

# 反芻家畜による繊維質消化ダイナミックスに関する研究動向

北海道大学農学部 大久保 正 彦

## 1. はじめに

牛、めん羊など反芻家畜の最大の特徴は、人類や単胃家畜がほとんど利用出来ない繊維質飼料を利用して生産することにある。反芻家畜による生産は、当然ながらこの特徴を最大限生かした繊維質飼料＝粗飼料利用を主体として行うべきであろう。農耕地、草地、森林をふくめてこうした繊維質飼料は、北海道に存在する再生産可能な最大の資源であり、今後も粗飼料主体の反芻家畜生産の重要性は増大しつづけるであろう。

一般に穀類などにくらべ、粗飼料は容積の割に養分含量が低いいため、家畜に如何に多くの養分を粗飼料から摂取・利用させるかが最大の関心事となる。換言すれば粗飼料の摂取量および消化率を如何に高めるか、あるいは摂取量、消化率の高い飼料とは如何なるものかを解明するのが課題となっている。そのためには当然、粗飼料摂取および消化を調節するメカニズム、影響を及ぼす要因などについての研究が必要となる。養分の割に嵩の大きい粗飼料の摂取量については、血糖などの化学的要因より、消化管の充満度が制限要因であると言われており<sup>1)</sup>、消化管への飼料の流入、分解、吸収、流出がどのように起っているか、それにつれて充満度がどのように変化し、また飼料摂取量と関連しているか興味をもたれるところである。また消化率についても、各消化管部位毎の消化についての理解も必要となつてこよう。そこで近年、たんなる個体レベルでの消化や出納からのみ論じるのではなく、各消化管部位での飼料の分解、移動、吸収をふくめたダイナミックスの観点から研究が進められるようになり、飼料摂取量や消化率が検討されてきている。そのため新しい実験手法

やコンピューターを活用した数学的解析方法も導入されている。

これらのうち、本稿では粗飼料の摂取量および消化率との関連で、反芻胃における繊維質消化、利用に関する最近の研究動向を、著者らの研究グループが行ってきた研究成績もふくめて紹介、解説する。

## 2. 反芻胃における繊維質消化

反芻家畜による飼料の消化に関しては、近年、消化管を2つの部位 compartment からなるシステムとしてとらえ、各部位での飼料消化、移動などの動態が研究されてきている<sup>2)</sup>。その際、反芻胃(第1,2胃)を第1の compartment, 第3胃以降の下部消化管を第2の compartment と想定している。各 compartment に流入した飼料は、消化、吸収および流出(通過)によりその compartment から消失するが、その動態を把握し、メカニズムと影響要因を解明することこそ、今日の飼料消化に関する研究の重点と言えるであろう。繊維質の消化であれば、当然第1の compartment, すなわち反芻胃におけるダイナミックスが主となる。WALDO and SMITH<sup>2)</sup> は反芻胃からの繊維質消失に関するモデルを論じたなかで、繊維質は潜在的に可消化な部分と不消化な部分に分けられ、前者は消化と通過によって、後者は通過によってのみ反芻胃から消失するとし、次の式を提示した。

$$\frac{dA}{dt} = -kdA - kpA$$

$$\frac{dB}{dt} = -kpB$$

A: 反芻胃内の潜在的な可消化繊維質量

B: 反芻胃内の不消化繊維質量

kd: 消化速度定数

kp: 通過速度定数

t: 時間

また t 時間後に反芻胃内に残存する繊維質量は次式で表わされる。

$$At+Bt = Aoe^{-(kd+kp)t} + Boe^{-kpt}$$

Ao, At: 0 時間および t 時間後に反芻胃内に存在する潜在的可消化繊維質量

Bo, Bt: 0 時間および t 時間後に反芻胃内に存在する不消化繊維質量

MERTENS and LOFTEN<sup>3)</sup> は、飼料繊維質が反芻胃に入っても直ちに消化が起らないことを考慮し、消化遅滞時間をモデルに取り入れ、次式を提起した。この式では消化のみを考え、通過は考慮していない。

$$At+Bt = Aoe^{-kd(t-L)} + Bo$$

L: 消化遅滞時間

これらのモデルを用い、異なる飼料や飼養条件下での消化速度定数が測定され、消化速度定数を左右する要因が検討されつつある。繊維質としては細胞壁成分 CWC、中性デタージェント繊維 NDF、酸性デタージェント繊維 ADF が対象として取り上げられ、消化は in vitro 法または in situ 法によって測定されている。

表 1 に粗飼料の反芻胃内消化速度定数の最近の報告例を示した。こうした報告例は必ずしも多くはなく、測定条件なども同一ではないので、報告値の比較をするのは難しいが、大豆殻、稲わらなどの低品質粗飼料の 0.01~0.02 程度から、アルファルファの 0.08 程度までかなり広範囲に分布している。in vitro 法と in situ 法の比較をした COOMBE ら<sup>4)</sup> の報告をみると、in vitro 法でやや高くなっているが、明確な差があるとは思われない。参考までに穀類についての報告値をみると、えん麦 0.27、大麦 0.15、小麦粉 0.14 と粗飼料にくら

表 1. 粗飼料の反芻胃内消化速度定数

報告者	飼料	消化速度定数
COOMBE ら <sup>4)</sup>	小麦わら (in situ法)	0.052 /h
	小麦わら (in vitro法)	0.066
VARGA ら <sup>5)</sup>	アルファルファ	0.078
	クローバー	0.068
	チモシー	0.062
	オーチャードグラス	0.056
	牧草サイレージ	0.023
	コーンサイレージ	0.082
	コーンコブ	0.034
LIU ら <sup>6-8)</sup>	大豆殻	0.011
	オーチャードグラス乾草 1	0.039
	オーチャードグラス乾草 2	0.028
	オーチャードグラス乾草 3	0.032
	オーチャードグラス乾草 4	0.039
	牧草サイレージ	0.035
	コーンサイレージ	0.041
	稲わら 1	0.018
	稲わら 2	0.037
	NaOH処理稲わら	0.021
小麦わら	0.032	

べると、かなり高くなっている<sup>9)</sup>。また配合飼料とオーチャードグラス乾草 6:4 の混合飼料を離乳子牛に給与した場合、NDF で 0.040~0.115、ADF で 0.055~0.146 という値も報告されている<sup>9)</sup>。

飼料の種類によって消化速度定数が異なるのは何故か、Liuら<sup>6-8)</sup> は反芻胃内微生物への養分供給の観点から検討を加えている。すなわち反芻胃における繊維質消化は微生物の活動によって行われるため、その微生物の活動、増殖に必要な養分が、充分かつバランス良く供給されているかどうかは消化速度と関連すると考えられるからである。Liuら<sup>6-8)</sup> は微生物に対する N 源とエネルギー源の供給に着目し、各飼料の RDN (反芻胃内で分解される蛋白質-非蛋白態 N 化合物もふくむ一を N として表わしたもの) および ADOM (反芻胃内で見かけ上分解される有機物、これをエネルギー源の指標とする) を *in situ* 法で測定し、RDN/ADOM と消化速度定数の関連について検討した。その結果、稲わらのように RDN 含量および RDN/ADOM いずれもが低く、エネルギー供給に比べ N 供給が不足していると思われる飼料では消化速度が低く、大豆粕のような N 源を添加することにより消化速度が高まることを認めた。また繊維質消化という意味では、消化速度が向上しても潜在的可消化割合が低ければ消化量そのものは向上しないが、稲わらの NaOH 処理によって繊維質の潜在的可消化割合が向上することも認められている<sup>10)</sup>。

MERTENS and LOFTEN<sup>9)</sup> は粗飼料に澱粉など可溶性炭水化物を添加した場合の消化率の低下、いわゆる澱粉減退について、反芻胃内繊維質消化ダイナミックスの観点から検討している。その結果、澱粉添加により NDF の潜在的可消化割合は低下、消化遅滞時間は長くなるが、消化速度そのものには変化がみられなかったと報告している。

今日まで、こうした繊維質の反芻胃内消化速度に関する報告例は必ずしも多くはなく、影響を及ぼす諸要因についても検討が始まったばかりである。飼料そのものの化学成分や組織学的特徴との関連もふくめ、今後、研究のつみ重ねが必要であろう。

### 3. 飼料の反芻胃通過

前述したように摂取され、反芻胃に流入した飼料は、消化と通過 passage (流出 outflow) によって反芻胃から消失していく。飼料の反芻胃通過速度 passage rate (流出速度 outflow rate, 回転速度 turnover rate ともいう)、逆に言えば反芻胃内滞留時間は消化率および飼料摂取量と関連がきわめて深い。つまり反芻胃に滞留する時間は微生物による消化を受ける時間に相当するため、通過速度が遅く、長時間滞留すれば、消化率は向上するものと思われる。一方、飼料摂取量との関連からみれば、通過速度が遅く、滞留時間が長ければ、それだけ反芻胃内の充満状態が長く続くことになり、飼料の摂取が制約されることになる。飼料摂取量という観点からすれば、通過速度は早い方が望ましいことになる。

この飼料の反芻胃通過速度の測定も、比較的早くから行われてきたが、方法上多くの問題点があった。例えば反芻胃をはじめ消化管を空にした状態で飼料を投与し、その移動を調べるとしたら、比較的容易と言えるかもしれないが、それでは消化管内の状態が、決して正常とは言えない。実際に把握したいのは、飼料が次々と消化管内へ流入してくる状態、それが連続的であったり、断続的であったりしても、常に反芻胃内に摂取後の経過時間が異なる飼料が混在する状態での飼料 (摂取後は消化管内容物ともよばれる) の移動、各消化管部位毎の通過速度なのである。現在、主として用いられている方法は、標識物質、いわゆるマーカーを経口ないし、第 1 胃カニューレから投与し、その反芻胃内濃度または糞中排泄濃度を経時的に測定し、通過速度を算出する方法である。マーカーとしては、不消化で他の消化管内容物と同じように移動することが条件とされている。しかし消化管内容物といっても均一なものではなく、大きくは液相と固相に分れる。固相はまた粒子の大きさや比重などによっても様々で、決して同一の速度で移動するわけではない。このため、実際の測定にあたっては 2 つ以上のマーカーを併用することが多い。現在まで用いられてきたマーカーとし

ては、固相マーカーとして染色飼料、プラスチック片、リグニン、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>などの他に、飼料にCr, Yb, La, Smなどの元素を結合させたものが用いられている。繊維質に関しては、CWCにCrを結合させたCr-CWC<sup>11)</sup>が用いられている。一方、液相マーカーとしてはPEG, Cr-EDTA, Co-EDTAなどが用いられている。これらマーカーの糞中排泄濃度から、GROVUM and WILLIAMS<sup>12)</sup>の次式によって通過速度が算出される。

$$Y = Ae^{-k_1(t-TT)} - Ae^{-k_2(t-TT)} \quad t > TT$$

$$Y = 0 \quad t \leq TT$$

Y: t時間後の糞中マーカー濃度

A: 糞中マーカーの初濃度

k<sub>1</sub>: 反芻胃通過速度定数

k<sub>2</sub>: 下部消化管通過速度定数

TT: 移動時間

このような方法により飼料の消化管内通過速度の測定がなされているが、測定条件は多様であり、体系的にまとめる段階にはまだない。ここでは反芻胃内通過速度のみに限っていくつかの例をあげてみよう。表2には特定の粗飼料のみを給与した場合の通過速度定数を示した。低品質の稲わらで低いのを除いて、0.03—0.05の範囲にあった。またアルファルファ乾草を1日400gから1,300gまで給与量をあげていくと、固相の通過速度定数は0.036から0.069まで上昇した<sup>13)</sup>。この他、乾草50:濃厚飼料50の混合飼料を維持の1.5, 2, 2.5倍レベルで泌乳牛に給与した場合、通過速度定数

は給与レベルの上昇にともない0.065から0.088へと上昇したという報告もある<sup>14)</sup>。このように飼料給与レベルが高まると、通過速度が早くなることは良く知られている。

泌乳牛に混合飼料を給与した場合の、個別の飼料の通過速度について検討した成績を表3に示した。いずれもアルファルファ乾草と穀類の混合飼料で、例えばアルファルファ乾草にはマーカーとしてSmサマリウムを、穀類にはCeセリウムを結合させ、液相マーカーとしてはCo-EDTAを用いるなど複数のマーカーを組合せて、個別飼料の通過速度を求めている。その結果、乾草:穀類の混合割合が変わっても、乾草や穀類の通過速度はほとんど変化しなかったが、液相の通過速度は穀類割合が増えるにつれて速くなっていた。

飼料の反芻胃通過あるいは反芻胃からの流出を

表2. 粗飼料の反芻胃内通過速度 (Liuら<sup>6,8)</sup>)

飼料	消化速度定数
オーチャードグラス乾草 1	0.042 /h
オーチャードグラス乾草 2	0.048
オーチャードグラス乾草 3	0.044
オーチャードグラス乾草 4	0.032
牧草サイレージ	0.041
コーンサイレージ	0.043
稲わら	0.015
麦わら	0.030

表3. 混合飼料給与時の個別飼料の反芻胃内通過速度

報告者	項目	分娩後			乾乳期	
		0—12週	13—24	24—44		
HARTNELL ら <sup>15)</sup>	乳期					
	乾草割合 (%)	45	57	67	83	
	通過速度定数 (/h)	液相	0.096	0.088	0.087	0.077
		穀類	0.052	0.046	0.041	0.040
アルファルファ乾草		0.038	0.034	0.035	0.034	
RODE ら <sup>16)</sup>	乾草割合 (%)	24	38	58	80	
	通過速度定数 (/h)	液相	0.064	0.075	0.077	0.088
		穀類	0.046	0.052	0.047	0.047
		アルファルファ乾草	0.030	0.033	0.032	0.034

考える場合、反芻胃内容物が均一ではないことはすでに指摘した。大きな、あるいは長い乾草のようなものから微細な粒子に至るまで、これらの内容物が同じ速度で反芻胃から流出していくわけではない。反芻胃から第3・4胃へ流出していくには、飼料粒子の大きさが一定程度以下であること、そのためには大きな、あるいは長い飼料が微細になる必要があることは良く知られている。飼料の消化、通過との関連で、この飼料の微細化についても多くの関心を集めているが、この点については次項で述べる。

飼料の反芻胃通過速度の概念を飼養標準のなかで取り上げたのはARC<sup>17)</sup>がはじめてであろう。ARCは1980年版飼養標準<sup>18)</sup>から、蛋白質要求量についてはその反芻胃内分解度 *degradability* を考慮して、RDP反芻胃内分解蛋白質とUDP反芻胃内非分解蛋白質に分けて提示している。1984年に出された補遺では、飼料蛋白質の反芻胃内分解度を考える場合、反芻胃通過速度を3段階に区分して求めるべきだとしている。すなわち完全に粉碎した飼料または混合飼料を非常に低レベルで給与した牛およびめん羊では0.02/h、子牛、低泌乳牛(ホルスタイン種で日乳量15kg以下、またはエネルギー摂取量が維持の2倍以下)および混合飼料を高レベルで摂取している肉牛・めん羊では0.05/h、高泌乳牛(日乳量15kg、またはエネルギー摂取量が維持の2倍以上)では0.08/hとして蛋白質の分解度を算出すべきだとしている。ARCは消化管内容物の通過速度に関する研究が不十分であることを認めつつ、きわめて大胆に3段階の通過速度値を採用しているが、今後さらにこの分野での研究の進展が必要なことは言うまでもない。

#### 4. 反芻胃における飼料の微細化

飼料、とくに乾草など粗飼料は、採食時のそしゃくによって多少小さくなるが、それでも相対的に大きな形で反芻胃へ流入する。採食直後のこの大きな飼料片あるいは粒子 *particle* は、反芻による再そしゃく、反芻胃の収縮、微生物による分解などによってしだいに小さくなり、ある程度以下

の大きさになると第3胃以降へ流出していく。この飼料の微細化 *particle size reduction* は、一方では表面積を拡大することによって消化と関連し、他方、通過とも当然関連してくる。その結果、反芻胃内充満度、ひいては飼料摂取量とも関連してくる。いずれにしても飼料の微細化が進まなければ、消化も通過も、そして次の飼料摂取も起らないわけであり、その動態を詳細に把握、検討することの意義は大きい。

飼料の微細化についても早くから研究がされてはいるが、前述の反芻胃での消化や通過と同様、飼料が連続して流入、流出している状態の下で調べるには、方法上多くの困難さがあり、未解明な点が多い。

飼料ないし消化管内容物粒子の大きさ *particle size* の測定は、湿式ふるい法 *wet sieving* によって通常行われている。異なる目開きのふるい *sieve* 5—8枚を用い、上部より水を流しながらふるい分けるのである。ふるい分けの際、振動を加える場合もある。ふるい分けの結果は、大きさ毎の分布や平均値(対数変換平均値)として表示したり、アメリカ農業工学会の *Modulus of fineness* (粒度)<sup>19)</sup>として表わすこともある。また最近では、コンピューター画像解析装置を用いて解析する試みも行われている<sup>20)</sup>。

測定に用いるサンプルの採取方法も難しい。反芻胃内は均一ではなく、また常に内容物が流動しているため、代表サンプルの採取が困難であるからである。一つの方法として反芻胃内容物を全量取り出し、充分攪拌後、代表サンプルを採取する方法があるが、反芻胃内の状態を乱すため、経時的なサンプル採取が難しい。他方、反芻胃内のいくつかの部位からサンプルを採取し、部位毎の *particle size* やその相互関係について検討している例もある。*particle size* の経時的变化、つまり飼料が摂取後どのように微細化していくのかを数量的に把握していくのは、きわめて難しく今日なお、その方法論的模索が続いている。

飼料微細化の過程を把握しようとする一つの方法として、反芻胃内の *particle size* の分布が調べられている。Poppiら<sup>21)</sup>は第1胃および第4胃カ

ニューレを装着しためん羊に、異なる生育期に刈取ったマメ科乾草2種類、イネ科乾草3種類を切断して与え、飼料、反芻胃および第4胃内容物、および糞の particle size を測定し、表4のように粒度で示した。反芻胃内容物の粒度は、乾草の種類や生育期による違いはなく、第4胃以降に比べて大きかった。PONDら<sup>22)</sup>は食道および第1胃カニューレを装着しためん羊をコースタルバーミューダグラス草地に放牧し、摂取食塊、反芻胃内容物および糞の particle size を測定し、表5のような結果を得ている。これは各ふるいの上に残った particle の割合で表わしたものである。反芻胃内容物では、下層にくらべ上層で大きい particle が多く、POPPIら<sup>21)</sup>の結果と異なり、牧草の生育期が進むと内容物の particle が相対的に大きくなることが示されている。

反芻胃内の particle size について関心がもた

れていることとして、どの程度微細になれば第3胃以下へ流出していくのか、すなわち反芻胃通過の critical size はどの程度かということか挙げられる。POPPIら<sup>21)</sup>は前述のデータをもとに、各部位での particle の累積分布や反芻胃からの流出抵抗を検討し、糞では1,180  $\mu\text{m}$  以上の particle は5%以下であるとし、反芻胃通過の critical size は1,000-1,200  $\mu\text{m}$  としている。WELCH<sup>23)</sup>は牛とめん羊の糞では particle size に差があるとし、1,200  $\mu\text{m}$  以上の particle は牛では8.9%、めん羊では1.24%であると報告している。KERLEYら<sup>24)</sup>は、corn cob の割合や粉碎程度を変えた飼料をめん羊に給与して、12指腸、回腸および糞の particle size を測定した。表6は飼料の粉碎度を変えた場合の各部位での平均 particle size であるが、飼料の particle size には差はあっても、反芻胃を通過してくる particle size には差はなく、

表4. 飼料、消化管内容物および糞の粒度 (POPPIら<sup>21)</sup>)

試料	給与乾草			
	マメ科	イネ科	早刈	遅刈
飼料	6.02	5.53	5.52	5.94
第1胃内容物	2.52	2.59	2.60	2.53
第4胃内容物	1.74	1.62	1.68	1.66
糞	1.86	1.74	1.74	1.84

表5. 放牧牛の摂取食塊、反芻胃内物および糞の particle size (PONDら<sup>22)</sup>)

	ふるい目開き $\mu\text{m}$						
	1600	1000	800	500	300	160	<160
%							
生長期草地							
摂取食塊	41.2	24.4	5.2	13.4	8.3	5.2	2.3
第1胃上層	9.8	18.9	9.1	18.9	15.5	15.3	12.5
第1胃下層	5.3	14.4	9.3	18.9	19.9	18.1	14.1
糞	—	7.3	7.9	16.8	19.9	22.9	25.2
成熟期草地							
摂取食塊	15.9	20.9	11.3	18.3	17.3	7.5	8.8
第1胃上層	11.3	23.2	7.5	16.6	15.3	14.9	11.2
第1胃下層	5.9	17.9	10.8	20.1	18.8	16.1	10.4
糞	—	6.4	8.1	18.3	20.6	24.3	22.3

表6. 粉碎度の異なる飼料給与時の消化管内容物および糞の平均 particle size (KERLEY ら<sup>24)</sup>)

	飼 料			
	A	B	C	D
飼 料	1,420	1,199	776	686
12指腸内容物	472	403	544	393
回腸内容物	565	506	508	566
糞	717	700	670	554

600-700  $\mu\text{m}$  程度の大きさで反芻胃を通過してくるであろうと指摘している。この値は POPPI ら<sup>21)</sup> の報告にくらべ、かなり小さい。細切乾草と粉碎・ペレット化した乾草を牛に給与した UDEN<sup>25)</sup> の報告でも、反芻胃内での平均 particle size は給与飼料によって異なるが、糞では 300-400  $\mu\text{m}$  の範囲で一定していた。

採食時のそしゃく、反芻時の再そしゃく、反芻胃の収縮、微生物による分解などによって particle size reduction が起るが、各要因がどの程度寄与しているのでしょうか。PEARCE and MOIR<sup>26)</sup> は、めん羊に採食時以外は口輪をはめ、反芻を制約したところ、飼料の反芻胃内滞留時間は長くなったが、糞の particle size には差はなく、消化率が向上したと報告した。このことから微生物による分解によって、反芻、再そしゃくによる particle size reduction を代替すると結論している。これに対し MURPHY and NICOLETTI<sup>27)</sup> は in situ 法で微生物が particle size reduction に寄与する割合を測定し、19% という値を得ており、微生物単独で果す役割はそれ程大きくないと指摘している。これらの点についても、なお多くの検討が必要であるが、各要因が別個に particle size reduction に関与しているわけではなく、例えば微生物の攻撃により脆弱になった飼料に、そしゃくや摩擦など物理的な力が加わり、微細化が進行するなど各要因の総合的な作用によって微細化が起ると考えるべきであろう。

反芻胃における消化速度や通過速度とならんで、particle size についても、その微細化速度

particle size reduction rate を求めることが出来れば反芻胃における繊維質消化の様相解明に著しく貢献するであろう。しかし、この点についての報告は限られており、むしろ、これからの研究課題というべきであろう。EVANS ら<sup>28)</sup> は、反芻胃内 particle を large particle pool と small particle pool に分けて、各 pool からの流出を次式で求めている。

$$\frac{dL}{dt} = -K_L L$$

$$\frac{dS}{dt} = K_L L - K_S S$$

L, S : large および small particle pool の平均含量 (mg/g)

$K_L, K_S$  : 各 pool からの transfer rate constant ( $K_L$  は large particle から small particle への reduction rate に相当する)

この結果、 $K_L 0.024-0.056/\text{h}$  という値を得ている。

MERTENS and ELY<sup>29)</sup> は、既報の成績をもとに摂取飼料を 3 fraction, 反芻胃内を 3 subcompartment (大 : 2 mm ふるい不通過部分, 中 : 0.5-2 mm, 小 : 0.5 mm ふるい通過部分) に分け、図 1 のような繊維質消化・移動のモデルを設定している。ここで  $K_4, K_5$  は大から中へ、中から小への Particle size reduction rate に相当することになる。

LASCANO<sup>30)</sup> は図 2 のようなモデルを設定し、食道および反芻胃カニューレを装着した放牧牛のデー

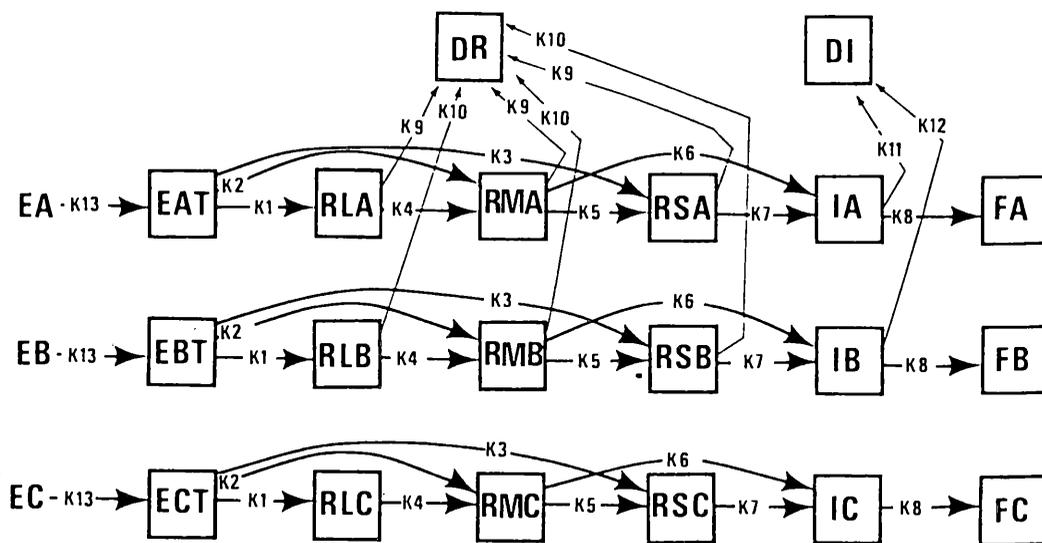


図1. 全消化管における繊維質ダイナミクスモデル (MERTNS and ELY<sup>29)</sup>)

A: 易消化部分, B: 難消化部分, C: 不消化部分, E: 摂取, D: 消化, R: 第1胃,  
I: 小腸, F: 糞, T: 全体, L: 長い, M: 中程度, S: 小さい,  
K<sub>1</sub>-K<sub>13</sub>: 摂取、消化、通過、微細化の各速度

タをあてはめ、disintegration rate  $K_D$  (particle size reduction rate に相当) と通過速度  $K_p$  を算出している。彼は、反芻胃内を particle size により 7 fraction に分け、各 fraction 間の  $K_D$ ,  $K_p$  を求めた。例えば、反芻胃内の particle size 1,600-1,000  $\mu\text{m}$  の  $D_2$  fraction には飼料およびより大きな fraction から particle が移ってきて、逆に  $K_D$  0.074 で  $D_3$  fraction へと微細化していく。また同時に  $K_p$  0.07 の速度で通過も起きている。 $K_D$ , すなわち微細化の速度は、particle が小さくなるにつれてしだいに低下し、逆に通過速度が大きくなっている。

このようなモデルにもとづいた検討が行われるようになったのは大きな前進ではあるが、現状ではモデル自体の検討も必要であるとともに、そこへ当てはめるべき基礎データの著しい不足は否定し難い。

## 5. 今後の研究の発展のために

反芻家畜による繊維質消化ダイナミクスに関

する研究は、たんに消化管内で生じている動態を正確に把握し、そこに存在する法則性を明らかにするだけが目的ではない。それらの成果が、粗飼料の摂取や消化のメカニズム解明に結びつけられ、効率的な飼料利用・生産へと結実してこそ真の意味をもつ。LIVR<sup>6)</sup>は前述のデータをもとに、次式により CWC の滞留時間指数 RT-index を求め、この指数が粗飼料の自由摂取量と高い負の相関にあることを示して、今後、1つの指標として活用すべきことを提起している。

$$\text{RT-index} = \frac{\text{PED}}{\text{kd} + \text{kp}} + \frac{100 - \text{PED}}{\text{kp}}$$

PED: CWC の潜在的可消化割合

kd: CWC の消化速度定数

kp: CWC の反芻胃内通過速度定数

反芻胃における飼料消化に関する研究も、定性的かつ静的な段階から、定量的で動的な検討が行われる段階に発展してきている。様々な部位へのカニューレ装着、in situ や in vitro 法の適用、各種マーカーの活用、数学的モデルの導入など方法的にも飛躍的な進歩をとげている。しかしなお、

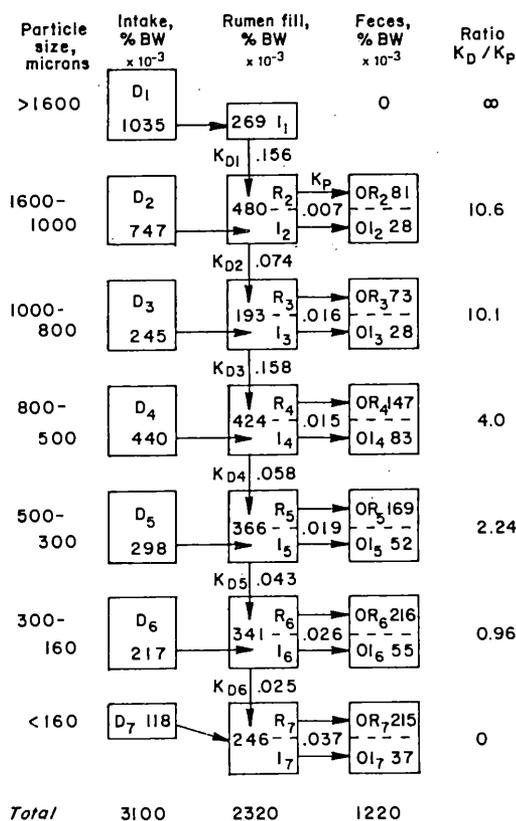


図2. 第1胃での飼料の微細化および通過モデル(LASCANO<sup>30)</sup>)

D: 飼料, I: 採食による部分, R: より大きなparticleからの微細化による部分, O: 糞, K<sub>D</sub>, K<sub>P</sub>: 微細化および通過速度定数

基礎的なデータが世界的にみても不足しているのも事実である。また我国における、この分野での取組みは残念ながら非常に弱い。北海道は土地を基盤とした粗飼料生産、家畜生産の中心地であり、こうした北海道でこそ、こうした分野での研究の今後の発展を期待したい。

## 文 献

- 1) VAN SOEST, P.J., Nutritional ecology of the ruminant. O & B Books Inc., Corvallis, Oreg. 1982.
- 2) WALDO, D.G. and L.W. SMITH, J. Dairy Sci., 55: 125-129. 1972.
- 3) MERTENS, D.R. and J.R. LOFTEN, J. Dairy Sci., 63: 1437-1446. 1980.
- 4) COOMBE, J.B., D.A. DINIUS and W.E. WHEELER, J. Anim. Sci., 49: 169-176. 1979.
- 5) VARGA, G.A. and W.H. HOOVER, J. Dairy Sci., 66: 2109-2155. 1983.
- 6) LIU, J.X., M. OKUBO and Y. ASAHIDA, Jpn. J. Zotech. Sci., 59: 977-984. 1988.
- 7) LIU, J.X., M. OKUBO and Y. ASAHIDA, Jpn. J. Zotech. Sci., 59: 1034-1039. 1988.
- 8) LIU, J.X., M. OKUBO, S. KONDO, J. SEKINE and Y. ASAHIDA, J. Fac. Agr. Hokkaido Univ., 63: 335-344. 1988.
- 9) OURA, R., J. SEKINE, M. OKUBO and Y. ASAHIDA, Jpn. J. Zotech. Sci., 58: 797-804. 1987.
- 10) LIN, J.X., M. OKUBO and Y. ASAHIDA, Jpn. J. Zotech. Sci., 59: 1040-1046. 1988.
- 11) UDEN, P., P.E. COLUCCI and P.J. VAN SOEST, J. Sci. Food Agric., 31: 625-632. 1980.
- 12) GROVUM, W.J. and V.J. WILLIAMS, Br. J. Nutr., 30: 313-329. 1973.
- 13) GROVUM, W.J. and V.J. WILLIAMS, Br. J. Nutr., 38: 425-436. 1977.
- 14) ELIMAN, M.E. and E.R. ØRSKOV, Anim. Prod., 38: 45-51. 1984.
- 15) HARTNELL, G.F. and L.D. SATTER, J. Anim. Sci., 48: 381-392. 1979.
- 16) RODE, L.M., D.C. WEAKLEY and L.D. SATTER, Can. J. Anim. Sci., 65: 101-111. 1985.
- 17) AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL, The nutrient requirement of ruminant livestock, Supplement No.1 Commonwealth Agricultural Bureaux, 1984.

- 18) AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL, The nutrient requirement of ruminant livestock, Commonwealth Agricultural Bureaux, 1980.
- 19) AMERICAN SOCIETY of AGRICULTURAL ENGINEERS, Agricultural engineers yearbook, p301. 1967.
- 20) 大浦良三・関根純二郎・森田二郎, 第80回日畜大会講演要旨, p33. 1983.
- 21) POPPI, D.P., B.W. NORTON, D.J. MINSON and R.E. HENDRICKSEN, J. agric. Sci., Camb., 94: 275-280. 1980.
- 22) POND, K.R., W.C. ELLIS, C.E. LASCANO and D.E. AKIN, J. Anim. Sci., 65: 609-618. 1987.
- 23) WELCH, J.G., J. Anim. Sci., 54: 885-894. 1982.
- 24) KERLEY, M.S., J.L. FIRKINS, G.C. FAHEY, Jr. and L.L. BERGER, J. Dairy Sci., 68: 1363-1375. 1985.
- 25) UDEN, P., Anim. Feed Sci. Technol., 19: 145-157. 1988.
- 26) PEARCE, G.R. and R.J. MOIR, Aust. J. Agr. Res., 15: 635-644. 1964.
- 27) MURPHY, M.R. and J.M. NICOLETTI, J. Dairy Sci., 67: 1221-1226. 1984.
- 28) EVANS, E.E., G.R. PEARCE, J. BURNETT and S.L. PILLINGER, Br. J. Nutr., 29: 357-376. 1973.
- 29) MERTENS, D.R. and L.O. ELY, J. Anim. Sci., 49: 1085-1095. 1979.
- 30) LASCANO, C.E. Ph.D. Thesis, Texas A and M Univ., College Station, TX. (VAN SOEST, P.J., Nutritional ecology of the ruminant, p228-229. O & B Books Inc., Carvalis, Oreg. 1982. より引用)