

2024年度(R06年度)

地下水益管理学

福島大学 共生システム理工学類
生命・環境分野 地球環境コース
柴崎 直明

1

5. 地下水の水質



第14回アジア地下水ヒ素汚染フォーラム

The 14th International Forum on
Arsenic Contamination of Groundwater in Asia



福島大学金谷川キャンパス M-1, M-2 教室

2009年11月14日(土)~15日(日)

Fukushima University, November 14-15, 2009

主催: アジア砒素ネットワーク (AAN)

応用地質研究会 (RGAG)

2009年の アジア地下水ヒ素 汚染フォーラム (福島大学)

2016年のアジア地下水ヒ素汚染フォーラム (於: 福島大学, 2016年12月3~4日)



【第21回アジア地下水ヒ素汚染フォーラム(福島)】
<Third Circular>

第21回アジア地下水ヒ素汚染フォーラムを、メコン川流域地下水ヒ素汚染研究グループ(略称: メコングループ)が担当して、2016年12月3~4日に福島大学で開催することになりました。福島での開催は、2009年11月の第14回フォーラム以来、7年ぶりとなります。ヒ素フォーラムのサード・サーキュラーを作成しましたので、お届けします。

福島第一原発 汚染水問題



(2014.3.7 柴崎撮影)

PFAS(有機フッ素化合物)による汚染

取水停止井戸が増え、汚染範囲拡大

東京都が多摩地域で管理する水源の井戸は278本、給水を受けている住民は約397万人。暮らしに欠かせない水の汚染を除去するため、住民たちは汚染源の調査や対策を求めています。

「取水停止井戸はこれまでの3浄化施設5本から11施設34本に拡大していた」と2023年1月東京新聞が報道しました。
これまで停止⇒国分寺市・東恋ヶ窪浄水所、府中市・府中武蔵浄水所、国立市・国立浄水所の3施設。

新たに停止⇒立川市・栄町浄水所、小平市・小川給水所と上水南給水所、国分寺市・北町給水所、国立市・谷保給水所、府中市・若松給水所、調布市・上石原配水所、西東京市・保谷町給水所。



(健生会PFAS
専門委員会, 2023)

地下水の水質—2つの側面

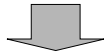
- 地下水の履歴に関する情報源
地下水の存在形態や流動状態を反映
- 地下水の資源的価値の指標
利用に安全かどうかの判断基準

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(鹹)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
(2024年一部改正, 厚生労働省)
- 2) 工業用水試験方法
(JIS K 0101: 1998, 2017改正, 2022確認, 日本規格協会)
- 3) 上水試験方法
(2020年版, 2021年改訂, 日本水道協会)
- 4) 鉱泉分析法指針
(2014改定, 環境省自然環境局)

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: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}
陰イオン: Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-
非解離成分: H_4SiO_4 (溶存ケイ酸)
ガス成分: 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(NO_3^-)の溶存量が多いものがある

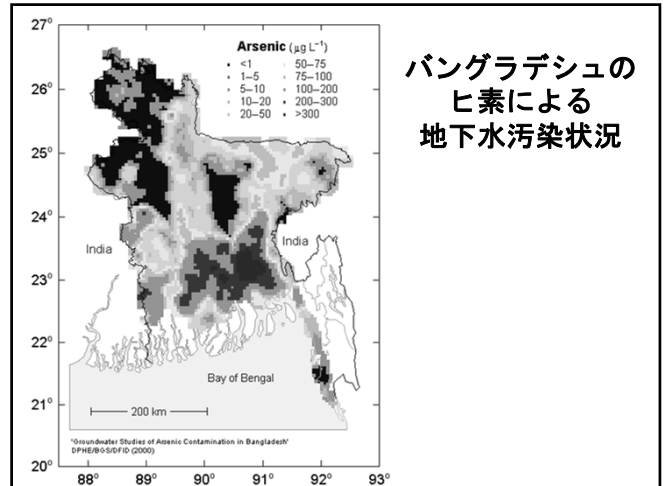


その場合は、主要成分に NO_3^- を加えて10成分とする

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



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)



ハータイ省での井戸水質調査



ハーナム省での井戸水質調査



ハーナム省で測定したヒ素濃度



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



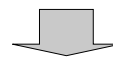
地下水の主要成分の分析が不可欠

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CO₂分圧が高い



試料を大気中にさらすとCO₂を放出し、pHが1~2上昇することが多い

炭酸カルシウム(CaCO₃)の沈殿を生じる

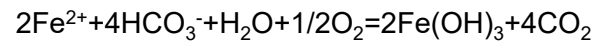
その他の試料変質の例(1)

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



Fe²⁺がFe³⁺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
NH₄⁺からNO₃⁻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°C/100m

地下増温率は、場所により異なる
(深度100mあたり、0~5°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, mS/mまたはS/m(SI単位系)
(昔は, $\mu\text{S}/\text{cm}$ がよく使われていた)
例: $1,000 \mu\text{S}/\text{cm} = 100 \text{ mS}/\text{m}$

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)

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

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 \neq TDS

試料の蒸発乾固により, CO_2 が抜け, HCO_3^-
は炭酸塩になり, H_4SiO_4 はおおむね SiO_2 と
して残留する

蒸発残留物の計算方法

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

神奈川県足柄平野の例では,

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

水質の指標—pH

水素イオン(H^+)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り変化するため
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_2CO_3 : 炭酸

HCO_3^- : 重炭酸イオン

CO_3^{2-} : 炭酸イオン

pHが8.3以下の地下水では、 HCO_3^- 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

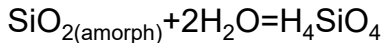
2) 地中における炭酸物質の生成

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:

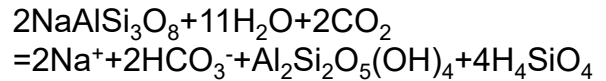
岩塩(NaCl), 方解石($CaCO_3$),

石膏($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)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_2 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

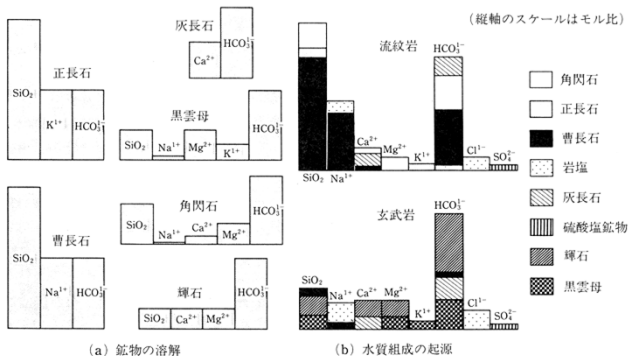


図 5.3 いろいろな鉱物の溶解によって生ずる水質組成のパターン (Garrels・Mackenzie⁸⁾による)

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

11月14日に小テストやります!

出題範囲:第1回～第5回

時間:20～30分

紙資料・ノートなど

持ち込み可

(PC・iPad・携帯端末等の
電子通信機器および電卓は不可)!!

49