

京都大学工学部衛生工学教室 正会員 井上頼輝
○ 学生会員 西牧研杜

近年、特に原子力施設が増大する傾向にあるが、それら施設は、万一の事故の場合に於いて、地下水の汚染に対する調査が必要になる。一例としてわれわれの行なった、日本原子力研究所東海研究所構内における地下水の汚染調査につき報告する。このような地下水の汚染調査は、まず地下水に混入する放射性核種を仮定し、その地中での移動状態を推定するのが重要である。これにはまず、地下水の流向、流速を知る必要がある。

原研構内の概略図は、図-1のごとくであるが地層は、地表より数十米下に中三紀層があり、この上に十米程度の洪積砂礫とさうにその上と、砂と粘土の互層から成る沖積層が覆っている。構内で行なわれた多数のボーリングをもとにして水位図を描き、これをもとにして Darcy の法則により地下水の流速を求めたのが図-2である。透水係数は不かく試験料が得られなかったので、空けき率をかえて透水係数も求め、一方実際、地層の空けき率を求めることにより、正確な値を知った。図-2によると1号原子炉、2号炉、3号炉、4号炉の付近では、さわめて地下水の流速が速く真の流速が1日に10mをこすところもあることがわかる。また、いわゆる地下水河川、水みちが、丁度このあたりをとうていることがわかった。

つぎに、この地下水中に放射性核種が混入した場合を考える。土砂にはイオン交換能があるために核種は、土砂に吸着されて地下水より遅い速度で移動することがわっている。今放射性イオンAが土中を進むとき、その間けき水中の、イオン濃度を $C_A(\mu\text{c/ml})$ とし、土に吸着されている濃度を $C_A(\mu\text{c/g})$ とすると、基本式は次式で与えられる。

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} + \frac{1-f}{f} \rho \frac{\partial C_A}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (D_x \frac{\partial C_A}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_y \frac{\partial C_A}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (D_z \frac{\partial C_A}{\partial z}) - \frac{\partial}{\partial x} (v_x C_A) - \frac{\partial}{\partial y} (v_y C_A) - \frac{\partial}{\partial z} (v_z C_A) - \lambda C_A$$

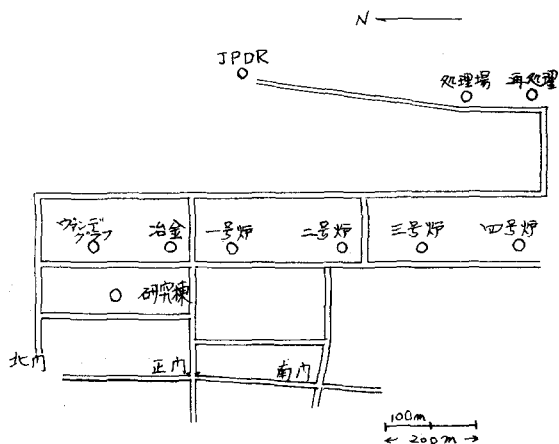


図-1 日本原子力研究所構内略図

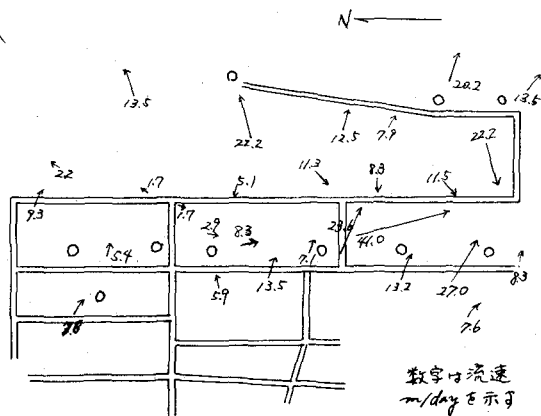


図-2 地下水流速図

ここに、 t は時間、 x, y, z は地層中に与えた直交座標系、 D_x, D_y, D_z は地下水の x, y, z 方向への拡散係数、 u, v, w は x, y, z 方向への流速、 f は地層の空隙率、 ρ は地層の密度である。

ここで地下水の流速はきわめておそいから、地下水中に含まれる放射性イオンAが、水中に主として含まれるイオン、たとえばカルシウムや炭酸イオンと交換平衡状態にあると考えてよく、したがって $\rho_A = K_d C_a$ — (2) と書ける。

ここに、 K_d は分配係数とよばれるもので放射性イオンAが水中に主として含まれるイオンBと交換平衡にあるときは、

$$K_d = K_{A-B} \frac{\rho_B}{C_B} \quad \text{--- (3)}$$

で与えられる。ここに K_{A-B} は選択係数、 ρ_B, C_B はイオンBの土中および水中濃度である。

いま、 $T = \left\{ 1 + \frac{1-f}{f} K_d \right\} t$ — (4) と変換すれば、(1)式は地下水の流動を示す式となることから、(4)式の条件に合う初期条件、境界条件で地下水にtracerを投入し、その移動速度と拡散を測定すれば、放射性イオンの移動も推定できる。原研構内は多数の建物があり、道路も掘り返せないので tracer test はできないので本研究では現象をさらに簡略化し、放射性イオンAの平均移動速度 v を求めることにした。この速度は、

$$\frac{v}{v_0} = 1 + \frac{1-f}{f} K_d \quad \text{--- (5)}$$

で与えられる。

ここに $v_0 = 2/4$ で水の移動速度である。今放射性イオンとして ^{87}Sr と例にとる。水中に主として存在するイオンは Ca^{2+} と Na^+ とがあるが交換順位は2位の Ca^{2+} の方がはるかに高いので、 Ca^{2+} と交換されると考えてよい。そこで $K_d = \rho_{\text{Sr}} / C_{\text{Sr}} = K_{\text{Sr-Ca}} \cdot \rho_{\text{Ca}} / C_{\text{Ca}}$ さるに土に吸着されているイオンのほとんどがカルシウムとみてもよいときは ρ_{Ca} は土の交換容量 ρ_0 に置きかえてもよい。地下水の流速はすでに調査したので f, K_d , 等の測定を行ない附加的に $\rho_0, K_{\text{Sr-Ca}}$ 等も調べた。ただ原研の場合地下水の Mg 濃度が非常に高いため (Ca は 18.5 ppm, Ca は 22.1 ppm) に $\rho_0 = \rho_{\text{Ca}}$ とは仮定できなかった。 f, K_d の値は容易に測定でき、 $f = 2.59 \text{ g/cm}^3$, $f = 40.8 \%$ を得た。また土の交換容量は酢酸アンモニウム法により測定し、その結果 0.007 meq/g を得た。 K_d は図-3のように、カラムに試料土をつめ、エッス Sr-90 を spike した地下水をカラム内が飽和に達するまで通水し、しかるのちに塩化ナトリウムをカラム内に通しその流出水から ρ_{Sr} を知る。その結果、 $C_{\text{Sr}} = 600 \text{ opm/ml}$ のとき $\rho_{\text{Sr}} = 56.45 \text{ opm/g}$ であった。これより、 $K_d = \rho_{\text{Sr}} / C_{\text{Sr}} = 9.41 \text{ ml/g}$ 、念のため測定した $K_{\text{Sr-Ca}}$ は、 $K_{\text{Sr-Ca}} = K_d \times C_{\text{Ca}} / \rho_{\text{Ca}} = 1.15$ となった。

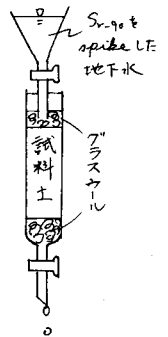


図-3

これより、 $\rho_{\text{Sr}} = 2/36.1$ となり、図-2の地下水流速を $1/36$ にすれば、 Sr-90 の地中移動速度が判明する。

以上の結果を吟味すると原研構内においては1号炉～3号炉の附近に Sr-90 が混入すれば非常に早く移動し、最大1ヵ月に34m移動する地点がある。したがってこの附近での放射性物質の漏洩には充分な注意を要することを知った。