

和歌山県立医科大学

平成 28 年 度

理 科

問 題 冊 子

生 物

第 1 問 以下の文章を読んで、各問に答えよ。

ヒトの身体の内部環境は自律神経とホルモンの共同作用によって調節されている例が多くある。血液中のグルコース濃度を血糖濃度と言うが、血糖濃度は0.1%前後ではほぼ安定している。食事などにより糖質を摂取すると血糖濃度は一時的に上昇するが、一定時間後には通常の濃度に戻る。また逆に運動などにより血糖濃度が低下しても肝臓に貯蔵されているグリコーゲンが分解され、血糖濃度は元に戻る。図1は、このような血糖濃度調節の仕組みをまとめたものである。このような血糖濃度の調節が何かの原因でうまくいかなくなり、血糖濃度が高い状態が続くと、結果的に健康状態が害されることになる。これを糖尿病という。

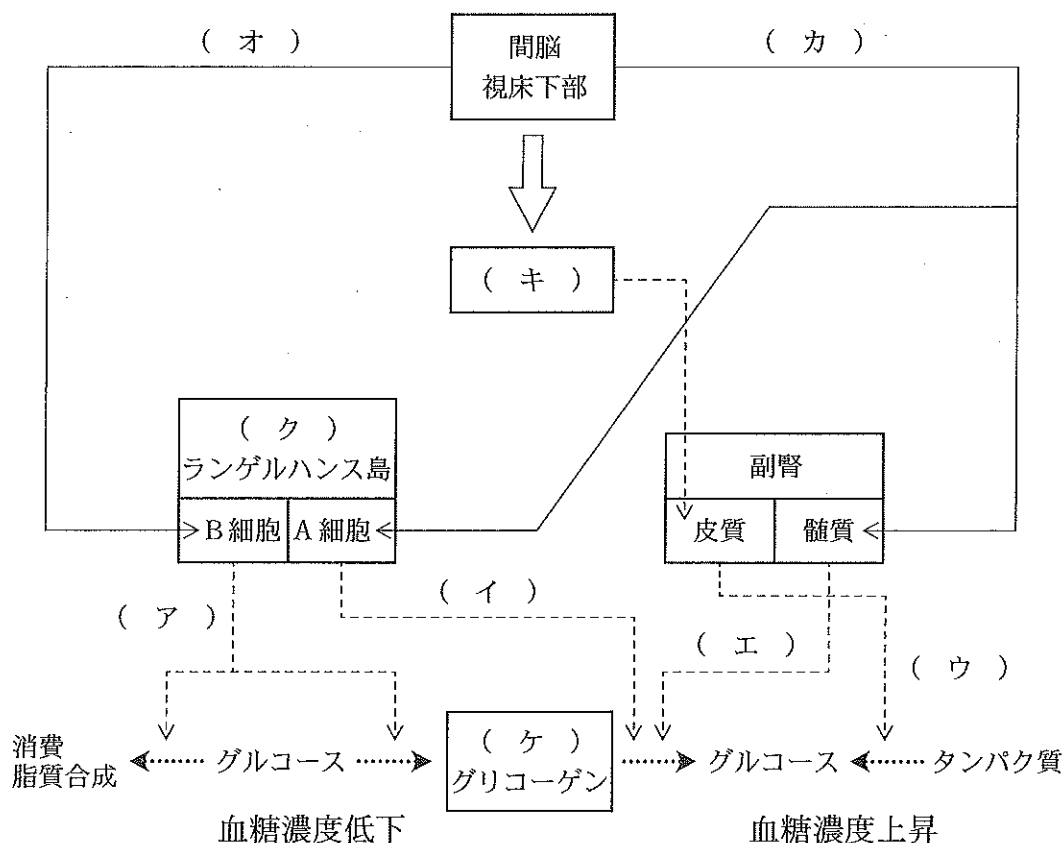


图 1

問 1 図 1 の (ア) から (エ) にはホルモンの名称が入る。適当な語をそれぞれ答えよ。

問2 図1の(オ)と(カ)には神経の名称が、(キ)から(ケ)には器官の名称が入る。適当な語をそれぞれ答えよ。ただし、(ク)以外は漢字で記せ。

問 3 ホルモンは内分泌腺で合成され、血液中に直接放出される。このため、血中には様々なホルモンが存在しているが、ホルモンが作用するのは標的器官だけである。あるホルモンが特定の標的器官にしか作用しない理由を 2 行以内で記せ。

問 4 ホルモン分泌のフィードバック調節として適切な文を以下の①から⑤より全て選べ。

- ① 食後の血糖濃度の上昇がホルモン(ア)の分泌を促進する。
- ② 食後の血糖濃度の上昇がホルモン(イ)の分泌を抑制する。
- ③ ホルモン(ア)の働きで血糖濃度が低下するとホルモン(ア)の分泌が抑制される。
- ④ ホルモン(ア)の働きで血糖濃度が低下すると、ホルモン(イ)の分泌が促進される。
- ⑤ ホルモン(ア)の働きで血糖濃度が低下すると、ホルモン(ウ)の分泌が抑制される。

問 5 図 2 は健康な人(図 2 左)と糖尿病患者(図 2 右)の食事後の血糖濃度と血中のホルモン(ア)濃度の変化を調べたものである。糖尿病患者の血糖濃度と(ア)濃度の変化は健康な人と比べてどのような違いがあるか、考えられる理由とともに 3 行以内で記せ。

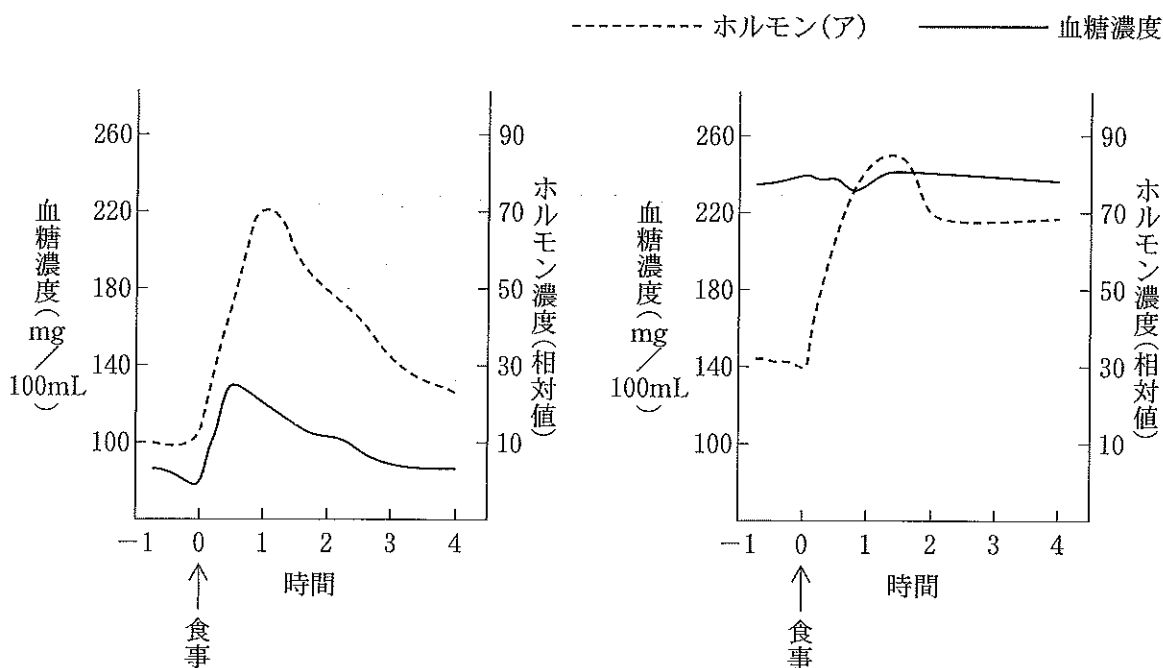


図 2

問 6 図 2 に示した糖尿病患者とは別のタイプの糖尿病も知られている。その糖尿病は I 型糖尿病ともよばれている。この糖尿病と図 2 の糖尿病との違いを 2 行以内で記せ。

第2問 以下の文章を読んで、各問に答えよ。

骨格筋は運動や姿勢の維持を行う筋肉で、顕微鏡による観察で規則的なしま模様が確認できることから横紋筋に分類される。ヒトの骨格筋は長さ数センチメートルに及ぶものもある細長い多核の細胞、すなわち筋繊維が集合した組織で、筋繊維はその色や機能により、白筋繊維(あるいは速筋繊維)と赤筋繊維(あるいは遅筋繊維)、さらにこれらの中間型である中間型繊維に区別される。俊敏な運動を担う骨格筋には白筋繊維が多く含まれ、姿勢維持の様な持続的な運動を担う骨格筋には赤筋繊維が多く含まれる。顕微鏡下で白筋繊維と赤筋繊維を判別するには、繊維に含まれるコハク酸脱水素酵素を組織化学染色法により検出する方法が用いられる。赤筋繊維に含まれるコハク酸脱水素酵素の量は白筋繊維に比べて圧倒的に多いのである。コハク酸脱水素酵素はミトコンドリアに存在する呼吸酵素の1つで、クエン酸回路と電子伝達系において電子の授受を行う酵素である。このことは、赤筋繊維では酸素に依存した呼吸によるATPの産生が白筋繊維より盛んであることを示している。

問1 図3は筋原繊維の一部を描いた図で、光学顕微鏡下で見られるしま模様を模式的に示している。顕微鏡下で比較的明るく見える部分がI帯、暗く見える部分がA帯、A帯の中でやや明るく見える部分がH帯である。I帯の中央部に見られる線はZ膜で、このZ膜に挟まれた部分“S”がサルコメアである。

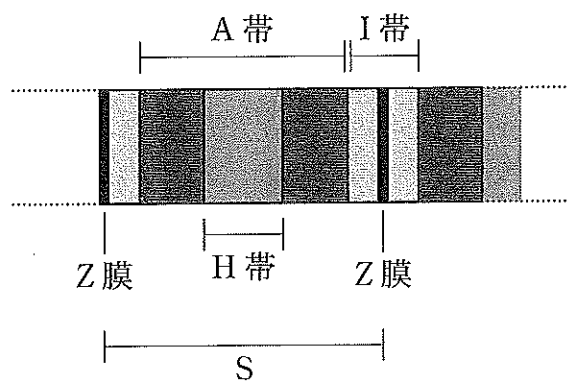


図3

(1) 横紋筋の活動時に見られるこれらのしま模様の変化として正しい記述を全て選べ。

- ① サルコメアの長さは筋収縮時に短くなり、弛緩すると長くなる。
- ② サルコメアの長さは筋収縮時に長くなり、弛緩すると短くなる。
- ③ サルコメアの長さは不変である。
- ④ A 帯の長さは筋収縮時に短くなり、弛緩すると長くなる。
- ⑤ A 帯の長さは筋収縮時に長くなり、弛緩すると短くなる。
- ⑥ A 帯の長さは不変である。
- ⑦ I 帯の長さは筋収縮時に短くなり、弛緩すると長くなる。
- ⑧ I 帯の長さは筋収縮時に長くなり、弛緩すると短くなる。
- ⑨ I 帯の長さは不変である。

(2) I 帯(Z 膜を除く部分)の断面を電子顕微鏡により観察した結果を模式的に表した図として
 適当と考えられるものを図4のa～eより1つ選べ。

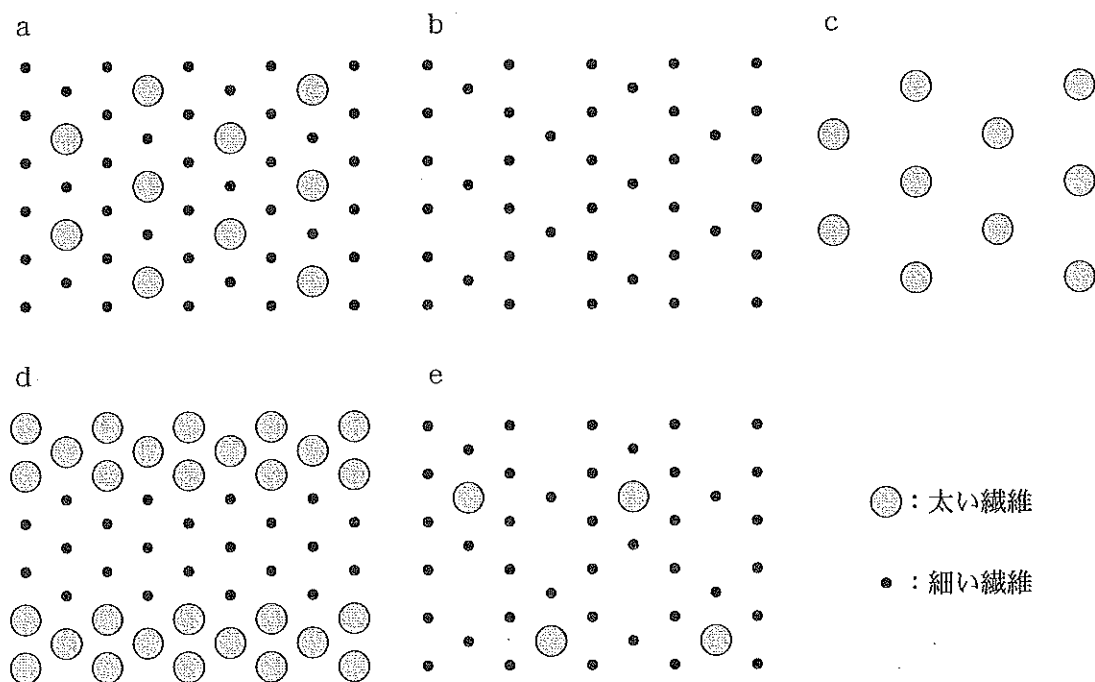


図4

(3) H 帯の長さは、筋収縮に伴い短くなり、やがて消失する。このことから予想される H 帯
 の断面を表す図を図4のa～eより1つ選べ。

(4) 筋原繊維をピロリン酸とマグネシウムを含む緩衝液で処理すると、ミオシンと呼ばれるタンパク質のみが溶け出して失われる。A 帯、I 帯、H 帯、Z 膜のうち、ミオシンが溶け出した後もその位置が判別可能なものを全て記せ。

問 2 コハク酸脱水素酵素が少ない白筋繊維においては酸素非依存的な ATP 産生が盛んに行われる。

- (1) この反応を何と呼ぶか。
- (2) 酵母菌を低酸素条件下で培養すると、酸素依存型の呼吸から酸素非依存型のアルコール発酵へと移行することが知られている。このアルコール発酵と(1)で答えた反応との共通点として正しいものを以下から全て選べ。
 - ① ATP を消費する反応過程を含む。
 - ② 二酸化炭素を産生する。
 - ③ グルコースを分解してピルビン酸を生成する過程を含む。
 - ④ ピルビン酸を還元して乳酸を生成する過程を含む。
 - ⑤ ミトコンドリアに依存しない。
 - ⑥ NAD が酸化還元反応に関与する。

問 3 赤筋繊維にはミオグロビンが多く含まれており、筋肉が赤く見えるのはこのタンパク質に依る所が大きい。ミオグロビンはヘモグロビンと同様に酸素と結合するタンパク質であるが、ヘモグロビンよりも酸素結合力が強いことが知られている。酸素の濃度を表す酸素分圧が 30 mmHg の場合、ヘモグロビンの酸素飽和度、即ち全ヘモグロビンの中で酸素と結合しているヘモグロビンの割合は約 30 % である。これに対し、ミオグロビンの酸素飽和度は同じ酸素分圧において約 90 % となる。

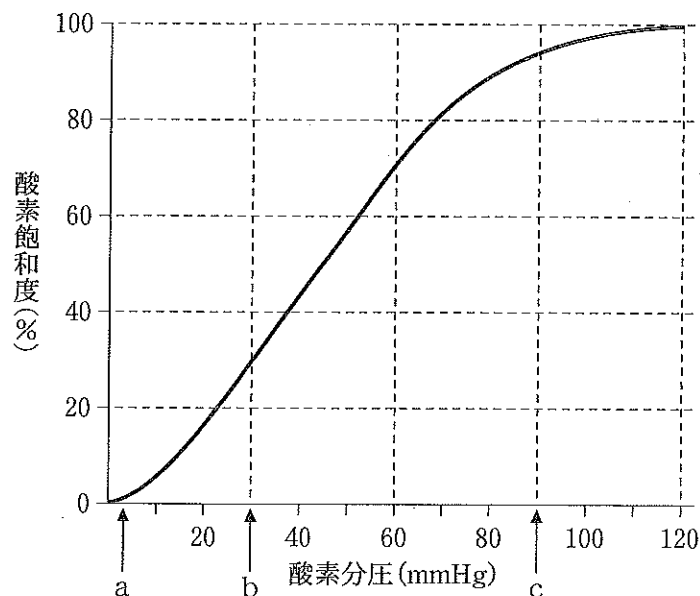


図 5

- (1) 図5は酸素分圧によるヘモグロビンの酸素飽和度の変化を示したグラフである。これにならってミオグロビンの酸素飽和度を示す曲線を解答欄のグラフに記入せよ。線は一本のみ記入すること。
- (2) 筋繊維まで運ばれて来た酸素は細胞中のどこで消費されるか。
- (3) 活動中の筋繊維周辺の酸素分圧が30 mmHgであるとした場合、(2)で答えた場所周辺の酸素分圧はどの程度と考えられるか。図5のa～cより1つ選ぶとともに、その理由を2行以内で記せ。
- (4) 筋繊維中に存在するミオグロビンの役割について、図5および(1)で描いたグラフをもとに考察し、6行以内で記せ。
- (5) (4)で答えた役割を担うタンパク質がヘモグロビンではなくミオグロビンであることの利点について3行以内で記せ。

第3問 DNAの複製に関する以下の文章を読んで、各問に答えよ。

細胞内でのゲノムDNAの複製はまず鋳型となる二本鎖DNAをDNAヘリカーゼと呼ばれる酵素が一本鎖に分離することから始まる。次に各々のDNA鎖と相補的な塩基配列を持つRNAの合成が始まる。このRNAはプライマーと呼ばれ、ヌクレオチドの数は10程度の短いものである。このプライマーを合成するのはDNAプライマーゼと呼ばれる酵素で、RNAポリメラーゼの一種である。DNAポリメラーゼはDNAを鋳型として相補鎖DNA合成を一から始めることはできず、既存のヌクレオチドの3'末端に新たなヌクレオチドをつなげることしかできないため、このようなプライマーが必要となるのである。PCR反応など、試験管内でDNA合成を行う場合には人工合成したDNAプライマーが用いられる。

問1 細胞内でのDNA複製に関連した以下の文章の下線部について、正しければ解答欄の正の文字を○で囲め。誤りであれば誤の文字を○で囲んだ上、下線部を正しく修正せよ。

- ① 細胞周期のG2期にある細胞の核に含まれるDNAの量は、G1期にある細胞の核に含まれるDNAの量の1倍～2倍の間で変化する。
- ② 真核生物の細胞分裂に際し、ゲノムDNAのイントロンを含むほぼ全域が複製される。
- ③ 真核生物の染色体DNAは、一本鎖に分離された部分から核の外で複製される。
- ④ 大腸菌は環状DNAを遺伝子として持ち、この複製にあたっては、二本鎖DNAの片方の鎖のみが鋳型として用いられる。
- ⑤ DNA複製に用いられたRNAプライマーは最終的には分解除去され、その部分がDNAポリメラーゼによりDNAに置き換えられる。

問2 相補鎖DNAの合成は試験管内でも行うことができる。

(1) この合成反応を行う溶液中には、あらかじめ一本鎖にしておいた鋳型DNA、DNAプライマー、反応に必要な無機イオンを含む緩衝液の他に何を加える必要があるか。必要なものを以下より全て選び、記号で答えよ。

- | | | |
|------------|-------------|-------------|
| ① DNAヘリカーゼ | ② DNAプライマーゼ | ③ DNAポリメラーゼ |
| ④ ヌクレオチド | ⑤ グルコース | ⑥ デオキシリボース |

(2) 図 6 に示した塩基配列を持つ 200 ヌクレオチドからなる一本鎖 DNA を鋳型とし、この全長にわたり相補的な塩基配列を持つ DNA 鎖を合成しようとする時、どのような塩基配列を持つプライマーを合成するのが適当と考えられるか。以下から 1 つ選び、a ～ p の記号で答えよ。なお、a ～ p の塩基配列はいずれも左端が 5' 末端側となるように並べてある。

- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| a. CATCAGAAGAGGCCATCAAG | b. GAACTACCGGAGAAGACTAC |
| c. GTAGTCTTCTCCGGTAGTTC | d. CTTGATGGCCTCTTCTGATG |
| e. TGCGGCTCACACCTGGTGGA | f. AGGTGGTCCACACTCGGCGT |
| g. ACGCCGAGTGTGGACCACCT | h. TCCACCAGGTGTGAGCCGCA |
| i. AGCTCTCTACCTAGTGTGCG | j. GCGTGTGATCCATCTCTCGA |
| k. TCGAGAGATGGATCACACGC | l. CGCACACTAGGTAGAGAGCT |
| m. CTTCTTCTACACCCCAAGA | n. AGAACCCACACATCTTCTTC |
| o. GAAGAAGATGTGTGGGTTCT | p. TCTTGGGTGTGTAGAAGAAG |

5' 末端側

CATCAGAAGA GGCCATCAAG CACATCACTG TCCTTCTGCC ATGGCCCTGT
GGATGCGCCT CCTGCCCTG CTGGCGCTGC TGGCCCTCTG GGGACCTGAC
CCAGCCGCAG CCTTTGTGAA CCAACACCTG TGCGGCTCAC ACCTGGTGGA
AGCTCTCTAC CTAGTGTGCG GGGAACGAGG CTTCTTCTAC ACACCCAAGA

3' 末端側

- ・全 200 ヌクレオチドの塩基配列を 4 行に分けて示している。
- ・塩基配列には数えやすいように 10 塩基ごとに字間を開けてある。

図 6

問 3 PCR 法はごく微量の DNA を鋳型とし、特定の領域の複製を繰り返すことにより多くのコピーを作成する(増幅する)技術である。PCR 法における DNA 複製反応は、鋳型となる DNA、20 程度のヌクレオチドからなる DNA プライマー、および問 2(1)で選んだものを含む反応液を調整した後、これを① 95℃ に熱することにより鋳型 DNA の二本鎖を一本鎖に分離し、②温度を 55℃ 程度まで下げることによりプライマーと鋳型 DNA を結合させ、③温度を 72℃ まで上げることにより DNA 合成を進める、という 3 種類の反応を繰り返すというものである。

- (1) 膨大な数のヌクレオチドからなるゲノム DNA の中からでも PCR 法によりある 1 つの遺伝子を複製できる理由について、DNA ポリメラーゼの特性とプライマーの構造という 2 つの観点から考察し、5 行以内で記せ。
- (2) 図 6 に示した塩基配列を持つ一本鎖 DNA の 5' 末端から 150 ヌクレオチドからなる部分を二本鎖 DNA として増幅するのに 2 種類のプライマーが必要になる。そのプライマー 2 種類の塩基配列として適当なものを問 2(2)の選択肢 a ~ p より選び、記号で答えよ。
- (3) PCR 法では最初に反応液を調製して以降、温度の上げ下げのみにより複製反応を繰り返すことができる。これは 95℃ の高温でも変性しない酵素を用いることにより可能となったのである。ただし、仮に酵素が全く熱により変性しないとしても、複製反応の繰り返し回数には限界がある。この限界を決める要因として考えられるもの全てについて、理由と共に 3 行以内で記せ。

第4問 以下のAとBの文章を読んで、各問に答えよ。

A 動物の発生は卵に精子が進入する受精から始まる。ほとんどの哺乳類や両生類では、卵巣内の卵母細胞は(ア)の状態にある。(イ)から分泌される(ウ)が、卵の周囲に存在する細胞に働き、排卵が起こる。ヒトでは排卵された卵は、卵管に入り、卵管上部で受精が起こる。精子が進入する直前の成熟未受精卵は(エ)の状態にあり、精子が進入することで、減数分裂は再開し、卵からは(オ)が放出される。卵に進入した精子は、頭部が精核となり、中片部に存在する(カ)からは分裂装置を作る星状体が形成される。精子由来の精核(精前核とも呼ぶ)は、減数分裂を終えた卵核(卵前核とも呼ぶ)と融合し、 $2n$ を回復する。

受精時に複数の精子が進入することを多精と呼ぶが、多精が起こると、卵内には複数の精前核が存在することとなる。通常は1つの精子が持ち込む星状体由来する1組の分裂装置ができるが、星状体が複数持ち込まれることにより、分裂装置も2組以上となり、また、染色体数も異常となり、大きな卵割異常をもたらす。これを防ぐために、多精防止反応と呼ばれる仕組みが存在する。多精防止反応には、精子進入数秒後に後続の精子の進入を防ぐ、速い多精防止反応と、精子進入数分後に成立する遅い多精防止反応がある。

図7はアフリカツメガエル(以降ツメガエルと書く)卵の受精時の膜電位の変化を示している。培養液中のツメガエル卵に精子液を加えた時間を0として、その後の時間(分)が横軸に、縦軸は卵細胞膜の膜電位(mV)を示している。受精前の膜電位は約(キ)mV程度だが、精子を加えて約(ク)分で膜電位は大きくプラスへ変化した。この電位を受精電位という。精子進入後、膜電位は約(ケ)mVに維持され、膜電位がプラスの間、後続の精子は卵に進入することはできない。つまり、最初の精子が進入した直後に膜電位がプラスに変化し、多精を防いでいると言える。これが速い多精防止反応である。

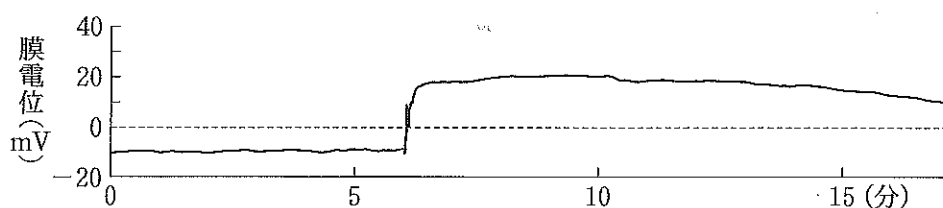


図7

速い多精防止反応に見られる受精電位の発生は、海産無脊椎動物であるウニ卵でも詳しく調べられている。ウニ卵では卵細胞膜に存在する Na^+ イオンチャネルが受精時の受精電位の発生に関係していることがわかっている。海水中に生息する動物であるウニと淡水に住む動物であるツメガエルでは受精電位に関係するイオンチャネルは異なると考えられ、いくつかの研究により、ツメガエルでは Na^+ ではなく Cl^- が関係していることが推測できた。さらに詳しく知るために、以下の実験を行った。

(a)

ツメガエルの人工受精時に用いる水溶液(外液)の Cl^- 濃度を人為的に変化させて、それぞれの受精電位の高さを比較し、その結果を表1に示した。外液の Cl^- の濃度が低い場合は、通常よりも高い受精電位が観察でき、単精は維持されたが、35 mM の場合、受精電位は 0 mV となり、ここでは卵は多精となった。また、60 mM では、受精電位は 0 mV 以下の -10 mV となり、この場合も卵は多精となった。

表 1

Cl^- 濃度	受精電位の高さ
1 (mM)	47 (mV)
5	35
10	28
29	20
35	0
60	-10

(注) mM は濃度を表す。

問 1 文中の空欄(ア)～(カ)に入る適当な語を以下の①から⑰の中から選んで記号で答えよ。

- | | | |
|-------------|------------|------------|
| ① 減数第一分裂開始前 | ② 減数第一分裂前期 | ③ 減数第二分裂中期 |
| ④ 減数分裂終了後 | ⑤ 間脳視床下部 | ⑥ 脳下垂体 |
| ⑦ 甲状腺 | ⑧ 卵 巢 | ⑨ ろ胞ホルモン |
| ⑩ ろ胞刺激ホルモン | ⑪ 黄体形成ホルモン | ⑫ 第一極体 |
| ⑬ 第二極体 | ⑭ 卵核胞 | ⑮ ミトコンドリア |
| ⑯ 先体胞 | ⑰ 中心体 | |

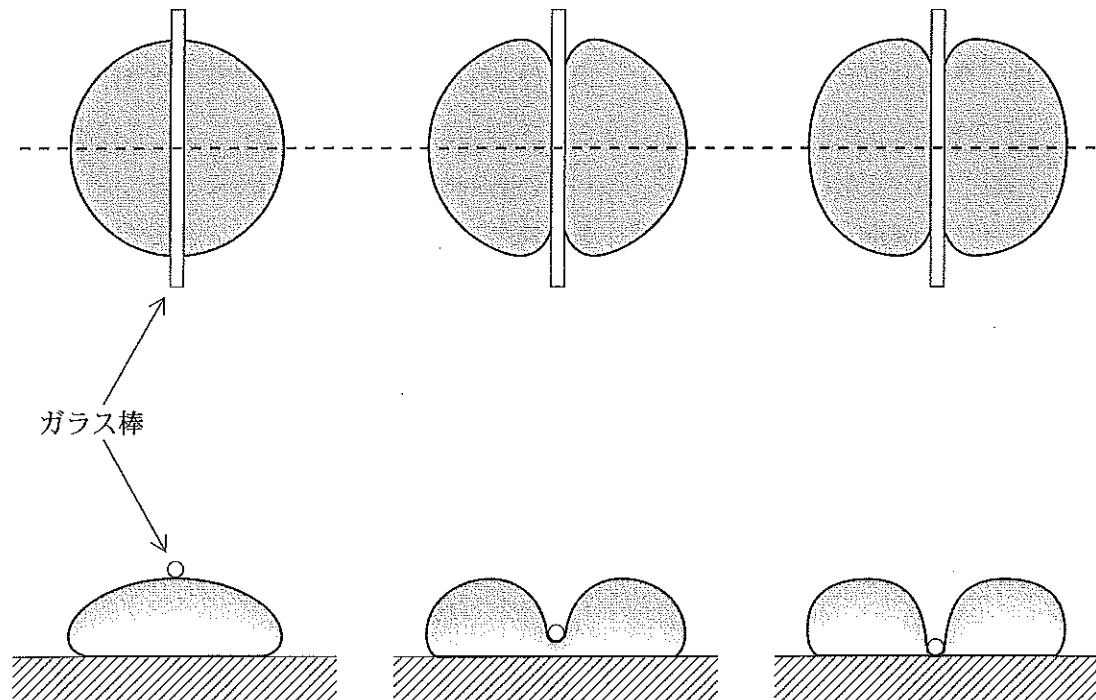
問 2 図 7 をみて、文中の空欄(キ)～(ケ)に入る値を記入せよ。値は全て整数とする。

問 3 受精前の膜電位は静止電位とも呼ばれ、卵細胞に限らず様々な細胞において静止電位が観察されている。ヒトの神経細胞を例にとり、静止電位が生じる理由を 4 行以内で記せ。

問 4 下線部(a)の実験の結果から、ツメガエルの受精電位の発生に Cl^- はどう関係していると考えられるか、膜を介して Cl^- がどう動くかを考慮し、4 行以内で記せ。

B ツメガエルと同じ両生類でも有尾目であるイモリの仲間では、受精時に複数の精子が卵に進入する生理的多精であることが知られている。この場合、受精後に精子からできた複数の精核は1個のみが卵核と融合することが知られている。また、イモリ卵では受精時に膜電位の変化は起こらず速い多精防止反応はないことがわかっている。多精受精種は、有尾両生類以外にも鳥類や昆虫など多くの脊椎動物、また無脊椎動物で知られており、いずれの場合にも速い多精防止反応はないと考えられている。

生理的多精種の卵内に進入した複数の精子がどうなるかを調べる目的で、イモリの受精直後の卵を使って、以下の実験を行った。受精卵を保護しているゼリー層と卵膜を除去し、「裸卵」にした。裸卵はペトリ皿上におくと、やや扁平になるが動物極側が上に、植物極側が下になる。裸卵の上(動物極側)に、ごく細いガラス棒をのせると、ガラス棒は自重で卵を2分しはじめ、最終的には卵を完全に2分し、2つの卵片になった(図8)。この場合、卵核は片方の卵片にのみ存在することが予想できる。このまま2つの卵片の観察を続ける。片方の卵片は正常な受精卵が卵割するのと同じ時間に2つに分裂(卵割)し、その後も受精卵と同様に卵割を続けて、やがて正常な幼生に発生した。しかし、もう1方の卵片は正常な受精卵が卵割するよりもやや遅れて異常な卵割を起こし、異常な卵割を続けた後、発生を停止した。この2つの卵片を詳しく調べたところ、正常に卵割した卵片には、卵核と精核が1:1で融合した融合核が必ず存在した。この卵片を融合卵片と呼ぶ。また異常に卵割した卵片には融合核はないが、多精により過剰に進入した精核(過剰精核)が存在した。このため、異常に卵割する卵片を雄性卵片と呼ぶことにする。この結果から、雄性卵片で異常な卵割が起こったのは、雄性卵片内の過剰精核が原因ではないかと推測した。



(注) 上段は卵を動物極側から見たもの。---での横断面を下段にしめす。左から右に向かってガラス棒は自重により次第に卵を2分していく。

図 8

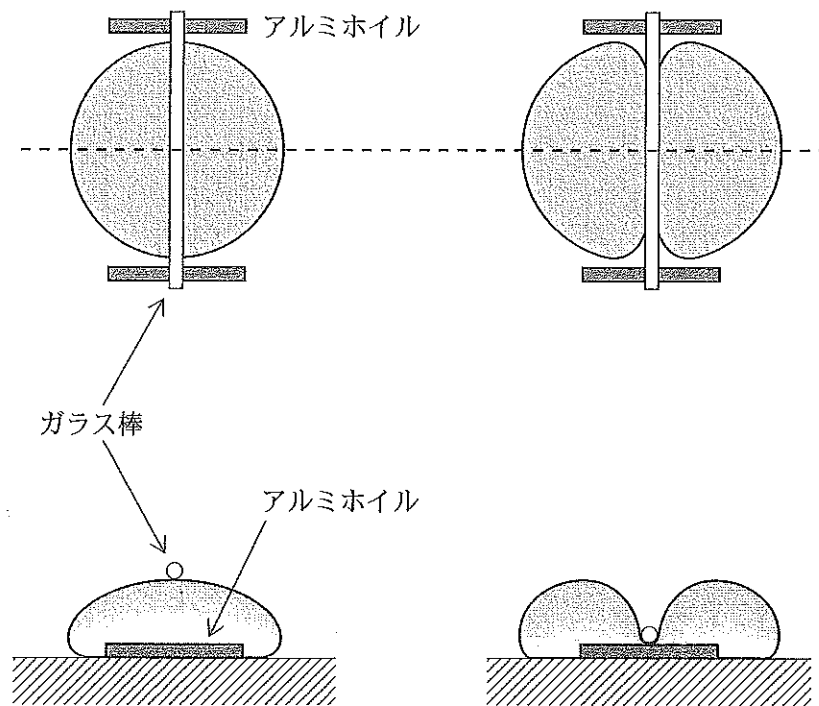
融合卵片内の過剰精核は何らかの要因により、卵割に関与しないような変化が起こっているの
(b)ではないか、と考えた。この仮説を証明するために、融合卵片内に過剰精核が存在しているか、
またそれが雄性卵片に存在する過剰精核とどのような違いがあるかを調べた。その結果、雄性卵片では、過剰精核の中心体由来する星状体が発達し、核も大きく膨らみ、過剰精核同士の融合などが観察でき、異常な卵割を起こしていたが、融合卵片では星状体は発達せず、核も小さく凝縮しており、これらの核は卵割に関与していないことがわかった。ここでは、融合卵片内のこのような過剰精核の変化を「退化」と呼ぶことにする。

問 5 上記で述べたような「過剰精核のふるまい」について、さらに詳しく知るために、以下の実験計画を検討した。それぞれの実験からは、どのような仮説を証明できるだろうか。本文中の下線部(b)を参考にして、それぞれの実験から証明できる仮説を2行以内で記せ。

- (1) 雄性卵片に過剰な精子が入らないように工夫して受精を行い、融合卵片のみに精子が入るように工夫して受精を行う。
- (2) 融合核がDNA合成をする時に、過剰精核がDNA合成を行っているかを調べる。
- (3) 卵片のタンパク質の合成を阻害する実験を行い、それぞれの卵片がどのような卵割を行うかを調べ、さらに過剰精核が退化しているかを確認する。
- (4) 融合卵片の細胞質の一部を雄性卵片に移植する実験を行い、雄性卵片でどのように卵割が起こるかを調べ、さらに過剰精核がどのように変化しているかを調べる。

問 6 「裸卵」にガラス棒をのせる時に、図9のように、アルミホイルで作った「枕」を置いて、ガラス棒が完全に卵を2分せず、一定の厚さのつながりが残るようにした。この場合、片方の卵片のみが正常に卵割を進め、もう片方の卵片は卵割を起こさなかった。

- (1) この実験及び本文の内容から、過剰精核退化の原因について、どのようなことが推測できるか、3行以内で記せ。
- (2) 上記の卵割しなかった卵片も、卵割している卵片が桑実胚に達したところに卵割をはじめ、その後正常な卵割を繰り返した。これはなぜだと考えられるか、3行以内で記せ。



(注) 上段は卵を動物極側から見たもの。---での横断面を下段にしめす。左から右に向かってガラス棒は自重で卵を分割するが、図8とは異なり、アルミホイルの「枕」により、完全には分割しない。

図 9