

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	✕
	特別選抜	✕

科目	選択問題：理科教育
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

## 【理科教育】

次ページ以降の問題Ⅰについては、理科教育を選択した者は全員が解答しなさい。

問題Ⅱ，Ⅲ，Ⅳ，Ⅴについては、1題を選択し、選択した問題の番号を下の括弧内に記すとともに、解答を決められた解答欄に記しなさい。

選択した問題の番号 ( \_\_\_\_\_ )

令和7年度 東京学芸大学大学院教育学研究科 入学試験

試験区分	一般選抜	○	科目	選択問題：理科教育	受験番号 
	現職教員選抜	○			
	外国人留学生等選抜	○	対象	理科教育サブプログラム	
	派遣教員選抜	×			
	特別選抜	×			

I. 「令和の日本型学校教育」の構築を目指して～全ての子供たちの可能性を引き出す、個別最適な学びと、協働的な学びの実現～（答申）（中央教育審議会，2021）において、「個別最適な学び」の実現に向けて、教師は「子供が自らの学習の状況を把握し、主体的に学習を調整することができるよう促していく」ことが求められた。以下の問1～2に答えよ。

問1 子供が「学習を調整する」姿とはどういう姿か。あなたの考えを説明せよ。

【解答欄】

<解答のポイント>

- ・題意を正しくとらえている。
- ・論理的かつ分かりやすい日本語で記述している。
- ・「学習を調整する」姿について、自分の考えを論じている。例えば、自己調整学習の「予見」「実行」「省察」について書かれている。または、AAR サイクルやPDCA サイクルについて書かれている。

<解答例>

まず、学習目標を明らかにする、方法を決める、自らを動機づける。つぎに、学習目標、計画をもとに学習活動を進め、課題の解決や目標の達成に向けて学習状況を把握し、調整を図る。最後に、自らの学習を振り返り、次の学習に活かす。

問2 「子供が自らの学習の状況を把握し、主体的に学習を調整している」姿が実現されている授業について、理科の特定の単元内容を例に挙げて具体的に説明せよ。

【解答欄】

<解答のポイント>

- ・題意を正しくとらえている。
- ・論理的かつ分かりやすい日本語で記述している。
- ・理科の特定の単元内容、具体的な学習過程や学習場面などを例にあげて論じている。
- ・「メタ認知」と「自己調整学習」を関連させて論じている。
- ・「協働的な学び」と関連させても良い。

<解答例>

小学校第6学年「水溶液の性質」の内容を取り上げる。学習課題は「見た目だけで判別できない5つの水溶液を判別する。」である。子供は学習課題に基づき、それを解決する方法を計画する。例えば、リトマス紙で調べる、においをかぐなどである。計画をもとに実験を行う。実験の途中では、学習課題の達成に向けて、必要な実験をすべて行えているのかをメタ認知する。メタ認知する際には、学級の仲間の課題解決の様子を参考にする。そのうえで、計画通りに実験をし、情報が不足していた場合は新たに実験を行う。得られた情報から結論を出し、最後に自分の学習がどうだったのかを振り返る。

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：理科教育
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

II. 図1に示すように、2個の質量の等しい錘球A、Bがわずかな隙間を隔てて隣接するように、それぞれ固定点A<sub>0</sub>、B<sub>0</sub>から紐で吊るしてある。錘A、Bはそれぞれ実線と点線で示した円周上を運動することが可能であるが、最下点で出会うと衝突する。これは「ニュートンのゆりかご」と呼ばれる装置を単純化したものである。小学6年生aが、この装置で、以下の問1、2に示す2つの方法で遊びながら問いを発している。あなたは教育者の立場から、aの疑問に対する自らの物理的理解と、その上で児童aの疑問に対してどのように発話するか、児童の思考や気づきを促すための最初の返答を示せ。解答は以下の問1、2の解答欄に示せ。

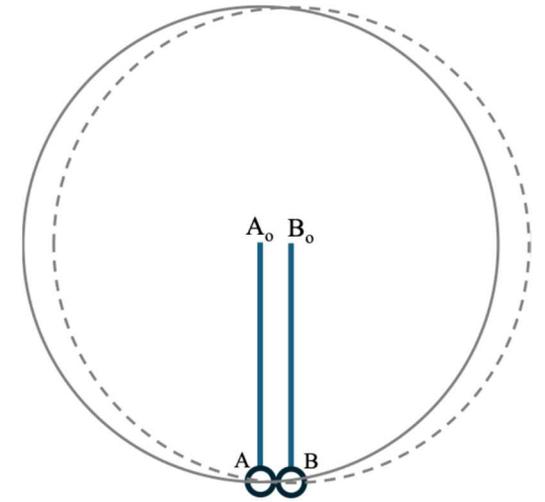


図1 2つの錘A、Bをそれぞれ固定点A<sub>0</sub>、B<sub>0</sub>から吊るしたもの。錘球の質量、直径は等しいものとする。

問1 図2の1~3に示すように、錘Aのみを引き上げて振らせ、Bに衝突させたところ、衝突後にAは止まり、交代にBが跳ね上がった。その後Bは最下点でAを逆に跳ね上げ、自らは静止した。この交互の運動が反復して観察された。

これを観察した児童aの以下の発言について、下線部に関して、あなたの物理的理解を説明せよ。さらに、児童の下線部の疑問に対して、児童の思考や気づきを促すことを意図したあなたの考える児童への返答を答えよ。

[児童a]「この振り子、錘が衝突しあって、錘と錘の間で運動の勢いが伝わる感じがします。でも、なぜこの装置は動き続けるのですか?」

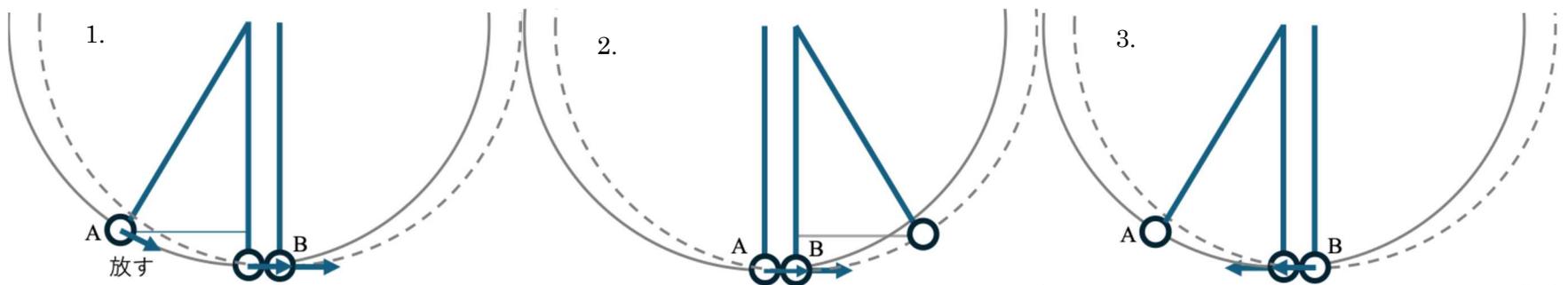


図2 [運動1] 錘Aを引き上げて放す場合。AとBが交互に振動する。図2-1: 錘Aを引き上げて放し、錘Bにあてる。図2-2: 錘Aが静止し、錘Bが衝突後に跳ね上がる。図2-3: 錘Bが最下点で錘Aに衝突して跳ね上げる。

【解答欄】

<あなたの物理的理解>

<解答のポイント>

この装置には地球の重力が常に働いている。錘を高い位置に移動させると錘の位置エネルギーが高くなり、錘を放すと位置エネルギーの減少分だけ運動エネルギーに変換される。錘が振り子の最下点に達する瞬間に錘の運動エネルギーは最大となる。最下点を通過すると運動エネルギーを位置エネルギーに転換しながら錘は振り上がっていく。運動開始時に位置エネルギーを得ること、振動運動に束縛されていること、最下点以外に平衡点を持たないこと、位置エネルギーと運動エネルギーを周期的に変換することが、この装置の運動を継続させている。振り子の振れが増加するほど平衡点（最下点）に戻す力の成分が大きくなる。

<児童への声がけ>

<解答のポイント>

一定の外力を発見するために、周期的な運動を実現する力の方向を見出したい。さらに、紐で吊っている束縛により、一定の向き（鉛直下向き）の力が周期運動を実現する。最終的に鉛直下向きの外力が想定されることから重力に導かれる。これらを踏まえて対話を構成することが考えられる。

<解答例>「これは振り子の運動です。2つの振り子があり、錘が衝突することです。振り子は、最初に錘を振り上げて少し高い位置から放すだけで、速さを増しながら下降運動し、速さを下げながら上昇運動し続けますね。錘がどの方向に力を受けているから、振り子の錘は周期的に動き続けられると思いますか?」

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：理科教育
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

問2 図3に示すように、錘ABの両方を同じ高さまで引き上げて振らせ、衝突させたところ、衝突後にABは運動を反転して跳ね上がった。この衝突して跳ね戻る運動が反復して観察された。

これを観察した児童aの以下の発言について、下線部に関して、あなたの物理的理解を説明せよ。さらに、児童の下線部の疑問に対して、児童の思考や気づきを促すことを意図したあなたの考える児童への返答を答えよ。

[児童a]「図2の振り方では、止まっている錘Bに動いてくる錘Aが衝突して、運動の勢いを伝えているのですね？AからBに伝わる運動の勢いはBの右向き運動になって現れる。AはBに運動の勢いを渡して止まってしまう。ところが図3の振り方では、AとBの両方をぶついたら止まらないで互いに反射し続けた。運動の勢いは錘が正面から衝突しあっても打ち消し合わないのですか？」

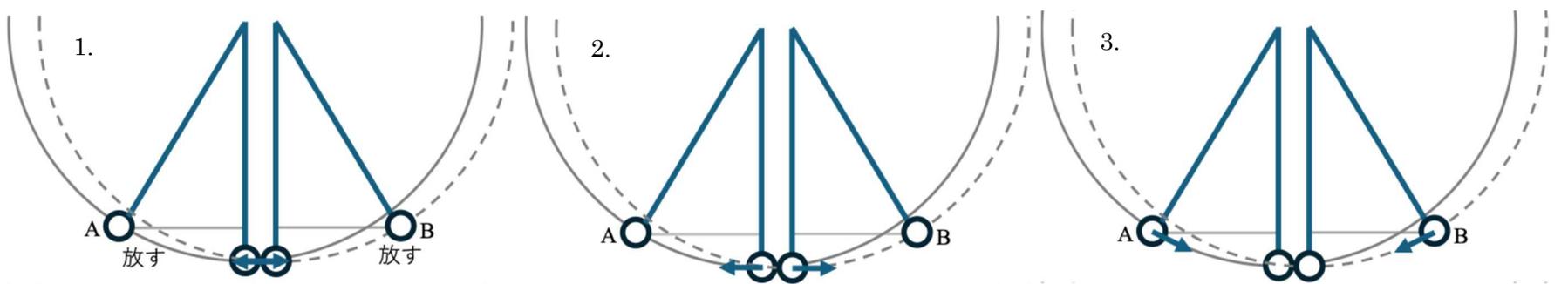


図3 [運動2] 錘ABを引き上げて放す場合。AとBが同期して振動する。図3-1: 錘ABを引き上げて放すと最下点で衝突する。図3-2: 錘ABとも衝突前と反対方向に跳ね上がり初期位置まで戻る。図3-3: 錘ABは再び最下点まで振り下がり最下点で衝突する。

【解答欄】

<あなたの物理的理解>

<解答のポイント>

錘ABは衝突時に互いに同じ大きさで向きが反対の運動量を交換する。各錘の衝突前進行方向と逆向きの撃力の作用により進行方向を反転する。[運動1]の場合は静止している錘に運動量移ったので、衝突した錘は運動量を失い静止した。[運動2]の場合は、錘が他方の錘に運動量を与えると同時に、反作用の撃力により反対むきの運動量もたらされ、逆向きに運動を始める。この過程で系の運動量と力学的エネルギーの保存が成立する。

<児童への声がけ>

<解答のポイント>

児童は[運動1]で静止した錘への運動量の移動には気づいている。錘の正面衝突により運動量が加算され打ち消しあうイメージがある。衝突の際に、一方の錘の運動量が他方に移動するとともに、他方の運動量が元の錘に移される。この運動量を伝えるのは作用・反作用であり、2つの撃力は互いに別々の物体に働くため加算されず、力が打ち消しあうことはない。この運動は運動エネルギー保存の法則が適応できる限り、最初に錘に与えた位置エネルギーの和の大きさの力学的エネルギーが運動の過程で保たれ、最下点と初期位置の間で振動運動を継続することが理解される。

<解答例>

「[運動1]で、動いている錘Aから静止している錘Bに運動の勢いが伝わることに気づきましたね。それを応用すると、動いている錘Aから、同様に向かってくる錘Bにも衝突すれば運動の勢いが伝わるのではないのでしょうか。AとBの正面衝突は、止まっているBにAが衝突することと、止まっているAにBが衝突することを重ね合わせた運動と言えないのでしょうか。もし、[運動2]で、運動の勢いが打ち消されて静止してしまったとすれば、最初に運動を始めるために蓄えられた運動する能力は消えてしまうことに、または何か他の形に変わって残り続けることになりませんか？」

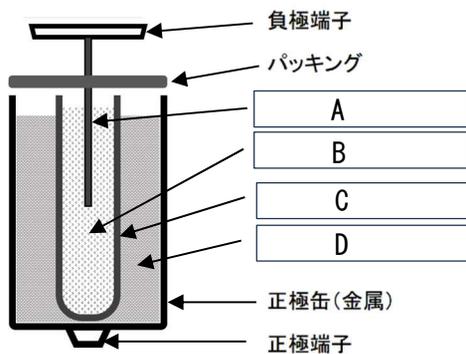
試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：理科教育
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

Ⅲ. 市販の電池に関する、以下の問いに答えよ。

問1 下図は、単1電池のような円筒型のアルカリ電池の内部構造を示したものである。空欄A~Dに適切な語を入れ、この電池の正極反応と負極反応を記せ。



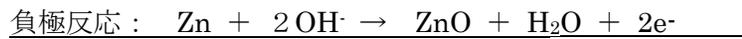
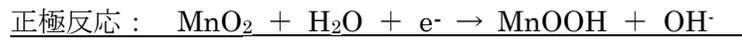
【解答欄】 <解答例>

A: 集電体 (集電ピン)

B: 負極物質 (亜鉛)

C: セパレーター

D: 正極物質 (二酸化マンガン)



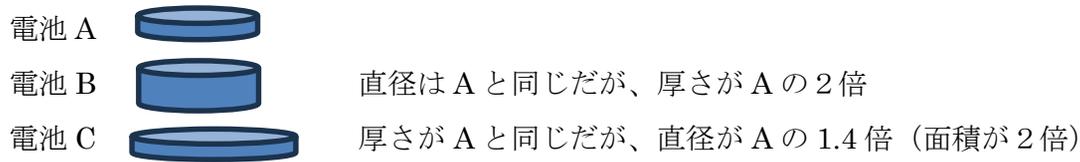
問2 アルカリ乾電池は、充電できない一次電池として市販されているが、その一方でアルカリ電池を充電する機器も売られている。充電が推奨されていない理由はいくつかあるが、代表的なものを取り上げて簡単に説明せよ。

【解答欄】 <解答例>

たとえば、負極に着目した時、充電時には、 $\text{ZnO}$  の還元反応に加え、 $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^- + \text{H}_2$  のような反応が進行して気体が発生し、電解液が漏れ出す可能性がある。

試験区分	一般選抜	○	科目	選択問題：理科教育	受験番号 
	現職教員選抜	○			
	外国人留学生等選抜	○	対象	理科教育サブプログラム	
	派遣教員選抜	×			
	特別選抜	×			

問3 コイン形のリチウム電池には、種類は同じでも様々な大きさのものがある。以下の3種類の電池を比較した時、その性能にどのような違いが生じると考えられるか。理由とともに簡単に説明せよ。必要があれば、グラフを用いてもよい。

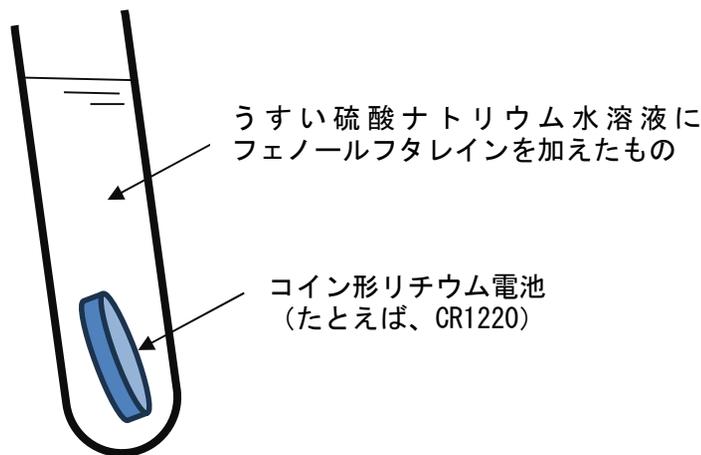


【解答欄】 <解答のポイント>

電池の外寸から電池の特性を正確に評価することはできないが、電極面積、電極物質の量がどのように特性に影響するかが考察されていれば正解とする。たとえば、以下のような説明で正解と見なす。

いずれの電池も無放電時の端子間電圧は3Vで同じ。AとBで見かけ上の電極面積が等しいので放電時の分極に大きな差はないが、Bは電極物質の量がAの約2倍なので、寿命が約2倍になる。一方、Cも電極物質がAの約2倍なので、寿命はAの2倍になる。また、見かけ上の電極面積がAの2倍になるので、取り出せる最大電流の値もAの2倍程度になる。

問4 希薄な硫酸ナトリウム水溶液にフェノールフタレイン指示薬を加えたものを試験管に入れた。これにコイン型のリチウム電池を浸漬させるとどのような現象が見られるか簡単に説明せよ。また、この実験は授業で活用できる可能性がある一方、安全上の配慮も必要である。どのような点に配慮すべきかについても併せて記述せよ。



【解答欄】 <解答例>

リチウム電池は、端子間の電圧が3Vとあるので、下に示すように、水の電気分解が起こり、電池の負極で水素が発生し、正極で酸素が発生する。



気体の発生とともに、負極ではOH<sup>-</sup>が生じるため、負極の近くでフェノールフタレインが赤色を示す。しかし、正極で同量のH<sup>+</sup>が生じるため、長時間経けても、試験管全体が赤色になることはなく、電池を取り出した後、軽くふれば赤色は消える。

安全上の配慮：リチウム電池を浸漬したまま放置すると、ケース（正極缶）も溶け出す可能性があり、電池内のリチウムと水が接触し反応する可能性がある。演示などで生徒に示す際も、電池を浸漬させる時間を短くすることが望ましい。

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：理科教育
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

IV. 細胞分裂について述べた次の文章を読み、問1～問4に答えよ。

細胞は分裂によって数を増やす。一般的な体細胞分裂では、染色体数は変わらず、分裂により生じた娘細胞は分裂前の大きさに成長する。細胞分裂で生じた娘細胞が母細胞となり、再び細胞分裂をして新しい娘細胞になるまでの過程を細胞周期とよぶ。細胞周期は、G1期、S期、G2期、M期の4つのステージに分けられる。M期は染色体の凝集や分離状態により、さらに(ア)期、(イ)期、(ウ)期、(エ)期に分けられる。細胞は様々な状況に応じて細胞周期の進行を巧みに調節するしくみをもっている。

問1 下線部 a、b で示された特徴とは異なる特徴を示す細胞分裂の例を各々1つずつ示せ。

【解答欄】

下線部 a と異なる特徴を示す分裂	<正答例> 減数分裂
下線部 b と異なる特徴を示す分裂	<正答例> 卵割(孔辺細胞の形成過程なども可とする)

問2 空欄(ア)～(エ)に入る適当な語句を答え、2n=4の動物細胞を想定して、各々の期の染色体の凝集や分離状態、細胞膜、核膜の様子を図示せよ。ただし、(ア)～(エ)の順番は、細胞分裂の進行に従うものとする。

【解答欄】 <解答のポイント>

(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
・前、中、後、終の語が正しい順番に解答できている ・各期において、以下の内容が図示できている <前期> 染色体が凝縮して出現し、核膜が消失している <中期> 染色体が赤道面に配置している <後期> 染色体が分離し両極に移動している <終期> 染色体が脱凝縮して消失し、核膜が出現する。細胞がくびれて細胞質分裂が起こっている			

問3 下線部 c のなかで解析が進んでいるものとしてG1期からS期に移行するタイミングで機能する「G1/Sチェックポイント」があり、異常や不具合がある場合には細胞周期の進行の停止や、アポトーシスなどの細胞死が起こる。「G1/Sチェックポイント」ではどのような事項についてチェックがなされると考えられるか。考えられるものを全て列挙し、その理由も記述せよ。

【解答欄】

<解答例>

- DNAに損傷がないこと：損傷した遺伝子が複製されて変異細胞が生じることを防ぐ
- これからのDNA複製のためのヌクレオチドなどが十分あること：複製が正常に終了せず、細胞死に至るのを防ぐ
- サイトカインなど増殖シグナルが存在しているか：不適切な増殖を防ぐ

令和7年度 東京学芸大学大学院教育学研究科 入学試験

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：理科教育
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

問4 腫瘍は、下線部cに機能する遺伝子に突然変異が起きた細胞が、正常な制御を外れて自律的に増殖を開始したものである。異常増殖した細胞は腫瘍とよばれ、その中でも湿潤や転移をおこすものは「がん」または「悪性新生物」に分類される。日本の死亡原因の第一位は昭和56年以降、悪性新生物が占めており（厚生労働省 令和4年人口動態統計月報年形の概況）、平成28年12月に改正された「がん対策基本法第23条」では、「国及び地方公共団体は、国民が、がんに関する知識及びがん患者に関する理解を深めることができるよう、学校教育及び社会教育におけるがんに関する教育の推進のために必要な施策を講ずるものとする。」と記載されている。あなたががんに関する教育を理科の授業で扱う場合、どの学校種（①）、単元（学習内容）（②）で扱い、「がん」をどう定義するか（③）、どのような工夫（④）、配慮を行うか（⑤）、について解答せよ。

【解答欄】

- ① 学校種 \*小学校・中学校・高等学校から選択      ② 単元（学習内容）

- ③ 「がん」をどう定義するか

<解答のポイント>

- ・ 学校種と単元（学習内容）の組み合わせが妥当であるか
- ・ 扱う単元(学習内容)が適切であるか
- ・ 学習者の既習知識や発達度に応じた「がん」の定義や工夫、配慮ができているか
- ・ 教科間の連携や学外人材との連携、映像教材の活用など、情報の構造化や社会とのつながり、実感を伴った質の高い学びを意識した工夫ができているか
- ・ 家族や親族、友人にがん患者、あるいはがんで死亡した者がいる学習者の有無の確認をおこない、存在した場合の配慮が考えられているか

- ④ どのような工夫を行うか

- ⑤ どのような配慮を行うか

令和7年度 東京学芸大学大学院教育学研究科 入学試験

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：理科教育
対象	理科教育サブプログラム

受験番号					

V. 次の問1～4に答えなさい。

問1 地震と津波に関する次の文章の空欄 A～F にあてはまる適切な言葉を答えよ。

プレートの運動によってプレート境界には大きな応力が作用し、一定の強度に達すると境界がずれたり周辺領域の破壊等によって地震が発生する。すなわち、地震のほとんどは **A** 破壊として理解できる。震源から発生した地震波が各観測点に伝播し、P波、S波の始まりとして観測されるのが破壊開始点（震源）である。これを用いて開始点の座標、開始時刻を決定することを震源決定と呼ぶ。震源決定を多数行えば震源の分布が得られ、さまざまなことがわかる。例えば、深さ 300 m 以深で発生する **B** 地震の震源は大陸棚に対し斜めに深くなるように分布する。この面は沈み込んだ **C** の深部境界面に相当し、2名の地震学者の名前をとり **D** 面と呼ばれる。

海底下の浅いところで発生した地震による断層運動にともない海底が広範囲で地殻変動を引き起こす。この地殻変動に対応した水面変動が生じ、波長の長い伝播性の水の重力波として広がり津波となる。津波の伝播速度は、重力加速度と **E** のみによって決まる。すなわち、沿岸部に到達すると伝播速度は小さくなる。またその結果、波高が大きくなる。また、津波は重力波であり反射、屈折、回折などを起こすため、沿岸部で波高が大きくなる条件としては、ほかに、**F** の影響が挙げられる。

【解答欄】

A: せん断                      B: 深発                      C: 海洋プレート

D: 和達ーベニオフ              E: 水深                      F: 地形（海岸地形, 海底地形）

問2 火山噴出物の運搬様式として単純な降下以外の代表的なものを2つ挙げ、それぞれの特徴（流体の状態）を簡潔に説明せよ。

【解答欄】

(1) 運搬様式: 火砕流                      特徴（流体の状態）: 粉体の流れ, 乱流状態の重力流

(2) 運搬様式: 溶岩流                      特徴（流体の状態）: 粘性流体の層流

令和7年度 東京学芸大学大学院教育学研究科 入学試験

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：理科教育
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

問3 主に地球と月の引力によって生じる海水面の上下動のことを、潮汐作用と呼ぶ。

(1) 1ヶ月におよそ2回、潮汐作用による海水面変動の差が大きくなる。この現象をなんと呼ぶか、また、なぜ1ヶ月に2回生じるのか説明せよ。

(2) 潮汐作用の大きさは、地域によっても異なる。その要因について複数述べてよ。

【解答欄 (1)】

大潮。月の引力に加えて太陽の引力が作用するため。

【解答欄 (2)】

地形的効果。また、波浪作用とのバランス。

問4 平成29年告示の小学校・中学校学習指導要領解説理科編において、地球領域のうち地層に関する学習は、野外において実際に地層を観察する学習が求められている。

(1) 現実的には、野外における地層観察の機会を作ることが難しい場合が多い。その要因を3つ挙げよ。

(2) 野外における地層の直接観察が難しい場合の代替手段として ICT 機器を活用した授業プランを具体的に述べよ。

【解答欄 (1)】

<解答のポイント>

身近に地層がない、授業者側の専門的知識がない、現地での指導法がわからない、授業時数の確保、引率教員の確保など

【解答欄 (2)】

<解答のポイント>

ICT 機器を活用して直接観察により近い学びができるかどうか、また、安全に配慮して効率的に授業を進める工夫につながっているかどうかという点について、具体的に述べられているかどうか。

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：物理教育・物理学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

## 【物理教育・物理学】

選択問題：物理教育・物理学

11 頁～24 頁

<物理教育・物理学の選択問題についての注意事項>

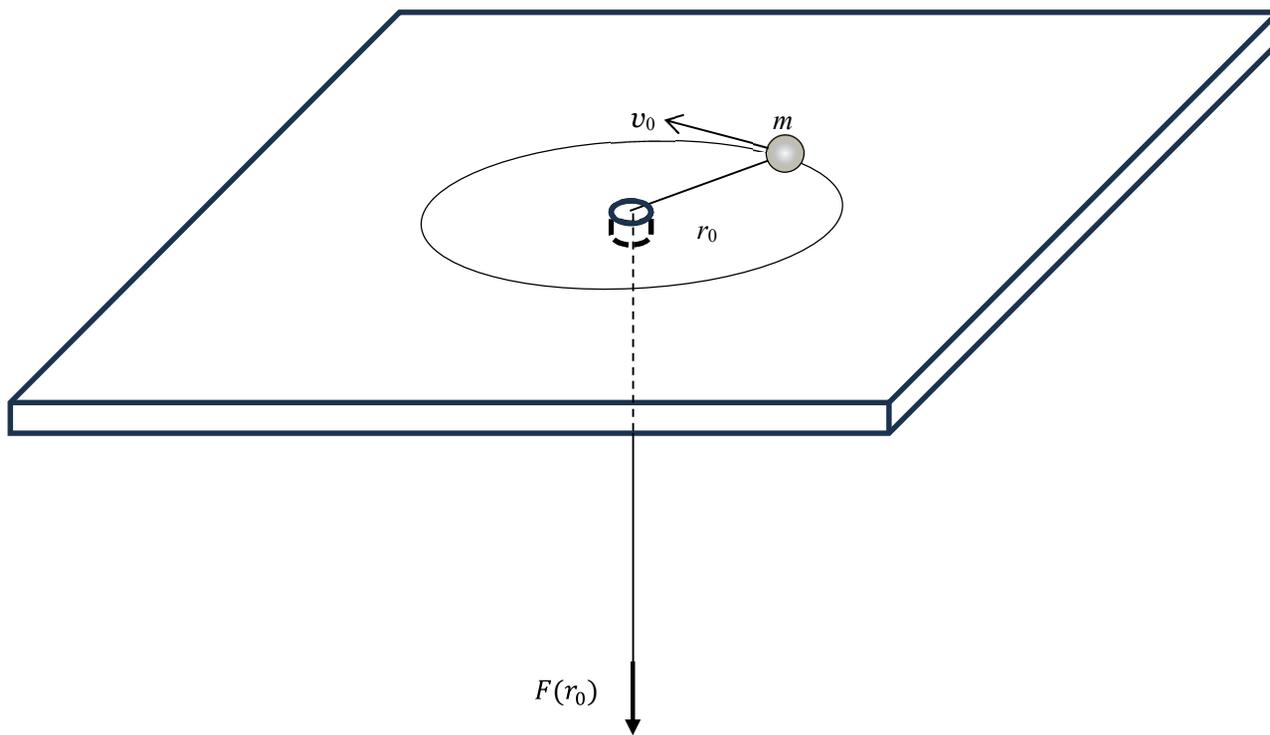
1. 理科教育サブプログラムの試験問題に物理教育・物理学を選択した受験者は問題Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ，及びⅣの全てに解答しなさい。
2. 問題は次頁以降に載せてあります。解答はそれぞれの問題に続く【解答欄】の頁に，どの問題を解いているのかを明示し，記入しなさい。
3. 計算用紙は配布しません。余白や裏面を使用してください。裏面を解答欄として利用する場合は，表面にその旨を記しなさい。

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：物理教育・物理学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

I. 図のように、固定された水平な台に細い穴がある。台上にあるひもの一端に質量  $m$  の小さなおもりをつけて、他端は穴に通した。水平面内でおもりに速さ  $v_0$  の初速を与えると同時に、おもりのついていない側のひもの端に大きさ  $F(r_0)$  の力を加えたところ、おもりは穴を中心として、半径  $r_0$ 、速さ  $v_0$  の等速円運動をした。次に、円運動の半径が  $r_1$  になるまで、台の下側からひものをゆっくり引いた。下の問いに答えよ。ただし、おもりと台の間および穴とひもの間に摩擦はないものとする。また、ひものは伸び縮みせず、その質量は無視してよいものとする。



図

(問題は次頁に続く)

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：物理教育・物理学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

問1 おもりが半径  $r_0$ 、速さ  $v_0$  の等速円運動をしているとき、ひもを引いている力の大きさ  $F(r_0)$  を  $m$ 、 $r_0$ 、及び  $v_0$  で表しなさい。

問2 円運動の半径が  $r_0$  から  $r_1$  になるまでの間、保存する物理量は何か。理由をつけて答えなさい。

問3 半径が  $r_1$  のときの、おもりの速さ  $v_1$  を  $r_0$ 、 $r_1$ 、及び  $v_0$  で表しなさい。

問4 円運動の半径が  $r_0$  から  $r_1$  になるまでの間にひもを引く力がする仕事  $W$  を、仕事の定義

$$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{s}$$

にしたがって求め、 $m$ 、 $r_0$ 、 $r_1$ 、及び  $v_0$  で表しなさい。ただし、 $\vec{F}$  及び  $d\vec{s}$  は、それぞれ、力ベクトルおよび経路に沿った微小変位ベクトルを表す。

問5 円運動の半径が  $r_0$  から  $r_1$  になるまでのおもりのエネルギー変化について、説明しなさい。

問6 問2で解答した物理量は何を表すものか、初学者が実感をもって理解できるように説明しなさい。また、その物理量の保存則で説明できる現象の例を挙げなさい。

(解答欄は次頁以降)

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	✕
	特別選抜	✕

科目	選択問題：物理教育・物理学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

【解答欄】 <解答例>

問1  $F(r_0) = m \frac{v_0^2}{r_0}$

問2 角運動量ベクトル。おもりにはたらく鉛直方向の力はつり合っている。水平方向には、中心力のみがはたらくているので、おもりの角運動量 $L$ が保存する。

問3 問2より $L = mr_0v_0 = mr_1v_1$ ，したがって $v_1 = \frac{r_0}{r_1}v_0$

問4 本問の場合、動径方向だけ考えればよい。中心からの距離 $r$ の点で、おもりの速さが $v$ であるとすると、ひもを引く力は、

$$F(r) = m \frac{v^2}{r}$$

$r_0$ から $r_1$ まで $F(r)$ は変位と同じ向きで、正の仕事をしている。 $r_0$ から $r_1$ までの仕事 $W$ は

$$W = \int_{r_0}^{r_1} m \frac{v^2}{r} (-dr) = - \int_{r_0}^{r_1} \frac{L^2}{mr^3} dr = \frac{L^2}{2m} \left[ \frac{1}{r^2} \right]_{r_0}^{r_1} = \frac{L^2}{2m} \left( \frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r_0^2} \right) = \frac{mv_0^2}{2} \left( \frac{r_0^2}{r_1^2} - 1 \right)$$

問5 仕事 $W$ を中心からの距離 $r_1$ の点でのおもりの速度 $v_1$ を用いて表すと、

$$W = \frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$$

であり、仕事 $W$ の分だけ、おもりの運動エネルギーが増加したことを表している。

問6 <評価の観点>

1. 角運動量について言及されている。
2. 保存則については、実感を伴うこと。

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

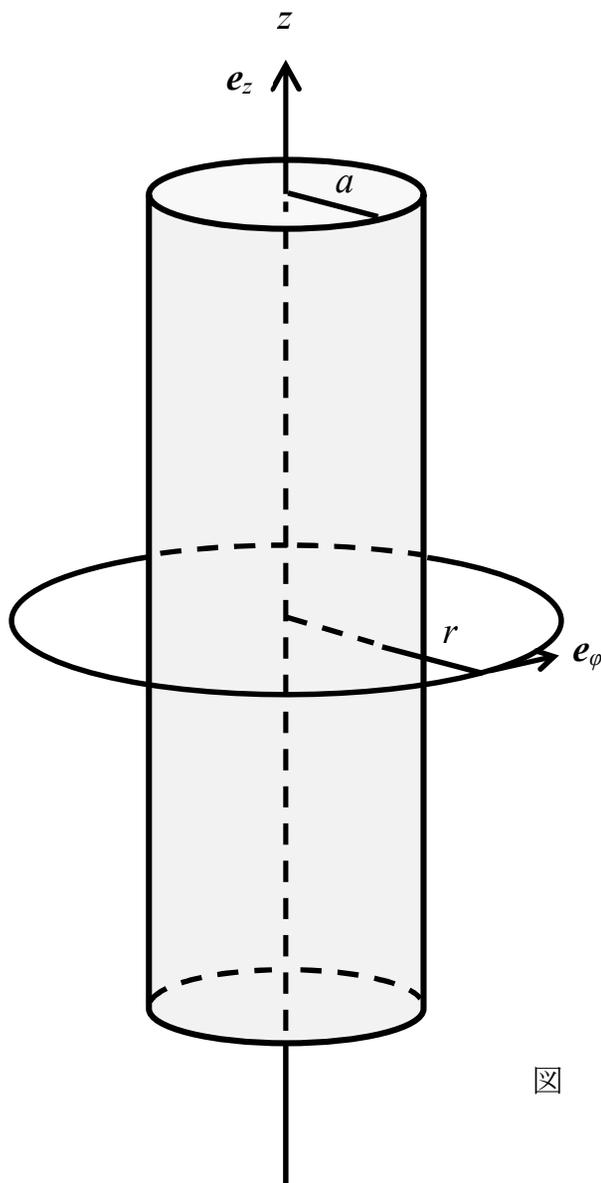
科目	選択問題：物理教育・物理学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

II. 高校物理の教科書には、十分に長い導線に大きさ  $I$  の直線電流があるとき、この電流がつくる磁場の強さ  $H$  は、導線からの距離  $r$  にて、

$$H = \frac{I}{2\pi r}$$

であると説明される。ここで、この磁場の向きは右ねじの進む向きを電流の向きに合わせたときの右ねじの回る向きとしている。さて、現実的な導線は半径  $a$  の円柱状導体と見なすことができる。この円柱状導体に大きさ  $I$  の電流があるとき、内外にどのような磁場  $\mathbf{H}(r)$  が発生しているのかを考える。但し、図のように、この円柱状導体の中心を通る軸を  $z$  軸とし、 $z$  軸からの距離を  $r$  とする。また、 $I > 0$  とし、電流の向きの単位ベクトルを  $\mathbf{e}_z$  とし、 $\mathbf{e}_z$  を右ねじの進む向きに合わせたときの右ねじの回る向きの単位ベクトルを  $\mathbf{e}_\phi$  とする。以下の問いに答えなさい。



(問題は次頁に続く)

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：物理教育・物理学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

(続き)

問1 円柱状導体の半径  $a \rightarrow 0$  の極限を考える。

- (1)  $r=0$  における, 電流密度  $\mathbf{j}$  を求めなさい。
- (2)  $r=0$  における, 磁場の回転  $\text{rot } \mathbf{H}$  を求めなさい。

問2 円柱状導体の半径は  $a \neq 0$  とし, その内部に一樣な電流密度  $\mathbf{j}$  が存在すると考える。

- (1) この円柱状導体の内部の  $\mathbf{H}(r)$  をマクスウェルの方程式を使って求めなさい。
- (2) この円柱状導体の外部の  $\mathbf{H}(r)$  をマクスウェルの方程式を使って求めなさい。
- (3) この円柱状導体の表面の  $\mathbf{H}(a)$  を求めなさい。
- (4) この円柱状導体の中心の  $\mathbf{H}(0)$  を求めなさい。
- (5) この円柱状導体の内外の  $H(r)$  の概形を, 横軸  $r$ , 縦軸  $H(r)=|\mathbf{H}(r)|$  として, 解答用紙のグラフに実線で示しなさい。

問3 円柱状導体の半径は  $a \neq 0$  とし, 電流は円柱状導体の表面のみに一樣に存在すると考える。円柱状導体の内外の  $H(r)$  の概形を問2 (5) のグラフに破線で書き加えなさい。

問4 冒頭で紹介した高校物理における無限に長い直線電流がつくる磁場の公式を用いると,  $r \rightarrow 0$  の極限で磁場は無限大に発散することになる。このことと, 前問までの結論とを踏まえて, この公式を高校生に教える際に注意すべき点について述べなさい。

(解答欄は次頁以降)

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：物理教育・物理学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

【解答欄】 <解答例>

問1 (1) 電流密度  $\mathbf{j}$  は

$$|\mathbf{j}| = \lim_{a \rightarrow 0} \left| \frac{I}{\pi a^2} \mathbf{e}_z \right| = \infty$$

より、大きさは無限大、向きは  $\mathbf{e}_z$ 。

(2)  $\text{rot } \mathbf{H} = \mathbf{j}$  より、 $\text{rot } \mathbf{H}$  は (1) の  $\mathbf{j}$  に等しく、大きさは無限大、向きは  $\mathbf{e}_z$ 。

問2 (1)  $a > r$  では、

$$\mathbf{j} = \frac{I}{\pi a^2} \mathbf{e}_z$$

である。 $\mathbf{S}$  を  $\ell$  を周囲とする任意の曲面とし、 $d\boldsymbol{\ell}$  を  $\ell$  上の線素 (片) ベクトル、 $d\mathbf{S}$  を  $\mathbf{S}$  上の面素 (片) ベクトルとしたとき、マクスウェルの方程式の一つであるアンペール (Ampère) の法則

$$\oint_{\ell} \mathbf{H}(\mathbf{r}) \cdot d\boldsymbol{\ell} = \int_{\mathbf{S}} \mathbf{j} \cdot d\mathbf{S}$$

が成り立つ。 $\mathbf{S}$  として、 $z$  軸を中心とした半径  $r$  の円板を考えると、左辺は

$$\oint_{\ell} \mathbf{H}(\mathbf{r}) \cdot d\boldsymbol{\ell} = 2\pi r H$$

右辺は

$$\int_{\mathbf{S}} \mathbf{j}(\mathbf{r}) \cdot d\mathbf{S} = \int_{\mathbf{S}} \frac{I}{\pi a^2} \mathbf{e}_z \cdot d\mathbf{S} = \frac{I}{\pi a^2} \pi r^2 = \frac{r^2}{a^2} I$$

である。よって、

$$2\pi r H = \frac{r^2}{a^2} I$$

$$\therefore H = \frac{rI}{2\pi a^2}$$

を得る。ここで、磁場の向きの定義から、

$$\mathbf{H}(\mathbf{r}) = \frac{rI}{2\pi a^2} \mathbf{e}_{\phi} = \frac{r}{2} |\mathbf{j}(\mathbf{r})| \mathbf{e}_{\phi}$$

である。

(解答欄は次頁に続く)

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：物理教育・物理学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

【解答欄】 <解答例>

(2)  $a < r$  では、 $\mathbf{j} = \mathbf{0}$  である。アンペールの法則の左辺は

$$\oint_{\ell} \mathbf{H}(\mathbf{r}) \cdot d\boldsymbol{\ell} = 2\pi r H$$

右辺は

$$\int_S \mathbf{j}(\mathbf{r}) \cdot d\mathbf{S} = \int_{r \leq a} \frac{I}{\pi a^2} \mathbf{e}_z \cdot d\mathbf{S} + \int_{r > a} \mathbf{0} \cdot d\mathbf{S} = \frac{I}{\pi a^2} \pi a^2 + 0 = I$$

である。よって、

$$2\pi r H = I$$

$$\therefore H = \frac{I}{2\pi r}$$

を得る。ここで、磁場の向きの定義から、

$$\mathbf{H}(r) = \frac{I}{2\pi r} \mathbf{e}_\varphi = \frac{a^2}{2r} |\mathbf{j}(r)| \mathbf{e}_\varphi$$

である。

(3) (1) の解に  $r = a$  を代入して、

$$\mathbf{H}(a) = \frac{I}{2\pi a} \mathbf{e}_\varphi = \frac{a}{2} |\mathbf{j}(r)| \mathbf{e}_\varphi$$

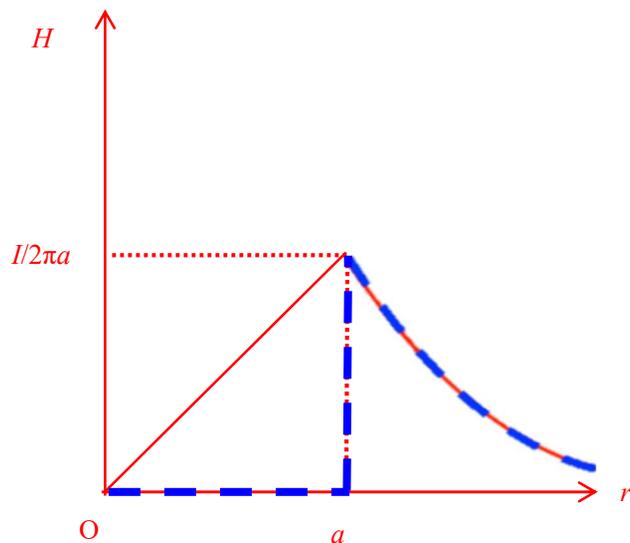
である。

(4) (1) の解に  $r = 0$  を代入して、

$$\mathbf{H}(0) = \mathbf{0}$$

である。

(5)



(解答欄は次頁に続く)

令和7年度 東京学芸大学大学院教育学研究科 入学試験

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：物理教育・物理学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

【解答欄】 <解答例>

問3 問2（5）に破線で書き加えた。

問4 <評価の観点>

以下について，理解している事。

1. 高校では導線の外側での磁場について扱っている。導線内部については考えない。
2. 導線には有限な太さがあるので，現実的に問2あるいは問3のように考える。
3. 高校の物理では，微分積分が使えないので，発展的な扱いとなる。

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：物理教育・物理学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

III. 定常状態における1次元の調和振動子系の量子力学について考える。 $\hat{x}, \hat{p}$  をそれぞれ位置演算子, 運動量演算子とし, この系のハミルトニアン  $\hat{H}$  は次のように与えられる。

$$\hat{H} = \frac{\hat{p}^2}{2m} + \frac{1}{2}m\omega^2\hat{x}^2$$

ここで  $m, \omega$  はそれぞれ調和振動子の質量と角振動数を表す。下の問いに答えなさい。 $\hbar$  はプランク定数  $h$  を  $2\pi$  で割ったものである ( $\hbar = h/2\pi$ )。

問1  $\hat{x}$  と  $\hat{p}$  を用いて, 次のように消滅・生成演算子  $\hat{a}, \hat{a}^\dagger$  を

$$\hat{a} = \sqrt{\frac{m\omega}{2\hbar}}\hat{x} + \frac{i}{\sqrt{2m\hbar\omega}}\hat{p}, \quad \hat{a}^\dagger = \sqrt{\frac{m\omega}{2\hbar}}\hat{x} - \frac{i}{\sqrt{2m\hbar\omega}}\hat{p}$$

のように定義する。正準交換関係  $[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar$  を用い,  $\hat{a}, \hat{a}^\dagger$  の間に

$$[\hat{a}, \hat{a}^\dagger] = 1$$

が成り立つことを示しなさい。

問2  $n$  を1以上の整数として

$$[\hat{a}, (\hat{a}^\dagger)^n] = n(\hat{a}^\dagger)^{n-1}$$

が成り立つことを示しなさい。

問3 消滅演算子  $\hat{a}$  の固有状態  $|\lambda\rangle$  のことをコヒーレント状態と呼ぶ。すなわち  $|\lambda\rangle$  は  $\lambda$  を固有値として

$$\hat{a}|\lambda\rangle = \lambda|\lambda\rangle$$

を満たす。この  $|\lambda\rangle$  は

$$|\lambda\rangle = Ae^{\lambda\hat{a}^\dagger}|0\rangle$$

と表せることを示しなさい。ここで  $A$  は適当な規格化定数であり,  $|0\rangle$  はハミルトニアン  $\hat{H}$  の固有状態の基底状態である。

(問題は次頁に続く)

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：物理教育・物理学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

(続き)

問4 以下ではコヒーレント状態  $|\lambda\rangle$  は  $\langle\lambda|\lambda\rangle = 1$  のように規格化されているとする。コヒーレント状態が最小不確定性関係

$$\langle(\Delta\hat{x})^2\rangle\langle(\Delta\hat{p})^2\rangle = \frac{\hbar^2}{4}$$

を満たすことを以下の手順に沿って示しなさい。

(1) コヒーレント状態における  $\hat{x}$  および  $\hat{x}^2$  の期待値が

$$\langle\hat{x}\rangle = \langle\lambda|\hat{x}|\lambda\rangle = \sqrt{\frac{\hbar}{2m\omega}}(\lambda + \lambda^*)$$

$$\langle\hat{x}^2\rangle = \langle\lambda|\hat{x}^2|\lambda\rangle = \frac{\hbar}{2m\omega}\{(\lambda + \lambda^*)^2 + 1\}$$

となることを示しなさい。

(2) コヒーレント状態における  $\hat{p}$  および  $\hat{p}^2$  の期待値が

$$\langle\hat{p}\rangle = \langle\lambda|\hat{p}|\lambda\rangle = -i\sqrt{\frac{m\hbar\omega}{2}}(\lambda - \lambda^*)$$

$$\langle\hat{p}^2\rangle = \langle\lambda|\hat{p}^2|\lambda\rangle = -\frac{m\hbar\omega}{2}\{(\lambda - \lambda^*)^2 - 1\}$$

となることを示しなさい。

(3) 位置および運動量のゆらぎの期待値

$$\langle(\Delta\hat{x})^2\rangle = \langle\hat{x}^2\rangle - \langle\hat{x}\rangle^2, \quad \langle(\Delta\hat{p})^2\rangle = \langle\hat{p}^2\rangle - \langle\hat{p}\rangle^2$$

が

$$\langle(\Delta\hat{x})^2\rangle\langle(\Delta\hat{p})^2\rangle = \frac{\hbar^2}{4}$$

を満たすことを示しなさい。

(解答欄は次頁以降)

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：物理教育・物理学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

【解答欄】 <解答例>

問1

$$[\hat{a}, \hat{a}^\dagger] = \left[ \sqrt{\frac{m\omega}{2\hbar}} \hat{x} + \frac{i}{\sqrt{2m\hbar\omega}} \hat{p}, \sqrt{\frac{m\omega}{2\hbar}} \hat{x} - \frac{i}{\sqrt{2m\hbar\omega}} \hat{p} \right] = \sqrt{\frac{m\omega}{2\hbar}} \cdot \frac{i}{\sqrt{2m\hbar\omega}} \{[\hat{x}, -\hat{p}] + [\hat{p}, \hat{x}]\} = \frac{i}{2\hbar} \{-i\hbar + (-i)\hbar\} = 1.$$

問2 数学的帰納法により証明する。

(i)  $n = 1$  のとき

$$[\hat{a}, \hat{a}^\dagger] = 1 = 1 \cdot (\hat{a}^\dagger)^{1-1}$$

より成り立つ。

(ii)  $n = k$  のとき与えられた式が成り立つとして  $n = k + 1$  のときも成り立つことを示す。すなわち

$$[\hat{a}, (\hat{a}^\dagger)^k] = k(\hat{a}^\dagger)^{k-1} \dots (*)$$

が成り立つことを用いて

$$[\hat{a}, (\hat{a}^\dagger)^{k+1}] = (k+1)(\hat{a}^\dagger)^k \dots (*')$$

を示す。 $(*)'$  の左辺は  $(*)$  を使うと

$$[\hat{a}, (\hat{a}^\dagger)^{k+1}] = [\hat{a}, (\hat{a}^\dagger)^k \cdot \hat{a}^\dagger] = (\hat{a}^\dagger)^k [\hat{a}, \hat{a}^\dagger] + [\hat{a}, (\hat{a}^\dagger)^k] \hat{a}^\dagger = (\hat{a}^\dagger)^k \cdot 1 + k(\hat{a}^\dagger)^{k-1} \cdot \hat{a}^\dagger = (k+1)(\hat{a}^\dagger)^k$$

となることから  $(*)'$  が成り立つことがわかる。

よって(i),(ii)より題意が示された。

問3 与えられた式に消滅演算子  $\hat{a}$  を作用させると

$$\begin{aligned} \hat{a}(Ae^{\lambda\hat{a}^\dagger}|0\rangle) &= A\hat{a}\left\{\sum_{m=0}^{\infty} \frac{\lambda^m}{m!} (\hat{a}^\dagger)^m\right\}|0\rangle = A\left\{\sum_{m=0}^{\infty} \frac{\lambda^m}{m!} \hat{a}(\hat{a}^\dagger)^m\right\}|0\rangle = A\sum_{m=0}^{\infty} \frac{\lambda^m}{m!} \{m(\hat{a}^\dagger)^{m-1} + (\hat{a}^\dagger)^m \hat{a}\}|0\rangle \\ &= A\sum_{m=1}^{\infty} \frac{\lambda^m}{(m-1)!} (\hat{a}^\dagger)^{m-1} |0\rangle = \lambda A\sum_{m'=0}^{\infty} \frac{\lambda^{m'}}{m'!} (\hat{a}^\dagger)^{m'} |0\rangle = \lambda| \lambda \rangle \end{aligned}$$

となる。ここで最後の式に移る際、 $m' = m - 1$  を定義した。

(解答欄は次頁に続く)

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：物理教育・物理学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

【解答欄】 <解答例>

問4 (1)  $\hat{a}, \hat{a}^\dagger$  の定義から,  $\hat{x}$  を  $\hat{a}, \hat{a}^\dagger$  で表すと

$$\hat{x} = \sqrt{\frac{\hbar}{2m\omega}} (\hat{a} + \hat{a}^\dagger)$$

となる。コヒーレント状態は  $\hat{a}|\lambda\rangle = \lambda|\lambda\rangle$ ,  $\langle\lambda|\hat{a}^\dagger = \lambda^*\langle\lambda|$  を満たすので

$$\langle\hat{x}\rangle = \langle\lambda|\hat{x}|\lambda\rangle = \sqrt{\frac{\hbar}{2m\omega}} \langle\lambda|(\hat{a} + \hat{a}^\dagger)|\lambda\rangle = \sqrt{\frac{\hbar}{2m\omega}} \{\langle\lambda|\hat{a}|\lambda\rangle + \langle\lambda|\hat{a}^\dagger|\lambda\rangle\} = \sqrt{\frac{\hbar}{2m\omega}} (\lambda + \lambda^*)$$

$$\begin{aligned} \langle\hat{x}^2\rangle &= \langle\lambda|\hat{x}^2|\lambda\rangle = \frac{\hbar}{2m\omega} \langle\lambda|(\hat{a} + \hat{a}^\dagger)^2|\lambda\rangle = \frac{\hbar}{2m\omega} \langle\lambda|(\hat{a}^2 + \hat{a}\hat{a}^\dagger + \hat{a}^\dagger\hat{a} + (\hat{a}^\dagger)^2)|\lambda\rangle = \frac{\hbar}{2m\omega} \langle\lambda|(\hat{a}^2 + 2\hat{a}^\dagger\hat{a} + 1 + (\hat{a}^\dagger)^2)|\lambda\rangle \\ &= \frac{\hbar}{2m\omega} \{(\lambda + \lambda^*)^2 + 1\} \end{aligned}$$

がいえる。ここで  $[\hat{a}, \hat{a}^\dagger] = \hat{a}\hat{a}^\dagger - \hat{a}^\dagger\hat{a} = 1$  より  $\hat{a}\hat{a}^\dagger = \hat{a}^\dagger\hat{a} + 1$  を使った。

(2)  $\hat{a}, \hat{a}^\dagger$  の定義から,  $\hat{p}$  を  $\hat{a}, \hat{a}^\dagger$  で表すと

$$\hat{p} = -i\sqrt{\frac{m\hbar\omega}{2}} (\hat{a} - \hat{a}^\dagger)$$

となる。(1) と同様にして

$$\langle\hat{p}\rangle = \langle\lambda|\hat{p}|\lambda\rangle = -i\sqrt{\frac{m\hbar\omega}{2}} \langle\lambda|(\hat{a} - \hat{a}^\dagger)|\lambda\rangle = -i\sqrt{\frac{m\hbar\omega}{2}} \{\langle\lambda|\hat{a}|\lambda\rangle - \langle\lambda|\hat{a}^\dagger|\lambda\rangle\} = -i\sqrt{\frac{m\hbar\omega}{2}} (\lambda - \lambda^*)$$

$$\begin{aligned} \langle\hat{p}^2\rangle &= \langle\lambda|\hat{p}^2|\lambda\rangle = -\frac{m\hbar\omega}{2} \langle\lambda|(\hat{a} - \hat{a}^\dagger)^2|\lambda\rangle = -\frac{m\hbar\omega}{2} \langle\lambda|\{\hat{a}^2 - \hat{a}\hat{a}^\dagger - \hat{a}^\dagger\hat{a} + (\hat{a}^\dagger)^2\}|\lambda\rangle \\ &= -\frac{m\hbar\omega}{2} \langle\lambda|\{\hat{a}^2 - 2\hat{a}^\dagger\hat{a} - 1 + (\hat{a}^\dagger)^2\}|\lambda\rangle = -\frac{m\hbar\omega}{2} \{(\lambda - \lambda^*)^2 - 1\} \end{aligned}$$

がいえる。

(3) ゆらぎの定義より

$$\langle(\Delta\hat{x})^2\rangle = \langle\hat{x}^2\rangle - \langle\hat{x}\rangle^2 = \frac{\hbar}{2m\omega} \{(\lambda + \lambda^*)^2 + 1\} - \left\{ \sqrt{\frac{\hbar}{2m\omega}} (\lambda + \lambda^*) \right\}^2 = \frac{\hbar}{2m\omega}$$

$$\langle(\Delta\hat{p})^2\rangle = \langle\hat{p}^2\rangle - \langle\hat{p}\rangle^2 = -\frac{m\hbar\omega}{2} \{(\lambda - \lambda^*)^2 - 1\} - \left\{ -i\sqrt{\frac{m\hbar\omega}{2}} (\lambda - \lambda^*) \right\}^2 = \frac{m\hbar\omega}{2}$$

であるから

$$\langle(\Delta\hat{x})^2\rangle\langle(\Delta\hat{p})^2\rangle = \frac{\hbar}{2m\omega} \frac{m\hbar\omega}{2} = \frac{\hbar^2}{4}$$

となる。

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	✕
	特別選抜	✕

科目	選択問題：物理教育・物理学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

IV. 量子コンピューターやスピントロニクスなど，近年では量子力学に基づく科学技術の進展が目覚ましい。こうした現状を踏まえ，学校教育において今後どういった対応やカリキュラムが必要となるか，あなたの考えや問題意識を具体的に述べなさい。

**【解答欄】**

IV. <評価の観点>

1. 自分の考えを明確に示し，その根拠を簡潔に述べている。
2. 漠然とした問題意識ではなくて，具体例を挙げている。

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	✕
	特別選抜	✕

科目	選択問題：化学教育・化学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

## 【化学教育・化学】

化学教育・化学の問題は、次ページ以降の I～III の 3 題である。全ての問題に解答すること。

解答を決められた解答欄に記すこと。

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：化学教育・化学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

I 次の文章を読み、問1～5に答えよ。

問1 メタノールの燃焼のギブスエネルギー変化のエネルギー図を作成し、水の標準生成ギブスエネルギー  $\Delta_f G_{H_2O}$  を計算せよ。ただし、メタノールの燃焼ギブスエネルギー  $\Delta_c G$  は  $-631 \text{ kJ mol}^{-1}$ 、メタノールの燃焼反応に関わる標準生成ギブスエネルギー  $\Delta_f G$  は、 $\text{CH}_3\text{OH}(l)$  が  $-167 \text{ kJ mol}^{-1}$ 、 $\text{CO}_2(g)$  は  $-394 \text{ kJ mol}^{-1}$  とする。

【解答欄】

<解答例>

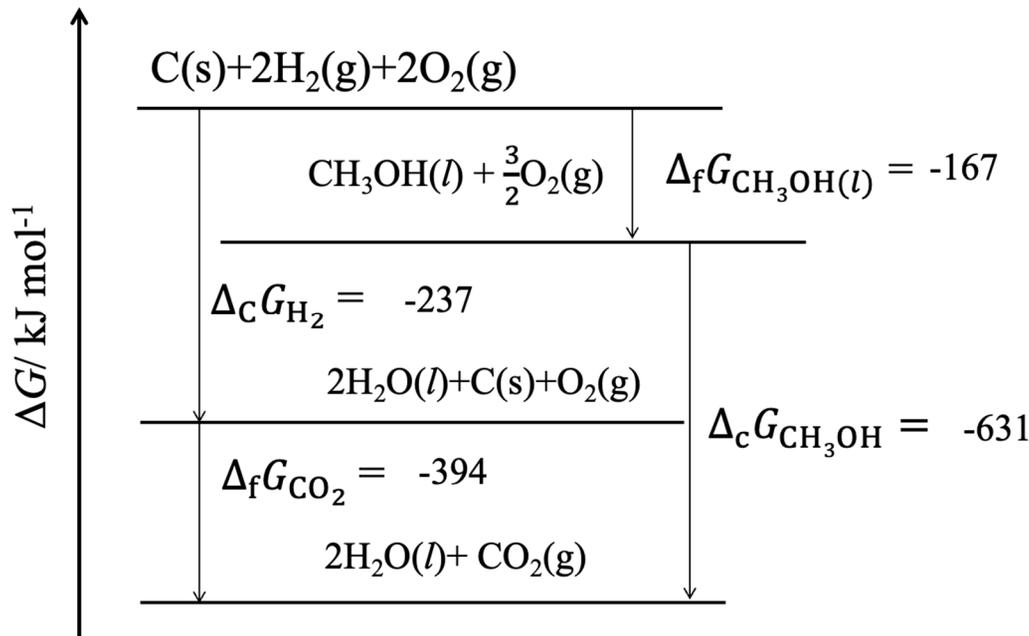


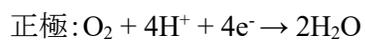
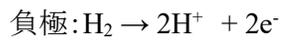
図1 メタノールの燃焼に関わるギブスエネルギー変化

$\Delta_f G_{H_2O} = \Delta_c G_{H_2}$  なので  $\Delta_f G_{H_2O}$  は  $-237 \text{ kJ mol}^{-1}$  となる。

問2 水素燃料電池の電極における化学反応式を記せ。

【解答欄】

<解答例>



次頁に続く

試験区分	一般選抜	○	科目	選択問題：化学教育・化学	受験番号 
	現職教員選抜	○			
	外国人留学生等選抜	○	対象	理科教育サブプログラム	
	派遣教員選抜	✕			
	特別選抜	✕			

問3 問1と問2の結果から水素燃料電池の理論起電力( $E^0$ )を有効数字3桁で求めよ。計算過程は単位と共に解答欄に記せ。  
また、ファラデー定数( $F$ )は  $9.65 \times 10^4 \text{ C mol}^{-1}$  を用いよ。

【解答欄】

<解答例>

$F = 9.65 \times 10^4 \text{ C mol}^{-1}$ , 反応に関わった電子の物質量( $n$ ) = 2,  $\Delta_c G_{\text{H}_2} = -237 \text{ kJ mol}^{-1}$  より

$$E^0 = -\frac{\Delta G}{nF}$$

$$= -\frac{-237 \times 10^3 \text{ J mol}^{-1}}{2 \text{ mol} \times 9.65 \times 10^4 \text{ C mol}^{-1}}$$

$$= 1.228 \text{ V} = 1.23 \text{ V}$$

起電力  $E^0$  は 1.23 V である。

問4 水素の燃焼反応のエンタルピー変化  $\Delta_c H_{\text{H}_2}$  は  $-286 \text{ kJ mol}^{-1}$  と知られている。問1 で求めた  $\Delta_c G_{\text{H}_2}$  との差は何によるものか記せ。

【解答欄】

<解答例>

反応のエンタルピー変化には状態変化に伴うエントロピー変化が含まれており、エントロピー変化は仕事に使えないため、比較してギブスエネルギー変化の方が小さくなる。

問5 水素燃料電池の学習では水の電気分解と組み合わせた実験を行うことがある。例えば、電気分解と水素燃料電池用の電極について、同一の電極を用いる A, A' の装置と、異なる電極を用いる B, B' の装置が用いられている。これらの装置の構造と機能の観点から、燃料電池用の教材としての特徴や違いを記せ。

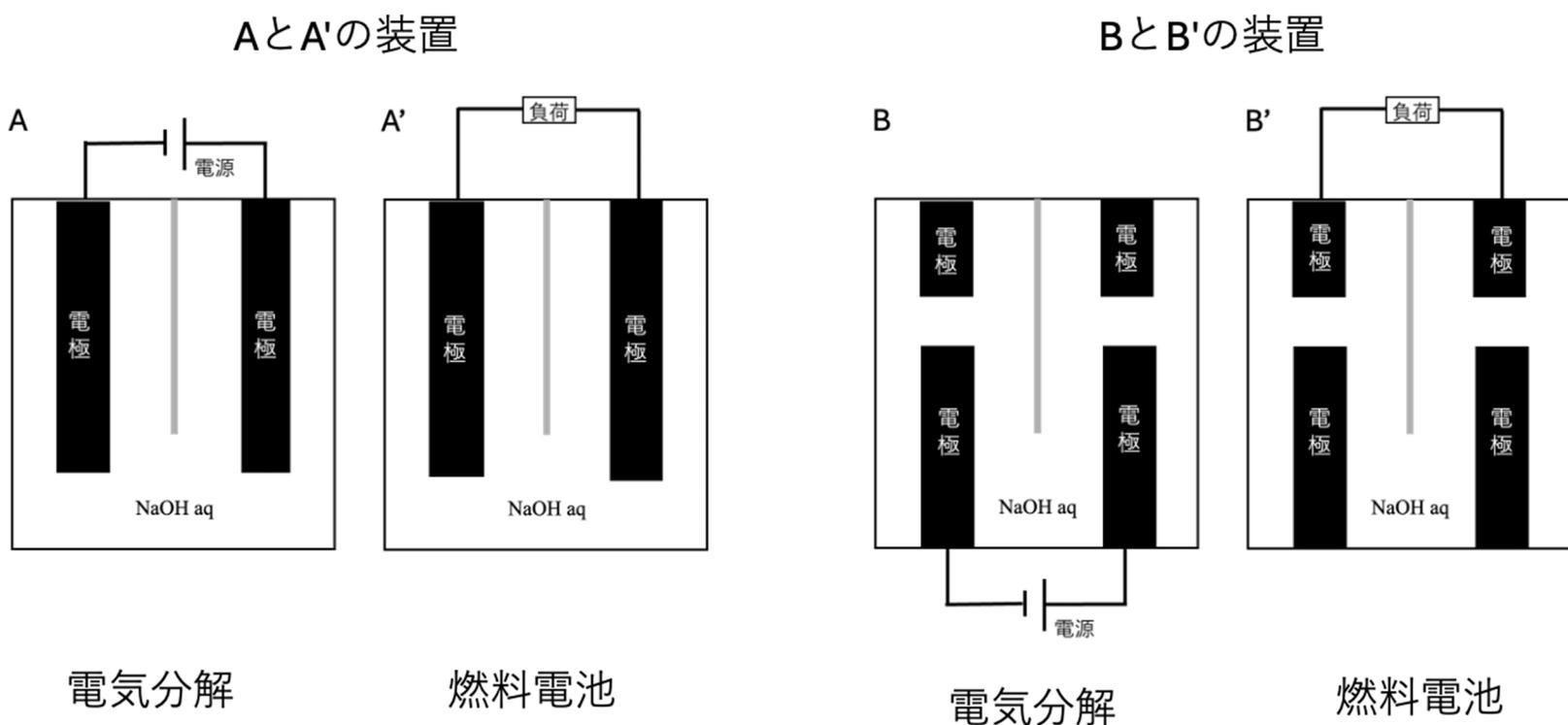


図2 実験装置の模式図

令和7年度 東京学芸大学大学院教育学研究科 入学試験

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：化学教育・化学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

【解答欄】

<解答例>

装置 A では電気分解を行った際に電極によっては表面に電荷が残る場合があるためコンデンサーとして働き、A'のように負荷を接続したときに、短期的には理論起電力を上回る電位を示す場合があるが、装置 B, B'においては電気分解と燃料電池の電極をわけているのでその心配は無い。

次頁に続く

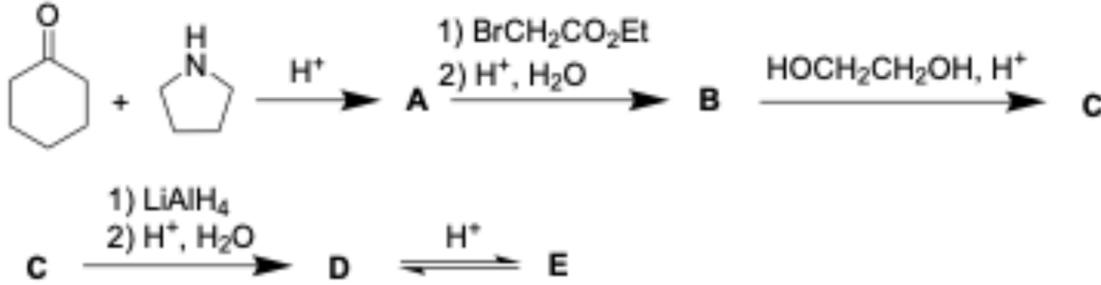
試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：化学教育・化学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

II 次の文章を読み、問1～2に答えよ。

問1 以下の反応式で予想される生成物A-Eの構造をそれぞれ書け。

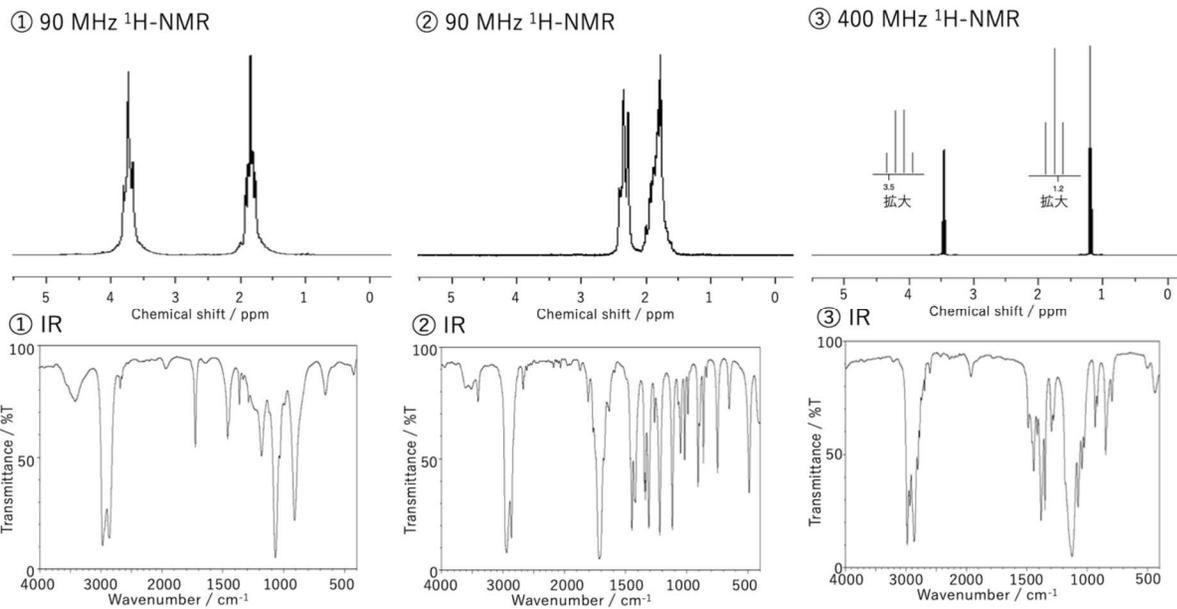


【解答欄】

<解答例>

生成物 A	生成物 B	生成物 C	生成物 D	生成物 E

問2 次の3組の<sup>1</sup>H-NMRとIR (①～③)のうち、1組はシクロヘキサノンのスペクトルである。シクロヘキサノンのスペクトルを選び、<sup>1</sup>H-NMRとIRスペクトルのそれぞれから判断した根拠を書け。



国立研究法人産業技術総合研究所有機化合物のスペクトルデータベース SDBS より引用，一部改変

【解答欄】

<解答例>

②がシクロヘキサノンのスペクトルである。

<sup>1</sup>H-NMRでは、カルボニル基の影響による低磁場シフトは2.4 ppm程度であり、②のスペクトルはこれと一致する。①と③のピークは顕著に低磁場に観測されており、構造と一致しない。③についてはスピン結合のパターンも一致しない。

IRについて、1700 cm<sup>-1</sup>付近のカルボニル基のシャープな吸収が観察されているのは②のみである。

次頁に続く

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：化学教育・化学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

Ⅲ 次の文章を読み問1～5に答えよ。

問1 原子番号27のコバルトでは、一般的に2価の錯体は酸化されやすい。その理由を配位子場理論を用いて説明せよ。

【解答欄】

<解答例>

2価のコバルト錯体は、非結合性軌道  $t_{2g}$  に6個、反結合性軌道の  $e_g^*$  に電子が一つあるため、一つ電子が少ない3価の錯体に比べて不安定で、電子を放出して安定な3価の錯体になりやすいため。

問2 高スピン錯体とはどのような錯体であるか説明せよ。

【解答欄】

<解答例>

結晶場が弱く、4個目の電子が  $e_g$  軌道に収容されている錯体

問3 水溶液中に溶存している金属イオンにおいて、疎水性のイオンとはどのような特徴があるか述べよ。

【解答欄】

<解答例>

イオンが水中を移動するとき、周りの水分子の多くを置き去りにして移動するイオンのこと。

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

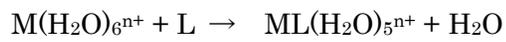
科目	選択問題：化学教育・化学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

問4 水和している金属イオン $M(H_2O)_6^{n+}$ に配位子Lが近づいて、錯生成をする際の律速段階を示せ。

【解答欄】

<解答例>



1個の配位子が一分子の水と置換反応を行う段階

問5 Taubeが分類した置換不活性な錯体の中心金属イオンの電子配置の特徴を述べよ。

【解答欄】

<解答例>

$t_{2g}$  軌道に空の軌道は無い

$e_g$  軌道に電子が入っていない

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：生物教育・生物学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

## 【生物教育・生物学】

生物教育・生物学の問題は、次ページ以降の I～III の 3 題である。試験問題に生物教育・生物学を選択した受験生はこれらの問題すべてに解答せよ。解答はそれぞれの問題に続く【解答欄】に記入せよ。解答欄が不足する場合は、裏面を使用してよい。

令和7年度 東京学芸大学大学院教育学研究科 入学試験

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：生物教育・生物学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

I 令和の日本型学校教育では、子どもたちの個別最適な学びと協働的な学びの一体的な充実を目指している。高等学校・生物の「生態と環境」における個体群内の個体間の相互作用について、生徒の個別最適な学び、及び協働的な学びを促進するため、どのような授業を行ったらよいか、日本語で説明せよ。なお、授業には適切な実験も含めることとする。

【解答欄】

<解答例>

例えば、個体間の競争を取り上げ、生物は同種他個体となぜ競争するのか、競争によって得られる利益と被るコストなどに関して、生徒一人一人に調べ学習を行わせる。その後、少人数のグループを作り、個体間の競争について各生徒が調べた内容についてディスカッションさせ、競争の意味と、競争の利益やコストなどについてグループごとにまとめて発表させる。生物が競争を行うのは餌や生息場所、配偶相手などの資源を得るために他個体と争うというようなまとめが発表されることが予想されるが、それを実感させるための実験を行う。例えば、雄のメダカを2個体水槽に導入すると相手に対して鰭を広げたり、つついたりする競争行動を示すのが観察できるが、雄のみの水槽の場合と、餌や雌が水槽中にある場合で、雄同士の競争の頻度やエスカレートした行動について比較し、資源が存在する場合には個体間の競争の程度が激しくなり、生物は資源をめぐって他個体と競争するという生徒の認識を深める。このような授業により、生徒の個別最適な学びと協働的な学びを促進することができ、また実験により深い認識を得ることができる。

令和7年度 東京学芸大学大学院教育学研究科 入学試験

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	✕
	特別選抜	✕

科目	選択問題：生物教育・生物学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

II 生物における共進化 (coevolution) とは何か, 具体的な例を挙げて日本語で説明せよ。

【解答欄】

<解答例>

複数の種類の生物が互いに影響を及ぼしながら進化する状況のこと。被食者と捕食者の関係や、植物の花と受粉媒介者、托卵する種と宿主となる種の関係などが知られている。例えば、カッコウなどに托卵される宿主種は、托卵を見破るために自分が産んだ卵の数を覚える、あるいは卵やヒナの外観が異なる托卵された卵やヒナを放棄するなどの対抗戦術を発達させる。一方、托卵種は托卵の際に宿主の卵を取り除く卵数あわせや、卵やヒナの外観を宿主種の外観に似せて識別できないようにするなどのさらなる対抗戦術を発達させる。このように、托卵種と宿主種は互いに影響を与え合う共進化の関係にある。

令和7年度 東京学芸大学大学院教育学研究科 入学試験

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：生物教育・生物学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

III ある種のハチやアリでは、繁殖を行う女王と繁殖を行わない雌のワーカー（働きバチや働きアリ）が存在するコロニーを形成する。このような社会性を真社会性と呼ぶが、なぜハチやアリでは真社会性が進化しやすいのか、日本語で説明せよ。

【解答欄】

<解答例>

ハチやアリは半倍数性（単倍数性；haplodiploidy）という遺伝システムを持っており、雌は二倍体の倍数の遺伝子、雄は一倍体の半数の遺伝子を持つ。雌は卵を作る際に減数分裂を行うのに対し、雄は減数分裂を行わずに精子をつくる。受精卵は雌になるが、未授精で産まれた卵は雄になる。このような遺伝システムのため、雌親と娘・息子との血縁度が0.5であるのに対して、同じ雌親・雄親から産まれた姉妹の血縁度は0.75となる。したがって、雌は自分で子を産むよりも、雌親が産んだ妹を育てる方が高い遺伝的利益を得ることができる。このことから、自分では繁殖せずに、雌親である女王の産んだ子を育てるワーカーが生じやすいため、ハチやアリでは真社会性が進化しやすいと考えられている。

試験区分	一般選抜	○	科目	選択問題：地学教育・地学	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <th colspan="5">受験番号</th> </tr> <tr> <td style="width: 20%; height: 40px;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> </tr> </table>	受験番号									
	受験番号														
	現職教員選抜	○	対象	理科教育サブプログラム											
	外国人留学生等選抜	○													
派遣教員選抜	×														
特別選抜	×														

【地学教育・地学】

受験者は、地球物理領域（問題番号Ⅰ）、天文領域（問題番号Ⅱ）、岩石鉱物領域（問題番号Ⅲ）、地質領域（問題番号Ⅳ）の4領域から2領域を選択し、次の表のうち選択した2領域に○をつけ、解答せよ。

なお、3領域以上を解答した場合は、全てが採点対象にならないので注意すること。

地球物理領域	天文領域	岩石鉱物領域	地質領域

（解答欄が不足する場合は、「裏面に続く」と書いて、裏面を使用してよい。）

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：地学教育・地学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

【地球物理領域に関する問題（問題番号 I）】

I 地球物理学，および地球物理学に関連した理科教育について，以下の設問に答えよ。

問1 中学校や高等学校の理科では，さまざまな種類の力を取り上げている。ここでは，それらのうち，重力について考えてみよう。

- (1) 完全に球形で半径  $R$  の惑星の内部の密度  $\rho$  が中心からの距離  $r$  によらず一定とする。万有引力定数を  $G$  とおき，中心からの距離  $r$  ( $0 < r \leq R$ ) における重力加速度  $g$  を  $r$  の関数として求めよ。ただし，惑星の自転を無視し，万有引力のみを考慮せよ。
- (2) 静力学平衡を仮定して，小問 (1) で求めた  $g$  を用いて，圧力  $p$  を  $r$  の関数として求めよ。ただし， $0 < r \leq R$  とする。大気圧を無視し， $r = R$  で  $p = 0$  とする。

【解答欄】

<解答例>

- (1) 中心からの距離  $r$  における重力の大きさは，距離  $r$  よりも内側にある質量の総量と等しい質量を持つ質点が惑星の中心にあると仮定した場合の重力の大きさに等しくなるので，万有引力の法則より，

$$g = \frac{G}{r^2} \int_0^r 4\pi r'^2 \rho dr'$$

と書ける。 $\rho$  を定数として積分を計算すると，

$$g = \frac{G}{r^2} \int_0^r 4\pi r'^2 \rho dr' = \frac{G}{r^2} \left[ \frac{4}{3} \pi \rho r'^3 \right]_0^r = \frac{4}{3} \pi G \rho r$$

- (2) 静力学平衡と小問 (1) の結果より，

$$\frac{dp}{dr} = -\rho g = -\frac{4}{3} \pi G \rho^2 r$$

$r = R$  で  $p = 0$  だから，

$$p = - \int_r^R \frac{dp}{dr'} dr' = \int_r^R \frac{4}{3} \pi G \rho^2 r' dr' = \left[ \frac{2}{3} \pi G \rho^2 r'^2 \right]_r^R = \frac{2}{3} \pi G \rho^2 (R^2 - r^2)$$

試験区分	一般選抜	○	科目	選択問題：地学教育・地学	受験番号 
	現職教員選抜	○			
	外国人留学生等選抜	○	対象	理科教育サブプログラム	
	派遣教員選抜	×			
	特別選抜	×			

問2 小学校、中学校の理科や高等学校の地学では、大気の運動をさまざまな形で取り上げている。ここでは、それらのうち、定常ロスビー波について考えてみよう。

- (1) 地球の北半球中緯度の大气において、基本場の風は $x$ 成分（東西成分）のみであり、空間的に一様で、時間変化しないと仮定する。このとき、ベータ平面における非発散の渦度方程式は

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + U \frac{\partial}{\partial x}\right) \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}\right) \psi + \beta \frac{\partial}{\partial x} \psi = 0 \quad \text{①}$$

と書ける。ただし、 $\beta$ はコリオリ係数 $f$ の $y$ 微分（南北微分）、 $U$ は基本場の東西風、 $\psi$ は偏差場の流線関数である。 $\beta$ と $U$ は正の定数である。この方程式について、分散関係式、つまり、 $\omega$ を $U$ 、 $\beta$ 、東西波数 $k$  ( $k > 0$ )、南北波数 $l$ で表した式を導け。

- (2) 一般に水平面での全波数は $K = \sqrt{k^2 + l^2}$ と定義できる。小問(1)で導出した分散関係式を用いて、定常ロスビー波の全波数 $K_s$ を求め、 $\beta$ と $U$ で表せ。

- (3) 地形による渦度偏差の強制と、摩擦による渦度偏差の減衰を考慮して、渦度方程式を

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + U \frac{\partial}{\partial x}\right) \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}\right) \psi + \beta \frac{\partial}{\partial x} \psi = -fU \frac{\partial}{\partial x} (\hat{h} \cos kx) - r \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}\right) \psi \quad \text{②}$$

と書く。ただし、 $h$ を標高の振幅、 $H$ を大気のスケールハイトとして、 $\hat{h} = \frac{h}{H}$ と定義する。 $\hat{h}$ と $r$ は正の定数である。 $\psi$ の振幅を求め、小問(2)で求めた定常ロスビー波の全波数を $K_s$ を用いて、 $K$ 、 $K_s$ 、 $k$ 、 $U$ 、 $\hat{h}$ 、 $r$ 、 $f$ で表せ。

【解答欄】

<解答例>

- (1) 波動型の渦度偏差を仮定して、

$$\psi = \text{Re}[\hat{\Psi} \exp\{i(kx + ly - \omega t)\}] \quad \text{③}$$

とおく。ただし、 $\hat{\Psi}$ はゼロではない定数であり、 $\text{Re}$ は実部を意味する。③を①に代入して、

$$(-i\omega + iUk)(-k^2 - l^2)\hat{\Psi} \exp\{ik(kx + ly - \omega t)\} + i\beta k \hat{\Psi} \exp\{ik(kx + ly - \omega t)\} = 0$$

両辺を $\hat{\Psi} \exp\{ik(kx + ly - \omega t)\}$ で割って、

$$(-i\omega + iUk)(-k^2 - l^2) + i\beta k = 0$$

$$(\omega - Uk)(k^2 + l^2) + \beta k = 0$$

$$\omega = Uk - \frac{\beta k}{k^2 + l^2}$$

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：地学教育・地学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

【問2の解答欄つづき】

(2) 小問(1)で求めた分散関係式に $\omega = 0$ を代入して,

$$0 = Uk - \frac{\beta k}{k^2 + l^2}$$

$$k^2 + l^2 = \frac{\beta}{U}$$

$$K_s = \sqrt{\frac{\beta}{U}}$$

(3) ③を②に代入して, 両辺を $\exp\{ik(kx + ly - \omega t)\}$ で割り,  $\omega = 0$ を代入すると,

$$iUk(-k^2 - l^2)\hat{\Psi} + i\beta k\hat{\Psi} = -ifU\hat{h}k - r(-k^2 - l^2)\hat{\Psi}$$

$$\{Uk(k^2 + l^2) - \beta k - ir(k^2 + l^2)\}\hat{\Psi} = fU\hat{h}k$$

$\frac{\beta}{U} = K_s^2$ ,  $k^2 + l^2 = K^2$ を代入すると,

$$\left(K^2 - K_s^2 - i\frac{r}{Uk}K^2\right)\hat{\Psi} = f\hat{h}$$

したがって,  $\hat{\Psi}$ の振幅 $|\hat{\Psi}|$ は,

$$|\hat{\Psi}| = \frac{f\hat{h}}{\sqrt{(K^2 - K_s^2)^2 + \left(\frac{r}{Uk}K^2\right)^2}}$$

令和7年度 東京学芸大学大学院教育学研究科 入学試験

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	✕
	特別選抜	✕

科目	選択問題：地学教育・地学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

問3 中学校および高等学校の理科において、定常ロスビー波によって生じる気象はどのように取り扱われているか。定常ロスビー波の一般的な性質を指摘した上で、地形だけでなく東西方向の温度差によっても励起されることも考慮しながら、取り扱われている校種を明示して簡潔に説明せよ。

【解答欄】

<解答例>

定常ロスビー波は、準定常な、惑星スケールの波動であり、偏西風の持続的な蛇行に関係している。中学校の理科においては、定常ロスビー波に関連する現象として、北半球冬季に海と陸の温度差によって生じるシベリア高気圧、アリューシャン低気圧や、それに伴う冬季季節風、夏季の太平洋高気圧、梅雨期のオホーツク海高気圧が取り上げられている。高等学校の地学においては、地上天気図で見られる上記の高低気圧について、高層天気図を用いて偏西風の持続的な蛇行を示しながら言及している。

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：地学教育・地学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

【天文領域に関する問題（問題番号Ⅱ）】

Ⅱ 天文領域に関する以下の設問に答えよ。

問1 現行の中学校理科の教科書では、その全てで天体望遠鏡を用いた太陽表面の観測などが取り上げられている。教科書における天体望遠鏡の取り扱いが簡潔なものであるが、実際に天体望遠鏡を扱う上では、様々な知識や技術が必要となることも少なくない。これについて、以下の（1）～（4）に答えよ。

- (1) 天体望遠鏡は、その構造および機能上、集光部と架台部に大別できる。「集光部」は集光方法によって、さらに大きく2つに分けられる。この2つの集光方法と集光部の形式について答えよ。
- (2) 天体望遠鏡の「架台部」は、その構造と天体の追尾方法によって大きく2つの形式に分けられる。この架台部の2つの形式を答え、それぞれの特徴を簡潔に述べよ。
- (3) 天体望遠鏡を用いて太陽表面の観測を行う場合、集光部と架台部に加えて必要な機材は何か、簡潔に述べよ。
- (4) 天文学の研究で用いられる大型望遠鏡と市販の天体望遠鏡の集光力の差を、簡単な計算で確認しよう。口径8mの大型望遠鏡が1分で集める光量を、口径8cmの市販の天体望遠鏡で集める場合、何晩の観測時間が必要になるか計算せよ。なお、地球大気による吸収の影響は考えなくて良いものとし、一晩の観測可能時間を8時間とする。

【解答欄】

<解答例>

- (1) レンズを用いて集光する屈折型（式）と鏡を用いて集光する反射型（式）。
- (2) 架台部には2つの可動部分がある。可動部分が水平方向と高度方向に動く架台が経緯台型（式）、2つの可動部分が経度と緯度に平行に動く架台が赤道儀型（式）。経緯台型架台は、構造が単純なため費用が安く丈夫であるが、視野の中で天体像が回転するため、長時間撮像を行うためにはイメージ・ローテーターを搭載する必要がある。赤道儀型架台は、視野の中で天体像は回転せず、長時間撮像が可能であるが、極軸の傾きを観測地の緯度に合わせる機構を持つため高価になり、運用にも手間がかかる。
- (3) 天体望遠鏡を用いて太陽表面の観察を行う場合には、太陽の像を投影させるための投影板とそれを固定するための支持棒などが必要となる。投影板に焦点を合わせるために、ドローチューブなどが必要になることもある。
- (4) 集光力は主鏡の面積に比例する。そのため、口径8cmの天体望遠鏡に必要な露光時間  $t_{8cm}$  は、

$$t_{8cm} = \frac{\pi(8m/2)^2}{\pi(8cm/2)^2} \times 1 \text{ min} = 10000 \text{ min} \doteq 166.67 \text{ h}$$

1晩に可能な観測時間が8時間なので、

$$t_{8cm} = \frac{166.67 \text{ h}}{8 \text{ h}} \doteq 20.8$$

となり、20.8晩の観測時間が必要となる。

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：地学教育・地学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

問2 恒星や星間ダストからの黒体放射は、主に可視光域と遠赤外線域でそれぞれ観測される。熱平衡状態にある黒体から、周波数  $\nu$  と  $\nu + d\nu$  の間で単位面積・単位時間あたりに放射されるエネルギーを、 $E(\nu)d\nu$  と表すことにすると、

$$E(\nu) = \frac{8\pi h}{c^3} \frac{\nu^3}{e^{h\nu/k_B T} - 1}$$

となる。これをプランクの放射則（輻射則とも）という。ここで、 $c$  は真空中の光速、 $h$  はプランク定数、 $k_B$  はボルツマン定数、 $T$  は黒体の温度、である。これについて次の（1）～（4）に答えよ。

- （1）黒体とは何か、簡潔に答えよ。
- （2）プランクの放射則は、低振動数条件下（ $\nu \ll 1$ ）で、レイリー・ジーンズの放射則で近似できることを示せ。
- （3）プランクの放射則は、高振動数条件下（ $\nu \gg 1$ ）で、ウィーンの放射則で近似できることを示せ。
- （4）プランクの放射則から、シュテファン・ボルツマンの法則の式を導出せよ。なお、 $\int_0^\infty \frac{x^3}{e^x - 1} dx = \frac{\pi^4}{15}$  を用いて良い。

【解答欄】

<解答例>

- （1）黒体とは、あらゆる周波数の電磁波を吸収・放射することができる仮想的な物体のことである。
- （2） $\nu \ll 1$  より、 $h\nu/k_B T \ll 1$ 。そこで、 $e^{h\nu/k_B T}$  をマクローリン展開して2次以降の微小項を無視すると、

$$e^{h\nu/k_B T} \approx 1 + \frac{h\nu}{k_B T}$$

これをプランクの放射則に代入して整理すると、

$$E(\nu) = \frac{8\pi h}{c^3} \frac{\nu^3 k_B T}{h\nu} = \frac{8\pi k_B}{c^3} \nu^2 T$$

となり、レイリー・ジーンズの放射則が得られる。

- （3） $\nu \gg 1$  より、 $h\nu/k_B T \gg 1$ 。すると、

$$e^{h\nu/k_B T} - 1 \approx e^{h\nu/k_B T}$$

となるため、これをプランクの放射則に代入して整理すると、

$$E(\nu) = \frac{8\pi h}{c^3} \frac{\nu^3}{e^{h\nu/k_B T}} = \frac{8\pi h}{c^3} \nu^3 e^{-h\nu/k_B T}$$

となり、ウィーンの放射則が得られる。

- （4）シュテファン・ボルツマンの法則の式は、プランクの放射則を、全周波数域で積分することによって得られる。そこで、

$$\varepsilon = \int_0^\infty E(\nu) d\nu \text{ とおいて、 } x = \frac{h\nu}{k_B T} \text{ と置き換えると、 } \nu = \frac{k_B T}{h} x, \text{ また、 } d\nu = \frac{k_B T}{h} dx \text{ から、}$$

$$\varepsilon = \int_0^\infty E(\nu) d\nu = \int_0^\infty \frac{8\pi h}{c^3} \frac{\nu^3}{e^{h\nu/k_B T} - 1} d\nu = \int_0^\infty \frac{8\pi h}{c^3} \left(\frac{k_B T}{h} x\right)^3 \frac{k_B T}{h} dx = \frac{8\pi k_B^4}{c^3 h^3} T^4 \int_0^\infty \frac{x^3}{e^x - 1} dx = \frac{8\pi k_B^4}{c^3 h^3} T^4 \frac{\pi^4}{15} = \frac{8\pi^5 k_B^4}{15 c^3 h^3} T^4$$

となり、シュテファン・ボルツマンの法則の式が得られる。

令和7年度 東京学芸大学大学院教育学研究科 入学試験

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：地学教育・地学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

【岩石鉱物領域に関する問題（問題番号Ⅲ）】

Ⅲ 岩石鉱物領域に関する以下の設問に答えよ。

問1 プレートテクトニクスの成立には、アルフレッド・ウェゲナーが発表した大陸移動説が果たした役割は大きい。ウェゲナーの大陸移動説では、遠く離れた大陸間で観察される類似した特徴が、大陸を移動させることで説明できるとしたことで、注目と議論を集めた。ウェゲナーの大陸移動説の根拠となった大陸間の特徴の一例として、海岸線の形といった地形的特徴が挙げられるが、この他にウェゲナーの大陸移動説で根拠となった大陸間の地学的な特徴を2つ挙げよ。

【解答欄】

<解答例>

化石の分布（現生生物の分布も可）、氷河地形の分布（氷河の痕跡、氷河の流れた方向も可）、造山帯の分布（岩石の分布も可）など

問2 モホロビッチ不連続面（モホ面）は、どのような科学的事実に基づいて決められた境界面か簡潔に説明せよ。

【解答欄】

<解答のポイント>

・モホロビッチ不連続面（モホ面）が、地震波速度の不連続な変化（あるいは上昇）の観測結果に基づいて決められた境界面であることを説明しているか。

試験区分	一般選抜	○	科目	選択問題：地学教育・地学	<table border="1"> <tr> <th colspan="5">受験番号</th> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>	受験番号									
	受験番号														
	現職教員選抜	○	対象	理科教育サブプログラム											
	外国人留学生等選抜	○													
派遣教員選抜	×														
特別選抜	×														

問3 学校教育において、モホロビッチ不連続面（モホ面）の理解を深めることを目的とした授業を実施する場合、どのような授業が展開可能か具体的に提案せよ。

上記の授業では岩石標本の活用可能性についても提案に含めよ。また、提案する授業がどのようにモホロビッチ不連続面（モホ面）の理解を深めることにつながるのかについて説明がなされていることに留意せよ。

授業形式は校内外での実習・実験の環境や手順などを含めても構わない。

【解答欄】

<解答のポイント>

・モホロビッチ連続面（モホ面）は、地殻と上部マントルの境界を示す化学的境界であり、構成する岩石種の違いを反映すると考えられていることなどから、具体的な地殻と上部マントルを構成する岩石種（地殻を構成する花崗岩、あるいは玄武岩やはんれい岩などや上部マントルを構成するかんらん岩など）の岩石標本を用いた授業提案や活用可能性の検討がなされているか。

例えば、

- 1) 使用する岩石種の密度や、鉱物種あるいは化学組成など、岩石・鉱物の物理的・化学的特徴を調べる実験・観察
- 2) それら岩石の物理的・化学的特徴が岩石種ごとに異なっており、異なる岩石種が境界をなす場合には、地震波の伝わる速度が不連続に変化することを確かめる実験
- 3) 地球内部で安定的に存在する地殻・上部マントルの位置（深さ）と構成する岩石種の関連について、使用する岩石標本の大きさを揃えることで密度をわかりやすく理解するための提示方法

などのように、岩石標本を授業でどのように使用・提示するか、その活用について検討をしているか。

またそれら踏まえた上で、どのようにモホロビッチ連続面（モホ面）の理解を深めることにつながるのかの説明がなされているか。

・特に学校教育現場で実施可能な授業提案となっているか。実習・実験を検討する場合には、校内実習を含め適切な実習・実験の環境・手順などの提案となっているか。

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：地学教育・地学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

【地質領域に関する問題（問題番号IV）】

IV 「地球」を柱とした領域での「地球表層の物質の循環」に関連する学習指導要領の内容について、以下の問1～問4に答えよ。

問1 大洋底の堆積物には、図1に示すように、陸源砕屑物、石灰質軟泥、珪質軟泥など堆積物の多様性が存在する。これら大洋底堆積物の多様性が生じる理由を説明せよ。

【解答欄】

<解答例>

陸地から運ばれてくる土砂（陸源砕屑物）が届かない大洋底には、砂や泥などの陸源の砕屑物はほとんど存在せず、大気中あるいは海洋中を漂って運ばれてきたごく細粒の粘土粒子と、海洋中を漂うプランクトンの遺骸（マリンスノー）などが、まさに雪が降り積もるように堆積している。この大洋底の堆積物の特徴は、1）大陸縁辺部の海底扇状地には陸源砕屑物が堆積している。2）低緯度と南・北両高緯度の3帯に分かれて帯状に、珪質軟泥が堆積している。3）大洋底の比較的水深の浅い場所には広範囲に石灰質軟泥が分布する。などがあげられる。

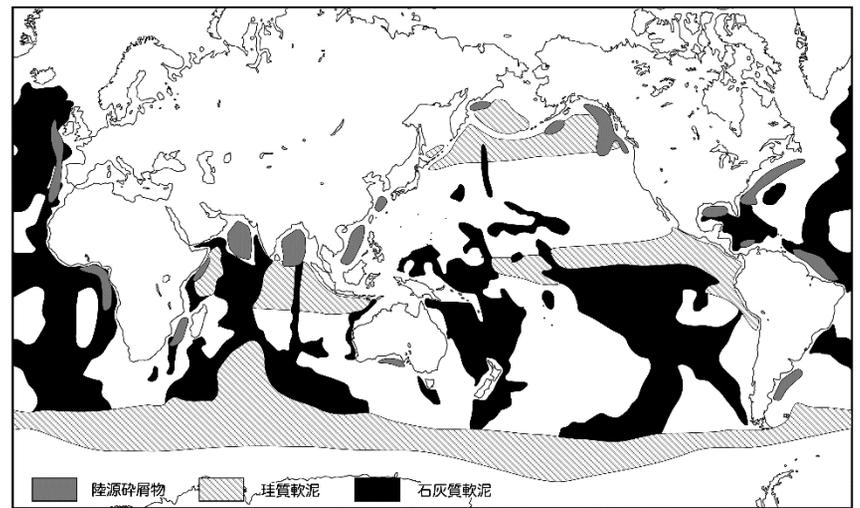


図1 大洋底堆積物の分布（Berger 1974を改変）

まず、大陸縁の河川の流出口付近には、大陸棚から海底谷を通して陸源性の砂岩や泥岩などが厚く堆積し、海底扇状地をつくる。また、珪質軟泥は、図1に示されるように、両高緯度域および低緯度域にバイモーダルに分布する。これらは、沿岸湧昇および赤道湧昇などの湧昇流によって深海から栄養塩が供給される場所であり、この栄養塩を使って海洋表層にケイ酸塩の殻をもつケイソウなどの植物プランクトンが繁茂し、その遺骸が海底に降り積もって堆積したものである。一方、石灰質軟泥は広く大洋底に分布するが、これらは主に炭酸カルシウムの殻をもつ動物プランクトンである有孔虫の殻やサンゴなどの遺骸が集積したものである。炭酸カルシウムは、炭酸塩補償深度よりも浅いところでは過飽和状態で堆積するが、それよりも水深が深くなると溶解してしまい、堆積物としては存在しなくなる。すなわち、大洋底の比較的水深の浅い部分にだけ堆積している。このように大洋底堆積物の多様性が生じるのである。

問2 大陸縁辺部には陸源砕屑物からなる海底扇状地が所々に発達している。海底扇状地は、大陸棚などの比較的水深の浅い海底から海底谷を通して深海底へと流れ下る混濁流によって形成される地形である。図1を見ると、大西洋、インド洋、南シナ海、東シナ海などの大陸縁に大きな海底扇状地が分布するが、太平洋の広い海域ではこの海底扇状地があまり発達していないことがわかる。その理由を説明せよ。

【解答欄】

<解答例>

太平洋の大陸縁には、太平洋プレートやナスカプレート、フィリピン海プレートなどの海洋プレートの収束域にあたり、そこでは海洋プレートの沈み込みによって、細長く溝状の地形である海溝が太平洋を取り囲むように分布する（活動的縁辺部）。大陸棚から海底谷を通ってきた陸源砕屑物はこの海溝にトラップされ、太平洋の大洋底には到達せずに海溝充填堆積物として堆積するため。

