

## 生物基礎・生物 (4 問)

### 注 意 事 項

- 1 字数制限のある設問については、句読点、アルファベット、数字を含めた字数で答えること。

このページは白紙です。

〔 I 〕 刺激の受容に関する次の文章を読み、問 1 ～問 5 に答えよ。答えは解答欄に記入せよ。

液体中の化学物質は、舌の味覚芽に並んだ味細胞がもつ受容体(タンパク質)を介して感知される。ヒトでは 5 種類の味覚<sup>(a)</sup>に対応した受容体が存在する。化学物質が受容体に結合すると味細胞が脱分極し、隣接する味神経の興奮を引き起こす。その後、味神経の興奮は脳へ伝えられ、<sup>(b)</sup>味が識別される。

一方、空気中の化学物質は、嗅上皮にある嗅細胞によって感知される。哺乳類では、嗅細胞の細胞膜にある嗅覚受容体に化学物質が結合すると、細胞内のサイクリック AMP の濃度が上昇する。<sup>(c)</sup>これにより、イオンチャネルの開口が促され、嗅細胞が興奮する。空気中の多様な化学物質に対応するために、嗅覚受容体の種類は多く、例えばヒトでは数百種類、マウスでは 1000 種類以上の嗅覚受容体遺伝子が確認されている。これらの哺乳類では、それぞれの嗅細胞は、多くの嗅覚受容体遺伝子のうち、<sup>(d)</sup>1 種類だけを発現している。嗅覚受容体に化学物質が結合すると、嗅細胞は興奮し、それは嗅細胞の軸索を介して脳に伝わる。嗅細胞の軸索は、発現する嗅覚受容体の種類に応じて、脳の異なる部位に接続している。その結果、興奮する嗅細胞の種類に応じて、それぞれ脳の異なる部位へ信号が伝わることになる。このように、脳は興奮した嗅細胞を区別することで化学物質を識別している。

問 1 下線部(a)に関して、5 種類の味覚をすべて答えよ。

問 2 下線部(b)に関連して、一般に神経細胞においてシナプスを介した興奮の伝達を担う神経伝達物質を 3 つ答えよ。

問 3 下線部(c)のサイクリック AMP のように、タンパク質ではないが、細胞内の情報伝達を担う小さな分子やイオンの総称を答えよ。

問 4 下線部(d)に関連して、マウスにおける嗅覚受容体 A の遺伝子(以下、A 遺伝子と呼ぶ)の発現について、次の実験 1 と実験 2 を行った。なお、「A 遺伝子座の遺伝子」が転写される嗅細胞を「嗅細胞 A」と呼ぶ。これらの実験に関する問(1)～問(3)に答えよ。

[実験 1] 個々の嗅細胞で特定の嗅覚受容体遺伝子のみが発現するしくみとして、「個々の嗅細胞が分化するとき、特定の嗅覚受容体の遺伝子座だけを残し、他の嗅覚受容体の遺伝子座をすべて失っている」ことが考えられた(仮説 1)。この仮説を検証するため、野生型マウスの A 遺伝子座から A 遺伝子を取り除き、その代わりに緑色蛍光タンパク質(GFP)遺伝子を組み込んだマウスを作製した(図 1)。GFP 遺伝子は、ゲノム中の A 遺伝子があった場所に組み込まれており、周囲の転写調節領域は改変されていない。この A 遺伝子座の遺伝子を  $a^{GFP}$  と呼ぶ。ホモ接合体マウス(遺伝子型： $a^{GFP}a^{GFP}$ )の「緑色蛍光を発する嗅細胞」を調べた結果、嗅覚受容体 A とは異なる嗅覚受容体が検出され、仮説 1 は棄却された。なお、GFP は他の遺伝子の発現に影響せず、細胞の中で安定に存在するものとする。

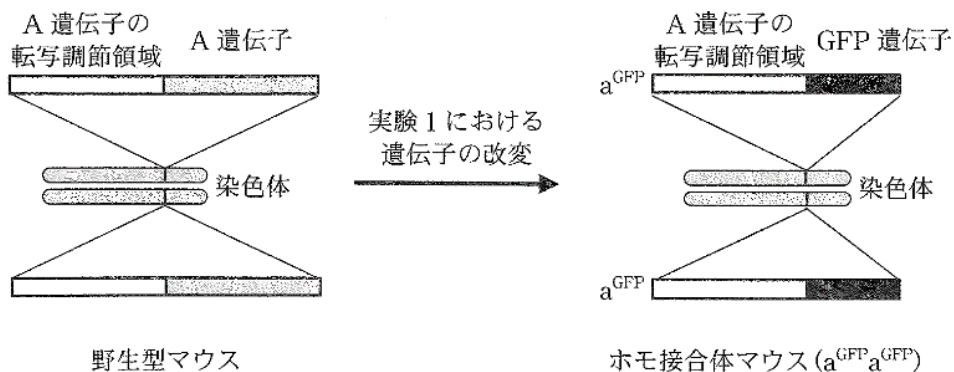


図 1

[実験2] P 遺伝子は嗅覚受容体遺伝子ではないが、P 遺伝子の転写調節領域は、その後ろに連結した遺伝子をすべての嗅細胞で転写させるはたらきをもつ。P 遺伝子の転写調節領域に A 遺伝子を連結し、野生型マウスのゲノムに組み込んだマウスを作製した結果、すべての嗅細胞で嗅覚受容体 A のみが検出された。なお、このマウスでは、ゲノム中に元からあるすべての嗅覚受容体の遺伝子およびその転写調節領域の変化はないものとする。

問(1) 実験1で作製したホモ接合体マウスに関する次の文①～⑥のうち、適切なものをすべて選び、番号で答えよ。

- ① 緑色蛍光を発するのは、嗅上皮のすべての細胞である。
- ② 緑色蛍光を発するのは、嗅上皮の一部の細胞である。
- ③ 緑色蛍光を発するのは、すべての嗅細胞である。
- ④ 緑色蛍光を発するのは、すべて嗅細胞 A である。
- ⑤ 緑色蛍光を発するのは、一部の嗅細胞 A である。
- ⑥ 緑色蛍光は、嗅覚受容体 A 以外の嗅覚受容体が検出されるすべての嗅細胞で観察される。

問(2) 仮説1が正しい場合、実験1の「緑色蛍光を発する嗅細胞」で嗅覚受容体を調べると、どのような結果になると予想されるか。最も適切なものを次の文①～⑤のうちから一つ選び、番号で答えよ。

- ① すべての嗅覚受容体が検出される。
- ② すべての嗅覚受容体が検出されない。
- ③ 嗅覚受容体 A が検出される。
- ④ 嗅覚受容体 A 以外のすべての嗅覚受容体が検出される。
- ⑤ 嗅覚受容体 A 以外の嗅覚受容体が1種類検出される。

問(3) 個々の嗅細胞で嗅覚受容体遺伝子が1種類だけ発現するしくみについて、実験1と実験2の結果もふまえて考察し、50字以内で説明せよ。

問 5 下線部(d)に関連して、個々の嗅細胞ですべての嗅覚受容体遺伝子が発現したとすると、脳が識別できるにおいの種類はとなると考えられるか。「増える」, 「減る」, 「変わらない」のうちから一つ選び、答えよ。

このページは白紙です。

〔Ⅱ〕 哺乳類の細胞周期に関する次の文章を読み、問1～問4に答えよ。答えは解答欄に記入せよ。

哺乳類の細胞周期は、細胞分裂の準備を行う **ア** と、分裂期(M期)に分けられる。さらに、**ア** は、DNA合成準備期(G<sub>1</sub>期)、DNA合成期(S期)および分裂準備期(G<sub>2</sub>期)に分けられる。一方、M期は、前期、中期、後期および終期に分けられる。前期には、核DNAが凝縮して太いひも状の染色体を形成する。また、**イ** が消失することによって、**ウ** を起点として伸長してきた微小管が染色体上の **エ** に結合する。中期には、染色体が赤道面上に配置され、紡錘体が形成される。後期では、**エ** に結合した微小管が短縮して、染色体を細胞の両極へと分配する。終期では、**イ** が再び現れて染色体が脱凝縮し、二つの新しい核(娘核)ができる。

ヒトの体細胞の多くは細胞周期を離れ、**オ** 期に入り、特定の形態および機能をもつように分化する。分化した細胞集団は組織を形成し、それらは上皮組織、筋組織、結合組織および神経組織に分類される。このうち、体表を覆う上皮組織である皮膚は、紫外線によってDNA損傷を受けやすい。<sup>(b)</sup>

問1 文章中の **ア** ～ **オ** に適切な語句を記せ。



問 2 下線部(a)に関連して、哺乳類ではテロメラーゼがはたらかないと、細胞分裂のたびに、染色体の末端構造であるテロメアの長さが短くなる。テロメアが短くなる理由として適切と考えられるものを、次の文①～⑤のうちからすべて選び、番号で答えよ。

- ① テロメアの新生鎖(新たに合成されたヌクレオチド鎖)は、常にリーディング鎖であるため。
- ② 哺乳類の細胞の核 DNA は線状であるため。
- ③ DNA ポリメラーゼは、RNA プライマーがないと新生鎖を伸長できないため。
- ④ テロメアでは、DNA ポリメラーゼは鋳型 DNA がなくても新生鎖を伸長できるため。
- ⑤ 複製された新生鎖の 3' 末端では、RNA プライマーが分解されるため。

問 3 ヒトの培養細胞 X および Y (以下, 細胞 X および細胞 Y と呼ぶ) をそれぞれ 2500 個培養し, 培養時間と細胞数の関係を調べると, 図 1 のようになった。また, 培養開始後 96 時間目では, 細胞当たりの DNA 量(相対値)に応じた細胞数の割合は, 細胞 X および細胞 Y のいずれの場合も表 1 のようになった。図 1 と表 1 の結果が再現されると仮定して, 問(1)~問(3)に答えよ。なお, 通常の培養では細胞は死なないものとする。

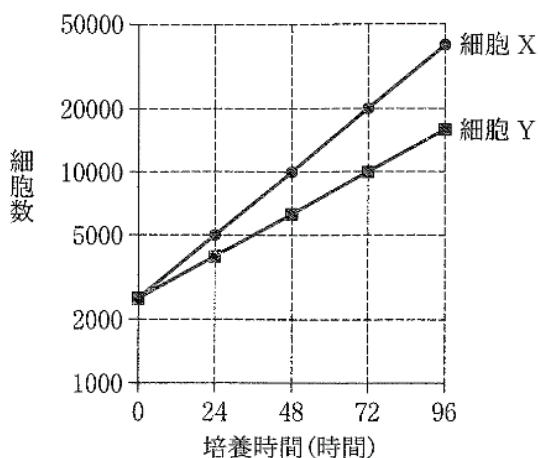


図 1

表 1

| 細胞当たりの DNA 量(相対値) | 細胞数の割合 (%) |
|-------------------|------------|
| 1                 | 55         |
| 1 より大きく 2 より小さい   | 25         |
| 2                 | 20         |

問(1) 細胞 X および細胞 Y の倍加時間(細胞数が 2 倍になるのに要する時間)をそれぞれ求めよ。

問(2) 2500 個の細胞 X を 96 時間培養したときの M 期の細胞数は 2727 個であった。このときの G<sub>2</sub> 期の細胞数を答えよ。

問(3) 96 時間培養した細胞 X および細胞 Y をそれぞれ 5000 個採取した。これらに対し、DNA 複製を阻害して細胞死を誘導する薬剤を与えて新たに培養を開始し、細胞がすべて死滅するまでの時間を計測した。この実験の結果として最も適切なものを次の文①～③のうちから一つ選び、その理由を 25 字以内で説明せよ。ただし、この薬剤が DNA 複製を阻害してから細胞死を誘導するまでの時間は、細胞 X と細胞 Y の間で違いはなく、与えた量は細胞を死滅させるのに十分であった。

- ① 細胞 X と細胞 Y がすべて死滅するまでの時間はほぼ等しい。
- ② 細胞 X がすべて死滅するまでの時間の方が短い。
- ③ 細胞 Y がすべて死滅するまでの時間の方が短い。

問 4 下線部(b)に関連して、紫外線の影響により隣り合うチミン塩基どうしが結合し、DNA 損傷が引き起こされる。このとき細胞は細胞周期を停止させ、損傷部位とその周囲を含めた部分を一本鎖のヌクレオチド鎖として取り除く。その後、DNA 損傷を受けた部位が正常な二本鎖に戻るしくみを、80 字以内で説明せよ。

〔Ⅲ〕 植物の生殖と発生に関する次の文章を読み、問 1～問 6 に答えよ。答えは解答欄に記入せよ。

種子植物の茎頂分裂組織は、受精後の胚発生の段階で形成される。ある双子葉植物では、茎頂ではたらく遺伝子 S が知られている。遺伝子 S が転写されない個体では、2 枚の子葉の間に茎頂分裂組織が存在せず、子葉は形成されるが普通葉(本葉)は形成されない。そのため、種子は発芽するがその後の植物体の成長が見られない。

この植物には遺伝子 S に加え、茎頂分裂組織の形成に関わる二つの遺伝子 A と B がある。これら 3 つの遺伝子は別々の染色体上に位置し、遺伝子 S、遺伝子 A および遺伝子 B のそれぞれには、対立遺伝子 s、対立遺伝子 a、および対立遺伝子 b が存在する。対立遺伝子 s は変異により転写されない。

茎頂分裂組織の形成における遺伝子 S、遺伝子 A および遺伝子 B の機能を調べるために、次の個体(i)～個体(v)を用いて実験 1 と実験 2 を行った。個体(i)は遺伝子型が SSaaBB である。個体(ii)は遺伝子型が SSAAbb である。個体(i)と個体(ii)を交配して得た種子を発芽させた個体が(iii)である。個体(iv)は遺伝子型が未知である。個体(v)は遺伝子型が SsAABB である。個体(i)～個体(v)は正常に成長し、生殖器官を形成した。なお、遺伝子 A と遺伝子 B は植物体においても転写されることがわかっている。

〔実験 1〕 表 1 に示す①～⑤の各条件で形成された 100 個の胚について、遺伝子 A と遺伝子 B の転写を解析した。

表 1

| 胚の形成条件                            | 遺伝子 A が転写された胚の個数 | 遺伝子 B が転写された胚の個数 |
|-----------------------------------|------------------|------------------|
| ① 個体(i)の自家受精                      | 0                | 100              |
| ② 個体(ii)の自家受精                     | 100              | 0                |
| ③ 個体(i)と個体(ii)の交配 [個体(iii)が得られる胚] | 100              | 100              |
| ④ 個体(iv)の自家受精                     | 100              | 100              |
| ⑤ 個体(v)の自家受精                      | 100              | 100              |

[実験 2] 表 2 に示す①～④の各条件で形成された 100 個の胚について、遺伝子 S の転写を解析した。

表 2

| 胚の形成条件         | 遺伝子 S が転写された胚の個数 |
|----------------|------------------|
| ① 個体(i)の自家受精   | 100              |
| ② 個体(ii)の自家受精  | 100              |
| ③ 個体(iii)の自家受精 | 94               |
| ④ 個体(iv)の自家受精  | 100              |

問 1 被子植物の分裂組織の性質として適切なものを次の文①～⑤からすべて選び、番号で答えよ。

- ① 茎頂分裂組織から分化する器官は、植物の成長に伴い変化する。
- ② 維管束の形成層は茎や根の肥大に必要な分裂組織であり、茎では表皮の直下に存在する。
- ③ 葉の原基は、茎頂分裂組織の中心部でつくられる。
- ④ 花芽を誘導するフロリゲンは茎頂分裂組織で作用する。
- ⑤ 花芽を誘導するフロリゲンは茎頂分裂組織で合成される。

問 2 個体(iii)と個体(iv)について、それぞれの遺伝子型を記せ。

問 3 個体(i)と個体(iv)の交配で生じた種子を発芽させ、普通葉が数枚形成されるまで成長させた。この段階における遺伝子 A と遺伝子 B の転写を 100 個体について解析した。それぞれの遺伝子についての結果として、最も適切なものを次の文①～③から一つずつ選び、番号で答えよ。

- ① すべての個体で転写される。
- ② 一部の個体で転写される。
- ③ すべての個体で転写されない。

問 4 表 2 の③において、遺伝子 S が転写されない胚の遺伝子型を記せ。

問 5 個体Ⅲを自家受精させて得られた胚と、その後に種子が発芽し普通葉が数枚形成された植物体のそれぞれについて、「遺伝子 A が転写され、かつ遺伝子 B は転写されない」ものの割合を求めよ。答えは分数で記せ。

問 6 次の文①～⑤について、実験 1 と実験 2 の結果の解釈として適切なものには○を、適切でないものには×を記せ。

- ① 遺伝子 A の転写には、遺伝子 S の転写は必要ない。
- ② 遺伝子 B の転写には、遺伝子 S の転写が必要である。
- ③ 遺伝子 S の転写には、遺伝子 A または遺伝子 B のどちらかの転写が必要である。
- ④ 遺伝子 S の転写には、遺伝子 A と遺伝子 B の両方が必要である。
- ⑤ 遺伝子 S がヘテロ接合の個体から、自家受精により種子を得て発芽させると、普通葉を形成しない個体の割合が全体の 4 分の 1 にならない場合がある。

[IV] サンゴと共生藻(褐虫藻)，およびその光合成に関する次の文章を読み，問1～問5に答えよ。答えは解答欄に記入せよ。

サンゴ礁は，石灰質の骨格を持つ刺胞動物<sup>(a)</sup>によって構成され，それらの刺胞動物は一般に造礁サンゴ(以下，サンゴ)と呼ばれる。サンゴの多くは，褐虫藻と呼ばれる渦鞭毛藻類と共生している。サンゴは褐虫藻から光合成産物を受け取り，必要とする栄養の大部分をまかなうことができる。したがって，サンゴはその成長に光を必要とし，比較的浅い海に生息するために，台風などの攪乱<sup>かくらん</sup>の影響を受け破壊されることがある。攪乱の規模が大きいと，サンゴの被度が低くなり，種数は少なくなる。一方，攪乱の規模が小さくても，サンゴの種数が少なくなることがある。なぜなら，サンゴの被度は高くなるが，競争に強いサンゴが優占してしまうためである。すなわち，適度な攪乱が生じた方が，サンゴの種数が最大になると考えられている。<sup>(b)</sup>

近年の地球温暖化により，海水温の上昇がサンゴ礁海域においても顕著であり，サンゴから褐虫藻が失われる「サンゴの白化」が，頻繁に報告されるようになった。褐虫藻の喪失は海水温の上昇のみならず，農薬が海域に流れ込むことや，土砂等の流入が原因で海水が濁り透明度が低下すること<sup>(c)</sup>によっても引き起こされる。これらによってサンゴ<sup>(d)</sup>が死滅すると，サンゴ礁の生態系が崩壊し，生態系が人類に与えてきた様々な恩恵<sup>(e)</sup>も消失してしまう。

問1 下線部(a)に関連して，次の動物から刺胞動物をすべて選び，解答欄に記入せよ。

|         |     |     |     |
|---------|-----|-----|-----|
| ナメクジウオ  | クラゲ | ウニ  | ヒトデ |
| イソギンチャク | ヒドラ | ゴカイ |     |

問2 下線部(b)の考え方を何と呼ぶか。その名称を記せ。

問 3 下線部(c)に関連して、除草剤 A は光化学系 I から電子を奪うことができる。除草剤 B は光化学系 II からの電子伝達を阻害する。このことをふまえて、図 1 に示す一般的な植物の光化学系における反応を参照し、問(1)～問(4)に答えよ。

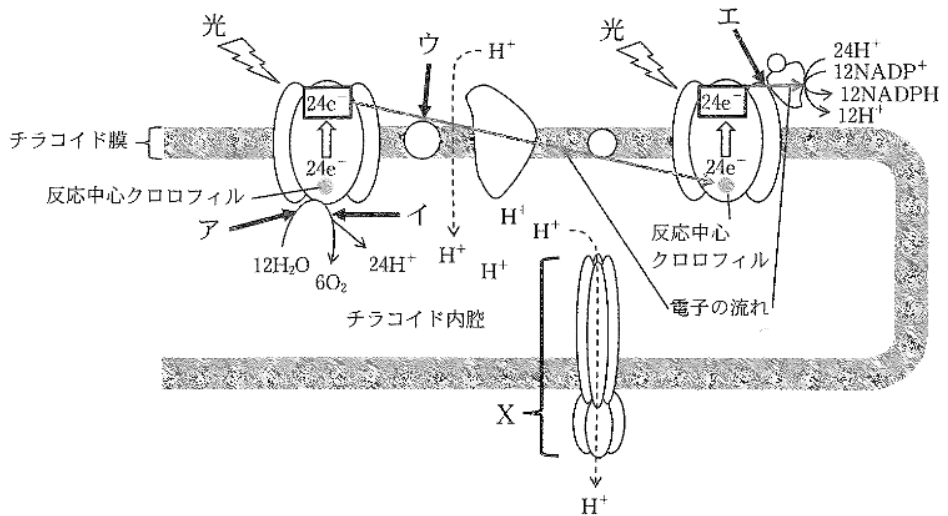


図 1

問(1) 除草剤 A と除草剤 B は、それぞれ図 1 のア～エのどの部分に作用するか、記号で答えよ。

問(2) 電子の伝達に伴いチラコイド内腔に蓄積した  $H^+$  (水素イオン) は、濃度勾配により図 1 の X を通ってチラコイドの外側に流れ出る。このとき、X によって何が合成されるか、その物質名を答えよ。また、光エネルギーに依存して、この物質が合成される反応を何と呼ぶか、その名称を答えよ。



問(3) 除草剤の影響で NADPH が生成されないと、糖が合成できなくなる。一般的な植物の糖の合成における NADPH の役割を、以下の語句をすべて用いて 40 字以内で述べよ。その際、この反応が葉緑体内のどの部分で行われるかについても記せ。

|             |     |     |
|-------------|-----|-----|
| カルビン・ベンソン回路 | GAP | PGA |
|-------------|-----|-----|

注：GAP はグリセルアルデヒドリン酸(グリセルアルデヒド 3-リン酸)、PGA はホスホグリセリン酸を示す。

問(4) 光化学反応の過程で、光化学系Ⅱの反応中心クロロフィルに集められた光エネルギーのうち、光化学反応に使われなかった余剰エネルギーは、特定の波長の光(蛍光)として放出される。

褐虫藻のある培養株に、一定の強さの光を照射しながら放出される蛍光を測定し、その強度を  $F$  とした。そのまま照射を続け、光化学系Ⅱからの電子伝達が完全に阻害される濃度の除草剤 B を加えて蛍光の強度( $F_{\text{除草剤}}$ )を測定したところ、 $F_{\text{除草剤}}$  の値は  $F$  よりも大きかった。これらの測定を、培養株が活発に増殖している状態(通常状態)と、高温ストレスを与えて光化学系Ⅱからの電子伝達の活性が低下した状態(高温状態)でそれぞれ行った。

以下の式の  内に不等号(>, または <)を入れよ。また、そうなる理由について、通常状態と高温状態を比較しながら、80 字以内で説明せよ。なお、高温ストレスの影響は、光化学系Ⅱからの電子伝達のみに限定され、測定に用いた培養株の細胞密度や光合成色素の量は、通常状態と高温状態で変わらないものとする。また、光化学反応に使われなかった余剰エネルギーは熱として放出されないものとする。

通常状態の ( $F_{\text{除草剤}} - F$ )  高温状態の ( $F_{\text{除草剤}} - F$ )

問 4 下線部(d)に関連して行った次の実験について、問(1)と問(2)に答えよ。

透明度の異なる海域で採集した二つのサンゴから、それぞれ褐虫藻を分離・培養し、褐虫藻 A、褐虫藻 B とした。これらの褐虫藻に対して、光の強さと光合成速度(酸素発生速度)の関係を調べた。その結果、褐虫藻 A と B の光補償点は、それぞれ図 2 のアとイであった。また、褐虫藻 A と B の光飽和点はそれぞれウとエの間、エとオの間にあった。酸素発生速度は、光がエより弱い場合は褐虫藻 B よりも褐虫藻 A の方が大きく、光がエよりも強い場合は褐虫藻 B の方が大きかった。この実験では、両者ともに強い光による阻害は見られなかった。

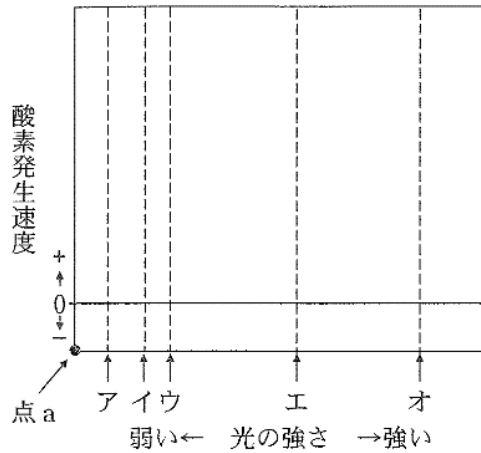


図 2

問(1) 解答用紙に示された図に、褐虫藻 A および褐虫藻 B の光—光合成曲線を描け。なお、どちらの曲線も点 a を始点とすること。また、どちらの曲線が褐虫藻 A、B を示すのかも明示せよ。

問(2) この結果から、より透明度の低い海域に生息するサンゴと共生関係を結ぶには、褐虫藻 A と褐虫藻 B のどちらが適していると考えられるか答えよ。

問 5 下線部(e)に関して、人類が生態系から受ける恩恵を総称して何と呼ぶか、その名称を答えよ。

このページは白紙です。

このページは白紙です。