

平成31年度 広島大学大学院理学研究科入学試験問題

数理分子生命理学専攻	専門科目
------------	------

平成30年8月23日 13:30~16:30

注 意 事 項

- (1) 以下の用紙が配布されている。
 - 問題用紙 (表紙を含む) 21枚
 - 解答用紙 (表紙を含む) 5枚
 - 下書き用紙 1枚
- (2) 問題は数学一般, 物理学, 化学, 生物学分野から合計20題ある。これらの中から4題を選択し, 解答せよ。
- (3) 解答用紙の表紙に受験番号と選択した問題の番号を記入せよ。
- (4) 解答は問題ごとに別々の解答用紙を用い, それぞれの解答用紙に選択した問題番号と受験番号を記入し解答せよ。紙面が不足した場合は裏面を使用してよい。
- (5) 解答用紙および下書き用紙の全てに受験番号を記入せよ。
- (6) 試験終了時には, 全ての解答用紙および下書き用紙を提出すること。

問題 [1]

相図に関する問1～問5に答えよ。

- 問1 図1は2種類の物質A, Bに対し, これらは固体状態では互いにほとんど不溶であり, かつ液体状態では完全に可溶であるようすを示した温度-組成の相図である。一定の温度に保った冷媒槽を用いて, 点 a_1 から a_5 まで冷却していった場合の温度変化のグラフを, 横軸に時間, 縦軸に温度をとって描け。なお, 冷却の際には過冷却が起こるものとしてグラフに反映させること。また, 物質A, Bを混合したときには化学反応は起こらないものとする。
- 問2 冷却中の点 a_3 において, ①液体-固体の組成比, ②液体のA, B成分の組成をそれぞれ図中の記号を用いて説明せよ。
- 問3 点 e の温度の名称を記せ。また, この温度の特徴を日常生活で利用している例を一つあげて簡単に説明せよ。
- 問4 AとBを混合したときに $A+B \rightarrow C$ の化学反応が起こって新たに物質Cが生じる場合の相図を図1にならぬ描け。なおCの融点はAの融点とBの融点の間にあるものとせよ。
- 問5 水を含むエタノールを分留してエタノールのみを精製する場合, 95.6% (V/V) (このときの沸点は 78.2°C) 以上に純度を上げることができないことはよく知られている。この理由を水とエタノールに関する温度-組成の相図を描いて説明せよ。なお, 説明に用いる相図の中に, 問題文中の値と, 水, エタノール (78.5°C) の沸点も記入すること。

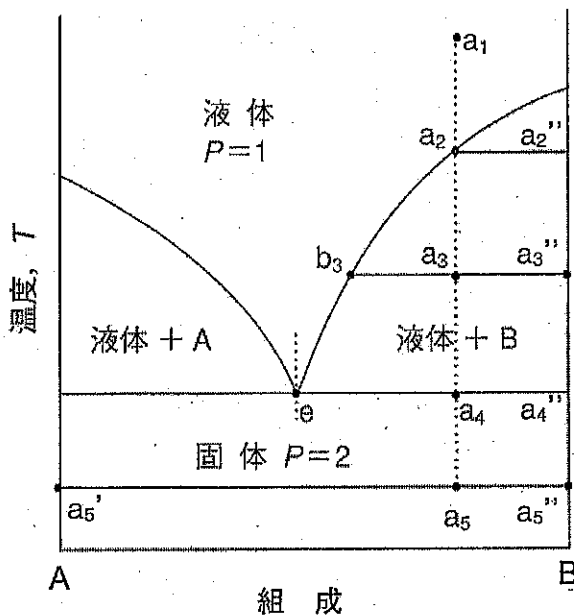


図1

問題 [2]

タンパク質構造変性に関する以下の問1～問4に答えよ。

- 問1 タンパク質溶液中に尿素を添加すると、タンパク質構造は尿素の濃度に応じて変性しランダムコイルになる。いま、 α -helixのみからなるタンパク質 A に対して尿素を添加する実験を考える。

図1は、尿素濃度 ([urea]) に応じたタンパク質 A の 222 nm における円偏光二色性

(CD)スペクトル変化 (モル橢円率 $[\theta]_{222\text{nm}}$ の変化) を示す。

図1のデータをもとに、尿素濃度が 0 M,

4.5 M, 8 M の時のタンパク質 A の CD スペクトルを、それぞれのスペクトルの特徴が分かるように重ね書きした図を記せ。なお、スペクトルの横軸は観測波長 (200 nm—250 nm) とし、縦軸はモル橢円率 $[\theta]$ とする。

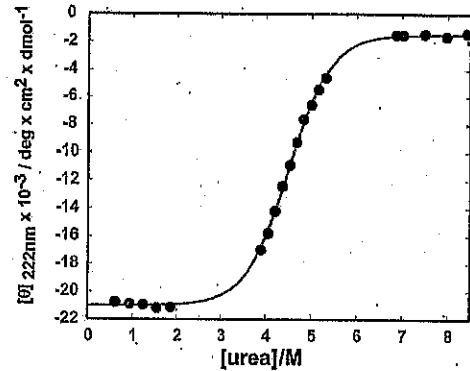


図1：尿素濃度に応じたタンパク質 A のモル橢円率 $[\theta]_{222\text{nm}}$ の変化。●は測定結果。

- 問2 ある濃度の尿素が存在する条件では、タンパク質 A は割合 f だけランダムコイルになることが CD スペクトルから分かった。この濃度の尿素存在下、温度 T におけるタンパク質 A の変性自由エネルギー変化量 (ΔG_U) を求めよ。ただし、 f は $0 < f < 1$ の範囲の値をとるとする。 T は絶対温度、 R はガス定数とする。
- 問3 タンパク質 A の変性自由エネルギー変化量 (ΔG_U) は、尿素濃度に応じて以下のように変化する。

$$\Delta G_U = \Delta G_U(\text{H}_2\text{O}) - m[\text{urea}] \quad (1)$$

ここで、 $\Delta G_U(\text{H}_2\text{O})$ は尿素が存在しない状態でのタンパク質 A の変性自由エネルギー変化量を表す。 $[\text{urea}]$ は尿素濃度を表し、 m はタンパク質 A 固有の係数である。

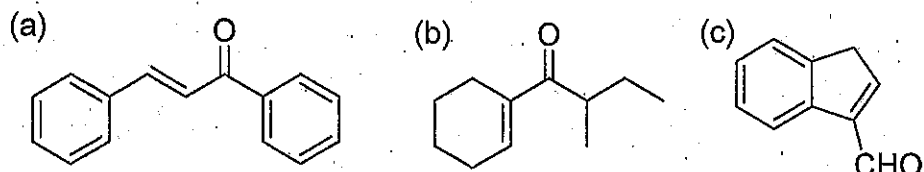
式(1)の関係を使い、タンパク質 A の 50% がランダムコイルになる尿素濃度を求めよ。

- 問4 タンパク質 A とタンパク質 B に対して尿素による変性実験を行い、それぞれのタンパク質に対して式(1)の係数 m の値を決定した。それぞれの値を m_A, m_B とする。測定の結果 $m_A > m_B$ の関係が得られたが、このことからタンパク質 A とタンパク質 B の立体構造の違いについてどのようなことが言えるか簡潔に説明せよ。

問題 [3]

以下の問1～問3に答えよ。

問1 アルドール反応を用いて次の化合物(a)～(c)を合成するスキームを示せ。



問2 図1は上記(a)の質量スペクトル(EI-MS)である。

この質量スペクトル(EI-MS)の m/z 77.0, 105.0, 131.0 のフラグメントを帰属せよ。原子価が分かるような構造式で示せ。

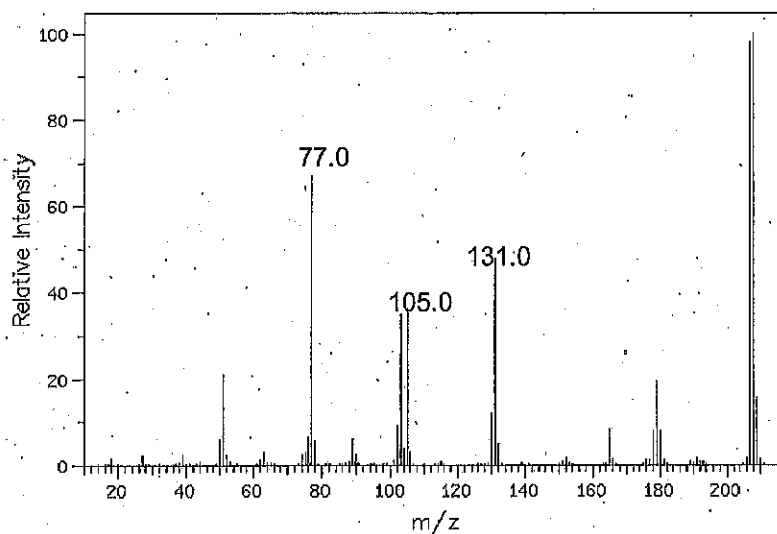
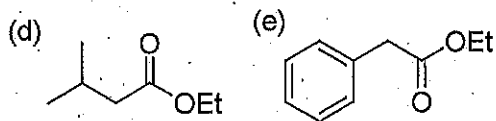


図1 化合物 (a) の質量スペクトル (EI-MS)

問3 次のエステル化合物(d)及び(e)のクライゼン縮合によって得られると予想される生成物を示せ。



問題 [4]

圧力 p 一定のもと、純粋な溶媒 1 mol の固相 s 、液相 l 、気相 g が示す化学ポテンシャル μ の温度 T 依存性を図 1 に示す。問 1～問 4 に答えよ。ただし、モル内部エネルギー U_m 、熱量 q 、仕事 w 、モルエンタルピー H_m 、モルエントロピー S_m 、モル体積 V_m とする。

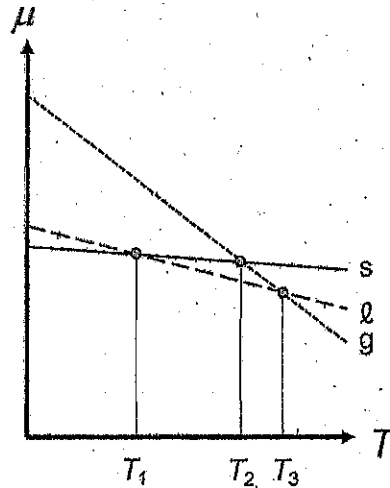


図 1

問 1 図 1 の温度 T_1 、 T_2 、 T_3 は、それぞれ融点、沸点、昇華点のどれを表すか、答えよ。

問 2 温度一定のもと、圧力を変化させた。このときの化学ポテンシャルの変化量は

$$\left(\frac{\partial \mu}{\partial p}\right)_T = V_m$$

と表される。これを導け。

問 3 各相のモル体積の間に $V_m(g) > V_m(s) > V_m(l)$ の関係があるとき、圧力の低下に伴い融点と沸点はそれぞれどのように変化するかを、図 1 を解答用紙に書き写しそれを使って説明せよ。

問 4 溶媒のモル分率が x となるようにこの溶媒に不揮発性の物質を溶解し、希薄溶液を調製した。不揮発性の物質を溶解する前の純粋な溶媒と比較して、この希薄溶液の融点と沸点はどのように変化するかを、図 1 を解答用紙に書き写しそれを使って説明せよ。また、それらの温度変化はどちらが大きいのか、答えよ。

問題 [5]

図1は、分子と光の相互作用をエネルギー状態で示した Jablonski 図である。以下の問1～問4に答えよ。

問1 図中の過程①～③の名称をそれぞれ答えよ。

問2 Kasha の規則とは何か、Jablonski 図を書いて説明せよ。

問3 アントラセンの吸収スペクトルと蛍光スペクトルを波数軸で並べると、吸収スペクトルと蛍光スペクトルが鏡像関係になることが知られている。その理由を Franck-Condon 原理から説明せよ。

問4 一重項状態から三重項状態への遷移は禁制遷移であるにもかかわらず、図1の②の遷移が進行する場合がある。その理由を説明せよ。

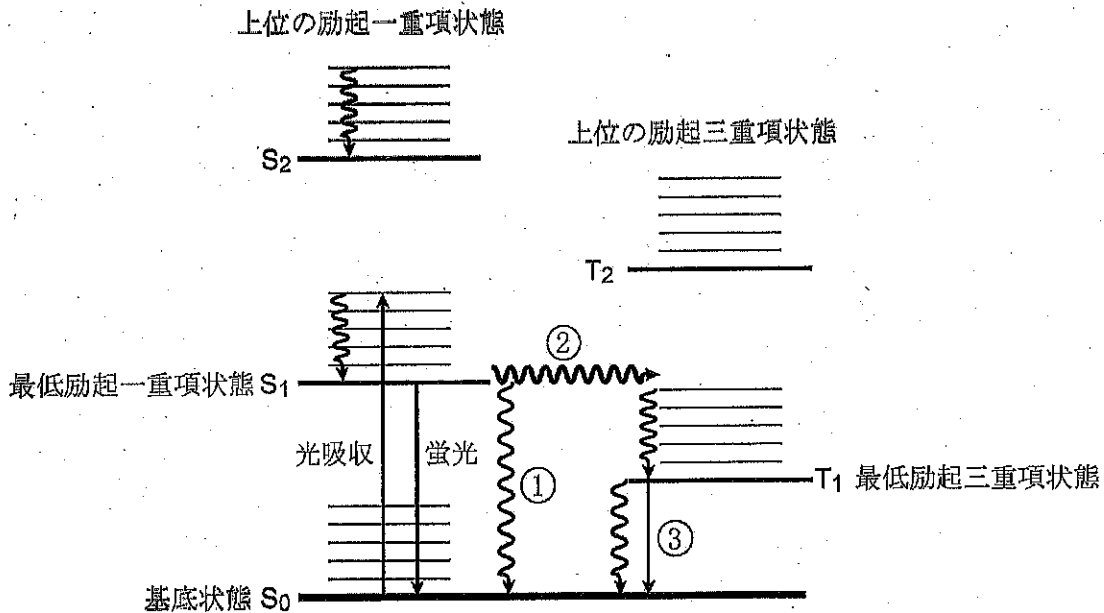
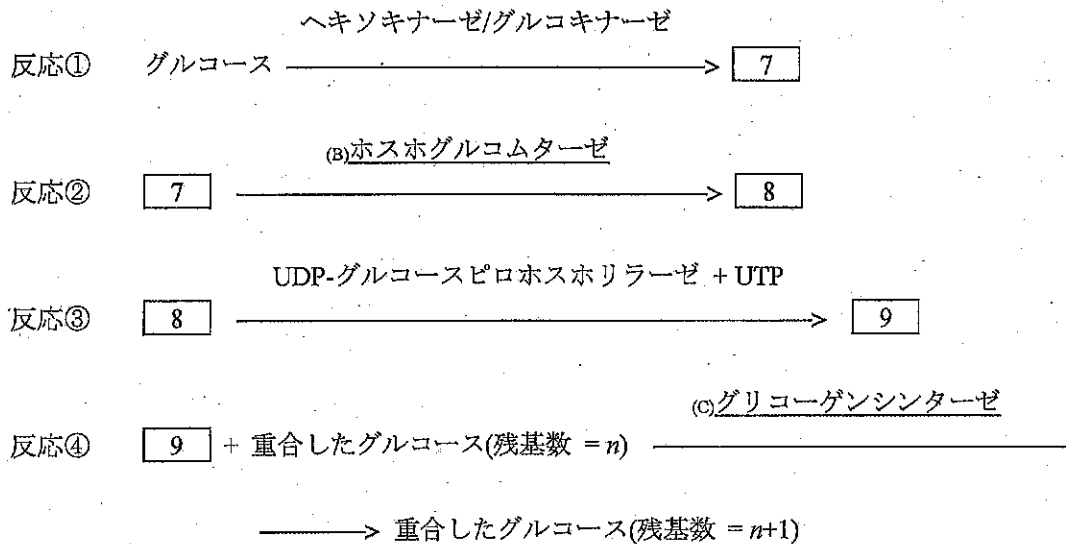


図1

問題 [6]

糖の構造と代謝に関する文を読み、問1～問5に答えよ。

グルコースは、動物ではグリコーゲンとして、植物では 1 として蓄えられる。グリコーゲンは、グルコースの 2 アノマーが 3 反応により重合した高分子であり、グルコース間の共有結合は 4 結合とよばれる。グリコーゲンは枝分かれの非常に多い構造をもち、8～12 残基に一回分枝している。グリコーゲンは、(A)ヒトの臓器では主に 5 と 6 に蓄えられる。小腸で吸収されたグルコースは、以下の酵素反応①～④により重合体となり、さらに、1,4- α -グルカン分枝酵素の反応により分枝したグリコーゲンとなる。



- 問1 文中および反応式の 1 ～ 9 にあてはまる最も適切な語句を答えよ。
- 問2 下線部 (A) について、5 と 6 に蓄えられたグリコーゲンの役割の違いを説明せよ。
- 問3 反応②の下線部 (B) について、ムターゼの酵素機能を簡潔に説明せよ。
- 問4 反応④の下線部 (C) について、グリコーゲンシンターゼは 7 の濃度が高い時に活性化されるアロステリック酵素である。アロステリック酵素について簡潔に説明せよ。
- 問5 ヒトが栄養素として摂取する二糖を二つ答えよ。

問題 [7]

大腸菌の DNA 複製に関する問 1～問 4 に答えよ。

- 問 1 大腸菌の DNA ポリメラーゼによる DNA 複製の開始反応について簡潔に説明せよ。
- 問 2 DNA ポリメラーゼ I は、3つの異なる触媒活性をもつ。それぞれの活性の名称および DNA 複製における役割を説明せよ。
- 問 3 DNA を構成する 2本の鎖は逆並行であるにもかかわらず、複製フォークでは二つの DNA ポリメラーゼ III による DNA 合成が効率よく連動している。そのメカニズムについて、以下の用語をすべて用いて説明せよ。説明には図を併用してもよい。

リーディング鎖、ラギング鎖、岡崎フラグメント、DnaB、 τ 複合体

- 問 4 DNA ポリメラーゼ III が鋳型 DNA 鎖上の損傷部位に遭遇したとき、この損傷部位ではその後どのようにして DNA 複製が継続されるか説明せよ。

問題 [8]

膜タンパク質の機能に関する文を読み、問に答えよ。

動物細胞の細胞膜上には、多種多様な膜タンパク質が存在している。その機能は多岐にわたっており、(A)物質の輸送に関わるものや、(B)細胞外のシグナル分子を認識し、情報を細胞内に伝達するもの、(C)細胞間の結合に関わるもの、(D)細胞外マトリクスとの結合に関わるもの、(E)ウイルスの感染に関わるものなどがある。

問 下線部(A)～(E)について、それぞれの機能を有する膜タンパク質または膜タンパク質ファミリーの名称を一つずつあげ、細胞における当該タンパク質の役割を具体的に説明せよ。

問題 [9]

動物の発生に関する文を読み、問1～問6に答えよ。

動物の初期発生では、(A)卵割とよばれる細胞分裂によって受精卵から多くの細胞が生み出される。卵割期の細胞は(①)とよばれ、(B)分裂スピードが速いなどの性質を有する。卵割後の初期胚は、ボール状あるいは(②)状の細胞集団となり、中心部分に(③)とよばれる腔所が形成される。この時期の胚は、(④)とよばれる。

初期発生に必要な多くの情報は、受精卵中に(⑤)や(⑥)として蓄えられている。これらの因子は発生過程で枯渇していくが、新たな転写と翻訳によって必要な因子が合成される。(④)期に起こる(⑦)では、(③)に必要な遺伝子の転写が開始する。さらに、(⑦)によって胚の細胞分裂の同調性が失われる。次の発生段階では、(C)(⑧)とよばれる形態形成運動が始まり、胚は(D)3種類の細胞層からなる(⑨)となる。これら3種類の細胞層に加えて、将来(E)精子や卵を形成する(⑩)が生み出される。

問1 文中の①～⑩にあてはまる最も適切な語句を答えよ。

問2 下線部(A)に関して、等黄卵の卵割様式の名称を4つあげ、それぞれの卵割様式を行う動物の目より上位の分類名を答えよ。

問3 下線部(B)に関して、細胞分裂機構について説明せよ。

問4 下線部(C)に関して、様々な細胞移動様式が関与することが知られている。基本となる細胞移動様式の名称を3つあげ、それぞれの移動様式について簡潔に説明せよ。

問5 下線部(D)に関して、3種類の細胞層の名称を答え、それぞれの細胞層から分化する細胞種を答えよ。

問6 下線部(E)に関して、精子の基本構造について説明せよ。図を用いてもよい。

問題 [10]

突然変異に関する文を読み、問1～問5に答えよ。

異なる手法を用いて作製された (A) 2種類のシロイヌナズナ突然変異株ライブラリー から、同じ変異表現型を示す変異株が一株ずつ単離された (I株とII株とする)。(B) これらはともにメンデル遺伝する劣性の一遺伝子変異株で、変異を生じた遺伝子(以下、遺伝子X)は同じであることが遺伝学的に示されたが、変異表現型の程度はI株に比べてII株の方が弱かった。各変異株から遺伝子Xを単離し、発現調節領域を含めたDNA配列を野生型遺伝子と比較したところ、I株ではシロイヌナズナのゲノムには存在しないDNA配列が数千塩基対にわたり第6イントロンに挿入されていた。一方、II株では、(C) 第1イントロンの最初の塩基がアデニンに置換していた 以外は、野生型遺伝子の配列と同一であった。(D) 逆転写PCRにより遺伝子Xの発現を調べた結果、I株ではその転写産物が検出されなかったのに対し、II株では第1イントロンが除かれていない転写産物に加え、第1イントロンとともに第1エクソンの3'末端の30塩基が除去された転写産物が検出された。なお、野生型の遺伝子Xは12個のエクソンから成り、第1エクソンと第1イントロンの長さはそれぞれ142および253塩基対であった。

- 問1 下線部(A)について、I株が単離された突然変異株ライブラリーはどのような手法を用いて作製されたと考えられるか、その名称とともに説明せよ。また、その手法の利点と欠点をそれぞれ説明せよ。
- 問2 下線部(B)について、同一表現型をもたらす劣性の突然変異が、同一遺伝子の変異に因るものか否かを判定するのによく用いられる遺伝学的な実験の手順を説明せよ。また、下線部(B)の結論に至った実験結果がどのようなものであったかについても説明せよ。
- 問3 下線部(C)について、置換前の塩基は何と考えられるか、理由とともに答えよ。
- 問4 下線部(D)について、逆転写反応の鋳型となるRNA検体にゲノムDNAの混入が危惧される場合、その影響を排除するためにはどのような実験操作や工夫が必要か。具体例を二つあげ、それぞれについて説明せよ。
- 問5 I株と比較して、II株の変異表現型が弱い理由を考察し、説明せよ。

問題 [11]

光合成に関する問1～問5に答えよ。

- 問1 シアノバクテリア細胞内に存在するカルボキシソームの機能について説明せよ。
- 問2 強光による植物のキサントフィル脱エポキシ化の制御機構を説明せよ。
- 問3 CO_2 濃度と光合成速度の関係を示した A-Ci カーブにおいて、ある CO_2 濃度以上では光合成速度が上昇しなくなる理由を説明せよ。
- 問4 光照射によるチラコイド膜局在 H^+ -ATPase の活性化機構を説明せよ。
- 問5 光合成の water-water サイクルについて説明せよ。

問題 [12]

複素数 a, b を用いて $f(x) = ae^x \cos 2x + be^x \sin 2x$ で表される \mathbb{R} 上の複素数値関数全体の作る線形空間を V とし, V 上の線形変換を $D: f \rightarrow \frac{df}{dx}$ とする。以下の問いに答えよ。

問1 $e^x \cos 2x, e^x \sin 2x$ が一次独立であることを示せ。

問2 V の基底 $\{e^x \cos 2x, e^x \sin 2x\}$ に関する変換 D の表現行列を求めよ。

問3 変換 D の表現行列が対角行列になるような V の基底を定め, その基底に関する変換 D の表現行列を求めよ。

問題 [13]

2変数関数 $f(x, y) = x^2 + 2xy - y^2 - 4x + 4y - 5$ について以下の問いに答えよ。

問1 関数 $f(x, y)$ の停留点 P の座標を求めよ。次に P が $f(x, y)$ の極値を与えるかどうか調べ、極値を与える場合には極値を求めて極大・極小のどちらをとるか答えよ。

問2 x - y 平面における曲線を、 $C: f(x, y) = 0$ で定める。 P を原点に移す平行移動により C が移る曲線を C' とする。 C' を表す方程式を $g(x, y) = 0$ の形で求めよ。

問3 さらに C' を原点を中心に角度 α だけ反時計回りに回転させると、その曲線の方程式が $px^2 + qy^2 = 1$ ($p > 0$) という形になった。このときの α, p, q を求めよ。この結果から、 C がどのような曲線かを答え、その概形を描け。

問題 [14]

リーマンゼータ関数は $\zeta(s) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^s}$ によって定義される。以下の問1から問4の手順に従い、フーリエ級数を用いて $\zeta(2)$ と $\zeta(4)$ の値を求めてみよう。

問1 区間 $[-1, 1]$ で定義された関数 $u(t) = t^2$ を周期 2 の関数として \mathbb{R} 上の周期関数に拡張する。 $u(t)$ のフーリエ級数展開を求めよ。

問2 問1の結果を用いて $\zeta(2)$ を求めよ。

問3 周期 2 を持つ周期関数 $f(t)$ が $f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n\pi t$ とフーリエ級数展開されるとき、

$$\int_{-1}^1 f(t)^2 dt = 2a_0^2 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n^2$$

であることを示せ。

問4 問2と問3の結果を用いて $\zeta(4)$ を求めよ。

問題 [15]

微分方程式

$$\frac{dx(t)}{dt} = x(t)[r - a(t)x(t)], \quad t \in (-\infty, \infty)$$

について考察する。ここで、 $a(t)$ は有界な既知正值関数であり、 $r > 0$ はパラメーターである。以下の問 1 ~ 問 4 に答えよ。

問 1 $u(t) = \frac{1}{x(t)}$ と変換するとき、 $u(t)$ が満たす線形微分方程式を求めよ。

問 2 線形微分方程式に対する定数変化法を用いて、問 1 で求めた $u(t)$ に関する微分方程式の一般解を求めよ。

問 3 問 2 で求めた解 $u(t)$ であって、任意の $t \in (-\infty, \infty)$ に対して、 $|u(t)| < C$ を満たす解 $u^*(t)$ を求めよ。ここで、 $C > 0$ はある定数である。

問 4 問 2 で求めた解 $u(t)$ と問 3 で求めた解 $u^*(t)$ は $\lim_{t \rightarrow \infty} |u(t) - u^*(t)| = 0$ を満たすことを示せ。

問題 [16]

細胞を適温に保たれたシャーレで培養する。時刻 t における細胞の数と培養液中の栄養分濃度をそれぞれ $N(t)$ と $R(t)$ で表す。最初に細胞 $N(0) = N_0$ 個と栄養分濃度が $R(0) = R_0$ である培養液を用意する。使用する培養液は A と B の 2 種類である。より多くの培養細胞を得るためにはどちらの培養液が良いのかを調べるために以下の数理モデルを構築した。

$$\frac{dN(t)}{dt} = \gamma f_i(R(t))N(t), \quad (1)$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = -\rho N(t)R(t). \quad (2)$$

ここで γ と ρ は正の定数であり、 $f_i(R(t))$ は細胞の増加率を定める関数で、培養液の種類 ($i = A, B$) によって異なり、以下のように与えられる。

$$f_A(R) = R/\bar{R}, \quad f_B(R) = \frac{R}{\bar{R} + R}.$$

ただし、 \bar{R} は栄養分の基準濃度である。以下の問いに答えよ。

問 1 培養液 A, B それぞれにおける $dR/dN (= (dR/dt)/(dN/dt))$ を計算せよ。

問 2 培養液 A, B それぞれにおいて、 $R(t)$ を $N(t), N_0, R_0$ を用いて表せ。

問 3 培養液 A, B それぞれについて、問 2 で求めた $R(t)$ と微分方程式 (1) から、 $N(t)$ に関する微分方程式を導け。

問 4 時間が十分に経ったときに、細胞数がより多くなるのはどちらの培養液であることを説明せよ。

問題 [17]

C 言語で書かれた次のプログラムを読み、以下の問いに答えよ。

```
#include <stdio.h>

#define MAX 3000

int main(void)
{
    int m = 4, p_init = 1, q_init = 0; // パラメータ設定

    int p[MAX], q[MAX];
    int i;

    p[0] = p_init;
    q[0] = q_init;

    for (i = 1; i < MAX; i++)
    {
        p[i] = (p[i-1] + q[i-1]) % m;
        q[i] = p[i-1];
    }

    printf("p[2019] = %d, q[2019] = %d\n", p[2019], q[2019]);
}
```

問1 p[2019], q[2019] として出力される値は何か。

問2 パラメータ設定行において p_init と q_init を適当に変更したところ、p[2019] は p_init に等しく、q[2019] は q_init に等しくなった。(p_init, q_init) としてありうる値のペアを全てあげよ。ただし p_init, q_init の値としては 0, 1, 2, 3 のどれかを使用すること。

問3 パラメータ設定行において m に適当な自然数をセットする。相異なる 2 通りの (p_init, q_init) に対し、同じ (p[2019], q[2019]) が出力されることはありえるか。ありえるならばその実例を挙げ、ありえないならばそのことを証明せよ。ただし p_init, q_init の値としては 0, 1, ..., m-1 のどれかを使用するという制限は前問と同様である。

問題 [18]

x - y 平面上で、原点からの距離に反比例するポテンシャル $V(x, y) = -\frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2}}$ 中で運動する質量 1 の質点を考える。ただし質点は原点を通らないとする。以下の問いに答えよ。

問 1 時刻 t における質点の正準座標を $(x(t), y(t))$ とし、その共役運動量を $(p_x(t), p_y(t))$ とする。

この系のラグランジアン $L(x, y, \frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt})$ 、ハミルトニアン $H(x, y, p_x, p_y)$ および運動方程式を求めよ。

問 2 系のエネルギーと角運動量が保存することを示せ。

問 3 正準座標 (q_1, q_2) を用いて $x = q_1 q_2$, $y = \frac{1}{2}(q_1^2 - q_2^2)$ と座標変換する。 (q_1, q_2) の共役運動量を (p_1, p_2) とするとき、この座標系でのラグランジアン $L(q_1, q_2, \frac{dq_1}{dt}, \frac{dq_2}{dt})$ とハミルトニアン $H(q_1, q_2, p_1, p_2)$ を求めよ。

問 4 $H(q_1(0), q_2(0), p_1(0), p_2(0)) = h < 0$ とする。また $dt = (q_1^2 + q_2^2) ds$ で定義される新しい時間変数 s を導入する。この時間 s の変化に対し正準座標 q_1, q_2 はどのような運動を示すか述べよ。

問題 [19]

以下の問いに答えよ。

問1 エルミート演算子の定義を述べよ。ただし、共役演算子という用語を使ってよい。

問2 \hat{A} , \hat{B} を互いに異なるエルミート演算子とする。このとき、積 $\hat{A}\hat{B}$ がエルミートであるための必要十分条件を \hat{A} , \hat{B} の間の関係式として表し、その根拠も示せ。

問3 互いに異なる三つのエルミート演算子 \hat{A} , \hat{B} , \hat{C} について、積 $\hat{A}\hat{B}$, $\hat{B}\hat{C}$ がともにエルミートの場合、積 $\hat{A}\hat{C}$ は常にエルミートとなるかどうかを答え、その根拠も示せ。

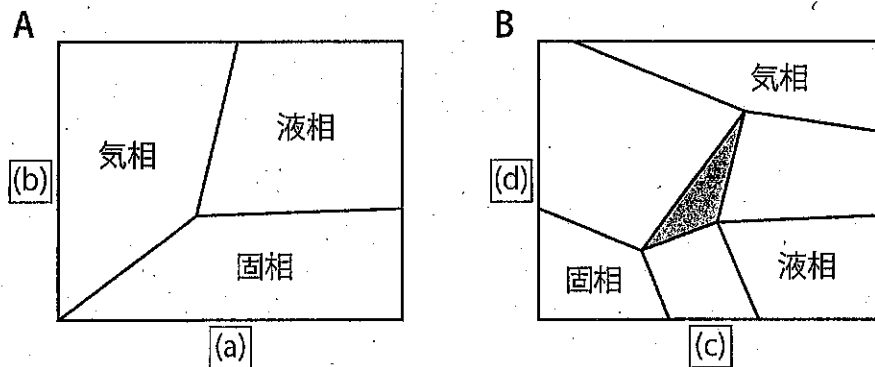
問題 [20]

以下の問いに答えよ。

問1 下の図は、ある物質の相図を模式的に描いたものである (図Aと図Bとで示されている範囲は必ずしも対応していない)。ただし、物質量 N は一定であるとする。このとき、

- (1) 図中の軸 (a)~(d) には、内部エネルギー U 、圧力 P 、体積 V 、温度 T 、のいずれかが入る。(a)~(d) の各々に入るものを答えよ。
- (2) 図Bの灰色の三角形で表した領域の説明として正しいものを、下のア~エから選べ。

- ア 三重点に対応し、この領域内を動く時、エントロピー S は変化しない。
- イ 三重点に対応し、この領域内を動く時、エントロピー S は変化できる。
- ウ 臨界点に対応し、この領域内を動く時、エントロピー S は変化しない。
- エ 臨界点に対応し、この領域内を動く時、エントロピー S は変化できる。



問2 ある気体のエントロピー S が、内部エネルギー U 、体積 V 、物質量 N を用いて、

$$S(U, V, N) = Ns + RN \log \left[\left(\frac{U}{Nu} \right)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{V - tN}{Nv} \right) \right] \dots\dots (*)$$

と表されるとする (ただし、 R は気体定数、 s, t, u, v は正の定数)。このとき、

- (1) 内部エネルギー U を、温度 T 、物質量 N 、定数 R, s, t, u, v のうち必要なものを用いて表せ。
- (2) 圧力 P 、体積 V 、温度 T 、物質量 N の間の関係式 (状態方程式) を求めよ。
- (3) $s, t, u, v > 0$ より、上の式 (*) は、単原子理想気体とは異なる性質を持つ物質を表現している。その説明として適切なものを、下のア~エから全て選べ。

- ア 分子内振動が無視できない場合を表現している。
- イ 分子の排除体積が無視できない場合を表現している。
- ウ 近接する分子間の引力が無視できない場合を表現している。
- エ ある臨界温度 $T_c > 0$ より低温で圧縮した時に気液相転移を示す。