

豚の系統造成における線形計画による選抜と制限付きBLUP法による選抜の比較

誌名	日本養豚学会誌 = The Japanese journal of swine science
ISSN	0913882X
著者	家入, 誠二 佐藤, 正寛 村上, 忠勝
巻/号	33巻1号
掲載ページ	p. 14-18
発行年月	1996年3月

豚の系統造成における線形計画による選抜と 制限付き BLUP 法による選抜の比較

家入誠二・佐藤正寛*・村上忠勝

熊本県農業研究センター畜産研究所・*農林水産省畜産試験場

(1995年9月8日受付)

要約 形質の遺伝的改良量に希望改良量による制限を加えた制限付き BLUP (RBLUP) による選抜方法と希望改良量による制限のもとで総合育種価を最大にする種畜利用頻度と推定育種価 (EBV) に基づいた線形計画 (LP) による選抜の効果を比較した。また、遺伝的改良量に制限を加えたこれらの選抜の効果を多形質のアニマルモデルの BLUP (MBLUP) に基づく総合育種価 (H) の予測量による選抜の効果と比較した。考慮した形質は、1日平均増体重 (DG) と背脂肪の厚さ (BF) である。選抜は、熊本県で造成された系統豚の第1世代の雄30頭から10頭を選抜することを仮定した。得られた結果の概要は次のとおりである。1) RBLUP では、母数効果の推定が出来ず、BF と DG の EBV は全ての個体で一定の比率であった。2) LP により選抜された個体は、RBLUP で選抜された個体の80%、MBLUP の H の予測量で選抜された個体の70%であった。3) 遺伝的改良量に制限を加えた RBLUP と LP の、選抜された個体の H の予測量の平均値は、制限を加えなかった MBLUP の H の予測量で選抜した方法のそれぞれの各々55%と71%であった。以上の結果から、LP による選抜は RBLUP と同等であり、遺伝的改良量に希望改良量による制限を加える必要がある場合、推定育種価に基づいた LP による選抜方法は豚の系統造成の種畜評価に有効と考えられた。

緒言

わが国の豚の系統造成においては、改良目標に基づいた選抜指数式¹⁰⁾が用いられており、BLUP法³⁾により求められた推定育種価 (EBV) を用いた種畜の総合評価による選抜はほとんど実施されていない。最近、家入^{5,6)}は総合育種価 (H) の予測量による選抜と育種計画のために、わが国の生産環境における豚の改良形質の経済価を求めたが、形質によっては経済的評価が困難な場合や形質の測定値の利益に対する回帰が非線形性を示すという問題もあった。このような問題に対し、佐藤ら⁹⁾は制限付き BLUP によるパソコン用プログラムを用意し、広岡ら⁴⁾は、FAMULA¹⁾が提唱した線形計画による方法を用い、期待後代差に基づいた肉用牛の種雄牛の選抜方法を

示した。また、FAMULA¹⁾は、線形計画による選抜と制限付き選抜指数式を比較し、前者の方が選抜反応のばらつきが小さくなることを示したが、線形計画による選抜と制限付き BLUP による選抜を比較した報告はない。

そこで、本研究では、佐藤⁹⁾の多形質のアニマルモデルの BLUP プログラム"MBLUP2"を用い、形質の遺伝的改良量に希望改良量による制限を加えた育種価の制限付き BLUP (RBLUP) による選抜方法と、希望改良量による制限のもとで総合育種価を最大にする種畜利用頻度と推定育種価 (EBV) に基づいた線形計画 (LP) による選抜方法を比較した。また、遺伝的改良量に制限を加えたこれらの方法を多形質のアニマルモデルの BLUP (MBLUP) に基づく総合育種価 (H) の予測量による選抜結果と比較した。

A Comparison of the Selection with Linear Programming and Restricted Best Linear Unbiased Prediction for a Closed Herd Breeding of Swine.

S. IEIRI, M. SATOH* and T. MURAKAMI

Kumamoto Agricultural Research Center Animal Husbandry Research Institute, Koshi-matchi, Kumamoto-ken 861-11

* National Institute of Animal Industry, Tsukuba Norinckenkyudanchi, 305

材料および方法

分析には、熊本県で造成されたランドレース種系統豚「ヒゴサカエ 301」の育成豚の第1世代の雄30頭の一匹平均増体重 (DG) と背脂肪の厚さ (BF) を用いた。

選抜は、第1世代の雄30頭から10頭を選抜することを仮定した。MBLUPによる選抜では、総合育種価の予測量の順位により選抜した。形質の遺伝的改良量に希望改良量による制限を加えたRBLUPにおいては、制限されたEBVの順位により選抜した。希望改良量による制限のもとで総合育種価を最大にするLPによる選抜では、種畜の利用頻度の大きな個体から選抜した。

総合育種価 (H) は、割引経済価 (a) と育種価 (g) のベクトルの積和として、 $H = a \cdot g$ と表される。割引経済価は、肉豚での形質1単位の遺伝的変化がもたらす経済効率の変化量 (経済価) と、その遺伝子の発現頻度である累積割引総量の積⁶⁾ に評価期間の単位の補正係数を乗じたものである (表1)。なお、制限付きBLUPには、系統の造成開始時の希望改良量を用いた。

分析に用いた数学モデルは次のとおりである。

$$y_i = X_0 b_i + Z_0 u_i + e_i$$

ここで、 y_i : n個の観測値のi番目の形質の観測値のベクトル (n×1), b_i : i番目の形質のf個の母数効果のベクトル (f×1), u_i : i番目の形質の変量効果 (育種価) のベクトル (n×1), e_i : i番目の形質の誤差ベクトル (n×1), X_0 : 観測値と母数効果に対応づける生起行列 (n×f), Z_0 : 観測値と変量効果に対応づける生起行列 (n×n) を表す。 X_0 と Z_0 は、全ての形質に対して同一と仮定する。q形質の測定値を形質内個体の順に並べると、数学モデルは次のようになる。

$$y = Xb + Zu + e$$

ここで、

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_q \end{bmatrix}, b = \begin{bmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_q \end{bmatrix}, u = \begin{bmatrix} u_1 \\ \vdots \\ u_q \end{bmatrix}, e = \begin{bmatrix} e_1 \\ \vdots \\ e_q \end{bmatrix}$$

表1. 総合育種価の推定ための割引経済価 (DEV) と遺伝的改良量に制限を加えるための希望改良量

Table 1. Discounted economic values (DEV) to predict an aggregate genotype and desired gains for the restriction on genetic gains

traits	DEV	desired gains
Daily gain	28.0 Yen/g	90.0 g
Backfat thickness	-5,941.7 Yen/cm	-0.1 cm

$$X = I_q * X_0 \text{ および } Z = I_q * Z_0$$

$$\text{また, } E \begin{bmatrix} u \\ e \end{bmatrix} = 0, \text{ Var } \begin{bmatrix} u \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G & O \\ O & R \end{bmatrix}$$

を仮定する。

ここで、 $G = G_0 * A$, $R = R_0 * I_n$, A (n×n) は個体間の相対的血縁係数行列, G_0 および R_0 は形質間の遺伝分散共分散行列および環境分散共分散行列, I_n は階数 n の単位行列, * はクロネッカー積を表す。

多形質のアニマルモデルの育種価のBLUP (\hat{u}) は、HENDERSON³⁾の次の混合モデル方程式から求められる。

$$\begin{bmatrix} X' R^{-1} X & X' R^{-1} Z \\ Z' R^{-1} X & Z' R^{-1} Z + G^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{u} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X' R^{-1} y \\ Z' R^{-1} y \end{bmatrix}$$

ここで、 \hat{b} は母数効果の最良線形不偏推定値 (BLUE) のベクトルを表す。

制限付きBLUP (\hat{u}) は、ITOH と IWASAKI⁷⁾の次の式により求められる。

$$\begin{bmatrix} X' S X & X' S Z \\ Z' S X & Z' S Z + G^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{u} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X' S y \\ Z' S y \end{bmatrix}$$

ここで、

$$S = R^{-1} - R^{-1} Z G C (C' G Z R^{-1} Z G C)^{-1} C' G Z R^{-1}$$

C は $C = C_0 * I_n$ で、 C_0 は q×r のBLUPにr個の比例制限を加えるための行列である。

線形計画法による選抜方法は、対象とする形質の遺伝的改良量を制約条件とし、その条件のもとで総合育種価を最大にする線形計画法の解として個々の種畜の供用頻度 (f) を導き、それによって選抜するものである。q形質の改良量に制限を加え、n個体から10頭の種畜を選抜する場合の線形計画問題は次のとおりである。

目的関数 (z)

$$z = H f \rightarrow \text{最大}$$

制約条件

$$G f \geq Q$$

$$i' f = 1$$

$$0 \leq I f \leq 0.1$$

(1)

ここで、 \mathbf{H} は個体の総合育種価の n 次元ベクトル、 \mathbf{f} は個体の供用頻度の n 次元ベクトル、 \mathbf{G} は個体の推定育種価の $(q \times n)$ 行列、 \mathbf{Q} は希望改良量の q 次元ベクトル、 \mathbf{i} は n 次元の全ての要素が 1 のベクトルおよび \mathbf{I} は単位行列 $(n \times n)$ を示す。なお、式(1)において \mathbf{f} の上限を 0.1 としたのは、選抜される雄頭数を 10 頭としたためである。

遺伝的パラメーターは、「ヒゴサカエ 301」の育成豚の情報から、父内母内子による枝分れ分散分析によって推定したもので、DG と BF の遺伝率は各々 0.236, 0.451, 両形質間の表型相関と遺伝相関は各々 0.09, 0.18 であった。

結 果

MBLUP の \hat{H} の予測量, RBLUP および LP による選抜方法を比較すると, RBLUP で選抜された個体の 80%, MBLUP の \hat{H} の予測量で選抜された個体の 70% が, LP においても選抜された (表 2)。RBLUP と LP によって選抜された個体の \hat{H} の予測量の平均値は, 制限を加えなかった MBLUP のそれぞれの各々 55% と 71% であったが, MBLUP で選抜された個体の BF の EBV の平均値の符号は正であった (表 3)。RBLUP により推定した育種価は, すべての個体で DG と BF の比が一定に推定され (表 4), 改良目標に到達するための総合的な遺伝的能力を示した。また, RBLUP においては母数効果は推定されなかった。

考 察

多形質のアニマルモデルによる BLUP 法と制限付き BLUP 法を比較すると, 前者は, 母数効果の推定, 欠測値の取扱いにおいて優れているが, 総合育種価の推定のための形質の経済価が環境に対し不安定である等の問題^{5,6)}がある。一方後者は, 遺伝的改良量を制御できる利点はあるものの, 母数効果が推定不能であったり, 欠測値の処理に困難な場合がある。また, 改良目標の設定を誤れば, 経済的損失を招く恐れがあることも指摘されており²⁾, 今回の分析結果もこれらの結果と一致した。家畜改良の目的が経済的効率の向上にあるならば, 当然総合育種価の向上を目標とする選抜を選択すべきである。しかし, 形質によっては経済的価値が推定困難な場合や, 適正水準が明らかな場合があり, そのような場合には, 改良目標に基づいた選抜方法が有効である。豚の系統造成においても, ほとんどの場所で改良目標に基づいた選抜が実施されており, 制限付き BLUP による選抜が今後増加するものと考えられる。しかしながら, 制限付き BLUP の理論を理解するためには高度な数学的知識を必要とし⁴⁾, 育種価の制限にともなう様々な問題が発生する。いっぽう, 推定育種価と種畜の利用頻度を用いた線形計画による選抜は, 遺伝的改良量の制限にともなう問題もなく, 1 世代だけの評価ではあるが, 制限付き BLUP と比較しても, ほぼ同等の選抜結果を得ることができ, 総合育種価のロスも制限付き BLUP より少

表 2. 異なる選抜方法により選抜された若雄豚のリスト
Table 2. List of selected young boars in alternative selection methods

\hat{H} on MBLUP ¹⁾		RBLUP ²⁾		linear programing	
Number	ranking	Number	ranking	Number	frequency
841020	1	841076	1	841076	1.0
841011	2	841044	2	841044	1.0
841009	3	<u>841036</u>	3	841065	1.0
841076	4	841065	4	841020	1.0
841008	5	841020	5	<u>841064</u>	1.0
841065	6	<u>841064</u>	6	<u>841060</u>	1.0
841047	7	<u>841060</u>	7	841011	1.0
841044	8	841011	8	841047	1.0
841055	9	<u>841068</u>	9	841009	1.0
841077	10	841008	10	<u>841036</u>	0.9

¹⁾ Predicted aggregate genotype on multi-traits best linear unbiased prediction (BLUP). Restricted BLUP.

²⁾ Boars with underline are unselected ones in MBLUP.

表 3. 異なる選抜方法により選抜された個体の推定育種値と総合育種値 (H) の予測量の比較

Table 3. Comparison of estimated breeding values and predicted aggregate genotype (H) of selected animals in alternatives selection methods

selection methods	EBV		predicted H
	DG	BF	
	g	cm	Yen/head
Predicted H on MBLUP ¹⁾	18.50±11.03	0.06±0.16	510.64±303.17
RBLUP ²⁾	9.57±18.96	-0.10±0.17	279.11±513.67
Linear programming	12.85±17.58	-0.04±0.21	364.93±472.81

Average±standard deviation.

¹⁾ Multi-traits best linear unbiased prediction(BLUP)²⁾ Restricted BLUP.

表 4. 若雄豚の1日平均増体重 (DG) と背脂肪の厚さ (BF) の育種値の多形質の最良線形不偏推定量 (MBLUP) と制限付き最良線形不偏推定量 (RBLUP)

Table 4. Multi-traits best linear unbiased prediction (MBLUP) and restricted best linear unbiased prediction (RBLUP) of breeding values on daily gain (DG) and backfat thickness (BF) in young boars

Number of boars	MBLUP		RBLUP	
	DG	BF	DG	BF
	g	cm	g	cm
841020	37.17	0.13	20.32	-0.02
841011	34.83	0.21	9.67	-0.01
841009	23.58	0.33	-12.02	0.01
841076	21.06	-0.17	35.27	-0.04
841008	19.42	0.11	6.15	-0.01
841065	17.00	-0.07	22.48	-0.03
841047	15.25	0.12	1.26	0.00
841044	11.48	-0.19	29.90	-0.03
841055	3.49	0.04	-0.65	0.00
841077	1.75	0.12	-10.26	0.01

なかった。しかし、遺伝的改良量の制御については、数世代にわたる選抜によるコンピューターシミュレーションによって制限付き BLUP との違いを確認する必要があるだろう。

以上のことから、遺伝的改良量に制限を加える必要がある場合には、推定育種値と種畜の利用頻度を用いた線形計画による選抜は、豚の系統造成の種畜評価に有効と考えられた。

文 献

- 1) FAMULA, T.R.: Theor. Appl. Genet., **84**: 384-389, 1992.
- 2) GIBSON, J.P. and KENNEDY, B.W.: Theor. Appl. Genet., **80**, 801-805, 1990.
- 3) HENDERSON, C.R. and QUAAAS, R.L.: J. Anim. Sci., **43**, 1188-1197, 1976.
- 4) 広岡博之・野村哲朗・松本道夫: 日畜会報, **66**, 533-539, 1995.
- 5) 家入誠二: 日豚会誌, **31**: 1-7, 1994.

- 6) 家入誠二 : 日畜会報, **66** : 353-360, 1995.
- 7) ITOH, Y and IWASAKI, H. : Genet. Sel. Evol., **19** : 69-82, 1987.
- 8) QUAAS, R.L and HENDERSON, C.R : Restricted best linear unbiased prediction of breeding values : Mimeo, Cornell University, ITHAKA, 1976.
- 9) 佐藤正寛, 農林水産研究計算センター報告A, **26** : 61-127, 1990.
- 10) YAMADA, Y., K. YOKOUCHI and A. NISHIDA : Jap. J. Genetics, **50**, 33-41, 1975.

A Comparison of the Selection with Linear Programming and Restricted Best Linear Unbiased Prediction for a Closed Herd Breeding of Swine.

Seiji IEIRI, Masahiro SATOH* and Tadakatsu MURAKAMI

Kumamoto Agricultural Research Center Animal Husbandry Research
Institute, Koshi-matchi, Kumamoto-ken 861-11

* National Institute of Animal Industry, Tsukuba Norinkenkyudanchi, 305

“Restricted best linear unbiased prediction” (RBLUP) with genetic gains of traits restricted by desired levels and “linear programming (LP)”, which maximize an aggregate genotype (H) under the proportional restriction on genetic gains of traits, based on estimated breeding values (EBV) and frequency of mating were compared. And these selection methods with restricted genetic gains were compared with that for H based on multi-traits best linear unbiased prediction with an animal model (MBLUP). The traits considered were daily gain (DG) and backfat thickness (BF). Selection of the best ten from 30 boars in 1st generation of a closed herd of swine in Kumamoto was examined in alternative selection methods. The results obtained were summarised as follows : 1) The fixed effects were not estimated in RBLUP and RBLUP of breeding values were proportional in every boar. 2) Eighty percent of the boars selected by RBLUP, and 70% of the boars selected by MBLUP were selected also by LP. 3) The average of H in the boars selected by RBLUP and LP under the proportional restriction on genetic gains of traits were respectively 55% and 71% of H in the ones selected by H based on MBLUP. From these results, it is concluded that the selection method with LP based on EBV is equivalent to RBLUP and is useful for a closed herd in swine in case of need for restrictions on genetic gains of traits.

Jpn. J. Swine Science, **33-1** : 14-18

Key word : linear programming, restricted BLUP, multiple trait, animal model, closed herd of swine