— 短 報 —

豚の閉鎖群育種において血縁情報量が選抜の正確度
および育種価の改良量に与える影響

佐藤正寛・古川 力

農林水産省畜産試験場, 筑波農林研究団地 305

(1996 年 11 月 10 日受付)

緒 言

わが国における豚の系統造成等の閉鎖群育種では、種畜候補自身の記録やその全きょうだいの記録を用いた種畜評価がなされてきた¹⁾。しかし、近年では豚の系統造成においても、選抜候補と複雑な血縁関係にある個体の記録を利用して種畜評価を行う BLUP 法アニマルモデル²⁾が用いられるようになってきた。種畜評価にアニマルモデルを用いることは従来の選抜指数法に比べ、選抜の正確度が高まるという点で有効である³⁾。アニマルモデルでは、選抜候補の血縁個体の情報をより多く取り入れるほど選抜の正確度は高まるが、反面、血縁個体の情報量が増すにつれて演算に要する時間やそのコストが増加する⁴⁾。したがって、血縁記録の情報量と選抜の正確度との関係を明らかにすることは演算コストを節約する上で有用であると考えられる。

豚の閉鎖群育種における血縁個体の情報量と選抜の正確度との関係についてはコンピュータシミュレーションによる報告がある⁵⁾が、その関係を理論的に明らかにした例はない。本研究は、わが国で行われている豚の閉鎖群育種の規模に即した大きさの集団において、選抜候補やその全きょうだいの選抜候補の祖先の情報量と選抜の正確度ならびに育種価の改良量との関係を、家系指数選抜を用いて算出し、情報量として必要な世代数を明らかにした。

方 法

任意の育種集団において、表型分散および相加的遺伝

分散がそれぞれ σ_p^2 および σ_g^2 の 1 形質について、選抜候補の表型価 p_0 およびその血縁グループの表型価 $p_1, p_2, \dots, p_n$ を情報量として用いた選抜指数を、

$$I = b_0 p_0 + b_1 p_1 + b_2 p_2 + \dots + b_n p_n = \mathbf{b}' \mathbf{p}$$

とする。ここで、 $\mathbf{b}$ および $\mathbf{p}$ は選抜指数の係数 b_i および表型価 p_i のベクトルを表す。選抜候補の育種価 g_0 と I との相関を最大にする $\mathbf{b}$ は、

$$\mathbf{Pb} = \mathbf{g}$$

の解として得られる。ここで、 $\mathbf{P} = \text{var}(\mathbf{p})$, $\mathbf{g} = \text{cov}(\mathbf{p}, g_0)$ である。いま、各血縁グループごとに 1 回の記録が得られるものとする、行列 $\mathbf{P}$ の対角要素 $\{p_{ii}\}$ は、

$$\{p_{ii}\} = [1 + (n-1)h^2 r_w] / n \cdot \sigma_p^2 \dots \dots \dots (1)$$

で表される。ここで、 n は血縁グループの個体数、 r_w は血縁グループ内の血縁係数、 h^2 は選抜形質の遺伝率を表す。また、行列 $\mathbf{P}$ の非対角要素 $\{p_{ij}\}$ は、

$$\{p_{ij}\} = r_{ij} \sigma_g^2$$

となる。ここで、 r_{ij} は i 番目と j 番目の血縁グループ間の相加的血縁係数である。表型価を育種価と環境効果との和とすれば、ベクトル $\mathbf{g}$ の j 番目の要素 $\{g_j\}$ は、

$$\{g_j\} = r_{0j} \sigma_g^2$$

となる。ここで、 r_{0j} は選抜候補と j 番目の血縁グループとの相加的血縁係数を表す。このとき、 I と g_0 との相関(選抜の正確度) $R_{I g_0}$ は、

$$R_{I g_0} = (\mathbf{b}' \mathbf{P} \mathbf{b})^{1/2} / \sigma_g \dots \dots \dots (2)$$

で表される。また、選抜集団の世代あたりの育種価の改良量の期待値 $E(\Delta g)$ は、

$$E(\Delta g) = i R_{I g_0} \sigma_g \dots \dots \dots (3)$$

で表される。ここで、 i は標準選抜差を表す。

The Effect of Different Amounts of Information on Relatives Used for Family Selection Index on Accuracy and Expected Genetic Gain in a Closed Herd of Swine

Masahiro SATOH and Tsutomu FURUKAWA

National Institute of Animal Industry, Tsukuba Norinkenkyudanchi, 305

Key words : amount of information, family index selection, expected genetic gain, pigs

そこで、式(2)および(3)を用いて、遺伝率および選抜候補の血縁個体の情報量を変えたときの、 R_{ig0} および $E(\Delta g)$ を算出した。本研究では選抜候補の血縁個体として、父母、父方祖父母、母方祖父母など選抜候補の直系、およびそれらの全きょうだいを想定した。したがって、(1)式中、選抜指数に用いる血縁個体が選抜候補の直系の場合は、 $n=1$, $r_w=1$, それらの全きょうだいの場合は、 $n=(全きょうだい数-1)$, $r_w=0.5$ となる。繁殖集団の大きさは、雄10頭、雌50頭、一腹から得られる選抜候補は雄1頭、雌2頭とし、それらはすべて記録を持つものとした。遡る世代数は4世代(選抜候補の世代を1)とした。選抜候補およびその血縁個体の近交係数はすべて0、表型分散はすべての形質で1.0と仮定した。

実例として、文献値⁶⁾における1日平均増体重および背脂肪厚の遺伝率と表型分散の推定値に基づいて、選抜候補の血縁個体の情報量を変えたときの世代あたりの育種価の改良量の期待値を算出した。

結 果

遡る世代数と遺伝率および選抜の正確度との関係を図1aに示した。世代数=0は選抜候補自身の記録による個

体選抜、世代数=1は選抜候補とその全きょうだいの記録を用いた選抜指数を意味する。以下、世代数=tは選抜候補から数えてt世代遡った直系とその全きょうだいの記録を用いた選抜指数を意味する。遡る世代数が多い

図 1. 遺伝率を変化させた場合の、(1a) 選抜候補の祖先の情報と選抜の正確度との関係、(1b) 選抜候補の祖先の情報と育種価の期待改良量との関係 (凡例の数字は遺伝率を表す)。

表 1. 遺伝的パラメータおよび選抜候補の血縁個体の情報量を変えた場合の1日平均増体重と背脂肪厚の世代あたりの育種価の改良量の期待値

形 質	遺伝的パラメータ ^{a)} 世代	大ヨークシャー		ランドレース	
		群 1	群 2	群 1	群 2
1日平均増体重 (g)	平均	761.9	766.4	752.8	741.5
	表型分散	9029	6870	8782	7136
	遺 伝 率	0.16	0.37	0.21	0.26
	0	15.2 (100) ^{b)}	30.7 (100)	19.7 (100)	22.0 (100)
	1	17.5 (115)	33.3 (109)	22.3 (113)	24.6 (112)
	2	19.8 (130)	35.4 (115)	24.8 (126)	26.8 (122)
	3	20.4 (134)	35.7 (116)	25.3 (129)	27.3 (124)
背脂肪厚 (mm)	4	20.6 (135)	35.7 (116)	25.5 (129)	27.4 (125)
	平均	16.6	14.4	16.4	14.1
	表型分散	10.7	5.4	10.3	6.2
	遺 伝 率	0.54	0.33	0.41	0.36
	0	-1.77 (100)	-1.32 (100)	-0.77 (100)	-0.90 (100)
	1	-1.85 (105)	-1.41 (107)	-0.84 (110)	-0.98 (109)
	2	-1.91 (108)	-1.49 (113)	-0.90 (118)	-1.04 (116)
	3	-1.91 (108)	-1.50 (114)	-0.91 (119)	-1.05 (117)
	4	-1.91 (108)	-1.50 (114)	-0.91 (119)	-1.05 (117)

^{a)} 遺伝的パラメータは FERRAZ and JOHNSON⁶⁾ による。

^{b)} 個体選抜の育種価の改良量を100としたときの値。

ほど選抜の正確度は高まるものの、世代数が3世代以上になると選抜の正確度に大きな変化はみられなかった。遡る世代数を1世代増すことにより選抜の正確度が1%以上大きくなる世代数は、遺伝率が0.2以下の場合は3、遺伝率が0.3以上の場合は2であった。

遡る世代数と遺伝率および育種価の改良量の期待値との関係を図1bに示した。図1aと同様、世代数=0は選抜候補自身の記録による個体選抜、世代数=1は選抜候補とその全きょうだいの記録を用いた選抜指数を意味する。世代数=0のとき、遺伝率と育種価の改良量の期待値との関係は直線で表されるが、世代数が1以上の場合のそれは上に凸の曲線で表される。遡る世代数が0から2の範囲内では、それが増加するに従って育種価の改良量の期待値は増加した。しかし遡る世代数が2を越えると、育種価の改良量の期待値の増加は非常に小さい値となった。

実例として用いた1日平均増体重および背脂肪厚の遺伝率と表型分散の文献値と、これによって算出した1世代あたりの1日平均増体重および背脂肪厚の育種価の改良量の期待値を表1に示した。それぞれの形質について4通りのパラメータを用いて育種価の改良量の期待値を算出した。2世代まで遡った祖先の記録を利用した場合、1日平均増体重の育種価の期待改良量の増加率は個体選抜に比べて15~30%、背脂肪厚のそれは6~18%であった。しかし、それ以上遡った祖先の情報を利用して、1日平均増体重の育種価の期待改良量の増加率は5%以下、背脂肪厚のそれは1%以下であった。4世代分の記録に基づいて選抜を行ったときの世代あたりの育種価の期待改良量は、個体選抜に比べて1日平均増体重で5.0~5.8g、背脂肪厚で0.14~0.18mmであった。これらの値は個体選抜の期待改良量を1とした場合、1日平均増体重で16~35%、背脂肪厚で8~19%ほど高い値となった。

考 察

わが国における豚の閉鎖群育種では、近年、血縁個体の記録を利用して種畜評価を行う多形質のアニマルモデルが用いられるようになってきた。アニマルモデルは選抜の正確度を高める上で有効であるが、血縁個体の情報量の増加とともに演算時間や演算コストが増加する。したがって、選抜の正確度を高める上で血縁個体の最小限の必要情報量を把握することは、豚を効率的に育種改良する上で必要不可欠である。

豚の家系指数選抜による選抜の正確度に関する研究では、産子数の改良に関する研究⁷⁻⁹⁾および2世代分の血

縁個体の情報を用いた場合と個体選抜との比較研究¹⁰⁾などがある。一方、わが国で行われている豚の閉鎖群育種規模の集団における血縁個体の情報量と選抜の正確度との関係についてはコンピュータシミュレーションによる報告がある⁵⁾。これらの研究によれば、遺伝率の高い形質では2世代分のデータを用いれば十分な育種価の推定精度が得られるのに対し、遺伝率の低い形質では遡る世代数が多いほど育種価の推定精度は高まる傾向にある。本研究では遺伝率が高い場合は2世代分の記録、それが低い場合では3世代分の記録を用いることによって、高い選抜の正確度を得ることができた。これはシミュレーションによる報告を理論的に裏付けるものである。一方、育種価の期待改良量という観点からも同様の結果が示された。

本研究では、形質の表型分散はすべて1.0と仮定した。しかし、遺伝率が高くても表型分散が小さい場合には大きな改良量は期待できない。反面、遺伝率が低くても表型分散が大きい場合には大きな改良量が期待できる。そこで、文献値⁹⁾による遺伝率および表型分散に基づいて、1日平均増体重および背脂肪厚における育種価の期待改良量を算出した。表1は形質の表型分散が同じ場合には、遺伝率が小さいほど血縁記録を利用する効果が高まることを示している。また、形質の遺伝率が同じ場合には、表型分散が大きいほど育種価の期待改良量は大きくなるが、個体選抜の期待改良量を1とした場合の期待改良量の増加割合は表型分散の大きさにかかわらず一定である。

また本研究では、選抜候補およびその血縁個体の近交係数はすべて0であると仮定したが、系統造成等の豚の閉鎖群育種では世代がすすむにつれて近交係数が高まる。しかし、系統造成では一般に5~7世代の選抜により造成が完了するため、近交係数や血縁係数が極端に高まることはない。また、交配に供した雌が受胎しない場合や、一腹内のきょうだいの性比が偏ることで、期待通りの結果が得られないことがある。しかし、アニマルモデルによる選抜では全きょうだいの記録のみならず、半きょうだいの記録などの複雑な血縁記録が考慮される。この場合、選抜候補の血縁個体数が増加するために選抜の正確度はさらに高くなることが予想され、世代を遡る効果は減少することが予想される。したがって、遺伝率が高い場合は2世代分の記録、そうでない場合でも3世代分の記録を用いれば育種価の推定には十分な精度が得られると思われる。

さらに厳密な選抜の正確度を算出するためには、半きょうだいの記録を利用した場合や一腹から得られる選

抜候補豚の数を変えた場合の影響について検討する必要があると考える。

文 献

- 1) 阿部猛夫：日畜会報, **58**, 545-562, 1987.
- 2) HENDERSON, C.R.: in Proc. of Anim. Breed. Genet. Sym. in Honor of Dr. J.L. Lush. 10-41, A. S.A.S. and A.D.S.A., Champaign, Illinois, 1973.
- 3) BAMPION, P.R.: Pig News and Information, **13**, 125-129, 1992.
- 4) LONG, T., H. BRANDT and K. HAMMOND: Pig News and Information, **12**, 217-219, 1991.
- 5) 佐藤正寛・西田 朗：日畜会報, **61**, 902-906, 1990.
- 6) FERRAZ, J.B.S. and K. JOHNSON: J. Anim. Sci., **71**, 850-858. 1993.
- 7) AVALOS, E. and C. SMITH: Anim.Prod., **44**, 153-163. 1987.
- 8) SATOH, M. and A. NISHIDA: Anim. Sci. Technol. (Jpn.), **62**, 403-410, 1991.
- 9) TORO, M.A., L. SILIO, J. RODRIGANEZ and M.T. DOBAO, Anim. Prod., **46**, 79-85, 1988.
- 10) 佐藤正寛・西田 朗：日豚会誌, **27**, 36-40, 1990.