

令和3年度 入学試験問題

理 科

Ⅰ 物 理・Ⅱ 化 学・Ⅲ 生 物

2月25日(木)(情—自然) 13:45—15:00

(情—コン・理・)  
(医・工・農) 13:45—16:15

注 意 事 項

1. 試験開始の合図まで、この問題冊子と答案冊子を開いてはいけない。
2. 問題冊子のページ数は、63 ページである。
3. 問題冊子とは別に、答案冊子中の答案紙が理学部志望者と情報学部自然情報学科とコンピュータ科学科志望者には17枚(物理3枚、化学4枚、生物4枚、地学6枚)、医学部志望者と農学部志望者には11枚(物理3枚、化学4枚、生物4枚)、工学部志望者には7枚(物理3枚、化学4枚)ある。
4. 落丁、乱丁、印刷不鮮明の箇所などがあつたら、ただちに申し出よ。
5. 情報学部自然情報学科志望者は、物理、化学、生物、地学のうち1科目を選択して解答せよ。  
情報学部コンピュータ科学科志望者は、物理、化学、生物、地学のうち2科目を選択して解答せよ。ただし、物理を必ず含むこと。  
理学部志望者は、物理、化学、生物、地学のうち2科目を選択して解答せよ。ただし、物理、化学のいずれかを必ず含むこと。  
医学部志望者と農学部志望者は、物理、化学、生物のうち2科目を選択して解答せよ。  
工学部志望者は、物理と化学の2科目を解答せよ。
6. 解答にかかる前に、答案冊子左端の折り目をていねいに切り離し、自分が選択する科目の答案紙の、それぞれの所定の2箇所を受験番号を記入せよ。選択しない科目の答案紙には、大きく斜線を引け。
7. 解答は答案紙の所定の欄に記入せよ。所定の欄以外に書いた解答は無効である。
8. 答案紙の右寄りに引かれた縦線より右の部分には、受験番号のほかは記入してはいけない。
9. 問題冊子の余白は草稿用として使用してもよい。
10. 試験終了後退室の許可があるまでは、退室してはいけない。
11. 答案冊子および答案紙は持ち帰ってはいけない。問題冊子は持ち帰ってもよい。





# III

## 生 物

---

- (1) 問題は、次のページから書かれていて、I, II, III, IVの4題ある。4題すべてに解答せよ。
- (2) 解答は、答案紙の所定の欄に書き入れよ。文字や記号は、まぎらわしくないようにはっきり記せ。

## 生物 問題 I

次の文章を読み、以下の設問に答えよ。

文1

異なるヒトの血液を混ぜると、赤血球が凝集することがある。これは、赤血球の細胞膜上に存在する糖鎖抗原(凝集原)と、血しょう中に存在する抗体(凝集素)とが抗原抗体反応を起こすことによる。この抗原抗体反応によって血液を分類したものをABO式血液型とよび、A型、B型、O型、AB型の4つの表現型がある。これら4つの表現型を決定する糖鎖抗原を作る遺伝子( $I$  遺伝子)は、ヒトの第9染色体にある。 $I$  遺伝子には  $I^A$ 、 $I^B$ 、 $I^O$  の3つの対立遺伝子があり、それぞれ酵素A、酵素B、酵素Oの遺伝子である。これらの対立遺伝子の組み合わせにより、遺伝子型が決まる。

細胞膜上の糖鎖として、血液型がA型のヒトの赤血球にはA型糖鎖があり、B型のヒトの赤血球にはB型糖鎖が、O型のヒトの赤血球にはH型糖鎖がある。AB型のヒトの赤血球にはA型糖鎖とB型糖鎖の両方がある。A型糖鎖は、酵素Aが触媒する化学反応によりH型糖鎖にGalNAc(*N*-アセチルガラクトサミン)が付加されたものであり、B型糖鎖は、酵素Bが触媒する化学反応によりH型糖鎖にGal(ガラクトース)が付加されたものである。酵素Oは、H型糖鎖にGalNAcもGalも付加しない。

凝集素には抗A型糖鎖抗体と抗B型糖鎖抗体の2種類があり、これらの抗体が赤血球表面の糖鎖抗原(A型糖鎖とB型糖鎖)とそれぞれ結合することによって赤血球の凝集が起こる。A型のヒトは抗B型糖鎖抗体をもち、B型のヒトは抗A型糖鎖抗体をもち、O型のヒトは抗A型糖鎖抗体と抗B型糖鎖抗体の両方をもち、AB型のヒトは凝集素をもたない。

設問(1): 血液型がA型とB型の両親からO型の子供が生まれた。 $I$  遺伝子について、この両親の遺伝子型を答えよ。

設問(2)：ハーディ・ワインベルグの法則が成り立つヒトの集団から任意抽出した  $N$  人の血液型を調べたところ、A 型、B 型、O 型、AB 型の個体数は、それぞれ  $[A]$ 、 $[B]$ 、 $[O]$ 、 $[AB]$  であった ( $N = [A] + [B] + [O] + [AB]$ )。この集団における  $I^A$  の遺伝子頻度を  $N$ 、 $[B]$ 、 $[O]$  を用いて表せ。なお、解答欄には、答えを導出する過程の要点も記述すること。

## 文 2

生まれたばかりのヒトの赤ん坊は、自身で抗体を産生することができないが、胎盤を通じて母親から受け渡された抗体を有している。したがって赤ん坊は、生後しばらくの間は母親由来の免疫のおかげで、さまざまな病原体からの感染を免れる。生後 3 ヶ月ほどすると、母親からもらった抗体が減り始め、生後半年ほどでなくなるが、通常、赤ん坊は生後半年ぐらいうると、自身の B 細胞 (B リンパ球) により抗体を産生し始め、自身の免疫力が発達していく。ところが、今からほぼ半世紀前、ある小児科医は、生後半年以降に肺炎や中耳炎などの細菌感染症を繰り返す男児の症例に出会い、この男児の血清中の抗体量が著しく少ないことを見出し、これが免疫不全症であることを報告した。

その後、この免疫不全症は、酵素 E の遺伝子の変異が原因で発症する遺伝性免疫不全症であることが明らかになった。① 図 1 はこの遺伝性疾患の患者を有する家系の具体例である。酵素 E は ATP から基質タンパク質のチロシンの側鎖にリン酸基を転移する反応を触媒するリン酸化酵素である。酵素 E は B 細胞の正常な分化・成熟に必須であるので、酵素 E の機能を損なう変異により、抗体の産生ができなくなるものと考えられている。

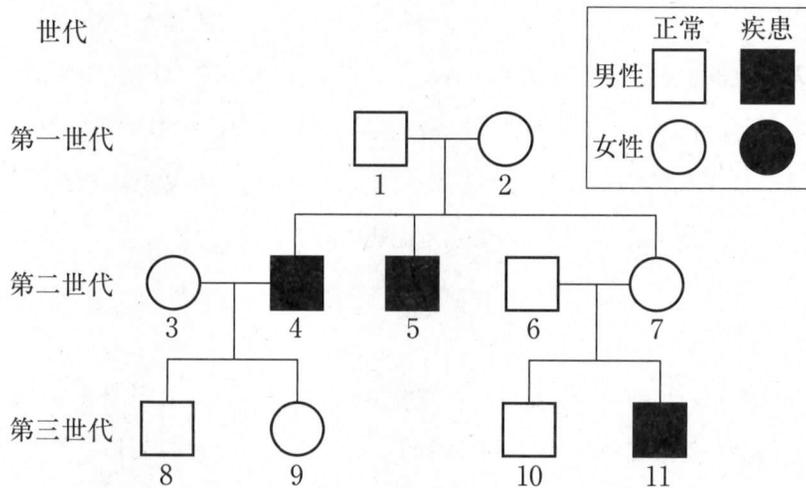


図1 下線部①の遺伝性免疫不全症の家系図の例

さらにその後の研究で、酵素EがB細胞由来のさまざまな悪性腫瘍(遺伝子の異常によって細胞が無秩序に増殖して起こる病気)に関わることが明らかになり、酵素Eは抗がん剤開発の標的として注目されるようになった。<sup>②</sup>

設問(3): 図1の家系図に基づいて、下線部①の遺伝性疾患の原因となる対立遺伝子の分類として最も適切なものを以下のa)~d)のうちから1つ選び、記号で答えよ。ただし、図中の個体1, 3, 6, 8, 10は、この疾患の原因となる対立遺伝子をもっていないものとする。

- a) 常染色体上にある顕性(優性)遺伝子
- b) 常染色体上にある潜性(劣性)遺伝子
- c) X染色体上にある顕性(優性)遺伝子
- d) X染色体上にある潜性(劣性)遺伝子

設問(4)：基質タンパク質の濃度が酵素 E の濃度をはるかに上回る条件で，酵素 E の濃度を一定にして ATP の濃度をさまざまに変えて酵素 E の反応速度  $v$  を測定すると，図 2 に示す結果が得られた。図 2 において，ATP の濃度が十分高くなると，ATP の濃度がそれ以上高くなっても，反応速度  $v$  がほとんど上がらなくなるのはなぜか，解答欄の枠内で述べよ。

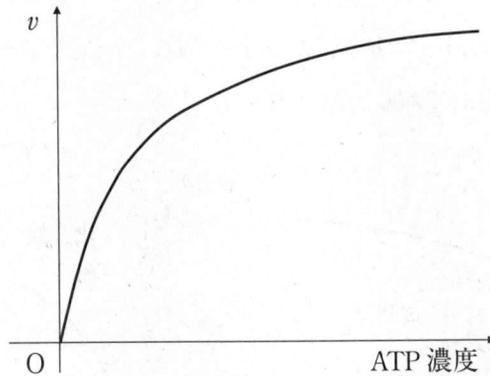
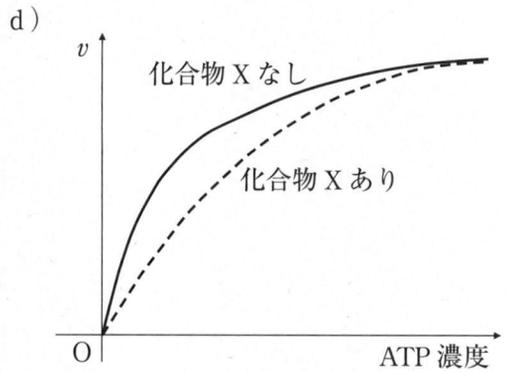
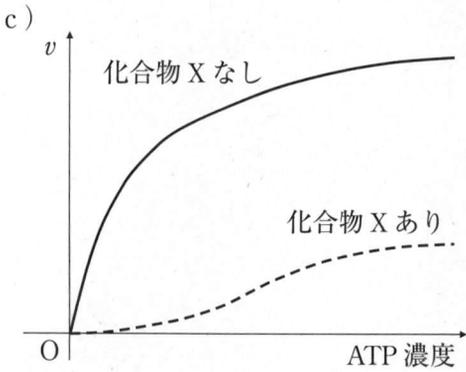
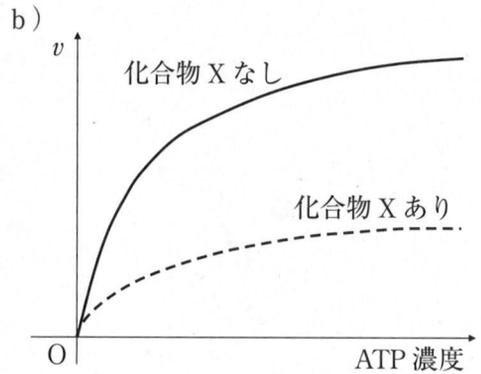
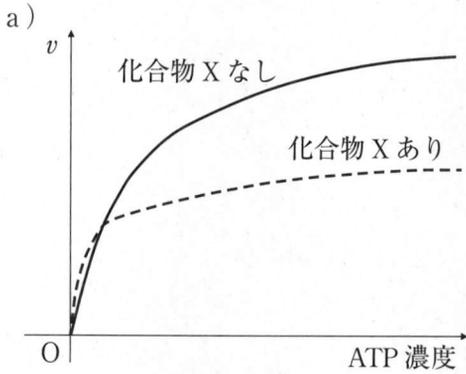


図 2 酵素 E の反応速度  $v$  と ATP 濃度の関係

設問(5)：下線部②に関連して、酵素 E の ATP 結合部位に結合する化合物 X が開発された。化合物 X は、酵素 E と ATP の結合を阻害して酵素 E の活性を阻害する競争的阻害剤として機能する。酵素 E の反応速度  $v$  を、一定濃度の化合物 X を加えた条件で測定した場合に、化合物 X がいない場合と比べて反応速度  $v$  がどのように変化するか、最も適切なものを下の a)～d) のうちから 1 つ選び、記号で答えよ。ただし、基質タンパク質の濃度は酵素 E の濃度をはるかに上回っており、酵素 E の濃度は一定であり、酵素 E と化合物 X の結合は可逆的であるものとする。



# 草稿用紙

(切りはなしてはならない)

## 生物 問題Ⅱ

次の文章を読み、以下の設問に答えよ。

### 文1

イネには馬鹿苗病という病気があり、病気にかかると苗が異常に伸長して丈が高くなりひどいときには枯れてしまう。この病気は、稲作に大きな被害を与えるものとして、日本では古くから知られており、1900年ごろには科学的な研究も行われるようになった。1920年代に入り、馬鹿苗病の原因がカビの一種の馬鹿苗病菌が分泌する化学物質であることが<sup>①</sup>、台湾総督府農事試験場の黒沢英一によって明らかにされた。1930年代になると東京帝国大学(現在の東京大学)の藪田貞治郎はこの物質の単離・結晶化を試み、その過程でこの物質を馬鹿苗病菌の学名(*Gibberella fujikuroi*)にちなみジベレリンと名付けた。1938年には藪田らが結晶化に成功し、1950年代にはアメリカ、イギリス、日本の3つの研究グループにより、ジベレリンの化学構造が決定された。その後、この物質はカビが作るだけでなく、植物自身も合成し植物の伸長を促進させる植物ホルモンの1つであることがわかった。

このように、植物体の一部で生産され、組織間、器官間を移動してごく微量で濃度<sup>②</sup>に応じた作用をする物質を植物ホルモンという。また、1つの植物ホルモンがさまざまな成長過程に関わったり、複数の植物ホルモンが共同して特定の成長過程に働くこともある。

設問(1)：下線部①の結論を導くため、以下の実験を行った。空欄を埋めて文章を完成させよ。

馬鹿苗病菌の培養液を  した後、イネに与えて異常伸長するかどうかを観察した。

設問(2)：下線部②について、オーキシンの濃度に応じた作用の違いを下記に示した。

〔ア〕 ～ 〔ク〕 に当てはまる適切な用語をリストから選んで文章を完成させよ。なお、同じ用語を何度使ってもよい。

植物の芽生えを暗所で水平に置くと、〔ア〕 刺激により茎でも根でもオーキシンの〔イ〕 側に多く分布する。その結果、茎では〔イ〕 側の成長が促進されて〔ウ〕 に屈曲するが、反対に根では〔イ〕 側の成長が〔エ〕 されて〔オ〕 に屈曲する。これはオーキシンに対する感受性が茎と根で異なり、茎の成長は比較的〔カ〕 濃度で促進されるが根の成長は〔キ〕 濃度で促進され、いずれの器官でもさらに濃度が高くなると成長が〔ク〕 されるためである。

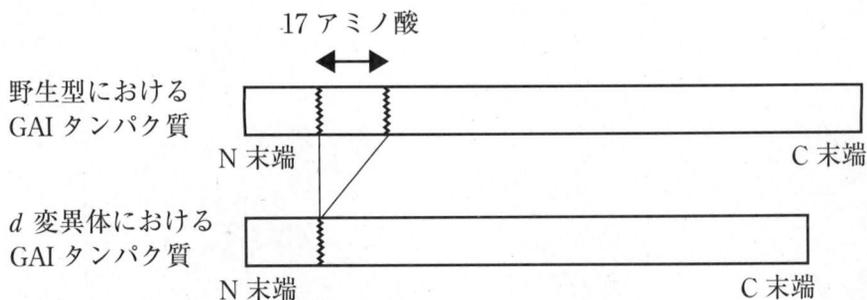
(用語リスト)

・重力 ・接触 ・上 ・下 ・上向き ・下向き ・促進 ・抑制  
・高 ・低

設問(3)：植物ホルモンの作用について述べた次の文章のうち、誤っているものを1つ選び記号で答えよ。

- a) 頂芽で合成されたオーキシンは側芽の成長に対して抑制的に働き、側芽におけるサイトカイニンの合成は側芽の成長に対して促進的に働く。
- b) ジベレリンは、種子発芽を促進し、細胞の縦方向への成長を促進する。
- c) 落葉や落果が起きるとき、葉柄や果柄の基部に離層と呼ばれる細胞層が形成される。エチレンは離層の形成を抑制する。
- d) アブシジン酸は、種子発芽を抑制し、気孔の閉鎖を促進する。
- e) エチレンは、細胞の伸長成長を抑制し、茎の肥大成長を促進する。

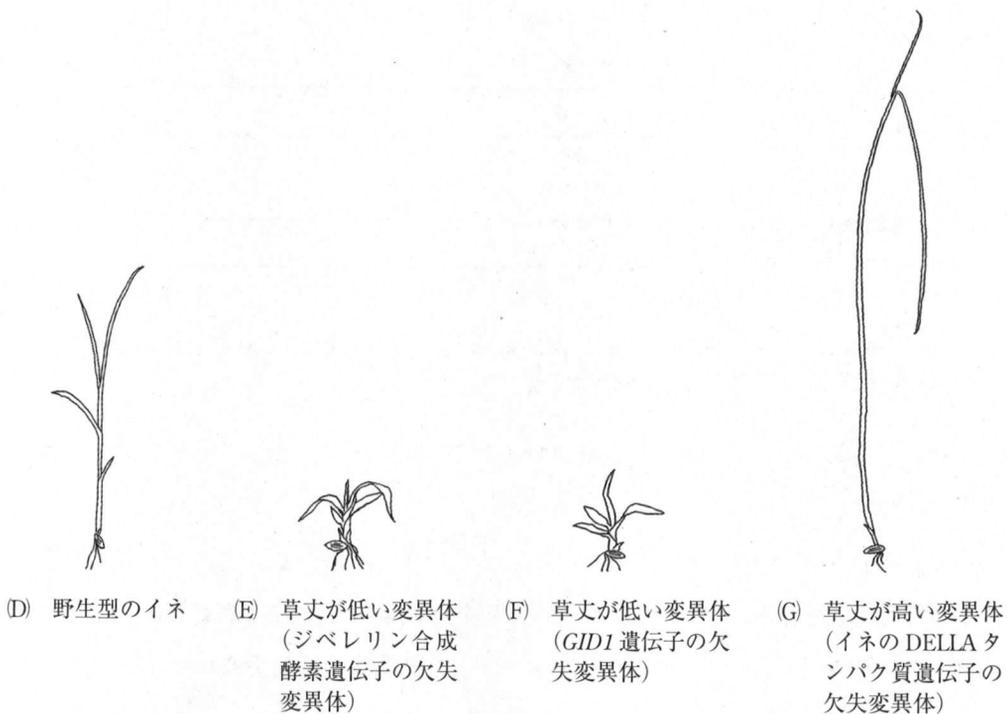




N 末端はタンパク質のアミノ基がある末端を指し、C 末端はタンパク質のカルボキシル基がある末端を指す。

図2 GAI タンパク質の一次構造

一方、名古屋大学のグループを中心に、ジベレリンに関わるイネのさまざまな変異体が単離された(図3)。野生型(D)と変異型(E)を比較すると、(E)は草丈が低く、イネの中でジベレリンを作ることができないジベレリン合成酵素の欠失変異体であることがわかった。(F)の変異体も草丈が低く(E)の変異体と見分けがつかなかったが、(E)と(F)の変異体を用いた実験から、(F)はジベレリンの情報伝達の変異体であると推定した。(F)の変異体の原因遺伝子を単離したところ、ジベレリンの細胞内受容体である GID1 の遺伝子が欠失していることが明らかになった。一方で、(G)で示すような草丈が高い変異体も得られた。この変異体の遺伝子を解析したところ、シロイヌナズナの GAI とよく似たイネの DELLA タンパク質遺伝子が欠失していた。また、(F)と(G)の二重変異体を作ると、二重変異体は (ケ) と全く同じ形質を示した。



野生型とは、これらの遺伝子に変異がないイネをさす。

図3 イネの野生型と変異体

さらに、イネの *DELLA* タンパク質と緑色蛍光タンパク質 (GFP) の融合タンパク質 (*DELLA*-GFP 融合タンパク質) の遺伝子を、野生型のイネに遺伝子導入をしたところ、*DELLA*-GFP 融合タンパク質はイネ細胞の核に局在し、ジベレリンを与えると GFP シグナルは核から消失した。また、*GID1* はジベレリンと結合した時のみ、*DELLA* タンパク質と結合できることもわかった。

現在では、*DELLA* タンパク質と、*GID1* 細胞内受容体を中心としたジベレリン情報伝達のしくみは、ジベレリンを植物ホルモンとして使うすべての植物に共通であると考えられている。

設問(4)：下線部③の推定が導き出された実験を設定し、どのような結果が得られたかについて解答欄の枠内で述べよ。

設問(5)：イネにおける変異体の解析や実験結果から、ジベレリンの情報伝達とその作用についてジベレリンがない時とある時に分けて、解答欄の枠内で述べよ。ただし、以下のリストの用語を、それぞれの解答の中ですべて1回は用いること。

(用語リスト)

・草丈伸長 ・細胞内受容体 ・GID1 ・DELLA タンパク質

設問(6)：下線部④の  にあてはまるのは、(F)、(G)のうちどちらの変異体か。解答欄に記入せよ。

設問(7)：シロイヌナズナの *d* 変異体(図1(B))が『草丈が低く、ジベレリンを与えても伸びない』という表現型である原因についてどのような可能性が考えられるか。ジベレリン情報伝達のしくみと図2を考え合わせて解答欄の枠内で述べよ。ただし、以下のリストの用語を、すべて1回は用いること。

(用語リスト)

・草丈伸長 ・細胞内受容体 ・GID1 ・DELLA タンパク質  
・N 末端側の17 アミノ酸

## 生物 問題Ⅲ

次の文章を読み、以下の設問に答えよ。

文1

動物と植物のからだづくりでは、形態が違っても実は機能的に共通したしくみを備えている場合がしばしば観察される。その一例をモデル動物であるマウスの小腸とモデル植物であるシロイヌナズナの根を比較して考えてみよう(図1)。

動物の小腸は、食べたものを消化して水や栄養分を吸収する働きをしているが、体内環境を一定に保つために、(ア)と呼ばれる多数の突起から必要な分子やイオンのみを選択的に吸収している。その一方で、細胞間を分子が自由に移動して毛細血管に入るのを防ぐために、密着結合と呼ばれる細胞接着で小腸上皮細胞の細胞同士を固く結びつけている(図1(A))。

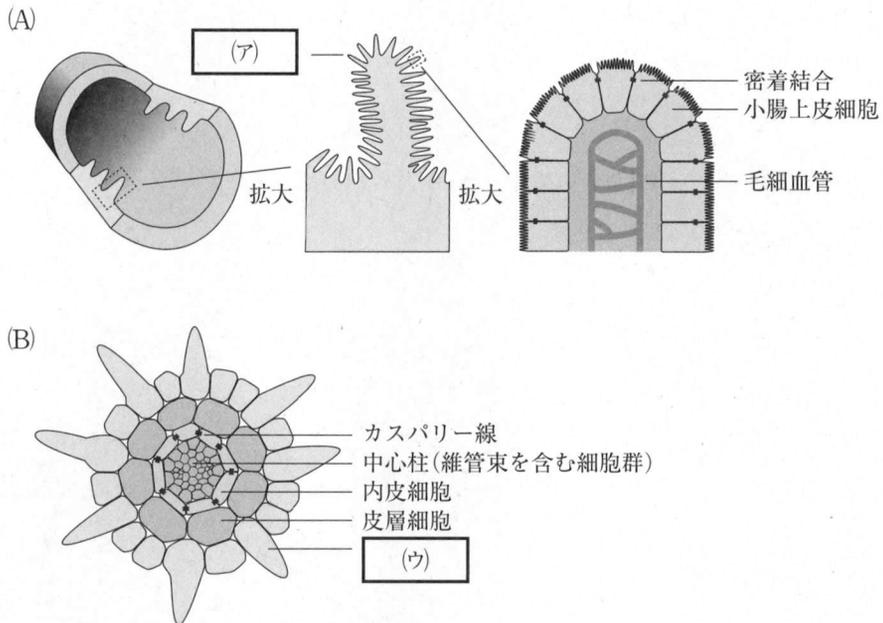


図1 マウスの小腸およびシロイヌナズナの根の断面図

植物の根は、水や栄養分を (イ) 細胞の一種である (ウ) と呼ばれる突起から吸収するが、皮層細胞までは細胞間を分子やイオンが自由に拡散できる。一方で、内皮細胞の細胞間にはカスパリー線と呼ばれるバリアが形成されて隙間を埋めており、やはり細胞間を分子やイオンが自由に移動して中心柱の維管束に入るのを防いでいる(図1(B))。

こうして見てみると、動物の小腸と植物の根は、いずれも水や栄養分を吸収する点で共通点があり、また動物の密着結合と植物のカスパリー線も、構成成分に違いがあるが本質的な役割は同じである。このような機能的な類似性と形態的な対比から、植物の根は inverted gut(裏返し of 腸)と呼ばれることもある。

植物のカスパリー線は高分子化合物であるリグニンが主成分であり、根の成長とともに先端部で順次形成される(図2)。このカスパリー線の形成のしくみを明らかにするために、シロイヌナズナを用いてカスパリー線の形成が不完全となる突然変異体の探索が行われた。この変異体探索では、まず、大腸菌由来の酵素 GUS を中心柱の細胞間に分泌する遺伝子組換え植物を作成し、その植物に遺伝子変異を誘発する化合物を与え、様々な遺伝子に突然変異が生じた多数の種子を作らせた。次に、これらの種子から出た根を、GUS により加水分解されると青く発色する基質水溶液に浸し、根の中心柱が短時間で青くなる変異体を選抜した。得られた変異体を詳しく調べた結果、タンパク質 A またはタンパク質 B の機能が失われるとカスパリー線の形成が不完全となったことから、それぞれのタンパク質がカスパリー線の形成に必要であることが明らかになった。また別の解析により、中心柱の細胞群から分泌されるポリペプチド C がカスパリー線の形成に必要であることも明らかになった。ポリペプチド C は、受容体として機能するタンパク質 A のリガンドとして機能していた。タンパク質 A は、内皮細胞の細胞膜においてカスパリー線が形成される位置を挟んで中心柱側と皮層細胞側の両方に存在しており、タンパク質 B は皮層細胞側にだけ存在していた。タンパク質 A はタンパク質 B と隣り合っている場合にのみリガンド依存的に情報伝達を活性化し、カスパリー線の形成を誘導する(図2)。

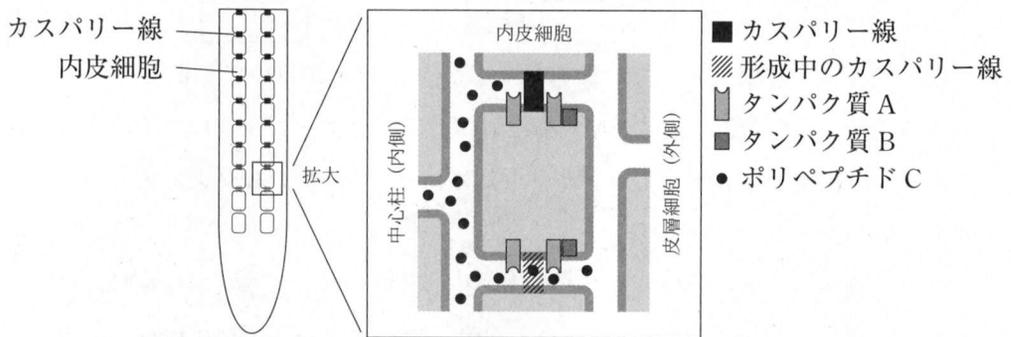


図2 カスパリー線形成領域におけるタンパク質 A, B, およびポリペプチド C の存在部位

設問(1)：空欄  ～  に適切な用語を記入せよ。

設問(2)：下線部①について、密着結合を構成する主要タンパク質はクローデインという膜タンパク質である。動物に見られるその他の細胞接着のうち、固定結合とギャップ結合に関わる主要なタンパク質の名前をそれぞれ答えよ。

設問(3)：下線部②について、この探索法でカスパリー線の形成が不完全な変異体を選抜できる理由を解答欄の枠内で述べよ。

設問(4)：下線部③について、タンパク質 B を内皮細胞の皮層細胞側だけでなく内皮細胞全体で発現させた遺伝子組換え植物では、形成されたカスパリー線の周辺にさらにリグニンが過剰に蓄積することが知られている。図2を参照しながら、タンパク質 B が内皮細胞の皮層細胞側のみに存在することの意義を考察して解答欄の枠内で述べよ。なお、タンパク質 A の存在部位はタンパク質 B の影響を受けない。また、カスパリー線の形成は不可逆的であることが知られている。

## 文 2

動物の密着結合の形成もさまざまなホルモンによって調節されていることが知られている。乳産生に関わる乳腺上皮組織はそのひとつであり、内腔に分泌された乳汁成分が細胞間から漏出して血液に混入するのを防ぐために、泌乳期特異的に密着結合が形成される(図3)。乳腺上皮組織における時期特異的な密着結合の形成のしくみを調べるために、次の実験を行った。

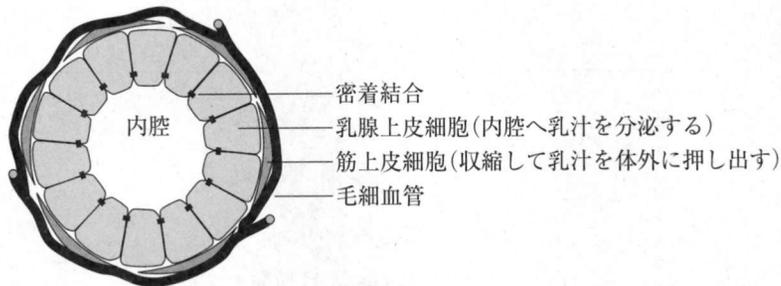


図3 泌乳期の乳腺上皮組織に見られる密着結合

### (実験1)

妊娠後期(出産3日前)のマウスと出産後の泌乳期のマウスのそれぞれについて、放射性同位体の炭素原子  $^{14}\text{C}$  で標識したショ糖溶液を乳腺の内腔へ細い針を用いて注入した後、経時的に血中の放射活性を測定した(図4(A))。

### (実験2)

実験1と同様に、妊娠後期のマウスと泌乳期のマウスのそれぞれについて放射性標識したショ糖溶液を乳腺の内腔へ注入した後、5分後に泌乳期のマウスにはカルシウムイオンの働きを阻害する化合物であるEGTAを乳腺の内腔へ注入し、引き続き経時的に血中の放射活性を測定した(図4(B))。

### (実験3)

妊娠後期のマウスから卵巣を切除した後、5、11、13、17、および21時間後に放射性標識したショ糖溶液を乳腺の内腔へ注入し、毎回の注入直前(0分)および注入後5、10、20、および40分後に血中の放射活性を測定した(図4(C))。

### (実験4)

表1に示すさまざまな臓器摘出操作およびホルモン皮下注射を行なった妊娠後期の

マウスについて、操作の21時間後に放射性標識したショ糖溶液を乳腺の内腔へ注入し、注入5分後に血中の放射活性を測定した。

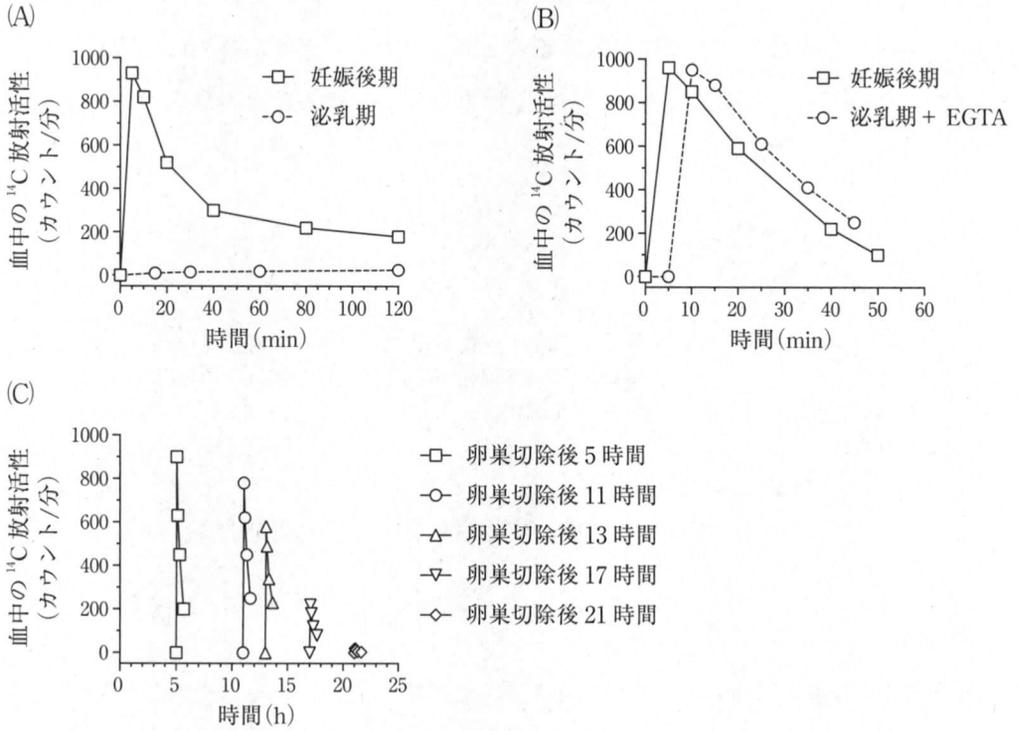


図4 各実験において血中に検出された<sup>14</sup>C放射活性

表1 各実験操作が血中の<sup>14</sup>C放射活性に与えた影響

実験操作	血中の <sup>14</sup> C放射活性
偽手術*	強く検出された
卵巣摘出	ほとんど検出されなかった
卵巣摘出+黄体ホルモン投与	強く検出された
偽手術*+糖質コルチコイド投与	強く検出された
卵巣摘出+副腎摘出	ほとんど検出されなかった
卵巣摘出+子宮摘出	ほとんど検出されなかった
卵巣摘出+副腎摘出+子宮摘出	強く検出された
卵巣摘出+副腎摘出+子宮摘出+糖質コルチコイド投与	ほとんど検出されなかった

偽手術\*：比較実験として臓器は摘出せずに麻酔と皮膚切開および縫合のみを行うこと

設問(5)：実験1および実験2の結果から、カルシウムイオンの役割について考察し、解答欄の枠内で述べよ。

設問(6)：一連の実験の結果に基づき、下記の空欄 (エ) ~ (キ) に適切な用語を以下のリストから選んで文章を完成させよ。なお同じ用語を何度使ってもよい。

黄体ホルモンは (エ) から分泌されると考えられ、乳腺上皮組織における密着結合の形成を (オ) する作用がある。糖質コルチコイドは (カ) から分泌されると考えられ、密着結合の形成を (キ) する作用がある。

(用語リスト)

- ・卵巣 ・卵巣および副腎 ・副腎 ・副腎および子宮 ・子宮
- ・子宮および卵巣 ・促進 ・抑制

表1 各実験操作が血中の<sup>14</sup>C放射活性に与えた影響

実験操作	血中の <sup>14</sup> C放射活性
偽手術*	強く検出された
卵巣摘出	ほとんど検出されなかった
卵巣摘出+黄体ホルモン投与	強く検出された
偽手術*+糖質コルチコイド投与	強く検出された
卵巣摘出+副腎摘出	ほとんど検出されなかった
卵巣摘出+子宮摘出	ほとんど検出されなかった
卵巣摘出+副腎摘出+子宮摘出	強く検出された
卵巣摘出+副腎摘出+子宮摘出+糖質コルチコイド投与	ほとんど検出されなかった

偽手術\*：比較実験として臓器は摘出せずに麻酔と皮膚切開および縫合のみを行うこと

設問(5)：実験1および実験2の結果から、カルシウムイオンの役割について考察し、  
解答欄の枠内で述べよ。

設問(6)：一連の実験の結果に基づき、下記の空欄  ～  に適切な用語を以下のリストから選んで文章を完成させよ。なお同じ用語を何度使ってもよい。

黄体ホルモンは  から分泌されると考えられ、乳腺上皮組織における密着結合の形成を  する作用がある。糖質コルチコイドは  から分泌されると考えられ、密着結合の形成を  する作用がある。

(用語リスト)

- ・卵巣 ・卵巣および副腎 ・副腎 ・副腎および子宮 ・子宮
- ・子宮および卵巣 ・促進 ・抑制

設問(7)：一連の実験の結果から、乳腺上皮組織において密着結合が形成されるために必要なホルモンの条件として正しいものを1つ選べ。

- a) 黄体ホルモンと糖質コルチコイドの両方が存在すること。
- b) 黄体ホルモンが存在し、かつ糖質コルチコイドが存在しないこと。
- c) 糖質コルチコイドが存在し、かつ黄体ホルモンが存在しないこと。
- d) 黄体ホルモンと糖質コルチコイドのいずれも存在しないこと。

# 草稿用紙

(切りはなしてはならない)

## 生物 問題IV

次の文章を読み、以下の設問に答えよ。

文1

マングローブキリフィッシュは、カリブ海の島々を含め、アメリカ大陸大西洋岸のマングローブ林に広く生息する小型魚である。この魚は発達した卵巢中に小さな精巢をもち、体内で卵と精子を受精させる、脊椎動物で唯一自家受精による生殖が知られている雌雄同体生物である。

何世代も自家受精を続けると、ほとんどすべての遺伝子がホモ接合になってゆく。このことを以下の実験により確かめた。実験室で20世代以上にわたって自家受精を重ねた系統PとQを用意した。どちらの系統もすべての遺伝子がホモ接合であった。両系統の対立遺伝子間には塩基配列の違いが多くあるため、ある遺伝子がどちらの系統由来かは容易に判別できる。Pの卵とQの精子を体外で受精させ、雑種第1代( $F_1$ )を得た。予想通りすべての遺伝子がヘテロ接合だった。次に $F_1$ の1個体の自家受精により雑種第2代( $F_2$ )を多く得た。なおPとQの間の雑種のすべての世代は、正常に自家受精による子孫を残した。ある1つの遺伝子 $h$ について考えれば、 $F_2$ ではP由来の対立遺伝子( $h^P$ とする)のホモ接合 $h^P h^P$ が  %、Q由来の対立遺伝子( $h^Q$ とする)のホモ接合 $h^Q h^Q$ が  %、ヘテロ接合 $h^P h^Q$ が  %の割合で現れるだろう。つまり全体としてはホモ接合とヘテロ接合は1:1と期待される。 $F_2$ の1個体の自家受精後では、ある1つの遺伝子のホモ接合の子孫はすべてホモ接合、ヘテロ接合の子孫はホモ接合とヘテロ接合が1:1と期待される。したがって $F_3$ ではホモ接合が  %、ヘテロ接合が  %の割合で現れるだろう。このように考えると雑種第 $n$ 代、( $F_n$ )ではこの遺伝子のヘテロ接合の割合は、

$$\left(\frac{1}{2}\right)^{\text{(カ)}} \times 100\% \text{ となる}$$

$F_{10}$ でのこの遺伝子のホモ接合の割合は  %と期待される。このように、自家受精を繰り返せばほとんどすべての遺伝子がホモ接合になってゆく。

設問(1)：空欄  ～  に入る適切な数字(指数  は数式)を記入せよ。ただし、 は小数第3位を四捨五入した値を記せ。

文2

文1のP, Q間のF<sub>1</sub>の自家受精により得られたF<sub>2</sub>の10個体を用い、染色体地図を作成した。遺伝子A, B, C, Dはこの順で同一染色体上にある。それぞれの個体の遺伝子がP由来の対立遺伝子のホモ接合(PPと記す), Q由来の対立遺伝子のホモ接合(QQと記す), ヘテロ接合(PQと記す)のどれかを調べ、下の表1を得た。

また、体色はPが茶, Qはグレイの系統を用いた。F<sub>1</sub>の体色はすべて茶であった。

表1 F<sub>2</sub>の10個体の対立遺伝子の組み合わせと体色

		個体番号									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
遺 伝 子	A	PP	PQ	PQ	PQ	PP	PQ	QQ	QQ	PQ	PP
	B	PP	PQ	PQ	QQ	PP	PQ	QQ	QQ	PQ	PP
	C	PP	PQ	PQ	QQ	PP	PP	QQ	QQ	PQ	PP
	D	PP	QQ	PQ	QQ	PP	PP	QQ	PQ	PQ	PP
体色		茶	茶	茶	グレイ	茶	茶	グレイ	茶	茶	茶

設問(2)：各遺伝子間の組換え価(組換えの起こった配偶子数/全配偶子数)×100%を計算し、4つの遺伝子の染色体地図を描け。なお、この場合の全配偶子数は10個体のF<sub>1</sub>の卵と精子を合わせて20である。解答用紙の染色体地図の空欄  の適当と思われる場所に遺伝子名B, C, Dを書き込め。残る2つの空欄には何も書き込む必要はない。

設問(3)：茶かグレイの体色を決める遺伝子はA, B, C, Dと同一染色体上にあることがわかっている。表1のF<sub>2</sub>の各個体の体色から、茶かグレイの体色を決める遺伝子はどの2つの遺伝子の間にあるか推測できる。解答欄に2つの遺伝子名を記入せよ。順番は問わない。

文3

文1より、もし野外のマングローブキリフィッシュが自家受精だけで生殖していると仮定すると、ほとんどすべての遺伝子がホモ接合になっているだろう。このことを、隣接するマングローブ林(地点XとY)から5個体ずつマングローブキリフィッシュを採取し、検討した。8つの遺伝子(R1からR8)について、それぞれの個体の対立遺伝子の組み合わせを調べ、下の図1を得た。どの遺伝子でも最大2つの対立遺伝子しか見つからなかったため、一方を白、他方を黒で表した。白か黒の四角形はそれぞれ、白か黒の対立遺伝子のホモ接合、対角線を挟んで色が異なる場合は白と黒のヘテロ接合を表す。地点Xでは、X3個体の4つの遺伝子R1、R2、R6、R8がヘテロ接合だった以外はすべて同じ対立遺伝子(白)のホモ接合だった。地点Yではすべてホモ接合だったが、4つの遺伝子R1、R2、R6、R8で2種類の対立遺伝子(白か黒)のホモ接合が見られた。

遺伝子

		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
地点X の 個体 番号	X1								
	X2								
	X3	▲	▲				▲		▲
	X4								
	X5								
地点Y の 個体 番号	Y1		■				■		
	Y2	■							
	Y3						■		■
	Y4	■	■				■		
	Y5	■					■		

図1 隣接するマングローブ林(地点XとY)から採取した個体の対立遺伝子の組み合わせ

マングローブキリフィッシュは、隣接するマングローブ林の間を、低い頻度で移動することがある。文1の結果を合わせて考えると、図1の結果は地点 ク の個体番号 ケ のような コ 接合の遺伝子をもつ個体が地点 サ に移

動して  をくり返し繁殖した結果と解釈できる。

設問(4)：空欄  ～  に入る適切な記号または用語を記入せよ。

文 4

文3で地点Xの個体X3に見られたヘテロ接合はどのようにして起こったのだろうか？そのヒントは、地点X, Yとは離れた地点Zのマングローブ林で行った同様な調査の結果から得られた(図2)。地点Zでも地点X, Yと同じ対立遺伝子しか見つからなかったのですが、一方を白、他方を黒で表した。

遺伝子

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
地点Zの個体番号	Z1							
	Z2							
	Z3							
	Z4							
	Z5							

図2 マングローブ林(地点Z)から採取した個体の対立遺伝子の組み合わせ

地点Zでは地点X, Yとは異なり、ヘテロ接合の割合が多いのが特徴だった。さらに詳しく調べたところ、マングローブキリフィッシュには雌雄同体の個体に加えて、精巢しかもたない雄の個体が存在して、その割合が地点XとYではおよそ1%に対して、地点Zでは20%に達することがわかった。

これらの結果から、マングローブキリフィッシュは自家受精に加えて、多数生息する雌雄同体の個体に由来する卵と、まれな雄の個体に由来する精子との間の受精により子孫を残していることが推測された。この生殖形式は雄性両性生殖と呼ばれ、植物<sup>①</sup>ではよく知られている。

実験室の環境下で、マングローブキリフィッシュが雄性両性生殖を行っていることを確認したい。体色  の雌雄同体の個体と体色  の雄の個体を同じ水槽で飼育し、 の体色の子孫が得られればこのことが確認できる。

設問(5)：空欄  ,  ,  に入る適切な体色の順番は次のうちどれか、記号で答えよ。

- a) 茶, 茶, グレイ
- b) 茶, グレイ, 茶
- c) グレイ, 茶, 茶
- d) グレイ, グレイ, 茶
- e) グレイ, 茶, グレイ
- f) 茶, グレイ, グレイ

設問(6)：下線部①の雄性両性生殖は、雌雄別個体の間のみの生殖と比べても、自家受精のみによる生殖と比べても、有利な点がある。それぞれの有利な点を解答欄の枠内で述べよ。

# 草 稿 用 紙

(切りはなしてはならない)

