

氏 名（本籍）      すす      き      みつ      よし  
鈴      木      三      義

学 位 の 種 類      農      学      博      士

学 位 記 番 号      農      第      281      号

学 位 授 与 年 月 日      昭 和 60 年 2 月 14 日

学 位 授 与 の 要 件      学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当

学 位 論 文 題 目      北 海 道 の 牛 群 検 定 を 利 用 し た 乳 牛 の 産  
乳 能 力 の 育 種 に 関 す る 研 究

論 文 審 査 委 員 （ 主 査 ）

教 授   水 間      豊      教 授   正 木 淳 二

助 教 授   山 岸 敏 宏

# 論文内容要旨

昭和50年2月から、乳牛の個体能力の的確な把握に基づき、乳牛の改良と酪農経営の改善に資することを目的にした牛群検定（乳検）が開始された。北海道では毎年乳検に加入する農家が増加しており、昭和58年度では検定頭数が全搾乳牛43万頭の58%を超えるようになった。このような乳検の急激な普及によって、現場での乳牛の能力検定のデータが集積されつつあるが、それを利用しての育種システムの研究はほとんど手がつけられていない。

本研究の目的は、このような状況をふまえ、北海道の乳検の資料をもとに、北海道の乳牛集団の遺伝的構造を明らかにするとともに、乳検を基礎にした育種システムの確立を考察することである。まず、種畜の遺伝的な能力評価を正しく行うために、データに対する年齢・分娩月の補正を検討するとともに、牛群の遺伝的パラメータの推定を行った（第I部）。次に、第I部の成果を適用して、データの補正を行った上で種雄牛の評価モデルを検討するとともに、雄牛集団の遺伝的能力の現状を把握した。また、雌牛についても、牛群内雌牛評価モデルによる評価値によって雌牛集団の実状を解明した。さらに、これらの雄と雌の評価値を用いて、乳牛検定開始後の7年間の集団の遺伝的、環境的、そして表型的変化の動向を探った。そして、それらの成果をもとに、北海道の乳牛の育種システムのあり方を検討した（第II部）。

## 1. 産乳形質に対する年齢および分娩季節の補正

現在、わが国では乳牛の年齢別の泌乳能力を評価する場合、1952年に定められた日本ホルスタイン登録協会の年齢補正係数が使用されている。この補正係数は、米国のKendrickの補正係数をわが国の高等登録牛に適合するように修正したものであって、採用されてから今日まで30年余になっている。乳牛の著しい改良の進展や飼養管理技術の進歩を考えれば、その有効性を検討しなければならないと考えられる。また、これが高等登録牛以外の雌牛に対しての補正係数として有用であるかについても疑問がもたれる。そこで、年齢補正のみでなく、他の要因に対する補正をも検討した。まず、乳量、乳脂量、および、乳脂率に対する年齢と分娩季節の補正を、牛群・年次や雌牛の淘汰の影響を除いた最尤(ML)推定値から検討し、次に、地域差の影響について、北海道を3地域に分割して検討した。

牛群・年次および雌牛の淘汰の影響を補正した乳量と乳脂量に対する年齢効果の最尤(ML)推定値には、補正しない場合に観察されたような変動がなくなることが明らかになった（図1）。乳量に対する分娩季節の影響を評価すると、北米で報告されたものより大きく、年齢との相互作用の存在が示唆された（図2）。いずれの形質においても地域差が認められたが、乳脂率で最も顕著でありその差は分娩季節の影響より大きい傾向を示した（図3）。これらの結果は、これまで用いられてきた補正係数では不十分で、当該集団の泌乳記録に対し、地域別の年齢および分娩季節の補正をすることが、種雄牛や雌牛の評価のうえで必要であることを明らかにしている。

## 2. 産乳形質および分娩月齢の遺伝的パラメータの推定

牛群の産乳能力を遺伝的に評価するためには、当該集団における遺伝的変異の大きさや、産乳能力に関する形質間の遺伝的な関係を知る必要がある。そこで、北海道の牛群検定データを用いて、初産から3産までの乳牛の分娩月齢、実乳量、実乳脂量の遺伝率、および、年齢・分娩月を補正した成牛換算乳量と乳脂量の遺伝率と、それらの形質間の遺伝相関と表型相関を推定した。初産から3産までの遺伝率では、乳量と乳脂量とも、初産で最も高かった(表1)。また、遺伝率は成牛換算補正によりいずれの産次でも高くなり、年齢補正の有効性が認められた。

分娩月齢と乳量および乳脂量との遺伝相関は、2産次の実乳量(0.02)を除き全て負の推定値(-0.37~-0.09)が得られた(表2)。この結果は、若い年齢で分娩する個体は、遺伝的な能力が高い傾向にあることを示す。乳量と乳脂量の実測値と分娩月齢との表型相関は正の値(0.12~0.23)であるのに、それぞれの補正値と分娩月齢との表型相関はほとんど0となり、年齢補正の有効性が認められた(表3)。乳量と乳脂量の表型相関は0.82~0.88と推定されたが、遺伝相関は0.48~0.75で表型相関より低いものであった。

## 3. BLUP法による種雄牛評価

人工授精が普及した乳牛では、産乳能力の改良の上で種雄牛の果たす役割は極めて大きいものがあり、正確な種雄牛評価が重要である。本研究においては、BLUP法を用いて評価を実施したが、とくに、雌牛の多重記録の扱いおよび交配牛(娘牛の母親)の能力の補正を重点に検討した。また、乳検の成績分析を通して、北海道の雄牛集団の遺伝的な特徴を明らかにすることを試みた。

牛群の能力評価法としてのBLUP(Best Linear Unbiased Prediction)は、その予測値の誤差分散が最小で偏りが無いという性質をもつ、そして、従来の同期比較法や同群比較法に比べて優れていることが、理論的に明らかにされていた。しかし、この方法は、計算が複雑でしかも大型の計算機が必要なことから、わが国の乳牛では応用されていなかった。そこで、1975年度から1981年度の7年間に分娩した北海道乳検の初産牛129,601頭からの記録280,136を用い、BLUP法によって種雄牛評価を行った。評価に用いたモデルは、初産記録のみ用い、その要因として牛群・年度と種雄牛グループ、そして、種雄牛効果を含むSfモデルと、雌牛の5産次迄の多重記録を用い、Sfモデルの要因にさらに雌牛効果を加えたSaモデル、および、初産記録を用いるのだが、雌牛の父と母方祖父を同時に評価するMGSモデルの3種類である。いずれのモデルにおいても、種雄牛間の関係には分子血縁行列の逆行列を利用した。したがって、Sfモデルによる評価値は娘牛平均、牛群補正、血縁補正に分割され、SaモデルはSfモデルの3種の要因に加えて雌牛補正が分割された。また、MGSモデルはSfモデルの3種に加えて交配牛補正が分割された。

分割要因の変異からみると、評価値に対して貢献の大きい順に示せば娘牛平均、牛群補正、血縁

補正、そして交配牛補正あるいは雌牛補正であった。血縁補正は、種雄牛の娘の頭数が少ないときには重要であるが、多くなると血縁補正による差は小さいものであった（表4）。Saモデルで用いた2産以降の雌牛の記録では、産次数が多い個体ほど初産の乳量や乳脂量も多いことから、産乳能力によって淘汰がなされており、それが評価成績に影響していることが示唆された。したがって、多重記録の使用に当たっては、さらに、評価モデルを工夫する必要があることが明らかになった。また、種雄牛の年代による遺伝的能力には、改良傾向が認められなかった（図4）。MGSモデルとSfモデルの評価値間の相関は、娘牛が100頭以上で0.99を超える高いものであった。このことから、最も計算が容易なSfモデルでも実用上充分であることが示唆された。

北海道で生産された種雄牛の能力は、能力の高い米国からの輸入雄牛とそれよりは能力の低いカナダからの輸入雄牛の中間に位置していた。すなわち、産乳能力についてみると、これらの両系統を混合して北海道において増殖を図ったものと考えられる。また、北海道生産の種雄牛は一般の酪農家にはあまり受け入れられていないことが示された。なお、娘の頻度から種雄牛の利用傾向をみると、体型の改良は進んでいるが産乳能力のやゝ低いカナダ系が、最も種雄牛当たりの娘が多いことが示され、能力よりも体型のよい輸入牛が重視される傾向が根強いことが示された（表5）。

#### 4. BLUPによる牛群内雌牛評価

雌牛の評価値は、将来、人工授精用種雄牛として用いられる雄牛の母親となる優れた雌牛の選抜基準として、また、一般酪農家にとっては、自己の雌牛群の改良を進める上で重要なものである。

北海道の乳検データの1975年から1981年度の7年間の627,596の泌乳記録を用いて、BLUPによる292,293頭の雌牛評価値を計算した。個体の評価値の推定の精度を、異なる牛群で評価された同一個体のそれぞれの評価値の関係から検討した。評価値間の相関は0.646～0.677となって表型値間の相関0.417～0.427より高くなり、BLUPによる評価の有効性が確認された。次に、母と娘が同じ牛群にいる場合、娘の遺伝的能力を父と母の評価値から予測する回帰式を求めると、母に対する回帰係数(0.579～0.591)は父に対する回帰係数(0.489～0.493)より高く、母と娘の評価値には、牛群の共通環境が交絡していることが明らかになった。

雌牛の評価値における地域（支庁）差は、補正乳量や乳脂量に観察されたほど大きいものではなかった。また、評価値をもとに、雌牛の登録（血統、ホルスタイン系種、無登録、輸入）の違いを比較したところ、遺伝的な差は大きいものではなかった。

輸入雌牛はわが国で生産される種雄牛の母親となる可能性が極めて高いにも拘らず、それらに交配されている種雄牛の産乳能力は、一般の雌牛に対して交配されるものより低いものであった（表6）。国内産の種雄牛の能力が米国からの輸入雄牛に比べて低い原因には、このような繁殖方式が関連していると推察できる。

## 5. 北海道の過去7年間における遺伝、環境、および、表型的トレンドの推定

育種計画や改良方法が現実にとどの程度有効に作用しているかを検討したり、将来の計画を考えて行く基礎資料として、遺伝、環境、および表型的トレンドの推定が必要とされる。そこで、過去7年間における北海道の乳検集団の遺伝、環境、表型的トレンドを乳量と乳脂量について推定した。

雌牛の評価値は牛群検定に加入してからの期間が長い農家のものほど高く、牛群検定が遺伝的改良に貢献していることが推察された(表7)。

牛群構成や検定率の違いを補正した年当たりのトレンドは、遺伝的トレンドが乳量20.3kg(雌牛の評価値による)と21.5kg(種雄牛評価値による)で乳脂量0.93kg(雌牛の評価値による)と1.33kg(種雄牛評価値による)、環境的トレンドが45.5kg(乳量)と2.04kg(乳脂量)、そして、表型的トレンドが70.0kg(乳量)と3.08kg(乳脂量)であった(図5, 6)。推定された遺伝的トレンドは、文献値に比較して低く、特に改良量の大きいとされる北欧の半分以下であった。

現在、北海道ではカナダや米国から種雄牛を導入し、それに依存する育種態勢が実施されているが、このような導入育種下での乳牛群の年当たりの遺伝的改良量が小さいことが乳検のデータの分析から明らかになった。その主な理由としては、無条件で輸入牛を高く評価し、産乳形質の遺伝的能力を必ずしも検定して利用していないこと、種雄牛数の約半数を占める国内産の種雄牛を生産において、最も重要な産乳形質への選抜が必ずしも重視されていないことなど明確な育種計画が確立されていないことが挙げられる。本研究で明らかにされたように、適切な補正と統計的手法を用いることによって、乳検データから種雄牛と雌牛の正確な遺伝的能力評価が可能である。したがって、北海道における乳牛集団の産乳能力の改良をさらに促進するためには、乳検データから種雄牛と雌牛の評価を行うためのシステムをルーチン化し、しかも、その分析結果を速やかに公表することにより、産乳能力の優れた保証種雄牛と優れた雌牛の利用を軸とした育種計画を強力に推進することが必要である。

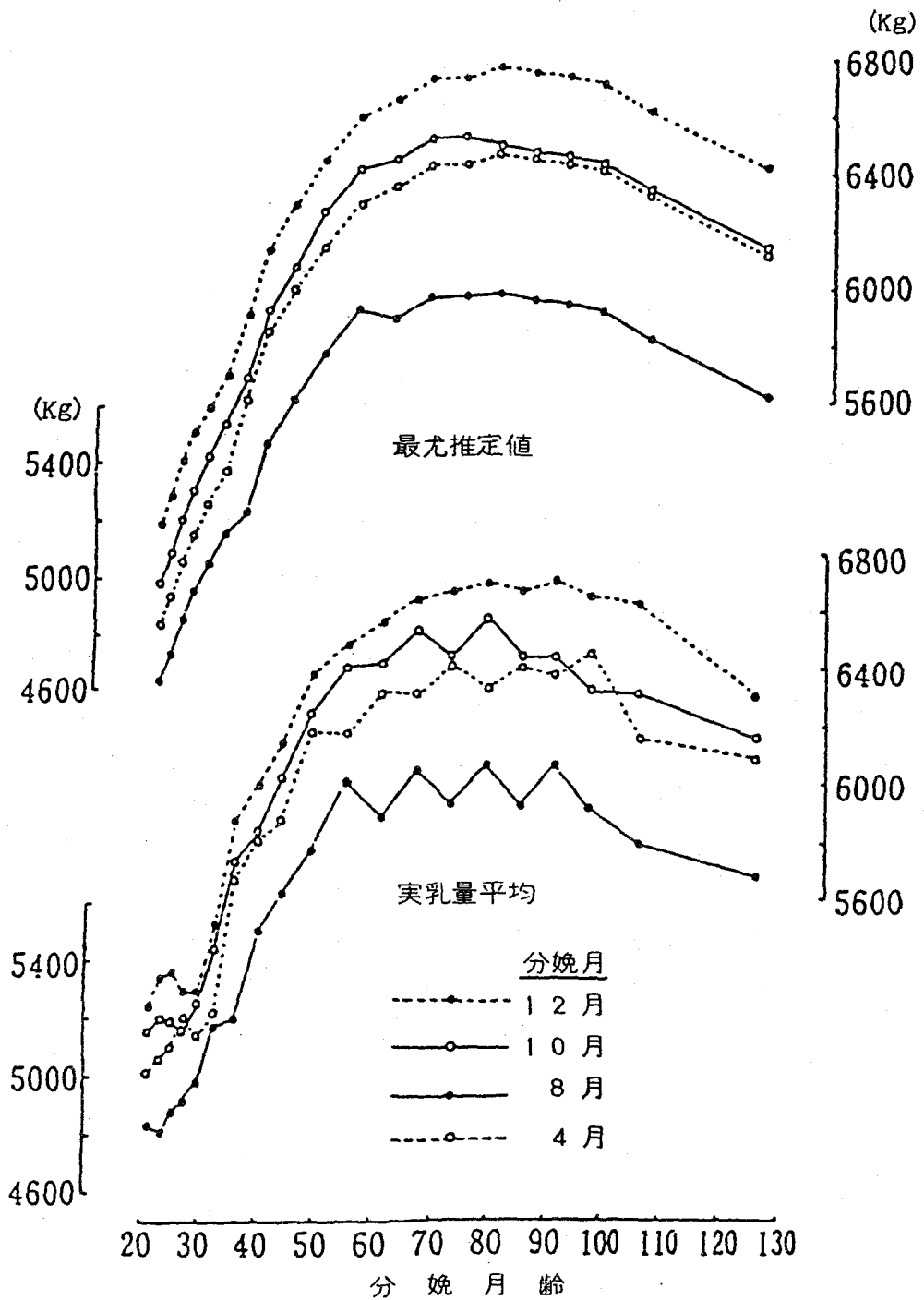


図 1 各分娩月別の実乳量と最尤推定値の分娩月齡に伴う推移

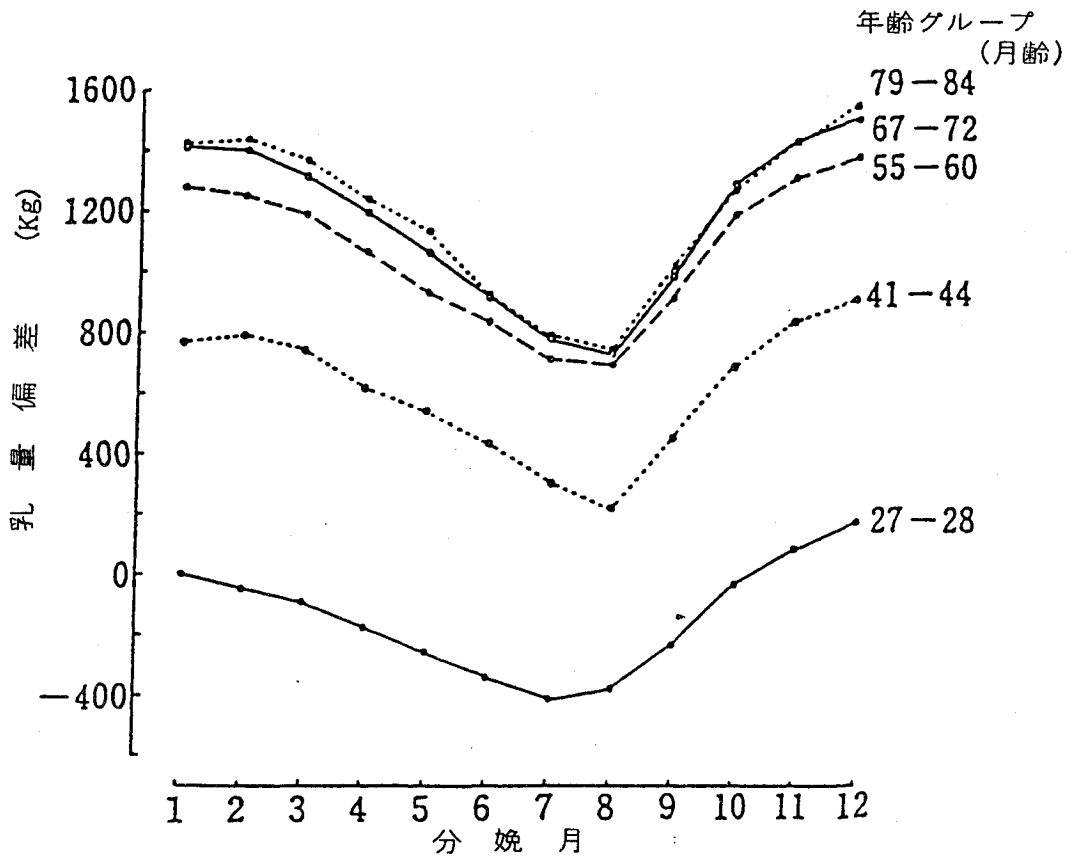


図2 初産から5産に対応する各年齢グループの乳量における分娩月に伴う推移

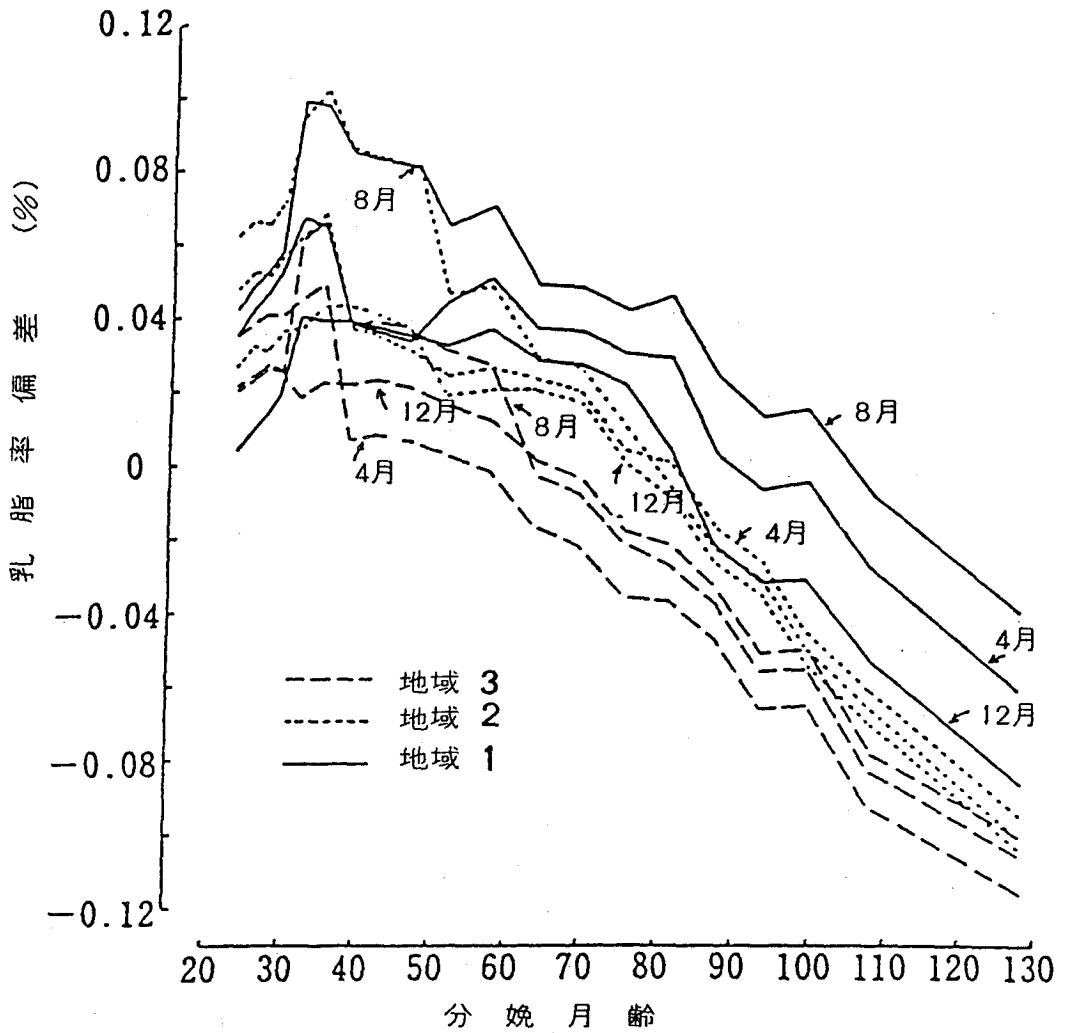


図 3 乳脂率の各分娩月における地域別の分娩月齢に伴う推移



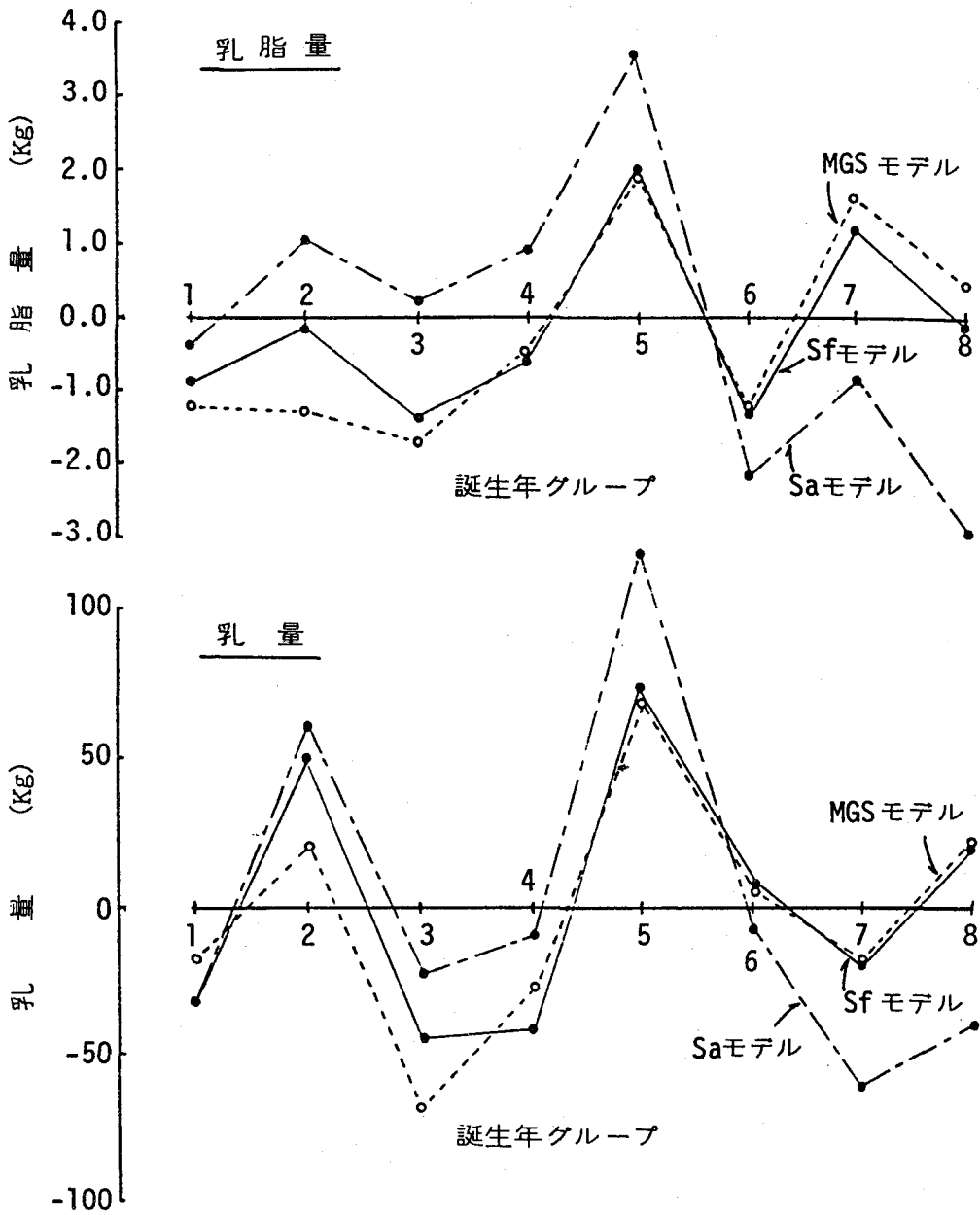


図 4 3種の種雄牛評価値の誕生年グループに伴う推移

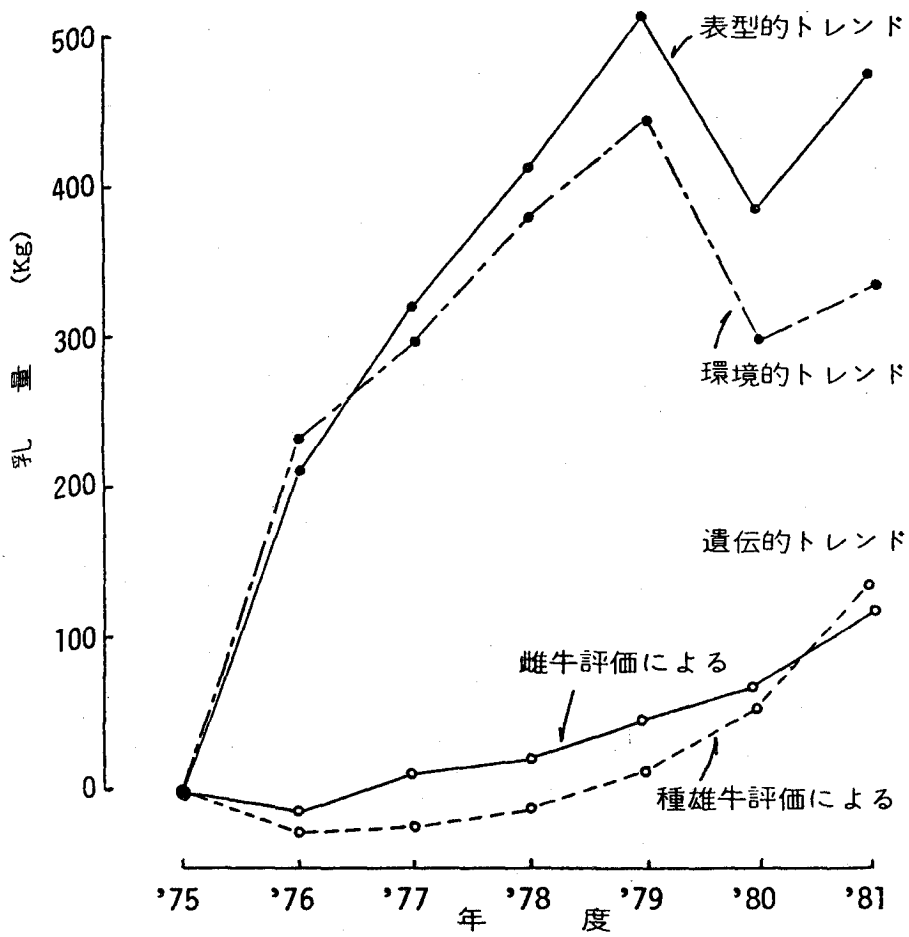


図5 北海道の雌牛集団の乳量における表型、環境  
および遺伝的トレンド

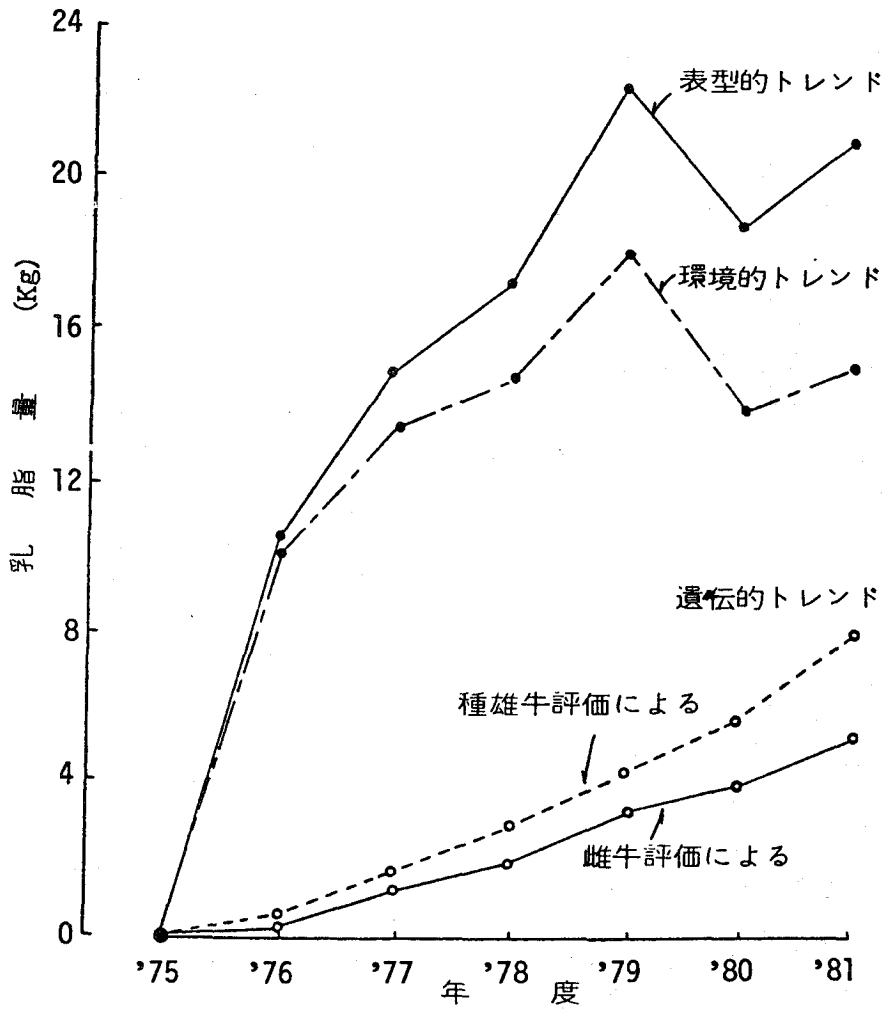


図 6 北海道の雌牛集団の乳脂量における表型、環境および遺伝的トレンド

表1 各形質の各分散成分および牛群内遺伝率と標準誤差

形質	$\hat{\sigma}_c^2$	$\hat{\sigma}_{hf}^2$	$\hat{\sigma}_e^2$	$h^2$	SE
初産					
実乳量	44148	54680	656937	.23	±.02
補正乳量	72168	85363	929274	.27	±.03
実乳脂量	62.0	92.5	939.7	.23	±.02
補正乳脂量	95.9	133.5	1280.8	.25	±.03
分娩月齡	1.93	8.64	13.85	.32	±.03
2産					
実乳量	43457	69562	841341	.18	±.02
補正乳量	52301	82482	906635	.20	±.02
実乳脂量	63.0	157.3	1210.7	.18	±.02
補正乳脂量	76.5	168.1	1280.7	.20	±.02
分娩月齡	2.20	7.67	21.63	.28	±.03
3産					
実乳量	28881	14562	910730	.12	±.01
補正乳量	32851	13859	898422	.14	±.01
実乳脂量	71.8	52.7	1382.6	.19	±.02
補正乳脂量	76.3	60.7	1321.3	.20	±.02
分娩月齡	4.45	13.05	26.85	.40	±.04

$\hat{\sigma}_c^2$  : 種雄牛成分,  $\hat{\sigma}_{hf}^2$  : 交互作用成分,  $\hat{\sigma}_e^2$  : 誤差成分  
 $h^2$  ; 遺伝率 SE ; 遺伝率の標準誤差

表2 初産から3産迄の各形質の遺伝相関

形質	実乳量	補正乳量	実乳脂量	補正乳脂量
初産				
補正乳量	.99			
実乳脂量	.73	.73		
補正乳脂量	.73	.75	.99	
分娩月齡	-.09	-.22	-.13	-.26
2産				
補正乳量	.98			
実乳脂量	.61	.62		
補正乳脂量	.58	.63	.99	
分娩月齡	.02	-.17	-.09	-.25
3産				
補正乳量	.98			
実乳脂量	.48	.49		
補正乳脂量	.47	.52	.99	
分娩月齡	-.15	-.35	-.27	-.37

表3 初産から3産迄の各形質の表型相関

形質	実乳量	補正乳量	実乳脂量	補正乳脂量
初産				
補正乳量	.95			
実乳脂量	.88	.82		
補正乳脂量	.83	.84	.96	
分娩月齡	.14	-.04	.14	-.03
2産				
補正乳量	.96			
実乳脂量	.87	.83		
補正乳脂量	.83	.84	.96	
分娩月齡	.23	.07	.23	.08
3産				
補正乳量	.96			
実乳脂量	.86	.82		
補正乳脂量	.82	.83	.97	
分娩月齡	.13	.02	.12	.03

表4 3種のモデルによる乳量についての種雄牛評価値および  
その分割要因の娘牛数区別の標準偏差 (単位: kg)

娘牛数 区分	例数	評価 値	娘牛 平均	牛群 補正	血縁 補正	雌牛 補正	交配牛 補正
Sfモデル							
1 - 9	998	193	1253	873	807		
10 - 19	85	262	782	544	242		
20 - 29	24	273	726	548	218		
30 - 39	22	265	571	371	100		
40 - 49	16	236	754	462	112		
50 - 99	38	279	467	267	66		
100 - 499	89	271	404	224	27		
500 - 999	29	309	407	201	8		
1000 -	27	308	320	150	3		
Saモデル							
1 - 9	998	212	1172	729	283	540	
10 - 19	85	310	696	435	71	143	
20 - 29	24	304	558	440	45	94	
30 - 39	22	280	491	332	21	70	
40 - 49	16	267	725	409	34	76	
50 - 99	38	260	389	235	18	43	
100 - 499	89	260	372	219	6	23	
500 - 999	29	283	383	201	2	19	
1000 -	27	292	292	141	1	15	
MGS モデル							
1 - 9	998	198	1092	752	688		116
10 - 19	85	260	649	440	188		60
20 - 29	24	227	510	414	115		59
30 - 39	22	266	471	332	70		63
40 - 49	16	251	606	363	82		70
50 - 99	38	280	396	225	50		58
100 - 499	89	271	361	214	16		54
500 - 999	29	306	368	192	5		46
1000 -	27	312	303	145	3		33

表5 乳量における主要な種雄牛330頭の父牛と母方祖父牛  
あるいは本牛の国籍で分類した系統別の平均値

モデル 要因	種雄牛の系統						
	1	2	3	4	5	6	7
種雄牛頭数	73	16	61	60	88	12	20
平均娘牛数	138	490	196	680	559	21	24
平均記録数	2.6	2.2	2.9	2.7	2.6	2.9	2.6
評価値							
Sfモデル	-47	22	-90	-97	64	2	442
Saモデル	-54	16	-125	-99	79	49	491
MGSモデル	-41	19	-77	-115	75	-27	394

系統；父牛X母方祖父牛の国籍（本牛の国籍）

1;日本X日本 2;日本Xカナダ 3;日本X米国 4;カナダXカナダ  
5;米国X米国 6;カナダ（本牛） 7;米国（本牛）

表6 乳量と乳脂量の雌牛、母、父、そして、母方祖父牛の評価値に  
おける系統別平均値 (単位：kg)

項目	雌牛の父と母方祖父牛による系統				
	1	2	3	4	5
例数	94249	332	517	67	147
	——— 乳量の平均値 ———				
雌牛	71	39	150	54	373
母牛	37	43	261	52	307
父牛	109	62	59	83	517
母方祖父牛	36	0	391	18	500
	——— 乳脂量の平均値 ———				
雌牛	2.7	3.9	8.1	5.7	16.4
母牛	1.4	5.3	12.8	6.0	14.2
父牛	4.3	3.6	3.9	7.8	21.6
母方祖父牛	1.2	5.2	17.5	5.9	21.7

系統説明 1：国産 2：母（カナダ）と父（国産）  
3：母（米国）と父（国産） 4：胎内輸入（カナダ）  
5：胎内輸入（米国）

表7 1981年度における牛群サイズ20-29頭の各形質の乳検加入年度別の平均値と標準偏差

加入 年度	例数	雌牛 評価値		種雄牛 評価値		成牛 換算値		牛群 効果	
		■	SD	■	SD	■	SD	■	SD
				乳 量					
1975	813	85	54	114	79	6775	829	6587	801
1976	243	75	49	112	74	6478	674	6312	658
1977	289	64	55	97	90	6436	759	6289	743
1978	301	70	54	117	90	6589	837	6435	798
1979	449	49	46	86	83	6361	717	6256	703
1980	410	42	42	96	83	6332	755	6249	744
1981	47	43	40	101	104	5978	745	5897	723
				乳 脂 量					
1975	813	3.4	2.0	4.6	2.5	251	35	244	33
1976	243	2.7	2.0	4.1	2.7	236	27	230	26
1977	289	2.4	1.8	3.8	2.8	236	30	230	30
1978	301	2.8	1.9	4.8	3.0	243	32	237	31
1979	449	1.9	1.7	3.5	2.7	233	29	229	28
1980	410	1.6	1.5	3.5	2.8	230	30	227	30
1981	47	1.5	1.4	3.3	2.9	215	30	213	29

■:平均値 SD:標準偏差 単位:kg



## 審 査 結 果 の 要 旨

わが国の乳牛の改良は、酪農先進国であるアメリカやカナダから種畜を輸入し、それを増殖するいわゆる導入育種の形態が主であり、乳牛個体の産乳能力の遺伝的評価をもとに選抜および交配を実施することは少なかった。昭和50年より酪農家の飼養している泌乳牛の産乳量、乳脂率等を検定員が測定し、その結果を分析して農家に戻し、牛群の改良や飼養管理技術の改善に資するための牛群検定（以下乳検と略記）が行なわれるようになった。北海道では乳検受検農家および頭数は急速に増加を続け、1983年では北海道の酪農家の約60%、頭数にして24万頭の搾乳牛が乳検を受検するに至った。

そこで著者は、この乳検で得られた膨大な乳牛の資料をもとに、北海道で用いられている種雄牛や雌牛の遺伝的能力の評価を種々の統計的手法を駆使して明らかにするとともに、繁殖構造の解析を行い、乳検を軸とした今後の北海道の乳牛改良のあり方について検討した。

はじめに、著者は乳検で得られた資料から産乳能力を評価するためには、現場の記録に影響を与えている環境要因について補正する必要があることを指摘し、牛群および年次や雌牛の淘汰の影響を受けることの少ない最尤法による年齢および分娩季節の補正係数を求めた。次にこの補正を実施した資料をもとに産乳形質の遺伝的パラメーターの推定を Henderson の Method 3 を用いて行い、我国の乳牛の産乳能力の遺伝的パラメーターとして最も信頼性のある値を明らかにした。

さらに著者は、以上の研究成果をもとに、BLUP法（最良不偏線型推定法）を用いて、3つの種雄牛の評価モデルを検討し、それらの間の精度の比較を行った。また、これらの評価値を利用して、能力評価を行うとともに、北海道における種雄牛の繁殖構造を検討した。そして北海道で供用されている種雄牛の中で米国とカナダからの輸入種雄牛は、その供用割合が約70%と極めて大きいこと、しかも能力的には国産の種雄牛に劣るカナダの種雄牛の1頭当たりの種付雌牛数が最も多くなっていることなどを明らかとしている。また、個々の雌牛の遺伝的評価についてもBLUP法を用い正確な推定を試みた。そして、これらの牛群の遺伝的評価値をもとに、牛群検定が開始されてから7年間の北海道の牛群の年当たりの遺伝的トレンドを明らかとし、その値が酪農先進国の牛群の半分以下であることを指摘した。そして、この原因は、輸入牛の遺伝的能力を評価した上で利用するのではなく、輸入牛を無条件に尊重して利用していること、また能力より乳牛らしい体型に重点を置く傾向が酪農家に強いことが原因であることを明確にした。

著者は以上の分析をもとに、今後の乳牛改良のシステムを論じ、乳検の資料を本研究に示した統計的手法をもとに分析し、種雄牛、雌牛の遺伝的能力を正しく推定し、それらの優秀な種畜を有効に利用する育種計画の樹立を提唱している。本研究は、乳検の現場の資料を本論文で示した方式によって有効に利用すれば、わが国の乳牛改良が一層推進できることを示したものであり、その意義は極めて大きい。よって審査員一同は著者に農学博士の学位を授与するのが適当と判定した。