

## 地学基礎・地学

第1問 宇宙に関する次の問い(問1～2)に答えよ。

問1 地球からほぼ同じ方向に銀河Aと銀河Bが観測され、図1—1に示すような、水素原子による輝線( $H\alpha$ 線)などを含むスペクトルが得られた。この2つの銀河の赤方偏移は一方が0.03、他方が0.06である。以下の問いに答えよ。数値での解答には有効数字1桁で答え、計算の過程も示せ。ただし、ハッブル・ルメートルの法則、および宇宙原理が成り立つものとし、必要であれば  $\log_{10} 3 = 0.5$  として計算してもよい。

- (1) 地球から遠いのは銀河Aと銀河Bどちらの銀河か、理由とともに1行程度で答えよ。
- (2) 銀河Bから観測したときの銀河Aの赤方偏移の値を答えよ。
- (3)  $H\alpha$ 線の本来の波長は  $0.656 \mu\text{m}$  である。銀河Aと銀河Bのスペクトルに見られる  $H\alpha$ 線の波長の差を  $\mu\text{m}$  の単位で答えよ。
- (4) 銀河BにIa型超新星が出現した。この超新星を地球から観測し続けたところ、時間とともに明るくなり、見かけの明るさは最も明るいとき17.5等級に達し、その後暗くなっていった。Ia型超新星は最も明るいときに絶対等級が $-20$ 等級になることが知られている。地球から銀河Bまでの距離をメガパーセクの単位で答えよ。

(5) ハッブル定数を  $H$  としたとき、宇宙の年齢はおおまかに  $\frac{1}{H}$  で与えられる時間として推定することができる。

(a) その理由を 2 行程度で答えよ。

(b) この推定値は、遠方の超新星などの観測から求められた宇宙の年齢とは必ずしも一致しない。その理由をダークエネルギーという言葉を用いて 2 行程度で答えよ。

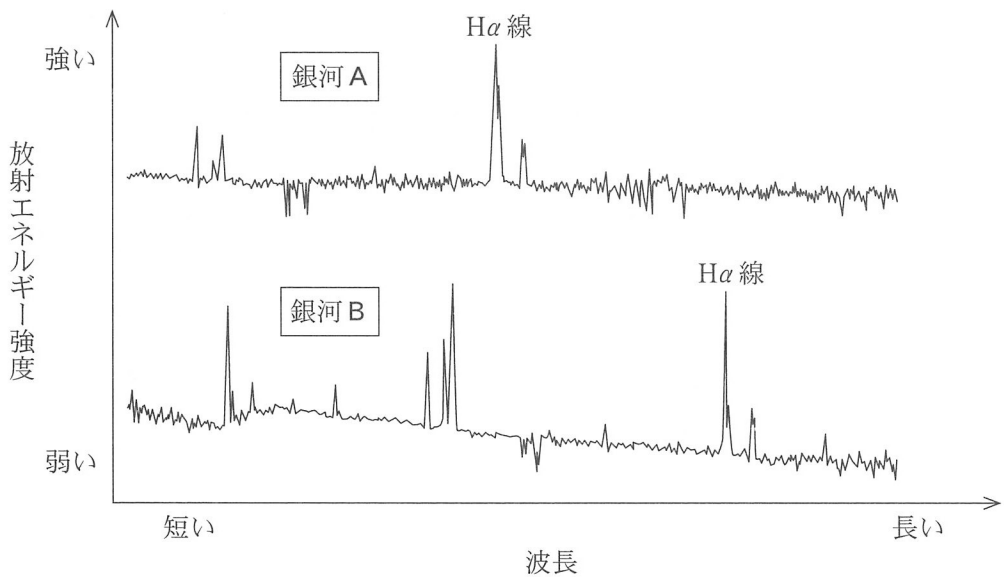


図 1—1 観測された 2 つの銀河のスペクトル

問 2 以下の問いに答えよ。(2), (4)については計算の過程も示し, 有効数字 2 桁で答えること。必要であれば, 円周率  $\pi = 3.1$ ,  $\sqrt{2} = 1.4$  として計算してもよい。

伊与原新の小説『宙わたる教室』に次の一文がある。

「な, ちゃんと 0.38 G が作れてるだろ?」岳人がグラフの底を示して言った。

これは, 自作した重力可変装置を用いて, 火星上での重力加速度に相当する 0.38 G が実験室で作られた一場面である (G は地球上の重力加速度を意味する)。

- (1) 火星は, 重力以外にも地球と異なる特徴をもつ。火星表面の気圧は, 地球表面の気圧の(ア)分の 1 程度である。また, 火星大気の主成分は(イ)であり, 火星と同様に(イ)を主成分とした大気をもつ太陽系の惑星は(ウ)である。

空欄(ア)に入る最も適切な数値を以下から選べ。また, 空欄(イ), (ウ)に入る適切な語句をそれぞれ答えよ。

1.7      17      170      1700

- (2) この重力可変装置で, 天体イオ上に相当する重力加速度を作り出すため, イオ上の重力加速度を求めたい。以下の表を参考に, 地球上での重力加速度を G としたときのイオ上での重力加速度を求めよ。天体は球形であると考え, ここでは自転による遠心力は無視してよい。

	平均密度 ( $\text{kg/m}^3$ )	半径 (km)
地球	5500	6400
イオ	3500	1800

- (3) イオは、太陽系で最も活発な火山活動が見られる天体である。イオは (エ) の衛星であり、活発な火山活動の原因は (エ) による (オ) 力であると考えられている。

空欄 (エ), (オ) に入る適切な語句をそれぞれ答えよ。

- (4) ある小惑星の探査をおこなった。この天体は、半径 200 m の球形であり、極での重力加速度は  $8.0 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 、自転周期は  $6.2 \times 10^4 \text{ s}$  であった。

(a) この小惑星の赤道で、物体にはたらく遠心力は、万有引力の何分の 1 となるか、求めよ。小惑星の密度は均一であるとする。

(b) この小惑星の重心を焦点の 1 つとする平均距離 1000 m の楕円軌道に、人工衛星を周回させることに成功した。ケプラーの法則が成り立つとして、この人工衛星が、小惑星の周囲を公転する周期を求めよ。人工衛星の質量は、小惑星に比べて、十分に小さいものとする。

第2問 大気と海洋に関する次の問い(問1～2)に答えよ。

問1 地球の雲はさまざまな緯度や高度で形成され、地球のエネルギー収支や水の循環において重要な役割を果たしている。図2—1は海洋上に形成される典型的な雲を模式的に描いたものである。次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

低緯度で見られる背の高い雲は、熱帯(ア)帯と亜熱帯(イ)帯とを結ぶ大規模な(ウ)循環を駆動する上で重要な役割を果たしている。亜熱帯においては一般に背の低い雲が形成される。中緯度から高緯度にかけての背の高い雲は、(エ)低気圧にともなう前線の周辺で形成されるものが多い。これらの低気圧は、(オ)波動の一部を構成するものとして形成され発達する。極域では背の低い雲が多く見られる。

- (1) 上の文章中の(ア)～(オ)に入る適切な語句をそれぞれ答えよ。
- (2) 下線部の循環にともなう水蒸気の輸送は、熱帯から亜熱帯への輸送となるか、亜熱帯から熱帯への輸送となるか、その理由とともに2行程度で答えよ。理由の説明では、「降水量」と「蒸発量」というふたつの言葉を含めよ。
- (3) 図2—1に模式的に描かれた熱帯の背の高い雲と亜熱帯の背の低い雲が、ともにシュテファン・ボルツマンの法則により宇宙空間に向けて放射エネルギーを放出しているとする。このとき単位面積あたりに放出される放射エネルギーが大きいのはどちらの雲か、理由とともに2行程度で答えよ。ただし、雲の上にある大気による放射エネルギーの吸収や放出は無視できるとする。
- (4) 図2—1の中緯度から高緯度にかけての雲は、この緯度帯でよく見られる温暖前線周辺に形成される雲を模式的に示したものである。このような雲は、一般にこの図のように雲が形成される高度が緯度とともに高くなっている。その理由を2行程度で答えよ。

- (5) エネルギー収支の観点からみると、降水は水蒸気からの雲の形成にともなう潜熱の放出により大気を加熱する現象である。地球全体の平均降水量が  $3.0 \text{ mm/日}$  であるとき、この降水が地球の気温を何度上昇させるはたらきをもつか求めてみよう。このために地球の大気を代表した  $1 \text{ m}^2$  を底面とする大気の柱を考え、 $3.0 \text{ mm/日}$  の降水が地表面から大気上端までの柱中の大気の温度を一様に上昇させるとする。このとき降水は1日に気温を何度上昇させるか有効数字2桁で答えよ。計算の過程も示せ。ただし降水はすべて雨(液体の水)としておこるとする。また柱中の大気の質量を  $1.0 \times 10^4 \text{ kg}$ 、大気の比熱を  $1.0 \times 10^3 \text{ J/(kg}\cdot\text{°C)}$ 、水蒸気から水への凝結の潜熱を  $2.5 \times 10^6 \text{ J/kg}$ 、水の密度を  $1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  とする。大気の比熱とは、 $1 \text{ kg}$  の大気を  $1 \text{ °C}$  上昇させるのに必要な熱エネルギーである。

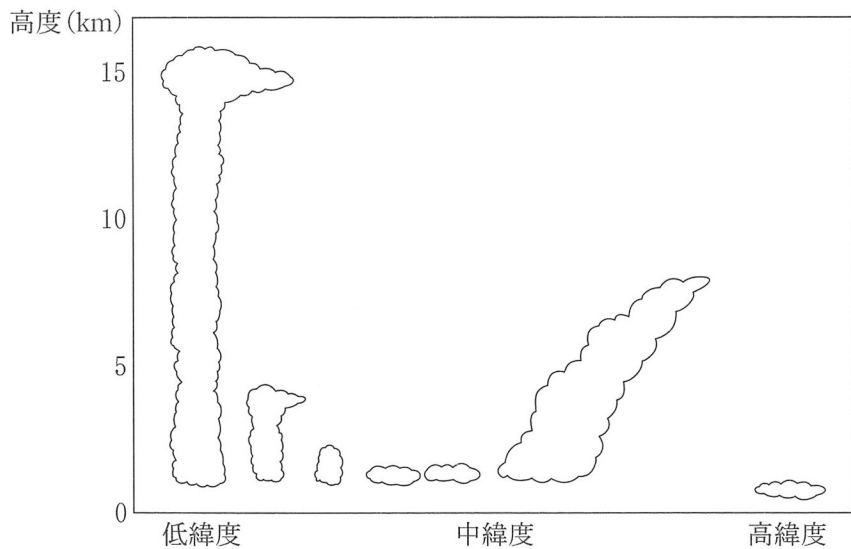


図 2—1 海洋上に形成される典型的な雲の模式図

問 2 海洋中には暖水の渦や冷水の渦が多く存在し、それらは熱や物質を輸送するため、地球環境において重要である。渦の観測に関する次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

東北地方東方の海域には、半径が 100 km 程度の渦が存在することがある。これらは、周辺を流れる暖流である(ア)と寒流である(イ)から切り離されたものである。この海域の暖水の渦について、中心を東西に横切る線に沿って水温と塩分の鉛直分布を測った。図 2-2 の左図は、その水温の鉛直断面分布を模式的に示したものであり、<sup>(I)</sup>等しい深さでは渦の中心に向かって水温が高くなっている。このような水温測定の結果から判断すると、<sup>(II)</sup>暖水があることで、海面は中心に向かって高くなっており、<sup>(III)</sup>渦を回る流れをともなっていることがわかる。図 2-2 の右図は、渦の外に位置する地点 P <sup>(IV)</sup>における水温の鉛直分布であり、この海域の典型的な分布となっていた。

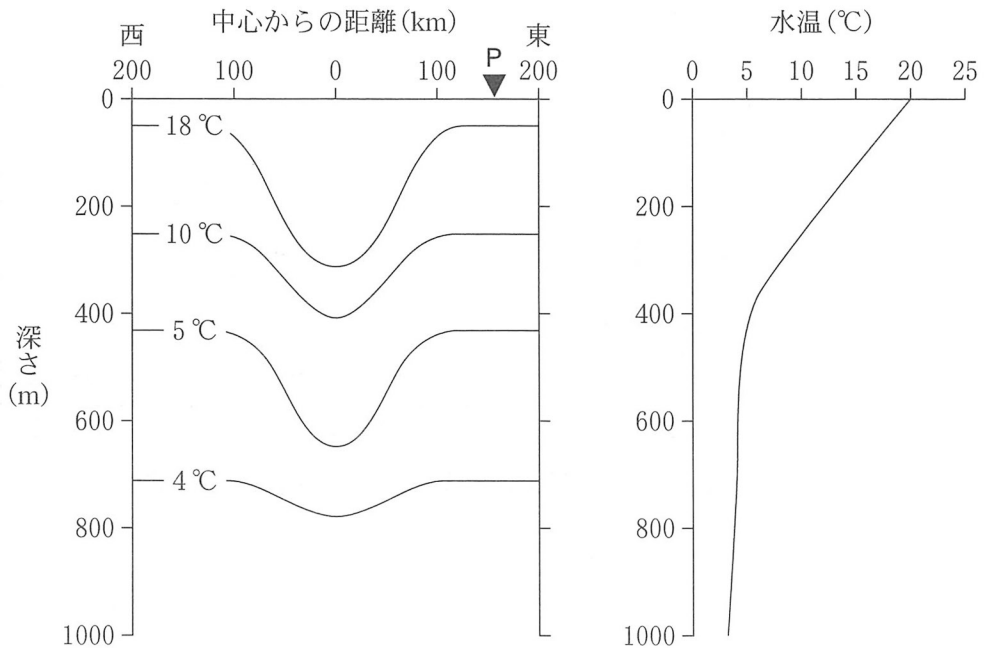


図 2-2 暖水渦を東西に横切る線での水温の鉛直断面分布の模式図(左)と、左図に示す渦の東方の地点 P における水温の鉛直分布(右)

- (1) (ア)と(イ)にあてはまる海流の名称を答えよ。
- (2) 下線部(I)について、等しい深さでは渦の中心に向かって塩分は高くなるか低くなるか、理由とともに1行程度で答えよ。
- (3) 下線部(II)について、海面の高さの違いは水温分布から推定できる。測定によれば、海面から深さ1000 mまで平均した水温は、地点Pより渦の中心の地点が $3.2^{\circ}\text{C}$ 高かった。1000 mより深いところでは深さの等しい面での水温や圧力を等しいとし、地点Pにおける海面の高さを0 mとするとき、渦の中心の地点における海面の高さを有効数字2桁で求めよ。計算の過程も示せ。なお、この暖水渦では、海水の密度は水温が $1^{\circ}\text{C}$ 上がると0.021%減少すると近似でき、塩分が密度に与える効果は考慮しなくてよい。
- (4) 下線部(III)について、渦を回る流れは、地衡流を仮定した場合と、さらに海水が渦を回ることによって生じる遠心力も考慮した場合を比べると、どちらが速いか、理由とともに2行程度で答えよ。
- (5) 下線部(IV)について、測定される海面の水温は、春と秋に同じような値になる。しかし、水温の鉛直分布は特徴が異なるため、どちらの季節に測定したか判別できる。図2-2に示される水温を測定したのは、5月と11月のどちらと考えられるか、理由とともに1行程度で答えよ。

第3問 固体地球および地質に関する次の問い(問1～2)に答えよ。

問1 地球内部に関する次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

図3-1で示されるように、ある地域で震源の浅い地震が発生し、複数の地点で地震波を観測した。また、地域内にある掘削孔において様々な深度で岩石の温度測定を行った。地域内には、過去にマグマが地下深いところで形成され、マグマ上昇の際に周囲の岩石を取り込んだ噴出物が観察される場所がある。マグマに取り込まれていた岩石は、岩石A、B、Cの3種類であり、地域一帯の地殻およびマントルを構成する岩石と推定される。これらの岩石を用いた実験を行うことで、地震波観測および温度測定の結果を解釈し、地域一帯の地殻やマントルの構造および状態を推定できる。

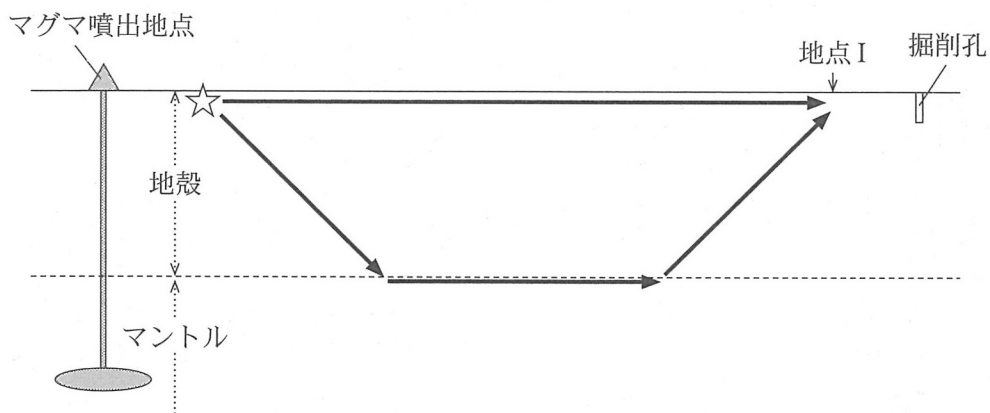


図3-1 ある地域の地下構造の模式図。震源(☆)および発生した地震波の直接波および屈折波の伝搬経路が示されている。

- (1) 岩石 A は大陸地殻を特徴づける深成岩，岩石 B は海洋地殻を代表する深成岩，岩石 C は上部マントルを代表する岩石である。岩石 A，岩石 B，岩石 C に相当する最も適切な岩石名を以下からそれぞれ選んで答えよ。

斑れい岩 片麻岩 かんらん岩 石灰岩 砂岩 花こう岩 玄武岩

- (2) 岩石 A, B, C をそれぞれ図 3—2 で示された  $5.0\text{ cm} \times 5.0\text{ cm} \times 2.0\text{ cm}$  の直方体に切断し，質量 [g] を測定した。その結果の最も適切な組み合わせを以下のア～カから選んで答えよ。

	ア	イ	ウ	エ	オ	カ
岩石 A	130	650	50	170	55	120
岩石 B	140	130	55	120	80	130
岩石 C	165	120	80	155	50	650

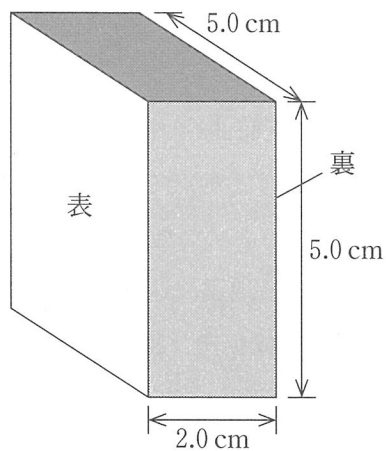


図 3—2 岩石試料の形状

- (3) 図 3—2 で示される岩石 A および C の試料表面側で P 波(縦波)および S 波(横波)を発生させ、裏面側へ伝わった波をとらえることで、P 波および S 波の試料中での伝搬時間がわかる。表 3—1 に示されたその結果をもとに、地震波観測結果を解釈する。以下の(a)および(b)の問いに答えよ。その際、地球の曲率は無視でき、地殻とマンツルの境界は地表に平行であるとする。解答では、計算過程も示し、有効数字 2 桁で求めよ。

表 3—1 岩石試料の P 波および S 波伝搬時間(秒)

	岩石 A	岩石 C
P 波の伝搬時間	$3.2 \times 10^{-6}$	$2.4 \times 10^{-6}$
S 波の伝搬時間	$5.8 \times 10^{-6}$	$4.4 \times 10^{-6}$

- (a) 地点 I において、P 波と S 波の直接波の到着時刻差は 26 秒であった。地点 I から震央までの距離 [km] を求めよ。地殻は岩石 A のみからなるとする。
- (b) 震央から地点 I、さらにその延長線上の地点での震央からの距離と P 波の到着時刻の関係(走時曲線)を調べると、地点 I が、P 波の直接波と屈折波の到着時刻が一致する地点であった。この観測結果を用いて本地域の地殻の厚さ [km] を求めよ。ただし、地殻の厚さ  $d$ 、震央から地点 I までの距離  $l$ 、地殻を伝わる地震波速度  $v_1$ 、マンツルを伝わる地震波速度  $v_2$  の間で以下の関係式が成り立つとする。

$$d = \frac{l}{2} \sqrt{\frac{v_2 - v_1}{v_2 + v_1}}$$

$v_1$  および  $v_2$  はそれぞれ表 3—1 の結果から得られる岩石 A および岩石 C を伝わる P 波速度とみなしてよい。 $l$  は(a)で求めた値を用いよ。 $\sqrt{3} = 1.7$  および  $\sqrt{7} = 2.6$  として計算してもよい。

- (4) 掘削孔内では、深度 100 m ごとに温度が 3.0 °C 上昇していた。掘削部分は、すべて岩石 A からなっていた。図 3—2 で示される岩石 A の実験試料の表面側から 7.5 W の熱を与え続け、十分に時間が経った後に温度を計測したところ、試料表面では 45 °C、裏面では 25 °C であった。実験中、岩石に与えた熱はすべて岩石の裏面から放出されていたとみなす。これらの観測および実験結果から、掘削孔近傍での地殻熱流量 [mW/m<sup>2</sup>] を有効数字 2 桁で求めよ。計算の過程も示せ。その際、

地殻熱流量 [mW/m<sup>2</sup>] =

$$\text{地下増温率 [K/m]} \times \text{岩石の熱伝導率 [W/(m}\cdot\text{K)]} \times 10^3$$

の関係を用いてよい。ここで、熱伝導率は、厚さ 1 m の板の両面に 1 °C の温度差があるとき、その板の面積 1 m<sup>2</sup> の面を通して 1 秒間に流れる熱量のことである。

問 2 堆積物と堆積岩に関する次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

堆積物には岩石が細くなった碎屑物、火山の噴火に由来するもの、生物の遺骸が積み重なったもの、化学的に沈殿したものなどがある。未固結の堆積物が圧密や膠結こうけつなどによってかたい堆積岩になる作用を続成作用とよぶ。<sup>(I)</sup> <sup>(II)</sup>

碎屑物の粒子は粒径により泥・砂・礫に分けられる。泥は粒径 0.063 mm 未満、砂は粒径 0.063 mm 以上 2 mm 未満、礫は粒径 2 mm 以上の粒子のことを指す。図 3—3 は、流水中における水の流速と粒子の粒径による侵食・運搬・堆積の関係を表した両対数グラフである。泥・砂・礫は、その粒径に応じて、動きやすさ・堆積しやすさが異なる。<sup>(III)</sup>

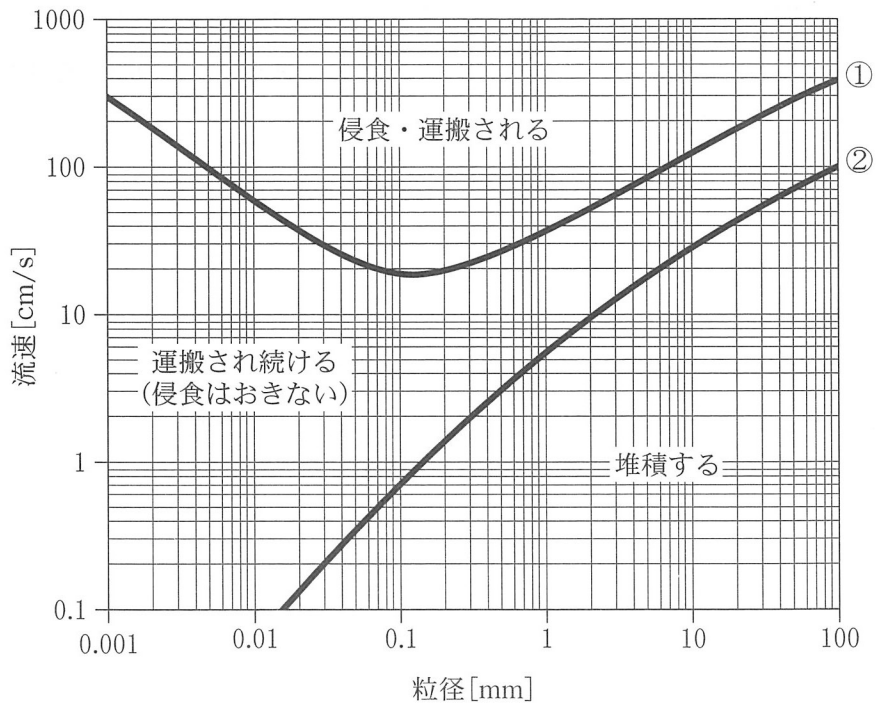


図 3—3 流速と粒径による碎屑物の侵食・運搬・堆積の関係。線①は静止している粒子が動き始める流速，線②は動いている粒子が堆積し始める流速を表す。

- (1) 下線部(I)に由来する堆積岩の例を2つ答えよ。
- (2) 下線部(II)に関して、同じ時代に同じ地域で形成され、続成作用の度合いのみが異なる地層を比較すると、続成作用を強く受けた地層のほうが、続成作用をあまり受けていない地層よりも層厚が薄くなる傾向がみえる。この理由を2行程度で答えよ。
- (3) 下線部(III)に関して、流水中の泥・砂・礫の粒子が静止している状態からの動きやすさと、動いている状態からの堆積しやすさについて、泥と礫は砂と比較してどのような特徴をもつか。適切な説明を泥・礫のそれぞれについて以下のA～Dの中から1つ選択せよ。
- A 動きやすく堆積しやすい
  - B 動きにくく堆積しやすい
  - C 動きやすく堆積しにくい
  - D 動きにくく堆積しにくい
- (4) 流水の流速が30 cm/sの場合の粒径ごとの粒子の挙動を、図3-3を参考にして2行程度で述べよ。解答には、図3-3から読み取った数値を含めること。
- (5) 碎屑物からなる地層中に、連続的に下部から上部に向かって粒径が小さくなる級化構造が観察された。級化構造の最下部の粒径は約30 mm、最上部の粒径は約0.3 mmであった。流水中での堆積によってこの級化構造が形成されたとすると、堆積時の流速はどのように変化したと考えられるか。図3-3を参考にして1行程度で述べよ。解答には、図3-3から読み取った数値を含めること。

- (6) 沿岸部の潟や湿地を数メートル掘ると、津波起源の堆積物が認められることがある。津波起源の堆積物は潟や湿地における定常時の堆積物とくらべて粒径や堆積構造にどのような特徴があると考えられるか。図3—3を参考にして2行程度で述べよ。