

土壌浸透作用による F^- , Cl^- , SO_4^{2-} 除去の実験的研究

熊本大学 学生員○宮丸正和

熊本大学 神崎良久

熊本大学 正会員 中島重謙

1. はじめに 熊本県の阿蘇火山地帯を水源とする河川には、フッ素イオン、塩素イオン、硫酸イオンが多く含まれている。そのためにこれらの河川の水を生活用水や工業用水として水質を改善するには、河川中のイオンの除去が望まれる。そこで、本研究では、河川水を土壌に浸透させることによってこの溶解・混入したイオンの除去を試み、河川中のイオンの除去にはどのような土壌が適しているのか、また除去のシステムはどのようなかを解明する。さらに、この限られた水資源を地域住民が有効に利用できる対策を考察する。

2. 除去のモデル式 水中のイオンと土壌との反応を化学反応と考慮して、一次反応式を用いた、一次反応式は、濃度減少速度が残留濃度に比例するという式で(1), (2)のように表わされる。

$$\frac{dx}{dt} = k(a-x) \quad \text{---(1)}$$

$$x = a(1 - e^{-kt}) \quad \text{---(2)}$$

ここで、 X : 減少濃度(mg/l), a : 初期濃度(mg/l), k : 速度定数(1/hr)である。

この式より、土壌と水との接触時間の変化による各イオンの除去率を求め、どれほどのイオンの除去が可能であるのか、また除去の速度はどのようなかを検討する。ここで除去率は (原液の土壌中の水分により希釈された濃度 - 土壌と反応後の濃度) / 原液の土壌中の水分により希釈された濃度である。

また各イオンの吸着が進むと同時に、土壌からの溶出が生じる。このように吸着と溶出の速度が等しくなり、平衡状態に達した場合、実験的な立場からよく(3)のフロインドリヒ式を用いる。また同様の式(4)のラングミュア式も用いて考察を行う。

$$\frac{X}{M} = kC_e^{\frac{1}{n}} \quad \text{---(3)}$$

$$\frac{X}{M} = \frac{abC_e}{1+aC_e} \quad \text{---(4)}$$

ここで、 X : 溶質のうち吸着されたイオンの重量(mg), M : 吸着母体の重量(g), C_e : 平衡濃度(mg/l), k, n, a, b : 定数である。(3), (4)の式は、気-固系, 気-液系, 液-固系において広く用いられている。そこで、これらの式より平衡濃度と土量及びイオン吸着量の関係を求める。

3. 実験方法 阿蘇外輪山内には、主な河川として白川と黒川がある。実験に用いる土は、白川上流域の高森と下流域の長陽そして黒川上流域の内の牧と下流域の赤水の4地点から、それぞれ赤ぼくと黒ぼくの8種類を採取してきた。赤ぼくと黒ぼくを比較すると、黒ぼくは土粒子が細かく粘土質土で有機物が多く含まれているが、赤ぼくはシルト質土で有機物は少ない。また実験に用いた河川水は、黒川の支流である黒戸川から採水した。表-1に実験に用いた黒戸川のフッ素イオン、塩素イオン、硫酸イオンの濃度を示す。これは一般河川と比較すると、3項目とも非常に濃度が高い。

表-1 黒戸川のイオン濃度

イオン	濃度(mg/l)
F^-	2.9
Cl^-	64.9
SO_4^{2-}	584.5

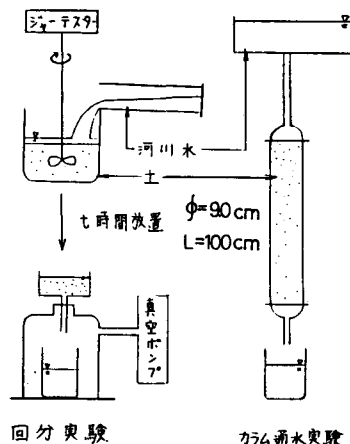


図-1 実験装置

実験方法は、図-1に示すように回分実験とカラム通水実験を行なった。回分実験は、ポリビンに土と水を入れてジャーテスターでかくはんし、一定時間放置後真空ポンプで強制採水するものである。この実験では、(1)、(2)式に用いるために土の乾燥重量を200gに定め、接触時間を変化させたもの(回分実験-1)と(3)、(4)式に用いるために土の乾燥重量と原液の濃度を变化させたもの(回分実験-2)とで行なった。次にカラム通水実験は、土をつめたカラムに水頭を一定にして通水した。分析方法は、フッソイオンがイオン電極法、塩素イオンが硝酸銀法、硫酸イオンが塩化バリウム法を用いた。

4. 結果及び考察 回分実験-1の結果を一次反応式を用いて解析して濃度平衡状態に達した時の除去率を示したのが、表-2である。赤ぼくより黒ぼくの方が除去率が高く、また白川上流域の高森の土を除く赤ぼくと黒ぼくの地点的な差異はみられない。黒戸川が内の牧と赤水に近いことを考慮すると、内の牧と赤水の黒ぼくが、この黒戸川のイオン除去に適していると言える。また各イオン別の除去率を見ると、フッソイオンと硫酸イオンは、除去率が高いが、塩素イオンは除去率が低く、土壌中の浸透によっての除去は、困難であると思われる。次に除去の速度については、土の種類には関係なく速度定数 k が3.3~12.9(1/hr)と大きくほぼ3時間以内で濃度平衡状態に達した。

回分実験-2を、内の牧の黒ぼくを用いて行なった結果を硫酸イオンについてフロインドリヒ式とラングミュア式で解析した。その結果を図-2に示す。この結果より、河川水の濃度を一定の低い濃度に変えるために必要な土量が計算できる。例えば、500mg/lの水1lを300mg/lの水1lにするには、250gの土が必要である。

次にカラム通水実験を内の牧の黒ぼくを用いて行なった結果を図-3に示す。土1gあたりの通過水量が0~0.5 l/kgと少ない時は、3項目とも濃度が低い。これは、土壌中の水分による希釈と考えられる。ここで回分実験-1において除去率が低かった塩素イオンについて見ると2l/kgで60mg/lで、ほぼ原液濃度と等しくなり平衡状態に達している。したがって、土1kgあたりの通過水量が2l/kgの時には、土壌中の水分による希釈がなくなったものと思われる。この時のフッソイオンや硫酸イオンは、まだ低濃度であるが、土1kgあたりの通過水量が3l/kgでの硫酸イオンの急激な増加を考えると、黒戸川のイオンを土壌浸透によって除去する施設を考える場合には、硫酸イオンに着目すべきであると思われる。

5. おわりに これらの実験結果より、現在除去施設として浸透池を考えている。そこでこれから必要水量を算出しそれに必要な浸透池の面積と厚さと水頭を求めて設計を行ないたい。

参考文献 高橋-三著「土壌の汚染と浄化作用」

表-2 土の種類によるイオンの除去率

土の採取地点	土の種類	イオンの除去率(%)		
		F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
高 森	赤ぼく	96.2	5.0	37.1
	黒ぼく	99.6	28.2	80.3
長 陽	赤ぼく	98.8	22.7	76.1
	黒ぼく	99.4	24.3	89.6
内の牧	赤ぼく	97.5	20.0	87.7
	黒ぼく	99.3	29.1	90.9
赤 水	赤ぼく	99.1	23.0	83.6
	黒ぼく	99.5	32.3	91.3

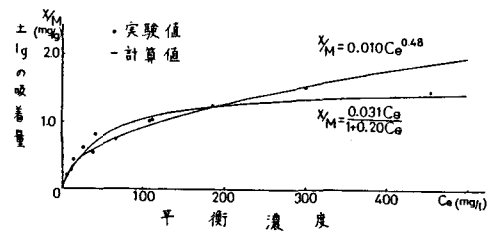


図-2 平衡濃度に対する土量と吸着量の関係

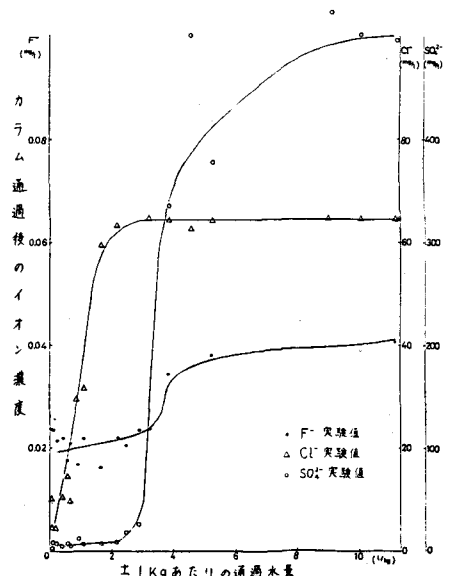


図-3 通過水量/土量に対する通過後のイオン濃度