

# 生物総合実践攻略【夏の陣】

北海道 manavee 生物科編

2013 年作成

©北海道 manavee 生物科



## はじめに

この講座では、国公立二次および私大入試の難問を克服できるよう、「**生物の重要事項を深く理解する**」ことを最大の目標にしている。既に、一通りの知識は身につけ、問題演習もある程度できている諸君も多いと思われるが、これからさらに知識を自由に使いこなせるよう、やや難しい問題にも自信をもてるよう、応用力に磨きをかける必要がある。

「生物総合実践攻略【夏の陣】」では、授業で解説する「演習問題」として、難関大のうち生物を受験科目として扱う大学(旧七帝大・大阪市立大・岡山大・神戸大・首都大学東京・信州大・千葉大・筑波大・東京医科歯科大・広島大・横浜国立大・名古屋市立大・東京理科大・明治大・東京慈恵会医科大)から **2013 年に**出題された問題(1 題のみ 2011 年)の中から、特に頻出のテーマを意識した問題を多く取りあげるよう努めた。また、そのほとんどは、生物の重要事項に基づいた問題なので、単に答えを聞くだけでなく、その問題の背景となる事柄の解説やその周辺の重要事項の解説をよく聞き、理解を深めてほしい。

なお、近年発展が著しい遺伝子工学に関連した事項が入試にかなりよく出題されているので、諸君に遺伝子工学の知識を重点的に入れてもらうために、巻末に遺伝子工学を抜粋した項目「**遺伝子工学総整理**」を作っている。授業では扱わないが必要に応じて参考にしてほしい。

授業に先立って予習し、できる範囲内で答案を作成した上で受講すること。自分の力だけでは歯が立たない問題については、教科書や参考書を調べて何とか答案を作成するよう試みる。なお、1 問当たり 20～30 分程度で解説を行う予定である。

授業のあと、なるべく早いうちに**しっかり復習**すること。予習の段階でほとんど歯が立たなかった人は、復習に倍の時間をかけること。

本講座・テキストを十二分に活用することにより、諸君の入試対策に大いに役立つことを願っている。

北海道 manavee 生物科 編者著す

～CONTENTS～

2013年難関大生物出題傾向・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4  
 演習問題・・ 5

- ① 細胞の構造と機能(京都大・第2問, 東京理科大・第2問)
- ② 光合成(広島大・第2問, 東京大・第2問)
- ③ 植物の維管束と環境応答(大阪市立大・第4問, 東京大・第2問)
- ④ 神経細胞(筑波大・第2問, 名古屋市立大・第3問)
- ⑤ 血液の働き(東京慈恵会医科大・第2問, 東京理科大・第2問)
- ⑥ 免疫(大阪大・第1問, 九州大・第1問, 岡山大・第4問)
- ⑦ 植物の生活環と染色体の挙動(東北大・第3問)
- ⑧ がん(名古屋大・第1問, 京都大・第4問)
- ⑨ ハイブリッド形成による遺伝子解析(名古屋市立大・第1問(2011))
- ⑩ ゲノムプロジェクト(東京大・第3問)
- ⑪ 密度効果(筑波大・第3問, 首都大学東京・第3問)
- ⑫ 群落の遷移, 水界の生態系(京都大・第3問)
- ⑬ 種分化(千葉大・第9問)
- ⑭ 進化の仕組み(横浜国立大・第4問)
- ⑮ ハーディ・ワインベルグの法則(千葉大・第8問)

(演習問題としては下線付きを採用(一部改))

遺伝子工学総整理・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 57

2013年難関大生物出題傾向

|         | A  | B  | C | D | E  | F  | G  | H  | I  | J  |
|---------|----|----|---|---|----|----|----|----|----|----|
| 北海道大    |    | 1  |   | 1 | 1  | 1  | 1  |    |    |    |
| 東北大     |    |    | 1 |   | 1  | 1  | 1  |    |    | 1  |
| 東京大     |    |    |   | 1 | 1  |    | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 名古屋大    |    |    | 1 | 1 | 1  | 1  |    | 1  |    |    |
| 京都大     | 1  |    | 1 | 1 | 1  |    |    | 1  | 1  |    |
| 大阪大     |    |    | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  |    |    |    |
| 九州大     |    | 1  |   |   | 1  |    | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 大阪市立大   | 1  |    |   |   | 1  | 1  |    |    | 1  |    |
| 岡山大     |    |    |   | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  |    |    |
| 神戸大     | 1  | 1  |   | 1 |    |    | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 首都大学東京  | 1  | 1  | 1 |   | 1  |    |    |    | 1  |    |
| 信州大     |    | 1  |   |   |    | 1  |    | 1  |    |    |
| 千葉大     | 1  |    | 1 |   | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 筑波大     |    | 1  |   |   |    | 1  |    |    | 1  | 1  |
| 東京医科歯科大 | 1  |    | 1 |   |    | 1  | 1  |    |    |    |
| 広島大     |    | 1  | 1 |   | 1  |    |    | 1  | 1  | 1  |
| 横浜国立大   |    | 1  |   |   | 1  | 1  |    |    | 1  | 1  |
| 名古屋市立大  | 1  | 1  |   | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  |    | 1  |
| 東京理科大   | 1  | 1  |   |   | 1  |    | 1  |    |    |    |
| 明治大     | 1  | 1  |   |   | 1  |    | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 東京慈恵会大  | 1  | 1  |   | 1 | 1  |    | 1  |    | 1  | 1  |
| 出題校数    | 10 | 12 | 8 | 9 | 17 | 12 | 13 | 11 | 12 | 11 |

凡例

- A 細胞と組織
- B 代謝
- C 生殖・発生
- D 遺伝
- E 分子生物
- F 刺激と反応
- G 体液の恒常性
- H 植物の反応と調節
- I 生態
- J 進化と系統

[編者コメント]

「分子生物」からの出題が非常に目立ち、とりわけ難しい問題ではないが「一遺伝子一酵素説」と「遺伝」のコラボ問題、DNA断片の電気泳動の問題が目についた。「体液の恒常性」・「代謝」からの出題も多かった。全部で21校を挙げているが、最大難易度が「やや難」になるようなごくごく標準的な年になっている。また、2013年現在、選択分野となっている「進化と系統」・「生態」のうち片方の分野からのみ出題した大学があるので、やはり両分野とも学習しておくことが望ましい。

## 演習問題

一部の演習問題は，他大学との複合問題になっていたり，部分的に原本とは違う問題にしていたりする場合があります。

北海道 manavee 生物科編者

演習問題 1 細胞の構造と機能(京都大・第2問, 東京理科大・第2問)

(A) 植物は、浸透圧を調節することで体の形を変化させることができる、その仕組みを探るためある植物の茎から、表皮と柔組織を含む細長い組織片を切り出しさまざまな濃度のショ糖溶液につける実験を行ったところ(図1)、低いショ糖濃度では柔組織側の細胞がより膨らみ、組織片が反りかえった。図2に、このときの柔組織側および表皮側の粒織の長さ、ショ糖濃度の関係を示した。ここでグラフのたて軸の長さの値は、切り出した直後の長さを1とした相対値を示す。

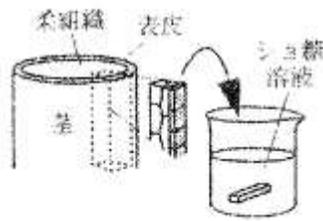


図1

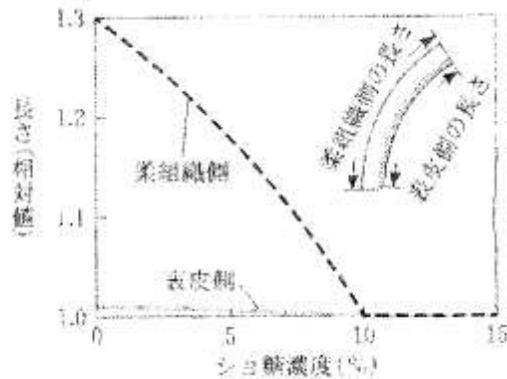


図2

問1 この組織片の細胞に対して等張液となるショ糖溶液の濃度(%)を解答欄(1)に、それより高い濃度で細胞に見られる現象を表す語句を解答欄(2)に記せ。

問2 ショ糖濃度を図2のように変化させたときの細胞の長さ膨らみの関係を考えよう。図3に示す(あ)~(か)から、この関係を示すもっともふさわしいグラフを柔組織側と表皮側の細胞のそれぞれについて選び、その記号と選んだ理由を、柔組織側については解答欄(1)、(2)に、表皮側については解答欄(3)、(4)に記せ。ただし、細胞は茎の伸長方向にのみ変形したとする。グラフの横軸の値は、切り出した直後の細胞の長さを1とした相対値を示す。等張液の浸透圧は7.0気圧であったとする。

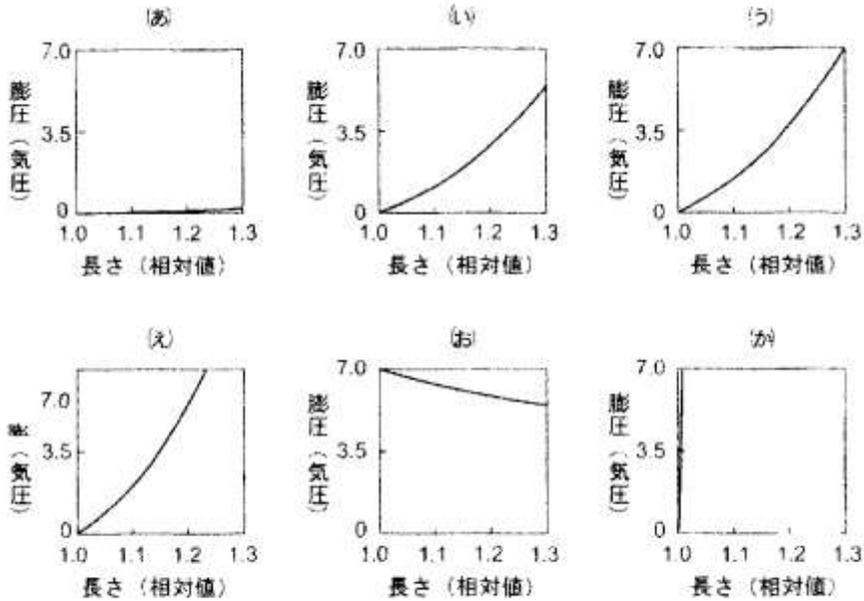


図3

問3 気孔を構成する孔辺細胞では、外部からの刺激に応じて膨圧が変化しその形が変わる。孔辺細胞の膨圧を低下させる刺激の例を1つあげ、解答欄(1)に記入せよ。また、膨圧が変化したときにどのような仕組みで孔辺細胞の形が変化するのか、解答欄(2)の枠の範囲内で説明せよ。

(B) 真核生物の細胞には、原核生物とは異なり核がある。細胞内の核以外の部分は細胞質と呼ばれ、その中にはさまざまな細胞小器官が存在し、その隙間は細胞質基質で満たされている。通常、核は細胞に1つだけ存在するが、ヒトの[ア]細胞のように複数の核が存在する場合や、ヒトの[イ]のように核のないものも存在する。核は核膜と呼ばれる二重の単位膜に包まれている。核と細胞質は核膜に多数存在する[ウ]でつながっており、核と細胞質間の物質の輸送がここで行われている。核の中に存在するタンパク質は、細胞質にあるリボソームで合成された後、[ウ]を通して核内に輸送される。このような核内へのタンパク質輸送について以下の実験を行った。

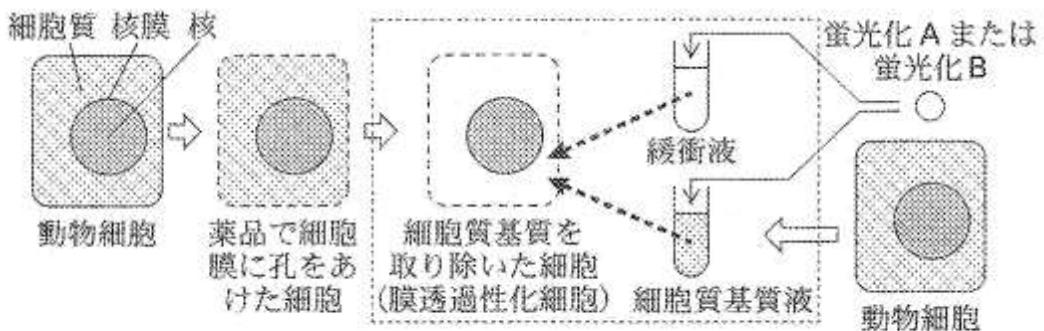


図4

図 4 に示すように、まず培養した動物細胞を薬品で処理することで、その細胞膜に多数の小さな孔をあけその後流動性のある細胞質基質を取り除いた細胞(膜透過性化細胞)を作製した。また、動物細胞核内にあるタンパク質 A と植物由来タンパク質 B のそれぞれに蛍光物質を結合させたものを作製した(蛍光化 A と蛍光化 B)。植物由来タンパク質 B は、[ ウ ] を形成する成分に効率よく結合する性質をもつ。そして動物細胞の細胞破碎液から流動性のある細胞質基質液を準備した。この細胞質基質液または細胞成分を含まない緩衝液を蛍光化 A あるいは蛍光化 B と混合し、膜透過性化細胞の細胞質領域に入れ、条件を変えた 6 種類の実験を行った(表 1)。これらすべての実験において、反応溶液には十分の ATP が含まれているものとする。反応の後、蛍光を検出できる顕微鏡を使って、膜透過性化細胞内で蛍光が存在する部位を観察した。表 1 には、実験条件に加え、蛍光化 A を用いた実験結果を示す。蛍光化 B を用いたすべての実験では、核膜のみに強い蛍光が観察された。

表 1

| 実験 | 反応溶液      | 反応温度    | 結果(蛍光化 A の存在部位) |    |    |
|----|-----------|---------|-----------------|----|----|
|    |           |         | 細胞質             | 核膜 | 核内 |
| 1  | 緩衝液       | 37℃     | ++              | -  | -  |
| 2  | 細胞質基質     | 37℃     | -               | -  | ++ |
| 3  | 煮沸した細胞質基質 | 37℃     | ++              | -  | -  |
| 4  | 細胞質基質     | 15℃     | -               | +  | +  |
| 5  | 細胞質基質     | 0℃      | -               | ++ | -  |
| 6  | 細胞質基質     | *0℃→37℃ | -               | -  | ++ |

蛍光の強さ：++，強：+，中程度：-，弱あるいは無し

\*0℃で実験した後、37℃に上げて実験を行った。

問 4 文中の[ ア ]～[ ウ ]に適切な語句を記入せよ。

問 5 細胞質基質に蛍光化していない B を大量に追加して、蛍光化 A を用いて実験 2 と同様の反応を行うと、実験 1 と実験 3 の結果が同じになった。次に細胞質基質に蛍光化していない B を大量に追加して、蛍光化 A を用いて実験 5 と同様の反応を行った。この実験の結果、蛍光化 A の蛍光が強く検出される場所はどこか、その細胞内部位名を解答欄(1)に記入し、また、その根拠を解答欄(2)の枠の範囲内で記述せよ。

問 6 タンパク質 A の核内への輸送には、ATP の加水分解によるエネルギーが必要であることが分かっている。ここで事前に細胞質基質液に ATP 分解酵素を加えておき、ATP が存在しない細胞質基質液を作製し、これと蛍光化 A を用いて実験 2 と同様の反応を行った。この実験の結果、蛍光化 A の蛍光が強く検出される場所はどこか、その細胞内部位名を

解答欄(1)に記入し、また、その根拠を解答欄(2)の枠の範囲内で記述せよ。

演習問題 ② 光合成(広島大・第2問, 東京大・第2問)

緑色植物の葉肉細胞には、葉緑体と呼ばれる光合成を行うための細胞小器官が存在する。葉緑体は二重膜で包まれた直径5~10 $\mu\text{m}$ の粒状構造で、内部にはチラコイドと呼ばれる扁平な袋状の膜構造が発達しておりところどころで重なって層状の〔①〕を形成している。チラコイド膜にはクロロフィルaをはじめ、〔②〕、〔③〕といった複数の光合成色素が存在しており、光エネルギーを効率良く吸収することができる。光合成の光化学反応は、このチラコイド膜で行われる。また、チラコイド膜以外の基質部分はストロマと呼ばれ、二酸化炭素の固定反応が行われる。二酸化炭素の固定反応は、発見者にちなんでカルビン・ベンソン回路と呼ばれる。

カルビン・ベンソン回路において、ルビスコと呼ばれる酵素は、二酸化炭素を固定するもっとも初期の反応を触媒している。ルビスコは、基質として二酸化炭素1分子と(a)炭素数〔ア〕の物質1分子から、(b)炭素数〔イ〕の物質を〔ウ〕分子生成する反応を触媒している。この反応以外にも、ルビスコは基質として酸素1分子と炭素数〔ア〕の物質1分子から、炭素数〔イ〕と炭素数〔エ〕の物質をそれぞれ1分子ずつ生成する反応も触媒する(図1)。

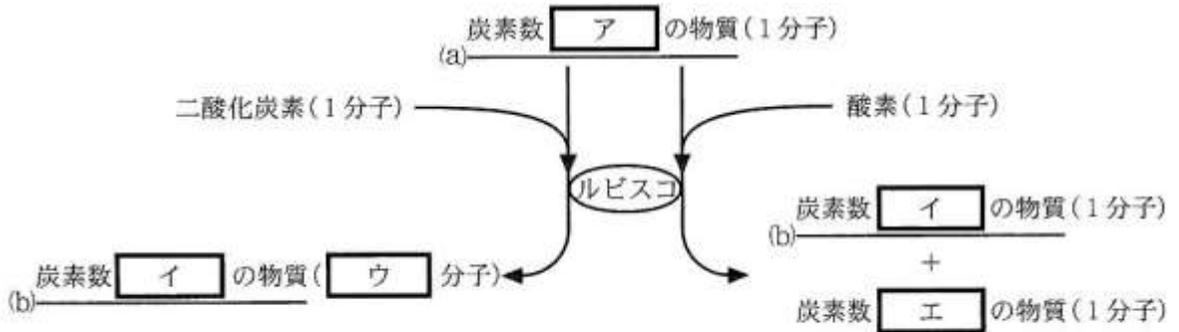
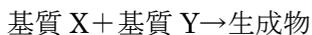


図1

一般に、ルビスコ反応のように



で示される酵素反応では、酵素濃度が一定で、基質Xの濃度が十分高い場合、基質Yの濃度と酵素反応速度の関係は図2のように表される。図2の $K_m$ はミカエリス定数と呼ばれ、酵素反応速度が最大反応速度 $V_{\text{max}}$ の半分 $\frac{V_{\text{max}}}{2}$ になるときの基質濃度であり、酵素の基質Yに対する親和性の尺度となっている。

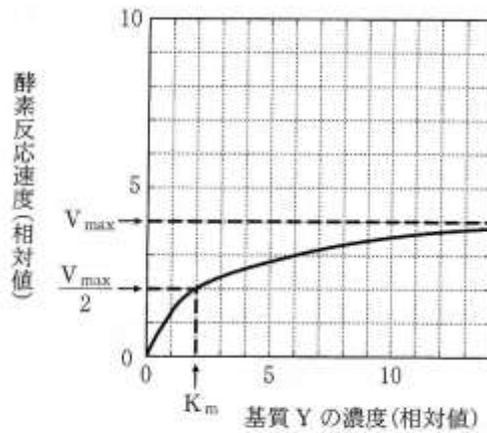
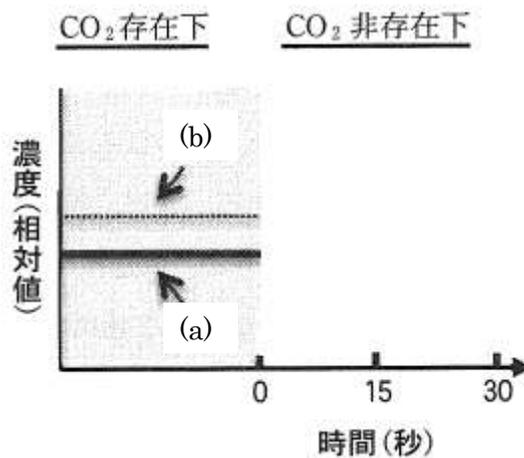


図 2

問 1 上の文章中の[ ① ]～[ ③ ]に当てはまる適切な語句を,[ ア ]～[ エ ]に当てはまる適切な数字を記入せよ。

問 2 下線部(a)および(b)の物質はそれぞれ何か, その物質名を記入せよ。

問 3 盛んに光合成をしている植物への二酸化炭素の供給を人為的に遮断した。その後 30 秒間の(a)および(b)の相対的な濃度変化を示す線を描き, グラフを完成させよ。



問 4 ルビスコが基質として二酸化炭素と酸素のどちらを用いるかは, 二酸化炭素と酸素の濃度の比に依存しており, 二酸化炭素および酸素を用いる反応速度の比  $\frac{v_{CO_2}}{v_{O_2}}$  は(式 1)であらわすことができる。

$$\frac{v_{CO_2}}{v_{O_2}} = \frac{\frac{V_{max CO_2}}{K_m CO_2}}{\frac{V_{max O_2}}{K_m O_2}} \times \frac{\text{二酸化炭素濃度}}{\text{酸素濃度}} \quad (\text{式 1})$$

(式 1)における記号の説明

$V_{CO_2}$  : 二酸化炭素と下線部(a)の物質を基質とするルビスコの反応速度

$V_{O_2}$  : 酸素と下線部(a)の物質を基質とするルビスコの反応速度

$K_m CO_2$  : ルビスコの二酸化炭素に対する  $K_m$

$K_m O_2$  : ルビスコの酸素に対する  $K_m$

$V_{max CO_2}$  : 二酸化炭素と下線部(a)の物質を基質とするルビスコの反応速度

$V_{max O_2}$  : 酸素と下線部(a)の物質を基質とするルビスコの反応速度

二酸化炭素および酸素を基質として用いるルビスコの反応が下記の条件で起こるとき、反応速度の比  $\frac{V_{CO_2}}{V_{O_2}}$  はどのような値になるか。解答は小数点以下第 2 位を四捨五入して示せ。

反応の条件

- $K_m O_2$  は  $K_m CO_2$  の 20 倍
- $V_{max CO_2}$  は  $V_{max O_2}$  の 4.5 倍
- 水中の酸素濃度は二酸化炭素濃度の 23 倍
- 下線部(a)の物質は十分な量存在する

問 5 (式 1)における  $\frac{V_{CO_2}}{V_{O_2}}$  の値が大きくなることは、植物における正味の二酸化炭素固定化効率を上げることになる。これは植物の成長において重要な意味を持つ。C<sub>4</sub>植物は  $\frac{V_{CO_2}}{V_{O_2}}$  の値を大きくするために、C<sub>4</sub>ジカルボン酸回路と呼ばれる機構を持つ。(式 1)を考慮して、この回路の役割を簡潔に述べよ。

問 6 C<sub>4</sub>植物が C<sub>3</sub>植物に比べて強光下での生育に適している理由を解答欄に答えよ。



演習問題 ③ 植物の維管束と環境応答(大阪市立大・第4問, 東京大・第2問)

陸上植物に関する次の文章を読み、以下の問に答えよ。

植物は、組織や器官の発達に程度と生殖の方法の違いなどから分類される。原始的で維管束を持たないのがコケ植物である。シダ植物は、根・茎・葉を分化させ、さらに①物質の通路となる維管束を発達させた。

2億5千万年前の古生代末に、それまで栄えた多くのシダ植物の大絶滅が起きた。変わって中生代に繁栄したのが、②イチョウなどの裸子植物である。裸子植物は、種子をつくることによって陸生化を達成した。中生代の後半に出現した被子植物は、胚珠を子房につつんで保護する新型の植物で、白亜紀に急速に反映して森林を形成した。

現在の地球上にみられる森林は、地域によって外観上の様相が異なる。この違いは、主に気温と降水量の違いに対応している。森林のうち、年間を通しえ高温多雨の熱帯地方にみられるのは、常緑広葉樹を主とする熱帯雨林である。熱帯地方に比べて、気温が低くなる時期がある亜熱帯や暖温帯には、常緑広葉樹を主とする亜熱帯多雨林や照葉樹林がみられる。③冬の厳しい冷温帯では、冬に落葉する夏緑樹林が発達し、雨季と乾季が明瞭な一部の熱帯・亜熱帯では、雨季に葉をつけ乾季に落葉する雨緑樹林が成立する。

問1 下線部①に関して、維管束を構成する道管・仮道管と師管の物質輸送における役割を述べよ。

問2 維管束には、物質輸送以外の役割もある。その役割は何か、答えよ。

問3 シダ植物と裸子植物は、維管束系に共通の特徴を持っている。その特徴は何か、答えよ。

問4 下線部②に関して、イチョウが持つある特徴は、裸子植物がシダ植物から進化してきたことを示唆している。その特徴は何か、答えよ。

問5 下線部③に関して、夏緑樹林や雨緑樹林の樹木が落葉することは、樹木全体の生命活動の維持においてどのような意味を持つと考えられるか、述べよ。

問6 同種かつ同齡の樹木を高密度で植え、時間の経過とともに枯死する樹木の数を調べた。「大小様々な丈の樹木を植えた場合」と「丈のそろった樹木を植えた場合」を比較すると、前者において、より多くの樹木が枯死した。なぜ、そのような結果が得られたのか、理由を述べよ。



演習問題 4 神経細胞(筑波大・第2問, 名古屋市立大・第3問)

T 博士はニューロンの性質を生かした移動物体探知装置を開発したいと考え、次の手順で試作品を作った。図1はその模式図である。まず、底面に1cm感覚で格子状に細かい溝がほられた特殊な培養皿を用意した。この溝にはニューロンの軸索の接着と伸長を促す物質が塗られている。また、溝の交点[(X, Y)で示される]には金属端子が露出しており、そこに接触している軸索を電気刺激で興奮させることができる。さらに、交点(1, 5)と(7, 5)には物体を感知するセンサーが埋め込まれている。このセンサーは、(a)視細胞の光受容の仕組みを応用したもので、球体が真正面に到達するとそれに接触しているニューロンを興奮させる。次に、T 博士は同じ種類の2つのニューロンAとBの細胞体をそれぞれのセンサー上に1個ずつ配置し、更に別の種類のニューロンCの細胞体を交点(8, 2)付近に配置して、3週間培養した。するとニューロンAとBの細胞体から出た軸索が(b)ニューロンCに向かって伸長し、その結果、交点(8, 2)でそれぞれ軸索終末部を形成した。最後に、T 博士はニューロンCの軸索末端に特殊な信号変換器を接続し、ニューロンCが興奮した時だけベルが鳴るようにした。

続いて、T 博士は試作品の性能を評価するため次の2つの実験を行った。

【実験1】 ニューロンAとBの軸索をそれぞれ交点(1, 5)と(7, 5)の位置で同時に1回電気刺激したがベルはならなかった。そこで、ニューロンCの細胞体にガラス電極を挿入し、同じ実験操作を行ったときに生じる膜電位の変化を測定したところ、図2の結果を得た。この結果から、ニューロンCの膜電位は、ニューロンAやBの刺激に応じて-80mV から-70mV に一時的に変化することが分かった。この電位変化は、(c)ニューロンAやBの軸索終末部から放出された神経伝達物質をニューロンCが受容したことにより生じたと考えられる。

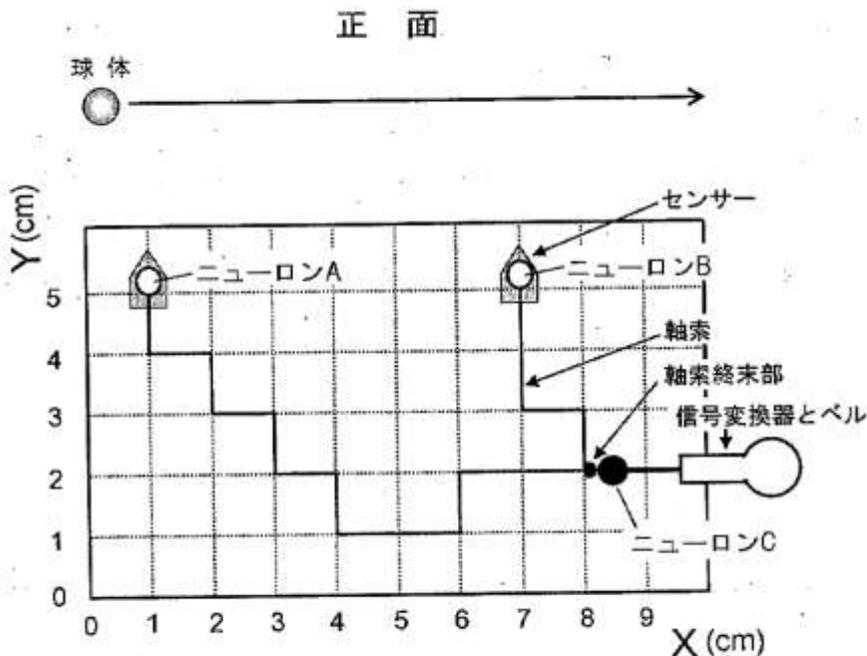


図1

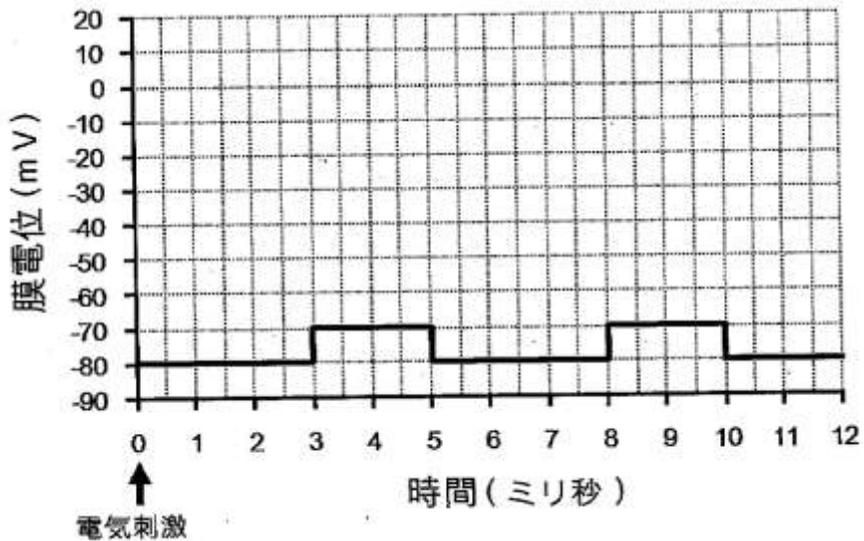


図 2

【実験 2】 ニューロン A と B の軸索を、それぞれ交点(6, 1)と(7, 4)の位置で(a)同時に 1 回電気刺激したところ、今度はベルが鳴った。ところが、ニューロン A と B の刺激間隔(刺激開始時間のずれ)を大きくしていくと急にベルが鳴らなくなった。そこで、実験 1 と同様にニューロン C の細胞体にガラス電極を挿入し、同じ操作を行ったときに生じる膜電位の変化を測定した。図 3 は、ニューロン A と B の刺激間隔と、ニューロン C で記録された膜電位変化の最大値の関係を表すグラフである。

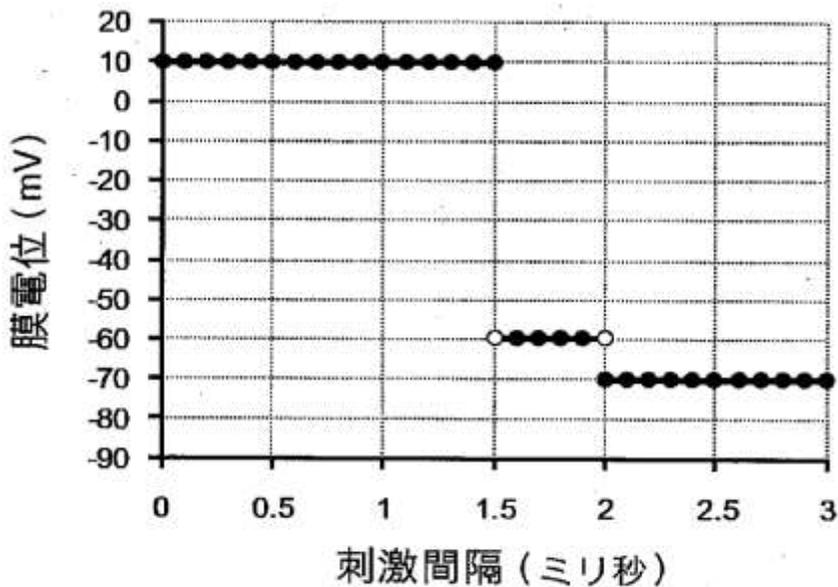


図 3

問 1 下線部(a)に関して、脊椎動物の桿体細胞に存在する光受容タンパク質の名称を記せ。

問2 下線部(b)のように、ニューロン A と B の軸索がニューロン C の細胞体に向かって伸長したのはなぜか。考えられる理由を 50 字以内で記せ。

問3 実験 1 に関連して、以下の設問(1)～(3)に答えよ。

- (1) ヒトの運動ニューロンと骨格筋の間でも下線部(c)と同様の現象がみられるが、このとき運動ニューロンから放出される神経伝達物質は何か。その名称を記せ。
- (2) ニューロン A と B の軸索における興奮の伝導速度を  $\text{m/s}$  の単位で求めよ。ただし、それぞれの伝導速度は等しいものとする。また、小数点第 1 位以下は切り捨てよ。
- (3) 図 1 に示すように、装置の正面を小さな球体が  $8\text{m/s}$  の速さで移動した。このときニューロン C の細胞体から記録される膜電位変化を解答用紙のグラフに記せ。ただし、球体は装置と同じ平面上を移動するものとする。それぞれのセンサーは、球体の中心が真正面に到達したときにのみ反応し、摂食しているニューロンに 1 回だけ興奮を生じさせるものとする。また、グラフの横軸の 0 は、球体の中心が交点(1, 5)のセンサーの真正面に到達した時点を表す。

問4 実験 2 に関連して、以下の設問(1), (2)に答えよ。

- (1) 下線部(d)のようにベルが鳴ったのはなぜか。その理由を次の 3 つの語を用いて、100 字以内で記せ。(閾値・神経伝達物質・活動電位)
- (2) 問 3 の(3)と同様に、装置の正面を小さな球体がある一定の速さで移動するものとする。図 3 の結果から、この装置が検知できる(すなわちベルが鳴る)球体の最小の速さと最大の速さを  $\text{m/s}$  の単位で求めよ。ただし、小数点第 1 位以下は切り捨てよ。



演習問題 5 血液の働き(東京慈恵会医科大・第2問, 東京理科大・第2問)

(A) 多くの細胞には,  $\text{Na}^+$ や $\text{K}^+$ のような陽イオンだけを輸送するイオン輸送タンパク質の他に,  $\text{HCO}_3^-$ (炭酸水素イオン)や $\text{Cl}^-$ (塩化物イオン)のような陰イオンだけを輸送するイオン輸送タンパク質を持っている。例えば, 赤血球は, 細胞の内側と外側にある $\text{HCO}_3^-$ と $\text{Cl}^-$ を同時に輸送する陰イオン輸送タンパク質を持っている(図1)。個の輸送タンパク質は,  $\text{HCO}_3^-$ をどちらの方向(細胞内から細胞外あるいは, 細胞外から細胞内)にも輸送することができ,  $\text{HCO}_3^-$ が一方向に輸送されると, それとは逆方向に $\text{Cl}^-$ が輸送される。

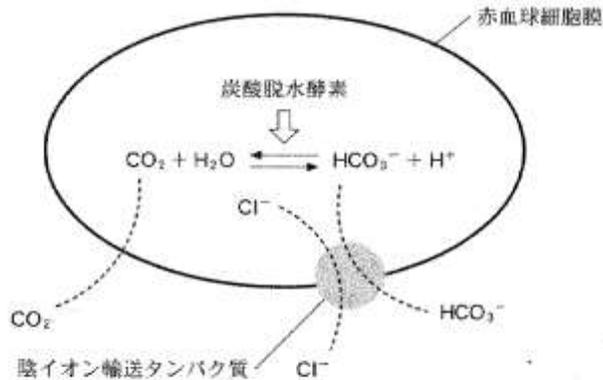


図1 赤血球における陰イオンと二酸化炭素の輸送  
陰イオンと $\text{CO}_2$ の移動は破線で示されている。炭酸脱水酵素による反応は、両方向に進むことが可能である。

肺胞以外の組織の細胞で生じた $\text{CO}_2$ (二酸化炭素)は, 拡散により毛細血管内の赤血球に入る。すると, 赤血球内に入った $\text{CO}_2$ の大部分は, この中に豊富に存在する脱炭酸酵素の作用により水溶性の高い $\text{HCO}_3^-$ に変換される。この酵素は $\text{CO}_2$ から $\text{HCO}_3^-$ への変換, 逆に $\text{HCO}_3^-$ から $\text{CO}_2$ への変換を促進する。脱炭酸酵素により生成した $\text{HCO}_3^-$ は, 陰イオン輸送タンパク質により血漿中に排出され, 反対に血漿中にある $\text{Cl}^-$ が赤血球内に輸送される。このような一連の反応の結果, 血液中のほとんどの $\text{CO}_2$ は,  $\text{HCO}_3^-$ の形で血漿中に溶け込む。そして解けた $\text{HCO}_3^-$ は, 組織から肺への循環により運ばれる。

$\text{HCO}_3^-$ を大量に含む血液が肺胞に到着すると, 赤血球では $\text{HCO}_3^-$ と $\text{CO}_2$ の移動が組織の血液中とは反対方向に起こる。このため, 血液中の $\text{HCO}_3^-$ は $\text{CO}_2$ に戻されて体外に放出されることになる。

問1 健康な人の肺胞と肺胞以外の組織において, 陰イオン輸送タンパク質と脱炭酸脱水酵素が働く場合, 図1の赤血球膜を挟んだ $\text{CO}_2$ と $\text{HCO}_3^-$ の移動はどのようになるか。肺胞と肺胞以外の組織における移動について, 最も適切な記述を以下の選択肢①~③から選び, 表1を完成させよ。

- ① 赤血球の細胞外から細胞内へ動く。
- ② 赤血球の細胞内から細胞外へ動く。
- ③ 見掛け上動かない。

|         | CO <sub>2</sub> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |
|---------|-----------------|-------------------------------|
| 肺胞      | (ア)             | (イ)                           |
| 肺胞以外の組織 | (ウ)             | (エ)                           |

表 1

問 2 赤血球の陰イオン輸送タンパク質は、赤血球が組織あるいは肺胞のどちらの毛細血管にあるときでも、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>を受動輸送することが知られている。赤血球の陰イオン輸送タンパク質で HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の濃度勾配が生じる必要がある。このときの HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の濃度は赤血球の細胞の内外でどのようになっていると考えられるか、述べよ。

問 3 有酸素運動している場合、肺胞と筋組織では赤血球の陰イオン輸送タンパク質による HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の輸送速度(単位時間当たりの輸送量)は、運動していない安静時と比較してそれぞれどのようなになると考えられるか。理由を付して述べよ。

(B) ABO 式血液型の判定をするために、100 人の集団について血液の凝集反応を調べた。その結果、A 型のヒトの血清で凝集反応を示す人が 35 人、抗 A 血清で凝集反応を示す人が 50 人、いずれの血清でも凝集反応を示さない人が 25 人であった。

問 4 A および B 抗原は赤血球のどこに存在するか答えよ。

問 5 この集団における A 型と AB 型の人数をそれぞれ求めよ。

## 演習問題 ⑥ 免疫(大阪大・第1問, 九州大・第1問, 岡山大・第4問)

(A) 免疫は生体防御の重要な仕組みであるが、外来の抗原により抗原抗体反応が過剰に起こると、生体に不都合な病気の症状が現れることがある。このような過剰な反応はアレルギーと呼ばれ、卵などの特定の食物を食べるとじんましんや、杉などの花粉による花粉症などがよく知られている。例えば、花粉症の場合、花粉が目や鼻の粘膜に付着すると水分を含んでふくらみ、破れて抗原となる物質が放出され体内に侵入する。この抗原物質はアレルギー反応を起こすため[ア]と呼ばれており、体内に侵入した[ア]は、まず樹状細胞などの食細胞により貪食される。細胞内で部分的に消化を受けた[ア]はヒト主要組織適合抗原とともに細胞表面へ出され、抗原として[イ]に提示する。[イ]は活性化し、細胞間の情報伝達物質である[ウ]を産生する。[ウ]により[エ]の増殖と分化が起こり、[ア]に対して免疫グロブリン E(IgE)という抗体が産生される。産生された IgE 抗体は、粘膜や皮膚にある[オ]という細胞表面にある IgE 受容体と抗体の定常部で結合する。[オ]は、結合する IgE 抗体が一定以上になったとき、再び[ア]が体内に侵入して IgE 抗体と結合すると活性化され、化学伝達物質を細胞外に多量に放出する。化学伝達物質は周囲の組織中の細胞表面にある受容体に結合していろいろな作用を示す。この結果、アレルギー症状が現れる。

最近、①ヒト IgE 抗体に対するモノクローナル抗体(以下、抗体 Y という)が、新しいアレルギーの治療薬として臨床応用されている。モノクローナル抗体とは、単一の抗体産生細胞に由来するクローンから得られた抗体のことで、1 種類の抗原決定基と結合して反応するため抗原特異性が高い。

しかし、[エ]は正常な体細胞であるので、一定期間培養すると細胞が[カ]するため、試験管内で多量の抗体を得ることは困難である。このため分化した体細胞とがん細胞を人工的に[キ]することによって、特定の細胞の分化形質を保持させながら半永久的に増殖させる細胞を得る技術が開発されている。この技術を応用して、特定の抗原に感作された(刺激された)動物から得られた B 細胞とがん化したリンパ球とを[キ]することにより、その抗原に対応する抗体を限りなく分泌する細胞(「ハイブリドーマ」と呼ばれる)を作ることができる。この技術では、特殊ながん細胞とその増殖を制御する薬剤が用いられる。②この単一の抗体を多量に作成する技術により得られた抗体は病気の治療などに用いられている。

## 【実験 1】

[ア]である物質 Z に対する特異的な IgE 抗体を恒常的に高い濃度で産生している遺伝子改変マウス(以下、マウス P という)がある。マウス P の静脈内にエバンスブルーと呼ばれる青色色素を注入後、右耳に生理食塩水に溶解した物質 Z を、左耳に生理食塩水を皮内注射した。③一定時間後マウス P の右耳の皮膚が青く染まったが、左耳の皮膚は全く染まらなかった。また、正常マウスにも同じ実験を行ったが、どちらの耳も全く染まらなかった。

## 【実験 2】

除毛した正常マウスの背中の皮膚にマウス P の血清を皮内注射した。しばらくして、静脈内に生理食塩水に溶解した物質 Z をエバンスブルーとともに注射したところ、④一定時間後に背中の皮膚の血清注射部位が青く染まった。また、正常マウスの血清を皮内注射して同じ実験を行ったが、背中の皮膚の血清注射部位は全く染まらなかった。

問 1 上記の文章中の空欄[ ア ]～[ キ ]に適切な語句を入れよ。

問 2 下線部①について、抗体 Y はどのように働いてアレルギー反応を抑えと考えられるか、50 字以内で述べよ。

問 3 下線部②について、下の文章をヒントにして単一の抗体を多量に得る方法を考え、180 字以内で述べなさい。

細胞増殖に必須の核酸合成系には 2 つの経路がある。塩基そのものの合成から行われる経路(経路 I)と、細胞の外から取り込んだ核酸の材料を利用する経路(経路 II)である。経路 I か経路 II のどちらかがあれば細胞は生き残ることができる。通常、体細胞は 2 つの経路を有している。がん化したリンパ球では経路 II を持たないことが知られている。

問 4 【実験 1】において、下線部③の結果が得られた理由を[ オ ]が放出する化学伝達物質の作用を踏まえて 90 字以内で述べよ。

問 5 【実験 2】において、下線部④の結果が得られた理由を 100 字以内で述べよ。

(B) 免疫系には自己と非自己を認識し、⑤自己の成分に対して免疫応答を作動させない。この仕組みを自己寛容という。しかし、自己の生体内成分が非自己として免疫系に誤って認識され、病気の症状が現れることがある。このように、自己寛容の破綻により生じる病気を自己免疫疾患という。多くの自己免疫疾患では、自己の成分に対する抗体である自己抗体が産生される。自己免疫疾患の原因は、自己寛容に働く因子の先天的な欠損だけでなく、後天的なものもある。例えば、ある微生物の感染後に、⑥微生物に由来する外来の抗原が自己抗体の産生を誘導する場合がある。その結果、抗原抗体反応により自己の成分に対して免疫応答が作動する。

**【実験 3】**

胸線上皮細胞は、本来は末梢組織だけで発現する様々なタンパク質を異所性に発現し、自己の成分を抗原(自己抗原)として提示していることが知られている。ある調節タンパク質を持たない遺伝子改変マウス(以下、マウス Q という)を作製したところ、胸線上皮細胞における自己抗原の発現が著しく低下し、自己免疫疾患の症状が現れた。

**【実験 4】**

マウス Q から胸線を摘出し、遺伝的に胸線の形成不全を示すヌードマウスに移植したところ、自己免疫疾患の症状が現れた。一方、正常マウスの胸線を移植した場合には、そのような症状は現れなかった。

問 6 下線部⑤について、【実験 3】と【実験 4】の結果から考えられる自己寛容が起こる仕組みを 60 字以内で述べよ。

問 7 下線部⑥について、自己抗体が産生される理由を 50 字以内で述べよ。



演習問題 7 植物の生活環と染色体の挙動(東北大・第3問)

生物は大きく7つの階層の単位を用いて分類され、上位から界、門、綱、目、科、属、種となる。マーグリスやホイッタカーにより提唱された五界説をもとにすると、[ア]をする多細胞生物で、陸上生活する生物群は植物界に分類される。陸上植物は[イ]、[ウ]、種子植物に分けられる。[イ]は[エ]を持たないが、[ウ]と種子植物は[エ]をもち、更に根、茎、葉の区別がある。[イ]と[ウ]は孢子で繁殖する。一方、種子植物は生殖器官である花をつけ種子を作り、繁殖する。種子植物のひとつである被子植物の多くは一つの花におしべとめしべがある両性花を持つ。おしべの先端の雄性器官や子房内の雌性器官の内部では、減数分裂をそれぞれ経てそれぞれ雄性配偶体である花粉や<sup>(a)</sup>雌性配偶体がつくられる。それぞれの配偶体からつくられた配偶子が互いに合体し受精がおこなわれる。重複受精後、核相が[オ]の細胞は[カ]へ、核相が[キ]の細胞は[ク]へと発達する。裸子植物では[ク]の核相はnである。イネやトウモロコシでは[ク]の発達した種子がつくられる。

二名法に基づくと、ハクサイの学名は *Brassica rapa* で、キャベツの学名は *Brassica oleracea* である。両者は同じ *Brassica* 属に分類されるが、種が異なり、染色体数は前者が20本(2n=20)であるのに対し、後者は18本(2n=18)と互いに異なる。核相nに相当する染色体の比と組みをゲノムといい、生命活動を営むために必要な遺伝情報のセットを持っている。ハクサイとキャベツの両者を交雑すると受精に至らない。あるいは受精したとしても[カ]の発達が停止し種子がつくられない。受精後に[カ]を培養することで雑種(種間雑種)を得ることができる。しかし、<sup>(b)</sup>得られた種間雑種のほとんどは配偶体が正常につくられない。また、ハクサイの花粉を培養すると、染色体数が半分になった[ケ]をつくりだすことができる。しかし、<sup>(c)</sup>多くの[ケ]は正常な配偶体をつくることできない。このように正常な配偶体につくられない現象を不稔と呼ぶ。イヌサフランの球根から発見された物質である[コ]を種間雑種または[ケ]の茎の成長点に処理すると、体細胞分裂中期の[サ]の形成が阻害され、染色体数が倍加した細胞がつくられる。その結果、種間雑種または[ケ]の不稔現象が解決される。

白菜とキャベツの種間雑種を倍数化させて育成されたものにハ克蘭がある。ハ克蘭は<sup>(d)</sup>細胞融合により作りだすこともできる。

問1 [ア]～[サ]に適切な語句を入れよ。

問2 下線(a)について答えよ。

(1) 種子植物で次の①②③に相当するものは何か。名称を答えよ。

- ① 雌性配偶体      ② 雄性配偶子      ③ 雌性配偶子

(2) また[イ]で配偶体に相当するものはなにか。名称を答えよ。

問3 次の(1)と(2)の間に答えよ。

(1) 下線部(b)について次の間に答えよ。

被子植物 Q 種は  $2n=4$ ，その近縁関係にある被子植物 R 種は  $2n=6$  とする。それぞれの種の体細胞分裂中期の様子を図 1 に示す。両種の間で種間雑種が得られた場合，減数分裂第一分裂中期の様子を，次の図の①～④から一つ選べ。

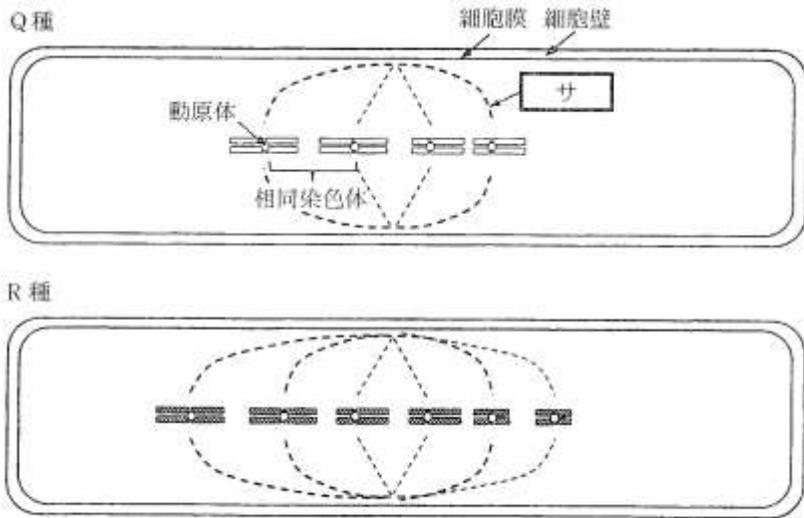
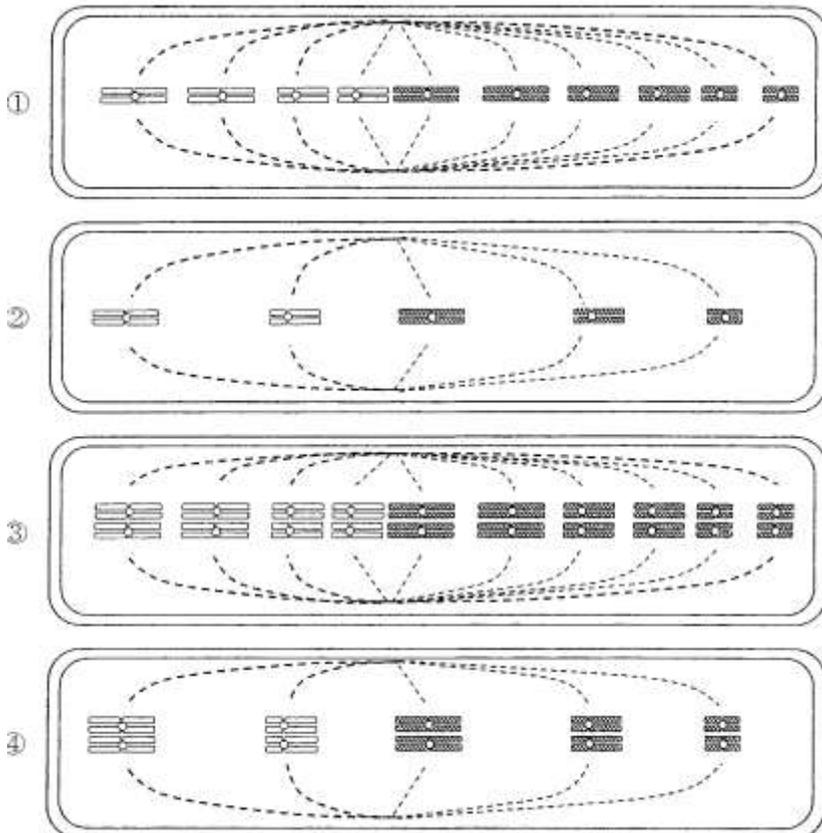


図1 Q種とR種のそれぞれの体細胞分裂中期の様子



(2) 下線部(b)と(c)について，配偶体が正常につくられない理由を説明せよ。

問4 ハクサイにおいて2組の対立遺伝子 **F** と **G** が独立の関係にあるとき，遺伝子型 **FfGg** である植物体を花粉培養して[ ケ ]を得，さらに倍加させて倍数体とした。得られる倍数体に **ffgg** の遺伝子型の植物体を交雑したとき，後代の植物が持つ遺伝子型は何か。想定される遺伝子型をすべて書け。

問5 下線(d)について，ハクサイとキャベツの体細胞が融合してできたハ克蘭における減数分裂第一分裂中期で観察される二価染色体の数を答えよ。



演習問題 8 がん(名古屋大・第1問, 京都大・第4問)

(A) 日本人の死亡原因は、戦後 70 年の間に大きく変化した。第 2 次世界大戦以前には結核が第 1 位であったが、このような感染症は次第に克服され、1981 年からはがん(悪性新生物)が第 1 位となった。長年の研究により、がんは基本的に①ゲノムの異常で起こる病気であることがわかってきた。その治療に関しては、従来法に加え、②個別化医療が近年急速に発展してきたが、がんの予防法の開発に関しては、まだ十分とはいえない。

がんの原因にはいろいろあるが、太陽光からの紫外線は、皮膚がんの発生の原因の 1 つであることが知られている。強い紫外線を細胞に照射したとき、傷害を受けながらも細胞が生存し、増殖が可能な場合、その細胞のゲノム DNA の CC という連続した 2 塩基よりなる配列が TT という配列に変化することが知られている。

問 1 このような突然変異とよばれる変化が起こった場合、以下の DNA 塩基配列はどのようなアミノ酸を指定するようになるのか記載せよ。ただし、以下に記載の DNA 塩基配列は、最初の塩基よりコドンを形成するものとし、スプライシングはなく、100%の確率でこの CC から TT への突然変異が起こるものと仮定する。また、二重螺旋の反対側の DNA 鎖については考慮しなくてよい。表の遺伝暗号表を参考にしてよい。解答は、解答欄に(セリン)(プロリン)(グリシン)のように記載すること。

- a) ATGTGCCATTGCCAG
- b) TTGCACCAAATTTAGCAGGCATTTCCA

表 mRNA の遺伝暗号表

| 1 番目の塩基 | 2 番目の塩基 |          |     |       |     |         |     |       | 3 番目の塩基 |
|---------|---------|----------|-----|-------|-----|---------|-----|-------|---------|
|         | U       |          | C   |       | A   |         | G   |       |         |
| 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     |          | UCC |       | UAC |         | UGC |       | C       |
|         | UUA     | ロイシン     | UCA |       | UAA | (終止)    | UGA | (終止)  | A       |
|         | UUG     |          | UCG |       | UAG |         | UGG |       | 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     |          | CCC |       | CAC |         | CGC |       | C       |
|         | CUA     |          | CCA |       | CAA | CGA     | A   |       |         |
|         | CUG     |          | CCG |       | CAG | CGG     | 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     |          | ACC |       | AAC |         | AGC |       | C       |
|         | AUA     | ACA      | AAA |       | AGA | A       |     |       |         |
|         | AUG     | ACG      | AAG |       | AGG | 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     |          | GCC |       | GAC |         | GGC |       | C       |
|         | GUA     |          | GCA |       | GAA | GGA     | A   |       |         |
|         | GUG     |          | GCG |       | GAG | GGG     | G   |       |         |

問 2 下線部①に関して、以下の記述が正しい場合には○を、誤っている場合には×を解答欄に記入せよ。

- (ア) ゲノムは DNA ポリメラーゼにより複製される。

- (イ) 1人の男性の精子はすべて同じ遺伝情報を持つ。
- (ウ) 産まれたばかりの一卵性双生児の間では、肝細胞のDNAの塩基配列は同一であると考えられる。
- (エ) ヒトの染色体は細胞の分裂期のときに光学顕微鏡で観察しやすい。
- (オ) RNAの情報をDNAの情報に変換する酵素が自然界に存在する。

問3 下線部①に関して、細胞分裂直後のヒトのリンパ球1個に含まれるゲノムDNAは、それらを二重螺旋の状態のまま引き延ばして連結すると、全体でどのくらいの長さになるのかを計算し、有効数字3桁(単位はメートル)で答えよ。ただし、ヒト精子の全ゲノムは30億個の塩基対であり、DNA二重螺旋の1ピッチ(1巻き)は10塩基よりなり3.40nm(ナノメートル,  $10^{-9}\text{m}$ )と仮定する。

問4 下線部②に関して、最近、ヒトにおけるがん治療法として、がん細胞の表面だけに存在する分子を標的とした抗体が使用されるようになってきている。このような抗体薬は静脈内に繰り返し注射で投与される。その際に発生が予想されるヒトへの副作用や問題点をできる限り避けるためには、抗体薬をつくる時にどのような技術や設計が重要であると考えられるか、以下の3つの用語をすべて使用して解答欄の枠内で説明せよ。

使用する用語：免疫グロブリン、細胞融合、ヒト

(B) 大学院生の名古屋さんは、がんの発生原因と「がんへのかかりやすさ」を決めている因子を、別個に評価する必要があると考えて、以下のような実験をおこなった。ラット(ダイコクネズミ)は同じ親から産まれた子同士の交配(兄妹交配)が可能である。20世代以上に渡って兄妹交配を繰り返していると、性染色体以外はゲノム情報がほぼ同じラットを人工的に作ることができる。これらを近交系(純系)動物と呼ぶ。このようにして作成した近交系ラットの多数の系統の中から、名古屋さんは紫外線を含む通常光の飼育条件で皮膚がんにかかりやすい白色毛色のZ系統を見出した。Z系統と同じ毛色をしたC系統では皮膚がんへのかかりやすさは観察されない。また、両系統ともに他の種類のがんへのかかりやすさやかかりにくさは認められない。

③Z系統とC系統のラットに紫外線を離乳直後より3カ月間繰り返し照射し、そのあと1年間観察すると、Z系統はC系統に比べ皮膚がんが明らかに早く発生した。ところが、④Z系統とC系統をかけあわせたF<sub>1</sub>(雑種第1代)世代ではこの皮膚がん発生の早期化は認められなかった。次に、F<sub>1</sub>世代同士をかけあわせたF<sub>2</sub>(雑種第2代)世代を使用して、同様の紫外線照射実験をおこなった。すると、名古屋さんは、⑤皮膚がんが早く発生する個体からなる群と遅く発生する個体からなる群の2群にはっきり分かれることに気が付いた。これまでのすべての実験結果に雌雄差は認められなかった。F<sub>2</sub>世代のラットの血液からDNAを抽出して、ラットの系統に特徴的なゲノム内繰り返し配列の繰り返し数をPCR法で調べると、染色体の特

定部位が Z 系統由来なのか、それとも C 系統由来なのかを決めることができる。このような実験を繰り返した結果、この皮膚がん発生の早期化はゲノムの中の 1 つの遺伝子により決まっていることが明らかになった。

問 5 下線部③に関して、紫外線を全く含まない光のもとで Z 系統のラットを 2 年間以上飼育した場合、皮膚がんは発生しないことがわかった。このことより、この皮膚がん発生の早期化を決めている遺伝子産物のはたらきを推測して、解答欄の枠内で説明せよ。

問 6 下線部④の実験結果より、Z 系統のもつ皮膚がんへのかかりやすさの遺伝様式を答えよ。

問 7 下線部⑤に関して、十分に多い数のラットを使って実験をした場合、皮膚がんが早く発生する個体と遅く発生する個体の分離比はどのようになるか。文章中の情報をもとに、発生が早い動物数：発生が遅い動物数の分離比を 1：□としてこの□にあてはまる数字を答えよ。

問 8 図は、5 匹の F<sub>2</sub> 世代のラットから得られたデータをもとに、各ラットの細胞分裂直後の 1 対の相同染色体を模式的に示したものである。皮膚がんが早期に発生する形質が観察された個体を○で、その形質が認められなかった個体を×で示している。この結果より、皮膚がん発生の早期化を決めている遺伝子の位置は、(a)から(e)のどの部位にもっとも近いと考えられるか、記号で答えよ。

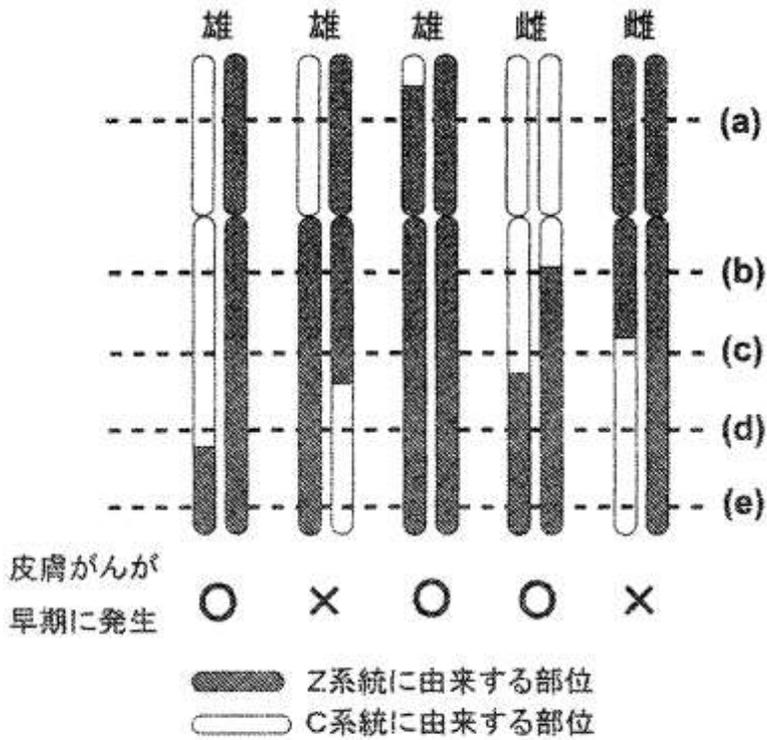


図 F<sub>2</sub>(雑種第2代)世代のラットにおいて、この形質を決定している遺伝子が存在する染色体に関して得られた実験結果(染色体地図)

演習問題 9 ハイブリッド形成による遺伝子解析(名古屋市立大・第1問(2011))

一般に配偶子は減数分裂と呼ぶ核分裂を経て形成される。この分裂では、前期のはじめに相同染色体の[ 1 ]が起き、前期の終わりころには相同染色体が部分的に分離する。このとき両親からの染色体がところどころで[ 2 ]するため輪ゴムをつなげた様にみえる。この部分が切れて別の染色体とつながることにより遺伝子の組み換えが起きる。染色体上で2つの遺伝子が離れるほど組み換えの率が高いことを利用して、染色体上の遺伝子の配置を示す[ 3 ]を作ることができる。

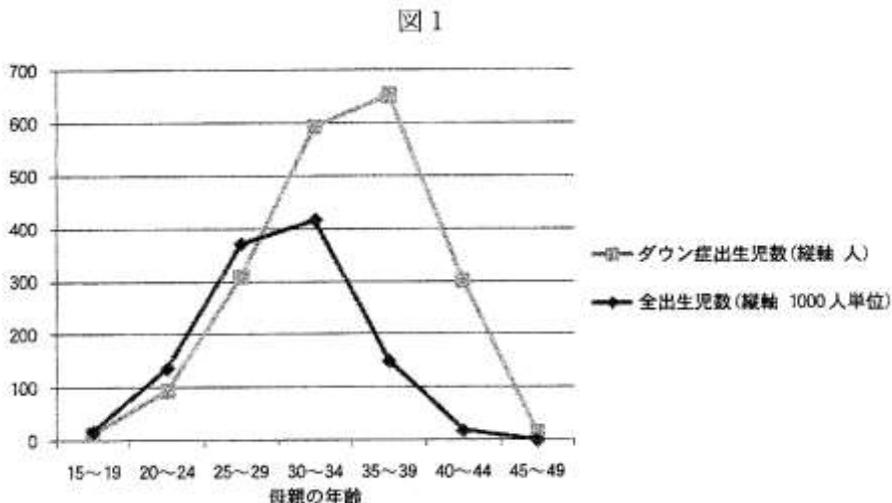
唾腺染色体は、カヤハエ等の双翅目昆虫の唾腺などに見られる特殊な染色体で、細胞分裂とは関係なく常に核内に観察される。この染色体を[ 4 ]等の色素で染めると多数の横縞が見られ、この1本の縞が1〜数個の遺伝子に対応していることがわかっている。発生過程では、決まった時期にとところどころの縞模様がほぐれて広がっているのが観察でき、これを[ 5 ]と呼ぶ。この部分では[ 6 ]がおこなわれており、[ 7 ]が盛んに合成されている。

通常染色体でも、バンド染色と呼ばれる特殊な染色法により染色体上に縞模様を染め出すことができ、これによって染色体の同定をしたり、おおまかな遺伝子の位置を知ることができる。

さらに詳しく染色体上での特定の遺伝子の位置を知るための方法として、FISH とよばれる方法がある。この方法では、まず遺伝子 DNA の塩基配列に基づいて合成した比較的短いDNA(プローブ)を作成し、部分的に蛍光色素等で修飾する。次に熱をかけて二重螺旋をほどいた染色体上のDNAとプローブとを結合させる。プローブの染色体上での位置は蛍光顕微鏡などによって調べることができる。

問1 文章中の[ 1 ]〜[ 7 ]にあてはまる語を入れよ。

問2 下の図1は2004年の日本の全出生児数, ダウン症出生児数と母親の出産年齢との関係を示したものである。ダウン症候群は21番染色体が3本あることによって起こる場合が多い。





演習問題 10 ゲノムプロジェクト(東京大・第3問)

以下の[I], [II]を読んで, 問1, 2に答えよ。

[I] 遺伝情報の流れは, DNA→RNA→タンパク質であり, セントラルドグマとして知られているが, RNA→DNA という流れもある。この流れは, RNA ウイルスの1種である(ア)レトロウイルスの研究により, RNA を鋳型として DNA 合成を行う逆転写酵素が発見されたことで明らかになった。レトロウイルスが細胞に感染すると, ウイルス粒子がもっている逆転写酵素により RNA ゲノムから 2 本鎖 DNA が合成され, それが感染細胞の核 DNA に組み込まれる。組み込まれた DNA からは RNA が転写され, これを含むウイルス粒子が作られる。細胞のゲノム DNA 中には, レトロトランスポゾンと呼ばれるレトロウイルス様の配列がもともと存在し, そこから逆転写酵素が産生される。そのためレトロウイルスが感染していなくても RNA→DNA という遺伝情報の流れが稀に起きる。したがって長い時間を経てレトロトランスポゾンはゲノム中に広がり, 挿入された領域によっては(イ)遺伝子の機能に直接影響を与えることもある。

[II] 生物は長い歴史の中で, さまざまな形態を進化させてきた。その進化の原動力の1つが「遺伝子の重複」と考えられている。育種は人為的な選別によって進化を速める1つの方法と考えられる。オオカミから家畜化された飼いイヌには, 育種によりさまざまな形態をもった 350 以上の血統(註1)が存在する。その中に, 通常のイヌに比べ, 短い脚をもつダックスフントという血統がある(図 3-1)。ダックスフントはアナグマの猟犬として育種されたもので, この脚の短さは優性遺伝する。最近, その原因と考えられる遺伝子が発見され, それが遺伝子の重複によってつくられたものであることが, 以下の「一塩基多型」(図 3-2(A))を用いた研究からわかってきた。

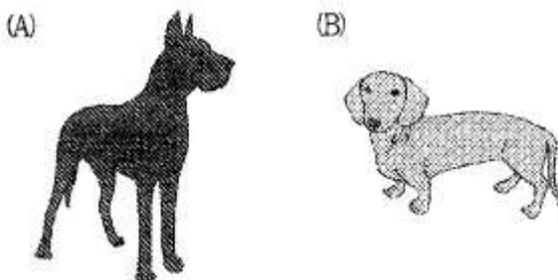


図 3-1 (A) 通常の長さの脚をもつイヌ (B) ダックスフント

ダックスフントのように脚の短い複数の血統と, 通常の脚をもつ複数の血統から, それぞれ多数のイヌを選び出し, それらのゲノムを解析した。その結果, ある染色体上に脚の短さの原因と予想される領域(染色体の一部)が同定された。そこで, その領域の塩基配列を, 脚の短いイヌと通常のイヌとで比較したところ, 脚の短いイヌのゲノムにおいて 5,000 塩基対の DNA の挿入が見いだされた(図 3-2(B)と(C))。挿入 DNA の塩基配列を解析した結果, その配列は, 同じ染色体上で, 挿入箇所から遠く離れた遺伝子の *FGF4* とよく似ていた。そこで, この挿入 DNA を *FGF4L* と呼ぶ。

*FGF4L* と *FGF4* の配列をさらに詳細に比較したところ、*FGF4L* の配列(5,000 塩基対)は全域にわたって、*FGF4* の遺伝子全長(注 2)(6,200 塩基対)とほぼ一致していたが、*FGF4* には *FGF4L* がない領域が 2 箇所あった。一方、*FGF4L* と *FGF4* の mRNA(伝令 RNA)は共に 5,000 塩基程度であり、かつ全く同じアミノ酸配列をコードしていた。以上の結果は、*FGF4L* が重複によってできた遺伝子であり、その発現のしかたがダックスフントの脚の短さの原因であることを予想させる。(ウ)しかしそれを実証するためには、さらに実験が必要である。それに加えて、(エ)FGF4L がどのように形成されたかを考察する必要がある。

ゲノムのある特定の領域や遺伝子の個体識別マーカーとして一塩基多型が使われている。一塩基多型とは、個体間にみられる配列上の一塩基の違いのことをいう。そこで一塩基多型に着目して、*FGF4L* の起源を探った。まず、挿入箇所の周辺領域(以下、被挿入領域という)と *FGF4* および *FGF4L* の一塩基多型を調べた(図 3-2)。その結果、これらの領域や遺伝子に、互いに強く連鎖したく組換え価が小さい 3 つから 4 つの一塩基多型が見いだされた。このような一塩基多型のセットは「ハプロタイプ」と呼ばれる。ここでは、その塩基を並べたものをハプロタイプの名称とする。図 3-2(A)にその例として、被挿入領域のハプロタイプを示す。これらの配列から読み取れるように、被挿入領域のハプロタイプには、TCAG, TTAG, GTTA などがあった。一方、*FGF4* のハプロタイプは、血統 1 では GCG であり(図 3-2(B))、ダックスフントの *FGF4* では ATG であったが、*FGF4L* のハプロタイプは ACA であった(図 3-2(C))。一般に、このようなハプロタイプは進化の過程で受け継がれると考えられている。そこで、(オ)イヌとオオカミの被挿入領域のハプロタイプと FGF4 のハプロタイプを用いて、FGF4L の起源を探った。

(注 1) 血統を、ここでは純系であるとみなす。

(注 2) 遺伝子の大きさとは、ここでは転写される領域と定義する。

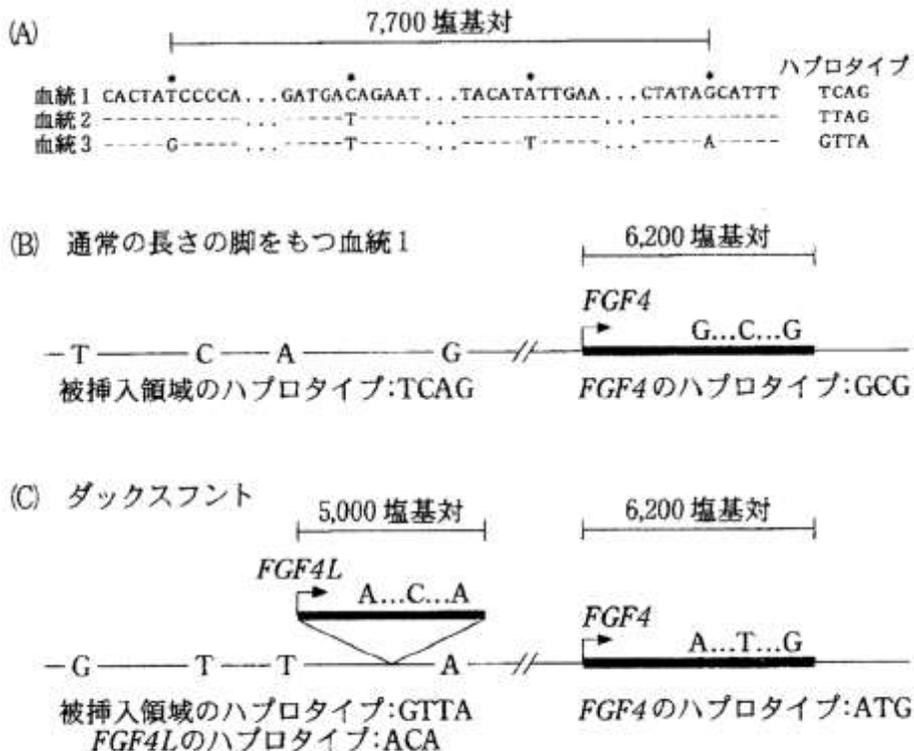


図3-2 一塩基多型とハプロタイプならびに *FGF4L* の挿入位置

- (A) 被挿入領域の一塩基多型とハプロタイプの例。DNA鎖の片方の配列を並べて血統間で比較した。星印(\*)は一塩基多型の位置である。ハイフン(-)は、血統1の塩基配列と同じであることを表し、「…」は塩基配列の省略を表す。
- (B), (C) 被挿入領域、*FGF4*と*FGF4L*のハプロタイプ、*FGF4L*の挿入位置。細い線はDNA鎖、太い線は遺伝子を表す。被挿入領域のDNA鎖の中に一塩基多型の塩基を、下にハプロタイプを示す。遺伝子の上に一塩基多型の塩基を、下にハプロタイプを示す。*FGF4L*の一塩基多型は、*FGF4*の配列と比較したものである。矢印は転写開始点と方向を示す。

問1 [I]について、以下の小問に答えよ。

- (1) 下線部(ア)について。ヒトに感染し、病気を引き起こすレトロウイルスとしてどのようなものがあるか、1つ答えよ。
- (2) 下線部(イ)について。以下の文章の空欄[ 1 ]~[ 3 ]に適切な語句を入れよ。  
 真核生物の遺伝子は[ 1 ]と[ 2 ]からなる構造をもち、それが転写されるには、調節領域[ 3 ]が必要である。転写後、[ 2 ]に相当する部分は切り取られる。したがって、レトロトランスポゾンが[ 1 ]に挿入されると正常なタンパク質が形成されない、あるいは[ 3 ]に挿入されると転写が阻害される、などの影響が通常現れる。なお、レ

トロトランスポゾンでなくても、任意の DNA 断片はゲノム中の任意の箇所に挿入され得る。もしそれが[ 3 ]の近傍に挿入されるとその DNA から RNA が転写されることがある。

問2 [II]について、以下の小問に答えよ。

(1) 下線部(ウ)について。ある表現型の原因遺伝子であることを実証するためには、その遺伝子が「必要」であること(必要条件)と、その遺伝子があれば「十分」であること(十分条件)を示す必要がある。ここではイヌを使った実験により、*FGF4L*が脚の長さの原因遺伝子であることを示したい。なお、遺伝子操作として、クローニング(単離)、ゲノム DNA への組み込み、欠失は自由に行えると仮定する。

(a) 十分条件を示す実験について述べた以下の文章の空欄[ 4 ]~[ 7 ]に入る適切な語句を、以下の選択肢(1)~(7)から選べ。なお空欄[ 5 ]と[ 6 ]には脚の表現型が入る。

[ 4 ]遺伝子を含む DNA 領域をクローニングして、それを[ 5 ]をもつイヌの、任意の相同染色体の一方に組み込む。その染色体をもつ個体の表現型が[ 6 ]になり、かつその遺伝形却[ 7 ]であることを示せば良い。

- (1) *FGF4*    (2) *FGF4L*    (3) 通常の高さの脚    (4) 短い脚  
(5) 中間の高さの脚    (6) 優性    (7) 劣性

(b) 必要条件を示す実験について、行なう遺伝子操作、ならびに脚の表現型と遺伝形式を含めて、3行程度で述べよ。

(2) 下線部(エ)について。*FGF4L*は*FGF4*からどのような過程で生じたと考えられるか、またそれは体内のどの細胞で起きたと考えられるか、根拠と共に4行程度で述べよ。

- (3) 下線部(オ)について。*FGF4* のハプロタイプと、被挿入領域のハプロタイプを調べた結果を表 3-1 に示す。ダックスフントの血統が樹立される過程で、これらのハプロタイプにほとんど変化がなかったと仮定すると、*FGF4L* の起源はどのように推察できるか。図 3-2 を参照しながら、以下の考察の空欄[ 8 ]～[ 13 ]に入る適切なハプロタイプを答えよ。ただし、異なる番号が異なるハプロタイプを示すとは限らない。

考察：*FGF4L* のハプロタイプは[ 8 ]であるので、*FGF4L* は[ 8 ]のハプロタイプを持つ *FGF4L*、*FGF4* を起源とすると考えられる。しかし表 3-1 では *FGF4L* と同じ個体にある *FGF4* のハプロタイプは[ 9 ]と[ 10 ]なので、*FGF4L* はこれらの *FGF4* から由来したとは考えにくい。

*FGF4L* の起源を探るには、[ 8 ]のはプロタイプを持つ *FGF4* と、被挿入領域のハプロタイプとの関係を考える必要がある。表 3-1 において、*FGF4L* をもつイヌの被挿入領域のハプロタイプは主として[ 11 ]であるが、*FGF4* のハプロタイプが[ 8 ]と同じ個体で見られる被挿入領域のハプロタイプは、イヌでは[ 12 ]のみであった。

一方、表 3-1 において、オオカミをみると、[ 8 ]のハプロタイプをもつ *FGF4* と同じ個体で見られる被挿入領域のハプロタイプに[ 13 ]があり、かつその出現頻度が高かったことより、このハプロタイプの組合せをもつオオカミ、あるいはそれ由来のイヌの血統で *FGF4L* が形成されたと考えられる。ただし、もしそのイヌの血統があったとしても、現存していない。

表 3-1 イヌとオオカミにおける被挿入領域と *FGF4* のハプロタイプ

| 被挿入領域<br>のハプロタ<br>イプ | ハプロタイプの出現頻度(注3) |                |      | <i>FGF4</i> のハプロタイプ(注4) |               |
|----------------------|-----------------|----------------|------|-------------------------|---------------|
|                      | イヌ              |                | オオカミ | イヌ                      | オオカミ          |
|                      | <i>FGF4L</i> 有  | <i>FGF4L</i> 無 |      |                         |               |
| GTAG                 | 0               | 1              | 0    | ATG                     |               |
| GTTA                 | 98              | 1              | 29   | ATG, GCG                | ATG, GCG, ACA |
| GTTG                 | 0               | 1              | 11   | ATG, GCG                | ATG, GCG      |
| TCAG                 | 0               | 41             | 5    | ATG, GCG, ACA           | ATG, GCG, ACA |
| TCTG                 | 0               | 0              | 8    |                         | ATG, ACA      |
| TTAG                 | 2               | 36             | 29   | ATG, GCG                | ATG, GCG, ACA |
| TTTG                 | 0               | 20             | 18   | ATG, GCG                | ATG, GCG, ACA |
|                      | 100             | 100            | 100  |                         |               |

| <i>FGF4</i> のハ<br>プロタイプ | ハプロタイプの出現頻度(注3) |                |      |
|-------------------------|-----------------|----------------|------|
|                         | イヌ              |                | オオカミ |
|                         | <i>FGF4L</i> 有  | <i>FGF4L</i> 無 |      |
| ACA                     | 0               | 3              | 20   |
| ATG                     | 62              | 73             | 44   |
| GCG                     | 38              | 24             | 36   |
|                         | 100             | 100            | 100  |

(注3) *FGF4L* をもつイヌ(*FGF4L* 有), もたないイヌ(*FGF4L* 無), およびオオカミにおける被挿入領域と *FGF4* のハプロタイプについて, 多数の個体を用いて調べ, その結果を百分率で示した。

(注4) 被挿入領域のハプロタイプごとに, 同じ個体でみられる *FGF4* のハプロタイプを列挙して示す。例えば, 被挿入領域のハプロタイプ TTTG と同じ個体にみられる *FGF4* のハプロタイプには, イヌでは ATG, GCG があるが, オオカミでは ATG, GCG, ACA がある。

演習問題 11 密度効果(筑波大・第3問, 首都大学東京・第3問)

ウンカはセミやカメムシと同じカメムシ目に属し、植物組織に口針を差し込んで吸汁する昆虫である。日本の水田には、セジロウンカトビロウンカなどが発生しイネを吸汁することが知られている。これらのウンカには翅多型現象が見られ、セジロウンカやトビロウンカの雌に短翅型と長翅型という2つのタイプの成虫が出現する。長翅型は、長い翅をもち移動分散に適している。一方、短翅型は翅が短く飛翔できないが繁殖に適している。

ウンカの翅型は幼虫期に経験する環境要因によって決まる。環境要因のうち翅型発現に最も大きく影響するのは生息密度である。野外では、生息密度が上昇すると長翅率が高まり、移動に適した個体が新たな生息場所を求めて飛び立っていくと考えられている。

日本の水田では、セジロウンカやトビロウンカは同じ場所に生息していることも多い。このときのそれぞれのウンカにおいて幼虫密度と長翅率の関係はどうなっているであろうか。これについて調べるため、以下の2つの実験をおこなった。ただし、1個体あたりの吸汁量は2種間で差がないものとする。

**【実験1】** 図1のようにイネを入れた試験管(直径2cm, 高さ17cm)を準備し、セジロウンカとトビロウンカの雌1齢幼虫を、単一種(単独飼育)あるいは2種混合(混合飼育)で飼育した。成虫になってから長翅率を調べ、幼虫密度(試験管あたりの幼虫数)との関係を折れ線グラフにすると図2のようになった。ただし、混合飼育の場合にはそれぞれの種を同数飼育した。また、幼虫密度とは、単独飼育の場合は試験管あたりのその種の幼虫数を示すが、混合飼育の場合は試験管あたりの両種の合計幼虫数を示す。一方、長翅率は単独・混合飼育によらず、それぞれの種ごとの幼虫数に占める長翅型成虫の割合を示す。



図1

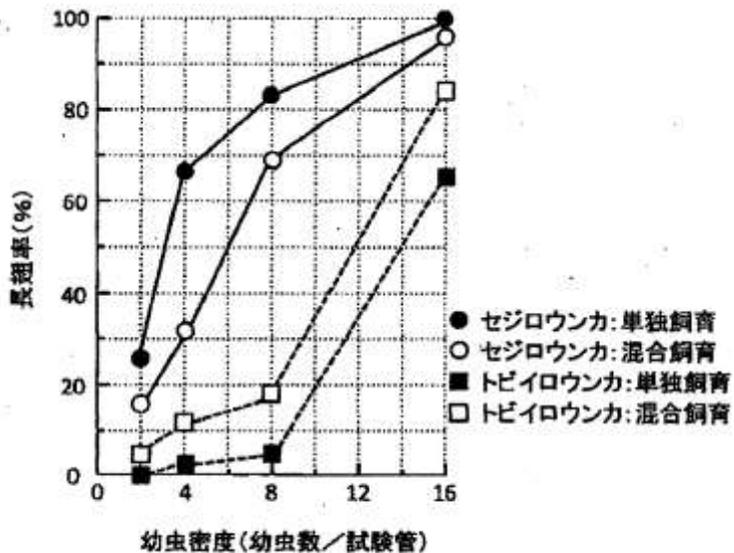


図2

**【実験2】** 雌セジロウンカまたは雌トビロウンカの幼虫を8匹試験管に入れ、あらかじめイネを吸汁させた。ウンカを取り除いた後、吸汁されたイネを新たな試験管に移し、

新たに準備した 1 齢幼虫を入れてそれぞれ飼育したところ、その長翅率は図 3 のようになった。

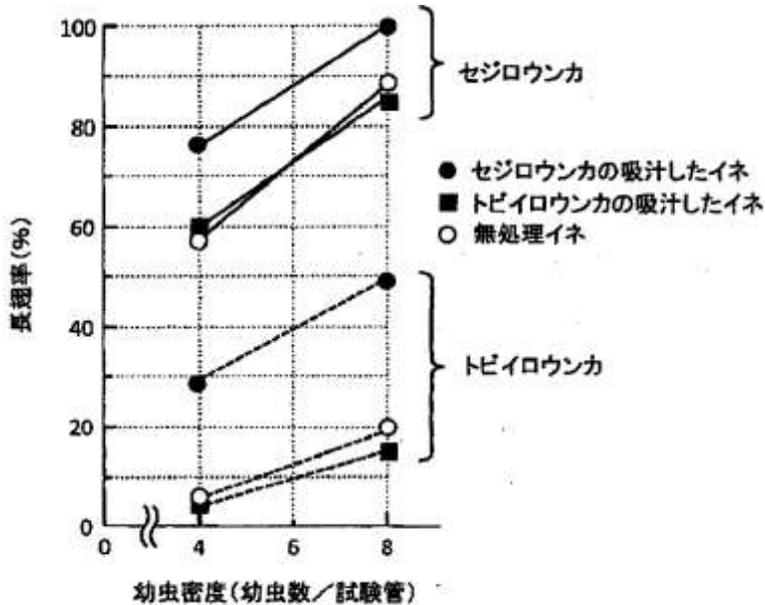


図 3

問 1 下線部のような翅多型現象が自然界で見られる昆虫を以下のア～キからすべて選び、記号で記せ。

- ア. トノサマバッタ    イ. アブラゼミ    ウ. モンシロチョウ    エ. カブトムシ  
 オ. イエバエ    カ. サバクトビバッタ    キ. モモアカアブラムシ

問 2 ウンカの長翅型、短翅型のそれぞれの特徴を以下のア～エからすべて選び、記号で記せ。

- ア. 幼虫発育期間が長い。    イ. 羽化してから産卵開始までが長い。  
 ウ. 産卵数が多い。    エ. 飛翔筋が発達する。

問 3 実験 1 に関連して、以下の設問(1)～(2)に答えよ。

(1) イネを入れた試験管にセジロウンカ雌幼虫を 4 匹入れ、次いで同数のトビロウンカ雌幼虫を入れて飼育した場合、セジロウンカの長翅率はセジロウンカ 4 匹を単独飼育したときと比べてどうなると考えられるか。次頁の選択肢群のア～オから最も適切なものを 1 つ選び、記号で記せ。

(2) (1)と同様に試験管を準備し、トビロウンカ雌幼虫 4 匹を入れ、次いで同数のセジロウンカ雌幼虫を入れて飼育した場合、トビロウンカの長翅率はトビロウンカ 4 匹を単独飼育したときと比べてどうなると考えられるか。次頁の選択肢群のア～オから最も適切なものを 1 つ選び、記号で記せ。

〔問3 選択肢群〕

- ア. 約 8 倍に増加する。      イ. 約 5 倍に増加する。      ウ. ほぼ変化しない。  
エ. 約 80 %に減少する。      オ. 約 50 %に減少する。

問4 野外におけるトビイロウンカの生息密度は、セジロウンカと共に生息しているときの方がトビイロウンカ単独のときよりも低くなることが知られている。その理由を、実験1の結果をふまえて以下の3つの用語を用いて60字以内で記せ。

長翅率      成虫      分散

問5 実験1および実験2の結果から、2種のウンカ幼虫が同じ場所に生息しているときの長翅率に影響をおよぼす因子について、推論として正しいものを以下のア～オからすべて選び、記号で記せ。

- ア. イネ上でトビイロウンカ雌幼虫とセジロウンカ雌幼虫が互いに接触しないと、長翅率を高める因子が伝わらない。  
イ. セジロウンカ雌幼虫がイネを吸汁するときの振動が他個体に伝わらないと、長翅率を高める因子が伝わらない。  
ウ. セジロウンカ雌幼虫がイネを吸汁することにより、イネに残された因子がその後吸汁した他個体の長翅率を高めている。  
エ. セジロウンカ雌幼虫はトビイロウンカ雌幼虫に対して長翅型の発生を抑制する因子を出している。  
オ. トビイロウンカ雌幼虫はセジロウンカ雌幼虫に対して長翅型の発生を抑制する因子を出している。



演習問題 12 群落の遷移，水界の生態系(京都大・第3問)

次の文章を読み，問1～問6に答えよ。解答はすべて所定の解答欄に記入せよ。

生物はさまざまな資源をめぐる種間競争をおこない，そして，自らの生息環境に影響を及ぼす。生息環境の変化は，資源をめぐるあらたな種間競争を引き起こし，その結果，生物群集の組成が変化する。

森林生態系において，光は植物の成長に欠かせない重要な資源である。しかし，森林が成熟するにつれて植物が光を利用できる環境そのものも変化する。日当たりのよい環境で速く成長できる陽樹は，森林の成立する初期段階で優占するが，森林の上層部(林冠)が樹木の枝や葉によって覆いつくされるようになると，地表付近(林床)には光が届きにくくなる。林床では，弱い光環境下でも十分に生育できる陰樹の幼木は陽樹の幼木との競争に有利になるため，森林が成熟するにつれてしだいに陽樹林から陰樹林に置き換わっていく。①陰樹林が優占する状態は長期間安定となり，極相林となる。

一方，湖沼生態系では，維管束植物である沈水植物(植物体が完全に水中に没している水草)と微細な藻類である植物プランクトンが光や栄養塩類をめぐる競争する。水深が浅く栄養塩類に乏しい透明度の高い湖沼では，水中に溶存する栄養塩類だけでなく湖底中の栄養塩類を利用して成長できる沈水植物が優占する。しかし，このような貧栄養湖沼も周囲の山林などから栄養塩類や有機物が河川を通じて流入することにより，長い歳月をかけて自然に富栄養化する。水中の栄養塩類の濃度が増加すると，やがて，光をめぐる競争において沈水植物より有利な植物プランクトンが優占する。②いったん植物プランクトンに置き換わると，この状態は安定的となる。

近年，③人間活動に由来する栄養塩類が河川を通じて湖沼に大量に流入するようになってきた。栄養塩類がある閾値を越えて湖沼に流入すると，生態系が沈水植物の優占する状態から植物プランクトンの優占する状態へ短期間のうちに急激に変化することがある。いったん植物プランクトンが大発生すると，沈水植物の繁茂する状態への逆向きの変化が起こりにくくなるため，沈水植物が優占する元の状態を取り戻すには湖沼に流入する栄養塩類の量を大幅に低減するなど相当な努力が必要とされる。

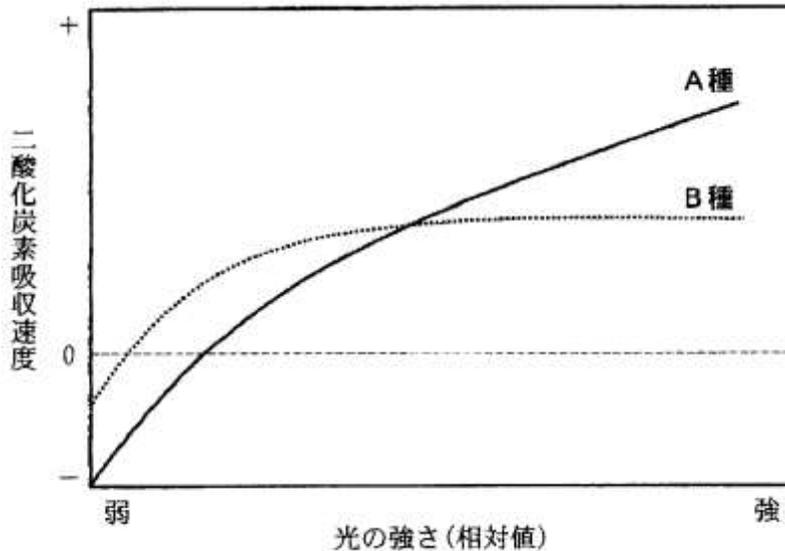


図 1

- 問 1 図 1 は、さまざまな光環境に対して 2 種の幼木の光合成速度を測定した実験の結果である。下線部①において、極相林を形成するのは A 種と B 種のどちらであるか、解答欄(a)に記入し、その根拠を解答欄(b)の枠の範囲内で記述せよ。
- 問 2 陰樹によって極相林が形成された後でも、森林のところどころに嵐による倒木や枯死などによって陽樹が生育できるギャップと呼ばれる生息空間が形成されることがある。このようなギャップの中で芽生えるのに有利な陽樹の種子の特徴を 1 つ挙げ、解答欄の枠の範囲内で記述せよ。
- 問 3 下線部②において、植物プランクトンが優占すると沈水植物が生育しにくくなる主要な理由を解答欄の枠の範囲内で記述せよ。

問4 図2は、ある湖において、1910年(図中の'10)のから5年ごとに2005年(図中の'05)まで湖沼の透明度と湖沼に流入する栄養塩類の量を計測した結果を示す。1970年以降、湖沼に流入する栄養塩類の量を削減する努力を行ったところ、2000年頃から湖沼生態系が元の状態に回復する様子が観察された。下線部③について、沈水植物から植物プランクトンが優占する状態への急激な変化が起こったときの湖沼に流入する栄養塩類量の閾値として適当なものを、N1～N5から選び解答欄に記入せよ。ただし、そのような変化が複数回生じたと考えられる場合にはその記号をすべて記入すること。

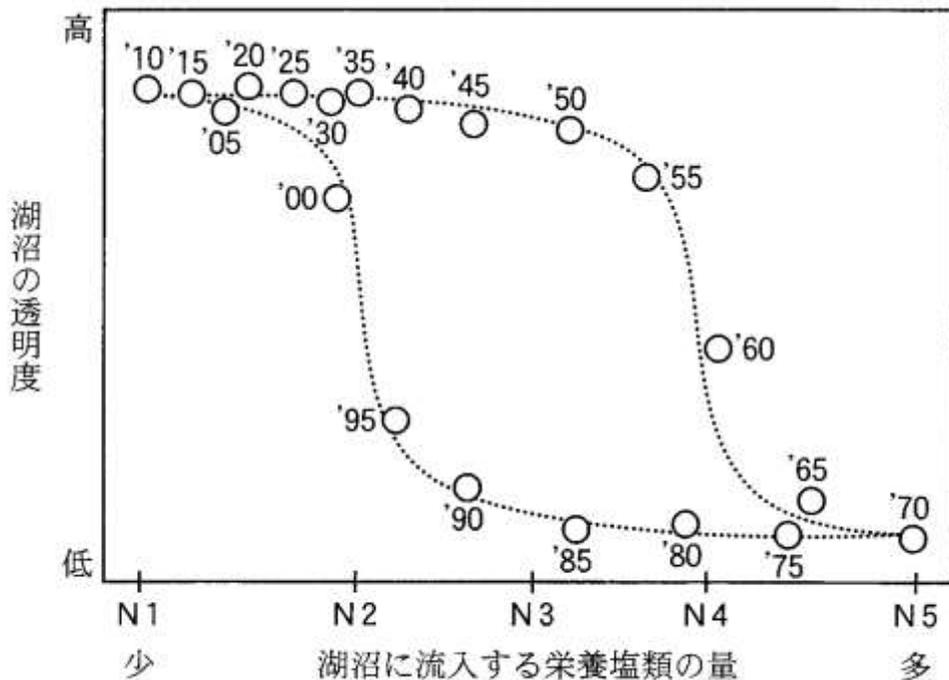


図2

問5 下線部③で述べたように、湖沼に流入する栄養塩類の量がある閾値に達すると、沈水植物から植物プランクトンが優占する状態への変化が短期間で急激に起こる。その理由を、光と栄養塩類をめぐる両者の競争の観点から解答欄の枠の範囲内で記述せよ。

問6 問4で述べたように、1970年以降、湖沼に流入する栄養塩類の量を削減する努力が開始された。ところが、植物プランクトンが急激に増加し始めた直前のレベルまで栄養塩類の流入量を削減したにもかかわらず、湖沼の透明度は全く回復しなかった。さらに大幅な栄養塩類の流入量の低減をしないと湖沼の透明度が回復しなかったのはなぜか、沈水植物による栄養塩類の吸収能力に言及しながら解答欄の枠の範囲内で記述せよ



演習問題 13 種分化(千葉大・第9問)

生物群集は数多くの生物種によって構成されている。このような生物の多様性は、ひとつの種が複数の種に分かれ、種分化することによって形作られてきた。それでは、ある地域に生息する生物の種数はどのようにして決まっているのだろうか。マッカーサーとウィルソンは、この問いに関して簡単なモデルを考案している。

図1のように、大陸とその周辺の大小様々な島を考える。大陸には多くの生物種が生息しており、これを源としてそれぞれの島に生物種が侵入してくると仮定する。島間の生物の移動は考えない。このモデルでは、(1)大陸からの侵入種数はその島が大陸からどれだけ離れているかということのみに依存すると仮定している。一方で、それぞれの島では、種の絶滅が起こり種は失われていく。このとき、絶滅確率は島が大きいかほど低くなる。このような種の侵入と、種の絶滅の間のバランスによって、それぞれの島に生息する種数が決まると考える。この様子を表現した模式図が図2である。縦軸は一定時間内に「新たに」大陸から侵入する種数、および、島にすでに生息する種のうち一定時間内にその島で絶滅する種数を示している。横軸はそれぞれの島に生息する種数を示す。



図1 島と大陸の模式図

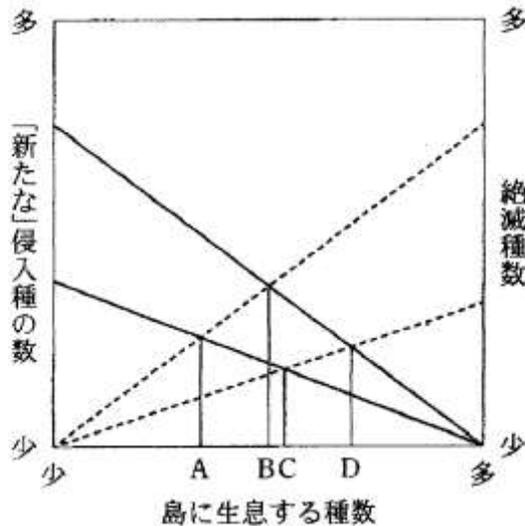


図2. マッカーサーとウィルソンのモデルを示す図。実線が「新たな」侵入種の数、破線が絶滅種数をそれぞれ示す。島の面積および大陸からの距離に応じて、それぞれ2本の線が描かれている。

問1 このモデルでは、下線部(1)のように島に侵入する種数は島が大陸からどれだけ離れているかということのみによって制限されている。しかし、図2では、島に生息する種数が多くなると「新たな」侵入種の数が増少することが示されている。これはどのような理由によるか、130字以内で説明しなさい。

問2 図1の島1～4における種数は図2のA～Dのどれになるか、それぞれ答えなさい。なお島1と島3、島2と島4の面積はそれぞれほぼ同じであり、島1と島2、島3と島4の大陸からの距離はそれぞれほぼ同じである。

問3 それぞれの島での生物の種数が上記のモデルにしたがってきまる場合、大陸から遠く離れた島と大陸に近い島について、それぞれ、島の面積とその島に生息する種数の関係はどのようになると予想されるか。解答用紙のグラフに、遠く離れた島での関係を実線で、近い島での関係を破線でそれぞれ書き込みなさい。

問4 このモデルでは、全ての種の特性が同じであることを仮定しているが、実際には、生物は種によってその特性が異なる。例えば捕食者と被食者の違いである。ある島にはそこに生息する生物にとって捕食者となる生物が1種生息していた。この島に生息する生物の総種数は、捕食者が生息しない他の島と比較して少なかった。このようになる理由を機構も含めて、60字以内で答えなさい。なお、「絶滅」および「個体数」の語句を必ず用いて解答しなさい。

問5 ガラパゴス諸島やハワイ諸島，そして小笠原諸島などの海洋島には，他の場所で見られない島固有の種が数多くみられる。このように固有の種が数多くみられる理由を，本問のモデルを参考にし，「種分化」の語句を必ず用いて 140 字以内で答えなさい。

## 演習問題 14 進化の仕組み(横浜国立大・第4問)

ダーウィンの進化説を踏まえた現代の進化理論では、[ ア ]によって生じた優れた[ イ ]が、[ ウ ]によって集団中に広まることで、進化が起きると説明される。しかしそればかりではなく、びん首効果によって[ エ ]が促進されることによっても進化は起きることがわかっている。このような2つの過程により、同じ種であっても集団間で、集団が持つ対立遺伝子の種類や[ オ ]に違いが生じる。こうした種内での変化を[ カ ]と呼ぶ。

さらに、地理的[ キ ]あるいは生殖的[ キ ]が生じることで[ ク ]が起きる。こうした[ ク ]や、さらに新たな高次の分類群を生じるような変化は[ ケ ]と呼ばれている。2つの分類群が分岐してからの時間と、それらの分類群の間の[ コ ]の違いの大きさは、ほぼ相関していることから、[ ケ ]の道筋は分子系統樹として図示することが可能である。

問1 文中の空欄にあてはまる最も適切な語句を答えよ。

問2 「適応度」、「遺伝的構成」、「集団」のすべての語句を用いて、文章中の下線の進化が起きるしくみを50字以内で述べよ。なお句読点も字数に含める。

演習問題 15 ハーディ・ワインベルグの法則(千葉大・第8問)

(A) 集団の遺伝子型頻度や遺伝子頻度は、以下の前提条件が全て満たされる場合、世代ごとに変化しない。ハーディ・ワインベルグの法則は、このような集団における遺伝子型頻度と遺伝子頻度の関係を表したものである。逆にいえば、自然集団がハーディ・ワインベルグの法則にしたがわない場合は、これら前提条件のどれかが満たされていないことを意味する。

前提条件 1 : [ ア ] 交配をする。

前提条件 2 : 大きな集団である。

前提条件 3 : [ イ ] は働いていない。

前提条件 4 : 他の同種集団との間で移出や移入が無い。

前提条件 5 : 突然変異は起こらない。

(B) 多年生草本である種 X は、千葉県では絶滅が危惧されている。近年の調査によると、千葉県での生育地は極めて狭い範囲(500×1000m)に限られ、成熟(開花)個体は 90 個体のみである。種 X の分布は、不連続であり、おおまかに分布域 1、分布域 2、分布域 3 の 3 つに区別できた(図 1)。分布域と分布域の間には川が流れている。この集団の現存する全ての成熟個体から葉を採集し、複数の遺伝子について遺伝子型を決定した(表 1 はデータの一部を示したもの)。

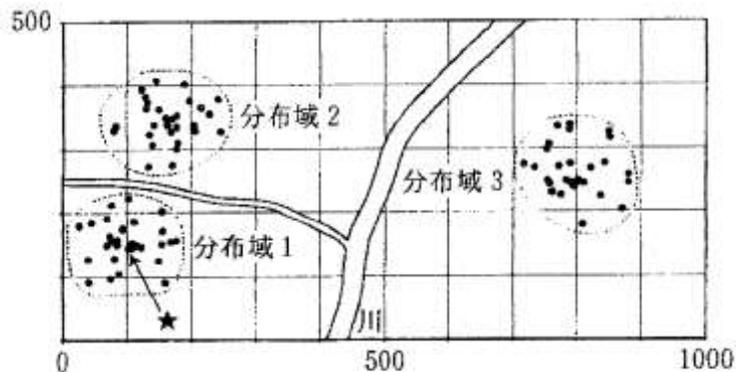


図 1 種 X の成熟個体の分布。数字の単位は m である。  
★印は、父性解析を行った母個体を示す。

表1. 分布域1の成熟個体の全30個体の、4つの遺伝子における遺伝子型。  
 遺伝子1, 2, 3, 4で、それぞれ2個, 3個, 4個, 3個の対立遺伝子が存在している。各遺伝子において、●が1つはホモ接合を、●が2つはヘテロ接合を示す。

| 対立遺伝子 | 1 |   | 2 |   |   | 3 |   |   |   | 4 |   |   |
|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|       | a | b | a | b | c | a | b | c | d | a | b | c |
| 個体01  | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 個体02  | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 個体03  | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 個体04  | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 個体05  | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 個体06  | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 個体07  | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 個体08  | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 個体09  | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 個体10  | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 個体11  | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 個体12  | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 個体13  | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 個体14  | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 個体15  | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 個体16  | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 個体17  | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 個体18  | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 個体19  | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 個体20  | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 個体21  | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 個体22  | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 個体23  | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 個体24  | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 個体25  | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 個体26  | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 個体27  | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 個体28  | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 個体29  | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 個体30  | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |

(C) 図1に示した種Xの個体間における花粉の分散距離を調べるため、父性解析を行った。父性解析とは母親と種子の遺伝子型を比較することで花粉の遺伝子型を推定し、それと父親候補との遺伝子型を比較することで、父親候補を絞り込む解析手法である。たとえば、表1の個体01から採集した種子01\_1の胚の遺伝子型が以下のように決定されたとする。

|              | 遺伝子1 | 遺伝子2 | 遺伝子3 | 遺伝子4 |
|--------------|------|------|------|------|
| 個体01         | bb   | aa   | cd   | ab   |
| 個体01_1       | ab   | ab   | dd   | aa   |
| 推定される花粉の遺伝子型 | a    | b    | d    | a    |

遺伝子1と2の場合種子が、母親の持たない対立遺伝子を持っているので、これが父親由来と推定できる。遺伝子3と4の場合種子の遺伝子型はホモ接合なので、自動的に父親由来の対立遺伝子が推定できる。このように、花粉遺伝子型が決まれば、次に父親候補の遺伝子型との比較によって、父親を絞り込むことができる。例えば、遺伝子1では、表1の対立遺伝子aを持たない個体(01, 05, 10, 13, 16, 18, 22, 26, 27, 28, 30)は父親候補から排除できる。この作業を、他の遺伝子についても行う。十分な数の遺伝子を調べれば、父親を正しく推定できる。

図1の分布域1のほぼ中心に位置する★印の個体から種子を100個採集し、父性解析を行った。母個体と推定父親個体との距離(花粉の分散距離)を調べた結果を図2に示す。

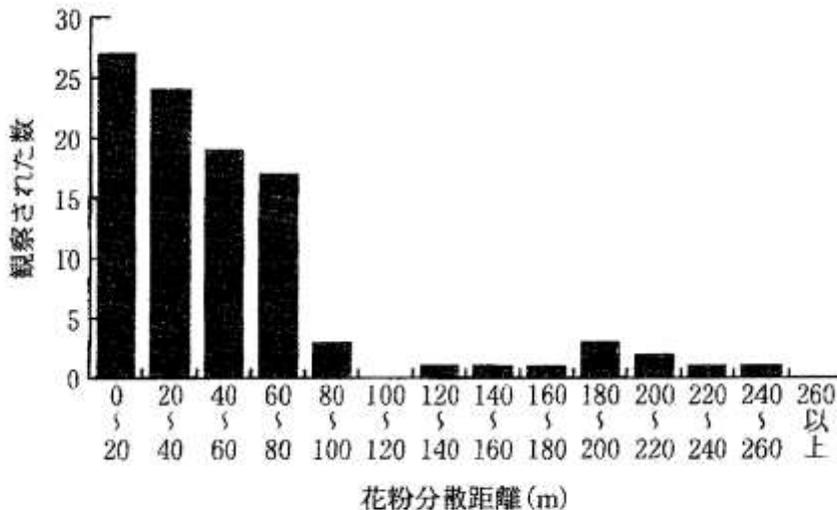


図2. 分布域1の中心部の★印の個体から採集した種子100個の父性解析によって示された花粉分散距離

- 問1 本文中の空欄[ ア ], [ イ ]に当てはまる最も適切な語句を答えよ。
- 問2 ハーディ・ワインベルグの法則が成り立つために、なぜ前提条件2が必要なのか、その理由を50字以内で答えなさい。
- 問3 本文Cの種子01\_1の父親は分布域1に存在するものとする。種子01\_1の父親を表1の30個体の中から父性解析によって選び出して答えなさい。
- 問4 遺伝子1にはaとbの2つの対立遺伝子がある。分布域1~3の全90個体について解析した結果遺伝子型aaが39個体、遺伝子型abが30個体、遺伝子型bbが21個体であった。この集団の対立遺伝子aとbの頻度から、ハーディ・ワインベルグの法則のもとで期待される遺伝子型aa, ab, bbそれぞれの個体数を、小数点以下第1位まで求め、答えなさい。
- 問5 問4で計算した遺伝子型aa, ab, bbの期待される個体数と、実際に観察された各遺伝子型の個体数は異なっている。一方、それぞれの分布域内ではハーディ・ワインベルグの法則のもとで期待される個体数と実際の個体数は、ほぼ一致していた。その理由を探るため分布域ごとの遺伝子頻度を比較した結果、分布域1と2の遺伝子頻度はほぼ一致するが、分布域3は大きく異なっていることが分かった。同様な結果は、遺伝子1以外の遺伝子でも認められた。本文BとCのデータから考察しこのようなパターンが生じたことを説明する最も適切な仮説を60字以内で述べなさい。また、本文BとCに与えられた情報のどの部分が、その仮説を支持するかを120字以内で述べなさい。

# 遺伝子工学総整理

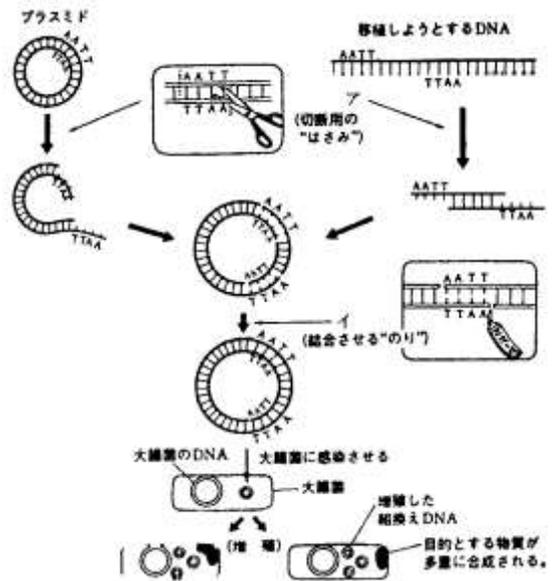
(1) 遺伝子組み換え大腸菌

① 制限酵素…特定の塩基配列を確認し、  
DNA を切断する酵素。

② DNA リガーゼ…切断された DNA を  
結合させる酵素。

③ プラスミド…原核生物内にある  
小さな環状 DNA で  
生存にあまり関係ない。  
遺伝子の運び屋(ベクター)  
として使われる。

例) ヒトインスリン・ヒト成長ホルモンの人工合成

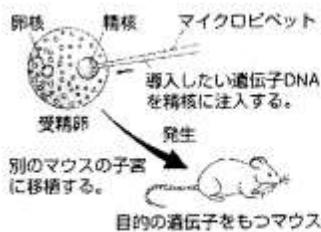


※目的の遺伝子が組み込まれたか確認する方法

- ① 目的の遺伝子に 抗生物質耐性遺伝子 をつなげておく
- ② 上記の手順で遺伝子組み換えを行う
- ③ プラスミドを取りこませた大腸菌を、抗生物質添加培地で培養する。
- ④ 生き残った大腸菌が組み換えを成功した大腸菌。

(2) トランスジェニック動物…遺伝子組み換え動物

←受精の瞬間に、目的の遺伝子を 精核 に挿入する。



例) ヒト成長ホルモンを母乳中に分泌するマウス

ラットの成長ホルモン遺伝子を組み込んだマウス(スーパーマウス)  
光るカエル

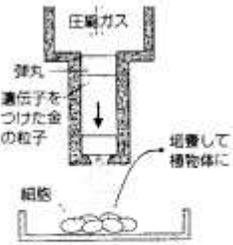
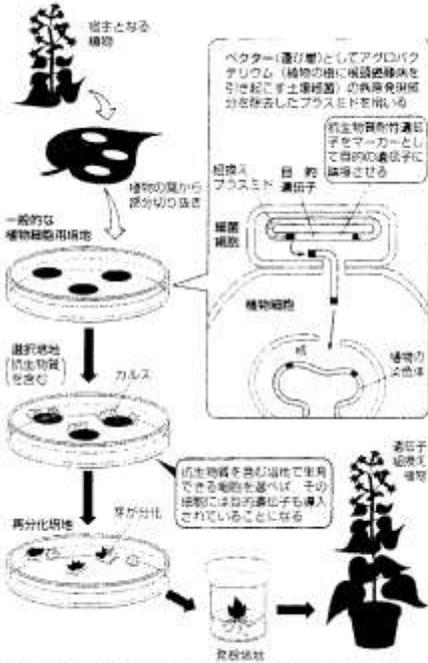
(3)トランスジェニック植物…遺伝子組み換え植物

①作成方法…ベクターの利用

ア)アグロバクテリウムのプラスミドの利用

イ)遺伝子銃…金粒子の利用

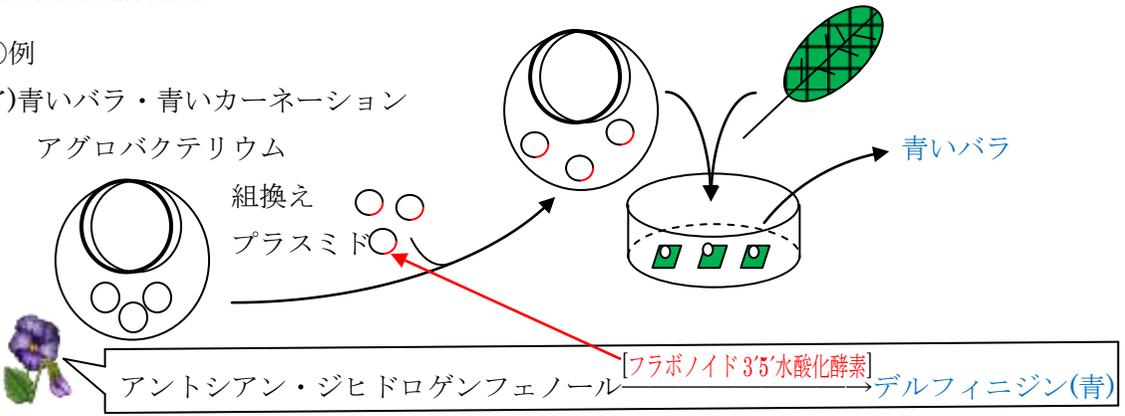
植物への外来の遺伝子導入には手法に若干の違いがある。具体的な概要は下記の通りである。



これ以外に、遺伝細胞内に遺伝子をうつす遺伝子銃やエレクトロポレーションという装置も開発されている。

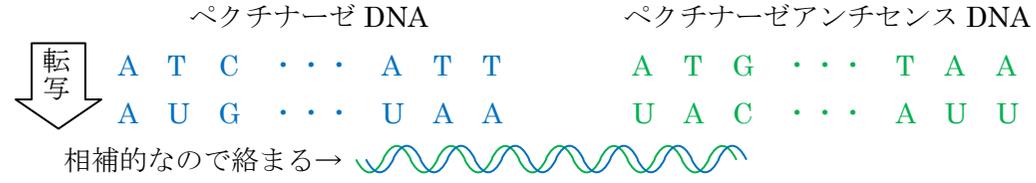
②例

ア)青いバラ・青いカーネーション  
アグロバクテリウム



イ)日持ちの良いトマト

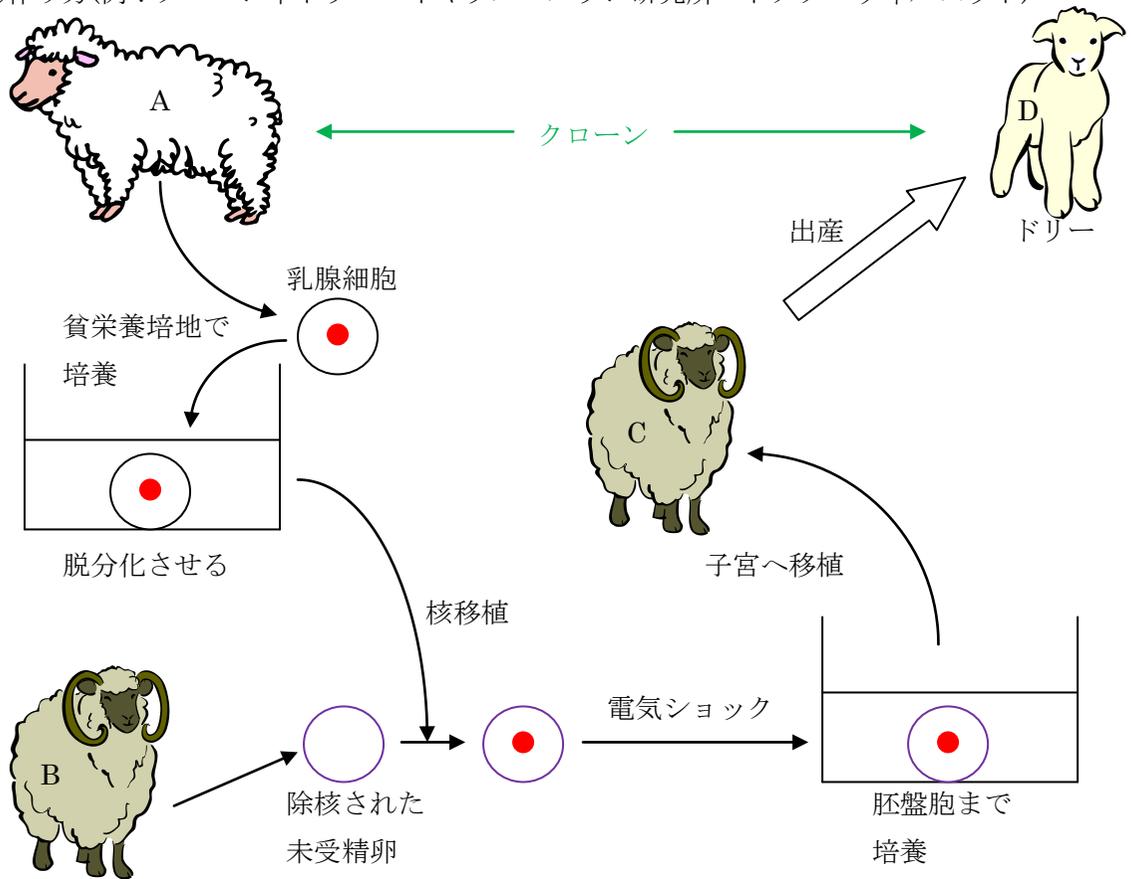
細胞壁を軟らかくする酵素のアンチセンス DNA を導入することで、細胞壁を軟らかくする酵素の mRNA と導入 DNA からつくられた mRNA が絡まって、酵素への翻訳を抑制する。



ウ)害虫耐性トウモロコシ・除草剤耐性ダイズ

(4)クローン哺乳類…本来有性生殖しかない動物を無性生殖させたもの。

①作り方(例：クローン羊ドリー←イギリスロスリン研究所・ドクターウィルムット)



②ポイント

ア)貧栄養培地で培養

イ)乳腺細胞の核を脱分化させる

ウ)核の細胞周期を  $G_0$  期にリセットする

③どこまでクローンか

ア)核の遺伝子…A

イ)ミトコンドリアの遺伝子…B

ウ)出生時に持つ抗体…C

④クローン哺乳類の利点と問題点

ア)利点…同じ遺伝子を持っているので同じ環境で育てると、同じ形質を持つ個体ができる。

イ)問題点…遺伝子が均一だから環境変化に弱く、絶滅の可能性がある。

(5) ES 細胞(胚性幹細胞)…哺乳類の胚盤胞の内部細胞塊

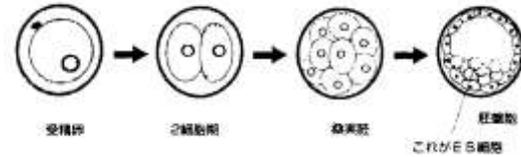
①特徴

ア) 分化全能性を持つ。

イ) 未分化のまま無制限に増殖できる。

ウ) 人工的な操作で特定の器官や組織に分化させることができる。

図2 受精卵からES細胞



②応用

ア) 臨床実験の人体の代わりに使う。

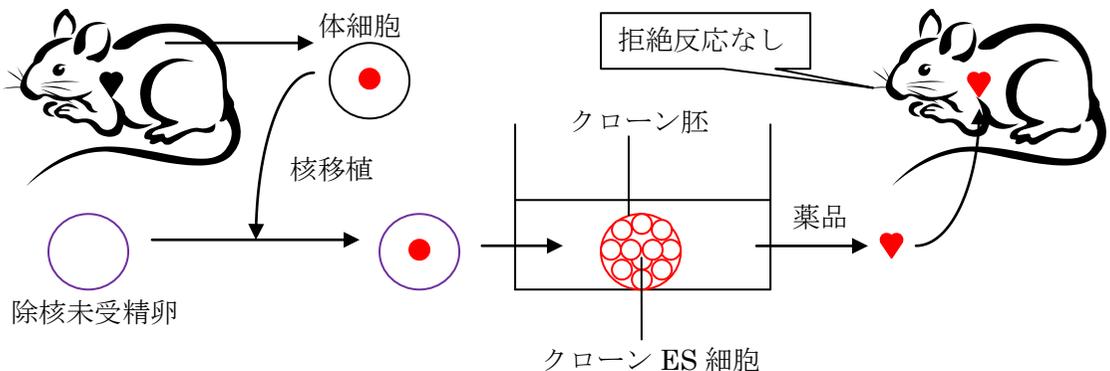
イ) 発生・分化の仕組みの解明材料

③課題

ア) 受精卵を破壊してつくられるため倫理的問題がある。

イ) ある特定の個人の細胞に由来するため、ES 細胞から作られた細胞は臓器移植に使えない。

(6) クローン胚…体細胞の核を移植した未受精卵を胚盤胞まで発生させたもの。



①期待…体細胞クローン技術+ES 細胞を特定の器官に分化させる技術で、あらゆる再生医療が可能になるはず。

②問題点

ア) 完成までに膨大なお金がかかるので非現実的

イ) 未受精卵の入手困難

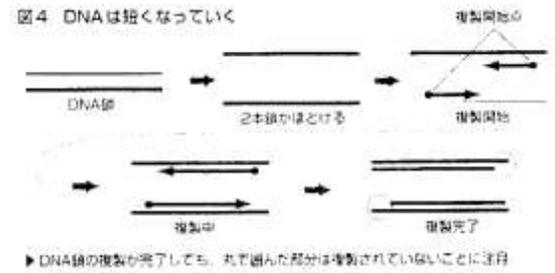
(7) iPS 細胞(人工多能性幹細胞)…体細胞を初期化した万能細胞。ES 細胞と同じように使える細胞であり、倫理的問題がない。体細胞に 4 つの基本転写因子の遺伝子を入れると、初期化。

①ヒトの MHC のほとんどのタイプの iPS 細胞をそろえると、iPS 細胞バンクができ、どのタイプのヒトでも拒絶反応のない移植を受けられるようになる。

②回収率をもう少し高くすること、がん遺伝子をウイルスを用いて導入していることが課題。

(8)テロメア説

ヒトを含む動物では、DNA は数十本の染色体に分かれている。この染色体の端、つまり、DNA の端をテロメアという。DNA鎖の端は非常に反応性に富んでおり、他のDNA鎖の末端同士ですぐに結合しようとする。この結合反応を抑えているのがテロメアである。テロメアは、TTAGGG の繰り返しからなり、細胞分裂ごとに繰り返し回数が減っていく。生殖細胞やがん細胞は、テロメアーゼによってテロメアを自己伸長することができると考えられている。



(9)プリオンによる病気…BSE・羊のスクレイピー・クロイツフェルト＝ヤコブ病

↳感染性タンパク質

→一般の感染症とは異なり、病原体は、ウイルスや細菌ではなく、核酸を持たないタンパク質(=プリオン)である。

①プリオンの特徴

ア)酵素のように、接触した非病原性プリオンを病原性プリオンに変化させる。

イ)胃や腸の酵素で分解されない(腸のリンパ組織から直接吸収される)。

ウ)病原性プリオンが神経細胞に蓄積し、神経細胞が死滅することで、脳が破壊される。

(10)ヒトゲノムプロジェクト…ヒト遺伝子の全貌を明らかにするプロジェクト

①参加国…アメリカ・フランス・イギリス・ドイツ・

日本・中国

②目的…約 30 億塩基対を読み取り、

その働きを明らかにする。

③2010 年現在…約 30 億塩基対の読み取りが完了。

はたらきに関して追跡中。

※当初は 10 万個ほどの遺伝子(実際にタンパク質をコードしている部分)があると予想されたが、実際は約 37000 個だと推定されている。

④意義

ア)生命の基本を解明

イ)病気の克服(オーダーメイド医療)

ウ)有用物質の発見などによる産業効果

※ゲノム…その生物が持つ遺伝情報のこと

=核相が n の染色体にあるすべての遺伝情報

※「ゲノム」という語のいろいろな使われ方

a.配偶子に存在する染色体(=23 本の染色体)に含まれる全 DNA(遺伝情報)のセット

b.常染色体 22 本と X 染色体・Y 染色体(=24 本の染色体)に含まれる全 DNA(遺伝情報)のセット

c.ミトコンドリアと葉緑体にそれぞれ存在する独自の DNA(遺伝情報)のセット

d.核に存在する全 DNA(遺伝情報)のセット(c と区別する場合に用いられる)

(11)変異と体質

①一塩基多型(SNP)…機能上は大きな不利益がなく、集団の 1%以上に見られる塩基の違い

②SNP の違いに基づくわずかな機能の差(=いわゆる『体質』)

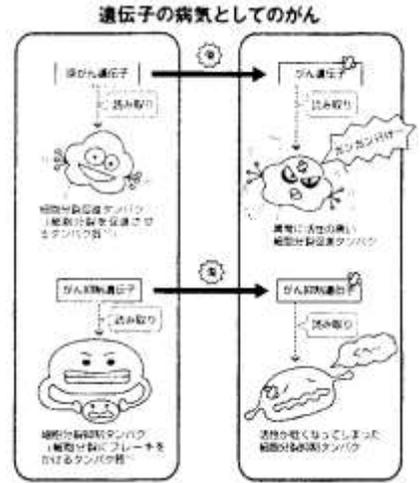
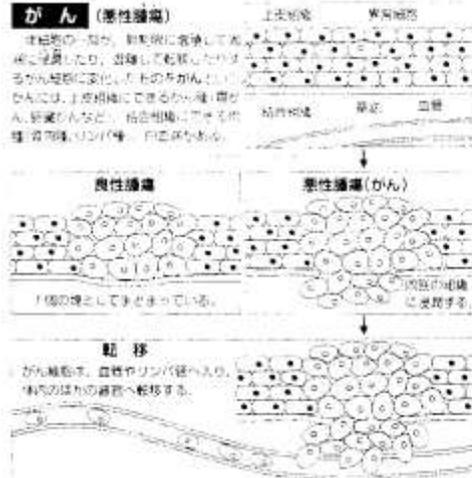
→薬に対する反応、生活習慣病(糖尿病、高血圧・肥満)のかかりやすさなど



(12)ガン…正常な細胞ががん化したもの

↳無秩序に細胞分裂して、周囲の細胞を破壊するようになること。

原がん遺伝子  
(細胞分裂促進)と  
がん抑制遺伝子  
(細胞分裂抑制)の  
両方が傷つくと  
細胞が暴走して  
がん化する。



※発ガン物質…ウイルス・タール・高濃度のアルコール・ヒ素・クロム・ウレタン・uv・放射線など

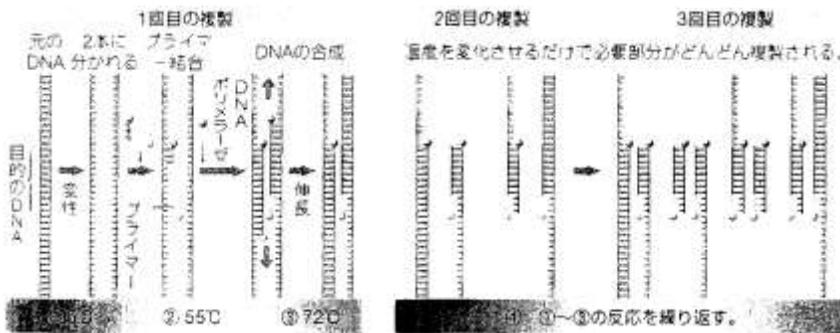
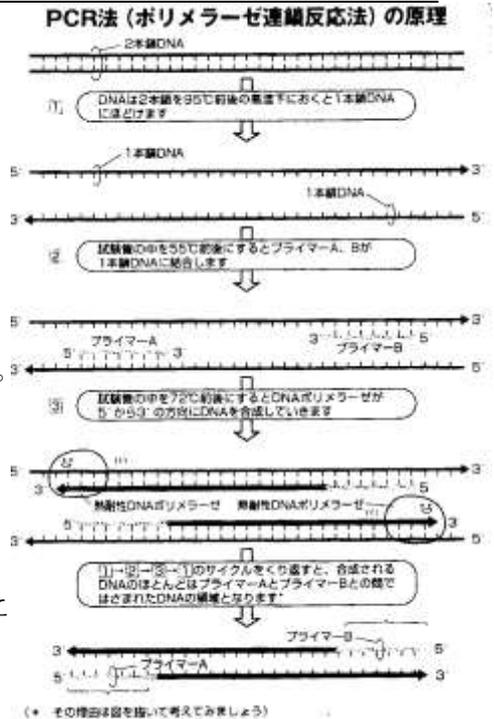
※通常は、細胞性免疫でガン細胞は除去されている。

(13)PCR法(ポリメラーゼ連鎖反応法)

試験管内でDNAの特定部分を増やす方法

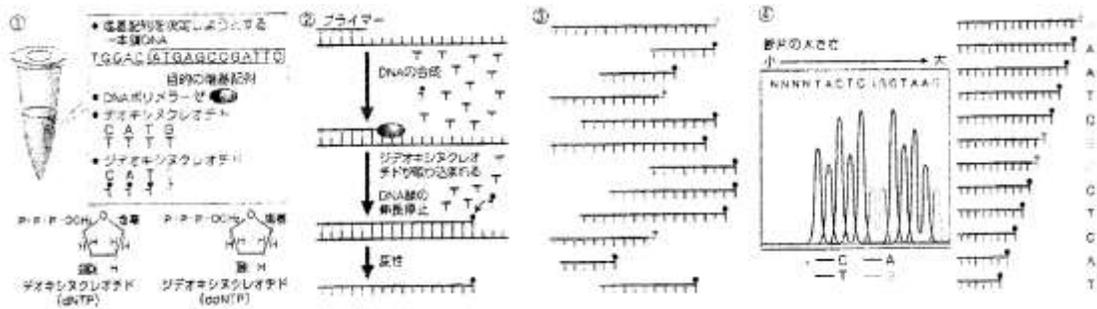
- ①試験管の温度を 95℃にする。  
→2本鎖DNAの水素結合を切断して1本鎖になる。
- ②試験管の温度を 55℃にする。  
→1本鎖DNAにプライマー(複製開始配列)が結合する。
- ③試験管の温度を 72℃にする。  
→プライマーから先のDNAを耐熱性DNAポリメラーゼが伸ばしていく。
- ④①～③を繰り返す。

※耐熱性DNAポリメラーゼは海底の熱水噴出口付近に生息する細菌からとってきた。



(14) DNA の塩基配列決定—ダイターミネーター法(ジデオキシ法)

- ① 反応液中に、4 種類のデオキシヌクレオチド(dNTP)と共に、塩基ごとに異なる蛍光色素をもつ 4 種類の\*ジデオキシヌクレオチド(ddNTP)を加える  
\*デオキシリボースの 3'部位の C に結合する OH が H になっており、リン酸と結合できない
- ② 一本鎖 DNA の複製開始点に結合する短い一本鎖 DNA(プライマー)をつけ、複製させる  
→ ddNTP を取り込むと、そこで DNA 新生鎖の伸長が停止する
- ③ 反応終了時、DNA 新生鎖の最後の塩基は ddNTP になっている
- ④ 合成された DNA 断片を電気泳動し、蛍光色素の色から塩基配列を読み取ると、その相補的配列が目的の塩基配列となる



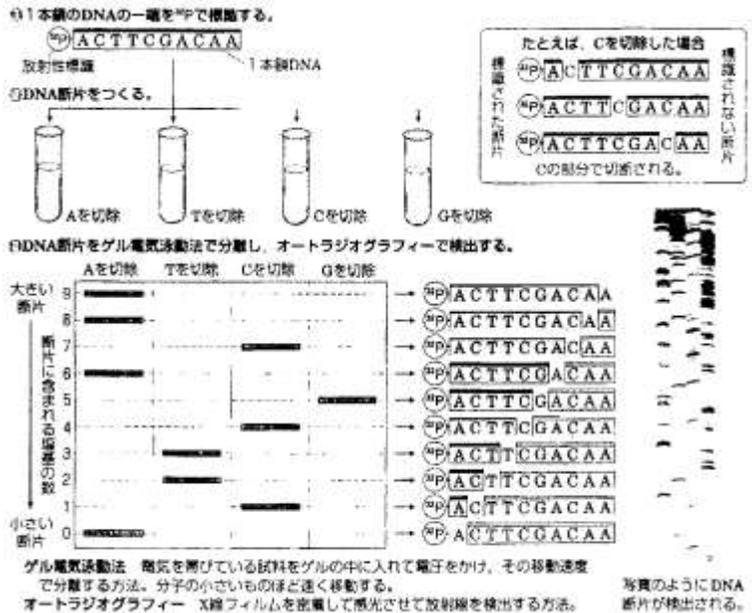
(15) マクサム・ギルバート法…DNA の塩基配列の決定

放射性同位体で標識した DNA を制限酵素で切断し、電気泳動で調べる。

↳ mol で分類できる

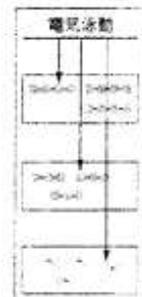
※現在では前ページのサンガー法が使われている。

(∵使用する試薬に危険なものがない、精度が高い)



※ゲル電気泳動…DNA 鎖を分子量(長さ)の違いで分離する方法

- ① アガロースゲル培地に DNA を注入する
- ② 培地に電流を流すと、DNA は負に帯電しているため正極側に移動する
- ③ 短い DNA 断片は移動が速く、長い DNA 断片は移動が遅い



(16)DNA の検出—サザン法(サザンブロットィング)

①目的…特定の塩基配列をもつ DNA を検出する

②方法

ア)DNA を制限酵素で扱いやすい大きさ断片化し, アガロースゲル培地で電気泳動する

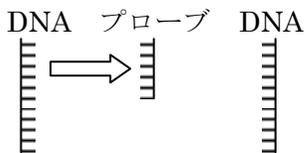
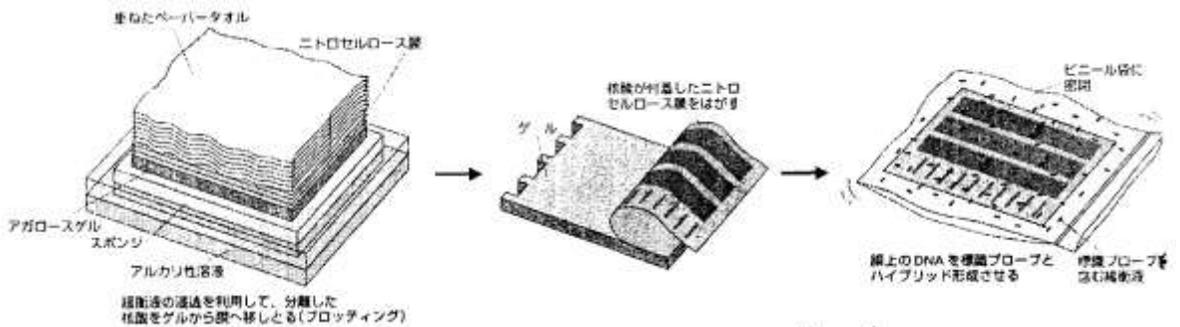
イ)NaOH 溶液の上にその培地を置き, ニトロセルロース膜を上を被せる

→変性で 1 本鎖に分離した DNA を, NaOH 溶液の浸透を利用してゲル培地からニトロセルロース膜に移し取る(ブロットィング)

ウ)ニトロセルロース膜を培地から剥がし, プローブ(一本鎖 DNA)と共に容器に入れる

→膜上の DNA にプローブと相補的な配列がある場合, ハイブリッド形成を起こす

エ)プローブを放射性同位体で標識しておけば, オートラジオグラフィーで DNA を同定できる



cf.ノザン・ブロットィング…RNA の検出(プローブとのハイブリッド形成を利用)

cf.ウェスタン・ブロットィング…タンパク質の検出(抗体との結合を利用した免疫染色)

※ハイブリッド形成(ハイブリダイゼーション・分子交雑法)



①DNA-DNA ハイブリッド…サザン法に利用

②DNA-RNA ハイブリッド…ノザン法や遺伝子発現の確認, エキソン領域の特定に利用

③RNA-RNA ハイブリッド

(17) DNA 鑑定

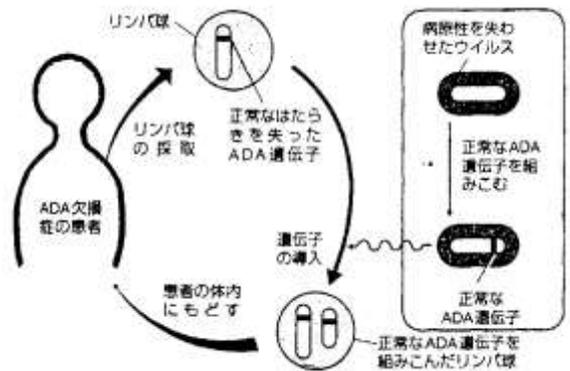
DNA の塩基配列を調べて、個人の識別をしたり、血縁関係を判断したりすることができる。DNA には同じ塩基配列を繰り返している部分が多数あり、繰り返しの回数はヒトによって異なる。採取した DNA を大量に増やし、繰り返し部分を制限酵素で切り取って、電気泳動で繰り返し回数を判定する。



※無意味な塩基配列の繰り返し…重要なタンパク質をコードしていないのでヒトによって違いがあっても生きていける。

(18) 遺伝子治療

ADA(アデノシンアミナーゼ)という酵素をつくる遺伝子の異常によって発病するADA欠損症は重症の免疫不全を引き起こす。この治療法が遺伝子治療である。リンパ球を取り出して、レトロウイルスをベクターにして、正常なADA遺伝子を組み込む。このリンパ球を患者に戻すと、正常なADA遺伝子を持つリンパ球が患者体内で増加し、病気が治る。



# manavee 生物演習シリーズ LINE UP

---

## ■7月までに受けてほしい講座

### ●分野別対策講座

分野別攻略Ⅰ（生命の連続性）

（by tomson）

▶ 生命の連続性の重要問題をチェック

分野別攻略Ⅱ（恒常性・調節）

（by tomson）

▶ 恒常性・調節の重要問題をチェック

分野別攻略Ⅲ（細胞・代謝・生態）

（by tomson）

▶ 細胞・代謝・生態の重要問題をチェック

---

## ■7～8月にかけて受けてほしい講座

### ●総合対策講座

総合実践攻略【夏の陣】

（by tomson）

▶ 2次力の強化を図る

パッと見えてくる計算問題

（by かりん先生）

▶ 生物の計算問題を総チェック

### ●分野別対策講座

遺伝の完全攻略 PARTⅠ・PARTⅡ

（by tomson）

▶ 遺伝の問題の解き方を学ぶ

### ●大学別対策講座

実験考察問題の解法ナビゲーション

（by とらますく先生）

▶ 東京大の過去問から実験考察問題へのアプローチを学ぶ

---

## ■9月～11月に受けてほしい講座

生物難問攻略

（by tomson）

▶ 難問演習で難問にめげない心を育てる  
（生物が得意な人のみ受講推奨）

---

## ■11月下旬～12月上旬に受けてほしい講座

### ●総合対策講座

総合実践攻略【冬の陣】 PARTⅠ・PARTⅡ

（by tomson）

▶ 2次力の完成を目指す

---

■12月中旬～12月末に受けてほしい講座

●センター演習

マッハで演習するセンター生物第3問  
(by あべちゃん先生)

▶ センター過去問を利用した遺伝の演習

■1月上旬～1月中旬に受けてほしい講座

●センター演習

センター生物基礎 FINAL CHECK  
(by ヒゲ先生・かりん先生・tomson)

▶ インプット+アウトプットで  
センターの準備を行う

センター生物 FINAL CHECK  
(by ヒゲ先生・かりん先生・tomson)

▶ インプット+アウトプットで  
センターの準備を行う

■1月下旬ごろに受けてほしい講座

●分野別対策講座

遺伝の究極攻略【二次への架け橋】  
(by tomson)

▶ センターボケをぶっ飛ばして2次の脳に  
切り替える

■1月下旬～2月にかけて受けてほしい講座

●大学別対策講座

攻略！！北大生物シリーズ  
(by tomson)

▶ 北海道大の過去問を利用して制限時間以内に  
解答を導けるように鍛える

I Can 生物  
(by ヒゲ先生)

▶ 九州大の過去問を利用して記述問題の  
解き方を学ぶ

はんなり稼ごう京大生物  
(by かりん先生)

▶ 京都大の過去問を利用して問題および  
その周辺知識を総チェック

●二次試験直前講座

難関大生物プレテスト  
(by tomson)

▶ テスト演習形式で実践的な問題演習を  
行う

(注意事項)

※国公立受験を軸にこの予定表は作られています。

※詳しくは各講座の授業の概要、イントロダクションをご覧ください。

※一部作成中・作成予定のカリキュラムを含みます。



manavee 生物陣のベストメンバーが、多彩な講座と充実した教材を用意して、

皆さんの受験突破のお手伝いをします！！

