平 成 ２３年 度

名古屋大学大学院情報科学研究科
複 雑 系 科 学 専攻
入 学 試 験 問 題

専　　　　　門

平成２２年８月１０日（火）
１２：３０～１５：３０

注 意 事 項

１．試験開始の合図があるまでは、この問題冊子を開いてはならない。

２．試験終了まで退出できない。

３．（外国人留学生は、日本語から母国語への辞書１冊に限り使用してよい。
電子辞書の持ち込みは認めない。）

４．問題冊子、解答用紙３枚、草稿用紙３枚が配布されていることを確認せよ。

５．問題は数１－数２（数学の基礎）、物１－物４（物理学の基礎）、化１－化５（化学の基礎）、生１－生３（生物学の基礎）、地１－地２（地球科学の基礎）、情１－情３（情報学の基礎）、人１－人２（人類学の基礎）、工１－工３（工学の基礎）、プログラミング、論理的思考（クリティカルシンキング）の２６問である。このうち<u>３問を選択して</u>解答せよ。ただし、「情１」と「プログラミング」を同時に選択することはできない。なお、選択した問題名を解答用紙の指定欄に記入せよ。

６．解答用紙の指定欄に受験番号を必ず記入せよ。解答用紙に受験者の氏名を記入してはならない。

７．解答用紙は試験終了後に３枚とも提出せよ。

８．問題冊子、草稿用紙は試験終了後に持ち帰ってよい。

数 1

次の問に答えよ。

[1] 2次元ベクトル

$$\boldsymbol{a}_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}, \quad \boldsymbol{a}_2 = \begin{pmatrix} 2 \\ 3 \end{pmatrix}, \quad \boldsymbol{b}_1 = \begin{pmatrix} -1 \\ 3 \end{pmatrix}, \quad \boldsymbol{b}_2 = \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \end{pmatrix}$$

に対して，

$$\boldsymbol{b}_1 = p_{11}\boldsymbol{a}_1 + p_{21}\boldsymbol{a}_2,$$
$$\boldsymbol{b}_2 = p_{12}\boldsymbol{a}_1 + p_{22}\boldsymbol{a}_2$$

を満たす2次の正方行列 $\boldsymbol{P} = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} \\ p_{21} & p_{22} \end{pmatrix}$ を求めよ。

[2] さらに，$\boldsymbol{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}$ および $\boldsymbol{y} = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix}$ に対して，$x_1\boldsymbol{a}_1 + x_2\boldsymbol{a}_2 = y_1\boldsymbol{b}_1 + y_2\boldsymbol{b}_2$ が成り立つとき，$\boldsymbol{x}$ と $\boldsymbol{y}$ の関係式を示せ。

[3] 1次独立な n 個の n 次元ベクトルの2つの組 $\boldsymbol{a}_1, \boldsymbol{a}_2, \cdots, \boldsymbol{a}_n$ および $\boldsymbol{b}_1, \boldsymbol{b}_2, \cdots, \boldsymbol{b}_n$ に対して，行列 $\boldsymbol{P} = (p_{ij})$ は

$$\boldsymbol{b}_i = \sum_{j=1}^{n} p_{ji}\boldsymbol{a}_j$$

を満たすとする。このとき，行列 $\boldsymbol{P}$ を $\boldsymbol{A} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{a}_1 & \boldsymbol{a}_2 & \cdots & \boldsymbol{a}_n \end{pmatrix}$ および $\boldsymbol{B} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{b}_1 & \boldsymbol{b}_2 & \cdots & \boldsymbol{b}_n \end{pmatrix}$ を用いて表せ。

数2

実変数 x に対する関数 $f(x), g(x)$ は次の微分方程式を満足するものとする。

$$\begin{aligned} 2f(x)f'(x) &= 1 \\ f(1) &= 0 \\ 1+\{g'(x)\}^2+g(x)g''(x) &= 0 \end{aligned}$$

ここで，$(\ )'$ と $(\ )''$ は，それぞれ x についての 1 階微分と 2 階微分を示す。以下の問いに答えよ。

[1] 微分方程式を解き，$f(x)$ を x の関数として求めよ。

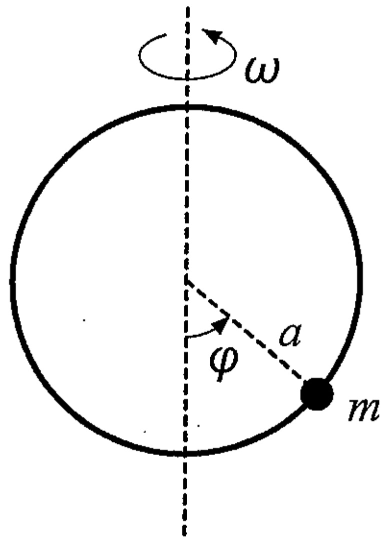
[2] $y=f(x)$ を図示せよ。

[3] 微分方程式を解き，$g(x)$ を積分定数を含む x の関数として求めよ。

[4] $y=g(x)$ が原点を通り，$y=f(x)$ と 1 点で接するように関数 $g(x)$ の積分定数を求め，そのときの $y=g(x)$ を図示せよ。

物1

鉛直下向きの一様重力中（重力加速度 g）で，図のように一定の角速度 ω で鉛直方向の直径のまわりに回転する円輪（質量は無視できるとする）に沿って質点が滑らかに運動している。円輪の半径を a，質点の質量を m，質点を通る半径が鉛直となす角を φ として，以下の問に答えよ。



[1] φ を一般化座標として，運動エネルギー T を書き下せ。

[2] $\varphi = 0$ をポテンシャルエネルギーの基準として，ポテンシャルエネルギー U を書き下せ。

[3] ラグランジアン L を書き下せ。

[4] オイラー・ラグランジュ方程式を計算することにより，運動方程式を求めよ。

[5] φ が一定の値 φ_0 で運動する場合の φ_0 を求めよ。

[6] φ が一定の値 φ_0 で運動する場合の安定性を考えよう。

1) $\varphi = \varphi_0$ からわずかにずれた $\varphi = \varphi_0 + \tilde{\varphi}$ を考える。$|\tilde{\varphi}|$ はじゅうぶん小さいとして，$\tilde{\varphi}$ についての運動方程式を $\tilde{\varphi}$ の1次のオーダーまで求めると，$\ddot{\tilde{\varphi}} = -A\tilde{\varphi}$ の形式となる。A を求めよ。ここで，$\ddot{} = \dfrac{d^2}{dt^2}$ である。

2) 1) で $A > 0$ の場合，$\tilde{\varphi}$ は単振動となる。つまり φ が φ_0 からわずかにずれた場合でも，φ は φ_0 のまわりで振動することになり，$\varphi = \varphi_0$ での運動は安定な運動であると言える。[5] で求めた φ_0 について，A を計算することにより，安定な運動であるかどうかを調べよ。

物2

z 軸方向に一様な磁場 $\vec{B}=(0,0,B)$ がある空間で，時刻 $t=0$ で原点 o から $x-z$ 平面内 z 軸に対して角度 θ の方向に初速度 $\vec{v}=(v_0\sin\theta,0,v_0\cos\theta)$ で飛び出した荷電 e, 質量 m を持つ点粒子の運動を考える。

荷電粒子は磁場中では，磁場を $\vec{B}=(B_x,B_y,B_z)$，粒子の速度を $\vec{v}=(v_x,v_y,v_z)$ として，ローレンツ力 $\vec{F}=(F_x,F_y,F_z)=e\vec{v}\times\vec{B}$ により運動する。

ここで，ベクトル積は $\vec{A}=(A_x,A_y,A_z)$，$\vec{B}=(B_x,B_y,B_z)$ について

$$\vec{A}\times\vec{B}=(A_yB_z-A_zB_y\,,\,A_zB_x-A_xB_z\,,\,A_xB_y-A_yB_x)$$ である。

[1] この荷電粒子の受ける力 $\vec{F}=(F_x,F_y,F_z)$ を書け。

[2] この粒子の運動方程式を $\vec{v}=(v_x,v_y,v_z)$ について書け。

[3] 運動方程式を解くことを考えよう。
そのために, $V=v_x+iv_y$ として，V の満たす方程式を書け。

[4] V について書かれた運動方程式は，線型方程式なので容易に解くことができる。
初期条件により積分定数を決め，$\vec{v}=(v_x,v_y,v_z)$ の解を求めよ。

[5] [4] の結果を使って, 位置座標 $\vec{r}=(x,y,z)$ についての解を求めよ。

[6] 荷電粒子は z 軸方向に進む，図1のような “らせん” 運動をする。その半径 R を求めよ。

[7] この半径で $x-y$ 面での円を一周する時間 (周期) を求めよ。

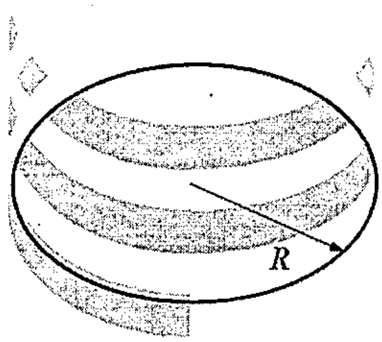


図 1: らせん運動

物3

量子力学では，ハミルトニアン$\hat{H}$で記述される系についてエネルギーを測定したとき，量子状態がエネルギーの固有状態$|E>$であれば，その固有値であるエネルギーの値Eが測定値として得られる。これを次のように書く。

$$\hat{H}|E> = E|E>$$

これは，シュレーディンガー方程式のエネルギーについての固有方程式である。測定値は，期待値$<E|\hat{H}|E> = E$を計算することで得られる。(今の場合は，$|E>$が固有状態なので，対応する固有値がそのまま得られる。)
$<E|\hat{H}|E>$を略記して$<\hat{H}>$と書こう。

さて，質量m，振動数ωの1次元調和振動子の量子系を考える。この系のハミルトニアンは，$\hat{p}$を運動量，$\hat{x}$を位置として，

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

である。エネルギーを測定したとき，状態がエネルギーの固有状態であるとして，測定値の期待値は，

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

と書くことができる。$<\hat{p}^2>$はエネルギーの固有状態で測定した時の運動量の2乗の期待値であり，同様に，$<\hat{x}^2>$は位置の2乗の期待値である。

[1] $\Delta\hat{x} = \hat{x} - <\hat{x}>$を位置の期待値からのずれ(偏差)とする。偏差の2乗の期待値$<(\Delta\hat{x})^2>$を，位置の期待値$<\hat{x}>$と位置の2乗の期待値$<\hat{x}^2>$を使って表わせ。

[2] [1]の結果を使って，不等式$<\hat{x}^2> \geq <(\Delta\hat{x})^2>$を示せ。
同様の議論により，不等式$<\hat{p}^2> \geq <(\Delta\hat{p})^2>$を示せ。

[3] [2]の不等式を使って，$<\hat{H}>$についての不等式を表わせ。

[4] 任意の状態における位置と運動量の同時刻測定について，不確定性関係

$$\sqrt{<(\Delta\hat{p})^2>}\cdot\sqrt{<(\Delta\hat{x})^2>} \geq \frac{\hbar}{2}$$

が成り立つ。これを使って，[3]で得た不等式より，$<(\Delta\hat{p})^2>$のみを使った$<\hat{H}>$についての不等式を求めよ。

[5] 運動量のみの測定ならば，$<(\Delta\hat{p})^2>$は負でない任意の値を取る変数とすることができる。それをaと書くと，[4]で得た，$<\hat{H}>$についての不等式は$a \geq 0$の任意の値に対して0でない下限ϵを与える。すなわち，$<\hat{H}> \geq \epsilon$である。これは，調和振動子のエネルギー固有値Eが下限ϵを持つことを意味する。このϵを求めよ。

物4

下図のようにN個の粒子が長さLの線分上を運動している。粒子間には剛体球的な斥力が働き，2粒子は粒子の中心間の距離がdより近づくことができないとする。また，$-\frac{d}{2}$と$L-\frac{d}{2}$の位置に壁が存在し，壁と粒子との間にも剛体球的な斥力が働くとする。つまり，$L > Nd$として，各粒子は線分上に粒子1から粒子Nまで順番に並んでおり，粒子iの中心座標をx_iとして，移動範囲が

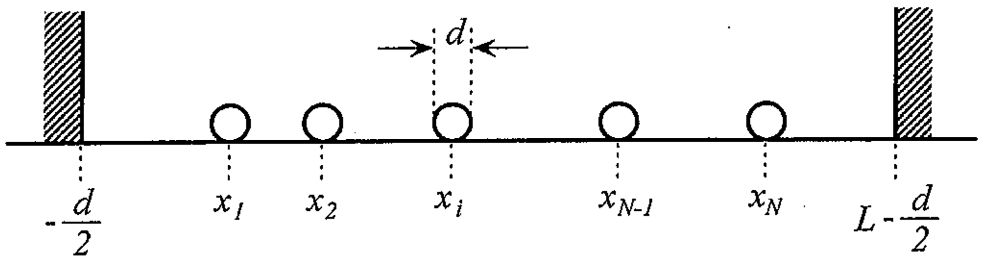
$$0 \le x_1 \le L - Nd, \quad x_1 + d \le x_2 \le L - (N-1)d, \quad \ldots, \quad x_{N-1} + d \le x_N \le L - d$$

に制限される。

各粒子の質量をm，粒子iの運動量をp_iとし，この系のハミルトニアンが

$$H = \sum_{i=1}^{N} \frac{p_i^2}{2m}$$

で表され，この系を温度Tのカノニカル分布によって取り扱い，ボルツマン定数をkとして，以下の問いに答えよ。なお，位相空間内の微視的状態数は，1粒子あたりhを単位として数えることとする。



[1] 分配関数

$$Z = \frac{1}{h^N} \int_{-\infty}^{\infty} dp_1 \cdots \int_{-\infty}^{\infty} dp_N \int \cdots \int dx_1 \cdots dx_N \exp\left(-\frac{H}{kT}\right)$$

を計算しよう。ただし，$x_1, \cdots, x_N$の積分範囲は各粒子が移動できる範囲によって定まる。

1) 分配関数Zの運動量に関する積分の部分

$$I = \int_{-\infty}^{\infty} dp_1 \cdots \int_{-\infty}^{\infty} dp_N \exp\left(-\frac{H}{kT}\right)$$

を計算せよ。なお，$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-ax^2} dx = \sqrt{\frac{\pi}{a}}$である。

2) 分配関数Zを求めよ。

[2] 内部エネルギー$E = \langle H \rangle$を求めよ。ただし，$\langle \cdot \rangle$はカノニカル平均である。

[3] 圧力$P = -\frac{\partial F}{\partial L}$を求めよ。ただし，$F$は自由エネルギーである。

[4] [3]の結果から，この系を1次元古典気体とみなしたときの，状態方程式について考察せよ。

化1

次の文章を読み，以下の問［1］から［7］に答えよ。

単純ヒュッケル法を用いて，アリル(図1a)のπ分子軌道ϕ_iとそのエネルギーε_iを求める。分子はxy平面上にあるとし，r番目の炭素の$2p_z$軌道をχ_r，および，i番目の分子軌道ϕ_iでのχ_rの係数をc_r^iとすると，ϕ_iは（1）式で表される。

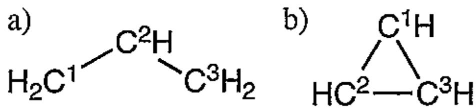


図1．a)アリルとb)シクロプロピル

$$\phi_i = \sum_{r=1}^{3} c_r^i \chi_r \qquad (1)$$

1)分子軌道エネルギーε_iは，（1）式を用いてハミルトニアンhの期待値を計算し，その表式に変分法を適用すると得られる。分子軌道と軌道エネルギーを求めるための永年行列式は（2）式のようになる。

$$\begin{vmatrix} \alpha-\varepsilon_i & \beta & 0 \\ \beta & \alpha-\varepsilon_i & \beta \\ 0 & \beta & \alpha-\varepsilon_i \end{vmatrix} = 0 \quad \text{ただし，} \quad \begin{aligned} &\int \chi_r h \chi_r d\tau = \alpha \quad (r=1,2,3) \\ &\int \chi_r h \chi_{r+1} d\tau = \beta(<0) \quad (r=1,2) \end{aligned} \qquad (2)$$

（2）式の永年行列式から求めたアリルのπ分子軌道とそのエネルギーを表1に示す。同様にして求めたシクロプロピル（図1b）のπ分子軌道とそのエネルギーを表2に示す。

この二つの分子は，π電子数によってカチオン，ラジカル，もしくはアニオンの状態をとる。全π電子エネルギーは，2)アリルラジカルとシクロプロピルラジカルでは大きく違わないが，カチオンではシクロプロピルの方が，アニオンではアリルの方が低い値をもつ。

表1．アリルのπ分子軌道と軌道エネルギー

$\phi_1 = \frac{1}{2}\left(\chi_1 + \sqrt{2}\chi_2 + \chi_3\right)$	$\varepsilon_1 = \alpha + \sqrt{2}\beta$
$\phi_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(\chi_1 - \chi_3\right)$	$\varepsilon_2 = \alpha$
$\phi_3 = \frac{1}{2}\left(\chi_1 - \sqrt{2}\chi_2 + \chi_3\right)$	$\varepsilon_3 = \alpha - \sqrt{2}\beta$

表2．シクロプロピルのπ分子軌道と軌道エネルギー

$\phi_1 = \frac{1}{\sqrt{3}}\left(\chi_1 + \chi_2 + \chi_3\right)$	$\varepsilon_1 = \alpha + 2\beta$
$\phi_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(\chi_2 - \chi_3\right)$	$\varepsilon_3 = \alpha - \beta$
$\phi_3 = \frac{1}{\sqrt{6}}\left(2\chi_1 - \chi_2 - \chi_3\right)$	$\varepsilon_3 = \alpha - \beta$

［1］下線部1）の期待値を，c_r^i，α，βを用いて表せ。

［2］（2）式の永年行列式を解き，表1に示した分子軌道と軌道エネルギーを求めよ。

［3］シクロプロピルの永年行列式は，アリルの場合の（2）式とどのように異なるか答えよ。

化１

［４］シクロプロピルアニオンの電子配置を図示せよ。ただし，各電子は矢印を用いて表せ。

［５］下線部２）について，アリルとシクロプロピルの，ラジカル，カチオン，アニオンそれぞれの全π電子エネルギー（計６種類）を，αとβを用いて答えよ。

［６］下線部２）に示したように，電子数が増えるにつれて相対的にシクロプロピルが不安定になる。この理由を分子軌道の位相や形を用いて説明せよ。

［７］図２に示した二重結合と不対電子が局在した状態の全π電子エネルギーをアリルラジカルの全π電子エネルギーと比較し，アリルラジカルの共鳴エネルギー（電子の非局在化による安定化エネルギー）を求めよ。ただし，局在した二重結合の二つのπ分子軌道のエネルギーは$\alpha \pm \beta$，不対電子の軌道エネルギーはαとする。

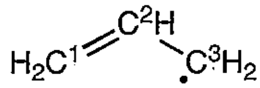


図２

化2

次の文章を読んで，以下の問［1］から［4］に答えよ。

多くの化学反応における反応速度vは，

$$v = k[\mathrm{A}]^{\alpha}[\mathrm{B}]^{\beta}\cdots \qquad (1)$$

のように，化学種A, B,…の濃度$[\mathrm{A}]$, $[\mathrm{B}]$,…のベキ乗に比例することが多い。ここで比例定数kは速度定数と呼ばれている。

化学反応$\mathrm{A+B \rightarrow C+D}$の反応速度を考えよう。この反応が素反応であれば，

$$\frac{d[\mathrm{A}]}{dt} = -k[\mathrm{A}][\mathrm{B}] \qquad (2)$$

のように，$\boxed{（ア）}$次の速度式が考えられる。しかしながら，この反応が複数の素反応から構成されている複合反応の場合では，実験的に決めた速度式が式(2)のようになるとは限らない。

そこで反応全体が$\mathrm{A+B \rightarrow C+D}$と書ける複合反応の一例として，次のような反応(3)と(4)から構成される反応機構を考察してみよう。

$$\mathrm{A} \underset{k_{-1}}{\overset{k_1}{\rightleftarrows}} \mathrm{M+C} \qquad (3)$$

$$\mathrm{M+B} \xrightarrow{k_2} \mathrm{D} \qquad (4)$$

ここで，Mは中間体であり，k_1, k_{-1}, k_2 はそれぞれの反応における速度定数である。まず，Mに対して定常状態近似を適用すると

$$\frac{d[\mathrm{M}]}{dt} = \Bigl(\ \ \text{(a)}\ \ \Bigr) = 0 \qquad (5)$$

となり，$[\mathrm{M}]$は速度定数と，他の化学種の濃度を用いて以下のように表現できる。

$$[\mathrm{M}] = \Bigl(\ \ \text{(b)}\ \ \Bigr) \qquad (6)$$

一方，生成物Dに対する反応速度式が

$$v_{\mathrm{D}} = \frac{d[\mathrm{D}]}{dt} = \Bigl(\ \ \text{(c)}\ \ \Bigr) \qquad (7)$$

と書けるので，式(6)と(7)から反応速度v_{D}が，速度定数とM以外の化学種の濃度を用いて以下のように表される。

$$v_{\mathrm{D}} = \Bigl(\ \ \text{(d)}\ \ \Bigr) \qquad (8)$$

化2

この反応速度式は，反応(3)において平衡状態が成り立つと見なせる場合では

$$v_D = \left(\text{(e)} \right) \frac{[A][B]}{[C]} \tag{9}$$

となる。一方，AからMが生成する反応が律速段階になる場合には，$\boxed{\text{(イ)}}$の濃度に関して$\boxed{\text{(ウ)}}$次で，$\boxed{\text{(イ)}}$以外の濃度に依存しない速度式になる。いずれの場合でも，考察した反応機構が正しい場合は，測定結果が式(2)のようにならないことがわかる。

［1］ $\boxed{\text{(ア)}}$から$\boxed{\text{(ウ)}}$に適切な数字あるいは語句を入れよ。

［2］ (a)から(e)に当てはまる式を入れよ。

［3］ 速度式(2)において，濃度をmol/L，時間を秒(s)で表わす時，速度定数kの単位を答えよ。

［4］ 速度式(2)が成り立つ反応において，実験で得られる反応物の濃度の時間変化からkを求めるには，速度式(2)から濃度と時間の関係式を決めておくと便利である。速度式(2)において，時刻tで化学種Aがxだけ反応したとすれば，AとBの初濃度$[A]_0$, $[B]_0$を用いて

$$\frac{dx}{dt} = k([A]_0 - x)([B]_0 - x)$$

と書ける。この速度式を，(i) $[A]_0 = [B]_0$の場合と，(ii) $[A]_0 \neq [B]_0$の場合についてそれぞれ解き，反応物の濃度と時間の関係式を求めよ。解答にあたっては，関係式を$kt = \boxed{\text{(X)}}$の形に変形して，(X)に当てはまる式を，(i)の場合は$[A]$と$[A]_0$を用いて，(ii)の場合は$[A]$, $[B]$, $[A]_0$, $[B]_0$を用いて答えよ。

化３

［１］有機分子の紫外吸収スペクトル分析は，基底状態にある分子の中の電子が紫外光を吸収することでエネルギー準位の高い空軌道に遷移（昇位）する現象を測定するものである。図1にはその現象に関する分子軌道のエネルギー相対値の模式図が，表1には各種の発色団中の吸収をもたらす電子遷移ならびに吸収極大波長が記載されている。

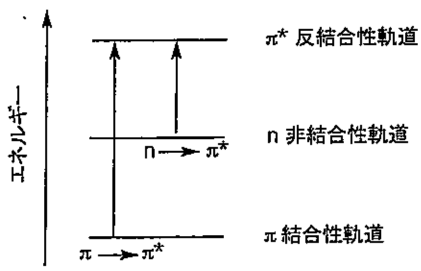


図1．分子軌道のエネルギー相対値.

表1．非共役発色団の種類，吸収をもたらす遷移と吸収極大波長.

発色団の種類	電子遷移	λmax (nm)
C-C, C-H	$\sigma \rightarrow \sigma^*$	～150
C=C	$\pi \rightarrow \pi^*$	～190
C=O	$n \rightarrow \pi^*$	～300

1）　通常の紫外吸収スペクトル分析装置では，単結合（σ結合）に由来する遷移の測定は困難であまり用いられない。それはなぜかを説明しなさい。

2）　有機化学においてこの分光法は，一般にどのような構造の解析に有用か。

3）　各種の共役ジエンの吸収極大波長が表2に示してある。この表から，共役系が長くなると最高被占軌道(HOMO)と最低空軌道(LUMO)のエネルギー差がどうなると予想されるか。

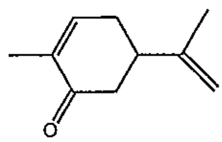
表2．共役ジエンの構造と吸収極大波長.

化合物	λmax (nm)
CH_2=CH_2	165
CH_2=CH-CH=CH_2	217
CH_2=CH-CH=CH-CH=CH_2	256
CH_2=CH-CH=CH-CH=CH-CH=CH_2	290

4）　ある種の化合物は液性（溶液の pH）によって吸収極大波長が変化する。たとえば，フェノールは中性では 270 nm の吸収帯がアルカリ性では 287 nm に，アニリンは中性では 285 nm の吸収帯が酸性では 254 nm に変化する。この理由について考察しなさい。

化3

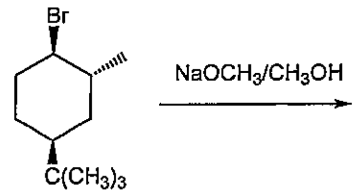
［2］天然に存在する多くの有機分子は不斉炭素を持ちエナンチオマー（光学対掌体）によって生物活性が異なる。たとえば，ペアミントオイルに含まれる (*R*)-カルボンと，ヒメウイキョウに含まれる (*S*)-カルボンは，異なるにおいがする。なぜエナンチオマーが異なる生物活性を示すのかこの理由を説明しなさい。下に立体配置の記載の無いカルボンの構造が示してある。これを参考に *R*-カルボンの構造を書きなさい。



化４

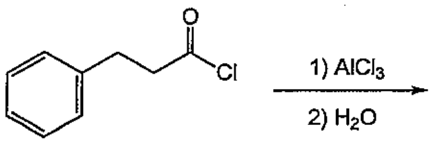
［１］次から３問を選択し，生成物とそれを与える反応機構について説明しなさい。（解答用紙には選択した問題番号を記載すること）

１）



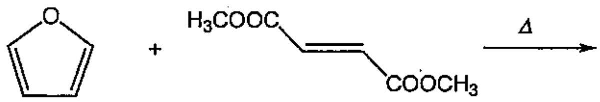
２） $CH_4 + Cl_2 \xrightarrow{h\nu}$

３）



４）

５）

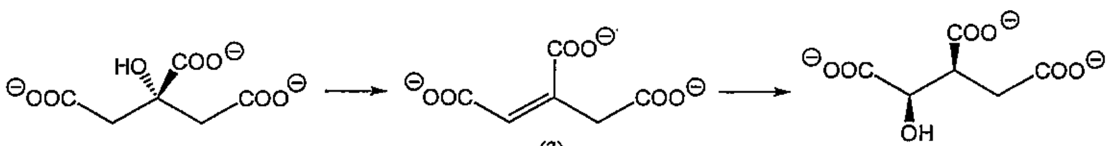


［２］生体内における代謝系の一つであるクエン酸回路について以下の問いに答えなさい。

１）　この回路において，クエン酸（**1**）からイソクエン酸（**2**）への変換は中間体としてシスアコニット酸（**3**）を経由する。この反応経路を推測して説明しなさい。

２）　クエン酸（**1**）とイソクエン酸（**2**）のような関係の異性体を何というか。

３）　クエン酸（**1**）は光学活性かどうかを判断し，その理由を説明しなさい。



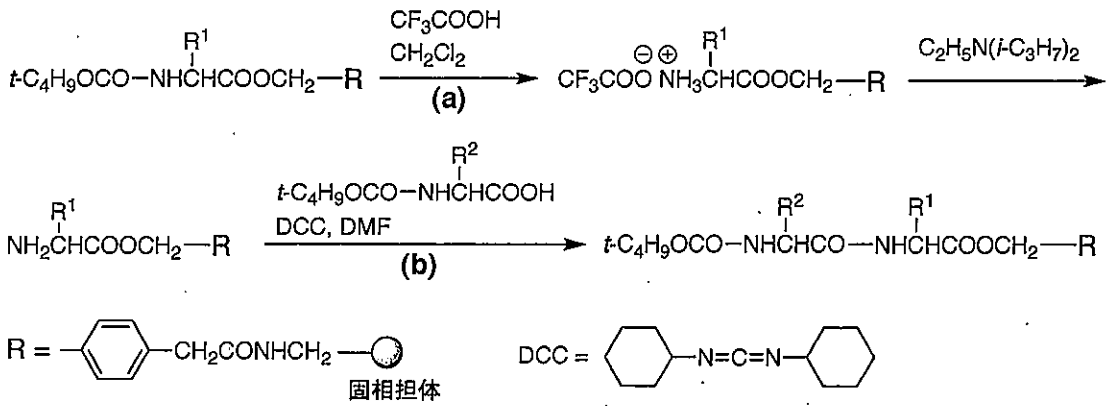
(1)　　(3)　　(2)

化 5

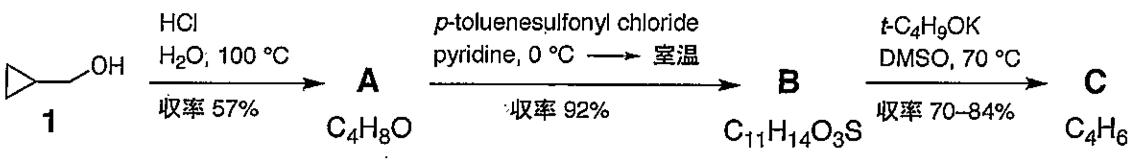
［1］ペプチドの固相合成に関する下記の問いに答えなさい。

(1) ペプチドの固相合成は，長鎖のペプチド（アミノ酸の数が 40 程度)を少量でも極めて速く合成したい場合には，大変有効である。その理由を述べなさい。

(2) 下図に，Boc アミノ酸誘導体を用いるペプチドの固相合成の一部を示した。この図の中の，(a) Boc (*t*-ブトキシカルボニル) 基の脱保護の反応機構，および，(b) DCC (*N,N'*-ジシクロヘキシルカルボジイミド) を用いたペプチド結合生成の反応機構，を示しなさい。



［2］以下の反応式は，シクロプロピルカルビノール (**1**)を出発物質とする化合物 **C** の合成経路である。分子式および ^{1}H NMR のデータを参考にして，各反応の主生成物 **A**，**B** および **C** の構造を推測しなさい。推測した根拠と反応機構も合わせて示しなさい。



^{1}H NMR ($CDCl_3$)のデータ

[**1**] δ 3.42 (d, J = 7.0 Hz, 2H), 3.25 (s, 1H), 1.03–1.13 (m, 1H), 0.45–0.55 (m, 2H), 0.19 –0.26 (m, 2H).

[**A**] δ 4.54 (s, 1H), 4.16 (quintet, J = 7.5 Hz, 1H), 1.1–2.4 (m, 6H).

[**B**] δ 7.79 (d, J = 9.0 Hz, 2H), 7.32 (d, J = 9.0 Hz, 2H), 4.77 (quintet, J = 7.5 Hz, 1H), 2.47 (s, 3H), 1.1–2.3 (m, 6H).

[**C**] δ 6.00 (s, 2H), 2.55 (s, 4H).

(s は一重線，d は二重線，quintet は五重線，m は多重線を表す。)

生 1

多くのタンパク質ファミリーについて多くのアミノ酸配列がわかっている時に，それらを用いてアミノ酸同士の進化的類似性を求める方法を述べよ。必要に応じて図や式を用いても良い。

生２

［１］次の語群の語をできるだけ多く用い，DNA の複製機構を説明せよ。必要に応じて図を用いても良い。

［DNA ポリメラーゼ，複製フォーク，リーディング鎖，ラギング鎖，DNA プライマーゼ，RNA プライマー，DNA リガーゼ，DNA ヘリカーゼ，一本鎖 DNA 結合タンパク質，留め金タンパク質］

［２］DNA 複製の際の校正機構のうち一つを説明せよ。

生３

以下の（１）～（４）から２つを選び，それぞれの目的，原理，手順を説明せよ。必要に応じて図を用いても良い。

（１）ゲルシフトアッセイ
（２）ウェスタンブロッティング
（３）制限断片長多型
（４）アンチセンス RNA 法

地１

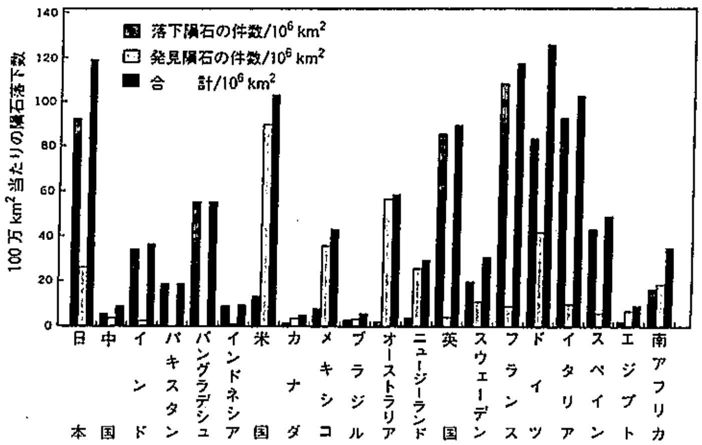
隕石について以下の問いに答えよ。

［１］ 隕石は一般的に石質隕石・石鉄隕石・鉄隕石の三種に大きく分類され，石質隕石はさらにコンドライトとエコンドライトに分類される。これらの分類の方法について説明せよ。

［２］ ［１］とは異なる隕石の分類法として，落下隕石と発見隕石に分類する方法がある。この方法について説明せよ。

［３］ ある統計によると，鉄隕石の約９割が発見隕石という。この理由について説明せよ。

［４］ 下の図は各国における隕石回収状況を落下隕石と発見隕石に分けて示したものである（島正子著『隕石　宇宙からの贈りもの』東京化学同人[1998]より一部改作して引用)。この図から読み取れる特徴について，考えられる理由も含めて説明せよ。



各国における隕石回収状況の比較．100万km^{2}当たりの件数で表した

［５］ ［４］の図と直接関係ないが，日本は世界でも有数の隕石を保有国である。この理由について説明せよ。

地２

測地系について以下の問いに答えよ。

［１］ 日本では2002年３月まで測地基準系に日本測地系を用いてきた。日本測地系について説明せよ。

［２］ 日本では測量法の改正により，2002年４月から測地基準系に世界測地系を用いるようになった。世界測地系について説明せよ。

［３］ 日本測地系から世界測地系へ移行した理由について説明せよ。

［４］ 日本測地系から世界測地系へ移行することで様々な影響が発生するが，２つ例を挙げて，それぞれ対策も含めて説明せよ。

情 1

[1] 次のプログラムの演算結果を求めよ。

```
#include<stdio.h>
int main(void){
    int a=0x1234, b=0xabcd;
    printf(" %x\n  %x\n  %x\n  %x\n", a&b, a|b, a^b, b>>3 );
    return 0;
}
```

[2] 正方行列の転置行列を求める関数 trans を作成した。2 次元配列の整数変数 a に転置したい行列を，整数変数 n にそのサイズを与えて関数 trans を呼ぶと，trans は a に定義された行列の転置行列を a に代入して返す。ただし，2 次元配列の整数変数 a の最大サイズは 10 である。下線部に入れるべき式，または式の一部を答えよ。

```
_____(1)_____ trans( int a[][10], int n ){
    int i,j,x;
    for( i=0; _____(2)_____ ){
        for( _____(3)_____; j++ ){
            x=a[i][j]; _____(4)_____;
        }
    }
}
```

[3] 整数 n を素数判定する関数 check を再帰的プログラミングによって作成した。関数 check は引数として整数変数 n と m をとり，n が素数であれば OK を，素数でなければ NG を返す。ただし，最初に関数 check が呼ばれるときには，m に 2 を与えなければならない。下線部に入れるべき式，または式の一部を答えよ。

```
_____(1)_____(int n, int m){
    if( m > n/2 ){
        return "OK";
    }else if(_____(2)_____){
        return "NG";
    }else{
        return check(___(3)_____);
    }
}
```

[4] 問 [3] の関数 check において，引数 n に 143 を，引数 m に 2 を代入して関数 check を呼ぶとき，関数 check が呼ばれる回数を求めよ。また，その理由について述べよ。

[5] 問 [3] の関数 check を用いて整数 n の素数判定を行い，その結果を出力する関数 main を作成せよ。関数 main では，変数 n へ値をキーボードから入力し，関数 check の結果をファイル result に出力するようにせよ。

情 2

以下の４問から３問を選び，それぞれ 200 字以内で答えよ。なお，一部の英単語については，文脈に即した典型的な意味を付記している。

[1] 次の文章は，「複雑系」を定義している。筆者の定義を説明せよ。

Now I can propose a definition of the term complex system: a system in which large networks of components with no central control and simple rules of operation give rise to complex collective behavior, sophisticated information processing, and adaption via learning or evolution. (中略) *Here is an alternative definition of complex system: a system that exhibits nontrivial emergent and self-organizing behaviors.*

{give rise to (生じさせる), collective behavior (集合的振舞い), sophisticated (洗練された), adaption (適応), alternative (代わりの), exhibit (示す), nontrivial (自明でない), emergent (創発的な), self-organizing (自己組織的な)}

[2] 次の文章では，ノード(vertex)とその間を結ぶリンク(edge)から構成されるネットワークに新しいノードが付け加える場合，どの既存ノードに対してリンクでつなげるかを記述している（A は０より大きい定数とする)。なぜ，この方法を'attractiveness of popularity'と呼ぶのか，また，この方法でネットワークの成長をモデル化できる可能性があると考えられる具体例を，そう考えた理由とともに一つあげよ。なお，あるノードの次数(degree)とは，そのノードに接続されているリンクの数を意味する。

We use the 'attractiveness of popularity'. Here we consider a linear type of preferential linking: the probability that the end of a new edge becomes attached to a vertex of degree k is proportional to $k+A$.

{attractiveness (魅力，ひきつけること), popularity (人気), linear (線形の), preferential (優先的), probability (確率), end (端), attach (取り付ける), proportional (比例する)}

[3] 次の文章は，生物学的遺伝子であるジーン(gene)からのアナロジーで考えだされた概念である，文化的遺伝子ミーム(meme)を説明している。この文章に基づいてミームとは何か述べた上で，ヒトの独自性に関してミームの概念を用いて述べよ。

When you imitate someone else, something is passed on. This "something" can then be passed on again, and again, and so take on a life of its own. We might call this thing an idea, an instruction, a behaviour, a piece of information...

{imitate (模倣する，まねする), pass on A to B (A を B に伝える), take on (帯びる，持つようになる)}

[4] 次の文章は，時間スケールに関する３つの観点の区別の重要性を指摘している。人間の言語を例にとって，その３観点に基づいたアプローチがそれぞれ何を明らかにしようとするのか，述べよ。

どんなシステムでもその振る舞いをうまく説明するためには，以下の三つの時間スケールのうち，どの観点に基づくかを明らかにする必要がある。(a)「いまここで」という観点，すなわち現在何が起こっているか，ものがどう働くかなど，実際のメカニズムに関する観点，(b) 個体発生的な，個体の寿命内の学習や発達についての観点，そして(c) エージェント群の世代にわたる進化的，系統発生的な観点である。

出典：[1] M. Mitchell: Complexity, Oxford University Press, 2009. [2] S.N. Dorogovtsev and J.F.F. Mendes: Evolution of Networks, Oxford University Press, 2003. [3] S. Blackmore: The Meme Machine, Oxford University Press, 1999. [4] R. Pfeifer and J. Bongard (細田，石黒訳): 知能の原理，共立出版，2010.

情３

［１］ 完全２分木を用いて表すヒープを考える。ここで，木の根である節の番号を１とし，節の数が増えるに応じて，２，３，・・・と順に節の番号を割り振る。

１） 節が５つある，完全２分木を，根を上側にして描け。

２） ある節の番号がｉの場合，その親（根側）の節の番号，および，子（葉側）の節の番号は，いくつになるかを，節の番号ｉを用いて示せ。

３） 各節が，キー値を持つ完全２分木がある。この木に対して，キー値に関する半順序構造を導入するためのアルゴリズムを示せ。ここで，半順序構造とは，各節のキー値において，親（根側）の節のキー値は，k以下の値をとり，子（葉側）の節のキー値は，k以上の値を満たすものである。

４） 上の１）で作った完全２分木の節の１，２，３，４，５番に，それぞれ，５，４，１，３，２をキー値として与えた場合に，３）で構築したアルゴリズムに従い，完全２分木に半順序構造を導入する過程を示せ。

５） 上の３）で作成される半順序構造を持つヒープを用いて，数列を，小さい順に並べる整列を行う，ヒープソートの考え方を述べよ。

人 1

遺跡で出土する人骨の，[1] 性別，[2] 年齢　を判定する方法を，それぞれ具体的に述べなさい。図を用いてもよい。

人2

下記の 3 つの選択肢の中から 1 つを選んで，その内容（どんな種がどのように利用されていたか等）を具体的に述べなさい。図を用いてもよい。なお，ここで言う「動物」とは野生種と家畜の両方を含む。

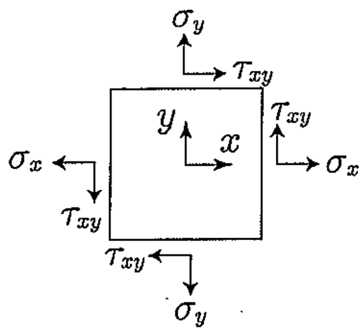
[1] 縄文時代における動物利用
[2] 弥生時代（または続縄文時代）における動物利用
[3] オホーツク文化期における動物利用

工 1

平面応力状態において，一般化フックの法則は

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \nu\sigma_y), \quad \varepsilon_y = \frac{1}{E}(\sigma_y - \nu\sigma_x), \quad \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}$$

とかける。σ_x, σ_y, τ_{xy} は図のような x, y 座標系に対する応力，ε_x, ε_y, γ_{xy} はひずみ，E, ν, G はヤング率，ポアソン比，せん断弾性係数である。



[1] $\sigma_x = -\sigma_y = \sigma_0$, $\tau_{xy} = 0$ となる応力状態のときのモールの応力円を描け。

[2] この応力状態において，x, y 座標系を反時計回りに θ だけ回転した座標系を x', y' とする。この座標系における応力を $\sigma_{x'}$, $\sigma_{y'}$, $\tau_{x'y'}$ とする。

1) $\theta = \pi/6$ のときの $\sigma_{x'}$, $\sigma_{y'}$, $\tau_{x'y'}$ を答えよ。

2) $\sigma_{x'} = \sigma_{y'} = 0$, $\tau_{x'y'} = \sigma_0$ となるときの θ を答えよ。

[3] さらに，この応力状態において，[2] 2) の θ だけ回転した座標系を x', y' とする。x, y 座標系で表されたひずみ ε_x, ε_y, γ_{xy} と x', y' 座標系で表されたひずみ $\varepsilon_{x'}$, $\varepsilon_{y'}$, $\gamma_{x'y'}$ の関係から，

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

が成り立つことを示せ。必要であれば図を用いてよい。

工2

[1] 流体の渦運動に関する以下の問いに答えなさい。

(1) 渦度を$\boldsymbol{\omega}$とすれば，$\nabla\cdot\boldsymbol{\omega}=0$であることを示しなさい。

(2) $\nabla\cdot\boldsymbol{\omega}=0$の物理的な意味について述べなさい。

(3) 図1に示すように，無限の長さをもつ2本の直線の渦糸AおよびBが平行に存在している。渦糸間の距離はR，渦糸AおよびBの循環はΓ_AおよびΓ_Bとする。渦糸の運動について述べなさい。なお，図を用いてもよい。

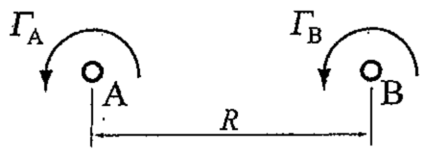


図1

[2] 以下の用語について，それぞれ150字以内で説明しなさい。
ただし，数式や図を併用してもよい。

(1) カルマン渦

(2) キャビテーション

(3) 流れ関数

(4) ベンチュリー管

工3

[1] 外乱$D(s)$のあるフィードバック制御系を図1に示す。図1中の偏差$E(s)$を$D(s)$，$R(s)$およびsの式として求めよ。

[2] 本制御系が単位ステップ外乱$d(t)=1$を受けるとする。$r(t)=10t$のランプ入力に対して，$t\to\infty$のときの定常偏差を求めよ。なお，$d(t)$と$r(t)$は，それぞれ$D(s)$と$R(s)$を逆ラプラス変換して得られる時間関数である。

[3] 外乱のない場合の本制御系について以下の問いに答えよ。

(1) ゲイン余有を求めよ。

(2) ゲイン交叉周波数ω_c（ゲインが 0dB となるための周波数）を求めるための方程式を導け。

(3) ω_cの式として位相余有を求めよ。

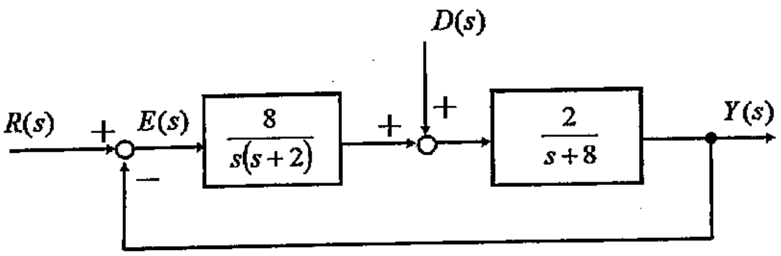


図1

(参考) ラプラス変換表

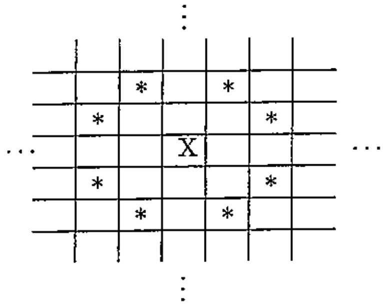
時間関数	ラプラス変換された関数	時間関数	ラプラス変換された関数
デルタ関数$\delta(t)$	1	te^{-at}	$1/(s+a)^2$
ステップ関数$u(t)$	$1/s$	$\sin\omega t$	$\omega/(s^2+\omega^2)$
t	$1/s^2$	$\cos\omega t$	$s/(s^2+\omega^2)$
$(1/2)\,t^2$	$1/s^3$	$e^{-at}\sin\omega t$	$\omega/\{(s+a)^2+\omega^2\}$
e^{-at}	$1/(s+a)$	$e^{-at}\cos\omega t$	$(s+a)/\{(s+a)^2+\omega^2\}$
df/dt	$sF(s)-f(0)$	$\int f(t)dt$	$\dfrac{F(s)}{s}+\dfrac{f^{(-1)}(0)}{s}$
d^2f/dt^2	$s^2F(s)-sf(0)-f'(0)$		

注) fに付した「'」と「(-1)」は，それぞれ一階微分と一重積分を表す。

プログラミング

次の問題を騎士巡回問題（knight tour problem）という．

> $N \times N$ のチェス盤（N は正整数）が与えられているとする．一つの騎士が，指定された出発点から，どの枡目（square）も2度以上訪れることなく，すべての枡目を訪れる移動経路があればその一つを発見せよ．なければないと答えよ．



ただし，右の図において，騎士は現在の枡目 X から $*$ のある枡目だけに移動できる．

アルゴリズム 1 は，騎士巡回問題を解くための再帰（recursive）アルゴリズムである．リスト 1 は，アルゴリズム 1 を実装する C プログラムであり，N と出発点は 2,3,4 行の DEFINE 文で与えられている．ただし，$\boxed{1\text{-}1}$〜$\boxed{1\text{-}8}$，$\boxed{2}$〜$\boxed{4}$の部分は未完成である．なお，リスト 1 の行頭の数字は行番号を表し，プログラムには含まれない．次の問いに答えよ．

(1) リスト 1 の 17 行〜20 行の $\boxed{1\text{-}1}$ 〜 $\boxed{1\text{-}8}$ に適切な値を入れよ．

(2) リスト 1 の 31 行の if 文の条件 $\boxed{2}$ を 80 文字以内で適切に与えよ．

(3) リスト 1 の 33 行の if 文の条件 $\boxed{3}$ を 10 文字以内で適切に与えよ．

(4) リスト 1 の 35 行がアルゴリズム 1 の 18 行に対応するように，$\boxed{4}$ を 20 文字以内で適切に与えよ．

(5) リスト 1 の 6 行で宣言（declare）されている変数（variable）`board` の役割を述べよ．

(6) リスト 1 の `try` の 3 つの仮引数（formal parameter）の役割を述べよ．

(7) 完成したリスト 1 のプログラムを実行したとき，`try` の最初の 5 回の呼出のそれぞれについて，実引数（actual parameter）の値を示せ．また，5 回目の呼出の直前の `board` の値を 5 行 5 列の表の形で示せ．

(8) 指定された出発点からのすべての移動経路を求めるプログラムは，リスト 1 の 33 行と 34 行のみを適切に変更することで得られる．変更後の 33 行と 34 行をそれぞれ 80 文字以内で与えよ．

プログラミング

アルゴリズム 1 騎士巡回問題アルゴリズム

```
各種の初期化（initialization）をする
出発点の枡目を指定して try を呼び出す
印刷された移動経路がなければ「ない」を出力する
procedure try
    本手続き（procedure）に必要な初期化を行う
    for each 騎士の移動 do
        if 移動後の枡目がチェス盤の上にあり，かつ，まだ訪問していない then
            移動後の枡目をそれまでの移動経路に追加する
            if すべてを訪問した then
                移動経路を印刷する
                成功を返す
            else
                現在位置を移動先に移して，try を再帰呼び出しする
                if 再帰呼び出しの結果が成功 then
                    成功を返す
                end if
            end if
            最後に追加された枡目を移動経路から取り除く
        end if
    do end
    失敗を返す
end procedure
```

リスト 1: find-one-knight-tour.c

```c
#include <stdio.h>
#define N 5
#define STARTROW 0
#define STARTCOL 2

int board[N][N], moverow[8], movecol[8], nsols;
int try(int,int,int);
void printout();

main() {
  int i,j;
  nsols = 0;
```

```
  moverow[0]= 2; movecol[0]= 1;
  moverow[1]= 1; movecol[1]= 2;
  moverow[2]=-1; movecol[2]= 2;
  moverow[3]=-2; movecol[3]= 1;
  moverow[4]= [1-1] ; movecol[4]= [1-2] ;
  moverow[5]= [1-3] ; movecol[5]= [1-4] ;
  moverow[6]= [1-5] ; movecol[6]= [1-6] ;
  moverow[7]= [1-7] ; movecol[7]= [1-8] ;
  for (i=0; i<N; i++) for (j=0; j<N; j++) board[i][j] = 0;
  board[STARTROW][STARTCOL] = 1;
  try(2,STARTROW,STARTCOL);
  if (nsols==0) puts("No solution.");
}

int try(int i, int x, int y) {
  int u,v,k;
  for (k=0; k<8; k++) {
    u = x + moverow[k]; v = y + movecol[k];
    if ( [2] ) {
        board[u][v] = i;
        if ( [3] ) { nsols++; printout(); return 1; }
        else { if (try(i+1,u,v)==1) return 1; }
        [4] ;
    }
  }
  return 0;
}

void printout() {
  int i,j;
  printf("-- result %d --\n", nsols);
  for (i=0; i<N; i++) {
    for (j=0; j<N; j++) printf("%2d ", board[i][j]);
    puts("");
  }
}
```

論理的思考（クリティカルシンキング）

問１．

ある情報科学の講座に Bill，John，Rick，Steve の４人の新入生がやってきた．入学試験を突破して講座に配属された以上，どの新入生も，Prolog，LISP，Java，C++の４つのプログラミング言語のうち少なくとも１つは習得済みである．また，４つの言語すべてを習得している新入生はいないことが分かっている．指導教員は，よりきめ細かい研究指導のために，誰がどの言語を習得しているかをさらに詳しく調べ，次のことを見いだした．

a）Rick が習得している言語は Bill も Steve も習得していないものに限られる
b）John は Rick が習得した言語すべてを習得している
c）Prolog を習得済みの新入生は１人しかいない
d）C++を習得していない新入生は１人しかいない
e）Java を習得済みの新入生はちょうど２人である
f）LISP を習得済みの新入生はちょうど２人である

(1) さて，以下の命題のうち成り立ちうるものはどれか？自分がどのような思考過程を経て解に達したかも記述しなさい．

(i) Bill は Prolog，LISP，Java を習得済みだが C++はできない
(ii) Bill は LISP，Java，C++を習得済みだが Prolog はできない
(iii) John は Prolog，LISP，Java を習得済みだが C++はできない
(iv) John は LISP，Java，C++を習得済みだが Prolog はできない

(2) さらに，Bill が未習得の言語は４つのうちただ１つであることがわかったとしよう．このとき，Bill の未習得言語は Java か Lisp のいずれかに限られることを証明しなさい．

問２．

ある会社が新入社員の選考において男性を不当に優遇しているのではないかという抗議を受けた．この会社は営業部と開発部の２つの部からなり，それぞれが独自に新入社員を選考している．調査してみると，確かに会社全体では，すなわち営業部と開発部を合わせて考えると，男性の採用率（入社希望者に対する採用者の割合）は女性の採用率の２倍近い数字になっている．そこで，社長はそれぞれの部の採用人事担当者を呼んで事情聴取をすることにした．ところが、どちらの部の担当者も，口を揃えて「うちの部では男性優遇などしていません．男性の採用率と女性の採用率はまったく同じです」と答えた．そんなバカなと思って，それぞれの部の採用率を調べてみたら，確かにどちらの部でも，採用率の男女による違いはなかった．

実は，こうした直観に反する事態は起こりうることであり，Simpson's paradox と呼ばれている．そこで次の問いに答えなさい．

(1) 営業部と開発部それぞれの男性入社希望者数，女性入社希望者数，男性採用者数，女性採用者数がどのような値であれば，上記のような事態が生じるか．具体例を１つ挙

げなさい．
（2）問い(1)で挙げた具体例を一般化することにより，どのような場合に Simpson's paradox が生じうるかについて，あなたの考えを書きなさい．

問３．
三鷹，四谷，五代，六本木の４人の研究者は，イタリアで開かれた国際会議で共同研究の成果を発表した．五代と三鷹は計算機科学者，四谷と六本木は哲学者である．発表は成功し，４人は互いをねぎらうために連れ立って夕食を食べにいった．４人は円いテーブルに等間隔に座った．メニューを検討した結果，４人は前菜に１人１品ずつ異なる料理を注文し，取り分けて食べることにした．この前菜の注文について次のことがわかっている．

a）三鷹と四谷は隣同士に座った
b）五代の左隣に座った人はタコのマリネを注文した
c）六本木の正面に座った人は牛肉のカルパッチョを注文した
d）カプレーゼを注文した人の左隣は計算機科学者だった

（1）これらの条件をすべて満たすためには，三鷹と五代は向かい合って座ることはできない．このことを背理法で証明しなさい．つまり，「三鷹と五代が向かい合って座ったと仮定する」から始めて，矛盾を導くことで仮定が誤りであったことを示しなさい．（この問いの解答には図を使ってはならない）
（2）さて，４人のうち前菜にイカのトマト煮を注文した人がいるとしたら，それは誰でなければならないか？ 自分がどのような思考過程を経て解に達したかをできるだけ詳細，かつ筋の通った仕方で記述しなさい．