

1972年アフリカ・ガボン共和国のオクロ鉱床中で天然原子炉が地質時代に作動していた証拠が発見された(参考資料参照)。この時期を以下の手順で推定してみよう。崩壊定数 λ_A の原子核A, 崩壊定数 λ_B の原子核Bを考える。時刻 $t=0$ におけるAとBの個数をそれぞれ N_{A0}, N_{B0} として任意の時刻 t におけるAの個数 $N_A(t)$ とBの個数 $N_B(t)$ は崩壊の法則より, $N_A(t) = N_{A0} \cdot e^{-\lambda_A t}$, $N_B(t) = N_{B0} \cdot e^{-\lambda_B t}$ と書ける。

1. $N_A(t)/N_B(t)$ を考えることにより, 時刻 t を $N_{A0}, N_{B0}, N_A(t), N_B(t), \lambda_A, \lambda_B$ で表す式を求めよ。
2. 崩壊定数 λ と半減期 T は $T \simeq 0.693/\lambda$ であるとして, 前問の結果をA,Bの半減期, それぞれ T_A, T_B を用いて書き直せ。
3. 初めの時刻におけるU-235とU-238の存在比, すなわち N_{A0}/N_{B0} が低濃縮ウラン軽水炉における存在比と同じ約3%, 97%であったものが, t 時間経過して, 存在比が0.7%, 99.3%になったと見なして, 逆に経過時間 t を単位を年(y)で計算せよ。ただし, U-235とU-238のそれぞれの半減期を $T_A \simeq 7.4 \times 10^8$ y, $T_B \simeq 4.4 \times 10^9$ yとして, 経過時間=天然原子炉が稼働した時期を推定せよ。

[解答例]

1. 題意より

$$\begin{aligned} \frac{N_A(t)}{N_B(t)} &= \frac{N_{A0}}{N_{B0}} \cdot e^{-(\lambda_A - \lambda_B)t} \rightarrow \frac{N_A(t) N_{B0}}{N_B(t) N_{A0}} = e^{-(\lambda_A - \lambda_B)t} \\ \rightarrow t &= \frac{1}{(\lambda_B - \lambda_A)} \log_e \left(\frac{N_A(t) N_{B0}}{N_B(t) N_{A0}} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

2. 題意より

$$\begin{aligned} t &\simeq \frac{1}{0.693 \left(\frac{1}{T_B} - \frac{1}{T_A} \right)} \log_e \left(\frac{N_A(t) N_{B0}}{N_B(t) N_{A0}} \right) \\ &= \frac{T_A T_B}{0.693(T_A - T_B)} \log_e \left(\frac{N_A(t) N_{B0}}{N_B(t) N_{A0}} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

3. 題意より

$$\begin{aligned} t &= \frac{(7.4 \times 10^8 \text{ y}) \times (4.4 \times 10^9 \text{ y})}{0.693(7.4 \times 10^8 \text{ y} - 4.4 \times 10^9 \text{ y})} \log_e \left(\frac{0.7}{99.3} \times \frac{97}{3} \right) \\ &= \frac{(7.4 \times 4.4)}{0.693(4.4 - 0.74)} \times 1.48 \times 10^{8+9-9} \text{ y} \\ \rightarrow t &\simeq 19 \times 10^8 \text{ y} (= 19 \text{ 億年}) \end{aligned} \quad (3)$$

参考資料：

オクロの天然原子炉@wikipedia

黒田和夫 『17億年前の原子炉—核宇宙化学の最前線』、講談社〈ブルーバックス〉、
1988年

A.P. メシク, 日経サイエンス 2006年2月号, p. 86