

生 物 (その1)

第1問 ホメオスタシスに関する次の文を読み、以下の各問いに答えよ。

からだには、体外や体内の環境の変化を速やかにとらえて、体内環境を一定に保つしくみが備わっている。体内環境を維持する中枢は間脳の視床下部に存在し、⁽¹⁾ 自律神経系と⁽²⁾ 内分泌系を利用して、各器官のはたらきを調節している。自律神経系や内分泌系は、体内環境を一定にするために各器官が連携してはたらくしくみで、中枢からの指令を伝達する方式や内容によって異なる伝達物質を利用している。

伝達物質で調節される代表的な例に心臓の拍動がある。かつて、レーウィは露出させたカエルの心臓にアセチルコリンを滴下した直後、心拍数が低下することを発見して、アセチルコリンに生理作用があることを明らかにした。心拍数は比較的簡便に観察できるため、高等学校の教科書には、⁽³⁾ カキの心臓にノルアドレナリンを滴下して心拍数を観察する実験が掲載されている。

伝達物質の分泌や作用が異常になることで体調が悪くなることもある。甲状腺が過剰に⁽⁴⁾ チロキシンを分泌することで引き起こされる⁽⁵⁾ バセドウ病では、心拍数の異常な増加（頻脈）などがみられる。

問1 下線部(1)について、

i) 次の文の()の中から、最も適当なものをそれぞれ選び、番号で記せ。

自律神経系は交感神経と副交感神経から成り立っている。交感神経は興奮状態にあるときにはたらき、心臓の拍動を(a:①促進する ②抑制する)とともに血管を(b:③拡張させる ④収縮させる)ため、血圧が(c:⑤上がる ⑥下がる)。一方、副交感神経はリラックスした状態にあるときにはたらき、気管支を(d:⑦拡張 ⑧収縮)させ、胃・腸のぜん動を(e:⑨促進する ⑩抑制する)。

生 物 (その2)

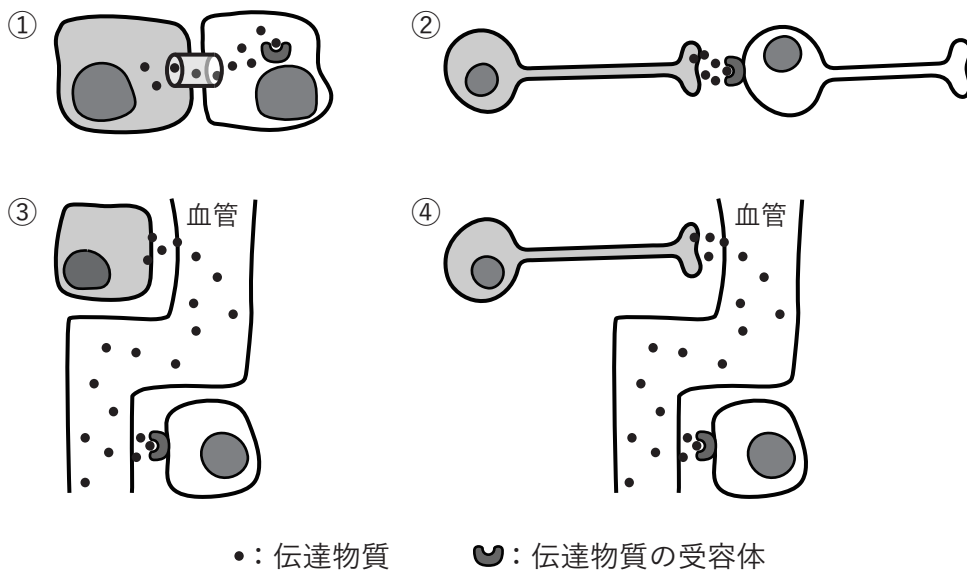
ii) ヒトの洞房結節に対するノルアドレナリンのはたらきはどれか。次の①～⑥から最も適当なものを1つ選び、番号で記せ。

- ① 核内の受容体に結合することで、活動電位発生の頻度を増やす。
- ② 核内の受容体に結合することで、活動電位発生の頻度を減らす。
- ③ 細胞膜の受容体に結合することで、活動電位発生の頻度を増やす。
- ④ 細胞膜の受容体に結合することで、活動電位発生の頻度を減らす。
- ⑤ 小胞体の受容体に結合することで、活動電位発生の頻度を増やす。
- ⑥ 小胞体の受容体に結合することで、活動電位発生の頻度を減らす。

問2 下線部(2)について、

i) 図1は細胞間の情報伝達を模式的に表したものである。内分泌系を表しているのはどれか。①～④から適当なものをすべて選び、番号で記せ。ただし、灰色の細胞は分泌細胞を表す。

図1



ii) 血糖濃度を上げるホルモンはどこから分泌されるか。次の①～⑤から適当なものをすべて選び、番号で記せ。

- ① すい臓 ② 副腎皮質 ③ 副腎髄質
- ④ 脳下垂体前葉 ⑤ 脳下垂体後葉

生 物 (その3)

問3 下線部(3)について、ノルアドレナリンを滴下するとカキの心拍数はどう変化するか。次の①～③から最も適当なものを1つ選び、番号で記せ。

- ① 増える ② 変化しない ③ 減る

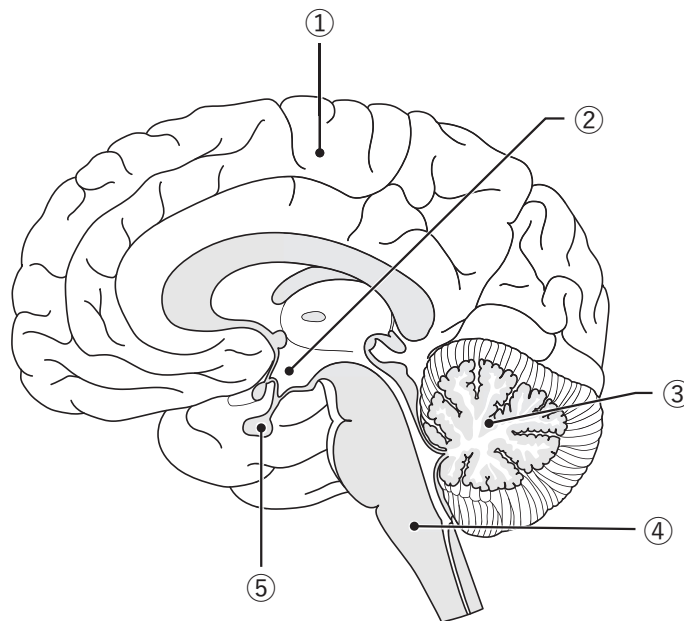
問4 下線部(4)について、

i) チロキシンのはたらきはどれか。次の①～⑤から最も適当なものを1つ選び、番号で記せ。

- ① 血液中の糖を細胞内に取り込ませる。
② 血液中のカルシウム濃度を上げる。
③ タンパク質から糖を合成する反応を抑制する。
④ 代謝を促進する。
⑤ 腎臓での水の再吸収を促進する。

ii) 図2はヒトの脳の断面を表す。チロキシンのよるフィードバックを受け、チロキシンの分泌制御に関わる部位はどれか。①～⑤から適当なものを2つ選び、番号で記せ。また、それぞれの部位から分泌され、チロキシンの分泌制御に関わるホルモンは何か、名称を記せ。

図2



生 物 (その4)

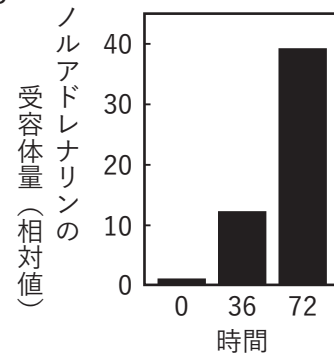
問5 下線部(5)について、バセドウ病で頻脈がみられる原因を調べるため、マウスを用いて以下の実験を行った。

実験A マウスの胸部を開いて心臓を露出させ、チロキシン溶液を滴下し、直後の心拍数を計測したが、変化はなかった。

実験B 洞房結節を構成する細胞におけるチロキシン受容体の分布を調べたところ、核に局在していた。

実験C マウスの心臓から洞房結節を採取して培養皿で培養し、チロキシン溶液を滴下して0, 36, 72時間後に細胞のノルアドレナリンの受容体のタンパク質量を測定した。その結果を図3に示す。ただし、ノルアドレナリンの受容体以外のタンパク質量には変化はなかった。

図3



i) チロキシン受容体と同様に核内の局在が観察されるのはどれか。次の①～⑥から適当なものをすべて選び、番号で記せ。

- | | |
|--------------|---------------|
| ① アドレナリン受容体 | ② インスリン受容体 |
| ③ グルカゴン受容体 | ④ 鈣質コルチコイド受容体 |
| ⑤ 生殖腺ホルモン受容体 | ⑥ 成長ホルモン受容体 |

ii) 実験の結果をふまえ、チロキシンによってノルアドレナリンの受容体が増加するしくみを簡潔に記せ。

iii) バセドウ病の治療では、甲状腺をすべて摘出する場合がある。摘出後にチロキシンとは関係なく低下する可能性があるホルモンはどれか。次の①～⑤から最も適当なものを1つ選び、番号で記せ。

- | | | |
|----------|----------|----------|
| ① インスリン | ② グルカゴン | ③ バソプレシン |
| ④ アドレナリン | ⑤ パラトルモン | |

生 物 (その5)

第2問 DNAの変異とその修復に関する次の文を読み、以下の各問いに答えよ。

DNAの塩基配列が何らかの理由で変化することを突然変異とよぶ。突然変異は遺伝情報の変化をもたらす、細胞のがん化につながる可能性がある。このような危険性を回避するため、細胞は変異したDNAの修復をさまざまな方法で行っている。

DNAはDNA合成期に複製されて倍加する。この複製過程で間違ったヌクレオチドが結合すると突然変異の原因となる。このような突然変異を防ぐため、DNAの複製反応は正確に行われる。DNA合成期に入るとまず⁽¹⁾ DNA上の特定の部分の二本鎖が開裂し、それぞれのヌクレオチド鎖を鋳型としてDNAポリメラーゼにより新たなDNA鎖の合成が進む。DNAポリメラーゼは10万塩基対あたり1個程度の割合で間違ったヌクレオチドを結合してしまうが、その場合⁽²⁾ DNAポリメラーゼ自らがもつ校正機能によりその間違いを正すことができる。この機能などにより、⁽³⁾ 最終的に複製全体で間違いが発生する割合は10億塩基対あたりに1個まで下がる。

DNAは紫外線やある種の化学物質など、外的な要因によってもつねに損傷を受けているが、このDNA損傷も突然変異の原因となる。そこで、細胞内では損傷したDNAの速やかな修復がつねに行われている。例えば、DNA塩基配列上でチミン塩基が隣接する部分が紫外線を受けると、チミン塩基どうしが結合して特殊な構造となる。⁽⁴⁾ このような構造は正常な複製や転写を阻害するため、速やかにヌクレオチドの除去修復が行われる。

⁽⁵⁾ がんが発生する主要な原因は突然変異と考えられており、DNA修復方法の解明は、がんの治療につながる可能性がある。

問1 下線部(1)について、

- i) このようなDNAの開裂が起こる特定の領域を何とよぶか、名称を記せ。
- ii) ヒトの染色体DNA量は 6×10^9 塩基対(bp)からなる。DNAポリメラーゼの複製速度が100 bp/秒だとすると、6時間で複製を完了するためには、i)の領域は最低何個必要か、整数で記せ。ただし、染色体DNAはひとつながりのものとして計算せよ。
- iii) ある大腸菌は 4.6×10^6 bpの環状DNAをもつ。大腸菌のDNAポリメラーゼの複製速度は1,000 bp/秒で、20分に1回分裂する。この大腸菌において、i)の領域は何個存在するか。

生 物 (その6)

問2 下線部(2)について、校正機能をはたらかせるためにDNAポリメラーゼがポリメラーゼ活性以外にもっている酵素活性は何か、記せ。

問3 下線部(3)について、

i) ヒトの成体は約40兆個の細胞から構成されている。受精卵が成体になるまでにDNA複製による突然変異は各細胞1個あたり平均何か所あるか。次の①～⑤から最も適当なものを1つ選び、番号で記せ。ただし、細胞はすべて同じ周期で分裂し、増殖した細胞はすべて成体の構成に使われていると仮定する。必要であれば $\log_{10} 2 = 0.3$ として計算せよ。

- ① 2.7×10^1 ② 2.7×10^2 ③ 2.7×10^3
 ④ 2.7×10^4 ⑤ 2.7×10^5

ii) 真核生物ではリーディング鎖とラギング鎖のDNA合成は異なる種類のDNAポリメラーゼが行っている。ある細胞Pでラギング鎖の合成を担うDNAポリメラーゼに変異が入り校正機能が低下した結果、ラギング鎖のみ高確率で突然変異が入るようになった。この変異とDNAポリメラーゼの変異はすべての娘細胞に引き継がれると仮定する。この細胞PがDNA複製を経て分裂し、娘細胞A, Bとなり、それぞれがさらに分裂してA1, A2とB1, B2となった。ある細胞Nがもっている突然変異の数を E_N としたときに、P, A1, A2, B1, B2の突然変異の数の大小関係はどのような式で表せるか。次の①～⑥から最も適当なものを1つ選び、番号で記せ。

- ① $E_P < E_{A1} = E_{A2} = E_{B1} = E_{B2}$
 ② $E_P = E_{A1} = E_{A2} = E_{B1} = E_{B2}$
 ③ $E_P < E_{A1} = E_{A2} < E_{B1} = E_{B2}$
 ④ $E_P = E_{A1} = E_{B1} < E_{A2} = E_{B2}$
 ⑤ $E_P < E_{A1} = E_{B1} < E_{A2} = E_{B2}$
 ⑥ $E_P = E_{A1} < E_{A2} = E_{B1} < E_{B2}$

生 物 (その7)

問4 下線部(4)について、チミン塩基どうしの特殊構造に対するヌクレオチドの除去修復の過程について、次の①～⑥から適当なものをすべて選び、正しい順に左から並べよ。

- ① 損傷部位を含む一定領域のヌクレオチド鎖を切り出して取り除く。
- ② 二本鎖 DNA 切断末端どうしを連結する。
- ③ 損傷部位を認識するタンパク質が損傷部位を見つけ出して結合する。
- ④ ヌクレオチド鎖の切れ目を連結する。
- ⑤ 損傷部位を含む一定領域の二本鎖 DNA を切り出して取り除く。
- ⑥ 正常な一本鎖 DNA を鋳型として DNA ポリメラーゼが相補的なヌクレオチドを合成する。

問5 下線部(5)について、

- i) がん化した細胞から得られた変異遺伝子を正常な培養細胞に導入して発現させると、がん化する場合がある。このような実験により、単一の遺伝子導入だけでがん化を引き起こすことのできるがん遺伝子の存在が明らかになった。DNA 修復関連遺伝子の機能が失われた変異もまたがん化を引き起こすが、この変異遺伝子を培養細胞に導入しても細胞はがん化しない。その理由を簡潔に記せ。
- ii) がん化の特徴の1つは無秩序な細胞増殖である。正常細胞では細胞周期チェックポイントがあり、細胞周期の各段階で次に進んでよいか確認することで無秩序な細胞増殖が起こらないよう厳密に制御している。この細胞周期チェックポイントのうち、M期でチェックするのはどれか。次の①～⑥から適当なものをすべて選び、番号で記せ。
 - ① 細胞外からの細胞分裂を促す因子の有無。
 - ② DNA に損傷がないか。
 - ③ 染色体が赤道面に並んでいるか。
 - ④ DNA 複製は完了しているか。
 - ⑤ 細胞が分裂できるほど十分な大きさか。
 - ⑥ ミトコンドリアの複製は完了しているか。

生 物 (その8)

- iii) 個々の患者の遺伝情報を調べ、それをもとに個人に適した治療を提供することを何とよぶか、名称を記せ。

生 物 (その9)

第3問 家畜とヒトの進化に関する次の文を読み、以下の各問いに答えよ。

ヒトは長い歴史の間、狩猟採集だけに頼る生活を営んできたが、約1万年前にヤギなどの野生動物を家畜化することに成功した。また農耕の開始により食料を安定的に入手することが可能になり、これらが相まって人口の爆発的な増加につながった。ヒトが自分たちにとって都合のよい動物をつくり出すために、家畜の交配を人為的にコントロールした結果、家畜の進化は著しく加速されることとなった。ヒトは食料の対象としてヤギのほかにウシ、イノシシなどを家畜化したほか、狩りのパートナーとしてオオカミを、運搬や農耕の手助けとしてウマなどの動物を家畜化してきた。

家畜化が進んだ動物の特徴として次の3点があげられる。第一点は体色が白くなること。第二点は動物の攻撃性が失われ、ヒトに対して従順になること。第三点は集団で飼育されるという強いストレスに対して抵抗性を示すようになることである。

家畜化した動物にこれらの3つの変化が現れた原因として「神経堤細胞仮説」が提唱されている。家畜にこれらの特徴がみられるのは、人為的な交配によって⁽¹⁾ 神経堤細胞が少ない動物を選別してきた結果ではないか、という仮説である。神経堤細胞が減少すると⁽²⁾ メラニンをつくり出す色素細胞が少なくなると体毛が白くなる。また、神経堤細胞は頭部中胚葉のほとんどを生み出すが、⁽³⁾ 他個体を攻撃するために進化した、神経堤細胞由来のいくつかの組織の退化や消失が起こった。さらに神経堤細胞に由来する副腎髄質はストレス応答に関与しているので、その臓器が縮小したりその機能が低下した結果、ストレス抵抗性が増したのではないか、というのである。

人為的に促進された家畜の進化は、一方でヒトの進化を促すことにもつながった。ヤギやウシを家畜化することによりヒトはミルクをいつでも入手できるようになり、ミルクはヒトにとって重要な栄養源になったと考えられている。ミルクに含まれる⁽⁴⁾ 乳糖はラクターゼのはたらきによって単糖に分解され吸収される。ラクターゼ遺伝子の発現はMCM6という別の遺伝子によって制御されており、⁽⁵⁾ ラクターゼは基本的に乳幼児の時期にしか発現しない。したがってほ乳動物のほとんどは離乳した後、乳糖を消化できなくなり、これを乳糖不耐とよんでいる。ところが家畜の飼育が広がった約4,000年前に一部のヒトのMCM6に変異が起こり、成人になってもラクターゼの産生を維持できるようになった。現在、欧米では約9割のヒトがラクターゼ持続性である。ところが⁽⁶⁾ 日本人の約7割は乳糖不耐なので、牛乳を大量に飲むと下痢をするなどの症状が現れる。

生 物 (その10)

- 問1 下線部(1)について、神経堤細胞とはどのような細胞か。その成り立ちについて簡潔に記せ。
- 問2 下線部(2)について、体毛が白い動物が野生の中で生存することが難しいのはどうしてか、簡潔に記せ。
- 問3 下線部(3)について、他個体への攻撃や威かくに特化した頭部の構造を2つ記せ。
- 問4 神経堤細胞に由来する細胞あるいは組織を2つ記せ。ただし、色素細胞、頭部中胚葉由来の組織、副腎髄質は除く。
- 問5 下線部(4)について、ラクターゼによって生じる単糖の名称をすべて記せ。
- 問6 下線部(5)について、ほ乳類のほとんどは乳幼児の時期にしかラクターゼを発現しない。それにはどのような利点があるのか、簡潔に記せ。
- 問7 下線部(6)について、日本人に乳糖不耐が多いのはどうしてか、簡潔に記せ。

生 物 (その11)

第4問 遷移とバイオームに関する次の文を読み、以下の各問いに答えよ。

ある地域に生育する植物の集まりを植生という。時間の経過とともに、ある場所の植生が変化していくことを遷移という。遷移は、裸地から極相林に至るまでに1,000年もの年月を要することもある。このため、遷移を継続的に観測することは容易ではない。

東京都の伊豆大島は過去に何度も噴火しており、溶岩の堆積範囲が噴火のたびに異なっていたことから、島には裸地になった時期、すなわち、遷移の開始時期の異なる地点が複数存在する。したがって、溶岩の噴出年代が異なるいくつかの場所の植生や環境を調べることで、遷移の過程を推測することができる。⁽¹⁾ 1960年代に伊豆大島の4つの地点の植生と環境を調査した結果を表1に示す。

植物は光合成によって成長に必要な有機物を合成しているため、光環境は植物の生育にとって重要であり、光環境が異なれば、そこに生育する植物も異なる。遷移の進行を促す環境要因の1つとして地表に届く光の量があげられる。植物は光合成によって二酸化炭素を吸収し、呼吸によって放出している。そのため、光合成量と呼吸量は二酸化炭素の吸収量と放出量によって求めることができる。⁽²⁾ 二酸化炭素の吸収速度と光の強さの関係は光-光合成曲線として表すことができる。

地球上には多様な植物が生育し、そこには動物など植物以外の多様な生物も生息している。ある地域の植生とそこに生息する動物などを含めた生物のまとまりをバイオーム(生物群系)という。⁽³⁾ 陸上のバイオームは植生の相観に基づいて分類され、主に気温と降水量によってその分布が決まっている。

表1

溶岩噴出年代	推定約 4,000 年前	約 1,270 年前	約 180 年前	約 10 年前
植生の様子	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
(オ)	0.02	0.03	0.26	1
(カ)	1	0.65	0.21	0.01

(オ)、(カ)の値は相対値を示す。

生 物 (その12)

問1 下線部(1)について,

i) (ア)～(エ)の植生の様子を示すのはどれか。次の①～④から適当なものをそれぞれ1つずつ選び、番号で記せ。

- ① 高木層には陽樹，亜高木層には陰樹がみられる。
- ② 草原が広がり，大きな樹木はみられない。
- ③ 陰樹が優占する森林になっている。
- ④ 陽樹が優占する低木の森林になっている。

ii) (オ)と(カ)に該当する観測項目を示す組み合わせとして，最も適当なものはどれか。次の①～⑥から1つを選び，番号で記せ。

	(オ)	(カ)
①	地表の温度	地表の照度
②	地表の照度	地表の温度
③	土壌の有機物量	土壌の水分含量
④	土壌の水分含量	土壌の有機物量
⑤	地表の照度	土壌の有機物量
⑥	土壌の有機物量	地表の照度

iii) (ア)，(ウ)，(エ)のそれぞれで観察された優占種はどれか。次の①～⑤から最も適当なものをそれぞれ1つずつ選び，番号で記せ。

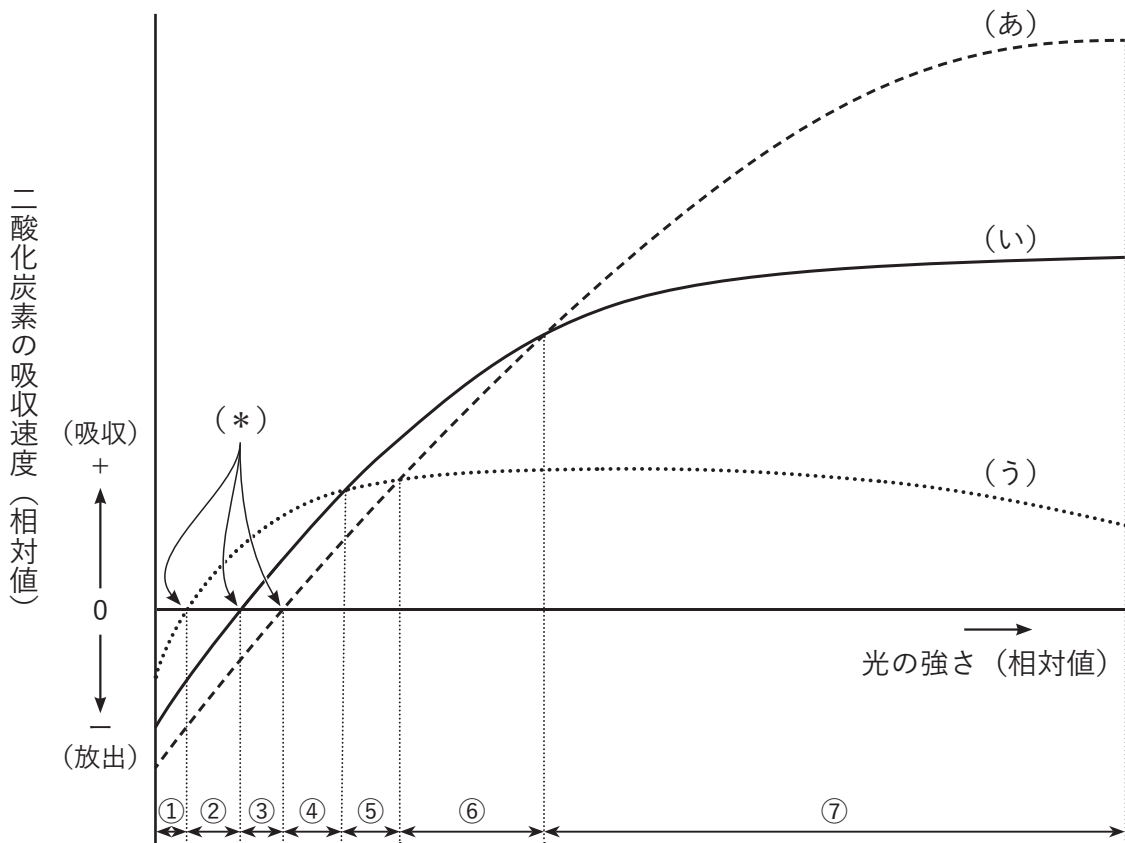
- ① オオバヤシャブシ
- ② スダジイ
- ③ オオシラビソ
- ④ ハチジョウイタドリ
- ⑤ ヘゴ

生 物 (その13)

問2 下線部(2)について、遷移の初期、中期、後期を代表する植物における光—光合成曲線の概念図を図4に示す。

- i) (*)が示す光の強さを何とよぶか、名称を記せ。
- ii) 遷移の初期、中期、後期の植物を表す曲線はどれか。(あ)～(う)から適当なものをそれぞれ選び、記号で記せ。
- iii) 遷移の初期、中期、後期のそれぞれの植物が、ほかの遷移時期の植物より生育速度が速い光の強さはどこからどこまでか。①～⑦から適当なものをそれぞれすべて選び、番号で記せ。

図4



問3 下線部(3)について、年平均気温・年間降水量とバイオームの分布を図5に、世界のいくつかの都市における月平均気温と月平均降水量を表2に示す。

バイオームZはほかの領域と重複して表されるが、日本にはみられない。例えば、日本の東北地方に位置する八戸市はバイオームZに入っているが、実際にはバイオームYが成立している。

生 物 (その14)

- i) バイオーム Y とバイオーム Z は何か。それぞれ名称を記せ。
- ii) 日本でバイオーム Z がみられない理由を簡潔に記せ。
- iii) バイオーム Z が成立する都市はどれか。 a ~ f から最も適当なものを1つ選び、記号で記せ。

図 5

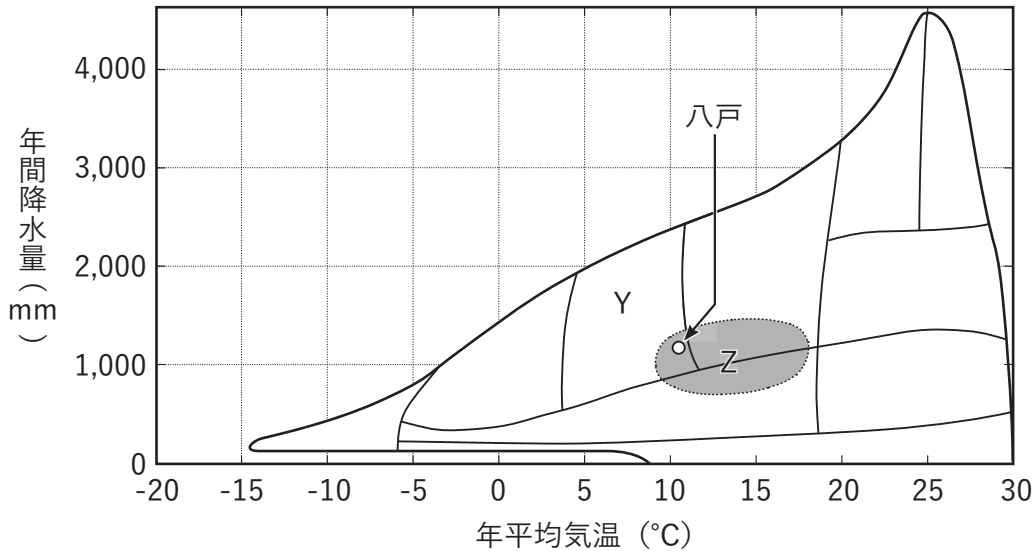


表 2

都市	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
八戸	-0.7	-0.2	3.1	8.6	13.5	16.7	20.7	22.6	19.4	13.5	7.3	1.7
	43.6	40.4	56.6	63.4	88.1	103.7	136.9	141.8	156.3	110.1	55.5	48.9
a	27.3	27.7	28.1	28.1	28.5	28.4	28.0	28.0	27.7	27.5	27.1	27.0
	231.3	195.6	271.5	303.6	220.1	141.5	166.2	172.6	218.3	280.5	356.5	283.9
b	6.0	7.4	10.9	15.8	20.5	23.7	27.5	28.4	25.2	19.6	13.5	8.0
	57.2	83.2	124.8	144.9	160.9	448.5	386.8	195.4	172.6	87.1	84.4	61.2
c	27.2	26.6	24.9	22.6	19.2	17.8	17.2	19.3	21.2	23.4	24.7	26.3
	150.0	127.8	149.3	182.9	220.2	81.3	92.8	47.7	79.7	200.6	188.7	174.2
d	3.2	5.6	10.2	16.2	21.5	25.0	28.4	27.9	23.7	18.0	11.6	5.4
	50.0	54.2	80.2	82.4	83.9	193.5	231.8	156.9	71.8	55.4	52.3	35.1
e	-14.7	-12.7	-12.4	-5.1	3.0	9.2	11.2	10.2	6.2	-0.8	-7.6	-12.7
	23.7	25.2	19.0	18.7	22.7	25.6	59.8	80.0	56.2	46.3	32.3	26.6
f	20.5	19.9	17.5	13.4	10.6	8.3	7.2	8.9	10.4	12.3	16.2	19.0
	8.9	23.8	17.4	65.4	154.4	202.5	133.4	118.7	69.4	54.5	27.1	15.3

各都市の上段は月平均気温 (°C) を、下段は月平均降水量 (mm) を示す。