

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 16 日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22580284

研究課題名（和文）分光反射計測による生食用果実の打撲傷の検出に関する応用研究

研究課題名（英文）Study on the bruise Detection of fresh fruits by VIS/NIR Spectroscopy

研究代表者

張 樹槐（ZHANG ShuHui）

弘前大学・農学生命科学部・教授

研究者番号：90261429

研究成果の概要（和文）：リンゴ果実の打撲傷は、その品質を損なう主要因の一つである。それゆえ、高品質な果実を出荷するために、打撲傷のある果実を選別除去する必要がある。現在、その作業は主に人力に頼っており、非効率だけでなく大変な労力をも要している。本研究は、4 品種のリンゴ果実（ふじ、ジョナゴールド、王林、シナノゴールド）の打撲傷について、5 つの波長選択方法を用いて、それぞれの特徴及び検出精度などを比較検討した。

研究成果の概要（英文）：Bruising is one of the most common causes for the degradation of fruit quality. Therefore, it is necessary to distinguish bruised fruit from undamaged fruit to improve fruit quality. Currently, the detection and removal of bruised apples has predominantly been performed manually, which is subjective, inefficient and expensive. In the present research, five methods of wavelength selection, ROC-based selection, CSMW-LS-SVM selection, VIP selection, GA selection, and VIP-GA selection, were studied to select the effective wavelengths for bruise detection within 380 - 1000 nm spectroscopy for four cultivars of apples, Fuji, Jonagold, Orin, and Sinano Gold.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011 年度	900,000	270,000	1,170,000
2012 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業環境工学

キーワード：リンゴ果実、打撲傷、非破壊計測、分光計測、波長選択

## 1. 研究開始当初の背景

日本産の高品質な生食用果実（リンゴ、モモやナシ等）は、その安全性や品質の高さから、近年国内市場での消費だけでなく、台湾や香港、中国本土などの世界各国への輸出量

も年々増加傾向にある。今後、国内外市場への持続的・安定的な供給及び高品質な日本産というブランド力を長く維持していくためには、それらの育種・栽培生産技術の向上はもちろんのこと、収穫後の貯蔵・調製、いわ

ゆるポストハーベスト技術の改良や開発も一層推進しなければならない。

その中で、特に生食用果実（リンゴ、モモやナシなど）においては、収穫や運搬作業中に振動や衝突などによって打撲傷が生じることがある。これらの問題を回避するには、いくら慎重に収穫・運搬作業を行っても完全に解決できないことを考えると、市場へ出荷する前の高精度な選別作業は、有効かつ究極の解決方法の一つになる。以上の背景から、生食用果実の打撲傷の検出に関する研究は、国内外において古くから行われている。特に最近、リモートセンシング分野で利用されてきたハイパースペクトル分光計測技術の応用が盛んに試みられ、いくつかの興味深い研究成果も報告されている。しかし、それらの研究成果は、広範囲な波長域での分光反射データを複雑な統計処理することで実現しており、実用化するには高価な分光測定機器が必須となるだけでなく、処理時間の短縮も難しいなどの課題が多い。

## 2. 研究の目的

上記の課題などを解決するために、我々はリンゴ果実の打撲傷を複雑な計算方法やアルゴリズムによらず、しかも非破壊かつ変色前に検出できる方法がないかについて、高分解能の紫外・可視・近赤外分光光度計を用いて、打撲傷の分光反射率の時間的変化を詳細に検討してきた。本研究では、上記の研究成果を基に、その高分解能の分光反射データをいくつかの多変量統計解析手法を用いて、実用化の目安となる数波長の特定及びその検出精度の向上や処理速度の短縮などに取り組んでいくことを目的とした。また、これらの結果を応用して、将来ハイパースペクトルカメラによる打撲傷の可視化技術の可能性をも検討していく。

## 3. 研究の方法

まず研究対象である生食用リンゴ果実（ふじ、ジョナゴールド、王林、シナノゴールドの4品種）に人工的な打撲傷を負わせ、紫外・可視・近赤外分光光度計を用いて、その打撲傷有無部分の分光反射データを経時的に計測・記録した。

次に、得られた380~1000nmの分光反射データに対して、5つの波長選択方法、ROC (Receiver Operating Characteristic), CSMW-LS-SVM (Changeable Size Moving Window Least Squares Support Vector Machine), VIP (Variable Importance on the Projection), GA (Genetic Algorithm), VIP-GA (Variable Importance on the Projection and Genetic Algorithm) を用いて、それぞれの特徴及び検出精度などを比較検討した。

## 4. 研究成果

### (1) ROC 波長選択法

ROC 波長選択法は、計測した分光データの各波長各々を一つ一つの独立した選択器と考え、どの選択器、即ちどの波長がもっとも検出効率が良いのかを解析するものである。検出効率の高さがAUC (Area Under the Curve) で表現され、解析した結果、ふじ、ジョナゴールド、王林、シナノゴールドの4種類の果実について、最も検出精度の高い波長ペアは、それぞれ(824と770nm), (832と772nm), (838と760nm), (788と742nm)であった。その中で、最も低い検出精度となったのは王林果実の96%であった。また、全波長の分光データを用いた解析に良く用いられるPLSDA法 (Partial Least Squares Discriminate Analysis) と比較したところ、4品種を通じてほぼ同等程度の検出精度 (全て90%以上) が得られた。

### (2) CSMW-LS-SVM 波長選択法

CSMW-LS-SVM 波長選択法は、計測した全波長のある限定された範囲のデータだけに繰り返しLS-SVMを適用し、もっとも検出精度の高い波長範囲を探索する方法である。データの異なる解析範囲は、波長の開始点とその幅 (Window) を変化させながら実現される。その結果、4品種を通じて、不連続のいくつかの選択波長範囲よりも、分光データの連続性を考慮した700~850nmの波長範囲が最も検出精度 (全て90%以上) が高かった。

### (3) VIP 波長選択法

PLSDA法により算出された各波長の重要度に基づいたVIP波長選択法は、波長選択に大変有効な手段であると言われている。理論的にはVIPスコアが1以上である波長は有用であるが、本研究の結果では必ずしも最適なカットオフVIPスコアが1ではないものとなった。これは、他の研究結果にも指摘されたことで、データ構造に依存していることを再確認した。VIP波長選択法による解析の結果、ふじ、ジョナゴールド、王林の3品種では、VIPスコアが1.5以上の88個の波長、1.0以上の280個の波長、シナノゴールドの場合、VIPスコアが2.0以上の57個の波長、1.0以上の265個の波長がそれぞれ選択された。その中で、最も低い検出精度となったのはジョナゴールド果実の92%であった。

### (4) GA 波長選択法

GA波長選択法は、いくつかの必ずしも連続しない波長をセットとした場合の検出精度 (GAでは適応度という) を基に解析する方法である。本研究では、PLS法により算出されるRMSECV (root-mean-square error of cross validation) を適応度とした。よって、最も

適応度の高いものが、最も検出精度の高い波長セットで、その結果、380~1000nmの全波長範囲より、ふじ、ジョナゴールド、王林、シナノゴールドそれぞれ139, 165, 145と158個の波長が選ばれた。その中で、最も低い検出精度となったのはシナノゴールド果実の89%であった。

#### (5) VIP-GA 波長選択法

上記 GA 波長選択法では、全波長のデータから適応度の高い波長セットを探索したが、VIP-GA 波長選択法は、その探索範囲をVIP 波長選択法により得たいいくつかの有効波長のみ限定した。即ち、GA に起因するオーバーフィッティングの問題を回避するために、まずVIP 波長選択法を行ってあまり重要でない波長を除外することがこの方法の考え方である。その結果、本研究で提案したVIP-GA 波長選択法は、検出精度を損ねることがなく、双方の欠点を回避するとともに、それぞれ単独で得た波長数より少ない有効波長を選択することができた。その中で、最も低い検出精度となったのはシナノゴールド果実の92%であった。

上記の5種類の波長選択法により、ふじ、ジョナゴールド、王林、シナノゴールドの4種類のリンゴ果実にそれぞれ5セットの波長が選択された。選択法や品種が違えば、得られた波長数や検出精度も異なるが、共通した結果は以下のように2つある。

一つ目は、選択法や品種に関係なく、選択された波長による検出精度は、380~1000nmの全波長に基づくものとほぼ同等である。このことから、本研究で提案した全ての方法は、果実打撲傷の識別に寄与度が低い波長を除外することができた。

二つ目は、全選択結果に共通した波長範囲は、おおよそ700~860nmに集約できる。このことは、品種に関係なくこの波長範囲がリンゴ果実の打撲傷に最も深く関与していることを確認できた。

5つの波長選択法の中で、最もシンプルで検出精度が高いのは、ROC 波長選択法であった。この方法を果実の打撲傷識別に応用したのは、本研究が初めてである。他の方法と比較して、このROC 波長選択法の特徴は、選択した有効波長数が最も少ない(1品種2波長)、計算アルゴリズムが最もシンプルであることである。即ち、VIP, GA, VIP-GA 波長選択法は、適切なPLSDAモデルを構築できるか否かに依存しているし、CSMW-LS-SVM 波長選択法は、複雑なLS-SVMモデルを構築しなければならない。それに対し、ROC 波長選択法は、計算負荷の少ない2波長の反射率による差分計算のみである。

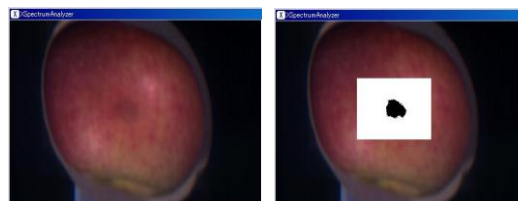
前述したように、打撲傷が未だに実用化されていない要因の一つは、シンプルで検出精

度の高い波長選択法が確立されていないためである。本研究で提案したROC 波長選択法により選択した2つの有効波長を利用すれば、例えばCCDカメラに2つのフィルターを装着すれば実現可能と考えられる。この方法では、その他のハイパースペクトル画像や分光計測による方法より経済的で、処理時間の問題も解決でき、しかも検出精度も高く、より実用的なオンラインシステムが構築できるのではないかと考えている。

しかしながら、2波長のみでは計測ノイズなどに影響されやすく、実用化を考える際、本研究で提案した検出波長のロバスト性などについて、今後さらに詳しく検討していく必要がある。

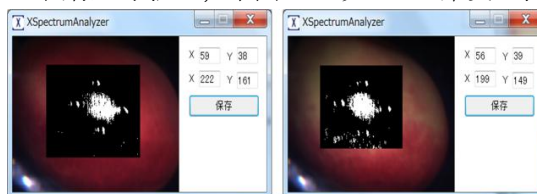
#### (6) 打撲傷の可視化

上記の研究成果を応用して、ハイパースペクトルカメラで得た分光反射データを基に解析した結果、下図のように打撲傷を可視化することができた。



右図は解析対象となる果実で、左図は可視化した結果である。これらの図から、本研究で構築した解析手法は、リンゴ果実にできた打撲傷を高精度で判別することができるという結論を得た。

同様の手法で、下図のようにモモ果実の打



撲傷の可視化も試みた。その結果、リンゴ果実の場合とほぼ同等の結論を得た。

### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

- ① Xuan Luo, Teruo Takahashi, and Shuhuai Zhang : Wavelength Selection in Visible and Near Infrared Spectra for Detection of Bruises on Apples, Adv. Sci. Lett. 19(9), 2654-2657, 2013, 査読有  
<http://www.ingentaconnect.com/content/asl/2013/00000019/00000009/art00029?token=00381371bde39412f415d763f255f70507b594240635325303329481>
- ② Xuan Luo, Teruo Takahashi, Koki Kyo, Shuhuai Zhang: Wavelength selection in vis/NIR spectra for detection of bruises on apples by ROC analysis, Journal of Food

Engineering, 109 (3), 457-466, 2012, 査読有

DOI : 10.1016/j.jfoodeng.2011.10.035

[学会発表] (計 15 件)

① 孔 慶蓮, 賀澤智教, 荒川 修, 張 樹槐, 田中紀充: 果実表面色の機械測定による赤ナシ系ニホンナシの成熟度判定, 園学研.12別1:272, 2013

② Xuan Luo, Teruo Takahashi, Shuhuai Zhang: Wavelength Selection in Visible and Near Infrared Spectra for Detection of Bruises on Apples, 2012 International Conference on Agricultural, Food and Biological Engineering (AFBE 2012), May 11-13, Guangzhou, China, 2012

③ 細川和也, 張 樹槐, 福地 博: 分光計測によるモモ果実の品質評価に関する研究, 農業環境工学関連学会 2012 年合同大会 (CDROM), 58, 2012

④ 松井佳之, 福地 博, 張 樹槐: 分光データのPLSDA解析に基づくリンゴ果実打撲傷の判別に関する研究, 第70回農業機械学会年次大会講演要旨, 436-437, 2011

⑤ Xuan LUO, Teruo TAKAHASHI, ShuHuai ZHANG: AUC-based wavelength selection of vis/NIR spectroscopy for bruise detection of Fuji, 第70回農業機械学会年次大会講演要旨, 438-439, 2011

⑥ 羅 璇, 張 樹槐, 高橋照夫: Wavelength Selection of Vis/NIR Spectroscopy for Bruise Detection of Apples, 第69回農業機械学会年次大会講演要旨, 372~373, 2010

⑦ Xuan LUO, ShuHuai ZHANG, Hiroshi FUKUCHI, Teruo TAKAHASHI: Bruise Detection on 'Fuji' Apples by VIS/NIR Spectroscopy, 農業環境工学関連学会 2009 合同大会, 61, 2009

⑧ Xuan LUO, Shuhuai ZHANG, Ming SUN, Teruo TAKAHASHI: a New Method for Bruise Detection of Apples by Hyperspectral Imaging, Proceedings of the 3rd Asian Conference on Precision Agriculture, 59, Beijing, China, 2009

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
出願年月日 :  
国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
取得年月日 :  
国内外の別 :

[その他]  
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

張 樹槐 (ZHANG Shuhuai)  
弘前大学・農学生命科学部・教授  
研究者番号 : 90261429

(2) 研究分担者

荒川 修 (ARAKAW Osamu)  
弘前大学・農学生命科学部・教授  
研究者番号 : 70184265

(3) 研究協力者

羅 璇 (LUO Xuan)  
岩手大学・大学院連合農学研究科・博士課程