

Discounted gene flow 法と肉用牛育種計画検討への応用

北海道大学農学部 清水 弘

1. 緒 論

肉用牛に限らず、育種計画を立案するとき、まず最初に決定すべきことは改良目標であり、次いで、その目標を最も早くに達成できる選抜基準の選択決定である。改良目標は、対象集団の能力水準、需要者の指向、生産物と生産資材の経済的状況に応じて、一般に生産者の収益が増加する方向で決定されるが、改良を望む形質の数は単一でなく、複数の形質が対象となる。このように複数形質を同時に改良する方法として、一般に指数選抜法が用いられ、計測が容易で選抜情報として利用でき、しかも改良形質との遺伝的関連の深い形質を選択し、それら形質および形質間の生物学的特性値、改良形質の経済的重要性や改良目標に基づいて算出された指数値が選抜基準となる。また、飼育条件の異なる環境下で得られた特定形質の遺伝的能力は BLUP 法等で評価され選抜基準として利用されている。

家畜の改良は能力の秀れた種畜を選び出すことに止まらず、後代ないしは子孫でその効果が発現されて始めて達成される。したがって、選抜種畜の子孫を増殖するための交配方法や供用年数も、改良効果に影響を及ぼす要因となる。また、育種は集団中より優秀な個体を選び出すだけでなく、高能力が期待される種畜を計画的に生産することが重要である。この目的の家畜群（例えば中核育種群）を設定すると集団は複数の分集団で構成されるが、分集団の構成とそれらの相対的な大きさ、交配様式によっても、改良効果に差が生じることが予測されている¹⁾。さらに種雄牛の間接検定を含め、種畜の能力評価方法も育種計画にとって重要である。

このように、育種計画はいくつもの技術、手順

を包含し、それらは互に関連しているので、最適な育種計画の設定には、総合的な評価が必要となる。肉用牛集団は①年齢の異なる種畜で構成され世代が重複している。②複数の分集団を含み、また、③選抜からその効果発現までの年数が長くしかも径路間に差がある等の特徴を持っている。このような集団を対象に、改良効果に基づいて育種計画を検討する手法として Discounted gene flow 法がヨーロッパを中心に発展した^{2,3,4)}。本法の応用は肉用牛に限定されるものではなく、乳牛は勿論、豚、めん羊、その他の家畜の育種計画の検討にも利用できる。本稿では、本法を解説するとともに、理解をさらに深めていただくために、著者らが本法を利用して肉用牛育種に関して行って来た研究成果の一部も紹介する。

2. Discounted gene flow 法

本法は選抜された種畜（あるいは導入種畜）の遺伝子が改良形質を発現する個体群に伝達された比率に基づいて改良効果を予測し、さらに、選抜あるいは種畜の生産から効果発現までの期間にしたがって効果を割引することによって、選抜ないしは種畜が生産された年を基準にして、改良効果を評価する方法である。したがって、主として相加的遺伝子効果による改良量を予測し、ヘテロシス効果については形質発現個体群の遺伝子のヘテロ性に基いて補正する必要があります。

(1) 家畜群、性、年齢級での家畜の区分

肉用牛集団は遺伝子の流入、流出の様子によって、複数の分集団（家畜群）から構成されていることが多い。例えば、昭和 62 年度より始まった我が国の肉用牛群改良基地育成事業では、種雄候補牛は、優秀、優良雌牛群から生産され、この雌牛

群の後継牛は同群の雌子牛ないしは一般雌牛群から選抜された雌牛で補充される。このような集団は、それぞれの牛群の生産目的から次の3家畜群に分けられる。①種雄候補牛生産を目的とした育種牛群、②肥育素牛生産の繁殖雌牛群、③牛肉生産を目的とした肥育牛群。このような集団構成において、さらに育種牛群は性によって、雄牛と雌

牛に分けられる。また、さらに各性内を同期牛の群として年齢によって細区分される。このように、集団を家畜群、性、年齢級に区分することによって、年次間での遺伝子伝達の様子を各年齢級毎に表わすことができる。

本法の説明のために簡単なモデル集団を設定する。雄は0, 1, 2歳の3つの年齢級を含み、種雄

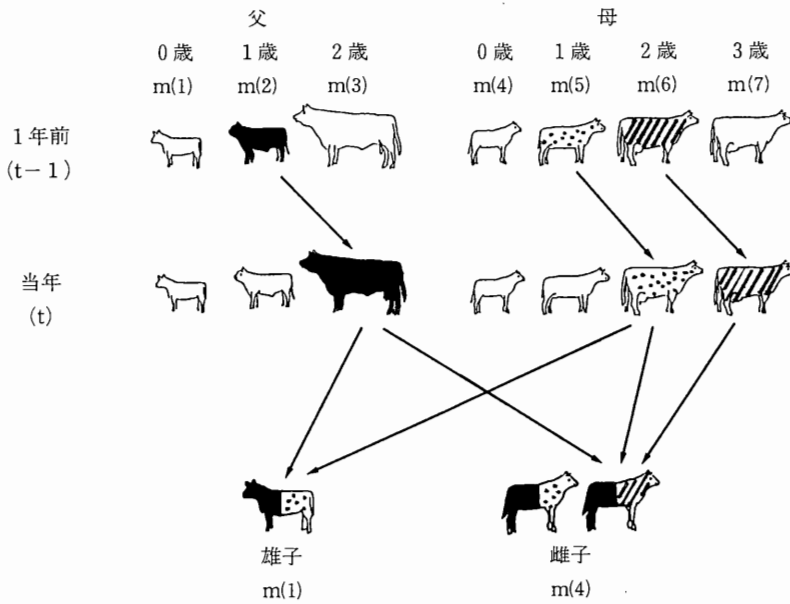


図1. 生殖を通しての遺伝子の伝達

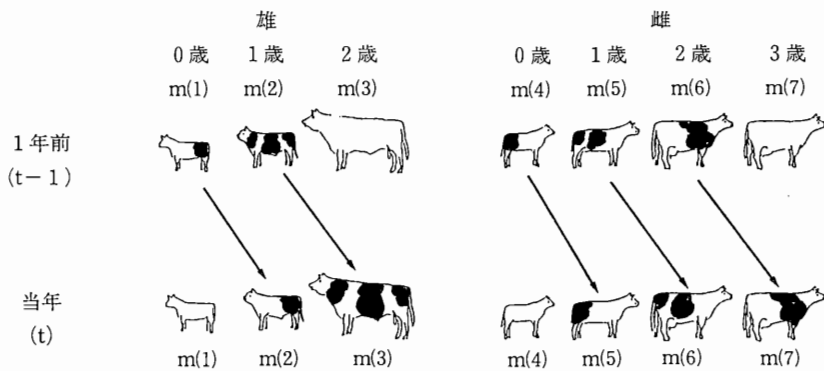


図2. 加齢に伴う遺伝子の伝達

牛は1歳のとき1年間のみ供用し、したがって2歳のとき次代の子(雄, 雌)を生産する。雌は3歳まで飼育され、2, 3歳で子を生産し、種雄牛は2歳の母親からの雄子牛で更新し、繁殖雌牛は2, 3歳の母親からの同数の雌子牛で更新する。雄, 雌子のうち更新に用いない子畜は肥育して1歳で屠殺する。このモデル集団は繁殖群と肥育群の2つの家畜群で構成され、繁殖群はさらに雄, 雌群に区分され、さらに雄は3年年齢級, 雌は4年年齢級に、肥育群は雄雌合せて2年年齢級(0, 1歳)となる。

(2) 遺伝子の伝達

各年齢級間での年次間の遺伝伝達は①生殖による遺伝子の伝達と②加齢に伴う伝達の2様式がある。成体での家畜群間の移動は②に含めることができる。

まず、生殖を通しての遺伝子の伝達を考える。当年に生まれた種雄候補牛は2歳の父牛と2歳の母牛からの遺伝子(常染色体上)を各々 $\frac{1}{2}$ ずつ受け継ぐ。繁殖雌牛後継牛は2歳の父牛の遺伝子を $\frac{1}{2}$ と2, 3歳の母牛からそれぞれ $\frac{1}{4}$ ずつの遺伝子を受け継ぐ。この様子を図1に示したが、前年1, 2歳であった父, 母牛の遺伝子を受け継ぐことになる。前年0~2歳の父牛および0~3歳の母牛が特定の種畜の遺伝子を持つ比率を $m_{t-1}(1) \sim m_{t-1}(3)$, $m_{t-1}(4) \sim m_{t-1}(7)$ とすれば、当年生まれた雄($m_t(1)$), 雌($m_t(4)$)が、親牛から伝達された特定種畜の遺伝子の比率は次の式で表わされる。

$$m_t(1) = \frac{1}{2} m_{t-1}(2) + \frac{1}{2} m_{t-1}(5)$$

$$m_t(4) = \frac{1}{2} m_{t-1}(2) + \frac{1}{4} m_{t-1}(5) + \frac{1}{4} m_{t-1}(6)$$

ここで、0歳の雄, 雌のみが生殖を通して、親から遺伝子を受け継ぐ。

年齢間で選抜が加えられないと仮定すれば、0歳以外の年齢級はそれぞれ前年1歳若かった年齢級と同一である(図2)。

即ち

$$m_t(2) = m_{t-1}(1)$$

$$m_t(3) = m_{t-1}(2)$$

$$m_t(5) = m_{t-1}(4)$$

.....

$$m_t(7) = m_{t-1}(6)$$

肥育群の0歳の年齢級について($m_t(8)$)は雌と同じである。

$$m_t(8) = \frac{1}{2} m_{t-1}(2) + \frac{1}{4} m_{t-1}(5) + \frac{1}{4} m_{t-1}(6)$$

また、肥育群1歳の年齢級($m_t(9)$)は

$$m_t(9) = m_{t-1}(8) \text{となる。}$$

これらの関係式をまとめてマトリックスで次のように表示できる。

$$\begin{matrix} m_t(1) \\ m_t(2) \\ m_t(3) \\ m_t(4) \\ m_t(5) \\ m_t(6) \\ m_t(7) \\ m_t(8) \\ m_t(9) \end{matrix} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{2} & 0 & 0 & \frac{1}{2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & 0 & 0 & \frac{1}{4} & \frac{1}{4} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & 0 & 0 & \frac{1}{4} & \frac{1}{4} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} m_{t-1}(1) \\ m_{t-1}(2) \\ m_{t-1}(3) \\ m_{t-1}(4) \\ m_{t-1}(5) \\ m_{t-1}(6) \\ m_{t-1}(7) \\ m_{t-1}(8) \\ m_{t-1}(9) \end{pmatrix} \quad (1)$$

この式の左辺を m_t (ベクトル), 右辺の第1項をP(マトリックス), 第2項を m_{t-1} (ベクトル)とおけば(1)は次式となる。

$$\left. \begin{aligned} m_t &= P \cdot m_{t-1} \\ m_t &= P^t \cdot m_0 \quad (m_0 \text{は基準年の比率}) \end{aligned} \right\} (2)$$

Pは行を遺伝子を受けとる側の当年の年齢級を、列を遺伝子を供給する前年の年齢級を対応させた正方行列である。

このモデル集団で可能な選抜径路は、種雄の父, 母, 繁殖雌の父, 母, 肥育群の父, 母の6径路である。性成熟は雄と雌とで必ずしも同じでない。また、肉用牛の枝肉形質や産子能力について種雄牛を選抜するためには間接検定(後代検定)が必要となる。選抜基準の違いによって、種畜の供用開始月齢が異なる等のことから、選抜径路によって、選抜種畜の遺伝子が次代に最初に伝達される年次は必ずしも同じではない。そのような状況の下では、選抜径路毎にその効果を予測することが好都合である。特定径路の選抜種畜の遺伝子のみが後代の集団に伝達されるように、種畜の加齢と、

最初の世代への伝達を特定径路に限定するために、Q、Rマトリックを定義する。Qは加齢に伴う遺伝子の伝達のみを表わすマトリックで、Pの0歳の年齢級の行の成分をすべて0としたマトリックで(1)式のPの第1、4、8行の各成分を0として定義される。またRは、選抜種畜の初代の交配において、その対象径路の親子間でのみ生殖を通して遺伝子の伝達が行われるように定義される。Pにおける最初の世代に選抜畜の遺伝子を受け取る子の0歳の年齢級の行と親(選抜畜)の対応する列の成分のみを含み、他をすべて0とした正方行列である。例えば、種雄父畜の選抜効果のみを考えると(1)式のPの第1行(子:雄)の1~3列(親:父)までが同じで他の成分を0としてRが定義される。

$$R = \begin{Bmatrix} 0 & 1/2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{Bmatrix}$$

さらに、選抜種畜が属する年齢級の経時的推移を表わすベクトルとしてnを定義し、その種畜が生まれた年を基準にすれば(n₀)、その種畜の0歳の年齢級に対応する成分を1とし他の成分を0とする。例えば、種雄父畜については

$$n'_0 = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

(n'₀: 行ベクトルとして表わすと)

特定の選抜径路で選抜された種畜の遺伝子が後代の集団の各年齢級に伝達される比率の経時的推移(t年後)は次の式で定義される。

$$\left. \begin{aligned} n_t &= Q \cdot n_0 \\ m_t &= P \cdot m_{t-1} + R \cdot n_{t-1} \\ m'_0 &= [0], (m'_1 \sim m'_{t_0-1} = [0]) \end{aligned} \right\} \dots(3)$$

これらの様子を流れ図として図3に示した。選抜種畜が供用されるまでは、その遺伝子は後代の集団に伝達されないで、mの成分は0である。種畜が能力評価値に基づいて選抜されt₀年後から次代の生産を始めたとする。それまで選抜種畜が属する年齢級の推移は(3)の第1式で表わされる。種畜の生後t₀年後に、その遺伝子が集団に始めて伝達され、供用期間中、種畜遺伝子の伝達が継続する。その関係が(3)の第2式の右辺第2項(R・n)である。供用停止後はこの径路を通しての遺伝子の伝達は消失するが、集団内に導入された

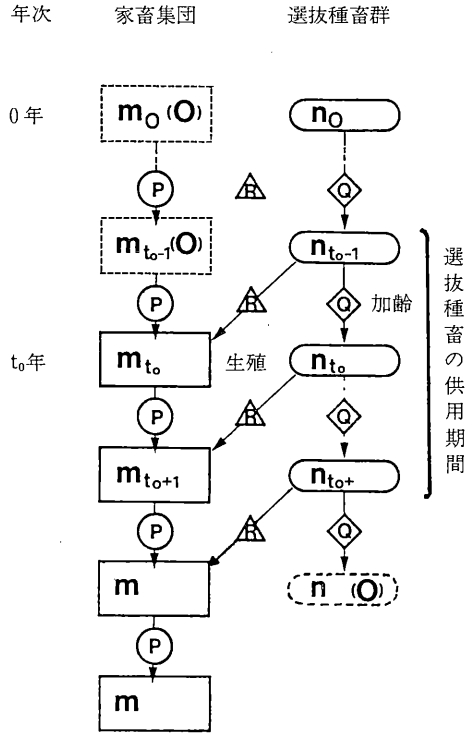


図3. 特定選抜径路からの遺伝子の伝達

遺伝子は(3)の第2式の右辺第1項(P・m)を通して代々伝達されていく。t年後、集団の各年齢級に含まれる選抜種畜の比率はm_tの各成分で表わされる。

種雄父畜の選抜を想定して、その遺伝子の伝達の推移を見てみる。

$$n'_0 = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

$$m'_0 = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0] \text{ とおき,}$$

1年後

$$n_1 = \begin{matrix} & & Q & & \times & n_0 \\ \left(\begin{array}{c} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \right) = \left(\begin{array}{cccccc|cccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{array} \right) \times \left(\begin{array}{c} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \right)$$

$$m_1 = P \times m_0 + R \times n_0$$

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} = P \times \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}$$

2年後

$$n_2 = Q \times n_1, \quad m_2 = P \times m_1 + R \times n_1$$

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{\dots} \\ 0 \end{pmatrix} = Q \times \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} 0.5 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} = P \times \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} + R \times \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}$$

2年後に始めて後代の集団の雄畜の0歳に選抜父畜の遺伝子の1/2が伝達され、父親の供用を1年とすれば、以後選抜された父親からの伝達はなく、以後t年後の遺伝子の比率は $m_t = P \cdot m_{t-1}$ となる。

(3) 遺伝的改良量の予測

遺伝的改良量は供用される種畜の遺伝的優越差の大きさに左右される。これは集団内で選抜されたとき、選抜種畜の種畜価 ($i \cdot r_{Ai} \cdot \sigma_A$; i = 選抜強度, r_{Ai} = 選抜基準と種畜価との相関, σ_A = 改良形質の遺伝標準偏差) であり、他集団からの導入種畜については、その集団内での種畜価に集団間の平均遺伝的能力差が加算された値となる。ある特定径路 (j 番目) の種畜の遺伝的優越差を s_j とすれば、1世代の選抜によりt年後の各年齢級で期待される遺伝的改良量 (g_{jt} (i), i 番目の年齢級) は m_{jt} (i) と s_j との積となる。

$$g_{jt} (i) = m_{jt} (i) \cdot s_j \quad (4)$$

改良形質が複数の年齢級で発現されるとき、それらの平均的大きさで表わされる。各年齢級での発現個体の比率は h ベクトルで表わされるが、例えば、モデル集団で繁殖性について予測するとき、2, 3歳の雌畜で発現され、しかもその比率が等しいとすれば、 h は次のようになる。

$$h' = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0.5 \ 0.5 \ 0 \ 0]$$

また、産肉性は1歳の肥育畜で評価されるので

$$h' = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1]$$

となる。jの選抜径路によるt年後の平均改良量 (G_{jt}) は次式で予測される。

$$G_{jt} = \sum_{i=1}^t h' (i) \cdot g_{jt} (i) = h' \cdot g_{jt} \text{ (ベクトルの積)} \quad (5)$$

(4) 改良効果発現の遅延に伴う改良量の割引

種畜の生産から、改良効果が発現し、収益が得られるまでの年数は、選抜径路、選抜方法、改良形質、交配方法等によって異なり、したがって育種計画によって異ってくる。種雄牛を間接検定成績に基づいて選抜すると、種雄牛の供用開始は約4歳のときとなる。次代の産子は1年後で、さらに育成・肥育し肉牛として出荷するまでにさらに3年掛かり、候補種雄牛の生産から、その選抜効果が最初に発現するまでに約7年を要することになる。種雄牛父牛の選抜効果はこれよりさらに5年近く多くの年数を要する。種畜の供用年数が長くなれば、効果発現までの平均年数はさらに大きくなる。

家畜とくに牛の育種事業は数年ないしは10年以後に得られる収益の増加を期待し、先行投資的性格がある。いま仮に、金利 r の資金 A を投資して育種事業を始め、t年後に a の改良量が得られたとする。 a の改良量を得るまでに掛かった総経費は $A(1+r)^t$ となる。当初 ($t=0$) に a の改良量が得られたとすれば、 A の総経費で a の改良量が得られたことになる。しかし、t年後に得られた a の改良量は A の経費では $a/(1+r)^t$ の改良量しか得られないことになる。 $t=0$ を基準にして改良効果を評価するとき、金利やインフレおよびリスクを考慮して、 r を割引率とすれば、改良量の価値は1年遅れる毎に $1/(1+r)$ ずつ減少する。家畜の育種方法の検討に用いられた従来の割引率は比較的高率であり、費用便益分析から得られた率は、国家育種事業では3%、民間の事業では5%位が適切ともいわれている⁵⁾。

選抜径路や改良形質によって、その効果発現までの年数に差があるとき、選抜効果量を割引率で重みづけし、一定年数 (t年後) までの累積量として評価できる。即ち

$$E_{jt} = \sum_{i=0}^t h' \cdot m_{jt} \cdot d^i \quad (d = 1/(1+r)) \quad (6)$$

E_{jt} はjの選抜径路で1単位の遺伝的優越差の種畜が1世代の選抜によって、t年後までに期待

される累積割引改良量である（累積割引発現量；cumulative discounted expression）。これに選抜種畜の遺伝的優越差（ s_j ）を乗ずることによって、1世代の選抜で t 年後までに期待される累積割引改良量（ R_{jt} ）が予測され、さらに複数の選抜径路についての総累積割引改良量（ R_t ）は各径路の改良量の和となる。

$$\left. \begin{aligned} R_{jt} &= E_{jt} \cdot s_j \\ R_t &= \sum_{j=1} R_{jt} \end{aligned} \right\} (6)$$

以上説明してきたように、世代が重複し、複数の分集団で構成され、複数の選抜径路を持つ家畜集団について、本法は期待される改良量あるいは割引改良量に基づいて、育種効果を評価することができる。

同期家畜群としての年齢級と、遺伝子の伝達を年次間でと、それぞれの間隔を年単位としたが、世代間隔や分婯間隔の短い豚等の育種に応用するときには、その間隔を6ヶ月、1ヶ月、ないしは週単位にすることが望ましい。また、牛等の大家畜でも初回分婯月齢や分婯間隔等で認められるように年単位では端数が生じ、本法を用いて予測すると、改良効果の発現の時期が偏ることがある。その1つの解決法として間隔を月齢単位とすることによって、その偏りは無視できる。しかし、その反面、年齢級の数が多くなり、P、Q、Rマトリックが大きくなるが、それぞれのマトリックスで0成分が多いことに着目して、計算のアルゴリズムを1部変えることによって、計算機での演算時間が短縮できる。

3. 肉用牛の育種計画検討への応用

肥育牛素牛の生産を目的として繁殖雌牛に交配した種雄牛の遺伝子は、次世代（肥育牛）に50%直接伝達される。他方、種雄牛の父、あるいは母牛として選抜された種畜の遺伝子が肥育牛に伝達されるのは2世代後であり、1回の交配では25%が伝達される。種畜の供用年数が長くなり、世代間隔が長くなれば、選抜種畜から改良形質を発現する家畜への遺伝子の平均到達年数が長くなり、その間の割引きによって、選抜効果の発現量が小さくなる。選抜種畜から形質発現家畜までの世代数、

種畜の供用開始年齢や供用年数の違いから、たとえ選抜強度が等しくても、選抜径路の間でその効果に差が生じる。また、改良形質の発現が家畜群、性、年齢等で異なると形質間でも差が生じる。

指数選抜法は複数の形質を同時に改良する最も有効な方法であるが、HAZEL⁶⁾の選抜指数式の算出に各形質の相対的経済価が必要である。本法を提示し、命名したMcCLINGTOCKとCuNNINGHAM²⁾はその相対価をさらに累積割引発現量を乗じた値を用いることを提唱した。中核育種群等の分集団を含む家畜集団の育種計画において、父と母畜の選抜効果の発現量に差があるとき、別個の選抜基準（選抜指数式）の設定が有効となる¹⁾。

さらに、選抜効果は交配方法、選抜径路、集団構成、改良形質、能力評価法等の違いにも左右され、これらの要因を含め、肉用牛の最適な育種計画の検討が本法と用いて行われている^{1,7)}。

著者らは肉用牛の最適な育種計画を策定する目的で、本法を用いて、改良量を左右する諸要因について検討を進めてきている。得られた成果のうち、選抜効果に及ぼす種畜の供用年数および選抜径路の違いによる影響について、第79回日畜大会および第43回当支部大会で報告したが、それらの概要を改めて紹介する。

(1) 種畜の供用年数が選抜効果に及ぼす影響

前述したように、我が国の代表的な肉用牛である黒毛和種の集団は育種牛群、繁殖雌牛群、肥育牛群の3家畜群（分集団）に大別される。これから紹介する研究では、育種牛群は閉鎖群とし、種雄牛の間接検定（後代検定）は育種牛群の雌牛に交配して後代検定材料牛を生産するとした。種雄牛は後代検定成績に基づいて、また雌牛は初産分婯後6ヶ月後の離乳までの成績で選抜することを仮定した。モデルとした肉用牛集団では、種雄候補牛と育種牛群雌牛後継牛の父、母牛の4径路、繁殖雌牛の父、母牛および肥育素牛の父牛の計7径路での選抜が可能である。種畜の供用年数は親牛の年齢構成に反映されるが、黒毛和種の血統登録情報を利用しての最近の調査⁸⁾では、雄牛父牛の平均年齢が最も高く（8.1年）、雌牛母牛が最も低く、径路間で差が認められる。また、世代間隔

は近年長くなった傾向があり、雄牛と父牛の径路が特に長くなり、15歳以上の父牛からの雄牛が約3%含まれていた。年当りの改良量は、選抜強度が変らないとき、供用年数を短縮し、世代間隔が短い程大きくなる⁹⁾。しかし、供用年数の短縮は一般に、種畜の更新率を高め、選抜強度の低下となる。育種計画において、種畜の供用年数ないしは年齢構成は重要な要因の1つであるが、年齢の異なる種畜間の選抜を行ったときの最適選抜は、選抜強度を減少させても、世代間隔をより大きく短縮することによって、年当りの改良量をより高めることが予測されている^{10,11)}。しかし、選抜強度が同じとき、種畜の供用年数の短縮が選抜効果に及ぼす影響は選抜径路によって異なる。

改良項目として、繁殖雌牛が各産次離乳時までに発現される形質（これを産子能力とした）と肥育牛屠殺時の枝肉形質までを含めた形質（産肉能力）について評価すると、育種牛群の父、母牛の選抜効果は親牛（種畜）の供用を現状⁹⁾から4年ないし1年に短縮するにつれて大きくなり、しかも

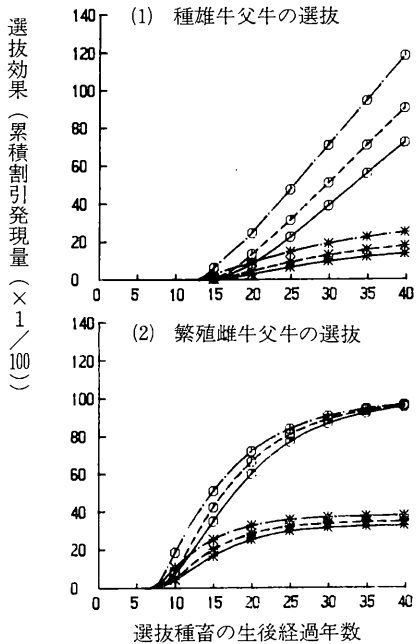


図4. 産子能力に対する異なる供用年数の選抜効果
 供用年数: 現状(—), 4年(----), 1年(---)
 割引率: 0%(○), 6%(*)

供用年数間の差は種畜の生後経過年数とともに大きくなる。しかし、繁殖雌牛の父牛の両項目に対する選抜効果は早期には供用年数が短い程大きい、割引率0%のとき、40年後では殆ど差がなく、また、割引率6%でもその差は前2選抜径路に比較して小さく、年数の経過とともに小さくなる(図4, 5)。

産肉形質に対する肥育牛父牛の選抜は供用年数が短い程、早期により大きな選抜効果が期待されるが、約20年後では供用年数間で差がなくなる。

選抜効果 (累積割引発現量 (x1/100))

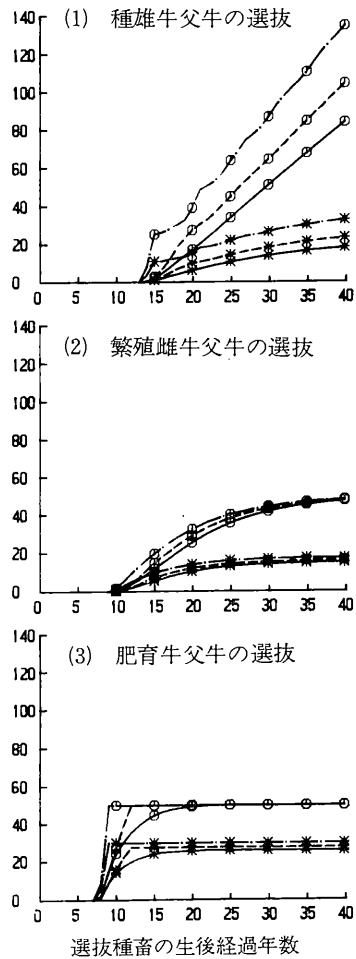


図5. 産肉能力に対する、異なる供用年数の選抜効果

図4 参照

割引率6%のとき、供用年数が短く早期に効果が大きく発現される程大きくなるが、長期の選抜効果ではその差は小さい。

育種群父、母牛の選抜効果は供用年数の影響を大きく受けるので、種畜の最適年齢構成と選抜方法について、選抜強度を考慮して検討しなければならない。繁殖雌牛父牛、特に肥育素牛父牛の選抜効果に対する供用年数の影響は小さいこと、さらに、これらの選抜径路の短縮が他の径路の選抜効果に及ぼす影響は他径路に比較して小さいことから、これらの種畜の供用年数は長くし、選抜強度を高めることにより、より大きな改良量が期待される。

(2) 各形質の選抜効果についての径路間の比較

良質で安価な食肉を安定して生産、供給するためには、産肉性を高めるとともに、繁殖能力の改

善も重要である。黒毛和種において、肉質に偏重した種雄牛の利用から繁殖雌牛の哺育能力を含めた繁殖能力が低下し、その改良も要望されている。これらは改良の対象となる最も重要な項目であるが、産肉性は肥育牛で、繁殖性（産子能力）は繁殖雌牛で評価され、それぞれ別の家畜群で発現される項目である。また、産肉性は肥育牛の比較的若い年齢で1度発現されるのに対して、産子能力は繁殖雌牛が供用される間、一般に複数回の産次で発現される。繁殖雌牛父牛の産子能力についての選抜効果は次代の繁殖雌牛で現われるが、他方、産肉能力に対する効果は2世代後に発現されるので半減する。しかし、産肉能力に対する肥育素牛父牛の選抜効果は次代で現われる。このように、改良形質、選抜径路の間で選抜効果の発現様相に差があることが推測される。最適な育種計画の策

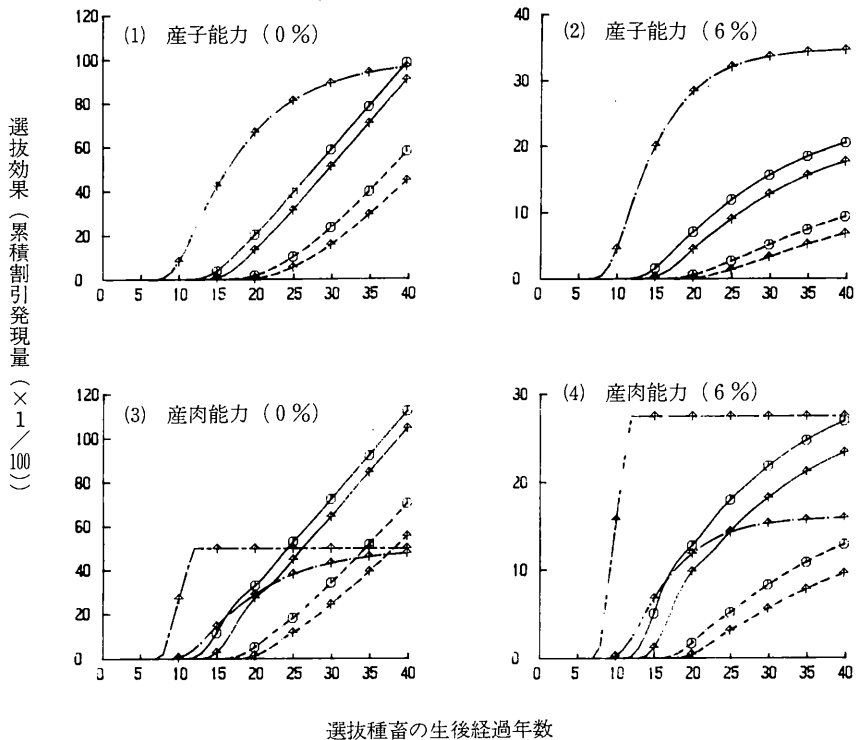


図6. 産子能力（上段）と産肉能力（下段）についての各選抜径路間での選抜効果の比較。

割引率を0%（左列）と6%（右列）を仮定して。

選抜径路：種雄牛父牛(△——△)，種雄牛母牛(○——○)，育種群雌牛父牛(△----△)
育種群雌牛母牛(○----○)，繁殖雌牛父牛(△——△)，肥育牛父牛(△----△)

定にはこれらの点を考慮して、各径路の選抜基準に適切な形質を選択することが肝要である。

6つの径路（但し産子能力については肥育素牛父牛選抜を除いた5径路）での産子、産肉能力についての選抜効果を累積割引発現量で評価すると、選抜径路間で差があり、さらに短期あるいは長期の改良効果でもそれらの様相が変る。これらの予測は繁殖雌牛の供用年数は現状とし、他の種畜は選抜後4年間供用することを想定した。産子能力については、繁殖雌牛の選抜が早期に最も大きな効果を示し、割引率6%を仮定したときの長期間の改良効果も最も大きい。産肉能力では、早期の改良効果は肥育素牛父牛の選抜が最も大きい。割引率0%のときの長期の改良効果では、種雄牛父、母牛の選抜が最も大きくなる。しかし、6%の割引率では、40年後までの長期間で見ると、肥育素牛父牛の選抜効果が最も大きい。しかし、長期に亘る改良効果を考えると、両項目の形質とも種雄牛父、母牛の選抜も重要である。

これらのことから、繁殖雌牛父牛の選抜には産子能力に、肥育素牛父牛については産肉能力により大きな重みづけをした選抜基準が有効である。

繁殖雌牛後継牛が同一牛群からの雌子牛で更新される集団では、この家畜群から生産された雄子牛は肥育素牛として利用されるが、雌子牛は後継雌牛の候補として選抜され、残りが肥育素牛となる。雄、雌牛の生み分け技術が実用化されていない現在においては、交配時に生まれてくる牛の用途に応じた種雄牛の選択が難しい場面もある。しかし、早期の産次での産子能力成績に基づいて、繁殖雌牛母牛と肥育素牛生産の母牛とに選別し、さらに、能力評価されるまでの産子はすべて肥育素牛に利用する。繁殖雌牛後継牛は選抜後早期の産次から生産し、比較的高齢牛の産子は肥育牛に利用することによって交配時に産子の用途に応じた種雄牛の選択が1部可能になる。

今後、これまでに得られた知見を参考にして、具体的な改良形質について、実現可能な選抜強度、能力評価法、交配方法等を含めて、最適な育種計画を検討する予定である。

現在我が国では、黒毛和種の他に、褐毛和種、日本短角種、アバーティーンアングス、ヘレフォード、ホルスタイン種（雄牛）が肉牛として飼育され、今後はさらに、品種間交雑種の利用も予想される。これら品種の飼育形態、飼育規模、交配方法、集団構成、能力特性は必ずしも同一ではない。また、黒毛和種にみられるように、育種事業は行政区域を単位とする分集団毎に進められる傾向も強い。それぞれの条件に最も適した育種計画の策定が要望されているが、本法はその検討を行うための有効な手法の1つである。

7. 引用文献

- 1) DANELL, O. E., Studies concerning selection objectives in animal breeding. Rapport 42. Uppsala. 1980
- 2) McCLINGTOCK, A. E., and E. P. CUNNINGHAM, Anim. Prod., 18 : 237-247. 1974
- 3) HILL, W. G., Anim. Prod., 18 : 117-139. 1974
- 4) BRASCAMP, E. W., Methods on economic optimization of animal breeding plans. Report B-134. Res. Inst. Anim. Husb. "Schoonoord", Zeist, the Netherlands. 1978
- 5) BIRD, P. J. W. N. and G. MITCHELL, Animal Breeding Abstracts, 48 : 499-505. 1980
- 6) HAZEL, L. N., Genetics, 28 : 476-490. 1943
- 7) BARLOW, R., Benefit-cost analyses of genetic improvement programmes for sheep, beef cattle and pigs (Ph. P. Thesis) 81-119. University of Dublin. 1982.
- 8) 野村哲郎・佐々木義之, 日畜会報, 54 : 305-309. 1986.
- 9) RENDEL, J. M. and A. ROBERTSON, J. Genet., 50 : 1-8. 1950.
- 10) BICHARD, M., A. H. R. PEASE, P. H. SWALES and K. ÖZKÜTÜK, Anim. Prod., 17 : 215-227. 1973.
- 11) HOPKINS, I. R. and J. W. JAMES, Anim. Prod., 25 : 111-132. 1977.