

金沢大学工学部 正員 寺島 泰

不確定な要因の多い輸送現象を対象とする関係上、モデル化による取扱いは避けえないが、以下に長期的な観点から最大限可能な投棄処分の量的速度を決定するための解析手順を述べる。

(1) 深海投棄処分に対する部分許容線量 ds

ICRP の指針に従い、最大許容遺伝線量 (s_{rem}) のうち一般公衆に対する割当線量を D_{rem} 、被曝年数を T 年、公衆人口の総人口に対する割合を pc 、さらに各種形態の人工的被曝のうち、日本における深海投棄処分が原因となる被曝線量の割合を ps とすれば、深海投棄に割当てられる 1 人年間被曝線量は $ds = ps D / pc T (rem/y)$ となる。

(2) 海水中部分許容濃度 (MPC) $_{sw}$

Discrimination Factor を用いる方法もあるが、一般的には職業人の年間許容被曝線量を d 、水中最大許容濃度を (MPC) $_w$ (168 時間週、生殖腺～全身)、1 人 1 日当たり i 種の海産物摂取量を G_i 、濃縮係数を CF_i とすれば (MPC) $_{sw}$ は次のようになる。

$$(MPC)_{sw} = (ds/d) \cdot (2200 \cdot (MPC)_w / \sum CF_i \cdot G_i) \quad (1)$$

(3) 許容漏出速度 g_a, Q_a

深海から対流、混合によって輸送されてくる放射性核種の関連海域中濃度が、(MPC) $_{sw}$ 以下となるように投棄体からの漏出速度を抑制せねばならない。深海からの輸送モデルには、NAS-MRC (1956), Craig (1957), Koczy (1958), Prichard (1960), ヨーロッパ原子力機構 (1964), 原子力安全研究協会 (1964) などがあるが、ここではより安全側に立った新たなモデルを提案する。

1) 流動に伴う二次元拡散として扱うモデル

海底の一点 (原点) から g (C_i/y) の割合で連続的に放射性物質が漏出する場合、流動は x 方向のみで流速 u は一定、深さ方向 (z)、横方向 (y) の渦動拡散係数 D_z, D_y は一定で、流軸方向の混合輸送は対流輸送に比べて無視しうる。浮遊物への吸着はあっても沈降は無視する、などの仮定に基づき、海底および海面 (あるいは温度躍層) では放射性物質の出入りが無い条件を考慮して解析すると、任意位置での放射性核種の濃度 C_i は

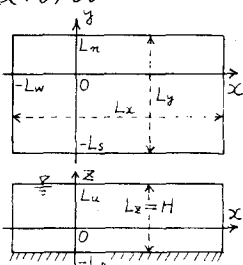
$$C_i = \frac{g}{2\pi x (D_y D_z)^{1/2}} \cdot \exp\left\{-\frac{u}{4x} \left(\frac{y^2}{D_y} + \frac{z^2}{D_z}\right) - \frac{\lambda}{u} x\right\} \cdot \left\{1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \exp\left(-\frac{un^2 H^2}{x D_x}\right) \cdot \cosh\left(\frac{u z H n}{x D_x}\right)\right\} \quad (2)$$

となる。 H は水深 (あるいは躍層以下の深さ)、 λ は放射性核種の衰変速度定数である。

2) 有限領域内での点源拡散として扱うモデル (プールモデル)

海洋は閉鎖系であり大太平洋を処分場とするにしてもこれ全域を有限領域と考えるのがより合理的であり安全側に立つ考え方でもある。そこで大太平洋を図のような長方形のプールに見たり、なかでの対流は混合拡散に含めて扱う。

一回投棄の場合; 投棄により瞬間的な漏出 Q (C_i) が生じる場合の解は、無限領域での点源拡散の解に鏡像の方法を適用すると次のようになる。



$$C_2 = \frac{Q}{8(\pi t)^{3/2}(D_x D_y D_z)^{1/2}} \exp\left\{-\frac{1}{4t}\left(\frac{x^2}{D_x} + \frac{y^2}{D_y} + \frac{z^2}{D_z}\right) - \lambda t\right\} \cdot (1 + F_x + F_y + F_z) \quad (3)$$

$$F_x = \exp\left\{-\frac{L_w(L_w+x)}{D_x t}\right\} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \exp\left\{-\frac{1}{D_x t}(L_x^2 n^2 + L_w(L_w+x))\right\} \cdot \cosh\left\{\frac{L_x(2L_w+x)n}{D_x t}\right\} + \exp\left\{-\frac{n^2 L_x^2}{D_x t}\right\} \cosh\left\{\frac{nx L_x}{D_x t}\right\} \right\}$$

$$F_y = \exp\left\{-\frac{L_s(L_s+y)}{D_y t}\right\} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \exp\left\{-\frac{1}{D_y t}(L_y^2 n^2 + L_s(L_s+y))\right\} \cdot \cosh\left\{\frac{L_y(2L_s+y)n}{D_y t}\right\} + \exp\left\{-\frac{n^2 L_y^2}{D_y t}\right\} \cosh\left\{\frac{ny L_y}{D_y t}\right\} \right\}$$

$$F_z = \exp\left\{-\frac{L_z(L_z+z)}{D_z t}\right\} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \exp\left\{-\frac{1}{D_z t}(L_z^2 n^2 + L_z(L_z+z))\right\} \cdot \cosh\left\{\frac{L_z(2L_z+z)n}{D_z t}\right\} + \exp\left\{-\frac{n^2 L_z^2}{D_z t}\right\} \cosh\left\{\frac{nz L_z}{D_z t}\right\} \right\}$$

年間隔投棄；一回投棄の重ね合せにより， na 年後の濃度 C_3 は

$$C_3(x, y, z, na) = \sum_{i=0}^{n-1} C_2(x, y, z, t-ia) \quad (4)$$

連続漏出；海底において一定の割合 δ (C_i/y) で連続的な漏出が生じる場合は

$$C_4(x, y, z, t) = \frac{\delta}{8\pi^{1/2}(D_x D_y D_z)^{1/2}} \int_0^t \frac{1}{(t-t')} \exp\left\{-\frac{1}{4(t-t')}\left(\frac{x^2}{D_x} + \frac{y^2}{D_y} + \frac{z^2}{D_z}\right) - \lambda(t-t')\right\} \cdot (1 + F'_x + F'_y + F'_z) dt' \quad (5)$$

$$F'_x = F_x(x, t-t') \quad F'_y = F_y(y, t-t') \quad F'_z = F_z(z, t-t')$$

以上(2)～(5)式により，問題とする海域と深さにおける C/δ ， C/Q を計算すれば，最大値あるいは海域での平均値に基づき， C を(MPC)_{SW}とするような許容漏出速度 δa ， Qa を定めることができる。

(4) 許容投棄量 P_a (C_i/y)

漏出の形態は放射性核種と固化法，また投棄体の破損状態によって異なる。

1) セメント固化体中 ^{90}Sr ， ^{137}Cs の漏出モデル

A；投棄体の着底と同時に破壊が生じ，投棄体中全量が一年間に漏出。この場合は $P_a = \delta a$

B；投棄体の着底と同時に α の割合のものが破壊し，これから浸出性形態の核種の全量（個固化体の割合 δ ）が一年間で漏出する。残り $(1-\alpha)$ の割合のものは T 年後に容器が腐食破壊し，裸状固化体から拡散による浸出が始まる。この場合は破損のない裸状固化体からの最終浸出比を γ とすれば

$$P_a = \delta a / \{\alpha \delta + (1-\alpha) \gamma e^{-\lambda T}\} \quad (6)$$

2) セメント固化体中 ^{60}Co の漏出モデル

A；投棄体着底と同時に破壊が生じ，固化体表面積が a 倍となり表面溶解に基づく浸出が始まる。

$$P_a = \delta a / \gamma a \quad (7)$$

B；投棄体の着底と同時に α の割合のものが破壊し，表面積が a 倍となり浸出が始まる。残り $(1-\alpha)$ の割合のものは T 年後から固化体表面溶解による浸出が生じる。この場合は

$$P_a = \delta a / \{\gamma(a\alpha + (1-\alpha) e^{-\lambda T})\} \quad (8)$$

3) アスファルト固化体中 ^{90}Sr ， ^{137}Cs の漏出モデル

1) のA，Bと同様な解析もできるが，破壊は生じないとみて投棄後 T 年を経て拡散に基づく浸出が始まるとすれば

$$P_a = \delta a / \gamma e^{-\lambda T} \quad (9)$$

以上の諸式における破損のない固化体からの最終浸出比 γ は，解析的に推定する方法をすでに明らかにしており，固化体中に浸出性形態で存在する核種の割合 δ についても実験的資料を得ているので， α ， a ， T などを仮定すれば， P_a を定めることができる。試算例は講演時に述べる。