

泌乳牛の第一胃運動の自動測定システム

田鎖 直澄・早坂貴代史*・山岸 規昭**

農林水産省北海道農業試験場 札幌市 062-8555

*現 農林水産省草地試験場 栃木県西那須野町 329-2793

**現 農林水産省畜産試験場 茨城県茎崎町 305-0901

Auto-analyzing system for rumen motility of dairy cattle.

Naozumi TAKUSARI, Kiyoshi HAYASAKA*, Noriaki YAMAGISHI**

Hokkaido National Agricultural Experiment Station, Sapporo 062-8555

*National Grassland Research Institute, Nishinasuno, Tochigi 329-2793

**National Institute of Animal Industry, Kuzushiji, Ibaraki 305-0901

キーワード：乳牛，第一胃運動，第二胃運動

Key words: Dairy cattle, Rumen motility, Reticular motility

要 約

泌乳牛の内圧変動法による第一胃運動測定について、コンピューターを導入した省力化を試みた。また、第一胃背嚢部での測定結果による、第一・二胃運動の二つの型の型判別の可否を検討した。その結果、第一胃運動総数は、製作した自動判定システムによって高い精度（正判定率98.3%）で計測された。このシステムによる第一胃運動の自動的な型判定は、正判定率が93%ではあったが、記録した波形を再生し、誤判定結果の波形観察による是正のみで型判定が終了するため、極めて省力的なシステムであった。第一胃背嚢部での内圧変動波形の観察による型判定は、第二胃での内圧変動波形を併用した型判定とよく一致した（誤判定率0.3%）。第一胃背嚢部での内圧変動計測は、十分に第一・二胃運動の型判別が可能であり、第二胃の運動性の推測手法として有効であることが示された。

緒 言

SELLERS and STEVENS (1966) の総説によると、反芻家畜の第一・二胃運動は古くから様々な方法によって測定が行われている。しかしながら、泌乳牛についての24時間以上の時間単位での調査研究は極めて少ない。乳牛における飼料の消化性や、採食行動と消化管機能の関連を解明するに当たって、飼料の第一・二胃通過速度の研究が重要であると考えられるが、第一・二胃通過速度に関与すると考えられる第一・二胃運動についての一日単位の測定はあまり行われてい

ない。この原因の一つとして、第一・二胃運動の測定に多大な労力を必要とすることが考えられる。自動化システムの報告が近年一例 (DADO and ALLEN, 1993) 報告されているが、第一・二胃運動の測定は多くは、記録紙上の波形の肉眼観察法によって行われてきた。

牛の第一・二胃の運動には少なくとも二つの型があることが知られている (SELLERS and STEVENS, 1966)。一つは第二胃運動と第一胃運動の連携的運動であり、「A型」あるいは「Primary」等と称されるものである。もう一つは第一胃単独の部分的な運動であり、「B型」あるいは「Secondary」等と称されるものである。これまでの研究の蓄積から、第一・二胃運動測定においては、この二型を区別することが望ましい。しかしながら、正確な型判定のためには第二胃運動の測定が必要といわれている (LEEK and HARDING, 1975)。このこともまた、第一・二胃運動の測定研究を難しくさせる一因となっている。すなわち、第二胃運動を測定するためには第二胃にカテーテル等を固定する必要があるが、飼料の第一・二胃通過速度の研究において第二胃内に人工構造物が存在することには疑問を持たざるを得ないからである。

本研究は、第一胃運動解析の省力化のために、コンピューターを用いた自動解析システムの構築を試みた。また、泌乳牛の第一胃内圧測定のみでの、第一・二胃運動の自動的な型判別について、その可否を検討した。

材料及び方法

(1)動物への装着

第一・二胃の内圧変動を検出するために、先端部を

開口したままのタイゴンチューブ(内径3 mm, 外径5 mm, ノートン)を牛の第一胃フィステルを經由して第一胃および第二胃内に定置した。チューブの保護および測定部位の固定のため、チューブの外周を厚さ1 cm程度のプラスチック樹脂(自由樹脂, ダイセル化学工業)によって被った。第二胃近傍への固定のため、チューブ先端部に50 g程度の鉛塊を装着し、プラスチック樹脂にて表面を被覆した。チューブの反対端にはチューブポンプ(PERISTALTIC PUMP AP-2202, ADVANTEC TOYO)を接続し、先端開口部の目詰まり防止と圧力検出のため、毎分1~2 mlの水を流した。チューブの第一胃フィステル経由部とチューブポンプ設置部の間にT字型チューブジョイントを設置し、圧力トランスデューサー回路(田鎖ら, 1999)を接続した。

(2) 圧力変動の記録

圧力トランスデューサー回路の出力を、差動増幅器(自作)によって20~30倍に増幅した後、8チャンネルアナログ-デジタル変換器(12ビットA/Dコンバーター, 12 A/D-NL, 八戸ファームウェアシステム)によって量子化し、4 Hz~10 Hzのサンプリング周波数でノート型パーソナルコンピュータ(PC 9821-NE, 日本電気)によって記録した。記録用ソフトウェアは使用したアナログ-デジタル変換器用に製作したものである(田鎖ら, 1999)。

(3) 解析用ソフトウェア

記録されたデータは内圧変動波形曲線であり、解析に当たっては、これを第一胃運動回数に変換する必要がある。このためのソフトウェアを製作した(田鎖ら, 1999)。

(4) 泌乳牛を用いた第一胃運動の測定

第一胃フィステルを装着した3産以上の泌乳牛および後期ホルスタイン種乳牛3頭に、粗飼料比率の異なる3種類の混合飼料(表1)を給与した。各飼料の給与期間はそれぞれ2週間とした。各期の8日目~11日目の随時に、連続する6時間について、第二胃および第一胃背嚢部の内圧変動測定を行った。

今回の測定実験においては、1) 第一胃背嚢部内圧測定による自動型判定, 2) 第一胃背嚢部内圧測定値のコンピュータ画面上での波形観察による型判定, さらに3) 第二胃内圧測定を参考に波形観察による確認を行った型判定, の3点について比較検討を行った。

結果と考察

実際の測定において、製作したシステムは良好に動作した。第一胃背嚢部および第二胃の内圧変動波形の一例を図1に示す。水を充填したカテーテルによる測

定法では、カテーテル先端部の高さでセンサー設置部の高さの差によって静水圧が生じる。センサーを牛体から離れた場所に固定した場合には、例えば、乳牛が横臥から起立した時には静水圧差が発生し、大幅なベースラインの変動として測定される(図2)。乳牛は姿勢の変更に数秒以上必要とすることが多いため、第

表1 給与飼料の乾物構成比 [%]

飼料名	粗飼料30%	粗飼料45%	粗飼料60%
粗飼料*			
サイレージ	30.0	30.0	30.0
乾草	0.0	15.0	30.0
濃厚飼料			
ビートパルプペレット	16.0	12.5	9.0
加熱圧扁大豆	5.0	5.0	5.0
乳牛用配合飼料	48.5	37.0	25.5
ミネラル混合物	0.5	0.5	0.5

*粗飼料はいずれも、オーチャードグラス主体の混播牧草

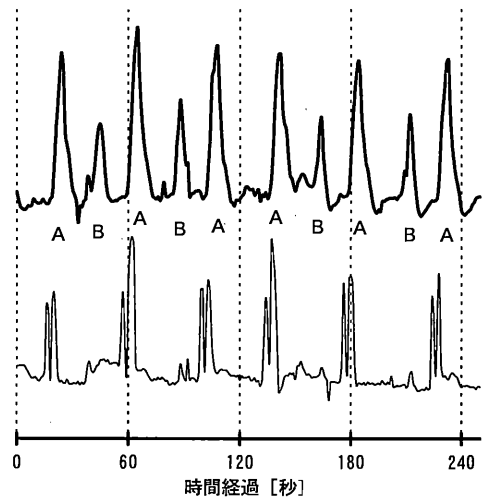


図1 ルーメン内圧変動波形の一例。第一胃背嚢部(上)と第二胃(下)の内圧変動の同時測定。

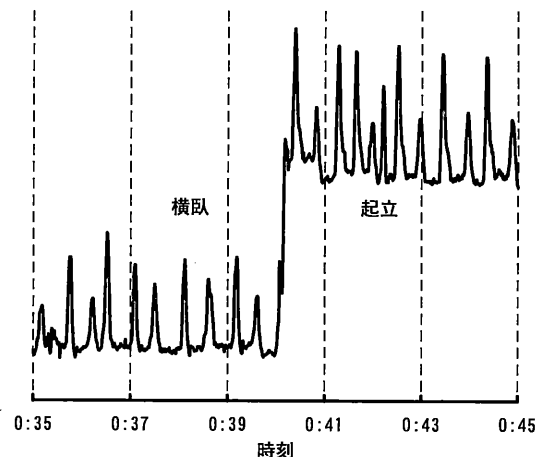


図2 起立時における静水圧変動の一例。(第一胃背嚢部の内圧変動)

一胃内圧変動と静水圧変動の波形周期が近く、自動解析システムでの補正が困難であった。このため解析ソフトウェア上で波形の画像表示を基に、観察によって手動で補正を行う必要があった。また、行動型等によって、前胃運動に伴う内圧変動波形の大きさが変動することがある。DADO and ALLEN (1993) は第二胃運動計測において、自動計測値が波形観察に基づく手動判定数値より低い値を示したと述べ、その原因は横臥時の低い変動をコンピューターシステムが検出できなかったためとしている。この問題は波形の検出閾値の設定方法を複雑化する。今回の処理においては、この複雑さを避けるため、測定値を標準化する以下の式を用い、この数値を基に内圧変動解析を行った。

$$\text{標準化測定値} = \frac{\text{測定値} - \text{前後 60 秒間測定値の平均値}}{\text{前後 60 秒間測定値の標準偏差}}$$

この方法では、センサーの出力の低下などの障害が生じた場合にも、特段の対処を必要としない。しかし前述の静水圧の変動などによって、大幅なベースライン変動が生じた場面で補正を行わなかった場合には、検出感度が低下する。また、ノイズも検出精度を低下させる。このため、実際の測定は最低でも 4 Hz 以上で行い、波形解析のために、これを 1 Hz に変換(平均値化)して解析に用いる必要があった。

各飼料および個体毎の 6 時間連続測定値を表 2 に示す。また、第一胃背囊部における 30 分間毎の運動総数について、自動解析値と手動解析値の比較を図 3 に示す。運動総数における誤判定は、起立横臥あるいは発声などに伴う体動を誤判定する正誤差ケース(自動測定総数に対して、1.2%)と、第一胃の弱い内圧変動をカウントしない負誤差ケース(同、0.6%)があった。全測定例での平均では、運動総数の自動解析値は手動

解析値よりも高い(0.7%)結果であったが、運動の検出には十分なものとする。

運動の型判定については、第二胃内圧変動を参考として決定した判定値と、第一胃背囊部のみ波形観察による判定値はよく一致した。全測定例における誤判定率は 0.3%にとどまり、また A 型総数の差は 0.05%に過ぎなかった。各 6 時間測定例においても誤判定率は最大で 0.96%であり、それぞれの A 型総数の差も最大で 0.43%であった。従って、第一胃背囊部での内圧変動測定によって十分な精度の型判別が行えることが判明した。

第一・二胃運動における A 型運動回数は、その定義からも第二胃運動活性を反映したものと考えられる。本結果は、第一胃背囊部の測定のみで第二胃の運動性

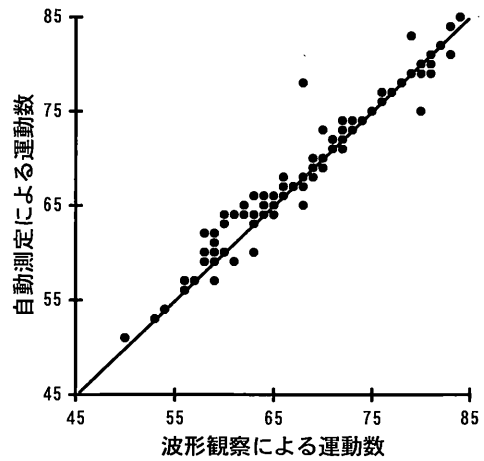


図 3 30 分間の第一胃運動回数比較。直線は自動測定数と波形成観察による測定数が一致する場合の理想線。N=108。

表 2 第一・二胃運動の個体・飼料毎の 6 時間計測値と総計

個体	条件	第一胃背囊部測定による計測値						第二胃を参考とした計測値				
		1. 自動判定		2. 波形成観察判定		自動判定の誤判定数(1VS2)		3. 波形成観察		第一胃波形成観察の誤判定数(2VS3)		
		総数	A型	B型	総数	A型	B型	総数	型判別	A型	B型	型判別
A	粗飼料30%	862	488	374	834	488	346	28	106	487	347	8
	粗飼料45%	829	462	367	826	481	348	7	96	480	349	4
	粗飼料60%	793	460	333	781	477	304	12	67	477	304	0
	個体A計	2,484	1,410	1,074	2,441	1,446	998	47	269	1,444	1,000	12
B	粗飼料30%	879	494	385	879	505	373	1	20	504	374	3
	粗飼料45%	831	451	378	827	458	367	8	41	457	368	3
	粗飼料60%	796	484	315	793	460	333	7	60	462	331	2
	個体B計	2,506	1,429	1,078	2,498	1,423	1,073	16	121	1,423	1,073	8
C	粗飼料30%	772	413	359	768	443	325	28	64	443	325	0
	粗飼料45%	873	504	369	875	519	356	18	32	519	356	0
	粗飼料60%	786	438	348	791	446	345	21	35	446	345	0
	個体C計	2,431	1,355	1,076	2,434	1,408	1,026	67	131	1,408	1,026	0
粗飼料30%計		2,513	1,395	1,118	2,480	1,436	1,044	57	190	1,434	1,046	11
粗飼料45%計		2,533	1,417	1,114	2,528	1,458	1,071	33	169	1,456	1,073	7
粗飼料60%計		2,375	1,382	996	2,365	1,383	982	40	162	1,385	980	2
全測定例総計		7,421	4,194	3,228	7,373	4,277	3,097	130	521	4,275	3,099	20

を推測できる事を示唆するものである。第一・二胃内容物の下部消化管への流下は、第二・三胃口を通じて行われる。従って、第二胃の内圧変動は、飼料の第一・二胃からの流下速度に関与するものと思われる。その運動測定の重要性は高い。しかしながら、第二胃運動測定のためには、第二胃に内圧変動測定用カテーテル等を装着しなければならない。DADO and ALLEN (1993) は、第二胃に固定するために「重り」として1 kgもの鉛塊を利用している。また本報告においては、「重り」は50 gとしたが、第二胃へのカテーテル留置のため、第一胃フィステルを経由してプラスチック樹脂で固めた棒状のチューブを第二胃内に挿入している。第一胃フィステルから第二胃内まで棒状の人工構造物を「差し込んだ」状態である。飼料の評価のための通過速度研究において、DADO and ALLEN (1993) らの報告のような重量の「重り」や、著者らの第一胃から第二胃におよぶ長大な人工構造物の胃内留置が、第二胃運動に影響を与えないのか、正常な通過速度がえられるのか不明である。従って、現状の手法での第二胃運動そのものの測定についての問題を考慮すると、第一胃運動測定と型判定による第二胃の運動性の推測にも十分に利点があると考えられる。

第一胃背囊部のみでの波形観察による運動の型判定と比較すると、自動型判定の誤判定率は乳牛個体・飼料毎の解析値では2.3%~12.3%の範囲にあり、全測定例での平均は7%であった。この結果は、型判定においては自動測定システムは十分に満足いくものではないことを示している。通常、第一・二胃運動の型判定は、波形観察によって行われるため、第二胃の測定を平行して行わない限り、困難な作業である。第一胃背囊部での測定のみで、コンピューターに自動的に型判定をさせることが困難であることは当初より予測していたことではあるが、今回製作した解析ソフトウェアは、自動解析結果を波形のまま画像表示し、コンピューターの誤判定をマウス操作だけで簡単に是正できる点に特徴がある。これまでは記録紙上の波形を基に、一つひとつの運動を判定し、記録する必要があったが、このソフトウェアを利用することにより、たとえば今回の測定は総計で7,373回の運動回数であるが、誤判定分の521回のマウス操作で判定作業が終了する。Pentium-100 MHz (Intel) を搭載したパーソナルコンピューターにおいて、全測定時間54時間の解析を、30分程度で処理することが出来た。従って、正判定率が93%ではあるが、第一胃運動の長期間の測定には極めて省力的で有効な解析方法と言える。また、解析結果には各運動時刻も記録されるが、市販の表計算ソフトに直接利用できる形式で記録されるため、内圧変動間隔等の解析が極めて容易である。

波形観察による型判定は定性的な判断であるため、一定程度の熟練を必要とするが、本システムを利用し

た場合の判定精度が高く維持された理由は三つある。第一は内圧変動の導出法である。SELLERS and STEVENS (1966) は、水を充填した開口カテーテル法と圧力トランスデューサー回路を併用した場合には、従来のバルーン法と比較して、内圧変動を迅速に反映し正確な記録ができると述べている。第二は、波形記録を量子化(デジタル化)したことにある。従来の記録紙上の波形観察では、乳牛の個体差や姿勢、センサー感度やノイズ等により内圧変動幅(記録紙上の高さ)が随時に変動し、波形の特徴を肉眼観察でとらえることが困難な場合があった。著者らはデジタル化記録した波形データについて、コンピューターで内圧変動幅の一定程度の標準化やノイズの除去を行った後に、波形観察用の画像として表示したため、波形観察の条件をある程度均一化することができた。このため、波形の特徴をとらえることが容易になり、判定精度が向上した。第三は、波形観察での判定を正確にするための以下の4項の判定指針を使用しているためである。すなわち、1) A型の出現頻度はB型の出現頻度よりも多く、圧力変動が大きい傾向にある、2) いわゆる睡眠波形(RUCKEBUSCH, 1975)直後にはB型運動が連続して出現することがある(図4)、3) 前後10分間程度の波形と比較すると判断しやすい、4) 飲水時には、A型が短い間隔で出現することがある。

今回の測定試験での粗飼料比率30%~60%の範囲は、泌乳牛での実験において使用される飼料構成の大部分がこの範囲内に収まると想定して設定したものである。飼料条件による第一・二胃内圧変動波形の変化があったとしても、今回の条件で十分な精度が得られれば、第一胃のみの運動測定に十分な意義があるものと考えられる。この測定実験の結果から、とくに第二胃運動の測定をしなくても、第一胃背囊部での測定だ

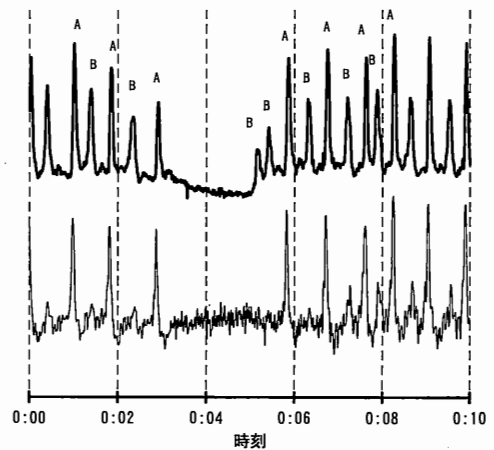


図4 睡眠時の第一・二胃運動の一例。上段は第一胃背囊部内圧変動、下段は第二胃部の内圧変動。A型の欠如とB型の連続発生が見られる(上段)。

けで十分な第一・二胃運動の型判定が行えることが示唆された。飼料の第一・二胃通過速度研究と組み合わせることにより、第一・二胃の運動型の生理的意義の解明に役立つことになるものと考ええる。

文 献

- DADO, R. G. and M. S. ALLEN (1993) Continuous computer acquisition of feed and water intakes, chewing, reticular motility, and ruminal pH of cattle. *J. Dairy Sci.*, **76**: 1589-1600.
- LEEK, B. F. and R. H. HARDING (1975) Sensory nervous receptors in the ruminant stomach and the reflex control of reticulo-ruminal motility. in *Digestion and metabolism in the ruminant* (McDONALD, I. W. and A. C. I. WARNER, eds) 61-76. Univ. New England Publ. Unit, Armidale, Australia.
- RUCKEBUSCH, Y. (1975) Motility of the ruminant stomach associated with states of sleep. in *Digestion and metabolism in the ruminant* (McDONALD, I. W. and A. C. I. WARNER, eds) 77-90. Univ. New England Publ. Unit, Armidale, Australia.
- SELLERS, A. F. and C. E. STEVENS (1966) Moter functions of the ruminant forestomach. *Physiol. Rev.* **46**: 634-661.
- 田鎖直澄・山岸規昭・早坂貴代史 (1999) 消化管内圧変動の記録及び第一胃運動解析ソフトウェア. 北海道農業試験場研究資料, 第 58 号, P 1-118.