

ディビジョン番号	17
ディビジョン名	資源・エネルギー・地球化学・核化学・放射化学

大項目	3. 核化学・放射化学
中項目	3-1. 核化学・放射化学
小項目	3-1-10. 環境放射能

概要（200字以内）	世界的に進む核エネルギーの利用は、これまで行われてきた天然や核実験由来の放射性核種の地球規模での環境動態研究に加え、核燃料再処理施設周辺などの限定的な範囲における放射性核種の環境動態研究の重要性を増加させている。核エネルギーの利用により環境へ放出される多様な放射性核種は、その環境動態解析と人や環境への影響評価研究のみならず年代測定や地球科学的なトレーサとして利用の可能性を探る研究が進められている。
現状と最前線	<p>ベクレルによるウラン放射能の発見、そしてキュリー夫妻による新元素Raの発見に始まる放射能の研究は、天然に存在する放射性核種、すなわち環境放射能分析が出发点である。そして核分裂の発見とそれに続く核エネルギーの開放は、様々な人工放射性核種を核実験フォールアウトとして環境中にもたらし、それゆえ現在の環境放射能の研究は、天然放射性核種と環境に放出された人工放射性核種の環境動態解明及びそれらの影響を評価する研究と言えよう。今後も増加すると予想される核エネルギーの平和利用は、原子力発電所や核燃料再処理施設周辺の環境放射能分析の必要性和局所的な環境汚染の影響評価の重要性を増加させている。海外の核関連施設の事故や第三国による核実験実施の可能性は、国境を越えて移動してくる放射能についても対応できる分析体制が必要であることを示唆している。ここでは、最近の天然及び人工放射性核種に関するいくつかの環境放射能研究の話題を紹介する。</p> <p>(1) 質量分析による環境放射能測定</p> <p>放射化学分離と放射線検出器を用いる放射能測定が環境放射能分析の基本であるが、ICP-MSなどの質量分析装置による放射性核種分析が近年行なわれている。半減期の長い放射性核種の検出限界は、質量分析の方が放射能分析よりも低い場合があり、更に^{239}Puと^{240}Puのように、放出エネルギーが近いα線測定法では分別ができないが、質量分析法では同位体分別が可能な核種がある。</p> <p>コンボ紛争では9トンの劣化ウラン弾が使用されたと言われている。天然ウランの$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$（質量比）は0.007であるが、劣化ウラン弾に使用された劣化ウランの$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$は0.002である。劣化ウランには$^{235}\text{U}$が含まれていることが判っており、またPuが含まれている可能性も指摘されている。IAEAは、UNEPの協力のもと、コンボの土壤中に含まれるウランの測定を行なった¹⁾。$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$比はICP-MSで求め、そして$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$が高い試料についてAMSで$^{239}\text{U}$濃度の分析が行なわれた。Pu濃度は$\alpha$線測定で求められた。その結果、一般環境レベルのウラン濃度（2-3mg/kg）を超えた試料は、0.002に近い$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$を示したことから、劣化ウランによる汚染を受けていることが明らかになった。それらの試料は、いずれも一定の$^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$値（$2.6 \times 10^{-5}$）を示し、劣化ウランに含まれていた$^{236}\text{U}$によるものと結論された。Pu濃度は約1Bq/kgで、$^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$値は1960年代の核実験フォールアウトの値と同等であることから、劣化ウラン由来のPu汚染は無視できることが明らかになった。コンボ土壤のウラン汚染レベルは、急性放射線障害による致死やガン発症による死亡リスクを有意に増加させるほどではないと考えられている。</p> <p>一般の海洋中に見出されるPu同位体は、大気圏内核実験由来であるが、$^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$同位体比は、これらのPuの起源について情報を与えてくれる。九州南方や沖縄近くの外洋で採取された沈降粒子の$^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$同位体比は、大気圏内核実験起源のグローバルフォールアウトの$^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$同位体比である0.18より高く、同域や相模湾で採取される表層海底土の$^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$同位体比も高い値を示していた²⁾。1950年代にアメリカは北太平洋のマーシャル群島（Pacific Proving Grounds: PPG）で核実験を行なったが、当時の核実験フォールアウトは実験場近くの海域に降下した。一方、1960年代の核実験では、核分裂生成物は成層圏まで到達しグローバルフォールアウトとして世界中に降下した。PPGの核実験のPuは、北太平洋海域のPuのかなりの部分を占めているとされ、その量は50%以上になると推定されている。それらの$^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$同位体比は0.30-0.36と高い値である。従って、我が国の近海で見出される高い$^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$同位体比は、PPG</p>

起源のPuが海流に乗ってわが国近海まで移動してきていることを示している。PPGで核実験が行なわれてから50年近く経過しているが、海水中には当時のPuの一部が、まだ除去されることなく漂っていることが明らかになった。

(2) 核エネルギー利用と環境放射能

大気中には様々なガス状放射性核種が存在するが、半減期10.76年の⁸⁵Krもそれらの中の一つである。核分裂で生成する⁸⁵Krは、原子力発電所の燃料棒中に含まれているが、核燃料再処理施設で核燃料棒を切断溶解するときに出てくる。希ガスであることと半減期が比較的に長いことため回収して保管することは困難であり、ヨーロッパの再処理施設から年間300-400PBqが大気中に放出されている。大気放出された⁸⁵Krは拡散混合により世界中に広がることになる。つくばで1995~2001年にかけて測定されたデータから判断すると、大気中の⁸⁵Kr濃度のバックグラウンドは1.5Bq/m³程度で、毎年0.03Bq/m³の割合で増加していると考えられる³⁾。つくばの北東約60kmに位置する東海村で核燃料サイクル開発機構(現在、日本原子力研究開発機構)は、小規模な核燃料再処理を行なっていたが、その操業により放出されたと思われる⁸⁵Krが、⁸⁵Krのバックグラウンドトレンドの上に不定期な濃度ピークとして観察されている。これらの⁸⁵Krもやがて大気中に広がっていくことになる。2007年度末には本格的な運転を開始する予定である青森県六ヶ所村の核燃料再処理施設からは、ヨーロッパの再処理施設と同程度の⁸⁵Krが放出されるので、今後も大気中⁸⁵Kr濃度は増加していくと予想される。ちなみに、一般の大気中で最も濃度が高いガス状の放射性核種はRnで、²²²Rn濃度(半減期3.8日)は数十Bq/m³である。半減期56秒の²²⁰Rnの大気中濃度の変動は大きいとされている。¹⁴Cや³Hの大気中濃度は数十mBq/m³と低い値である。

核実験で放出された³Hによる地下水の年代測定が行なわれている。地下水に過去の雨のトリチウム濃度(1963年に濃度ピークを持つ)が保存されていることを利用する方法であるが、核実験終了からの時間経過によりトリチウム濃度は減少し、現在では測定が困難になってきている。そこで、⁸⁵Krを利用する新しい年代測定法が研究されている⁴⁾。大気と接している地表水にはわずかではあるが⁸⁵Krが溶解するので、地下水には、その水が地表に存在していたときの⁸⁵Krが含まれている。大気中の⁸⁵Kr濃度は、原子力エネルギーの利用の進展につれて増加傾向を示しているため、地下水中の濃度を測定して、過去の大気中⁸⁵Kr濃度と比較すれば地下水の年代を決定することができる。新しい年代測定法として期待されている。

(3) ポロニウムの新しい環境動態

人の放射線被ばくには、体内被ばくと体外被ばくがある。呼吸や飲食で体内に取込まれる放射性核種は被ばく源となるので、環境中での放射性核種の動態は体内被ばくに密接に関係している。我々は、大気中のRnとその子孫核種(大気エアロゾルに付着)を呼吸により取込むので、大気中に存在するこれらの核種は被ばく源として重要である。大気中の²¹⁰Poは、大気中の²²²Rnが放射壊変して生成するものが主なものであるとされていたが、最近、Poが微生物の働きでガス状Poに変換され、水から大気へ移行することが室内実験で明らかになった⁴⁾。Poのガス化を行なう微生物は、大腸菌など環境中に広く存在する一般的なものであり、調べられた微生物は、程度の差はあるが、ほとんどの種がガス化能力を示した。これらの事実は実験室で見出されたことではあるが、環境中に広く見出される微生物がPoガス化能を示していることから、一般環境でも海洋や土壌に生息する微生物の働きにより、Poがガス化され大気へ移行している可能性は大きい。大気中の²¹⁰Poの発生源に、これまで知られていないリートが存在していることになり、被ばく線量評価にも関わってくることになる。

参考文献

- 1) P. R. Danesi et al., J. Environ. Radioact., 64 (2003) 121-131
- 2) J. Zheng and M. Yamada, Environ. Sci. Technol., 40 (2006) 4103-4108
- 3) M. Hirota et al., J. Radiat. Res., 45 (2004) 405-413
- 4) W. C. Sidle, J. Environ. Radioact., 91 (2006) 113-127
- 5) N. Momoshima et al., J. Radioanal. Nucl. Chem., 272 (2007) 413-417

将来予測と方向性

- ・5年後までに解決・実現が望まれる課題
- ・10年後までに解決・実現が望まれる課題

キーワード

環境放射能、質量分析、同位体比、環境挙動、クリプトン-85、ポロニウム

(執筆者：百島則幸)