わが国の牛肉一貫生産システムのシミュレーション, 特に生産効率に対する母牛の遺伝的成熟サイズの影響

広岡博之・山田行雄*

京都大学農学部, 京都市 606

(1989. 2. 23 受付)

要 約 汎用シミュレーションモデルを用いて, わが国の牛肉一貫生産システムにおけるさまざまな生産効率に対する母牛の遺伝的成熟サイズの影響を調べた. そのようなシステムの生産性を表す指標として, (1) 飼料摂取代謝エネルギー (ME) 1MJ 当たりの後代の出荷時体重 (kg) で表される生物学的効率 (E_1), (2) 飼料摂取 ME 量 1MJ 当たりの母牛ならびに後代の出荷時体重で表される生物学的効率 (E_2), (3) 飼料摂取 ME 量 1MJ 当たりの筋肉量で表される生物学的効率 (E_3), (4) 飼料費に対する生産物からの利益の比で表される経済効率 (E_4) の 4 種を用いた. さまざまな水準の母牛の成熟体重 (W_A) ならびに 3 水準の去勢肥育牛の市場出荷時体重 (W_M ; 400 kg, 500 kg および 600 kg) を仮定し, 他の入力条件はわが国の黒毛和種を用いた典型的牛肉生産条件を想定して設定した. 得られた結果の要約は次の通りである.

(1) すべての生物学的効率は W_A の増加に伴って上に凸の 2 次曲線を描いて変化した. また, その影響は W_M が増加するにつれて大きくなり, その傾向は特に E_1 に関して顕著であった. (2) E_4 に対する W_A の影響は, W_M によってさまざまであった. これは, モデルで用いられている生物学的因果関係が時間因子と独立であるにもかかわらず, 主として牛肉の価格を決定する脂肪交雑が時間の関数として推定されているためと考えられた. (3) 日本の牛肉生産システムにおいて経済的に最適であると考えられた W_M が 600 kg の条件下では, 上記 4 種の効率を最大にする最適な W_A は, それぞれ, E_1 に関しては 622 kg, E_2 に関しては 699 kg, E_3 に関しては 789 kg ならびに E_4 に関しては 515 kg であった. この結果より, 用いるべき効率によって最適な W_A が異なる条件下では, 方針決定者は, 最適な遺伝的サイズを決定する前に生産目標として採用する効率を選ぶべきであろうと考えられた.

日畜会報, 60 (10) : 933-939, 1989

わが国の牛肉生産は現在, 多くの場合, 繁殖部門と肥育部門の 2 生産部門に分れて別々に行なわれている. しかしながら, 現実にはこれら 2 部門が分離しているため, 肥育もと牛に加えられる不必要な飼いすぎや, これら 2 部門の収益性が子牛価格によってほとんど決定されるなど多くの問題点が生じている. それゆえ, わが国の牛肉生産のトータルな生産効率に対するさまざまな要因の影響を正當に評価するには子牛生産から肥育に至るまでの一貫した生産システムを考える必要があると思われる.

一般に, 肉用牛の一貫生産システムを評価する場合, 母牛の生涯にわたる能力とその後代の能力との総効率を対象にする必要がある. しかし, 特に肉用牛のような大動物においては, 時間や費用などの制限要因のため実際

に家畜を用いて生涯生産性を総合的に評価することは困難である. それゆえ, このような複雑かつ大規模な生産システムの生産性を評価する有効な手段として数学モデルとシミュレーションを用いたシステム分析が挙げられる¹⁻³⁾. そこで, 前に開発した去勢肥育モデル⁴⁾と繁殖(子牛生産)モデルを組み合わせ, 一貫経営システムを評価するシミュレーションモデルを開発した⁵⁾.

このような牛肉生産システムの生産性に関与する因子の中で母牛の遺伝的サイズは最も重要なものの 1 つである. 本研究の目的は, シミュレーションモデルを用いて, 牛肉一貫生産システムの生産性に対する母牛の遺伝的サイズの影響を明らかにすることである.

* 現所属; マレーシア農科大学獣医畜産学科, 43400, セルダン, マレーシア

材料および方法

(1) モデル

本研究で用いたモデルは、去勢肥育に関するモデルと子牛生産に関するモデルを組み合わせて開発したものである。子牛生産モデルにおいては、母牛の更新時から淘汰時までの体重と乳量ならびに子牛の体重が個体ベースで一日おきに推定される。他方、去勢肥育モデルにおいては、離乳後の去勢牛の体重ならびに体構成成分、枝肉組成が個体ベースで一日おきに推定される。さらに、HIROOKA and YAMADA⁶⁾はこのモデルを去勢子牛のみならず肥育雌子牛の体構成成分および枝肉組成を推定できるモデルに拡張した。これらのモデルは ARC の代謝エネルギーシステム⁷⁾を基盤として、その他さまざまな知見や情報を統合して広範な品種、飼養条件で適用できるように作成された汎用モデルである。

図 1 は、本研究で用いた一貫生産モデルにおける母牛とその後代牛のダイナミクスを示したものである。成熟体重に対する体重の比で表される成熟度が 0.62 の時点（初回交配時）からシミュレーションはスタートし、

初回交配から初回離乳時までを 1 番目の繁殖サイクルとし、その後順次、離乳時から次の離乳時までの期間を 1 繁殖サイクルと想定してシミュレーションが行なわれる。

子牛に関しては、生時から繁殖サイクル別、性別にシミュレーションが行なわれ、すべての子牛に関して、雌子牛は初回交配時まで、雄（去勢）子牛は 230 kg に達するまで日々の体重が推定され、その後すべての去勢子牛および販売用の雌子牛は肥育モデルに従って体重のみならず枝肉組成や脂肪交雑が 1 日ごとに求められる。

以上の出力は個体ごとに推定され、システム全体の総入出力量は個体ベースで計算されたこれらの数値に頭数を乗じて求められ、その頭数は家畜の繁殖能力、管理法などの諸条件によって決定される。

(2) 入力条件とモデルの仮定

本研究においては、主な入力条件は黒毛和種を対象にその典型的飼養条件を想定して表 1 のごとく設定した。本モデルにおいては、飼養環境に依存しないその品種（系統）特有の遺伝的能力をあらかじめ設定するが、母牛の成長は生時から初回発情時までは直線に、それ以後

Fig. 1. Dynamics of cows and progeny calves in the present model.

R_i ; i th reproductive cycle ($1 \leq i \leq N$)

M_1 ; time at first mating

W_i ; time at weaning in i th reproductive cycle ($1 \leq i \leq N$)

母牛の遺伝的サイズの影響

Table 1. List of input parameters assumed in this study

Parameter	Expression
(1) Genetic	
Mature cow weight (kg)	variable
Maturation rate	0.075
Total milk yield (kg)	970
Milk fat content (g/kg)	49
Degree of maturity at puberty	0.52
Single-service conception rate	0.50
Pregnant pdriod (days)	285
(2) Feeding	
(MJ/day)	According to Japanese Feeding Standard(1987)
(3) Management	
Number of reproductive cycle	6
Degree of maturity at 1st mating	0.62
Maximum number of AI.	3
Age at heifer replacement	1st mating
Initial weight at fattening (kg)	Male 230 Sale female ; from 1st mating
Market weight of feedlot steers (kg)	400, 500 and 600 kg
Market weight of feedlot females (kg)	Weight of steer×0.85
(4) Economics	Current Japanese condition

は与えられた成熟体重と成熟速度に基づく Brody 曲線に従うと仮定した。また、子牛の増体能力については交配する種雄牛はランダムと考え、雌子牛は母牛と等しく、雄子牛はその 1.25 倍と仮定した⁵⁾。ただし、ここで設定した遺伝的成長曲線は本モデルのベースとなっている ARC システムに準じた飼養条件(草地条件)における増体能力を表し、わが国の高栄養の飼養条件では実際の成長はこの水準を越えてもよいものとした。

飼料給与条件に関しては、母牛の育成用および維持用飼料として代謝率 0.53 (乾物中 TDN 64.5%) の飼料、妊娠や泌乳時の補足飼料として代謝率 0.60 (乾物中 TDN 81.3%) の飼料が日本飼養標準に準じて給与されると仮定した。他方、子牛に関しては、2 カ月齢から離乳までは代謝率 0.66 の別飼料を体重の 0.8% 給与し、肥育過程に入ってから代謝率 0.58 (乾物中の TDN 70%) の飼料を日本飼養標準⁹⁾に従って給与すると仮定した。

経済条件については、母牛の育成および維持飼料、補足飼料、子牛の別飼料、肥育用飼料はそれぞれ 1MJ 当たり、4.87 円、6.74 円、6.74 円および 6.50 円と設定し、販売用肥育牛の枝肉単価 (VCA, ¥/kg) は、性差はないものと仮定して前の報告⁹⁾と同様に脂肪交雑

と月齢の関数として推定した。また、問題を簡単にするために受胎に失敗した母牛は離乳時に淘汰され、それら淘汰母牛の販売価格は初産次においては肥育牛の生体単価に等しく (1050 円)¹⁰⁾、6 産次でその 60% になると想定して 1 産ごとの減価割合は 8% と仮定した。

(3) 生産性の指標

本研究においては、表 2 に示すごとく、システム全体の生産性を表す指標として、(1) 飼料摂取代謝エネルギー (ME) 1MJ 当たりの後代の出荷時体重 (kg) で表される生物学的効率 (E_1)、(2) 飼料摂取 ME 量 1MJ 当たりの母牛ならびに後代の出荷時体重で表される生物学的効率 (E_2)、(3) 飼料摂取 ME 量 1MJ 当たりの筋肉量で表される生物学的効率 (E_3)、(4) 飼料費に対する生産物からの利益の比で表される経済効率 (E_4) の 4 種を用いた。なおここで、母牛の筋肉量は総体重の 30% で一定と仮定し¹¹⁾、また一貫生産システムに関して飼料費以外の生産費はとらえにくいので、経済効率は飼料費のみを生産費として考慮した部分的なものを定義した。

(4) 分析方法

前に示した 4 種の生産性指標 (E_j ; $j=1\sim 4$) と遺伝的成熟体重 (W_A) の関係ならびにそれらに対する販売

Table 2. Definition of measures of evaluating production efficiency

$$E_1 (\text{kg/MJ}) = 1000 \sum_{i=1}^6 PW_i / [\sum_{i=1}^6 DF_i + \sum_{i=1}^6 PF_i]$$

$$E_2 (\text{kg/MJ}) = 1000 [\sum_{i=1}^6 DW_i + \sum_{i=1}^6 PW_i] / [\sum_{i=1}^6 DF_i + \sum_{i=1}^6 PF_i]$$

$$E_3 (\text{kg/MJ}) = 1000 [\sum_{i=1}^6 DWM_i + \sum_{i=1}^6 PWM_i] / [\sum_{i=1}^6 DF_i + \sum_{i=1}^6 PF_i]$$

$$E_4 (\text{¥/¥}) = [\sum_{i=1}^6 DP_i + \sum_{i=1}^6 PP_i] / [\sum_{i=1}^6 DC_i + \sum_{i=1}^6 PC_i]$$

where

DW_i is total market weights of the dams culled in i th reproductive cycle.

PW_i is total market weights of sale progeny produced in i th reproductive cycle of their dams.

DF_i is total feed consumptions of the dams culled in i th reproductive cycle.

PF_i is total feed consumptions of progeny produced in i th reproductive cycle of their dams.

DWM_i is total market muscle weights of the dams culled in i th reproductive cycle.

PWM_i is total market muscle weights of sale progeny produced in i th reproductive cycle of their dams.

DP_i is total sale price of the dams culled in i th reproductive cycle.

PP_i is total sale price of sale progeny produced in i th reproductive cycle of thier dams.

DC_i is total total feed cost consumed by the dams in i th reproductive cycle.

PC_i is total feed cost consumed by progeny in i th reproductive cycle of their dams.

用去勢牛の市場出荷時体重 (W_M) の水準の影響を調べるために、3 水準の W_M (400 kg, 500 kg, 600 kg) を想定して W_A をそれぞれ 400 kg から 600 kg まで (黒毛和種雌牛を仮定するかぎりこの範囲内にあると考えられる) 25 kg ずつ 9 水準設定してシミュレーションを行なった。得られた結果を W_M 別に最小 2 乗法によって次の反応曲面式に当てはめ、

$$E_j = b_0 + b_1 W_A + b_2 W_A^2$$

さらに、 E_j を最大にする W_A の値を次のごとく推定した。

$$W_{A(\max)} = -b_1 / 2 b_2$$

なお、これらの分析はすべて SAS¹²⁾ の反応曲面回帰分析プロシジャ (RSREG) を用いて行なった。

結果および考察

母牛の遺伝的サイズ (W_A) は、母牛の増体能力、維持や成長に要するエネルギー量ならびに子牛の増体能力やエネルギー要求量に影響するため重要な形質である。牛肉生産システム全体の生産性に関与する要因に対する W_A の効果は、概ね以下に示す通りである。

母牛の飼料給与エネルギー量は日本飼養標準に準拠して入力され、そこでは維持や成長に要するエネルギー量が体重の関数で表されているため、遺伝的サイズが増加

するに伴って増加する。それゆえ、飼料摂取エネルギー量はこれら給与量と食欲によって制御されているため W_A の増加に伴って増加する。他方、子牛の飼料摂取エネルギー量は W_A が大きいほど増加するが、本研究のごとく市場出荷体重があらかじめ設定されているならばその体重に達するまでに要する日数が少なくてすみ、そのためトータルとしては飼料摂取エネルギー量は減少する。同様に、飼料費についても遺伝的サイズが大きいほど母牛の飼料費は高く、子牛のそれは低く推定される。

淘汰母牛の体重は遺伝的サイズが大きいほど大きく、従って収入は高くなる。また、後代子牛の枝肉単価は遺伝的サイズが大きいほど安くなるが、これは同一の出荷時体重を想定した時、本モデルの仮定から遺伝的サイズの大きい子牛は若齢で脂肪含量が低く推定され、それゆえ脂肪交雑が低くなることによるものと推察される。

図 2 は 3 水準の後代去勢牛の市場出荷時体重 (W_M) を想定した時の 4 種の効率と母牛の遺伝的サイズ (W_A ; 400 kg から 600 kg まで) の関係を示したものである。後代の出荷時体重のみを考慮した生物学的効率 (E_1) は、いずれの W_M の場合にも W_A が大きくなるに伴って上に凸の 2 次曲線を描いて変化した。また、 W_A の変化の影響は W_M が大きいほど大であった (図 2 a)。これは、 W_M が大きいほど W_A の増加に伴う後代牛の

母牛の遺伝的サイズの影響

Fig. 2. Effects of mature cow size on various efficiencies (E_1 , E_2 , E_3 and E_4) at three levels of steer market weights (400, 500 and 600 kg). Solid line, broken line and dotted line represent change of efficiency at steer market weights of 400, 500 and 600 kg, respectively. Symbols (E_1 , E_2 , E_3 and E_4) are shown in Table 2.

飼料摂取エネルギー量の減少割合が大きくなり E_1 の向上が大きくなったことによるものと考えられる。

E_1 に出力として母牛の出荷時体重を加味した生物学的効率 (E_2) ならびに赤肉 (筋肉) 生産に重点を置いた生物学的効率 (E_3) は、 E_1 と同様に上に凸の2次曲線を描いて変化した。いずれの場合にも W_A が大きいほど高く推定された。また、 E_1 と同様に、 W_A の変化の影響は W_M が大きいほど大きかったが、それらの W_M 間の差は E_1 の場合に比べて小さかった (図 2 b, c)。このことは、これらの効率が母牛自身の生産物 (出荷体重あるいは筋肉量) を考慮しているため、これら効率に対する W_A の増加に伴う後代牛の飼料摂取エネルギー量の減少割合の効果が過小に推定されたことによるものと考えられる。

経済的効率 (E_4) は W_M が 400 kg の時には W_A の増加に伴って下に凸の2次曲線を描いて変化した。その他の W_M に関しては上に凸に同様に変化した。前の生物学的効率においては、各効率に対する W_A の影響は W_M によって数値的には異なったもののいずれの場合にも本質的には同様であったが、 E_4 に対するそれは W_M の大きさによってまったく異なった。これは本モデルの生物学的因果関係が月齢などの時間の因子と独立

に表されているのに対して、牛肉の経済的価値を主として決定する脂肪交雑が時間の関数によって表されていることによるためと推察される。

表 3 は各効率に関してそれらの値を最大にする母牛の最適な遺伝的成熟体重を示したものである。 E_4 における W_M が 400 kg の時、 W_A に対する E_4 の変化は下に凸の2次曲線を描くため E_4 は最小値しかなく、最適な母牛の成熟体重は得られなかった。その他の場合、いずれの効率に関しても W_A が大きくなるに伴って効率

Table 3. Estimated optimum mature cow weights(kg)for 4 measures of production efficiency when 3 levels of steer market weights (400, 500 and 600 kg) were assumed

Efficiency index*	Steer market weights(kg)		
	400	500	600
E_1	516	568	622
E_2	629	653	699
E_3	666	711	789
E_4	—	445	515

*See table 2.

は大きく推定された。わが国において、黒毛和種の経済肥育標準として市場出荷体重は 600 kg にすることが望ましいとされている¹³⁾が、本研究の結果においては、このような条件下 ($W_M=600$ kg) での最適成熟体重は現状の水準 (485 kg⁸⁾) よりいずれの生物学的効率に関してもかなり大きく、経済的効率に関しても多少大きい値であった。この結果から、わが国の飼養条件においては黒毛和種のサイズは現状の水準より大きくする方向に改良することが望ましいと示唆された。したがって、黒毛和種雌牛の成熟体重を 530 kg にすべきであるという農林水産省の家畜改良増産目標は現行の飼養条件においては妥当であると考えられる。

肉用牛における最適サイズの設定に関する問題は古くから論議されてきたテーマで、CARTWRIGHT¹⁴⁾ は性別に牛肉生産において重要な形質を挙げ、雌牛のサイズは小型である方が望ましいと述べた。その後、この問題を解くためにシステム分析を用いたさまざまなシミュレーション実験が行なわれた¹⁵⁻¹⁷⁾。しかしながら、本研究と同様純粋種による一貫生産を対象とした場合、最適なサイズは経済条件や飼養条件によってさまざまで、未だ、いずれの条件でも成立つ普遍的な結論は得られていない。また最近、カナダの Mc MORRIS ら¹⁸⁾ は、実際のデータを用いて総収益と肉用牛のサイズの関係を調べ、一貫生産システムにおいてはサイズの大きいほど総収益は増加すると報告した。この結果は、経済効率を最大にする最適サイズがせいぜい 515 kg でそれ以上のサイズではむしろ効率が低下するという本研究の結果と異なったが、これはカナダではわが国ほど肉質が重視されていないことによるためと考えられる。

わが国においては最適な母牛のサイズが用いる効率によって異なることは極めて重要である。一般に、経済的状況は不安定で予測が困難であるため、対象システムの生産性の指標として生物学的効率を用いるべきであるという考えは、ある意味で合理的である。また同じ生物学的効率であっても、日本人の牛肉消費量が欧米並みに増加していき、将来健康上の理由から動物性脂肪を減らすことが望ましくなるであろうと予測されるならば今から効率の赤肉生産に重点を置いた E_3 を生産性の指標として用いるべきなのかもしれない。しかしながら、経済的な損得が死活問題である農家にとっては経済効率こそ最も重視すべきであるとも考えられる。従って、わが国のように用いる生産効率の指標によって最適な生産方式が異なるような条件下では、方針決定者はいずれの効率の

指標を生産目標として用いるかを明らかにした上で、最適な遺伝的サイズを決定すべきであろうと推察される。

本研究の一部は昭和 62 年度文部省科学研究費補助金 (No. 62790265) によって行なわれたものである。

参 考 文 献

- 1) MERTENS, D.R., J. Dairy Sci., **60**: 1176-1186. 1977.
- 2) JOANDET, G.E. and T.C. CARTWRIGHT, J. Anim. Sci., **41**: 1238-1246. 1975.
- 3) FITZHUGH, H.A. and E.K. Byington, World Anim. Rev., **27**: 2-6. 1978.
- 4) 広岡博之・山田行雄, 日畜会報, **56**: 557-565.
- 5) HIROOKA, H., A System Analysis of Beef Cattle Growth and Production. Doctor Thesis, 1988.
- 6) HIROOKA, H. and Y. YAMADA, (unpublished).
- 7) Agricultural Research Council. The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. Commonwealth Agriculture Bureaux. London. 1980.
- 8) 農林水産省農林技術会議事務局, 日本飼養標準, 肉用牛. 1987.
- 9) 広岡博之・山田行雄, 日畜会報, **58**: 388-395. 1987.
- 10) 農林水産省統計情報部, 昭和 59 年畜産物生産費調査報告, 農林統計協会. 1985.
- 11) BERG, R.T., S.P.M. JOHNS, M.A. Price, R. FUKUHARA, R.M. BUTTERFIELD and R.T. HARDIN, Can. J. Anim. Sci., **59**: 359-366. 1978.
- 12) SAS User's Guide, version 5. Statistics. 1985.
- 13) 並河 澄, 未発表論文.
- 14) CARTWRIGHT, T.C., J. Anim. Sci., **30**: 706-711. 1970.
- 15) LONG, C.R., T.C. CARTWRIGHT and H.A. FITZHUGH, J. Anim. Sci., **40**: 409-420. 1975.
- 16) NOTTER, D.R., J.O. SANDERS, G.E. DICKERSON, G.M. SMITH and T.C. CARTWRIGHT, J. Anim. Sci., **49**: 83-91. 1979.
- 17) MORRIS, C.A. and J.W. WILTON, Can. J. Anim. Sci., **55**: 233-250. 1975.
- 18) Mc MORRIS, M.R., J.W. WILTON and W.C. PFEIFFER, J. Anim. Sci., **63**: 1373-1383. 1986.

Simulation of a Japanese Cow-calf-feedlot Production System, with a Special Reference to the Effect of Genetic Mature Cow Size on Production Efficiency

HiroYuki HIROOKA and Yukio YAMADA*

Faculty of Agriculture, Kyoto University,
Kyoto-shi 606

A general simulation model was used to examine effects of genetic mature cow size on efficiencies of beef production for a Japanese cow-calf-feedlot production system. The following four kinds of index were used as measures of representing the efficiency of such systems; (1) the biological efficiency (E_1) expressed as total market weight of progeny (kg)/total feed metabolizable energy (ME) (MJ), (2) the biological efficiency (E_2) expressed as total market weight of a dam and her progeny (kg)/total feed ME (MJ), (3) the biological efficiency (E_3) expressed as total market muscle weight (kg) of a dam and her progeny (kg)/total feed ME (MJ) and (4) the economic efficiency (E_4) expressed as return from product (¥)/total feed cost (¥). Various levels of mature cow weights (W_A) and three levels of feedlot steer market weights (W_M ; 400, 500 and 600 kg) were assumed as alternatives, and other inputs such as feeding levels, management options and economic status were fixed, based on currently typical beef production condition with Japanese Black in Japan. The results obtained are summarized as follows: (1) All biological efficiencies changed curve-linearly with increase of W_A . The effect of W_A on each biological efficiency became larger as W_M increased, and the tendency was especially remarkable in E_1 . (2) The effects of W_A on E_4 varied with W_M , because marbling score, which mainly determines the price of beef, depended upon an independent time factor like age of animals in spite of the fact that biological cause and effects relationships in the model did not relate to such a time factor. (3) When W_M was 600 kg (regarded as economically ideal level in Japanese feeding condition), optimum W_A , which maximized efficiencies, was: 622 kg for E_1 ; 699 kg for E_2 ; 789 kg for E_3 ; 515 kg for E_4 . From this result, it was suggested that a decision maker should select the most adequate efficiency as a production goal before determining optimum W_A , in such a condition that the optimum W_A differed with efficiencies used.

Jpn. J. Zootech. Sci., 60 (10) : 933-939, 1989

Key words : beef cattle, size, simulation, model, efficiency

---

* Present address; Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, University Pertanian Malaysia, 43400, Serdang, Malaysia