

乳牛の育種における戦略と組織[※]

帯広畜産大学 光本孝次

この小論では乳牛の育種を専門とする研究者や技術者に歴史的な発展過程や現在の最新情報を提供することを目的としてはいなく、むしろ、乳牛の育種の専門分野以外の皆様に乳牛の遺伝的改良の技術的な諸局面について情報の提供を意図している。しかし、北海道におけるホルスタイン種の遺伝的改良に関する科学的資料を著者が正確に収集し、整理分析して論証できる状況でもない。北海道における乳牛改良のための遺伝情報は北米や北欧に比較すると全く不足していると極言しても過言にならない状態にある。

幸いにも、北米を始めとするホルスタインの改良の歴史と改良情報、あるいはノルウェーのように乳牛の世代の長さに比較すれば最近に乳牛改良の組織化が進み、その効果が実証された方法論の展開などもある。それぞれの情報はこれからの北海道の乳牛改良組織の在り方や方法論の導入と開発のために参考とすべきであり、選択できるという前提でこの小論をまとめることにする。前述の乳牛改良の専門家以外という条件は、乳牛の育種には酪農家を含む多くの分野の理解と協力の下にかなり大規模で、かつ長期間継続する組織的活動を着実に実行することが不可決であるためである。

遺伝的改良の必要性

乳牛の改良も経済的行為であり、投下資金と利潤のバランスである。北海道でも北米やオーストラリア等から比較すると耕地面積も草地面積も全く少なく、飼料用穀物の栽培と供給にも問題をもち、穀物自給率も40%前後の条件の中で反芻家畜の比率は50%を割るほどである。牛乳は穀類や牧草の栄養成分を乳牛を通して濃縮したり、生合成した結果的産物とすれば、土地代、飼料代、器具機材、労賃の高い条件の中での酪農経営にはかなり飼料効率や労働生産性の高い乳牛を飼養せざるを得ない必然性をもつことになる。牛乳の生産費の中では飼料費が約55%、乳牛償却費は約7%、労賃が約30%であり、この3費目で約92%の構成となる。これはすべて、乳牛の

泌乳能力の大小と直接的に関連しているから、どの酪農先進国よりも高乳価、そして生産基礎の厳しいわが国としては世界で最も高い遺伝的能力を必要としている。

ホルスタイン増殖の黎明期

わが国へのホルスタイン種の導入は米国より1885年に輸入され、その後オランダからの導入が続いたといわれる。北海道にホルスタインが輸入されたのは1889年に札幌農学校などを最初として、1907年には民間でウイスコンシン州などから約70頭のホルスタインが輸入された時期より、オランダから米国へと輸入先が変更されたという¹⁾。

一方、登録はオランダ、米国などより約四半世紀遅れて、1911年に日本蘭牛協会として第2サーブケ号(雌牛)を登録して以来約300万頭(1979前期)に達するという。乳牛の能力検定らしきものが最初に実施されたのは1911年3月であったという²⁾。最高泌乳期に1日3回、8時間間隔で3日間の検定であり、約3ケ年で3農場の80頭の乳牛を検定したにとどまった。その後、登録協会が組織化されて、個体検定を基礎として、高等登録牛雌牛をエリート牛とするような検定が制度化された。この検定からの資料が乳牛の個体販売の有利性もあり、また、乳牛の改良情報を作る資料として使用された。

導入牛による改良

わが国の乳牛集団は酪農振興政策により、戦後、急激に大きくなり、その傾向は1979年の前期まで続いた。その間、北米のカナダ、米国では着実な乳牛頭数の減少が生じていた。現在でも米国では約1%に当る10万頭以上の毎年の減少が続いているが、総生産乳量には変化がない。一頭当りの生産量が増加しているためである。これは遺伝的改良のみでなく、適正蛋白高エネルギーの飼養技術に支えられている。数年前まで、わが国のただ一つの検定資料は日本ホルスタイン登録協会の個体検査であって、遺伝的改良のための資料として利用しにくく、改良情報とし

[※]家畜育種学教室からの寄稿/630

て最も大切な人工授精牛の後代検定にも適合する度合は低いものであった。酪農先進国の乳牛の遺伝的改良を支えたものはすべて牛群検定と乳牛の育種価を推定するための理論と技術の開発である。もともと導入牛の増殖型であったわが国の乳牛集団は常に遺伝的改良情報のみならず、改良のための選抜圧は導入牛に依存するものとなり、北海道では特にその傾向を強めた。導入育種といわれる方向に傾斜した割合には導入育種に必要な科学技術的方法論の蓄積は小さなものであった。

北海道の乳牛経済検定

北海道ではホルスタインの遺伝的改良における後代検定の必要性がかなり強く認識された時期があった。1950年には乳牛改良専門委員会が11名の委員によって発足した。別組織として1951年4月には乳牛経済検定事業が20組合を基礎として発足している。この乳牛経済検定の目的は飼養経済向上、経営改善及び後代検定などが目的とされた³⁾。乳牛経済検定成績簿が発行され、検定が継続されたが、1975年2月には乳用牛資質向上対策事業に対応して北海道乳牛検定協会が発足した。種雄牛を含めた乳牛の能力評価が1950年頃に急に話題になり始めたのは、国内では人工授精技術の一応の発展により、人工授精センターの組織化を実行する時期に当り、行政的には家畜改良増殖法が制定されたことと海外における後代検定の方法と結果に関する情報に基づくものであった。

北海道における後代検定の試み

島倉(1950 a, b, c, d)⁴⁻⁷⁾や広瀬(1950)⁸⁾は高等登録の記録を用いて、遺伝法眼的母娘比較による後代検定を報告している。島倉(1951)⁹⁾は母娘比較における組数についても言及した。また、乳牛優良系統調査報告という同様の報告もある¹⁰⁾。一方、1962年には北海道乳牛後代検定推進協議会が発足し、新得畜産試験場においてHANSSON-YAPP式を用いた母娘比較が実施され、1974年までに22頭のAI種雄牛について6形質が検定されたが、AI種雄牛の精液供用中には公表されなかった¹¹⁾。1951年に発足した乳牛経済検定も牛群検定のレベルまでには発展せず、1975年2月まで継続したが、発足の目的であったAI種雄牛の育種価の評価には至らなかった。

道東の別海町では町営の牛群検定制度を組織化し、

1972年から新乳牛検定事業が発足する1975年まで運営された。この牛群検定は自家検定であり、月報の他に年1回、牛群毎に年齢と分娩月の補正と搾乳日数を補正した能力に基づく雌牛指数が推定され、各雌牛のランキングが作製された。これは牛群毎の淘汰水準の設定と更新牛生産のための母牛の選抜に貢献した。また、AI種雄牛の育種価の評価を群仲間比較法(Herdmate comparison)で実行した。フィールド方式により、供用されたすべてのAI種雄牛のPD(期待改良量)¹²⁾を反復率つきで推定し、加入農家に公表された。

一方、農林水産省の乳用種雄牛後代検定事業(1969年から)と優良乳用種雄牛選抜事業(1971年から)では、それぞれ20頭以上の検定済種雄牛を選抜し、両者共に8形質を育種価として公表している。これらの検定は通称ステーション方式と呼ばれる中央検定場を使用する同期比較法である。

ホルスタインの改良目標

現在、ホルスタイン・フリージャン種を大別して北米型と北欧型に分けられるが、北米のそれは18世期中期から1905年まで8000頭弱の主としてオランダからの輸入牛を基礎としたようである¹³⁾。約100年間で20世代位の間に表型的にも遺伝的にも著しい差を識別できるという¹⁴⁾。一般に、ホルスタイン種の理想像は乳固形分率の高い乳量を多量に容易に搾乳でき、飼料効率が良く、管理しやすく、健康で連産し、しかも赤肉生産量も多いということである。しかし、理論的にも技術的にもすべての形質に対して選抜圧を加えるのは選抜指数法を使うにしても可能ではない。経済的に重要な形質としては乳量であり、乳質としては乳脂量が全固形分量、そして体形や体格であろう。

乳牛の遺伝的改良量

ある形質の遺伝的改良を考える場合、1) 選抜によって遺伝的改良が可能である相加的遺伝分散が十分に存在し、かつ、目的とする形質の後代検定が実施されていること、2) 直接的にか間接的にか乳牛の経済的価値を高める形質であること、すなわち、労働効率、長命性、罹病率に関係し、生産費を下げることに関係する形質、3) 目的形質を正確に測定できることが重要となる。

一般には一定期間内の遺伝的改良量を下記のように

に表現できる。

$$4G_t = (r_{GP} \cdot i \cdot \sigma_G) / L$$

$4G_t$: 単位期間内の遺伝的変化量,

L : 平均世代間隔,

r_{GP} : 育種価と表型値の相関係数,

i : 標準化した選抜差,

σ_G : 育種価の標準偏差

雄と雌の選抜差 (S_m, S_f) に差があり, 世代の長さ (L_m, L_f) にも差があれば,

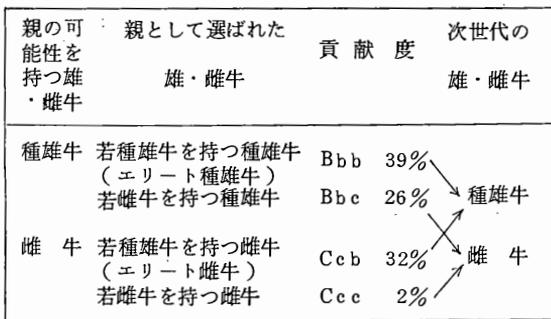
$$4G_t = h^2 \times \frac{S_m + S_f}{2} \times \frac{1}{(L_m + L_f) / 2}$$

$$= \frac{4G_m + 4G_f}{L_m + L_f} \text{ となる。}$$

第1表 遺伝子の伝達経路に帰因する遺伝的改良量

経路	RENDEL et al	SKJERVOLD	VAN VLECK	赤堀・光本
B _{bb}	43	46	39	45.3
B _{bc}	18	24	26	30.5
C _{cb}	33	24	32	24.2
C _{cc}	6	6	2	0.0

第1図 種雄牛と雌牛の改良貢献経路 (バン・ブレック)



乳牛の場合には第1図, 第1表のように遺伝的改良量に対して経路によって貢献度に差が生じ, それぞれの世代間隔に差が存在するために,

$$4G_t = \frac{I_{BB} + I_{BC} + I_{CB} + I_{CC}}{L_{BB} + L_{BC} + L_{CB} + L_{CC}}$$

となる (RENDEL and ROBERTSON, 1950)¹⁵⁾。この

場合, $I_{jk} = r_{Gjk} G_{jk} \cdot i \cdot \sigma_G$

である。SKJERVOLD (1964)¹⁶⁾は,

$$4G_t = \frac{I_{BB} + I_{BC} + I_{CB} + I_{CC}}{L_{BB} + L_{BC} + L_{CB} + L_{CC}} - F_t$$

とした。F_t は単位期間内の近交退化率である。第1表中, 著者らの推定値は北海道の条件を考慮した

ために牛群検定率が20%の場合である。したがって, Cccの経路で淘汰更新による選抜圧は有効でなくなっている。シミュレーションによる方法は将来の北海道における群検定による遺伝的改良量を最大にするためのモデル的なものであり, 基礎研究に支えられた育種組織が重要となろう。適切な人工授精組織と牛群検定を通して後代検定が組織化されている乳牛集団では種雄牛経路からの遺伝的貢献度は極端に大きいことが理解できる^{17,18)}。

乳牛における遺伝的改良の特徴は人工授精で, AI種雄牛の世代は重複し, 酪農家の乳牛を素材としていて, そして酪農家の乳牛が遺伝的に改良されなければ意味がない。牛群のレベル・アップは 1) 高能力基礎牛の導入, 2) 牛群内での淘汰更新, 3) 後代検定済AI種雄牛の供用によると考えられる。

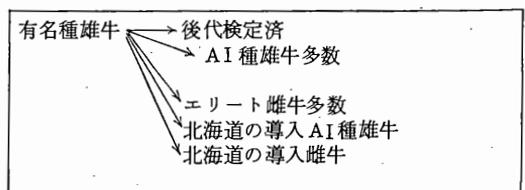
導入育種と血統情報

種畜の導入あるいは遺伝子プールの導入, すなわち, 導入育種により遺伝的改良効果を期待するためには類似の環境及び改良目標, そして遺伝と環境の交互作用が²⁰⁻²³⁾少ない状況の中で, 1) 供給側と受け入れ側の能力差の存在, 2) 供給側に遺伝的素材が豊富で, 3) 供給側の改良組織は発展的であり, 4) 改良目標に変化があり, 5) 供給側の改良傾向や血統など育種情報を早く適確に把握でき, 6) 受け入れ側も環境に応じた改良目標をもち, 実行の方法と技術水準を持つことに要約できる。技術的条件の他に資本の蓄積のような社会経済的水準も重要となる。

輸入種雄牛の産乳形質に対する遺伝的効果は TAKEBE (1972) によって報告された¹⁹⁾。高等登録の記録の分析ではあるが, 輸入種雄牛は選択的に交配され, 乳量に対する効果がなく, 乳脂率を高めることに寄与したという。輸入牛が血統の選抜において体型に重点が置かれたとする著者らの考えと類似している^{24,39)}。

わが国の導入育種は第2図に模式化したものと考

第2図 有名種雄牛とAI現役牛及び導入牛



えられる²⁴⁾。最近の後代検定済種雄牛が父牛となる場合もある。北米における有名牛の育種価を推定できる改良情報にはPDやBCA, 雌牛指数, 血統指数, その他 Honor list sires, Honor list cows, Elite cow list などがあるが, わが国の場合はAI種雄牛でも育種価の推定されているものはわずかである。雌牛指数なども推定されていない。導入をする種雄牛あるいは雌牛にしても能力証明付血統証の発行される北米とわが国の遺伝的能力を評価する場合の差は大きい。エリート牛として導入するので, 若齢牛であれば特に血統指数の評価は重要となる。目的形質に対する血統指数の評価は ΔG_t を大きくし, 北米の改良傾向を効率良く導入することになる。

導入育種における必要な血統情報は後代検定における計画交配への接近と極めて類似している。選択指数は HAZEL (1943)²⁵⁾ により家畜に用いられ, HENDERSON (1963)²⁶⁾ によって詳細な計算法が開発され, 血統情報の性質にも言及された。LEGATES and LUSH (1954)²⁷⁾ は雌牛の記録よりも雌牛, 母娘, 父方と母方半姉妹の記録を導入することによって 1.15 倍の改良量が得られるとした。LEROY (1958)²⁸⁾ は父方祖母や母方祖母を加えることによる情報量は増加しないと。BARR (1962)²⁹⁾ は血統情報は 8 から 9 頭の娘牛の同様の効率をもつとした。HENDERSON (1964)³²⁾ は血統情報に基づく父牛の育種価と後代検定による育種価の相関の最大値は 0.707 であるとした。現実には 0.67 が限界値であるという。DEATON and MCGILLIARD (1965)³¹⁾ や VAN VLECK (1969)³⁰⁾ により雌牛, 母, 娘, や父方及び母方半姉妹記録を利用した場合の育種価の推定値について研究がなされた。

父牛, 母牛, そして母方祖父牛の情報から息子牛の育種価を推定する詳細な研究は BUTCHER and LEGATES (1976)³²⁾ によって報告された。父牛と息子の相関は 0.43 であり, 母牛, 父牛及び母方祖父の 3 情報と息子牛の相関は 0.47 であるとした。重相関係数では 0.482 を推定し, その有効性を示した。体型の改良のためにも血統情報は有効であり, 母牛の体型の育種価から息子牛の体型の育種価を推定することは有効であるとした (MCNEILL et al, 1976)³³⁾ 血統指数と娘牛の能力は良く一致するという (POWELL et al, 1977)³⁵⁾。加藤 (1979)³⁹⁾ は米国と北

海道の現役 AI 種雄牛の血統構造を比較し, 明確な差を報告した。これらの差は導入における time lag で説明できず, 選抜圧が体型に偏るためであると。若種雄牛の導入と後代検定なしの精液の供給がなされる場合, 目的形質毎の血統指数が育種価推定の有効な手段となる。米国における後代検定用若種雄牛の生産と選抜について, KUCKER,³⁴⁾ BURNSTIDE,³⁶⁾ WHITE,³⁷⁾ FREEMAN³⁸⁾ により 1975 年に総説がある。

導入育種の受け入れ側としては 1) 北米において, AI 若種雄牛の父, 母, そして母方祖父に加えられている選抜圧について, 2) 若種雄牛の育種価推定に対する相対的な重みについて, 3) 若種雄牛の育種価推定における母牛の記録の相対的重要性などの血統情報を蓄積し, 導入育種における科学技術的方法論の開発が必要である。

雌牛の育種価

A 能力の標準化

牛群内で低能力牛の淘汰は経営経済上の水準を高めるために必須の手段であり, 雌牛の淘汰による遺伝的改良は小さいと予測されても, 長期的には淘汰更新による牛群の遺伝的構成をコントロールする手段として重要である。雌牛の育種価の推定による最大の遺伝的貢献は AI 種雄牛のエリート雌牛に正確に選抜圧が加わるときである。雌牛指数のような育種価によるランキングは牛群毎の淘汰水準の決定とエリート雌牛の発見に有効な手段となる。目的形質となる乳量, 乳質, あるいは体型の育種価を推定する場合, いくつかの制御可能な変動因に対応する必要がある。牛群は年齢, 分娩月, 空胎期間や産次のちまちな個体によって構成されているからである。分散分析のモデルにもよるが, 遺伝に起因する分散成分は約 5%, 年齢は約 15%, 分娩季節が 10%, その他が 50% と分割できるという⁴⁰⁾。一般に乳量の記録は次のモデルを用いて表現できる。

$$Y = \mu + \text{sire effect} + \text{dam effect} + \text{herd effect} + \text{age effect} + \text{parity effect} + \text{season effect} + \text{open days effect} + \text{dry days effect} + \text{region effect} + \text{year effect} + \text{interaction effect} + \text{others unidentified effect}$$

LEE (1977)⁴¹⁾ は牛群によるもの 4.15%, 年齢に

3.6%, 牛群×年齢に2.8%, 残差に52.1%を推定した。ヨーロッパでは育種価の評価時に対応すべき要因が検討された (GAILLARD et al, 1977⁴²)。地域差も存在し (MILLER 1964)⁴³、年齢の効果や分娩月の効果は大きく、加えて、年齢と分娩月の間には交互作用が存在する (MILLER et al, 1970,⁴⁴ MAO et al, 1974,⁴⁵ 鈴木・光本, 1976⁴⁶)。米国では6地域毎に年齢-分娩季節補正係数を示している (NORMAN et al, 1974)⁴⁷。北海道では北海道乳牛検定協会との協同研究により、3地域に対応する年齢-分娩月補正係数が推定された。年齢-分娩月補正における飼養水準の効果は小さいという (WIGGINS and VAN-VLECK, 1977)⁴⁸。すくなくとも環境の類似している地域内では年齢-分娩月補正係数をしなければ牛群内のランキングの信頼性は低いと考えられる。この分野の総説として、FREEMAN (1973)⁴⁹とMILLER (1973)⁵⁰は参考となる。補正係数の推定法として、Gross comparison 法, Paired comparison 法, Breed age average 法, それにMaximum Likelihood 法の中ではMaximum likelihood 法がすぐれている。空胎期間の長短は乳量に関係し、環境的なものであるため補正を必要とする要因であるとし、補正係数を推定した。後代検定にも有効であるとした。乾乳期間の補正は遺伝的效果も含むために補正は勧められないとした (SCHAEFFER et al, 1972)^{52,53}。現在のホルスタイン登録協会の年齢補正係数はKE-NDRICKの古典的なGross comparison 法によるものを参考としているので、若齢では過小評価の傾向をもち、老齢牛ではかなりの過大評価をもたらし、また分娩月の効果を大きくする可能性をもっているので再検討を必要としている。

今までの論議は乳量の完全記録 (305日, 2回搾乳) が完了記録に関するものであった。選抜, 淘汰及び交配の決定には雌牛の部分記録は牛群とも、集団の遺伝的改良とも関係する。個々の牛群では低能力牛の早期発見により、より利益率の高い経営も可能である。もし、部分記録によってエリート雌牛が発見されれば、早期に次の世代のための計画交配が可能となる。結果的には、世代間隔を短縮でき、改良速度を高められる。記録の増加による種雄牛の育種価推定の精度を高めることもできる。不完全搾乳期間の補正は地域、年齢や分娩月を考慮すべきとしてい

る (KEOWN and VAN VLECK, 1973,⁵⁴ POWELL et al, 1978,⁵⁵ WIGGANS and VAN VLECK, 1979)⁵⁶。部分記録の拡張係数の推定法にはMETHOD PのようなLast-sample production の関数の外に非線型法による方法もある (WOOD, 1974,⁵⁷ SCHAEFFER, 1977)⁵⁸。これは泌乳に関係する栄養実験にも有効としている。部分記録の拡張における産次と季節の効果については鈴木・光本 (1976)⁴⁶はフィールド・データをを用いてその精度を検討している。わが国でもこの分野で農林水産省の協力のもとに畜産試験場等の協同研究が始められた (1979)⁵⁹。短期記録の遺伝率や遺伝相関などが推定され、泌乳曲線を利用する拡張法なども試みられている。データの属性にもとづく環境相関や他の環境要因に対する対応は今後の課題である。短期検定や拡張係数による標準化では泌乳期間の短い遺伝子型の乳牛に今後どう対応するかも問題となる。

乳脂量や無脂固形分量に対する年齢や分娩月の効果が研究され、補正係数も推定された (NORMAN et al, 1978)⁵¹。

体型は年齢の効果が大きく、泌乳時期による効果もあるが、審査得点や各部位毎の年齢補正係数は推定されている (CASSELL et al, 1973)⁶⁰。環境相関も乳量や乳脂量に比較して高いという (YAO et al, 1979)⁶¹。

B 雌牛指数

雌牛指数は sire と dam effect を含めた相加的な遺伝子効果を表現するものである。補正係数による形質の標準化だけでは region, year や herd effect は除かれていない。LUSH (1945)⁶² は群仲間平均からの偏差を用いた。米国では、後代検定が母娘比較から、HENDERSON et al, (1954)⁷²の提案による群仲間比較法に変更され、雌牛指数 (CI) も品種と牛群の偏差や Regional-breed-year-season を考慮し、sire effect として PD を導入した。

$CI = W_1 [(\bar{C} - \overline{HM}) + 0.1(\overline{HM} - BA)] + W_2 PD$ ⁶³ などが CI として用いられた (FOLEY et al, 1972)⁶³。この CI については修正を必要とすることも研究された (MAO, 1974)⁶⁴。その後、修正同期比較法に変更されたので CI も

$CI = \frac{1}{2} [W(\overline{Cow's MCD}) + (1-w) sire's PD]$ ⁶⁵ と改良された (DICKINSON et al, 1974)⁶⁵。Iowa 州

ではCIに雌牛、母、娘、父方及び母方半姉妹の5つの血統情報が使用されている(MCGILLIARD and FREEMAN, 1976)⁶⁶⁾。POWELL(1978)⁹³⁾は娘と母方姉妹は情報から除き、計算コストも安価である4つの情報を含むCIを報告した。

$$CI = \frac{1}{2} (w(\text{cow's MCD}) + (1-w) \text{sire's PD} + (1-w) (\text{Dam's CI}))$$

牛群内の雌牛のランキングに対するBLUPとプログラミングの報告もある(HENDERSON, 1975)⁶⁹⁾、SLANGLER et al, 1976)⁶⁸⁾。

A1種雄牛の評価

凍結精液による人工授精の条件の中では乳牛の遺伝的改良の大部分は育種価の評価された種雄牛の経路からである。その種雄牛はエリート種雄牛とエリート雌牛を両親とし、その後、後代検定により評価され、選抜を受ける(第1図、第1表)。導入種雄牛にしても国内における若種雄牛にしても血統指数による選抜に加えて、有効な育種価の推定による選抜が乳牛の改良速度を支配することになる。

一般に

$I_{PS} = r_{G0} \cdot i \cdot \sigma_G = \frac{h}{2} \sqrt{\frac{n}{1+(n-1)t}} \cdot i \cdot \sigma_G$ であり、後代検定により I_{PS} を最大としたい。当然 n と i の間にバランスが必要である。牛群検定を基礎にする後代検定には、早期判定、危険の分散化及び多くの牛群における検定などの利点がある。しかし若種雄牛の維持コストや組織的協力と技術水準などの限界もある。

乳牛の後代検定は検定場方式により1902年にデンマークで始められたが、一時中止され、1945年に再開された。米国では1935年より母娘比較(Daughter-dam comparison)が1962年まで続行された。母娘に及ぼす牛群効果を補正できず、1963年からは同牛群、季節内、及び年内で他の牛と比較する群仲間比較法(Herdmate comparisonあるいはHMC)が1974年まで実施された。この間、統計的推定法の修正が行われ、このHMCは組織的發展と正確度をもたらしたために乳量の遺伝的改良に著しく貢献した。しかし、ランダムサンプリング、遺伝的改良傾向の不在、群仲間の育種価に基づく交配や淘汰のための差異等の統計的仮定に偏りを生ぜしめた。1974年からHMCの弱点を改良した修正同期比較(Modified contemporary comparison, MCC)により、PDと

して乳量、乳脂率、乳脂量、ドル指数を公表している。HFAAではSire summariesを発行し、体型のPDを加え、乳量、乳脂率、体型に3:1:1の重みをつけた総合能力指数(TPI)を公表している。体型PDは1979年の第2巻より、HENDERSONのBLUP(Best linear unbiased prediction, 最適線型不偏推定)によっている。記述式評価による各部位の評価も公表されている。

カナダでも種雄牛の育種価をWho's who in Canadian Holstein siresとして公表している。産乳形質と体型評価を含むがBCAを基礎にしている。直接比較としてはBLUPを使用している。BLUPはNew York州で1970年から使用している。

種雄牛の評価法の比較はMCDANIEL(1973)⁷⁰⁾、HARGROVE et al, (1974)⁷¹⁾、THOMPSON(1966)⁷²⁾、KENNEDY et al, (1977)⁷³⁾、GAILLARD et al, (1977)⁷⁴⁾、DEMPFLE(1977)⁷⁵⁾によって試みられた。現時点ではBLUPが最も適した統計的方法とされている。BLUPは汎用最小二乗法と選抜指数の組合わせであり、誤差分散の最小化、線型性、それに不偏性の特性をもっている。いわゆる、Genetic trend, genetic merit of herdmates や Overlapping generationsの問題点を解決している。BLUPの利点は育種価の評価時に対応すべき諸要因を方程式の中に組込めることである。そのためにかなり大規模な電算機システムを必要とし、計算コストと推定精度のバランスを考慮する必要がある。このコスト問題が数年前までBLUPの難点であったが、方法論の発展(HENDERSON, 1977)と電算機システムの普及とコストダウン化はBLUP法を普及させる大きな理由となる。

前章の雌牛の育種価や種雄牛の育種価の推定は牛群検定の実施を条件としている。牛群検定を通して、エリート雌牛とエリート雄牛を選抜し、交配する方法であった。しかし、牛群検定と人工授精の普及率が低い場合、中央検定場方式(Central station system)を用い娘牛の飼養環境を統一して種雄牛の育種価を推定する試みがある。飼料効率や精度の高い測定技術を必要とする形質の測定、研修の素材、能力の標準や遺伝的差異の展示に適している。欠点として年次間や検定場間や検定場内娘牛グループ間の環境要因を消去するにも問題点を持ち、遺伝子型

と環境の交互作用は乳牛の場合重要でなくとも推定精度に関係し、かつ、酪農家レベルにおける検証も得られにくいものとなる。環境差を最小とする意図に比例しない結果が報告されている (TOUCHBERRY et al, 1960,⁷⁹⁾ CHRISTENSEN 1970,⁷⁸⁾ 1974⁷⁹⁾)。遺伝的改良に貢献する4経路のエリート雄牛とエリート雌牛を毎世代いかにして発見するかにも問題点をもっている。検定種雄牛当りの娘牛の数による検定精度の限界もあるが、最大の弱点は最適改良量を得るために必要な費用であろう。加えて、検定場システムからの情報は一般酪農家における経営改善と淘汰更新に必要な情報とは異質なものとなる可能性が大きい。ちなみに、検定場システムによる乳牛の後代検定はわが国のみのものである。

牛群の改良戦略

北海道の場合、現場検定方式(Field system)にエリートAI種雄牛とエリート雌牛を発見し、交配と検定と選抜を続ける後代検定システムに導入育種を組み合わせる改良戦略をもつことになろう。これは牛群検定の比較的高い検定率を条件としている。後代検定のプログラムでは集団内の検定雌牛の数、若種雄牛数、若種雄牛当りの娘牛の数及び若種雄牛に交配できる検定牛の数などが遺伝的改良量の条件となる。北海道の乳牛集団で最適改良量を得るための最適構造の分析が必要となってくる(赤堀・光本, 1977¹⁸⁾)。現場検定の場合は、MILLER (1977)⁸⁰⁾ や MILLER and PEARSON (1979)⁸¹⁾ の指摘するように経済的視点を考慮しなければならない。世代間隔は種雄牛で7.5年、雌牛で5年とされるので、後代検定牛のコスト、検定精度の面からは種雄牛当りの娘牛の数は50頭にもなる。検定の信頼性と選抜差はともにコストと直接的関連性をもっている。

乳牛の改良目標に関係するものとして、乳量、乳質、搾乳性と乳房形質、乳房炎、体型と体格、長命性、そして飼料効率等があげられる。いかなる月齢に測定すれば高い信頼性と生涯能力を高めるために最も有効な推定値が得られるかを知る必要もある。産乳形質なら初産で可能であり、長命性なら48か月 (EVERETT, et al 1976)⁸⁵⁾ などがある。選抜形質数と選抜圧の関係は遺伝相関がゼロの場合は $1/\sqrt{n}$ であるため、コスト問題を含め選抜効率を考える必要がある。わが国でも種雄牛選抜事業では乳量、乳脂

率とSNFに重みづけした選抜指数を使用している(横内・阿部, 1978)⁸²⁾

米国のサイアサマリーではTPIを公表しているが、1979年の前期までは乳量(PDM)と体型(PDT)に1:1の重みをつけていた。同年後期からはPDMとPDTに乳脂率(PDF%)を加えて、3:1:1の重みをつけてTPIを推定し、順位を公表している。酪農家に対する改良情報におけるこの種雄牛の評価基準の変化は注目すべきである。カナダにおいても、高乳価と種畜の輸出低下傾向の中で、早急に産乳形質に選抜圧を強めるべきという提案がされた (BURNSIDE, 1975)⁸³⁾。

乳量と体型の2形質の改良は選抜対象形質として最も重要なものとされる。体型への選抜は牛群検定がなく、導入育種に全面的依存した時代には産乳能力を間接的に選抜するための形質とされたが、多頭数飼育下では直接選抜形質である。現在の北海道におけるAI種雄牛は導入時に体型に対して強い選抜を加えている(加藤1979³⁹⁾)。乳量(PDM)と体型の負の遺伝相関 (GRANTHAM et al, 1974)⁸⁴⁾、長命性と体型の負の遺伝相関 (EVERETT et al, 1976)⁸⁵⁾ の報告や米国のエリート雌牛リストの血統分析の結果から、北海道では乳量に対する選抜圧を強める育種システムが今後の課題となる。

遺伝相関係数を利用した間接選抜として、飼料効率率は乳量の選抜から (FREEMAN, 1967)⁸⁶⁾、体型各部位は体型得点から (VINSON et al, 1976)⁸⁷⁾ 有効な相関反応を期待できる。乳量のみでの選抜は繁殖と健康管理に大きな影響をもたらせないとする報告もある (SHANKS et al, 1978)⁸⁸⁾。乳量と乳成分重量の遺伝相関は正で高いが、成分率とは低い負の相関が存在するので (GAUNT, 1973)⁸⁹⁾、バランスのとれた重みづけによる選抜が必要である (光本, 1979)⁹⁰⁾。

AI種雄牛、特に父牛と母方祖父牛の遺伝的改良に果す役割が極端に大きいことから、血統情報の分析は今後の北海道の乳牛改良にとって重要である。導入育種に依存する度合が強ければ、その重要性は増加する。特に受精卵の移植技術により高い育種価をもつ若種雄牛の導入にも目的形質の血統指数の高低による評価と北米の血統構造の情報は改良戦略として重要な手段となろう。

牛群検定の組織化

乳牛の育種価の推定には、可能な限り無作為抽出による多数の個体からの記録を必要とする。多数の個体の中より高い精度でエリート雄牛とエリート雌牛を選抜することが選抜差を大きくし、結果的に ΔG_t を大きくする。乳牛の場合、一般酪農家の牛群のすべての個体について生涯検定するのが牛群検定である。このような牛群検定を基礎として、後代検定をフィールドシステムで実施し、大きな ΔG_t を実現しているのが北米であり、北欧における乳牛改良組織である。⁹¹⁾前述した後代検定システムにしても、雌牛指数の推定でも牛群検定による大規模な乳牛の各形質の記録の蓄積が不可欠である。米国においては約1000万頭の乳牛から1979年7月現在18,682頭のエリート雌牛を選抜できる条件がある。北海道でも1979年には経産牛396,200頭の36.7%が牛群検定に加入していて、一戸当たり24頭になる。この数値はフィールドシステムによる後代検定を可能とする条件をもたせる。

牛群検定からの情報は淘汰更新水準の決定や経済効率の高い乳牛の最適選抜法へと発展する資料を提供する。牛群検定の目的の一つは群全体の中で各個体ごとの情報をもとに酪農家の管理と過去の記録の評価を通して長期の計画を作ることである。検定センターからは正確で最新で、しかも理解しやすい情報の提供が必要となる。この情報処理に時間的ならぬものが必要とされる。

これには最新のコンピューターシステムを必要とし、情報処理は育種と統計理論に基礎を置くものでなければ発展性がない。

おわりに

ホルスタインの遺伝的改良の必然性は増々高まると考えられるが、乳牛の育種に関して、わが国の環境の中における基礎的研究は全く不足しているので、今後、牛群検定の発展とともに、雌牛の育種価の推定、種雄牛のサンプリング、後代検定及び導入育種等に関連する育種情報の基礎となる研究を進展させることが重要である。

参 考 文 献

- 1) ホルスタイン。(1951): 輸入牛をめぐる。ホルスタインNo 16, 8
- 2) 井上賢三。(1911): わが国最初の乳牛能力検定の思いで。ホルスタインNo 9, 10
- 3) 乳牛の経済検定の手引第7版。(1956): 北海道乳牛経済検定事業運営委員会
- 4) 島倉享次郎。(1950a): 乳牛の種牡検定について(1)ホルスタインNo 8, 15
- 5) 島倉享次郎。(1950b): 乳牛の種牡検定について(2)ホルスタインNo 9, 12
- 6) 島倉享次郎。(1950c): 乳牛の種牡検定について(3)ホルスタインNo 11, 4
- 7) 島倉享次郎。(1950d): 乳牛の種牡検定について(4)ホルスタインNo 12, 17
- 8) 広瀬可恒。(1950): 北海道著名種牡牛の能力指標について。ホルスタインNo 8, 17
- 9) 島倉享次郎。(1951): 乳牛の種牡検定に望ましい娘一母牛の組数, ホルスタインNo 23, 16
- 10) 日本ホルスタイン登録協会(1952): 乳牛優良系統調査報告。ホルスタインNo 27, 3
- 11) 新得畜産試験場。(1976): 北海道立新得畜産試験場100年史。86
- 12) 別海町乳牛検定組合。(1977): 乳検
- 13) 日本ホルスタイン登録協会。(1970): 世界のホルスタイン登録事情。21
- 14) FREEMAN, A. E. (1977): Performance of north American holsteins compared cattle in Europe. A Holstein science Report.
- 15) ROBERTSON, A. and J.M.RENDEL.(1950): The use of progeny testing with artificial insemination in dairy cattle. J.Genetics., 50:21
- 16) SKJERVOLD, H. (1963): The optimum size of groups and optimum use of young bulls in AI breeding. Acta Agr. Scand., 13:131.
- 17) VAN VLECK, L. D. (1977): Theoretical and actual genetic progress in dairy cattle. Proc. Intl. Conf. Quant. Genetics, 543. ISU press
- 18) 赤堀 誠・光本孝次。(1977): 乳牛集団の遺伝的改良に及ぼす育種システムの検討。帯大研報。10:683.
- 19) TAKEBE, A. (1972): The effect of imported bulls on milking characters in Japanese dairy cattle. Jap. J. Zootech. Sci., 43:524.
- 20) ROBERTSON, A., L. K. O CONNER and J. EDWARDS (1960): Progeny testing dairy bulls at different management levels. Anim. Prod., 2:141.
- 21) POWELL, R. L. and F. N. DICKINSON (1977): Progeny tests of sires in the United States and in Mexico. J. Dairy sci., 60:1968.
- 22) LAMB, R. C., J. L. WALTERS, M. J. ANDERSON, R. D. PLOWMAN, C. H. MICKELSE and R. H. MILLER (1977): Effects of sire and interaction of sire with ration on efficiency of sire

- and interaction of sire with ration on efficiency of feed utilization by Holsteins. *J. Dairy Sci.*, **60**:1755.
- 23) WIGGANS, G.R. and L. D. VAN VLECK (1978): Evaluation of concentrates and roughages. *J. Dairy sci.*, **61**: 246.
- 24) 光本孝次. (1979): 改良・導入・種雄牛の血統の重要性. サイア. No 69:1
- 25) HAZEL, L.N.(1943): The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics.*, **28**:476.
- 26) HENDERSON, C.R.(1963): Selection index and expected genetic advance. *Statistical Genetics and Plant Breeding. NAS-NTC*, **982**:141.
- 27) LEGATES, J. E. and J. L. LUSH (1954): A selection index for fat production in dairy cattle utilizing the fat yield of the cow and her close relatives. *J. Dairy Sci.*, **37**:744.
- 28) LEROY, H.L. (1958): Die Abstammungsbewertung. *Z. Tierz. Zucht-biol.*, **71**:328.
- 29) BARR, G.R. (1962): Selecting young bulls on differences between relatives and contemporaries. Ph.D. Thesis. Iowa State Univ. cited from Butcher, K., 1973.
- 30) VAN VLECK, L.D. (1969): Relative selection efficiency in retrospect of selected young sires. *J. Dairy Sci.*, **52**:768.
- 31) DEATON, O. W. and L. D. MCGILLIARD (1965): Weighing information from relatives to select for milk in Holstein. *J. Dairy Sci.*, **48**:365.
- 32) BUTCHER, K.R. and J. E. LEGATES (1976): Estimating son's progeny test from his pedigree information. *J. Dairy Sci.*, **59**:137.
- 33) MCNEILL, W. W., W. E. VINSON, J. M. WHITE and R. H. KLEWER (1976): Predicting future type proof of young Holstein bulls from pedigree information. *J. Dairy Sci.*, **59**:527
- 34) KUCKER, W. E. (1975): Sampling bulls from planned matings in artificial insemination. *J. Dairy Sci.*, **58**:1083.
- 35) POWELL, R. L., H. D. NORMAN and F. N. DICKINSON (1975): Relationships between bull's pedigree indexes and daughter performance in the modified contemporary comparison. *J. Dairy Sci.*, **60**:961.
- 36) BURNSIDE, E. B. (1975): Screening for physiological trait. *J. Dairy Sci.*, **58**:1078.
- 37) WHITE, J. M. (1975): Choosing and sampling dairy sires: Future needs for better sampling methods. *J. Dairy Sci.*, **58**:1086.
- 38) FREEMAN, A. E. (1975): Choosing and sampling young bulls: Theory, background, and general problems. *J. Dairy Sci.*, **58**:1063.
- 39) 加藤浩二. (1979): ホルスタイン AI 種雄牛の血統情報の分析. 帯広畜産大学修士論文.
- 40) CUNNINGHAM, E. P. (1976): 種雄牛の後代検定評価法の原理について: 第四回世界フリージアン会議報告書. 日ホ資料 **21**. 昭 52.6.52
- 41) LEE, A. J. (1974): Month, year, and herd effects on age adjustment of first lactation milk yield. *J. Dairy Sci.*, **57**:332.
- 42) GAILLARD, C., J. DOMMERHOLT, E. FIMLAND, L. G. CHRISTENSEN, J. LEDERER, A. E. MCCLINTOCK, J. C. MOCQUOT and J. PHILIPSSON. (1977): AI bull evaluation standards for dairy and dual purpose breeds. *Livest. Prod. Sci.*, **4**:115.
- 43) MILLER, R. H. (1964): Biases in the estimation of the regression of milk production age. *J. Dairy Sci.*, **47**:855.
- 44) MILLER, P. D., W. ELENZ and C. R. HENDERSON (1970): Joint influence of month and age of calving on milk yield of Holstein cows in the Northern United States. *J. Dairy Sci.*, **47**:855.
- 45) MAO, I. L., BURNSIDE, J. W. WILTON and M. G. FREEMAN (1974): Age-month adjustment of Canadian dairy production records. *Can. J. Anim. Sc.*, **54**:533.
- 46) 鈴木三義・光本孝次. (1976): 搾乳量フィールドデータの部分記録の拡張における産次と季節の効果. **47**:632.
- 47) NORMAN, H. D., P. D. MILLER, B. T. MCDANIEL, F. N. DICKINSON and C. R. HENDERSON (1974): USDA-DHIA factors for standardizing 305-day lactation records for age and month of calving USDA, ARS-NE-40.
- 48) WIGGINS, G. R. and L. D. VANVLECK (1977): Age-season adjustment factors considering herd feeding practices. *J. Dairy Sci.*, **60**:1734.
- 49) FREEMAN, A. E. (1973): Age adjustment of production records: History and basic problem. *J. Dairy Sci.*, **56**:941.
- 50) MILLER, P. D. (1973): A recent study of age adjustment. *J. Dairy Sci.*, **56**:952.
- 51) NORMAN, H. D., A. L. KUCK, B. G. CASSELL and F. N. DICKINSON (1978): Effect of age and month of calving on solid-not-fat and protein yield for five breeds. *J. Dairy Sci.*, **61**:239.
- 52) SCHAEFFER, L. R. and C. R. HENDERSON (1972): Effects of days dry and days open on Holstein milk production. *J. Dairy Sci.*, **55**:107.
- 53) SCHAEFFER, L. R., R. W. EVERETT and

- C. R. HENDERSON (1973): Lactation records adjusted for days open in sire evaluation. *J. Dairy Sci.*, **56**: 602.
- 54) KEOWN, J. F. and L. D. VAN VLECK (1973): Extending lactation records in progress to 305-day equivalent. *J. Dairy Sci.*, **56**: 1070.
- 55) POWEL, R. L., B. G. CASSELL and H. D. NORMAN (1978): Variation in cow evaluation from records in progress. *J. Dairy Sci.*, **61**: 788.
- 56) WIGGINS, G. R. and L. D. VAN VLECK (1979): Extending partial lactation milk and fat records with a function of last-sample production. *J. Dairy Sci.*, **62**: 316.
- 57) WOOD, P. D. P. (1974): A note on the estimation of total yield from production on a single day. *Anim. prod.*, **19**: 393.
- 58) SCHAEFFER, L. R., C. E. MINDER, I. MCMI-LLAN and E. B. BURNSIDE (1977): Nonlinear techniques for predicting 305-day lactation production of Holsteins and Jerseys. *J. Dairy Sci.*, **60**: 1636.
- 59) 乳牛の泌乳能力検定法に関する研究—泌乳能力検定法の簡易化および短期化に関する統計遺伝学的研究—泌乳曲線に関する統計遺伝学的研究. 1969.10.
- 60) CASSELL, B. G., W. E. VINSON, J. M. WHITE and R. H. KLI EWER (1973): Age correction factors for type traits in Holstein cows. *J. Dairy Sci.*, **56**: 1178.
- 61) YAO, S. C., J. M. WHITE, W. E. VINSON and R. H. KLI EWER (1979): Environmental correlations among paternal half-sisters for type. *J. Dairy Sci.*, **62**: 493.
- 62) LUSH, J. L. (1945): Animal breeding plan. ISU Press.
- 63) FOLEY, R. C., D. L. BATH, F. N. DICKINSON and H. A. TUKER (1972): Dairy cattle. Lea & Febiger.
- 64) MAO, I. L. (1974): Intrasire and intracow regressions of lactation records on herd-mate performance: use, estimators, and biases. *J. Dairy Sci.*, **57**: 241.
- 65) DICKINSON, F. N., H. D. NORMAN and L. G. WAITE (1974): Revision to USDA methodology for sire summaries and cow indexes. *J. Dairy Sci.*, **57**: 977.
- 66) MCGILLIAD, M. L. and A. E. FREEMAN (1976): Predicting daughter milk production from dam index. *J. Dairy Sci.*, **59**: 1140.
- 67) HENDERSON, C. R. (1975): Use of all relatives in intra herd prediction of breeding values and producing abilities. *J. Dairy Sci.*, **58**: 1910.
- 68) SLANGER, W. D., E. L. JENSEN, R. W. EVERETT and C. R. HENDERSON. (1976): Programming cow evaluation. *J. Dairy Sci.*, **59**: 1589.
- 69) HENDERSON, C. R. (1973): Sire evaluation and genetic trends. *Proc. Anim. Brd. & Genetic symp.*
- 70) MCDANIEL, B. T., H. D. NORMAN and F. N. DICKINSON (1973): Herdmates versus contemporaries for evaluating progeny tests of dairy bulls. *J. Dairy Sci.*, **56**: 1545.
- 71) HARGROVE, G. L., H. W. THOELE, R. N. DEB and J. L. GOBBLE (1974): Sire evaluation methods. *J. Dairy Sci.*, **57**: 889.
- 72) THOMPSON, R. (1976): Relationship between the cumulative difference and best linear unbiased predictor methods of evaluating bulls. *Anim. Prod.*, **23**: 15.
- 73) KENNEDY, B. W. and J. E. MOXLEY (1977): Comparison of sire evaluation methods for fat test. *Can. J. Anim. Sci.*, **57**: 221.
- 74) GAILLARD, C. S., J. DOMMERHOLT, E. FIMLAM, L. GJL-CHRISTENSEN, J. LEDERER, A. E. MCCLINTOCK, J. C. MOCOULT and J. PHILIPSSON (1977): AI bull evaluation standards for dairy and dual purpose breeds. *Livest. Prod. Sci.*, **2**: 115.
- 75) DEMPFFLE, L. (1977): Comparison of several sire evaluation methods in dairy cattle breeding. *Livest. prod. Sci.*, **4**: 129.
- 76) HENDERSON, C. R. (1977): Prediction of future records. *Proc. Intl. Conf. Quant. Genetics*. 615. ISU Press.
- 77) TOUCHBERRY, R. W., K. ROTTENSTEN and H. ANDERSEN (1960): A comparison of dairy test made at special testing stations with tests made in farmer herds. *J. Dairy Sci.*, **43**: 529.
- 78) CHRISTENSEN, L. G. (1970): Progeny testing of dairy sires based on field and test-station data. 1. Phenotypic and genetic relations. *Acta. Agric. Scand.* **20**: 293.
- 79) CHRISTENSEN, L. G. (1974): Progeny testing of dairy sires based on field and test-station data. 11. Half-sib and Half-cousin analysis. *Acta. Agric. Scand.* **24**: 147.
- 80) MILLER, R. H. (1977): Economics of selection programs for artificial insemination. *J. Dairy Sci.*, **60**: 683.
- 81) MILLER, R. H. and R. E. PEARSON (1979): Economic aspects of selection. *Anim. Breed. Abst.*, **47**: 281.
- 82) 横内 園生・阿部 猛夫. (1978): 後代検定による乳用種雄牛選抜の理論と実際 (3). 畜産の研究 **32**, 25
- 83) BURNSIDE, E. B. (1975): Selection intensity

- for production and type traits in canadian AI studs. Dairy Res. Indust. Rep., 42.
- 84) GRANTHAM, J. A. Jr., J. M. WHITE, W. E. VINSON and R. H. KLEWER (1974): Genetic relationships between milk production and type in Holsteins. J. Dairy Sci., 57:1483.
- 85) EVERETT, R. W., J. F. KEOWN and E. E. CLAPP (1976): Relationships among type, production, and stayability in Holstein cattle. J. Dairy Sci., 59:1505.
- 86) FREEMAN, A. E. (1967): Genetic aspects of the efficiency of nutrient utilization for milk production. J. Anim. Sci., 26:976.
- 87) VINSON, W. E., J. WHITE and R. H. KLEWER (1976): Overall classification as a selection criterion for improving categorically scored components of type in Holsteins. J. Dairy Sci., 59:2104.
- 88) SHANKS, R. D., A. E. FREEMAN, P. T. BERGER and D. H. KELLEY (1978): Effects of selection for milk production on reproductive and general health of the dairy cow. J. Dairy Sci., 61:1765.
- 89) GAUNT, S. N. (1973): Genetic and environmental changes possible in milk composition. J. Dairy Sci., 56:270.
- 90) 光本孝次 (1979): 生乳の無脂固形分、87. 北海道乳質改善協議会
- 91) EC酪農調査団 (1979): EC主要国における乳牛改良組織とその活動状況. 北海道乳牛検定協会
- 92) HENDERSON, C. R., H. W. CARTER and J. T. GODFREY (1954): Use of contemporary herd average in appraising progeny tests of dairy bulls. J. Anim. Sci., 13:949 (Abstr.).
- 93) POWELL, R. L. (1978): A procedure for including the dam and maternal grandsire in USDA-DUHA cow indexes. J. Dairy Sci., 61:794.