

経済的視点からの豚の育種計画法に関する研究

家入 誠二

(平成9年度東北大学博士論文より抜粋)

Breeding programmes for swine from the economic point of view

Seiji Ieiri

はじめに

家畜育種の一般的目的は、将来の生産環境において現状に比較してより優れた生産効率を生み出す家畜の新しい世代を得ることである。Hazel (1943) の選抜指数理論においては、この生産効率は、総合育種価(H)として示され、形質1単位の変化がもたらす経済的効率の変化量である経済価 (economic values) によって重みづけられた育種価 (g) の総和として現されている。

$$H = a'g$$

ここで、 a は経済価のベクトル、 g は育種価のベクトルである。

家畜育種の実践においてわれわれは、表型値の情報を基に家畜の育種価をより正確に推定し、生産効率の向上に対し遺伝的優位性 (genetic superiority) を持つ家畜を選抜し、これを有効に利用することによって最大の生産効率を達成することができる。その実現のためのシステムが育種計画と呼ばれている (Groen, 1992)。

育種計画の手順としては、生産方式の決定と生産目的の明確化、育種方法と品種の選択、選抜方法、遺伝的パラメータと(割引)経済価の推定、種畜評価法の構築、選抜基準の決定、集団の規模、交雑・交配計画および普及計画等が Harris ら (1984) によって示されている。形質の経済価は、家畜評価における経済的重み付け値としての利用だけでなく、このような育種計画における生産効率の尺度として用いられている。

改良形質の経済価は、評価ベースや評価の前提となる固定される生産要因(飼養頭数もしくは生産量)によっても異なる。一般に経済価は、農家における利益として計算される場合が多いが、農家の利益が国家の利益につながる場合もある。

Moav (1973) は、家畜改良の経済的評価が、国家あるいは農家といった評価ベースによって異なることを最

初に指摘した。また、この問題は、繁殖農家と肥育農家が分離するような場合には、農家の生産形態によっても生じてくる。このような問題に対し、長期的にはどの生産者の利益もゼロになるという考えに基づいた正常利潤 (normal profit) の概念を用いて、評価ベースや生産セクションの違いによってもたらされる利益効率の食い違いを補正する方法 (Brascampら, 1985) や Smithら (1986) の尺度変換 (rescaling) による方法が提唱されている。正常利潤の考え方によれば、遺伝的改良が一時的に特定の農家の利益につながったとしても、長期的視点に立てば、生産量の増加によって、その経済的評価は小さくなり、結果として遺伝的改良がもたらした利益は、生産者に還元されることになり、生産者の利益と国家・消費者の利益は一致する。

家畜の遺伝的優位性がもたらす利益を予測する上で問題となるものとして、家畜の評価選抜時点からその遺伝能力の発現までの時間的なズレの問題がある。家畜の遺伝的能力は、選抜された家畜が繁殖に用いられた瞬間から後代へと流れ、次々と商業生産家畜において発現する。しかも、その発現までの時間的ズレは、畜種によっては、乳牛の場合のように、父と母から後代への選抜経路間で著しく異なっている (Brascamp, 1978)。形質の経済価は、商業生産家畜における形質1単位の経済効率の変化量であるが、種畜の遺伝的改良量もたらす経済効率の変化量は、長期間の生産環境の中から生み出されるものである。正確な育種計画のためには、育種活動によって生まれた家畜の遺伝的優位性が、将来において生み出す利益を予測する必要がある。一般的に、育種活動から得られる利益は、投資額の増加にともない次第に減少してくるので、より正確に利益を予測できなければ、最適な育種計画を選択することはできない。しかし、未来の育種環境は不確実であり、予測が困難である。

選抜による利益反応の予測は、Lindhe (1968) と Petersen (1974) らによって始められ、Brascamp

(1978)によって確立された。彼らの方法は、商業生産家畜において発現する世代当たりの遺伝的改良量を、商業生産家畜に遺伝子を供給する世代間隔の異なる種畜の選抜経路毎に振り分け、それぞれの選抜経路における年当たりの遺伝的改良量とその後の数十年の生産活動においてもたらず利益を予測するものである。彼らの方法では、遺伝的改良と遺伝子の発現までの時間的な食い違いは、それに対する利率を用いて割引補正されている。しかし、多世代の選抜を考慮する場合には、近交係数の上昇や選抜にともなう遺伝分散の減少を考慮した育種計画の手法を確立する必要があるだろう。

選抜によって得られた遺伝的優位性が発現するまでの時間的ズレの問題とともに重要な問題は、改良された遺伝的能力の発現頻度の問題である。豚のように交雑種を商業生産に用いている場合、赤肉生産効率や肉質といった産肉形質と一腹産子数や乳能力といった繁殖能力に対する種畜の遺伝子の発現量には、品種間で大きな違いがある(家入, 1995)。種畜評価や育種計画においてはこれらのことも十分に考慮しなくてはならない。

このようなことから本稿では、不確実な将来の育種環境から、家畜の遺伝的優位性が生み出すトータルの経済的価値を予測し、経済的視点に立った豚の改良方向の決定と育種計画を行うための方策について述べるとともに経済的生産効率を育種計画に用いることによって生じる問題点について検討した。

1. 豚の諸形質の経済価値の推定

家畜育種が目標とする生産効率には2つの側面がある。1つは与えたエネルギーに対する畜産物の生産量として捉えた生物学的効率であり、もう一つは利益あるいは利益効率を最大にすることである。総合育種価の定義以後家畜育種で扱う生産効率とは後者を指してきたが、生産効率を与えたエネルギーあるいはタンパク質に対する生産されたタンパク質の量の比として生物学的に捉えることの重要性も提唱されてきた。しかし、生物学的効率には、そのみではすべての生産性に関わる要因を説明できない欠点がある。また、生物経済モデルを用いることにより、生物学的効率を経済的効率に変換可能である。このようなことから、家畜育種における生産効率としては、一般的に経済的効率が用いられている。

経済価値を求める方法としては、フィールド情報に基づいた重回帰分析による方法や生産モデルによる方法がある。わが国の豚の屠体形質の単位当りの価格は明確でなく、かつ形質によっては利益に対し非線形であるので、重回帰分析と生産モデルによる方法を組み合わせた2つの方法から、豚の諸形質の経済価値を推定した。

方法Ⅰは、生産モデルにフィールド情報を当てはめ、得られた個体毎の推定利益を目的変数とする重回帰分析を行い、利益のそれぞれの形質に対する偏回帰係数をその形質の経済価値とした。方法Ⅱは、同一のフィールド情報に対し、売上収入を目的変数とする重回帰分析を行い、得られた偏回帰係数を形質1単位の売上収入とし、生産モデルによるシュミレーションによって形質の経済価値を推定した。なお、形質が利益に対し非線形な関係にある形質に対しては、2次の項を含む重回帰式を形質で偏微分し、平均値で線形近似したものをその形質の線形の経済価値とした。

その結果、屠体形質の経済価値は、方法Ⅰ、Ⅱともに、背脂肪の厚さや枝肉重量の形質の値が大きかった。その他の形質では、産子数や正味飼料要求率の価値が大きく、育成率や事故率などの強健性に関する形質の価値も大きかった。方法Ⅰは、方法Ⅱに比較し、繁殖形質や強健性などの形質に対し対応が難しいと言う問題はあったものの、利益関数が非線形の場合には非線形の経済価値を推定できた(表1)。

2. 累積割引総量の推定(経済的選抜反応の予測)

わが国の交雑肉豚の生産は、昭和40年代に始まり、現在ではそのほとんどが3元あるいは4元の交雑肉豚である。系統間交雑により肉豚生産を行う場合、交雑の基礎となる(雑種母豚を生産する)いわゆる雌系統と、交雑肉豚の繁殖生産にはほとんど関与しないいわゆる雄系統では、その遺伝子の1単位の改良がもたらす経済的価値に大きな違いがある。このような条件下においては、農家水準において推定した形質の経済価値は、種畜における形質の改良の真の価値を示しているとは言えず、正確な種畜評価と育種計画のためには、その遺伝子頻度の発現量の違いによって形質の経済価値を補正する必要がある。このようなことから、3元交配を中心とするわが国の豚の育種構造における、それぞれの系統(選抜経路)からの産肉形質と繁殖形質への累積割引総量を、gene flow法により推定した。

A(♀)×B(♂)の1代雑種母豚にC(♂)を交配した3元交雑肉豚と{B(♀)×A(♂)}×C(♂)の3元交雑肉豚の比が約7:1の育種構造において、(A・B)C肉豚に対し、A雄の遺伝子は次世代のAの雌を通り、雑種母豚に流れ、その1年半後に3元肉豚に流れる。それに対し、Aの雌は雄より2半年早く3元肉豚に発現する。また、雌系のAおよびBの繁殖形質に関する遺伝子は、種畜の維持および増殖時とF₁母豚の分娩時に発現するが、雄系Cの遺伝子は種畜の維持および増殖時にのみ発現する。

Table 1. Economic values (Yen · unit⁻¹ · year⁻¹ · head⁻¹) of traits in basic situation.

| Traits | Unit | Economic values | | |
|-----------------------------------|-----------|-----------------|------|----------|
| | | Methods I | II | |
| Carcass traits | | | | |
| Carcass weight | linear | Kg | 414 | 365.3 |
| | quadratic | Kg | -12 | |
| Dressing percentage | | % | 158 | 162.9 |
| Back and loin length | linear | cm | -57 | -54.3 |
| | quadratic | cm | -1 | |
| Backfat thickness | linear | mm | -295 | -331.2 |
| | quadratic | mm | -41 | |
| CYBF ¹⁾ | | % | -39 | -41.7 |
| Daily gain stage | I | g | - | 4.3 |
| | II | g | - | 6.8 |
| | III | g | - | 15.6 |
| Days to market | linear | day | -86 | |
| | quadratic | day | -1 | |
| Net feed conversion ²⁾ | | Kg/Kg | - | -6,217.8 |
| Litter size | | head | - | 763.7 |
| Mortality stage | I | % | - | -87.7 |
| | II | % | - | -115.9 |
| | III | % | - | -179.0 |
| Interval from weaning to oestrus | | day | - | -82.2 |
| Age of first oestrus | | day | - | -3.6 |

¹⁾ Coefficient of variation on backfat thickness.

²⁾ Divided feed intake used production of protein by protein gain.

Table 2. Cumulative discounted expressions (40 half years) for meat production and reproduction traits per slaughtered pigs in the breedig structure for line crosses (head · half year · head⁻¹)

| Selection path | Meat production | | Reproduction | |
|-----------------------|-----------------|--------|--------------|--------|
| | 0.000* | 0.065* | 0.000* | 0.065* |
| Line A sire → progeny | 1.426 | 0.381 | 2.816 | 0.747 |
| | 1.632 | 0.516 | 3.175 | 0.979 |
| Line B sire → progeny | 1.594 | 0.499 | 2.763 | 0.849 |
| | 1.403 | 0.374 | 2.436 | 0.640 |
| Line C sire → progeny | 3.112 | 1.109 | 0.068 | 0.019 |
| | 2.664 | 0.764 | 0.068 | 0.020 |

*Discount rate.

種畜が利用されてから20年(40半年)の間に、貨幣価値の減少と、将来の育種目標の不確実性を考慮しながらそれぞれの経路から後代に流れ、産肉形質と繁殖形質に発現した種畜の遺伝子の累積割引総量は、雌系のAとBの繁殖形質に対する発現量が大きく、産肉形質への発現量は比較的小さく計算された。その逆に、雄系Cの産肉形質への発現量は大きく、繁殖形質への発現は非常に小さい。また、割引率6.5%の時のCDEは、0%時の約

1/3に割り引きされたが、産肉形質と繁殖形質への発現量の比率は変化はしていない(表2)。

3. コンピューターシミュレーションを用いた非線形利益関数のための選抜指数の比較

非線形利益関数を持つ形質に対しては、形質の集団平均値を用いた線形近似による選抜指数、作図法による最適選抜指数および非線形選抜指数など様々な方法が考案

されている。また、わが国の豚の育種現場で用いられている改良目標到達のための希望改良量に基づく選抜指数も、選抜対象形質に適正水準が存在する場合には、有効な選抜指数であると考えられるが、希望改良量による選抜指数は、総合育種価の向上を目的とする選抜指数と比較して、利益反応に損失が生じる場合があることが指摘されている (Gibson & Kennekdy, 1991)。しかし、わが国の育種環境は欧米におけるそれとは著しく異なり、豚の背脂肪厚のように、利益に対し非線形な形質の経済的重要度が著しく高い場合が多い。経済的な育種環境が異なれば、最適の選抜指数もまた異なることが予測される。

このようなことから、わが国の豚の系統造成を想定し、利益に対し線形な発育率と非線形な背脂肪の厚さを例に取り、BFの利益に対する非線形の程度が異なる3つの育種環境を想定し、非線形利益関数に利用可能な選抜指数をコンピュータシミュレーションによって比較した。比較された選抜指数は、1: 集団平均値による線形近似に基づいた選抜指数、2: 毎世代選抜指数をその世代の平均値によって段階的に補正した選抜指数、3-5: 選抜後の利益を最大にする選抜指数、6: 2次の選抜指数および希望改良量に基づく選抜指数である。選抜は、7世代実施するものとした。集団の規模は雄10頭雌50頭とし、1腹当たり雄1頭、雌2頭の育成豚が得られるものとした。その結果は次の通りである。1) 改良目標に基づく選抜指数は、経済的環境が変化しても、背脂肪の厚さを常に最適値に導いた。2) 総合育種価に対応した選抜指数は、背脂肪の厚さの相対的な経済価値の大きさによって改良方向が異なった。3) 多世代の選抜後の利益を最大にするための選抜指数の経済的選抜反応は、選抜による遺伝分散の減少によって理論値との食い違いが生じ、常に最大とはならなかった (図1)。4) 改良目標に基づく選抜指数の総合育種評価を目標とする選抜指数に対する経済的損失は、設定した改良目標と経済的育種環境の適合の程度に従属した (表3)。以上の結果から、非線形の総合育種価の改良量を最大にする最適の選抜指数は、育種環境によって異なることが示唆された。

4. 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

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が用いられており、BLUP法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。その1つの理由として形質の利益に対する非線形性があげられる。このような問題に対し、制限付きBLUPによる対応や線

形計画による選抜方法がある。

そこで、本研究では、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、累積割引総量で補正された経済価をそれぞれの形質の経済的重み付け値として用いた。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 (表4)。

5. 豚の閉鎖集団における多形質の多世代選抜を考慮した場合の育種計画の検討

遺伝的改良量は、集団に対し強い選抜圧をかけることによって増加するが、同時にそのことは、特定の遺伝的に優れた家系が選択される確率が高くなり、近交係数の上昇を招く場合がある。近交係数の上昇は、近交退化による経済的損失を招くだけでなく、遺伝分散の減少を通して、選抜反応をも減少させる。多世代の選抜を考慮した育種計画については、選抜後の世代の選抜反応とともに集団の近交度を正確に予測する必要がある。そこで、選抜にともなう連鎖不平衡によって生じる選抜下の相対的遺伝分散の減少を考慮して、豚の閉鎖集団における近交係数と選抜反応を予測するとともに異なる改良目標を持つ豚の閉鎖系統における最適の集団の規模について検討した。

5. 1. 豚の閉鎖集団における近交度の予測

選抜下の遺伝分散の減少を考慮した近交度の予測値と無選抜下の近交度の予測値を、コンピュータシミュレ

Table 3. Realized genetic gain (mean±S.D.) and additional profit (Yen. pig⁻¹) after 7 generations for indices in the practical situation A, situation B with one tenth values and situation C with ten - hold value for the quadratic term of backfat thickness in the profit function.

| Alternatives ¹⁾ | realized genetic gain | | additional profit |
|----------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------------|
| | GR ²⁾ (g/day) | BF ³⁾ (cm) | |
| A1 - linear/cons | 209.80±24.24 | -0.12±0.07 | 9,796 (99.8) ⁴⁾ |
| A2 - linear/step | 216.07±23.63 | -0.08±0.05 | 9,817 (100.0) |
| A3 - multi gene | 217.46±22.59 | -0.06±0.07 | 9,779 (99.6) |
| A4 - quadratic | 208.88±23.39 | -0.10±0.06 | 9,672 (98.5) |
| A5 - desired | 142.78±25.65 | -0.35±0.06 | 7,592 (77.3) |
| B1 - linear/cons | 229.92±23.60 | 0.16±0.07 | 9,712 (99.6) |
| B2 - linear/step | 230.68±22.78 | 0.15±0.07 | 9,751 (100.0) |
| B3 - multi gene | 229.18±23.97 | 0.14±0.07 | 9,695 (99.4) |
| B4 - quadratic | 230.42±22.54 | 0.15±0.05 | 9,740 (99.9) |
| B5 - desired | 143.40±26.51 | -0.35±0.05 | 6,294 (64.5) |
| C1 - linear/cons | -22.09±28.01 | -0.60±0.06 | 7,342 (34.8) |
| C2 - linear/step | 109.24±29.05 | -0.34±0.02 | 19,436 (92.1) |
| C3 - multi gene | 150.06±25.69 | -0.34±0.07 | 21,114 (100.0) |
| C4 - quadratic | 58.41±25.31 | -0.52±0.05 | 14,502 (68.7) |
| C5 - desired | 142.40±27.60 | -0.35±0.06 | 20,821 (98.6) |

¹⁾ A1, B1, and C1 linear index constant over generations ; A2, B2 and C2 stepwise adjusted linear index ; A3, B3 and C3 multiple generation optimized index ; A4, B4 and C4 quadratic index ; A5, B5 and C5 desired gain index

²⁾ Growth rate

³⁾ Backfat thickness

⁴⁾ Efficiency relative to alternative index with maximum profit in each situation

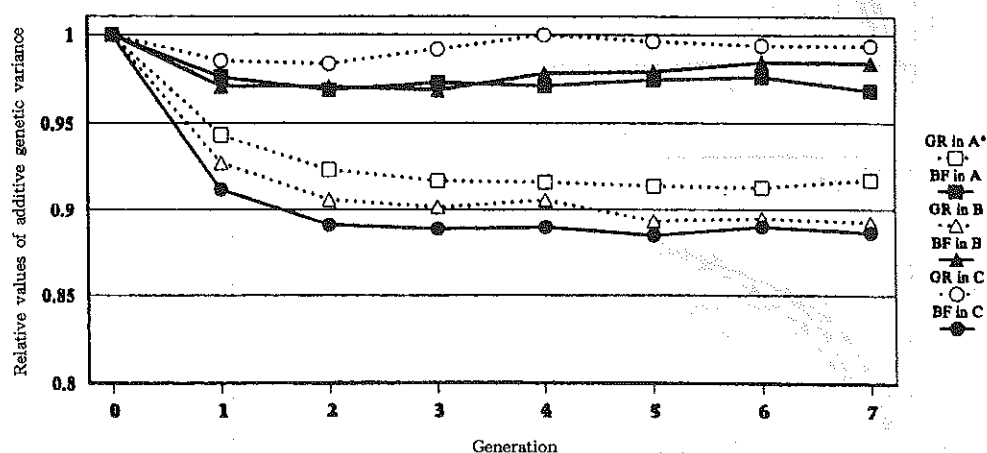


Fig.1. Relative change of additive genetic variance to the values in base population on growth rate and back fat thickness in the profit function A based on practical situation, the profit function B with one tenth value and the profit function C with ten-hold value for the linear and quadratic term back fat thickness(BF)in the profit function.

*GR in A ; Growth rate in the function A

Table 4. Comparison of estimated breeding values and predicted aggregate genotype (H) of selected animals in alternatives selection methods

| Selection methods | EBV | | predicted H |
|-------------------------|-------------|------------|---------------|
| | DG | BF | |
| 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) Best linear unbiased prediction (BLUP) on a multiple trait.

2) Restricted BLUP.

Table 5. Rate of inbreeding ($\times 100$) observed in simulation, observed in the actual pig line and the predicted asymptotic rates ($\times 100$) under selection and random selection.

| h_0^2 | ΔF_{sim} | $\Delta F_{pred(s)}$ | $\Delta F_{pred(R)}$ | ΔF_{obs} |
|---------|------------------|----------------------|----------------------|------------------|
| 0.1 | 1.26 | 1.30 | 1.11 | - |
| 0.2 | 1.34 | 1.41 | 1.11 | - |
| 0.4 | 1.44 | 1.52 | 1.11 | - |
| 0.6 | 1.51 | 1.53 | 1.11 | - |
| 0.26 | - | 1.37 | 1.10 | 1.30 |

h_0^2 : Initial heritability
 ΔF_{sim} : Rate of inbreeding observed in simulation
 $\Delta F_{pred(s)}$: Asyptotic rates under selection
 $\Delta F_{pred(R)}$: Asyptotic rates under random selection
 ΔF_{obs} : Rate of inbreeding observed in the actual pig line

シミュレーションによって得られた近交度の予測値および熊本県で実際に造成された系統豚「ヒゴサカエ301」の造成課程において実現された近交度と比較した。数値実験には、雄12頭、雌60頭の閉鎖集団を想定した。それぞれの雌は雄1頭、雌3頭の育成豚を生産するものとした。シミュレーションにおいては、無限遺伝子座モデルに従い個体の育種価を発生させた。基礎世代における遺伝率を0.1、0.2、0.4および0.6に設定し、それぞれの条件の下での近交度を比較した。シミュレーションは第1世代から第5世代まで実施し、期間中の平均の近交係数の上昇率をシミュレーションにおいて得られた近交度とした。

無選抜下の近交度は、基礎世代における遺伝率を0と

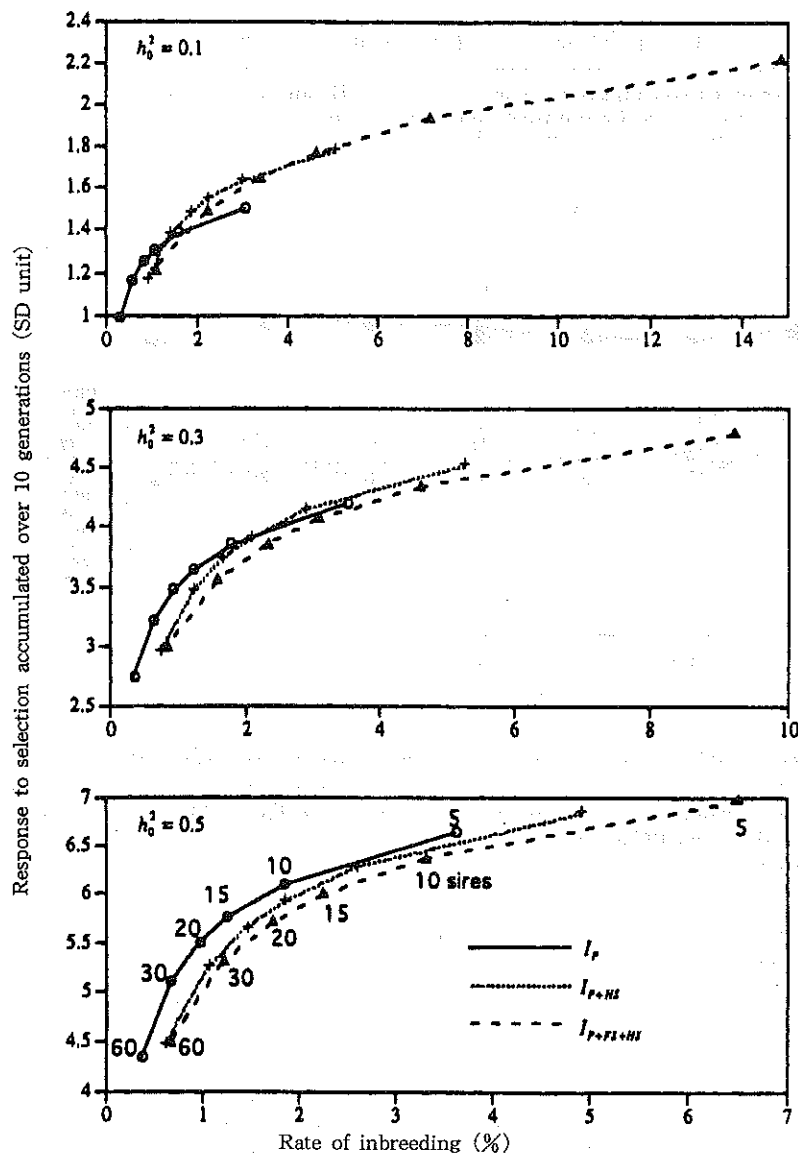


Fig. 2. Response to selection accumulated over 10 generations and rate of inbreeding (%) under selection on individual record (I_p), index including individual and full-sibs records (I_{p+HS}), and index including individual, full- and half-sibs records ($I_{p+FS+HS}$). 120 dams and either 5, 10, 15, 20, 30 or 60 sires (the marked points on the graphs) are selected every generation.

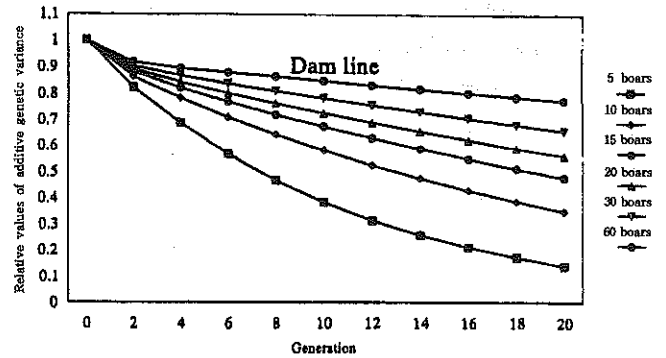
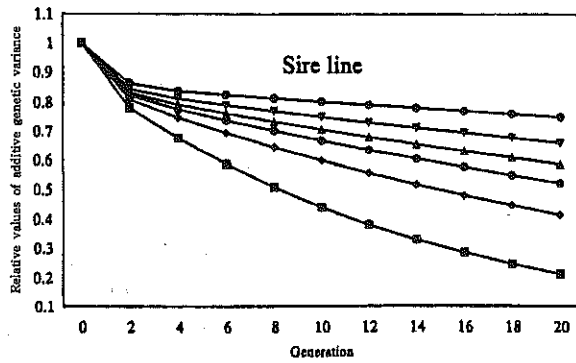


Fig.3. Relative change of additive genetic variance to the values in base population under selection in sire and dam lines. One hundred and twenty dams and either 5, 10, 15, 20, 30 or 60 boars are selected every generation.

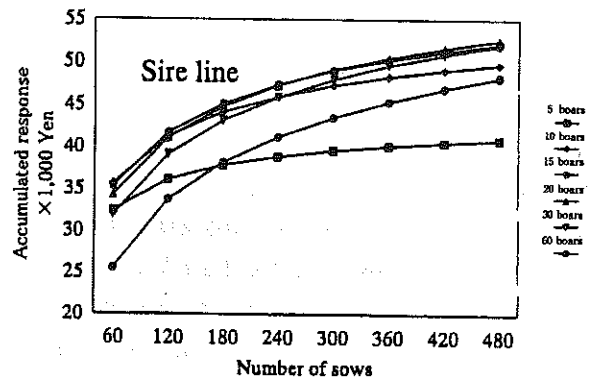
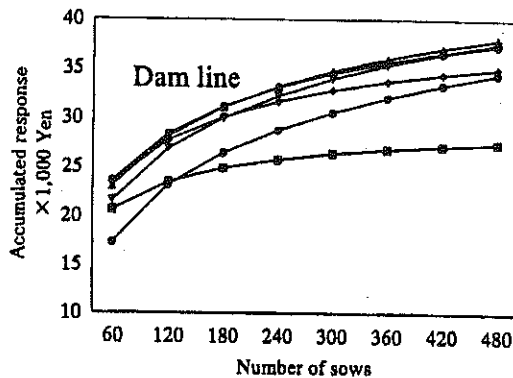


Fig.4. Accumulated response over 20 generations as function of number of sows and boars in sire and dam lines

設定して計算した。実際の系統豚の集団の規模は、シミュレーションで想定したものと同一であるが、1腹当たりの育成雌の平均は2頭であった。系統豚「ヒゴサカエ301」は、発育率、背脂肪の厚さおよびロースの断面積の3つの形質による多形質の個体自身の記録に基づく選抜指数によって選抜された。そこで、本研究では、選抜指数を1つの形質とみなし、その遺伝率を求めた(0.26)。その結果、選抜により減少した相加的遺伝分散の定常値に基づき予測した近交度は、シミュレーションと実際の系統「ヒゴサカエ301」の造成課程から得られた近交度の実現値と良く一致した。選抜の影響を考慮しない近交度の予測値は、選抜集団の近交度を過小に評価した(表5)。

5. 2.4 血縁個体情報を用いた選抜下の豚の閉鎖集団の近交係数と選抜反応の予測

豚の閉鎖集団に対する育種計画を策定するために、血

縁個体記録に基づく選抜下における近交度の上昇率(ΔF)および累積選抜反応(R)に関する予測モデルを構築し、異なる集団の規模を有するいくつかの集団について ΔF および R を比較した。選抜は、個体自身の記録、個体自身と全きょうだいの記録および個体自身と全・半兄弟の記録に基づく選抜指数によって実施されるものとした。比較された集団の規模は、雄=5、10、15、20、30および60、雌=60、120、180、240、300、360、420および480のコンビネーションによって設定した。雌は1腹当たり、それぞれ雌雄2頭の育成豚を生産するものとした。基礎世代の集団の規模の検討の遺伝率は、0.1、0.3および0.5とした。得られた結果の概要は次の通りである。1)血縁個体記録を用いた選抜下の ΔF は、常に無選抜下におけるそれより大きく予測された。また、その値は選抜強度と血縁個体情報量の増加とともに上昇した。2)個体自身と全・半きょうだいの記録を用いた選抜下に

おいては、雄頭数を一定にした条件下で、雄頭数の増加が ΔF の増加を招く場合があった。この結果は、半きょうだいからの情報が増加することによってその情報の信頼性が向上し、特定の家系の次世代への寄与の割合を増加させているためと考えられる。3) 選抜強度が一定の条件下では、Rは血縁個体情報量の増加とともに大きくなったが、 ΔF を一定にして比較したところ、血縁個体の情報量の増加がRの増加につながらなかった(図2)。以上の結果から、集団の規模に対して留意することなく、選抜の正確度を上昇させることは、選抜に伴う遺伝分散の減少を通じて期待通りの改良結果が得られない場面があることが示唆された。

6. 異なる育種目標を持つ豚の閉鎖集団における最適の集団の規模の検討

豚の遺伝子の商業生産家畜への発現量すなわち累積割引総量は、系統の利用目的で異なり、雄系は産肉形質に、雌系は繁殖形質により多く発現した。また、血縁個体記録に基づく選抜下の集団の近交度は、形質の遺伝率が低い場合に大きくなった。これらのことは既に述べた。一般的に繁殖形質の遺伝率は産肉形質のそれよりも低く、繁殖形質の経済的価値が大きい雌系の近交度は雄系に比較して大きくなり、最適の集団の規模もまた系統の利用目的で異なることが予測される。そこで、血縁個体情報を用いた、発育率と背脂肪の厚さおよび産子数を改良形質とする選抜指数式を想定し、選抜指数値を1形質と見なした数世代にわたる選抜による累積正味選抜反応(CNR)の予測量の比較から、異なる育種目標を持つ系統の最適の育種集団の規模について検討した。CNRの予測には、選抜と近交係数の上昇による遺伝分散の減少による経済損失を考慮した。その結果は次の通りである。1) 繁殖形質への重み付けの大きい雌系の近交度は、産肉形質を改良目標とする雄系のそれに比較して大きく、遺伝分散の減少率も大きかった(図3)。また、育種効率のもっとも高い最適の集団の規模は、雄系統で雄:10~20頭、雌:120~180頭、雌系統で雄:15~20頭、雌:180~240頭と考えられ、閉鎖育種集団の最適の集団の規模はそれぞれの系統の利用形態により異なることが示唆された(図4)。

7. 総合考察

形質の1単位の変化が商業生産にもたらす利益即ち経済価を選抜指数式における形質の重み付け係数として用いる場合、評価ベースの問題等の経済価の推定方法上の問題以外に、いくつかの基本的な検討を要する課題があった。第1に、経済的効率が時間や場所によって変化

するという問題。第2に、家畜育種の目標が生物学的効率にあるのか経済的効率にあるのかという問題。第3に、選抜対象となる原種の育種価1単位の価値に、商業生産家畜における利益を用いることの問題。第4に、形質の利益に対する非線形性の問題である。

本研究では、第2の問題に対しては生物経済モデルによって生物学的効率を経済的効率に変換して対応し、第3の問題に対しては、商業生産家畜における形質1単位の利益を、評価期間内に遺伝子がそれに発現する頻度の合計すなわち累積割引総量を用いて、遺伝子を供給するそれぞれの原種畜に振り分ける方法で対応した。豚の育種計画においては、累積割引総量によって補正された経済価は、3元交雑利用の育種構造における品種や系統の特徴によって、肉豚の生み出す利益をそれぞれの原種豚からの遺伝子経路ごとに振り分け、系統の利用特性、すなわち雄系は産肉形質、雌系は繁殖形質に重点を置いたそれぞれの系統の改良方向を導いている。

第4の問題に対しては、重回帰分析により平均値で評価した線形近似による方法と非線形の経済価を求める方法で対応した。非線形の利益関数に対しては、利益環境の非線形の程度に応じて、最適の選抜指数を選択する必要のあることが明らかとなった。

しかしながら、経済的効率には、第1の問題としてあげたそれが時間や場所に対し不安定であるという基本的な問題が存在する。累積割引総量は、経済反応の予測に対しては、貨幣価値の変化や育種目標の変化の危険性を割引補正することによりこの問題を考慮しているが、改良方向の決定に対しては全ての形質に対し同率に割り引きし、この問題を考慮していない。

家畜育種から得られる利益評価において、割引率に、育種環境(目標)が変化する危険率を最初に持ち込んだのは、Smith(1985)である。彼は、その報告の中で、改良集団とは別に、現在の改良価値と異なる資質を有する遺伝資源としての家畜のstockを持ち、その数(n)を増加させることによって、育種目標の変化に伴う危険率そのものを低下できるとしている。しかし、この場合、現在の改良方向と異なる種畜の生み出す利益損失と集団を維持するコストは、nの増加とともに増加する。そのため、小さな育種企業や団体では、nの数を増やすことができないため、大きなリスクを負うことになる。

現在、わが国の豚の育種は、民間による開放型育種と閉鎖育種集団による系統造成によって進められている。本研究の1993の熊本における屠場データの分析結果からは、その改良方向は、適正水準は存在するものの、背脂肪の厚さに大きな負のweightがかかっており、生物学的効率と経済的効率が同一の改良方向を示している。し

かしながら、近年、屠場における屠殺体重は大きくなり、輸入豚肉との競合の中から、より肉質へのweightが大きくなっている。地域による格差はあるが、市場での評価においても、背脂肪の厚さがむしろ厚めのものが好まれるような傾向となってきている。仮にその傾向が加速され、全国一律に、赤肉生産を犠牲にしてまでも背脂肪の厚い方向へ改良が進むようなことになれば、数年前のハンプシャー種飼育の激減のように、高い赤肉生産効率を有する多くの貴重な遺伝子が失われることになるであろう。幸い豚の場合、交雑利用による肉豚生産が主流である。このため、本研究の結果が示すように、種畜の利用形態（雄/雌系）によって改良目標が異なる。さらに、消費者ニーズが多様であり、沖縄から北海道と南北に長い日本の国土は、異なる改良目標（多数の系統）の混在を許している。このことによって、わが国の豚の育種システムは、将来の育種目標の変化の危険性に対応できる柔軟性を備えていると考えられる。しかしながら、わが国の肉用牛集団の場合のように、純粹繁殖生産を堅持しつつ、全国全ての品種が全て同じ改良目標（経済価値）に向かって改良されるような状況下においては、将来の育種環境の不確実性に起因する大きな変異性を伴うことになる。1つの目標に向かった強い選抜は、特定の家系の種畜の遺伝的頻度を増加させ、集団の有効な規模を著しく小さくすることは、本研究の選抜下の近交度の予測結果からも明らかである。これらのことは、集団の規模が本質的に小さい（熊本県のあか毛和種集団のように）集団においては、画一的な改良方向の決定が品種の存続に関わる問題となる可能性を暗示している。われわれは、このような育種環境の変化に伴う危険性を十分に認識し、十分な数のnを確保しなければならない。すなわち、nの増加に伴う育種コストの増加を、国家全体で負担することによって、貴重な遺伝資源としての集団を将来に渡って堅持していかなければならない。あるいは、また、世界的視野に立った育種計画、国家間の協力関係などによって、将来の育種環境の不確実性に備える必要があるだろう。形質の経済価と累積割引総量は、線形あるいは非線形の総合育種価における経済的重み付け値として利用できるとともに、多形質の累積世代選抜において近交係数の上昇や選抜に伴う遺伝分散の減少を考慮した育種計画を可能にした。家畜育種の真の目標が、経済的、生物学的効率の追求であるならば、経済価と累積割引総量は、選抜理論の選択にかかわらず、最も経済効率の高い家畜の改良方向と改良方法を示している。

文献

Brascamp, E. W., Research Institute for Animal

- Husbandry "Schoonoord" Zeist. 1978.
- Brascamp, E. W., C. Smith and D. R. Guy, Anim. Prod. 40:175-180. 1985.
- Gibson, J. P. and B. W. Kennedy, Theor. Appl. Genet., 80:801-805. 1990.
- Groen, A. F., Breeding programmes, Wageningen Agri. Univ., Wageningen. 1992.
- Harris, D. L., T. S. Stewart and C. R. Arboleda, Advances in Agricultural Technology, Agricultural Research Service, U. S. D. A. 1984.
- Hazel, L. N., Genetics, 28:476-490. 1943.
- 家入誠二, 日豚会誌, 31:1-7. 1994.
- 家入誠二, 日畜会報, 66:353-360. 1995a.
- 家入誠二, 家畜育種研究会報, 4:1-42. 1995b.
- 家入誠二・佐藤正寛・村上忠勝, 西日本畜産学会報, 38:27-29. 1995c.
- Ieiri, S. and T. Nomura, Proceedings of 8th AAAP, Vol. 2, 384-385. 1996a.
- 家入誠二・佐藤正寛・村上忠勝, 日豚会誌, 33:14-18. 1996b.
- 家入誠二・野村哲郎, 日畜会報, 68:318-324. 1997.
- Lindhe, B., Acta. Agr. Scand., 18:33-41. 1968.
- Moav, R., In: Agricultural Genetic Selected Topics. pp319-352. Jhon Wiley and Sons. New York. 1973.
- Pasternak, H. and J.I. Weller, Anim. Prod., 55:43-50. 1993.
- Petersen, P. H., L. Gjø 1 Christensen B. Bech Andersen and E. Ovesen, Acta. Agr. Scand., 24:247-258. 1974.
- Smith, C., Anim. Prod., 41:403-412. 1985.
- Smith, C., J. W. James and E. W. Brascamp, Anim. Prod., 43:545-551. 1986.

Swine breeding programmes from the economic point of view

Seiji Ieiri

The general aim in animal breeding is to obtain a new generation of animals that will produce more efficiently under future production circumstance. In the selection index theory by Hazel (1943), this efficiency is defined a summation of additive genetic values weighted economic values and it is called aggregate genotype. Breeding values cannot be measured directly on the animals, but are to be deducted from phenotypic performance. Superior animal are selected and extensively used to breed the next generation of animals. The system to realize these steps is called a breeding programmes (Groen, 1992)

In this study, the theory for planning breeding programmes is developed from economic aspect in pig breeding. The results obtained are summarized as follows.

1. Estimation of economic values in pig breeding.

Using multiple regression in which individual profits were taken as dependent variables, some profit function were derived from carcass records for 1,258 head of pigs slaughtered in Kumamoto prefecture in 1991. Economic values on traits were derived from partial different of the optimal profit function (method I) and directly using a bio-economic model (method II). The bio-economic model used for derivation economic values is based on pig production in a general farm. Method I appears to be useful in Japanese pig breeding situations where unit prices cannot be clearly defined and traits had an optimum level. On the other hand, method II was useful for difficult traits to evaluate economically.

2. Estimation of cumulative discounted expressions of traits for a pig breeding programmes.

Assuming evaluation periods of 40 half years and a discounted rate of 6.5%, cumulative discounted expressions (CDE) of traits for a pig breeding programmes were calculated using gene flow method. CDE obtained were larger for reproduction traits in the selection pass from dam lines than a sire line. In the selection pass from sire line, however, CDE for production traits were larger. These result indicate that breeding goal in each line was different.

3. A comparison of alternative selection indices for non-linear profit function over multiple generations in closed pig herds using Monte Carlo simulation

Seven different selection index procedures for non-linear profit function in closed pig herds were compared using stochastic simulation. Genetic and economic responses over multiple generations were simulated considering non-linear profit function combining growth rate and back fat thickness. When the degree of non-linearity of profit function was large, the linear index constant over generation and the quadratic index yielded considerably lower economic response. Relative efficiencies of the stepwise adjusted linear index and the optimum linear index for maximization of profit in the next generation depended on the degree of non-linearity of the profit function and choice of generation number. The desired gain index allowed stabilization at optimum level of back fat thickness, but led to large economic loss especially in the situation where the degree of non-linearity of profit function was small. The optimum index for maximization of accumulated profit over the planning generations provides favorable results for all situations. However, the expected genetic responses were not always realized for the optimum indices, indicating that stochastic simulation way implicitly produced the reduction of additive genetic (co) variance through selection processes.

4. A Comparison of the selection with linear programming and restricted best linear unbiased prediction for a closed herd breeding of pigs.

"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). It appear 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.

5. Prediction of rate of inbreeding in closed pig herds

Considering the reduction in additive genetic variance due to selection, a method for predicting the rate of inbreeding (ΔF) and response to selection (R) in closed pig herds was developed. Using the method, numerical computations were carried out to evaluate the effects of population size on ΔF and R under three different types of selection; selection based on index including only individual record, selection based on index including individual and full-sibs records, and selection based on index including individual, full-sibs and half-sibs records. The rate of reduction in additive genetic variance of selected trait was larger with higher h^2 and larger amount of information from relatives. The predicted ΔF was always higher than that expected from random choice of parents, for a fixed number of boars, an increase in the number of sows led to an increase in ΔF under selection based on family index. The selection based on family index did not always give the largest cumulative response.

6. Optimal population size in closed lines of pigs with different breeding goals

Using a deterministic model, optimal population size in closed sire and dam lines of pigs with different breeding goals was investigated. The selected traits in sire line are growth rate and back fat thickness. In addition to these traits, litter size is selected in dam line. Multi-trait index selection including family informations. Cumulative net response for the aggregate genotype was calculated. In the calculation, reduction in additive genetic variance due to selection inbreeding was taken into account. With given number of parents, the rate of inbreeding was higher in dam lines than in sire lines. Higher rate of inbreeding was resulted from larger weight on family records in the selection index, and caused a larger economic loss from inbreeding depression. The optimal population size in each sire and dam line was different

7. Discussion

From these studies, the theory of breeding schemes which took reduction of additive genetic variance due to selection and inbreeding into account was established.

In the use of economic efficiency for breeding programmes, there are various problems. Each study in this theses correspond to them. However, the model in these studies perfectly do not correspond to the change of economic efficiency in future breeding goal. Therefore, it is necessary that various breeding stocks (or genes) are kept for uncertain future in the world.