受験番号						氏名

2022 年度

理　　科

注　意　事　項

1. 試験開始の合図があるまで，この問題冊子を開いてはいけません。
2. 出題分野，頁および選択方法は，下表のとおりです。

出題分野	頁	選択方法
物　理	1 ～14	左の 3 分野のうちから 2 分野を選択し，解答しなさい。
化　学	15～27	
生　物	28～49	

3. 試験開始後，頁の落丁・乱丁及び印刷不鮮明，解答用紙の汚れ等に気付いた場合は，手を挙げて監督者に知らせなさい。また，問題冊子に計算用紙が挟んであるのでメモや計算に用いて構いません。
4. **監督者の指示にしたがって解答用紙の該当欄に下記のようにそれぞれ正しく記入し，マークしなさい。**
   ① **受験番号欄**
   受験番号を 5 ケタで記入し，さらにその下の**マーク欄**に該当する **5 ケタをマーク**しなさい。(例)受験番号 10025 番→ [1][0][0][2][5] と記入。
   ② **氏名欄　氏名・フリガナを記入**しなさい。
   ③ **解答分野欄**
   解答する分野名 2 つを○で囲み，さらにその下の**マーク欄にマーク**しなさい。
5. **受験番号および解答する分野が正しくマークされていない場合は，採点できないことがあります。**
6. 解答は，解答用紙の**解答欄にＨＢ鉛筆**で正確に**マーク**しなさい。
   例えば [15] と表示された問題の正答として④を選んだ場合は，次の(例)のように**解答番号 15 の解答欄の④を濃く完全にマーク**しなさい。**薄いもの，不完全なものは解答したことにはなりません。**

(例)

解答番号	解答欄									
15	①	②	③	●	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩

7. 解答を**修正**する場合は，必ず「消しゴム」で**あとが残らないように**完全に消しなさい。鉛筆の色や消しくずが残ったり， のような消し方などをした場合は，**修正**したことになりません。
8. すべて選べという指示のある問題を除き，それぞれの問題で指定された数よりも多くの解答を**マーク**した場合は**無解答**とみなされます。
9. 問題冊子の余白等は，適宜利用してよいが，どの頁も切り離してはいけません。
10. 試験終了後，**問題冊子，解答用紙，計算用紙を机上**に置き，試験監督者の指示に従い退場しなさい。

物　　理

第１問　以下の問題の［　　］に最も適切なものを，対応する解答群の中から一つ選べ。

図１のように，水平面とθ〔rad〕の角をなすなめらかな斜面上に質量M〔kg〕の物体Ａを置き，軽くて伸びない糸の一端をＡにつないだ。糸は斜面と平行に張り，なめらかに回る軽い滑車にかけ，糸の他端に質量m〔kg〕の物体Ｂを鉛直につり下げた。さらに，鉛直方向に立てた，自然長l〔m〕，ばね定数k〔N/m〕の軽いばねの下端を床に固定し，上端に物体Ｂを取り付けた。重力加速度の大きさをg〔m/s^2〕とする。

物体Ａ，Ｂがともに静止しているとき，ばねは自然長から［　1　］〔m〕伸びた。物体Ｂをつり合いの位置からd〔m〕だけ引き上げて静かにはなすと，物体ＡとＢを結ぶ糸はたるまず両物体とも角振動数［　2　］〔rad/s〕で単振動した。

物体Ｂの速さの最大値は［　3　］〔m/s〕で，物体Ｂをつるしている糸の張力の最大値は［　4　］〔N〕である。

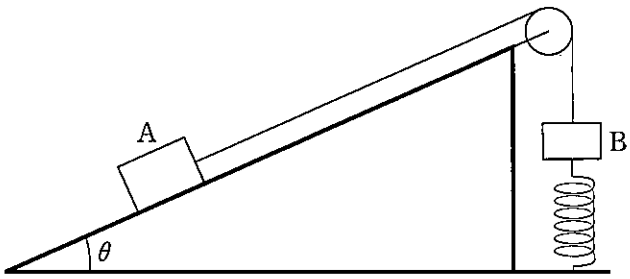


図１

1 の解答群

① $(M\sin\theta - m)kg$　② $-\dfrac{M\sin\theta - m}{k}g$　③ $\dfrac{m\cos\theta - M}{k}g$

④ $-(M\sin\theta - m)kg$　⑤ $\dfrac{M\cos\theta - m}{k}g$　⑥ $\dfrac{M\sin\theta - m}{k}g$

⑦ $\dfrac{m\sin\theta - M}{k}g$　⑧ $-\dfrac{m\sin\theta - M}{k}g$　⑨ $(M\sin\theta - mk)g$

2 3 の解答群

① $d\sqrt{\dfrac{k}{M+m}}$　② $\sqrt{\dfrac{k}{m - M\sin\theta}}$

③ $\sqrt{\dfrac{kg}{m - M\sin\theta}}$　④ $\sqrt{\dfrac{k}{M-m}}$

⑤ $\dfrac{d}{2\pi}\sqrt{\dfrac{k}{M\sin\theta - m}}$　⑥ $\sqrt{\dfrac{kg}{M+m}}$

⑦ $d\sqrt{\dfrac{kg}{M+m}}$　⑧ $d\sqrt{\dfrac{k}{M-m}}$

⑨ $\dfrac{d}{2\pi}\sqrt{\dfrac{k}{M\sin\theta + m}}$　⑩ $\dfrac{d}{2\pi}\sqrt{\dfrac{k}{M+m}}$

⑪ $\sqrt{\dfrac{k}{M\sin\theta + m}}$　⑫ $\sqrt{\dfrac{kg}{M\sin\theta + m}}$

⑬ $\dfrac{d}{2\pi}\sqrt{\dfrac{k}{M-m}}$　⑭ $\sqrt{\dfrac{k}{M+m}}$

⑮ $\sqrt{\dfrac{kg}{M-m}}$　⑯ $2d\sqrt{\dfrac{k}{M+m}}$

4 の解答群

① $Mg\sin\theta + mg + kd$　② $Mg\sin\theta - mg + kd$

③ $Mg\sin\theta + \dfrac{kM\sin\theta}{M\sin\theta + m}d$　④ $Mg\sin\theta - \dfrac{kM}{M+m}d$

⑤ $Mg\sin\theta + \dfrac{kM}{M\sin\theta + m}d$　⑥ $Mg\sin\theta - mg - kd$

⑦ $Mg\sin\theta + \dfrac{kM}{M+m}d$　⑧ $Mg\sin\theta + \dfrac{kM}{M-m}d$

第2問 以下の問題の［　　］に最も適切なものを，対応する解答群の中から一つ選べ。

図2のように，水平面とθ〔rad〕の角をなす粗さが一様な斜面がある。斜面上に質量m〔kg〕の物体を置き，点Oから初速度v_0〔m/s〕で斜面に沿って上向きにすべらせた。物体と斜面の間の動摩擦係数をμ'とし，重力加速度の大きさをg〔m/s^2〕とする。

物体は，点Oより距離l〔m〕だけ離れた点Pを速さ$v =$［ 5 ］〔m/s〕で斜面上向きに通過し，点Oより距離$L =$［ 6 ］〔m〕だけ離れた斜面上の最高点Qに達した。点Oを出発してから点Qに到達するまでの時間は［ 7 ］〔s〕であった。

その後，物体は，点Qから点Oまで時間［ 8 ］〔s〕かけてすべり降り，点Oを速さ［ 9 ］〔m/s〕で通過した。

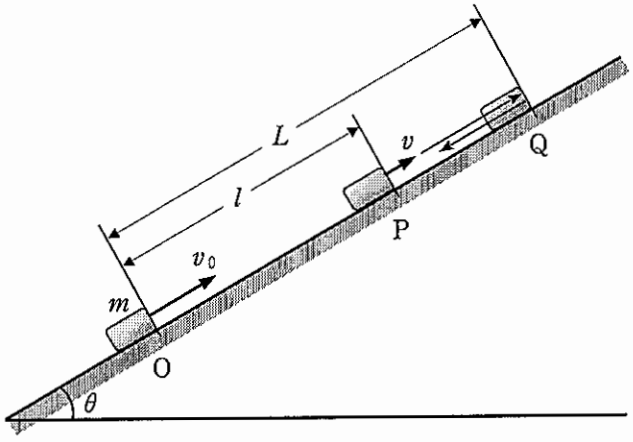


図2

［ 5 ］の解答群

① $\sqrt{v_0^2 - 2gl(\cos\theta - \mu' \sin\theta)}$　② $\sqrt{v_0^2 - 2gl(\sin\theta - \mu' \cos\theta)}$

③ $\sqrt{v_0^2 - gl(\cos\theta + \mu' \sin\theta)}$　④ $\sqrt{v_0^2 - gl(\cos\theta - \mu' \sin\theta)}$

⑤ $\sqrt{v_0^2 - 2gl(\cos\theta + \mu' \sin\theta)}$　⑥ $\sqrt{v_0^2 - 2gl(\sin\theta + \mu' \cos\theta)}$

⑦ $\sqrt{v_0^2 - gl(\sin\theta - \mu' \cos\theta)}$　⑧ $\sqrt{v_0^2 - gl(\sin\theta + \mu' \cos\theta)}$

6 の解答群

① $\dfrac{v_0^2}{g(\sin\theta - \mu' \cos\theta)}$

② $\dfrac{v_0^2}{g(\cos\theta + \mu' \sin\theta)}$

③ $\dfrac{2v_0^2}{g(\sin\theta + \mu' \cos\theta)}$

④ $\dfrac{2v_0^2}{g(\cos\theta - \mu' \sin\theta)}$

⑤ $\dfrac{v_0^2}{2g(\sin\theta + \mu' \cos\theta)}$

⑥ $\dfrac{v_0^2}{g(\sin\theta + \mu' \cos\theta)}$

⑦ $\dfrac{v_0^2}{2g(\cos\theta - \mu' \sin\theta)}$

⑧ $\dfrac{2v_0^2}{g(\sin\theta - \mu' \cos\theta)}$

⑨ $\dfrac{v_0^2}{2g(\cos\theta + \mu' \sin\theta)}$

⑩ $\dfrac{v_0^2}{2g(\sin\theta - \mu' \cos\theta)}$

⑪ $\dfrac{2v_0^2}{g(\cos\theta + \mu' \sin\theta)}$

⑫ $\dfrac{v_0^2}{g(\cos\theta - \mu' \sin\theta)}$

7 8 の解答群

① $\dfrac{v_0}{2g(\cos\theta + \mu' \sin\theta)}$

② $\dfrac{v_0}{g\sqrt{\sin^2\theta - \mu'^2\cos^2\theta}}$

③ $\dfrac{v_0}{2g(\sin\theta + \mu' \cos\theta)}$

④ $\dfrac{v_0}{2g(\sin\theta - \mu' \cos\theta)}$

⑤ $\dfrac{v_0}{g(\sin\theta - \mu' \cos\theta)}$

⑥ $\dfrac{v_0}{g\sqrt{\sin^2\theta + \mu'^2\cos^2\theta}}$

⑦ $\dfrac{v_0}{2g\sqrt{\mathrm{con}^2\theta - \mu'^2\sin^2\theta}}$

⑧ $\dfrac{v_0}{g(\cos\theta - \mu' \sin\theta)}$

⑨ $\dfrac{v_0}{g(\sin\theta + \mu' \cos\theta)}$

⑩ $\dfrac{v_0}{2g\sqrt{\mathrm{con}^2\theta + \mu'^2\sin^2\theta}}$

⑪ $\dfrac{v_0}{g(\cos\theta + \mu' \sin\theta)}$

⑫ $\dfrac{v_0}{2g(\cos\theta - \mu' \sin\theta)}$

9 の解答群

① $\sqrt{\dfrac{\cos\theta + \mu' \sin\theta}{\cos\theta - \mu' \sin\theta}}\, v_0$

② $\dfrac{v_0}{\sqrt{\sin\theta + \mu' \cos\theta}}$

③ $\sqrt{\dfrac{\cos\theta - \mu' \sin\theta}{\cos\theta + \mu' \sin\theta}}\, v_0$

④ $\dfrac{v_0}{\sqrt{\sin\theta - \mu' \cos\theta}}$

⑤ $\sqrt{\dfrac{\sin\theta + \mu' \cos\theta}{\sin\theta - \mu' \cos\theta}}\, v_0$

⑥ $\dfrac{v_0}{\sqrt{\cos\theta + \mu' \sin\theta}}$

⑦ $\sqrt{\dfrac{\sin\theta - \mu' \cos\theta}{\sin\theta + \mu' \cos\theta}}\, v_0$

⑧ $\dfrac{v_0}{\sqrt{\cos\theta - \mu' \sin\theta}}$

第 3 問　以下の問題の［　　］に最も適切なものを，対応する解答群の中から一つ選べ。重力の影響は無視できるものとする。

図 3 のように，xy 平面上で $0 \leqq x < d$〔m〕の範囲に紙面の裏から表の向きに紙面と垂直に磁束密度 B〔Wb/m^2〕の一様な磁場がかかっている。質量 m〔kg〕，電気量 q〔C〕($q > 0$)，速さ v_0〔m/s〕の荷電粒子が原点 O から xy 平面内に x 軸とのなす角 θ〔rad〕で入射した。原点 O から入射直後のローレンツ力の x，y 方向の成分は，それぞれ(［ 10 ］)〔N〕である。

速さ v_0〔m/s〕で原点 O から入射した荷電粒子は，$0 \leqq x < d$〔m〕の範囲内で運動した後，y 座標［ 11 ］から $x < 0$〔m〕の領域へ，速度の x，y 方向の成分がそれぞれ(［ 12 ］)〔m/s〕で飛び出した。

入射する荷電粒子の速さ v_0〔m/s〕が［ 13 ］〔m/s〕より大きくなると，荷電粒子は $x > d$〔m〕の領域へ飛び出した。

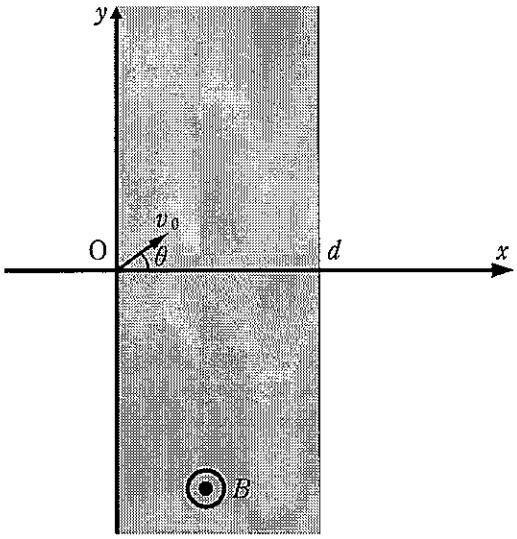


図 3

10 の解答群

① $-qv_0B\cos\theta$, $-qv_0B\sin\theta$　② $qv_0B\sin\theta$, $-qv_0B\cos\theta$

③ $-qv_0B\cos\theta$, $qv_0B\sin\theta$　④ $qv_0B\cos\theta$, $-qv_0B\sin\theta$

⑤ $-qv_0B\sin\theta$, $qv_0B\cos\theta$　⑥ $qv_0B\cos\theta$, $qv_0B\sin\theta$

⑦ $qv_0B\sin\theta$, $qv_0B\cos\theta$　⑧ $-qv_0B\sin\theta$, $-qv_0B\cos\theta$

11 の解答群

① $-\dfrac{mv_0\cos\theta}{qB}$　② $\dfrac{mv_0\cos\theta}{2qB}$　③ $-\dfrac{2mv_0\sin\theta}{qB}$

④ $-\dfrac{mv_0\cos\theta}{2qB}$　⑤ $\dfrac{2mv_0\cos\theta}{qB}$　⑥ $-\dfrac{mv_0\sin\theta}{2qB}$

⑦ $\dfrac{mv_0\sin\theta}{qB}$　⑧ $\dfrac{2mv_0\sin\theta}{qB}$　⑨ $\dfrac{mv_0\cos\theta}{qB}$

⑩ $-\dfrac{2mv_0\cos\theta}{qB}$　⑪ $-\dfrac{mv_0\sin\theta}{qB}$　⑫ $\dfrac{mv_0\sin\theta}{2qB}$

12 の解答群

① $-v_0\sin\theta$, $-v_0\cos\theta$　② $v_0\sin\theta$, $-v_0\cos\theta$

③ $-v_0\cos\theta$, $v_0\sin\theta$　④ $v_0\cos\theta$, $v_0\sin\theta$

⑤ $v_0\sin\theta$, $v_0\cos\theta$　⑥ $v_0\cos\theta$, $-v_0\sin\theta$

⑦ $-v_0\cos\theta$, $-v_0\sin\theta$　⑧ $-v_0\sin\theta$, $v_0\cos\theta$

13 の解答群

① $\dfrac{qBd(1+\sin\theta)}{m}$　② $\dfrac{2qBd(1+\cos\theta)}{m}$　③ $\dfrac{qBd}{2m(1+\cos\theta)}$

④ $\dfrac{qBd}{m(1+\sin\theta)}$　⑤ $\dfrac{qBd}{2m(1+\sin\theta)}$　⑥ $\dfrac{qBd}{m(1+\cos\theta)}$

⑦ $\dfrac{qBd(1+\sin\theta)}{2m}$　⑧ $\dfrac{2qBd(1+\sin\theta)}{m}$　⑨ $\dfrac{2qBd}{m(1+\cos\theta)}$

⑩ $\dfrac{2qBd}{m(1+\sin\theta)}$　⑪ $\dfrac{qBd(1+\cos\theta)}{m}$　⑫ $\dfrac{qBd(1+\cos\theta)}{2m}$

第4問 以下の問題の［　　］に最も適切なものを，対応する解答群の中から一つ選べ。

図4のように，電圧の実効値がE〔V〕の交流電源，起電力がV_0〔V〕の電池，抵抗値がR〔Ω〕の抵抗，電気容量がC〔F〕のコンデンサー，自己インダクタンスがL〔H〕のコイル，スイッチS_1，S_2，S_3からなる回路をつくった。ただし，交流電源と電池の内部抵抗は無視できるものとする。

スイッチS_1，S_2をA側に入れ，S_3をP側に入れた。交流電源の周波数をf〔Hz〕としたとき，実効値I〔A〕の電流が流れた。コンデンサーの電気容量Cは［14］〔F〕である。また，回路の平均の消費電力は［15］〔W〕である。

次に，スイッチS_3をP側のままで，スイッチS_1，S_2をB側に入れた。十分な時間が経過した後のコンデンサーの電気量は［16］〔C〕である。

次に，スイッチS_1，S_2はB側のままで，スイッチS_3をQ側に入れた。スイッチを入れてから，回路を流れる電流の大きさがはじめて最大になるまでの時間は［17］〔s〕である。

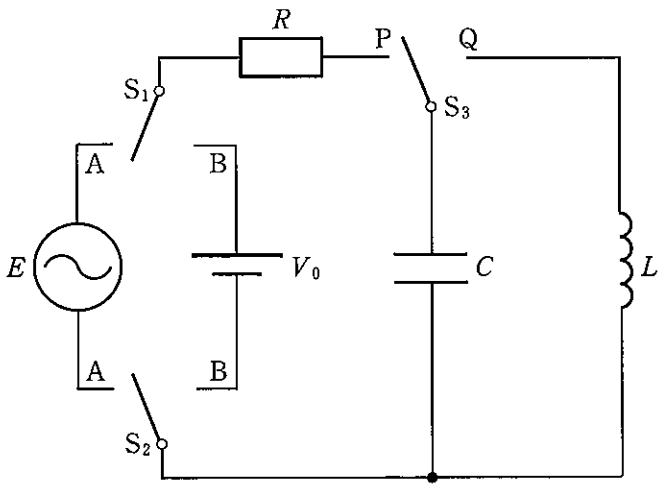


図4

14 の解答群

① $\dfrac{I}{2\pi f\sqrt{R^2I^2-E^2}}$　② $\dfrac{I}{2\pi f(E-RI)}$　③ $\dfrac{2\pi I}{f(E-RI)}$

④ $\dfrac{I}{\sqrt{E-RI}}$　⑤ $\dfrac{2\pi I}{f\sqrt{E^2-R^2I^2}}$　⑥ $\dfrac{I}{f\sqrt{E^2-R^2I^2}}$

⑦ $\dfrac{2\pi I}{f\sqrt{R^2I^2-E^2}}$　⑧ $\dfrac{I}{f\sqrt{R^2I^2-E^2}}$　⑨ $\dfrac{I}{f(E-RI)}$

⑩ $\dfrac{2\pi fI}{\sqrt{E^2-R^2I^2}}$　⑪ $\dfrac{I}{2\pi f\sqrt{E^2+R^2I^2}}$　⑫ $\dfrac{2\pi I}{f\sqrt{E^2+R^2I^2}}$

⑬ $\dfrac{I}{2\pi f\sqrt{E^2-R^2I^2}}$　⑭ $\dfrac{2\pi I}{f\sqrt{E-RI}}$　⑮ $\dfrac{I}{f\sqrt{E^2+R^2I^2}}$

15 の解答群

① $\dfrac{1}{2}IE$　② IE　③ RI^2

④ $2IE$　⑤ RI^2+IE　⑥ $2RI^2$

⑦ $\dfrac{1}{2}(RI^2+IE)$　⑧ 0　⑨ $2(RI^2+IE)$

⑩ $\dfrac{1}{2}RI^2$

16 の解答群

① $C(E-RI)$　② $\dfrac{C(V_0-RI)}{\sqrt{2}}$　③ $\dfrac{CV_0}{2}$

④ $\dfrac{C(V_0-RI)}{2}$　⑤ $\dfrac{C(E-RI)}{2}$　⑥ $C(V_0-RI)$

⑦ CV_0　⑧ $\dfrac{C(E-RI)}{\sqrt{2}}$

17 の解答群

① $\dfrac{\pi LC}{2}$　② $\dfrac{1}{4\sqrt{LC}}$　③ $\dfrac{3\pi\sqrt{LC}}{2}$　④ $\dfrac{\pi\sqrt{LC}}{2}$

⑤ $2\pi\sqrt{LC}$　⑥ $\dfrac{3\pi}{2\sqrt{LC}}$　⑦ $\dfrac{1}{8\pi\sqrt{LC}}$　⑧ $2\pi LC$

⑨ $\dfrac{\pi}{2\sqrt{LC}}$　⑩ $2\pi f\sqrt{LC}$

第5問 以下の問題の［　　］に最も適切なものを，対応する解答群の中から一つ選べ。

図5のように，ガラス容器の中に水を入れて，空気中より入射角θ_1〔rad〕で光線を点Pから入射させた。ただし，空気，水，ガラスの絶対屈折率は，それぞれn_1，n_2，n_3で，屈折率の大小関係は$n_1 < n_2 < n_3$である。また，ガラス容器の側面は鉛直である。

点Pを通過した光線は，ガラス容器の内面上の点Qを通過した後，ガラス容器の外面上の点Rに入射角θ_2で入射し，屈折角θ_3でガラスより空気中へ通過した。このときθ_2およびθ_3は，θ_1を用いて$\sin\theta_2 =$［18］，$\sin\theta_3 =$［19］と表される。

入射角θ_1を小さくしていくと$\sin\theta_c =$［20］を満たす角度θ_cで点Rで全反射する。

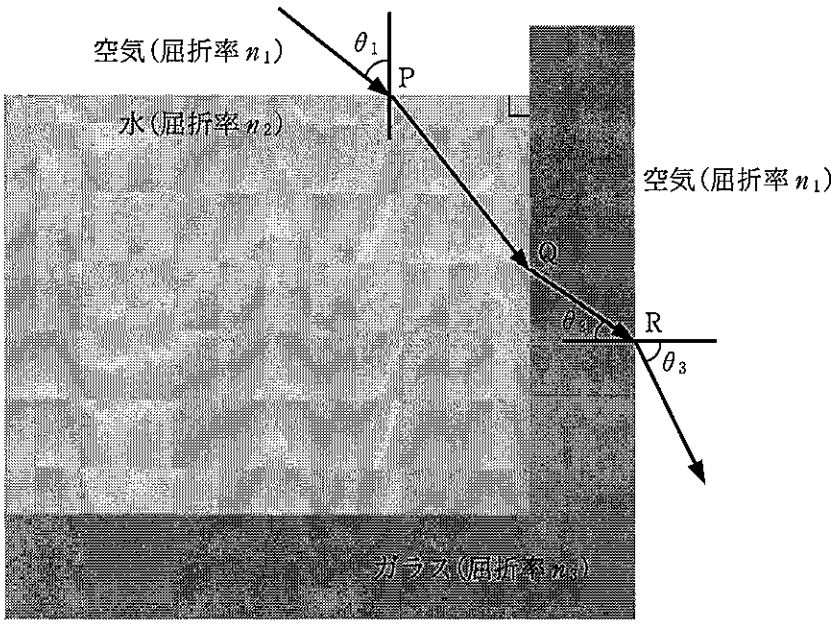


図5

18　19　の解答群

① $\frac{n_2}{n_1}\cos\theta_1$　② $\frac{n_3}{n_1}\cos\theta_1$

③ $\frac{1}{n_2}\sqrt{n_2^2-n_1^2\cos^2\theta_1}$　④ $\frac{1}{n_2}\sqrt{n_3^2-n_1^2\cos^2\theta_1}$

⑤ $\frac{1}{n_3}\sqrt{n_2^2-n_1^2\cos^2\theta_1}$　⑥ $\frac{1}{n_3}\sqrt{n_3^2-n_1^2\cos^2\theta_1}$

⑦ $\frac{1}{n_1}\sqrt{n_3^2-n_1^2\sin^2\theta_1}$　⑧ $\frac{1}{n_2}\sqrt{n_2^2-n_1^2\sin^2\theta_1}$

⑨ $\frac{n_3}{n_1}\sin\theta_1$　⑩ $\frac{1}{n_1}\sqrt{n_3^2-n_1^2\cos^2\theta_1}$

⑪ $\frac{1}{n_1}\sqrt{n_2^2-n_1^2\sin^2\theta_1}$　⑫ $\frac{1}{n_2}\sqrt{n_3^2-n_1^2\sin^2\theta_1}$

⑬ $\frac{1}{n_1}\sqrt{n_2^2-n_1^2\cos^2\theta_1}$　⑭ $\frac{n_2}{n_1}\sin\theta_1$

⑮ $\frac{1}{n_3}\sqrt{n_3^2-n_1^2\sin^2\theta_1}$　⑯ $\frac{1}{n_3}\sqrt{n_2^2-n_1^2\sin^2\theta_1}$

20　の解答群

① $\frac{1}{n_1}\sqrt{n_3^2-n_1^2}$　② $\frac{n_3}{n_1}$　③ $\frac{1}{n_3}\sqrt{n_2^2-n_1^2}$

④ $\frac{n_1}{n_2}$　⑤ $\frac{n_3}{n_2}$　⑥ $\frac{1}{n_3}\sqrt{n_3^2-n_1^2}$

⑦ $\frac{n_2}{n_3}$　⑧ $\frac{1}{n_1}\sqrt{n_2^2-n_1^2}$　⑨ $\frac{1}{n_2}\sqrt{n_2^2-n_1^2}$

⑩ $\frac{n_2}{n_1}$　⑪ $\frac{1}{n_2}\sqrt{n_3^2-n_1^2}$　⑫ $\frac{n_1}{n_3}$

第 6 問 以下の問題の［　　］に最も適切なものを，対応する解答群の中から一つ選べ。

内半径 r〔m〕の球状容器に理想気体が入っている。気体分子の質量はすべて同じ m〔kg〕で，分子どうしの衝突は無視できるものとする。

図 7 のように，速さ v〔m/s〕の分子が入射角 θ〔rad〕で，容器のなめらかな内壁と弾性衝突した。1 回の衝突で 1 つの分子は大きさ［ 21 ］〔N･s〕の力積を容器の内壁に与える。分子が容器の内壁に衝突する回数は 1 秒あたり［ 22 ］〔回〕である。したがって，時間 t〔s〕の間に分子は大きさ［ 23 ］〔N･s〕の力積を容器の内壁に与えることになる。

容器内の分子数を N 個，気体の圧力を p〔N/m^2〕とすると，すべての分子の速さの二乗を平均した $\overline{v^2}$ は［ 24 ］〔m^2/s^2〕と表すことができる。

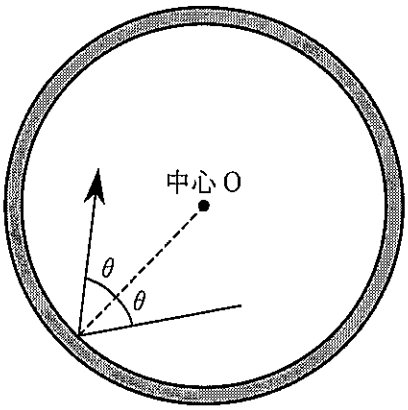


図 6

［ 21 ］の解答群

① $mvr\cos 2\theta$	② $2mv\sin\theta$	③ $2mvr\cos 2\theta$	④ $mv\sin 2\theta$
⑤ $2mv^2\cos\theta$	⑥ $\frac{1}{2}mv^2\cos\theta$	⑦ $mv\cos\theta$	⑧ $mv\sin\theta$
⑨ $2mv\sin 2\theta$	⑩ $2mv$	⑪ $mv\cos 2\theta$	⑫ $2mvr^2\sin^2 2\theta$
⑬ $2mv\cos 2\theta$	⑭ $mvr\sin 2\theta$	⑮ $2mv\cos\theta$	⑯ $mv^2\cos\theta$

22 の解答群

① $\dfrac{v}{r\cos\theta}$　② $\dfrac{2r\cos 2\theta}{v}$　③ $\dfrac{v}{r\sin 2\theta}$　④ $\dfrac{2r\sin 2\theta}{v}$

⑤ $\dfrac{r\cos\theta}{v}$　⑥ $\dfrac{2r\cos\theta}{v}$　⑦ $\dfrac{v}{r\sin\theta}$　⑧ $\dfrac{v}{2r\cos\theta}$

⑨ $\dfrac{r\sin\theta}{v}$　⑩ $\dfrac{r\cos 2\theta}{v}$　⑪ $\dfrac{v}{2r\sin\theta}$　⑫ $\dfrac{2r\sin\theta}{v}$

⑬ $\dfrac{v}{2r\cos 2\theta}$　⑭ $\dfrac{v}{r\cos 2\theta}$　⑮ $\dfrac{v}{2r\sin 2\theta}$

23 の解答群

① $\dfrac{mv^2t}{r}$　② $mvt\cos\theta$　③ $\dfrac{mv^2t}{4r}$　④ $\dfrac{4mv^2t}{r}$

⑤ mv^2t　⑥ $\dfrac{2mv^2}{r}$　⑦ $mv^2t\cos\theta$　⑧ $\dfrac{mv^2t}{r}\cos\theta$

⑨ $2mvt\cos\theta$　⑩ $\dfrac{mv^2t}{2r}$　⑪ $\dfrac{mv^2}{r}\cos\theta$　⑫ $\dfrac{mv^2}{2r}$

⑬ $\dfrac{mv^2t}{2r}\cos\theta$　⑭ $\dfrac{2mv^2t}{r}$　⑮ $\dfrac{mv^2}{2r}\cos\theta$　⑯ $\dfrac{mv^2}{r}$

24 の解答群

① $\dfrac{4\pi r^2p}{m}$　② $\dfrac{\pi r^3p}{m}$　③ $\dfrac{2\pi r^2p}{mN}$　④ $\dfrac{\pi r^3p}{mN}$

⑤ $\dfrac{\pi r^2p}{m}$　⑥ $\dfrac{2\pi r^3p}{m}$　⑦ $\dfrac{4\pi r^3p}{m}$　⑧ $\dfrac{4\pi r^3p}{3mN}$

⑨ $\dfrac{2\pi r^2p}{m}$　⑩ $\dfrac{\pi r^2p}{mN}$　⑪ $\dfrac{4\pi r^3p}{mN}$　⑫ $\dfrac{4\pi r^2p}{3mN}$

⑬ $\dfrac{4\pi r^3p}{3m}$　⑭ $\dfrac{4\pi r^2p}{mN}$　⑮ $\dfrac{2\pi r^3p}{mN}$

第7問 以下の問題の［　　］に最も適切なものを，対応する解答群の中から一つ選べ。

炭素 ${}^{14}_{6}\mathrm{C}$ の原子核，窒素 ${}^{14}_{7}\mathrm{N}$ の原子核，水素 ${}^{1}_{1}\mathrm{H}$ の原子核，中性子 ${}^{1}_{0}n$ の質量をそれぞれ 13.99995 u，13.99923 u，1.00728 u，1.00866 u とし，1 u は 1.49×10^{-10} J，電気素量を 1.60×10^{-19} C とする。また，必要であれば，$\log_{10} 2 = 0.30$，$\log_{10} 3 = 0.48$，$\log_{10} 5 = 0.70$ を用いよ。

宇宙から様々な放射線(宇宙線)が地球へ到達し，大気中で原子核に衝突し中性子などの粒子を生じる。発生した中性子は大気中の ${}^{14}_{7}\mathrm{N}$ と衝突して ${}^{14}_{6}\mathrm{C}$ を生成している。核反応式は，${}^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{14}_{6}\mathrm{C} + {}^{1}_{1}\mathrm{H}$ で表され，この核反応で［ 25 ］MeV のエネルギーが放出される。

放出されたエネルギーがすべて ${}^{14}_{6}\mathrm{C}$ と ${}^{1}_{1}\mathrm{H}$ の運動エネルギーになるとすると，${}^{1}_{1}\mathrm{H}$ の運動エネルギーは［ 26 ］MeV である。ただし，反応前の ${}^{14}_{7}\mathrm{N}$ と ${}^{1}_{0}n$ の運動エネルギーは無視でき，${}^{14}_{6}\mathrm{C}$ と ${}^{1}_{1}\mathrm{H}$ の質量の比が質量数の比に等しいとみなせるものとする。

生成された ${}^{14}_{6}\mathrm{C}$ は半減期 5.7×10^{3} 年で β 崩壊し，元の ${}^{14}_{7}\mathrm{N}$ になる。これらの2つの核反応によって，大気中における ${}^{12}_{6}\mathrm{C}$ に対する ${}^{14}_{6}\mathrm{C}$ の割合は，ほぼ一定となっている。

植物は光合成により大気中の二酸化炭素を吸収し炭素を蓄え成長している。植物が生きている間は，その生体内の ${}^{12}_{6}\mathrm{C}$ に対する ${}^{14}_{6}\mathrm{C}$ の割合は，空気中と同じである。また，大気中の ${}^{12}_{6}\mathrm{C}$ に対する ${}^{14}_{6}\mathrm{C}$ の割合は，過去から現在まで一定に保たれているものとする。

ある遺跡で出土した木片中の ${}^{12}_{6}\mathrm{C}$ に対する ${}^{14}_{6}\mathrm{C}$ の割合が，大気中における割合の $\frac{4}{5}$ であった。木片の炭素の取りこみが終了したのは，［ 27 ］年前であると推定される。

25 26 の解答群

① 0.041	② 0.13	③ 0.21	④ 0.25
⑤ 0.29	⑥ 0.33	⑦ 0.37	⑧ 0.41
⑨ 0.45	⑩ 0.49	⑪ 0.53	⑫ 0.57
⑬ 0.61	⑭ 0.65	⑮ 0.69	⑯ 0.73

27 の解答群

① 7.0×10^2	② 1.0×10^3	③ 1.3×10^3	④ 1.6×10^3
⑤ 1.9×10^3	⑥ 2.2×10^3	⑦ 2.5×10^3	⑧ 2.8×10^3
⑨ 3.1×10^3	⑩ 3.4×10^3	⑪ 3.7×10^3	⑫ 4.0×10^3
⑬ 4.3×10^3	⑭ 4.6×10^3	⑮ 4.9×10^3	

化　　学

(注意)　問題文中に指定がない場合，解答にあたって必要ならば，次の数値および条件を用いよ。

原子量：H = 1.01，C = 12.0，N = 14.0，O = 16.0，Na = 23.0，
S = 32.1，Cl = 35.5，Ca = 40.1，Br = 79.9

気圧：1.00 atm = 1.01×10^5 Pa

0 ℃の絶対温度：$T = 273.0$ K

標準状態の気体 1.00 mol の体積：22.4 L

気体はすべて，理想気体としてふるまうものとする。

第 1 問　以下の問 1 ～ 5 の各群の①～⑤の中には，それぞれの問いの指示に該当するものが一つだけあるか，一つもないかのいずれかである。指示に該当するものが①～⑤の中に存在する場合は，①～⑤のうちから最も適切なものを一つ選べ。該当するものがない場合は⑥を選べ。

問 1　[1]

指示：誤りを含むもの

① 有機化合物の分子式は，実験から求めた組成式(実験式)と分子量により，導き出すことができる。

② 分子式 C_2H_6O には二つの構造異性体が考えられる。その二つの構造異性体のうち，標準大気圧の下で沸点の高い方がジメチルエーテル CH_3OCH_3 である。

③ 芳香族炭化水素を除く環式炭化水素を脂環式炭化水素という。シクロヘキサンやシクロヘキセンは脂環式炭化水素である。

④ エチル基 C_2H_5— のような，炭化水素分子から水素原子 H がとれた形の基を炭化水素基という。エチル基は疎水基に分類される。

⑤ 異性体のうち，分子の構造式が異なる異性体を構造異性体，原子のつながり方が同じでも，原子や基の立体的な配置が異なる異性体を立体異性体という。シス-トランス異性体や鏡像異性体は立体異性体に分類される。

⑥ (①～⑤のどこにも誤りは含まれていない。)

問 2　2

指示：誤りを含まないもの

① 物質が水に溶けてイオンに分かれる現象を電解質といい，水に溶けてイオンに分かれない現象を非電解質という。

② アルコールには親水基が含まれるので，1-ドデカノール $CH_3(CH_2)_{11}OH$ も水に良く溶ける。

③ 固体の溶解度は，その温度で溶媒 100 g に溶ける溶質の最大質量〔g〕の数値で表し，気体の溶解度は，気体の圧力(分圧)が 1.00 Pa のときに溶媒 100 mL に溶ける気体の最大物質量〔mol〕の数値で表す。

④ 溶液のモル濃度とは，溶媒 1.00 L に溶けている溶質の量を，物質量〔mol〕で表した濃度のことである。

⑤ 溶質が通過できない半透膜で仕切られた U 字管の一方の側に水，他方の側に水溶液を，それぞれ液面の高さが同じになるように入れたのち，長時間静置した。すると，両液面の高さに差が生じた。再び両方の液面の高さを同じにするには，水を入れた方の側の液面に正の圧力を加える必要がある。この圧力をその水溶液の浸透圧という。

⑥ (①～⑤のすべてに誤りが含まれている。)

問 3　3

指示：誤りを含まないもの

① ある可逆反応に対して，その反応が平衡状態に達するまでの時間が短くなる触媒を用いると，逆反応の活性化エネルギーは大きくなる。

② 可逆反応が平衡状態にあるとき，正反応と逆反応の反応速度定数は互いに等しい。

③ 可逆反応では，平衡状態に達していなくても，正反応と逆反応の速さは等しい。

④ 可逆反応が平衡状態に達する場合でも，難溶性の塩が生じる場合(例えば $Ag^+ + Cl^- \rightleftarrows AgCl$)は正反応も逆反応も停止している。

⑤ 気体の吸熱反応では，運動エネルギーの小さい分子の数の割合が増えるほど反応が速く進行する。

⑥ (①～⑤のすべてに誤りが含まれている。)

問 4　4

指示：誤りを含まないもの

① シクロヘキサン C_6H_{12} の 6 個の炭素原子はすべて同一平面上にある。

② マレイン酸 $C_4H_4O_4$ は二重結合を中心にカルボキシ基が鏡写しの関係にあるため，鏡像異性体である。

③ アンモニウムイオン NH_4^+ の N—H 結合には極性があるが，互いに打ち消し合うため，イオン全体として無極性なので，アンモニウムイオンを含む塩化アンモニウム NH_4Cl は水に溶けない。

④ ヘキサシアニド鉄(Ⅲ)酸イオン $[Fe(CN)_6]^{3-}$ の構造は正六面体構造である。

⑤ リボ核酸 RNA は 2 本のポリヌクレオチドからなる二重らせん構造をしている。

⑥ (①～⑤のすべてに誤りが含まれている。)

問 5　5

指示：誤りを含まないもの

① 国際単位系では，圧力の単位に Pa が用いられる。1.00 cm^2 の面積に 1.00 N の力がはたらくときの圧力を 1.00 Pa で表す。

② 気体中の分子はすべて，一定の温度下では決まった大きさのエネルギーをもって熱運動している。また，その速さは，温度が高いほど大きく，分子量が大きいほど大きい。

③ 液面付近で比較的大きな運動エネルギーをもつ液体分子が，それらの分子間にはたらく分子間力に打ち勝って，液体表面から空間に飛び出す現象を昇華という。

④ 一定温度の下では，液体の蒸気圧は物質ごとに固有の値を示す。他の物質の気体が共存しても，その値は変わらない。

⑤ ある物質の温度と圧力を上げていくと，気体・液体の区別がつかなくなる。この点を三重点という。

⑥ （①～⑤のすべてに誤りが含まれている。）

第2問 化合物Xに関する下記の実験1～4を読み，以下の各問い(**問1**～**7**)に答えよ。

実験1：化合物Xに水を加えると気体Aが発生し，無機化合物Bを含む白濁液が得られた。このときに発生した気体Aを捕集した。次に，硫酸水銀(II) $HgSO_4$ を触媒として，気体Aに水を付加させると有機化合物Cが生成した。この有機化合物Cを酸化して有機化合物Dとしたのち，無機化合物Bで中和して塩Eとした。空気を断って塩Eを熱分解すると，有機化合物Fを与えた。

実験2：実験1で得られた無機化合物Bを含む白濁液をろ過し，ろ液に二酸化炭素を吹き込むと，白色沈殿を生じた。さらに二酸化炭素を吹き込み続けると，やがて白色沈殿は溶解し，無色透明な水溶液となった。こうして得られた水溶液の炎色反応を行ったところ，橙赤色を示した。

実験3：硝酸銀 $AgNO_3$ 水溶液にアンモニア水(NH_3 水溶液)を少量加えると，褐色沈殿Gを生じたが，さらにアンモニア水を加えると褐色沈殿は溶解し，無色透明の溶液となった。この溶液をアンモニア性硝酸銀水溶液とする。アンモニア性硝酸銀水溶液に有機化合物Cを加えると，有機化合物Dの塩が得られた。また，気体Aをアンモニア性硝酸銀水溶液に吹き込むと，白色沈殿を生じた。

実験4：気体Aを赤熱した鉄に触れさせると，3分子の気体Aから1分子の有機化合物Hが生成した。有機化合物Hを適切な触媒下でプロペン C_3H_6 と反応させると有機化合物Iとなった。有機化合物Iを酸化したのち，酸で分解するとフェノール C_6H_6O と有機化合物Fが得られた。

問 1 実験1の気体Aと同じ方法で捕集する気体を，以下の①～⑨のうちから三つ選べ。

6

① アンモニア　② 一酸化窒素　③ 塩化水素　④ 塩　素
⑤ 酸　素　⑥ 水　素　⑦ 二酸化硫黄　⑧ 二酸化窒素
⑨ 硫化水素

問 2　無機化合物Bとして最も適切なものを，以下の①～⑧のうちから一つ選べ。

7

① 過リン酸石灰　② さらし粉　③ 重　曹　④ 消石灰
⑤ 生石灰　⑥ セッコウ　⑦ にがり　⑧ 蛍　石

問 3　有機化合物Dあるいはその塩が生成物中に含まれる反応を，以下の①～⑧のうちから三つ選べ。ただし，各反応は完全に進行するものとせよ。

8

① アセトンの水溶液にヨウ素と水酸化ナトリウム水溶液を加えて温める。
② 塩化パラジウム(Ⅱ) $PdCl_2$ と塩化銅(Ⅱ) $CuCl_2$ を触媒として，エチレンを酸素で酸化する。
③ 酢酸ナトリウムの無水物を水酸化ナトリウムとともに加熱する。
④ 濃硫酸を 160～170 ℃ に加熱しながらエタノールを加える。
⑤ リン酸触媒のもと加熱・加圧をして，エチレンに水蒸気を付加させる。
⑥ メタノールの蒸気にバーナーで焼いた銅線を触れさせる。
⑦ 酢酸エチルに水酸化ナトリウム水溶液を加えて加熱する。
⑧ サリチル酸と無水酢酸を反応させる。

問 4　塩Eとして最も適切なものを，以下の①～⑦のうちから一つ選べ。

9

① 酢酸カリウム　② 酢酸カルシウム　③ 酢酸ストロンチウム
④ 酢酸銅(Ⅰ)　⑤ 酢酸ナトリウム　⑥ 酢酸バリウム
⑦ 酢酸リチウム

問 5　有機化合物Fとして最も適切なものを，以下の①～⑧のうちから一つ選べ。

10

① アセトアルデヒド　② アセトン　③ エタノール
④ ギ　酸　⑤ 酢　酸　⑥ 酢酸エチル
⑦ 2-プロパノール　⑧ ホルムアルデヒド

問 6　実験 3 の沈殿 G と同様に，少量のアンモニア水を加えると沈殿が生じ，過剰量のアンモニア水を加えるとその沈殿が再溶解するイオンを，以下の①～⑨のうちから二つ選べ。

11

① Al^{3+}　② Ba^{2+}　③ Ca^{2+}　④ Cu^{2+}　⑤ Fe^{3+}
⑥ K^{+}　⑦ Na^{+}　⑧ Pb^{2+}　⑨ Zn^{2+}

問 7　化合物 X を含む混合物 5.00 g に十分な量の水を加えて気体 A を発生させた。この気体 A の発生量は標準状態で 1.00 L であった。この混合物 100.0 g に含まれる化合物 X の質量は何 g か。最も適切な数値を，以下の①～⑩のうちから一つ選べ。ただし，反応は完全に進行し，化合物 X は水とのみ反応し，気体 A だけを発生するものとする。一方，この実験においては，混合物中に含まれる不純物および気体 A は，いかなる物質とも反応しないものとする。

12 g

① 7.00　② 17.8　③ 23.2　④ 42.8　⑤ 46.4
⑥ 53.6　⑦ 57.2　⑧ 76.8　⑨ 82.2　⑩ 93.0

第3問　水素の同位体に関する以下の各問い(問1～4)に答えよ。

水素の同位体である ^2H は重水素と呼ばれ，^2H の代わりに D とも表記される。それに対して，重水素でない ^1H は軽水素と呼ばれる。さまざまな化合物中の H を重水素 D に置換した化合物(以下，*重水素化物と表記する)を合成することができる。重水素化物の性質は概ね置換する前の物質に似ているが，詳細に調べると少しずつ異なる性質も持つ。

重水 D_2O は水の水素 H を二つとも重水素 D に置換したものであり，次のような性質とする。

	密　度(g/mL)	イオン積(mol^2/L^2)
重　水(D_2O)	1.107	$10^{-14.88}$

なお，以下の各問いでは D の相対質量を 2.01 とせよ。

注) *重水素化物イオン($^2H^-$)を含む物質という意味ではない。軽水素を重水素で置換したものという意味なので注意せよ。

問 1　純粋な重水において，重水分子を溶質かつ溶媒ととらえると，「重水中の重水の濃度」を仮想的に計算することができる。具体的には，濃度の単位に応じて「一定の体積あるいは質量の，溶液もしくは溶媒中に溶存している重水分子の物質量」として計算できる。

では，純粋な重水に含まれる重水の質量モル濃度はいくらか。最も近い数値を，以下の①～⑩のうちから一つ選べ。ただし，重水の電離は無視せよ。

[13] mol/kg

① 0.0051　② 0.0056　③ 0.050　④ 0.055　⑤ 0.51

⑥ 0.56　⑦ 5.0　⑧ 5.5　⑨ 50　⑩ 55

問 2　重水中では $D_2O \rightleftarrows D^+ + DO^-$ の平衡が成り立っている。水素イオン指数(pH)に対応させて，重水溶液中の重水素イオン濃度$[D^+]$を表す重水素イオン指数を $pD = -\log_{10}[D^+]$ と定義するとき，純粋な重水の pD はいくらか。最も近い数値を，以下の①～⑩のうちから一つ選べ。

14

① 2.0　② 4.9　③ 7.0　④ 7.4　⑤ 7.9
⑥ 10.0　⑦ 14.0　⑧ 14.4　⑨ 14.9　⑩ 29.8

問 3　酢酸の重水素化物 CD_3COOD を重酢酸という。重酢酸を重水に溶かした 0.10 mol/L の溶液の pD はいくらか。最も近い数値を，以下の①～⑩のうちから一つ選べ。ただし，重酢酸の重水中における電離定数は 4.8×10^{-6} mol/L とする。また，必要に応じて $\log_{10}2 = 0.301$，$\log_{10}3 = 0.477$，$\log_{10}5 = 0.698$，$\log_{10}7 = 0.845$，$\sqrt{2} = 1.41$，$\sqrt{3} = 1.73$，$\sqrt{5} = 2.23$，$\sqrt{7} = 2.64$ を用いよ。

15

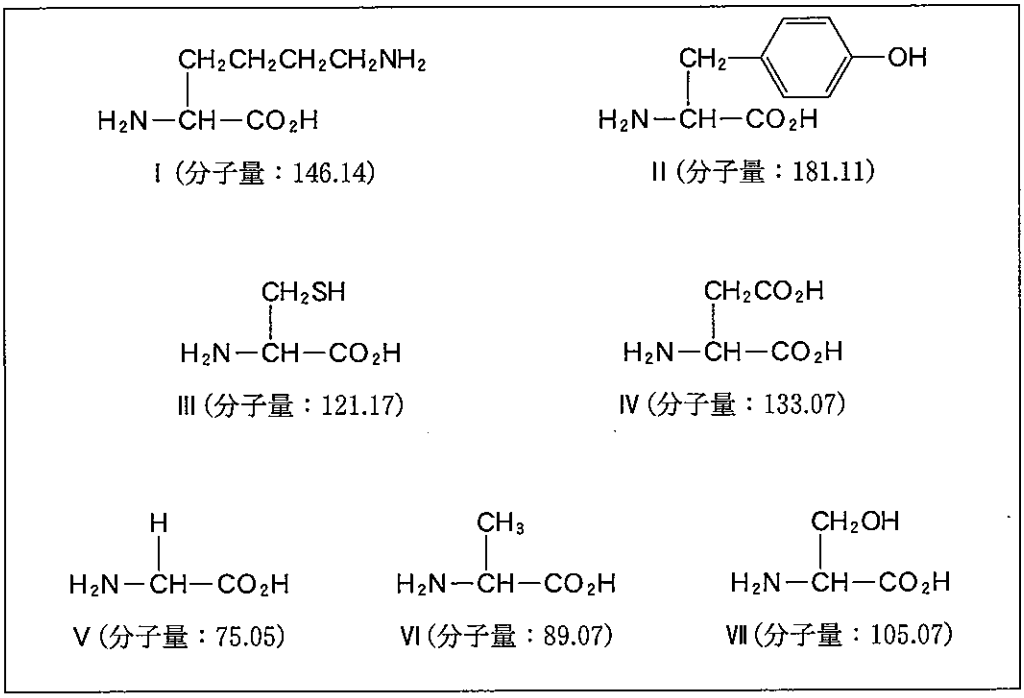
① 1.1　② 1.9　③ 2.2　④ 2.9　⑤ 3.2
⑥ 3.9　⑦ 4.2　⑧ 4.9　⑨ 5.2　⑩ 5.9

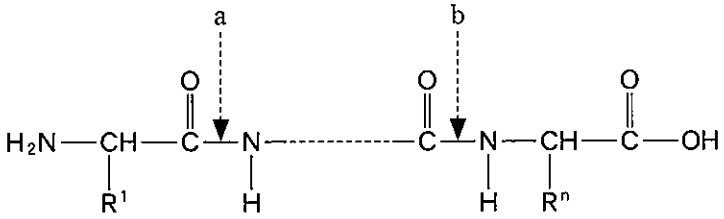
問 4　重酢酸のナトリウム塩である重酢酸ナトリウム CD_3COONa を，重水に溶かした 0.10 mol/L の溶液の pD はいくらか。最も近い数値を，以下の①～⑩のうちから一つ選べ。ただし，必要に応じて問 3 に示した数値を用いよ。また，重水酸化ナトリウム NaOD は，重水中で完全に電離すると考えてよい。

16

① 4.6　② 5.2　③ 5.9　④ 6.8　⑤ 8.1
⑥ 8.9　⑦ 9.3　⑧ 9.6　⑨ 10.3　⑩ 11.1

第4問 下の枠内に示した7種類のアミノ酸Ⅰ～Ⅶのうちの数種類がペプチド結合のみによって直鎖状に結合したペプチドXに関する次のページの各文ア～キを読み，以下の各問い(問1～4)に答えよ。





ペプチドX（R^1，…R^nはそれぞれ，構成するアミノ酸の側鎖を表す）

ア．1分子のペプチドXには，同じアミノ酸が複数個含まれることはない。また，ペプチドXに含まれる側鎖はすべて，枠内に描かれた各アミノ酸の側鎖のいずれかと同じ構造を保っている。つまり，ペプチドXには，これを構成するアミノ酸の側鎖の官能基が縮合した構造などは含まれない。

イ．ペプチドXを破線矢印aの位置(N末端側のペプチド結合)1箇所だけで加水分解すると，アミノ酸Aとペプチドが生成する。一方，破線矢印bの位置(C末端側のペプチド結合)だけで加水分解すると，アミノ酸Cとペプチドが生成する。ペプチドXに含まれるペプチド結合を1個だけ加水分解する反応としては他に，ペプチドEとペプチドFが得られるものと，ペプチドGとペプチドHが得られるものの2種類がある。なお，ペプチドE，F，GおよびHはすべて，不斉炭素原子を2個ずつ含む。

ウ．ペプチドXの水溶液に水酸化ナトリウム水溶液を加え，加熱したのち，中和してから酢酸鉛(Ⅱ)水溶液を滴下すると，黒色の沈殿が生じた。アミノ酸Aでも同様の結果が得られた。

エ．ペプチドXの水溶液に濃硝酸を加え，加熱すると，黄色に変化した。これを冷却してからアンモニア水を加えて塩基性にすると，橙黄色に変化した。アミノ酸Cおよびペプチドでも同様の結果が得られた。

オ．ペプチドXの水溶液に薄い水酸化ナトリウム水溶液を加え，塩基性にしたのち，硫酸銅(Ⅱ)水溶液を数滴滴下してからふり混ぜると，赤紫色に変化した。同じ実験をペプチドE，F，GおよびHに対して試みたところ，ペプチドFとペプチドGについてのみ，同様の結果が得られた。一方，ペプチドEの実験とペプチドHの実験では，赤紫色への変化は認められなかった。

カ．ペプチドEのすべてのペプチド結合を加水分解し，得られたアミノ酸をpH 6.0の緩衝液に溶解させ，電気泳動を行うと，移動しないアミノ酸と陽極側に向かって移動するアミノ酸のみが観察された。

キ．カと同じ実験をペプチドFについて行うと，移動しないアミノ酸と陰極側に向かって移動するアミノ酸のみが観察された。

注）酸性アミノ酸と塩基性アミノ酸以外のアミノ酸は，カおよびキの電気泳動では移動しないものとする。

問 1　アミノ酸 A は次の①～⑦のうちのどれか。あてはまるものを一つ選べ。

17

① アミノ酸 I　② アミノ酸 II　③ アミノ酸 III　④ アミノ酸 IV
⑤ アミノ酸 V　⑥ アミノ酸 VI　⑦ アミノ酸 VII

問 2　アミノ酸 C は次の①～⑦のうちのどれか。あてはまるものを一つ選べ。

18

① アミノ酸 I　② アミノ酸 II　③ アミノ酸 III　④ アミノ酸 IV
⑤ アミノ酸 V　⑥ アミノ酸 VI　⑦ アミノ酸 VII

問 3　次の①～⑪のうちから，記述内容が正しいものをすべて選べ。ただし，この問題では，選択した正解選択肢の数に応じて得点を与え，選択した不正解選択肢の数に応じて減点する。なお，選択した不正解選択肢の数が選択した正解選択肢の数を上回る場合は 0 点とする。

19

① ペプチド B の分子量は，ペプチド D のそれよりも大きい。
② ペプチド E の分子量は，ペプチド F のそれよりも大きい。
③ ペプチド E の分子量は，ペプチド H のそれよりも大きい。
④ ペプチド F の分子量は，ペプチド D のそれよりも大きい。
⑤ ペプチド F の分子量は，ペプチド G のそれよりも大きい。
⑥ ペプチド G の分子量は，ペプチド B のそれよりも大きい。
⑦ ペプチド H の分子量は，ペプチド G のそれよりも大きい。
⑧ アミノ酸 A の分子量は，ペプチド E の分子量とアミノ酸 A の分子量との差よりも大きい。
⑨ アミノ酸 A の分子量は，ペプチド H の分子量とアミノ酸 C の分子量との差よりも大きい。
⑩ アミノ酸 C の分子量は，ペプチド F の分子量とアミノ酸 C の分子量との差よりも大きい。
⑪ アミノ酸 C の分子量は，ペプチド G の分子量とアミノ酸 A の分子量との差よりも大きい。

問 4　次の①～⑪のうちから，記述内容が正しいものをすべて選べ。なお，採点の方式は，問 3 と同じとする。

20

① ペプチドB，D，FおよびGのすべてにアミノ酸Ⅰが含まれる。

② ペプチドB，D，FおよびGのすべてにアミノ酸Ⅲが含まれる。

③ ペプチドB，D，FおよびGのすべてにアミノ酸Ⅴが含まれる。

④ ペプチドB，D，FおよびGのどれにもアミノ酸Ⅵは含まれない。

⑤ ペプチドB，D，FおよびGのどれにもアミノ酸Ⅷは含まれない。

⑥ オと同じ実験をペプチドBについて行うと，赤紫色への変化が認められる。

⑦ カの実験と同じ条件でアミノ酸Aの電気泳動を行うと，アミノ酸Aは陰極側に向かって移動する。

⑧ カの実験と同じ条件でアミノ酸Cの電気泳動を行うと，アミノ酸Cは陰極側に向かって移動する。

⑨ カと同じ実験をペプチドDについて行うと，移動しないアミノ酸と陽極側に向かって移動するアミノ酸の他に，陰極側に向かって移動するアミノ酸も観察される。

⑩ カと同じ実験をペプチドGについて行うと，移動しないアミノ酸と陰極側に向かって移動するアミノ酸のみが観察される。

⑪ カと同じ実験をペプチドHについて行うと，移動しないアミノ酸と陰極側に向かって移動するアミノ酸のみが観察される。

生　　物

（注意）　計算値の解答をマークするときは，桁に満たない解答欄には 0 を選んでマークせよ。

第 1 問　以下の問い（問 1 ～ 8）に示す語句について，①～⑥の中に誤っているものが一つあるか，あるいは①～⑥のすべてが正しいかのどちらかである。①～⑥の中に誤りがある場合にはその記号を，①～⑥のすべてが正しい場合には⑦を選んで，解答欄にマークせよ。なお，補足の文章がある問いはその文章を読んでから解答せよ。解答番号 1 ～ 8

問 1　植物細胞 1

① 多糖類のセルロースやペクチン，キチンなどを構成成分とする細胞壁で囲まれている。

② 隣接する細胞どうしの細胞膜が細胞壁を貫く孔でつながり，互いの細胞質が連結する構造をもつ。

③ へん平な袋状の膜でできたチラコイドを内部にもった二枚の膜で囲まれた葉緑体をもつ。

④ 細胞質基質では，糖をピルビン酸に分解する一連の反応が酸素の供給無しに行われる。

⑤ 無機塩類やアミノ酸，炭水化物などを内部に含む一枚の膜に囲まれた液胞が細胞質にある。

⑥ 好気性細菌を取り込んだ祖先細胞に，酸素発生型光合成を行う細菌が共生することによって生じた。

⑦ ①～⑥のすべての選択肢は正しい。

問 2　ヒトの肝臓 [2]

① 血液は，肝動脈と肝門脈から枝分かれした肝小葉中の毛細血管を通り，中心静脈を経て肝静脈に至る。

② 肝門脈を通って肝臓に運ばれる血液には，ひ臓で破壊された赤血球の成分が含まれている。

③ ヘモグロビンの分解産物であるビリルビンは，胆汁の成分として排出されて肝小葉中の胆細管を中心静脈に向かって流れる。

④ 不要となったタンパク質やアミノ酸の分解を行い，脱アミノ反応で生じたアンモニアを毒性の低い尿素に変えて血液中に放出する。

⑤ 免疫グロブリンを除く血しょうタンパク質のほとんどを合成して血液中に放出し，血しょうタンパク質の濃度を一定に保つ。

⑥ グルコースの一部をグリコーゲンとして蓄えたり，グリコーゲンを分解してグルコースを血液中に放出したりすることで血糖濃度の調節を行う。

⑦ ①～⑥のすべての選択肢は正しい。

問 3　生態系内の物質循環 [3]

① 大気中や水中の二酸化炭素は，植物や藻類の光合成によって炭水化物に合成され，食物連鎖を経てさまざまな生物に利用される。

② 生物が取り込んだ炭水化物の多くは，呼吸によって化学エネルギーが抽出される際に二酸化炭素に分解され，大気中や水中に放出される。

③ 遺骸や排出物中の有機物の多くは菌類や細菌に利用され，一部は石油や石炭などの化石燃料として地中に埋没する。

④ マメ科植物と共生する根粒菌は，大気中の N_2 を植物が利用できる NH_4^+ に変える窒素固定を行う。

⑤ 硝化の過程では，NH_4^+ は亜硝酸菌の働きによって NO_2^- に，さらに硝酸菌の働きによって NO_3^- に変わる。

⑥ 遺骸や排出物中の有機窒素化合物は菌類や細菌によって無機窒素化合物に変えられ，その一部は脱窒素細菌によって N_2 となり大気中に放出される。

⑦ ①～⑥のすべての選択肢は正しい。

問 4　制限酵素切断部位の推定 [4]

10000 塩基対(10 kbp)からなるプラスミド(図 1)を 4 種類の制限酵素ア～エおよびそれらの組合せで完全に切断し，生じた DNA 断片をアガロースゲル電気泳動で解析した(図 2)。ただし，制限酵素ア～エは，DNA を切断する際に認識する塩基配列は全て異なり，図 1 の a～h のいずれかの部分で切断する。なお，制限酵素エは図 1 の a の部分の塩基配列を認識して切断する。

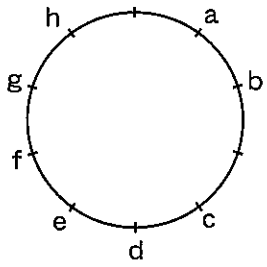


図 1

注)　1 目盛りは 1 kbp を表す。

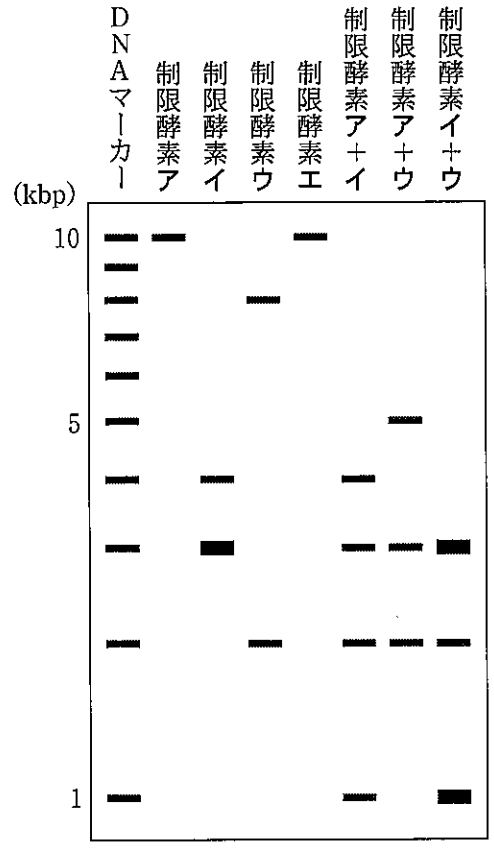


図 2

注)　太いバンド(▬)は，同じ長さの DNA 断片が 2 本あることを示す。

① 制限酵素アは，プラスミド中のｃの部分の塩基配列を認識して切断する。

② 制限酵素イが切断する際に認識する塩基配列は，プラスミド中に３ヵ所存在する。

③ 制限酵素ウは，プラスミド中のｄとｆの部分の塩基配列を認識して切断する。

④ 制限酵素アとエを組合せて切断すると，２本のDNA断片が生じる。

⑤ 制限酵素イとエを組合せて切断して生じる3 kbpのDNA断片は，３本である。

⑥ 制限酵素ウとエを組合せて切断したDNA断片を電気泳動すると，２kbpの位置に太いバンドがみられる。

⑦ ①～⑥のすべての選択肢は正しい。

問 5　ヒトの眼 [5]

① 眼に入った光は角膜と水晶体で屈折し，ガラス体を通過して網膜上に像を結ぶ。

② 弱光での感受性が高い桿体細胞と，異なる波長の光を吸収する三種の錐体細胞が光を受容する。

③ 盲斑では視神経が網膜を貫いているため，視細胞が分布せず，光を刺激として受容することができない。

④ 黄斑には錐体細胞が集中しているため，細かな形を識別でき色の違いを見分けることができる。

⑤ 明るいときには，副交感神経が支配する虹彩にある放射状の筋肉が収縮し，瞳孔が縮小する。

⑥ 近くのものを見るときには，毛様筋が収縮してチン小帯が弛緩するために水晶体の厚さが増し，焦点距離が短くなる。

⑦ ①～⑥のすべての選択肢は正しい。

問 6　動物の変遷 [6]

① カンブリア紀には，現生の門のほぼすべてを含む多種多様な動物が出現した。

② デボン紀には，体表が硬い外骨格でおおわれた陸上生活をする昆虫類が出現した。

③ 石炭紀に出現した羊膜類は，羊膜に胚が包まれるため，陸上での発生が可能となった。

④ 三畳紀に出現した当初の哺乳類は，体が小さく夜行性であったと考えられている。

⑤ ジュラ紀には，多様化・大型化したは虫類が繁栄し，恐竜類のなかから原始的な鳥類が出現した。

⑥ 新第三紀には，人類が出現し，アルディピテクス・ラミダスのものが最古の化石とされている。

⑦ ①～⑥のすべての選択肢は正しい。

問 7　光の強さと光合成速度の関係　7

遷移の初期(裸地～草原)・中期(低木材～高木材)・後期(極相林)のそれぞれでみられる植物 3 種について，光の強さと二酸化炭素吸収速度の関係を概念的に図示した(図 3)。なお，遷移後期の植物については幼木の時期における光の強さと二酸化炭素吸収速度の関係を示した。

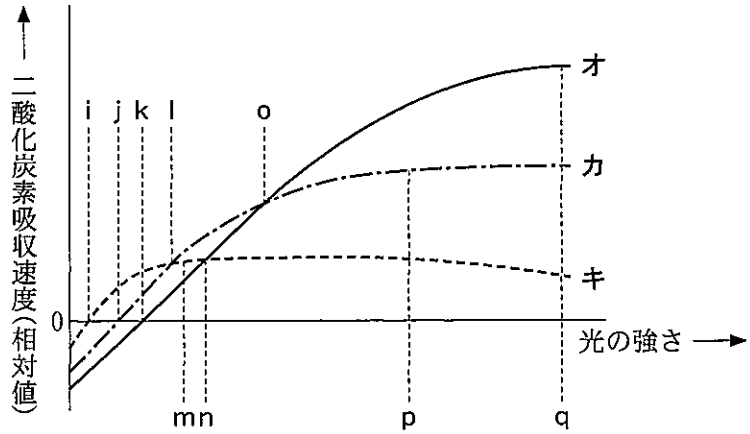


図 3

① 呼吸速度が最も低いのは植物**キ**である。

② 植物**オ**の光飽和点は q で，3 種の植物で最も高い。

③ 植物**キ**の光補償点は i で，3 種の植物で最も低い。

④ 植物**カ**の例としてアカマツが考えられる。

⑤ 森林内にギャップができると，植物**カ**のような性質をもつ植物が発芽して生育する。

⑥ 遷移の初期では，植物**キ**のような性質をもつ植物が最も速く成長する。

⑦ ①～⑥のすべての選択肢は正しい。

問 8　DNA の遺伝情報 [8]

下に DNA の一方の鎖の塩基配列(ク鎖)を，表に mRNA の遺伝暗号表を示す。ただし，この DNA 鎖のどちらか一方を鋳型鎖として，mRNA が転写されるときは，すべての塩基配列が転写され，また，mRNA から翻訳されるペプチドは切断されないものとする。

ク鎖の塩基配列

5'－ TATAC GGTTA GGCTA CTCGA TTCAT TACTG －3'

表

1番目の塩基	2番目の塩基 U	2番目の塩基 C	2番目の塩基 A	2番目の塩基 G	3番目の塩基
U	UUU フェニルアラニン	UCU セリン	UAU チロシン	UGU システイン	U
	UUC フェニルアラニン	UCC セリン	UAC チロシン	UGC システイン	C
	UUA ロイシン	UCA セリン	UAA 終止	UGA 終止	A
	UUG ロイシン	UCG セリン	UAG 終止	UGG トリプトファン	G
C	CUU ロイシン	CCU プロリン	CAU ヒスチジン	CGU アルギニン	U
	CUC ロイシン	CCC プロリン	CAC ヒスチジン	CGC アルギニン	C
	CUA ロイシン	CCA プロリン	CAA グルタミン	CGA アルギニン	A
	CUG ロイシン	CCG プロリン	CAG グルタミン	CGG アルギニン	G
A	AUU イソロイシン	ACU トレオニン	AAU アスパラギン	AGU セリン	U
	AUC イソロイシン	ACC トレオニン	AAC アスパラギン	AGC セリン	C
	AUA イソロイシン	ACA トレオニン	AAA リシン	AGA アルギニン	A
	AUG メチオニン(開始)	ACG トレオニン	AAG リシン	AGG アルギニン	G
G	GUU バリン	GCU アラニン	GAU アスパラギン酸	GGU グリシン	U
	GUC バリン	GCC アラニン	GAC アスパラギン酸	GGC グリシン	C
	GUA バリン	GCA アラニン	GAA グルタミン酸	GGA グリシン	A
	GUG バリン	GCG アラニン	GAG グルタミン酸	GGG グリシン	G

① ク鎖の相補鎖の塩基配列は,

5' - CAGTA ATGAA TCGAG TAGCC TAACC GTATA -3'

である。

② ク鎖を鋳型鎖として合成されたmRNAが開始コドンから翻訳されるとき，合成されるペプチドの長さは5アミノ酸である。

③ ク鎖を鋳型鎖として合成されたmRNAが開始コドンから翻訳されるとき，カルボキシ基側の末端のアミノ酸はアラニンである。

④ ク鎖を鋳型鎖として合成されたmRNAが開始コドンから翻訳されるとき，アミノ基側の末端から2番目のアミノ酸を運ぶtRNAのアンチコドンは5' - AUU -3' である。

⑤ 5' 末端から18番目の塩基がTの塩基に変化したク鎖を鋳型鎖として合成されたmRNAが開始コドンから翻訳されるとき，変化した塩基を含むコドンが指定するアミノ酸はアルギニンである。

⑥ 5' 末端から20番目のヌクレオチドが失われたク鎖を鋳型鎖として合成されたmRNAが開始コドンから翻訳されるとき，合成されるペプチドの長さは3アミノ酸である。

⑦ ①～⑥のすべての選択肢は正しい。

第2問 次の文章Ⅰ～Ⅲを読んで，以下の問い(**問1～7**)に答えよ。解答番号 9 ～ 16

Ⅰ　食物アレルギーは食物に含まれるタンパク質が主なアレルゲンとなって引き起こされる。ラテックス-フルーツ症候群は，果実に含まれるラテックス中のタンパク質と相同な構造をもつ別のタンパク質が異物として認識されて起こる食物アレルギーである。ラテックスはパラゴムノキの樹液を原料とするゴムで，ラテックス製の手袋が皮膚に触れることにより，皮膚を経由した獲得免疫(適応免疫)反応(経皮感作)が起こることがラテックス-フルーツ症候群の原因となる。

経皮感作による食物アレルギーのメカニズムを調べるため，研究者は，図1に示す時間間隔での処理の組合せにより，実験を行った。この実験では，アレルゲンとして卵白アルブミン(OVA)を用いた。野生型マウスの皮膚に界面活性剤であるドデシル硫酸ナトリウムを塗って皮膚の防御機能を弱め，そこに緩衝液に溶かしたOVAを，対照としてOVAを含まない緩衝液を塗布した(塗布；処理[**あ**])。経皮感作が起きているかの指標として，アレルギーに関わるヘルパーT細胞(A)(Th 2細胞)を分化させるサイトカインのひとつであり，Th 2細胞も分泌するインターロイキン(IL)-4のmRNAの発現量(*Il4* mRNA量)を，OVAを塗布した皮膚の近くのリンパ節中の細胞で調べた。また，OVAに特異的に結合する血清中のIgE(分化したB細胞が産生するアレルゲンに対する特殊な抗体)の濃度(抗OVA IgE量)を調べた。アレルギー反応の有無は，OVAを口から与えること(経口投与による食物負荷；処理[**い**])によって判定した。全身的なアレルギー反応の指標として，処理[**い**]後，30分以内に起こる直腸温の低下を測定した。さらに，処理[**あ**]の前に，あらかじめOVAを経口投与する処理[**う**](前投与)，処理[**あ**]直前に好塩基球を特異的に除去する抗体(Ba 103)を注射する処理[**え**]も行い，経皮感作とアレルギー反応への影響を調べた。処理[**え**]では，対照として，Ba 103抗体を含まない生理食塩水を注射した。各実験の結果を図2に示す。なお，好塩基球は白血球の一種で，マスト細胞(肥満細胞)(B)と類似の機能をもっていると考えられている。

問 1　文章中の下線部AとBに関してあてはまるものはどれか。次の①～⑧のうちからそれぞれ二つずつ選び，解答番号 9 と 10 の解答欄にそれぞれ二つマークせよ。A： 9 ，B： 10

① 細菌の細胞壁を破壊する酵素を分泌する。

② 接触によりマクロファージを活性化する。

③ 抗体(IgE)を細胞表面に付着させている。

④ ウイルスに感染した細胞を攻撃して排除する。

⑤ 異物を食作用によって細胞内に取り込んで処理する。

⑥ ヒスタミンを放出してアレルギーの症状を引き起こす。

⑦ 分化する過程で免疫グロブリン遺伝子が再構成される。

⑧ HIV(ヒト免疫不全ウイルス)の感染により破壊される。

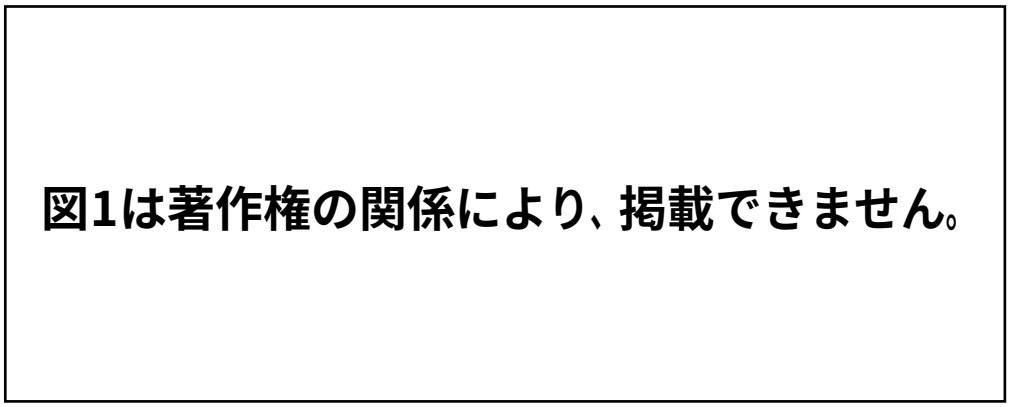


図 1

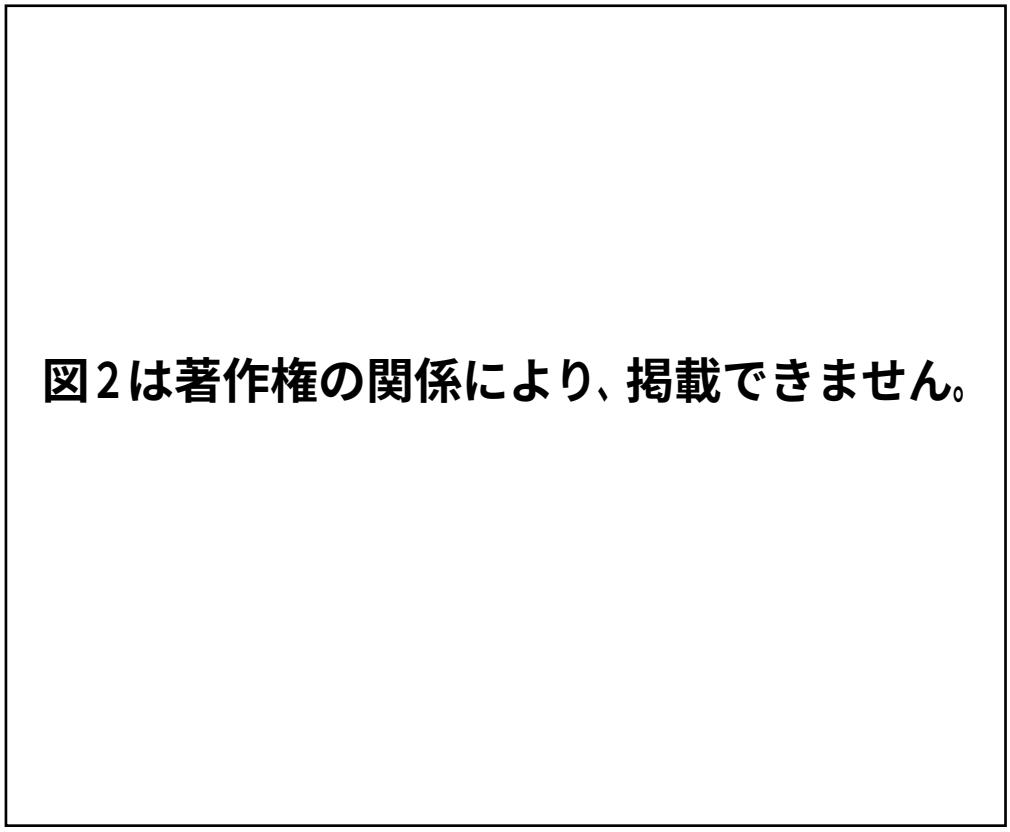


図 2

問 2　図 2 に示した結果の説明として**不適切なもの**はどれか。次の①～⑤のうちから一つ選べ。 11

① 皮膚に OVA を含まない緩衝液を塗布した野生型マウスでは，塗布開始後 11 日目で比べると，OVA を塗布した野生型マウスよりも，リンパ節での IL-4 の mRNA の発現量は少なかった。

② 皮膚に OVA を塗布した野生型マウスでは，塗布開始時と塗布開始後 2 週目で比べると，塗布開始後 2 週目には血清中の OVA 特異的 IgE が増加していた。

③ 皮膚に OVA を塗布した野生型マウスでは，食物負荷後 30 分以内で，1 ℃ 以上の直腸温の低下が測定された。

④ 前投与を行ってから皮膚に OVA を塗布した野生型マウスでは，前投与開始時と前投与開始後 4 週目で比べると，前投与開始後 4 週目には血清中の OVA 特異的 IgE が増加していた。

⑤ Ba 103 抗体を注射してから皮膚に OVA を塗布した野生型マウスでは，食物負荷後 30 分以内で，1 ℃ 以上の直腸温の低下が測定されなかった。

問 3　図 2 に示した結果から考えられることとして**不適切なもの**はどれか。次の①～⑥のうちから**二つ**選び，解答番号 12 の解答欄に二つマークせよ。 12

① 界面活性剤による皮膚の防御機能の低下は，経皮感作を容易にする。

② 経皮的にアレルゲンにさらされると，リンパ節で Th 2 細胞が増加する。

③ 経皮感作が成立する前にアレルゲンを経口摂取すると，そのアレルゲンに対する免疫寛容が誘導される。

④ 好塩基球の除去は，経皮感作によるアレルゲン特異的 IgE 産生 B 細胞の分化を抑制する。

⑤ 腸管の樹状細胞の MHC に提示されたアレルゲンによって，IL-4 産生 Th 2 細胞が分化する。

⑥ 経口摂取した OVA がもつアレルゲンとなり得る構造は，腸管を通過する間に失われない。

Ⅱ　皮膚の細胞が産生するサイトカインであるTSLPの受容体を欠損したマウス（*Tslpr*−/−）と腸管の細胞が産生するサイトカインであるIL-33を欠損したマウス（*Il33*−/−）を用いて，野生型マウス（Wt）と同様に図1の処理［あ］と［い］を行った。この実験では，図2で示した結果に加え，OVAを塗布した皮膚の細胞とその近くのリンパ節の細胞に占める好塩基球の割合も調べた。その結果を図3に示す。

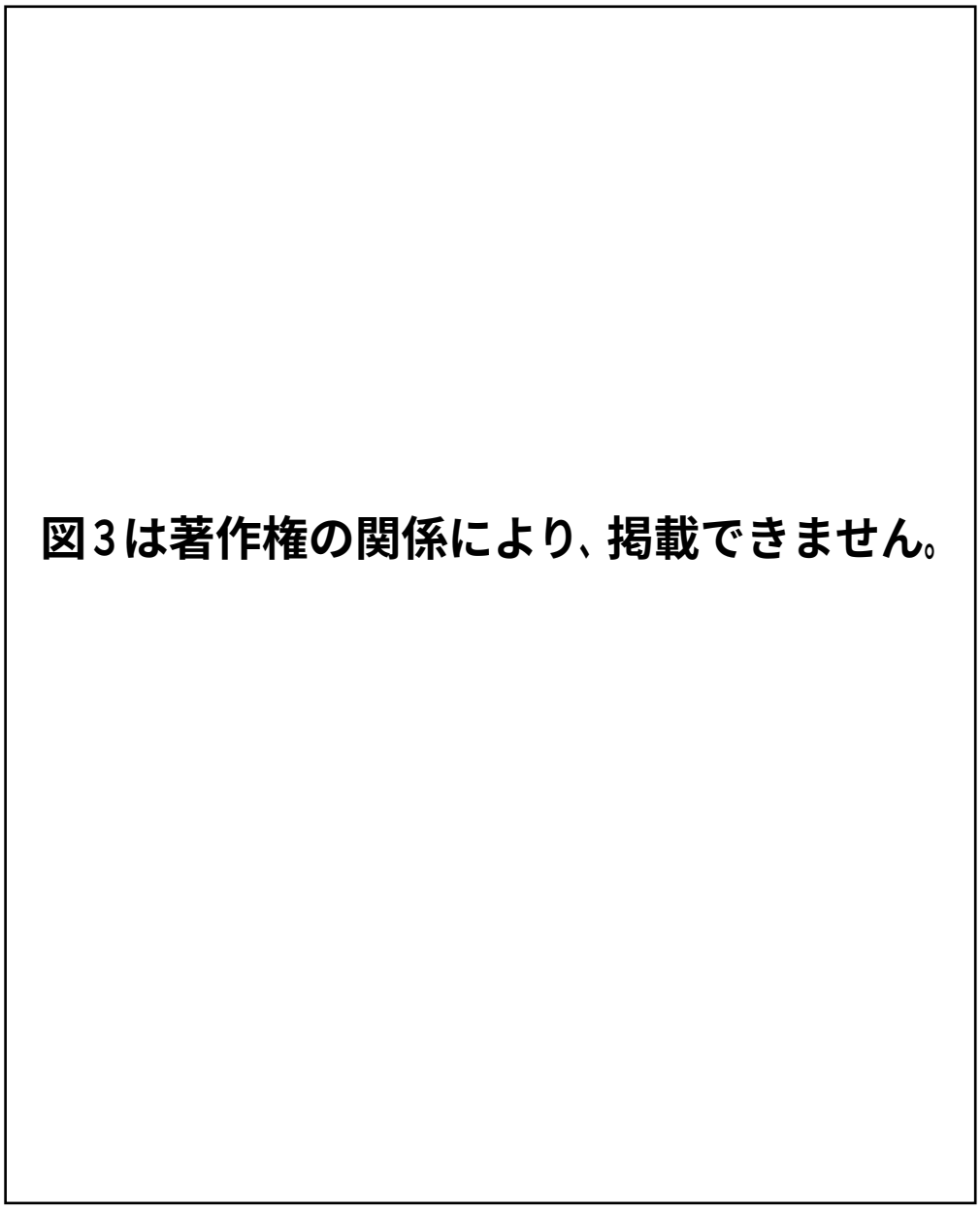


図3

問 4　図 3 に示した結果の説明として，最も適切なものはどれか。次の①～⑤のうちから一つ選べ。 13

① 皮膚に OVA を塗布した野生型マウスでは，リンパ節での好塩基球の割合が，塗布開始時と比べて，11 日目にはおよそ 9 倍増加していた。

② 皮膚に OVA を塗布した TSLP 受容体欠損マウスでは，リンパ節での IL-4 の mRNA の発現量は，塗布開始時と比べて，11 日目にはおよそ 2 倍増加していた。

③ 皮膚に OVA を塗布した TSLP 受容体欠損マウスでは，塗布開始時と比べて，塗布開始後 2 週目には血清中の OVA 特異的 IgE が増加していた。

④ 皮膚に OVA を塗布した IL-33 欠損マウスでは，塗布開始時と比べて，塗布開始後 2 週目には血清中の OVA 特異的 IgE が増加していた。

⑤ 皮膚に OVA を塗布した IL-33 欠損マウスでは，食物負荷後，皮膚に OVA を塗布した野生型マウスと比べて，同程度に直腸温が低下した。

問 5　図 3 に示した結果から考えられる TSLP と IL-33 のラテックス-フルーツ症候群における働きについて，適切なものはどれか。次の①～⑥のうちから二つ選び，解答番号 14 の解答欄に二つマークせよ。 14

① TSLP は，好塩基球を皮膚に集積させる。

② TSLP は，血液を介して腸管の細胞に作用する。

③ TSLP は，食物摂取後のアレルギー反応を直接引き起こしている。

④ IL-33 は，B 細胞に作用して IgE を産生させる働きをもっている。

⑤ IL-33 は，腸管を介した感作の成立に関わっている。

⑥ IL-33 は，Th 2 細胞の分化に関わっている可能性がある。

問 6　図 2 および図 3 の結果から，「好塩基球は抗原提示細胞としてヘルパー T 細胞をアレルゲン特異的 Th 2 細胞に分化させる」という仮説を立てた。仮説を検証するために何を調べたらよいか。最も適当なものを，次の①～⑤のうちから一つ選べ。 15

① OVA 塗布後の皮膚での TSLP の産生

② OVA 塗布後のリンパ節中の樹状細胞の割合

③ OVA 塗布後のリンパ節中の好塩基球での IL-4 の産生

④ 経皮感作後の食物負荷による腸管での IL-33 の産生

⑤ 経皮感作後のアレルギー反応に対する IL-33 阻害剤の影響

Ⅲ　IL-4の発現は，*Il4*遺伝子の転写開始部位から5'側350塩基対の間にある6個の転写調節領域とそこに結合する調節タンパク質NFATによって調節されている(図4)。この領域のさらに5'側に，図4に示した動物種間で保存された領域があり，ヒトでは，転写開始部位から数えて524番目に一塩基多型(SNP)(－524Cと－524T)が報告されている。－524Tのヒトは，重症のアレルギーなど免疫系の病気にかかりやすいことが分かっている。しかし，ある種の寄生虫病発生地域の集団では，－524Tをもつ*Il4*対立遺伝子の頻度が高く維持されている。なお，－524Tをもつ*Il4*対立遺伝子を導入したT細胞では，IL-4の発現量が3倍増加することが分かっている。

図4は著作権の関係により、掲載できません。

図4

注）上の図とグラフは*Il4*遺伝子エキソン1を含む5'側の構造と図中の6種の動物間の塩基置換率の指標を示している。下の塩基配列は転写開始部位から524番目のSNP周辺の6種の動物で保存されている塩基配列を，また，系統樹は，6種の動物の系統関係を表したもので，その枝長は，それぞれの動物が分岐してからの時間を表している。

問 7　転写調節領域を含めた *Il4* 遺伝子に関して考えられることとして，適切なものはどれか。次の①～⑥のうちから**二つ選び**，解答番号 16 の解答欄に二つマークせよ。 16

① *Il4* 遺伝子の転写開始部位から 5' 側 350 塩基対の間に生じた突然変異は，中立な変異であった。

② *Il4* 遺伝子のエキソン 1 に生じた突然変異は，IL-4 タンパク質の働きを破壊している。

③ −524 C は，−524 領域の NFAT との結合親和性を高め，IL-4 の発現量を増加させる。

④ −524 T は，チンパンジーとボノボの共通祖先とヒトの祖先が分岐した後でヒトの系統で生じた。

⑤ −524 C をもつ *Il4* 対立遺伝子の遺伝子頻度は，寄生虫病発生地域の集団よりもそれ以外の集団で高い。

⑥ −524 T をもつ *Il4* 対立遺伝子は，遺伝的浮動によって寄生虫病発生地域集団に広まった。

第3問 次の文章Ⅰ，Ⅱを読んで，以下の問い(問1～7)に答えよ。解答番号 17 ～ 29

Ⅰ　生物の生活は，同種の他の個体や他種の個体との関係をもとに成り立っている。したがって，資源をめぐる種内競争や種間競争は，生物個体の生存や繁殖に影響を与える。一般に，生物は自らの子を多く残す個体ほど適応的だと考えられている。この尺度である適応度は，ある個体が一生の間につくる子のうち，生殖可能な年齢まで達した子の数で表される。

この部分は著作権の関係により、掲載できません。

表1

行動のコスト(J/時間)	
蜜の採取	4200
とまり木での待機	1700
縄張りの防衛	12600

表2

縄張りの防衛で増加するエネルギー消費量(J)

		縄張りを防衛することで増加する花蜜量(μL)		
		1	2	3
縄張り形成前の花蜜量(μL)	2	3052	4251	5123
	3	1526	2289	2834
	4	981	1635	1962
	5	654	1090	
	6	327		

図は著作権の関係により、掲載できません。

図

注）図中の数字は採餌時間を示す。

注）縄張りの防衛に使う時間は，とまり木での待機の時間から捻出される。

問 1　花蜜量が増加すれば，この鳥は 1 日のエネルギー要求量をより速く満たすことができ，採餌時間を節約できる。節約できた時間は，よりコストの小さいとまり木での待機に振り替えられる。今，花蜜量が 2 μL から 3 μL に増加したとする。この鳥の採餌時間の節約による 1 日当たりのエネルギー消費の節約量は何 J になるか。必要ならば一の位を四捨五入して答えよ。

17	18	19	0 J

① 1	② 2	③ 3	④ 4	⑤ 5
⑥ 6	⑦ 7	⑧ 8	⑨ 9	⑩ 0

問 2　問 1 の鳥は縄張りを形成し，これを防衛することで花蜜量を増加させていた。したがって，問 1 の鳥は，縄張りの防衛によるエネルギー消費の増加量が，問 1 で求めたエネルギー消費の節約量よりも［ア］，適応度が［イ］ため，この縄張りを［ウ］すると考えられる。空欄のア～ウにあてはまる語の組合せとして，正しいものはどれか。最も適当なものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。［20］

	ア	イ	ウ		ア	イ	ウ
①	小さく	上がる	維　持	②	大きく	上がる	維　持
③	小さく	下がる	維　持	④	大きく	下がる	維　持
⑤	小さく	上がる	放　棄	⑥	大きく	上がる	放　棄
⑦	小さく	下がる	放　棄	⑧	大きく	下がる	放　棄

問 3　縄張りの形成と防衛が花蜜量を増加させるときの記述として，最も適切なものはどれか。次の①～④のうちから一つ選べ。［21］

① 花蜜量を 2 μL から 3 μL に増加させるとき，縄張りの防衛に使う時間は 0.65 時間である。

② 花蜜量を 2 μL から 3 μL に増加させるとき，とまり木での待機時間の変化は，3 μL から 6 μL に増加させるときと等しい。

③ 花蜜量を 4 μL から 5 μL に増加させるとき，蜜の採取コストの節約量は，2 μL から 3 μL に増加させるときよりも小さい。

④ 花蜜量を 3 μL から 4 μL に増加させる縄張りの防衛は，6 μL から 7 μL に増加させる縄張りの防衛よりも起こりにくい。

Ⅱ　個体群内の別の相互作用に注目すると，行為者である個体には損失をもたらすが，行為の受け手の個体には利益をもたらす行動がみられることがあり，これを利他行動という。言いかえると，行為者の適応度が下がるにもかかわらず，受け手の適応度を上げる行動があるということになる。一般に，適応度を下げる行動(形質)は自然選択によって排除される傾向にあると考えられる。しかし，利他行動の例は自然界で血縁者間にしばしば観察される。

ハミルトンは，「どの個体も自己の子孫を残そうとしているのではなく，自分のもっているのと同じ遺伝子を増やそうとしている」と考えた。この考えにしたがえば，適応度とは，自分と同じ遺伝子をどれだけ残したかということができる。血縁者は自分と同じ遺伝子をある確率(血縁度 r)で共有する。例えば，有性生殖を行う二倍体の生物の親と子では $r = 0.5$，両親が同じ兄弟姉妹では $r = 0.5$ となる。そのため，利他行動により行為の受け手である血縁者がより多くの子孫を残せば，自分と同じ遺伝子が増えるため，間接的に行為者の適応度が上がると考えられる。したがって，血縁度で重み付けした行為の受け手の適応度の上昇分が行為者の損失を上まわれば，利他行動が進化するといえる。

行為者の直接的な適応度と間接的な適応度の和を包括適応度といい，それぞれを血縁度で重み付けすることで算定される。包括適応度の考えを適用すると，行為者の包括適応度が最大化するように行動は進化すると考えられる。

問 4　文章中の下線部に関して，ヒトで，祖母のみが共通のいとこどうしの血縁度はどれか。最も適当なものを，次の①～⑩のうちから一つ選べ。

22

① 0.0375　② 0.0625　③ 0.0875　④ 0.125　⑤ 0.1625
⑥ 0.1875　⑦ 0.25　⑧ 0.3125　⑨ 0.375　⑩ 0.4375

問 5　利他行動の行為者の損失を C，受け手の利益を B とすると，血縁者間の利他行動が進化し得る条件はどれか。最も適当なものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。 23

① $\frac{C}{B} > r$　② $\frac{B}{C} > r$　③ $\frac{C}{B} > \frac{1}{r}$
④ $\frac{B}{C} > \frac{1}{r}$　⑤ $rB > \frac{1}{C}$　⑥ $rC > \frac{1}{B}$

問 6

この部分は著作権の関係により、
掲載できません。

ただし，利他行動の行為者の損失と受け手の利益は雄当たりの残した子の数で測定される。なお，残した子の数は生殖可能な年齢に達した子の数を示す。計算の途中で四捨五入することなく，必要ならば，最後に小数点以下第三位を四捨五入して答えよ。 0. 24 25

① 1	② 2	③ 3	④ 4	⑤ 5
⑥ 6	⑦ 7	⑧ 8	⑨ 9	⑩ 0

問 7

この部分は著作権の関係により、
掲載できません。

なお,残した子の数は生殖可能な年齢に達した子の数を示す。計算の途中で四捨五入することなく,必要ならば,最後に小数点以下第三位を四捨五入して答えよ。

フリー雄の包括適応度 :0.[26][27]

第一ヘルパーと第二ヘルパーの包括適応度の差 : 0.[28][29]

① 1	② 2	③ 3	④ 4	⑤ 5
⑥ 6	⑦ 7	⑧ 8	⑨ 9	⑩ 0