

平成 26 年度 入学試験問題

理 科

Ⅰ 物 理・Ⅱ 化 学
Ⅲ 生 物・Ⅳ 地 学

2 月 25 日 (火) (情—自然) 13 : 45—15 : 00

(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、60 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文化学部自然情報学科志望者には 15 枚 (物理 3 枚、化学 5 枚、生物 3 枚、地学 4 枚)、医学部志望者と農学部志望者には 11 枚 (物理 3 枚、化学 5 枚、生物 3 枚)、工学部志望者には 8 枚 (物理 3 枚、化学 5 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. 情報文化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。
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 箇所に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の3題ある。3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

問 1 次の文章を読み、以下の設問に答えよ。

遠い昔、宇宙の中で地球は生まれ、その地球上で生命が誕生した。誕生当時の生命体は、細菌のようなものであったと推測されている。最初の生命体が誕生したときには、大気中に分子状 はほとんど存在しなかったとされる。しかし、現在、 という気体が十分ない環境では、私たちヒトをはじめ、多くの生物は生きることができない。約 20 億年前に大気の 濃度が増加しはじめたとき、 を利用できない当時の生命体に対して、 は毒性を示しはじめた。その後 に対する生物の対応に多様性が生じた。

設問(1)：空欄 に適切な用語を漢字で記入せよ。

設問(2)：下線部①について，生命の起源や進化に関する以下の記述が，史実として正しければ○を，誤っている場合には×を解答欄に記入せよ。

- a) ファン・ヘルモントは，汚れたシャツと小麦を一緒におくとネズミが発生することより，生命の自然発生説を支持した。
- b) パスツールは，白鳥の首フラスコを用いた実験により，微生物は進化すると結論づけた。
- c) ミラーは，グリシンやグルタミンなどのアミノ酸に放電を続けてエネルギーを供与すると，化学反応が起こり，アンモニアが発生することを証明した。
- d) 高分子のコロイド溶液を混ぜ合わせると，有機化合物を吸着したり，分裂・成長したりする性質をもつコアセルベートという小胞ができる。オパーリンは，これを原始細胞のモデルであると主張した。
- e) マーグリスの共生説とは，「細胞小器官であるミトコンドリアや葉緑体の起源は，ある種の原核生物が共生した結果である」という説である。

設問(3)：下線部②に関して，大気中において ア の濃度が増加したとき，当時の生命体の運命あるいは長期的な対応は基本的に3通りに分かれたと推測される。この3通りの異なる運命あるいは対応について，解答欄の枠内で述べよ。

問 2 次の文章を読み、以下の設問に答えよ。

空気は、ヒトにおいて口腔あるいは鼻腔を通して、 とよばれる 1 本の円筒状の構造を通過したあと、肺に到達する。呼吸の場となる肺の組織上の単位は と呼ばれる。その において、 と のガス交換が行われている。血管内で を輸送するのは と呼ばれる細胞であり、細胞質に多量に存在する と呼ばれるタンパク質がその運搬機能を担っている。このタンパク質が、ヒトのからだのすみずみにまで、必要量の を運搬しているのである。この仕組みは、母体と胎児の^③関係や の分圧の影響について考えてみると興味深い。

設問(4)：空欄 ～ に適切な用語を記入せよ。 ～
 は漢字で記入し、 はカタカナで記入すること。

設問(5)：ヒトの細胞 に関して、ギムザ染色後に光学顕微鏡で観察可能な形態的な特徴を 2 つあげよ。それらの特徴により、呼吸におけるガス交換でどのように有利な機能をもつと推測されるか、解答欄の枠内で説明せよ。

設問(6)：下線部③に関して、胎児の生存や成長は、胎盤を通して母体から得られる (ア) に依存している。これを可能にするため、胎児の (カ) は成人のものと機能にちがいがあある。胎児の (カ) の性質は母体の (カ) の性質(破線)と比べてどう異なるのであろうか。図において、胎児のものに対応する曲線として最も適切なものを f ~ i の中から 1 つ選び、その理由を解答欄の枠内で説明せよ。また、母体において (エ) の分圧が正常より 10 mmHg 増加したとき、母体の (カ) の性質(破線)はどのように変化するか、最も適切な曲線を f ~ i の中から 1 つ選べ。

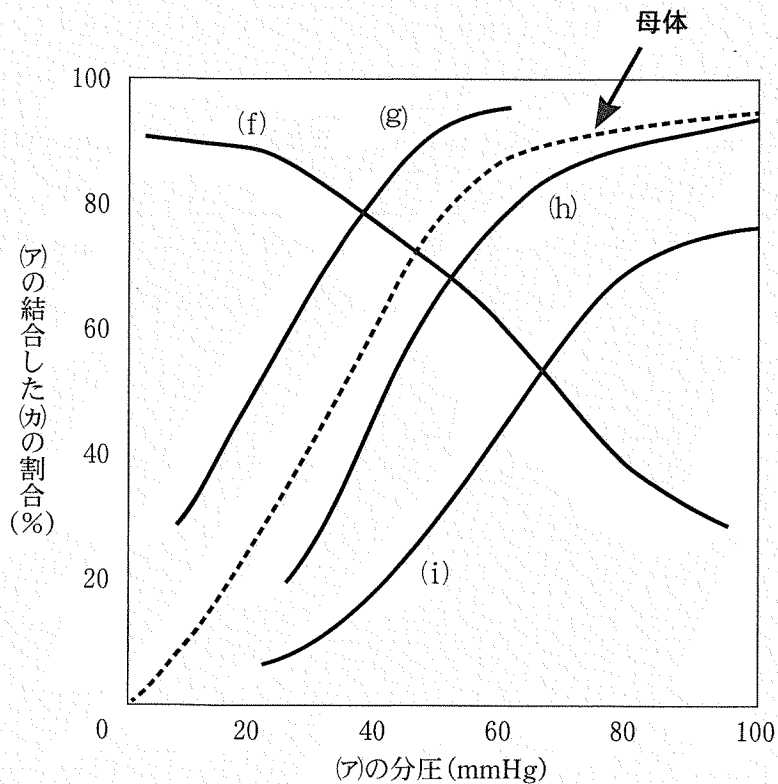


図 (ア) の分圧とそのタンパク質(カ)への結合割合の関係

(ア) と (カ) は文中の (ア) と (カ) に対応していることに留意せよ。

(次頁に続く)

問 3 次の文章を読み、以下の設問に答えよ。

〔ア〕はタンパク質〔カ〕に含まれる鉄に結合して血管内を運搬されている。鉄は栄養素として必須の金属元素であり、成人のからだには、約2.5～5gの鉄がさまざまな状態で含まれている。これは、決してヒトだけにあてはまることではなく、地球上に存在する独立した生命体で、鉄なしで生存できる種はこれまで報告がない。したがって、微生物がヒトのからだにおいて病的に増殖する感染症では、ヒトと微生物の間で鉄の奪い合いが発生する。また、鉄のヒト体内における代謝は特徴的なものとなっている。つまり、鉄の出入りは限られており、鉄を体外に積極的に排泄する機構は存在しないのである。食事からの鉄の吸収は主に十二指腸でおこり、鉄剤を飲んでいない人では1日あたりわずかに約1mgが吸収される。体内の鉄貯蔵量を感じ取るセンサータンパク質によって、鉄吸収は精緻に制御されている。排泄は主に皮膚の垢^{あか}などとして約1mgである。

〔オ〕は寿命をむかえると〔キ〕や〔ク〕という臓器で処理され、鉄は取り出され、すべて再利用される。体内の鉄が少ないと貧血をおこすためヒトの健康によくないが、逆に鉄過剰も健康を害する可能性があることが検証されつつある。

設問(7)：空欄〔キ〕と〔ク〕に適切な用語を記入せよ。

設問(8)：ヒト体内の鉄の約 60 % は に存在する。 の寿命を 120 日と仮定すると，1 時間あたりどれだけの鉄が，寿命を迎えた が壊される や から， を新たに作りだす骨髓に輸送されているのかを計算して，小数点以下 4 桁目を四捨五入し小数点以下 3 桁の mg 単位で答えよ。ただし，この設問の人物の体内に含まれる鉄は 4400 mg であり，体内鉄の 60 % が に存在し，血中の の数や の量は常に一定であると仮定する。

生物 問題Ⅱ

問 1 次の文章を読み、以下の設問に答えよ。

遺伝子工学の進歩により、様々な遺伝子を生物から取り出し、その遺伝子を他の生物のゲノムに導入することが可能となった。被子植物のゲノムに、他の生物の遺伝子を導入する場合には、土壌細菌の一種であるアグロバクテリウムを用いた方法が利用できる。アグロバクテリウムを用いた遺伝子導入方法では、あらかじめ、遺伝子組換え操作によって、アグロバクテリウムが持つプラスミドの T-DNA と呼ばれる部分に、導入する遺伝子を組みこんでおく必要がある。このプラスミドを持つアグロバクテリウムを植物に感染させると、導入する遺伝子を組みこんだ T-DNA が、植物細胞のゲノムの様々な場所に無作為に組み込まれる。そして、T-DNA が組み込まれた植物細胞を適切な方法で選抜し、培養すると、からだを構成するすべての細胞に遺伝子が導入されたトランスジェニック植物を得ることができる。トランスジェニック植物のゲノムに組み込まれた T-DNA と導入された遺伝子は、ゲノムの一部となり安定に子孫に遺伝する。また、一般にゲノムに組み込まれた T-DNA は、組み込まれた場所の塩基配列を変化させるため、突然変異を引き起こすことが知られている。^①

設問(1)：下線部①に関連して，T-DNA の組みこみ以外に人為的に突然変異を誘発する方法を1つあげよ。

設問(2)：下線部①に関連して，DNA 塩基配列が1塩基対変化しても，遺伝子が指定しているタンパク質のアミノ酸配列が変化しない場合がある。そのような例を2つあげて，遺伝子のどのような場所の1塩基対が変化した場合に，タンパク質のアミノ酸配列が変化しないのか，その理由とともに解答欄の枠内に記せ。

(次頁に続く)

問 2 次の文章を読み、以下の設問に答えよ。

ある核相 $2n$ の被子植物のゲノムに、緑色蛍光タンパク質 (GFP) 遺伝子を導入し、GFP 遺伝子がゲノムに組みこまれた純系のトランスジェニック植物系統 A を得た。これとは別に、この被子植物のゲノムに、赤色の蛍光を発する赤色蛍光タンパク質 (RFP) 遺伝子を導入し、RFP 遺伝子がゲノムに組みこまれた純系のトランスジェニック植物系統 B を得た。さらに系統 A と系統 B とを交配して、GFP と RFP の両方の蛍光を発する F_1 植物を得た。そして F_1 植物を自家受精させて F_2 植物を得た。 F_1 植物において、GFP 遺伝子と RFP 遺伝子は図 1 に示したように、1 番染色体とよばれる一対の相同染色体の 10 センチモルガン (cM) 離れた場所に組みこまれていた。GFP 遺伝子と RFP 遺伝子は 1 番染色体以外の染色体には組みこまれておらず、GFP 遺伝子や RFP 遺伝子の組みこみによって生じた突然変異は、植物の生長や繁殖能力に影響を与えなかった。また、GFP と RFP の蛍光は、すべての細胞で検出できた。

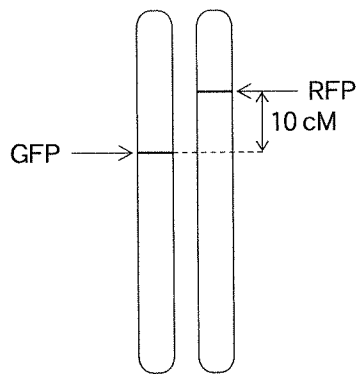
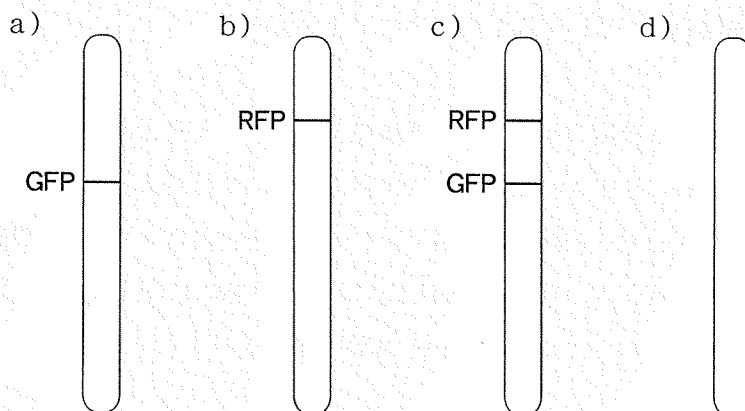


図 1 F_1 植物の 1 番染色体模式図

設問(3) : F_1 植物の花に形成された配偶子を多数調べたとき、次の a ~ d に示した 1 番染色体をもつ配偶子の割合は、どのようであると期待されるか。最も簡単な整数比で答えよ。ただし、10 cM は組換え価 10 % に相当する。



設問(4) : GFP と RFP の両方を発現している F_2 植物は、 F_2 植物全体の何%と予想されるか。小数点以下第 2 位を四捨五入して小数点以下第 1 位まで答えよ。

(次頁に続く)

問 3 次の文章を読み、以下の設問に答えよ。

ある双子葉植物の芽生えの胚軸は、インドール酢酸などのオーキシンに応答して、マカラスムギの幼葉鞘と同様の屈性を示す。この植物の野生型個体と、ゲノムへの T-DNA の組みこみによって突然変異を誘発した多数の純系トランスジェニック植物系統を用いて以下の実験 1 ～ 4 を行った。

実験 1：適切な濃度のインドール酢酸を含む一定の大きさのペーストを、野生型個体の芽生え胚軸の片側に付着させた。その結果、ペーストから拡散したインドール酢酸によって、ペーストを付着させた側での細胞伸長がより促進され、胚軸が屈曲した(図 2)。実験は暗黒下で行い、ペーストを付着させてから 24 時間後に屈曲角度を測定した。

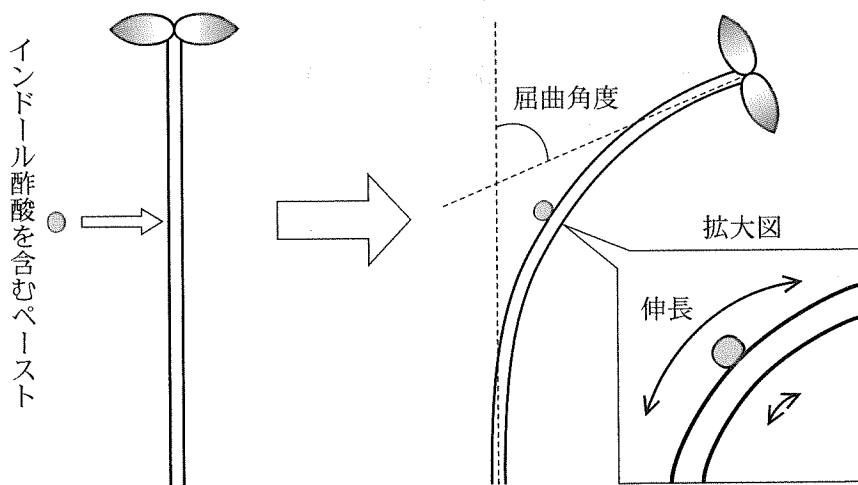


図 2 インドール酢酸による胚軸の屈曲

拡大図の両矢印は、ペーストを付着させた側での細胞伸長がより促進された事を表す。

実験 2：野生型個体の代わりに、ゲノムへの T-DNA の組みこみによって突然変異を誘発した多数の純系トランスジェニック植物系統を用いて、実験 1 と同様の操作を行った。その結果、ペーストに含まれるインドール酢酸の濃度を様々に変えても、胚軸が屈曲しない系統 C, D, E が得られた。以後、インドール酢酸を含むペーストを付着させると、胚軸が屈曲する形質を「屈曲+」、インドール酢酸を含むペーストを付着させても、胚軸が屈曲しない形質を「屈曲-」とよぶことにした。

実験 3：系統 C, D, E と野生型を交配した F_1 植物、および F_1 植物を自家受精して得られた F_2 植物を用いて、実験 1 と同様の操作を行った。その結果をまとめたのが表 1 である。

表 1 系統 C, D, E と野生型とを交配した F_1 , F_2 世代におけるインドール酢酸による胚軸の屈曲

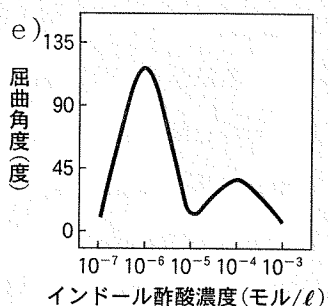
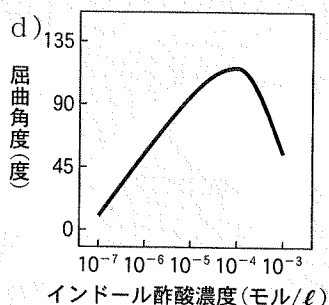
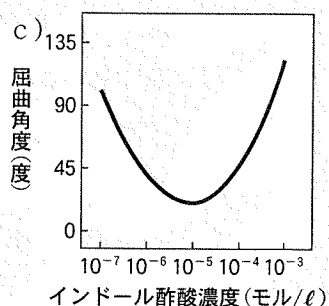
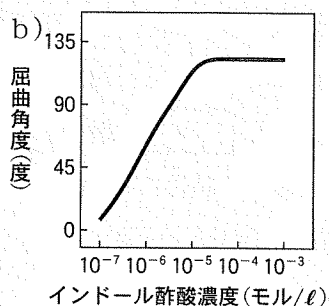
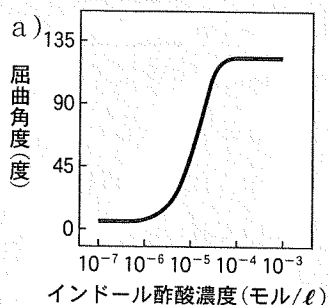
交 配	世 代	個体数	
		屈曲+	屈曲-
系統 C × 野生型	F_1	251	0
	F_2	505	164
系統 D × 野生型	F_1	243	0
	F_2	475	159
系統 E × 野生型	F_1	233	0
	F_2	419	143

実験4：系統Cと系統D，系統Cと系統Eを交配して得られたF₁植物を用いて，実験1と同様の操作を行った。その結果をまとめたのが表2である。

表2 系統C，D，Eを交配したF₁世代におけるインドール酢酸による胚軸の屈曲

交 配	世 代	個体数	
		屈曲+	屈曲-
系統C×系統D	F ₁	0	343
系統C×系統E	F ₁	272	0

設問(5)：実験1において、様々な濃度のインドール酢酸を含むペーストを用いて野生型個体の胚軸屈曲角度を測定した場合、インドール酢酸濃度と屈曲角度との関係はどのようになると考えられるか。最も適切なグラフを次のa～eの中から1つ選び、その記号を解答欄に記入せよ。ただし、a～eのグラフに示されたインドール酢酸濃度は、付着させたペーストに含まれるインドール酢酸濃度である。



(次頁に続く)

設問(6)：次の文章は実験3の結果から得られた結論をまとめたものである。空欄

～ にあてはまる最も適切な数字または用語を記入せよ。

系統C, D, Eと野生型を交配したF₁世代の個体すべてが、屈曲+であったこと、およびF₂世代において、どの系統においても屈曲+と屈曲-とがほぼ : の比率に分離したことから、系統C, D, Eで見られた、屈曲-という形質は、どれも の形質であることがわかる。そして、屈曲-という形質を現す遺伝子は、いずれの系統においても 個の 遺伝子であると考えられる。しかし、実験3の結果だけからでは、系統C, D, Eの屈曲-という形質を現す遺伝子が同一の遺伝子なのか、異なる遺伝子なのかは分らない。

設問(7)：系統C, D, Eの屈曲-という形質を現す遺伝子について、実験3と実験4の結果から得られる結論として、最も適切なものを次のa～eの中から1つ選び、その記号を解答欄に記入せよ。

- a) 屈曲-という形質を現す遺伝子は、系統Cと系統Dでは同じであり、系統Cと系統Eでは異なる。
- b) 屈曲-という形質を現す遺伝子は、系統Cと系統Eでは同じであり、系統Cと系統Dでは異なる。
- c) 屈曲-という形質を現す遺伝子は、系統Dと系統Eでは同じであり、系統Dと系統Cでは異なる。
- d) 系統C, D, Eの屈曲-という形質を現す遺伝子はすべて同じ。
- e) 系統C, D, Eの屈曲-という形質を現す遺伝子はすべて異なる。

草 稿 用 紙
(切りはなしてはならない)

生物 問題Ⅲ

次の文章を読み、以下の設問に答えよ。

文1

ポリメラーゼ連鎖反応(PCR)法は、通常、以下のような条件で実施される。反応液は、増幅したい少量の二本鎖 DNA (鋳型)、各々約 25 ヌクレオチドからなり増幅部分両端に対応する 2 種類の一本鎖 DNA (プライマー)、4 種類のデオキシリボヌクレオチド、耐熱性の (ア) などを含む。また温度処理として、まず 90℃ 以上に数十秒間保ち、次に 55~60℃ に数十秒間保ち、最後に約 70℃ に数十秒間ないし数分間保つ。このサイクルを 1 回、2 回、3 回、…と繰り返せば、プライマーに挟まれた領域の二本鎖 DNA が 2 倍、4 倍、8 倍、…と増幅される。

緑色蛍光タンパク質(GFP)は (イ) から見いだされた 238 アミノ酸からなるポリペプチドであり、そのうち連続した 3 つのアミノ酸が発色団を形成し、紫色ないし青色の励起光があたると緑色の蛍光を発する。ただし、(イ) ゲノムの GFP 遺伝子では 4 つの (ウ) が互いに離れて存在しているので、この形では種々の生物での発現に適さない。そこで、GFP 遺伝子の開始コドンの位置からはじまるプライマー F と終止コドンの相補配列からはじまるプライマー R を使い、GFP 産生に必要な遺伝子領域を以下のように PCR で増幅した。まず、(イ) から抽出した mRNA (伝令 RNA) にプライマー R と 4 種類のデオキシリボヌクレオチドを加え、逆転写酵素(RNA 依存性 (ア)) を作用させて GFP 遺伝子の相補的 DNA (cDNA) だけを合成した(図1)。^② この一本鎖 cDNA を鋳型としてプライマー F とプライマー R を用いて上記と同じ条件で行った PCR により、GFP 遺伝子の (ウ) だけが連なった二本鎖 cDNA を増幅した。

このように調製された GFP 遺伝子は五界説のどの界に分類される生物の細胞にも導入された。その塩基配列が導入後も変化しない場合は、いずれの生物の細胞においても産生される GFP のアミノ酸配列にも変化はなく、同様に緑色蛍光を発する。^⑤

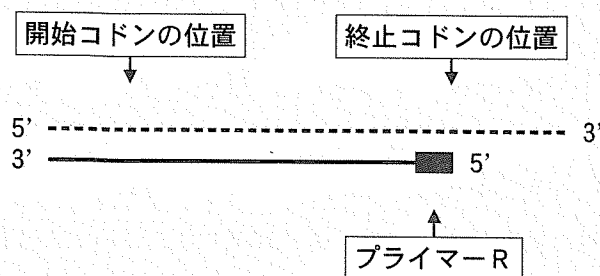


図1 逆転写反応の模式図

破線はRNA鎖，実線はDNA鎖を表す。プライマーR(黒四角)の特異性により，GFP遺伝子のmRNAのみが逆転写される。なお，5'と3'は分子の方向性を示し，ポリヌクレオチド鎖は酵素反応により5'から3'方向に伸長する。

設問(1)：空欄 (ア) ～ (ウ) に最も適切な用語または生物名を答えよ。

設問(2)：下線部①の各段階で何が起こるか，それぞれ簡潔に説明せよ。

設問(3)：下線部②のような遺伝子を大腸菌に導入して発現させたところ，mRNAが合成されたがGFP蛍光は検出されなかった。この理由を説明せよ。

設問(4)：mRNAを材料としてGFP遺伝子を増幅するために，なぜ下線部③の操作が必要か。PCRに用いる酵素の性質に留意しつつ説明せよ。

設問(5)：下線部④の逆転写反応後のPCRにおいて，1回めのサイクルで形成される二本鎖GFP cDNA数を n とすると，引き続く反応によってcDNA数が $n \times 10^6$ ， $n \times 10^7$ を越えるのはそれぞれ何回めのサイクルが終了した後か。ただし，この間の酵素反応は理想的に進み，速度に変化はないものとする。また，必要なら $\log_{10} 2 = 0.301$ の値を用いてもよい。

設問(6)：下線部⑤の結果から，二本鎖GFP cDNAが導入された種々の生物に関してどのようなことが推察されるか，「コドン」と「祖先」の2語を少なくとも一度ずつ用いて説明せよ。

文 2

植物は、からだの一部に病原菌が感染した場合に、その場で多様な防御応答を行う。この応答を発揮するための重要な過程のひとつに、感染部位におけるサリチル酸合成がある。それに加えて植物は、病原菌のさらなる攻撃に備えて全身にシグナルを送り、感染部位以外でもサリチル酸を合成・蓄積する。このような性質は、栽培イネにいもち病菌(子う菌類)や白葉枯病菌(細菌類)が感染した場合にも引き起こされる。イネの調節遺伝子 X は、サリチル酸によって発現し、転写を促進する調節タンパク質 X を産生することにより対病原菌防御機構に重要な役割を果たす。また、 X はサリチル酸に化学構造が類似した薬剤の噴霧によっても発現する(図 2)。ただし、調節タンパク質 X が産生されるだけでは応答は起こらず、病原菌が実際にイネの表皮に接触して初めて何百もの防御関連遺伝子群が素早く発現する。調節遺伝子 X の発現に必要なプロモーター領域(調節配列)に続けて GFP 遺伝子の二本鎖 cDNA をつなぎ、できた人工遺伝子を導入したトランスジェニックイネを実験的に作出した。その結果、上記の薬剤を噴霧した部位の細胞においては、細胞質基質をはじめ広い範囲で GFP 蛍光が認められた(図 3 A)。次に、同じ調節遺伝子 X のプロモーター領域から調節タンパク質 X のカルボキシル末端(カルボキシ末端)に対応する位置までのゲノム領域に続けて GFP 遺伝子の二本鎖 cDNA を正しい向きにつないだ人工遺伝子を用い、図 4 のような融合タンパク質を産生するトランスジェニックイネを作出した。その結果、薬剤を噴霧した細胞では核のみが GFP 蛍光を発していた(図 3 B)。

⑧

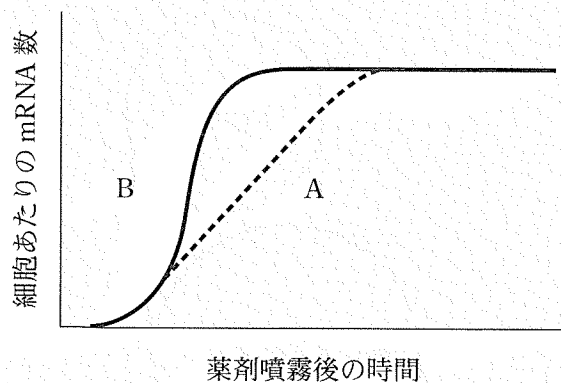


図 2 調節遺伝子 mRNA 蓄積の模式図

A(破線)は通常の遺伝子発現。B(実線)は調節遺伝子 X の発現。

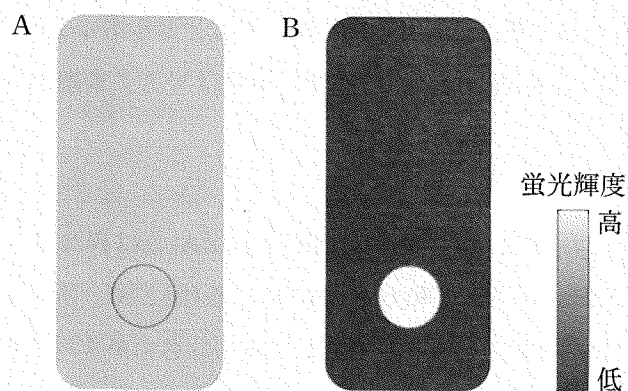


図 3 GFP 蛍光の細胞内における分布

A は細胞全体に蛍光が分散している様子。B は蛍光が核に局在している様子。

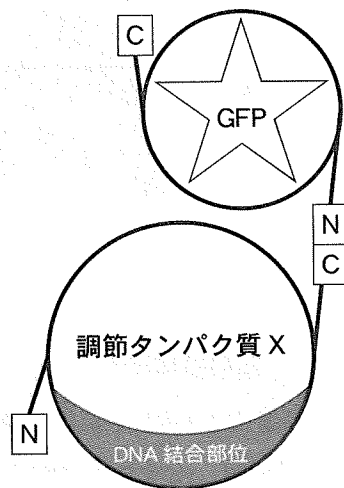


図4 融合タンパク質の模式図

NとCは、調節タンパク質XとGFPのアミノ末端とカルボキシル末端(カルボキシル末端)をそれぞれ表す。翻訳の際、ポリペプチド鎖はアミノ末端からカルボキシル末端へと伸長する。

設問(7)：下線部⑥において、通常の遺伝子発現(図2A)とは異なり、調節遺伝子Xの発現初期にはmRNA蓄積が急速に起こる(図2B)。次の文のうち、図2Bのような初期発現が起こる説明として適切なものをすべて選び、a～eの記号で答えよ。

- a) ある種の正のフィードバックが起こった。
- b) ある種の負のフィードバックが起こった。
- c) 調節タンパク質XがDNA結合能を失った。
- d) 調節タンパク質Xが元の調節遺伝子Xのプロモーター領域に結合した。
- e) 調節タンパク質Xが翻訳も活性化するようになった。

設問(8)：下線部⑦、⑧に関連して、GFP蛍光が核に局在するようになった理由を説明せよ。

草 稿 用 紙
(切りはなしてはならない)

草 稿 用 紙

(切りはなしてはならない)