

平成 29 (2017) 年度

慶應義塾大学入学試験問題

医 学 部

理 科

注意事項

1. 受験番号と氏名は解答用紙の所定の記入欄にそれぞれ記入してください。
2. 受験番号は所定欄の枠の中に 1 字 1 字記入してください。
3. 解答は、必ず解答用紙の所定の欄に記入してください。
4. この問題冊子の余白を計算および下書きに用いてください。
5. この問題冊子の総ページ数は28ページです。試験開始の合図とともにすべてのページが揃っているかどうか確認してください。ページの脱落や重複があったら直ちに監督者に申し出てください。
6. この問題冊子は、試験終了後に持ち帰ってください。

生物

解答用紙の所定の欄に記入すること。

I 光合成に関する A～C の文章を読み、下の問い（問1～13）に答えよ。

A 太陽光は、地球上の生命活動の源である。植物や [ア] は、光合成により光エネルギーを [イ] エネルギーに変換し、二酸化炭素を固定して炭水化物を合成する。詳しい光合成反応のいくつかは、現在も未解明であるが、科学者たちは約2世紀もの歳月をかけてさまざまな証拠を集め、それらをつないで光合成のしくみを明らかにしてきた。

19世紀はじめにド・ソシュールは、植物が成長するためには、どんな物質が必要であるかを調べるために、微量のガスや植物の重量を正確に測定できる実験系を開発した。そして、植物が産生する有機物の重量と発生する酸素の重量の総和が、消費された [ウ] の重量よりも大きいことを発見した。彼は、実験系に加えた空気以外の唯一の物質である [エ] が、光合成には必要であると推論した。ド・ソシュールの推論は、光合成のしくみを化学量論的に議論するための基礎となった。

真核細胞で光合成が行われる場合は、葉緑体という膜に囲まれた細胞小器官である。葉の緑の色素である [オ] は、葉緑体の [カ] 膜に存在する。図1に、この膜で光によって起こる電子伝達系を模式的に示した。

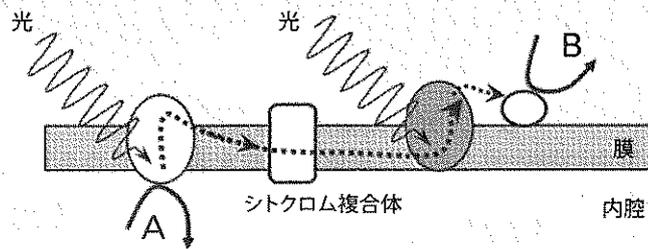


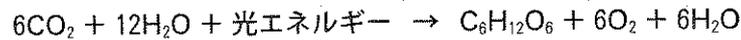
図1. 葉緑体における電子伝達系。点線は電子の流れを示す。

問1 [ア]～[カ] の空欄に適切な語句を記せ。

問2 図1のAで起こる反応を式で示せ。

問3 図1のBで起こる反応を式で示せ。

B 光合成の反応は、次の式によって要約される。



20世紀はじめの科学者たちは、光エネルギーが直接CO₂を[キ]し、[キ]されたCO₂と水の反応で炭水化物が合成されると推論していた。つまり彼らの仮説によると、光合成で発生するO₂はCO₂を源とすることになる。ところが、アメリカで光合成細菌の研究を行っていたファン・ニールは、この仮説に異論を唱えた。彼は以下の実験結果*をもとに、⁽¹⁾「酸素発生型の光合成においては、光エネルギーが分解するのはCO₂ではなくH₂Oである」との仮説を提唱した。

⁽²⁾ファン・ニールの仮説は、後世の科学者により検証され、複数の実験により証明された。

※ファン・ニールの実験：ファン・ニールは、⁽³⁾培養液を口まで満たし、しっかりと蓋をしたガラス瓶の中に、光合成細菌を植え付けた後、⁽⁴⁾北側の窓際に置き、細菌の増殖を観察した。細菌は、この光条件下では酸素を発生することなく増殖した。図2に示すように、数週間すると紅紫色のコロニーが瓶の底やガラスに付着するように形成され、増殖の活発な瓶では硫黄による着色も認められた。一方、暗条件下では全く増殖しなかった。培養液中の硫化ナトリウム(Na₂S)と炭酸水素ナトリウム(NaHCO₃)の濃度を変化させ、これらの濃度が増殖度に及ぼす効果を解析した。表1、2は目視による観察結果のまとめ、また図3は、光学顕微鏡による観察結果のまとめである。



図2. 増殖した光合成細菌

表1. 光合成細菌の増殖度に及ぼす培養液中の硫化ナトリウム濃度・炭酸水素ナトリウム濃度の効果

NaHCO ₃ (%)	Na ₂ S (%)			
	0.1	0.15	0.2	0.25
0.2	+	+	++	+++
0.5	+	++	+++	++++

注1) +の数が多いほど、より顕著な増殖を示す。

注2) Na₂SはH₂S, またNaHCO₃はCO₂の原料となる。

表2. 培養液中の硫化ナトリウム濃度・炭酸水素ナトリウム濃度の違いによる硫黄顆粒形成の有無

NaHCO ₃ (%)	Na ₂ S (%)			
	0.1	0.15	0.2	0.25
0.2	無	無	有	有
0.5	無	有	有	有

注1) 目視によって観察できる顕著な硫黄による着色が認められた場合のみ「有」と判定。

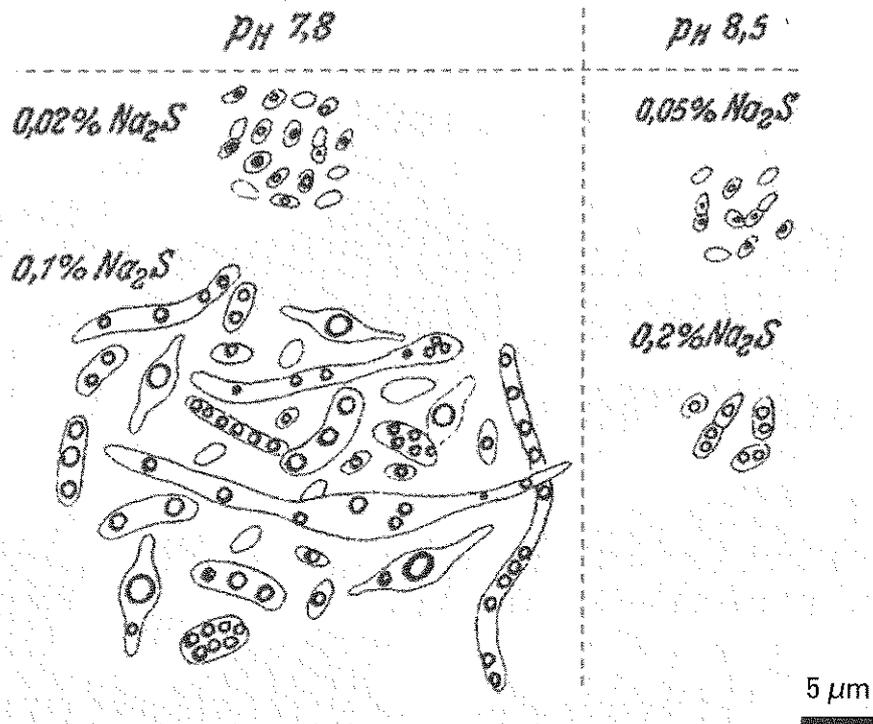


図 3. 光学顕微鏡観察による光合成細菌の形態 -ファン・ニールのスケッチ-

硫化ナトリウムの濃度の違いにより、細菌の大きさや形に顕著な違いが認められる。

van Niel-CB, *Arch. Mikrobiol.*, 1931より改変

問 4 [キ] に適当な語句を記せ。

問 5 下線部 (1) に関して答えよ。仮説を提唱する上で、ファン・ニールが着目した事象を 2 つ挙げよ。さらに、それらをどのように考察して、仮説を導き出したと考えられるかを、以下の語句を用いて解説せよ。

語句；光エネルギー、酸化、還元、電子供与体、植物、光合成細菌、炭水化物、 CO_2 、 H_2O 、 H_2S 。使用した語句には下線を施し、解答欄の指示に従って簡潔に述べよ。

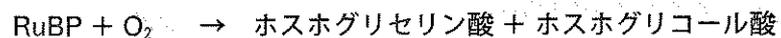
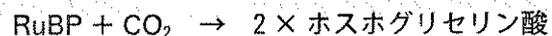
問 6 下線部 (2) に関して答えよ。ファン・ニールの仮説を検証するために、どのような実験が行われたか。1 つ挙げ、簡潔に説明せよ。

問 7 下線部 (3) に関して答えよ。なぜ培養液をガラス瓶の口まで満たす必要があったのかを一行で述べよ。

問 8 下線部 (4) に関して答えよ。なぜ北側の窓際で培養したのかを一行で述べよ。

問 9 この実験で使われた光合成細菌は、当初は藻類と誤って認識されていたが、後に細菌と訂正された。藻類に存在するが細菌には存在しない細胞の構造を 2 つ挙げよ。

- C 炭素固定回路の反応において、 CO_2 は C_5 化合物であるリブローズ 1,5-ビスリン酸 (RuBP) と反応して 2 分子のホスホグリセリン酸を産生する。この反応はリブローズ 1,5-ビスリン酸カルボキシラーゼ/オキシゲナーゼという酵素によって触媒される。この酵素は CO_2 だけでなく O_2 とも反応して 1 分子のホスホグリセリン酸と 1 分子のホスホグリコール酸を作る。ただし O_2 との反応速度は非常に遅い。これら 2 つの反応を以下に示す。



問10 上記の反応が起こる葉緑体の部位の名称を答えよ。

問11 リブローズ 1,5-ビスリン酸カルボキシラーゼ/オキシゲナーゼの略称を記せ。

問12 与えられた情報をもとにすると、ホスホグリコール酸は何個の炭素をもつ化合物か。

問13 O_2 濃度が CO_2 の 500 倍も高い現在の地球の大気では、陸上植物の光合成能力は O_2 と反応することで効率を落としている。大気中の O_2 の由来を考え、なぜこのように反応効率の悪い酵素が現れたのかを推察せよ。

II 脳・神経系に関する以下の文章を読み、下線部1～5に対応する下の問い（問1～5）に答えよ。

ヒトを含む哺乳動物の脳には、無数の神経細胞が存在し、その活動が高度な脳機能を支えている。神経細胞は細胞体から⁽¹⁾軸索と樹状突起を伸ばし、これらが結びつくシナプスにおいて⁽²⁾神経細胞間の化学情報伝達が行われる。シナプスにおける化学情報伝達は、情報を受容した細胞に種々の変化をもたらす。例えば、⁽³⁾膜電位変化を誘導し、その結果として活動電位の発生が調節される。このような⁽⁴⁾シナプスを介した情報伝達はさまざまな刺激に応じて変化するものであり、これが生涯に渡る脳の柔軟な変化を支えている。また、ヒトの脳における神経細胞の新生は成人では起こらないと長らく考えられてきた。しかし、⁽⁵⁾近年、成人脳における神経細胞の新生が示され、これも脳・精神機能に重要な役割を果たすことが明らかとなった。

問1 次の語群（a～e）の中で、通常、軸索末端に存在しないものはどれか。全て選び、記号で答えよ。

[a: ミトコンドリア, b: DNA, c: 輸送体タンパク質, d: チャネルタンパク質, e: アミノ酸]

問2 神経細胞間の伝達には、様々な化学情報伝達物質が用いられる。次の伝達物質の中でシナプス小胞から分泌されないものはどれか、1つ選び、記号で答えよ。

[a: グルタミン酸, b: アセチルコリン, c: ノルアドレナリン, d: 一酸化窒素, e: GABA (γ-アミノ酪酸)]

問3 神経細胞の膜電位変化に関する以下の問いに答えよ。

問3-1 神経細胞が静止状態から1回活動電位を発生し、再び静止状態に戻るまでの膜電位（膜外に対する膜内の電位）変化を図示し、細胞内外の電位差が無い0ミリボルトの高さを示す線を点線で表せ。また、次の文は、図示した変化の中で、最も電位が低い状態と静止状態の違いを説明したものである。空欄 [ア], [イ] に当てはまる語句を答えよ。

電位が最低になる状態は、[ア]依存性 [イ] チャネルが、活動電位の発生と共に起こる脱分極により活性化し、結果として [イ] チャネルの透過性が静止状態より増えるために起こる現象である。

問3-2 培養した神経細胞に電極を挿入して膜電位を持続的に記録した。ここで細胞外液を交換し、細胞外のナトリウム濃度を通常の150ミリmol/Lから低濃度の75ミリmol/Lに下げた。静止電位と活動電位とでは、どちらがより大きな影響を受けるか、またその変化はどのようなものか、簡潔に述べよ。

問3-3 上記の実験において、低ナトリウム濃度細胞外液の調製にあたっては、減らした塩化ナトリウムと同濃度の塩化コリンを加えた。この理由を推論して簡潔に答えよ。

問4 ある神経回路において、興奮性シナプスを形成する2つの神経細胞A、Bに電極を挿入し、細胞Aの活動に対する細胞Bの応答を計測した(図1)。細胞Aを一定の強度で電気刺激すると(刺激様式1)、活動電位が発生し、それに応じて細胞Bから一定のシナプス応答が計測された。ここで、ある特別な様式の電気刺激(刺激様式2)を細胞Aに与えた。その後、ふたたび刺激様式1で刺激を行ったところ、細胞Aの活動に対する細胞Bの応答が元比べて減弱していた。しかし、この変化は細胞Bでエンドサイトーシス(小胞を介した取り込み)を阻害しておくことでは起こらなかった。この実験結果から、細胞Bの応答が減弱したのはどのようなしくみによるものと考えられるか推測し、説明せよ。

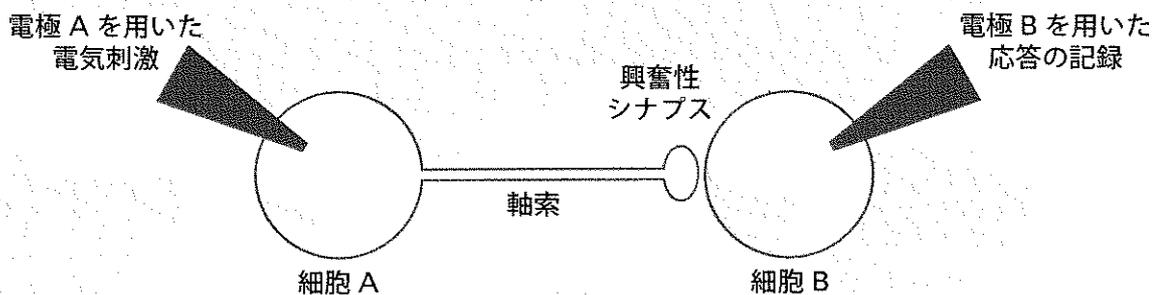


図1. 細胞A、Bの情報伝達実験の概略図

問5 成人脳における神経細胞の新生は、次の研究結果により明らかにされた。以下の実験を読み、問いに答えよ。

実験：Bromodeoxyuridine (BrdU) は、チミジン(チミンとデオキシリボースの化合物)と類似の構造を持ち、よって生体内の細胞においてチミジンの代わりに使われる。ここで、ある疾患に対する診断の目的でBrdUを投与した成人患者の内、投与してから数週間から数カ月後に死亡した患者の脳組織を固定し、特殊な方法を用いてBrdUを検出した。あわせて細胞種も解析したところ、BrdUでラベルされた細胞の一部が神経細胞であることが分かった。

問5-1 チミジンは生体において何に用いられるか、答えよ。

問5-2 なぜ、この実験結果が成人における神経新生の証拠となったのか。その理由を簡潔に説明せよ。

問5-3 BrdUが診断の目的で使用された疾患は何であったかを類推し、答えよ。

Ⅲ 蚊と他の生物との共生関係に関する A～C の文章を読み、下の問い（問 1～7）に答えよ。

A マラリア原虫は、ハマダラカと脊椎動物を宿主とする単細胞生物である。図 1 はマラリア原虫の生活環（図の上半分はハマダラカ、下半分はヒトの体内）を示す。マラリア患者の血液はマラリア原虫の配偶子母細胞を含んでいる。蚊がこの患者を刺すと、配偶子母細胞が吸血によって蚊の消化管内に入り（図 1 a）、そこで雌性配偶子と雄性配偶子が形成される。これらの [ア] によりマラリア原虫の接合体が生じる（図 1 b）。接合体は蚊の消化管壁で被嚢を形成し、この中で [イ] により半数体となった後、増殖して多数の種虫が生じる（図 1 c）。種虫は蚊の唾液腺に移動して蓄積し（図 1 d）、これを持つ蚊にヒトが刺されることで、ヒトへのマラリア感染が起こる。

ヒト体内に侵入した種虫は、肝臓の細胞内で増殖して赤血球に感染できる型（メロゾイト）となる（図 1 e）。メロゾイトは赤血球に入って増殖し、赤血球膜を破壊して出ると次の赤血球に侵入し、繰り返し増殖する（図 1 f）。メロゾイトの一部は増殖を止め、配偶子母細胞となる（図 1 g）。種虫やメロゾイトの増殖様式は [ウ] である。稀に生じる突然変異の他に、遺伝的多様性が生じるのは、図 1 の [エ] と [オ] の段階である。ヒトに感染するマラリア原虫は、熱帯熱マラリアや三日熱マラリアなど数種が知られており、各種内の遺伝的多様性も非常に高いため、マラリア対策が難しいものとなっている。

問 1 上記文中の [ア]～[ウ] に適当な語を入れ、[エ]と[オ]には図中の記号(a～g)から選べ。

問 2 蚊が複数のヒトから吸血すれば、マラリア原虫の遺伝的多様性はどうか、論述せよ。

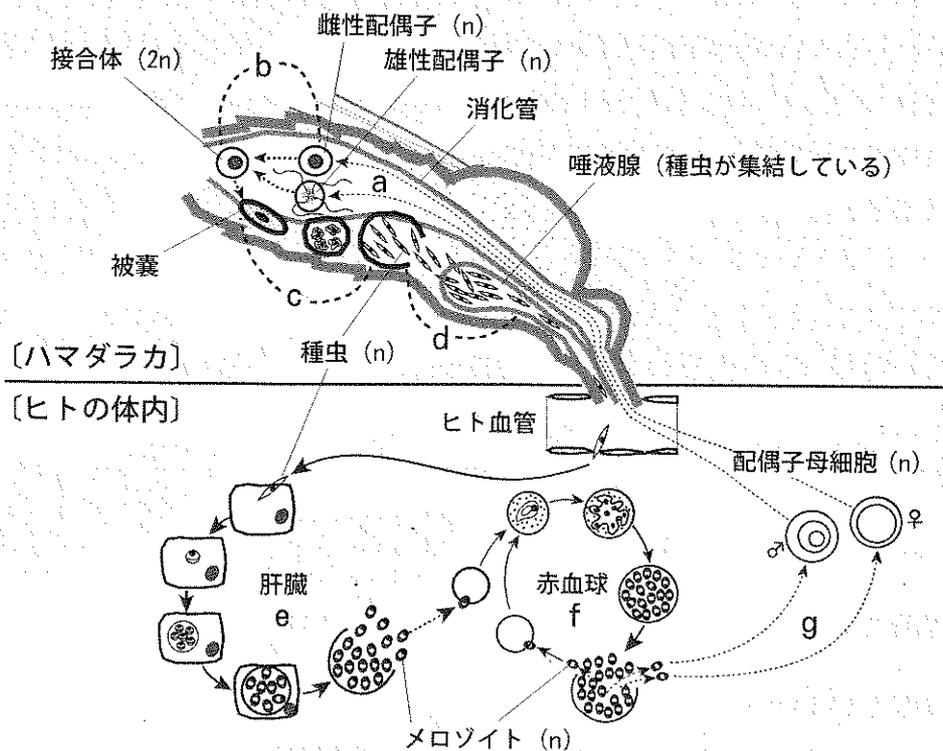
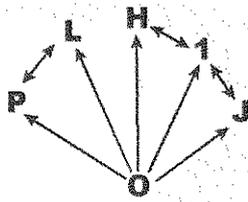


図 1. マラリア原虫の生活環。括弧内の 2n または n は核相を示す。

B アカイエカは世界中に分布する蚊であるが、異なる地域から得られた系統を交配させると、組み合わせによって幼虫が育たない場合が知られている（例1）。



例1：各記号は系統を示す。交尾はすべての組み合わせで起こったが、矢印で示した組み合わせでのみ繁殖した。矢印の根元はオス、矢の先はメスを表し、両方向の矢印は、両方向のメス×オスで繁殖が可能であったことを示す（Laven (1951) Evolution 5:370 より改変）。

アカイエカの系統 A と B について交配実験 1 および 2 を行ったところ、以下の結果が得られた。

実験1：A メス×B オスの交配で産まれた卵の多くは正常に発生したが、B メス×A オスの交配により産まれた卵では 0.01% しか孵化せず、それらはすべてメスで母親と同じ形質を示した。

問3 実験1の結果について考察した次の文中の [ア]～[エ] には A または B のどちらかを、[オ] には適当な語を入れよ。

[ア] の卵は [イ] の精子によって受精し発生するが、[ウ] の卵は [エ] の精子によって受精しない。B メス×A オスの交配によってわずかに産まれた子は母親と同じ形質を持つことから、オスの精子で受精はしなかったが [オ] が引き起こされたと考えられる。

実験2：アカイエカの細胞を電子顕微鏡で観察すると、ヴォルバキアというバクテリアが卵やその他の細胞内に存在していた。系統 A および B の幼虫を抗生物質入りの水で飼育し、細胞内のヴォルバキアを除菌した系統 A' および B' を作成した。これらを用いて交配実験を行ったところ、次の孵化率が得られた（表1）。

表1. それぞれの交配による孵化率 (%)

♀ \ ♂	A	A'	B	B'
A	22.1	57.7	52.4	60.5
A'	0.0	52.4	0.0	84.4
B	0.0	73.8	50.2	39.3
B'	0.0	60.8	0.0	73.8

問4 実験2の結果にもとづいて、解答欄の A, A', B, B' の間に、例1にならって矢印をつけよ。

問5 実験2の結果から、ヴォルバキアを細胞内に持つ（感染している）メスの蚊と、ヴォルバキアを持たない（非感染の）メスの蚊では、どちらが進化的に有利だと考えられるか、説明せよ。

C デング熱ウイルスはおもにネッタイシマカにより媒介され、熱帯・亜熱帯地方で年間1億人が感染している。2014年には日本国内でも70年ぶりにデング熱の感染者が見つかった。ネッタイシマカの駆除は困難で、⁽¹⁾ 殺虫剤に対する抵抗性を持つ蚊も見つかっている。最近、⁽²⁾ ヴォルバキアに感染していないネッタイシマカに、昆虫のウイルス感染を低下させるような性質を持つヴォルバキアを人工的に感染させ、野外に放す試みが行われている。

一方、A で述べたようにハマダラカにより媒介されるマラリアに関しては、2015年には2億人以上が感染し、約43万人が亡くなった。これまで多くのマラリアの特効薬が開発されたが、⁽³⁾ これらの薬に耐性を持つマラリア原虫が出現し問題となっている。ハマダラカについても、ネッタイシマカの場合と同様にヴォルバキアを人工的に感染させると、熱帯熱マラリア原虫の蚊への感染率が低下した。また最近、ヒトのマラリアを媒介するハマダラカへの自然感染ヴォルバキアが発見され、この⁽⁴⁾ ヴォルバキアを持つ蚊では熱帯熱マラリア原虫の感染率が低いと報告された。しかし鳥に感染するマラリアでは、蚊のヴォルバキア感染により鳥マラリア原虫の感染率が上昇することが知られている。

問6 下線部(2)で、もしヴォルバキア感染によりBの実験2と同様な宿主の繁殖に対する影響があるとすれば、この試みによりどのような結果が期待されるか述べてよ。

問7 下記の文中の[ア]～[エ]に適切な語を入れよ。

下線部(1)や(3)のように、薬剤耐性を持つ蚊やマラリア原虫がつぎつぎに現れるという事実は、生物学的には[ア]の実例である。また、下線部(4)によれば、熱帯熱マラリア原虫とヴォルバキアの間には、蚊の体内における[イ]をめぐる[ウ]が生じていると考えられる。しかし、鳥マラリアの場合には状況が異なり、熱帯熱以外のヒトマラリアでは状況は不明である。さらに種間関係は時により変動し、ある形質が進化的に有利か否かも、環境によって変わる。ヘモグロビン遺伝子の1塩基置換による[エ]という病気は、一般的に生存のためには不利となる。しかし、この変異ヘモグロビンを持つ赤血球内では、熱帯熱マラリア原虫が増殖できないため、東アフリカでは約4割の人が変異遺伝子を保有する。感染症の対策を考えるためには、これらの複雑な種間関係や生物の進化に関する理解が不可欠である。