

原子炉で生成される放射能と 核爆発で生成される放射能の違いについて

北海道大学
エネルギー環境システム専攻
原子炉工学研究室

千葉豪

平成 25 年 8 月 19 日

通常の原子炉は制御された出力のもとで運転される一方、核爆発では瞬時の核分裂連鎖反応により大量のエネルギーが放出される。以下では、核分裂によって生成される核分裂性生成物 (Fission product, FP) 核種の生成量について、原子炉の運転と核爆発とでどのような違いがあるかについて整理する。

核爆発では瞬間的に FP 核種が生成されるため、爆発直後における二つの核種 i 、 j の放射能比 $R_{i/j}$ は、(それらの核種の生成に核分裂以外の中性子核反応が関わらないとすると) それらが核分裂によって発生する割合 (収率) y_i 、 y_j と、それらの崩壊定数 λ_i と λ_j を用いて以下のように書ける。

$$R_{i/j} = \frac{\lambda_j y_i}{\lambda_i y_j} \quad (1)$$

一方、原子炉では、決められた出力で長時間かけて核分裂反応を起こす。長寿命の FP 核種は運転時間に比例して増加する。一方、短寿命核種は、運転中に核分裂による生成と放射崩壊による消滅が釣り合った状態となり、その存在量は一定となる。毎秒あたりの核分裂数を S 、短寿命核種 i の核分裂による生成割合を y_i 、崩壊定数を λ_i 、全個数を N_i とすると、生成と消滅が釣り合った状態では以下の式が成り立つ。

$$y_i S = \lambda_i N_i \quad (2)$$

従って、ふたつの短寿命核種 i 、 j を考えた場合、その放射能比 $R_{i/j}$ は

$$R_{i/j} = \frac{\lambda_i N_i}{\lambda_j N_j} = \frac{y_i S}{y_j S} = \frac{y_i}{y_j} \quad (3)$$

と書け、核爆発の場合と異なることが分かる。

本稿では、放射能の同位体比として、セシウム 134/セシウム 137 (Cs-134/Cs-137) とテルル 132/テルル 129m (Te-132/Te-129m) に着目する。

Cs-137 は長寿命核種 (半減期約 30 年) であり、原子炉では運転期間に比例して生成される。一方、Cs-134 は、原子炉の場合、核分裂により生成した Xe-133 が半減期約 5 日で崩壊し、それによって生成した Cs-133 がさらに中性子を捕獲して生成するものが大部分である。従って、瞬時に核分裂反応が起こる核爆発では、Xe-133 の崩壊が間に合わないため、Cs-134 の生成量は原子炉の場合と比べてずっと小さくなる。

Te-132、Te-129m はともに短半減期核種である。従って、Te-132/Te-129m の放射能比は、核爆発の場合は式 (1) を、原子炉の場合は式 (3) を用いて表すことが出来る。これらの式と Te-132、Te-129m の崩壊定数を用いることにより、核爆発の際の Te-132/Te-129m の放射能比は、原子炉の場合と比較して 10 倍程度大きい値となることが示される。

瞬時に核分裂反応が起こったあとの放射能比の時間変化を数値計算により評価した。ウラン 235 (U-235)、プルトニウム 239 (Pu-239) が核分裂した際の結果を Fig. 1 に示す。

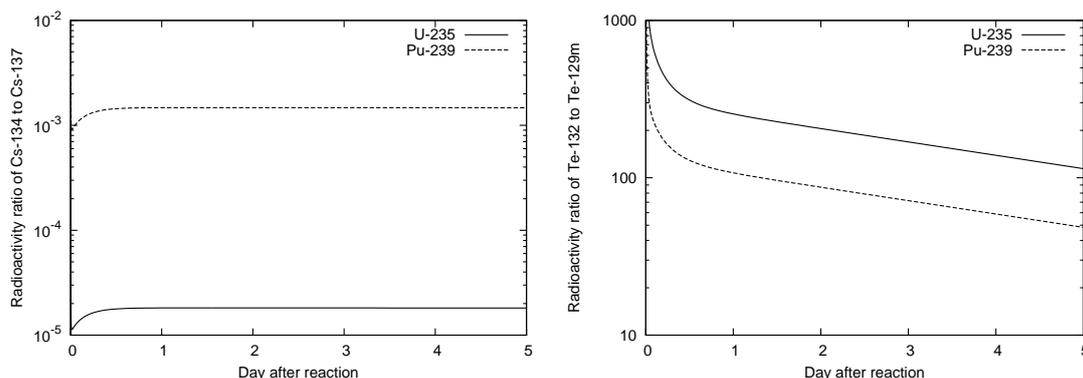


Fig. 1: Radioactivity ratios of Cs-134/Cs-137 and Te-132/Te-129m obtained by numerical calculations

それではこの計算結果と環境放射能の測定値を比較してみよう。

高崎の CTBT 放射性核種探知観測所で測定されたデータに基づく放射能比の時間変化を Fig. 2 に示す¹。このデータは、大気を 24 時間かけて特殊なフィルターに通過させて補集し、その後、当該フィルターを 24 時間放置して自然放射性核種を減衰させた後に、検出器で 24 時間かけてガンマ線のエネルギー分布を測定して得られたものである。

Cs-134/Cs-137 については一点のみを除いて 0.9 弱程度の値を示している。また、Te-132/Te-129m については、概ね Te-132 の半減期に従い減衰しており、3/14 前後では最大で 10 程度の値を示している²。この Te-132/Te-129m の値は、原子炉を想定した数値計算結果と概ね一致することを確認している。

次に、福島第一原発サイト内の土壌から検出された放射能データに基づく放射能比をプロットしたものを Fig. 3 に示す。Te-132/Te-129m については、概ね高崎の測定データと整合がとれることが分かる。Cs-134/Cs-137 については、土壌のデータでは概ね 1.0 程度となっており、それと比較すると高崎の値は 10% 強小さい。なお、日本国際問題研究所、軍縮・不拡散促進センターに問い合わせたところ、Cs-134 の放射能測定においてはカスケード壊変補正を行っていないとのことであった。この補正を行わない場合は、10% 強程度、Cs-134 の放射能を過小評価することが指摘されている³ ので、カスケード壊変補正を施すことにより、高崎のデータと福島第一原発サイト

¹データ元は「高崎に設置された CTBT 放射性核種探知観測所における放射性核種探知状況 (2012 年 4 月 15 日時点)」 (http://www.cpdnp.jp/pdf/110427Takasaki_report_Apr23.pdf)。

²Te-132/Te-129m について、他のものと異なる傾向を示す二点のデータがあるので、それについて検討した。高崎観測所で取得された放射能データには、Te-129m の娘核種である Te-129、Te-132 の娘核種である I-132 のものもある。これらはそれぞれ放射平衡にあると考えられるので、Te-129/Te-129m、I-132/Te-132 についても整理してみたところ、Te-132/Te-129m で異常を示す二つのデータはこの放射能比でも特異な振る舞いを示し、Te-132 放射能の過小評価、Te-132 放射能の過小評価を示唆した。

³<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/qa/iken/iken-i293.htm>

の土壤データとは概ね整合がとれることになる。

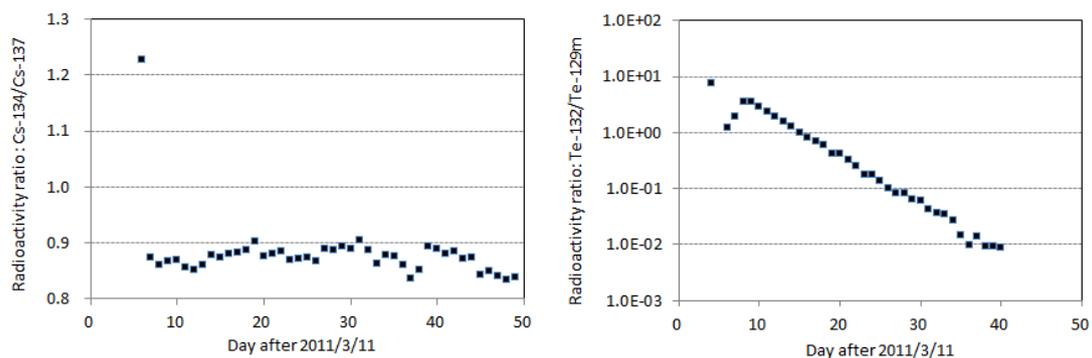


Fig. 2: Radioactivity ratios of Cs-134/Cs-137 and Te-132/Te-129m measured at Takasaki

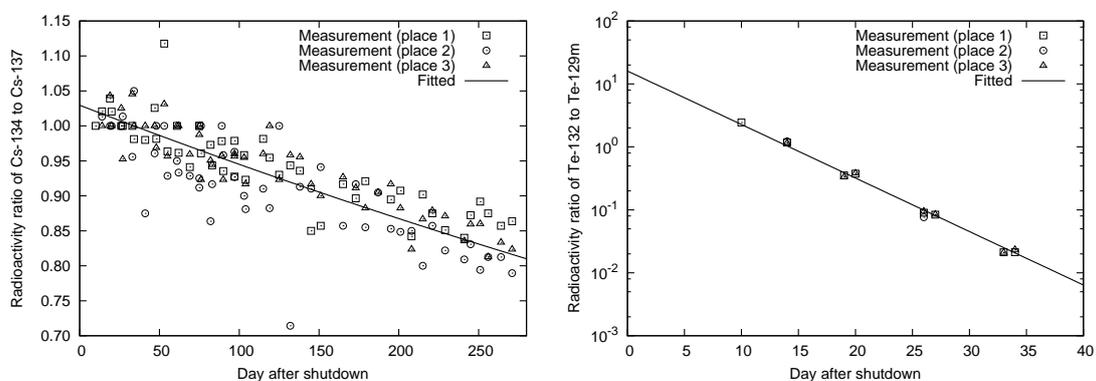


Fig. 3: Radioactivity ratios of Cs-134/Cs-137 and Te-132/Te-129m measured from soil of the site