

【2016 年度地下水盆管理学概論】

正規試験（2017 年 02 月 09 日実施）【50 点満点】 <模範解答>

学籍番号： \_\_\_\_\_ 氏名： \_\_\_\_\_

1 地下水の専門用語に関する以下の問いに答えなさい。【配点計 5 点】

問 1：次の英語を日本語に直しなさい。【配点 2.5 点】

- 1) saturated zone : 飽和帯
- 2) hydraulic conductivity : 透水係数
- 3) arsenic : ヒ素
- 4) saline water intrusion : 塩水侵入
- 5) sodium : ナトリウム

問 2：次の日本語を英語に直しなさい。【配点 2.5 点】

- 1) 被圧帯水層 : confined aquifer
- 2) 陰イオン : anion(s)
- 3) 手押しポンプ : hand pump
- 4) 地下水盆 : groundwater basin
- 5) 涵養 : recharge

2 地下水の基礎に関する事項についての以下の問いに答えなさい。【配点計 13 点】

問 1：地下水や地下水盆に関する以下の説明文の中から、最も適すると思われるものを 1 つ選び、その記号にはっきりと○印をつけなさい。【配点 1 点】

- (a) 水文地質学のことを英語で Groundwater Hydrology という。
- (b) 地球上の水のうち地下水が占める割合は約 0.75% である。
- (c) アフリカ大陸では岩盤地帯が多いため、深井戸は掘削されていない。
- (d) 地下水盆に相当する地質学の単位は層群である。
- (e) 単純な構造を持つ地下水盆では、中間的流動系は現れない。

問2：地下水の存在形態に関する以下の説明文の中から、最も適さないと思われるものを1つ選び、その記号にはっきりと×印をつけなさい。【配点1点】

- (a) 水文的循環系の中で、地下水系と人間系は大きく関係していることが多い。
- (b) 土の粒子の大きさが小さいほど、間隙率も小さくなる。
- (c) 粘土と砂を比較すると、砂のほうが毛管帯の厚さが小さくなる。
- (d) 飽和度は、体積含水率と間隙率が分かれば求めることができる。
- (e) 帯水層の一般的な有効間隙率は、10～20%程度の値をとることが多い。

問3：地下水の流動に関する以下の説明文の中から、最も適さないと思われるものを1つ選び、その記号にはっきりと×印をつけなさい。【配点1点】

- (a) 浸透流とは、地下水が帯水層の全空間を流動していると仮定した場合の流れである。
- (b) 地下水汚染の問題に浸透流速を使うと、実際の汚染水の流速よりも小さくなる。
- (c) 水理水頭に重力加速度を乗じたものが流体ポテンシャルである。
- (d) ダルシーの実験装置を斜めに置いたとき、観測孔間の距離は水平距離をとる。
- (e) 透水係数が大きい帯水層でも動水勾配が0であれば、地下水流動は発生しない。
- (f) 水よりも密度が大きく粘性係数の小さな流体は、水に比べて浸透流速が大きい。

問4：地下水盆の水収支に関する以下の説明文の中から、最も適すると思われるものを1つ選び、その記号にはっきりと○印をつけなさい。【配点1点】

- (a) 地下水盆の水収支を検討する際には、どの時間（期間）の水収支であるかを明らかにしておく必要がある。
- (b) 蒸発計で測定した蒸発量を、そのまま湖面からの蒸発量としてよい。
- (c) 地表流出が発生しているときは、地下水涵養は発生していない。
- (d) 地下水位が低下するときは、地下水を揚水しているときだけである。
- (e) 地下水涵養量は、タンクモデルでしか求めることができない。

問5：地下水の水質に関する以下の説明文の中から、最も適さないと思われるものを1つ選び、その記号にはっきりと×印をつけなさい。【配点1点】

- (a) 石膏が水に溶解する反応は、均一溶解反応である。
- (b) pHが8.3以下の地下水では、一般に炭酸物質として存在するのは炭酸イオンである。
- (c) 一般に電気伝導度の高い地下水ほど、溶存物質の量が多い。
- (d) 日本の温泉分析表では、水質分析値の単位は「mg/kg」が使用されている。
- (e) かん水の溶存固形物総量は、海水のそれよりも多い。

問6：地下水の利用に関する以下の説明文の中から、最も適さないと思われるものを1つ選び、その記号にはっきりと×印をつけなさい。【配点1点】

- (a) 中国の新疆トルファン地区では、現在でもカナートの水は利用されている。
- (b) 深井戸用の水中モーターポンプには、複数段の羽根車がついている。
- (c) ロータリー式掘削用ビットでよく使用されるのは、3つの歯車が回転するトリコンビットと呼ばれるものである。
- (d) 通常のシリンダー式の手押しポンプでは、理論的に汲み上げられる最大揚程は10m程度である。
- 近年の日本の水利用における用途別の水源割合（河川水と地下水）をみると、農業用水における地下水利用の割合が、工業用水や生活用水における地下水利用の割合よりも大きい。

問7：帯水層からの揚水に関する以下の説明文の中から、最も適さないと思われるものを1つ選び、その記号にはっきりと×印をつけなさい。【配点1点】

- (a) 不圧帯水層の透水量係数は、帯水層となり得る地層の透水量係数に飽和帯の厚さを乗じて求めることができる。
- (b) 貯留係数の単位は無次元である。
- (c) 透水量係数が12 m/dayで層厚が17mの被圧帯水層の透水量係数は204 m<sup>2</sup>/dayである。
- (d) 貯留係数をその被圧帯水層の層厚で割ると、比貯留量となる。
- 揚水開始前の静水位が地面から-3.75mで、揚水開始後の動水位が地面から-6.08mであった場合、水位降下量は2.43mとなる。

問8：地下水障害に関する以下の説明文の中から、最も適すると思われるものを1つ選び、その記号にはっきりと○印をつけなさい。【配点1点】

- (a) 東京の下町で発生した地盤沈下の記録によると、揚水規制により地下水位は明瞭に回復したが、沈下した地盤はわずかに回復（リバウンド）しただけであった。
- (b) 大阪には、地盤沈下による海拔ゼロメートル地帯はない。
- (c) 山岳地のトンネル工事では、硬い岩盤の中にトンネルを掘るので、周辺の地下水や湧水に影響を与えることは全くない。
- (d) 地下水位の著しい低下で生じる障害として、塩類集積や塩害の促進が挙げられる。
- (e) 地表に設置した水準点の精密な水準測量により、どこの地層で地盤沈下が発生しているかを把握することができる。

問9：地下水の塩水化に関する以下の説明文の中から、最も適さないとと思われるものを1つ選び、その記号にはっきりと×印をつけなさい。【配点1点】

- (a) ガイベンーヘルツベルグの法則によると、塩淡境界の位置（深度）は地下水面の高さ（海拔標高）により変わるようになる。
- (b) 濃度3.5%の塩水の場合、1kgの塩水の容積は1Lよりも小さくなる。
- (c) 乾燥地帯では土壌の塩類集積が発生し、地下水が塩水化することがある。
- (d) 化石塩水中の塩分は、海水の塩分よりも高いことがある。
- ~~(e)~~ 一般的な海水中のNaとClの重量百分率をみると、Naの重量百分率のほうが大きい。

問10：地下水盆の管理に関する以下の説明文の中から、最も適さないとと思われるものを1つ選び、その記号にはっきりと×印をつけなさい。【配点1点】

- (a) 実際には地下水揚水量を正確に把握することは難しいので、地下水のモニタリング・ネットワークを構築して地下水位を監視し許容限界水位以下に低下しないようにすれば、地下水障害を起こさずに地下水盆を管理することができる。
- (b) 米国では、1910年代から“安全揚水量”をめぐる長い論争があった。
- (c) 安全揚水量を決める要件を水収支的な平衡要件だけに限ってしまうと、安全揚水量とはどんなにでも操作できる量になってしまう。
- ~~(d)~~ 「地下水賦存量」は地下水を汲み上げることのできる量なので、社会量といえる。
- (e) 許容揚水量の設定にあたっては、許容揚水量の概念が相対的かつ社会科学的概念であるので、時代の変化とともに見直しを行う必要が出てくることもある。

問11：揚水試験に関する以下の説明文の中から、最も適さないとと思われるものを1つ選び、その記号にはっきりと×印をつけなさい。【配点1点】

- (a) 段階揚水試験では、各段階で揚水量を一定に保つ必要がある。
- (b) 連続揚水試験の結果から、漏水の有無を判断することができる。
- (c) Theisの方法では、水位降下量と時間の関係を両対数グラフにプロットして解析する。
- ~~(d)~~ 回復試験でも貯留係数を求めることができる。
- (e) 比湧出量は、揚水量を水位降下量で割ることにより求めることができる。

問12：地下水調査に関する以下の説明文の中から、最も適さないとと思われるものを1つ選び、その記号にはっきりと×印をつけなさい。【配点1点】

- (a) 短期一斉水位観測では、観測井や既存井戸のほか、湧水やカナートの水位も測定したほうがよい。
- (b) ナトリウムイオンと重碳酸イオンの割合が多い地下水は、深層地下水に多くみられる。

- パターンダイアグラムでは、主要イオンの比率しか示すことができない。
- (d) 複数の帯水層がある場合には、帯水層別に地下水観測井を設置することが望ましい。
- (e) 地下水中に溶けているイオンの濃度を「mg/L」から「meq/L」に換算する場合、イオンの原子量だけでなくイオンの価数も考慮する必要がある。

問 13 : 地下水シミュレーションに関する以下の説明文の中から、最も適さないと思われるものを 1 つ選び、その記号にはっきりと×印をつけなさい。【配点 1 点】

- (a) 概念モデルの考え方は、コンピュータによる地下水シミュレーションモデルを構築する際にも重要である。
- (b) 定常シミュレーションでは、貯留係数または比貯留量を入力する必要がない。
- (c) 地下水盆のモデル化には、地下水盆自体のモデル化と、地下水と交流のある地表水（河川水など）との相互関係や、地下水涵養、地下水揚水などもモデル化する必要がある。
- (d) アメリカでは、1960 年代にデジタルコンピュータを利用した平面 2 次元地下水シミュレーションモデルが開発された。
- コンピュータによる地下水シミュレーション解析では、定常シミュレーションのほうが非定常シミュレーションよりも複雑である。

3 次の文章は、我が国で平成 28 年 4 月に施行された「水循環基本法」の前文である。これをよく読んで、以下の問いに答えなさい。【配点計 7 点】

水は生命の源であり、絶えず地球上を循環し、大気、土壌等の他の環境の自然的構成要素と相互に作用しながら、人を含む多様な生態系に多大な恩恵を与え続けてきた (1)。また、水は循環する過程において、人の生活に潤いを与え、産業や文化の発展に重要な役割を果たしてきた。

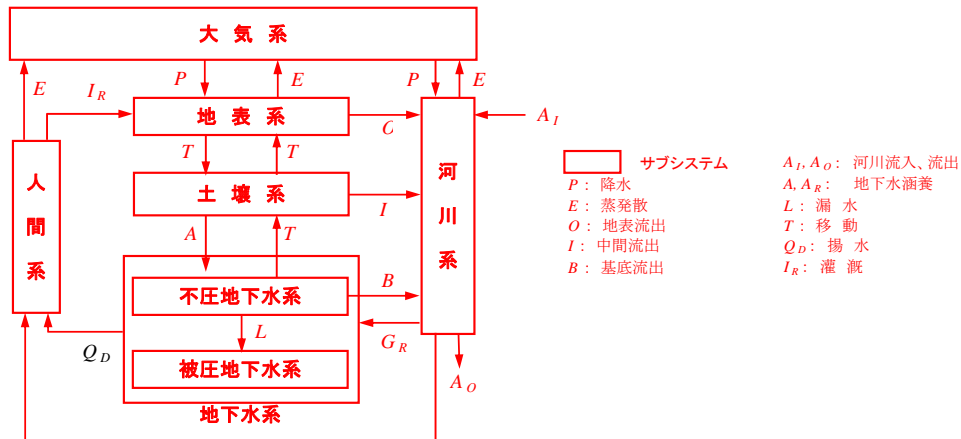
特に、我が国は、国土の多くが森林で覆われていること等により水循環の恩恵を大いに享受し、長い歴史を経て、豊かな社会と独自の文化を作り上げることができた。

しかるに、近年、都市部への人口の集中、産業構造の変化、地球温暖化に伴う気候変動等の様々な要因が水循環に変化を生じさせ、それに伴い、渇水、洪水、水質汚濁、生態系への影響等様々な問題が顕著となってきた。

このような現状に鑑み、水が人類共通の財産であることを再認識し、水が健全に循環し、そのもたらす恵沢を将来にわたり享受できるよう、健全な水循環を維持し、又は回復するための施策を包括的に推進していくことが不可欠である(2)。

ここに、水循環に関する施策について、その基本理念を明らかにするとともに、これを総合的かつ一体的に推進するため、この法律を制定する。

問1：下線部(1)に関して、水文の循環系を構成する大気系，河川系，地表系，土壌系，地下水系，そして人間系を水の移動方向とともに模式的に図示しなさい。【配点4点】



問2：下線部(2)に関連して、地下水盆管理の特徴として、「地下水を利用しながら管理していく」ことが重要であるとされている。その理由を説明しなさい。【配点3点】

地下水は地下に存在するため、通常直接目にすることが難しい。地下水を井戸などにより利用していれば、地下水利用者は地下水の水位や水質に関心を持ち、わずかな変化にも気づくことができるが、誰も地下水を使用しなくなると地下水そのものへの関心が薄れていく。その結果、貴重な地下水資源が気づかないうちに汚染等により使えなくなる恐れもある。したがって、地下水を利用しながら管理していくことが重要なポイントとなる。

4 福島盆地と新潟平野の地下水盆について、広域地下水流動系による地下水流動速度を比較するために、次のようなデータを集めた。以下の問いに答えなさい。【配点計 10 点】

地下水盆	水頭差 (m)	流動距離 (km)	動水勾配	透水係数 (m/day)	有効間隙率
福島	90	11.2	$8.1 \times 10^{-3}$	0.6	0.10
新潟	25	27.2	$9.2 \times 10^{-4}$	0.5	0.10

問 1：福島，新潟それぞれの地下水盆について，広域地下水流動による地下水の見かけの通過時間（単位は年）を，浸透流速を使って計算しなさい。数式を必ず示すこと。【配点 3 点】  
ダルシー式を変形すると，浸透流速  $v$  は透水係数  $K$  と動水勾配  $I$  を使って次式で表すことができる。 $v = K \cdot I$

したがって，福島地下水盆における浸透流速は， $0.6 \text{ (m/day)} \times (8.1 \times 10^{-3}) = 4.86 \times 10^{-3} \text{ (m/day)}$  と計算でき，新潟地下水盆の浸透流速は， $0.5 \text{ (m/day)} \times (9.2 \times 10^{-4}) = 4.60 \times 10^{-4} \text{ (m/day)}$  と計算できる。見かけの通過時間は（流動距離）÷（浸透流速）で求められるから，福島地下水盆は  $11200 \text{ (m)} / 4.86 \times 10^{-3} \text{ (m/day)} = 2304527 \text{ day} = 6310 \text{ 年}$ ，新潟地下水盆は  $27200 \text{ (m)} / 4.60 \times 10^{-4} \text{ (m/day)} = 59130435 \text{ day} = 162000 \text{ 年}$  と求められる。

問 2：福島，新潟それぞれの地下水盆について，広域地下水流動による地下水の真の通過時間（単位は年）を，平均間隙流速を使って計算しなさい。数式を必ず示すこと。【配点 3 点】  
平均間隙流速  $u$  は，浸透流速  $v$  と有効間隙率  $n_e$  を使って次式で表すことができる。

$$u = v / n_e$$

したがって，福島地下水盆の平均間隙流速は  $4.86 \times 10^{-3} \text{ (m/day)} / 0.10 = 4.86 \times 10^{-2} \text{ (m/day)}$ ，新潟地下水盆の平均間隙流速は  $4.60 \times 10^{-4} \text{ (m/day)} / 0.10 = 4.60 \times 10^{-3} \text{ (m/day)}$  となる。真の通過時間は（流動距離）÷（平均間隙流速）で求められるから，福島地下水盆は  $11200 \text{ (m)} / 4.86 \times 10^{-2} \text{ (m/day)} = 230453 \text{ day} = 631 \text{ 年}$ ，新潟地下水盆は  $27200 \text{ (m)} / 4.60 \times 10^{-3} \text{ (m/day)} = 5913044 \text{ day} = 16200 \text{ 年}$  と求められる。

問 3：問 1，問 2 で求めた地下水流動速度から，福島地下水盆と新潟地下水盆における広域地下水流動系の特徴や相違点について考察しなさい。【配点 4 点】

福島地下水盆と新潟地下水盆は，透水係数はほぼ同じであり，有効間隙率は同じ値をもつが，福島地下水盆の方が水頭差は大きく流動距離は小さい。このため，福島地下水盆の動水勾配は新潟地下水盆の動水勾配よりも約 1 オーダー大きくなり，浸透流速や平均間隙流速も福島地下水盆の方が約 1 オーダー大きくなる。一方，福島地下水盆の流動距離は新潟地下水盆の半分以下であることから，見かけの通過時間・真の通過時間も福島地下水盆の方が新潟地下水盆よりも 1/26 程度短くなる。したがって，揚水など人為的な影響がない自然状態では，新潟地下水盆の地下水は福島地下水盆の地下水よりもゆっくりと流動していることになる。



5 図1は、石川県金沢市須崎町に1979年に設置された深度130mの地盤沈下観測井における地盤収縮量と地下水位変動との関係を示したものである。金沢市では、冬季に消雪用として地下水が揚水されている。図1をよくみて、金沢市須崎町130m地盤沈下観測井記録から読み取れる地下水位と地盤収縮量の特徴を、できるだけ詳細に書きなさい。

【配点計5点】

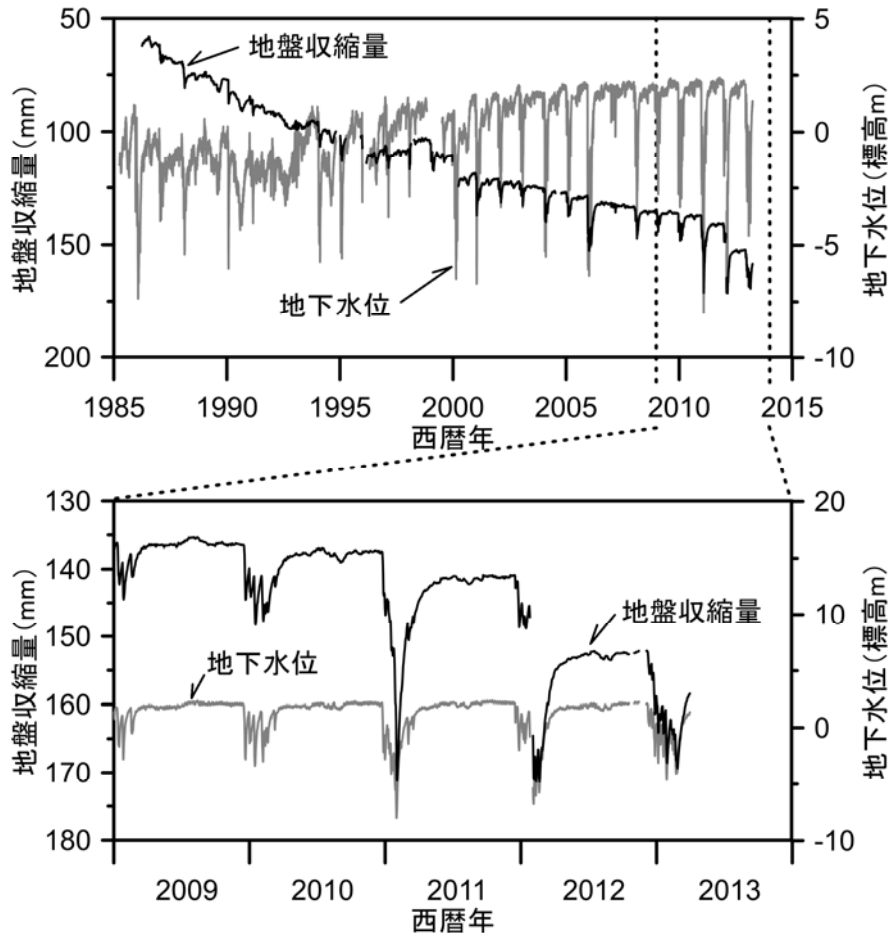


図1 石川県金沢市の須崎町130m地盤沈下観測井における地盤収縮量と地下水位の変動。  
(金沢市HP(2014)をもとに作成)

金沢市須崎町130m地盤沈下観測井記録から読み取れる地下水位と地盤収縮量の特徴：

金沢市須崎町130m地盤沈下観測井では、観測井が設置された1979年から1985年までに約60mmの地盤収縮が観測され、2012年度末までの累積地盤収縮量は158.35mmに達した。地下水位は1993年頃から上昇傾向を示し、冬季以外は標高0m以上となっている。しかし、2000年以降は冬季の消雪用地下水揚水に伴う水位低下が著しくなり、2011年1月には最低水位が標高-8mまで低下した。水位は冬季が終わるともとの水位まで回復するが、地盤収縮は水位が回復しても前年の状態にまで完全には戻らず、年々収縮量が累積している。

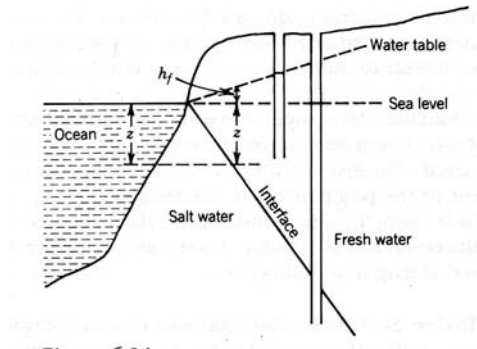


6 以下の問いに答えなさい。ただし、図や数式を使用して説明してもよい。

【配点計 10 点】

問 1 「ガイベンヘルツベルグの法則」について説明しなさい。【配点 5 点】

ガイベンやヘルツベルグらは、それぞれ個別にヨーロッパの海岸地帯において、地下の塩水は海水準よりも低い標高に分布していることを発見した。この現象は、淡水の密度 (1.000 g/cm<sup>3</sup>) と塩水の密度 (1.025 g/cm<sup>3</sup>) の差に起因する。

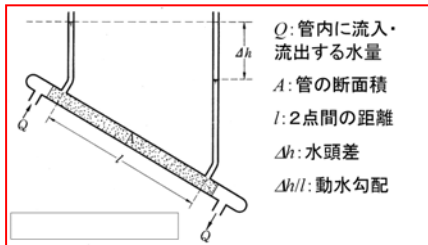


これを左図で説明すると、上述の淡水と塩水の密度の場合、海水準から地下水面までの高さ  $h_f$  とその場所での海水準から塩淡境界までの距離  $z$  には、

$$z = 40h_f$$

という関係が成り立つ。これがガイベンヘルツベルグの法則であり、静的な状態における海岸部での塩淡境界や海に囲まれた島での淡水レンズの分布形状などを説明することができる。

問 2 ダルシーが行った実験内容と「ダルシーの法則」について説明しなさい。【配点 5 点】



1856 年に H. Darcy により発見された地下水の流れに関する実験法則のことである。左図のように、砂を充填した管を準備し、その管の断面積を  $A$ 、2 箇所水位観測管の距離を  $l$  とする。ダルシーは種類の異なる砂について動水勾配と流量との関係を調べ、 $Q/A$  と動水

勾配は比例関係にあることを発見した。そして、単位時間あたりの流量  $Q$  の水を通過させたときに、 $Q$  は次式により与えられることを示した。

$$Q = K \cdot A \cdot \frac{\Delta h}{l}$$

ここで、比例定数  $K$  は透水係数とよばれる定数である。透水係数は種類の違う砂ごとに固有の値を示し、砂の透水性を規定する重要な係数である。なお、ダルシーの法則は層流の場合に成立し、乱流領域やビンガム流領域では適用できない。

**【下書き用紙】**

このスペースは、自由に使ってください。採点とは一切関係ありません。  
時間があれば、この試験問題への感想などもどうぞ！