総

説

近赤外分光法による食品成分の非破壊測定

岩 元 睦 夫*

Nondestructive Quality Measurement of Food by
Near Infrared Spectroscopic Technique

MUTSUO IWAMOTO*

近年わが国においても、食品品質の非破壊測定法に関する研究が精力的に進められている。非破壊測定法の計測工学的な意味は、測定の対象物に外部より与えたエネルギーが、対象物とその内容によりそれぞれ異なる応答を示すことにより、対象物の内容、形質を推定することであって、重要なことは、対象物を壊さないで測定する必要があることである。しかし、化学的に抽出、分離、分画、反応などの複雑な操作手順を経なければならない食品成分の測定が、単に物理的に粉碎、切断しただけの材料を用いても可能であれば、この場合も広義的に非破壊測定の範ちゅうに入れることができる。

食品を対象とした非破壊測定法は、外部より与えられるエネルギーの形態によって、たとえば振動励起法、超音波法などの力学的な方法^{1)~6)}、また紫外線、可視光線、赤外線、X線などの光学的方法^{7)~11)}および電気抵抗、電気伝導度、静電容量などの電気的方法等^{12), 13)}に分類できる。

なかでも、青果物の色彩、内部欠陥、損傷の判定といった観点から、それらの光学的特性に基づいた測定法が古くから開発されてきた。しかし、この場合の多くは、可視域の反射、透過、遅延光放散特性^{14), 15), 16)}であって、報告の見られる糖度、酸含量などの内容成分は、主に可視域で見られる色彩との関連で求めたものであった^{17), 18)}。

さて、食品成分の多くは、赤外域においてその構造に

由来する特性吸収を持つことが知られ、有機化学の分野における同定、定量法として赤外吸収スペクトル分析が広く使われてきた。しかし、ここで使われる赤外域波長は 2.5μ 以上であって、非破壊測定という観点からは、水分を含む複合体である食品の場合、水分の影響や吸収の複雑さのため、その波長域での測定は、計測的、装置的に大層困難であった。

しかし、過去10年間米国農務省ベルツビル農業研究センター計測工学研究室を中心としたプロジェクトは、近赤外域($0.7\sim 2.5\mu$)でも見られる食品成分の持つ吸収帯を利用して、穀類、乳製品、肉製品などの水分、たん白質、脂質、炭水化物、アミノ酸等の非破壊測定を可能にした。特筆すべきはこの方法が、1978年にアメリカおよびカナダの穀物検査委員会により公定法として認可され、小麦中のたん白質の定量法として、従来からのケルダール法にとってかわったことである。

本稿では、この近赤外域の測定法の原理と吸収スペクトルの処理法について述べ、各種食品成分定量への応用例を紹介し、その現状と問題点を解説する。

近赤外分光スペクトルによる定量分析の原理

近赤外域は、可視域と赤外域の間にあって、 0.7μ から 3.5μ までの波長のものをいう。図1に示すように、食品中の代表的成分の近赤外分光スペクトルは、それぞれの成分に特徴のあるスペクトルである。一般に、近赤外

* 農林水産省食品総合研究所 (〒305 茨城県筑波郡谷田部町観音台 2-1-2)

National Food Research Institute, Ministry of Agriculture, Forestry and Fishery, Kannondai, Yatabe-machi, Ibaraki-ken, 305

図 1 主な食品成分の近赤外分光スペクトル

域で見られる吸収は、幾つかの例外を除いて、すべて真の赤外域で生ずる基準伸縮振動の倍音または結合振動による吸収であって、その大部分は、物質中の水素の基準伸縮振動と直接的関係にあることが明らかにされている^{19),20)}。しかし、真の赤外域で見られる吸収に比べ、近赤外域の吸収帯は、狭く重なりが多い特徴があり、非破壊定量分析として使う場合、解決しなければならないいくつかの問題がある。

定量法の原理を説明するために、以下に水分のスペクトルを例として論を進める。

水分が赤外域の広い範囲で吸収帯を持つことは良く知られ、近赤外域だけに限れば、長波長ほど吸収は大となる。代表的な吸収帯の 1.94μ の吸収は、 0.98μ の吸収の 200 倍にも及び²¹⁾、このために、多水分系食品では水分以外の成分の定量が計測的に困難となる。

逆に、たとえば砂の中の水分を定量する場合、 1.94μ の吸収の強さを表わす指標（たとえば 1.94μ と 1.68μ の吸収の比 $\alpha_w = \frac{R_{1.94}}{R_{1.68}}$ ）を用いて、含水率 $C_w(\%)$ は

$$C_w = K_0 + K_1 \alpha_w \quad (1)$$

の簡単な回帰式で表わされる。

しかし、一般に多くの成分からなる食品では、種々の成分による吸収が互に干渉し、吸収スペクトルは、それぞれの成分量に比例して影響を受ける。従って、水分以外にたん白質、脂質を含むものの含水率は、(1) 式のような簡単な回帰式では表わせない。

この問題に対しては、各種成分の影響度を考慮した重回帰分析の手法が用いられる。たとえば大豆中の水分の近赤外吸収スペクトルが、脂質ならびにたん白質によって影響を受けるとき、含水率 C_w は

$$C_w = K_0 + K_1 \alpha_w + K_2 \alpha_o + K_3 \alpha_p \quad (2)$$

の重回帰式で表わせる。ここに α_o , α_p は、それぞれ脂質、たん白質に対し求めた (1) 式で述べたと同様の指標である。水以外の成分に対しても同様に、

$$C_o = K_0' + K_1' \alpha_w + K_2' \alpha_o + K_3' \alpha_p \quad (3)$$

$$C_p = K_0'' + K_1'' \alpha_w + K_2'' \alpha_o + K_3'' \alpha_p \quad (4)$$

の重回帰式が得られる。

(2)~(4) 式中 K で表わした定数は、化学的方法で正確に分析した校正用試料を用い、重回帰分析の手法で決

定する。この際の試料数は最低25位であるが、成分間にはばらつきが予想される場合は、50~100個が望ましい。

通常の重回帰分析は、変数増加法 (stepwise multiple linear regression) と呼ばれ、最初にある成分に関する波長について得た単回帰式から出発して、変数 (波長の数) を逐次増加させる方法である。このようにして得た重回帰式は、内容成分が未知の試料について同様の条件下で測定した際の校正曲線として使用する。

研究用近赤外スペクトル測定装置

近赤外スペクトルによる食品成分の定量には、前述したように重回帰分析が使用される。従って、この種の実用的な測定機器は、重回帰式の変数に関係する波長成分だけを取り出さる分光装置を備えれば十分であり、実際には3~20枚の干渉フィルターによる分光が行なわれている。

しかし、この技術を各種食品に応用することを検討したり、統計的に特殊な処理法を開発したりするためには、コンピューターを中心にシステム化された吸収スペクトルの測定装置が必要である。

図2は、前述した米国農務省ベルツビル農業研究センター計測工学研究室で開発された吸収スペクトル解析装置である。分光器には Applied Physics 社の Cary 14 が使われ、分析に供される波長域は、主に 0.7μ から 2.6μ である。試料ごとのスペクトルは、吸光度または光学的密度 (optical density, 以下 OD と略す) として磁気テープに記録される。OD の計算に必要な標準体 (reference) として、反射スペクトルでは磁器 (ceramic)

が、また、透過スペクトルでは、空気または試料の最大 OD にほぼ等しい OD を持った金属性の網 (screen) が使われる。分光器は単光束型 (single beam type) のため、OD の計算には、あらかじめ標準体のスペクトルを測定し記録する必要がある。

含水率が15~20%以下の比較的水分が低い食品 (たとえば穀類) では、OD に与える水分の影響は比較的小さいため、分析に供される $0.7\sim 2.6\mu$ の波長域のうち、主に $1.6\sim 2.6\mu$ の長波長域が使われる。しかし、青果物や生の肉のような多水分系の食品では、水分吸収により OD が非常に大きくなるため、安定した高精度の対数増幅器²⁹⁾が必要となり、水分以外の微量成分を感度よく測定するために使用できる波長域は $0.7\sim 1.1\mu$ が普通である。

分光スペクトルの数学的処理法

1. 平均化処理 (smoothing)

受光素子からの電気信号として得られる分光スペクトルに影響を及ぼすノイズの要因として、光源や検出器の不安定さ、および迷光ならびに温度など多くの測定環境要因が考えられる。しかも、OD が大きな範囲での測定であるため高利得の増幅器が必要で、これに起因するノイズも避けられない。従って、ある波長域を掃引して得られる分光スペクトルからノイズの影響を消去する必要がある。

前述の測定装置から得られる分光スペクトルは、一般に約2000~4000点に分割したデジタル信号のデータ配列として記録される。この信号からノイズの影響を除

図2 USDA ベルツビル農業研究センター計測工学研究室にある計算機によりシステム化された近赤外分光スペクトル測定装置 (上図: 分光器と試料支持装置, 右図: 計算機ならびに制御装置)

くために、移動平均の手法²³⁾が用いられる。

移動平均時の平均するデータの点数は、ノイズの性質や分光スペクトルの特性によって決まる。適当な平均点数の目安は、平均するデータの点数を増加させたとき、元の吸収スペクトルの吸収帯における OD に変化を生じるところと考えられる。

2. 収縮処理 (shrinking)

移動平均によりノイズの影響を消去した新しいデータ配列は、掃引域の前後を除いて基本的には元のデータと同じ大きさである。このデータ配列の中から、たとえば4番目ごとのデータだけを取り出し新しい配列を作ると、その規模は元の1/4になる。この操作を収縮処理とよび、一般には元のデータ数の1/2~1/5に収縮される。

これは後の数学的な演算操作を容易にするのが主目的で、この操作により元のスペクトルに影響を受けるおそれはない。その理由は、掃引波長域と元のスペクトルのデータ数にもよるが、各データ間の波長間隔は大きくても1~2 nm であって、これは各種食品成分が近赤外域で見せる吸収帯の波長幅に比べ著しく小さいからである。

3. 微分スペクトル (derivative)

食品成分の非破壊測定を目的とした近赤外分光スペクトルでは、一般的な赤外吸収スペクトル分析で見られるような鋭敏な吸収を得ることはむずかしく、吸収帯は各種成分の吸収が互に影響しあったブロードなものになる。

このように重なり合った吸収帯を持った吸収スペクトル

図3 原スペクトルと微分スペクトルの関係
(γ : 半値巾, IP: へん曲点)

ルの処理方法として、微分スペクトル^{24), 25)}の概念が用いられる。使われる微分の次数は、1次および2次である。図3に示したように、1次微分スペクトルは、元の吸収スペクトルの変化率すなわち OD の差 (差吸光度) の変化をとらえたもので、元のスペクトルの極大吸収で微分値は零となる。2次微分スペクトルは、1次微分スペクトルの変化率であって、元のスペクトルの吸収帯と位相が逆転する不都合はあるが、元のスペクトルの極大吸収は、2次微分スペクトルでも極大値として得られる。

微分スペクトルの概念は、二波長分光光度計の開発とともに注目をあびており、市販されている機器では、2つの掃引波長をずらし光学的に微分スペクトルを取る。図2に示した装置では、全く数学的に微分を計算する。

すなわち、元の吸収スペクトルのデータに移動平均および収縮処理を施し得られた図4について微分を考え

図4 微分スペクトルの演算法

る。基本的には、データ配列の中で隣接するデータ間の OD 差をもって微分とするが、一般には隣接するデータのいくつかの集合 (segment) の平均値で処理され、そのセグメント同志の間隔も固定されたものではない。B点における1次および2次微分スペクトルは、それぞれの近似法によって算出される。

1次微分スペクトル $A-B$

2次微分スペクトル $A-2B+C$

セグメントに含まれるデータ数と微分をとるためのセグメント間隔は、元の吸収スペクトルの特性から最適なものとする。この方法もノイズ処理の1つと考えることができる。すなわち、1つのセグメントに含まれるデータ数を増加させると、ノイズの影響を小さくすることができるが、はじめからシャープな吸収を持つ場合には、セグメント内のデータ数をあまり増加させたり、またセグメント間隔を広くとると、吸収スペクトルの形が消滅するおそれがある。

4. 正規化 (normalization)

今までに述べた分光スペクトルの数学的処理に対し、最後にそれらを適当に組み立て、定量分析の校正曲線として利用するための重回帰式中の変数を演算する必要がある。その最大の目的は、試料の粒径に起因する光散乱の影響を補正するためであって、演算処理によって与え

られた変数と目的とする食品成分の濃度値の係数に、直線性を与えるためである。

演算処理の1つに、ある波長におけるスペクトルを、光散乱にだけ影響される波長におけるスペクトルで除す正規化の方法がある。スペクトルに1次微分スペクトルおよび2次微分スペクトルを使うとき、それぞれは、正規化1次微分法および正規化2次微分法とよばれ、図5に示した記号を用いてそれらは次のように表わす。

正規化1次微分

$$\frac{d OD_{\lambda_5}}{d OD_{\lambda_c}} = \frac{OD_{\lambda_1} - OD_{\lambda_2}}{OD_{\lambda_4} - OD_{\lambda_6}} \quad (5)$$

正規化2次微分

$$\frac{d^2 OD_{\lambda_1}}{d^2 OD_{\lambda_c}} = \frac{OD_{\lambda_3} + OD_{\lambda_4} - 2OD_{\lambda_1}}{OD_{\lambda_7} + OD_{\lambda_8} - 2OD_{\lambda_c}} \quad (6)$$

これらを重回帰式の変数に使うと、粒径にばらつきがある試料の場合にも、単回帰でも高い精度が得られる。また、とくに(5)式の場合、1つの成分に対し4個だけの波長で定量分析が可能で、実用的な装置では都合が良い。

図5 光散乱の影響を消却する正規化微分スペクトルの演算法

実用的機器

1971年米国において、Dickey-johnとNeotecの2社から、穀物中のたん白質、水分および脂質を対象とした実用器が販売された。前者はGAC (Grain Analysis Computer)と呼ばれ、6枚の干渉フィルターを備え、後にTechnicon社より出されたInfraAnalyzerの原型となった。また、後者はGQA (Grain Quality Analyzer)と呼ばれ、1.8~2.3μmの波長域を掃引できる3枚の傾斜型干渉フィルター (tilting interference filter) 備え、Model 31とModel 41の2機種がある。この機種では、マイクロプロセッサーによる2次微分スペクトル分析も可能で、飼料用として新しく開発されたModel 51の原型でもある。また、1977年にDickey-john社から10枚のフィルターを備え、かつマイクロプロセッサーによる広範な演算処理を可能にしたGAC IIIが、さらに1978年には、Technicon社より20枚のフィルター

を備えたInfraAnalyzer 400が発売された。

これらの機種は現場向きの単能器であるが、最近Neotec社によって、図2に示した研究用装置と同様の機能を有した、波長掃引型のResearch Composition Analyzerが開発された。

いずれの機種でも、分光技術や試料の支持ならびに検出部等に特徴はあるが、基本的には、進んだ光学技術と高性能でかつ安価なマイクロプロセッサーの開発によるもので、これによって、単に試料を粉碎するだけの操作を経るだけで、数種の成分値の同時測定が約30秒以内で可能となった。

近赤外分光法の応用例

食品成分の非破壊測定に近赤外分光スペクトルが使われ始めたのは1965年頃からであり、当時、小麦、トウモロコシ、エンバク、米などの分光反射特性が測定された²⁶⁾。以来表1に示したように多くの食品に関して研究が進められている。とくに、1978年小麦のたん白質定量に公定法として採用されるまでの数年間、小麦に関する研究が精力的になされ、その成果は、第62回AACCの会議(1977年サンフランシスコ)で重点的に公表された。公定法として要求される精度は、たん白質含量に1.8%の標準偏差をもった試料の場合、ケルダール法に対し±0.35%である。現在は大豆に関する研究が遂行中で、近年中に公定法として採用される見通しである。

図6は、粉碎した小麦の近赤外吸収スペクトルである²⁷⁾。図中の実線および破線は、粒径がそれぞれ210μmおよび160μmであり、粒径が小さいほど表面反射率は増し、ODは小さくなる。従って、単にODを変数とした重回帰分析は、粒度の影響を補正する機能を持たないために、前述したように特殊な演算処理が必要である。

図6 粒径の異なる粉碎された小麦の近赤外分光スペクトル

表 1 近赤外分光スペクトル法の対象品目と成分

対 象 品 目	成 分	文 献
1. 穀類および種子		
小 麦	水分, たん白質, 炭水化物, アミノ酸	26, 27, 28, 30, 31, 33, 48, 49, 52, 53, 54, 55, 56, 57
大 豆	水分, 脂質, たん白質, 炭水化物	26, 27, 29, 31, 33, 46, 48, 49, 51, 53
エ ン バ タ	水分, 脂質	26, 49, 51, 53
トウモロコシ	水分, 脂質	26, 31, 32, 49, 51, 58
米	水分, たん白質	26, 59
コウリヤン	水分	58
コ ー ヒ ー	カフェイン, 炭水化物, 脂質, 水分	45
コ コ ア	水分, 脂質	45
く る み	水分	50
ビーナッツ	水分	31
2. 肉 製 品		
挽 肉	水分, 脂質	33, 34, 35
ベーコン, ハム, ソーセージ	水分, 脂質	36
3. シリアルフード	繊維量, 糖	38
4. 飲 料 品		
ワ イ ン	アルコール	42
チョコレートリカー	水分, 脂質	45
牛 乳	水分, 脂質	37
5. 青 果 物		
バレイショ	水分, たん白質, 炭水化物	33
リ ン ゴ	(褐 変)	39
カ ン キ ッ	(表皮損傷)	40
6. 飼 料	水分, たん白質, 繊維量	26, 41, 47
7. タ バ コ	糖	43
8. 羊 毛	脂 質	44

図7は、小麦の2次微分スペクトルであって²⁸⁾、図6では見られないたん白質や炭水化物（主にでん粉）などによる吸収が顕著に見られる。それぞれの吸収帯は、そ

の官能基に由来するもので、純粋な成分の同様の2次微分スペクトルと比べることにより、それぞれの吸収特性を明らかにできる。

図 7 小麦の近赤外分光スペクトルとその2次微分スペクトル

図8 脂質含量の異なる2種の大豆の近赤外分光スペクトル

大豆では、たん白質の他に脂質が重要な場合が多い。図8は、脂質含量の異なる2種類の大豆の近赤外分光スペクトルであって²⁶⁾、1.73, 1.77, 2.31, 2.35 μ 近辺に、図1の脂質と同様の、たん白質では見られないきわめてシャープな吸収がある。

図9 近赤外線法による大豆の脂質含量の定量値と化学分析値の関係

図9は、Neotec社の穀物分析器 (Model 32-E-2000) を用いて、ソクスレー法によって含油量のわかった40個の大豆試料を測定したのち、重回帰分析の結果得られた校正曲線であって、相関係数と標準誤差は、それぞれ0.986, 0.654%であった。この校正曲線を用い、含油量が未知な45個の試料の含油量を推定した結果、実際の分析値と間の相関係数は0.977, 標準誤差は0.545%であった²⁹⁾。

最近、この方法を小麦中のアミノ酸の分析に応用した報告がある³⁰⁾。この研究では、小麦中の17種のアミノ酸について測定が試みられ、2次微分スペクトルを用い

た場合、常法との相関係数は0.87~0.98ときわめて良好な結果を得ている。

穀類の他に、肉製品、乳製品、菓子、ワインなどの飲料品、青果物、飼料などへの応用も試みられているが、文献の紹介だけにとどめる。

問題点と課題

近赤外分光スペクトル法の成功は、スペクトルに対する信号処理技術と、重回帰分析など数学的処理技術の開発によるところが大きい。しかし、食品成分の変化にもとづくスペクトルの変化はきわめて微小である。測定例によれば、小麦中のたん白質が1%変化しても、たん白質に最も敏感な波長におけるODは、わずかに0.002の変化にすぎず、たん白質で0.1%の差を検出するためには、ODでわずか0.0002の検出を可能にする高精度の機器が必要である²⁷⁾。現在市販されている実用器は、進んだ光学、電子工学の技術を駆使してこの問題を解決している。

従って、現在最も問題とされるのはむしろ試料の調製法である。前述したように、試料の温度と粒径は、スペクトルに最も影響を及ぼす要因である。ことに試料温度は、試料中の水分の吸収波長に直接影響し、また測定環境温度は、機器の光学的、電気的ノイズ、ドリフトを大きくし精度を下げる原因となる。仮にこれら温度と粒径に対し十分な注意が払われたにしても、被測定試料の成分値に対しばらつきが予想されるときには、機器校正のために供する試料の成分値も、適当な分布を持つ必要がある。

また、粒径の大きさだけを問題にすると、たとえば粉碎しない穀粒そのままが使えれば好都合である。しかし、反射スペクトルを使う場合には、穀粒そのままでは反射部の表面積が小さく、粉碎試料に比べ情報を多く引き出せない欠点がある。従って、この場合は、反射スペクトルに代って、バルク状の穀粒層の透過スペクトルを測定する必要がある。しかし、近赤外波長光の透過力は小さいので、透過スペクトルを測定する場合は、従来主に用いた1.1~2.5 μ 域の波長ではなく、0.7~1.1 μ 域の波長を使う必要がある。

以上述べてきたように、多くの食品成分の非破壊定量法として近赤外分光法が使われ、実用器の開発も進められてきた。今後は、各種食品への応用データを集めること、ならびに、たん白質、水分、炭水化物、脂質など食品成分の微細分子構造と近赤外分光吸収との関係を深く追究する必要があり、そこにこの技術の精度向上と、新

しい応用分野の開発が期待されよう。

本稿で用いた多くの資料と情報は、筆者が科学技術庁長期在外研究員として、1978年10月より1年間、米国農務省ベルツビル農業研究センターに滞在中に得たもので、研究室長 KARL H. NORRIS 氏の指導によるところが大きい。本稿をまとめるにあたり、農林水産省食品総合研究所木村 進食品工学部長、石谷孝佑食品包装研究室長、野口明徳研究員の諸氏には、多くの有益な御教示を戴いた。記して感謝の意を表する。

文 献

- 1) ABBOTT, J. A., BACHMAN, G. S., CHILDERS, N. F., FITZGERALD, J. V. and MATUSKI, F. J.: *Food Technol.*, **22**, 101 (1968).
- 2) FINNEY, E. E.: *J. Agric. Eng. Res.*, **16**, 81 (1971).
- 3) FINNEY, E. E.: *J. Texture Studies*: **3**, 263 (1972).
- 4) CLARK, R. L.: ASAE paper No. 75-6004 (1975).
- 5) YAMAMOTO, H. IWAMOTO M. and HAGINUMA S.: In print.
- 6) HOKI, M. and TOMITA, K.: ASAE Paper No. 76-3044 (1976).
- 7) NORRIS, K. H.: *Electronics*, **28**, 140 (1955).
- 8) NORRIS, K. H.: *Agric Eng.*, **39**, 640 (1958).
- 9) FINNEY, E. E. and NORRIS, K. H.: *Amer. Potato J.* **50**, 1 (1973).
- 10) JAMES, P. E. and RETZER, H. J.: *Poultry Sci.*, **46**, 1200 (1967).
- 11) 岩元 睦夫・河野 澄夫・早川 昭・木村 進：日食工誌, **26**, 156 (1979).
- 12) 田原 虎次・藍 房和・須藤 允・石川 文武：農機誌, **30**, 169 (1968).
- 13) 田原 虎次・藍 房和・渡辺 兼五・鹿野 快男・長谷部 信也：農機学会講演要旨, No. 4-27 (1979).
- 14) JACOB, F. C., ROMANI, R. J. and SPROCK, C. M.: *Trans. of ASAE*, **8**, 18 (1965).
- 15) CHUMA, Y., KYAW SEIN, KAWANO, S. and NAKA-II, K.: *Trans. of ASAE*, **20**, 996 (1977).
- 16) 中司 敬・杉浦 泰郎・中馬 豊：農機誌, **39**, 483 (1977).
- 17) 中馬 豊・志賀 徹・守田 和夫：農機誌, **40**, 389 (1978).
- 18) 鈴木 晴夫・石田 隆：静岡果柑試研報, **12**, 11 (1975).
- 19) 間宮 真佐人：化学工業資料, **29**, 25 (1961).
- 20) LAW, D. P. and TKACHUK, R.: *Cereal Chem.*, **54**, 256 (1977).
- 21) CURCIO, J. A. and PETTY, C. C.: *J. Optical Soc. Amer.*, **41**, 302 (1951).
- 22) MASSIE, D. R. and NORRIS, K. H.: *Trans of ASAE*, **18**, 173 (1975).
- 23) 応用統計ハンドブック編集委員会 (奥野忠一他) 編：応用統計ハンドブック, (養賢堂), 139 (1978).
- 24) WILLIAMS, D. T. and HAGER, R. N.: *Applied Optics*, **9**, 1597 (1970).
- 25) 柴田 正三：二波長分光光度法とその応用, (講談社), p. 19 (1979).
- 26) MASSIE, D. R. and NORRIS, K. H.: *Trans of ASAE*, **8**, 598 (1965).
- 27) NORRIS, K. H.: Proc. 6th International Cereal and Bread Congress, published by AACC, 245 (1978).
- 28) WEBSTER, D. R.: ネオティック社セミナー資料 (1977).
- 29) RINNE, R. W., GIBBONS, S., BRADLEY, J. and BRIM, C. A.: USDA Report ARS-NC-26 (1975).
- 30) NORRIS, K. H., WILLIAMS, P. C. and MATTERN, P.: AACC 62nd Annual Meeting Abstract (1977).
- 31) NORRIS, K. H. and HART, J. R.: Proc. 1963 International Symposium on Humidity and Moisture, Volume 4, 19 (1965).
- 32) FINNEY, E. E. and NORRIS, K. H.: *Trans. of ASAE*, **21**, 581 (1978).
- 33) IWAMOTO, M. and NORRIS, K. H.: In print.
- 34) MASSIE, D. R.: Quality Detection in Foods, published by ASAE., 24 (1976).
- 35) USDA: *Agricultural Research*, **23**, 8 (1974).
- 36) BEN-GERA, I. and NORRIS, K. H.: *J. Food Sci.*, **33**, 64 (1968).
- 37) BEN-GERA, I., and NORRIS, K. H.: *Israel J. Agric. Res.*, **18**, 117 (1968).
- 38) BAKER, D., NORRIS, K. H. and LI, B. W.: Chemistry and Nutrition, Academic Press, 67 (1979).
- 39) BROWN, G. K., SEGERLIND, L. J. and SUMMIT, R.: *Trans. of ASAE*, **17**, 17 (1974).
- 40) GAFFNEY, J. J.: *Trans. of ASAE*, **16**, 310 (1973).
- 41) NORRIS, K. H., BARNES, R. F., MOORE, J. E. and SHENK, J. S.: *J. Animal Sci.*, **43**, 889 (1976).
- 42) KAFFKA, K. J. and NORRIS, K. H.: *Acta Alimentaria*, **5**, 267 (1976).
- 43) McCLURE, W. F., NORRIS, K. H. and WEEKS, W. W.: *Beitrage zur Tabakforschung*, **9**, 13 (1977).
- 44) SABBAGH, H. R. and LARSEN, S. A.: Proc. Western Section of Amer. Soc. Animal Sci., Volume 29 (1978).
- 45) LANDA, I.: ASAE-CSAE Paper No. 79-3062 (1979).
- 46) 中村 茂樹・渡辺 巖・小山 隆光：日作東北支部報, **21**, 67 (1978).

-
- 47) NORRIS, K. H. and BARNES, R. H.: Proc. 1st International Symposium on Feed Composition, Animal Nutrient Requirement, and Computerization of Diets, 237 (1976).
- 48) HUNT, W. H., FULK, D. W. ELDER, B. and NORRIS, K. H.: *Cereal Foods World*, **22**, 534 (1977).
- 49) HART, J. R., NORRIS, K. H. and GOLUBIC, C.: *Cereal Chem.*, **39**, 94 (1962).
- 50) CAMPBELL, R. C. and MARTIN, G. C.: *Hort Science*, **11**, 494 (1976).
- 51) HYMOWITZ, T. DUDLEY, J. W., COLLINS, F. I. and BROWN, C. M.: *Crop Sci.*, **14**, 713 (1974).
- 52) WILLIAMS, P. C., STERENSON, S. G. and IRVINE, G. N.: *Cereal Chem.*, **55**, 263 (1978).
- 53) WILLIAMS, P. C.: *Cereal Chem.*, **52**, 561 (1975).
- 54) WILLIAMS, P. C.: *Cereal Chem.*, **56**, 169 (1979).
- 55) LAW, D. P. and TKACHUK, R.: *Cereal Chem.*, **54**, 874 (1977).
- 56) WATSON, C. A., SHUEY, W. C., BANASKI, O. J. and DICK, J. W.: *Cereal Chem.*, **54**, 1264 (1977).
- 57) WILLIAMS, P. C. and THOMPSON, B. N.: *Cereal Chem.*, **55**, 1014 (1978).
- 58) STERMER, R. A., POMERANZ, Y. and MCGINTY, R. J.: *Cereal Chem.*, **54**, 345 (1977).
- 59) 岩元睦夫: 未発表
-