

金沢大学大学院自然科学研究科博士前期課程

物質化学専攻（化学コース）

令和7年度（10月期）及び令和8年度学力検査問題

（一般選抜）

専 門 科 目

化 学

（3時間）

【注意事項】

- 問題冊子は本文10ページであり、次の6科目の問題が綴じられている。
科目群A: I 理論化学, II 無機・錯体化学, III 有機化学
科目群B: IV 分析化学, V 放射・核地球化学, VI 生物化学
- 6科目のうち4科目を選択し、それぞれの問題に解答しなさい。ただし、そのうち少なくとも2科目は科目群Aから選択しなさい。
- 答えは科目ごとに1枚とし、解答する科目のI～VIの番号を答案用紙の解答欄上部に記入しなさい。
- 解答できない場合でも、答案用紙の解答欄上部にI～VIのいずれかの科目番号を記入して答案用紙を提出しなさい。

問題用紙

専攻名 物質化学専攻(化学コース)(一般選抜)

試験科目名 専門科目 化学
科目群 A:I 理論化学

P.1 / 10

I 次の問1および問2に答えなさい。

問1 1 mol の実在気体に対するファンデルワールスの状態方程式は次式で表される。 P は圧力、 V はモル体積、 T は温度、 R は気体定数である。図に状態方程式から予想される各温度に対する等温 P - V 曲線を示す。下の(1)~(4)の問いに答えなさい。

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$$

- (1) 状態方程式中のパラメータ a と b は何を表しているか、それぞれ説明しなさい。
- (2) 図に示すように臨界温度 ($T = T_c$) に対する P - V 曲線上には臨界点が存在する。臨界温度以下では、液体領域が存在すると考えられる。臨界温度 T_c を a 、 b および R を用いて表しなさい。
- (3) 臨界点における圧縮因子 Z_c は気体の種類によらず一定となる。臨界圧縮因子の値を求めなさい。
- (4) 各変数を臨界定数で割って得られる換算変数 $P_r (=P/P_c)$ 、 $V_r (=V/V_c)$ 、 $T_r (=T/T_c)$ を導入することで、気体の種類によらない一般化されたファンデルワールスの式が得られる。換算変数を用いて一般式を示しなさい。

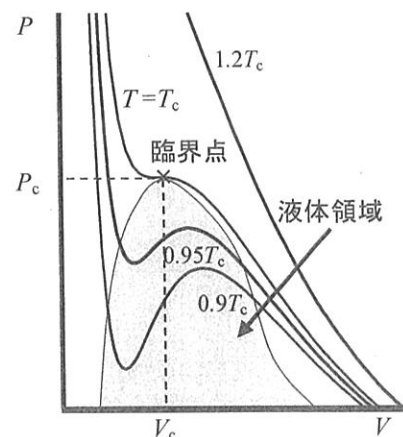


図 各温度に対する P - V 曲線

問2 半径 r の円周上を自由に円運動する電子のハミルトニアン(\hat{H})と波動関数(ψ)は、次のように表される。ここで h はプランク定数、 m は電子の質量、 θ は電子の位置、 n は状態の量子数を表している。下の(1)~(4)の問いに答えなさい。

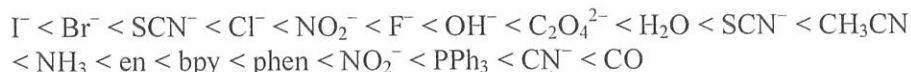
$$\hat{H} = -\frac{h^2}{8\pi^2mr^2} \frac{d^2}{d\theta^2} \quad \psi(\theta) = Ne^{in\theta}$$

- (1) 波動関数の規格化定数 N を求めなさい。
- (2) 電子のエネルギー固有値を求めなさい。また量子数を取りうる値も示しなさい。
- (3) 量子数 $n=0$ の状態に対する電子のエネルギーは0になる。この事実は不確定性原理に反するように見えるが、実際は原理から逸脱していない。この $n=0$ の状態が不確定性原理に則していることを、簡潔に説明しなさい。
- (4) ベンゼンの π 電子が分子平面上を自由に円運動しているモデルを考える。この近似に基づき、ベンゼンの光励起における最長の吸収波長を、有効数字2桁で答えなさい。ただし、 π 電子が回る円周の半径を $1.4 \times 10^{-10} \text{ m}$ とし、 $h / (8\pi^2m) = 9.2 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ 、光速 $c = 3.0 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ とする。

問題用紙

専攻名	物質化学専攻（化学コース）（一般選抜）	
試験科目名	専門科目 化学 科目群 A: II 無機・錯体化学	P.2 / 10

II 次に示す分光化学系列を参考にし、下の問1～問5に答えなさい。



en = エチレンジアミン, bpy = 2,2'-ビピリジン, phen = 9,10-フェナントロリン

問1 分光化学系列の上位に位置する PPh_3 , CN^- , および CO を配位子に持つ代表的なニッケル化合物として、次の(a)～(c)が知られている。それぞれについて、ニッケルの酸化数を示しなさい。また、ニッケル周りの立体構造を図示しなさい。

- (a) $[\text{Ni}(\text{PPh}_3)_4]$
 (b) $[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}$
 (c) $[\text{Ni}(\text{CO})_4]$

問2 上に示した分光化学系列には、次の(a)および(b)の配位子がそれぞれ2回記載されている。その理由をそれぞれについて説明しなさい。

- (a) SCN^-
 (b) NO_2^-

問3 ニッケル(II)の水和イオンにエチレンジアミンを加えると、錯体の生成を示す溶液色の変化が速やかに観測される。次の(1)および(2)の問いに答えなさい。

- (1) 紫外～可視～近赤外領域に観測される三つの d-d 吸収帯はいずれも同じ方向にシフトする。長波長シフトするか短波長シフトするかを答え、そのように判断した根拠を分光化学系列中の序列と関連付けて述べなさい。
- (2) ニッケル(II)イオンの水溶液に正確に3倍モル量のエチレンジアミンを加えて平衡に達したときの各化学種の濃度を測定したところ、 $[\text{Ni}(\text{en})_2(\text{H}_2\text{O})_2]^{2+}$ が $3.0 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$, $[\text{Ni}(\text{en})_3]^{2+}$ が $1.16 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ となっていた。 $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ や $[\text{Ni}(\text{en})(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$ など、他のニッケル(II)を含む化学種の濃度は検出限界以下であった。このときの逐次生成定数 K_{f} を求めなさい。

問4 分光化学系列中に記載されている配位子のうち、15族元素を配位原子とする単座配位子 NH_3 と PPh_3 に関して、次の(1)～(3)の問いに答えなさい。

- (1) NH_3 と PPh_3 を比較したとき、どちらが強い塩基性を示すか、答えなさい。
- (2) 分光化学系列中において、 PPh_3 は NH_3 よりも上位となる。その理由について軌道の相互作用の観点から説明しなさい。
- (3) PPh_3 の $\text{C}_{\text{ipso}}\text{-P-C}_{\text{ipso}}$ 角と NH_3 の H-N-H 角は、いずれもホスフィン(PH_3)の H-P-H 角より大きい。その理由について説明しなさい。なお、 C_{ipso} はリン原子に直接結合した炭素原子を表す。

(次ページにつづく)

問題用紙

専攻名	物質化学専攻（化学コース）（一般選抜）	
試験科目名	専門科目 化学 科目群 A: II 無機・錯体化学	P.3 / 10

- 問5 ルテニウム(II)イオンに二座キレート配位子 en および bpy が結合した錯体について、次の(1)および(2)の問いに答えなさい。
- (1) $[\text{Ru}(\text{en})_3]^{2+}$ には Δ と Λ の異性体が存在する。これらが水溶液中で相互変換を起こすかどうかを答え、そのように判断した根拠を述べなさい。
- (2) $[\text{Ru}(\text{en})_3]^{2+}$ は 310 nm に弱い吸収を示すのに対し、 $[\text{Ru}(\text{bpy})_3]^{2+}$ は、より長波長側の 452 nm に強い吸収を示す。 $[\text{Ru}(\text{bpy})_3]^{2+}$ が示す 452 nm の吸収を帰属し、その吸収が強い理由を説明しなさい。

問題用紙

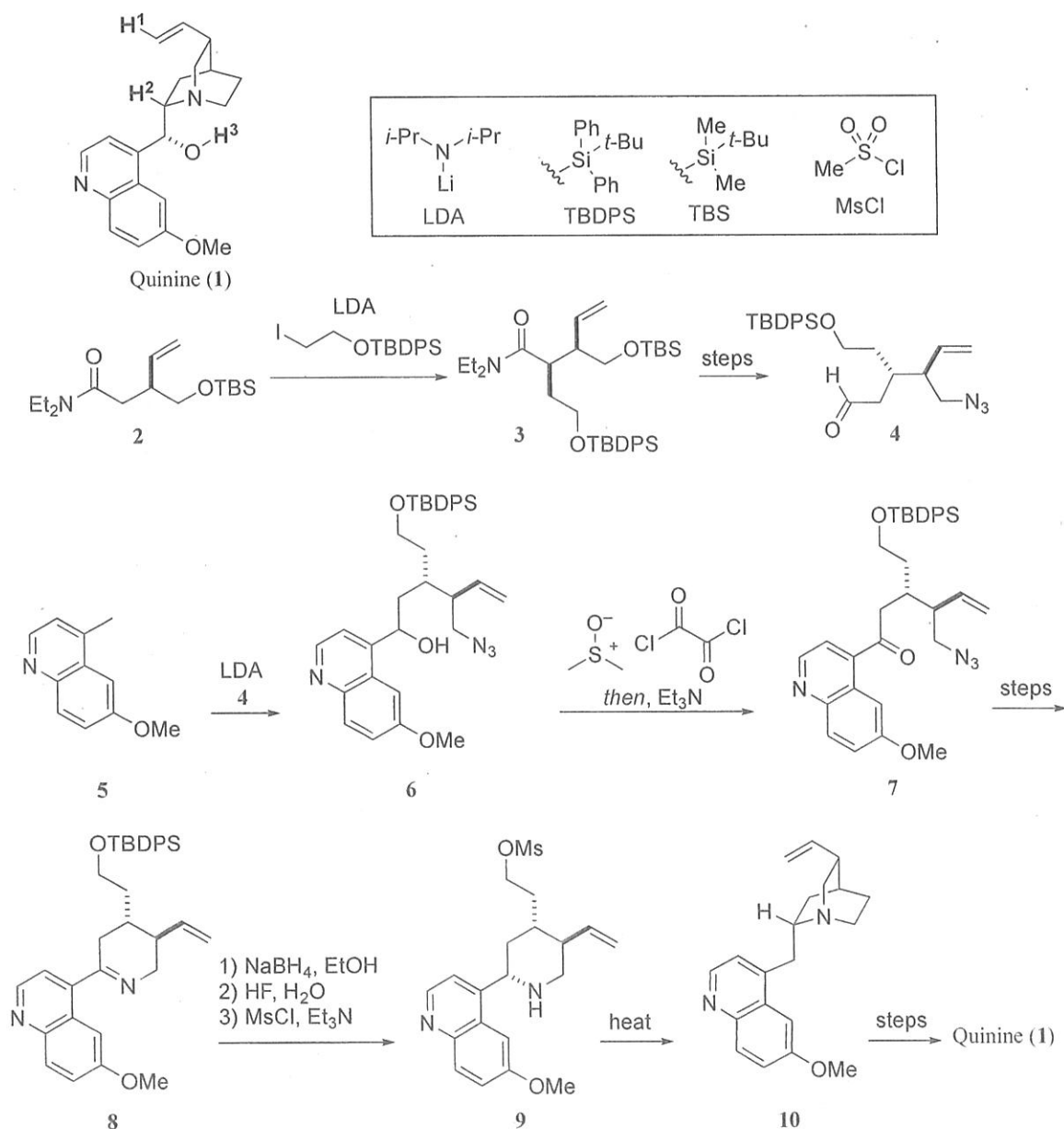
専攻名 物質化学専攻（化学コース）（一般選抜）

試験科目名 専門科目 化学
科目群 A: III 有機化学

P.4 / 10

III 次の問1および問2に答えなさい。反応機構を示す際には、電子の移動を表す矢印を用いなさい。

問1 次の式は、マラリアの治療薬として知られる Quinine (1)の合成経路である。下の(1)~(6)の問いに答えなさい。構造の一部を省略してよい。また立体化学は無視してよい。



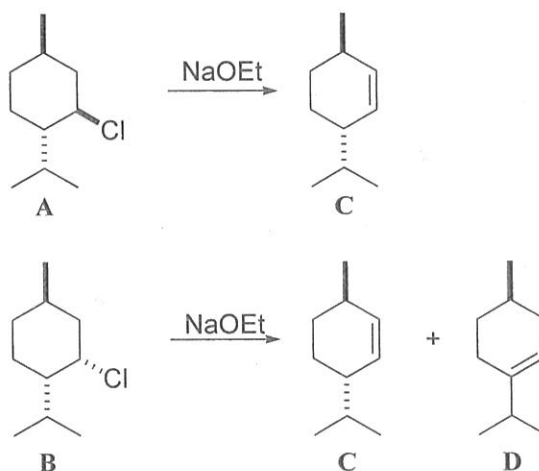
(次ページにつづく)

問題用紙

専攻名	物質化学専攻（化学コース）（一般選抜）	
試験科目名	専門科目 化学 科目群 A: III 有機化学	P.5 / 10

- (1) Quinine (1)に含まれる太字の水素 $H^1 \sim H^3$ に関して、 pK_a 値の小さいものから順に不等号 (<) を用いて並べなさい。
- (2) 化合物 2 から 3 への反応機構を示しなさい。
- (3) 化合物 5 から 6 への反応機構を示しなさい。
- (4) 化合物 6 から 7 への反応機構を示しなさい。
- (5) 化合物 8 から 9 への反応機構を示しなさい。
- (6) 化合物 9 から 10 への反応機構を示しなさい。

問2 次の反応について、下の(1)~(3)の問いに答えなさい。



- (1) 化合物 A, B について、アキシアル, エクアトリアルがわかるように最も安定な立体配座をそれぞれ示しなさい。
- (2) 化合物 A について、すべての不斉炭素原子の絶対立体配置を RS 表示法で示しなさい。
- (3) 化合物 A からは化合物 C のみが選択的に得られた。一方、化合物 B からは化合物 C と D が得られた。この事実について、それぞれの反応機構を示して説明しなさい。

問題用紙

専攻名 物質化学専攻（化学コース）（一般選抜）

試験科目名 専門科目 化学
科目群 B: IV 分析化学

P.6 / 10

IV 次の問1～問3に答えなさい。計算問題では活量係数は1.0とし、計算過程も示しなさい。

問1 溶媒抽出について、次の(1)～(4)の問いに答えなさい。

- (1) 次の表は、水とクロロホルムにおけるヨウ素の溶解度 S を示したものである。クロロホルム-水間におけるヨウ素の分配定数の値は、(ア) 0.0072 (イ) 140 (ウ) 350 の中でいずれが最も近いと考えられるか、その理由とともに記号で答えなさい。

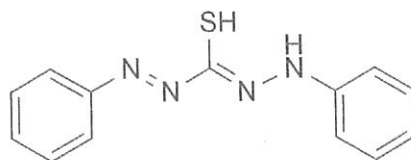
溶媒	S [mol L ⁻¹]
クロロホルム	1.8×10^{-1}
水	1.3×10^{-3}

- (2) フェノールなどの一塩基酸 (HA) の分配比 D は以下に示す HA の水相-有機相間の分配平衡とともに水相での酸解離平衡に依存する。



D を各化学種の濃度を用いて答えなさい。ただし、水相および有機相における化学種 X の濃度はそれぞれ $[X]$, $[X]_{\text{org}}$ と表しなさい。また、 D を HA の酸解離定数 K_a および分配定数 K_D , 水素イオン濃度 $[\text{H}^+]$ を用いた式で表しなさい。

- (3) 水相に含まれる二つの溶質を溶媒抽出によって分離するとき、分離の程度を表すパラメータとして分離係数 (α) が用いられる。有機相に1-オクタノールを用いてフェノール誘導体 (HA) と一酸塩基であるキノリン誘導体 (B) の溶媒抽出を行った。pH 12.00 での二つの分離係数 ($\alpha_{\text{B/HA}}$) を求めなさい。ただし、HA の酸解離定数および分配定数をそれぞれ、 $K_{a,\text{HA}} = 1.0 \times 10^{-10} \text{ mol L}^{-1}$, $K_{D,\text{HA}} = 1.0 \times 10^2$, B の酸解離定数および分配定数をそれぞれ、 $K_{a,\text{HB}^+} = 1.0 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$, $K_{D,\text{B}} = 1.0 \times 10^2$ とする。
- (4) ジチゾン(ジチゾン)は下の図に示す構造をもつ酸性キレート試薬であり、金属イオンの溶媒抽出に用いられる。ジチゾンは水相中で電離した後、金属イオンと無電荷のキレート錯体を形成する。このキレート錯体が有機相に分配することで金属イオンは抽出される。ジチゾンは Al^{3+} , Ca^{2+} , Ag^+ の中でどの金属イオンを最もよく抽出するか、その理由とともに答えなさい。



(次ページにつづく)

問題用紙

専攻名	物質化学専攻(化学コース)(一般選抜)	
試験科目名	専門科目 化学 科目群 B: IV 分析化学	P.7 / 10

問2 酢酸(HOAc)の酸解離平衡について、次の(1)~(4)の問いに答えなさい。ただし、酸解離定数は $K_a = 1.0 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ とし、水のイオン積は $K_w = 10^{-14.00} (\text{mol L}^{-1})^2$ とする。

- (1) 酸解離定数 K_a は濃度平衡定数として与えられており、イオン強度が 0 mol L^{-1} のときに熱力学平衡定数 K_a° と一致する。酢酸の酸解離平衡に関する K_a と K_a° の関係式を活量係数を用いて表しなさい。ただし、化学種Xの活量係数は γ_X と表しなさい。
- (2) イオン強度が増加したときに酸解離定数 K_a の値はどのように変化するか、理由とともに答えなさい。
- (3) 酢酸と酢酸ナトリウムを含む水溶液は緩衝溶液となる。 $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ の酢酸水溶液50 mLと $x \text{ mol L}^{-1}$ の酢酸ナトリウム水溶液100 mLを混合してpH 6.00の緩衝溶液を調製した。 x の値を求めなさい。
- (4) 中和滴定において終点を検出する際には、適切な変色域をもった酸塩基指示薬が必要である。 $1.5 \times 10^{-1} \text{ mol L}^{-1}$ の酢酸水溶液100 mLに対して $3.0 \times 10^{-1} \text{ mol L}^{-1}$ の水酸化ナトリウム水溶液を滴下する中和滴定を行う。終点の検出には次の(ア)~(ウ)のどの指示薬が最も適切か、当量点を計算した結果に基づいて答えなさい。

(ア) フェノールフタレイン(変色域 pH 8-10) (イ) メチルレッド(変色域 pH 4-6)

(ウ) プロモフェノールブルー(変色域 pH 3-5)

問3 分析化学に関連する次の(1)~(4)の語句から二つを選び、簡潔に説明しなさい。

- (1) ガラス電極
- (2) 共通イオン効果
- (3) 高速液体クロマトグラフィー
- (4) ラマン分光法

問題用紙

専攻名 物質化学専攻（化学コース）（一般選抜）

試験科目名 専門科目 化学
科目群 B: V 放射・核地球化学

P.8 / 10

V 次の問1～問4に答えなさい。

問1 核種 X の質量偏差 Δ_m [eV] を次の物理量を用いて表しなさい。

核種 X の質量数 : A

核種 X の原子質量 : m_X [amu]

真空中の光速 : c [m s^{-1}]

電気素量 : e [C]

原子質量単位 : u [kg]

問2 右の図は原子核中の陽子数 (Z) と中性子数 (N) との関係を表す図である。図には安定な原子核の存在領域を模式的に示している。軽い安定核では Z と N が等しい実線に沿っている。図の縦軸と横軸は Z と N のいずれか、それぞれ答えなさい。また、その理由を説明しなさい。

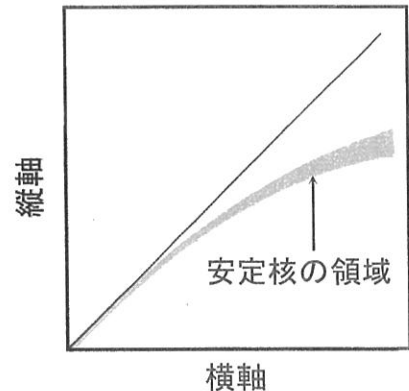


図 安定核の陽子数と中性子数の関係

問3 試料中に含まれる微量のヨウ素を定量するために、試料に原子炉で熱中性子を照射して、生成放射性核種である ^{128}I (半減期 25 分) の放射能強度を測定した。次の(1)～(4)の問いに答えなさい。必要に応じて次の近似値を用いてよい。

$$\sqrt{2} = 1.4$$

$$\ln 2 = 0.69$$

$$\text{アボガドロ定数 } N_A : 6.0 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

- (1) 標的核 A に入射粒子 c が作用した結果、核 B が生成して粒子 d が放出される核反応式は、一般的に $A(c, d)B$ のように表される。この核反応式にならない、 ^{128}I 核が生成する熱中性子捕獲の核反応式を示しなさい。
- (2) 25 分間の熱中性子照射における飽和係数を有効数字 2 桁で求めなさい。
- (3) 25 分間の熱中性子照射を行った直後の生成放射能強度は $9.0 \times 10^5 \text{ Bq}$ であった。この試料中のヨウ素の質量 (g) を有効数字 2 桁で求めなさい。ただし、この照射における熱中性子束密度は $3.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 、熱中性子捕獲断面積は $6.0 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$ とする。また、天然のヨウ素は単一の同位体からなり、原子量は質量数で近似できるものとする。
- (4) ^{128}I は分岐壊変によって ^{128}Xe および ^{128}Te へと遷移する。 ^{128}Xe への壊変における部分半減期を有効数字 2 桁で求めなさい。ただし、 ^{128}Te への部分半減期は 350 分とする。

(次ページにつづく)

問題用紙

専攻名	物質化学専攻（化学コース）（一般選抜）	
試験科目名	専門科目 化学 科目群 B: V 放射・核地球化学	P.9 / 10

問4 天然放射性核種および放射壊変系列に関する次の(1)および(2)の問いに答えなさい。

(1) 次の(ア)～(エ)は放射壊変系列の親核種である。下の(a)～(d)の核種の親核種は
いずれか、(ア)～(エ)の記号でそれぞれ答えなさい。



(2) ^3H は放射壊変系列に属さず、半減期12.3年と短いにもかかわらず常に天然に存在している。その理由を簡潔に説明しなさい。また、このような種類の核種を何と呼ぶか、名称を答えなさい。

令和7年度（10月期入学）及び令和8年度 金沢大学大学院自然科学研究科 博士前期課程入学試験		
問題用紙		
専攻名	物質化学専攻（化学コース）（一般選抜）	
試験科目名	専門科目 化学 科目群 B: VI 生物化学	P.10 / 10

VI 次の問1および問2に答えなさい。

問1 次の文章を読んで下の(1)~(3)の問いに答えなさい。

2024年のノーベル化学賞は、「コンピューターによるタンパク質設計と構造予測」の業績により、米ワシントン大のDavid Baker教授、英Google DeepMind社のDemis Hassabis博士とJohn M. Jumper博士が受賞した。(i)タンパク質はアミノ酸のポリマー分子で、複雑に折り畳まれた立体構造を持っている。Baker教授は、(ii)天然には存在しない新規構造のタンパク質をコンピューターで設計し、その合成に成功した。一方、Hassabis博士とJumper博士は、(iii)タンパク質の構造を予測するAIモデルであるAlphaFoldを開発し、多くのタンパク質について精度の高い予測立体構造を構築することができるようになった。

- (1) 下線部(i)に関する次の(a)~(c)の問いに答えなさい。
 - (a) タンパク質の構造には階層性がある。タンパク質の1次構造、2次構造、3次構造について、それぞれ簡潔に説明しなさい。
 - (b) 初期の構造研究では、アミノ酸側鎖のHydropathy値（疎水親水度）をもとにタンパク質の折り畳みを予測していた。タンパク質を構成する天然アミノ酸のうち、Hydropathy値が高く、タンパク質内部のコアに位置することが多いアミノ酸を三つ挙げ、アルファベット三文字表記で示し、その名称をそれぞれ答えなさい。また、コア構造を安定化する相互作用を何と呼ぶか、答えなさい。
 - (c) Hydropathy値が低い荷電側鎖を持つアミノ酸を三つ挙げ、アルファベット三文字表記で示し、その名称をそれぞれ答えなさい。
- (2) 下線部(ii)に関する次の(a)および(b)の問いに答えなさい。
 - (a) Baker教授は設計したタンパク質の遺伝子を大腸菌に導入（形質転換）し、タンパク質を発現させた。代表的な大腸菌の形質転換法を一つ挙げ、簡潔に説明しなさい。
 - (b) 大腸菌のタンパク質合成装置リボソームが行う遺伝暗号の翻訳について、「コドン」「アンチコドン」「アミノアシルtRNA」の三語をすべて用いて説明しなさい。
- (3) 下線部(iii)に関する次の(a)および(b)の問いに答えなさい。
 - (a) AlphaFoldは多重配列アラインメント（MSA）を元に構造予測を行うが、MSAは進化・系統解析にも使われる手法である。相同性の高いタンパク質ファミリーを表す「オルトログ」と「パラログ」の違いを簡潔に説明しなさい。
 - (b) AlphaFoldは類似配列が報告されていないタンパク質の構造予測が得意ではない。その理由を説明しなさい。

問2 生化学に関連する次の(1)~(5)の語句から三つを選び、簡潔に説明しなさい。

- (1) アンピシリン
- (2) ボーア効果
- (3) 小胞体
- (4) lacプロモーター
- (5) SDS-PAGE