

2025年9月2日
食品衛生基準審議会
新開発食品調査部会
遺伝子組換え食品等調査会

豚の育種と生産について

農研機構生物機能利用研究部門
美川 智

三元交雑種（三元豚）

【日本国内で主流の生産方式】

- ・ (ランドレース♀ × ラージホワイต์♂) ♀ × デュロック♂

純粋品種

- ・ 黒豚（バークシャー）
- ・ しもふりレッド（デュロック）

合成系統豚

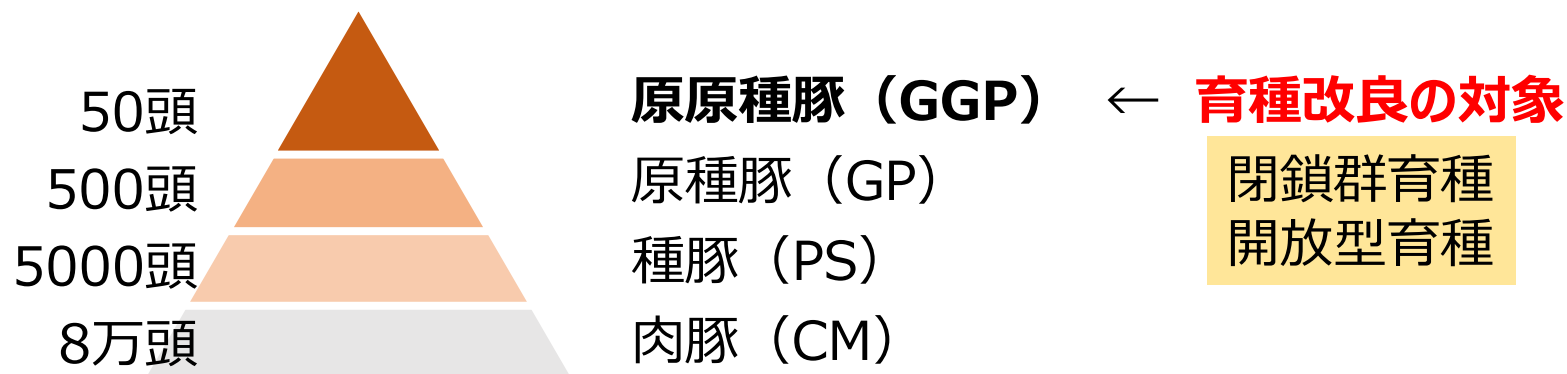
- ・ TOKYO X（北京黒豚：デュロック：バークシャー）

海外ハイブリッド豚 ……約2割

【ケンボロー(PIC)、ハイポー、バブコック、ピクア】

- ・ メス系種豚 × オス系種豚
- ・ 雑種強勢効果を利用するため複数の品種を交配して作出

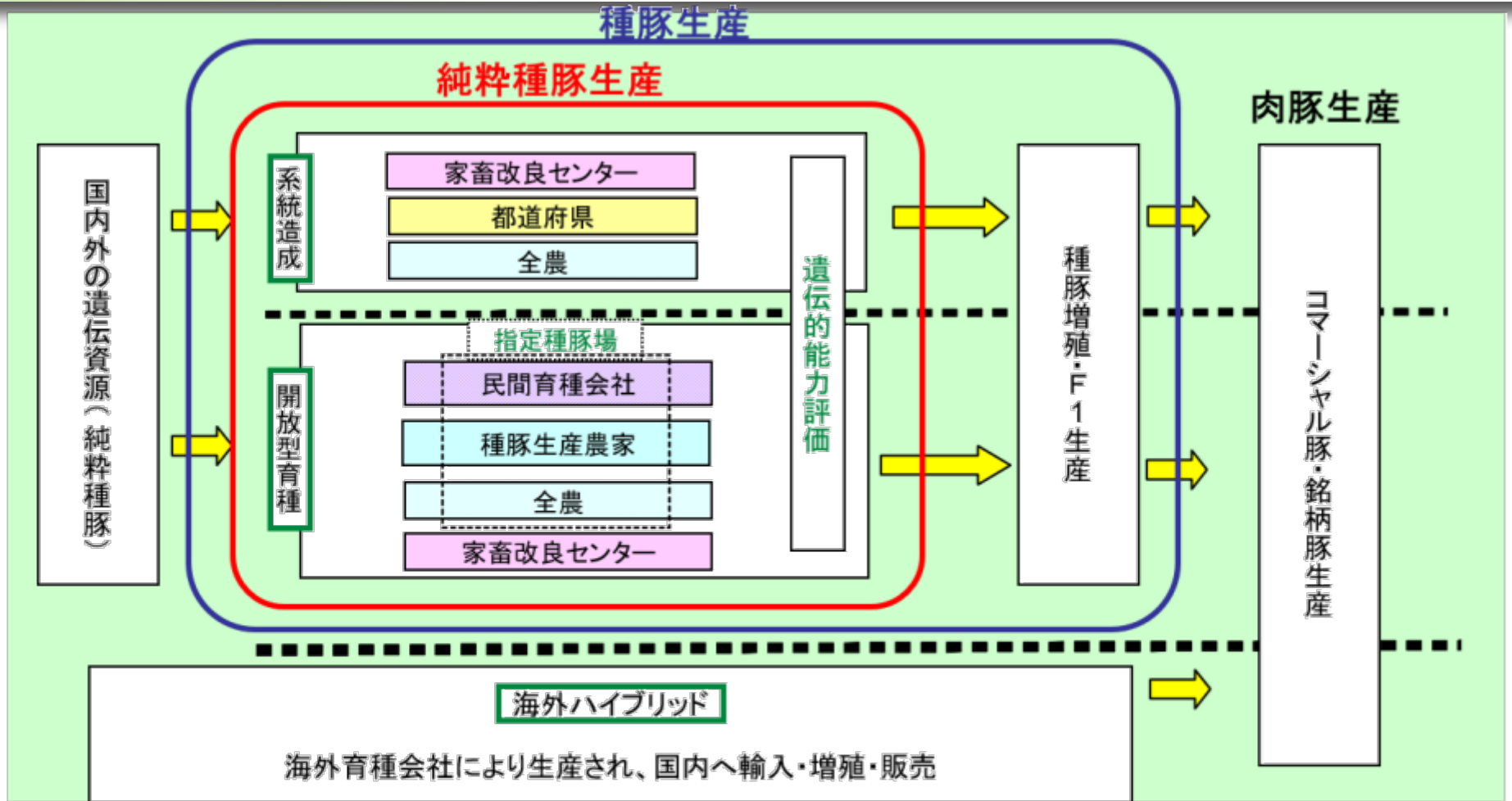
どのような種豚を用いるかが重要



- 原原種豚の規模は、「♂10+ ♀40」が最小
(閉鎖系で近交退化なく維持するために必要な頭数)
(遺伝的多様性は維持しながら、能力の向上・斉一化)
- 三元交雑種の生産では、3品種それぞれの種豚が必要
(ランドレース、ラージホワイト、デュロック)
- ハイブリッド豚は海外の育種集団に由来し、
国内に生体導入された後に、GGP、GP、PSが生産される。

種豚の開発・供給体制

豚の改良増殖をめぐる情勢
(令和元年 7 月)



注 系統造成 : 育種素材豚導入後は群を閉鎖し、選抜と交配を繰り返すことにより遺伝的に優良で
斉一な集団(系統)を作出する改良手法。

開放型育種: 国内外から優良な育種素材豚を導入しながら自場における現場検定成績を用いて
選抜を繰り返す改良手法。

GGP 閉鎖群

遺伝資源

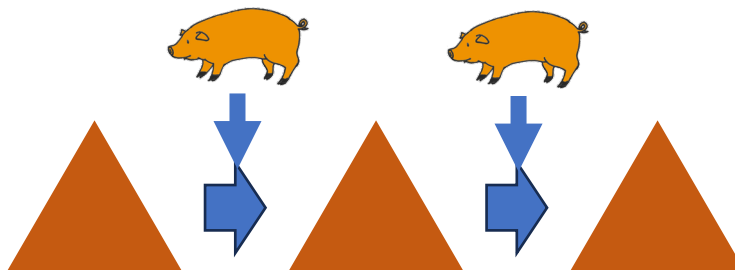


世代の更新 (育種改良・斉一化)

様々な集団から
選抜された個体

GGP 開放型

遺伝資源



世代の更新 (育種改良・斉一化)

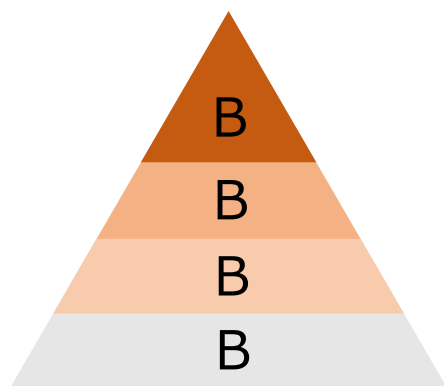
種豚の増殖と肉豚の生産方法

GGP

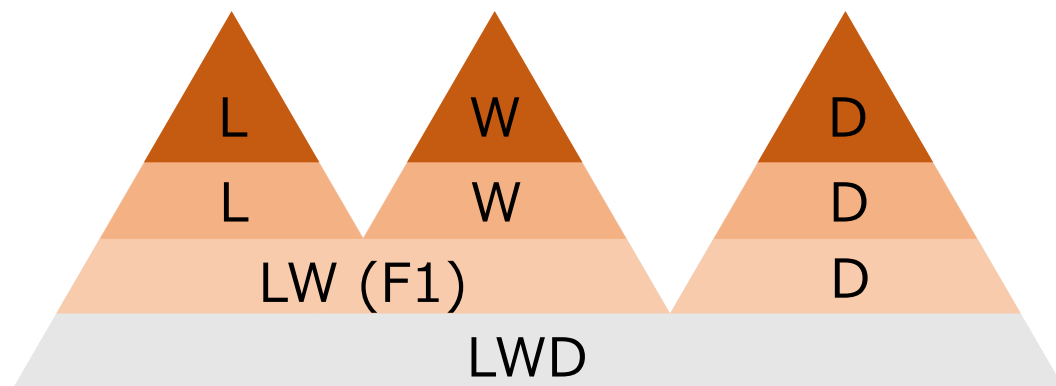
GP

PS

CM



黒豚



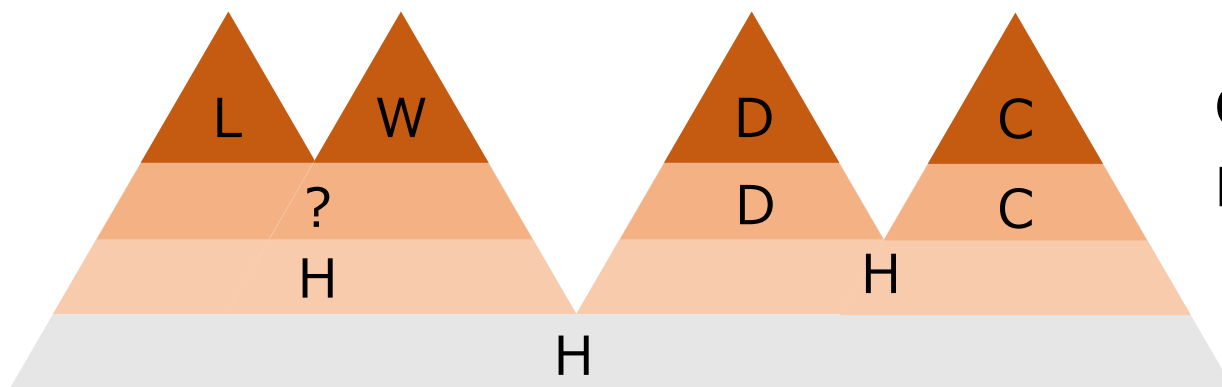
三元豚

GGP

GP

PS

CM



海外ハイブリッド豚の一例

C : 合成系統
H : ハイブリッド

Burgerらの論文の記載事項

CRISPR-CasによるPRRSV抵抗性ブタの商業規模の始祖集団の作製 CRISPR J. 2024 7:12-28

- **Landrace, Large White, White Composite, Duroc**の受精卵に
- 4回に分けてゲノム編集を行い、50頭の借腹に胚移植した。
- 40頭が受胎し、435頭の子豚が得られた。
- **ゲノム編集ブタE0は90頭（オス35頭、メス55頭）**であり、
- 目的の**CD163^{ΔE7}を持つ個体**を探索し、
- ショートアンプリコンシーケンス、ロングリードシーケンス、SITE-Seq法により**オフターゲット変異を解析**した。
- それぞれのLineから複数の**E0オス（計24頭）をそれぞれ20～25頭の野生型メスに交配**し10～20頭の子豚を得た。
- E1で**オフターゲット変異を解析し、9頭のE0を除外**した。
- オフターゲット変異のないE2がfounder animalとなっている。
- それぞれのfounder populationはオス（10～15頭）とメス（？頭）からなり、nucleus herd（育種中核集団、GGP？）として機能し、
- classical breeding（従来育種^(※)）によって商業用豚肉が生産販売される。

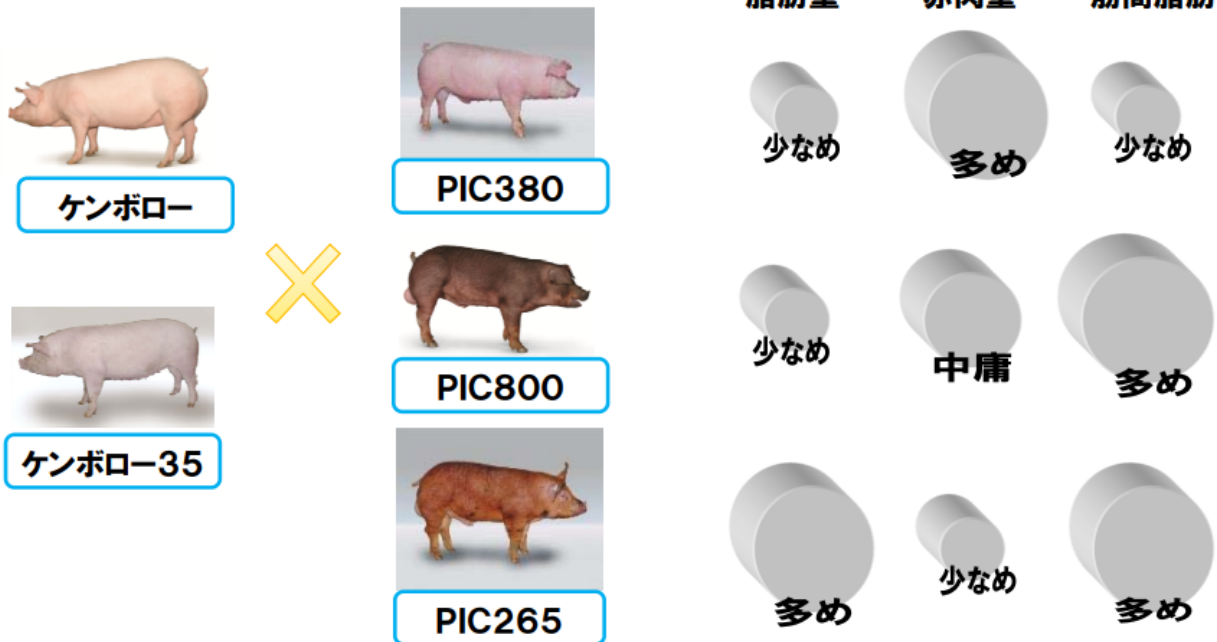
（※ブタの育種手法についてはP10以降）

- ・ 品種、系統の数 : 4
- ・ 対象アレルの由来 : 複数個体に由来
- ・ 対象アレルの種類 : 1 (?)
- ・ Founder populationの数 : 4 ?
- ・ GGPの数 : ?
- ・ GGPの開発/維持方法 : 閉鎖型 or 開放型 ?
- ・ GPの数 : ?
- ・ GPの生産方法 : 系統内 or 交雑 ?
- ・ 種豚 (PS) の生産方法 : 系統内 or 交雑 ?
- ・ 肉豚 (CM) の生産方法 : 交雑 (?)

イワタニ・ケンボロー株式会社（PIC社の日本における総代理店）のHPより

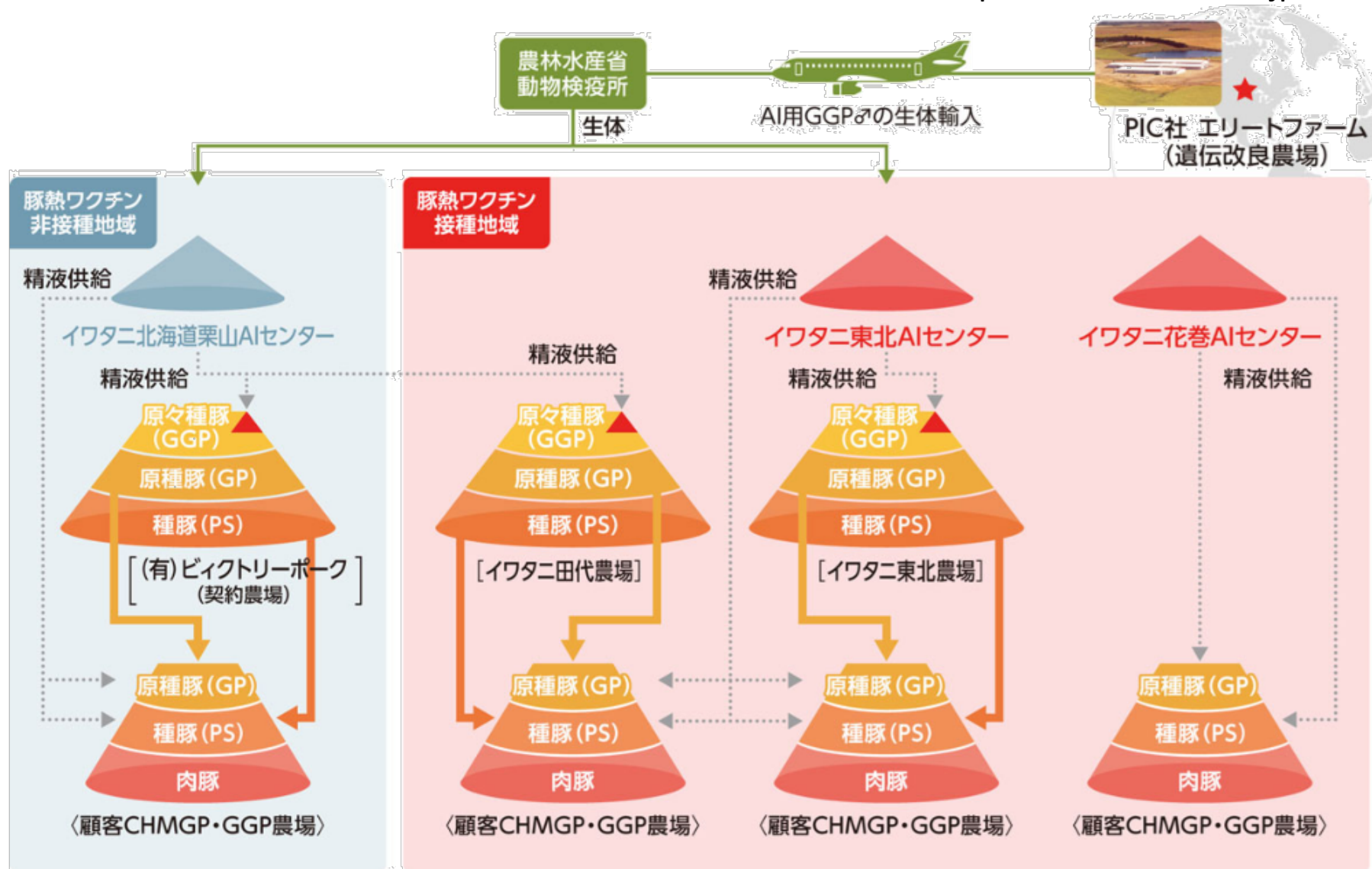
<https://www.camb.co.jp/item/type/>

販売種豚の特徴



参考：ケンボロー種豚の生産ピラミッド

<https://www.camb.co.jp/item/>



豚の育種手法について

- **BLUP法**（最良線形不偏予測法）が開発された（1973年）
- ・ 量的形質を対象とし、多数の遺伝子の関与（ポリジーン系）を想定
- ・ **複雑な血縁関係を考慮し、季節、年などの環境要因を取り除いた遺伝的能力である育種価を予測する。**
- ・ 計算量が莫大でコンピューターの性能向上が必要であった。

単純化した説明図

個体	1	2	3	4	5	6
性別	♀	♂	♀	♂	♂	♀
餌	1	1	1	2	2	3
体重	950	1000	920	980	990	960

$$\begin{array}{c}
 \text{環境効果} \\
 \begin{pmatrix}
 6 & 3 & 3 & 3 & 2 & 1 \\
 3 & 3 & 0 & 1 & 2 & 0 \\
 3 & 0 & 3 & 2 & 0 & 1 \\
 3 & 1 & 2 & 3 & 0 & 0 \\
 2 & 2 & 0 & 0 & 2 & 0 \\
 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\
 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\
 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\
 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1
 \end{pmatrix}
 \begin{pmatrix}
 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\
 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\
 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\
 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\
 3 & 1/2 & 1/2 & -1 & -1 & 0 \\
 1/2 & 5/2 & 0 & -1 & 0 & 0 \\
 1/2 & 0 & 5/2 & 0 & -1 & 0 \\
 -1 & -1 & 0 & 7/2 & 1/2 & -1 \\
 -1 & 0 & -1 & 1/2 & 7/2 & -1 \\
 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 3
 \end{pmatrix}
 \begin{pmatrix}
 \text{総計} \\
 \text{オス} \\
 \text{メス} \\
 \text{餌1} \\
 \text{餌2} \\
 \text{餌3} \\
 \text{個体1} \\
 \text{個体2} \\
 \text{個体3} \\
 \text{個体4} \\
 \text{個体5} \\
 \text{個体6}
 \end{pmatrix}
 =
 \begin{pmatrix}
 5800 \\
 2970 \\
 2830 \\
 2870 \\
 1970 \\
 960 \\
 950 \\
 1000 \\
 920 \\
 980 \\
 990 \\
 960
 \end{pmatrix}
 \end{array}$$

血縁情報

○BLUP法アニマルモデル（ブタで採用：1989～）

- ・ 血縁個体のデータと遺伝的パラメータを用いてすべての個体の育種価を予測する。

○制限付きBLUP法アニマルモデル（ブタで採用：1993～）

- ・ 各形質に対して重み付けを行い、複数形質の改良のための総合育種価を予測する。

☆雄の産子数育種価も推定する。

【ブタの改良項目】

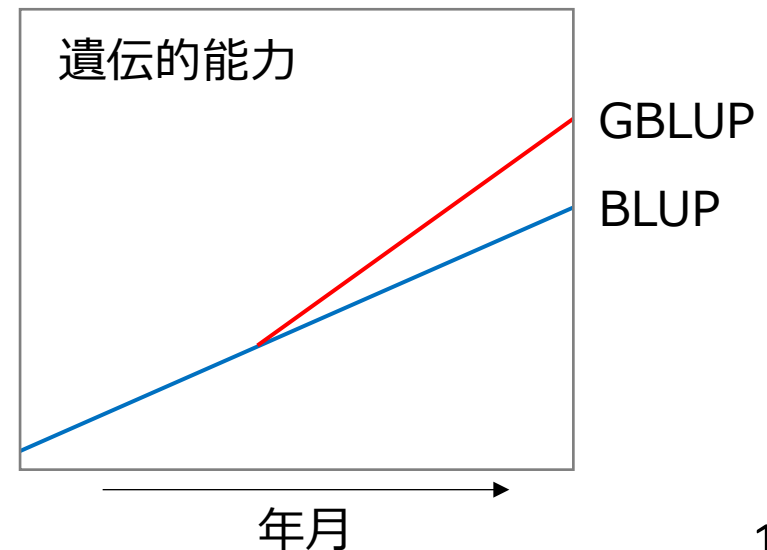
- ・ 一日平均増体量、背脂肪厚、ロース断面積
- ・ 一腹産子数、飼料要求率
- ・ 筋肉内脂肪含量
- ・ 保水性（ドリップロス）、剪断力価
- ・ 抗病性



（下線は消費者ニーズに対応するもの、海外産との差別化）

- ・ポストゲノムでは、一度に6万のSNP（一塩基多型）を解析できるチップが開発、販売されている。
- ・BLUP法の**血縁情報をSNP情報に置き換えたGBLUP法**の利用が検討されている。
- ・血縁情報では兄弟の能力は同等とみなされるが、SNP情報を加えることで兄弟間の差を評価できる。
- ・**統計育種の加速化**が可能である。

環境効果												総計	=	
6	3	3	3	2	1	1	1	1	1	1	1			
3	3	0	1	2	0	0	1	0	1	1	0	オス		2970
3	0	3	2	0	1	1	0	1	0	0	1	メス		2830
3	1	2	3	0	0	1	1	1	0	0	0	餌1		2870
2	2	0	0	2	0	0	0	0	1	1	0	餌2		1970
1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	餌3		960
1	0	1	1	0	0	血縁行列 ↓ ゲノム関係行列						個体1		950
1	1	0	1	0	0							個体2		1000
1	0	1	1	0	0							個体3		920
1	1	0	0	1	0							個体4		980
1	1	0	0	1	0							個体5		990
1	0	1	0	0	1							個体6		960



経済形質に関連する**遺伝子座を単離し、その多型情報を用いて選抜**する。

- ・連鎖解析によるQTL（量的形質遺伝子座）の単離（1994～）
- ・ブタゲノム解読（概要解読2009年）
- ・経済形質に關与する**数多くのQTLが特定**された。（5.7万/854論文）
- ・ほとんどのQTLは**遺伝的寄与率が低い**（～5%）。
- ・**寄与率が大さいQTLは改良済み**
（西洋改良品種と在来品種で検出されるQTL）。

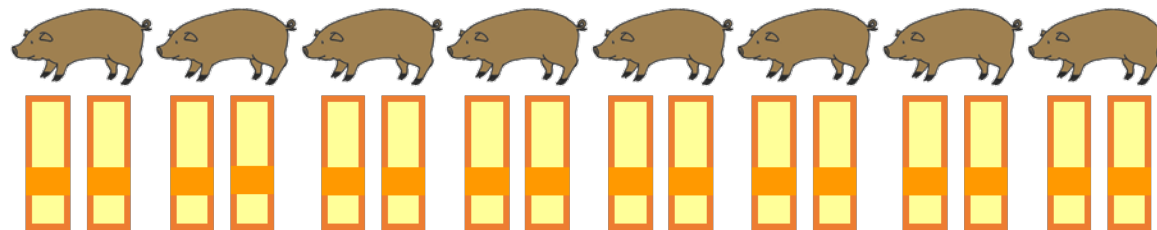
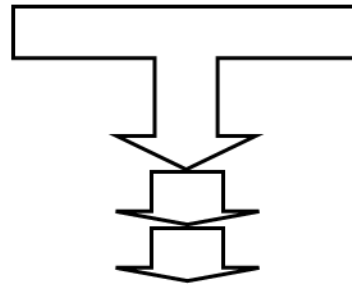
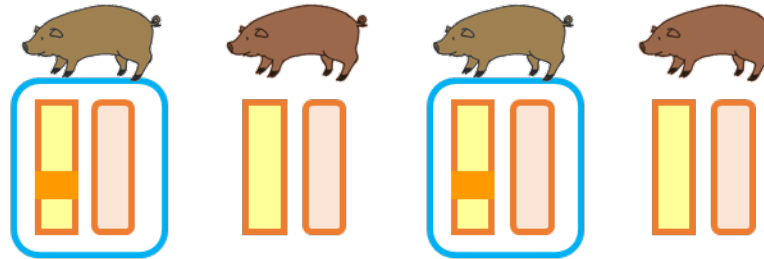
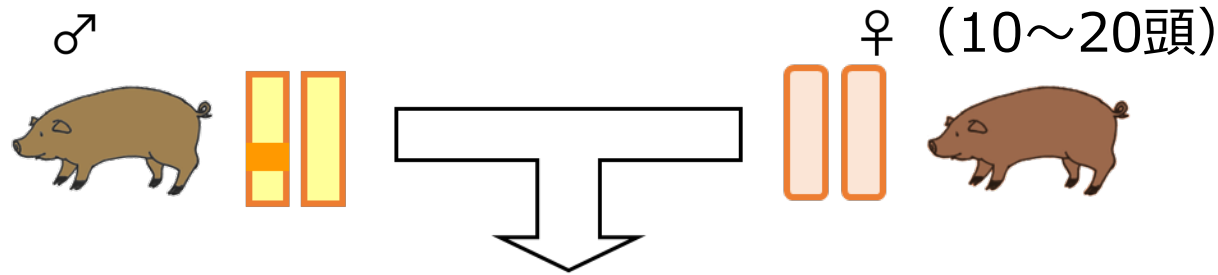
→ ブタでは**DNAマーカー育種の利用は少ない**（産肉性、肉質）。

→ 近年、ブタの抗病性に係るDNAマーカーが開発されている。

DNAマーカーの活用例：

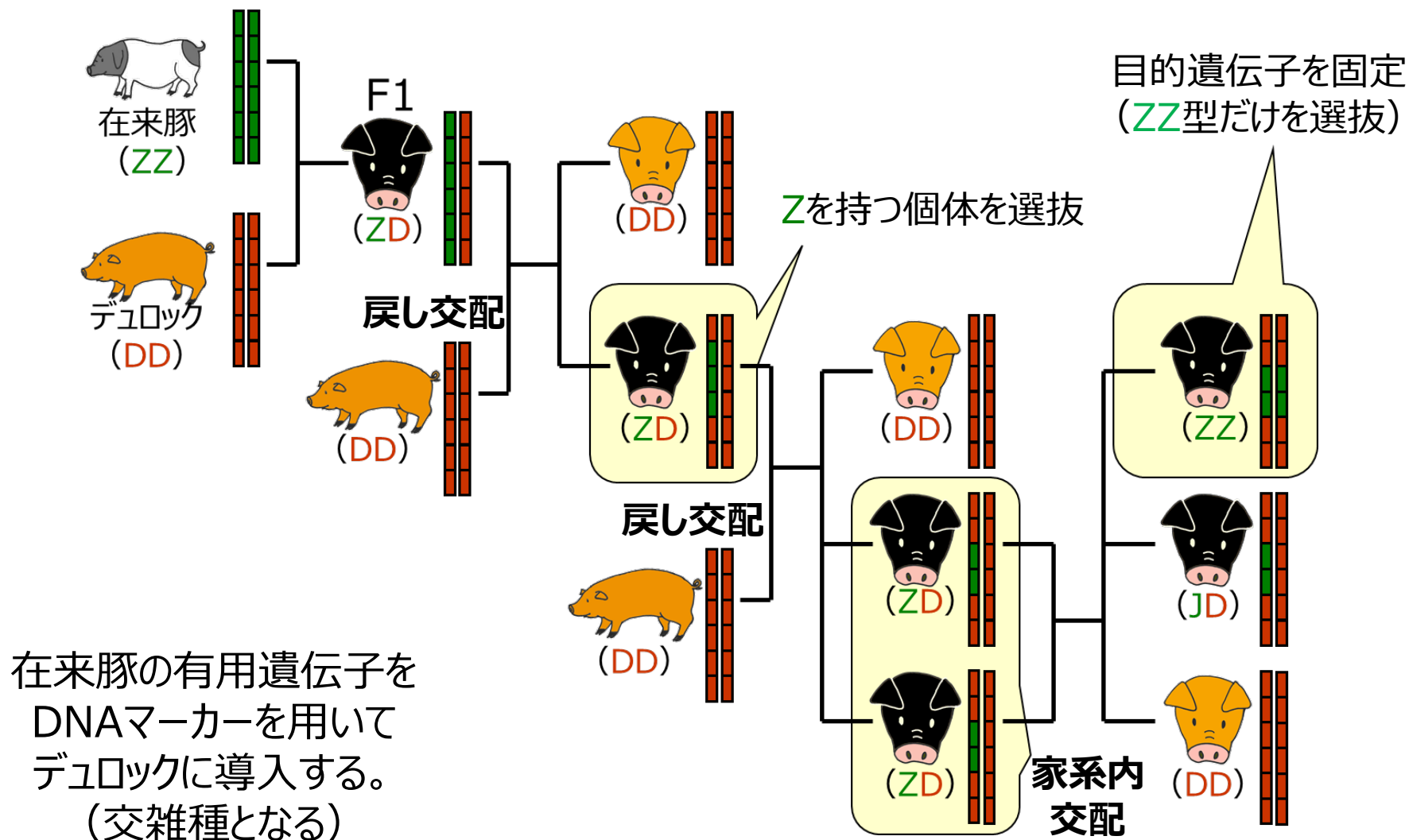
- | | |
|---------|-------------------|
| 阿波とん豚 | （保水性：猪遺伝子の利用） |
| フジキンカ | （柔らかさ：金華豚遺伝子の利用） |
| ボートブラウン | （霜降り：デュロック種内での利用） |

マーカーアシスト選抜 (MAS)

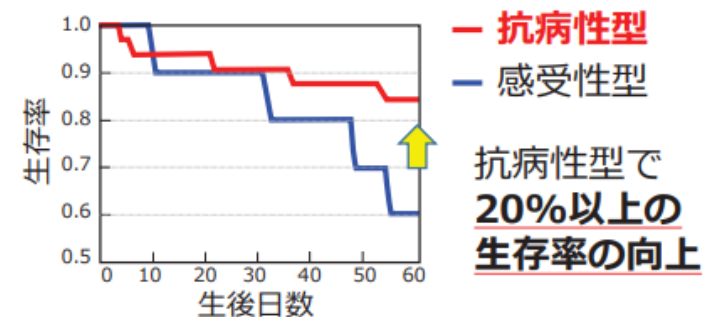


DNAマーカーを用いて
有用遺伝子を持つ次世代を
選抜して交配する
(品種内も可能)

マーカーアシスト導入 (MAI)



- ・ **日和見感染症による下痢、肺炎などによる損失は大きい。**
様々な要因があるが育成率は85～96%（出荷頭数/分娩頭数）
- ・ これまで、抗病性に対する育種は極少数である。（形質評価が困難）
- ・ 近年、**免疫関連遺伝子に、感染症の罹患率等に関連性がある多型が見いだされている。**一部は家畜改良事業団で**遺伝子型検査が可能**である。



NOD2遺伝子マーカーの
豚サーコウイルス2型感染症への効果
「みどりの食料システム戦略」技術カタログより

参考：

家畜改良増殖目標（農林水産省、令和7年4月）に、
「なお、肉豚生産における薬剤の使用を抑え、事故率を低減させる観点から、DNAマーカー等を活用し、豚サーコウイルス2型等の伝染性疾病への抵抗性を持つ種豚群を作出する技術が開発されていることから、活用について検討する。」
と記載された。

- ・ **ゲノム編集による遺伝子改変は育種手法として用いられていない。**
ノックアウトで経済的価値が向上する遺伝子が見つからない。
ミオスタチンノックアウトブタも経済的価値を有さない。
(繁殖障害、分娩時の事故等)
- ・ ウイルス等の感染受容体のノックアウトについては基礎研究段階である。
PRRSV以外、成功していない。
- ・ 国内外で、**医療用モデルブタの開発**にゲノム編集が用いられている。