

社会にインパクトある研究

## C. 安全安心の実現



TOHOKU  
UNIVERSITY

C-4 放射線リスク理解の深化と放射性廃棄物の安全化

# 研究・実践集

# ■ 放射線に関するリスク 理解の深化

教育や研究を通じて個々の教員が持つ放射線や放射性物質の捉え方を共有し深めることにより、放射線や放射性物質の何を恐れ、何を恐れる必要がないかなど、「放射線についての暮らしに生きる知識」を社会に提示する。



TOHOKU  
UNIVERSITY

# 三春「実生」プロジェクト



三春や実生の「M」をハート形であらわし、種子を大切に守り育てる姿で、子供たちを放射能汚染から守るプロジェクトの思いを表現。また三枚の桜の花びらで三春の「三」をあらわし、春の訪れをイメージ。

<http://fukushima-misho.com/miharu/>

- 東北大学理学研究科の有志と三春町が連携して2011年6月20日に発足した草の根の放射線モニタリング、教育、情報発信を目的とした任意団体。
- 福島第一原発事故直後からの現在に至るまで放射線測定を継続。また、三春町のほぼ全員の小中学生にOSL線量計を配布して被ばく量を継続して測定。測定データと解析結果を専門誌で発表、公開中。（論文はこれまでに4万以上のダウンロード。）
- 事故直後、独自の判断で、安定ヨウ素剤を住民に配布・服用を指示した唯一の自治体としてその対応を検証。記録をまとめた副読本を製作中。町内の小中学生に配布し、事故の教訓を風化させない取り組みを計画している。

開発・推進

東北大学理学研究科 原子核物理研究室 / 高度教養教育・学生支援機構、福島県三春町

参考資料等

- ・ T Koike et al., Journal of Radiological Protection 34, 3, 675 (2014), Youtube 実生チャンネル:  
<https://www.youtube.com/channel/UCqZuURvQfNBovmrAJSJbDw>
- ・ 小池武志, 田村裕和「原発事故による放射能汚染の測定-核物理学研究者の取り組み-」, (「今を生きる-東日本大震災から明日へ! 復興と再生への提言5 "自然と科学"」, 吉野博・日野正輝編, 東北大学出版会, 2013年2月)



# 放射線量モニターと土壌等の汚染調査



土壌サンプルの作成  
@東北大(学部3年生)



福島の土壌汚染マップ  
(文科省)

- 福島第一原発事故直後から仙台市青葉区の放射線量を継続的に簡易測定してwebで発信し、特に仙台市の放射線量が明らかでなかった初期に、市民に貴重な情報を与えた。
- 文科省の福島の土壌汚染マップの作成プロジェクトに加わり土壌採取と放射能計測を行った。計測では物理学科3年生20名も参加し、参加機関中で最大数のサンプルを計測した。
- さまざまな団体や個人の依頼を受けて、主に宮城県や福島県の土壌や食品サンプルの放射能計測を行った。

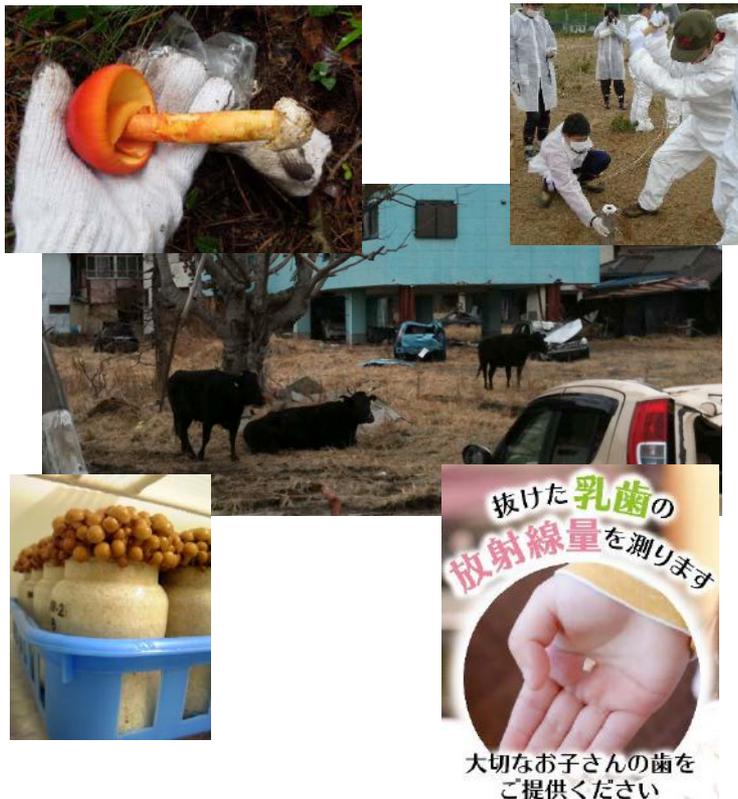
開発・推進

東北大学理学研究科 原子核物理研究室 / 高度教養教育・学生支援機構

参考資料等

- ・ 小池武志, 田村裕和「原発事故による放射能汚染の測定-核物理学研究者の取り組み-」, (「今を生きる-東日本大震災から明日へ! 復興と再生への提言5" 自然と科学"」, 吉野博・日野正輝編, 東北大学出版会, 2013年2月).
- ・ 東北大学総合学術博物館二ユースレターNo. 40, p.2-3.  
[http://www.museum.tohoku.ac.jp/press\\_info/news\\_letter/pdf/omnividens\\_no40.pdf](http://www.museum.tohoku.ac.jp/press_info/news_letter/pdf/omnividens_no40.pdf)

# 福島・宮城の環境放射能調査



- 福島原発事故被災動物の放射能汚染調査  
(加齢研、歯学研、農学研、高教セと共同)
- 乳歯を用いた福島県在住小児の被曝線量評価  
(歯学研、奥羽大、福島県歯科医師会と共同)
- 栽培キノコへの放射性セシウム移行の低減化  
(株式会社キノックスと共同)
- 宮城県内野生キノコの放射能汚染調査  
(仙台キノコ同好会と共同)
- 福島原発事故で放出された放射性物質の分析  
(大学連合と共同)

\* 以上の研究は、放射線による生物学的影響調査の基礎データとなる

開発・推進

東北大学理学研究科 放射化学研究室

参考資料等

T. Fukuda, Y. Kino, *et al.*, "Distribution of Artificial Radionuclides in Abandoned Cattle in the Evacuation Zone of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant" *Plos One* **8**, e54312 (2013). K. Koarai, Y. Kino, *et al.*, "90Sr in teeth of cattle abandoned in evacuation zone: Record of pollution from the Fukushima-Daiichi Nuclear Power Plant accident" *Sci. Rep.* **6**, 24077 (2016). 木村栄一、嶋原隆、木野康志、入澤歩, "キノコの除染材及びそれを用いたキノコの人工栽培方法" 特許第5590194号(P5590194) (2014).

# 放射線に関する講演会、放射線測定実習セミナー



- 放射線・放射性物質に関する基礎知識を得るための講演会、幼稚園・保育所・小中高の学校や保護者向けの出前授業等を多数実施。

- 放射線測定の原理及び特性について複数の測定器を比較することで理解してもらうための実習セミナーを開催。



- 放射線の発生や物質との反応は量子力学の領域であり確率的に現象が起きる  
→ 測定値がゆらぐことを実際に確認してもらう

開発・推進

東北大学理学研究科 原子核物理研究室

参考資料等

- ・ 2011/7/2 に実施した放射線測定実習セミナーのページ <https://sites.google.com/site/hakarikata702/>
- ・ 東北大学総合学術博物館ニュースレターNo. 40, p.2-3.  
[http://www.museum.tohoku.ac.jp/press\\_info/news\\_letter/pdf/omnividens\\_no40.pdf](http://www.museum.tohoku.ac.jp/press_info/news_letter/pdf/omnividens_no40.pdf)

# 宮城県角田市への放射能汚染測定器の提供



角田市役所

データ解析用PC

放射線測定装置（シールド箱内）

装置調整用オシロスコープ

- 福島原発事故により放射線レベルが高くなった宮城県角田市への放射線汚染測定器の提供.
- 土壌や食物中の放射線含有量をNaI検出器で高精度で測定.
- 市の職員の方が測定できるよう、半自動化.

開発・推進

東北大学 ニュートリノ科学研究センター (末包文彦)

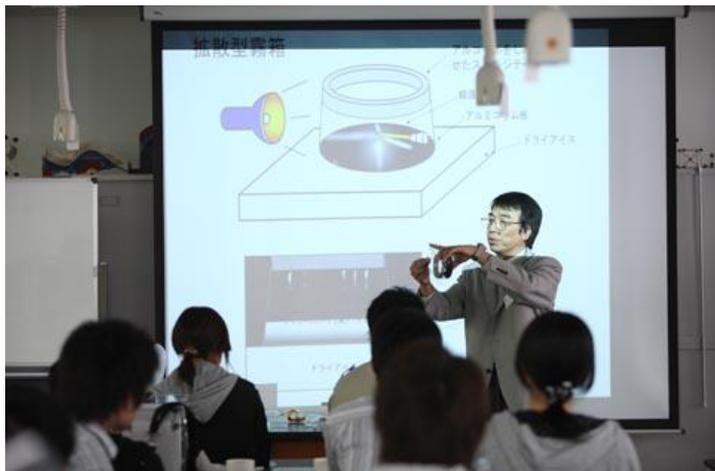
参考資料等

甲南大学との共同事業.

# 東北大学における放射線関連の全学教育

## ■ 自然科学総合実験

自然科学系初年次学生（理・工・医・歯・薬）の授業科目（必修）で、その中の実験「課題1：環境放射線を測る」では、約1,700名（年間）の学生が環境放射線の測定を体験し、放射線の性質や環境放射線による被ばく線量について学ぶ。



文科系のための自然科学総合実験「大気中の放射能」の授業の様子。

## ■ 文科系のための自然科学総合実験

文科系の初年次学生（法・文・教・経）のために開発・実施された理科実験科目（選択科目、平均50名受講）である。「課題2：大気中の放射能」では、放射性元素ラドンに由来する放射性核種を空気中から集めて測定し、身近な放射能の存在を実験で体験する。

開発・推進

東北大学 高度教養教育・学生支援機構

参考資料等

「自然科学総合実験2017」、「文科系のための自然科学総合実験」（いずれも東北大学出版会）

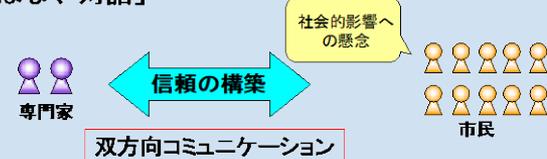
# 原子力に関する一般市民の懸念を理解するための対話活動

## ○「欠如モデル」とは？

- 一般市民を「正確な科学知識が欠如した状態」にあるものと捉え、彼らに知識を注入することをコミュニケーションの目的とみなす発想



## ○「啓蒙」ではなく「対話」



## ■ リスクベース意思決定概念の社会的受容のための対話フォーラムの実践

- 期間：平成14年～平成16年
- 宮城県女川町 11回
- 青森県六ヶ所村 8回

## ■ 「場」の意義を肯定的に受け入れ

## ■ 専門家に対する信頼感の醸成

## 対話の「場」の創出の重要性

→本研究成果により...

- 一般市民の放射線に関する懸念の本質の理解
- 研究者リテラシーの醸成（研究者側の一般市民に関する認識）

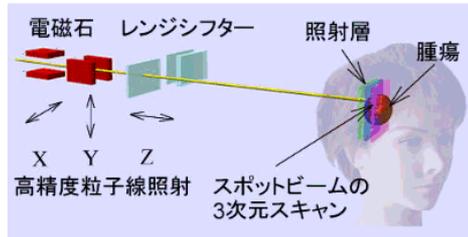
開発・推進

東北大学工学研究科技術社会システム専攻 高橋・狩川研究室

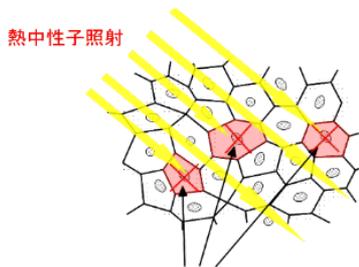
参考資料等

「対話フォーラム」実践による原子力リスク認知構造の解明, 日本原子力学会和文論文誌, 6, 2(2007), 126-140. 八木絵香, 高橋 信, 北村正晴

# 粒子ビームを用いた先進的癌治療技術と放射性・環境汚染物質の動態分析技術

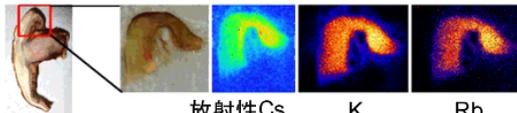


粒子線(イオンビーム)による高精度照射技術で腫瘍の3次元形状に一致した高線量域を形成



正常組織中に浸潤した癌細胞(硼素製剤取込み)へ選択的に高線量を付与し致死効果を与える

硼素中性子捕獲による細胞レベルの癌治療



放射能汚染シタケ 放射性Cs K Rb CsはK,Rbと同傾向の濃度分布

粒子線誘起X線(PIXE)法による元素マッピング

- 癌への線量集中を最適化し、正常組織への線量を最小限にとどめる強度変調粒子線高速照射技術と3次元線量モニタリング技術
- 高精度中性子照射による次世代硼素中性子捕獲療法の基礎研究
- 土壌中の粘土粒子、植物への放射性セシウム、放射性ストロンチウムの集積、動態分析技術

→ 本研究の成果により...

超高齢社会化による未曾有の癌患者急増に対して、難治癌の高QOL・低侵襲治療が可能となる。また、汚染土壌の除染技術や、放射性物質の植物への移行低減技術の開発が可能となる。

開発・推進

東北大学工学研究科量子エネルギー工学専攻 寺川・松山グループ

参考資料等

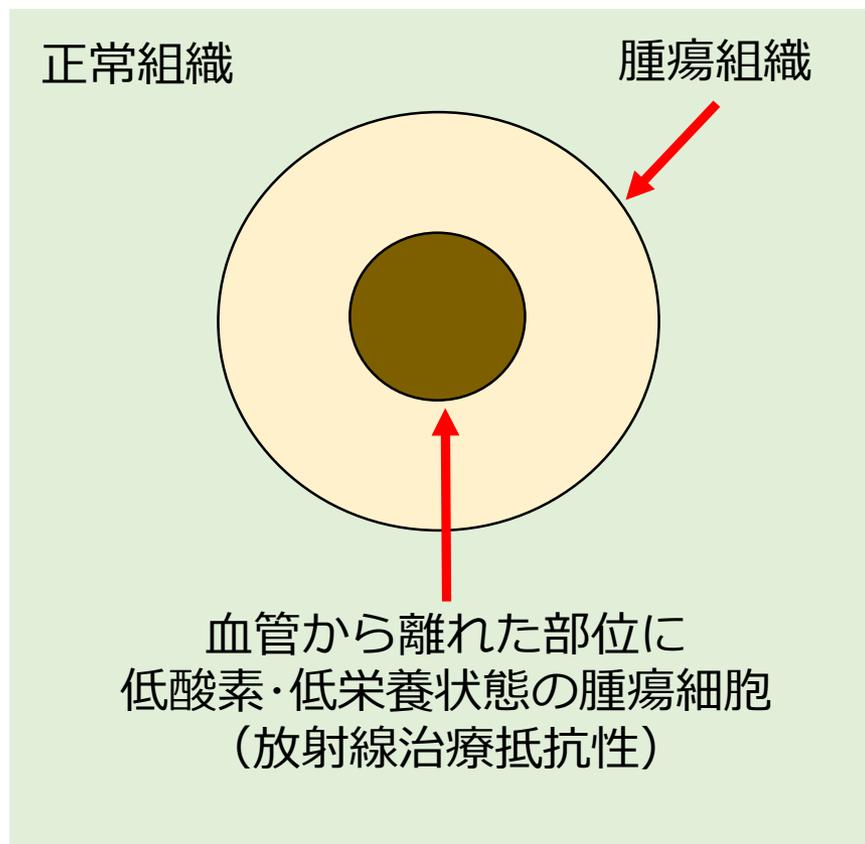
A. Terakawa, K. Ishii, H. Yamazaki, S. Matsuyama et al. : PIXE analysis of a murine solid tumor treated with proton therapy combined with cisplatin, X-ray Spectrometry, 40 (2011), 198-201., A. Terakawa, K. Ishii, S. Matsuyama et al., : Accumulation and localization of alkali elements in Lentinula edodes studied by PIXE analysis, International Journal of PIXE, 24 (2014), 197-204., 他



# 放射線防護に係る 医学的基盤整備

人体・環境に対する放射線の影響評価や放射線の被曝防護に関する医学的研究を通じ、原子力災害時や放射線の医学利用における放射線防護に係る基盤整備の更なる促進を図る。

# 低酸素・低栄養による放射線抵抗性の原因解明



- 腫瘍組織内には血管から離れた部位に低酸素・低栄養状態の腫瘍細胞が存在
- 低酸素状態にある腫瘍細胞の放射線抵抗性の原因の解明
- 低栄養状態にある腫瘍細胞の放射線抵抗性の原因の解明
- 低酸素・低栄養状態にある腫瘍細胞の放射線抵抗性の原因の解明

→ 本研究成果により...

低酸素・低栄養による放射線抵抗性の原因が明らかになれば、それを阻害することにより放射線抵抗性の癌細胞の選択的放射線増感が可能となる

開発・推進

東北大学医学研究科放射線生物学分野

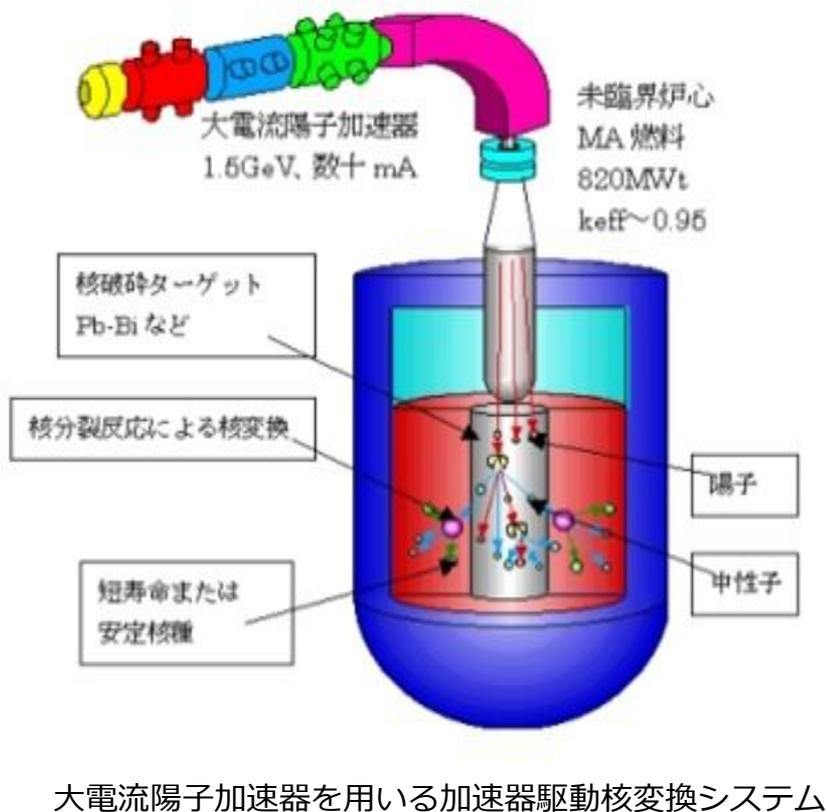
参考資料等

Murata Y, Uehara Y, Hosoi Y: Activation of mTORC1 under nutrient starvation conditions increases cellular radiosensitivity in human liver cancer cell lines, HepG2 and HuH6. Biochemical and Biophysical Research Communications 468: 684-690, 2015.、ほか

# ■ 廃棄物の安全化に向けた 取り組み

廃棄物の安全化に向けた考え方および関連する研究ロードマップを社会に提示し、放射性廃棄物からの放射線防護や放射性廃棄物の低減化に係る基盤研究を加速させる。また、福島第一原子力発電所の事故に伴う廃棄物を含め、高レベルおよび低レベル放射性廃棄物の処理・処分の一層のリスク管理に向け、短期間と長期間で行うべき内容に分け、各々の研究を強力に推進する。

# 核変換技術による放射性物質の安定元素化



- 原子炉運転に伴う核廃棄物処理が未解決の大きな社会的問題
- 特に、1万年を超える長寿命元素（LLFP：半減期200万年超のネプチニウム237など）が最重要課題
- 大型大電流陽子加速器を中核とする加速器駆動核変換システム（ADS）の研究開発に取り組む  
⇒ ADS1基で、100万kW軽水型原子炉5基分のLLFP（250kg）を処理可能との試算
- 現在、加速器施設や研究用原子炉を用いたLLFP核変換量の実証研究中
- また、スーパーコンピュータによるシステムシミュレーションによるADS設計研究を実施中

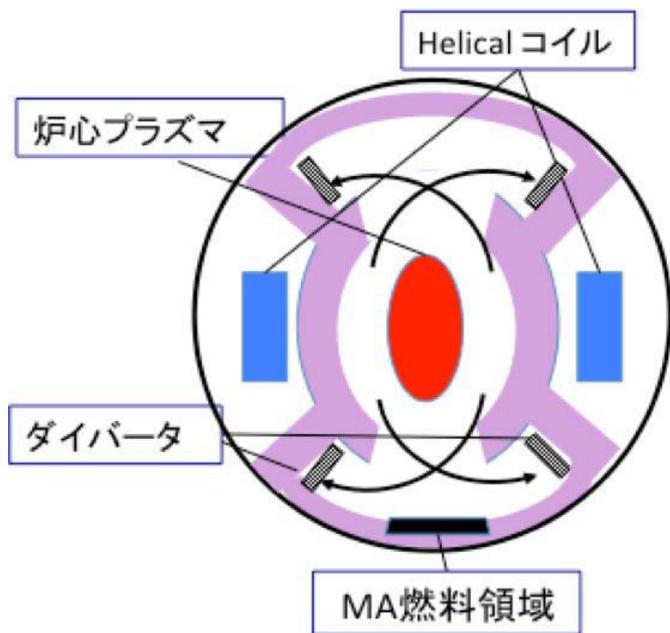
開発・推進

東北大学 工学研究科量子エネルギー工学専攻 中性子デバイス工学分野

参考資料等

- Comparison of different neutronics analysis technique for Accelerator-Driven System, Annals of Nuclear Energy, 60, 368-373 (2012), Naoto AIZAWA, Fumito KUBO, Tomohiko IWASAKI
- An Analysis of Cladding Failure on Beam Transient of Lead-Bismuth-Cooled Accelerator-Driven System, Journal of Nuclear Science and Technology, 48, 6, 892-901, (2011) Naoto AIZAWA and Tomohiko IWASAKI --- など

# 超高速中性子と高レベル廃棄物の有効利用による 革新的核変換核融合炉の提案



## 核融合中性子による核変換の特徴と課題

(核分裂中性子(2 MeV) < 核の結合力(8 MeV) < 核融合中性子(14 MeV))

- MA核変換部の設計とそのための基礎物性の獲得
- FP核変換部を含むブランケット設計
- 核変換部を含む核融合炉の全体設計
- 核融合炉核変換のための核燃料システムの最適化

→ 本研究成果により、ITER規模の核融合炉数基により、原子炉50基程度から派生する高レベル廃棄物の核変換が見込める

## ヘリカル型核融合炉に装荷する場合

高レベル廃棄物がほぼ無くなり、その地層処分が不要となり、閉じた核燃料サイクルが実現できる可能性がある。

開発・推進

東北大学 工学研究科量子エネルギー工学専攻 核融合電磁工学分野

参考資料等

Construction of minor actinides reduction scenario in Japan utilizing fusion reactors  
Progress in Nuclear Energy, Volume 103, March 2018, Pages 28-32  
Yuki Furudate, Hiroki Shishido, Noritaka Yusa, Hidetoshi Hashizume

# 自己修復機能を地下冠水環境において発現する核種閉じ込めセメントバリアの創成を目指して

地表 (生活圏) (放射性廃棄物からの隔離が必要)

## 天然バリア

(地下水に満たされた冠水環境)

## 人工バリア

(廃棄物固化体、金属容器、粘土による緩衝材)

地表から300 m以上の隔離  
(500 m~1000 mが  
想定されている)

放射性  
廃棄物

冠水地下環境における  
処分場建設に必要な  
セメント利用による  
**CSHバリア**  
の形成

地下水の流向

地下水の迂回により放射性物質の移動を遅らせる  
(CSHによる物理的なバリアの形成 (現在、研究進行中))

本研究グループにおいて新たなバリア材として検討しているCSH(カルシウムシリケートハイドレート)

本研究Gでは、調整したCSHと多様な放射性物質との相互作用を明らかにしつつある。(CSHによる化学的なバリアの形成)



■ 高レベルおよび低レベル放射性廃棄物の管理・処分には地下環境が利用される。人工バリアおよび天然バリアに加え、それらのバリアの修復機能を自己発現する新たなバリアの創成を目指した研究を進めている。

■ 処分場の建設・操業・点検には地下水を止水するために多量のセメントを必要とする。本研究では、セメントの主成分であるCSH\*が長期間をかけてカルシウム成分を溶出させることに着目し、そのようなCSHについて放射性物質との相互作用を調べ、そのバリア機能を評価している。

\*CSH: Calcium Silicate Hydrate

■ さらに、ケイ素の地下環境の再分配による放射性物質の閉じ込め効果も検討している (参考資料等)。

時間の推移と各バリアの発現期間 (概念)

廃棄物の設置時点      1千年 /      1万年 /      閉じ込めを要する期間 (数十万年)

人工バリアの機能の発現期間 (安全評価では1千年から廃棄体からの放射性物質の溶出を考慮。人工バリアは次第に劣化する。)

放射性物質は時間の経過とともに安定な物質に壊変

CSHによる化学的なバリアの機能の発現期間 (セメント成分の利用により、処分場の埋め戻し後、冠水した時点から数万年~数十万年の間、高アルカリ環境(pH>9.5)が維持され、Ca成分の少ないCSHバリアが安定に存在)

天然バリアの機能の発現期間 (現在から数百年以上。数百万年後も地殻応力の変化は小さい。)

## 開発・推進

東北大学 工学研究科量子エネルギー工学専攻  
原子力地質工学分野

## 参考資料等

Sasagawa, T., Chida, T., Niibori, Y.: Effects of Supersaturated Silicic Acid Concentration on Deposition Rate Around Geological Disposal, ASME J. of Nuclear Engineering and Radiation Science, **3**, 041010 (pp.1-6) (2017). ほか