

京都大学 正会員 住友 恒

松尾 直規

1. はじめに 山間部から河川に流出する地下水には、その経路に応じて各種のイオンを包含している。従って、各種イオンがどのようにして地下水に溶出し、どのような流下経路を経て、変化しつつ、河川に流出してくるのかを調べることは、逆に山間部からの降雨の流出機構を定量化する一つのアプローチになるのではないかという観点から考察を行ってきた。¹⁾²⁾³⁾本研究では、溶存炭酸塩平衡に関する諸関係に基づき、溶存 CO_2 が岩石からの Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- イオンの溶出現象を支配するという立場に立ち、その流下経路との関係を検討したものである。

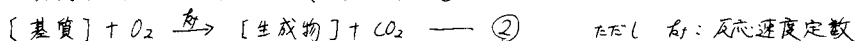
2. 地質と水質について。地相構造及び地質は、地域により差異があり、木質成分とその量、及び流出流量を支配すると考えられる。 Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- は化学的に溶出する岩石は、炭酸塩岩石(カルサイト, ドロマイト等) ケイ酸塩岩石(カ-長石等)が主であるが、このとき、既報²⁾に述べたような炭酸塩平衡に基づくイオン間の相関を考えられ、その関係は卓越する鉱物からの溶出現象を反映していると考えられる。図-1はその一例であり、直線は卓越する岩石からの理論的な平衡関係を表わす。

3. 溶存 CO_2 の変化と Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- の変化について。

溶存炭酸塩平衡が成立するものとすれば、たとえば Ca^{2+} がカルサイトより溶出する場合には、 Ca^{2+} 濃度と溶存 $\text{CO}_2 \cong \text{H}_2\text{CO}_3^*$ 濃度の関係は、

$$[\text{Ca}^{2+}]^2 = (K_1 K_2 / 4 K_3) [\text{H}_2\text{CO}_3^*] \quad \text{ただし } K_1, K_2, K_3 \text{ は平衡定数} \quad \text{--- ①}$$

となる。 Mg^{2+} , HCO_3^- についても同様に $[\text{H}_2\text{CO}_3^*]$ の関数として表わすことができる。すなわち、 Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- の値は、 $[\text{H}_2\text{CO}_3^*]$ の変化に対し、きわめて速やかに式-①のような平衡関係を満足するように変化することになり、地中においては、微生物活動等の影響が大で、大気の CO_2 分圧と平衡にない $[\text{H}_2\text{CO}_3^*]$ の変化を考えてゆけばよい。 $[\text{H}_2\text{CO}_3^*]$ の変化は、様々な要因に支配され、非常に複雑であるが、今、微生物による好氣的酸化による CO_2 の生成が支配的で他の要因が無視できるとすると、



より、 O_2 濃度を D とし、 CO_2 濃度を C とすると、

$$dD/dt = -k_f D \quad \text{--- ③} \quad \text{これから} \quad D = D_0 e^{-k_f t} \quad \text{--- ④} \quad \text{ただし } D_0 \text{ は } t=0 \text{ の値}$$

非可逆反応であることから

$$dC/dt = -dD/dt = k_f D_0 e^{-k_f t} \quad \text{--- ⑤}$$

$$\text{従って} \quad C = C_0 + D_0 (1 - e^{-k_f t}) \quad \text{--- ⑥}$$

ここで、 t は反応時間であるが、図-2 のような領域モデルで考えてみると、 t は、不飽和層では、地下水への水供給強度 ie を一定とすると、

$$t = rS(H-r)/ie \quad \text{--- ⑦} \quad \text{ただし } r: \text{空隙率}, S: \text{飽和度}$$

と表わされ、飽和層では

$$t = reL/u \quad \text{--- ⑧} \quad \text{ただし } re: \text{有効空隙率}, u: \text{地下水が } x=0 \text{ から } x=L \text{ に至るまでの平均流速}$$

となる。式-⑦, ⑧では、 t は水と岩石との各層における接触時間を表わす。式-⑦, ⑧を⑥に代入すると、

$$C = C_0 + D_0 (1 - e^{-k_f rS(H-r)/ie}) \quad \text{--- ⑨}, \quad C = C_0 + D_0 (1 - e^{-k_f reL/u}) \quad \text{--- ⑩}$$

となり、流下条件、 re , u , L と、 C の関係と推察できる。図-3 は Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- の流下方向の変化の一例であるが、式-⑩で表わされる定性的な傾向を示している。

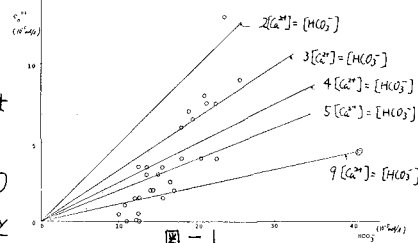


図-1

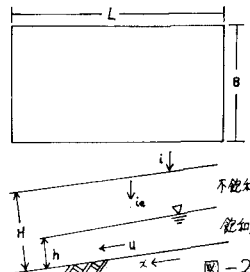


図-2

4. Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- による地下水流出量の推定について

今、地下水に含まれるイオンが河川に流出し、流下してからも保存されるものとすると、

$$\bar{C}_1 Q = C_1 g \quad \text{--- ①}$$

$$\bar{C}_2 Q = C_2 g \quad \text{--- ②}$$

$$C_2 = f(C_1) \quad \text{--- ③}$$

ただし、 Q , $\bar{C}_1$, $\bar{C}_2$ は河川における
実測の流量、及び2項目の水質値を
表わし、 g , C_1 , C_2 は地下水のそれを表わす

式①~③で、③式におけるイオン間の関係は、炭酸塩平衡の条件、あるいは、電質的中性の条件から求まるので①、②より g を推定できることになる。現時点においては、式②の最も妥当な関係を決めることができないので、以下では次の3通りについて検討した。

1) 炭酸塩平衡が成立するとして、

$$C_2^3 = \beta \cdot C_1 \quad \text{--- ③'}$$

ただし、 β は地下水中の平衡に關係する諸要因を包含した定数と考える。

2) 炭酸塩平衡関係に、 C_1 と C_2 の濃度の比も考慮して、

$$C_2^3 = 1/(\alpha\alpha')\sqrt{\alpha} \cdot \beta' \cdot C_1 \quad \text{--- ③''} \quad \text{ただし } \alpha = \bar{C}_1/C_1 (\%), \beta' \text{ は } \beta \text{ と同様の定数}$$

3) 電質的中性条件から

$$2C_2 = C_1 + I_0 \quad \text{--- ③'''}$$

ただし、 I_0 は他の陰イオンと陽イオンとの差で、流下中、ほゞ変化せず一定とみなす。

1)~3)において、 β , β' , I_0 といった値は流域の化学的、地質的条件に左右され、流路条件には左右されない流域固有の値と考えている。計算では降雨開始直前の値を用いた。図-4, 5は式①②と式③', ③'', ③'''を用いて計算した降雨時の g/Q の比を示したものである。図-4は上流部、図-5は下流部のものである。両図とも、一部を除けば、地下水流出の定性的傾向がうかがえる。1)と2)の方法ではほとんど同様の傾向を示すのに対し、3)の方法では異なった変化の仕方を示す。又、 C_2 として Mg^{2+} をとったときには、その変化のしかたは他と異なり、ここで検討している地下水流出の性質を表わしていない。これは Mg^{2+} の流下経路が別の経路によるものであるとも考えられる。下流部では、上流部に比べて、計算で考慮しなかった人為的排水の影響や、河道内での水質変化の影響が大きいと思われる。又、さらに、実測精度上の問題、及び β , β' , I_0 といった定数の決め方等、種々の障害があり、定量的には、満足できるものではなく今後課題に残している。

5. 流量予測について、4)で推算した図-2の $\alpha = L$ における流量 g と C_2 (Ca^{2+})との関係を図示したのが図-6である。前述の1)~3)の方法による差異は定性的にはほとんどなく、 g が増大すると C_2 が減少するという傾向を示している。今、仮りに、

式①において、 $\bar{C}_1$ の代わりに g を代入したような式 $C = C_0 + D_0'(1 - e^{-\alpha L/g})$

が成立するとすれば、 C_0 , D_0' , α といった定数値を実測値から定量化し、水質値から

g の推定、予測が可能である。厳密には、 $\bar{C}_1$ と g の関係を明らかにするとともに、不飽和層を通過して地下水面

に供給される水の影響を考慮することが必要であり、今後の課題である。

6. あとがき、本研究では、複雑な山間部からの水質物質の流出について、化学的な溶出によるモデルから考察を進め、流量と水質値との関係について、主に定性的な検討を行った。しるかに、定量化へ進むには、未だ第一歩のところで、今後さらに、理論的、実験的な検討が必要である。最後に本研究の調査面で全面的協力を得た、研究室各位に感謝の意を表わす。

参考文献 1) 若林、鉄、鈴木、山間部からの水質物質の流出について 2) 若林、荒川、M谷、水質からみた長期間流出について 3) 若林、流出カルシウム量からみた

降雨の流出予測について 4) 若林、26, 27日 年度学術講演会、昭和44, 45, 46年 5) 若林、水質指標による地下水流出予測に関する研究、新潟県立大学

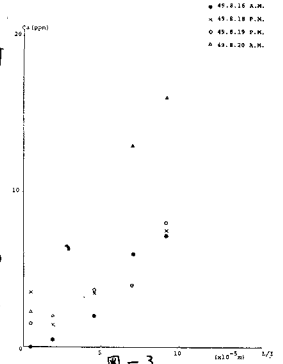


図-3

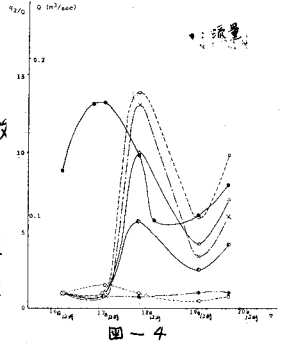


図-4

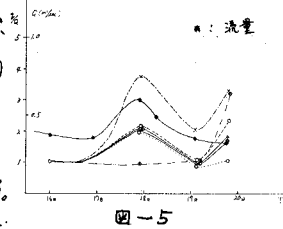


図-5

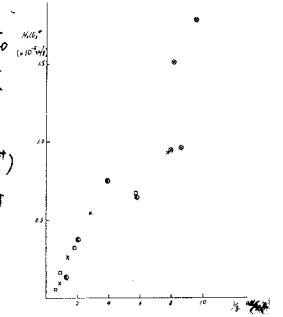


図-6