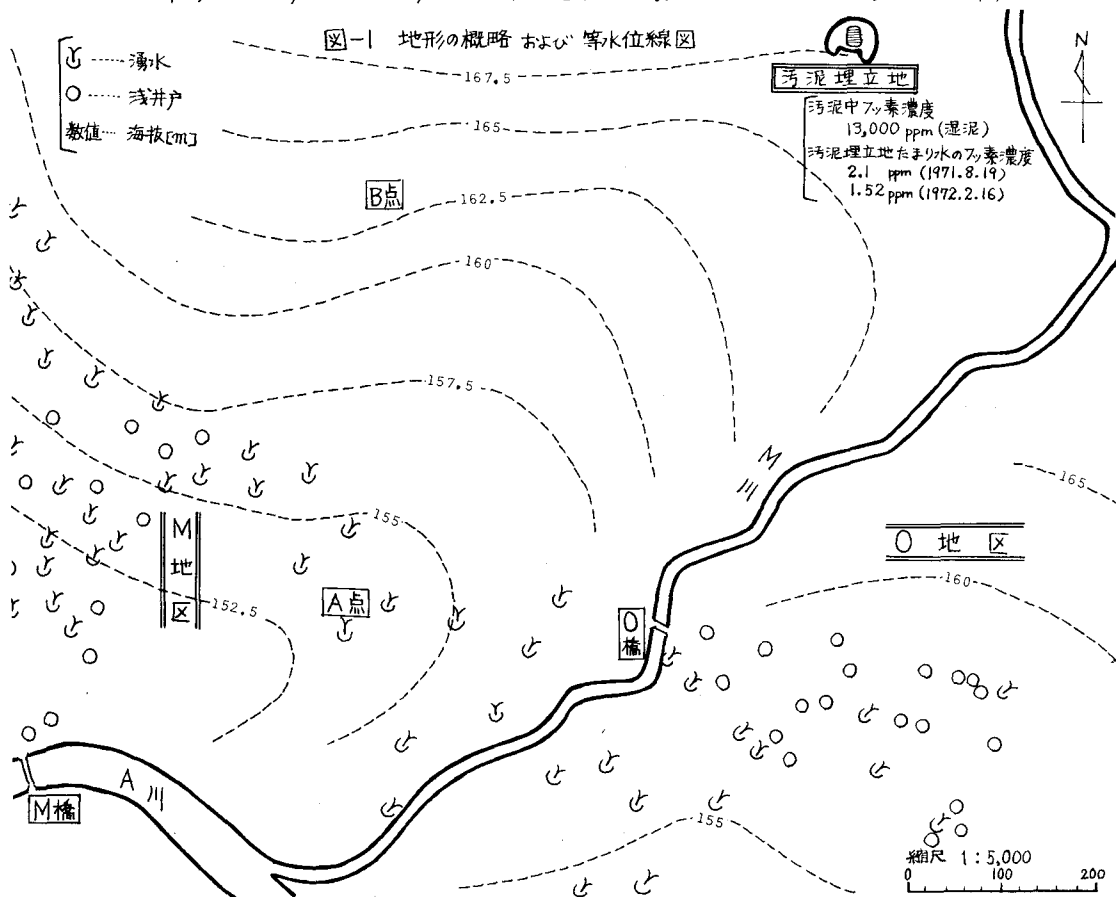


京都大学工学部 正 井上頼輝 学 小森文行 学 森澤真輔

1. はじめに 重金属その他の有害物質による地下水汚染のうち、今回はフッ素汚染問題を取り上げ、筆者らが放射性廃棄物の地中処分に関して研究し、確立してきた手法を適用してみた。対象とした地域は滋賀県の山東町・伊吹町であり、扇状地の末端部に当り、図-1に示す様に湧水・浅井戸が非常に多い。M川を挟んでM地区とO地区があり、浅井戸の集合地が人家密集地になっている。フッ化水素(HF)を大気中に排出する工場が大気汚染防止のため排煙をアルカリ洗浄したところ、大量のフッ化カルシウム(CaF_2)を含有する汚泥が生じた。そこでこの産業廃棄物汚泥を本地域の埋立地に埋立てたが、今度は汚泥より溶出するフッ素による地下水汚染が懸念された。

2. 地下水の流動状況の調査 フッ素の地中移動状態を知るためには地下水の流動状況を求める必要がある。まず地下水水位の水準測量を行ない、等水位線図を作製して図-1を得た。これより汚泥埋立地直下を通る地下水はM川を越えてO地区には行かないこと、B点以南の地下水はほとんどがA点の湧水に集まることを知った。次に現地において揚水試験を行ない透水係数を求めた結果、M、O地区それぞれ平均 1.20×10^{-1} 、 $2.21 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ と非常に透水性の良いことが判明した。この結果、地層の空



隙率を40%と仮定すると地下水は汚泥埋立地よりA点の湧水点まで(距離825m)移動するのに約半年かかることになる。このときの地下水流速は平均4.5m/dayである。

3. フッ素の地中移動状態の調査 汚泥埋立地より地下へ浸透するフッ素を連続点源とみなすと、フッ素の濃度分布は次式で与えられる。

$$C(x, y) = \frac{M}{2\pi dD} \exp\left(\frac{v_x x}{2D}\right) K_0\left(\frac{v_x}{2D} \sqrt{x^2 + y^2}\right) \quad \text{----- (1)}$$

x, y : 流れ方向及びそれに直角水平方向にとった距離 $C(x, y)$: (x, y) 点のフッ素濃度 M : 1日当りのフッ素浸透量, 14.86 g/dayと算定 d : 混合深さ, 1mにとる。 D : 拡散係数, 地下水のトレーサとして三重水素水を使った溶出実験より求め, 0.30 m²/dayを得た。 v_x : 地下水の平均流速, 4.5m/day K_0 : 第2種変形Bessel関数 (1)式を計算して図-2を得た。実際には地下水は自然状態でもフッ素を含有し、本地域では最高0.057 ppmであったので、この自然による分を図-2に加える必要がある。特にA点の湧水のフッ素濃度は $0.1256 + 0.057 = 0.1826$ ppmと推定された。

イオンの地中移動理論のうち三次元で複雑な地層にも十分適用できる筆者の一人井上の理論によれば、イオンの地中移動速度 v_m と地下水流速 v_w とは次式の様に一定の関係がある。

$$\frac{v_w}{v_m} = \frac{1}{1 + \frac{1-f}{f} \rho K_d} = \frac{1}{K_f} \quad \text{----- (2)} \quad K_f = 1 + \frac{1-f}{f} \rho K_d \quad \text{----- (3)}$$

K_f は非常に重要な数値であり、地層の空隙率 f 、密度 ρ 及び分配係数 K_d を知れば求まる。現地で採取した土壌を用いてフッ素の溶出実験を行なった結果図-3を得た。地下水のトレーサである三重水素水の溶出曲線を通水量軸に41.0倍引き伸ばすとフッ素の溶出曲線と一致する。従って $K_f = 41.0$ であり、 $f = 40\%$ と仮定すれば $K_f = 24.2$ となり、フッ素は埋立地よりA点まで移動するのに約12年かかる。

4. 安全性の検討 フッ素は飲料水中に限度以上含まれると斑状歯が発症し、少なすぎると虫歯が多発する。我国の飲料水の水質基準は0.8 ppmであり、美濃口の弗素濃度算出式による水道水弗素化の至適弗素濃度は本地域では0.72 ppmである。定常状態におけるA点のフッ素濃度推定値=0.1826 ppmはこれらの値よりも低く、地下水のフッ素汚染に関しては一応安全であると判断される。

図-2 定常状態におけるフッ素の濃度分布

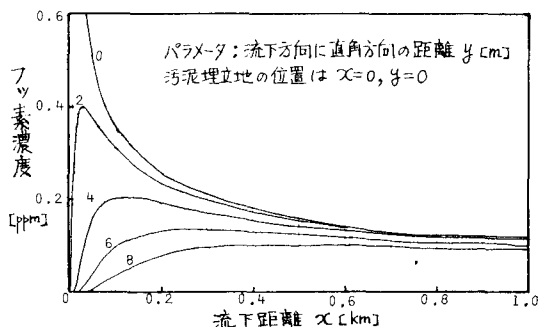
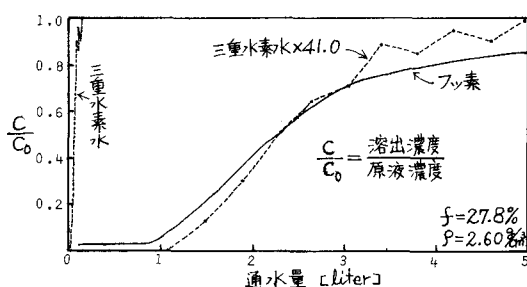


図-3 フッ素及び三重水素水の溶出曲線



参考文献 1) 若井重久, 井上雅輝: 海域の汚濁受容限界について, 土木学会第5回衛生工学研究討論会論文集, 1969

2) Inoue, Y. and W. J. Kauffman: Prediction of Movement of Radionuclides in solution through porous media, Health Physics, 2pp705-715, 1963-7

3) 美濃口: 山科地区水道弗素化11年の成績ならびに上水道弗素化をめぐる諸問題, 京都大学口紀要, 4巻2号, 55-124頁, 1964