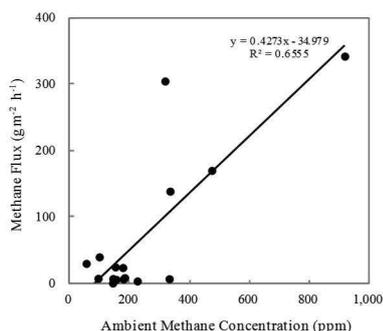


図5 メタンフラックスとメタン濃度の相関

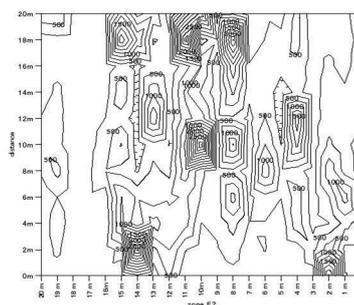


図6 タマカハ処分場のメタン濃度分布

### (3) 都市ごみ焼却灰中の金属アルミニウム由来する水素ガスの発生機構の解明と有効利用

清掃工場から排出される廃棄物焼却灰には資源循環に回らなかった金属アルミニウムが数%のオーダで含まれているため、高アルカリを示す焼却灰と水の反応により水素ガスが発生する。焼却灰からの水素ガスの発生促進及び有効利用に関する研究を行っている。

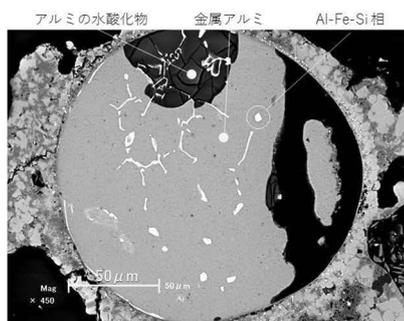


図7 焼却灰中の金属アルミニウム (SEM 画像)

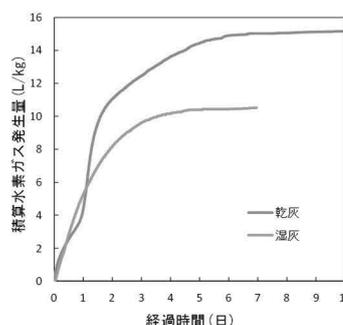


図8 焼却灰からの水素ガス発生量

## 2-3-2. 環境と防災の融合研究（新しい Eco-DRR への挑戦）（三谷研究室）

望ましい地圏環境創出のための新しい体系の確立を目的として、地圏の開発・利用のあり方、さらには、これらが自然環境や社会環境に及ぼす影響の総合的な評価および環境と調和した開発や建設技術のあり方について研究を行っている。そのため、研究の対象となる領域は幅広く、地盤工学、岩盤工学、地質学、水工学、河川工学、計画学、農学、生態学、経済学、情報学などの知識・技術を学際的に取り込んだ研究を官民と協働しながら行っている。また、最新の情報技術である地理情報システム（GIS）を積極的に活用し、研究を行っている。具体的な研究の領域としては、「地圏環境」、「地下開発」、「災害の予測・防災」、「維持管理」、「国土保全」を柱とする。

### 1. CO<sub>2</sub> 地中貯留のための岩石の透過・貯留特性の研究

二酸化炭素排出量の増加は世界的な問題となっている。そこで注目されているのが、CO<sub>2</sub> 地中貯留技術（Carbon dioxide Capture and Storage）である。この技術は、工場等で排出された二酸化炭素を地中深部の岩盤中に貯留するという技術であり、岩盤中での二酸化炭素の貯留形態や透過挙動を把握することが重要となる。本研究では、地下深部の温度・圧力条件を室内実験で再現し、様々な岩石に CO<sub>2</sub> を注入する実験を行い、様々な物理指標のデータを取得することで、CO<sub>2</sub> 透過メカニズムを解明する。

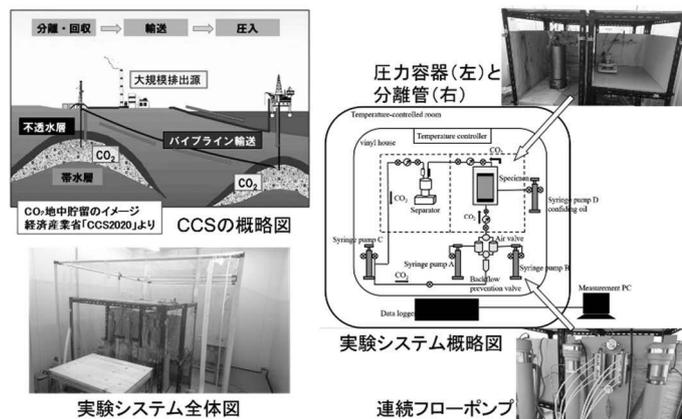


図1 CO<sub>2</sub> 地中貯留のための岩石の透過・貯留特性の研究

### 2. 山地河川における土砂流出に関する研究

急峻な地形かつ多雨気候である日本は、活発な斜面の浸食、崩壊に伴い多くの土砂が流出する。ダム貯水池における堆砂は、ダムの機能低下や下流河川の環境に大きな影響を及ぼすため、ダムの通砂、排砂システムが整備されている。しかし、このような対策が効果的に推進されるためには、土砂の流出現象を定量的に把握することが重要となる。本研究では、地理情報システム（GIS）を用いた地形解析、ドローン（UAV）による空撮写真を用いた河川の三次元モデリング、河川の二次元モデルによる河床変動計算などの手法を用いて、山地河川における流出土砂の特性を定量的に評価することを目指す。

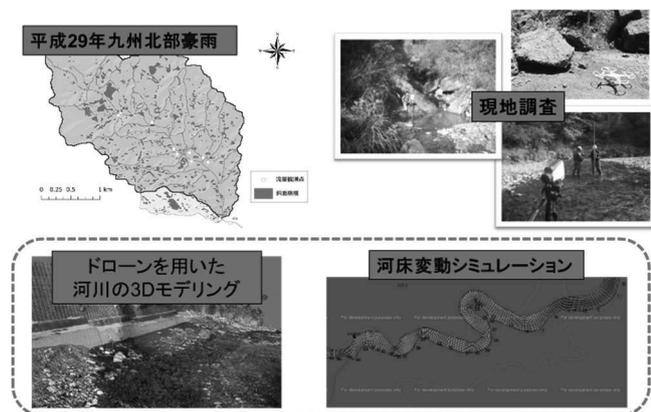


図2 山地河川における土砂流出に関する研究

### 3. 衛星データを活用した大規模災害の研究

地震・津波・豪雨等により大規模災害が発生した場合、早期に広域の被害状況を把握することは、人命救助、二次災害の防止、復旧活動において重要であり、その手段のひとつとして人工衛星によるリモートセンシングが挙げられる。本研究では、大規模災害時に緊急観測された衛星情報と平常時の地理空間情報とを組み合わせる被害の解析手法の検討を行うとともに、その解析結果をユーザー（国、地方自治体、民間等）が利活用しやすい形で提供する仕組みを構築する。



図3 衛星データを活用した大規模災害の研究

### 4. グリーンインフラによる都市計画に関する研究

多くの資源を消費する都市域において食料や水の供給、気候の安定など、生物多様性を基盤とする生態系の保全が持続可能な地域環境の構築に繋がる。現在、インドネシアのマカッサル市では、急激な人口増加により市街地の拡大とともに緑地が減少し、無秩序な開発により野生動植物の生息地の分断化が生じている。本研究ではマカッサル市の1997年から2012年までの土地利用データを基に生態連携指数（ECI）等を解析し、グリーンインフラストラクチャーの導入等の生態系サービスを生かした都市開発の検討を進めている。

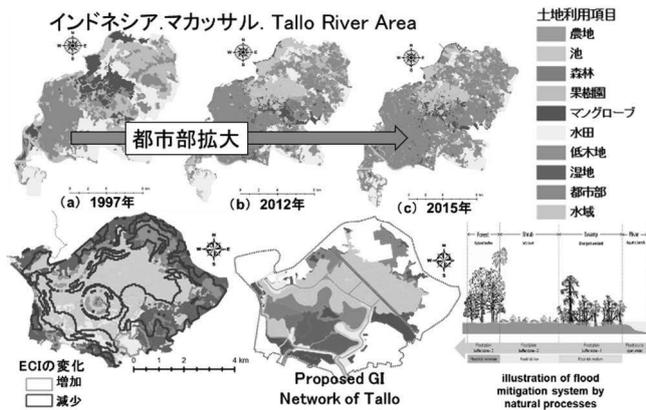


図4 グリーンインフラによる都市計画に関する研究

### 5. ICTを用いた地域防災に関する研究

これまでの地域防災は、行政が地域を守る「公助」の考え方が主流であったが、東日本大震災を教訓として、地域協働で守る「自助・共助」の考え方が求められている。本研究では、防災に関する様々な地理空間情報及びGISを活用して、自助・共助・公助の連携の取れた住民行政協働の防災体制を構築し、地域防災力を向上させることを目指した研究を行っている。具体的には、地方自治体・民間企業と連携した効率的な防災・避難計画策を決定できる防災・減災システムの構築・実証に関する研究に加えて、住民の災害時の避難行動の効果を向上させるリスクコミュニケーションに関する研究を行っている。



図5 ICTを用いた地域防災に関する研究

### 2-3-3. 持続可能な温泉資源活用のための探査・モニタリング技術の研究（藤光研究室）

大分県別府市は、温泉湧出量、源泉数共に日本一の温泉地である。1960年代から1970年代にかけての第二次温泉掘削ブームでは多数の井戸の掘削により温泉開発が進んだ一方で、過剰な掘削と温泉水の取水による自噴泉の減少が問題となった。さらに2012年からスタートした再生可能エネルギーの固定価格買取制度により別府地域でも温泉発電の導入が促進された。その結果、2017年3月末時点での温泉発電等設備導入数は全国29か所中17か所が別府地域に集中しており、別府地域の温泉利用は今後も増大して行くことが予想されている。

当研究室では、別府市の温泉資源を長期間安定して利用して行くことを目的として、別府地域の地下構造探査、熱水流動シミュレーションによる温泉帯水層の数値モデリング、微小重力変動観測による温泉帯水層モニタリングなどの研究を実施している。

2018年度は、これまでの重力データによる解析では地下構造が不明瞭であった鉄輪地域について集中的に重力探査を行い、本地域の詳細な地下構造推定を行った。

2018年秋に鉄輪地域を対象に合計62点の重力探査を実施した。使用した重力計はScintrex CG-3+型相対重力計で、測定点位置の測量にはネットワーク型リアルタイムキネマティック測量を適用した。得られた62点の重力データに、産業技術総合研究所が既存データを整理・編纂して作成した重力データベースのデータ431点を加えた合計493点の重力データに各種重力補正を施して重力異常分布を算出した。その際に使用した補正密度は $2.3 \text{ g/cm}^3$ で、地形補正には50 mメッシュのDEMデータを用いた。対象地域深部の大局的な構造を表す重力分布傾向面は1次から3次までの3種類を比較した結果、3次傾向面が既知の浅部地下構造を最も明瞭に表現していたため、重力異常図から3次傾向面を差し引いて3次傾向面残差図を作成した。得られた3次傾向面残差図に対して2層構造を仮定した3次元基盤構造解析を行い、基盤深度分布を推定した。

本研究では、特に鉄輪地域に注目して別府地域の地下構造の考察を行った。基盤構造解析で得られた基盤深度分布からは、鉄輪地域に存在が推定されている東西走向の鉄輪断層は不明瞭で、むしろ複数の貫入岩が浅部に到達しているような構造が見られる。基盤深度と泉温分布とを比較すると、高温部分は基盤深度が浅い部分を避けるように地表標高の高い側から低い側に延びている。このことから、鉄輪地域は複数の貫入岩により熱水流動が規制されているために流路が複雑であり、様々な泉質を持つ温泉水が混ざり合い泉質が複雑化している可能性が考えられる。

今後は、2018年度に得られた重力構造探査の結果にさらに重力データを追加して別府地域の詳細な地下構造の解明を進めると共に、重力構造探査の結果を温泉帯水層の数値モデリングにも反映させて、数値モデルの改良を行って行く。