

生物

1 次の文章を読んで下の質問に答えなさい。

私たちの身体を構成する細胞は分裂して2つの娘細胞をつくる。この過程は個体発生において重要であるだけでなく、成体においても組織・器官を維持するために必須である。例えば、血液の有形成分である赤血球、白血球、血小板は骨髄中の造血幹細胞から供給され、絶えず置き換えられている。

増殖している細胞は、細胞分裂を行う分裂期（M期）と、分裂期以外の間期を繰り返している。この周期性を細胞周期という。細胞周期において間期は分裂の準備をする時期であり、時間経過の順にG₁期（DNA合成準備期）、S期（DNA合成期）、G₂期（分裂準備期）に分けられる。

真核細胞では、DNAはヒストンというタンパク質から成る円盤状の構造の周りに巻きついて、ヌクレオソームとよばれる構造を形成している

（図1）。ヌクレオソームは、DNAの約200塩基対ごとに1つ反復して配置されており、ゲノム全体では膨大な数に及ぶ。この数珠状につながったヌクレオソームはさらに折りたたまれ、クロマチン繊維を形成している。

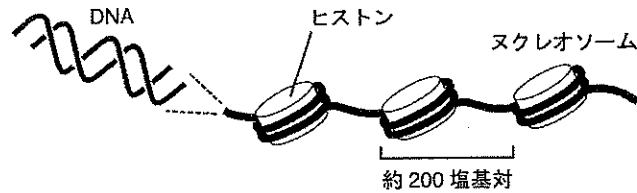
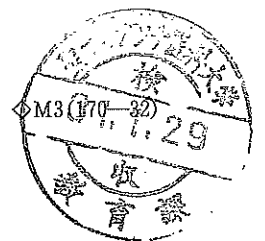


図1

S期には、DNA複製フォークの進行に伴い、ヒストンは一旦DNAから解離し、DNA複製後にヌクレオソームが再構築されることになるので、新たに合成されるDNAを収納するために大量のヒストンを用意する必要がある。しかし一方で、ヒストンを人為的に過剰発現させると、転写の異常や染色体の不安定化が引き起こされることから、過剰な遊離のヒストンの存在は細胞にとって好ましいことではないと考えられている。

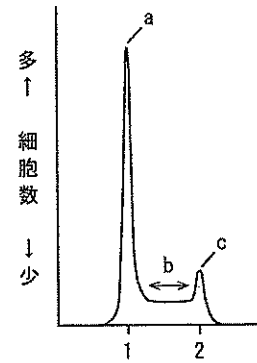
- [1] 幹細胞とはどのような細胞か、その特徴を箇条書きで2つ挙げなさい。
- [2] ある人の血液量が4.8L、赤血球数が 5.0×10^6 個/ μL で一定であるとする。この人において、赤血球は1秒当たり何個が新たに供給されているか。ただし、赤血球の寿命は120日とする。
- [3] ヒストンは塩基性アミノ酸に富んでおり、生理的なpHでは正に荷電する。このことはヌクレオソームの構築にどのような意義をもつか、1行で説明しなさい。
- [4] ヒストンは、真核生物の進化の過程で最もよく保存されているタンパク質の1つである。例えば、ヒストンの1種であるヒストンH4は、ウシとエンドウマメの間で全102アミノ酸中2個しか置換が起きておらず、しかもその置換は、リシンからアルギニン（ともに塩基性）、バリンからイソロイシン（ともに疎水性）への置換である。なぜ、ヒストンは進化の過程で保存性が高いと考えられるか、3行以内で説明しなさい。
- [5] ヒトの二倍体の体細胞には何個のヌクレオソームがあるか。ただし、この細胞はG₀期にあり、



ヒトのゲノムサイズは 3×10^9 塩基対、ヌクレオソームは DNA の 200 塩基対ごとに 1 つあるとする。

[6] 細胞周期の進行とヒストン遺伝子の発現について調べた実験を以下に示す。それを読み、1) ~ 5) の間に答えなさい。

[実験 1] 増殖をしている、ある哺乳類から得られた細胞の集団 (以下、単に培養細胞とする) について、DNA をある色素で染色し、その染色の度合いから細胞個々に含まれる DNA 量を見積もった。図 2 に、染色の程度から見積もられた細胞あたりの DNA 量と、それぞれの DNA 量をもつ細胞の数との関係をまとめた。



細胞 1 個あたりの DNA 量 (相対値)

図 2

[実験 2] 実験 1 の培養細胞の集団から M 期の細胞を集め、アフィディコリンを添加した。ここでアフィディコリンとは、真核生物の DNA ポリメラーゼの活性を特異的に可逆的に阻害する化合物である。12 時間後にアフィディコリンを培地から除いて (以後これをリリースとよぶ) 培養を続け、2 時間おきに個々の細胞に含まれる DNA 量を実験 1 で述べたように調べたところ、図 3 のような結果が得られた。なお、それぞれのグラフ右上の数字は、リリース後の時間を表す。

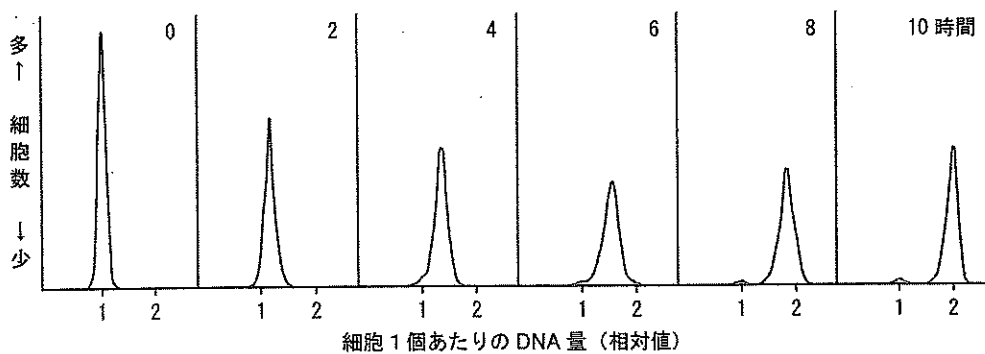


図 3

[実験 3] 実験 2 と同様に M 期の細胞を集め、そこにアフィディコリンを添加して 12 時間後にリリースした。リリース後 1~2 時間おきに細胞集団の一部を取り分け、 ^3H を含むチミジン (塩基チミンを含む) を加えて 10 分間置いた。その後 ^3H -チミジンを培地から除き、細胞に取り込まれた ^3H を測定した。また、同じタイミングで細胞に含まれるヒストン mRNA を定量した。図 4 は、リリース後 14 時間までの様々な時点における ^3H の取り込み量、およびヒストン mRNA の量を示している。いずれのデータも、リリース直後に調べた値を 1 とし、その相対値で表している。



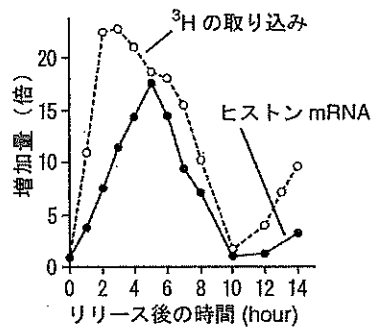


図4

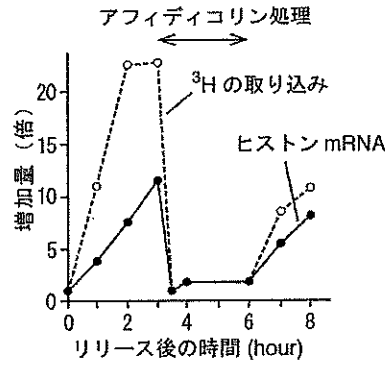


図5

[実験4] 実験3と同様に、細胞に取り込まれた³Hとヒストン mRNA量をリリース後1~2時間おきに調べた。ただしこの実験では、リリース後3~6時間に再びアフィディコリン処理を行った。その結果を図5に示す。

- 1) 図2の a, b, c は、それぞれ細胞周期のどの時期にあるか。
- 2) 実験2について、この細胞集団の細胞周期の進み方にある特徴がみられる。どのような特徴がみられるか、1行で説明しなさい。
- 3) 実験3、4において、細胞に取り込まれた³Hを測定し比較することで何が分かるのか、1行で説明しなさい。
- 4) 実験3、4の結果から、ヒストンの発現にはどのような特徴があると考えられるか、1行で説明しなさい。
- 5) 上で答えたようなヒストンの発現様式は、細胞にとってどのような意義があると考えられるか、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。

私たちの身体は免疫系により病原体などの様々な異物から守られている。顆粒白血球やマクロファージのような細胞が示す食作用によって異物を排除しようとするシステムは、無脊椎動物から脊椎動物まで広く見出され、(①)免疫とよばれる。さらに脊椎動物には、リンパ系の細胞が特定の異物を認識して排除する(②)免疫というシステムが存在する。(②)免疫は、抗体が関係する(③)免疫と、抗体が直接は関係しない(④)免疫とに大別される。抗体の実体は(⑤)と総称されるタンパク質である。(⑤)の中でも代表的なIgGというタンパク質は、H鎖(重鎖)とL鎖(軽

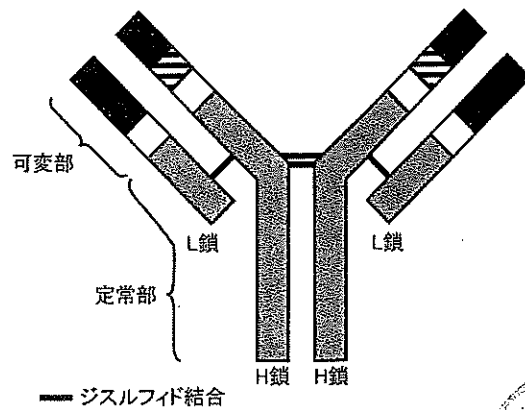
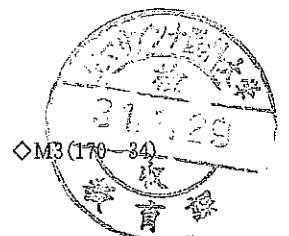


図6



鎖)が2本ずつジスルフィド結合(S-S結合)し、全体としてY字状の構造をとる(図6)。Y字の先端部分は可変部とよばれ、その立体構造は抗体分子により異なる。可変部に存在する抗原結合部位は、それと正確に合致する抗原の特定部分(抗原決定部位)に結合することで、高い抗原特異性を示す。

脊椎動物は、多種多様な抗原に対応するため、たくさんの種類の抗体を作り出す。図7は抗体の遺伝子を模式的に示したものである。H鎖の可変部はV領域、D領域およびJ領域とよばれる3つの領域から、またL鎖の可変部はV領域およびJ領域の2つの領域から構成される。動物の染色体上では最初、V、D、J領域それぞれについて複数の遺伝子断片が直列に存在しているが、B細胞の成熟過程で各領域ごとにランダムに1つの遺伝子断片が選ばれて再編成され、B細胞ごとに1種類の抗体のアミノ酸配列が決まる。このようなDNAの再編成が完了してはじめて抗体分子が作られるようになる。

(a) なかには自己の抗原と反応するB細胞が作られるが、このような細胞は成熟の途上でかなりのものが死滅する。さらにわずかに血中に出てきた自己の抗原に反応するB細胞は働きが抑制されたりするので、通常自己を攻撃する抗体は産み出されない。この結果基本的に非自己の抗原にのみ対応する抗体を産み出す膨大な種類のB細胞の集団がつくられる。

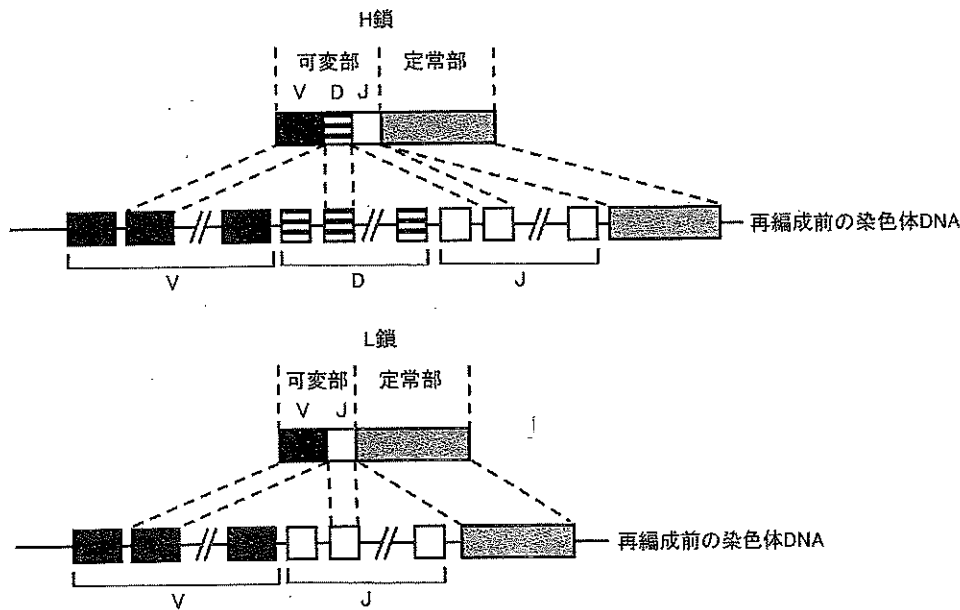
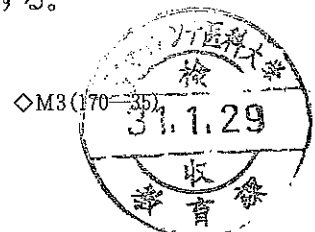


図7

1種類の抗体を産み出すB細胞の数は、その抗原による刺激を受けない限り全身で100個程度だといわれている。異物が体内に侵入すると、それに応じて特定のB細胞が増殖して旺盛に抗体を産生し、異物を排除・無毒化する。この過程には樹状細胞およびヘルパーT細胞とよばれる細胞の関与がある。成熟したB細胞は主に全身のリンパ節を巡回していて、この段階では(⑤)は膜タンパク質の形をとっており、特にB細胞受容体とよばれる(図8)。このB細胞受容体の抗原に対する特異性は後にその細胞により分泌される抗体と同一である。細菌などの異物やその断片がリンパ節にまで及んでくると、異物の抗原決定部位と特異的に結合するB細胞受容体をもったB細胞が、異物を細胞内に取り込んで消化する。B細胞には抗原提示細胞としての性質があり、消化した異物タンパク質の断片を主要組織適合遺伝子複合体(MHC)クラスIIとよばれる膜タンパク質と共に細胞表面に提示する。一



方、感染の現場では、樹状細胞も異物を食べ込んだ後、付近のリンパ節に移動して異物タンパク質の断片を MHC クラス II にのせて提示する（図 8 には示されていない）。樹状細胞が提示した“異物タンパク質断片+MHC クラス II”複合体は、それと特異的に結合できる T 細胞受容体をもつヘルパー T 細胞によって認識される。こうして異物を認識し活性化されたヘルパー T 細胞は、(b) 樹状細胞が提示していたのと同じ“異物タンパク質断片+MHC クラス II”を提示する B 細胞と出会うとサイトカインやその他の補助刺激分子による刺激を B 細胞に送り、その B 細胞を強く活性化し、盛んな細胞増殖と抗体産生を引き起こす（図 8）。

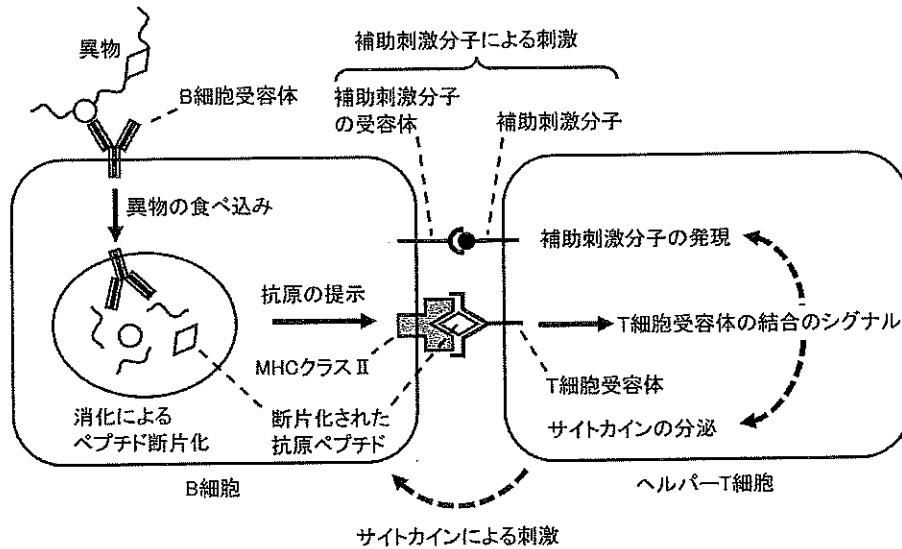
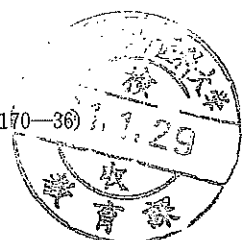


図8

- [1] 文中の空欄 (①) ~ (⑤) に入る適切な語を答えなさい。
- [2] H 鎖の V 領域は 51、D 領域は 27、J 領域は 6 の遺伝子断片、L 鎖の V 領域は 40、J 領域は 5 の遺伝子断片から成るとすると、理論上何種類の抗体分子が生成され得るか。
- [3] 下線部 (a) の過程はヒトにおいては体内のどこで進行するか。
- [4] T 細胞はヒトの体内のどこで成熟するか。
- [5] ペプチド断片を結合した MHC クラス I を認識することにより活性化される T 細胞の名称は何か。さらに、その細胞の機能を 1 行で述べなさい。
- [6] 体細胞は両親から受け継いだ遺伝子をもっており、対立遺伝子は通常両方が発現する。それにもかかわらず 1 個の B 細胞は 1 種類に限って抗体を産み出すのはなぜか、下の選択肢 (ア) ~ (オ) から最も適切と考えられるものを 1 つ選びなさい。
- (ア) 2 種類できる抗体タンパク質のうち、1 種類に限って細胞外に放出されるため。
- (イ) B 細胞は成熟の過程で減数分裂を行うため。
- (ウ) 対立遺伝子が全く同じパターンで再編成されるため。
- (エ) 対立遺伝子のうち一方のみが完全に再編成されるため。
- (オ) 抗体遺伝子は性染色体上に存在するため。



[7] ある抗体についてその抗原特異性を確かめたところ、病原体 X に加え別の病原体 Y に対しても強く結合した。その理由として考えられることを 1 行で述べなさい。

[8] 下線部 (b) について。このシステムでは、B 細胞受容体が認識するペプチドの一部 (図 8 中○) と、ヘルパー T 細胞が認識するペプチド断片 (図 8 中◇) は、ほとんどの場合同じ異物中の異なる部位で、これらの両方がセットで認識されて初めて旺盛な抗体産生が始動される。このことは自己を防御するうえでどのような優れた点があると考えられるか、問題文を踏まえて 3 行以内で述べなさい。

3 動物の感覚器に関する、以下の質問に答えなさい。

[1] ヒトやその他の動物は多様な受容器 (感覚器) で感覚を得ている。表 1 に、ヒトの眼、耳、鼻、舌における適刺激と、得られる感覚の一覧を示す。

表 1

	受容器	適刺激	感覚
眼	I. 網膜	光	視覚
耳	II. うずまき管 (コルチ器)	音波 (空気の振動)	⑤
	III. 前庭	①	
	IV. 半規管	②	
鼻	V. 嗅上皮	③	嗅覚
舌	VI. 味蕾	④	味覚

1) 表中の空欄 ① ~ ⑤ に入る適切な語句を答えなさい。③ および ④ については両者の相違が明確になるよう解答しなさい。

2) 表 1 に記された 6 種の受容器のうち、自己受容器に属するものを全て選び、I ~ VI の記号で答えなさい。

[2] ヒトが音波を受容し、音を認知するまでの過程について、1) ~ 4) の間に答えなさい。

1. 音波 (空気の振動) → 2. (あ) の振動
- 3. (い) による振動の増幅 → 4. 卵円窓 (前庭窓) への振動伝達
- 5. (う) の振動 → 6. (え) の振動
- 7. (お) に接する感覚毛の屈曲 → 8. 聴細胞の興奮
- 9. 聴神経による聴覚野への伝達 → 10. 聴覚野による音の認知



1) 前頁の経路中の空欄 (あ) ~ (お) に入る適切な語を下の選択肢 (ア) ~ (サ) から選び、記号で答えなさい。ただし、選択肢はそれぞれ1度しか使えないものとする。

- (ア) おおい膜 (イ) 外リンパ (ウ) 基底膜 (エ) 鼓膜
 (オ) 耳殻 (カ) 耳管 (キ) 耳小骨 (ク) 耳石
 (ケ) 前庭 (コ) 内リンパ (サ) 半規管

2) 中耳内および中耳に接する境界上で起こるのはどれか、前頁の経路 1. ~ 10. から全て選び、数字で答えなさい。

3) 聴覚野はどこか。解答用紙に示された図に、該当するおおよその部位を塗りつぶして示しなさい。

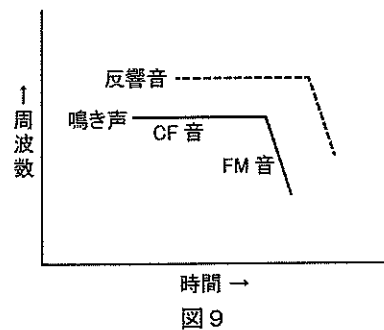
4) 以下の文 (a) ~ (e) について、文が正しい場合は解答欄に○を記入しなさい。文が誤っている場合は、下線部の語を訂正しなさい。

- (a) 耳石と聴細胞とでコルチ器を構成する。
 (b) 卵円窓は鼓膜よりも面積が小さい。
 (c) 耳管は内耳と咽頭を連絡する。
 (d) 卵円窓にきぬた骨が接する。
 (e) 基底膜は前庭階に接する。

[3] ヒトなどの多くの動物は耳の位置および形状は左右対称である。しかしメンフクロウでは、右耳はより下方に位置して上向きに開口しているが、左耳はより上方に位置して下向きに開口している。

- 1) このような左右耳の形状特徴により、メンフクロウはどのような要素で定位を行っているか、2つ挙げなさい。
 2) 1) で答えた要素でメンフクロウが精細な定位を可能にしていることが有利に働くのはどのような環境か、1行で答えなさい。

[4] コウモリには、超音波を利用して対象物（捕食対象など）を感知する種がある。その際、コウモリは一定周波数の超音波（CF音）の後に徐々に低くなる超音波（FM音）を発生し、対象物からの反響音を感知することで、対象物を定位している（図9）。鳴き声と反響音のどのような違いから何を検出しているのか、2行以内で説明しなさい。



以上

