

# 乳牛用飼料の飼料成分分析・栄養価評価法の 開発とフォーレンジテストへの普及・推進

茨城県つくば市

自給飼料利用研究会幹事会

(代表：甘利 雅弘)

## 1 研究開発の背景と目的

酪農経営では、乳牛の能力を最大限に引き出して安定的な乳生産を図るため、成長や生産量に応じた栄養要求量の適正給与が必要である。また、酪農経営での生産費の45%以上を占める飼料費の節減は経営体の安定・体質強化を図る上で重要な課題である。特に、飼料価格が高騰・高止まりしている近年では、飼料の合理的な給与に向けた取り組みはさらに重要性を増している。

そのためには、給与飼料の品質を簡便かつ迅速に測定する必要があり、1982年から近赤外分析法 (Near infrared reflectance spectroscopy : NIRS) が導入され、NIRS の利活用と飼料給与と診断技術の向上を目的としたフォーレンジテスト (粗飼料の品質評価) の実用化に向けた取り組みが本格的に進められてきた。これにより、NIRS は飼料分析の中心的な手法として、現在、都道府県、農業団体など、全国 50 ヶ所以上の飼料分析センターで活用されている。この結果、個別農家が給与する個々の粗飼料の飼料成分と栄養価が迅速に把握できることになり、飼料設計、給与診断などへの現場レベルでの迅速な対応を可能とした。

一方、自給飼料利用研究会は、名称をフォーレンジテスト運用協議会などから変更しながらも、1983年から毎年開催され、自給飼料生産・利用・給与技術を主題として、畜産における諸問題や最新技術情報を随時取り上げ、農家指導や新技術の普及・教育の充実・展開を図ってきた。また、その開催に当たっては、各地域から畜産関係機関に携わる研究者、指導者などを代表する幹事会を構成し、畜産情勢に応じた諸問題や課題を取り上げてきた。これらの活動が家畜の栄養状態の適正管理や効率的な乳生産のための飼料給与技術の向上に果たした役割は大きい。

## 2 NIRS のフォーレンジテストへの応用

NIRS による飼料分析は、1976年に K.Norris らによって初めて試みられ、粗飼料の成分分析に利用できることが示された。以来、飼料に関して多くの研究が行われ、NIRS による

飼料成分の分析精度および適用範囲などについて報告されてきている。

わが国においては、1980年代になって近赤外分析計が導入され始め、1982年には近赤外分析計が国庫補助事業の対象となり、都道府県、農業団体の各機関および飼料会社などに導入されてきた。NIRSは、非破壊分析法であり、①迅速であること、②同時に多成分の分析が可能であること、③化学分析と比べ分析技術を必要としないこと、④再現性に優れていること、⑤試薬・薬品が不要であるため安価、無公害であること、⑥*in situ*分析が可能であることなどの多くの利点を持つ。

しかし、NIRSは、単一物質の分子中の官能基（原子団）における近赤外線吸光度（吸収バンド）に基づく光学的なデータを変数とした回帰推定であり、化学分析による飼料成分のような化学的性質の類似した多種の物質群である成分値とは必ずしも結果が一致するとは限らない。しかも、各種飼料を構成する主要物質の化学的特徴が異なるため、飼料種類や分析項目ごとに分析精度および適用範囲が異なる。従って、NIRSを飼料分析に利活用する場合、飼料種類ごとの各種飼料成分の分析精度を十分に検証しておく必要がある。

#### 1) NIRSによる飼料分析の精度

わが国で生産される牧乾草およびサイレージ類の飼料分析について、NIRSによる分析のための基盤的研究を行い、草種ごとの検量線の作成や分析精度を明らかにし、NIRSの実用化技術を推進した。

NIRSで分析可能とした飼料分析項目は、表1に示したように一般成分分析法、デタージェント分析法、酵素分析法による各種成分である。牧乾草における分析精度については、水分、粗タンパク質、細胞内容物、反すう家畜の重要な栄養素となる繊維成分（粗繊維、中性および酸性デタージェント繊維、細胞壁物質、低消化性繊維）において、化学分析値とNIRS分析値との間の相関係数が0.90～0.98であり、高い精度で分析できることを明らかにした。牧草サイレージおよびトウモロコシサイレージにおいても、牧乾草と比べ若干精度は劣るものの牧乾草と同様の傾向を示し、NIRSによる飼料分析はフォーレージテストにおける実用的な飼料分析法として十分に活用できることを示した。

表1 近赤外分析による飼料成分の検量線とその分析精度

	乾草			牧草サイレージ			トウモロコシサイレージ		
	r	SEC	SEP	r	SEC	SEP	r	SEC	SEP
Moisture	0.95	0.67	0.89	0.74	1.05	1.18	0.73	0.95	1.10
CP	0.98	0.88	0.96	0.90	0.42	1.25	0.90	0.44	0.82
EE	0.50	0.85	1.10	0.76	0.62	0.87	0.65	0.47	1.58
CF	0.95	1.37	2.24	0.92	1.64	2.25	0.91	1.26	2.54
Ash	0.79	1.71	1.82	0.81	1.86	1.99	0.70	0.91	1.25
NDF	0.92	3.96	5.30	0.93	2.96	3.80	0.92	2.82	3.06
ADF	0.95	1.67	2.50	0.95	1.86	2.78	0.91	1.53	2.58
OCC	0.95	2.46	2.44	0.92	2.32	2.85	0.94	2.09	3.14
OCW	0.96	2.39	3.02	0.96	2.52	3.18	0.93	2.00	3.41
Oa	0.79	3.00	3.15	0.64	3.83	4.00	0.75	1.28	1.56
Ob	0.94	3.79	4.80	0.92	4.01	3.71	0.91	2.18	3.05
Starch	-	-	-	-	-	-	0.91	2.89	3.20

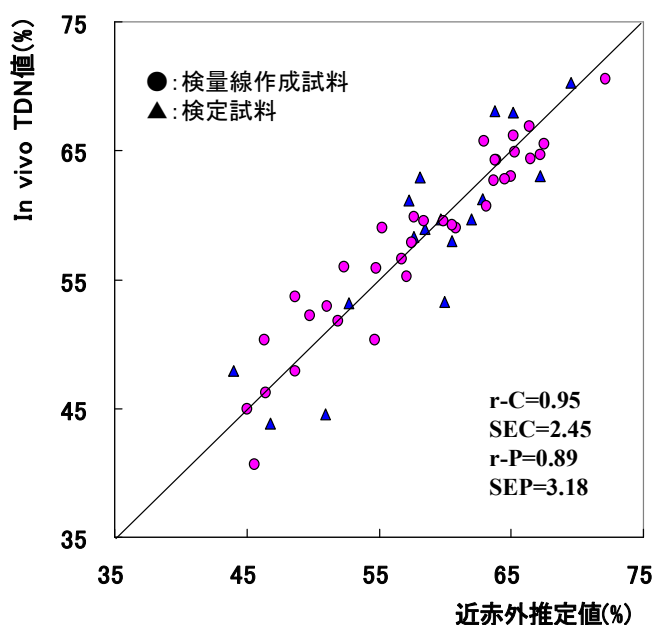
SEC:検量線における標準誤差, SEP:検量線検定における標準誤差, CP:粗たんぱく質, EE:粗脂肪, CF:粗繊維, Ash:粗灰分, NDF:中性デタージェント繊維, ADF:酸性デタージェント繊維, OCC:細胞内容物, OCW:細胞壁物質, Oa:高消化性繊維, Ob:低消化性繊維

## 2) 牧乾草、牧草サイレージのTDN推定

飼料成分は、その飼料の持つ栄養素の量や消化性などの特性を知るために使われるとともに、栄養価を示す指標として一般的に広く使われている可消化養分総量(TDN)を求める基礎データとしても利用される。しかしながら、飼料のTDNを求めるための方法は、数多く提案され実用の場面で利用されてきたが、確定的な方法はいまだ確立されていない。

そこでNIRSでは、TDNを一成分として直接求めることを試みた。その結果、牧乾草、牧草サイレージのTDNは、家畜消化試験によるTDN値(*in vivo*TDN値)との間に0.89~0.90の相関(図1のr-P値)があり、回帰推定からの標準誤差も2.93~3.18(図1のSEP値)と従来の推定回帰式から求める方法と同等以上の精度で推定できることを明らかにした。

図1 乾草における*in vivo*TDN値と近赤外推定値との関係



## 3) NIRSのフォーレンジテストへの応用

NIRSによる各種飼料の飼料成分、栄養価評価について、その分析精度を明らかにしたことにより、フォーレンジテストへの適用範囲が示され、飼料分析センターにおける新たな分析法としてNIRSが利用可能となった。

さらに、分析精度向上のための牧草単一種の測定、ソルガム、飼料イネ、配合飼料原料などの飼料類への応用・拡大も進めた。飼料成分では、粗タンパク質の細分化、主要成分の消化率、サイレージの品質評価の指標となるpH、揮発性脂肪酸(VFA)量、アンモニア態窒素量などなどについて分析可能であることを示した。これらの飼料ならびに成分の分析を行うための検量線は必要に応じて飼料分析センターなどに提供してきた。

また、NIRS装置の高性能化、新しいスペクトル解析手法の開発などにより、これまで高い精度が得られなかった成分を高精度で分析可能とし、その利用範囲を拡大させたこと、より簡易な分析法として無粉碎試料の分析法を開発したことなど、NIRSによる飼料分析への研究を継続的に進めている。

これらの知見ならびに技術は、後述する自給飼料利用研究会、関連学会などを通して公表するとともに、実際の分析センターへの指導・助言も行ってきた。

### 3 自給飼料利用研究会における NIRS の普及

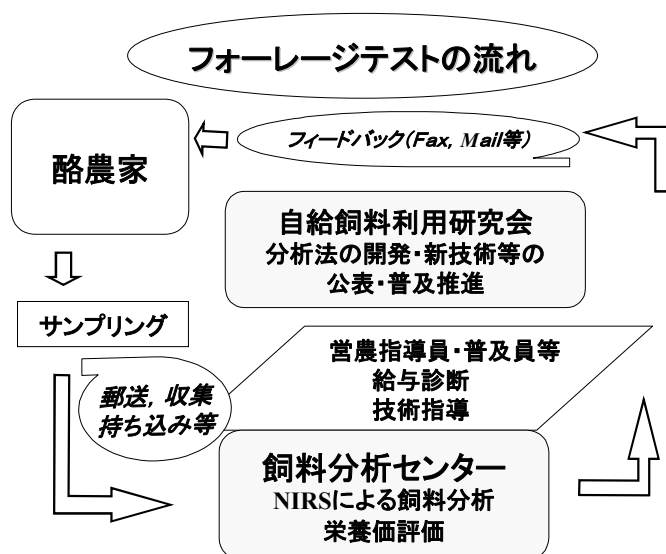
自給飼料利用研究会は、1983 年に開始されたフォーレージテスト運用協議会を前身として、1987 年に自給飼料品質評価研究会、2007 年に現行の自給飼料利用研究会と名称を変更して毎年開催されてきた。研究会の話題としては、日本全国の各地域から家畜飼料の飼料分析や生産利用に携わる研究機関および畜産関係機関の担当者で構成される幹事会が畜産情勢ならびに社会情勢などに対応した話題、諸問題を取り上げてきている。

当初のフォーレージテスト運用協議会では、NIRS の飼料分析への実用化を目的に NIRS に関する研究成果などを中心に運営を行ってきたが、自給飼料品質評価研究会に変更した後は、自給飼料生産・利用・給与技術を主題として、畜産における諸問題および飼料分析や NIRS に関する最新技術情報を随時取り上げ、農家指導や新技術の普及・教育の充実・展開を図ってきた。

これら研究会における成果、最新技術は、研究会での発表だけでなく、1995 年に発行した「粗飼料の品質評価ガイドブック」（自給飼料品質評価研究会編）にも編集されている。その中で、飼料分析法については、分析手順の統一化、分析精度向上に向けた取り組みを念頭に著述し、NIRS に関する成果・技術は、NIRS 分析に関しての理論的解説、試料選択、検量線作成手順、検量線移設、実際の分析への応用などの基礎的な知見として生かされ、その利用に役立っている。

同ガイドブックは、畜産を取り巻く情勢の変化や新たな分析技術の開発・改良に対応して、改訂を行い 2002 年に第二版が、2009 年には第三版が出版され、公立試験研究機関、大学、民間、(独)試験研究機関などの他方面において、飼料分析に関する教科書的な役割を果たしている。そのほか「粗飼料分析技術マニュアル」((社)畜産技術協会)などの飼料分析に関する書籍にも NIRS に関する成果・技術が掲載され、活用されている。

これらの成果は、先に述べたようにフォーレージテストの主要な手法として利用されるに至っており、酪農経営だけでなく、家畜・家禽の飼料設計や給与診断技術としてわが国の畜産産業の体質強化と発展に顕著な貢献をしていると評価されている。



## 4 今後の課題と展望

以上のように本研究では、NIRS による粗飼料の成分分析精度を明らかにし、フォーレージテストへの利用技術を確立した。

また、NIRS は飼料分析センターの主要分析法として活用され始めて 20 数年が経過している。この間、飼料分析センターは、都道府県の試験研究機関が中心となって酪農家に分析データを提供してきた。

しかし、わが国では、非常に多種の飼料が使われており、それら全ての飼料について NIRS による飼料分析を行うことは、非常に難しい。また、最近では、人的な不足等による酪農家へのサービス低下などの問題も一部の飼料分析センターにおいて生じている。

一方、近赤外分析計の高性能化、高度なスペクトル解析手法の開発等、その進歩もめざましく、その間、新たな飼料資源の利用や飼料成分・測定項目の細分化、栄養学上の研究の進歩、新たな給与システムの提案・導入がなされてきている。

このような情勢の中で、フォーレージテストが高泌乳牛を健全で安定生産を保つための飼養管理に十分対応し、さらに、わが国の酪農の発展に寄与していくことに期待したい。

## 5 業績に関する資料

### ・マスコミ、一般雑誌に取り上げられた記事など

1. 甘利雅弘 (1986) NIRによるTDN含量の推定、昭和 61 年度フォーレージテスト運用協議会資料 (日本草地協会)、9-19
2. 甘利雅弘 (1990) 粗飼料の簡易な成分・栄養価の推定法. 畜産技術、畜産技術連盟、421, 1-6
3. 甘利雅弘 (1997) 近赤外分析法によるTDN推定、畜産技術、畜産技術協会、7-11
4. 「近赤外分析法による無粉碎粗飼料の成分分析」(1999) 全酪新報 (6面) 平成 11 年 11 月
5. 甘利雅弘 (2000) 「無粉碎試料を用いた近赤外分光法による乾牧草の飼料成分推定」畜産技術協会 畜産技術情報提供ホームページ 平成 12 年 4 月
6. 甘利雅弘 (2001) 「光を当てるだけで飼料の栄養価を知る」 農業日誌 (社) 全国農林統計協会連合会 平成 13 年 9 月
7. 甘利雅弘 (2001) 近赤外分光法 (NIRS) による飼料評価の現状、科学飼料、日本科学飼料協会 46, 9, 33-38
8. 甘利雅弘 (2008) 近赤外分析法の新しい解析手法による乳牛尿中カリウムの分析. 畜産技術 畜産技術連盟 641:24-27
9. 甘利雅弘 (2009) 近赤外分析法による飼料分析の最近の動向 科学飼料 日本科学飼料協会 54, 5, 34-38

### ・学会などに提出した論文など

1. 甘利雅弘・阿部 亮・田野良衛・柁木茂彦・芹沢駿治・古賀照章 (1987) 近赤外分光光度計による粗飼料の成分分析と栄養価の推定 I. キャリブレーションの精度と未知飼料の推定精度の検討. 日草誌 30:219-226

2. 甘利雅弘・阿部 亮・芹沢駿治・古賀照章 (1989) 近赤外分光光度計による粗飼料の成分分析と栄養価の推定 II. 成分分析値からのTDN推定と直接TDN推定法の検討. 日草誌 34:271-279
3. Amari M, Abe A, Kawano S (1990) Near infrared reflectance spectra of fibers in forages and rice straw. Near Infrared Spectroscopy: Proceedings of 2nd International Conference : NIR Publications) 423-429
4. Amari M, Abe A (1997) Application of Near Infrared Reflectance Spectroscopy to Forage Analysis and Prediction of TDN Contents. JARQ 31: 55-63
5. 甘利雅弘・阿部 亮・榎木茂彦 (1998) 近赤外分析法による乾草および牧草サイレージのTDN推定. 日草誌 44:61-66
6. 甘利雅弘・阿部 亮・河野澄夫・趙 來光 (1991) 近赤外スペクトルにおける粗飼料中の繊維性成分の吸収特性. 畜試研報 51: 17-27
7. 甘利雅弘・阿部 亮 (1991) 牧草の細胞壁物質の in situ およびセルラーゼ可消化分画における近赤外吸収特性. 畜試研報 51: 29-36
8. Amari M, Abe A, Kawano S (1997) Near infrared reflectance spectra of fibers in forages and rice straw. Near Infrared Spectroscopy: Proceedings of 9th International Conference : NIR Publications) 423-429
9. Amari M, Kaji Y (2000) Prediction of chemical composition of ungrind forage by near infrared reflectance spectroscopy. Near Infrared Spectroscopy: Proceedings of 9th International Conference : NIR Publications) 749-754

#### ・学会実用誌

1. 甘利雅弘 (1987) 近赤外分光光度計による粗飼料の成分分析と栄養価の推定. 日本草地学会実用誌「自給飼料」2-7
2. 甘利雅弘 (1993) 飼料分析—近赤外分析法を中心に—, 日本分析化学会「ぶんせき」、112~116

#### ・機関誌

1. 甘利雅弘 (1987) 近赤外領域における繊維成分の吸収特性、草地試研究資料、62-7 16-24
2. 甘利雅弘 (1990) キャリブレーションの作成とトランスファー. 畜試研究資料、No. 90-8 1-13
3. 甘利雅弘 (1996) 近赤外分析法によるTDN推定、畜産研究資料 96-9、9-15
4. 甘利雅弘・榎木茂彦・梶川博 (1997) 近赤外分析法による牧乾草およびグラスサイレージのTDN簡易推定、畜産研究成果情報、11, 39-40
5. 甘利雅弘・梶雄次 (1999) 近赤外分析法による無粉碎乾草の飼料成分分析、畜産研究成果情報、13, 39-40
6. 甘利雅弘・高田良三・松本光人 (2001) 近赤外分析法による配合飼料中に含まれる肉骨粉の定量、畜草研研究成果情報
7. 甘利雅弘 (2000) 近赤外分光法を用いた乳牛の健康・栄養診断、畜産草地研究所研究資料、13-3, 51~56
8. 甘利雅弘・高田良三・松本光人 (2001) 近赤外分析法による動物質飼料の魚粉と肉骨粉の識別、畜草研研究成果情報

9. 甘利雅弘・大谷文博・永西修・田島清・松本光人 (2005) 近赤外分析法による肉骨粉の畜種識別法、畜草研研究成果情報
10. 甘利雅弘 (2007) 近赤外分析における最近の解析手法、畜産草地研究所資料、平成 18-3 81-86

#### ・著書

1. 甘利雅弘・古賀照章 (1994) 「粗飼料の品質評価ガイドブック」第1章2. 近赤外分析. 日本草地協会：自給飼料品質評価研究会編、34-55
2. 甘利雅弘・出口健三郎 (2001) 改訂「粗飼料の品質評価ガイドブック」第2章4. 近赤外分析. 日本草地畜産種子協会：自給飼料品質評価研究会編、51-71
3. 甘利雅弘 (2009) 三訂版「粗飼料の品質評価ガイドブック」第2章2.8 近赤外分析. 日本草地畜産種子協会：自給飼料利用研究会編、46-63
4. Amari M (2000) Technical Manual for Feed Analysis, Chapter 1. 2. Feed analysis by NIRS, 畜産技術協会 34-47
5. 甘利雅弘 (2000) 飼料分析技術マニュアル 2. 近赤外分析法、畜産技術協会 31-43

#### ・商業誌などでの発表

1. 甘利雅弘 (2001) フォーレージテストの現状とその活用、酪農ジャーナル、6月号、50-52
2. 甘利雅弘 (2001) 近赤外分光法による飼料分析の最近の成果、農業技術、55(9), 414-417

#### ・取得した特許など

1. 可視および近赤外領域のスペクトル情報によるほ乳動物の血漿成分の迅速測定法 No. 3407006 2003年3月14日

#### ・表彰された賞など

1. 甘利雅弘 「近赤外分析法による粗飼料の飼料成分分析と栄養価評価法の確立」 日本草地学会 学会賞 2008.3