

第I章 緒 論

1. 研究の目的

現在、全人類のおよそ8分の1が飢餓状態にあるといわれ、今後も人口の増大に伴い、食糧不足はさらに深刻の度を増すものと推測されている⁴⁰⁾。こうした背景から、植物によって獲得される太陽エネルギーを無駄なく食糧として回収することが従来以上に重要な農業の課題となってきた。光合成により固定される炭素のうち、セルロースなど細胞壁を構成する炭水化物となるものは裕に過半を占める。こうした繊維質の炭水化物は膨大なエネルギー資源なのである³²⁾。

しかし、この種の炭水化物は、そのままではヒトの食糧となし得ないことが多い。一般にヒトの嗜好に合わないばかりかヒトの消化管では消化され難いのである。この点、反芻家畜は繊維に富む炭水化物を好んで摂食し、消化力も卓越している。さらに、生産される乳・肉は食品としての価値も高い。

このように、反芻家畜はヒトの食糧として適さない資源を有効に利用し、優れた食品を生産することができるが、これは反芻動物において顕著に発達した前胃と、この器官に関連した独特の消化様式に負うところが大きい。反芻家畜の飼養にあたっては、反芻動物としての特長を十分に生かすことが肝要であり、それが資源の有効利用につながり、安定した生産を保障するものとする。

そのためには、反芻家畜に特徴的な消化機構を解明することが不可欠であり、不断の研究努力がなされなければならない。

反芻動物において、外見上認められる最も特徴的な消化様式は「反芻」である。反芻動物は繊維に富む植物を好んで摂取するにもかかわらず、採食時にはえん下するに必要な程度しかそしゃくしない習性がある¹⁶⁾。そして、一度えん下した飼料を繰り返し吐き戻し、再そしゃくする。これは反芻と呼ばれ、反芻亜目に属す動物に独特の消化様

式であり、反芻動物の名もこれに由来しているのである。

前述したごとく、反芻動物の特長の一つは卓越した粗飼料の消化能力であるが、古くは、これと反芻行動とを直接結びつけて考えた。すなわち、第一胃内に貯留され、軟化した飼料が反芻により徹底して再そしゃくされ、摩砕されることが粗飼料の消化能力を高める原因と考えられていた。そして、反芻胃は単に飼料の貯留槽としての機能を果たす器官とみなされ、活発な消化作用が営まれる器官とは考えられていなかった。その後、消化器官としての反芻胃の重要性が徐々に解明され、繊維に富む飼料の消化には、反芻胃とそこに棲息する微生物が大きな役割を果たしていることが明らかになってきた。こうして、反芻家畜の消化に果たす反芻胃の重要性が認識されるにつれて、研究者の関心も反芻胃内の発酵・消化に重点的に注がれ、相対的に反芻行動への関心が薄れる結果となった。

しかし、反芻胃の機能がさらに解明され、反芻胃はpHや温度の調節機構を備えており、良く発達した血管系により発酵産物を運び去ったり、過剰の微生物を後部消化管へ送り込むなど優れた調節系を具備する能率の良い連続発酵槽とみなし得ることが分ってくるにつれて、反芻行動は単に消化の第一段階としての摩砕作用にあずかるのみではなく、連続発酵槽としての機能を保つうえで重要な役割も果たすものと考えられるようになった。

飼料の理化学的性質は反芻胃内の発酵・消化に大きな影響を与えるが、ここにも反芻行動が深く関与しているものと思われる。

このように、飼料の理化学的性質や反芻胃内の発酵・消化はそれぞれ反芻行動と関係が深く、これら三者は相互に複雑に関連しているものと推察される。

しかし、こうした視点から反芻行動を正面から研究した例は少なく、多くの不明な点が残されて

いる。この分野の研究が従来あまり活発でなかった理由の一つは、反芻行動測定法の不備によるものと思われ、多大の苦勞を要求される肉眼観察法に代わる有効かつ簡便な測定法の開発が望まれる。

本研究は反芻行動の測定法を確立し、飼料の理化学的性質と反芻行動との関係を明らかにし、さらに反芻行動が反芻胃内の消化・発酵など反芻家畜の消化生理にいかに関与しているかを追究することを目的とした。

2. 従来の研究

1) 反芻行動の測定記録法

反芻行動を研究する際、必要な情報は採食と反芻の区別とそれぞれの質と量についての情報である。これらの情報を同時に、簡便かつ確実に入手することは、従来あまり容易なことではなく、最も確実な肉眼や望遠鏡による観察が主流であった¹⁾。しかし、直接観察法は夜間や暗所に不向きであり、観察者の存在自体が家畜に少なからず影響する。また、観察者は長時間拘束され、苦勞することが多かった。さらに、有効な記録法に欠けるなど多くの難点がある²⁾。

これらの難点を克服するために様々な手法が考案されてきた。これらの手法はいずれも反芻行動に伴う各種の物理量の変化を測定しようとするものであり、動物に測定記録装置を装着し、後に記録を解析しようとするものと、動物から離れて測定する二法に大別される。前者は測定中に故障が発生した場合、発見が難しい欠点があるため、比較的単純なメカニズムのことが多い。反芻行動に関連した例としては、頭を下げている時間を水銀スイッチを用いて測定し、これを採食時間とし、頭が上位にある時間を反芻および休息時間とする方法がある³⁾が、これだけでは十分な情報が得られるとはいえない。

後者はバイオテレメトリと呼ばれ、種々の方式が開発されている。このうち、古典的ではあるが有効な手法は空気圧の変化を情報伝達の媒体とするニューモグラフ (pneumograph) ・タンブール (Tambour) 法である。この方法は反芻胃の運動

等の測定に良く用いられてきたが、あごの動きをニューモグラフにより空気圧の変化に変換することにより、反芻行動の測定にも応用できる^{51,78)}。この方法では家畜と記録装置とをチューブで連結しなければならない。

最近、医用生体工学 (Bio-medical engineering, ME) はめざましい発展をとげ、多用途生体現象測定記録装置 (Multipurpose bio-electrograph, Polygraph 以下ポリグラフとする) の出現により、各種の生体現象を測定することが可能となった。これを用いて咬筋の筋電信号⁴⁵⁾や頭絡の歪⁶⁴⁾を測定することにより、反芻行動を測定・記録することができる。

また、ME 領域の進展は無線通信を利用する方法をも発展させた。この方法はラジオバイオテレメトリと呼ばれ、動物と受信・記録装置との間に電線を用いる必要がなく、家畜をほとんど拘束することなく測定することが可能であるところから、現在ではバイオテレメトリの主流となりつつある³⁾。この方法は航空医学、スポーツ医学、動物生態学などの領域においては盛んに利用されている。家畜においては体温^{60,61)}、心電^{47,63,67)}、筋電^{36,46)}、脳波⁶³⁾、胃内圧^{18,20)}など種々のテレメータが研究・開発されているが、いずれも広く応用されるまでに至っていない。反芻行動の測定に応用できるのは咬筋の筋電信号⁴⁶⁾、そしゃく音⁴²⁾のラジオテレメトリであるが、そしゃく音を利用する方式では目的とするそしゃく音の他、風や他音の混入がまぬがれない。

現在のところ、有線方式であれば、高価な装置を必要とせず、故障も少ないニューモグラフ・タンブール法が優れ、ラジオバイオテレメトリを採用するのであれば咬筋の筋電信号を利用する方式が優れているものと思われる。

2) 反芻行動とこれに影響する飼養上の要因

反芻家畜は上あごに門歯を持たないが、粗飼料の摂取、摩砕には歯ぎん部が門歯以上の機能を持つ^{10,16)}。反芻動物の下あごは垂直方向のみならず、水平方向にも良く動く。また、上下のあごの幅が異なるため、片側の臼歯を用いてそしゃくするので摩砕効率が高く、繊維に富む植物を摩砕す

るのに都合良い¹⁶⁾。このように、反芻動物は繊維質の飼料の摩砕に都合良い器官を備えているが、採食時にはえん下に必要なだけしかそしゃくしない習性がある¹⁶⁾。1日当りの採食時そしゃく数は飼料給与量、飼料形態、乾草と生草の違いにより異なるが、おおむね5,000~10,000である²⁴⁾。

採食時に十分にそしゃくされないままえん下された食塊は反芻時に再そしゃくされる。1日当りの反芻時間は通常7~9時間といわれている^{16,25,28)}が、飼料の給与量、種類、形態ならびに質により大きく変化することが知られている。反芻時間は乾物摂取量の増大に伴い延長するが、両者の関係は直線的ではなく、摂取量が高水準になるにつれて、反芻時間の伸びは通減するようである^{27,79)}。反芻時間は粗飼料と濃厚飼料の給与比率により大きな影響を受け、濃厚飼料の比率が高くなるにつれて反芻時間は減少する^{25,51)}。乾草と麦わらを比較すれば、麦わら給与時の方が反芻時間が長く、これは摂取乾物量当りの反芻時間を指標としても同様であったと報告されている^{13,81)}。また、反芻時間は飼料の細胞壁構成物質 (NDF) 含有率と高い相関があるとの報告もある^{78,80)}。反芻時間は飼料を粉碎加工することにより、大幅に減少し^{13,81)}、報告によっては、ほとんど反芻が消滅したとするものもある⁸¹⁾。

1日当りの反芻時のそしゃく数(以下再そしゃく数とする)も反芻時間と同様に、飼料の摂取量、種類、形態ならびに品質により大きく変化し、6,000~40,000程度の範囲⁵⁴⁾であるが、通常は3万台が多い^{25,54)}。1分当りのそしゃく回数は反芻時は採食時よりも少なく⁵⁹⁾、1食塊当りの再そしゃく数は通常50~70程度である^{25,54)}。

粗飼料の給与量を極端に制限したり、細かに粉碎して給与すると、単に反芻時間の減少に留らず、反芻に質的な変化をもたらすことがある。反芻は反芻胃内の食塊を吐き戻し、液状部分を飲み込み、固形部分を再そしゃくするとともに、唾液と混和し、再度えん下する一連の行動を繰り返すことであるが、前記の様な条件下では、時として再そしゃくの欠落が認められることがある²¹⁾。この現象は偽反芻 (Pseudo-rumination) と呼ばれている。

反芻は採食直後にはほとんど観察されない。採食終了時より反芻の発現までの時間 (lag time⁵⁴⁾) は粗飼料の摂取量が多くなると短縮され、少なくなると延長されると報告されている⁵⁴⁾。また、第一胃フィステルより第一胃内へ粗飼料を投入することにより、この時間は著るしく短縮されるとの報告もある⁵⁵⁾。

種々の緩衝液により、第一胃内の pH 値を変化させても反芻の誘起や採食終了時より反芻発現までの時間の短縮は認められず、唾液や VFA を第一胃内へ注入しても反芻への影響は認められなかったと報告されている⁵⁶⁾。

長時間の絶食⁷⁷⁾、絶水²⁶⁾は反芻を消滅させることが知られている。

以上のように、飼料の摂取量、種類、形態ならびに品質により、反芻は量的にも質的にも影響を受けることが知られているが、圧縮成形乾草やサイレージと反芻行動との関係についてはほとんどデータが蓄積されていない。また、乾草の粉碎度や粗剛性が反芻行動に及ぼす影響についても不明の点が多い。

3) 反芻行動の消化生理上の役割

給与した草と採食えん下された草の第一胃における消失率をナイロン袋法で比較すると、えん下された草の窒素^{6,29)}、乾物ならびに灰分⁶⁾の消化率が高かったと報告されている。また、乾草を経口的に採食させた場合と第一胃フィステルより投入した場合とを比較すると、後者では第一胃内の乾物量および反芻時間が増大したが、第一胃内容物の乾物率や消化率には差が認められなかったとの報告もある⁷⁾。

これらの成績は採食時のそしゃくにより、飼料中の栄養素の第一胃内における可溶性もしくは消化性の向上を示唆しているが、全体としての消化率はほとんど影響を受けないようである。これには反芻時間増によるそしゃくの補完が関与しているのかも知れない。

反芻家畜は通常、1日の3分の1前後の時間を反芻に費やすが、反芻の消化生理上の意義については不明な点が多い。

飼料を粉碎して給与すると、消化管内滞留時間

が短縮され、乾物や粗繊維の消化率が低下するといわれている^{13,57,81,83,84)}。Pearce and Moir⁵⁷⁾は口輪を用いて、反芻を強制的に阻止している。反芻阻止は消化管内滞留時間の延長と消化率の向上をもたらすが、同時に採食量の減退をもたらすと報告されている。また、同氏らは粉碎飼料にポリエチレンフレークを加え、反芻を刺激すると飼料の消化管内滞留時間はさらに短縮され、消化率も低下したと報じている。

これらの成績は反芻による第1胃内容物の摩碎

が消化管内滞留時間を調節し、正常な採食量を維持する役割を果たすことを示唆している。

また、反芻中には反芻胃の運動が活発になること³⁹⁾、唾液の分泌速度が高まること^{12,62)}が知られている。これらの現象から、反芻胃内容物の攪拌や酸の中和を通して、反芻が反芻胃内の環境調節に関与しており、正常な発酵の維持にも役立っているものと推測されるが、反芻行動と第一胃内の環境や発酵との直接的な関係についてはほとんど研究されていない。

第II章 反芻行動の測定記録法

反芻について研究するためには、確実に簡便な測定法を活用する必要があるが、その具備すべき要件としては、ア) 家畜への影響が無視できる程度に小さいこと、イ) 操作が簡便で故障が少ないこと、ウ) 家畜に装着する装置は十分な強度を持ち、安価であることなどがあげられる。また、システム全体が安価であることも望まれる。反芻の測定法は前章で触れたように種々の方法が開発されているが、咬筋筋電位を利用したラジオバイオテレメトリが家畜を拘束することが少ない点で最も優れ、高価な装置を必要としない点でニューモグラフ・タンブール法が優れているようである。

そこで、これら両方に必要な装置の試作と家畜への応用を試みた。

1. ニューモグラフ・タンブール法

本法は次のような原理による。反芻に伴うあごの動きはあごに装着したニューモグラフの内圧を変化させる。この圧力変化はチューブによりタンブールに伝えられ、タンブールのゴム膜を動かす。



Figure 1. Halter pneumograph assembly for the jaw motion apparatus.

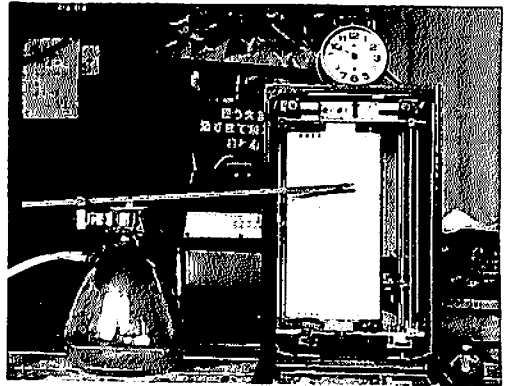


Figure 2. Recording assembly for the jaw motion apparatus.

このゴム膜の動きをペンに伝え、キモグラフを用いて記録するのである。

必要な装置は自作した。ニューモグラフは自転車チューブを内径9 cm程度のダウンツ状に加工したもので、図1のように装着した。タンブールはガラス製の吸引ビンの口にゴム膜をかぶせたものである。タンブールのゴム膜の中心にゴムの小塊を接着し、これをペン軸に連結した。タンブール周辺の様子は図2のとおりである。

以上の装置を用いて、めん羊の反芻行動の測定を試みたところ、実験室温の変化に伴い、ニューモグラフおよびタンブール内の空気圧が大きく変化し、記録の基線がずれた。また、陰圧が極端になった際はペン軸が動かず、記録が不可能になる場合も生じた。そこで、ニューモグラフとタンブールとを連結する管の1部にゴム管を用い、これにカミソリでスリットをつけたところ、あごの動きに伴う空気圧の変化の伝達記録には何ら支障なく、温度変化による基線の動揺を抑えることができた。

記録例を図3に示すが、a) 採食時、b) 休息時、c) 反芻時には、それぞれ特徴的なパターンが得られ、これら3者は容易に区別できた。反芻時の記録は採食時のそれに比べて振幅の変化が少

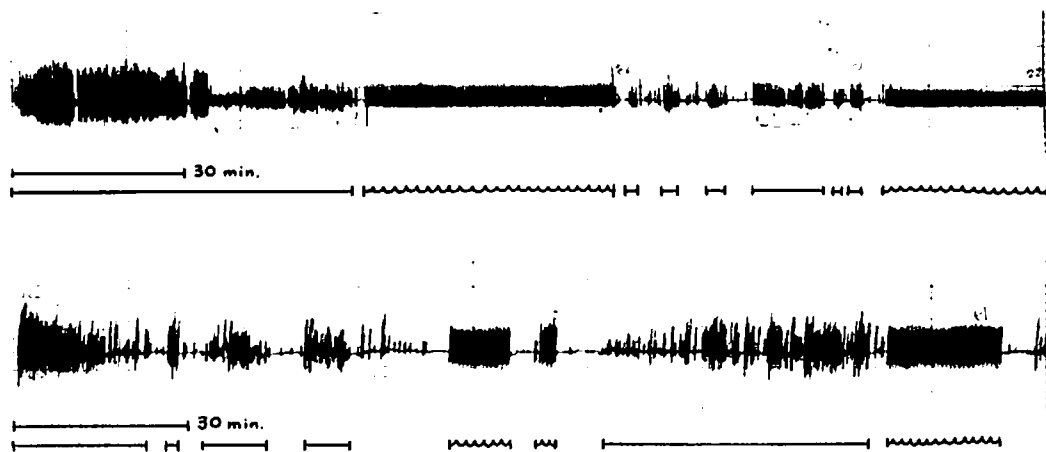


Figure 3. Records of jaw movements made by sheep. The records were obtained with a pneumograph-tambour apparatus. Records underscored with a wavy line denotes the characteristic pattern of rumination and a straight line shows the irregular pattern of eating.

なく、その上端は鋸歯状のパターンを呈する。これは反芻時に食塊の吐き戻し、再そしゃく、再えん下という一連の行動を繰り返すことを反映して生じるもので、鋸歯に相当する部分の数は反芻食塊の吐出回数、言い換えれば、個々の反芻の数に一致し、記録からは採食時間、反芻時間とともに反芻食塊吐出回数も読み取ることができる。

本法は特殊な装置を必要とせず、故障が少ないという利点がある反面、次の様な欠点があることが判明した。まず、ニューモグラフの装着は家畜の口の動きを多少とも束縛するし、ニューモグラフに慣らすには少くとも数日間を必要とする。また、ニューモグラフは7日間程度以上連続装着すると家畜の皮膚を損なう恐れがある。さらに、家畜と記録計とを結ぶ連結管はかなり邪魔な存在であった。

従って、本研究では、ニューモグラフ・タンブール法は実験を開始した当初を除き、反芻の測定法としては採用しなかった。

2. 反芻行動のラジオバイオテレメトリ

ニューモグラフ・タンブール法には前節に記したような難点があることが、これを試作、応用することにより判明した。ラジオバイオテレメトリを採用すれば、これらの難点の大部分を克服でき

るものと期待された。しかし、市販のテレメータ装置はヒト用に開発されたものに限られ、大家畜への応用には無理があるものと思われた。そこで、2要素のポリグラフ(フクダ電子, EMR-201型)を記録機を中心とするラジオバイオテレメトリシステムの開発を試みた。

1) 反芻行動測定用ラジオバイオテレメトリシステム

本テレメトリシステムのブロックダイアグラムは図4に示したとおりであり、電極、送信機、受信機ならびに記録装置の4部に大別される。電極

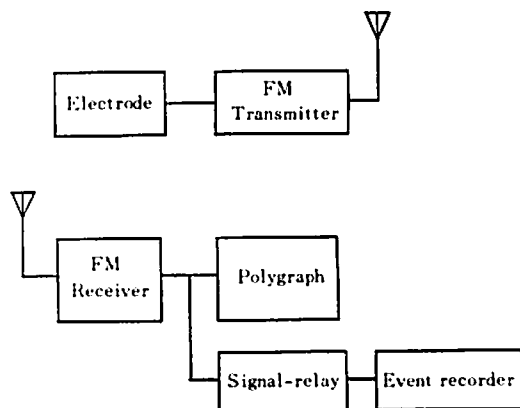


Figure 4. Block diagram of the radio biotelemetry system.

および送信機は自作した。受信機としては市販の小型ラジオ受信機を使用した。また記録装置としてはポリグラフおよび自記電接計数器の2種の利用を考えた。

試作した電極は表面電極と針電極の2種であり、図5に示したものである。表面電極はポリエチレン製サンプルピンの中ふた内にステンレス

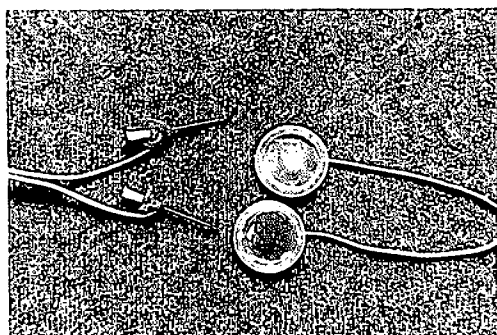


Figure 5. Two types of electrode for collecting potential from masseter muscles.

チール板をはめ込み、リード線をハンダ付けしたものである。針電極は市販の注射針にリード線をハンダ付けしたものである。

試作した送信機は図6に回路図を示したAおよびBの2機種である。試作は送信機A、送信機Bの順で行なった。送信機Aは低周波増幅部および送信部よりなる。低周波増幅部はトランジスタ3個(Q₁, Q₂, Q₃)を使用した3段増幅器で、各段とも温度変化に対して安定な電流帰還バイアス回路を採用した。また、送信部には発振周波数を安定に保つため、発振器(Q₄)の後段に低利得の高周波増幅回路(Q₅)を設け、緩衝器とした。変調方式は信号/雑音比の優れた周波数変調(Frequency modulation, FM)とした。搬送波の周波数は市販のFMラジオ受信機で受信可能な76~90 MHzの範囲で、FM放送に使用されていない周波数を任意に選ぶこととした。電波の実用到達距離は約100 mで、市販の小型6 V電池を使用した際の電池の寿命は約36時間であった。本機の重量は

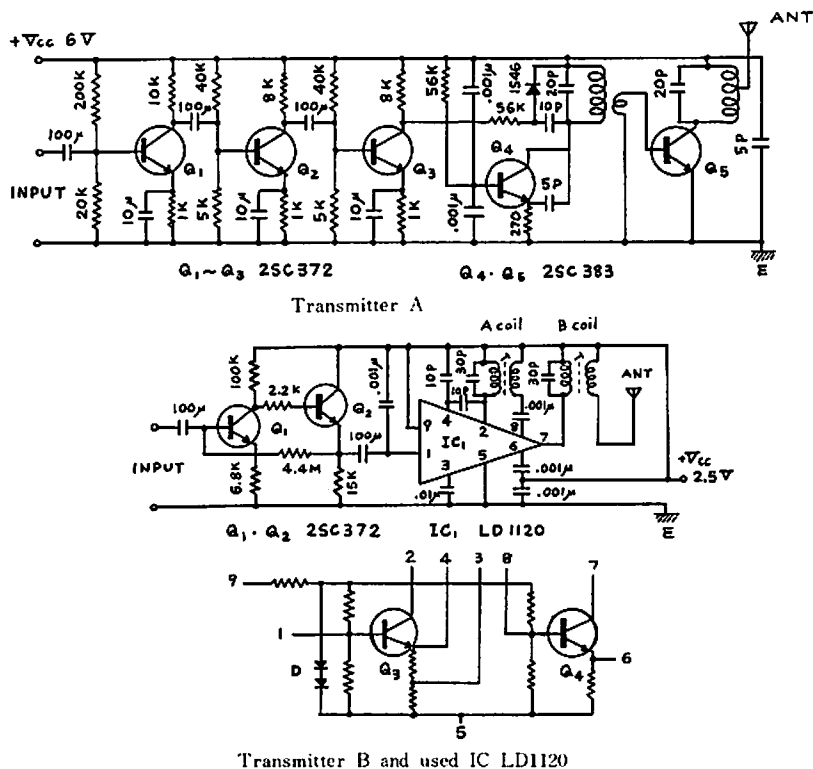


Figure 6. Circuit diagram of the transmitter A and B.

電池を含めて約120 gで、大きさは10×7×3 cmであった。

バイオテレメトリに使用する送信機の重量は動物の体重の20分の1以下でなければならないといわれている³⁾が、これによれば本機は体重2.5 kg以上の動物で使用可能であり、反芻動物を対象とする限り送信機重量が制限因子になることはないものと思われる。

送信機Aは入力インピーダンスや時定数に配慮しなかったため、これを成牛の心電信号などの微弱な電位変化のテレメトリに応用しようとする場合には、電極の装着位置の選定や装着に経験と技術が要求された。また、コイルなどの高周波に関係する部品の配置や送信アンテナとの結合が不適当な場合には発振回路の動作が不安定になることがあった。

これらの諸点の改良と、集積回路(Integrated circuit, IC)を使用して工作労力の軽減を試み、送信機Bを試作した。本機の低周波用の前置増幅器は入力インピーダンスが高く、出力インピーダンスが低くなるよう配慮した。入力インピーダンスは実測してないが、おおむね500 k Ω と思われる。高周波部はIC、A・B両コイルならびにコンデンサよりなる。使用したICはワイヤレスマイク用に開発された薄膜ICのLD 1120であり、その等価回路は図6のとおりである。トランジスタ Q_3 およびAコイルにより38~45 MHzで発振させ、 Q_4 およびBコイルにより、これを連倍し、76~90 MHzで送信する。シリコンダイオードDは Q_3 および Q_4 の温度補償を兼ねており、バイアスが安定しているので減電圧特性が優れ、発振周波数の変動が少ない。電源は2.5~3 Vでよく、消費電力は約5 mAであり、送信出力は75 Ω アンテナ端で約300 mVである。送信機Bは使用素子数が少なく、工作が難しい高周波部をIC化したため、図7に示したように小型化が可能で、工作も容易になった。大きさは4×5×3 cmであった。

受信機とポリグラフは図8のように配置した。

本テレメトリシステムを構成する機器のうち、自作したものは電極、送信機の外に信号リレーがある。信号リレーはそしゃく数の計数用に試作し

た。本機の回路図を図9に示した。2個のトランジスタにより、低周波増幅とスイッチングを行なう。2個のダイオードを使用し、効率の良い倍電圧整流回路を採用した。本機は1回の筋電信号の入力で1回リレーが開閉するよう作られているので、リレーのコモン接点とメーク接点に電接計数器を接続すれば、筋電信号の入力回数、すなわち、そしゃく回数を経時的に記録することができる。

2) 反芻行動の測定

反芻行動の測定には咬筋の筋電信号を利用する。電極は左右または片側の咬筋上の皮膚に装着した。表面電極を装着する際には、電極の装着点を毛刈りばさみで良くせん毛し、電極ゼリーを塗り込み、接着剤を用いて電極を貼付した。針電極の装着は図10に示した様に電極を皮膚に縫い付け、輪ゴムで固定した。

表面電極を長時間使用する場合、電極の脱落、接触不良などの事故があった。また、ゼリーの固化や皮膚の伸長などによって接触不良となり、記録がとれないこともあった。針電極を用いること

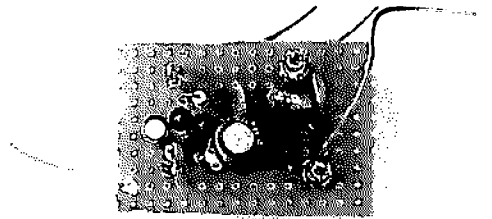


Figure 7. Components side of assembled circuitry board of the transmitter B.

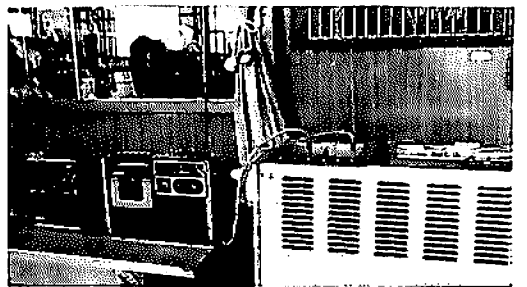


Figure 8. The receiving and recording apparatus of the radio telemetry system.

により、安定性は増したが、針と電線との接着点の切断や雑音の発生を経験した。そこで、針とリード線との接着点をビニールテープで補強したところ、大部分は解決できた。なお、リード線のたるみは家畜にリード線をかじられる事故の原因となるので、たるまないように工夫する必要があった。ゴムを用いてリード線を後部へ引張ることにより、たるみを防止することができた。

なお、採食行動および反芻行動の測定記録は、A・Bどちらの送信機を用いても、表面電極・針電極のどちらを用いても、以下に記す様に測定できた。そしゃく行動の測定は次の様な原理による。そしゃくすることにより、咬筋に生じた電位は電極を通じて送信機へ送られ、周波数変調された電波が発射される。これをFMラジオ受信機で受信し、イヤホン端子の出力をポリグラフに入力することにより、筋電信号を記録することができる。

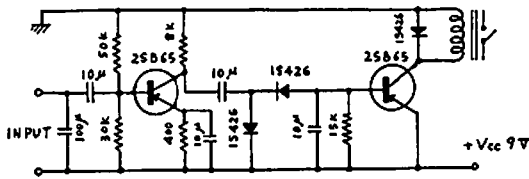


Figure 9. Circuit diagram of the signal-relay.



Figure 10. Needle electrodes mounted on a cheek.

ポリグラフによる筋電信号の記録例は図11および図12に示すとおりである。図11は1 cm / 分の送り速度で、a) 採食時、b) 休息時、C) 反芻時には、Nichols (1965) ⁴⁶⁾と同様に、それぞれ特徴的なパターンが記録され、3つの行動型の識別は容易であった。また、飼養条件によっては、d) 微弱な反芻、e) 偽反芻も記録された。本論文では微弱な反芻とは、同一動物の24時間の記録において、咬筋の活動電位が他に比べて著しく低く、かろうじて反芻と確認できる程度のものをいう。また、偽反芻とは、反芻の一連の過程のうち、再そしゃく時間がほとんど認められないものをいう。偽反芻の多くは食塊を吐き戻し、軽く1回ないし2回そしゃくした後、えん下する様であった。以下本研究においては図11と同様に記録紙の送り速度は1 cm / 分とした。

図12は個々のそしゃくおよび再そしゃくの筋電

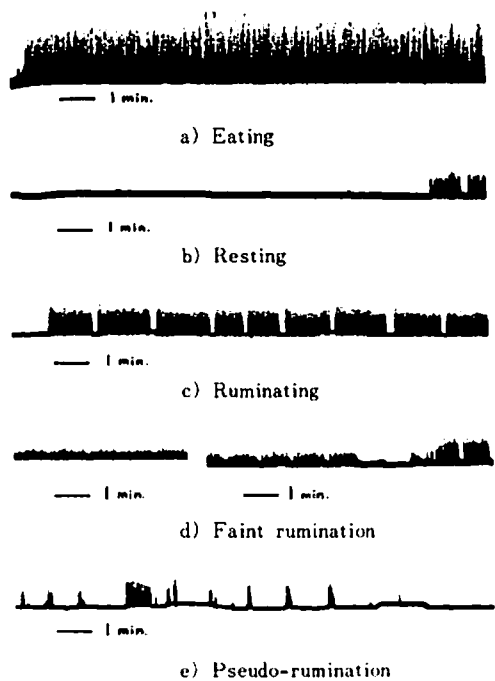


Figure 11. Typical recording patterns of jaw muscle potentials during a) eating, b) resting, c) ruminating, d) faint rumination and e) pseudo-rumination.

信号を見るため、例外的に記録紙の送り速度を25 mm / 秒としたものである。図中、a) ~ d) はそれぞれ、a) ペレット化された濃厚飼料、b) ヘイキューブ、c) 細切乾草、d) 梱包乾草を採食している際の筋電信号であり、e) は反芻時の再そしゃくの筋電信号である。濃厚飼料採食時の筋電信号は主に舌の活動電位であり、ほとんどそしゃくせず、丸飲みにしている様に観察された。ヘイキューブ採食時にはほとんど舌を使用しないが、細切乾草の採食時にはかなり頻繁に舌を使う。梱包乾草採食時には1度舌を使って乾草を口の中にくわえ込むと10~20回以上強くそしゃくすることが観察された。また、反芻中には舌を使わず、採食中よりもゆっくりしたペースで再そしゃくする。

記録計として、自記電接計数器を信号リレーとともに使用することにより、そしゃく数の経時的な記録を得ることができる。この際、計数器の時計ドラムに24時間計を用いると記録線が重なるため、12時間計以下を用いる必要があった。また、採食と反芻の識別が困難で、微弱な反芻や偽反芻の記録ができないという欠点がある。しかし、電池駆動できるため、電灯線を必要としない利点がある。電接計数器によるそしゃく行動の測定は単独では十分な情報が得られないことが多いため、本研究では、ことわらない限り、ポリグラフにより記録する方式によった。図13に電接計数器によるそしゃく数の記録例を示す。使用した時計ドラムは6時間計であった。

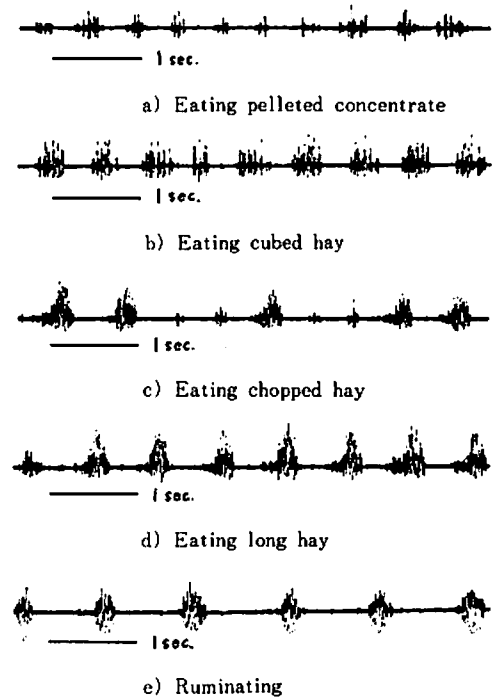


Figure 12. Record of jaw muscle potentials during eating a) pelleted concentrate, b) cubed hay, c) chopped hay and d) long hay and e) during ruminating.

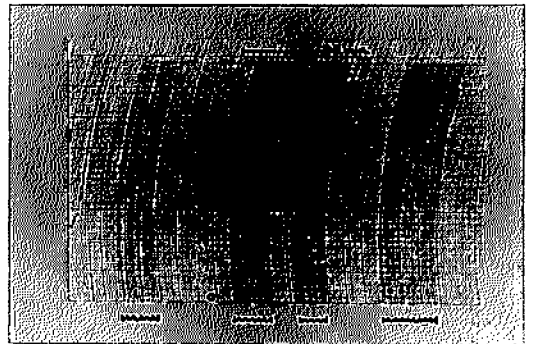


Figure 13. Record of number of bites by the event recorder. Records underscored with a wavy line denotes the period of rumination.

第三章 飼養条件と反芻行動

反芻行動を研究する上で必要な基礎的知見の一つに飼養条件と反芻行動との関係があげられる。しかし、舎飼時における反芻行動の日内分布や日間変動、飼料摂取量が反芻行動におよぼす影響、あるいは絶食や再給飼などの飼養条件の急変が反芻行動におよぼす影響など、最も基本的と思われる知見に関する報告は少なく、十分に解明されているとはいえない。本章ではこれらの点を検討した。

1. 舎飼時における反芻行動の日内分布と日間変動

放牧家畜では反芻は昼間よりも夜間に活発であるとの観察結果^{20,54)}が多いが、舎飼動物における反芻行動の日内分布に関する研究は少ない。Pearce (1965)⁵⁴⁾はめん羊の反芻の日内分布について研究し、次のようなパターンをとることを示し

Table 1. Chemical composition of Timothy hay

Mois.	C.Prot.	C.Fat	NFE	C.Fib	C.Ash	NDF	ADF	ADL
12.6	7.7	2.0	45.9	36.6	7.8	70.9	43.5	5.4

Percent of dry matter except moisture.

Table 2. Physical characteristics of Timothy hay

	Finely ground	Coarsely ground	Chopped at 9 mm	Chopped at 30mm
Particle size distribution*				
Coarse	4.76	—	1.8	46.7
	2.38	—	10.7	35.4
Medium	1.19	1.4	30.1	13.8
	0.59	45.9	29.6	3.1
Fine	0.30	29.7	12.2	1.0
	0.15	18.8	9.6	—
Pass	4.2	6.0	—	—
Modulus of fineness	2.21	3.08	4.63	5.24
Modulus of uniformity	0:5:5	1:6:3	6:4:0	8:2:0
Actual cutting length**				
Above 5 cm	—	—	10.4	6.1
4 ~ 5 cm	—	—	6.3	6.2
3 ~ 4 cm	—	—	10.3	32.0
2 ~ 3 cm	—	—	15.1	28.9
1 ~ 2 cm	—	—	28.1	14.8
Below 1 cm	—	—	29.8	12.0

* Percentage of dry matter retained on sieves with these apertures(mm).

** Percentage of dry matter.

た。すなわち、反芻は採食直後にはほとんどみられないが、最初の反芻が発現した後は徐々に活発になり、早朝に最高潮に達した後、次の飼料摂取時まで逡減する。同氏は数日ないし1週間程度反芻の記録をとっているが、日間変動については論議の対象としていない。

いずれにしろ、舎飼家畜の反芻行動の日内、日間変動についての研究は少なく、不明な点が多いので、以下の実験で明らかにしようとした。

材料と方法

サフォーク種とコリデール種の雑種雄めん羊2頭(H-5 体重40 kg および H-6, 体重43 kg)を供試し、2つの実験を実施した。実験1では、カッターにより細切(設定切断長30 mm)した乾草を午前9時と午後4時に250 g ずつ給与した。乾草はチモシー主体の1番草であった。7日間の予備飼養の後、6日間連続して咬筋筋電信号をラジオ

テレメトリすることにより、反芻行動を測定記録した。測定項目は採食時間、反芻時間ならびに反芻食塊吐出回数であった。

実験2では、これら2頭のめん羊に実験1と同じ乾草をウィレー粉砕機を用いて粉砕して給与した。H-5には篩を装着しない状態で粉砕したもの(以下、粗粉砕乾草とする)を、H-6には直径2 mmの篩を通るように粉砕したもの(以下、粉砕乾草とする)をそれぞれ給与した。給与時間、給与量はいずれも実験1と同様であった。反芻行動は7日間の予備飼養の後、8日間連続して測定した。なお、5日目には測定装置の故障により、記録が不完全であったため、これを除外した7日間のデータについて解析した。

供試した乾草の化学組成、切断長および粒径分布はそれぞれ表1および表2に示したとおりである。細胞壁構成物質(Cell-wall constituents,

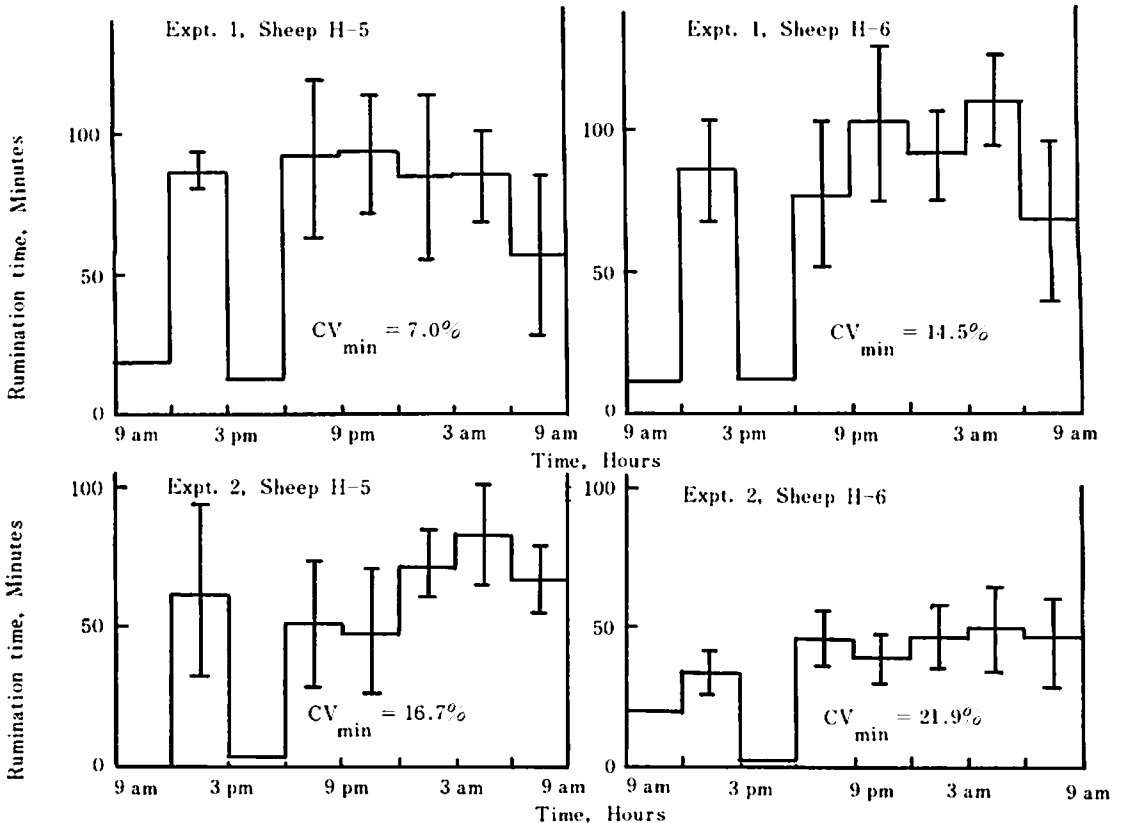


Figure 14. Circadian distributions of rumination time, in 3-hr subperiods under conditions of twice feeding a day (9 am and 4 pm).

Neutral detergent fiber, 以下 NDF と略す) は Van Soest and Wine⁷⁶⁾に、酸デタージェント繊維 (Acid detergent fiber, 以下 ADF と略す) および酸デタージェントリグニン (Acid detergent lignin, 以下 ADL と略す) は Van Soest⁷²⁾に従い測定した。一般成分分析は常法⁵⁾によった。なお、粒径分布の測定および Modulus of fineness (以下 MF と略す), Modulus of uniformity (以下 MU と略す) の算出は ASAE 法²⁾に従った。なお、本論文では以上の成分の分析法はすべて本節と同様であった。

結果と考察

1日24時間を3時間毎に区分し、それぞれの時間帯における反芻時間の平均値と標準偏差を図14に、反芻食塊吐出回数⁷⁾の平均値と標準偏差を図15に示した。なお、微弱な反芻は反芻として扱ったが、偽反芻と思われる記録は反芻とは認めなかった。実験1および実験2に共通して、採食時間を含む午前9時より午前12時までの時間帯と午後3

時より午後6時までの時間帯において、反芻時間および反芻食塊吐出回数は他の時間帯に比べて極端に少なく、反芻が観察されないことが多かった。従って、この両時間帯では測定値が正規分布から大きく逸脱しているものと考えられたので、両時間帯のデータについては標準偏差は算出しなかった。両時間帯はそれぞれ朝および夕の飼料給与時間を含み、採食時間と Pearce⁵⁴⁾の指摘した採食直後の反芻が不活発な時間に相当するものと思われる。

本実験では前述の採食前後の2つの時間帯において、他の時間帯よりも反芻が少なかったことを除けば、時間帯間に大差は認められず、特定の時間帯に反芻が活発であるということにはなかった。なお、反芻時間、反芻食塊吐出回数のいずれを指標としても、標準偏差および変動係数はかなり大きく、日によって反芻が活発になる時間帯が変化することが示唆される。

一般に、反芻行動は深夜から早朝にかけて最も

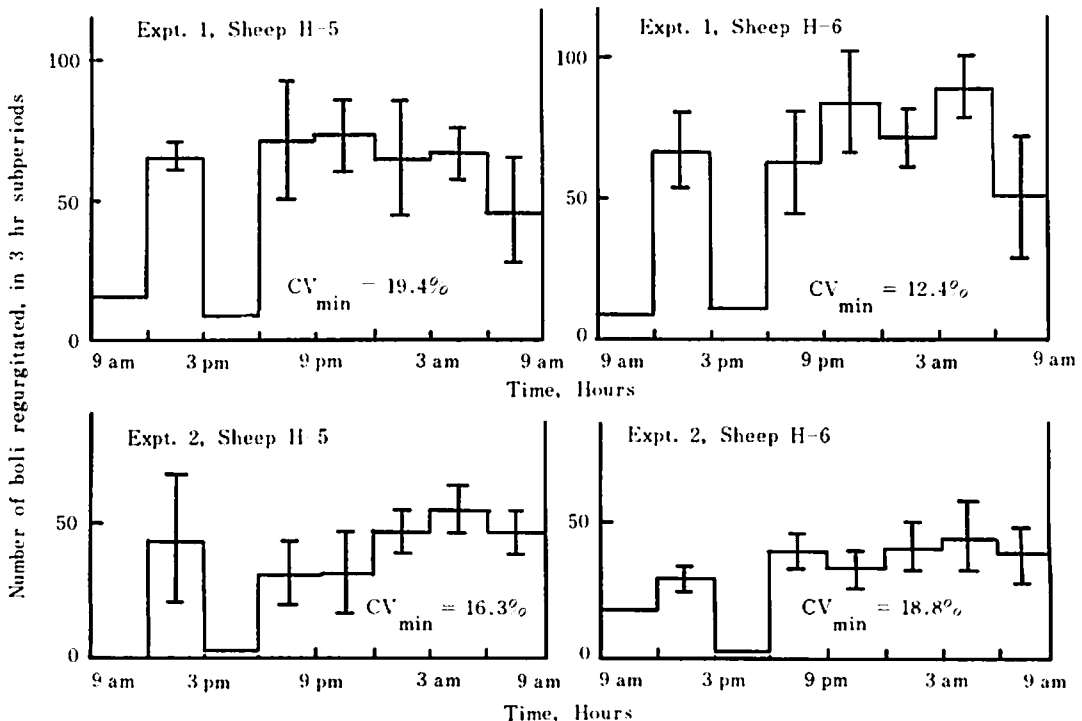


Figure 15. Circadian distributions of number of boli regurgitated, in 3-hr subperiods under conditions of twice feeding a day (9 am and 4 pm).

Table 3. Time spent ruminating and number of boli regurgitated per day

Expt.	Feed	Sheep	Time spent ruminating			Number of boli		
			Mean*	SD**	CV***	Mean*	SD**	CV***
1	Chopped hay	H-5	528.8	16.0	3.0	407.7	7.5	1.8
1	Chopped hay	H-6	563.1	21.3	3.8	440.0	10.7	2.4
2	Coarsely ground hay	H-5	387.9	25.8	6.7	251.6	14.8	5.9
2	Finely ground hay	H-6	275.4	31.6	11.5	227.1	25.3	11.1

* Minutes per day.

** Standard deviation. Expt. 1, n=6; Expt. 2, n=7.

*** Coefficient of variation(%).

活発であるといわれている⁵⁴⁾。また、粉碎した飼料では反芻行動が認められる時間帯が深夜から早朝に集中する傾向があるとの報告⁵⁴⁾もある。本実験の結果は以上の主張と必ずしも一致しないが、対立するものでもない。

1日当りの採食時間、反芻時間、反芻食塊吐出回数⁵⁾の平均値、標準偏差ならびに変動係数を表3に示した。1日当りの採食時間、反芻時間ならびに反芻食塊吐出回数は給与した乾草の物理形態により異なるようであり、粉碎乾草や粗粉碎乾草では細切乾草に比べ低い値となる傾向が認められた。

反芻時間および反芻食塊吐出回数の変動係数は1.8~12%の範囲であり、図14および図15中に示した各時間帯における変動係数に比べ、いずれもかなり小さい。このことは、一定の飼養条件下では反芻が活発になる時間帯は日によって変化するが、1日当りの反芻時間や反芻食塊吐出回数の変動は小さいことを意味する。

反芻行動は量的側面と質的側面の両面からとらえる必要がある。反芻時間や反芻食塊吐出回数のような、いわば反芻の量を示す指標の測定に際しては24時間以上の連続測定が望ましく、測定値は1日を単位として表わすことが妥当と考える。

2. 飼料摂取量と反芻行動

飼料摂取量の違いが反芻時間におよぼす影響については Gordon²⁷⁾および Welch and Smith⁷⁹⁾の

報告がある。前者は乾草給与量を毎日増すことにより、後者は2日毎に増すことにより、乾草給与量が増大するにつれて1日当りの反芻時間が増加するが、増加幅は遅減し、やがてプラトーに達することを認めている。これらの実験はいずれも一定量の飼料を給与した日数が少なく、得られた反芻時間は、同量の乾草をより長時間給与される際に測定される反芻時間と必ずしも一致しない恐れがある。

そこで、本節では一定量の乾草を給与する日数を5日間に増し、乾草摂取量と反芻行動との関係について検討した。

材料と方法

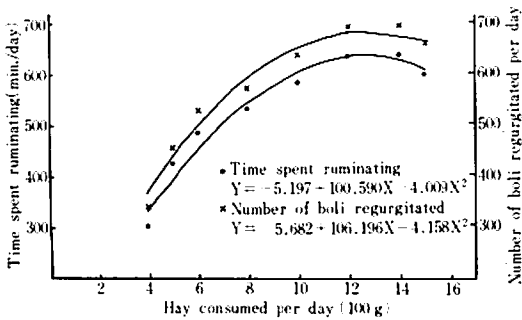
サフォーク種とコリデール種の雑種雄めん羊2頭(体重66 kg および71 kg)を供試した。これらのめん羊に前節で供試したものと同一細切乾草を午前9時および午後4時に1日量の半量ずつ給与した。試験期は各期5日間とし、4日間の予備飼養の後、5日目に反芻行動の測定を行なった。各試験期の乾草給与量は1日当り400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1400ならびに1600 gで、この順に試験を実施した。なお、1日当り1600 gを給与した試験期には供試めん羊のいずれも給与量を食いつくることができず、残食が出た。この試験期における平均摂取量は1492 gであった。供試乾草の化学組成は表1、切断長分布は表2に示したとおりである。

結果と考察

各試験期における1日当りの採食時間、反芻時

Table 4. Time spent eating, time spent ruminating and number of boli regurgitated in sheep consuming varying amounts of hay

Observation	Hay consumed per day (g)							
	400	500	600	800	1000	1200	1400	1492
Time spent eating per day (min.)	36	58	62	72	125	135	155	143
Time spent ruminating per day (min.)	303	423	482	528	579	630	633	594
Time spent ruminating per 100g DM consumed (min.)	86.7	96.8	91.9	75.5	66.2	60.1	51.7	45.5
Time spent ruminating per 100g NDF consumed (min.)	122.2	136.5	129.6	106.5	93.4	84.7	73.0	64.2
Number of boli regurgitated per day	337	453	525	569	634	689	692	655
Number of boli regurgitated per 100g DM consumed	96.4	103.7	100.1	81.4	72.5	65.7	56.6	50.2
Number of boli regurgitated per 100g NDF consumed	135.9	146.2	141.2	114.8	102.3	92.7	79.8	70.8

**Figure 16.** Relationship between amount of hay consumed, and time spent ruminating and number of boli regurgitated per day.

間ならびに反芻食塊吐出回数を表4に示した。採食量が増大するにつれて採食時間も増した。採食時間は給与量が800gまでは徐々に増したが、1000gを給与した試験期には800gを給与した試験期に比べ大幅に増し、その後は再び給与量が増すにつれて徐々に増大した。

反芻時間および反芻食塊吐出回数も乾草摂取量の増大に伴い増大したが、増加幅は通減し、反芻時間は1日当り600分前後で、反芻食塊吐出回数は670回前後でプラトーに達した。この様子は図16に示したとおりである。これはGordon²⁷⁾およびWelch and Smith⁷⁹⁾の短期実験の結果とおおむね一致する。Gordonの実験では1日当りの乾草給与量が300ないし600gで反芻時間はプラトーに達し

ている。これは供試した乾草の質や動物の大きさの違いによるものと思われる。

乾物摂取量およびNDF摂取量当りの反芻時間および反芻食塊吐出回数は乾草の摂取量が400gから500gに増すことにより、いずれも増したが、以後は摂取量が増大するにつれて減少した。Welch and Smith⁷⁹⁾はNDF摂取量当りの反芻時間は乾草の摂取量が増大するにつれて減少したと報告している。本実験では、低い飼料給与水準において、いったん増大し、同氏らの結果とは異なった。これは同氏らはひき割りとうもろこしを乾草とともに給与したのに対し、本実験では乾草のみを給与したこと、乾草の質の違いなどによるものであろう。

Gordon²⁷⁾はプラトーに達する水準が正常な反芻水準であり、およそ500分程度であると主張している。本実験では1日当り600分程度でプラトーに達した。

今後、反芻行動について研究する場合には、500~600分程度の反芻時間の水準をめどにして飼料給与水準を決めるとよいものと思われる。また、反芻時間がプラトーに達する飼料給与水準は家畜の飽食量の大小によって大きな影響を受けるものと思われるので、できるだけ、そろった家畜を供試することが望まれる。

また、1日当りの反芻時間や反芻食塊吐出回数

を比較する際に、飼料摂取量が異なる場合は摂取乾物量当りの数値が用いられてきたが、摂取乾物量当り、あるいは摂取NDF当りの反芻時間および反芻食塊吐出回数を指標としても、飼料摂取量の影響を消し去ることはできないことが判明した。試験の性質上止むを得ない場合を除き、飼料摂取量をそろえる必要があるものとする。

3. 絶食および再給飼と反芻行動

絶食することにより、反芻が観察されなくなったり、偽反芻と呼ばれる現象が発現することが知られている⁷⁾。しかし、絶食後の反芻行動の変化を経時的に詳しく観察した研究は少ない。また、偽反芻が咬筋筋電信号のテレメトリによって、どのように記録されるか知る必要があった。

そこで、本節では、絶食後の反芻行動を観察・記録することにより、絶食後の反芻行動の量的、質的变化と再給飼の影響を知ろうとした。

材料と方法

サフォーク種とコリテール種の雑種雄めん羊(体重41~48 kg)を供試した。これらのうち2頭

(H-9およびH-10)には本章第1節で供試したのと同じ細切乾草を給与した。乾草の給与量は1日当り500 gで、午前9時および午後4時に半量ずつ給与した。また、他の2頭(H-11およびH-12)には1日当り800 gの子乾サイレージを乾草と同時に半量ずつ給与した。5日間の予備飼養の後、試験1日目には予備期と同様に飼料を給与し、2日目には午前9時に1日量の半量の飼料を給与した後絶食させた。3日目および4日目も引き続き絶食させ、5日目の午前9時より予備飼養期と同様に飼料を給与した。5日間の試験期間は連続して反芻行動を記録した。なお、肉眼観察は午前9時より午後5時までに限った。

めん羊H-9では電極の脱落事故が散発し、十分なデータが取れなかったため、検討の対象から除外した。

供試した乾草の化学組成および切断長の分布は表1および表2のとおりであり、子乾サイレージの化学組成は表5のとおりである。

結果と考察

試験1日目より5日目までの3時間毎の反芻時

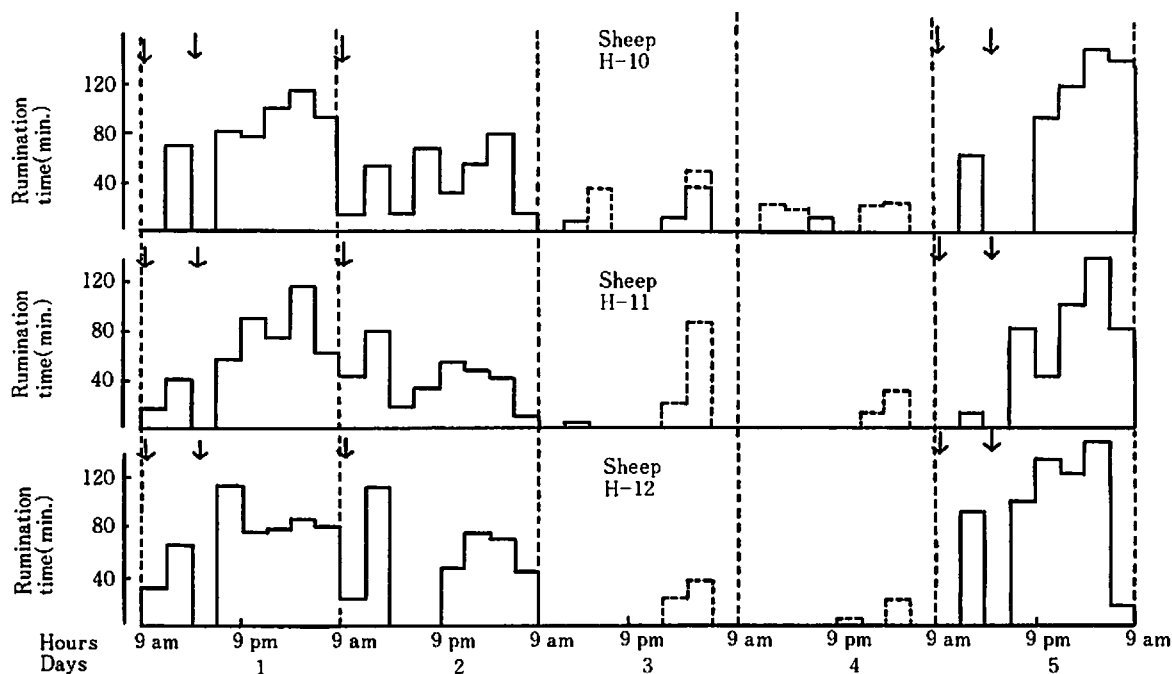


Figure 17. Time spent ruminating during normal feeding, fasting and subsequent refeeding. The arrows indicate the time of feeding.

Table 5. Chemical composition of wilted silage

Mois.	C.Prot.	C.Fat	NFE	C.Fib.	C.Ash	NDF	ADF	ADL
61.5	10.8	3.3	44.6	33.9	7.4	65.8	31.4	2.6

Percentage of dry matter except moisture.

Table 6. Time spent ruminating and number of boli regurgitated per day in normal, fasted and refed sheep

Sheep	Days	Dietary condition	Time* spent ruminating	Number of boli	Rumination time* per bolus
H-10	1	Normal	531	529	1.00
	2	Fasted	311	375	0.83
	3	Fasted	103	149	0.69
	4	Fasted	77	131	0.59
	5	Refed	548	598	0.92
H-11	1	Normal	453	461	0.98
	2	Fasted	294	326	0.90
	3	Fasted	107	127	0.84
	4	Fasted	43	59	0.73
	5	Refed	448	489	0.92
H-12	1	Normal	523	508	1.03
	2	Fasted	253	345	0.73
	3	Fasted	59	77	0.77
	4	Fasted	23	31	0.74
	5	Refed	609	696	0.88

* Minutes.

間を図17に示した。同図中、破線で表わした部分は微弱な反芻で、図11のごとく記録された。また、3日目および4日目には偽反芻も観察され、図11のごとく記録されたが、これは反芻時間には含まなかった。偽反芻は数分から2時間程度連続して観察された。1日当りの偽反芻時間は15分~212分の範囲であり、ばらつきが大きかった。

1日当りの反芻時間、反芻食塊吐出回数ならびに反芻食塊吐出回数当りの反芻時間を表6に示す。図17および表6にみられるごとく、絶食を開始した2日目より絶食時間の経過につれて反芻時間および反芻食塊吐出回数は減少した。予備飼養期および第1日目に乾草を給与した、めん羊H-10では3日目および4日目においても短時間ながら正常な反芻が微弱な反芻や偽反芻とともに認

められた。しかし、予乾サイレージを給与していた、めん羊H-12では3日目および4日目には正常な反芻は観察されず、深夜から早朝にかけて微弱な反芻や偽反芻が記録された。

Welch and Smith⁷⁷⁾は絶食後2日目の昼間までニューモグラフ・タンブール法により反芻行動を測定した結果、絶食後2日目で反芻はほぼ消滅し、偽反芻 (Intermittent regurgitation) に代わると報じている。本実験では、絶食後2日目の昼間には反芻はほとんど記録されなかったが、深夜から早朝にかけて微弱ながら反芻が記録された。絶食後2日目ないし3日目には、反芻時間や反芻食塊吐出回数が激減し、反芻は微弱になるが、反芻行動が全く消滅することはないようである。

反芻食塊吐出回数当りの反芻時間も絶食後日数

の経過につれて短くなる傾向が認められた。3日目および4日目に記録された反芻は大部分が微弱な反芻であったことから、微弱な反芻では反芻食塊吐出回数当りの反芻時間が短くなるものと思われる。なお、傾向検定³¹⁾の結果、1日当りの反芻時間、反芻食塊吐出回数ならびに反芻食塊吐出回数当りの反芻時間が絶食後日数の経過に伴い減少する傾向はいずれも有意($P < .01$)であった。

試験5日目には予備飼養期および試験1日目と

同じ飼料を同量、同時刻に与えたが、1日当りの反芻時間は3頭とも試験1日目とほぼ同水準に回復した。また、反芻食塊吐出回数は試験1日目の値を上回り、反芻食塊吐出回数当りの反芻時間は試験1日目と絶食開始日である試験2日目の中間の値となった。

絶食日数が3日程度であれば、再給飼することにより、反芻は量的にも質的にも速やかに回復するようである。

第Ⅳ章 飼料の理化学的性質と反芻行動

前章では飼養条件と反芻行動について検討したが、本章では飼料、特に反芻家畜の基礎飼料である粗飼料の理化学的性質が反芻行動におよぼす影響について検討した。

1. 乾草の形態と反芻行動

乾草の粉碎加工およびペレット化は反芻時間を大きく減退させることが知られている^{25, 81)}。しかし、粉碎の程度（以下粉碎度とする）と反芻行動との関係についてはほとんど検討されていなかった。最近、Wilkins ら⁸⁴⁾は粉碎乾草と細切乾草の比率が反芻時間におよぼす影響について検討し、粉碎乾草の比率の増大に伴い、反芻時間が減少したと報告している。これは主に MF3.0以下の粉碎度についての検討であり、MF3.0以上の粉碎度については良く知られていない。

また、最近開発された加工粗飼料である圧縮成形乾草（ヘイクューブとかヘイウェファと呼ばれている）の給与が反芻行動におよぼす影響についてはほとんど不明である。

本節では、これらの不明な点を明らかにしようとして実験を行なった。

1) 乾草の粉碎度、切断長と反芻行動

材料と方法

サフォーク種とコリデル種の雑種雄めん羊4頭（体重38~45kg）を供試した。めん羊にはチモシー1番乾草を次の様に加工して給与した。すなわち、ウィレー粉碎機で直径2mmの篩を通るように粉碎したもの（以下粉碎乾草とする）、篩を装着しない粉碎機で粉碎したもの（以下粗粉碎乾草とする）、カッターにより設定切断長9mmに細切したもの（以下9mm乾草とする）ならびに設定切断長30mmに細切したもの（以下30mm乾草とする）の4種である。

試験は4×4ラテン方格法に基づき実施した。これらの乾草の1日当りの給与量は500gであり、午前9時および午後4時に半量づつ給与した。水

および固形塩は自由に摂取させた。なお、供試乾草は前章で供試したものと同一であり、その化学組成は表1に、粒径分布および切断長は表2に示したとおりである。各試験期とも7日間の予備飼養の後、5日間の採糞期を設けたが、そのうちの24時間連続して反芻行動を測定した。反芻行動の測定はラジオバイオテレメトリによった。

なお、Ⅲ期に粉碎乾草を給与しためん羊H-7は採食を拒否したため、欠測値がでたが、欠測値の推定⁸⁶⁾を行い分散分析をした。分散分析後の平均値の差の検定はTukeyの方法⁸⁶⁾によった。以下、本論文では平均値の差の検定はすべてTukeyの方法によった。

結果と考案

表7に反芻行動の測定結果を示した。採食時間は粉碎乾草区と30mm乾草区が他の2試験区に比べて多少長かったが、有意差は認められなかった。個体差は有意（ $P < .01$ ）であった。

反芻時間は粉碎乾草区が9mm乾草区および30mm乾草区に比べて有意に短かく（ $P < .05$ ）、粗粉碎区ではこれらの中間の値であった。反芻食塊吐出回数は反芻時間と同様に9mmおよび30mm乾草区に比べて粉碎乾草区が有意に少なく（ $P < .05$ ）、粗粉碎区ではこれらの中間の値であった。粉碎乾草区および粗粉碎乾草区では微弱な反芻が記録された。表7に示した値は微弱な反芻を含む。また、同表括弧内に示した値は微弱な反芻の測定値である。特に、粉碎乾草区では微弱な反芻の発現頻度が高く、全反芻に対する微弱な反芻の割合は反芻時間、反芻食塊吐出回数のおいずれを指標としても40%以上に達した。

反芻期数は30mm乾草区、9mm乾草区、粗粉碎乾草区、粉碎乾草区の順で多く、乾草片の大きさが大きくなるほど増加する傾向にあったが、試験区間に有意差は検出されなかった。1反芻期当りの反芻時間および反芻食塊吐出回数も同じ順序であったが、試験区間の差は有意ではなかった。

Table 7. Time spent eating and ruminating and number of boli regurgitated with sheep consumed varying particle size hay

Observation	Finely ground	Coarsely ground	Chopped at 9 mm	Chopped at 30mm	Individual difference
Modulus of fineness	2.21	3.08	4.63	5.24	
Modulus of uniformity	0:5:5	1:6:3	6:4:0	8:2:0	
Time spent eating per day (min.)	178.0	147.3	143.3	173.3	**
Time spent ruminating per day (min.)	322.0 ^a (137.1)	420.5 ^{ab} (58.0)	510.5 ^b	514.3 ^b	
Number of boli regurgitated per day	206.8 ^a (86.0)	360.8 ^{ab} (49.0)	481.5 ^b	474.8 ^b	
Number of rumination period	15.3	17.0	19.5	18.5	
Time spent ruminating per period (min.)	21.0	24.7	26.2	27.8	
Number of boli regurgitated per period	13.5	21.2	24.7	25.7	
Time spent ruminating per bolus (min.)	1.56 ^a	1.17 ^b	1.06 ^b	1.08 ^b	**

() Faint rumination.

a, b Values having different superscripts are significantly different ($p < .05$).

反芻食塊吐出回数当りの反芻時間は他の指標とは逆に、粉碎乾草区が他の試験区に比べて有意 ($p < .05$) に大きな値となった。なお、反芻食塊吐出回数当りの反芻時間には有意な個体差が認められた ($p < .01$)。粉碎乾草区および粗粉碎乾草区では偽反芻も記録されたが、これは反芻とは認めなかった。

反芻時間や反芻食塊吐出回数など反芻の量的な指標（以下本論文では反芻時間と反芻食塊吐出回数を合せて反芻量、Amount of rumination⁵⁴と呼ぶ）は粉碎乾草区が9mmおよび30mm乾草区に比べて小さな値となり、粗粉碎乾草区はこれらの中間の値となった。また、9mmおよび30mmの両細切乾草間にはほとんど差が認められなかった。反芻量は乾物摂取量^{27,79}、NDF摂取量^{78,80}ならびに飼料片の大きさ (Particle size)^{25,51}に影響される。本試験では、前2者については試験処理間に差がないようにしたので、本試験で認められた反芻量の差は主に給与した乾草の飼料片の大きさに起因するものと解される。

粉碎および粗粉碎乾草区では一部に微弱な反芻が記録された。本試験における微弱な反芻では反芻食塊吐出回数当りの反芻時間は飼料片が細かく

なるにつれて長くなった。前章の絶食試験においては絶食時間の経過に伴い反芻食塊吐出回数当りの反芻時間は短縮された。このことは、微弱な反芻が起り易い条件で反芻食塊吐出回数当りの反芻時間が、本実験では長くなり、絶食試験では短縮されたことを示す。両者の差異の原因については不明である。

飼料の形態が反芻行動におよぼす影響を検討する際には反芻行動を量的な側面と質的な側面の両面から検討する必要がある。飼料の粉碎加工は、粗粉碎乾草程度 (MF3.08) の飼料片の大きさでも反芻量の減少とともに微弱な反芻や偽反芻の発現など、いわば反芻の質にも影響を与える。しかし、設定切断長9mm程度 (MF4.63) の細切は反芻にはほとんど影響しないものと思われる。

2) 乾草の圧縮成形加工と反芻行動

材料と方法

乾草の圧縮成形加工がめん羊および乳牛の反芻行動におよぼす影響について検討するため、二つの試験を実施した。

試験 1

同一圃場より収穫したチモシー2番草を原料として、梱包乾草、ヘイキューブ（以下キューブと

Table 8. Physical characteristics of cubed and wafered hay used in Experiment 1 and 2

Feed	Particle size distribution*							Modulus of	
	4.76	2.40	1.20	0.60	0.30	0.15	Pass	Finess	Uniformity
Cubed, Expt. 1	—	4.2	39.2	37.9	11.8	6.0	0.9	3.21	0:8:2
Wafered, Expt. 1	5.3	14.2	20.6	31.2	19.2	8.2	1.3	3.25	2:5:3
Cubed, Expt. 2	0.4	8.5	33.3	39.4	12.7	5.1	0.6	3.27	1:7:2

*. Percentage of dry matter retained on sieves with these apertures (mm).

Table 9. Chemical composition of the hay diet used in Experiment 1

Diet	Mois.	C.Prot.	C.Fat	NFE	C.Fib.	C.Ash	NDF	ADF	ADL
Baled hay	16.2	15.0	4.2	42.6	29.2	9.0	64.1	40.1	5.8
Wafered hay	11.9	15.6	5.2	42.4	27.1	9.7	61.3	37.9	6.5
Cubed hay	12.3	15.3	4.6	44.3	26.0	9.8	60.9	38.2	6.7

Percent of dry matter except moisture.

する)ならびにヘイウェファ(以下ウェファとする)を調製した。キューブは Atlas, GT-25型, ウェファは Taarup Unidry, TU-22型でそれぞれ加工した。キューブは直径3.3~3.5cm, 長さ2.5~5.5cmの円筒形であり, ウェファは直径6cm, 厚さ3~6cmの円板形であった。供試したキューブおよびウェファの粒径分布およびこれより算出したMF, MUを表8に示した。粒径分布は一晩浸水した試料を乾燥し, 篩分して測定した。供試飼料の化学組成は表9のとおりであった。

試験は3×3ラテン方格法により, コリデール種の去勢成めん羊3頭(体重58~66kg)を供試して実施した。各期とも8日間の予備飼養の後, 3日間反芻行動の測定を行なった。なお, 3日間の測定のうち, 2日間はニューモグラフ・タンブル法により, 採食時間, 反芻時間, 反芻食塊吐回数ならびに反芻期数を測定した。残る1日にはラジオバイオテレメトリによった。なお, 記録機としてはポリグラフと自記電接計数器を併用し, 前記の測定項目に加え, 採食時および反芻時のしゃく数も測定した。

飼料は午前8時および午後8時の1日2回, それぞれ650gを給与した。反芻行動の測定は午前の給飼時より午後の給飼時までの12時間に限った。

試験 2

粗飼料中のキューブと梱包乾草の比率が乳牛の反芻行動におよぼす影響について検討するため, キューブおよび梱包乾草を調製し, 供試した。両者の原料草を収穫した圃場は異なるが, 同一日に刈り取った。原料草はいずれもオーチャードグラスを主体とし, ラジノクロバを混入する1番草であった。キューブの調製法は試験1と同様であった。供試キューブの粒径分布と化学組成はそれぞれ表8および表10に示したとおりである。養分含量はめん羊による消化試験により求めた消化率を用いて算出した。

供試家畜はホルスタイン種泌乳牛3頭(平均体重610kg, 平均FCM日量22.8kg)である。これらにFCM量の4分の1量の配合飼料を給与し, 日本飼養標準⁴⁾に対するTDN不足分をキューブと梱包乾草とで補った。キューブと梱包乾草の給与比率をTDN比で100:0, 75:25, 50:50の3処理(以下それぞれ100%区, 75%区ならびに50%区とする)とし, 3×3ラテン方格法で試験を実施した。各試験期とも14日間の予備飼養に続く7日間を反芻行動の測定期とした。各牛の反芻行動の測定には7日間の測定期のうちの3日間連続記録した。反芻行動の測定には試験1で供試したものと

Table 10. Chemical composition and nutrient contents of the diets used in Experiment 2

Diet	Mois.	O.M.	C.Prot.	NDF	ADF	ADL	DCP	TDN
Concentrate	11.1	89.9	14.1	—	—	—	10.5	75.5
Cubed hay	11.8	87.5	15.0	53.2	32.1	5.2	8.0	62.6
Baled hay	18.2	91.7	15.3	58.1	35.2	3.7	10.4	69.1

Percentage of dry matter except moisture.

Table 11. Intake* of concentrate, cubed hay and baled hay in Experiment 2

Diet	Feeding treatment**		
	100 : 0	75 : 25	50 : 50
Concentrate	6.1	5.6	5.5
Cubed hay	13.0	9.3	6.2
Baled hay	—	2.8	5.6

* Dry matter (kg).

** TDN from cubed hay : TDN from baled hay.

同じテレメータ装置を2組用いた。なお、電極の剝離等の事故により、記録が不完全であった場合は測定を1日延長し、この記録を用いた。飼料摂取量は表11のとおりであった。

結 果

試 験 1

梱包乾草、キューブならびにウェファを給与した試験区（それぞれ梱包乾草区、キューブ区ならびにウェファ区とする）の反芻行動の測定結果を表12に示した。採食時のそしゃく活動を表わす指標である採食時間および採食時そしゃく数は梱包乾草区、ウェファ区、キューブ区の順で大きく、梱包乾草区とウェファ・キューブ両区との間に有意差（ $p < .05$ ）が認められた。

反芻時間、反芻時そしゃく数（以下再そしゃく数とする）ならびに反芻食塊吐出回数も同様の順で大きな値であったが、試験区間の差は有意ではなかった。反芻期数にはほとんど差はなかった。また、表12には1反芻期当りの反芻時間、再そしゃく数ならびに反芻食塊吐出回数も掲げた。これら3つの指標はいずれも1反芻期当りの反芻の量的

な指標である。同表には反芻食塊吐出回数当りの反芻時間、再そしゃく数ならびに1分当りの再そしゃく数も示した。1反芻期当りの反芻量を表わす3つの指標はいずれも梱包乾草区、ウェファ区、キューブ区の順に大きかった。また、反芻食塊吐出回数当りの反芻時間および再そしゃく数はこれと逆の順で大きな値となった。これらの指標の試験区間の差はいずれも有意ではなかった。1分当りの再そしゃく数にはほとんど試験区間差はなかった。

試 験 2

表13に採食時間、採食時そしゃく数、反芻時間ならびに再そしゃく数を示した。本試験においては表11に示したように試験区間に乾物摂取量の差が生じたので、同表には摂取乾物1kg当りおよび摂取乾草乾物1kg当りの採食時間および反芻時間も示した。

採食時間および採食時そしゃく数はいずれも飼料中の梱包乾草の割合が増すにつれて大きな値となった。また、反芻の量的な指標である反芻時間、再そしゃく数ならびに反芻食塊吐出回数の各値も同様に梱包乾草の割合が増し、キューブの割合が低下するにつれて増大した。これら反芻量を表わす指標はいずれも試験区間に有意差（ $p < .01$ ）が認められた。これは摂取乾物1kg当りおよび摂取乾草乾物1kg当りの反芻時間、再そしゃく数ならびに反芻食塊吐出回数を指標としても同様であった。

1反芻期当りの反芻時間、再そしゃく数ならびに反芻食塊吐出回数には有意差は認められなかった。また、反芻食塊吐出回数当りの反芻時間および再そしゃく数には大きな差はなく、1分当りの

Table 12. Time spent eating and ruminating, number of chews during eating and ruminating and number of boli regurgitated in sheep consumed baled, wafered and cubed hay per 12 hours

Observation	Baled hay	Wafered hay	Cubed hay
Time spent eating (min.)	110 ^a	51 ^b	32 ^b
Number of chews during eating (100 chews)	89 ^a	31 ^b	20 ^b
Time spent ruminating (min.)	185	149	113
Number of chews during ruminating (100 chews)	107	101	68
Number of boli regurgitated	207	154	113
Number of rumination period	8.7	8.6	8.1
Time spent ruminating per period (min.)	21.3	17.3	14.0
Number of chews per period (100 chews)	12.3	11.7	8.4
Number of boli per period	24	18	14
Time spent ruminating per bolus (min.)	0.89	0.97	1.00
Number of chews per bolus	51.7	65.6	60.2
Rate of chewing during ruminating (chews per min.)	57.8	67.8	60.2

a, b Values having different superscripts are significantly different ($P < .05$).

Table 13. Time spent eating and ruminating, number of chews during eating and ruminating and number of boli regurgitated in cows consumed cubed hay and baled hay in various ratios

Observation	per 24 hours			per kg hay(DM)consumed			per kg DM consumed		
	100:0*	75:25*	50:50*	100:0*	75:25*	50:50*	100:0*	75:25*	50:50*
Time spent eating (min.)	105 ^a	126 ^{ab}	166 ^b	8.1 ^a	10.4 ^{ab}	14.1 ^b	5.5 ^a	7.1 ^{ab}	9.6 ^b
Number of chews during eating (100 chews)	65	94	111	5.0	7.8	9.4	3.4	5.3	6.4
Time spent ruminating (min.)	200 ^A	284 ^B	394 ^C	15.4 ^A	23.5 ^B	33.4 ^C	10.5 ^A	16.0 ^B	22.8 ^C
Number of chews during ruminating (100 chews)	125 ^A	176 ^B	246 ^C	9.6 ^A	14.5 ^B	20.8 ^C	6.5 ^A	9.9 ^B	14.2 ^C
Number of boli regurgitated	198 ^A	275 ^B	378 ^C	15.2 ^A	22.7 ^B	32.0 ^C	10.4 ^A	15.5 ^B	21.8 ^C
Number of rumination period	9.3 ^a	14.0 ^b	15.0 ^b	0.7 ^a	1.2 ^b	1.3 ^b	0.5 ^a	0.8 ^b	0.9 ^b

* TDN from cubed hay: TDN from baled hay.

a, b, c Values having different superscripts are significantly different ($p < .05$).

A, B, C Values having different superscripts are significantly different ($p < .01$).

再そしゃく数にはほとんど差はなかった。

考 察

採食時間および採食時そしゃく数は試験1では梱包乾草区、ウェファ区、キューブ区の順で大きく、試験2では飼料中の梱包乾草の比率が大きくなるほど大きな値となった。これはキューブの採食速度が梱包乾草のそれよりも大きいことを示す。

反芻時間、再そしゃく数、反芻食塊吐出回数は試験1では梱包乾草区、ウェファ区、キューブ区の順で大きく、試験2においては飼料中の梱包乾草の比率が高く、キューブの比率が少ないほど大きな値となった。反芻量は乾草摂取量^{27,79)}、NDF摂取量^{78,80)}などとともに前項で検討した飼料片の大きさ^{25,51)}により影響される。試験1では梱包乾草区の乾物摂取量は他の試験区に比べてわずかに少なかったが大差はなかった。また、試験2では表13に示した様に飼料中のキューブの比率が大きいほど乾物摂取量が多かった。このように、試験1では乾物摂取量にほとんど差がなく、試験2では乾物摂取量と反芻量とは逆の関係にあり、両試験とも乾物摂取量では説明できない。また、試験1および試験2におけるNDF摂取量はそれぞれ347~351gおよび6.6~6.9kgであり、試験区間の差は小さかった。次に、飼料片の大きさについて検討すると、梱包乾草はキューブやウェファとは異なり、原料を細切していないこと、梱包時の圧縮工程で受ける圧力はキューブやウェファが成形工程で受ける圧力と比べて弱いこと、さらに製品のサイズが大きいことなどから他の2者よりも明らかに粗くかつ長い草片より成っている。表8に示した様に、キューブとウェファのMFは差が小さいが、MUは異なった。特に、粗い部分(2.40mmの篩を通らない部分、Coarse)の割合は前者が0であるのに対し、後者は2であり、ウェファの方が大きかった。粗い飼料片の含有率は梱包乾草、ウェファ、キューブの順で大きく、反芻量に認められた順位と一致する。また、試験2においては飼料中の粗くかつ長い飼料の比率はキューブの比率が高い試験区ほど小さかったものと考えられ、これも反芻量に認められた順位と一致した。以上

より、両試験で認められた反芻量の違いは主に飼料片の大きさ、特に粗い部分の含有率の違いによるものと考えられる。

なお、試験2において、反芻時間の最も長かった50%区においても、反芻時間は400分未満であった。これは牛の反芻時間としては少ない方で²⁸⁾、乾草の50%をヘイキューブとしても反芻量が低下することが示唆された。

前項において確認された様に、粗飼料として粉碎牧草のみを給与すると反芻量の減少とともに偽反芻の発現に代表される反芻の質的な変化が起ることが知られている²⁵⁾。キューブやウェファを供試した本実験では反芻量の減少が認められたにとどまり、質的な変化としての偽反芻や微弱な反芻は観察されなかった。また、1分当りの再そしゃく数や反芻食塊吐出回数当りの反芻時間および再そしゃく数にも大きな変化はなかった。

以上より、キューブやウェファなど粉碎工程を含まない圧縮成形乾草主体の飼養は、梱包乾草主体の飼養に比べて反芻量が減少するが、偽反芻の発現など反芻行動の質的な変化は容易に起らないものと考えた。

2. 乾草の粗剛性と反芻行動

乾草の理化学的性質のうち、消化生理に大きな影響をおよぼす要因の一つに乾草の粗剛性がある。牧草は熟期の進行に伴い、その粗剛度を増すが、これは主に細胞壁の変性に起因している。その主要なものは木化(Lignification)である^{49,50,73)}が、イネ科牧草では珪化(Silicification)もかなり関与している⁷⁵⁾ことが知られ、これを基礎とした繊維分析法および飼料価値推定法が開発されている^{72,73,76)}。

一方、乾草の粗剛性を物理的な見地からとらえようとする試みもわずかながらみられる。一つは人工そしゃく機による摩砕度⁸⁸⁾であり、他の一つは実験室用小型粉碎機により乾草を粉碎するに要する電力量⁵⁾である。これらはいずれも乾物自由摂取量との間に高い相関が得られている。これらの測定には人工そしゃく機や精密な自記電力計が必要で、必ずしも簡便な測定法とはいえない。

Table 14. Chemical composition of the hay used for studying the fibrousness of hay

Hay	Species	C.prot.	C.Fat	NDF	ADF	ADL
A	Timothy	6.8	2.1	70.8	44.1	5.5
B	Orchardgrass	14.2	3.1	66.2	33.0	3.7
C	Timothy	12.7	2.6	57.7	40.8	4.9
D	Timothy	7.3	2.2	68.2	45.2	6.3
E	Orchardgrass	16.1	4.0	68.1	35.5	3.6
F	Timothy	5.2	1.7	70.8	47.2	8.2

Percentage of dry matter.

Table 15. Accumulative amounts of ground hay during grinding the 20-g hay samples in the Wiley mill (5 replicates)

Hay	Grinding time(min.)					
	1	2	3	5	8	15
	(g)					
A	9.9	13.3	15.1	16.7	17.4	18.3
B	11.2	14.8	16.2	17.3	17.9	18.5
C	9.4	13.3	15.2	16.7	17.5	18.3
D	6.7	10.3	12.4	15.3	17.0	18.1
E	9.1	13.1	15.5	16.7	17.4	18.0
F	6.2	9.4	11.5	14.7	16.7	18.0
CV max*	6.2	5.3	4.6	3.7	4.4	5.0

- Maximum value of coefficient of variations in the same column.

Table 16. Accumulative percentage of grinding with the elapsing of grinding time(5 replicates)

Hay	Grinding time(min.)					
	1	2	3	5	8	15
	(%)					
A	54.1	72.7	82.5	91.3	95.1	100
B	60.5	80.0	87.6	93.5	96.8	100
C	51.4	72.7	83.1	91.3	95.6	100
D	37.0	56.9	68.5	84.5	93.9	100
E	50.6	72.8	86.1	92.8	96.7	100
F	34.4	52.2	63.9	81.7	92.8	100
CV max*	4.3	3.2	3.3	1.2	0.8	-

- Maximum value of coefficient of variations in the same column.

そこで、試料調製用として広く普及しているウィレー粉砕機を用いる簡便な粗剛性測定法を開発し、乾草の粗剛性を物理、化学の両面からとらえ、反芻行動との関係を追究した。

1) ウィレー粉砕機による乾草の粗剛性測定法 材料と方法

供試した乾草はチモシーおよびオーチャードグラスの1番乾草6種類である。供試乾草の化学組成は表14に示したとおりであり、乾物中の粗蛋白質含有率5~16%、NDF含有率58~71%、ADL含有率3.6~8.2%の範囲のものである。供試した粉砕機は粉砕室内径100mmの小型ウィレー粉砕機で、4分の1馬力、800RPMの規格であった。粉砕の際は内径1mmの篩を装着した。

予備試験の結果より、粉砕速度は試料の粉砕度、水分含有率ならびに粉砕室導入時間により大きな影響を受けることが分かったので、供試試料はあらかじめ直径2mmの篩を通過するよう粗粉砕し、50°Cで一晩以上通風乾燥した。また、粉砕開始後30秒以内に全試料を粉砕室内に導入するようにした。1回の粉砕に使用した試料の量は20.0gであった。

粗剛性測定の際として、粉砕速度および粉砕開始後15分間に消費した電力量を測定した。粉砕速度は粉砕開始後3分までは30秒毎、その後15分までは1分毎の粉砕量を測定することにより求めた。粉砕に要した電力量は感度が64倍になるよう改造した家庭用積算電力計を用いて測定した。

なお、測定は1試料につき5回反復した。

結果と考察

表15に粉砕開始後1, 2, 3, 5, 8ならびに15分における各乾草の積算粉砕量の平均値と変動係数を示した。最初の1分間の粉砕量は6~11g、2分間では9~15g、15分間に粉砕された量は18~18.5gの範囲であった。各測定値の変動係数はいずれも6.2%以下であった。表16には15分間に粉砕された量を100として、各時間に粉砕された割合をその時間における粉砕率として示した。最初の1分間の粉砕率はおよそ35~61%、2分間では52~80%であった。また、各測定値の変動係数はいずれも4.3%以下であった。乾草Bおよび乾草Fの

粉碎量の経時的变化を図18に示した。図中の曲線を粉碎曲線と呼ぶことにする。粉碎曲線は乾草Bが上限、乾草Fが下限であり、他の乾草は両乾草の粉碎曲線の間に位置した。

粉碎の進行に伴い粉碎機より排出される試料は茎部の割合が多くなることが観察され、特に後半は排出試料の大部分が茎であった。粉碎機より排出された試料のNDFおよびADF含有率は粉碎時間の経過に伴い図19に示した様に変化し、NDF含有率、ADF含有率とも増大した。

粉碎開始後、1、2、3、5ならびに8分後の粉碎量と粉碎率について、乾草と反復とを要因とした二元配置分散分析を行ない、表17にその結果を示した。同表に示したすべての粉碎速度を表わす指標は乾草間に1%水準で有意な差を検出した。最もF値が高かったのは2分間粉碎率であった。反復間のF値はいずれも小さかった。

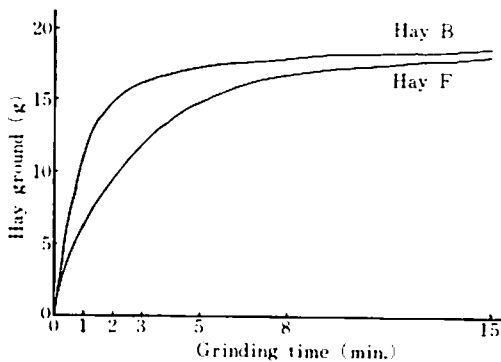


Figure 18. Grinding curves of hay B and hay F.

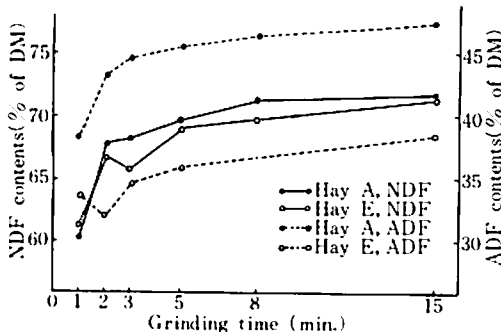


Figure 19. Changes in NDF and ADF contents of the ground hay with elapsing of grinding time.

表18には15分間の粉碎に消費した電力と消費電力についての分散分析表を示した。誤差および反復間差が大きく、粗剛性を表わす指標としては適さないものと考えた。

以上の結果より、乾草間差の検出には乾草間のF値が十分に高く、反復間F値が十分に小さい2~3分間粉碎率が適した指標と思われる。

なお、表17に示した分散分析では、乾草間と時間が交絡している。ウィレー粉碎機の能力は刃の状態の良否により大きな影響を受けるものと思われる、時期の影響は無視できない。本試験で供試したウィレー粉碎機は試験開始から終了まで他の目的には一切使用しなかった。従って、乾草Fの5回目の粉碎は乾草Aの1回目の粉碎から数えて30回目の粉碎にあたった。表15および表16に示したごとく、各乾草とも5回の反復間の分散および変動係数は小さく、1回目と5回目の粉碎曲線にはほとんど差は認められなかった。また、反復を重ねるにつれて粉碎速度が低下するような傾向も認められなかった。従って、本試験における乾草間の分散には時期が大きく関与していることはないものとする。

ウィレー粉碎機による乾草の粉碎速度は個々の粉碎機の能力差や刃の研磨や摩耗による能力変化により大きな影響を受けるものと予想される。従って、異なる粉碎機間の成績の比較や刃の加工前後の比較は無意味であろう。なお、同一粉碎機を用いて乾草間の粉碎速度を比較する際には刃の状態に大きな変化がないよう配慮するか、時期の影響を消去できるような実験計画に基づく必要がある。

2) 乾草の化学組成および粉碎速度と反芻行動材料と方法

前項で供試した6種の乾草を供試した。これをアルファベット順に4頭のコリデル種去勢成めん羊(体重71~75kg)に給与した。給与量は残食量が給与量の20%前後となる程度とした。各乾草給与期とも7日間の予備飼養に続く7日間を試験期とし、摂取量の測定、糞の採取とともにテレメータ装置を用いて反芻行動の測定を2日間連続して実施した。電極の剥離や接触不良などの事故によ

Table 17. Analysis of variance about amount of hay ground and percentage of grinding at the several time of grinding

Grinding time (min.)	Mean squares			F	
	Between hay (5)*	Between replications (5)*	Error (20)*	Between hay	Between replications
	Amount of hay ground				
1	17.38	0.192	0.105	165.52**	1.83
2	21.89	0.276	0.146	149.93**	1.89
3	18.03	0.275	0.168	107.32**	1.64
5	5.13	0.225	0.207	24.78**	1.09
8	0.88	0.173	0.179	4.92**	0.97
	percentage of grinding				
1	482.5	3.351	2.261	213.40**	1.48
2	603.3	3.815	2.325	259.48**	1.64
3	494.5	3.615	2.580	191.67**	1.40
5	120.9	0.230	0.987	122.49**	0.23
8	12.6	0.028	0.494	25.51**	0.06

* Degree of freedom.

** Significant on a probability of 0.01.

Table 18. Electrical energy required for grinding the 5-g hay samples in the Wiley mill and analysis of variance about the energy (5 replicates)

Electrical power (Wh)					
Hay A	B	C	D	E	F
44.4	46.4	35.3	35.3	31.9	23.1
Analysis of variance					
Source	d.f.	Mean squares	F		
Between hays	5	361.5	1.581		
Between replications	4	275.8	1.206		
Error	20	228.6			

り、記録が不完全な場合は3日目も反芻行動の測定を行ない、1頭1乾草当り2日間の測定値を得た。各乾草の化学組成は表14に、2分間、3分間ならびに5分間粉碎率は表16に示した。

結果と考察

各乾草の1日1頭当りの乾物摂取量を表19に示した。また、各乾草給与時の1日当りの反芻時間および反芻食塊吐出回数、摂取乾物100g当りの反芻時間および反芻食塊吐出回数も表19に示した。

乾物摂取量が最も高かったのは乾草Bで、以下E、C、A、Dと続き、最も少なかったのは乾草Fであった。1日当りの反芻時間は乾草E給与時が約400分で、他の乾草給与時の480~580分比べて短かかった ($p < .05$)。各乾草は飽食させたので、表19に示した1日当りの反芻時間はいずれも各乾草のプラト一値とみなしてもよいものと思われる。

乾草の化学組成および粉碎速度と反芻行動との関係を知るため、粗蛋白質、NDF、ADFならびにADLの各含有率と1日当りあるいは摂取乾物100g当りの反芻時間および反芻食塊吐出回数との相関係数を算出し、表20に示した。また、同表には粉碎速度を表わす3つの指標(2分間粉碎率、3分間粉碎率ならびに5分間粉碎率)と反芻時間および反芻食塊吐出回数との相関係数も示した。各化学成分および反芻食塊吐出回数との相関はいずれも小さく、有意ではなかった。これに対して、NDF以外の化学成分および粉碎速度と摂取乾物100g当りの反芻時間および反芻食塊吐出回数との相関はいずれも高く、ADF含有率および2分間粉碎率と100g当りの反芻食塊吐出回数との相関係数を除き有意であった。

一般に、乾草では粗蛋白質含有率が低く、ADF

Table 19. Dry matter intake, time spent ruminating and number of boli regurgitated in sheep consumed Hay A to Hay F

Hay	Intake per day (g)	Time spent ruminating (min.)		Number of boli regurgitated	
		per day	per 100g DM consumed	per day	per 100g DM consumed
A	1135.4	518	45.6	596	52.5
B	1349.6	546	40.5	699	51.8
C	1200.1	482	40.2	555	46.2
D	1050.8	579	55.1	654	62.2
E	1210.1	391	32.3	446	36.9
F	951.2	524	55.1	603	63.4

Table 20. Simple correlations between fibrousness of hay and amount of rumination

Index of fibrousness	Time spent ruminating (min.)		Number of boli regurgitated	
	per day	per 100g DM consumed	per day	per 100g DM consumed
Chemical fractions				
Crude protein	-0.62	-0.91*	-0.39	-0.85*
NDF	0.17	0.39	0.11	0.39
ADF	0.42	0.83*	0.12	0.71
ADL	0.48	0.89*	0.25	0.83*
Rate of grinding				
% of grinding at 2 minutes	-0.35	-0.83*	-0.10	-0.73
% of grinding at 3 minutes	-0.49	-0.91*	-0.25	-0.83*
% of grinding at 5 minutes	-0.45	-0.89*	-0.22	-0.81*

* Significant on a probability of 0.05.

および ADL 含有率が高いほど熟期が進み粗剛なものが多い^{49,50)}。粗蛋白質, ADF, ADL 含有率と摂取乾物100g 当りの反芻量との間に, それぞれ負, 正, 正の有意な相関が得られ, 乾草が粗剛となるにつれて単位乾物摂取量当りの反芻量が増大することが示唆された。また, 乾草は粉碎速度が遅くなるにつれて粗剛度を増すが, これと摂取乾物当りの反芻量との間にも負の相関が得られ, 乾草の粉碎速度を指標としても乾草が粗剛度を増すにつれて単位乾物摂取量当りの反芻量が増すことが示された。

なお, 前章での検討の結果, 単位乾物摂取量当りの反芻量は乾物摂取量が減少するにつれて増大

することが明らかにされた。従って, 本実験においても単位乾物摂取量当りの反芻量は乾物摂取量の影響を強く受けているものと解され, 本実験の結果から, 反芻量は直接乾草の粗剛性に支配されていると理解すべきではないだろう。

Welch and Smith^{79,80)}はめん羊および牛を用いて, 乾草の質と反芻時間との関係について検討している。同氏らは動物を絶食させ, 反芻が消滅したところで供試乾草を1回給与し, それにより引き起される反芻時間を再び反芻が消滅するまで測定し, 乾草の NDF 含有率と反芻時間との間に非常に高い正の相関を得ている。ところが, 本実験では NDF 含有率は反芻量を示すいずれの指標と

の間にも有意な相関は得られなかった。このように、両実験で異なる結果が得られたが、これは両実験では飼養法が大きく異なること、すなわち、本実験は飽食状態で実験したのに対し、同氏らは絶食後の1回給与で実験したことによるものと思われる。

本実験では主にセルロース、ヘミセルロース、リグニンより構成されている^{73,76)}NDFよりも主にリグノセルロースより構成されている⁷²⁾ADF含有率と単位乾物摂取量当りの反芻量との相関が高かったが、これは乾草細胞壁の変性と反芻量および乾物摂取量との関係を示唆して興味深い。

3. サイレージの物理的性質と反芻行動

サイレージは乾草とともに反芻家畜の粗飼料として重要な位置を占める。通常サイレージは刈取り時ないし詰め込み時に細切する。その際、切断長は作業機の設定切断長や能力、作業速度などにより大きな影響を受ける。サイレージの切断長の大小はサイレージ発酵の良否との関係で論議されているが、家畜の消化生理との関係について論じられることは少なく、不明な点が多い。

また、北海道などの寒冷地では厳寒期にサイレージの凍結が多発し、小型サイロでは全体の3分の1以上が凍結することもめずらしくない。従って、凍結状態やそれを解凍したサイレージを家畜に給与することが多いが、こうした状態のサイレージの給与が家畜に与える影響については、まったく解明されていない。

さらに、サイレージはその水分含有率の違いによりその性質を大きく異にする。

そこで、サイレージの切断長、凍結の有無、水分含有率などの物理的性質が家畜の消化生理に与える影響を明らかにするための第一段階として、反芻行動におよぼす影響について検討した。

1) サイレージの切断長と反芻行動

材料と方法

供試したサイレージはとうもろこしサイレージである。とうもろこしの品種は早生種のヘイゲンワセで、収穫時の熟期は黄熟期であった。収穫には自走式フォーレージハーベスタを使用し、設定

した切断長は4.8、9.5ならびに15.9mmの3段階であり、いずれも同一圃場から同一日に収穫した。

供試したサイレージの切断長分布は表21に、化学組成は表22に示したとおりであった。

供試家畜はホルスタイン種乾乳牛4頭(体重642~807kg)であった。これに1日1頭当たり28~30kgのサイレージを給与した。各牛には各期とも同量を給与した。サイレージは午前7時および午後5時の1日2回、それぞれ1日量の半量を給与した。サイレージの給与順序は設定切断長9.5mm、4.8mmならびに15.9mmのサイレージの順であり、以下それぞれ10mm期、5mm期ならびに15mm期とする。各試験期とも、7日間予備飼養をし、8日目~10日目に反芻行動の測定を連続24時間実施した。

結果と考察

表23に5mm期、10mm期ならびに15mm期の1日当りの採食時間、反芻時間ならびに反芻食塊吐出回数平均値を示した。採食時間には各試験期間に有意差は認められなかった。反芻量を表わす2つの指標、反芻時間および反芻食塊吐出回数は5mm期と15mm期との間に有意差($p < .05$)が認められ、どちらも5mm期は15mm期よりも小さな値であり、10mm期の値は両期の中間の値となった。また、同表には反芻期数、1反芻期当りの反芻時間および反芻食塊吐出回数ならびに反芻食塊吐出回数当りの反芻時間も示した。これらはいずれも試験期間の差は小さく、有意な差は認められなかった。なお、これらのうち、反芻期以外の指標の個体差は有意($p < .01$)であった。

各試験期に給与したサイレージの切断長分布は表21に示したとおりで、15mm期と他の2期との間の分布の違いは大きかったが、10mm期と5mm期に給与したサイレージの切断長分布は類似している。しかし、肉眼観察によれば10mm期のサイレージと5mm期のサイレージの切断状態はかなり異なり、後者は前者よりも細かい飼料片より成っていた。本試験では分析篩を用いた粒径分布調査を行なわなかったため、詳細は不明であるが、10mm以下の細かい飼料片の分布が両者で異なるものと思われ、給与したサイレージの粒径は5

mm 期, 10mm 期, 15mm 期の順で細かったものと思われる。反芻時間および反芻食塊吐出回数とはこれと同じ順位で小さな値であった。

すでに明らかにした様に, 乾草では飼料片の大きさが反芻量に大きな影響を与え, 飼料片が小さい場合には反芻量が減少することが知られている。従来, 同様の現象がサイレージについて認められるかどうか明らかでなかったが, 本試験の結果より, サイレージについても飼料片の大きさや切断長が反芻量に影響することが示唆された。

Table 21. Distribution of actual cutting length of the corn silage

Set cutting length	Distribution(%)*			
	0~10	10~20	20~30	30~
4.8mm	83.6	7.9	4.1	4.4
9.5mm	82.8	12.6	2.1	2.5
15.9mm	46.3	31.9	10.1	11.7

- * Percentage of air dried sample having a length within these range(mm).

Table 22. Chemical composition of the corn silage

Set cutting length	Mois.	C.Prot.	C.Fat	NFE	C.Fib.	C.Ash
4.8mm	26.3	9.3	3.9	59.5	20.6	6.7
9.5mm	26.4	8.9	3.6	62.8	19.1	5.6
15.9mm	26.3	9.0	3.7	61.2	19.9	6.2

Percentage of the dry matter except moisture.

Table 23. Time spent eating and ruminating and number of boli regurgitated per day in cows consumed corn silage of varying cutting length

Observation	Set cutting length			Individual difference
	4.8mm	9.5mm	15.9mm	
Time spent eating(min.)	91.5	68.0	83.0	
Time spent ruminating(min.)	459 ^a	509 ^{ab}	576 ^b	
Number of boli	427 ^a	488 ^{ab}	546 ^b	.
Number of rumination period	14.3	15.8	17.8	
Time spent ruminating per period(min.)	32.1	32.2	32.4	..
Number of boli per period	29.9	30.9	30.7	..
Rumination time per bolus	1.07	1.04	1.05	..

a, b Values having different superscripts are significantly different.

..., Significant on a probability of 0.05 and 0.01 respectively.

なお, 本試験ではサイロの都合上, 前述のごとき実験計画となり, 試験処理としての切断長と試験期が交絡している。本試験における試験期の影響は不明であるが, 本論文に収録した他の試験のうち, ラテン方格法に基づいた試験の結果では時期の分散はいずれも処理分散および個体差の分散に比べて十分に小さく, 時期間に有意差が認められた試験はなかった。本試験程度の試験期の長さでは, 試験期の影響はあまり大きくないものと考ええるが, この点に十分配慮した別の試験により, サイレージの切断長が反芻量におよぼす影響を証明する必要がある。

2) サイレージの温度, 凍結と反芻行動

材料と方法

サイレージの温度や凍結が採食行動および反芻行動におよぼす影響について検討するため, めん羊および牛を供試した2つの試験を実施した。

試験 1

供試サイレージはチモシー主体の高水分サイレージで, ビニールバッグサイロに詰込み調製した。供試家畜はサフォーク種とコリアール種の雑種雄めん羊4頭(体重36~42kg)であった。試験は4×4ラテン方格法で48日間実施した。各試験期とも12日間で, このうちの7日間を予備期とし, 5日間を糞尿採取期とした。実験処理として, 常温, 低温, 凍結ならびに解凍の4処理を設けたが, 各処理におけるサイレージの温度はそれぞれ11~15°C, 2~3°C, -16~-12°Cならびに10~14

℃であった。サイレージの温度調節には冷蔵庫、冷凍庫ならびに暖房装置を使用した。その際に水分含有率に変化が生じない様に必ずビニール袋に入れた。凍結状態のサイレージは塊状を呈したので、ハンマーでほぐしてから給与した。また解凍サイレージは少量ながら水分を分離し、未凍結の状態に比べて軟化したように観察された。供試サイレージの化学組成は表24に示した。

反芻行動の測定は糞尿採取期のいずれかの日に24時間連続して実施した。

なお、めん羊には午前9時および午後5時に1日当りの給与量2,800gの半量をそれぞれ給与した。試験期間の実験室温は-4~6℃の範囲であった。

試験 2

供試したサイレージはチモシー主体の高水分サイレージであるが、試験1とは圃場も刈取日も異なる。調製に供したサイロは200トン容のタワーサイロであった。供試サイレージの化学組成は表24に示したとおりである。供試家畜はホルスタイン種乾乳牛3頭(体重638~790kg)であった。試験は3×3ラテン方格法により30日間実施した。試験処理は低温、凍結ならびに解凍の3処理とし、サイロより未凍結のサイレージを取り出し、これを低温サイレージ(以下低温区とする)とした。低温サイレージの一部を一昼夜袋に入れて屋外放置することにより凍結させ、これを凍結サイレージ(以下凍結区とする)とした。また、凍結サイレージの一部を小袋に入れ、一昼夜暖房下に放置することにより解凍し、これを解凍サイレージ(以下解凍区とする)とした。なお、低温区、凍結区、解凍区のサイレージ温はそれぞれ-1~3℃、-22~-5℃ならびに7~14℃であった。試験期は各10日間で、7日間の予備飼養に続く2日間を反芻行動の測定にあて、残る1日を第一胃内容物の採取にあてた。反芻行動の測定はどの家畜についても24時間連続して実施した。

サイレージは午前7時および午後5時の1日2回給与した。給与量はそれぞれ15kgであり、1日当り30kgであった。水と食塩以外の飼料は給与しなかった。

結 果

試験 1

反芻行動の測定結果を表25に示す。採食時間は常温、低温ならびに解凍の各区では260~270分程度であったのに対し、凍結区では307分と他区に比べて長かった。また、反芻時間は常温、低温ならびに凍結の3区ではいずれも500分前後であったのに対し、解凍区では413分と短かった。反芻食塊吐出回数は反芻時間と同様に常温、低温、凍結の3区に比べ、解凍区で少ない傾向にあったが、試験区間の差は有意ではなかった。

1反芻期当りの反芻時間および反芻食塊吐出回数も解凍区が他の3試験区に比べ小さな値となる傾向が認められたが、反芻期数および反芻食塊吐出回数当りの反芻時間にはほとんど差は認められなかった。

なお、反芻時間、1反芻期当りの反芻時間ならびに反芻食塊吐出回数当りの反芻時間の個体差は有意($p < .05$)であった。

試験 2

反芻行動の測定結果は表26に示したとおりであった。採食時間は凍結区が他の2試験区に比べて長かった($p < .05$)。反芻時間および反芻食塊吐出回数は低温区に比べ、凍結および解凍の両試験区で小さな値となる傾向が認められたが、試験区間の差はいずれも有意ではなかった。凍結区と解凍区の差は小さかった。

反芻期数、1反芻期当りの反芻時間および反芻食塊吐出回数ならびに反芻食塊吐出回数当りの反芻時間の試験区間差はいずれも小さかった。

なお、反芻食塊吐出回数、反芻期数ならびに1反芻期当りの反芻食塊吐出回数の個体差はいずれも有意($p < .05$)であった。

考 察

試験1、試験2に共通して、凍結状態のサイレージの採食時間は凍結状態にないサイレージのそれに比べて有意に長かった。塊状に凍結したサイレージは試験1ではほぐしてから給与したが、試験2ではそのまま給与した。塊状に凍結したサイレージの採食は容易でないものと思われるが、その影響は試験1では除去できたものと思われる。

Table 24. Chemical composition of the grass silage used in Experiment 1 and 2 for studying the effect of freezing

Silage	Mois.	C. Prot.	C. Fat	N F E	C. Fib.	C. Ash	N D F	A D F	A D L
Expt. 1	81.3	10.8	3.6	42.3	34.7	8.6	66.0	43.7	4.8
Expt. 2	78.1	11.8	5.1	41.3	32.7	9.1	64.7	41.3	4.3

Percentage of dry matter except moisture.

Table 25. Time spent eating and ruminating and number of boli regurgitated per day in sheep consumed grass silage of varying temperature

Observation	Temperature (°C)				Individual difference
	Ordinary (11~15)	Low (2~3)	Frozen (-16~-12)	Defrozen (10~14)	
Time spent eating (min.)	270 ^a	271 ^{ab}	307 ^b	259 ^a	
Time spent ruminating (min.)	506 ^a	504 ^{ab}	493 ^{ab}	413 ^b	•
Number of boli regurgitated	632	632	610	512	
Number of rumination period	13.5	14.0	15.3	15.8	
Time spent ruminating per period (min.)	37.5	36.0	32.2	26.1	•
Number of boli per period	46.8	45.1	39.9	32.4	
Rumination time per bolus (min.)	0.80	0.80	0.81	0.81	•

a, b Values having different superscripts are significantly different ($P < .05$).

- Significant on a probability of 0.05.

Table 26. Time spent eating and ruminating and number of boli regurgitated per day in cows consumed grass silage of varying temperature

Observation	Temperature (°C)			Individual difference
	Low (-1~3)	Frozen (-22~-5)	Defrozen (7~14)	
Time spent eating (min.)	77 ^a	170 ^b	71 ^a	
Time spent ruminating (min.)	479	444	441	
Number of boli regurgitated	501	473	459	•
Number of rumination period	16.3	14.7	15.0	•
Time spent ruminating per period (min.)	29.4	30.2	29.4	
Number of boli per period	30.7	32.2	30.6	•
Time spent ruminating per bolus (min.)	0.96	0.94	0.96	

a, b Values having different superscripts are significantly different ($P < .05$).

- Significant on a probability of 0.05.

Table 27. Chemical composition of the wilted grass silage

Mois.	C. Prot.	C. Fat	N F E	C. Fib.	C. Ash	N D F	A D F	A D L
62.3	9.9	3.2	42.9	35.2	8.8	67.1	44.2	4.9

Percentage of dry matter except moisture.

Table 28. Time spent eating and ruminating and number of boli regurgitated per day in sheep consumed grass silage of varying moisture and temperature

Observation	High moisture silage		Wilted silage		Individual difference
	Ordinary (11-15)	Frozen (-16~-12)	Ordinary (11-15)	Frozen (-16~-12)	
Time spent eating (min.)	83	143	93	95	
Time spent ruminating (min.)	528	550	493	516	
Number of boli regurgitated	564	615	513	552	•
Number of rumination period	17.7	20.7	17.0	14.3	
Time spent ruminating per period (min.)	29.8	26.6	29.0	36.1	
Number of boli per period	31.9	29.7	30.2	38.6	•
Time spent ruminating per bolus (min.)	0.94	0.89	0.96	0.93	•

• Significant on a probability of 0.05.

() Temperature, °C.

凍結サイレージを採食する様子を観察したが、口唇や舌を使ってサイレージを良く噛め、これにかなりの時間を費やす。家畜は凍結状態のままえん下せず、解凍してからえん下するものと思われる。

反芻時間および反芻食塊吐出回数は試験1では解凍区が凍結区を含めた他の試験区よりも小さな値となり、試験2では解凍区と凍結区が低温区よりも小さな値となる傾向が認められた。これは解凍状態のサイレージを給与した際の反芻量は凍結しなかったサイレージを給与した際のそれよりも少ないことを示す。両試験とも、解凍サイレージは少量の液体を分離し、凍結前に比べて軟化した様に観察されたことと無関係ではないように思われる。すなわち、凍結することにより、サイレージの組織内の水分が氷粒となる際に体積を増し、細胞壁構造を一部破壊したことによるものと想像される。上記の説明では凍結サイレージも解凍サイレージと同様の影響を受けることになるが、試験1では凍結サイレージは凍結しなかったサイレージと同水準の反芻量であった。この点が試験1と試験2で異なった。これは凍結、解凍の過程が両試験で異なることに起因しているものと思われるが、詳細は不明である。

凍結状態のサイレージが融解する際に液体を分離することは坪松・斎藤⁶⁹⁾の報告と一致する。こ

れは凍結時に周辺の水分を集めて成長した氷粒が融解に際し、水分の一部は再びサイレージの組織内に浸透せず排汁を分離するものと推察されるが、これを裏付ける証拠はない。

サイレージの凍結や解凍によっても、反芻の質を表わす指標はいずれもほとんど変化しなかった。サイレージの凍結・解凍が反芻行動に質的な変化をもたらすことはないものと思われる。

3) サイレージの水分含有率と反芻行動

サイレージは原料草の水分含有率により、その性質を異にする。そこで、本項ではサイレージの水分含有率が採食行動や反芻行動におよぼす影響について検討した。また、前項において、高水分サイレージの凍結や解凍が採食・反芻行動におよぼす影響について検討したが、凍結状況はサイレージの水分含有率により異なり、採食・反芻行動におよぼす影響も異なることが予想される。そこで、この点についても合わせて検討した。

材料と方法

供試した高水分サイレージは前項試験1で供試したのと同じである。予乾サイレージは高水分サイレージと同一日に同一圃場より収穫したもので、約24時間圃場で乾燥したものである。予乾サイレージの化学組成は表27に示したとおりであった。

供試した家畜はサフォーク種とコリデール種の

雑種雄めん羊4頭(体重45~49kg)であった。

試験の後半に未凍結サイレージの確保が困難となることが予想されたので、試験は4処理×3期のユーデン方格法⁸⁰⁾に従った。試験期は各期とも12日間で、このうち7日間を予備飼養期とし、5日間を糞尿採取期とした。試験処理として、高水分サイレージと予乾サイレージのそれぞれに常温区(それぞれ高水分常温区および予乾常温区とする)および凍結区(それぞれ高水分凍結区および予乾凍結区とする)を設けた。ここで、常温とは前項と同じく11~15℃であり、凍結状態のサイレージ温は-16~-12℃であった。温度調節に用いた器具および方法も前項と同じであった。高水分凍結サイレージは塊状であったのでほぐして給与した。

サイレージの給与量は高水分サイレージは1日当り2,800gであった。予乾サイレージは高水分サイレージと乾物給与量を同じにするよう配慮し、1日当り1,390gとした。給飼は午前9時および午後5時の1日2回、それぞれ半量づつ給与した。

反芻行動の測定は糞尿採取期のうちに各動物とも24時間連続して実施した。

結果と考察

反芻行動の測定結果を表28に示す。採食時間は高水分凍結区が他の試験区に比べて長い傾向が認められたが、統計的には有意ではなかった。反芻時間、反芻食塊吐出回数、反芻期数、1反芻期当りの反芻時間および反芻食塊吐出回数ならびに反芻食塊吐出回数当りの反芻時間のいずれの指標も

試験区間差は小さく、有意差は認められなかった。

なお、反芻食塊吐出回数、1反芻期当りの反芻食塊吐出回数ならびに反芻食塊吐出回数当りの反芻時間の個体差は有意($p < .05$)であった。

高水分凍結区の採食時間は他の試験区に比べて長い傾向があったが、これは前項の試験結果と一致した。予乾サイレージではサイレージが凍結状態にあるか否かによって採食時間に差が認められなかった。本試験で供試した高水分サイレージと予乾サイレージは同一圃場で同一日に刈取ったものであり、家畜への乾物給与量も同じであった。両者の主な相異点は水分含有率であり、凍結状態では氷の含有率であった。

家畜に凍結状態のサイレージを給与すると、そしゃく時に解凍しえん下する様である。サイレージを解凍するに要する熱量は後述するように主として氷の融解熱であり、これは水分含有率により大きく異なる。本実験では、高水分凍結サイレージの採食時間が他の試験区より長く、予乾凍結サイレージのそれは凍結してないサイレージと大差なかった。これは凍結サイレージを融解するに要した熱量が前者で大きく、後方で比較的小さかったことを反映したものと解される。

なお、本実験の条件ではサイレージの水分含有率および凍結の有無は反芻の量や質にはほとんど影響しなかった。さらに広範囲の水分含有率について、例えば高水分サイレージと乾草などの検討が必要と思われる。