練 習 問 題

用語

問 1

次のa～iの用語に最もよく合致するものを，下の1～9から選びなさい。

a　適合度
b　遺伝子プール
c　適合度コスト
d　対立遺伝子頻度
e　遺伝子型頻度を表すもの
f　ヘテロ接合優勢
g　平衡頻度
h　遺伝的浮動
i　遺伝率

1　遺伝子型のうちで最も適合度の高いのはヘテロ接合型である。
2　対立遺伝子頻度の偶然的な変動
3　生存と生殖の能力
4　全表現型変動のうち，遺伝的分散に寄与する割合を表すもの
5　ある集団の構成員が担う対立遺伝子の集まり
6　p^2 と q^2
7　p と q
8　ある特定の遺伝子型は，ある状況では有利であっても，別の状況では不利になる。
9　$\Delta q = 0$ のときのある対立遺伝子の頻度

21.1

問 2

カエルの一定の集団では，120匹が緑色，60匹が褐色の入った緑色，20匹が茶褐色である。茶褐色を指定している対立遺伝子を G^B，それに対して緑色を指定している対立遺伝子を G^G とし，これらの2つの対立遺伝子は互いに不完全優性である。

a　この集団における遺伝子頻度はどうなるか？
b　この集団における G^B の対立遺伝子頻度と G^G の対立遺伝子頻度はどうなるか？
c　もし，この集団がハーディ–ワインベルグの平衡状態にあるとしたら，期待される遺伝子型頻度はどうなるか？

問 3

次の集団のうち，ハーディ–ワインベルグの平衡状態にあるものはどれか？

集団	*AA*	*Aa*	*aa*
a	0.25	0.50	0.25
b	0.10	0.74	0.16
c	0.64	0.27	0.09
d	0.46	0.50	0.04
e	0.81	0.18	0.01

問 4

Delta（デルタ）と呼ばれるショウジョウバエの優性突然変異は，*Delta* / ＋のヘテロ接合体で翅の形態に変化をもたらす。この突然変異がホモ接合（*Delta* / *Delta*）だと致死となる。150匹の集団では，60匹が正常な翅，90匹が異常な翅をしていた。

a　この集団における対立遺伝子頻度はいくつか？
b　aで計算した対立遺伝子頻度から，次世代で160匹の生存成体を数えるには，この集団で接合体をいくつつくる必要があるか？
c　もし，ランダムな交配が行われ，移動がなく，突然変異が起こらず，遺伝的浮動の効果を無視するとしたら，aの集団からの160匹の生存子孫を数えたときに，次世代の異なる遺伝子型の期待数はいくつになるか？
d　次世代はハーディ–ワインベルグの平衡になるか？ なるとしたらなぜか。また，ならないとしたらなぜか？

問 5

ランダムに交配がされる大きな集団の個体は，次のような血液型の割合の状態であった。

0.5 MM
0.2 MN
0.3 NN

この血液型遺伝子は常染色体性であり，対立遺伝子 M と N は共優性である。

a　この集団は，ハーディ–ワインベルグの平衡にあるか？
b　ハーディ–ワインベルグの平衡を仮定した条件下では，1世代後には対立遺伝子頻度と遺伝子型頻度はどのようになるか？
c　ハーディ–ワインベルグの平衡を仮定した条件下では，2世代後には対立遺伝子頻度と遺伝子型頻度はどのようになるか？

問 6

Q と呼ばれる遺伝子には，2つの対立遺伝子 Q^F と Q^G があり，血液型の型分けができる赤血球細胞の2つの相互型タンパクをコードしている。この遺伝子とは，独立に分離する異なっ

たRと呼ばれる遺伝子には2つの対立遺伝子R^CとR^Dがあり，異なった血液型の型分けができる赤血球細胞の2つの相互型タンパクをコードしている。フットボール熱狂愛好家の集団からランダムに代表を選んで，血液型をもとに遺伝子型を調べたところ，次のような分布が推論された（遺伝子型のすべてが，男女にかかわりなく等しく分布していた）。

$Q^FQ^FR^CR^C$	202
$Q^FQ^GR^CR^C$	101
$Q^GQ^GR^CR^C$	101
$Q^FQ^FR^CR^D$	372
$Q^FQ^GR^CR^D$	186
$Q^GQ^GR^CR^D$	186
$Q^FQ^FR^DR^D$	166
$Q^FQ^GR^DR^D$	83
$Q^GQ^GR^DR^D$	83

この試料は1,480人の熱狂愛好家から成り立っている。

a　この集団では，Q遺伝子とR遺伝子のいずれか，あるいは両方について，ハーディ–ワインベルグの平衡状態にあるか？

b　この（試料からなる）グループの1世代でランダムな婚姻があったあとに，次世代のどのくらいの割合が，Q^F Q^Fとなっているか？ ただし，R遺伝子型とは独立に考える。

c　ランダムな婚姻があったあとに，熱狂愛好家の次世代のどのくらいの割合がR^C R^Cとなっているか？

d　Q^F Q^G R^C R^Dの女性とQ^F Q^F R^C R^Dの男性との間の第1子がQ^F Q^G R^D R^Dの男子となる機会はどれくらいか？

問7

対立遺伝子頻度（p）が0.5で，遺伝子型頻度（p^2）が0.25である集団は，ハーディ–ワインベルグの平衡状態にある。ある集団は，対立遺伝子頻度（p）が0.1で，遺伝子型頻度（p^2）が0.01でありながら，しかもハーディ–ワインベルグの平衡状態にあるとしたら，この事実をどのように説明できるか？

問8

ある対立遺伝子が優性であるとき，集団中での表現型の割合が3：1（3/4が優性個体：1/4が劣性個体）になるまでは，必ずしも増加するとは限らないのはなぜか？

問9

時は1998年，米国船籍のメディスコル・バウンティ号に乗船した男女の船乗り（男女同数）が南太平洋で反乱を起こし，バリ・ハイ島に植民した。そこでは，土着のポリネシア人の集団と接触するようになった。島に上陸した400人の船乗りのうち，324人がMMの血液型，4人がNN血液型，72人がMN血液型である。島にはすでに19～23歳までの600人のポリネシア人がいる。ポリネシア人の集団では，M対立遺伝子の頻度は0.06，N対立遺伝子は0.94である。今後10年間は，この島を訪れる人はいない。

a　反乱を起こした船乗りの集団では，N対立遺伝子の対立遺伝子頻度はいくらか？

b　時は2008年，バリ・ハイ島では1,000人の子どもがすでに誕生した。もし1998年に島の1,000人の若者からなる混合集団で，婚姻がランダムになされ，血液型の表現型の違いが生存率には影響しないとすると，1,000人の子どものうち，何人がMN血液型であることが期待されるか？

c　実際には50人の子どもがMM血液型，850人の子どもがMN血液型，100人の子どもがNN血液型である。子どもにおけるN対立遺伝子頻度の観察値はいくらか？

問10

アルカプトン尿症は，尿が黒色に変化する症状をともなう劣性常染色体性の遺伝病である。米国では，約25万人に1人がアルカプトン尿症である。

a　ハーディ–ワインベルグの平衡状態にあることを仮定して，この形質を規定する対立遺伝子の頻度を求めなさい。

b　米国のヒト集団でこの形質を保因している人の割合はいくらか？ この集団で，アルカプトン尿症にかかっている人数と保因者の比はいくらか？

c　ある夫との間にアルカプトン尿症にかかった1人の子どもをもち，本人はこの病気にかかっていない女性が再婚したとする。再婚によって生まれるかもしれない子どもがアルカプトン尿症にかかる可能性はどのくらいあるか？

d　アルカプトン尿症は比較的良性の症状を示すので，遺伝子型がどうであっても選択の有利性はほとんどない。その結果として，aでハーディ–ワインベルグの平衡状態にあることを仮定するのは理にかなっている。では，もっと重篤で劣性の常染色体性である，例えば嚢胞性線維症のような場合でも，対立遺伝子頻度や保因者頻度を求めるのにハーディ–ワインベルグの平衡状態を仮定することはできるだろうか？

問11

$p^2 + 2pq + q^2 = 1$の式は，ハーディ–ワインベルグの比を

表し，ある集団内の2つの対立遺伝子だけからなる遺伝子についての検定を行う。

a　3つの対立遺伝子からなる1遺伝子の遺伝子型に関する平衡状態での比を示す同様な式を導きなさい（ヒント：ハーディ–ワインベルグの式は，二項式 $(p + q)^2$ の展開であることを思い出してほしい）。

b　3つの対立遺伝子（I^A，I^B および i）からなる1つの遺伝子がABO血液型をコードしている。血液型A個体は I^AI^A または I^Ai のいずれかでありうる。血液型B個体は I^BI^B または I^Bi のいずれかでありうる。血液型AB個体は I^AI^B，血液型O個体は ii である。米国人では，I^A の対立遺伝子頻度は0.360，I^B の対立遺伝子頻度は0.104，i の対立遺伝子頻度は0.536である。この集団での4つの血液型の個体頻度を，ハーディ–ワインベルグの平衡状態にあることを仮定して計算しなさい。

問12

a　X染色体に位置する遺伝子の対立遺伝子もまた，平衡状態に達しうるが，しかしハーディ–ワインベルグの仮定下での平衡頻度は，2つの性ごとに別に計算しなければならない。A と a の対立遺伝子からなる1つの遺伝子では対立遺伝子それぞれが p と q であるとき，男性と女性について，すべての遺伝子型の平衡頻度を示しなさい。

b　米国の約1万人に1人がX連鎖した劣性の状態にある血友病に悩まされている。もし集団がハーディ–ワインベルグの平衡状態にあると仮定すると，米国の女性のどのくらいの割合が血友病になりうるだろうか？ また，米国に住む1億人の女性のうち，約何人が血友病であると考えられるか？

問13

1927年，眼科医のジョージ・ウォーラーはノルウェイのオスロで9,049名の男子生徒に対し，赤緑色覚異常の検査を行い，8,324名が正常，725名が色覚異常であることを見つけた。また，9,072名の女子生徒を検査し，9,032名は正常な色覚であったが，40名は色覚異常であった。

a　同じ性連鎖の劣性対立遺伝子 c が赤緑色覚異常のすべてを引き起こすと仮定して，c 対立遺伝子と C 対立遺伝子（正常な色覚）の対立遺伝子頻度を男子生徒のデータから計算しなさい（注：問12aの解答参照）。

b　ウォーラーの試料は，この遺伝子がハーディ–ワインベルグの平衡状態にあることを証明しているだろうか？ ただし，解答では，観察された事実がこの仮説に合致しているのか，矛盾しているのかを記述しなさい。

これらの生徒を詳細に解析して，彼の試料では色覚異常をもたらす対立遺伝子が，c 対立遺伝子以外にも実際に存在することをウォーラーは発見した。1種類は“主人公（prot）”型（c^p）であり，もう1種類は“脇役（deuter）”型（c^d）である（第一赤色異常と第二緑色覚異常とは（先天性）赤緑色覚異常のわずかに違う形である）。重要なことに，ウォーラーの研究における“正常型”女子にはおそらく c^p/c^d 遺伝子型も含まれていることだ。40名の色覚異常の女子をさらに調べてみると，3名は主人公型（c^p/c^p）であり，37名は脇役型（c^p/c^d）であった。

c　この新たな情報にもとづけば，ウォーラーによって調査された集団には，c^p，c^d および C の対立遺伝子の対立遺伝子頻度はそれぞれいくらになるか？ ただし，これらの値を計算する際には，それぞれの頻度がハーディ–ワインベルグの平衡にしたがうものとする（注：問11aの解答参照）。

d　この集団が平衡状態にあるとして，男子と女子で期待されるすべての遺伝子型頻度を計算しなさい。

e　これらの結果から，オスロのこの集団は，（先天性）赤緑色覚異常が本当に平衡状態にありそうだといえるのだろうか，あるいはいえそうもないのだろうか？ その理由を説明しなさい。

問14

カリブ海の島にある新設大学では，700人の教員をフランスとケニアの単科大学から募集した。500人がフランスから，200人がケニアから到着し，それぞれ男女は同数であった。到着時，フランス人のうちの90人，ケニア人のうちの75人がそれぞれの眼球を上に向けて目を丸める特有の形質を表現した。この形質を調べてみると，*Ugh* と呼ばれる単一の遺伝子の優性対立遺伝子が発現されているのが常にあることを発見した。ケニアとフランスの実地研究を行ってわかったことは，これらの離れた2つの集団であるにもかかわらず，両者で *Ugh* 遺伝子座にある，これらの2つの対立遺伝子がハーディ–ワインベルグの平衡状態にあった。この島に訪れた教員のすべてが独身であったが，2，3年間教鞭をとってからランダムに教員どうしがすべて結婚した。こうした婚姻の結果生まれた1,000人の子どもの中で，何人がこの目を丸める表現型を示すと期待されるだろうか？

問15

ショウジョウバエの痕跡翅劣性対立遺伝子である *vg* は，翅をとても小さくする原因である。ある遺伝学者が純系の野生型の雄と痕跡翅の処女雌とを交配した。F_1 のハエは，雄，雌とも野生型であった。次に F_1 のハエどうしを交配できるようにしておいたところ，F_2 の雄，雌ともに1/4が痕跡翅であった。痕跡翅の F_2 のハエを捨てて死にいたらしめたのち，

野生型をしたF_2のハエを交配できるままにしておき，F_3世代をつくった。

a　野生型をしたF_2のハエの遺伝子型と対立遺伝子頻度を求めなさい。

b　F_3では野生型と痕跡翅のハエの頻度はどのようになるか？

c　F_3のハエでの選択を繰り返すとしたら（F_3のハエを捨てて死にいたらしめたのち，野生型をしたF_3のハエを交配できるままにしておく），F_4世代での野生型対立遺伝子頻度と突然変異対立遺伝子の頻度はどうなるか？

d　F_4のハエでは，今度はランダムに交配が起こるにまかせた（すなわち野生型のハエも痕跡翅のハエもともに交配させる）。F_5のハエでの野生型と痕跡翅型の頻度はどうなるか？

問16

マウスの不完全優性の突然変異（t＝*tailless*，尾のない）は，ヘテロ接合体（t^+/t）で短い尾を形成させる。この同じ突然変異は劣性致死として作用し，ホモ接合体（t/t）では子宮内で致死となる。150匹のマウスからなる集団では，60匹がt^+/t^+であり，90匹がヘテロ接合体である。

a　この集団での対立遺伝子頻度はいくらか？

b　マウス間でランダムな交配が行われ，移動がなく，突然変異もなく，ランダムな遺伝的浮動もないと仮定したとき，次の世代で200匹の子マウスが生まれた場合，異なる遺伝子型の期待される数はいくらか？

c　マウスの2つの集団（組1と組2）が接触し，ランダムに交配した。集団は，初めは次のような野生型（t^+/t^+）ホモ接合体と，尾のない（t^+/t）ヘテロ接合体からできていた。

	組1	組2
野生型	16	48
尾なし型	48	36

次の世代における2つの遺伝子型頻度はいくらか？

21.2

問17

完全に劣性で有害な対立遺伝子が自然選択によって除去されるのが困難であるのはなぜか？

問18

ある対立遺伝子頻度（q）が0.2である集団や対立遺伝子頻度が0.02である集団で，ある世代から次の世代へかけてΔqが大きくなることがあるか？ ただし，相対的適合度が両世代で同じであることと，qの平衡頻度が0.01であると仮定しなさい。

問19

雄のグッピーで尾の大きさをコードしている常染色体性の遺伝子が同定され，長い尾をコードする優性の対立遺伝子Bと短い尾をコードする劣性対立遺伝子bとがある。雌のグッピーではすべての遺伝子型で小さな尾の大きさとなる。雌のグッピーは通常，長い尾の雄と交配する。しかし，この傾向性に与える集団密度や性比の効果は研究されていない。そこで，3つの水槽に同数の雄を配置した。水槽1では，雌の数が雄の数の2倍である。水槽2では，雄と雌は同量である。水槽3では，雌の数が雄の数の1/2倍である。

交配の後，子の世代には次のような尾の短い雄の割合が見出された。水槽1では16％，水槽2では25％，水槽3では30％。

a　最初の集団で雄の25％が短い尾であるとする。対立遺伝子頻度は雌雄で同じであるとすれば，この最初の集団におけるBとbの対立遺伝子頻度を計算しなさい。

b　それぞれの水槽におけるΔqを計算しなさい。

c　もし，$w_{BB} = 1.0$だとすれば，それぞれの水槽でのw_{Bb}はいくらになるか？

d　もし，$w_{BB} = 1.0$だとすれば，w_{bb}はそれぞれの水槽で1.0より少ないか，等しいか，あるいは大きいか？

問20

*G6PD*遺伝子のある対立遺伝子は，ソラマメに対する過敏症になるのに劣性に作用し，ソラマメを消化したあとに溶血反応（赤血球の溶解）を引き起こす。同じ対立遺伝子がマラリアに対する抵抗性が優性になるように作用している。ヘテロ接合体は，マラリアが流行している地域では有利である。平衡頻度（q_e）は，アフリカ諸国と北米諸国では同じであろうか？ また，q_eに影響する因子とは何か？

問21

欧州では，嚢胞性線維症を引き起こす常染色体劣性のCF^-対立遺伝子の頻度は約0.04である。嚢胞性線維症は，事実上，すべての場合で生殖時期以前に致死となる。

a　病気でない者，保因者および発症した者の遺伝子型について，適合度の値（w）と選択係数の値（s）をそれぞれ求めなさい。

b　この集団全体の誕生時における嚢胞性線維症の形質に関する平均適合度（$\bar{w}$）と，次世代の誕生時に求める1世代を超えての対立遺伝子における変化の期待値（Δq）を決定しなさい。

ここで，CF^+からCF^-対立遺伝子への突然変異率を1×10^{-6}とする。

c　CF^-対立遺伝子の進化的平衡頻度（$\hat{q}$）の期待値はいくらか？

d　aで求めたCF^-/CF^-遺伝子型に対するs値を変えずに，cで認められたCF^-対立遺伝子の観察される頻度と期待される頻度の違いを説明しなさい。

21.3

問22

異なる生物で表現型変動における遺伝的因子や環境的因子の役割を決定するのに，次のa～cはどのように使用できるか？

a　遺伝的クローン

b　ヒトの一卵性双生児および二卵性双生児

c　交換飼育

問23

ある国のヒト集団で高い遺伝率の形質について，次のa～cのうち，どれが正しいか？

a　一卵性双生児間の表現型差異と，二卵性双生児間の表現型差異はほぼ同じでありうる。

b　一卵性双生児間の表現型差異はほとんどないが，二卵性双生児間は変異性が高い。

c　他の国の集団でも，その形質は同じ遺伝率となる。

問24

a　同じ家族で生まれた双生児どうしは，一卵性双生児（MZ）での環境類似性と，兄弟関係にある二卵性双生児（DZ）での環境類似性とは有意な差がない。このことが遺伝率を計算するのに重要なのはなぜか。

b　ヒトの特定の形質について，遺伝率を決定しようとするとき，一卵性双生児（MZ）と二卵性双生児（DZ）とでは有益なのはどちらか。その説明しなさい。

問25

1937年に発表された研究で，双子〔一卵性双生児（MZ）あるいは二卵性双生児（DZ）〕の組と兄弟姉妹の組での3つの異なる形質，身長，体重およびスタンフォード・テストによって測定した知能指数（IQ）に関して，平均的な相違を検討した（“IQ”の概念はきわめて論争が絶えない。なぜなら，IQテストが生まれながらの知性をどの程度計れるものかが曖昧である。ここでは，その意義がわからなくてもIQをある測定可能な表現型と考えよう）。一卵性双生児（MZ）には同一所帯で成長したもの（raised together：RT）と別所帯で成長したもの（raised apart：RA）とがあった。この研究の結果は，次のようであった。

	MZ/RT	MZ/RA	DZ	兄弟姉妹
身長	1.7 cm	1.8 cm	4.4 cm	4.5 cm
体重	1.86 kg	4.49 kg	4.54 kg	4.72 kg
IQ	5.9	8.2	9.9	9.8

a　これら3つの形質のうち，遺伝率が最も高いものはどれか。また，最も低いものはどれか？

b　国立衛生研究所（NIH）の疾病対策センター（CDC）の最近の報告では，1960～2002年までの米国において15歳の少年の平均体重は，61.46 kgから68.17 kgにまで増加した。同じ期間で，15歳の少年の平均身長は，171.5 cmから173.7 cmに増加した。これらの統計値は，aで求めた遺伝率とあっているか？

問26

地上性のリスに稀にみられるある形質について，異なる2つの研究者グループが研究して，異なった遺伝率を報告した。遺伝率の値に影響する因子のうち，2つの結論を正しくするのは何か？

問27

ヒト遺伝学がフィンランド人の集団で発見されたのは，さまざまな条件を研究するのに非常に有利であったからである。フィンランド人の集団は小さく，系譜を記した大規模な教会記録がある。また，この集団に移入した人々はわずかにすぎない。他国に比べて，フィンランド人の集団ではある劣性の病気の頻度が高い。一方，フェニルケトン尿症（PKU）や嚢胞性線維症のような他の地域で共通してみられる病気は，フィンランド人の集団内には存在しない。

a　このような病気の発生に変動があることを集団遺伝学で説明することができるか？

b　フィンランド人の集団は，定量的形質の研究にとっても，情報源となっている。統合失調症の遺伝的基礎は，この集団で探ることのできる1つの問題である。フィンランド人の集団構造にもとづき，複雑な形質の研究において，どのような有利さと不利さがあると想像されるか？

問28

ある集団には，類似した表現型分散をした2つの形質が存在する。一方の形質には，表現型に影響する2つのおもな遺伝子と副次的な影響を与える6つの遺伝子座があり，もう一方の形質には，表現型に副次的な影響を与える12個の遺伝子座があるものの主たる影響を与える遺伝子はないとする。どちらの形質が最も矛盾なく，選択に応答すると期待できるか？

問29

ある1遺伝子座の2個の対立遺伝子は3種類の明瞭な表現型を生じる。2つの遺伝子に2個ずつある対立遺伝子は5種類の明瞭な表現型を生じる。6つの遺伝子に2個ずつある対立遺伝子は13種類の明瞭な表現型を生じる（いずれの遺伝子座の対立遺伝子も共優性であり，どの遺伝子も表現型に同等に寄与しているとする）。

a　この相関関係を表す式を導きなさい。ただし，nを遺伝子数に等しいとする。

b　1遺伝子座の2個の対立遺伝子がコードするある形質の極端な表現型は，それぞれF_2世代の1/4の割合で見出せる。もし，ある形質をコードする2つの遺伝子に2個ずつの対立遺伝子があるとすると，それぞれの極端な表現型はF_2世代の集団で1/16の割合で存在することとなる。普通のコムギ（*Triticum aestivum*）では，穀粒の色は赤色から白色までの変動があり，発色を制御する遺伝子は加算的にはたらく。すなわち，それぞれの遺伝子の対立遺伝子は共優性であり，それぞれの遺伝子は発色に同等に寄与する。純系の赤色変異種を純系の白色変異種と交配し，F_2世代は赤色穀粒が1/256，白色穀粒が1/256となった。この交配には，どのくらいの穀粒の発色を制御している遺伝子があるか？

問30

ある植物では，葉の大きさが4つの独立した類別遺伝子が加算的にはたらくことで決まる。すなわち，対立遺伝子A，B，C，Dのそれぞれが葉長を4 cm伸ばすのにはたらき，対立遺伝子A'，B'，C'，D'のそれぞれが葉長を2 cm伸ばすのにはたらく。そのため，（遺伝子型が）A/A，B/B，C/C，D/Dからなる植物体は葉長が32 cmとなり，（遺伝子型が）A'/A'，B'/B'，C'/C'，D'/D'からなる植物体は葉長が16 cmとなる。

a　葉長が32 cmの純系の植物と葉長が16 cmの純系の植物を交配すると，F_1世代は葉長が24 cmとなる，すなわち（遺伝子型は）A/A'，B/B'，C/C'，D/D'である。これらのF_1の植物から生み出されたF_2世代における可能なすべての葉長と，それらが期待される頻度を示しなさい。

b　ランダムに交配が起きた集団をここで仮想してみると，次のような対立遺伝子頻度を生じる。

$$
\begin{aligned}
A\text{の頻度} &= 0.9\\
A'\text{の頻度} &= 0.1\\
B\text{の頻度} &= 0.9\\
B'\text{の頻度} &= 0.1\\
C\text{の頻度} &= 0.1\\
C'\text{の頻度} &= 0.9\\
D\text{の頻度} &= 0.5\\
D'\text{の頻度} &= 0.5
\end{aligned}
$$

4つの遺伝子ごとに，3通りの遺伝子型の期待頻度をそれぞれ計算しなさい。

c　bの集団で，葉長が32 cmになる植物個体の割合はいくらか？