

## 近赤外分光法によるエダマメの品質測定(2)

誌名	農業機械學會誌
ISSN	02852543
著者	江頭, 宏昌 夏賀, 元康 須江, 芳恵 池田, 剛士 千田, 智哉 堀之内, 名那子 赤澤, 經也
巻/号	73巻1号
掲載ページ	p. 51-56
発行年月	2011年1月

## 近赤外分光法によるエダマメの品質測定 (第2報)\*

— 莢付きエダマメの食味関連成分の測定 —

江頭宏昌\*<sup>1</sup>・夏賀元康\*<sup>2†</sup>・須江芳恵\*<sup>7</sup>・池田剛士\*<sup>4</sup>・  
千田智哉\*<sup>5</sup>・堀之内名那子\*<sup>6</sup>・赤澤経也\*<sup>3</sup>

## 要 旨

エダマメの食味関連成分としてスクロース含量と呈色性窒素化合物 (ニンヒドリン反応量: NRQ) を取り上げ, 第1報では市販近赤外分析計 Infratec1241 によりこれら2成分がどの程度の精度で測定できるか, 莢を取り除いた剥きマメを用いて, 精度の検討を行い, 得られたキャリブレーションは実用的な精度であると判断した。しかし, 剥きマメにするための作業に15~20分を要するため, 本報では, 莢のまま測定し精度の検討を行った。その結果, スクロースが  $R^2=0.57$ ,  $SECV=0.49\%$ , NRQ が  $R^2=0.69$ ,  $SECV=0.21\%$  の精度が得られた。これらは剥きマメによる測定精度より若干劣るものの, 測定時間は約1/5であるので, より実用的な測定方法であると判断した。

【キーワード】近赤外分光法, 莢付きエダマメ, ダダチャマメ, 品質, スクロース, 呈色性窒素化合物 (NRQ)

Determination of Green Soybean (Edamame) Quality  
Using Near-Infrared Spectroscopy (Part 2)\*

— Constituent Content Determination of Green Soybeans with Pods —

Hiroaki EGASHIRA\*<sup>1</sup>, Motoyasu NATSUGA\*<sup>2†</sup>, Yoshie SUE\*<sup>7</sup>, Takeshi IKEDA\*<sup>4</sup>,  
Tomoya CHIDA\*<sup>5</sup>, Nanako HORINOUCI\*<sup>6</sup>, Tsuneya AKAZAWA\*<sup>3</sup>

## Abstract

In part 1, we determined the eating quality-related constituents of green soybean seeds, such as sucrose and NRQ, using a commercial near-infrared (NIR) spectrometer and concluded that the accuracy was sufficient for field use. However, this requires a time-consuming hulling process that takes 15~20 minutes. In order to eliminate this, we carried out an investigation using the same NIR spectrometer with a sample transport module for green soybeans with pods and obtained relatively good results with  $R^2=0.57$  and  $SECV=0.49\%$  for sucrose, and  $R^2=0.69$  and  $SECV=0.21\%$

\* 2005年9月 農業環境工学関連7学会2005年合同大会(金沢大学)にて一部講演

\* 2006年9月 農業環境工学関連7学会2006年合同大会(北海道大学)にて一部講演

\* 1 会員, 山形大学農学部(〒997-8555 鶴岡市若葉町1-23, TEL 0235-28-2852)

Faculty of Agriculture, Yamagata University, Tsuruoka 997-8555 Japan

\* 2 会員, 山形大学農学部(〒997-8555 鶴岡市若葉町1-23 TEL 0235-28-2906)

Faculty of Agriculture, Yamagata University, Tsuruoka 997-8555, Japan

\* 3 山形大学農学部(〒997-8555 鶴岡市若葉町1-23 TEL 0235-28-2906)

Faculty of Agriculture, Yamagata University, Tsuruoka 997-8555, Japan

\* 4 同上, 現在:(株)でん六(〒990-8506 山形県山形市清住町3-2-45 TEL 023-644-4422)

Present address: DENROKU Co., Ltd., Yamagata 990-8506, Japan

\* 5 同上, 現在:(株)アジテック(〒024-0004 北上市流通センター19-70 TEL 0197-81-4500)

Present address: AJITECH Co., Ltd., Kitakami 024-0004, Japan

\* 6 同上, 現在:茨城県鹿行農林事務所(〒311-1517 茨城県鉾田市鉾田1367-3 TEL 0291-33-3197)

Present address: Rokko Region Agriculture and Forestry Office, Ibaraki Prefecture, Hokota 311-1517, Japan

\* 7 同上, 現在:JA全農福島(〒960-0296 福島県福島市飯坂町平野字三枚長1-1 TEL 024-554-3201)

Present address: ZEN-NOH Fukushima, Fukushima 960-0231, Japan

† Corresponding author: toko@tdsl.tr.yamagata-u.ac.jp

for NRQ. The results were slightly less accurate than those of the seed calibration ; however, as this method does not require hulling and reduces the measuring time to approximately one fifth of that for seeds, we concluded that it is better for field use.

[Keywords] near-infrared spectroscopy (NIR), edamame with pods, dadachamame, quality, sucrose, NRQ

## I 緒 言

山形県鶴岡市周辺には極めて味の良いダダチャマメといわれる在来のエダマメがある。ダダチャマメは普通のエダマメに比べて、食味に最も関与するといわれるスクロース含量が多く、さらに、ニンヒドリン反応量(NRQ)で定義される呈色性窒素化合物(全遊離アミノ酸量と高い正の相関を有する)が多く(Akazawa and Takahashi, 2002)、特にその内でもアラニンやグルタミン酸含量が多い。独特の香りと甘味を持ち、2粒莢が多く、莢の表面に茶色の毛がある。現在でもダダチャマメとその関連系統は20種類以上存在する。

鶴岡市におけるエダマメ出荷量と収穫量は年々増加傾向にあるが、生産量の増加に伴って品質のバラツキが大きくなり、ダダチャマメ本来の味が消費者に提供されない可能性が懸念されている。特産品としての品質を保持するために、出荷時においてスクロースやNRQなどの食味関連成分を短時間かつ容易に行える測定技術と管理体制が求められている。

近赤外分光法(Near-Infrared Spectroscopy: NIR Spectroscopy)は、非破壊で迅速に試料を分析でき、精度も高いなど、農産物の品質測定に優れた特長を持つ。筆者らは第1報で、2002年から市販近赤外分析計Infratec1241を用い、エダマメの莢を剥いた剥きマメを試料としてスクロース(甘み)とNRQ(うまみ)の成分測定の精度がどの程度であるか検討し、スクロースで $R^2=0.68$ ,  $SECV=0.43\%$ , NRQで $R^2=0.80$ ,  $SECV=0.17\%$ が得られ、これらは生産現場での実用精度の検証も含めて実用的な精度であると結論した(Sue et al., 2009)。しかし、この測定を行うためには測定に必要な剥きマメ約100gを得るための莢を剥く作業が必要で、これには一人で15~20分を要する。Infratec1241による実測定時間が約3分であることを考慮すれば、この莢を剥く作業をなくすことができれば生産現場での実用性がより高まると考えられる。

第1報で簡述したように、多くの研究者が近赤外分光法によるマメ類の品質測定に取り組んできた(Velasco et al., 1997, Perez-Vich et al., 1998, Sato et al., 2003, Golebiowski, 2004, Golebiowski et al., 2005, Arganosa et al., 2006, Font et al., 2006など)。しかし、水分60%w.b.以上の生のエダマメを莢のまま、スクロースや遊離アミノ酸などの食味関連成分を測定した例は、筆者らによる専用に開発した近赤外分光光度計による一莢のエダマメ測定(Natsuga et al., 2007)があるのみであり、市販

近赤外分析計によるこれら成分の測定精度の報告はない。そこで、剥きマメ作業をなくすことにより測定時間を大幅に短縮し、実用性をより高めるため、市販近赤外分析計Infratec1241にオプションのサンプルトランスポートモジュール(STM)を取り付け、バルクサンプルセル(BSC)に試料を充填して測定することにより莢のまま測定したとき、スクロース(甘み)とNRQ(うまみ)の成分測定の精度がどの程度であるか検討した。前報同様、現場で行われている4℃程度までの予冷に対応するため、常温試料に4℃に冷却した試料を加えて精度の検討を行った。

## II 実験方法

### 1. 供試試料

第1報と同じく、鶴岡市周辺で採種した2004~2006年に栽培したダダチャマメ22品種、および農業生物資源(NIAS)ジーンバンクから入手した149品種から鶴岡市で栽培が可能であり子実に含まれるスクロースとNRQの変異が最大になるように選んだ26品種に代表的な商業用のエダマメ品種であるサッポロミドリを加え、計49品種を実験に供試した。脱莢した莢付きマメは試料皿に置き、袋に入れるなどの水分蒸散を防ぐ手段はとらなかった。測定には正常な莢のみを用いた。水分蒸散を含む成分変化がキャリブレーションの精度に与える影響を最小にするため、近赤外分析計によるスペクトル測定を行い、その直後にスペクトル測定を行った試料から化学分析用の試料を試料ビンに採取した。これを常温(22~29℃)試料とした。また、2005~2006年の2年間、常温試料を冷蔵保存し、24h後に約4℃に冷却した試料を冷却試料とし、常温試料と同様、スペクトル測定と化学分析に供した。化学分析値の欠落などで、試料数は常温試料が146、冷却試料が97、計243であった。

常温、冷却とも、試料は化学分析に供するまで、-20℃で密封して冷凍保存した。

### 2. 近赤外分析計によるスペクトル測定

近赤外分析計には第1報と同じ、市販近赤外分析計Infratec1241(Foss A/S, Hillerød, Denmark)を用いた。本装置は透過型で、波長範囲は850~1048nm、波長間隔は2nmである。莢付きのまま測定するため、オプションのサンプルトランスポートモジュール(STM)を装着し、バルクサンプルセル(BSC:幅29×長さ142×厚さ29mm)に莢を隙間無く並べた。図1に装置の外観を示した。BSCはSTMによって装置の分光測定部を一定速度で下方に移動され、その間に一定間隔で最大10

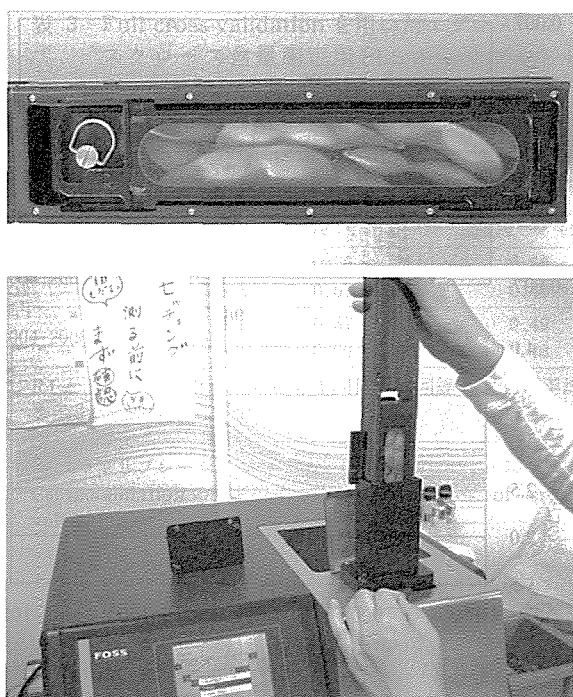


図1 バルクサンプルセル（BSC：上）とサンプルトラン  
 スポートモジュール（STM：下）  
 Fig. 1 Bulk sample cell (above) and sample transport  
 module (below)

箇所のスペクトルが測定される。この下方への動作中に BSC 上部に間隙が生ずるおそれがあるため、スペクトル測定は BSC の下から 8 箇所とした。測定に必要な試料は約 50 g であった。スペクトル測定は室温 (22~29°C) で行った。なお、冷却試料を室温で測定すると試料表面および測定部の窓に結露が発生する可能性があるが、実用性を考えて冷蔵庫から出した直後にそのままスペクトル測定を行った。複数回測定により精度の向上が図れるか検討するため、同一試料の異なる部分を 3 回 BSC に充填し、それぞれスペクトル測定を行った。測定時間は 1 回の充填とスペクトル測定で約 3 分、3 回では約 10 分であった。

### 3. 化学分析

化学分析は第 1 報と同様に行った。莢付きエダマメを手で剥いて莢と剥きマメに分け、莢と剥きマメそれぞれの水分を 5 g-135°C-24 h 法で測定した。常温と冷却の剥きマメ試料からそれぞれ無作為に約 10 g の試料を 2 点採種し、凍結乾燥後に振動粉砕機 (TI-100, Heiko, Tokyo, Japan) で粉砕した。エタノール抽出し、エタノールを純水で置換した溶液を用い、スクロースとグルコース含量を Sucrose/D-Glucose Test Kit (Roche, Darmstadt, Germany) を用いて Nishizawa らの方法 (Nishizawa and Shishido, 1998) によって測定した。また、NRQ を Yem らの方法 (Yem and Cooking, 1955) により求めた。供試常温試料の莢と剥きマメの含水率の平均はそれ

表 1 剥きマメの化学成分 (2004-2006)  
 Table 1 Chemical composition of green soybean seeds  
 (2004-2006)

試料温度*		試料数	146
R	スクロース (%)	最小	0.89
		最大	4.20
		平均	2.36
		SD**	0.75
	NRQ (%)	最小	0.35
		最大	1.95
平均		0.92	
	SD	0.36	
試料温度*		試料数	243
R+C	スクロース (%)	最小	0.89
		最大	4.20
		平均	2.41
		SD	0.75
	NRQ (%)	最小	0.31
		最大	2.03
平均		0.92	
	SD	0.37	

\*R は室温を、C は冷却を、それぞれ表す  
 \*\* Standard Deviation 標準偏差

表 2 化学分析の精度 (SDD) (2004-2006)  
 Table 2 The repeatability of chemical analysis (SDD\*)  
 (2004-2006)

スクロース (%)	NRQ (%)
0.20	0.09

\*Standard Deviation of the Difference: 繰り返し測定の違いの標準偏差

ぞれ 76.4%w.b., 71.0%w.b. で、莢の含水率は剥きマメより平均約 5%w.b. 高かった。剥きマメのスクロース含量、NRQ を表 1 に示した。また、化学分析の再現性 (SDD: Standard Deviation of the Difference, 繰り返し測定の違いの標準偏差) を表 2 に示した。SDD は化学分析の精度の指標で、非破壊分析による推定値の精度の判断基準であり、推定値の精度は SDD より小さくならない。

### 4. キャリブレーションの作成と検証

キャリブレーションの作成には The Unscrambler 9.2 (CAMO, Oslo, Norway) を用い、Full Cross-validation 法による PLS 回帰分析によりキャリブレーションの作成と検証を行った。キャリブレーションの作成と検証にはスムージング、2 次微分などのスペクトルの前処理は一切行わなかった。

試料数、成分範囲、化学分析の精度、試料の温度がどの程度キャリブレーションの精度に影響を与えるか検討するため、キャリブレーションは常温試料と冷却試料でまず年度ごとに、ついで複数年でそれぞれ作成した。3

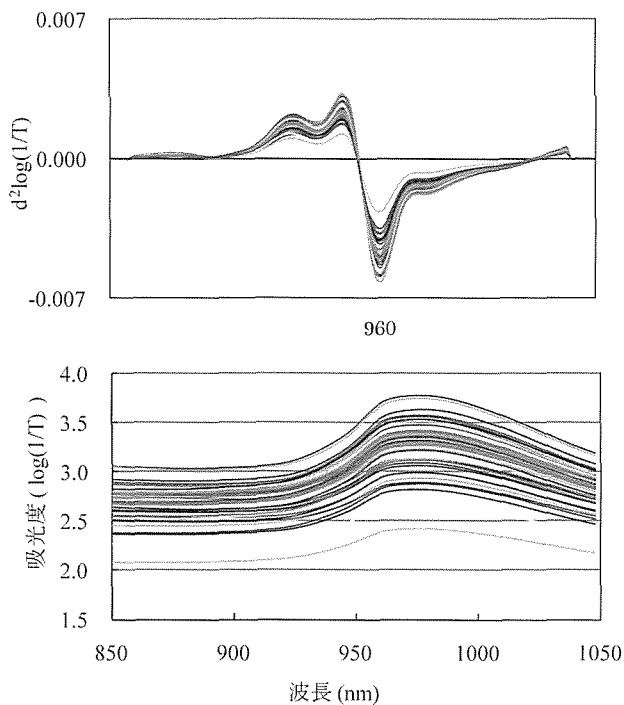


図2 2006年産莢付きマメ常温試料の原スペクトル(下)と2次微分スペクトル(上)

Fig. 2 Original spectra and the 2<sup>nd</sup> derivative spectra for room temperature samples of 2006 green soybean with pods

回繰り返し測定 of 1 回目のスペクトルおよび平均スペクトル(以下、それぞれ R1, RA)を用いたキャリブレーションをそれぞれ作成した。また、複数年のキャリブレーションではすべての試料を無作為に3分し、2/3をキャリブレーション作成に、残りの1/3を Test Set に用いる Test Set 法でもキャリブレーションの作成と検証を行った。

### III 実験結果および考察

#### 1. 常温試料と冷却試料のスペクトル

図2と図3に、2006年産試料の常温試料と冷却試料の原スペクトルとその2次微分スペクトル(Savitzky-Golay法, 平均処理: 左右5測定点, 2次式)を示した。Maedaらは温度の変化に伴い1461nmの吸収ピークが短波長側にシフトしたと報告している(Maeda et al., 1995)。一方, Kawanoらは、桃と水の温度を変化させて測定したスペクトルから、841nmと966nmで温度によって吸光度が変化し、温度が下がると吸光度も減少すると報告している(Kawano and Abe, 1995)。図2と3に示したように、2次微分スペクトルには両者とも第1報の剥きマメと同様、960nmにピークがあり、これは水のO-H基によるものと考えられるが、前報の剥きマメのスペクトルと同様、常温試料と冷却試料との間ではピーク位置のシフトは観測されなかった。また、原スペクトルの吸光度は常温と冷却でほぼ同じで、第1報の剥

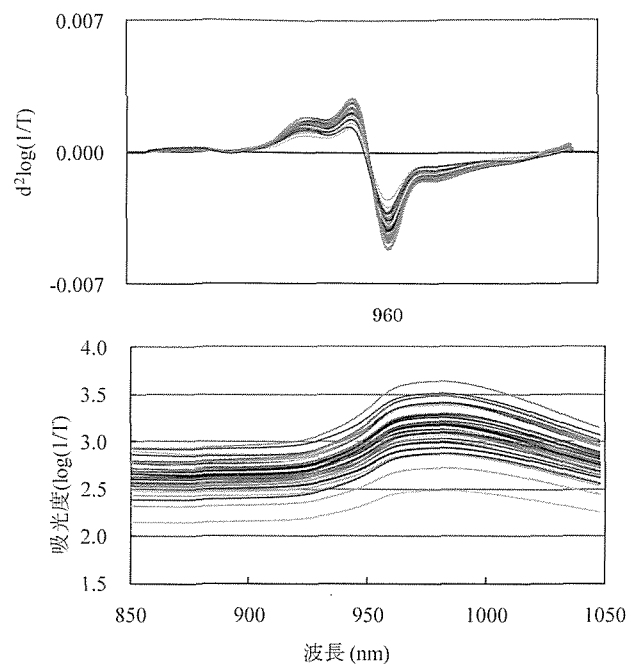


図3 2006年産莢付きマメ冷却試料の原スペクトル(下)と2次微分スペクトル(上)

Fig. 3 Original spectra and the 2<sup>nd</sup> derivative spectra for cooled samples of 2006 green soybean with pods

きマメに見られた冷却による吸光度の増加は観測されなかった。BSCへの試料充填の際、セル窓試料側(内側)に結露が生ずる場合と生じない場合があり、結露が生じたときはメガネ拭きで除去してからスペクトル測定を行ったため、吸光度の増加が観測されなかったと考えられる。

#### 2. スクロース

表3に Full Cross-Validation 法によるスクロースのキャリブレーションの結果を示した。得られた精度 SECV = 0.48~0.50% は、第1報の剥きマメの SECV = 0.44~0.46% よりやや劣った。これらの精度は、表2に示した化学分析の精度(SDD)の約2.5倍で、改良の余地はあると考えられるが、莢付きの測定であることを考慮すればこの程度の精度の低下はやむを得ないと考えられる。

測定温度では、常温(R)のみによるキャリブレーションより冷却(C)を加えたR+Cの方がわずかに精度が良かった。この結果から、冷却による試料表面の結露はキャリブレーションの精度に影響をほとんど及ぼしていないと考えられる。また、繰り返し測定の効果は、3回繰り返しの平均スペクトル(RA)のキャリブレーションの方が1回目のスペクトル(R1)によるキャリブレーションよりわずかに優れていた。これは繰り返し測定によるランダムノイズ軽減作用によるものと考えられるが、R1とRAでそれぞれ SECV = 0.49%, SECV = 0.48%と精度向上効果はわずかであり、測定時間を考慮すれば測定は1回でいいものと判断される。

表3 Full cross-validation を用いたエダマメ中のスクロース含量測定用 PLS キャリブレーションの開発結果

Table 3 Calibrations for determining sucrose content in green soybean using full cross-validation

年	スペクトル*	キャリブレーション		
		R <sup>2</sup> **	nF***	SECV**** (%)
2004-2006 (R)	R1	0.56	14	0.50
	RA	0.57	12	0.49
2004-2006 (R+C)	R1	0.57	13	0.49
	RA	0.60	12	0.48

\* R1 と RA はそれぞれ繰り返し 1 回目と 3 回繰り返しの平均を示す。  
 \*\* 決定係数  
 \*\*\* PLS キャリブレーションのファクター数  
 \*\*\*\* Cross-validation の標準誤差 (Standard error of cross-validation)

表4 Full cross-validation を用いたエダマメ中のNRQ 測定用 PLS キャリブレーションの開発結果

Table 4 Calibrations for determining NRQ in green soybean using full cross-validation

年	スペクトル*	キャリブレーション		
		R <sup>2</sup> **	nF***	SECV**** (%)
2004-2006 (R)	R1	0.70	13	0.20
	RA	0.75	13	0.18
2004-2006 (R+C)	R1	0.69	13	0.21
	RA	0.72	12	0.20

\* R1 と RA はそれぞれ繰り返し 1 回目と 3 回繰り返しの平均を示す。  
 \*\* 決定係数  
 \*\*\* PLS キャリブレーションのファクター数  
 \*\*\*\* Cross-validation の標準誤差 (Standard error of cross-validation)

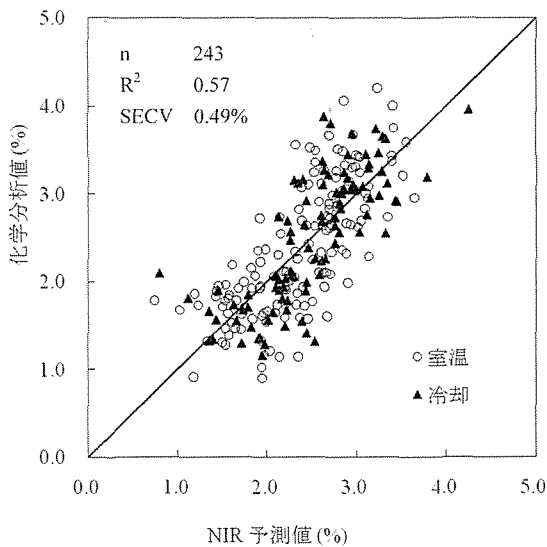


図4 2004~2006年すべての試料を用いた Full Cross-Validation の結果の散布図 (スクロース)

Fig. 4 Scatter plot for full cross-validation using 2004-2006 all samples (sucrose)

Test Set 法によるキャリブレーションの精度 (R+C: R1) は、 $R^2=0.60$ ,  $SEP=0.48\%$  (検証に用いた試料数 81, 成分範囲 1.02~4.20%) であり、Full Cross-validation 法を用いたものとほぼ同等の結果となった。図4にすべての試料で作成した Full Cross-validation 法によるキャリブレーション (2004-2006 (R+C)-R1) の散布図を示した。常温試料と冷却試料はランダムに分布し層構造は見られないことから、両方に対応できるキャリブレーションであると判断できる。

### 3. NRQ

表4に Full Cross-Validation 法による NRQ のキャリブレーションの結果を示した。得られた精度  $SECV=0.18\sim 0.21\%$  は、第1報の剥きマメの  $SECV=0.16\%$  よりやや劣った。これらの精度は、表2に示した化学分析

の精度 (SDD) の約2倍で、改良の余地はあると考えられるが、莢付きの測定であることを考慮すればこの程度の精度の低下はやむを得ないと考えられる。

測定温度では、常温 (R) のみによるキャリブレーションと冷却 (C) を加えた R+C ではほぼ同等の精度であった。この結果から、スクロースと同様、冷却による試料表面の結露はキャリブレーションの精度に影響をほとんど及ぼしていないと考えられる。また、繰り返し測定の効果は、3回繰り返しの平均スペクトル (RA) のキャリブレーションの方が1回目のスペクトル (R1) によるキャリブレーションよりわずかに優れていた。これは繰り返し測定によるランダムノイズ軽減作用によるものと考えられるが、R1 と RA でそれぞれ  $SECV=0.21\%$ ,  $SECV=0.20\%$  とスクロースの場合と同様、精度向上効果はわずかであり、測定時間を考慮すれば測定は1回でいいものと判断される。

Test Set 法によるキャリブレーションの精度 (R+C: R1) は、 $R^2=0.72$ ,  $SEP=0.20\%$  (検証に用いた試料数 81, 成分範囲 0.34~2.00%) であり、Full Cross-validation 法を用いたものとほぼ同等の結果となった。図5にすべての試料で作成した Full Cross-validation 法によるキャリブレーション (2004-2006 (R+C)-R1) の散布図を示した。常温試料と冷却試料はランダムに分布し層構造は見られないことから、両方に対応できるキャリブレーションであると判断できる。

## IV 摘 要

第1報では市販近赤外分析計 Infracalc1241 によりエダマメの食味関連成分であるスクロースと NRQ がどの程度の精度で測定できるか、莢を取り除いた剥きマメを用いて精度の検討を行い、実用的な精度であると報告した。しかし、剥きマメにするための作業に 15~20 分を要するため、本報では実用性の向上を目指して莢のままの測定精度の検討を行った。その結果、

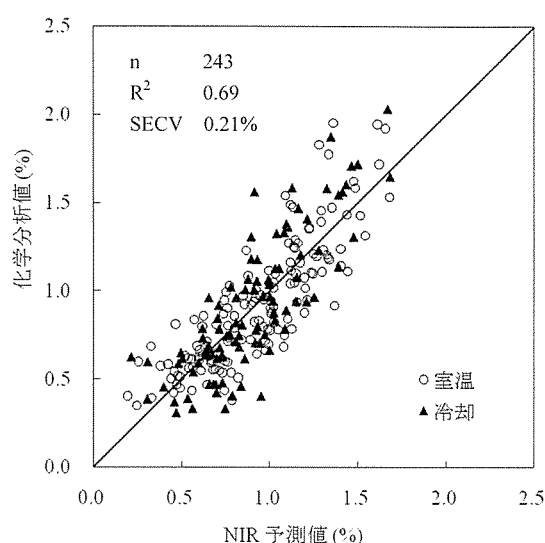


図5 2004～2006年すべての試料を用いた Full Cross-Validation の結果の散布図 (NRQ)

Fig. 5 Scatter plot for full cross-validation using 2004-2006 all samples (NRQ)

- 1) 常温と冷却試料を併せて作成したスクロース含量のキャリブレーションの精度は、測定のリピートなしで  $R^2=0.57$ ,  $SECV=0.49\%$ , 3回繰り返しの平均で  $R^2=0.60$ ,  $SECV=0.48\%$  であった。
- 2) 常温と冷却試料を併せて作成した NRQ のキャリブレーションの精度は、測定のリピートなしで  $R^2=0.69$ ,  $SECV=0.21\%$ , 3回繰り返し平均で  $R^2=0.72$ ,  $SECV=0.20\%$  であった。
- 3) スクロース含量, NRQ とも, 測定精度は剥きマメによるよりわずかに劣ったが, 莢付きのままの測定であることを考慮すればこの程度の精度の低下はやむを得ないと考えられる。
- 4) スクロース含量, NRQ とも, リピート測定による精度向上効果はわずかで, 測定は1回でいいと判断された。
- 5) 莢付きのまま1回測定する時間は約3分で, 剥きマメ測定に要する約15分の約1/5であり, より実用性の高い測定技術であると判断された。

### 謝 辞

普通ダイズ種子は農業生物資源 (NIAS) ジーンバンクから提供いただいた。静岡製機(株)には分析計 Infratec1241 を無償で貸与いただいた。また, 播種, 移植, 収穫, 測定, 化学分析, データのとりまとめなど, 本研究の多くを卒業生諸君に負っている。ここに記して謝意を表す。

### References

Akazawa, T., Takahashi, H., 2002. Varietal differences in concentrations of sugar and water-soluble nitrogen in

- vegetable-type and grain-type soybean cultivars (in Japanese), Bulletin of the Research Farm Faculty of Agriculture, Yamagata University, 14, 49-56.
- Arganosa, G.C., Darkentin, T., Racz, V.J., Blade, S., Phillips, C., Hsu, H., 2006. Prediction of crude protein content in field peas using near infrared reflectance, Canadian Journal of Plant Science, 86 (1), 157-159.
- Font, R., Del Rio-Celestino, M., De Haro-Bailon, A., 2006. The use of near-infrared spectroscopy (nirs) in the study of seed quality components in plant breeding programs, Industrial Crops and Products, 24 (3), 307-313.
- Golebiowski, T., 2004. Near infrared reflectance spectroscopy of oil in intact canola seed (*Brassica napus*, L.). I. Journal of Near Infrared Spectroscopy, 12 (5), 325-330.
- Golebiowski, T., Leong A.S. Panozzo, J.F., 2005. Near infrared reflectance spectroscopy of oil in intact canola seed (*Brassica Napus* L.). II. Journal of Near Infrared Spectroscopy, 13 (4), 255-264.
- Kawano, S. and Abe, H., 1995. Development of a calibration equation with temperature compensation for determining the Brix value in intact peaches. Journal of Near Infrared Spectroscopy, 3 (4), 211-218.
- Maeda, H., Ozaki, Y., Tanaka, M., Hayashi N., Kojima, T., 1995. Near infrared spectroscopy and chemometrics studies of temperature-dependent spectral variations of water: relationship between spectral changes and hydrogen bonds, Journal of Near Infrared Spectroscopy, 3 (4), 191-201.
- Natsuga, M., Sue Y., Ikeda T., Egashira H., Akazawa T., Ura N., 2007. Development and evaluation of dedicated bench-type near infrared spectrometers to estimate the flavour of green soybeans from single pod measurements. Journal of Near Infrared Spectroscopy, 15, 327-332.
- Nishizawa, T., Shishido, Y., 1998. Changes in sugar and starch concentrations of forced june-bearing strawberry plants as influenced by fruiting, Journal of American Society of Horticultural Science, 123, 52-55.
- Perez-Vich, B., Velasco, L., Fernandez-Martinez, JM., 1998. Determination of seed oil content and fatty acid composition in sunflower through the analysis of intact seeds, husked seeds, meal and oil by near-infrared reflectance spectroscopy, Journal of the American Oil Chemists Society, 75 (5), 547-555.
- Sato, T., Maw, A., Katsuta, M., 2003. NIR reflectance spectroscopic analysis of the fa composition in sesame (*sesamum indicum* L.) seeds. Journal of the American Oil Chemists Society, 80 (12), 1157-1161.
- Sue, Y., Natsuga, M., Egashira, H., Ikeda, T., Chida, T., Horinouchi, N., Akazawa, T., 2009. Determination of green soybean (edamame) quality using near-infrared spectroscopy (part 1), (in Japanese). Journal of JSAM, 71 (6), 98-105.
- Velasco, L., De Haro A., Fernandez-Martinez, J.M., 1997. Determination of the fatty acid composition of the oil in intact-seed mustard by near-infrared reflectance spectroscopy. Journal of the American Oil Chemists Society, 74 (12), 1595-1602.
- Yem, E.W., Cooking, E., 1955. The determination of amino acids with ninhydrine, Analyst, 80, 209-213.

(受付: 2010年1月22日・受理: 2010年6月15日・質問期限: 2011年3月31日)