

強者の戦略

【生物：第4回：「生物の試験なのに突然『日本地図』や『頻度・確率』が出てきたら,,」

2009年東京大学前期試験より】

センター試験も終わり、二次試験の出願も終わり、志願校へ向けて一直線で勉強している今日この頃では？
ということで、今回は最高学府である東京大学の昨年の入試問題を対象にしてみました。

【3】 次の文1と文2を読み、IとIIの各問に答えよ。

〔文1〕

私たちの遺伝子には、私たちの生物としての歴史が書き込まれている。今日、ヒト(ホモ・サピエンス)の起源と進化に関する研究では、遺伝子の研究が大きな役割を果たしている。そのなかで注目されたのが、⁽⁷⁾細胞小器官のひとつであるミトコンドリアである。

ミトコンドリアは、好氣的呼吸によってエネルギーを[1]という物質として取り出す働きをしている。ミトコンドリアの内部に突出する多数のひだは[2]と呼ばれ、ここに[1]を合成する酵素が存在する。一方、中央の部分はマトリックスと呼ばれ、ここには核DNAとは異なるミトコンドリアDNAが存在する。ミトコンドリアDNAの分子は、ひとつの細胞に数百から数千個と多数含まれるので、DNA分子が数多く必要だった従来の方法でも、分析が比較的容易であった。今日では、高温でも機能を失わないDNAポリメラーゼを用いてDNAを人工的に増幅する手法である[3]によって、微量のDNAでも分析できる。

ミトコンドリアDNAに突然変異が蓄積する速度は、核DNAに比べて5~10倍ほど速い。特に、遺伝子をコードしていないDループとよばれる領域では、⁽⁸⁾コード領域よりも多くの突然変異が発見されている。そのため、突然変異を目印にして集団の関係を調べるのによく用いられる。

また、ミトコンドリアDNAは、母親由来のミトコンドリアDNAしか子供に伝わらない母性遺伝で子孫に伝わる。⁽⁹⁾このミトコンドリアDNAの遺伝様式は、ヒト集団の起源や系統関係を調べるのに適している。現在のヒト集団を広く調べたところ、現代人のもつミトコンドリアDNAは、約10万年から20万年前のアフリカにいた女性に由来する可能性が示された。その結果は、化石の研究によるアフリカ単一起源説とよく一致している。

〔文2〕

ミトコンドリアDNA以外のヒトの遺伝子にも、私たちの進化の歴史が刻まれている。身近な遺伝的多型であるABO式血液型も例外ではない。たとえば、現代の日本人集団では、A型をあらわす遺伝子の割合(遺伝子頻度)について、九州・四国・本州における、図3-1のような地理的勾配が観察される。⁽¹⁰⁾これは現在の日本人を形成した祖先集団の影響であると考えられる。

ヒトのABO式血液型は1900年に発見された、最も古くから知られる血液型である。発見当初、ABO式血液型は、独立した2対の対立遺伝子A、aとB、bによって決定する、という説が有力だった。それぞれ、遺伝子Aと遺伝子Bが優性である。これを仮説1とする。⁽¹¹⁾しかし、仮説1ではAB型の親から生まれる子供の血液型の出現頻度をうまく説明することができない。

強者の戦略

そこで、別の仮説(仮説 2)が提唱された。仮説 2 では、3 つの複対立遺伝子 α , β , o があると考ええる。遺伝子 α と遺伝子 β は、それぞれ遺伝子 o に対して優性であるが、遺伝子 α と遺伝子 β の間に優劣はない。それぞれの仮説における、各血液型に対する遺伝子型を表 3-1 に示す。

この 2 つの仮説の妥当性を検証するために、集団の血液型頻度から各遺伝子の遺伝子頻度を計算してみよう。まず、仮説 1 で遺伝子 a の遺伝子頻度を p_a とすると、遺伝子 A の遺伝子頻度は $1-p_a$ となる。同様に、遺伝子 b と B の遺伝子頻度は、それぞれ p_b および $1-p_b$ である。一方の仮説 2 における 3 つの遺伝子 α , β , o の遺伝子頻度を、それぞれ p_α , p_β , p_o とすると、それらの 3 つの合計は 1 になる。それぞれの遺伝子頻度が、世代を経ても増減しないと仮定すると、表 3-2 に示したように A 型の血液型頻度は、仮説 1 では $(1-p_a)^2 p_b^2$ 、仮説 2 では $p_\alpha^2 + 2p_\alpha p_o$ となる。⁽¹⁾ それぞれの仮説から導かれる血液型頻度と、実際のヒト集団の血液型頻度を比較することで、2 つの仮説の妥当性を検証できる。 多くのヒト集団で血液型の調査がなされた結果、今日では仮説 2 が広く認められている。

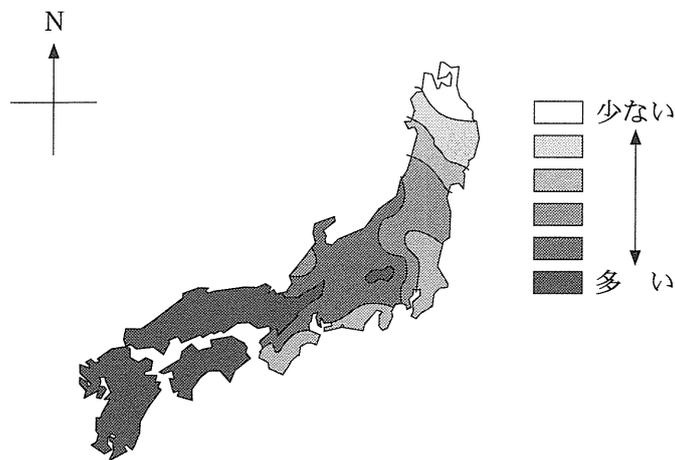


図 3-1 現代(20 世紀中頃)の九州・四国・本州における A 型をあらわす遺伝子の頻度の地理的勾配

表 3-1 ABO 式血液型と仮説 1 および仮説 2 における遺伝子型

血液型	仮説 1 による遺伝子型	仮説 2 による遺伝子型
O 型	$aabb$	oo
A 型	$Aabb, AAbb$	$\alpha\alpha, \alpha o$
B 型	$aaBb, aaBB$	$\beta\beta, \beta o$
AB 型	$AaBb, AaBB, AABb, AABB$	$\alpha\beta$

強者の戦略

表 3-2 仮説 1 および仮説 2 における各 ABO 式血液型の頻度

血液型	仮説 1 による血液型頻度	仮説 2 による血液型頻度
O 型	$p_a^2 p_b^2$	p_o^2
A 型	$(1-p_a^2) p_b^2$	$p_a^2 + 2p_a p_o$
B 型	$p_a^2 (1-p_b^2)$	4
AB 型	$(1-p_a^2) (1-p_b^2)$	5

〔問〕

I 文 1 について、以下の小問に答えよ。

A 空欄 1~3 に入る最も適切な語句を記せ。

B 下線部(ア)について。ミトコンドリアや葉緑体などの細胞小器官の起源は、原始的な真核生物の細胞内に共生した原核生物だという説がある。その説を支持すると考えられる事実を 2 つ答えよ。

C 下線部(イ)について。ミトコンドリア DNA においてコード領域よりも、D ループで多くの突然変異が発見された理由として考えられることを、2 行程度で述べよ。

D 下線部(ウ)について。ヒト集団の起源や系統関係を調べるためには、祖先でおこった突然変異を子孫が共有することを目印として、個体間や集団間の関係を解析する。母性遺伝というミトコンドリア DNA の遺伝様式が、ヒトの系統解析に適している理由について、以下の(1)~(5)の中から適切なものをすべて選べ。

- (1) ヒトのミトコンドリア DNA は組換えを考慮しなくてよいので、遺伝的変異が突然変異にのみ由来するため。
- (2) 卵のミトコンドリア DNA の分子数は、精子のそれよりも多いので、突然変異が蓄積しにくいから。
- (3) 卵形成過程の極体放出により、突然変異をおこした DNA が除去されるので、卵のミトコンドリア DNA には突然変異が蓄積しにくいから。
- (4) DNA を傷つける活性酸素の濃度が、卵母細胞では精母細胞よりも高いので、ミトコンドリア DNA の突然変異が卵で多くおこるから。
- (5) たとえば 5 世代さかのぼったとき、核 DNA は最大 32 人の祖先に由来するが、ミトコンドリア DNA では 1 人の祖先に由来するため。

E ミトコンドリア DNA では父方の遺伝情報について調べることができない。ヒト集団について、父系の系統関係を調べる対象として、最も適しているものを 1 つ答えよ。

強者の戦略

II 文2について、以下の小問に答えよ。

A 下線部(エ)について。日本列島には、もともと縄文系集団が住んでいたが、弥生時代のはじめに、大陸に由来する渡来系集団が九州北部にあらわれた。現代の日本人はこれらの遺伝的に異なる2つの集団に、おもに由来すると考えられている。このことから、A型をあらわす遺伝子の頻度が現代において地理的に均一ではなく、図3-1のような地理的勾配を示す理由として、どのようなことが考えられるか、2行程度で述べよ。ただし、もともとの縄文系集団においては、A型をあらわす遺伝子の頻度は地理的に均一だったとする。またABO式血液型の遺伝子型によって生存や生殖に有利・不利はないものとする。

B 下線部(オ)について。AB型の親から生まれる子供の血液型について、仮説1では説明できない現象がみられる。どのような現象か、1~2行で述べよ。

C 表3-2の空欄4と5それぞれに入る血液型頻度について、 p_a 、 p_b 、 p_o を用いて答えよ。

D 下線部(カ)について。ある集団で各ABO式血液型の個体数を調査したところ、表3-3のデータを得た。仮説1では、A型の血液型頻度 $(1-p_a^2)p_b^2$ と、O型の血液型頻度 $p_a^2p_b^2$ を合計すると p_b^2 となる。表3-3のデータから、この集団における遺伝子 b の遺伝子頻度は0.9と推定できる。同様に、B型とO型の血液型頻度を合計した値から、遺伝子 a の遺伝子頻度は0.7と推定される。

(a) 仮説1から期待されるAB型の人数は、この集団では何人になるか。有効数字2桁で答えよ。

(b) 同様に、A型とO型の血液型頻度を用いて、仮説2の遺伝子 β のこの集団における遺伝子頻度を計算し、有効数字2桁で答えよ。

(c) 仮説2から期待されるAB型の人数は、この集団では何人になるか。有効数字2桁で答えよ。

表3-3 あるヒト集団におけるABO式血液型の個体数

血液型	個体数(合計300人)
O型	109
A型	134
B型	38
AB型	19

《大問3問で75分》