

2006年度(H18年度)

## 地下水盆管理学概論

福島大学 共生システム理工学類  
環境システムマネジメント専攻  
柴崎 直明

## 5. 地下水の水質



## 地下水の水質—2つの側面

- 地下水の履歴に関する情報源  
地下水の存在形態や流動状態を反映
- 地下水の資源的価値の指標  
利用に安全かどうかの判断基準

## 本来の地下水の水質

- 地球規模での水文的循環過程のなかで、  
水と大気、土、生物の相互関係により、  
自然にコントロールされてきた  
地下水の水質は、長時間かけて地層・岩石との相互作用で形成される特徴がある。

## 地下水中の溶存物質

地下水の起源となる降水  
⇒一般に溶存物質の量は少ない  
(特殊なケース: 送風塩や排ガス, 火山ガス)



地下水の溶存物質の大部分  
⇒地層や岩石, 有機物などとの反応  
でもたらされる

## 海水の塩分濃度(1)

海水の場合、塩分濃度は3.3~3.7%くらい

塩分濃度の公式:

濃度(%) =

溶質の質量 ÷ (溶質の質量 + 溶媒の質量) × 100

濃度3.5%の塩水の場合、1kgの塩水は

965cc (=965g) の水 + 35g の塩からなる。

## 海水の塩分濃度(2)

海水には、塩化ナトリウムなどのいろいろな塩類(無機電解質)が溶けている。

海水中の塩類の濃度を、塩分(濃度)とよぶ。

通常、ppt(千分率)や‰(パーミル)の単位(質量千分率)で表す。

外洋水の平均的な塩分濃度=約35‰

海水1kg中に、約35gの塩類が溶けている

## 地下水の分類

【Drever(1982)による】

分類	溶存固形物総量(mg/L)
淡水	0~1,000
汽水	1,000~20,000
塩水	海水とほぼ同じ
かん水	海水よりもかなり多い

## 蒸発残留物による分類

日本の水道水

蒸発残留物を基準として、500 mg/L以下

## 温泉法による温泉の定義

次のいずれかの条件にあてはまるもの

- 1) 温泉源から採取されるときに温度が25℃以上
- 2) 溶存固形物総量が水1 kg中に1g以上のものや、特定の成分を一定濃度以上に含むもの

## 地下水の水質分析値の表示(1)

水質分析の目的により異なる

- 1) 「mg/L」  
最もよく使用される単位  
一定体積の地下水中の溶存物質の重量

水質基準に関する省令でも採用

## 地下水の水質分析値の表示(2)

- 2) 「mg/kg」  
一定重量の地下水中の溶存物質の重量

日本では、温泉の分析表に使用

## 地下水の水質分析値の表示(3)

- 3) 「ppm」  
環境データの表示によく利用される  
百万分率のこと  
「mg/kg」に相当する

溶存物質量の少ない地下水は、試料1Lを1 kgとみなして、「mg/L」単位と「ppm」単位を厳密に区別しないで使用している

## 水質分析法

地下水の水質分析に関する公定法の例

- 1) 水質基準に関する省令 (2003, 厚生労働省)
- 2) 工業用水試験方法 (JIS K 0101: 1998, 日本規格協会)
- 3) 上水試験方法 (2001年版, 日本水道協会)
- 4) 鉱泉分析法指針 (2002, 環境省自然保護局)

## 地下水の主要成分

汚染地下水などを除く地下水中の主要な化学成分は、9成分

陽イオン:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$   
陰イオン:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$   
非解離成分:  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  (溶存ケイ酸)  
ガス成分:  $\text{CO}_2$

## 地下水中のその他の成分(1)

浅層地下水には、硝酸イオン( $\text{NO}_3^-$ )の溶存量が多いものがある

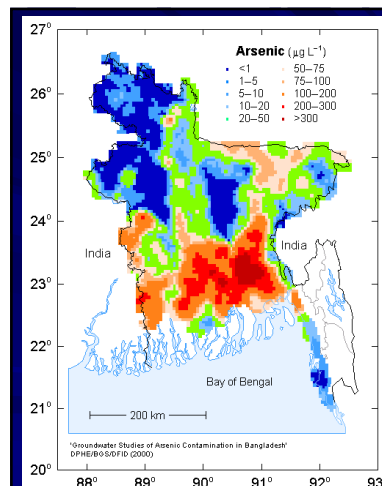


その場合は、主要成分に $\text{NO}_3^-$ を加えて10成分とする

## 地下水中のその他の成分(2)

微量だが、鉄イオン、マンガンイオン、リン酸イオンなども溶存することがある

このほか、自然由来のヒ素やフッ素が地下水中に高濃度に溶存し、健康被害を与えていることもある



Bangladeshのヒ素による地下水汚染状況

## ヒ素中毒患者の手 (Arsenical Keratosis)



## アジアの地下水砒素汚染 (アジア砒素ネットワーク, 2005)



## 地下水の化学組成の解析

地下水中の化学成分は、水と地層の相互作用で形成される

水質は化学平衡などいくつかの原理や法則に規定されている



地下水の主要成分の分析が不可欠

## 地下水水質の分析項目

- 1) 主要成分
- 2) 水温
- 3) pH
- 4) 電導度  
(電気伝導度, Electric Conductivity)
- 5) 蒸発残留物
- 6) 酸化還元電位
- 7) 問題となる化学成分

## 地下水分析試料の採取(1)

1) 試料の採取場所に注意  
多くの深井戸では、いくつかの帯水層にスクリーン(=ストレーナ)が設置されている



目的の帯水層から地下水を採取する方法  
(1) 井戸構造の明らかな井戸を選定  
(2) パッカーや特殊なポンプを使用

## 地下水分析試料の採取(2)

2) 試料の変質に注意  
一般に地下水はCO<sub>2</sub>分圧が高い



試料を大気中にさらすとCO<sub>2</sub>を放出し、pHが1~2上昇することが多い

炭酸カルシウム(CaCO<sub>3</sub>)の沈殿を生じる

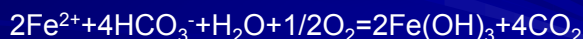
## その他の試料変質の例(1)

### 1) 酸化反応

一般に地下水は還元的環境を示す



試料を大気中の酸化的環境にさらすと、溶存物質の酸化反応が進行する



$\text{Fe}^{2+}$ が $\text{Fe}^{3+}$ に酸化され、不溶性の沈殿物を生成

## その他の試料変質の例(2)

### 1) 微生物の作用

水中微生物の活動で、水質変化することがある



微生物の作用で  
 $\text{NH}_4^+$ から $\text{NO}_3^-$ に容易に変化する

## 水質の指標—水温

地下水の水温は、地下水の流動が遅いため地温に影響される

地温は、深さとともに年格差が小さくなる

地表の影響が及ばなくなると、恒温層となる

恒温層までの深度：日本では15～20m

## 恒温層以深の地温

地下増温率に従い上昇する

日本の平均地下増温率は、 $3^\circ\text{C}/100\text{m}$

地下増温率は、場所により異なる  
(深度100mあたり、 $0\sim 5^\circ\text{C}$ 以上)

## 地下水温を測定すると...

年間をとおした地下水温の測定により、

地下水の涵養域や浸透速度など、

地下水流動系を解明する手がかりを得ることができる

## 水質の指標—電導度(EC)

物質の電気伝導性をあらわす量  
電導度＝比抵抗の逆数

単位は、 $\text{mS/m}$ または $\text{S/m}$ (SI単位系)  
(昔は、 $\mu\text{S/cm}$ がよく使われていた)  
例： $1,000 \mu\text{S/cm} = 100 \text{mS/m}$

電導度により、大まかな溶存イオン量を把握することができる(ただし温度換算に注意)

## 水質の指標—溶存固形物総量

溶存物質総量や、総溶解固形分ともいう  
英語では、Total Dissolved Solids (TDS)

溶存成分分析値の合計  
(主要成分といくつかの微量成分の総計)

$$\text{TDS}(\text{mg/L}) = \text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^- + (\text{NO}_3^-) + \text{H}_4\text{SiO}_4 + \text{CO}_2 + \Sigma \text{微量成分}$$

## 水質基準としてのTDS

日本ではTDSではなく、蒸発残留物を使う

WHO飲料水ガイドライン値 = 1,000 mg/L

USEPA基準値 = 500 mg/L

## 水質の指標—蒸発残留物

試料を110°Cで乾燥したときに残る物質の量

注意：蒸発残留物 ≠ TDS

試料の蒸発乾固により、CO<sub>2</sub>が抜け、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>は炭酸塩になり、H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>はおおむねSiO<sub>2</sub>として残留する

## 蒸発残留物の計算方法

$$\begin{aligned} \text{蒸発残留物}(\text{mg/L}) = & \text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} \\ & + 0.492\text{HCO}_3^- + (\text{NO}_3^-) \\ & + 0.625\text{H}_4\text{SiO}_4 + \Sigma \text{微量成分} \end{aligned}$$

神奈川県足柄平野の例では、

$$\text{ER}(\text{mg/L}) = 0.926 \times \text{TDS}(\text{mg/L}) - 56.4$$

## 水質の指標—pH

水素イオン(H<sup>+</sup>)濃度の指数

pH=7: 中性

pH<7: 酸性

pH>7: アルカリ性(塩基性)

pHは温度により変化する

水の解離定数が温度による変化するため  
温度が上がるほど、pHは下がる

## pHと炭酸物質

強酸性の温泉水や特殊な環境の地下水を除き、地下水のpHは溶存している炭酸物質に支配されている

炭酸物質の3成分

H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>: 炭酸

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>: 重炭酸イオン

CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>: 炭酸イオン

pHが8.3以下の地下水では、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>とみなしてよい

## 水質の起源

### 1) 鉱物の溶解

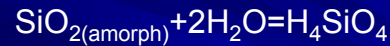
- (a) 均一溶解反応
- (b) 不均一溶解反応

### 2) 地中における炭酸物質の生成 有機物の存在により炭酸物質を生成する

## 均一溶解反応

溶解反応が進行しても、固相が生じない

例：無定型ケイ酸が水に溶解する反応

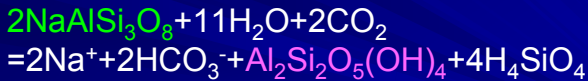


均一溶解反応する鉱物：  
岩塩 (NaCl), 方解石 (CaCO<sub>3</sub>),  
石膏 (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O) など

## 不均一溶解反応

溶解反応の進行により、固相が形成される

例：曹長石がCO<sub>2</sub>を含む水に溶解する反応



この過程で、粘土鉱物の一種カオリナイトが生成する

## 鉱物・岩石の溶解による水質組成

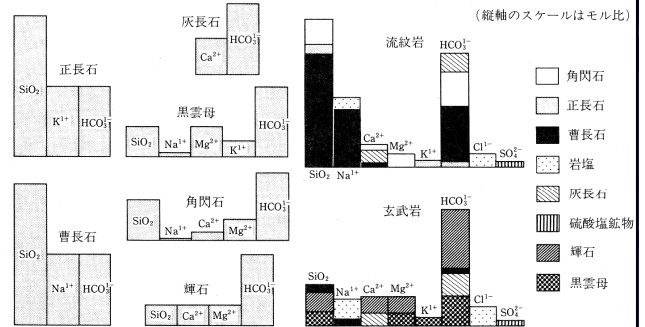


図 5.3 いろいろな鉱物の溶解によって生ずる水質組成のパターン (Garrels・Mackenzie<sup>8)</sup>による)

## 参考文献

水収支研究グループ編  
「地下水資源・環境論—その理論と実践—」  
共立出版、1993年

小テスト、いつやろうかな？

来週まで忙しいし...

再来週21日は公開授業だし...

それでは、また来週!!