

平成 30 年 2 月 26 日

教科：理科 問題訂正・補足説明

科目名：地学

83 ページ

問題訂正

第 3 問 問 2 (5)

(誤) 溶脱しやすい元素の順番を 1 行程度で答えよ。

(正) アルミニウム以外で溶脱する主要な 3 つの元素を答えよ。

地 学

第1問 宇宙に関する次の問い(問1～2)に答えよ。

問1 天体を調べるにあたり、地球からその天体までの距離を知ることが最も基本となる。そのため歴史的に様々な手法が編み出されてきた。銀河系内外の天体の距離導出に関する以下の問いに答えよ。数値での解答には有効数字2桁で答え、計算の過程も示せ。また必要であれば、1パーセクは3.3光年とせよ。

(1) 銀河系内の恒星までの距離は、年周視差を用いて正確に求めることができる。可視光の望遠鏡を搭載したヨーロッパの位置天文衛星「ガイア」により、今までにない高精度な年周視差測定が可能となった。

(a) 地上ではなく衛星の望遠鏡を使うことで、より小さな年周視差を測定できる理由を1行程度で述べよ。

(b) ガイア衛星が最小で 1.0×10^{-4} 秒角の年周視差を測定できるとして、どれだけ遠方までの星の距離を求められるかを光年の単位で求めよ。

(2) 銀河系を中心として数千万光年の範囲に存在する局部銀河群や近傍銀河群内の銀河までの距離は、主に脈動変光星のケフェウス座 δ 型変光星(以下、種族Iセフィイド)を標準光源として求められる。

(a) 種族Iセフィイドは、HR図上において「不安定帯」と呼ばれる細長い帯の内側に分布する(図1-1)。その帯の中で、変光周期 P_1 、 P_2 、 P_3 を持つセフィイドが分布する範囲を3本の太く短い実線で示した。周期光度関係に着目し、2行程度の理由とともに P_1 、 P_2 、 P_3 の大小関係を不等号で表せ。

(b) ある渦巻き銀河に変光周期 P_2 を持つ種族 I セファイドが見つかった。しかし、精密なスペクトル型(星の色)が測定されていない場合、このセファイドが図 1—1 の P_2 の太く短い実線上のどこに位置するかわからないため、周期から求められる光度に若干の不定性が残る。このとき、図 1—1 を使って求められる銀河までの距離の最大値は最小値に対して何%大きくなるかを答えよ。ここで、 x が 1 より十分小さい場合に成り立つ近似式 $10^x = 1 + 2.30x + 2.65x^2$ を用いてもよい。

(3) 1 億光年より遠方の銀河の距離を精密に求めるためには、恒星よりも明るい標準光源が必要となる。そのような天体を 1 つ挙げよ。

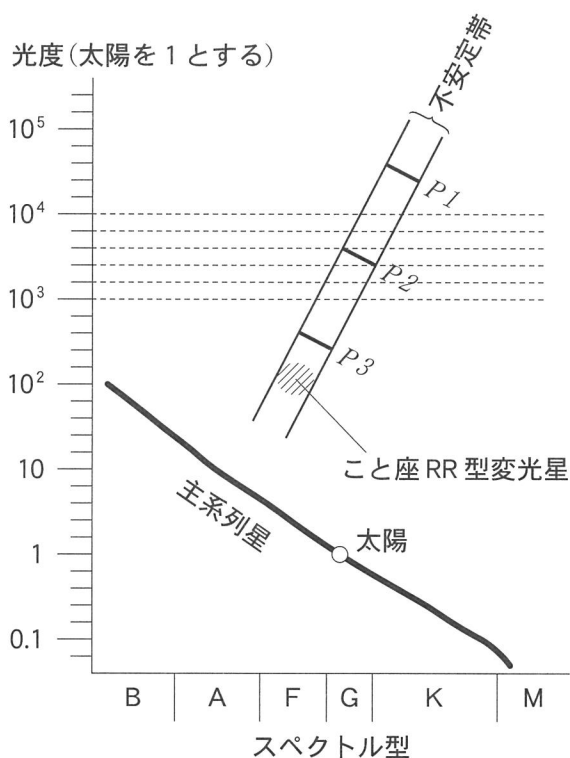


図 1—1 HR 図上の不安定帯の位置。種族 II のこと座 RR 型変光星も不安定帯の中に位置する。なお、変光星の光度とスペクトル型は周期平均をとった値で定義している。

問 2 渦巻き銀河の銀河回転(円盤部に属する恒星や星間物質の、銀河中心のまわりの回転運動)に関する以下の問いに答えよ。銀河回転は厳密な円運動であるとし、同じ場所にある恒星と星間物質の回転速度は等しいとする。銀河円盤の厚さおよびバルジとハローの存在は無視してよい。数値での解答には有効数字 2 桁で答え、計算の過程も示せ。

(1) ある渦巻き銀河の絶対等級を測ったところ -20.2 等であった。この銀河の光度は太陽の光度の何倍か、答えよ。太陽の絶対等級を 4.8 等とする。

(2) この渦巻き銀河の円盤部は、本来は円形だが、視線に対して傾いているため楕円形の像として観測される(図 1—2 (上))。その長軸に沿って、星間物質から放射される輝線の 1 つである水素原子の $H\alpha$ 輝線の波長を測ったところ、回転運動で生じるドップラー効果によって、銀河中心より右側では銀河中心での波長より長い波長が、左側では短い波長が観測された(図 1—2 (下))。

(a) 図に示すように、円盤部の像は、上が観測者から見て近い側、下が遠い側にあることが別の観測からわかっている。銀河回転の方向は図の A と B のどちらであるかを、理由とともに答えよ。

(b) この銀河の後退速度を km/s の単位で求めよ。 $H\alpha$ 輝線の本来の波長を 656.4 ナノメートルとし、光の速さを $3.0 \times 10^5 \text{ km/s}$ とする。

(3) 図 1—3 の実線は、図 1—2 の H α 輝線の観測から得られた銀河回転の速さを描いたものである。視線に対して円盤部が傾いている効果は補正されている。銀河回転を用いて銀河の質量を推定してみよう。銀河は、恒星、星間物質、ダークマターだけで構成されているとし、どの構成要素も銀河回転の回転軸に対して軸対称に分布しているとする。

(a) 銀河中心から任意の距離 R を速さ $V(R)$ で回転している恒星(あるいは星間物質)には、回転運動で生じる遠心力と銀河からの万有引力が働いており、これら 2 つの力はつりあっている。遠心力は $mV^2(R)/R$ と表せ、万有引力は $GmM(R)/R^2$ と表せるとする。ここで m は恒星(あるいは星間物質)の質量、 G は万有引力定数、 $M(R)$ は銀河中心を原点とする半径 R の球内にある全構成要素の質量の総和である(球の外部の構成要素は万有引力に寄与しない)。図 1—3 の実線から、 $M(2$ 万光年)と $M(4$ 万光年)の比を推定せよ。

(b) 恒星と星間物質の質量分布は光と電波の観測から求まる。銀河が恒星と星間物質だけでできていると仮定し、それらの総和による万有引力に遠心力がつりあうために必要な恒星(あるいは星間物質)の回転の速さを R の関数として求めたものが、図 1—3 の破線である。観測値よりも小さい速さが得られることから、銀河には光らない物質であるダークマターが存在していることが推定できる。実線と破線の比較から、 $M(4$ 万光年)に占めるダークマターの割合を推定せよ。

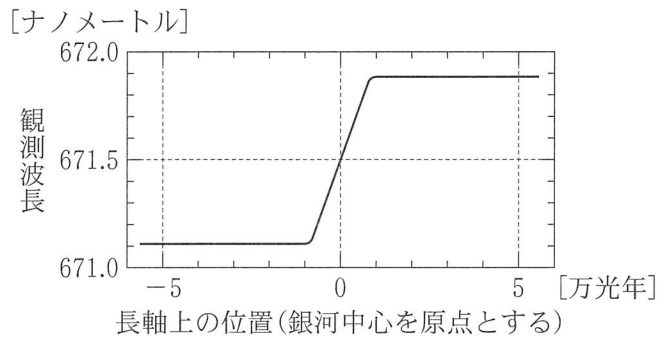
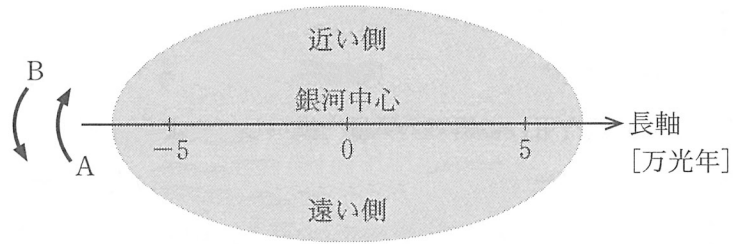


図 1—2 (上)円盤部の像。(下)長軸に沿って測った H α 輝線の波長。

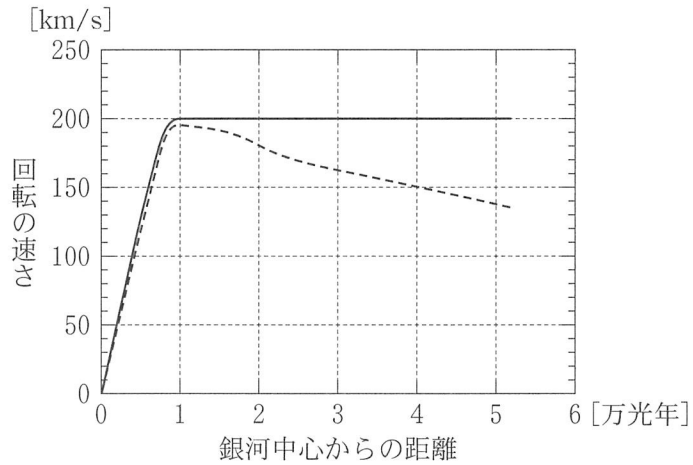


図 1—3 回転の速度と銀河中心からの距離の関係

第2問 大気と海洋に関する以下の問い(問1～2)に答えよ。

問1 雨はその生成のしくみにより、暖かい雨と冷たい雨の2つに大別される。ここでは暖かい雨の生成について考えてみよう。空気塊の中で雲粒として凝結している水を雲水と呼び、 1 cm^3 の空気塊中の雲水の量を g/cm^3 の単位で表すことにする。またここでは、雲粒が落下し始めるのに十分な大きさまで成長したものを降水粒子と呼び、さらにそれが落下中に大きく成長したものを雨粒と呼ぶことにする。以下の問いに答えよ。数値を求める問題には有効数字2桁で答え、計算の過程も示せ。雲粒や降水粒子は球形であるとし、円周率 π は3.0として計算せよ。

(1) 空気塊中の雲水の生成について述べた以下の文章の空欄ア～ウを埋めよ。

水蒸気を含んだ空気塊が未飽和のまま断熱的に上昇すると気温は 減率に従い低下する。この結果、飽和水蒸気圧は高度とともに し、空気塊の水蒸気が飽和すると凝結により雲粒を生成する。飽和した空気塊がさらに断熱的に上昇すると気温は 減率に従い低下し、飽和水蒸気圧は高度とともにさらに する。空気塊中の水分子の総量(水蒸気と雲水を合わせた総量)が一定に保たれるとすると、雲水の量は高度とともに増加する。

(2) 次に、雲底から成長していく雲の中での降水粒子の生成について考えてみよう。空気塊がその中の水分子の総量を一定に保ったまま上昇したとき、雲底から高度1 km 上昇するごとに $2.0 \times 10^{-6}\text{ g/cm}^3$ の水蒸気が凝結し、雲水になったとする。雲粒の数濃度が 200 個/cm^3 で高度によらずに一定であると仮定した時、高度とともに増加する雲水は、個々の雲粒の半径の増加によってもたらされる。このようにして成長する雲粒は、雲頂においてその半径が $2.0 \times 10^{-3}\text{ cm}$ に達すると降水粒子として落下しはじめるとした場合、降水粒子の落下は雲頂が雲底から何 km の高さまで達した時にはじまるか求めよ。ただし、雲粒の半径は各高度においてすべての雲粒で同じと仮定し、水の密度を 1.0 g/cm^3 として計算せよ。

(3) さらに、雲頂で生成した降水粒子が、雨粒へと成長していく過程について考える。現実の大気では雲頂付近の雲粒の中で特に大きなものが降水粒子として落下し始めることにより、雨が引き起こされる。このような降水粒子が雲底までまっすぐ下向きに落下する間に、図2—1のように各高度にある雲粒と衝突し、それらをとらえることにより体積を増加させるとする。簡単のため、降水粒子がとらえる雲粒の半径は高度によらずすべて r cm であるとし、雲粒の数濃度は n 個/cm³ で一様に分布しているとする。また降水粒子の半径を R cm とした時、この降水粒子の中心が通る軌道から半径 R cm 以内に中心がある雲粒がすべてとらえられるとする。この時、降水粒子が Δz cm 落下する間に雲粒をとらえることにより増加させる体積 ΔV cm³ を R , r , n , Δz を使って表せ。ただし、降水粒子がとらえる雲粒数の計算においては、 Δz cm の落下中での降水粒子の半径 R の変化は無視できるとし、また雲内での上昇流の影響は無視できるとする。

(4) 最後に、雨粒と降水量との関係を考える。雲頂付近から雲中を落下する降水粒子が、半径 1.0×10^{-3} cm の雲粒を合計 10 万個とらえることにより雨粒へと成長し、そのままの体積で地表面に落下したとする。このようにしてできた雨粒が地表面付近において 2.0×10^{-4} 個/cm³ の数濃度で存在し、それぞれが 5.0 m/s で落下する時、1 時間あたりの降水量は何 mm となるか答えよ。ただし、落下開始時の降水粒子の体積は無視できるとする。

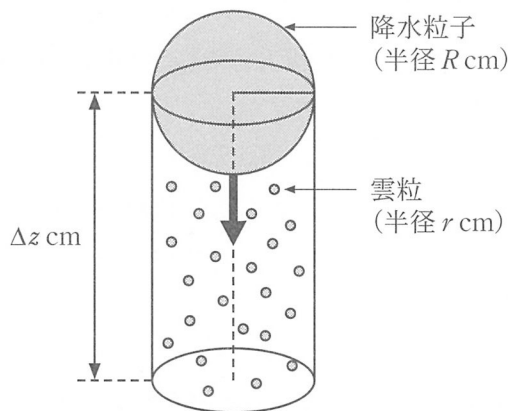


図2—1 降水粒子が落下しながら雲粒と衝突し、とらえる様子を示した模式図

問 2 太平洋熱帯域では数年に一度エルニーニョが発生する。太平洋熱帯域での平均的な状況とエルニーニョ時の大気と海洋に関する以下の問いに答えよ。数値での解答には有効数字 2 桁で答え、計算の過程も示せ。

- (1) 図 2—2 は平均的な状況における太平洋熱帯域の海面水温と地表面付近の風の分布である。この状況がどのように形成され維持されているか、大気の状態が海洋に与える影響と海洋の状態が大気に与える影響を考慮して 5 行程度で述べよ。その際、以下に示す大気と海洋に関する語を全て用いること。

大気に関する語群：貿易風，対流活動，海面気圧

海洋に関する語群：海面水温，水温躍層，湧昇

- (2) 平均的な状況における東部太平洋熱帯域での海水の運動を考えよう。図 2—2 の点線で示された長方形の領域において、海面を上面とし、風で直接駆動される表層の流れがおよぶ深さを下面とする海洋表層の箱を考える。この箱の各側面や下面を通して出入りする単位時間あたりの海水輸送量を流量(単位は m^3/s)と呼び、上面を出入りする流量はないとする。この箱の北側(北緯 5 度)と南側(南緯 5 度)側面での流量には、貿易風の東西成分 $U \text{ m/s}$ (東向きを正とする)により駆動される吹送流の海水輸送のみを考え、単位東西幅あたりの流量 $Q \text{ m}^2/\text{s}$ (北向きを正とする)は $Q = -1.3 \times 10^{-6} \times \frac{|U|U}{f}$ で与えられる。ここで、 f は地球の自転によるコリオリ力の効果を表す係数であり、北緯 5 度では $f = 0.13 \times 10^{-4}/\text{s}$ となる。長方形領域の東西幅は 6000 km とし、南北方向の距離は緯度 1 度あたり 100 km とせよ。

(a) 北緯 5 度における $|U|$ は、どこでも 10 m/s であったとする。北側側面での流量を m^3/s の単位で求め、その向きとともに答えよ。

(b) 南緯 5 度および北緯 5 度における U が等しいとすると、南側側面での流量は北側側面と同じ大きさになるが、向きは逆になる。この理由を 1 行で述べよ。

(c) 次に、長方形領域の下面における鉛直方向の流速 w m/s(上向きを正とする)を考えよう。この箱の海水の体積が時間とともに変わらず、東側側面での流入量と西側側面での流出量は常に等しいとする。また、下面での w m/s は一様であるとする。この時の w m/s を求めよ。

(3) エルニーニョ時には、赤道太平洋の広い範囲で大気と海洋の状況が大きく変わる。図2-2の長方形領域において、エルニーニョ時には北緯5度および南緯5度での $|U|$ が 5.0 m/s に弱まったとする。エルニーニョ時の w m/s は平均的な状況に比べてどれだけ増減しているか求めよ。

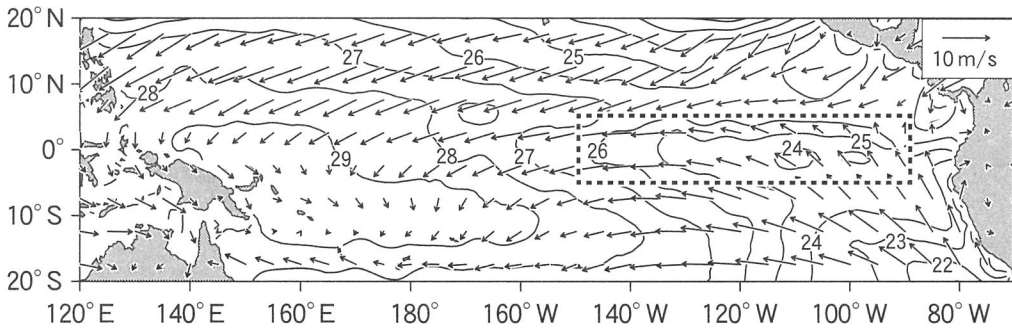


図2-2 平均的な状況における太平洋熱帯域での海面水温の等値線(単位は $^{\circ}\text{C}$)と地表面付近の風(矢印)の分布

第3問 地震と地質に関する次の問い(問1～2)に答えよ。

問1 図3-1のように、東西および南北方向に正確に2 km 間隔で地震計を地表に並べて、微小地震を対象にした観測をしていたところ、偶然近くで大きな地震(以後本震と呼ぶ)が発生した。本震のP波到着時刻は正確に読みとれた(図3-2)が、その直後には、使用していた地震計の計測範囲を超える地震動となり、S波到着時刻は読みとれなかった。一方、本震後2週間ほどの間に、その震源周辺で多数の小規模地震が発生した。図3-1の灰色部は、それらの震源が集中的に分布した領域(余震域)を示している。この観測に関する以下の問いに答えよ。なお、地表面は水平であるとし、また、地下の地震波速度構造は均質であるとする。本問で使用する3次元座標系(x, y, z)の x 軸及び y 軸は図3-1に定義するものとし、 z 軸は地表をゼロとし、鉛直下向きを正として定義する。

(1) 本震の震源(地震破壊が開始した点)の位置を(x_0, y_0, z_0)とする。 x 軸上の観測点($x, 0, 0$)と震源の間の距離を x_0, y_0, z_0 および x の式で表せ。

(2) 図3-2のデータから推定される本震の震央の座標値 x_0 および y_0 を以下の選択肢から記号で選べ。

選択肢(単位は km) : (a) 2.0 (b) 3.0 (c) 4.0 (d) 5.0 (e) 6.0 (f) 7.0

(g) 8.0 (h) 9.0 (i) 10.0 (j) 11.0 (k) 12.0 (l) 13.0

(3) 図3-1の観測点AとBにおける本震P波の到達時刻は、それぞれ、2時5分43.6749秒、2時5分43.5916秒であった。このこと及び(2)の答を用いて、震源の深さ z_0 が満たすべき方程式を導け。また、その解を有効数字2桁で求めよ。ただし、P波速度は6.000 km/sとする。計算の過程も示すこと。

(4) 余震域の3次元的な形態を調べると、走向 $N0^\circ E$ 、傾斜 $60^\circ E$ の平面で代表されることがわかった。また、本震P波初動の東西成分は y 軸上の6つの観測点すべてにおいて西向きであった。本震の断層運動は、(a)右横ずれ、

(b)左横ずれ, (c)逆断層, (d)正断層のいずれであるか, 5行程度の理由とともに答えよ。必要なら図を描いて説明してもよい。なお, 本震の震源断層は余震域に含まれると仮定する。

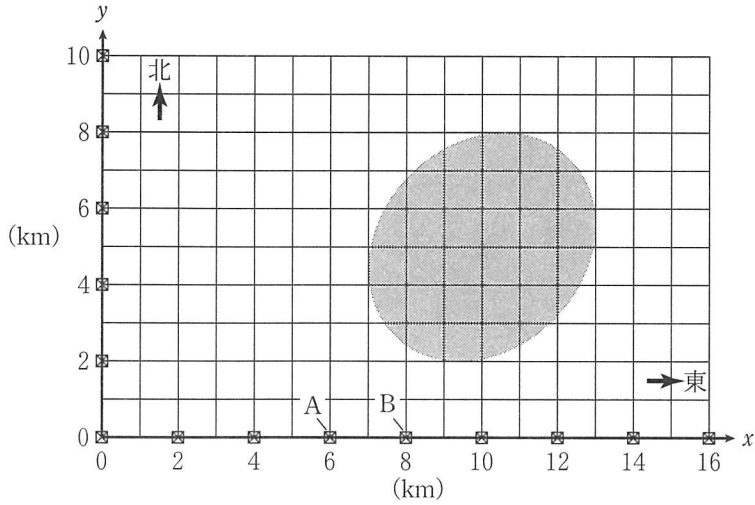


図3—1 観測点(□印)の配置。灰色の領域は, 余震域を xy 平面に投影したもの。

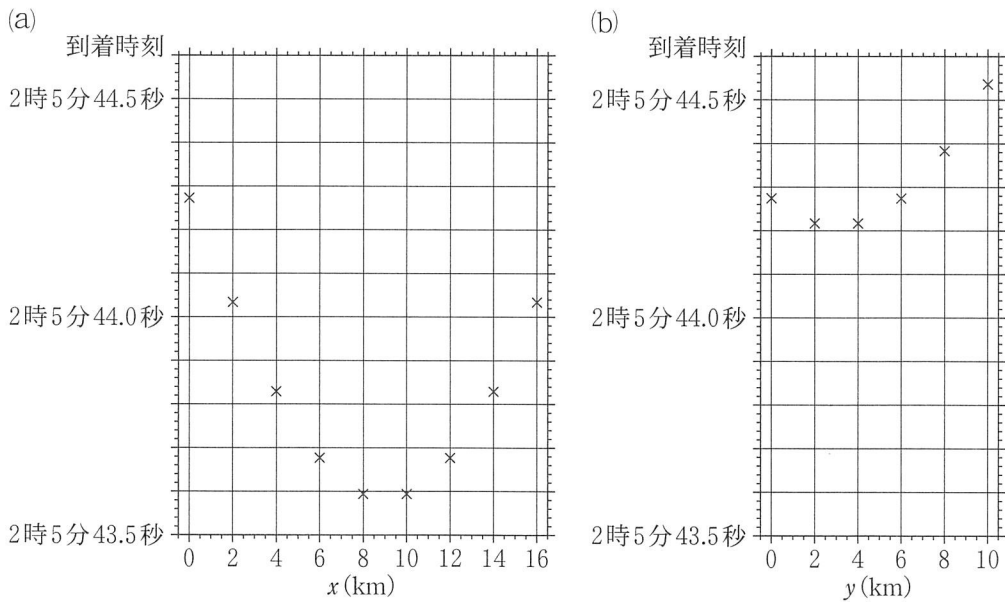


図3—2 本震P波の到着時刻。 x 軸上の観測点については(a)に, y 軸上の観測点については(b)に, 到着時刻を×印で示した。

問 2 鉱床について述べた次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

鉱床とは、火成作用、変成作用または堆積作用により、地殻中で特定の化学成分が通常より高い割合で濃集している部分である。地殻にマグマが貫入して形成される火成鉱床の一つに、ペグマタイト鉱床が知られている。ペグマタイト鉱床を構成する岩石は、石英、長石などの大きな結晶の集合体から構成される。^(I)一方、地殻中に貫入したマグマは熱水循環を活発化させ、銅・鉛・亜鉛に富んだ黒鉱鉱床を形成することもある。変成作用で形成されるスカルン鉱床^(II)は、石灰岩を含む地層にマグマが貫入して形成されるものである。堆積鉱床の一つである風化残留鉱床は、岩石が低温で水と反応して形成されるものであり、良質な粘土鉱物が産出する場合、陶磁器の製造に利用される。

(1) 東北地方から九州地方にかけての代表的な黒鉱鉱床、スカルン鉱床、ペグマタイト鉱床と広域変成帯の分布を、図 3—3 に示す。凡例中のアとイにあてはまる変成帯の型の名称を、以下の語群の 2 つの語を組み合わせ、それぞれ答えよ。また、図 3—3 に示すア型の変成帯とペグマタイト鉱床の分布が類似する理由を、3 行程度で答えよ。

語群：高圧，中圧，低圧，高温，中温，低温

(2) 下線部(I)の鉱物がマグマ中で結晶化する際、その鉱物の化学組成はマグマの分化が進むにつれて変化する。その変化を 2 行程度で答えよ。

(3) 図 3—3 に示した東北地方にある下線部(II)の鉱床は、約 1500 万年前に形成された。その形成に寄与した一連の地質学的事象を、3 行程度で答えよ。

(4) 図3-3に示す関東地方のスカルン鉱床の周辺に見られる石灰岩には、サンゴの化石が含まれることがある。石灰岩の周辺には放散虫の化石を含むチャートも見られる。浅く暖かい海に生息するサンゴを含む岩石と、深海底で堆積した放散虫を含む岩石が、ほぼ同じ場所で見られる理由を3行程度で答えよ。

(5) 風化作用で、母岩中の灰長石から元素が溶脱してポーキサイトができる際に、溶脱しやすい元素の順番を1行程度で答えよ。また、ポーキサイトを含む鉱床が、日本では大規模に形成されない理由を、1行程度で答えよ。

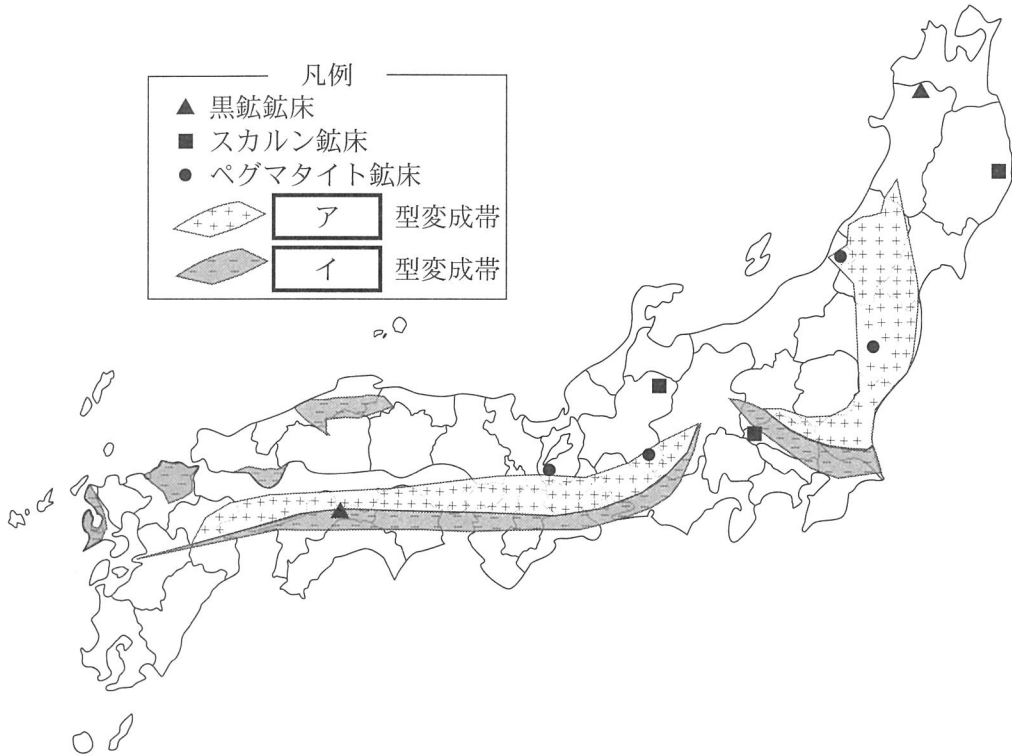


図3-3 東北地方から九州地方にかけての鉱床と広域変成帯の分布