

(平成 24 年度)

## 第 7 類 総合問題

180 分

## 問題 1

次の問 1, 2 の文章を読み, 設問 (1) ~ (7) に答えよ。

なお, 必要なら  $\log_e 2 = 0.69$ ,  $\log_e 3 = 1.1$ ,  $\log_e 5 = 1.6$ ,  $\log_e 7 = 1.9$ , 自然対数の底  $e = 2.7$ , 気体定数  $R = 8.3$  [J/(mol·K)] を用いてもよい。

問 1 多くの化学反応の反応速度は, 温度が上がるにつれ急激に増加することが知られている。1889 年アレニウス (Arrhenius) は, 反応速度と温度の関係が指数関数的であることを明らかにし, 次の式を提唱した。

$$k = Ae^{-E_a/RT} \quad \dots\dots (\star)$$

ここで,  $k$  は反応速度定数,  $A$  は定数,  $E_a$  は活性化エネルギー,  $R$  は気体定数,  $T$  は絶対温度である。すなわち, 反応速度の温度依存性を測定すると化学反応の活性化エネルギーを求めることができる。

(1) 反応物から生成物への反応経路とエネルギーの概略を実線で記せ。なお, 図にはすでに反応物と生成物のエネルギーレベルが記されている。また, 活性化エネルギー, 反応熱がどこに相当するか図中に示せ。さらに, この反応に対する触媒を添加した際の反応経路の概略を点線で記せ。

(2) (1) の図に示したような反応が進行した場合, 反応に伴う熱の授受について記せ。

(3) ある反応の反応速度の温度依存性を測定したところ, 下記の表のようになった。反応速度定数の温度依存性が (☆) 式に従い, 活性化エネルギーの温度依存性がないとして, 活性化エネルギーの値を求めよ。

$t$ [°C]	$k$ [mol/(L·s)]
12	25
18	50

(4) ある酵素反応では反応速度の温度依存性が右図のように A, B, C の温度域でそれぞれ異なる挙動を示すことがわかった。

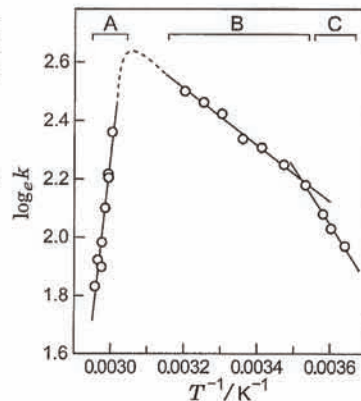
(A: 60~65 °C, B: 10~40 °C, C: 2~10 °C)

1) A の温度域において酵素はどのような状態にあるか記せ。

(20 字程度)

2) B と C 二つの温度域で 2 本の折れ曲がった直線を示した。どのような仮定をすれば, このような現象が説明できるか記せ。

(60 字程度)



問 2 次の英文を読み, 以下の問に答えよ。

【問題文】

Geoffrey Zubay, *Biochemistry*, Wm. C. Brown Publishers, 1999 より抜粋・改変

(5) 下線の Induced fit とはどのような現象であるか説明せよ。

(6) ヘキサキナーゼの反応の基質である ATP と glucose はどのような順番でヘキサキナーゼに結合すると書かれているか説明せよ。

(7) (6) の順序で結合しない場合にどのような反応が進行すると説明されているか記せ。化学反応式で示しても良い。

## 問題 2

次の問 1, 2 の文章を読み, 設問 (1) ~ (8) に答えよ。

問 1 光合成では, 太陽光のエネルギーを用いて, 一連の化学反応が進行する。太陽光には, 短波長のガンマ線から長波長のラジオ波まで, 様々な波長の光が含まれている。以下英文。

(R. E. Blankenship, *Molecular Mechanisms of Photosynthesis*, Wiley-Blackwell, 2002 より抜粋・改変)

- (1) 下線部を和訳せよ。(40字程度)  
 (2) クロロフィル *a* を持つ生物の行う光合成に関して、上の文章からわかることを40字程度で記せ。  
 (3) 植物の行う光合成は、水が酸素分子と水素イオンに分解され電子が取り出されることから始まる。この反応を化学式で記せ。  
 (4) 水から取り出された電子は、まず光化学系Ⅱを1回通り、次に光化学系Ⅰを1回通る。各々の電子は、各光化学系を通る際に光子1個のエネルギーを1回ずつ受けとる。2つの光化学系で光エネルギーを受けとった電子は、最終的に二酸化炭素から糖を作る反応に使われる。反応全体を見ると、1分子の酸素の放出あたり1分子の二酸化炭素が糖の合成に使われる。1分子の二酸化炭素が糖の合成に使われるために最低限必要な光子の数はいくつになるか。  
 (5) 光合成反応のエネルギー変換効率を計算せよ。二酸化炭素から糖を作り出す仕事に必要なエネルギーは、二酸化炭素1モル当たり480 kJとする。また、光合成を駆動する光の波長を680 nm、光速を  $3.0 \times 10^8$  m/s、アボガドロ数を  $6.0 \times 10^{23}$  mol<sup>-1</sup> とする。光子1個のエネルギー ( $E$ ) は次式で表される。

$$E = h\nu \quad h: \text{プランク定数} (6.6 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}) \quad \nu: \text{振動数} (\text{s}^{-1})$$

問2 太陽光は、植物の成長も調節する。以下の実験は、植物の発芽の光依存性を明らかにした1952年のボースヴィク (Borthwick) らの報告を要約したものである。

#### 【実験】

濡れたろ紙を敷いたペトリ皿に、レタスの種子を200個ずつまき、それらを暗所に16時間置く(試料①~⑦)。試料①はそのまま暗所に置き、残りの試料には赤色光(580~680 nm)と遠赤色光(700~750 nm)を下に示すような順序で交互に数分間あてる。数日後、暗所で発芽したレタスを数え、各ペトリ皿のレタスの発芽率を算出した。光の照射時間を長くしても、結果は変わらなかった。

試料	発芽率(%)
① 暗所	9
② 暗所→赤色光→暗所	98
③ 暗所→赤色光→遠赤色光→暗所	54
④ 暗所→赤色光→遠赤色光→赤色光→暗所	100
⑤ 暗所→赤色光→遠赤色光→赤色光→遠赤色光→暗所	43
⑥ 暗所→赤色光→遠赤色光→赤色光→遠赤色光→赤色光→暗所	99
⑦ 暗所→赤色光→遠赤色光→赤色光→遠赤色光→赤色光→遠赤色光→暗所	54

- (6) この実験から、赤色光はレタスの発芽を促進し、遠赤色光は赤色光による発芽の促進をある程度打ち消すことがわかる。太陽光は遠赤色光よりも高い割合の赤色光を含むため、太陽光を直接照射するとレタスは発芽する。赤色光よりも遠赤色光の割合の高いところでレタスの発芽は阻害されることになるが、自然環境において、そのような状況はどのような時に存在するだろうか。この間に対する答えを、上の英文の内容から推察し、レタスの発芽が遠赤色光で阻害される生態的な意義と合わせ、150字程度で記せ。  
 (7) ボースヴィクらの実験では、試料③、⑤、⑦の発芽率(43~54%)が、試料①の発芽率(9%)と異なっている。この原因を調べる実験の計画を立て、その内容を50字程度で記せ。  
 (8) (7)で解答した実験の予想される結果と、その結果からわかることを、100字程度で記せ。

### 問題 3

次の文章を読み、設問(1)~(4)に答えよ。

果樹園の木を密に植えた場合、高い収穫量が期待できるが、万が一火災が発生した場合、木と木の間隔が小さいため、火災が木から木へと伝播して果樹園全体が燃えてしまう危険がある。逆に、木を粗に植えた場合、火災が発生しても果樹園全体が燃えてしまう可能性は低いが、収穫量は減る。それでは、ある程度の収穫量を維持しながら、火災が発生した際に、被害を最小限に食い止めるには、どのような密度で木を植えれば良いだろうか。この問題を考えるために、以下のような簡単なモデルを導入し調べよう。

図1の正方形の集まり(果樹園)を考え、木が1本植えられている正方形の区画と、植えられていない正方形の区画があるとす。木が植えられている正方形の存在確率を  $p$  とすると、木が植えられていない正方形の存在確率は  $1-p$  である。すなわち  $p=1$  の時、すべての正方形に木が植えられている状態となる。また  $p < 1$  の時、木はランダムに植えられているものとする。

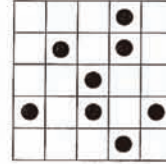


図1：果樹園を正方形の集まりと考える。上記図の黒丸の正方形には木が植えられており、空白の正方形には木が植えられていない。この図の場合、木が植えられている正方形の存在確率は  $p = 0.32$  となる。

次に火災の発生とその伝播（延焼）を考える。果樹園の上端に火災が発生した時、その火事が果樹園の木を伝わっていき、最下段の木まで到達するかどうかを考える。まずは、燃えている木から他の木にどのように火事が伝播していくかを明確にするために、以下の【調べ方】に従って正方形を規則的に一つずつ調べていく。

【調べ方】

- ・ 第1行の左端から順番に右へ1本ずつ、その木が隣接する木に火事を移せるかどうかを確認する。1本の木から火事が延焼する範囲は、隣接している木だけであり、それよりも遠くの木には燃え移らない。隣接している状態とは、上下左右の正方形のみで斜め方向の正方形は除外する。
- ・ 第1行の調査が終われば、第2行に進み同様の確認をしていく。これを繰返して最後の行まで調べる。
- ・ この調査の間に、燃えている木に隣接している木には火が燃え移る。
- ・ すべての正方形を一巡したら、時間を1単位だけ進める。ちょうど燃えだした木の右隣と直下の木は、同一の単位時間内に燃えており、直上と左隣の木は次の単位時間に燃えていることになる。
- ・ 1単位の時間のあいだ燃えた木は燃え尽きてしまう。
- ・ 火事が最後の行まで到達するか、または果樹園内に燃えている木がなくなった時点で、この火災は終了したものとする。
- ・ 同じ面積の果樹園で、同一の確率  $p$  の異なった木の分布を作り、同様の実験を繰返す。それぞれの分布で、火災が終わるまでに要した時間、つまり火災が終了するまでに果樹園を巡回した回数を求め、その時間を調べた分布全体について平均したものを、この火災の寿命と定義する。

(1) 図2のような果樹園の場合、果樹園上端の木に発生した火災はどのように伝播していくだろうか。火災発生から終了まで、単位時間ごとに、燃えている木および燃え尽きた木のある正方形を斜線で塗りつぶせ。なお、解答用紙には8巡目までの図が用意してある。このうち必要な分だけ図を使うこと。

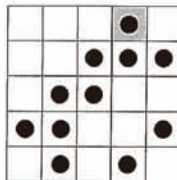


図2：図1と同様に、図の黒丸の正方形には木が植えられており、空白の正方形には木が植えられていない。この図の場合、木が植えられている正方形の存在確率は  $p = 0.44$  となる。上端の斜線部分に火災が発生するものとする。

- (2) 果樹園における木の存在確率  $p$  と、果樹園内で発生した火災の寿命とはどのような関係になるか。横軸に木の存在確率  $p$  を、縦軸に果樹園内で発生した火災の寿命をとり、グラフを描け。
- (3) 生産効率を上げながらも、火災発生時の被害を極力減らすにはどのように木を植えれば良いか。(2)で描いたグラフをもとに考察し50字程度で記述せよ。
- (4) 上述した果樹園の火災問題と似ている現象を挙げ、その現象に関して考察し100字程度で記述せよ。