

〔I〕 以下の文章を読み、答えを解答欄に記入しなさい。

現存する生物がもつゲノム配列を比較（１）することにより、生物進化の道筋が明らかになってきた。まず祖先となる原核生物から（あ）と（い）が誕生し（２）、続いて細胞内（う）が起き、真核生物が進化した（３）と考えられている。この細胞内（う）の過程で取り込まれた（あ）が、現在の真核生物に存在する（え）の由来である。細胞内（う）はその後の進化でも起きており、例えば植物細胞の進化を引き起こした。植物細胞は光合成を行うが、光合成の仕組みが成立（４）したのは植物細胞が誕生するよりも前に起こった出来事であった。

問１ （あ）から（え）に当てはまる語句を答えなさい。

問２ 下線部（１）に関して、幅広い生物種間の系統関係を同時に比較する際には、ゲノムのうちリボソーム RNA（rRNA）遺伝子の変化に着目することが多い。この理由として適切と考えられる記述を以下の中から全て選びなさい。

- a. rRNA 遺伝子は現存する全ての生物がもっているため。
- b. rRNA 遺伝子は現存する全ての生物が共有している唯一の遺伝子であるため。
- c. rRNA 遺伝子の配列は進化によって変化するが、その速度は rRNA 遺伝子以外の遺伝子配列と比べて比較的速いため。
- d. rRNA 遺伝子の配列は進化によって変化するが、その速度は rRNA 遺伝子以外の遺伝子配列と比べて比較的遅いため。

問３ 下線部（２）に関して、（あ）と（い）は様々な特徴を共有していることから、独立に生まれたのではなく、共通の祖先から進化したと考えられている。真核生物と同様に、（あ）と（い）に共通して見られる物質や特徴を以下の中から全て選びなさい。

- a. DNA や RNA を構成する主要な核酸塩基 5 種類
- b. タンパク質を構成する主要なアミノ酸 20 種類
- c. 細胞膜を構成する主要なリン脂質の種類
- d. DNA → RNA → タンパク質という遺伝情報の流れ

問４ 下線部（３）に関して、以下の問いに答えなさい。

1. 研究者 X が細胞内（う）によって新たな生物が進化する過程を実験的に再現する野心的なプロジェクトを考えた。ある細胞 A と細胞 B を同じ培地中で混ぜ合わせて培養し、細胞 A が細胞 B を取り込む瞬間を観察するのだ。実際に数時間放置したところ、細胞 A が細胞 B を取り込み、しかも細胞 B は消失しなかった。この発見に研究者 X は歓喜した。しかし、研究者 Y はこの結果を聞き、細胞内（う）を実証するためには不十分であると指摘し、細胞 A と細胞 B をそれぞれ単独で培養した場合（条件 1）と、同じ環境で細胞 A が細胞 B を取り込んだ状態で培養した場合（条件 2）について、各細胞の増殖率を比較することを提案した。実際に研究者 X がこの実験を行ったところ、2 つの条件で細胞の増殖率に違いが見られ、細胞内（う）が示唆された。条件 2 における細胞 A と細胞 B の増殖率が、条件 1 の場合と比較してどのように変化したと考えられるかを述べなさい。
2. 以上の実験で細胞内（う）が示唆されたため、次に研究者 X は、細胞 A が細胞 B を取り込んだ状態でそれらの培養を続けた。すると細胞 B は遺伝子を一部失い、そのゲノムが縮小するように進化した。遺伝子を失うことにどのような利点があったかを考察しなさい。

3. 次に研究者 X が細胞 A の中で進化した細胞 B を詳しく調べたところ、細胞 B は（ え ）のように多くの代謝経路に関わるエネルギー物質を生産する役割を担っていた。さらに細胞 B の内膜は折りたたまれてひだ状になっていた。また研究者 X は、細胞 B の内膜に存在する酵素がエネルギー物質を生産していることを明らかにした。これらの酵素は細胞 A の細胞膜上にも存在していたが、細胞 A の他の場所には見られなかった。細胞 B の内膜が折りたたまれてひだ状になることの利点を、エネルギー物質の合成の観点から考察しなさい。
4. 研究者 X が細胞 B を取り込んだ細胞 A の培養をさらに続けたところ、細胞 A は巨大化していった。一方で、同じ期間、細胞 B とは独立に培養した細胞 A は巨大化しなかった。細胞 B とは独立に培養した細胞 A が巨大化しなかった理由を、エネルギー物質の合成量とその合成場所を踏まえて、考察しなさい。ただし、細胞 A の細胞膜は球状であるとし、細胞が生存するために必要なエネルギー物質量は細胞の体積に比例するとする。

問 5 下線部（4）に関して、以下の問いに答えなさい。

1. 地球上で最初に誕生した光合成は非酸素発生型であり、その後、植物細胞も行うような酸素発生型光合成が進化したと考えられている。非酸素発生型光合成で酸素が発生しない理由を、有機物以外の主たる電子供与体（電子を供与する物質）を一つ挙げた上で答えなさい。なお、一部の生物はポンプとよばれる膜タンパク質によって、光エネルギーを利用して直接的に細胞膜越しにプロトン（ H^+ ）を輸送できるが、ここではこの現象は光合成に含めないとする。
2. 地球上で最初に誕生した非酸素発生型光合成は一種類の光化学系のみを利用していたが、その後、二種類の光化学系を組み合わせるように進化したことで、酸素発生型光合成が可能になったと考えられている。このとき、一種類の光化学系では利用できなかった電子供与体を利用して、非酸素発生型光合成の場合と同じエネルギー物質を得られるようになった。この理由について、酸素発生型光合成における電子供与体を挙げた上で、「酸化」という言葉を含めて考察しなさい。
3. 図 1 は大気中の酸素濃度の変化を示している。酸素発生型光合成を行う生物が地球上に出現したと考えられる時期を a から c の中から選び、その時期以降に、地球上でどのような変化が起きた結果、大気中の酸素濃度が約 20 % にまで上昇したのかを説明しなさい。

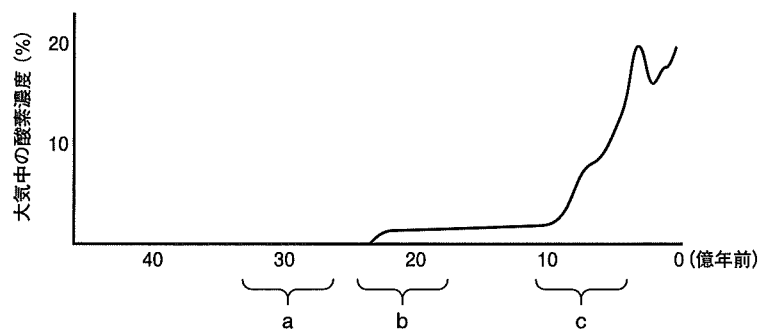


図 1

〔Ⅱ〕 以下の文章を読み、答えを解答欄に記入しなさい。

高等植物の生長は、光の影響を受ける。光合成による光独立栄養生長は、植物の生長の基本だが、光合成以外にも植物は様々な波長の光に依存して形態を変化させることが知られている（光形態形成とよぶ）。たとえば、多くの植物の芽生えの胚軸の伸長は、光によって抑制される（暗所においた時に比べて、光を照射した時のほうが、胚軸は短くなる）。また、種子の発芽は特定の波長の光を照射することで誘発される場合がある。そこで、植物の分子生物学研究の重要なモデル生物（１）シロイヌナズナを用い、以下の実験を行った。

実験 1

植物遺伝子工学用のプラスミドを用い、シロイヌナズナのゲノム DNA 上に抗生物質耐性遺伝子をランダムに挿入した集団を用意した。その際、最初に得られるのはヘテロ接合体であり、それぞれの個体のゲノム DNA に、一箇所だけ抗生物質耐性遺伝子が挿入されている。もしその箇所に、遺伝子の読み取り枠があれば、抗生物質耐性遺伝子の挿入によって、遺伝子の働きは失われる。さらに、得られたヘテロ接合体の自家受粉によって、それぞれのホモ接合体も用意した。

こうして得られた多数の変異集団の中から、光による胚軸伸長の抑制に関する変異株 A、変異株 B を分離した。これらの変異株は、いずれも抗生物質耐性遺伝子に関してホモ接合体であった。また、変異株 A と変異株 B では、互いに異なる遺伝子座に抗生物質耐性遺伝子が挿入されていた。図 1 に示すように、野生株に白色光を当てたところ、暗所に比べて胚軸の伸長は 20 % 程度まで抑制された。変異株 A、変異株 B では、伸長の抑制の程度はそれぞれ 50 % 程度に緩和された。また、白色光のかわりに赤色光または青色光を照射したところ、光による胚軸の伸長の比率は株ごとに変化した。

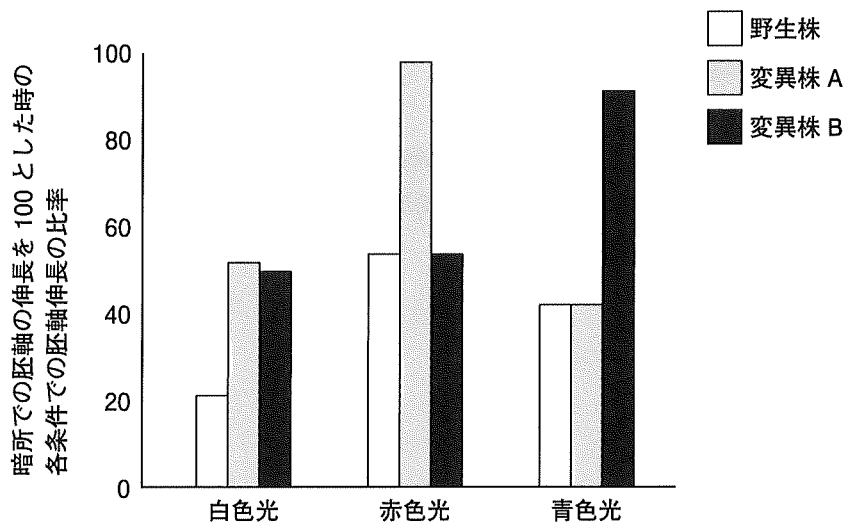


図 1 野生株、変異株 A、変異株 B の胚軸の伸長に対する光照射の影響

実験 2

次に、それぞれの変異が、胚軸の伸長抑制とは別の光形態形成現象にも影響を及ぼしているかどうかを調べるため、光発芽種子に関する以下の実験を行った。

野生株と各変異株の種子を吸水させた後、赤色光を照射したところ、野生株と変異株 B は正常に発芽したが、変異株 A は発芽しなかった。野生株と変異株 B において、赤色光照射による発芽促進は、遠赤色光の照射によって打ち消された。また、赤色光を照射すると、野生株の種子では植物ホルモン X の量が増加したが、変異株 A では増加しなかった。赤色光を照射する際、X の合成酵素の阻害剤を添加すると、野生株の種子の発芽は抑制された。この結果は、光発芽には（あ）型の光受容体（い）が関わっていること、変異株（う）ではその作用が低下していることとして解釈できる。

実験 3

さらに、再び胚軸伸長の抑制に関して、以下の実験を行った。野生株と変異株 B に対して、青色光照射下で植物ホルモン X の量を段階的に増やして投与したところ、どちらも大きな影響は見られなかった。これに対して、植物ホルモン Y を段階的に増やして投与した場合、図 2 のような変化が見られた。この結果は、暗所での胚軸の伸長には植物ホルモン Y が関与していること、また、Y を介する胚軸伸長効果を青色光が抑制することを強く示唆している。

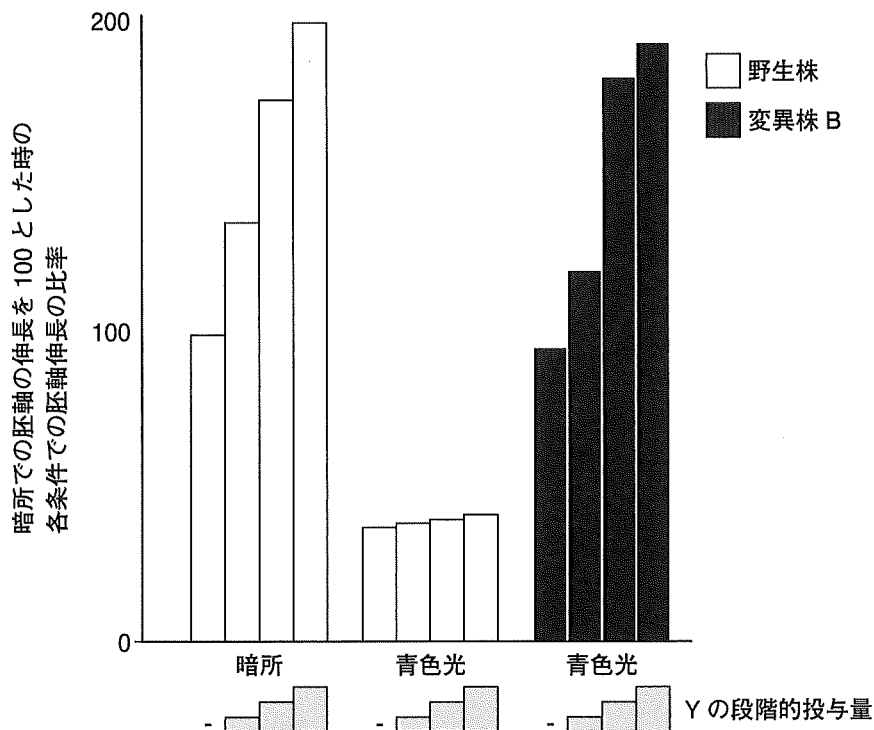


図 2 野生株、変異株 B の胚軸の伸長に対する植物ホルモン Y の影響

灰色のバーは、植物ホルモン Y の投与量（相対濃度）を示しており、「－」は Y を与えていないことを示す。

実験 4

光屈性についても植物ホルモン Y が関与することが知られている。そこで、芽生えに対して横から青色光を照射したところ、野生株、変異株 A、変異株 B はすべて胚軸の上部が光に対して正の方向に約 60 度程度屈曲した。

実験 5

挿入された抗生物質耐性遺伝子の周辺配列を解読することにより、変異株 A は、鉄を含む色素ヘムの生合成に関わる酵素をつくる遺伝子に挿入変異があること、変異株 B は、バクテリアの青色光受容タンパク質と類似したタンパク質をつくる遺伝子に挿入変異があることが分かった。

問 1 下線部 (1) に関して、分子生物学のモデル生物として一般的に妥当と思われるものをすべて選びなさい。

- 外来の DNA の影響を受けないように、細胞膜に強固な障壁があり、外部から DNA を一切取り込めないようになっているほうがよい。
- 世代交代が速いほうがよい。
- ゲノム DNA が解読されておらず、未知の遺伝情報が豊富であり、ゲノム DNA のサイズが大きいほうがよい。
- 遺伝子を導入した個体を選別する際に用いる抗生物質耐性遺伝子を使えるように、あらゆる抗生物質に対して耐性が高いことが望ましい。
- 人工的な実験室環境であっても飼育・生育しやすいほうがよい。
- できるだけ個体のサイズが大きなほうが望ましい。

問2 実験1の考察として正しいものには○印をつけ、誤っているものには×印を付けたうえで、どこをどのように修正すればよいか簡潔に指摘しなさい。

- a. 変異株 A は、青色光による胚軸伸長の抑制に異常をきたす変異株である。
- b. 変異株 B は、青色光による胚軸伸長の抑制に対する反応性が野生株や変異株 A よりも高い。

問3 (あ) から (う) に入る適切な語句を書きなさい。

問4 実験2の結果から導かれる、光発芽に関する植物ホルモン X の関与に対する考察として正しいものをすべて選りなさい。

- a. 赤色光は、光受容体 (い) を介して植物ホルモン X の合成遺伝子の発現を低下させると推察された。
- b. 変異株 A では、植物ホルモン X を分解する酵素の働きがおさえられていると推察された。
- c. 赤色光は、植物ホルモン X の合成を促し、それを介して光発芽応答を引き起こしていると推察された。
- d. 植物ホルモン X は、赤色光を当てていないと不活性型だが、赤色光を当てると活性型に変化し、その変化は可逆的と推察された。
- e. 変異株 B では、植物ホルモン X の分解が野生株よりも促進されていると推察された。

問5 植物ホルモン X, Y の名称を答えなさい。

問6 実験3の結果を説明する仮説の一つは、「植物ホルモン Y の受容体よりも下流で働く情報伝達系が青色光によって抑制される」というものである。ただしこの場合、変異体 B で破壊された遺伝子が、Y の受容体よりも下流の情報伝達系因子を指定している可能性は低い。その理由をデータに基づいて論じなさい。

問7 実験3と実験4の結果から、推測される可能性として妥当なものをすべて選りなさい。

- a. 青色光は、植物ホルモン Y を合成する。
- b. 青色光は、植物ホルモン Y を分解する。
- c. 青色光による胚軸伸長の抑制と光屈性は、基本的に同じ情報伝達系を用いている。
- d. 青色光による胚軸伸長の抑制と光屈性は、基本的に異なる情報伝達系を用いている。

問8 実験5の結果から、変異株 B で破壊された遺伝子は青色光受容タンパク質を指定すると思われるが、実験4からそのうちの (え) ではなく、(お) を指定する遺伝子であろうと考えられる。(え) と (お) に当てはまる語句を書きなさい。

〔Ⅲ〕 以下の文章を読み、答えを解答欄に記入しなさい。

ヒトの体では、正常な生命活動を維持するために、体液中のイオンを含むさまざまな物質（以下、物質とする）の量や濃度が制御されている。グルコースは細胞のエネルギー源であり、高濃度では体液の浸透圧変化にも関わる。ナトリウムイオン（ Na^+ ）は体液の浸透圧調整で重要な働きをする。腎臓はこれら物質濃度の制御に関わっている。

腎臓に流れ込んだ血液は、糸球体の細い血管に送られる。血液はここでろ過され、大部分の成分や水はボーマン嚢に押し出されて原尿となる。続いて原尿は尿細管に送られ、必要な物質や水は尿細管の上皮細胞の中などを通して尿細管と周囲の毛細血管の間（間質腔）に移動し、さらに毛細血管内部の血液中へ移動して再吸収される。腎臓に流れ込んだ血液中のグルコースは原尿に移動するが、それらは尿細管の上皮細胞を通過して再吸収される。ナトリウムイオンはより複雑な仕組みで再吸収される。再吸収されなかった物質および水は尿中に排出される。

図1は、尿細管の上皮細胞に存在するタンパク質の局在を示す。タンパク質Aは原尿側の細胞膜に存在し、原尿から細胞内部へグルコースとナトリウムイオンを同時に輸送する（1）。タンパク質Bとタンパク質Cは間質腔側の細胞膜に存在し、細胞内と間質腔の間の物質輸送に関わる。タンパク質Bはグルコースのみを輸送する。タンパク質CはATPを消費しながらナトリウムイオンの輸送を行い（2）、この際にカリウムイオン（ K^+ ）が逆に細胞外から細胞内に取り込まれる。図1には、原尿と細胞内および間質腔の体液におけるナトリウムイオンの濃度（ $[\text{Na}^+]$ ）も示してあり、ここでは単純化のためにこれらの値は変動しないとする。

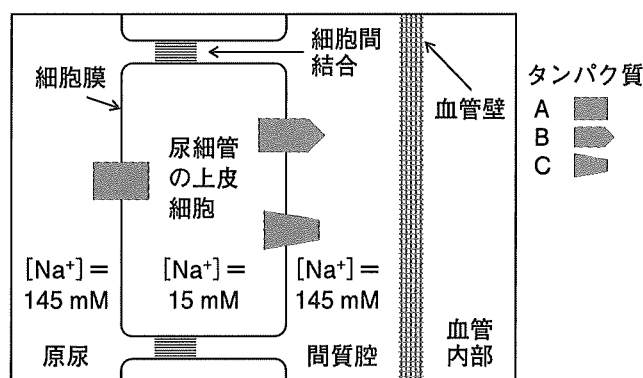


図1

血液中や細胞内のグルコース濃度は食事や代謝などで変動する。健康な人では、血液中から原尿へろ過されたグルコースの全てが血液中に再吸収される。しかし、糖尿病の患者では、何らかの理由で健康な人と比べて血液中のグルコース濃度が慢性的に異常に高くなる。このため、原尿中にろ過されたグルコースの量が尿細管で再吸収される上限を上回り、尿中にグルコースが存在したまま体外に排出される場合がある（3）。

糖尿病には2つの型がある。I型とよばれる糖尿病では、発症の理由の1つとして、免疫の異常が考えられている。獲得免疫には、自分以外の細胞が体に入り込んだり、自分の細胞が病原体に感染したりした場合、これらの細胞を（あ）細胞が攻撃して排除する仕組みがある。獲得免疫が正常ならば、（あ）細胞は自分の体の正常な細胞を攻撃することはない（4）。しかし、何らかの理由でこの仕組みに異常が起こり、（あ）細胞が自分の体の（い）細胞を攻撃して排除してしまうと、I型糖尿病を発症する。ここでは単純化のため、I型糖尿病では全ての（い）細胞が排除されるとする。

筋肉の細胞にグルコースが取り込まれてエネルギー源として活用されることは、血液中のグルコース濃度の増大を抑えることに役立つ。すい臓の（ い ）細胞から分泌されるインスリンは、筋肉へのグルコースの取り込みを促進する働きがある。インスリンの分泌量も、血液中のグルコース濃度の上昇に応答して制御されている。

筋肉の細胞にはグルコースの取り込みを行うタンパク質 M があり、インスリンに応答してタンパク質 M の局在が変化する（図 2）。Ⅱ型とよばれる糖尿病では、発症の理由の 1 つとして、インスリンの作用を受けても筋肉の細胞のタンパク質 M の局在が変化しなくなることが分かっている（5）。

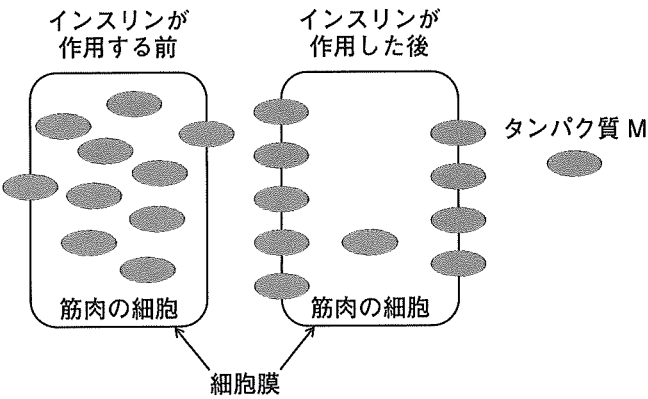


図 2

以下の実験を行った。

実験 1

下線部（3）について、ヒトの血液中のグルコース濃度をさまざまに変化させたところ、1 分間あたりに原尿中にろ過されるグルコースの量については図 3 (a)のグラフが得られ、1 分間あたりに尿細管を介した血液中へのグルコースの再吸収量については図 3 (b)のグラフが得られた。

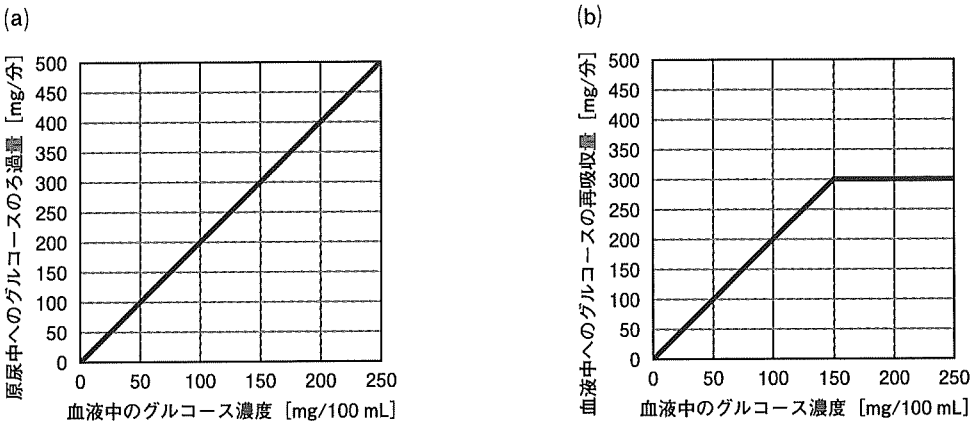


図 3

実験 2

健康な人の食事前後の血液中のグルコース濃度とインスリン濃度を調べた。図 4 に示すように、食事開始の直後から血液中のグルコース濃度が急激に上昇し始めたが、それに伴ってインスリンの濃度も急激に上昇した。その結果、血液中のグルコース濃度は異常に高くなり徐々に低下した。また、血液中のグルコース濃度が低下し始めると、少し遅れてインスリンの濃度も速やかに低下した。

実験 3

Ⅱ型糖尿病の患者の食事前後の血液中のグルコース濃度とインスリン濃度を調べた。図 5 に示すように、血液中のグルコース濃度は食事前から高く、食事開始後にさらに増大した。食事直後からインスリンの濃度の上昇もみられたが、グルコース濃度はわずかしき低下しなかった。これは、下線部 (5) で述べたように、インスリンが分泌されても筋肉の細胞のタンパク質 M は局在を変化させずに細胞膜に存在する数が少なく、グルコースの取り込みが促進されなかったためと考えられた。一方で、高いグルコース濃度に反応して、十分な効果がなくてもインスリンの分泌は続き、速やかな濃度低下はみられなかった。

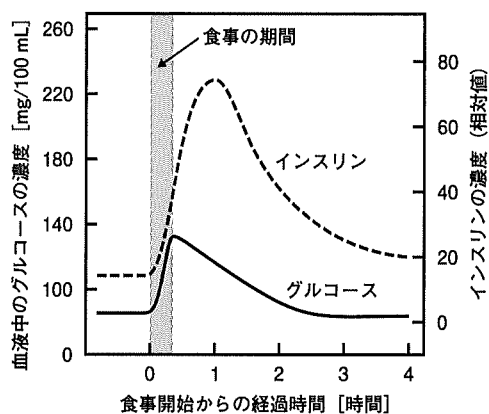


図 4

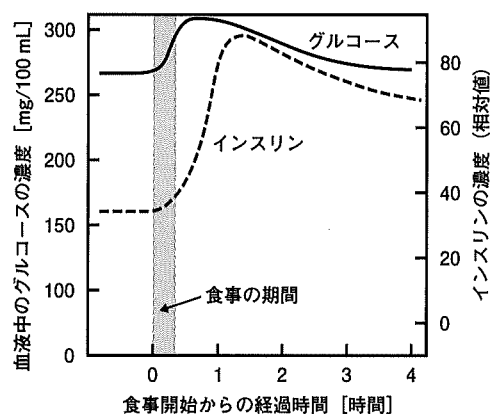


図 5

- 問1 食事や代謝ならびに再吸収により、細胞内外のグルコース濃度の値や大小関係はさまざまに変化すると考えられる。それにも関わらず、健康な人では全てのグルコースが尿細管から再吸収される。これは図1のタンパク質A、タンパク質B、タンパク質Cの3つのタンパク質のみからなるシステムで実現できる。このシステムにおいて、下線部(1)のタンパク質Aがナトリウムイオンと共にグルコースを輸送することの利点を答えなさい。
- 問2 下線部(2)について、タンパク質Cがナトリウムイオンを輸送する際にATPが必要である理由を説明しなさい。
- 問3 実験1の図3より、血液中のグルコース濃度の変化にともなって、再吸収されずに尿中に排出されるグルコースの量のグラフはどうなるかを考えて、解答欄の図に実線で書き込みなさい。
- 問4 I型糖尿病の患者について、発症の理由ならびに実験2と実験3から、食事開始後の血液中のグルコース濃度とインスリン濃度のグラフはどのようなようになるかを考えて、解答欄の図の書き出しの線に続けてグルコースの濃度は実線で、インスリンの濃度は破線で書き込みなさい。
- 問5 問題文中の(あ)細胞の名称を答えなさい。また、問題文中の(い)細胞の名称と、この細胞が存在するすい臓の組織の名称を答えなさい。
- 問6 下線部(4)の状態の名称を答えなさい。また、この状態はどのような仕組みで成立しているのかを説明しなさい。
- 問7 I型糖尿病の治療のために健康な人の(い)細胞を患者の体内に移植しても、単に移植するだけでは、獲得免疫により(い)細胞は一定期間で排除されてしまう。この生体反応の名称を答えなさい。また、この生体反応が起こった患者に初回と同じ単純な細胞移植を再度行くと、移植した細胞は初回よりも速やかに排除される。この理由を説明しなさい。
- 問8 II型糖尿病の患者に対して、タンパク質Aの働きを妨げる治療薬が使われている。この治療薬は、糖尿病のどの症状の改善を目指したものであるかを答えなさい。また、この薬の投与によって生じると想定される副作用を2つ考えて、症状とそれが生じる理由を答えなさい。

〔以下余白〕