

もち米の米菓加工適性に関する研究 (第3報)

—近赤外分光法による米菓比容積が異なるもち米の分類—

宮森清勝・若林素子

Studies on Processing Suitability for Making Rice Crackers (Part 3)
Classification of Glutinous Rice Having Different Specific Volume
by Near Infrared Spectroscopy

Kiyokatsu MIYAMORI and Motoko WAKABAYASHI

Using 16 kinds of glutinous rice which were different in production years, cultivated places, varieties and grades, physicochemical properties and near infrared reflectance spectra of them were measured to examine in relation with specific volume of rice crackers. From a result of simple regression analysis between specific volume and physicochemical properties, specific volume was related to carbohydrate content in addition to equilibrium moisture content of polished rice grain, protein content, combined lipid content and fat acidity that reported previously. In second derivative near infrared spectra, the $d^2 \log(1/R)$ value at 2114nm decreased along with the increment of carbohydrate content, and the $d^2 \log(1/R)$ values at 2060nm and 2170nm decreased along with the increment of protein content. From a result of principal component analysis based on multiplicative scatter corrected spectra from 2050nm to 2200nm, glutinous rice grains were classified according to size of specific volume on the plane with axes of the first and the third principal components. The first principal component score was related to water content and equilibrium moisture content, and the third principal component score was related to carbohydrate content. Higher eigenvectors of the first principal component were observed around absorption band assigned for water, and higher eigenvectors of the third principal component were observed around absorption bands assigned for starch and gelatinization. It suggested that the first principal component extracted the information about equilibrium moisture content, and also that the third principal component extracted the information based on carbohydrate content and structure. It was concluded that near infrared spectroscopy has possibility to classify glutinous rice grains in specific volume of rice crackers.

もち米菓（あられ、おかき）の食感は、製品の食味評価に大きく影響を及ぼすことから¹⁾、その膨化具合（比容積）が重要視されている。

著者らは、先の報告²⁾でもち米の理化学的特性と米菓比容積との関係を検討し、最高粘度、脂肪酸度および調湿白米水分を説明変数とする重回帰式から、比容積が予測できることを報告した。しかしながら、これらの測定値は求めるためにいくらかの時間を必要とし、比容積を迅速に予測するまでには至っていない。

一方、近赤外分光法は近年食品の分類などに活用され、用途特性の異なる小麦粉の分類³⁾や老化大豆子実の識別⁴⁾などが報告されている。この方法の特徴は、従来の化学分析と比べて試料調製が簡便で、結果が迅速に得られるところにある。

そこで本試験では、もち米の近赤外スペクトルから、もち米を比容積の大きさ別に分類することを試みた。

実験方法

1. 実験試料

実験に用いたもち米は表1に示したように、生産年度、産地、品種および等級が異なる16種類で、いずれも都内販売業者から玄米で購入し、試験直前まで5℃で貯蔵した。

玄米はニューワンパス精米機BS08A（佐竹製作所製）で精米したのち、全粒が50メッシュの篩を通過するまで超遠心粉碎機ZM1（Retsch社製）を用いて粉碎した。

2. スペクトルの測定

拡散反射スペクトル（400～2500nm、2nm間隔）は、もち白米粉を標準試料カップに充填してから近赤外分光装置NIRS6500（NIRSystems社製）を用いて、25℃室温下で測定した。

3. スペクトルデータの解析と統計処理

スペクトルデータの取得および2次微分処理にはNSAS ver.3.52（NIRSystems社製）、スペクトルデータの乗算的散乱補正（Multiplicative Scatter Correction, MSC）および主成分分析に

表1 実験試料

No.	生産年度	産地	品種	等級	精白度 (%)
1	1993	岩手	こがねもち	—	89.8
2	1993	茨城	ヒメノモチ	—	90.3
3	1994	北海道	はくちょうもち	2等	90.1
4	1994	岩手	ヒメノモチ	1等	90.0
5	1994	山形	ヒメノモチ	1等	88.0
6	1994	山形	ヒメノモチ	—	80.2
7	1994	新潟	こがねもち	1等	90.6
8	1994	長野	もちひかり	2等	89.6
9	1994	佐賀	ヒヨクモチ	1等	90.0
10	1994	佐賀	ヒヨクモチ	1等	90.0
11	1995	岩手	こがねもち	1等	90.2
12	1995	宮城	みやこがねもち	1等	89.8
13	1995	山形	ヒメノモチ	1等	90.2
14	1995	福島	こがねもち	1等	89.9
15	1995	福島	ヒメノモチ	1等	90.2
16	1995	佐賀	ヒヨクモチ	1等	90.4

はThe Unscrambler ver.6.11（CAMO社製）、単回帰分析にはHALWIN（現代数学社製）を使用した。

4. 理化学的特性および比容積の測定

灰分は、酢酸マグネシウム添加灰化法で行い⁵⁾、炭水化物は、水分、タンパク質、脂質および灰分の合計量を100%から差し引いて求めた。その他のもち米の理化学的特性⁶⁾および米菓の比容積²⁾は先の報告から引用した。

実験結果及び考察

1. もち米の近赤外スペクトル

可視光域では吸収バンドが特にみられなかったことから、もち白米粉の近赤外反射スペクトル16試料を重ねて図1に示した。近赤外光域では、994、1200、1464、1776、1936、2106および2322nmに吸収バンドがみられた。また、長波長側のスペクトルにはばらつきがあり、もち米の理化学的特性に関する情報のほかに、粉体試料の粒度や標準試料カップ中の充填密度など、物理的な影響がみられた。

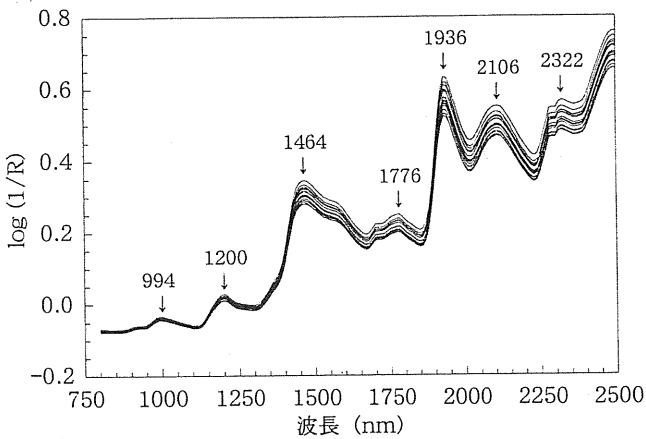


図1 もち白米粉の原スペクトル

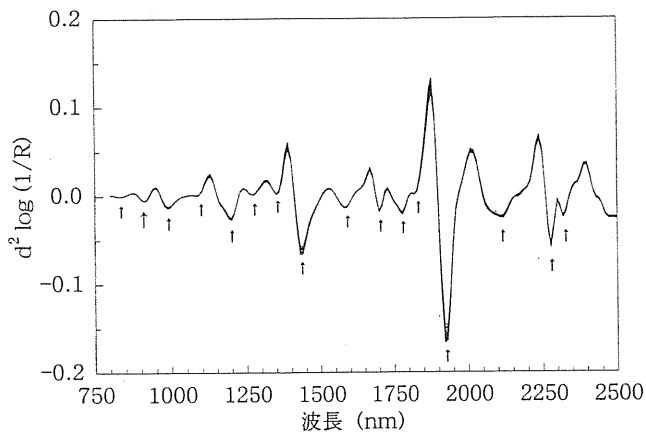


図2 もち白米粉の2次微分スペクトル

この物理的な影響を取り除くために、2次微分処理 (Segment size 20, Gap size 0) を行った。結果は図2に示したように2次微分スペクトルでは長波長側の散乱因子が補正され、スペクトルのばらつきが改善された。また、同時に重なり合っていた吸収バンドが明確になり、832, 912, 988, 1086, 1198, 1270, 1352, 1436, 1584, 1702, 1778, 1822, 1924, 2114, 2278および2322nmに吸収バンドがみられた。

2. 比容積が異なるもち米の比較

2次微分スペクトルの吸収バンド16個について分散共分散行列による主成分分析を行い、比容積の大きさ別にもち米を分類することを試みたが、得られた主成分得点の散布図からは、求める情報は集約されなかった。そこで、比容積に関する情報を持つ波長域を特定するために、もち米16種類

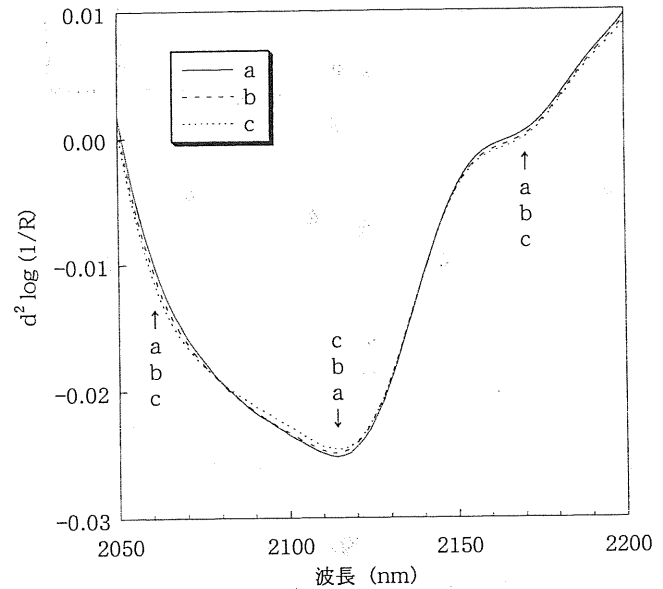


図3 比容積の大きさ別にみた2次微分スペクトル
 $a \geq 3.5 \text{ cm}^3/\text{g} > b \geq 3.0 \text{ cm}^3/\text{g} > c$

表2 比容積の大きさ別にみた理化学的特性

	水分 (%)	タンパク質 (%)	脂質 (%)	灰分 (%)	炭水化物 (%)
a	14.96	5.77	0.97	0.41	77.87
b	14.49	6.58	1.06	0.46	77.39
c	14.45	6.98	1.05	0.46	77.03

$a \geq 3.5 \text{ cm}^3/\text{g} > b \geq 3.0 \text{ cm}^3/\text{g} > c$

を比容積の大きさ別に3つに分類し ($a \geq 3.5 \text{ cm}^3/\text{g} > b \geq 3.0 \text{ cm}^3/\text{g} > c$), グループ毎に2次微分スペクトルの平均スペクトルを求めて比較した。結果はほとんどの吸収バンドで強度による傾向がみられなかった。しかし、図3に示したように、2114nmでは比容積が大きいものほど吸収強度が大きく、また、2060および2170nm付近では逆の傾向が認められた。

2050~2200nmの波長域には、澱粉の吸収バンドが2106nm、タンパク質の吸収バンドが2058と2174nm、脂質の吸収バンドが2146nmにあることが報告されている⁷⁾。また、比容積ともち米の理化学的特性との単回帰分析から、比容積は乾物換算したタンパク質と -0.503^* の相関²⁾、炭水化物と

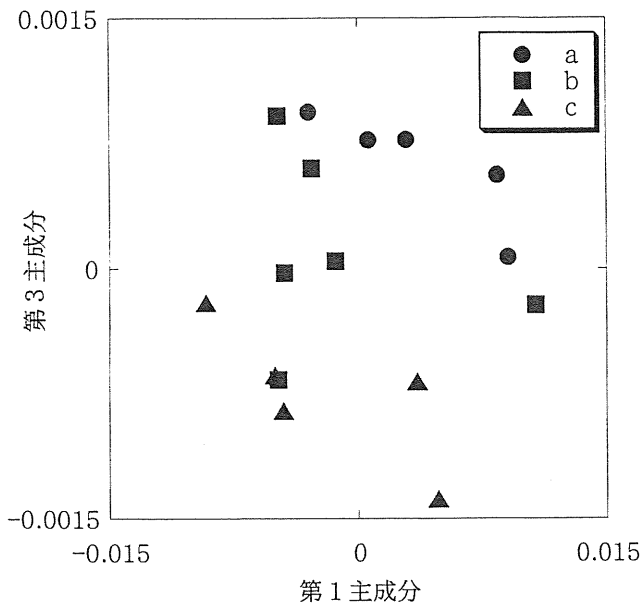


図4 第1および第3主成分得点の散布図

$$a \geq 3.5 \text{ cm}^3/\text{g} > b \geq 3.0 \text{ cm}^3/\text{g} > c$$

0.543*の相関が認められた (* : 危険率5%で有意)。そこで、もち米16種類の理化学的特性についても比容積の大きさ別に平均して比較した。結果は表2に示したように、炭水化物含量は2114nm、タンパク質含量は2060と2170nm付近において、成分含量と吸収強度の順序が一致した。一方、脂質含量では傾向がなかった。2146nm付近のスペクトルで差がみられなかった理由としては、このほかにこの波長における脂質の吸収が小さいことが考えられた。

3. 主成分分析によるもち米の分類

比容積に関する情報があると推察された波長域2050~2200nmの2次微分スペクトルについて、分散共分散行列による主成分分析を行ったが、特徴ある分類は得られなかった。2次微分処理は吸収バンドの分離や散乱因子の補正に効果がある一方で、必要な情報を弱めてしまう可能性がある⁸⁾。そこで、粒度などによる乗算的散乱因子の補正に有効なMSC処理⁸⁾を原スペクトルに施したのちに、分散共分散行列による主成分分析を行った。結果は図4に示したように、第1および第3主成分得点からなる散布図で、もち米が比容積の大きさ別に分類された。各主成分の寄与率は、第1主成分から93.3、4.9、1.5%であり、第3主成分ま

表3 主成分得点に対する理化学的特性の単相関係数

	主成分得点		
	第1	第2	第3
調湿白米水分	0.694**	0.472	0.298
水分	0.861**	0.459	-0.100
タンパク質	-0.026	-0.852**	-0.466
脂質	-0.372	-0.192	0.236
灰分	-0.284	-0.422	0.001
炭水化物	-0.492	0.606*	0.491
結合脂質	-0.201	-0.014	-0.247
脂肪酸度	-0.050	-0.050	-0.542*

* : 危険率5%で有意 ** : 危険率1%で有意

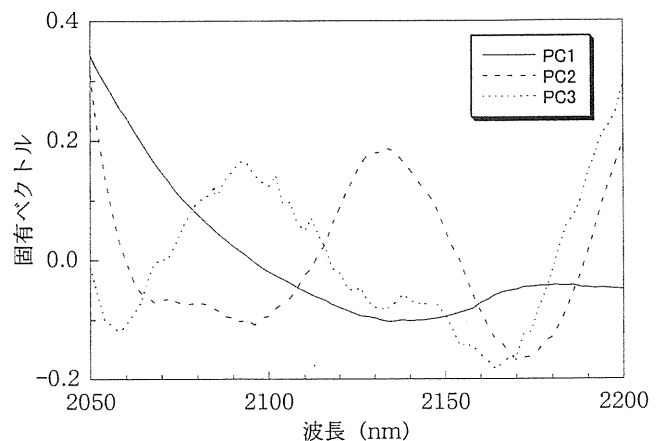


図5 第1から第3主成分の固有ベクトル

での累積寄与率は99.7%であった。

各主成分得点ともち米の理化学的特性との単回帰分析では、表3に示したように、第1主成分得点で、もち白米粉水分と相関が認められた。また、比容積と0.704**の相関²⁹⁾があった調湿白米水分が、もち白米粉水分との相関(0.792**)から、第1主成分との相関が認められた(** : 危険率1%で有意)。第2主成分得点ではタンパク質および炭水化物と相関が認められ、第3主成分得点ではタンパク質および炭水化物と関係がみられ、そのほかに脂肪酸度と相関が認められた。

図5に示した固有ベクトルでは、第1主成分の固有ベクトルが2050nmから次第に弱まって一定値をとった。1935nm付近には水による大きな吸収バ

ンドがあることと、第1主成分得点がもち白米粉水分や調湿白米粉水分と相関を示したことから、第1主成分には水分に関する情報が集約されたと考えた。一方、第2主成分では2130と2200nm、第3主成分では2090と2200nmにおいて固有ベクトルが大きかった。2106と2286nmには澱粉の吸収バンドがあり、また第2および第3主成分得点炭水化物と相関を示したことから、第2および第3主成分には澱粉に関する情報が多く集約されたと考えた。

恩田らは⁹⁾、近赤外分光法による澱粉糊化の解析において、2088および2280nm付近のスペクトルが糊化の程度によって複雑な変動を示し、特に2088nm付近における3つの吸収バンドの中で、2090nmの吸収バンドが糊化の進行とともに強まることを報告している。今回炭水化物との関係がみられた第2および第3主成分のうち、比容積の分類に関与した第3主成分は、2090nm付近の固有ベクトルが大きかった。このことから、第3主成分が澱粉構造に関する情報を捉えている可能性が高く、この情報が比容積の異なるもち米の分類に寄与したと推察された。

以上のことから、比容積が異なるもち米の分類に関する情報は、MSC処理したスペクトル2050～2200nmの主成分分析によって集約され、第1および第3主成分得点の散布図において、もち米が比容積の大きさ別に分類された。第1主成分には比容積との相関が認められた調湿白米粉水分の情報、第3主成分には比容積との相関が認められた炭水化物とその構造に関する情報が集約されたと考えた。そして、2114nm付近の吸収が大きいもち米から製造した米菓は、比容積が大きくなる傾向を示した。

要 約

生産年度、産地、品種および等級が異なる16種類のもち白米粉の近赤外反射スペクトルから、も

ち米を米菓比容積の大きさ別に分類することを検討した。

(1) もち米の理化学的特性と米菓比容積の関係で、先に報告した調湿白米粉水分、タンパク質、結合脂質および脂肪酸度のほかに、炭水化物と比容積との間に相関が認められた。

(2) 理化学的特性および2次微分スペクトルを比容積の大きさ別に平均して比較した結果、炭水化物含量と2114nmの $d^2 \log(1/R)$ 値、タンパク質含量と2060および2170nmの $d^2 \log(1/R)$ 値において、成分含量と吸収強度の順序が一致した。

(3) MSC処理したスペクトル2050～2200nmを用いた主成分分析によって、もち米は米菓比容積の大きさ別に分類された。分類に用いられた第1主成分には調湿白米粉水分の情報、第3主成分には炭水化物とその構造に関する情報が集約された。

文 献

- 1) 柳瀬 肇・遠藤 勲・竹生新治郎：食総研報 No.40, 8 (1982).
- 2) 宮森清勝・若林素子：東京都立食品技術センター研究報告第8号, 9 (1999).
- 3) 千葉 実・南澤正敏・河野澄夫・岩元睦夫：食科工, 42, 796 (1995).
- 4) 草間豊子・阿部英幸・河野澄夫・岩元睦夫：食科工, 44, 569 (1997).
- 5) 食品分析法, 日本食品工業学会食品分析法編集委員会編 (光琳, 東京), p. 251 (1982).
- 6) 宮森清勝・若林素子：東京都立食品技術センター研究報告第8号, 1 (1999).
- 7) 夏賀元康：北海道大学農学部邦文紀要第19巻第2号, 257 (1994).
- 8) 岩元睦夫・河野澄夫・魚住 純：近赤外分光法入門 (幸書房, 東京), p. 67 (1994).
- 9) 恩田 匠・阿部英幸・松永暁子・小宮山美弘・河野澄夫：日食工誌, 41, 886 (1994).