多形質予測法による乳期途中経過記録からの 305 日乳生産量の予測

山口 諭¹・河原孝吉²・後藤裕作²・中川智史¹・増田 豊³・鈴木三義³

¹ 社団法人北海道酪農検定検査協会, 札幌市中央区 060-0004

² 社団法人日本ホルスタイン登録協会北海道支局, 札幌市北区 001-8555

³ 帯広畜産大学, 帯広市 080-8555

(2009. 11. 27 受付, 2010. 9. 27 受理)

要 約 本研究では, 多形質予測法 (MTP) を使用して途中経過記録から 305 日乳生産量の予測精度を調査した。データは, 1998 から 2005 年に北海道で収集された初産から 10 産のホルスタイン種からなる検定日記録である。真の 305 日乳生産量は, 1 カ月間隔で実施した 11 回の検定日記録を使用し (305 日の完成記録), 検定日間隔法 (TIM) からの推定値と仮定した。TIM と Method P の修正法を組み合わせた手法 (TIM-MP) および MTP を乳期途中の記録から 305 日乳生産量を予測するために使用した。牛群ごとの事前情報を考慮した MTP は, TIM-MP と比較し, 検定回数の少ない段階で精度の高い 305 日乳生産量の予測が可能であった。MTP において事前情報は, 牛群ごとに細分化し, 頻繁に更新することが 305 日乳生産量の予測精度を維持するのに重要であると考えられた。また, MTP は, 様々な検定方法や検定間隔の記録からもより精度の高い 305 日乳生産量の予測が可能な手法であった。

日本畜産学会報 81 (4), 401-412, 2010

一乳期の泌乳能力を示す基準として, 1935 年に American Dairy Science Association が推奨して以来, 長期間にわたり 305 日乳生産量 (分娩後 10 カ月間の累積産乳量) が多くの国々で利用されている (Voelker 1981; Norman ら 1985)。わが国の牛群検定事業でも例外ではなく, 泌乳能力検定 (以下, 能力検定または検定という) で得られた検定日記録は, 305 日乳生産量に加工され, 検定成績や遺伝評価成績のような情報として選抜淘汰, 飼養管理および酪農経営などの酪農現場で様々な活用されている。

標準的な能力検定 (標準検定) では, 毎月 1 回, 1 日の搾乳量および採取したサンプルの乳成分率を測定する。これらの検定日記録により, 305 日乳生産量を推定する (Schaeffer と Burnside 1976)。検定日間隔法 (Test Interval Method; 以下 TIM と略す) は, 305 日乳生産量の推定手法の一つであり (Everett と Carter 1968; Sargent ら 1968), 1990 年代には多くの国々の能力検定で一般に用いられ, 現在でもわが国を含む数カ国で利用されている。わが国において乳期の途中経過記録から 1 乳期の乳生産量を予測 (拡張) する場合は, TIM と未知の検定期間の乳生産量を予測する Method P (MP; Miller ら 1972a) の修正法を組み合わせる手法 (TIM-MP) を使用している (鈴木 1998)。305 日乳生産量への拡張は, MP の他に Modified regression (Miller ら 1972b), Multiple regression (Van

Vleck と Henderson 1961a, b), 乗算拡張係数 (Multiplicative extension factors) の利用 (Keown と Van Vleck 1973; Schaeffer と Burnside 1976), 泌乳曲線モデルの応用 (Wood 1967; Wilmink 1987; Congleton と Everett 1980) および経験的ベイズ法の応用 (Jones 1997; Pereira ら 2001) といった手法が報告されている。Schaeffer と Jamrozik (1996) は, Wood の泌乳曲線モデルのパラメータを推定するために経験的ベイズ法で仮定される過去の情報 (事前情報) を有効に活用した多形質予測法 (Multiple Trait Prediction; MTP) を開発した。VanRaden (1997) は, 泌乳曲線モデルを使用しない方法として最良予測法 (Best Prediction; BP) を開発し, 適切な事前情報が与えられれば, 選抜指数法の考え方を応用して精度の高い乳生産量を予測できることを報告した。Norman ら (1999) は, 検定間隔の異なる様々な検定プランや多様な検定方法に対し, 一貫して TIM よりも BP による予測精度が高いことを指摘した。一方, 萩谷ら (2004) は, わが国のステーションデータを用いて TIM-MP, BP および MTP を比較し, MTP による 305 日乳量の予測精度が優れていること, さらに MTP で応用する泌乳曲線モデルは Wood よりも Wilmink モデルが優れていることを報告した。MTP は, 泌乳曲線を基礎にしているために毎日の乳生産量を推定できるだけでなく, 形質間の分散共分散を利用しているので, 乳成分の測定結果が欠落しても, ある程

連絡者: 山口 諭 (fax: 011-281-3798, e-mail: s_yamaguchi@hmrt.or.jp)

度の精度を維持しながら毎日の乳成分量を予測することが可能になるという利点がある (Schaeffer と Jamrozik 1996)。

わが国における MTP の実用化は、2008 年 11 月から泌乳持続性の遺伝評価に使用するため、乳量の泌乳曲線 (Wilmink モデル) を推定するために利用されたことが唯一の事例である (社団法人家畜改良事業団 2009)。わが国では、2010 年から泌乳能力の遺伝評価方法として育種価の推定精度が優れた検定日モデル (Ptak と Schaeffer 1993) を採用した。これにともない泌乳持続性の遺伝評価は、検定日モデルから得られる遺伝的な能力曲線を利用することとなった (社団法人家畜改良事業団 2010)。このように、世界の遺伝評価システムの変遷にしたがってわが国も検定日モデルへ移行したが、305 日乳生産量という単位は、酪農家や技術者が乳牛の泌乳能力を示す慣れ親しんだ指標として、これまでと同様に継続して利用されるものと推察される。それ故、305 日乳生産量の予測法の改良は重要であり、現在使用している TIM または TIM-MP と比較し、検定回数が少ない早い段階からより精度の高い予測ができる MTP の実用化は重要な課題であると考えられる。しかし、わが国における MTP の研究は、初産乳量の泌乳曲線を推定する場合に止まり、乳成分量や体細胞数スコア (SCS) の泌乳曲線や 2 産以降の乳期における泌乳曲線の推定精度について、いまだに十分な調査が行われていない状況にある。

本研究の目的は、わが国の能力検定記録を使用し、途中経過記録から MTP で 305 日乳生産量を予測した場合の精度の検討を行うこと、事前情報の更新頻度が MTP の精度に与える影響を検討すること、および検定間隔と 1 日の検定回数が異なる様々な検定方法における MTP の精度の検討を行うことである。

材料および方法

1. データセットの編集

分析に使用したデータは、1998 年 1 月から 2005 年 11 月に社団法人北海道酪農検定検査協会に集積されたホルスタイン種の能力検定によって月 1 回の間隔で検定員の立会のもとに収集された検定日記録 (公式記録) から、初産から 10 産までの 2 回搾乳記録を抽出した。これらの検定日記録は、乳期途中で異なる牛群に移動したものや分娩から初回検定日または各検定日の間隔が 61 日以上あるものについて乳期単位で削除した。検定日記録は、2004 年 4 月末日を境に 2 つのデータセット (DS1 と DS2) に分割し、前者は事前情報の推定、後者は検証用のデータセットとして利用した。DS1 に含まれる記録は、各乳期において搾乳日数 305 日までに 9 個以上の検定日記録を持つものとし、これらの条件を満足しない場合は当該乳期に含まれるすべての検定日記録を削除した。DS2 では、搾乳日数 365 日までに 11 個以上の検定

Table 1 Number of records, means and standard deviations (SD) of test day yields for the data set 1 used to estimate prior information's parameters in each lactation

Trait	1st lactation		2nd lactation		3rd or more lactations	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Records	3,018,952		2,340,537		4,001,307	
Milk (kg)	25.5	6.0	29.9	8.3	31.0	9.0
Fat (kg)	1.00	0.23	1.18	0.32	1.22	0.35
SNF ^{a)} (kg)	2.27	0.52	2.63	0.70	2.69	0.76
Protein (kg)	0.83	0.18	0.97	0.24	0.99	0.25
SCS ^{b)}	2.48	1.60	2.69	1.75	3.06	1.86

^{a)} SNF is a solid not fat yield, ^{b)} SCS is a somatic cell score.

日記録を持ちかつ搾乳日数 305 日以降に 1 つ以上の検定日記録があるものに制限した。これらの条件を満たさない場合は、当該乳期内のすべての検定日記録を削除した。DS1 と DS2 の雌牛数は、各々 513,306 頭と 27,376 頭であり、検定日の記録数は各々 9,360,796 記録と 301,438 記録であった。分析対象とした形質は、乳量、乳脂量、無脂固形分 (SNF) 量、乳タンパク質量および体細胞数スコア (SCS) の 5 形質である。表 1 と表 2 には、DS1 と DS2 における産次と形質ごとの記録数、平均値および標準偏差を示した。

2. TIM, TIM-MP による 305 日乳生産量の推定方法

TIM による 305 日乳生産量の推定は、次の式により行った (鈴木 1998)。

$$y_{TIM} = y_1 + y_2 + y_n + y_e$$

ここで、 y_{TIM} は TIM による 305 日乳生産量、 y_1 は分娩から初回検定日までの累積乳生産量、 y_2 はピーク時の累積乳生産量、 y_n は検定日間の累積乳生産量、 y_e は搾乳日数 305 日になる前の直近の検定日から 305 日までの累積乳生産量である。本研究では、搾乳日数 305 日以降に 1 つ以上検定日記録を持つことを条件としたため乾乳時の補正を行う必要がなかった。

TIM-MP による 305 日乳生産量の予測は、次の式により行った (鈴木 1998)。

$$y_{TIM-MP} = y_{TIM} + (b_0 + b_1 \times y_{ld})(305 - t)$$

ここで、 y_{TIM-MP} は TIM-MP による 305 日乳生産量、 b_0 および b_1 は係数、 y_{ld} は最終検定日の検定日量、 t は搾乳日数である。また、 y_{TIM} は、TIM により計算した分娩から最終検定日までの累積乳生産量である。

3. MTP を使用した泌乳曲線の推定方法

本分析では、山口ら (2007) に基づき、わが国の乳牛集団の泌乳曲線をよく説明するルシャンドル (Legendre) 多項式と Wilmink (1987) の泌乳曲線を組み合わせたと

Table 2 Number of records, means and standard deviations (SD) of test day and 305-day lactation yields for the data set 2 used to compare the multiple-trait prediction procedure with the test interval method in each lactation

Trait	1st lactation				2nd lactation				3rd or more lactations			
	Test day		305-day		Test day		305-day		Test day		305-day	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Records	93,114		8,456		73,837		6,705		134,487		12,215	
Milk (kg)	26.1	6.2	8,039	1,477	29.8	8.5	9,295	1,803	30.8	9.2	9,640	1,874
Fat (kg)	1.03	0.24	315	57	1.18	0.32	368	70	1.23	0.36	385	75
SNF ^{a)} (kg)	2.32	0.53	713	132	2.63	0.71	818	158	2.68	0.77	836	163
Protein (kg)	0.86	0.19	263	49	0.98	0.24	305	58	1.00	0.26	310	60
SCS ^{b)}	2.50	1.57	—	—	2.65	1.72	—	—	3.01	1.80	—	—

^{a)} SNF is a solid not fat yield, ^{b)} SCS is a somatic cell score.

下のモデルを利用した。

$$y = \mathbf{a}'_q \mathbf{x}_t = \sum_{n=0}^4 a_{qn} x_{nt} = a_{q0} + a_{q1} \phi_1(t) + a_{q2} \phi_2(t) + a_{q3} \phi_3(t) + a_{q4} \exp(-0.05t) \dots [1]$$

ここで、 $\mathbf{x}_t = [x_{0t} \ x_{1t} \ x_{2t} \ x_{3t} \ x_{4t}]' = [1 \ \phi_1(t) \ \phi_2(t) \ \phi_3(t) \ \exp(-0.05t)]'$ 、 $\phi_1(t)$ から $\phi_3(t)$ は分娩後 t 日目における 1 次から 3 次のルシャンドル項、 $\exp(-0.05t)$ は Wil-mink の指数項である。 $\mathbf{a}'_q = [a_{q0} \ a_{q1} \ a_{q2} \ a_{q3} \ a_{q4}]$ は、形質 q の各回帰項に対応する泌乳曲線のパラメータである。

泌乳曲線のパラメータは、ベイズ理論を応用した以下の方程式を使用して推定した (Henderson 1984)。

$$(\mathbf{X}'\mathbf{R}^{-1}\mathbf{X} + \mathbf{C}^{-1})\hat{\mathbf{c}} = \mathbf{X}'\mathbf{R}^{-1}\mathbf{y} + \mathbf{C}^{-1}\mathbf{c}_0 \dots [2]$$

ここで、 $\mathbf{y}$ は、当該雌牛における 5 形質の検定日記録を要素に持つ観測値ベクトルである。 $\hat{\mathbf{c}}$ は当該雌牛における 5 形質の泌乳曲線パラメータの推定値を要素に持つベクトルである ($\hat{\mathbf{c}} = [\hat{a}'_m \ \hat{a}'_f \ \hat{a}'_s \ \hat{a}'_p \ \hat{a}'_l]$)。 $\mathbf{c}_0$ は 5 形質の泌乳曲線パラメータを要素とする既知のベクトルである ($\mathbf{c}_0 = [a'_m \ a'_f \ a'_s \ a'_p \ a'_l]$)。ここで、 m, f, s, p および l は、それぞれ乳量、乳脂量、SNF 量、乳タンパク質量および SCS を表している。 $\mathbf{X}$ は計画行列である。 $\mathbf{R}$ は泌乳ステージに対して一様でない残差の分散共分散、 $\mathbf{C}$ は 5 形質の泌乳曲線パラメータ間の分散共分散であり、各々既知の行列である。 $\mathbf{c}_0$ 、 $\mathbf{C}$ および $\mathbf{R}$ は、既知の事前情報であり、後述する方法で DS1 から算出し、 $\hat{\mathbf{c}}$ (式 [2]) を DS2 から算出するのに用いた。

Schaeffer と Jamrozik (1996) は、予測誤差が増加する理由で、行列 $\mathbf{C}$ に含まれる各パラメータ間の共分散をすべて 0 と仮定した。萩谷ら (2004) も、この報告に基づき $\mathbf{C}$ の共分散の要素を 0 と仮定した。しかし、本研究では、ルシャンドル多項式の当てはめによりパラメータ間の相関が低く、予測誤差が増加する同様の現象が生じなかったため $\mathbf{C}$ 非対角要素に共分散を与えた。

4. 事前情報の設定

萩谷ら (2004) は、フィールド記録に MTP を応用する場合、様々な環境効果の影響を考慮できる事前情報を設定することが重要であると指摘している。そこで本研究では、Schaeffer と Jamrozik (1996) が考慮した分娩季節と分娩月齢の他に牛群の環境効果を考慮した次の混合モデルを用いて産次ごとに $\mathbf{c}_0$ と $\mathbf{R}$ を推定した。

$$y_{dijkqt} = \sum_{n=0}^4 hy_{inq} x_{nt} + \sum_{n=0}^4 CM_{jmq} x_{nt} + AG_{kq} + e_{dijkqt} \dots [3]$$

ここで、 y_{dijkqt} は雌牛 d 、形質 q 、牛群・分娩年グループ i 、分娩月 j 、分娩月齢グループ k および搾乳日数 t のサブクラスにおける検定日記録である。 x_{nt} は搾乳日数 t における n 番目の回帰項であり、具体的には式 [1] の泌乳曲線である。 hy_{inq} は形質 q における i 番目の牛群・分娩年グループを示す n 次の変量回帰係数である。分娩年は、1998 から 1999 年 (CY1)、2000 から 2001 年 (CY2) および 2002 から 2003 年 (CY3) の 3 グループに分類した。 CM_{jmq} は形質 q における j 番目の分娩月を示す n 次の母数回帰係数である。 AG_{kq} は形質 q における分娩月齢グループ k の母数効果である。分娩月齢は、産次ごとに分類方法が異なるためその詳細を表 3 に示した。 e_{dijkqt} は残差である。残差分散は、泌乳ステージに対して非一様であると仮定して、搾乳日数 285 日まで 15 日間隔で 19 クラス、最終ステージのみ 20 日間隔とし、合計 20 の泌乳ステージグループに分けて推定した。

はじめに Gibbs Sampling 法 (GIBBS3F90 プログラム) を使用して牛群・分娩年グループと残差に関する分散共分散を推定し、その後 BLUPF90 プログラムを使用して、方程式の解 (hy_{inq} 、 CM_{jmq} および AG_{kq}) を推定した (Misztal ら 2002)。 $\mathbf{c}_0$ は、 hy_{inq} 、 CM_{jmq} および AG_{kq} を利用して、産次グループ (初産、2 産および 3 産以上) ごとに、牛群・分娩年グループ、分娩月グループ、分娩月齢グループの解より設定した。推定した残差分散共分散は、搾乳日数に対する 2 次回帰によって平滑化し、 $\mathbf{R}$ の要素とした。

Table 3 Groups classified by calving age in each lactation

Group	Lactation		
	1st	2nd	3rd or more
	(month)		
1	≤ 20	≤ 32	≤ 44
2	21-23	33-35	45- 47
3	24-26	36-38	48- 50
4	27-29	39-41	51- 53
5	30-32	42-44	54- 56
6	33-35	45-47	57- 59
7	36 ≤	48-50	60- 62
8		51 ≤	63- 65
9			66- 68
10			69- 71
11			72- 74
12			75- 77
13			78- 80
14			81- 86
15			87- 92
16			93- 98
17			99-110
18			111-122
19			123 ≤

C は、あらかじめ個体ごとに推定した泌乳曲線のパラメータより産次ごとに算出した。各雌牛の 305 日乳生産量は、MTP から推定したパラメータ **c** を用いて予測した泌乳曲線における 1 日ごとの生産量を分娩後 305 日まで累積した値である。

事前情報は、MTP によって予測される 305 日乳生産量の精度に大きく関与している。それ故、本分析では、3 つの分娩年グループ (CY1, CY2 および CY3) に分類した牛群ごとの各事前情報を利用して 305 日乳生産量の予測精度を比較し、305 日乳生産量に対する事前情報の更新頻度の影響を調査した。この場合、第 1 グループ (CY1) の事前情報は最も古い情報であり、この事前情報を利用する場合は事前情報の更新が緩慢な状況を再現している。一方、第 3 グループ (CY3) の事前情報は最新の情報であり、より頻繁に定期的な事前情報の更新が行われている状況を再現している。

5. MTP を使用した 305 日乳生産量の予測精度

真の 305 日乳生産量は、分娩後 305 日までの泌乳期間の毎日、実測された搾乳量を累積することによって計算される。しかし、わが国の牛群検定事業の場合は、通常、1 ヶ月間隔で能力検定が行われるため、真の 305 日乳生産量を計算するための情報が不足している。本分析で

は、1 ヶ月間隔の検定 11 回 (305 日の完成記録) の記録から TIM を使用して推定した値を真の 305 日乳生産量とした。萩谷ら (2004) は、両者の 305 日乳量との間に 0.99 の高い相関があることを報告しており、TIM を用いて推定した 305 日乳生産量は、真の 305 日乳生産量に代用が可能なものと考えた。

TIM-MP とは、分娩から最終検定日までの累積乳生産量を TIM により推定し、分娩後 305 日までの未知の累積乳生産量を MP の修正法を用いて予測する手法である。完成記録から TIM-MP を使用して予測した 305 日乳生産量は、TIM で推定した 305 日乳生産量と同値である。ここで、完成記録とは、分娩後 305 日までの累積乳生産量の推定に必要な検定回数が既に確保できた記録のことである。予測の精度を示す指標としては、TIM-MP または MTP によって予測した 305 日乳生産量と真の 305 日乳生産量との相関係数、偏りおよび平均平方誤差の平方根 ($\sqrt{MSE}$) を用いた。偏りは、305 日乳生産量の予測値と真の値との差の平均値として求めた。 $\sqrt{MSE}$ は、真値からの誤差として求めた。なお、本分析で使用した MTP からは、305 日 SCS が同時に予測される。現在の牛群検定事業で使用されている累積 SCS は、各検定の平均値 (日平均 SCS) として計算されたものである。MTP を使用した日平均 SCS は、泌乳曲線を利用しているため値の性質が異なり、現在の手法と直接比較を行うことができないため、本分析では SCS の予測精度の検討を省略した。

305 日乳生産量の予測精度は、標準検定以外に朝夕交互 (am-pm) 検定、朝 (am) 検定および夕 (pm) 検定のような多様な検定でも調査を行った。am-pm 検定の記録は、標準検定の記録から朝または夕の検定記録を交互に抽出して作成した。分娩後第 1 回目の検定を朝または夕のいずれにするかは、乱数によって無作為に選択した。同様に、am 検定と pm 検定の記録は、それぞれ朝のみと夕のみの検定記録を抽出して作成した。各検定日の日乳量は、搾乳間隔別に設定された補正係数を利用することによって推定した (河原ら 2000)。さらに、本分析では、2 ヶ月間隔で検定員の立会のもと能力検定を行う場合も想定して、検定日記録から隔月ごとにデータを抽出した。なお、2 ヶ月間隔の検定において、分娩後第 1 回の検定を 1 ヶ月間隔の 1 回目または 2 回目のどちらを最初の検定とするかは、乱数を使用して無作為に選択した。また、検定日間隔の関係で TIM-MP より 305 日乳生産量の予測が可能でなかった記録は分析から除外した。その結果、分析に用いた乳期は、初産、2 産および 3 産以上でそれぞれ 8,199、6,514 および 11,843 であった。

結果および考察

1. 事前情報の更新頻度の影響

表 4a には、初産において、MTP_{hy} の事前情報として使用する牛群・分娩年グループの分娩年グループを変更し

Table 4a Correlation coefficients, means of differences (bias) and roots of mean squared errors ($\sqrt{MSE}$) between predicted and true 305-day milk yields^{a)} by the test interval method combined modified Method P (TIM-MP) and by the multiple-trait prediction with different prior information on herd-year subclass (MTP_{hy}) classified by calving year groups (CY1, CY2 and CY3)^{b)} in first lactation

Test (no.)	Correlation				Bias				$\sqrt{MSE}$			
	TIM-MP	MTP_{hy}			TIM-MP	MTP_{hy}			TIM-MP	MTP_{hy}		
		CY1	CY2	CY3		CY1	CY2	CY3		CY1	CY2	CY3
1	0.688	0.721	0.751	0.769	-987	-473	-295	-151	1,457	1,127	1,020	957
2	0.849	0.861	0.871	0.877	-553	-319	-194	-83	958	821	756	718
3	0.908	0.913	0.917	0.921	-461	-252	-159	-74	776	660	614	585
4	0.940	0.943	0.945	0.947	-348	-197	-127	-61	616	536	505	483
5	0.963	0.963	0.964	0.965	-253	-153	-98	-48	476	435	414	398
6	0.978	0.977	0.977	0.978	-190	-114	-72	-35	363	345	330	319
7	0.989	0.987	0.987	0.987	-137	-79	-46	-19	262	265	254	247
8	0.995	0.993	0.993	0.993	-88	-50	-24	-5	175	199	191	187
9	0.999	0.997	0.997	0.997	-31	-21	-2	11	86	142	137	136
305-day	1.000	0.998	0.998	0.998	0	1	15	24	0	108	106	106

^{a)} The true 305-day yields are calculated by test interval method and are based on all 11 test day records collected by the standard supervised monthly 2 x testing scheme.

^{b)} CY1 CY2 and CY3 show the calving year groups classified by the ranges of 1998 to 1999, 2000 to 2001 and 2002 to 2003 respectively.

て各検定回数までの検定日乳量から予測した 305 日乳量と真の 305 日乳量との相関係数、偏りおよび $\sqrt{MSE}$ を示した。検定回数 1 回における相関係数は、CY1, CY2 および CY3 において各々 0.721, 0.751 および 0.769 であり、より新しい分娩年グループの相関係数が高い傾向を示した。分娩年グループによる相関係数の差は、検定回数の増加にともない減少し、検定回数 7 回程度以降からはほとんど差異が認められなくなった。検定回数 1 回における偏りは、CY1, CY2 および CY3 において各々 -473 kg, -295 kg および -151 kg とすべて過小に予測され、その中で CY3 の偏りが最も小さかった。一方、完成記録からの 305 日乳量の偏りは、CY1, CY2 および CY3 において各々 1 kg, 15 kg および 24 kg と過大に予測され、その中で CY3 の偏りが最も大きかった。しかし、検定回数 1 回から予測した 305 日乳量の偏りと比較すれば、分娩年グループ間の差は非常に小さかった。次に $\sqrt{MSE}$ は、検定回数 1 回の場合、CY1, CY2 および CY3 において各々 1,127 kg, 1,020 kg および 957 kg であり、CY3 が最も小さかった。完成記録から予測した 305 日乳量の $\sqrt{MSE}$ は、CY1, CY2 および CY3 において各々 108 kg, 106 kg および 106 kg に減少した。これらの相関係数、偏りおよび $\sqrt{MSE}$ の傾向は、2 産および 3 産以上のグループでも同様な傾向が認められた。

Schaeffer と Burnside (1976) によると、泌乳曲線の形状に与える分散共分散行列は、事前情報を最適な状態に維持するため、1 または 2 年間隔で絶えず更新して

いく必要があることを報告している。また、MTP に利用する標準泌乳曲線のパラメータと分散共分散行列は、1 乳期の累積乳量や乳成分量の予測精度を維持するために毎年更新する必要があるが、残差分散共分散は経時的に大きな変動を示す可能性が低いことから、例えば 10 年程度の間隔で更新するだけでよいとする報告がある (Schaeffer と Jamrozik 1996)。本分析ではこれらの報告にしたがい、標準泌乳曲線のパラメータに関する事前情報については 3 種類の分娩年グループに分けて検証を行ったが、残差分散に関する事前情報は同一のものを使用した。

わが国の場合、乳量の遺伝的趨勢は年当たり約 100 kg を維持し、乳成分量の遺伝改良も急速に進んでいる (独立行政法人家畜改良センター 2008)。さらに乳牛の飼養管理や搾乳技術も改善されつつあり、このような泌乳能力の改良や環境の急速な変化は泌乳曲線の形状を変化させる要因となる可能性が高い。本分析の結果は、より少ない検定回数から 305 日乳量を予測する場合、 MTP_{hy} の事前情報はより新しいものを利用した方が予測精度の向上が期待できることを示唆した。それ故、事前情報は、より頻繁に定期的に更新することで適切な泌乳曲線を予測できるものと考えられた。

2. 牛群の事前情報を考慮した MTP の精度の検討

表 4a と表 4b には、それぞれ初産および 2 産と 3 産以上において、TIM-MP と MTP_{hy} のそれぞれを使用し、各検定回数までの検定日乳量から予測した 305 日乳量と真

Table 4b Correlation coefficients, means of differences (bias) and roots of mean squared errors ($\sqrt{MSE}$) between predicted and true 305-day milk yields^{a)} by the test interval method combined modified Method P (TIM-MP) and by the multiple-trait prediction with different prior information on herd-year subclass (MTP_{hy}) in second lactation and third or more lactation

Test (no.)	Correlation		Bias		$\sqrt{MSE}$	
	TIM-MP	MTP _{hy}	TIM-MP	MTP _{hy}	TIM-MP	MTP _{hy}
----- 2nd lactation -----						
1	0.733	0.795	-1,112	-134	1,659	1,104
2	0.872	0.886	-669	-81	1,113	845
3	0.919	0.923	-562	-100	909	705
4	0.945	0.947	-413	-93	722	592
5	0.967	0.965	-291	-66	547	484
6	0.980	0.978	-231	-47	426	388
7	0.990	0.987	-167	-27	306	301
8	0.996	0.993	-100	-8	194	226
9	0.999	0.997	-37	12	96	163
305-day	1.000	0.998	0	34	0	127
----- 3rd or more lactations -----						
1	0.711	0.797	-1,145	-93	1,751	1,138
2	0.855	0.882	-750	-79	1,235	891
3	0.912	0.923	-630	-86	1,000	733
4	0.942	0.948	-488	-84	802	611
5	0.965	0.966	-348	-65	608	502
6	0.979	0.978	-267	-50	473	406
7	0.989	0.987	-197	-33	338	313
8	0.996	0.993	-120	-12	214	232
9	0.999	0.997	-44	12	103	169
305-day	1.000	0.998	0	38	0	136

^{a)} The true 305-day yields are calculated by test interval method and are based on all 11 test day records collected by the standard supervised monthly 2 x testing scheme.

の305日乳量との相関係数、偏りおよび $\sqrt{MSE}$ を示した。ここで、表4bにおけるMTP_{hy}の推定には、事前情報として最新の分娩年グループ(CY3)から推定した牛群ごとのパラメータを c_0 として用いた。また、表4aに示したMTP_{hy}の精度は、CY3の結果を用いて検討を行った。検定回数が4回以下の相関係数は、いずれの産次においてもMTP_{hy}が高かった。検定回数1回におけるMTP_{hy}の相関係数は、初産から3産において各々0.769、0.795および0.797であり、TIM-MPにおける相関係数と比較して各々0.081、0.062および0.086高かった。これらの相関係数の差異は、検定回数の増加にともない減少し、検定回数5から6回を越える頃には相関係数の差異がほとんど消失した。真の305日乳量と完成記録から予測した305日乳量との間には、MTP_{hy}を使用した場合0.998と非常に高い相関を示した。このことは、完成記録から305

日乳量を予測する場合、TIMとMTPとの間に実用上問題となる差異がないことを示唆している。初産の第1回目の検定乳量からTIM-MPおよびMTP_{hy}を使用して予測した305日乳量は、真の305日乳量との間に各々-987 kgおよび-151 kgの偏りがあった。これら2種の予測法の中でMTP_{hy}の偏りは、検定1回から9回までの範囲でTIM-MPより小さい傾向を示した。完成記録から推定した305日乳量の偏りは、MTP_{hy}において初産から3産までの各々+24 kg、+34 kgおよび+38 kgであり非常に小さかった。初産における $\sqrt{MSE}$ は、検定1回目からの予測においてTIM-MPおよびMTP_{hy}でそれぞれ1,457 kgおよび957 kgであり、TIM-MPと比較してMTP_{hy}による予測精度が高かった。305日予測乳量の $\sqrt{MSE}$ は、利用できる検定記録が増加するにしたがい減少する傾向を示し、このような傾向は2産および3産以上の記録でも同

様であった。初産、2産および3産以上の完成記録の $\sqrt{MSE}$ は、MTP_{hy}を使用した場合、各々106 kg、127 kg および 136 kg に低下した。

表5には、乳脂量、SNF量および乳タンパク質量に関して、TIM-MP および MTP_{hy}のそれぞれを使用し、各検

定回数までの検定日記録から予測した305日乳成分量と真の305日乳成分量との相関係数を産次別に示した。より少ない検定回数から予測した305日乳成分量は、TIM-MPと比較し、MTP_{hy}を使用した方が真の305日乳成分量との間に常に高い相関を示した。検定回数1回から

Table 5 Correlation coefficients between predicted and true 305-day yields^{a)} for fat, SNF (solid not fat) and protein by the test interval method combined modified Method P (TIM-MP) and by the multiple-trait prediction with different prior information on herd-year subclass (MTP_{hy}) in each lactation

Test (no.)	Fat		SNF		Protein	
	TIM-MP	MTP _{hy}	TIM-MP	MTP _{hy}	TIM-MP	MTP _{hy}
----- 1st lactation -----						
1	0.678	0.784	0.675	0.789	0.658	0.800
2	0.806	0.866	0.842	0.882	0.816	0.883
3	0.878	0.908	0.902	0.923	0.879	0.922
4	0.917	0.937	0.934	0.947	0.913	0.945
5	0.950	0.958	0.960	0.964	0.945	0.963
6	0.971	0.974	0.976	0.978	0.968	0.976
7	0.985	0.985	0.988	0.987	0.983	0.986
8	0.993	0.991	0.994	0.993	0.992	0.992
9	0.998	0.995	0.998	0.997	0.997	0.997
305-day	1.000	0.997	1.000	0.998	1.000	0.998
----- 2nd lactation -----						
1	0.715	0.783	0.720	0.807	0.704	0.812
2	0.825	0.860	0.865	0.888	0.842	0.885
3	0.881	0.900	0.911	0.922	0.887	0.918
4	0.918	0.931	0.939	0.945	0.918	0.942
5	0.951	0.954	0.963	0.963	0.948	0.960
6	0.972	0.972	0.978	0.977	0.970	0.975
7	0.986	0.983	0.989	0.986	0.984	0.985
8	0.994	0.990	0.995	0.993	0.993	0.992
9	0.998	0.995	0.999	0.997	0.998	0.996
305-day	1.000	0.997	1.000	0.998	1.000	0.998
----- 3rd or more lactations -----						
1	0.701	0.792	0.697	0.811	0.668	0.818
2	0.815	0.867	0.849	0.885	0.829	0.885
3	0.877	0.906	0.905	0.922	0.883	0.920
4	0.916	0.935	0.936	0.946	0.918	0.944
5	0.950	0.957	0.961	0.964	0.948	0.962
6	0.971	0.973	0.976	0.977	0.969	0.975
7	0.985	0.984	0.988	0.987	0.985	0.986
8	0.994	0.991	0.994	0.993	0.993	0.992
9	0.998	0.995	0.997	0.997	0.998	0.997
305-day	1.000	0.997	1.000	0.998	1.000	0.998

^{a)} The true 305-day yields are calculated by test interval method and are based on all 11 test day records collected by the standard supervised monthly 2 x testing scheme.

MTP_{hy}を使用して予測した305日乳成分量の初産から3産の相関係数は、乳脂量に関して各々0.784, 0.783および0.792, TIM-MPにおける相関係数と比較して各々0.106, 0.068および0.091の差で高い傾向を示した。同様に、MTP_{hy}を使用した場合、SNF量における相関係数は、各々0.789, 0.807および0.811であり、TIM-MPにおける相関係数と比較して各々0.114, 0.087および0.114の差で高い傾向を示した。乳タンパク質量の相関係数は、MTP_{hy}を使用した場合、同様にして各々0.800, 0.812および0.818であり、TIM-MPにおける相関係数と比較して各々0.142, 0.108および0.150の差で高い傾向を示した。特にMTP_{hy}を使用して305日乳タンパク質量を予測する場合は、検定回数1回だけでも、産次にかかわらず真の値との間に0.800以上の高い相関が存在した。これらMTP_{hy}とTIM-MPにおける各々の相関係数の差は、検定回数が増加するにしたがい小さくなった。乳成分量において、検定回数に対する相関係数の変化は、305日乳量を予測する場合と類似していた。ここでは、305日乳成分量の予測精度として相関係数のみを示したが、検定回数に対する偏りや $\sqrt{MSE}$ の傾向についても305日乳量を予測する場合と類似した傾向が認められた。

検定回数がより少ない段階から予測したTIM-MPの305日乳量は、MTP_{hy}と比較し、明らかに大きい偏りが認められた。乳量の泌乳曲線は、分娩後急激に上昇し、40日前後でピークに到達した後、漸次減少するような形状を示すが、分娩季節によりピーク後の変動が存在する(山口ら2007)。MTP_{hy}は、泌乳曲線を利用して305日乳量を予測する手法である。一方、MPの修正法は直線回帰を用いて検定記録が未知な期間を予測する方法である。MTP_{hy}は、泌乳曲線を利用するため、ピークの形状(ピークの高さ、ピークまでの上昇およびピーク後の下降傾向)に代表される搾乳日数による曲線的な推移を考慮することが可能である。さらに、牛群ごとの c_0 を利用することにより、牛群特有の推移にも対応が可能である。一方、MPの修正法は、ピークの形状やピーク後の変動といった搾乳日数による推移を考慮せず、産次・分娩月ごとに設定された係数と最終検定日の乳量および搾乳日数から直接拡張を行うため、曲線的な推移に対する柔軟性が欠如していると考えられた。それ故、TIM-MPを使用して予測した305日乳量は、検定回数が少ないほど偏りが著しく大きくなったものと推察された。

SchaefferとJamrozik(1996)および萩谷ら(2004)はMTPとTIM-MPを使用して305日乳量を予測し、真の305日乳量との相関係数から両手法の推定精度を検討した。その結果、これらの相関係数は本研究と同様に利用可能な検定回数の増加に伴い上昇したが、MTPとTIM-MPは、同じ検定回数で比較すると、これらの相関係数に顕著な差異がないとしている。前者の研究で使用したMTPの事前情報は分娩季節と分娩月齢のサブクラスで分類さ

れた情報、後者の研究ではすべてのデータから推定した一種類の情報である。本報告におけるMTP_{hy}は、先の2つの報告と比較し、より検定回数が少ない段階から精度の高い305日乳量を予測できる。このことは、牛群・年次効果を考慮することで当該雌牛の飼養環境などを適切に説明できる細分化した事前情報を利用できたことが主要な原因と考えられた。また、本報告とSchaefferとJamrozik(1996)の研究を比較した場合、乳量のみならず乳脂量や乳タンパク質量でも同様な傾向が認められることから、305日乳成分量を予測する場合も、より細分化した事前情報を考慮したMTP_{hy}の方が少ない検定回数の段階から一定以上の推定精度を維持するうえで有効な手法であると推察された。本報告において、検定回数が多い場合の予測精度は、MTP_{hy}よりもTIM-MPの方がわずかながら高かった。これは、完成記録のTIMの推定値を真の値と仮定して分析を行ったことが主要な原因であると考えられた。また、MTP_{hy}が個体の測定値の他に事前情報による修正の影響(牛群平均へ近づける)を受けることも一因として考えられた。しかし、完成記録におけるMTP_{hy}の305日推定値は、TIM-MPとほぼ1.000の相関があり、偏りと $\sqrt{MSE}$ も小さいことから、その影響はわずかであり問題にならないものと推察された。これらのことから、乳期途中のより少ない検定記録から305日乳量および乳成分量を予測する場合は、TIM-MPに比べてMTP_{hy}が優れていると推察された。

3. 多様な検定方法や検定間隔の影響

am-pm, amおよびpmの各検定は、朝または夕のどちらか一方の搾乳のみを検定し、検定日記録は補正係数を利用することによって推定したものが基本となる(河原ら2000)。それ故、これらの検定日記録は、日当たりの泌乳量に拡張された段階で、既に誤差を含んでいる。本分析では、このような誤差を伴う検定日乳量から305日乳量を予測する場合の精度について調査をおこなった。表6には、am-pm, amおよびpmから得られた各検定回数までの日当たりの初産乳量を使用し、TIM-MPとMTP_{hy}から予測した305日乳量と真の305日乳量との相関係数、偏りおよび $\sqrt{MSE}$ を示した。検定回数が少ない段階では、TIM-MPと比較し、いずれの検定方法においてもMTP_{hy}の方が高い相関を示し、偏りと $\sqrt{MSE}$ が小さく推定され、標準検定の場合と類似した傾向を示した。am-pm, amおよびpmの記録からMTP_{hy}を使用して予測した305日乳量と真の305日乳量との相関係数は、検定回数1から2回において各々0.760から0.864, 0.764から0.865および0.757から0.858であり、標準検定の記録からTIM-MPを使用して予測した305日乳量(表4aにおいて0.688から0.849の相関)よりも高い相関が推定された。また、両者の相関係数は、検定回数3回でほとんど差異がなくなり、検定回数4回以上で標準検定のTIM-MPの相関が高く推定された。このような傾向は、

Table 6 Correlation coefficients, means of differences (bias) and roots of mean squared errors ($\sqrt{MSE}$) between predicted and true 305-day milk yields^{a)} by the test interval method combined modified Method P (TIM-MP) and by the multiple-trait prediction with different prior information on herd-year subclass (MTP_{hy}), and using monthly test day records collected by each of the three testing schemes (am-pm, am and pm)^{b)} in first lactaion

Test	TIM-MP			MTP _{hy}		
	am-pm	am	pm	am-pm	am	pm
(no.)	Correlation					
1	0.658	0.662	0.655	0.760	0.764	0.757
2	0.819	0.819	0.815	0.864	0.865	0.858
3	0.880	0.884	0.872	0.908	0.909	0.899
4	0.920	0.920	0.907	0.938	0.936	0.925
5	0.946	0.945	0.935	0.956	0.954	0.943
6	0.966	0.961	0.956	0.971	0.967	0.958
7	0.979	0.973	0.968	0.980	0.976	0.969
8	0.987	0.981	0.976	0.987	0.982	0.975
9	0.993	0.985	0.982	0.991	0.985	0.980
305-day	0.995	0.987	0.984	0.994	0.987	0.982
	Bias					
1	-981	-1,039	-933	-150	-176	-128
2	-568	-617	-521	-91	-132	-54
3	-475	-503	-442	-84	-119	-49
4	-357	-373	-333	-70	-96	-41
5	-255	-268	-241	-53	-72	-31
6	-189	-198	-178	-36	-51	-20
7	-133	-145	-123	-17	-30	-4
8	-82	-91	-76	0	-11	9
9	-27	-35	-15	17	8	27
305-day	7	-3	19	32	22	43
	$\sqrt{MSE}$					
1	1,483	1,518	1,455	971	970	973
2	1,021	1,049	1,002	752	756	762
3	848	856	847	628	630	649
4	681	691	704	524	534	564
5	545	558	578	445	457	494
6	432	457	470	369	391	426
7	335	370	390	306	334	372
8	252	304	329	254	292	333
9	183	256	282	216	263	304
305-day	145	237	261	189	250	286

^{a)} The true 305-day yields are calculated by test interval method and are based on all 11 test day records collected by the standard supervised monthly 2 x testing scheme.

^{b)} am-pm, am and pm were the alternate morning and evening monthly testing, the morning monthly testing and the evening monthly testing schemes respectively.

$\sqrt{MSE}$ でもおおそ同様に認められた。一方、am-pm, amおよびpmの記録からMTP_{hy}を使用して予測した305日乳量と真の305日乳量との偏りは、検定回数1から9

回までの広い範囲において各々-150から17kg, -176から8kgおよび-128から27kgにあり、標準検定の記録からTIM-MPを使用して予測した305日乳量の偏り、

−987 から −31 kg (表 4a) と比較すれば、 MTP_{hy} は偏りをより小さくすることができた。それ故、am-pm, am および pm によって推定される検定日記録は誤差を含む記録であるが、 MTP_{hy} を使用すれば、TIM-MP より精度の高い 305 日乳量を予測できるものと推測された。

2 カ月間隔で実施する検定は、上述した 1 カ月間隔で行う検定と比較し、検定回数が少ない分、より経費を節減できる検定方法と考えられる。本分析では、標準検定の他に、さらに効率的な検定と考えられる am-pm, am および pm の各検定を組み合わせ、それぞれ 2 カ月間隔で実施したと仮定し、305 日乳量の予測精度がどれだけ維持できるかについても調査した。表 7 には、標準検定、am-pm, am および pm の各検定を 2 カ月間隔で実施した初産時の記録から TIM-MP と MTP_{hy} を使用して推定した 305 日乳量と真の 305 日乳量との相関係数、偏り

および $\sqrt{MSE}$ を示した。2 カ月間隔で実施した標準検定の場合、検定回数 1 回から TIM-MP と MTP_{hy} を使用して予測した 305 日乳量と真の 305 日乳量との相関係数、偏りおよび $\sqrt{MSE}$ は、各々 0.754 と 0.815、−768 kg と −125 kg および 1,239 kg と 868 kg であり、 MTP_{hy} における予測の精度が高い傾向を示した。これらは、1 カ月間隔で検定回数 2 回から同様に予測した場合 (表 4a) の相関係数 (0.849 と 0.877)、偏り (−553 kg と −83 kg) および $\sqrt{MSE}$ (958 kg と 718 kg) と比較し、若干精度が劣る傾向が認められた。1 カ月間隔で検定回数 2 回から予測した 305 日乳量は、同じ 2 カ月が経過した時点の記録であっても、2 回の検定が考慮されているために推定精度が高い傾向を示したものと推察された。一方、検定回数 1 回から予測した 305 日乳量では、1 カ月間隔よりも 2 カ月間隔の方が高い精度で予測できる結果が得られた。

Table 7 Correlation coefficients, means of differences (bias) and roots of mean squared errors ($\sqrt{MSE}$) between predicted and true 305-day milk yields^{a)} by the test interval method combined modified Method P (TIM-MP) and by the multiple-trait prediction with different prior information on herd-year subclass (MTP_{hy}), and using bimonthly test day records collected by four testing schemes (standard, am-pm, am and pm)^{b)} in first lactation

Test	TIM-MP		MTP_{hy}			
	standard	am-pm	standard	am-pm	am	pm
(no.)	Correlation					
1	0.754	0.722	0.815	0.802	0.806	0.799
2	0.915	0.886	0.919	0.903	0.907	0.894
3	0.961	0.942	0.958	0.945	0.945	0.933
4	0.982	0.969	0.979	0.968	0.966	0.956
305-day	0.990	0.981	0.987	0.978	0.975	0.966
	Bias					
1	−768	−772	−125	−129	−158	−105
2	−421	−428	−89	−94	−121	−72
3	−234	−235	−61	−62	−76	−49
4	−123	−121	−28	−26	−34	−17
305-day	−17	−11	3	8	2	17
	$\sqrt{MSE}$					
1	1,239	1,285	868	895	892	897
2	732	807	596	648	641	669
3	474	551	439	498	498	537
4	305	383	319	384	396	441
305-day	210	289	251	323	342	386

^{a)} The true 305-day yields are calculated by test interval method and are based on all 11 test day records collected by the standard supervised monthly 2 x testing scheme.

^{b)} standard, am-pm, am and pm were the standard bimonthly testing, the alternate morning and evening bimonthly testing, the morning bimonthly testing and the evening bimonthly testing schemes respectively.

2 ヶ月間隔の検定は1 ヶ月間隔の検定より、1 回目の検定日が泌乳ピークに近い。それ故、2 ヶ月間隔の1 回目の検定は、1 ヶ月間隔より泌乳曲線の高さ（生産量のレベル）を把握できるような検定日記録を含むため、1 ヶ月間隔の1 回目の検定と比較し、高い精度で305 日乳量を予測できたものと推察された。

2 ヶ月間隔で実施した am-pm の場合、検定回数1 回から TIM-MP と MTP_{hy} を使用して予測した305 日乳量と真の305 日乳量との相関係数、偏りおよび $\sqrt{MSE}$ は、各々0.722 と0.802、-772 kg と-129 kg および1,285 kg と895 kg と2 ヶ月間隔で実施した標準検定よりも若干低い精度を示したが、傾向としては標準検定と同様に MTP_{hy} から予測した305 日乳量の精度が高かった。am-pm, am および pm のように検定方法に違いがあったとしても、または2 ヶ月間隔の検定を実施したとしても、検定回数が少ない段階では、TIM-MP と比較し、MTP_{hy} を使用した方がより精度の高い305 日乳量が予測できると推察された。このように MTP_{hy} から予測した305 日乳生産量の精度が比較的高い傾向は2 産および3 産以上のグループ、さらには乳成分量でも同様に認められることから、MTP_{hy} は産次数や形質の種類に関わらず、305 日乳生産量を予測するうえで、広範囲に利用できる手法であるものと推察された。

以上のことから、MTP は、各雌牛の飼養環境を適切に説明できる事前情報を設定できれば、少ない検定回数の段階でも、より精度の高い305 日乳生産量を予測できることが示唆された。また、検定事業の合理化や効率化にともない検定方法が多様化している現状において、MTP は様々な検定方法によって得られた記録から、より精度の高い305 日乳生産量の予測が可能な手法であった。さらに、MTP は、検定間隔が長いためにTIM では一部分しか累積量を算出できない場合においても305 日累積量の算出が可能であること、個体ごとの泌乳曲線を利用することにより、飼養管理をはじめ生乳生産の予測にも役立てることができると考えられることから、牛群検定への導入により酪農家が日常的に活用できる情報の充実に期待できるものと推察された。

文 献

Congleton Jr. WR, Everett RW. 1980. Application of the incomplete gamma function to predict cumulative milk production. *Journal of Dairy Science* **63**, 109-119.

独立行政法人家畜改良センター. 2008. 乳用牛評価報告 第28号. pp. 30-36. 独立行政法人家畜改良センター, 福島県.

Everett RW, Carter HW. 1968. Accuracy of test interval method of calculating dairy herd improvement association records. *Journal of Dairy Science* **51**, 1936-1941.

萩谷功一, 安宅 倭, 河原孝吉, 後藤裕作, 鈴木三義, 白井達夫, 渥美 正. 2004. ホルスタイン雌牛の検定日記録から乳期生産量を予測する3 種の方法の比較. *日本畜産学会報* **75**, 345-351.

Henderson CR. 1984. *Applications of linear models in animal breeding*. University of Guelph Press, Guelph, ON, Canada.

Jones T. 1997. Empirical Bayes prediction of 305-day milk production. *Journal of Dairy Science* **80**, 1060-1075.

河原孝吉, 曾我部道彦, 齊藤祐介, 鈴木三義. 2000. 朝または夕の産乳能力の検定記録から1 日当たりの乳量と乳成分量を推定するための要因. *日本畜産学会報* **71**, 235-244.

Keown JF, Van Vleck LD. 1973. Extending lactation records in progress to 305-day equivalent. *Journal of Dairy Science* **56**, 1070-1079.

Miller RH, Hooven Jr. NW, Smith JW, Harvey WR, Creagan ME. 1972b. Modified regression for estimating total lactation from part-lactation yields. *Journal of Dairy Science* **55**, 208-213.

Miller RH, Pearson RE, Fohrman MH, Creagan ME. 1972a. Methods of projecting complete lactation production from part-lactation yield. *Journal of Dairy Science* **55**, 1602-1606.

Misztal I, Tsuruta S, Strabel T, Auvray B, Druet T, Lee DH. 2002. BLUPF90 and related programs (BGF90). *Proceedings of the 7th world congress on genetics applied to livestock production*, Montpellier, France. CD-ROM Communication No. 28-07.

Norman HD, Dickinson FN, Wright JR. 1985. Merit of extending completed records of less than 305 days. *Journal of Dairy Science* **68**, 2646-2654.

Norman HD, VanRaden PM, Wright JR, Clay JS. 1999. Comparison of test interval and best prediction methods for estimation of lactation yield from monthly, a.m.-p.m., and trimonthly testing. *Journal of Dairy Science* **82**, 438-444.

Pereira JAC, Suzuki M, Hagiya K. 2001. Prediction of 305 days milk production from early records in dairy cattle using an empirical Bayes method. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* **14**, 1511-1515.

Plak E, Schaeffer LR. 1993. Use of test day yields for genetic evaluation of dairy sires and cows. *Livestock Production Science* **34**, 23-34.

Sargent FD, Lytton VH, Wall Jr. OG. 1968. Test interval method of calculating dairy herd improvement association records. *Journal of Dairy Science* **51**, 170-179.

Schaeffer LR, Burnside EB. 1976. Estimating the shape of the lactation curve. *Canadian Journal of Animal Science* **56**, 157-170.

Schaeffer LR, Jamrozik J. 1996. Multiple-trait prediction of lactation yields for dairy cows. *Journal of Dairy Science* **79**, 2044-2055.

鈴木三義. 1998. 形質の評価および測定. 1.7 乳牛. In: 佐々木義之 (ed). 1998. 動物遺伝育種学実験法. 第1 版. pp. 17-22. 朝倉書店, 東京.

社団法人家畜改良事業団. 2009. 乳用種雄牛評価成績 2008-III. pp 9-13. 社団法人家畜改良事業団, 東京都.

社団法人家畜改良事業団. 2010. 乳用種雄牛評価成績 2009-III. pp 9-10. 社団法人家畜改良事業団, 東京都.

VanRaden PM. 1997. Lactation yields and accuracies computed from test day yields and (co) variances by best prediction. *Journal of Dairy Science* **80**, 3015-3022.

Van Vleck LD, Henderson CR. 1961a. Regression factors for extending part lactation milk records. *Journal of Dairy Science* **44**, 1085-1092.

Van Vleck LD, Henderson CR. 1961b. Extending part lactation milk records by regression ignoring herd effects. *Journal of Dairy Science* **44**, 1519-1528.

Voelker DE. 1981. Dairy herd improvement associations. *Journal of Dairy Science* **64**, 1269–1277.
Wilmink JBM. 1987. Adjustment of test-day milk, fat and protein yield for age, season and stage of lactation. *Livestock Production Science* **16**, 335–348.

Wood PDP. 1967. Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature* **216**, 164–165.
山口 諭, 河原孝吉, 後藤裕作, 増田 豊, 鈴木三義. 2007. ホルスタイン集団における最適な泌乳曲線モデルの検討. 日本畜産学会報 **78**, 415–425.

Predicting 305-day lactation yields from early part-lactation yields in Japanese dairy cattle using multiple-trait prediction procedure

Satoshi YAMAGUCHI¹, Takayoshi KAWAHARA², Yusaku GOTOH², Satoshi NAKAGAWA¹,
Yutaka MASUDA³ and Mitsuyoshi SUZUKI³

¹ Hokkaido Dairy Milk Recording and Testing Association, Chuo, Sapporo 060-0004, Japan

² Holstein Cattle Association of Japan, Hokkaido Branch, Kita, Sapporo 001-8555, Japan

³ Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Obihiro 080-8555, Japan

Corresponding : Satoshi YAMAGUCHI (fax : +81 (0) 11-281-3798, e-mail : s_yamaguchi@hmrt.or.jp)

The objective of this study was to investigate of prediction accuracy for 305-day production from early part-lactation yields with multiple-trait prediction procedure (MTP). Data consisted of 9,662,234 test day records from 1st to 10th lactations obtained from 526,603 cows of Holstein which collected between 1998 and 2005 in Hokkaido Dairy Milk Recording and Testing Association. The true 305-day production was calculated by Test Interval Method (TIM) used of all 11 test day records collected in every month. MTP and TIM combined modified Method P (TIM-MP) was used for predicting 305-day production. MTP with prior information for herd-year effect on each herd in which it can appropriately explain each effect of management (MTP_{hy}) was compared for herd×2-year period of calving effect. Test schemes that were representative of monthly (standard, a.m.-p.m., a.m. or p.m.) and bimonthly (standard, a.m.-p.m., a.m. or p.m.) were examined to compare the accuracy of MTP and TIM for estimating lactation yield. MTP_{hy} was able to predict 305-day production with high accuracy and small bias from early part-lactation yields compared with TIM-MP. MTP_{hy} was able to keep high accuracy when more fresh prior information used. The superiority of MTP_{hy} was kept even if simple testing schemes were done. Prior information should set subdivide and update frequently so that keep high accuracy. Thus MTP_{hy} is desirable method for predicting 305-day production from early part-lactation yields, various testing intervals and schemes.

Nihon Chikusan Gakkaiho 81 (4), 401–412, 2010

Key words : Holsteins, lactation curve, multiple-trait prediction, prior information, 305-day production.