

【2017 年度地下水盆管理学概論】

正規試験（2018 年 02 月 08 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) hydrogeology : 水文地質学
- 2) drawdown : 水位降下量
- 3) chloride ion : 塩化物イオン (塩素イオン)
- 4) land subsidence : 地盤沈下
- 5) coarse sand : 粗粒砂

問 2：次の日本語を英語に直しなさい。【配点 2.5 点】

- 1) 不圧帯水層 : unconfined aquifer
- 2) 土粒子 : soil particle(s)
- 3) 飽和帯 : saturated zone
- 4) 地下水面 : groundwater table
- 5) 透水係数 : hydraulic conductivity

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) 一般的に地質学における堆積盆が水文地質学における地下水盆に相当する。
- (b) 同じ地下水盆の中でも地層が異なれば地層間で地下水が行き来することはない。
- (c) 固結していない粘土層は不透水層であり、全く水を通さない。
- (d) オーストラリア大陸は湿潤な気候のため東南アジアと同様に地下水涵養量が多い。
- (e) 地球上の淡水資源のうち、湖や河川などの地表水は約 0.01% を占める。

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) 土壌中の間隙が水分で満たされている割合を飽和度という。
- ~~(b)~~ 砂礫と粘土では、砂礫の方が間隙率は大きい。
- (c) 比浸出量と有効間隙率は、同じものとみなすことができる。
- (d) 毛管水と吸着水では、吸着水の方が  $pF$  は大きい。
- (e) 含水比とは、ある土に含まれる水の重量とその土の固体部分の重量との比である。

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) 土粒子間の実流速を正確に求めることは難しい。
- (b) 浸透流速と平均間隙流速は、有効間隙率により関係づけられる。
- ~~(c)~~ 流体ポテンシャルを重力加速度で除すると位置水頭になる。
- (d) ダルシーの実験装置の中の砂は、水で満たされている。
- (e) 透水係数が同じ帯水層でも、動水勾配が大きくなれば浸透流速は大きくなる。
- (f)  $10^{\circ}\text{C}$ の水と  $40^{\circ}\text{C}$ の水では、 $40^{\circ}\text{C}$ の水の方が動粘性係数は小さい。

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) 水収支の基本式では、時間を考慮する必要がある。
- (b) 地下水位が一定であるとき、かん養量と流出量は釣り合っているとみなすことができる。
- (c) 植物による蒸散を **Transpiration** という。
- ~~(d)~~ 単位面積当たりの蒸発計蒸発量と湖面蒸発量を比べると、後者のほうが大きい。
- (e) 地下水涵養量を推定するためには、降水量データが必要である。

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) 一般に地下水の  $pH$  は溶存している炭酸物質に支配されている。
- (b) 水の解離定数が温度により変化するため、水温が上がるほど  $pH$  は下がる。
- ~~(c)~~ 日本の平均地下増温率は、約  $6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  である。
- (d)  $1\text{ mg/kg}$  という濃度は、厳密にみても  $1\text{ ppm}$  となる。
- (e)  $\text{Fe}^{2+}$ イオンを含む地下水は、還元環境を示す場合が多い。

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) 縄文時代に東京都野川周辺では湧水が使われていたと考えられる。
- (b) 日本では鈴鹿山脈東麓で「マンボ」と呼ばれる横井戸が使われていた。
- (c) ロータリー式掘削では泥水循環により掘削屑を排除するが、泥水の比重は水よりも小さい。
- (d) 日本では養魚用水としても地下水が使われている。
- (e) 現在、日本で深井戸用ポンプとして一般的に使われているのは水中モーターポンプである。

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) ある井戸から揚水した時に発生する水位降下量は、その井戸からの距離により異なる。
- (b) ある被圧帯水層の比貯留量にその層厚を乗じると、貯留係数が求まる。
- (c) 層厚が17mで透水係数が35 m/dayの被圧帯水層の透水量係数は495 m<sup>2</sup>/dayとなる。
- (d) 一般に不圧帯水層の貯留係数は被圧帯水層の貯留係数よりも大きい。
- (e) 同じ揚水量で井戸から揚水する場合、水位降下量が小さいほうが井戸の能力は大きい。

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) 井戸干渉とは、複数の井戸から揚水した場合に井戸内の水位が揺れ動くことである。
- (b) 日本では工業用水の揚水を規制し地盤沈下の進行防止を図るため「工業用水法」が制定された。
- (c) 地下水位が異常に上昇した場合には構造物の沈下という地下水障害が発生する。
- (d) 山岳トンネルは岩盤の中を掘削するため、周辺の地下水への影響はない。
- (e) インドネシアのジャカルタでは地盤沈下は発生していない。

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) 化石塩水とは、化石を含む地層中に存在する塩水のことである。
- (b) 濃度3.5%の塩水の場合、1 kgの塩水中には35 gの塩類が含まれている。
- (c) 淡水レンズ下面の塩水堆の上昇量は、淡水レンズ上面の地下水面低下量よりも大きい。
- (d) 地下水中の塩分濃度が高くなると、圧力水頭は小さくなる。
- (e) 臨海部の塩水化対策として地下水の揚水規制を行うことは有効である。

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) 許容揚水量の設定にあたっては、自然の涵養要件を考慮する必要はない。
- (b) 米国では、1950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」は地下水を汲むことのできる量のことなので、社会量といえる。
- (e) 許容揚水量をいったん設定してしまえば、その地下水盆を取り巻く社会・経済条件が変化しても見直す必要はない。

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) 水位降下量とは、揚水前の自然水位と揚水中の動水位の差のことである。
- (b) 連続揚水試験中は、揚水量を一定に保つ必要がある。
- (c) Cooper-Jacob の直線解析法では、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) 回復試験では貯留係数を求めることはできない。
- (e) 連続揚水試験の前には、あらかじめ予備揚水試験や段階揚水試験を実施したほうがよい。

問 12：地下水位調査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) 長期地下水位連続観測は、井戸構造の明らかな観測専用の井戸（観測井）で実施したほうがよい。
- (b) 地下水面図を作成するときには、河川の水位も把握しておいたほうがよい。
- (c) 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。
- (d) 短期一斉地下水位観測は、異なる季節で数回実施することが望ましい。
- (e) 井戸構造がしっかりとしている観測井の地下水位は、近隣の揚水井の影響を受けない。

問 13：地下水水質調査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】

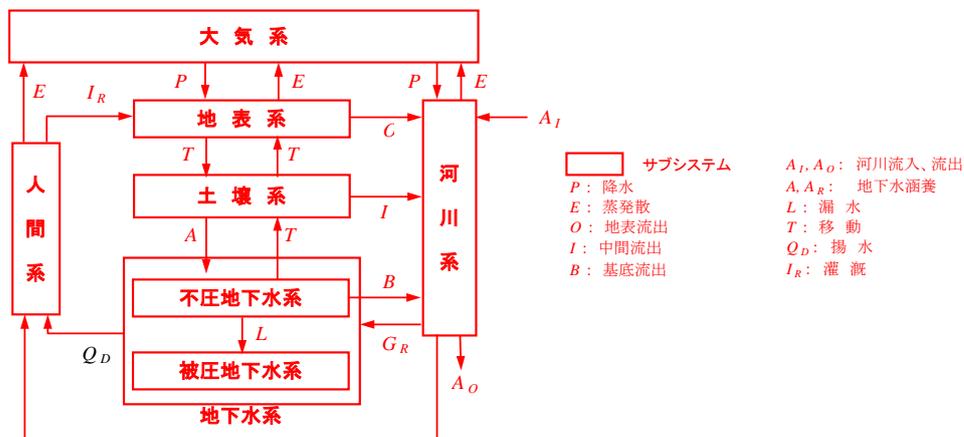
- (a) 地下水の水質組成を検討する場合、濃度の単位を「mg/L」から「meq/L」に変換したほうがよい。
- (b) アルカリ炭酸塩型の地下水は、一般に河川水や浅層地下水であることが多い。
- (c) パターンダイアグラムでは、硝酸イオンを考慮することもある。

- (d) 地下水水質調査の際には、サンプル採取時に pH や電気伝導度、酸化還元電位、水温を測っておいたほうがよい。
- (e) 火山地帯の温泉水は、硫酸イオンに富むことが多い。

3 次の文章をよく読んで、以下の問いに答えなさい。【配点計 7 点】

地下水盆の管理を行う上で、地下水シミュレーション技術は重要な役割を果たしている。そもそもシミュレーション (simulation) とは模擬実験ともよばれ、あるシステムの挙動を、それとほぼ同じ法則に支配される他のシステムやコンピュータなどによって模擬することである。地下水シミュレーションの場合は、地下水システム (地下水系) (1)を構成する要素を抽出して、現実の状態を反映するモデルを設定し、そのモデルで実験を行う手法のことである。現在の地下水シミュレーションモデルでは、地下水システムの現象を支配している物理的・化学的・生物的、さらには経済的な特性の相互関係を数学的・論理的に表したコンピュータ・プログラム (コード) が主に使われている。地下水盆のモデル化には、地下水盆自体のモデル化(2)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。地下水シミュレーション解析を行うことにより、直接目にするのが難しい地下水盆中の地下水の挙動・動態を明らかにすることができるとともに、地下水盆管理の最終目標を決定するために必要な諸条件の変化による将来の地下水流動や地下水位分布(3)などを予測することができる。なお、ここで注意しておかなければならないことは、作成した地下水シミュレーションモデルが、どの程度実際の地下水流動や地下水位分布を再現することができるかどうか、将来予測の前に十分に確認しておくことである。そのためにも、地下水調査の基本である地下水位や地下水水質のモニタリングデータ(4)が必要となる。

問 1 : 下線部(1)に関して、水文的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 2 点】



問2：下線部(2)に関連して，地下水盆の中には一般に複数の帯水層が分布することが多く，帯水層の特徴により被圧地下水や不圧地下水が存在する。そこで，不圧帯水層と被圧帯水層それぞれの特徴と，不圧帯水層と被圧帯水層の違いについて説明しなさい。【配点3点】

不圧帯水層の特徴：

不圧帯水層とは，帯水層となりうる地層の上位に不透水層や難透水層が存在せず，地下水面が帯水層となりうる地層自体の中に存在する帯水層のことである。したがって，地下水により飽和されているのは地下水面よりも下の部分だけであり，地下水面よりも上位の不飽和帯が帯水層となりうる地層の中に存在する。

被圧帯水層の特徴：

被圧帯水層とは，帯水層の上下が不透水層または難透水層と接しており，帯水層の上面から下面までの区間全体が地下水により飽和されている帯水層のことである。自然状態では上位の不透水層または難透水層（＝加圧層）が圧力を加えるため，地下水頭（被圧水頭）が帯水層上面よりも高くなっていることが多い。

不圧帯水層と被圧帯水層の違い：

不圧帯水層は帯水層となりうる地層の一部が飽和されているのに対し，被圧帯水層は帯水層の上面から下面まで飽和されているので，透水量係数や貯留係数の定義が異なる。すなわち，被圧帯水層の透水量係数は（透水係数）×（帯水層の層厚）であるのに対し，不圧帯水層のそれは（透水係数）×（飽和帯の厚さ）となる。被圧帯水層の貯留係数は（比貯留量）×（帯水層の層厚）であるのに対し，不圧帯水層の貯留係数は（比浸出量）+（比貯留量）×（飽和帯の厚さ）となる（実用上は，不圧帯水層の貯留係数≒比浸出量となる）。

問3：下線部(3)に関連して，ある帯水層における地下水位の平面的な分布から，その帯水層中の平面的な地下水流動方向を把握する原理と方法について説明しなさい。【配点1点】

原理的には，平面的に場所の異なる3箇所の地下水観測孔（観測井）で地下水位を測定し，それをもとに基準面からの高さで表した地下水面（または地下水頭）等高線を描くことができれば，地下水流動方向はその等高線に直角に交わる線に沿って地下水面の高い方から低い方に向かう方向となる。具体的には，最低3地点以上の観測孔で地下水位標高を測定し，それをもとに地下水面（または地下水頭）の等高線を描く。これに直交する曲線群またはベクトルを描けば，地下水流動方向を把握することができる。

問4：下線部(4)に関連して，長期地下水位観測を行うために適した観測井を新たに設置する場合に必要な条件を挙げなさい。【配点1点】

目的の帯水層にのみストレーナを設置する井戸構造とする。観測井の近傍に揚水井や水位が変動する河川などがあると，局所的な原因による水位変動の影響を受ける可能性があるため，そうした影響をなるべく受けない場所を選定する。帯水層が複数ある場合には，帯水層ごとに観測井を設置したほうがよい。観測井を設置する土地が，将来構造物の建設や道路の拡張などの影響を受けない場所であることを確認しておく。観測井や観測機器が破損したり盗難にあったりしないような安全で管理が容易な場所を選定する。

4 福島大学柴崎研究室では、磐梯山北麓の裏磐梯スキー場観測孔で、地下水位と地下水水質のモニタリングを行っている。表1は、裏磐梯スキー場観測孔から採取した地下水サンプルの水質分析結果である。この表をよくみて、以下の問いに答えなさい。【配点計10点】

表1 裏磐梯スキー場観測孔から採取した地下水の主要成分水質分析結果（単位：mg/L）

陽イオン濃度		陰イオン濃度	
Na <sup>+</sup>	8.3	Cl <sup>-</sup>	58.7
K <sup>+</sup>	2.1	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.0
Ca <sup>2+</sup>	140.5	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	391.4
Mg <sup>2+</sup>	10.0		

問1：表1に示した水質分析結果の値に、表2に示す各主要成分の「mg/L」濃度から「meq/L」濃度への換算係数を乗じて「meq/L」値に計算し、表3に記入しなさい。ただし、「meq/L」値は小数点以下第3位まで求めること。【配点2点】

表2 主要成分の「mg/L」濃度から「meq/L」濃度への換算係数

陽イオンの換算係数		陰イオンの換算係数	
Na <sup>+</sup>	0.04350	Cl <sup>-</sup>	0.02821
K <sup>+</sup>	0.02557	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.01639
Ca <sup>2+</sup>	0.04990	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.02082
Mg <sup>2+</sup>	0.08226		

表3 裏磐梯スキー場観測孔から採取した地下水の主要成分水質分析結果（単位：meq/L）

陽イオン濃度		陰イオン濃度	
Na <sup>+</sup>	0.361	Cl <sup>-</sup>	1.656
K <sup>+</sup>	0.054	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.000
Ca <sup>2+</sup>	7.011	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	8.149
Mg <sup>2+</sup>	0.823		

問2：記入した表3をもとにして、陽イオン濃度の合計値（単位：meq/L）と陰イオン濃度の合計値（単位：meq/L）を計算しなさい。また、陽イオン濃度合計値と陰イオン濃度合計値の比率（cation/anion ratio）を求めなさい。【配点2点】

陽イオン濃度の合計値（単位：meq/L）＝ 8.249

陰イオン濃度の合計値（単位：meq/L）＝ 9.805

cation/anion ratio＝ 0.841

問3：記入した表3と問2の結果をもとにして，陽イオン組成（単位：% of meq/L）と陰イオン組成（単位：% of meq/L）を計算し，表4に記入しなさい。【配点2点】

表4 裏磐梯スキー場観測孔から採取した地下水の陽イオン組成と陰イオン組成

陽イオン組成（単位：% of meq/L）		陰イオン組成（単位：% of meq/L）	
Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	5.0	Cl <sup>-</sup>	16.9
Ca <sup>2+</sup>	85.0	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.0
Mg <sup>2+</sup>	10.0	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	83.1
Total	100.0	Total	100.0

問4：以上の結果をもとに，裏磐梯スキー場観測孔から採取した地下水のトリリニアダイアグラム（図1）とパターンダイアグラム（図2）を完成させなさい。【配点2点】

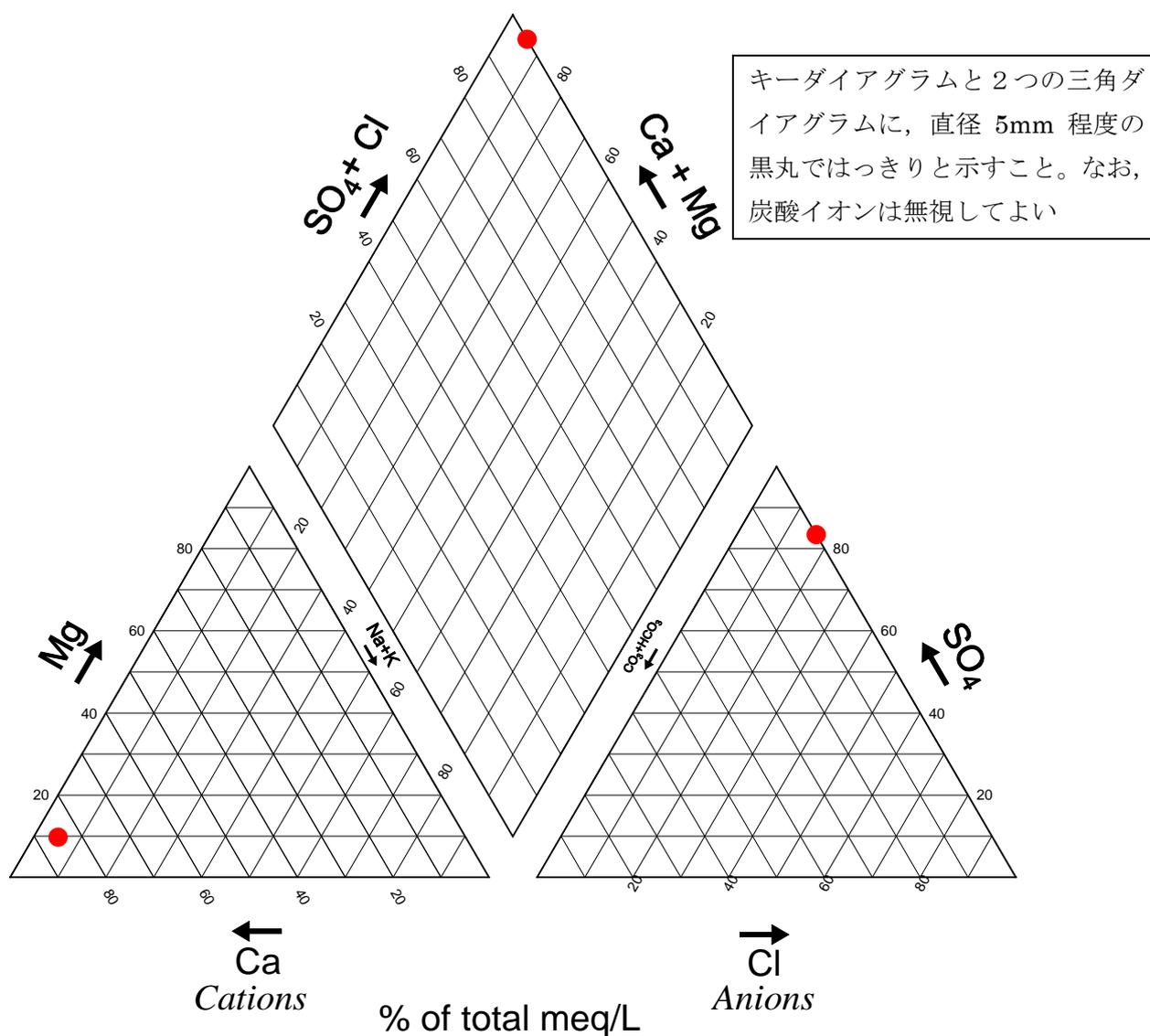
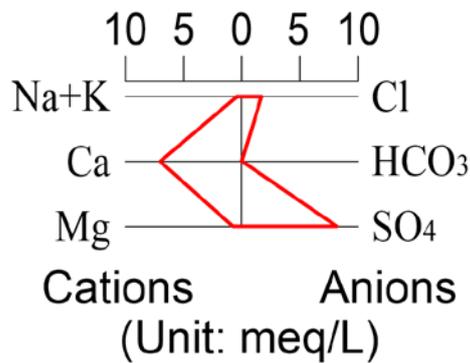


図1 裏磐梯スキー場観測孔から採取した地下水のトリリニアダイアグラム



6つの軸と「meq/L」値の目盛りをよくみて、六角形（ヘキサダイアグラム）として表現しなさい。できるだけ正確に描くこと。ただし、六角形の中は塗りつぶさなくてよい。

図2 裏磐梯スキー場観測孔から採取した地下水のパターンダイアグラム

問5:完成した図1と図2から読み取れる裏磐梯スキー場観測孔地下水の水質区分と水質の特徴について記述しなさい。【配点2点】

図1のトリリニアダイアグラムのキーダイアグラムから、この地下水はアルカリ度類非炭酸塩に区分され、温泉水に近い水質組成を示す。陽イオン組成をみるとカルシウムイオンが85%と多く、陰イオンは硫酸イオンが83.1%を占める。図2のパターンダイアグラムの形状をみると、Ca-SO<sub>4</sub>型の水質組成であることが分かる。なお、陽イオン濃度合計値と陰イオン濃度合計値の比率の悪さ（cation/anion ratio=0.840）は図2の形状にも現れており、この地下水には主要イオン以外の陽イオンが含まれている可能性がある。

5 表5は、ある被圧帯水層に設置された井戸で実施された連続揚水試験の記録である。連続試験中、揚水井からは一定量（ $Q = 2500 \text{ m}^3/\text{day}$ ）で揚水された。この揚水井からの揚水中の水位降下量  $s$  は、揚水井から 60 m 離れた距離（ $r = 60 \text{ m}$ ）にある同じ被圧帯水層に設置された観測井で測定された。表5をよくみて、以下の問いに答えなさい。

【配点計5点】

表5 ある被圧帯水層で実施された連続揚水試験の記録

揚水時間 t (分)	水位降下量 s (m)	揚水時間 t (分)	水位降下量 s (m)
0	0	18	0.67
1	0.20	24	0.72
1.5	0.27	30	0.76
2	0.30	40	0.81
2.5	0.34	50	0.85
3	0.37	60	0.90
4	0.41	80	0.93
5	0.45	100	0.96
6	0.48	120	1.00
8	0.53	150	1.04
10	0.57	180	1.07
12	0.60	210	1.10
14	0.63	240	1.12

問1 表5の揚水時間(=揚水開始後時間)と水位降下量の関係を、図3の片対数グラフにプロットしなさい。ただし、 $t=0$ のときのデータはプロットしなくてよい。プロットは直径3mm程度の大きさの丸印で描くものとし、なるべく正確にプロットしなさい。プロットしたら、それらにフィットする直線を引きなさい(定規は使わず、フリーハンドでよい)。【配点2点】

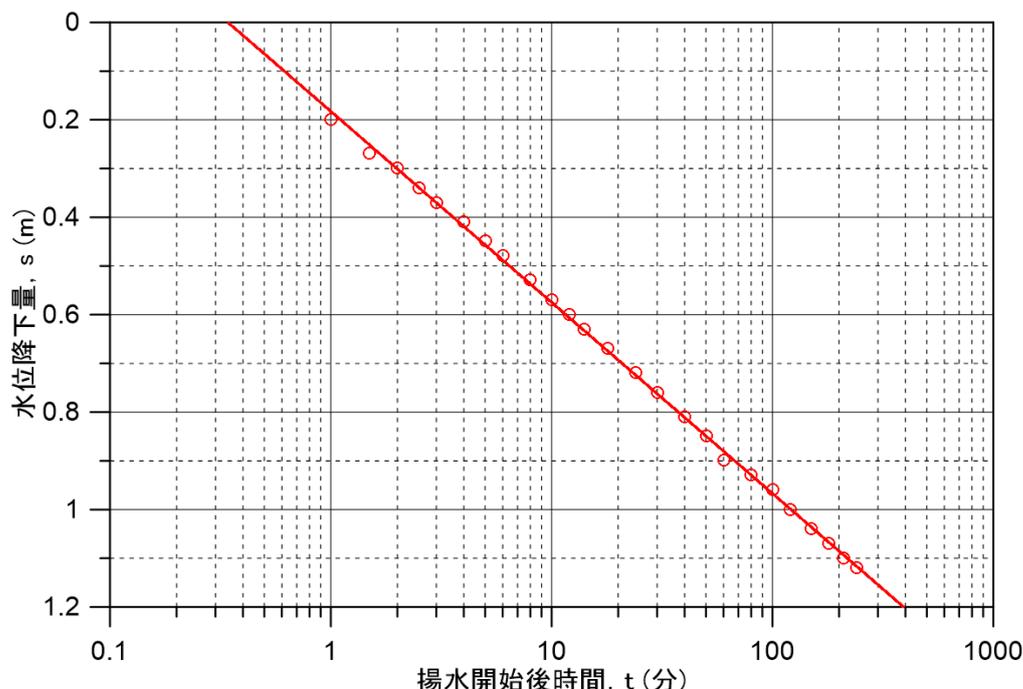


図3 連続揚水試験の水位降下量と揚水開始後時間との関係。

問2 図3で引いた直線をよくみて、揚水開始後1分のときと10分のときの水位降下量(単位:m)を読み取りなさい。そして、対数1サイクルあたりの水位降下量( $\Delta s$ )を求めなさい。【配点1点】

揚水開始後1分のときの水位降下量= 0.18 m

揚水開始後10分のときの水位降下量= 0.58 m

対数1サイクルあたりの水位降下量( $\Delta s$ ) = 0.40 m

問3 問2で求めた水位降下量( $\Delta s$ )と問題文で示した揚水量 $Q$ の値を用い、次式により透水量係数 $T$ を求め、単位とともに答えなさい。ただし、円周率 $\pi$ は3.14とする。【配点1点】

$$T = \frac{2.30Q}{4\pi\Delta s} = 2.30 \times 2500 / (4 \times 3.14 \times 0.40) = 1144.5 \quad \text{答え: } 1145 \text{ m}^2/\text{day}$$

問4 図3で引いた直線を左上に延長し、水位降下量が0mのときの時間 $t_0$ を読み取りなさい(目分量でよいが、なるべく正確に)。読み取った $t_0$ の値(単位:分)の単位を日に換算しなさい。そして、次式に必要な値を代入して貯留係数 $S$ を求めなさい。【配点1点】

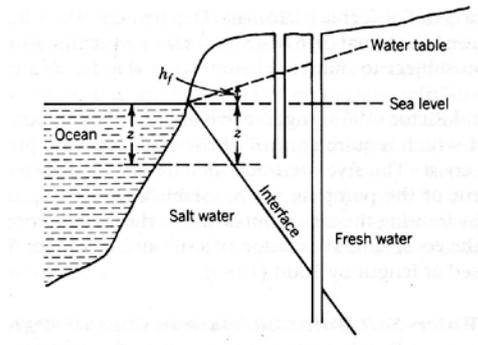
$$S = \frac{2.25Tt_0}{r^2} \quad \begin{aligned} t_0 &= 0.34 \text{ 分} = 0.34/60/24 \text{ 日} = 0.000236 \text{ 日} \\ S &= 2.25 \times 1145 \times 0.000236 / 60/60 = 1.69 \times 10^{-4} \quad \text{答え: } 1.69 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

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 「ガイベンー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。

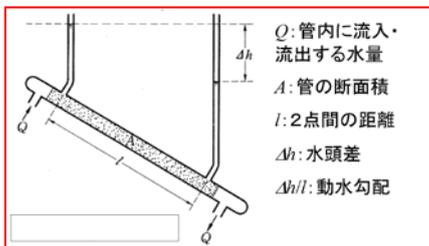


これを左図で説明すると、上述の淡水と塩水の密度の場合、海水準から地下水面までの高さ  $h_f$  とその場所での海水準から塩淡境界までの距離  $z$  には、

$$z = 40h_f$$

という関係が成り立つ。これがガイベンー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 箇所の水頭観測管の距離を  $l$  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！

授業アンケートも書いてください。