

粗飼料の栄養価の評価に関する研究と普及推進

出口 健三郎

Study of Nutritive Evaluation of Forage and Their Extantion for Forage Testing

Kenzaburo DEGUCHI

1. はじめに

草地の生産性を考慮する際に、乾物だけでなく栄養収量を論じる必要性が叫ばれて久しい。しかし栄養収量の増大は必ずしも反芻家畜による栄養摂取量の増大に貢献しない。反芻家畜による牧草の摂取量はルーメンの膨満度によって制限されるからである。そこで、栄養価と収量に加えてめん羊による自由採食量の推定値を組み合わせることにより、乳牛による草地からの栄養摂取量について検討した。

家畜飼養の知見を生産現場に普及するためには農家で給与している飼料の栄養価を把握することが必要である。特に自給飼料については収穫時期により栄養価が大きく変動するため、道内では複数の民間機関により近赤外分析を用いた飼料分析サービスが行われている。しかし、その分析値に分析センター間の誤差が大きいことや新たな分析項目に対応していないこと等の問題が生じてきた。それらの問題を解決するために道内の主な飼料分析センターと連携して「フォレンジテストミーティング」を立ち上げ、問題の解決を図ってきた。

2. 牧草の栄養価と草地の栄養収量の評価に関する研究

1) in vitro 乾物消化率からの TDN 推定

チモシー24点、アルファルファ6点、アカクロバ4点およびシロクロバ2点について、めん羊を用いた生草の飽食給与条件下での消化試験を行い、研究機関で利用すること前提に T&T 法による in vitro 乾物消化率 (IVDMD) から TDN 含量を推定することを検討した。IVDMD と TDN の関係はわずかに草種間差が認められ

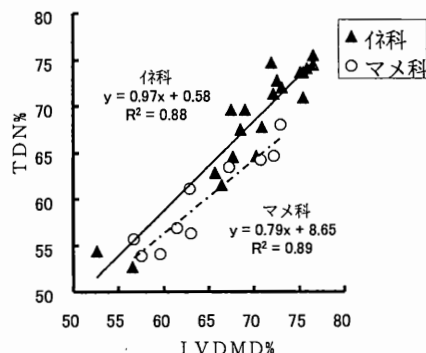


図1 in vitro 乾物消化率 (IVDMD) と TDN の関係

たが (図1)、粗脂肪、粗灰分を説明変数として加えた重回帰により、マメ科とチモシー共通の TDN 推定式を得ることが出来た(表1⁵⁾。

2) 成分含量からの自由採食量の推定

1) のデータを用いて、成分含量と自由採食量との関係を検討した。チモシーおよびアルファルファの自由採食量は繊維分画と負の相関が高く、ルーメンの膨満度により制限されるという仮説が裏付けられたが、本試験では総繊維の表現形である NDF、OCW より低消化性繊維 Ob 含量で自由採食量との相関が高くなった(表2)。また、不消化 NDF 含量と比較しても自由採食量との相関は Ob で高くなった。このことは、ルーメンの膨満度に繊維の消化スピードが関与していることを示唆する結果であった。ただし、アカクロバおよびシロクロバについては繊維分画と自由採食量の間には有意な相関が認めら

表1 in vitro 乾物消化率 (IVDMD) を説明変数とする TDN 推定式

回帰式 ¹⁾	r ²⁾	SE	説明変数の相対重要度 ³⁾		
			X1	X2	X3
イネ科 (n=20)					
TDN=0.79IVDMD+2.49EE+4.15	0.95	2.07	90.1	9.9	-
TDN=0.89IVDMD+0.208EE-0.86C. Ash+5.95	0.96	1.88	87.9	6.3	5.7
イネ科・マメ科共通 (n=30)					
TDN=0.68IVDMD+3.41EE+7.8	0.96	2.02	71.9	28.1	-
TDN=0.84IVDMD+2.07EE-0.78C. Ash+8.78	0.97	1.75	82.4	7.6	10.0

注1) IVDMD; T&T法による in vitro 乾物消化率、 EE; 粗脂肪、 C. Ash; 粗灰分

注2) r は自由度調整済み、 3) X1; IVDMD、 X2; EE、 X3; C. Ash

れず、別の要因があることが示唆された。以上の結果から、Ob 含量を説明変数とするチモシーのめん羊による自由採食量推定式を作成した(図2)⁴⁾。

表2 自由採食量 (g/MBS) と繊維画分 (DM%) との相関

草種群	n	ADF	NDF	OCW	Ob	不消化 NDF
TY	24	-0.84	-0.81	-0.89	-0.91	-0.83
AL	6	-0.91	-0.94	-0.90	-0.96	-0.92
RC・WC	6	-0.06	-0.20	-0.07	-0.09	0.10
マメ科全体	12	-0.26	-0.16	-0.12	-0.10	-0.53
TY・AL	30	-0.52	-0.87	-0.89	-0.88	-0.83

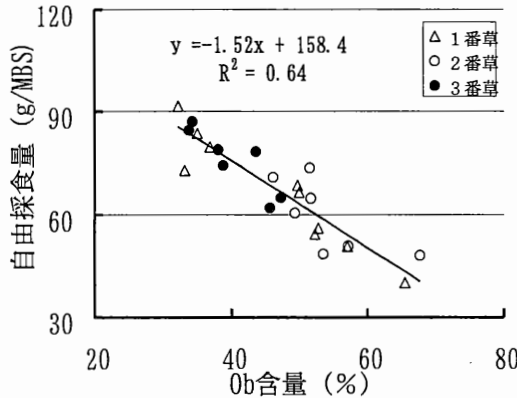


図2 チモシーのOb含量とめん羊による自由採食量の関係

3) 全道の飼料自給率に関する試算

平成9年から平成11年までの3年間「牧草の栄養価および収量向上による飼料自給率向上促進事業(Gプロ)」において全道5ブロック(道央道南、道北、網走、十勝、根釧)の普及センターが担当する作況圃約250

ほ場(地域を代表する混播採草地、経過年数は5年程度を主体)の収量および栄養価の実態調査が行われた。このデータを用いて採草地からの「自給可能割合」について試算を行った。TDN 自給可能割合とはすなわち、草地面積に制限がないと仮定した条件で乳牛に牧草を最大限摂取させ、不足するエネルギーを濃厚飼料から補うとした場合のTDN 自給率を示し、以下の式により表わされる。

$$\text{TDN自給可能割合}(\%) = (\text{牧草からのTDN摂取可能量}) / (\text{乳牛のTDN要求量}) \times 100$$

この式に使われている牧草からのTDN 摂取可能量については、前述のめん羊による自由採食量とTDN 含量の推定値を使ったが、泌乳ステージや併給飼料について考慮していないため、次のような換算を行った。

①牧草の自由採食量を、基準牧草(出穂始め)を1とする指数に変換、②既往の報告から、標準的な乳牛の乾乳、泌乳前期、後期の3時期における基準牧草の摂取可能量を算出し、それぞれの日数で加重平均、③①の指数を②の基準摂取量に乗じることにより対象とする牧草の乾物およびTDN 摂取可能量を算出した。乳牛のTDN 要求量は道内の標準的な乳牛のものとした(年間乳量8400kg、TDN 要求量12.95kg)。(図3参照)この計算を各番草について行い、年間のTDN 自給可能割合を算出した(式1)。

試算の結果、TDN自給可能割合は現状の刈取り体系では全道平均55%で、仮に適期刈り体系(1番草出穂始め、2番草50日目)で収穫されたとすると62%まで高くなると試算された。また、平成9年度乳検データによる各地域の一頭あたり平均乳量との関係を調べるとTDN 自給可能割合が高い地域ほど乳量が多い関係が認められた。

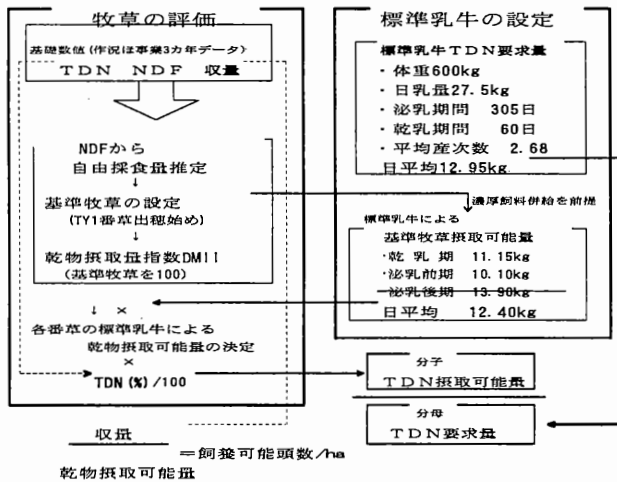


図3 自給可能割合試算の流れ

$$\text{TDN自給可能割合} = \frac{\sum (CY_i \times \text{TDN}_i)}{\sum (CY_i \times \text{TDN}_r)} \dots \text{式1}$$

CY_i ; i番草におけるhaあたり飼養可能頭数
 TDN_i ; 標準乳牛によるi番草のTDN摂取可能量
 TDN_r ; 標準乳牛のTDN要求量

表3 牧草からの自給可能割合の試算結果

地域	出穂始め	農家刈取り実態
畑酪地帯		
道央・道南	58	50
網走	63	52
十勝	63	56
草地酪農地帯		
道北	63	50
根釧	60	47
全道	62	51

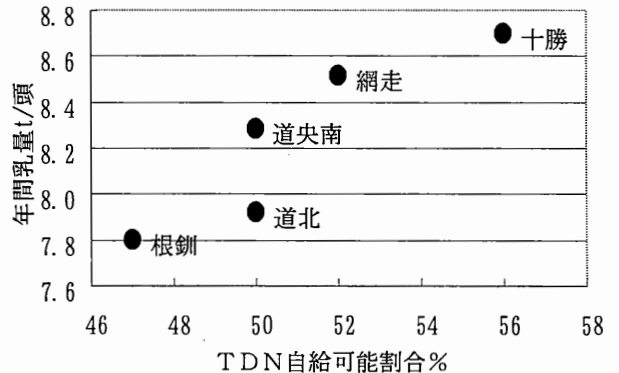


図4 年間TDN自給可能割合と乳検乳量

表4 地域別酪農家規模および必要とされる草地面積

地域	一戸あたり		一頭あたり
	飼養頭数 頭	飼料畑面積 ha	飼料畑面積 a
道央・道南	51	22.7	44
網走	63	33.9	54
十勝	77	36.9	48
道北	69	53.9	77
根釧	80	55.1	68
平均	73	44.1	60

表5 草地需給割合の試算

地域	出穂始刈取り	農家刈取り
道央・道南	65	85
網走	76	108
十勝	68	85
道北	102	144
根釧	88	129
全道	82	113

草地需給割合；現状一戸あたり草地面積/必要面積)

すなわち、地域によっては低品質な牧草生産が乳生産性を制限していることが示唆された。

しかし、自給可能割合は各地域の飼料生産が過不足なく行われているという仮定に基づいた試算であり、乳牛飼養規模と飼料畑面積が考慮されていない。平成11年度の北海道農業センサスデータによる一戸あたりの乳牛飼養頭数と飼料畑面積の関係から一頭あたり飼料畑面積を計算すると道央・道南の44aから道北の77aまで、地域により大きく異なることが分かった。そこで、自給可能割合を達成するために乳牛1頭あたりに必要とされる草地面積を100として、実際の一頭あたり草地面積をこれに対する比で表し「草地需給割合」とした。この試算においては収穫のロスをも見込み、坪刈収量から差し引いて計算した。草地需給割合は、道北の144%から道央・道南の85%まで2倍近い開きがあり、草地酪農地帯で大きく、畑作酪農地帯で小さい傾向が見られ、地域によりはっきりと実情が異なることが明らかになった。すなわち、草地需給割合が現状で100%を超える地域では早刈りにより牧草の品質を向上させることが出来るが、100%を下回る地域では、早刈りの推進は難しいことを示唆している。

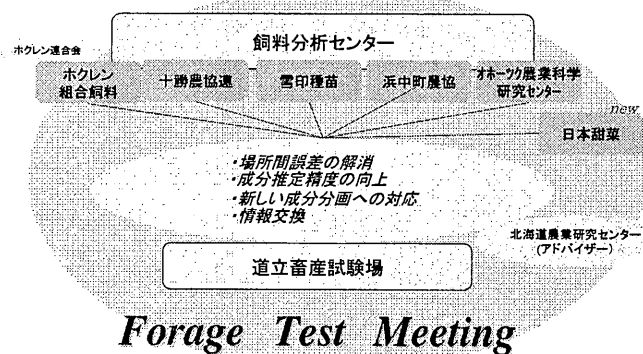


図5 フォレージテストミーティングの構成

3. 粗飼料の栄養価の評価に関する普及推進 -フォレージテストミーティングにおける飼料分析サービスの精度向上と分析項目の拡大-

フォレージテストミーティングの活動は図5に示す6機関が参画している。この活動のキーワードは「飼料分析センター間誤差の解消」と「近赤外分析(NIRS)の精度向上」の2点とした。この2つを共通認識として持つことにより、道内で近赤外分析計を用いて飼料分析サービスを行っている機関が揃って参画し、連携して作業を行うことが出来た。

具体的な作業の流れを図6に示した。誤差要因を詰めるために、化学分析のクロスチェックから始め、最終的にNIRS検量線の統一供用までを行っている。それぞれの作業段階の概要を以下に記す。

1) 化学分析値のクロスチェック

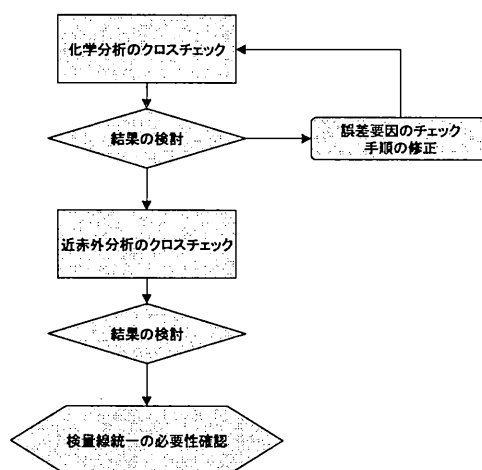


図6 分析センター間誤差要因の検討フロー

クロスチェック用のサンプルを用意し、化学分析値のクロスチェックを行った結果、分析センターにより化学分析手法が異なることに起因する誤差の存在が明らかになった(表6)。特に酵素分析においてはアミラーゼ処理の方法により値が異なったため、値が最もNDFに近似するアミラーゼ処理を加える方法で統一した。

表6 処理方法別OCW分析値(DM%)

サンプル名 (DM中)	NDF含量	OCWアミラーゼ処理		
		分離	簡易	無処理
イネ科				
TY1生草	52.8	52.8	56.0	53.3
TY1乾草	76.2	74.7	77.2	76.5
サイレージ	58.1	60.5	65.8	62.6
マメ科				
AL生草	34.8	38.4	45.7	-
AL乾草	47.2	49.8	57.2	-
RC乾草	59.8	61.7	67.0	-

注) マメ科の無処理区はろ過速度が非常に遅いため中止。

表7 異なる2つの解析手法による近赤外分析用検量線の精度 (未知試料n= 39)

成分	PLS法					MLR法				
	r ²	SDP ¹⁾	Bias ²⁾	EI ³⁾	判定 ³⁾	r ²	SDP ¹⁾	Bias ²⁾	EI ³⁾	判定 ³⁾
CP	0.92	0.84	0.26	11.8	A	0.92	0.77	0.69	10.9	A
CPs	0.82	0.80	0.17	20.0	B	0.73	0.97	0.67	24.3	B
CPu	0.82	0.74	-0.24	20.8	B	0.79	0.85	0.39	23.9	B
CPb	0.79	0.19	0.02	23.7	B	0.59	0.28	-0.05	35.0	C
OCW	0.92	1.70	-1.29	14.7	B	0.79	3.02	-1.20	26.0	C
Oa	0.60	1.72	0.17	32.5	C	0.40	2.11	0.33	39.8	D
Ob	0.90	2.20	-1.37	16.1	B	0.86	2.51	-1.10	18.4	B
OCC	0.86	2.00	2.34	20.8	B	0.73	2.91	3.65	30.3	C

注 1) SDP: プリディクションにおける標準偏差 (誤差にBiasを含まない)、以下同じ。2) Bias: 誤差の平均値
3) EI値=2×SDP/√n ×100、精度判定はEI値の範囲0~50, 50<を5段階に分け、以下のように判定した。;

A:非常に高い、B:高い、C:やや高い、D:低い、E:非常に低い (水野ら1988)⁶⁾

2) TDN 推定式の統一

TDN の推定は成分含量からの回帰推定式を使っているが、様々な式が提案されてきているため⁸⁾、用いられている式は分析センターにより異なった。in vivo 既知のサンプルを用いて検定したところ、単一草種に対するTDN 推定精度は酵素法分画を用いた式はデータジェント分画を用いた式より精度が高いが、マメ科とイネ科で大きく関係が異なることが確認された。生産現場のサンプルは混播草が多くかつサイレージなどの草種構成比を調べることは難しいので、より汎用性の高い式を採用することが必要と考えられた。そこで、より汎用性が高い推定式を選定し、推定式を統一することとした。国の主催する自給飼料品質評価研究会の呼びかけで全国から集められた in vivo TDN 既知サンプルを用いて、様々な草種に対して汎用性の高い TDN 推定式の作成を検討した。結果、(Oa+OCC) および OCW を説明変数とする TDN 推定式を得、これを道内で統一して用いることとした(図7)²⁾。

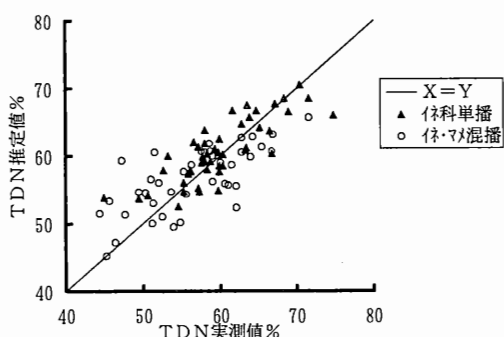


図7 単播および混播群におけるTDN実測値と推定値の関係
 $TDN = -5.45 + 0.89 \cdot (OCC + Oa) + 0.45 \cdot OCW$
 $r = 0.78 \quad s.e = 4.04$

3) 標準サンプルの収集とNIRS 統一検量線の作成

クロスチェックの結果、分析センター間で化学分析手法が異なることが明らかになったことから、それを元にして作られたNIRS 検量線も統一手法による化学分析値を元に作り直す必要があった。そこで、かつ場所間誤差の解消と同時に、より高精度な推定を目指し、検量線の作成を畜試で担当し、これを各機関で統一して用いるこ

ととした。検量線の元となる標準サンプルについては分析センターおよび普及センターの協力を得て、牧草サイレージ、乾草、生草について出来るだけ広範囲のものを多く収集した。検量線の作成方法には重回帰分析法とPLS法という2つの方法があったため、両者の精度を比較検討した。OCW のプリディクションサンプルにおける推定精度は変数増加法による重回帰分析(MLR)では $r^2=0.79$ 、PLS法では $r^2=0.93$ となり、PLS法による精度の向上が認められた(図8)¹⁾。他の成分についてもほぼ同様であったため(表7)、後段に述べる検量線の移設においても問題のないことを確認した後に PLS 法による検量線を全ての項目で採用した。検量線は飼料の種類別に作成したが、乾草については範囲の広いサンプルの収集が難しかったため、精度検定用(プリディクション)サンプルを用意し、生草用と牧草サイレージ用の検量線から当てはまりの高いものを選び補正して用いることとした。

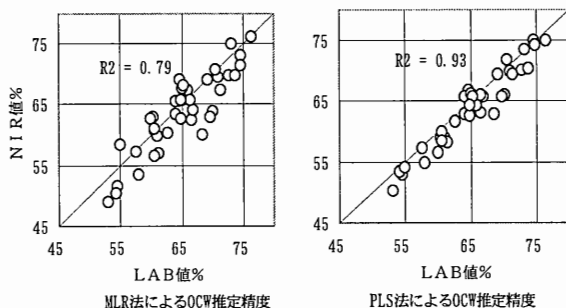


図8 MLR法とPLS法によるOCW推定精度

4) 検量線の移設と補正

検量線の移設は、各分析センターが同じメーカーの近赤外分析計を使用していたために可能であった。ただし、単一メーカーの機械でも機種間差があるため、検量線を移設する場合には補正が必要であった。NIRS 検量線の補正方法については、これまで、キャリブレーションまたはプリディクションのどちらにも使われていない試料数十点(補正用サンプル群)を用意し、それらの

表8 検量線補正後の精度 (CP)

対象 ¹⁾	項目	機種	畜試 MODEL 6500	移設先				
				A MODEL 6500	B MODEL 6500	C MODEL 6500	D MODEL 6500	E MODEL 4500
推移 定設 値元	r^2	-	-	0.997	0.992	0.996	0.996	0.992
	SDP	-	-	0.32	0.56	0.37	0.37	0.54
	Bias	-	-	0.32	0.62	0.37	0.37	0.61
値化サ 学ン 分プ 析ル	r^2	0.991	0.990	0.989	0.990	0.991	0.991	0.991
	SDP	0.61	0.66	0.78	0.59	0.62	0.75	0.75
	Bias	0.54	0.36	0.55	0.53	0.74	0.34	0.34
	E I	5.41	5.85	6.94	5.24	5.49	6.63	6.63

注1) 推定精度を移設元検量線によるNIRS推定値に対する場合とプリディクションサンプルの化学分析値に対する場合に分けて示した。

化学分析値を基準として推定値の誤差が最小になるように補正すべきとされてきた。しかし、この場合、補正の結果プリディクションサンプル群では逆に誤差が大きくなる恐れがあった。NIRS 推定値の分析センター間差を最小にするためには、むしろ、移設元のNIRSで推定した値を基準とした補正が、直接的に機種間誤差(分析センター間差)を最小にでき、また、プリディクションにおいても誤差は大きくならないと考えられた。そこで、補正用サンプル群としてキャリブレーションサンプル群から数十点抽出し、このNIRS 値を基準とした補正を行い、補正後の精度を検討した。

表8にCPの補正後の推定精度を示した。今回の方法によりほとんど移設元の推定値との差は無視できる程度に小さく、かつ、化学分析値に対するプリディクションにおいても元の検量線と変わらぬ精度を維持していることが確認された。この作業を経て検量線を統一供用する体制とした結果、分析値の場所間差を極めて小さくすることが出来た(図9)。

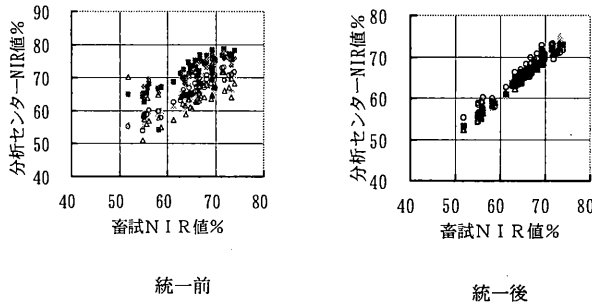


図9 検量線統一前後の分析センター別OCV推定値の比較

5) 新たな分析項目への対応

近年の飼養研究の進展に伴い、蛋白の分解性を評価することが必要となってきた。分解性蛋白(日本飼養標準ではCPd)はCPから非分解性蛋白(同CPu)を差し引くことで算出されるが、CPuはin situでの消化試験を行わなければ測定できない項目である。当時、S.griseus製プロテアーゼを用いた酵素法による推定法が確立されつつあった。そこでRoe等の発表した方法⁶⁾

を牧草に応用し、in situ 値との比較を行い、実用性を確認した³⁾上で、NIRSによる推定を試みた。近赤外分析による酵素法 CPu の推定精度は $r^2=0.82$ 、SDP=0.74と実用的精度を備えていたため(表7)、検量線を各分析センターに配布、飼料分析サービスのオプション項目として対応させることが出来た。

6) 今後の課題

これまでに、イネ科主体牧草の青草(生草)、サイレージおよび乾草について検量線の統一作業を行ってきた。引き続き、トウモロコシサイレージ、マメ科牧草についての検量線作成が急がれる。

また、リグニン(ADL)、NDICPについても飼料分析プログラムで要求されるようになってきた。これらについての対応も同時並行して行っているところである。

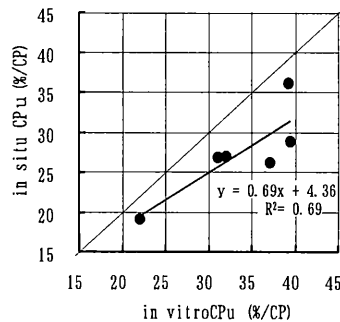


図10 in situ理論的CPuとin vitro CPuとの関係

4. 謝辞

草地本賞にご推薦いただきました(株)雪印種苗北海道研究農場 山下太郎場長、帯広畜産大学 岡本明治教授、道立畜産試験場 田村千秋場長、同 大原益博環境草地部長に厚くお礼申し上げます。また、ここまで辛抱強く指導していただきました道立農畜試草地飼料作物部門の諸氏、門外漢を快く受け入れて下さった飼養研究会、共に作業を進めてきましたフォレンジテストミーティング 参画各団体の諸氏に心より感謝いたします。

5. 引用文献

- 1) 出口健三郎(1998):近赤外分析におけるPLS法を用いた牧草サイレージ中成分含量の推定. 日草誌 44. (別)
- 2) 出口健三郎(1999):デタージェント法および酵素法分画による多草種込みにしたTDN推定式精度の比較. 北草研第34回大会発表
- 3) 出口健三郎・伊藤 晃 (1996): 酵素法とナイロンパック法による非分解性タンパク含量推定値の比較. 日草誌 42. (別)
- 4) 出口健三郎・佐藤尚親・澤田嘉昭 (1996): チモシーおよびマメ科牧草の成分含量とめん羊による自由採食量の関係. 日草誌 42. (別)
- 5) 出口健三郎・田村忠・澤田嘉昭 (1996) In vitro 乾物消化率を用いたマメ科およびイネ科牧草の飽食条件下でのTDN含量の推定. 北海道草地研究会報 30,40-43
- 6) 水野和彦・石栗敏機・近藤恒夫・加藤忠司(1988)近赤外線反射率測定法による乾草の成分および栄養価の推定 I 成分および栄養価の推定精度とその評価. 草地試研報 38:35-47
- 7) Roe M. B., Sniffen C. J. and Chase L. E.:Techniques for measuring protein fractions in feedstuffs. Department of Animal science, Cornell University, Tthaca, NY. Proc. Cornell Nutr. Conf. pp.81-88(1990)
- 8) 自給飼料品質評価研究会編 (1994) 粗飼料の品質評価ガイドブック. pp. 1-195