

## ユニットテーマ提案書

### 1. ユニットテーマ

同位体環境生物

### 2. 提案者（氏名・所属）

田中将裕・NIFS 佐瀬卓也・NIFS

### 3. テーマと研究内容の概要

同位体をトレーサーとして利用し、同位体が環境・生物に与える影響や、地球環境における物質循環を研究する。具体的には、軽元素(水素・酸素・窒素・炭素 etc)同位体を対象とし、環境観測から大気-水圏-植生・生物圏をつなぐ物質移動や放射線の生物影響を明らかにする。軽元素同位体の環境挙動を理解することは、水循環や炭化水素循環に関連し地球環境の行方を理解する一助になる。これらの成果を活かして、核融合施設が社会に受け入れられるための手法を検討する。

### 4. 位置づけ

原子力施設としての核融合炉は、放射線・放射性同位元素がかかわるため、放射線発生装置の管理や、施設から環境へ放出される放射性同位元素の環境や生物への影響を理解することが肝要である。NIFSでは、施設影響評価を目的として、環境放射能挙動や放射線生体影響に関連した研究を、大学・研究機関と研究ネットワークを構築し推進してきた。一方で、核融合炉では、水素同位体(H/D)やリチウム( ${}^6\text{Li}/{}^7\text{Li}$ )同位体などの軽元素安定同位体が用いられることから、同位体科学と共通する研究課題は多い。同位体は質量数などが異なるため、同位体間の物理化学的挙動に違いが現れる。このような同位体の特性に着目し、同位体比を調整した機能性材料や、システム内の物質移動や挙動を評価するトレーサーとして用いられている。同位体トレーサーとして、水を構成する水素(H/D)酸素( ${}^{16}\text{O}/{}^{18}\text{O}$ )同位体は、環境中で同位体比が変動するので、地球環境における水循環研究や気温推定などに利用されている。一方、放射性水素同位体であるトリチウムは発生源が存在する。天然のトリチウムは主に大気上層で宇宙線と空気との核破砕反応により生成され、人工のトリチウムは、原子力施設からの放出が主である。これら環境中のトリチウムは、水(水蒸気)だけでなく、セルロースなどの有機物、分子状水素( $\text{H}_2$ )や炭化水素( $\text{C}_x\text{H}_y$ )などの化合物として環境に存在し、特に後者は比放射能が水蒸気状と比較すると数桁高いが、その要因は明らかとなっていない。近年、水素・酸素同位体を用いた水循環(大気圏-水圏)研究が精力的に行われている。しかし、大気圏や植生・生物圏を対象とした環境トリチウム研究は、測定手法が煩雑であり、観測データが少ないため、十分な研究がなされているとは言い難い。そこで、大気圏-水圏-植生・生物圏における水素同位体の多様で複合・複雑な環境、生物影響の解明を目的とする。この理解を通じて、核融合施設の設置や廃止措置、廃棄物処分にかかる社会受容性、レギュラトリーサイエンス<sup>i</sup>へとつなげる。

### 5. 研究の方法

水素同位体の環境挙動を、水素同位体だけの観測や評価で解明することは難しい。ここでは、いくつかの同位体挙動研究と組み合わせた同位体マルチトレーサー手法を適用する。具体的には大気

2 ページ以内で記述し、10.5pt・行間1行を使用してください。青字の注意書きは削除してください。

中や降水・河川、植生(代表的な指標植物は松葉)中のトリチウム、トリチウムと同じ宇宙線生成核種の<sup>7</sup>Beや長距離移動を伴う同位体(<sup>222</sup>Rn, <sup>210</sup>Pb, <sup>1</sup>H, <sup>2</sup>H, <sup>18</sup>O, <sup>16</sup>O, etc)の観測、環境水の移動過程情報を含む各イオン種(Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, etc)などを数年にわたり観測し、一時的な気象イベントや季節変動、年変動とともに物質循環・移動・生成消滅過程を考察する。

同位体トレーサーを用いた物質循環と環境研究を推進するにあたり、放射能測定機器や同位体測定機器、各種分析機器を必要とする。同位体分析機器は、数千万円と高価であり、整備が容易でない。また、同位体環境生物研究を進めるためには、大学・研究機関が有する高度で多様な分析技術やノウハウ、測定機器、日本国内や海外との共同研究を通じた広域の環境観測ネットワークが必要となる。大学共同利用機関としてNIFSが有するトリチウム・環境放射能分析技術、装置群や観測データベースと、大学・研究機関が有する分析機器・測定ノウハウ、採取試料を共有し、仮想的な分析センターと捉えて、共同研究ネットワークを通じた研究活動を推進する。

また、環境レベルのトリチウムを測定できる分析プラットフォーム整備に挑戦し、大気/生物試料の分析を目指す。具体的には、核融合工学分野で開発された水素同位体分離濃縮技術の利用や、プラズマ診断用の6 MeV-HIBP 加速器に、新たなイオン源と質量分離システムの追加による加速器質量分析装置(AMS)化を検討する。施設起因の環境トリチウム測定を目的としたAMSが米国 ローレンスリバモア国立研究所で運用されており、その検出下限値は10<sup>3</sup> TU/mg-sampleである。これを上回る測定感度(可能であれば1 TU=10<sup>-18</sup> T/H, 0.118 Bq/L)を目指す。

放射線発生装置や放射性物質の管理運用には安全性の確保と社会的な合意が必要となる。レギュラトリーサイエンスやリスクコミュニケーションを手法に組み込んだ放射線管理研究を併せて遂行する。レギュラトリーサイエンスのケーススタディとして、福島第一原子力発電所の処理水海洋放出やLHDのクリアランスを対象とした測定手法検討やリスクコミュニケーション研究に取り組む。

## 6. 自己評価

### 1) 未来志向であること

核融合研究成果の環境放射能研究を活かし、同位体環境生物学として発展を目指している。

### 2) 目標を具体的に示していること

大気中トリチウム挙動の解明や、環境・生物中の水素同位体物質移動過程、影響の理解、環境レベルの高感度計測システム開発を目標としている。

### 3) 10年後に学術界に輝くテーマに育つこと

同位体による環境生物研究は、原子力施設周辺の放射性同位元素挙動評価や公衆への安全・安心を提供するだけでなく、地球温暖化や気候変動を捉え、水素同位体研究から地球科学に関連する学際的なテーマに繋がる可能性がある。また、放射線関連施設の設置・廃止措置や廃棄物処分にかかる課題は、社会受容性やリスク学に関連して重要なテーマと考えられる。

### 4) 多様な「個人のテーマ」を包摂できること

同位体を道具として、大気圏、水圏、植生・生物圏を対象とした広い学術分野にまたがるテーマがあり、分析技術開発や社会受容性を含めて、多様な研究テーマを包摂している。

<sup>i</sup> 科学技術を人と社会に役立てることを目的に、根拠に基づいた確かな予測・評価・判断を行い、科学技術の成果を人と社会との調和の上で最も望ましい姿に調整するための科学(第4次科学技術基本計画(2011年)の定義より引用)