

大阪大学大学院理学研究科生物科学専攻
平成28年度入学試験問題

生物学・数学・物理学・化学
(平成27年8月1日 13:00-15:00)

注意事項

- ◆ この問題冊子には9問あります。
- ◆ 開始の合図の後、ページ数を確認し、不足のある場合は監督者に申し出なさい。なお、右肩の頁表記は、例えば「【1】 1/3」の記載は、「問題【1】は3頁からなり、この頁はその1頁目」という意味です。
- ◆ 【1】は必須問題で、受験生全員が解答しなければなりません。さらに、【2】から【9】の選択問題から2問を選んで解答しなさい。【1】以外に3問以上解答した場合は、採点しません。
- ◆ 入学後のコースについて、選択問題を2問とも生物学（【2】から【5】）から解答した場合には、B（生物科学）コースとなります。選択問題として少なくとも1問を数学・物理学・化学（【6】から【9】）から解答した場合には、A（生命理学）コースとなります。
- ◆ 解答用紙は、各問題に1枚ずつ使用しなさい。各解答用紙の上部に「受験番号」と「氏名」を記入し、1行目を空白にして、2行目に【1】のように問題番号を記入して解答しなさい。
- ◆ この問題冊子は持ち帰っても良い。

【1】 以下の問題文(1)～(17)の文中(ア)～(リ)に当てはまる語句、記号あるいは数字を答えよ。

- (1) 核酸の構成単位である(ア)は、(イ)の糖に一つ以上のリン酸基がエステル結合で結合している化合物の総称である。
- (2) タンパク質を構成する(ウ)種類のアミノ酸のなかで、側鎖が溶液中でイオン化しない極性無電荷側鎖を持つ(エ)、(オ)、(カ)の水酸基は、タンパク質中でリン酸化される場合がある。
- (3) 六炭糖のグルコースは、(キ)という化学式で表す事ができる。0.25 Mのグルコース水溶液を100 ml 作製するためには、(ク)グラムのグルコースが必要となる。なお、H, C, Oの原子量は1, 12, 16として良い。
- (4) リン脂質は、親水性の頭部に二本の疎水性の脂肪酸が結合した構造であり、このような分子が持つ(ケ)の性質により、水性環境中で(コ)からなるリポソームを形成する。
- (5) 細胞内での物質代謝に関わる還元型ニコチンアミドアデニンジヌクレオチドリン酸、略号(サ)は、同化反応を触媒する酵素とともに働いている。
- (6) 真核生物のほどけたクロマチンをヌクレアーゼで短時間処理するとヌクレオソームの(シ)が分解され、ヌクレオソーム・コア粒子が遊離する。コア粒子は、(ス)個のヒストンタンパクに約(セ)塩基対の二本鎖DNAが結合した複合体である。
- (7) mRNAとは異なりタンパク質のアミノ酸配列を指定する役割をもたない(ソ)RNAは、遺伝子発現の調節に幅広く関わっていることがわかってきた。なかでも、(タ)と呼ばれる短い調節RNAは、RNA誘導サイレンシング複合体を形成することで特異的なmRNAの安定性と翻訳を調節する。
- (8) 染色体DNAの複製では、DNAポリメラーゼの反応に方向性があるので、

連続的に合成される側の DNA 鎖を (チ)、不連続に合成される DNA 鎖を (ツ) とよび区別している。

(9) 細胞の膜を構成する脂質分子の一種である (テ) は、動物細胞の膜脂質の 20 パーセント程度を占めており、細胞膜の (ト) の調節に関わっている。

(10) 動物細胞のナトリウムポンプは、ナトリウムを細胞外にくみ出すことで浸透圧の調節に関わっている。また形成された濃度勾配を利用して膜輸送を行う (ナ) においても重要である。ナトリウムポンプを持たない植物や細菌などでは、(ニ) ポンプが膜輸送の駆動力として使われている。

(11) クエン酸回路では、アセチル基を二酸化炭素に酸化して、回路が一周すると 3 分子の (ヌ) と 1 分子の GTP と (ネ) が作られる。

(12) ミトコンドリアにおける酸化的リン酸化や、葉緑体における光リン酸化において中心的な働きをしている (ノ) は、電気化学的な (ハ) のエネルギーを化学結合のエネルギーに変換し、またその逆を行う可逆的な共役装置である。

(13) 細胞周期の M 期において姉妹染色分体の分離と有糸分裂完了の引き金を引く (ヒ) は、特定のタンパク質を (フ) することで (ヘ) によるタンパク質分解を誘導する。この活性が阻害されると細胞周期は M 期の (ホ) で停止する。

(14) 減数分裂では、1 回の DNA 複製により全染色体を倍加した後、2 回の細胞分裂により一倍体の (マ) が形成される。最初の分裂では、(ミ) が対合して形成された (ム) が分離される。

(15) 遺伝子の変異により、過剰な活性をもったり、本来活性になるべきでない状況で活性になるタンパク質を作る変異を (メ) とよび、遺伝的に (モ) なのが通例である。

(16) ゲノムに存在する (ヤ) 略称 SNP は、(ユ) を作成する時のマーカーや、特定の疾患に関連する遺伝子変異を探索するときに利用されている。

(17) 動物の結合組織では、豊富に存在する (ヨ) が組織の強度を与えている。なかでもコラーゲンは、(ラ) を足場として、細胞膜貫通型受容体タンパク質である (リ) によって細胞骨格と連結されている。

【2】 がん細胞における腫瘍形成能獲得の遺伝学的背景を解析するために以下の実験を行った。実験の【材料】、【方法】、【結果】を読み、問に答えよ。

【材料】

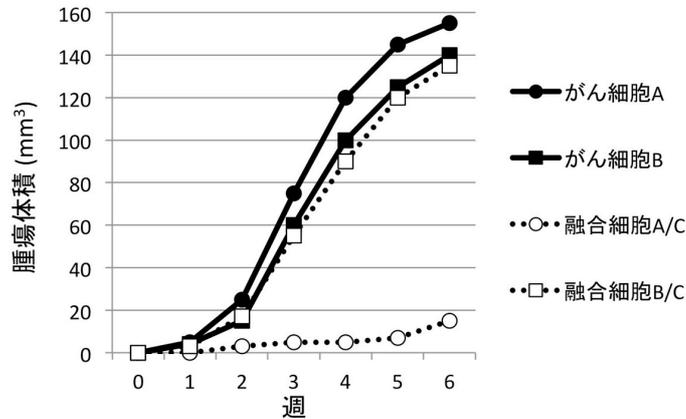
- 1) がん細胞 A : ある遺伝性のヒトがん組織から樹立した細胞。抗生物質ネオマイシン (Neo) に耐性となる遺伝子が導入されている。
- 2) がん細胞 B : 腫瘍ウイルス由来のがん遺伝子を正常細胞に導入することによって作製したがん細胞。抗生物質ピューロマイシン (Pur) 耐性遺伝子も同時に導入されている。
- 3) 正常細胞 C : 抗生物質ブラストサイジン (Bsd) 耐性遺伝子が導入された正常細胞。腫瘍形成能が全くないことが確認されている。
- 4) センダイウイルス外膜 (HVJ-E) : 細胞融合を誘導するセンダイウイルスの外膜粒子。

【方法】

- 1) がん細胞 A と正常細胞 C、および、がん細胞 B と正常細胞 C をそれぞれ同細胞数ずつ浮遊状態で混合し、HVJ-E を加えて細胞融合を誘導した。
- 2) その後、A と C の混合液は Neo と Bsd を含む増殖培地、B と C の混合液は Pur と Bsd を含む増殖培地に移してペトリディッシュで培養した。
- 3) 増殖してくる細胞の多くが 4 倍体であることを確認した後、それぞれ一定数の細胞 (1×10^6 個) をヌードマウス (n=10 匹) の皮下一箇所に移植した。
- 4) 対照として、同じ細胞数 (1×10^6 個) のがん細胞 A およびがん細胞 B をそれぞれヌードマウス (n=10 匹) の皮下一箇所に移植した。
- 5) 移植箇所に形成される腫瘍の総体積 (mm^3) を一週間ごとに測定し、平均値をグラフ化した。

【結果】

図：正常細胞との融合ががん細胞の腫瘍形成能に与える影響



問1 方法2で、2種類の抗生物質を添加して細胞混合液を培養する目的を述べよ。

問2 図に示した平均値のグラフだけでは結果を正しく評価することはできない。さらにどのようなデータ解析が必要か述べよ。

問3 がん細胞Aと融合細胞A/Cの結果の間にはのみ有意な差が認められたとして、正常細胞との融合ががん細胞の腫瘍形成能に与える影響について本実験結果を客観的に記述せよ。

問4 問3の結果から、がん細胞Aが腫瘍を形成する原因として、どのような機能を持つ正常遺伝子にどのような変異が生じているか推論せよ。なお、この段階では原因遺伝子は未同定とする。

問5 本実験でがん細胞Bががん細胞Aとは異なる結果を示した理由を述べよ。

問6 がん細胞Aが由来する遺伝性のがんは、ヒト個体では原因遺伝子のヘテロ接合体において出生後の時間経過とともに発症する。その理由を考察せよ。

【3】 以下の文章を読み、問に答えよ。

細胞内には様々な繊維状の細胞骨格があり、微小管はそのうちの一つである。微小管には方向性があり、⁽¹⁾一方を+端、他方を一端とよぶ。微小管をレールとして、ATPの加水分解と共役して微小管上を移動するモータータンパク質には2種類が知られている。このうちダイニンは、微小管の一端に向かって移動するモーターで、たとえば神経細胞の軸索輸送では、⁽²⁾[a. 細胞体から軸索末端へ b. 軸索末端から細胞体へ] 積み荷を運ぶ。ダイニンは繊毛・鞭毛運動にも関与しており、ATPの加水分解と共役して⁽³⁾繊毛や鞭毛の屈曲を生み出す。キネシンは、一部の例外的タイプを除いて微小管の+端に向かって移動するモーターで、軸索輸送ではダイニンとは逆方向への輸送にかかわる。

アクチン繊維（アクチンフィラメント、マイクロフィラメントともいう）も細胞骨格の一つで、アクチン繊維の上を移動するモーターも知られている。ミオシンがそれである。⁽⁴⁾ミオシンにはI型とII型があるが、移動方向は同じである。節足動物や脊椎動物の骨格筋細胞は、⁽⁵⁾アクチン繊維とミオシンが相互作用することで収縮する。

問1 下線部(1)で、微小管の+端と一端とは、どのような性質の違いがあるか、300字程度で説明せよ。

問2 下線部(2)の [] 内で、正しい記述はaとbのどちらであるか答えよ。

問3 下線部(3)で、微小管上をダイニンが移動すると、なぜ繊毛・鞭毛に屈曲が生じることになるのか。適当な図を描き、微小管の方向性やダイニンの存在様式に言及しながら議論せよ（図と300字程度の文章で）。

問4 下線部(4)で、I型ミオシンとII型ミオシンは、移動方向こそ同じでも、いくつかの性質の違いがある。その違いについて300字程度で説明せよ。

問5 下線部(5)で、骨格筋のアクチン繊維とミオシンはどのような相互作用をして、筋収縮が生じるか。適当な図を描き、アクチン繊維の方向性やミ

オシンの型や存在様式に言及しながら議論せよ(図と 300 字程度の文章で)。

なお、問 1、3～5 でいう文字数はおよその目安であって、100 字程度の過不足は問題にしない。

【4】 FGF に関する以下の文章を読み、問に答えよ。

FGF (繊維芽細胞増殖因子 fibroblast growth factor) は細胞外に分泌されて細胞間相互作用に働くシグナル分子であり、動物の胚発生において、モルフォゲンとして働くことが知られている。この分子は、膜タンパク質である FGF (ア) に結合して、細胞内にシグナルを伝達する。多くの場合、FGF (ア) は、Ras と呼ばれるタンパク質を活性化する。Ras は (イ) が結合することで活性型になるが、シグナルが伝わると (イ) は加水分解されて (ウ) になる。活性型の Ras は MAPKKK と呼ばれるタンパク質を活性化する。MAPKKK は MAPKK タンパク質を (エ) 化することにより活性化し、MAPKK は MAPK を (エ) 化することにより活性化する。この MAPK は核内に移行し (オ) を (エ) 化することにより (オ) の活性を調節して、標的となる遺伝子の転写の調節が行われる。

問1 空欄 (ア) ~ (オ) に適切な語句を入れよ。

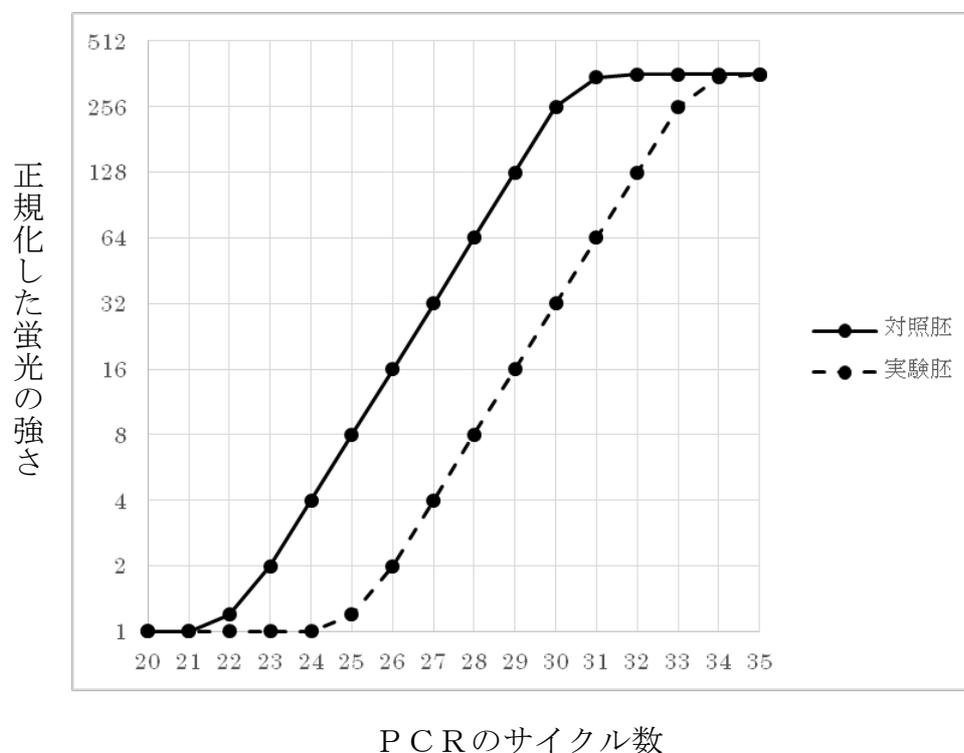
問2 下線部で述べられているモルフォゲンとは一般的にどのようなものか、100字以内で説明せよ。

ある脊索動物の受精卵を FGF の機能を阻害する物質を加えた培養液中に入れて発生させたところ、神経細胞が分化していないようであった。そこで、この実験胚における神経細胞に特異的に発現する A 遺伝子の mRNA の発現量の変化を調べるため、胚から mRNA を抽出し、逆転写して cDNA を作製し、定量的 PCR を行うこととした。

問3 以下の配列は A 遺伝子の配列の一部を示している。下線部分を PCR 産物として得るためには、どのようなプライマーを設計したらよいか。5'→3' の方向に配列を書け。プライマーは 20 塩基の長さとし、二次構造や融解温度などを考慮する必要はない。

5'-GCACACAAAGAAGCCTATCCCTACAAACCATCCACAACGCAAATTTATCA
AGATTTCCAACCAACCATTACCCCGCCCTACCAAACGACCAATGGCAATCAA
GTATCGAAGGTCATGAACTCGATGAGGGACACTTTAGTCTCGAACCAGTC-3'

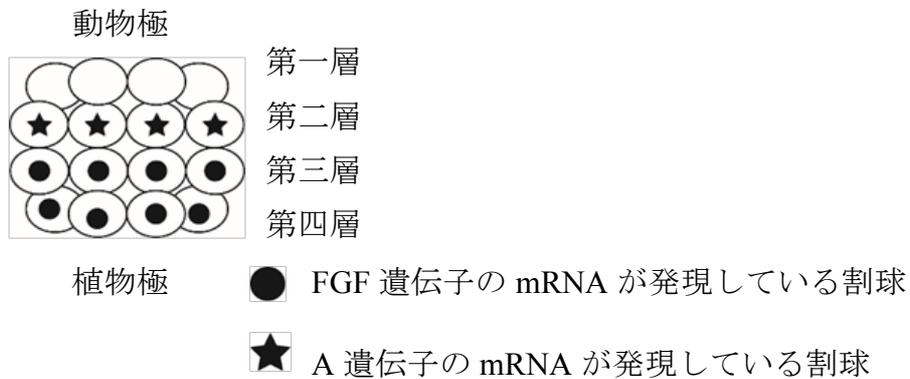
問4 FGFの機能を阻害した実験胚（以下、実験胚と呼ぶ）と通常の培養液で発生させた対照胚（以下、対照胚と呼ぶ）から得たcDNAを用いてPCR反応を行った。二本鎖DNAに結合する蛍光プローブをPCRの反応液に加え、蛍光の強さを継続的に測定した。その結果、下図のような増幅曲線を得た。実験胚と対照胚の間で、A遺伝子の転写産物量の違いはどちらがどちらの何倍になるか。PCR反応では、指数関数的に増幅している間は定量性があると考えられている。PCR反応は理想的な条件で進んだものとする。



この脊索動物の初期胚は、A遺伝子が発現を始める時期には四層の構造を持っている。

実験① in situ ハイブリダイゼーションによって調べたところ、次図のように植物極側の第三層と第四層ではFGF遺伝子のmRNAが発現し、その層に接する動物極側の第二層ではA遺伝子のmRNAが発現していた。

実験② 受精直後から FGF タンパク質を加えた培養液中で胚を発生させたところ、A 遺伝子は第二層に加え、動物極側の第一層でも発現したが、植物極側の第三層と第四層では発現しなかった。



問5 実験①、実験②、問4の定量的PCRの結果をふまえて、A遺伝子が神経細胞（第二層）特異的に発現する理由を、以下の2つの用語を使って150字以内で考察せよ。

誘導、応答能（反応能、コンピテンスでもよい）

問6 第三層、第四層の細胞から内胚葉ができる。内胚葉が細胞自律的に分化（autonomous differentiation）することを示すにはどのような実験をすればよいか。150字以内で述べよ。

【5】 植物の酵素に関する以下の文章を読み、問に答えよ。

A君は、先生から、「植物の炭酸固定の主要酵素である①ルビスコ(通称)は、緑葉では非常に大量に存在するので、精製しなくても電気泳動で主要なタンパク質バンドとして見えるよ。」と教えてもらい、スーパーでホウレンソウを買ってきて試してみる事にした。

ホウレンソウの緑葉を5ミリ角に切り取りマイクロチューブに入れ、ここに界面活性剤を含む抽出バッファーを加え、ペッスル(ホモジェナイザー)で葉をよく破碎し懸濁した。遠心分離により不溶性画分を取り除き、上清をタンパク質抽出画分とした。ここからタンパク質量として20 μg 、10 μg 、5 μg 相当の液をサンプリングし、SDS(ラウリル硫酸ナトリウム)と β -メルカプトエタノールが入った緩衝液で変性させた後、SDSポリアクリルアミドゲル電気泳動を行い、タンパク質を分離した。泳動後のゲルをクーマシーブリリアントブルーの色素溶液に浸しタンパク質を染色すると、図1(模式図)のようになった。②見かけの分子量がおおよそ5万2千とおおよそ1万3千の2つの主要なタンパク質が確認できた。レーン1の分子量1万3千のタンパク質のバンドは、レーン3の分子量5万2千のタンパク質のバンドと見かけ上、同量程度であった。

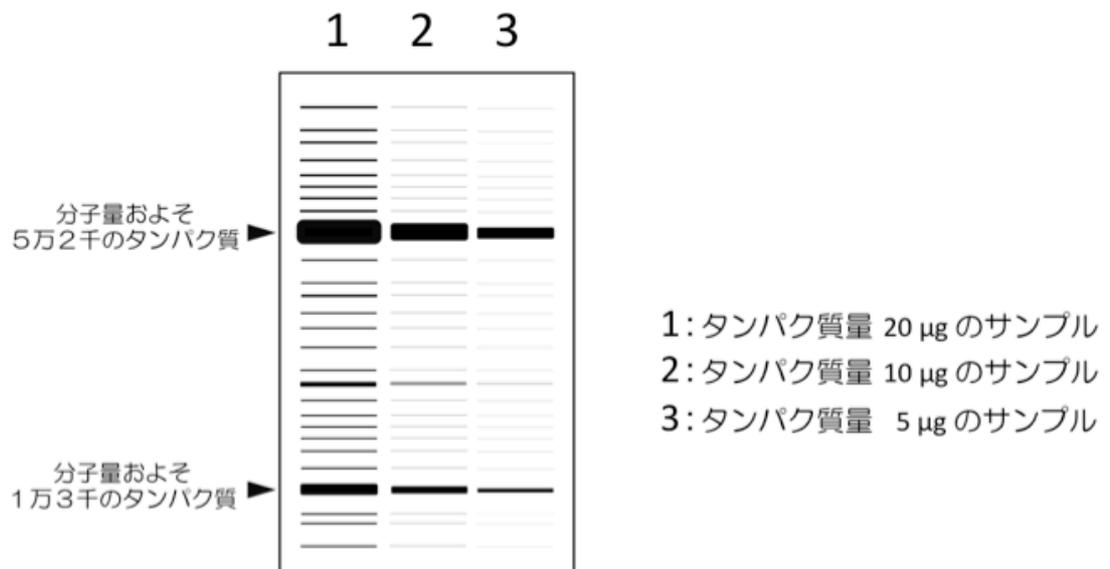
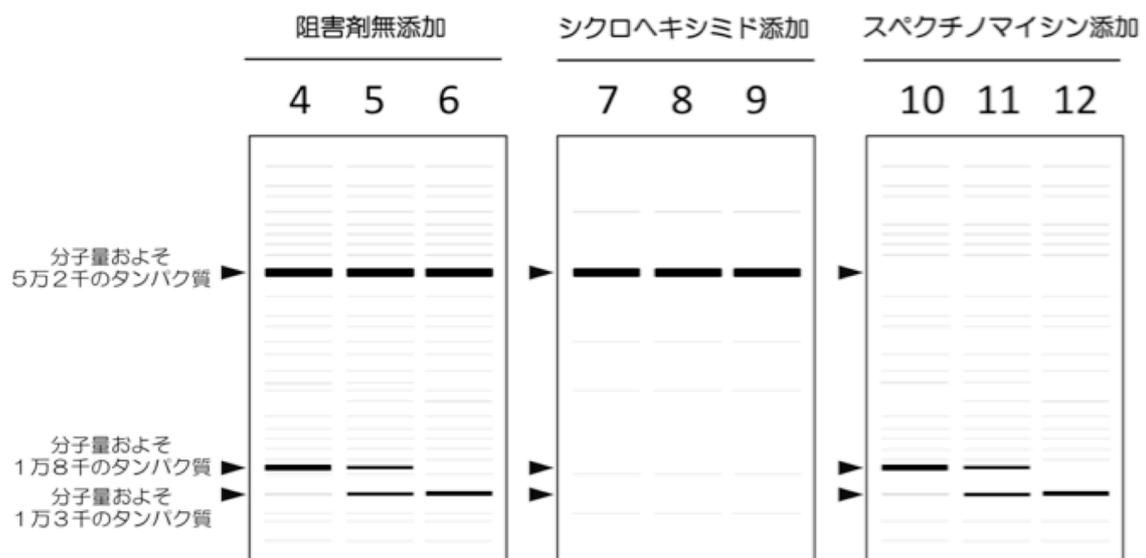


図1 電気泳動後、タンパク質を染色したゲルの模式図

次にA君は、ルビスコの生合成過程を調べるため、明所で育てた若いホウレンソウの同一の緑葉部分から切り取った5ミリ角の葉片複数枚を、放射性標識されたアミノ酸を含む溶液に浸し、これらの放射性アミノ酸を細胞内によく取り込ませた後、5分間、光照射下、室温にてインキュベートした。③その後、葉片のみを過剰量の非放射性のアミノ酸を含む溶液に移して、素早くこれらを取り込ませた後、そのままインキュベーションを続け、5分後、10分後、15分後に、葉片を1枚ずつマイクロチューブに移して、氷温で保存した。葉片が揃ったところで、前述の方法によりタンパク質量20 μg相当のサンプルを調製し、SDS ポリアクリルアミドゲル電気泳動の後、放射性標識されたタンパク質をイメージアナライザーで検出した結果、図2（模式図）のようになった。



4, 7, 10: 非放射性アミノ酸の溶液に移してインキュベーションを再開後、5分後のサンプル
 5, 8, 11: 同 10分後のサンプル
 6, 9, 12: 同 15分後のサンプル

図2 電気泳動後、放射性標識されたタンパク質をイメージアナライザーで検出した結果の模式図

④ 15分後のサンプルでは、図1で見られた2つの主要な蛋白質に対応するバンドが検出された。分子量1万3千のタンパク質のバンドは、5分後のサンプルにはほとんど見られず、そのかわりに、分子量およそ1万8千のタンパク質のバンドが見られた。同様の実験を、放射性標識されたアミノ酸を取り込

せる時から、シクロヘキシミドを添加しておくと、分子量1万8千のバンドも1万3千のバンドも、まったく検出されなくなった。一方、スペクチノマイシンを添加しておいた場合には、分子量5万2千のバンドのほうが検出されなくなった。(シクロヘキシミドは80S型リボソームのタンパク質合成阻害剤として、スペクチノマイシンは70S型リボソームのタンパク質合成阻害剤として用いている。)

問1 下線①の酵素は異なる2つの反応を触媒することから、リブローズ 1,5-ビスリン酸カルボキシラーゼ/オキシゲナーゼと命名されている。その2つの反応の違いを簡単に説明せよ。

問2 A君が下線②について先生に尋ねると、「ルビスコは2種類のタンパク質から成るオリゴマーですよ。」と教えてくれた。下線②の結果をルビスコを構成するタンパク質の組成比と関連づけて説明せよ。

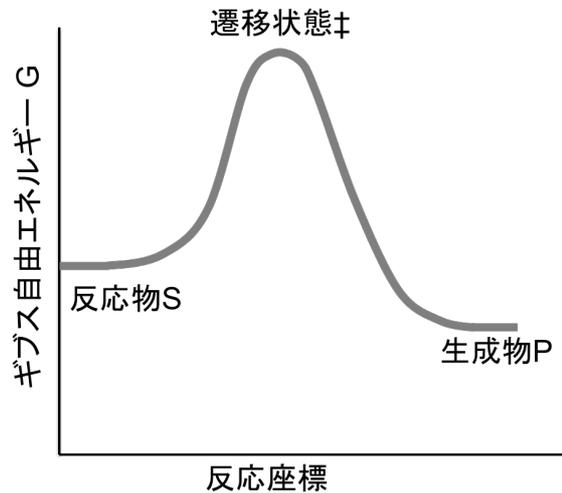
問3 下線③で、過剰量の非放射性のアミノ酸溶液に移してインキュベーションを続けるのは、この一連の実験の中では、どういう意味があるか、答えよ。

問4 下線④の一連の実験結果から、ルビスコの生合成過程について、考察せよ。特に、図2で見られた主要なタンパク質バンドの時間経過に伴う変化や、2つの蛋白質合成阻害剤による効果の違いと関連づけて説明せよ。

問5 A君は、先生から「トウモロコシやサトウキビのルビスコは、ホウレンソウのものとは植物組織における局在性が違うよ。」と教わった。トウモロコシやサトウキビでは、どう局在性が違うのか、また、それはルビスコという酵素が持つどのような性質と関連しているのか、問1の2つの反応と関連づけて答えよ。

【6】 酵素の触媒反応に関する次の問に答えよ。

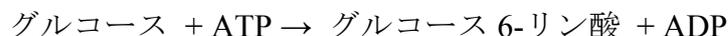
A. 自発的に進行する化学反応の反応座標図を以下に示す。反応物 S、遷移状態 \ddagger 、生成物 P のギブス自由エネルギーを示している。



問1 解答用紙に、上記反応座標図を点線で描いた後、この化学反応を触媒する酵素を加えた場合の反応座標を実線で記入せよ。ただし、次の状態も示すこと：反応物（基質）S、酵素・基質複合体 ES、反応遷移状態 ES^\ddagger 、酵素・生成物複合体 EP、生成物 P。

問2 一般に酵素は、基底状態の基質や生成物よりも遷移状態の基質に対して、より大きな親和性をもって結合する。もし酵素が、遷移状態ではなく、基底状態の基質に対してより強固に結合するとすれば、十分な触媒活性は発揮されないと考えられる。その理由を、問1で描いた反応座標図および、酵素が基底状態の基質に強固に結合する場合の反応座標図を用いて、熱力学的観点から説明せよ。

B. 次の反応を触媒するグルコキナーゼと呼ばれる酵素について考えてみよう。



グルコキナーゼは、肝臓や膵臓などに特異的に発現している酵素で、血中グルコース濃度の維持に重要である。肝臓では、グルコキナーゼによる触媒反応は、主として貯蔵栄養であるグリコーゲンの生合成に寄与する。この酵素は、動物で発現しているヘキソキナーゼの一種だが、表 1 に示すように典型的なヘキソキナーゼとは異なる独特の酵素特性を示す。

表 1: グルコキナーゼとヘキソキナーゼの酵素特性

	k_{cat} (s^{-1})	K_m または $K_{1/2}$ 注 (mM)	Hill 係数	グルコース 6-リン酸 による活性阻害
グルコキナーゼ	60	5	1.5	なし
ヘキソキナーゼ	60	0.05	1.0	あり

注: $K_{1/2}$ は酵素最大活性の半分の速度を与える基質濃度を示す。

グルコキナーゼの酵素活性は、基質濃度に加えて、結合タンパク質による影響も受ける。肝臓には特異的な調節タンパク質が発現していて、グルコキナーゼに可逆的に結合することで、その酵素活性を阻害する。表 2 には、グルコキナーゼと調節タンパク質の結合に関する熱力学的パラメーターを示した。

表 2: グルコキナーゼと調節タンパク質の結合に関する熱力学的パラメーター

エフェクター	ΔH° (kcal/mol)	$T\Delta S^\circ$ (kcal/mol)
なし	23.30	31.45
100 μM フルクトース 1-リン酸	21.70	28.70

グルコキナーゼと調節タンパク質は 1 対 1 で結合する
25° C における値を示す

Anderka et al., *J. Biol. Chem.* 2008, 283, 31333-31340 より改変

問 3 グリコーゲンには枝分かれ構造をもつ多糖である。3 個のグルコース残基からなる枝分かれ構造をハース投影式で示せ。

問 4 ヘキソキナーゼは、基質の結合に伴い、その立体構造を不活性な「開構造」から触媒活性を発揮する「閉構造」に変化させる酵素タンパク質の代表例である。このような構造変化をなんと呼ぶか。

問 5 グルコキナーゼとヘキソキナーゼの両者について、酵素触媒反応の初速度の基質濃度依存性をグラフで示せ。グラフは概形でよい。縦軸は反応の初速度（速度範囲 $0-60 \text{ s}^{-1}$ ）、横軸はグルコース濃度（濃度範囲 $0-15 \text{ mM}$ ）とせよ。

問 6 グルコキナーゼと調節タンパク質の結合について、次の問いに答えよ。

(1) 次のパラメーターおよび定数を用いて解離定数 K_d を求める計算式を示せ：結合に伴う標準エントロピー変化 ΔS^0 、結合に伴う標準エンタルピー変化 ΔH^0 、絶対温度 T 、気体定数 R 。

(2) 表 2 に示した熱力学パラメーターに基づき、 25°C におけるエフェクター（フルクトース 1-リン酸）非存在下の解離定数 (K_d^{NONE}) に対するエフェクター存在下の解離定数 (K_d^{F1P}) の比を次の手順で求めよ。まず、比を自然対数の底 e のべき乗として示せ。次に、べき数の小数点以下を四捨五入して整数としてから（例： $e^{8.13} \rightarrow e^8$ ）、比の値を有効数字 2 桁で求めよ。

$e = 2.7$ 、気体定数 $R = 2.0 \text{ cal}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ とする。

【7】 タンパク質の多重配列アラインメントに関する以下の文章を読み、問に答えよ。

あるタンパク質ファミリーFAM に属するアミノ酸配列の多重配列アラインメントの各部位 (アラインメントのコラム) に出現するアミノ酸残基の組成を、疎水性残基 H と親水性残基 P の 2 種類で考える。FAM に属する 10 本のアミノ酸配列の多重配列アラインメントにおいて、部位 1 と部位 2 は図のようになった (ただし、それら以外の部位については明示していない)。このデータに基づいて以下の問に答えよ。

問 1 ある部位に疎水性残基が出現する確率を θ とする。部位 1 と部位 2 における θ の値を H の出現頻度から推定せよ。

問 2 部位 1 と部位 2 の残基の対が (H,H), (H,P), (P,H), (P,P) である同時確率をそれぞれ $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ と表す。図のデータにおける頻度から、 $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ の値を推定せよ。

問 3 問 1 で導入した θ を、頻度ではなく事前分布に基づくベイズ推定で求める問題を考える。 n 本の配列中 x 本である部位に H が出現する確率 $P(x|\theta, n)$ は、以下の二項分布に従うと考えられる：

部位1	部位2
.....H.....H.....H.....H.....
.....H.....H.....H.....H.....
.....H.....H.....H.....H.....
.....H.....P.....H.....P.....
.....H.....P.....H.....H.....
.....P.....P.....P.....P.....
.....H.....H.....P.....P.....
.....P.....P.....H.....H.....

図：FAM の多重配列アラインメント

$$P(x|\theta, n) = \binom{n}{x} \theta^x (1 - \theta)^{n-x}$$

θ の事前分布を一様分布 $\pi(\theta) = 1$ ($0 < \theta < 1$) と仮定すると、ベイズの定理により、 θ の事後分布は

$$P(\theta|x, n) = \frac{P(x|\theta, n)\pi(\theta)}{P(x, n)}$$

と与えられる。ただし

$$P(x, n) = \int_0^1 P(x|\theta, n)\pi(\theta)d\theta$$

図のデータと事後分布に基づいて、部位 1 と部位 2 における θ の期待値をそれぞれ求めよ。

問 4 問 2 で定義した $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ を用いて、 n 本の配列中 x_1 本で(H,H)、 x_2 本で(H,P)、 x_3 本で(P,H)、 x_4 本で(P,P)を見出す確率は、以下の多項分布に従うと考えられる：

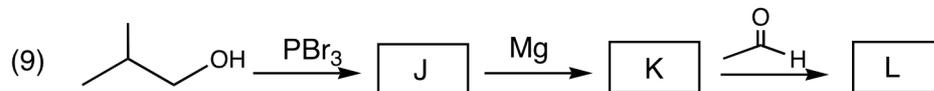
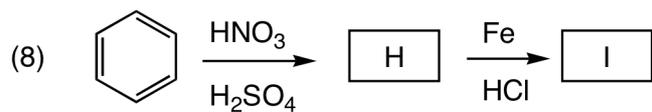
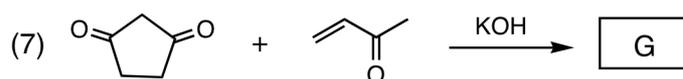
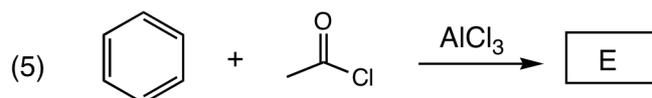
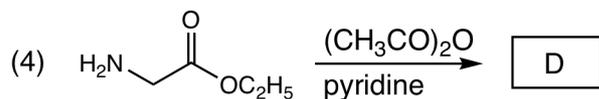
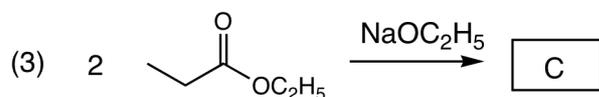
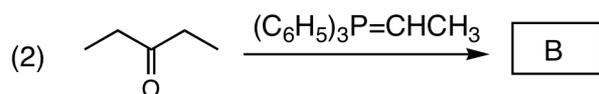
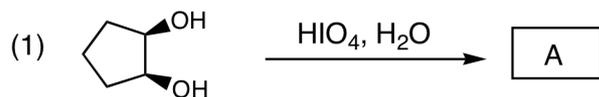
$$P(x_1, x_2, x_3, x_4 | \{\theta\}) = \frac{(x_1 + x_2 + x_3 + x_4)!}{x_1! x_2! x_3! x_4!} \theta_1^{x_1} \theta_2^{x_2} \theta_3^{x_3} \theta_4^{x_4}$$

ただし $\{\theta\} = \{\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4\}$, $\sum_{i=1}^4 \theta_i = 1$ 。 $\{\theta\}$ の事前分布としてやはり一様分布を仮定して $\{\theta\}$ の事後分布 $P(\theta | x_1, x_2, x_3, x_4)$ を求め、図のデータから $\{\theta\}$ の期待値を求めよ。

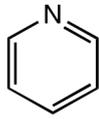
問 5 問 1 で求めた各部位の θ と問 3 で求めたそれと比較して、配列の数 n および疎水性残基 H の数 x がそれぞれ大きい場合と小さい場合の両推定法の違いと類似性を議論せよ。

【8】 有機化合物の反応に関する以下の問に答えよ。

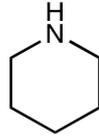
問1 以下の反応式の空欄 **A** ~ **L** に当てはまる適切な有機化合物の構造式を書け。



問2 ピリジンとピペリジンではピリジンの方が塩基性が弱い。その理由を説明せよ。

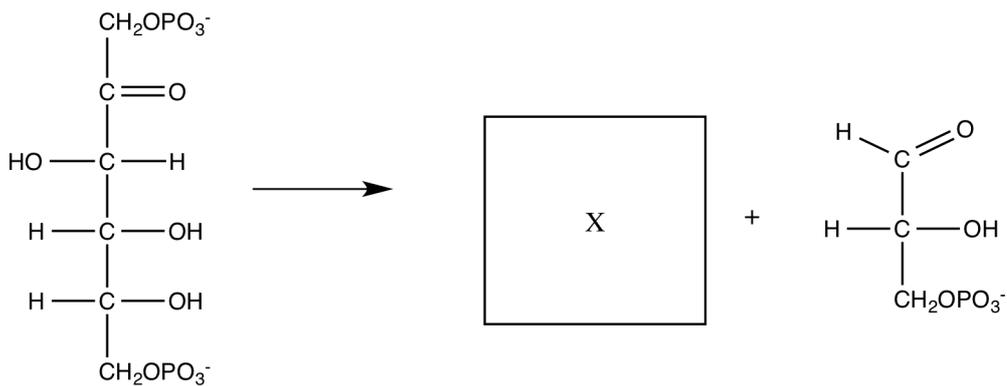


ピリジン



ピペリジン

問3 解糖系では、グルコースが最終的にピルビン酸に分解され、エネルギーが取り出される。その途中段階では以下のようにフルクトース 1,6-ビスリン酸がグリセルアルデヒド 3-リン酸と化合物 X に分解される。化合物 X の構造式を書け。



フルクトース 1,6-ビスリン酸

グリセルアルデヒド 3-リン酸

【9】 以下の文章を読み、必要なら次の定数を使って、問に答えよ。

ボルツマン定数 $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$ 、光速 $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ 、プランク定数 $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$ 、電気素量 $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ 、電子質量 $m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ 、アボガドロ数 $N_A = 6.02 \times 10^{23}$ 、円周率 3.14、自然対数の底 2.72。

問1 タングステンに光を照射すると電子が放出される。この(A)現象が生じるために必要な光子のエネルギーが仕事関数であり、その値は 4.5 eV である。ある光を照射したときに放出された電子の速度は $8.4 \times 10^5 \text{ m/s}$ であった。

(1) 下線 (A) の現象の名前を記せ。

(2) その光のエネルギーを eV の単位で答えよ。ここで eV は、1 V の電位差で電子が得るエネルギーである。

(3) その光の波長は、200 pm, 2.0 nm, 20 nm, 200 nm, 2.0 μm , 20 μm , 200 μm , 2.0 mm, 20 mm, 200 mm のいずれに最も近いのか、理由とともに答えよ。

問2 625 GHz の電磁波を共鳴吸収する二つのエネルギー準位からなるモデル系に関して、次の問いに答えよ。

(1) その二準位間のエネルギー差は、およそ $\Delta E \approx 2.0 \times 10^7 \text{ J/mol}$ である。z にはどのような整数がもっとも適切であるか、理由とともに示せ。

(2) -243°C の温度では、低いエネルギー準位を占める粒子の数と高いエネルギー準位を占める粒子数の比はいくつか。

問3 625 GHz の電磁波の吸収は、約 22 T の静磁場中での $^{55}_{25}\text{Mn}^{2+}$ の常磁性共鳴について観測できる。このマンガンイオンの原子状態は項記号で $^6S_{5/2}$ と表せる。項記号は $^{2S+1}L_J$ で表し、ここで S は全スピン量子数、L は記号で表した全軌道角運動量、J は全角運動量量子数である。

- (1) この Mn^{2+} について電子配置を示して、項記号 ${}^6S_{5/2}$ と表せることを説明せよ。電子配置は、主量子数と記号 s, p, d, f で角運動量子数を表して電子軌道を示し、その軌道を占める電子数を示せ。例えば、 ${}^{16}_8\text{O}$ の原子について電子配置は、 $1s^2, 2s^2, 2p^4$ と表せる。これは、 $1s, 2s, 2p$ 軌道を占める電子がそれぞれ 2 個, 2 個, 4 個あることを示す。
- (2) このイオンが常磁性を持つことを説明せよ。