

泌乳牛第一胃内容物の物理的性状の指標としての貫入抵抗値の評価

泉 賢一¹・坂本孝仁¹・柴山草太^{1a}・辻 秀雄²

¹ 酪農学園大学附属農場, 江別市 069-8501

² エスシービー, 札幌市西区 063-0061

(2007. 8. 27 受付, 2008. 4. 11 受理)

要 約 第一胃内の堅さと深さを測定するために第一胃内貫入抵抗測定装置を開発した。その装置を用いて切断長の異なる混合飼料を自由採食させた第一胃カニューレ装着泌乳牛 4 頭における第一胃内容物の貫入抵抗値 (PRV) を調査し、第一胃内容物粒度分布や咀嚼活動との関連について検討した。通常の混合飼料 (TMR) を給与した対照区と通常 TMR をさらに 2 度切断した細断区の 2 処理を設けた。PRV を経時的に測定し、給与直前 (0h) と給与 2 時間後に第一胃内容物の全量採取を実施した。採食量に処理間差はなく、採食期の採食速度が細断区で速かった ($P < 0.05$) を除き採食行動あるいは反芻活動に処理による差はなかった。第一胃内容物の PRV および深さの平均値は両区とも 12N および 53cm であった。第一胃上部に明瞭なマット層が存在する割合は対照区よりも細断区の方が高く、その厚さは対照区 (31.4cm) よりも細断区 (37.0cm) が上回る傾向にあった ($P < 0.10$)。0h の第一胃内原物量が対照区よりも細断区で多い傾向 ($P < 0.10$) にあったことを除き、内容物量および粒度分布に処理間差はなかった。本装置を用いることにより第一胃内容物の堅さやマット層を把握することが可能となり、第一胃内の物理的性状を評価する新たな指標として PRV は有効であると考えられた。

日本畜産学会報 79 (3), 361-368, 2008

乳牛の健康を保つためには、第一胃上部に反芻を促進するマット層を形成するだけの十分な長さを有した飼料が必要である (Welch 1982 ; Mertens 1997 ; Beauchemin と Yang 2005)。極度に短い飼料では咀嚼活動が減少し、第一胃内での過度な発酵や緩衝作用のある唾液分泌量の減少といった負の影響が懸念される (Van Soest 1994)。また泌乳牛飼料の小飼料片には濃厚飼料のように栄養価の高いものが多く含まれているが、未発達のマット層では小飼料片が絡め取られることなく下部消化管へ通過してしまい (Welch 1982)、消化率の低下をもたらす可能性がある (Callison ら 2001)。

従来、第一胃内容物の物理的性状は第一胃内容物の全量採取や粒度分布の測定といった手法で評価されてきた (泉ら 2004)。しかし、これらの手法では第一胃上部のマット層とその下部のスラリー層を分離することができない上に、労力やウシへの負担といった面から日内変動を経時的に計測することは困難である。この問題を解消するために、Hidari (1979, 1981) はメンヨウの第一胃内容物を攪拌する際に生じる抵抗から堅さを測定し、採食行動の日内周期との関係を考察することにより、第一胃マット層の物理性を評価することが可能であると報告した。この方法は内容物を取り出すことなく内容物の堅さ

を測定できる点で優れていたが、第一胃カニューレに装着するトルクメーターの構造上、堅さの測定は第一胃内容物の上層部に限定されていた。

内容物上層部の堅さにとどまらず、その堅さの分布を第一胃背囊から腹囊にかけて縦断的に評価できれば、第一胃内容物の立体構造を把握することが可能となり、マット層の厚みや第一胃内容物の消失動態を検討する上で有意義な情報が得られると予想される。

そこで本研究では第一胃内容物の全量採取をおこなわず、内容物の堅さや深さを経時的かつ簡便に測定する目的で、土壌硬度の評価指標である貫入抵抗の測定原理 (吉田 1989) を応用し、第一胃内容物貫入抵抗の測定方法について検討した。

本報告では荷重変換器と変位変換器を用いた第一胃内貫入抵抗測定装置を開発し、次いで飼料切断長の異なる混合飼料 (TMR) を泌乳牛に給与した際の第一胃内容物の貫入抵抗値と内容物量や粒度分布等の物理的性状や咀嚼活動との関係について検討した。

材料および方法

1. 供試動物および飼料

第一胃カニューレを装着したホルスタイン種泌乳牛 4

現所属 : ^a 雪印種苗株式会社北海道研究農場, 北海道長沼町 069-1464

連絡者 : 泉 賢一 (fax : 011-386-1574, e-mail : izmken@rakuno.ac.jp)

頭を用いた（体重 623.1kg，分娩後日数 65.8 日，産次 1.8 産）。第一胃カニューレの装着位置は板橋（2001）の通りとし，左側最終肋骨と腰角の中間で，第一胃背囊後部であった。試験は酪農学園大学附属農場で実施し，供試牛は繋留飼養した。搾乳は毎日 5 時 30 分と 16 時の 2 回とし，ミルクバーラーまで供試牛を移動した。

供試飼料は細切したグラスサイレージ，コーンサイレージ，アルファルファロールベールサイレージ，搾乳牛用配合飼料（TM7，ルミバランス 18；雪印種苗株式会社，札幌），大豆粕，ビートパルプを混合した混合飼料（TMR）を対照区（Control）とした。対照区の TMR を切断して給与した区を細断区（Chop）とした。飼料の切断にはトラクタから動力を取る粗飼料切断機（飼料カッタ FC22C；スター農機，千歳）を使用し，設定切断長 10 mm で対照区 TMR を 2 度切断した。これらの飼料を 1 日 1 回給与し，自由採食となるよう前日の原物採食量の 1.2 倍量を与えた。水および固形塩は自由に摂取させた。

本実験は酪農学園大学における動物実験に関する指針に基づき実施した。

2. 試験設計および調査項目

試験は予備期 10 日間，本試験期 12 日間を 1 期とした。供試牛は 2 頭一組とし，いずれかの処理に割り当て，1 期終了後に反転した。

本試験期間中の 1～3 日目に採食量，乳生産および採食行動および反芻活動調査，4～8 日目に第一胃内貫入抵抗調査，9 日目と 12 日目に第一胃内容物全量採取をおこなった。

採食行動は飼槽に設置したロードセルから飼槽重量変化を記録し，解析した。採食中断時間が 4 分を超える場合に一つの採食期が終了したとみなした。反芻活動は高感度ワイヤレスマイクの送受信機（CX-01；ファースト電子開発，東京）を用いて計測した。送信機を頭絡に取り付け，牛の顎部分に接触するように加工した。送信機から送られる咀嚼音を受信し，ひずみ電圧計測ユニット（NR-500，NR-ST04；キーエンス，大阪）を介してコンピュータに取り込み，解析した。

貫入抵抗測定は給与直前（0h）から給与後 22h まで 2 時間ごとに 12 回実施した。測定頻度はウシへの負担を考慮して 1 日に付き 4 回以下，測定間隔も 6 時間以上開くように配慮し，12 回の測定を 4～8 日目の 5 日間に分けて実施した。貫入抵抗測定と同時に第一胃液を採取し，pH を測定後アンモニア態窒素および揮発性遊離脂肪酸（VFA）濃度の分析まで凍結保存した。

3. 貫入抵抗測定方法

装置の概要を図 1 に示した。本体部分はひずみゲージ式荷重変換器（LMA-A-50N 型；共和電業，東京）とひずみゲージ式変位変換器（ストローク：100 mm，DTH-A-100 型；共和電業）からなり，本体から伸びるプッシュ・プルケーブル（4.5 m，HI-LEX；日本ケーブル・システム株式会社，兵庫）を介して第一胃内挿入用のロッド（1 m）へとつながる。本体部のハンドルを回すことによりプッシュ・プルケーブルの先端（ロッド）が最大 100 mm 伸張し，ロッド先端の貫入抵抗値と変位（挿入深度）を感知する。得られたアナログ信号をひずみ電圧計測ユニット

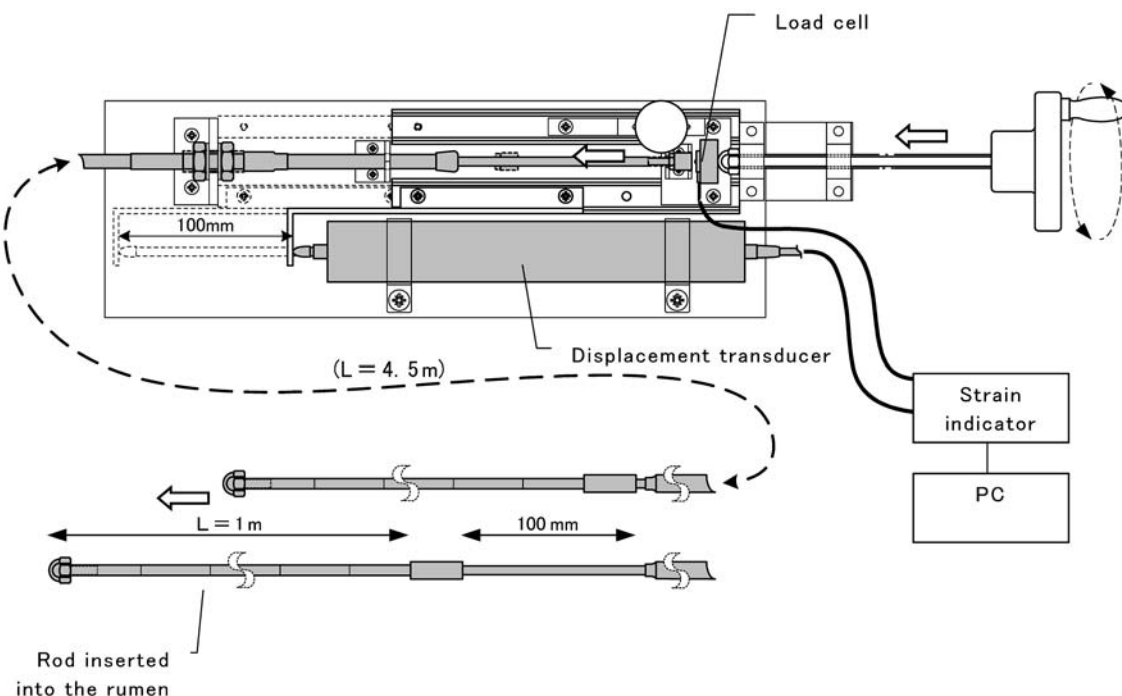


Figure 1 Structure of the device for measuring penetration resistance and depth of rumen digesta.

ト (NR-500, NR-ST04; キーエンス) でデジタル信号に変換し、コンピューターに入力させた。

測定は二人でおこない、一人がウシの側面に立ちロッド先端を第一胃カニューレを介して内容物表層に固定し、もう一人が測定装置本体のハンドルを回してロッドを貫入させた (図 2)。1 回当たり 100 mm の貫入となり、この作業をロッド先端が第一胃腹囊の底に到達するまで繰り返した。貫入開始から終了までに要した時間はおよそ 10 分弱であった。ロッドは第一胃カニューレから第一胃腹囊の底に向けて挿入したので、挿入角度は垂直にはならず、地面に対しておよそ 70~75 度であった。第一胃内容物の深さは各測定の直前に定規を第一胃カニューレより挿入することにより計測した。定規の挿入角度についてもロッドと同様であった。なお、内容物の堅さを正確に測定するためにロッドの挿入は定規挿入部位からずらして挿入し、挿入中に第一・二胃収縮が生じた際には測定を一旦中断し、やり過ごした後に再開した。

得られた貫入抵抗値 (PRV, N) は 100 mm 区切りで集計し、その区間の平均を算出した。第一胃上部に位置するマット層とその下部のスラリー層の二層性を確認するために、個別の測定ごとに PRV と深さの関係を図示し大塚と吉原 (1975) の折れ線モデルをあてはめて変曲点の算出を試みた。変曲点が存在した場合には、変曲点より上部をマット層、下部をスラリー層と定義した。変曲



Figure 2 Techniques for measuring penetration resistance in rumen digesta.

点が存在しない場合にはマット層とスラリー層を区分する明瞭な境目が存在しないと判断した。

4. サンプル採取および分析方法

第一胃内容物の全量採取は飼料給与直前 (0 h) と給与 2 時間後 (2 h) に実施した。採取した第一胃内容物は計量後、分析用として適量を試料として保存し、残りの内容物は直ちに第一胃内に戻した。

第一胃内容物を分類するために目開き 2.36, 1.18, 0.60, 0.30 および 0.15 mm の篩を用いて湿式篩別した。2.36 mm 以上のふるいに残留したものを大粒子、0.15 mm 以上に残留したものを小粒子、0.15 mm 未満でふるいを通過して流れてしまったものを微細粒子とした。

飼料および第一胃内容物の化学成分は乾物 (DM), 粗タンパク質 (CP), 中性デタージェント繊維 (NDF), 酸性デタージェント繊維 (ADF), 粗脂肪 (EE) および粗灰分 (Ash) 含量を測定した。各成分は常法 (自給粗飼料品質評価研究会 2001) により分析した。非繊維性炭水化物 (NFC) は次の式より算出した。

$$\text{NFC} = 100 - (\text{Ash} + \text{CP} + \text{NDF} + \text{EE})$$

給与 TMR の DM 含量は 44.7% であった。その他の化学成分含量 (DM 中) は CP : 14.8%, NDF : 39.3%, ADF : 20.7%, EE : 3.2%, Ash : 6.7%, NFC : 36.1% であった。

給与 TMR 飼料片の粒度分布を Penn State Particle Separator (PSPS) を用いて計測した (Lammers ら 1996)。PSPS は 2 段の篩 (目開き 19 および 8 mm) と受け皿から構成されている。給与 TMR を PSPS で篩別した際に、上側 2 段の篩上に残留した飼料片割合の合計値を physical effectiveness factor (pef) とし、pef に給与 TMR の乾物中 NDF 含量を乗じて physically effective fiber (peNDF) 含量を算出した (Beauchemin と Yang 2005)。

第一胃液を解凍後、アンモニア態窒素濃度の分析は水蒸気蒸留法 (自給粗飼料品質評価研究会 2001) でおこない、VFA 濃度の分析はガスクロマトグラフ (GSG3810; 柳本製作所, 京都) で実施した。

5. 統計処理

処理間の平均値の差は対応のある t 検定で、第一胃内容物のマット層とスラリー層を区分する変曲点が存在する割合の差はカイ 2 乗検定で比較した。いずれも 5% 水準では有意な差があり、10% 水準では差の傾向があった。

結果および考察

1. 第一胃内貫入抵抗値とその経時変化

図 3 に全測定を平均した第一胃の深度別の PRV を示した。両区とも表層から 30 cm 程度までが強い層になっており、さらに深度が増すと PRV は徐々に低下していった。

第一胃内容物の堅さの経時変化を把握するために深度

別 PRV を平均して測定ごとに集約した。その PRV の平均値と内容物の深さの推移、PRV と深さの関係から得られた変曲点の平均値を表 1 に示した。

PRV の平均値は両区とも 12 N とほぼ一致した値となり、最大値はいずれも 8 h で記録された。変動の幅は対照区の方が大きくなる傾向にあり、細断区では一日を通して内容物の詰まり具合がほぼ均一であったと推察された。第一胃内容物の深さの平均値は 53 cm と両区に差は

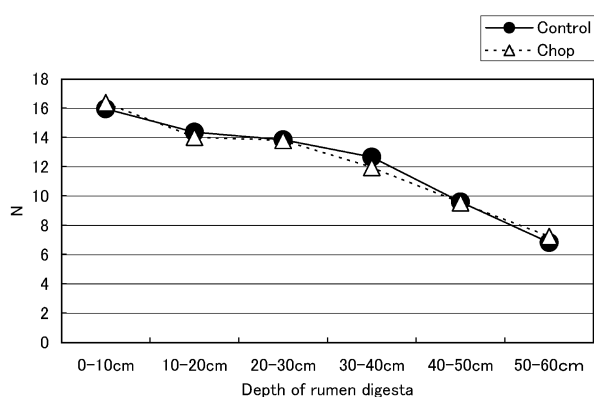


Figure 3 Changes in penetration resistance value in both diet groups (n = 48). Chop : the ration prepared by twice-chopping the control ration using a bedding chopper.

なかったが、対照区の方が細断区よりも変動が常になる傾向を示した。折れ線モデル（大塚と吉原 1975）を当てはめた結果、マット層とスラリー層を分ける境目（変曲点）が得られた例数は全測定数 48（4 頭×12 測定）のうち対照区 26 例、細断区 34 例となり、細断区の方が多い傾向を示した（ $P < 0.10$ ）。変曲点の PRV とその深さは対照区では 17.1 N, 31.4 cm, 細断区では 16.2 N, 37.0 cm となり、堅さに差はなかったが、細断区の方が深くなる傾向を示した（ $P < 0.10$ ）。

以上から、本装置を利用すれば第一胃内容物の採取をおこなうことなく第一胃内の物理的性状の一つである貫入抵抗値を測定できると考えられた。また、PRV と深度の関係に折れ線モデル（大塚と吉原 1975）を当てはめることにより、第一胃マット層の存在の有無やその厚さの計測が可能となった。測定した貫入抵抗値から考えると、飼料切断長が短いにもかかわらず細断区の方が明確なマット層が存在する頻度が高く、またその厚さも厚いことが示唆された。

なお、本実験では供試牛の飲水行動は測定できなかった。飲水量に応じて第一胃内容物の流動性や密度が変化し、PRV にも影響を受ける可能性が高いことから、今後、飲水量と PRV の関係についても検討する必要があると考えられた。

Table 1 Penetration resistance value (PRV) and depth of rumen digesta and the break point in the trend of PRV in cow

	PRV, N		depth, cm	
	Control	Chop	Control	Chop
Time after feeding (n = 4)				
0 h	10.6 ± 1.3	12.1 ± 1.1	47.1 ± 2.5	49.7 ± 3.0
2 h	13.1 ± 1.1	12.1 ± 1.3	42.5 ± 2.7	53.1 ± 4.6
4 h	9.8 ± 0.7	11.2 ± 1.0	56.0 ± 1.7	51.5 ± 6.8
6 h	12.4 ± 1.3	12.9 ± 1.1	52.2 ± 1.0	57.4 ± 3.0
8 h	13.9 ± 2.2	14.3 ± 1.0	58.4 ± 2.5	50.5 ± 4.6
10 h	12.4 ± 2.1	11.6 ± 1.0	58.8 ± 2.3	55.8 ± 2.3
12 h	12.9 ± 2.9	11.2 ± 1.0	49.5 ± 4.6	58.6 ± 5.9
14 h	12.1 ± 0.8	12.6 ± 1.1	55.1 ± 2.2	54.0 ± 3.7
16 h	13.8 ± 1.1	12.3 ± 1.7	52.1 ± 5.0	52.3 ± 4.5
18 h	9.8 ± 1.2	11.7 ± 0.9	51.6 ± 4.3	53.2 ± 7.2
20 h	11.4 ± 2.0	11.1 ± 1.2	60.0 ± 4.4	52.4 ± 5.5
22 h	12.9 ± 1.6	11.0 ± 1.8	54.0 ± 3.3	50.4 ± 4.2
average	12.1 ± 0.9	12.0 ± 0.6	53.1 ± 0.5	53.2 ± 2.9
The break point in the trend of PRV ¹	17.1 ± 0.9	16.2 ± 0.8	31.4 ± 2.1 ^c	37.0 ± 1.8 ^d

Mean ± standard error.

¹ Values are means in case of detecting the breakpoint. Control : n = 26, Chop : n = 34.

^{c,d} Values with different superscript letters differ ($P < 0.10$).

2. 飼料の粒度分布と咀嚼活動および乳生産との関係

TMRの粒度分布、採食量、採食行動および反芻活動および乳生産を表2に示した。TMRの粒度分布は19 mm以上の大飼料片割合が対照区13.9%、細断区5.1%となり、8 mm以下の小飼料片割合は対照区46.7%、細断区62.1%であった。TMRの pef および peNDF はいずれも対照区よりも細断区で低下した。

1日当たりのDM、NDFおよびCP摂取量は両処理で違いは認められなかった。また、給与2時間後のDM摂取量も処理による差はなかった。

採食時間は対照区の329.6分/日に対して、細断区では310.2分/日であった。一日に出現する採食期の回数は両区とも11回程度となった。給与後最初の採食期、その他の採食期いずれも持続時間に処理による差はなかった。一方、採食期の採食速度は対照区に比べ細断区が速かった ($P < 0.05$)。反芻動物における採食時の咀嚼は飼料片の微細化よりもむしろ嚥下可能な食塊を形成するために費やされており、飼料粒度や繊維含量が増加すると採食時間も延長すると考えられている (Wilson と Kennedy 1996)。採食期の採食速度が示しているとおり、

Table 2 Particle size distribution, physical effectiveness factor (pef) and physically effective fiber (peNDF) contents of total mixed ration (TMR) and voluntary intake, eating behavior, rumination activity and milk production in cows

	Control	Chop
Particle size distribution of TMR ¹ , %DM		
Top Screen (> 19-mm)	13.9	5.1
Middle Screen (> 8-mm)	39.4	32.8
Pan	46.7	62.1
pef	0.53	0.38
peNDF, %DM	21.0	14.9
Voluntary intake		
DM intake, g/day	19.7 ± 2.2	19.7 ± 2.3
DM intake in first 2 hours after feeding, kg/2 h	7.3 ± 0.6	6.3 ± 1.4
NDF intake, kg/day	7.5 ± 1.1	7.7 ± 0.8
CP intake, kg/day	3.0 ± 0.4	2.9 ± 0.4
Chewing activity		
Time spent eating, min/day	329.6 ± 38.4	310.2 ± 32.9
Meal activity		
Number, /day	11.2 ± 1.8	11.9 ± 1.8
Duration		
First meal, min	101.9 ± 12.5	68.6 ± 11.7
Other meals, min	27.1 ± 3.8	26.6 ± 3.9
Eating rate, gDM/meal	55.5 ± 9.3 ^b	62.2 ± 9.0 ^a
Time spent rumination, min/day	500.5 ± 13.9	525.7 ± 16.5
Rumination period activity		
Number, /day	13.5 ± 0.8	13.5 ± 1.1
Duration, min	36.4 ± 3.0	40.3 ± 4.0
Milk production		
Yield, kg/day	27.9 ± 3.4	27.1 ± 3.3
Fat, %	4.08 ± 0.19	4.33 ± 0.10
Protein, %	3.42 ± 0.13	3.46 ± 0.08
Solids not fat, %	9.02 ± 0.23	9.08 ± 0.16

Mean ± standard error.

Chop : the ration prepared by twice-chopping the control ration using a bedding chopper ;

CP : crude protein ; DM : dry matter ; NDF : neutral detergent fibre ; TMR : total mixed ration.

¹ Using by the Penn State Forage Separator (Lammers *et al.* 1996).

^{a, b} Values with different superscript letters differ ($P < 0.05$).

細断区では長時間の採食を要することなく対照区とほぼ同量の飼料を摂取可能であり、食塊を形成するための咀嚼回数が少なかったと考えられる。Bailey (1961) は採食速度が速くなるに連れ唾液の分泌量が少なくなること認めており、本試験の細断区は対照区と比べて唾液の混和量の少ない飼料片が第一胃へ流入したと推測される。採食速度が速く唾液との混和量の少ない飼料片の細胞壁内には依然として空隙が存在しており比重も小さいと考えられる (Van Soest 1994)。比重の小さい飼料片は沈降することなく第一胃上部に浮遊するため、このような飼料片が集積したことが細断区における第一胃マットの厚みの増加 (表 1) に結びついたのかもしれない。

一日の総反数時間は対照区の 500.5 分/日に対して、細断区では 525.7 分/日であった。反芻期の回数および持続時間も処理による差はみられなかった。細断区でみられた第一胃マッ層の厚みの増加は反芻活動を増加させるほどではないと考えられた。

産乳量は対照区 27.9 kg/日、細断区では 27.1 kg/日となった。乳脂肪率、乳タンパク質率および無脂乳固形分率にはいずれも差はなかった。給与飼料片の短小化は反芻活動を減じ、第一胃アシドーシスから乳脂肪率の低下をもたらす恐れがあると懸念される (Mertens 1997) が、本実験では両区に差は認められなかった。Beauchemin と Yang (2005) は、飼料片が短小化しても peNDF が飼料中に 10% 以上含まれていれば咀嚼活動は減少しないと述べている。本報告でも対照区と細断区の peNDF 含量を比較すると 21.0 から 14.9% へと減少したものの 10% を下回ることにはなかった。したがって、本試験における切断長の差異では第一胃壁への刺激作用に対する影響は小さかったと推察された。

3. 第一胃内容物の貫入抵抗値と咀嚼活動、内容物の粒度分布および化学性状の関係

第一胃内容物量および内容物の粒度分布について表 3 に示した。0 h の第一胃内原物量は対照区よりも細断区が多くなる傾向を示した ($P < 0.10$)。しかし、その他の成分について差は認められなかった。2 h ではすべての成分で 0 h よりも増加したが、いずれの成分量も処理による差はなかった。内容物の粒度分布は両区ともに 0 h では小粒子割合が大粒子および微細粒子割合をやや上回る傾向を示したが、2 h では大粒子と小粒子の割合がほぼ等しくなり、微細粒子割合が低下した。0 h および 2 h のいずれにおいても粒度分布に処理間差は認められなかった。

表 4 に第一胃液の化学性状についてまとめた。第一胃液 pH は両区とも同様の推移を示し、1 日の平均値にも差はなかった。アンモニア態窒素濃度は 8 h で対照区が細断区よりも高い値となった ($P < 0.05$) が、それ以外で差はなく、1 日の平均値にも差は認められなかった。総 VFA 濃度は 2~4 h ($P < 0.05$) と 1 日の平均値 ($P < 0.01$) で、対照区よりも細断区が高い値となった。

本試験で設定した飼料粒度の違いでは、咀嚼活動に差は認められず、ルーメン内容物の PRV も両処理区とも同様な値を示したことから、ルーメン壁への刺激効果に対する飼料の切断長の影響は小さかったと考えられる。一方、第一胃内容物の原物量は細断区が対照区よりも多い傾向にあり、細断区の採食速度が速かったことから、第一胃マッ層は細断区が対照区よりも厚くなると考えられた。本試験では内容物の PRV の値を用いて第一胃マッ層の厚さを推定したが、細断区が対照区よりも厚い傾向が得られた。このことは、第一胃内容物の物理性

Table 3 Weight and particle size distribution of rumen digesta in cows

	Immediately before feeding (0 h)		2 h after feeding	
	Control	Chop	Control	Chop
Weight, kg				
FM	84.3 ± 8.8 ^d	92.8 ± 6.1 ^c	103.8 ± 6.3	102.8 ± 10.4
DM	10.9 ± 0.9	11.5 ± 1.5	14.5 ± 0.3	14.1 ± 1.2
NDF	7.2 ± 0.6	7.7 ± 1.0	8.7 ± 0.5	8.8 ± 0.6
CP	1.8 ± 0.2	1.9 ± 0.3	2.4 ± 0.1	2.3 ± 0.2
Particle size distribution, % of total digesta DM				
Large particle ¹	30.5 ± 2.2	31.3 ± 3.3	35.1 ± 0.2	35.0 ± 1.0
Small particle ²	37.5 ± 2.7	36.6 ± 2.1	36.2 ± 1.4	36.3 ± 1.1
Fine particle ³	32.0 ± 1.6	32.1 ± 5.1	28.7 ± 1.4	28.7 ± 0.6

Mean ± standard error.

Chop : the ration prepared by twice-chopping the control ration using a bedding chopper ;

CP : crude protein ; DM : dry matter ; FM : fresh matter ; NDF : neutral detergent fibre.

¹ > 1,180 μm ; ² < 1,180 μm, > 150 μm ; ³ < 150 μm.

^{c,d} Values with different superscript letters differ ($P < 0.10$).

Table 4 PH and concentration of NH₃-N and total VFA in rumen fluid of cows

	pH		NH ₃ -N, mg/dL		total VFA, mmol/dL	
	Control	Chop	Control	Chop	Control	Chop
time after feeding						
0 h	6.71 ± 0.07	6.38 ± 0.15	5.2 ± 2.1	6.0 ± 1.1	12.4 ± 1.9	12.6 ± 1.7
2 h	6.08 ± 0.08	6.00 ± 0.06	15.3 ± 1.0	12.4 ± 1.5	11.2 ± 1.7 ^b	15.3 ± 1.3 ^a
4 h	5.93 ± 0.08	5.80 ± 0.10	9.4 ± 2.2	10.7 ± 2.5	10.8 ± 1.6 ^b	15.0 ± 0.9 ^a
6 h	5.89 ± 0.09	5.81 ± 0.08	7.5 ± 1.1	8.9 ± 1.7	11.8 ± 1.8	15.5 ± 0.9
8 h	5.99 ± 0.11	5.90 ± 0.09	6.2 ± 0.7 ^a	4.9 ± 1.0 ^b	13.9 ± 1.9	16.3 ± 0.9
10 h	6.01 ± 0.12	6.16 ± 0.09	5.2 ± 0.5	6.8 ± 1.4	13.5 ± 2.2	15.9 ± 0.4
12 h	6.47 ± 0.15	6.01 ± 0.12	6.6 ± 2.2	8.7 ± 1.3	14.7 ± 2.7	15.8 ± 1.1
14 h	6.02 ± 0.14	6.16 ± 0.18	4.9 ± 0.8	4.6 ± 0.8	13.6 ± 2.3	14.7 ± 0.9
16 h	6.24 ± 0.11	6.35 ± 0.16	4.9 ± 0.9	6.4 ± 1.4	14.0 ± 1.8	14.3 ± 0.9
18 h	6.42 ± 0.12	6.47 ± 0.14	5.2 ± 0.7	6.0 ± 0.5	11.1 ± 1.8	14.4 ± 0.6
20 h	6.36 ± 0.04	6.42 ± 0.08	6.0 ± 0.7	5.2 ± 1.1	11.2 ± 1.6	13.9 ± 0.9
22 h	6.37 ± 0.10	6.45 ± 0.15	4.2 ± 0.9	4.0 ± 0.9	12.1 ± 1.6	13.2 ± 1.2
average	6.21 ± 0.05	6.16 ± 0.04	6.7 ± 0.2	7.1 ± 0.7	12.5 ± 0.9 ^f	14.8 ± 0.5 ^e

Mean ± standard error.

Chop : the ration prepared by twice-chopping the control ration using a bedding chopper. VFA : volatile fatty acids.

^{e,f} Values with different superscript letters differ ($P < 0.01$).

^{a,b} Values with different superscript letters differ ($P < 0.05$).

の評価指標として、PRV の利用が有効であることを示唆するものと考えられる。このように、第一胃内 PRV は内容物の採取や粒度分布の測定では表現できなかった充満度の指標として期待が持てる。今後、物理性の異なる種々な飼料を摂取した泌乳牛の第一胃内容物の貫入抵抗値を測定し、粒度分布や重量、咀嚼活動等の生理反応との関係を明らかにしていくことが必要と考えられた。

土壌硬度の測定方法を応用した第一胃内貫入抵抗測定装置を用いると、簡易な操作で第一胃内容物の堅さと深さを調査でき、同時に第一胃マットの構造の一部を推定することが可能となった。第一胃内容物の量や粒度といった従来の指標に加え、第一胃内容物の物理的性状を評価する新たな概念として PRV は利用できると考えられた。今回は違いが現れにくい飼料間での比較であったが、PRV を用いた内容物の物理性評価は様々な飼料で応用可能であると考えられた。

謝 辞

反芻活動測定についてご指導をいただいた酪農学園大学酪農学科の岡本全弘教授、家畜飼養管理においてご支援いただいた附属農場技師の皆様に深く感謝の意を表します。

なお本研究の一部は、第 12 回 AAAP 大会（韓国，プサン）参加若手研究者への参加費助成により遂行された。

文 献

- Bailey CB. 1961. Saliva secretion and its relation to feeding in cattle. 3. The rate of secretion of mixed saliva in the cow during eating, with an estimate of the magnitude of the total daily secretion of mixed saliva. *British Journal of Nutrition* **15**, 443-451.
- Beauchemin KA, Yang WZ. 2005. Effects of physically effective fiber on intake, chewing activity, and ruminal acidosis for dairy cows fed diets based on corn silage. *Journal of Dairy Science* **88**, 2117-2129.
- Callison SL, Firkins JL, Eastridge ML, Hull BL. 2001. Site of nutrient digestion by dairy cows fed corn of different particle sizes or steam-rolled. *Journal of Dairy Science* **84**, 1458-1467.
- Hidari H. 1979. Estimation of the rumen load of sheep through measuring the consistency of rumen contents. *Japanese Journal of Zootechnical Science* **50**, 402-410.
- Hidari H. 1981. Analysis of diurnal feeding pattern of sheep fed various feeds in free access. *Japanese Journal of Zootechnical Science* **52**, 219-226.
- 板橋久雄. 2001. 第一胃フィステル装着ヒツジ・ヤギ. 新編動物栄養試験法（石橋 晃監修）. pp. 134-136. 養賢堂，東京.
- 泉 賢一，長田沙織，中村淳子，岡本全弘. 2004. 採食前後の第一胃内容物の全量交換がめん羊の採食行動および乾草自由採食量に及ぼす影響. 北海道畜産学会報 **46**, 37-44.
- 自給粗飼料品質評価研究会. 2001. 改訂粗飼料の品質評価ガイドブック. pp. 5-40. 社団法人日本草地畜産種子協会，東京.

- Lammers BP, Buckmaster DR, Heinrichs AJ. 1996. A simple method for the analysis of particle sizes of forage and total mixed rations. *Journal of Dairy Science* **79**, 922–928.
- Mertens DR. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *Journal of Dairy Science* **80**, 1463–1482.
- 大塚雅雄, 吉原雅彦. 1975. 1 ないし 2 の折曲点をもつ折れ線モデルのあてはめ. *応用統計学* **5**, 29–39.
- Van Soest PJ. 1994. Function of the ruminant forestomach. In : *Nutritional ecology of the ruminant*. 2nd edn. pp. 230–252. Cornell University press, New York.
- Welch JG. 1982. Rumination, particle size and passage from the rumen. *Journal of Animal Science* **54**, 885–894.
- Wilson JR, Kennedy PM. 1996. Plant and animal constraints to voluntary feed intake associated with fibre characteristics and particle breakdown and passage in ruminants. *Australian Journal of Agricultural Research* **47**, 199–225.
- 吉田昭治. 1989. 土の変形, 強さ, 硬さ. *土壌の物理性* **52**, 2–6.

Evaluation of penetration resistance value for the physical factor of rumen digesta in lactating dairy cows

Kenichi IZUMI¹, Takahito SAKAMOTO¹, Sota SHIBAYAMA¹ and Hideo TSUJI²

¹ Research Farm, Rakuno Gakuen University, Ebetsu 069-8501, Japan

² SCB, Nishi, Sapporo 063-0061, Japan

Corresponding : Kenichi IZUMI (fax : +81 (0) 11-386-1574, e-mail : izmken@rakuno.ac.jp)

The aim of this study was to evaluate rumen fill by measuring the penetration resistance value (PRV) and the depth of rumen digesta, and to investigate the relationship between PRV, rumen fill and chewing activity in cows. Four rumen-cannulated dairy cows were fed either the control total mixed ration (TMR) or twice-chopped TMR. PRV and the depth of rumen digesta were measured by a device we developed. It consisted of a rod inserted into the rumen, a load cell and a displacement transducer. The rumen mat was defined as the layer having a value over the break point on the line chart of the relationship between PRV and the depth of rumen digesta. The rumen digesta was entirely evacuated before feeding (0 h) and 2 h after feeding. The penetration resistance test was carried out for 24 h at 2 h intervals. Although reduction of particle size increased eating rate at each meal ($P < 0.05$), the dry matter intake and time spent eating and ruminating did not differ between the two diets. The total amount and the particle size distribution of rumen digesta were generally similar in the two diets, except that the weight of wet digesta at 0 h for chopped TMR was greater than that for control TMR ($P < 0.10$). The average PRV and depth in control and chopped TMR were 12 N and 53 cm, respectively. The thickness of the rumen mat tended to be greater for chopped TMR than control TMR ($P < 0.10$). This study suggests that the penetration resistance value is useful in evaluating the physical character of rumen digesta.

Nihon Chikusan Gakkaiho 79 (3), 361–368, 2008

Key words : cow, feed particle size, penetration resistance test, rumen fill, rumen mat.