

ホルスタイン種における遺伝評価値と信頼度の違いを考慮した後代検定一次選抜法

萩谷功一¹・山崎武志¹・武田尚人²・鈴木三義³

¹北海道農業研究センター，札幌市豊平区 062-8555

²畜産草地研究所，つくば市 305-0901

³帯広畜産大学，帯広市 080-8555

(2014. 6. 20 受付, 2014. 11. 18 受理)

要約 ホルスタイン種雄牛の後代検定に参加する候補種雄牛決定のための事前選抜（後代検定一次選抜）のため，推定育種価の信頼度を考慮した選抜方法を提案した。データは，2011年8月に発表された全種雄牛の乳量，乳脂量，乳タンパク質量，体細胞スコアおよび体型形質の遺伝評価値，2010年2月から2014年8月の間に供用された種雄牛の遺伝評価値，2008年2月から2010年8月に発表された総合指数上位1000頭の雌牛の遺伝評価値，2010年の後代検定候補種雄牛の血縁情報である。総合指数に含まれた形質間の遺伝相関係数は，1643頭の国内種雄牛の遺伝評価値を使用して推定した。2010年に後代検定に参加した44頭の候補種雄牛について，将来，総合指数上位40位に含まれる確率（ P_{40} ）を予測した。信頼度が大きく異なる遺伝評価値（両親の平均育種価とゲノミック評価値）が混在する場合，本研究で提案した後代検定一次選抜法は有効である。

日本畜産学会報 86 (1), 29-36, 2015

日本国内におけるホルスタイン種雄牛の後代検定は，毎年，185頭の若い種雄牛（以下，候補種雄牛とする）を対象として実施され，それらの娘牛の乳検定記録および体型審査記録が得られ，遺伝的に優れていることが証明された一部の種雄牛のみが一般に供用される。乳用種雄牛の選抜には，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総合指数が利用され，わが国では，Nippon Total Profit index（以下，NTPとする）と呼ばれる指数が利用されている（Migliorら2005）。候補種雄牛は，後代検定に参加する種雄牛を決定するための事前選抜（以下，一次選抜とする）において，185頭となるよう調整される。これまでの一次選抜は，候補種雄牛の遺伝的能力について両親の遺伝的能力評価（以下，遺伝評価とする）値の平均（以下，PAとする）を基礎とし，候補種雄牛の健康状態や凍結精液の解凍後の状態などを考慮して実施されてきた。近年の一次選抜は，PAとともにゲノミック評価値（以下，GPIとする）を主要な判断材料としている。

PAの信頼度は両親の遺伝評価値の信頼度に依存する。また，GPIの信頼度は，一般にPAの信頼度より高い（VanRadenら2009）。信頼度は，遺伝評価値の推定精度を表すことから，将来の遺伝評価値を予測するための重要な情報である。しかしながら，PAの信頼度間に大きな差異が存在しないことから，PAのみの情報にもとづく従来の一次選抜において，それらの差異は考慮されていない

かった。現在は，種雄牛生産のための交配計画の段階でPAを利用し，種雄牛が誕生して数ヵ月後にGPIが判明するため，一次選抜において両者が混在する。このような状況において，信頼度の違いを考慮した一次選抜法の検討を要する。

本研究は，1) 候補種雄牛のNTPの信頼度および信頼幅を推定し，2) 将来における序列の上位に相当するNTPを予測し，3) 候補種雄牛のNTPおよびその信頼幅から真の育種価が将来における序列の上位に相当する確率を計算することにより，ホルスタイン種雄牛の一次選抜のための適切な選抜方法を提案する。

材料および方法

1. データ

データは，2011年8月に発表された乳用種雄牛評価成績データCD-ROMに掲載された種雄牛の遺伝評価値（家畜改良事業団2014a），2010年8月から2014年8月までの間に家畜改良事業団発行の乳用種雄牛評価成績に掲載された種雄牛の遺伝評価値（家畜改良事業団2010a, b, 2011a, b, 2012a, b, 2013a, b, 2014b, c），2008年2月から2010年8月に発表された牛群検定参加牛のうち総合指数上位1000位までの雌牛の遺伝評価値（家畜改良センター2010），2010年の後代検定候補種雄牛名簿（家畜改良事業団2010c, d）である。2010年の後代検定候

連絡者：萩谷功一（fax：011-859-2178，e-mail：hagiya@affrc.go.jp）

補種雄牛名簿は、2010年に後代検定に参加した合計185頭の候補種雄牛の登録番号および血縁情報を含む。種雄牛および雌牛の遺伝評価値は、乳量、乳脂量、乳タンパク質量、体細胞スコアおよび体型形質に関する遺伝評価値、乳量および決定得点の遺伝評価値の信頼度が含まれる。NTPに含まれた成分間および形質間の遺伝相関の推定には、2011年8月の遺伝評価値においてすべての形質に欠測がない1643頭の国内種雄牛を使用した。なお、本研究では、後代検定に参加する民間団体（家畜人工授精団体）による一次選抜を仮定したため、家畜人工授精団体が入手可能な情報のみを利用した。2010年の後代検定候補種雄牛のうち、2010年8月に公表された遺伝評価値によるPAおよび十勝家畜人工授精所が所有する種雄牛の一部（13頭）のGPIを検証に使用した。

2. 種雄牛が上位に序列される確率

国内において上位40頭の種雄牛が推奨されている（家畜改良事業団2014b）ことから、共進会で活躍が期待されるなど、特徴がある種雄牛を除き、上位41位以下の種雄牛が選抜される例は少ない。このことより、本分析では、種雄牛が上位40位以内であるかどうか注目する。

2010年に後代検定に参加した候補種雄牛の娘牛が生産され、それらの記録にもとづく遺伝評価値が判明するとき、すなわち、2014年の遺伝評価値において、種雄牛に関するNTP上位40位に相当するNTPの予測値をEBV-NTP₄₀とする。候補種雄牛に期待される遺伝評価値とその信頼幅を使用し、個々の候補種雄牛のNTPがEBV-NTP₄₀以上となる確率を推定する。図1の例では、PA-NTP2010あるいはGPI-NTP2010がEBV-NTP₄₀より低い場合、信頼度が低いほど信頼幅が大きくなり、真の育種価がEBV-NTP₄₀を超える、すなわち、後代検定後に選抜できる可能性が高くなる。いっぽう、PA-NTP2010あるいはGPI-NTP2010がEBV-NTP₄₀より高い場合は、信頼度が高いほど選抜できる可能性が高くなる。2010年のPAによる候補種雄牛aのNTPの予測値をPA_a-NTP2010、信頼幅

をPA_a-CR2010とする。ここで、信頼幅を1標準偏差単位(1σ)とする（家畜改良センター2010）。このとき、候補種雄牛aの真の育種価が存在する範囲は、N(PA_a-NTP2010, PA_a-CR2010²)で表される正規分布に従う。同様に、候補種雄牛aのGPIが判明（信頼幅GPI_a-CR2010）している場合、GPIによる候補種雄牛aのNTPの予測値（以下、GPI_a-NTP2010とする）より、真の育種価が存在する範囲は、N(GPI_a-NTP2010, GPI_a-CR2010²)に従う。後代検定終了後の推定育種価が真の育種価に近似すると仮定すると、候補種雄牛aの推定育種価がEBV-NTP₄₀より高くなる確率Pは、

$$A = (EBV-NTP_{40} - PA_a - NTP2010) / PA_a - CR2010,$$

または

$$A = (EBV-NTP_{40} - GPI_a - NTP2010) / GPI_a - CR2010,$$

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

より得られる。ここで、AはEBV-NTP₄₀を標準化した数値、P{z ≥ A}はaに関する真のNTPがEBV-NTP₄₀以上である確率を表す。以降、候補種雄牛が将来においてNTPの上位40位以内に含まれる確率をP₄₀とする。各候補種雄牛について、以下に記述した手順により、2010年の予測値から2014年のP₄₀を計算した。

- 1) PA-NTP2010およびGPI-NTP2010の信頼度を推定する。PA-NTP2010の信頼度は、メンデルアンサンプリング分散を考慮して推定する。
- 2) NTP全体の分散と各個体の信頼度から各候補種雄牛に関するPA-CR2010およびGPI-CR2010を計算する。
- 3) 後代検定成績が明らかになる2014年のEBV-NTP₄₀を推定する。
- 4) PA-NTP2010, GPI-NTP2010, PA-CR2010およびGPI-CR2010より、候補種雄牛個々のP₄₀を推定する。

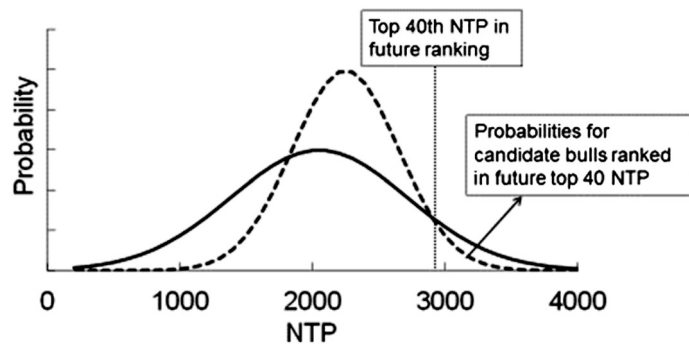


Figure 1 Probability of a candidate bull ranked in future top 40 Nippon Total Profit index (NTP).
 — Candidate bull A with low EBV and low reliability
 ---- Candidate bull B with high EBV and high reliability

3. 総合指数

NTP は、以下の数式より計算される（家畜改良事業団 2014c）.

$$NTP = 7.2 \times (\text{産乳成分}) + 2.4 \times (\text{耐久性成分}) + 0.4 \times (\text{疾病繁殖成分})$$

$$\text{産乳成分} = 27 \times EBV_F / SD_F + 73 \times EBV_P / SD_P$$

$$\text{耐久性成分} = 15 \times EBV_{FL} / SD_{FL} + 85 \times (\text{乳房成分}) / SD_{UC}$$

$$\text{疾病繁殖成分} = -100 \times (EBV_{SCS} - \text{BASE}_{SCS}) / SD_{SCS}$$

$$\begin{aligned} \text{乳房成分} = & 0.17 \times EBV_{MS} + 0.83 \times (0.18 \times EBV_{rua} + 0.09 \\ & \times EBV_{ruh} + 0.10 \times EBV_{ucl} + 0.24 \times EBV_{ud} + 0.07 \\ & \times EBV_{ftp} + (-0.22) \times EBV_{rtb} + (-0.10) \times EBV_{ftl}) \end{aligned}$$

ここで、 EBV_F は乳脂量の推定育種価、 SD_F は乳脂量の推定育種価の標準偏差、 EBV_P は乳タンパク質量の推定育種価、 SD_P は乳タンパク質量の推定育種価の標準偏差、 EBV_{FL} は肢蹄得率の推定育種価、 SD_{FL} は肢蹄得率の推定育種価の標準偏差、 SD_{UC} はの乳房成分の標準偏差、 EBV_{SCS} は体細胞スコア（以下、SCS とする）の推定育種価、 $BASE_{SCS}$ は 2005 年生まれの雌牛の推定育種価の平均値、 SD_{SCS} は SCS の推定育種価の標準偏差、 EBV_{MS} は乳器得率の推定育種価、 EBV_{rua} は前乳房の付着の推定育種価、 EBV_{ruh} は後乳房の高さの推定育種価、 EBV_{ucl} は乳房の懸垂の推定育種価、 EBV_{ud} は乳房の深さの推定育種価、 EBV_{ftp} は前乳頭の配置の推定育種価、 EBV_{rtb} は後乳頭の配置の推定育種価、 EBV_{ftl} は前乳頭の長さの推定育種価である。候補種雄牛は、 EBV をもたないことから、各形質の PA または GPI を使用して NTP を算出した。

4. 成分（形質）間の遺伝相関

産乳成分、耐久性成分および疾病繁殖成分間または各成分内の形質間の遺伝相関は、2011 年 8 月の種雄牛の推定育種価における成分間の相関係数および信頼度より推定した (Wall ら 2003)。産乳成分における EBV_F および EBV_P

間の遺伝相関推定値は、

$$\hat{r}_{F,P} = \frac{\sqrt{\sum R_F \sum R_P}}{\sum (R_F \times R_P)} \times r_{F,P}$$

である。ここで、 $\hat{r}_{F,P}$ は乳脂量および乳タンパク質量間の遺伝相関、 R_F および R_P はそれぞれ、 EBV_F および EBV_P に関する信頼度、 $r_{F,P}$ は種雄牛の EBV_F および EBV_P 間の相関係数である。各成分間、耐久性成分に含まれた体型各形質間の遺伝相関も同様の方法を使用して推定した。推定された遺伝相関は、0.99 から -0.99 の範囲に制限した。

5. 各成分および総合指数の遺伝分散

2 形質 (X と Y) の和の分散は、

$$\text{Var}[X + Y] = \text{Var}[X] + \text{Var}[Y] + 2 \times \text{Cov}[X, Y]$$

である。ここで、 $\text{Var}[X+Y]$ 、 $\text{Var}[X]$ および $\text{Var}[Y]$ はそれぞれ、X と Y の和、X および Y の分散、 $\text{Cov}[X, Y]$ は X と Y の間の共分散を表す。NTP における各成分は、あらかじめ標準偏差で除されていることより、分散を 1 と仮定できる。このとき、産乳成分の遺伝分散推定値 $\hat{\sigma}_{PC}^2$ は、各形質の重み $w_{PC}' = (27 \ 73)$ を使用し、

$$\hat{\sigma}_{PC}^2 = 27^2 + 73^2 + 27 \times 73 \times 2 \times \hat{r}_{F,P}$$

である。耐久性成分および NTP の分散も同様の方法で推定した。

6. 各形質の信頼度

日本国内の種雄牛の遺伝評価では、泌乳形質について乳量、体型形質について決定得点のみの信頼度が公表されている。そこで、各種雄牛について、遺伝評価値の推定に使用された娘牛数が泌乳形質内および体型形質内でそれぞれ等しいと仮定し、各形質の信頼度を推定した。 EBV_M および EBV_F の信頼度をそれぞれ、 R_M および R_F とした。

Table 1 Heritabilities and genetic variances¹ used in this study

Trait	Heritability	Genetic variance
Milk	0.484	717,036
Fat	0.469	924.8
Protein	0.424	512.1
Somatic cell score	0.082	0.188
Overall conformation score	0.27	0.608
Overall feet and leg score	0.13	0.471
Overall udder score	0.20	0.635
Fore udder attachment	0.21	0.190
Rear udder height	0.26	0.244
Udder support	0.20	0.213
Udder depth	0.46	0.369
Front teat placement	0.38	0.408
Rear teat placement	0.31	0.430
Teat length	0.40	0.502

¹ Heritabilities and genetic variances were cited from Interbull 2013

$$R_M = \text{ENP}_{\text{Sire}} / (\text{ENP}_{\text{Sire}} + \alpha_M)$$

ここで、 $\text{ENP}_{\text{Sire}} (= (R_M \times a_M) / (1 - R_M))$ は種雄牛に関する有効後代数、 a_M は乳量に関する分散比を表す。分散比は $a = (4 - h^2) / h^2$ より計算した。EBV_M および EBV_F に関する有効後代数が等しいとき、乳脂量に関する分散比 α_F を使用し、

$$R_F = \text{ENP}_{\text{Sire}} / (\text{ENP}_{\text{Sire}} + \alpha_F)$$

である。EBV_P および EBV_{SCS} の信頼度 R_P および R_{SCS} も同様に推定した。また、体型形質 (EBV_{FL}, EBV_{MS}, EBV_{tua}, EBV_{ruh}, EBV_{ucl}, EBV_{ud}, EBV_{ftb}, EBV_{ftl} および EBV_{rtp}) の信頼度は、決定得点の信頼度および各形質の分散比を使用し、体型各形質の ENP_{Sire} が形質間で等しいと仮定して R_F と同様の手順で推定した。各形質の遺伝率は、National GES information (Interbull 2013) より引用した (表 1)。

7. 各成分の信頼度

2 形質を含む成分における各形質の重み w について、 $w' = (w_1, w_2)$ と表す。産乳成分に関する遺伝共分散行列 G_{PC} と推定育種価に関する分散共分散行列 C_{PC} について、

$$G_{PC} = \begin{bmatrix} \sigma_F^2 & \sigma_{F,P} \\ \sigma_{F,P} & \sigma_P^2 \end{bmatrix},$$

$$C_{PC} = \begin{bmatrix} R_F \times \sigma_F^2 & \sqrt{R_F \times R_P} \times \sigma_{F,P} \\ \sqrt{R_F \times R_P} \times \sigma_{F,P} & R_P \times \sigma_P^2 \end{bmatrix}$$

と表す (Togashi ら 2012)。ここで、 σ_F^2 および σ_P^2 はそれぞれ乳脂量および乳タンパク質量に関する遺伝分散、 $\sigma_{F,P}$ は両形質間の遺伝共分散である。このとき、産乳成分の信頼度 R_C は、

$$R_C = w' C w / w' G w$$

である。前述の仮定より、産乳成分の要素 σ_F^2 および σ_P^2 が 1 のとき、

$$\hat{G}_{PC} = \begin{bmatrix} 1 & \hat{r}_{G_{F,P}} \\ \hat{r}_{G_{F,P}} & 1 \end{bmatrix},$$

$$\hat{C}_{PC} = \begin{bmatrix} R_F \times 1 & \sqrt{R_F \times R_P} \times \hat{r}_{G_{F,P}} \\ \sqrt{R_F \times R_P} \times \hat{r}_{G_{F,P}} & R_P \times 1 \end{bmatrix},$$

および $w_{PC}' = (27 \ 73)$ より、 $\hat{R}_{PC} = w_{PC}' \hat{C}_{PC} w_{PC} / w_{PC}' \hat{G}_{PC} w_{PC}$ を推定した。耐久性成分および NTP の信頼度も同様の方法で推定した。

8. 総合指数の信頼幅

候補種雄牛の NTP の信頼幅 CR_{NTP} は、上記の方法で推定された信頼度および遺伝分散を使用し、以下の式より推

定した。

$$\widehat{CR}_{NTP} = \sqrt{(1 - \hat{R}_{NTP}) \times \hat{\sigma}_{NTP}^2}$$

ここで、 \hat{R}_{NTP} は候補種雄牛の NTP の信頼度推定値、 $\hat{\sigma}_{NTP}^2$ は NTP の遺伝分散推定値である。

9. 将来の総合指数による序列

日本国内のホルスタイン種の遺伝的改良は、凍結精液の生産本数を考慮すると約 40 頭の種雄牛が必要とされることより、NTP による序列の上位 40 頭の利用が推奨されている (家畜改良事業団 2014b)。そこで、2010 年から 2014 年 2 月までの間に公表された EBV-NTP₄₀ に対し、直線回帰を使用し、将来の EBV-NTP₄₀ を予測するための回帰式を推定した。

$$\text{EBV-NTP}_{40} = a + bx$$

ここで、 a は切片、 b は回帰係数、 x は 2010 年 8 月をゼロとし、月単位で表した評価時期である。例えば、 x が 2014 年 8 月であれば、 $x = 4 \times 12 + 8 = 50$ である。

10. 検証方法

検証は、2010 年の後代検定に参加した 185 頭の候補種雄牛のうち、2010 年 8 月の遺伝評価において両親の遺伝評価値に欠測がなく、NTP の PA が計算可能であった候補種雄牛 (70 頭)、および 2010 年 8 月に発表された GPI が得られた候補種雄牛 (十勝家畜人工授精所所有の候補種雄牛のうち 13 頭) を対象とした。候補種雄牛が PA と GPI の両方をもつ場合、GPI のみを使用した。PA-NTP2010 または GPI-NTP2010 およびそれらの信頼度から、2014 年において EBV-NTP₄₀ 以上になる確率、すなわち、 P_{40} を推定した。PA-NTP2010 と GPI-NTP2010、 P_{40} および 2014 年 8 月に家畜改良センターより公表された NTP (以下、EBV-NTP2014 とする) による種雄牛の序列を比較した。 P_{40} 推定のために使用する EBV-NTP₄₀ は、本来 2010 年以前の EBV-NTP₄₀ から推定した回帰式を使用すべきであるが、2010 年に遺伝評価方法および NTP の重みが大きく変更されたことから、2010 年 2 月から 2014 年 2 月までの EBV-NTP₄₀ より推定した回帰式を使用した。

結果および考察

1. 遺伝相関推定値

産乳成分に含まれた乳脂量および乳タンパク質量間の遺伝相関推定値は、0.74 であり、他の報告 (河原ら 1996; 萩谷ら 2002) と比較し、妥当な範囲で推定された。肢蹄と乳房成分間の遺伝相関は 0.30 であった。分析に使用したパラメータについて、乳房成分に含まれた形質間の遺伝相関推定値を表 2 に、各成分間の遺伝分散および遺伝相関推定値を表 3 に示した。

2. 将来の総合指数による序列

2010 年から 2014 年までの EBV-NTP₄₀ の推移を図 2

Table 2 Estimated genetic correlations among udder traits

Trait	Genetic correlation						
	2	3	4	5	6	7	8
1 Overall udder score	0.99	0.95	0.30	0.86	0.41	0.26	-0.02
2 Fore udder attachment		0.70	0.09	0.87	0.30	0.12	0.00
3 Rear udder height			0.28	0.65	0.18	0.12	0.10
4 Udder support				0.13	0.13	0.65	0.18
5 Udder depth					0.23	0.11	0.01
6 Front teat placement						0.65	-0.16
7 Rear teat placement							-0.17
8 Teat length							

Table 3 Estimated genetic correlations among components¹ of NTP²

Trait	Genetic variance	Genetic correlation	
		Durability component	Disease and reproduction component
Production component	8975	0.44	-0.20
Durability component	8212		0.15
Disease and reproduction component	10000		

¹ Composite traits included in NTP

² Nippon Total Profit index

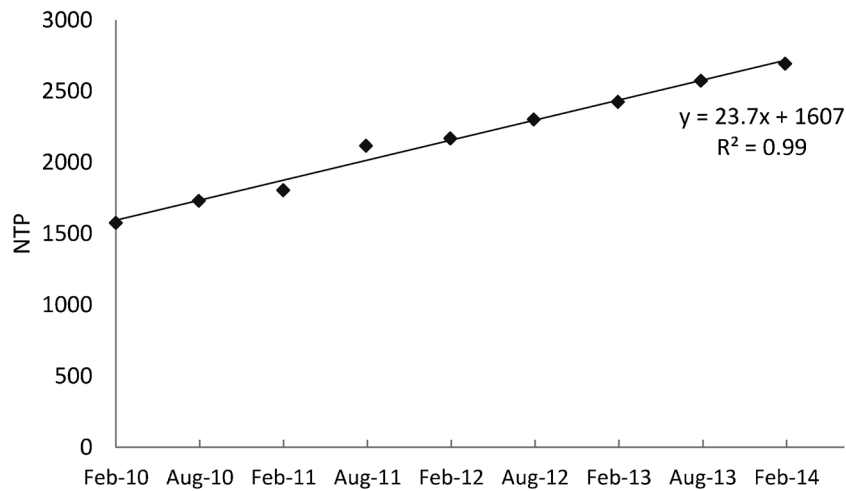


Figure 2 Trend of top 40 bull's Nippon Total Profit index (NTP).

に示した。2014年2月における上位40位の種雄牛のEBV-NTPは2694であり、EBV-NTP上位40頭の下限值の上昇量は約284 (23.7×12)であった。EBV-NTP₄₀が直線的に増加したことは、国内種雄牛の遺伝的能力が確実に上昇したことを意味する。回帰直線に関する決定係数が0.99と高い値であったことは、将来におけるEBV-NTP₄₀が推定可能であることを示唆した。NTPの重み付けあるいは評価モデルが大幅に変更された場合、EBV-NTP₄₀を推定するための回帰係数および信頼度推定に使

用する遺伝的パラメータを再推定する必要がある。

3. 検証結果

2010年の後代検定に参加した185頭の候補種雄牛は、2010年8月の国内または国際評価よりすべての父牛のEBV-NTP2010が判明した。いっぽう、2010年8月に発表された牛群検定参加牛のうちEBV-NTP上位1000位までの雌牛リストに含まれ、EBV-NTP2010が判明した母牛は70頭であった。候補種雄牛の母牛は、138頭が国内、43頭が米国および4頭がカナダの登録番号を有し

た。海外の登録番号をもつ母牛は、海外からの輸入授精卵によって生産された候補種雄牛の母である。国内の登録番号をもつ138頭のうち、68個体は上記のリストに含まれなかった。候補種雄牛生産のための計画交配または若種雄牛の選択は、主に2008年から2009年の遺伝評価値を参考にすると推察する。2008年2月から2009年12月までに雌牛上位1000位までのリストに含まれた雌牛はのべ2278頭であったが、2010年の候補種雄牛の母のうち、それらのリストに含まれた雌牛を母にもつ候補種雄牛は72頭であった。すなわち、国内の登録番号をもつ個体を母にもつ138頭のうち、66頭の母は雌牛上位1000位までのリストに含まれなかった。これらの多くは、EBV-NTPが雌牛上位1000位に満たなかった個体であると推察した。候補種雄牛の母となる個体は、EBV-NTPが高い雌牛の中から、近親交配を回避しやすい個体、体型や繁殖性などの一部の形質の改良に特化した個体など、特色のある候補種雄牛の生産を期待され、選抜される。しかしながら、候補種雄牛の生産において、種雄牛生産、受精卵採取または交配相手の指定について雌牛を所有する酪農家の同意を得られない、受精卵を回収できない、雄個体が得られない、死産などの理由により候補種雄牛を得られないことがある。そのような状況において、健康な雄牛が生産され、

一次選抜までに正常な凍結精液を生産できる候補種雄牛を185頭以上確保するためには、多くの雌牛の情報が必要になると推察する。牛群検定参加牛のうちEBV-NTP上位1000位までのリスト（家畜改良センター2014）は、優れた後代生産のための情報を共有するために公表されているが、優れた候補種雄牛を確実に生産するためには、より多くの雌牛に関する情報が公表されることが望ましい。

2010年8月の遺伝評価においてPA-NTP2010またはGPI-NTP2010が得られた72頭の候補種雄牛のうち、2014年8月に遺伝評価値が公表された44種雄牛について、PA-NTP2010、GPI-NTP2010、信頼度、 P_{40} およびEBV-NTP2014の基礎統計量を表4に示した。候補種雄牛について、EBV-NTP2014の平均値（2684）との比較において、GPI-NTP2010の平均値（1278）は低かった。PA-NTP2010の信頼度は、0.27から0.37の範囲で推定された。GPIについて、各個体の信頼度が公表されていないことから、家畜改良センター（2014）発表の各形質の実現信頼度を使用してGPI-NTP2010の信頼度を推定した。すべて種雄牛のGPI-NTP2010の信頼度は等しい（0.36）と仮定した。

PA-NTP2010およびGPI-NTP2010と P_{40} 間の順位相関係数は0.999であり、両者の序列は近似した（表5）。 P_{40}

Table 4 Mean, SD, minimum and maximum of NTP¹, reliability and P_{40} ² (N = 44)

Trait	N	Mean	SD	Minimum	Maximum
PA-NTP2010 ³	32	2177	431	1397	3286
GPI-NTP2010 ⁴	12	1278	534	731	2141
Reliability of PA-NTP2010	32	0.31	0.02	0.27	0.37
Reliability of GPI-NTP2010	12	0.36	—	—	—
P_{40}	44	0.19	0.19	0.01	0.80
EBV-NTP2014 ⁵	44	2684	633	1558	4106
EBV-NTP2014 with PA-NTP2010	32	2778	630	1609	4106
EBV-NTP2014 with GPI-NTP2010	12	2433	592	1558	3415

¹ Nippon Total Profit index

² Probability that a candidate bull will be ranked in top 40 bulls in the list of NTP in August 2014

³ Parent average estimated using genetic evaluation in August 2010

⁴ Genomic evaluation estimated in August 2010

⁵ NTP published by National Livestock Breeding Center in August 2014

Table 5 Rank correlations between indices for selection and EBV-NTP¹2014² (N = 44)

Trait	Rank correlation
NTP2010 ³	P_{40} ⁴ 0.999
NTP2010	EBV-NTP2014 0.506
P_{40}	EBV-NTP2014 0.508

¹ Nippon Total Profit index

² NTP published by National Livestock Breeding Center in August 2014

³ NTP estimated by parent average or genomic pedigree index in August 2010

⁴ Probability that a candidate bull will be ranked in top 40 bulls in the list of NTP in August 2014

と EBV-NTP2014 間の順位相関係数は、PA-NTP2010 と EBV-NTP2014 間のそれらより若干 (0.002) 高いが、PA-NTP2010 および GPI-NTP2010 と P_{40} 間の序列が近似したことから、顕著な差は認められなかった。VanRaden ら (2009) は、北米のホルスタイン種の種雄牛における 27 形質について PA と GPI の推定値の信頼度を比較し、GPI の信頼度が PA のそれらより 0.05 から 0.38 の範囲で高いことを指摘した。わが国においても、GPI による NTP の信頼度は従来の遺伝評価値の信頼度より高いことが報告されている (家畜改良センター 2014) が、本研究における PA-NTP2010 と GPI-NTP2010 間の平均信頼度の差異は 0.05 と小さかった。候補種雄牛は、PA にもとづいて生産され、誕生した個体から得た毛根による SNP 検査を実施した後、すなわち、生後数ヶ月後に GPI を得る。後代検定の一次選抜において、各家畜人工授精団体は、後代検定候補種雄牛の頭数枠、飼養施設の収容可能頭数、候補種雄牛購入費用と雄仔牛の生産状況を確認し、将来において高い遺伝評価値が期待できる個体を優先的に確保する。また、優れた雌牛によって生産された種雄牛は、他者との競合などにより、種雄牛の誕生直後、すなわち、GPI が判明する前に選抜を迫られることが多い。したがって、後代検定の一次選抜の段階では、PA のみをもつ個体と GPI をもつ個体が混在する。本研究において、PA-NTP2010 および GPI-NTP2010 と P_{40} 間に顕著な差は認められなかった。このことは、PA-NTP2010 と GPI-NTP2010 間の信頼度の差が小さかったこと、および本研究における候補種雄牛間の GPI-NTP2010 の信頼度を一定と仮定せざるを得なかったことが影響したと推察した。しかしながら、PA と GPI による推定値の信頼度の差が大きくなった場合には、信頼度の違いを考慮できる P_{40} が理論的に優れていると考える。GPI の信頼度は、SNP 検査済みかつ後代検定による遺伝評価値をもつ参照集団に含まれる個体数の増加にともなって高まることが指摘されている (VanRaden 2009) ことから、参照集団に含まれる個体数の増加により、GPI の信頼度向上が期待される。各個体のゲノム情報を含む遺伝評価値に関する信頼度は、国際評価値を対象とした信頼度の推定方法が提案 (Sullivan 2013) されるなど、ゲノム評価における関心事のひとつである。今後、国内の GPI の信頼度について個体ごとに適切な信頼度が推定されることが期待される。将来、参照集団の拡大によって信頼度が向上するとともに、各種雄牛の GPI の信頼度が公表されることにより、 P_{40} の優位性が高まると推察する。

本研究では、候補種雄牛における遺伝評価値の信頼度の違いを考慮した後代検定一次選抜法を提案した。現在のわが国における後代検定の一次選抜では、PA のみをもつ個体と GPI をもつ個体が混在するが、今後、PA と GPI 間の信頼度の差が拡大すると推察する。このことより、本研究で提案した一次選抜法が有効になると考える。

謝 辞

本研究の検証作業において、協力、助言いただいた株式会社十勝家畜人工授精所の柳田社彦氏に深謝の意を表す。

文 献

- 萩谷功一, 鈴木三義, 河原孝吉, Pereira JAC, 土門幸男, 鶴田彰吾, Misztal I. 2002. ホルスタイン集団における生涯産乳形質および初産形質における遺伝率と遺伝相関の推定. 日本畜産学会報 **73**, 1-8.
- International Bull Evaluation Service (Interbull). 2013. Description of National Genetic Evaluation Systems for dairy cattle traits as applied in different Interbull member countries. International Bull Evaluation Service, Uppsala, Sweden ; [Cited 12 November 2013]. Available from URL : http://www-interbull.slu.se/national_ges_info2/framesida-ges.htm
- 河原孝吉, 池内 豊, 鈴木三義. 1996. ホルスタイン種牛集団における産乳と体型形質および長命性の遺伝的パラメータ. 日本畜産学会報 **67**, 463-475.
- 家畜改良センター. 2010. ホルスタイン種牛評価結果: 国内雌牛 2010 年 8 月. 独立行政法人家畜改良センター, 福島県.
- 家畜改良センター. 2014. ゲノミック評価の検証. 独立行政法人家畜改良センター, 福島県 ; [Cited 14 April 2014]. Available from URL : <http://www.nlbc.go.jp/pdf/iden/gtest141.pdf>
- 家畜改良事業団. 2010c. 乳用種雄牛後代検定推進事業平成 22 年度候補種雄牛名簿 (前期). 家畜改良事業団発行, 東京都.
- 家畜改良事業団. 2010d. 乳用種雄牛後代検定推進事業平成 22 年度候補種雄牛名簿 (後期). 家畜改良事業団発行, 東京都.
- 家畜改良事業団. 2010a. 乳用種雄牛評価成績 2010—I. 家畜改良事業団発行, 東京都.
- 家畜改良事業団. 2010b. 乳用種雄牛評価成績 2010—8 月. 家畜改良事業団発行, 東京都.
- 家畜改良事業団. 2011a. 乳用種雄牛評価成績 2011—2 月. 家畜改良事業団発行, 東京都.
- 家畜改良事業団. 2011b. 乳用種雄牛評価成績 2011—8 月. 家畜改良事業団発行, 東京都.
- 家畜改良事業団. 2012a. 乳用種雄牛評価成績 2012—2 月. 家畜改良事業団発行, 東京都.
- 家畜改良事業団. 2012b. 乳用種雄牛評価成績 2012—8 月. 家畜改良事業団発行, 東京都.
- 家畜改良事業団. 2013a. 乳用種雄牛評価成績 2013—2 月. 家畜改良事業団発行, 東京都.
- 家畜改良事業団. 2013b. 乳用種雄牛評価成績 2013—8 月. 家畜改良事業団発行, 東京都.
- 家畜改良事業団. 2014b. 乳用種雄牛評価成績 2014—2 月. 家畜改良事業団発行, 東京都.
- 家畜改良事業団. 2014c. 乳用種雄牛評価成績 2014—8 月. 家畜改良事業団発行, 東京都.
- 家畜改良事業団. 2014a. 乳用種雄牛評価成績のデータ CD-ROM の頒布について. 家畜改良事業団, 東京都 ; [Cited 9 April 2014]. Available from URL : http://liaj.lin.gr.jp/cd_hanpu/cd_hanpu.htm
- Miglior F, Muir BL, Van Doormaal BJ. 2005. Selection indexes in Holstein Cattle of various countries. *Journal Dairy Science* **88**, 1255-1263.
- Sullivan PG. 2013. GMACE Reliability Approximation.

Interbull Bulletin **47** ; [Cited 29 September 2014]. Available from URL : <https://journal.interbull.org/index.php/ib/article/view/1283/1355>

Togashi K, Hagiya K, Osawa T, Nakanishi T, Yamazaki T, Nagamine Y, Lin CY, Matsumoto, Aihara M, Hayasaka K. 2012. Lactation persistency as a component trait of the selection index and increase in reliability by using single nucleotide polymorphism in net merit defined as the first five lactation milk yields and herd life. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* **25**,

1073-1082.

VanRaden PM, Van Tassell CP, Wiggans GR, Sonstegard TS, Schnabel RD, Taylor JF and Schenkel FS. 2009. Invited review : Reliability of genomic predictions for North American Holstein bulls. *Journal of Dairy Science* **92**, 16-24.

Wall E, Brotherstone S, Woolliams JA, Banos G and Coffey P 2003. Genetic Evaluation of fertility using direct and correlated traits. *Journal of Dairy Science* **86**, 4093-4102.

Method of pre-selection using genetic evaluations and reliability for progeny test of Holstein bulls

Koichi HAGIYA¹, Takeshi YAMAZAKI¹, Hisato TAKEDA² and Mitsuyoshi SUZUKI³

¹ National Agriculture and Food Research Organization, Hokkaido Region, Toyohira, Sapporo 062-8555, Japan

² National Agriculture and Food Research Organization, Institute of Livestock and Grassland, Tsukuba 305-0901, Japan

³ Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Department of Life Science and Agriculture, Obihiro 080-8555, Japan

Corresponding : Koichi HAGIYA (fax : +81 (0) 11-859-2178, e-mail : hagiya@affrc.go.jp)

We discussed the method of pre-selection of a progeny test (PT) of Holstein bulls. We used genetic evaluations (GE) of all bulls for milk, fat, protein, somatic cell score and type traits published in August 2011. GEs of proven PT bulls from February 2010 to August 2014, and those of top 1000 NTP (Nippon Total Profit index) cows from February 2008 to August 2010 were used. We also used pedigree records of 185 candidate bulls of PT in 2010. Genetic correlations and variances among traits contained in NTP were estimated by using GEs from 1643 bulls in August 2011. We estimated probabilities (P_{40}) that candidate bulls would be ranked in future top 40 NTP list. Parent average (average GE of bull's sire and dam) or GPI (genomic evaluation), and P_{40} of 44 bulls enrolled in the progeny test in 2010 were estimated using the genetic evaluation in August 2010. When NTPs for pre-selection of the PT contains GEs with different reliabilities (e.g. PAs and GPIs), P_{40} is a useful tools to select candidate bulls before the PT.

Nihon Chikusan Gakkaiho 86 (1), 29-36, 2015

Key words : dairy cattle, candidate bull, pre-selection, progeny test.