

大阪大学大学院理学研究科生物科学専攻
2020年度入学試験問題

生物学・物理学・化学
(2019年8月3日 13:00-15:00)

注意事項

- ◆ この問題冊子には**8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、頁の表記法は、例えば右肩に「【1】1/2」の記載がある問題用紙の場合、「【1】の問題は2頁からなり、そのうちの1頁目」という意味です。
- ◆ **【1】は必須問題で、必ず解答しなければなりません。**さらに、【2】から【8】の**選択問題**から2問を選んで解答しなさい（どの2問でもよい）。
- ◆ 選択問題の2問を【2】から【5】（生物学）から解答した場合には、入学後にB（生物科学）コースとなります。いっぽう、少なくとも1問を【6】から【8】（物理学・化学）から解答した場合には、A（生命理学）コースとなります。
- ◆ 【1】以外に3問以上解答した場合は、採点しません。
- ◆ 解答用紙は、問題毎に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、解答して下さい。
- ◆ この問題用紙は持ち帰っても良い。

【1】 以下の問題文（1）から（9）の文中の（ア）～（ネ）に当てはまる語句を答えよ。

- （1）代表的なリン脂質は、（ア）、（イ）、（ウ）、そして親水性物質であるコリンなどで構成される分子である。一つの（ア）に、二つの（イ）と一つの（ウ）が結合し、さらに、（ウ）にはコリンのような親水性物質が結合する。このため、リン脂質は、疎水性の尾部と親水性の頭部をもつことから、（エ）性を示す。この性質によって、リン脂質は、集合して（オ）を形成することができる。
- （2）酵素は、化学反応の（カ）を下げることで触媒として働く。この過程で、基質は、（キ）と呼ばれるゆがんだ状態になる。酵素は、エネルギー的に起こりにくい反応を、起こりやすい反応と（ク）させて起こすことができる。このような反応を（ク）反応と呼ぶ。
- （3）DNAの二重らせんでは、総称として（ケ）とよばれる1つの環からなる小さい塩基と、（コ）とよばれる2つの環からなる大きい塩基が内側に向けて（サ）結合を形成する。
- （4）真核細胞のmRNAは、5'末端に（シ）、3'末端に（ス）が付加されて成熟する。成熟mRNAは、（セ）を通過して細胞質に搬出される。
- （5）制限酵素は、DNAの特異的塩基配列を認識して切断する。制限酵素には、DNA二重らせんの二本鎖をまっすぐに切断して（ソ）末端を生じるものと、二本鎖をたがい違いに切断して（タ）末端を生じるものがある。制限酵素で切断したDNA断片は、DNAの切れ目を修復する酵素であるリガーゼによって連結できる。
- （6）膜タンパク質の膜ドメインの構造の多くは（チ）からなるが、（チ）とは異なる構造が円筒状に配置し、（ツ）とよばれる樽のような構造をとるものもある。

- (7) 膜輸送タンパク質には、(テ) と (ト) があり、(テ) のみが能動輸送で機能する。
- (8) 活動電位が神経末端に到達すると、電位依存(ナ)チャンネルが開き、(ナ)の流入がシグナルとなって、神経伝達物質が、(ニ)からシナプス間隙に放出される。
- (9) 輸送小胞は、特定の標的細胞内小器官を識別して接着する必要がある。この過程では、各小胞表面上に特異的に存在する低分子量 G タンパク質である(ヌ)タンパク質と、標的膜にある係留タンパク質の結合が重要な役割をはたす。この結合によって輸送小胞が捕らえられると、輸送小胞と標的膜にそれぞれ存在する(ネ)が相互作用し、小胞が標的としっかり接着する。

【2】 遺伝子発現に関する以下の文章を読み、問に答えよ。

問1 DNAの塩基配列としてコードされた遺伝情報は、まずRNAに相補的な塩基配列として転写され、次にタンパク質のアミノ酸配列として翻訳される。①この遺伝子発現をさまざまな段階で調節することにより、遺伝子によってコードされたタンパク質の量が制御されるが、最も基本となるのが転写の調節である。

遺伝子の転写は、プロモーターと呼ばれる配列に、RNAポリメラーゼが正しい向きに結合することによって開始する。真核生物においては、RNAポリメラーゼ（ア）がタンパク質をコードする遺伝子の転写に関わるが、これだけで転写を開始することはできず、（イ）と呼ばれる多数のタンパク質の働きが必要となる。（イ）はプロモーター上の特異的な配列に結合し、RNAポリメラーゼとともに転写開始前複合体(preinitiation complex: PIC)を形成する。その後、RNAポリメラーゼはC末端ドメインを（ウ）されることにより（イ）から離れ、転写を開始する。

プロモーターの他に、環境に応じて転写のオンオフを行うために必要な調節DNA配列が存在する。この配列には特異的な転写調節因子が結合し、これにさらに他の調節タンパク質が会合してくることによって転写の効率が制御される。例えば、ある転写調節因子は、②クロマチン構造を変化させるタンパク質を呼び込むことによって他の転写調節因子や（イ）、RNAポリメラーゼの調節配列やプロモーターへの近づきやすさを変える。（エ）と名付けられた調節配列は転写開始の効率を大幅に促進するが、驚くことに、この配列はプロモーターとの距離が数千塩基以上離れていたり、遺伝子の上流だけでなく下流に位置しても働く。

(1) (ア) - (エ) に入る適切な語を以下の語群から選択せよ。

A, B, I, II, III, σ 因子、介在因子、基本転写因子、アセチル化、リン酸化、メチル化、アクチベーター、オペレーター、エンハンサー

(2) 下線部①について、転写開始や翻訳開始の調節以外に遺伝子の発現調節に関わる過程を1つ挙げよ。

(3) 下線部②について、転写調節因子に結合し、クロマチン構造を変化させるタンパク質の例を1つ挙げ、それが転写を促進するか抑制するかを答えよ。

問2 遺伝子 α はある細胞の分化過程で転写が上昇する遺伝子である。この遺伝子の上流にはDNaseIに対して感受性の高い部位(Hyper Sensitive sites: HS部位)が複数存在する(図1)。この細胞が分化する過程で、これらHS部位に細胞分化に関わる転写調節因子が結合する。また、遺伝子 α の発現低下が原因となる先天性の病気の患者の中には、このHS部位の一部が欠失している例がある(図1)。

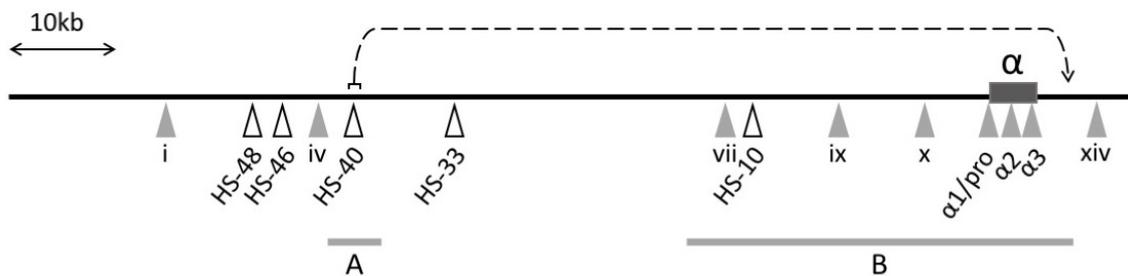


図1 遺伝子 α 周辺領域の模式図 遺伝子 α の位置を四角で、ChIP法で使用したPCRプライマーセットの位置を三角で示す。その内、白抜き三角はDNaseIに対する高感受性を示すHS部位、 α 1/proはこの遺伝子のプロモーターの位置である。灰色の棒で示したA,Bはこの遺伝子の発現が低下している患者で欠失している領域である。図3Cで使用した細胞(3' HS-40)では、図で示したHS-40領域を点線矢印で示したように遺伝子 α の下流に挿入した。

遺伝子 α の発現制御について調べるために、以下の実験を行なった。

I: クロマチン免疫沈降(ChIP)法を用いて、RNAポリメラーゼ(問1の(ア)に対応する)とTFIIB(問1の(イ)の1つである)の遺伝子 α の周辺領域への結合を測定した(図2)。ChIP法は、染色体を超音波処理などによって断片化したのち、特定のタンパク質を認識する抗体を用いて免疫沈降を行い、結合してきたDNA断片を定量PCRで増幅することによって、そのタンパク質のDNA結合を調べる方法である。

II: 3C(chromosome conformation capture)法を用いて、遺伝子 α のプロモーター一部位と上流域との空間的な相対距離を測定した(図3)。3C法とは、折り畳まれているDNAを制限酵素で消化した後DNAリガーゼで再連結すると、空間的に近傍にあるDNA断片ほど効率よく繋がることを利用して、DNA部位の空間的な位置関係を測定する方法である。この実験では、プロモーター部分のプライマーと標的配列のプライマーを用いて定量PCRを行った。

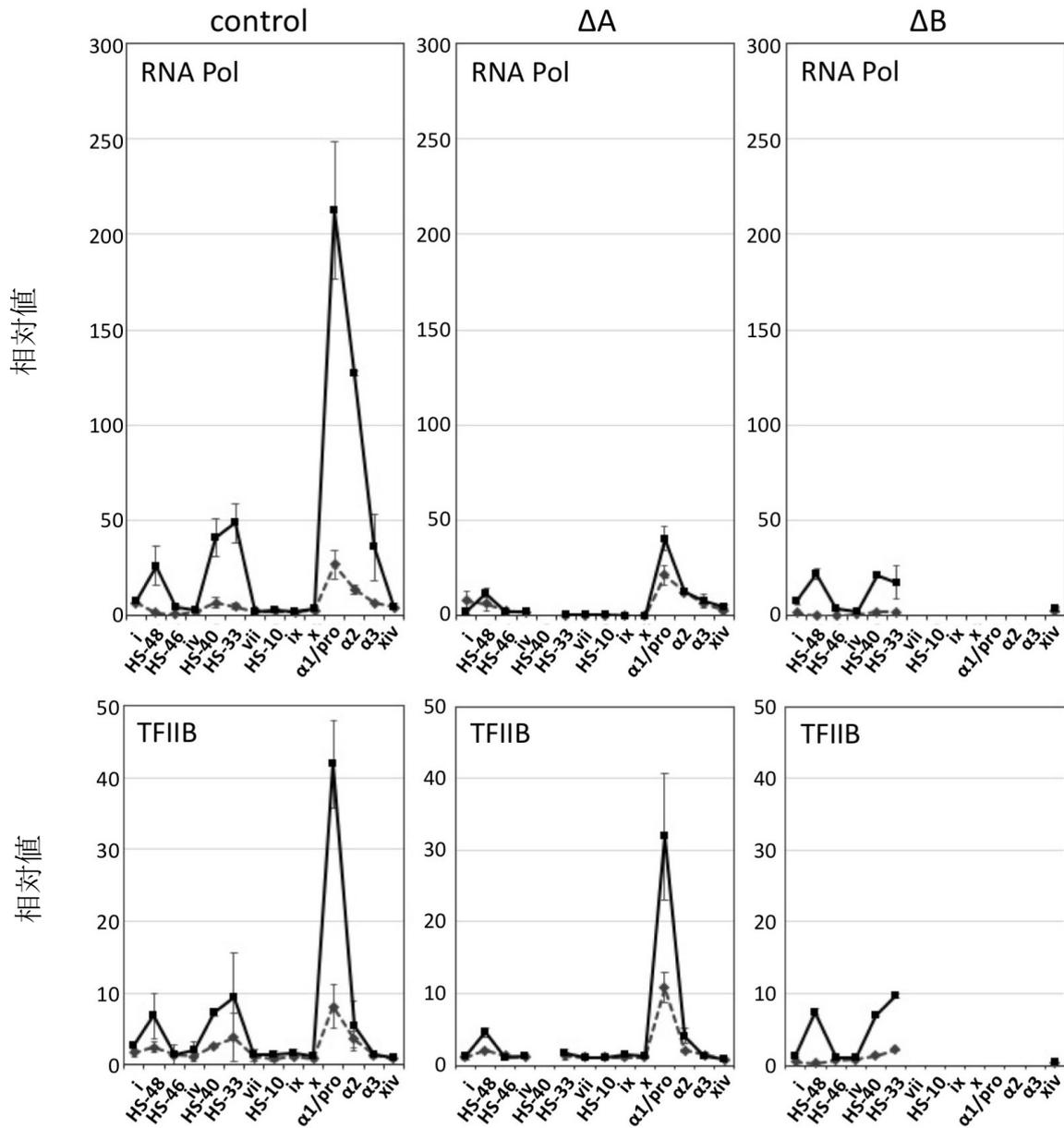


図2 遺伝子 α のプロモーターとその周辺領域への転写開始前複合体の結合

RNAポリメラーゼ（上段）とTFIIB（下段）に対する抗体を用いてChIP法を行った。横軸はPCRで使用したプライマーセットの位置（図1）、縦軸は相対値であり、分化の前後でRNAポリメラーゼとの結合やTFIIBとの結合に変化がないと考えられるDNA部位の値で標準化した。点線は分化前、実線は後の結果を示す。 ΔA 、 ΔB は図1で示したそれぞれの領域が欠失している細胞で同じ実験を行なった。

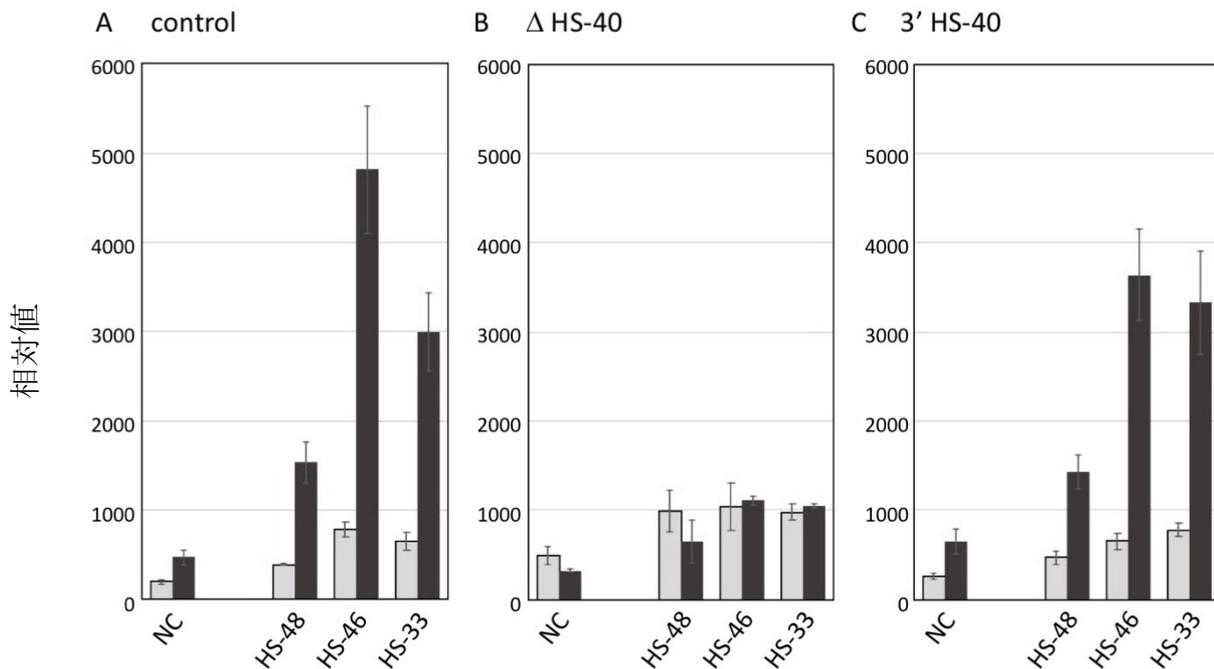


図3 遺伝子 α のプロモーターと上流域の染色体間相互作用 分化前(灰)と分化後(黒)の細胞で、遺伝子 α のプロモーターと横軸に示した場所の配列との相互作用を3C法によって測定した。縦軸は相対値であり、分化前後で空間位置に変化がないと考えられるDNA領域の値で標準化した。NCは α のプロモーターから上流に120kb離れた位置の配列。A: コントロール細胞。B: HS-40を含む1.1kbの領域を欠失させた細胞。C: Bと同じくHS-40を含む1.1kbの領域を欠失させ、その1.1kbのDNA断片を遺伝子 α の下流に挿入した細胞(図1)。

以上の実験の結果から、分化後の遺伝子 α の発現制御領域について、以下のような考察を行なった。この中から誤っている考察を3つ選び、実験結果のどの部分と相反するかを述べよ。

- (a) RNAポリメラーゼは遺伝子 α のプロモーターだけでなく上流の調節配列にも結合するが、それぞれの結合はどちらも独立して行われる。
- (b) 分化が起こると、染色体の相互作用が変化し、上流の調節配列がプロモーターに近づいて安定したPICが形成される。この変化にはHS-40付近の配列が重要である。

- (c) TFIIB のプロモーターへの結合は、上流の調節配列に大きく依存はしない。
- (d) RNA ポリメラーゼや TFIIB はプロモーターだけでなく上流の調節配列にも結合しているように見えるが、これは、DNA が折りたたまれて上流の調節配列とプロモーターの距離が近くなっているためで、上流の調節部位への結合は遺伝子 α のプロモーターへの結合を反映したものである。
- (e) HS-40 配列を遺伝子 α の下流に移動すると、HS-40 の元の位置の近くにあった他の調節配列はプロモーターと相互作用しなくなる。

【3】 体細胞有糸分裂に関する以下の文章を読み、問に答えよ。

遺伝情報の実体である染色体を二つの娘細胞に正確に分配する「有糸分裂」は、真核生物を支える基本的生命活動の一つである。「紡錘体」は、有糸分裂過程において中心的役割を担う分裂装置であるが、その動態を生きた細胞中で観察することは従来困難であった。しかし、井上信也博士による改良型偏光観察法の開発を端緒とした様々な明暗コントラスト増強法の開発・適用により、現在では、有糸分裂紡錘体の動態を光学顕微鏡下で詳細に観察することが可能となっている。

紡錘体は、動物細胞では一對の（ア）を極として、そこから放射状に伸びる3種類の微小管を主体として構成される二極構造である。紡錘体極あるいはその周辺で実際の微小管形成中心として働くタンパク質複合体は（イ）と呼ばれる。微小管は、（ウ）本の原繊維が長軸方向に並んだ筒状の細胞骨格で、タンパク質である（エ）の重合により形成される。微小管には、他の細胞骨格には見られない、「動的不安定性」と呼ばれる独特の動的特性があり、この特性が有糸分裂、特に紡錘体形成過程や染色体分離過程の駆動に重要だと考えられている。また、近年の研究により、微小管自体の動的特性に加えて、様々な微小管結合タンパク質の協同的作用も有糸分裂の進行に重要であることが明らかになっている。特に重要な要素は、ATP加水分解反応の自由エネルギー変化を力学的仕事に変換する二組のモータータンパク質群、キネシンと（オ）であり、ショウジョウバエの初期胚では、少なくとも3種類のキネシンの機能が、正常な有糸分裂の進行に必須であることが示されている。

問1 文章中の（ア）～（オ）に当てはまる語句を答えよ。

問2 現在では、偏光観察法・微分干渉観察法・位相差観察法・暗視野観察法・蛍光観察法など多様な光学顕微鏡観察法により、紡錘体や微小管の動態を直接観察することが可能となっている。これらの観察法のうち一つを選び、その観察原理を5行以内で説明せよ。

問3 微小管の動的不安定性は、暗視野顕微鏡を利用することで、1987年に初めて直接観察された。その観察結果（図1）は、1本の微小管の二つの末端が異なる動的特性を有することを明確に示すものであった。図1に基づき、以下の問に答えよ。

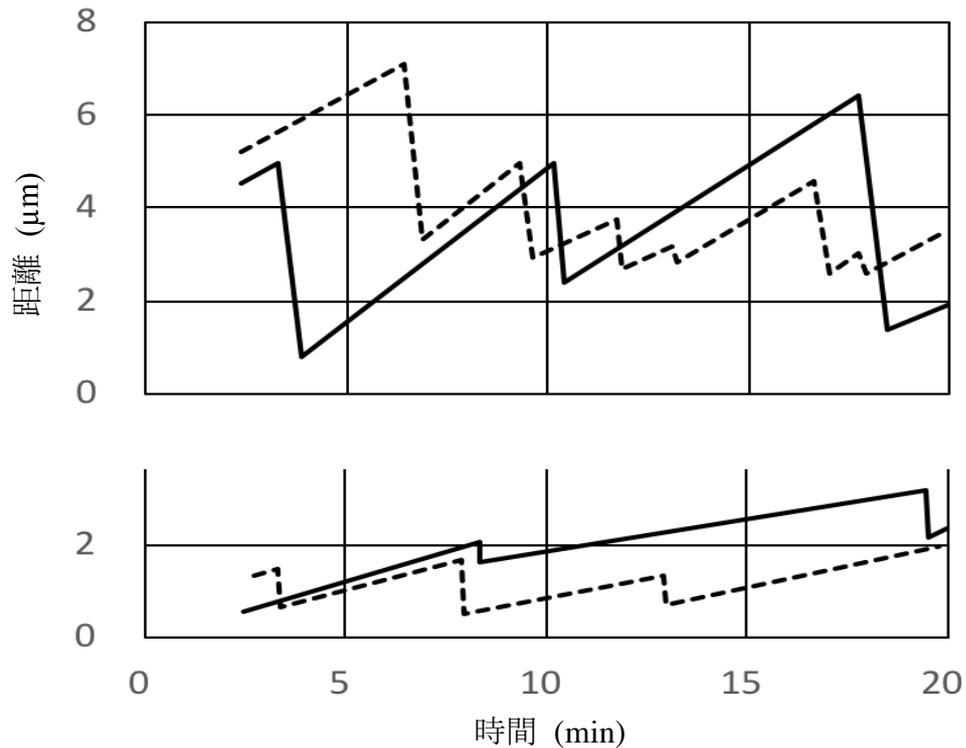


図1 微小管の二つの末端（a 端と b 端）の長さの経時的変化

上図は2本の微小管（実線と点線）各々の a 端の動態を、下図は同じ2本の微小管の b 端の動態を示す。縦軸は微小管上の固定点から各々の末端までの距離、横軸は観察開始からの経過時間を示す。本観察条件下では、溶液中の（エ）の濃度は臨界濃度以上に保たれていることを他の実験で確認している。

- (1) 微小管の動的不安定性とはどのような特性であるか、5行以内で説明せよ。
- (2) 微小管の二つの末端（図1の a 端と b 端）の動的特性の違いについて、図1から言えることを5行以内で説明せよ。

問4 ある真核細胞における有糸分裂中の染色体分離過程（娘染色体の紡錘体赤道面から紡錘体極近傍までの移動過程）を経時観察したところ、染色体分離が完了した段階で一对の娘染色体間の距離は平均 $12\ \mu\text{m}$ であり、染色体分離にかかる時間は平均 60 秒間であった。また、細胞内の染色体の形状とその移動速度から、各々の娘染色体にかかる粘性抗力係数 γ は $5\ \mu\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}$ と見積もられた。以上の観察・測定結果に基づき以下の問に答えよ。計算過程も示すこと。

- (1) 娘染色体 1 本の分離移動に必要な力を見積もれ。ただし、本対象は低 Reynolds 数領域であり、娘染色体にかかる力として、Stokes の式 ($F = \gamma v$, γ : 粘性抗力係数, v : 移動速度) で求められる粘性力のみを考慮すれば良いとする。
- (2) 娘染色体 1 本の分離移動に必要な仕事量を見積もれ。
- (3) 娘染色体 1 対の分離移動に必要な ATP 分子数を計算し、細胞が消費する ATP 分子のうち何%が娘染色体 1 対の分離に使われるかを見積もれ。ただし、分裂期の細胞は 1 秒間に 1×10^7 分子の ATP を加水分解するものとする。また、ATP 加水分解で放出される自由エネルギーは本実験条件下では $60\ \text{kJ}/\text{mol}$ であり、ATP 加水分解反応の染色体分離へのエネルギー変換効率は 10%とする。

問5 有糸分裂中期の紡錘体形成では、微小管自体の動的不安定性に加えて、各種モータータンパク質群が発生する力が拮抗することが重要である。ショウジョウバエ初期胚では、少なくとも 3 種類のキネシンの働きが重要であることが示されている。表 1 には、それらの名称・有糸分裂時の細胞内局在・*in vitro* での運動特性を評価した結果を示す。また、図 2 には、各々のキネシンの機能を阻害した初期胚における、有糸分裂時の紡錘体極間の距離変化を測定した結果を示す。これらの情報に基づき以下の問に答えよ。

表 1. 各種キネシンの有糸分裂時の細胞内局在と *in vitro* での運動特性

名称	局在	<i>in vitro</i> での運動特性
Kinesin-5	紡錘体全体	微小管プラス端方向に動く； 互いに逆平行な微小管対を滑らせることができる
Kinesin-13	紡錘体極	モーター活性を有しない； 微小管脱重合活性を有する
Kinesin-14	紡錘体全体	微小管マイナス端方向に動く； 互いに逆平行な微小管対を滑らせることができる

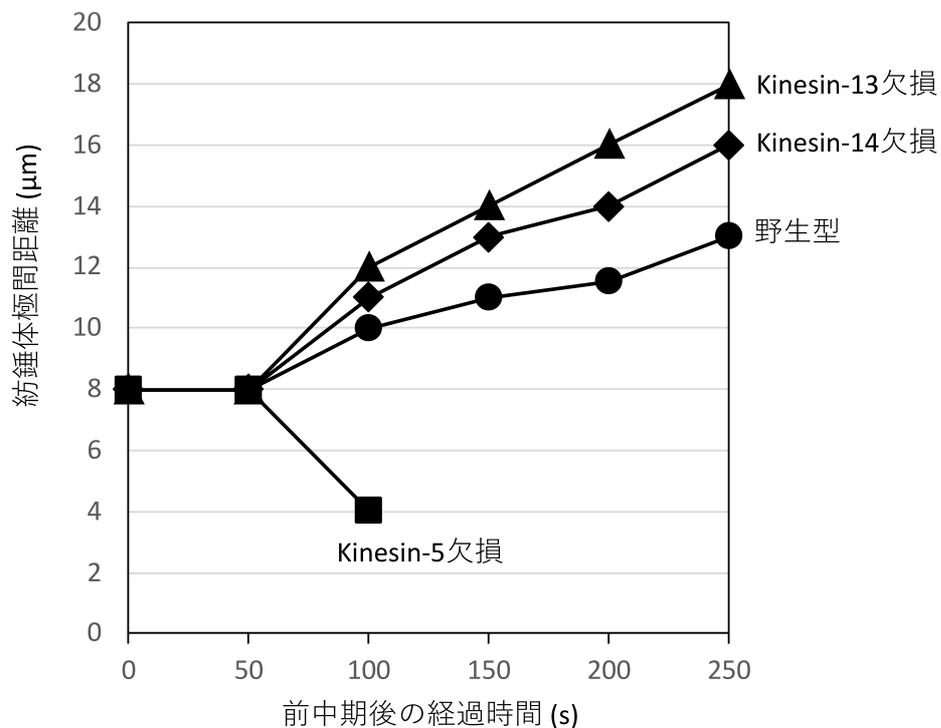


図 2 野生型及び 3 種類のキネシンのいずれかの機能を阻害した初期胚における、有糸分裂時の紡錘体極間距離の経時変化

- (1) 有糸分裂中期の有糸分裂紡錘体の模式図を描け。ただし、次の要素を含めること：一対の姉妹染色分体、紡錘体極、極間微小管、動原体微小管、星状体微小管。また、各微小管のプラス端及びマイナス端をそれぞれ (+) 及び (-) 記号で明示せよ。さらに、3 種類のキネシン各々の作用点を図に示せ。

- (2) 有糸分裂中期における3種類のキネシン各々の果たす役割を考察し、合わせて5行以内で説明せよ。

【4】 動物の体のつくりをみると、その多くが左右相称性の体制をもつ左右相称動物とよばれる動物群である。この左右相称動物の体制に関して、以下の問に答えよ。

問1 左右相称動物の遊泳様式について、文章の空欄に入る適切な単語を答えよ。

左右相称動物の幼生や成体の遊泳に関する組織や器官を比較すると、いくつかの異なる様式がみられる。例えば、水棲節足動物の幼生では、多くが付属肢の運動によって遊泳する。扁形動物、環形動物、軟体動物などの幼生は、主に幼生の体の外表面に位置する（ア）胚葉由来の（イ）の運動によって遊泳する。また、ホヤの幼生では、後方に位置する器官によって遊泳を行う。その遊泳様式は（ウ）胚葉由来の（エ）細胞の（オ）運動による。

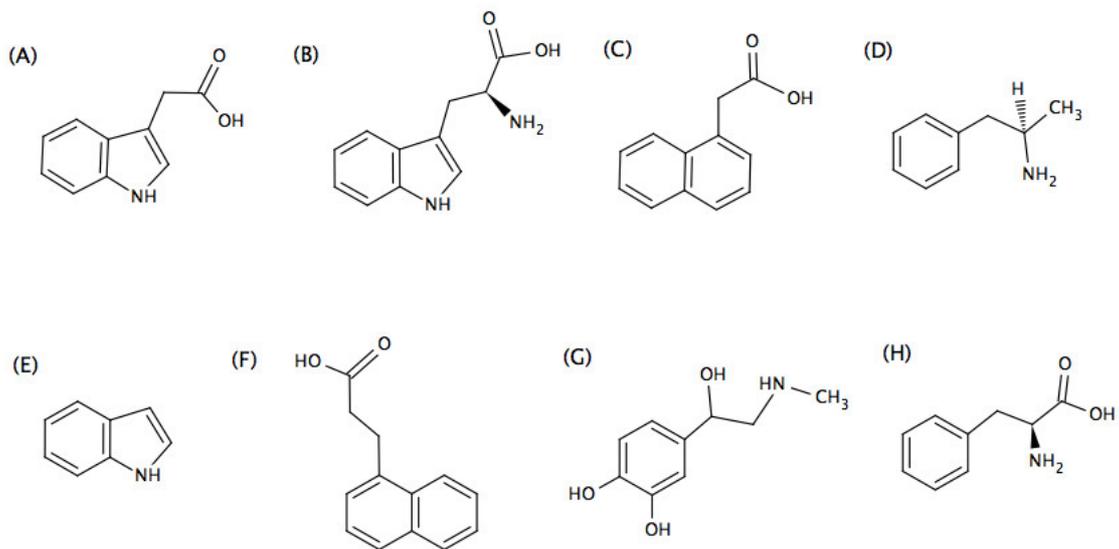
問2 前後の軸が明瞭でないクラゲやヒドラのような放射相称動物のそれぞれ口側と反口側が、左右相称動物の前後とどのような対応関係にあるかを分子レベルで調べたい。どのような研究が考えられるか答えよ。

問3 左右相称動物の体の前方領域には、他の領域と比べ特徴的な組織・器官の形成が著しい。この現象について考えられる理由を説明せよ。

問4 脊椎動物の進化の初期過程で、体の前方領域に顎という特徴的な構造が生じた。この顎はどのような発生プロセスで形成されるか、胚の一部の簡単な断面図を書いて説明せよ。

【5】 植物ホルモンであるオーキシンの作用に関する以下の問に答えよ。

問1 以下の構造から、天然オーキシンの構造を選び、記号で答えるとともに、その化合物名を答えよ。



問2 問1の答えとなるオーキシンは、植物内では、主に、あるアミノ酸由来で作られる。そのアミノ酸の名称を答えよ。

問3 植物の茎切片を水に浮かべてオーキシンを与えると茎が伸長する。この時の伸長には、あるイオンが細胞内から細胞外に移動することが必須である。

(1) そのイオンとは何かを答えよ。

(2) その移動はどのような仕組みによるのかを答えよ。

(3) そのイオンの輸送により、茎切片が伸長する仕組みを答えよ（目安として100字程度）。

問4 オーキシシンによる遺伝子発現の制御の仕組みを調べるために、以下の実験を行った。なお、シクロヘキシミドは翻訳阻害剤であり、シロイヌナズナに与えると速やかに働くものとする。

シロイヌナズナの芽生えに次の a), b), c), d)のいずれかを与え、その状態で2時間置いた後に RNA を抽出した。

- a)オーキシシン水溶液
- b)水
- c)オーキシシンとシクロヘキシミドを含む水溶液
- d)シクロヘキシミド水溶液

これらの RNA を用いて RNA シークエンスを行うことによりシロイヌナズナ全遺伝子の転写物の量を調べたところ、特徴的な挙動を示す2群（以下に示すグループ A とグループ B）の遺伝子群が見出された。

グループ A 遺伝子群：(b)の条件よりも (a)の条件で有意に発現が高く、かつ (d)の条件よりも(c)の条件で有意に発現が高い。

グループ B 遺伝子群：(b)の条件よりも(a)の条件で有意に発現が高いが、(c)の条件でも(d)の条件でも発現レベルに差が認められない。

以上の実験結果から、グループ A とグループ B の遺伝子群の発現制御の仕組みの違いについてどのように解釈するかを、100-150 字程度で答えよ。

問5 オーキシシンの作用機構にはタンパク質の選択的分解などが関わっている。オーキシシンの受容からオーキシシン応答遺伝子の発現制御に至る仕組みについて、タンパク質の分解も含めて300～400字程度で説明せよ。

【6】 分子間相互作用に関する以下の文章を読み、問に答えよ。

生体反応の多くは、二つの分子が特異的かつ可逆的に会合する現象を素反応として成り立っている。これは酵素が基質を認識する場合、あるいは細胞の受容体がリガンドを認識する場合にも当てはまり、広く「分子認識」と呼ばれる。受容体 R がリガンド L を結合して受容体・リガンド複合体 RL を形成する反応（式1）を考えると、それぞれの濃度の関係は最も単純なケースでは式2が成り立つ。



$$K = \frac{[R][L]}{[RL]} \quad (\text{式2})$$

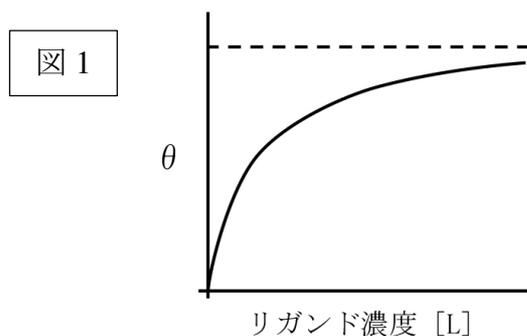
※Kは相互作用の解離平衡定数。[L]はLのモル濃度を表す。

ここで、式3のように受容体の占有率（全受容体のうちでリガンドを結合した受容体の割合）を θ とすると、式4が導かれる。

$$\theta = \frac{[RL]}{[R] + [RL]} \quad (\text{式3})$$

$$\theta = \frac{[L]}{K + [L]} \quad (\text{式4})$$

(a)この式にしたがい、 θ を[L]に対してプロットすると、図1のような（①）線になる。このグラフは原点を通り、漸近線（点線）は $\theta =$ （②）である。曲線の初期勾配は、親和性が高いほど、すなわち K が（③）ほど大きい。K は濃度の単位をもつ非常に便利な数字であり、これは受容体の（④）%が飽和するときのリガンド濃度に等しい。



しかし実際の酵素—基質結合や、受容体—リガンド相互作用はそれほど単純ではなく、多くのケースで協同性と呼ばれる性質を示す。これを最初に数式化したのは A. Hill であり、彼は、ヘモグロビン（1分子に複数の O₂ 結合部位がある）への O₂ 結合の濃度依存性が式4に従わず、式5で表せることを発見した。

$$\theta = \frac{[L]^n}{K^n + [L]^n} \quad (\text{式5})$$

これは、酸素が一つ結合したヘモグロビンは次の酸素の結合に対して親和性が変化するという性質に由来し、 n を（⑤）係数とよぶ。 $n=1$ の時は式4と同じなので協同性が無いが、(b)親和性が増大するときには n は1より（⑥）なり、このとき（⑦）の協同性を持つと言う。逆に減少するときには n は1より（⑧）なり、（⑨）の協同性を持つと表現される。

協同性をもつ反応を解析するうえで式5は非常に便利であり、 n はしばしば協同性の指標として用いられる。しかしながらたとえば酸素結合部位が（⑩）個とわかっているヘモグロビンでも、実際には $n =$ （⑩）とはならない。それどころか、(c)本来の結合部位は1つしか存在しない相互作用においても、 n はしばしば1以外の値をとる（つまり協同性を持つ）。

ここまでは2種類の分子のみが登場し、しかも結合と解離という素反応のみを扱うものとして Hill の考えを説明したが、もっと複雑な現象、たとえば(d)細胞に作用させるリガンド濃度を変化させた時の細胞全体の応答量 E のようなものについても、じつは受容体の飽和率 θ （式5）と同じような式6がしばしば成り立つ。すなわち、厳密な1対1の分子論を超えて、Hill の協同性理論は極めて応用範囲が広い。

$$E / E_{\max} = \frac{[L]^n}{EC_{50}^n + [L]^n} \quad (\text{式6})$$

※ E_{\max} は最大の応答量、 EC_{50} は 50% の効果を与えるリガンド濃度

- 問1 ①～⑩に適切な語句や数字を埋めよ。
- 問2 下線部(a)について、 $\theta=0.1$ のときのリガンド濃度 ($L_{0.1}$) と、 $\theta=0.9$ になるときのリガンド濃度 ($L_{0.9}$) の比を計算せよ。
- 問3 下線部(b)について、親和性が増大する協同性を持つとき (ケース A) と減少する協同性を持つとき (ケース B) について、それぞれ図1と同様な θ の[L]に対するプロットを図示せよ。それぞれについて $L_{0.1}$ と $L_{0.9}$ の位置も図中に示すこと。
- 問4 (1) 問3におけるケース A のような曲線の形をなんと呼ぶか答えよ。
(2) このような曲線を持つことで図1のような濃度変化の時と比べて受容体の活性化にとってどういうメリットがあるか説明せよ。
- 問5 (1) 下線部(c)のようなケースがおこるのはたとえばどんな理由が考えられるか説明せよ。
(2) そのような現象を一般になんと呼ぶか？
- 問6 下線部(d)のような事が現実の細胞においてしばしば生じる。そのように、見かけ上の細胞応答に協同性が見られる場合、たとえばどんな理由があり得るかを一つ例示せよ。ただしここではリガンド結合部位を1つしか持たない受容体を想定し、しかも問5の解答とは異なるような理由を挙げること。

【7】 有機化学に関する（ア）と（イ）の文章と図を見て以下の間に答えよ。

（ア）

化合物の分離法として、抽出は有用な操作法の一つである。

安息香酸、*p*-クロロフェノール、アニリン、ナフタレンの溶解したジエチルエーテル溶液から、分液ロートを用いる抽出操作によって、それぞれを分離する手順を考える。

上記ジエチルエーテル溶液に5%塩酸を加えて振り混ぜたのちに分液する。水層に水酸化ナトリウム水溶液を加えて中和し、この水溶液にジエチルエーテルを加えて振り混ぜたのちに分液する。この有機層を濃縮すると（A）が得られる。

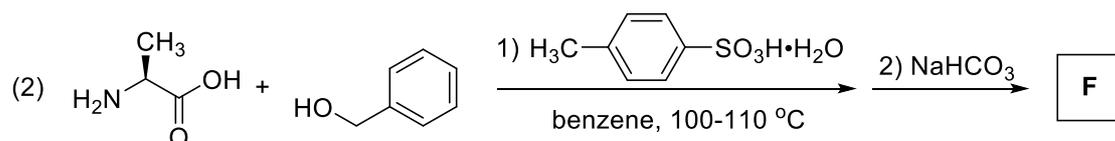
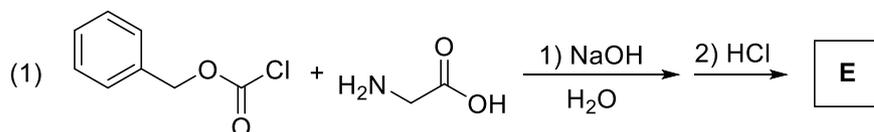
上記の5%塩酸抽出後に残ったジエチルエーテル溶液に5%炭酸水素ナトリウム水溶液を加えて振り混ぜたのちに分液する。水層を酸性にすると固体が析出し、沝取すると（B）が得られる。

さらに残ったジエチルエーテル溶液に5%水酸化ナトリウム水溶液を加えて振り混ぜたのちに分液する。水層を酸性にすると固体が析出し、沝取すると（C）が得られる。

残ったジエチルエーテル溶液を濃縮すると（D）が得られる。

合成反応は100%進行することが望ましいが、必ずしもそうはならないことがある。出発物質、生成物、および副生物などの化学的および物理的性質が異なる場合、抽出操作などでそれぞれを分離することができる。

（イ）



- 問2 E~Qに当てはまる化合物の構造を答えよ。立体異性体が存在する場合は置換基の配置が分かるように記せ。また、鏡像異性体がある場合は、一方のみの構造を記せ。なお、[鍵カッコ]は単離することなく、次の反応に用いることを意味する。
- 問3 (イ)式(2)の1段階目の反応は可逆反応である。平衡を生成物に偏らせて、効率よく目的物を得るためにどのような操作が必要か答えよ。
- 問4 (イ)式(3)の反応において、反応が未完結の場合、抽出操作だけで、反応混合物から出発物質であるEとFを除く方法を答えよ。なお、副生するHは反応系で固体として析出して、濾過によって除けるものとする。
- 問5 (イ)式(7)~(10)のM~Qのうち、鏡像異性体が存在するものをすべて答えよ。解答はアルファベットでよい。

【8】 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 $m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ 、アボガドロ定数 $N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 、円周率 3.14

問1 サイクロトロンは荷電粒子を一様な静磁強度 B のもとで円状の軌道を加速する装置である。この装置の原理に関する問に答えよ。粒子の質量 m (kg)、電荷 e (C)、軌道半径 r (m)、速度 v (m s^{-1}) とする。

- (1) 軌道上を運動しているとき、遠心力とローレンツ力は釣り合っている。この力の釣り合いを数式で示せ。
- (2) 回転の周期は、軌道半径と磁場強度 B にそれぞれどのように関係するか述べよ。また、粒子の速度を増大させたとき、上記の力の釣り合いのもとで回転の周期と軌道半径への影響を述べよ。
- (3) 荷電粒子として電子を用いて 300 GHz で回転させるために要する磁場強度 B を有効数字 2 桁で求めて、それをテスラ (T) の単位で表せ。
- (4) 300 GHz の電子の回転運動によってその周波数の電磁波を放射した。この電磁波を真空の金属の箱に導入して、定在波を作った。この箱の一辺の長さはどのように表せるか。

問2 3原子分子である BeH_2 と H_2O について、次の問に答えよ。

- (1) 原子 Be と O について電子配位を示せ。なお、 Na 原子の電子配位は、 $(1s^2 2s^2 2p^6 3s^1)$ と表す表記法を用いよ。
- (2) BeH_2 と H_2O の結合角の大きさについて、電子を用いて説明せよ。
- (3) 水分子の結合角を決める実験法にはどのような方法があるか。固体と気体状態の水分子を対象にした場合、それぞれについて実験法の名前と測定原理を簡単に説明せよ。
- (4) 水分子について結合長を一定にして結合角を変化させられると仮定したとき、結合角に依存して液体の水の誘電率はどのように変化すると考えられるか。分子の極性を考えて議論せよ。