

令和3年度 入学試験問題

理科（後期）

試験時間	120分
問題冊子	物理 1～8頁
	化学 9～16頁
	生物 17～31頁

注意事項

1. 指示があるまで問題冊子は開かないこと。
2. 受験科目はあらかじめ受験票に記載された2科目とし、変更は認めない。
3. 問題冊子および解答用紙に落丁、乱丁、印刷の不鮮明な箇所があったら、手を挙げて監督者に知らせること。
4. 解答が終わっても、または試験を放棄する場合でも、試験終了までは退場できない。
5. スマートフォン等の電子機器類は電源を必ず切り、鞆の中にしまうこと。
6. 机上には、受験票と筆記用具（鉛筆、シャープペンシル、消しゴム）および時計（計時機能のみ）以外は置かないこと。（耳栓、コンパス、定規等は使用できない。）
7. 問題冊子および解答用紙に受験番号と氏名を記入すること。
8. 解答はすべて解答用紙の所定の解答欄に記入すること。欄外には何も書かないこと。
9. この問題冊子の余白は自由に用いてよい。
10. 質問、トイレ、体調不良等で用件のある場合は、無言のまま手を挙げて監督者の指示に従うこと。
11. 中途退室時は、問題冊子および解答用紙を裏返しにすること。
12. 受験中不正行為があった場合は、試験の一切を無効とし、試験終了時間まで別室で待機を命じる。
13. 試験終了後、解答用紙は裏返し、問題冊子は持ち帰ること。

受験番号		氏名	
------	--	----	--

受験番号	
------	--

氏名	
----	--

令和3年度(後期)

生 物

解答用紙

採点欄	1	2	3
-----	---	---	---

[I]	問1	ア		イ		ウ		エ	
		オ		カ		キ			
	問2	物質A:		物質B:		物質C:			
	問3	①		②					
	問4	神経:		物質:					
	問5	() → () → ()							
	問6	①		②		③			
	問7	器官:		その血液の特徴:		器官:		その血液の特徴:	
問8	①	動物:		記述:					
	②	動物:		記述:					

[II]	問1	ア		イ	
		ウ			
	問2				
	問3				
	問4				
問5					

[III]	問1	タンパク質:	領域:	タンパク質:	領域:
	問2	タンパク質:	実験番号:		
		実験結果:			
	問3				
	問4	性質:	理由:		
問5	抗体の濃度:		理由:		

生 物

〔 I 〕 脊椎動物の心臓と肝臓に関する下記の文章を読み、各問いに答えよ。

多くの動物では、心臓を使って血液を循環させ、全身の細胞に酸素や栄養分を供給している。脊椎動物の進化の過程では、心臓は初め 1 心房 1 心室であったが、陸上進出に伴って心房が仕切られ 2 心房に、その後、心室も仕切られ 2 心室になった。鳥類と哺乳類の心臓は、2 心房 2 心室である。ヒトでは、全身から戻った静脈血は心臓の に入り、 から出て肺に向かう。その後、肺から戻った酸素に富む動脈血は に入り、 から出て全身に回る。拍動のペースメーカーである洞房結節は の上部に存在し、ここから出る電気信号によって心臓は一定のリズムで拍動する。激しい運動をして血液中の二酸化炭素濃度が高まると、拍動の中樞である が感知し、洞房結節に分布する ⁽¹⁾神経系を介して、心臓の拍動数を増加させる。

肝臓は、消化管に付属する最も大きな器官である。ヒトでは、心臓から出た血液の約 1/3 は肝動脈と肝門脈を通して肝臓に流入し、血液中のさまざまな物質が肝臓で処理される。例えば、激しい運動により血糖濃度が下がると、中枢神経系の が感知し、⁽²⁾神経系を介して肝臓が はたらき、血糖濃度を上げる。この他、肝臓には、アルブミンなどのタンパク質の合成や解毒作用などのはたらきがある。

脊椎動物の発生では、肝臓は必ず心臓の近くに形成される。肝臓の形成に心臓が及ぼす作用を調べるために、ニワトリ胚を使って以下の各実験を行った。受精後 3 日目の胚 (3 日胚) では、心臓は腸管の腹側に形成されているが、肝臓はまだ形成されていない。

〔実験 1〕 ニワトリ 3 日胚から、心臓、心臓近くの腹側の腸管の一部 (腸管 V ; 将来肝臓を形成する部分)、背側の腸管の一部 (腸管 D ; 肝臓を形成しない部分) を取り出した (図 1 参照)。これらと同じ培養皿に入れ、心臓に隣接させて腸管 V と腸管 D を置き、培養液中で一緒に培養した。1 週間後、肝臓が形成されたことを示す指標であるアルブミンについて調べたところ、腸管 V からはアルブミンが検出されたが、腸管 D からは検出されなかった。

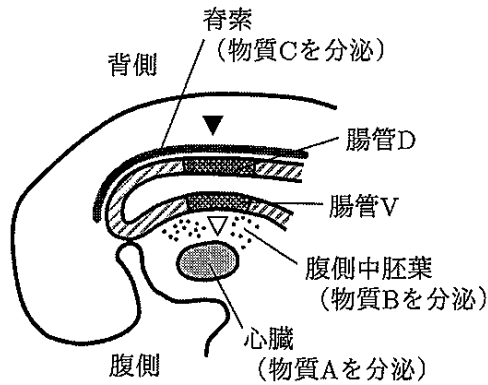


図1 ニワトリ3日胚の頭方部の縦断面

【実験2】ニワトリ3日胚の心臓からは物質Aが、心臓近くの腹側中胚葉からは物質Bが、脊索からは物質Cが分泌されていることが知られている。ニワトリ3日胚から腸管Vと腸管Dを取り出し、物質A、B、Cをさまざまな組み合わせで加えた培養液中で、それぞれ別々に培養した。1週間後、アルブミンについて調べ、肝臓が形成されたかどうかを判定した。その結果を表1、2に示す。

表1 腸管Vを培養した結果

培養液に加えた物質	アルブミンの検出
なし	×
物質A	○
物質B	×
物質C	×
物質Aと物質B	○
物質Aと物質C	×
物質Bと物質C	×
物質A、B、Cすべて	×

表2 腸管Dを培養した結果

培養液に加えた物質	アルブミンの検出
なし	×
物質A	×
物質B	×
物質C	×
物質Aと物質B	○
物質Aと物質C	×
物質Bと物質C	×
物質A、B、Cすべて	×

「○」はアルブミンが検出されて肝臓が形成されたことを、「×」は検出されず肝臓が形成されなかったことを示す。

【実験3】ニワトリ3日胚から腸管Dと心臓を取り出し、以下のように、別のニワトリ3日胚にそれぞれ移植した。

- ① 腸管Dを、別の胚の心臓近く(図1の▽)に移植した。1週間後、移植された腸管Dからアルブミンが検出された。
- ② 心臓を、別の胚の腸管D近く(図1の▼)に移植した。1週間たっても、移植された心臓近くの腸管Dからアルブミンは検出されなかった。

問1 文中の **ア** ~ **キ** にあてはまるものを、以下の(あ)~(さ)より1つずつ選び、それぞれ記号で答えよ。同じ記号を何度用いてもよい。

- | | | |
|---------|-----------|-------------|
| (あ) 大脳 | (い) 間脳の視床 | (う) 間脳の視床下部 |
| (え) 中脳 | (お) 小脳 | (か) 延髄 |
| (き) 脊髄 | (く) 左心房 | (け) 右心房 |
| (こ) 左心室 | (さ) 右心室 | |

問2 実験2の結果から、物質A、B、Cはどのようなはたらきをすると結論できるか。以下の(あ)~(か)より最も適切なものを1つずつ選び、それぞれ記号で答えよ。

- (あ) 物質Aのはたらきを阻害する。
- (い) 物質Bのはたらきを阻害する。
- (う) 物質Cのはたらきを阻害する。
- (え) 腸管を肝臓に誘導する。
- (お) 腸管に反応能(誘導に応答する能力)を与える。
- (か) 腸管から肝臓への分化には関与しない。

問3 実験3の①において、心臓の近くに移植された腸管Dからアルブミンが検出されたのはなぜか。また、②では、近くに心臓が移植されても、移植を受けた胚の腸管Dからアルブミンが検出されなかったのはなぜか。その理由として適切なものを、以下の(あ)~(か)より2つずつ選び、それぞれ記号で答えよ。ただし、移植された心臓も、移植を受けた胚の心臓も、十分量の物質Aを分泌するものとする。

- (あ) 腸管Dに反応能がなかったので、物質Aがはたらいたから。
- (い) 腸管Dに反応能がなかったので、物質Aがはたらかなかったから。
- (う) 腸管Dに反応能が与えられたので、物質Aがはたらいたから。
- (え) 腸管Dに反応能が与えられたので、物質Aがはたらかなかったから。
- (お) 物質Aのはたらきを阻害する物質が作用したから。
- (か) 物質Aのはたらきを阻害する物質が作用しなかったから。

問4 下線部(1)の心臓の拍動数を増加させるのは、何神経から分泌されるどんな物質か。あてはまる神経をI群より1つ、その神経から分泌される主な物質をII群より1つ選び、それぞれ記号で答えよ。

I群：

- (あ) 交感神経 (い) 副交感神経 (う) 運動神経 (え) 感覚神経

II群：

- (a) セロトニン (b) γ -アミノ酪酸 (GABA) (c) グルタミン酸
(d) アセチルコリン (e) ノルアドレナリン

問5 下線部(2)の血糖濃度が上がるまでの過程で起こる現象を、以下の(あ)～(か)より3つ選び、早く起こる順に左から右へと記号を並べよ。

- (あ) から交感神経に刺激が伝わる。
(い) から副交感神経に刺激が伝わる。
(う) 肝臓でグリコーゲンが合成される。
(え) 肝臓でグリコーゲンが分解される。
(お) すい臓からインスリンが分泌される。
(か) 副腎髄質からアドレナリンが分泌される。

問6 ①心臓、②肺、③ は、神経胚のどこから主に形成されるか。以下の(あ)～(き)のうち、最も適切なものを1つずつ選び、それぞれ記号で答えよ。同じ記号を何度用いてもよい。

- (あ) 表皮 (い) 神経管 (う) 脊索 (え) 体節
(お) 腎節 (か) 側板 (き) 腸管

問7 肝門脈は、どの器官から出た血液を肝臓に運ぶ血管か。I群よりあてはまる器官を2つ選び、記号で答えよ。また、その器官から出た血液がもつ特徴として最も適切なものをII群より1つずつ選び、それぞれ記号で答えよ。

I群：

(あ) 脳 (い) ひ臓 (う) 腎臓 (え) 小腸 (お) 肺

II群：

- (a) 酸素が多い。
- (b) 栄養分が多い。
- (c) 老廃物が多い。
- (d) 老廃物が少ない。
- (e) 壊れた赤血球の成分が多い。

問8 ① 1心房1心室、② 2心房1心室の心臓をもつ脊椎動物をI群より1つずつ選び、それぞれ記号で答えよ。また、その動物にあてはまる記述をII群よりすべて選び、それぞれ記号で答えよ。同じ記号を用いてもよく、幼生期をもつ動物では成体についてのみ答えればよい。

I群：

(あ) エビ (い) サメ (う) トキ (え) イモリ
(お) ヒトデ (か) カワウソ (き) カモノハシ

II群：

- (a) 肺動脈をもつ。
- (b) 毛細血管がない。
- (c) えらでガス交換を行う。
- (d) 循環経路は1つである。
- (e) 肺循環と体循環の2つの経路をもつ。
- (f) 動脈血と静脈血が心室で混じる。

〔II〕 酵素に関する下記の文章を読み、各問いに答えよ。

酵素には生体内の温和な条件のもとで化学反応を促進するはたらきがある。酵素のように、それ自身は反応の前後で変化しないが、化学反応を促進する物質を **ア** という。酵素は化学反応が起こりやすい状態にするために必要な **イ** を減少させることで、化学反応を促進する。酵素には基質が結合する **ウ** とよばれる特有の構造がある。**ウ** に結合した基質は酵素のはたらきにより変化して生成物となり、酵素から離れる。

問1 **ア** ～ **ウ** にあてはまる語句を入れよ。

問2 ある酵素の濃度を一定にして、基質濃度に対する酵素の反応速度を 37℃ で測定したところ、図1の折線Aのようであった。新たに準備した同じ組成の反応液に一定量の物質Mを加えて同様に測定したところ、折線Bのようになった。反応液に加えた物質Mについて正しく説明しているものを、以下の(あ)～(お)より2つ選び、記号で答えよ。

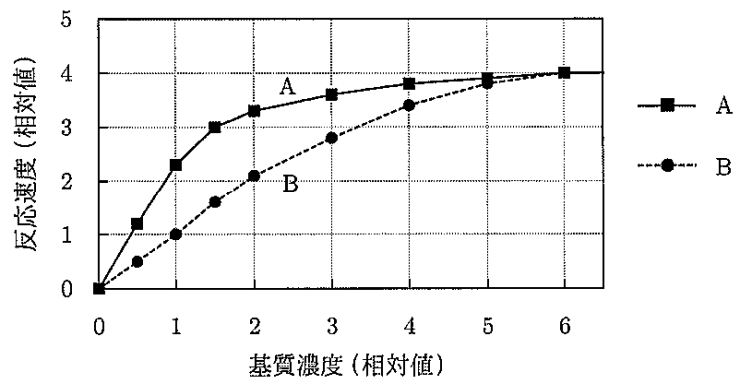


図1 基質濃度と反応速度の関係

- (あ) **ウ** に結合する物質である。
- (い) **ウ** とは異なる場所に結合する物質である。
- (う) 基質濃度が高くなると阻害作用が弱まる。
- (え) 基質濃度が高くなると阻害作用が強まる。
- (お) 基質濃度が高くなっても阻害作用は変わらない。

問3 消化酵素に関する以下の(あ)～(か)の記述のうち、正しいものを2つ選び、記号で答えよ。

- (あ) ペプシンの最適 pH は約 2 である。
- (い) トリプシンの最適 pH は約 5 である。
- (う) すい液に含まれるリパーゼは、脂肪酸を分解する。
- (え) だ液に含まれるアミラーゼは、デンプンを分解する。
- (お) スクララーゼは、スクロースをガラクトースに分解する。
- (か) マルターゼは、マルトースをフルクトースに分解する。

問4 DNA の特定の塩基配列を認識して切断する酵素はどれか。以下の(あ)～(か)より1つ選び、記号で答えよ。

- (あ) DNA リガーゼ (い) DNA ヘリカーゼ (う) DNA ポリメラーゼ
- (え) RNA ポリメラーゼ (お) 制限酵素 (か) 逆転写酵素

問5 タンパク質に関する以下の(あ)～(か)の記述のうち、正しいものをすべて選び、記号で答えよ。

- (あ) 構成するアミノ酸は 64 種類ある。
- (い) アミノ酸どうしをつなぐ結合を、高エネルギーリン酸結合という。
- (う) 2つのシステインの側鎖間につくられる結合を、S-S 結合という。
- (え) アミノ酸 n 個から構成される場合、タンパク質の一次構造は 4^n 通りできる。
- (お) 三次構造は、複数のポリペプチド鎖が組み合わさってつくられる。
- (か) β シート構造をつくるには、水素結合が必要である。

[III] マラリアとヒトの免疫に関する下記の文章を読み、各問いに答えよ。

マラリアは、マラリア原虫を病原体とする感染症である。ヒトがマラリアを発症すると、発熱などをくり返し、重症化により死に至ることもある。ヒトに感染したマラリア原虫は、赤血球に侵入して増殖し、赤血球の細胞膜を破壊して血液中に放出された後、他の赤血球に侵入して増殖と赤血球の破壊をくり返す。マラリア原虫にくり返し感染しても十分な獲得免疫が成立しないため、マラリア原虫には宿主の免疫を積極的に抑制するしくみが存在することが考えられる。

免疫が過剰にはたらくことを防ぐために、生体には免疫を抑制するしくみが備わっている。免疫担当細胞の細胞表面には、免疫抑制化受容体（受容体 R）とよばれるタンパク質が存在し、受容体 R に生体内の他の細胞の細胞表面に存在するリガンド（受容体と特異的に結合する分子）であるリガンド L が結合すると、その免疫担当細胞の機能は抑制される。例えば、形質細胞の受容体 R の特定の部位にリガンド L が結合すると、抗体の産生と分泌が抑制される（図 1）。

マラリア原虫が、ヒトの免疫をどのように抑制するかを調べるため、マラリア原虫やヒトの細胞を用いて、以下の各実験を行った。ただし、ヒトの正常な赤血球にはリガンド L は存在せず、各実験で用いるタンパク質は、実験中に分解されることはないものとする。また、各実験で用いる培養細胞は、赤血球ではないヒトの体細胞に由来するものとし、その主要組織適合性抗原（HLA）のはたらきは考えないものとする。実験中に、細胞は増殖したり死んだりすることはないものとする。

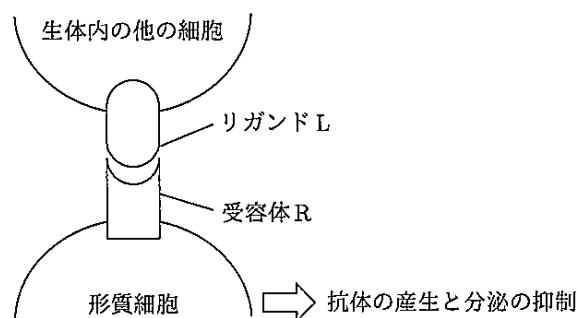


図 1 リガンド L が受容体 R に結合することによる形質細胞のはたらきの抑制

【実験 1】 受容体 R の細胞外領域に緑色蛍光タンパク質（GFP）をつなげた融合タンパク質（タンパク質 RG）を人工的に合成した（図 2）。ヒトの正常な赤血球を採取し、生理食塩水に入れて懸濁させた。これを 2 つの容器に分け、片方の容器にマラリア原虫を入れて容器内の全赤血球をマラリア原虫に感染させた。これらの懸濁液にタンパク質 RG を過剰量加えた後、遠心分離法により赤血球と生理食塩水を分離した。それぞれの画分の蛍光を測定したところ、感染させなかった場合は生理食塩水でのみ蛍光が検出され、感染させた場合は赤血球と生理食塩水の両方で蛍光が検出された。

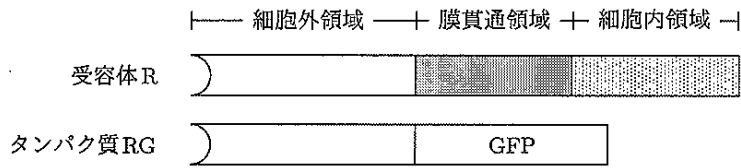


図2 受容体 R とタンパク質 RG の構造

【実験2】 実験1でマラリア原虫を感染させた赤血球の細胞膜を詳しく調べたところ、正常な赤血球には存在しない膜タンパク質が存在していることがわかった。この膜タンパク質のアミノ酸配列の一部が判明したため、その配列を含むタンパク質をコードする遺伝子を探したところ、マラリア原虫のゲノムに3つの類似した遺伝子（遺伝子A、遺伝子B、遺伝子C）を見つけた。各遺伝子がコードする膜タンパク質（タンパク質A、タンパク質B、タンパク質C）の細胞外領域は、いずれも特徴的な2つの領域（領域1、領域2）から構成されていた。タンパク質Aの領域1を領域A1、領域2を領域A2とし、以下同様に、領域B1、B2、C1、C2とする（図3）。

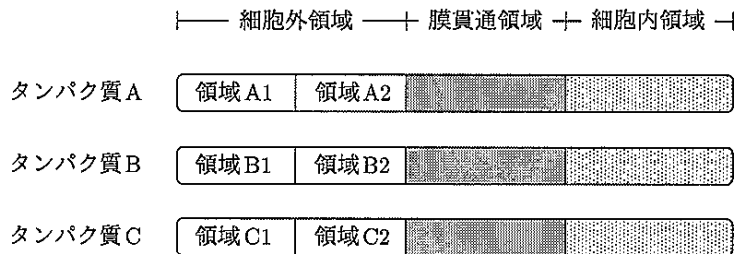


図3 タンパク質 A, B, C の構造

各タンパク質の性質を調べるため、遺伝子A、B、Cをそれぞれヒトの培養細胞に導入して発現させた。これらの培養細胞の培養液に、タンパク質RGを過剰量加えた後、遠心分離法により培養細胞と培養液を分離した。それぞれの画分の蛍光について測定した結果を表1に示す。

表1 各画分における蛍光の検出結果

	発現させたタンパク質	なし	A	B	C
画分	培養細胞	-	-	+	+
	培養液	+	+	+	+

「+」はGFPの蛍光が検出されたことを、「-」は検出されなかったことを、それぞれ示す。「なし」は、遺伝子を導入しなかったことを示す。

続いて、領域1と2の性質を調べるため、いずれかの領域しか含まない変異型タンパク質（図4）をコードする遺伝子を作製し、新たに用意したヒトの培養細胞にそれぞれの遺伝子を導入して発現させた。

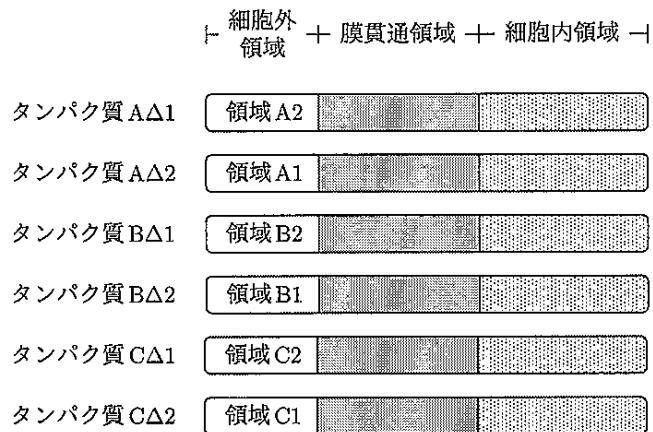


図4 変異型タンパク質の構造

各変異型タンパク質を発現する培養細胞の培養液に、タンパク質 RG を過剰量加えた後、遠心分離法により培養細胞と培養液を分離した。それぞれの画分の蛍光について測定した結果を表 2 に示す。

表 2 各画分における蛍光の検出結果 (変異型タンパク質を用いた場合)

	発現させたタンパク質	なし	AΔ1	AΔ2	BΔ1	BΔ2	CΔ1	CΔ2
画分	培養細胞	-	-	-	-	+	+	-
	培養液	+	+	+	+	+	+	+

「+」は GFP の蛍光が検出されたことを、「-」は検出されなかったことを、それぞれ示す。「なし」は、遺伝子を導入しなかったことを示す。

【実験 3】 B 細胞が活性化されてできた形質細胞は、盛んに抗体を産生・分泌する。ヒトの正常な B 細胞を採取し、人為的に活性化させて形質細胞を得た。これを 5 つの容器に同じ数ずつ分けて入れた。続いて、実験 2 で作製したタンパク質 A~C のいずれかを発現する培養細胞、いずれも発現しない培養細胞および実験 1 で人為的にマラリア原虫を感染させた赤血球を用意した。これらの細胞のいずれかを形質細胞の入った容器に同じ数ずつ加えて、形質細胞と接触させながら培養し、培養後に培養液中の抗体の濃度を測定した。対照実験として、形質細胞と同じ数の B 細胞を活性化せずに単独で培養し、培養液中の抗体の濃度を測定した。結果を図 5 に示す。

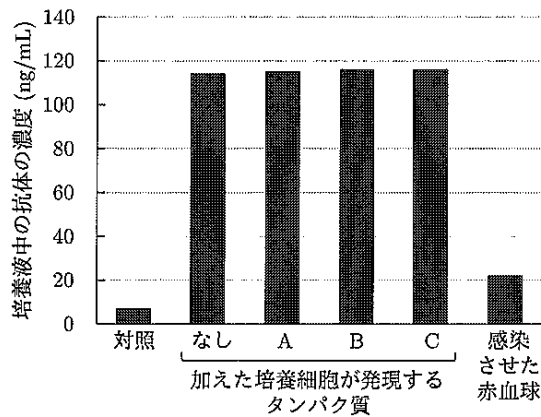


図5 培養液中に分泌された抗体の濃度 横軸は加えた細胞を示す(対照にはいずれの細胞も加えていない)。「なし」は、遺伝子を導入しなかったことを示す。

【実験4】 遺伝子 A, B, C のうち2つずつをヒトの培養細胞に導入して発現させた。すると、タンパク質 B と C は細胞膜上で複合体を形成したが、タンパク質 A はいずれのタンパク質とも複合体を形成しなかった。これらの培養細胞を、実験3と同様に形質細胞と接触させながら培養し、培養液中の抗体の濃度を測定した。対照実験も実験3と同じである。結果を図6に示す。

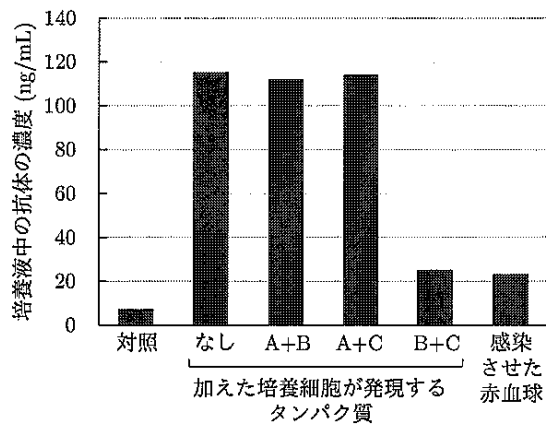


図6 培養液中に分泌された抗体の濃度 横軸は加えた細胞を示す(対照にはいずれの細胞も加えていない)。「なし」は、遺伝子を導入しなかったことを示す。

【実験 5】 マラリアの軽症患者と重症患者の違いを調べるため、各患者からマラリア原虫に感染した赤血球を採取し、赤血球あたりのタンパク質 A, B, C の量を比較した。ただし、実験 1 で人為的に感染させた赤血球における各タンパク質の量をそれぞれ 1 とした。結果を図 7 に示す。

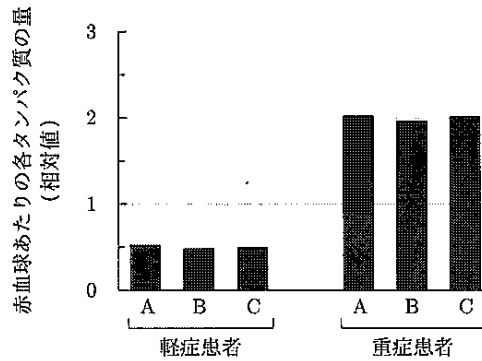


図 7 マラリア軽症患者と重症患者の赤血球におけるタンパク質 A, B, C の量

【実験 6】 実験 1 と同様に、ヒトの正常な赤血球を採取し、生理食塩水に入れて懸濁させた後、全赤血球にマラリア原虫を感染させた。この懸濁液にタンパク質 RG を過剰量加えた後、遠心分離法により得られた赤血球について、全赤血球のうち蛍光を発する赤血球の割合 (%) を計測した。続いて、マラリア軽症患者と重症患者からマラリア原虫に感染した赤血球を採取し、それぞれ生理食塩水に入れて懸濁させてからタンパク質 RG を過剰量加えた。遠心分離法により得られたそれぞれの赤血球について、同様に計測した。結果を図 8 に示す。

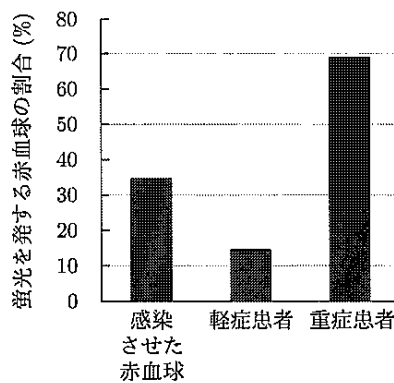


図 8 蛍光を発する赤血球の割合

問1 受容体 R と結合するタンパク質を、I 群より 2 つ選び、記号で答えよ。また、それぞれのタンパク質のどの領域が受容体 R と結合するか。II 群より 1 つずつ選び、それぞれ記号で答えよ。同じ記号を用いてもよい。

I 群：

(あ) タンパク質 A (い) タンパク質 B (う) タンパク質 C

II 群：

(a) 領域 1 (b) 領域 2 (c) 領域 1 と領域 2 の両方

問2 マラリア原虫に感染しても十分な獲得免疫が成立しない原因となるタンパク質を、以下の(あ)～(か)より 1 つ選び、記号で答えよ。また、その根拠となる結果を得た実験のうち、最も適切なものを 1 つ選び、実験番号を数字で答えよ。さらに、どのような実験結果であったか説明せよ。

(あ) タンパク質 A (い) タンパク質 B (う) タンパク質 C
(え) タンパク質 A と B の複合体 (お) タンパク質 A と C の複合体
(か) タンパク質 B と C の複合体

問3 人工合成したタンパク質では、元の正常なタンパク質のもつ性質が失われてしまう場合がある。そのため、実験を始める前に、人工合成したタンパク質が、目的の性質を保持しているかを確認する必要がある。今回の実験で合成したタンパク質 RG では、受容体 R のどのような性質を保持していることを確認する必要があったか。以下の(あ)～(お)より最も適切なものを 1 つ選び、記号で答えよ。

(あ) タンパク質 A と結合する性質
(い) タンパク質 B と結合する性質
(う) タンパク質 C と結合する性質
(え) リガンド L と結合する性質
(お) GFP と結合する性質

問4 マラリア重症患者の赤血球の性質は、軽症患者の赤血球と比べてどのようなものであるか。正しく述べているものをI群より、その理由をII群より1つずつ選び、それぞれ記号で答えよ。

I群：

- (あ) 軽症患者の赤血球よりも形質細胞と結合しにくい。
- (い) 軽症患者の赤血球よりも形質細胞と結合しやすい。
- (う) 形質細胞との結合のしやすさは、軽症患者の赤血球と同程度である。

II群：

- (a) 軽症患者よりも赤血球に存在するタンパク質AとBの複合体の量が増加しているから。
- (b) 軽症患者よりも赤血球に存在するタンパク質AとCの複合体の量が増加しているから。
- (c) 軽症患者よりも赤血球に存在するタンパク質BとCの複合体の量が増加しているから。

問5 マラリア重症患者の体液中の抗体の濃度は、軽症患者と比べてどのようなであると推測されるか。以下の(あ)～(う)より最も適切なものを1つ選び、記号で答えよ。また、その理由を赤血球の性質の違いを含めて説明せよ。ただし、体液1 mLあたりの形質細胞の数も、マラリアに感染した赤血球の数も、軽症患者と重症患者で差はないものとする。

- (あ) 軽症患者よりも抗体の濃度は高くなっている。
- (い) 軽症患者よりも抗体の濃度は低くなっている。
- (う) 軽症患者の抗体の濃度と同程度である。