

生物工学 I

次の[I - 1]~[I - 3]の3題を、それぞれ別の解答用紙に答えよ。

[I - 1]

以下の文章を読んで問に答えよ。

真核細胞の進化は波乱にとんだものであると現在考えられている。そのなかでも細胞内器官ミトコンドリア、(イ)の起源は(ロ)によると考えられるようになった。

この仮説によると、ミトコンドリアでは、自由生活性の好気性(ハ)がエンドサイトーシスにより原始的な嫌気性(ニ)に取り込まれたのち共生関係が確立し、ミトコンドリアの祖先になった。宿主細胞はミトコンドリアのおかげで(ホ)が使えるようになり、同じ量の燃料から作り出すエネルギーATPの量がずっと多くなり、大いに増強された。ミトコンドリアは宿主細胞内生活の方が宿主細胞外生活より安定したと考えられる。

進化の過程で、多くのミトコンドリアの遺伝子が細胞核へと移動し、そこに留まることになった。現在では、例えばヒト・ミトコンドリアの中には、ごく小さなDNAが残っている。このミトコンドリアDNAには独特の性質が見られる。

- ・ 他の複雑な多細胞生物の染色体には見られない環状の二重らせん構造である。
- ・ ミトコンドリアの(ヘ)が細胞核の染色体で使われている普遍的な(ヘ)とわずかに違う。
- ・ ミトコンドリア遺伝子には、酸素を捕まえる酵素を作り出す遺伝コードが書かれている。ミトコンドリアの仕事を支配する遺伝子の多くは、細胞核の(ト)内にある。

ヒトの卵子(チ)には多数のミトコンドリアが詰め込まれている。それに比べ、精子のミトコンドリアは卵子まで泳いでいくときに必要なエネルギーの分しか含まれていない。受精すると核DNAだけが卵子に移り、あとは捨てられる。そのため、受精卵には両親からの核DNAがそろおうが、(リ)DNAは卵子の細胞質にあったものしか残っていない。すなわち、一般的には(リ)DNAは(ヌ)遺伝である。

ミトコンドリアにしても、細胞核にしても、細胞分裂に伴うコピー作業中にDNAの(ル)が発生することがある。細胞には間違いを修復するメカニズムがあり、大抵の間違いは訂正されるが、それでも生き延びる間違いもある。そのような(ル)が生殖細胞を生み出す細胞で起きた場合、そのまま次世代に受け継がれることがある。ミトコンドリアDNAで発生する突然変異は、核DNAでのそれと比べて非常に多く発生する。言い換えると、(ヲ)の進みかたは細胞核よりミトコンドリアの方が(ワ)。従って、類人猿の分岐のような最近の分子進化を検討するには、ミトコンドリアDNAは都合のよい道具である。

(問1)上の文章中の(イ)~(ワ)の中に適当な言葉を下欄から選んで答えよ。

細菌、二酸化炭素、酸素、染色体、突然変異、速い、遅い、葉緑体、細胞内共生、真核細胞、ミトコンドリア、遺伝コード表、分子時計、母系、細胞質

1711 17-1

(次のページに続く)

(問2) ヒト・ミトコンドリアのDNA、RNA、タンパク質の配列を読み比べたところ、以下のように配列を重ね合わせることが出来たという報告がある。これが正しいとして、以下の間に答えよ。ただし、DNA、RNA、タンパク質の開始部分、終了部分のみ表示してあり中間の部分は……で略記してある。下線を付けた部分はtRNAをコードする領域である。アミノ酸名はコドンの第二番目の塩基の下に1文字表記で示した。*は終止コドンである。普遍的遺伝コード表のアミノ酸名も1文字表記で示した。

tRNA ^L	tRNA ^I	
5' <u>TTCTTAACAACATACCCAT</u>CTCAAACCTAAGAAATATG 3'		DNA
ACAUACCCAU.....CUCAAACCUAAAAAAAAA		mRNA 13
M P	Q T *	タンパク質 13

tRNA ^D	tRNA ^K	
5' <u>TATATCTTAATGGCACATG</u>CTCTAGAGCCCCTGTAAA 3'		DNA
AUGGCACAUG.....CUCUAGAGCCAAAAAAAAA		mRNA 16
M A H	S *	タンパク質 16

tRNA ^R	tRNA ^H	
5' <u>ATTTACCAAATGCCCTCA</u>TTTTCTCTTGTAATATA 3'		DNA
AUGCCCUCA.....UUUCCUCUAAAAAAAAA		mRNA 7
M P L	F S S *	タンパク質 7

(a) 3つの例からヒト・ミトコンドリアのタンパク質合成の開始についてのコードの使われ方及びmRNAの構造が、細胞質でのそれらとどこが違うか述べてよ。

(b) 3つの例からヒト・ミトコンドリアのタンパク質合成の停止についてのコードの使われ方及びmRNAの構造が、細胞質でのそれらとどこが違うか述べてよ。

普遍的遺伝コード表

	U	C	A	G		←二文字目
U	F	S	Y	C	U	
	L		stop	stop	A	C
C	L	P	H	R	U	
			Q		A	
					G	
A	I	T	N	S	U	
			K	R	C	
G	V	A	D	G	A	
			E		U	
					C	
					A	↑ 三文字目
					G	

1文字表記によるアミノ酸名

F: フェニルアラニン	W: トリプトファン
L: ロイシン	R: アルギニン
I: イソロイシン	G: グリシン
M: メチオニン	
V: バリン	
S: セリン	
P: プロリン	
T: トレオニン	
A: アラニン	
Y: チロシン	
H: ヒスチジン	
Q: グルタミン	
N: アスパラギン	
K: リシン	
D: アスパラギン酸	
E: グルタミン酸	
C: システイン	

(次のページに続く)

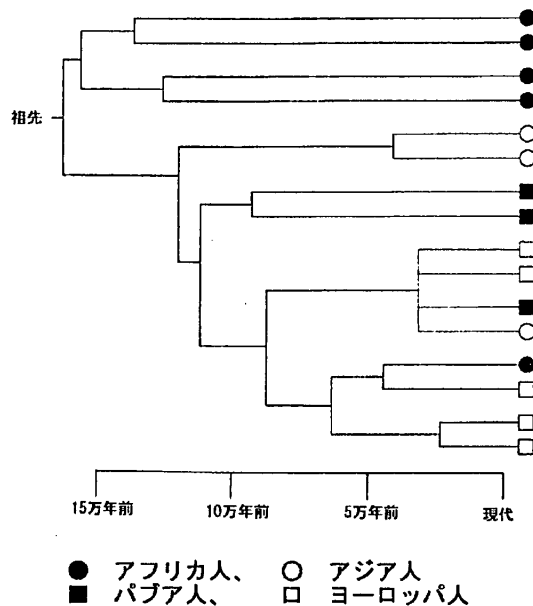
(問3) ホモ・サピエンス(現生人類)の由来には、おおよそ2つの説がある。

- ・ アフリカで発生したホモ・エレクトスが100万年前ぐらいに旧大陸へ移動し、それらが、各地で独自に進化してホモ・サピエンスになったという説。
- ・ ホモ・エレクトスがアフリカから旧大陸に移動したあと、それよりずっと近い過去にホモ・サピエンスがアフリカで発生し、それが旧大陸に移動してホモ・エレクトスに取って代わって現在に至ったという説。

いろいろな人種に属する16個体のミトコンドリアDNAを採取した。その配列を比べるために制限酵素の切断パターンを調べたところ、下図のような系統樹がかけた。

(a) 制限酵素の切断パターンを使うと、何故DNAの配列を比較できるのか簡単に述べよ。

(b) 下図の結果が正しいとすれば、この結果はホモ・サピエンスの由来に対する2つの仮説のうちどちらの説を支持するものか。理由も述べよ。



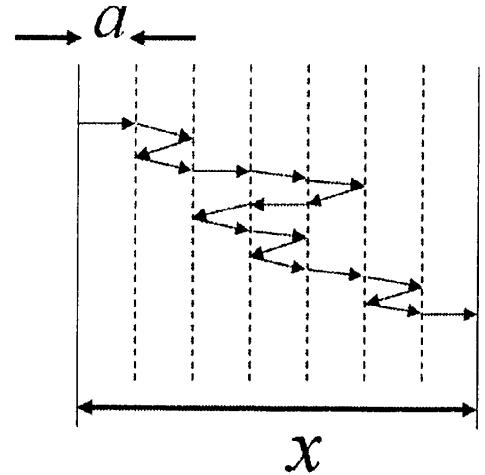
(問4) ミトコンドリアの起源は、好氣的細菌が細胞内共生したことによる。その結果、真核細胞は進化した。自然選択説では、種の分岐についてどのように説明するかを細胞内共生説との違いの観点から述べよ。

713 17-3

[I - 2]

以下の文章を読んで、空欄アからコに当てはまる適切な数式または記号を答えよ。

十分多数の n 個の要素からなる鎖が右図のように1次元的に相連なっている(右図は概念図であり、縦軸は空間的な広がりを意味しないことに注意せよ)。それぞれの要素の長さを a 、鎖の両端距離を x 、鎖の温度は熱浴と同じ T とする。鎖の関節は自由に折れ曲がるものとする。このような鎖はバネ的な性質を示し、鎖の両端距離を x に保つためには、両端に力(張力) X を加えなければならない。張力 X と、鎖の両端距離 x および温度 T の関係を求めてみよう。鎖の両端距離が x であるような要素の配列(鎖の状態)は複数個ある。鎖の状態は、鎖の左端から始めて、順番に要素が右向き(+と表記)であるか、左向き(-と表記)である



かで指定することができる。たとえば、図に示した状態は、+と-を用いて と表せる。右向きの要素の数を n_+ 、左向きの要素の数を n_- とすると、 $n = n_+ + n_-$ であり、距離 x は n_+ 、 n_- および a を用いて、 $x =$ と表せる。これらを n_+ 、 n_- について解くと、 $n_+ =$ 、 $n_- =$ となる。同一の x 、したがって同一の n_+ と n_- を与える配列の数 $W(x)$ は、 n_+ 、 n_- 、 n を用いて、 $W(x) =$ となる。このとき系のエントロピー $S(x)$ はボルツマン定数 k と $W(x)$ を用いて、 $S(x) =$ とかける。 $N \gg 1$ に関する Stirling の公式 $\log N! \sim N \log N - N$ を利用し、 $S(x)$ を x 、 n 、 a および k を用いて表すと、 $S(x) =$ となる。この系の Helmholtz 自由エネルギーを $F(T, x)$ とすると、鎖の両端距離が x に保た

れているときの張力は $X = \left(\frac{\partial F}{\partial x} \right)_T$ である。Helmholtz 自由エネルギーは、系の内部エネルギー U 、温度 T 、

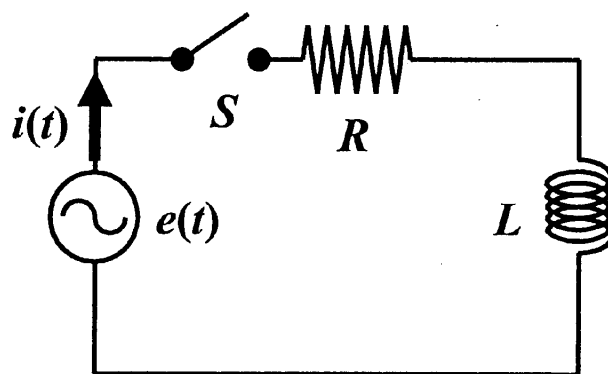
エントロピー S を用いて、 $F =$ とかける。今、鎖は自由に折れ曲がるとしているので、内部エネルギー U は x に依存しないことに注意して、張力を x 、 n 、 a 、 k および T で表わすと、 $X =$ となる。

さらに、 $x \ll na$ として張力を x に関して展開すると、小さな x に対してこの鎖はフックの法則に従い、そのバネ定数は温度に依存して、 となる。

714 17-4

[I - 3]

図に示すように、電源 $e(t)$ 、抵抗 R 、インダクタ L 、スイッチ S から構成される回路があり、回路を流れる電流を $i(t)$ とする。ただし、 t は時間である。



図：RL 回路

$t=0$ においてスイッチをオンにした場合、以下の問に答えよ。なお $i(0)=0$ とする。

(問1) $t>0$ における $e(t)$ と $i(t)$ の関係を、微分方程式で表せ。

(問2) $e(t)$ と $i(t)$ のラプラス変換を各々 $E(s)$ と $I(s)$ とした場合、 $E(s)$ と $I(s)$ の関係を代数方程式で表せ。

(問3) $\cos\omega_0 t$ のラプラス変換を求めよ。

(問4) $e(t)=E_0\cos\omega_0 t$ とした場合、 $I(s)$ を求めよ。

(問5) 問4で求めた $I(s)$ を逆ラプラス変換して、 $i(t)$ を求めよ。

715 17-5