

遺伝の究極攻略

北海道 manavee 生物科編

2013 年作成

©北海道 manavee 生物科



はじめに

さあ！センター試験も無事(?)終われば、あとは二次試験に向かってまっしぐらですね。

この時期、真っ先にやらないといけないのは、センター試験前にはおろそかになっていたはずの生物の単元(分子生物、代謝、生殖、発生、免疫、行動、植物生理、進化、分類)を早急に見直すことと、センターボケ!を直すことです。

どうしてもセンター前はセンター用の、比較的単純な、思考で解ける問題の練習ばかりをしてきてしまっているのです、じっくり考える脳がだれてしまっています。

そこで、たるんだ脳に喝!!を入れ、同時に二次試験で頻出の分子生物や発生や進化も復習できるという、ありがたい講座がこの「遺伝の究極攻略」です。

この時期、もう普通のタイプの遺伝はバッチリのはずなので、(バッチリですよ?ここでのバッチリは2014年までのセンター第3問を完解できるレベルです。バッチリでない人はほかの先生の授業を受けてから受けた方がいいと思います)ここでは遺伝に、さらに分子生物やバイオテクノロジーを絡めた、やや難~難のレベルの問題に挑戦し、脳細胞を活性化しましょう!

すべて標準以上の問題ですが、さらにレベルを☆の数で3段階に分けて示しました。

この講座でさらなるパワーアップをはかり、難問にもめげない根性と底力を身につけてください。

この講座もマスターすればいよいよ免許皆伝、あなたはもう立派な師範代です!!

北海道 manavee 生物科 遺伝の師範 著す(笑)

追伸:10個の究極奥義の他に、テスト演習があります。また、旧課程のセンターでは範囲に含まれていなかった内容をそれほど難しくないので、補題という形で究極奥義とテスト演習の解説後に解説します。

～遺伝の問題を解くときの心得5カ条～

巻の壱：まずは優劣関係を見抜くべし！

⇒ 異なる純系(系統)どうしを交配して F_1 に現れた方が優性

巻の貳：一遺伝子か二遺伝子かを見抜くべし！

- ① F_1 の自家受精で 3 : 1 ならば、とりあえずは一遺伝子で説明可能。
ただし、AB/ab の完全連鎖の可能性も考慮すること。
- ② 劣性と劣性を交配して優性のみが生じれば、二遺伝子でしかも補足遺伝子で、両親はそれぞれ異なる劣性遺伝子を持つ。
劣性と劣性を交配して劣性のみが生じれば、同じ劣性遺伝子を持つ

巻の参：伴性遺伝か常染色体上遺伝かを見抜くべし！

- ① 生じた男の子と女の子とで表現型に違いがあれば、伴性遺伝
- ② 劣性の母親から優性の男の子が生まれれば伴性遺伝ではない
⇒ 雄ヘテロが必要条件

巻の肆：連鎖か独立か見抜くべし！

- ① 検定交配の結果が 1 : 1 : 1 : 1 (およびその変形)
 F_2 の結果が 9 : 3 : 3 : 1 (およびその変形)
⇒ 独立
- ② ① 以外であれば連鎖。連鎖の仕方は親を見る
組換え価が分からなければとりあえず、 $m : n : n : m$ と置いてみる。

巻の伍：とにかく問題文を読んで忠実に再現すべし！

⇒ 問題文に必ずヒントがある!! 再現できれば、必ず解ける!!

究極奥義 1 ウォーミングアップ? (☆☆) (2010・お茶の水大・第1問(改))

ショウジョウバエの遺伝に関する次の問1～問4に答えよ。

ここでいうショウジョウバエとは、遺伝学の実験によく用いられるキイロショウジョウバエという種である。雌、雄の性染色体の構成はそれぞれXX, XYで、常染色体は3対ある。このショウジョウバエでは、乗換えは雌で起こるが雄では起こらない。なお、遺伝子記号で大文字は優性で、小文字はその劣性対立遺伝子を示す。

問1 遺伝子A(a)とB(b)が連鎖していることは分かっているが、その間の組換え率は分かっているとする。

AAbb と aaBB との交配から得られたF₁ どうしを交配すると、どんな表現型がどんな割合で分離してくるか。

a と b との間の組換え率を知らないで、この間に答えられるか。答えられると考えた場合には、その答えを記せ。また、答えられないと考えた場合には、その理由を記せ。

問2 遺伝子c と d が同一染色体上で遠く離れている場合と独立の染色体上にある場合を区別するには、どのような交配実験をすればよいか。交配に用いる雌雄それぞれの遺伝子型を示し、具体的に説明せよ。

問3 ショウジョウバエにX線照射をする実験で、X染色体

上の劣性致死突然変異を9個得ることに成功した。それらの突然変異を交配によって互いに組み合わせ、子孫が得られるかどうかを調べた。その結果は右の表に示してある。+は両方の遺伝子をもつ個体が生存した場合、-は両方の遺伝子をもつ個体が致死であった場合を示す。1～9の数字は、突然変異遺伝子の番号である。劣性致死遺伝子とは、それをホモにもつ個体を発生過程で死にいたらしめる遺伝子のことを言う。

表

遺伝子番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-	+	-	+	+	+	-	+	+
2		-	+	+	+	+	+	+	+
3			-	+	+	+	-	+	+
4				-	+	-	+	+	+
5					-	+	+	+	-
6						-	+	+	+
7							-	+	+
8								-	+
9									-

(1) 9個の突然変異は、いくつのグループに分けられるか。その数を記せ。

(2) それぞれのグループに属する遺伝子番号を () を用いて、それぞれまとめて記せ。

問4 ある雌のショウジョウバエ個体で、2本のX染色体は、次のような遺伝子構成になっている。

$\frac{ABCDEF}{abcdef}$

いま問題とする劣性致死遺伝子は、上側の染色体のどこかにあることが分かっているが、その位置は不明のままである。そこで、この位置を調べる目的で、この雌個体と野生型雄個体とを交配して得られたF₁ 雄 1000匹を集めて表現型を観察したところ、次のような結果を得た。この結果から、致死遺伝子の位置は、A～Fのどれとどれの遺伝子の間にあると言えるか。なお、この実験では二重乗換えは起こらなかったものとする。

[a b c d e f]	750
[a b c d e F]	60
[a b c d E F]	20
[a b c D E F]	30
[A B C d e f]	70
[A B c d e f]	40
[A b c d e f]	30
	1000

究極奥義 2 今さら種子!?(☆☆☆) (2012・京都大・第2問)

トウモロコシの種子の色は、種皮(厳密には果皮もふくむ)と胚乳の色によって決まる。種皮では、[ア]合成に働き紫色を発色させる B 遺伝子と突然変異で色素合成ができなくなった対立遺伝子である b 遺伝子が関与しており、B は b に対して優性で、表現型は紫または無色となる。一方、胚乳では、[イ]合成に働き黄色を発色させる Y 遺伝子とその作用を失った対立遺伝子である y 遺伝子が関与し、Y と y の組み合わせにより黄色の濃さの順に濃黄、中黄、淡黄、白の 4 通りの表現型をとる。種皮が無色の場合に、種子の色は胚乳の色と同じになる。また、これら B と Y の遺伝子は独立している。いま、B、Y の遺伝子型が不明な個体の雌しべに、BbYy の遺伝子型をもつ個体の花粉を交配したところ、①紫：濃黄：中黄：淡黄：白=0：1：1：1：1 の割合で得られた。

一方、B 遺伝子は、胚乳の成分のちがいによって種子の形を決める S 遺伝子と連鎖しており、S の劣性対立遺伝子である s 遺伝子がホモとなることで、胚乳がくぼみ、種子にしわをつくり出す。いま、BBss の遺伝子型をもつ個体の雌しべに bbss の遺伝子型をもつ個体の花粉を交配して雑種第 1 代(F₁)の種子を得た。こうして得られた種子はすべて紫でしわがない。②これをまいて育て雑種第 2 代(F₂)の種子(F₂種子)を得た。さらに F₂種子をすべてまいて育て雑種第 3 代(F₃)の種子(F₃種子)を得た。

問 1 文中の[ア], [イ]に適切な色素の名称を記入せよ。

問 2 下線部①について、以下の(1)~(3)に答えよ。

- (1) 交配に用いた雌しべ側個体の B、Y の遺伝子型は何か。
- (2) この交配で得られた十分な数の淡黄の種子をまいて育て、自家受粉するとどのような色の種子をどのような比率で生じるか。なお、各個体から得られる種子数は同じとする。
- (3) この交配で得られた種子を混ぜて栽培したところ、白色の種子から育った個体から、白色と黄色の種子が混じったトウモロコシが収穫された。考えられる理由を鮮答欄の枠の範囲内で記述せよ。ただし、突然変異は起こらないものとする。

問 3 B 遺伝子と S 遺伝子の遺伝子間の組換え価を $r \times 100(\%)$ とし、下線部②について以下の(1)~(3)に答えよ。なお、F₁、F₂の各個体から得られる種子数は同じとする。以下の出現頻度はパーセントで答えてもよい。

- (1) 得られたすべての F₂ 種子において、胚の遺伝子型が BBss あるいは Bbss となる種子の予想される出現頻度の合計を求めよ。
- (2) 得られたすべての F₂ 種子において、胚の遺伝子型が BBSs あるいは BbSs となる種子の予想される出現頻度の合計を求めよ。
- (3) 得られたすべての F₃ 種子において、種皮が紫でしわのある種子の予想される出現頻度を求めよ。

究極奥義 3 ショウジョウバエの生殖細胞形成(☆☆☆) (1997・東京大・第3問)

次の文を読み、問1～6の各問に答えよ。

[文1] 単細胞の[1]動物あるいは、多細胞でも簡単な体の構造しか持たない二胚葉性の[2]動物などを除くと、動物の体の各組織や細胞は、原腸胚形成のときに別れた3つの胚葉、外胚葉・中胚葉・内胚葉から形成される。たとえば[3]は外胚葉から、[4]は中胚葉から、[5]は内胚葉から形成される。生殖細胞がどのようにして分化するのかをキイロショウジョウバエの受精卵を使って調べてみた。

キイロショウジョウバエでは、産卵後、受精卵の核はしばらく中心付近にとどまり、そこで分裂をくり返す。その間、細胞質の分裂は起こらない。やがて核は周辺部に移動して、そこで初めて細胞質の分裂が起こり、多細胞となる。

卵の後端部にだけ、物質 X が存在することが知られている。この物質は、細胞質が分裂するとき後端部の細胞に取り込まれ、同じ位置にやがて球形細胞が形成される。(→物質 X は核の遺伝情報を変えることなく、取り込まれた細胞にはたらきかけて球形細胞に変化させ、この球形細胞が生殖細胞になるという仮説が考えられている。この仮説を確かめるために、キイロショウジョウバエの2種類の突然変異体を使った実験をおこなった。

[文2] キイロショウジョウバエでは XY 型の性染色体によって性が決まり、XX がメス、XY がオスとなる。X 染色体上には眼の色に関係した遺伝子 R がある。この突然変異体（ここでは遺伝子型を、メスは rr、オスは rY、と表記する）は白眼を持つが、野生型（メス RR、オス RY）やメスのヘテロ接合体 (Rr) は、赤眼を持つ。また、第3染色体には体色に関係した遺伝子 E がある。この突然変異 e のホモ接合体 (ee) は黒い体色を持つが、野生体 (EE) やヘテロ接合体 (Ee) は、黄褐色の体色を持つ。以下、2つの遺伝子型を合わせて、rYEE などと表記する。この個体は、白眼を持ったオスで体色は黄褐色となる。

[実験1] 黒体色突然変異を持つ受精卵（遺伝子型は RRee あるいは RYee である）の後端部、つまり、文1で述べた物質 X を含む細胞質の部分に紫外線を照射した。紫外線は、この物質 X を分解すると考えられるが、そのような処理をおこなうと、後端部の球形細胞は形成されなかった。この実験によって、物質 X が球形細胞の形成に必要な成分であることがわかった。

[実験2] まず、野生型の受精卵（遺伝子型は RREE あるいは RYEE である）の後端部に細いガラスピペットを突き刺して、物質 X を含む細胞質を吸い取った。次に、実験1と同じように紫外線照射処理をおこなった黒体色突然変異を持つ受精卵の前端部に、その細胞質を注入した。注入された部分には、やがて球形細胞が形成された。この実験から、他の受精卵から持ち込まれた物質 X であっても球形細胞を形成させるはたらきを持つこと、および、受精卵の前端部でもそのはたらきは同じであることがわかった。

[実験3] 実験2で形成された前端部の球形細胞が、生殖細胞に分化することを確かめるために以下のような実験をおこなった。

実験2で形成された球形細胞を取り出して、白眼突然変異を持つ受精卵（遺伝子型は rrEE あるいは rYEE である）の後端部、つまり、ももとの球形細胞が形成されている位置に移植した。この受精卵は正常に発生し、しかも、生殖細胞をつくることのできる成虫となった。成虫となったキイロショウジョウバエを白眼突然変異体と交雑させた結果、F₁は表のような結果となった。

実験3で成虫となった個体と白眼突然変異体との交雑結果

実験3で得られた 成虫の個体番号と性	F ₁ 個体の表現型とその個体数			
	白眼		赤眼	
	メス	オス	メス	オス
01 メス	115	98	19	18
02 オス	298	(イ)	46	(ウ)

問1 空欄1, 2に適語を入れよ。

問2 空欄3, 4, 5に入れる語句を次より選び, 記号で答えよ。

- a. 肝臓・腎臓 b. すい臓・肺 c. 心臓・骨格筋 d. 網膜・脊髄 e. 脳・脊椎 f. 生殖腺・甲状腺
g. 胃・腸間膜

問3 ショウジョウバエの卵の卵割様式を何というか。

問4 文1の下線部(ア)の仮説が正しければ, 実験2で形成された球形細胞の遺伝子型はどのようにになると考えられるか。また, その球形細胞が生殖細胞へと分化した場合, その遺伝子型はどのように考えられるか。遺伝子型は文2の表記方法にならってオス, メスそれぞれについて答えよ。

問5 実験3の受精卵から成虫となったキイロショウジョウバエには, 由来の異なる2種類の生殖細胞が混在していると考えられる。一つは, 本来の rrEE あるいは rYEE の遺伝子型の細胞に由来し, もう一つは, 黒体色遺伝子型の受精卵から移植された球形細胞に由来するものである。実験3で得られた01番目のメスの持つ卵細胞の何%が移植された球形細胞由来と考えられるか。ただし, ここではメス, オスの球形細胞は, それぞれ卵巣, 精巣の中でしか生殖細胞になれないものとする。

問6 実験3で成虫となったオス(番号02)の場合でも, メス(番号01)と同じように遺伝子型の異なる生殖細胞が混在していると仮定した場合, 表の中の空欄(イ)と(ウ)には, どのような実験値が予想されるか。もっとも適切なものを選択して番号で答えよ。

- | | | | | | |
|---|-----|----|---|-----|-----|
| | イ | ウ | | イ | ウ |
| a | 300 | 50 | b | 300 | 0 |
| c | 350 | 0 | d | 250 | 100 |

究極奥義 4 制限酵素(☆☆) (2005・東京理科大・第1問(改))

問1 図1は、A、B両系統のウサギの染色体中のGまたはg対立遺伝子(Gは皮下脂肪を黄色く、gは皮下脂肪を白くする)およびその周辺を含む領域(以下、G(g)遺伝子領域と呼ぶ)のDNAを制限酵素Rで切断した時の切断部位を示している。上にG遺伝子を含む領域、下にg遺伝子を含む領域を示した。以下の図中Yで示したところは制限酵素Rによる切断部位、数字は切断されたDNAの大きさをヌクレオチド数(単位:1000ヌクレオチド)で表現したものである。なお、図は模式図であり、各線分の長さはヌクレオチドの数に必ずしも比例していない。

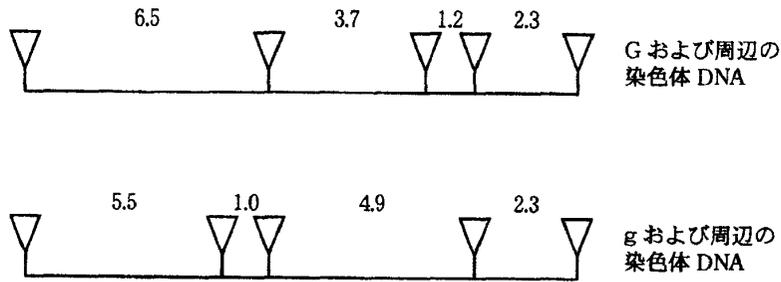


図1 G(g)遺伝子領域の制限酵素Rによる切断部位

図1に示した各領域の制限酵素Rによる切断パターンは、染色体DNAを制限酵素Rで切断後に、電気泳動法という方法を用いてDNA断片の大きさにより分離してから観察することができる。A、B各系統のウサギから調製した染色体DNAをそれぞれこの方法により観察したところ図2の結果を得た。

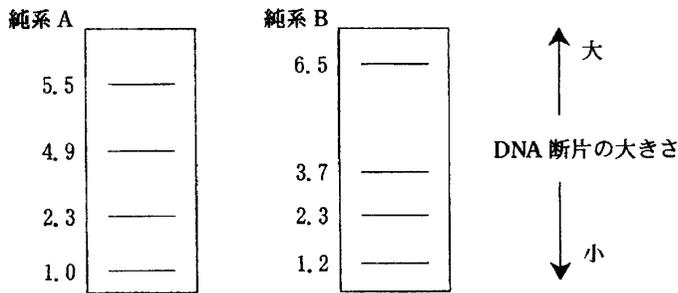
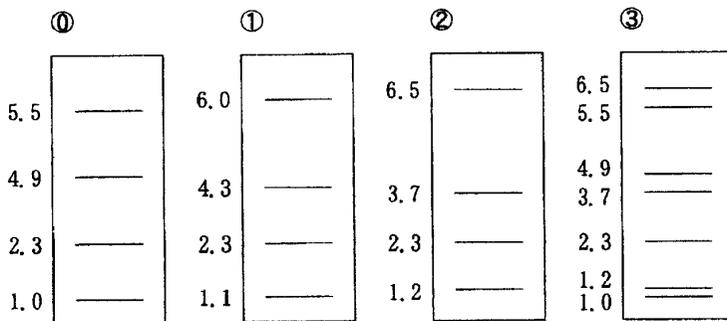


図2

この結果は、遺伝学的な相違に対応してG(g)遺伝子領域の染色体DNAレベルでの明らかな違いが観察できることを示している。純系A、Bを交配してできたF₁世代について同じ実験を行うと、その結果はどのようなになるか、最も適切な図の番号を①～③から選びなさい。なお選択肢の図は制限酵素Rによる切断パターンのみを示し、DNA量の違いは表現していない。



問2 次に、上に述べた F₁ 世代を交配して得られた F₂ 世代について同じ実験を行った。組換えを起こしていた個体は結果に含まれなかったとするとその結果はどのようになるか、以下のから選びなさい。なお、選択肢の文中の番号は前ページの問1の選択肢の図の番号を示すものとする。

- ① 個体ごとに①, ②のいずれかのパターンを示し、他は現れない。
- ② 個体ごとに①, ③のいずれかのパターンを示し、他は現れない。
- ③ 個体ごとに①, ②のいずれかのパターンを示し、他は現れない。
- ④ 個体ごとに①, ③のいずれかのパターンを示し、他は現れない。
- ⑤ 個体ごとに①, ②, ③のいずれかのパターンを示し、他は現れない。
- ⑥ 個体ごとに①, ②, ③のいずれかのパターンを示し、他は現れない。
- ⑦ 個体ごとに①, ②, ③のいずれかのパターンを示し、他は現れない。
- ⑧ 個体ごとに①, ②, ③のいずれかのパターンを示し、他は現れない。
- ⑨ 個体ごとに①, ②, ③のいずれかのパターンを示し、他は現れない。

問3 同じ F₂ 世代の中から、G(g)遺伝子領域の染色体が乗換えを起こした組換え個体が発見された。この個体から交配を繰り返して純系の組換え個体を得た後、G(g)遺伝子領域の制限酵素 R による切断部位を解析したところ図3のようになった。なお、この領域での染色体の乗換えは1カ所だけで起こったものとし、それに伴って制限酵素切断部位の出現や消失を新たに生じる突然変異は起こらなかったものとする。図中に示した I, II, III, IV, V は制限酵素切断部位で分けられる各断片領域を示す。

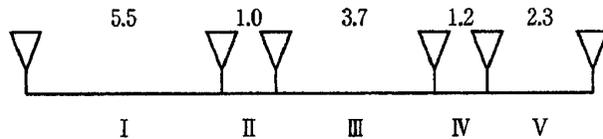


図3 組換え個体の G(g) 遺伝子領域の制限酵素 R による切断部位

染色体の乗換えは図3のどの領域内で起こったと考えられるか。また、この純系の組換え個体を新鮮な野菜を餌として飼育し、皮下脂肪を観察したところ白色であった。このことから、遺伝子 G の塩基配列を探すとしたら図3のどの領域内から着手するのが最も妥当か。乗換えの起こった領域と遺伝子 G 探索の領域について以下の①～⑧から最も適切なものを選びなさい。

- ① 乗換えは領域 I、遺伝子 G は領域 I から II の領域内
- ② 乗換えは領域 I、遺伝子 G は領域 II から III の領域内
- ③ 乗換えは領域 I、遺伝子 G は領域 IV から V の領域内
- ④ 乗換えは領域 II か III、遺伝子 G は領域 I から II の領域内
- ⑤ 乗換えは領域 II か III、遺伝子 G は領域 II から III の領域内
- ⑥ 乗換えは領域 II か III、遺伝子 G は領域 IV から V の領域内
- ⑦ 乗換えは領域 IV か V、遺伝子 G は領域 I から II の領域内
- ⑧ 乗換えは領域 IV か V、遺伝子 G は領域 II から III の領域内
- ⑨ 乗換えは領域 IV か V、遺伝子 G は領域 III から V の領域内

究極奥義 [5] 集団遺伝(☆) (2008・千景大・第9問)

同種の生物集団は、各個体のもっている遺伝子の集まりとしてとらえることができる。集団遺伝学という研究分野では、集団内における遺伝子構成(遺伝子型の頻度や対立遺伝子の頻度)の変化を“進化”をとらえ、遺伝子構成の変化の要因、つまり進化をもたらす要因について研究を行う。

それでは集団の遺伝子構成の変化は、どのような要因によって起こるのだろうか。この問題を考える場合、逆に、遺伝子構成の変化が起こらないケース、つまり[ア]の法則が成り立つ場合を基準に考えると役にたつ。対立遺伝子 A と a が存在し、遺伝子型 AA, Aa, aa の頻度が、それぞれ P, H, Q だったとする($P+H+Q=1$)。①この世代における対立遺伝子 A の頻度 p と a の頻度 q はそれぞれ, P, H, Q を用いて計算することができる。

[ア]の法則がなりたつ場合、世代ごとに遺伝子頻度は変わらないので、現在の遺伝子型頻度から推定された遺伝子頻度 p と q を、前世代の頻度とみなすことができる。したがって、遺伝子型 AA, Aa, aa の頻度は p と q を用いて、それぞれ[イ], [ウ], [エ]と表すことができる。実際の生物集団について、遺伝子型の頻度を観察により決定し、これと[ア]の法則がなりたつ場合の遺伝子型の頻度の期待値を比較し、もし明確なずれが存在する場合には、その集団になんらかの進化的要因が働いていることが推測される。

自然選択が働いた場合の遺伝子構成の変化を、ヒトのかま状赤血球貧血症の原因遺伝子を例に考えてみる。この病気の原因となる対立遺伝子を Hb^S , 正常な対立遺伝子を Hb^A とする。遺伝子型 $Hb^S Hb^S$ の人は、重い貧血症を示し、大部分が生殖年齢に達するまでに死亡する。しかし熱帯のある地域では、この遺伝子の頻度が比較的の高い値を示すことがある。二のような地域に位置する国において、成人 1 万人について遺伝子型を調査したところ、遺伝子型 $Hb^S Hb^S$ が 11 人、 $Hb^S Hb^A$ が 1978 人、 $Hb^A Hb^A$ が 8011 人という結果になった。②これと、[ア]の法則から期待される値を比較してみると、遺伝子型 $Hb^S Hb^S$ の人数が気体値より低いだけでなく、遺伝子型[オ]も期待値より低くなっていることが分かる。じつは、遺伝子 Hb^S が高頻度で存在する地域はマラリアが流行している地域内に含まれることが分かっている。遺伝子 Hb^S は貧血を起こすだけでなく、マラリア病原虫に対し抵抗性を示す。遺伝子型[カ]の人は貧血が軽度で、マラリアにもかかりにくいので、マラリアの流行地域では他の遺伝子型の人よりも、生殖年齢に達するまでの死亡率が低いのである。この例のように、ホモ接合体よりも[キ]の方が、より環境適応している場合には、両方の対立遺伝子が、ある一定の頻度で保持された状態で平衡状態に達する。

問 1 上の文章中の[ア]～[キ]に当てはまる最も適当な語句を入れなさい。

問 2 下線部①について、p と q を、それぞれ P, H, Q で表した数式を書きなさい。

問 3 下線部②について、成人 1 万人当たりの各遺伝子型の期待値を答えなさい。

問 4 本文中で調査が行われた国において、以下のケースが生じたと仮定する。その後 100 世代程度の間、遺伝子 Hb^S の頻度はどのような変化をたどると予想されるか。図 1 の A から E で該当するものを選びなさい。なお、この国の人口は十分に大きく、結婚は、かま状赤血球貧血症の遺伝子型とは全く無関係に行われており、突然変異率や他国との間の人の出入りは無視できるほど小さい。また、以下のケースで想定し

たかま状赤血球貧血症の治療法は、遺伝子 Hb^S のマラリア病原虫に対する抵抗性には影響を及ぼさないものとする。

ケース 1：かま状赤血球貧血症の治療法が改善され、遺伝子型 $Hb^S Hb^S$ の人の生殖年齢に達するまでの死亡率は、遺伝子型 $Hb^A Hb^A$ の人とほぼ等しくなった。

ケース 2：地球上からマラリアが撲滅された。

ケース 3：かま状赤血球貧血症の完全な治療法が開発され、この病気で死ぬことはなくなった。

ケース 4：地球上からマラリアが撲滅され、かつ、かま状赤血球貧血症の完全な治療法が開発されてこの病気で死ぬことはなくなった。

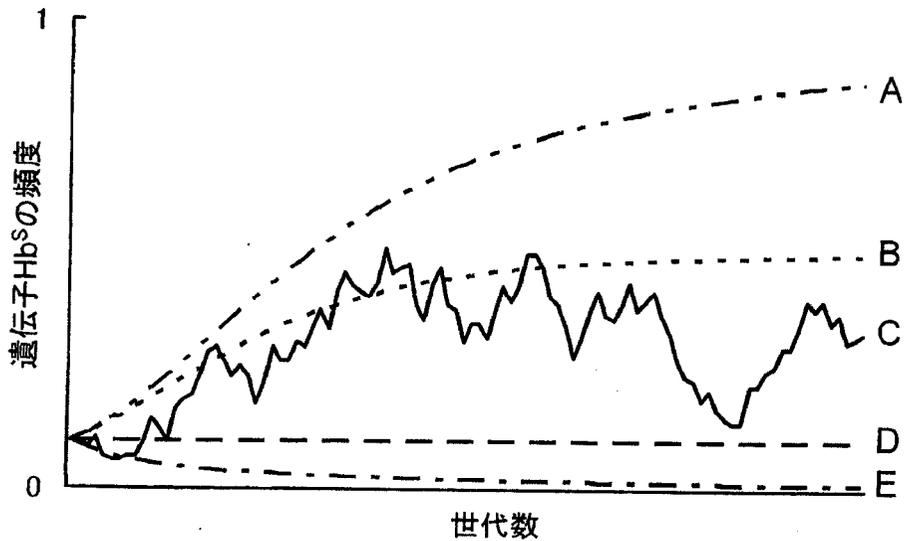


図1 遺伝子 Hb^S の頻度の変化

究極奥義 6 ゲノム解析(☆) (オリジナル)

(A) ある形質を司る，メンデルの法則に従う遺伝子 $E(e)$ がある。遺伝子型が EE の個体と ee の個体とを交配して得た F_1 にコルヒチン処理をして完全な 4 倍体を得た。

問1 コルヒチン処理によって F_1 から得た 4 倍体の遺伝子型を答えよ。

問2 コルヒチン処理によって F_1 から得た 4 倍体が正常に減数分裂を行うと仮定すると，どのような配偶子がつくられるか。生じた配偶子の遺伝子型とその分離比を答えよ。

問3 コルヒチン処理によって F_1 から得た 4 倍体と F_1 を交配すると 3 倍体を得られる。生じた 3 倍体の遺伝子型とその分離比を答えよ。

(B) コムギには様々な種が存在していて，種によって持っている染色体数が異なる。A 種，B 種，C 種，D 種，の計 4 つの種のコムギを用意した。それぞれの染色体数を数えたところ，A 種，B 種，C 種は 14 本，D 種は 28 本であった。いま，A 種と D 種，B 種と D 種の交配によって得られる異種間雑種の F_1 は，3 倍体で，減数分裂時に 7 対の対合する染色体と 7 本の対合しない染色体とを作る。また，C 種と D 種の交配によって得られる異種間雑種の F_1 は，3 倍体で，減数分裂時に染色体と 21 本の対合しない染色体を作る。なお，A 種，B 種，C 種の相互間の異種間雑種 F_1 はいずれも，2 倍体で，減数分裂時に 14 本の対合しない染色体を作る。

問4 D 種は倍数性上，何と呼ばれるか。

問5 A 種と B 種の交配によって得られる異種間雑種の F_1 は，種子形成についてどのような結果となると考えられるか。

問6 A 種，B 種，C 種の構成ゲノムをそれぞれ A, B, C とするとき，D 種の構成ゲノムを A, B, C を用いて表せ。

問7 D 種と同様の構成ゲノムとなるような個体を，コルヒチン処理を 1 回だけ使うことによって，つくりたい。どのようにしてつくりたいか，答えよ。

(補問) コムギのゲノム解析を行った人物の名を答えよ。

究極奥義 7 ウイルスの遺伝子(☆☆) (2009・静岡大・第1問(改))

同じ染色体に乗っている遺伝子どうしの関係を連鎖という。完全に連鎖している遺伝子は、染色体が途中で切れたりしない限りは一緒に動き、配偶子を形成する時つねに同じ配偶子に入る。連鎖している遺伝子では、メンデルの「[①]の法則」は成り立たない。ところが、連鎖しているスイートピーの2組の遺伝子の遺伝を調べたベーツソンらは、完全連鎖という考え方だけでは説明できない結果を見出した。それは、連鎖している遺伝子の組み合わせが変わる[②]という現象であった。[②]は、配偶子を作る際に行う減数分裂のときに生じる。[②]の起こりやすさを下の計算式で数値化したものを[③]とよぶ。

$$\frac{\text{[②]の起こった配偶子数}}{\text{全配偶子数}} \times 100$$

連鎖する3つの遺伝子を選んで、それぞれの[③]を求める方法を[④]法といい、これにより3つの遺伝子の連鎖地図(または染色体地図)を作ることができる。

問1 文章中の[①]～[④]に適切な語を記入しなさい。

問2 スイートピーで行われたような連鎖地図作成は、キイロショウジョウバエやアカパンカビでも行われた。ここで、スイートピーやキイロショウジョウバエに比べてアカパンカビが遺伝学的解析のための生物材料として優れている共通点は何か、答えなさい。

問3 隣り合う遺伝子間の相対的位置を明らかにするために、細菌や細菌に感染するバクテリオファージ(または単にファージ)に目が向けられた。しかしその連鎖地図の作成には、[④]法を直接適用できない欠点がある。それはなぜか、ファージを例に説明しなさい。ただし、ファージは直鎖状の2本の鎖から成るDNAを1本もつものとする。

問5 あるファージのDNA上の2つの遺伝子A⁺、B⁺の一方に、それぞれ変異を起こした2種の変異ファージ(A⁺B⁻とA⁻B⁺)を用いて、図1に示す実験を行った。大腸菌に同時に多重感染させ、子ファージを作製したところ、ある割合で[②]が起こり、野生型(A⁺B⁺)の子ファージが生じた。この際、2種の変異ファージは、すべての大腸菌にほぼ等量感染するものとする。

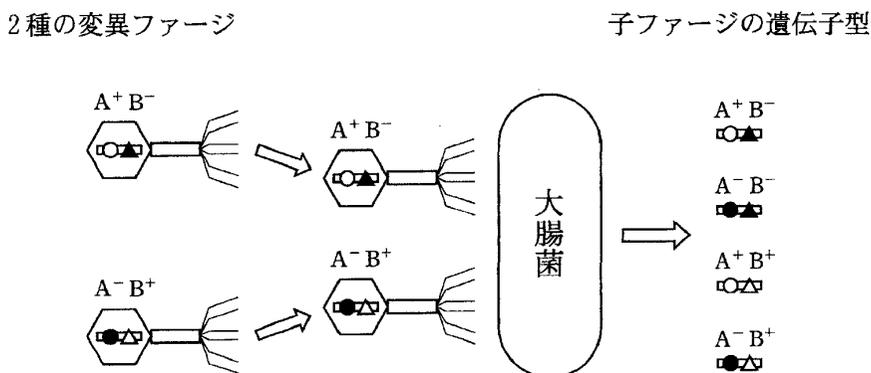


図1 変異ファージを多重感染させたときに生じた子ファージの遺伝子型

さらに、このような実験を $(A^+C^-) \times (A^-C^+)$, $(B^+C^-) \times (B^-C^+)$ で行い、それぞれにおいて、生じたすべての子ファージ数と野生型の子ファージ数をまとめたものが表 1 である。この実験結果に関する(1)と(2)の小問に答えなさい。

表1 ファージを多重感染させたときに生じた子ファージの遺伝子型とその数

多重感染させたファージの組み合わせ	全体の子ファージ数	野生型の子ファージ数
$(A^+ B^-) \times (A^- B^+)$	5.26×10^8	2.38×10^4
$(A^+ C^-) \times (A^- C^+)$	6.17×10^8	1.54×10^4
$(B^+ C^-) \times (B^- C^+)$	5.56×10^8	1.11×10^4

- (1) この実験結果を用いて3組の2遺伝子間の[③]を、小数点第四位を四捨五入して求めなさい。計算の過程も示すこと。
- (2) (1)で求めた値を用いて、ファージ遺伝子 A, B, C の連鎖地図を図示しなさい。

究極奥義 ⑧ 細胞融合(☆☆☆) (2004・大阪大・第1問(改))

1 個の受精卵が動物個体を形成する過程では、ひとつひとつの細胞が、決められたスケジュールに従って、増殖、分化、細胞死^(注)のプロセスをたどる。また、成体の多くの組織には、活発に分裂する細胞がある。これらの細胞の増殖、分化、細胞死のプロセスも、決められたスケジュールに従って進行し、その結果、組織が正常に維持される。これらのプロセスが正常に進行するためには、DNA が正しく複製されて細胞から細胞へと伝えられなければならない。しかし、まれに、①塩基の配列が変化したり、②染色体の形や数が変化することによって、遺伝子に変化をきたすことがある。このような遺伝子の異常が一つの細胞に複数存在するようになると、細胞は異常に増殖することがある。これががんである。③がん細胞において、遺伝子の変化が原因でその機能が異常になるタンパク質には、次のような種類のものがある。

- (ア) 細胞の増殖を促進するタンパク質群
- (イ) 細胞の増殖を抑制するタンパク質群
- (ウ) 細胞死を誘導するタンパク質群
- (エ) DNA 損傷を修復するタンパク質群

④これらのうち、(エ)に属するタンパク質群の遺伝子のいずれかが、生まれつき以上になっているヒトの常染色体劣性遺伝病が知られている。皮膚細胞の DNA は、日光に含まれる紫外線によって損傷されるが、この遺伝病の患者の皮膚細胞はその損傷を修復できない。通常は、DNA の損傷を修復できない細胞には自律的な細胞死が誘導され、細胞はすみやかに死滅し組織から除去される。しかし、まれに、DNA が損傷されたまま細胞が増殖を続ける場合がある。このようなことがくり返されると、DNA の異常がさらに増加し、(ア)～(ウ)のタンパク質群の遺伝子にも異常をきたすので、細胞はがん化する。これがこの遺伝病の患者に高頻度に皮膚がんが生じる原因である。

(注) ここでいう細胞死とは、アポトーシスと呼ばれる現象で、生理的条件下で細胞自らが積極的にひき起こす細胞の死のことを指している。細胞死は、修復不能な細胞傷害を受けた細胞、不要となった細胞、あるいはまたウイルスに感染した細胞などを個体から除去する機構として働いている。

問1 下線部①、②の現象をそれぞれ何というか。

問2 下線部①、②のような DNA の変化を起こす原因として、どのようなものが知られているか。DNA に変化を起こすメカニズムが異なるものを2つあげよ。ただし、本文中にある日光と紫外線は除くものとする。

問3 下線部③にあげた DNA の変化に起因するタンパク質の異常には、大きく分けて次の2つの種類がある。

A: タンパク質の活性(機能)が著しく低下するまたは無くなるもの。

B: タンパク質の活性(機能)が著しく上昇するもの。

例えば(エ)の DNA 損傷を修復するタンパク質は、ある種のがん細胞においては活性(機能)がほとんど無くなっている。そのため、このがん細胞においては正常の細胞と比較して DNA の変化が起こりやすくなっている。(ア)～(ウ)のタンパク質群の活性(機能)は、がん細胞においてそれぞれ著しく低下するかまたは無くなるか、あるいは著しく上昇するかを推測し、解答欄には(ア)、(イ)、(ウ)を記入せよ。但し、両方の

欄に同一の記号を記入してはならない。

問4 下線部④に挙げた遺伝病の患者 A, 患者 B, 患者 C, およびこの遺伝病をもたない健康な人 D の, それぞれに由来する皮膚細胞を試験管内で培養した(これらを細胞 A, B, C, D と呼ぶ)。さらに, ポリエチレングリコールという化学物質で短時間処理することによって, 細胞 A と細胞 B とを融合させた ab, A と C とを融合させた ac, B と C とを融合させた bc の 3 種類の融合細胞を作成した(以下, A, B, C, D, ab, ac, bc をすべて細胞と呼ぶ)。これらの細胞にまず一定量の紫外線を照射して DNA に損傷を与え, 7 日間培養した後に細胞数を数えて, 紫外線量が細胞の生存率におよぼす影響を調べた。紫外線量と生存率との関係の結果の一部を示したのが図 1 である。なお, 紫外線をまったく照射しない場合においてもこれらの細胞の増殖速度は異なるので, 図 1 には, 紫外線をまったく照射しなかった場合の 7 日後の細胞数に対する紫外線を照射した場合の細胞数の割合を, % で表示してある。それぞれの患者において異常な遺伝子は 1 組の対立遺伝子に限られると仮定して, C および bc の細胞がどのような結果を示すかを図に示せ。

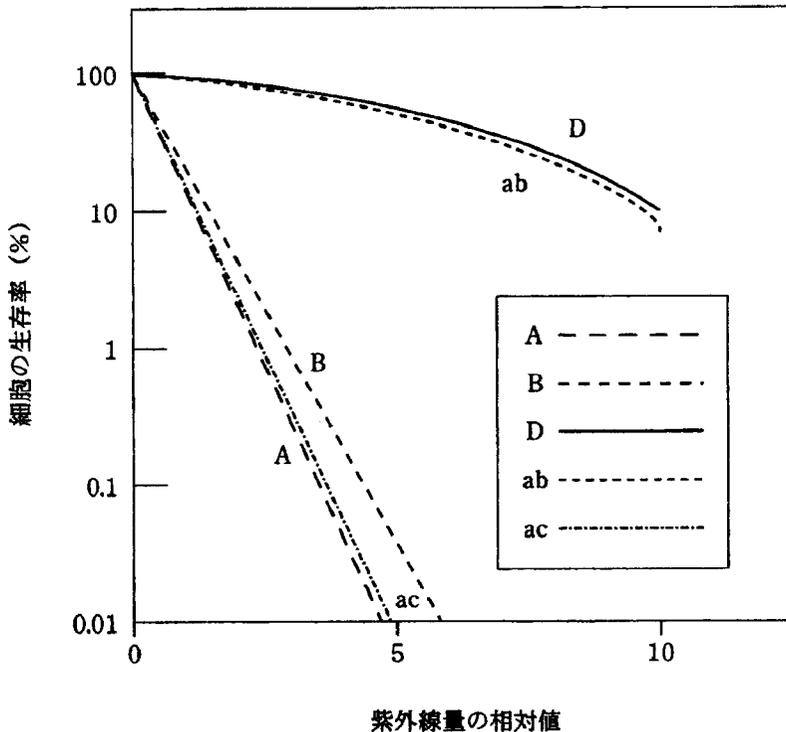


図1 紫外線量が細胞の生存率におよぼす影響

究極奥義 9 ホメオティック遺伝子(☆☆) (2009・岐阜大・第5問(改))

多くの被子植物の花器官は、がく片、花弁、おしべ(雄ずい)、めしべ(雌ずい)の4器官によって構成されている。これらの器官は、いずれも葉の発生機構の変化により形成されてくると考えられている。外見や機能が異なっても、葉や花のように起源が等しく構造上同じ位置づけにあると考えられる器官がある。

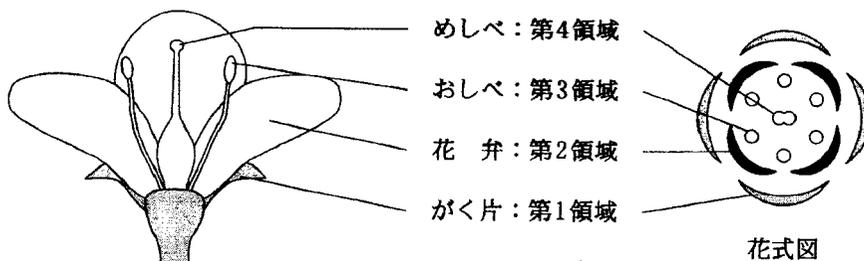
シロイヌナズナの花は4つの同心円状の領域より構成されており、正常な花では花の外側の第1領域から内側の第4領域に向かって「がく片・花弁・おしべ・めしべ(心皮2つが融合している)」の順に構成されている(下図)。シロイヌナズナの花の形態形成には、ショウジョウバエのホメオティック遺伝子と同様のA, B, Cの3つのホメオティック遺伝子が関与し、次のように働いているとされている。

A 遺伝子のみが発現する領域ではがく片が形成される。

A 遺伝子と B 遺伝子が発現する領域では花弁が形成される。

B 遺伝子と C 遺伝子が発現する領域ではおしべが形成される。

C 遺伝子のみが発現する領域ではめしべが形成される。



(注釈：ホメオティック遺伝子とは胚発生における器官分化を正しい位置に起こさせる遺伝子である。突然変異によって1つの器官が別の器官、例えば、触角が足に置き換えられる。)

問1 下線部について、このような器官を何と呼ぶか。また、葉と花以外の具体例を1つ記せ。

問2 B 遺伝子の働きを失った個体では、花の形状はどのようになると考えられるか。第1領域から順に記せ。

また、B 遺伝子が第1領域と第4領域でも発現した花の形状はどのようになると考えられるか。第1領域から順に記せ。

問3 A 遺伝子の働きを失った個体では、花の形状は第1領域から順に「めしべ・おしべ・おしべ・めしべ」となった。また、C 遺伝子の働きを失った個体では、花の形状は第1領域から順に「がく片・花弁・花弁・がく片」となった。それぞれの個体の花について各領域で発現していた遺伝子をすべて記せ。また、この結果を基に A 遺伝子と C 遺伝子の関係について40字以内で記せ。

問4 A 遺伝子の働きを失った個体の遺伝子型は aa(A は a に対し優性)となっている。また、同様に B, もしくは C 遺伝子の働きを失った個体の遺伝子型は、それぞれ bb, cc と表す。遺伝子型 AAbbCC 個体に遺伝子型 aaBBcc 個体の花粉を受粉させて雑種第一代(F₁)個体を得た。この F₁ 個体を自家受粉させて得られた

雑種第二代(F_2)個体において、花の形状が第1領域から「がく片・がく片・がく片・がく片」となる個体の遺伝子型とその割合(%)を記せ。また、花の形状が第1領域から「めしべ・めしべ・めしべ・めしべ」となる個体の遺伝子型とその割合(%)を記せ。ただし、割合は小数点以下第2位まで記せ。

究極奥義 10 X染色体の不活性化と染色体不分離(☆☆) (2008・北海道大・第2問(改))

ヒトを含む多くのほ乳類では、オスはX染色体を1本しかもたないのに対し、メスは2本もつ。そのため、X染色体上の遺伝子量が、メスはオスの2倍になってしまう。そこでほ乳類では、メスをもつ2本のX染色体のうち、一方を凝縮させ、不活性化させることにより、そのX染色体に存在している多くの遺伝子が伝令RNAに転写されないようにしている。2本のX染色体のうちどちらが不活性化されるかは、発生途中において体細胞ごとに無作為に決定される。一度不活性化されたX染色体は、体細胞が分裂して得られた娘細胞にも引き継がれる。つまり、ヒトの女性や、他のほ乳類のメスのからだは、父親由来のX染色体が不活性化されている体細胞群と、母親由来のX染色体が不活性化されている体細胞群とが、まだら状に存在している。

X染色体の不活性化がもたらす生命現象として、三毛猫の毛色が知られている。三毛猫とは、皮毛の色がオレンジ、黒、白の三色のまだら模様をもつネコである。三毛猫の毛色は表1に示されている二つの対立遺伝子により決定される。なお、優性遺伝子を大文字で、劣性遺伝子を小文字であらわす。遺伝子AおよびaはX染色体に存在しており、優性のA遺伝子はオレンジを、劣性のa遺伝子は黒のみを発色するとする。遺伝子Bおよびbは常染色体に存在しており、優性のB遺伝子は白斑模様をつくり、劣性のb遺伝子は白斑模様をつくらないとする。

表1 ネコの遺伝子と毛色

遺伝子	毛色
A	オレンジ
a	黒
B	白斑模様をつくる
b	白斑模様をつくらない

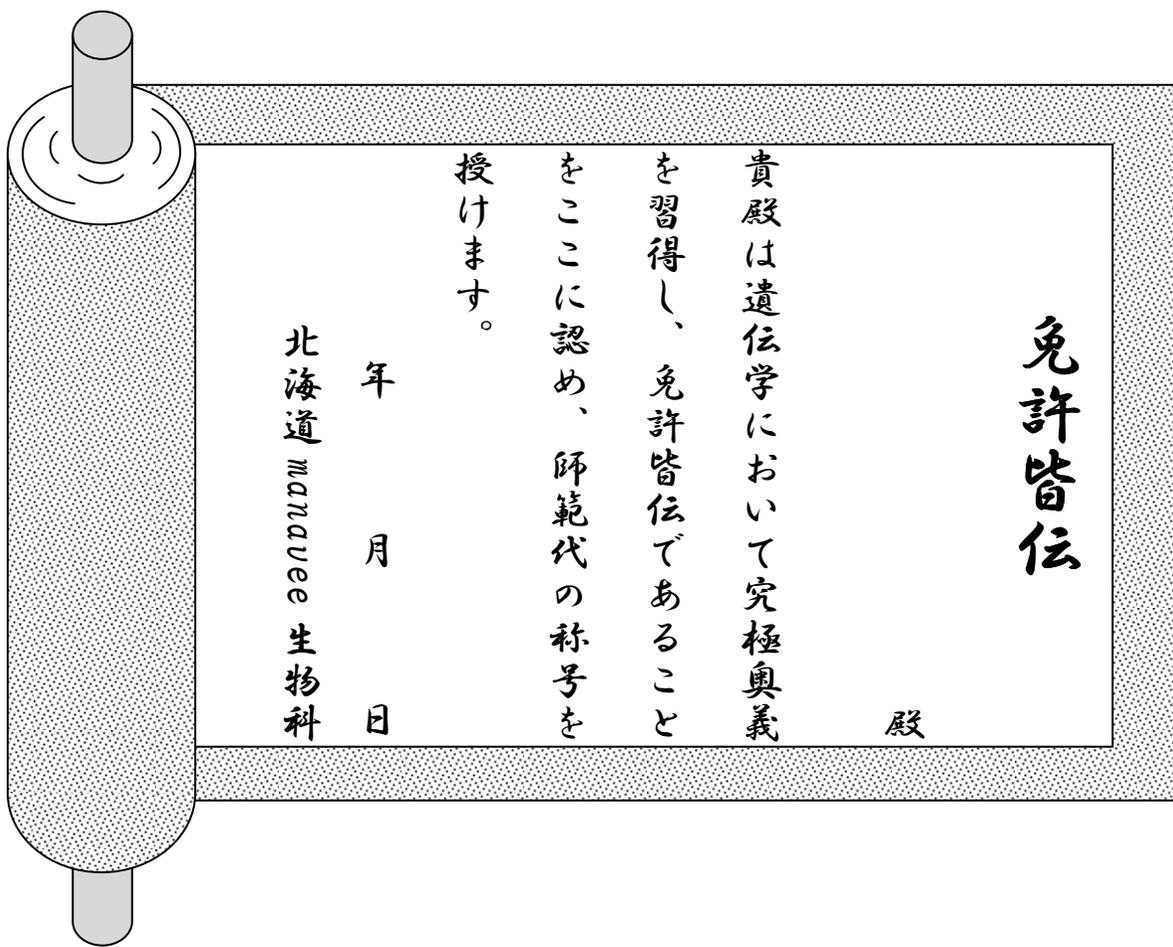
問1 以下の毛色をもつメスネコのすべての遺伝子型を答えよ。

- (1) 黒一色
- (2) オレンジと白の二色のまだら模様
- (3) オレンジと黒と白の三色のまだら模様(いわゆる三毛猫)

問2 $X^A Y B b$ と $X^A X^a B b$ を交雑して生じる子供の表現型とその比率はどうなるか。

問3 三毛猫が生じることから、X染色体の不活性化する時期としてありえない時期は、発生過程のどの時期か。

問4 一般に三毛猫は雌だけで、雄には生じないといわれている。しかし、まれには雄の三毛猫も存在する。三毛の雌ネコと黒毛の雄ネコから雄の三毛猫が生まれた。どのような現象によって雄の三毛猫が生じたかを三毛猫の雄がまれにしか現れない理由を添えて説明せよ。ただし、雄ネコから生じた精子は全て正常なものであったとする。



免許皆伝

殿

貴殿は遺伝学において究極奥義
を習得し、免許皆伝であること
をここに認め、師範代の称号を
授けます。

年 月 日

北海道 MANDUOE 生物科