

令和 2 年度
前期日程
理科問題

〔注 意〕

1. 問題冊子及び解答用冊子は、試験開始の合図があるまで開いてはいけない。
2. 問題冊子は、物理、化学、生物の順序で 1 冊にまとめてある。

問題は $\left\{ \begin{array}{ll} \text{物理} & 2 \text{ ページから } 14 \text{ ページ} \\ \text{化学} & 15 \text{ ページから } 25 \text{ ページ} \\ \text{生物} & 26 \text{ ページから } 44 \text{ ページ} \end{array} \right\}$ にある。

ページの脱落があれば直ちに申し出ること。

3. 解答用紙は、物理 3 枚、化学 4 枚、生物 4 枚が一緒に折り込まれている。受験する科目の解答用紙をミシン目に従って切り離すこと。
4. 受験番号は、受験する科目の解答用紙の受験番号欄(1 枚につき 2 か所)に 1 枚ずつ正確に記入すること。
5. 解答は、1 ページの「理科の解答についての注意」の指示に従い、解答用紙の指定されたところに記入すること。
6. 問題冊子の余白は、適宜下書きに使用してもよい。
7. 配付した解答用紙は持ち帰ってはいけない。
8. 問題冊子は持ち帰ること。

「理科の解答についての注意」

理学部志願者

- 数学科，化学科，生物科学科生物科学コースを志望する者は，物理，化学，生物の3科目のうちから2科目を選んで解答すること。
- 物理学科を志望する者は，物理を必須科目とし，そのほかに化学または生物のうちから1科目を選んで解答すること(計2科目)。
- 生物科学科生命理学コースを志望する者は，物理と化学の2科目を解答すること。

医学部医学科・医学部保健学科(放射線技術科学専攻・検査技術科学専攻)・歯学部・薬学部志願者

物理，化学，生物の3科目のうちから2科目を選んで解答すること。

医学部保健学科(看護学専攻)志願者

物理，化学，生物の3科目のうちから1科目を選んで解答すること。

工学部・基礎工学部志願者

物理を必須科目とし，そのほかに化学または生物のうちから1科目を選んで解答すること(計2科目)。

生 物 問 題

(解答はすべて生物解答用紙に記入すること)

【注意】

字数制限のある解答においては、ひらがな、カタカナ、漢字、アルファベット、数字、句読点等の符号等、全ての文字を一つのマスに一つ記入すること。

〔 1 〕 以下の文章【A】～【C】を読み、問 1 ～問 7 に答えよ。

【A】

ウイルスは、それ単体では増殖することができず、宿主となる細胞に感染し、その感染細胞内で細胞の機構を利用することで増殖する構造物(微生物)である。ウイルスには、DNA に遺伝情報を持つ DNA ウイルスと、RNA に遺伝情報を持つ RNA ウイルスがある。RNA ウイルスの一種であるレトロウイルスは、ウイルスの増殖過程で、宿主ゲノムに自身の遺伝情報を挿入する。^①

ある生物にウイルスが感染したときに、その生物のゲノムにとりこまれたウイルス由来の遺伝情報が次世代に引き継がれ、進化の過程で消失せず、その生物集団に固定されることがある。この現象をウイルス配列の「内在化」という。^②

問 1 下線部①について、レトロウイルスが持つ特徴的な酵素がある。その酵素の特徴についての以下の文中の空欄に、それぞれ「DNA」、「RNA」、「タンパク質」のいずれかを埋めよ。

その酵素は、(1)を鋳型として、(2)を合成する。

問 2 下線部②の現象がヒトで起こるためには、ウイルスは少なくともある特徴を持った細胞に感染する必要がある。次の中から、そのような細胞を 1 つ選べ。

神経細胞, シュワン細胞, グリア細胞, 視細胞, 味細胞,
筋細胞, 卵原細胞, 赤血球, ヘルパー T 細胞, 樹状細胞,
好中球, 細尿管細胞, 小腸上皮細胞, 血管内皮細胞

【B】

遺伝情報の変化が生物の生存に有利な影響を与えるとき、その変化した遺伝配列は自然選択によりその生物集団に広まっていく。その状態が十分長期間続くことで、その集団すべてがその配列を持つようになる。

図1は架空の生物スイタイヌ、ミノオイヌ、マチカネイヌ、ナニワイヌの系統樹である。スイタイヌ、ミノオイヌの祖先が分岐する前に(図1の矢印)、ある祖先ウイルスVの配列の一部がスイタイヌ、ミノオイヌの共通祖先のゲノムに内在化したとする。

別のウイルスWは、感染力が強く、感染した生物の寿命を短縮させる。現在、マチカネイヌとナニワイヌではウイルスWの感染が蔓延し、絶滅寸前である。一方、スイタイヌとミノオイヌではウイルスWの感染は一例も起こっておらず、今年からWが変異したウイルスW'が感染し、流行している。

単純化のために、4種のイヌ間で、内在化したウイルスV由来配列(内在性v配列)以外にウイルス感染に関与する遺伝情報の差異はなく、地理的隔離は生じなかったものとする。また、ウイルスV、W、W'は互いに影響を与えないものとする。

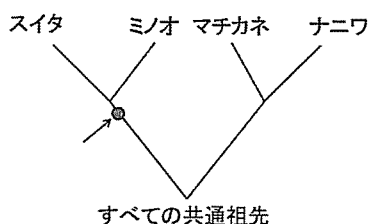


図1 4種のイヌの系統樹
(スイタ：スイタイヌ，ミノオ：ミノオイヌ，
マチカネ：マチカネイヌ，ナニワ：ナニワイヌ)

問 3 ゲノムに内在性 ν 配列を持つ現在の生物が、その配列を持つことで獲得していると考えられる形質を「ウイルス W」という語句を用いて 20 字以内で答えよ。

問 4 ウイルス W' とウイルス W とを比べたとき、ウイルス W' が獲得したと考えられる形質を、「内在性 ν 配列の影響」という語句を用いて 25 字以内で答えよ。

【C】

生物進化の過程を類推するために、相同なタンパク質のアミノ酸配列を比較した分子系統樹を用いる。表1は、4種の生物(ヒト, X, Y, Z)間における架空のタンパク質Hのアミノ酸配列を比較し、生物間で異なるアミノ酸の数を示したものである。図2は、この情報をもとに描いたタンパク質Hの分子系統樹である(枝の長さは必ずしも正確ではない)。ただし、これらの生物において、タンパク質Hは同じ働きを持ち、その進化速度は一定であるとする。また、これらの生物間で地理的隔離は生じなかったものとする。

	ヒト	X	Y	Z
ヒト	0	31	64	8
X		0	40	25
Y			0	55
Z				0

表1 タンパク質Hのアミノ酸置換数

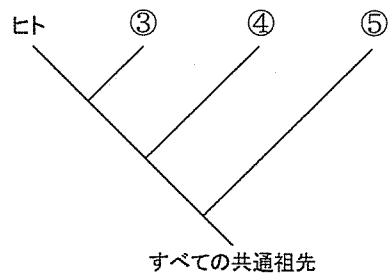


図2 タンパク質Hの分子系統樹

問5 系統樹における生物③, ④, ⑤は、それぞれ生物X, Y, Zのいずれであるか最も可能性が高いものを答えよ。

問6 ヒトと生物④の祖先が分岐した年代を1.3億年前とした時、ヒトと生物⑤の祖先が分岐した年代を答えよ。ただし、年代は表1のアミノ酸置換数を最も説明できるものを採択し、有効数字は3桁とする。

問7 生物③では、ヒトとの分岐後にタンパク質Hを指定する遺伝子hの重複が起こり、タンパク質H'を指定する遺伝子h'が形成された。ヒトのタンパク質Hと生物③のタンパク質H'を比較すると、40箇所にアミノ酸置換があった。なぜ、生物③のタンパク質HとH'で、ヒトのタンパク質Hとのアミノ酸置換数に差があるのか60字以内で説明せよ。

〔2〕 以下の文章【A】と【B】を読み、問1～問5に答えよ。

【A】

ニューロンは、軸索を介して他のニューロンとの間にシナプスを形成して、情報伝達を行う。シナプスでは、神経伝達物質により次の細胞へ方向性の情報伝達が行われ、神経伝達物質を送る側の細胞をシナプス前細胞、受け取る側の細胞をシナプス後細胞という。興奮性シナプスは、シナプス伝達によって興奮性シナプス後電位を発生させ、活動電位の発生に関与する。抑制性シナプスは、抑制性シナプス後電位を発生させ、活動電位の発生を抑える働きをする。興奮性シナプスを形成するシナプス前細胞を興奮性ニューロン、抑制性シナプスを形成するシナプス前細胞を抑制性ニューロンとよぶ。

図1に4つの神経細胞からなるシナプス結合の例を示す。N1の神経細胞を刺激したところ、N4の神経細胞では、図2Aに示すような興奮性シナプス後電位が観察された。また、N2の神経細胞を刺激したところ、N4の神経細胞では、図2Bに示すような抑制性シナプス後電位が観察された。さらに、N1とN3の神経細胞を同時に刺激したところ、N4の神経細胞では、図2Cに示すような活動電位が観察された。N1、N2およびN3の神経細胞に与えた刺激の強さは同じであり、また、N4の神経細胞では、同じ時刻にシナプス後電位が発生するものとする。

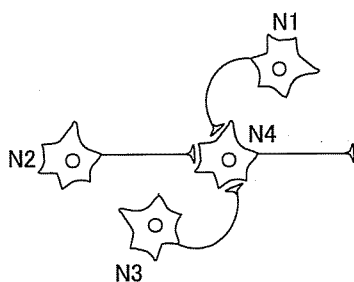


図1

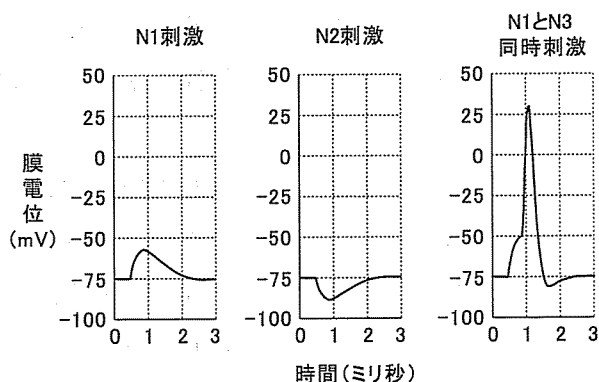


図2A

図2B

図2C

問 1 N1, N2 および N3 の 3 つの神経細胞を同時に刺激したところ, N4 の神経細胞では活動電位は発生しなかった。この理由を 40 字以内で述べよ。

問 2 N1 および N2 の神経細胞を同時に刺激したところ, N4 の神経細胞ではシナプス後電位はほとんど観察されなかった。問 1 の結果をふまえ, N3 の神経細胞を刺激した際, N4 の神経細胞ではどのような膜電位の変化が観察され则认为られるか。解答用紙のグラフに実線で記入せよ。

中枢神経系(脳・脊髄)では、興奮性ニューロンと抑制性ニューロンとが組み合わさり、複雑な神経回路を形成して多様な情報処理を担っている。興奮性と抑制性のシナプス結合をもつ神経回路の例を図3Aと図3Bに示す。図3Aのすべてのニューロンと図3BのI4以外のニューロンは、同一の興奮性ニューロンとする。図3BのI4の神経細胞は抑制性ニューロンである。ここでは、神経細胞の活動電位の発生パターンについて見るため、一つの興奮性ニューロンによるシナプス後電位で活動電位が生じるものとする。また抑制性ニューロンにより、シナプス後細胞での活動電位の発生が一定時間抑制されるものとする。

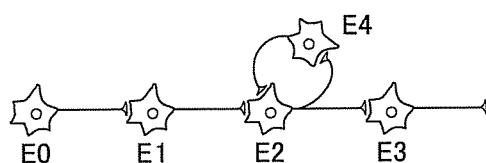


図 3 A

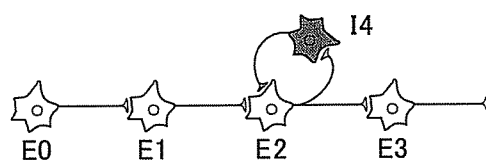


図 3 B

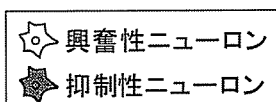


図3Aおよび図3Bの神経回路では、あるニューロンに活動電位が発生してから次のニューロンに活動電位が発生するまでの時間をすべて一定時間 t とする。E0の神経細胞で時間0から $2t$ ごとに活動電位が発生した場合、E1の神経細胞の活動電位の発生パターンは図4の縦軸実線のように表される。

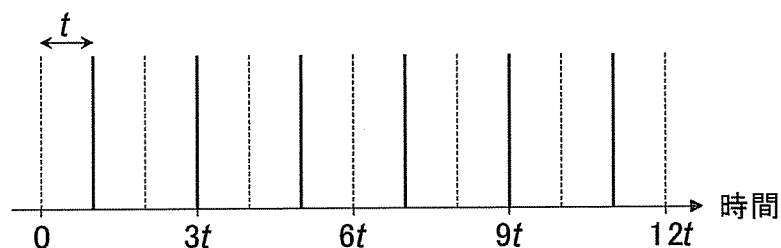


図 4

問 3 神経細胞が図 3 A のような神経回路を形成しているとき、E 0 の神経細胞で時間 0 から $3t$ ごとに活動電位が発生した場合、E 3 の神経細胞の活動電位の発生パターンについて、図 4 の表示例を参考に解答用紙のグラフに実線で記入せよ。

問 4 抑制性シナプス後電位は、活動電位の発生を $2t$ 時間打ち消すものとする。神経細胞が図 3 B のような神経回路を形成しているとき、E 0 の神経細胞で時間 0 から $3t$ ごとに活動電位が発生した場合、E 2 の神経細胞の活動電位の発生パターンについて、図 4 の表示例を参考に解答用紙のグラフに実線で記入せよ。

【B】

図5に4つの興奮性ニューロンからなる神経回路を示す。A点で刺激を加えると、B点では25.5ミリ秒後に刺激を受容し、C点では23.5ミリ秒後に刺激を受容した。

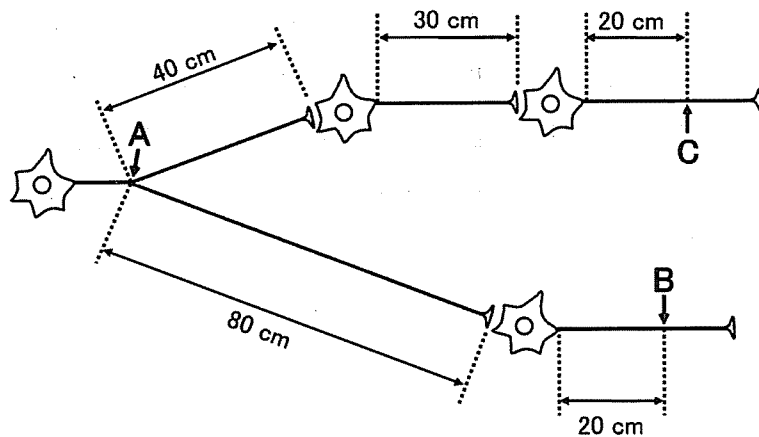


図 5

問 5 各神経細胞で興奮が軸索を伝導する速度、および神経細胞間で興奮がシナプスを介して隣接する神経細胞の細胞体に伝えられて興奮するまでの時間はそれぞれ同じであると仮定し、(ア)興奮が軸索を伝導する速度[メートル/秒]と、(イ)興奮がシナプスを介して隣接する神経細胞の細胞体に伝えられて興奮するまでの時間[ミリ秒]を求めよ。

〔 3 〕 以下の文章【A】～【C】を読み、問 1 ～問 3 に答えよ。

【A】

外来遺伝子を組み入れた動物をトランスジェニック動物とよぶ。通常は外来遺伝子を発現させるために図 1 のように、転写調節配列とプロモーターを含めた領域(以下プロモーター領域とする)、発現させたい遺伝子、そして、ポリ A 付加シグナル(注：真核生物において成熟 mRNA を生産するために必要な配列)をつなげた外来 DNA 断片を染色体に挿入する。挿入されるゲノムの位置は制御できないが、世代を超えて安定に存在させることが可能で、細胞すべてに外来 DNA 断片が挿入された動物を得ることができる。また、プロモーター領域を変えることにより、同じ外来遺伝子を発現させる細胞や発現の時期を変化させることもできる。ここでは外来 DNA 断片の挿入時には、常染色体上に一ヶ所のみ挿入されるものとする。

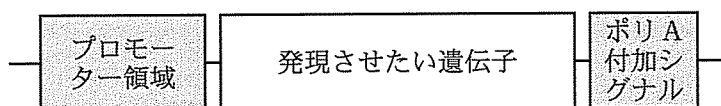


図 1

マウスの毛色の形質はメンデル遺伝形式に従い、黒毛[B]が優性(対立遺伝子 B とする)、白毛[b]が劣性(対立遺伝子 b)の表現型であるとする。今回黒毛マウスの純系系統(遺伝子型 BB)を元に、オワンクラゲの緑色蛍光タンパク質遺伝子 gfp を発現させるトランスジェニックマウスを作製した。まず、ロドプシンという視細胞にのみ発現する遺伝子のプロモーター領域と gfp をつなげた図 2 のような DNA 断片が挿入されたトランスジェニックマウスを 2 系統(マウス X, マウス Y とする)作製した。ここでは、マウス X, Y における挿入された DNA 断片をそれぞれ対立遺伝子 G_1 , G_2 とし、それらを持たないものを対立遺伝子 g_1 , g_2 とする。つまり、マウス X の遺伝子型は G_1g_1BB , マウス Y の遺伝子型は G_2g_2BB となる。これらのマウスは両眼に緑の蛍光を持っていた。

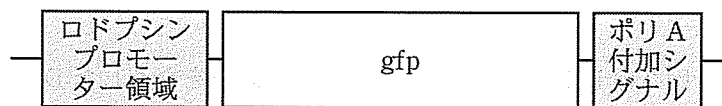


図 2

マウス X, マウス Y をそれぞれ, 白毛のマウス (遺伝子型 bb) と交配した。得られた黒毛で眼に蛍光がある子を用いて, X の子は X の子と, Y の子は Y の子と交配したところ, 得られた次世代の子の出生比は次の通りであった。

X の子同士の交配

眼に蛍光があり黒毛 : 眼に蛍光があり白毛 : 眼に蛍光がなく黒毛 :

眼に蛍光がなく白毛 = 9 : 3 : 3 : 1

Y の子同士の交配

眼に蛍光があり黒毛 : 眼に蛍光があり白毛 : 眼に蛍光がなく黒毛 :

眼に蛍光がなく白毛 = 22 : 5 : 5 : 4

問 1 下線①のマウスについて, X の子と Y の子を交配した場合に予想される以下の出生比を求めよ。

眼に蛍光があり黒毛 : 眼に蛍光があり白毛 : 眼に蛍光がなく黒毛 :

眼に蛍光がなく白毛

【B】

次に、図2のDNA断片からプロモーター領域をなくしたDNA断片(図3)を作製し、同様に黒毛のマウスをもとにこのDNA断片がゲノム上に挿入されたトランスジェニックマウスを複数系統作製した。多くのマウス系統では全身のどの器官、どの組織においても蛍光は認められなかった。^②しかし、一部のマウス系統においては体全体や体の一部の器官、組織に蛍光が認められたが、その蛍光を示す器官、組織はマウス系統によって異なっていた。

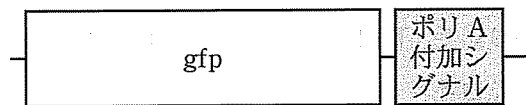


図3

問2 下線②について、なぜ一部のマウス系統に蛍光を認め、また、そのパターンが異なるのか、最も考えられる理由を50字以内で説明せよ。

【C】

下線②で蛍光を持つ系統のうち、脳に蛍光を持ち黒毛のマウスZを1系統選出出した。これを白毛のマウスと交配し得られた黒毛で脳に蛍光がある子(遺伝子型は G_3g_3Bb とする)^③同士を交配したところ、得られた次世代の子の出生比は次の通りであった。

脳に蛍光があり黒毛：脳に蛍光があり白毛：脳に蛍光がなく黒毛：

脳に蛍光がなく白毛＝6：2：3：1

問3 下線③のマウスをマウスZの子孫で脳に蛍光があり白毛のマウスと交配した場合に予想される以下の出生比を求めよ。

脳に蛍光があり黒毛：脳に蛍光があり白毛：脳に蛍光がなく黒毛：

脳に蛍光がなく白毛

〔4〕 以下の文章を読み、問1～問4に答えよ。

リンは生体構成成分として利用されるのみならず、核酸合成やエネルギー代謝、細胞内の情報伝達など、様々な生命活動に重要な役割を担っている。そのため、リンを全身の細胞や組織へ供給する血しょうではリンの濃度が厳密に制御されている。血しょう中のリンは、ほとんどがリン酸イオンとして存在し、その濃度はヒトで約4 mg/100 mL、マウスで約5 mg/100 mL とほぼ一定である。

血しょう中のリン酸イオン濃度の恒常性維持に最も重要な臓器は腎臓である。腎臓の細尿管(腎細管)では、グルコースや無機塩類などが体液の状態に応じて必要な量だけ再吸収されるが、リン酸イオンも同様である。リン酸イオンは、毛細血管からボーマンのうの中にその全てがこし出された後、細尿管細胞によって原尿から細胞内へと取り込まれ、毛細血管の血しょう中に回収される。

ホルモンXは、血しょう中のリン酸イオン濃度によってその分泌量変動するホルモンであり、血しょう中のリン酸イオン濃度の恒常性維持にはたらく。このホルモンXの標的細胞は腎臓の細尿管細胞のみである。ホルモンXが血しょう中のリン酸イオン濃度を調節するしくみを調べるために、以下の実験を行った。

【実験 1】

ホルモン X を産生する内分泌腺を外科的に切除することにより，ホルモン X を枯渇させたマウスを作製した。このマウスを用いて，生理食塩水とイヌリンを投与するグループ，ホルモン X とイヌリンを投与するグループの 2 つに分けて実験を行った。イヌリンは原尿にこし出されるが，細尿管で再吸収されない物質である。それぞれのグループのマウスの血しょうおよび尿を，投与 2 時間後から 1 時間だけ採取し，イヌリンとリン酸イオンの濃度を測定したところ，表 1 の結果が得られた。

成 分	質量パーセント濃度(%)			
	生理食塩水を投与したマウス		ホルモン X を投与したマウス	
	血しょう	尿	血しょう	尿
リン酸イオン	0.006	0.1	0.005	0.2
イヌリン	0.01	1.3	0.01	1.3

表 1

問 1 生理食塩水およびホルモン X を投与したマウスでは，1 時間で 0.1 mL の尿が生成されるとする。それぞれのマウスにおいて，投与 2 時間後から 1 時間で再吸収されたリン酸イオンの量[mg]をそれぞれ答えよ。ただし，マウスの血しょうおよび尿におけるイヌリンおよびリン酸イオンの質量パーセント濃度は 1 時間変化せず，血しょうと尿の重量はいずれの実験グループにおいても 1 mL = 1000 mg とする。

ホルモン X は、細尿管の細胞膜に存在する受容体 Y に結合することでその機能を発揮し、受容体 Y に結合するホルモンはホルモン X のみである。受容体 Y は 400 アミノ酸で構成されるタンパク質であり、その塩基配列とアミノ酸配列の一部を図 1 に示す。

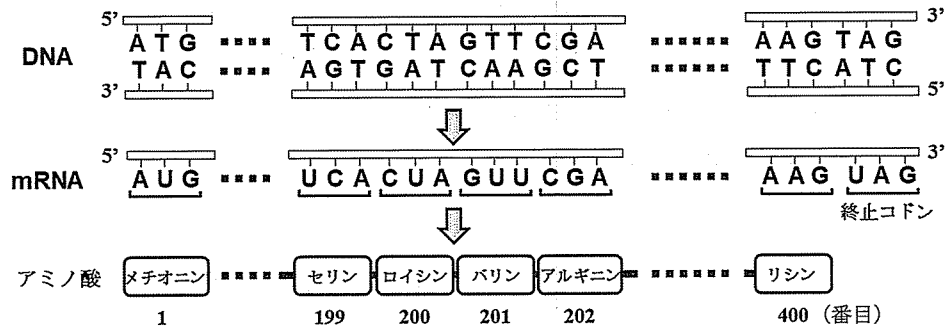


図 1

ホルモン X の作用を図 2 に示す。ホルモン X が受容体 Y に結合すると、受容体 Y の立体構造が変化し、細胞内の情報伝達を行う物質であるタンパク質 Z が活性化される。活性化したタンパク質 Z は、細尿管側の細胞膜に存在するリン酸イオン輸送体に結合し、細尿管細胞内に取り込むリン酸イオンの量を調節する。細尿管側のリン酸イオン輸送体はホルモン X でのみ制御を受ける。

細尿管細胞内に取り込まれたリン酸イオンは、その全てが毛細血管側の輸送タンパク質を介して毛細血管に回収される。細尿管側のリン酸輸送体と異なり、毛細血管側の輸送タンパク質はホルモン X、受容体 Y およびタンパク質 Z の制御を受けない。

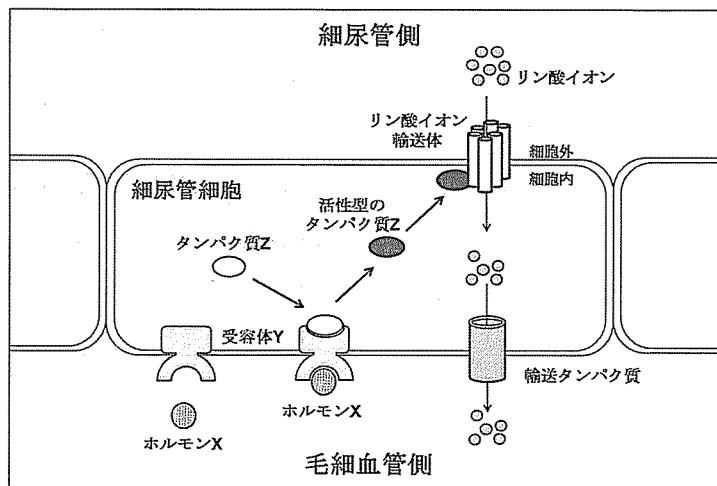


図 2

受容体 Y 遺伝子だけにホモ接合の遺伝子変異をもつ 2 種類のマウス(変異型 Ya および変異型 Yb)がいる。これらのマウスでは、血しょう中のリン酸イオン濃度が異常値となることがわかっている。遺伝子変異により血しょう中のリン酸イオン濃度に異常が引き起こされるしくみを明らかにするために、以下の実験を行った。

【実験 2】

変異型 Ya および変異型 Yb の受容体 Y 遺伝子の塩基配列を調べた。その結果、いずれのマウスも 200 番目のアミノ酸であるロイシンを指定する DNA 塩基配列にホモ接合の変異を有しており、変異型 Ya では CTA の C が欠失、変異型 Yb では CTA が CGA に変異していた。

【実験 3】

正常型、変異型 Ya および変異型 Yb の受容体 Y タンパク質の存在部位、量およびホルモン X との結合能を調べた。その結果、全ての遺伝子型で受容体 Y は細胞膜に存在し、その量(分子の数)に差は見られず、またホルモン X への結合能もすべて同程度であった。

【実験 4】

正常型，変異型 Ya および変異型 Yb のマウスから採取した細尿管細胞を，同じ量のリン酸イオンを含む培養液を用いて培養した。ホルモン X の存在下および非存在下で 24 時間培養した後，細尿管細胞内に取り込まれたリン酸イオンの量を計測したところ，図 3 の結果が得られた。なお，この実験では細尿管細胞内に取り込まれたリン酸イオンは細尿管細胞外へ排出されないものとする。

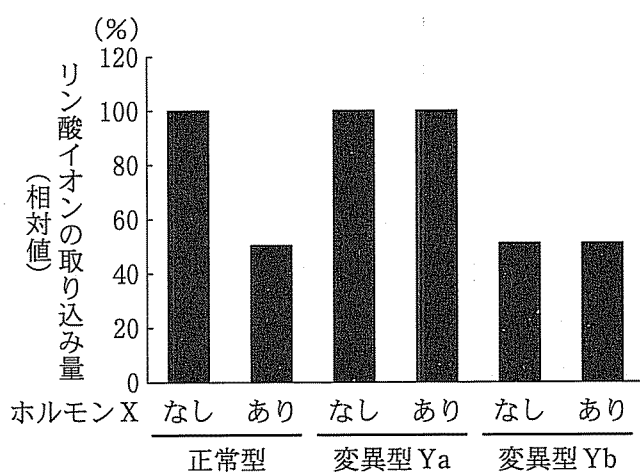


図 3 正常型細尿管細胞においてホルモン X が存在しない時の取り込み量を 100 % とした時の相対値で示す。

問 2 変異型 Yb のマウスでは、受容体 Y のはたらきにどのような変化が起きているか。実験 2 ～ 4 から考察し、「ホルモン X」「タンパク質 Z」という語句を用いて、その仕組みを 90 字以内で答えよ。

問 3 実験 1 ～ 4 の結果から考察して、ホルモン X は血しょう中のリン酸イオン濃度をどのように調節していると考えられるか。「細尿管細胞」という語句を用いて 75 字以内で答えよ。

問 4 実験 1 ～ 4 の結果から考察して、変異型 Ya および変異型 Yb のマウスにおける血しょう中のリン酸イオン濃度は、どのように変化していると考えられるか。受容体 Y 遺伝子が正常型のマウスにおける血しょう中のリン酸イオン濃度よりも「高い」または「低い」で答えよ。ただし、血しょう中のリン酸イオン濃度を調節するホルモンはホルモン X のみであり、マウスにホルモン X は投与しないものとする。