

# 重点研究分野の概要

## (進捗・成果等の報告)

重点研究分野とは

「福島での課題解決」に結びつく研究を重点研究分野「foR プロジェクト」に指定しました。震災や原発事故による深刻な地域課題の解決に向け、研究が加速することが期待されます。

### (1) foR-F プロジェクト

福島県の地域課題の解決に必要な研究であるとともに、国策としても重要な研究など、特に地域・社会ニーズが高いと認知されている、将来的に大学の価値を高める(大学の特色となる)ことが見込まれると学長が判断した研究を行うプロジェクト

### (2) foR-A プロジェクト

福島県の地域課題の解決に必要な研究を行うプロジェクト

R は Research、F は Future、A は Area の頭文字。

重点研究分野の概要  
(進捗・成果等の報告)

No	代表者	研究課題	
1	高橋 隆行	foR-Fプロジェクト	環境放射能調査用水中ロボットの開発とイノベーション・コースト構想への貢献 (実施期間：令和元年5月1日～令和2年3月31日)
2	吉田 樹	foR-Fプロジェクト	超高齢社会における「福島版MaaS」モデルの構築 (実施期間：令和元年5月1日～令和2年3月31日)
3	長橋 良隆	foR-Aプロジェクト	吾妻山から流下し福島市街地を襲った火山泥流の実態解明と被害軽減のための提言 (実施期間：令和元年5月1日～令和2年3月31日)
4	兼子 伸吾	foR-Aプロジェクト	生殖細胞を対象とした放射線被ばくに伴う遺伝的影響評価法の確立 (実施期間：令和元年5月1日～令和2年3月31日)
5	大橋 弘範	foR-Aプロジェクト	福島特化型ガス化発電法の確立と最終処分材料へ変換されたセシウムの安全性評価 (実施期間：令和元年5月1日～令和2年3月31日)

## 環境放射能調査用水中ロボットの開発と

### イノベーション・コースト構想への貢献に関する研究

(実施期間：令和元年5月1日～令和2年3月31日)

代表者 共生システム理工学類 教授 高橋 隆行

#### 研究の進捗状況

本プロジェクトで開発する水中ロボットの目標性能は、(1)母船を使わず岸からの投入で自立的かつ自律的に往復約 10km (猪苗代湖の湖岸から湖心までを想定)の調査が行えること、(2)2人で運搬可能な 30kg 以下の重量とすること、である。これを実現するために、低レイノズル数で有効な水中翼、小型浮力調整器、従来比で2倍の推力を持つ採泥用小型スラスト、ロボットの姿勢制御システム、不攪乱柱状採泥器、水中マニピュレータ、基地局との無線通信システム、水中でのロボット位置計測システム、光カップリングシステムの開発を進めている。初期の計画に対して若干の遅れはあるものの、各テーマの開発は概ね順調に進捗している。以下に、いくつかのサブテーマの進捗について抜粋して箇条書きでまとめる。

#### 小型浮力調整器

これまで、水素吸蔵合金、炭酸ガスなどを利用した浮力調整器の開発を進めてきたが、いずれの手法も目標とする性能に達しないことが明らかとなった。そこで今年度は新たな方式として、低摩擦・超撥水材料であるフッ素樹脂 (PTFE) を用いた浮力調整器を飯田製作所 (福島県本宮市) と共同で開発することとした。基本性能を試験するための実験装置を製作し、水圧 1 [MPa] 下での PTFE の摩擦力を計測した。その結果、摩擦力が 11.55 [N] (動作効率約 93.8%) と非常に高い動作効率であることが確認できた。【受賞[3]】

従来比で 2 倍の推力を持つ採泥用小型スラスト

スラストの更なる軽量化を図るために、モータを直接水中で駆動する手法について検討を行った。当初は、カスタムモータの開発を行うことも視野に入れていたが、最終的に市販のブラシレスモータを改造する方針に転換して開発を進めた。実験の結果、通常のセンサレス・ブラシレス駆動

では 200[rpm]以下の低速回転が実現できないことが明らかとなり、沖マイクロ技研 (二本松市) と共同で磁気解析を行ってセンサ駆動方式に改造し、目的のモータが実現できる可能性を明らかにした。

#### ロボットの姿勢制御システム

ロボットに搭載する姿勢制御システムとして、差動駆動ネジ機構を利用した新たな姿勢制御装置を考案した。この装置は、右ネジと左ネジを向かい合わせて配置することで、ナットに固定された錘が前後に並進移動かつ、ネジの軸周りに回転移動することができる。簡易的な実験装置を試作して検証を行ったところ、本機構を用いて、実際に重心移動によって水中で姿勢を変化させることができることを確認した。

#### 水中マニピュレータ

関節に低融点合金 (LMPA) を用いた、コンパクトに巻取り可能なマニピュレータの試作を行い、実験の結果、最大約 100 [Nm] の負荷に耐えられることが分かった。また、これまでの関節構造では、LMPA を冷却して関節が固定モードへ遷移する際に、LMPA の凝固に伴う収縮作用によって関節に空気が混入することが実験から確認された。そこで新しい関節構造を考案した結果、空気の混入を防ぐことに成功し強度が約 40% 向上した。さらに、誘導加熱を用いた加熱ユニット (LC 共振回路) の共振周波数と加熱対象物の温度の間に相関があることが確認された。これにより、共振周波数を調べることで加熱対象物の温度を測定ができる可能性を示した。【受賞[1][2]】

#### 光カップリングシステム

福島三技協 (福島市) ならびにドイツの Fraunhofer Heinrich Hertz 研究所が開発した空中用光通信装置を用いて、水中光通信の開発を行った。実験の結果、レンズなどを用いずに光ファイバーのみで通信を行った場合でも、水中で DVD 以上 (約 10 Mbps) の高速通信が可能であることが確

認められた。

### foR プロジェクトの指定及び財政的支援を受けての効果

foR プロジェクトの採択を受けることで、研究の有用性を対外的に説明しやすくなるなどの効果があり、大型の外部資金獲得の際に有利に働いたと考えている。その結果として、研究員や特任助教を雇用できたことと装置の保守費を確保できた点も有益であった。これらの費目は予算獲得が容易ではなく、研究の進捗ならびに研究環境の維持に大変有益であった。また、雇用した研究員・特任助教は、研究代表者との緊密な協力体制を構築することで、研究の推進ならびに学生教育の両面で大きな効果を挙げた。また、地域企業との連携を進めることで、県内企業のロボット技術の向上を図り、イノベーション・コースト構想の実現に貢献したものと考えている。

### 関連する研究実績

#### [ 外部資金 ]

[1] 福島県産学連携ロボット研究開発支援事業費補助金、不攪乱柱状採泥機能を有する水中グライダー型環境放射能調査用ロボットの開発、2018-20、代表、60,000 千円（3 年間）。

[2] 科研費基盤(B)、Long-term dynamics of radiocesium in aquatic ecosystems of Fukushima and Chernobyl contaminated areas、2018-20、分担（代表：Konoplev Aleksei）、7,200 千円（2018 単年）。

#### [ 学会発表 ]

[1] 瀬戸徳文、Canete Luis、情野瑛、高橋隆行、“低融点合金を用いた原子炉内部モニタリングアーム - アーム関節の構造、強度評価および加熱装置の開発 - ”、第 20 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会、2019.12。

[2] 船越一希、CANETE Luis、情野瑛、高橋隆行、野渡透一、三宅茂夫、後藤大輔、“水中ロボットののための PTFE を用いた超小型浮力調整器の検討”、第 20 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会、2019.12。  
他 11 件

#### [ 受賞 ]

[1] 優秀講演賞、公益財団法人計測自動制御学会、学会発表[1]、【備考】発表件数 848 件（受賞件数非公開）

[2] 競基弘賞レスキュー工学奨励賞（共同で研究を実施した大学院生（瀬戸徳文））、【備考】審査対象 28 件（関連 3 セッション）中受賞 1 件（講演会全体としての発表件数 848 件）「奨励賞」という名称ではあるが、講演から選ばれる賞としては最高賞

[3] 優秀講演賞、公益財団法人計測自動制御学会、学会発表[2]、【備考】発表件数 848 件（受賞件数非公開）

# 超高齢社会における「福島版 MaaS」モデルの構築

## に関する研究

(実施期間：令和元年 5 月 1 日～令和 2 年 3 月 31 日)

代表者 経済経営学類 准教授 吉田 樹

### 研究の進捗状況

本研究は、超高齢社会の到来で懸念される移動の課題を解決する「地方型 MaaS (Mobility-as-a-Service)」のモデルを福島県において実証的に構築することを目指している。県内の関係主体(県内自治体, 交通事業者)に加え, ユーザー同士がつながる「小さな交通」のシステムを提供する企業や団体, 日本福祉のまちづくり学会(地域福祉のモビリティ・デザイン特別研究委員会)に所属する研究者を加えた「コンソーシアム」を設立しており, 会津若松市の「会津 Samurai MaaS プロジェクト」と, 郡山市を対象としたプロジェクトチーム(郡山版 MaaS プロジェクト)を組織している。

二年目(2019 年度)に関しては, 第一に, 南相馬市の定額タクシーサービス「みなタク」の配車データの分析結果から, 定額制の導入による利用頻度向上や増収が図られる条件を明らかにし, 学会報告を行った。第二に, プロジェクトの連携団体である, (一財)トヨタ・モビリティ基金のほか, 国土交通省総合政策局の助成を受け, コンソーシアムが組織された郡山市と会津若松市を対象とする MaaS の「プレ社会実験」を行った。まず, 会津 Samurai MaaS プロジェクトでは, 構成員である, デザインウム(会津大学発のベンチャー企業)が発券や目的地検索サービスのアプリ開発を行い, 教育旅行, 会津鉄道利用者, 市街地の生活者や観光客の 3 つのターゲットに的を絞った社会実験に取り組んだ結果, 数百人の利用があった。また, (公財)交通エコロジー・モビリティ財団の協力により, グリーンスローモビリティ(低速電動車両)の車両貸与を受け, 芦ノ牧温泉におけるラストマイル送迎の社会実験を行い, 在来の公共交通を補完する「小さな交通」の提供方策を検討した。郡山市においては, 過年度の研究成果を踏まえ, 郡山観光交通(タクシー)による, 「この指とまれ」方式における会員制相乗りサービスを三穂田町を対象に開始した。しかし, 当初予定されていた, 福島交通(路線バス)と連携した定額制サービスの社会実験は, 台風 19 号被害(営業所の水没)による大幅減便が年度末

まで続いたことにより, 2020 年度に延期することにした。

### foR プロジェクトにおける支援を受けて

本プロジェクトの支援により, 本学が「地方版 MaaS」をはじめとしたモビリティサービスの実証的研究拠点であることが浸透しつつある。具体的には, (一財)トヨタ・モビリティ基金からの受託研究を 2019 年度から受入れ, 特任准教授(長野博一氏)の採用に至ったほか, 同基金が本プロジェクトの連携団体となり, コンソーシアムが組織された郡山市と会津若松市における MaaS の「プレ社会実験」に必要なアプリ開発や現地のコーディネーターの雇用経費を支援いただけることになった。

また, 研究成果を報告した, 第 39 回交通工学研究発表会では研究奨励賞に, 日本福祉のまちづくり学会第 22 回全国大会では大会奨励賞をそれぞれ受賞することができた。

### 関連する研究実績

#### [ 外部資金 ]

- 科学研究費 基盤研究 (C) 『ルーラル地域に「なじむ」連携型モビリティサービスの提供方法に関する研究』代表, 3,300 千円 (直接経費: 2019~21 年度)
- 受託研究(トヨタ・モビリティ基金) 『地域活性化に寄与する移動の仕組みの構築に関する研究』代表, 10,000 千円 (間接経費含む: 2019 年度)

#### [ 論文 ]

- 1) 吉田 樹(2020): 次世代交通に求められるコラボティブ, 都市計画, 344, 44-47.
- 2) 吉田 樹(2020): 地方小都市における乗用タクシーの定額制サービス導入可能性の検討 - 福島県南相馬市のケーススタディ -, 交通工学論文集, 6(2), A\_183-A\_189, DOI: [https://doi.org/10.14954/jste.6.2\\_A\\_183](https://doi.org/10.14954/jste.6.2_A_183).
- 3) 吉田 樹(2020): 積雪寒冷地における生活交通の確保 - 冬季の地域公共交通が抱え

- る課題と新たなモビリティへの期待，都市計画，342，66-67．
- 4) 吉田 樹(2019)：地方分権と地域公共交通 - 自家用有償旅客運送を例として，都市問題，110(3)44-57．

[学会発表]

- 1) 吉田 樹(2019)：地方都市における乗合バスの運賃体系構築に関する実証分析，第 60 回土木計画学研究発表会，富山大学五福キャンパス，2019 年 11 月 30 日．
- 2) 吉田 樹(2019)：地方公共交通におけるプライシングの論点，第 60 回土木計画学研究発表会，富山大学五福キャンパス，2019 年 11 月 30 日．
- 3) 吉田 樹(2019)：非誘導区域での交通政策，2019 年度日本建築学会大会，金沢工業大学，2019 年 9 月 2 日．
- 4) 吉田 樹(2019)：地方部における MaaS 構築の論点 - 乗用タクシーの定額サービス導入に着目して - ，第 22 回日本福祉のまちづくり学会全国大会，日本大学理工学部（東京都千代田区），2019 年 8 月 9 日．
- 5) 吉田 樹(2019)：地方部における乗用タクシーの定額制サービス導入可能性の検討 - 福島県南相馬市のケーススタディ - ，第 39 回交通工学研究発表会，日本大学理工学部（東京都千代田区），2019 年 8 月 7 日．
- 6) 吉田 樹(2019)：地方部における MaaS 構築の課題と可能性 タクシーのサブスクリプションに着目して ，第 59 回土木計画学研究発表会，名城大学，2019 年 6 月 9 日．

# 吾妻山から流下し福島市街地を襲った火山泥流の実態解明と

## 被害軽減のための提言に関する研究

(実施期間：令和元年 5 月 1 日～令和 2 年 3 月 31 日)

代表者 共生システム理工学類 教授 長橋 良隆

### 研究の進捗状況

本研究では、福島盆地の 4 地点において深度 30 m のコアボーリングを実施し、ボーリングコアの地質学的観察に基づく層相解析から堆積物の成因を検討した。その上で、放射性炭素年代測定による堆積物の年代と同定した火山泥流堆積物の層序と分布から、その到達範囲と発生履歴について検討した。以下、本研究の成果の概要について記述する。

#### 附属小学校ボーリングコア

本コアの名称を FZK2019 コアとする。掘削は 8/7～8/21 に実施した。深度 0.00 m～1.78 m は盛土、深度 1.78 m～2.27 m は黒色の土壌層、深度 2.27 m～6.82 m は細粒砂の薄層を挟在する灰色のシルト・砂質シルト層、深度 6.82 m 以深はシルト層あるいは比較的淘汰の良い細粒～粗粒砂層と層厚数 10 cm～2 m 程度の砂礫層との互層からなる。放射性炭素年代測定の結果、深度 2.13 m の土壌層が約 4 千年前、深度 13.43 m の砂質シルト層が約 5 万 5 千年前、深度 21.13 m のシルト層が年代測定の範囲外（6 万年より古い）であった。深度 2.27 m～6.82 m の灰色のシルト～砂質シルト層は 6.82 m 以深の砂礫層の基質部やシルト層あるいは砂層と色調が類似しており、構成物質が同質であると考えられる。よって深度 1.78 m～2.27 m の黒色の土壌層のみが数千年前の新しい時代の堆積物であり、それ以深の地層は数万年前（他地点との比較から約 2～3 万年前か）よりも古い時代の堆積物と考えられる。

FZK2019 コアの深度 6.82 m～30.0 m に挟まる砂礫層には、特徴的な青灰色を呈し、シルト～細粒砂の淘汰の悪い基質支持の礫層があり、通常の河川成の礫層とは層相がやや異なる。しかし、含まれる礫は多種類の火山岩と花こう岩や堆積岩の亜円～円礫からなることから、火山泥流堆積物の可能性は低い。深度 6.82 m～30.0 m の地層は、当時の河川の流路の砂礫層と自然堤防あるいは後背湿地の細粒堆積物からなると解釈される。

#### 鳥川小学校ボーリングコア

本コアの名称を TRK2019 コアとする。掘削は 8/22～9/6 に実施した。TRK2019 コアは、全体を通して層厚 2～4 m 程度の砂礫層の重なりからなり、その間に薄い砂層やシルト層が挟まる。放射性炭素年代測定の結果、深度 7.93 m の細粒砂層が約 2 万 8 千年前と予想に反して古い年代を示した。その上下位の砂礫層は連続しており、層相も類似することから、地表に近い深度 1.1 m の砂礫層そのものが約 2 万年前よりも古い地層であると考えられる。砂礫層は、細粒～中粒砂の淘汰普通の基質をもつ礫支持の礫層からなることから、当時の河川の流路の堆積物と考えられる。その他、深度 24.71 m～25.28 m には降下火山砕屑物が認められる。これらは下位より順に、層厚 8 cm の細粒砂サイズ～極粗粒砂サイズの火山灰（ブルカノ式噴火）、層厚 20 cm の軽石とスコリア（プリニー式噴火）、層厚 13 cm の灰色シルト、層厚 16 cm の黄白色粘土質シルトの火山灰（水蒸気噴火）からなる。

#### 水保小学校ボーリングコア

本コアを MZH2019 コアとする。掘削は 10/29～11/14 に実施した。深度 1.40 m～6.02 m は砂層あるいは砂礫層と泥炭層との互層、深度 6.02 m～16.20 m は砂礫層（深度 6.02 m～7.20 m は泥炭層と降下火山砕屑物）、深度 16.20 m～30.00 m（下限不明）は径数 10 cm の礫を含む岩屑なだれ堆積物からなる。放射性炭素年代測定の結果、深度 2.86 m、3.33 m、3.72 m の泥炭層が、それぞれ約 6 千年前、約 5 千 9 百年前、約 5 千 9 百年前とほぼ同じ年代を示した。また、深度 6.07 m、6.55 m、6.87 m、7.51 m の泥炭層が、それぞれ約 2 万 7 千年前、約 3 万年前、約 3 万 5 百年前、約 3 万 1 千年前を示した。このことから深度 6.02 m 付近に堆積の間隙があり、深度 6.02 m より上位の地層は約 6 千年前よりも新しく、下位の地層は約 2 万 7 千年前よりも古い。深度 1.40 m～6.02 m 間に挟まる砂層あるいは砂礫層は特徴的な青灰色を呈し、その構成粒子は白色や灰色の変質岩片を主体とし、破片状ではあるが清澄な斜方輝石・単斜輝石を含み、一部の試料にはホルンブレンドも含まれる。これ

らの砂層や砂礫層は、当時の河川の流路から溢れて湿地に流入したと考えられ、色調や構成粒子から火山泥流堆積物と解釈される。また、深度 6.42 m には、層厚 1.5 cm、白色、極細粒砂サイズのガラス質火山灰層が挟まる。この火山灰はほとんどが扁平型の火山ガラスからなること、直下の泥炭層の放射性炭素年代が約 3 万年前を示すことから、広域火山灰層として日本で最もよく知られている、鹿児島県の始良カルデラから飛来し降下した始良-Tn 火山灰 (AT 火山灰) と考えられる。その少し下位の深度 6.56 m ~ 6.68 m には降下火山砕屑物が認められる。これらは下位より順に、層厚 5 cm の肌色あるいは黄色のシルト質火山灰 (水蒸気噴火)、層厚 7 cm の黒色のシルト~中粒砂サイズの火山灰 (ブルカノ式噴火) からなる。

#### 庭塚小学校ボーリングコア

本コアの名称を NWT2019 コアとする。掘削は 11/14 ~ 11/28 に実施した NWT2019 コアは、深度 1.40 m ~ 3.23 m のシルト~細粒砂 (薄い有機質シルトを挟む)、深度 3.23 m ~ 8.35 m の砂礫層、深度 8.35 m ~ 30.00 m (下限不明) の岩屑なだれ堆積物からなる。ただし、深度 22.0 m ~ 23.0 m 部分は、シルト層や極細粒砂~細粒砂層や中粒砂~粗粒砂層が成層しておりこの部分を境に岩屑なだれ堆積物の層相が異なる。NWT2019 コアでは放射性炭素年代の測定が行えなかったが、深度 3.23 m 以深は数万年~数十万年前の古い時代の堆積物と予想される。

#### 吾妻山噴火に伴う火山泥流の流下について

以上述べた 4 地点のボーリングコアのうち、MZH2019 コアの深度 1.40 m ~ 6.02 m 部分に挟在する砂層あるいは砂礫層は、その層相と構成粒子の特徴から火山泥流堆積物と解釈された。その年代が約 6 千年前を示すこと、MZH2019 コアの上流にあたる白津川にも同時代の砂礫層の露頭があることから、吾妻山の小富士噴火 (Az-KF: 山元, 2005, 地質学雑誌) の活動に伴って発生した火山泥流が福島盆地の西部にまで流下したと考えられる。このことは、福島盆地西部の現河川沿いについては、火山泥流に対する警戒が必要であることを現している。

小富士噴火の活動は約 6 千 7 百年前~約 千 7 百年前までの約 1 千年間の長期にわたり、その噴出マグマの総量も  $0.4\text{km}^3$  と吾妻山の他の噴火に較べて格段に大きい (山元, 2005, 地質学雑誌)。吾妻山火山防砂マップでは、規模の大きいマグマ噴火で融雪量がとても多い場合に、福島市街地が融雪型火山泥流に覆われるシミュレーションが示されているが、TRK2019 コアや FZK2019 コアでは小富士噴火と同時代の

地層そのものがほとんど認められなかった。このことが福島市街地に火山泥流が到達しなかったことにはならないが、吾妻山火山防砂マップに示されているような規模の大きな融雪型火山泥流の流下は、過去の地層記録からみるとなかった可能性が高い。

#### foR プロジェクトにおける支援を受けて

福島盆地内の学術的コアボーリングは、舟場町コア (福島大学特定研究, 1990 年)、仁井田コアと南玄場コア (新潟大学災害・復興科学研究所 2018 年度共同研究経費) などに限られていた。本研究によって新たに 4 地点の学術的ボーリングコアが追加され、ある程度面的に地層の分布や年代が検討できる意義は大きい。また、コアの半割・整形とコア写真の撮影、採取した合計 205 試料の水洗処理と顕微鏡観察用のプレパラートの作成などは、本経費によって分析補助者を雇用して効率的に進めることができた。

#### 関連する研究実績

##### [活動]

- 1) 活動: 吾妻山・安達太良山・磐梯山火山防災協議会委員 (火山専門家)



# 生殖細胞を対象とした放射線被ばくに伴う

## 遺伝的影響評価法の確立に関する研究

(実施期間：令和元年 5 月 1 日～令和 2 年 3 月 31 日)

代表者 共生システム理工学類 准教授 兼子 伸吾

### 研究の進捗状況

1) モデル植物を対象とした放射線の照射によって誘発される突然変異の検出に成功

放射線の照射によりどの程度突然変異が誘発されるかを評価するために、照射実験を行った。放射線非照射のコントロール区から 1.6Gy/day の放射線を照射した高線量区まで、4 処理区で育成したモデル植物のシロイヌナズナの第 2 世代において、全ゲノムの解析を行い新規の突然変異数を評価した。

その結果、照射した放射線量の上昇に伴い、誘発される突然変異数が統計的に有意に上昇することが確かめられ、今回の手法によって新規突然変異が検出できることが確認された。また、放射線の照射により突然変異数は増えるものの、量的にはごくわずかであることが確認された。これは帰還困難区域と比較して極めて高い 0.4～1.6Gy/day という線量率の照射であっても誘発される突然変異は限定的であることを示している。今後、種間の違いや個体間のバラツキなどの評価が必要であるものの、放射線の照射と突然変異の量的な関係を明示できた意味は極めて大きい。

2) 雌性配偶体のマイクロサテライト (SSR) マーカーによる突然変異評価 (突然変異は観察されず)

生殖細胞に生じた突然変異をマイクロサテライト (SSR) マーカーで評価するために、アカマツの雌性配偶体を分析した。大熊町内のアカマツから数千粒以上の種子を採取した。これらの種子を順次播種し、発芽後に解剖し子葉と雌性配偶体を分離した。分析前に分離した雌性配偶体から DNA 抽出を行うが、通常の DNA 抽出プロトコルでは安定的に高品質の DNA が抽出できなかった。そこで、雌性配偶体からの抽出プロトコルの改変を行い、量・質の双方の改善に成功した。

抽出した DNA についてマイクロサテライトマーカー 9 遺伝子座を用い、ゲノム中の計 4270 カ所について遺伝子型を決定し、種子親の遺伝

子型と比較した。その結果突然変異は全く検出されなかった。突然変異が検出されなかったため、変異率は計算できないが、少なくとも  $2.34 \times 10^{-4}$  以下である。非照射の実験環境下の生殖細胞の突然変異に関する研究は、シロイヌナズナの事例があり、変異率は  $8.87 \times 10^{-4}$  である。今回得られた値と比較すると、帰還困難区域に生育するアカマツであっても突然変異率の顕著な上昇は生じていない可能性が高い。

3) 雌性配偶体の新規一塩基多型 (SNV) マーカーによる突然変異評価 (データ取得済み、現在解析中)

生殖細胞に生じた突然変異を新規一塩基多型 (SNV) マーカーで評価するために、アカマツの雌性配偶体を分析した。上記のマイクロサテライトマーカーの解析同様、雌性配偶体を処理し DNA を抽出した。雌性配偶体から抽出した DNA は総量が少ないため、新型シーケンサーによる解析に使用できるかどうか懸念されていたが、今回の RADseq 法においては問題なくデータを取得することができた。現在、データを解析中である。

### foR プロジェクトにおける支援を受けて

1) データ解析サーバの補強によるデータ解析スピードの加速

新型シーケンサーは大量の塩基配列情報を取得できる一方で、その大量の塩基配列データを解析するためには高性能のサーバが必要となる。データ解析手法が確立しておらず、低頻度の突然変異を評価するうえで、この解析性能がボトルネックとなっていた。今回、サーバを補強したことにより、効率的な解析が可能になり、今回の成果につながった。

2) 大量のサンプル処理および DNA 分析の謝金によるサポート

放射線による突然変異はごく低頻度であるため、野生生物において実施されている DNA

分析と比較して桁違いのサンプル数を分析する必要がある。そのために必要なサポート、具体的にはサンプルの採取と整理、得られたサンプルの処理、それらのサンプルの DNA 分析などについて、学生や実験補助者等の雇用による潤沢なサポートを得ることができた。

### 3) より効率的かつ正確な分析をするための設備の保守や導入

上記のような大量の分析を行うにあたっては、設備の安定的な稼働や効率化を可能にする機器が必要となる。比較的、高額な保守サービスあるいは機器を導入することができたため、安定的かつ効率的に分析を遂行することができた。

### 関連する研究実績

[ 学会発表 ]

- 1) 兼子伸吾、上野真義、村山悠太、水澤玲子、長谷川陽一、平尾章 (2019) 野外に生育する針葉樹を対象とした突然変異率実測の試み . DNA 多型学会第 28 回学術集会、京都大学、京都市 (2019 年 11 月 28 日)

# 福島特化型ガス化発電法の確立と最終処分材料へ変換された

## セシウムの安全性評価に関する研究

(実施期間：令和元年5月1日～令和2年3月31日)

代表者 共生システム理工学類 准教授 大橋 弘範

### 研究の進捗状況

本研究プロジェクトは、福島第一原発事故で生じた土壌、廃材などの放射性セシウム汚染物について、再利用する際の漏出の危険性を考えた上で最終処分方法を提示することが一つの目的である。また、福島県は県内のエネルギー需要をすべて再生可能エネルギーで賄うことを目標に再生可能エネルギーの導入を進めているが、福島県の森林の除染が進んでいない状況に対して、福島の森林を木質バイオマス発電の資源とみなし、これを活用するための方法を模索することをもう一つの目的とした。そしてこれらの目的を達成するために、申請者は化学の立場から、以下の4テーマに取り組んできた。

**福島特化型木質バイオマスガス化における効率化手法の確立** については、これまで、 $\text{Cs}_2\text{CO}_3$  を原料から添加することでガス化率が向上することを明らかにしてきた。しかしながら、 $\text{Cs}_2\text{CO}_3$  の1回使い切りシステムでは、 $\text{Cs}_2\text{CO}_3$  のコストは膨大となってしまう。したがって、残存した  $\text{Cs}_2\text{CO}_3$  を含む残渣を再び原料に混合しガス化率を向上させることができれば、コストの軽減につながると考えた。したがって、ガス化残渣を原料に混合しガス化することでおこる可燃性ガス ( $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ) 生成量やガス化率の変化から残渣中に残存した  $\text{Cs}_2\text{CO}_3$  の触媒としての再利用が可能であるか評価した。その結果、 $\text{Cs}_2\text{CO}_3$  添加による生成ガス増加は水蒸気量 (S/C 比) に依存すること、一度ガス化した  $\text{Cs}_2\text{CO}_3$  であってもガス化反応の促進が可能であることが分かった。S/C 比が 0.5 以上の十分な水蒸気量が存在する場合、再利用した  $\text{Cs}_2\text{CO}_3$  でも可燃性ガスの  $\text{H}_2$  や  $\text{CO}$  の生成量を増加させることが可能であることが確認できた。また、生成ガスの組成としては、 $\text{H}_2$  と  $\text{CO}_2$  の割合が増加していることから、水性ガスシフト反応 ( $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \text{CO}_2$ ) を促進させることができたと考えられる。以上から十分な水蒸気量のもとで  $\text{Cs}_2\text{CO}_3$  を含む残渣の再利用は可能であることが明らかになった。

**ガス化燃焼灰のポルサイトへの変換条件検討** については、燃焼灰はカルシウムを含むものも多く、ポルサイトへの変換が難航した。このことについて、まず論文投稿を行い(下述(1))、その上で、カルシウム除去の前処理の方法についていくつか実験を行った。その結果、前処理はいくつかの方法で、カルシウム難溶性塩を作るもの分離操作が必要であり根本的な解決にはならないことが見えてきた。これについては継続して研究する予定であるが、一方で放射性セシウムを吸着させた段階で、懸濁溶液から沈殿物をしっかりと分離する方法によって、ポルサイトが合成できなかった領域でもポルサイトが合成できるようになることがわかった。これは、これまでポルサイト合成を懸濁溶液のまま行っていたからであり、このことから水溶液中のカルシウムイオンがポルサイト合成を阻害することがわかった。

**ポルサイトの耐放射線性試験とその条件検討** については、最終処分材料にする上で欠かせないが放射性セシウムを用いて実験することは現実的には難しい。そこで、京都大学複合原子力科学研究所内の Co-60  $\gamma$  線照射施設にて、安定同位体のセシウムを用いて合成したポルサイトに外部から  $\gamma$  線照射することで物理的な結晶の破壊が起きるかをみた。その結果、ポルサイトは土壌その他と比較して非常に堅牢であること、それはガンマ線照射をしても、あまり変わらないことがわかった。

**ポルサイトからのセシウムの漏出試験** については、PAC 法というアメリカ基準の分析法では、(とりわけ住民への説明を念頭に置いた場合に)説得力に欠けるため、新しい方法を模索する必要があった。上記の方法以外に独自の漏出試験装置を用いて漏出性能(漏出しないこと)を評価する予定であったが、ポルサイトの合成に失敗したり、あるいは合成できても放射線の量が少なすぎて分析できなかったりなど

多くのトラブルがあり、なかなかデータを取ることができなかった。この研究は今も継続して行われている。

#### foR プロジェクトにおける支援を受けて

放射性セシウムをやみくもに使用しての実験は難しいため、どうしても安定同位体のセシウムを使用する必要があるが、このセシウム試薬が高価であるため実験が進まないという問題があった。また、実験に使用する高圧容器は非常に高価であり、通常の研究費では買うことができず研究が進まない、という問題があった。本プロジェクトの財政的支援によって、このボトルネックを突破することができ、多くの実験結果を出すことができた。

また、この支援により出た成果の発表により、最優秀ポスター発表賞(下述(2))や優秀ポスター発表賞(下述(3))など、多くの賞をいただくことができた。多くの企業や研究者からガス化発電に関して問い合わせが来ており、これを実装することができれば、すぐに一大プロジェクトへ変貌することができるであろう。

#### 関連する研究実績

##### [ 外部資金 ]

共同研究費 1 社 1,000 千円, 受託研究費 2 社  
合計 1,270 千円

##### [ 論文 ]

- 1) 大橋 弘範、高久 遼介、上原 雅季、大槻 省悟、杉山 武晴「水熱法での放射性セシウム鉱物化における共存アルカリ金属イオンの影響(1):懸濁溶液からの合成」 環境放射能除染学会誌, 投稿・査読中

##### [ 学会発表 ]

- 1) 本田菜々子, 高野大輔, 根本くるみ, 松原蓮, 坂田紀乃, 見城花菜子, 高橋怜央, 星葵衣, 原尚志, 大橋弘範, 菊池啓一郎, 「セシウム不溶化鉱物の循環合成とその現実的なリークテスト器の試作」, 第 8 回環境放射能除染研究発表会, 2019.7 (けんしん郡山文化センター)
- 2) ○岩崎貴裕、大橋弘範、佐藤理夫、小井土賢二, 「ガス化発電による放射性セシウムを含む木質の高効率利用」, 第 8 回環境放射能除染研究発表会, 2019.7 (けんしん郡山文化センター)

- 3) 高久遼介, 高瀬つぎ子, 齊藤毅, 大橋弘範, 「 $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  線照射ポルサイトの構造とセシウムイオン溶出挙動」, 第 55 回 X 線分析討論会, 2019.10 (コラッセふくしま) 他 3 件