

84. 生命の起源と代謝系の進化

A.

原始大気の組成

	ミラーの時代の考え	現在の考え	熱水噴出孔
C 源	CH ₄	CO・CO ₂	CH ₄
N 源	NH ₃	N ₂	NH ₃ ・N ₂
H 源	H ₂ ・H ₂ O	H ₂ O	H ₂ S

ミラーの時代は木星型惑星から、現在は地球型惑星から大気組成を考えている。

地球型惑星（水星・金星・地球・火星）

岩石でできた固い地表をもち、中心部に金属鉄の核をもつ。

大気は隕石が衝突した際に発生する N₂、H₂O、CO₂ を主成分とする。

CO₂ のため酸化的である。

木星型惑星（木星・土星）

地球の約 10 倍と非常に大きく、中心部から地球の大きさ程度の鉄や岩石や氷でできた核、金属水素、液体水素、大気は H₂ と He で構成されている。

体積のほとんどは H₂ や He でできているため、密度が小さい。

H が多いので還元的である。

天王星型惑星（天王星・海王星）

地球の 4 倍程度で、外見は木星型惑星と同様ガス惑星である。

中心部から鉄や岩石や氷でできた核、氷、液状水素、大気は H₂ と He で構成されている。

B.

嫌気性発酵型生物 → 嫌気性光合成生物 → 酸素発生型光合成生物

→ 好気性化学合成生物 → 好気呼吸生物

89. ヒトの進化

問 3

a.

眼窩上隆起の役割は硬いものをかむときの力を受け止め、頭骨を強固にすること。

新人になると調理し、やわらかい食物を口にできるようになったので小さくなった。

b.

木の間を移動するとき距離感をつかむため立体視できなければならない。

したがって、樹上生活への適応

c.

枝にぶら下がるため

したがって、樹上生活への適応

95. 遺伝子突然変異

TAC CGA CCA ACA TTC TTG AAG AAA ACC TTC TGA AAG TGA AGC ACA ACT
AUG GCU GGU UGU AAG AAC UUC UUU UGG AAG ACU UUC ACU UCG UGU UGA
Met Ala Gly Cys Lys Asn Phe Phe Trp Lys Thr Phe Thr Ser Cys 終止

問 1

AUGGCUGGUUGU

問 2

解説

Met のコドンは AUG だから、Lys のコドン AAG が AUG に変化したため。
したがって、対応する DNA が TTC から TAC に変化している。

問 3

解説

9 番目のコドン UGG が終止コドン UGA に変化したため。
したがって、対応する DNA 塩基配列が ACC から ACT に変化している。

問 4

解説

4 番目のコドン UGU が終止コドン UGA になってしまった。
ヌクレオチドが 48 より 1 個少ない 47 個になったことから、
これは、12 番目の DNA 塩基 A が欠失したのが原因である。

97. ハーディ・ワインベルグの法則(1)

問2

N の遺伝子頻度 : 60%

解法1

親集団の生殖細胞の遺伝子型の頻度について,

M の頻度を p , N の頻度を q ($p+q=1$) とすると,

補足

$p+q=1$ とする必要はないが,

$p+q=1$ とする方が処理が楽だったり, そうしないと解けない場合もあるので,

$p+q=1$ とする習慣にしたほうがいい。

子の集団の遺伝子型の頻度は,

$$(pM + qN) \times (pM + qN) = p^2MM + 2pqMN + q^2NN$$

よって,

$$N \text{ 型の頻度} = \frac{q^2}{p^2 + 2pq + q^2} \times 100\% = \frac{q^2}{(p+q)^2} \times 100\% = 100q^2\%$$

$100q^2\% = 36\%$ より,

$$q = 0.6$$

よって, N の頻度は, 60%

解法2

生殖細胞の遺伝子型 N の頻度を求めればよい。

$$16MM + 36NN + 48MN = 16(M + M) + 36(N + N) + 48(M + N) \\ = 80M + 120N$$

$$\text{より, } \frac{120}{80 + 120} \times 100\% = 60\%$$

Rh^- の遺伝子頻度 : 40%

解法

親集団の生殖細胞の遺伝子型の頻度について,

Rh^+ の頻度を p , Rh^- の頻度を q ($p+q=1$) とすると,

子の集団の表現型の頻度は,

$$(pRh^+ + qRh^-) \times (pRh^+ + qRh^-) = p^2Rh^+Rh^+ + 2pqRh^+Rh^- + q^2Rh^-Rh^- \\ = (p^2 + 2pq)[Rh^+] + q^2[Rh^-]$$

Rh^- 型の頻度は 16%だから, $q^2 = 0.16$

$$\therefore q = 0.4$$

よって, Rh^- の頻度は 40%

O の遺伝子頻度 : 50%

解法

親集団の生殖細胞の遺伝子型の頻度について,

A の頻度を p , B の頻度を q , O の頻度を r ($p + q + r = 1$) とおくと,

子の集団の表現型の頻度は,

$$\begin{aligned}(pA + qB + rO)^2 &= p^2 AA + q^2 BB + r^2 OO + 2pqAB + 2prAO + 2qrBO \\ &= (p^2 + 2pr)[A] + (q^2 + 2qr)[B] + 2pq[AB] + r^2[O]\end{aligned}$$

O 型の頻度は 25%だから,

$$r^2 = 0.25$$

$$\therefore r = 0.5$$

よって, O の遺伝子頻度は 50%

98. ハーディ・ワインベルグの法則(2)

問 1

アルビノの遺伝子型は aa だから、アルビノが生まれる交配は Aa×Aa である。

野生型集団の Aa の存在率を x とおくと、野生型集団から Aa を取り出す確率も x である。

よって、Aa×Aa の交配が行われる確率は x^2 となる。

これと 400 ペアに 1 ペアが Aa×Aa であることから、

$$x^2 = \frac{1}{400}$$

$$x = \frac{1}{20}$$

よって、

集団の個体数比は、AA : Aa = 19 : 1

$$19(A + A) + (A + a) = 39A + a$$

ゆえに、

$$\text{遺伝子 a の頻度 } q = \frac{1}{39 + 1} = 0.025$$

別解

各ペアが 4 匹ずつ子を生むとすると、400 ペアに 1 ペアが Aa×Aa であることから、子 1600 匹に 1 匹がアルビノである。

これと、 $(pA + qa)^2 = p^2AA + 2pqAa + q^2aa$ より、

$$q^2 = \frac{1}{1600}$$

よって、

$$\text{遺伝子 a の頻度 } q = \frac{1}{40} = 0.025$$

問 2

(ア)

$$p^2 + 2pq$$

(イ)

$$\frac{q}{1+q}$$

解説

1 世代の遺伝子型は, $(pA + qa)^2 = p^2AA + 2pqAa + q^2aa$ より,

$AA : Aa : aa = p^2 : 2pq : q^2$ となるはずであるが,

アルビノ aa は捕食され除去されるため,

$AA : Aa = p^2 : 2pq$ となる。

よって,

$$p^2(A + A) + 2pq(A + a) = 2(p^2 + pq)A + 2pqa \text{ より,}$$

$$A : a = p^2 + pq : pq$$

ゆえに,

$$\begin{aligned} q' &= \frac{pq}{p^2 + pq + pq} \\ &= \frac{pq}{p^2 + 2pq} \\ &= \frac{\frac{1}{2} \times 2pq + 0}{p^2 + 2pq} \\ &= \frac{pq}{p(p + 2q)} \\ &= \frac{q}{p + 2q} \\ &= \frac{q}{(p + q) + q} \\ &= \frac{q}{1 + q} \end{aligned}$$

(ウ) ~ (オ)

まず, t 世代後の遺伝子頻度の一般式を求める。 0 世代後の A の頻度は p , a の頻度は q ($p+q=1$) である。 t 世代後, A の頻度 : a の頻度 = $p_t' : q_t'$

になったとすると,

 $t+1$ 世代後, A の頻度 : a の頻度 = $p_{t+1}' : q_{t+1}'$ は,

$$(p_t' A + q_t' a)^2 = p_t'^2 AA + 2p_t' q_t' Aa + q_t'^2 aa$$

ここで, アルビノ aa は消滅するから,

$$p_t'^2 AA + 2p_t' q_t' Aa \text{ より,}$$

$$p_t'^2 (A+A) + 2p_t' q_t' (A+a) = 2p_t' (p_t'+q_t') A + 2p_t' q_t' a$$

 A の頻度 : a の頻度 = $p_t'+q_t' : q_t'$

よって,

$$p_{t+1}' : q_{t+1}' = p_t'+q_t' : q_t'$$

ここで,

$$q_{t+1}' = q_t' \text{ とすると,}$$

$$q_{t+1}' = q_t' = \dots = q$$

よって,

$$p_{t+1}' = p_t' + q$$

すなわち, p_t' は初項 p ($t=0$), 公差 q の等差数列となる。

よって,

$$p_t' = p + qt$$

ゆえに,

 t 世代後の A の頻度 : a の頻度 = $p + qt : q$

よって,

$$t \text{ 世代後の } A \text{ の頻度 } p_t = \frac{p + qt}{p + qt + q} = \frac{1 - q + qt}{1 + qt} = \frac{1 + q(t-1)}{1 + qt}$$

$$t \text{ 世代後の } a \text{ の頻度 } q_t = \frac{q}{p + qt + q} = \frac{q}{1 + qt}$$

$$(ウ) \quad t=2 \text{ より, } q'' = \frac{q}{1+2q}$$

$$(エ) \quad t=3 \text{ より, } q''' = \frac{q}{1+3q}$$

$$(オ) \quad \frac{q}{1+qt}$$

問 3

40 世代後

解説

$$\frac{q}{1+qt} = \frac{q}{2}$$

$$\frac{1}{1+qt} = \frac{1}{2}$$

$$1+qt = 2$$

$$qt = 1$$

$$t = \frac{1}{q} = \frac{1}{0.025} = 40$$

問 4

$q_t = \frac{q}{1+qt}$ より, 単調減少し, 無限に 0 に近づいていく。

99. ハーディ・ワインベルグの法則(3)

問 1

310

解説

正常遺伝子を X^A , 赤緑色覚異常遺伝子を X^a とすると,
男性 20 人に 1 人が X^aY , 19 人が X^AY だから,

$$X^A \text{ の遺伝子頻度} = \frac{19}{20}$$

$$X^a \text{ の遺伝子頻度} = \frac{1}{20}$$

したがって, 女性の場合

$$\left(\frac{19}{20} X^A + \frac{1}{20} X^a \right)^2 = \frac{361}{400} X^A X^A + \frac{38}{400} X^A X^a + \frac{1}{400} X^a X^a$$

よって,

$$\text{赤緑色覚異常遺伝子 } X^a \text{ をもつ女性の頻度} = \frac{38}{400} + \frac{1}{400} = \frac{39}{400}$$

ゆえに, 女性 3224 名のうち,

$$3224 \times \frac{39}{400} = 314.34$$

有効数字 2 桁より, 3.1×10^2 人が赤緑色覚異常遺伝子 X^a をもつ。

問 2

0.0429

解説

劣性の伴性遺伝子だから, 正常遺伝子を X^A , 疾患遺伝子を X^a と表すと,
男性 10000 人に 429 人が X^aY , 9571 人が X^AY だから,

$$X^A \text{ の遺伝子頻度} = \frac{9571}{10000} = 0.9571$$

$$X^a \text{ の遺伝子頻度} = \frac{429}{10000} = 0.0429$$

問 3

0.04

解説

女性における X^A の遺伝子頻度を p , X^a の遺伝子頻度を q ($p+q=1$) とすると,

$$(pX^A + qX^a)^2 = p^2 X^A X^A + 2pq X^A X^a + q^2 X^a X^a$$

罹患患者 X^aX^a の頻度は、 $\frac{16}{10000}$ だから、

$$q^2 = \frac{16}{10000}$$

よって、

$$q = \frac{4}{100} = 0.04$$

問 4

0.0768

解説

遺伝子型 X^AX^a の頻度を求めればよい。

$$2pq = 2 \times (1 - q) \times q = 2 \times (1 - 0.04) \times 0.04 = 0.0768$$

問 5

1 世代 : 1 2 世代 : 0.5 3 世代 : 0.75 4 世代 : 0.625 5 世代 : 0.6875

解説

0 世代の X^a の遺伝子頻度が

雌については 1.0 ということは、雌の遺伝子型は X^aX^a のみということ

雄については 0 ということは、雄の遺伝子型は X^AY のみということ

1 世代

雌

$$(X^A + X^a) \times X^A = 2X^AX^a$$

$$\therefore X^A : X^a = 1 : 1$$

$$\therefore X^a \text{ の遺伝子頻度} = 0.5$$

雄

$$(X^A + X^a) \times Y = 2X^aY$$

$$\therefore X^a \text{ の遺伝子頻度} = 1 \quad (\leftarrow 0 \text{ 世代の雌の } X^a \text{ の遺伝子頻度と同じ})$$

2 世代

1 世代後の遺伝子頻度の比は、雌では $X^A : X^a = 1 : 1$ 、雄では X^a のみだから、

雌

$$(X^A + X^a) \times X^a = X^AX^a + X^aX^a$$

$$\therefore X^A : X^a = 1 : 3$$

$$\therefore X^a \text{ の遺伝子頻度} = 0.75$$

雄

$$(X^A + X^a) \times Y = X^AY + X^aY$$

$$\therefore X^A : X^a = 1 : 1$$

$$\therefore X^a \text{ の遺伝子頻度} = 0.5 \quad (\leftarrow 1 \text{ 世代の雌の } X^a \text{ の遺伝子頻度と同じ})$$

3 世代

2 世代後の遺伝子頻度の比は、雌では $X^A : X^a = 1:3$ ，雄では $\therefore X^A : X^a = 1:1$ だから、
雌

$$(X^A + 3X^a) \times (X^A + X^a) = X^A X^A + 4X^A X^a + 3X^a X^a$$

$$\therefore X^A : X^a = 6:10 = 3:5$$

$$\left[\begin{array}{l} X^A X^A + 4X^A X^a + 3X^a X^a \\ \xrightarrow{\text{分離の法則}} (X^A + X^A) + 4(X^A + X^a) + 3(X^a + X^a) = 6X^A + 10X^a \end{array} \right]$$

$$\therefore X^a \text{ の遺伝子頻度} = 0.625$$

雄

$$(X^A + 3X^a) \times Y = X^A Y + 3X^a Y$$

$$\therefore X^A : X^a = 1:3$$

$$\therefore X^a \text{ の遺伝子頻度} = 0.75 \quad (\leftarrow 2 \text{ 世代の雌の } X^a \text{ の遺伝子頻度と同じ})$$

4 世代

3 世代後の遺伝子頻度の比は、雌では $X^A : X^a = 3:5$ ，雄では $\therefore X^A : X^a = 1:1$ だから、
雌

$$(3X^A + 5X^a) \times (X^A + 3X^a) = 3X^A X^A + 14X^A X^a + 15X^a X^a$$

$$\therefore X^A : X^a = 20:44 = 5:11$$

$$\therefore X^a \text{ の遺伝子頻度} = 0.6875$$

雄

$$(3X^A + 5X^a) \times Y = 3X^A Y + 5X^a Y$$

$$\therefore X^A : X^a = 3:5$$

$$\therefore X^a \text{ の遺伝子頻度} = 0.625 \quad (\leftarrow 3 \text{ 世代の雌の } X^a \text{ の遺伝子頻度と同じ})$$

5 世代

4 世代後の遺伝子頻度の比は、雌では $X^A : X^a = 5:11$ ，雄では $\therefore X^A : X^a = 3:5$ だから、
雌

$$(5X^A + 11X^a) \times (3X^A + 5X^a) = 15X^A X^A + 58X^A X^a + 55X^a X^a$$

$$\therefore X^A : X^a = 88:168 = 11:21$$

$$\therefore X^a \text{ の遺伝子頻度} = 0.65625$$

雄

$$(5X^A + 11X^a) \times Y = 5X^A Y + 11X^a Y$$

$$\therefore X^A : X^a = 5:11$$

$$\therefore X^a \text{ の遺伝子頻度} = 0.6875 \quad (\leftarrow 4 \text{ 世代の雌の } X^a \text{ の遺伝子頻度と同じ})$$

問 6

1 世代 : 0.667 2 世代 : 0.667 3 世代 : 0.667 4 世代 : 0.667 5 世代 : 0.667

解説

雌が生まれる確率と雄が生まれる確率は同じだから雌雄同数で考えなければならない。

雌雄同数の場合、雌の X 染色体数は雄の 2 倍である。

したがって、雌の X^A と X^a の比の合計が雄の 2 倍になるようにした後、 X^a の頻度を求める。**1 世代**雌 : $X^A : X^a = 1 : 1$ 雄 : $X^A : X^a = 0 : 1$

より、

 $X^A : X^a = 1 : 2$ $\therefore X^a$ の遺伝子頻度 = 0.667**2 世代**雌 : $X^A : X^a = 1 : 3$ 雄 : $X^A : X^a = 1 : 1$

より、

 $X^A : X^a = 2 : 4 = 1 : 2$ $\therefore X^a$ の遺伝子頻度 = 0.667**3 世代**雌 : $X^A : X^a = 3 : 5$ 雄 : $X^A : X^a = 1 : 3$

より、

 $X^A : X^a = 4 : 8 = 1 : 2$ $\therefore X^a$ の遺伝子頻度 = 0.667**4 世代**雌 : $X^A : X^a = 5 : 11$ 雄 : $X^A : X^a = 3 : 5$

より、

 $X^A : X^a = 8 : 16 = 1 : 2$ $\therefore X^a$ の遺伝子頻度 = 0.667**5 世代**雌 : $X^A : X^a = 11 : 21$ 雄 : $X^A : X^a = 5 : 11$

より、

 $X^A : X^a = 16 : 32 = 1 : 2$ $\therefore X^a$ の遺伝子頻度 = 0.667