乳牛のエネルギー代謝の諸問題

橋 爪 徳 三

(帯広畜産大学)

Some aspects of energy metabolism by dairy cow

Tokuzo HASHIZUME

(Obihiro Zootechnical University)

反芻家畜における飼料エネルギーの利用はその飼料の組成、内容に関係すると共に、給与される動物の生理的機能状態のいかんによって影響される。飼料が維持、肥満、泌乳、妊娠、成長のいずれの目的に用いられるかによって動物の反応は変わってくる。従って種々の生理的機能を遂行するための家畜のエネルギー要求量に関する知識は飼料の栄養的評価と同様に飼養標準設定に対しても必要である。現今用いられている飼料評価法などを改善しようとする一般的な必要性のもとに、エネルギー代謝の研究が再認識され、過去約10年間に各国に大動物の完全なC・N・エネルギー出納を測定できる機能を備えた実験室が建設された。これらの装置などについては海塩⁴⁴⁾によって紹介されたが、その後ソ連、ケニアにも新しく設置された。これら各実験室で用いられている方法や諸成績はエネルギー代謝シンポジウム：1958年(コペンハーゲン)⁵²⁾、1961年(ワーゲニンゲン)⁵⁸⁾、1964年(トルーン)⁵⁴⁾、1967年(ワルソー)⁵⁵⁾で報告されている。またエネルギー代謝に関する総説的な知識はKLEIBER⁴⁵⁾、MITCHELL^{48,49)}、BLAXTER^{7,9)}、FLATT²⁸⁾によって記されており、わが国で乳牛について得られた成績も報告されている³⁸⁻⁴⁰⁾。

エネルギー代謝のうち大動物によるものは特殊な設備を要するので限られており、このうち絶食時の代謝、維持、肥満についてはやや行なわれているが、泌乳、妊娠、成長に関するものは少ない。しかし最近泌乳の実験はアメリカ、オランダ、日本でも行なわれ、またソ連、東ドイツでも開始された。以下乳牛を用いた最近のエネルギー代謝の実験(チェンバー法によるもの)を中心に記してみたい。

1. 絶食時の代謝

反芻家畜は消化管内の飼料の通過速度がおそいので、

基礎代謝測定の諸条件を満足させるのに長時間を要し、かつ反芻家畜による絶食時の代謝の測定の意義に関しては古くよりかなりの論議がある。絶食時の代謝は絶食の長さ⁶⁷⁾、絶食前の栄養水準⁴⁷⁾、季節⁶⁷⁾、年齢^{6,68)}、光線⁶⁸⁾、品種^{7,57)}、動物の種類⁸⁴⁾、環境温度⁵⁾、体の容積⁴⁵⁾、性⁴⁾、動物の生理的状态⁵⁷⁾、絶食前の訓練の程度⁸²⁾によって影響されることはすでに報ぜられているが、最近においてもこれらの点について、再検討されている。

牛を用いて絶食時の代謝を初めて測定したのは1919年RITZMANらが去勢牛を用いたもので、その翌年ARMSBYは乳牛を用いて行なった。その後アメリカにおいて、FORBESら、BENEDICTら、KLEIBERら、MITCHELLらによってなされ、これらの絶食時における熱発生量については畜試報告などを参照されたい^{34,37)}。しかし絶食時の代謝の測定は最近になってもアメリカ、日本、スコットランド、オーストラリアにおいて行なわれ、動物の維持要求量の算出や飼料の熱量増加を算出する基礎値として用いられている。Hannah酪農研究所において絶食した緬羊によって得られたデータはBLAXTER⁹⁾によって取りまとめられ、またこれらの研究結果に立脚した新しい飼養方式がBLAXTER⁷⁾によって提示され、この場合絶食時の熱発生量が維持要求量と給与水準を算出する根拠として用いられている。

RITZMAN⁵⁷⁾は試験条件を同一にして乾乳牛について基礎代謝量を測定したが、その値は異なった動物では勿論、同一の動物についても時期的に相当の差があることを指摘し、多いものでは70～80%の差のある例を示している。また同一の牛で2カ月内の短期間に行なって得た結果でも約30%あるいはそれ以上の変動のあることを示している。しかしCOLOVOS¹⁵⁾は数少ない例で変動について結論することは尚早であるといっている。すなわち4頭のホルスタイン去勢牛で1年間にわたり毎月基

礎代謝量を測定し、4頭の牛の変異係数は10%以下であることを示している。なお BLAXTER¹⁰⁾ は肉牛去勢牛の絶食時の代謝測定においても変異係数は7.4%であるとしている。

絶食時の代謝と体重についての直線回帰を検討した結果、温血動物の代謝量は体重の3/4乗に比例することがわかった⁴⁶⁾。Metabolic body size ($\text{kg}^{3/4}$) 当たりの kcal ($\text{kcal/kg}^{3/4}$) を絶食時の代謝の結果を現わす標準的な方法として用いることが第3回エネルギー代謝シンポジウムにおいて採択された⁶⁴⁾。

乳牛の絶食時の熱発生量 ($\text{kcal/kg}^{3/4}$) の一例を示すと、泌乳牛では 86.0⁴⁶⁾, 94.7⁶⁷⁾, 93.8⁶⁷⁾, 乾乳牛では 63.5⁶⁷⁾, 73.1³⁴⁾, 80.9⁶⁷⁾, 74.1³¹⁾ であり、また肉牛に対する数値について見ても、KLEIBER によって報ぜられた基礎代謝の種間平均値 70 $\text{kcal/kg}^{3/4}$ より大である。ただし和牛の値は 51.5 $\text{kcal/kg}^{3/4}$ で低い³⁴⁾。

成長中のホルスタインの若雌牛では成牛より更に高い値がえられている。RITZMAN ら⁵⁸⁾ は8日齢の子牛は 172 $\text{kcal/kg}^{3/4}$ であり、1年齢: 100 kcal, 23~30ヵ月齢: 81~85 kcal と減少したことを示している。なお BLAXTER ら⁹⁾ は去勢牛の実験において1.5~2年齢のものは3~4年齢のものより約20%高いことを示している。

FLATT ら^{25,26)} は乾乳・非妊娠の乳牛6頭により84回の測定を行ない、平均基礎代謝量として 73.3 $\text{kcal/kg}^{3/4}$ を得たが、動物や絶食前に与えた飼料の種類による差は認めなかった。絶食前の給与水準は自由摂取、維持量、その1/2量の3水準としたが、絶食前に摂取した乾物量と基礎代謝量の間には5%水準で有意差を認めた。このうち維持水準量で与えた場合は 73.5 $\pm$ 1.5 $\text{kcal/kg}^{3/4}$ であった。また泌乳試験に用いた6頭の乳牛を12週間にわたって乾乳した後、測定した結果は 91 $\pm$ 2.2 $\text{kcal/kg}^{3/4}$ で高く、この値は前記の KLEIBER⁴⁶⁾, RITZMAN⁵⁷⁾ が泌乳中の乳牛の絶食時に得た値の範囲内にあった。

橋爪ら³⁴⁾ は和牛と乳牛の絶食時の代謝に有意差を認めたが、BLAXTER ら¹⁰⁾ も3種の牛において品種間に差のあることを認めた。

2. 維持

絶食時の代謝量は動物の維持要求量の算定に用いられ、牛の正味エネルギー要求量を記載している多くの表はこのようにして決定された。

BLAXTER⁷⁾ の提示した飼養標準では、維持に対する代謝エネルギー（以下 ME とする）要求量は絶食時の代謝量に1.35を乗じて計算しているが、これは体組織の分解を防ぐ場合には ME に対して74%の利用効率であ

ることを示している。この方法によれば KLEIBER の種間平均値は 94.5 $\text{kcal ME/kg}^{3/4}$ となる。

ME の利用効率は維持水準以下で給飼されている時に一定であるならば、単一の係数を用いることは正確である。しかし最近のいくつかの報告はこれは確かな根拠のある仮定でないことを示している。飼料の組成いかんによってこの係数を修正するために回帰式が得られている⁸⁾。例えば牧草を与えた時には次のような係数がすすめられている。

維持に対する ME の利用効率 (%) = $54.8 + 0.30 Q$
但し Q は飼料中の ME の濃度で、総エネルギー（以下 GE とする）に対する割合 (%) として表わされている。

これらの値を導くために用いられた飼料の平均利用率は $74 \pm 2.8\%$ で、それは BLAXTER⁷⁾ によって初めて示された係数とよく一致している。

VAN ES¹⁹⁾ はエネルギー平衡点またはその付近 ($\pm 4,000$ kcal) において給飼されている牛の熱量測定値 237 例 (KELLNER, FINGERLING, NEHRING, HANSEN, MÖLLGAARD, THORBEC, ARMSBY, FORBES, COCHRANE, RITZMAN, MITCHELL らによって1960年までに得られたもの) を集め分析した結果、体組織の蓄積または損失に対する補正係数として、体組織の損失のある時は 1.43, 蓄積のある時は 1.61 をそれぞれ損失または蓄積エネルギー量に乗じて補正すべきであることを示した。これは ME の利用効率は維持以下において 70%, 維持以上において 62% であることを意味している。これらの係数を用いて維持に要する ME 要求量の平均は体重 500 kg 当たり約 11,500 $\text{kcal/kg}^{3/4}$ で、これは 109 $\text{kcal/kg}^{3/4}$ に相当した。このうちエネルギー出納がマイナスであった 28 頭、64 例は 108 kcal, またプラスであった 72 頭、173 例は 110 kcal であった。また維持に対する ME について動物内変動は 7%, 動物間変動は 5~10% であった。

橋爪ら^{38,37)} は8頭の乾乳・非妊娠の乳牛の維持に要する ME 量は 116 ± 9.2 kcal であり、また環境温度が 5, 17, 28°C の時に、それぞれ 119 ± 6.9 , 117 ± 6.1 , 113 ± 1.1 kcal であることを報告している。

BROUWER ら¹²⁾ は維持に対する ME 要求量は飼料の組成、個体の変動、一定体重に換算する方法の差によりかなり変動はあるが、体重 500 kg 当り 11,000~12,000 で 11,500 kcal はかなり妥当な値であるとしている。さらに乾乳牛 6 頭、32 例の実験より体重 500 kg 当り平均 11,611 kcal ($110 \text{ kcal/kg}^{3/4}$) を得た。この場合良品質の乾草が与えられている時と粗繊維の多い乾草が与えられている場合とではそれぞれ 107, 120 kcal であるこ

とを示した^{12,13)}。また 7 頭, 36 例の別の実験²⁰⁾では 124 kcal であり, 比較的大きな実験時期による影響を認めている。また 6 頭, 33 例の実験から有機物中の粗繊維含量が 33.6 % の乾草のみを与えた場合に 108 kcal なる値を得た¹⁴⁾。VAN ES ら^{14,21,23)}は以上の実験にその後実施した実験も加えて次のように述べている。乾乳・非妊娠牛の維持要求量 (kcal ME/kg^{3/4}) とその時の代謝率 (ME/GE, %) はそれぞれ乾草を与えた場合 (54 例) 111 kcal と 51 %, 乾草を与えた場合 (33 例) 124 kcal と 48 %, 乾草のみか, 乾草に濃厚飼料を加えた場合 (54 例) 107 kcal, 54 %, 乾草またはサイレージに濃厚飼料を加えるか加えなかった場合 (51 例) 105 kcal, 53 % であった。これらの 189 回の維持試験の結果から, 維持に要する ME はエネルギーの消化率が高い場合ほど少ないこと, および可消化エネルギー中の蛋白質に由来するエネルギー (kcal) の割合が少ないほど減少することを認めた。

一方 BREIREM²⁶⁾は維持に要する ME と飼料の粗繊維含量の間には相関関係 ($r = +0.39$) のあることを示した。また VAN ES¹⁹⁾ はアメリカ, ヨーロッパで行なわれたデーターをもとにして, エネルギー損失を示した 54 例では $+0.39$, 蓄積を示した 165 例では $+0.04$ であり, 全成績より考慮すると飼料の組成上の相違による影響は認められるが少ないとしている。

一方 FLATT ら²⁷⁾はペレット化した粗飼料を与えた出納試験において, 回帰式によってエネルギー平衡の補正をした場合には維持に対する ME 要求量は早刈りアルファルファ (EA), おそ刈りアルファルファ (LA), おそ刈りオーチャード (LOG) に対してそれぞれ 105, 112, 102 kcal であり, また前記の係数 1.61 と 1.43 を用いて補正すると 54 例の平均は 104.5 kcal, 飼料別には EA 104, LA 109, LOG 100 kcal となった。飼料による影響はウェファールにしたアルファルファ乾草に濃厚飼料の給与量を変えて加えた飼料 (ENE として乾草を 50, 75, 100 % 含み, その残りをトウモロコシと大豆粕の混合物として同一エネルギー含量とした 3 種で, それぞれ a, b, c とする) を与えた場合に著しかった。およそ維持量だけ与えた時の維持要求量は上記の係数 1.61 と 1.43 を用いて補正した場合に, a: 108, b: 117, c: 128 kcal であった。また維持量の 2 倍量を与え直線回帰分析によって算出した場合は, a: 106, b: 120, c: 138 kcal でその平均は 114 ± 9.0 kcal であり, いずれの場合にも飼料の構成による差がみられた。

泌乳中の乳牛の維持量はそれを直接測定することは困難であるために, 従来乾乳牛に対する値と同様であると

みなされている。BRODY その他は重回帰分析を行なって要求量を算出したが, 一般的に言って乾乳牛から直接測定したものに比してこの方は大きい。例えば BRODY¹¹⁾の場合は泌乳牛の維持要求量は 135 kcal ME/kg^{3/4} であり, 乾乳牛の 111 kcal よりも大きい。また HUTTON⁴²⁾によれば泌乳牛 236 kcal, 乾乳牛 126 kcal であり, また WALLACE⁶¹⁾によれば放牧中の泌乳牛は 212 kcal で大きい。これらの数値はいずれも NRC 標準⁵⁰⁾に示されている 115 kcal よりも大きい。

3. 妊 娠

妊娠の飼養標準に示されている数値はかなりの幅があり, MÖLLGAARD の 180 Mcal ME から NRC 標準⁵⁰⁾による 780~1,170 Mcal ME の範囲に及んでいる。これらの数値については別報³⁸⁾を参照されたい。大きな数値を与えているものは泌乳時の体物質の消耗を考慮して安全度を含んでいるためである。

妊娠牛の代謝試験例は少ない。VAN ES¹⁹⁾, 橋爪ら³⁸⁾が乳牛について行なった。妊娠の末期には熱発生量は著しく増加するが, どの程度が母畜により, またどの程度が胎児に由来するものかについては明らかになっていない。

VAN ES¹⁹⁾は 15 頭の妊娠牛 (分娩前 11~95 日) によって 40 回の出納試験を行ない, 平均維持要求量は 133 kcal/kg^{3/4} (範囲 103~175) であり, また妊娠末期 (分娩前 11~39 日) の 8 例の平均は 145 kcal であった。橋爪ら³⁸⁾は妊娠 200 日令以降には, 熱発生量は急激に増加することを認めた。すなわち維持飼料を与えていた第 I 期 (受胎後 41~73 日) に 123 kcal であったものが, 第 IV 期 (255~268 日) には 169 kcal に増加した。また別の実験⁶⁵⁾により安静時代謝は妊娠の 1 日ごとに 0.192 kcal の割合で増加することを示した。この急速な増加は胎児および胎膜におけるエネルギーの蓄積が直線的な割合で増加することに一部基づくものといえる。JAKOBSEN ら⁴³⁾は妊娠牛の妊娠日齢 (t) と子宮部内へのエネルギー蓄積量 (V kcal) の関係式を次のように示した。ただしこれは屠殺試験によったものである。

$$V \text{ kcal} = 416.2 e^{0.0174t}$$

橋爪ら³⁸⁾は妊娠にともなう糞その他へのエネルギーの損失区分を明らかにし, 妊娠のためのエネルギー増給分は NRC 標準の 90 % 程度で十分であろうと推算した。最近 FLATT ら³⁰⁾は 3 種の飼料 (アルファルファ乾草 60, 40, 20 % に濃厚飼料をそれぞれ 40, 60, 80 % 加えたもの) を用いて妊娠時のエネルギー代謝実験を行ない維持の場合と比較した。これによると妊娠していない

牛の方が妊娠牛の方よりも糞、熱としての損失は少なく、メタン損失の方が多かった。尿中への損失は飼料、妊娠の有無、牛によって影響されなかった。また非妊娠牛は蓄積をしなかったのに対して、妊娠牛の方は維持に要するエネルギーが増加することとエネルギーの利用効率が悪いいため妊娠牛の方はエネルギーの損失を示した。また乾乳・非妊娠牛の維持量は体重 500 kg 当り ME で 10.6 ± 0.39 Mcal であるのに対し、分娩前 60~90 日の妊娠牛は 14.1 ± 0.47 Mcal であった。また全期間の平均は 12.4 ± 0.24 Mcal、最高値は 16.1 と 17.4 Mcal でいずれも分娩の前週に得られた。NRC 標準⁶⁰⁾では 500 kg の牛に対して維持に 12.5 Mcal、妊娠末期 60~90 日に 10.8 Mcal を加えることをすすめており、これは合計 23.3 Mcal となるので、上記 FLATT の値と比べても 6~10 Mcal 多いことになる。すなわちこのような過剰なエネルギーが体内に蓄積されて泌乳期になって役立つのであるが、乳牛の能力によって加減することが必要と思われる。

妊娠にともなう体内蓄積に対する ME の利用効率は体内脂肪蓄積の場合よりも効率が低い。例えば羊の妊娠にともなう蓄積に対する ME の正味利用効率は GRAHAM³³⁾によると 13 % にすぎない。VAN ES¹⁹⁾ は牛に対する効率は 25 %、すなわち 1 kcal の妊娠にともなう蓄積に対して 4 kcal の ME を要することを推算した。これは通常の体内脂肪蓄積の効率 50~60 % に対比して著しく低い。

4. 体脂の蓄積

動物が ME を体脂に変換する効率については多くの研究がある。BLAXTER⁷⁾は反芻家畜で行なわれた実験を総合して紹介し、飼料の組成が体脂蓄積に対する ME の利用効率に著しい影響を与えることを結論した。REID⁵⁶⁾は乳牛と肉牛の出納試験を要約し、維持以上に摂取した ME の体組織への転換効率は 58.4 ± 3.5 % である。しかし粗飼料の割合の多い飼料では、ルーメン内で酢酸の生成が多くプロピオン酸の生成が少ないので効率が低くなることが期待されうとしている。ARMSTRONG^{ら^{1,2,60)}}は羊で行なった実験を要約しこのことを確かめている。また飼料中の ME の濃度および飼料の化学的組成と効率に関する回帰式を導き出した。BLAXTER⁸⁾は体脂蓄積に対する ME の利用効率は $\text{効率} = 3.0 + 0.81 Q$ (但し Q は ME の GE に対する割合)なる式で示し、この式を得るために用いた牧草の平均効率は 47 ± 4.6 % であった。肉牛、羊、豚、ウサギ、ネズミの肥育時の出納試験が東ドイツで行なわれ^{41,51,59)}、その結果化学組成、

消化率に基づいて、飼料を与えた動物ごとに飼料の正味エネルギーを算出するための重回帰式を作成した。

FLATT^{ら²⁷⁾}は粗飼料だけをペレットにした飼料を与えた実験において、回帰分析の結果より次のような ME の利用効率を得た。早刈りアルファルファ: 55 ± 3.0 %, おそ刈りアルファルファ: 57 ± 3.8 %, おそ刈りグラス: 56 ± 3.7 %, また第 2 回の実験よりこれら飼料の平均は 50.2 ± 3.6 % となった。また泌乳中の乳牛における体脂の分解、蓄積に関する新しい知見は泌乳の項で述べる。

5. 泌 乳

泌乳牛によるエネルギー代謝に関する研究は 1904 年 KELLNER が 23 例実施したのに始まり、デンマーク、アメリカ、オランダにおけるもの、日本で 1961~1963 年に 26 例実施したものを加えて 136 例にすぎない。これらの結果は FLATT²⁹⁾により総括されているが、おおよその実験は粗飼料が約 40~60 % で残り 60~40 % は濃厚飼料か純粋な栄養素を含む飼料内容である。また乳量は 1 日当り 2~53.4 lb FCM ($0.8 \sim 18.6$ Mcal) にすぎず低い。またこれらの牛はおおよそエネルギー平衡の状態に飼養され体組織の分解が 1 日 5 Mcal 以上を示した例は 4 例にすぎない。従って泌乳初期に乳生産のためにおこるような体組織が分解され乳生産に利用されるような場合についての知見はえられていない。アメリカにおいて FLATT^らは 1962 年以降、高能力牛の代謝試験を実施し、飼料の構成が ME の利用効率に及ぼす影響について大規模な実験を展開している。

乳生産に対する ME の利用効率は体脂蓄積の場合よりもすぐれていることは KELLNER, ARMSBY によっても述べられている³⁹⁾。FORBES³⁹⁾は維持の場合の正味エネルギーを 1 とすると泌乳は 0.985、体脂蓄積は 0.761 で飼料の正味エネルギー値は目的によって異なることを示した。BLAXTER⁹⁾によれば反芻家畜による ME の利用効率は飼料中の ME の含量により異なるが、例えば 1 kg 乾物中の ME が 2.6 Mcal で GE に対する ME の割合が 59 % の時には利用率は維持: 72 %, 体脂蓄積: 51 %, 泌乳: 70 % で体脂蓄積の効率が低いことを示している。FORBES³⁹⁾は乳生産に対する ME の正味有効率は 69.3 %, 体脂蓄積に対するそれは 57.5 % であるとした。REID³⁹⁾は泌乳牛 27 頭、59 例の実験から牛乳生産に利用できる ME のうち 70.2 ± 4.0 % が牛乳に転換されたことを示した。COPPOCK¹⁷⁾は 1.61 と 1.43 の係数を用いて蓄積・損失に対する補正を行ない乳生産に利用された ME の利用効率を算出した。このため 103 例 (この

うち 59 例は上記 Reid のものと同じ)を用いて直線回帰分析を行なった。その結果維持要求量を 113 または 131 kcal ME/kg^{3/4}とすると効率率はそれぞれ 61, 75.5 % となった。また FLATT²⁹⁾が前記 136 例について維持量を 116.3 または 131.0 kcal とすると効率率はそれぞれ 63.9, 72.1 % となった。これらの諸数値は、計算における維持要求量と蓄積・損失に対する補正の方法いかんによって効率の数値が影響されることを示している。このことからエネルギー平衡からのバラツキが大きいほど影響が著しくなることを示している。

BLAXTER⁷⁾はルーメン内の VFA の組成比との関係について、ルーメン内で 50 ~ 60 % (モル比)の酢酸が生産されるような飼料が与えられる場合は乳生産に対する ME の正味有効率は最高で約 70 % となり、この範囲外では低下すると述べている。COPPOCK¹⁸⁾は上記出納試験においてルーメン内の VFA の組成をしらべ、VFA の割合と泌乳効率との間の相関は、酢酸 - 0.73, プロピオン酸 + 0.43, 酪酸 + 0.67 で 5 % 水準で有意であった。

泌乳中の山羊による ARMSTRONG³⁾の実験や綿羊による GRAHAM⁸⁾の研究は乳分泌時に起こる脂質蓄積は動物が泌乳していない時に起こる蓄積とは全く異なり、前者の方が効率が良いとしている。泌乳中の山羊においてはエネルギーの蓄積と乳の分泌とは殆ど同様の効率 (69.1 %) で進行しているが、泌乳をしていない時は脂質蓄積の効率は 3 種の飼料でそれぞれ 50.3, 52.3, 44.4 % で低かった。乳牛による FLATT²⁹⁾の結果においても、泌乳の中期、後期における脂質蓄積に対する ME の利用効率は乳生産に対する効率程度であると述べ、これらは新しい知見として注目されている。デンマークにおいて泌乳牛にヨードカゼインを与えた場合²⁸⁾、体組織が泌乳のためのエネルギー源として利用される効率は低いことを示した。FLATT ら²⁹⁾も乳の高生産を維持するために体組織を分解利用するがその効率が低いことを示した。しかし泌乳の末期においてエネルギー要求量に対して飼料が十分に供給される時にはエネルギー蓄積が効率よく行なわれたことを示した。

COPPOCK ら^{17, 20)}は飼料の ENE のうちアルファルファ乾草をそれぞれ 50, 75, 100 % とし残りを大豆粕混合の濃厚飼料とした 3 種の飼料を与えて実験した。その結果蓄積・損失に対する補正值として 2.0, 1.3 を用いると乳生産に対する ME の利用効率は上記飼料に対してそれぞれ 58, 56, 51 % および 56, 52, 45 % となり、また維持要求量はそれぞれ 109, 110, 110 kcal/kg^{3/4} となった。また補正值を 1.61, 1.43 とし、また維持量を 131 kcal とすると効率は 65, 61, 54 % と大きくなった

が、いずれにせよ飼料の組成、内容が乳生産の利用効率に影響することを認めた。

FLATT ら²⁹⁾は 1963 年にいたるまでに泌乳牛により 250 回以上の出納試験を行ない、その乳量は 10 ~ 100 lb 以上 (0.3 ~ 35.3 Mcal) の範囲で、そのうち 92 例では乳量 50 lb 以上で 80 lb 以上のものが 15 例含まれ従来の諸実験よりもはるかに多い。第 1 回試験においてはその一部は COPPOCK のデータにも述べているが、泌乳の前・中・後期および乾乳期を通じての各段階における摂取 GE の利用・排泄の分布を明らかにした。それによると摂取 GE に対する乳エネルギーの割合は泌乳時期が進むにつれて明らかに減少した。また乾乳期(維持量)から泌乳期(維持量の 2 ~ 3 倍量)にわたり実験を総合してみると、給与水準が高くなるにつれて、粗飼料と濃厚飼料とから成る飼料においては消化率が減少した。しかし他方尿とメタンとしての損失が減少するので、GE に対する ME の割合はおよそ一定となり、摂取水準のいかにかわらず消化率におけるような差が見られず、およそ一定していることが明らかとなった。さらに第 2 回試験では上記よりも高い産乳能力のある牛 (60 ~ 90 lb) を選んで試験した^{29, 30)}。その結果、泌乳最盛期には乳生産を保つために貯蔵エネルギーを利用し、乳期が進行してエネルギー要求量が少なくなると飼料エネルギーを体にもどすという高生産牛の現象について定量的に証明をした。また濃厚飼料の割合が 40 ~ 80 % を占めている飼料内容においては ME の乳生産に対する効率は差が少ないことがわかった。しかし高泌乳期においてはエネルギー出納が損失を示すのでその補正方法いかんによって結論のちがう可能性もある。維持量の 4 倍以上の飼料を摂取している牛においても効率の低下は見られなかったが、引続き試験中であり最終結論とは言えない。橋爪ら³⁰⁾は濃厚飼料の占める割合が 29, 55, 32, 32 % の飼料で、FCM 生産量が 10 ~ 18 kg の牛において乳生産に対する ME の利用率はそれぞれ 73.7, 70.4, 67.5, 70.4 %, 平均 69.7 ± 5.8 % でおよそ一定であることを示したが、これらの点については再検討し確かめる必要があろう。

さらに FLATT ら³⁰⁾が 1965 年までに実施した実験をもとにして高生産牛の全泌乳期にわたる成績を検討した。飼料は濃厚飼料を 40, 60, 80 % とし残りを乾草とした 3 種で、飼料別と、泌乳の前・中・後期別とについて 12 頭 (他に予備 2 頭) の高生産乳牛を用いた成績を検討した。1 日 当り乳生産量は 1 ~ 49 kg FCM (0.7 ~ 34.8 Mcal), 飼料摂取量は維持 ~ その 4 倍量, 体重 460 ~ 817 kg でまた体組織の利用は泌乳初期の 20 Mcal

損失から、末期の 18.8 Mcal 蓄積の範囲であった。まず濃厚飼料の割合が多くなると、メタン、糞としての損失エネルギーの GE に対する割合は減少し、また乳の熱量は減少し、末期には牛が太る傾向が見られた。GE に対する ME の割合は 60~68 % で平均 63.8 ± 4.6 % であった。エネルギーの消化率は 73.7 ± 4.3 % であった。高泌乳期に多量の体組織のエネルギーを分解利用し、末期には蓄積することが再確認された。初期には平均 6.9 Mcal 損失（このうちには 10~20 Mcal のものを含む）し、末期には平均 4.9 Mcal 蓄積（15~18.8 Mcal のものを含む）した。ME の利用効率を直線回帰分析によって計算し、ME の 65.8 ± 1.8 % が乳の生産と体脂としての蓄積に利用されたこと、また乳生産量や体組織の蓄積・損失量の多少、泌乳の時期、個々の牛に基づく差は僅かで、およそ一定していることがわかった。むしろ飼料間の相違は動物間におけると同様にエネルギーの利用効率そのものよりも、むしろエネルギーの摂取量と乳生産と体脂蓄積のいずれに利用されるかの点に見られた。また回帰分析から得られた維持の推定値は乾乳・非妊娠牛によって得られた値よりも大であった。すなわち ME 摂取量が零の時はエネルギーの出納は -93.1 kcal/kg^{3/4} となり、これは絶食時の 73.3 kcal よりも大であり、またエネルギー出納量が零である時は ME の摂取量は 140~148 kcal となり、これも乾乳・非妊娠牛で得た 110 kcal よりも大となり、泌乳牛においては維持量は従来得られた数値よりは大きいことを示した。以上のように FLATT らによって得られた高生産牛の試験結果は最近問題となっている高生産牛の飼養に関連して貴重なデータを提供した。

オランダにおいては 1956 年以降、維持試験を主に行なっていたが、1965 年以降、泌乳牛について再開した²³⁾。その成績の一部として、乾草、サイレージ、濃厚飼料を組合わせた実験において乳生産に対する ME の利用効率の平均は 54~58 % の範囲内にあり、乳牛の維持量は 95~110 ME kcal/kg^{3/4} であること、また維持と乳生産の合計に対する ME の利用効率は代謝率の高い方の飼料では僅かに改善されることを示した。また維持に要する ME は同一飼料を乾乳牛に与えた時にえた数値と同程度であった。

また最近 VAN ES ら²⁴⁾は乳牛の出納試験 373 例（1950 年までに発表された 87 例、橋爪ら 20 例、DENISOV 76 例、FLATT 125 例、VAN ES 65 例）を集録し取りまとめた結果、飼料の代謝率が 59 % である時に乳生産に対する効率は 62 %、維持要求量は 117 kcal である。維持と乳生産に対する ME の要求量は代謝率が 1 単位増加する

ごとに約 0.5 % ずつ減少する。乳牛の維持要求量の動物間変動は約 10 % に相当することを述べている。

環境温度に関しては橋爪ら²⁵⁾は 17 °C と 5 °C および 5 ± 4 °C について代謝試験を実施したが、オランダにおいて高温を主とした実験が行なわれた²²⁾。乾草の割合の多い飼料はしからざる飼料よりも高温の時には熱負荷をかけるといわれているので、飼料中の乾草の多少と高温の影響を明らかにするため出納試験を実施した。温度は夜間 25 °C と昼間 30 °C とし、常温として 20 °C を設定した。維持と生産に対する利用効率には殆ど影響はなかった。

FLATT ら²⁶⁾は 2 組の一卵性双生児の乳牛に 10 種類の精製飼料と 1 種類の普通飼料を与えて、飼料中の N 源と炭水化物源の差がエネルギーの利用に及ぼす影響を検討した。また COLOVOS ら¹⁰⁾は乳牛飼料中の粗繊維の利用に対する尿素添加の効果について検討した。

6. あとがき

以上主として乳牛の成畜を主として述べたので、成長中の乳用子牛による成績は RITZMAN ら、BLAXTER ら、VAN ES らによるものがあるが省略した。また乳牛以外については BLAXTER ら、NEHRING らおよびその他の諸氏によるものがある。特に第 4 回シンポジウムにおいて飼料のエネルギー価の評価法について、BREIREM 司会のもとになされ、また NEHRING、BLAXTER による正味エネルギーやエネルギーの利用に関する講演もなされたが、これらおよび各家畜についてのエネルギー代謝に関する研究成績については引用文献 (52)~(55) を参照されるとよい。

文 献

- 1) ARMSTRONG, D. G. (1964) J. Agric. Sci., 62: 399-416.
- 2) ARMSTRONG, D. G., K. L. BLAXTER and R. WAITE (1964) Ibid., 62: 417-424.
- 3) ARMSTRONG, D. G. and K. L. BLAXTER (1965) 引用文献 54) の P 59-72
- 4) BENEDICT, F. G. (1938) Vital Energetics-A Study in Comparative Basal Metabolism. Carnegie Institution of Washington. Washington D. C..
- 5) BLAXTER, K. L. and F. W. WAINMAN (1961) J. Agric. Sci., 56: 81-90.
- 6) BLAXTER, K. L. (1962) Br. J. Nutr., 16: 615-626.
- 7) BLAXTER, K. L. (1962) The Energy Metabolism of Ruminants. Hutchinson. London.
- 8) BLAXTER, K. L. (1964) Proc. Nutr. Soc., 23: 62.

- 9) BLAXTER, K. L. (1965) The Nutrient Requirements of Farm Livestock. No. 2 Ruminants, Technical Reviews and Summaries. 193-257. Agricultural Research Council. London.
- 10) BLAXTER, K. L. and F. W. WAINMAN (1966) Br. J. Nutr., 20: 103-111.
- 11) BRODY, S. (1945) Bioenergetics and Growth. Reinhold. New York.
- 12) BROUWER, E., A. J. H. VAN ES and H. J. NIJKAMP (1961) 引用文献 53) の P. 153 ~ 164.
- 13) BROUWER, E., A. J. H. VAN ES and H. J. NIJKAMP (1964) Mededelingen Landbouwhogeschool Wageningen. Nederland, 64-9.
- 14) BROUWER, E. and H. J. NIJKAMP (1966) Ibid., 66-14.
- 15) COLOVOS, N. F. (1961) 引用文献 53) の P. 142-152.
- 16) COLOVOS, N. F., H. A. KEENER and H. A. DAVIS (1965) 引用文献 54) の P. 197 ~ 204.
- 17) COPPOCK, C. E., W. P. FLATT, L. A. MOORE and W. E. STEWART (1964) J. Dairy Sci., 47: 1330-1338.
- 18) COPPOCK, C. E., W. P. FLATT, L. A. MOORE and W. E. STEWART (1964) Ibid., 47: 1359-1364.
- 19) VAN ES, A. J. H. (1961) Between Animal Variation in the Amount of Energy Required for the Maintenance of Cows. Doctoral Dissertation, Wageningen, Netherlands.
- 20) VAN ES, A. J. H., E. BROUWER and H. J. NIJKAMP (1965) 引用文献 54) の P. 95-110.
- 21) VAN ES, A. J. H. and H. J. NIJKAMP (1966) Neth. J. Agric. Sci., 14: 178-197.
- 22) VAN ES, A. J. H., M. W. A. VERSTEGEN, M. S. SALEH YOUSSEF and H. J. NIJKAMP (1968) Ibid., 16: 136-141.
- 23) VAN ES, A. J. H. and H. J. NIJKAMP (1967) 引用文献 55) の別刷
- 24) VAN ES, A. J. H. (1968) 私信.
- 25) FLATT, W. P. and C. E. COPPOCK (1963) J. Dairy Sci., 46: 638.
- 26) FLATT, W. P., C. E. COPPOCK and L. A. MOORE (1965) 引用文献 54) の P. 121-130.
- 27) FLATT, W. P., C. E. COPPOCK, L. A. MOORE and R. W. HEMKEN (1964) 引用文献 54) の P. 131-144.
- 28) FLATT, W. P. (1965) Physiology of Digestion in the Ruminant. 240-253. Butterworths. London.
- 29) FLATT, W. P. (1966) J. Dairy Sci., 49: 230-237.
- 30) FLATT W. P., P. W. MOE, L. A. MOORE, N. W. HOOVEN, R. P. LEHMANN, R. W. HEMKEN, E. R. ØRSKOV, A. W. MUNSON and T. COOPER (1967) 引用文献 55) の別刷
- 31) FORBES, E. B., J. A. FRIES, W. W. BRAMAN and M. KRISS (1926) J. Agric. Res., 33: 591-595.
- 32) GRAHAM, N. McC. (1962) Aust. Soc. Animal Prod., 4: 138.
- 33) GRAHAM, N. McC. (1964) Aust. J. Agric. Res., 127-141.
- 34) 橋爪・海塩・安保・森本・増淵・安部・堀井・田中・浜田・高橋 (1962) 農枝研報 G, 21: 213-311.
- 35) 橋爪・浜田・増淵・横田 (1963) 畜試研報, 3: 121-124.
- 36) 橋爪・森本・増淵・安部・堀井・浜田・田中・高橋・海塩・安保 (1964) 畜試特報, 2: 7-77
- 37) 橋爪・森本・浜田・増淵・安部・堀井・田中・実川・横田・安保 (1964) 畜試特報, 2: 79-107
- 38) 橋爪・森本・増淵・安部・浜田・堀井・実川・横田 (1964) 畜試特報, 5: 6-44.
- 39) 橋爪・森本・増淵・安部・浜田・堀井・実川・横田・山本・高橋・吉野・斉藤 (1965) 畜試特報, 6: 7-58.
- 40) HASHIZUME, T., H. MORIMOTO, T. MASUBUCHI, M. ABE and T. HAMADA (1965) 引用文献 54) の P. 111-120.
- 41) HOFFMANN, L., R. SCHIEMANN and K. NEHRING (1963) Arch. Tierernähr., 13: 163-175.
- 42) HUTTON, J. B. (1962) Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod., 22: 12.
- 43) JAKOBSEN, P. E. (1957) Beretning fra Forsøkslab. København, 299.
- 44) 海塩義男 (1965) 日畜会報, 36: 185-190.
- 45) KLEIBER, M. (1961) The Fire of Life-An Introduction to Animal Energetics. Wiley. New York.
- 46) KLEIBER, M., W. M. REGAN and S. W. MEAD (1945) Hilgardia, 16: 511-569.
- 47) MARSTON, H. R. (1948) Aust. J. Scient. Res., Series B, 1: 93-129.
- 48) MITCHELL, H. H. (1962) Comparative Nutrition of Man and Domestic Animals. Vol. I. Academic. New York.
- 49) MITCHELL, H. H. (1962) Ibid., Vol. II.
- 50) National Research Council (1966) Nutrient Requirements of Dairy Cattle. National Academy of Sciences-National Research Council, Washington D. C., Publ. No. 1349.
- 51) NEHRING, K., L. HOFFMANN, R. SCHIEMANN and W. JENTSCH (1963) Arch. Tierernähr., 13: 193-213.
- 52) Proceedings of the 1st Symposium on Energy Metabolism (Copenhagen) (1958) 1. Symposium On Energy Metabolism. E. A. A. P. Publ. No. 8. Secretariate: Corso Trieste 67, Rome, Italy.
- 53) Proceedings of the 2nd Symposium on Energy Metabolism (Wageningen) (1961) 2. Symposium On Energy Metabolism. E. A. A. P. Publ. No. 10. Secretariate: Corso Trieste 67, Rome, Italy.

- 54) Proceedings of the 3rd Symposium On Energy Metabolism (Troon)(1965) Energy Metabolism. Edited by K.L. Blaxter. Academic Press. London・New York.
- 55) Proceedings of the 4th Symposium On Energy Metabolism (Warsaw) (1967) In prep. by J. Kielanowski.
- 56) REID, J.T. (1962) Dedication Ceremony of F. B. Morrison Hall and Symposium Papers on Animal Nutrition's Contributions to Modern Animal Agriculture. P. 54. Cornell Agric. Exp. Station. Ithaca.
- 57) RITZMAN, E.G. and F.G. BENEDICT (1938) Nutritional Physiology of the Adult Ruminant. Carnegie Institute of Washington. Washington, D.C..
- 58) RITZMAN, E.G. and N.F. COLOVOS (1943) Univ. of New Hampshire. Agr. Expt. Sta. Tech. Bull. 80.
- 59) SCHIEMANN, R., K. NEHRING and L. HOFFMANN (1963) Arch. Tierernäh., 13: 177-192.
- 60) WAITE, R., M.J. JOHNSTON and D.G. ARMSTRONG (1964) J. Agric. Sci., 62: 391~398.
- 61) WALLACE, L.R. (1961) Proceedings of the Seventh International Grassland Congress, P. 134. Wright & Carman. Wellington, N.Z.