



Title	泌乳牛の粗飼料多給飼養下における飼料エネルギーの利用効率に関する研究
Author(s)	中辻, 浩喜; NAKATSUJI, Hiroki
Citation	北海道大学農学部農場研究報告, 31, 75-128
Issue Date	1999-03-29
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/13445">https://hdl.handle.net/2115/13445</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	31_p75-128.pdf





4. 考察 .....	98
5. 小括 .....	102
第IV章 粗飼料多給飼養下における1乳期生産時での牛乳生産のエネルギー利用効率 ——飼養試験成績からの検討—— .....	103
1. 目的 .....	103
2. 解析に用いたデータおよび解析方法 .....	103
3. 結果 .....	103
1) 1乳期産乳成績 .....	103
2) 1乳期生産時でのエネルギー摂取量および牛乳生産のエネルギー利用効率 .....	104
3) 乳量レベル別の1乳期産乳成績, エネルギー摂取量および牛乳生産のエネルギー利用効率 .....	104
4) 初産, 経産別の1乳期産乳成績, エネルギー摂取量および牛乳生産のエネルギー利用効率 .....	106
5) 給与粗飼料構成別の1乳期産乳成績, エネルギー摂取量および牛乳生産のエネルギー利用効率 .....	107
6) 分娩季節別の1乳期産乳成績, エネルギー摂取量および牛乳生産のエネルギー利用効率 .....	108
a) 春分娩牛 .....	108
b) 夏・秋分娩牛 .....	110
c) 冬分娩牛 .....	111
4. 考察 .....	112
5. 小括 .....	115
第V章 総合考察および結論 .....	115
1. 自給粗飼料多給飼養下における産乳に要するME量 .....	116
2. 結論 .....	120
摘 要 .....	121
謝 辞 .....	122
引用文献 .....	122
英文摘要 .....	127

## 第I章 緒 論

### 1. 研究の背景と目的

日本における酪農は過去35年間で急速に発展し、その様相は著しく変化している。乳牛飼養頭数が増加する一方で乳牛飼養戸数が激減し、1戸当りの飼養頭数が増加した。生乳生産量は1960年の189万tから1996年の866万tへ急増し、個体の泌乳能力も、搾乳牛1頭当り年間乳量にすると1960年の4,900kgから1996年の8,364kgへと向上してきている<sup>55),56)</sup>。この中で、北海道の酪農が占める役割は大きく、全国の乳牛頭数の46%を飼養し、生乳生産量は41%にもおよぶ<sup>55),56)</sup>。

このように、従来から我が国の「牛乳生産基地」

として主要な位置を占めてきた北海道酪農の最大の特徴は、豊富な粗飼料生産基盤を背景にした、自給粗飼料中心の土地利用型牛乳生産であり、本州・西南暖地における、いわゆる濃厚飼料多給型牛乳生産とは一線を画するものである。我が国の土地条件および社会条件、さらには、今後、全世界的な食糧不足が予想されることなどから、我が国の牛乳生産は輸入穀類に頼らず、反芻家畜の消化特性をいかした粗飼料中心とし、人類の食糧との競合を避けるかたちで、今後とも展開されるべきである。大久保<sup>58)</sup>は、我が国における牛乳生産の基本的なあり方として、自給粗飼料中心の土地利用型牛乳生産を指向すべきことを強調しており、その中で、生産量のみならず生産効率、特に飼料

エネルギーの利用効率についても考慮すべきことを指摘している。

これらのことから、自給粗飼料を中心とし、飼料エネルギーを効率的に利用した、栄養生理面からも合理的な飼料給与方法および飼養技術を早急に確立することが強く望まれている。しかし、上記のような視点にたち、飼料エネルギーの利用効率に影響を及ぼす要因について検討した研究は少ない。

飼料エネルギーの利用効率に関する研究を行なっていく場合、まずエネルギーの評価法として何をを用いるべきかを考えなくてはならない。我が国では長い間、エネルギーの評価法として、可消化養分総量(TDN)を用いてきている。しかし、TDNは、濃厚飼料にくらべて粗飼料が過大評価される等、評価法として科学的精密性に欠けるといった問題点が指摘されている。一方、欧米諸国においては、第二次世界大戦以降、反芻家畜のエネルギー利用に関する研究手法として、これまでの飼養試験に代わって、各種エネルギー出納試験が、特に Beltsville(アメリカ)、Rostock(旧東ドイツ)、Wageningen(オランダ)などで盛んに行なわれるようになったことも背景にあり、エネルギーの単位(cal または J)で、代謝エネルギー(ME)または正味エネルギー(NE)を直接表示する方式を採用するようになってきている。これらの方式は、直接測定された乳牛の各種エネルギー代謝量が基礎になっており、実際にもよく適合する。

乳牛が摂取した総エネルギー(GE)のうち、消化されずに糞として損失するエネルギーを差し引いたものが可消化エネルギー(DE)である。DEからさらに消化吸収後利用されずに尿中に排泄される代謝産物や、ルーメン内発酵の際、呼気中に排出されるメタンのエネルギーを差し引いたものがMEである。従って、MEはDEよりも真に吸収利用されるエネルギー値に近いので、これを飼料エネルギーの表示単位として用いることは好ましいと考えられる。さらに、MEから熱増加を差し引いたものがNEであり、1 calのNEを摂取すれば、理論的には、1 calの畜産物が生産されることになる。従って、飼料エネルギーの表示単位とし

ては最も優れていると考えられるが、NEの測定方法はMEよりもさらに複雑であり、さらにGEがNEに転換される効率は、生産の目的により大きく異なる。飼料のNE含量や泌乳牛のNE要求量を表す場合には、維持、泌乳あるいは増体などに分けて示さなければならないという煩雑さを考慮するとMEのほうが好ましいであろう。

我が国では、日本飼養標準(1987年版)<sup>53)</sup>において、エネルギー表示単位としてMEを採用すべきとの指摘はあったが、その時点では研究データの蓄積が多いTDNを採用せざるを得なかった。1994年に改訂された日本飼養標準<sup>54)</sup>において、はじめてMEが用いられているが、我が国における飼料のME含量や泌乳牛のME要求量に関する研究データの蓄積はまだ必ずしも多くない。特に、粗飼料割合の高い飼料給与条件下でのデータ蓄積はほとんどないのが現状である。

牛乳生産における飼料エネルギーの利用効率を飼料MEの利用の観点から考えると、乳牛が飼料として摂取した飼料中のGEからMEまでと、摂取したMEから牛乳のNEまでの2つに分けて考えることができる。

飼料GE中のMEの割合(ME/GE)は、エネルギー代謝率(q)と呼ばれている。これはGE中のDEの割合(DE/GE)、すなわちエネルギー消化率と同様に飼料の質を総合的に表す指標であるが、qのほうが真に吸収利用されるエネルギーの割合に近い指標である。また、反芻家畜では一般に、摂取されたGEからMEに至るまでに損失するエネルギーの割合は、糞として30~40%、尿として2~8%およびメタンとして5~8%程度<sup>29),69)</sup>であり、その多くは糞としての損失であることからqはエネルギー消化率に大きく影響される。

泌乳牛における飼料エネルギーの消化率やqに影響を及ぼす要因には、飼料構成や飼料成分等の飼料側の要因、摂取レベル、乳量、乳期、産次等の動物側の要因、および温度、湿度等の環境要因がある。これらの影響について検討したこれまでの報告は、濃厚飼料割合が高く、単純な飼料構成のもとで行なったエネルギー出納試験の結果から検討している場合がほとんどであり、粗飼料割

合が高い飼料給与条件での研究報告は少ない。また、泌乳牛は乳期の進行に伴い、乳量レベル、体重の増減、妊娠の有無等によって生理状態が大きく異なり、さらに実際の酪農現場での飼養条件では給与飼料構成は多様である。従って、泌乳牛の粗飼料多給飼養下における飼料エネルギーの消化率や $q$ に関与する要因について考える場合には、飼料構成が多様な飼料給与条件下で、様々な乳期の泌乳牛を用いたエネルギー出納試験を行い、その結果を用いて検討する必要がある。

一方、摂取されたMEが牛乳のNEに転換されるまでの効率、すなわち牛乳生産のエネルギー利用効率も、通常、ある限られた期間でのエネルギー出納試験の結果から算出されることが多い。実際の1乳期飼養時では、泌乳牛の乳期の進行に伴う生理状態の変化はもちろんのこと、特に自給粗飼料多給条件下では、分娩季節が違えば泌乳初期、中期および後期に給与される粗飼料構成が異なってくることから、これらのことが1乳期全体での牛乳生産のエネルギー利用効率に影響する可能性もある。従って、これらに関与する要因について考える場合には1乳期を通じての飼養試験を行い、その結果から検討する必要があるが、これまでにこのような研究はほとんどない。

以上のような背景から1984年5月から1993年4月までの9年間にわたり、北海道大学農学部附属農場畜産第二部のホルスタイン種泌乳牛全頭を供試し、自給粗飼料多給飼養下における飼料エネルギーの効率的利用に基づく泌乳牛の飼養方式確立を目的として長期的かつ総合的な試験を実施した。試験計画は自給粗飼料の種類、量および組み合わせの異なる処理群を設定し、1乳期飼養試験を行なうとともに、それらの中から乳期、産次および実施時期等を考慮してエネルギー出納試験を行なった。

本研究では、これら一連の試験から得られた1乳期産乳成績およびエネルギー出納試験成績を用いて以下の解析を行なった。すなわち、泌乳牛の自給粗飼料多給下における飼料のエネルギー消化率、 $q$ および牛乳生産のエネルギー利用効率とそれらに影響を及ぼす諸要因との関連について、延

べ218頭のエネルギー出納試験成績を用いて検討した(第三章)。さらに、泌乳牛の自給粗飼料多給下における1乳期生産時での牛乳生産のエネルギー利用効率とそれらに影響を及ぼす諸要因との関連について、延べ108頭の1乳期飼養成績を用いて検討した(第四章)。さらに、これらの結果をもとに自給粗飼料多給下における1乳期生産時での牛乳生産に要するME量の算出を試み、これらを現行の日本飼養標準(1994年版)<sup>54)</sup>の値と比較検討した(第五章)。

## 2. 本試験で用いた牛乳生産のエネルギー利用効率の指標について

欧米諸国での牛乳生産における飼料エネルギー利用に関する研究は乳生産に対するME利用率 $k_e$  [ $(\Delta$ 牛乳エネルギー生産量) $/(\Delta$ 維持以上のME摂取量)]についての検討が主である。しかし、 $k_e$ の測定には精密な出納試験を行う必要があるため、大がかりな設備、費用および労力を必要とする。

一方、より生産現場に近い条件下で、多数の泌乳牛を対象とした長期的データの蓄積とその解析も必要である。こうした観点から、BRODY and PROCTOR<sup>5)</sup>は牛乳生産のエネルギー利用効率を表わす実際的な指標として、牛乳生産のエネルギー粗効率(Gross Energetic Efficiency: GEE)を提唱した。ここで、GEEは以下の式で表わされる。

$$GEE(\%) = \text{MILK } E / \text{MEI} \times 100$$

MILK E: 生産された牛乳のエネルギー量(MJ)

MEI: ME 摂取量(MJ)

しかし、この指標に基づいた研究報告はきわめて少ない。我が国では内藤ら<sup>51)</sup>および大久保ら<sup>57)</sup>の研究報告がある。大久保ら<sup>57)</sup>は、GEEは個体、産次、乳期、乳量レベルおよび給与飼料等の要因によって大きく変動することを指摘し、牛乳生産のエネルギー利用効率に及ぼす諸要因を検討する指標として活用でき得る可能性を示唆している。

一方、MILK EとMEIの比であるGEEのうち、分母のMEIから、体維持に要するMEを差し引くことによって、生産に利用可能なME(ME Available for Production: MEP)<sup>22)</sup>の牛乳生産

への利用効率を表わすことができる。本論文では、この指標を牛乳生産のエネルギー正味効率(Net Energetic Efficiency: NEE)と定義した。すなわち、NEEは、

$$NEE(\%) = \frac{MILK\ E}{(MEI - ME_m)} \times 100$$

$ME_m$ : 維持に要する  $ME$  量( $MJ$ )

で表わすことができる。NEEを用いることにより、体重の異なる個体間においても、泌乳能力、産次および給与飼料の質、量、組み合わせ、あるいは給与方法の違いが牛乳生産のエネルギー利用効率に及ぼす影響を比較検討できると考えられる。なお、前述の  $k_e$  は代謝エネルギー利用の部分効率(partial efficiency)であるのに対して、ここで示した NEE は牛乳生産の粗効率(gross efficiency)であり、両者は基本的に異なるものである。

以上のことから、本研究では牛乳生産のエネルギー利用効率を表わす指標として、GEE および NEE を用いることとした。

### 3. 従来の研究

#### 1) 粗飼料主体飼養による牛乳生産

泌乳牛の飼料給与および飼養技術に関するこれまでの研究は主に濃厚飼料を多用する方向で進められてきた。濃厚飼料の質<sup>23),41),59),62)</sup>、給与量<sup>18),19)</sup> および給与方法<sup>31),68),70),71)</sup>の違いが牛乳生産および生産効率に及ぼす影響については数多くの報告がある。

一方、粗飼料については、放牧地草<sup>12),38),39),75)</sup>、コーンサイレージ<sup>7),30),60)</sup>、グラスサイレージ<sup>20),61),83)</sup>、アルファルファサイレージ<sup>7),74)</sup> および乾草<sup>7),49)</sup>等、種々の粗飼料を単独、あるいは組み合わせて給与した場合<sup>45)</sup>の摂取量および乳量の比較が主であり、牛乳生産効率、特にエネルギーの利用効率の面からの検討はなされていない。試験実施方法として泌乳安定期の牛を用い、試験期間も短いものが多い。

また、粗飼料主体飼養による1乳期間を通じての牛乳生産について検討した報告は少ない。我が国ではグラスサイレージ主体飼養による和泉の報告<sup>32)</sup>、コーンサイレージ主体による坂東の報告<sup>4)</sup>、

および放牧地草主体飼養による花田の報告<sup>24)</sup>などがある。和泉<sup>32)</sup>は、出穂初期調製のチモシー主体グラスサイレージを多給することにより濃厚飼料無給与でも1乳期(305日間)で5,000 kg(乳脂率3.7%)以上の乳生産が可能であり、さらに、濃厚飼料を乾物換算で約2,000 kg補給することにより粗飼料乾物給与率67%で約10,000 kgの乳生産が可能であるとしている。また、坂東<sup>4)</sup>は、コーンサイレージ主体高栄養グラスサイレージ併給飼養によって、1乳期(305日間)の濃厚飼料給与量が乾物換算で約1.7 t、粗飼料乾物給与率72%、粗飼料 TDN 給与率66.4%で8,000 kg以上の4% FCM 生産が可能であると報告している。一方、花田<sup>24)</sup>は、時間制限放牧にグラスサイレージを組み合わせた飼養条件下では放牧による養分摂取量および乳生産を安定的に維持することができ、1乳期(300日間)約8,000 kgの4% FCM 生産が可能であることを示唆した。しかし、上記のいずれの報告も、短期的に実施した種々の要因解析試験の結果から1乳期産乳可能量を推定したものであり、必ずしも1乳期間を通じての泌乳試験を行ったものではない。

#### 2) 飼料エネルギーの消化率および $q$ に影響する要因

飼料エネルギーの消化率に影響する要因については、従来から、飼養レベル<sup>6),13),76),80)</sup>、飼料中の粗飼料割合<sup>9),14)</sup>、飼料中の粗蛋白質(CP)含量<sup>43),77)</sup>、牧草の刈り取りステージ<sup>11)</sup>などの飼料側の要因、乳期<sup>15)</sup>などの動物側の要因、および環境温度<sup>33),36),81)</sup>などの環境要因等、様々な要因との関連について検討されてきている。また、 $q$ についても飼養レベル<sup>6),13),80)</sup>および飼料中粗飼料割合<sup>15)</sup>などとの関連が報告されている。しかし、これらの報告はめん羊や乾乳牛を用いた研究、あるいは泌乳牛を用いた報告でも濃厚飼料の給与割合が高く、単純な飼料構成であり、ある限られた期間でのエネルギー出納試験の結果から検討している場合がほとんどである。

飼養レベルは摂取エネルギー量を維持要求量の倍数であらわしたものであり、TYRRELL and

MOE<sup>76)</sup>は、飼養レベルの増加に伴いエネルギー消化率は低下し、その低下割合は飼養レベル1単位の増加につき平均で約4%(2~7%の範囲)であったと述べている。また、その低下割合は飼料中粗飼料割合が少ないほど大きい<sup>76)</sup>と報告している。飼養レベルの増加に伴い糞中へのエネルギー損失は多くなるが、逆に尿およびメタンとしてのエネルギー損失割合は減少する<sup>6)</sup>ことから、qに対する飼養レベルの影響はエネルギー消化率にくらべて小さい<sup>80)</sup>とされている。飼養レベルの増加に対するqの低下割合は飼養レベル1単位の増加につき1.8%であるとする報告<sup>6),13),80)</sup>がある。一方、濃厚飼料を多給することが多い我が国の飼料構造における成績<sup>72)</sup>では、飼養レベル1単位の増加につきqが3.5%低下することが報告されている。

飼料中の粗飼料割合との関係について、FLATT *et al.*<sup>15)</sup>は粗飼料割合が20~60%のアルファルファ乾草と濃厚飼料の混合飼料を給与した場合、摂取飼料中の粗飼料割合を高くするに伴ってエネルギー消化率およびqが低下したと報告している。また、BROSTER *et al.*<sup>9)</sup>も、粗飼料割合が10~40%の飼料給与条件では、粗飼料割合が高まるにつれて消化率は低下することを報告している。

飼料中CP含量の影響については、MOE and TYRRELL<sup>43)</sup>およびTYRRELL<sup>77)</sup>はCP含量を14~20%に変化させた(濃厚飼料としての大豆粕をコーンミールで代替)アルファルファ乾草主体飼料を泌乳初期牛に給与した試験結果から、エネルギー消化率およびqはCP含量の増加に伴い高くなるが、CP17%以上ではその上昇割合が小さくなるか(エネルギー消化率)、あるいは低下した(q)と報告している。

乳期との関係については、FLATT *et al.*<sup>15)</sup>は泌乳初期(分娩後57日目)、中期(167日目)および後期(284日目)の泌乳牛に粗飼料割合が20~60%の飼料を給与した場合、乳期が進むに伴ってエネルギー消化率およびqが低下したと報告している。

環境温度との関係については、暑熱および寒冷の影響に分けられる。暑熱の影響について、栗原

ら<sup>36)</sup>は環境温度18~30℃の条件下で、乳量の30%に相当する濃厚飼料とビートパルプ、イタリアンライグラス乾草およびコーンサイレージを泌乳牛に給与した場合、30℃下では、飼料摂取量が減少したためにエネルギー消化率およびqが有意に高くなったと報告している。また、寒冷環境下では採食量は増加するが、反芻活動の増加および消化管内容物の通過速度の上昇をまねき、消化率が低下するとの報告<sup>33),81)</sup>がある。

### 3) 牛乳生産のエネルギー利用効率に影響する要因

これまで、欧米諸国での牛乳生産のエネルギー利用効率に関する研究は $k_e$ についての検討が中心であった。英国では古くから飼養標準<sup>1),2),40)</sup>の作成の基礎として $k_e$ が用いられてきている。また、我が国の最新の飼養標準(日本飼養標準1994年版)<sup>54)</sup>においても、産乳に要するME量算出の基礎として初めて $k_e$ が用いられている。

乳牛のエネルギー利用に関する総説がVAN ES and VAN der HONING<sup>80)</sup>、TYRRELL<sup>77)</sup>およびMOE<sup>44)</sup>によってまとめられており、いずれの総説においても主に粗濃比<sup>15)</sup>やエネルギー・蛋白比<sup>66)</sup>等、飼料構成を変えた場合の $k_e$ への影響について検討されている。FLATT *et al.*<sup>15)</sup>は粗飼料割合が20~60%のアルファルファ乾草と濃厚飼料の混合飼料を給与した場合、摂取した飼料中の粗飼料割合にかかわらず、乳生産と体蓄積を込みにした $k_e$ はほぼ一定であったと報告している。

また、飼料の質を総合的に表す指標であるqが $k_e$ に及ぼす影響についても多くの検討がなされており、qによる影響は小さく、 $k_e$ はほぼ一定とする報告<sup>1),15),40),80),54)</sup>、qが高くなるにつれて $k_e$ は上昇するとの報告<sup>2),42),79)</sup>など、様々である。

その他、濃厚飼料の給与回数の影響について検討した報告では給与回数による影響は小さく、 $k_e$ はほぼ一定であったとする報告<sup>78)</sup>に対して、給与回数を増やすことにより熱発生量の低下が見られ $k_e$ は上昇したという報告<sup>34),50)</sup>もある。

しかし、我が国においては牛乳生産のエネルギー利用効率だけでなく、乳牛のエネルギー代謝に

関する研究報告も少ない。1960年代の飼養標準策定に関する一連の研究<sup>25),26),27),46),47),48)</sup>、農林水産省九州農業試験場および畜産試験場での高温環境下におけるエネルギー代謝に関する一連の研究<sup>37),67),73)</sup>、最近では、早坂<sup>28)</sup>のTMR(Total Mixed Ration)給与における高泌乳牛のエネルギー要求量に関する研究などがある。なお、日本飼養標準(1994年版)<sup>54)</sup>における産乳に要するME量の算出基礎として、寺田らの報告<sup>73)</sup>の $k_e = 0.62$ が用いられている。

一方、 $k_e$ の測定には大がかりな設備や費用、労力を要することから、実際の生産現場に近い条件下での長期的なデータ蓄積が可能な、より簡易な指標も用いられている。BRODY and PROCTOR<sup>8)</sup>の提唱したGEEを用いた研究報告は、我が国では、内藤ら<sup>51)</sup>および大久保ら<sup>57)</sup>の報告しか見当たらない。内藤ら<sup>51)</sup>は1968~73年の東京大学農学部附属牧場において、初産から5産までのホルスタイン種乳牛、延べ75乳期のデータを解析し、1乳期(305日間)4%FCM 3,578~4,519 kgでGEE 24.6~27.8%を得ている。また、大久保ら<sup>57)</sup>は、1970年代の北海道大学農学部附属農場において、初産から7産までのホルスタイン種乳牛、延べ91乳期のデータをもとに、1乳期(305日間)4%FCM 4,748~5,966 kgで、GEE 31.4~35.9%であったと報告している。しかし、両研究報告とも、GEEの変動に関わる要因については詳細には検討していない。

GORDON *et al.*<sup>22)</sup>は、本研究で提唱したNEEと同様なME摂取量から体維持に要するMEを差し引くことによって求めた生産に利用可能なME(ME Available for Production: MEP)に対する牛乳エネルギー生産量(MILK E/MEP×100)を指標として、牛乳生産のエネルギー利用効率に対する乳牛遺伝指数(Cow Genetic Index: CGI)と飼料給与方法(粗飼料、濃厚飼料混合または分離給与)の影響を検討した。飼料中粗飼料割合が33~36%と濃厚飼料が多い飼料を給与した結果、MILK E/MEP×100=47~58%なる値が得られ、遺伝的な泌乳能力が高い牛ほど効率が高く、また、飼料給与方法としては粗飼料、濃厚飼料混

合給与の場合に効率が高かったと報告している。

その他の指標として $\Delta$ FCM(kg)/ $\Delta$ MEI(MJ)<sup>82)</sup>およびFCM(kg)/MEI(MJ)<sup>35)</sup>があるが、これらを用いた牛乳生産のエネルギー利用効率に影響する要因についての検討はほとんどなされていない。

## 第II章 試験方法

### 1. 試験期間および供試牛

1984年5月から1993年4月までの9年間、北海道大学農学部附属農場畜産第二部のホルスタイン種泌乳牛群(常時搾乳頭数18~27頭)全頭を対象として試験を実施した。

試験は農場の日常的な生産体系の中で実施することを基本とした。従って、分娩・乾乳、事故および淘汰等による牛の出入りがあるため、年次によって牛群の産次および乳期構成等は一定ではなかった。なお、各年次とも5月~10月を夏季、11月~4月を冬季とした。

### 2. 試験処理区

試験処理の概要について図1に示した。1984年5月、前述の泌乳牛群をこれまでの北大農場の慣行法である自給粗飼料中給群(Conventional, C群)と濃厚飼料給与量を減らし粗飼料を多給する自給粗飼料多給群(Roughage, R群)の2群に分け、1987年4月までの3年間にわたり、この試験処理を継続した。なお、R群の給与粗飼料は、夏季では放牧地草および冬季ではコーンサイレージを主体とした。

1987年5月からは粗飼料中給群(C群)を廃止し、粗飼料多給群のみとした。そして給与粗飼料構成の異なる2群、R1群とR2群に分け、1990年4月までの3年間、試験を実施した。なお、R1群はR群と基本的に同様な処理であり、R2群は放牧地面積をR1群の1/2とし、放牧地草不足時には放牧を制限してグラスサイレージを増給した。

1990年5月以降、R1群およびR2群は、給与粗飼料構成を泌乳期別に設定した粗飼料多給群(R3群)に同一群としてまとめ、1993年4月までの3年間、試験を行なった。

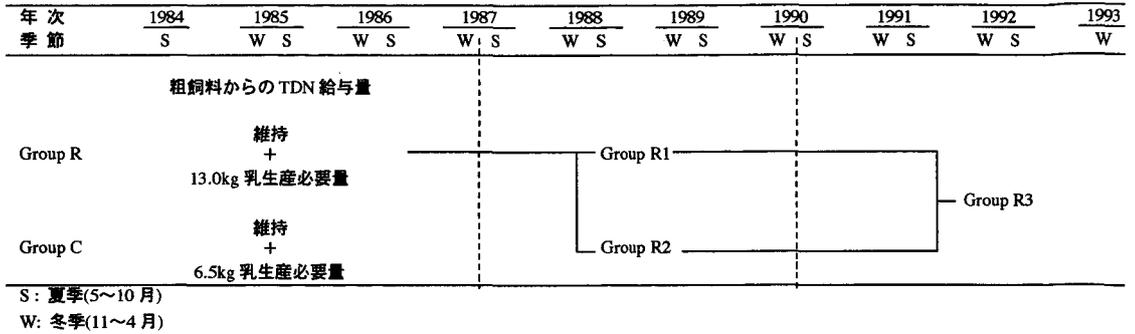


図1. 試験処理の概要

なお、群分けに当たっては、処理群間で産次、乳期および体重ができるだけ同様になるようにした。試験開始後に初産分娩した牛は随時いずれかの群に振り分けた。また、同一牛については、年次による試験処理区の変更は行なわなかった。

### 3. 飼料給与基準

日本飼養標準(1974年版)<sup>52)</sup>の維持および産乳に要するTDNおよびDCP量に基づいて設定した。なお、1987年5月以降は日本飼養標準(1987年版)<sup>53)</sup>を用いた。粗飼料全体から以下に示すTDN量を給与し、不足分は濃厚飼料で補給した。

R, R1, R2, R3群：維持+13 kg 乳生産必要量  
C群：維持+6.5 kg 乳生産必要量  
維持の要求量は、体重450 kg, 550 kg, 650 kg, 750 kgの値を求め、それぞれ400 kg台, 500 kg台, 600 kg台, 700 kg台の牛に適用した。

### 4. 給与飼料

給与粗飼料は、放牧地草、コーンサイレージ、グラスサイレージ、アルファルファサイレージ、乾草であり、一部の乾草を除き、これらの粗飼料は北海道大学農学部附属農場畜産第二部で生産したものであった。

放牧は、1980~1983年に更新したオーチャードグラス(*Dactylis glomerata* L.)主体のラジノクロバ(*Trifolium Repens* L. var.)混播草地5.0~6.0 haを用いて、5月上旬~10月下旬に行なった。コーンサイレージは、黄熟期(10月上旬~中旬)のサイレージ用F1トウモロコシから調製し

た。グラスサイレージは出穂始~出穂期(5月下旬~6月中旬)のラジノクロバ混播のオーチャードグラス主体1番草から調製した。アルファルファサイレージは1987年以降に調製利用した。アルファルファサイレージはアルファルファ(*Medicago sativa* L.)主体のチモシー(*Phleum pratense* L.)混播草地から、開花期に年3~4回刈取った原料草を順次サイロに追い詰めし、調製したものを利用した。いずれのサイレージもスチール製気密サイロ(®ハーベストア、直径5.2 m×高さ12.2 m, A.O. スミス社製、アメリカ)を用いて調製した。乾草は、1984~1988年では、出穂~開花始期(6月中旬~下旬)のラジノクロバ混播のオーチャードグラス主体1番草および2番草から調製して給与し、1989年以降は購入したチモシー1番刈乾草を用いた。

夏季は放牧地草主体とし、併給粗飼料として6月上旬まではコーンサイレージ、6月中旬以降はグラスサイレージを用いた。冬季はコーンサイレージ主体とし、冬季間を通じて1984~1986年はグラスサイレージを、1987年はグラスおよびアルファルファサイレージを、1988年以降はアルファルファサイレージを併給した。乾草は年間を通じて給与した。濃厚飼料は市販の乳牛用配合飼料を用いた。

### 5. 飼料給与量

夏季の粗飼料給与量を表1に示した。夏季は基本的に放牧地草多給であり、放牧開始時期、放牧時間帯、割当草量等を考慮して期待食草量を設定

表 1. 粗飼料給与量(夏季)

年次 処理群	1984-86		1987-89		1990-92
	C	R	R1	R2	R3
放牧地草 <sup>1)</sup>	3~5	10	kgDM/d/cow		
			7~10	10 <sup>2)</sup> 3.5 <sup>3)</sup>	8~10 <sup>4)</sup> 6~8 <sup>5)</sup>
グラスサイレージ	12.5~17.5	7.5~12.5	kgFM/d/cow		
			4~18	4~10 <sup>2)</sup> <i>ad lib.</i> <sup>3)</sup>	4~15 <sup>4)</sup> 9~21 <sup>5)</sup>
乾草	3.5	1.5	3	3	3

- 1) 期待食草量
- 2) 放牧開始日~6月20日
- 3) 6月21日~放牧終了日
- 4) 泌乳初期(分娩後11週目まで)
- 5) 泌乳中・後期(12週目以降)

した。体重の違いによる粗飼料給与量の増減はグラスサイレージで行ない、乾草は処理群毎に定量給与とした。なお、年次によりグラスサイレージの代わりにコーンサイレージまたはアルファルファサイレージを併給する時期もあった。

1984~86年では、期待食草量をC群で3~5 kgDM/日/頭としたのに対して、R群では10 kgDM/日/頭と高く設定し、グラスサイレージ給与量を減らした。

1987~89年は、R1群の期待食草量を放牧期間を通じて7~10 kgDM/日/頭とR群と同様に高く設定したのに対して、R2群ではスプリングフラッシュまでの草量が豊富な時期にはR1群と同様としたが、スプリングフラッシュ以降の草量が不足する時期には放牧を3.5 kgDM/日/頭に制限し、グラスサイレージを自由採食させた。

1990~92年のR3群は、R1群と同様に放牧期間を通じて放牧地草を多給したが、泌乳初期牛群(分娩後11週目まで)の期待食草量を泌乳中・後期牛群(12週目以降)に比べて高く設定し(8~10

vs. 6~8 kgDM/日/頭)、異なる草地に放牧した。

冬季の粗飼料給与量を表2に示した。冬季は基本的にはコーンサイレージ多給であり、併給サイレージの種類、給与回数、給与時間帯等を考慮し、目標採食量を追求した。夏季と同様、体重の違いによる粗飼料給与量の増減はサイレージで行ない、乾草は処理群毎に定量給与した。

1985~87年では、C群は、コーンサイレージのみを体重に応じて21~29 kg 給与した。一方、R群ではコーンサイレージとグラスサイレージを、1985年では70:30(乾物比)で混合したものを、1986および87年ではサイレージの混合比を乳期によって変えて給与した。すなわち、泌乳初期(分娩後11週目まで)では85:15(乾物比)、泌乳中期(12~30週目)では70:30、泌乳後期(31週目以降)では50:50として36~44 kg 給与した。

1988~90年は、コーンサイレージの併給サイレージとして、R1群は1988年にはグラスサイレージを、1989および90年にはグラスサイレージとアルファルファサイレージを半量ずつ混合したも

表 2. 粗飼料給与量(冬季)

年次 処理群	1985-87		1988-90		1991-93
	C	R	R1	R2	R3
コーンサイレージ	21~29	20~35	17~39	17~39	23~34
アルファルファサイレージ	-	-	-	4~15	5~13
グラスサイレージ	-	5~20	4~15	-	-
乾草	5	3	3	3	3

のを給与した。R2群は1988～90年を通してアルファルファサイレージを給与した。各処理群とも、コーンサイレージと併給サイレージを泌乳初期には85:15(乾物比)、泌乳中期には70:30、泌乳後期には50:50で混合したものを30～45kg給与した。

1991～93年のR3群はコーンサイレージの併給サイレージとしてR2群と同様に、アルファルファサイレージを給与したが、混合比を泌乳初期では80:20(乾物比)、泌乳中期では70:30、泌乳後期では60:40としたものを体重に応じて34～41kg給与した。

濃厚飼料給与量および用いた濃厚飼料のCPとTDN含量を表3に示した。乳期を泌乳初期(分娩後11週目まで)、泌乳中期(12～30週目)および泌乳後期(31週目以降)の3期間に区分し、給与量を設定した。粗飼料からのTDN給与割合の高いR、R1、R2およびR3群の濃厚飼料給与量は最高時でも乳量の25～28%であった。

## 6. 飼養管理

夏季における各処理群の放牧方法を表4に示した。C群は6牧区に区切った草地で輪換放牧を行なった。放牧地の期待利用率を50%、期待食草量を3～5kgDM/d/cowとして、現存草量から滞牧日数を計算した。R群は1回単位、R1とR2群は3日単位およびR3群は1日単位の輪換放牧を行なった。現存草量、期待食草量、期待利用率から1回の放牧に必要な面積を計算し、簡易電気牧柵(Gallagher社製、ニュージーランド)を用い、それぞれ必要面積分を区切って放牧した。なお、放牧地の乾物草量はコドラート法により推定した現存生草量に赤外線水分計(Kett社製、日本)で測定した乾物含量を乗じて算出した。

1回の放牧時間は吉田の報告<sup>84)</sup>を参考に2.5時間とした。C群は放牧期間を通じて1日1回(朝の搾乳後、9:00～11:30)、RおよびR1群は1日2回(朝の搾乳後、9:00～11:30および夕方の搾乳後、17:00～19:30)放牧した。R2群はスプリ

表3. 濃厚飼料の給与量および栄養価

年次 処理群	1984-86		1987-89		1990-92
	C	R	R1	R2	R3
	————— % of milk yield —————				
給与量					
経産牛	25～35	0～25	15～25	13～28	
初産牛	25～35	0～25	5～20	10～22	
栄養価					
CP(%)	15～20	18～20	11～15		
TDN(%)	70～75	70～75	70～71		

表4. 放牧方法

年次 処理群	1984-86		1987-89		1990-92
	C	R	R1	R2	R3
放牧地面積(ha)	1.9～2.2	3.1～3.2	3.3	1.7	2.2～2.8
放牧方式	6牧区輪換	1回単位輪換	3日単位輪換		1日単位輪換
放牧時間 (hr/d)	2.5	2.5×2	2.5×2	2.5×2 <sup>1)</sup> 2.5 <sup>2)</sup>	2.5×3 <sup>1)</sup> 2.5×2 <sup>2)</sup>
期待食草量 (kgDM/d/cow)	3～5	10	7～10	10 <sup>1)</sup> 3.5 <sup>2)</sup>	8～10 <sup>1)</sup> 6～8 <sup>2)</sup>
期待利用率(%)	50	60～80	40～70	60～70 <sup>1)</sup> 40 <sup>2)</sup>	60 <sup>1)</sup> 40 <sup>2)</sup>

1) 放牧開始日～6月20日

2) 6月21日～放牧終了日

ングフラッシュ時(放牧開始日～6月20日)には1日2回、それ以降(6月21日～放牧終了日)には1日1回、朝の搾乳後の放牧のみとした。R3群は、泌乳初期牛と泌乳中・後期牛を別々にして、スプリングフラッシュ時には1日3回(朝夕の搾乳後以外に、5:00～7:30)、それ以降は2回放牧(朝夕の搾乳後)した。なお、7月下旬から8月末は暑熱の影響を避けるため9:00～11:30の放牧時間を5:00～7:30に変更した。

夏季の放牧以外の給与飼料として、サイレージは1日2～3回に分けて牛舎内で、乾草は夕方の放牧終了後、屋外パドック(雨天時は牛舎内)で給与した。また、配合飼料は1日3回(8:00, 11:30, 15:30)に分けて給与した。

冬季ではいずれの飼料も牛舎内で給与した。サイレージは1日2回(10:30, 15:30)に分けて、乾草は1日1回17:30に給与した。また、配合飼料は、夏季と同様、1日3回(8:00, 11:30, 15:30)に分けて給与した。

## 7. 測定項目および測定方法

### 1) 飼料採食量

放牧地草については、コドラート法により推定した放牧前の現存草量から放牧後の残存草量を差し引いた値を供試牛頭数で除して算出した値を、1頭当りの食草量とした。1 m×1 mのコドラート枠を10 a 当り1カ所相当で無作為に置き、枠内の牧草を地上高5 cmで刈り取り、これらの重量の平均値を草量とした。C群の輪換放牧では、滞牧日数が3日を越える場合には3日毎に残存草量を測定し、食草量を推定した。なお、3日以内の牧草生育量は考慮しなかった。

サイレージおよび乾草の採食量は、毎月2回、1頭毎に2日間連続で測定し、この測定値を半月毎の代表値とした。

配合飼料は、試験期間を通じて残食が認められなかったため、給与量を採食量とした。

### 2) 飼料成分組成

放牧地草は現存草量測定時に、配合飼料、サイレージおよび乾草は採食量測定時にサンプルを採

取し、これらを半月毎の代表サンプルとした。採取したサンプルは直ちに60℃の通風乾燥器で8時間乾燥し、室温で24時間以上放冷した後、粉碎して分析に供した。

分析は、一般成分をAOAC法<sup>3)</sup>で、細胞壁構成物質(CWC)はGOERING and VAN SOESTの方法<sup>17)</sup>により分析した。また、総エネルギー(GE)含量はボンブカロリメーター(CA-3, 島津製作所製, 日本)を用いて測定した。

### 3) 乳量および乳成分組成

搾乳は1日2回、8:00と16:00に行ない、1頭毎に乳量を測定、記録した。また、毎月2回、朝夕の搾乳時に1頭毎に牛乳を採取し、それらの1日分を乳量比で混合して分析に供した。

乳脂肪率、乳タンパク質率および乳糖率は赤外線牛乳分析器(Milko-Scan 104型, Foss Electric社製, デンマーク)を用いて測定した。無脂乳固形分(SNF)率は乳中灰分含量を1.0%として、乳タンパク質率と乳糖率の合計に1.0を加えた値とした。なお、1984年5月～86年4月は、全固形分率はアルミホイル法、乳脂肪率はGerber法により測定した。SNF率は全固形分率から乳脂肪率を差し引いて求めた。

### 4) 体重

毎月2回、13:30に測定した。

### 5) エネルギー出納試験

毎年、夏季に2～3回、冬季に1～2回、各処理群から2～4頭を選択し、全糞全尿採取法によるエネルギー出納試験を行なった。産次および乳期を考慮し、健康状態が良好で平均的な乳量の牛を選んだ。

試験期間は5日間とし、予備期3日間、本期2日間とした。出納試験期間を通じて、供試牛を牛舎内のストールに繋留し、通常と同じ時間帯に各飼料を規定量給与して採食量を測定した。なお、夏季の放牧時間帯には、原則としてその期間放牧されるべき草地から刈り取った生草を期待食草量給与した。放牧時間終了後、直ちに残食量を測定

し、その差を食草量とした。本期2日間は供試牛に糞尿採取のための糞筒および尿筒を装着し、それらによって全糞全尿を採取した。

給与飼料と残食のサンプルは毎日採取し、5日間の混合サンプルとした。糞尿のサンプリングは12時間毎に行ない、総排泄量に対して一定割合を採取し、2日間の混合サンプルとした。採取した糞には腐敗防止のため、採取糞1kg当りホルマリンを約5ml加えた。尿サンプルは分析まで-20℃で凍結保存した。

給与飼料、残食および糞のサンプルは風乾および粉碎後、分析に供した。尿サンプルは、分析前4℃で24時間以上保持して完全に解凍した後、窒素含量とGE含量を測定した。窒素含量はKjeldahl法<sup>3)</sup>により測定した。GE含量は、予めエネルギー含量を測定したセルロースパウダーに尿サンプルを浸透させ、凍結乾燥器(MODULYO, Edwards社製, アメリカ)で-60℃で凍結乾燥した後、ポンプカロリメーター(CA-3, 島津製作所製, 日本)を用いて測定した。

### 第三章 粗飼料多給飼養下における飼料のエネルギー消化率、代謝率および牛乳生産のエネルギー利用効率

#### —— エネルギー出納試験成績からの検討 ——

##### 1. 目的

泌乳牛における飼料エネルギーの消化率やqに影響を及ぼす要因には、飼料構成や飼料成分等の飼料側の要因、摂取レベル、乳量、乳期、産次等の動物側の要因、および温度、湿度等の環境要因などがある。これらの影響について検討したこれまでの報告は、濃厚飼料割合が高く、単純な飼料構成のもとで行なったエネルギー出納試験の結果から検討している場合がほとんどであり、粗飼料割合が高い飼料給与条件での研究は少ない。また、供試牛としては、泌乳安定期などある限られた乳期の牛を用いている場合がほとんどである。泌乳牛は乳期の進行に伴い、乳量レベル、体重の増減、妊娠の有無等によって生理状態が大きく異なり、さらに実際の酪農現場の飼養条件では給与飼料構成は多様である。従って、泌乳牛の粗飼料

多給飼養下における飼料エネルギーの消化率やqに影響を及ぼす要因について考える場合には、飼料構成が多様な飼料給与条件下で様々な乳期の泌乳牛でエネルギー出納試験を行い、その結果を用いて検討する必要がある。

そこで、本章では、自給粗飼料多給で飼料構成が多様な飼料給与条件下で、1乳期間中の様々な乳期の泌乳牛を用いたエネルギー出納試験成績をもとに、飼料のエネルギー消化率、qおよび牛乳生産のエネルギー利用効率と、それらに影響を及ぼす諸要因との関連について検討した。

##### 2. 解析に用いたデータおよび解析方法

1984年5月から1993年4月までの9年間に、延べ218頭のホルスタイン種泌乳牛を供試して実施したエネルギー出納試験の成績を解析に用いた。出納試験実施方法の詳細は第II章で述べた通りである。

ME摂取量はGE摂取量から糞、尿およびメタンによるエネルギー損失量を差し引いて求めた。ただし、メタンエネルギー損失量は実測しなかったため、下記のBLAXTER and CLAPPERTON<sup>5)</sup>の式を用いて推定した。

$$\text{メタンエネルギー損失割合}(\% \text{ of GE 摂取量}) = 3.67 + 0.062 \times \text{GE 消化率}(\%)$$

牛乳のエネルギー価は、下記の関根ら<sup>6)</sup>の式を用いて推定した。

$$\text{牛乳のエネルギー価}(\text{MJ/kg}) = 0.343 \times \text{乳脂肪率}(\%) + 0.199 \times \text{SNF率}(\%) + 0.005$$

なお、算出にあたっては出納試験に最も近い時期に分析した乳脂肪率およびSNF率の値を用いた。また、牛乳のエネルギー価に乳量を乗じてMILKEを算出した。

牛乳生産のエネルギー利用効率を表わす指標(第II章)としては、次の2つを用いた。

$$\text{GEE}(\%) = \text{MILK E} / \text{MEI} \times 100$$

$$\text{NEE}(\%) = \text{MILK E} / (\text{MEI} - \text{ME}_m) \times 100$$

なお、ME<sub>m</sub>は日本飼養標準(1994年版)<sup>54)</sup>における代謝体重当りの成雌牛の維持に要するME量: 0.4866 MJ(初産牛および2産牛は、この値のそれぞれ、130%および115%の値を適用)と出納

試験に最も近い時期に測定した体重の値を用いて算出した。なお、出納試験期間中に体重の増減はなかったものとした。

### 3. 結果

#### 1) エネルギー消化率, q および牛乳生産のエネルギー利用率の平均値とその範囲

エネルギー出納試験供試牛延べ 218 頭の処理群毎の頭数は, C 群 45(夏季 28, 冬季 17)頭, R 群 52(夏季 4, 冬季 18)頭, R1 群 38(夏季 27, 冬季 11)頭, R2 群 39(夏 27, 冬季 12)頭および R3 群 44(夏季 36, 冬季 8)頭であった。夏季では, 季節の進行にともない放牧地草の栄養含量が大きく変化することを考慮し, 各年とも 2 回以上の出納試験を実施したため, 貯蔵飼料給与の冬季にくらべて供試牛が多かった。

エネルギー出納試験実施時における供試牛の飼料摂取および乳生産成績の平均値とその範囲を表 5 に示した。摂取飼料中の粗飼料割合は平均 71.0 % であった。産次, 乳期, 乳量および体重も様々な牛を用いており, そのため摂取飼料成分含量およびエネルギー摂取レベルも広範囲であった。

出納試験によって得られたエネルギー消化率, q および牛乳生産のエネルギー利用率の平均値とその範囲を表 6 に示した。エネルギー消化率および q の平均値は, 65.2 および 54.5 % であった。エネルギー消化率および q のいずれも平均値を中心に上下それぞれ約 10 % 単位の範囲内に分布しており, その変動係数(CV)は 7.3 および 8.4 % であった。GEE および NEE の平均値は 35.6 および 59.2 %, CV は 24.1 および 27.7 % とエネルギー消化率および q にくらべ大きかった。

表 5. エネルギー出納試験供試牛の試験実施時における飼料摂取および乳生産成績の平均値とその範囲 (n=218)

	平均	最小値	最大値	SD	CV (%)
産次	2.8	1	8	1.5	55.0
分娩後日数	137	20	350	82.5	60.2
FCM 量 (kg/d)	20.7	3.1	39.1	6.9	33.3
体重 (kg)	640	446	789	74.1	11.6
粗飼料割合 (%)	71.0	42.5	94.9	10.3	14.6
CWC 含量 (%)	48.4	35.5	61.1	6.0	12.4
CP 含量 (%)	14.1	9.6	18.1	1.9	13.6
CWC/CP 比	3.48	2.15	5.81	0.7	19.9
GE 摂取量 (MJ/MBW <sup>1)</sup> )	2.62	1.31	3.62	0.4	15.1
飼養レベル <sup>2)</sup>	2.70	1.23	4.38	0.6	23.4

1) MBW: 代謝体重 (kg<sup>0.75</sup>)

2) 飼養レベル: 維持の倍数

表 6. エネルギー消化率, 代謝率および牛乳生産効率の平均値とその範囲 (n=218)

	平均	最小値	最大値	SD	CV
	%				%
DE/GE	65.2	52.8	75.7	4.7	7.3
q	54.5	43.7	65.8	4.6	8.4
GEE	35.6	5.7	62.0	8.6	24.1
NEE	59.2	9.7	142.0	16.4	27.7

2) 飼料中粗飼料割合とエネルギー消化率,  $q$  および牛乳生産のエネルギー利用効率との関係  
 摂取飼料中の粗飼料割合(以下, 粗飼料割合)とエネルギー消化率および  $q$  との関係を図 2 および図 3 に示した。エネルギー消化率および  $q$  は粗飼料割合の平均値である約 70 % 付近を頂点とした負の 2 次曲線的傾向を示した。しかし, その曲線は有意ではなく, エネルギー消化率および  $q$  は粗飼料割合に関係なく平均値を中心に上下それぞれ約 10 % 単位の範囲内に分布していた。

飼料中の粗飼料割合を 60.0 % 未満, 60.0~79.9 % および 80.0 % 以上に分け, 粗飼料割合別の飼料摂取および乳生産成績を表 7 に, それらのエネルギー消化率,  $q$  および牛乳生産のエネルギー利用

効率を表 8 に示した。粗飼料割合の高い飼料を摂取していた牛ほど分娩後の日数が経過しており, FCM 量が低く GE 摂取量も低かった。エネルギー消化率は粗飼料割合 60~70 % 台が 60 % 未満にくらべて有意に高く ( $P < 0.05$ ), また, 80 % 以上とくらべても有意ではなかったが高い傾向を示していた。飼料中粗飼料割合と  $q$  の関係もエネルギー消化率との関係と同様であり, 粗飼料割合 60~70 % 台が最も高かった。GEE は 27.6~43.5 % であり, 飼料中粗飼料割合が高いほど低い値となった ( $P < 0.05$ )。NEE は 51.1~69.6 % であり, GEE と同様の傾向を示し, 飼料中粗飼料割合が高いほど低い値であった ( $P < 0.05$ )。

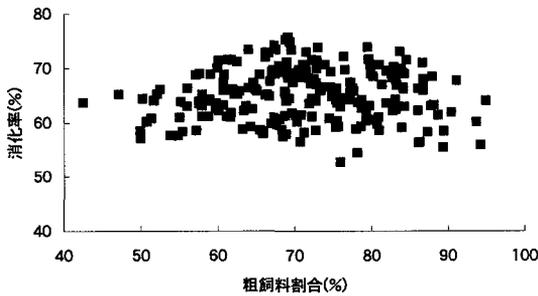


図 2. 摂取飼料中粗飼料割合とエネルギー消化率との関係

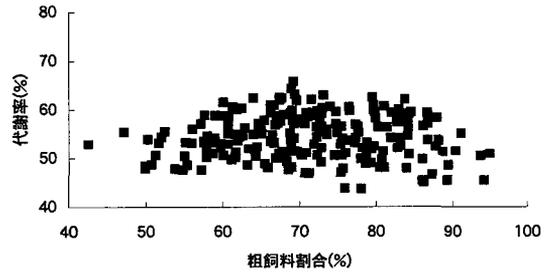


図 3. 摂取飼料中粗飼料割合とエネルギー代謝率との関係

表 7. エネルギー出納試験供試牛における摂取飼料中粗飼料割合別の飼料摂取および乳生産成績

	粗飼料割合 (%)		
	~59.9	60.0~79.9	80.0~
延べ頭数	33	138	47
産次	3.1 ± 1.5	2.9 ± 1.6	2.4 ± 1.4
分娩後日数	84 ± 64.1	123 ± 75.2	217 ± 57.4
FCM 量 (kg/d)	25.6 ± 6.0	21.8 ± 6.4	14.0 ± 3.2
体重 (kg)	636 ± 80.4	641 ± 75.0	637 ± 68.2
粗飼料割合 (%)	55.0 ± 4.1	70.0 ± 5.4	85.2 ± 3.6
CWC 含量 (%)	43.7 ± 3.8	48.0 ± 5.8	53.3 ± 4.5
CP 含量 (%)	14.4 ± 1.1	14.3 ± 2.0	13.5 ± 2.0
CWC/CP 比	3.05 ± 0.4	3.41 ± 0.6	4.04 ± 0.7
GE 摂取量 (MJ/MBW <sup>1)</sup> )	2.78 ± 0.3	2.67 ± 0.4	2.34 ± 0.3
飼養レベル <sup>2)</sup>	3.19 ± 0.5	2.80 ± 0.6	2.10 ± 0.3

1) MBW: 代謝体重 ( $\text{kg}^{0.75}$ )

2) 飼養レベル: 維持の倍数

表 8. 摂取飼料中粗飼料割合別のエネルギー消化率, 代謝率および牛乳生産効率

	粗飼料割合 (%)		
	~59.9	60.0~79.9	80.0~
	%		
DE/GE	63.2± 3.4 <sup>a</sup>	65.8± 4.9 <sup>b</sup>	64.6± 4.7 <sup>ab</sup>
q	52.7± 3.3 <sup>a</sup>	55.1± 4.6 <sup>b</sup>	54.0± 4.8 <sup>ab</sup>
GEE	43.5± 8.0 <sup>c</sup>	36.5± 7.3 <sup>b</sup>	27.6± 5.5 <sup>a</sup>
NEE	69.6±19.2 <sup>c</sup>	59.4±14.9 <sup>b</sup>	51.1±14.1 <sup>a</sup>

a, b, c : 異文字間に有意差あり (P<0.05)

3) 飼料中 CWC 含量とエネルギー消化率, q および牛乳生産のエネルギー利用効率との関係  
 摂取飼料中 CWC 含量とエネルギー消化率および q との関係を図 4 および図 5 に示した。飼料中 CWC 含量とエネルギー消化率および q との間には有意な相関関係は認められず, 両者とも CWC

含量に関わりなく平均値を中心に上下それぞれ約 10% 単位の範囲内に分布していた。

飼料中 CWC 含量を 45.0% 未満, 45.0~54.9% および 55.0% 以上に分け, CWC 含量別の飼料摂取および乳生産成績を表 9 に, それらのエネルギー消化率, q および牛乳生産のエネルギー利用

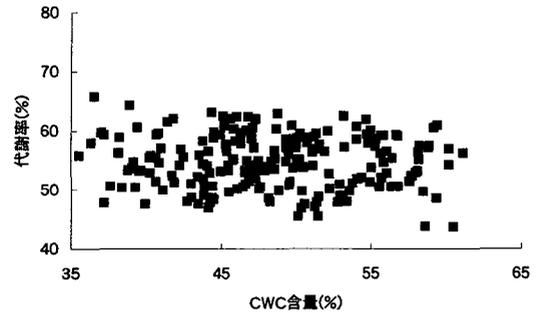
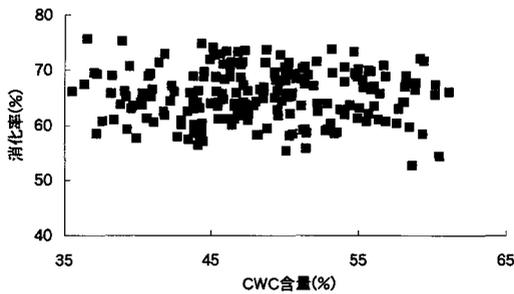


図 4. 摂取飼料中 CWC 含量とエネルギー消化率との関係

図 5. 摂取飼料中 CWC 含量とエネルギー代謝率との関係

表 9. エネルギー出納試験供試牛における摂取飼料中 CWC 含量別の飼料摂取および乳生産成績

	CWC 含量 (%)		
	~44.9	45.0~54.9	55.0~
延べ頭数	60	109	35
産次	3.0± 1.6	2.8± 1.5	2.5± 1.7
分娩後日数	81±60.6	146±82.4	174±64.2
FCM 量 (kg/d)	26.2± 6.1	20.3± 5.6	15.4± 4.5
体重 (kg)	649±77.8	638±75.5	609±59.9
粗飼料割合 (%)	64.3± 8.9	71.4±10.0	79.8± 6.1
CWC 含量 (%)	41.3± 2.6	49.4± 2.8	57.4± 1.8
CP 含量 (%)	13.7± 1.8	14.6± 1.9	13.8± 2.0
CWC/CP 比	3.08± 0.5	3.45± 0.6	4.27± 0.7
GE 摂取量 (MJ/MBW <sup>1)</sup> )	2.89± 0.4	2.60± 0.4	2.35± 0.3
飼養レベル <sup>2)</sup>	3.17± 0.6	2.68± 0.5	2.26± 0.4

1) MBW : 代謝体重 (kg<sup>0.75</sup>)

2) 飼養レベル : 維持の倍数

表10. 摂取飼料中 CWC 含量別のエネルギー消化率, 代謝率および牛乳生産効率

	CWC 含量(%)		
	~44.9	45.0~54.9	55.0~
DE/GE	64.7± 4.8	66.0± 4.6	65.2± 4.6
q	54.5± 4.6	55.1± 4.5	54.7± 4.3
GEE	41.0± 7.5 <sup>c</sup>	35.3± 7.2 <sup>b</sup>	30.7± 8.3 <sup>a</sup>
NEE	64.0±16.2 <sup>b</sup>	58.6±15.0 <sup>a</sup>	55.9±19.0 <sup>a</sup>

a, b, c : 異文字間に有意差あり (P<0.05)

効率を表 10 に示した。粗飼料割合と同様、CWC 含量の高い飼料を摂取していた牛ほど分娩後日数が経過しており、FCM 量が低く GE 摂取量も低かった。エネルギー消化率および q はそれぞれ、64.7~66.0 および 54.5~55.1 % の範囲であり、飼料中 CWC 含量による有意な差はなかった。GEE は 30.7~41.0 % であり、飼料中 CWC 含量が高いほど低い値となった(P<0.05)。NEE は 55.9~64.0 % であり、GEE と同様、飼料中 CWC 含量が高いほど低い値であった(P<0.05)。

4) 飼料中 CP 含量とエネルギー消化率, q および牛乳生産のエネルギー利用効率との関係  
 摂取飼料中の CP 含量とエネルギー消化率および q との関係を図 6 および図 7 に示した。飼料中 CP 含量とエネルギー消化率および q との間には有意な相関関係がみられた(r=0.48 および 0.39 : P<0.01)。また、どの CP 摂取レベルにおいても、エネルギー消化率および q は、平均値を中心に上下それぞれ約 10 % 単位の幅で分布して

いた。

飼料中 CP 含量を 13.0 % 未満, 13.0~15.9 % および 16.0 % 以上に分け、CP 含量別の飼料摂取および乳生産成績を表 11 に、それらのエネルギー消化率, q および牛乳生産のエネルギー利用効率を表 12 に示した。いずれの CP 摂取レベルにおいても CWC 含量に差はなかった。また、CP 含量の高い飼料を摂取していた牛ほど分娩後日数が短く、FCM 量が高く GE 摂取量も高かった。エネルギー消化率および q はそれぞれ、62.1~68.9 および 52.0~57.7 % であり、飼料中 CP 含量が高いほど高い値となった(P<0.05)。GEE は飼料中 CP 含量が 13 % 未満の時 33.8 % であったの対して、13 % 以上では 36~37 % と高かったが、その差は有意ではなかった。また、NEE は飼料中 CP 含量 13 % 未満の時 60.8 % であったの対して、13.0~15.9 % および 16.0 % 以上ではそれぞれ、59.4 % および 56.3 % であり、その差は有意ではなかったが、飼料中 CP 含量が増加するに伴って低くなる傾向を示した。

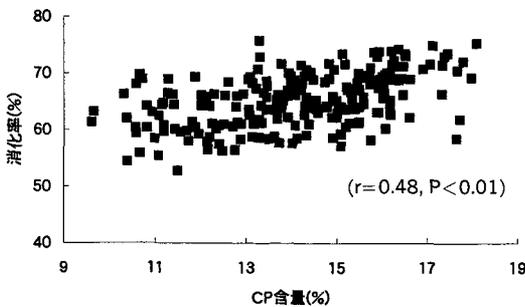


図 6. 摂取飼料中 CP 含量とエネルギー消化率との関係

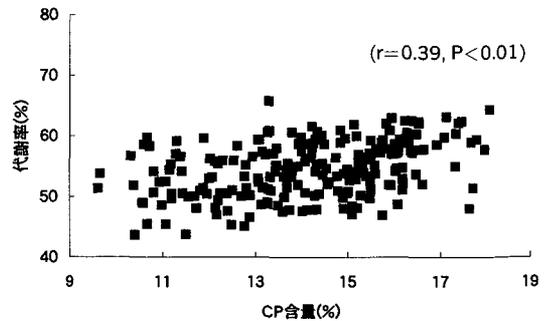


図 7. 摂取飼料中 CP 含量とエネルギー代謝率との関係

表11. エネルギー出納試験供試牛における摂取飼料中 CP 含量別の飼料摂取および乳生産成績

	CP 含量(%)		
	~12.9	13.0~15.9	16.0~
延べ頭数	60	116	42
産次	2.6± 1.6	2.8± 1.5	3.1± 1.7
分娩後日数	157±87.9	137±82.7	109±66.1
FCM 量(kg/d)	18.5± 7.2	20.9± 6.7	23.2± 6.2
体重(kg)	644±77.8	638±74.6	637±68.7
粗飼料割合(%)	75.5± 9.0	69.3±10.8	69.5± 9.0
CWC 含量(%)	48.5± 6.6	48.3± 5.9	48.5± 5.6
CP 含量(%)	11.7± 0.9	14.5± 0.9	16.7± 0.6
CWC/CP 比	4.24± 0.8	3.35± 0.4	2.92± 0.4
GE 摂取量(MJ/MBW <sup>1)</sup> )	2.56± 0.5	2.62± 0.4	2.72± 0.3
飼養レベル <sup>2)</sup>	2.48± 0.7	2.73± 0.6	2.96± 0.6

1) MBW: 代謝体重(kg<sup>0.75</sup>)

2) 飼養レベル: 維持の倍数

表12. 摂取飼料中 CP 含量別のエネルギー消化率, 代謝率および牛乳生産効率

	CP 含量(%)		
	~12.9	13.0~15.9	16.0~
	%		
DE/GE	62.1± 4.1 <sup>a</sup>	65.4± 4.2 <sup>b</sup>	68.9± 4.1 <sup>c</sup>
q	52.0± 4.2 <sup>a</sup>	54.7± 4.2 <sup>b</sup>	57.7± 4.0 <sup>c</sup>
GEE	33.8± 9.5	36.1± 8.3	36.7± 7.8
NEE	60.8±19.0	59.4±16.2	56.3±12.4

a, b, c: 異文字間に有意差あり(P&lt;0.05)

5) 飼料中 CWC/CP 比とエネルギー消化率, q および牛乳生産のエネルギー利用効率との関係

摂取飼料中の CWC/CP 比とエネルギー消化率および q との関係を図 8 および図 9 に示した。飼料中 CWC/CP 比とエネルギー消化率および q との間に有意な負の相関関係が認められた( $r = -0.36$  および  $-0.32$ ;  $P < 0.01$ )。また, CWC/CP 比に関わりなく, エネルギー消化率および q は平均値を中心に上下それぞれ約 10 % 単位の幅で分布していた。

飼料中 CWC/CP 比を 3.0 未満, 3.0~3.9 および 4.0 以上に分け, CWC/CP 比別の飼料摂取お

よび乳生産成績を表 13 に, それらのエネルギー消化率, q および牛乳生産のエネルギー利用効率を表 14 に示した。CWC/CP 比の低い飼料を摂取していた牛ほど分娩後日数が短く, FCM 量が高く GE 摂取量も高かった。エネルギー消化率および q はそれぞれ, 63.1~67.4 および 52.9~56.7 % であり, 飼料中 CWC/CP 比が低いほど高い値を示した( $P < 0.05$ )。GEE は飼料中 CWC/CP 比 3.0 % 未満の時 40.9 % であったのに対して, 3.00~3.99 および 4.00 % 以上ではそれぞれ 35.1 および 33.2 % を示し, 3.0 % 未満にくらべて有意に低かった( $P < 0.05$ )。しかし, NEE は 57.7~63.1 % であり, 飼料中 CWC/CP 比による差は小さかった。

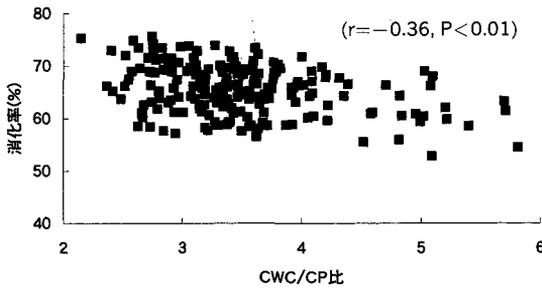


図8. 摂取飼料中CWC/CP比とエネルギー消化率との関係

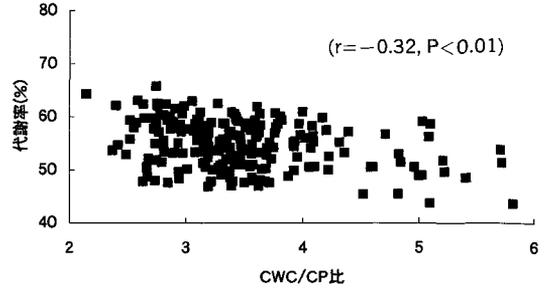


図9. 摂取飼料中CWC/CP比とエネルギー代謝率との関係

表13. エネルギー出納試験供試牛における摂取飼料中CWC/CP比別の飼料摂取および乳生産成績

	CWC/CP比		
	~2.99	3.00~3.99	4.00~
延べ頭数	52	116	36
産次	3.3±1.7	2.7±1.5	2.6±1.6
分娩後日数	72±49.3	143±79.1	183±74.1
FCM量(kg/d)	26.5±5.7	20.2±5.9	16.5±5.5
体重(kg)	638±76.4	637±73.7	629±76.8
粗飼料割合(%)	62.8±8.0	71.3±9.3	80.3±8.0
CWC含量(%)	43.2±4.3	49.1±5.0	53.7±5.4
CP含量(%)	15.8±1.4	14.3±1.4	11.6±1.3
CWC/CP比	2.75±0.2	3.44±0.2	4.66±0.5
GE摂取量(MJ/MBW <sup>1)</sup> )	2.88±0.3	2.62±0.4	2.36±0.4
飼養レベル <sup>2)</sup>	3.25±0.5	2.66±0.6	2.32±0.5

1) MBW: 代謝体重(kg<sup>0.75</sup>)

2) 飼養レベル: 維持の倍数

表14. 摂取飼料中CWC/CP比別のエネルギー消化率, 代謝率および牛乳生産効率

	CWC/CP比		
	~2.99	3.00~3.99	4.00~
	%		
DE/GE	67.4±5.0 <sup>c</sup>	65.4±4.2 <sup>b</sup>	63.1±4.6 <sup>a</sup>
q	56.7±4.8 <sup>c</sup>	54.7±4.0 <sup>b</sup>	52.9±4.5 <sup>a</sup>
GEE	40.9±7.1 <sup>b</sup>	35.1±7.6 <sup>a</sup>	33.2±9.2 <sup>a</sup>
NEE	62.0±16.7	57.7±13.9	63.1±21.5

a, b, c: 異文字間に有意差あり(P<0.05)

6) エネルギー摂取レベルとエネルギー消化率, qおよび牛乳生産のエネルギー利用効率との関係

代謝体重当りのGE摂取量とエネルギー消化率およびqとの関係を図10および図11に示した。

GE摂取量とエネルギー消化率およびqとの間には有意な正の相関がみられた(P<0.01)。また, エネルギー消化率およびqはいずれのGE摂取レベルにおいても平均値を中心に上下それぞれ約10%単位の範囲内に分布していた。

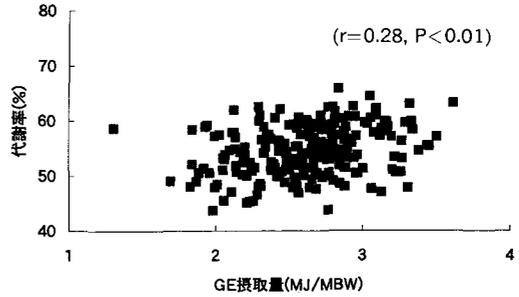
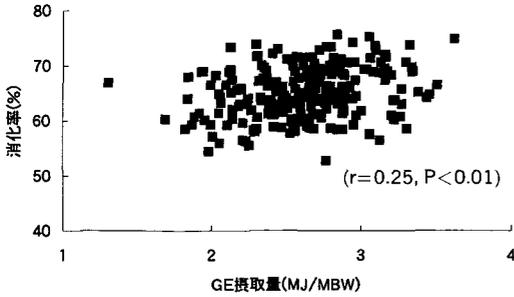


図 10. エネルギー摂取レベルとエネルギー消化率との関係

図 11. エネルギー摂取レベルとエネルギー代謝率との関係

代謝体重当りの GE 摂取量を 2.00 MJ 未満, 2.00~2.49 MJ および 2.50 MJ 以上に分け, GE 摂取量別の飼料摂取および乳生産成績を表 15 に, それらのエネルギー消化率, q および牛乳生産の

エネルギー利用効率を表 16 に示した。GE 摂取量が高かった牛ほど分娩後日数が短く, 飼料中粗飼料割合や CWC 含量の低い飼料を摂取しており, FCM 量も高かった。エネルギー消化率および q

表15. エネルギー出納試験供試牛における GE 摂取量別の飼料摂取および乳生産成績

	GE 摂取量 (MJ/MBW <sup>1)</sup> )		
	~1.99	2.00~2.49	2.50~
延べ頭数	14	65	139
産次	3.1 ± 1.7	2.4 ± 1.4	3.0 ± 1.6
分娩後日数	192 ± 62.2	201 ± 76.7	101 ± 63.9
FCM 量 (kg/d)	14.1 ± 3.7	15.4 ± 4.5	23.8 ± 6.0
体重 (kg)	656 ± 88.5	641 ± 72.8	637 ± 73.5
粗飼料割合 (%)	78.7 ± 8.9	76.7 ± 10.0	67.6 ± 9.1
CWC 含量 (%)	53.3 ± 4.6	51.6 ± 5.5	46.6 ± 5.5
CP 含量 (%)	12.8 ± 2.3	13.7 ± 1.9	14.4 ± 1.8
CWC/CP 比	4.37 ± 1.0	3.80 ± 0.6	3.27 ± 0.6
GE 摂取量 (MJ/MBW <sup>1)</sup> )	1.86 ± 0.2	2.28 ± 0.1	2.85 ± 0.3
飼養レベル <sup>2)</sup>	2.13 ± 0.4	2.21 ± 0.4	3.00 ± 0.6

1) MBW : 代謝体重 (kg<sup>0.75</sup>)

2) 飼養レベル : 維持の倍数

表16. GE 摂取量別のエネルギー消化率, 代謝率および牛乳生産効率

	GE 摂取量 (MJ/MBW)		
	~1.99	2.00~2.49	2.50~
	-%		
DE/GE	62.7 ± 4.5 <sup>a</sup>	64.2 ± 4.5 <sup>a</sup>	65.9 ± 4.7 <sup>b</sup>
q	52.4 ± 5.1 <sup>a</sup>	53.4 ± 4.3 <sup>a</sup>	55.3 ± 4.5 <sup>b</sup>
GEE	35.6 ± 9.6 <sup>ab</sup>	31.3 ± 8.6 <sup>a</sup>	37.6 ± 7.8 <sup>b</sup>
NEE	80.1 ± 22.8 <sup>b</sup>	58.3 ± 18.7 <sup>a</sup>	57.5 ± 12.7 <sup>a</sup>

MBW : 代謝体重 (kg<sup>0.75</sup>)

a, b : 異文字間に有意差あり (P<0.05)

はそれぞれ、62.7~65.9 および 52.4~55.3 % であり、両者とも GE 摂取量が高いほど高い値であり、その差は GE 摂取量 2.50 MJ 以上で、それ未満に比べて有意であった ( $P < 0.05$ )。GEE は GE 摂取量 2.00~2.49 MJ の時で 31.3 % と低い傾向にあったが、それ以外は 35.6~37.6 % であった。NEE は GE 摂取量 2.00 MJ 未満の時 80.1 % と高い値を示し、2.00~2.49 および 2.50 MJ 以上の時の値、58.3 および 57.5 % に比べて有意であった ( $P < 0.05$ )。

7) 飼養レベルとエネルギー消化率、q および牛乳生産のエネルギー利用効率との関係  
飼養レベルとエネルギー消化率および q との

関係を図 12 および図 13 に示した。飼養レベルとエネルギー消化率および q との間には有意な正の相関がみられた ( $P < 0.01$ )。また、飼養レベルに関わりなく、エネルギー消化率および q は平均値を中心に上下それぞれ約 10 % 単位の範囲内に分布していた。

飼養レベルを維持の 2.00 倍未満、2.00~2.99 倍および 3.00 倍以上に分け、飼養レベル別の飼料摂取および乳生産成績を表 17 に、それらのエネルギー消化率、q および牛乳生産のエネルギー利用率を表 18 に示した。飼養レベルが高かった牛ほど分娩後日数が短く、飼料中粗飼料割合や CWC 含量の低い飼料を摂取しており、FCM 量も高かった。エネルギー消化率および q はそれぞれ 62.5

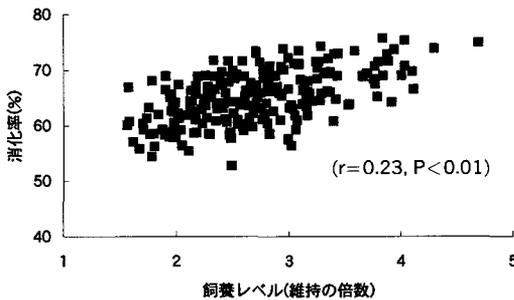


図 12. 飼養レベルとエネルギー消化率との関係

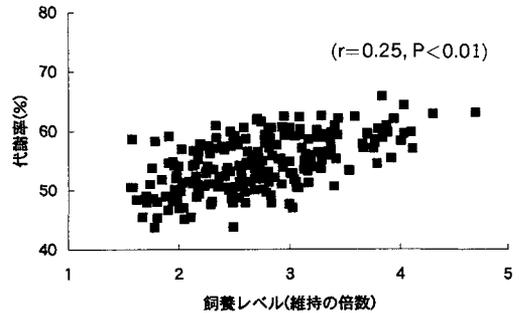


図 13. 飼養レベルとエネルギー代謝率との関係

表 17. エネルギー出納試験供試牛における飼養レベル別の飼料摂取および乳生産成績

	飼養レベル <sup>2)</sup>		
	~1.99	2.00~2.99	3.00~
延べ頭数	23	124	71
産次	2.2 ± 1.5	2.5 ± 1.5	3.5 ± 1.3
分娩後日数	245 ± 56.4	152 ± 74.7	75 ± 46.6
FCM 量 (kg/d)	10.9 ± 2.6	17.9 ± 3.4	28.7 ± 3.6
体重 (kg)	655 ± 74.7	627 ± 76.2	656 ± 66.7
粗飼料割合 (%)	84.2 ± 7.6	72.5 ± 9.1	64.3 ± 7.8
CWC 含量 (%)	52.6 ± 4.8	50.4 ± 5.3	44.1 ± 4.8
CP 含量 (%)	12.5 ± 1.8	14.2 ± 1.8	14.6 ± 1.9
CWC/CP 比	4.30 ± 0.9	3.61 ± 0.6	3.07 ± 0.5
GE 摂取量 (MJ/MBW <sup>1)</sup> )	2.17 ± 0.3	2.50 ± 0.3	2.97 ± 0.3
飼養レベル <sup>2)</sup>	1.79 ± 0.2	2.44 ± 0.3	3.46 ± 0.3

1) MBW : 代謝体重 (kg<sup>0.75</sup>)

2) 飼養レベル : 維持の倍数

表18. 飼養レベル別のエネルギー消化率, 代謝率および牛乳生産効率

	飼養レベル		
	~1.99	2.00~2.99	3.00~
	%		
DE/GE	62.5± 4.3 <sup>a</sup>	64.9± 4.4 <sup>b</sup>	66.5± 5.0 <sup>c</sup>
q	51.9± 4.4 <sup>a</sup>	54.1± 4.3 <sup>b</sup>	56.0± 4.6 <sup>c</sup>
GEE	24.0± 6.2 <sup>a</sup>	33.7± 6.4 <sup>b</sup>	42.6± 6.6 <sup>c</sup>
NEE	51.4±19.5 <sup>a</sup>	58.9±17.2 <sup>b</sup>	62.2±12.9 <sup>b</sup>

飼養レベル：維持の倍数

a, b, c：異文字間に有意差あり (P<0.05)

~66.5 および 51.9~56.0% であり、いずれも飼養レベルが高いほど高い値を示した (P<0.05)。また、GEE も 24.0~42.6% と飼養レベルが高いほど高い値であり、いずれも有意な差であった (P<0.05)。一方、NEE は飼養レベル 2.00 未満で 51.4% と低かったが (P<0.05)、2.00~2.99 および 3.00 以上ではそれぞれ 58.9 および 62.2% とほぼ同様の値を示した。

8) 乳量レベルとエネルギー消化率, q および牛乳生産のエネルギー利用効率との関係

1 日当りの FCM 量とエネルギー消化率および q との関係を図 14 および図 15 に示した。FCM 量とエネルギー消化率および q との間には有意な正の相関関係が認められた (P<0.01)。また、どの乳量レベルにおいても、エネルギー消化率および q は平均値を中心に上下それぞれ約 10% 単位の範囲内に分布していた。

FCM 量を 20 kg 未満, 20 kg 台および 30 kg 以上に分け、FCM 量別の飼料摂取および乳生産成績を表 19 に、そのエネルギー消化率, q および牛乳生産のエネルギー利用効率を表 20 に示した。FCM 量が高かった牛ほど分娩後日数が短く、飼料中粗飼料割合および CWC 含量の低い飼料を摂取しており、その GE 摂取量は高かった。エネルギー消化率は FCM 量 20 kg 未満で 64.0% であったのに対して、20 kg 以上では 66.4~66.8% と有意に高かった (P<0.05)。q もエネルギー消化率と同様な傾向であり、FCM 量 20 kg 未満で 53.3% であったのに対して、20 kg 以上では 55.7~56.3% と有意に高かった (P<0.05)。GEE は 30.7~45.6% と FCM 量が高いほど高い値を示し、その差は有意であった (P<0.05)。NEE は 57.1~64.9% であり、GEE と同様、FCM 量が高いほど高い値を示したが、その差は有意ではなかった。

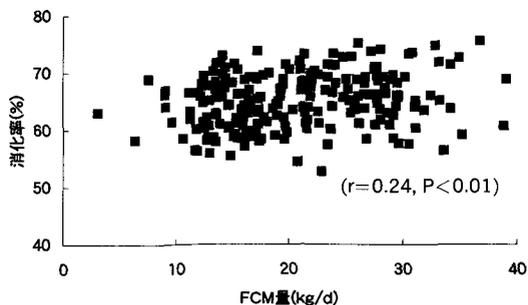


図 14. 乳量レベルとエネルギー消化率との関係

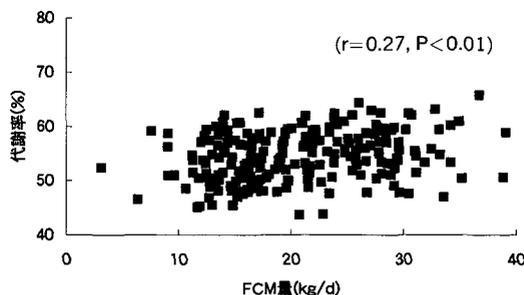


図 15. 乳量レベルとエネルギー代謝率との関係

表19. エネルギー出納試験供試牛におけるFCM量別の飼料摂取および乳生産成績

	FCM量(kg)		
	~19.9	20.0~29.9	30.0~
延べ頭数	112	86	20
産次	2.2± 1.3	3.3± 1.6	4.0± 1.1
分娩後日数	184±75.5	95±58.2	55±32.4
FCM量(kg/d)	15.0± 3.1	25.1± 2.9	33.3± 2.6
体重(kg)	623±77.9	647±65.5	701±45.8
粗飼料割合(%)	76.2± 9.7	66.0± 8.3	63.7± 5.9
CWC含量(%)	51.6± 5.0	46.1± 5.0	42.4± 5.5
CP含量(%)	13.7± 1.9	14.6± 1.9	14.4± 1.8
CWC/CP比	3.82± 0.7	3.21± 0.6	3.00± 0.6
GE摂取量(MJ/MBW <sup>1)</sup> )	2.37± 0.3	2.85± 0.3	3.04± 0.3
飼養レベル <sup>2)</sup>	2.19± 0.3	3.11± 0.3	3.81± 0.2

1) MBW: 代謝体重(kg<sup>0.75</sup>)

2) 飼養レベル: 維持の倍数

表20. FCM量別のエネルギー消化率, 代謝率および牛乳生産効率

	FCM量(kg)		
	~19.9	20.0~29.9	30.0~
	-%		
DE/GE	64.0± 4.3 <sup>a</sup>	66.4± 4.5 <sup>b</sup>	66.8± 6.0 <sup>b</sup>
q	53.3± 4.3 <sup>a</sup>	55.7± 4.3 <sup>b</sup>	56.3± 5.4 <sup>b</sup>
GEE	30.7± 6.7 <sup>a</sup>	39.7± 7.1 <sup>b</sup>	45.6± 5.2 <sup>c</sup>
NEE	57.1±17.5	60.6±15.6	64.9±10.2

a, b, c: 異文字間に有意差あり(P&lt;0.05)

## 9) 乳期とエネルギー消化率, qおよび牛乳生産のエネルギー利用効率との関係

分娩後日数とエネルギー消化率およびqとの関係を図16および図17に示した。分娩後日数とエネルギー消化率およびqとの間には有意な負の相関関係が認められた(P<0.01)。また, 乳期に関わりなく, エネルギー消化率およびqは平均値

を中心に上下それぞれ約10%単位の範囲内に分布していた。

分娩後の日数により泌乳初期(分娩後80日まで), 中期(81~210日)および後期(211日以降)に分け, 乳期別の飼料摂取および乳生産成績を表21に, そのエネルギー消化率, qおよび牛乳生産のエネルギー利用効率を表22に示した。乳期が進んだ

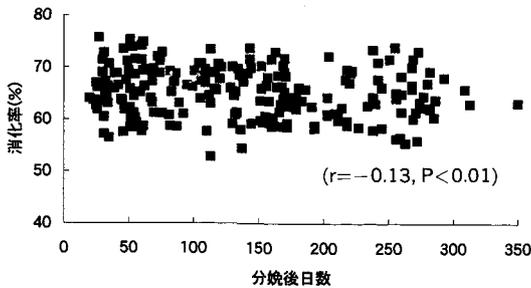


図16. 乳期とエネルギー消化率との関係

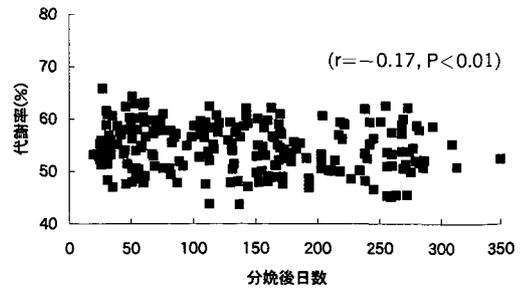


図17. 乳期とエネルギー代謝率との関係

表21. エネルギー出納試験供試牛における乳期別の飼料摂取および乳生産成績

	泌乳期		
	初期	中期	後期
延べ頭数	73	94	51
産次	2.9 ± 1.5	2.8 ± 1.7	2.8 ± 1.4
分娩後日数	48 ± 15.7	142 ± 33.8	256 ± 28.9
FCM量(kg/d)	26.1 ± 5.9	19.8 ± 5.4	14.6 ± 4.4
体重(kg)	619 ± 80.9	642 ± 70.6	665 ± 62.0
粗飼料割合(%)	64.0 ± 7.3	71.7 ± 9.0	79.9 ± 9.2
CWC含量(%)	44.4 ± 4.6	49.9 ± 5.9	52.1 ± 4.3
CP含量(%)	14.5 ± 1.8	14.2 ± 1.9	13.4 ± 1.9
CWC/CP比	3.11 ± 0.5	3.58 ± 0.7	3.91 ± 0.7
GE摂取量(MJ/MBW <sup>1)</sup> )	2.87 ± 0.3	2.60 ± 0.4	2.30 ± 0.3
飼養レベル <sup>2)</sup>	3.22 ± 0.5	2.60 ± 0.5	2.14 ± 0.4

1) MBW：代謝体重(kg<sup>0.75</sup>)

2) 飼養レベル：維持の倍数

表22. 乳期別のエネルギー消化率，代謝率および牛乳生産効率

	泌乳期		
	初期	中期	後期
	%		
DE/GE	66.0 ± 4.9	65.0 ± 4.6	64.4 ± 4.8
q	55.5 ± 4.5	54.2 ± 4.4	53.6 ± 4.7
GEE	41.9 ± 7.6 <sup>c</sup>	34.7 ± 6.4 <sup>b</sup>	28.4 ± 7.0 <sup>a</sup>
NEE	64.7 ± 16.6 <sup>c</sup>	58.8 ± 15.3 <sup>b</sup>	51.9 ± 15.2 <sup>a</sup>

a, b, c：異文字間に有意差あり(P<0.05)

牛ほど飼料中粗飼料割合およびCWC含量の高い飼料を摂取し，そのGE摂取量は低く，FCM量も低かった。エネルギー消化率およびqはそれぞれ64.4~66.0および53.6~55.5%であり，乳期による差は認められなかった。一方，GEEおよびNEEはそれぞれ28.4~41.9および51.9~64.7%であり，いずれも乳期が進むに伴い低い値となり，有意な低下を示した(P<0.05)。

10) 産次とエネルギー消化率，qおよび牛乳生産のエネルギー利用効率との関係

エネルギー出納試験供試牛を初産，経産別に分け，その飼料摂取および乳生産成績を表23に，エネルギー消化率，qおよび牛乳生産のエネルギー利用効率を表24に示した。経産牛は初産牛にくらべてFCM量が高く，飼料中粗飼料割合およびCWC含量の低い飼料を摂取し，そのGE摂取量

表23. エネルギー出納試験供試牛における産次別の飼料摂取および乳生産成績

	産次	
	初産	経産
延べ頭数	53	165
産次	1.0 ± 0.0	3.4 ± 1.3
分娩後日数	138 ± 74.0	137 ± 85.3
FCM量(kg/d)	15.9 ± 4.3	22.2 ± 6.9
体重(kg)	569 ± 61.9	662 ± 62.4
粗飼料割合(%)	73.5 ± 10.3	70.3 ± 10.3
CWC含量(%)	50.0 ± 6.3	47.9 ± 5.8
CP含量(%)	13.6 ± 2.0	14.3 ± 1.9
CWC/CP比	3.72 ± 0.7	3.40 ± 0.7
GE摂取量(MJ/MBW <sup>1)</sup> )	2.50 ± 0.3	2.66 ± 0.4
飼養レベル <sup>2)</sup>	2.22 ± 0.4	2.86 ± 0.6

1) MBW：代謝体重(kg<sup>0.75</sup>)

2) 飼養レベル：維持の倍数

も高かった。また，経産牛は初産牛にくらべ体重が約100kg大きかった。

表24. 産次別のエネルギー消化率, 代謝率および牛乳生産効率

	産次	
	初産	経産
	%	
DE/GE	65.2± 4.0	65.2± 4.9
q	54.8± 4.0	54.4± 4.7
GEE	31.7± 6.8 <sup>a</sup>	36.9± 8.7 <sup>b</sup>
NEE	59.9±17.5	58.9±16.0

a, b: 異文字間に有意差あり (P<0.05)

エネルギー消化率は初産牛, 経産牛ともに 65.2% であり差は認められなかった。q は初産牛および経産牛でそれぞれ 54.8 および 54.4% であり, 産次による差はなかった。また, GEE は初産牛および経産牛でそれぞれ 31.7 および 36.9% であり, 経産牛のほうが有意に高い値を示した (P<0.05)。一方, NEE は初産牛および経産牛でそれぞれ 59.9 および 58.9% であり, 産次による差はなかった。

#### 11) 季節とエネルギー消化率, q および牛乳生産のエネルギー利用効率との関係

エネルギー出納試験供試牛を試験実施季節により夏季(5~10月)および冬季(11~4月)の季節別に分け, その飼料摂取および乳生産成績を表 25 に, エネルギー消化率, q および牛乳生産のエネルギー利用効率を表 26 に示した。夏季および冬季とも, 供試牛の分娩後の日数はほぼ同様であったが, 夏季で CWC および CP 含量の高い飼料を摂取していた。また, 夏季は冬季にくらべて GE 摂取量が低く, FCM 量も低かった。エネルギー消化率は夏季および冬季でそれぞれ 65.7 および 63.9% であり, 夏季のほうが有意に高かった (P<0.05)。q は夏季および冬季でそれぞれ 54.8 および 54.0% であり, 季節による差は認められなかった。GEE は夏季, 冬季でそれぞれ 34.8 および 37.6% であり, 夏季のほうが有意に低かった (P<0.05)。NEE は夏季, 冬季でそれぞれ 58.6 および 60.4% であり, GEE と同様, 夏季で低い傾向を示したが, その差は有意ではなかった。

表25. エネルギー出納試験供試牛における試験実施季節別の飼料摂取および乳生産成績

	季節	
	夏季	冬季
延べ頭数	152	66
産次	2.8± 1.5	2.9± 1.6
分娩後日数	143±80.0	121±86.5
FCM 量 (kg/d)	19.4± 6.2	23.6± 7.5
体重 (kg)	634±74.4	652±72.7
粗飼料割合 (%)	70.6±10.2	72.0±10.7
CWC 含量 (%)	50.5± 4.9	44.0± 5.8
CP 含量 (%)	14.7± 2.0	12.8± 1.7
CWC/CP 比	3.45± 0.6	3.54± 0.8
GE 摂取量 (MJ/MBW <sup>1)</sup> )	2.54± 0.4	2.80± 0.4
飼養レベル <sup>2)</sup>	2.62± 0.6	2.91± 0.7

1) MBW: 代謝体重 (kg<sup>0.75</sup>)

2) 飼養レベル: 維持の倍数

表26. 試験実施季節別のエネルギー消化率, 代謝率および牛乳生産効率

	季節	
	夏季	冬季
	%	
DE/GE	65.7± 4.6 <sup>b</sup>	63.9± 4.9 <sup>a</sup>
q	54.8± 4.4	54.0± 4.8
GEE	34.8± 8.6 <sup>a</sup>	37.6± 8.1 <sup>b</sup>
NEE	58.6±17.8	60.4±12.4

a, b: 異文字間に有意差あり (P<0.05)

#### 4. 考察

出納試験実施時の摂取飼料中の粗飼料割合, エネルギー消化率および q の平均値はそれぞれ 71, 65 および 55% であった。エネルギー消化率および q のいずれも, 平均値を中心に上下それぞれ約 10% 単位の範囲内に分布しており, それらの変動係数 (CV) はそれぞれ 7.3 および 8.4% であった。本試験では, ME 摂取量を算出する際のメタンによるエネルギー損失量は実測せず, BLAXTER and CLAPPERTON<sup>5)</sup> の推定式から算出しており, それは GE 摂取量の 6.9~8.4% の範囲であった。GE 摂取量に占めるメタンによるエネルギー損失割合について, BLAXTER and CLAPPERTON<sup>5)</sup> は 6.2~10.8%, MAFF<sup>40)</sup> では飼料構成に関わらず 6%, GORDON *et al*<sup>21)</sup> は粗飼料割合が 43~54% の飼料で 5.4~6.6% を報告している。粗飼料割合

の高かった本試験での計算値はやや高い値を示したが、上記の報告の範囲内であった。また、表には示していないが、DE/ME(平均値 83.6%)のCVが2%と小さかったことから、qの変動の大部分は、消化率に起因するものと考えられた。

粗飼料給与割合の平均が70%以上であり、飼料構成が多様な飼養条件下で1乳期間中の様々な乳期の泌乳牛を用いて飼料エネルギーの消化率やqを求めた研究は、本研究以外に見当たらない。早坂<sup>28)</sup>は粗飼料給与割合が45%(39~70%)と本試験より低いが、飼料構成の多様なTMRを泌乳初期から後期にわたる泌乳牛に給与して、53例のエネルギー出納試験を行った結果、エネルギー消化率は65%(44~74%)、qは56%(34~67%)と、本試験の結果とほぼ同様な値を報告している。粗飼料給与割合が低くなるに伴ってエネルギー消化率は上昇する<sup>9),14)</sup>が、一方でエネルギー摂取量の増加に伴ってエネルギー消化率は低下する<sup>6),13),76),80)</sup>ことが報告されている。早坂の報告<sup>28)</sup>では粗飼料給与割合は低かったが、GE摂取量が代謝体重当たり2.9MJと本試験の2.6MJにくらべて高かったため両者の影響が相殺され、エネルギー消化率が本試験と同様な値になったと考えられる。

FLATT *et al.*<sup>14)</sup> および BROSTER *et al.*<sup>9)</sup> は上述のように、飼料中の粗飼料割合とエネルギー消化率の関係について、粗飼料割合が高まるに伴って消化率は低下したと報告しているが、本試験では必ずしも低下しなかった。また、早坂の報告<sup>28)</sup>においても、本試験と同様に、粗飼料割合とエネルギー消化率の関係は必ずしも明確ではなく、エネルギー消化率およびqはそれらの平均値を中心に上下それぞれ10%単位程度の変動が認められた。既述のように、エネルギー消化率はエネルギー摂取量の増加によって低下することから<sup>6),13),76),80)</sup>、本試験および早坂の報告<sup>28)</sup>ともに、粗飼料割合の高い飼料ほどGE摂取量が低かったために、消化率への影響が相殺されたと考えられた。また、FLATT *et al.*の報告<sup>14)</sup>での粗飼料割合の範囲は20~60%、BROSTER *et al.*<sup>9)</sup>では10~40%であったの対して、本試験は43~95%、早坂の報

告<sup>28)</sup>では39~70%と粗飼料割合の高い給与条件であった。粗飼料の給与割合が高かったことも粗飼料割合とエネルギー消化率との関係がFLATT *et al.*<sup>14)</sup>やBROSTER *et al.*<sup>9)</sup>の報告と異なった要因の一つかもしれない。また、飼料中の粗飼料割合とqとの関係についても、粗飼料割合が高まるにつれてqが低下したとの報告<sup>15)</sup>があるが、本試験の結果とは一致しなかった。これは上記の理由により、本試験でのエネルギー消化率が必ずしも低下しなかったためであろう。

飼料中CP含量とエネルギー消化率およびqとの関係について、MOE and TYRRELL<sup>43)</sup>およびTYRRELL<sup>77)</sup>は、濃厚飼料源として大豆粕をコーンミールで代替してCP含量を14~20%に変化させた、アルファルファ乾草主体の飼料を泌乳初期牛に給与して試験を行なった。その結果、エネルギー消化率およびqはCP含量の増加に伴い高くなるが、CP含量が17%以上になるとエネルギー消化率の増加割合が小さくなり、またqは逆に低下したと報告している。本試験での飼料中CP含量の範囲は10~18%であり、ほとんどが17%未満であったことから、CP含量の増加に伴ってエネルギー消化率およびqが増加する結果が得られたのであろう。

飼養レベルは、摂取ME量を維持ME要求量の倍数で表わしたものである。TYRRELL and MOE<sup>76)</sup>は、泌乳牛用の通常の飼料では、飼養レベル1単位の増加につきエネルギー消化率は約4%低下するとしている。また、qについても飼養レベルの増加に伴って低下し、その低下割合は飼養レベル1単位の増加につき1.8%であるとする報告<sup>6),13),76),80)</sup>がある。しかし、本試験結果では、飼養レベルが高いほどエネルギー消化率およびqが高かった(P<0.05)。これは、本試験では飼養レベルが高いほど粗飼料割合の低い飼料を摂取しており、エネルギー消化率が粗飼料割合の影響を大きく受けたためと考えられる。上記の報告<sup>6),13),76),80)</sup>によれば、維持時のエネルギー消化率が70%であれば、飼養レベルが維持の2倍での消化率は67%、3倍では64%、維持時のqが60%であれば、維持の2倍でのqは59%、3倍では58%になる

ことを示しており、これらの低下程度は大きなものではない。本試験では、同一飼養レベル内においてもエネルギー消化率および $q$ は、平均値を中心に上下それぞれ約10%単位の範囲に分布しており、これらの変動を飼養レベルの影響のみでは説明することはできない。

FLATT *et al.*<sup>15)</sup>は、泌乳初期(分娩後57日目)、中期(167日目)および後期(284日目)の泌乳牛に粗飼料割合が20~60%の飼料を同一摂取レベルになるように給与した場合、乳期が進むほどエネルギー消化率および $q$ が低下したと報告している。しかし、本試験ではいずれの乳期においてもエネルギー消化率および $q$ はほぼ一定であった。これは乳期の進行に伴い粗飼料割合の高い飼料を摂取し、一方、摂取レベルが低くなったことから、消化率に対する影響が相殺されたためと考えられた。

初産および経産牛では、エネルギー消化率および $q$ に差は認められなかった。経産牛では初産牛にくらべて乳量が高かったため飼料中の粗飼料割合は低かったが、その摂取レベルが高かったため、消化率に対する影響が相殺されたのであろう。

本研究において季節による違いは、一つは給与粗飼料の種類の違いであり、もう一つは気温の違いである。本試験の主体粗飼料は、夏季は放牧地草、冬季はコーンサイレージであり、種類が異なっていた。夏季では飼料中CP含量が高くGE摂取量も低かったことから、エネルギー消化率および $q$ は冬季よりやや高い傾向を示したが、粗飼料の種類の違いによるエネルギー消化率および $q$ の差はなかったと考えられた。一方、気温については、高温時の乳牛の生産性低下は環境温度24~27℃以上で発現し、その程度は乳量レベルの高い牛ほど大きいといわれている<sup>16)</sup>。また、低温環境条件下では採食量は増加するが、反芻行動が増加し、消化管内容物の通過が速くなり、消化率が低下するとの報告<sup>33), 81)</sup>がある。試験期間を通して、夏季には牛舎内が30℃を越えることがいずれの年においてもある期間あったが、出納試験を実施した期間では27℃以下であった。また、冬季では牛舎内が0℃以下になることはなかった。これ

らのことから、本試験の条件では、暑熱および寒冷の影響は少なかったと考えられる。

このように、飼料構成が多様な粗飼料多給の1乳期飼養下でのエネルギー消化率および $q$ とそれらに影響を及ぼす要因との関係は、これまでの報告と必ずしも一致しなかった。飼料中の粗飼料割合が高くなってエネルギー消化率および $q$ は必ずしも低下せず、両者ともに、それらの平均値である65および55%を中心に上下10%単位程度、CVで7~8%程度の変動が認められた。このようなエネルギー消化率および $q$ の変動には飼料中粗飼料割合と摂取レベルが大きく関与しており、変動の多くはこれら二つの要因で説明することができるであろう。すなわち、通常、1乳期飼養下では乳量に応じて濃厚飼料を給与するため、乳期の進行による乳量の低下に伴い、飼料中の粗飼料割合は高くなる。しかし、その一方で摂取レベルは低下するため、エネルギー消化率および $q$ に対する負の影響である粗飼料割合の増加、および正の影響である摂取レベルの低下、両者の影響が相殺され、上記のような変動が生じたと考えられた。

GEEは、BRODY and PROCTOR<sup>8)</sup>によって提唱された牛乳生産のエネルギー利用効率を表わす実地的な指標であり、生産現場に近い条件下で、多数の泌乳牛を対象とした長期的データの蓄積とその解析を行うのに適した指標である。本研究のエネルギー出納試験により得られたGEEの平均値は35.6%であり、粗飼料割合の高い飼料を摂取していた牛ほどGEEが低かった。また、GEEのCVは24.1%と変動が大きかった。

牛乳生産のエネルギー利用効率について、GEEを指標に用いて検討した研究報告は少なく、我が国では、内藤ら<sup>51)</sup>が24.6~27.8%、大久保ら<sup>57)</sup>が31.4~35.9%という値を報告している。両報告とも、GEEに影響を及ぼす要因については必ずしも詳細に検討していないが、大久保ら<sup>57)</sup>はGEEとFCM量との間に高い正の相関を認めており、乳量レベルが高いほど牛乳生産のエネルギー利用効率が高くなることを示唆している。内藤らの報告<sup>51)</sup>ではGEEが低かったのは、解析の対象とし

た個体のFCM量が11.7~14.8 kg/日/頭と、本試験の平均FCM量20.7 kg/日/頭にくらべて低かったためであろう。本試験でのFCM量(X, kg/日/頭)とGEE(Y, %)との関係(図18)をみると、両者間に有意な正の相関関係が認められ( $r=0.75$ :  $P<0.01$ ),  $Y=0.9305X+16.376$  ( $R^2=0.56$ )の式が得られた。これらのことから、本試験においても、GEEの変動には乳量レベルが大きく関与していることが認められた。

本試験でのFCM量は3~39 kg/日/頭と範囲

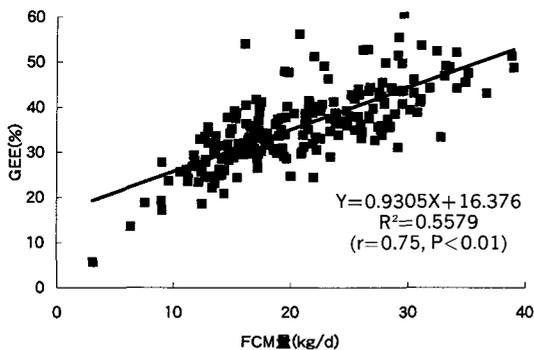


図18. 日FCM量とGEEとの関係

が広く、そのためGEEの分子であるMILK E (MJ/日/頭)の変動は大きかったと推察される。一方、分母にあたるME摂取量(MJ/日/頭)全体のうち、維持に相当するMEは約40%である。通常、1乳期飼養下での体重変化は乳量変化にくらべ小さい。すなわち、上記のようなGEEの変動はME摂取量の変動にくらべMILK Eの低下割合が大きいことにより生じると考えられた。

さらに、出納試験時に記録された乳量は必ずしも出納試験時の飼料摂取量のみを反映しているとは限らず、それ以前の飼料摂取量の影響を多少なりとも受けていると考えられる。飼料摂取量とそれに対応する乳量には必ずtime lagがあり、数日間でのエネルギーの出納ではGEEにある程度の変動が生じるのは当然であろう。

GEEに対する産次の影響については、経産牛にくらべ初産牛でGEEが低かったとする大久保らの報告<sup>57)</sup>と同様な結果であった。本試験でも経産牛にくらべ初産牛の乳量が低かったように、一般

に初産牛は経産牛にくらべ乳量レベルが低いことからGEEは低くなるであろう。また、初産牛は、まだ成長段階にあり、摂取されたMEの一部が成長にまわされていると思われ、体重増加に要するエネルギーの補正をしなければ当然GEEは低くなると考えられる。

一方、CP含量とGEEの関係は乳量レベルのみでは説明できない部分がある。一般に1乳期飼養下では乳量の多い泌乳初期牛は栄養要求量が高いため、必然的に飼料中のCP含量が高くなる。本試験でも飼料中CP含量が高いほど乳量が高かった。しかし、乳量が高くてGEEは必ずしも高くはならなかった。これは、CP含量の増加に伴う乳量の増加割合が小さかったためである。このことはGEEの点からみて適切な飼料中CP含量があることを示唆しているが、本試験では明らかではなかった。

NEEは、MILK EとME摂取量の比で表されるGEEのうち、分母であるME摂取量から体維持に要するMEを差し引くことによって生産に利用可能なME(ME Available for Production: MEP)<sup>22)</sup>の牛乳生産への利用効率を表わした指標である。すなわち、NEEを用いることにより、体重の異なる個体間においても、泌乳能力、産次、給与飼料の質と量の組み合わせ、あるいは給与方法の違いが牛乳生産のエネルギー利用効率に及ぼす影響を比較検討できると考えられる。

本研究のエネルギー出納試験により得られたNEEの平均値は59.2%であった。GORDON *et al.*<sup>22)</sup>はNEEという表現は用いていないが、同様に計算された指標(MILK E/MEP×100)を用いて牛乳生産のエネルギー利用効率に対する乳牛遺伝指数(CGI)と飼料の給与方法(粗飼料, 濃厚飼料混合または分離給与)の影響を検討した。給与飼料の粗飼料割合は33~36%と本試験にくらべ低かったが、MILK E/MEP×100=47~58%なる値が得られ、遺伝的な泌乳能力が高い牛ほど効率が高く、また、飼料給与方法としては粗飼料, 濃厚飼料混合給与の効率が高かったと報告している。本試験での平均値59.2%はGORDON *et al.*の報告<sup>22)</sup>にくらべやや高い程度であったが、CVは

27.7%と変動が大きかった。本試験でのFCM量とNEEとの関係(図19)をみてみると、有意な正の相関関係が認められたが( $P < 0.01$ )、GEEの場合とは異なり、その相関係数( $r = 0.23$ )は低かった。NEEはFCM量にかかわらず、平均値を中心にある変動幅をもち一定に推移する傾向にあったが、NEEと乳量レベルとの関係は必ずしも明確ではなかった。また、NEEの分母である(MEI-ME<sub>m</sub>)(MJ/日/頭)のCVは34.6%であり、NEEの分子にあたる前述のMILK Eと同様に変動が大きかった。すなわち、これらのことはNEEの変動は必ずしも乳量レベルだけに起因するものではないことを表わしており、その他の要因として遺伝的な泌乳能力の違いも考えられる。

さらに、NEEの変動要因としてGEEの場合と

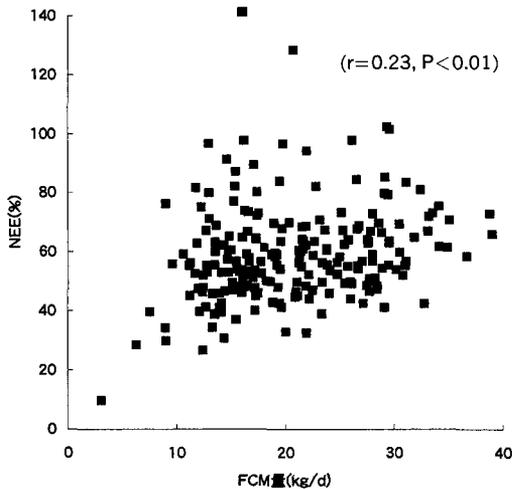


図19. 日FCM量とNEEとの関係

同様なことも考えられる。すなわち、出納試験時に記録された乳量は必ずしも出納試験時の飼料摂取量のみを反映しているとは限らず、それ以前の飼料摂取量の影響を多少なりとも受けている可能性がある。本試験で得られたNEEのなかで100%を超えるものがみられたが(図19)、これは上記の要因が関連しているのであろう。

NEEを用いることにより、初産牛と経産牛の約100kgの体重差を考えずに牛乳生産のエネルギー利用効率を検討することができる。GEEは経

産牛にくらべ初産牛で低かったが( $P < 0.05$ )、NEEには差はなかった。初産牛と経産牛で飼料構成、成分およびその摂取量はほぼ同様であったことから、本試験の範囲内で考えると、初産牛と経産牛とではNEEは変わらないといえることができるだろう。

以上、本章ではエネルギー出納試験から飼料のエネルギー消化率、 $q$ および牛乳生産のエネルギー利用効率を算出し、それらに影響を及ぼす諸要因との関連を検討した。その結果、飼料中の粗飼料割合が高くなってもエネルギー消化率および $q$ は必ずしも低下しなかった。また、GEEの変動には乳量レベルが大きく関与していたが、NEEの変動は必ずしも乳量レベルだけに起因するものではないことが示唆された。本試験では、飼料構成が多様な飼料給与条件下で1乳期間中の様々な乳期の泌乳牛を用いていた。しかし、そこで得られたGEEおよびNEEの値はエネルギー出納試験時という限られた期間での効率であり、1乳期生産時での効率を検討する場合には、これらのみでは必ずしも十分とはいえない。1乳期生産時での牛乳生産のエネルギー利用効率に關与する要因について考える場合には、さらに1乳期を通じての飼養試験成績から検討する必要がある。これについては、第IV章で論ずる。

## 5. 小括

飼料構成が多様な飼料給与条件下で1乳期間中の様々な乳期の泌乳牛延べ218頭用いて行ったエネルギー出納試験の成績を解析し、自給粗飼料多給飼養下における飼料のエネルギー消化率、 $q$ および牛乳生産のエネルギー利用効率とそれらに影響を及ぼす諸要因との関連について検討した。

摂取飼料中粗飼料割合の平均が71.0%で、エネルギー消化率および $q$ の平均値はそれぞれ65.2%および54.5%であり、飼料中の粗飼料割合が高くなってもエネルギー消化率および $q$ は必ずしも低下しなかった。また、エネルギー消化率および $q$ ともに平均値を中心に上下10%単位程度の変動がみられた。エネルギー消化率および $q$ の変動には飼料中粗飼料割合と摂取レベルが大きく関

与していた。通常の1乳期飼養下では、乳期の進行に伴い飼料中の粗飼料割合は高くなる一方で摂取レベルは低下することから、エネルギー消化率および $q$ に対する両者の影響が相殺され上記のような変動が生じた。

GEEの平均値は35.6%であった。また、GEEの変動の多くは乳量レベルに起因していた。通常の1乳期飼養下ではME摂取量の変動にくらべ乳量の低下割合が大きいことからGEEに変動が生じた。一方、NEEの平均値は59.2%であった。GEEとは異なり、NEEの変動は必ずしも乳量レベルだけに起因するものではないことが示唆された。

#### 第IV章 粗飼料多給飼養下における1乳期生産時での牛乳生産のエネルギー利用効率 — 飼養試験成績からの検討 —

##### 1. 目的

第III章ではエネルギー出納試験から飼料のエネルギー消化率、 $q$ および牛乳生産のエネルギー利用効率を算出し、それらに影響を及ぼす諸要因との関連を検討してきた。そこでは飼料構成が多様な飼料給与条件下で1乳期間中の様々な乳期の泌乳牛を用いて出納試験を行なった。しかし、得られたGEEおよびNEEの値はエネルギー出納試験時という限られた期間での効率であり、1乳期生産時での効率を検討する場合には、これらのみでは必ずしも十分とはいえない。1乳期生産時での牛乳生産のエネルギー利用効率に関与する要因について考える場合には、さらに1乳期を通じての飼養試験成績から検討する必要があるが、これまでにこのような研究報告は見当たらない。

そこで、本章では、自給粗飼料の種類、量およびそれらの組み合わせの異なる条件下での1乳期飼養試験成績に、同時期に行ったエネルギー出納試験で得た $q$ を適用して1乳期生産時でのGEEおよびNEEを算出し、それらに影響を及ぼす諸要因との関連について検討した。

##### 2. 解析に用いたデータおよび解析方法

1984年5月から1993年4月までの9年間にホルスタイン種泌乳牛を用いて実施した飼養試験で1乳期を終了したものの中から、泌乳日数が280日以上であった延べ108頭の成績を解析に用いた。飼養試験実施方法の詳細については、第II章で述べた通りである。

データの解析にあたり、ME摂取量(MEI)はGE摂取量(GEI)に第III章で求めた $q$ を乗じて算出した。なお、 $q$ は飼養試験と同時期に各処理群毎に行なったエネルギー出納試験で得られた値を泌乳初期(分娩後80日まで)、中期(81~210日)および後期(211日以降)ごとに分け、各乳期に相当する牛に適用した。ME<sub>m</sub>の算出には1乳期間の平均体重を用い、第III章と同様に算出した。また、MILK E、GEEおよびNEEについても第III章と同様に算出した。

##### 3. 結果

###### 1) 1乳期産乳成績

解析に用いた飼養試験供試牛、延べ108頭の1乳期産乳成績の平均値とその範囲を表27に示した。処理群毎の頭数内訳は、C群：21頭、R群：21頭、R1群：21頭、R2群：22頭およびR3群：23頭であった。1乳期(平均300日間)を通じて摂取した飼料中の粗飼料割合は58.1~85.4%の範囲であり、平均74.4%であった。濃厚飼料の乾物摂取量および総乾物摂取量の平均値はそれぞれ1,404 kgおよび5,399 kgであり、1日1頭当りに換算すると4.7および18.0 kgであった。総乾物摂取量は1乳期平均体重に対して約2.8%に相当した。1乳期乳量の実乳量で3,340~9,338 kg、FCM量では3,493~8,207 kgと広範囲であり、平均でそれぞれ6,189 kgおよび5,951 kgであった。1日1頭当りにすると、実乳量およびFCM量でそれぞれ20.6 kgおよび19.8 kgであった。1乳期を通じての体重変化量は、-78~+188 kgと様々であり、平均+75 kgであった。日増体量にすると+0.25 kgに相当した。

表27. 飼養試験供試牛における1乳期産乳成績の平均値とその範囲(n=108)

	平均	最小値	最大値	SD	CV(%)
産次	2.7	1	9	1.6	60.0
搾乳日数	300	280	305	8.5	2.8
乳量(kg)	6,189	3,340	9,338	1,270.6	20.5
FCM量(kg)	5,951	3,493	8,207	1,182.3	19.9
乳脂肪率(%)	3.80	3.14	4.89	0.3	8.9
SNF率(%)	8.86	8.26	9.31	0.2	2.8
体重(kg)	645	498	784	70.7	11.0
体重変化量(kg)	+75	-78	+188	56.8	75.8
濃厚飼料摂取量(kgDM)	1,404	675	2,894	458.8	32.7
粗飼料摂取量(kgDM)	3,995	3,044	4,964	361.4	9.0
総飼料摂取量(kgDM)	5,399	4,068	6,914	597.9	11.1
粗飼料割合(%)	74.4	58.1	85.4	6.2	8.3

2) 1乳期生産時でのエネルギー摂取量および牛乳生産のエネルギー利用効率

第III章で求めたqを適用して算出した1乳期生産時でのエネルギー摂取量および牛乳生産のエネルギー利用効率の平均値とその範囲を表28に示した。総GEIの平均値(CV)は100,524 MJ(11.0%), 1日1頭当りおよび代謝体重当りではそれぞれ335および2.62 MJであった。また、総MEIの平均値(CV)は54,671 MJ(13.2%), 1日1頭当りおよび代謝体重当りではそれぞれ182および1.42 MJであった。GEEおよびNEEの平均値は34.5および56.8%, CVは12.8および13.6%であった。

3) 乳量レベル別の1乳期産乳成績, エネルギー摂取量および牛乳生産のエネルギー利用効率

1乳期産乳成績をFCM量によって4,000 kg未満, 4,000 kg台, 5,000 kg台, 6,000 kg台, 7,000 kg台および8,000 kg以上に分けて表29に示した。乳量レベルが高いほど平均産次が高かった。1乳期を通じての摂取飼料中の粗飼料割合は8,000 kg以上で低い傾向を示したが, 64.1~80.5%であり, いずれの乳量レベルの牛も粗飼料割合の高い飼料を摂取していた。濃厚飼料乾物摂取量は乳量に応じて給与していたことから873~2,367 kgと大きな差があった。総乾物摂取量は4,470

表28. 1乳期生産時でのエネルギー摂取量および牛乳生産効率の平均値とその範囲(n=108)

	平均	最小値	最大値	SD	CV
		%			%
q	54.3	49.7	59.8	3.2	6.0
		MJ			%
GEI	100,524	75,559	129,620	11,101.5	11.0
MEI	54,671	38,400	70,318	7,230.6	13.2
ME <sub>m</sub>	20,821	17,220	27,769	1,825.6	8.8
MILK E	18,916	10,949	26,590	3,716.7	19.6
		%			%
GEE	34.5	22.8	44.1	4.4	12.8
NEE	56.8	39.2	77.9	7.7	13.6

表29. 乳量別の1乳期産乳成績

	FCM量(kg)					
	~3,999	4,000~4,999	5,000~5,999	6,000~6,999	7,000~7,999	8,000~
延べ頭数		20	30	28	20	4
産次	1.0±0.0	1.4±0.8	2.8±1.8	3.0±1.4	3.7±1.4	4.0±1.2
搾乳日数	296±11.6	300±7.8	298±10.0	301±7.8	303±6.5	304±1.2
乳量(kg)	3,778±229.1	4,787±348.3	5,804±301.2	6,713±492.1	7,644±535.8	8,754±423.7
FCM量(kg)	3,663±165.5	4,605±262.9	5,538±264.2	6,488±287.3	7,417±267.9	8,114±82.0
乳脂肪率(%)	3.87±0.3	3.81±0.3	3.74±0.3	3.84±0.4	3.84±0.4	3.54±0.3
SNF率(%)	8.95±0.2	8.91±0.2	8.85±0.3	8.83±0.3	8.88±0.2	8.58±0.1
体重(kg)	578±109.3	580±63.7	652±62.2	663±52.0	687±43.9	694±52.4
体重変化量(kg)	+98±26.0	+108±48.2	+76±45.4	+63±65.9	+63±56.4	+14±65.9
濃厚飼料摂取量(kgDM)	873±117.8	1,019±271.9	1,335±346.8	1,541±350.0	1,669±395.9	2,367±526.2
粗飼料摂取量(kgDM)	3,597±355.5	3,782±292.5	4,037±361.1	3,997±314.9	4,221±315.2	4,195±309.9
総飼料摂取量(kgDM)	4,470±434.2	4,801±395.9	5,372±432.7	5,538±346.6	5,890±343.2	6,562±318.7
粗飼料割合(%)	80.5±1.9	78.9±4.4	75.3±5.3	72.3±5.4	71.8±5.6	64.1±6.6

~6,562 kg, 1日1頭当りおよび体重比ではそれぞれ15.1~21.6 kg および2.65~3.12%であり, FCM量が多いほど高かった。1乳期を通しての体重の変化量は+14~+108 kg であり, 日増体量にすると+0.05~+0.36 kg となり, FCM量が多いほど低い値を示した。

乳量別の1乳期生産時でのエネルギー摂取量および牛乳生産のエネルギー利用効率を表30に示した。総GEIは83,186~121,667 MJ, 1日1頭当りおよび代謝体重当りではそれぞれ281~400お

よび2.41~2.96 MJ となり, 乳量レベルが高い時ほど高い値を示した。総MEIは42,956~67,028 MJ, 1日1頭当りおよび代謝体重当りではそれぞれ145~220 および1.24~1.64 MJ であり, FCM量が多い時ほど高かった。一方, ME<sub>m</sub>がMEIに占める割合はFCM量が多い時ほど低い値を示した。GEEは27.4~38.4%であり, FCM量が多い時ほど高かった(P<0.05)。一方, NEEは54.7~58.7%であり, 乳量レベルの違いによる差は認められなかった。

表30. 乳量別の1乳期生産時でのエネルギー摂取量および牛乳生産効率

	FCM量(kg)					
	~3,999	4,000~4,999	5,000~5,999	6,000~6,999	7,000~7,999	8,000~
q	51.6±3.2	53.7±3.1	53.9±4.7	54.4±3.3	55.8±3.4	55.0±2.8
	MJ					
GEI	83,186±8,559.4	89,370±7,212.7	99,863±7,467.8	103,060±6,956.6	110,091±6,054.7	121,667±6,455.9
MEI	42,956±4,279.1	48,034±4,360.0	53,836±4,734.1	56,198±5,252.0	61,464±4,563.6	67,028±2,984.3
ME <sub>m</sub>	21,985±3,069.6	21,382±2,045.9	20,849±1,753.4	20,497±1,805.7	20,486±1,184.3	19,997±1,122.4
MILK E	11,687±506.1	14,685±797.4	17,652±856.8	20,586±902.8	23,534±949.1	25,599±669.4
	%					
GEE	27.4±2.8 <sup>a</sup>	30.7±2.3 <sup>ab</sup>	33.0±3.2 <sup>abc</sup>	36.9±3.6 <sup>bcd</sup>	38.4±2.4 <sup>bcd</sup>	38.2±1.8 <sup>bcd</sup>
NEE	56.0±3.9	56.2±7.2	54.9±9.1	58.7±8.3	58.0±5.9	54.7±4.6

a, b, c, d: 異文字間に有意差あり(P<0.05)

4) 初産, 経産別の1乳期産乳成績, エネルギー摂取量および牛乳生産のエネルギー利用効率

1乳期産乳成績を初産, 経産別に分けて表31に示した。乳量は初産および経産牛でそれぞれ実乳量4,842と6,731 kg, FCM量4,683と6,461 kgであり, いずれも経産牛が高かった。1乳期を通じての摂取飼料中の粗飼料割合は初産, 経産牛のいずれも70%以上であり, 粗飼料割合の高い飼料を摂取していた。濃厚飼料の乾物摂取量は初産および経産牛でそれぞれ1,132と1,514 kgであっ

た。総乾物摂取量は, 4,817と5,634 kg, 1日1頭当りでは, 16.1と18.8 kgとなり, いずれも経産牛で高かった。しかし, 体重比に換算すると初産, 経産牛ともに2.80%となり, 差は認められなかった。1乳期を通じての体重変化量はそれぞれ+104と+63 kg, 日増体量にすると+0.35と+0.21 kgとなり, いずれも初産牛が大きかった。

初産, 経産別の1乳期生産時でのエネルギー摂取量および牛乳生産のエネルギー利用効率を表32に示した。総GEIはそれぞれ89,619と104,914 MJ, 1日1頭当りおよび代謝体重当りに

表31. 産次別の1乳期産乳成績

	産次	
	初産	経産
延べ頭数	31	77
産次	1.0±0.0	3.4±1.4
搾乳日数	299±8.9	300±8.4
乳量(kg)	4,842±783.7	6,731±996.1
FCM量(kg)	4,683±755.4	6,461±907.4
乳脂肪率(%)	3.84±0.4	3.78±0.3
SNF率(%)	8.94±0.2	8.82±0.3
体重(kg)	579±67.4	672±52.2
体重変化量(kg)	+104±44.5	+63±51.7
濃厚飼料摂取量(kgDM)	1,132±410.5	1,514±432.9
粗飼料摂取量(kgDM)	3,684±308.6	4,120±302.1
総飼料摂取量(kgDM)	4,817±483.2	5,634±466.0
粗飼料割合(%)	76.9±6.4	73.4±5.8

表32. 産次別の1乳期生産時でのエネルギー摂取量および牛乳生産効率

	産次	
	初産	経産
	%	
q	53.6±3.1	54.5±3.3
	MJ	
GEI	89,619±8,992.4	104,914±8,576.4
MEI	48,093±4,994.4	57,319±6,245.7
ME <sub>m</sub>	22,321±1,810.6	20,217±1,453.1
MILK E	14,960±2,414.2	20,508±2,863.0
	%	
GEE	31.1±3.6 <sup>A</sup>	35.9±4.0 <sup>B</sup>
NEE	58.5±7.2	56.1±7.8

A, B: 異文字間に有意差あり(P<0.01)

するとそれぞれ 300 と 350 MJ, 2.54 と 2.65 MJ であり、いずれも経産牛で高かった。総 MEI は 48,093 と 57,319 MJ, 1 日 1 頭当りおよび代謝体重当りに換算すると 161 と 191 MJ, 1.37 と 1.45 MJ と、いずれも経産牛で高かった。ME<sub>m</sub> が MEI に占める割合は乳量の多かった経産牛で低かった。GEE は 31.1 と 35.9 % であり、乳量レベルの高かった経産牛が初産牛にくらべ有意に高い値であった (P<0.05)。一方、NEE は、58.5 と 56.1 % であり、産次の違いによる差は認められなかった。

#### 5) 給与粗飼料構成別の 1 乳期産乳成績, エネルギー摂取量および牛乳生産のエネルギー利用効率

1 乳期産乳成績を給与粗飼料の種類, 量とそれらの組み合わせの異なる C, (R+R1), R2 および R3 群の 4 つの処理群に分けて表 33 に示した。なお, R および R1 群は, 試験実施時期は異なっていたが, 粗飼料の種類, 量およびそれらの組み合わせは同じであったので同一群として解析した。

1 乳期を通じての摂取飼料中の粗飼料割合は, 濃厚飼料給与レベルが高かった C 群が 60 % 台と最も低い値を示し, その他の群は 75 % 以上であった。濃厚飼料乾物摂取量は C 群が 2,000 kg 以上と最も高く, 他の群は 1,081~1,330 kg の範囲であった。総乾物摂取量は 4,910~5,845 kg, 1 日 1 頭当りおよび体重比ではそれぞれ 16.5~19.4 kg および 2.73~2.88 % の範囲であり, いずれも C 群が最も高く, R3 群が最も低かった。

処理群毎の粗飼料摂取量の内訳は, C 群ではコーンサイレージと乾草が粗飼料全体の 70 % 以上を占めており, 次いで放牧地草, グラスサイレージの順であった。(R+R1) 群は, 夏季間を通じて放牧地草を多給, 冬季間はコーンサイレージを多給しており, 放牧地草とコーンサイレージの割合はほぼ同じで, 両者で粗飼料全体の約 60 % を占めていた。その他, グラスサイレージ, 乾草, アルファルファサイレージの順であった。

R2 群では, 夏季の一時期に放牧を制限してグラスサイレージを増給したため, 放牧地草は (R+

表33. 給与粗飼料構成別の 1 乳期産乳成績

	処理群			
	C	R+R1	R2	R3
延べ頭数	21	42	22	23
産次	3.0± 2.1	2.6± 1.6	2.6± 1.3	2.7± 1.5
搾乳日数	301± 7.9	302± 6.9	298±10.6	298± 8.9
乳量(kg)	6,387±1,164.7	6,217±1,341.3	6,395±1,207.3	5,758±1,264.4
FCM量(kg)	6,199±1,049.3	5,918±1,261.7	6,151±1,119.9	5,592±1,182.5
乳脂肪率(%)	3.86± 0.4	3.71± 0.3	3.81± 0.3	3.89± 0.3
SNF率(%)	8.91± 0.3	8.80± 0.2	8.94± 0.3	8.82± 0.3
体重(kg)	677±66.5	648±70.1	650±65.0	607±67.6
体重変化量(kg)	+111±46.6 <sup>B</sup>	+71±50.7 <sup>A</sup>	+71±59.1 <sup>A</sup>	+52±61.1 <sup>A</sup>
濃厚飼料摂取量(kgDM)	2,099±356.9	1,274±295.7	1,330±340.0	1,081±162.5
粗飼料摂取量(kgDM)	3,746±213.8	4,146±377.9	4,116±323.0	3,829±286.0
コーンサイレージ	1,469±210.9(39)	1,346±446.7(32)	1,236±362.8(30)	1,161±357.5(30)
グラスサイレージ	391±162.1(10)	909±266.5(22)	916±300.5(22)	362±128.0( 9)
アルファルファサイレージ	—	130±229.6( 3)	809±353.2(20)	669±121.8(17)
乾草	1,205±210.7(33)	657±178.1(16)	527±126.7(13)	581±60.5(16)
放牧地草	681±197.2(18)	1,104±267.4(27)	627±161.9(15)	1,057±186.2(28)
総飼料摂取量(kgDM)	5,845±468.1	5,420±583.4	5,445±567.5	4,910±393.5
粗飼料割合(%)	64.3± 3.6	76.7± 3.7	75.9± 4.4	78.1± 2.3

A, B: 異文字間に有意差あり (P<0.01)

( ) 内は, 粗飼料摂取量に占める割合(%)

R1)群の約1/2量であった。また、冬季ではコーンサイレージにアルファルファサイレージを併給したため、(R+R1)群にくらべてアルファルファサイレージの割合が多く、かつグラスサイレージとアルファルファサイレージで粗飼料全体の約40%を占めていた。

R3群は、夏季は(R+R1)群、冬季はR2群の処理とを組み合わせた群であり、(R+R1)群と同様、放牧地草とコーンサイレージで粗飼料全体の約60%を占めていた。その他、アルファルファサイレージ、乾草、グラスサイレージの順であった。

1乳期乳量は実乳量5,758~6,395 kg, FCM量5,592~6,199 kgの範囲であり、いずれもR3群でやや低かったがその差は有意ではなかった。1乳期を通じての体重変化量は+52~+111 kg, 日増体量では+0.05~+0.17 kgであり、濃厚飼料レベルの高かったC群が最も高く、R3群が最も低い値であった。

給与粗飼料構成別の1乳期生産時でのエネルギー摂取量および牛乳生産のエネルギー利用効率を表34に示した。総GEIは91,606~108,112 MJ, 1日1頭当りおよび代謝体重当りではそれぞれ359~307と2.52~2.71 MJの範囲であり、いずれもC群が最も高く、R3群が最も低かった。総MEIは47,521~59,543 MJ, 1日1頭当りおよび

代謝体重当りではそれぞれ、159~200と1.31~1.56 MJであり、R2群が最も高く、R3群で最も低かった。ME<sub>m</sub>がMEIに占めるの割合はR3群が41.3%と最も高く、R2群は34.5%と最も低かった。GEEは32.9~36.8%の範囲であり、R3群が他の処理群にくらべて有意に高かった(P<0.05)。また、NEEは50.9~63.0%の範囲であり、R3群が他の群にくらべて有意に高く(P<0.05)、一方R2群が有意に低かった(P<0.05)。

#### 6) 分娩季節別の1乳期産乳成績、エネルギー摂取量および牛乳生産のエネルギー利用効率

全データを分娩季節の違いにより、春分娩(3~6月)、夏・秋分娩(7~10月)および冬分娩(11~2月)の3つに分け、処理群別にまとめた。なお比較を容易にするため、粗飼料給与レベルが同一であった(R+R1), R2およびR3群のみを解析した。

##### a) 春分娩牛

春分娩牛の1乳期産乳成績を表35に、1乳期生産時でのエネルギー摂取量および牛乳生産のエネルギー利用効率を表36に処理群別に示した。総乾物摂取量はR3群にくらべて(R+R1)とR2群

表34. 給与粗飼料構成別の1乳期生産時でのエネルギー摂取量および牛乳生産効率

	処理群			
	C	R+R1	R2	R3
q	53.4 ± 0.9	53.9 ± 3.4	58.5 ± 0.9	51.7 ± 1.3
	MJ			
GEI	108,112 ± 9,454.4	100,945 ± 10,864.3	101,800 ± 10,259.3	91,606 ± 7,591.7
MEI	57,975 ± 4,674.2	54,381 ± 6,974.0	59,543 ± 6,051.4	47,521 ± 4,589.0
ME <sub>m</sub>	21,778 ± 1,696.9	21,134 ± 1,796.3	20,572 ± 1,915.6	19,612 ± 1,194.2
MILK E	19,729 ± 3,221.3	18,793 ± 3,969.3	19,730 ± 3,590.0	17,617 ± 3,605.8
	%			
GEE	33.9 ± 3.8 <sup>a</sup>	34.4 ± 4.5 <sup>a</sup>	32.9 ± 3.5 <sup>a</sup>	36.8 ± 4.9 <sup>b</sup>
NEE	54.9 ± 7.1 <sup>B</sup>	57.3 ± 7.8 <sup>B</sup>	50.9 ± 5.2 <sup>A</sup>	63.0 ± 5.1 <sup>C</sup>

a, b: 異文字間に有意差あり(P<0.05)

A, B, C: 異文字間に有意差あり(P<0.01)

が高い傾向を示した。FCM量は4,682~5,622 kgの範囲であり、R3群にくらべて(R+R1)とR2群が約1,000 kg高かったが、個体間での変動が大きく、その差は有意ではなかった。いずれの群も1乳期を通じて+79~+90 kgの体重変化があった。総GEIと総MEIはR2群が最も高く、R3群

が最も低かった。GEEは31.0~34.3%の範囲であり、処理群間で差は認められなかった。また、NEEは49.5~61.4%の範囲であり、R2群が最も低く、(R+R1)およびR3群にくらべて、その差は有意であった(P<0.01)。

表35. 春分娩牛の1乳期産乳成績

	処理群		
	R+R1	R2	R3
延べ頭数	13	13	11
産次	2.2± 1.2	2.3± 1.4	1.8± 1.1
搾乳日数	300± 8.9	297±10.7	298± 9.4
乳量(kg)	6,084±1471.1 <sup>b</sup>	5,737±1034.5 <sup>ab</sup>	4,813±1140.7 <sup>a</sup>
FCM量(kg)	5,622±1269.2	5,545±965.6	4,682±973.0
乳脂肪率(%)	3.57± 0.2	3.85± 0.2	3.96± 0.3
SNF率(%)	8.75± 0.3	8.97± 0.3	8.93± 0.2
体重(kg)	628±65.7	633±63.2	576±72.0
体重変化量(kg)	+79±44.3	+90±58.3	+88±51.3
濃厚飼料摂取量(kgDM)	1,227±338.0	1,141±282.2	1,006±193.3
粗飼料摂取量(kgDM)	3,944±430.0	4,106±374.8	3,662±301.7
コーンサイレージ	938±208.0(24)	1,031±312.2(25)	843±148.5(23)
グラスサイレージ	963±333.0(24)	1,062±272.6(26)	406±134.9(11)
アルファルファサイレージ	129±220.4( 3)	799±228.2(19)	674±129.8(19)
乾草	736±251.7(19)	537±130.5(13)	560±73.9 (15)
放牧地草	1,178±227.1(30)	676±143.2(17)	1,179±128.7(32)
総飼料摂取量(kgDM)	5,171±718.7	5,246±576.6	4,668±414.3
粗飼料割合(%)	76.6± 3.6	78.5± 3.7	78.5± 2.9

a, b: 異文字間に有意差あり(P<0.05)  
( )内は、粗飼料摂取量に占める割合(%)

表36. 春分娩牛の1乳期生産時でのエネルギー摂取量および牛乳生産効率

	処理群		
	R+R1	R2	R3
q	54.4± 3.3	58.4± 0.9	50.6± 0.9
	MJ		
GEI	96,098±13,266.2	98,033±10,414.4	87,177±8,202.3
MEI	52,189± 7,415.8	57,213± 6,364.9	44,279±4,300.0
ME <sub>m</sub>	20,664± 1,392.3	20,828± 2,170.0	20,106±1,263.1
MILK E	17,989± 3,995.1	17,823± 3,180.9	14,837±2,982.6
	%		
GEE	34.3± 4.5	31.0± 3.0	33.3± 3.9
NEE	58.0± 7.9 <sup>B</sup>	49.5± 5.4 <sup>A</sup>	61.4± 4.9 <sup>B</sup>

A, B: 異文字間に有意差あり(P<0.01)

## b) 夏・秋分娩牛

夏・秋分娩牛の1乳期産乳成績を表37に、1乳期生産時でのエネルギー摂取量および牛乳生産のエネルギー利用効率を表38に処理群別に示した。総乾物摂取量は春分娩牛と同様、(R+R1)とR2群がR3群にくらべて高い傾向を示した。FCM量は5,221~7,388 kgの範囲であり、R2群が最

も高く、ついでR3群であり、(R+R1)群が最も低かった( $P<0.05$ )。体重変化量は+9~+79 kgの範囲であり、(R+R1)群が最も大きく、R2群が最も小さかった( $P<0.05$ )。総GEIと総MEIはR2群が最も高く、(R+R1)とR3群はほぼ同様であった。GEEは31.8~39.8%の範囲であり、R3群で最も高く、最も低かった(R+R1)群にく

表37. 夏・秋分娩牛の1乳期産乳成績

	処理群		
	R+R1	R2	R3
延べ頭数	8	4	7
産次	2.4±1.5	2.8±0.5	3.0±1.0
搾乳日数	302±4.0	305±0.0	295±10.1
乳量(kg)	5,416±804.5 <sup>a</sup>	7,849±806.2 <sup>c</sup>	6,580±649.1 <sup>b</sup>
FCM量(kg)	5,221±764.3 <sup>a</sup>	7,388±809.0 <sup>c</sup>	6,325±731.7 <sup>b</sup>
乳脂肪率(%)	3.81±0.4	3.61±0.3	3.77±0.3
SNF率(%)	8.86±0.2	8.88±0.3	8.74±0.2
体重(kg)	630±66.7	621±28.9	618±54.2
体重変化量(kg)	+79±25.5 <sup>b</sup>	+9±33.9 <sup>a</sup>	+49±40.6 <sup>ab</sup>
濃厚飼料摂取量(kgDM)	1,130±225.6	1,763±196.7	1,115±96.3
粗飼料摂取量(kgDM)	4,233±368.0	4,361±160.1	3,940±128.9
コーンサイレージ	1,467±206.0(35)	1,597±136.7(37)	1,538±95.9(39)
グラスサイレージ	985±250.8(23)	732±319.4(17)	248±81.6(6)
アルファルファサイレージ	290±313.8(7)	1,210±49.1(28)	708±115.0(18)
乾草	663±199.5(15)	418±135.4(9)	601±42.2(16)
放牧地草	827±72.5(20)	403±92.6(9)	845±114.0(21)
総飼料摂取量(kgDM)	5,363±535.2	6,124±322.9	5,055±127.5
粗飼料割合(%)	79.0±2.7	71.3±1.9	78.0±1.8

a, b, c: 異文字間に有意差あり( $P<0.05$ )  
( )内は、粗飼料摂取量に占める割合(%)

表38. 夏・秋分娩牛の1乳期生産時でのエネルギー摂取量および牛乳生産効率

	処理群		
	R+R1	R2	R3
q	52.8±2.3	58.0±1.2	52.8±0.1
	MJ		
GEI	99,471±9,674.6	113,965±5,871.0	94,636±2,502.0
MEI	52,410±6,096.8	66,073±3,042.4	50,008±1,313.9
ME <sub>m</sub>	21,122±1,983.1	19,168±1,695.9	18,840±945.7
MILK E	16,610±2,379.0	23,628±2,462.4	19,898±2,264.8
	%		
GEE	31.8±4.4 <sup>A</sup>	35.7±3.0 <sup>AB</sup>	39.8±4.0 <sup>B</sup>
NEE	55.1±12.2 <sup>ab</sup>	50.5±5.3 <sup>a</sup>	63.7±4.7 <sup>b</sup>

a, b: 異文字間に有意差あり( $P<0.05$ )  
A, B: 異文字間に有意差あり( $P<0.01$ )

らべてその差は有意であった ( $P < 0.01$ )。また、NEE は 50.5~63.7% の範囲であり、R3 群が最も高く、最も低かった R2 群にくらべてその差は有意であった ( $P < 0.05$ )。

c) 冬分娩牛

冬分娩牛の 1 乳期産乳成績を表 39 に、1 乳期生

産時でのエネルギー摂取量および牛乳生産のエネルギー利用率を表 40 に処理群別に示した。総乾物摂取量は春分娩牛および夏・秋分娩牛と同様、(R+R1) と R2 群が R3 群にくらべ高い傾向にあった。FCM 量は 6,366~6,738 kg の範囲であり、R2 群が最も高く、R1 群が最も低かったがその差は有意ではなかった。体重変化量は -20

表39. 冬分娩牛の 1 乳期産乳成績

	処理群		
	R+R1	R2	R3
延べ頭数	21	5	5
産次	2.9 ± 1.8	3.2 ± 1.3	4.2 ± 1.8
搾乳日数	303 ± 6.4	295 ± 13.3	301 ± 5.8
乳量 (kg)	6,605 ± 1318.1	6,941 ± 247.2	6,687 ± 438.4
FCM 量 (kg)	6,366 ± 1276.7	6,738 ± 377.8	6,570 ± 324.2
乳脂肪率 (%)	3.76 ± 0.3	3.87 ± 0.3	3.89 ± 0.5
SNF 率 (%)	8.81 ± 0.2	8.92 ± 0.2	8.68 ± 0.4
体重 (kg)	668 ± 71.5	717 ± 46.0	660 ± 39.3
体重変化量 (kg)	+64 ± 61.1 <sup>b</sup>	+71 ± 47.3 <sup>b</sup>	-20 ± 36.2 <sup>a</sup>
濃厚飼料摂取量 (kgDM)	1,357 ± 275.7	1,474 ± 94.3	1,197 ± 59.7
粗飼料摂取量 (kgDM)	4,239 ± 309.6	3,946 ± 103.3	4,040 ± 209.3
コーンサイレージ	1,552 ± 457.9 (37)	1,481 ± 203.9 (38)	1,330 ± 267.2 (33)
グラスサイレージ	847 ± 220.9 (20)	684 ± 65.5 (17)	427 ± 35.1 (10)
アルファルファサイレージ	70 ± 174.5 (2)	516 ± 368.8 (13)	602 ± 106.1 (15)
乾草	607 ± 80.1 (14)	588 ± 50.7 (15)	595 ± 40.7 (15)
放牧地草	1,163 ± 275.4 (27)	677 ± 92.4 (17)	1,085 ± 95.3 (27)
総飼料摂取量 (kgDM)	5,596 ± 461.9	5,420 ± 160.3	5,237 ± 258.7
粗飼料割合 (%)	75.9 ± 3.8	72.8 ± 1.2	77.1 ± 0.6

a, b: 異文字間に有意差あり ( $P < 0.05$ )  
( ) 内は、粗飼料摂取量に占める割合 (%)

表40. 冬分娩牛の 1 乳期生産時でのエネルギー摂取量および牛乳生産効率

	処理群		
	R+R1	R2	R3
q	54.0 ± 3.9	59.2 ± 0.2	52.6 ± 0.6
	MJ		
GEI	104,507 ± 8,611.1	101,863 ± 2,693.1	97,108 ± 5,616.8
MEI	56,489 ± 6,660.2	60,377 ± 1,618.5	51,175 ± 3,255.2
ME <sub>m</sub>	21,430 ± 1,959.4	21,031 ± 730.3	19,609 ± 894.5
MILK E	20,123 ± 4,068.9	21,568 ± 1,233.6	20,541 ± 726.3
	%		
GEE	35.4 ± 4.4	35.7 ± 1.6	40.3 ± 2.5
NEE	57.8 ± 5.7 <sup>A</sup>	54.8 ± 2.8 <sup>A</sup>	65.5 ± 5.8 <sup>B</sup>

A, B: 異文字間に有意差あり ( $P < 0.01$ )

～+71 kg の範囲であり、R2群が最も大きく、R3群ではマイナスであった( $P < 0.05$ )。総GEIは処理群間に差はなかった。総MEIはR2群が最も高く、R3群で最も低かった。GEEは35.4～40.3%の範囲であり、(R+R1)およびR2群にくらべてR3群で高い傾向にあったが、その差は有意ではなかった。また、NEEは54.8～65.5%の範囲であり、R3群が(R+R1)およびR2群にくらべて有意に高かった( $P < 0.01$ )。

#### 4. 考察

第III章ではエネルギー出納試験からGEEおよびNEEを算出し、それらに影響を及ぼす諸要因との関連を検討した。その結果、GEEの変動には乳量レベルが大きく関与していたが、一方、NEEの変動は必ずしも乳量レベルだけに起因するものではなく、その他の要因として遺伝的な泌乳能力の違いが考えられた。

本試験での1乳期を通じての摂取飼料中の粗飼料割合およびFCM量の平均は74.4%および5,951 kgであり、GEEの平均値は34.5%であった。この値はエネルギー出納試験から得たGEEの平均値35.6%とほぼ同様であった。大久保ら<sup>57)</sup>は、1970年代の北大農場における初産から7産まで延べ91頭の1乳期産乳成績を解析し、FCM量およびGEEの平均値はそれぞれ5,287 kgおよび33.4%であったと報告している。本研究開始以前の70年代での飼料給与は本試験でのC群に相当する、いわゆる北大農場の慣行法に基づいており、濃厚飼料給与レベルが高かった。しかし、乳量およびGEEは80年代の本試験が高かった。すなわち、飼料中の粗飼料割合が高くなってもGEEは必ずしも低下しなかった。GEEの変動についてみるとCVは12.8%であり、エネルギー出納試験から得たCV24.1%にくらべて約1/2であった。SAAMA *et al.*<sup>63)</sup>は、飼料中の粗飼料割合が52～60%の4種類の飼料を28頭の子牛に6～14週の泌乳牛に給与して得られた乾物摂取量および乳量等のフィールドデータにNRC標準でのMEおよびNE価を乗じてエネルギー摂取量および牛乳生産のエネルギー利用効率を算出し、同時に

そのCVを求めた。その結果、MEI、MILKEおよびGEEの変動係数はそれぞれ14.9、16.9および13.1%であり、本試験でのCVと同様な値であった。すなわち、SAAMA *et al.*の報告<sup>63)</sup>は泌乳初期のみのデータであることや本試験と飼料構成が異なっていたこともあるが、いわゆる本試験のようなフィールドデータにはこの程度の大きさの変動が常に存在すること示唆するものであろう。また、日本飼養標準(1974年版)<sup>52)</sup>での養分要求量は、生物学的な反応に対して理論上必要とする栄養素の最小必要量に10～15%の安全率を加算した値として示されている。これも実際の飼養条件下でのフィールドでは、常にこの程度の変動が起こり得ることを見込んでのことと思われる。

一方、1乳期生産時でのNEEの平均値は56.8%であり、この値はエネルギー出納試験から得たNEE59.2%とほぼ同様であった。大久保ら<sup>57)</sup>による1970年代の北大農場での報告における牛群は、80年代の本試験にくらべて平均体重が40 kg程度小さかったことから、体重の影響を取り除くためにNEEを算出するとNEEは52.8%となり、80年代の本研究での値にくらべて低かった。すなわち、飼料中の粗飼料割合が高くなってもNEEは必ずしも低下せず、逆に高くなっていた。これは、個体の遺伝的な改良や飼料成分の改善などによると推察される。NEEの変動に関しては、CVは13.6%であり、エネルギー出納試験時のCV27.7%にくらべて変動はかなり小さかった。

大久保ら<sup>57)</sup>はGEEとFCM量との間に高い相関があることを認め、乳量レベルが高いほどGEEが高くなることを示唆している。エネルギー出納試験で求めたGEEにおいても上記の相関が認められた(図18)。1乳期産乳成績を乳量別に解析した結果、GEEは27.4～38.4%であり、大久保らの報告<sup>57)</sup>と同様、乳量レベルが高いほどGEEは高かった( $P < 0.05$ )。また、1乳期産乳成績でのFCM量(X, kg/頭)とGEE(Y, %)の関係(図20)をみると、両者間に有意な正の相関関係が認められ( $r = 0.77, P < 0.01, Y = 0.0029X + 17.484, R^2 = 0.59$ )の式が得られた。これらのことから、1乳期生産時においてもGEEの変動には乳量レ

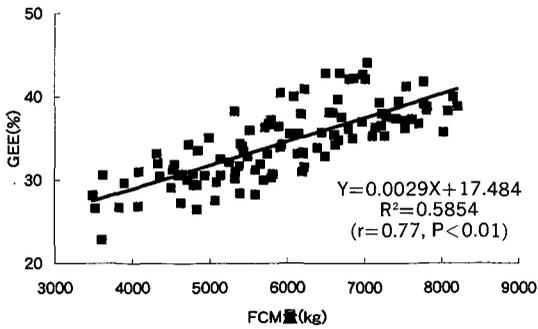


図 20. 1 乳期 FCM 量と GEE との関係

ベルが関与していると考えられた。しかし、この場合、FCM 量が低い牛ほど産次が少なく体重変化量が多かったことも関連する。すなわち、FCM 量の低い牛ほど ME 摂取量に占める維持の ME に相当する割合が高いことから GEE が低くなった。また、FCM 量の低い個体では摂取された ME の一部が成長にまわされており、体重増加に相当する ME の補正をしていないので GEE は低くなったと考えられた。そこで、体重の増加分を考慮した  $ME_m$  を差し引いて NEE を求めると 54.7～58.7% となり、FCM 量の違いによる差は認められなくなった。また、1 乳期産乳成績での FCM 量と NEE との関係(図 21)をみると、有意な正の相関関係が認められたが( $r=0.52$ ,  $P<0.01$ )、GEE に比べて変動が大きく、NEE は FCM 量に関係なく、平均値を中心にある変動幅をもち、ほぼ一定に推移する傾向にあった。すなわち、維持要求量以上に摂取された ME の牛乳生産に対する利用効率は乳量レベルに関わらず変わ

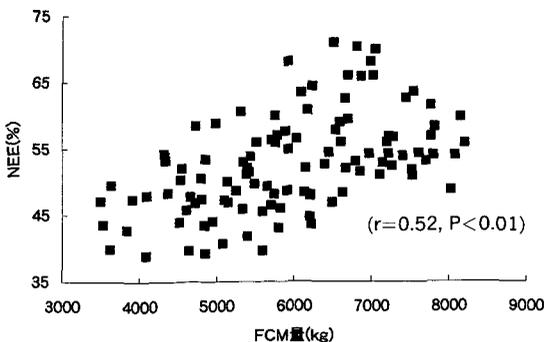


図 21. 1 乳期 FCM 量と NEE との関係

らないことを表している。

1 乳期生産時での初産および経産牛の GEE はそれぞれ 31.1 および 35.9% であり、初産牛が有意に低く ( $P<0.05$ )、大久保らの報告<sup>57)</sup>と一致した。初産では経産牛にくらべて FCM 量が約 1900 kg 低く、逆に体重増加量が約 40 kg 多かったが、体重増加に要するエネルギーを補正していないので当然 GEE は低くなったと考えられた。一方、体重および体重増加分の ME を差し引いて求めた NEE は初産および経産牛でそれぞれ 58.5 および 56.1% であり、産次の違いによる差は認められなかった。すなわち、維持要求量以上に摂取された ME の牛乳生産に対する利用効率は、産次に関係なく変動しないと推察される。

大久保ら<sup>57)</sup>は GEE に影響を及ぼす要因について、給与飼料構成等、飼料側の要因についても指摘しているが実際の解析まで至っておらず、他にこれらについて検討した報告はみあたらない。本研究では、C、(R+R1)、R2 および R3 群の給与飼料構成の違いから GEE および NEE を比較する場合、次のような 3 点からの検討が可能である。

①飼料中の粗飼料割合の違い：

C 群 vs. (R+R1)、R2 および R3 群

②粗飼料中の放牧地草割合の違い：

(R+R1) および R3 群 vs. R2 群

③コーンサイレージとの組み合わせがグラスカルフアルファサイレージの違い：

(R+R1) 群 vs. R3 群

なお、これらのことを検討する場合、各処理群中の初産牛の割合が重要であるが、C 群の 26% から R3 群の 33% とほぼ同様であり、牛群構成としては各群ほぼ均等であった。

飼料中の粗飼料割合の違い(C 群 vs. (R+R1)、R2 および R3 群)についてみると、飼料中の粗飼料割合が高くなっても FCM 量、GEE は必ずしも低下しなかった。一方、C 群での体重変化量は他の 3 群にくらべて高く、摂取されたエネルギーの一部が体重増加に利用され、そのために GEE が低くなっていたと考えられる。また、飼料中の粗飼料割合の増加に伴って熱発生量が増加することの報告<sup>65)</sup>もあることから、NEE は C 群が高くな

ることも予想されたが必ずしもそうはならず、NEEは粗飼料割合の高い3群でのばらつきが大きかった。

次に、粗飼料中の放牧地草割合の違い((R+R1), R3群 vs. R2群)についてみると、FCM量は放牧地草の割合の違いに関係なくほぼ同様であった。しかし、GEEおよびNEEは放牧地草割合が高く、サイレージの割合が低かった群で高い値であった。

また、コーンサイレージへの併給粗飼料がグラスサイレージかアルファルファサイレージの違い((R+R1)群 vs. R3群)について検討すると、FCM量は併給サイレージの違いに関係なくほぼ同様であった。一方、GEEおよびNEEは、いずれもコーンサイレージにアルファルファサイレージを併給した群が高かった。

1乳期を通じての給与粗飼料構成が同一の処理群であっても、分娩季節が違くと泌乳初期、中期および後期に給与される粗飼料構成が異なってくる。これらのことが1乳期全体でのGEEおよびNEEに影響する可能性も考えられるため、給与粗飼料構成別の成績をさらに分娩季節別に検討した(表35~40)。BROSTER and THOMAS<sup>10)</sup>は、1乳期全体での乳生産の変動の83%は最高乳量で説明されると報告している。従って、1乳期全体での乳生産にとって、泌乳初期での飼養法が大きく関与すると考えられるため、特に泌乳初期の処理が1乳期全体でのGEEおよびNEEに及ぼす影響について検討した。

春分娩牛は概ね泌乳初期、中期が夏季放牧期、後期が冬季舎飼期である。(R+R1)およびR3群では泌乳初期、中期牛に対して放牧期を通じて放牧地草を多給した。一方、R2群では、草量の豊富な時期は放牧地草を多給するが、再生草量が低下する時期には放牧を制限しグラスサイレージを増給して乾物および栄養摂取量を確保しようとした。春分娩牛中の(R+R1), R2群およびR3群に含まれる初産牛の割合はそれぞれ38, 38および55%であり、全体の平均にくらべて多く、特に、R3群は群全体の半数以上であった。従って、各群のFCM量、GEEおよびNEEは全体の平均値に

くらべて低い傾向にあった。春分娩牛のFCM量はR3群では初産牛が多かったが、放牧地草の割合に関係なくほぼ同様であった。しかし、GEEおよびNEEは放牧地草の割合が低くサイレージの割合が高かった群が低い値となった。このように、春分娩牛の泌乳初期に、放牧を制限してグラスサイレージを増給することは1乳期生産時でのGEEおよびNEEの点からみると必ずしも有効ではないと考えられた。

一方、冬分娩牛は概ね泌乳初期が冬季舎飼期、中~後期が夏季放牧期、後期が冬季舎飼期である。泌乳初期の冬季舎飼期において、(R+R1)群はコーンサイレージにグラスサイレージを組み合わせることで給与した。一方、R3群は飼料エネルギーと蛋白質のバランスを考慮してコーンサイレージにアルファルファサイレージを組み合わせることで給与した。冬分娩牛の(R+R1)群は21頭のうち5頭(24%)が初産牛であり、全体の平均と同様であったが、R3群はすべて経産牛であった。そのために各群のFCM量、GEEおよびNEEは全体の平均値にくらべて高い傾向にあった。冬分娩のFCM量は、(R+R1)群では初産牛が多かったが、サイレージの組み合わせに関係なくほぼ同様であった。また、GEEおよびNEEはコーンサイレージにアルファルファサイレージを組み合わせる群が高い値を示した。このように、冬分娩牛の泌乳初期では、コーンサイレージにアルファルファサイレージを組み合わせることで給与することが1乳期生産時でGEEおよびNEEの点からみると有効であると考えられた。

夏・秋分娩牛は泌乳初期が夏季放牧期の放牧後期および冬季舎飼期である。放牧後期は放牧地草の量や質が低下し、暑熱の影響もある時期であり、夏・秋分娩牛は春分娩牛や冬分娩牛にくらべ、乳生産にとって季節的に最も条件が悪い。本試験での飼養法としては、夏季の放牧地草多給と冬季のコーンサイレージ+グラスサイレージ((R+R1)群)、夏季の放牧制限+グラスサイレージ増給と冬季のコーンサイレージ+アルファルファサイレージ(R2群)および夏季の放牧地草多給と冬季のコーンサイレージ+アルファルファサイレージ(R3

群)の3処理である。夏・秋分娩牛での(R+R1), R2群およびR3群中の初産牛の割合はそれぞれ38, 25および0%であり, 全体の平均にくらべ,(R+R1)群が多く, R3群には初産牛がいなかった。各群のFCM量およびGEEは全体の平均値にくらべて,(R+R1)群では初産牛が多かったために低く, R2およびR3群は高い傾向を示した。一方, NEEは全体の平均値にくらべて, R3群では高かったがR2群は低い傾向を示した。すなわち, 夏季は同じ放牧地草多給であっても, 冬季のコーンサイレージと組み合わせる粗飼料がグラスサイレージよりもアルファルファサイレージのほうがFCM量, GEEおよびNEEが高かった。一方, 冬季のサイレージの組み合わせがコーンサイレージ+アルファルファサイレージであっても, 夏季に放牧を制限しグラスサイレージを増給するよりも放牧地草を多給した群で, FCM量は低かったがGEEおよびNEEは高かった。このように, 夏・秋分娩牛の泌乳初期において, 夏季放牧期の放牧後期には放牧地草を多給し, それに続く冬季舎飼期にはコーンサイレージにアルファルファサイレージを組み合わせる給与することが, 1乳期生産時でGEEおよびNEEの点からみると有効であると考えられた。

## 5. 小括

自給粗飼料の種類, 量およびそれらの組み合わせの異なる条件下で延べ108頭の泌乳牛を用いて行った1乳期飼養試験成績からGEEおよびNEEを算出し, 自給粗飼料多給下における1乳期生産時での牛乳生産のエネルギー利用効率と, それらに影響を及ぼす諸要因との関連について検討した。

1乳期を通じての摂取飼料中の粗飼料割合およびFCM量の平均は74.4%および5,951 kg, GEEおよびNEEの平均値はそれぞれ34.5%および56.8%であり, 飼料中の粗飼料割合が高くなってもGEEおよびNEEは必ずしも低下しなかった。また, 1乳期生産時でのGEEおよびNEEはともにエネルギー出納試験での値とほぼ同様であったが, その変動は両者ともエネルギー出納試

験時にくらべ小さかった。

GEEは乳量レベルおよび産次の影響を受け, 乳量レベルが高いほど, また初産牛にくらべて経産牛のほうがGEEが高かった。一方, NEEはそれらの影響を受けず, 乳量レベルおよび産次に関わらずほぼ一定であった。

1乳期生産時でのGEEおよびNEEの点からみて有効な泌乳初期での給与粗飼料構成は, 春分娩牛では夏季の放牧地草多給, 冬分娩牛では冬季のコーンサイレージとアルファルファサイレージの組み合わせ, および夏・秋分娩牛では放牧後期の放牧地草多給とそれに続く冬季でのコーンサイレージとアルファルファサイレージの組み合わせであった。

## 第V章 総合考察および結論

本研究では, 自給粗飼料多給下におけるエネルギー出納試験成績および1乳期飼養試験成績を解析し, 牛乳生産のME利用効率と, それらに影響を及ぼす諸要因との関連をGEEとNEEを指標として検討してきた。我が国では, かねてよりTDNに代わるエネルギーの表示単位としてMEを用いるべきとの指摘がされてきたが, 1994年刊行の日本飼養標準<sup>54)</sup>において, 初めてMEを採用するに至った。しかし, 我が国では牛乳生産における飼料エネルギー利用に関するMEを用いた研究蓄積はまだ少ない。特に, 粗飼料割合が高い飼料給与条件下での研究報告はほとんどないのが現状であり, 本研究が唯一であろう。

泌乳牛のエネルギー要求量の重要な部分のひとつに産乳に要するME量がある。日本飼養標準(1994年版)<sup>54)</sup>では, 産乳に要するME量は牛乳のエネルギー価を $k_e$ で除して求めており, 4%FCM 1 kg生産に要するME量は4.95 MJと算定されている。この4.95 MJという値は, 濃厚飼料割合が高い飼料給与条件下で, かつ泌乳安定期といった, ある限られた乳期の牛で行なったエネルギー出納試験<sup>73)</sup>から求めた $k_e=0.62$ を用いて求められている。一方, 粗飼料割合が高い飼料給与条件下で, かつ1乳期飼養試験から得られた, いわゆるフィールドでの実験データから産乳に要

するME量を検討した研究報告はほとんどない。

そこで本章では、総合考察として、自給粗飼料多給飼養下における産乳に要するME量を乳量レベル別、産次別、給与粗飼料構成別、さらには分娩季節毎に算出し、これらを現行の日本飼養標準(1994年版)<sup>54)</sup>の値と比較検討した。

### 1. 自給粗飼料多給飼養下における産乳に要するME量

1乳期飼養試験成績から産乳に要するME量を算出した。なお、算出に当たり、以下のように維持に相当するME量( $ME_m$ )、体重増減に相当するME量( $ME_r$ )および妊娠末期の胎児の発育に相当するME量( $ME_p$ )を求め、これらの値を実際のMEIから減じて産乳に向けられたME量を推定した。産乳に要するME量は、産乳に向けられたME量をFCM量で除して求めた。

$ME_m$  :

日本飼養標準(1994年版)<sup>54)</sup>に基づき、代謝体重当りの成雌牛の維持に要するME量：0.4866 MJに1乳期間の平均体重を乗ずる。

$ME_r$  :

ARC<sup>2)</sup>に基づき、体組織のエネルギー価：26 MJ/kg、泌乳中の体組織エネルギー蓄積効率： $k_1 \times 0.95 (k_1 = 0.35q + 0.420)$  および体組織エネルギーによる乳生産効率：0.84を用いて、下記の

ように体重1 kg増加または減少に相当するME量を算出し、それらの値に1乳期間の体重変化量を乗ずる。

体重増の場合  $26/0.95/k_1$  MJ/kg gain

体重減の場合  $-26 \times 0.84/k_1$  MJ/kg loss

$ME_p$  :

日本飼養標準(1994年版)<sup>54)</sup>に基づき、妊娠末期の胎児の発育に要するME量：24.69 MJ/日に泌乳期間内での妊娠末期60日間に該当する日数を乗ずる。

1乳期生産時での産乳に要するME量の平均値とその範囲を表41に示した。MEIに占める維持に相当するMEの割合は34.2%であった。体重増減および妊娠に相当するMEの割合はそれぞれ6.2および0.1%であり、両者ともMEIに占める割合は小さかった。産乳に要するME量の平均値は5.51 MJ/kgであり、日本飼養標準(1994年版)<sup>54)</sup>での4.95 MJ/kgにくらべやや高かった。また、本試験での値には、範囲として3.96~7.79 MJ/kgおよびCVとして14.2%の変動がみられた。このCVの値は1乳期生産時でのGEEにおけるCV 12.8%およびNEEにおけるCV 13.6%とほぼ同様であった。このような変動には、第IV章で指摘したGEEおよびNEEへの影響と同様な要因が関与していると考えられるため、以下に乳量レベル別、産次別、給与粗飼料構

表41. 1乳期生産時での産乳に要するME量の平均値とその範囲(n=108)

	平均	最小値	最大値	SD	CV
		kg			%
FCM量	5,951	3,493	8,207	1,182.3	19.9
MEI	54,671	38,400	70,318	7,230.6	13.2
$ME_m$	18,672(34.2)	14,717	21,994	1,603.8	8.6
$ME_r$	3,401( 6.2)	-2,744	8,517	2,466.0	72.5
$ME_p$	42( 0.1)	0	815	124.6	297.8
産乳に向けられたME量	32,556(59.5)	17,013	51,814	7,068.1	21.7
産乳に要するME量	5.51	3.96	7.79	0.8	14.2

( )内は、MEIに占める割合(%)

成別、さらには分娩季節毎に産乳に要する ME 量を検討した。

乳量別の 1 乳期生産時での産乳に要する ME 量を表 42 に示した。MEI に占める維持に相当する ME の割合は乳量レベルの高い牛ほど低かった。また、体重増減に相当する ME の割合も、乳量レベルが高い牛ほど小さかった。産乳に要する ME 量は 5.23~5.88 MJ/kg であり、統計的には有意な差はなかった。乳量が極端に少ない 4,000 kg 未満、および体重変化量が他に比べて極端に少ない乳量 8,000 kg 以上の牛を除いた、乳量が 4,000 kg~8,000 kg の個体では、産乳に要する ME 量は 5.23~5.73 MJ/kg であった。これらの値は、日本飼養標準(1994 年版)<sup>54)</sup> の値である 4.95 MJ/kg の 106~115 % に相当した。すなわち、飼料中粗飼料割合の高い飼料を給与した場合の産乳に要する ME 量は日本飼養標準(1994 年版)<sup>54)</sup> の値にくらべやや高くなり、これらは乳量レベルによって変動するが、最大で日本飼養標準(1994 年版)<sup>54)</sup> の +15 % 程度の値であった。

産次別の 1 乳期生産時での産乳に要する ME 量を表 43 に示した。MEI に占める維持に要する ME の割合は初産牛のほうが高かった。さらに、体

重増減に要する ME の割合も成長段階にある初産牛で大きかった。産乳に要する ME 量は初産、経産牛でそれぞれ 5.62 および 5.46 MJ/kg であり、産次による有意な差は認められなかった。また、これらの値は日本飼養標準(1994 年版)<sup>54)</sup> での 4.95 MJ/kg に対して初産、経産牛でそれぞれ 114 % および 110 % に相当した。すなわち、飼料中粗飼料割合の高い飼料を給与した場合の産乳に要する ME 量には産次による差はなく、それらの値は日本飼養標準(1994 年版)<sup>54)</sup> の +10~+15 % 程度であった。

次に、給与粗飼料構成別の 1 乳期生産時での産乳に要する ME 量を表 44 に示した。体重増減に相当する ME の割合は濃厚飼料レベルの高かった C 群が最も高く、他の群はほぼ同様であった。産乳に要する ME 量は 4.92~6.19 MJ/kg の範囲であり、これらの値は日本飼養標準(1994 年版)<sup>54)</sup> での 4.95 MJ/kg の 99~125 % に相当した。処理群の中で産乳に要する ME 量が最も低く、日本飼養標準(1994 年版)<sup>54)</sup> とほぼ同様の値であった R3 群(99 %) と最も高かった R2 群(125 %) を除いた、C 群と (R+R1) 群の産乳に要する ME 量は日本飼養標準(1994 年版)<sup>54)</sup> の 111~112

表42. 乳量別の1乳期生産時での産乳に要する ME 量

	FCM 量 (kg)					
	~3,999	4,000~4,999	5,000~5,999	6,000~6,999	7,000~7,999	8,000~
FCM 量	3,663±165.5	4,605±262.9	5,538±264.2	6,488±287.3	7,417±267.9	8,114±82.0
MEI	42,956±4,279.1	48,034±4,360.0	53,836±4,734.1	56,198±5,252.0	61,464±4,563.6	67,028±2,984.3
ME <sub>m</sub>	16,912±2,361.2	17,181±1,239.0	18,698±1,458.8	19,109±1,120.4	19,776± 999.4	19,997±1,122.4
ME <sub>r</sub>	4,466±1,215.1	4,871±2,166.5	3,417±1,950.8	2,865±2,864.8	2,852±2,399.1	824±2,716.9
ME <sub>p</sub>	-	67± 123.3	37± 105.3	61± 183.8	19± 67.4	-
産乳に向けられた ME 量	21,578±2,739.7	25,916±4,237.2	31,684±4,445.6	34,164±4,557.9	38,818±5,254.1	46,207±5,121.0
	% of MEI					
ME <sub>m</sub>	39.4	35.8	34.7	34.0	32.2	29.8
ME <sub>r</sub>	10.4	10.1	6.3	5.1	4.7	1.2
ME <sub>p</sub>	-	0.1	0.1	0.1	0.03	-
産乳に向けられた ME 量	50.2	54.0	58.9	60.8	63.1	69.0
	MJ/kg					
産乳に要する ME 量	5.88± 0.7	5.63± 0.9	5.73± 0.8	5.27± 0.7	5.23± 0.7	5.70± 0.7

表43. 産次別の1乳期生産時での産乳に要する ME 量

	産次	
	初産	経産
	kg	
FCM 量	4,683 ± 755.4	6,461 ± 907.4
	MJ	
MEI	48,093 ± 4994.4	57,319 ± 6,245.7
ME <sub>m</sub>	17,170 ± 1392.8	19,277 ± 1,250.9
ME <sub>r</sub>	4,707 ± 2003.8	2,875 ± 2,449.6
ME <sub>p</sub>	94 ± 198.9	21 ± 68.8
産乳に向けられた ME 量	26,124 ± 4094.1	35,146 ± 6,328.2
	% of MEI	
ME <sub>m</sub>	35.7	33.6
ME <sub>r</sub>	9.8	5.0
ME <sub>p</sub>	0.2	0.1
産乳に向けられた ME 量	54.3	61.3
	MJ/kg	
産乳に要する ME 量	5.62 ± 0.7	5.46 ± 0.8

表44. 給与粗飼料構成別の1乳期生産時での産乳に要する ME 量

	処理群			
	C	R+R1	R2	R3
	kg			
FCM 量	6,199 ± 1,049.3	5,918 ± 1,261.7	6,151 ± 1,119.9	5,592 ± 1,182.5
	MJ			
MEI	57,975 ± 4,674.2	54,381 ± 6,974.0	59,543 ± 6,051.4	47,521 ± 4,589.0
ME <sub>m</sub>	19,419 ± 1,343.1	18,860 ± 1,680.1	18,626 ± 1,367.2	17,688 ± 1,486.9
ME <sub>r</sub>	5,027 ± 2,100.8	3,245 ± 2,161.5	3,119 ± 2,544.2	2,468 ± 2,668.0
ME <sub>p</sub>	96 ± 220.0	22 ± 70.6	25 ± 79.9	44 ± 110.6
産乳に向けられた ME 量	33,432 ± 4,812.4	32,253 ± 7,120.0	37,773 ± 6,628.3	27,321 ± 5,361.2
	% of MEI			
ME <sub>m</sub>	33.5	34.7	31.3	37.2
ME <sub>r</sub>	8.7	6.0	5.2	5.2
ME <sub>p</sub>	0.1	0.04	0.04	0.1
産乳に向けられた ME 量	57.7	59.3	63.5	57.5
	MJ/kg			
産乳に要する ME 量	5.44 ± 0.5 <sup>B</sup>	5.50 ± 0.8 <sup>B</sup>	6.19 ± 0.7 <sup>C</sup>	4.92 ± 0.5 <sup>A</sup>

A, B, C : 異文字間に有意差あり (P < 0.01)

％量であった。すなわち、粗飼料割合の高い飼料給与条件下での産乳に要する ME 量は給与粗飼料構成により変動し、その値は概ね日本飼養標準(1994年版)<sup>54)</sup>の値から+15％程度までの範囲内にあるが、給与粗飼料構成によっては日本飼養標準(1994年版)<sup>54)</sup>と同等、あるいは+15％以上の値となる可能性も示唆された。

給与粗飼料構成が同一な群内での分娩季節の違いと産乳に要する ME 量の関連について検討するため、春分娩牛(表45)、夏・秋分娩牛(表46)および冬分娩牛(表47)に分けて1乳期生産時での産乳に要する ME 量を示した。なお、濃厚飼料給与レベルが同一であった(R+R1)群、R2群およびR3群のみを解析の対象とした。産乳に要する

表45. 春分娩牛の1乳期生産時での産乳に要するME量

	処理群		
	R+R1	R2	R3
	kg		
FCM量	5,622±1,269.2	5,545± 965.6	4,682± 973.0
	MJ		
MEI	52,189±7,415.8	57,213±6,364.9	44,279±4,300.0
ME <sub>m</sub>	18,315±1,640.7	18,181±1,303.6	17,027±1,638.7
ME <sub>r</sub>	3,531±1,983.9	3,948±2,509.7	4,046±2,303.7
ME <sub>p</sub>	23± 82.2	42± 102.0	56± 130.7
産乳に向けられたME量	30,320±6,401.0	35,042±5,584.6	23,150±4,092.3
	% of MEI		
ME <sub>m</sub>	35.1	31.8	38.5
ME <sub>r</sub>	6.8	6.9	9.1
ME <sub>p</sub>	0.04	0.1	0.1
産乳に向けられたME量	58.1	61.2	52.3
	MJ/kg		
産乳に要するME量	5.46± 0.7 <sup>A</sup>	6.37± 0.8 <sup>B</sup>	4.99± 0.4 <sup>A</sup>

A, B: 異文字間に有意差あり (P<0.01)

表46. 夏・秋分娩牛の1乳期生産時で産乳に要するME量

	処理群		
	R+R1	R2	R3
	kg		
FCM量	5,221± 764.3 <sup>a</sup>	7,388± 809.0 <sup>c</sup>	6,325± 731.7 <sup>b</sup>
	MJ		
MEI	52,410±6,096.8	66,073±3,042.4	50,008±1,313.9
ME <sub>m</sub>	18,483±1,631.5	18,466± 647.6	17,744± 883.9
ME <sub>r</sub>	3,561±1,180.0	452±1,400.0	2,236±1,752.4
ME <sub>p</sub>	52± 97.4	—	11± 28.0
産乳に向けられたME量	30,314±6,537.6	47,156±3,450.8	30,018±2,238.2
	% of MEI		
ME <sub>m</sub>	35.3	27.9	35.5
ME <sub>r</sub>	6.8	0.7	4.5
ME <sub>p</sub>	0.1	—	0.02
産乳に向けられたME量	57.8	71.4	60.0
	MJ/kg		
産乳に要するME量	5.86± 1.2 <sup>ab</sup>	6.41± 0.4 <sup>b</sup>	4.79± 0.5 <sup>a</sup>

a, b, c: 異文字間に有意差あり (P<0.05)

ME量の範囲は、春分娩牛、夏・秋分娩牛および冬分娩牛でそれぞれ4.99~6.37, 4.79~6.41および4.98~5.54 MJ/kgであり、これらの値は日本飼養標準(1994年版)<sup>54)</sup>に対してそれぞれ101~129, 97~129および101~112%に相当した。すなわち、粗飼料割合の高い飼料給与条件下での産乳に要するME量は、その範囲が分娩季節

の違いによってやや異なり、また給与粗飼料構成によっては日本飼養標準(1994年版)<sup>54)</sup>と同等、あるいは+15%以上の値となる可能性もあるが、概ね日本飼養標準(1994年版)<sup>54)</sup>の値から+15%程度までの範囲内にあると考えられた。

以上のように、粗飼料割合が高い飼料給与条件下では、GEEおよびNEEは必ずしも低下しな

表47. 冬分娩牛の1乳期生産時での産乳に要するME量

	処理群		
	R+R1	R2	R3
	kg		
FCM量	6,366±1,276.7	6,738± 377.8	6,570± 324.2
	MJ		
MEI	56,489±6,660.2	60,377±1,618.5	51,175±3,255.2
ME <sub>m</sub>	19,342±1,657.3	19,912±1,290.1	19,067± 830.7
ME <sub>r</sub>	2,948±2,558.1	3,098±2,066.0	-679±1,398.2
ME <sub>p</sub>	11± 48.5	—	64± 143.5
産乳に向けられたME量	34,188±7,517.8	37,368±3,459.4	32,723±3,405.0
	% of MEI		
ME <sub>m</sub>	34.3	33.0	37.3
ME <sub>r</sub>	5.2	5.1	-1.3
ME <sub>p</sub>	0.02	—	0.1
産乳に向けられたME量	60.5	61.9	63.9
	MJ/kg		
産乳に要するME量	5.40± 0.6	5.54± 0.5	4.98± 0.5

ったが、産乳に要するME量は日本飼養標準(1994年版)<sup>54)</sup>にくらべてやや高くなった。すなわち、産乳に向けられたMEの牛乳生産への利用効率が粗飼料多給により低下したと考えられた。これには飼料中の粗飼料割合の増加に伴う熱発生量の増加<sup>65)</sup>が関与している可能性がある。

また、自給粗飼料多給下の産乳に要するME量は乳量レベル、給与粗飼料構成および分娩季節によって変動していたが、概ね日本飼養標準(1994年版)<sup>54)</sup>の値から+15%程度までの範囲内であった。従って、本研究のような粗飼料割合が70%以上の飼料を給与する際の産乳に要するME量は、日本飼養標準(1994年版)<sup>54)</sup>の値に15%程度の上乗せが必要である。

## 2. 結論

本研究は、泌乳牛の自給粗飼料多給飼養下における飼料エネルギーの利用効率に関与する要因を明らかにする目的で行なったものであり、以下のように結論される。

1) エネルギー出納試験成績から得られたエネルギー消化率およびqの平均値はそれぞれ65.2%および54.5%であり、飼料中の粗飼料割合が高くなってエネルギー消化率およびqは必ずしも

低下しなかった。また、エネルギー消化率およびqともに平均値を中心に上下10%単位程度の変動がみられた。エネルギー消化率およびqの変動には飼料中粗飼料割合と摂取レベルが大きく関与していた。通常の1乳期飼養下では乳期の進行に伴い飼料中の粗飼料割合は高くなる一方で摂取レベルは低下することから、両者の影響が相殺されエネルギー消化率およびqに変動が生じた。

2) エネルギー出納試験成績から得られたGEEの平均値は35.6%であり、その変動には乳量レベルが大きく関与していた。通常の1乳期飼養下ではME摂取量の変動にくらべ乳量の低下割合が大きいことからGEEに変動が生じた。一方、NEEの平均値は59.2%であり、GEEとは異なり、その変動は必ずしも乳量レベルだけに起因するものではなく、その他の要因が考えられた。

3) 1乳期飼養試験成績から求めたGEEおよびNEEの平均値は34.5%および56.8%であり、飼料中の粗飼料割合が高くなってGEEおよびNEEは必ずしも低下しなかった。また、1乳期生産時でのGEEおよびNEEの値はエネルギー試験時での値とほぼ同様であったが、その変動は両者ともエネルギー出納試験時にくらべ小さかつ

た。

4) 1 乳期生産時での GEE は乳量レベルおよび産次の影響を受け、乳量レベルが高いほど、また初産牛にくらべて経産牛のほうが GEE が高かった。一方、NEE はそれらの影響を受けず、乳量レベルおよび産次に関わらずほぼ一定であった。1 乳期生産時での GEE および NEE の点からみて有効な泌乳初期での給与粗飼料構成は、春分娩牛では夏季の放牧地草多給、冬分娩牛では冬季のコーンサイレージとアルファルファサイレージの組み合わせ、および夏・秋分娩牛では放牧後期の放牧地草多給とそれに続く冬季でのコーンサイレージとアルファルファサイレージの組み合わせであった。

5) 1 乳期飼養試験成績から求めた産乳に要する ME 量の平均値は 5.51 MJ/kg であり、日本飼養標準(1994 年版)<sup>54)</sup>での 4.95 MJ/kg にくらべやや高くなった。この値は乳量レベル、給与粗飼料構成および分娩季節によって変動したが、概ね日本飼養標準(1994 年版)<sup>54)</sup>の値から +15 % 程度までの範囲内にあった。

6) 従って、粗飼料割合が 70 % 以上の飼料を給与する際の産乳に要する ME 量は、日本飼養標準(1994 年版)<sup>54)</sup>の値に 15 % 程度の上乗せが必要であると結論した。

## 摘 要

1. 1984 年 5 月から 1993 年 4 月までの 9 年間、北海道大学農学部附属農場畜産第二部のホルスタイン種泌乳牛全頭を供試し、自給粗飼料多給飼養下における飼料エネルギーの効率的利用に基づく泌乳牛の飼養方式確立を目的として長期的かつ総合的な試験を実施した。自給粗飼料の種類、量およびそれらの組み合わせの異なる処理群を設定して 1 乳期飼養試験を行なうとともに、それらの供試牛の中から乳期および産次を考慮して、併せてエネルギー出納試験を行なった。本研究はこれら一連の試験の中から得られた 1 乳期産乳成績およ

びエネルギー出納試験成績を用いて、泌乳牛の自給粗飼料多給飼養下における飼料エネルギーの利用効率に関する要因を明らかにする目的で行なった。

2. 延べ 218 頭のエネルギー出納試験成績から得られたエネルギー消化率および q の平均値はそれぞれ、65.2 % および 54.5 % であり、飼料中の粗飼料割合が高くなってエネルギー消化率および q は必ずしも低下しなかった。また、エネルギー消化率および q とともに平均値を中心に上下 10 % 単位程度の変動がみられた。エネルギー消化率および q の変動には飼料中粗飼料割合と摂取レベルが大きく関与しており、変動の多くはこれら二つの要因により説明できた。すなわち、通常、1 乳期飼養下では乳期の進行に伴い飼料中の粗飼料割合は高くなり、その一方で摂取レベルは低下する。このため、エネルギー消化率および q に対する両者の影響が相殺されて上記のような変動が生じたと考えられた。GEE の平均値は 35.6 % であり、その変動には乳量レベルが大きく関与していた。通常の 1 乳期飼養下では ME 摂取量の変動にくらべ、乳量の低下割合が大きいことにより生じると考えられた。一方、NEE の平均値は 59.2 % であった。GEE とは異なり、NEE の変動は必ずしも乳量レベルだけに起因するものではなく、その他の要因が考えられた。

3. 延べ 108 頭の 1 乳期飼養試験成績から求めた GEE および NEE の平均値はそれぞれ 34.5 % および 56.8 % であり、飼料中の粗飼料割合が高くなって GEE および NEE は必ずしも低下しなかった。また、1 乳期生産時での GEE および NEE はともにエネルギー出納試験での値とほぼ同様であったが、その変動は両者ともエネルギー出納試験時にくらべ小さかった。GEE は乳量レベルおよび産次の影響を受け、乳量レベルが高いほど、また初産牛にくらべて経産牛のほうが GEE が高かった。一方、NEE はそれらの影響を受けず、乳量レベルおよび産次に関わらずほぼ一定であった。1 乳期生産時での GEE および NEE の点からみ

て有効な泌乳初期での給与粗飼料構成は、春分娩牛では夏季の放牧地草多給、冬分娩牛では冬季のコーンサイレージとアルファルファサイレージの組み合わせ、および夏・秋分娩牛では放牧後期の放牧地草多給とそれに続く冬季でのコーンサイレージとアルファルファサイレージの組み合わせであると考えられた。

4. 1乳期飼養試験成績から求めた産乳に要するME量の平均値は5.51 MJ/kgであり、日本飼養標準(1994年版)<sup>54)</sup>での4.95 MJ/kgにくらべやや高くなった。この値は乳量レベル、給与粗飼料構成および分娩季節によって変動したが、概ね日本飼養標準(1994年版)<sup>54)</sup>の値から+15%程度までの範囲内にあった。従って、粗飼料割合が70%以上の飼料を給与する際の産乳に要するME量は、日本飼養標準(1994年版)<sup>54)</sup>の値に15%程度の上乗せが必要であると結論した。

#### 謝 辞

本研究を取りまとめるにあたり、北海道大学大学院農学研究科教授大久保正彦博士には終始懇切なるご指導、ご助言をいただき本稿のご校閲を賜った。また、北海道大学大学院農学研究科教授田中桂一博士ならびに同助教授近藤誠司博士には本稿のご校閲と懇篤なご助言をいただいた。さらに、北海道大学名誉教授朝日田康司博士、同名誉教授上山英一博士、現鳥取大学農学部教授関根純二郎博士には研究開始当初から懇切なるご指導、ご鞭撻を賜った。ここに深甚なる感謝の意を表する。

また、本研究の遂行にあたって、北海道大学農学部附属牧場助教授秦寛博士、元北海道大学大学院農学研究科助手諸岡敏生氏、現同助手上田宏一郎博士には有益なご助言、ご協力をいただいた。

本研究は1984年以降北海道大学農学部附属農場畜産第二部で行なわれたものであり、この間の試験牛の一般管理、飼料の調製など実際の現場においては、北海道大学農学部附属農場畜産第二部技官岩倉隆氏、同新海秀史氏、同高橋太郎氏、元技官西山政治氏、同仁和敏夫氏、同稲見昇氏、同平中昇氏、同吉田哲三氏から絶大なるご協力

をいただいた。さらに北海道大学農学部畜産学科家畜飼養学講座(現畜産科学科畜牧体系学講座)の歴代修了生、卒業生諸氏には本研究の共同研究者として昼夜を問わず試験遂行上数々のご協力をいただいた。

ここに、以上の各位に深く感謝の意を表する次第である。

#### 引用文献

1. Agricultural Research Council: The nutrient requirements of farm livestock. No.2. Ruminants. HMSO. London. 1965
2. Agricultural Research Council: The nutrient requirements of ruminant livestock. C.A.B.. London. 1980.
3. Association of Official Analytical Chemists: Official methods of analysis. 11th ed. A.O.A.C. Washington. D.C. 1970.
4. 坂東 健: トウモロコシサイレージを基本飼料とする牛乳生産に関する飼養学的研究. 北海道立農業試験場報告, **81**: 1-89. 1993.
5. BLAXTER, K.L. and J.L. CLAPPERTON: Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *Br. J. Nutr.*, **19**: 511-522. 1965.
6. BLAXTER, K.L.: The efficiency of energy transformations in ruminants. In *Energy metabolism of farm animals* (BLAXTER, K.L., J. KIELANOWSKI and G. THORBEC. eds.). pp. 21-28. EAAP Pub. No. 12. Oriel Press. Newcastle. 1969.
7. BRODERICK, G.A.: Alfalfa silage or hay versus corn silage as the sole forage for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, **68**: 3262-3271. 1985.
8. BRODY, S. and R.C. PROCTER: Energetic efficiency of milk production and the influence of body weight thereon. *Univ. Mo. Agr. Exp. Sta. Res. Bull.*, 222. 1935.
9. BROSTER, W.H., J.D. SUTTON and J.A. BINES: Concentrate:forage ratios for high-yielding dairy cows. In *Recent advances in animal nutrition- 1978* (HARESIGN, W. and D. LEWIS. eds.). pp. 99-126. Butterworths. London. 1979.
10. BROSTER, W.H. and C. THOMAS: The influence of level and pattern of concentrate input on milk output. In *Recent advances in animal nutrition- 1981* (HARESIGN, W. ed.). pp. 49-69. Butterworths. London. 1981.

11. CLEALE, IV, R.M. and L.S. BULL: Effect of forage maturity on ration digestibility and production by dairy cows. *J. Dairy Sci.*, **69**: 1587-1594. 1986.
12. COMBELLAS, J. and J. HODGSON: Herbage intake and milk production by grazing dairy cows 1. The effects of variation in herbage mass and daily herbage allowance in a short-term trial. *Grass and Forage Sci.*, **34**: 209-214. 1979.
13. COPPOCK, C.E., C.H. NOLLER and S.A. WOLFE: Effect of forage-concentrate ratio in complete feeds fed *ad libitum* on energy intake in relation to requirements by dairy cows. *J. Dairy Sci.*, **57**: 1371-138. 1974.
14. FLATT, W.P., P.W. MOE, L.A. MOORE, N.W. HOOVEN, R.P. LEHMANN, E.R. ØRSKOV and R.W. HEMKEN: Energy utilization by high producing dairy cows I. Experimental design, ration composition, digestibility data and animal performance during energy balance trials. In *Energy metabolism of farm animals* (BLAXTER, K.L., J. KIELANOWSKI and G. THORBEEK. eds.), pp. 221-234. EAAP Pub. No. 12. Oriel Press. Newcastle. 1969a.
15. FLATT, W.P., P.W. MOE, A.W. MUNSON and T. COOPER: Energy utilization by high producing dairy cows II. Summary of energy balance experiments with lactating Holstein cows. In *Energy metabolism of farm animals* (BLAXTER, K.L., J. KIELANOWSKI and G. THORBEEK. eds.), pp. 235-251. EAAP Pub. No. 12. Oriel Press. Newcastle. 1969b.
16. FUQUAY, J.W.: Heat stress as it affects animal production. *J. Anim. Sci.*, **52**: 164-174. 1981.
17. GOERING, J.K. and P.J. VAN SOEST: Forage fiber analyses (Apparatus, reagents, procedures and some applications). *Agric. Handbook No. 379*. ARSUSDA. Washington D.C. 1970.
18. GORDON, F.J.: The effect of concentrate level and stocking rate on performance of dairy cows calving in late winter. *Anim. Prod.*, **22**: 175-187. 1976.
19. GORDON, F.J.: The effect of three concentrate input levels on the performance of dairy cows calving during mid-winter. *Anim. Prod.*, **25**: 373-379. 1977.
20. GORDON, F.J.: The effect of interval between harvests and wilting on silage for milk production. *Anim. Prod.*, **31**: 35-41. 1980.
21. GORDON, F.J., M.G. PORTER, C.S. MAYNE, E.F. UNSWORTH and D.J. KILPATRICK: Effect of forage digestibility and type of concentrate on nutrient utilization by lactating dairy cattle. *J. Dairy Res.*, **62**: 15-27. 1995a.
22. GORDON, F.J., D.C. PATTERSON, T. YAN, M.G. PORTER, C.S. MAYNE and E.F. UNSWORTH: The influence of genetic index for milk production on the response to complete diet feeding and the utilization of energy and nitrogen. *Anim. Sci.*, **61**: 199-210. 1995b.
23. GRUMMER, R.R. and J.H. CLARK: Effect of dietary nitrogen solubility on lactation performance and protein and dry matter degradation *in situ*. *J. Dairy Sci.*, **65**: 1432-1444. 1982.
24. 花田正明: 泌乳牛の放牧飼養時における併給飼料の給与法に関する研究. 北海道立農業試験場報告, **85**: 1-66. 1995.
25. 橋爪徳三・森本 宏・増淵敏彦・安部道夫・堀井聡・浜田竜夫・田中孝之介・高橋正也・海塩義男・安保庄一郎: 乳牛の飼養標準に関する研究 II. 乳牛の維持養分要求量に関する研究. 畜試特報, **2**: 7-77. 1964 a.
26. 橋爪徳三・森本 宏・増淵敏彦・安部道夫・堀井 聡・浜田竜夫・実川義人・横田千尺: 乳牛の飼養標準に関する研究 VI. 乳牛の妊娠時におけるエネルギー代謝と養分要求量. 畜試特報. **5**: 6-44, 1964 b.
27. 橋爪徳三・森本 宏・増淵敏彦・安部道夫・浜田竜夫・堀井 聡・実川義人・横田千尺・山本藤五郎・高橋覚蔵・吉野正純・斉藤久弥: 乳牛の飼養標準に関する研究 VII. 乳牛の産乳におけるエネルギー代謝と養分要求量. 畜試特報, **6**: 7-58. 1965.
28. 早坂貴代史: 完全混合飼料給与におけるホルスタイン種泌乳牛の乾物摂取量と養分要求量に関する研究. 北海道農試研報, **165**: 1-68. 1997.
29. 姫野健太郎・横山 昭・津田恒之・朝日田康司・黒崎順二・澤崎 坦・扇元敬司・中江利孝編: 畜産ハンドブック. 講談社. 東京. 1984.
30. HOLTER, J.B., W.E. URBAN, Jr., W.S. KENNETT and C.J. SNIFFEN: Corn silage with and without grass hay for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, **56**: 915-922. 1973.
31. ISTASSE, L., G.W. REID, C.A.G. TAIT and E.R. ØRSKOV: Concentrates for dairy cows: Effects of feeding method, proportion in diet and type. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **15**: 167-182. 1986.
32. 和泉康史: サイレージ多給による搾乳牛の飼養技術に関する研究. 北海道立農業試験場報告, **69**: 1-77. 1988.
33. KENNEDY, P.M., R.J. CHRISTOPHERSON and L.P. MILLIGAN: The effect of cold exposure of sheep on digestion, rumen turnover time and efficiency of microbial synthesis. *Br. J. Nutr.*, **36**: 231-242. 1976.
34. KIRCHGEBNER, M. von, H.L. MÜLLER and J. SAX: Energieumsatz und Energieverwertung nichtlaktierender und laktierender Kühe bei unterschiedli-

- cher Fütterungsfrequenz. Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde., **44**: 279-289. 1980.
35. KROHN, C.C. and P.E. ANDERSEN: Different energy and protein levels for dairy cows in the early weeks of lactation. *Livest. Prod. Sci.*, **7**: 555-568. 1980.
36. 栗原光規・高橋繁男・相井孝允・久米新一: 泌乳牛のエネルギー代謝に及ぼす環境温度の影響 - サイレージおよび乾草給与時-. *日畜会報*, **63**: 861-839. 1992.
37. 栗原光規・久米新一・相井孝允・高橋繁男・柴田正貴・西田武弘: 気候温暖化に対応した乳牛の飼養法 - エネルギー代謝に基づく技術評価-. *九州農試報告*, **29**: 21-107. 1995.
38. LE DU, Y.L.P., J. COMBELLAS, J. HODGSON and R.D. BAKER: Herbage intake and milk production by grazing dairy cows 2. The effects of level of winter feeding and daily herbage allowance. *Grass and Forage Sci.*, **34**: 249-260. 1979.
39. LE DU, Y.L.P., R.D. BAKER and R.D. NEWBERRY: Herbage intake and milk production by grazing dairy cows 3. The effects of grazing severity under continuous stocking. *Grass and Forage Sci.*, **36**: 307-318. 1981.
40. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Department of Agriculture & Fisheries for Scotland and Department of Agriculture for Northern Ireland: Energy allowances and feeding systems for ruminants. Technical Bulletin 33. HMSO. London. 1975.
41. MIELKE, C.D. and D.J. SCHINGOETHE: Heat-treat soybeans for lactating cows. *J. Dairy Sci.*, **64**: 1579-1585. 1981.
42. MOE, P.W. and P.W. FLATT: Net energy value of feedstuffs for lactation. *J. Dairy Sci.*, **52**: 928-929. 1969.
43. MOE, P.W. and H.F. TYRRELL: Influence of protein level on metabolizable energy value of diets for lactating cows. *J. Dairy Sci.*, **60**(Suppl.): 69. 1977.
44. MOE, P.W.: Energy metabolism of dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, **64**: 1120-1139. 1981.
45. MONTGOMERY M.J., H.D. BAXTER and B.J. BEARDEN: Corn silage supplementation for maximum intake and milk production. *J. Dairy Sci.*, **59**: 1915-1922. 1976.
46. 森本 宏・橋爪徳三・増淵敏彦・仙田久芳・早川政市・杉原敏広・工藤芳夫・宮谷内留行・高野恵三・富永 信・村松 緑・針生程吉・花坂昭吾・戸塚 宏・石井尚一・犬童幸人・向居彰夫・岡本昌三: 乳牛の飼養標準に関する研究 I. 飼養試験より得た乾乳牛の維持要求量. *畜試特報*, **1**: 6-34. 1963.
47. 森本 宏・橋爪徳三・増淵敏彦・安保庄一郎・高橋正也・斉藤久弥・布村 稔・前田昭二・仙田久芳・早川政市・杉原敏広・工藤吉人・宮谷内留行・高野恵三・石井力夫・松村 緑・針生程吉・花坂昭吾・戸塚宏・石井尚一・犬童幸人・向居彰夫・岡本昌三・牧野敏夫・今淵宗男・上原邦夫・遠藤 司・野村亀次郎・土田武男・香川壮一・宮本伸昭・石浜克夫・加々見恒夫・大久保 瑛・今井達郎・北川斐夫・富永秀雄・小坂隆雄・岩部義夫・伊藤清藏・中沢正三・小熊儀平・加藤英輔・佐藤 正・小川昭二・池田森男・佐々木敏夫・佐々木重人・長岡正二・森田 修・吉田 稔・高橋敏郎・平沢一志・渡辺 肇・西埜 進・曾根章夫・大沢貞次郎・若原英敏・石栗敏機・和泉康史・凶師重孝・橋本専一・飯野 弘・大神田昭雄・毛利忠男・神谷陸郎・湯山 一・松尾完二・市川忠雄・星谷佳功・藤森 進・平賀幸夫・勝山建郎・斉藤義行・平林栄司・蔵知 毅・小沢宣雄・加本一久・上原茂吉・清須秀徳・多田昌男・守屋典彦・小谷順一・山本一朗・河田治茂・成田 弘・山本忠道・宇都宮義文・本村一郎・長沢 明・久保山義秋・増満洲市郎・山本文男・加留部誠二・熊丸朋臣: 乳牛の飼養標準に関する研究 V. 飼養試験より得た乳生産に要する養分量. *畜試特報*, **4**: 7-138. 1964.
48. 森本 宏・橋爪徳三・増淵敏彦・海塩義男: 乳牛の飼養標準に関する研究 IX. わが国の乳牛飼養標準. *畜試特報*, **6**: 81-94. 1965.
49. MURDOCH, J.C. and J.A.F. ROOK: A comparison of hay and silage for milk production. *J. Dairy Res.*, **30**: 391-397. 1963.
50. MÜLLER, H.L., J. SAX and M. von KIRCHGEßNER: Energieverluste über Kot, Harn und Methan durch unterschiedliche Häufigkeit der Fütterung bei nichtlaktierenden und laktierenden Kühen. *Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde.*, **44**: 181-189. 1980.
51. 内藤元男・高橋弘安・三浦高義・加納康彦・小山徳義・加藤次男・岡野福夫・小池幸良: 東大牧場ホルスタイン種乳牛群のエネルギー粗効率と簡易指数について. *日畜会報*, **45**: 249-261. 1974.
52. 農林水産省農林水産技術会議事務局編: 日本飼養標準・乳牛(1974年版). 中央畜産会. 東京. 1974.
53. 農林水産省農林水産技術会議事務局編: 日本飼養標準・乳牛(1987年版). 中央畜産会. 東京. 1987.
54. 農林水産省農林水産技術会議事務局編: 日本飼養標準・乳牛(1994年版). 中央畜産会. 東京. 1994.
55. 農林水産省統計情報部: 畜産統計. 農林統計協会. 東京. 1997.
56. 農林水産省統計情報部: 平成8年度 牛乳 乳製品統計. 農林統計協会. 東京. 1997.
57. 大久保正彦・前滝次郎・近藤誠司・関根純二郎・朝日田康司: 北大農場における牛乳生産のエネルギー利用

- 効率. 北大農場研究報告, **24**: 69-75. 1985.
58. 大久保正彦: 牛乳生産技術の課題と方向. 日畜会報, **61**: 213-219. 1990.
59. ØRSKOV, E.R., G.W. REID and I. McDONALD: The effects of protein degradability and food intake on milk yield and composition in cows in early lactation. *Br. J. Nutr.*, **45**: 547-555. 1981.
60. PHIPPS, R.H. and D.G. CRAMP: The supplementation of maize silage for an autumn-calving dairy herd. *Anim. Prod.*, **23**: 191-196. 1976.
61. RAE, R.C., C. THOMAS, A. REEVE, A.J. GOLIGHTLY, R.G. HODSON and R.D. BAKER: The potential of an all-grass diet for the late-winter calving dairy cow. *Grass and Forage Sci.*, **42**: 249-257. 1987.
62. RÜHLE, R., H. SPIEKERS, V. POTTHAST and E. PFEFFER: Performance of dairy cows fed concentrates differing in their contents of easily fermentable carbohydrates, with roughage fed either *ad lib.* or at a restricted rate. *Livest. Prod. Sci.*, **32**: 149-161. 1992.
63. SAAMA, P.M., I.L. MAO and J.B. HOLTER: Energy intake and gross efficiency comparisons from calorimetric and field data on the same lactating cows. *J. Dairy Sci.*, **78**: 1945-1953. 1995.
64. 関根純二郎・近藤誠司・大久保正彦・朝日田康司: 乳成分含量による牛乳エネルギー価の推定. 日畜会報, **56**: 583-587. 1985.
65. 関根純二郎・森田 茂・花田正明・諸岡敏生・近藤誠司・大久保正彦・朝日田康司: 6カ月齢子牛に対するオーチャードグラス乾草および混合飼料のエネルギー価査定. 日畜会報, **57**: 485-490. 1986.
66. SCHNEIDER, W., D. FRITZ, J.R. REICHL and K.H. MENKE: Effect of protein content and metabolizability of the diet on the efficiency of utilization of metabolizable energy in dairy cows. In *Energy metabolism (MOUNT, L.E. ed.)*. pp. 341-344. EAAP Pub. No. 26. Butterworths. London. 1980.
67. 柴田正貴: 高温環境下における乳牛のエネルギー代謝と乳生産. 九州農試報告, **23**: 253-319. 1983.
68. STERN, R.W. and F.J. GORDON: The effect of level and system of concentrate allocation to January/February calving cows on total lactation performance. *Anim. Prod.*, **30**: 39-51. 1980.
69. 田先威和夫・大谷 勲・吉原一郎・松本達郎共著: 家畜飼養学. 朝倉書店. 東京. 1973.
70. TAYLOR, W and J.D. LEAVER: Systems of concentrate allocation for dairy cattle 1. A comparison of three patterns of allocation for autumn-calving cows and heifers offered grass silage *ad libitum*. *Anim. Prod.*, **39**: 315-324. 1984a.
71. TAYLOR, W and J.D. LEAVER: Systems of concentrate allocation for dairy cattle 2. A comparison of two patterns of allocation for autumn-calving cows offered two qualities of grass silage *ad libitum*. *Anim. Prod.*, **39**: 325-333. 1984b.
72. TERADA, F.: Effect of level of feed intake on metabolizable energy values in diets for cattle. In *Tropical agriculture research series No.25*. pp. 193-198. Tropical Agriculture Research Center. Tsukuba. Japan. 1992.
73. 寺田文典・柴田正貴・西田武弘・岩崎和雄: 代謝エネルギーの乳生産に対する利用効率. 第87回日本畜産学会大会講演要旨, 135. 1993.
74. THOMAS, J.W., L.D. BROWN and R.S. EMERY: Corn silage compared to alfalfa hay for milking cows when fed various levels of grain. *J. Dairy Sci.*, **53**: 342-350. 1970.
75. THOMSON, D.J., D.E. BEEVER, M.J. HAINES, S.B. CAMBELL, R.T. EVANS, M.S. DHANOA and A.R. AUSTIN: Yield and composition of milk from Friesian cows grazing either perennial ryegrass or white clover in early lactation. *J. Dairy Res.*, **52**: 17-31. 1985.
76. TYRRELL, H.F. and P.W. MOE: Effect of intake on digestive efficiency. *J. Dairy Sci.*, **58**: 1151-1163. 1975.
77. TYRRELL, H.F.: Limits to milk production efficiency by the dairy cow. *J. Anim. Sci.*, **51**: 1441-1447. 1980.
78. VAN der HONING, Y., G.A. BANGMA, G.W. HOMAN, R. TERLUIN, B. THIELEN and J.E. VOGT: Effect on methane production and energy balance of increased feeding-frequency of concentrates to lactating cows. In *Energy metabolism of farm animals (Vermorel, M. ed.)*. pp. 77-80. EAAP Pub. No.19. Bussac. Clermont-Ferrand. 1976.
79. VAN ES, A.J.H.: Feed evaluation for ruminants. I. The system in use from May 1977 onwards in the Netherlands. *Livest. Prod. Sci.*, **5**: 331-345. 1978.
80. VAN ES, A.J.H. and Y. VAN der HONIG: Energy Utilization. In *Feeding strategy for the high yielding dairy cow (BROSTER, W.H. and H. SWAN. eds.)*. pp. 68-89. Granada Pub. London. 1979.
81. WESTRA, R and R.J. CHRISTOPHERSON: Effects of cold on digestibility, retention time of digesta, reticulum motility and thyroid hormones in sheep. *Can. J. Anim. Sci.*, **56**: 699-708. 1976.
82. WIKTORSSON, H.: General plane of nutrition for dairy cows. In *Feeding strategy for the high yielding dairy cow (BROSTER, W.H. and H. SWAN. eds.)*.

- pp. 148-170. EAAP Pub. No 25. Granada Pub. London. 1979.
83. WILMAN, D. and S.P. WILLIAMS: A comparison of grass/white clover and grass silages offered to dairy cows as the sole feed. *Grass and Forage Sci.*, **48**: 231-237. 1993.
84. 吉田 悟: 粗飼料の低コスト生産と利用 2. 放牧利用について. *北草研報*, **15**: 17-25. 1981.

# Studies on Efficiency of Feeds Energy Utilization in Lactating Dairy Cows under High Roughage Feeding System

Hiroki NAKATSUJI

(Laboratory of Ecological Animal Agriculture, Experiment Farms, Faculty of Agriculture,  
Hokkaido University, Sapporo 060-0811, Japan)

(Received January 29, 1999)

## Summary

To evaluate factors affecting efficiency of feeds energy utilization in lactating dairy cows under high roughage feeding system, a series of long-term experiment for 9 years (May 1984 to April 1993) have been carried out using Holstein herd in Experiment Farms, Hokkaido University. The following results were obtained.

1. Means of energy digestibility and metabolizability ( $q$ ) obtained from a total of 218 energy-balance trials were 65.2% and 54.5%, respectively. The coefficients varied about  $\pm 10\%$  unit around the means, and scarcely decreased as a proportion of roughage to total dry matter (DM) intake increased. The variation of the digestibility and  $q$  would be explained by two factors: the proportion of roughage to total DM intake and the feed intake level for cows. Under practical feeding conditions of lactating cows, the proportion of roughage to total DM intake increases, while feed intake decreases as lactation stage advances. It was suggested that the variation would be caused by counterbalance of those two factors.

2. Range of gross energetic efficiency (GEE) obtained from the energy-balance trials was considerably wide, and mean of the coefficients was 35.6%. The GEE would be mainly affected by changes of milk yield as lactation stage advance. Mean of net energetic efficiency (NEE) obtained from the energy-balance trials was 59.2%. Factors affecting the variation of the NEE would not only milk production level but also other factors including genetic ability.

3. Means of GEE and NEE through the lactation obtained from a total of 108 feeding trials were 34.5% and 56.8%, respectively, and showed little decreasing as the proportion of roughage to total DM intake increased. Variations of the coefficients were smaller than those from the energy-balance trials, although the means were similar.

4. The GEE through the lactation would be affected by two factors: the milk production level and the parity of each cow. The coefficients increased as milk production level of cows increased, and were higher in multiparous cows than those in primiparous cows. On the other hand, the NEE would not be influenced by the milk production level and the parity of cows. The coefficients were nearly constant irrespective of the milk production level and the parity of cows. An effective roughage composition in the rations during early lactation in respect of GEE and NEE through the lactation could be high proportion of pasturage in summer season for spring-calving cows, a combination of corn silage and alfalfa silage in the winter season for winter-calving cows, and high proportion of pasturage in late summer season then the combination of corn silage and alfalfa silage in successive winter season for summer/autumn-calving cows.

5. Mean of metabolizable energy (ME) requirement for milk production obtained from the feeding trials through the lactation was 5.51MJ/kg, and was slightly higher than 4.95MJ/kg in Japanese Feeding Standard for Dairy Cattle (1994). The values varied with roughage composition in the rations and calving seasons of cows, and the range of the values were less than about +15% of the value (4.95 MJ/

kg) in Japanese Feeding Standard for Dairy Cattle (1994).

6. It is concluded that ME requirement for milk production should be added about +15% to the value in Japanese Feeding Standard for Dairy Cattle (1994) when cows were fed the ration containing over 70% of roughage.