

【学術資料】

モモ果肉障害における透過型光センサーを用いた 非破壊判別の試み

渡辺晃樹・手塚誉裕・古屋 栄

キーワード：モモ，果肉障害，褐変果，光センサー，非破壊

緒言

モモの果肉が水浸状に変化したり褐変する果肉障害が発生し問題となっている^{1,2)}。特に果肉が褐変する障害（以下，褐変果とする）は，果肉が崩壊して発酵臭を伴うなど食味の劣化につながり，商品価値を著しく低下させる。現状，外果皮直下に障害が発生した場合を除いて障害果を外観から判別することは困難であり，褐変果が市場に流通した場合，産地の信頼低下を招く恐れがある。このため，果肉障害果を流通以前に判別する技術の開発が求められており，モモの非破壊糖度測定に用いられる光センサーの利用が注目されるようになった。

モモは外観から食味の良否を判断するのが難しく，多くの消費者がモモの味に対する不安を持っていたと言われていた。こうしたことから，高品質な果実を非破壊で選別できるよう山梨県，山梨県果実農業協同組合連合会（現全国農業協同組合連合会山梨県本部），三井金属工業（株）の三者で，モモの糖度を反射型光センサーで測定する非破壊糖度選別機を共同開発し，1989年に全国に先駆けて西野農業協同組合（現巨摩野農業協同組合西野支所）に導入した経緯がある³⁾。その後，県内各産地においてもモモの非破壊糖度選別機が広く導入されている。1994年以降では，果実に光を照射し，透過した光で糖度を測定する透過型光センサーの開発が進み，現在では透過型の非破壊選別機が主流になっている。透過型光センサーは透過光により果実全体を測定対照とするため，果実

内部の平均的な糖度を測定することが可能である。また，糖度以外にも，カンキツ類では酸度や“うき皮”等の障害判別，リンゴでは“みつ症”の判別にも活用されている⁴⁾。

これらのことから，本試験では透過型光センサーにより非破壊でモモ果肉障害果の判別が可能か検討した。なお，水浸状の果肉障害果（水浸果）については近赤外光による判別が困難であったため，本試験では主に褐変果を対象として検討を進めた。

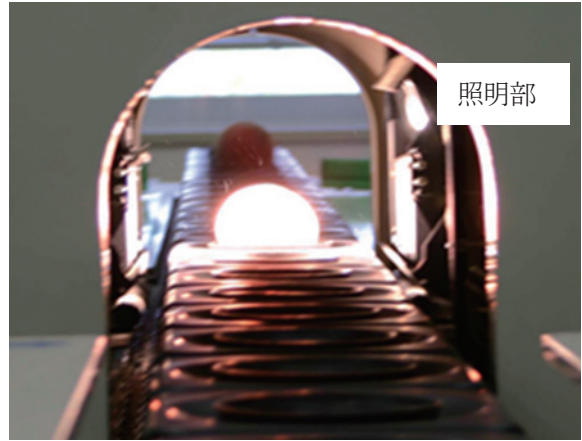
材料および方法

スペクトル強度[J/s/cm²/nm]の測定には，（株）果実非破壊品質研究所（FANTEC社）によって開発中のモモ共選用透過型光センサー「FQA-21」（第1図）を用いた。本機は，透過型オンライン近赤外品質計測装置「Fruit-5」（FANTEC社）の改良型で，測定装置内に照明部と受光部が分離配置されており（第2図），反射光や外乱光の影響を受けずに透過光の測定が可能である。また，モモ果実の形状と内部品質を同一ラインで測定できるコンベアシステム（搬送仕分装置）を備えている⁵⁾。

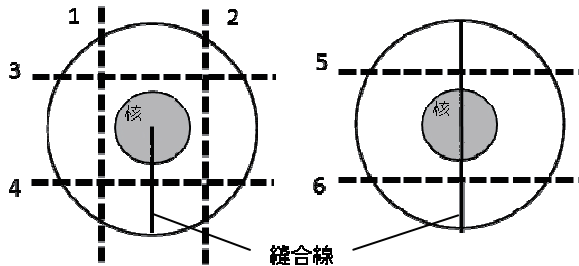
測定装置内の受光部は，2004年はコンベアの下部に設置したが，判別精度を向上させるため，2005年および2006年は併せて上部にも配置し（以下，下部受光部を下部，上部受光部を上部とする），果実側面から照射した近赤外光のスペクトル強度を測定した。果実の果梗部を下に，縫合線を進行方向に向けてコンベアベルトのバケット上に静置



第 1 図 透過型光センサー「FQA-21」の外観

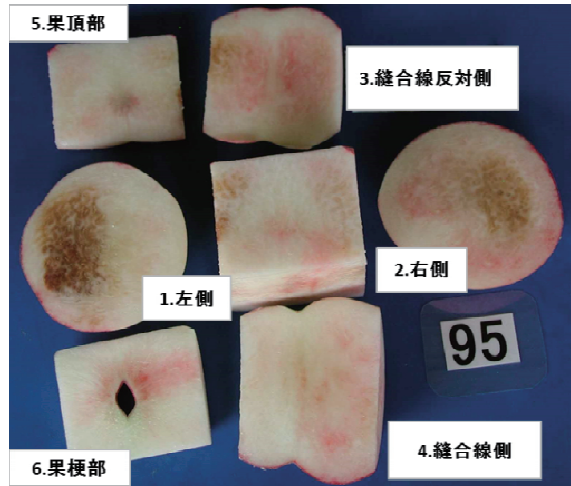


第 2 図 「FQA-21」の測定装置内部（下部受光部のバケットのみ）

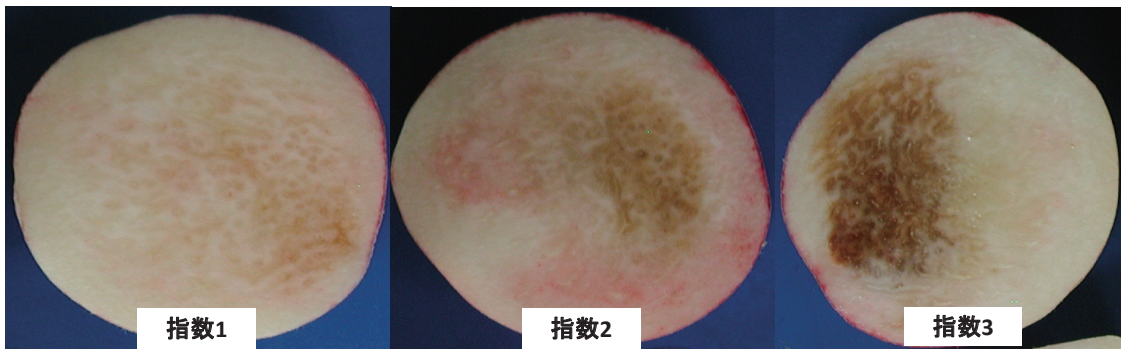


第 3 図 細部切断法（6 切片）による褐変果発生程度の調査方法

- ・1~4 は外側と中心の間 2/3 程度を切断
- ・1, 2 は切断面で評価
- ・3, 4 の切断面で切り取られて不足した部分は、切片 1, 2 の結合する部分をつなげて評価
- ・5 は果頂部を切断し、切り取られて不足した部分は切片 1~4 の結合する部分をつなげて評価
- ・6 は果梗部を切断し、切り取られて不足した部分は切片 1~4 の結合する部分をつなげて評価



第 4 図 細部切断法による切断後の写真



第 5 図 解体調査による褐変果の濃淡の評価

褐変部位の着色を指数 1: 淡, 2: 中, 3: 濃 の 3 段階に分類

し, コンベアで装置内に搬送して測定を行った。

1. 褐変果と正常果の近赤外スペクトルの比較

2004年に, 山梨県果樹試験場に植栽されている‘川中島白桃’から収穫した果実のうち, 果肉硬度1.5~2.5 kgの398果を供試した。収穫直後に果実のスペクトル強度を「FQA-21」により測定し, 直ちに解体して果肉障害の発生を確認した。得られたスペクトル波形の解析はFANTEC社に依頼し, 600~1,000 nmの波長域から褐変果に特徴的な傾きを示す5波長域を選択した。

2. モモの褐変果判定用検量線の作成および評価

2005年および2006年に, 山梨県果樹試験場に植栽された‘暁星’, ‘夢しずく’, ‘白鳳’, ‘嶺鳳’, ‘浅間白桃’, ‘なつおとめ’, ‘川中島白桃’, ‘ゆうぞら’の計8品種について, 果肉硬度1.5~2.5 kgの果実を供試した。

褐変果を判別するための品種共通の検量線(以下, 汎用検量線とする)の作成には, 測定不能の果実を除いた合計3,248果の下部測定値(上部測定値は3,227果分)を用いた。

また, 褐変果の発生が多い‘嶺鳳’について, 下部1,128果(上部1,096果)の測定値を使用して, 品種個別の検量線を作成した。

褐変果の障害程度の判定は以下の方法に従った。まず, 縫合線を挟んで左側, 右側, 縫合線側, 縫合線反対側, 果頂部, および果梗部の計6切片に果実を切断し(細部切断法, 第3, 4図), 発生程度を調査した。各断面について, 褐変果の判定基準²⁾に従い, 切断面に対する障害の発生面積の割合が0%を指数0, 1~10%を指数1, 11~20%を指数2, 21~30%を指数3, 31~40%を指数4, 41%以上を指数5の6段階に判別した。なお, 切断面が円と異なる4切片については, 切除した部分も加味して発生程度を求めた。6切片のうち, 最大の指数を果実の発生程度として採用した。

また, 本試験においてはより詳細なデータを集積するため, 褐変部分について濃淡を1~3の3段階に評価し(第5図), 発生程度と濃淡の積を障害程度として15段階に分類した。果実の解体および障害程度の判定は, 「FQA-21」によるスペクトル

強度の測定後に速やかに行った。

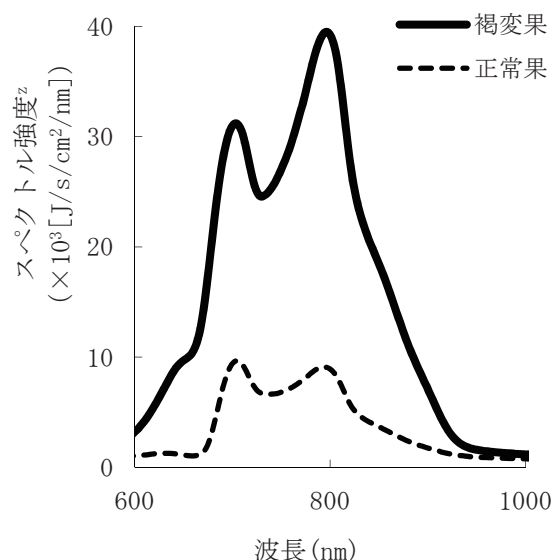
得られたスペクトル強度および障害程度を基に, 検量線の作成をFANTEC社に依頼し, 前述の褐変果に特徴的な5波長域の2次微分値と障害程度から回帰式を求め, 品種共通の汎用検量線および品種個別の検量線を作成した。

また, 検量線の判別精度については2006年の調査データを用いて評価した。

結果および考察

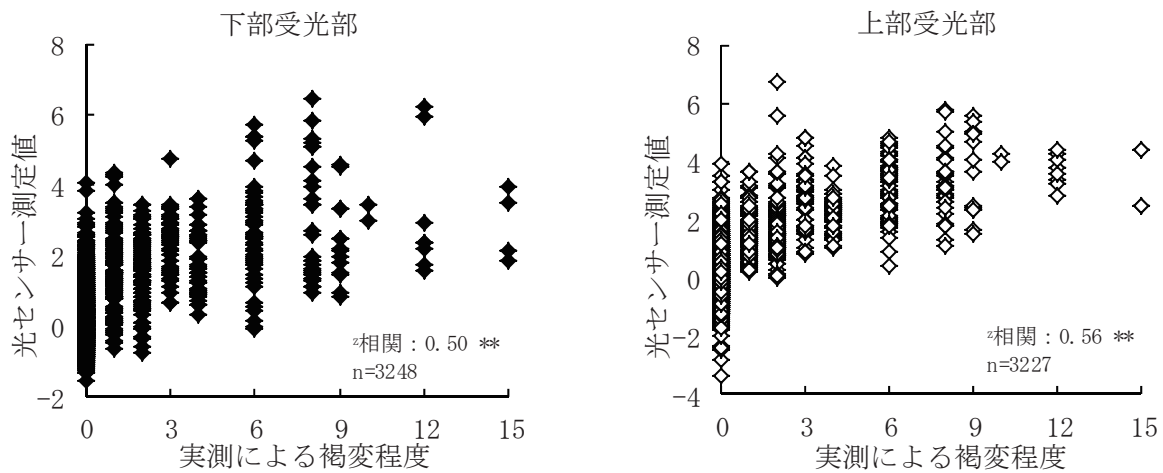
1. 褐変果と正常果の近赤外スペクトルの比較

透過型光センサーにより測定した‘川中島白桃’の600~1,000 nmにおけるスペクトル波形は, 正常果と褐変果で異なった(第6図)。褐変果は全体的にスペクトル強度が高く, 特に800 nm付近の強度が最も高かった。このうち, 正常果と褐変果の波形データから褐変果に特徴的な傾きを示す5波長域を選択した(データ非公開)。これら5波長域のスペクトル強度を利用すれば褐変果の障害程度を推定する検量線が作成可能であると考えられた。

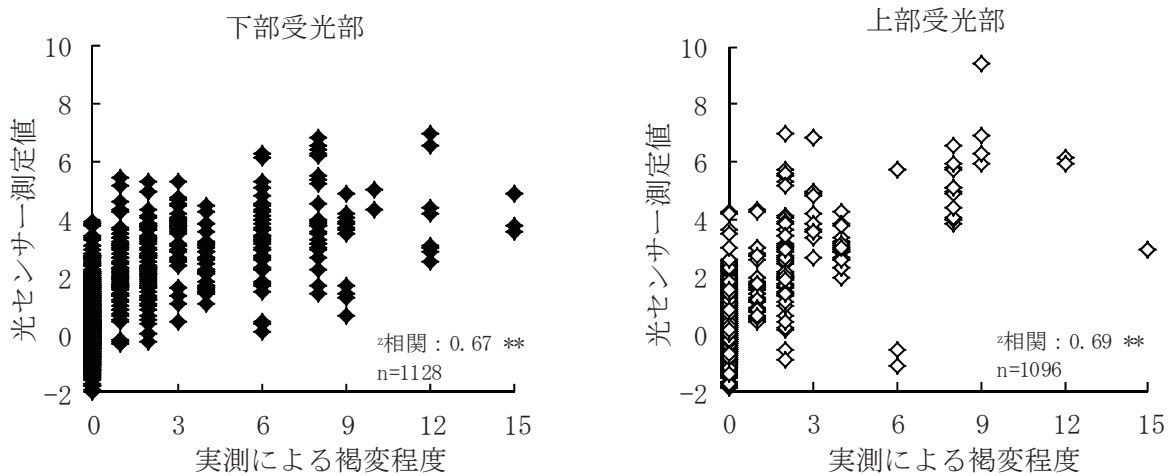


第6図 褐変果と正常果の波形データの比較(2004)

²⁾ 単位面積, 単位波長, および単位時間当たりのエネルギー量を示す



第 7 図 褐変果を判別する品種共通の汎用検量線作成時の精度 (2005~2006)
 ‘暁星’, ‘夢しずく’, ‘白鳳’, ‘嶺鳳’, ‘浅間白桃’, ‘なつおとめ’, ‘川中島白桃’, ‘ゆうぞら’,
 ‘みさかつ娘’ の果実を使用した検量線
^zスピアマンの順位相関係数 **危険率 1% で有意



第 8 図 ‘嶺鳳’ の褐変果を判別する品種個別検量線の精度 (2005~2006)
^zスピアマンの順位相関係数 **危険率 1% で有意

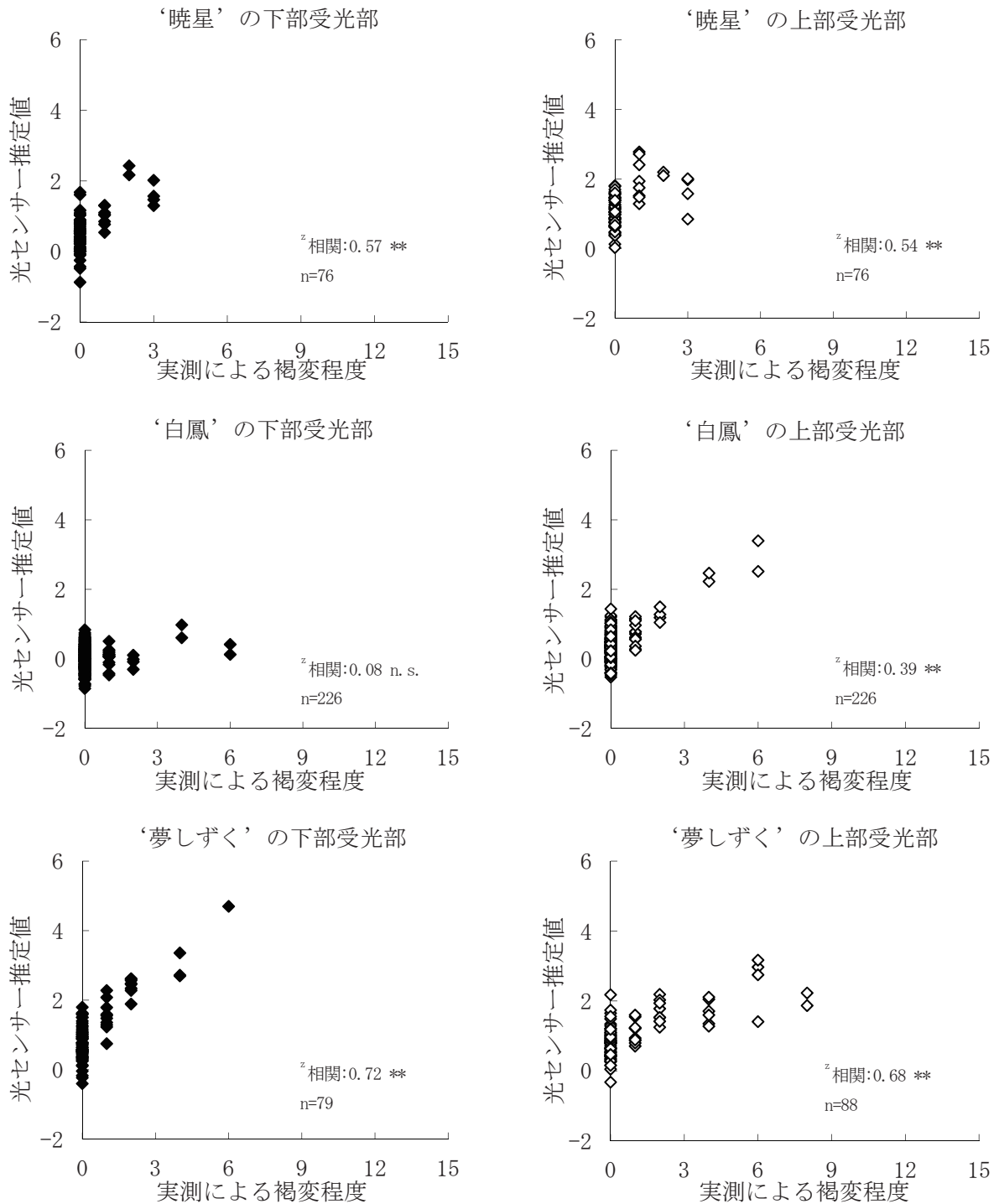
2. モモの褐変果判定用検量線の作成および評価

褐変果の障害程度を判定するため、細部切断法により発生程度を 0~5 の指数に判別し、さらに褐変部分の濃淡を掛け合わせて、障害程度を 15 段階の指数に分類した。これにより、求める検量線と障害程度との相関を詳細に解析することが可能であった。

検量線の作成にあたっては選択した 5 波長域のスペクトル強度の 2 次微分値と、解体調査により

判定した障害程度から検量線毎に回帰式を求めた (データ非公開)。

品種共通の汎用検量線については、受光部の下部測定値と障害程度の相関 (スピアマンの順位相関係数) は 0.50、上部測定値の相関係数は 0.56 であり、受光部の上部と下部では相関が異なっていた (第 7 図)。この理由として、モモのような核果類では照射された近赤外光が果実中心にある核の影響を受け、同一果実においても上部測定値と

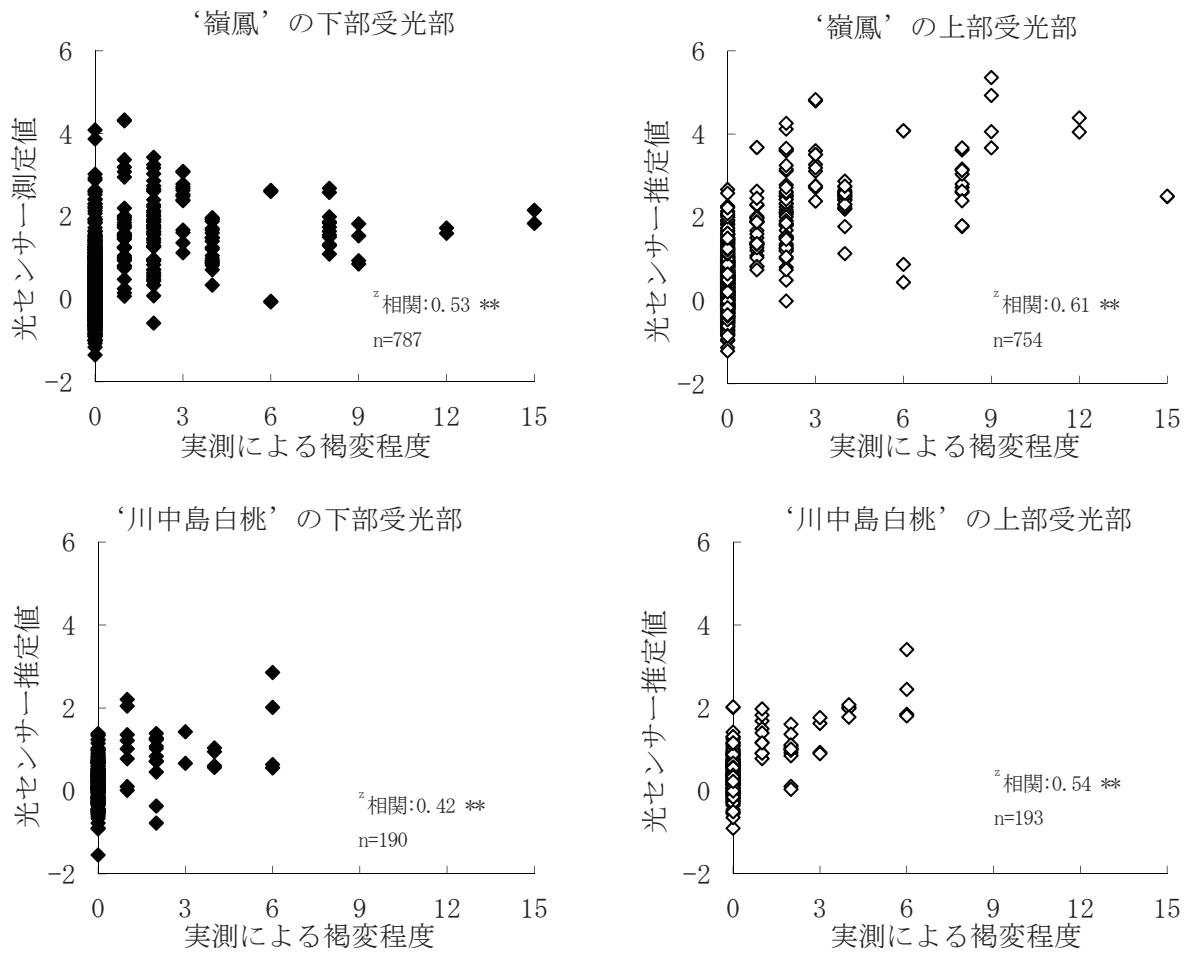


第9図 汎用検量線の評価 (2006)

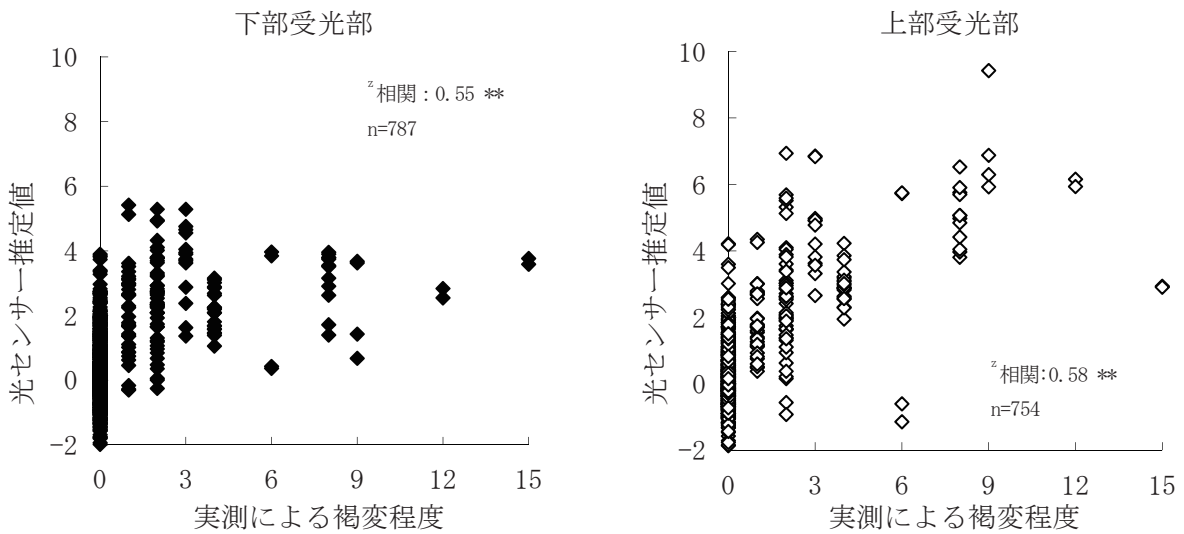
各品種とも 2006 年の果実データで評価

^z検量線により得られたセンサー測定値と実測による褐変程度の相関

(スピアマンの順位相関により, **危険率 1%で有意, n. s. 有意でない)



(第9図 つづき)



第 10 図 ‘嶺鳳’ の品種個別検量線の評価 (2006)

z ‘嶺鳳’ 個別に作成した検量線により得られたセンサー測定値と実測による褐変程度の相関 (スピアマンの順位相関により, **危険率 1% で有意)

下部測定値が異なる可能性が考えられた。したがって、褐変果の判定精度を高めるには、上部と下部測定値を用いて個別に検量線を作成し、測定においても両方の測定値から障害果の判定を行う必要があると考えられた。

次に、作成した検量線の判別精度について、2006年の果実データを用いて評価した(第9図)。汎用検量線と実測の障害程度との相関は、‘夢しずく’は下部が0.72, 上部は0.68, ‘暁星’は下部が0.57, 上部は0.54で, ‘白鳳’は下部が0.08, 上部は0.39で, ‘嶺鳳’は下部が0.53, 上部は0.61で, ‘川中島白桃’は下部が0.42, 上部は0.54であった。

また, ‘嶺鳳’において品種個別の検量線を作成した(第8図)。障害程度との相関係数は, 下部測定値が0.67, 上部測定値が0.69であった。

個別検量線の判別精度について, 2006年の果実データを用いて評価したところ, 障害程度との相関は, 下部が0.55, 上部は0.58であった(第10図)。

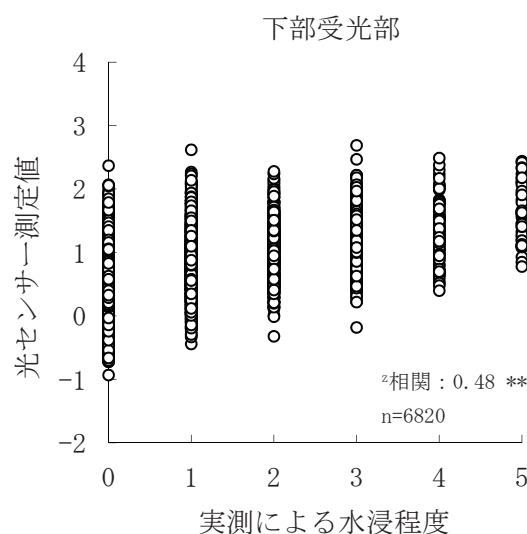
汎用検量線に比べ, 品種個別の検量線を作成した場合には相関が高まっており, 褐変果の発生が多いなど重要度が高い品種については, 品種個別の検量線を作成することで精度が向上する可能性が示唆された。

作成した検量線を実用化するには, 褐変果を判定するセンサー測定値の基準を設定する必要がある。基準値を厳しく設定すれば褐変果の混入を高い精度で防ぐことができるものの, 正常果のロスも増加するため, 適正な基準値については慎重に検討するとともに, 検量線の精度向上を図る必要がある。

しかしながら, 本試験の途中で透過型光センサー「FQA-21」の開発が中止となり, 本試験においては新規の果実データを用いた検量線の精度評価が実施できておらず, 実用化には至らなかった。今後, 他機種の透過型光センサーを用いる場合には, 測定されるスペクトル強度は同波長でも異なることが予想され, 機種ごとに新たな検量線を作成する必要があると思われる。しかし, 本試験と同様の手法を用いることで, 透過型光センサーを用いてモモの褐変果を判別する検量線の作成が可

能であると考えられた。

一方, 水浸状の果肉障害果(水浸果)についても褐変果と同様に特徴的なスペクトル波長の選別と検量線の作成を試みたが, 正常果であっても水浸果と判定される果実が多く(第11図), 現状では近赤外スペクトルによる水浸果の判別は困難であると考えられた。



第11図 水浸果を判別する品種共通の汎用検量線の精度(2004~2006)

♯スピアマンの順位相関係数 **危険率1%で有意

摘要

モモ褐変果を透過型光センサーにより非破壊で判別する方法について検討した。600~1,000 nmの波長域から褐変果に特徴的な傾きを示す5波長を選定し, 測定したスペクトル強度と15段階に分類した障害程度から品種共通の汎用検量線と‘嶺鳳’において品種個別の検量線を作成した。

汎用検量線と障害程度の相関係数は0.08~0.72で, 受光部の位置や品種により異なった。品種個別の検量線を採用すると汎用検量線に比べて相関が高まり, 品種個別に検量線を作成することで判別精度が高まる可能性が示唆された。

試験途中で透過型光センサー「FQA-21」の開発が中止となったため, 検量線の精度評価が不十分

で,本判別法は実用化には至らなかった.しかし,本試験と同様の手法を用いることで,透過型光センサーを用いてモモの褐変果を判別する検量線の作成が可能であると考えられた.

引用文献

- 1) 齊藤典義・古屋 栄・猪股雅人(2002). モモ果実に発生した障害“みつ症”の特徴. 園学雑. 71 (別1) : 210.
- 2) 萩原栄揮・渡辺晃樹・富田 晃・新谷勝広・古屋 栄・手塚誉裕・中込一憲(2013). モモの果肉障害に関する研究 (1) モモ果肉障害の発生における品種間差異. 山梨果試研報. 13:p. 58
- 3) 相川勝六・大久保樹(1996). モモの非破壊糖度選果システムの導入効果と農家の評価. 山梨県総合農業試験場研報第7号 : p63-76.
- 4) 川上秀和・藤澤弘幸・長谷川啓哉・中元陽一(2004). リンゴの生産と販売における光センサー選果機の利用実態. 東北農研総研 (A). 14:1-30
- 5) 前田弘(2003). 第10節 近赤外分光法による糖度選別装置. 食品の非破壊計測ハンドブック. p. 208-215. サイエンスフォーラム. 東京