

令和 2 (2020) 年度入学者選抜個別(第 2 次) 学力検査問題

理 科

注 意 事 項

1. 監督者の指示があるまで、この冊子を開いてはいけません。
2. この冊子は、全部で 30 ページあり、第 1 ～ 3 ページは下書用紙です。下書用紙は切り離してはいけません。
3. 解答用紙は、問題冊子と別に印刷されているので、誤らないように注意しなさい。
4. 解答は、必ず解答用紙の指定された欄内に記入しなさい。点線より右側には何も記入しないこと。
5. 入学志願票に選択を記載した 2 科目について解答しなさい。選択していない科目について解答しても無効です。
6. 各解答用紙には、受験番号欄が 2 か所ずつあります。それぞれ記入を忘れないこと。
7. 解答用紙は、記入の有無にかかわらず、机上に置き、持ち帰ってはいけません。この冊子は持ち帰りなさい。
8. 落丁または印刷の不鮮明な箇所があれば申し出なさい。

下 書 用 紙 (切り取ってはいけない)

下 書 用 紙 (切り取ってはいけない)

下 書 用 紙 (切り取ってはいけない)

物 理

(注) 医学科, 歯学科および保健衛生学科(検査技術学専攻)の受験生は全ての問題を解答せよ。

1 振り子の運動に関する以下の問いに答えよ。重力加速度を g とし, 小球の大きさや糸の質量は無視してよい。また, 振り子は図1の紙面内で運動し, 糸がたるむことは無いものとする。

問1 図1のように, 質量 m_1 の小球1と長さ L の糸からなる振り子1を, 天井に固定された点Aから吊るす。鉛直線と糸のなす角度を θ_1 とする。ただし小球1が鉛直線の右側にある場合を $\theta_1 > 0$ とし, $-\pi/2 < \theta_1 < \pi/2$ とする。小球1を $\theta_1 = \alpha$ となる位置に静止させ, 時刻 $t = 0$ にそつと手を離すと小球1は振動を始めた。ただし α は $0 < \alpha < \pi/2$ の範囲にある正の定数である。

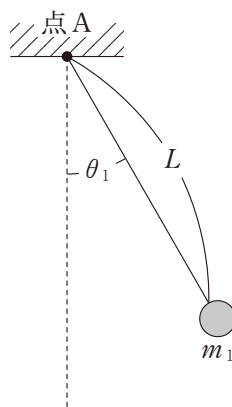


図1

- (1) 角度が θ_1 の時の小球 1 の速さを求めよ。ただし $|\theta_1| \leq \alpha$ である。
- (2) 角度が θ_1 の時の糸の張力を求めよ。
- (3) 糸の張力を時刻 t の関数としてグラフにする。その大まかな形を示せ。
ただし、小球 1 の振動周期を T として、 t の範囲は $0 \leq t \leq T$ とする。また、関数を数式で示す必要はない。
- (4) 一般に、振動周期 T は $t = 0$ における角度 α に依存する。 $\alpha \rightarrow 0$ での T の極限值 T_0 を答えよ。
- (5) (4)の T_0 と、 $\alpha = \pi/3$ としたときの振動周期 $T_{\pi/3}$ では、どちらが大きい
か。等号あるいは不等号を用いて答えよ。その理由も記すこと。必要であれば、 $-\pi/2 < x < \pi/2$ の範囲で $|\sin x| \leq |x|$ であることを用いてよい。

問 2 図 2 のように、質量 m_2 の小球 2 と長さ L の糸から成る振り子 2 を、振り子 1 と同じ点 A から吊るす。鉛直線と振り子 2 の糸のなす角度を θ_2 とする。ただし小球 2 も鉛直線の右側にある場合を $\theta_2 > 0$ とし、 $-\pi/2 < \theta_2 < \pi/2$ とする。小球 1 および 2 が最下点に静止している状態 ($\theta_1 = \theta_2 = 0$) から、小球 1 のみを $\theta_1 = \beta$ の位置まで持ち上げて静止させ、時刻 $t = 0$ にそっと手を離すと、2 つの小球は最下点にて衝突を繰り返す。ただし β は微小な正の定数である。以下では、角度 θ_1, θ_2 は常に十分に小さく、振り子の等時性が成り立つものとする。

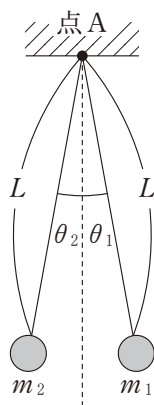


図 2

(1) 最初の衝突の直前の、小球 1 の速さ V を求めよ。

以下の問題では、小球が右向きに動いている場合の速度を正とする。 n 回目の衝突直後の小球 1, 2 の速度を $v_1(n), v_2(n)$ で表す。ただし n は自然数である。

まず，弾性衝突の場合を考えよう。

- (2) $v_1(1)/V$ を求めよ。
- (3) $v_1(2)/V$ を求めよ。
- (4) 小球 1 が小球 2 に比べてはるかに重い極限を考える。 θ_1 および θ_2 の動く範囲を， β を用いた不等式で表せ(例： $-10\beta \leq \theta_1 \leq 10\beta$)。

次に，非弾性衝突の場合を考えよう。跳ね返り係数を e とする ($0 < e < 1$)。

- (5) $v_1(1)/V$ を求めよ。
- (6) $v_1(n) - v_2(n)$ を V ， e ， n を用いて表せ。
- (7) $v_1(n)/V$ を求めよ。

(注) 医学科の受験生は問 1 から問 2(5)までを、歯学科および保健衛生学科(検査技術学専攻)の受験生は問 1 から問 2(3)までを解答せよ。

2 電気回路に関する以下の問題に解答せよ。

問 1 図 1 のように、1 巻きの長方形コイル $abcd$ を $+x$ 方向の様な磁場(磁束密度 B)中に置き、 y 軸方向を回転軸として矢印のように一定の角速度 ω_c ($\omega_c > 0$)で回転させた。コイルの辺の長さは $ab = l_1$, $bc = l_2$ である。また、辺 ab , cd と回転軸との距離はどちらも $l_2/2$ である。コイルの両端はそれぞれリング状の電極 e , f を通して抵抗値 R の抵抗に接続されている。誘導電流は $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$ の向きを正とし、誘導起電力は $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$ に電流を流そうとする向きを正とする。また、図 2 のようにコイルの面の法線が磁場の向きとなす回転角を α とする。時刻 $t = 0$ のとき、コイルの回転角は $\alpha = 0$ であり、コイルを貫く磁束の向きは正であった。コイルの自己インダクタンスおよびコイルの抵抗は無視できるとする。以下の問題に答えよ。

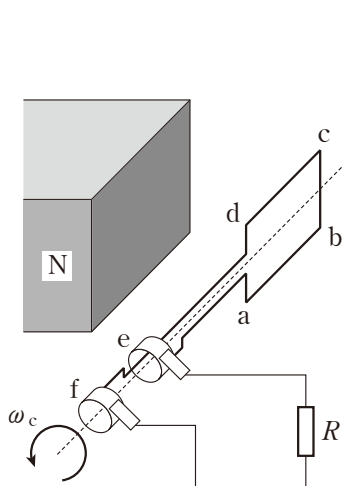


図 1

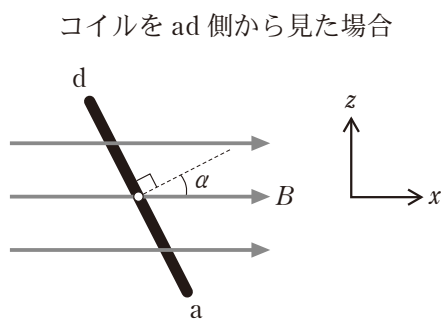


図 2

- (1) 回転するコイルの辺 ab の速さを求めよ。 l_1, l_2, ω_c の中から必要なものを使って答えよ。
- (2) 時刻 t においてコイルの辺 ab, bc のそれぞれに生じる誘導起電力を求めよ。 B, l_1, l_2, ω_c, t の中から必要なものを使って答えよ。
- (3) 時刻 t においてコイルを貫く磁束 Φ を求めよ。 B, l_1, l_2, ω_c, t の中から必要なものを使って答えよ。
- (4) 時刻 t から $t + \Delta t$ の間にコイルを貫く磁束の変化量 $\Delta\Phi$ は $\Delta\Phi = \Phi(t + \Delta t) - \Phi(t)$ と書ける。 $\omega\Delta t$ の大きさが十分小さいときには $\Delta\Phi = A\Delta t$ と近似できることを加法定理を使って導出せよ。また、 A の値を B, l_1, l_2, ω_c, t の中から必要なものを使って答えよ。必要であれば、 θ の大きさが十分小さいときに成り立つ三角関数の近似式 $\sin \theta \doteq \theta$, $\cos \theta \doteq 1$ を用いてよい。
- (5) 時刻 t にコイルで生じる誘導起電力を求めよ。 B, l_1, l_2, ω_c, t の中から必要なものを使って答えよ。
- (6) 抵抗 R を流れる電流の実効値を求めよ。 $B, l_1, l_2, \omega_c, t, R$ の中から必要なものを使って答えよ。
- (7) 時刻 t に抵抗 R で消費される電力 P を求めよ。 $B, l_1, l_2, \omega_c, t, R$ の中から必要なものを使って答えよ。また P の時間変化を $0 \leq t \leq 2\pi/\omega_c$ の範囲でグラフに図示せよ。

問 2 図 3 のように抵抗値 R の抵抗, 電気容量 C のコンデンサ, 自己インダクタンス L のコイル, 交流電源で構成された回路がある。交流電源の角周波数 ω ($\omega > 0$) は変化させることができる。時刻 t において回路に流れる電流は, 図の矢印の向きを正として $I = I_0 \sin \omega t$ と表される。交流電源の電圧は, 電流との位相差を β として $V = V_0 \sin(\omega t + \beta)$ のように書かれる。本問題では電源のスイッチを入れてから十分に時間が経過した状況を扱う。以下の問題に答えよ。

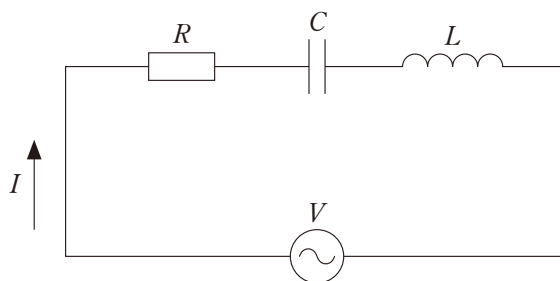


図 3

- (1) 抵抗, コンデンサ, コイルのそれぞれに加わる電圧を求めよ。 R , C , L , I_0 , ω , t の中から必要なものを使って答えよ。
- (2) 回路に流れる電流の振幅 I_0 と $\tan \beta$ を求めよ。 R , C , L , V_0 , ω の中から必要なものを使って答えよ。必要があれば三角関数の公式 $a \sin \theta + b \cos \theta = \sqrt{a^2 + b^2} \sin(\theta + \sigma)$ を使って良い。ただし, σ は $\tan \sigma = \frac{b}{a}$ ($-\pi/2 < \sigma < \pi/2$) によって決まる角度である。
- (3) 電流の振幅 I_0 が最大となる角周波数の値 ω_0 と, そのときの I_0 の最大値を求めよ。 R , C , L , V_0 の中から必要なものを使って答えよ。
- (4) 電流の振幅 I_0 を角周波数 ω の関数としてグラフに概形を図示せよ。その際グラフ中に, (i) ω が十分大きい場合と, (ii) ω が十分小さい場合の漸近式 $I_0(\omega)$ を示せ。 R , C , L , V_0 , ω の中から必要なものを使って答えよ。
- (5) 角周波数 ω が ω_1 および ω_2 ($\omega_2 > \omega_1$) のとき, I_0 は最大値の $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 倍となった。 $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$ の値を求めよ。 R , C , L , V_0 の中から必要なものを使って答えよ。

化 学

必要のある場合には次の数値を用いよ。

原子量：H = 1.0 Li = 6.9 C = 12.0 N = 14.0 O = 16.0

Na = 23.0 Cl = 35.5 K = 39.1 Ca = 40.1 Hg = 201

気体定数： $R = 8.31 \times 10^3 \frac{\text{Pa} \cdot \text{L}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$

アボガドロ定数： $6.02 \times 10^{23} / \text{mol}$

ファラデー定数： $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$

対数： $\log_{10} 2 = 0.30$ $\log_{10} 3 = 0.48$ $\log_{10} 7 = 0.85$ $\log_{10} 11 = 1.04$

$\log_{10} 13 = 1.11$ $\log_{10} 17 = 1.23$ $\log_{10} 19 = 1.28$ $\log_{10} 23 = 1.36$

$\log_e 10 = 2.30$ (e = 2.718)

数値を計算して答える場合は、結果のみではなく途中の計算式も書き、計算式には必ず簡単な説明文または式と式をつなぐ文をつけよ。

1 次の文を読み下の問に答えよ。

細胞において、ほとんど全ての生物活動の過程は pH に依存し、たとえ小さな pH の変化であっても、細胞の機能などに大きく影響を及ぼす。生体において、細胞内・外の主要な緩衝液の系として、炭酸緩衝系およびリン酸緩衝系が利用されている。そのためシャーレ(培養容器)内で細胞を培養する時、培養液中には緩衝剤として NaHCO_3 が含まれていることが多い。細胞培養装置(インキュベーター)には、細胞培養に必要な一定の温度や湿度を保つだけでなく、ボンベから二酸化炭素を装置内に送りこむ仕組みが備わっている(図 1-1)。

培養装置内では、図 1-2 に示すように気体と液体において、a) 気体と液体中における CO_2 の平衡関係、b) 液体中における CO_2 と H_2CO_3 との間の平衡関係、c) H_2CO_3 と HCO_3^- との間の平衡関係が成り立っている。液体中では、実際には H_2CO_3 の存在比は極めて低いため、液体中の CO_2 を $(\text{CO}_2)_L$ と表すとき、液体中における平衡は実質的に①のように表すことができる。

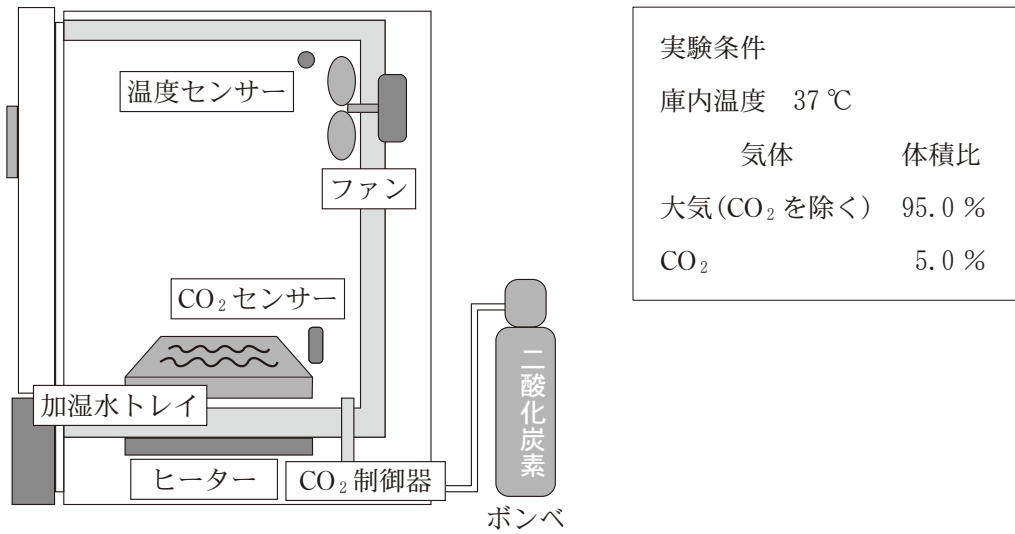


図 1-1 細胞培養装置(インキュベーター)

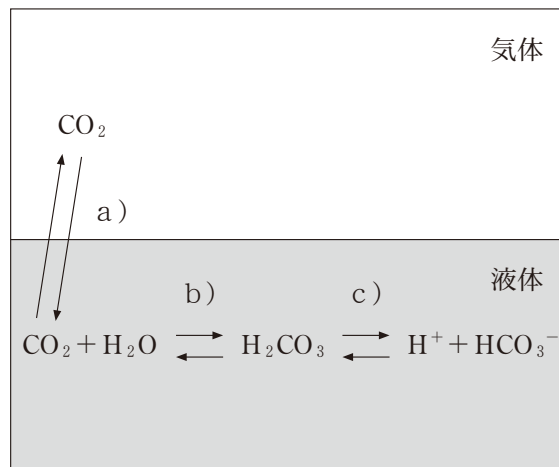
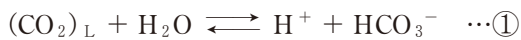


図 1-2 液体中と気体の CO₂ の平衡関係



この平衡定数を K とすると,

$$K = [\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]/[(\text{CO}_2)_L][\text{H}_2\text{O}] \quad \dots\text{②}$$

$[\text{H}_2\text{O}]$ は一定と考えてよいいため、酸の電離定数 $K_{a1}(=K[\text{H}_2\text{O}])$ は

$$K_{a1} = [\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]/[(\text{CO}_2)_L] \quad \dots\text{③} \quad (K_{a1} = 4.3 \times 10^{-7} \text{ mol/L}, 25 \text{ }^\circ\text{C})$$

と表せる。

なお、炭酸水素イオンは更に H^+ を電離して、炭酸イオンになる電離平衡



がある。

問 1 圧力の単位は現在パスカル(Pa)が使用されており、大気圧(1 atm)は $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ である。圧力は水銀柱の高さで表記されることもあり、水銀柱の高さが 760 mm のところで大気圧と釣り合うことから、 $1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa} = 760 \text{ mmHg}$ と表せる。

(1) 水銀について誤っているものを A ~ F の中から 2 つ選べ。

- A. 蛍光灯に使われる。
- B. 温度計に使われる。
- C. 濃硝酸により不動態を生じる。
- D. 融点が低く常温で液体で存在する。
- E. はんだの合金成分として用いられる。
- F. 多くの金属元素と合金を作りやすい。

(2) 水銀の密度(kg/m^3)を有効数字 2 桁で求めよ。なお、重力加速度は 9.8 m/s^2 とする。

問 2 25°C で液性が中性($\text{pH} = 7$)付近の場合、炭酸緩衝系の 2 段階目の電離式 $\textcircled{4}$ を無視することができる。その理由を答えよ。

問 3 K_{a1} , $[\text{HCO}_3^-]$, $[(\text{CO}_2)_L]$ を用いて、培養液中の pH を表す式を $\text{pH} = -\log_{10} K_{a1} + \boxed{}$ の形で求めよ。

Aさんは海拔0 mにあるB研究所(1 atm下)で、0.029 mol/L NaHCO₃含有培養液を用いて、インキュベーター庫内温度37℃および庫内CO₂濃度5.0%の条件で、ある細胞を培養している(図1-1)。気体中のCO₂はドルトンの分圧の法則にしたがい、さらに、CO₂の液体への溶解はヘンリーの法則にしたがうものとする。その結果、[(CO₂)_L]は二酸化炭素分圧P_{CO₂}を用いて、

$$[(\text{CO}_2)_L] = 2.9 \times 10^{-5} \times P_{\text{CO}_2} \quad \dots \textcircled{5}$$

と表せる。ここでの圧力の単位はmmHgである。

問 4 気体の溶解に関するヘンリーの法則について50字以内で説明せよ。

問 5 問3で求めた式と式⑤を用いて、この培養液中のpHを小数点第2位を四捨五入して求めよ。なお電離定数は $K_{a1} = 7.9 \times 10^{-7}$ mol/L(37℃)とする。対数計算の際、 $\log_{10} X$ のXは小数点第1位を四捨五入して整数として扱ってよいものとする。

問 6 富士山頂にあるC研究所(大気圧500 mmHg)において、0.029 mol/L NaHCO₃含有培養液を用いて、インキュベーター庫内温度37℃でこの細胞を培養する時、pHを7.10に保つためには、庫内のCO₂濃度を何%に設定すれば良いか。有効数字2桁で答えよ。

2 [A], [B]に答えよ。

[A] 合成高分子化合物は合成繊維，合成樹脂，合成ゴムなど幅広い用途で私たちの生活を支えている。ポリエチレンテレフタレート(PET)は図2-1に示す物質 (A) と (B) を (C) 重合させて得られる高分子であり，樹脂にも繊維にも用いられる。

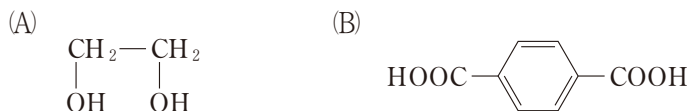


図2-1 ポリエチレンテレフタレートの原料

問1 (A)と(B)に該当する物質名，(C)に該当する用語を埋めよ。

問2 PETの構成単位の構造式を記せ。

問3 平均分子量が 7.2×10^4 のPETの平均重合度を有効数字2桁で求めよ。

[B] メタクリル樹脂(アクリル樹脂)は透明度が高く，屋内外の種々の環境でも優れた耐久性を示すことから様々な用途に用いられている。メタクリル樹脂はメタクリル酸メチル(MMA)を (D) 重合させて得られ，ポリメタクリル酸メチル(PMMA)から成る。MMAは常温では透明で粘度の低い液体であり，図2-2の反応で重合してPMMAとなる。PMMAは鎖状の高分子が規則性を持たず無秩序に絡まった (E) 構造を持ち，その透明度の高さもあって，「アクリルガラス」とも呼ばれる。PMMAは医療用としても義歯(入れ歯)や骨セメント(骨を接合する接着剤)などに用いられている。

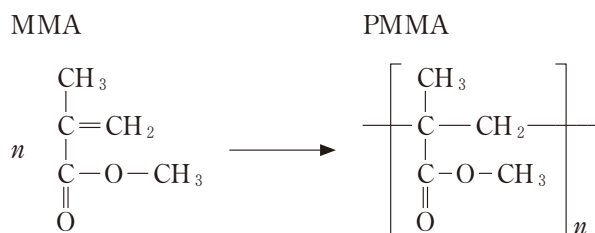


図2-2 メタクリル酸メチルの重合反応

問 4 (D), (E)に該当する用語を埋めよ。

問 5 MMA が重合して PMMA となると、もとの MMA の体積に対して何%になるか。有効数字 2 桁で答えよ。ただし、MMA, PMMA の密度はそれぞれ 0.94, 1.20 g/cm³ とする。

問 6 前述の医療用 PMMA では全てを MMA から重合させるのではなく、粉末の PMMA と液体の MMA を混合し、MMA 部分を重合させて全体を PMMA とすることが多い。MMA が重合する際には MMA 1.0 mol 当たり 54 kJ の熱が発生する。いま、10 mL の MMA と 20 g の粉末の PMMA を混合し、MMA が完全重合して全て PMMA になった場合、何℃の温度上昇が起こるか有効数字 2 桁で推定せよ。ただし外部への熱の流出は考えず、重合以外の MMA や PMMA の変化(蒸発や分解など)は起こらないものと仮定する。また PMMA の比熱(比熱容量) = 1.5 J/(g·K) とする。

問 7 う蝕(むし歯)の治療などで用いる歯の詰め物にも MMA に類似した化合物を重合して用いる。図 2-3 にはその代表的な化合物であるトリエチレングリコールジメタクリレートの構造式を示す。このような用途に用いられる材料では、歯の一部に使われるため強度が求められる。図 2-3 のような化合物を重合して用いることで、PMMA より強度が高まる理由を 100 字以内で説明せよ。

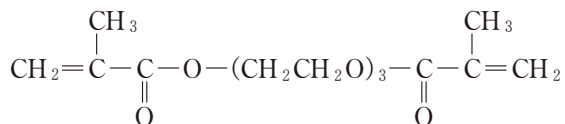


図 2-3 トリエチレングリコールジメタクリレート

3 次の文を読み、下の問に答えよ。

中性脂肪とは、グリセリン(1,2,3-プロパントリオール) $C_3H_5(OH)_3$ に1～3個の脂肪酸が結合した油脂の総称であり、食事からの摂取または肝臓で合成され、血液を通して全身に運ばれ、各組織でエネルギー源として利用されている。血液を採取、凝固させた後に分離操作によって得られる黄色味を帯びた透明な液体は血清と呼ばれ、その血清中の中性脂肪濃度は生体内における脂質代謝(注1)の指標となるため、日常的にその濃度が測定されている。血清中の中性脂肪濃度は、血清と試薬を混和し、図3-1の連続的な反応を行わせると測定することができる。図3-1の反応④にあるNADH(注2)は340 nmの光を吸収する性質を有するため、透明な容器にNADHを含む溶液を入れ、この光を当てると溶液を通過した光は弱まる。この光の吸収量を調べることによりNADHの濃度を測定することができる。すなわち、血清と試薬を混和すると血清中の中性脂肪濃度に応じて試薬に含まれるNADHの濃度が減少するため、この減少したNADHの濃度を測定することにより、血清中の中性脂肪濃度が測定できる。例えば、試薬との反応によって、反応溶液中の中性脂肪1 molがすべて反応すると試薬に含まれているNADHが1 mol減少する。

注1) 代謝：生命の維持のために生体内で行われる物質の化学反応

注2) NADH：還元型ニコチンアミドアデニンジヌクレオチド

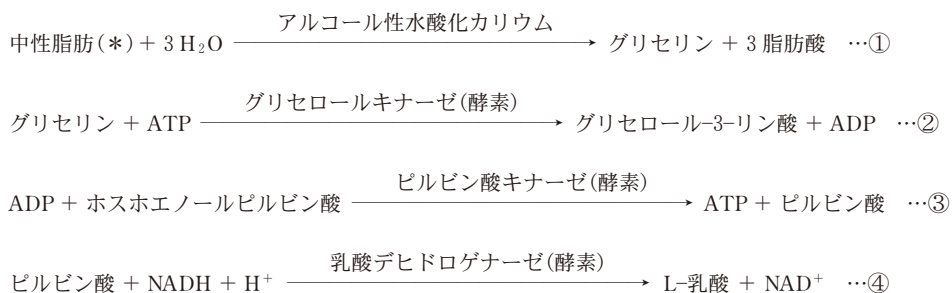


図3-1 中性脂肪濃度測定のための化学反応

(*)：グリセリンに脂肪酸が3個結合した中性脂肪の場合
ATP：アデノシン三リン酸，ADP：アデノシン二リン酸
NADH：還元型ニコチンアミドアデニンジヌクレオチド
NAD⁺：酸化型ニコチンアミドアデニンジヌクレオチド

- 問 1 中性脂肪におけるグリセリンと脂肪酸の結合形式の名称を答えよ。
- 問 2 パルミチン酸 $C_{16}H_{32}O_2$ が 1 個結合した中性脂肪の中で不斉炭素原子のある構造式を例にならって記述せよ。(例 $C_2H_5-O-C_3H_7$)
- 問 3 中性脂肪がすべてトリオレイン(オレイン酸が 3 個結合したもの)で構成されているとする。この中性脂肪のけん化価を有効数字 3 桁で求めよ。ただし、オレイン酸の分子式は $C_{18}H_{34}O_2$ である。
- 問 4 血清中にはグリセリンが存在することが知られている。そのため、図 3-1 の反応を用いた測定法で測定した中性脂肪濃度は正確とは言えない。それはなぜか。50 字以内で説明せよ。
- 問 5 脂肪油に水素付加を行うことにより硬化油が生成される。この硬化油はマーガリンやショートニングなどの原料に用いられている。近年、こういった加工食品などに含まれるトランス型の脂肪酸が心臓病などの危険因子として話題となっている。図 3-2 にシス型の α -リノレン酸 ($C_{18}H_{30}O_2$) の構造を示す。理論的に考えられる α -リノレン酸のシス・トランス異性体の数はいくつか。

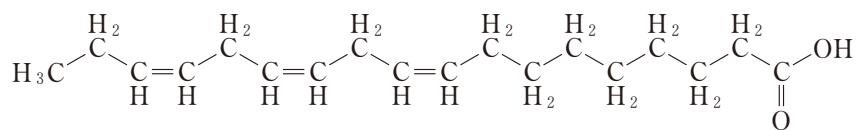


図 3-2 α -リノレン酸 ($C_{18}H_{30}O_2$) の構造式

- 問 6 問 5 に記したように、脂肪油に水素付加を行う目的を脂肪酸の化学変化から 60 字以内で説明せよ。

問 7 中性脂肪濃度既知の，異なる二種類の溶液と試薬を体積比で 1 : 49 でそれぞれ混和した溶液を反応溶液 1，反応溶液 2 とする。これらの反応溶液をそれぞれ測定したところ，反応溶液中の反応開始前の中性脂肪濃度と反応終了後の NADH 濃度に関して表 3-1 のような関係が得られた。

表 3-1 反応溶液中の中性脂肪濃度と NADH 濃度

	中性脂肪濃度 (mg/dL)	NADH 濃度 (mmol/L)
反応溶液 1	3.536	0.160
反応溶液 2	6.188	0.130

(1 mmol/L = 10^{-3} mol/L)

濃度未知の中性脂肪溶液 X を測定したところ，反応溶液中の反応終了後の NADH 濃度は 0.150 mmol/L であった。試薬と混和する前の溶液 X の中性脂肪濃度 (mg/dL) を有効数字 3 桁で求めよ。ただし，中性脂肪は反応溶液中で全て反応したとする。また，この中性脂肪は全てトリオレインとする。

生 物

1

全ての生物がもつリボソーム RNA (rRNA)の塩基配列を調べた結果から、生物は真核生物と2群から成る原核生物に分けられる。2群に分かれた原核生物のうちの1群は細菌(バクテリア)で、もう1群は古細菌(アーキア)である。細菌は大腸菌、シアノバクテリアなどを含む。古細菌は超好熱菌、高度好塩菌、メタン菌など、極限環境に生息するものが多い。真核生物には原生生物、植物、菌類、動物が含まれる。原核生物は約35億年前に出現したが、真核生物は約21億年前に出現したと考えられている。遺伝子レベルでの解析結果や細胞内構造などから、真核細胞の起源に関する(細胞内)共生説が提唱された。

細菌は様々な環境に分布し、他の生物との相互作用をすることにより、生態系に対して影響を及ぼしている。また、通常の土壌や湖沼に加えて、上空8,000 mの大気圏、水深11,000 m以上の海底など、ヒトには生育困難な環境においても生育する。ただし、生育には必ず水分が必要であり、乾燥に対してはきわめて弱い。細菌のなかには、光に依存せずに独立栄養生活を営むものもいれば、多細胞生物内部や表面に付着ないし生着しているものもいる。

大腸菌は単離・培養し、増殖させることが可能であるため、様々な解析がなされ、医療において有効利用されている。例えば、伝令 RNA (mRNA) を逆転写して得られた DNA を目的の遺伝子として用いて、これをベクターにつないだ後、大腸菌に導入し、タンパク質性の医薬品を大量に合成することができる。このとき、ベクターとしてプラスミドが用いられる。

大腸菌は、生育にグルコースを必要とする。グルコースが存在せずに、ラクトースが十分に培地に含まれているときには、ラクトースを分解する酵素が発現し、ラクトースを分解してグルコースを生成することができる。ラクトースを分解する酵素などの合成を調節するのがラクトースオペロンである。

問題 下線部 a)～ i) に関連する次の問題に答えよ。

- a) rRNA の 1 つである 16S rRNA の遺伝子は中立進化していることが主張されている。中立進化とはどのような仮説か、答えよ。

- b) 大腸菌における DNA の構造の特徴を真核生物の DNA と比較して 2 つ答えよ。

- c) (細胞内) 共生説を支持する根拠を 2 つ答えよ。

- d) 生態系における細菌の役割を 1 つ答えよ。

- e) 光に依存せずに独立栄養生活を営む細菌は、炭酸同化に必要なエネルギーを一般的にどのような方法で得ているか、答えよ。

- f)
 - 1) 動物の小腸や大腸内には他の器官と比べて、多種類の細菌が存在し、消化、吸収などに関与している。しかし、それぞれの種類の細菌の役割はいまだに解明されていない。その理由について考えを述べよ。

 - 2) エンドウヒゲナガアブラムシの体内には、ブフネラという細菌が共生し、両者の関係は相利共生と呼ばれる。相利共生とは何か、答えよ。

- g)
 - 1) 真核生物のある遺伝子の mRNA を逆転写して合成した DNA を大腸菌に導入したところ、この mRNA が指定しているタンパク質が生産された。しかしゲノム DNA から切り出した遺伝子領域全体を大腸菌に導入しても、目的のタンパク質は生産されなかった。目的のタンパク質が生産されなかった理由を答えよ。

2) 一般に目的の遺伝子を切り出すには制限酵素が用いられる。この制限という名称は、制限酵素のどのようなはたらきに由来するか、答えよ。

3) 遺伝子組換えにおいて、目的の遺伝子を切り出す場合とプラスミドを切る場合は同じ種類の制限酵素を使用する。その理由を答えよ。

h)

1) タンパク質の中には生体内において触媒としてはたらいているものもある。この触媒としてはたらいているタンパク質の一般的な性質を2つ答えよ。

2) タンパク質性触媒のなかには、活性部位以外の場所に特定の物質が結合すると、触媒の活性が変化することがある。なぜか、答えよ。

i) オペロンとは何か、答えよ。

日本の湖沼には多くの種類のミジンコが生息している。ミジンコ(学名 *Daphnia pulex*)はエビやカコと同じ甲殻類である。ミトコンドリア DNA の塩基配列解析の結果、日本全域の湖沼で採取されたミジンコはすべて北米からの帰化種であることが報告されている。

ミジンコは、生息に適した環境下では全て雌で、単為生殖(雄を必要とせずに雌が単独で新しい個体を生じる生殖法)で繁殖し、自分と同一のゲノム情報を持つクローンの雌のミジンコを産む。しかし、日照時間の短縮(短日)、水温の低下、餌の不足など、環境に変化が起こるとミジンコはそれらの環境シグナルを受け取り、単為生殖により雄のミジンコを産むことが知られている。例えば WTN 6 という系統の雌のミジンコは、14 時間明期・10 時間暗期という長日条件ではほぼ全ての個体が雌のミジンコを産むが、10 時間明期・14 時間暗期という短日条件では雄のミジンコを産む。ところで、幼若ホルモン(JH)は節足動物において脱皮や変態を制御するホルモンであるが、JH を WTN 6 系統のミジンコに作用させると、長日条件でも雄ミジンコが産まれるようになる。雄のミジンコは雌のミジンコと有性生殖を行う。すなわち、ミジンコは環境の変化に伴い生殖方法を有性生殖へと切り替えることができる。有性生殖で産まれた雌のミジンコは、通常の卵とは異なり乾燥に耐性がある休眠卵を産む。

JH はアセチル CoA を材料とした代謝経路により生合成される。ミジンコではファルネセン酸メチル(MF)という物質が、子ミジンコの雄化を誘導する JH として働いていることが示唆されている。MF は、その前駆体であるファルネセン酸が、あるメチル基転移酵素(JHAMT)により代謝されることで産生される。

WTN 6 系統の雌ミジンコの単為生殖周期(子ミジンコの産出から次の子ミジンコの産出までの期間)は約 70 時間である。この単為生殖周期を 10 時間ごとの 7 区間に分け、MF がどのタイミングで子ミジンコの性を決定するのかを調べたところ、それは雌ミジンコの卵巣内の卵母細胞期であることがわかった。すなわち、卵母細胞期に MF が働くと、産まれてくるミジンコの性を雄にするスイッチが入るといえる。さらに雌雄のミジンコをそれぞれ誘導する条件(長日条件、短日条件)下において、単為生殖周期の JHAMT 遺伝子の発現量を調べた。その

結果、JHAMT の mRNA の発現量は、長日条件下ではほとんど変化しなかったのに対して、短日条件では卵母細胞期の直前でのみ有意な上昇がみられた。

次に、雄化の誘導に関して、MF を制御する因子または MF により制御される因子を明らかにするため、短日条件群、長日条件群、長日条件で MF を作用させる群、それぞれにおける卵母細胞期の雌ミジンコを用いて、トランスクリプトーム解析を行った。その結果、イオンチャンネル型グルタミン酸受容体 (iGluR) 遺伝子の多くが短日条件群のみで顕著に発現していることが分かった。ところで iGluR は、N-メチル-D-アスパラギン酸 (NMDA) で活性化される NMDA 型受容体、2-アミノ-3-ヒドロキシ-5-メチル-4-イソオキサゾールプロピオン酸 (AMPA) で活性化される AMPA 型受容体、カイニン酸で活性化されるカイニン酸型受容体の 3 つのサブタイプに分けられる。また、これらの受容体の阻害剤として、NMDA 型受容体の特異的に阻害する MK-801 や、AMPA 型とカイニン酸型受容体の特異的に阻害する NBQX がある。そこで、この 3 種類の受容体サブタイプのうちどれが雄化の誘導に関与しているのかを、これらの阻害剤を用いて調べた。

問題 1 下線部 a) ~ g) に関連する次の問題に答えよ。

- a) 解答欄のエビを横から見た図に、心臓、消化管、脳とそれに続く神経の模式図を、それぞれの位置がわかるように描き入れよ。また、それぞれの名称を引き出し線を用いて示せ。

- b) 遺伝子解析の結果から、ミジンコが北米から日本へ侵入した時期は、一千年から数千年前であることが示唆されている。ミジンコがどうやって侵入したのか、考えを述べよ。

- c) 環境が変化すると無性生殖から有性生殖に変化する生物にはミジンコの他に何がいるか、以下の生物から選んで答えよ。

ムラサキウニ、センチュウ、マダニ、ゾウリムシ、アフリカツメガエル

d) 呼吸のクエン酸回路において、アセチル CoA は(㉞)と結合して(㉟)になる。それぞれの物質名を答えよ。

e) 脂肪やタンパク質を分解する代謝経路は、呼吸の解糖系やクエン酸回路と相互に関連している。脂肪やタンパク質が呼吸基質として使われる場合、脂肪は加水分解されて脂肪酸とグリセリンに、タンパク質はアミノ酸になる。これらの物質はその後どのような過程を経て解糖系やクエン酸回路に入っていくのか、脂肪酸とグリセリン、アミノ酸にわけてそれぞれ順を追って説明せよ。

f) 動物では一次卵母細胞が減数分裂した後に卵が生じる。被子植物では胚のう母細胞が減数分裂した後、胚のう細胞を経て胚のうが形成される。解答欄の胚のうに、卵細胞、助細胞、反足細胞、中央細胞、極核を描き入れ、それぞれの名称を引き出し線を用いて示せ。

g) トランスクリプトーム解析とは、ある細胞(または組織)内の転写産物を網羅的に調べる方法であり、その代表例として DNA マイクロアレイ法がある。DNA マイクロアレイ法の手順について簡潔に説明せよ。

問題 2 下線部①について、次の問題に答えよ。

雌ミジンコの卵母細胞期は、単為生殖周期の 40 時間から 60 時間の間である。MF による性の決定時期が卵母細胞期であると決定するためには、下線①の条件でどのような実験を計画すればよいか、実験の方法と予想される結果について述べよ。なお実験には総数 140 匹のミジンコを用い、使用する水槽の数に制限はない。また実験群では、MF をある溶媒に溶かし、その溶液を水で適切な濃度に希釈した水槽を用い、そこにミジンコを入れることで MF が作用することとする。水槽から水槽へのミジンコの移動には目の細かい網を使う。それぞれの群において、産まれたミジンコの数に差はなかったものとする。

問題 3 下線部②について、次の問題に答えよ。

下線②の実験結果を図1に示している。子ミジンコの雄化の誘導にはグルタミン酸が働くことが重要であると考えられるが、3つのサブタイプの iGluR のうち特に重要と思われるのはどのサブタイプの iGluR と推察されるか、理由とともに答えよ。

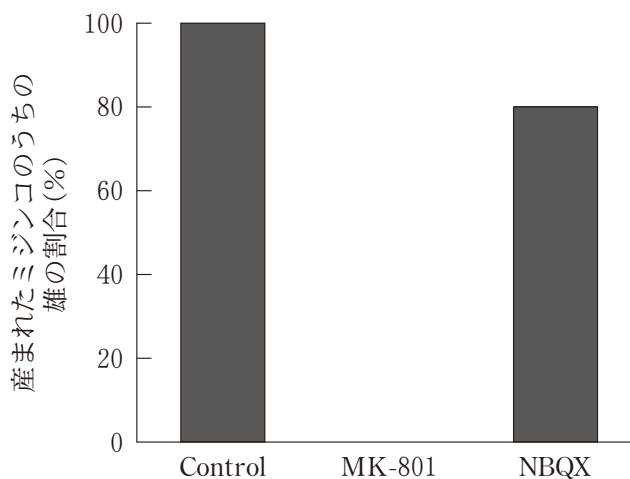


図1：短日条件における iGluR の阻害剤の影響

Control は蒸留水が入った水槽にミジンコを入れた対照群，MK-801，NBQX はそれぞれの薬物の水溶液が入った水槽にミジンコを入れた実験群。

地上に残された楽園「シャングリ・ラ」(チベット奥地に存在するという幻の国)では、人々は争いごともなく、穏やかで平和に暮らしている。1933年に発表されたジェームズ・ヒルトンによる長編小説「失われた地平線」の話である。そこでは不思議なことに歳を取るのが非常に遅い。小説の主人公であるコンウェイは、この地で最高位のラマ僧である大ラマと会い、いろいろな話を聞く。ここでの生活と、自分たちが住んでいた下界の尽き果てぬ欲望うごめく世界とを比較し、落胆するとともに、この大ラマが50歳頃にこの地に来たカトリック神父であり、現在200歳以上という年齢であることに驚く。

人間は実際何歳まで生きることができるのだろうか。ヒトの最長寿命は120歳だと考えられている。15世紀のフランスにおける平均寿命は24歳、18世紀は25歳とそれほど変わらなかったのが、19世紀の初頭には37歳、20世紀初頭には47歳と急激に延びている。^{a)} 当時の世界の平均寿命が、それぞれ26歳と31歳であるのと比べると、いかに延び率が高いかが分かる。その後、開発されたワクチンや抗生物質によって、人類の平均寿命はさらに延びることになる。一方、日本においては、1947年には男性50.1歳、女性54.0歳であったのが、1960年には男性65.3歳、女性70.2歳に、2018年には男性81.25歳、女性87.32歳にと極めて速いスピードで平均寿命が延びている。このように、現代の日本の平均寿命は世界のトップレベルであるが、一方、健康寿命(健康上の問題で日常生活が制限されることなく生活できる期間、いわゆる介護などを必要としない期間)との間に、男性で約9年、女性で約12年の乖離^{かいり}があり、それが問題となっている。

では、他の生物の寿命はどうだろうか。1日しか生きられない生物もいれば、何百年^①と生きる生物もいる。さまざまな種の最長寿命は、生物学的要因と環境要因の両者によって決まる。例えば、野生における最長寿命を比較すると、ハツカネズミは4年、ジャックウサギは13年、チンパンジーは59年、ウマは62年、アジアゾウは86年、ガラパゴスゾウガメは150年、ホッキョククジラは何と211年も生きたという。そうした違いは何に起因しているのだろうか。現在、その違いの主な要因は、サイズの違いに起因しているのではないかと考えられてい

る。成長、^{b)}生殖、^{c)}老化(死)までの過程は、巨大な生物ほどゆっくりと起こるようだ。

老化を遅らせ、寿命を延ばすことができればどんなに良いだろうか、と考える人は少なくあるまい。最近、それを実現できるかもしれないという遺伝子「サーチュイン」^{e)}が発見された。この遺伝子は、最初に酵母で見つかり、その後、ショウジョウバエ、マウス、サル、ヒトと地球上のほとんどの生物が持っている遺伝子であることが分かった。動物実験では、サーチュイン遺伝子の発現量を高めることによって、それぞれの動物の寿命が20~30%延びることが報告された。一方、老化をもたらす具体的な要因に関しても、「ミトコンドリアで発生する活性酸素」や「免疫システムの異常」^{f)}などが分かりはじめている。

さて、^{g)}話を戻そう。「シャングリ・ラ」のコンウェイは、大ドラマから自分の死期がいよいよ近づいたことを告げられる。そして、大ドラマは「シャングリ・ラ」の運命をコンウェイに「^{ゆだ}委ねたい」と言い残して、眠るように息を引き取る。かつて、ペニシリンなどの抗生物質の発見によって、新生児の死亡率が大きく改善した。^{h)}今後、「老化のメカニズム」が解明されることにより、老化を遅らせる物質の発見が相次ぎ、また再生医療が進歩し、普及する時代が来るかもしれない。そしてそれらによって平均寿命の上昇だけでなく、健康寿命の上昇が生じ、両者に差がなくなれば、「シャングリ・ラ」の大ドラマのように大往生の時代の到来も夢物語ではないかもしれない。ただ、それとともに浮上してくる生命倫理上の問題に関して、我々は常に問いかけ、考え続けなければならない。

問題 1 下線部 a)~h)に関連した次の問題に答えよ。

a) 当時の欧州ではチフスやコレラなどの多くの伝染病が流行し、多数の人々が亡くなっていたが、19世紀に入るとフランスなどでは急速に平均寿命が延びた。そのことに最も貢献している理由は何か、考えを述べよ。

b) 個体の成長には、主に脳下垂体前葉から分泌される成長ホルモンが関与している。そのことが原因で低身長症になった子供がいたとする。どこの何に原因があつて低身長になったと考えられるか、考えられる原因の場所(器官名)とその理由を4つ書け。

- c) 男性と女性で発生率が異なる病気が存在する。「赤緑色覚異常(赤緑色覚多様性)」は男性の方が起こりやすいが、なぜか。その理由を答えよ。
- d) 歳をとると多くのヒトが老視(老眼)になる。水晶体の性質がどのように変化すると老視になると思うか、推測して答えよ。
- e) サーチユイン遺伝子はヒストン脱アセチル化酵素を作る遺伝子として知られているが、一般にヒストンにアセチル基が付加されるとどんなことが起こるか答えよ。
- f) 解答欄にあるミトコンドリアの断面模式図を、以下の用語を引き出し線を用いて示し完成させよ。ただし、図にないものは描き入れよ。
外膜、内膜、クリステ、マトリックス、ミトコンドリア DNA
- g) 1型糖尿病、重症筋無力症、関節リウマチのような病気を総称して何と呼ぶか答えよ。
- h) 抗生物質とは、微生物が産生する化学物質であり、他の微生物の生育や機能を阻害する物質である。では、ペニシリンは微生物のどこに作用して、その増殖を抑制するのか答えよ。

問題 2 下線部①について、次の問題に答えよ。

- 1) 図2のAはヒトの死亡率と生殖能力(女性)を示したものである。B~Fの生物は、チンパンジー、ハタネズミ、コブハクチョウ、アナホリガメ、グッピーのいずれかのデータを示している。では、その中でアナホリガメのグラフはどれか答えよ。また、そう考えた理由を述べよ。
- 2) 図2のGはヒドラの死亡率と生殖能力を示しているが、なぜ図のようになるのか、その理由を考えて述べよ。

3) 図2のHはオオカメノキ(低木)の死亡率と生殖能力を示しているが、なぜ図のようになるのか、その理由を考えて述べよ。

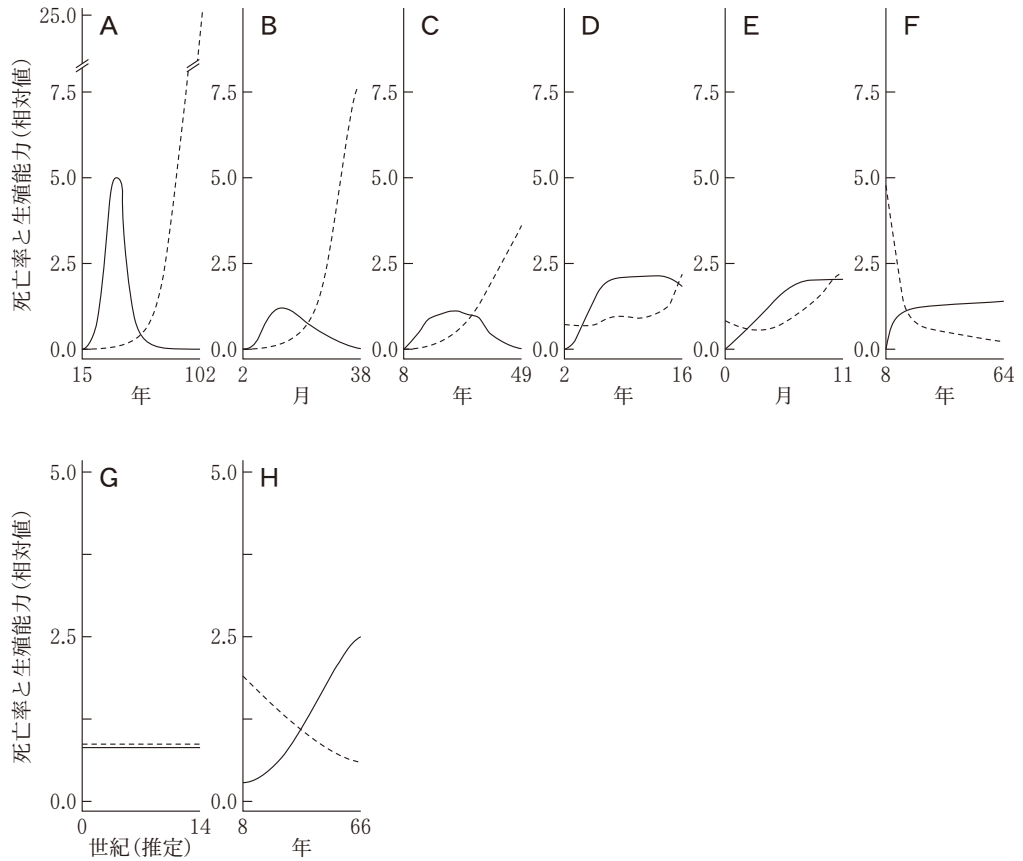


図2 それぞれの生物における年齢別の死亡率(---)と生殖能力(—)の比較
雌雄がある動物は雌のデータを示している。