

フォレージテストにおける 精度向上の取り組みについて

はじめに

今更ご説明するまでもありませんが、フォレージテストとは刈取り時期や施肥、草種・品種、調製方法などの違いにより品質や成分が変動する自給飼料の飼料成分を測定するサービスです。現在、北海道内では11機関がこのサービスを実施しており、合計で年間3万点以上の自給飼料が分析されています。

このうちの10機関がフォレージテストミーティング (FTM) という団体に加盟し、分析精度の向上と分析項目の拡大等に取り組んでいます。

ここではフォレージテストがどのように行われているか、そして道内の10機関で組織するFTMがどのように活動しているのかを紹介します。

1. フォレージテストで用いられている 分析方法

図1にはフォレージテストにおける分析の流れを示しました。分析センターに送られてきたサンプルは、発酵品質の分析を行う場合を除き、乾燥・粉碎といった前処理をした後に分析にかけられます。

粉碎後のサンプルはミネラルと粗灰分を分析する場合には蛍光X線分析装置にかけられます。それ以外の一般成分（タンパク、繊維、粗脂肪）については近赤外分析計（NIRS）を使います。このNIRSが

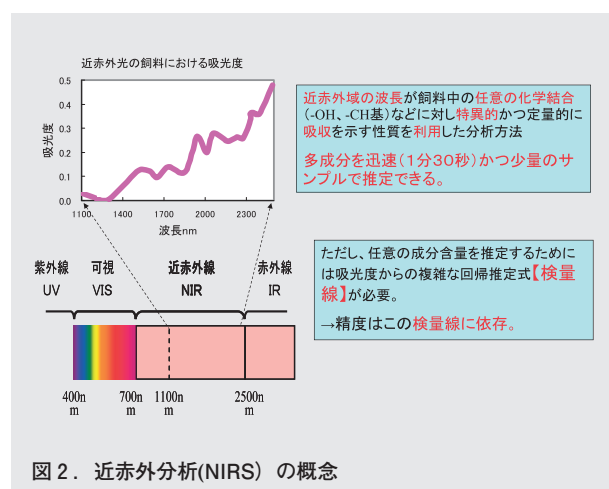


図2. 近赤外分析(NIRS) の概念

フォレージテストの心臓部になります。NIRSは近赤外線（可視光と赤外線の間領域の波長）が物質の化学結合に吸収される性質を利用して成分を測定する方法で（図2）、通常の分析ですと1検体の分析に1週間以上かかるところを、1～2分程度で10項目以上の成分値を出すことができます。

ただし、目的とする成分を直接分析するのではなく、波長の吸光度から成分を推定します。この推定のための式を検量線といいますが、検量線の作成には最低100点程度の化学分析を実施した標準サンプルが必要となります。従って、誤差を如何に小さく出来るかがこの検量線と標準サンプルにかかっていると云えます。

2. FTMとは

道内でのNIRSを使ったフォレージテストは昭和55年から複数の機関で始められました。しばらくすると同じサイレージを複数の機関に送って分析すると値が異なることや、牧草を早刈してもあまり栄養価が改善されないことが問題となってきました。これは各機関で検量線の元となる標準サンプルや、化学分析手法が異なっていたためです。

この問題を解決するために、1997年にフォレージテスト実施機関が集まって立ち上げられたのがフォ

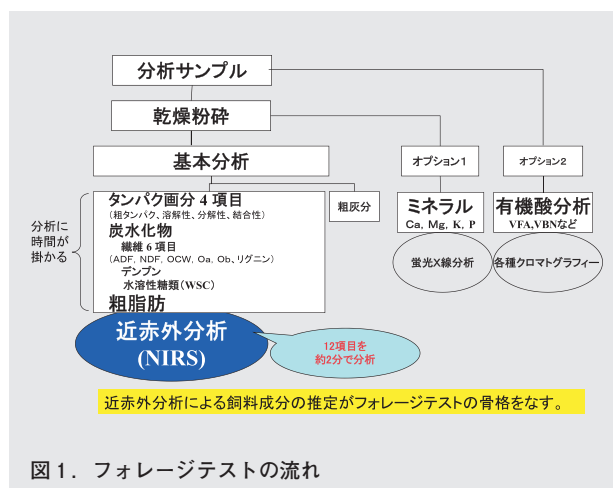


図1. フォレージテストの流れ

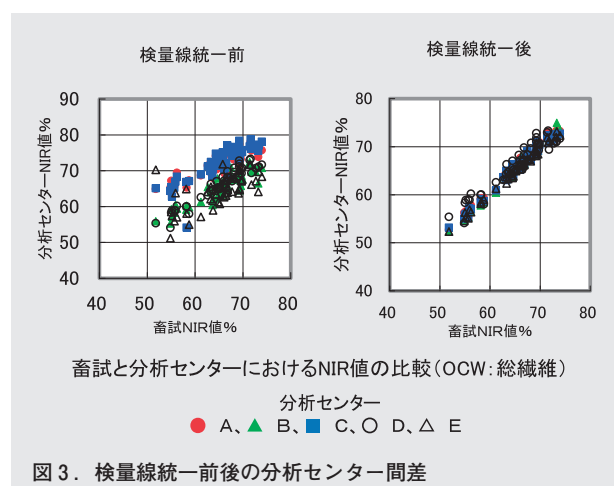


表1. これまでに統一検量線を作成した成分項目数

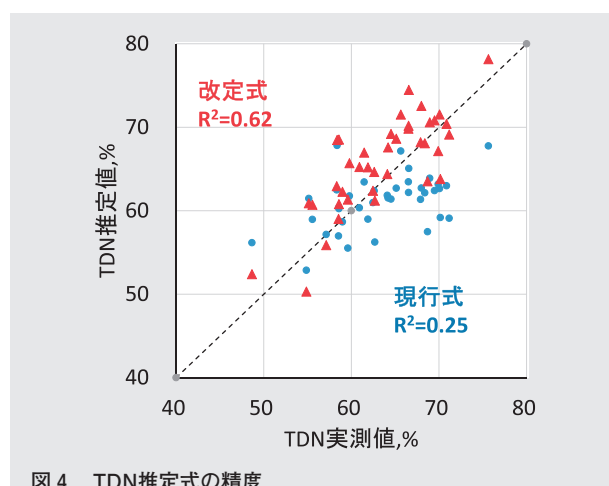
対象	成分項目数
牧草サイレージ	11項目
乾草	11項目
青草	6項目
とうもろこしサイレージ	12項目
輸入イネ科乾草	11項目
アルファルファ乾草	11項目
計	62項目

レージテストミーティング（略称FTM）です。FTMでの具体的な取り組みは、高精度の検量線を作成し、統一して使うことでした。この取り組みにより、精度向上と分析センター間誤差の解消を図るという2つの狙いはほぼ達成することができ、現在は分析センター間の差はかなり解消されてきています（図3）。また、新たな分析項目の検量線も作成し、サービスの幅を広げる事が出来ました。FTM参画団体の中で統一した検量線（以下、統一検量線と呼びます。）の数はこれまでに全部で62種類になっています（表1）。また、当初は統一検量線のラインナップを増やすことに重点が置かれていましたが、おおむね必要とされる分析項目はカバーしたので、新たな分析項目への対応も行いつつ、現在は安定的に精度を向上させることに活動の重点が置かれています。

次の章では統一検量線作成以外の代表的な取り組みについて紹介します。

3. TDN推定式の改訂

TDNについては成分からの回帰推定式が使われています。現在は飼料設計プログラムによってはプログラムの中で自動的に計算される形になってきて



現行式：NRC2001式
改良式：NRC2001式の改良版（角谷ら2015）
 $TDN = tdNFC + tdCP + (tdFA \times 2.25) + ivdNDF - 9.3$
td；truly digestible,
ivdNDF：インビトロ可消化NDF含量

チモシー、オーチャードグラス、シバムギ、リードカナリーグラス、マメ科混播などからなる39点での検証結果

いるので、飼料分析シートで示す必要性は少し小さくなってきています。しかし、重要な項目であることには変わりはありません。

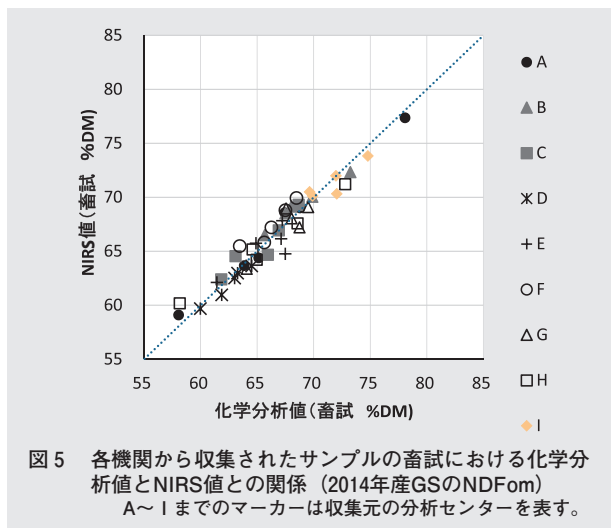
FTMで活動を開始以降これまでに3回の改定を行ってきていますが、来年度からはインビトロのdNDF（可消化NDF含量）を組み込んだ式に改定される予定となっています。

これにより従来式で適期刈された牧草サイレージのTDNを過少評価していた部分を中心に精度が大きく改善されることが期待されています（図4）。

また、今回の改定が可能になったのはdNDFの検量線を作成することができたことが大きいです。NIRSで成分の消化性や消化率を測定するのはかなり難しいのですが、このたび、一定以上の精度を確保できるめどが立ったため提案する運びとなりました。

4. 検量線の精度管理

一度作成した検量線は作成当時の精度が常に保証されているわけではなく、年が変わってそれまでとは傾向の異なる飼料が生産されると適合しないケースが出てきます。そこで、現在は、毎年その年に調製されたサイレージサンプルを収集して化学分析を行い、NIRS値の精度の検証を行っています。対象としているのは牧草サイレージととうもろこしサイレージで、それぞれサイロの開封が始まる9月と1月に各機関に搬入されたサンプルから5点ずつを抽出して計50点のサンプルを集めて実施しています。



この比較検証作業の結果NIRS値と化学分析値の開き大きい場合は検量線の補正あるいは作り直し（バージョンアップ）を行っています。

FTM設立当初に作った統一検量線はやはり不安定なところがあったのですが、上記のような改訂作業を繰り返した結果、現在の統一検量線は年毎の精度のばらつきが減り、非常に安定性が向上してきています（図5）。

検量線の改訂作業には、標準サンプルに新たなサンプルを組み込むだけでなく、それまでのサンプルの一部を取り除くという作業も行います。これはサンプルの偏りをなくするためです。このため、検量線の改訂を重ねても標準サンプル自体の点数は100点から200点程度でさほど増えません。しかしこの200点はこれまでに蓄積された北海道内の1万点以上のサンプルから選ばれた精鋭なのです。

5. 化学分析の精度管理

NIRS値が正しいかどうかの判断は化学分析値と比較することになります。このような比較は参画している多くの機関が必要に応じて行っています。しかし、そもそも化学分析値が狂っている正しい判断が出来ません。そのため、化学分析値のクロスチェックも行っています。クロスチェックというのはひとつのサンプルをお互いに分析して同じ値となるかをチェックする作業になります。参画機関間で値が完全に一致することはありませんが、極端に高い値や低い値が出る場合にはルーチンに問題があることが多いです。そのような異常値が出た場合はルーチンを修正し、再分析して値を揃えていきます（図6）。このような修正作業の末に得られた各機関の平均値を標準値としてそのサンプルとともに各

サンプルID	CP A	CP B	CP C	CP D	CP E	CP F	CP G	CP H	CP I	CP			
	DM%	DM%	DM%	DM%	DM%	DM%	DM%	DM%	DM%	AVERAGE	n	SD	95%信頼区間
イネ科乾草	5.3	4.9	5.5	5.3	4.6	5.0	5.2	5.5	5.5	5.15	8	0.21	0.17
コーンサイレージ	8.8	8.3	8.7	8.8	8.7	8.9	9.0	8.9	8.9	8.75	8	0.20	0.16
アルファルファ乾草	20.2	19.0	20.4	19.4	19.7	20.1	19.1	20.1	19.1	19.73	8	0.48	0.40

サンプルID	NDF A	NDF B	NDF C	NDF D	NDF E	NDF F	NDF G	NDF H	NDF I	NDF			
	DM%	DM%	DM%	DM%	DM%	DM%	DM%	DM%	DM%	AVERAGE	n	SD	95%信頼区間
イネ科乾草	72.2	74.2	74.1	73.0	73.7	75.0	73.1	73.1	73.1	73.59	7	0.87	0.77
コーンサイレージ	43.9	46.3	44.4	45.8	44.0	47.2	45.2	45.2	45.2	45.24	7	1.16	1.04
アルファルファ乾草	40.0	42.6	41.1	41.2	39.3	44.4	41.3	41.3	41.3	41.42	7	1.57	1.40

サンプルID	Ob A	Ob B	Ob C	Ob D	Ob E	Ob G	Ob H	Ob I	Ob			
	DM%	DM%	DM%	DM%	DM%	DM%	DM%	DM%	AVERAGE	n	SD	95%信頼区間
イネ科乾草	68.9	67.4	70.2	70.2	68.1	68.1	68.1	68.1	68.63	4	1.03	1.22
コーンサイレージ	41.3	42.3	43.7	43.7	43.6	43.6	43.6	43.6	42.70	4	1.01	1.19
アルファルファ乾草	37.8	35.6	31.8	31.8	38.0	38.0	38.0	38.0	35.80	4	2.50	2.95

赤字は最小、青字は最大

図6. クロスチェックの事例

最大値と最小値を色分けし、それぞれの値が出た機関では再分析及び手法のチェックを行っています。一つの機関で色が揃ったらそれは何らかの原因があると考え、手法のチェックを行います。

機関で保管します。そして、新しいサンプルの分析をする際に並行して再分析することにより、ルーチン分析の精度を確認するのに使われています。このようにすることで前述のNIRSについての年1回の精度管理の時以外にも異常値が出た際に随時チェック作業が行えるのです。

6. クロスチェックはサンプルの前処理でも

分析値のクロスチェックというと通常、乾燥・粉碎が完了して均質になったサンプルを各機関に分配して実施します。しかし、忘れてはならないのが機関ごとの前処理方法の違いです。表2には粉碎時の回収率の影響を示しましたが、粉碎時に十分な量が回収されなかったサンプルあるいは前処理段階で変質してしまったサンプルは、給与している飼料とは異なります。そのようなサンプルの分析値ではいくら分析精度が高くても意味がありません。FTMでは、乾燥温度、粉碎粒度と粉碎したサンプルの回収率について影響を確認し、ガイドラインを設けています。

表2. 粉碎時のサンプル回収率と分析値の関係

粉碎回収率	分析値,%DM			
	OCW	Oa	Ob	デンプン
82%	39.6	3.9	35.7	33.6
92%	37.8	2.6	35.2	42.3
差 (82%-92%)	1.8	1.3	0.5	-8.7

7. NIRS以外の分析

フォレンジテストで使っているのはNIRSだけではありません。ミネラルや発酵品質（有機酸、

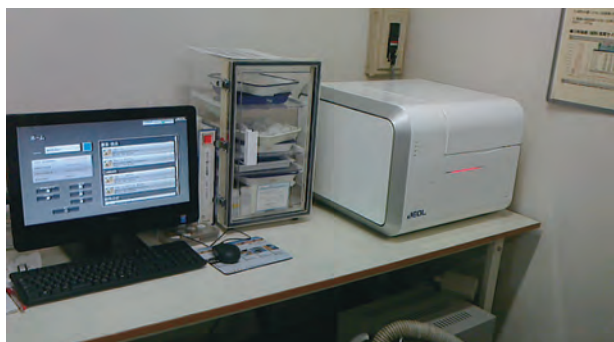


写真1. 蛍光X線分析装置

VFAなど)はNIRSが苦手とする項目です。ミネラルについては蛍光X線分析装置が使われています。

(写真1) この機械は近赤外分析ほど複雑な検量線が必要としないため、どの機関で分析してもおおむね安定した結果を得ることが出来ます。

一方、発酵品質についてはかなりばらつきの大きい項目になります。サイレージの質が時間とともに変化していくことと、各分析機関で使っている分析機のタイプやメーカーが異なるという事がその理由です。

これまでは、有機酸は発酵品質を評価するものという位置づけでしたが、最新の飼料設計プログラムではエネルギーの一部として組み込むようになってきていますので、より重要性が増してきています。現在は、分析機器が異なっても測定条件を出来るだけ合わせこむことで分析センター間差を最小にすべく作業を実施しているところです。

最後に

FTMには設立当初から農協系の機関からライバル関係にある飼料メーカーまでが一同に参画しています(図7)。そのような様々な団体がまとまるに当たってのFTMの基本的なコンセプトがあります。それは

- ・ 真の分析値は一つ。
- ・ 一部の分析センターだけでは分析センター間誤差は解消しない。
- ・ 分析精度の向上は道内の生産者全体が利益を享受できる。

というものです。原則と言ったほうがいいでしょう。このため、ライバル間の競争は分析値をいかに早く出するか、どのようにコンサルティングするかというところに集中されていると思います。

昭和55年頃から始められた道内のフォレージテスト実施サンプル数は平成8年頃まで16,000点/年だったものがFTM設立後、平成23年には32,000点

／年と酪農家戸数が半減する中で倍増してきています(図8)。これは、酪農家の規模拡大とTMRセンターの増加によりTMRを給与する生産者が増えてきたことが影響しています。FTMの3つのコンセプトの最後にあるように「分析精度の向上により道内生産者全体が利益を享受できたか?」というところはまだまだという思いもあります。しかし、酪農の構造が大きく変わっていく中で、分析点数がきれいに伸びて行っているのを見ると、少なくともその足を引っ張らないような活動にはなっているのではないかと思います。今後もフォレージテストの重要性は増し続けると考えられます。FTMもこれまで以上に信頼が得られるよう活動をしていく予定となっています。試験場はFTMのメンバーではありませんが、一緒に活動する仲間の一人として活動を紹介させていただきました。これからも支援のほどよろしくお願い致します。

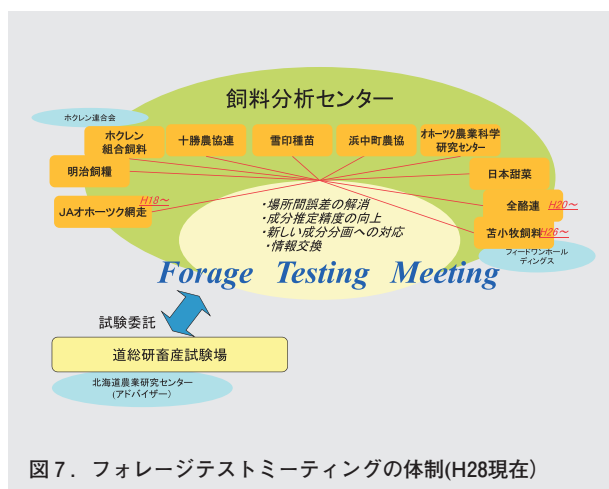


図7. フォレージテストミーティングの体制(H28現在)

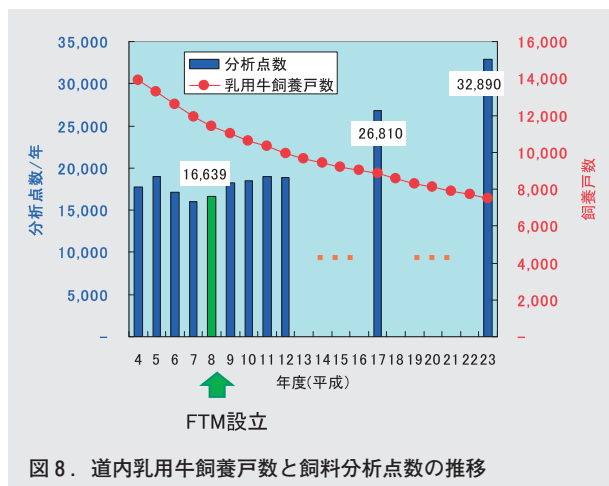


図8. 道内乳用牛飼養戸数と飼料分析点数の推移