

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24580416

研究課題名(和文) 制限付き選抜法による予測理論の検証と汎用プログラムの開発

研究課題名(英文) A study for predicting response to restricted selection and development of its computer program

研究代表者

佐藤 正寛 (Sato, Masahiro)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・畜産草地研究所家畜育種繁殖研究領域・上席研究員

研究者番号：70370658

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：適切な制限付き選抜法を決めるため、まず選抜反応を予測するためのモンテカルロ法によるコンピュータシミュレーションプログラムを開発し、次に選抜候補個体の中から次世代の種畜を選抜するための制限付き選抜法のプログラムを開発した。両者のプログラムを組み合わせるとすべての個体に制限を付加した制限付きBLUP法(AR-BLUP法)と選抜候補にのみ制限を付加したPR-BLUP法の選抜反応を比較した結果、PR-BLUP法は、選抜反応および近交係数の点でAR-BLUP法に比べ望ましい選抜結果の得られることが明らかとなった。さらに、制限付き選抜を行うための指標として、育種価の適切な重み付け値の算出方法を考案した。

研究成果の概要(英文)：To determine the most suitable restricted selection method, a stochastic Monte-Carlo computer simulation program for predicting response to selection and a program for restricted BLUP selection were developed. These programs were used to compare several restricted BLUP methodologies, that is, restricted index selection (control), BLUP imposing the same restriction on all animals (AR-BLUP), and imposing only some animals (PR-BLUP) in a population. Response to selection and inbreeding on PR-BLUP were more desirable than on AR-BLUP. In addition, an optimum calculating procedure for relative weights of breeding values of selected traits for estimating aggregate breeding values was considered for restricted selection to achieve desired genetic changes.

研究分野：家畜育種

キーワード：制限付き選抜 選抜反応 近交係数

### 1. 研究開始当初の背景

わが国における種豚は、その約8割が純粋種である。この純粋種を育種改良する方法として、制限付き選抜法が広く用いられている。制限付き選抜法は、あらかじめ改良したい複数形質の育種目標値を設定し、現在の集団平均と目標値との差を選抜によってバランス良く改良していく方法である。この方法は、わが国の中小家畜、中でも豚において広く用いられている。制限付き選抜法には、最良線形不偏予測法 (BLUP 法) によって各選抜形質における遺伝的能力 (育種価) を推定したのち、その推定値を線形計画法によってさらに能力の順位付けを行うことによって選抜する方法や、選抜候補個体の血縁個体を含む選抜指数法によって育種価の重み付け値を算出し、推定育種価と重み付け値から推定総合育種価を算出し、その順位によって選抜を行う方法が考案されている。中でも、理論的に優れている方法として、制限付き BLUP 法がある。しかし、制限付き BLUP 法は、制限を付加する個体によって遺伝的能力の評価値が異なるなど、家畜の能力評価に際し、不明な点が多い。このように、制限付き BLUP 法における改良量の予測理論等の検証は未だ不十分であり、この方法を用いて遺伝的能力評価を行うためのプログラムも存在しない。

### 2. 研究の目的

本研究では、制限付き BLUP 法による予測理論の正確な検証を行う。そのために、まず選抜が繰り返し行われた場合に選抜反応を予測するためのモンテ・カルロ法によるシミュレーションプログラムを開発する。選抜反応の予測プログラムは、育種現場で想定される様々な数学モデルに適用できる汎用性の高いものが望ましい。次に、わが国における豚の系統造成を想定し、制限付き選抜において、推定育種価に対する適切な重み付け値を得るための方法について検討する。さらに、制限付き選抜法における理論の検証のために、制限付き BLUP 法のプログラムを開発し、コンピュータシミュレーションによる選抜反応を調べることで、実際の家畜育種集団に即した最適な制限付き選抜法の選択を可能にする。

### 3. 研究の方法

(1) 選抜と交配を繰り返すことにより、長期間にわたる選抜反応を予測するモンテ・カルロ法によるコンピュータシミュレーションプログラムを開発した。本プログラムでは、遺伝子型値の発生モデル (有限遺伝子座モデルおよび無限遺伝子座モデル)、集団のサイズ (交配に用いる繁殖個体の雄と雌の頭数)、一腹から選抜候補個体として育成される雄と雌の頭数、改良したい形質数、改良したい形質における遺伝的パラメーター (遺伝率、遺伝相関および環境相関、または遺伝分散共

分散、環境分散共分散) 形質における相対希望改良量の大きさ、有限遺伝子座モデルを選抜した場合、シミュレーションに用いる選抜形質に關与する遺伝子の条件 (遺伝子数、優性度、遺伝子型値、初期遺伝子頻度、染色体上の遺伝子の間隔等) の条件を自由に設定できるようにした。以上の条件設定を様々に変え、数世代から数十世代の一連の交配と選抜を繰り返した集団を1セットとする。各条件下、コンピュータシミュレーションにより数百から数千セットの集団を発生させ、各世代における選抜形質の平均と分散を求めることで、選抜反応を予測し、モデルや遺伝的パラメーターの違い、集団のサイズ等、異なる条件下における長期選抜反応の違いを考察した。

(2) わが国において実施されている豚の系統造成を想定し、選抜候補個体と血縁のある個体の数を増やしていったときの選抜の正確度を算出した。選抜は2形質を想定した。選抜形質の遺伝的パラメーターは、表型分散をとともに1、2形質の遺伝率を0.2および0.6のすべての組み合わせ (3通り) とした。それぞれの遺伝率の組み合わせに対し、遺伝相関を-0.5, 0.0, 0.5の3通りに設定した。表型相関は遺伝相関に等しいものとした。想定した選抜形質の相対希望改良量は、ともに形質の1遺伝標準偏差とした。各遺伝的パラメーターのもとで、血縁情報量の違いによる選抜の正確度および遺伝的改良量の期待値の影響を明らかにするため、選抜の正確度および遺伝的改良量の期待値を理論的に算出するとともに、コンピュータシミュレーションによって選抜反応の推移を調べ、制限付き選抜において、推定育種価に対する適切な重み付け値を得るための条件を明らかにした。

(3) 選抜候補個体の中から、次世代の種畜を選抜するための制限付き選抜法のプログラムを開発した。プログラムは、すべての個体に制限を付加する制限付き BLUP 法 (AR-BLUP 法)、選抜候補個体にのみ制限を付加する制限付き BLUP 法 (PR-BLUP 法)、相対希望改良量から形質間の重み付け値を算出し、育種価の推定値に重み付けをした総合推定育種価によって選抜する方法、それらのコントロール (制限付き選抜指数法および無作為選抜) 等の制限付き選抜に対応するものとした。ここで開発した制限付き選抜のためのサブルーチン副プログラムを、先に開発した選抜と交配を繰り返すシミュレーションプログラムに組み込むことにより、長期間にわたる制限付き選抜法による選抜反応を予測した。

### 4. 研究成果

(1) 選抜形質に關連する遺伝子座数、集団のサイズ、遺伝的パラメーター等の様々な条件下で、選抜と交配を繰り返したときの選抜反

応を予測した結果、理論上の選抜限界を 1.0 としたときの相対改良量は、遺伝率、選抜率、遺伝子座数を変えた場合では、世代数に差はあるものの、いずれも選抜限界に達した。一方、集団のサイズが小さい場合や、選抜方向に働く遺伝子頻度の初期値が低い場合には、理論上の選抜限界に達する以前に、選抜反応がプラトーに達することがあった（図 1）。コンピュータシミュレーションによる選抜反応の予測では、遺伝率、初期遺伝子頻度、選抜率、集団のサイズ、遺伝子座数、対立遺伝子数など、様々な要因が影響を与えるが、これらの要因を可変数として扱うためには、有限集団有限遺伝子座モデルが有効であった。しかし、有限集団有限遺伝子座モデルは、集団のサイズを設定し、遺伝子座数や遺伝子の連鎖等をあらかじめ仮定する必要がある。このモデルに対し、有限集団無限遺伝子座モデルによる選抜反応の予測では、遺伝子座を仮定せず、連鎖を考慮する必要もないことから、有限遺伝子座モデルに比べて演算時間が短くなると考えられてきた。しかし、本研究の結果から、集団のサイズが大きく、長期的な選抜反応を予測したい場合には、近交係数の計算を必要としない分、有限遺伝子座モデルのほうが速い場合のあることが明らかとなった。このように、数十世代にわたる長期選抜反応の予測には、様々な要因により、選抜反応の予測値や予測曲線は異なるが、5～10 世代程度の比較的短い期間における選抜反応を予測する上では、予測値の絶対値に違いのみられることはあるものの、選抜方法の違いによる選抜反応の比較を行う場合には、有限集団無限遺伝子座モデルのような、比較的扱いやすいモデルが適していると考えられた。

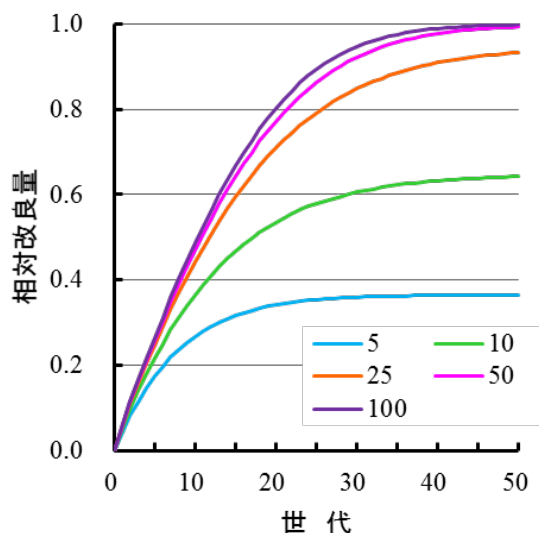


図1 異なる集団サイズ（凡例は雌の頭数）における選抜反応の違い。

(2) 2 形質の遺伝率が等しい場合には、血縁情報量が同じであれば、選抜の正確度は遺伝

相関の大きさに依存しなかった。2 形質の遺伝率がともに 0.6 の場合、1/4 血縁情報（選抜候補個体との血縁係数が 1/4 以上の個体情報）より血縁情報量を増やしても、選抜の正確度に大きな変化はなかった。また、直系情報（選抜候補個体の直系のみの記録を含む情報）と全家系情報（直系 + 直系の全きょうだいの記録を含む情報）における選抜の正確度にも違いはみられなかった。2 形質の遺伝率がともに 0.2 の場合、1/8 血縁情報より血縁情報量を増やしても、選抜の正確度に大きな変化はなかった。このときの直系情報と全家系情報における選抜の正確度の差は、0.016 と極めて小さいものであった。2 形質の遺伝率が 0.2 と 0.6 の場合、選抜の正確度に対する血縁情報量の影響は、2 形質の遺伝率がともに 0.2 の場合とほぼ類似した傾向がみられた。また、1/4 血縁情報を用いても、遺伝的改良量の期待値は最大で 0.003 表型標準偏差と僅かな増加しか見込まれなかった。選抜候補個体に関するすべての血縁個体の情報を考慮した場合、当初の予定通りに血縁個体数が得られない場合や選抜されなかった血縁個体が多数生じる場合も想定される。本研究の結果から、現在、豚の系統造成において広く用いられている相対希望改良量を達成するための重み付け値を用いて総合育種価を推定する方法では、1/4 血縁情報を用いれば、形質間の望ましい重み付け値を得ることができるものと考えられた。一方、選抜による遺伝的改良量の期待値を算出する式は、標準選抜差、遺伝標準偏差、選抜の正確度の積で表されることが知られている。標準選抜差は小集団のときに補正を必要とし、受胎率や分娩率に影響を受ける。また、繰り返し選抜は近交係数の上昇だけではなく、選抜による遺伝分散の減少による影響の大きいことや、BLUP 法による選抜の正確度の算出にあたっては、遺伝率の大小にも考慮する必要があることが明らかとなった。

(3) モンテ・カルロ法によるコンピュータシミュレーションにより、情報を利用する全ての個体に制限を付加する AR-RBLUP 法と選抜候補個体にのみ制限を付加する PR-BLUP 法による選抜反応および選抜による近交度を比較した結果、いずれの遺伝的パラメータの下でも、PR-RBLUP 法は AR-RBLUP 法に比べ、改良したい形質の選抜反応が大きくなった。また、PR-BLUP 法では、改良量を制限したい形質の選抜反応が小さくなった。さらに、PR-BLUP 法は、選抜反応のばらつきが小さいこと、近交係数上昇に対する抑制効果が高いこと、遺伝的パラメータの推定値におけるバラツキの影響の小さいことが明らかとなった（図 2）。一方、選抜形質の遺伝率が比較的高い場合や、選抜形質間の遺伝相関の絶対値が小さい場合には、PR-BLUP 法と AR-BLUP 法による選抜反応の違いは小さくなることが明らかとなった。以上の結果は、

PR-BLUP 法のほうが、制限を付加しない選抜形質に対する選抜反応が高く、制限を付加する形質を一定に保ち、また近交係数の上昇を抑制できることから、AR-BLUP 法よりも望ましい選抜方法であると考えられた。ただし、相対希望改良量を達成することが育種目標である場合、いずれの制限付き BLUP 法を用いても、当該個体の選抜形質に欠測記録がある場合、当該個体における記録のある形質の情報は利用されないため、選抜の正確度が低下すると考えられる。その場合には、BLUP 法によって各選抜形質における育種価を推定し、その推定値を線形計画法によって処理して選抜する方法や、選抜指数法によって推定育種価の重み付け値を算出し、推定総合育種価によって選抜を行う方法が望ましいと考えられる。

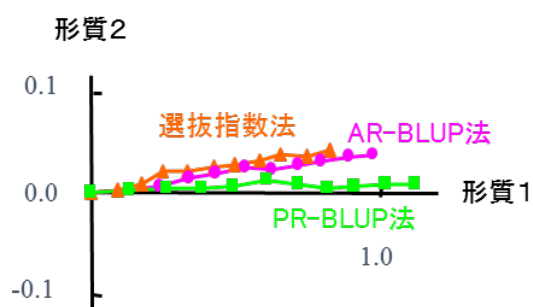


図2 3種類の制限付き選抜法による10世代後の選抜反応の違い。形質1は選抜反応が大きいほど、形質2は選抜反応が小さいほど望ましい。

#### <引用文献>

Satoh, M., A simple method of computing restricted best linear unbiased prediction of breeding values, Genetics Selection Evolution, Vol.30, 1998, 89-101

Satoh, M., A method of computing restricted best linear unbiased prediction of breeding values for some animals in a population, Journal of Animal Science, Vol.82, 2014, 2253-2258

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計2件)

佐藤正寛、豚の系統造成において相対希望改良量を達成するための育種価に対する重み付け値を得るための血縁情報量、日本養豚学会誌、査読有、印刷中

佐藤正寛、相対希望改良量を達成するための選抜における血縁情報と遺伝的改良量との関係、日本養豚学会誌、査読有、Vol.51, No.1, 2014, pp. 13-19

[学会発表](計3件)

佐藤正寛、豚の産子数において長期選抜が遺伝的改良量に及ぼす影響、日本畜産学会第119回大会、2015.3.29、宇都宮大

学(栃木県宇都宮市)

Satoh, M., Nishio, M., A comparison of restricted selection procedures based on restricted best linear unbiased prediction of breeding values, The 10th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, 2014.8.13, バンクーバー(カナダ)

佐藤正寛、制限付き BLUP による選抜について、第10回統計遺伝育種研究会、2013.5.31、国立岩手山青少年交流の家(岩手県滝沢村)

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

佐藤 正寛 (SATOH, Masahiro)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・畜産草地研究所家畜育種繁殖研究領域・上席研究員

研究者番号：70370658

##### (2)研究分担者

西尾 元秀 (NISHIO, Motohide)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・畜産草地研究所家畜育種繁殖研究領域・研究員

研究者番号：10595870