

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 21 日現在

機関番号：12101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K14289

研究課題名(和文)トリチウムが社会に受け入れられるための学際的研究体制の構築

研究課題名(英文)Management of Interdisciplinary study of tritium accepted in general public

研究代表者

鳥養 祐二(Torikai, Yuji)

茨城大学・理工学研究科・教授

研究者番号：80313592

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：福島第一原子力発電所の事故で生じたトリチウム汚染水の処分法として、海洋に希釈放出することが最も現実的であるが、社会的理解が得られないために実現していない。そこで海洋放出に対して社会的理解を得るために学際的な検討チームを立ち上げ、問題点の確認と研究者として何が出来るか検討をした。汚染水処理が理解されるための行動計画を立て、これを元に予算申請を行った。トリチウムの生物影響に関して、平成29年度科研費基盤研究(B)に応募した結果、基盤研究(B)(16H04629)が採択された。また環境トリチウム計測の問題点を明確化し、平成30年度の科研費 挑戦的研究(萌芽)を申請中である。

研究成果の概要(英文)：The most safety, easy and economical method of disposing of the tritium contaminated water which arose in the accident of the Fukushima Daiichi nuclear power plant is diluting and then emitting in the ocean. Since general public understanding is not obtained by the tritium contaminated water to sea, the emitting the tritium contaminated wear in the ocean has not realized. So, in order to realize the emitting the tritium contaminated wear in the ocean, an interdisciplinary study team was made to clarify a problem to obtain the general public understanding of the tritium contaminated water to sea.

研究分野：トリチウム理工学

キーワード：トリチウム汚染水 海洋放出 社会的合意 トリチウムの生物影響 トリチウムの環境動態

1. 研究開始当初の背景

福島第一原子力発電所の事故では、トリチウムの含んだ汚染水が大量に発生し続けているが、その処分法がないため、現在は保管しているのみである。その量は日々増加しており、早急な処分法の確立が必要である。トリチウム汚染水の処分法としては、科学的に判断をすれば、安全を確保した上で海洋に希釈放出することが最も現実的である。しかしながら、現時点ではトリチウム汚染水の海洋放出に社会が受け入れられるような雰囲気には全くなっていない。

トリチウムの海洋放出に対して社会的に合意が得られるためには、海洋放出後の海洋及び近海陸域におけるトリチウムの濃度が、十分に安全かつ社会的に容認できるレベルとすること、放出されたトリチウムが生活圏へ到達しないか、到達してもその濃度は十分に安全のみならず、農水産物や居住環境における風評被害など社会的リスクを極小とするレベルとすること、いかなる状況においてもトリチウムが人体へ移行して有意な被曝あるいは影響を与えないレベルとすること、を広く社会に提示する必要がある。

また、核融合においては、福島第一原子力発電所で問題になっている量と比べて桁外れに多い量のトリチウムを燃料として使用するが、その一部を環境中に放出する計画である。そのため、トリチウムを社会が受け入れられ、福島第一原子力発電所の事故で発生したトリチウム汚染水の海洋放出が認められなければ、核融合が実現しても、実際にトリチウムを用いた発電が社会に受け入れられるとは考えにくい。

トリチウムが社会に受け入れられることは福島第一原子力発電所の事故の早期解決にとって急務であり、核融合の実現にとっても必要不可欠である。

2. 研究の目的

そこで本申請では、原子力に対して利害関係のない核融合トリチウムの研究者である申請者と、放射性核種の環境動態の専門家、放射線の生物影響の専門家が協力し、トリチウム汚染水の海洋放出の問題点を明らかにすると共に、その問題点を解決するための研究者の学際的なコミュニティー形成を行う。

具体的には、申請者が世話人をして富山大学学長裁量経費事業「放射線に関する情報発信」と連携して、これらの問題点解決に向けた新たな学際的なコミュニティーを構築するための研究会の開催し、構築された学際的なコミュニティーを中心に、問題点解決のために必要な予算申請を行う。特に、トリチウムが人体へ与える影響と、海洋放出時の環境トリチウム測定手法・体制に関して、海洋放出を社会に認めてもらえるのに必要な条件を明らかにする。また、そのために必要な予算として科研費基盤研究(B)以上の予算獲得を目指すとともに、予算獲得ができれば、福島第一原子力発電所の事故で生じたトリチウム汚染水問題解決のための具体的な研

究活動を行う。

3. 研究の方法

本研究の最も重要な点は、原子力の専門家だけではなく、トリチウムの専門家と工学、環境、生物・医学、社会学の専門家が、福島の日でも早い復興のために知恵を出し合うことである。そこで、申請者と分担者が中心となり、同じ考えを持つ研究者を集め、トリチウム汚染水の海洋放出に対する社会的・技術的問題点を明らかにし、この問題解決のための方針を検討すると共に予算申請を行い、解決のための行動を起こす。申請者はすでに、平成24年度から開始した、富山大学学長裁量経費支援事業「放射線に関する情報発信」において関連研究者と接点をもっており、この繋がりを元に一日でも早く社会がトリチウム汚染水の海洋放出を受け入れられる環境整備を行う。

4. 研究成果

トリチウムの生物影響に関する問題点の明確化と対策

平成27年度は、原子力の専門家、環境放射線の専門家、放射線生物影響の専門家とトリチウムの専門家による研究会を開催し、放射線の生物影響の観点から一般の人々がトリチウム汚染水を海洋放出した場合に安心できる条件を検討した。

トリチウムの放射線生物影響研究は、冷戦時代の水爆研究や核融合研究の初期段階に多く研究されている。国内では、1980年から10年間行われた文部科学省研究費補助金による核融合特別研究においてトリチウムの環境・生物影響に関する研究が精力的に行われてきた。しかしながら補助金の終了と共に研究分野そのものが縮小し、現在ではトリチウムの生物影響を研究している研究者は国内で10名以下という状況である。生物、特にDNA関係の研究は20年前と比べて技術の進歩が著しく、現在の技術を用いればより詳細な知見を得ることが可能となる。このような中、福島第一原子力発電所の事故後にトリチウムの人体への影響を調べるために、放射線の生物影響を研究している研究者がトリチウムの生物影響の研究を開始している。低濃度のトリチウム水環境下で培養したヒト細胞のDNA分析を行い、通常の水環境下で培養したヒト細胞との比較を行っている。その結果、低濃度トリチウム水環境と通常の水環境下で培養したヒト細胞のDNAの損傷度合いに有意な差が見られないことが報告されている。このように低濃度トリチウムによりDNAに有意な損傷を起さないという結果は、トリチウム汚染水の海洋放出を社会が受け入れるために大変有用な知見であるが、データの信頼性、特に、どれだけのトリチウムが

人体に取り込まれたら有意な影響が出るのか、どれくらいまでのトリチウムを人体に取り込んだら影響がないか等、踏み込んだ知見は得られていない。また、トリチウム汚染水の海洋放出に反対している人々の中には、トリチウムがDNAに特異的に取り込まれるため、単純な被曝線量ではトリチウムの被曝を評価することはできないという説を唱える人が存在する。一部有機結合性トリチウムがDNAに特異的に取り込まれるという報告はあるが、海洋放出に反対している人々は、これを拡大解釈し、トリチウムの全てがDNAに選択的に取り込まれるという主張をしている。これが、トリチウム汚染水を海洋放出する事への社会的同意形成を複雑化している。

ヒト細胞のDNAに影響を与えると予測されるトリチウム水濃度で実験を行う場合、国内研究機関、特に大学組織においてはトリチウムの使用許可を持った管理区域が限られており、トリチウム水の取扱技術と設備を保持し、低濃度から比較的高濃度のトリチウム水を用いた実験を遂行可能な施設は非常に限られている。そのような中、申請者が所属していた富山大学 研究推進機構 水素同位体科学研究センター(水素研)は、トリチウムを他の水素同位体と同様に取り扱える国内唯一の研究機関であり、トリチウム水の取扱技術と、取扱に必要な設備を保持している。現在でも低濃度トリチウム水から高濃度トリチウム水まで取り扱った実験を行っておりトリチウムの取扱に関して問題は無い。ただし、これまでトリチウムは核融合炉燃料の取扱のための理工学的な立場からの研究が主体であり、生物や細胞培養設備とその技術DNAの解析に必要な技術・設備は保持していない。そこで、トリチウム取扱の専門家と放射線生物影響の専門家、放射線の専門家がチームを組み、問題解決にあたる必要がある。

上記に記したトリチウムの生物影響に関する問題に対応するため、平成28年度の科研費 基盤研究(B)「トリチウム汚染水の海洋放出に向けた社会的合意形成のためのトリチウム生物影響研究」を申請し、科研費 基盤研究(B)(16H04629)が採択されている。

環境トリチウム測定の問題点の明確化と対策

平成28年度は、原子力の専門家、環境放射線の専門家、放射線生物影響の専門家とトリチウムの専門家による研究会を開催し、環境放射線計測の問題点について検討を行った。その結果として以下の内容を提案した。

トリチウム汚染水の海洋放出の実現にあたり、海洋へ放出したトリチウムが人体と生活圏に影響がないことを証明すると共に、海洋放出前の環境トリチウム濃度の明確化と放出後のモニタリング体制の確立を行う必要がある。この中で、後者の“海洋放出前の

環境トリチウム濃度の明確化と放出後のモニタリング体制の確立”に関しては、日本国内の環境トリチウム研究者が10名程度と非常に少なく、予算もほとんど付いていない現状において、研究者レベルの活動がほとんど行われておらず、福島復興のための環境トリチウムモニタリング体制の確立にむけた行動はとられていない。

そこで“海洋放出前の環境トリチウム濃度の明確化と放出後のモニタリング体制の確立”に対して研究者の立場として貢献するために、環境トリチウム測定の簡素化・迅速化、環境トリチウム計測の標準化・一般化を行い、環境トリチウム測定法の普及と人材の育成、環境トリチウムモニタリング体制の構築を進める。更には、トリチウム海洋放出への社会的合意形成を後押しして速やかなる汚染水処理を実現し、一日でも早い福島復興が実現されるように力を尽くす必要がある。そのためには、1) 環境トリチウム測定の簡素化・迅速化と、2) 環境トリチウム計測の標準化・一般化を行うと共に、3) 飲料水中(食品中)のトリチウムの濃度限度を定める必要がある。

1) 環境トリチウム測定の簡素化・迅速化

現在行われている環境トリチウム測定では、トリチウムが壊変により減衰した量の測定を目的としているため、環境中に微量に存在するトリチウム濃度よりさらに低い濃度の測定を行っている。その手法は非常に複雑で、測定試料が10試料ある場合には1ヶ月程度の時間が必要となり、トリチウム汚染水の海洋放出前のバックグランド測定や放出後のモニタリングにはとても対応できない。この環境トリチウム測定法はトリチウム汚染水処理に係わるモニタリング法としてはオーバースペックである。そこで、トリチウム汚染水処理に必要な測定下限濃度を明確化したうえで、これに必要なかつ十分に対応できるように測定法を最適化し、測定の簡素化・迅速化をはかる必要がある。

2) 環境トリチウム測定の標準化・一般化

海洋のトリチウム濃度は0.1 Bq/L、陸水の影響をうける近海では0.5 Bq/L程度である。これに対し、市販されている液体シンチレーションカウンタ(以下、LSC)の測定下限は1 Bq/L程度で有り、海水のトリチウム濃度の方が低い。測定下限付近の測定であるため、海洋放出時の海水中のトリチウム濃度の測定には特別な技術が必要であり、単に装置を購入したから測定できるというものでは決して無い。特に測定下限付近では、トリチウム濃度を高く見積もる誤差を発生させる事象が多いため、測定には細心の注意が必要である。測定誤差により高い値がとて検出され、その値が公表されれば、トリチウム汚染水の処理スキームに混乱が生じ、処理自体が進まなくなる可能性がある。そのため、環

境トリチウム測定標準化は急務である。

環境トリチウム測定では、環境試料の前処理後にLSCを用いて測定するが、測定試料によりクエンチングという現象が起り、測定値に大きな誤差を生じる。そのため、クエンチングを補正する標準試料を測定して補正するが、環境試料のような濃度(0.5Bq/L程度)のクエンチング標準試料は市販されておらず、2,000 Bq/ml程度のトリチウムが含まれる市販のクエンチング標準試料から外挿することによって行われている。標準試料と測定対象の濃度差が6桁以上と大きすぎるため測定値の信頼性が低く、装置間での誤差が非常に大きい。そのため同じ試料を測定したとしても誤差範囲で同じ値にはならず、大きな値が測定され公表される恐れがある。これを防ぐためには、環境濃度レベルのクエンチング標準試料を調製し、環境トリチウム研究者間で検定を行った後に汚染水処理に係わる機関や環境トリチウム測定機関に供給し、信頼のあるトリチウムモニタリング体制を構築する必要がある。

3) 飲料水中のトリチウム濃度限度の提案

日本では基準値が制定されていないが、諸外国では飲料水中のトリチウム濃度の規制値が決められている。表1に福島第一原子力発電所の事故に関連した環境トリチウム濃度と諸外国の飲料水中のトリチウムの濃度限度の値を示す。表に示すようにドイツにおける飲料水中のトリチウムの下限濃度は100 Bq/Lであり、これ以下の濃度であれば人間への悪影響は無視でき、飲料水として適すると判断している。同様にアメリカでの濃度限度は740 Bq/L、WHOが提案する飲料水のガイドラインは10,000 Bq/L、オーストラリアの濃度限度は76,103 Bq/Lであり、人間への悪影響を考慮して各国独自の値を決めて運用している。これに対し、表に示すように福島第一原子力発電所の事故後に測定された福島県内の河川水中のトリチウム濃度の最大値は、4月に浪江町で観測された167 Bq/Lである。この値は、ドイツにおけるトリチウムの濃度限度である100 Bq/Lよりは高いが、アメリカの連邦基準よりは低い。福島県ではその後も継続的な測定が行われているが、河川水中のトリチウム濃度に有意な上昇は認められていない。

トリチウム汚染水を海洋に放出するにあたり、日本でも飲料水中のトリチウム濃度限度を定め、管理する必要がある。現在の測定技術では、時間と金をかければ、海水中のトリチウム濃度である0.1 Bq/Lに対して更に低い濃度での測定が可能である。しかしながら、その値はドイツの濃度限度の1,000分の1以下であり、このような濃度域で海洋放出したトリチウムを評価しても混乱を招くばかりである。この混乱を防ぐためには、日本でも飲料水中のトリチウム濃度限度を定め、トリチウム汚染水の処理が終了するまでは、

福島県と隣接する地域で継続的な濃度測定を行うことが望ましい。飲料水中のトリチウムの下限濃度としては、諸外国で採用されている飲料水中の濃度限度の中で最も低い値である100 Bq/Lが、人間への悪影響を無視できる十分に低い値として妥当な濃度であると考えられる。また、この濃度であれば、トリチウム汚染水の海洋放出を迅速に行うことが可能である。

飲料水中のトリチウムの濃度限度定められた後には、この濃度限度を元に、漁協や農協などと協力して、食品中のトリチウム濃度測定を行い、食の安全確認を行う必要がある。

環境トリチウム測定の問題に対応するため、平成29年度の科研費 挑戦的研究(萌芽)に「トリチウム汚染水処理のための環境トリチウム測定法の簡素化・迅速化と標準化・一般化」を、放射線取扱の専門家、環境放射線の専門家とトリチウムの専門家である申請者が申請を行った。採択された暁には、トリチウム汚染水の海洋放出時の分析体制の確立を早期に行う予定である。

本科研費のまとめ

本科研費の2年間の研究活動により、福島第一原子力発電所の事故で生じたトリチウム汚染水の海洋放出処分が社会に受け入れられるための問題点を明らかにすると共に、迅速な処分に向けた今後の研究方針が明確化された。この活動で形成された学際的なコミュニティを中心に問題解決のための研究活動をスタートし、研究活動のための予算申請を行った。その結果、科研費 基盤研究(B)(16H04629)が採択されるに至った。今後は、一日でも早い福島復興のために研究活動を加速させる予定である。

5. 主な発表論文等

現時点では、発表論文等は無し。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鳥養 祐二 (TORIKAI, Yuji)
茨城大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号：80313592

(2) 研究分担者

近藤 隆 (KONDO, Takashi)
富山大学・大学院医学薬学研究部・教授
研究者番号：40143937

丸茂 克美 (MARUMO, Katsumi)
富山大学・大学院理工学研究部(理学)・教授
研究者番号：20358063

(4) 研究協力者

遠藤 俊朗 (ENDO, Shunro)
富山大学・学長

田内 広 (TAUCHI, Hiroshi)
茨城大学・大学院理工学研究科・教授

西村 克彦 (NISHIMURA, Katsuhiko)
富山大学・大学院理工学研究部・教授

桜井 弘明 (SAKURAI, Hiroaki)
富山大学・大学院医学薬学研究部・教授

庄司 美樹 (SHOJI, Miki)
富山大学・大学院医学薬学研究部・准教授

新里 泰孝 (NIISATO, Yasutaka)
富山大学・経済学部・教授

田口 明 (TAGUCHI, Akira)
富山大学・水素同位体科学研究センター・
准教授

赤田 尚史 (AKATA, Naofumi)
大学共同利用機関法人・自然科学研究機構
核融合科学研究所・准教授

植田 真司 (UEDA, Shinji)
公益財団法人 環境科学技術研究所・環境
影響研究部・主任研究員

< 引用文献 >

Kakiuchi et.al. (2012) Scientific
Report.
東京電力資料

表1 トリチウムに係わる濃度

| | Bq/L |
|----------------------------------|-------------|
| 海水中のトリチウム濃度 | 0.1 |
| 降水中のトリチウム濃度 | 0.5 |
| 人体を構成する水中のトリチウム濃度 | 0.5 |
| 福島で観測された河川水中のトリチウムの最大濃度 | 1.5 |
| ドイツにおける飲料水中のトリチウムの濃度限度 | 100 |
| 核実験当時の降水中のトリチウム濃度 | 110 |
| 飲料水の連邦基準 (USA) | 740 |
| WHO の飲料水のガイドライン | 10,000 |
| 管理区域からの排水基準 | 60,000 |
| オーストラリアにおける飲料水中のトリチウムの濃度限度 | 76,103 |
| 現在、福島第一原子力発電所で発生している汚染水中のトリチウム濃度 | 400,000 |
| 下限濃度(これ以下ならば法規制の対象にならない値) | 100,000,000 |