

ゲノミック評価の活用について

(独) 家畜改良センター 改良部 情報分析課

— 2023年4月 —

遺伝的能力とは？

牛群検定や体型審査等で収集される記録
(乳生産量、体細胞数、決定得点、受胎率等…)

表型値

←

遺伝

+

環境 (飼養環境、季節等)

遺伝子により支配される個体 (家畜) の持って生まれた能力

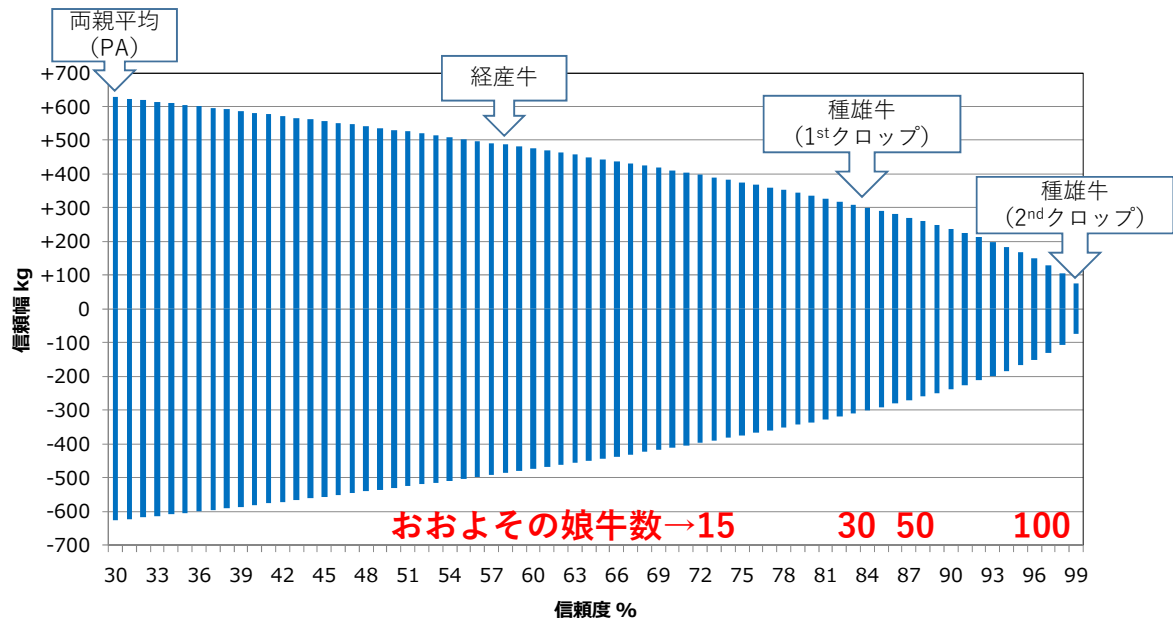
* 遺伝的能力を数値化 → 育種価

育種価と信頼度（信頼幅）

- 育種価（BV：Breeding Value）を実測することはできない
 - 真の育種価（TBV：True Breeding Value）は測定不可能
- 本牛、後代および両親の記録、飼養環境の違い、血統情報（+ 遺伝情報）を用いて推定（Estimate）
- 推定育種価（EBV：Estimated Breeding Value）
 - 推定値なので推定誤差が含まれる
 - 信頼度と信頼幅は、EBVの推定精度の指標
 - 信頼度 = EBVがどれだけTBVに近似しているかを0～99%の割合で表示
 - 信頼幅 = EBVの推定誤差の範囲。EBV ± 信頼幅で表示。約68%の確率でTBVがこの範囲に入る

ゲノミック評価値を利用する上で、育種価、信頼度（信頼幅）の特性を理解しておくことが重要

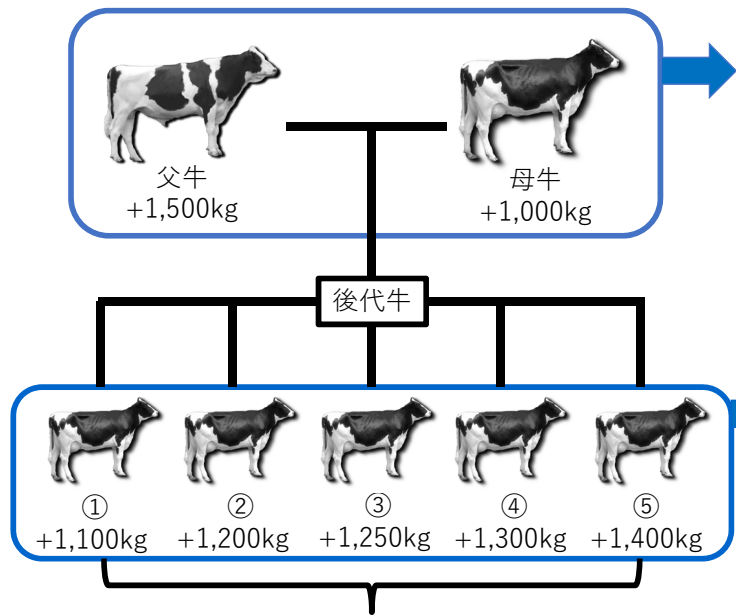
信頼度と信頼幅のイメージ図（例：乳量）



信頼度が高いと信頼幅は小さくなり、信頼度が低いと信頼幅は大きくなる

両親と後代のEBVの関係

全兄弟は全て同じ数値



両親平均 (PA)

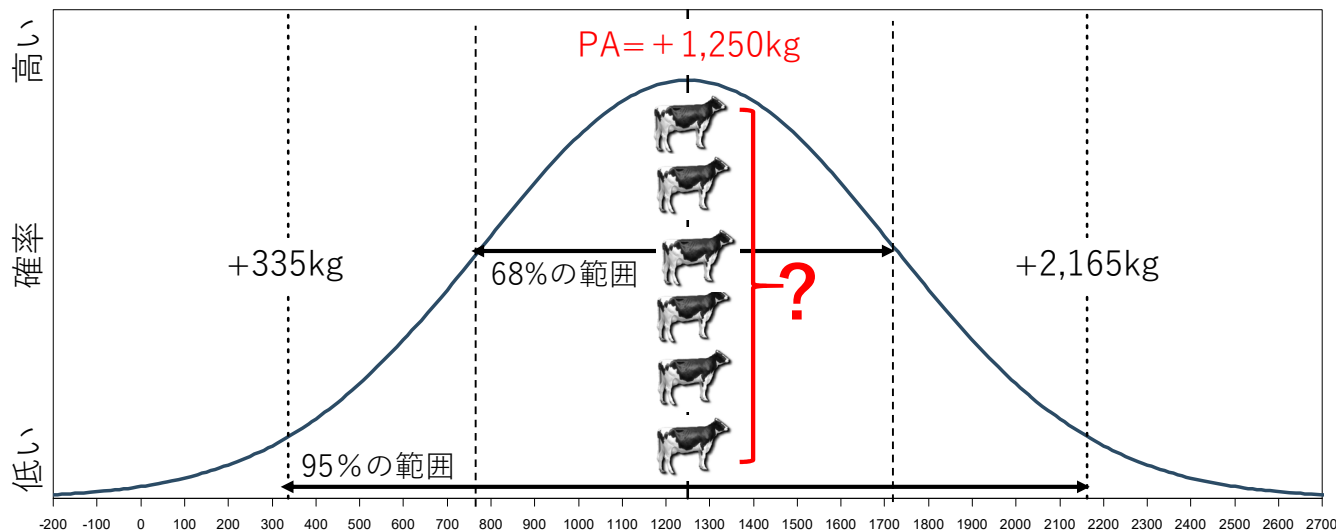
両親から半分ずつ遺伝子を受け継ぐ

$$PA = (1,500\text{kg} \div 2) + (1,000\text{kg} \div 2)$$
$$= 750\text{kg} + 500\text{kg}$$
$$= 1,250\text{kg}$$

- 両親から受け継ぐ遺伝子は無作為に決定されるため、きょうだい間で受け継いだ遺伝子が異なり、娘牛のEBVに差が生じる (メンデルアンサンプリング効果)
- 多数の後代牛のEBVの平均値はPAに近似

後代牛がとりうるEBVの範囲のイメージ図 (ゲノミック評価以前)

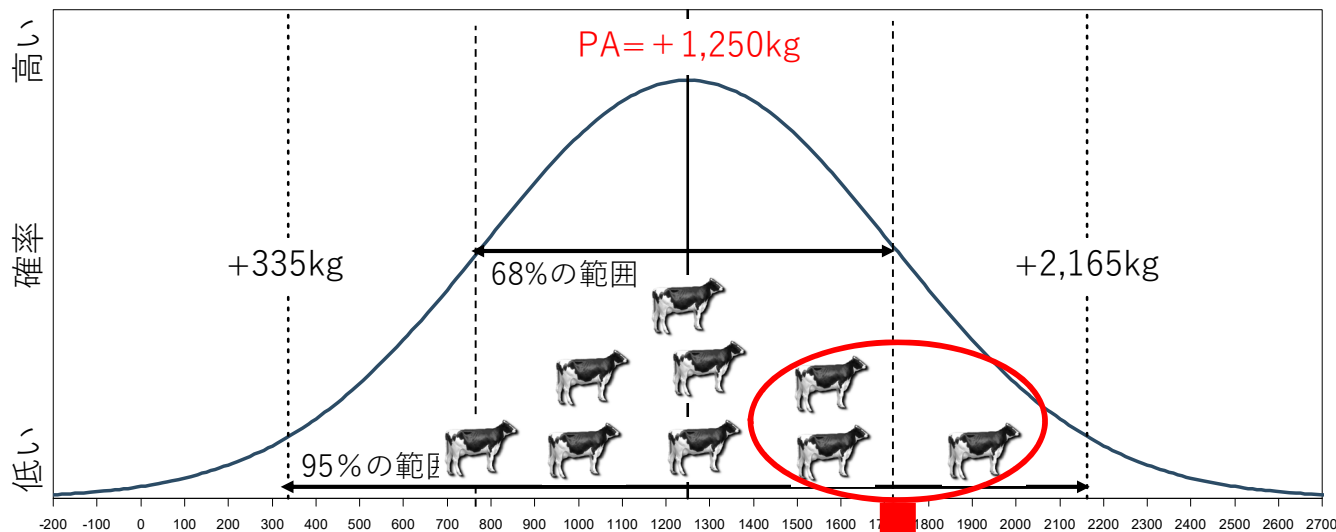
例：305日乳量（両親平均（PA）） = +1,250kg、遺伝標準偏差 = 660kg)



- ・ PAでは記録の無い全ての後代牛（全兄弟の場合）が同じ数字になるため、比較・選抜ができない
- ・ 後代牛のEBVは、95%の確率で+335kg～+2,165kgの範囲に含まれる
(68%の確率では+783kg～1717kg)

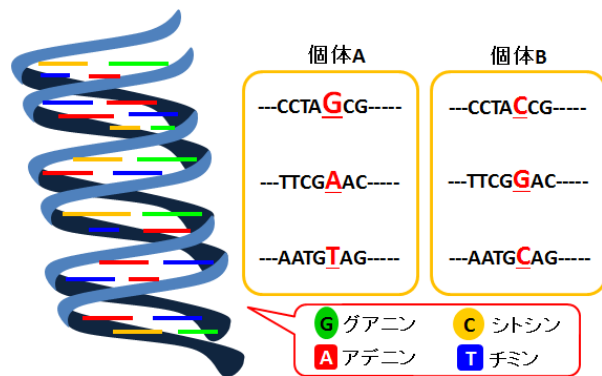
後代牛がとりうるEBVの範囲のイメージ図 (ゲノミック評価以降)

例：305日乳量（両親平均（PA） = +1,250kg、遺伝標準偏差 = 660kg）



ゲノミック評価値を利用すると後代牛の評価値を比較・選抜すること可能！！

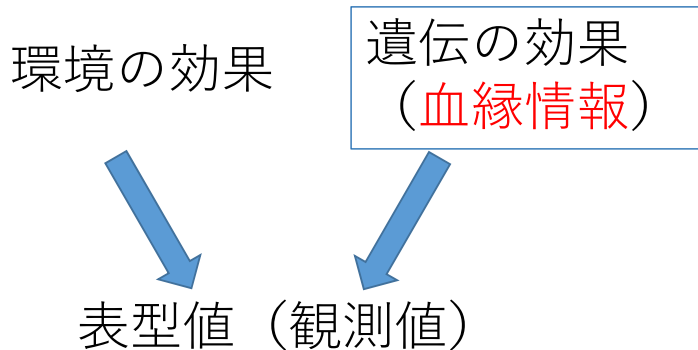
SNP（一塩基多型）



- ・同一品種ではDNA構成の99.9%以上が一致、残りの0.1%の違いが各個体の遺伝的な違い
- ・SNPとは、DNAの塩基配列上にある標識で、DNAのいたるところに存在し、個体間で塩基の配列が1塩基だけ異なっている部分
- ・30億塩基対のうち数百万カ所存在
- ・（一社）日本ホルスタイン登録協会に申し、（一社）家畜改良事業団でSNP検査
- ・検査料金：XTチップ（50,748SNP）＝10,760円
- ・ゲノミック評価に用いるSNP数は42,275個

従来の遺伝評価とゲノミック評価の違い

従来の遺伝評価



個体間の血縁関係

親と子の関係 = 0.50

全兄弟の関係 = 0.50

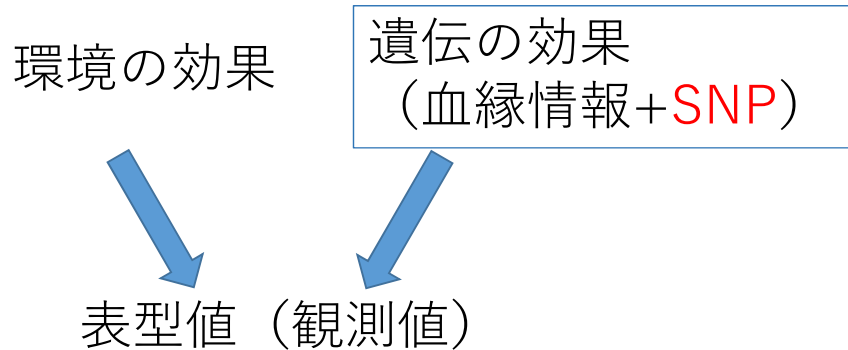
半兄弟の関係 = 0.25

血縁関係無し = 0.00

* 父母間で血縁関係が無い場合

2023年4月

ゲノミック評価



個体間の血縁関係 (同じSNPを持つ割合で計算)

親と子の関係 = $0.50 \pm 0.??$

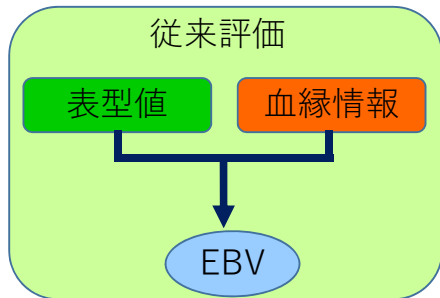
全兄弟の関係 = $0.50 \pm 0.??$

半兄弟の関係 = $0.25 \pm 0.??$

血縁関係無し = $0.00 \pm 0.??$

低すぎたり、高すぎると血縁関係の間違いの可能性
→血縁矛盾の判定に利用可能

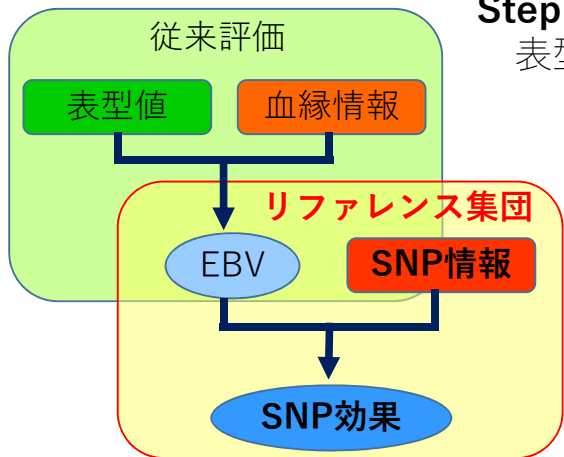
ゲノミック評価の計算方法（マルチステップ法）



Step 1

表型値と血縁情報に基づく遺伝的能力評価を行う（従来評価）

ゲノミック評価の計算方法（マルチステップ法）



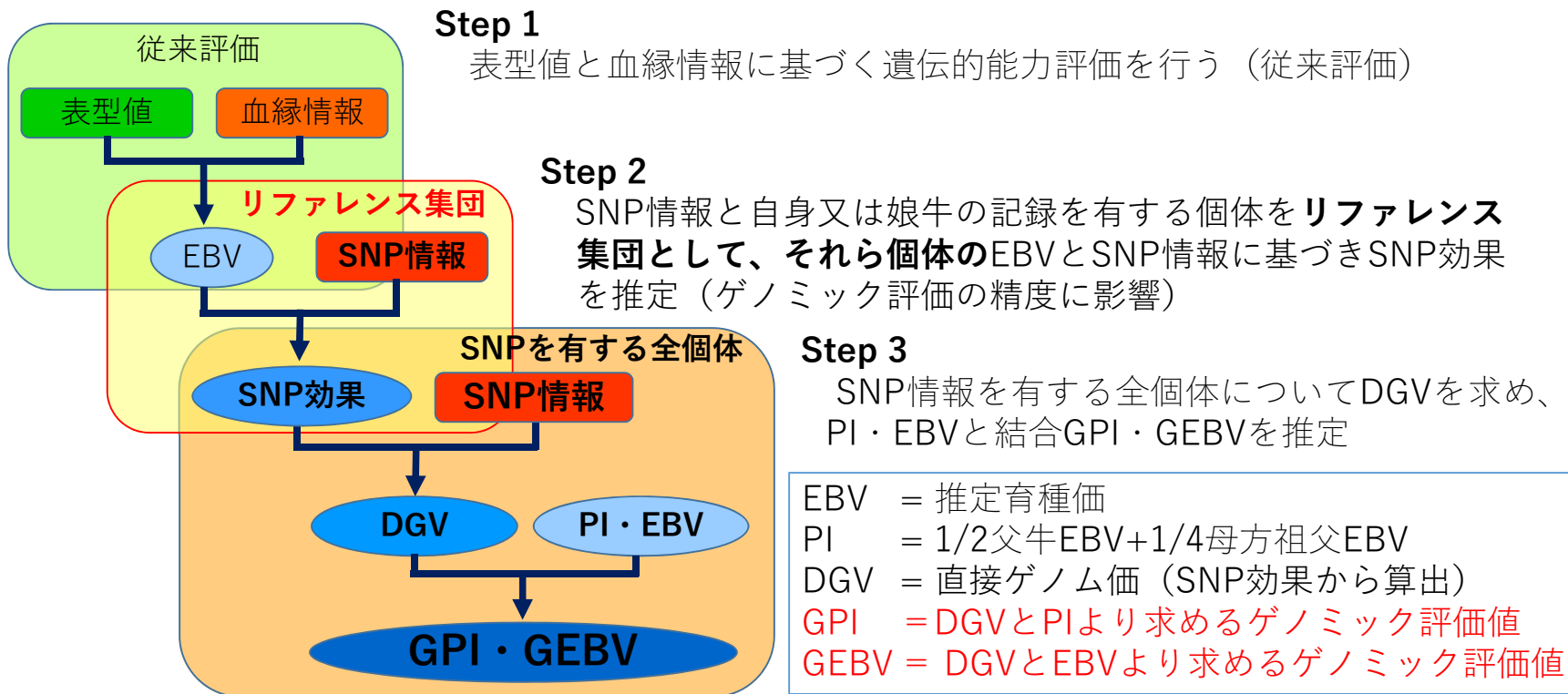
Step 1

表型値と血縁情報に基づく遺伝的能力評価を行う（従来評価）

Step 2

SNP情報と自身又は娘牛の記録を有する個体をリファレンス集団として、それら個体のEBVとSNP情報に基づきSNP効果を推定（ゲノミック評価の精度に影響）

ゲノミック評価の計算方法（マルチステップ法）



EBV = 推定育種価
PI = $1/2$ 父牛EBV + $1/4$ 母方祖父EBV
DGV = 直接ゲノム価（SNP効果から算出）
GPI = DGVとPIより求めるゲノミック評価値
GEBV = DGVとEBVより求めるゲノミック評価値

各国のリファレンス集団の大きさ

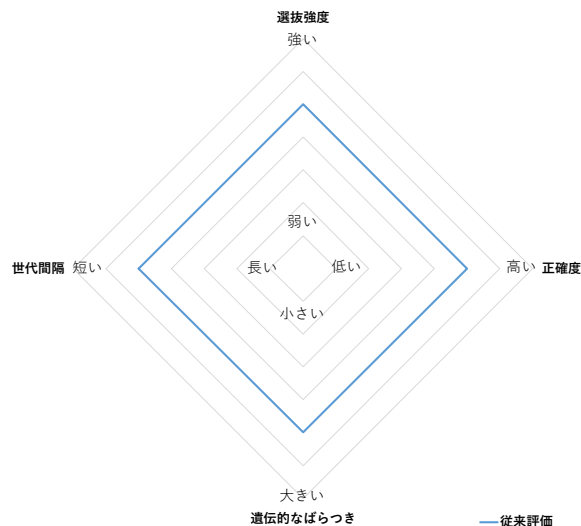
12月評価より集計

- リファレンス集団の大きさや質がゲノミック評価の評価精度に影響を与える
- 主要国は、SNP情報を共有することで4万頭規模の種雄牛をリファレンス集団に利用
 - アメリカ・カナダ・イタリア・イギリス
 - ドイツ・フランス・オランダ・スペイン・ポーランド・北欧3カ国
- アメリカやドイツ等の一部の国は雌牛も含む（フランスの雌牛頭数は不明）
- 雌牛は種雄牛よりも評価値の信頼度が低く、種雄牛ほど影響力が小さいため、**多数の雌牛が必要**
- 日本は北米とSNP情報を交換したことで、単独で種雄牛のSNP情報を12,857頭保有
- 日本では2023度中に雌牛約9万頭をリファレンス集団に含める計画（alic事業等で収集された情報を活用）

	種雄牛	雌牛
アメリカ	1,453,143	(種雄牛 + 雌牛)
カナダ	43,617	
イギリス	39,251	
イタリア	39,146	
ドイツ	45,648	329,748
スペイン	41,700	
北欧3カ国	40,057	
オランダ	38,806	
フランス	36,801	?
ポーランド	35,571	
日本	12,857	(約9万)
ハンガリー	9,111	
オーストラリア	4,409	
チェコ	3,668	
ベルギー	1,718	

期待される遺伝的改良量（選抜反応量）

$$\text{遺伝的改良量} = \frac{\text{選抜強度} \times \text{正確度} \times \text{遺伝的なばらつき}}{\text{世代間隔}}$$



分子

- ・選抜強度 = 上位何%の選抜を行うか？（統計的数値）
- ・正確度 = 評価値の信頼性（育種価の信頼度の平方根）
- ・遺伝的ばらつき = 形質の集団内の遺伝的多様性（遺伝標準偏差）

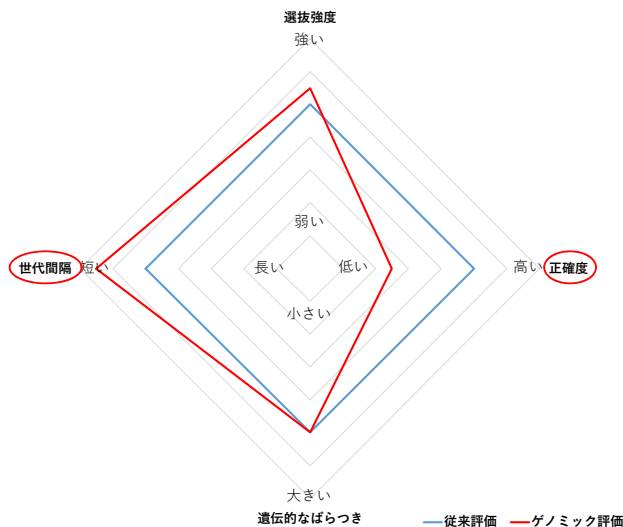
分母

- ・世代間隔 = 親と後代（子供）との年齢差

*** 分子が大きく、分母が小さくなるほど遺伝的改良量大きい**

期待される遺伝的改良量（選抜反応量）

$$\text{遺伝的改良量} = \frac{\text{選抜強度} \times \text{正確度} \times \text{遺伝的なばらつき}}{\text{世代間隔}}$$

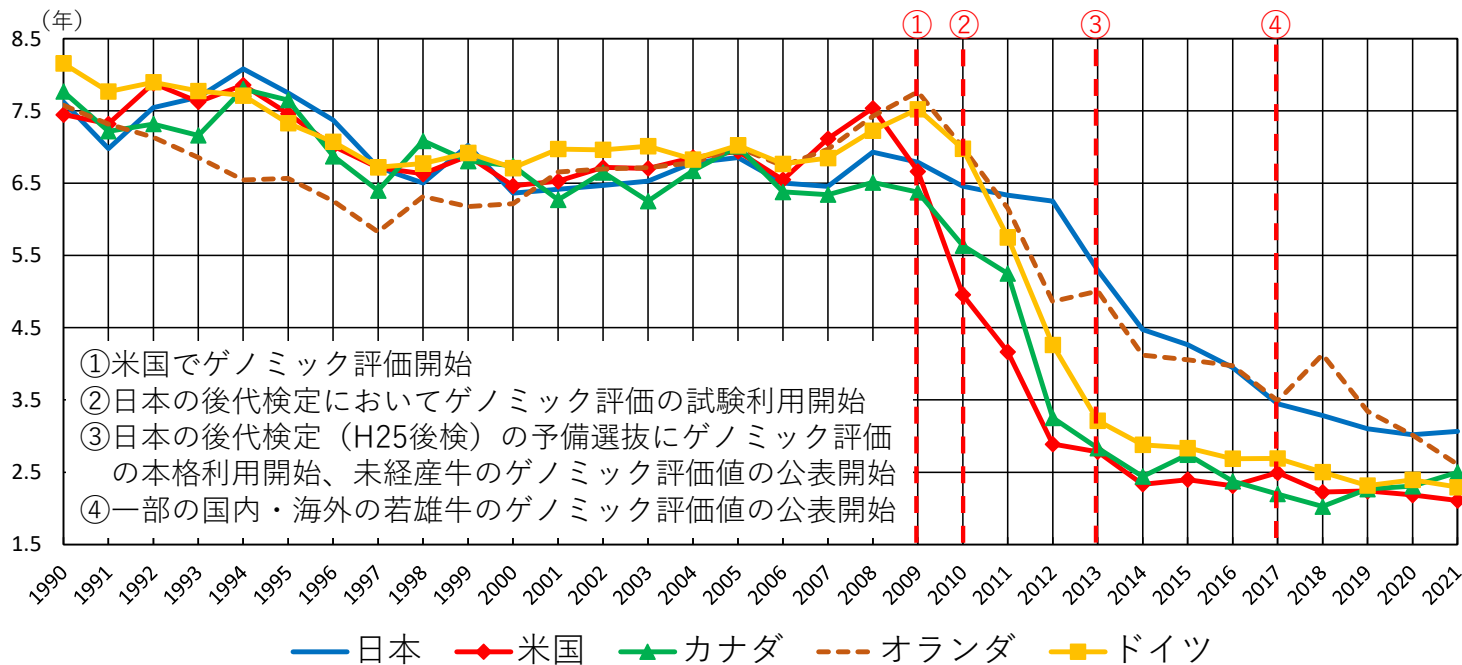


ゲノミック評価の活用により、

- 世代間隔→早期（若齢時）選抜により大幅に短縮
- 正確度 →若齢個体の場合、自身の記録や娘牛記録がないため正確度が減少*PAより高い
- 選抜強度→（若干）強くなることが期待？

*分子は小さくなるが、分母が大幅に小さくなるため、
遺伝的改良量が増加！！

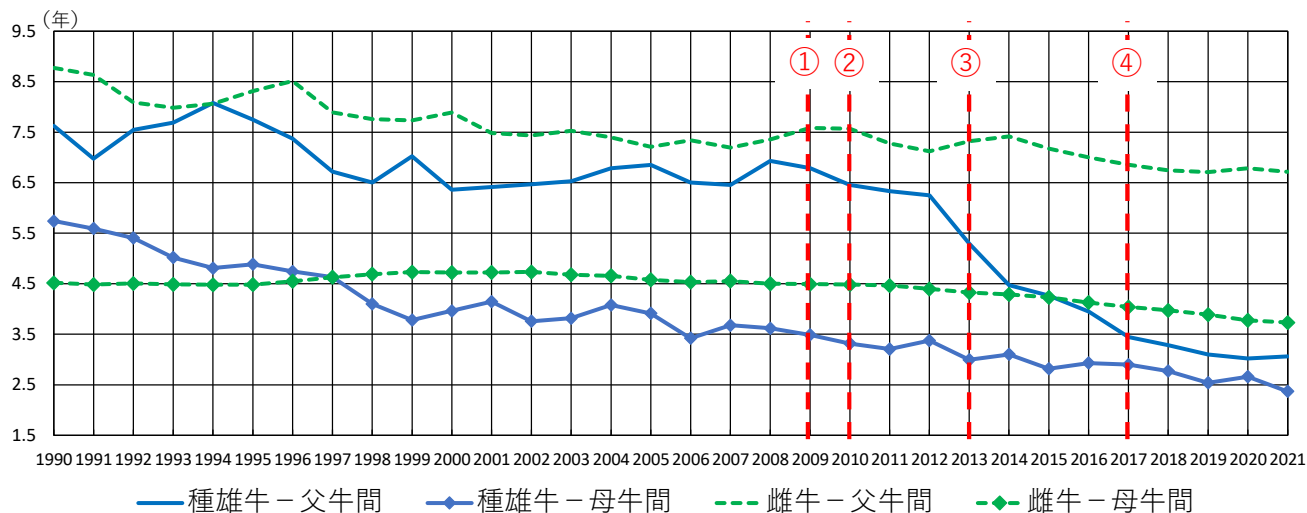
各国の種雄牛一父牛間の世代間隔の推移



○ゲノミック評価開始によって急速に世代間隔が短縮

○2009年頃の約7年前後から、日本は約3.0年、海外は約2.5年にまで短縮

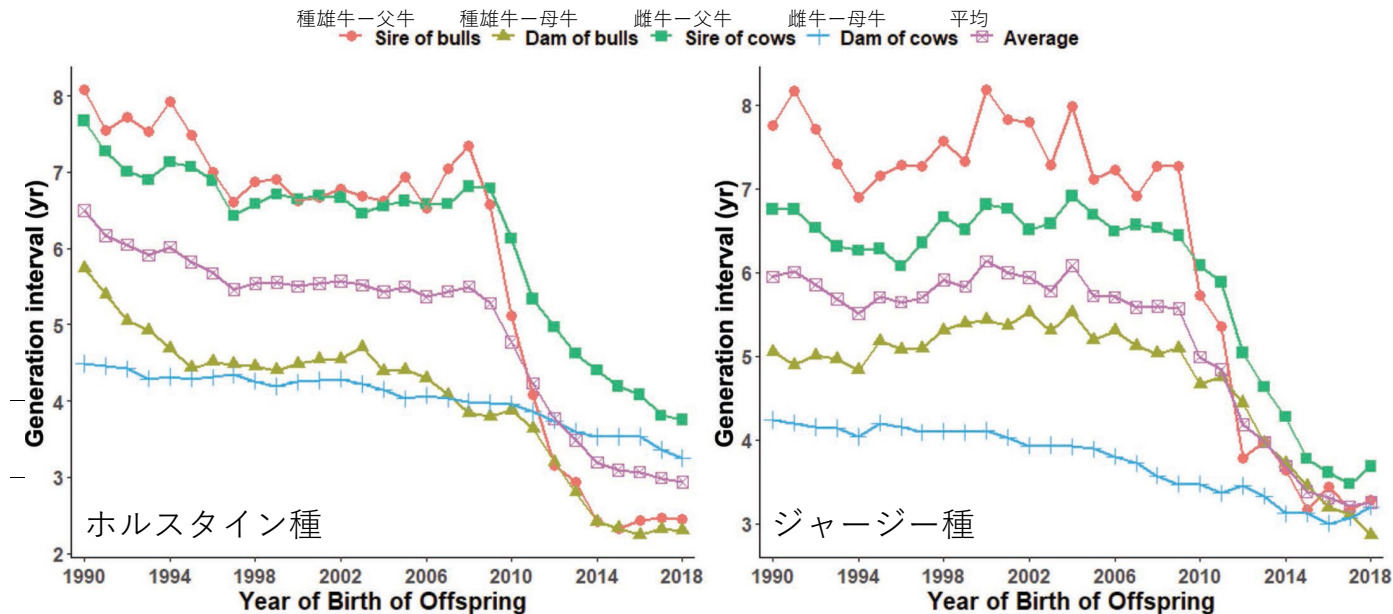
日本の種雄牛および雌牛の世代間隔の推移



- ①米国でゲノミック評価開始
- ②日本の後代検定においてゲノミック評価の試験利用開始
- ③日本の後代検定（H25後検）の予備選抜にゲノミック評価の本格利用開始、未經産牛のゲノミック評価値の公表開始
- ④一部の国内・海外の若雄牛のゲノミック評価値の公表開始

- ・種雄牛は、父牛間、母牛間共に急激に世代間隔が短縮
→種雄牛作出において、若雄牛や未經産牛の利用が増加
- ・雌牛は種雄牛ほど世代間隔の短縮スピードが速くない
→日本の酪農家は、ヤングブルや未經産牛の選抜割合がまだ高くない（北米は7割がヤングブル）

カナダにおける世代間隔

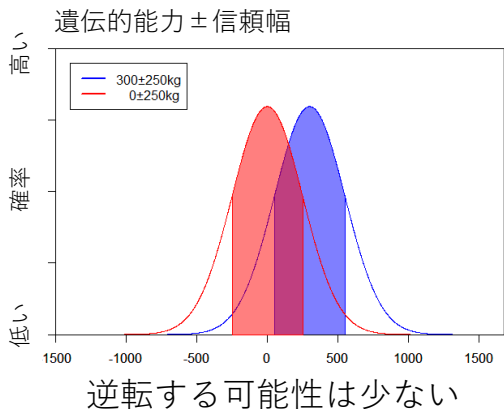


引用：Makanjuolaら2020 (J. Dairy Sci: 103:5183-5199)

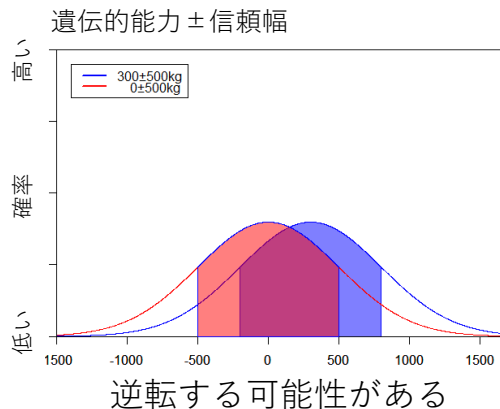
2010年以降、種雄牛・雌牛ともに世代間隔が急速に短縮
→若齢時のゲノミック評価値を積極的に活用した交配計画が促進

検定済種雄牛と若雄牛の信頼度の違いの例

- ・信頼度85%（後代検定済種雄牛）



- ・信頼度50%（若雄牛）

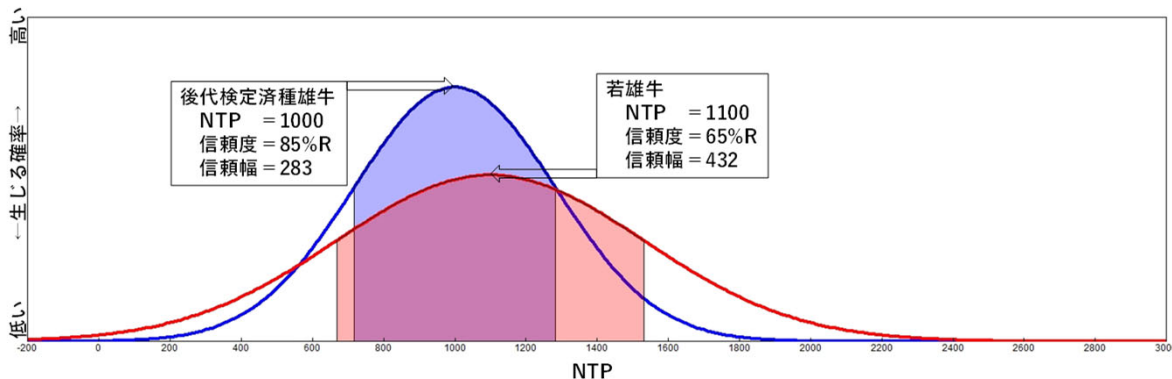


* 網掛けは、±信頼幅の範囲

- ・後代検定済種雄牛は、信頼幅が小さく評価値の大小関係が逆転する可能性が低い
- ・若雄牛は、信頼幅が大きく評価値の大小関係が逆転する可能性が高い
→一頭の若雄牛を集中利用するのではなく、複数の若雄牛を利用することで、評価値の変動に備える

検定済種雄牛と若雄牛のゲノミック評価値の特性（1）

例：NTP

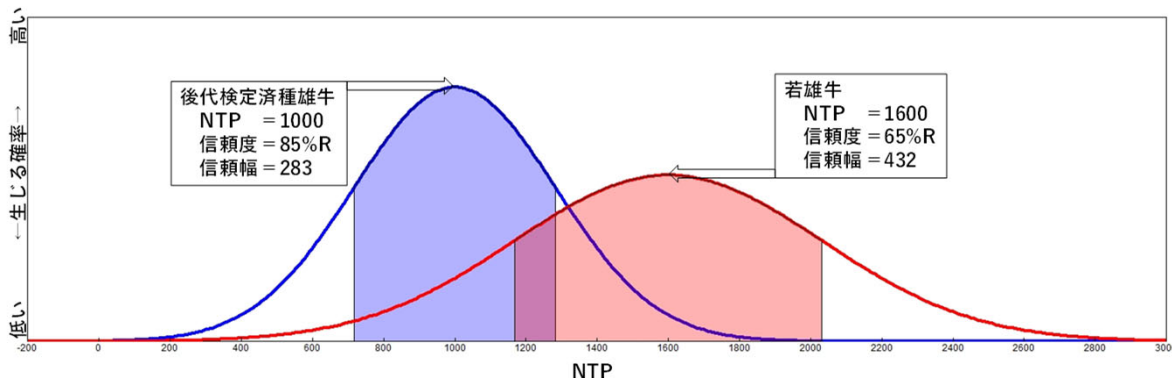


* 網掛けは、±信頼幅の範囲

- 若雄牛は、後代検定済種雄牛よりも信頼度が低く、信頼幅が大きい
- 後代検定済種雄牛と若雄牛の能力差が十分ないと若雄牛を利用するメリットが少ない
 - 後代検定済種雄牛よりも能力が低くなる可能性が高まる

検定済種雄牛と若雄牛のゲノミック評価値の特性（2）

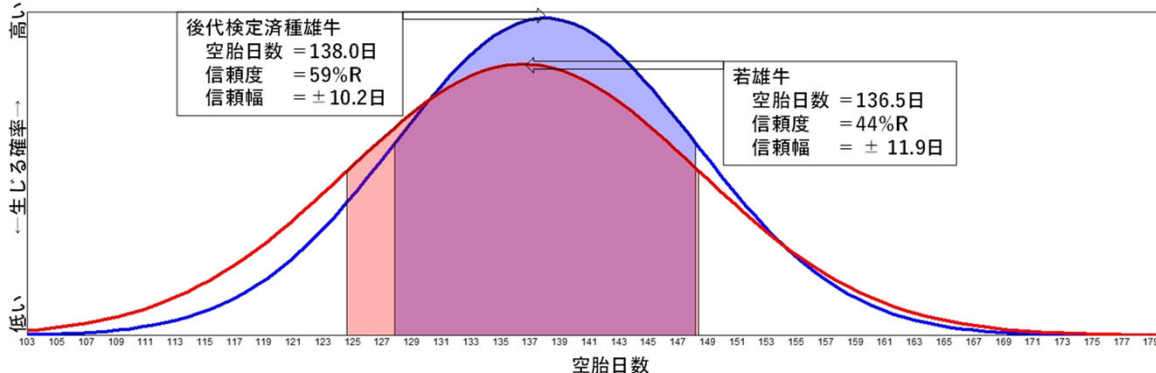
例：NTP



- 検定済種雄牛と若雄牛（候補種雄牛）の世代間隔 = 約3～4年
 - 同時期の検定済種雄牛と若雄牛のNTPの平均的な差 = $3\text{年} \times 200 = 600$
 - * NTPの改良量 = 約200/年
- 利用可能な検定済種雄牛よりも十分に高い評価値を持つ若雄牛を利用すれば、検定済種雄牛よりも評価値が低くなるリスクは少ない
 - 後代検定候補種雄牛は、その時期に利用可能な検定済種雄牛よりも世代が進み、能力が高い個体が多いため安心して交配可能

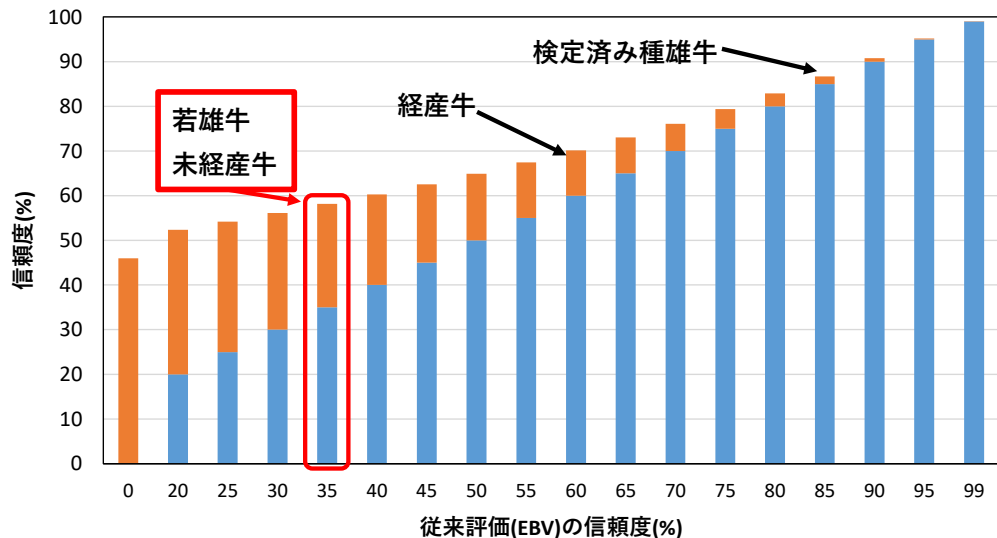
検定済種雄牛と若雄牛のゲノミック評価値の特性 (3)

例：空胎日数



- 検定済種雄牛と若雄牛（候補種雄牛）の世代間隔 = 約3～4年
 - 同時期の検定済種雄牛と若雄牛のNTPの平均的な差 = $3\text{年} \times -0.5\text{日} = -1.5\text{日}$
 - * 空胎日数の改良量 = 約-0.5日/年
- 繁殖形質等の遺伝率が低く、改良量が大きくない形質は、後代検定済種雄牛と若雄牛の差が開きづらい場合があるかもしれない？
 - ただし、個体によって飛び抜けて評価値が良い個体もいるので、一概には言えない

従来評価の信頼度と ゲノミック評価導入後の信頼度の比較（乳量）

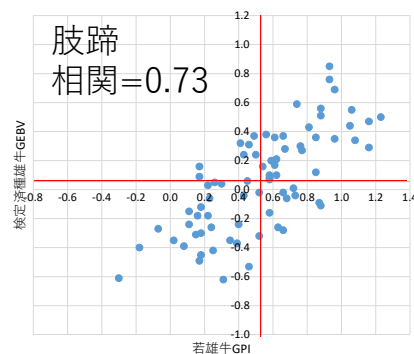
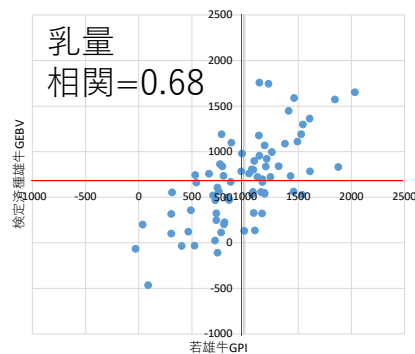
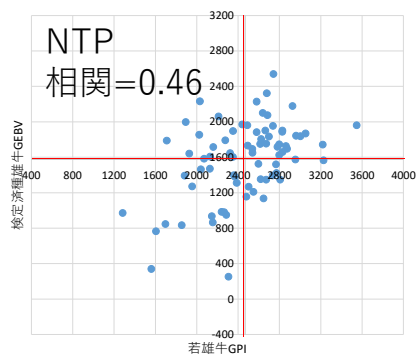


- ・ゲノミック評価の導入により若雄牛・未經産牛の信頼度が大幅に増加（35%→60%）
- ・候補種雄牛の能力がより正確

■ 従来評価（EBV）ベースの信頼度
■ ゲノミック評価による信頼度増加分

若雄牛時の評価値と検定済時の評価値の比較（1）

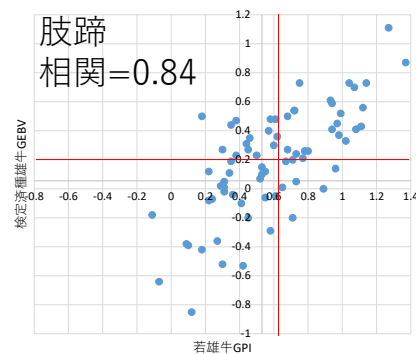
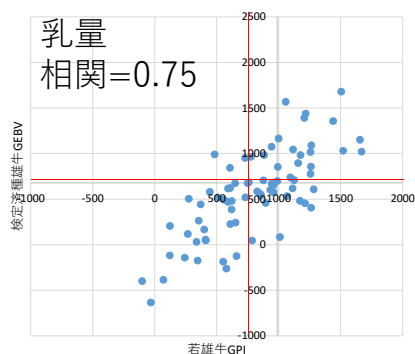
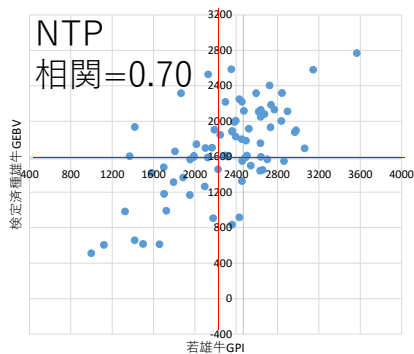
- ・平成30年度前期後代検定候補種雄牛対象
- ・横軸 = 若雄牛時GPI（2018-8月評価）、縦軸 = 検定済種雄牛GEBV（2022-8月評価）
- ・赤線はそれぞれの平均値



- ・乳量および肢蹄の相関は約0.7
- ・NTPは2022-2月評価において計算式が変更されたため相関が低め
- ・若雄牛時に平均以上だった個体は、検定済種雄牛になっても多くの個体が平均以上
→後代検定候補種雄牛（若雄牛）の信頼度の低さは、それほど問題にならない

若雄牛時の評価値と検定済時の評価値の比較（2）

- ・平成29年度前期後代検定候補種雄牛対象
- ・横軸 = 若雄牛時GPI（2017-8月評価）、縦軸 = 検定済種雄牛GEBV（2021-8月評価）
- ・赤線はそれぞれの平均値



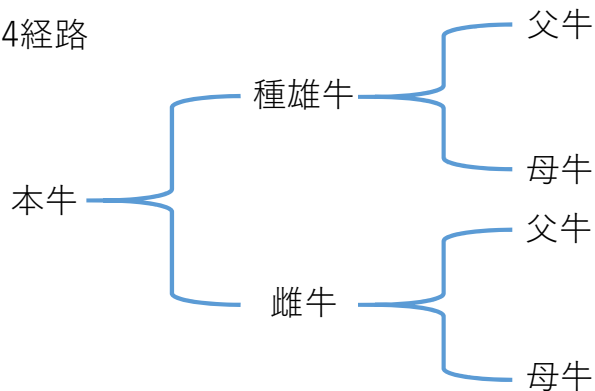
- ・NTPの変更前の比較では相関が0.7
- ・検定回次によって多少のあたりはずれは生じるが、それほど問題にならない

期待される遺伝的改良量の比較例

* 遺伝標準偏差 = 1

従来評価	選抜率	選抜強度 (i)	信頼度 (R ²)	i × R	世代間隔	遺伝的改良量
種雄牛-父牛	5%	2.06	0.85	1.90	6.5年	
種雄牛-母牛	1%	2.67	0.60	2.07	3.5年	
雌牛-父牛	30%	1.16	0.85	1.07	7.0年	
雌牛-母牛	90%	0.19	0.60	0.15	4.3年	
合計				5.18	21.3年	5.18/21.3=0.24

選抜の4経路



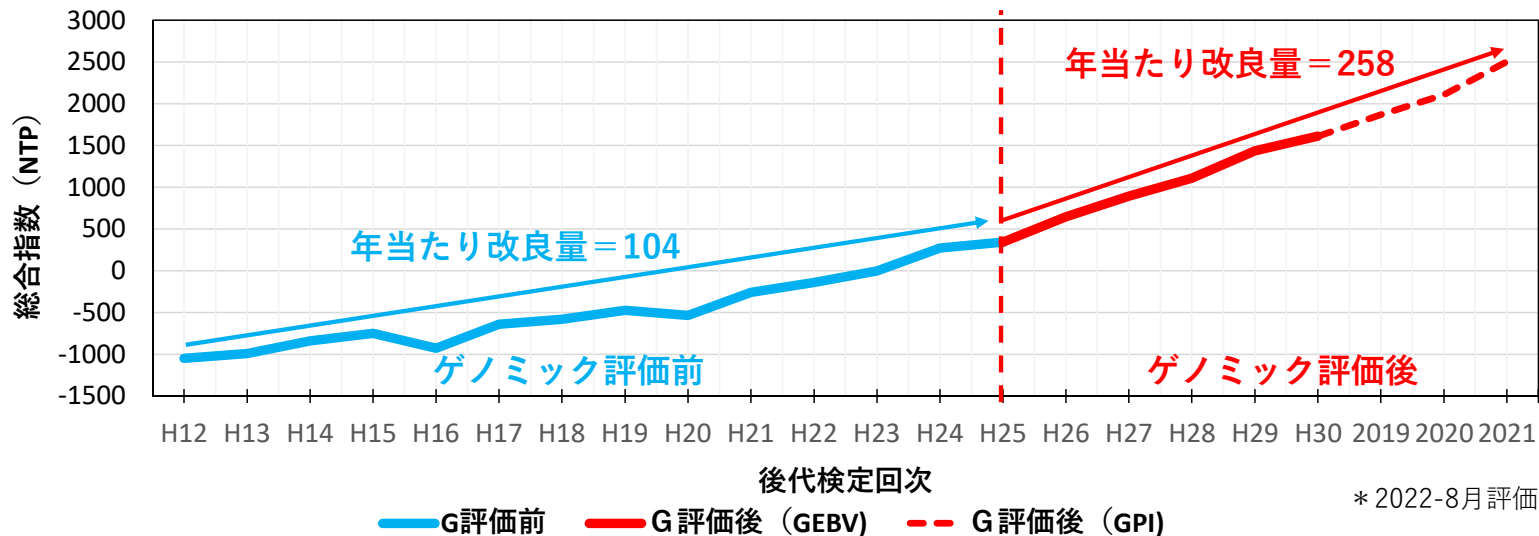
期待される遺伝的改良量の比較例

* 遺伝標準偏差 = 1

従来評価	選抜率	選抜強度 (i)	信頼度 (R ²)	i × R	世代間隔	遺伝的改良量
種雄牛-父牛	5%	2.06	0.85	1.90	6.5年	
種雄牛-母牛	1%	2.67	0.60	2.07	3.5年	
雌牛-父牛	30%	1.16	0.85	1.07	7.0年	
雌牛-母牛	90%	0.19	0.60	0.15	4.3年	
合計				5.18	21.3年	5.18/21.3=0.24
ゲノミック評価	選抜率	選抜強度 (i)	信頼度 (R ²)	i × R	世代間隔	遺伝的改良量
種雄牛-父牛	3%	2.27	0.50	1.61	2.5年	
種雄牛-母牛	1%	2.67	0.50	1.89	2.5年	
雌牛-父牛	30%	1.16	0.50	0.82	2.5年	
雌牛-母牛	85%	0.27	0.50	0.19	2.5年	
合計				4.50	10.0年	4.50/10.0=0.45

ゲノミック評価を活用することで遺伝的改良量が大幅に増加

ゲノミック評価前後の後代検定種雄牛のNTPの遺伝的趨勢



後代検定候補種雄牛の総合指数の遺伝的趨勢

ゲノミック評価開始以降で年当たりの遺伝的改良量が約2.5倍に増加
→世代間隔の短縮・予備選抜の精度向上等が要因

酪農家ができるゲノミック評価を活用した世代間隔の短縮

年齢	0年	1年	2年	3年	4年
従来評価	誕生	未経産時 交配	初産分娩 & 交配	2産分娩 & 交配 (後継牛)	3産分娩 (後継牛誕生)

↑
評価値判明

従来評価では、正確な遺伝評価値が判明する時期は、初産分娩後の検定成績が判明した時期（2産分娩前後）となるため、2産分娩後の交配時に後継牛を残す雌牛の選抜が可能

酪農家ができるゲノミック評価を活用した世代間隔の短縮

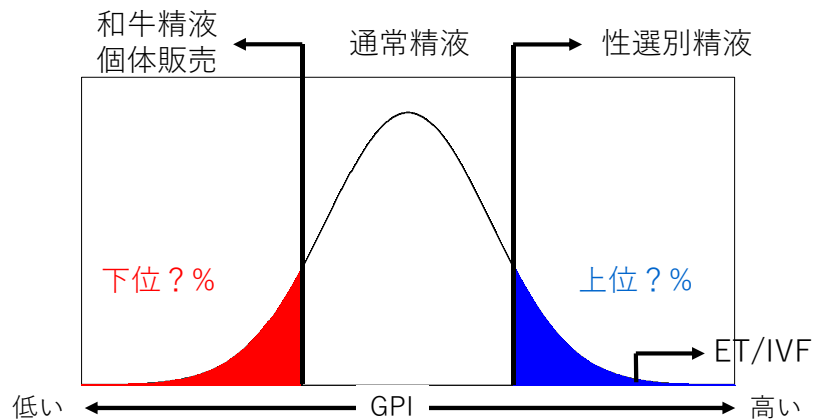
年齢	0年	1年	2年	3年	4年
従来評価	誕生	未経産時 交配	初産分娩 & 交配	2産分娩 & 交配 (後継牛)	3産分娩 (後継牛誕生)
ゲノミック評価	誕生	未経産時交配 (後継牛)	初産分娩 後継牛誕生	2年短縮	

↑
評価値判明

初産分娩後の検定成績を待たずに、未経産の段階でどの雌牛から後継牛を残すか判断可能 → 2年間の世代間隔の短縮

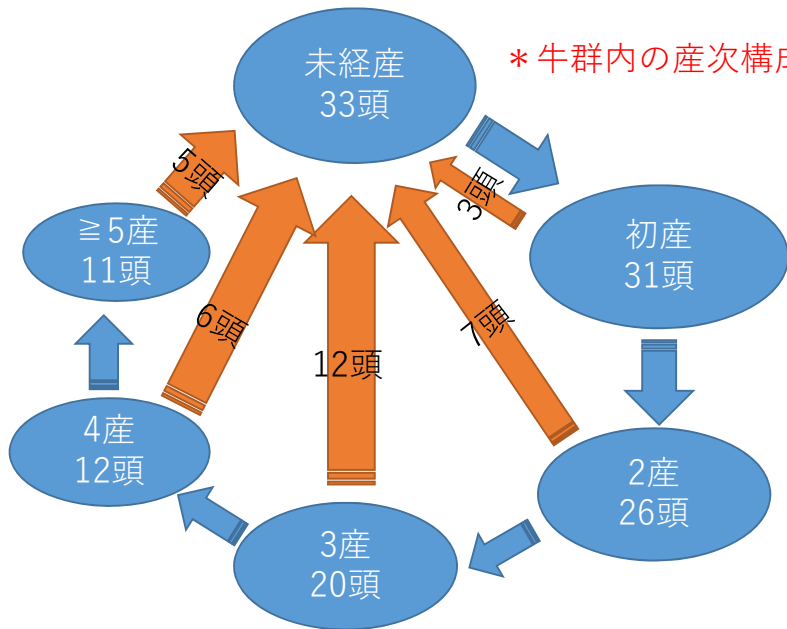
ゲノミック評価値を活用した交配計画

- ①牛群内の全ての（なるべく多くの）未經産牛のSNP検査を実施
- ②上位何%から後継牛を残すかを牛群規模や経営方針等で設定
- ③設定に応じて、どの雌牛に和牛精液、通常精液、性選別精液等を種付けするか選定



ゲノミック評価値を活用した牛群内の世代間隔の短縮のイメージ

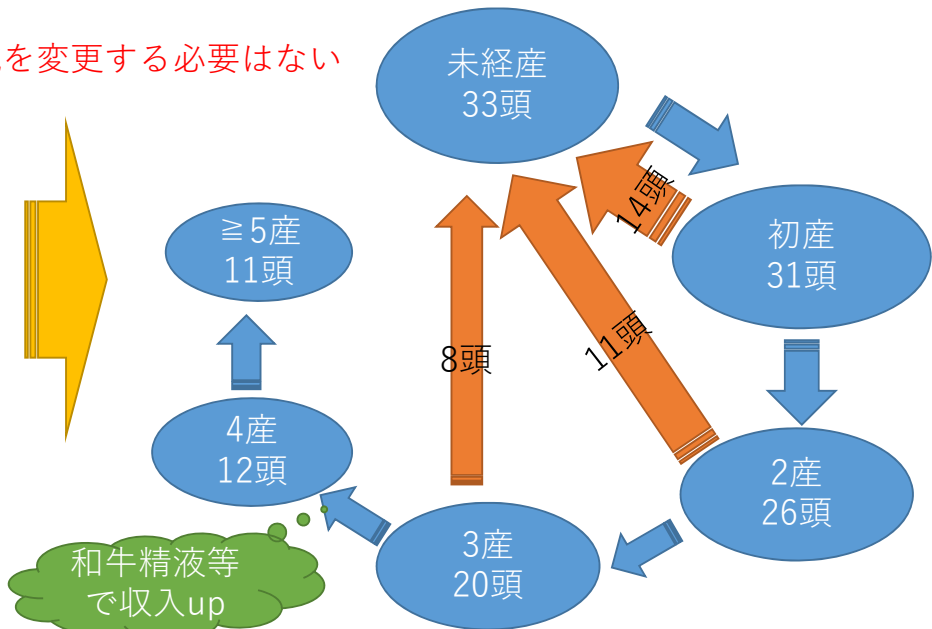
従来評価（ゲノミック評価以前）



* 搾乳頭数 = 100頭

ゲノミック評価

牛群内の全て（多く）の未経産牛を早期にSNP検査する



父親の選抜から両親と本牛の選抜へ

これまでの育種: よい父親を選ぶ
(父親のEBVまたは血統・家系)

検定済み種雄牛
(高信頼度EBV)



子の遺伝能力は
記録を持つまで
わからない

ゲノム時代の育種: 親と本牛の両方
(父親・母親・後代すべて)

GEBVの高い
種雄牛

GEBVの高い
雌牛



自身の遺伝子構成によるGEBV
で牛群内選抜

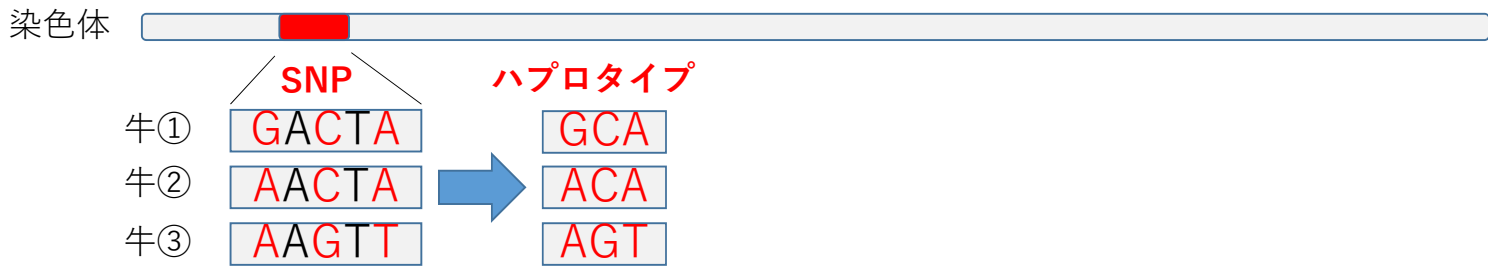
子の遺伝能力は
以前より精度よく
予測できる

図3 2つの育種計画の比較

引用: 繁殖技術2022Vol42(5)P123-129
増田豊 (酪農学園大学)

ハプロタイプ

- ハプロタイプとは、同一染色体上のある領域に存在する複数のSNPの組み合わせ



- 指定遺伝的不良形質（BLAD、CVM、BY、HCD等）の原因遺伝子や毛色、無角・有角に関連する遺伝子は両親から伝達するが、それら原因遺伝子の近傍にあるSNPやハプロタイプも同様に両親から伝達
- したがって、原因遺伝子を調べる遺伝子型検査をしなくても、SNP検査により得られるハプロタイプをマーカーとして利用することで、原因遺伝子を保因するかをある程度精度で推測可能

ハプロタイプと指定遺伝的不良形質との違い？

- 指定遺伝的不良形質は、**生産者の経済的損失が大きい**と判断された遺伝性疾患について、乳用牛遺伝的不良形質専門委員会が指定遺伝的不良形質と指定する。その定義に「**特徴的な外見的・臨床的症状を示す**」とある
- 胚死滅をもたらすハプロタイプは、その定義に該当しないので、指定遺伝的不良形質に指定されていない。
- しかしながら、胚死滅は受胎率低下や空胎日数の長期化を招き、生産者の不利益となる。

国内のハプロタイプ情報

- 胚死滅をもたらすHH1~HH5は、2021年8月より公表開始
 - 父牛と母牛がともに保因牛の場合25%の確率で発症、いずれか一方が非保因牛であれば発症しない
 - 近年、HH5の割合が増えている

図1. SNP検査済み雌牛における胚死滅をもたらすHH1からHH5の保因(キャリア)頻度の年次推移

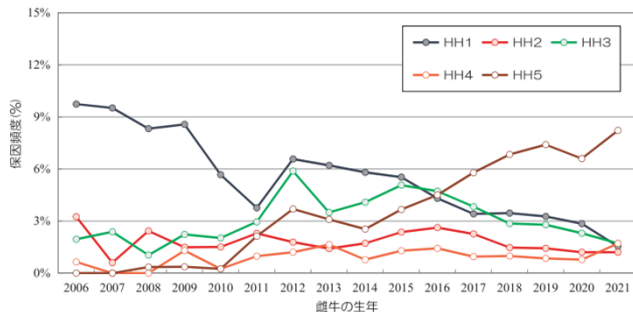


表1. 保因牛同士および保因牛と非保因牛の交配から、胚死滅の発生および保因牛が誕生する確率

		保因牛同士の交配		保因牛×非保因牛の交配	
		非保因	保因	非保因	非保因
父牛	非保因	非保因 25%	保因 25%	非保因 25%	非保因 25%
	保因	保因 25%	発症 25%	保因 25%	保因 25%

保因牛同士の交配では、25%の確率で劣性ホモとなり、胚死滅が生じる。保因牛と非保因牛は、それぞれ50%と25%の確率で生まれる。

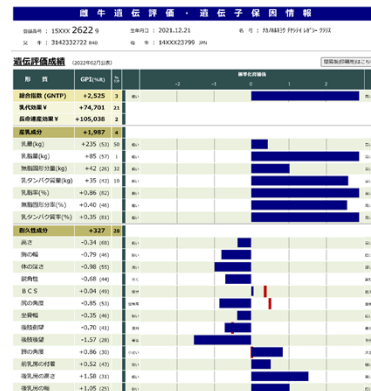
保因牛と非保因牛がそれぞれ50%の確率で生まれる。

- 無角のハプロタイプは2022年8月より公表開始
 - 無角遺伝子は有角に対して顕性（優性）であるので、父牛または母牛のどちらか一方から遺伝子が伝われば無角となる

ハプロタイプ情報の表示例（雌牛）

- 日本ホルスタイン登録協会のHP上で検索できる「雌牛遺伝評価・遺伝子保因情報」で確認可能
- HH1～HH5は保因（C）および非保因（F）で表示
- 無角（HHP）は下記の表のように遺伝子型の組み合わせで表示

HHP	遺伝子型	表現型
C	Pp(有角と無角ヘテロ)	無角
S	PP(無角ホモ)	無角
F	pp(有角ホモ)	有角



遺伝子保因状況 SNP型(ハプロタイプで判定) : あくまでも推定結果であり、確定させるには、遺伝子型検査が必要です (詳細はこちら:PDF約1MB)

SNP型	HH0	HH1	HH2	HH3	HH4	HH5	HH6	HH7	HHB	HHC	HHD	HHM	HHP	HHR	HCD
ハプロタイプ		F	F	F	F	F							C		
遺伝子型	BY	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	BLAD	CVM	DUMPS	単蹄	無角	劣赤	CD

※遺伝子型推定資料のものはSNPによるハプロタイプ(中付)を表示しません < F: 保因していない, C: 保因している(ヘテロ), S: 保因している(ホモ), -: 未検査 >

引用：ホルスタイン通信（2022-9）

ハプロタイプ情報の表示例（雄牛）

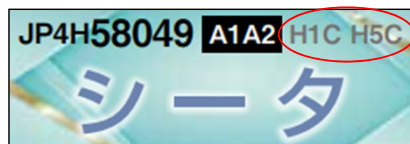
- 後代検定候補種雄牛のハプロタイプ情報は、SNP情報による予測ではなく、**H1~H7について**遺伝子検査による**確定診断結果**を全頭実施
- 無角の遺伝子型検査についても本年開始予定
- 後代検定候補種雄牛は、候補種雄牛名簿や種雄牛パンフレット等に記載
 - ジェネティクス北海道は「FFFFFFF」や「CFFFFFF」の形で表示
 - 家畜改良事業団と十勝家畜人工授精所は、保因牛のみ「H1C」の形で表示
→すなわち、表示がない場合は、H1~H7が非保因牛であることを意味する

BLF CVF BYF MFF CDF	1525415584
R02/09/19生	H1F, H2F, H3F, H4F, H5F, H6F, H7F
¥113,217 長命遺産効果 ¥85,864	

候補種雄牛名簿



ジェネティクス北海道



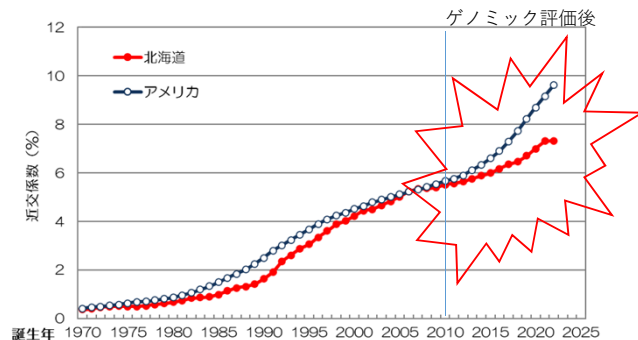
十勝家畜人工授精所



家畜改良事業団

近交係数

- 改良 = 優良遺伝子の固定 → 近交係数の上昇
- ゲノミック選抜が普及後、近交係数の上昇が加速
- 2021年時点で、北海道 = 7.31%、都府県 = 7.61%、アメリカ = 9.16%



* (一社)日本ホルスタイン登録協会より提供

- 日本ホルスタイン登録協会では、近交係数の上限値を2018年に6.25%から7.2%に引き上げたが、2022年には新たに8.4%に引き上げた
- 国際連合食糧農業機関 (FAO) は集団の平均近交係数の上昇を世代当たり1%以内にするよう勧告
 - 雌牛の世代間隔は約4年であり、年当たり0.25%以内が望ましい

各近交係数の主要な形質の近交退化量

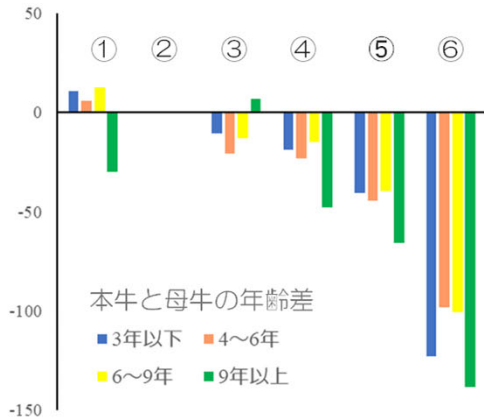
近交係数	6.25%	7.20%	8.00%	9.00%
乳量 (kg)	-171	-197	-219	-247
乳脂量 (kg)	-7	-8	-8	-9
乳蛋白質量 (kg)	-5	-6	-6	-7
体細胞スコア	+0.04	+0.04	+0.05	+0.05
肢蹄	-0.21	-0.24	-0.27	-0.31
乳器	-0.16	-0.18	-0.20	-0.23
決定得点	-0.16	-0.19	-0.21	-0.23
空胎日数 (日)	+3.8	+4.4	+4.9	+5.5

* (一社)日本ホルスタイン登録協会より提供

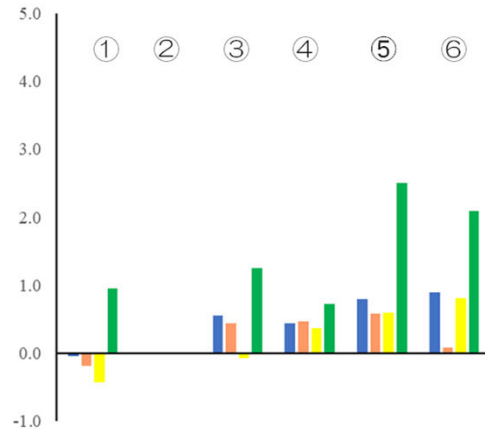
近交係数の上昇量が与える影響

○ 上昇量(本牛と母牛の近交係数間の差)が大きいほど、成績が悪化
 ⇒しかし、極端に上昇しなければ影響は小さい

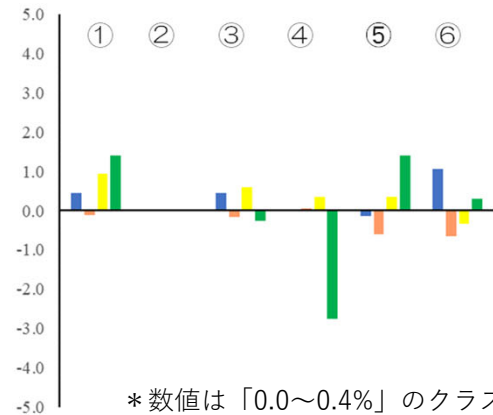
305日乳量(初産)



体細胞スコア(初産)



空胎日数(初産)



* 数値は「0.0~0.4%」のクラスとの相対値

上昇量
クラス

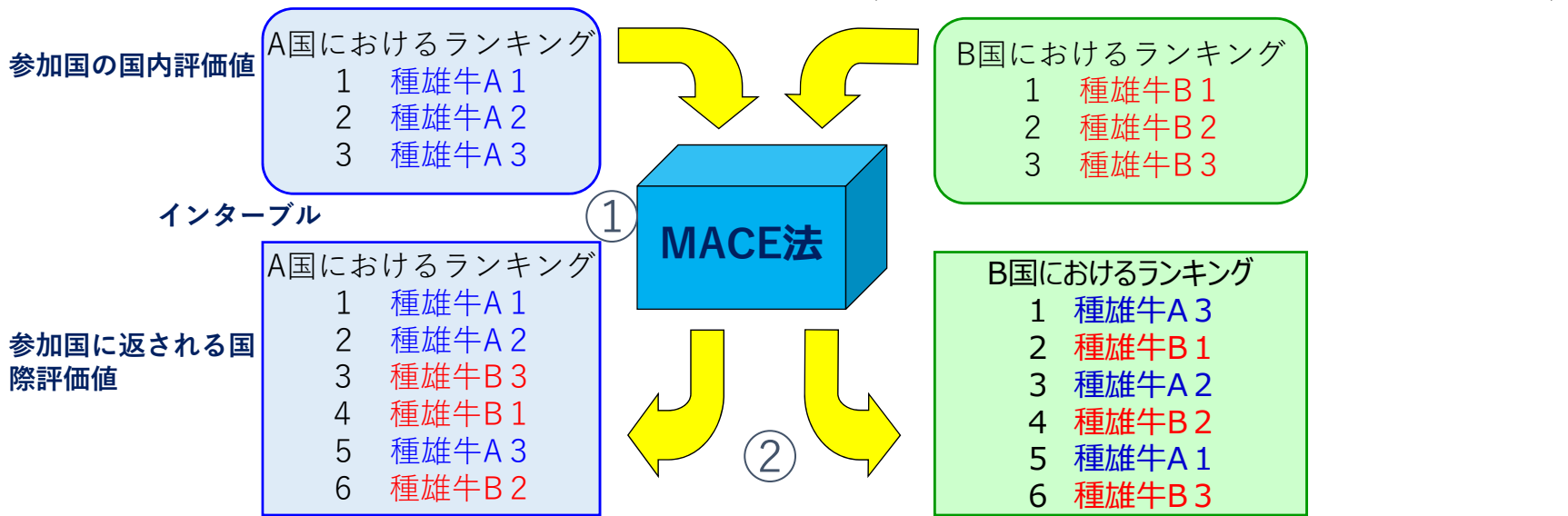
- | | | |
|------------|------------|------------|
| ① 0.0%未満 | ② 0.0~0.4% | ③ 0.5~0.9% |
| ④ 1.0~1.4% | ⑤ 1.5~2.9% | ⑥ 3.0%以上 |

海外種雄牛の評価値／海外SNP検査の注意点

- 海外種雄牛のパンフレット等に掲載されている各形質の評価値の多くは、輸出国で計算された評価値が掲載（**日本向けの評価値ではない**）
 - NTPのみ日本向けに計算された数値の場合が多い
- 海外の評価値が、日本の環境下で同じように能力を発揮するとは限らない
 - 日本よりも冷涼な気候である北米の飼養環境下に適した評価値が、高温多湿な日本の環境下で適応できるのか？→遺伝と環境の相互作用
- 計算方法、環境、スケール・単位が異なるために、海外の評価値と日本の評価値は比較できない
- **日本が参加しているインターブル（スウェーデン）の国際評価結果およびNLBCで公表している北米の若雄牛の評価値のみが比較可能**
- 海外SNP検査により得られる雌牛のゲノミック評価値は、海外種雄牛の評価値と同様にその国ベースの評価値であり、必ずしも日本国内の環境に適した評価値ではない
 - ハプロタイプ情報は共通

国際評価 (MACE法)

国際評価に参加 (ホルスタインは、泌乳：29ヶ国、体型：24ヶ国)



①参加国の国内評価値を集計分析し、すべての種雄牛を特定の国で利用した場合に期待される評価値を算出。

②参加国によって飼養環境が異なるため、国によってランキングは変化する。

日本と各国の遺伝相関

* 値が高いほど国間の種雄牛ランキングが近くなる

形質	アメリカ	カナダ	オランダ	フランス	ドイツ	オーストラリア	ニュージーランド
乳量	0.92	0.93	0.91	0.91	0.91	0.76	0.68
乳脂量	0.90	0.92	0.89	0.89	0.90	0.69	0.67
乳蛋白質量	0.90	0.91	0.87	0.87	0.89	0.66	0.58
決定得点	0.81	0.77	0.77	0.82	0.76	0.56	0.56
乳器	0.89	0.89	0.85	0.85	0.89	0.76	0.82
肢蹄	0.85	0.64	0.60	0.61	0.78	0.44	-
体細胞スコア	0.87	0.87	0.84	0.90	0.85	0.78	0.81
初産娘牛受胎率	0.91	0.77	0.82	0.81	0.75	-	-
空胎日数	0.92	0.93	0.88	0.80	0.90	0.76	0.66
在群能力	0.87	0.94	0.61	0.53	0.86	0.60	0.68

日本との遺伝相関の関係は、北米 > ヨーロッパ > オセアニア
 体型形質は、遺伝相関が低い

* 2022-8月の国際評価

日本の環境に適した海外種雄牛の評価値を知るには

- 家畜改良センターのHPで国内に流通可能な海外種雄牛の国際評価結果および北米の一部の若雄牛のゲノミック評価値を確認可能

(<http://www.nlbc.go.jp/kachikukairyo/iden/#nyuyogyu>)



国際評価値：2022-8月		
海外種雄牛		
評価結果		
国際評価概要	PDF  [PDFファイル:150KB]	2022/08/09掲載
総合指数上位40位 ※6	PDF  [PDFファイル:122KB]	2022/08/09掲載
海外の評価値を日本の評価値に変換するための一次式 ※7	CSV  [CSVファイル:26KB]	2022/08/09掲載
評価値データ		
10歳未満のもの及び直近までに輸入実績のあるもの (名号順) ※6	CSV  [CSVファイル:564KB]	2022/08/09掲載

若雄牛		
評価値データ		
国内若雄牛-その1 - 泌乳及び体型形質において娘牛がいない若雄牛 (フォーマット2 [PDFファイル:165KB]) 	CSV  [CSVファイル:15KB]	2022/08/02掲載
海外若雄牛 泌乳または体型形質において娘牛がいない若雄牛 (フォーマット2 [PDFファイル:165KB]) 	CSV  [CSVファイル:1.26MB]	2022/08/02掲載

気になる種雄牛については、代理店のパンフレット以外にも家畜改良センターHPでも確認してみてください

まとめ（1）

- ゲノミック評価のメリット
 - 若齢時に選抜が可能となり、世代間隔の大幅な短縮が可能
（注：牛群内の淘汰を早めるのではない）
 - 種雄牛を中心とした牛群改良から親牛・本牛の両方を若齢時に直接選抜する牛群改良
 - ハプロタイプ情報が判明
- ゲノミック評価のデメリット
 - 費用・・・牛群内の全て（なるべく多くの）未経産牛の検査が必要（1頭＝10,760円）
 - 若雄牛の信頼度は検定済種雄牛より低いため、能力が低い若雄牛を選ぶ可能性がある
 - 1頭の若雄牛の集中利用でなく、複数の若雄牛を利用することでリスク分散
 - 若雄牛は、検定済種雄牛よりも世代が進んでおり、検定済よりも全体的に能力が高いため、十分に能力の高い若雄牛を利用

まとめ（2）

- ゲノミック評価以降、近交係数が急激に上昇
 - 改良を行う上で、近交係数の上昇は避けられない（優良遺伝子を固定するため）
 - 極端な近交係数の上昇を避けることが重要（年当たり+0.25%程度）
- 海外SNP検査の注意点
 - 必ずしも日本の環境に適応した評価値ではない（海外種雄牛の評価値と同様）
 - ハプロタイプ情報は利用可能
- 若雄牛を利用する場合は、利用可能な後代検定済種雄牛の能力と比べて、十分に改良効果が期待できる若雄牛を複数選択して利用
- ゲノミック評価の時代においても表型値が重要
 - 国内に新しいデータを蓄積し続けることが、将来的な日本の乳用牛の遺伝的改良の底上げに貢献
 - 血統登録、牛群検定、体型審査、SNP検査、後代検定など国内データ蓄積および改良効果の循環が重要

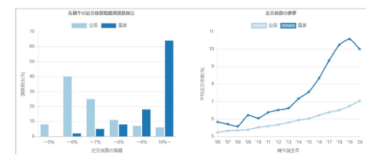
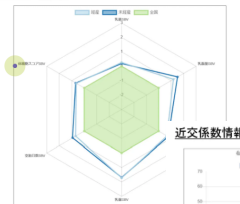
国内のゲノミック評価の課題

- 成績判明までの期間
 - 海外サービス（1ヵ月程度）と比べて、SNP検査申し込みから2～3ヵ月程度かかるため、期間の短縮が必要（現在検討中）
- ゲノミック評価結果を活用するツールが不十分？
 - 日本ホルスタイン登録協会の自動登録同時SNP検査を利用する農家向けのツール

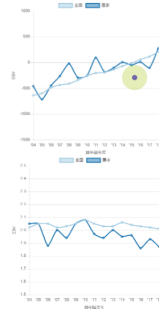
3の平均的在籍牛の平均遺伝的能力（一部形質抜粋）



牛群の遺伝的レベルポート



遺伝的トレンド (SBV)



未經産牛GNTPの牛群内分布と供用種雄牛の区分



- ゲノミック評価に関連する評価項目（形質や遺伝子型情報）が不十分
 - いくつかのハプロタイプ情報は公表済み
 - 評価形質も順次拡充中

最近の遺伝評価に関する主な変更点

- 気質・搾乳性のモデル変更（2020-8月評価）
 - サイア・MGSモデル→アニマルモデルに変更（雌牛の評価値公表およびゲノミック評価開始）
- 在群期間から新たに在群能力の評価開始（2020-8月評価）
 - 84ヶ月齢までの在群性から初産～3産までの在群性の評価に変更
 - 97～103の相対育種価（RBV）表示から標準化育種価（SBV）表示に変更（2022-2月評価）
- 暑熱耐性の評価開始（2021-8月評価）
- 総合指数の変更（2022-2月評価）
 - 産乳成分の重みを70%→60%に変更し、在群能力を10%加えた
- 乳房の傾斜の評価開始（2022-8月評価）

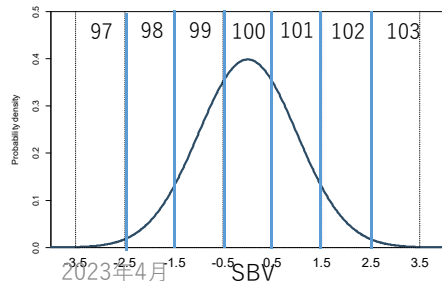
ホルスタイン種の評価形質

- ◎全個体がゲノミック評価値
- SNP情報がある個体のみゲノミック評価値
- ▲全個体が従来評価値
- △国際評価対象外（国内評価値を持つ個体のみ公表）

評価形質	後代検定済種雄牛	経産牛	海外種雄牛	若雄牛 (国内・海外)	未経産牛
泌乳形質（7形質）	○	○	▲	◎	◎
体型形質（得点5形質、線形19形質）	○	○	▲	◎	◎
体細胞スコア	○	○	▲	◎	◎
在群能力	○	○	▲	◎	◎
泌乳持続性	○	○	△	◎	◎
気質、搾乳性	○	○	▲	◎	◎
難産率（産子、娘牛）	▲	×	△	×	×
死産率（産子、娘牛）	▲	×	△	×	×
娘牛受胎率（未経産、初産）	○	○	▲	◎	◎
空胎日数	○	○	▲	◎	◎
暑熱耐性	○	○	△	◎	◎
乳代効果	○	○	×	◎	◎
長命連産効果	○	○	×	◎	◎
総合指数および各成分	○	○	▲	◎	◎

気質・搾乳性（2020—8月変更）

- 気質=牛の性格を温和か神経質・粗暴で表し、搾乳性=搾乳速度を早い～遅いで表す
- 以前の気質・搾乳性の評価方法は、雄牛だけの血統情報を利用したサイア & MGSモデルを用いていた→種雄牛しか評価値を持たない
- 新たに全ての個体（雄牛・雌牛）の血統情報を用いたアニマルモデルに変更
 - 遺伝率：気質 = 0.041、搾乳性 = 0.095
 - 雌牛の評価値も公表
 - モデル変更と併せてゲノミック評価値も公表
- 気質と搾乳性の評価値は、従来通り97~103の範囲による相対育種価（RBV）で表示



評価値	気質	搾乳性
102～103	温順性が比較的高い	搾乳が比較的早い
99～101	普通	普通
97～98	温順性が比較的低い	搾乳が比較的遅い

在群能力（2020—8月評価開始）

- 84ヶ月齢までの在群性を評価した在群期間の評価からの変更
- 初産から3産までを産次毎に3区分し、合計9区分内でその牛がその区分中に牛群に在籍していたかどうかを表す（1=在籍、0=除籍）
- 遺伝率は0.051
- 評価値はSNP情報がある個体のみ標準化育種価（SBV）で表示

3区分

①分娩後50日未満

②分娩後50日から249日

③分娩後250日から次産次分娩直前まで

除籍時期	初産			2産			3産		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③
4産分娩以降	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3産分娩後20日目	1	1	1	1	1	1	0	0	0
2産分娩前	1	1	0	0	0	0	0	0	0

○長く在籍するほど“1”の記録が増えて、評価値が高くなる

○84ヶ月齢までまつ必要はある在群期間よりも早く評価値を計算することが可能

○単位がないので、生産寿命が何ヶ月伸びるかは示されない

在群能力とその他形質との関係性

乳量	-0.20
乳脂量	-0.13
無脂固形分量	-0.17
乳蛋白質量	-0.15
乳脂率	0.07
無脂固形分率	0.17
乳蛋白質率	0.13
体細胞スコア	-0.44
泌乳持続性	0.05

空胎日数	-0.55
娘牛受胎率	0.52
気質	0.11
搾乳性	-0.06
体貌と骨格	-0.08
肢蹄	0.25
乳用強健性	-0.39
乳器	0.26
決定得点	0.11

		線形スコア	
		1	9
前乳房の付着	0.25	弱い	強い
後乳房の高さ	0.05	低い	高い
後乳房の幅	-0.29	狭い	広い
乳房の懸垂	-0.05	弱い	強い
乳房の深さ	0.27	深い	浅い
乳房の傾斜	0.08	後傾斜	前傾斜
前乳頭の配置	-0.01	外付	内付
前乳頭の長さ	-0.09	外付	内付
後乳頭の配置	-0.09	短い	長い

		線形スコア	
		1	9
後肢側望	-0.19	直飛	曲飛
後肢後望	0.13	寄る	平行
蹄の角度	-0.07	小さい	大きい
高さ	-0.17	低い	高い
胸の幅	-0.24	狭い	広い
体の深さ	-0.33	浅い	深い
鋭角性	-0.44	欠く	富む
BCS	0.39	痩せ	肥え
尻の角度	0.07	坐骨高	坐骨低
坐骨幅	-0.26	狭い	広い

在群能力（長命性）が低い個体の傾向は、

- ・産乳量が多い
- ・体細胞スコアや繁殖性が悪い
- ・乳用強健性が高いが肢蹄・乳器が弱い
- ・体格が大きく、痩せている
- ・乳房の付着が弱く、幅が広い、深さが深い

* 日本ホルスタイン登録協会北海道支局より提供

暑熱耐性（2021—8月評価開始）

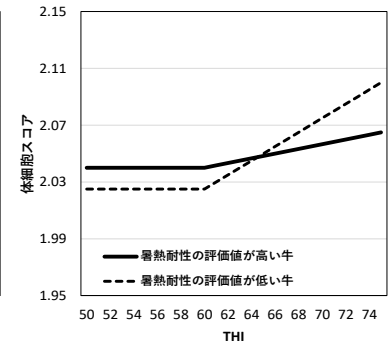
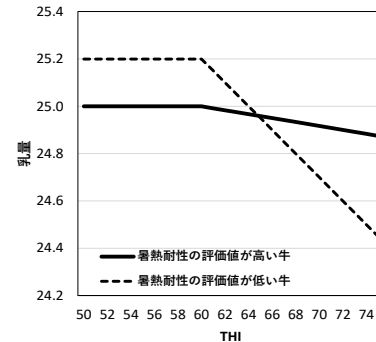
- 温暖化の影響により、暑熱ストレスによる乳量の低下や繁殖性の悪化が問題
- 暑熱ストレスの指標の一つである温湿度指数（THI）が60を越えたあたりから乳量の低下や体細胞スコアの増加が始まる
- 牛群検定では、2017年7月から牛群検定データに各牛群に対して最寄りの気象観測所の気象情報を結び付けたカウダスを公表
- 冷涼な北米の飼養環境に適した牛が、日本の高温多湿な環境で同じように遺伝的能力を発揮するとは限らない（遺伝と環境の相互作用）
- 日本の環境に適した評価値として、暑熱耐性に関する評価値が重要
- 帯広畜産大学の萩谷研究室の研究結果を基に家畜改良センターで2021-8月から評価を開始（オーストラリアに次いで2番目）

暑熱耐性の評価値

- THI = 72の時の乳量および体細胞スコアの変化量を総合的に評価（評価値はSBV表示）
- THIの影響による乳量および体細胞スコアの変化量の遺伝率は、それぞれ0.011と0.005
- 評価値が1ポイント違うと、乳量および体細胞スコアの面から1日当たり一頭につき10円程度の所得差
- 泌乳能力と好ましくない関係性にあるので注意が必要（泌乳能力を維持しつつ暑熱耐性の改良を行うことが大事）
- 暑熱耐性が高い個体は繁殖性が良い傾向

暑熱耐性	乳量		体細胞スコア	繁殖性	
	泌乳能力	THIによる低下量		受胎率	空胎日数
高い（良い）	低い	少ない	低い	良い	短い
低い（悪い）	高い	多い	高い	悪い	長い

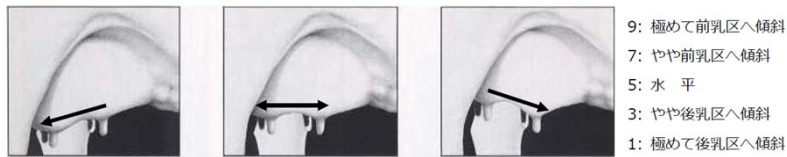
		気温（℃）															
		15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
相対湿度（%）	10	59	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	69	70	71	72
	30	59	60	61	62	63	64	65	66	67	69	70	71	72	73	74	75
	50	59	60	61	63	64	65	67	68	69	70	72	73	74	76	77	78
	70	59	60	62	63	65	66	68	69	71	72	74	75	77	78	80	81
	90	59	61	62	64	66	67	69	71	73	74	76	78	79	81	83	84



暑熱耐性の評価値の違いによるTHIの変化に伴う乳量および体細胞スコアの変動のイメージ

乳房の傾斜（2022—8月評価開始）

- 搾乳ロボットの普及により、搾乳ロボットに適した乳房の形状への改良が求められている
- 乳房の底面が極端な傾斜である場合、搾乳ロボットに好ましくない

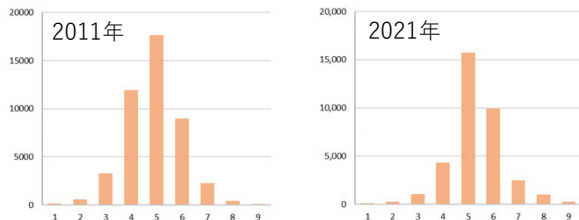


1

5

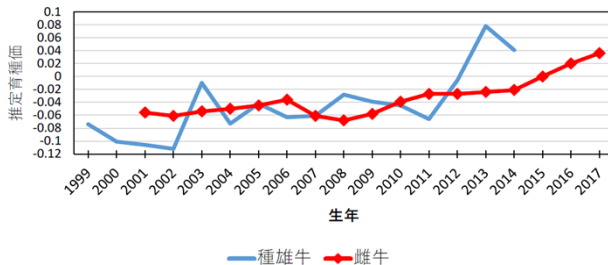
9

- 遺伝率は0.30、評価値はSBV表示、値が小さいと「後傾斜」、値が大きいと「前傾斜」となる
- 乳房の傾斜の表型値は線形スコア5が好ましく、線形スコア = 5 であるSBVは“-0.08”である
- 近年、前傾斜の個体数が若干増加傾向、遺伝的趨勢も上昇傾向



線形スコアの分布

2023年4月



遺伝的趨勢

(独) 家畜改良センター 改良部 情報分課

総合指数 (NTP : Nippon Total Profit index)

NTP 2022

産乳成分 (60%)

乳脂量 (23%)

乳蛋白質量 (37%)

耐久性成分 (28%)

在群能力 (10%)

肢蹄得率 (6%)

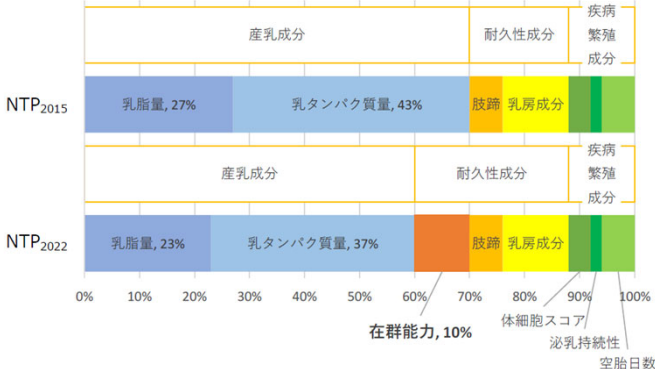
乳房成分 (12%)

疾病繁殖成分 (12%)

体細胞スコア (4%)

泌乳持続性 (2%)

空胎日数 (6%)



- 乳器得率
- 前乳房の付着
- 後乳房の高さ
- 乳房のけん垂
- 乳房の深さ
- 前乳頭の配置
- 前乳頭の長さ
- 後乳頭の配置

* 2022-2月評価において、産乳成分を70%から60%に減らし、耐久性成分に在群能力を新たに10%加えた

2023年4月

総合指数により期待される遺伝的改良量

主な形質	NTP ₂₀₁₅	NTP ₂₀₂₂	変化率
乳量 (kg)	114	97	85%
乳脂量 (kg)	5.2	4.6	88%
乳蛋白質量 (kg)	4.0	3.6	90%
無脂固形分量 (kg)	10.5	9.2	88%
肢蹄	0.036	0.048	133%
乳器	0.060	0.079	132%
決定得点	0.063	0.071	113%
在群能力	0.001	0.006	600%
生産期間84 (月)	0.16	0.45	281%
空胎日数 (日)	0.93	0.01	1%

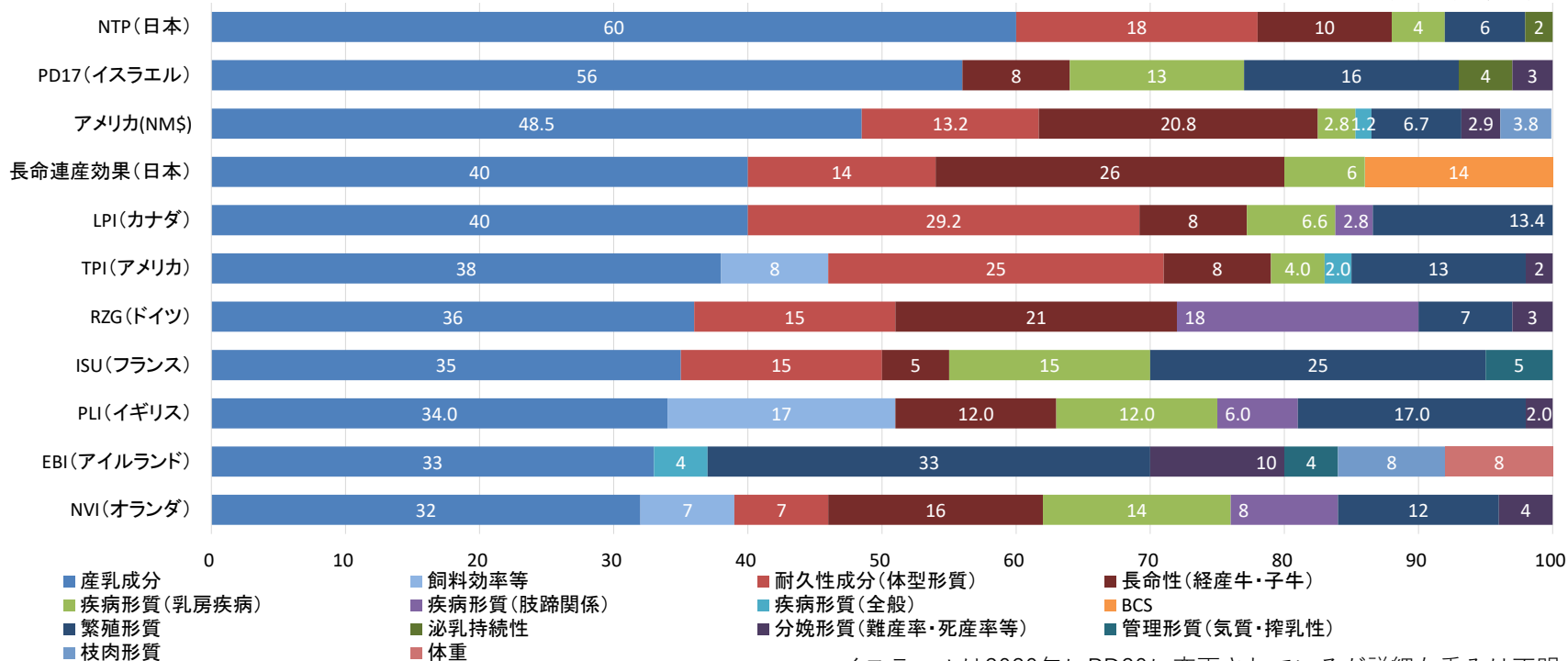
微減

増加

抑制

(参考) 各国の選抜指数の重みの比較

* 産乳成分順



* イスラエルは2020年にPD20に変更されているが詳細な重みは不明

今後の予定

- リファレンス集団に雌牛情報（約9万頭）を2023年度中に導入予定
- 分娩形質（難産・死産）のモデル変更・国際評価参加およびゲノミック評価の公表を検討中
- 子牛生存率の遺伝評価を検討中