

平成27年度北海道大学大学院生命科学院  
生命科学専攻 修士（博士前期）課程  
入学者選抜試験問題

専 門 科 目  
(生命システム科学コース)

平成26年8月21日（木曜日）実施

13:30～15:00

答案作成上の注意

- 1) 13問中より3問を選択して解答してください。
- 2) 解答は問題ごとに、受験番号と氏名を明記し、選択した問題番号を○で囲んでください。
- 3) 解答は解答用紙の表面のみを使用し、裏面は使わないでください。
- 4) 解答用紙3枚のみ提出してください。

## 問題 1

- 問 1. タンパク質の構造について, 1) 一次構造, 2) 二次構造, 3) 三次構造, 4) 四次構造, の意味するところを簡潔に記せ。
- 問 2. それぞれのタンパク質に固有の立体構造をとらせる, 物理的・化学的要因を挙げ, 構造形成にどのように作用するか説明せよ。
- 問 3. タンパク質のアロステリック制御について説明せよ。また, アロステリック制御機構が用いられることの多い, フィードバック制御について説明せよ。
- 問 4. RNA world 仮説とはどのような説か, 簡潔に説明せよ。
- 問 5. RNA world 仮説の根拠の一つになっている RNA の性質を, 具体例 (RNA の名称や機能) を挙げて説明せよ。

## 問題 2

真核生物における転写と RNA のプロセッシングに関する以下の問に答えよ。

- 問 1. RNA ポリメラーゼ II の C 末端領域 (正確には RNA ポリメラーゼ II の最も大きいサブユニットの C 末端領域) には, 7 個のアミノ酸からなる配列が反復する構造があり, CTD と略称される。この構造は転写や RNA のプロセッシングにどのような関わりを持っているか。
- 問 2. 多くの遺伝子はスプライシングを受けて成熟 RNA となる。スプライシング直後のイントロンは多くの場合投げ縄構造をとるが, 一部のイントロンは直鎖状になる。このような違いが生じる理由を, スプライシングの機構の点から説明しなさい。
- 問 3. 5S 以外の rRNA は前駆体として転写され, プロセッシングを受けて成熟するが, どのようなプロセッシングを受けるか。また, このプロセッシングに関係する RNA 分子が含まれる一群の RNA 分子はなんと呼ばれるか。
- 問 4. DNA トポイソメラーゼの遺伝子が欠損すると, 長い遺伝子の転写に問題が生じるといふ報告がある。この理由を推測しなさい。
- 問 5. タンパク質情報を持つ遺伝子はモノシストロン性であり, 1 つの遺伝子から転写される mRNA が単一のオープンリーディングフレームを持つとされるが, 同一の遺伝子から異なったタンパク質が発現することがありうる。どうしてこのようなことが起こるのか, 想定される可能性について述べなさい。

### 問題 3

mRNA 分解に関する以下の問に答えよ。

問 1. 真核生物の mRNA が分解から保護され、効率よく翻訳が行われるための構造上の特徴を説明せよ。

問 2. 真核生物における一般的な mRNA 分解機構を説明せよ。

問 3. 脊椎動物における細胞内の鉄濃度のホメオスタシスに関わる遺伝子発現制御として、フェリチンとトランスフェリン受容体をコードする遺伝子の発現制御がよく知られている。フェリチンは肝臓と腎臓に存在し、効率よく鉄を保存するのに必要なタンパク質であり、トランスフェリンは血清中の鉄を運搬する輸送タンパク質である。この2つのタンパク質の鉄の存在量に応じた発現制御機構を説明せよ。

問 4. mRNA の分解制御を議論するうえで、mRNA 蓄積量が半分になるのに要する時間である mRNA の半減期 ( $\tau$ ) を理解することが重要となってくる。mRNA の蓄積量 ( $A$ ) は転写速度 ( $k$ ) と mRNA 分解率 ( $\lambda$ ) のバランスによって決まり、時間を  $t$  で表したとき微分方程式 (式 1) で記述することができる。mRNA 蓄積量の初期値を  $A_0$  とし、この微分方程式を時間 ( $t$ ) について解くと、式 2 となる。mRNA の半減期 ( $\tau$ ) は転写阻害剤によって転写を止めた後の、mRNA 蓄積量 ( $A$ ) の時間 ( $t$ ) に伴う変化を測定することによって求められる。mRNA の半減期 ( $\tau$ ) を mRNA 分解率 ( $\lambda$ ) を含む式で表せ。ただし、 $\ln(2) = 0.693$  とする ( $\ln$  は自然対数)。また、途中の計算式も示すこと。

$$\frac{dA}{dt} = k - \lambda A \quad \dots \text{式 1}$$

$$A(t) = \frac{k}{\lambda} + \left( A_0 - \frac{k}{\lambda} \right) e^{-\lambda t} \quad \dots \text{式 2}$$

## 問題 4

細胞のエネルギー代謝に関する以下の問に答えよ。

問 1. 酸化的リン酸化とはどのような反応か。100 字から 150 字程度で説明せよ。ただし、解答には酸化的リン酸化が行われる膜の名称を含めること。

問 2. 以下の文章を読み、(あ) ~ (く) に適切な言葉を、(A) ~ (E) には適切な数字を答えよ。ただし、(あ) に関しては略称でも構わない。

葉緑体のカルビン回路では、(あ) という酵素によって、(い) という炭素数 (A) の化合物 1 分子に対して、二酸化炭素が 1 分子付加され、炭素数が (B) の化合物が 2 分子生成される。この化合物は、次に ATP と (う) を使う 2 段階の反応によって、グリセルアルデヒド 3 リン酸に変換される。このグリセルアルデヒド 3 リン酸の炭素数は (C) である。生成したグリセルアルデヒド 3 リン酸のうち、大部分は再び (い) を生成するのに使われるが、一部は糖、脂肪酸、アミノ酸などの合成に使われる。

細胞内の二酸化炭素の濃度が低い場合は、上述の (あ) は二酸化炭素だけでなく、(え) を (い) に付加する反応も触媒する。この反応は、(お) とよばれる一連の反応経路の最初の段階であるが、この反応経路では、二酸化炭素を放出してしまうために、植物の炭素固定としては無駄な反応であると考えられている。トウモロコシやサトウキビなど高温で乾燥した環境に生育する植物では、この (お) という反応経路による二酸化炭素の放出を抑えるために、特別な炭素固定経路をもっている。トウモロコシの場合、(か) 細胞に存在する酵素が炭素数 (D) の化合物に二酸化炭素を付加し、炭素数が (E) の (き) という化合物を生成する。(き) は (か) 細胞内でリンゴ酸に変換され、(く) 細胞に輸送される。(く) 細胞内ではリンゴ酸から二酸化炭素を放出する反応が行われ、この二酸化炭素を利用して、カルビン回路によって炭素固定が行われる。イネのようにカルビン回路のみによって炭素固定を行う植物を C3 植物、それに対して、トウモロコシの (か) 細胞に存在するような炭素固定を行う植物を総称して C4 植物とよぶ。

問 3. 上述の C4 植物の炭素固定は、(お) という反応経路による二酸化炭素の放出を防ぐという点ではすぐれているが、このような特別な炭素固定経路をもつことは、別な過程でエネルギー消費を伴う。C4 植物が C3 植物に比べてエネルギー消費を伴うのはどのような反応過程か。2 つ例をあげよ。ただし、反応の概要を説明してあれば、個々の反応式を示す必要はない。

問 4. 光合成反応におけるクロロフィルの役割を 3 つあげよ。

## 問題 5

三量体 G タンパクは細胞の情報伝達において重要な役割を担っている。以下の問に答えよ。

問 1. 三量体 G タンパクは通常不活性であるが、細胞外シグナルにより活性化されてシグナルを細胞内へ伝達し、その後また元の不活性状態に戻る。この一連の過程を、次の語をすべて用いて説明せよ。

「GTP, GDP, 標的タンパク, 細胞外シグナル分子, 7回膜貫通, サブユニット」

問 2. ある種の G タンパクは細胞内シグナル分子として環状 AMP (cyclic AMP) の産生を促進する。環状 AMP は最終的にはある種の遺伝子の転写を促進するが、環状 AMP のこの作用機構について書け。

問 3. ある種の G タンパクはホスホリパーゼ C-beta を活性化してシグナルを伝達する。このホスホリパーゼ C-beta は、ホスファチジルイノシトール 4, 5 ビスリン酸を基質にして二種類のシグナル分子を産生する。これら二種類のシグナル分子名を書き、それらの作用機構について書け。

問 4. 三量体 G タンパクへの活性化刺激が長時間持続すると、G タンパクの活性化が減弱される (脱感作)。この脱感作のメカニズムについて書け。

## 問題 6

多細胞生物を構成する細胞は、細胞間相互作用の状態によって上皮細胞あるいは間充織細胞とよばれる。細胞の相互作用に関する以下の問に答えよ。

- 問 1. 両生類の神経胚期の胚から中胚葉細胞と予定表皮細胞の細胞塊を切り出し、アルカリ性の培養液につけることで細胞をばらした。その後、中性の培養液において両方の細胞を同じ培養皿で培養し、再集合させた。これらの細胞は数日の後にどのように分布するようになるか、理由とともに述べよ。
- 問 2. 細胞どうしの接着には、カドヘリンが重要な役割を果たす。細胞どうしの接着の強さが細胞の種類によって異なる理由を、カドヘリンを例に説明せよ。
- 問 3. 多細胞生物において、細胞は常に上皮細胞あるいは間充織細胞であるとは限らない。上皮細胞が間充織細胞に変化する例を 1 つ挙げよ。また、その変化は生物にとってどのような役割（あるいは意義）を持つか説明せよ。
- 問 4. 問 3 とは反対に、間充織細胞が上皮細胞に変化する例を 1 つ挙げよ。また、その変化は生物にとってどのような役割（あるいは意義）を持つか説明せよ。

## 問題 7

シロイヌナズナなどのモデル植物を中心としてシュート発生のしくみが明らかになってきた。なかでも茎頂分裂組織 (SAM) は地上部における植物の形態形成の基盤となっている。

問 1. どのような手法により SAM の機能に関わるシグナル因子やシグナル伝達経路が明らかにされてきたか。2 種類異なる方法についてそれぞれ具体的に述べよ。

問 2. SAM にはいくつか種類の異なる細胞が存在する。なかでも幹細胞の存在は SAM が持続的にシュートを形成していく上で重要なものである。SAM における幹細胞の数や機能を維持するしくみは、どのようなタンパク質群によりどのようなフィードバックループにより制御されているのか、1 例をあげて説明せよ。図を用いて説明してもよい。

問 3. SAM をとりまく茎頂では、ホルモンやノンコーディング RNA もシュートの形態形成に重要な働きをしていることが明らかになってきた。この点において茎頂におけるホルモンの働きについて知るところを述べなさい。図を用いて説明してもよい。



## 問題 8

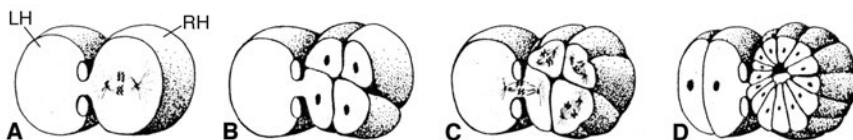
脊椎動物の胚発生に関する以下の問に答えよ。

問 1. 動物の初期発生過程は一定の短い時間間隔でくり返される細胞分裂（卵割）によって特徴づけられる。ツメガエル (*Xenopus laevis*) 胚は発生開始後、35 分の間隔 (23°C) で卵割をくり返す。これが第 11 卵割まで続く。ところが、第 12 卵割の周期はそれまでの卵割よりも 10 分程長くなる。この卵割周期の最初の変化を MBT (中期胞胚遷移) とよぶ。割球の分裂周期は MBT の後もしだいに伸長し、原腸胚期の頃には初期卵割期の倍以上の長さとなる。(a) MBT の前後で細胞周期の構造にも変化が起こっていることが知られている。以下の設問 (1) および (2) に答えよ。

- (1) 下線部 (a) にある細胞周期構造の変化について知るところを記せ。
- (2) 初期卵割期の細胞が短い周期で分裂を十数回くり返すことができる理由を簡潔に述べよ。

問 2. ツメガエルの MBT のタイミングを決めているものとして、(a) 細胞分裂の回数 (DNA 複製の回数)、(b) 受精 (発生開始) からの経過時間、(c) 核内 DNA 量と細胞質量の比率 (「核/細胞質比」という 3 つの可能性が考えられる。下記 [実験] の結果を参考にして、可能性 (a)~(c) の当否を判定せよ。

[実験] ツメガエル受精卵の真ん中を細い毛髪でしばり、核を片方 (RH) に寄せた状態 (図 A) で発生させる (23°C) と、最初の 2 回の卵割は RH だけで起こった (図 B)。3 回目の卵割に際して、しばられている部分に分裂装置が形成され (図 C)、そのままの状態第 3 卵割が終了すると、LH に核が入った。その結果、次の分裂時に LH でも卵割が起こった (図 D)。LH はその後短い周期 (約 35 分) の分裂を 9 回続けたのち初めて分裂周期の伸長 (約 10 分) を示した。一方、RH は第 11 卵割のときに初めて分裂周期の伸長 (約 10 分) を示した。



問 3. 次の語句 (a)~(i) から 2 つを選び、それぞれ 3 行程度の文章で説明せよ。

- (a) ヘンゼン結節 (b) 原腸形成 (c) 原条 (d) 神経冠 (e) 神経誘導  
(f) 表層回転 (g) 中胚葉誘導 (h) 内部細胞塊 (i) 灰色三日月環

## 問題 9

動物の組織形成の基盤となる「幹細胞系」について以下の問に答えなさい。

問 1. 幹細胞（体性幹細胞あるいは組織幹細胞）とはどのような細胞か、説明しなさい。

問 2. 細胞の「分化」とはどのようなことをいうのか、説明しなさい。

問 3. 動物の小腸粘膜には、図 1（マウス小腸粘膜の走査型電子顕微鏡写真）のように、管腔側に突出した「絨毛」およびその周囲で漿膜側に陥入した「陰窩」が存在し、これらは一層の上皮細胞で覆われている。図 2 は、一頭の健康なマウスにチミジンアナログである 5-bromo-2'-deoxyuridine (BrdU) を腹腔注射した後、4 6 時間後に別のチミジンアナログである 5-ethynyl-2'-deoxyuridine (EdU) を腹腔注射し、その 2 時間後に安楽死させて摘出した小腸から作成した組織切片の蛍光顕微鏡像である。この実験では、同一の切片において、BrdU が免疫染色により(図 2 A)、EdU がクリックケミストリーにより(図 2 B)、それぞれ描出されている。この実験結果を考察し、下記の語句を少なくとも一回用いて、小腸粘膜上皮の幹細胞系について記述しなさい。なお、生体内での遊離の BrdU および EdU の半減期は約 1 時間とする。また、図 2 の白破線は組織の輪郭を示している。

アポトーシス	栄養素	幹細胞	抗菌ペプチド
細胞周期	消化管ホルモン	前駆細胞	粘液

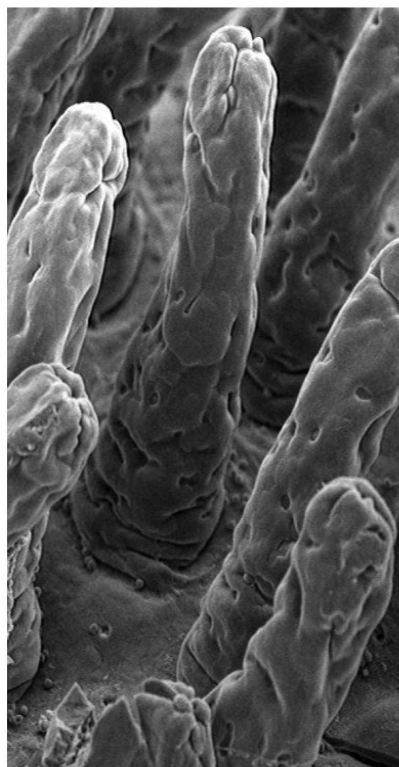


図 1

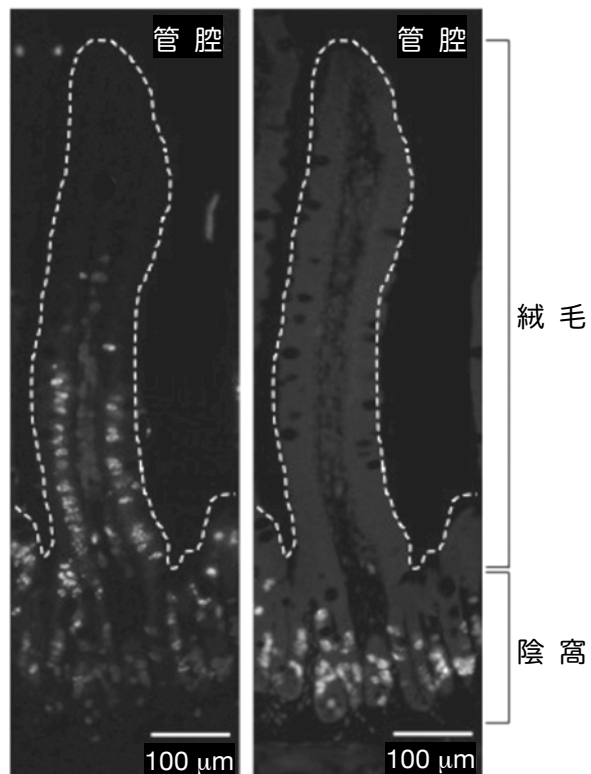


図 2 A: BrdU

図 2 B: EdU

## 問題 10

生体膜の基本構造は脂質二重層だが、膜機能の多くはタンパク質が担っている。膜タンパク質のうち、特に重要なものにイオンチャネルとイオンポンプがある。ニューロンではチャネルタンパク質が巧妙に働き、ニューロンのネットワークでの高度な情報処理を可能にしている。

- 問 1. イオンチャネルとイオンポンプの違いについて、電位依存性  $\text{Na}^+$ チャネルとナトリウム-カリウムポンプの働きの違いを例にとり説明せよ。
- 問 2. ニューロンにおける活動電位の発生と伝導に、電位依存性  $\text{Na}^+$ チャネルと電位依存性  $\text{K}^+$ チャネルがどのように関わるのかを述べよ。
- 問 3. ニューロン間のシナプス伝達に、電位依存性  $\text{Ca}^{2+}$ チャネルとリガンド依存性チャネルがどのように関わるのかを述べよ。

## 問題 1 1

以下の問に答えよ。

問 1. 「ハンディキャップ仮説」に関して、

- (1) どのような学説であるか、説明せよ。
- (2) この仮説を検証するような実験を計画し、どのような結果が得られれば仮説を支持することになるのか述べてよ。

問 2. 動物行動によってその行動発現や制御に関わる神経細胞群が興奮する。

- (1) この神経細胞が興奮することで誘導される神経活動依存的な遺伝子発現に至る細胞内分子メカニズムについて説明せよ。
- (2) この神経活動依存的に発現誘導される遺伝子群がいかにして神経可塑性制御に関わっているかについて説明せよ。

問 3. ニコラス・ティンバーゲンが提唱した「動物行動を理解するための 4 つの質問」に沿って、母性行動を神経行動学的に理解するためにどのような研究が展開可能か説明せよ。

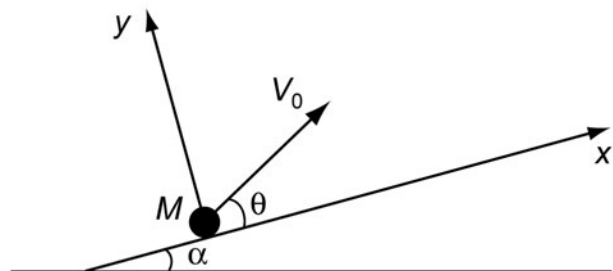
## 問題 1 2

以下の文章を読んで問に答えよ。単位も記すこと。

問 1. 質量  $m$  (kg), 長さ  $2L$  (m) の細い棒の慣性モーメントを以下のそれぞれの場合について求めよ。ただし, 棒の質量は一様とする。

- (1) 回転軸が棒の両端の中点を通り, 棒に垂直である場合。
- (2) 回転軸が棒の一端を通り, 棒に垂直である場合。

問 2. 傾き  $\alpha$  (rad) の斜面上に質量  $M$  (kg) の物体を置き, 斜面上向きに斜面から  $\theta$  (rad) の角度で物体を射出する。斜面上向きに沿った方向を  $x$  軸, 斜面に垂直上向き方向を  $y$  軸と定める。初速度を  $V_0$  (m/s), 重力加速度の大きさを  $g$  (m/s<sup>2</sup>) とする。以下の問に答えよ。

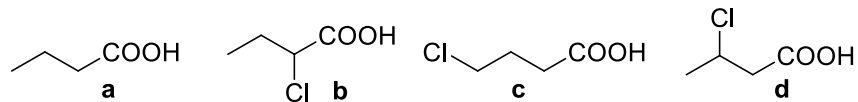


- (1) この物体の運動方程式を微分方程式の形で記せ。
- (2) (1) の運動方程式を解き, 物体が斜面に落下するまでの時間  $t_1$  を求めよ。
- (3) 射出位置から落下地点までの距離  $L$  を求めよ。
- (4) 物体をできるだけ遠くまで到達させるための角度  $\theta_1$  を求めよ。

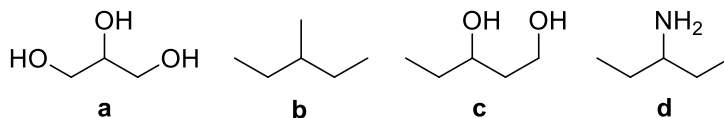
### 問題 1 3

以下の問に答えよ。

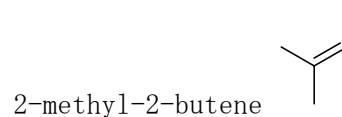
問 1. 次のカルボン酸 a~d を, 酸性度が高い順に不等号を用いて並べよ。



問 2. 次の化合物 a~d を, 沸点の高い順に不等号を用いて並べよ。



問 3. 2-methyl-2-butene に次の酸化反応 a~d を行った。それぞれの生成物の構造式を示せ (生成物は一つとは限らない)。



a  $\text{KMnO}_4$ , 低温    b  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{HO}^-$ ,  $\Delta$     c  $\text{O}_3$ , Zn or  $\text{SMe}_2$     d  $\text{PhCOOH}$

問 4. 次の表はカルボニル化合物に対する還元試薬の反応性を示している。 a~i にそれぞれ生成物の構造式を記入せよ。 反応が起こらない場合は, NR と記せ。

reactants \ reagents	$\text{NaBH}_4$	$\text{LiAlH}_4$	$\text{H}_2/\text{Pd-C}$
Ar-COCH <sub>3</sub>	a	d	g
R-COOCH <sub>3</sub>	b	e	h
R-CON(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	c	f	i

問 5.  $\text{AlCl}_3$  を触媒として用いる芳香族求電子置換反応について, 具体的な反応例を示し, 説明せよ。

問 5. 次の反応による生成物を推定し, a~f の構造式を示せ。

