

集団の遺伝学

集団における遺伝子

個体レベルでの遺伝的变化は、メンデルの法則によって理解されるが、集団レベルの遺伝的变化はメンデルの法則だけでは把握できない。



ショートホーンの遺伝子型と遺伝子数

毛色	遺伝子型	個体数	遺伝子の数		
			n遺伝子	N遺伝子	合計
赤毛	nn	30頭	30 × 2 = 60	0	60
粕毛	Nn	50	50	50	100
白毛	NN	20	0	20 × 2 = 40	40
合計		100	110	90	200

遺伝子頻度

この集団における常染色体上のn遺伝子(p)とN遺伝子の頻度(q)は
 $p = 110/200 = 0.55$
 $q = 90/200 = 0.45$
 となり、 $p + q = 1$ となる。

遺伝子頻度 gene frequency
 同一遺伝子座における特定の遺伝子の全遺伝子に対する頻度

ショートホーンの遺伝子型頻度とその期待値

毛色	遺伝子型	個体数	遺伝子型頻度	遺伝子型頻度の期待値
赤毛	nn	30頭	0.30	$0.55 \times 0.55 = 0.3025$
粕毛	Nn	50	0.50	$2 \times 0.55 \times 0.45 = 0.4950$
白毛	NN	20	0.20	$0.45 \times 0.45 = 0.2025$
合計		100	1.00	1.00

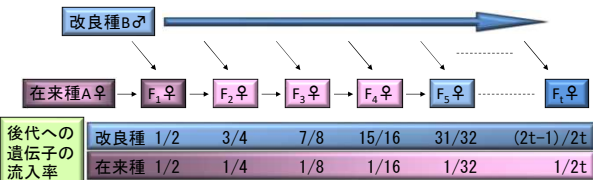
頭数の比率から求めた頻度

nとNの遺伝子頻度はそれぞれpとqであるが、各遺伝子型頻度は無作為交配の場合、
 $(pn + qN)^2 = p^2nn + 2pqNn + q^2NN$
 の各項に対応する。

遺伝子頻度に影響を与える要因

1. 移入

積極的に遺伝子を外部から導入し、手持ちの家畜集団を改良していく場合などがある。



累進交配と遺伝子割合の変化

A品種の集団にB品種のオスが累進交配用に導入されたような場合は、もとのA品種の遺伝子頻度は当然次代で変化する。

ハーディ・ワインベルグの法則

1908年にG.H. HardyとW. Weinbergがそれぞれ独自に、ある仮定の下での世代を越えた遺伝子頻度と遺伝子型頻度との間的基本的な関係を明らかにした。

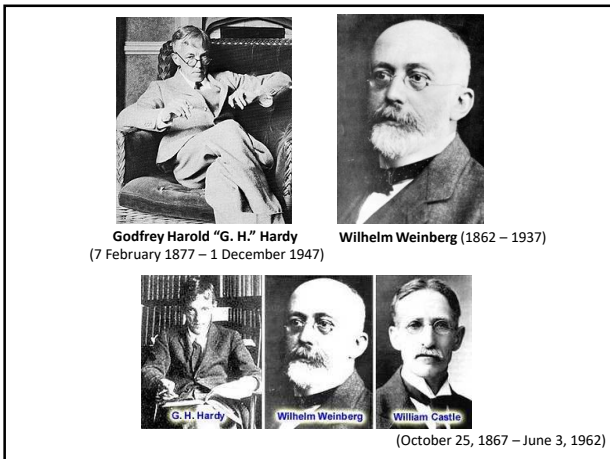
『交配が無作為に行われている大きな集団では、遺伝子頻度を変化させる作用(突然変異、移入ならびに選抜など)が働かなければ、遺伝子頻度と遺伝子型頻度は何世代経っても一定で、平衡を保つ。』

遺伝子型頻度は遺伝子頻度の二項式展開で与えられる。
 [先の例は $(0.55 + 0.45)^2 = 0.3025 + 0.4950 + 0.2025$]

遺伝子頻度と遺伝子型頻度が集団内で一定である時、これを「平衡に達している」という。

平衡に必要な条件は、以下の通りである。

1. 大きな集団である。
2. 無作為交配が行われている。
3. 遺伝子頻度を変化させるような作用がない。



ハーディ・ワインベルグの平衡に達している集団では、

遺伝子型	頻度
AA	p^2
Aa	$2pq$
aa	q^2

- ★ 遺伝子型AAの頻度は遺伝子Aの頻度の二乗に等しい
- ★ ヘテロ接合体Aaの頻度は遺伝子Aとaの頻度の積の2倍に等しい
- ★ 遺伝子型aaの頻度は遺伝子aの頻度の二乗に等しい

Aとaの遺伝子頻度をそれぞれpとq、各遺伝子型頻度は無作為交配の場合、
 $(pA + qa)^2 = p^2AA + 2pqAa + q^2aa$
 の各項に対応する。

オスとメスの配偶子のプールにおいて、遺伝子Aの頻度はpで、遺伝子aのそれはqである。
 これら配偶子が無作為に受精して生じた接合子は次の4つの組み合わせとなる。

親由来の配偶子		親由来の配偶子の頻度		配偶子の受精の頻度
父	母	父	母	
A	A	p	p	p^2
A	a	p	q	pq
a	A	q	p	pq
a	a	q	q	q^2

遺伝子頻度も同一で、
 $f(A) = f(AA) + (1/2)f(Aa) = p^2 + pq = p$ ($\therefore p + q = 1$)
 同様に、
 $f(a) = (1/2)f(Aa) + f(aa) = pq + q^2 = q$ ($\therefore p + q = 1$)

親集団における頻度と同一

親AAとaaの交配に始まる3世代について遺伝子頻度をみてみよう。
 Aの遺伝子頻度とaの遺伝子頻度をそれぞれpとqとし、いずれも0.5ずつとする。
 $p + q = 1$ である。
 次表のとおり、
 2代、3代経ても遺伝子頻度は変化せず、 $p : q = 0.5 : 0.5 = 1 : 1$ である。

↓

ハーディ・ワインベルグの法則

	親の組合せ	子の遺伝子型	子の遺伝子Aとaの比率	p : q
F ₁	AA × aa	Aa	1 : 1	0.5 : 0.5
F ₂	Aa × Aa	AA : 2Aa : aa	4 : 4	0.5 : 0.5
		(A + a) ²		
F ₃	(4A + 4a) ²	16AA : 32Aa : 16aa	64 : 64	0.5 : 0.5

ABO式血液型

- 1901年血液型の発見(ランドシュタイナー)
- 抗原は血球にあり、抗体は血清中にある
- 4種類の血液型が3個の複対立遺伝子の組み合わせによってきまる
- 不適合な血液の輸血は凝集反応をおこす

血液型	遺伝子型	抗体との反応		血液組成		日本人の頻度
		抗A	抗B	血球抗原	血清抗体	
O	OO	-	-	なし	抗A, 抗B	29%
A	AA, AO	+	-	A	抗B	38%
B	BB, BO	-	+	B	抗A	22%
AB	AB	+	+	A, B	なし	10%

NM式血液型

- 1928年(ランドシュタイナーとレヴィン)
- ヒトの血液をウサギに注射すると2種類の抗体ができる
- 血球抗原はあるが、血清抗体はない
- 輸血に関しては重要な型ではないが、遺伝学的な関心高い

血液型	遺伝子型	抗体との反応		血液組成		日本人の頻度
		抗M	抗N	血球抗原	血清抗体	
M	MM	+	-	M	なし	30%
MN	MN	+	+	M, N	なし	50%
N	NN	-	+	N	なし	20%

MN血液型遺伝子の頻度

抗MN血清に対する血液凝固性の変異
 型物質: 赤血球膜表面上の糖蛋白質(グリコホリン)
 対立遺伝子 M=N co-dominant(共優性)

6,782人の東京在住者の検査結果

(1) M血清に対して赤血球が凝集した人(M⁺)と、しない人(M⁻)の数はそれぞれ5,353人と1,429人。
 (2) さらにN血清に対する検査をすると(M⁺)の人のうち3,332人が(N⁺)で、(M⁻)の人はすべて(N⁻)であった。

表現型で整理すると

M ⁺ N ⁻	M ⁺ N ⁺	M ⁻ N ⁺	合計
2,021人	3,332人	1,429人	6,782人

遺伝子型頻度は

MM	MN	NN	合計
0.298	0.491	0.211	1.000

遺伝子頻度はどうなるか？

対立遺伝子の数

MM	MN	NN	合計
2,021人	3,332人	1,429人	6,782人

M遺伝子の数: $2 \times 2,021 + 1 \times 3,332 + 0 \times 1,429 = 7,374$
 N遺伝子の数: $0 \times 2,021 + 1 \times 3,332 + 2 \times 1,429 = 6,190$
 MN遺伝子の総数: $2 \times 6,782 = 13,564$

M遺伝子頻度:
 $(2 \times 2,021 + 1 \times 3,332 + 0 \times 1,429) / (2 \times 6,782) = 0.544$
 N遺伝子頻度:
 $(0 \times 2,021 + 1 \times 3,332 + 2 \times 1,429) / (2 \times 6,782) = 0.456$

子世代の遺伝子型頻度

MM	$0.544 \times 0.544 = 0.296$ (≈ 0.298)
MN	$2 \times 0.544 \times 0.456 = 0.496$ (≈ 0.491)
NN	$0.456 \times 0.456 = 0.208$ (≈ 0.211)

注) 括弧内の赤字は親世代(人数の比率から求めた数値)。食い違いは計算の丸めの誤差による。

覚えて欲しいこと

Hardy-Weinbergの法則では

対立遺伝子Aとaがそれぞれ頻度pとqであるとき、 $p + q = 1$ となり、
 遺伝子型 AA, Aa, aa の頻度はそれぞれ $p^2, 2pq, q^2$ となる

病気の頻度だけでなく、キャリアの頻度、penetranceも求められる。

例1-病気の頻度

ある常染色体優性遺伝の疾患Aの遺伝子頻度(q)が $1/100$ である。人口1000人当たりにおけるこの病気の頻度を求めなさい。

$$p = 1 - \frac{1}{100} = \frac{99}{100}$$

$$q^2 + 2pq = \left(\frac{1}{100}\right)^2 + 2\left(\frac{99}{100}\right)\left(\frac{1}{100}\right) = 0.0199$$

こたえ: 1000人当たりおよそ20人です。

覚えて欲しいこと

Hardy-Weinbergの法則では

対立遺伝子Aとaがそれぞれ頻度pとqであるとき、 $p + q = 1$ となり、
 遺伝子型 AA, Aa, aa の頻度はそれぞれ $p^2, 2pq, q^2$ となる

例2-キャリアの頻度

疾患Bは常染色体劣性遺伝で、400人に1人の頻度で発症する。この疾患Bのキャリアの頻度を求めなさい。

$$q^2 = \frac{1}{400} \quad q = \sqrt{\frac{1}{400}} = \frac{1}{20}$$

$$2pq = 2\left(\frac{19}{20}\right)\left(\frac{1}{20}\right) = 0.095 \quad \text{こたえ: } 9.5\%$$

例3- 浸透率の計算

浸透率(penetrance)が不完全である常染色体優性遺伝の疾患について、ある集団内でこの疾患は1000人中16人において認められる。正常対立遺伝子 p の頻度が0.99だとした時、予想される浸透率を求めなさい。

$$p = 0.99 \quad \therefore q = 0.01$$

$$\text{penetrance} \times (q^2 + 2pq) = 0.016$$

$$(q^2 + 2pq) = 0.01^2 + 2(0.99 \times 0.01) = 0.019$$

$$\text{penetrance} = \frac{0.016}{0.019} = 0.804$$

こたえ: 浸透率は80.4%

遺伝子頻度に影響を与える要因

赤毛遺伝子 $p = 0.55$, 白毛遺伝子 $q = 0.45$ とする。

ここで、白毛牛は全部繁殖させず、赤毛と粕毛のみが次代を生産、つまり白毛牛を除くという**選抜(白毛牛の淘汰)**を実施したとする。

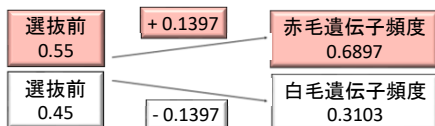
ショートホーンの遺伝子型頻度の選抜による変化

	赤毛牛	粕毛牛	白毛牛	合計
もとの親の遺伝子型頻度	0.55 ²	$2 \times 0.55 \times 0.45$	0.45 ²	1
白毛牛淘汰	0.3025	0.4950	0	0.7975
選抜後の親の遺伝子型頻度	0.3793	0.6207	0	1
	(0.3025/0.7975)	(0.4950/0.7975)		

$$p_n' = (0.3025 \times 2 + 0.4950) / (0.7975 \times 2) = 0.68966$$

$$q_n' = 0.4950 / (0.7975 \times 2) = 0.31034$$

白毛牛の淘汰



次代の遺伝子頻度は、 $(0.6897n + 0.3104N)^2$ となるので、赤毛牛が増加し、粕毛と白色牛が減少する。

選抜前と後での遺伝子型頻度

	赤毛牛	粕毛牛	白色牛
選抜前の親の遺伝子型頻度	0.3025	0.4950	0.2025
選抜後の親の遺伝子型頻度	0.4755	0.4280	0.0963

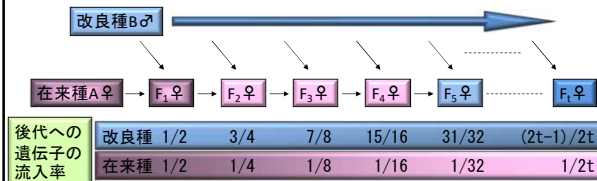
$q = 0.09$ にするまでの世代数

$$t = \frac{1}{0.09} - \frac{1}{0.45} = 11.2 - 2.2 = 8.9 \approx 9$$

遺伝子頻度に影響を与える要因

1. 移入

積極的に遺伝子を外部から導入し、手持ちの家畜集団を改良していく場合などがある。



累進交配と遺伝子割合の変化

A品種の集団にB品種のオスが累進交配用に導入されたような場合は、もとのA品種の遺伝子頻度は当然次代で変化する。

遺伝子頻度に影響を与える要因一つづき

2. 近親交配

ホモ接合体が増加する。

極端な近親交配を行うと、受胎率、生存率、産卵率、泌乳能力などの経済形質が低下する(**近交退化**)。

3. 突然変異

遺伝子頻度に変化する場合がある。

家畜での自然突然変異率は $10^{-5} \sim 10^{-6}$ で、家畜育種の面から(有用な突然変異)は期待できない。

4. 機会的遺伝浮動

2つの相同遺伝子のうち、次世代に伝えられる遺伝子がどちらになるかは、もし、子が1頭しか生まれないなら偶然性によって決まる。

したがって、小集団の親を考える場合、ある遺伝子の方が多く次の世代に伝えられるということが確率的に起こりうる。

集団の有効な大きさ

$$N_e = \frac{4N_m N_f}{N_m + N_f}$$

N_m はその世代に用いられる雄の数、 N_f は雌の数。

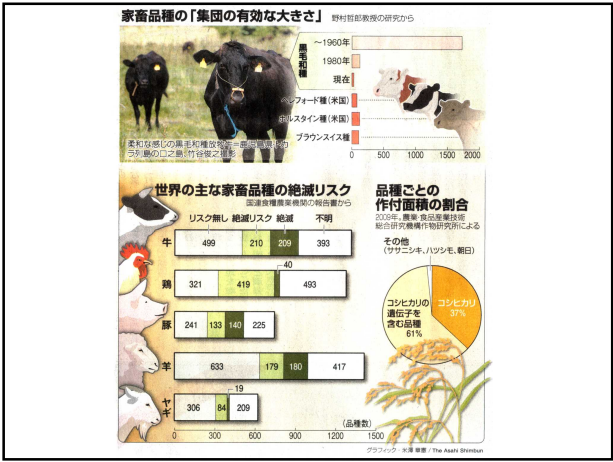
毎世代5頭の種雄牛と100頭の雌牛が無作為に交配されたとすると、実際の集団の頭数は105頭であるが、集団の有効な大きさ $N_e = 19.05$ から19頭となる。

$$N_e = 4(5 \times 100) / (5 + 100) \approx 19$$

したがって、毎世代近交係数の上昇

$$\Delta F = \frac{1}{2N_e} = 0.026$$

すなわち、2.6%ずつ**近交係数**が上昇する。



霜降り偏重で多様性低下

とがった角と鋭い目が特徴の「野生牛」
＝鹿児島県トカラ列島の口之島

asahi.com

2010年10月8日朝日新聞