

乳用牛群検定の交互検定法における乳量および乳脂率の推定法の改良

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2019-03-22 キーワード (Ja): キーワード (En): AT method, Lactation, Cow, Milk fat, Estimation by regression equation 作成者: 林, 孝, 風間, 辰也, 後藤, 秀之, 相原, 光夫 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24514/00002037

乳用牛群検定の交互検定法における乳量および乳脂率の推定法の改良

林 孝・風間辰也¹⁾・後藤秀之¹⁾・相原光夫¹⁾

中央農業総合研究センター

¹⁾ 社団法人 家畜改良事業団

要 約

乳牛の泌乳能力検定における交互検定法では、一連の検定日に乳量と乳成分を朝夕交互に測定し、1日の乳量および乳成分を朝あるいは夕のみの情報から推定する。本研究では、検定日における朝あるいは夕の当該搾乳の乳量と乳脂率を夕あるいは朝の他方の搾乳の情報から推定し、既知の情報と合わせて1日乳量と乳脂率を推定する。搾乳時刻が明らかな検定日乳量および乳成分データを用い、検定月、産次、搾乳日数、他方の乳量および乳脂率、先行する搾乳間隔を独立変数とし、当該乳量および乳脂率を従属変数としたモデルにより解析を進め、さらに1日乳量および1日平均乳脂率の推定式を策定した。その結果、朝あるいは夕の情報から推定した1日乳量、および1日平均乳脂率の推定誤差はそれぞれ1.51 kg, 1.64 kg, 0.276%, 0.313%であり、1日乳量の推定誤差は実用に耐える水準であった。次に交互検定法と従来法であるテストインターバル法により推定した305日乳量を各産次について比較した。305日乳量に関する交互検定法と従来法の差は22.4 kg以下となり、その標準偏差(SD)は161.5 kgから210.2 kgの範囲であった。また305日平均乳脂率に関する両手法の差は0.03%以下となり、そのSDは0.154%から0.187%の範囲となった。305日乳量の推定誤差は十分に小さく、305日平均乳脂率の推定誤差も容認できる範囲内であった。

キーワード: 交互検定法, 乳量, 乳牛, 乳脂率, 回帰推定

緒 言

従来の乳牛の能力検定におけるテストインターバル法(Sargent *et al.*, 1968)では、おおよそ月に一度の立会検定日に検定員の立会いのもと、夕(PM)および朝(AM)の連続した2回の乳量の測定と分析用試料の採取が必須となっている。この2回測定した乳量を合計し、さらに乳成分率を加重平均し、1日乳量および1日平均乳成分率としている。次に、1乳期のなかのおおよそ10回の立会検定日以外の搾乳日の1日乳量および1日乳成分率を補間し、305日乳量および305日平均乳成分率とする。このように立会検定の手順がやや煩雑であることが、近年の乳用牛群能力検定(牛群検定)の拡大が進まないことの一要因となっているとも考えられる。乳牛の泌乳能力を評価し、乳用種種雄牛の遺伝的能力の推定精度を向

上させるには牛群検定事業への加入率をさらに向上させ、検定頭数の増加を図る必要があるが、そのためにはより簡素な検定手法の開発が望まれている。

交互検定法(AT法)は簡素な手順により検定を行うことが可能であることから、その経費は低廉である。近年、この手法は西欧および北米諸国において急速に普及しつつある(Liu *et al.*, 2000)。AT法では乳量と乳成分が、立会検定日ごとに朝あるいは夕の片方のみ交互に測定され、1日乳量と1日平均乳成分は、測定した朝あるいは夕の片方の乳量および乳成分の情報から推定される。

Everett and Wadell (1970 a) は AT 法の先駆的研究のなかで、朝と夕の乳量の差は搾乳間隔と搾乳日数の関数であるとした。次いで、朝と夕の乳量の差を従属変数とし、搾乳間隔、泌乳ステージ等を独立変数とした分散分析を行い、朝夕の差の説明を行った(Everett and Wadell, 1970 b)。さらに乳量と乳成分の乗算係数(Multiplica-

tive factor) である (AM+PM)/AM あるいは (AM+PM)/PM を従属変数とした分散分析を行い、複数の乳用種に対応する乗算係数を推定した (Everett and Wadell, 1970 c)。その後、Schaeffer and Rennie (1976) は乳量に関する (AM+PM)/AM あるいは (AM+PM)/PM を従属変数とし、泌乳ステージ、搾乳間隔等を独立変数とした分散分析を行い、それぞれの搾乳間隔に対応した乗算係数を提示した。一方、Hargrove and Gilbert (1984) は朝あるいは夕の乳量、および搾乳間隔等を説明変数とした重回帰分析を行い、それまでと異なったアプローチによる1日乳量および1日乳成分の推定を行った。

日本国内では、Hayashi and Aihara (1999) が重回帰分析により1日の乳量、乳脂率、乳蛋白率、無脂固形分 (SNF) 率の推定を行っている。彼らの研究では、朝あるいは夕乳からの1日乳量の推定値の誤差は2 kg 以内に分布したが、1日平均乳脂率の推定誤差は0.3% を超える場合があったとしている。河原ら (2000) は北海道において、2千万件を越える搾乳記録を乗算係数の推定のために分析し、家畜の能力検定に関する国際委員会 (ICAR) が定めた4週間に一度検定を行う A4 法と AT 法の比較により乗算係数の検討を行っている。

上に述べたように、これまでの AT 法に関する研究では、朝あるいは夕の片方の乳量あるいは乳成分から1日乳量および乳成分を推定するための乗算係数を推定することが重要な課題であるとしていた。AT 法により推定した1日乳量は偏り (バイアス) と誤差を伴うが、305日乳量および平均乳脂率を AT 法の推定値を利用して計算するならば、推定誤差の一部は1乳期のなかで相互に打ち消しあうことが予想される。Norman *et al.* (1999) は毎月検定、3ヶ月間隔の検定および彼らの手法による AT 法をシミュレートし、実測値と3手法による1乳期乳量の間に強い相関関係があるとしていることから、AT 法により1乳期乳量を高い精度で推定することも可能と考えられる。

一方、乳脂率の推定精度を向上させるために、本研究において、検定日の朝あるいは夕の当該搾乳 (Current milking) の乳量と乳脂率は、夕あるいは朝の他方の搾乳 (Another milking) 記録から推定し、1日乳量は推定された当該搾乳記録と他方の搾乳記録を合計した。また1日平均乳脂率は推定された当該搾乳の乳脂率と他方の搾乳の乳脂率をそれぞれの乳量で重み付けし、計算した。さらに、1日乳量および1日平均乳脂率のデータから305日乳量および305日平均乳脂率を推定し、朝乳の

み、夕乳のみ、朝夕交互、夕朝交互の4つの AT 法間、および産次間における推定誤差を比較した。

材料および方法

本研究に用いたデータは、1991 から1995年にかけて本州、四国、九州地域で牛群検定に加入している農家において社団法人家畜改良事業団が収集した。2回搾乳の農家において、検定員が立会い、立会検定初日の夕および翌日の朝の各検定牛の個体ごとの乳量と搾乳開始および終了時刻を測定するとともに、乳成分分析用の試料により乳脂率をそれぞれの地域の分析施設にて測定した。また夕の搾乳終了時刻から朝の搾乳終了時刻までを朝の搾乳に先行する搾乳間隔とし、これらの搾乳時刻が繰り返されると見なし、朝の搾乳終了時刻から夕の搾乳終了時刻までを夕の搾乳に先行する搾乳間隔とした。

さらに下記の4基準によって搾乳データを選別した。1) 初産月齢が18ヶ月以上。2) 産次が初産から7産。3) 搾乳日数が6日から420日。4) 夕搾乳から朝搾乳までの間隔が585分から780分。その結果、354,320件がこの条件に適合した。このデータをランダムに2分割し、173,897件を分析用とし、残りの180,423件を検証に用いた。

モデルおよび解析

最初に、朝あるいは夕の当該搾乳の乳量および乳脂率を従属変数とし、検定月、産次、搾乳日数、夕あるいは朝の他方の搾乳の乳量および乳脂率、および搾乳間隔を独立変数とするモデル (1) により分析用データの解析を行った。

$$Y_{ijklmpq} = L_i + P_j + D_k + M_l + F_m + I_p + e_{ijklmpq} \quad (1)$$

ここで、左辺の $Y_{ijklmpq}$ は朝あるいは夕の当該搾乳の乳量あるいは乳脂率を示し、独立変数である右辺の L_i , P_j , D_k はそれぞれ検定月、初産から7産までの産次、分娩直後から420日までの10日刻みの搾乳日数を示す。 M_l , F_m , I_p はそれぞれ他方の搾乳の1kg刻みの乳量、0.1%刻みの乳脂率、15分刻みの585から780分までの当該搾乳に先行する搾乳間隔である。 $e_{ijklmpq}$ は残差である。このモデルによる解析には SAS (SAS, 1993) の GLM プロシージャを利用した。

次に、モデル (1) による解析で得られた各独立変数の最小二乗推定値を平滑化し、乳量あるいは乳脂率のためのパラメータの数を削減した簡素な推定式を作成するために、(1) 式のそれぞれの独立変数の各水準の推定値を二

次関数と振動モデル (Hayashi and Nagamine, 1993) と呼ばれる指数関数で近似したモデル (2) により、分析用データの重回帰分析を行った。

$$Y = b_0 + b_1L + b_2L^2 + b_3P + b_4P^2 + b_5(\exp(-t/c) - \exp(-t/a/c)) + b_6M + b_7M^2 + b_8F + b_9F^2 + 2b_{10}I + b_{11}I^2 \quad (2)$$

(2) 式の左辺の Y は朝あるいは夕の当該搾乳の乳量あるいは乳脂率である。L, P, M, F, I はそれぞれ検定月、産次、検定日の他方の搾乳の乳量、その乳脂率、当該搾乳に先行する搾乳間隔を示す。このモデル (2) の 6 番目の項は Hayashi and Nagamine (1993) が提案した泌乳曲線モデルであり、二つの指数関数を含む。この第 6 項のなかの t は搾乳日数を表し、a, c は泌乳曲線の立ち上がり持続性に関するパラメータである。この二つのパラメータは (1) 式から求めた搾乳日数の最小二乗推定値から Hayashi and Nagamine (1993) の 2 点法と呼ばれる簡易な手法により推定した。

次にモデル (2) の解析結果を検証するために、検証用のデータを用い、一次回帰分析を行った。従属変数は実測の当該搾乳の乳量あるいは乳脂率であり、独立変数はモデル (2) に他方の搾乳情報を代入し、推定した当該搾乳の乳量あるいは乳脂率である。また 1 日乳量の実測値を従属変数とし、独立変数を当該搾乳の推定乳量と他方の搾乳の実測乳量を合計したものとした分析も行った。さらに 1 日平均乳脂率は当該搾乳の推定乳脂率と他方の搾乳の乳脂率の実測値をそれぞれ加重平均したものを推定値とした。

AT 法が 1 乳期乳量に及ぼす影響を評価するために、1 乳期の立会検定回数 9 回以上、最終立会検定日が搾乳日数 305 日以上の乳期 9143 件を抽出した。これらの乳期の各検定日の 1 日乳量および乳脂率をモデル (2) から推定し、不完全な AT 法と完全な AT 法を含む、以下の 4 ケースについて検討した。

- 1) すべての検定日について朝乳のみから 1 日乳量と乳脂率を推定。
- 2) すべての検定日について夕乳のみから 1 日乳量と乳脂率を推定。
- 3) 奇数の検定回次に朝乳から、偶数回次は夕乳から 1 日乳量と乳脂率を推定。
- 4) 偶数の検定回次に朝乳から、奇数回次は夕乳から 1 日乳量と乳脂率を推定。

以上の 4 件の検討で得られた 1 日乳量および乳脂率の推定値を利用し、Sargent *et al.* (1968) のテストインター

バル法により 305 日乳量および 305 日平均乳脂率を推定するとともに、実測の 1 日乳量および乳脂率をもとにテストインターバル法により推定した 305 日乳量と比較した。

結果と考察

本研究に用いたデータの基礎的な変数について平均と標準偏差を表 1 に示した。産次、搾乳日数、夕から朝の搾乳間隔、朝から夕の搾乳間隔の平均はそれぞれ 2.53 産、186.29 日、757.57 分 (12 時間 38 分)、682.43 分 (11 時間 22 分) であり、夕の乳量、朝の乳量、夕の乳脂率、朝の乳脂率はそれぞれ 12.04 kg、13.52 kg、4.04%、3.81% であった。産次構成はやや若く、夕から朝の搾乳間隔が朝から夕の搾乳間隔よりもやや長い。乳量、乳脂率ともに当時の平均的な水準にあると考えられる。

モデル (1) の従属変数を朝の乳量としたときに、検定月、産次、搾乳日数、夕の乳量、夕の乳脂率および搾乳間隔に起因する分散はそれぞれ有意 ($P < 0.001$) であり、決定係数は 0.864 であった (表 2)。6 個の独立変数のなかで夕の乳量と搾乳日数がこの解析ではもっとも重要な変数であった。同様に、夕の乳量を従属変数としたモデル (1) の解析においても、それぞれの独立変数は有意 ($P < 0.001$) であり、高い決定係数 (0.862) が得られている。従来、1 日乳量の乗算係数に対する検定月、産次、搾乳日数の効果は有意になることが知られていたが、以下に紹介するように朝乳と夕乳を分離して解析を進めるとそれぞれの独立変数は異なった反応を示した。

検定月は乳量に対し二次式的効果を持ち、朝および夕乳に対して対称的な効果をもつと考えられた (図 1 a)。一般に 1 日乳量は暑熱期に低下することが知られている

Table 1. Descriptive statistics

Variable	Mean	SD
Parity	2.53	1.59
Days in milking	186.29	118.71
Milking interval from evening to morning (minute)	757.57	40.66
Milking interval from morning to evening (minute)	682.43	40.66
Milk yield in evening (kg)	12.04	4.17
Milk yield in morning (kg)	13.52	4.58
Daily milk yield (kg)	25.57	8.53
Fat % in evening	4.04	0.79
Fat % in morning	3.81	0.79
Daily fat %	3.92	0.71

N=354,320

Table 2. Analysis of variance table for single milk yield and fat percent in morning or evening milking using Model 1

Objective variable		Milk yield		Fat %	
		Morning	Evening	Morning	Evening
Source	d.f.	F	F	F	F
<i>L</i>	11	515.5***	544.5***	173.0***	813.4***
<i>P</i>	6	9124.4***	8578.3***	75.5***	65.7***
<i>D</i>	41	11578.3***	11506.3***	603.7***	626.6***
<i>M</i>	24	20884.3***	20387.6***	268.3***	383.3***
<i>F</i>	40	31.8***	5.3***	2216.6***	2195.0***
<i>I</i>	12	5908.2***	5162.0***	1160.3***	945.9***
Error	173762				
Y Mean		13.753	12.198	3.786	4.03
R ²		0.864	0.862	0.439	0.454

The objective variable of Model 1 is the single milk yield for morning or evening milking or fat percent of morning or evening milking.

L, *P*, *D*, *M*, *F*, and *I* in the column "Source" indicate the effects of month, parity, days in milking (DIM), milk yield, milk fat percent for a single milking, and interval preceding the milking on a test day, respectively.

***Probability (<0.001) of the F-value.

が、1日乳量の過半を占める朝乳が暑熱期に低下したことは既知の事実と一致する。一方、夕乳は初夏の季節に上昇している。これについては良質粗飼料の採食等による栄養環境改善の効果があるとも考えられるが、さらに検討する必要がある。産次は朝あるいは夕の乳量に対して二次式的効果を持ち、朝乳に対しては5産が最も乳量が多く、夕乳に対しては3産が最も多いと推定された(図1b)。

搾乳日数も朝あるいは夕の乳量に対して有意な効果を示した(表2)。また搾乳日数は朝あるいは夕乳に対してわずかに異なった泌乳曲線の効果を示した(図1c)。Everett and Wadell (1970a)も朝と夕の乳量差が搾乳日数の関数であることを示していることから、間接的に搾乳日数が朝あるいは夕乳に異なった作用を及ぼすことを示唆している。図1cに示されるように搾乳日数と朝あるいは夕の乳量の関係が非線形性を示したので、Hayashi and Nagamine (1993)の泌乳曲線モデルをモデル(2)のなかに導入した。

これまでのAT法のための乗算係数を従属変数とした分析においては、搾乳間隔が最も重要であると考えられたが(Everett and Wadell, 1970b, 1970c)、本研究では朝あるいは夕の片方の乳量あるいは乳脂率を従属変数としたことから様子が異なった。当該搾乳の乳量を他方の搾乳情報から推定するためには他方の搾乳の乳量がもっとも重要な変数と位置づけられ(表2)、他方の乳量は当該搾乳に対してわずかな曲率をもつ二次式的効果を

示した(図1d)。一般に1日の乳量と乳脂率は反比例の関係にあることが知られているが、他方の乳脂率は当該乳量とは反比例の関係にあり、とくに朝乳においてその傾向が強かった(図1e)。当該搾乳に先行する搾乳間隔は長ければ当該乳量の増加が期待できる。搾乳間隔と乳量の増減は朝あるいは夕乳ともに同様の正の傾きを示すが、朝あるいは夕乳では切片の部分が大きく異なっている(図1f)。多くの酪農家では夜の搾乳間隔が長く、昼は短い傾向がある。このような飼養慣行は長く続けられていることから、乳牛もその飼養スケジュールに順化し、朝および夕の搾乳間隔にそれぞれの反応を定着させていたと考えられる。

モデル(1)において当該搾乳の乳脂率を従属変数とした場合には、乳量よりも決定係数は低い結果となった(表2)。

モデル(1)によって当該搾乳の乳脂率を解析するなかで、検定月の効果は有意であり、とくに夕乳の8月の低下は顕著であった。朝乳には検定月の効果はあるものの、夏季におけるわずかな低下が観察されるのみであるから、夏季の夕の乳脂率低下には日中の暑熱の影響があるものと推察される。産次の効果も朝あるいは夕乳では異なり、3産に夕乳の乳脂率が最も高くなり、朝乳では逆にわずかに低下することが確認された(図2a, 2b)。搾乳日数は朝および夕の乳脂率に対して同様に泌乳曲線を反転した形で作用した。この反転は乳量と乳脂率の反比例の関係によると理解できる。同様に当該搾乳の乳脂

率は他方の乳量と反比例の関係にあり、朝および夕の乳脂率ともに他方の乳量に対して反比例の反応を示した(図 2c, 図 2d)。

当該搾乳の乳脂率を従属変数とする解析では、他方の

搾乳の乳脂率と先行する搾乳間隔がもっとも重要な独立変数であった(表 2)。朝あるいは夕のいずれにおいても当該搾乳の乳脂率と他方の搾乳の乳脂率の関係はわずかに撓んだ正比例の反応を示した(図 2e, 2f)。先行する搾

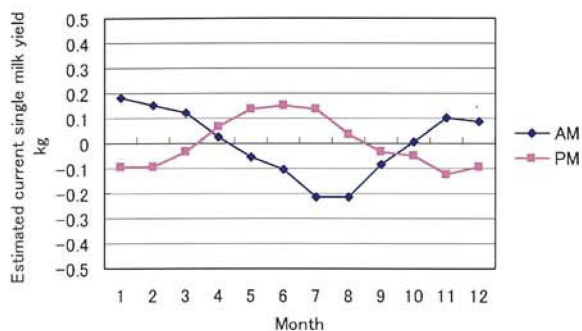


Fig. 1a. Least square mean (LSM) of current single milk yield on month of test day.

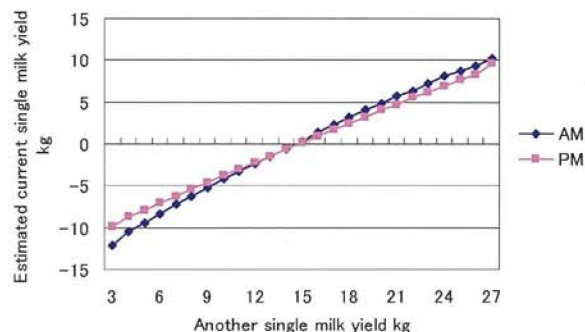


Fig. 1d. LSM of current single milk yield on another single milk yield.

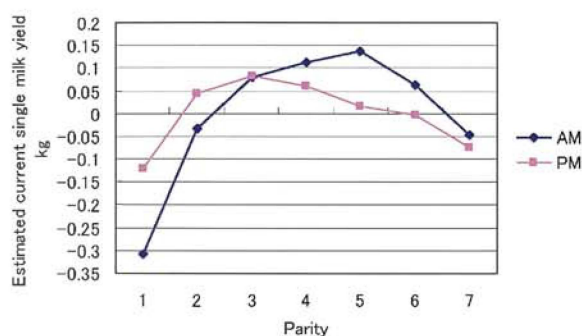


Fig. 1b. LSM of current single milk yield on parity.

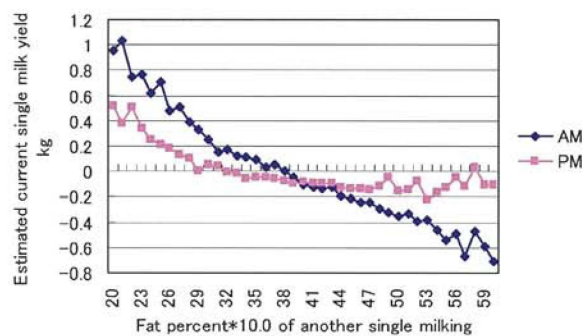


Fig. 1e. LSM of current single milk yield on fat percent of another milking.

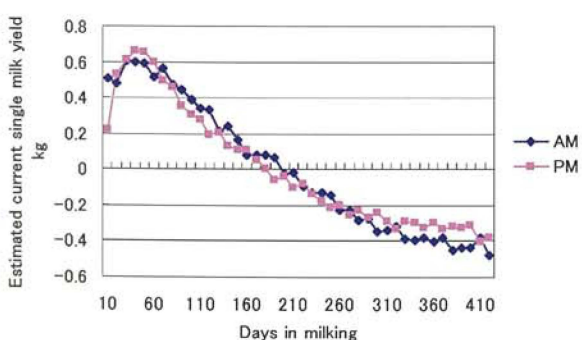


Fig. 1c. LSM of current single milk yield on days in milking.

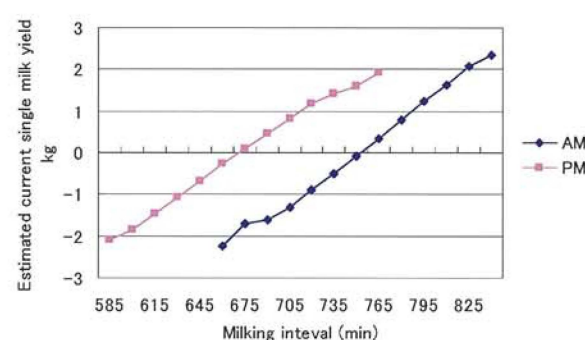


Fig. 1f. LSM of current single milk yield on milking interval.

Fig. 1. (a, b, c, d, e, f) Estimated least square means of current single milk yield on month of test day, parity, days in milking, another single milk yield and milking interval by model (1)

$$\text{Model (1): } Y_{ijklmpq} = L_i + P_j + D_k + M_l + F_m + I_p + e_{ijklmpq}$$

Where $Y_{ijklmpq}$ represents a current single milking yield or fat percent value; L_i , P_j , and D_k indicate the effects of month of the year, parity from 1st to 7th, and days in milking (DIM) in ten-day intervals, respectively; M_l , F_m , and I_p indicate the effects of single milking yield in 1-kg steps, fat percent in 0.1% steps of another milking event on the test day, and the milking interval preceding the current milking from 585 to 780 minutes in 15-minute steps, respectively. The residual is denoted by $e_{ijklmpq}$.

乳間隔は朝あるいは夕の乳脂率に対してわずかに撓んだ反比例の反応を示したが、Delorenzo and Wiggans (1986) は乳脂率が乳量よりも搾乳間隔の影響を受けることが少ないとしている。本研究においても表2に示されるように、搾乳間隔は他方の搾乳の乳脂率、搾乳日数につぐ重要度であると推定された。

AT法に関するこれまでの分散分析法による研究では、(AM+PM)/AM, (AM+PM)/PMのような乳量比あるいは乳成分比を従属変数としてきた。そのために搾

乳間隔がもっとも重要な独立変数であると考えられていた (Everett and Wadell 1970c)。さらに Schaeffer and Rennie (1976), Lee and Wardrop (1984) は乗算係数を求め1日乳量を推定するためには、搾乳間隔と搾乳ステージの交互作用が重要であるとし、それぞれの交互作用の各水準に対応した乗算係数を推定している。本研究では当該搾乳の乳脂率を他方の搾乳の乳量、乳脂率、検定月、産次、搾乳日数、先行する搾乳間隔によって説明しようとした。そのなかで、他方の搾乳の乳脂率、搾乳

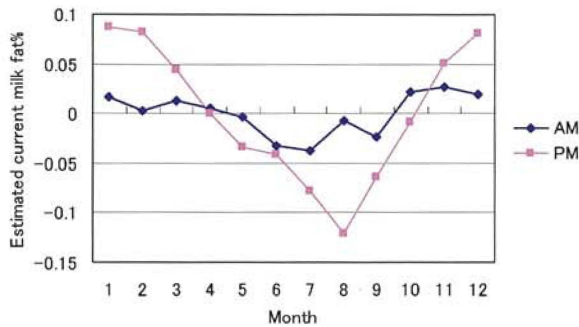


Fig. 2a. Least square mean (LSM) of current milk fat on month of test day.

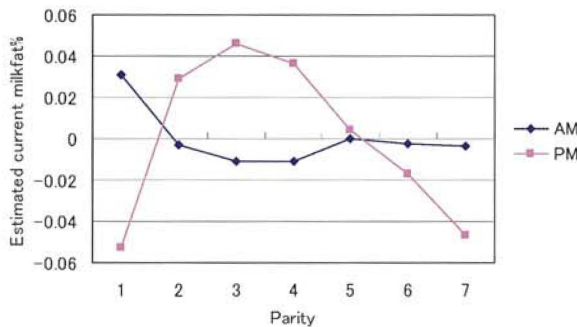


Fig. 2b. LSM of current milk fat on parity.

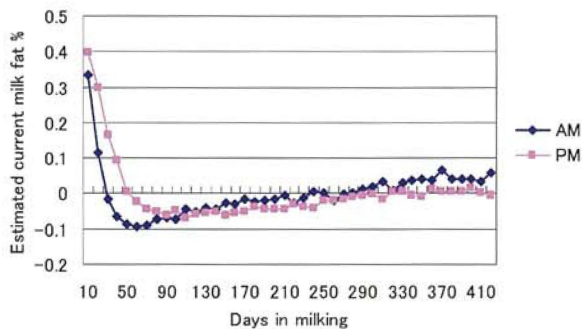


Fig. 2c. LSM of current milk fat on days in milking.

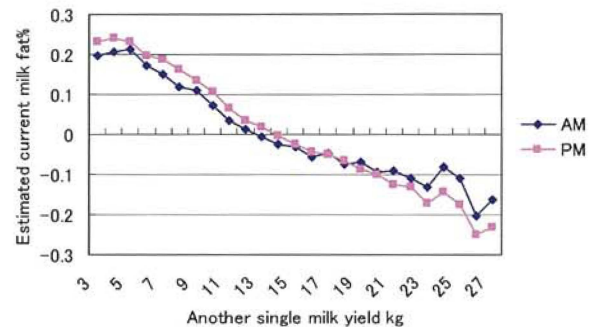


Fig. 2d. LSM of current milk fat on another single milk yield.

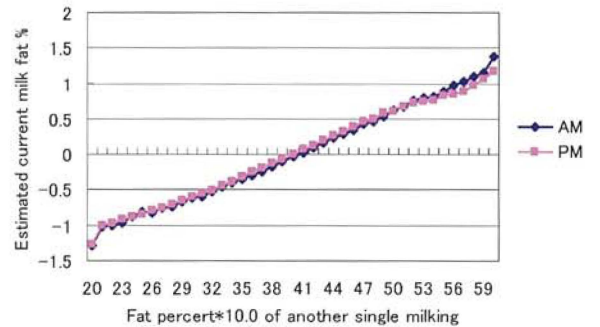


Fig. 2e. LSM of current milk fat on fat percent of another single milking.

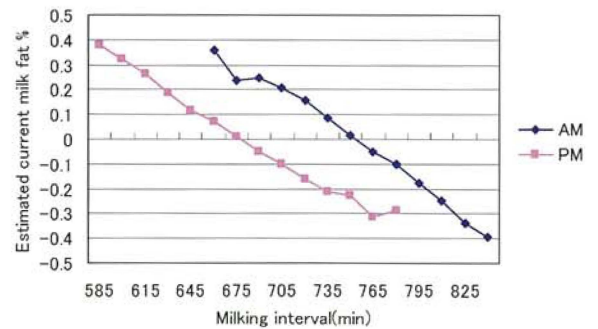


Fig. 2f. LSM of current milk fat on milking interval.

Fig. 2. (a, b, c, d, e, f). Estimated least square means of current single milk fat percent on month of test day, parity, days in milking, another single milk fat and yield, and milking interval by model (1).

Table 3. Multiple regression analyses for single milk yield and fat percent of current milking

Objective variable	Y-Mean	root MSE	R ²
Single milk yield of evening milking	12.14	1.516	0.865
Single milk yield of morning milking	13.69	1.648	0.868
Fat percent of morning milking	3.79	0.590	0.439
Fat percent of evening milking	4.03	0.577	0.451

Multiple regression analysis that set the single milking yield or the fat percent of the current milking as the objective variable was carried out using Equation 2. Y-mean, root MSE, R², and Prob>F are the mean of the objective variable, root mean of the standard error, coefficient of determination, and probability of F value of the variance originating in the model, respectively.

間隔が重要な変数であった。モデル(1)において朝および夕の乳脂率に対する決定係数はそれぞれ0.439, 0.454であり、十分高いとはいえない(表2)。

次に、分散分析における各要因各水準の推定値と当該搾乳の乳量および乳脂率との関係を平滑化するために、重回帰分析を行った。モデル(2)を利用し、重回帰分析を行った結果を表3に示した。ここにおける四つの分析において、モデル(2)に含まれる変数に起因する分散はすべて有意($P < 0.001$)であった。朝あるいは夕の乳量を従属変数としたときに、回帰式の決定係数はそれぞれ0.868, 0.865となり、十分高いと考えられた。ところが、朝あるいは夕の乳脂率を従属変数としたときには、決定係数が0.439, 0.451となり、他方の搾乳情報から当該搾乳の乳脂率を高い精度で推定することは困難であると考えられた。

ところが、1日乳量は朝および夕乳の合計であり、1日平均乳脂率は朝および夕乳の乳脂率の加重平均であるから、他方の搾乳の乳脂率が既知であり、当該搾乳の乳脂率が推定値であるならば、1日平均乳脂率の推定精度は当該搾乳の乳脂率の推定精度を上回ることが期待できる。実測の他方の乳量および乳脂率と推定された当該乳量および乳脂率を合計、加重平均し、1日乳量および乳脂率の推定値とし、検証結果を表4に示した。

検証結果(表4)に示されるように、片方の乳量あるいは1日乳量のための回帰係数はほぼ1.0であり、定数項はいずれも0.0に近い。夕および朝の乳量の推定値の標準誤差(root-MSE)はそれぞれ1.51, 1.64であった。ここでいう1日乳量は推定された当該乳量と他方の既知の乳量の合計であるから、1日乳量の推定誤差は当該乳量の推定誤差に等しい。

河原ら(2000)は北海道における大規模な牛群検定事業のデータの解析を進め、乗算係数を得るためのモデル

を提案した。このモデルによる朝および夕乳からの1日乳量の推定誤差はそれぞれ1.69, 1.84であったとしている。Liu *et al.* (2000)も6個のモデルを用いて、AT法の1日乳量の推定精度について検討した。彼らは朝あるいは夕乳からの最も優れた推定誤差がそれぞれ1.72, 1.84であったとした。河原ら(2000), Liu *et al.* (2000)および本研究において、夕乳からの1日乳量の推定誤差が朝乳からよりも大きい傾向が確認された。このことは夕乳が搾乳日数、他方の乳量、搾乳間隔等の要因のほか、夜間よりも日中の飼養管理の影響をより多く受けたことによるとも考えられた。

表4に示したように、朝あるいは夕乳からの1日乳量の推定式の決定係数はそれぞれ0.967, 0.961となったが、これらの決定係数を相関係数に換算すると0.983, 0.980となる。Lee and Wardrop (1984)は牛群効果、検定月、搾乳間隔、搾乳ステージとそれらのすべての交互作用を含むモデルを利用し、1日乳量を推定した。その結果、朝あるいは夕乳から推定した1日乳量と実測値の相関係数はそれぞれ0.98, 0.96であったとした。Trappmann *et al.* (1998)はICAR-A4の標準的な検定方法と重回帰モデルを利用したAT法を比較して、推定値と実測値の1日乳量の相関係数を0.895-0.980の範囲であるとした。本研究において、当該乳量を他方の搾乳情報といくつかの環境変数により推定し、この推定された当該乳量と実測の他方の乳量を合計することにより、1日乳量を推定したところ、その推定精度は従来法よりも明らかに向上した。

ところが朝あるいは夕乳からの1日平均乳脂率の推定値の標準誤差はそれぞれ0.276, 0.313となり、小さくはない。Hayashi and Aihara (1999)も、朝あるいは夕の乳量、乳脂率、乳蛋白率、搾乳間隔、搾乳日数とそれらの誘導変数を説明変数とする重回帰モデルを利用し、1

Table 4. Cross validation for single and daily milk yield and fat percent

Objective variable	Independent variable	Y-mean	root MSE	R ²	b ₀	b ₁
Single milking yield in evening	Evening yield estimated from morning milk	12.20	1.51	0.864	-0.0071	1.0006
Single milking yield in morning	Morning yield estimated from evening milk	13.75	1.64	0.868	-0.0619	1.0038
Daily milk yield	Daily yield estimated from morning milk	25.95	1.51	0.967	0.0032	0.9998
Daily milk yield	Daily yield estimated from evening milk	25.95	1.64	0.961	-0.0487	1.0015
Fat percent in evening	Evening fat estimated from morning milk	4.035	0.581	0.443	0.0109	0.9953
Fat percent in morning	Morning fat estimated from evening milk	3.788	0.590	0.436	0.0189	0.9956
Daily fat percent	Daily fat estimated from morning milk	3.902	0.276	0.845	-0.0019	1.0002
Daily fat percent	Daily fat estimated from evening milk	3.902	0.313	0.801	0.0089	0.9986

A single linear regression model was used for cross validation. The objective variable was the measured single or daily milk yield or fat percent for a single milking or daily milk. The independent variable was the value estimated using Equation 2. b_0 is a constant and b_1 is the regression coefficient.

日乳量および1日平均乳成分を推定した。彼らは1日平均乳脂率の推定誤差が±0.3%を超えたとしている。Liu *et al.* (2000) は6個のモデルにより、乳量と乳脂率の積である1日乳脂量を推定した。彼らの最も進化したモデルでは朝あるいは夕乳からの1日乳脂量の推定値と実測値の相関係数は0.943, 0.940であったとしている。一般にAT法における1日乳量の推定精度は1日平均乳脂率の推定精度よりも優れていることから、1日乳脂量の推定誤差が1日平均乳脂率よりも優れたことは納得できる。Lee and Wardrop (1984) は1日平均乳脂率の実測値と朝あるいは夕乳からの推定値との相関係数を0.87, 0.84であったとしている。本研究の表4のなかの朝あるいは夕乳から1日平均乳脂率を推定する式の決定係数を相関係数に換算すれば0.919, 0.894となることから、本研究のモデルは既報よりも高い推定精度を確保している。以上のように、本研究においてこれまでよりも少ない推定誤差で1日平均乳脂率を推定できることを示したが、残された推定誤差は無視できない。

次に、1) 朝乳のみから1日乳量と乳脂率を推定, 2) 夕乳のみから1日乳量と乳脂率を推定, 3) 奇数の検定回次に朝乳から1日乳量と乳脂率を推定, 4) 偶数の検定回次に夕乳から1日乳量と乳脂率を推定, の4条件によりそれぞれの1日乳量, 1日乳脂率を推定し, その推定値から Sargent *et al.* (1968) のテストインターバル法 (A4) により305日乳量, 305日乳脂率を計算し, その結果を表5に示した。

表5のなかで、1乳期乳量が安定し、データ件数がある程度確保されている3産についてみると、305日乳量の実測値と推定値の差の絶対値は夕乳のみから推定したときにもっとも大きくなり31.7kgであるが、朝のみか

らの差は7.1kgと小さく、AT法AおよびBではそれぞれ13.3, 11.3kgとなった。実測値と推定値の差の標準偏差は3産の朝のみ、夕のみ、AT法A, Bについて257.0, 291.0, 188.2, 197.2となりAT法が明らかに小さい。他の産次についてもAT法において明らかに推定誤差が小さくなる傾向があった。すべての産次について、305日乳量に関する交互検定法と従来法の差は22.4kg以下となり、その標準偏差 (SD) は161.5kgから210.2kgの範囲であった。

305日平均乳脂率の推定に関して各検定時の推定誤差の一部は検定記録を累積することにより、互いに打ち消しあうことが期待できる。表5下段に示したように305日平均乳脂率の推定値と実測値の差の絶対値は朝のみ、夕のみ、AT法AおよびBのすべてについて0.03%を超えることはなかった。朝あるいは夕乳の情報のみを用いて推定した差の標準偏差は0.2を越えることもあったが、AT法AおよびBともに推定値と実測値の差の標準偏差はすべての産次について0.187以下となった。

Dickenson and McDaniel (1969) のAT法に関する先駆的な研究では、乳量に関する乗算係数 ((AM+PM)/AM, (AM+PM)/PM) を一律に2.0に定め、300日乳量を求めている。その結果、1乳期乳量のAT法の推定値と実測値の差は100kgを超えたが、差の標準偏差は170以下であったとしている。Schaeffer and Rennie (1976) は年、搾乳月、搾乳間隔を独立変数とするモデルを提案し、1乳期乳量の推定値と実測値の差を25-44kgであったとし、その標準偏差は102-194とした。一方、Cassandro *et al.* (1995) は搾乳間隔、産次、搾乳ステージとこれらの交互作用を独立変数としたモデルを用いて乗算係数を策定した。その結果、305日乳量の推

Table 5. Mean and standard deviation of difference between real measurements and four estimation

Parity	1	2	3	4	5	6	7
Number of lactation	2375	1711	1135	696	423	203	148
Estimated PM+real AM	8.5±223.3	-3.9±250.0	7.1±257.0	2.5±267.5	-13.9±271.8	3.5±250.0	-2.9±255.9
Real PM+Estimated AM	-3.3±242.7	-25.9±268.0	-31.7±291.0	-12.9±273.0	-16.0±280.4	-13.6±243.0	-29.9±295.7
Alternate A	-1.4±171.6	-12.8±178.9	-13.3±188.2	-10.8±198.5	-14.3±207.8	1.8±186.5	-22.4±161.5
Alternate B	6.6±170.9	-17±182.8	-11.3±197.2	0.4±191.4	-15.7±210.2	-12±187.5	-10.4±202.0
Mean and standard deviation of real measurement (A4 Scheme)							
305 days milk yield (kg)	7771.1±1482	8391.7±1518.8	8654.2±1553.1	8713.1±1572.4	8740.9±1695.9	8483.5±1574.8	8297.8±1567.6
Estimated PM+real AM	0.005±0.185	0.013±0.179	0.002±0.186	0.009±0.184	-0.003±0.183	-0.005±0.166	0.004±0.154
Real PM+Estimated AM	-0.007±0.242	-0.007±0.226	-0.018±0.228	-0.013±0.236	-0.021±0.228	-0.028±0.238	0.019±0.199
Alternate method A	-0.006±0.178	0.000±0.165	-0.011±0.177	-0.006±0.166	-0.018±0.174	-0.030±0.187	0.007±0.158
Alternate method B	0.002±0.183	0.004±0.170	-0.007±0.181	0.000±0.177	-0.008±0.163	-0.005±0.171	0.014±0.154
Mean and standard deviation of real measurement (A4 Scheme)							
Averaged fat percent (%)	3.911±0.820	3.774±0.709	3.795±0.743	3.763±0.710	3.814±0.657	3.864±0.744	3.673±0.678

Estimated PM+real AM: All evening milk information was Estimated using model (2), and all morning were measured in the lactation.

Real PM+Estimated AM: Inverse schedule of "Estimated PM+real Am"

Alternate A: Evening milk was estimated, and morning milk was measured in odd sequence.

Alternate B: Inverse schedule of alternate A.

定値と実測値の差は40 kg以上となり、その標準偏差は、朝乳のみ、夕乳のみ、奇数回次朝乳、奇数回次夕乳のそれぞれについて280, 314, 164, 164になったとしている。本研究のAT法による305日乳量の推定では、推定値と実測値の差はSchaeffer and Rennie (1976), Cassandro et al. (1995)の報告よりも小さいものとなった。また推定値と実測値の差の標準偏差は本研究の結果が彼らの数値を上回ったものもあるが、ほぼ同水準である。また305日平均乳脂率の推定に関する評価が既報にはほとんど見られなかったが、本研究により推定誤差が明確に示された。その標準偏差はAT法AおよびBにおいて0.154-0.183となり、1日平均乳脂率の推定誤差よりも小さくなることが確認された。

本研究では、当該搾乳の乳量と乳脂率を他方の搾乳の情報から予測し、予測値と実測値をあわせて1日乳量および1日平均乳脂率とした。さらに305日乳量と305日平均乳脂率を推定したところ、推定精度が安定した。今後は、牛群検定のさらなる簡素化および多様化にむけて、検定日の間隔を延長した場合、あるいは検定回数を削減した場合のAT法の利用の可能性について検討を進めることが必要となる。

文 献

- 1) Cassandro, M., Carnier, P., Gallo, L., Mantovani, R. and Jansen, G.B. (1995). Bias and accuracy of single milking testing schemes to estimate daily and lactation milk yield, *Journal of Dairy Science*, 78, 2884-2893.
- 2) Delorenzo, M.A. and Wiggans, G. (1986). Factors for estimating daily yield of milk, fat, and protein from a single milking for herds milked twice a day, *Journal of Dairy Science*, 69, 2386-2394.
- 3) Dickenson, F.N. and McDaniel, B.T. (1969). Single-milking yields versus 24-hour yields for estimating lactation milk production by the test interval method, *Journal of Dairy Science*, 53, 200-207.
- 4) Everett, R.W. and Wadell, L.H. (1970 a). Relationship between milking intervals and individual milk weights, *Journal of Dairy Science*, 53, 548-553.
- 5) Everett, R.W. and Wadell, L.H. (1970 b). Sources of variation affecting the difference between morning and evening daily milk production, *Journal of Dairy Science*, 53, 1424-1429.
- 6) Everett, R.W. and Wadell, L.H. (1970 c). Sources of variation affecting ratio factors for estimating total daily milk yield from individual milkings, *Journal of Dairy Science*, 53, 1430-1435.
- 7) Hargrove, G.L. and Gilbert, G.R. (1984). Differences in morning and evening sample milkings and adjustment to daily weights and percents, *Journal of Dairy Science*, 67, 194-200.

- 8) Hayashi, T. and Nagamine, Y. (1993). Estimation of lactation curve by only two samplings of daily yield, *Animal Science and Technology*, 64, 1149-1155.
- 9) Hayashi, T. and Aihara, M. (1999). A prediction of daily milk yield and its composition from the morning or the evening milking records, *Animal Science Journal*, 70, 181-187.
- 10) 河原孝吉・曾我部道彦・斉藤祐介・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を推定するための要因, *Animal Science Journal*, 71, j235-j244.
- 11) Lee, A.J. and Wardrop, J. (1984). Predicting daily milk yield, fat percent, and protein percent from morning or afternoon tests, *Journal of Dairy Science*, 67, 351-360.
- 12) Liu, Z., Reents, R., Reinhardt, F. and Kuwan, K. (2000). Approaches to estimating daily yield from single milk testing schemes and use of a.m.-p.m. records in test-day model genetic evaluation in dairy cattle, *Journal of Dairy Science*, 83, 2672-2682.
- 13) Norman, H.D., Raden, P.M., Van Wright, J.R. and Clay, J.S. (1996). Comparison of test interval and best prediction methods for estimation of lactation yield from monthly, a.m.-p.m., and tri-monthly testing, *Journal of Dairy Science*, 82, 438-444.
- 14) Sargent, F.D., Lytton, V.H. and Wall, O.G. (1968). Test interval method of calculating dairy herd improvement association records, *Journal of Dairy Science*, 51, 170-179.
- 15) SAS インスティテュートジャパン, (1993). SAS/STAT ユーザーズガイド, 6.03 版, 811-819, 東京.
- 16) Schaeffer, L.R. and Rennie, J.C. (1976). AM-PM testing for estimating lactation yields, *Canadian Journal of Animal Science*, 56, 9-15.
- 17) Trappmann, W., Schwaer, P., Pauw, R. and Tholen, E. (1998). Alternating milk recording as an alternative to the A4 milk recording method, *Züchtungskunde*, 70, 85-95.

An Improved Estimation Method of Milk Yield and Fat Percent for Alternate Test Method

Takashi HAYASHI, Tatsuya KAZAMA¹⁾, Hideyuki GOTO¹⁾ and Mitsuo AIHARA¹⁾

National Agriculture Research Center
¹⁾ Livestock Improvement Association of Japan

Summary

In the alternate testing method, milk yield and constituents are measured alternately, either in the morning or the evening of the test day. Daily milk yield and constituents are then estimated from either the morning or evening value. In this study, current milk yield and fat percent were estimated from data for another milking event on the test day, and the daily milk yield and fat percent were also predicted. We used a model that includes current milking yield or fat percent as objective variables to analyze 354,320 test records. Month, parity, days in milking, single milking yield, fat percent in another milking event on the test day, and milking interval preceding the current milking were incorporated as independent variables. R^2 for the models for morning and evening milk yield, and for morning and evening fat percent was 0.864, 0.862, 0.439, and 0.454, respectively. In order to formulate the relationship between factors estimated in the discrete model and the single milking yield or fat percent, multiple regression analyses were performed. The estimation error (root MSE) for daily milk yield from morning or evening milking and for daily fat percent from morning or evening milking was 1.51 kg, 1.64 kg, 0.276%, and 0.313%, respectively. The 305 days milk yield and average fat percent by the two incomplete and two complete AT methods, all PM, all AM, PM-AM, AM-PM and the standard test interval method were compared for each parity. The difference (bias) of actual and estimated 305 days milk yield by the complete AT method was 22.4 kg or less, and the SD of the difference was 161.5 kg to 210.2 kg. The bias of estimated 305 days average fat percent was 0.03% or less, and the SD of the difference was 0.154% to 0.187%. The estimate error of 305 days milk yield fully reduced. Moreover, the estimate error of average fat percent of 305 days had also been admitted.

Key words: AT method, Lactation, Cow, Milk fat, Estimation by regression equation