

15時00分～17時30分

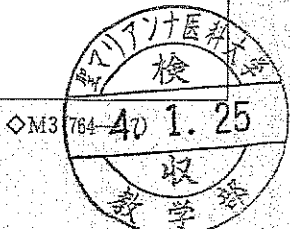
理 科
問 題 冊 子

科目名	頁
物 理	1 ～ 10 頁
化 学	11 ～ 14 頁
生 物	15 ～ 23 頁

注 意 事 項

1. 試験開始の合図〔チャイム〕があるまで、この注意をよく読むこと。
2. 試験開始の合図〔チャイム〕があるまで、問題冊子ならびに解答用紙は開かないこと。
3. 試験開始の合図〔チャイム〕の後に問題冊子ならびに選択した科目に拘わらず解答用紙の全ページの所定の欄に受験番号と氏名を記入すること。
4. 解答はかならず定められた解答用紙を用い、それぞれ定められた位置に問題の指示に従って記入すること。解答用紙に解答以外のことを書かないこと。
5. 解答はすべて黒鉛筆を用いてはっきりと読みやすく書くこと。
6. 解答用紙のホチキスははずさないこと。
7. 質問は文字が不鮮明なときに限り受け付ける。
8. 問題冊子に、落丁や乱丁があるときは手を挙げて交換を求めること。
9. 試験開始60分以内および試験終了前10分間は、退場を認めない。
10. 試験終了の合図〔チャイム〕があったとき、ただちに筆記用具を置くこと。
11. 試験終了の合図〔チャイム〕の後は、問題冊子ならびに解答用紙はいずれも表紙を上にして、通路側から解答用紙、問題冊子の順に並べて置くこと。いっさい持ち帰ってはならない。
なお、途中退場の場合は、すべて裏返しにして置くこと。
12. 選択科目の変更は認めない。
13. その他、監督者の指示に従うこと。

受験番号		氏 名	
------	--	-----	--



生物

1 次の文章を読んで下の質問に答えなさい。

真核生物の細胞は、その内部に複雑な膜系を発達させている。ミトコンドリアはそのような構造の1つで、アデノシン三リン酸（ATP）を合成する過程に中心的役割を果たしている。

呼吸によってATP産生のためのエネルギーを得る過程は、グルコースを出発点とすると3つの段階から成る。まず最初の2つの段階（解糖系とクエン酸回路）によって還元型補酵素が産生され、それから3つ目の段階である電子伝達系に電子が供給される。電子伝達系はミトコンドリア内膜に存在する複数のタンパク質で構成されており、連続した電子の伝達（酸化還元反応）によって H^+ を一定方向に輸送している（図1）。このようにして形成された H^+ の勾配は、ATP合成酵素がATPを産生するのに用いられる（図1）。

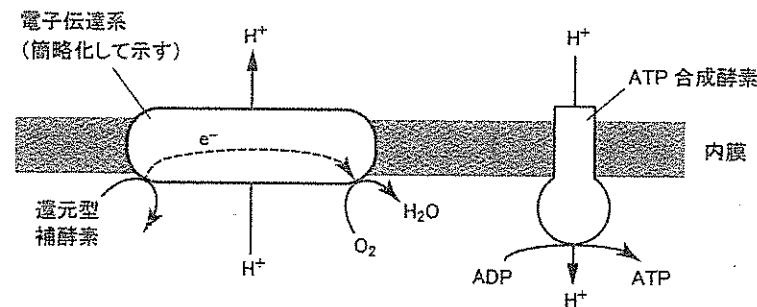


図1

一般にヒトは寒冷環境に置かれると、皮膚にある血管がまず収縮する。しかし血管収縮によって調節できる温度域は狭く、その範囲を超える寒冷刺激に対しては、骨格筋の震えによる産熱や、震えを伴わない代謝の促進によって体温を維持する。ある特定の組織にある細胞のミトコンドリア内膜には特別な膜タンパク質（膜タンパク質Xとする）があり、震えを伴わない産熱に重要な役割を果たしていると考えられている。細胞が交感神経の作用を受けると、このタンパク質は活性化して H^+ を透過させる性質があり（図2）、そのため呼吸の活発化と共に H^+ の勾配として蓄えられていたエネルギーが熱として放出されると考えられている。

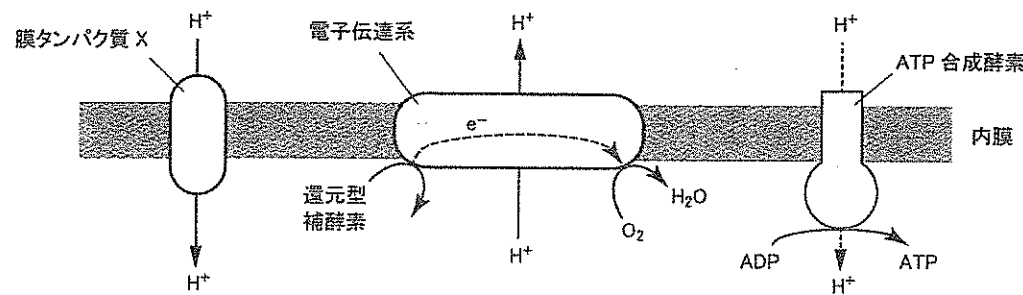


図2

〔1〕真核生物のように細胞内に複雑な膜系を発達させていない生物群が存在する。どのような生物群がそれに相当するか、分類学上のドメインの名称を答えなさい。ただし、系統的に真核生物により近縁であるものを1つ答えなさい。

〔2〕ミトコンドリアの起源は、元々独立していた好気性細菌が別の細胞内に共生を始めたものであるとする「細胞内共生説」が広く支持されている。細胞内共生説を支持する根拠を簡易的に述べなさい。

挙げなさい。

〔3〕ATPはヒトの場合、平均すると1日に細胞1個当たり0.83 ng消費されると考えられている。しかし、ATPは細胞内には平均して0.00084 ngしか存在しない。ATPの合成と消費についてどのようなことが考えられるか、2行以内で述べなさい。

〔4〕(i) 解糖系、(ii) クエン酸回路は細胞のどこで起こる反応か、それぞれ答えなさい。

〔5〕電子伝達系に電子を供給する還元型補酵素を答えなさい。

〔6〕電子伝達系は、ミトコンドリア内膜を挟んでどのような H^+ の勾配を形成するのか、勾配の向きが分かるよう、1行で説明しなさい。

〔7〕寒冷環境に置かれたとき、皮膚にある血管が収縮することにどのような意義があるか、1行で説明しなさい。

〔8〕膜タンパク質Xに関する以下の研究について、下の質問に答えなさい。

〔実験1〕複数の健康な20代の人に、Tシャツ、半ズボンを着用の上、震えが生じないような穏やかな冷涼環境（16℃）にある椅子に90分間着席してもらい、熱産生の指標として酸素消費量（体重1 kgあたり、1分あたりに換算）の時間経過を調べた（図3）。なお、被験者は飲食を実験の2時間以上前から控えた。

タンパク質Xの遺伝子内には複数箇所の一塩基多型が知られているので、酸素消費量を測定した人について、タンパク質Xの遺伝子を解析した。その結果、ある特定の一塩基多型のタイプ（タイプaとする）をホモ接合で有する人は、図3aのような酸素消費量の変化を示したが、それ以外のタイプをホモあるいはヘテロ接合で持つ人はbのような変化を示すことが分かった。

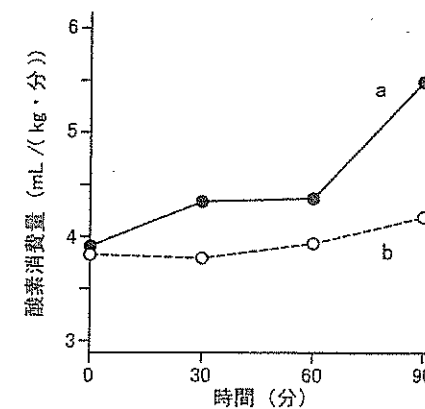


図3

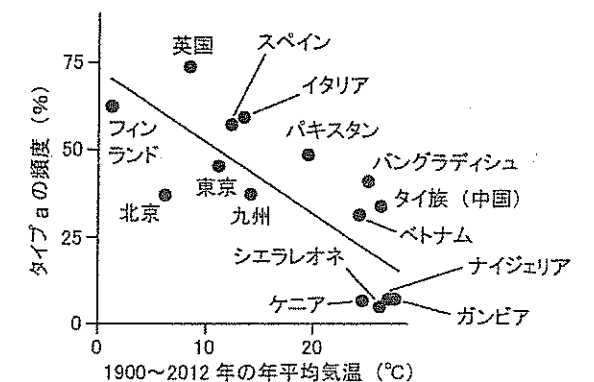
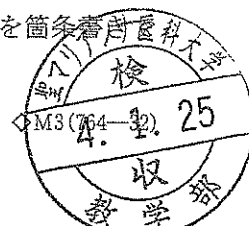


図4

〔実験2〕世界各地のヒト集団について、タンパク質Xのタイプaの遺伝子頻度を調べ、それぞれの地域の年平均気温との関係をプロットした（図4）。図には、データの分布の傾向を統計的に表した直線が書き加えられている。なお、相関係数は-0.756であった。



- 1) 一塩基多型とは何か、2行以内で説明しなさい。
- 2) 図3において、より熱を産生しているのはaおよびbのどちらか。
- 3) 図4に示された結果(グラフから読み取れること)を1行で述べなさい。
- 4) 図4のような関係が生じた理由としてどのようなことが考えられるか、2行以内で説明しなさい。

2 次の文章を読んで下の質問に答えなさい。

脊椎動物は循環系を発達させて全身に血液を循環させている。血流を駆動するのは主として心臓である。哺乳類の心臓の拍動は、右心房の洞房結節の興奮から始まる(図5)。洞房結節の主な機能は興奮を心臓全体に及ぼして拍動のリズムを定めることにある。このことから洞房結節はペースメーカーともよばれる。洞房結節の興奮は、まず心房を構成する細胞に伝えられる。また右心房と右心室の間にある房室結節にも興奮が伝わる。房室結節からはヒス束とよばれる繊維状の構造が伸びて右心室と左心室の間の壁の中を下行し、枝分かれしながらプルキンエ繊維とよばれる構造となって心室の壁を上行している。房室結節の興奮はこの経路を通して心室の心筋細胞に伝えられる。心房や心室の心筋細胞はaある細胞接着

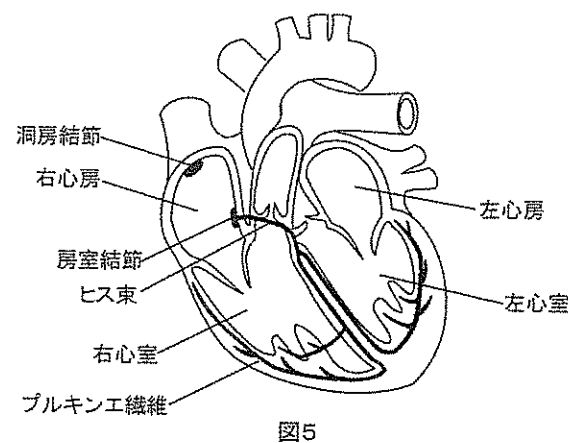


図5

でつながっており、心房や心室は全体として興奮し収縮に至る。

図6は、洞房結節の細胞における膜電位変化(A)と、各種のイオンチャネルを通るイオンの移動(電流)(B)を同一の時間経過で示したものである。図6Bでは陽イオンの細胞内への流入を下向き、細胞外への流出を上向きの黒塗りで表す(いずれも相対値)。

洞房結節の細胞では、活動電位は主に電位依存性カルシウムチャネルを介した Ca^{2+} の流入により発生する。洞房結節の細胞の膜電位は、自律神経の作用がなければ最も電位の低い時で -60 mV 程度であり、過分極時に開口するチャネルを通して陽イオン(主に Na^{+})が細胞内に流入し(過分極誘発性電流, I_f)、緩やかに脱分極する。膜電位が $-55 \sim -40\text{ mV}$ 程度に達すると、T型カルシウムチャネルとよばれる電位依存性イオンチャネルが開口して Ca^{2+} が流入し、T型カルシウム電流(I_{CaT})が生じ、さらに膜電位が上昇するとL型カルシウムチャネル

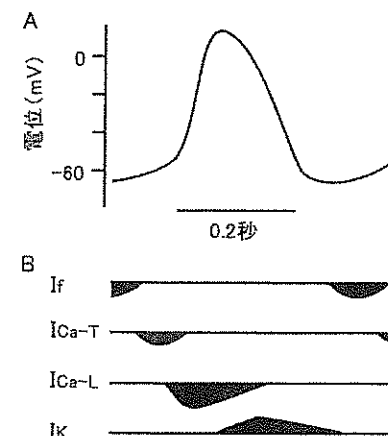


図6

う別の電位依存性イオンチャネルが開口してL型カルシウム電流(I_{CaL})が生じて活動電位が発生する。次いで電位依存性カリウムチャネルが脱分極によって開口してカリウム電流(I_K)が流れ、サイクルの初めの低い値にまで膜電位が戻る。このサイクルが一生にわたり繰り返される。

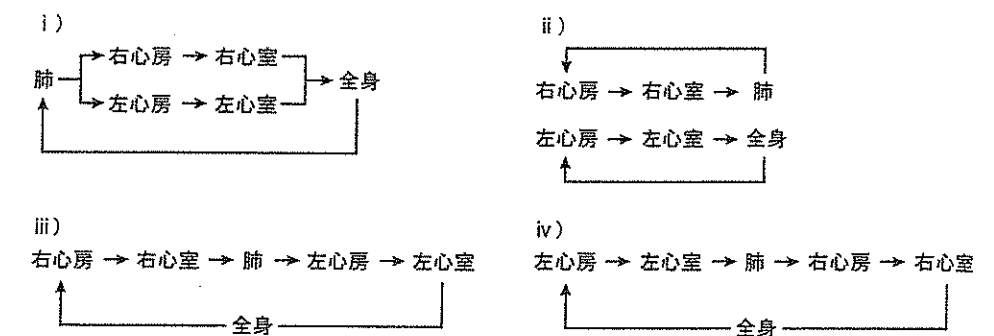
心拍数は、生体の置かれた状況に応じて変動する。洞房結節には副交感神経(迷走神経)が達して、ここからアセチルコリンが放出されると心拍数は低下する。洞房結節は交感神経による調節も受けており、交感神経から放出される(ア)や、(イ)から放出される(ウ)の作用によっても心拍数は変化する。このように洞房結節の細胞が副交感神経と交感神経の両方の調節を受けるのに加え、b心室の心筋細胞には主に交感神経が直接作用して拍動に影響を及ぼす。

[1] 1) 文中の空欄(ア)～(ウ)に適する語を答えなさい。なお(ア)と(ウ)は物質名、(イ)は臓器名(臓器内の領域名も特定すること)である。

2) 下の①～③について、心筋のみに当てはまる場合にはA、骨格筋にのみ当てはまる場合はB、両者に当てはまる場合にはCと答えなさい。普通に生活している条件で考えること。

- ① 細胞に横紋を認める。
- ② 組織・臓器に入力する神経刺激が強くなるに従い、収縮する細胞の数が増える。

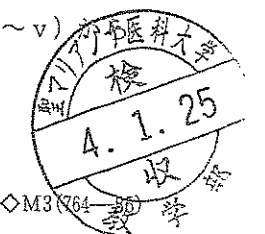
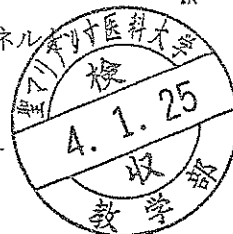
[2] 1) 哺乳類における血液循環を正しく表現しているのはどれか、下のi)～iv)から選び、記号で答えなさい。



2) 哺乳類の循環系の各領域の血液について、解答欄の例にならって動脈血が流れる箇所には「動」、静脈血の流れる箇所には「静」と答えなさい。

[3] 下線部aについて、下の質問に答えなさい。

- 1) この細胞接着の名称を答えなさい。
- 2) 1)で解答した細胞接着を通り、興奮の共有に最も寄与する物質を次頁のi)～v)を選び、記号で答えなさい。



- i) アセチルコリン ii) グルコース iii) ATP iv) 陽イオン
v) ミオシンなどのモータータンパク質

3) 心房と心室の間は大部分が厚い結合組織で隔てられており、心房の心筋細胞と心室の心筋細胞との間にはこの細胞接着はない。これは心臓の正しい収縮にどのように役立っていると考えられるか、2行以内で述べなさい。

〔4〕心臓を構成する細胞は、大動脈から分岐する冠状動脈を流れる血液により、酸素や栄養分の供給を受けている。冠状動脈は心臓の組織内では周囲を心筋に囲まれており、心室が収縮する時期（収縮期）には圧迫されて血流量が減り、心室が拡張する時期（拡張期）には圧迫が解消されて血流量が増える。冠状動脈が固くなって抵抗が増したり、細くなるなどして血流が妨げられると、狭心症や心筋梗塞が引き起こされる。これらに対して大動脈内バルーンパンピングが使用されることがある。これは図7のように大動脈の冠状動脈との分岐の先の位置に「風船」を留置して、収縮期には急激に風船を縮め、拡張期には急激に膨張させるというものである。この風船の膨張のタイミングはどのような効果を期待して設定されているか、2行以内で述べなさい。大動脈内には、拡張期でも前の収縮期に送り込まれた血液があるため、血圧（血液が血管壁を押す力）がゼロにならないことに留意すること。

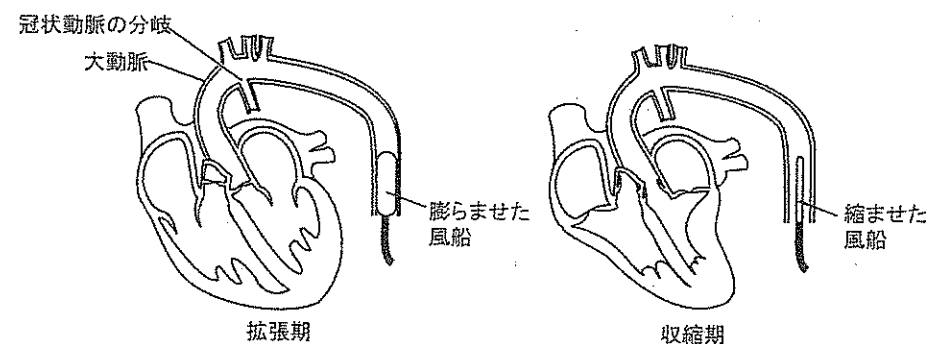


図7

〔5〕心拍の自動性は洞房結節の自動性によっている。洞房結節の細胞に特有な、自発的な活動電位発生の最も根源的な要因となっているのはどの電流か、下のi)～iv)から選び、記号で答えなさい。

- i) I_f ii) I_{Ca-T} iii) I_{Ca-L} iv) I_K

〔6〕骨格筋繊維では、運動神経終末から放出されたアセチルコリンにより活動電位が発生し、筋収縮が誘起される。一方洞房結節の細胞では、副交感神経から放出されたアセチルコリンにより細胞膜を介した K^+ の移動が起こり、膜電位が変化し活動電位の頻度が低下する。このようなアセチルコリンによる異なる二様の作用は、受容体の種類およびそれ以降の情報伝達経路の違いから説明される。次頁の文章と図は、その機構を説明したものである。文中の

～(カ)に適する語句を下の選択肢i)～viii)から選び、記号で答えなさい。

アセチルコリン受容体は、イオンチャネル型受容体（伝達物質依存イオンチャネルの一種）とイオンチャネル型ではない受容体（Gタンパク質共役型受容体）とに大別される。骨格筋の神経筋接合部に存在する(ア)アセチルコリン受容体は、アセチルコリンの結合により活性化し、直ちに(イ)が(ウ)する。これにより細胞膜が脱分極し、さらに電位依存性ナトリウムチャネルが開口して活動電位が発生し、筋収縮に至る一連の過程が誘起される。これに対し、洞房結節の細胞には(エ)アセチルコリン受容体が存在する。これにアセチルコリンが結合すると、間接的に特殊なカリウムチャネルが開口する。すると K^+ が(オ)して細胞膜が(カ)する。これにより図8に示すように、拡張期の膜電位が低下する。うへT型カルシウムチャネルの開口に至る膜電位の上昇速度も低下する。なお図8は電位が最低値になってから次の最低値になるまでの1サイクルのみを示している。

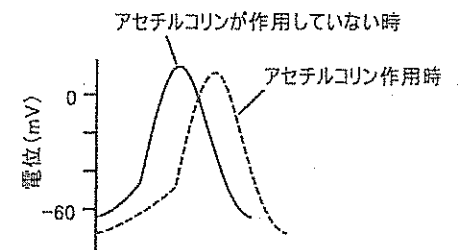


図8

選択肢:

- i) イオンチャネル型 ii) Gタンパク質共役型 iii) Na^+
iv) Cl^- v) 細胞外に流出 vi) 細胞内に流入
vii) 脱分極 viii) 過分極

〔7〕下線部bについて、交感神経の洞房結節を介した間接的な作用と、心室の心筋細胞に対する直接的な作用の結果、心拍の頻度と1回の心筋の収縮の速さはどのように変化するか、2行以内で述べなさい。

3 次の文章を読んで下の質問に答えなさい。

ヒトは外界からの刺激を受容器により受け取り、情報を得る。内耳には聴覚と(ア)の2つの感覚があり、聴覚の受容器である(イ)は音を受け取る。(ア)の受容器には前庭と半規管があり、それぞれ体の傾きと回転の情報を受容する。嗅覚については、嗅上皮がにおい物質を受容する。動物が分泌し、同種他個体に特定の行動を起こさせる情報伝達物質である(ウ)も嗅覚系の特殊な受容器で受け取られる。味覚については、五つの基本味と呼ばれる甘味、(エ)、苦味、酸味、塩味の味物質などが味覚芽により受容される。視覚については、眼の網膜に到達した光は網膜の視細胞で受容され、視細胞を興奮させる。視細胞の興奮は、視物質を構成するレチナールとオプシンが離れ、オプシンの構造が変化することで生じる。ヒトが色を認識できるのは、異なる範囲の波長の

吸収する 3 種類のオプシンを持ち、それぞれのオプシンを持つ視細胞が興奮する割合を脳で統合しているからである。例えば、最も長波長側をカバーする「赤オプシン」は、長波長の赤まで感度がある。

- [1] 文中の空欄（ア）～（エ）に入る適切な語を答えなさい。
- [2] 光は網膜で受容され、その後中枢神経に光の情報が伝えられる。光の通過経路、情報の主な伝達経路について、以下の空欄（オ）～（ク）に入る適切な語を下の選択肢①～⑧から選び、記号で答えなさい。

光の通過経路：
光 → （オ） → 前眼房 → 瞳孔 → 水晶体 → （カ） → 視細胞

光の情報の伝達経路：
視細胞 → 連絡神経細胞 → 視神経細胞 → （キ） → （ク）の視覚野

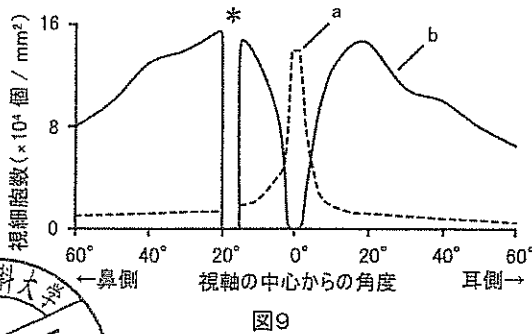
選択肢：
① レンズ ② ガラス体 ③ 大脳 ④ 小脳
⑤ 視神経繊維 ⑥ 結膜 ⑦ 角膜 ⑧ ミュラー細胞

- [3] ヒトの眼には焦点距離を調節できる仕組みがある。水晶体、毛様筋、チン小帯の状態について、i) 近くを見る場合と、ii) 遠くを見る場合の、正しい組み合わせはどれか、右の a ～ h からそれぞれ選び、記号で答えなさい。

	水晶体	毛様筋	チン小帯
a	厚くなる	収縮する	緊張する
b	厚くなる	収縮する	弛緩する
c	厚くなる	弛緩する	緊張する
d	厚くなる	弛緩する	弛緩する
e	薄くなる	収縮する	緊張する
f	薄くなる	収縮する	弛緩する
g	薄くなる	弛緩する	緊張する
h	薄くなる	弛緩する	弛緩する

- [4] 図 9 は、網膜における視細胞の分布を示している。下の質問に答えなさい。

- 1) a、b のような分布を示す細胞の名称をそれぞれ答えなさい。
- 2) * が示す、視細胞が分布していない網膜の領域の名称を答えなさい。また、この領域の構造上の特徴から、視細胞が分布しない理由を 2 行以内で説明しなさい。



- [5] メダカの光感受性に関する研究について、下の質問に答えなさい。

四季がある地域では、多くの動物で産卵や分娩などの行動が季節により変化する。メダカは春から夏にかけて活発に泳ぎ回るが、冬には川底でじっとしている。メダカの繁殖期は春から夏であり、この時期のメダカは婚姻色（体の橙色や赤色が濃くなるなど）を示し、異性を誘引する。メダカは嗅覚や視覚などの受容器をもち、色覚については赤オプシンを含む複数のオプシンをもっており、色を認識していることが知られている。

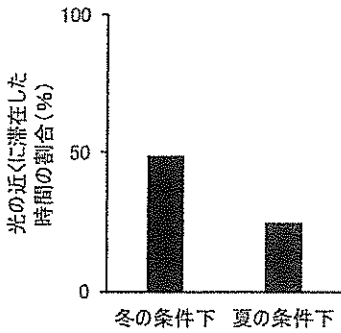


図10

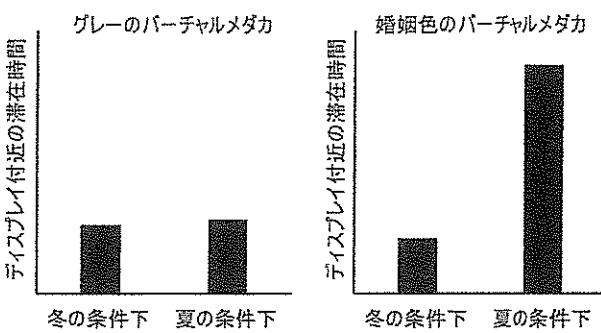


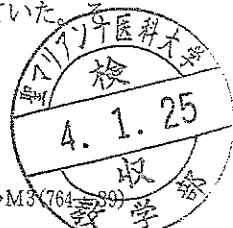
図11

[実験 1] 冬の条件下（短日、低温）または夏の条件下（長日、温暖）の水槽で飼育されたメダカを用いて、水槽の側面から強い光を一定時間当てたときの行動の違いを調べた。それぞれの条件下のメダカが観測中に光を当てた側に滞在した時間の割合（%）を図 10 に示す。

[実験 2] 水槽側面に設置したディスプレイにメダカの映像（バーチャルメダカ）を映し出し、冬の条件下または夏の条件下で飼育されたメダカの、婚姻色に対する行動の違いを解析した。バーチャルメダカは婚姻色（カラー表示）と非婚姻色（グレー（白黒）表示）の 2 種類を用いた。その結果を図 11 に示す。

[実験 3] メダカの眼における遺伝子発現をマイクロアレイ解析により調べた。その結果、視覚に関与するオプシンなどの遺伝子発現が、冬の条件下では著しく低下していたのに対し、夏の条件下では上昇していた。

- 1) 実験 1 において、夏の条件下で飼育されたメダカに確認された走性について 1 行で説明しなさい。
- 2) 実験 2 はバーチャルメダカを使用して行った。視覚に関する実験において、同じ水槽に生体のメダカを入れて行かなかった理由を 2 行以内で説明しなさい。
- 3) 実験 2 では、夏の条件下で飼育されたメダカの方が、冬の条件下で飼育されたメダカよりも、婚姻色のバーチャルメダカを映し出したディスプレイの近くに長く滞在していた。その理由を実験 3 の結果から 4 行以内で説明しなさい。



- 4) 野生型のメダカ、および赤オブシンの遺伝子を欠損させたメダカを夏の条件下でそれぞれ飼育し、実験 2 と同様の方法で行動の違いを調べた。婚姻色のバーチャルメダカを映し出したディスプレイ付近に滞在する時間について、赤オブシン欠損メダカは野生型メダカと比べてどのような違いがあると考えられるか、「長くなる」、「短くなる」、「変わらない」の中から選び、○を付しなさい。さらに、そのように判断した理由を 2 行以内で説明しなさい。

