

金沢大学工学部 正員 舟島 泰

放射性廃棄物深海投棄処分の影響評価は、投棄体からの放射性核種の漏出、深海から表層への拡散輸送、水産資源への濃縮、資源の利用と人間への還元といういくつかの過程における放射性核種の移行、分配と定量的把握することから可能となる。これらの過程のうち安全性の依存度が最も高いのは過程は同時となる最も不確定要素が多く、深海に関する現在の知識は基本的限り現象のモデル化は避けない。物理的輸送のモデル化については、NAS-NRC (1956), Craig (1957), Koczy (1958), Prichard (1960), ヨーロッパ原子力機構(ENEA, 1968), 我が国では猿橋 (1956) および原子力安全研究協会 (1969) などによる提案があり、ENEAの場合は実際投棄 (1967, 1969) の安全評価に用いられている。このようなモデルの得失や論議は発表時にゆずれないとして、とくに連続投棄を対象として新たなモデルの提案、ENEA方式の改良を行ない、濃縮以後の過程のモデル化をし、決定する海水中許容濃度 (MPC_{sw}) と見做る許容漏出量、投棄量を算定したので報告する。

連続投棄(漏出)の場合；処分を最も合理的に行なうとすれば深さが MPC_{sw} 以下で定常となるような投棄方法をとるべきであり、これはまた投棄体からの全漏出が一定に保たれるような投棄方法をとることと一致する。この深海流が定常的と仮定し時間的とも一定流速と見做すことと仮定すれば、一般的に流す方向の対流輸送に比べて拡散輸送は無視する ($u \frac{\partial C}{\partial x} \gg D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \approx 0$) ことから、放射性核種の輸送の基礎式は(1)式となり、海底から海面で物質移動がないことから境界条件は(2)式で、また連続条件は(3)式で示

$$D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - u \frac{\partial C}{\partial x} - \lambda C = 0 \quad \text{--- (1)}$$

$$D_y \frac{\partial C}{\partial z} \Big|_{z=0} = D_z \frac{\partial C}{\partial z} \Big|_{z=H} = 0 \quad \text{--- (2)} \quad \int_0^\infty \int_0^H C \, dy \, dz = Q e^{-\frac{\lambda}{u} x} \quad \text{--- (3)}$$

される。(1)式は(4)式の整理によって減衰のない物質 ($\lambda=0$) の拡散方程式となるが、無限媒体中連続発源からのこうした物質の拡散は(5)式のように与えられるので、放射性核種の濃度 C は $e^{-\frac{\lambda}{u} x}$ を乗じることとして求まり、さらにこのと鏡像の方法を適用して(2)および(3)の条件を満足させると、求める解

$$C = C^* e^{-\frac{\lambda}{u} x} \quad \text{--- (4)} \quad C^* = \frac{Q}{4\pi x (D_y D_z)^{1/2}} \exp \left\{ -\frac{u}{4x} \left(\frac{y^2}{D_y} + \frac{z^2}{D_z} \right) \right\} \quad \text{--- (5)}$$

$$C = \frac{Q}{2\pi x (D_y D_z)^{1/2}} \exp \left\{ -\frac{u}{4x} \left(\frac{y^2}{D_y} + \frac{z^2}{D_z} \right) - \frac{\lambda}{u} x \right\} \cdot \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \exp \left(-\frac{u n^2 H^2}{x D_z} \right) \cdot \cosh \left(\frac{u n z H}{x D_z} \right) \right] \quad \text{--- (6)}$$

は(6)式のように表わされる。ここで C は放射性核種の濃度、 D_y , D_z は流動と垂直水平方向ある深さ方向の渦動拡散係数、 u は流速、 λ は放射性核種の減衰速度定数、 H は水深、 Q は漏出速度である。

さて、(6)式は基本的には海底からの漏出速度と表層(海面、 $z=H$ と考える)における濃度と定量的に関連づけられる場合、深海流速と混合拡散に関する信頼することは資料は乏しい。深海流については大西洋西岸を中心とする約10%以上の強い流れが観測されるは推定されているが、平均的に北緯30°と南緯30°の流速は10%以下となることと推定される。太平洋深海流の観測値はないが、

Stommel の大循環論によれば太平洋深部流は大西洋の Y 軸に比べて緩流なる。鉛直拡散係数も解析方法に対象物質とによる。可成り場内では、1 般各値の変動が著しく $10^{-2} \sim 200 \text{ cm}^2/\text{s}$ の中をとり、水平拡散係数については資料が豊富であるが、海洋の表層における値は小さいとすれば $10^4 \sim 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$ 以下の値となる。こゝろ諸数値の詳細は発表時に決つていて、解析がより安全側になるものとなる。こゝろ諸係数値を定め、表層における最大濃度や濃度分布の概略を解析した。これに水深は太平洋の平均深度として 4000 m とし、表-1 の (6) 式から算出した C_{max}/Q の逆数値から最大濃度と与える距離 X_{max} を示す。海洋の表層における MPC_{sw} が

定めらるゝこの表を用いて許容投棄(漏出)量

$$Q_a = [Q/C_{\text{max}}]_{\text{表}} \times (\text{MPC}_{\text{sw}})$$

として算出せらる。右に表-1 の流速 $U = 1 \text{ cm/s}$ とした場合の結果であるが、他流速の場合には

$$Q/C_{\text{max}} = [Q/C_{\text{max}}]_{\text{表}} \times U$$

然るに上式によつて示すことが可能である。上表の結果が項目方へのことは、拡散のスケールが決められていないことであり最大濃度が現出する地点は投棄点から数キロの距離となるが、表に示しているのは、最大濃度の 1/10 濃度となる領域の広がりには上の条件に於いて延長一万五千～二万キロメートル、 $\rho \sim 2$ のメートルとを定めてある。すなわち投棄処分後、管理の問題が問題となる。

一回投棄の場合 (ENEA 方式の改良) ; ENEA はすべし 1967, 1969 年の 2 年度に 2 回の投棄を行なつてゐるが、その危険評価は内部式に於ける単純な拡散モデルを採用している。評価の結果は十分安全側にあるが、モデル自体には改良すべき問題点がある。すなわち海底、海面における境界条

$$C = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} \sqrt{D_x D_y D_z}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{x^2}{D_x} + \frac{y^2}{D_y} + \frac{z^2}{D_z} \right) \right\} \quad \text{---- (7)}$$

件および放射性核種の減衰を考慮することである。分散係数と拡散係数の間には $\sigma^2 = 2Dt$ の関係があるので導入し、減衰を考慮することと境界条件と境界の形式と、満足する (8) 式を得

$$(8) \quad C = \frac{Q}{4(\pi t)^{3/2} (D_x D_y D_z)^{1/2}} \exp \left\{ -\frac{1}{4t} \left(\frac{x^2}{D_x} + \frac{y^2}{D_y} + \frac{z^2}{D_z} \right) - \lambda t \right\} \times \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \exp \left(-\frac{n^2 H^2}{D_z t} \right) \cos h \left(\frac{n z H}{D_z t} \right) \right]$$

と示す。最大濃度は $x = y = z = 0$, すなわち正軸上にある。

1 年間隔で繰返し投棄 ; 投棄処分は定期的に行なふものと仮定するがより実際的であるが、安全側にとり、1 投棄と同時に全量の漏出が生じると仮定し、一回投棄の解 (8) の重み合ふとを行なう (9) 式とし、解析が可能である。

表-2 モデルの比較 ($D_x = D_y = 10^4 \text{ cm}^2/\text{s}$, $H = 4 \text{ Km}$)

	連続漏出	一回投棄	一年間隔投棄	ENEA
$U \text{ (cm/s)}$	1	0	0	0
$D_z \text{ (cm}^2/\text{s)}$	200	200	200	10
$\lambda \text{ (1/y)}$	0.023	0.023	0.023	0
$Q/C_{\text{max}} \text{ (Km}^3/\text{y)}$	8.6×10^4	1.2×10^4	$1.6 \times 10^3 \sim 7.8 \times 10^2$	3.3×10^5
備考	1750 Km	4 年	10 年 100 年	10 年
$Q_a \text{ (Ci/y, Ci)}$	3×10^7	4.4×10^6	2.8×10^4	10^8

$$C^*(x, y, z, t) = \sum_{n=0}^{\infty} C(x, y, z, t - a_n) \quad \text{---- (9)}$$

以上のモデルと比較するにあつて、表-2 に Q/C_{max} の試算例と、 ^{137}Cs の MPC_{sw} と ENEA 方式における $3.6 \times 10^7 \text{ Ci/y}$ とした場合の許容投棄(漏出)量 Q_a を示す。詳細な説明は講演時述べ予定。