

# 量的形質とその遺伝1

# 量的形質

乳量や体重などのように連続的な値

動物育種において改良の対象となる重要な経済形質の大部分

ニワトリの産卵数やブタの一腹産子数のような計数データとして表される形質や、ウシの脂肪交雑のように程度がカテゴリー化された点数によって評価される形質の変異は厳密には非連続的

これらの形質にも連続的に分布する潜在的な変異があり、表現型への発現が整数値に限られていると考えれば、量的形質とみなすことが可能

例) 一腹産子数は潜在的に連続変異している形質（繁殖性の尺度）とみなせば量的形質として扱うことが可能

# 表現型値、遺伝子型値および環境偏差

## 分析対象

表現型を体重や身長などのような値(value)で表したデータ  
(質的形質では不連続なクラスごとの出現頻度)

**表現型値** 個体が表現型として示す値  
形質により程度に差異はあるが、  
個体特有の遺伝子の作用を受ける

**遺伝子型値 (genotypic value)**

多数の遺伝子の働きの複合産物

量的形質の表現型値は遺伝子作用に加えて環境も影響



環境(非遺伝的)要因による構成部分

**環境偏差 (environmental deviation)**

**環境効果 (environmental effect)**

# 遺伝子型値の分割

量的形質の遺伝学において大前提となるモデル

表現型値  $P$ 、遺伝子型値  $G$  および環境偏差  $E$  として

$$P = G + E$$

\* 環境偏差を遺伝子型値の周りにランダムに生じる偏差

例) 1頭のヒツジ(ドナー)の体細胞から作出したクローン



ドナーと同じ遺伝子型値  
クローンの体重には個体ごと差異



環境偏差

多数のデータから平均値を算出すると・・・

プラス方向およびマイナス方向に働いた環境偏差が相殺

$P = G$  に近似する

## 量的形質の表現型値の分布の例

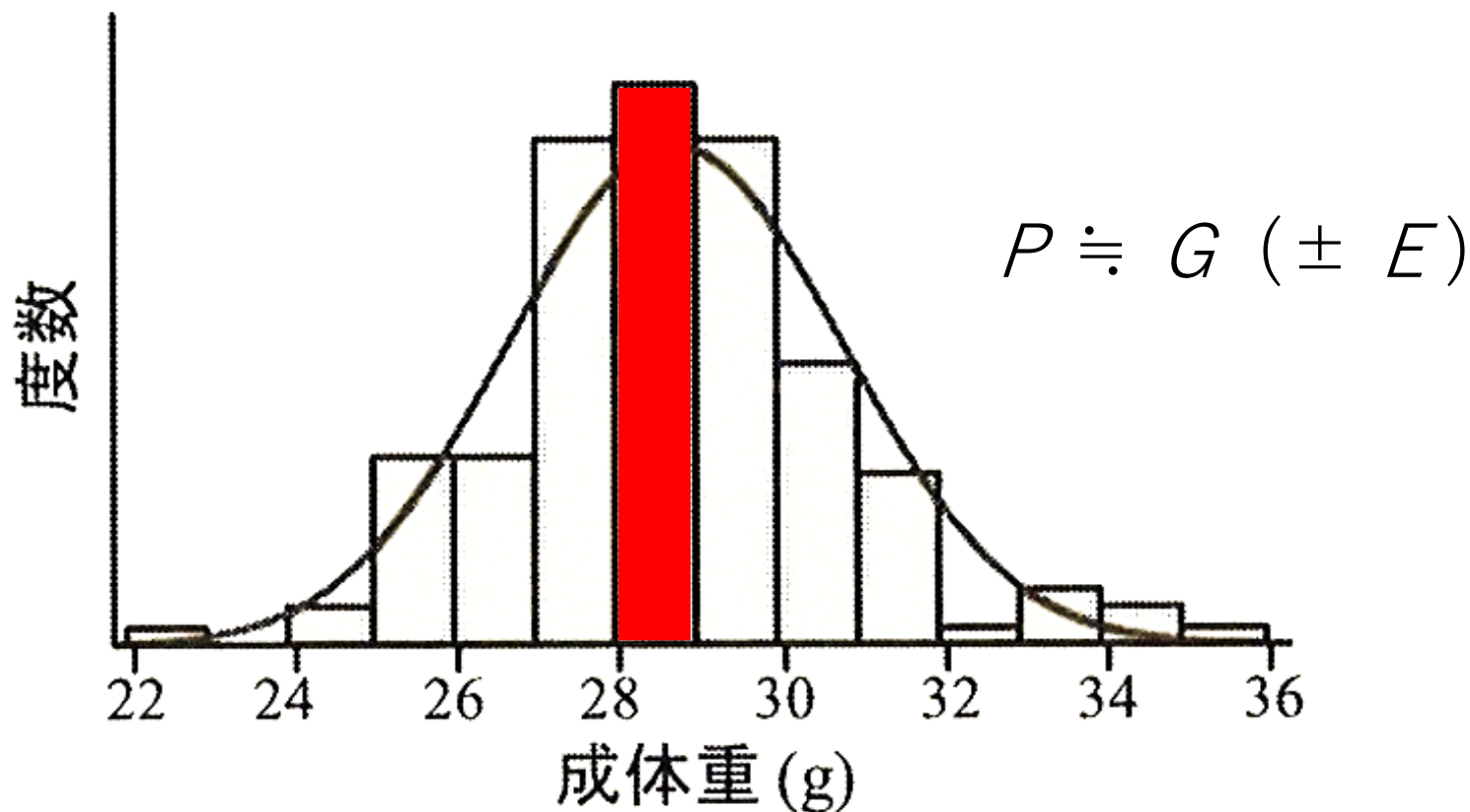


図 6.1 マウスの生後 14 週齢成体重の分布

表現型値の分布は正規分布で近似可能

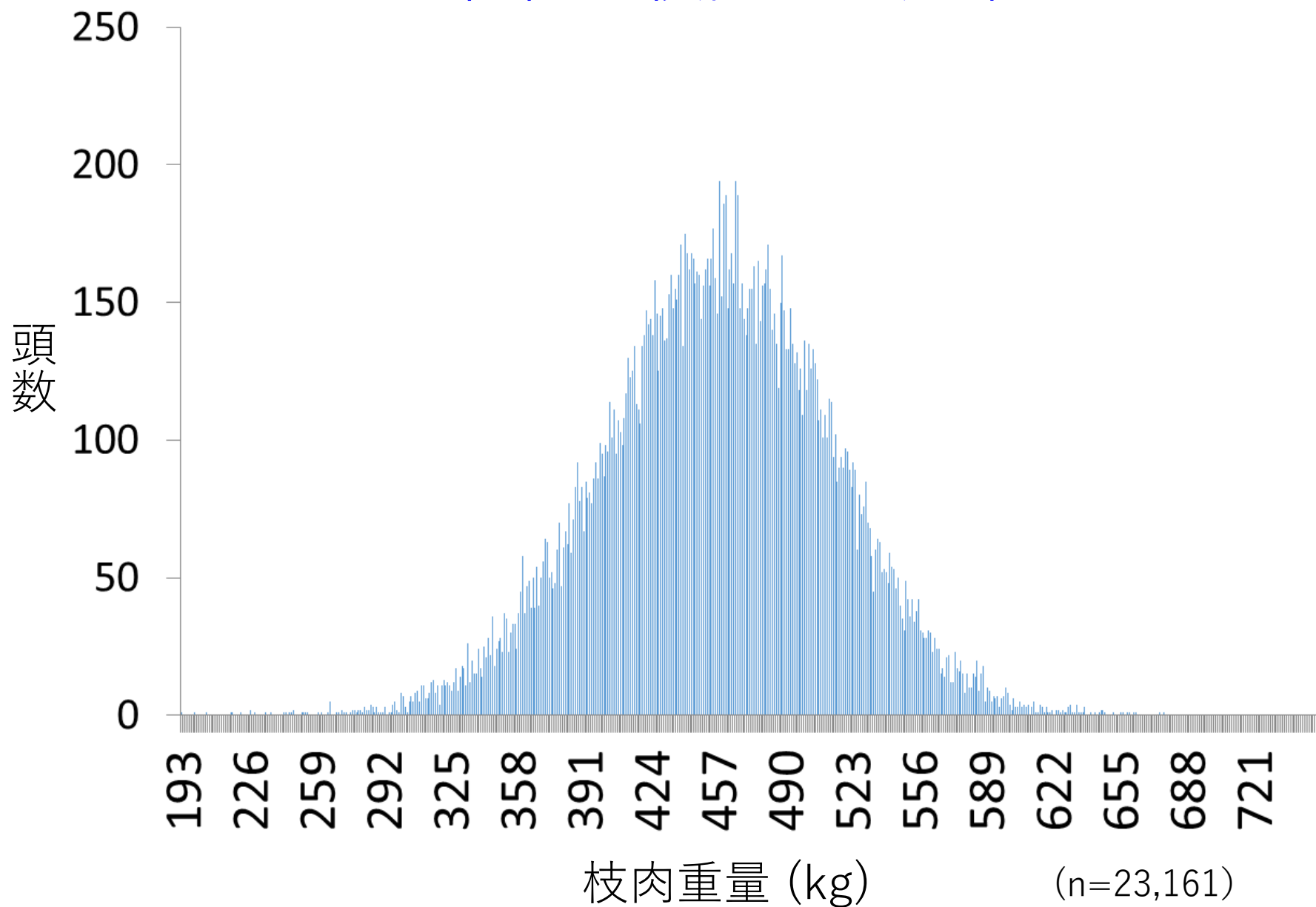
統計学における中心極限定理による理論的な裏付け

# 中心極限定理 (central limit theorem, CLT)

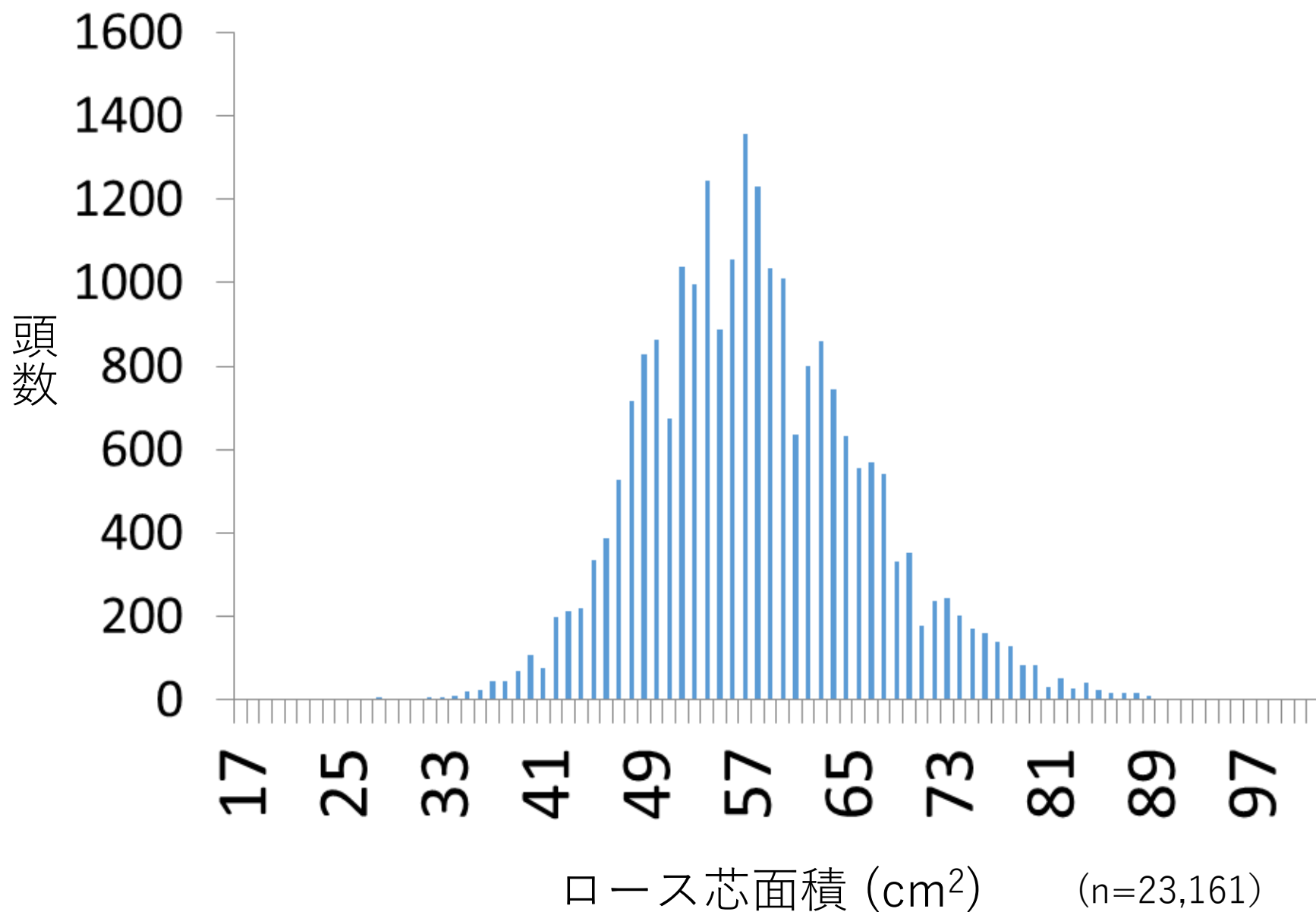
確率論・統計学における極限定理の一つ

標本を抽出する母集団が平均  $\mu$ 、分散  $\sigma^2$  の正規分布に従う場合においても、従わない場合においても抽出するサンプルサイズ  $n$  が大きくなるにつれて標本平均の分布は「平均  $\mu$ 、分散  $\sigma^2/n$ 」の正規分布  $N(\mu, \sigma^2/n)$  に近づく

# 黒毛和種の枝肉重量分布

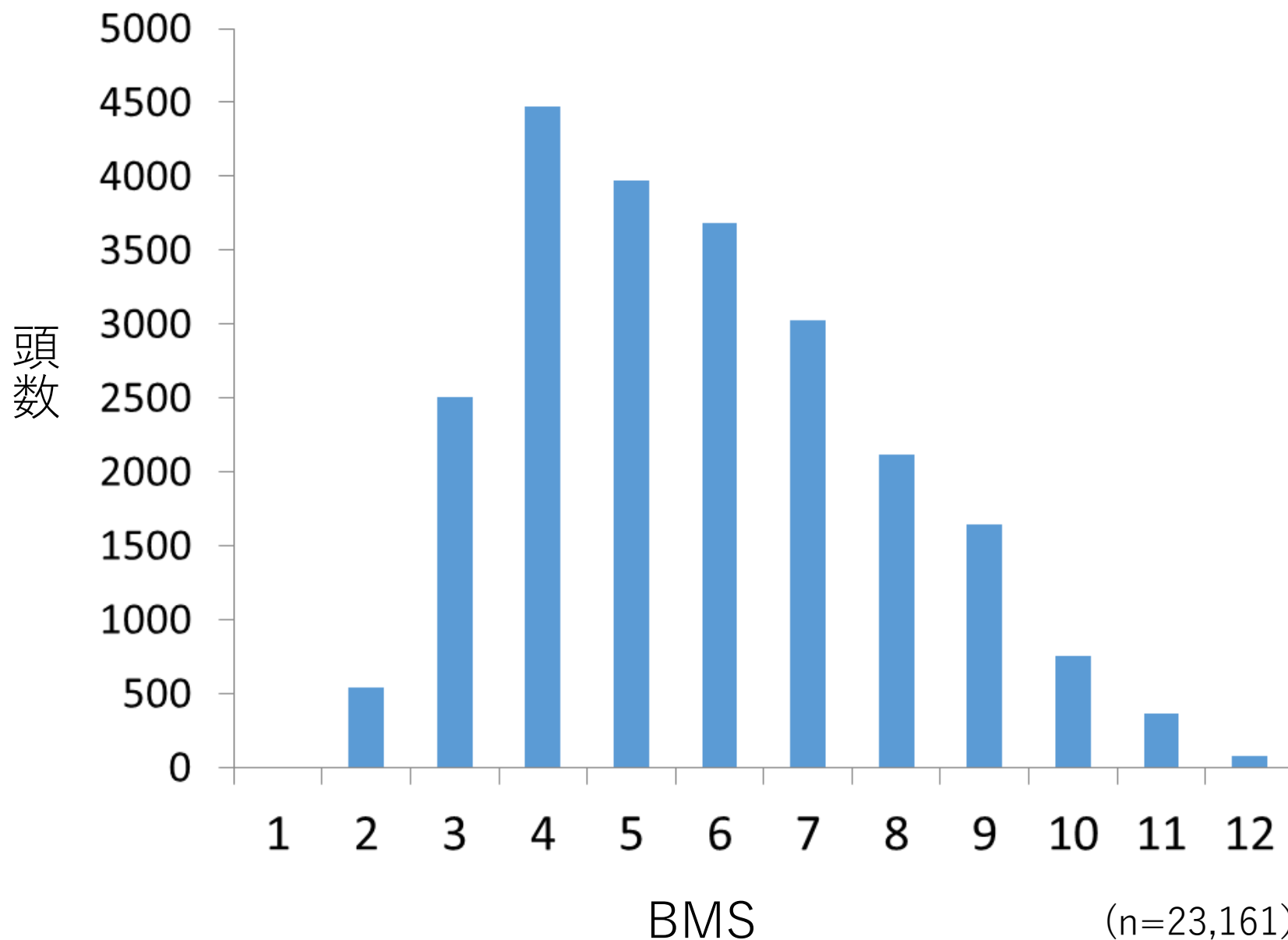


# 黒毛和種のロース芯面積分布

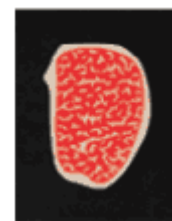
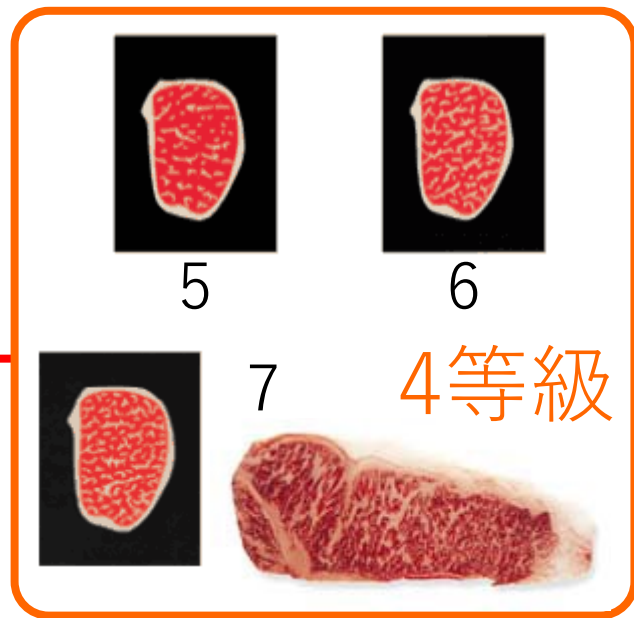
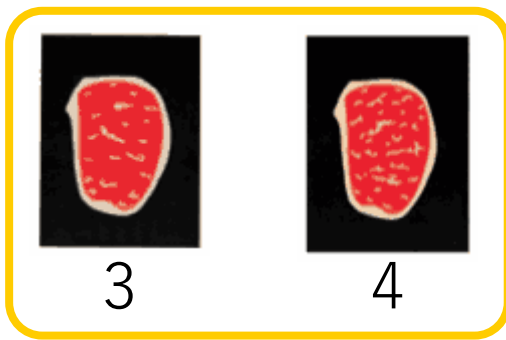
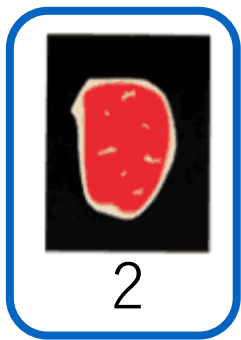
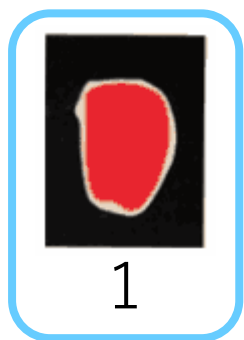




## 黒毛和種のBMS分布

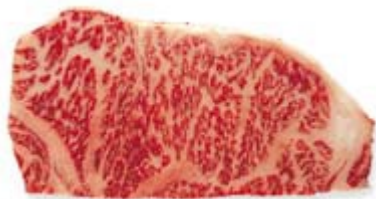


# 牛脂肪交雜基準 (BMS : Beef Marbling Standard)



4等級

8



5等級

9



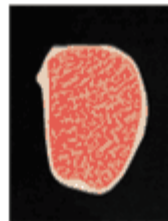
10



11



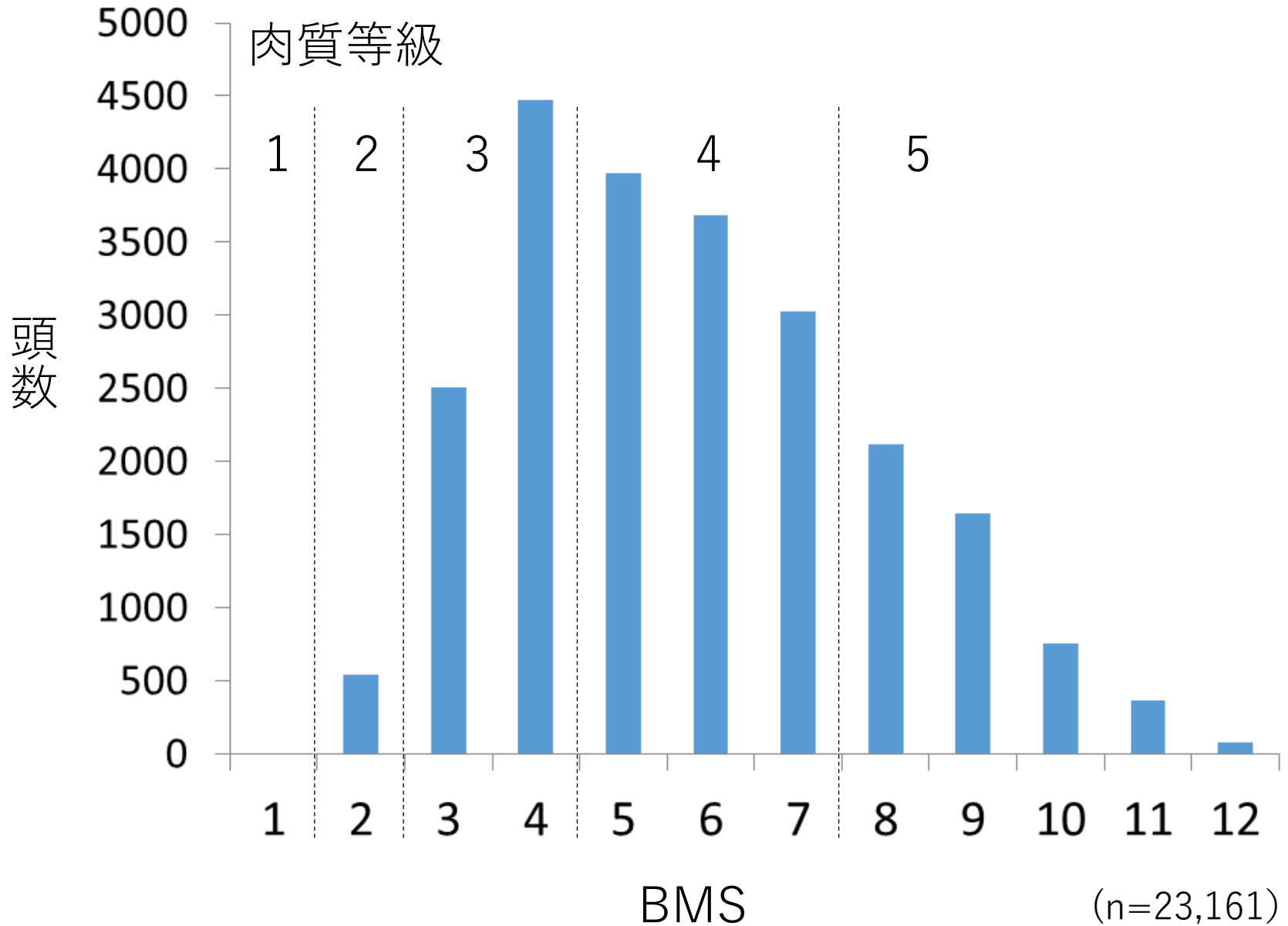
12



肉色 (BCS : Beef Color Standard)

脂肪色 (BFS : Beef Fat Standard)

# 黒毛和種のBMS分布



# 岡山県における黒毛和種改良 (BMS)

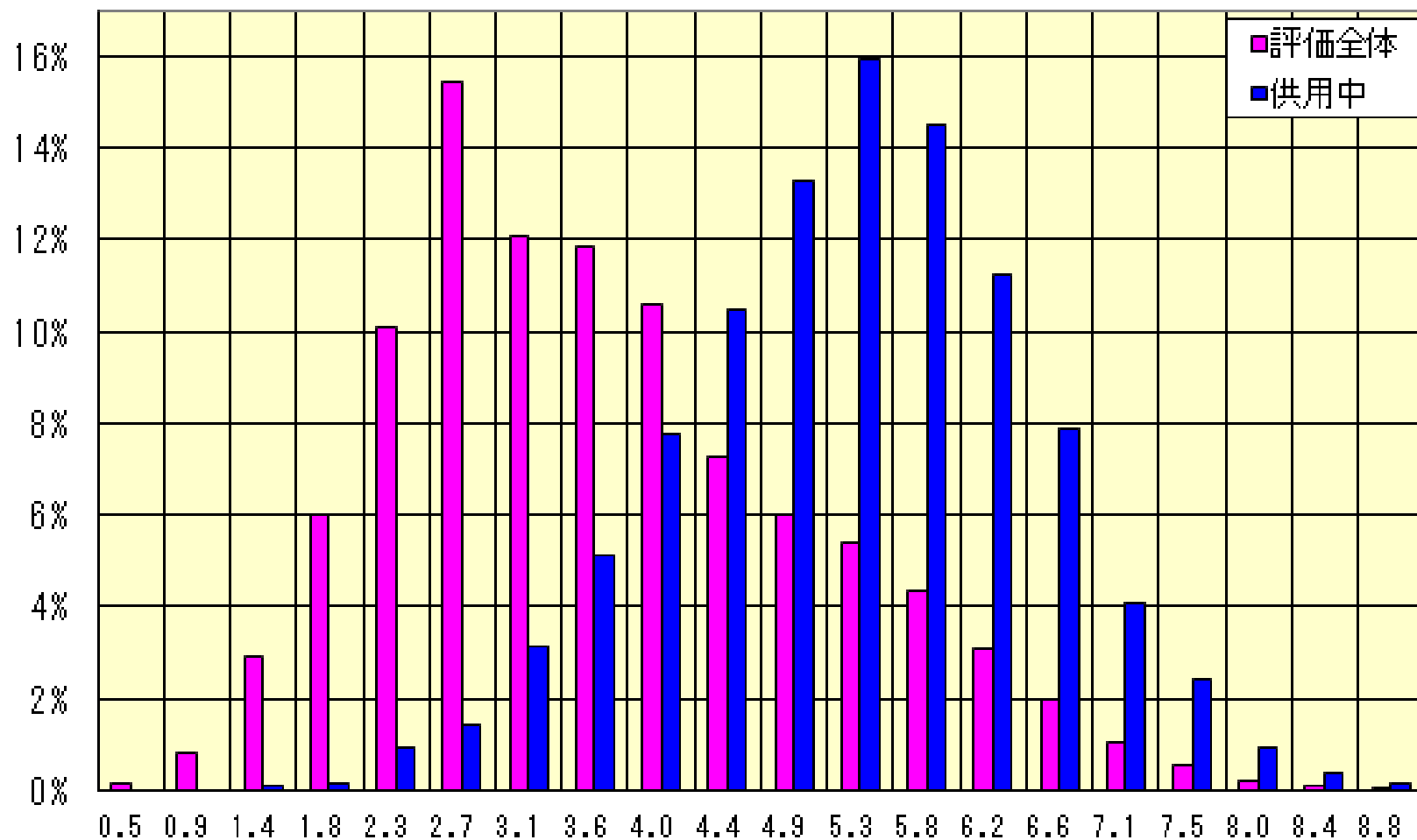


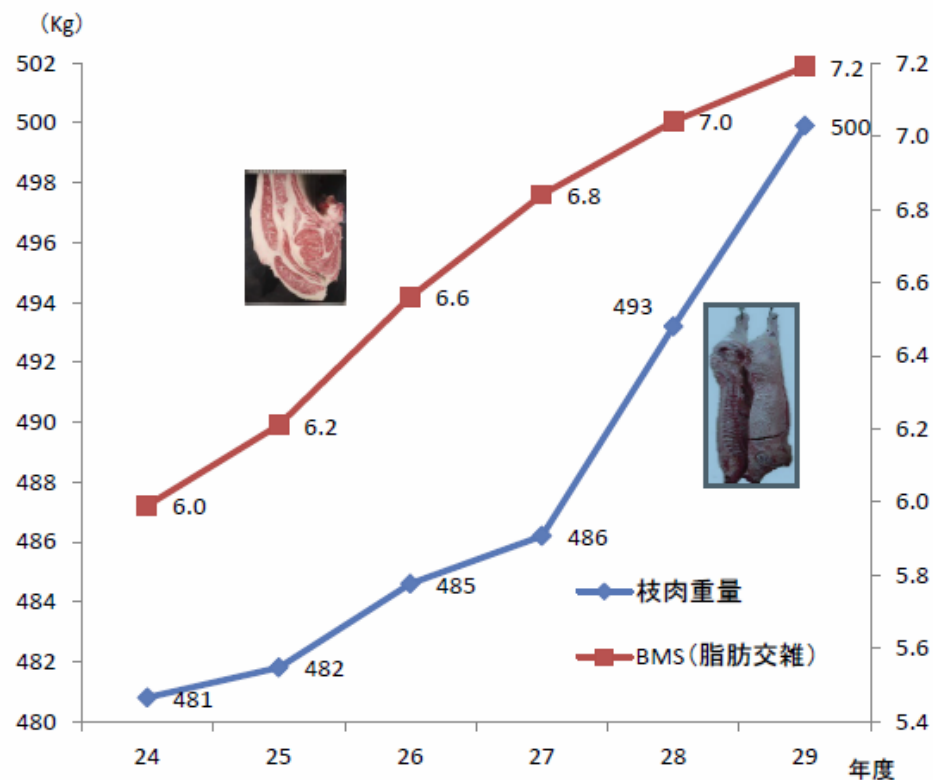
図3 繁殖雌牛期待枝肉成績(BMSNo)の分布

BMSNo

# 日本の家畜改良の状況

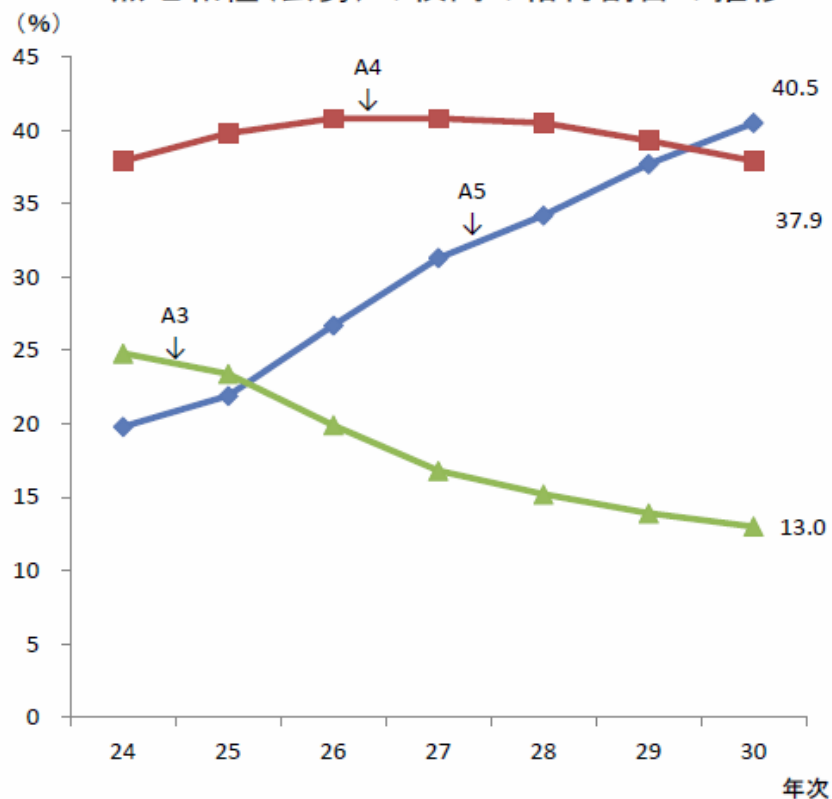
## 肉用牛の改良

黒毛和種(去勢)の肉質形質の推移



資料: (独)家畜改良センター「枝肉成績とりまとめ」

黒毛和種(去勢)の枝肉の格付割合の推移



資料: (公社)日本食肉格付協会調べ

# 遺伝子型値の分割

ある個体で量的形質に關与する1つの遺伝子座A

A1とA2の2つの対立遺伝子

遺伝子型値への寄与は、それぞれ  $\alpha 1$  および  $\alpha 2$

相互作用による表現型値への寄与を  $\delta A$

遺伝子座Aの遺伝子型値への寄与  $\alpha 1 + \alpha 2 + \delta A$

同様に、ある量的形質に關与する1つの遺伝子座B

B1とB2の2つの対立遺伝子

遺伝子型値への寄与  $\beta 1$  および  $\beta 2$  相互作用  $\delta B$

遺伝子座Bの遺伝子型値への寄与  $\beta 1 + \beta 2 + \delta B$

二つの遺伝子座の遺伝子型値への寄与

$$\underline{\alpha 1 + \alpha 2 + \beta 1 + \beta 2 + \delta A + \delta B + \delta A \times B}$$

# 相加的、非相加的な遺伝子効果

$$\alpha 1 + \alpha 2 + \beta 1 + \beta 2 + \delta A + \delta B + \delta A \times B$$

$\alpha 1$ 、 $\alpha 2$

相加的遺伝子効果 (additive genetic effect)

$\beta 1$ 、 $\beta 2$

他の遺伝子の存在の有無にかかわらず個々の遺伝子が示す固有の効果

$\delta A$ 、 $\delta B$

優性効果 (dominance effect)

同一の遺伝子座内での遺伝子間の相互作用による効果

$\delta A \times B$

エピスタシス効果 (epistatic effect)

異なる遺伝子座の遺伝子あるいは遺伝子型間で生じる相互作用

# 相加的遺伝子効果：高血圧発症ラットの例

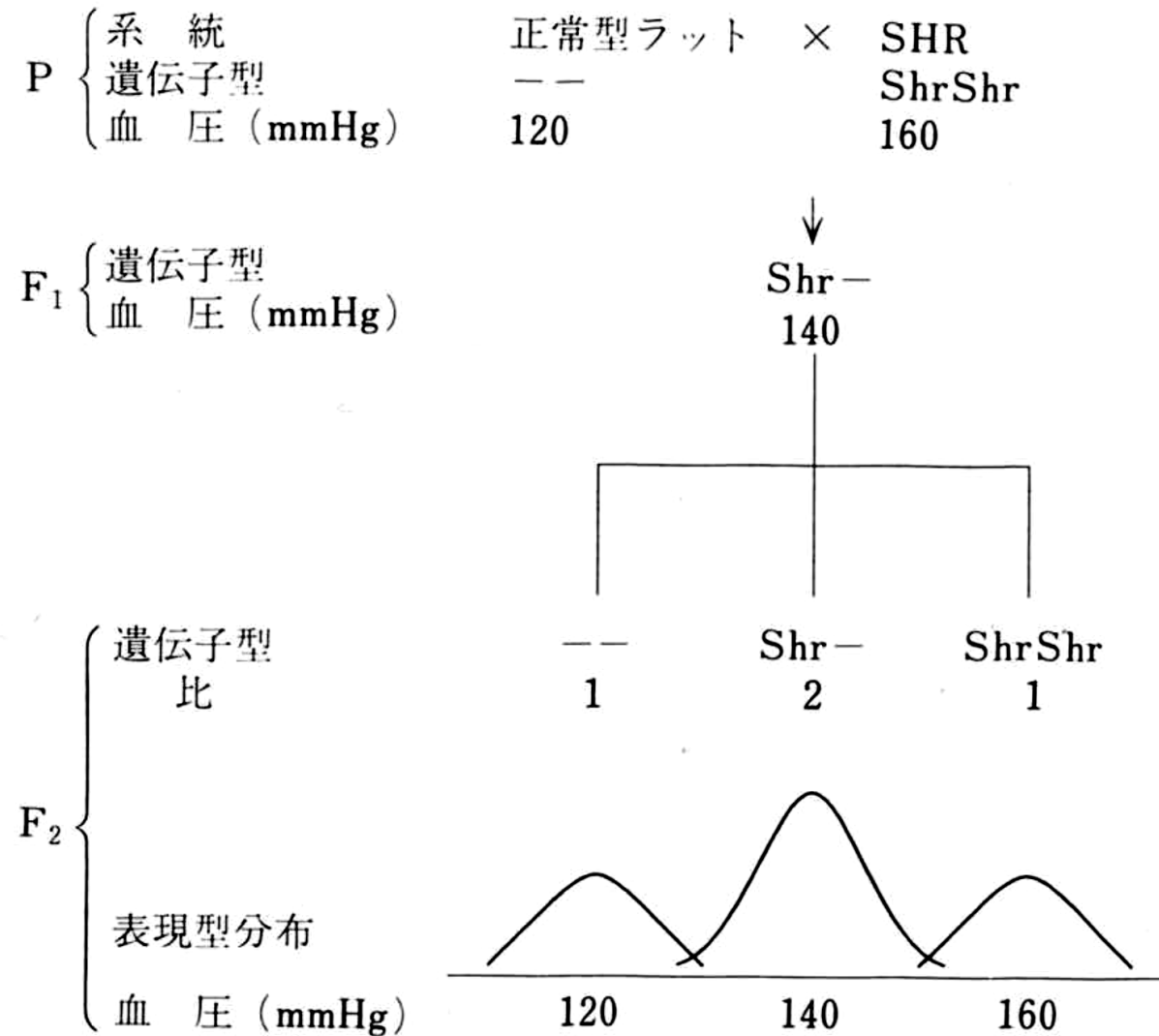


図 4.1 高血圧自然発症ラット (SHR) における血圧の遺伝



## 相加的遺伝子効果：高血圧発症ラットの例

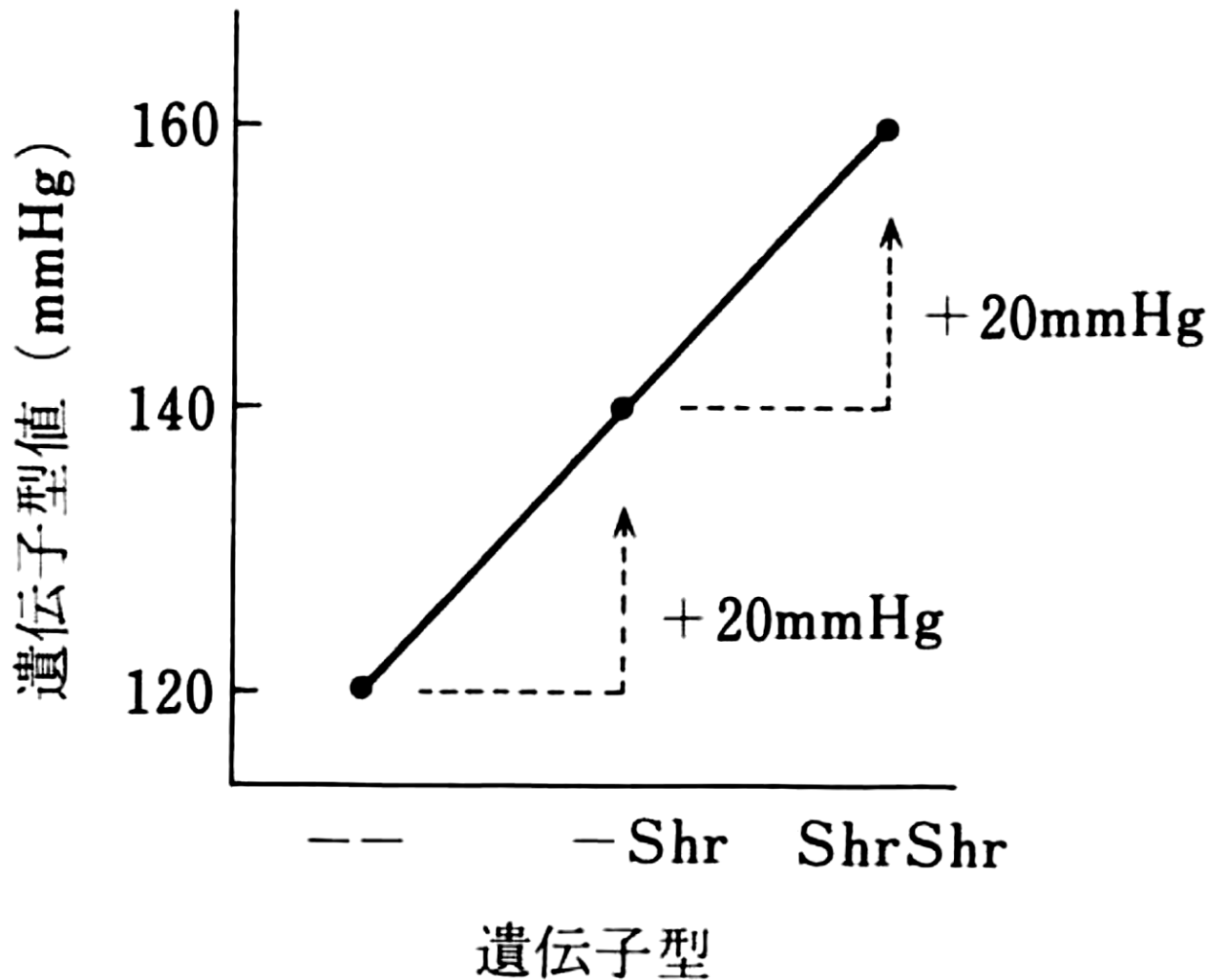
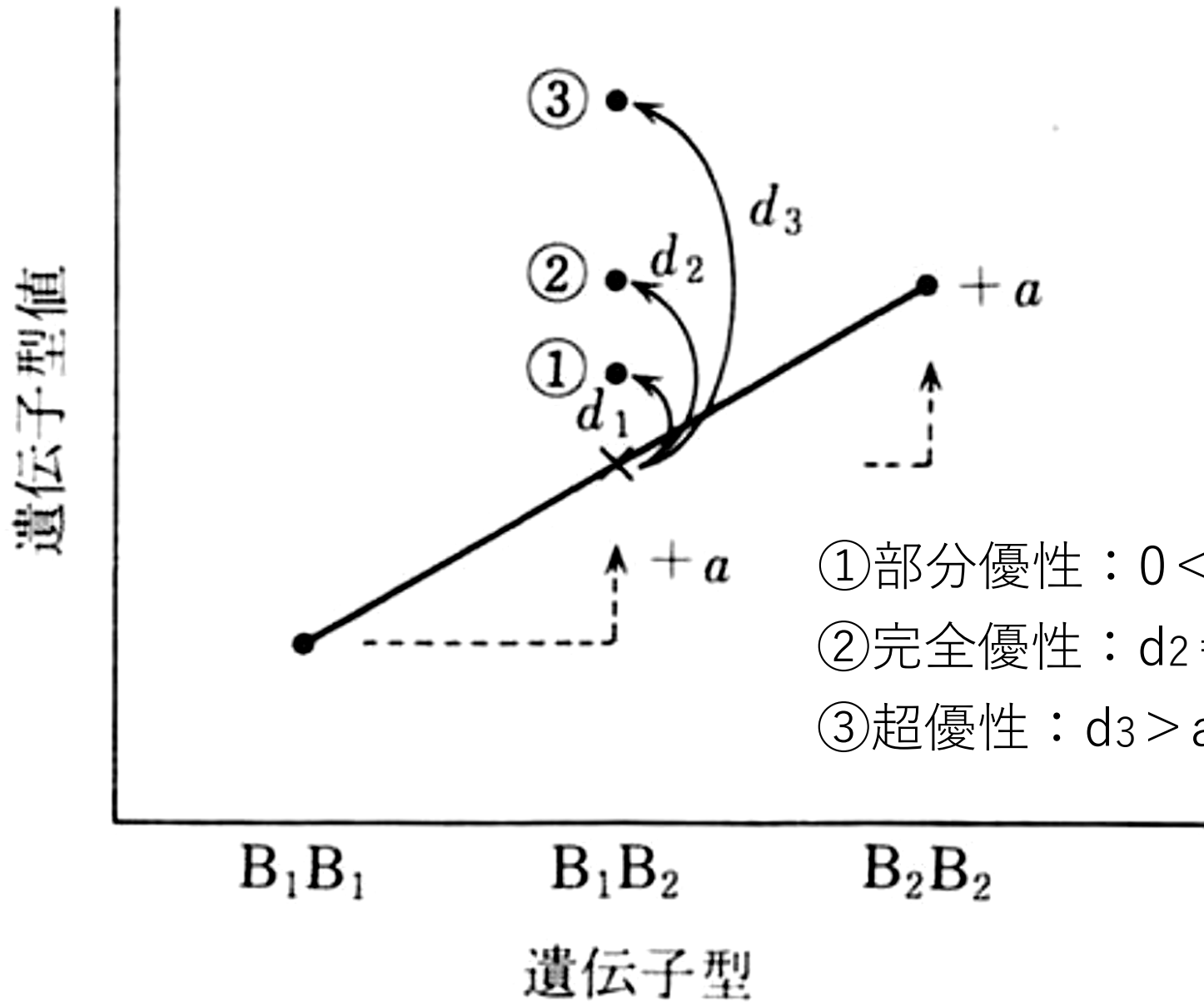


図 4.3 ラットにおける高血圧自然発症遺伝子 Shr にみられる相加的遺伝子効果

# 優性效果



## 遺伝子型値を $G$ とすると

$$G = A + D + I$$

$A$ : 相加的遺伝子型値 (Additive genetic value)  
または育種価 (breeding value)

$D$ : 優性偏差 (dominance deviation)

$I$ : エピスタシス偏差 (epistatic deviation)

$D + I$  を非相加的遺伝子型値

## 表現型値を $P$ とすると

$P = G + E$  だったので

$$P = A + D + I + E$$

$E$ : 環境偏差

非相加型遺伝子型値と環境偏差をまとめて

$$e = D + I + E \quad \Rightarrow \quad P = A + e \text{ で分析 !!}$$

# 育種価の考え方

優性効果およびエピスタシス効果は、いずれも複数の遺伝子(あるいは遺伝子型)の特定の組合せによって生じる効果



減数分裂によって形成された配偶子にこれらの効果が伝えられるチャンスは極めて低い

個々の遺伝子効果に起因した相加的遺伝子効果はその一部が必ず配偶子に伝えられる



相加的遺伝子型値  $A$  をもつ個体から形成される配偶子は、期待値として  $A/2$  の遺伝子型値を有する

動物の育種において

親として望ましい個体を選ぶこと(選抜)は重要な手段

遺伝子型値の優れた個体を選ぶのではなく  
相加的遺伝子型値の優れた個体を選ぶことが重要

育種価

# 育種価とは

ある個体の育種価とは「その個体を集団から無作為に抽出した多くの個体と交配して生まれた子の平均値の子全体の集団平均値からの偏差の2倍である」と定義

父親の育種価が $A_s$ 、母親の育種価が $A_d$ のとき  
子どもの育種価を $A_o$ とすると

$$A_o = \frac{A_s + A_d}{2} + \delta$$

$\delta$  は両親の育種価の平均値の周りに生じる偏差で期待値は0

偏差  $\delta$  は、問題としている量的形質に關与する遺伝子座について、両親がヘテロ接合の遺伝子座をもつことで生じる

ヘテロ接合の遺伝子座では、親がもつ2つの遺伝子のうちどちらが子どもに伝達されるかによって子どもの育種価に違いが生じる ➡ **メンデルアン・サンプリングによる誤差**

# メンデルアン・サンプリングによる誤差 (メンデル抽出、Mendelian sampling)

親の遺伝子型がA1A2の場合

➡ どちらが子に伝わるか分からない

親の近交係数が低いとき

すなわち親がヘテロ接合の遺伝子座を多くもつときに  
誤差は大きくなる

逆に親の近交係数が高いときには小さくなる

2022-8月



JP5H57685

PG 57685

血統濃度 100%

個体識別番号 1390416075

A2/A2

# ピュアソウル ビジョン SI ハウル ET



90点



PURESOU L VISION SI HOWL ET

H27.8.23 生  
生産者:北海道 丹治 智寛氏  
繋養場所:前橋種雄牛センター

「オーヘイダ」ファミリーから乳器改良に優れたシルバー息牛!  
後乳房が高く、付着の強い乳器と理想的な肢蹄構造で耐久性抜群!  
乳成分の改良に加え、高い長命連産効果で収益性アップ!

形質順位 TOP40位内順位

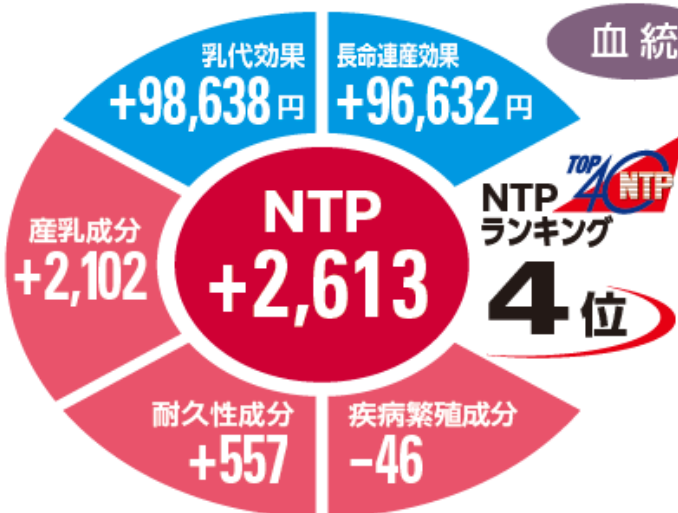
FAT 1位

耐久性成分 4位

産乳成分 5位

長命連産効果 5位

乳器 6位



血統

シーガルベイ シルバー ET

USA72156794

マウントフィールド SSI DCY モーグル ET

8403006972816

シーガルベイスノー ダーリン ET

USA70640273

ピュアソウル ビジョン MA ヘップバーン ET

1375614632

デスー BKM マツカチエン 1174 ET

USA69990138

ピュアソウル ビジョン S ヘレン ET

0264511120

ベルベットビュー KJ ソクラテス ET

USA133126053



# GEV

Milk	+653kg	決定得点	+0.79
Fat	+76kg +0.51%	体貌と骨格	-0.47
SNF	+80kg +0.24%	肢蹄	+0.52
Pro	+43kg +0.22%	乳用強健性	+0.17
	(91%R 55D/44H)	乳器	+1.38

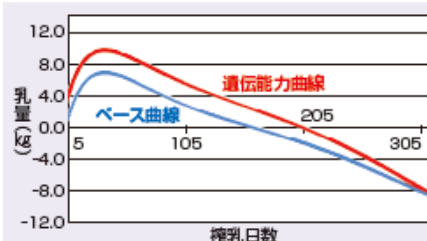
体細胞スコア：2.03 (79%R 40D/32H)

産子難産率	5% (71%R)	気質	98
娘牛難産率	6% (34%R)	搾乳性	101
産子死産率	7% (96%R)	在群能力	+1.50 (70%R)
娘牛死産率	4% (48%R)	泌乳持続性	-1.20 (87%R)
娘牛受胎率	36% (56%R)	暑熱耐性	-0.48 (48%R)
空胎日数	142日 (66%R)		

## 娘牛平均成績

Milk	11,772kg
Fat	485kg 4.15%
SNF	1,036kg 8.80%
Pro	397kg 3.38%
決定得点	80.7

## 遺伝能力曲線



# SBV

形質	程度	▼2	▼1	▼0	▼1	▼2	程度	SBV
高さ	低い						高い	0.24
胸の幅	狭い						広い	0.48
体の深さ	浅い						深い	0.18
鋭角性	欠く						富む	0.19
B C S	痩せ						肥え	0.00
尻の角度	坐骨高						坐骨低	1.83
坐骨幅	狭い						広い	0.95
後肢側望	直飛						曲飛	0.35
後肢後望	寄る						平行	0.37
蹄の角度	小さい						大きい	1.34
前乳房の付着	弱い						強い	2.63
後乳房の高さ	低い						高い	2.02
後乳房の幅	狭い						広い	0.60
乳房の懸垂	弱い						強い	2.09
乳房の深さ	深い						浅い	1.77
乳房の傾斜	後傾斜						前傾斜	1.83
前乳房の配置	外付						内付	1.89
後乳房の配置	外付						内付	0.19
前乳房の長さ	短い						長い	1.93
体貌と骨格	低い						高い	0.70
肢蹄	低い						高い	1.54
乳用強健性	低い						高い	0.29
乳器	低い						高い	2.54
決定得点	低い						高い	1.68



## 左手前から

- 娘 アイコール ハウル マリナー  
北海道訓子府町 竹本 竜也氏所有  
母の父：ニューバース ブラック ウィンテス ユリア ET
- 娘 ミドルランド ハウル スター  
福岡県久留米市 中島 康森氏所有  
母の父：ライブストック モンブラン
- 娘 ミドルランド ハウル バリアント  
福岡県久留米市 中島 康森氏所有  
母の父：クラックホーム フィーバー ET
- 娘 ファーロツク ハウル リコ (2産)  
北海道別海町 戸田 好則氏所有  
母の父：ライブストック モンブラン
- 娘 マーク ハウル ヒルダン  
北海道標茶町 (株) アグウェイ 所有  
母の父：NLBC ストリート ボウラー ET



# NTP (総合指数) Nippon Total Profit Index

産乳成分、耐久性成分および疾病繁殖成分の3成分から構成  
形質や体型形質等をバランス良く改良して生涯生産性を高める  
ことができる選抜指数

## NTP(総合指数)

$$= 6.0 \times \text{産乳成分} + 2.8 \times \text{耐久性成分} + 1.2 \times \text{疾病繁殖成分}$$

$$\begin{aligned} &= 6.0 \times \left\{ 38 \times \frac{\text{EBV}_{\text{fat}}}{\text{SD}_{\text{fat}}} + 62 \times \frac{\text{EBV}_{\text{prt}}}{\text{SD}_{\text{prt}}} \right\} \\ &+ 2.8 \times \left\{ 22.5 \times \frac{\text{EBV}_{\text{fl}}}{\text{SD}_{\text{fl}}} + 41.8 \times \frac{\text{UDC}}{\text{SD}_{\text{UDC}}} + 35.7 \times \frac{\text{EBV}_{\text{dlo}}}{\text{SD}_{\text{dlo}}} \right\} \\ &+ 1.2 \times \left\{ -33 \times \frac{(\text{EBV}_{\text{scs}} - \text{AVG}_{\text{scs}})}{\text{SD}_{\text{scs}}} + 17 \times \frac{\text{EBV}_{\text{per}}}{\text{SD}_{\text{per}}} - 50 \times \frac{(\text{EBV}_{\text{do}} - \text{AVG}_{\text{do}})}{\text{SD}_{\text{do}}} \right\} \end{aligned}$$

EBV = 推定育種価、SD = 推定育種価の標準偏差、

fat = 乳脂量、prt = 乳蛋白質量、

fl = 肢蹄、UDC = 乳房成分、dlo = 在群能力、

scs = 体細胞スコア、per = 泌乳持続性、do = 空胎日数、

AVG = ベース年生まれの推定育種価の平均値

# 推定育種価 (EBV: Estimated Breeding Value)

泌乳形質および体型形質のうち得点5形質の評価値はEBVで表示  
ゲノミック評価の場合、SNP情報を利用して評価値を算出する  
ため、Genomic (ゲノミック) のGを付してGEBV

記録を持たない若雄牛および未經産牛についてはPA (Parent  
Average: 両親のEBVの平均値) が使われてきたが、ゲノミッ  
ク評価においてはPI (Paternity Index: 父牛とMGSから計算)  
にGを付してGPIと表示

雌牛については、EBVに恒久的環境効果を加えたEPA  
(Estimated Producing Ability: 推定生産能力) を算出

GEBVまたはEBV・GPI、およびEPA は、ともに全国統一値であ  
るため、導入牛を選定する際の自己所有牛との比較が可能

同一評価回次の評価値の比較が原則で、GPIはEBVやGEBVより  
も信頼度が低いことに注意

# 標準化育種価 (SBV: Standardized Breeding Value)

体型形質のうち線形形質および泌乳持続性については、以下の式で算出されるSBVで表示

$$SBV = \frac{BV※ - \text{ベース年生まれの雌の EBV の平均値}}{\text{ベース年生まれの雌の EBV の標準偏差}}$$

(※BV：この式では EBV、GEBVまたはGPI を示す)

種雄牛については遺伝的な特徴をよりわかりやすくするため、乳量をはじめとする全形質についてSBV を算出

## ホルスタイン種の 2019－8 月評価に係る変更点

### 未経産牛についての在群期間のゲノミック評価値（GPI）の公表開始

在群期間については、これまでは、種雄牛および若雄牛についてのみ評価値を公表してきましたが、未経産牛についてゲノミック評価値の精度を確認したところ、若雄牛のゲノミック評価値と同程度の信頼度（表 1）が得られるようになりました。

このため、2019－8 月評価から未経産牛について、在群期間のゲノミック評価値（GPI）の公表を開始します。

表 1. 在群期間の信頼度の平均値±標準偏差

種雄牛（GEBV）	71.1	±	10.5%R
若雄牛（GPI）	32.8	±	9.3%R
未経産牛（GPI）	33.3	±	8.2%R

## 候補種雄牛が総合指数上位にランクインする確率を示す指標P<sub>40</sub>の開発

### 要約

将来の総合指数順位が上位となる確率を示すP<sub>40</sub>を開発し、後代検定に参加する候補種雄牛を選択する指標とすることを提案する。信頼度が大きく異なる遺伝評価値(両親平均とゲノミック評価値)が混在する状況において、本選抜方法は有効である。

- ・ キーワード:乳用牛、後代検定一次選抜、遺伝的能力評価、信頼度、候補種雄牛
- ・ 担当:家畜生産・泌乳平準化
- ・ 代表連絡先:電話011-857-9260
- ・ 研究所名:北海道農業研究センター・酪農研究領域
- ・ 分類:研究成果情報

### 背景・ねらい

日本国内で利用されるホルスタイン種雄牛は、泌乳能力、耐久性および健全性などをバランス良く改良するために、NTPと呼ばれる総合指数を利用して遺伝的に優れたもののみが一般に供用される。農林水産省では、NTP上位40位以内の種雄牛を利用することを推奨しており、種雄牛選抜の目安とされている。後代検定に参加する若雄牛(候補種雄牛)は、多くの若雄牛の中から事前選抜(以下、後代検定一次選抜)により、160頭が選抜される。後代検定一次選抜では、後代検定が終了する4年後にNTP40位以内となる、より遺伝的能力の高い個体を正確に選ぶ必要がある。従来、後代検定一次選抜は、候補種雄牛の両親の遺伝評価値の平均(以下、PA)から遺伝的能力を判断し、さらに、候補種雄牛の健康状態、精液量や濃度、精液の活力などを考慮して実施されてきた。近年、候補種雄牛のゲノミック評価値が公表され、PAとともにゲノミック評価値(以下、GPI)を利用した後代検定一次選抜が可能となったことから、候補種雄牛は、後代検定一次選抜時にPAのみをもつ個体とGPIをもつ個体が混在する。一般的に、自身の遺伝子情報を利用するGPIの信頼度は、両親の遺伝評価値の信頼度に基づくPAの信頼度に比べて高い。そこで、本研究では、信頼度が異なる遺伝評価値が混在する状況において、候補種雄牛の評価値(PAまたはGPI)とその信頼度の違いを考慮した後代検定一次選抜法を提案する。

### 研究情報

- ▶ 研究課題(プロジェクト)
- ▶ 研究成果
- ▶ NARO RESEARCH PRIZE
- ▶ 一目でわかる研究成果集
- ▶ 機能性をもつ農林水産物・食品開発プロジェクト
- ▶ 研究活動報告
- ▶ Society5.0 農業・食品版の実現とSDGs
- ▶ スマート農業実証プロジェクト

$$P\{z \geq A\} = F(A) = \int_A^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

式1 候補種雄牛が将来の NTP40 位以内にランクインする確率： $P_{40}$  の計算式  
 $z$  は標準正規分布の変数、 $A$  は将来の上位 40 位の NTP (EBV-NTP<sub>40</sub>) を標準化した値

図 1 a

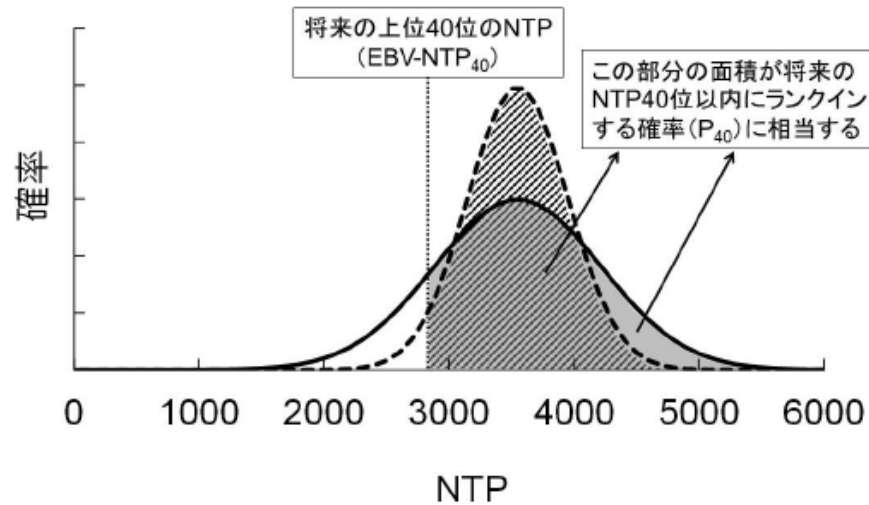


図 1 b

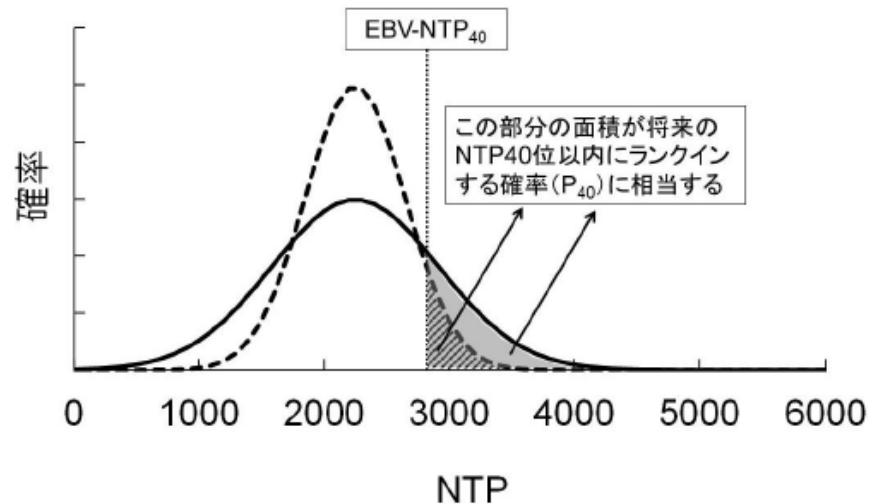


図1  $P_{40}$  のイメージ (実線：信頼度が低い候補種雄牛 破線：信頼度が高い候補種雄牛)  
 図1 a 評価値が EBV-NTP<sub>40</sub> より高い場合； 図1 b 評価値が EBV-NTP<sub>40</sub> より低い場合

# 種雄牛間の相対的遺伝的距離 (種雄牛960頭)

## 藤良系

藤良系は第6藤良  
(岡山県)の子孫  
第6藤良の孫で  
ある第7糸桜  
(島根県)を祖  
先とする糸桜系  
とも呼ばれる。  
増体系であり、  
ロース芯の面積  
が大きいものが  
多い

## 気高系

気高(鳥取県)の子孫で構成された血統で、  
その特徴は増体系である

田尻(兵庫県)の子孫で構成され  
た血統で、肉質系と言われ肉  
質に優れる。  
中土井系や但馬系と呼ばれるこ  
ともある

## 田尻系

▲芳之国  
▲北国7の8

茂晴花

愛之国

福之姫

忠勝晴

福乃百合

秋忠平

勘太

幸忠栄

百合勝安

美津金幸

美津百合

美津茂重

百合清

光彦

福増

美津照重

舞菊福

菊知恵

光平照