

福島第一原子力発電所事故に起因する ^{135}Cs の理論的スケーリングファクタの開発

Development of theoretical scaling factor method for ^{135}Cs caused by the Fukushima Daiichi NPP accident

*寺島 顕一¹, 坂本 雅洋¹, 松村 太伊知¹, 奥村 啓介¹, 藤田 学²

¹原子力機構, ²JPC

福島第一原子力発電所(1F)の事故により発生した燃料デブリやその他の放射性廃棄物に含まれる難分析長寿命 FP 核種である ^{135}Cs 量を ^{137}Cs の放射能測定等から容易に評価することができる理論的スケーリングファクタ法を開発した。

キーワード：福島第一原子力発電所、 ^{135}Cs 、理論的スケーリングファクタ法、燃料デブリ、放射性廃棄物

1. 背景・目的 ^{135}Cs は地層処分の安全性評価において、放射能インベントリ評価が重要視される難分析長寿命 FP 核種の 1 つであり、1F 事故に起因する燃料デブリや放射性廃棄物にも含まれている。従来の使用済み燃料や放射性廃棄物と大きく異なる点は、燃焼履歴が異なる広範囲な燃焼度の原子炉燃料が事故時に高温溶融するとともに Cs の多くが溶融燃料から揮発したと考えられることである。また、従来のスケーリングファクタ法のように、分析結果を蓄積して統計的に相関式を得る方法は、燃料デブリや高線量 Cs 汚染物の場合には時間と費用を要し得策ではない。この問題を解決するため、測定が比較的容易な ^{137}Cs 量から、揮発や混合を考慮した理論に基づき ^{135}Cs 量を精度よく評価するための理論的スケーリングファクタ法を提案する。

2. 理論 ^{137}Cs (半減期 30.08 年) と ^{135}Cs (半減期 2.3×10^6 年) は、 ^{235}U と ^{239}Pu の累積核分裂収率が大きくほぼ等しい、中性子吸収断面積が小さい、半減期が原子炉運転中の停止期間に比べて十分長い、といった特性を有するため、これら核種の炉内生成量は、いずれも燃焼度にほぼ比例する[1]。よって、燃料デブリや放射性廃棄物中の ^{135}Cs と ^{137}Cs の平均重量比 ($\overline{W}_{135}/\overline{W}_{137}$) は、理論的に以下の式で表わすことができる。

$$\frac{\overline{W}_{135}}{\overline{W}_{137}} = \frac{\sum_i W_{135}(B_i) P_{135}(B_i) e^{-\lambda_{135} t}}{\sum_i W_{137}(B_i) P_{137}(B_i) e^{-\lambda_{137} t}} \approx \frac{C_{135} \sum_i B_i P_{135}(B_i)}{C_{137} e^{-\lambda_{137} t} \sum_i B_i P_{137}(B_i)} = \frac{C_{135}}{C_{137}} e^{\lambda_{137} t} \quad (1)$$

ここで、 $W(B_i)$ は燃焼度 (B_i) の Cs 重量、 $P(B_i)$ は燃焼度が B_i である Cs が燃料デブリや放射性廃棄物中に存在する確率、 λ は崩壊定数、 t は 1F 事故からの経過時間であり、添え数字は ^{135}Cs と ^{137}Cs の区別を示す。また、 C_{135} と C_{137} は、炉内生成量の燃焼度に対する比例係数で、燃焼計算等により求めることができる。燃料デブリやオフサイトの汚染物質における $P(B_i)$ は不明であるが、 ^{135}Cs と ^{137}Cs は化学的挙動が同じ同位体であり、事故時における燃料溶融混合、揮発、沈着等において、両種類の帯同性が期待できることから、(1) 式の最後の項の導出において、 $P_{135}(B_i) = P_{137}(B_i)$ であることを利用している。

3. 分析値との比較 燃料デブリの分析値は未だ得られていないため、これまでにオフサイトで得られている 1F 事故起源の汚染物に対する ^{135}Cs と ^{137}Cs の分析値[2,3]、及び使用済み燃料の照射後試験データ[4]を、(1) 式の理論的スケーリングファクタと比較した。図 1 は種々の汚染物(雨水、食物)に対する ^{135}Cs と ^{137}Cs の分析値[2,3]を理論的スケーリングファクタ(直線)と比較したものであり、分析値による Cs 重量比は、(1) 式による理論値と良く一致していることが確認できる。

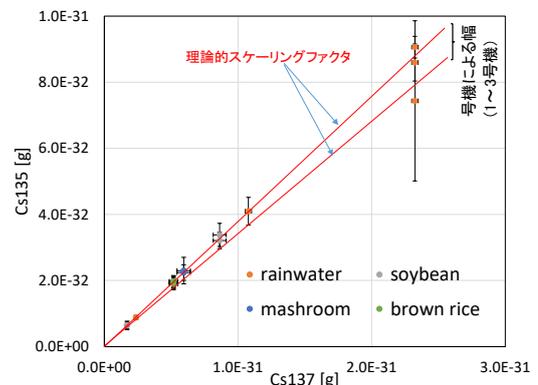


図 1 ^{135}Cs と ^{137}Cs 重量の相関(事故時換算)

【参考文献】 [1] 奥村, 岡本, JAEA-Data/Code 2011-020, [2] 大野, 村松, 地球科学 29, 239 (2015), [3] Mathew S. Snow, et al., Rapid Commun. Mass Spectrom, 30, 523 (2016). [4] OECD/NEA, SFCOMPO-2.0

*Masahiro Sakamoto¹, Kenichi Terashima¹, Taichi Matsumura¹, Manabu Fujita², Keisuke Okumura¹

¹JAEA, ²JPC