

京都大学工学部 学 〇 菊 池 昭 = 美

京都大学工学部 正 井 上 頼 輝

京都大学工学部 正 森 沢 真 輔

1.はじめに 放射性廃棄物を地中に処分すると、放射性核種が処分区域から地下水系に浸入し、最終的に人体へ被曝をもたらす可能性がある。本報告では、放射線学的安全性を確保するために必要な処分場周辺の監視システムの配備方法に注目し、特に監視システムの設計要件の重要なひとつであるモニタリングポイント（以下、MPと略記する）の最適配置手法について述べる。

2.放射性核種の移動を予測するための数学モデル 放射性廃棄物地中処分場にMPを配置する場合には、処分区域より漏れ出す放射性核種の地中移動を把握する必要がある。本研究では、(1)式を放射性核種の地中移動を予測するための基礎式とする。

$$\frac{\partial}{\partial t} \{fh + (1-f)\rho kh\}C = \frac{\partial}{\partial x} (fhD_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (fhD_y \frac{\partial C}{\partial y}) - \frac{\partial}{\partial x} (fhv_x) - \frac{\partial}{\partial y} (fhv_y) - \lambda \{fh + (1-f)\rho kh\}C \quad (1)$$

ここに、 f : 地層空隙率 ρ : 土壌密度 h : 水頭 kd : 分配係数 λ : 放射性核種の壊変定数

C : 放射性核種の地下水中濃度 v_x, v_y : 地下水流速 D_x, D_y : 拡散係数

3.モニタリングポイントの配置 基礎式(1)を解いて、放射性核種の地下水中非定常濃度分布を推定し、MPの配置を検討するケーススタディの場合として、Fig.1の処分場を想定する。同処分場については、充分な水文地質学的調査が行われ、必要な物理化学的諸元は全て明らかになっているものとする。また、モニタリングの対象核種は、地下水中の ^{90}Sr であるとする。

(1)式は、解析的には解けないので、同式をCrank-Nicolson型の差分で近似し、計算機を用いて、S.O.R.法により解くことにする。処分場を格子分割し、任意の位置 (x, y) を (i, j) ($i=1\sim 30, j=1\sim 48$)で表わすことにする。

計算は、 ^{90}Sr の漏出率を、500 Ci/day 、5 Ci/day 、0.05 Ci/day の3段階に変化させ、 ^{90}Sr がそれぞれFig.2のA~Pの16の位置から漏出する場合について実行した。計算結果をもとに、MPを以下に示す最適配置の評価基準に従って配置した。

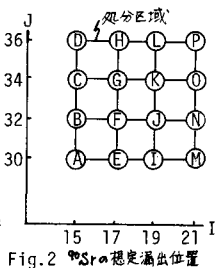
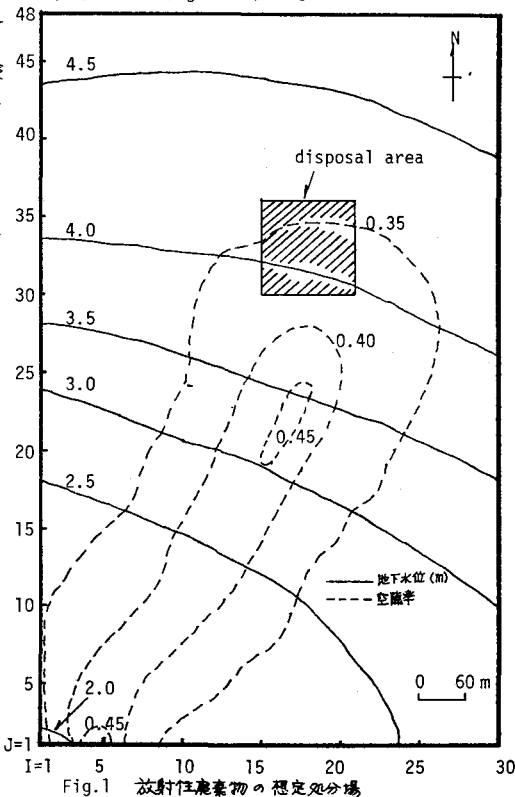
Fig.2 ^{90}Sr の漏出位置

Fig.1 放射性廃棄物の想定処分場

処分場内の任意の位置 $Mx(i, j)$ にMPを設置し、この位置において n か所 ($n \leq 16$) の漏出位置より漏出した ^{90}Sr が探知

できる時、この位置のMPの探知期待値を $n/16$ とする。想定漏出位置より漏出した ^{90}Sr の、MPにおける地下水中濃度が定量限界濃度 ($2.0 \times 10^{-8} \mu\text{Ci/ml}$) に達すれば、その地点で ^{90}Sr の漏出が探知できると考えた。時間の経過と共に、当該位置には多くの漏出点から漏出した定量限界濃度以上の ^{90}Sr が流達し、そのたびに探知期待値は $1/16$

ずつ離散的に増加するが、ある時間と過ぎると増加しなくなる。この時の期待値と最大期待値と呼び、 E_{max} で表わすことにする。また、この時刻と最長必要探知日数と呼び、 T_{max} で表わすことにする。MPの設置数が複数になると、ある1点から漏出し ^{90}Sr が複数のMPで探知される場合が生じる。このように複数のMPで探知される ^{90}Sr の漏出位置数で、モニタリングシステムの冗長度を表わすことにする。また、探知される ^{90}Sr の漏出位置数 n の各々に対応して、 n 個の必要探知日数があるので、これらの平均値と平均探知日数と呼び、 T_{mean} で表わすことにする。

本研究では、放射能核種の濃度への有無を、効果的に迅速、確実に探知するモニタリングシステムを設計することと主目的としている。この目的を達成するためには、先に定義した E_{max} 、 T_{max} 、冗長度を最大にし、かつ T_{mean} を最小にするようにモニタリング位置を定めればよいが、これらの設計条件は、限られたMPの数のもとに全てと同時に満たすことはできない。ここではとりあえず次のように優先順位をつけることにする。すなわち、1.モニタリングシステムの E_{max} が最大であること。2.モニタリングシステムの T_{max} が最小であること。3.モニタリングシステムの冗長度が最大であること。4.モニタリングシステムの T_{mean} が最小であること。この優先順位に従って、以下に述べる配置手法によりMPを配置する。

MPの最適配置のための準備として、Tab.1のような表とMPの数に応じて作成する。Tab.1はMPの設置数が3コである場合の例である。表中の文字A～Pは ^{90}Sr の想定漏出位置で、その下の数値は当該位置から漏出し ^{90}Sr がそれぞれM1～M3のMPで探知されるのに要する日数と示す。MPの位置はM1(15,30),M2(17,35),M3(19,30)である。この表より、 E_{max} 、 T_{max} 、冗長度および T_{mean} を読みとり、上述の判定基準と優先順位に従って、MPの最適配置を決定する。

4.結果と考察 Tab.2は ^{90}Sr の漏出率が5Ci/dayで、MPの数が6コの場合の最適配置と示す表である。MPの位置は、M1(15,30),M2(15,34),M3(17,33),M4(19,30),M5(19,34),M6(21,33)である。Fig.3は、MPの数が6コの場合には、漏出率が500～0.05Ci/dayの範囲で変化しても、MPの最適配置はほとんど同じであることを示している。すなわち、放射能核種の漏出率が変化しても、MPの最適配置はほとんど変化しないことから、ある量の漏出率を任意に仮定して最適配置を定めればよいことになる。

5.おわりに 本研究で提案した手順により決定されるMPの最適位置は、検討条件下では、不確定要素の大きな放射能核種漏出率の変化に依存しないこと、最適位置の決定に要する労力が少なく済み、かつその手順が明確であること、等から考えて、ここで提案したMPの最適配置の手法は有効であると考えられる。ただし、今後さらに、バックグラウンド濃度の影響等について検討する他、漏出位置や漏出率を同定するためのモニタリングシステムのあり方等について検討する必要がある。

最後に、本研究の数値計算には、京府大学工型計算機センター FACOM OS IV/F4を利用したことを付記する。

Tab.1 漏出点と探知日数 (漏出率 5Ci/day)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
M1	1	2	35	-	3	45	-	-	-	-	-	19	-	-	-	-
M2	-	-	-	-	-	-	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-
M3	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	35	-	2	35	-	-

$E_{max} = \frac{13}{16}$ $T_{max} = 45(\text{day})$ 冗長度 = 0 $T_{mean} = 14.2(\text{day})$

Tab.2 漏出点と探知日数 (漏出率 5Ci/day)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
M1	1	2	35	-	3	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M2	-	-	1	2	-	-	3	63	-	-	-	-	-	-	-	-
M3	-	-	-	-	-	2	2	11	-	-	17	-	-	-	-	-
M4	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	35	-	2	35	-	-
M5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	-	-	3	54
M6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	12

$E_{max} = 1$ $T_{max} = 12(\text{day})$ 冗長度 = 8 $T_{mean} = 3.1(\text{day})$

