

第三章 遺伝

①形質と表現型

生物が持つ形や性質などを____といい、形質として現れるものを____という。形質には、色・形・大きさなど一見してわかるものや、耐乾性・耐病性・物質合成など詳しく調べないとわからないものまで、さまざまなものがある。

(1) _____…親から子へ遺伝する形質→血液型・指紋・毛髪の色など

cf. _____…親から子へ遺伝しない形質→筋力・知識など

(2) _____…互いに対になる形質→ヒトの耳あかのウェットとドライ

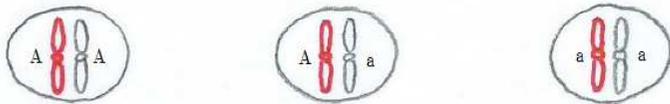
②遺伝子と形質

(1) _____…相同染色体の対応する位置(遺伝子座)に存在する、一对の遺伝子

→一般に、優性形質を現す優性遺伝子を大文字で、劣性形質を現す劣性遺伝子を小文字で表す

(2)遺伝子型

①優性ホモ：AA ②ヘテロ：Aa ③劣性ホモ：aa



cf.純系・系統・品種は全てホモ接合体と同義

(2)表現型

①優性形質…[A]と表わし、AA と Aa が該当する

②劣性形質…[a]と表わし、aa が該当する

③メンデルの法則…1865年発表→1900年_____, _____, _____らが再発見

(1) _____…対立遺伝子 A と a を合わせもつ個体では、優性形質[A]だけが表現型に現れる

(2) _____…配偶子形成時、対立遺伝子 A と a が互いに分離して別々の配偶子に入る

(3) _____…配偶子形成時、2対の対立遺伝子 A・a と B・b はランダムに各配偶子に入る

④エンドウマメの性質

(1) _____

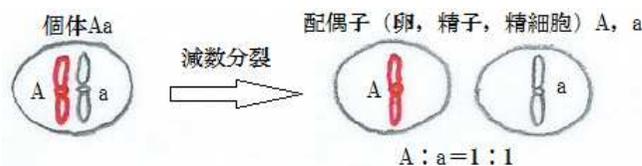
(2) _____

(3) _____

(4) _____

cf.メンデルは種子の形(丸・しわ)、子葉の色(黄・緑)、種皮の色(有・白)、さやの形(膨れ・くびれ)、さやの色(緑・黄)、花の位置(頂性・腋性)、草丈(高性・低性)の7対の対立形質に注目

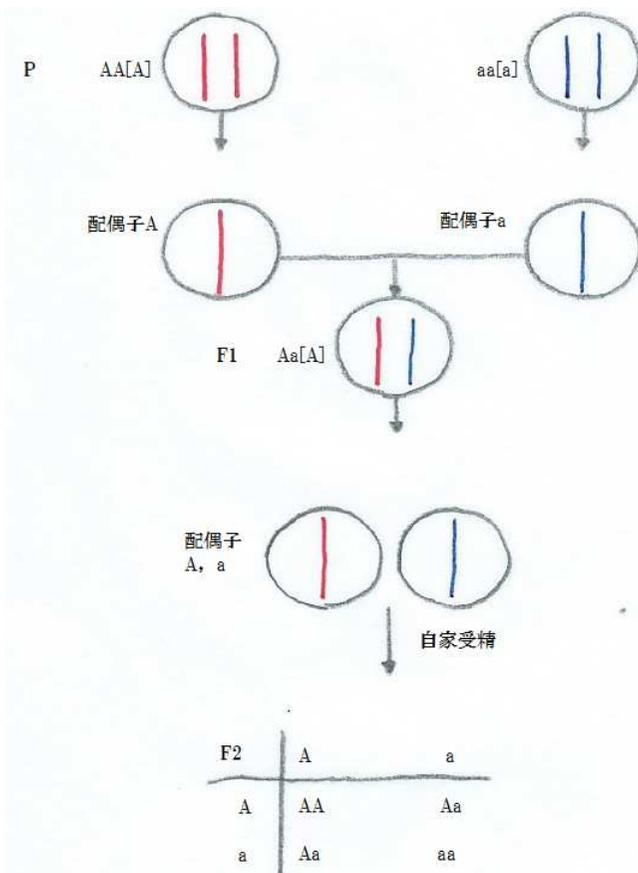
⑤一遺伝子雑種



☞メンデルの法則(分離の法則)

遺伝子の性質と染色体の振る舞いに対応→「遺伝子は染色体に存在する」(サットン染色体説)

(1)家系図



①遺伝子型の分離比…AA : Aa : aa=1 : 2 : 1

②表現型の分離比…[A] : [a]=3 : 1

(2)自家受精による F₃

F₂が AA : Aa : aa=1 : 2 : 1 だから、F₃の遺伝子型の分離比は、

$$(A+A)^2+2(A+a)^2+(a+a)^2=6AA+4Aa+6aa$$

より、AA : Aa : aa=3 : 2 : 3

☆point☆

自家受精

→被検個体の遺伝子型をすべて書き出し、あいだに”+”を入れて、()内の配偶子の数をそろえて

cf.F_nは $AA : Aa : aa=2^{n-1}-1 : 2 : 2^{n-1}-1 (n \geq 1)$ →徐々にホモ接合体の割合が増加する(純系選抜)

(3)自由交配による F₃

F₂が AA : Aa : aa=1 : 2 : 1 だから、F₃の遺伝子型の分離比は、

$$\underbrace{\{(A+A)+2(A+a)+(a+a)\}}_{\text{雄性配偶子}} \times \underbrace{\{(A+A)+2(A+a)+(a+a)\}}_{\text{雌性配偶子}} = (4A+4a)^2 = 16(AA+2Aa+aa)$$

雄性配偶子

雌性配偶子

より、AA : Aa : aa=1 : 2 : 1

☆point☆

自由交配

→被検個体の遺伝子型をすべて書き出し、あいだに”+”を入れて、()内の配偶子の数をそろえて

cf.一定条件を満たす集団では、何代交配を重ねても各遺伝子頻度は変化しない

→ _____

⑥変則的な一遺伝子雑種

(1)不完全優性…対立遺伝子の優劣関係が不完全であるため、優劣の中間の形質が現れる

①マルバアサガオの花の色



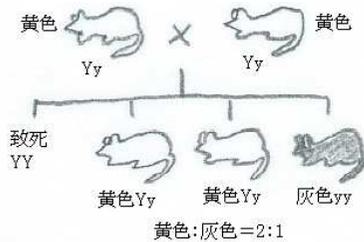
→両遺伝子が発現し、両遺伝子産物が混ざるため、_____ができる

②ヒトのMN式血液型

遺伝子型	MM	MN	NN
表現型(=血液型)	M型	MN型	N型

(2)劣性致死遺伝子…その遺伝子をホモに持つと致死作用が発現し、細胞・個体を死に至らせる

例)ハツカネズミの体色



	体色	致死作用
Y	黄色(優性)	あり(劣性)
y	白色(劣性)	なし(優性)

(3)複対立遺伝子…一つの形質に対して三つ以上の対立遺伝子が存在する

例)ヒトの ABO 式血液型

ヒトの ABO 式血液型

表現型 (血液型)	遺伝子型
A 型	AA, AO
B 型	BB, BO
AB 型	AB
O 型	OO

両親の血液型と子どもの血液型

両親の血液型	子どもの可能性のある血液型	両親の血液型	子どもの可能性のある血液型
A×A	A, O	B×AB	A, B, AB
A×B	A, B, AB, O	B×O	B, O
A×AB	A, B, AB	AB×AB	A, B, AB
A×O	A, O	AB×O	A, B
B×O	B, O	O×O	O

優劣の順は A>B>O

7] 二遺伝子雑種

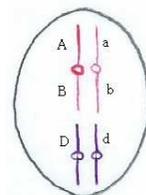
(1)独立の関係にある遺伝子…A・a と D・d, B・b と D・d

異なる相同染色体上に存在する, 2 対の対立遺伝子

(2)連鎖の関係にある遺伝子…A・a と B・b

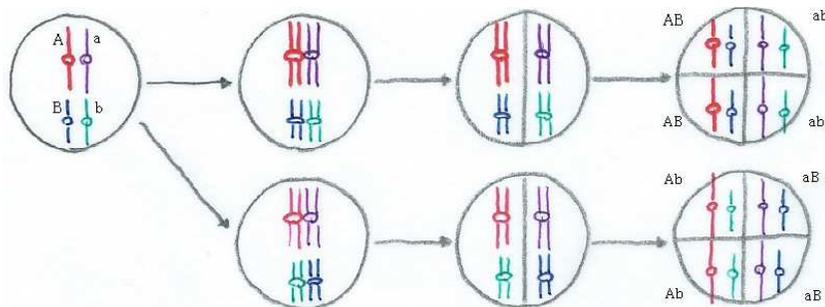
同一の相同染色体上に存在する, 2 対の対立遺伝子

表し方: 「A と B(a と b)が同じ連鎖群に属している」「AB/ab」

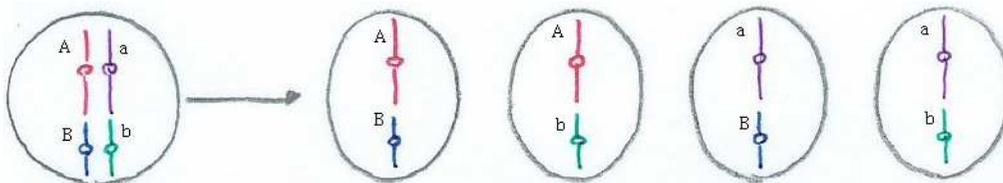


8] 独立の配偶子形成と受精

(1)1 つの生殖母細胞から形成される配偶子…2 種類の配偶子が 2 個ずつ形成される

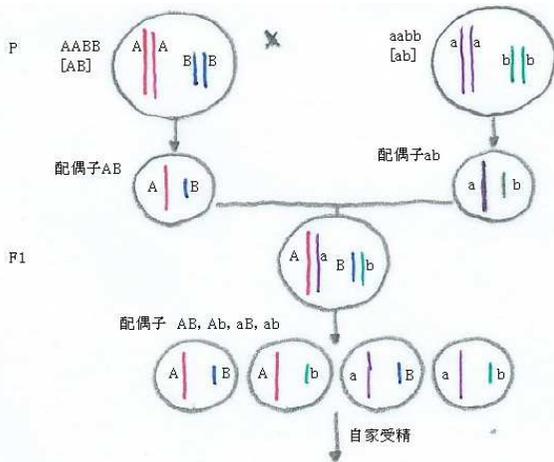


(2)多数の生殖母細胞から形成される配偶子…4 種類の配偶子が全体の 25%ずつ形成される



AB : Ab : aB : ab=1 : 1 : 1 : 1 ←メンデルの法則(独立の法則)

(3)家系図



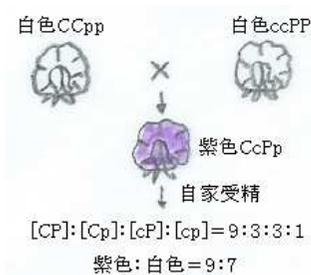
	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb
Ab	AABb	AAbb	AaBb	Aabb
aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb

∴表現型の分離比は、[AB] : [Ab] : [aB] : [ab]=9 : 3 : 3 : 1

[9] 遺伝子の相互作用

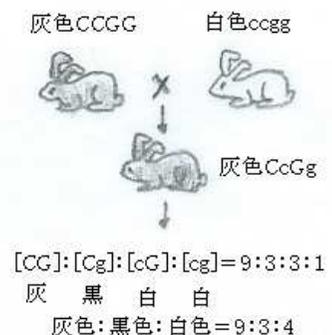
(1)補足遺伝子(スイートピーの花の色)

色素原をつくる遺伝子 C と、それを色素に変えるための遺伝子 P とがそろったとき有色(紫色)になる。



(2)条件遺伝子(カイウサギの毛の色)

毛の色を黒色にする遺伝子 C のみをもった個体は黒色になるが、遺伝子 C と遺伝子 G が共存すると灰色になる。遺伝子 C は遺伝子 G という条件が必要なので、条件遺伝子と呼ばれる。遺伝子 C がない個体は白色になる。



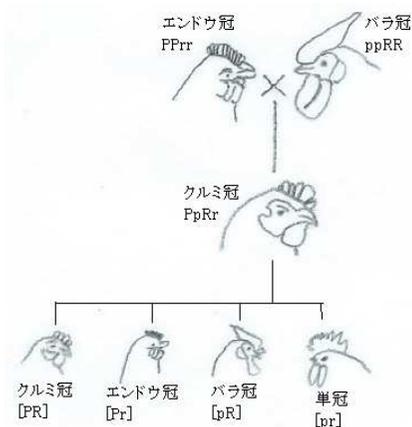
(3)抑制遺伝子(カイコガのまゆの色)

まゆを黄色にする遺伝子 Y があると、黄まゆになるが、そのはたらきを抑える遺伝子 I(抑制遺伝子)が共存すると、黄色の発現が抑えられ、白まゆをつくる。



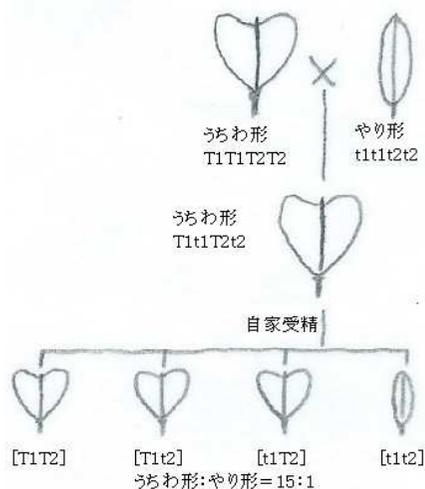
(4)互助遺伝子(ニワトリのとさかの形)

P はエンドウ冠を現す遺伝子, R はバラ冠を現す遺伝子で、共存するとクルミ冠に、共に存在しないと単冠になる。P と R を局助遺伝子と呼ぶこともある。



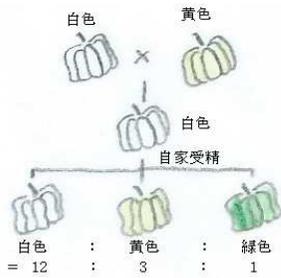
(5)同義遺伝子(ナズナのさやの形)

T₁ と T₂ はどちらもうちわ形を現す遺伝子であるが、どちらか一方だけでもうちわ形になる。共に存在しないときはやり形になる。このような T₁ と T₂ を同義遺伝子と呼ぶ。



(6)被覆遺伝子(カボチャの果実の色)

果実の色を黄色にする遺伝子 B があると、果実は黄色になるが、この遺伝子よりも上位にある果実を白色にする遺伝子 A があると、果実の色は白色になる。また、遺伝子 a, b はともに果実を緑色にする遺伝子である。

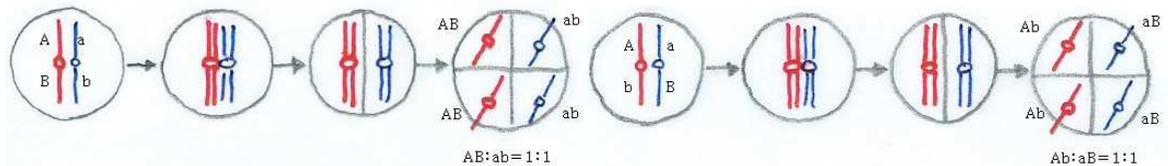


(7)加算遺伝子(コムギの種子の色)

優性遺伝子の数により形質が増強される。色や草丈などの遺伝子に見られる例)4個：濃赤色, 3個：中間濃赤色, 2個：中間赤色, 1個：淡赤色, 0個：白色

10 連鎖の配偶子形成

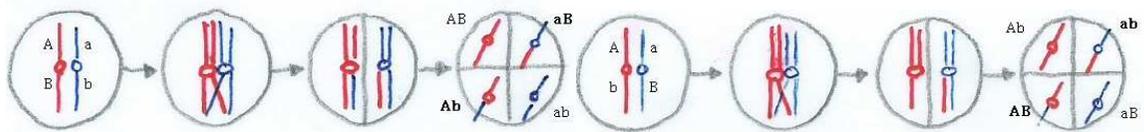
(1)完全連鎖…常に乗り換え組換えが起こらない



(2)不完全連鎖…相同染色体が対合する _____ に、乗換えが起こることがある

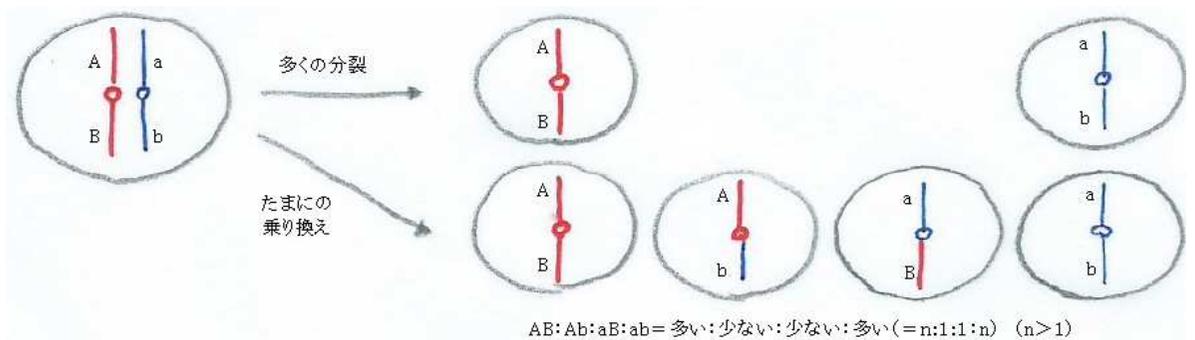
①1つの生殖母細胞の減数分裂で形成される配偶子

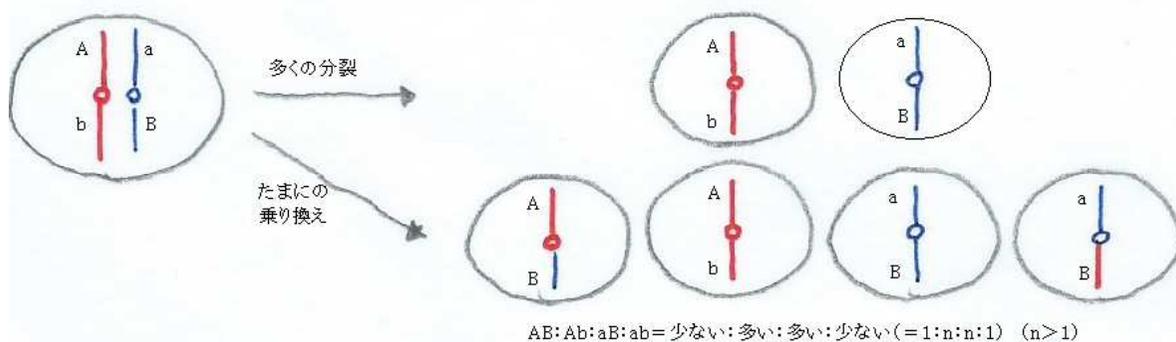
→組換え配偶子を含む、4種類の配偶子が1個ずつ形成される



②多数の生殖母細胞の減数分裂で形成される配偶子

→多数非組換え配偶子の一部に、少数の組換え配偶子が混ざる





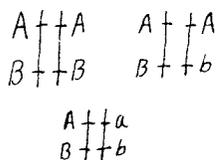
☆point☆

組換え価

$$\text{組換え価} = \frac{\text{組換えを起こした配偶子の数}}{\text{全配偶子の数}} \times 100(\%) = \frac{\text{組換えを起こした子の数}}{\text{検定交雑で生じた子の数}} \times 100(\%)$$

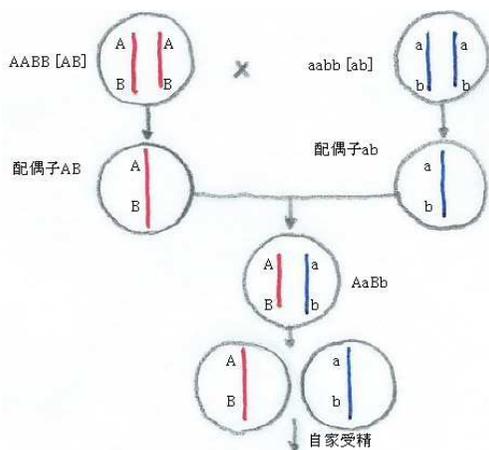
cf.組換え価を求めるには、不完全連鎖の _____ を検定交雑する

(∵ _____)



11 連鎖の家系図

(1)完全連鎖



	AB	ab
AB	AABB	AaBb
ab	AaBb	aabb

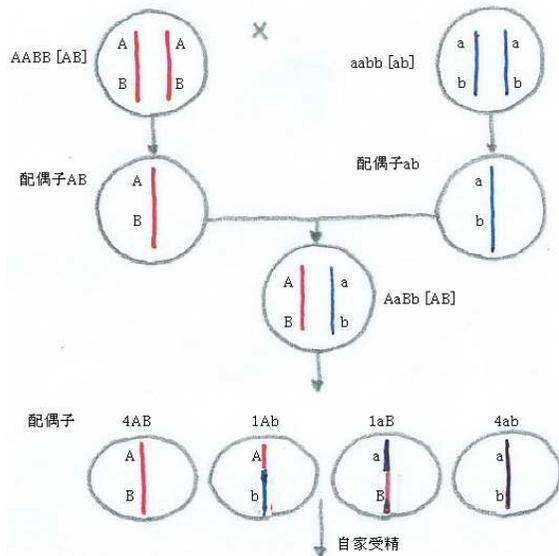
∴表現型の分離比は、[AB] : [Ab] : [aB] : [ab] = 3 : 0 : 0 : 1

cf.完全連鎖を利用し、一方の遺伝子の有無を他方の遺伝子の有無の確認に利用できる

→ _____

cf.リピート多型…表現型としては現れないが、CA繰り返し構造のように、染色体の構造がヒトによって異なるので、マーカー遺伝子の代用として用いられる

(2)不完全連鎖(組換え価 20%)



遺伝子型の分離比は、

$$AABB : AABb \\ = 16 : 8 : 8 : 34 : 1 : 8 : 1 : 8 : 16$$

表現型の分離比は、 $[AB] : [Ab] : [aB] : [ab] = 66 : 9 : 9 : 16$

↳合計が $10 \times 10 = 100$ であることを check!!

☆point☆

独立と連鎖の見分け方

(1)遺伝子座…独立⇒別々の染色体, 連鎖⇒同一染色体上

(2)独立の法則…独立⇒成立, 連鎖⇒不成立

(3) F_1AaBb がつくる配偶子(検定交雑の結果)

①独立… $AB : Ab : aB : ab = 1 : 1 : 1 : 1$

②完全連鎖(AB/ab)… $AB : Ab : aB : ab = 1 : 0 : 0 : 1$

③完全連鎖(Ab/aB)… $AB : Ab : aB : ab = 0 : 1 : 1 : 0$

④不完全連鎖(AB/ab)… $AB : Ab : aB : ab = \text{多} : \text{少} : \text{少} : \text{多}$

⑤不完全連鎖(Ab/aB)… $AB : Ab : aB : ab = \text{少} : \text{多} : \text{多} : \text{少}$

(4) F_1AaBb の自家受精による F_2

①独立… $[AB] : [Ab] : [aB] : [ab] = 9 : 3 : 3 : 1$

②完全連鎖(AB/ab)… $[AB] : [Ab] : [aB] : [ab] = 3 : 0 : 0 : 1$

③完全連鎖(Ab/aB)… $[AB] : [Ab] : [aB] : [ab] = 2 : 1 : 1 : 0$

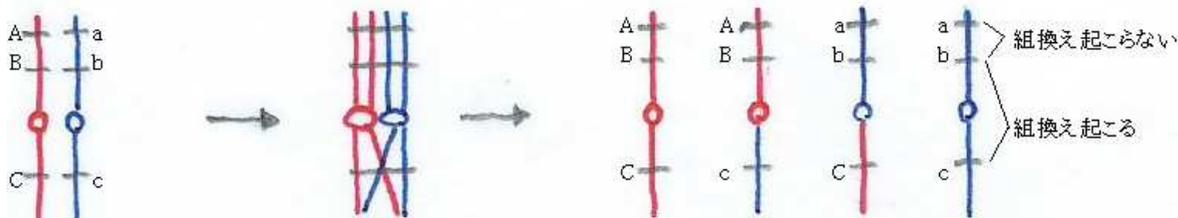
④不完全連鎖(AB/ab)… $[AB] : [Ab] : [aB] : [ab] = \text{多} : \text{少} : \text{少} : \text{多}$

⑤不完全連鎖(Ab/aB)… $[AB] : [Ab] : [aB] : [ab] = \text{少} : \text{多} : \text{多} : \text{少}$ ($9 : 3 : 3 : 1$ 以外)

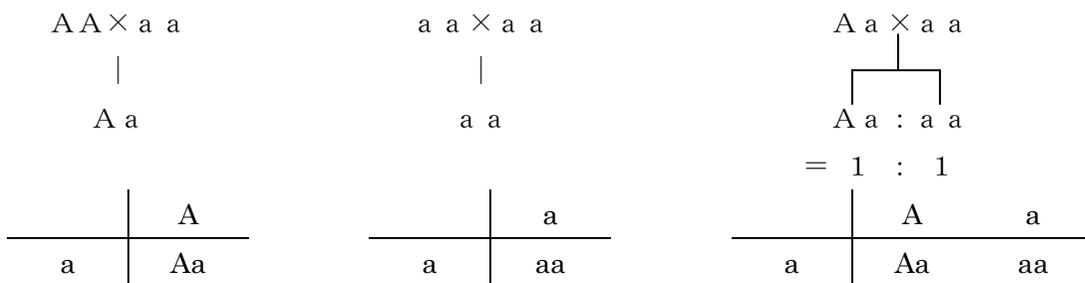
12 組換え価と遺伝子の関係(組換え価は必ず 50%以下)

2 対の遺伝子の関係	組換え価 X(%)
	X=0
	0<X<50
	X=50

(注)組換え価は染色体上の距離に比例



13 検定交雑…劣性ホモ接合体との交配によって遺伝子型を突き止める方法



14 染色体地図

(1)三点交雑法…組換え価を用いて、計算により染色体地図(遺伝学的地図)を作成する方法

→モーガンにより考案

例)A・B の間の組換え価=3%

B・C の間の組換え価=5%

C・A の間の組換え価=8%

(2)双翅目の唾腺染色体(パフ)

①ふつうの染色体の _____ 倍の大きさがあり、間期にも観察できる多糸染色体(巨大染色体)

②普段から _____ しているため、染色体数が _____ 本に見える

③酢酸カーミン溶液・酢酸オルセイン溶液でよく染まる _____ があり、遺伝子の位置と対応する

④横縞の位置から染色体地図(細胞学的地図)を作成することができる

☆point☆

連鎖の関係する問題

→「組換え価」 ⇔ 「配偶子と遺伝子の分離比」 ⇔ 「自家受精の結果(子の表現型の分離比)」
 の関係をおさえよ!!

〔例題 1〕 <計算・配偶子の遺伝子型の分離比→組換え価>

配偶子の分離比が、 $AB : Ab : aB : ab = 4 : 1 : 1 : 4$ のときの組換え価を求めよ。

〔例題 2〕 <計算・組換え価→配偶子の遺伝子型の分離比>

遺伝子型が $AaBb$ の個体と劣性ホモ接合体を交配した結果、組換え価が 20%であることが分かった。配偶子の遺伝子型の分離比を求めよ。ただし、連鎖関係は AB/ab である。

〔例題 3〕 <計算・配偶子の遺伝子型の分離比→自家受精結果(子の表現型の分離比)>

配偶子の分離比 $AB : Ab : aB : ab = 4 : 1 : 1 : 4$ のとき、自家受精により得られる子の表現型の分離比を $[AB]$ などを用いて答えよ。

〔例題 4〕 <計算・自家受精結果(子の表現型の分離比)→配偶子の遺伝子型の分離比>

ある個体を自家受精して生じた子の表現型の比が $[AB] : [Ab] : [aB] : [ab] = 66 : 9 : 9 : 16$ であるとき、ある個体がつくった配偶子の遺伝子型の分離比を答えよ。更に、組換え価も求めよ。

[解答]

〔例題 1〕

〔例題 2〕

〔例題 3〕

〔例題 4〕

ある個体がつくった配偶子を

として、自家受精してみると

↓

∴

よって、組換え価は、

〔例題 5〕 <描図・二重乗換えに注目して染色体地図を書こう>

ある昆虫の眼色，翅の形，体色について，遺伝の実験を行った。これらの形質を担う 3 組の対立遺伝子は同一染色体上にあり，A は赤眼，a は紫眼，B は長翅，b は短翅，D は褐色，d は黒体色を示す遺伝子である。A，B，D はそれぞれ a，b，d に対し優性である。これら，3 組の遺伝子について遺伝子型がヘテロの F₁ をつくり，その雌に遺伝子型が劣性ホモの雄を交配すると，表のような結果が得られた。この結果をもとにして 3 組の遺伝子の染色体地図を作成せよ。ただし，染色体地図の中に組換え価は書かなくてもよい。

F ₂ の表現型	個体数
赤眼・長翅・褐色	10
赤眼・長翅・黒体色	340
赤眼・短翅・褐色	70
赤眼・短翅・黒体色	80
紫眼・長翅・褐色	80
紫眼・長翅・黒体色	70
紫眼・短翅・褐色	340
紫眼・短翅・黒体色	10
合計	1000

〔解答〕

15 性決定様式…性染色体の組合せで雌雄が決まる

型	型の分類	体細胞	配偶子	生物例
XY 型	雄ヘテロ型 (雌雄共に偶数)	♂ 2A+XY ♀ 2A+XX	♂ A+X, A+Y ♀ A+X	哺乳類，ショウジョウバエ，メダカ，アサ(麻)
XO 型	雄ヘテロ型 (雄が奇数)	♂ 2A+X ♀ 2A+XX	♂ A+X, A ♀ A+X	トンボ，コオロギ，ヤマノイモ，バッタ
ZW 型	雌ヘテロ型 (雌雄共に偶数)	♂ 2A+ZZ ♀ 2A+ZW	♂ A+Z ♀ A+Z, A+W	カイコガ，チョウ，ニワトリ，カエル
ZO 型	雌ヘテロ型 (雌が奇数)	♂ 2A+ZZ ♀ 2A+Z	♂ A+Z ♀ A+Z, A	ミノガ(ミノムシ)，トカゲ，トビケラ

例) ショウジョウバエ : $2n=8$

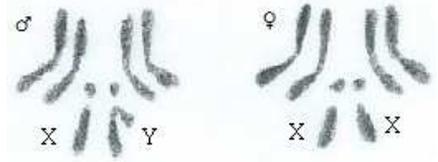
常染色体 : 対

性染色体 : 対

ヒト : $2n=46$

常染色体 : 対

性染色体 : 対



(注) 性染色体上には、性決定以外の遺伝子も存在する

cf. 性決定遺伝子…哺乳類は Y 染色体上の **SRY** 遺伝子によって、ショウジョウバエは X 染色体と Y 染色体の比率で決まる

例) クラインフェルター症(染色体の組合せ : **XXY**)…哺乳類なら♂、ショウジョウバエなら♀

cf. 孵化時の温度による性決定…ワニの場合は一定より高い温度では♂、低い温度では♀、

ウミガメの場合は一定より高い温度では♀、低い温度では♂

16 伴性遺伝

(1) 限性遺伝…雌雄一方しか持たない性染色体(Y, W)上の遺伝子による遺伝

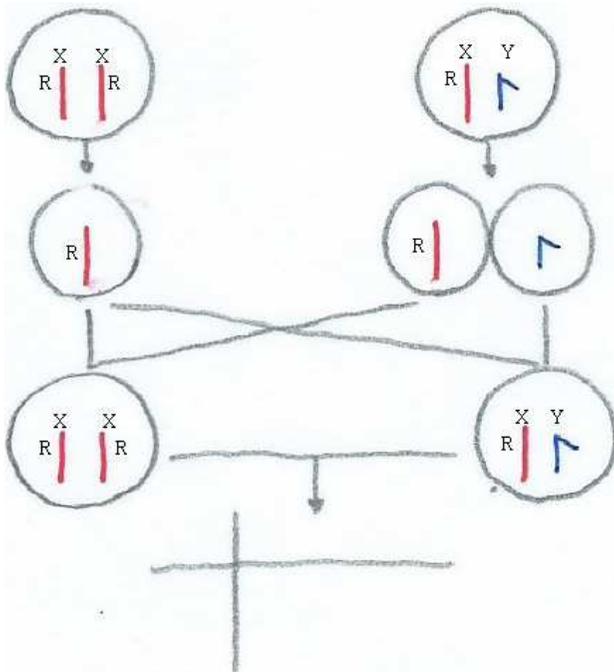
→ XY 型生物では、Y 染色体は雄のみが持つので、Y 染色体上の遺伝子は雄のみに遺伝する

例) グッピーの斑紋

(2) 伴性遺伝…雌雄に共通する性染色体(X, X)上の遺伝子による遺伝

→ 雌雄で染色体数に違いがあるため、性染色体上の遺伝子は、性によって伝わり方が異なる

例) ショウジョウバエの眼色(赤・白), ヒトの _____, ヒトの _____



【表現型の分離比】 赤眼♀ : 白眼♀ : 赤眼♂ : 白眼♂ = 2 : 0 : 1 : 1

雌雄の表現型を入れ替えて正逆交雑をおこなうと、

X^rX^r (白眼♀) \times X^RY (赤眼♂)

↓

X^RX^r (赤眼♀) \times X^rY (白眼♂)

↓

	X^r	Y
X^R	[R]	[R]
X^r	[r]	[r]

【表現型の分離比】 赤眼♀ : 白眼♀ : 赤眼♂ : 白眼♂ = 1 : 1 : 1 : 1

◎伴性遺伝計算◎

- ①伴性遺伝の見抜き方→表現型に雌雄差がある，正逆交雑の結果が異なる
- ②伴性遺伝の優劣決定→XY型では雌，ZW型では雄で check!!
- ③伴性遺伝の家系図→XY型では雄，ZW型では雌の染色体に注目!!

例)雄の X 染色体…母親から受け取り，娘に受け継がれる

雄の Y 染色体…父親から受け取り，息子に受け継がれる

- ④伴性遺伝の自由交配→卵と精子を別々に集計する
- ⑤伴性遺伝の組換え価→XY型では息子，ZW型では娘の表現型の分離比を check!!

17 遺伝様式

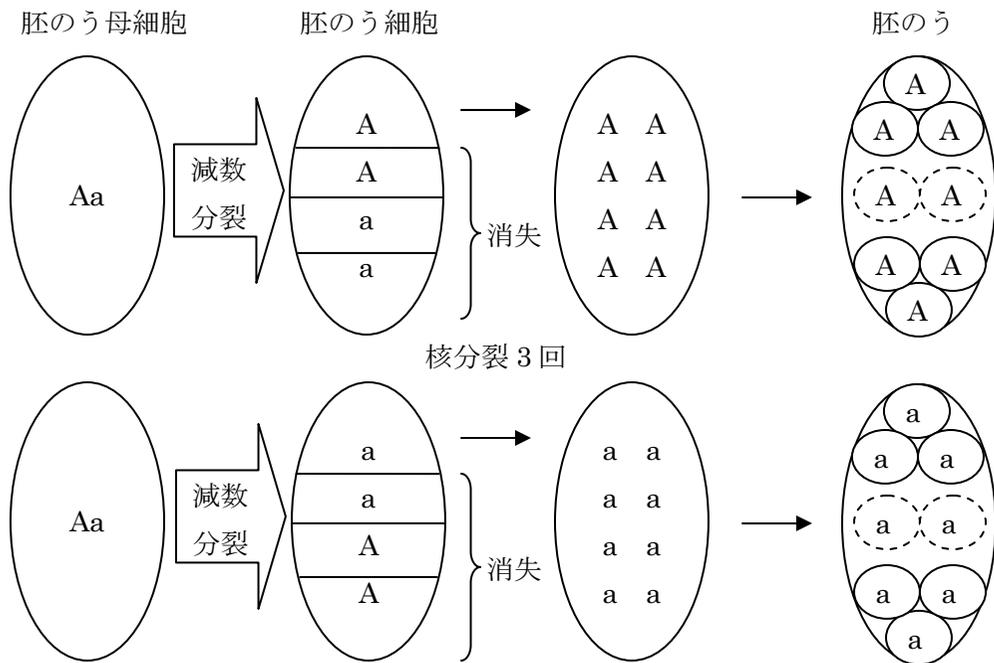
	独立	連鎖	独立	連鎖
一方の遺伝子座	常染色体	常染色体	常染色体	性染色体
他方の遺伝子座	常染色体	常染色体	性染色体	性染色体
模式図				

18 X 染色体の不活性化(ライオニゼーション)

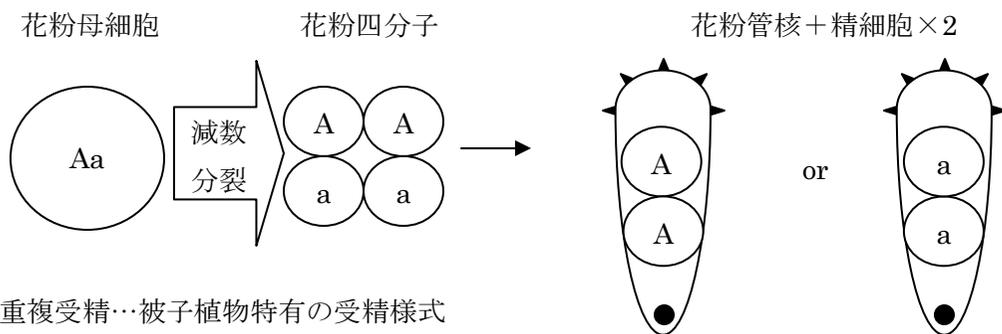
- (1)哺乳類のメスでは，発生初期に一方の X 染色体が不活性化され，遺伝子発現が抑えられる (∴ _____)
- (2)どちらの染色体が不活性化されるかは細胞によりランダム→形質発現はモザイク状
- (3)不活性化の仕組み…ヒストンのメチル化により染色体が凝縮(クロマチン化)して，転写を抑制している

19 胚乳の遺伝と植物の発生

(1) 卵細胞・中央細胞の形成

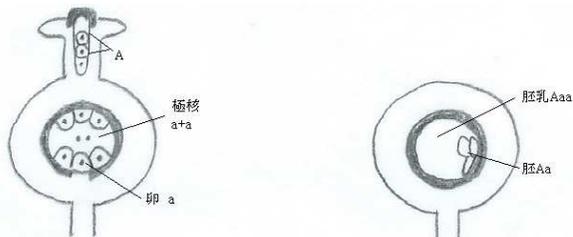


(2) 精細胞形成



(3) 重複受精…被子植物特有の受精様式

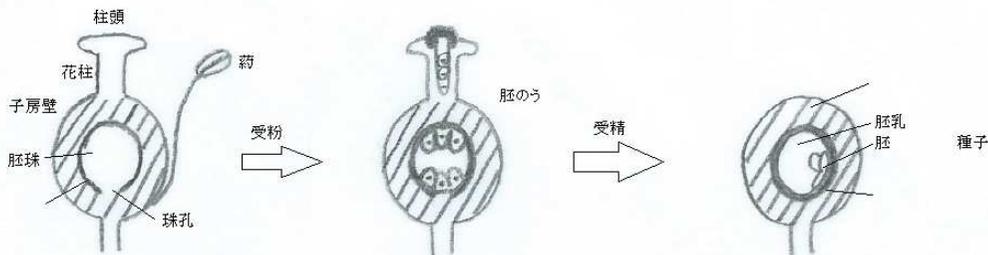
① ♂AA(ウルチ) × ♀aa(モチ)で生じる種子内の胚と胚乳の遺伝子型



② Aa(ウルチ)の自家受精で得られる種子内の胚乳の遺伝子型

		♂	
		A	a
♀	A,A	AAA	AAa
	a,a	Aaa	aaa

20 種皮・果皮・鞘の遺伝 ⇨ 植物の発生



※種皮・果皮・鞘は_____に由来するので、内部の胚の___に相当する細胞
 →種皮・果皮・鞘と内部の胚とは遺伝子型が異なる場合がある

◎check◎

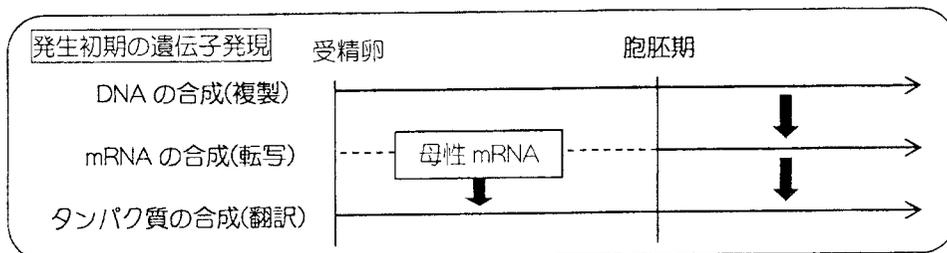
♀ aa × ♂ AA の交雑結果

- ① 胚 = a(卵細胞) + A(精細胞) = Aa(2n)
- ② 胚乳 = a, a(中央細胞の極核 × 2) + A(精細胞) = Aaa(3n)
- ③ 種皮 = aa(めしべの珠皮) = aa(2n)
- ④ 果皮・鞘 = aa(めしべの子房壁) = aa(2n)

21 母性遺伝…子供の表現型が母親の遺伝子型によって決定する ⇨ 卵割

(1) 遅滞遺伝…モノアラガイの殻の巻き方

→卵細胞に含まれていた_____により、卵割様式(螺旋卵割の右巻き・左巻き)が決定する

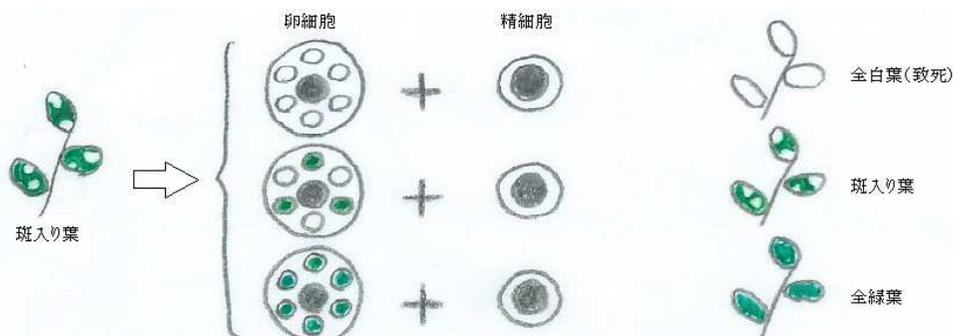


(2) 細胞質遺伝 → オシロイバナの葉の斑入り

① 葉緑体とミトコンドリアは独自の DNA をもつ(核外遺伝子・細胞質遺伝子)

→細胞分裂の際、ランダムに分配される

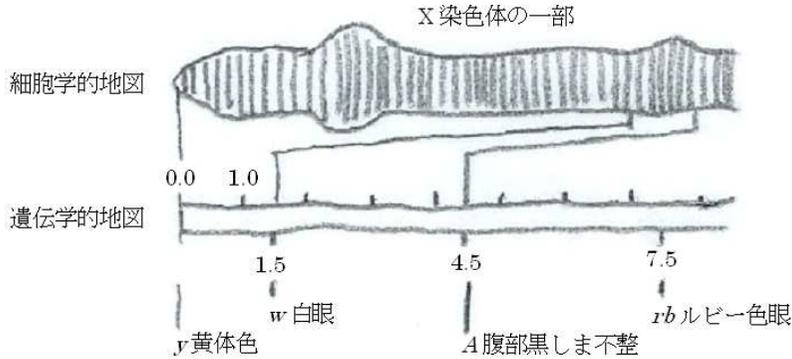
② 受精卵は精細胞由来の核外遺伝子は受け継がないため、卵細胞の影響のみを受ける



cf.父性遺伝…葉緑体 DNA(ヒノキ・マツ・スギなど), ミトコンドリア DNA(ヒノキなど)

STEP UP 細胞学的地図と遺伝学的地図

細胞学的地図は、唾腺染色体に見られる横じまの幅や数などの染色体ごとの特徴を図示したものである。唾腺染色体の横じまは、遺伝子の位置を示すものとして、遺伝学的地図と対応させて調べられている。



STEP UP 遺伝子マッピング

染色体上の遺伝子の位置を確定することを遺伝子マッピングという。組換え価や染色体の微細構造の研究のほか、現在では、蛍光色素で標識した DNA を結合させて調べることも行われている。