

家畜の量的形質の遺伝的支配



Nilsson-Ehleの実験

ポリジーン仮説を提唱

小麦の穀粒色
 親(P) RRCC × rrc
 (暗赤色) (白色)
 子(F₁) RrCc
 (中間色)



小麦の穀粒色(量的形質)のF₂世代における表現型分離比と遺伝子型

遺伝子型	赤色形成 遺伝子の数	表現型	F ₂ 世代の 分離比
RRCC	4	暗赤色	1/16
RRCc or RrCC	3	赤色	4/16
RRcc or rrCC or RrCc	2	中間色	6/16
rrCc or Rrcc	1	薄赤色	4/16
rrcc	0	白色	1/16



エンドウの茎の高さは単一の遺伝子対が制御している。

高い茎 または 低い茎

不連続変異
discontinuous variation

質的形質
qualitative traits



- ヒトの身長ならびに体重
- トウモロコシ中のタンパク質濃度
- ウシの産乳量
- ニワトリの産卵数

ポリジーン形質
polygenic traits

などの形質は複数の遺伝子対によって制御されている。

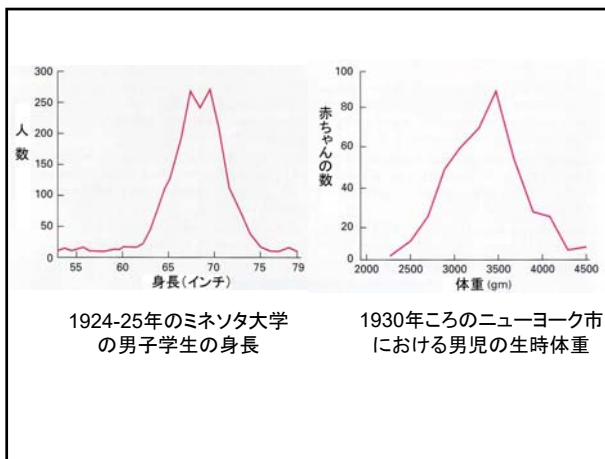
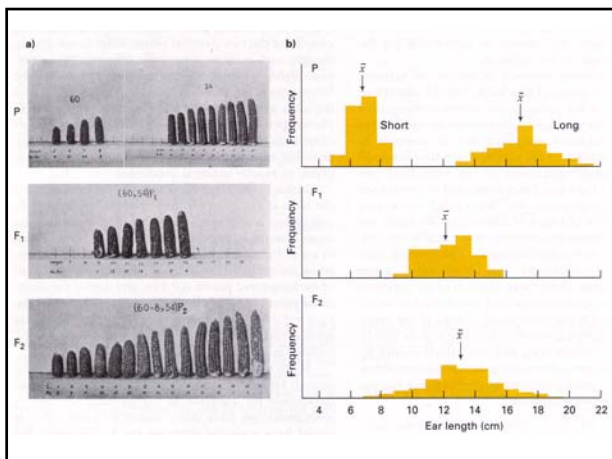
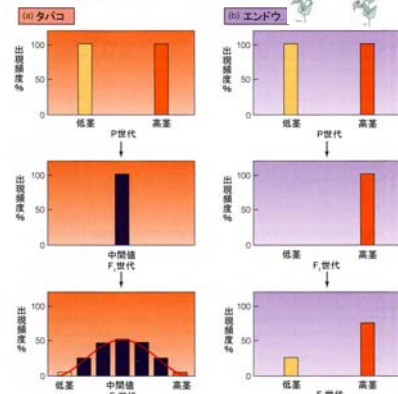
連続変異
continuous variation

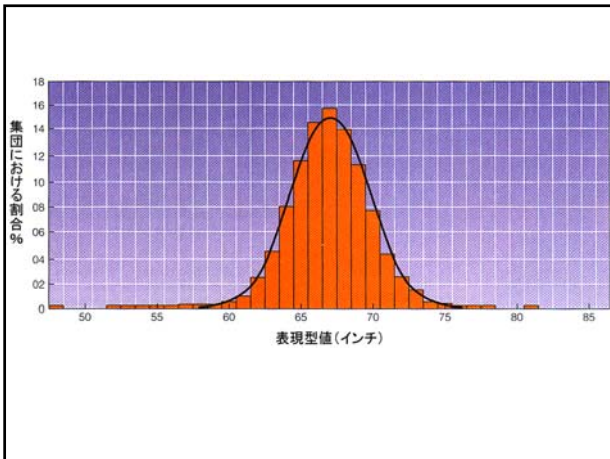
量的形質
quantitative traits

$$P=G+E$$

量的遺伝学 quantitative genetics

ポリジーン遺伝

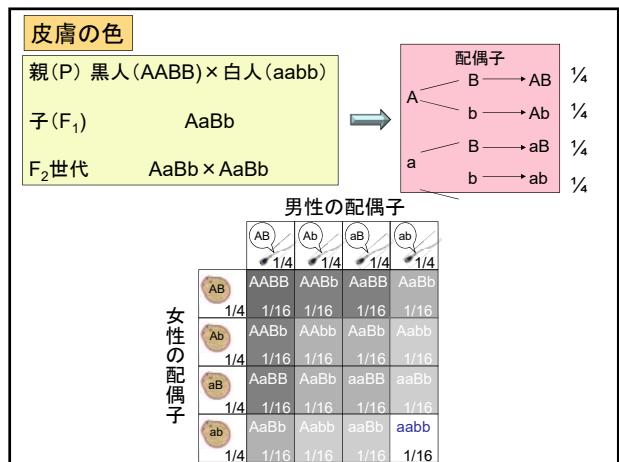
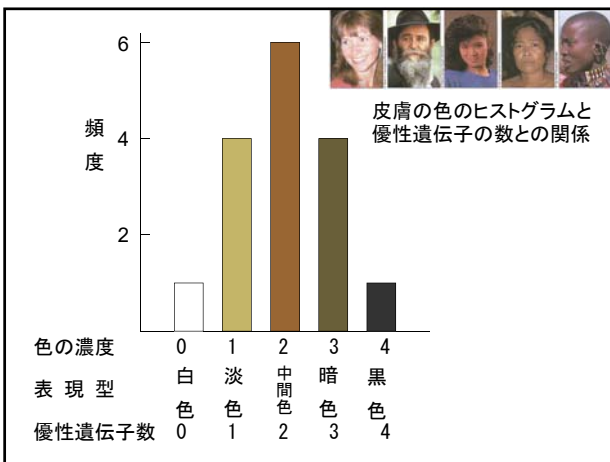




量的遺伝学における問題点

1. 表現型値に見られる変動のうちどの程度が遺伝的なものか？
2. その形質にはどのくらいの数の遺伝子が関与しているのか？
3. それらの遺伝子の働きは同じなのか？
4. 異なる遺伝子座上の遺伝子がどの程度相互に影響しているのか？
5. 特定の形質に対して選抜を加えた場合に、形質はどのように変化するのか？
6. 後代に望ましい表現型を残すために最も有効な選抜と交配法は？

$$P=G+E$$



F₂の遺伝子型の理論的分布: (AB+Ab+aB+ab)²

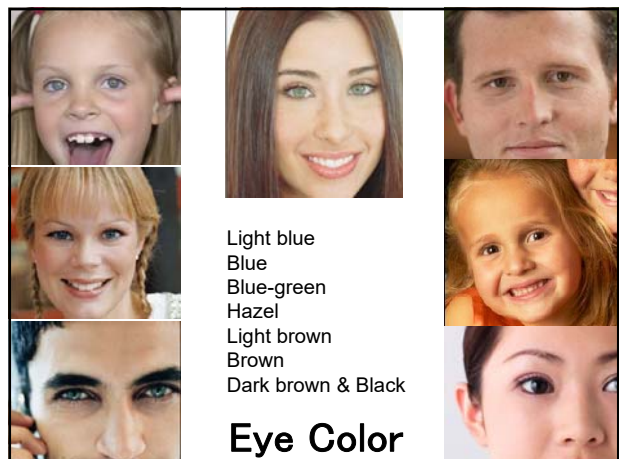
AABB	黒色1,	1/16		
AaBB	暗色2, AABb	暗色2,	4/16	
AAbb	中間色1, AaBb	中間色4, aaBB	中間色1,	6/16
Aabb	淡色2, aaBb	淡色2,	4/16	
aabb	白色1,	1/16		
合計		16		

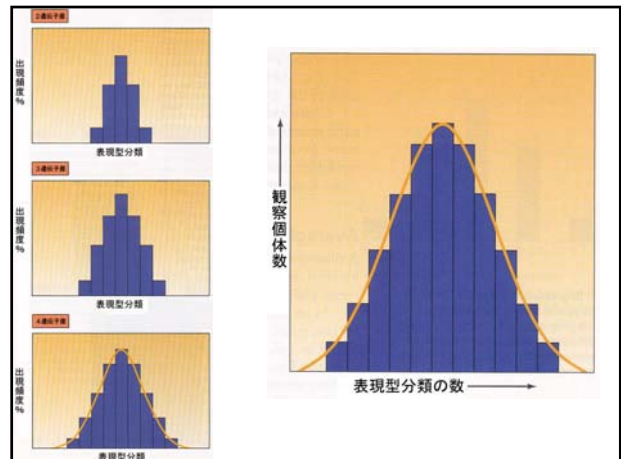
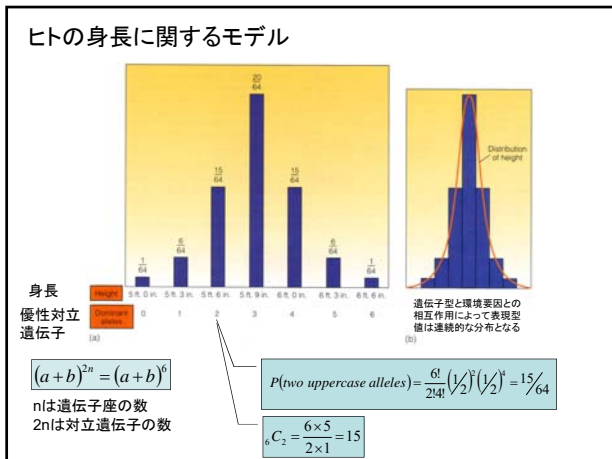
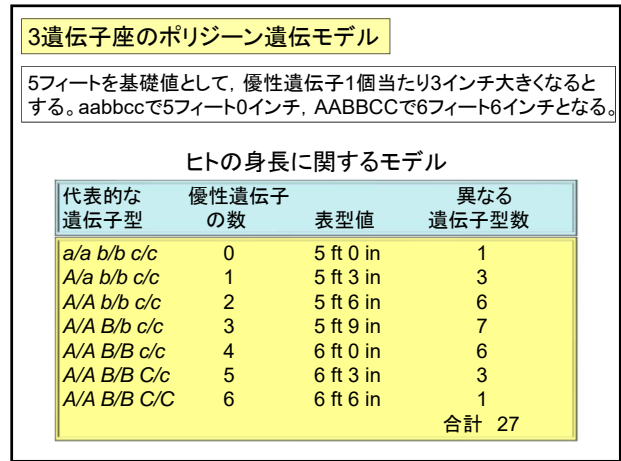
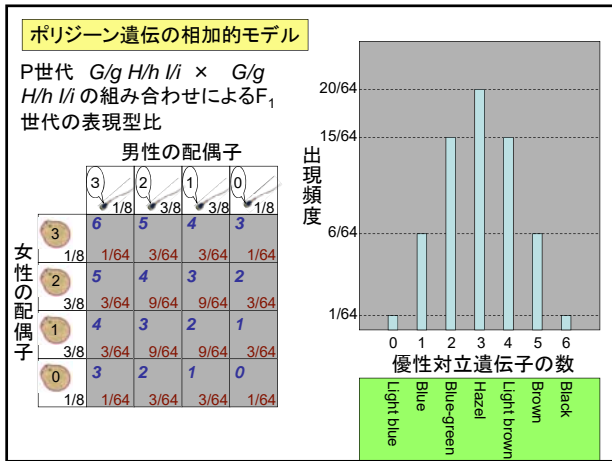
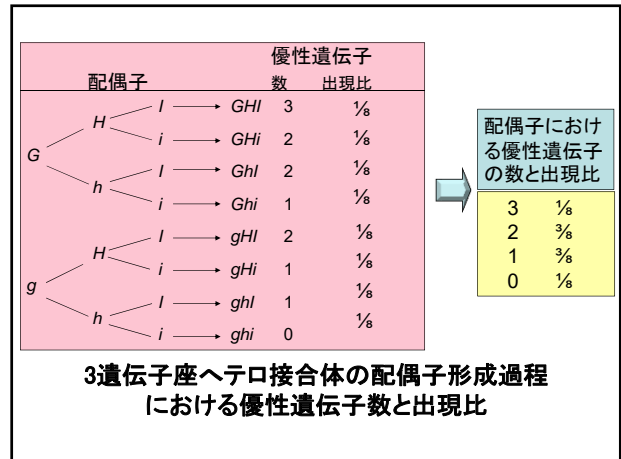
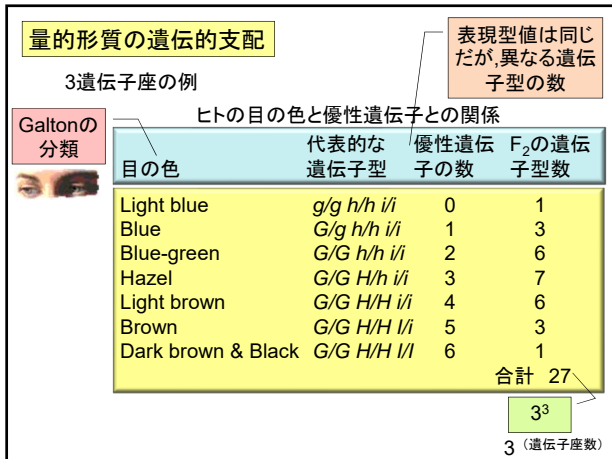
つまり、F₂の表現型における分離は

黒色:暗色:中間色:淡色:白色 = 1:4:6:4:1

AまたはB優性遺伝子の数の合計によって色の発現が決まる。

相加的遺伝子効果





ポリジーンの数を決めることができるだろうか？

ポリジーンとして作用する対立遺伝子の数とF₂世代の表現型比

対立遺伝子の数	対立遺伝子の数	形質発現の最小比率	F ₂ 世代の遺伝子型数	F ₂ 世代の表現型数	F ₂ 世代の表現型比を求める展開式
1	2	(1/2) ² =1/4	(3) ¹ =3	3	(a+b) ²
2	4	(1/2) ⁴ =1/16	(3) ² =9	5	(a+b) ⁴
3	6	(1/2) ⁶ =1/64	(3) ³ =27	7	(a+b) ⁶
4	8	(1/2) ⁸ =1/256	(3) ⁴ =81	9	(a+b) ⁸
n	2n	(1/2) ²ⁿ	(3) ⁿ	2n+1	(a+b) ²ⁿ

5対の対立遺伝子, 1/1,024 243
10対の対立遺伝子, 1/1,048,576 59,049

量的形質の特徴 **ポリジーン形質 polygenic traits**

なぜ、連続的な表現型値を示すのか？

- 多数の遺伝子座によって支配されている。
たとえば、
2遺伝子座では、3²=9(AABB, AaBB, AABb, AaBb, AAbb, aaBB, aabb)

この程度では説明できない

遺伝子間の相互作用—優性効果
遺伝子座間の相互作用—エピスタシス(上位性)効果

- 環境要因が影響している。
形質の発現に環境要因が関与すると、表現型値に大きな変動が生ずる。

遺伝子型と表現型値との関係が不明瞭
表現型値から遺伝子型を推定するのは困難

ポリジーン遺伝による量的形質

- ウシの増体量, 泌乳量
- ニワトリの産卵数
- ヒツジのフリース重量

表現型値(P)に見られる変動のうち**遺伝的**な差異によるもの(G)はどの程度であろうか？

また、どの程度が**環境**の影響によるもの(E)だろうか？

$P = G + E$

遺伝率 heritability
表現型値の変動のうちどの程度が遺伝的によるのかを示す尺度

$$h^2 = \frac{G}{P} = \frac{G}{G+E}$$
 (広義の遺伝率)
 $0 < h^2 < 1$

遺伝子型値に対する遺伝子の効果

遺伝子の効果

- 平均効果 → 相加的
- 優性効果 → 非相加的
- 上位性効果 → 非相加的

相加的遺伝子効果

表現型分散の成分

$P = G + E$
 \parallel
 $A + D + I$
 \Downarrow
 $P = A + D + I + E$

広義の遺伝率 $h_b^2 = \frac{G}{P}$
狭義の遺伝率 $h^2 = \frac{A}{P}$

ポリジーン

- 量的形質の遺伝子型には多数の遺伝子座上の遺伝子が関与。
- 個々の遺伝子座における遺伝子の作用は、遺伝子型全体の作用に比べると極めて小さい。

したがって、

- 個々の遺伝子の作用を明らかにすることは困難
- これらの遺伝子座の分離の法則も観察できない

このため、量的形質を研究するためには**分散**という概念を理解し、**遺伝的なパラメータ**や**統計**手法の知識が必要となる。

遺伝子型値に対する遺伝子の効果

遺伝子の効果

- 平均効果 → 相加的
- 優性効果 → 非相加的
- 上位性効果 → 非相加的

相加的遺伝子効果

表現型分散の成分

$\sigma_p^2 = \sigma_G^2 + \sigma_E^2 + \sigma_{GE}^2$
 \parallel
 $\sigma_A^2 + \sigma_D^2 + \sigma_I^2$
 \Downarrow
 $\sigma_p^2 = \sigma_A^2 + \sigma_D^2 + \sigma_I^2 + \sigma_E^2 + \sigma_{GE}^2$

広義の遺伝率 $h_b^2 = \frac{\sigma_G^2}{\sigma_p^2}$
狭義の遺伝率 $h^2 = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_p^2}$

統計学のはなし

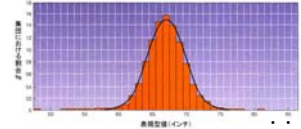
量的変異の分析方法

- 測定値全体の目安 $\rightarrow \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$
- それぞれの測定値の散らばりの程度

- mean 平均値
- mode 最も多く出現する値
- median 大きさの順に並べた時、中央に来る値

測定値と平均値との偏差

$$X_i - \bar{X} = d_i$$



平均, 分散, 標準偏差

測定値と平均値との偏差

$$\begin{aligned} X_1 - \bar{X} &= d_1 \\ X_2 - \bar{X} &= d_2 \\ X_3 - \bar{X} &= d_3 \\ &\vdots \\ X_n - \bar{X} &= d_n \end{aligned}$$

$$\sum_{i=1}^n d_i = 0 \quad \sum_{i=1}^n d_i^2 > 0$$

偏差平方和

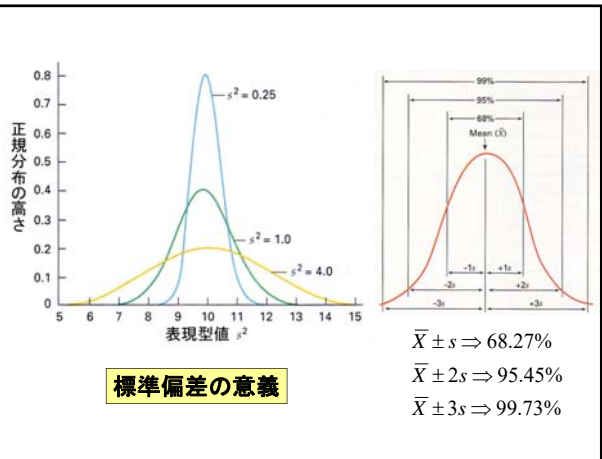
$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n} \quad \text{母分散}$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n-1} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \quad \text{平均平方分散}$$

平均平方分散
散らばりの程度

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n-1}} \quad \text{標準偏差}$$

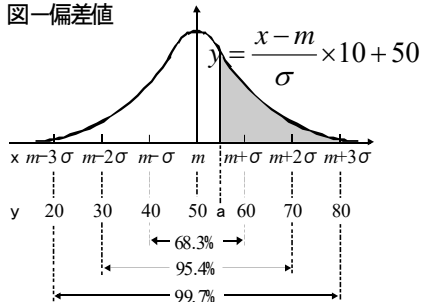
8



標準偏差の意義

$$\begin{aligned} \bar{X} \pm s &\Rightarrow 68.27\% \\ \bar{X} \pm 2s &\Rightarrow 95.45\% \\ \bar{X} \pm 3s &\Rightarrow 99.73\% \end{aligned}$$

図一偏差値



	得点	m	σ	偏差値
数学	x=75	65	6	66.7
国語	x'=80	70	10	60.0

肥育牛の胸囲と体重(黒毛和種30ヵ月齢)

ウシ番号	胸囲(X) cm	体重(Y) Kg	平均からの偏差(d)		偏差平方和		
			$X - \bar{X} = x$	$Y - \bar{Y} = y$	x^2	xy	y^2
1	226	650	-1.2	-26.3	1.44	31.56	691.69
2	229	707	1.8	30.7	3.24	55.26	942.49
3	243	742	15.8	65.7	249.64	1038.06	4316.49
4	222	664	-5.2	-12.3	27.04	63.96	151.29
5	235	720	7.8	43.7	60.84	340.86	1909.69
6	205	556	-22.2	-120.3	492.84	2670.66	14472.09
7	217	651	-10.2	-25.3	104.04	258.06	640.09
8	253	746	25.8	69.7	665.64	1798.26	4858.09
9	222	654	-5.2	-22.3	27.04	115.96	497.29
10	220	673	-7.2	-3.3	51.84	23.76	10.89

和		積和	
和	2272	6763	0
$\bar{X} = 227.2$	$\bar{Y} = 676.3$	$s_x^2 = 187.07$	$s_y^2 = 710.71$
		$s_x = 13.68$	$s_y = 56.26$
		CV = 6.02%	CV = 8.32%

変動係数 coefficient of variation $CV = \frac{s}{\bar{x}}$

相関係数, 回帰係数

相関係数

$$r_{XY} = \frac{s_{xy}}{s_x s_y}$$

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$$s_y = \sqrt{\frac{\sum (Y - \bar{Y})^2}{n-1}}$$

$$s_{xy} = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{n-1}$$

$$r_{XY} = \frac{710.71}{13.68 \times 56.26} = 0.923$$

($0 \leq r \leq 1$)

回帰係数と回帰直線

$$Y - \bar{Y} = b_{YX}(X - \bar{X})$$

$$b_{YX} = \frac{s_{xy}}{s_x^2}$$

$$b_{YX} = \frac{710.71}{187.07} = 3.80$$

ウシの胸囲と体重の相関図

分散分析

統計学の例

5羽の産卵鶏が4日間連続して産んだ卵の卵重を測定した。各個体(ニワトリ)間の卵重に差があるかを検定する。

ニワトリ5羽の卵重

ニワトリ	卵重 (g)			
1	60	61	61	60
2	58	59	58	58
3	62	62	62	61
4	60	62	60	60
5	62	60	61	59

1. 平均, 平方和の計算

ニワトリ	卵重 (g)				小計	平均
1	60	61	61	60	242	60.5
2	58	59	58	58	233	58.25
3	62	62	62	61	247	61.75
4	60	62	60	60	242	60.5
5	62	60	61	59	242	60.5
					1206 g	60.3g

全体の平方和

$$SS_T = \{(60-60.3)^2 + (61-60.3)^2 + (61-60.3)^2 + (60-60.3)^2\} + \{(58-60.3)^2 + (59-60.3)^2 + (58-60.3)^2 + (58-60.3)^2\} + \{(62-60.3)^2 + (62-60.3)^2 + (62-60.3)^2 + (61-60.3)^2\} + \{(60-60.3)^2 + (62-60.3)^2 + (60-60.3)^2 + (60-60.3)^2\} + \{(62-60.3)^2 + (60-60.3)^2 + (61-60.3)^2 + (59-60.3)^2\} = 36.2$$

個体の違いによって生じる平方和

$$SS_B = \{4 \times (60.5 - 60.3)^2\} \times 3 + 4 \times (58.25 - 60.3)^2 + 4 \times (61.75 - 60.3)^2 = 25.7$$

個体内での測定値の散らばりによる平方和

$$SS_E = \{(60-60.5)^2 + (61-60.5)^2 + (61-60.5)^2 + (60-60.5)^2\} + \{(58-58.25)^2 + (59-58.25)^2 + (58-58.25)^2 + (58-58.25)^2\} + \{(62-61.75)^2 + (62-61.75)^2 + (62-61.75)^2 + (61-61.75)^2\} + \dots = 10.5$$

1b. 平方和を求める簡便法

ニワトリ	卵重 (g)				小計	合計
1	60	61	61	60	242	1206 g
2	58	59	58	58	233	
3	62	62	62	61	247	
4	60	62	60	60	242	
5	62	60	61	59	242	

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)^2}{n}}{n-1}$$

全体の平方和

$$SS_T = 60^2 + 61^2 + 61^2 + 60^2 + 58^2 + \dots + 59^2 - \frac{(1206)^2}{20} = 36.2$$

個体の違いによって生じる平方和

$$SS_B = \frac{242^2 + 233^2 + 247^2 + 242^2 + 242^2}{4} - \frac{(1206)^2}{20} = 25.7$$

個体内での測定値の散らばりによる平方和

$$SS_E = SS_T - SS_B$$

2. 分散分析表の作成

変動因	平方和	自由度	平均平方 (分散)	平均平方の構成
全体	36.2	20-1=19		
個体間	25.7	5-1=4	6.425	$S_W^2 + nS_B^2$
個体内	10.5	19-4=15	0.7	S_W^2

$F_{15}^4 = \frac{6.425}{0.7} = 9.18$
 $F_{15(0.05)}^4 = 3.06$
 $F_{15(0.01)}^4 = 4.89$
 $F_{cal} > F_{(0.01)}$

統計的な有意差がある。
ニワトリ間で卵重に差がある ($P < 0.01$)。

◎ 母平均: F₁-F₁ (全群比較)

◎ ハートレットの検定

項目	検定	分散(n-1)
1	4	0.3333333
2	4	0.25
3	4	0.25
4	4	1
5	4	1.6666667

◎ 平均値表

項目名	1	2	3	4	5	全体
件数	4	4	4	4	4	20
F ₁ -F ₁ 計	242	233	247	242	242	1204
平均値	60.5	58.25	61.75	60.5	60.5	60.3

◎ 分散分析表

変動因子	自由度	標準平方和	不偏分散	分散比	P値	判定
全体(T)	19	36.2				
因子(A)	4	25.7	6.425	8.17857143	0.00068835 (**)	
誤差(E)	15	10.5	0.7			

◎ 検定

95% n-h, 0.05 | 5.634
95% n-h, 0.05 | 4.4966

項目名	項目名	ni	nj	xi	xj	xi-xj	sqrt((1/ni + 1/nj)/T)	判定
1	2	4	4	60.5	58.25	2.25	0.41833003	5.37852874 [*]
1	3	4	4	60.5	61.75	1.25	0.41833003	2.88807152 []
1	4	4	4	60.5	60.5	0	0.41833003	0 []
1	5	4	4	60.5	60.5	0	0.41833003	0 []
2	3	4	4	58.25	61.75	3.5	0.41833003	3.36650221 (**)
2	4	4	4	58.25	60.5	2.25	0.41833003	5.37852874 [*]
2	5	4	4	58.25	60.5	2.25	0.41833003	5.37852874 [*]
3	4	4	4	61.75	60.5	1.25	0.41833003	2.88807152 []
3	5	4	4	61.75	60.5	1.25	0.41833003	2.88807152 []
4	5	4	4	60.5	60.5	0	0.41833003	0 []

結果の表示の仕方

表 平均卵重と有意差

卵重 (g)	
鶏1	60.5 ± 0.3 ^a
鶏2	58.3 ± 0.3 ^c
鶏3	61.8 ± 0.3 ^a
鶏4	60.5 ± 0.5 ^b
鶏5	60.5 ± 0.7 ^b

a,b間, P<0.05; a,c間, P<0.01



3. 分散の分割

変動因	平方和	自由度	平均平方	平均平方の構成 (分散)
全体	36.2	20-1=19		
個体間	25.7	5-1=4	6.425	$S_W^2 + nS_B^2$
個体内	10.5	19-4=15	0.7	S_W^2

個体内の記録間の違いによる分散

個体の違いによってもたらされる分散

反復率

$$r_f = \frac{S_B^2}{S_W^2 + S_B^2}$$

$S_W^2 = 0.7, n = 4$ であるから

$$S_B^2 = \frac{(6.425 - 0.7)}{4} = 1.43$$

$$\therefore r_f = \frac{1.43}{0.7 + 1.43} = 0.67$$

広義の遺伝率よりやや高い

統計的な有意差がある。
ニワトリ間で卵重に差がある (P<0.01)。

表(現)型値 phenotypic value
ある形質について測定して得た表現型の値

遺伝子型値 genotypic value
表現型値に対応する遺伝子型の値

↓

量的形質では環境による変動も加わるので、個々の表現型値からその遺伝子型値を正確に判断することは困難

量的形質の遺伝的分析はデータを統計的に処理し、**平均値または分散**などの統計量で与えられる

遺伝子型値の実態は？

例

乳牛のトランスフェリンD型のものはA型のものより乳量が多い

環境の効果を無視すれば、表の平均乳量がそのまま各遺伝子型値を示している

乳牛におけるトランスフェリン型と乳量

遺伝子型	遺伝子型頻度*	平均乳量**
DD	0.36	2.4
AD	0.48	2.2
AA	0.16	1.8

* 無作為交配を仮定、遺伝子頻度D:0.6, A:0.4
** 単位,1000 kg

遺伝子自体の相互作用に由来する値を考慮する必要がある。
たとえば、遺伝子の効果はホモ接合体とヘテロ接合体では必ずしも同一ではない。

遺伝子型値と育種価のモデル

乳牛におけるトランスフェリン型と乳量

遺伝子型	遺伝子型頻度*	平均乳量**
DD	0.36	2.4
AD	0.48	2.2
AA	0.16	1.8

* 無作為交配を仮定、遺伝子頻度D:0.6, A:0.4
** 単位,1000 kg

DD型におけるD遺伝子1個の効果 → 2.4 ÷ 2 = 1.2

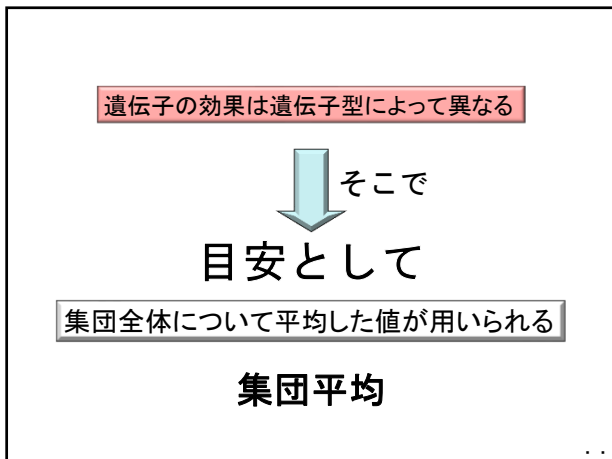
AA型におけるA遺伝子1個の効果 → 1.8 ÷ 2 = 0.9

遺伝子の効果が相加的であれば

AD型の遺伝子型値は 1.2 + 0.9 = 2.1

遺伝子の効果は遺伝子型によって異なる

実際の記録と異なる



集団平均 乳量の例について、各遺伝子の平均効果を求めてみよう。平均効果は一般に集団平均からの差として表される。

乳牛におけるトランスフェリン型と乳量

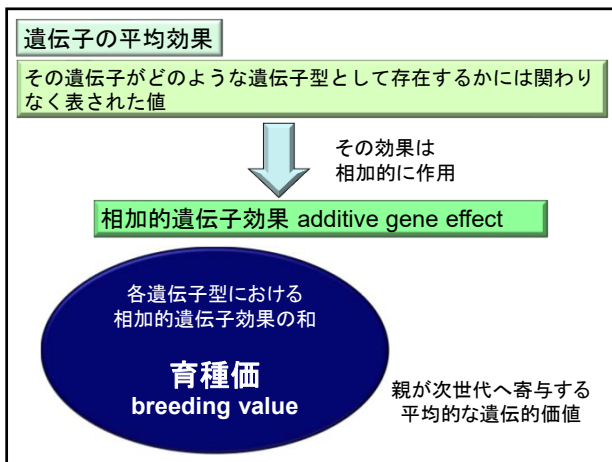
遺伝子型	遺伝子型頻度*	平均乳量**
DD	0.36	2.4
AD	0.48	2.2
AA	0.16	1.8

* 無作為交配を仮定、遺伝子頻度D:0.6, A:0.4
** 単位,1000 kg

集団平均 $m = 0.36 \times 2.4 + 0.48 \times 2.2 + 0.16 \times 1.8 = 2.208$

D遺伝子の**平均効果**を α_D とすると、
 $\alpha_D = (0.36 \times 2.4 + 0.48 \times 2.2 \div 2) \div 0.6 - 2.208 = 0.112$

同様に、 $\alpha_A = -0.168$



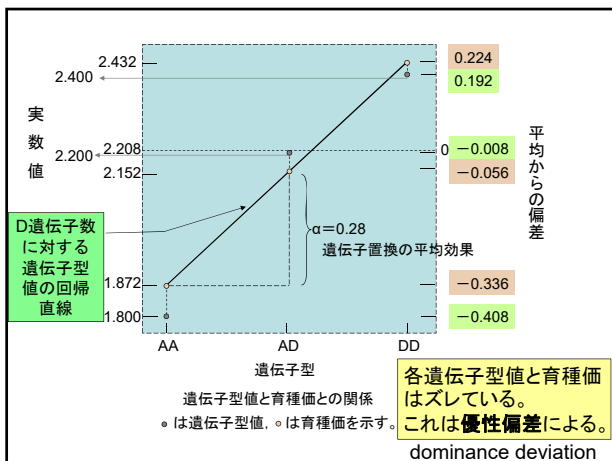
乳量の例における各遺伝子型の育種値

	DD	AD	AA
集団平均からの差	0.224	-0.056	-0.336
実数値	2.432	2.152	1.872

集団平均 $m = 2.208$
 $\alpha_D = 0.112$
 $\alpha_A = -0.168$

今、集団内の任意のA遺伝子をD遺伝子で置き換え、それによってもたらされる平均効果を α で表せば、
 $\alpha = \alpha_D - \alpha_A = 0.28$ となる。

遺伝子置換効果



遺伝子型値(G)は、育種値(A)と優性偏差(D)とに分けられ、
 $G = A + D$ と表される。

DD型における優性偏差 D_{DD} は、
 $D_{DD} = (2.4 - 2.208) - 0.224 = -0.032$

トランスフェリンのデータから求めた
遺伝子型値、育種値、優性偏差

遺伝子型	DD	AD	AA
遺伝子型頻度	0.36	0.48	0.16
G 遺伝子型値*	0.192	-0.008	-0.408
A 育種値*	0.224	-0.056	-0.336
D 優性偏差	-0.032	0.048	-0.072

* 集団平均からの偏差

次に遺伝子座が一つではなく、二つ以上の場合を考えてみる。
そして、遺伝子座間に相互作用が存在する場合には、もう一つの偏差を考えなければならない。

今、二つの遺伝子座を考え、 G_A をA座位の遺伝子型値、 G_B をB座位の遺伝子型値とし、両遺伝子座を同時に考えた時の遺伝子型値を G_{AB} で示せば、

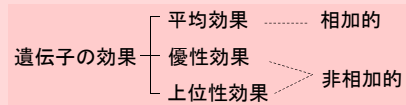
$$G_{AB} = G_A + G_B + I_{AB}$$

ここで、 I_{AB} は $G_{AB} \neq G_A + G_B$ であることによって生じた偏差

上位性偏差

epistatic deviation

遺伝子型値に対する遺伝子の効果



$$\sigma_G^2 = \sigma_A^2 + \sigma_D^2 + \sigma_I^2$$

σ_A^2 相加的遺伝子効果による分散=相加的遺伝分散

σ_D^2 優性偏差による分散=優性分散

σ_I^2 上位性偏差による分散=上位性分散

育種上最も重要視される

トランスフェリンのデータから求めた遺伝子型値、育種価、優性偏差

遺伝子型	DD	AD	AA
遺伝子型頻度	0.36	0.48	0.16
遺伝子型値*	0.192	-0.008	-0.408
育種価*	0.224	-0.056	-0.336
優性偏差	-0.032	0.048	-0.072

* 集団平均からの偏差

上の表から各分散を求めてみると、

$$\sigma_A^2 = 0.224^2 \times 0.36 + (-0.056)^2 \times 0.48 + (-0.336)^2 \times 0.16 = 0.037632$$

$$\sigma_D^2 = (-0.032)^2 \times 0.36 + (0.048)^2 \times 0.48 + (-0.072)^2 \times 0.16 = 0.002304$$

$$\sigma_G^2 = 0.192^2 \times 0.36 + (-0.008)^2 \times 0.48 + (-0.408)^2 \times 0.16 = 0.039936$$

この例では全分散のうち約94%が相加的遺伝分散である。
この結果からも、 $\sigma_G^2 = \sigma_A^2 + \sigma_D^2$

表現型分散の成分 $P = G + E$

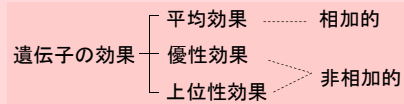
$$\sigma_P^2 = \sigma_G^2 + \sigma_E^2 + \sigma_{GE}^2$$

$$\sigma_A^2 + \sigma_D^2 + \sigma_I^2$$

$$\sigma_P^2 = \sigma_A^2 + \sigma_D^2 + \sigma_I^2 + \sigma_E^2 + \sigma_{GE}^2$$

広義の遺伝率 $h_B^2 = \frac{G}{P} = \frac{\sigma_G^2}{\sigma_P^2}$
狭義の遺伝率 $h^2 = \frac{A}{P} = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_P^2}$

遺伝子型値に対する遺伝子の効果



遺伝率と遺伝相関

量的形質は、一般に環境の影響を強く受けており、遺伝子型値がそのまま表現型値として発現することはほとんどない。

すなわち

たとえ遺伝子型が同じであっても、その表現型が異なるのが普通である。

羊の産毛量や
鶏の卵重など

同一個体で何回
も測定できる

反復測定の平均値は遺伝子型値に近づく

反復率 repeatability

反復率 repeatabilityの例

羊の産毛量の反復率 0.6
ある個体の産毛量は集団平均より1.5 kg 多かったとする。

この個体の翌年の産毛量は集団平均より
 $0.6 \times 1.5 = 0.9$ kg
多くなるのが期待される。

3. 分散の分割

変動因	平方和	自由度	平均平方 (分散)	平均平方の構成
全体	36.2	20-1=19		
個体間	25.7	5-1=4	6.425	$S_w^2 + nS_B^2$
個体内	10.5	19-4=15	0.7	S_w^2

$$F_{15}^4 = \frac{6.425}{0.7} = 9.18$$

$$F_{15(0.05)}^4 = 3.06$$

$$F_{15(0.01)}^4 = 4.89$$

$F_{cal} > F_{(0.01)}$
統計的な有意差がある。
ニワトリ間で卵重に差がある
($P < 0.01$)。

個体内の記録間の
の違いによる分散

個体の違いによっ
てもたらされる分散

$$r_i = \frac{S_B^2}{S_w^2 + S_B^2}$$

反復率

$S_w^2 = 0.7$, $n = 4$ であるから

$$S_B^2 = \frac{(6.425 - 0.7)}{4} = 1.43$$

$$\therefore r_i = \frac{1.43}{0.7 + 1.43} = 0.67$$

広義の遺伝率
よりやや高い

遺伝率 heritability

$$P = G + E \text{ から, 遺伝率は } h^2 = \frac{G}{G + E} = \frac{\sigma_G^2}{\sigma_G^2 + \sigma_E^2}$$

遺伝分散

全表現
型分散

既に学んだように, $\sigma_G^2 = \sigma_A^2 + \sigma_D^2 + \sigma_I^2$
なので,

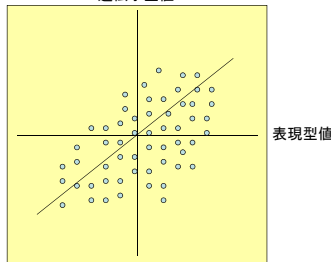
$$h^2 = \frac{\sigma_G^2}{\sigma_G^2 + \sigma_E^2} = \frac{\sigma_A^2 + \sigma_D^2 + \sigma_I^2}{\sigma_A^2 + \sigma_D^2 + \sigma_I^2 + \sigma_E^2}$$

広義の遺伝率

$$h^2 = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_A^2 + \sigma_D^2 + \sigma_I^2 + \sigma_E^2}$$

狭義の遺伝率

遺伝子型値



遺伝子型値と表現型値との関係

斜線は遺伝子型値の表現型値への回帰直線を示し、
これは表現型値から遺伝子型値を推定するときの
正確度の目安となる。

各家畜の代表的な形質の遺伝率の推定値



乳牛		遺伝率
形質	遺伝率	
乳量		0.2-0.4
脂肪率		0.5-0.6
乳固形分率		0.4-0.6
蛋白含量		0.4-0.7
泌乳期間		0.1-0.2



肉牛		遺伝率
形質	遺伝率	
受胎に要する授精回数		0.1以下
分娩間隔		0.1以下
生時体重		0.4-0.6
1日増体量		0.4-0.7
成熟体重		0.6
脂肪交雑		0.48
ロース芯面積		0.5



豚		遺伝率
形質	遺伝率	
1腹子数		0.1以下
生時体重		0.1以下
離乳後増体量		0.3
飼料要求率		0.3
背脂肪厚		0.5
屠体長		0.55
ロース芯面積		0.45
赤肉割合		0.45

各家畜の代表的な形質の遺伝率の推定値 (つづき)



卵用鶏		遺伝率
形質	遺伝率	
産卵数		0.3
卵重		0.4-0.7
初産日齢		0.32
成体重		0.3-0.7
成熟体重		0.60
孵化率		0.16
生存率		0.05



羊		遺伝率
形質	遺伝率	
毛量		0.2-0.5
毛長		0.4-0.7
クリンプ数		0.4-0.9
1腹子数		0.1
産肉性		0.5前後



肉用鶏		遺伝率
形質	遺伝率	
8週齢体重		0.52
成体重		0.52
胸角度		0.44



ヒト		遺伝率
形質	遺伝率	
身長		0.50
知能指数		0.50
出生時体重		0.50

遺伝率の特徴

- 繁殖率, 生存率などの適応度に関連する形質の遺伝率は
低い → 0.1~0.3
- 体格, 卵重などの大きさや重さに関する形質の遺伝率は
高い → 0.5前後

遺伝率の推定法

1. 回帰または相関分析から求める方法

個体間の相違が相加的遺伝子によるものであるとすれば、子は親に似るはずである。たとえば、親子間の回帰係数 b 、または相関係数 r は

$$b = r \cong \frac{1}{2} h^2$$

親子間の回帰係数または相関係数を2倍すれば遺伝率の推定値が得られる。

2. 分散分析から求める方法

各父親がそれぞれ何頭かの母親に交配され、その各々に子が産まれた場合を考える。たとえば、

$$h^2 = \frac{4\sigma_s^2}{\sigma_s^2 + \sigma_d^2 + \sigma_e^2}$$

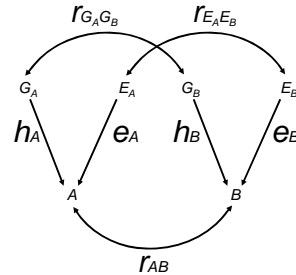
σ_s^2 は父親が同じであるための似通いによって生じた分散

σ_d^2 は母親が同じであるための似通いによって生じた分散

σ_e^2 はその他の分散

表現型相関と遺伝相関

育種学上、重要なのは遺伝相関



2形質A、Bの相関関係を示す経路図

Gは遺伝子型値、Eは環境の効果を示す。
hは遺伝率の平方根である。

主な形質間の遺伝相関

乳牛

乳量-乳脂量	0.6~0.9
乳量-無脂固型分量	0.8~0.9
乳量-乳タンパク質量	0.9前後
乳量-乳脂率	-0.5~-0.2
乳量-無脂固型分率	-0.2~0.2
乳量-乳タンパク質率	-0.3前後

乳量-体型得点	0.0~0.2
乳量-乳器得点	0.1~0.2
乳脂率-無脂固型分率	0.4~0.6
乳脂率-乳タンパク質率	0.4~0.6

肉牛(黒毛和種)

離乳時体重-肥育期間中のDG	0.06
離乳時体重-肥育終了時体重	0.58
脂肪交雑-1日増体量	-0.16
脂肪交雑-ロース芯面積	-0.80
脂肪交雑-枝肉重量	-0.45

産卵・産肉形質間

卵重-体重	0.2~0.5
卵重-初産日齢	0.1~0.4
卵重-産卵率	-0.6~-0.1
体重-初産日齢	0.0~0.3
体重-産卵率	-0.4~0.0
初産日齢-産卵率	-0.3~0.0
増体重-飼料要求率	-0.4~-0.6

豚

1日増体量-背脂肪厚	-0.30
ロース芯面積-背脂肪厚	-0.34
屠体長-背脂肪厚	-0.38

量的形質の特徴

ポリジーン形質 polygenic traits

なぜ、連続的な表現型値を示すのか?

1. 多数の遺伝子座によって支配されている。
多数の遺伝子座が関与すると、それぞれの遺伝子間、遺伝子座間に相互作用が生じる。

遺伝子間の相互作用-優性効果

遺伝子座間の相互作用-エピスタシス(上位性)効果

2. 環境要因が影響している。

形質の発現に環境要因が関与すると、表現型値に大きな変動が生じる。



遺伝子型と表現型値との関係が不明瞭

育種価

遺伝率とは

○ ある集団における個体間にみられる表現型値の分散のうち、どの程度が遺伝的差異に基づいて生じたか



✗ その形質の遺伝的な程度を示す尺度

遺伝率は1個体の表現型の遺伝的な割合を示すものではない
集団において計算できる

それぞれの形質の遺伝率は不変ではない

集団が異なり、環境が変われば遺伝率は変化する