

# 中核育種方式におけるファジィ集合を 応用した近交抑制方策に関する研究

## 学位論文内容の要旨

ウシの育種において、選抜の基準となる遺伝的能力（育種価）は、後代やそれ自身の記録ときょうだいや親等の血縁個体の記録を利用して、アニマルモデルに基づく BLUP 法で評価され、特に種雄牛については高い精度の能力評価が得られている。近年過排卵処理と胚移植技術（MOET）を利用することにより、世代間隔の短縮を目的とした中核育種方式が試みられている。血縁個体の記録の利用による能力評価は血縁の近い個体がより多く選抜される傾向が高まり、また、MOET を利用した中核育種方式は、育種牛群の規模が制約され、近親交配の傾向がさらに高まる傾向にある。近親交配による近交係数の上昇は、近交退化や相加的遺伝分散の減少に伴う改良量の低下を招く。遺伝資源の保存は次世代への遺産として重要な課題であり、長期の育種を考えると、従来の改良速度を維持しながら近交係数の上昇を抑制する方策の開発が強く求められている。これまでに、種々の選抜方法や交配決定方法等が提示されているが、近交係数の上昇の抑制に有効な方法は同時に改良量が損なわれる傾向にあり、実用上の問題点をも含んでいて、有効な方策が見出せない状況にある。本論文では、選抜並びに交配決定にファジィ集合を世界で初めて導入し、改良量を損なわずに近交係数の上昇を抑制するためのモデルを提示し、その有効性を模擬実験によって検証した。

### 1. 研究の背景とその目的・意義と育種情報の曖昧さ（第 1,2 章）

第 1 章緒言では、本論文の研究の背景と関連分野の研究を総説し、実用技術として具備すべき条件として、目的達成の有効性に加えて、選抜・交配決定基準の演算が容易で単純であること、ならびに種々の状況に柔軟に対応できることを論じている。さらに、第 2 章において、育種に利用される育種価の推定値（推定育種価）ならびに近交係数は共に常に変動誤差を伴い、曖昧さを含みファジィ化の対象になることを結論した。

### 2. 短期ならびに長期の選抜反応と近交係数の上昇並びにファジィ化の効果（第 3 章）

Villanueva らが提示した推定育種価を近交係数で割り引く選抜基準に近交係数をロジステック関数で変換した値を適用することを試みると共に、従来の BLUP 法による推定育種価ならびに表型値に基づく選抜について、短期（5 世代）、長期（10 世代）の選抜反応と近交係数の上昇を比較検討した。短期の改良量については、推定育種価に基づく選抜が最も有効であるが、長期にわたる選抜では必ずしも有利ではなく、相加的遺伝分散の減少が大きく影響することを確認した。ファジィ化した近交係数で推定育種価を割引いた選抜基準での選抜は、近交係数の上昇抑制に有効であり、特別な弊害は認められなかった。しかし、この方法は次代の近交係数を直接制御することはできず、共祖係数に基づく期待近交係数の利用がより有効であることが示唆された。

### 3. ファジィ集合の交配決定基準への応用と統合方法（第4,5章）

BLUP法で推定した育種価に基づき選抜した後、交配組み合わせ個体の平均推定育種価と期待近交係数をロジスティック関数で変換し、両者を種々の演算子で統合し、平均育種価が高く近交係数が低い組み合わせを序列化し、交配決定することを試みた。10世代までの改良量と近交係数の上昇を予測した結果、幾何平均が最も有効であった。2変量への重み付け係数の組み合わせは近交係数上昇の抑制と改良量に大きな影響を及ぼすが、言語ヘッジの選択の効果は小さかった。

次いで、従来提示されている代表的な交配決定法である最小血縁交配法並びに補償交配法と比較し、ファジィ交配決定方法の有効性を検討した。ファジィ交配決定法は近交係数の上昇については、最小血縁交配法より抑制効果が小さかったが、改良量の損失は通常のBLUP法に基づく選抜に比較して小さく、相加的遺伝分散の低下もまた小さかった。遺伝率を真の値より過大に偏向した値を設定したBLUP法で推定した育種価で選抜することにより、近交係数の抑制効果が認められている。そこで、その効果との相加性を確認するために、偏向遺伝率で推定した育種価で選抜後、ファジィ交配決定法の適用を試みた。本法の適用によりさらに近交係数の上昇が押さえられ、その効果は相加的に独立に作用することが確認された。

### 4. ファジィ集合の交配選抜基準への応用（第6章）

遺伝的能力が高く、近交係数を高めない雄牛についてはより多くの雌と交配し、また、雌についても複数回のMOETを実施することで交配の際に選抜が加わり改良量が高まることが期待される（交配選抜）。雄が交配する最大許容交配頭数を2から8頭に高めるに伴い、選抜雄頭数が減少し、雄の選抜差は大きくなるが、近交係数の上昇も同時に高まった。しかし、年当たりの改良量は3～4頭のとき最大となった。改良量は無作為交配と変わらず、近交係数の上昇は大きく抑制され、特に、より小さい集団ではその効果が顕著であった。しかし、雌の交配回数を最大2回までとしたとき、雌の選抜差が大きくなり、年当たりの改良量が高めるが近交係数の抑制効果は雄程大きくなかった。雄側からの交配選抜は近交係数の上昇の抑制に有効で、改良量の高まりが期待される。雌側からの交配選抜をも組み合わせることにより、更に効果が高まった。即ち、本法を交配選抜に応用することにより、改良量を損なわずに、むしろ高めることも可能であった。これらの効果は集団が大きくなるにつれてより大きくなる傾向が認められた。

### 5. ファジィ交配選抜による任意の近交係数上昇の制御（第7章）

整数計画法等の方法を用いることによって、近交係数を任意の上昇幅に制御することが可能である。本研究において、推定育種価と期待近交係数を統合する時の両者の相対的重付け係数(w)によって、制御効果に差異があることが認められている。そこで、二分検索法により制御するに最適なwを決定することにより上昇率を制御することを試み、Meuwissenの方法並びに無作為交配との比較をした。近交係数の上昇率を0.02～0.04に設定したとき、何れの設定値に対しても制御が可能であり、特に、0.03～0.04の範囲では遺伝的改良量を殆ど損なうことが無く、無作為交配の上昇率0.045より低く抑えられた。しかし、上昇率0.02では、改良量の低下が認められた。Meuwissenの方法と比較したとき、0.02に上昇率を設定したときに、改良量の低下がより大きかったが、0.025～0.04の範囲では殆ど差が無かった。さらに、近交係数上昇率の変動がより小さく、より確実に近交係数の制御が可能であることを認めた。

遺伝的改良を大きく損なわずに、近交係数上昇の抑制策として、選抜・交配決定基準にファジィ集合の応用を試み、モデルを提示してその有効性を実証した。この方法は単純な演算方法で交配組み合わせを序列化し、種畜の斃死等に伴う補充が容易であり、また任意の上昇幅に設定することにも応用される等、種々な状況に柔軟に対応でき多くの実用上の利点を備えている。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 清 水 弘  
副 査 教 授 大久保 正 彦  
副 査 助 教 授 上 田 純 治

学 位 論 文 題 名

## 中核育種方式におけるファジィ集合を 応用した近交抑制方策に関する研究

本論文は8章で構成され、表17、図31、引用文献67編を含む177頁の和文論文であり、別に、3編の参考論文が添えられている。

ウシの育種において、選抜の基準となる遺伝的能力(育種価)は、後代やそれ自身の記録に加え血縁個体の記録が利用され、精度の高い評価値が得られている。近年過排卵処理と胚移植技術(MOET)を利用した中核育種方式が試みられている。このような能力評価値による選抜と中核育種方式は、近親交配の傾向をさらに高め、近親交配による近交係数の上昇は、長期の改良量の減少を招く。本研究は、選抜並びに交配決定にファジィ集合を導入し、改良量を損なわずに近交係数の上昇を抑制するための方策を提示し、その有効性を模擬実験によって検証した。得られた成果は次のように要約される。

### 1. 育種情報の曖昧さとファジィ化の可能性

本研究の背景と関連分野の研究を総説すると共に、実用的育種技術として具備すべき条件として、目的達成の有効性に加えて、選抜・交配決定基準の演算が単純で容易であること、ならびに種々の状況に柔軟に対応できることを論じた(第1章)。次いで、育種技術に利用される育種価の推定値(推定育種価)ならびに近交係数は常に変動誤差を伴い、曖昧さを含みファジィ化の対象になると結論した。

### 2. 短期ならびに長期の選抜反応と近交係数の上昇並びにファジィ化の効果

推定育種価を近交係数で割り引く選抜基準に、ロジステック関数で変換した近交係数を適用することを試みると共に、推定育種価ならびに表型値に基づく短期(5世代)、長期(10世代)の選抜を比較した。短期の改良量は、推定育種価に基づく選抜が最も有効であるが、長期の選抜では必ずしも有利ではないことを確認した。近交係数をファジィ化した基準での選抜は、近交係数の上昇抑制に有効であり、特別な弊害は認められなかった。しかし、この方法は次代の近交係数を直接制御することはできず、共祖係数に基づく期待近交係数の利用がより有効であることを示唆した。

### 3. ファジィ集合の交配決定基準への応用と統合方法

推定育種価に基づき選抜した後、交配組み合わせ個体の平均推定育種価と期待近交係数をロジスティック関数で変換し、両者を種々の演算子で統合し、平均育種価が高く近交係数が低い組み合わせを序列化し、交配決定することを試み、幾何平均が最も有効であった。2変量の重み付け係数の組み合わせは近交係数上昇の抑制と改良量に大きな影響を及ぼすが、言語ヘッジの選択の効果は小さかった。次いで、代表的な交配決定法である最小血縁交配法並びに補償交配法と、ファジィ交配決定法を比較した。近交係数の上昇は、最小血縁交配法より抑制効果が小さかったが、改良量の損失はより小さかった。近交係数の抑制効果が認められている偏向遺伝率で推定した育種価で選抜後、ファジィ交配決定法の適用により、さらに近交係数の上昇が押さえられ、その効果は相加的に独立に作用することを確認した。

### 4. ファジィ集合の交配選抜基準への応用

ファジィ集合の交配選抜への応用（ファジィ交配選抜）を試み、雄が交配する最大許容交配頭数を2から8頭に高めるに伴い、雄の選抜差は大きくなるが近交係数の上昇も同時に高まった。しかし、年当たりの改良量は3～4頭るとき最大となった。改良量は無作為交配と変わらず、近交係数の上昇は大きく抑制された。また、雌の交配回数を最大2回までとしたとき、近交係数の抑制効果は雄程大きくなかった。雄側からの交配選抜は改良量の高まりが期待され、近交係数上昇の抑制にも有効であった。雌側からの交配選抜をも組み合わせることにより、更に効果が高まった。即ち、本法を交配選抜に応用することにより、改良量を損なわずに、むしろ高めることも可能であった。これらの効果は集団が大きくなるにつれてより大きくなる傾向が認められた。

### 5. ファジィ交配選抜による任意の近交係数上昇の制御

第4章で推定育種価と期待近交係数の重付け係数（ $w$ ）によって、制御効果に差異があることが認められている。そこで、二分検索法を用い制御するに最適な $w$ を決定することにより上昇率を制御することを試みた。近交係数の上昇率を0.02以上の範囲内で制御が可能であり、特に、0.03以上の範囲では遺伝的改良量を殆ど損なうことが無く、無作為交配の上昇率0.045より低く抑えられた。しかし、上昇率0.02では、改良量の低下が認められた。最近報告されたMeuwissenの方法と比較したとき、0.025以上の範囲では殆ど差が無く、近交係数上昇率の変動がより小さく、より確実に近交係数の制御が可能であった。

以上のように、遺伝的改良量を大きく損なわずに、近交係数上昇の抑制策として、選抜・交配決定基準にファジィ集合の応用を世界で初めて試み、その有効性を実証した。これらの研究成果は改良品種の育種に加えて、消滅の危機にある在来家畜の保存・改良など遺伝資源の保存方策への適用も期待され、学術的に、実用面でも高く評価される。よって審査員一同は、中村 淳が博士（農学）の学位をうけるに十分な資格あるものと認めた。