713. 放射性廃棄物地中処分場周辺のモニタリング, (Ⅲ)

予知モニタリング系の配備

森 澤 眞 輔*, 井 上 頼 輝*

(1978年 10月14日 受 理)

(1980年 10月 7 日 再受理)

Monitoring around Radioactive Waste Burial Site, (Ⅲ)

Lay-Out of Monitoring Locations for Detecting Predictor Materials

By Shinsuke MORISAWA and Yoriteru INOUE

A method was discussed to lay out monitoring locations for predicting migration of critical radionuclides around a radioactive waste burial site by detecting predictor materials. A case study was done to allocate the monitoring locations around an assumed waste burial site by using ^{90}Sr as a critical radionuclide and ^{90}Y as a predictor material. Possible displacement of monitoring locations with design parameters such as time interval of monitorings is also discussed.

Some instructive results were obtained as follows: (1) The method discussed and proposed in this paper is feasible to get reasonable lay-out of monitoring locations. (2) Time required for detecting a predictor material could be reduced more by the shorter time interval of monitorings. (3) Number of monitoring locations could be reduced more by an analytical technique with lower detection limit.

KEYWORDS: environmental monitoring, radioactive wastes, underground disposal, predictor materials, monitoring location, strontium 90, yttrium 90, lay-out, radionuclide migration

1. はじめに

前報⁽¹⁾では先行指標物質について検討し、そのような物質を利用すれば、放射性廃棄物地中処分場の安全性を支配する決定核種の移動を予知できる可能性が大きいことを明らかにした。放射性廃棄物地中処分場周辺の環境モニタリングでは、決定核種の地中への移行、地中での移動、さらに食物連鎖を経ての人体による摂取を把握することが主要な目的の1つになると考えられる。一般に、決定核種になる核種は土壌に収着されやすく、したがって地中での移動速度が遅いため、決定核種が処分された廃棄物から浸出してモニタリング位置に到達するのは長時間の後である⁽²⁾。また、放射性核種が処分された廃棄物から浸出して地中へ移行する位置は、廃棄物の埋立処分場内であることは確かであ

るが、処分場内のどの位置であるかをあらかじめ知ることはできない。これらの事項は、地中処分場の周辺に決定核種の移動を把握することを目的にしたモニタリング系を配備する場合には、モニタリング位置の数が多くなり、しかも当該モニタリング位置で決定核種を検知できるまでに要する時間が長くなることを意味している。

前報⁽¹⁾で明らかにしたように、先行指標物質の地中での移動速度は決定核種の移動速度に比べると速いため、その移動を早期に検知することができる。それゆえ、地中処分場の周辺に先行指標物質の移動を検知するためのモニタリング系(簡単のため仮に予知モニタリングと呼ぶ)を配備すれば、先行指標物質を検知す

* 京都大学工学部衛生工学教室(Dept. of Sanitary Eng., Kyoto Univ.)

ることにより比較的早期に、決定核種が地中処分場からどの方向へ移動するかを予知することができる。予知モニタリング系のいずれかのモニタリング位置で先行指標物質が検知されれば、そのモニタリング位置の周囲に決定核種の移動を把握することを目的としたモニタリング系を配備すればよい。このようにすれば、モニタリング試料の採取や分析に要する労力や経費を節約できるだけでなく、決定核種の移動をより精度よく把握できると考えられる。

本報では、予知モニタリング系のモニタリング位置を合理的に定める手法について検討するとともに、想定した放射性廃棄物地中処分場に同手法を適用し、モニタリング位置の配備を示す。ケース・スタディにおいては、放射性廃棄物地中処分場の安全性を支配する決定核種は ^{90}Sr である⁽²⁾⁽³⁾と仮定し、またその先行指標物質として ^{90}Y を用いる⁽⁴⁾ことにする。

II. モニタリング位置の決定手法

1. 基本的考え方

予知モニタリング系を配備する目的は、先行指標物質を検知することによって、決定核種が処分場からいずれの方向へ移動するかをあらかじめ把握することである。放射性核種の位置分布を把握することはこのモニタリング系の目的ではない。それゆえ、廃棄物処分場を取り囲むように一重の予知モニタリングライン(探索線)を設定し、このモニタリングライン上を所定

の濃度以上の先行指標物質が通過すれば必ず検知できるようにモニタリング位置を定めれば、その目的を達成することができる。

廃棄物処分区域の境界上に想定する放射性核種の漏出位置からモニタリングラインまでの距離を L 、1つのモニタリング位置の探索範囲(その範囲内を“所定の濃度”以上の先行指標物質が通過すればモニタリングによって検索することができる領域; モニタリング位置の守備範囲)を y_0 、モニタリングライン上での“所定の濃度”以上の先行指標物質の分布域を y とする(Fig. 1 参照)。先行指標物質として、決定核種である ^{90}Sr の娘核種 ^{90}Y を利用する場合を想定し、 ^{90}Sr および ^{90}Y が距離 L を移動するのに要する時間をそれぞれ $T_{Sr}(L)$, $T_Y(L)$ 、その後 ^{90}Sr および ^{90}Y のモニタリングライン上での分布幅 y が探索範囲 y_0 に等しくなるまでに要する時間をそれぞれ $t_{Sr}(L, y_0)$, $t_Y(L, y_0)$ とする。予知モニタリング系のモニタリング位置を決定するための手法のあらましをFig. 1に示す。Fig. 1よりわかるように、1つのモニタリング位置の探索範囲 y_0 をモニタリングライン上での ^{90}Y の分布幅 y に等しく設定すれば、モニタリングラインを通過する所定の濃度以上の ^{90}Y を検知し損うことがない。ここでは、地下水中の ^{90}Y をモニタリングの対象にすることにし、探索範囲 y_0 および分布幅 y を定める ^{90}Y の“所定の濃度”としては検出限界濃度を用いることにする。また、 ^{90}Sr の所定の濃度も同じく検出限界濃度とする。

Fig. 1 Illustration of fundamental concept for locating monitoring locations

予知モニタリング系によって ^{90}Y を検知するのに要する時間の最小値は $T_Y(L)$ 、最大値は $T_Y(L) + t_Y(L, y_0) + T_{Sr}$ である。同じく、予知モニタリング系で ^{90}Sr

を検知できるようになる時間の最小値は $T_{Sr}(L)$ 、最大値は $T_{Sr}(L) + t_{Sr}(L, y_0) + T_Y$ である。ただし、 T_Y はモニタリングの時間間隔(簡単のため等間隔である

と仮定する)である。いいかえると、 T_0 はモニタリング位置に ^{90}Y が到達しているのに検知することができない時間の最大値に等しくなる。連続モニタリングを実施する場合は $T_0=0$ である。それゆえ、 ^{90}Y を検知した後同じモニタリング位置で ^{90}Sr を検知するまでに要する時間の最小値 $T(L)$ は、

$$T(L) = T_{Sr}(L) - \{T_Y(L) + t_Y(T, y_0) + T_0\} \quad (1)$$

となる。ところで、 $T_{Sr}(L)$ と $T_Y(L)$ との間には $T_{Sr}(L) = K_f \cdot T_Y(L)$ なる関係式が成立する⁽⁶⁾。それゆえ、(1)式は次式のように変形することができる。

$$T(L) = (K_f - 1)T_Y(L) - t_Y(L, y_0) - T_0 \quad (2)$$

ここに、 $K_f = 1 + (1-f)\rho k d_{Sr}/f$

f : 地層の空隙率、 ρ : 土壌の密度

$k d_{Sr}$: ^{90}Sr の分配係数値

ここでは、予知モニタリング系で先行指標物質 ^{90}Y を検知した後、 ^{90}Sr を検知するためのモニタリング系を配備することを想定している。それゆえ、 ^{90}Sr を検知するためのモニタリング系を同一モニタリングライン上に配備するために必要な時間を T_m とすれば、

$$T(L) \geq T_m \quad (3)$$

でなければならない。これは検出限界濃度の ^{90}Sr が、 ^{90}Sr に対するモニタリング体制が整わない内に ^{90}Y のモニタリングラインを越えるようなことがあってはならないことを意味する。

一方、モニタリングライン上での ^{90}Y の分布幅 y は定常状態での分布幅 Y よりも大きくなり得ないから、次の不等式が成立する。

$$y_0 \leq Y \quad (4)$$

y_0 は1つのモニタリング位置の探索範囲であるから、 y_0 を小さく設計すると必要なモニタリング位置の数が多くなる。予知モニタリング系では、なるべく早く先行指標物質の移動を把握する必要がある。しかも、経済性(例えば、モニタリング用井戸の設置費用等)、分析担当機関の分析能力(容量)等を考えると、モニタリング位置の数は少ないことが望ましい。ここでは、(3)、(4)式を満たす L の最小値と、対応する y_0 の値を求めて、予知モニタリング系のモニタリング位置を決定する。

2. モニタリング位置の決定手順

(2)、(3)式から $T(L)$ を消去すると次式を得る。

$$T_Y(L) \geq \{T_m + T_0 + t_Y(L, y_0)\} / (K_f - 1) \quad (5)$$

(5)式中の T_m 、 T_0 は当該モニタリング計画に投入で

きる人員や資金量によって設計条件として定まり、 K_f は廃棄物の処分場所が定まれば地層および土壌の特性値として定まる。

モニタリング位置の決定手順は略図以下になる。すなわち、①廃棄物の地中処分区域周辺での地下水中 ^{90}Y 濃度の非定常濃度分布を推定しておく。 L を仮定し、先の推定結果から L の仮定値に対応する $T_Y(L)$ 値を定める。②(5)式から $T_Y(L)$ に対応する $t_Y(L, y_0)$ の上限値を定める。③前記①、②によって $T_Y(L)$ と $t_Y(L, y_0)$ 、すなわち、モニタリングライン上で ^{90}Y の分布幅が y_0 になるのに要する時間 $T_Y(L) + t_Y(L, y_0)$ と、モニタリングラインまでの距離 L とが定まるので、これらの値と地下水中 ^{90}Y の非定常濃度分布の推定結果とから、①で仮定した L に対応する y_0 の値を得ることができる。④ L の仮定値を変化させて、 L の最小値とそれに対応する探索範囲 y_0 を定める。⑤隣り合う2つのモニタリング位置の探索範囲が接し合うように、モニタリングライン上にモニタリング位置を配置する。

Ⅲ. ケース・スタディ

1. 対象施設

モニタリング位置の配置について検討する地中処分場の想定敷地⁽⁶⁾をFig. 2に示す。敷地は南を海、西を川で区切られ、北および東で陸に接している。東西約1 km、南北約0.5 kmで面積は約540,000 m²である。Fig. 2の敷地内、斜線で示す区域(100m×100m: 面積10,000 m²)に放射性廃棄物を処分するものとする。

2. 先行指標物質の分布

地中(潜水層中)での ^{90}Y の濃度分布 $C(x, y, t)$ が次式で推定できるものとする。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) - \frac{\sigma}{\partial x} (v_x C) - \frac{\partial}{\partial y} (v_y C) - \lambda_Y C \quad (6)$$

ここに、 $D_x = D_m |v_x| + D_d$ 、 $D_y = D_m |v_y| + D_d$

ただし、 D_m : ^{90}Y の標準拡散係数

D_d : 分子拡散係数、 λ_Y : ^{90}Y の崩壊定数

v_x, v_y : それぞれ設定した x, y 座標軸方向の地下水流速であり、Fig. 2の地下水位分布にDarcyの法則を適用して推定

(6)式では ^{90}Y は土壌に収着されない($k d_Y = 0$)⁽⁶⁾と仮定している。

Fig. 2の地中処分場敷地を1辺10mの正方形格子網で覆い、(6)式をCrank-Nicolson型の差分で近似す

Radioactive wastes are to be buried at the shadowed area in the figure. Contour line of groundwater are shown in the unit of centimeter above sea level.

Fig. 2 Assumed site for locating monitoring locations to detect migration of predictor material

る。得られた差分近似式を計算機を用いて逐次過緩和法(S.O.R.)で解き、各格子点における地下水中 ^{90}Y 濃度を推定する。

廃棄物処分区域の内部で地中へ移行した放射性核種は、処分区域の境界を経て移動する。したがって、ここでは放射性核種が地中へ移行する位置が、廃棄物処分区域の境界上の格子点にあるものとみなす。処分場を覆う格子網の格子間隔が狭い場合には、このような仮定を設定しても一般性は損なわれない。この境界格子点での地下水中 ^{90}Y 濃度は常に $1.68 \times 10^{-1} \mu\text{Ci/ml}^{(7)}$ であり、 ^{90}Y の検出限界濃度は $10^{-8} \mu\text{Ci/ml}^{(1)}$ であると仮定し、また地中処分場の敷地境界では、 ^{90}Y の濃度分布が線形である($\partial^2 C / \partial x^2 = 0$, $\partial^2 C / \partial y^2 = 0$)と仮定した。

一方、初期条件としては、 $t=0$ のとき ^{90}Y が地中へ移行する格子点を除くすべての格子点で $C=0$ であるとした。

廃棄物処分区域境界上の各格子点から放射性核種が地中へ移行する場合について、(6)式を数値的に解いて ^{90}Y の地下水中濃度分布を推定した。数値計算に際しては、 $D_m=1 \text{ cm}$, $D_a=10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$, $\lambda_r=94.9 \text{ 1/yr}$, また Darcy の法則によって地下水流速 v_x, v_y を推定する場合の透水係数としては $6.9 \times 10^{-2} \text{ cm/s}^{(7)}$ を用いた。

地下水位についてはFig. 2のように分布しているものとした。(6)式の計算においては、拡散係数 D_x, D_y および地下水流速 v_x, v_y が場所の関数であると見なし

Detectable limit equi-concentration ($10^{-8} \mu\text{Ci/ml}$) distribution of ^{90}Y estimated by numerical analysis assuming that radionuclides are released from node point of (81, 21)

Fig. 3

ていることになる。格子点 $(I, J) = (81, 21)$ から ^{90}Y が地中へ移行する場合の、 ^{90}Y の地下水中濃度分布の推定結果を Fig. 3 に示す。

3. モニタリング位置の決定

モニタリング系の設計条件を次のように設定する。すなわち、 $T_m = 30 \text{ d}$ 、 $T_d = 30 \text{ d}$ とする。これは、30 d ごとに地下水中の ^{90}Y 濃度を測定して検出限界濃度以上の ^{90}Y が検知されれば、30 d 以内に決定核種である ^{90}Sr を検知の対象にするモニタリング系を、 ^{90}Y を検知したモニタリング位置の周辺に重点的に配備することを意味する。また、ここでは ^{90}Sr の分配係数値を $k d_{sr} = 10 \text{ ml/g}$ 、地層の空隙率を $f = 0.4$ 、地層を構成する土壌の密度を $\rho = 2.65 \text{ g/cm}^3$ とする。このとき、(5)式で定まる $t_r(L, y_0)$ と $T_r(L)$ との関係を T_r をパラメータにして Fig. 4 に示す。

Fig. 4 Relationship between $t_r(L, y_0)$ and $T_r(L)$

また、 ^{90}Y が廃棄物処分区域境界上の格子点 $(81, 21)$ から地中へ移行する場合について推定した ^{90}Y の地下水中濃度分布 (Fig. 3 参照) から得た $T_r(L)$ と L との関係、および y_0 と $T_r(L) + t_r(L, y_0)$ との関係を、それぞれ Fig. 5 および Fig. 6 に示す。

Fig. 5 は、廃棄物処分区域の境界から距離 L の位置に、検出限界濃度 $10^{-8} \mu\text{Ci/ml}$ の ^{90}Y 等濃度線が到達するのに要する時間 $T_r(L)$ を示す。Fig. 6 は、 ^{90}Y が廃棄物処分区域境界上の格子点 $(81, 21)$ から地中へ移行した後モニタリングライン上での ^{90}Y の $10^{-8} \mu\text{Ci/ml}$ 等濃度線の分布幅 y が探索範囲 y_0 に等しくなるまでに要する時間 $T_r(L) + t_r(L, y_0)$ と、モニタリング位置の探索範囲 y_0 との関係を、 L をパラメータにして図示したものである。

Fig. 4~6 を用い、先に述べた手順に従ってモニタリング位置を決定する。いま仮に $L = 32 \text{ m}$ とすると、

Fig. 5 Relationship between $T_r(L)$ and L , when radionuclides are released from node point of $(81, 21)$

Fig. 6 Relationship between $T_r(L) + t_r(L, y_0)$ and y_0 , when radionuclides are released from node point of $(81, 21)$

Fig. 5 より $T_r(L) = 1.75 \text{ d}$ を得る。モニタリング系の設計条件として $T_d = 30 \text{ d}$ を設定しているから、Fig. 4 より、 $T_r(L) = 1.75 \text{ d}$ に対応する $t_r(L, y_0)$ として 10 d を得る。さらに、 $T_r(L) + t_r(L, y_0) = 1.75 + 10 = 11.75 \text{ d}$ 、 $L = 32 \text{ m}$ に対応する y_0 は Fig. 6 より 44 m となる。すなわち、格子点 $(81, 21)$ から ^{90}Y が地中へ移行する場合に、 $L = 32 \text{ m}$ とすると $t_r(L, y_0) = 10 \text{ d}$ 、 $y_0 = 44 \text{ m}$ となり、 $L = 35 \text{ m}$ とすれば、上と同じ手続きを繰り返すことにより $t_r(L, y_0) = 20 \text{ d}$ 、 $y_0 = 54 \text{ m}$ を得る。

ここでは、とりあえず $t_T(L, y_0) = 10$ d という条件が妥当であるとみなすことにする。他の格子点から ^{90}Y が地中へ移行する場合についても上と同様の検討を行い、その結果を Table 1 に示す。

Table 1 L and y_0 determined through ^{90}Y concentration distribution estimated around waste burial area

Assumed release point (I, J)	Distance from release point to monitoring line L (m)	Detecting width of each monitoring location y_0 (m)
(86, 21)	29	42
(81, 21)	32	44
(76, 21)	40	62
(76, 26)	27	62
(76, 31)	44	70
(81, 31)	38	68
(86, 31)	31	74

Design conditions: $t_T(L, y_0) = 10$ d, $T_m = 30$ d and $T_s = 30$ d

Table 1 の L, y_0 の値を用いてモニタリング系を配備すれば、モニタリングライン上に ^{90}Y が到達するのに要する時間 $T_T(L)$ は 1.75 d、モニタリングライン上での ^{90}Y の分布幅が y_0 になるのに要する時間 $t_T(L, y_0)$ は 10 d、モニタリング位置で ^{90}Y を検出する

までに要する時間の最大値 $T_T(L) + t_T(L, y_0) + T_s$ は 41.75 d、最小値 $T_T(L)$ は 1.75 d、また、 ^{90}Y を検知後 ^{90}Sr がモニタリングラインに達するまでに必要な時間 $T_m = T(L) - T_s$ はほぼ 30 d (29.6 d) となる。

Table 1 に示した L と y_0 とを用いて配備した、地下水中 ^{90}Y 濃度のモニタリング位置を Fig. 7 に示す。 $I = 86 (21 \leq J \leq 31)$ で与えられる処分区域境界から地中へ移行する ^{90}Y は、地下水とともに処分区域内側へ向って移動するから (Fig. 2 参照)、この境界の外側にはモニタリング位置を配置する必要がない。Fig. 7 の各モニタリング位置の廃棄物処分区域境界からの距離 L と、探索範囲 y_0 とを整理して Table 2 に示す。Fig. 7 中の○印はモニタリング位置を、斜線部分は探索範囲を表わしている。

Table 2 Monitoring locations and their detecting width which compose monitoring net for detecting migration of predictor material ^{90}Y

Monitoring location (I, J)	Distance from release point to monitoring line L (m)	Detecting width of each monitoring location y_0 (m)
No. 1	29	43
No. 2	32	44
No. 3	41	43
No. 4	40	62
No. 5	26	54
No. 6	39	57
No. 7	44	70
No. 8	40	63
No. 9	31	74

Design conditions: $t_T(L, y_0) = 10$ d, $T_s = 30$ d, $T_m = 30$ d, $T_T(L) = 1.75$ d and $K_f = 40$ (kd_s = 10 ml/g)

IV. 考 察

先行指標物質に ^{90}Y を用いる場合を想定して、種々の仮定の下に予知モニタリング系のモニタリング位置を配置した (Fig. 7 参照)。モニタリング位置の数は 9 である。廃棄物処分施設で ^{90}Y が地中へ移行すれば、所定時間後には、先行指標物質である ^{90}Y がいずれかのモニタリング位置で検知されることになる。Fig. 7 の予知モニタリング系の設計条件は以下のとおりであった。すなわち、測定頻度は 30 d ごとに 1 回、モニタリング位置で ^{90}Y を検知後 ^{90}Sr を検知するためのモニ

* ^{90}Sr が廃棄物処分区域の境界から地中へ移行する場合の最大値。処分区域の内部で地中へ移行する場合は ^{90}Y を検出するため、より長い時間が必要になる。

Refer to Table 2 for design conditions. Circle in the figure means a monitoring location and the shadowed portion means a detecting width of the monitoring location.

Lay-out of monitoring locations for detecting migration of predictor material (^{90}Y) around waste burial area

Fig. 7

タリング系を配備するのに要する時間は30 d, モニタリングライン上で ^{90}Y が検知されるのは, 廃棄物から浸出した ^{90}Y が処分施設の境界に達した後遅くとも約 $42(T_Y(L)+t_Y(L, y_0)+T_s)$ d 後である。

すでに述べたように, 本報では少ないモニタリング位置で早く先行指標物質 ^{90}Y を検知することを目的にしてモニタリング位置を定めた。モニタリング位置を少なくするという目的は探索範囲 y_0 を大きくすることで達成され, 早く ^{90}Y を検出するという目的はモニタリング位置までの距離 L を小さくすることで達成される。廃棄物処分区域周辺地下水層中で ^{90}Y がFig. 1に示すように, L の増加とともにその分布範囲 y が増加し, 最大値に達した後減少に転じるような分布をする場合であって, 分布範囲 y が最大値をとるときの L よりも処分区域に近い領域(L の増加とともに y が増加する領域)にモニタリング位置を設定する場合には, モニタリング位置の数を少なくする(探索範囲 y_0 を大きくする)という目的と, 早く検知する(L を小さくする)という目的とは両立しなくなる。このような場合には, 適切な価値判断に基づいて2つの目的間に成立するトレードオフ関係を調整しなければ, モニタリング位置を定めることができない。

本報でケース・スタディの場合として想定した場所(Fig. 2参照)では, ^{90}Y の分布範囲 y は L の増加につれて減少している(Fig. 3参照)。すなわち, 先に述べた2つの目的は, モニタリング位置を廃棄物処分区域に近づけることによって同時に達成されることになる。ただし, モニタリング位置を廃棄物処分区域に近づけすぎると, 決定核種を検知対象にするモニタリング系を配備するのに要する時間 T_m を確保できないので, L の最小値は主として T_m の設定値によって定まる。本報のケース・スタディにおいては, 先に述べた ^{90}Y の分布特性から, L の最小値に対応する探索範囲 y_0 は設定しうる最大値になっている。

本報では, ^{90}Y の濃度分布を推定するために(6)式を用いた。(6)式で推定される ^{90}Y 濃度 C には, 地中を移動しつつ β 崩壊する ^{90}Sr によって供給される ^{90}Y の寄与が含まれていない。前報¹⁾で示したように, ^{90}Sr の分配係数値が大きい場合には, ^{90}Sr の崩壊によって供給される ^{90}Y の寄与は著しくはない。また, (6)式で推定される ^{90}Y の分布域は, 移動しつつ崩壊する ^{90}Sr から供給される ^{90}Y の寄与を考慮する場合よりも狭くなるから, (6)式で推定される ^{90}Y の分布に基づいて決定される, 隣り合うモニタリング位置の探索範囲は, 実際には重なり合うことになる。すなわち,

地中を移動しつつ β 崩壊する ^{90}Sr から供給される ^{90}Y の寄与を無視することによる誤差は, モニタリングとしての安全側に現れることになる。

測定器の購入費や維持管理費が高価になるであろうことを予想して, モニタリング位置における放射性核種の連続測定方式($T_s=0$ に相当)については検討しなかった。放射性核種の地中での移動速度は遅いから, 連続測定方式を用いなくてもモニタリングの目的は達成できると考えられる。ただし, Fig. 4からもわかるように, $T_s=0$ d のとき $t_Y(L, y_0)=10$ d であれば, $T_Y(L)=1$ d, Fig. 5より $T_Y(L)=1$ d のとき $L=26$ m, さらはこれらとFig. 6より y_0 は約50 mになる。また, $T_s=0$ のとき $T_Y(L)=1.75$ d とすれば, Fig. 4より $t_Y(y_0)=40$ d, これとFig. 5より $L=32$ m, これらとFig. 6より y_0 は60数mになる。 T_s の変化に応じて L , y_0 , $T_Y(L)$ 等の値がどのように変化するかをTable 3に示す。Table 3は, モニタリングの時間間隔 T_s (モニタリング位置における地下水試料の採取時間間隔)が短くなるにつれて L , $T_Y(L)$ や $T_Y(L)+t_Y(L, y_0)+T_s$ は小さく, y_0 は大きくなることを示している。

Table 3 Comparison of monitoring locations designed for different values of T_s , when radionuclides are released from node point of (81, 21), T_m is 30 d and $t_Y(L, y_0)=10$ d

Determined design parameters	Given design condition		
	$T_s=0$ d	$T_s=30$ d	$T_s=60$ d
L (m)	26	32	37
y_0 (m)	50	44	44
$T_Y(L)$ (d)	1.0	1.8	2.5
$T_Y(L)+t_Y(L, y_0)+T_s$ (d)	11.0	41.8	72.5

$T_Y(L)$: Minimum time interval required for detecting ^{90}Y
 $T_Y(L)+t_Y(L, y_0)+T_s$: Maximum time interval required for detecting ^{90}Y

T_s : Constant time interval of monitorings

T_m : Time required to set up monitoring locations for detecting ^{90}Sr

Table 3より明らかなように, $T_Y(L)$ の減少量は小さいので, ^{90}Y の検出に要する時間の最大値 $T_Y(L)+t_Y(L, y_0)+T_s$ の減少量は, T_s の減少量とはほぼ一致している。すなわち, モニタリングの休止期間を短くすることの効果は, 検出限界濃度以上の ^{90}Y が到達してもモニタリングを休止しているため検出できない時間を短くすることに, 主として現れている。一方, 探索範囲 y_0 はモニタリング時間間隔 T_s が60 dから30 d

へ減少する場合は変化せず、30 d から 0 d へ変化する場合にはわずかに増加している。このことは、例えば連続モニタリング($T_r=0$ に相当)を実施することにより、わずかでもモニタリング位置の数を減少させる可能性があることを意味している。

予知モニタリング系で ^{90}Y を検知した後、決定核種の移動を検知するためのモニタリング系を配備するのに要する時間 T_m の変化に応じて、 $L, y_0, T_Y(L)$ 等の値がどのように変化するかをTable 4に示す。

Table 4 Comparison of monitoring locations designed for different values of T_m , when radionuclides are released from node point of (81, 21), $T_r=30$ d and $t_Y(L, y_0)=10$ d

Determined design parameters	Given design condition		
	$T_m=15$ d	$T_m=30$ d	$T_m=60$ d
L (m)	28	32	37.5
y_0 (m)	50	44	44
$T_Y(L)$ (d)	1.4	1.8	2.5
$T_Y(L)+t_Y(L, y_0)+T_r$ (d)	41.4	41.8	42.5

Table 4 は、 T_m が小さくなるにつれて T_r の場合 (Table 3 参照) と同様に、 $L, T_Y(L)$ および $T_Y(L)+t_Y(L, y_0)+T_r$ は小さく、 y_0 は大きくなることを示している。ただし、 ^{90}Y の検知に要する時間の最小値 $T_Y(L)$ 、最大値 $T_Y(L)+t_Y(L, y_0)+T_r$ の減少量は非常に小さい。すなわち、 T_m を小さくすることによって ^{90}Y の到達を検知するのに要する時間を短くすることの効果は期待でない。また、 T_m を小さくすることによってモニタリング位置の数を少なくできる可能性はあるものの、比較的短期間(例えば、30 d 以内)に決定核種検知用モニタリング系が配備できる場合に限られる。

L, y_0 等の設計値は T_m, T_r 等によって変るだけでなく、 ^{90}Y の検出限界濃度、いかえればどのような分析技術を採用するかによって変る。一般に、高度な分析技術を用いると、検出限界濃度が低くなり y_0 が大きくなるから、モニタリング位置の数を少なくすることができる。どの程度の分析技術を採用すべきかは別に検討する必要がある。

先行指標物質の地下水と土壌との間の分配係数値は決定核種の分配係数値よりも小さい⁽¹⁾ため、先行指標物質の決定核種の検出限界濃度が同程度であれば、検出限界濃度以上の決定核種の分布範囲は先行指標物質の分布範囲よりも狭くなる。それゆえ、設定したモニタリング位置が決定核種の定常状態における検出可能分布範囲の外側にある場合には、先行指標物質は検出できても決定核種は検出できない可能性がある⁽²⁾。しかし、この可能性がどのような場合に現れるかは予測可能である⁽³⁾。一般的には、 L を小さく、すなわちモニタリング位置を廃棄物処分区域に接近させることにより、この可能性を小さくすることができる。ただし、予知モニタリング系の目的は先行指標物質を検出することであるから、上記の可能性が予知モニタリング系の有効性を損うことはない。

V. 結 論

本報の検討によって得られた結論を整理すると、次のようになる。

- (1) 本報で検討した手法を用いれば、予知モニタリング系のモニタリング位置を合理的に定めることができる。
- (2) モニタリング時間間隔を短くすることにより先行指標物質を検知するのに要する時間を短縮する効果は大きい。決定核種を検知するためのモニタリング系を配備するのに要する時間を短くすることにより、先行指標物質の検知所要時間を短くすることの効果は非常に小さい。
- (3) 高度な分析技術を採用すれば、モニタリング位置の数を少なくできる可能性がある。

本報の計算には京都大学大型計算機センターのOSIV/F4 を用いたことを付記します。

— 参 考 文 献 —

- (1) 森澤真輔, 井上頼輝: 原子力誌, 22[10], 733 (1980).
- (2) 井上頼輝, 森澤真輔: 同上, 14[10], 522 (1972).
- (3) ROUTSON, R.C.: BNWL-1464, UC-70, (1973).
- (4) INOUE, Y., KAUFMAN, W.J.: Health Phys., 9, 705 (1963).
- (5) 井上頼輝, 森澤真輔: 原子力誌, 15[2], 126 (1973).
- (6) 井上頼輝, 森澤真輔, 宮武法善: 同上, 18[7], 445 (1976).
- (7) 井上頼輝, 森澤真輔: 同上, 18[5], 304 (1976).