

可視・近赤外分光法によるセイヨウナシ ‘ル・レクチュ’ の渋味果評価の可能性

滝沢憲一¹・中野和弘^{1*}・大橋慎太郎¹・知野秀次¹・松本辰也²・山澤康秀^{3a}・児島清秀¹

(平成24年1月31日受付)

要 約

可視・近赤外スペクトルの測定により、ゼラチン法による渋味判定法で取得される濁度について、非破壊的に推定する方法を検討した。供試果実には、新潟県内5か所の産地から生産者3戸ずつ計15戸の生産者から集めた290果を用いた。670と730 nmの吸光度二次微分値を説明変数とした検量線を用いて、等分散性を考慮したデータセット（以下、試験1）、ランダムに選抜した5組のデータセット（以下、試験2）の濁度推定を実施した。試験1でSEPは0.235、試験2ではSEPは0.215～0.244であった。また試験2における濁度の実測値と推定値の単相関係数は0.44～0.52であった。

新大農研報, 64(2):179-186, 2012

キーワード：吸光度二次微分値、検量線、濁度、非破壊

セイヨウナシ ‘ル・レクチュ’ は、果実の外観や内部品質が優れ、高値で取引されている。しかし、渋味が非常に強い食感の果実（以下、渋味果）が存在する。この渋味果は、流通や販売時のクレームとなっている。このためセイヨウナシ ‘ル・レクチュ’ の渋味果を市場に出荷する前に除去したいという要望が非常に多い。

‘ル・レクチュ’ 果実の渋味にはポリフェノールが関与しており、その含有量が多い果実ほど渋い傾向がある。果実内のポリフェノール量の増加には樹勢（新潟県, 2006）、および台木（歌代と山田, 1996）が影響することが報告されている。新潟県では、渋味果の発生軽減対策として、優良台木の利用や梅雨以降の適宜かん水が推奨されている（松本, 2008；新潟県, 2006）。

渋味の判定には、従来、官能試験が行われてきた。しかし、強く渋味を感じた場合、判定者の味覚の回復に時間を要することから、継続判定が困難となり、正確性を欠くことが指摘されてきた。その対策として、新潟県農業総合研究所園芸研究センターでは、果汁とゼラチン混合液中のポリフェノール成分のゼラチンに対する凝集作用に起因した混合溶液の濁り程度を利用したゼラチン法による渋味判定法（大竹, 1991）を開発した。

しかしながら、官能評価法、ゼラチン法は、いずれも破壊試験であるため、生産現場における全量検査としては使用できない。また、渋味果は外観から判断することができないため、有効な検査方法がなく、品質保証も難しい。品質保証を考慮した場合、渋味果の検査方法は非破壊法であるべきである。

非破壊法による農産物の内部品質評価に関する研究は、糖度予測に関する報告が非常に多い（Nicolai *et al.*, 2007）。最近では、ナツメ（Wang *et al.*, 2011）、マンダリン（Liu *et al.*, 2010）、リンゴ（Fan *et al.*, 2009）の報告がある。そのほか、硬度推定に関する報告も多く、キウイフルーツ（McGlone and Kawano, 1998）、トマト（Dijk *et al.*, 2006）のほかに、セイヨウナシ（知野ら, 2009；Murayama *et al.*, 2006；Taniwaki

et al., 2009；Terasaki *et al.*, 2006）の報告もある。

さらに、渋味評価では、アズキ全粒の近赤外拡散反射スペクトルの測定によるポリフェノール含量の推定（加藤と相馬, 2005）や、近赤外透過スペクトルおよび拡散反射スペクトルによるモモ果実のポリフェノール濃度の推定（高野ら, 2007）などの報告がある。近赤外スペクトルの測定方法は反射型、インタラクタンス（拡散反射）型、透過型の3つに分けられる。反射型は主に粉体試料、後二者は多水分試料（例：果実）の計測に適用されることが多い（伊藤, 2007）。インタラクタンス型は同軸型ファイバースコープを果実に当て、スペクトルを測定する（大場ら, 2001）。透過型は投光部、受光部とも試料に触れずに設置して測定することが可能である（山田ら, 2009）。‘ル・レクチュ’ は追熟すると果肉は滑らかに軟化する（古田と浅野, 1991）ので、可視・近赤外スペクトルの測定は非接触による測定が可能な透過型が望ましい。また、加藤と相馬（2005）および高野（2007）の報告ではフォーリン・デニス法を用いてポリフェノール含量を測定し、その測定値を近赤外スペクトルで推定しているが、フォーリン・デニス法を用いたポリフェノール含量実測値の取得は、金属やアルカリが排出されること、高価な分光光度計を必要とすることにより、現場での測定には不向きである。一方、前述のゼラチン法による渋味判定法は、ポリフェノール含量と0.1%水準で有意な相関があり、短時間で渋味果の判定が可能であり、生産現場で実用化されている技術である。

そこで、本研究では、セイヨウナシ ‘ル・レクチュ’ の渋味果の非破壊判定ならびに品質保証を目的として、可視・近赤外分光法によりゼラチン法の濁り程度を非破壊に推定する方法について検討した。

¹ 新潟大学大学院自然科学研究科

² 新潟県農業総合研究所 園芸研究センター

³ 新潟県農林水産部 経営普及課 ^a 現在：新潟県佐渡地域振興局佐渡農林水産振興部

*代表著者 E-mail:knakano@agr.niigata-u.ac.jp

材料および方法

1. 植物材料

セイヨウナシ ‘ル・レクチュ’ 果実は、新潟県内5か所の産地で生産されたものを使用した。各産地からそれぞれ3生産者を選定し、各生産者から20果ずつ提供して頂いた。なお、供試サンプルは渋味果が多く結実する樹から収穫し、追熟を完了させた果実であり、腐敗した果実3果、後述の濁度実測値測定時に測定エラーとなった7果を除いた290果を用いた（表1）。

2. 可視・近赤外スペクトルの測定および前処理

供試果実は暗室内に静置し、暗室側面に接続した光源ボックスからハロゲン光を照射した。光源ボックスには、2個の100 W ハロゲンランプ（JCR12V100W10H/IR, KLS）および集光レンズが配置されている。供試果実赤道部の透過スペクトルを気温20℃の実験室内にて可視・近赤外分光器（Handy Lambda II, スペクトラコープ）により測定した（図1）。測定対象波長は300～1,100 nmとし、3.3 nmの波長間隔で透過スペクトルを取得した。なお、光源ボックスと供試果実との距離は150 mm、供試果実と受光用光ファイバ先端との距離は10 mm、受光用光ファイバのバンドル径は0.6 mmである。

測定した可視・近赤外透過スペクトル（以下、sample）は、厚さ7 mmのセラミック製白色参照板の透過スペクトル（以下、ref）、光を遮断して得られた透過スペクトル（以下、dark）を用い、透過率を以下の式[1]から算出した。次に透過率を用い、吸光度を以下の式[2]から算出した。なお、露光時間は500 ms、積算回数は1回として測定した。

$$\text{透過率}(T) = \frac{\text{sample} - \text{dark}}{\text{ref} - \text{dark}} \times 100 (\%) \quad [1]$$

$$\text{吸光度}(\lambda) = \log \frac{1}{T} \quad [2]$$

なお、300～482 nm および 1,013～1,100 nm の波長域では、供試果実を透過する光量が非常に少ないことから、これらの波長域は測定対象から削除した。

データ解析の前処理として、Savitzky-Golay 法による平滑化微分（南, 1986）を行い、さらに3点微分により吸光度二次微分値を取得した。

3. 果実の渋味判定

渋味判定は山澤（2010）の報告に従い、改良型ゼラチン法で行った。すなわち、気温20℃の実験室内にて、ゼラチン0.5%、塩化ナトリウム10%、pH 4.0に調製した液を作り、果実の赤道部の1か所より深さ2 cmのくさび形に切り出しガーゼに包み搾汁した直後の果汁とゼラチン液を細型試験管に等量加え、攪拌し、すみやかにその白濁状態（5段階の指数）を目視で判定し、ゼラチン指数とし、ゼラチン法によるゼラチン指数判定を行い、次に比色計（21150型, 朝日科学）を用いて細型試験管の混合溶液の660 nmにおける吸光度を測定し、この吸光度を濁度として取得した。白濁状態、ゼラチン指数および渋味官能は表2の関係があり（新潟県農林水産部, 1991）、新潟県では生産の現場で渋味果の判定にゼラチン指数が用いられている。本研究では、改良型ゼラチン法で取得した濁度、白濁状態、および渋味官能との関係を表2に付け加えた。なお、新潟県農林水産部（1991）の記述に従い、ゼラチン指数は0.5間隔で判定した。

4. 濁度推定

前述の吸光度二次微分値サンプル290個を供試データとして、検量線作成用データ（以下、作成用データ）と検量線評価用データ（以下、評価用データ）に分割したデータセットを以下の2通り作成した。

1）等分散性を考慮したデータセットにおける濁度推定（試験1）

(1) データの選択

嶋津ら（2010）の報告に従い、作成用データ145サンプル、

表1 供試果実^zの基礎統計量

	果重 (g)	縦径 (mm)	横径 (mm)	糖度 (Brix%)	pH
最小値	222.0	78.0	71.6	11.9	3.7
平均値	314.1	98.9	83.3	16.4	4.2
最大値	442.9	127.9	96.0	20.3	4.6
標準偏差	53.89	9.27	5.58	1.24	0.18

^zn = 290、測定日は2010年12月14日

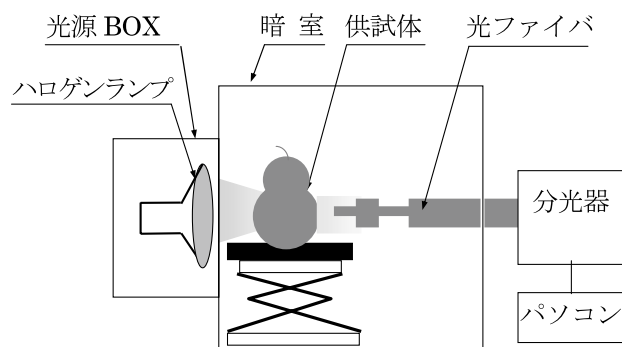


図1 可視・近赤外スペクトル測定装置の概略図
分光器とパソコンとの通信はソフトウェア WaveViewer（スペクトラコープ）を使用

表2 白濁状態とゼラチン指数、濁度および渋味との関係

白濁状態 ^z	ゼラチン指数 ^y	濁度 ^x	渋味
半透明、白濁なし	1	0.27	渋味なし
ごくわずかに白濁	2	0.64	渋味なし
わずかに白濁	3	1	わずかに渋い
白濁	4	1.36	渋い
著しく白濁	5	1.73	強く渋い

^z白濁状態：ゼラチン、塩化ナトリウムの水溶液を作り、その水溶液と搾汁果汁を等量ずつ混ぜ、そのときの白濁程度のこと

^yゼラチン指数：ゼラチン、塩化ナトリウムの水溶液を作り、その水溶液と搾汁果汁を等量ずつ混ぜ、そのときの白濁程度の色見本写真を参考に、目視にて決定

^x濁度：ゼラチン、塩化ナトリウムの水溶液を作り、その水溶液と搾汁果汁を等量ずつ混ぜ、そのときの白濁程度を透過光測定法を用いた比色計で濁度を測定

表3 作成用データと評価用データのゼラチン指数および濁度実測値

		作成用 ^z	評価用 ^y
ゼラチン指数 ^x	最小値	2.0	2.0
	平均値	3.40	3.45
	最大値	5.0	5.0
	標準偏差	0.606	0.586
濁度 ^w	最小値	0.73	0.71
	平均値	1.138	1.164
	最大値	1.90	1.99
	標準偏差	0.2597	0.2647

^z作成用：検量線作成用データ、n = 145^y評価用：検量線評価用データ、n = 145^xゼラチン指数：ゼラチン、塩化ナトリウムの水溶液を作り、その水溶液と搾汁果汁を等量ずつ混ぜ、そのときの白濁程度の色見本写真を参考に、目視にて決定^w濁度：ゼラチン、塩化ナトリウムの水溶液を作り、その水溶液と搾汁果汁を等量ずつ混ぜ、そのときの白濁程度を透過光測定法を用いた濁度計で濁度を測定

評価用データ 145 サンプルに分割した。その際、ゼラチン指数や濁度の等分散性が損なわれないよう配慮して選抜した（表 3）。

(2) 波長の選択

作成用データ 145 サンプルと濁度との相関の高い波長を特定するため、波長ごとの単相関係数を求めた。吸光度二次微分値と濁度は反比例の関係が成り立つので、濁度との関係が強いほど相関係数は大きい負値となる。よって、最も大きい負値である波長を説明変数第 1 波長と定め、第 2 波長～第 10 波長までをステップワイズ変数選択の変数増減法（石村，1992）により選択した。なお、波長を選択する際には、すでに選択している波長との多重共線性がある波長は選択しなかった。

(3) 検量線の作成

前述の作成用データを説明変数、濁度実測値を目的変数として、技術計算言語 MATLAB (R2010a, MathWorks) による重回帰分析を行い、検量線を作成した。

(4) 検量線の評価

検量線の推定精度を確認するため、検量線標準誤差 (Standard Error of Calibration, 以下 SEC)、予測標準誤差 (Standard Error of Prediction, 以下 SEP)、およびバイアス (以下、Bias) を算出した。これらの算出式を以下の式 [3] から [5] に示す。

$$SEC = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p - 1}} \quad [3]$$

ここで、

 y_i : 濁度実測値 \hat{y}_i : 濁度推定値 n : サンプル数 p : 説明変数の数

$$SEP = \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2}{n - 1}} \quad [4]$$

ここで、

 d_i : 濁度実測値と濁度推定値の差 \bar{d} : d_i の平均値 n : サンプル数

$$Bias = \bar{d} = \frac{1}{n} \sum d_i \quad [5]$$

SEC の値は、説明変数が増加するにつれて減少する傾向を示す（岩元ら，1994）。一方 SEP の値は、説明変数の増加につれて減少するが、途中から逆に増加する、いわゆるオーバーフィッティング現象が発生してしまう。Bias の値は、誤差の平均値であり、十分に小さい値でなければならない。

本研究では、10 種類の検量線のうち SEP が最小値となる検量線を濁度の推定に選択し、その後の検証に使用した。

(5) 検量線の評価

検量線の評価は、前述の評価用データ（145 サンプル）、なら

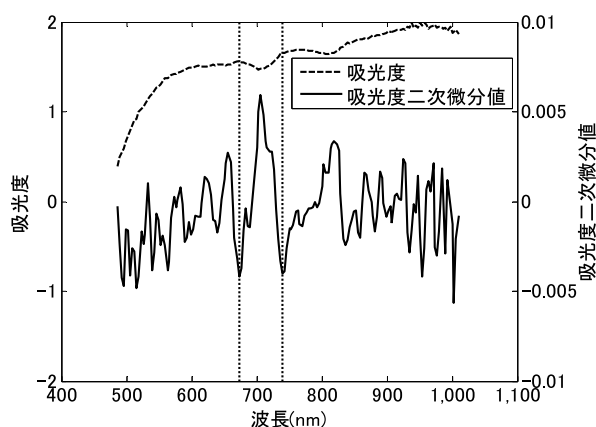


図2 可視・近赤外吸光度スペクトルおよび吸光度二次微分スペクトル

図中の 2 本の破線は、吸光度二次微分の負のピーク（673 nm、740 nm）を示す

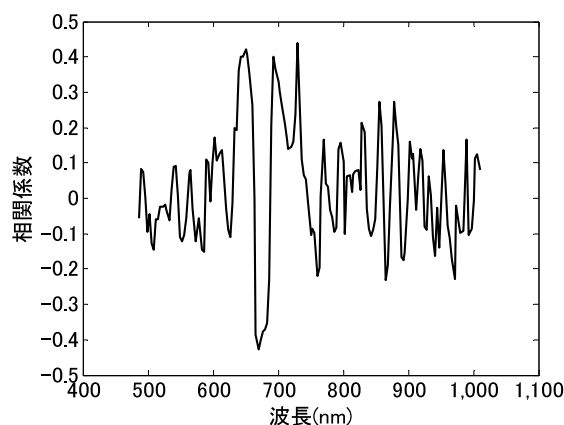


図3 吸光度二次微分値と濁度との単相関係数
等分散性を考慮したデータセットの作成用データ（145 サンプル）と濁度実測値を使用している

表4 ゼラチン指数に対応する濁度実測値

 $\lambda 1 \sim \lambda 10$ はステップワイズ変数選択法の変数増減法を用いて選択された波長を示す (単位: nm)

検量線	$\lambda 1^z$	$\lambda 2$	$\lambda 3$	$\lambda 4$	$\lambda 5$	$\lambda 6$	$\lambda 7$	$\lambda 8$	$\lambda 9$	$\lambda 10$	SEC ^y	SEP ^x	Bias ^w	r ^v
① ^u	670										0.236	0.241	-0.024	0.412
②	670	730									0.227	0.235	-0.023	0.469
③	670	730	862								0.221	0.243	-0.022	0.430
④	670	730	862	636							0.220	0.243	-0.017	0.433
⑤	670	730	862	636	710						0.217	0.242	-0.019	0.444
⑥	670	730	862	636	710	760					0.215	0.237	-0.019	0.467
⑦	670	730	862	636	710	760	882				0.213	0.239	-0.018	0.453
⑧	670	730	862	636	710	760	882	885			0.211	0.239	-0.021	0.459
⑨	670	730	862	636	710	760	882	885	912		0.208	0.246	-0.028	0.437
⑩	670	730	862	636	710	760	882	885	912	603	0.205	0.244	-0.022	0.445

^z $\lambda 1$: ステップワイズ変数選択法の変数増減法を用いて選択された第1番目の波長 (単位: nm)^y SEC: 検量線標準誤差^x SEP: 予測標準誤差^w Bias: 誤差の平均^v 検量線評価時の濁度実測値と推定値の相関係数、n = 145^u 第1番目の波長のみで作成した検量線

びに評価用データに作成用データを加えた総合データで行った。

2) ランダムに選抜したデータセットにおける濁度推定 (試験2)

(1) データの選択

検量線による推定の再現性を確認するために、中野ら (1992) の方法を参考にして、供試データからランダムに 145 サンプルを作成用データとして選抜し、残りの 145 サンプルを評価用データとする試験を 5 回実施した。なお、作成用データと評価用データの間に等分散性が認められない場合は、検量線作成に用いなかった。

(2) 波長の選択

試験1で得られた第1波長および第2波長を使用した。

(3) 検量線の作成

技術計算言語 MATLAB (R2010a, MathWorks) による重回帰分析を行い、試験1と同様に検量線を作成した。

(4) 検量線の推定精度の確認

試験1と同様に、SEC、SEP、および Bias を算出した。

(5) 検量線の評価

各検量線の評価は、試験1と同様に行った。

結 果

1. 可視・近赤外スペクトル

供試果実 290 果の基礎統計量を表1に示す。可視・近赤外吸光度スペクトルおよび可視・近赤外吸光度二次微分スペクトルについて、各波長における平均値を求め図2に示した。吸光度二次微分スペクトルでは、673 および 740 nm 近傍に吸収ピークが検出された。

2. 濁度推定

1) 等分散性を考慮したデータセット (試験1)

作成用データ 145 サンプルと濁度との相関の高い波長を特定するため、波長ごとの単相関係数を図3に示した。最も相関が高かった波長 670 nm の吸光度二次微分値を検量線の第1波長と定め、ステップワイズ変数選択の変数増減法により第2波長～第10波長までを選択したところ、730、862、636、710、760、882、885、912、603 nm の順に波長が選択された (表4)。

説明変数を1波長のみとした検量線①から10波長すべてを用いた検量線⑩まで10種類の検量線を作成した。これら検量線

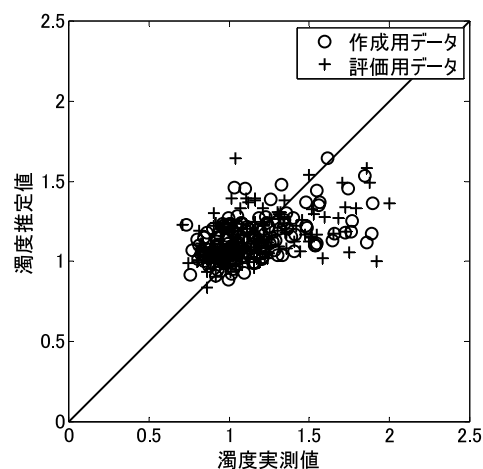


図4 濁度実測値と濁度推定値との散布図

等分散性を考慮したデータセットの作成用データ145サンプルの濁度実測値を検量線②に代入して得られた値が濁度推定値である

図中の実線は 濁度推定値 = 濁度実測値 を示す線である

に作成用データや評価用データを代入し、求めた SEC、SEP および Bias は表4に示した。SEP が最小である検量線②が、最も精度の高い検量線であるといえ、以下の関係式で示される (式[6])。

$$\text{濁度} = -37.16 \times A''_{670\text{nm}} + 185.60 \times A''_{730\text{nm}} + 1.10 \quad [6]$$

ここで、

 $A''_{670\text{nm}}$: 670 nm における吸光度二次微分値 $A''_{730\text{nm}}$: 730 nm における吸光度二次微分値

この検量線②を用いて作成用データおよび評価用データを代入して得られた濁度推定値と濁度実測値で散布図 (図4) を作成した。

表5 ランダムに選抜した作成用データと評価用データの濁度実測値

実験回数 ^z	統計値	作成用 ^y	評価用 ^x
1 回目	最小値	0.71	0.73
	平均値	1.149	1.153
	最大値	1.92	1.99
	標準偏差	0.2720	0.2527
2 回目	最小値	0.71	0.76
	平均値	1.150	1.151
	最大値	1.99	1.89
	標準偏差	0.2700	0.2548
3 回目	最小値	0.73	0.71
	平均値	1.134	1.168
	最大値	1.92	1.99
	標準偏差	0.2578	0.2661
4 回目	最小値	0.71	0.80
	平均値	1.129	1.172
	最大値	1.86	1.99
	標準偏差	0.2399	0.2816
5 回目	最小値	0.71	0.74
	平均値	1.171	1.131
	最大値	1.99	1.92
	標準偏差	0.2698	0.2534

^z 実験回数：作成用データと評価用データをランダムに5回選抜した実験の1回目から5回目

^y 作成用：検量線作成用データ、n = 145

^x 評価用：検量線評価用データ、n = 145

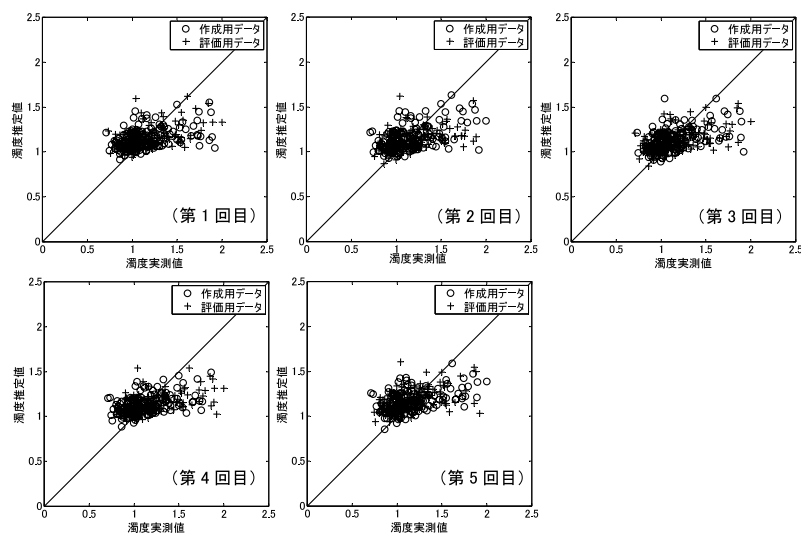


図5 ランダムに選抜したデータセットの濁度実測値と濁度推定値との散布図
濁度の推定には表6に示した検量線を用いた

表6 ランダムに選抜した作成用データによる検量線と濁度推定精度

実験回数 ^z	検量線 ^y	SEC ^x	SEP ^w	Bias ^v	r ^u
1 回目	濁度 = $-42.37 \times A_{670\text{nm}}'' + 118.48 \times A_{730\text{nm}}'' + 1.07$	0.247	0.215	-0.004	0.525
2 回目	濁度 = $-40.45 \times A_{670\text{nm}}'' + 151.27 \times A_{730\text{nm}}'' + 1.08$	0.233	0.228	-0.022	0.443
3 回目	濁度 = $-33.66 \times A_{670\text{nm}}'' + 177.50 \times A_{730\text{nm}}'' + 1.10$	0.225	0.234	-0.044	0.474
4 回目	濁度 = $-29.71 \times A_{670\text{nm}}'' + 150.07 \times A_{730\text{nm}}'' + 1.11$	0.216	0.244	-0.034	0.511
5 回目	濁度 = $-22.13 \times A_{670\text{nm}}'' + 216.69 \times A_{730\text{nm}}'' + 1.19$	0.242	0.219	0.034	0.505

^z実験回数：作成用データと評価用データをランダムに5回選抜した実験の1回目から5回目

^y検量線：第1説明変数を670nmにおける吸光度二次微分値、第2説明変数を730nmにおける吸光度二次微分値として作成された検量線

^xSEC：検量線標準誤差

^wSEP：予測標準誤差

^vBias：誤差の平均

^u検量線評価時の濁度実測値と推定値の相関係数、n = 145

2) ランダムに選抜したデータセット (試験2)

ランダム選抜を5回実施し、濁度実測値の最小値、平均値、最大値、標準偏差を表5に示した。上記の作成用データをもとに、説明変数は670 nmにおける吸光度二次微分値と730 nmにおける吸光度二次微分値に固定して検量線を作成し、その検量線に作成用データおよび評価用データを代入してSEC、SEPおよびBiasを求めた。SEPはそれぞれ0.215、0.228、0.234、0.244、0.219であった(表6)。

これらの検量線を用いて、作成用データおよび評価用データを代入して得られた濁度推定値と濁度実測値で散布図を作成した(図5)。

考 察

Brune *et al.*, (1991) は、クロロゲン酸およびカテキンは680 nm近傍において吸光が大きいことを示していることや、他の文献(歌代と山田(1996))でもポリフェノールの一種であるクロロゲン酸およびカテキンが'ル・レクチエ'の渋味であると考えられていることから、本研究の濁度推定の第1説明変数として採用した670 nmにおける吸光度二次微分値は、果実の渋味を間接的に説明している波長であると考えられる。さらに、伊藤(2007)は化学的に説明可能な波長と補正的な波長を組み合わせた説明変数の選択法を用いている。本研究の730 nmにおける吸光度二次微分値は果実の直径と相関の高い波長($r = -0.4852$)であり、光路長の補正的な役割を果たしていると考えられる。

等分散性を考慮したデータから作成した検量線②を用いて濁度の推定を行った場合、SEPは0.235であった(表4)。正規分布図において、全体の68.3%が平均値±標準誤差の範囲に入ることから、濁度推定値の68.3%は濁度実測値±SEPの範囲に入ることの意味する(新城, 1996)。

一方、試験1および2における濁度実測値と濁度推定値の単相関係数は最小で0.44、最大で0.52であった。無相関検定では有意水準0.1%で棄却されるものの、強い相関ではない。高野ら(2007)は1,100～2,500 nmの2次微分反射スペクトルを用いてモモ果実の全ポリフェノール濃度の重回帰分析による推定では単相関係数0.80と高い精度であったと報告している。

本研究において、実用に供することの可能な精度には至っていないものの、可視・近赤外域の透過スペクトルから作成した検量線で濁度を推定する方法を提示した。すなわち、等分散性を考慮したデータセットの検量線作成用データをもとにステッ

ブワイズ変数選択により説明変数を選択し、SEPが最小となる検量線より説明変数の波長を決定し、ランダムデータから得られた検量線で、濁度を推定する方法である。この方法に用いたゼラチン法は、フォーリン・デニス法に比べ迅速に測定が可能であるという利点を持つ。

供試サンプルは渋味果が多く結実する樹から収穫した果実を用いたが、2010年は渋味果の少ない年であり、渋味の強いサンプルが少なかったことが、濁度の推定においてマイナス要因となった。多数の渋味の強いサンプルを収集できれば、堅牢な検量線を作成できる可能性がある。

謝 辞

本研究成果は、平成20年度新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「雪室活用の西洋ナシの追熟制御と日本ナシの長期貯蔵の技術開発(課題番号2026)」において得られた。また、新潟県農業総合研究所園芸研究センターには供試果実およびデータ測定場所を提供していただいた。ここに記し深く感謝の念を表す次第である。

引用文献

- Brune, M., L. Hallberg, and A.B. Skanberg. 1991. Determination of iron-binding phenolic groups in foods. *J. Food Sci.*, **56**: 128-131.
- 知野秀次・松本辰也・太田祐樹・児島清秀. 2009. 追熟中のセイヨウナシ'ル・レクチエ'における非破壊法による果実特性の評価. *園学研*, **8**: 109-114.
- Dijk, C.V., C. Boeriu, T. Stolle-Smits and L.M.M. Tijskens. 2006. The firmness of stored tomatoes (cv. Tradiro) . 2. Kinetic and Near Infrared models to describe pectin degrading enzymes and firmness loss. *J. Food Eng.*, **77**: 585-593.
- Fan, G., J. Zha, R. Du and L. Gao. 2009. Determination of soluble solids and firmness of apples by Vis/NIR transmittance. *J. Food Eng.*, **93**: 416-420.
- 古田道夫・浅野 聡. 1991. 西洋ナシ(ル・レクチエ)の追熟特性. *新潟食研報*, **26**: 1-5.
- 石村貞夫. 1992. すぐわかる多変量解析. pp. 30-31. 東京図書, 東京.
- 伊藤秀和. 2007. 近赤外分光法によるメロン品質の非破壊計測

- 法の開発. 野菜茶研研報, **6**: 83-115.
- 岩元陸夫・河野澄夫・魚住 純. 1994. 近赤外分光法入門. pp. 56-59. 幸書房, 東京.
- 加藤 淳・相馬ちひろ. 2005. アズキのポリフェノール含量および抗酸化活性の非破壊評価技術. 土肥誌, **76**: 205-208.
- Liu, Y., X. Sun, H. Zhang and O. Aiguo. 2010. Nondestructive measurement of internal quality of Nanfeng mandarin fruit by charge coupled device near infrared spectroscopy. Comput Electron Agr., **71S**:S10-S14.
- 松本辰也. 2008. 知っていたいこんな品種 (25) 新潟県特産の西洋なし「ル・レクチエ」. 果実日本, **63**: 120-122.
- McGlone, V.A. and S. Kawano. 1998. Firmness, dry-matter and soluble-solids assessment of postharvest kiwifruit by NIR spectroscopy. Postharvest Biol. Technol., **13**: 131-141.
- 南 茂夫. 1986. 科学計測のための波形データ処理. pp. 90-93. CQ 出版. 東京.
- Murayama, H., I. Konno, S. Terasaki, R. Yamamoto and N. Sakurai. 2006. Nondestructive method for measuring fruit ripening of 'La France' pears using a laser Doppler vibrometer. J. Japan. Soc. Hort. Sci., **75**: 79-84.
- 中野和弘・倉田和彦・金子昌彦・風間雄一・滝沢憲一. 1992. 青果物選果システムに関する研究 (第1報) — ニューラルネットワークによるリング果皮色の等級選別 —. 農業施設, **23**: 81-86.
- Nicolai, B.M., K. Beullens, E. Bobelyn, A. Peirs, W. Saeys, K.I. Theron and J. Lammertyn. 2007. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: Rev. Postharvest Biol. Technol., **46**: 99-118.
- 新潟県. 2006. 西洋ナシ. pp. 149-178. 新潟県農林水産部農産園芸課編. 果樹指導指針. 新潟県農林水産部農産園芸課, 新潟.
- 新潟県農林水産部. 1991. 西洋ナシ「ル・レクチエ」のゼラチン法による渋味判定法. 試験研究成果普及カード 参考以供する技術, 平成2年度: 41-42.
- 大場聖司・荒川 博・松浦英之・中根 健・水野俊博. 2001. 近赤外分光法による温室メロン糖度非破壊測定機の開発. 静岡農試研報, **46**: 11-22.
- 大竹 智. 1991. 西洋ナシ (ル・レクチエ) における収穫適期の検証. 新潟県園芸試験場試験成績書 (果樹), 平成2年度: 115-122.
- 嶋津光辰・柴田洋一・荒木宏通・市橋沙菜・小笠原佳大. 2010. 近赤外分光法によるテンサイの非破壊成分測定に関する研究. 農業施設, **41**: 1-7.
- 新城明久. 1996. 生物統計学入門. pp. 27-31. 朝倉書店, 東京.
- 高野和夫・妹尾和憲・海野孝章・笹邊幸男・多田幹郎. 2007. 近赤外分光法によるモモ果実の渋みの評価. 園学研, **6**: 137-143.
- Taniwaki, M., T. Hanada, M. Tohiro and N. Sakurai. 2009. Non-destructive determination of the optimum eating ripeness of pears and their texture measurements using acoustical vibration techniques. Postharvest Biol. Technol., **51**: 305-310.
- Terasaki, S., N. Sakurai, J. Zebrowski, H. Murayama, R. Yamamoto and D.J. Nevins. 2006. Laser Doppler vibrometer analysis of changes in elastic properties of ripening 'La France' pears after postharvest storage. Postharvest Biol. Technol., **42**: 198-207.
- 歌代景一・山田 寿. 1996. セイヨウナシ果実の発育中および追熟中におけるポリフェノール含量の品種間差異と台木の影響. 園学雑, **64**: 779-786.
- 山田久也・田中伸明・高田咲子. 2009. イチゴ非破壊品質測定装置の実用化. 照学誌, **93**: 273-277.
- Wang, J., K. Nakano and S. Ohashi. 2011. Nondestructive evaluation of jujube quality by visible and near-infrared spectroscopy. LWT-Food Sci. Technol., **44**: 1119-1125.
- 山澤康秀. 2010. 渋み果の発生と対策の検討. 新潟県フードブランド協議会ル・レクチエ部会資料, **2010**: 7-10.

Possibility of Evaluation of the Astringent Fruit in 'Le Lectier' Pears Using Visible and Near-infrared Spectroscopy

Kenichi TAKIZAWA¹, Kazuhiro NAKANO^{1*}, Shintaroh OHASHI¹, Shuji CHINO¹,
Tatsuya MATSUMOTO², Yasuhide YAMAZAWA³ and Kiyohide KOJIMA¹

(Received January 31, 2012)

Summary

This study aimed to develop nondestructive techniques based on near-infrared absorption spectroscopy for the estimation of turbidity that is acquired when determining astringency with the gelatin method. For this study, 290 pears were collected. The samples were harvested from three farmers of five areas in Niigata prefecture, comprising a total of 15 areas. Two data sets were analyzed as: a homoscedastic data set (Test 1), five series of selected random data set (Test 2). Turbidity was estimated using a calibration curve of explanatory variables with the second derivative value of absorbance at 670 nm and 730 nm. In Test 1, the standard error of prediction (SEP) was 0.235. In Test 2, SEP was 0.215 to 0.244. Further, In Test 2, the simple correlation coefficient (r) of measured values and the estimated value of turbidity was 0.44 to 0.52.

Bull.Facul.Agric.Niigata Univ., 64(2):179-186, 2012

Key words : calibration curve, nondestructive, second derivative absorption, turbidity

¹ Graduate School of Science and Technology, Niigata University

² Horticultural Research Center, Niigata Agricultural Research Institute

³ Niigata Prefectural Government Department of Agriculture, Forestry and Fisheries Agricultural Management Promotion Division

* Corresponding author: E-mail:knakano@agr.niigata-u.ac.jp