

近赤外分光法を用いたウンシュウミカンの浮き皮果判別[†]

中 嶋 輝 子 ¹⁾・吉 川 公 規 ^{2a)}

¹⁾農林技術研究所果樹研究センター, ²⁾静岡県経済農業協同組合連合会

Classification of Rind Puffing on Satsuma Mandarin using Near-infrared Spectroscopy

Teruko Nakajima¹⁾, Kiminori Yoshikawa^{2a)}

¹⁾Fruit Tree Research Center, Shizuoka Res. Inst. of Agric. and Forest, ^{2a)}JA Shizuoka Keizairen Co., Ltd

Abstract

Using an optical sensor fruit sorter installed in many mandarin fruits production areas, the rind puffing was classified, which is difficult with methods such as image judgment. Using near-infrared spectroscopy, Partial Least Squares (PLS) regression analysis was conducted to create a calibration curve that estimated the specific gravity of the fruit, and discriminant analysis was performed based on this estimated value and the degree of rind puffing. Here, classification was shown to be done with an optical sensor fruit sorter.

キーワード：浮き皮, ウンシュウミカン, 果実比重, 近赤外分光分析法, PLS 回帰分析

I 緒 言

近赤外分光法を用いて果実の内部品質を非破壊で測定する研究³⁾により, この原理を実用化した光センサー選果機が多くの柑橘産地に導入され^{13,15)}, 糖や酸の内容別選果に加え果実の形状や外観も画像判定による自動選果が可能となり, 生産者の家庭選果の労力は大幅に軽減された。また, 劣化果実として除去しなければならない腐敗果や病害虫の被害果等も, 多くが画像判別等の技術を使って判別出来るようになり選果システムとして市販化され⁹⁾, これらの導入により選果場における省力化はさらに進んだ。さらに近年では蔦ら¹⁷⁾の報告より, 光センサー選果機の透過スペクトルを用いたリンゴ‘ふじ’における内部褐変の発生予測モデルが示される等, 選果場における劣化果実の除去は柑橘類に限らず, 先進的な技術開発が進められている。

しかしながら, 現在においても劣化果実として除去しなければならない浮き皮果の選果は, 数値化や画像判定

が難しいため選果ラインに浮き皮果判別のシステムを導入している産地は少ない。選別者の経験により手触り等の達観で判断されるため, 依然として家庭選果や選果場内の人力選果に寄るところが大きい。

浮き皮とは, 主にウンシュウミカン等の寛皮性の柑橘類において, 成熟に伴い果皮がふやけて浮き上がった様になって果肉から分離してしまう症状^{7,9)}である。果皮が果肉の水分を吸収し食味を落とすだけでなく, 果皮と果肉の間に隙間が生じることで, 選果, 箱詰め, 輸送中に圧迫されて果実が変形したり, 内傷を起こして腐敗するため¹⁰⁾, 出荷前に除去する必要がある。

近年, 地球温暖化等気候変動に起因した浮き皮果の発生が多くなり²⁾, 出荷物への混入による腐敗や劣化果実の増加が問題となっている。そこで, 筆者らは多くのウンシュウミカンの産地で導入されている近赤外分光法を用いた光センサー選果機で得られるスペクトルデータを使用し, ウンシュウミカンの浮き皮の判別を試み, 光センサー選別の可能性について検討した。

[†] 本研究の一部は, 園芸学会平成 15 年度秋季大会 (2003 年 8 月, 山口大学) において発表した。

^a 研究実施時: 農林技術研究所果樹研究センター

II 材料及び方法

1 供試果実

測定には、静岡柑橘試(現果樹研究センター)西遠分場(浜松市北区三ヶ日町2007年組織統合により廃止)で栽培し、12月上旬に収穫し、常温にて約50日間貯蔵したウンシュウミカン‘青島温州’の果実を供試した。測定は2003年1月22日と2004年1月22日に実施し、1年目に果実300個、2年目に同じく300個の合計600個を分析に供した。

2 光センサー選果機での近赤外スペクトルの測定

JAみっかび(静岡県浜松市北区三ヶ日町)の光センサー選果機(FRUIT5, FANTEC社製 現シブヤ精機㈱)を用い、通常の選果と同じ測定条件下で1果実ずつ選果ラインに乗せ、果実赤道部の近赤外透過スペクトル(測定波長範囲675nm~910nm, 測定間隔5nm)を測定した。用いた選果機FRUIT5は、横横型と称される、測定果実を挟んで対向して2灯の照明ランプと受光部が設置されており、果実赤道部横から入光し対極で受光する測定装置で、通常の選果では搬送速度9~45m/分、処理能力は1~5個/秒である⁹⁾。

3 近赤外スペクトルデータの前処理と解析方法

光センサー選果機よりCSV(Comma Separated Values)形式で取得したスペクトルデータの透過率 t から吸光度 $\log(1/t)$ を求めた。吸光スペクトルの前処理としてMultiplicative Scatter Correction(以下MSC)と2次微分(Segment 30nm, Gap0nm)¹⁰⁾の両方を行った場合の精度が最も高いことが明らかとなっていたので¹²⁾、調査した全ての果実のスペクトルデータにMSC処理と2次微分処理を行った。解析方法として、クラス分類法のSoft Independent Modelling of Class Analogy(以下SIMCA)¹¹⁾と定量法のPartial Least Squares(以下PLS)回帰分析¹³⁾の2手法を検討した。

スペクトルの前処理と検量線の作成ソフトはThe Unscrambler Ver8.0(CAMO社)を用いた。

4 実測値としての浮き皮度と果実比重の測定

浮き皮果の判別式を作成するにあたり、実測値として用いる果実の浮き皮度は、農林水産省果樹試験場興津支場編「カンキツの調査方法」⁹⁾より、1果実毎に手触りで果実の浮き皮部分を確認後、その部位を果実中央から縦方向に切断し(写真1)、果皮と果肉の乖離状態を確認し、無(0)、軽(1)、中(2)、甚(3)の4段階(図1)に分

類した。果実比重は同じく「カンキツの調査方法」⁹⁾より、浮き皮度の調査で果実を切断する前に、1果実毎に果実重と果実の水中重を測定し算出した。

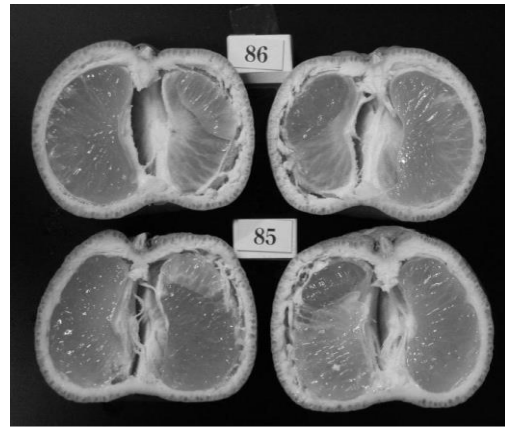


写真1 浮き皮部位を果実中心から縦方向に切断した断面

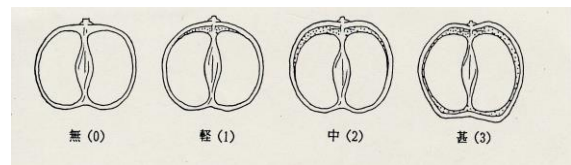


図1 カンキツの浮き皮の程度

「カンキツの調査方法-1987-農林水産省果樹試験場興津支場編」より

5 検量線の作成と浮き皮果の判別方法の検討

SIMCAによるクラス分類法¹¹⁾においては、まず、浮き皮度毎に8割のサンプルを主成分モデル作成用に、残りの2割がSIMCA分類評価用になるよう、ランダムに並べたサンプルを等間隔の抜き取りにより選別し、果実のスペクトルデータを使い、浮き皮度別にクラス0からクラス3の4つの主成分モデルを作成した。この時、明らかな外れ値を示したサンプルについては、モデル作成から除外した。次に、各々の主成分モデルの組合せにおける、各サンプルからモデルまでの距離(x変量の残差分散の平方根(S_i))を求め、これをグラフ上に示したCoomansプロットを用いて主成分モデルの分類精度を確認した。主成分モデルは、用いたソフトの手順に従い、explained variance(全分散の割合)が最も高い時点での主成分で作成したものをモデルとして用いた。この時の、主成分分析におけるバリデーションはフルクロスバリデーションとした。SIMCAの分類は各モデルの残差標準偏差(S_0)を算出し、分散の比はF分布に従うことから、 $F_i = S_i/S_0$ の値に基づきサンプル i の帰属を決定した¹⁾。分類されるパターンは、①AまたはBのどちらか1つの

クラスのみに属する, ②両方のクラスに属する, ③どちらにも属さない, の3種類4パターンに分類される。

PLS 回帰分析による分類¹⁰⁾においては, 果実比重を推定する検量線を作成し, 得られた推定値から各々浮き皮程度を判別した。まず, 全てのサンプルを果実比重の実測値でソートし, 等間隔での抜き取りにより評価用試料を149個選び, 残りの443個を検量線作成用試料とした。検量線は果実比重を目的変数に, 果実のスペクトルデータを説明変数とし, 潜在変数を順次増やしながら作成した。この時, 明らかな外れ値を示したサンプルについては, 検量線作成から除外した。検量線の精度評価は, 検量線評価用サンプルの標準誤差 SEP が, 検量線の標準誤差 SEC を上回らないことを確認した上で, 最も精度の高い検量線を決定した。

III 結 果

1 浮き皮度別にみた近赤外スペクトルの比較

浮き皮度の実測値がそれぞれ無, 軽, 中, 甚であった果実各1果の透過率のスペクトルデータを図2に示した。果実は浮き皮度毎に全てのスペクトルデータを確認し, 透過率が集中しているところから代表的なものを選んだ。また, 透過率 t から吸光度 $\log(1/t)$ を求め, 前処理として MSC 処理後に2次微分した浮き皮度別のスペクトルデータを図3に示した。図2より, 浮き皮の生じている果実では, 浮き皮の生じていない果実と比較し透過率が低くなる傾向が見られたが, 浮き皮度による違いは明らかでなかった。また, 図3より, 2次微分スペクトルでは735nmと845nm付近の負方向のピーク波長帯で吸光度の2次微分値に違いが見られた。

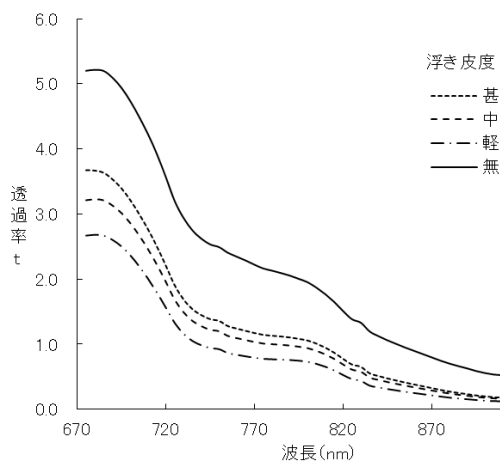


図2 浮き皮度別にみた近赤外透過スペクトル

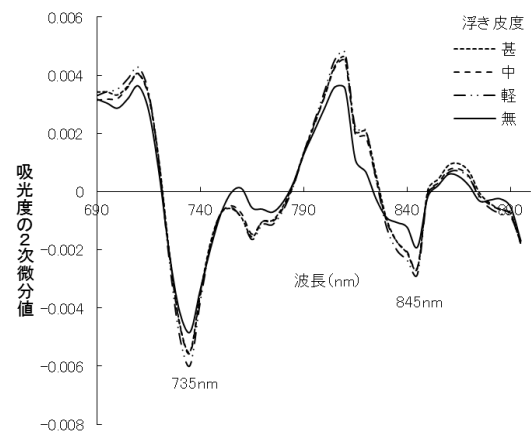


図3 浮き皮度別にみた近赤外2次微分スペクトル (MSC処理+2次微分)

2 果実の浮き皮度と果実比重の関係

本試験に用いた果実の浮き皮度の実測値は無155個, 軽175個, 中199個, 甚64個で, 浮き皮度甚の果実がやや少なかった。なお, しなびが強い7個は分析から除外した。これらの果実比重は浮き皮度が高い果実ほど低くなり, 果実比重と浮き皮度には高い相関が見られた(図4)。また, 図4より, 果実比重0.85に境界線を引くと, 浮き皮度軽と中の果実の仕分けが可能ではないかと思われたため, 果実比重の境界値を0.84~0.86の間で設定し, 境界値以下を品質劣化している果実(浮き皮度中と甚), 境界値より上を品質上問題ない果実(浮き皮度軽と無)として仕分けた場合の誤判別数について検証した。その結果, 浮き皮度が無または軽の果実を品質劣化している果実, 中または甚の果実を品質上問題ない果実と誤判別した割合は, 境界値0.84が全体の20%と多く, 0.85が14%と少なかった(表1)。

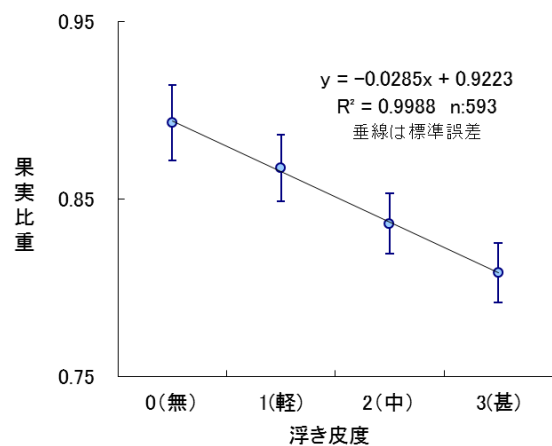


図4 果実比重と浮き皮度との関係

表1 果実比重の境界値別にみた浮き皮果の誤判別数¹⁾

境界値 ²⁾	品質上問題ない		品質劣化している		計
	無 ³⁾	軽	中	甚	
0.84	0(0%)	18(10%)	101(51%)	1(2%)	120(20%)
0.85	3(2%)	45(26%)	33(17%)	0(0%)	81(14%)
0.86	13(8%)	73(42%)	8(4%)	0(0%)	94(16%)
総数	155	175	199	64	593

1) 各境界値以下を品質劣化している(浮き皮度中と甚)、境界値より上を品質上問題ない(浮き皮度軽と無)として仕分けた場合に、誤判別された個数(割合%)

2) 果実比重の設定値

3) 浮き皮度

3 SIMCAによる浮き皮度別の分類

SIMCAによる浮き皮度別の分類において、目的変数である浮き皮度は、値が大きくなるにつれ深刻度が増す順序尺度であり、尺度をまたぐようなクラス0とクラス3を判別することは対等ではないため、クラス0とクラス1、クラス1とクラス2、クラス2とクラス3の3つの組合せで解析した。用いた各モデルの主成分数は、クラ

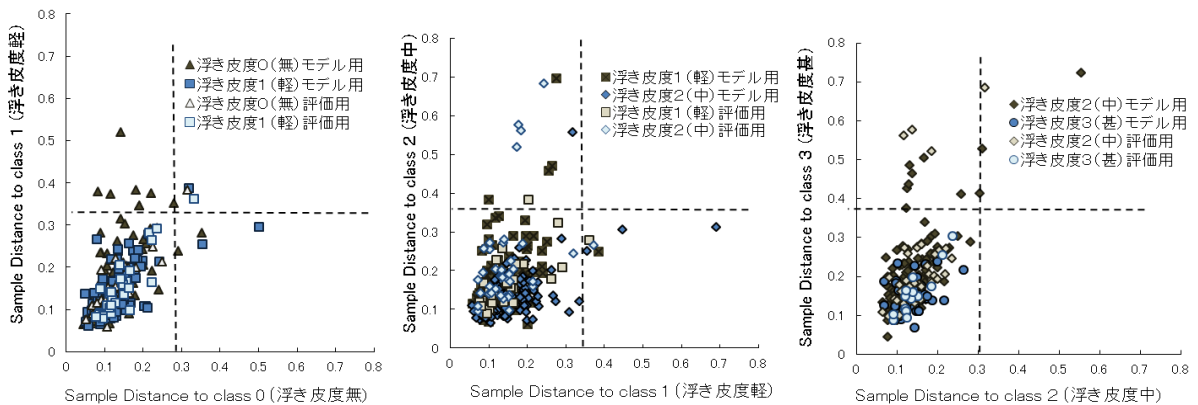
ス0が5、クラス1が6、クラス2が7、クラス3が6であり、この時の explained variance (全分散の割合)は、いずれの主成分モデルも97%~98%であった。また、測定した全ての波長範囲675nm~910nmを用いて作成したSIMCAの分類結果を表2、Coomansプロットを図5に示す。いずれの組合せも、両方に属すると分類された数が最も多かった。主成分モデル組合せ別においては、クラス1とクラス0では、8個の浮き皮度0のモデル用試料がクラス0に属すると分類されたが、評価用試料は0個だった(図5左)。クラス2とクラス1の組み合わせでも8個の浮き皮度1のモデル用試料がクラス1に属すると分類されたが(表2)、評価用試料においてクラス1に分類された5個の内4個が浮き皮度2のサンプルで誤判別であった(図5中央)。クラス2とクラス3の組み合わせにおいては、浮き皮度2のモデル用試料9個と評価用試料3個がクラス2に属すると分類され、誤判別はなかった(図5右)。

表2 SIMCAによる浮き皮度別分類結果数(割合%)

主成分モデルA/B	クラス1 ¹⁾ (軽)/0(無)		クラス2(中)/1(軽)		クラス3(甚)/2(中)	
	モデル用 ²⁾	評価用	モデル用	評価用	モデル用	評価用
①Aに属する	3(1%)	1(2%)	5(2%)	3(4%)	0(0%)	0(0%)
①Bに属する	8(3%)	0(0%)	8(3%)	5(7%)	9(4%)	3(6%)
②両方属する	255(95%)	58(97%)	290(95%)	60(88%)	199(95%)	48(92%)
③どちらにも属さない	3(1%)	1(2%)	1(0%)	0(0%)	1(0%)	1(2%)
合計	269(100%)	60(100%)	304(100%)	68(100%)	209(100%)	52(100%)

1) クラス0(浮き皮度無) モデル用n:125, 評価用n:30, クラス1(軽) モデル用n:144, 評価用n:30, クラス2(中) モデル用n:160, 評価用n:38, クラス3(甚) モデル用n:49, 評価用n:14

2) 主成分モデル作成用及び評価用サンプル数



図中の垂線はRSD(残差標準偏差(有意差5%))

図5 SIMCAにおける浮き皮度別主成分モデルの組合せによるCoomansプロット

4 PLS 回帰分析による浮き皮度の判別

定量法の PLS 回帰分析による浮き皮度の判別には、浮き皮果との相関が高い果実比重を目的変数に、測定した全ての波長範囲 675nm~910nm のスペクトルデータを説明変数として、果実比重を推定する検量線を作成した。この検量線を、浮き皮度無と軽の群 (図 6 左) と中と甚の群 (図 6 右) に分けて図示した。この検量線の精度は、重相関係数 $r=0.82$ 、標準誤差 $SEC=0.0193$ 、PLS 回帰における潜在変数 (主成分数) は 15 であった。この検量線を評価した時の精度は重相関係数 $r=0.83$ 、標準誤差 $SEP=0.0187$ であった。表 1 より、果実比重の実測値におい

て 0.85 を境界値とした場合の浮き皮度の誤判別数が最も少なかったことから、推定値と実測値の境界値を 0.85 に設定し (図 6 に境界線を示す)、品質上問題ないとした浮き皮度無と軽の果実と、品質劣化した果実とした浮き皮度中と甚の果実の浮き皮度別の誤判別数を表 3 に示した。分類は、果実比重の NIR 推定値と実測値のどちらも正しい領域にあるものを正しい判別、それ以外を誤判別とした。これより、浮き皮度別に誤判別した割合は無が 4%、軽が 43%、中が 24%、甚が 0%となり、軽の誤判別が最も多く、全体の誤判別の割合は 22%であった。

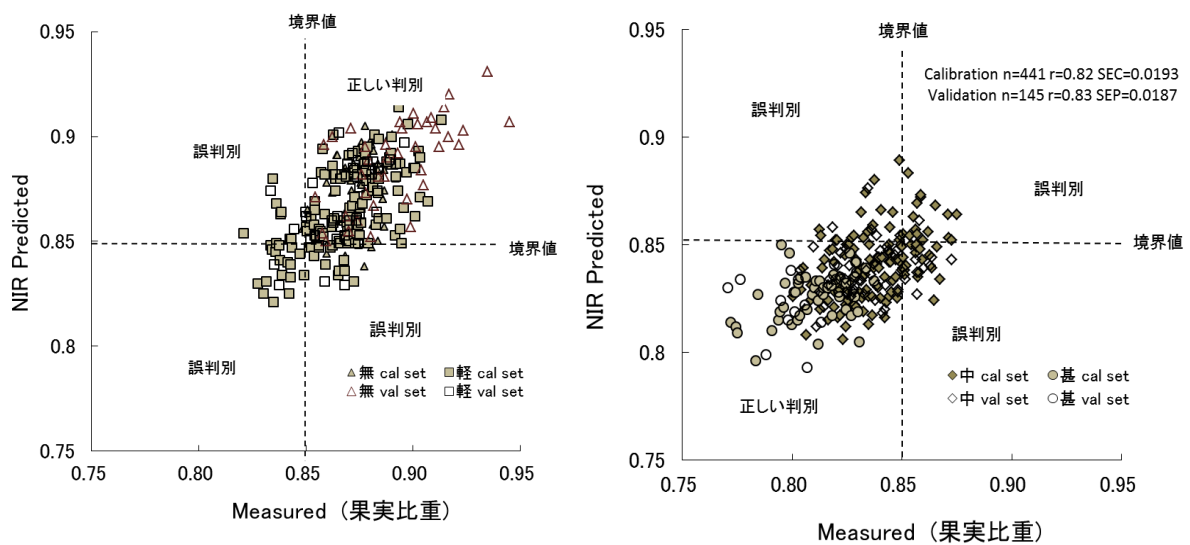


図 6 浮き皮度別にみた PLS 回帰分析による果実比重の光センサー推定値と実測値の関係 (果実比重の実測値と推定値 0.85 を境界値として図示)

表 3 果実比重の実測値と NIR 推定値において境界値を設定した場合の浮き皮果の誤判別数¹⁾ (割合%)

境界値 ³⁾	品質上問題ない				品質劣化している				合計
	浮き皮度 (無)		浮き皮度 (軽)		浮き皮度 (中)		浮き皮度 (甚)		
	Cal set ²⁾	Val set 計 (割合)	Cal set	Val set 計 (割合)	Cal set	Val set 計 (割合)	Cal set	Val set 計 (割合)	
正しい分類 ⁴⁾	107	39 (96%)	76	23 (57%)	109	40 (76%)	48	16 (100%)	458 (78%)
誤判別	5	1 (4%)	59	15 (43%)	37	11 (24%)	0	0 (0%)	128 (22%)
合計	152 (100%)		173 (100%)		197 (100%)		64 (100%)		586 (100%)

1) 境界値以下を品質劣化している果実 (浮き皮度中と甚)、境界値より上を品質上問題ない果実 (浮き皮度軽と無) として仕分けた場合に、果実比重の NIR 推定値と実測値のどちらも正しい境界域にあるものを正しい分類、それ以外の誤判別された個数。

2) Cal set 検量線作成用試料 Val set 検量線評価用試料

3) 果実比重の実測値から設定した基準 0.85 を NIR 推定値の境界値とした

4) 果実比重の NIR 推定値と実測値のどちらも正しい境界域にあるものを正しい分類、それ以外を誤判別とした。

IV 考 察

ウンシュウミカンの浮き皮度を既存の光センサー選果機のスペクトルデータを使って分類を試みるに当たり、まず、得られた近赤外透過スペクトルに浮き皮度による違いがあるのかについて確認し、浮き皮無しの果実と浮き皮有りの果実には透過率に違いがあることがわかり、また、2次微分スペクトルでは735nmと845nmに違いが見られた(図3)。このことについて、河野はウンシュウミカンの透過スペクトルにおいて844nmは果実の直径と相関の高い波長で、水の吸収バンドであるとしている³⁾。また、橘田らは830nm前後の広い範囲は物質による化学的吸光が他の波長域よりも少なく、光の散乱に影響する要因との関係性が見られることが多い⁹⁾と述べている。これらのことから、浮き皮程度による果皮水分の違いや、空洞による光の散乱などにより、吸光スペクトルに違いが生じるのではないかと推察された。

現在、浮き皮果を判別する指標は、図1に示す果皮の果肉からの分離程度を無～甚までの4段階で分類する方法が広く用いられている。これらの指標値は浮き皮の程度を段階別に示すものであり手触りなどの達観により4段階のいずれかに分類されるため、クラス分類法などサンプルを定性的に分類する手法が適している。一方、回帰分析などに代表される定量法は、目的変数の予測モデルを得るための手法であり、多次元のスペクトルデータを化学物質などに置き換える検量が主目的であるため、浮き皮度のような定性的な段階別の分類を目的とする場合には、境界値などを設定し仕分けるか、関連性の高い定量的な変数に置き換えて分類する方法が考えられる。

そこで、本試験ではまずクラス分類法であるSIMCAによる分類を試みたが、いずれの主成分モデルの組合せにおいてもほとんどのサンプルが「どちらにも属する」との結果となり、SIMCAによるクラス分類法での選果は難しいと判断した。一方、定量法であるPLS回帰分析においては、定性的な指標である浮き皮度を直接定量的に推定することは難しいので、浮き皮度と相関が高い果実比重を用いることで、定量的に仕分けることを試みた。果実比重は、これまでの調査からも浮き皮度との相関が高く、ウンシュウミカンの浮き皮度を示す指標として適しているとされており¹⁶⁾、浮き皮果に関する報告⁴⁾¹⁰⁾の中でも、浮き皮傾向を示す指標として果実比重を用いている。本試験においても浮き皮度と果実比重には高い相関関係があり、果実中央部に出来る空間で浮き皮とは異なる内部空隙の存在(写真1)などを考慮しても、果実比重は浮き皮を判別する際の信頼できる実測値であるため、本試

験では、果実比重の実測値から浮き皮を仕分ける基準を設定し、この境界値を使いNIR推定値での実用精度を検証した。本試験で作成したPLS回帰分析における検量線の果実比重の推定精度は $r=0.82$ 、 $SEP=0.0187$ であり、概ね実用出来る精度が得られた。

本試験において、果実比重の推定値を使って選果上問題となる浮き皮果を判別する方法として、浮き皮度無と軽を品質上問題ない果実、中と甚を品質劣化した果実として、それらを区分する境界値を設定し、浮き皮果の判別を試みた。現状、出荷物の品質劣化が流通・消費段階において問題となるのは浮き皮度甚と中の果実であり、軽については品質上問題のない果実として扱われているため、このような仕分けは、現実的な手法として有効と考えられる。これにより、図6と表3で示したように、設定した境界値で浮き皮果を分類した場合の誤判別の割合は、浮き皮度軽で多くなったものの、無と甚ではほとんど誤判別なく、全体でも2割程度であった。このことから、果実比重を近赤外スペクトルで推定し、実測値で設定した境界値をもって仕分けることで、浮き皮度無と甚については概ね100%の仕分けが出来、全体でも8割程度の果実の浮き皮度を分類することが可能と考えられた。一方、誤判別の多くは軽と中の果実であり、本試験の結果からは、境界値以下の品質劣化した果実における誤判別の割合が全体の8%、品質上問題のない果実における誤判別が13%あり、劣化果実として除去すべき果実の内8%が出荷物に混入してしまうことが推定された。しかし、これらはすべて浮き皮度中の果実であったため、劣化果実の中では比較的障害の程度は軽く、流通・消費の段階で腐敗や食味の低下によって問題となる果実は少ないのではないかと考えられる。

本研究は光センサー選果機が本県柑橘産地に導入された当初に、実際に稼働している選果機から取得したスペクトルデータを解析したものである。このため用いたデータは2003年～2004年のものであるが、現在も柑橘産地では同じ測定方法で光センサー選果機が稼働している所が多く、検量線等を追加することで、既存の装置を用いた実用化も望むことが出来ると考えられる。

本研究の成果が温暖化により選果の重要性が増している柑橘産地への浮き皮果対策の一助となれば幸いである。

V 摘 要

多くの温州ミカンの産地で導入されている光センサー選果機を用い、画像判定など自動選果が難しい浮き皮果

の判別法について検討した。近赤外分光法を用い、SIMCA によるクラス分類法と PLS 回帰分析による解析を試みた結果、SIMCA では浮き皮度別の分類が難しく、選果場において浮き皮果の分類に使うことは難しいと思われた。一方、PLS 回帰分析では、浮き皮度と関連の高い果実比重を目的変数に、近赤外の 2 次微分スペクトルを説明変数として検量線を作成し、比較的精度良く果実比重を推定することが出来た。これにより、実測値で基準を設定した果実比重の境界値を用いることで、浮き皮度無と甚についてはほぼ 100%の仕分けが出来、軽と中を含めた全体では概ね 8 割程度の浮き皮果を分類することが可能と考えられ、ウンシュウミカンの浮き皮果の選果が光センサー選果機で出来ることが示された。

引用文献

- 1) 相島鐵郎 (1992) : ケモメトリックス. 丸善, 東京, 98~101.
 - 2) 生駒吉識 (2008) : 果実生産の気候温暖化対策 キンキツ類での影響と対応技術. 農耕と園芸 (7), 121~124
 - 3) 河野澄夫 (2003) : 近赤外分光法による農産物等の非破壊品質評価. 農業機械学会誌 75, 67~73.
 - 4) 河瀬憲次・平井康市・禿泰雄・間苧谷徹 (1985) : ウンシュウミカンに対するエチクロゼートの浮き皮軽減効果. 園学雑. 54, Vol.2, 171~177.
 - 5) 河瀬憲次 (1987) : キンキツの調査方法 (1987). キンキツの調査方法編集委員会, 農林水産省果樹試験場興津支場, 静岡, 11~12.
 - 6) 橋田浩二, 谷本秀夫, 執行正義, 山内直樹, 板村裕之 (2017) : 可視・近赤外分光法による水ナス果実の空洞化判別技術, 日本食品保蔵科学会誌 43,77-82
 - 7) 倉岡唯行 (1962) : 温州みかん果実の発育に関する組織学的研究. 愛媛大学紀要第 6 部 8, Vol.1, 106~154.
 - 8) 前田弘 (2003) : 食品の非破壊計測ハンドブック. サイエンスフォーラム, 東京, 208~215
 - 9) 松本和夫 (1973) : 柑橘園芸新書, 養賢堂, 東京, 285~291
 - 10) 間苧谷徹・河瀬憲次・禿泰雄・平井康市 (1983) : ウンシュウミカンの浮き皮に及ぼすエチレンの影響. 園学雑 52, Vol.3, 238~242.
 - 11) 宮下芳勝・佐々木慎 (1995) : ケモメトリックスー化学パターン認識と多変量解析一, 初版, 共立出版, 東京, pp.10~15, 48~58, 80~85.
 - 12) 中嶋輝子・吉川公規 (2003) : 近赤外分光法を用いたウンシュウミカンの浮き皮果の判別. 山口, 園芸学会雑誌, 72 別 2, 518
 - 13) 中嶋輝子 (2004) : 近赤外分光法を用いた温州ミカンの果実劣化判定. 食品と技術 10, 11~13
 - 14) 尾崎幸洋・宇田明史・赤井俊雄 (2002) : 化学者のための多変量解析, 初版, 講談社, 東京, 86~91
 - 15) 静岡県経済産業部農業局農芸振興課 (2020) : 静岡県果樹園芸の生産と流通, 36.
 - 16) 鳥潟博高 (1968) : 果樹の生理障害と対策. 誠文堂新光社, 東京,66~72.
 - 17) 蔦瑞樹・吉村正俊・葛西智・松原和也・池羽田昌文 (2019) : 選果機を用いた可視-近赤外スペクトルによるリンゴ‘ふじ’の内部褐変発生予測. 日本食品工学会誌 20, Vol1, 7~14.
- f) 株式会社ニレコ 外部品質センサ AP8770 シリーズカタログ

