

京都大学工学部 工博 井上曉輝
 ○ 同上 森澤真輔

原子力発電の実用化が進むにつれて大量の放射性廃棄物が発生することが見込まれており、同時にそれらを処理すると共に最終的に処分することの必要性が認識されてきた。ここでは、固体廃棄物処分のための一方法として、地中埋設処分を採り挙げてその安全性について検討する。

発電用原子炉から発生した放射性廃棄物はコンクリート固化してドラム缶に詰め、ドラム缶の外側を厚さ2cmにアスファルトコーティングするものとする。このドラム缶を海岸から1[km]離れた処分場所へ運んだ溝の内に並べて土で埋め戻す。この場合について、まず一番外側のアスファルト層による放射性核種の溶出抑止力について考える。ドラム缶をなく、単位体積当たり C_0 なる濃度で放射性核種を含む固化体をアスファルトでコーティングした場合、アスファルト表面での核種濃度 C は式

$$C = C_0 \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \quad (1)$$

で与えられる。ここに、 x はアスファルトの厚さ、 t は時間、 D は核種のアスファルト中での拡散係数である。今 $D = 10^{-8} [\text{cm}^2/\text{day}]$, $t = 100 [\text{year}]$, として式(1)を計算すると、

$$C = C_0 \operatorname{erfc} (2/2\sqrt{(10^{-8})(365 \cdot 10^4)}) = C_0 \operatorname{erfc} (52.4) \approx 0$$

となる。このことは、100年位においても核種は外部にはほとんど溶出しなことを示している。しかも実際には、ドラム缶壁、コンクリートによつて保護されているので溶出は更に少くなる。従つて、放射性固体廃棄物を地中処分した場合、廃棄物から放射性核種が溶出するのは事故の場合であると考えてよい。

表-1 固体廃棄物核種別発生量

核種	半減期	放射能[Ci]	核種	半減期	放射能[Ci]
Co-58	72 d	45	Fe-59	45 d	0.06
Co-60	5.2y	510	Cs-137	30 y	30
Mn-54	300 d	15	Sr-90	30 y	0.15
Ag-110	270 d	21	(計)		621.75
Zn-65	244 d	0.6			

(保安庁報告-15, 544)

そこで、表-1に示した30万kW級の発電所から一年間に発生すると予想される廃棄物を地中埋設処分し、その内10%を土中に溶出したと仮定して事故解析を行う。ところで、地下帯水層中での

核種の移動速度を U_A 、地下水の移動速度を U とすると両者の間に次の関係式が成立する。即ち、

$$\frac{U}{U_A} = 1 + \frac{1-f}{f} \cdot S \cdot \rho_{kd} \quad (2)$$

ここで ρ_{kd} は分配定数、 f は地層の空隙率、 S は土壌の密度を表す。(2)式を用いると、 S, f, ρ_{kd}, U を測定することにより U_A を推定することとができる。ここでは通常の砂層でよく見られる値として $f=0.4$, $S=2.65 [\text{g}/\text{cm}^3]$, $U=30 [\text{cm}/\text{day}]$ を用い、分配定数としては $\rho_{kd, \text{Sr}}=71 [\text{cm}^3/\text{g}]$, $\rho_{kd, \text{Co}}=108 [\text{cm}^3/\text{g}]$, $\rho_{kd, \text{Cs}} > 1,000 [\text{cm}^3/\text{g}]$, $\rho_{kd, \text{Fe}}=280 [\text{cm}^3/\text{g}]$ を用いる。またその他の核種 ^{54}Mn , ^{110}Ag , ^{65}Zn については ρ_{kd} の資料がないので安全側として $\rho_{kd}=0$ とする。各核種について、地下帯水層中での移動速度 U_A 、流下時間、流下量を計算しその結果を表-2に示す。同

表を見ると海へ流出する放射能量を無視できる程に少量であることが解る。

次にこの様にして海水中へ移行した放射性核種が海産生物によって濃縮され、これを人間が摂取することによって被曝すると予測される体内被曝線量率を推算する。表-2に示した放射性核種の全量と廃棄物埋設地海岸の一角から同時に海水中へ移行すると仮定する。この場合、放出量と距離rに距離rの海水中での、t時間後の核種濃度は式で与えられる。

$$S(r,t) = (M/4\pi\theta\cdot D\cdot t) \exp[-r^2/4Dt] \tag{3}$$

従って、t時間後の最大濃度 $S_0(t)$ は式で与えられる。

$$S_0(t) = M/4\pi\theta\cdot D\cdot t \tag{4}$$

ここにMは海水中へ移行する核種全量、Dは平均拡散係数、Dは拡散係数、 θ は海岸の角度である。 $D=10^{-4}[\text{cm}^2/\text{s}]$, $\theta=6[\text{rad}]$, $t=1[\text{年}]$, $\theta=7\%$ なる数値を用いて式(4)で各核種の海水中での濃度を計算し、その結果を表-3に示す。同表に示された核種の濃度は許容水中濃度よりはるかに低い値である。更に、この海水中濃度を用いて人体の体内被曝線量率を推算する。今、海水中での核種濃度を $S[\text{Bq/L}]$ 海産生物への濃縮係数をC.F., 海産物の摂取量を $I[\text{g/day}]$, ICRP飲料水濃度を $\text{MPC}_w[\text{Bq/L}]$, MPC_w に対する年摂取量率を $D[\text{cm}^2/\text{yr}]$ とすると、求める線量率 $D_s[\text{mSv/yr}]$ は式で与えられる。

$$D_s = D \cdot S \cdot I \cdot \text{C.F.} / 2200 \text{MPC}_w \tag{5}$$

C.F., MPC_w として表-4の値を用いて表-3の値を用い、 $I=300[\text{g/day}]$, $D=5[\text{cm}^2/\text{yr}]$ (全身)とし、式(5)を用いて D_s を計算しその結果を表-5に示す。ICRP勧告の一般人に対する許容最大線量率 $0.5[\text{mSv/yr}]$ であることが考慮しても、表-5の値と同様にかなり低い程度に小さい値であることが容易に理解できる。

以上の試算によつて、設定条件下においては地中埋設の方法と放射性廃棄物処分を為す方法として充分安全であることが推定された。しかしながら、実際に放射性廃棄物を地中埋設処分する場合には、以上述べた技術的な安全性の保証をより精密にするという問題の他にも、法律上の問題、経済的な問題が残されておりこれらの問題点をも含めた総合的な検討が必要なことはいふまでもない。

(参考文献) 井口頼輝「日本原子力研究所入流研究所の原子力地下水汚染調査」昭和49年 原子力工学教育
若井重二「井口頼輝「原子力施設による海洋汚染について」水処理技術 Vol.4, No.9, 1963.

表-2 海へ流出する放射能量

核種	$R_d[\text{Bq/yr}]$	$Q_A[\text{Bq}]$	流出時間[年]	放射能量[Ci]
Co-58	108	6.97×10^3	3.92×10^3	4.50×10^{5700}
Co-60	108	6.97×10^3	3.92×10^3	5.10×10^{226}
Mn-54	0	30.0	4.13	1.74×10^{-4}
Ag-110	0	30.0	4.13	2.24×10^{-4}
Zn-65	0	30.0	4.13	5.10×10^{-6}
Fe-59	280*	2.69×10^3	1.02×10^4	6.00×10^{24893}
Cs-137	10004	7.55×10^4	3.62×10^3	3.00×10^{2300}
Sr-90	71	1.06×10^3	2.58×10^3	1.50×10^{28}

* 日本原子力研究所規定値

表-3 放射性核種・海水中濃度

核種	濃度	核種	濃度
Co-58	trace	Zn-65	4.1×10^{15}
Co-60	trace	Fe-59	trace
Mn-54	1.4×10^{-13}	Cs-137	trace
Ag-110	1.8×10^{13}	Sr-90	1.2×10^{37}

単位は[Bq/mL]

表-4 海産物・海水中の放射能許容値

核種	MPC_w	濃縮係数 C.F.	海水中 MPC_w
	[Bq/mL]		[Bq/mL]
Co-58	9×10^{-4}	10^4	2×10^{17}
Co-60	3×10^{-4}	10^4	8×10^{18}
Mn-54	1×10^{-3}		
Ag-110	1×10^{-3}		
Zn-65	1×10^{-3}	4×10^4	2×10^9
Fe-59	5×10^{-4}	7.8×10^4	6×10^9
Cs-137	2×10^{-4}	50	4×10^6
Sr-90	1×10^{-4}	200	5×10^9

表-5 被曝線量率推算値

核種	線量率	核種	線量率
Co-58	trace	Zn-65	4.1×10^8
Co-60	trace	Fe-59	trace
Mn-54		Cs-137	trace
Ag-110		Sr-90	1.6×10^{29}

単位は[mSv/yr]