

筆答試験

一般基礎科目

試験時間 13:30～15:00

- 問題は次の通り 22 題ある。生物学(問題番号 1～16)、物理学(問題番号 17、18)、化学(問題番号 19、20)、数学(問題番号 21、22)。これらのうちから 6 題を選択し解答すること。ただし、生物学 2 題は必ず選択すること。
- 和文の問題(問題番号 1～22)のあとに続けて、英文(問題番号 1～22)が印刷されている。和文または英文どちらか一方の問題文に基づいて解答すること。
- すべての解答用紙の所定の欄に、受験番号(2箇所)、氏名、および選択した問題の番号を記入すること。
- 各問題の解答にはそれぞれ別々の解答用紙を用いること。1つの問題への解答が2枚にわたる場合は、1枚目の右下に「次ページに続く」、2枚目の左上に「1ページ目からの続き」と大きく明記すること。解答用紙の裏面は使用しないこと。
- 解答は、すべて解答用紙の指定された枠内に記述すること。また、とくに指定のない限り、解答は日本語または英語で記述すること。

Written examination

Basic subjects

Examination time 13:30-15:00

- There are 22 tests as follows: biology (test number 1-16), physics (test number 17, 18), chemistry (test number 19, 20), mathematics (test number 21, 22). Select six of these tests. You must select two tests at least from biology.
- The Japanese text (test number 1-22) is followed by the English text (test number 1-22). Answer the questions based on either the Japanese or English text.
- Write the following items at the designated places on every answer sheet: your examinee's number at “受験番号” (there are two places on a sheet), your name at “氏名”, and the test number you have selected at “問題番号”.
- Write your answers to each test on a separate answer sheet. If the answer to a test is on two separate answer sheets, clearly write “continued on next page” in the lower right corner of the first sheet and “continued from page 1” in the upper left corner of the second sheet. Do not use the reverse side of the answer sheet.
- Write answers in the ruled area on the answer sheet in either Japanese or English, unless otherwise specified.

生物学

問題 1

以下の文章を読んで、設問（1）～（3）のすべてに答えよ。

多くの動物で (a) 食物分子の分解は段階的に起こり、一連の反応を経て最終的に ATP がつくられる。真核細胞において、(b) 一部の ATP は細胞質ゾル (cytosol) 中の反応で生産されるが、(c) 多くの ATP は酸化的リン酸化によってミトコンドリアで生産される。

- (1) 下線部 (a) の食物分子の分解について、細胞外で起こる最初の段階の名称を答えよ。また、この分解が細胞内で起こる場合があるが、それを担う専用の細胞小器官の名称を答えよ。
- (2) 下線部 (b) の反応を解糖という。グルコース 1 分子を基質にした場合の、この反応における ATP と NADH によるエネルギー収支を、最終的な生成物名を具体的にあげながら、4 行程度の文章で説明せよ。
- (3) 下線部 (c) について、激しく動く筋肉や、低酸素状態で筋肉が収縮する時、酸化的リン酸化の最終産物として乳酸が作られる。エネルギー生産の観点から、乳酸が産生される意義について、以下の語句をすべて用いて 3 行程度で説明せよ。
[NADH、グリセルアルデヒド 3-リン酸デヒドロゲナーゼ、解糖]

生物学

問題 2

以下の文章を読んで、設問（1）～（3）のすべてに答えよ。

タンパク質の多くは酵素として働く。(a) 酵素は1つ以上の基質と結合し、それらを驚異的な速さで化学的に変化させて生成物をつくる。(b) 酵素活性の詳細な研究を行うには、(c) 高純度の酵素が必要となる。

- (1) 下線部（a）について、基質の結合から生成物の放出までの酵素反応の過程を、酵素が反応速度を増加させる仕組みも含めて、以下の語句をすべて用いて3行程度で説明せよ。

[活性部位、活性化エネルギー、酵素-生成物複合体]

- (2) 下線部（b）について、酵素の性能はいくつかの指標で特徴づけられる。代謝回転数とミカエリス定数（ K_M ）について、それぞれ2行程度で説明せよ。

- (3) 下線部（c）について、酵素の精製には、各種のカラムクロマトグラフィーが使われる。そのうちのひとつである、イオン交換クロマトグラフィーによって、タンパク質を分離する原理を、3行程度で説明せよ。

生物学

問題 3

以下の文章を読んで、設問（1）～（3）のすべてに答えよ。

細胞には機能の異なる RNA が存在する。主要な RNA は^(a)メッセンジャーRNA (mRNA)、^(b)リボソーム RNA、^(c)運搬 RNA (tRNA) である。真核細胞の RNA は転写後に加工されて初めて機能を持つものが多いことも知られている。

- (1) 下線部 (a) について、mRNA の非翻訳領域がその mRNA 自身の翻訳の開始に関わることが知られている。細菌の mRNA と真核生物の mRNA の場合に分け、翻訳の開始における非翻訳領域の役割について、以下の語句をすべて用いて、合わせて5行程度で説明せよ。

[翻訳開始コドン AUG の数塩基上流、リボソーム、翻訳開始因子、開始 tRNA]

- (2) 下線部 (b) について、リボソームはリボザイムの1つだと考えられている。その理由を簡潔に2行程度で説明せよ。
- (3) 下線部 (c) について、tRNA がタンパク質合成に使われるためには、アミノアシル tRNA 合成酵素の働きで tRNA が加工される必要がある。この酵素の働き、tRNA の加工について、3行程度で説明せよ。

生物学

問題 4

以下の文章を読んで、設問（1）～（3）のすべてに答えよ。

DNA 二重らせんは、二本の DNA 鎖が水素結合を用いて互いに結合して形成される。塩基は二重らせんの内側にあり、外側には糖-リン酸の主鎖がある。塩基は、ランダムに結合するのではなく、(a) アデニン (A) はチミン (T) と、グアニン (G) はシトシン (C) と対を作る。この構造を (b) 相補的塩基対とよぶ。

- (1) 下線部 (a) について、A と T の結合と、G と C の結合のどちらが強いか、理由を含めて 2 行程度で説明せよ。
- (2) 下線部 (b) について、PCR 法により任意の二本鎖 DNA 断片を増幅することができる。PCR 法の原理について、4 行程度で説明せよ。
- (3) 下線部 (b) について、ジデオキシ (サンガー) 法により任意の DNA 断片の塩基配列を決めることができる。ジデオキシ法の原理を、DNA の構造的特徴も含めて 6 行程度で説明せよ。

生物学

問題 5

以下の文章を読んで、設問（1）～（3）のすべてに答えよ。

真核細胞の細胞周期は G_1 期、S 期、 G_2 期、M 期の順に進む。(a) 染色体は S 期に複製される。(b) M 期に入ると染色体は分離し、娘細胞に 1 コピーずつ分配される。倍加した染色体が正しく分離できるように、(c) タンパク質複合体が染色体の構造を制御している。

- (1) 下線部 (a) について、DNA 複製が 1 回の細胞周期中に 1 回のみ起こる仕組みを、以下の語句をすべて用いて 4 行程度で説明せよ。
[複製前複合体 (pre-RC)、Cdc6、S-Cdk]
- (2) 下線部 (b) について、染色体の分離には紡錘体を形成する微小管が関わっている。動原体微小管、極間微小管が、それぞれどのように染色体の移動に関わるか、あわせて 3 行程度で説明せよ。
- (3) 下線部 (c) のタンパク質複合体にはコンデンシンやコヒーシンが含まれる。これらがどのように染色体の構造に関わるかについて、合わせて 3 行程度で説明せよ。

生物学

問題 6

以下の文章を読んで、設問（１）、（２）２問とも答えよ。

真核生物における細胞分裂には、通常の細胞分裂と減数分裂がある。通常の細胞分裂では染色体を倍加した後、核分裂と (a) 細胞質分裂 を経て、親細胞と遺伝的に同一の二倍体細胞が生じる。一方、減数分裂では (b) それぞれが異なる遺伝情報をもつ一倍体細胞が生じる。

- (1) 下線部 (a) について、植物細胞と動物細胞では細胞質分裂の仕組みが異なる。植物細胞に特異的な細胞質を二つに分ける仕組みを以下の語句をすべて用いて 5 行程度で説明せよ。
[細胞壁成分、微小管、膜小胞、隔膜形成体]
- (2) 下線部 (b) について、減数分裂第一分裂では遺伝情報の混ぜ合わせが 2 回起こる。それぞれの仕組みを合わせて 3 行程度で説明せよ。

生物学

問題 7

以下の文章を読んで、設問（1）～（3）のすべてに答えよ。

真核細胞の細胞表面に輸送される多くのタンパク質は、細胞質ゾル（cytosol）から小胞体に送られる。小胞体に入るタンパク質には、小胞体内腔に放出される ^(a) 水溶性タンパク質 と小胞体膜に埋め込まれる ^(b) 膜貫通タンパク質 の 2 種類がある。

- （1）下線部（a）について、水溶性タンパク質が小胞体内腔に放出される仕組みを、以下の語句をすべて用いて 5 行程度で説明せよ。
[シグナル識別粒子（SRP）、SRP 受容体、タンパク質転送装置、小胞体シグナル配列]
- （2）下線部（b）のうち、輸送停止配列を含む 1 回膜貫通タンパク質が小胞体膜に組み込まれる仕組みを 4 行程度で説明せよ。
- （3）下線部（b）について、1 回膜貫通タンパク質が小胞体から細胞膜まで輸送される場合、輸送前の小胞体にて内腔側に位置していた領域は細胞膜上では細胞の内と外のどちら側に存在するのか答えよ。また、その理由を 3 行程度で説明せよ。

生物学

問題 8

以下の文章を読んで、設問（1）～（3）のすべてに答えよ。

動物細胞や植物細胞では、気体分子がシグナル伝達に関わる例が知られている。^(a) 一酸化窒素はヒトにおいて血管平滑筋を弛緩させ血管拡張作用を持つ。^(b) エチレンは植物において種子の発芽や果実の成熟などを調節する。 これら気体分子は、^(c) 細胞膜を透過し細胞内の特定のタンパク質に作用する。

- (1) 下線部（a）について、一酸化窒素は **GTP** から環状 **GMP** (**cGMP**) を生成する酵素に作用する。また、生成した **cGMP** は別の酵素により **GMP** に分解される。この過程で、**cGMP** を生成する酵素と分解する酵素、それぞれの名称を答えよ。
- (2) 下線部（b）について、エチレンが標的細胞の受容体タンパク質に結合し、特定の遺伝子の発現を制御する仕組みを4行程度で説明せよ。
- (3) 下線部（c）について、気体分子以外にも細胞膜を透過して細胞内の受容体タンパク質と結合する物質が知られている。その1つが、副腎から分泌されるコルチゾールである。コルチゾールが標的細胞の細胞膜を透過し、特定の遺伝子の発現を制御する仕組みを4行程度で説明せよ。

生物学

問題 9

以下の文章を読んで、設問（1）～（3）のすべてに答えよ。

2005年に Sina M. Adl らは、真核生物を構成するスーパーグループの一つとして、^(a) アーケプラスチダ (Archaeplastida) を提案した。アーケプラスチダには ^(b) 種子植物などが含まれる。

（1）下線部（a）はどのような生物群か。以下の2つの語句を用いて3行程度で説明せよ。

[細胞内共生、葉緑体]

（2）アーケプラスチダに含まれない生物を以下から1つ選べ。

[褐藻類、紅藻類、車軸藻類、ツノゴケ類、ヒカゲノカズラ類、裸子植物、緑藻類]

（3）下線部（b）について、設問（i）と（ii）の2問ともに答えよ。

（i）種子植物において雄性配偶子の鞭毛の喪失は、進化の歴史上少なくとも何回起きたと推定されているか。

（ii）種子植物の維管束木部にある管状要素として、仮道管と道管の細胞がある。仮道管と道管の細胞の形態的な違いについて、以下の2つの語句を用いて3行程度で説明せよ。

[細胞の両端、穿孔]

生物学

問題 10

以下の文章を読んで、設問（1）～（3）のすべてに答えよ。

(a) ある動物の種 *Aus bus* Smith, 1900 には2つの地域集団が認められていたとする。(b) 交配実験の結果、両集団は (c) 生殖的に隔離されていることが判明したため、それぞれを独立種とみなすことが可能である。

- (1) 下線部（a）について、この種が属 *Cus* に移されたときの種の学名を、種小名の著者と出版の日付の引用とともに、属名を省略することなく答えよ。なお、種小名 *bus* は属 *Cus* の下でも有効であるとする。
- (2) 下線部（b）について、両集団の個体間では、交配可能であるが、接合不能であることが判明した。この時、両集団に生じている隔離機構として考えられるものを以下から1つ選ぶとともに、その隔離機構の仕組みを2行程度で説明せよ。
[行動的隔離、配偶子隔離、雑種致死、機械的隔離]
- (3) 下線部（c）について、生殖的隔離に基づく種概念の名称を述べるとともに、その種概念における種の定義を、以下の2つの語句を用いて2行程度で説明せよ。
[交配、自然集団]

生物学

問題 11

以下の文章を読んで、設問（1）～（3）のすべてに答えよ。

動物におけるコミュニケーションでは情報の送信者と受信者の双方が適応度上の利益を得る場合が多く、このような信号は、^(a) 正直な信号と呼ばれる。信号のやりとりでは視覚、聴覚、嗅覚など様々な感覚が使用されるが、^(b) それぞれには信号の伝達において長所と短所が存在する。新たな信号が進化する際のメカニズムの1つとして、^(c) 受信者が持つ既存の感覚バイアスが作用するとみなす仮説がある。

- (1) 下線部（a）について、正直な信号が進化する理由はいくつか考えられる。そのうちの1つを、具体的な動物名をあげ、3行程度で説明せよ。
- (2) 以下の表は、下線部（b）に関連して、信号の伝達に関わる3つの特性における、視覚、聴覚、および嗅覚の長所と短所を相対評価したものである。表中の[ア]と[イ]にあてはまる適切な語句を答えよ。

信号の伝達における特性	視覚	聴覚	嗅覚
[ア]	良い	中程度	悪い
到達距離	短い	長い	中程度
[イ]	低い	低い	高い

- (3) 下線部（c）の仮説は、ミズダニの求愛信号やソードテールの雄が持つ長い尾の進化の説明に用いられるが、この仮説を何と呼ぶか。

生物学

問題 12

以下の文章を読んで、設問（１）～（３）のすべてに答えよ。

採餌行動においては、食物を食べることによってエネルギーを得るが、同時に探索や処理にはエネルギーや時間がかかる。この時、(a) 何を食べるか、(b) いつまで餌場にとどまるか、などの個々の動物の行動を説明するための理論を採餌理論という。特に個体が環境中の制約の中で、自身の適応度の最大化を達成するための行動決定理論を最適採餌理論とよぶ。一方で最適採餌理論では、採餌個体は一個体を想定し、(c) 他の個体からの影響を無視していることが多いため、現実の動物の行動は必ずしもこの最適採餌理論の予測とは一致しない。

- (1) 下線部（a）について、生息場所内の何を食べるかが、最適メニューモデルにおいてどのように決定されると考えられるか、3行程度で説明せよ。
- (2) 下線部（b）について、あるモデルでは、当該の餌場の採餌効率が生息場所全体での平均採餌効率を下まわったと判断した時点で餌場を離れると説明している。このモデルの名前を答えよ。
- (3) 下線部（c）について、採餌場面に複数の個体が存在することが個体の採餌行動にどのような影響を与えうるか、3行程度で説明せよ。ただし、生息場所内には捕食者等のさらなる外的要因はないものとする。

生物学

問題 13

以下の文章を読んで、設問（１）～（３）のすべてに答えよ。

生物の歴史の中で、幾度も種の絶滅が繰り返されてきたが、近年、人為的な原因のために生じている絶滅の多くは、これまで地球上でおこった絶滅に比べて、はるかに速度の速いものである。生物の絶滅を食い止めるためには、^(a) 絶滅のプロセスの生物学的理解が欠かせない。

（１）下線部（a）について、一度小さくなった個体群は、環境が一定であっても、さらに数を減らし、絶滅しやすくなる傾向が知られている。小集団が数を減らしてしまうメカニズムには、遺伝的なものと、それ以外のものがある。それぞれのメカニズムについて、合わせて５行程度で説明せよ。

（２）国際自然保護連合（IUCN）は、野生状態での絶滅の危険度を、評価ができない場合を除き、以下のランクに分けて評価している。これらのランクを、絶滅の危険度の高いものから順に並び替えよ。なお、アルファベットの略号を用いて答えてもかまわない。

[危機（EN）、準絶滅危惧（NT）、低懸念（LC）、危急（VU）、深刻な危機（CR）]

（３）それぞれの種についての上記のランク分けは、一般に、個体群存続可能性分析による絶滅リスクの評価に基づいて行われる。個体群存続可能性分析について、以下の語句をすべて用いて３行程度で説明せよ。

[生活史、環境変動、絶滅]

生物学

問題 14

以下の文章を読んで、設問（１）～（３）のすべてに答えよ。

生態系は、多様な種によって構成されており、その中には^(a) 群集構造に大きな影響を与える種も存在する。それらの種は種間の相互作用における直接効果や間接効果を通じ、群集構造を規定する。間接効果の例として^(b) 密度媒介間接効果が知られている。

- （１）下線部（a）について、個体数が少ないにもかかわらず群集構造に大きな影響を与える種を何と言うか。
- （２）下線部（a）について、その例の１つである生態系エンジニアとはどのようなものか、２行程度で説明せよ。
- （３）下線部（b）について、魚食性のオオクチバス（ブラックバス）、動物プランクトン食のブルーギル、動物プランクトンの三者の関係を例に３行程度で説明せよ。

生物学

問題 15

以下の文章を読んで、設問（1）～（3）のすべてに答えよ。

最近の総説によると、^(a) ヒト以外の霊長類の89種以上で肉食（脊椎動物食）が観察されている。このうち、哺乳動物を捕食する頻度がとくに高いのは^(b) オマキザル（*Cebus* 属および *Sapajus* 属）、^(c) ヒヒ（*Papio* 属）、^(d) チンパンジー（*Pan* 属） の3グループである。

- (1) 下線部 (a) のように、霊長類の中で肉食自体は決して珍しいものではないが、ヒトの肉食には他の霊長類と異なる特徴もある。そのようなヒトの肉食の特徴を3つ、それぞれ1行程度で記せ。なお、伝統的な狩猟採集生活をしているヒトの肉食を念頭に解答せよ。
- (2) 初期人類はスクャベンジングで動物性タンパク質を得ていたとする説がある。人類進化におけるこのことの意義を以下の語句をすべて用いて4行程度で説明せよ。
[骨髄、石器、肉食獣、狩猟]
- (3) 以下の (i) ～ (iii) の特徴を有する霊長類は下線部 (b) ～ (d) のうちどれか。それぞれ1つずつ選び、アルファベットで答えよ。
(i) 南米大陸に生息している。
(ii) ヒト上科に属する。
(iii) この3グループの中で、最もニホンザルに近縁である。

生物学

問題 16

以下の文章を読んで、設問（1）～（3）のすべてに答えよ。

(a) ヒトの生物学的特徴である、直立二足歩行と大脳化は互いに関連する。ヒトは新生児段階で既に脳が大きく難産になりやすい。骨盤サイズの拡大は難産の緩和に寄与するだろう。しかし、(b) 骨盤サイズの拡大は二足歩行のエネルギー効率を低下させると考えられている。このためヒトでは出産時の産道内での (c) 胎児の回旋など、分娩に関わる特殊な形質が進化した。

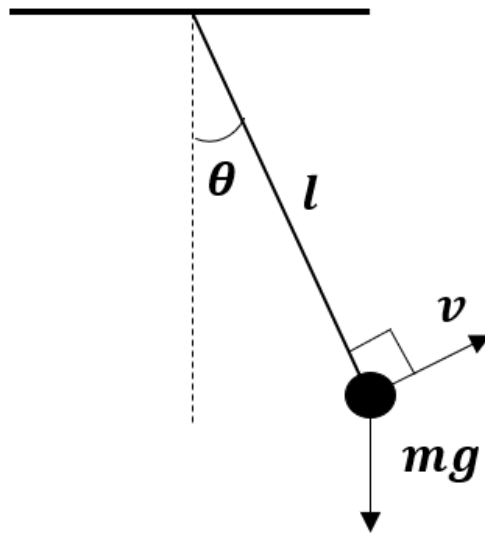
- (1) 下線部（a）について、どちらが先に進化したと考えられているかを記せ。
- (2) 下線部（b）について、その理由を3行程度で説明せよ。
- (3) 下線部（c）について、回旋が必要となる形態学的特徴を、新生児段階で脳（頭）が大きいこと以外で2つ答えよ。

物理学

問題 17

以下の文章を読んで、設問 (1)、(2) 2 問とも答えよ。答えだけでなく計算過程がわかるように解答すること。

長さ l のひもの一端を固定し、他端に質量 m をもつ質点をつけて吊るし、重力の作用で鉛直面内を振動する単振り子を考える。重力加速度を g とする。ひもの重さおよび空気抵抗は無視できるものとする。



- (1) ひもが鉛直に対してなす角 θ のとき、質点の速度を v 、ひもにかかる張力を T とし、質点の軌道の接線方向および法線方向の運動方程式を示せ。
- (2) このひもは質点の重力の 2 倍以上の張力で切れるものとする。単振り子が振動する際の角 θ の最大値を Θ (ただし、 $\Theta < 90^\circ$) としたとき、ひもが切れないための Θ の条件を求めよ。

物理学

問題 18

以下の文章を読んで、設問（１）、（２）２問とも答えよ。答えだけでなく計算過程がわかるように解答すること。計算過程の説明のために図を用いても良い。

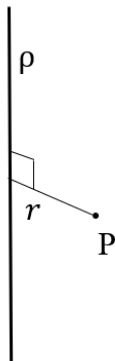
クーロンの法則によると、点電荷 q ($q > 0$ とする) がそこから距離 r 離れた場所 P につくる電場 \mathbf{E} は (MKSA単位系を用いて)、

$$\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \mathbf{r}_0$$

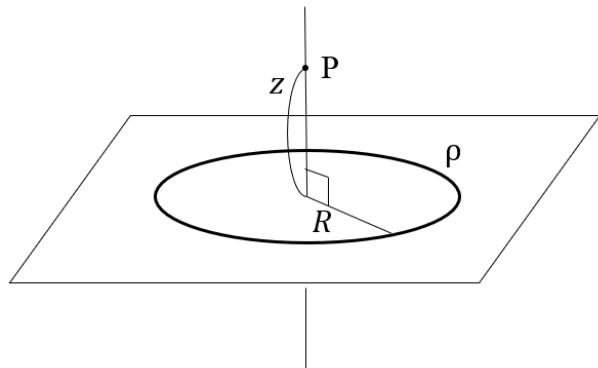
となる。ただしここで ϵ_0 は真空の誘電率、 \mathbf{r}_0 は点電荷の位置から P に向かう単位ベクトルである。

- (1) 直線上に電荷が一様に分布しており、単位長さ当たりの電荷密度が ρ であるとする (図 A)。このとき、直線から距離 r 離れた位置 P における電場の大きさと向きを求めよ。ただし、直線は無限に長いものとする。
- (2) 平面内の円周上に電荷が一様に分布しており、円の半径が R 、単位長さ当たりの電荷密度が ρ であるとする (図 B)。このとき、円の中心を通り平面に垂直な直線上で平面から距離 z 離れた位置 P における電場の大きさと向きを求めよ。

A



B

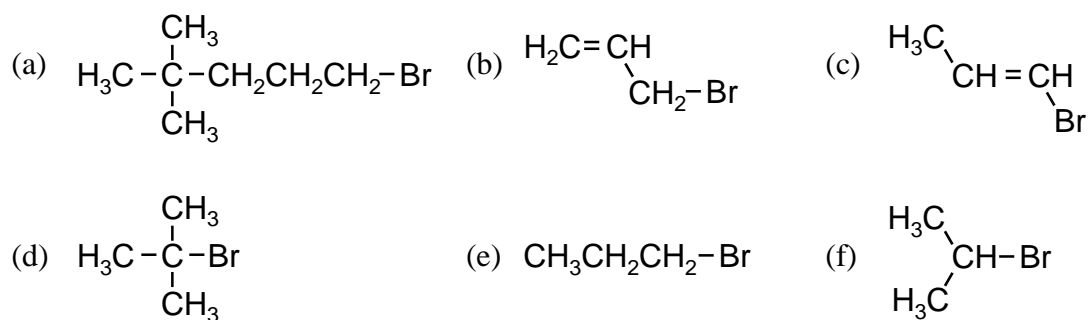


化学

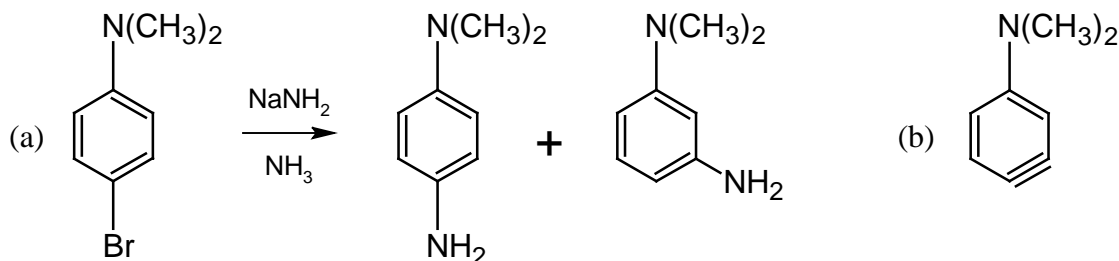
問題 19

以下の設問 (1) ~ (4) のすべてに解答せよ。

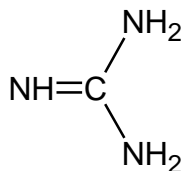
- (1) 以下の化合物から、 S_N2 反応による置換反応が最も起こりにくいものを2つ選び、その理由をそれぞれ2行程度で記せ。



- (2) 以下の反応 (a) で2種類の化合物が生成するのは、中間体 (b) が生成するからであると考えられる。(a) の反応機構を記せ。



- (3) 以下の構造式で示されるグアニジンは塩基性が高いことが知られている。これは、プロトン化したグアニジンの電子が共鳴構造をもつことで安定化されるからであると考えられている。プロトン化されたグアニジンの共鳴構造を記せ。



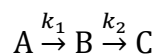
- (4) 常温、1気圧では、pH 13.6 の水溶液中で 50% のグアニジン分子がプロトン化されている。このとき、グアニジンの $\text{p}K_b (= -\log_{10} K_b)$ を求めよ。ただし K_b は塩基解離定数とする。

化学

問題 20

以下の文章を読んで、設問（1）～（3）のすべてに解答せよ。答えだけでなく、途中の計算過程がわかるように解答すること。

生成物 C は、以下のように前駆体 A から中間体 B を経て生成する。A から B、B から C の反応は、それぞれ k_1 と k_2 ($k_1 \neq k_2$) を速度定数とする一次反応とする。



このとき、時間 t における B の濃度は、

$$[B] = \frac{k_1}{k_2 - k_1} (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) [A]_0$$

で表される。ただし、 $t = 0$ のとき $[A] = [A]_0$ 、 $[B] = 0$ 、 $[C] = 0$ とする。

(1) B の濃度の時間変化 $\frac{d[B]}{dt}$ を導け。

(2) B の濃度が最大になるとき、C の生成速度も最大になる。この時間 t を k_1 と k_2 を用いて表せ。

(3) k_1 よりも k_2 が十分に大きいとき、A の減少速度と C の増加速度がほぼ等しくなる ($-\frac{d[A]}{dt} \approx \frac{d[C]}{dt}$)。その理由を 3 行程度で説明せよ。

数学

問題 21

以下の文章を読んで、設問 (1)、(2) 2 問とも答えよ。答えだけでなく、途中の計算過程がわかるように解答すること。

2 つの事象の生起確率を p_1, p_2 とし、関数 H を次式で定義する。

$$H(p_1, p_2) = - \sum_{i=1}^2 p_i \log_e p_i$$

上式で、 $p_i = 0$ の場合は、 $p_i \log_e p_i = 0$ と定義する。また、次式が成り立つ。

$$p_1 + p_2 = 1$$

- (1) 関数 H は非負 ($H \geq 0$) であること、および等号 ($H = 0$) が成立するのはどちらかの p_i が 1 の場合に限ることを示せ。
- (2) 関数 H は、2 つの事象が等しい確率 $\frac{1}{2}$ で起こるときに最大値をとることを示し、その値を求めよ。

数学

問題 22

以下の文章を読んで、設問（1）～（3）のすべてに答えよ。答えだけでなく、途中の計算過程がわかるように解答すること。

以下のように行列 A が与えられている。

$$A = \begin{pmatrix} -a & b \\ b & -a \end{pmatrix}$$

ただし、

$$0 < a < b$$

とする。

（1）行列 A の2つの固有値と各固有値に対応する固有ベクトルをそれぞれ求めよ。

（2）時間 t に関する次の微分方程式の一般解 $\mathbf{x}(t) = \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \end{pmatrix}$ を求めよ。

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = A\mathbf{x}$$

（3） (x, y) 平面上に、点 $(1, 0)$ を通る $\mathbf{x}(t)$ の軌跡および点 $(0, 1)$ を通る $\mathbf{x}(t)$ の軌跡を、時間経過の向きを含めて図示せよ。図には、補助線として設問（1）で求めた2つの固有ベクトルに平行で原点を通る2直線も描くこと。

Biology

Test 1

Read the following text and answer all the questions from (1) to (3).

The ^(a) food we eat is broken down in stages into smaller molecules before it can be subjected to a process to generate ATP. In eukaryotic cells, ^(b) a portion of this ATP is produced through a series of reactions in the cytosol, while ^(c) most of the ATP is produced in the mitochondria through a process called oxidative phosphorylation.

- (1) Regarding the underlined part (a), answer the term that represents the initial stage of the break-down process, that occurs inside and outside of the cells. In addition, provide the name of the specialized organelles, where this break-down takes place inside the cells.
- (2) Regarding the underlined part (b), this process is called glycolysis. Describe how many net ATP and NADH molecules are generated during the process from a single glucose molecule, while also mentioning the name of the final product in about 4 lines.
- (3) Regarding the underlined part (c), lactate is produced in skeletal muscle cells during vigorous exercise or anaerobic conditions. Describe why lactate production is important from the point of energy generation using all the following terms in about 3 lines.
“NADH”, “glyceraldehyde 3-phosphate dehydrogenase”, “glycolysis”

Biology

Test 2

Read the following text and answer all the questions from (1) to (3).

Many proteins act as enzymes. ^(a) Enzymes bind to one or more substrates and rapidly convert them into chemically modified products. For ^(b) investigating enzyme activity in detail, ^(c) highly purified enzymes are required.

- (1) Regarding the underlined part (a), explain the process of an enzyme reaction from substrate binding to product release, including the mechanism by which the enzyme increases the reaction rate, using all the following terms in about 3 lines.
“active site”, “activation energy”, “enzyme-product complex”
- (2) Regarding the underlined part (b), the performance of an enzyme is characterized by some parameters. Explain the turnover number and the Michaelis constant (K_M) in about 2 lines each.
- (3) Regarding the underlined part (c), several types of the column chromatography are used in the purification of enzymes. Explain the principle of ion-exchange chromatography used for the separation of proteins in about 3 lines.

Biology

Test 3

Read the following text and answer all the questions from (1) to (3).

There are different types of RNAs with different functions in the cells. The major types of RNAs are (a) messenger RNA (mRNA), (b) ribosomal RNA and (c) transfer RNA (tRNA). It is also known that many RNAs in eukaryotic cells become functional only after being post-transcriptionally processed.

- (1) Regarding the underlined part (a), the untranslated regions of mRNA are involved in the initiation of translation of that mRNA itself. Describe the role of untranslated regions in translational initiation of bacterial and eukaryotic mRNAs using all the following words in about 5 lines.
“several bases upstream of translation initiation codon AUG”, “ribosome”, “translation initiation factor”, “initiator tRNA”
- (2) Regarding the underlined part (b), ribosomes are considered to be one type of ribozyme. Briefly describe its reason in about 2 lines.
- (3) Regarding the underlined part (c), in order for tRNA to be used for protein synthesis, it must be processed by the action of aminoacyl-tRNA synthetase. Describe its function in the processing of tRNA in about 3 lines.

Biology

Test 4

Read the following text and answer all the questions from (1) to (3).

DNA molecule consists of two long polynucleotide strands, which are held together by hydrogen bonds between the base portions of the nucleotides. All the bases are on the inside of the double helix, with the sugar-phosphate backbones on the outside. The bases do not pair at random: ^(a) adenine (A) always pairs with thymine (T), and guanine (G) always pairs with cytosine (C). This structure is called as ^(b) complementary base pairs.

- (1) Regarding the underlined part (a), provide which bond, A-T or G-C, is stronger. In addition, describe its reason in about 2 lines.
- (2) Regarding the underlined part (b), double-strand DNA can be amplified by PCR. Describe the principle of PCR in about 4 lines.
- (3) Regarding the underlined part (b), the nucleotide sequences of any purified DNA fragment can be determined by dideoxy sequencing, also known as Sanger sequencing. Describe the principle of the dideoxy sequencing with structural characteristic of DNA in about 6 lines.

Biology

Test 5

Read the following text and answer all the questions from (1) to (3).

Cell cycle of most eukaryotic cells is divided into four phases: G₁, S, G₂ and M. (a) Chromosomes are replicated during the S phase. (b) During the M phase, the replicated chromosomes are separated in such a way that each daughter cell receives one copy of each. Structures of the replicated chromosomes are regulated by (c) protein complexes for proper chromosome segregation.

- (1) Regarding the underlined part (a), describe the cellular mechanisms restricting DNA replication to only once per cell cycle, using all the following terms in about 4 lines.
“pre-replication complex (pre-RC)”, “Cdc6”, “S-Cdk”
- (2) Regarding the underlined part (b), microtubules play essential roles in chromosome segregation. Describe how kinetochore microtubules and polar microtubules are associated with chromosome movement in about 3 lines in total.
- (3) Regarding the underlined part (c), the protein complexes include condensins and cohesins. Describe how these protein complexes contribute to the structure of chromosomes in about 3 lines.

Biology

Test 6

Read the following text and answer both of the questions (1) and (2).

When a eukaryotic cell divides into two, chromosome duplication is followed by mitosis and (a) cytokinesis. This simple cell division by mitosis produces diploid cells that are genetically identical to the parental cells. On the other hand, there is another type of cell division called meiosis, which produces (b) haploid cells that are genetically distinct from each other.

- (1) Regarding the underlined part (a), the mechanism of cytokinesis in plant cells is different from that in animal cells. Describe the plant-specific mechanism by which the cytoplasm is cleaved in two using all the following terms in about 5 lines.
“cell wall components”, “microtubules”, “membrane-enclosed vesicles”, “phragmoplast”
- (2) Regarding the underlined part (b), meiosis I results in two types of genetic reassortment that generate new chromosome combinations. Describe the mechanisms that are responsible for each genetic reassortment in about 3 lines.

Biology

Test 7

Read the following text and answer all the questions from (1) to (3).

In eukaryotic cells, most proteins transported to the cell surface are delivered from the cytosol to the endoplasmic reticulum (ER). Proteins entering the ER are classified into two types: (a) soluble proteins that are released into the lumen of the ER, and (b) transmembrane proteins that are embedded in the ER membrane.

- (1) Regarding the underlined part (a), explain how soluble proteins are released into the lumen of the ER, using all the following terms in about 5 lines.
“signal recognition particle (SRP)”, “SRP receptor”, “translocation channel”, “ER signal sequence”
- (2) Regarding the underlined part (b), describe how single-transmembrane proteins containing a stop-transfer sequence are incorporated into the ER membrane in about 4 lines.
- (3) Regarding the underlined part (b), the single-transmembrane proteins are transported from the ER to the plasma membrane. Does the region of the protein, initially located on the lumen side of the ER, become exposed to which side, inside or outside, of the cell on the plasma membrane? In addition, describe its reason in about 3 lines.

Biology

Test 8

Read the following text and answer all the questions from (1) to (3).

In both animal and plant cells, gaseous molecules are known to be involved in signal transduction.

(a) Nitric oxide has a vasodilating effect by the relaxation of human vascular smooth muscles.
(b) Ethylene regulates several physiological functions, such as seed germination and fruit maturation, in plants. These gaseous molecules (c) pass through the plasma membranes and act on specific proteins within the cells.

- (1) Regarding the underlined part (a), nitric oxide acts on the protein which catalyzes the formation of cyclic GMP (cGMP) from GTP. In addition, the produced cGMP is degraded to GMP by another protein. Provide the names of the two enzymes, one of which forms cGMP and the other of which degrades cGMP, in this process.
- (2) Regarding the underlined part (b), describe the mechanism by which ethylene binds its receptor protein and controls the transcription of the specific genes within the cells in about 4 lines.
- (3) Regarding the underlined part (c), several substances other than gaseous molecules are known to pass through the plasma membranes and act on specific proteins within the cells. One of them is cortisol which is secreted from the adrenal gland. Describe the mechanism by which cortisol passes through the plasma membranes and controls the transcription of the specific genes within the cells in about 4 lines.

Biology

Test 9

Read the following text and answer all the questions from (1) to (3).

In 2005, Sina M. Adl et al. proposed ^(a) Archaeplastida as one of the supergroups comprising eukaryotes. Archaeplastida include ^(b) seed plants.

- (1) Regarding the underlined part (a), describe the underlined organisms using both of the following terms in about 3 lines.
“endosymbiosis”, “chloroplast”

- (2) Choose one organism that is excluded from the Archaeplastida from the following list.
“brown algae”, “red algae”, “stoneworts (*Chara*)”, “hornworts”, “lycophods”, “gymnosperms”, “green algae”

- (3) Regarding the underlined part (b), answer both of the questions (i) and (ii).
 - (i) What is the estimated minimum number of times that flagella have been lost from the male gametes of seed plants throughout their evolutionary history?

 - (ii) A tracheary element located in the xylem of vascular bundles of seed plants consists of tracheids and vessel cells. Describe the morphological differences between tracheids and vessel cells using both of the following terms in about 3 lines.
“both ends of a cell”, “perforation”

Read the following text and answer all the questions from (1) to (3).

Suppose that there is ^(a) an animal species *Aus bus* Smith, 1900 comprising two aggregations of local populations. ^(b) Experimental crossbreeding revealed that they were ^(c) reproductively isolated from each other, and thus could be considered distinct species.

- (1) Regarding the underlined part (a), indicate the scientific name of the species along with citation of the author and date of publication of the specific name, when the species is classified under the genus *Cus*. The specific name *bus* is deemed to be valid under *Cus*.
- (2) Regarding the underlined part (b), the experiment revealed that individuals from each aggregation could mate with each other, but then failed zygosis. Choose the isolating mechanism that occurs between them from the following list, and also explain the chosen mechanism in about 2 lines.
“ethological isolation”, “gametic isolation”, “hybrid lethality”, “mechanical isolation”
- (3) Regarding the underlined part (c), provide the name of a species concept based on the reproductive isolation, and explain its definition of the species using both of the following terms in about 2 lines.
“interbreed(ing)”, “natural population(s)”

Biology

Test 11

Read the following text and answer all the questions from (1) to (3).

Generally, in animal communication, both senders and receivers of the signal gain adaptive benefit. This type of signal is called (a) honest signal. Various senses, such as visual, auditory, and olfactory senses, are used in signal transfer, and (b) each sense has both advantages and disadvantages in transferring signals. (c) One possible mechanism involved in the evolution of novel signal is associated with the presence of sensory bias of receivers.

- (1) Regarding the underlined part (a), several explanations can be proposed on the evolution of honest signal. Describe one such explanation in about 3 lines, while mentioning its representative animal.
- (2) Regarding the underlined part (b), the table below shows the relative evaluation of advantages and disadvantages of visual, auditory, and olfactory senses in the propensity of signal transfer. Provide appropriate terms in the brackets [A] and [B].

Propensity of signal transfer	Visual	Auditory	Olfactory
[A]	High	Moderate	Low
Distance to reach	Short	Long	Moderate
[B]	Low	Low	High

- (3) Regarding the underlined part (c), provide the name of the hypothesis, which has been applied to explain the evolution of the mating signal of *Neumania* mites and the long tail fin of male swordfish.

Biology

Test 12

Read the following text and answer all the questions from (1) to (3).

In foraging, although obtaining food provides the animal energy, searching for and handling the food require both energy and time. How animals decide ^(a) what to eat, ^(b) how long to stay on each foraging site, etc. are explained by foraging theory. Especially, optimal foraging theory predicts how animals maximize fitness with given environmental restrictions. Optimal foraging theory helps predict the best strategy that an animal individual can use to achieve this goal but ^(c) often ignores the impacts from other individuals on the targeted animal's behavior. Therefore, sometime the actual behavior of an animal cannot be precisely predicted by optimal foraging theory.

- (1) Regarding the underlined part (a), describe how the optimal diet model predicts what they eat in their environment in about 3 lines.

- (2) Regarding the underlined part (b), a model in optimal foraging theory predicts that an animal moves to another foraging site when the value of the current site decreases below the average value of the sites from the environment. Provide the name of this model.

- (3) Regarding the underlined part (c), describe how the presence of other individuals affects the target animal behavior with an assumption that no other external factors such as presence of predators exists in the environment in about 3 lines.

Read the following text and answer all the questions from (1) to (3).

Species extinction has occurred repeatedly in the history of the earth, but most of the extinctions due to anthropogenic reasons are much more rapid than previous extinction events. ^(a) Biological understanding of the process of extinction is indispensable to prevent such extinctions.

- (1) Regarding the underlined part (a), small populations tend to decline and face higher risks of extinction, regardless of environmental fluctuations. Explain both genetic and non-genetic mechanisms for such tendencies in about 5 lines in total.

- (2) The International Union for Conservation of Nature (IUCN) categorizes the risk of extinction in the wild as follows, except the case when evaluation is impossible due to data deficiency. Arrange the order of the following categories from higher to lower risk of extinction. You can answer by using their abbreviations.
“endangered [EN]”, “near threatened [NT]”, “least concern [LC]”, “vulnerable [VU]”, “critically endangered [CR]”

- (3) Each species is usually categorized as above according to the extinction risks evaluated by the population viability analysis. Explain the population viability analysis using all the following terms in about 3 lines.
“life history”, “environmental fluctuation(s)”, “extinction”

Biology

Test 14

Read the following text and answer all the questions from (1) to (3).

Ecosystems are composed of diverse species and ^(a) some species strongly influence the community structure. These species determine community structure through direct and indirect effects of biological interaction. ^(b) Density-mediated indirect effect is known as an example of indirect effects.

- (1) Regarding the underlined part (a), provide the term for species which strongly influence the community structure despite their small population size.
- (2) Regarding the underlined part (a), some species are sometimes called “ecosystem engineers”. Describe what is meant by “ecosystem engineers” in about 2 lines.
- (3) Explain about the underlined part (b) considering interaction among three of fish-eating largemouth bass (black bass), zooplankton-eating bluegill, and zooplankton as example in about 3 lines.

Read the following text and answer all the questions from (1) to (3).

According to a recent review, (a) meat eating (ingestion of vertebrate tissue) occurs in more than 89 species of nonhuman primates. Of these, three groups are the most frequent mammalian predators: (b) capuchin monkeys (the genera *Cebus* and *Sapajus*), (c) baboons (the genus *Papio*), and (d) chimpanzees (the genus *Pan*).

- (1) As shown in the underlined part (a), meat eating itself is not rare among primates, but there are some unique characteristics of human meat eating. Describe three such characteristics of human meat eating in about 1 line each. Consider the meat-eating habits of traditional hunter–gatherers.
- (2) There is a hypothesis that early hominins obtained animal protein by scavenging. Explain the significance of this hypothesis for human evolution using all the following terms in about 4 lines.
“bone marrow”, “stone tools”, “carnivores”, “hunting”
- (3) Which of the underlined primates (b) through (d) has the characteristics described in each of the following (i) through (iii)? Choose one answer with letters (b), (c), or (d).
 - (i) Inhabits the South American continent.
 - (ii) Belongs to the superfamily Hominoidea.
 - (iii) Among these three, most closely related to the Japanese monkey.

Biology

Test 16

Read the following text and answer all the questions from (1) to (3).

(a) Bipedalism with upright posture and encephalization, which are hallmarks of human evolution, are related with each other. Human brains are large already at birth, which frequently results in difficult childbirth. Expanding pelvic size could ease difficult childbirth. It is, however, hypothesized that (b) expanding pelvic size could lower energetic efficiency of bipedal locomotion. Humans evolved peculiar obstetrical traits such as (c) rotation of fetuses in the birth canal during childbirth.

(1) Regarding the underlined part (a), answer which of these evolved first.

(2) Regarding the underlined part (b), explain its reason in about 3 lines.

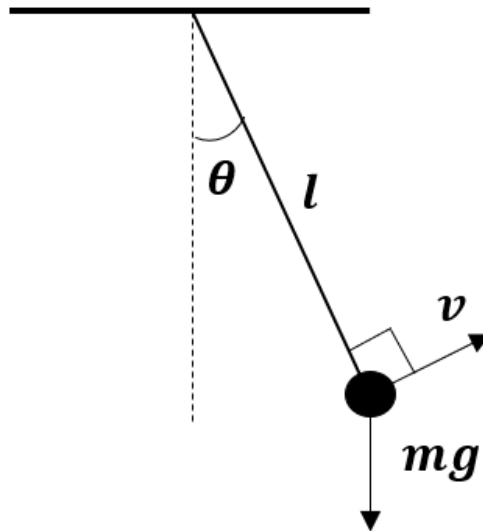
(3) Regarding the underlined part (c), provide 2 morphological features that demand the rotation of the fetuses in humans, except for the large neonatal brain (head).

Physics

Test 17

Read the following text and answer both questions (1) and (2). Describe your calculation processes in addition to the answers.

Consider a single pendulum oscillating in the vertical plane under the action of gravity. The pendulum string with its length l is fixed in one end at the top and has a mass point with mass m at the other end. Let g be the acceleration of gravity. The weight of the string and the air resistance are assumed to be negligible.



- (1) When the string makes an angle θ with the vertical, let the velocity of the mass point be v , the tension on the string be T , and write the equations of motion for the tangential and normal directions of the trajectory of the mass point.
- (2) The string is assumed to break at a tension greater than twice the gravitational force of the mass point. If the maximum value of the angle θ when the single pendulum oscillates is Θ (but, $\Theta < 90^\circ$), find the condition of Θ for the string not to break.

Physics

Test 18

Read the following text and answer both questions (1) and (2). Describe your calculation processes in addition to the answers. You may include diagrams to support your answer.

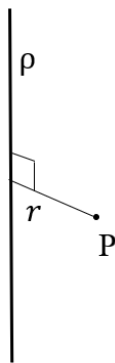
When a point charge q (let $q > 0$) is present at the origin, according to Coulomb's law, the electric field \mathbf{E} at a position P at a distance r from the charge is (using the MKSA unit system)

$$\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \mathbf{r}_0$$

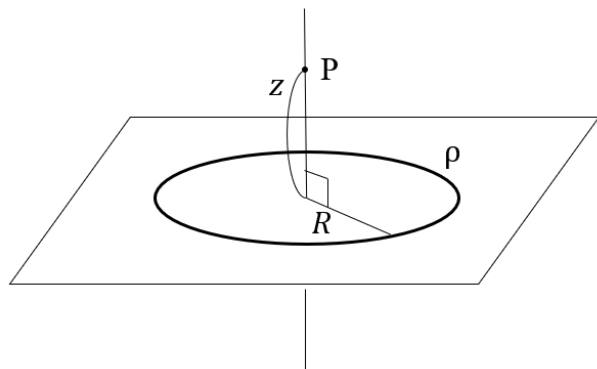
where ϵ_0 is the dielectric constant of the vacuum and \mathbf{r}_0 is the unit vector from the location of the point charge to P.

- (1) Assume that charges are uniformly distributed on a straight line and that the charge density per unit length is ρ (Figure A). Find the magnitude and direction of the electric field at position P, at a distance r away from the line. The line is assumed to be infinitely long.
- (2) Assume that charges are uniformly distributed on the circumference of a circle on a plane, the radius of the circle is R , and the charge density per unit length is ρ (Figure B). Find the magnitude and direction of the electric field at position P, at a distance z away from the plane, on a line passing through the center of the circle and perpendicular to the plane.

A



B

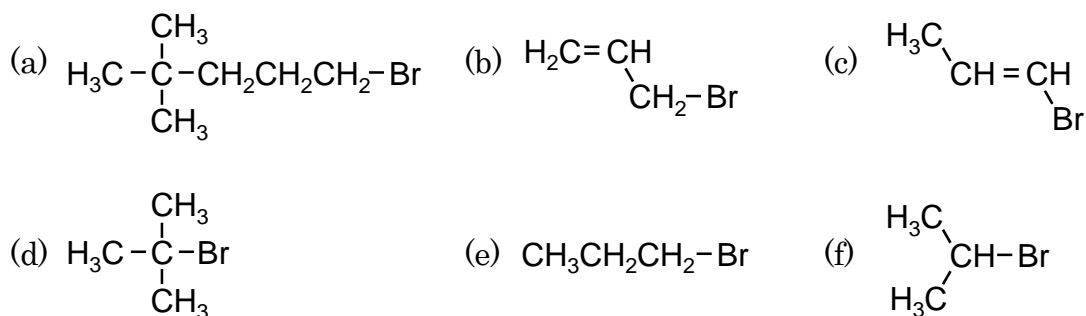


Chemistry

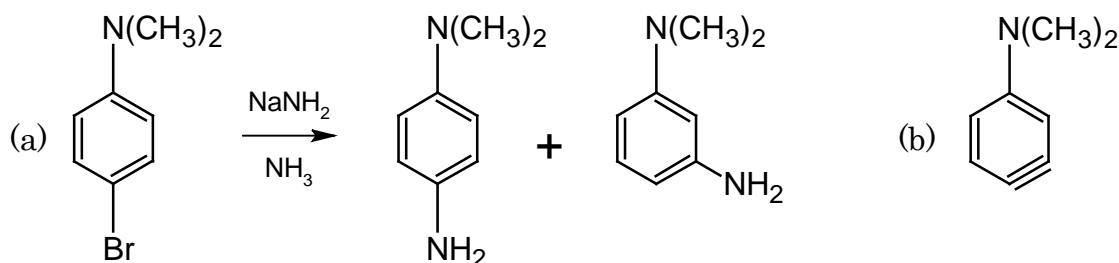
Test 19

Answer all the questions from (1) to (4).

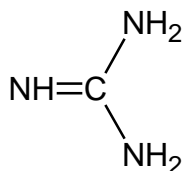
- (1) Select the two compounds which are the least likely to undergo a substitution reaction by S_N2 reaction, and explain the reasons in about 2 lines, respectively.



- (2) In the following reaction (a), two products are yielded because the intermediate (b) is produced. Present the reaction mechanism of (a).



- (3) Guanidine (shown below) shows a significantly high basicity because the electrons of protonated guanidine are stabilized by resonance. Write down the resonance structure of protonated guanidine.



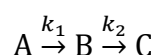
- (4) Under ambient temperature and 1 atm, 50% guanidine molecules are protonated at pH 13.6. In this condition, calculate the pK_b ($= -\log_{10} K_b$) of guanidine, where K_b is the base dissociation constant.

Chemistry

Test 20

Read the following text and answer all the questions from (1) to (3). Describe your calculation processes in addition to the answers.

Product C is formed from precursor A through intermediate B as follows, where the processes from A to B and from B to C are first-order reactions having rate constants of k_1 and k_2 ($k_1 \neq k_2$), respectively.



The concentration of B at time t is expressed as follows:

$$[B] = \frac{k_1}{k_2 - k_1} (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) [A]_0$$

where $[A] = [A]_0$, $[B] = 0$, and $[C] = 0$ at $t = 0$.

- (1) Derive the change in concentration of B over time ($\frac{d[B]}{dt}$).
- (2) The formation rate of C is maximum when the concentration of B is maximum. Express this time t using k_1 and k_2 .
- (3) When k_2 is sufficiently greater than k_1 , the decrease rate of A and increase rate of C are nearly equal ($-\frac{d[A]}{dt} \approx \frac{d[C]}{dt}$). Explain the reason in about 3 lines.

Mathematics

Test 21

Read the following text and answer both questions (1) and (2). Describe your calculation processes in addition to the answers.

Let p_1 and p_2 be the occurrence probabilities of two events, and define the function H by the following equation.

$$H(p_1, p_2) = - \sum_{i=1}^2 p_i \log_e p_i$$

In the above equation, if $p_i = 0$, let us define $p_i \log_e p_i = 0$. Also, the following formula holds.

$$p_1 + p_2 = 1$$

- (1) Show that the function H is non-negative ($H \geq 0$) and that the equality ($H = 0$) holds only when either one p_i is 1.
- (2) Show that the function H takes the maximum value when two events occur with equal probability $\frac{1}{2}$, and find its value.

Mathematics

Test 22

Answer all the questions from (1) to (3). Describe your calculation processes in addition to the answers.

A matrix A is given as follows:

$$A = \begin{pmatrix} -a & b \\ b & -a \end{pmatrix}$$

where the following conditions hold.

$$0 < a < b$$

- (1) Find the two eigenvalues and the corresponding eigenvectors of the matrix A .
- (2) Find the general solution of the following differential equation with respect to time t for

$$\mathbf{x}(t) = \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \end{pmatrix}.$$

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = A\mathbf{x}$$

- (3) Draw the trajectory of $\mathbf{x}(t)$ through point $(1, 0)$ and the trajectory of $\mathbf{x}(t)$ through point $(0, 1)$ on the (x, y) plane, including the direction of passage of time. In addition, in the figure, draw two straight lines that are parallel to the two eigenvectors obtained in the question (1) and pass through the origin as auxiliary lines.