

可視・近赤外分光法による農産物  
内部障害の非破壊評価に関する研究

平成 25 年 3 月

氏名 滝沢 憲一

新潟大学大学院自然科学研究科博士後期課程  
環境共生科学専攻

## 目次

|           |                           |    |
|-----------|---------------------------|----|
| 第 1 章     | 緒言 .....                  | 1  |
| 1 - 1     | 食品産業の将来ビジョン .....         | 1  |
| 1 - 1 - 1 | 食品産業に期待される役割 .....        | 1  |
| 1 - 1 - 2 | 農業工学の貢献 .....             | 2  |
| 1 - 2     | 非破壊評価 .....               | 2  |
| 1 - 2 - 1 | 非破壊評価とは .....             | 2  |
| 1 - 2 - 2 | 光学的方法を用いた食品の非破壊評価 .....   | 4  |
| 1 - 2 - 3 | 放射線的方法を用いた食品の非破壊評価 .....  | 5  |
| 1 - 2 - 4 | 電磁気学的方法を用いた食品の非破壊評価 ..... | 5  |
| 1 - 2 - 5 | 力学的方法を用いた食品の非破壊評価 .....   | 6  |
| 1 - 2 - 6 | その他の方法 .....              | 7  |
| 1 - 3     | 農産物の非破壊評価 .....           | 7  |
| 1 - 3 - 1 | 農産物の品質 .....              | 7  |
| 1 - 3 - 2 | 選果場における品質評価 .....         | 7  |
| 1 - 4     | 研究背景および研究目的 .....         | 8  |
| 1 - 4 - 1 | 研究背景 .....                | 8  |
| 1 - 4 - 2 | 研究目的 .....                | 9  |
| 第 2 章     | 内部障害ダイコンの非破壊検出 .....      | 12 |
| 2 - 1     | はじめに .....                | 12 |
| 2 - 2     | 実験装置および方法 .....           | 13 |
| 2 - 2 - 1 | 供試材料 .....                | 13 |
| 2 - 2 - 2 | 装置の概要 .....               | 16 |
| 2 - 2 - 3 | ハロゲン光源および光源用光ファイバ .....   | 17 |
| 2 - 2 - 4 | 分光器および受光用光ファイバ .....      | 19 |
| 2 - 2 - 5 | スペクトルの測定 .....            | 21 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 2-2-6 | スペクトルデータの平滑化微分処理 .....                       | 21 |
| 2-2-7 | 変数選択法 .....                                  | 25 |
| 2-2-8 | 判別分析法 .....                                  | 26 |
| 2-2-9 | ニューラルネットワーク .....                            | 27 |
| 2-3   | 結果および考察 .....                                | 31 |
| 2-3-1 | 正常ダイコンおよび内部障害ダイコンの可視・近赤外スペクトル（吸光度） .....     | 31 |
| 2-3-2 | 正常ダイコンおよび内部障害ダイコンの可視・近赤外スペクトル（吸光度一次微分） ..... | 33 |
| 2-3-3 | 正常ダイコンおよび内部障害ダイコンの可視・近赤外スペクトル（吸光度二次微分） ..... | 34 |
| 2-3-4 | ステップワイズ変数増減法による特徴波長の選択 ....                  | 36 |
| 2-3-4 | バンド比を用いた線形判別分析 .....                         | 38 |
| 2-3-4 | 多変量判別分析法による判別 .....                          | 41 |
| 2-3-4 | ニューラルネットワークによる判別 .....                       | 43 |
| 2-3-5 | 摘要 .....                                     | 47 |
| 第3章   | セイヨウナシ‘ル・レクチュ’の渋味果評価 .....                   | 48 |
| 3-1   | はじめに .....                                   | 48 |
| 3-2   | 実験装置及び方法 .....                               | 49 |
| 3-2-1 | 供試材料 .....                                   | 49 |
| 3-2-2 | 装置の概要 .....                                  | 50 |
| 3-2-3 | 光源ボックス .....                                 | 51 |
| 3-2-4 | 分光器および受光用光ファイバ .....                         | 51 |
| 3-2-5 | スペクトルの測定 .....                               | 51 |
| 3-2-6 | スペクトルデータの前処理 .....                           | 53 |
| 3-2-7 | 果実の渋味判定 .....                                | 53 |
| 3-2-8 | 判別分析法 .....                                  | 54 |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 3-2-9   | ニューラルネットワーク .....                        | 55 |
| 3-3     | 結果および考察 .....                            | 56 |
| 3-3-1   | 正常果および渋味果の可視・近赤外スペクトル(吸光度)<br>.....      | 56 |
| 3-3-2   | 正常果および渋味果の可視・近赤外スペクトル(吸光度<br>一次微分) ..... | 58 |
| 3-3-3   | 多変量判別分析法による判別 .....                      | 59 |
| 3-3-4   | ニューラルネットワークによる判別 .....                   | 61 |
| 3-3-5   | 摘要 .....                                 | 64 |
| 第4章     | 総括 .....                                 | 65 |
| 4-1     | 内部障害ダイコンの非破壊検出について .....                 | 65 |
| 4-2     | セイヨウナシ‘ル・レクチェ’の渋味果評価について ....            | 66 |
| 参考文献    | .....                                    | 67 |
| 謝辞      | .....                                    | 76 |
| SUMMARY | .....                                    | 77 |
| 付録1     | ニューラルネットワークによる判別結果(ダイコン) .....           | 79 |
| 付録2     | ニューラルネットワークによる判別結果(‘ル・レクチェ’)<br>.....    | 87 |

## 第 1 章 緒言

### 1-1 食品産業の将来ビジョン

#### 1-1-1 食品産業に期待される役割

食品産業の国内生産額は、食料品価格の値下げ、景気の低迷、人口減少等により 1990 年代後半をピークに減少傾向にある。食品産業に携わる企業の 99%が中小零細企業であり、輸出や事業の海外展開には関心を持ちながらも、国際化は進んでいない。また、食品産業は農林水産物を原材料として多種多様な食品を製造しており、豊かな食生活を支えている。国産農林水産物の 3 分の 2 が食品産業向けであり、農林水産物の最大の需要者として、農林漁業者の所得確保に寄与している<sup>1)</sup>。つまり、食品産業の発展は、農林水産業の発展にもつながり、より豊かな食生活の創造につながる。

これからの食品産業は、自らの取組の方向性を定める上での共通の視座として、「消費者」、「地域」、「グローバル」を組み合わせる戦略を明確化することが重要である<sup>1)</sup>。一つ目の視座は、「ライフスタイル提案による新たなマーケットの創出」である。食品産業の事業活動を、単なる「物」の供給ではなく、幅広いライフスタイルの提案として捉え、研究・商品開発力を強化し、消費者の嗜好の変化や実態等を正しく認識し、新たな付加価値を生む商品、サービスを開発することが重要な着眼点となる。二つ目の視座は、「自らが立地する地域の魅力をフル活用した事業展開」である。食品産業事業者が自らの強みを明確にし、独自性を発揮することによって、付加価値を高めようとする際に、地域性は重要な着眼点となる。三つ目の視座は、「グローバルな観点での競争力強化」である。すなわち、グローバルな観点から企業競争力を高め、事業基盤強化を通じた原料調達力の強化や、新商品・サービスの開発のための研究、新たな市場開拓を推進することが重要である。

### 1-1-2 農業工学の貢献

食品産業に対し、農業工学は農産物の貯蔵、加工機械、品質評価等の技術革新で貢献してきた。

農業工学及び三つの視座で複眼的に食品産業の目指すべき方向を検討すると、農産物の地域ブランド化という方向性が見えてくる。農林水産省では、農林水産物・食品の地域ブランドの目指すべき姿は、①「もの」の価値（食味、栄養等の品質）が確立されていること、②地域との自然的、歴史的、風土的、文化的、社会的関連性を有し、地域の人々に愛着を持たれるものであること、③「もの」の価値や地域との関連性を伝えるため、適切な表示やパッケージデザイン、マーケティング等売り方が工夫されていること、④「ブランド」とは消費者の信頼により成り立つことを認識し、その信頼を裏切らないブランド管理（品質・表示）を行っていること、という4つの要件を満たすものであるべきとしている<sup>2)</sup>。

農産物の価値を確立し、品質・表示等ブランド管理を行うために、非破壊品質評価技術は有効な手段である。地域ブランド化が確立された農産物は、グローバルな観点での競争力を持ち、輸入品に負けない農産物、輸出できる農産物を作り出すことが可能になり、食品産業および農林水産業の発展をもたらす。

## 1-2 非破壊評価

### 1-2-1 非破壊評価とは

非破壊評価法は、対象物を壊さずに内部品質を評価する技術であり、センサー技術、データ解析技術、制御技術の3つの要素技術により成り立っている。センサーの主な検出対象は、表1-1に示すように種々雑多である<sup>3)</sup>。さらにセンサーの検出対象としてだけでなく、検出手段として用いられるものを表1-2に示す。例えば、赤外線を検出して

対象物の温度を検知する場合，検知対象はあくまでも温度であり，赤外線検出は温度を検出するための一つの手段である。同様に液体の流速を検知する方法に超音波を利用する方法があるが，これも超音波検出は液体の流速を検知する一つの手段である。一部例外的なものとして，大気中の放射線の検出，大地の地磁気，太陽光線の検出，物体の赤外線放射など，それ自体検知の対象となるものもある。

表 1 - 1 センサーの主な検出対象

| 検出対象    |         |           |           |
|---------|---------|-----------|-----------|
| 1) 数    | 9) ひずみ  | 17) 成分組織  | 25) 熱量    |
| 2) 長さ   | 10) 圧力  | 18) 水分    | 26) 温度    |
| 3) 面    | 11) トルク | 19) イオン濃度 | 27) 火災    |
| 4) 立体   | 12) 流量  | 20) 濁度    | 28) 煙     |
| 5) 位置   | 13) 流速  | 21) 流体    | 29) 有害ガス  |
| 6) レベル  | 14) 加速度 | 22) 比重・密度 | 30) 臭気・香り |
| 7) 直線変位 | 15) 音波  | 23) 探傷    |           |
| 8) 回転変位 | 16) 振動  | 24) 湿度    |           |

表 1 - 2 センサーの主な検出手段

| 検出対象                    |           |
|-------------------------|-----------|
| 1) 紫外線                  | 6) 磁気     |
| 2) 可視光線                 | 7) 音波（音響） |
| 3) 赤外線                  | 8) マイクロ波  |
| 4) $\gamma$ 線・X 線などの放射線 | 9) レーザー光線 |
| 5) 電気                   |           |

## 1-2-2 光学的方法を用いた食品の非破壊評価

通常、電磁波のうち紫外線、可視光線、赤外線が光と呼ばれる<sup>4)</sup>。光と対象物との相互作用によって生じる吸収や放射を利用する方法を光学的方法という<sup>5)</sup>。

### (1) 紫外線の利用

紫外線を用いた非破壊評価は、紫外線照射により生じた励起状態にある電子エネルギーが、基底状態に戻るとき放射される傾向を測定するものである<sup>6)</sup>。これまでに、イチゴ果実硬度の推定<sup>7)</sup>、ミカン熟度・傷病度の判定<sup>8)</sup>等の報告がある。

### (2) 可視光線の利用

可視光線を用いた非破壊評価は、可視光域における吸収と放射現象を物質の定性、定量に応用したものであり、対象物の表面で拡散反射した光を利用する反射法、対象物の中を透過した光を利用する透過法、および遅延発光を利用する方法がある<sup>6)</sup>。反射法はこれまでに、トマト表皮色の色彩判定<sup>9)</sup>、ナスの表面光沢の定量<sup>10)</sup>等の報告がある。透過法はこれまでに、褐色卵の血卵検出<sup>11)</sup>、トマトの熟度判定<sup>12)</sup>等の報告がある。遅延発光を利用する方法はこれまで、コメの品質評価<sup>13)</sup>、トマトのクロロフィル含量推定<sup>12)</sup>等の報告がある。

### (3) 赤外線の利用

赤外線は、分野ごとに異なる波長範囲と呼び名の組み合わせが用いられる。分光学の分野では、分子の基本振動に基づく波長帯を中赤外とし、これより短波長側を近赤外、長波長側を遠赤外とする。中赤外は2,500～25,000nmと定義され、遠赤外はこれより長い1,000,000nm(1mm)までの範囲である。この領域は電波利用からの立場ではテラヘルツ(THz)域とも重なる<sup>4)</sup>。近赤外は800～2,500nmと定義され、分子の基本振動の倍音または結合振動によるものである<sup>14)</sup>。近赤外線を用いた非破壊評価は、食品に含まれる各主成分のC-H、N-H、O-H



などの化学構造（官能基）による近赤外領域における吸収現象を利用した方法である<sup>6)</sup>。また，近赤外域の光は，試料の損傷がなく安全であり，水分の多い試料でも測定が可能であるという特徴を持っている<sup>15)</sup>。対象物の表面で拡散反射した近赤外光を利用する反射法，対象物の中を透過した近赤外光を利用する透過法による報告は多数ある<sup>16)</sup>。そして，1989年に近赤外線反射光方式の実用機の第一号となるモモ糖度測定機が山梨県西野農協に設置されている<sup>17)</sup>。その後，1996年に近赤外線透過光方式の実用機の第一号となる温州ミカン用の糖度選別機が熊本市農協に設置された<sup>18)</sup>。中赤外光は，分子構造に由来した特異的な吸収バンドが存在する光である<sup>5)</sup>。これまでに，デンプンの糊化度の変化の測定<sup>19)</sup>，食品の糖成分分析<sup>20)</sup>等の報告がある。遠赤外光は，様々な物質（プラスチック，厚紙，木，半導体パッケージ等）を容易に透過するため，非破壊・非接触な内部検査法の代表例であるX線と異なり低侵襲（低エネルギーであり従って人体に安全）である<sup>21)</sup>。

### 1-2-3 放射線的方法を用いた食品の非破壊評価

放射線を用いた非破壊評価は， $\gamma$ 線・X線などの放射線の物質に対する透過率の違いを利用した方法である<sup>22)</sup>。

$\gamma$ 線・X線などの放射線を用いた非破壊評価は，モモの核割れやナシの芯腐れの検出の報告がある<sup>23)</sup>。

### 1-2-4 電磁気学的方法を用いた食品の非破壊評価

電磁気を用いた非破壊評価は，対象物の持つ電磁気学的特性を利用したもので，インピーダンス，誘電率のほか，核磁気共鳴（NMR）や電子スピン共鳴（ESR）を利用した計測法が開発されている<sup>22)</sup>。

#### (1) インピーダンスの利用

インピーダンスは生体の生理活性状態を反映する<sup>5)</sup>。これまでに、球状青果物の鮮度判定<sup>24)</sup>、魚肉の鮮度判定<sup>25)</sup>等の報告がある。

#### (2) 誘電率の利用

誘電率を用いた非破壊評価は、水の誘電率が大きく感度良く測定することが可能であることから利用されている<sup>5)</sup>。これまでに、高水分粉の高精度水分測定<sup>26)</sup>、ナタネ種子油分の迅速測定等の報告がある<sup>27)</sup>。

#### (3) 核磁気共鳴の利用

核磁気共鳴は、強磁場の下で数百 MHz のラジオ波を照射するとき生ずる原子の核スピンの磁気共鳴の性質を利用する方法である<sup>5)</sup>。これまでに、マイタケ培地内部における菌糸の発達の観測<sup>28)</sup>、スイカの糖度測定<sup>29)</sup>等の報告がある。

#### (4) 電子スピン共鳴の利用

電子スピン共鳴は、強磁場の下でマイクロ波を照射するとき生ずる原子を構成する電子スピンの磁気共鳴の性質を利用する方法である。これまでに、殺菌を目的とした照射処理を行ったコショウの検知<sup>30)</sup>、コメの酸化<sup>31)</sup>等の報告がある。

### 1-2-5 力学的方法を用いた食品の非破壊評価

力学的方法は、音波や振動のエネルギーを用い食品のテクスチャー、組織構造、粘弾性など、主に食品の力学的特性が関与する品質の評価法である<sup>5)</sup>。

#### (1) 超音波の利用

超音波法は、対象物の一端に入力した超音波の透過や反射の性質を利用する方法である。これまでに、水中油型エマルションの油脂結晶化現象の測定<sup>32)</sup>、カマボコ内部の気泡の検査等の報告がある<sup>33)</sup>。

## (2) 音響の利用

音響による方法は、対象物をたたいたときの反響音を解析する方法<sup>5)</sup>、音波の入力に対する共鳴を解析する方法であるヘルムホルツ共鳴を解析する方法、レーザー光を照射したときのドップラー効果を解析する方法等がある。これまでに、メロン果肉の硬さ推定<sup>34)</sup>、米粒の体積計測<sup>35)</sup>、‘ル・レクチュエ’果実の硬度推定<sup>36)</sup>等の報告がある。

### 1-2-6 その他の方法

マイクロ波は、300～300,000Mhz(1mm～1m)の電磁波であり<sup>37)</sup>、電波の区分に属する。マイクロ波の利用は、電子レンジに代表される加熱手段としての利用が多数であるが、光学的方法を用いた非破壊評価と同様に、対象物との相互作用によって生じる吸収や放射を利用する方法もある。これまでに、穀物水分の迅速計測<sup>38)</sup>、粉体の流量計測<sup>39)</sup>等の報告がある。

## 1-3 農産物の非破壊評価

### 1-3-1 農産物の品質

農産物の品質は、外観品質、内部品質に分類することが可能である。外観品質の評価には果形、着色、擦り傷、病虫害痕、生理傷害等の要素がある<sup>40)</sup>。内部品質の評価には糖度、酸度、熟度、果肉の質、果汁量、渋み、空洞等の要素に加え、残留農薬、異物混入、変色、腐敗、カビ等の安全評価要素もある<sup>40)</sup>。

### 1-3-2 選果場における品質評価

選果場は荷受け、抜き取り検査、目視検査、選別機による検査、保管、出荷の工程から構成されている<sup>41)</sup>。農産物によっては荷受け工程の後に洗浄工程を必要とする農産物もある。

抜き取り検査工程では，サンプルの抜き取り検査により各ロットの品質を事前に評価している<sup>41)</sup>。目視検査工程では，前述の外観品質の評価要素を目視にて検査している。

選別機による検査を行っている集出荷組織は，平成 18 年 9 月時点で，野菜では 2,110 組織中 854 組織あり，果実では 1,600 組織中 927 組織ある<sup>42)</sup>。選別機を選別内容別に分類すると，重量，大きさ，色・傷・形状，内部品質に分類される。重量選別機は野菜では 529 組織，果実では 516 組織が保有している。大きさの選別機は野菜では 573 組織，果実では 656 組織が保有している。色・傷・形状選別機は野菜では 306 組織，果実では 378 組織が保有している。これら外観品質の選別機は多くの集出荷組織が保有している。それに対し内部品質の選別機は野菜では 58 組織，果実では 234 組織が保有しており，外観品質の選別機ほど多くない。

## 1-4 研究背景および研究目的

### 1-4-1 研究背景

選別機および選別ラインは非常に高額である。北海道の 25 箇所の JA に対して実施した機械選果に関するアンケート結果によれば<sup>43)</sup>，機械の高価格性を指摘していた JA が 15 にも達している。機械選果の導入に当たって何らかの補助事業が利用できなければ，すなわち JA が独力で導入しようと思っても不可能に近い価格水準にある，とも指摘している。このアンケート結果によると，選別機を導入したラインにおいて最も不満に思っている工程は選別工程である，とも示している。つまり，高額でありながら思ったほどの選別ができていないと評価されている選別機が多いという現状がある。

内部品質の選別機の選別は，近赤外の 2 波長または 3 波長の吸光度を用いて重回帰式や判別式を作成し，行われており，この重回帰式や

判別式は、品種、栽培条件、栽培地、収穫条件等の誤差要因を持っている<sup>18)</sup>。様々な生産者に収穫された野菜または果実が、1日の生産の中で選別ラインに流れてくる。つまり、同じ品種であっても異なる栽培条件、栽培地、収穫条件の野菜または果実を選別ラインは扱っているのです。選別の誤差は大きくなりがちである。

そこで、選果場では、内部品質の選別機の調整のために毎日始業時にデータを取る必要があります。しかも、湿度の影響を大きく受け、急に晴れたり雨になったりするとバイアス調整を選果場の作業員が行っている<sup>44)</sup>。この様に、作業員がきめ細かな調整を行うことで、内部品質の選別は満足できる水準を保っている。この調整作業を行うことのできる作業員のいない選果場では、精度の高い選別は非常に困難である。一方、前述のアンケート結果には、アフターサービスが不十分であるという不満を持っているJAもある<sup>43)</sup>。

これらのことは、選別機を導入したものの、選別機的能力を引き出せないまま使っている選果場、使っていない選果場が数多く存在することの大きな原因となっている。

#### 1-4-2 研究目的

前項で述べたように、内部品質の選別機は、使いこなすことが難しい機械である。しかしながら、内部品質による選別を必要とする農産物や食品は非常に多い。野菜では、タケノコ、ニンジン、タマネギ、バレイショ、ダイコン等の内部障害やピーマンにおける虫の混入を検知する機械が欲しいという要望が総合商社、食品加工会社、製菓会社から挙がっている。筆者は、選別作業中に選別精度が大きく変動することをダイコンの選果場で経験した。その時は、選別作業中に、違う生産者のダイコンに切り替わったことをきっかけとして、それまで用いていた判別式では内部障害の有無の判別精度が急激に悪化した。そ

こで、選別作業中に判別式の微調整を数回繰り返して、判別精度の回復を行った。この選果場のある地区は、ダイコンの大きな生産地であり、台湾への輸出もはじめており、ブランドダイコンとしての地位を築いている。

果実では、内部品質の選別機導入は進んでいるが、大規模な選果場で生産量の多い果実の糖度選別がほとんどのケースである。2006年の農林水産省の調べによると、糖度および酸度以外の内部品質を選別する選別機は、171,900tの果実を選別し出荷しているが、果実別ではミカン、リンゴ、ニホンナシ、モモ、カキの5品目で果実全体の99%にあたる170,450tの果実を選別し出荷している。

セイヨウナシ‘ル・レクチェ’は、新潟県の食と農のブランド戦略において、全国レベルでブランドとしての認知度と使用率が高いブランドに成長する可能性のある品目であると期待されている果実である<sup>45)</sup>。しかし、渋味の強い果実（以下、渋味果）がクレームの対象となっている<sup>46)</sup>。‘ル・レクチェ’生産者からは、渋味果を見分ける機械が欲しいという要望が非常に多くある。

そこで本研究では、内部品質の選別機の問題点を解決し、高品質な農産物を選別し、その農産物の地域ブランド化に貢献することを大目的として、具体的には以下の2点に取り組むものとする。

- 1 選別作業中に選別精度が大きく変動する恐れのある判別式に代わり、品種、栽培条件、栽培地、収穫条件等の誤差要因の影響を受けない選別が可能となる判別法について検討した。
- 2 新潟県の食と農のブランド戦略において注目されているセイヨウナシ‘ル・レクチェ’の渋味果の非破壊判定を目的として、可視・

近赤外分光法により正常果と渋味果を非破壊的に判定する方法  
について検討した。

## 第2章 内部障害ダイコンの非破壊検出

### 2-1 はじめに

平成 23 年度の日本国内におけるダイコンの収穫量は，1,493,000t であり，バレイショに次ぐ収穫量の多い野菜である<sup>47)</sup>。

秋冬ダイコンに関しては，新潟県は作付面積が 1,410ha であり，全国で 4 番目に大きな面積である<sup>48)</sup>。新潟県では，収穫された秋冬ダイコンの多くは，タクアンの原料として，漬物加工業者に引き取られている。タクアンはダイコンを切らずに使用する。それゆえに，内部に障害のあるダイコンを原料としたタクアンは，製品価値が著しく落ちる。しかしながら，目視で内部障害を検出することは不可能であり，それゆえに非破壊測定方式による内部障害の検出が望ましい。

一方，内部品質の選別機で選別された高品質な製品を出荷することは，農産物の地域ブランド化の確立に貢献している。代表的な例として，和歌山県の「有田みかん」，山梨県の「春日居もも」，茨城県の「スーパーフルーツマト」がある。しかし，ダイコンの内部品質を評価する選別機を導入し，地域ブランドの確立に貢献しているところはほとんどない。

可視・近赤外分光法は，温州ミカンの糖度<sup>50)</sup>，リンゴの可用性固形物と硬度<sup>51)</sup>，褐色卵の血卵<sup>52)</sup>，マンゴスチンの半透明果肉傷害<sup>53)</sup>，ブレイバーンリンゴの褐色心腐れ<sup>54)</sup> など農産物の内部品質評価に広く適用されている。また，ニューラルネットワークと組み合わせた可視・近赤外分光法は，ヤマモモの品種<sup>55)</sup>，インスタントミルクティの品種<sup>56)</sup>，デュロックブタとイベリコブタの分類<sup>57)</sup> などいくつかの報告がある。ニューラルネットワークは，脳の情報処理機能をコンピュータ上に再現したものであり，線形の多変量解析を適用して良好な結果を得ることが困難な場合でも，良好な結果を得ることが期待できる解析手法である<sup>58)</sup>。



そこで本研究では，判別分析やニューラルネットワークと可視・近赤外分光法を組み合わせ，ダイコンの内部障害を非破壊で検出する技術の開発を目的とした。

## 2-2 実験装置および方法

### 2-2-1 供試材料

本研究では，平成 19 年に新潟市西区赤塚で収穫された白首ダイコン 228 個を供試材料とした。生産者は不明であるが，複数の生産者が生産したダイコンである。

個々の供試材料が正常なダイコン（以下，正常ダイコン）であるか，内部に障害が発生しているダイコン（以下，内部障害ダイコン）であるかは，スペクトル測定を行った後に，切断し目視で判定した。正常ダイコンは 130 個，内部障害ダイコンは 98 個であった。

98 個の内部障害ダイコンは 4 種類の障害に分類することが可能であり，それぞれの障害に該当する供試ダイコンの個数とともに表 2-1 に示す。また，正常ダイコンおよび 4 種類の内部障害ダイコンの断面図を図 2-1 から図 2-5 に示す。

表 2-1 供試材料の分類および症状

| 分類   | 症状                              | 個数  |
|------|---------------------------------|-----|
| 正常   |                                 | 130 |
| 黒芯   | 直径 10~50 mm                     | 5   |
| 極細黒芯 | 直径 0.1 mm 程度で 1~15 個存在          | 25  |
| 無色空洞 | 直径 3~30 mm の空洞，変色無し             | 6   |
| 有色空洞 | 直径 1~40 mm の空洞，黒色・黒褐色・薄茶色等の変色有り | 62  |



図 2 - 1 正常ダイコン



図 2 - 2 内部障害（黒芯）ダイコン



図 2 - 3 内部障害（極細黒芯）ダイコン



図 2 - 4 内部障害（無色空洞）ダイコン



図 2 - 5 内部障害（有色空洞）ダイコン

### 2 - 2 - 2 装置の概要

本研究に用いた実験装置の概要を図 2 - 6 に示す。本装置は，300W ハロゲン光源（PICL - NEX TWIN，日本ピー・アイ），光源用光ファイバ（PLG-Y-1000-6R，日本ピー・アイ），分光器（Handy Lambda II，スペクトラ・コープ），受光用光ファイバ，供試台，暗室，パーソナルコンピュータおよびディスプレイから構成される。光源からのハロゲン光が供試台に静置した供試ダイコンを透過し，その透過光を分光器で分光し，スペクトルデータとしてパーソナルコンピュータに保存する。各機器の詳細な説明は，次頁以降で行う。

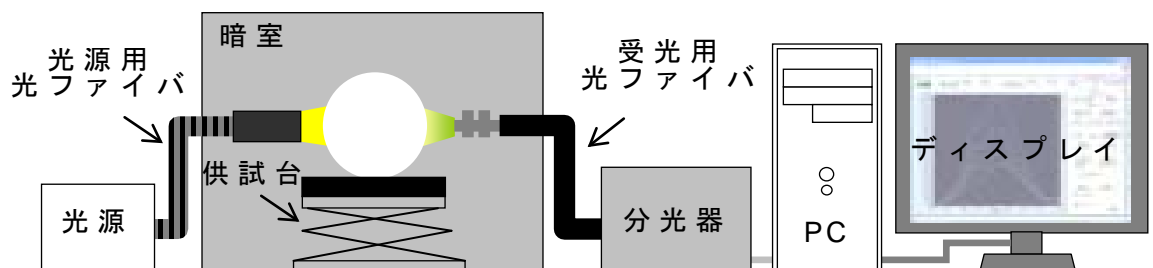


図 2 - 6 実験装置の概要

### 2 - 2 - 3 ハロゲン光源および光源用光ファイバ

本実験に使用したハロゲン光源および光源用光ファイバを図 2 - 7 に示す。この光源は、熱線カットフィルタにより熱線の放射を抑え、さらに光源用光ファイバにも熱を吸収する特性があるため、照射面の温度上昇を最小限に抑えることができる。また、この光源は 2 個のハロゲンランプを装着しており、省スペースと高輝度を両立している。表 2 - 2 にハロゲン光源の主な仕様を示す。ハロゲンランプは、 $\phi 50$  低電圧反射形リフレクターランプ（JCR15-150/M，河北ライティングソリューションズ）を 2 個使用した。

表 2 - 3 に光源用光ファイバの主な仕様を示す。この光ファイバは、素線に多成分ガラスを使用しており、短波長側の伝送損失が少ないという特徴を持っている。



図 2 - 7 本実験で使用した光源および光源用光ファイバ

表 2 - 2 ハロゲン光源の主な仕様

|        |                      |
|--------|----------------------|
| 型 式    | PICL-NEX TWIN-150    |
| 定格入力電圧 | AC100V               |
| 定格入力電流 | 6A（150W ランプ使用時）      |
| 照度可変範囲 | 0～100%               |
| 冷却方式   | 強制ファン冷却              |
| 外形寸法   | 237(W)×130(H)×210(D) |
| 重 量    | 約 5kg                |

表 2 - 3 光源用光ファイバの主な仕様

|          |               |
|----------|---------------|
| 型式       | PLG-Y-1000-6R |
| 素線種類     | 多成分ガラスファイバ    |
| 保護管種類    | SUS フレキシブル    |
| 分岐数      | 入射側が 2 分岐     |
| 入射側バンドル径 | 6mm           |
| 長さ       | 1000mm        |

#### 2 - 2 - 4 分光器および受光用光ファイバ

本実験に使用した分光器および受光用光ファイバを図 2 - 8 に示す。この分光器は，ダイオードアレイを使用した分光器であり，外的要因に影響を受けず，短時間での測定を可能にするという特徴を持っている。表 2 - 4 に分光器の主な仕様を示す。受光用光ファイバは，石英製のファイバを束ね，ステンレス保護スパイラル管を巻き，その上からシリコン保護チューブを巻いた，バンドル径が 0.6mm のものを使用している。



図 2 - 8 本実験で使用した分光器および受光用光ファイバ

表 2 - 4 分光器の主な仕様

|             |                 |
|-------------|-----------------|
| 型 式         | Handy Lambda II |
| 対 象 波 長     | 310～1100nm      |
| 半 値 幅 分 解 能 | 10nm            |
| シグナル・ノイズ比   | 5000:1          |
| 波 長 精 度     | 0.3nm           |
| 温 度 依 存     | 0.02nm/℃        |
| 素 子 数       | 256 素 子         |
| 波 長 分 散     | 3.3nm/1 素 子     |
| インターフェイス    | USB2.0          |



### 2-2-5 スペクトルの測定

供試ダイコンの可視・近赤外スペクトルの測定には、分光分析ソフトウェア（Wave Viewer, スペクトラ・コープ）を使用した。分光器によって取得される光強度、供試体の厚さや光源の劣化、測定環境などの諸条件によって影響を受けている。したがって、供試ダイコンの光強度は、白色セラミック製の標準白色板を用いて得られた基準光強度で除して透過率  $T$  に変換された。この  $T$  から吸光度  $\log(1/T)$  を求め、波長ごとにプロットしてスペクトルを得た<sup>59)</sup>。室温約 20℃ に供試ダイコンを 2～3 時間静置した後に、表面が結露していないことを確認して、実験に供した。露光時間は 100msec に定め、20 回の測定の平均をスペクトルデータとして保存した。なお、本論文では小数点以下を四捨五入した波長で記載することとした。

### 2-2-6 スペクトルデータの平滑化微分処理

波長に関して等間隔にサンプリングされたスペクトルデータの連続する  $n$  個の点を、最小二乗法を用いて多項式に近似し、その中心点の微分値を計算する方法であり、微分の次数、多項式の次数によって定まる  $n$  個の整数定数とこの  $n$  個のデータの積和から微分値が得られる<sup>60)</sup>。2 次多項式適合による平滑化一次微分を求めるための整数定数を表 2-5 に、2 次多項式適合による平滑化二次微分を求めるための整数定数を表 2-6 に示す。本研究では、7 点を 2 次多項式で近似した。したがって、平滑化一次微分は式(2-1)で表され、平滑化二次微分は式(2-2)で表される。

$$A'(\lambda) = \frac{-3 \times A(\lambda-3) - 2 \times A(\lambda-2) - A(\lambda-1) + A(\lambda+1) + 2 \times A(\lambda+2) + 3 \times A(\lambda+3)}{28} \quad (2-1)$$

$$A''(\lambda) = \frac{5 \times A(\lambda-3) - 3 \times A(\lambda-1) - 4 \times A(\lambda) - 3 \times A(\lambda+1) + 5 \times A(\lambda+3)}{42} \quad (2-2)$$

ここで、 $A(\lambda)$ は $\lambda$  nmにおける吸光度、 $A'(\lambda)$ は $\lambda$  nmにおける吸光度一次微分値、 $A''(\lambda)$ は $\lambda$  nmにおける吸光度二次微分値のことである。

表 2-5 2 次多項式適合における平滑化一次微分整数定数

| 離散点   | 25   | 23   | 21  | 19  | 17  | 15  | 13  | 11  | 9  | 7  | 5  |
|-------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|
| -12   | -12  |      |     |     |     |     |     |     |    |    |    |
| -11   | -11  | -11  |     |     |     |     |     |     |    |    |    |
| -10   | -10  | -10  | -10 |     |     |     |     |     |    |    |    |
| -9    | -9   | -9   | -9  | -9  |     |     |     |     |    |    |    |
| -8    | -8   | -8   | -8  | -8  | -8  |     |     |     |    |    |    |
| -7    | -7   | -7   | -7  | -7  | -7  | -7  |     |     |    |    |    |
| -6    | -6   | -6   | -6  | -6  | -6  | -6  | -6  |     |    |    |    |
| -5    | -5   | -5   | -5  | -5  | -5  | -5  | -5  | -5  |    |    |    |
| -4    | -4   | -4   | -4  | -4  | -4  | -4  | -4  | -4  | -4 |    |    |
| -3    | -3   | -3   | -3  | -3  | -3  | -3  | -3  | -3  | -3 | -3 |    |
| -2    | -2   | -2   | -2  | -2  | -2  | -2  | -2  | -2  | -2 | -2 | -2 |
| -1    | -1   | -1   | -1  | -1  | -1  | -1  | -1  | -1  | -1 | -1 | -1 |
| 0     | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0  |
| 1     | 1    | 1    | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1  | 1  | 1  |
| 2     | 2    | 2    | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2  | 2  | 2  |
| 3     | 3    | 3    | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   | 3  | 3  |    |
| 4     | 4    | 4    | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4  |    |    |
| 5     | 5    | 5    | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   | 5   |    |    |    |
| 6     | 6    | 6    | 6   | 6   | 6   | 6   | 6   |     |    |    |    |
| 7     | 7    | 7    | 7   | 7   | 7   | 7   |     |     |    |    |    |
| 8     | 8    | 8    | 8   | 8   | 8   |     |     |     |    |    |    |
| 9     | 9    | 9    | 9   | 9   |     |     |     |     |    |    |    |
| 10    | 10   | 10   | 10  |     |     |     |     |     |    |    |    |
| 11    | 11   | 11   |     |     |     |     |     |     |    |    |    |
| 12    | 12   |      |     |     |     |     |     |     |    |    |    |
| 正規化定数 | 1300 | 1012 | 770 | 570 | 408 | 280 | 182 | 110 | 60 | 28 | 10 |

表 2 - 6 2 次多項式適合における平滑化二次微分整数定数

| 離散点       | 25    | 23    | 21    | 19   | 17   | 15   | 13   | 11  | 9   | 7  | 5  |
|-----------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-----|-----|----|----|
| -12       | 92    |       |       |      |      |      |      |     |     |    |    |
| -11       | 69    | -11   |       |      |      |      |      |     |     |    |    |
| -10       | 48    | -10   | -10   |      |      |      |      |     |     |    |    |
| -9        | 29    | -9    | -9    | -9   |      |      |      |     |     |    |    |
| -8        | 12    | -8    | -8    | -8   | -8   |      |      |     |     |    |    |
| -7        | -3    | -7    | -7    | -7   | -7   | -7   |      |     |     |    |    |
| -6        | -16   | -6    | -6    | -6   | -6   | -6   | -6   |     |     |    |    |
| -5        | -27   | -5    | -5    | -5   | -5   | -5   | -5   | -5  |     |    |    |
| -4        | -36   | -4    | -4    | -4   | -4   | -4   | -4   | -4  | -4  |    |    |
| -3        | -43   | -3    | -3    | -3   | -3   | -3   | -3   | -3  | -3  | -3 |    |
| -2        | -48   | -2    | -2    | -2   | -2   | -2   | -2   | -2  | -2  | -2 | -2 |
| -1        | -51   | -1    | -1    | -1   | -1   | -1   | -1   | -1  | -1  | -1 | -1 |
| 0         | -52   | 0     | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0   | 0  | 0  |
| 1         | -51   | 1     | 1     | 1    | 1    | 1    | 1    | 1   | 1   | 1  | 1  |
| 2         | -48   | 2     | 2     | 2    | 2    | 2    | 2    | 2   | 2   | 2  | 2  |
| 3         | -43   | 3     | 3     | 3    | 3    | 3    | 3    | 3   | 3   | 3  |    |
| 4         | -36   | 4     | 4     | 4    | 4    | 4    | 4    | 4   | 4   |    |    |
| 5         | -27   | 5     | 5     | 5    | 5    | 5    | 5    | 5   |     |    |    |
| 6         | -16   | 6     | 6     | 6    | 6    | 6    | 6    |     |     |    |    |
| 7         | -3    | 7     | 7     | 7    | 7    | 7    |      |     |     |    |    |
| 8         | 12    | 8     | 8     | 8    | 8    |      |      |     |     |    |    |
| 9         | 29    | 9     | 9     | 9    |      |      |      |     |     |    |    |
| 10        | 48    | 10    | 10    |      |      |      |      |     |     |    |    |
| 11        | 69    | 11    |       |      |      |      |      |     |     |    |    |
| 12        | 92    |       |       |      |      |      |      |     |     |    |    |
| 正規化<br>定数 | 26910 | 17710 | 33649 | 6783 | 3876 | 6188 | 1001 | 429 | 462 | 42 | 7  |

### 2-2-7 変数選択法

多数の変数を使用して判別分析を行うと、いわゆる次元の呪い状態に陥るので、波長を選択して判別分析に使用することが重要である<sup>61)</sup>。本研究では、ステップワイズ変数増減法を用いた。ステップワイズ変数増減法は、以下の手順で変数を選択する<sup>62)</sup>。

- ①  $a$  個の説明変数のうち、目的変数との単相関係数の絶対値が最も大きい説明変数を選び出し、この偏回帰係数の  $F$  値が 2.0 以上ならば 1 番目の説明変数 ( $x_1$ ) として選択し、次の処理へ進む。 $F$  値が 2.0 未満ならば説明変数は 1 つもないので分析は終了となる。
- ② 残りの  $(a-1)$  個の説明変数を 1 つずつ取り上げ、 $x_1$  との相関係数が 0.7 以上であれば多重共線性があると判断して、2 番目の説明変数選択候補から取り除く。残りの説明変数を 1 つずつ取り上げ、その偏回帰係数の  $F$  値の中で、最大の  $F$  値が 2.0 以上ならば 2 番目の説明変数 ( $x_2$ ) として選択する。最大の  $F$  値が 2.0 未満ならば、選択した説明変数は  $x_1$  のみで、分析は終了となる。
- ③ このとき、 $x_1$  の  $F$  値が 2.0 未満であれば、 $x_1$  は選択を解除し、 $x_2$  を  $x_1$  とし、再び②の処理を行う。 $F$  値が 2.0 以上であれば、④に進む。
- ④ 残りの  $(a-2)$  個の説明変数を 1 つずつ取り上げ、 $x_1$ 、 $x_2$  のいずれかと相関係数が 0.7 以上であれば多重共線性があると判断して、3 番目の説明変数選択候補から取り除く。残りの偏回帰係数の  $F$  値の中で、最大の  $F$  値が 2.0 以上ならば 3 番目の説明変数 ( $x_3$ ) として選択する。最大の  $F$  値が 2.0 未満ならば、選択した説明変数は  $x_1$ 、 $x_2$  で、分析は終了となる。
- ⑤ このとき、2 つの説明変数 ( $x_1$ 、 $x_2$ ) の最小の  $F$  値が 2.0 未満であれば、その説明変数は選択を解除し、残りの説明変数を新しく  $x_1$ 、 $x_2$  とつけなおし、再び④の処理を行う。 $F$  値が 2.0 以上であれば、⑥に進む。

⑥

⋮

このように，残りの説明変数を1つずつ取り上げ，その偏回帰係数のF値の中で，最大のF値が2.0未満となるまで分析を繰り返していく。

#### 2-2-8 判別分析法

判別分析法とは，ある個体が初めから与えられている二つ（またはそれ以上）の群のいずれかに属するかを，個体に関する複数の計測値に基づいて判別する式を作成し，新たに得られたサンプルがどの群に属するかを判別する分析法である<sup>63)</sup>。本研究では，正常ダイコンと内部障害ダイコンの2群のどちらに属するかを，2変量（2個の計測値）による判別式および多変量（3個以上の計測値）による判別式で分析した。

2変量による判別式での分析は，線形判別分析という。2変量を $x$ ， $y$ とすると，その $xy$ 平面上で二つの群を最もうまく分ける直線（ $y = ax + b$ ）を求める。この線形判別分析は，グラフ上で表すことができるため，選別の状況把握が容易であることから，選果機の判別アルゴリズムに適している。本研究では，2変量に，バンド比を用いた。ここで，バンド比とは，ある波長（P nm）における吸光度とある波長（Q nm）における吸光度の比（P/Q）のことをいう。

多変量による判別式での分析は，多変量判別分析という。例えば3変量を $x_1$ ， $x_2$ ， $x_3$ とすると，二つの群を最もうまく分ける多変量関数（ $z = ax_1 + bx_2 + cx_3 + d$ ）を求める。本研究では，前述のステップワイズ変数選択法により選択された説明変数 $x_1, x_2, \dots, x_n$ を用いた。多変量関数の説明変数にデータを代入して得られる $z$ を各サンプルで

求め、 $z$  の値が正であるか負であるかによってどちらのグループに属するかを判別する。

### 2-2-9 ニューラルネットワーク

ニューラルネットワークの構造は、大別すると階層型ネットワークと相互結合型ネットワークになる。相互結合型ネットワークは、任意の二つのユニットの間に両方向の結合があり、双方向的に情報が流れる。一方、階層型ネットワークは、一方向的に情報が流れる。本研究では、3層階層型ネットワークを用いた。3層とは、入力層、中間層、出力層のことである。

3層階層型ネットワークの学習アルゴリズムは、非常に多く提案されている。代表的な学習アルゴリズムを表2-7に示す<sup>64)</sup>。本研究では、代表的なアルゴリズムであるバックプロパゲーションの改良型である弾力性バックプロパゲーションを用いた<sup>65)</sup>。バックプロパゲーションアルゴリズムは、同じ層のニューロン間には結合がないのが特徴であり、入力データを入力ベクトルとして入力すると、その入力ベクトルは中間層を経て出力層へ向けて伝播する。各ニューロンは、前の層のニューロンからの重みづけ和を求め、伝達関数によって出力値を決定する。図2-9に本研究で用いた3層階層型ニューラルネットワークの構造およびバックプロパゲーションアルゴリズムを示す<sup>64)</sup>。

ステップワイズ変数増加法で選択した説明変数を入力データとして入力層に入力した。出力層は正常ニューロンと内部障害ニューロンを配した。正常ダイコンの場合の教師信号は、【正常，内部障害】ニューロンに【1，0】とし、内部障害ダイコンの場合の教師信号は【0，1】とした。伝達関数は、線形伝達関数，対数シグモイド関数，双曲線正接シグモイド関数等あるが，本研究では，入力層ニューロンから中間層ニューロンへの伝達関数，中間層ニューロンから出力層ニューロン

への伝達関数ともに対数シグモイド関数を用いた。対数シグモイド関数は、式(2-3)によって導き出され、図2-10に示すように入力値が0のときに出力値は0.5となり、入力値がどれだけ小さくても出力値は0より小さくならず、入力値がどれだけ大きくても出力値は1より大きくはならないという特性がある。

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2-3)$$

1回の学習ごとに、式(2-4)、(2-5)によって認知誤差eを求め、その値が最終認知誤差以下になった時点で学習を終了させた。

$$e = \frac{1}{a} \sum_{i=1}^a \varepsilon_i \quad (2-4)$$

$$\varepsilon_i = \frac{1}{b} \sum_{j=1}^b (u_j^{tch} - u_j^{out})^2 \quad (2-5)$$

ここで、aは全教師信号個数、bは出力層のニューロン数、 $u_j^{tch}$ は教師信号値、 $u_j^{out}$ は出力層ニューロンの出力値である<sup>66)</sup>。



表 2-7 2 次多項式適合における平滑化二次微分整数定数

| ネットワーク名称                         | 応 用                       | 注意点              | 特 徴  |
|----------------------------------|---------------------------|------------------|--|
| ホップフィールドネット<br>アソシアトロン           | 連想記憶モデル                   | 記憶容量小さい          | VLSI に向く                                   |
| 双方向連想メモリ (BAM)<br>多方向連想メモリ (MAM) | 連想記憶モデル                   | 記憶容量小さい          | 多くの記憶項目の<br>組合せ可<br>VLSI に向く               |
| 緩和法を用いた BAM と<br>MAM             | 連想記憶エピソード記憶               | 学習必要             | 記憶容量が大きい<br>多くの記憶項目の<br>組み合わせ可<br>VLSI に向く |
| ボルツマンマシン                         | 組合せ最適化問題                  | 学習時間非常に長い        | VLSI に向く                                   |
| 平均場近似学習マシン (ボ<br>ルツマンマシンの簡素化)    | 組合せ最適化問題<br>パターン認識        | 学習時間長い           | VLSI に向く                                   |
| バックプロパゲーション                      | パターン認識                    | 多くの入出力デー<br>タが必要 | 代表的なニューラ<br>ルネットワーク                        |
| RBF ネット (放射状基関数<br>ネット)          | パターン認識                    | 多くの入出力デー<br>タが必要 | 学習は速い<br>高次の問題には向<br>かない                   |
| 自己組織化特徴マップ                       | 入力データのクラ<br>スタリング<br>特徴抽出 | 多くの学習が必要         | 生理学的根拠あり                                   |
| 学習ベクトル量子化                        | パターン認識<br>ベクトル量子化         | 高次の問題には不<br>適    |  |
| ファジィ・アートマップ                      | パターン認識                    | 構造が複雑            | 特性は良い                                      |
| ネオコグニトロン                         | 手書き文字認識                   | ネットワークが大<br>規模   | 文字の拡大縮小・<br>回転に強い                          |

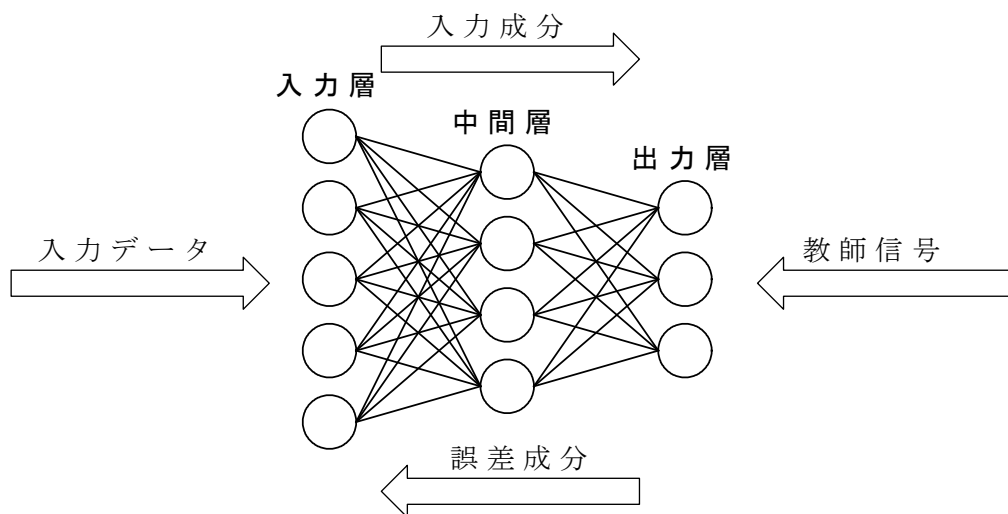


図 2-9 本研究で用いた 3 層階層型ニューラルネットワークの構造  
およびバックプロパゲーションアルゴリズム

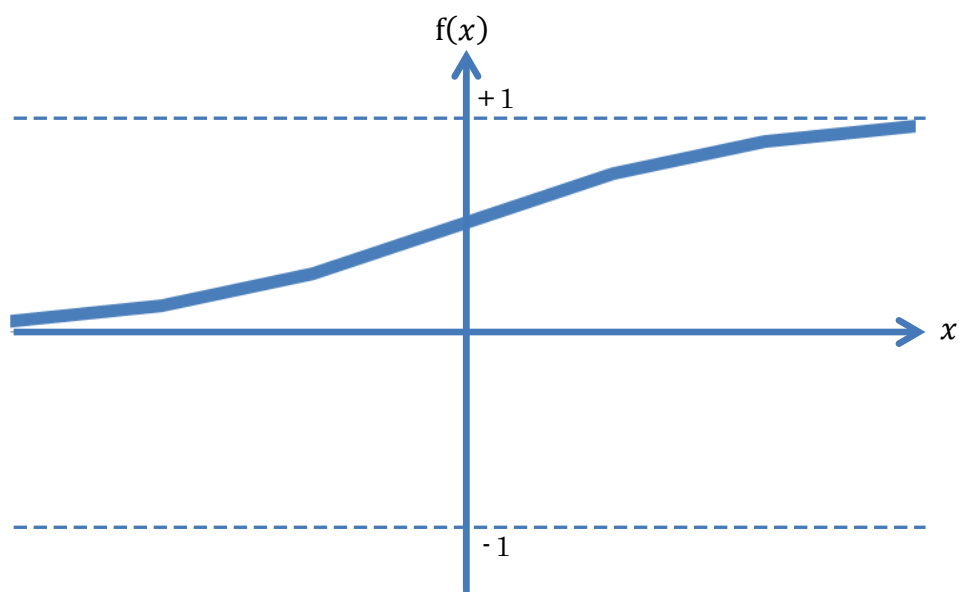


図 2-10 本研究で用いた 3 層階層型ニューラルネットワークの構造  
およびバックプロパゲーションアルゴリズム

## 2-3 結果および考察

### 2-3-1 正常ダイコンおよび内部障害ダイコンの可視・近赤外スペクトル（吸光度）

正常ダイコン 130 個と内部障害ダイコン 62 個の可視・近赤外吸収スペクトルを図 2-11 に示す。この図には 192 本の曲線が描かれているため、正常ダイコンと内部障害ダイコンの特徴を見いだすことが困難である。

そこで、特徴を見いだすことをねらいとして、正常ダイコン 130 個の平均スペクトル、内部障害ダイコン 62 個の平均スペクトルを求め<sup>57)</sup>、図 2-12 に示した。これにより、内部障害ダイコンの吸光度は、正常ダイコンの吸光度に比べ、すべての波長において高いことがわかる。これは、空洞部分で光の散乱が起きていること、有色の障害部分の吸光が大きかったことを表している。また、690nm 近傍に下向きのピークを、760nm 近傍に上向きのピークを、800nm 近傍に下向きのピークを確認することができた。さらに、612nm と 690nm の 2 点を結ぶ直線は、正常ダイコンの傾きが内部障害ダイコンの傾きに比べ緩やかである。690nm と 760nm の 2 点を結ぶ直線は、内部障害ダイコンの傾きが緩やかであった。

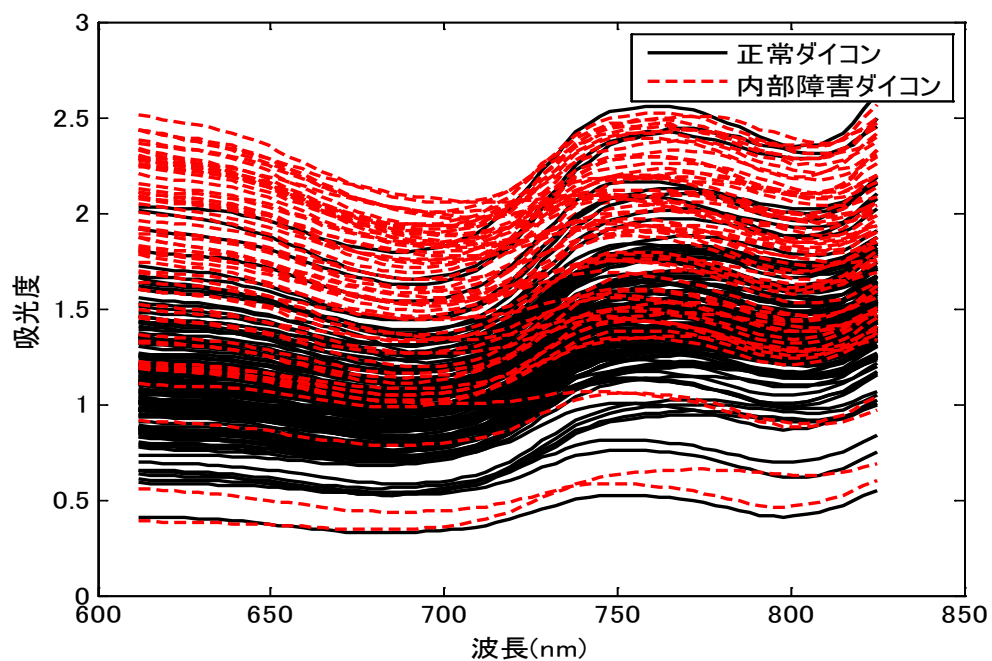


図 2 -11 正常ダイコン 130 個と内部障害ダイコン 62 個の可視・近赤  
外吸収スペクトル

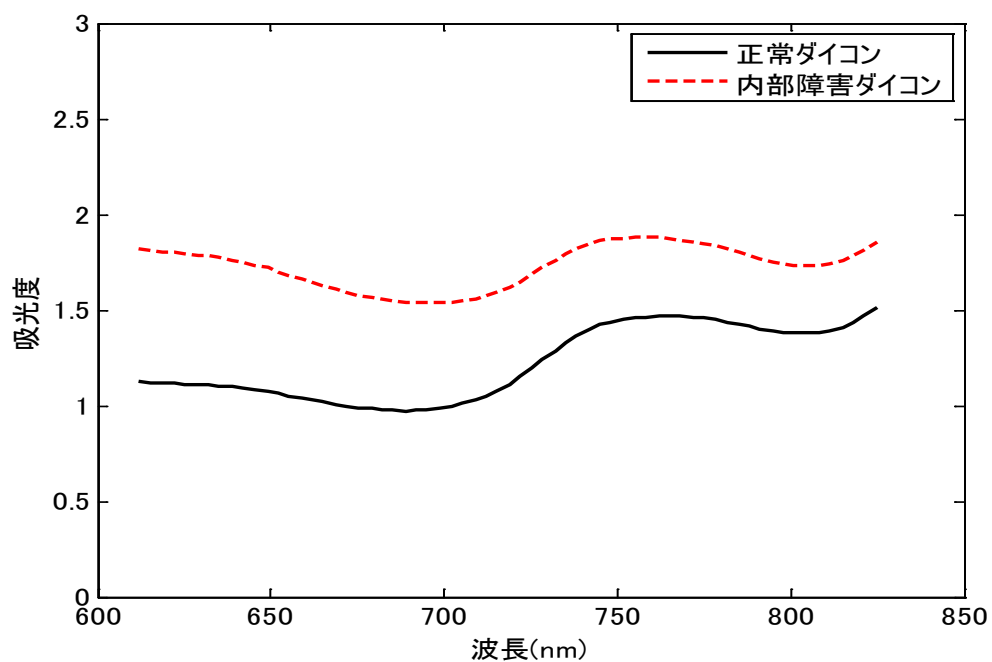


図 2 -12 正常ダイコンと内部障害ダイコンの可視・近赤外吸収スペク  
トル（吸光度，平均）

### 2-3-2 正常ダイコンおよび内部障害ダイコンの可視・近赤外スペクトル（吸光度一次微分）

正常ダイコン 130 個と内部障害ダイコン 62 個の一次微分スペクトルを図 2-13 に示す。この図は，図 2-11 と同様に，192 本の曲線が描かれているため，正常ダイコンと内部障害ダイコンの特徴を見いだすことが困難である。

そこで，特徴を見いだすことをねらいとして，正常ダイコン 130 個の平均スペクトル，内部障害ダイコン 62 個の平均スペクトルを求め，図 2-14 に示した。これにより，正常ダイコンの吸光度一次微分は，内部障害ダイコンの吸光度一次微分に比べ，すべての波長において高いことがわかる。また，660nm 近傍に下向きのピークを，730nm 近傍に上向きのピークを，790nm 近傍に下向きのピークを確認することができた。

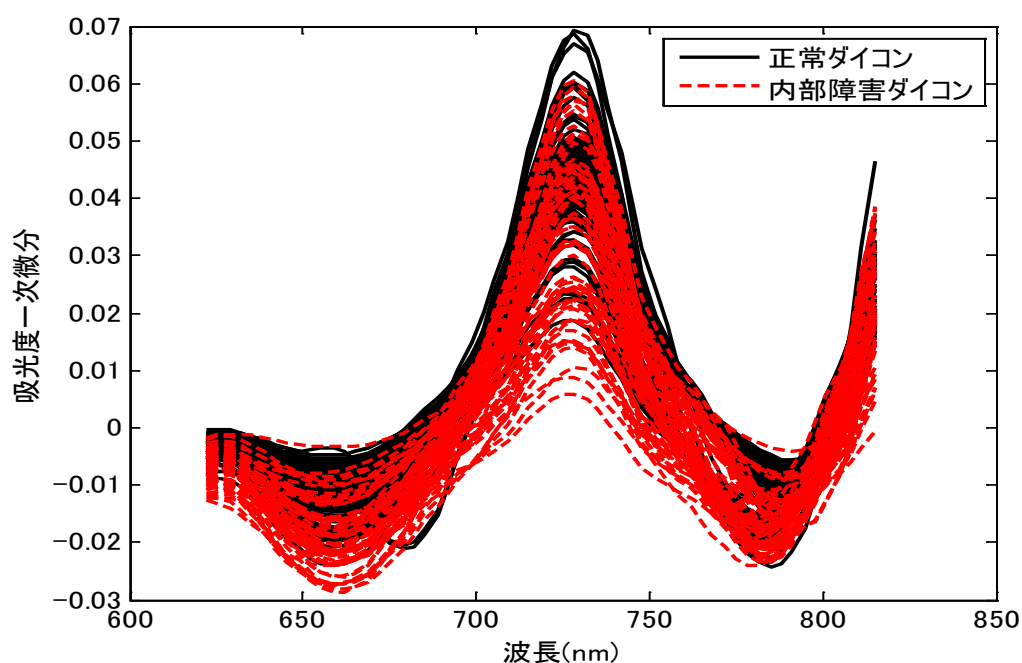


図 2-13 正常ダイコン 130 個と内部障害ダイコン 62 個の一次微分スペクトル

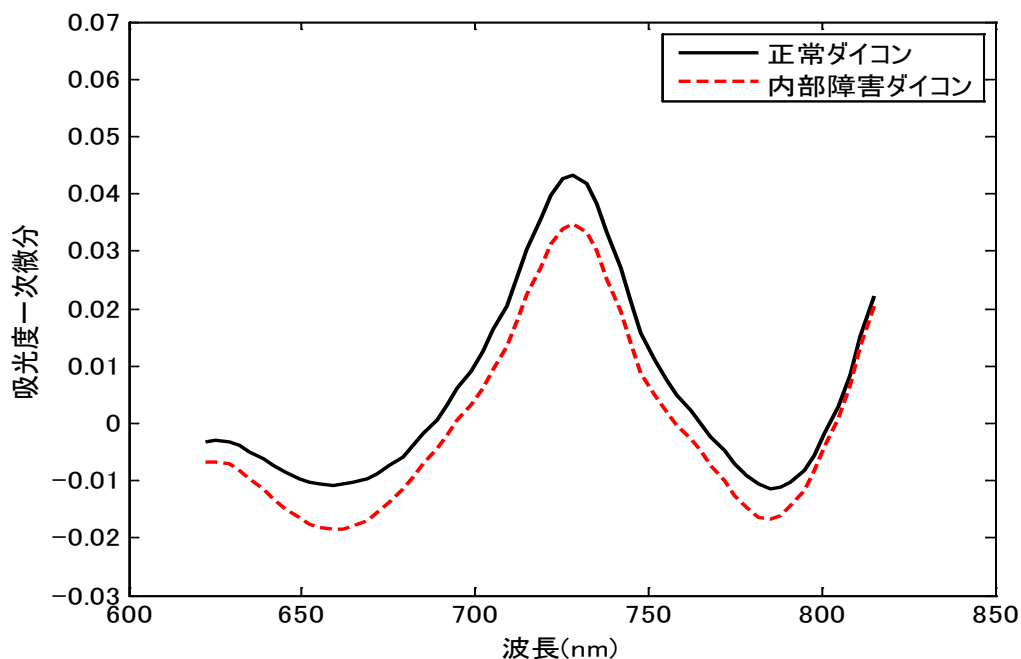


図 2 -14 正常ダイコンと内部障害ダイコンの一次微分スペクトル(平均)

### 2 - 3 - 3 正常ダイコンおよび内部障害ダイコンの可視・近赤外スペクトル (吸光度二次微分)

正常ダイコン 130 個と内部障害ダイコン 62 個の二次微分スペクトルを図 2 -15 に示す。この図も、192 本の曲線が描かれているため、正常ダイコンと内部障害ダイコンの特徴を見いだすことが困難である。

そこで、特徴を見いだすことをねらいとして、正常ダイコン 130 個の平均スペクトル, 内部障害ダイコン 62 個の平均スペクトルを求め、図 2 -16 に示した。これにより、内部障害ダイコンの吸光度二次微分は、正常ダイコンの吸光度二次微分に比べ、640nm 近傍に下向きのピークが顕著に表れ、そのほか 680nm 近傍に上向きのピーク、700nm 近傍に下向きのピーク、760nm 近傍に上向きのピーク、790nm 近傍に上向きのピークを確認することができた。

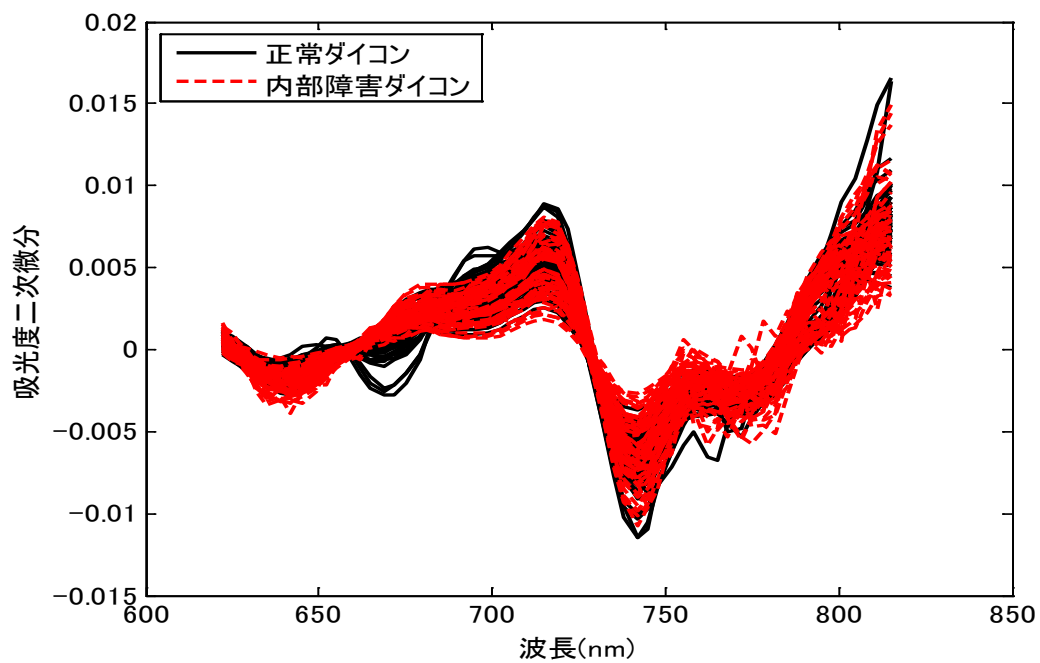


図 2 -15 正常ダイコン 130 個と内部障害ダイコン 62 個の二次微分スペクトル

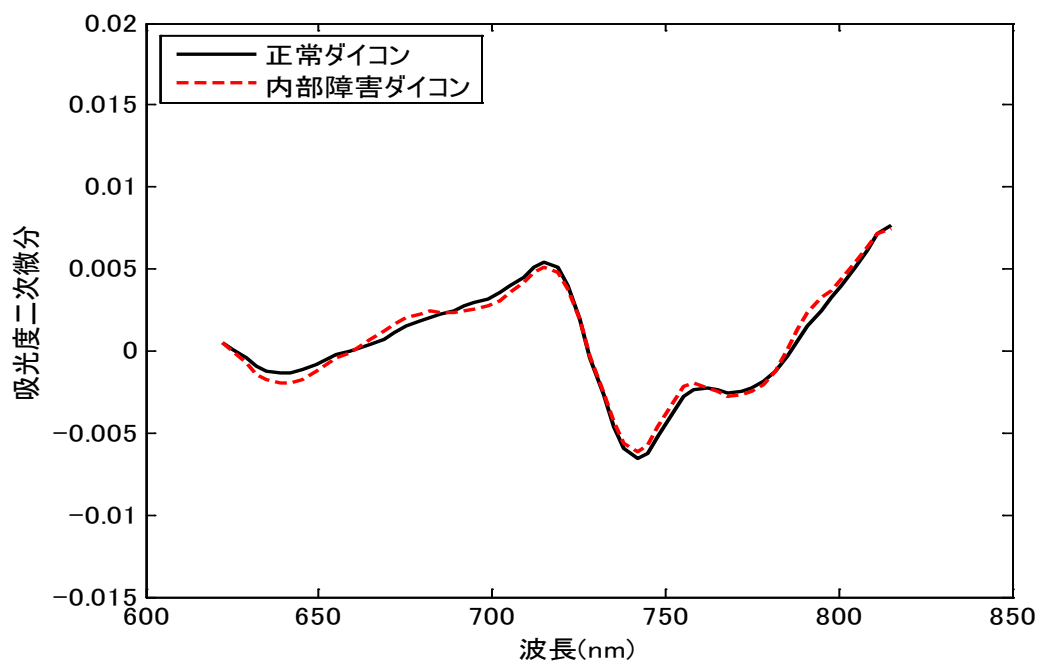


図 2 -16 正常ダイコンと内部障害ダイコンの二次微分スペクトル(平均)

#### 2-3-4 ステップワイズ変数増減法による特徴波長の選択

ステップワイズ変数増減法によって、正常ダイコンと内部障害ダイコンの判別をするうえで特徴的な波長を選択した。なお、用いるデータは、吸光度、吸光度一次微分値、吸光度二次微分値の3種類とした。

612～825nmにおける吸光度、計65個の吸光度を用いてのステップワイズ変数増減法による波長選択を実行した結果、第1波長で612nmを選択するが、第2波長を選択することができずに終了した。

622～815nmにおける吸光度一次微分値、計59個の吸光度一次微分値を用いてのステップワイズ変数増減法による波長選択を実行した。その結果を表2-8に示す。第1波長として632nmを選択するが、4ステップ目に755nmを選択した際に、632nmの偏回帰係数のF値が1.48となったために選択波長から除外した。

表2-8 59個の吸光度一次微分値からステップワイズ変数増減法によって選択された特徴波長

| ステップ | 波長 (nm)                      |
|------|------------------------------|
| 1    | 632                          |
| 2    | 632, 702                     |
| 3    | 632, 702, 795                |
| 4    | 632, 702, 795, 755           |
| 5    | 702, 795, 755, 785           |
| 6    | 702, 795, 755, 785, 801      |
| 7    | 702, 795, 755, 785, 801, 685 |

622～815nmにおける吸光度二次微分値、計59個の吸光度を用いてステップワイズ変数増減法による波長選択を実行した。その結果を表2-9に示す。第1波長として755nmを選択し、2から10ステップ目



にそれぞれ，645,719,805,669,778,791,768,622,659nm を選択した。  
 11 ステップ目に，728nm の偏回帰係数の F 値が 0.33 となったために  
 10 ステップ目までの 10 波長で選択は終了となった。

表 2-9 59 個の吸光度二次微分値からステップワイズ変数増減法に  
 よって選択された特徴波長

| ステップ | 波長 (nm)  |
|------|--|
| 1    | 755  |
| 2    | 755, 645   |
| 3    | 755, 645, 719                                    |
| 4    | 755, 645, 719, 805                               |
| 5    | 755, 645, 719, 805, 669                          |
| 6    | 755, 645, 719, 805, 669, 778                     |
| 7    | 755, 645, 719, 805, 669, 778, 791                |
| 8    | 755, 645, 719, 805, 669, 778, 791, 768           |
| 9    | 755, 645, 719, 805, 669, 778, 791, 768, 622      |
| 10   | 755, 645, 719, 805, 669, 778, 791, 768, 622, 659 |

#### 2-3-4 バンド比を用いた線形判別分析

642nmにおける吸光度と801nmにおける吸光度の比をバンド比 X, 742nmにおける吸光度と719nmにおける吸光度の比をバンド比 Y とし, 正常ダイコン 85 個, 内部障害ダイコン 40 個のバンド比 X, Y を説明変数として, 線形判別関数を作成した (式(2-6))。

$$Y = 0.0308X + 1.2091 \quad (2-6)$$

この線形判別関数を作成した際に用いた正常ダイコン 85 個と内部障害ダイコン 40 個について, バンド比 A とバンド比 B の散布図を作成し, 散布図上に線形判別関数を表示した (図 2-17)。線形判別関数でこの散布図の領域を上下に分割したとき, 上側領域にプロットがあれば「正常」と判別され, 下側領域にプロットがあれば「内部障害」と判別される。判別結果を表 2-10 に示す。正常ダイコン 85 個中 80 個を「正常」と正しく判別し, 内部障害ダイコン 40 個中 35 個を「内部障害」と正しく判別した。よって, 判別率は正常ダイコン 94.1%, 内部障害ダイコンは 87.5%であり, 総合では 90.8%の判別率であった。線形判別関数の作成に用いたダイコンを判別したので, 総合で 90%を超える良好な結果が得られた。

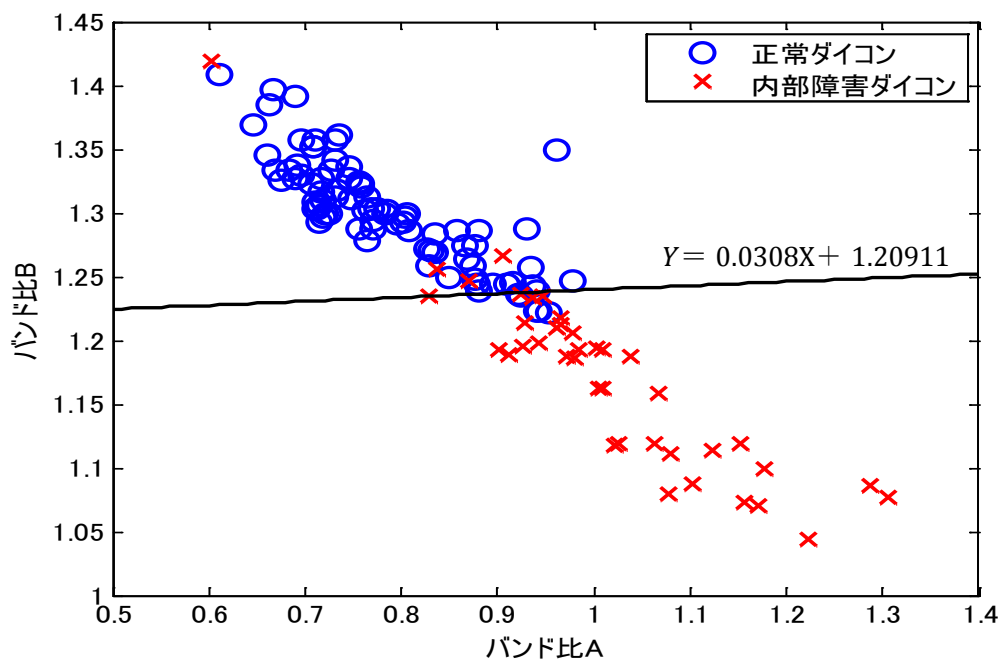


図 2 -17 正常ダイコン 85 個と内部障害ダイコン 40 個のバンド比散布  
図および線形判別関数

表 2 -10 正常ダイコン 85 個と内部障害ダイコン 40 個の判別結果

|          | 判別結果 |      | 判別率 (%) |
|----------|------|------|---------|
|          | 正常   | 内部障害 |         |
| 正常ダイコン   | 80   | 5    | 94.1    |
| 内部障害ダイコン | 5    | 35   | 87.5    |
| 総 合      |      |      | 90.8    |

また，線形判別関数の作成に用いていない正常ダイコン 45 個と内部障害ダイコン 22 個について，バンド比 A とバンド比 B の散布図を作成し，散布図上に線形判別関数を表示した（図 2 -18）。そして，このときの判別結果を表 2 -11 に示す。正常ダイコン 45 個中 38 個を「正常」と正しく判別し，内部障害ダイコン 22 個中 21 個を「内部障害」と正しく判別した。よって，判別率は正常ダイコン 84.4%，内部障害

ダイコンは 95.5%であり，総合では 88.1%の判別率であった。内部障害ダイコンは高い判別率であったが，正常ダイコンの判別率はやや低かった。しかし，線形判別分析は，判別状況を散布図で視覚的に確認することが可能な手法であるため，判別関数のチューニングによって判別率を上げることが可能である。

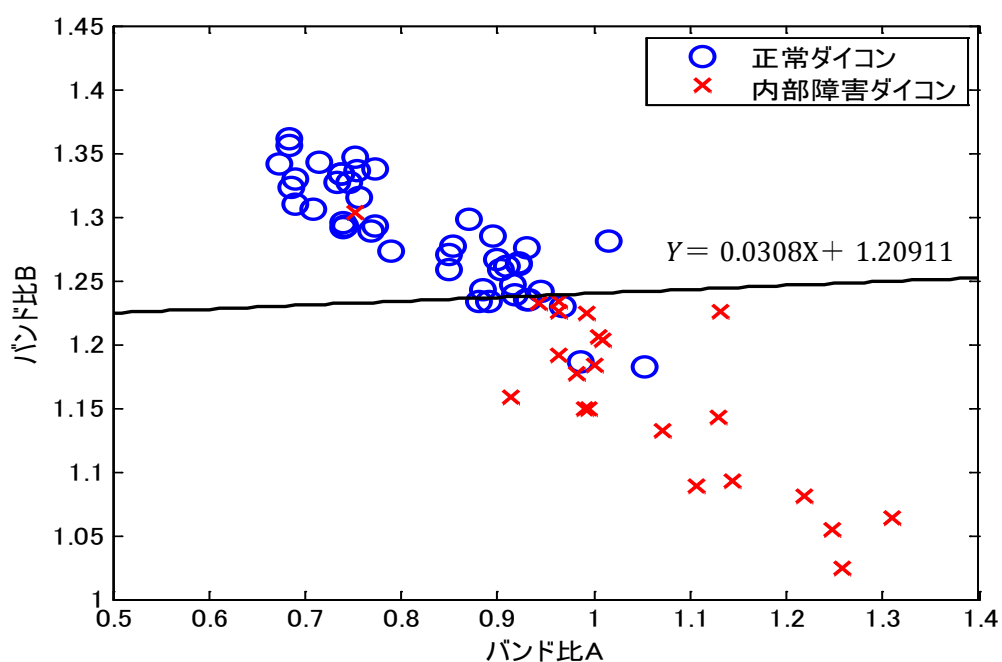


図 2 -18 正常ダイコン 45 個と内部障害ダイコン 22 個のバンド比散布図および線形判別関数

表 2 -11 正常ダイコン 45 個と内部障害ダイコン 22 個の判別結果

|          | 判別結果 |      | 判別率 (%) |
|----------|------|------|---------|
|          | 正常   | 内部障害 |         |
| 正常ダイコン   | 38   | 7    | 84.4    |
| 内部障害ダイコン | 1    | 21   | 95.5    |
| 総合       |      |      | 89.9    |

#### 2-3-4 多変量判別分析法による判別

多変量判別分析は，ステップワイズ変数増減法によって選択された 6 波長の吸光度一次微分値（以下，選択 6 波長）を用い，Leave-one-out クロスバリデーション法で判別率を求めた<sup>67)</sup>。Leave-one-out クロスバリデーションとは，一つのサンプルを評価用として取り除き，残りのサンプルで判別関数を作成し，評価用サンプルを判別し，この処理をすべてのサンプルが一度評価用サンプルに用いられるまで繰り返す解析方法である。

Leave-one-out クロスバリデーション法による，選択 6 波長を用いた多変量判別分析の結果を表 2-12 に示す。正常ダイコン 130 個中 128 個を「正常」と正しく判別し，98.5%の判別率であり，非常に高いものであった。一方，内部障害ダイコンの判別率は 72.6%であり，良好な結果は得られなかった。

表 2-12 選択 6 波長を用いた多変量判別分析結果

|          | 判別結果 |      | 判別率 (%) |
|----------|------|------|---------|
|          | 正常   | 内部障害 |         |
| 正常ダイコン   | 128  | 2    | 98.5    |
| 内部障害ダイコン | 17   | 45   | 72.6    |
| 総 合      |      |      | 90.1    |

そのほか，ステップワイズ変数増減法によって選択された 2，3，4，5 波長の吸光度一次微分値を用いた多変量判別分析の結果を表 2-13 に示す。総合判別率は，2 波長を用いた判別分析が 85.4%，3 波長では 84.4%，4 波長は 88.0%，5 波長は 89.1%であり，いずれも選択 6 波長による多変量判別分析より劣る結果であった。

表 2-13 2～5 波長を用いた多変量判別分析結果

| 波長数                     | 判別率 (%)         |                |      |
|-------------------------|-----------------|----------------|------|
|                         | 正 常             | 内 部 障 害        | 総 合  |
|                         | ダイコン<br>(n=130) | ダイコン<br>(n=62) |      |
| 702, 795                | 90.0            | 75.8           | 85.4 |
| 702, 795, 755           | 86.9            | 79.0           | 84.4 |
| 702, 795, 755, 785      | 94.6            | 74.2           | 88.0 |
| 702, 795, 755, 785, 801 | 94.6            | 77.4           | 89.1 |

同様に，ステップワイズ変数増減法によって選択された 10 波長の吸光度二次微分値（以下，選択 10 波長）を用い，Leave-one-out クロスバリデーション法で判別率を求め，その結果を表 2-14 に示す。総合判別率は，2 波長を用いた場合 84.9%，3 波長では 84.9%，4 波長は 83.9%，5 波長は 83.9%，6 波長は 84.4%，7 波長は 87.0%，8 波長は 85.9%，9 波長は 87.0%，10 波長は 84.9%であり，いずれも吸光度一次微分値の選択 6 波長による多変量判別分析より劣る結果であった。

表 2 -14 2 ～ 10 波長を用いた多変量判別分析結果

| 波長数                                     | 判別率 (%)           |                  |                  |
|---|-------------------|------------------|------------------|
|   | 正 常               | 内 部 障 害          | 総 合<br>( n=192 ) |
|   | ダイコン<br>( n=130 ) | ダイコン<br>( n=62 ) |                  |
| 755,645                                 | 90.8              | 72.6             | 84.9             |
| 755,645,719                             | 89.2              | 75.8             | 84.9             |
| 755,645,719,805                         | 88.5              | 74.2             | 83.9             |
| 755,645,719,805,669                     | 88.5              | 74.2             | 83.9             |
| 755,645,719,805,669,778                 | 89.2              | 74.2             | 84.4             |
| 755,645,719,805,669,778,791             | 91.5              | 77.4             | 87.0             |
| 755,645,719,805,669,778,791,768         | 90.0              | 77.4             | 85.9             |
| 755,645,719,805,669,778,791,768,622     | 91.5              | 77.4             | 87.0             |
| 755,645,719,805,669,778,791,768,622,659 | 89.2              | 75.8             | 84.9             |

#### 2 - 3 - 4 ニューラルネットワークによる判別

ニューラルネットワークによる判別は，吸光度一次微分値の選択 6 波長を用い，Leave-one-out クロスバリデーション法で判別率を求めた。

中間層ニューロン数は 2 ～ 15 個の計 14 通り，最終認知誤差は 0.03 から 0.15 まで 13 通り，これらを掛け合わせ計 182 通りの判別率を求めた。その結果を巻末の付録 1 に示す。また，182 通りの判別率のうち，正常ダイコン，内部障害ダイコン，総合判別率のそれぞれ上位 3 通りと下位 3 通りを抜粋した（表 2 -15）。

総合判別率は，中間層ニューロン 4 または 7 個，最終認知誤差 0.15 のとき最も低いものであった（81.6%）。一方，内部障害ダイコンの判

別率は 72.6%であり，良好な結果は得られなかった。正常ダイコン，内部障害ダイコン，総合，それぞれ下位 3 通りとして抜粋した 8 通りのうち 6 通りにおいて，最終認知誤差が 0.15 の場合であった。また，同 8 通りのうち 1 通りにおいて，最終認知誤差が 0.14 の場合であった。このことから，最終認知誤差が 0.14 以上では，学習が不十分であることがわかった。また，中間層 2 個，最終認知誤差 0.03 の場合，正常ダイコン判別率の下位であった。これは，学習を 10,000 回行っても最終認知誤差まで到達することができなかったことが一つの原因である（図 2-19）。

総合判別率は，中間層ニューロン 13 個，最終認知誤差 0.05 のとき最も高いものであった（92.4%）。また最終認知誤差が 0.05，中間層ニューロンが 11，14 個の場合にも総合判別率が 92.3%と高かった。正常ダイコン，内部障害ダイコン，総合，それぞれ上位 3 通りとして抜粋した 6 通りのうち，最終認知誤差 0.04 の場合が 2 通り，同 0.05 の場合が 3 通り，同 0.06 の場合が 1 通りであった。本研究では，中間層のニューロン数より，最終認知誤差が判別率により強く影響を及ぼしていることが確認された。また，バンド比を用いた線形判別分析の総合判別率と比較すると，4.3 ポイント向上している。選果場での選別ラインを毎秒 1 個の処理と仮定すると，1 時間に 3,600 本のダイコンを処理することになり，その 4.3%は約 155 個である。よって，4.3 ポイントの判別率向上は有益な結果であるといえる。また，本研究は複数の生産者が生産した材料を研究に用いており，選果場での判別に近い状況での判別を実施した。線形判別分析，多変量判別分析，ニューラルネットワークによる判別のうち，最も選果場での判別に適している解析方法は，ニューラルネットワークによる判別であるといえる。



表 2-15 ニューラルネットワークによる判別結果

| 中間層 | 最終認知誤差 | 判別率（％）            |                   |                   |
|-----|--------|-------------------|-------------------|-------------------|
|     |        | 正常<br>ダイコン        | 内部障害<br>ダイコン      | 総合                |
| 2   | 0.14   | 93.7 <sup>a</sup> | 58.5              | 82.3              |
| 2   | 0.03   | 94.2 <sup>a</sup> | 81.5              | 90.1              |
| 9   | 0.15   | 94.3 <sup>a</sup> | 56.5              | 82.1              |
| 4   | 0.15   | 94.8              | 53.9 <sup>b</sup> | 81.6 <sup>c</sup> |
| 7   | 0.15   | 94.5              | 54.5 <sup>b</sup> | 81.6 <sup>c</sup> |
| 2   | 0.15   | 95.5              | 54.7 <sup>b</sup> | 82.3              |
| 3   | 0.15   | 94.8              | 54.7 <sup>b</sup> | 81.9              |
| 6   | 0.15   | 94.4              | 55.0              | 81.7 <sup>c</sup> |
| 13  | 0.05   | 97.0 <sup>d</sup> | 82.9 <sup>e</sup> | 92.4 <sup>f</sup> |
| 14  | 0.05   | 97.0 <sup>d</sup> | 82.4              | 92.3 <sup>f</sup> |
| 8   | 0.06   | 97.0 <sup>d</sup> | 80.5              | 91.7              |
| 3   | 0.04   | 95.0              | 82.9 <sup>e</sup> | 91.1              |
| 11  | 0.05   | 96.8              | 83.1 <sup>e</sup> | 92.3 <sup>f</sup> |
| 2   | 0.04   | 94.8              | 84.0 <sup>e</sup> | 91.3              |

a：正常ダイコン判別率の下位3通り

b：内部障害ダイコン判別率の下位3通り

c：総合判別率の下位3通り

d：正常ダイコン判別率の上位3通り

e：内部障害ダイコン判別率の上位3通り

f：総合判別率の上位3通り

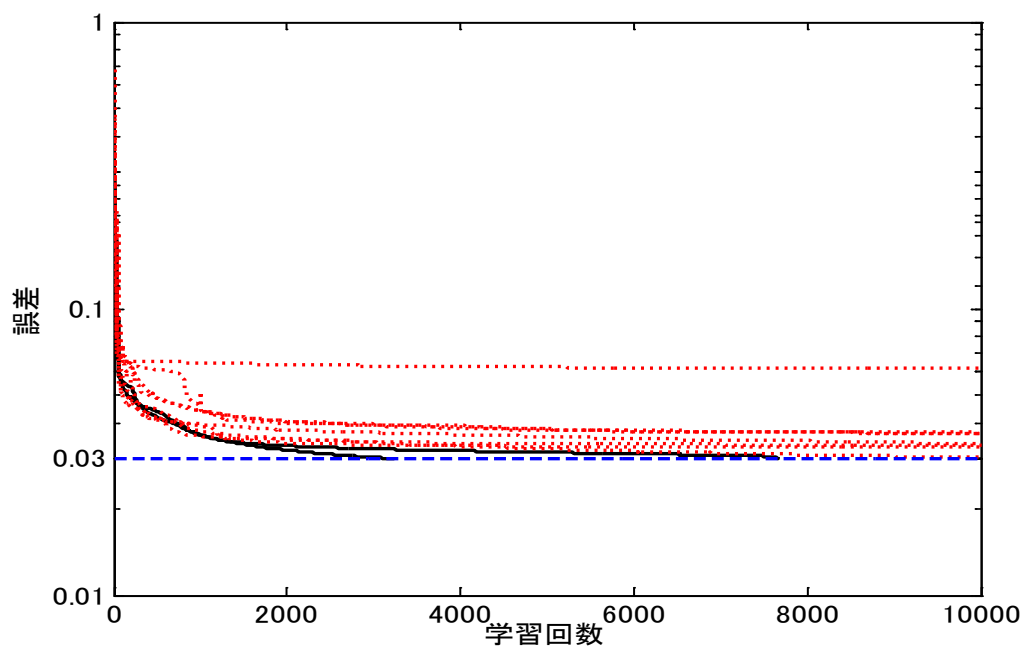


図 2 -19 中間層 2 個，最終認知誤差 0.03 の場合の学習曲線

### 2-3-5 摘要

現在、農産物の内部品質の選別機に用いられている線形判別分析で正常ダイコンと内部障害ダイコンの判別を行い、そのほか多変量判別分析、ニューラルネットワークによる判別を行った。その結果、次のような知見を得た。

- (1) バンド比を用いた線形判別分析を行った。その結果、判別率は正常ダイコン 84.4%、内部障害ダイコンは 95.5%であり、総合では 88.1%の判別率であった。正常ダイコンの判別率はやや低かったが、判別状況を散布図で視覚的に確認することが可能な手法であるため、判別関数のチューニングによって判別率を上げることが可能である。
- (2) ステップワイズ変数増減法によって選択された 6 波長の吸光度一次微分値を用い、Leave-one-out クロスバリデーション法で多変量判別分析を行った。その結果、判別率は正常ダイコン 98.5%、内部障害ダイコン 72.6%であり、総合では 90.1%であった。線形判別分析と比較して、総合判別率が 2 ポイント向上した。
- (3) ニューラルネットワークによる判別を行った。中間層ニューロン 13 個、最終認知誤差 0.05 のとき、92.4%の総合判別率であった。線形判別分析と比較して、総合判別率が 4.3 ポイント向上した。選果場での毎時 3,600 本の処理を考えると、4.3 ポイントの判別率向上は有益な結果であった。
- (4) ニューラルネットワークによる判別は、複数の生産者が生産したダイコンを判別することが可能であり、選果場での判別に適している解析方法である。

### 第3章 セイヨウナシ‘ル・レクチェ’の渋味果評価

#### 3-1 はじめに

セイヨウナシ‘ル・レクチェ’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、果皮色、果肉色、におい、硬さ等は正常な果実（以下、正常果）と同程度でありながら、渋味が非常に強い果実（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・レクチェ’の渋味果を市場に出荷する前に非破壊的に判定し、除去したいという要望が非常に多い。

‘ル・レクチェ’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<sup>68)</sup>、および台木<sup>69)</sup>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<sup>68) 70)</sup>。

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度を目視で評価するゼラチン法による渋味判定法<sup>71)</sup>を開発した。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、抜き取り検査として実用化されている技術である。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、箱詰め・出荷する際の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<sup>67)</sup>。最近では、ナツメ<sup>72)</sup>、マンダリン<sup>73)</sup>、リンゴ<sup>51)</sup>の報告があり、これらは可視・近赤外光を利用している。国内の青果物選果場では、可視・近赤外光を用いた非破壊糖度選別機が導入されており<sup>18)</sup>、非破壊糖度選別機の今後の方向性として、糖度以外の品質にも対応する多機能化を進めていく必要があると指摘されている<sup>44)</sup>。可視・近赤外光を用いた非破壊糖度選別機が多機能化に向けた研究として、モモ果実のポリフェノール濃度の推定<sup>74)</sup>があるが、誤差が大きく推定不可能であると報告されている。渋味評価が非破壊で可能となれば、‘ル・レクチェ’生産農家が収穫、追熟、選別、箱詰めを行っている現状に対し、収穫後ただちに選果場へと持ち寄り、一括で追熟、選果、箱詰めが行える。さらに、‘ル・レクチェ’の栽培面積拡大のネックになっている手間のかかる追熟作業から生産農家は解放されるため、生産量の拡大にもつながるものと考ええる。

そこで、本研究では、セイヨウナシ‘ル・レクチェ’の渋味果の非破壊判定を目的として、可視・近赤外分光法とニューラルネットワークの組み合わせにより、ニューラルネットワークの出力値から正常果と渋味果を非破壊的に判定する方法について検討した。

## 3-2 実験装置及び方法

### 3-2-1 供試材料

本研究では、新潟県三条市産 51 果および新潟市南区月潟地区産 46 果、計 97 果のセイヨウナシ‘ル・レクチェ’を使用した。なお、供試材料は渋味果が多く結実する傾向の強い樹から収穫し、追熟を完了させた果実である。

この 97 果の果重，縦径，横径，糖度，pH を測定した。果重は電子天秤（SP4001FJP，メトラートレド）を用いて 0.1 g 単位で測定し，縦径および横径はデジタルノギス（PC-15NL，ミットヨ）を用いて 0.1 mm 単位で測定した。糖度と pH の測定には，後述の改良型ゼラチン法による渋味判定の際に使用する果汁を使用しており，糖度はデジタル糖度計（PAL-1，アタゴ）に果汁 2~3 滴を滴下し 0.1 Brix% 単位で測定し，pH は pH メーター（B-212，堀場製作所）に果重 1 滴を滴下し 0.1 単位で測定した。

### 3-2-2 装置の概要

‘ル・レクチェ’の果肉は追熟すると軟化する<sup>75)</sup>。また，果肉が弱く褐変しやすくなる<sup>76)</sup>ので，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<sup>77)</sup>な透過型スペクトル測定装置にて，可視・近赤外スペクトルの測定を行った。

図 3-1 に本研究で使用した透過型スペクトル測定装置を示す。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。

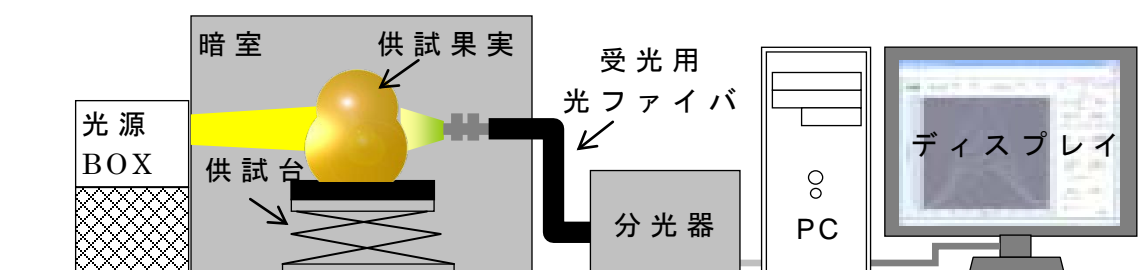


図 3-1 可視・近赤外スペクトル測定装置の概略図

### 3-2-3 光源ボックス

図 3-2 に光源ボックスの外観を，図 3-3 に光源ボックス内部を示す。光源ボックス内部には，2 個の 100 W ハロゲンランプ（JCR12V100W 10H/IR，KLS），2 個の集光レンズが配置されている。このハロゲンランプは，近赤外線反射ミラータイプであり，可視・近赤外スペクトルの測定に適したランプである。

光源ボックス内部はハロゲンランプの熱によって高温になるので，ボックス側面には吸気ファンと排気ファンを取り付け，外部に熱を逃がしている。

### 3-2-4 分光器および受光用光ファイバ

本実験で使用した分光器および光ファイバは，第 2 章の図 2-8 と同様のものとした。

### 3-2-5 スペクトルの測定

供試果実の可視・近赤外スペクトルの測定は，第 2 章のスペクトル測定と同様である。本実験は，新潟県農業総合研究所園芸研究センター（新潟県北蒲原郡聖籠町）で行った。室温約 20℃の部屋に供試果実を数時間静置した後に，表面が結露していないことを確認して，実験に供した。露光時間は 500msec に定め，5 回の測定の平均を光強度として保存した。なお，本論文では小数点以下を四捨五入した波長で記載することとした。



図 3 - 2 光源ボックス外観

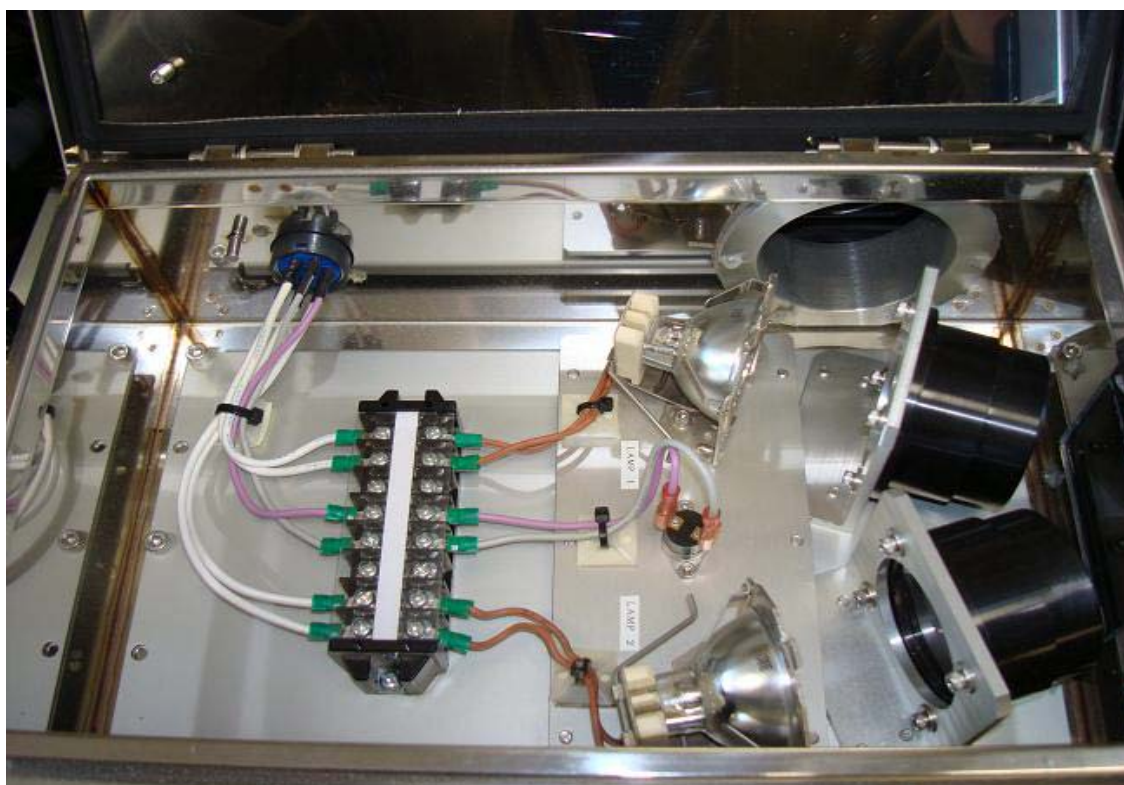


図 3 - 3 光源ボックス内部



### 3-2-6 スペクトルデータの前処理

供試果実の吸光度の算出は、以下の方法で行った<sup>11)</sup>。前述の分光器により 300~1100 nm の波長領域について透過光強度を 3.3 nm 毎に測定し、この透過光強度を厚さ 7 mm のセラミック製白色参照板を用いて得られた基準光強度で除して透過率  $T$  を求めた。この  $T$  から吸光度  $\log(1/T)$  を求め、波長ごとにプロットしてスペクトルを得た。なお、300~482 nm および 1013~1100 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除外した。データ解析の前処理として、第 2 章でも述べた Savitzky-Golay 法による平滑化微分を行い、吸光度一次微分値を取得した。なお、平滑化データ点数は 7 点で計算を実施した。

### 3-2-7 果実の渋味判定

渋味判定は、改良型ゼラチン法で行った<sup>78)</sup>。すなわち、気温 20 °C 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官に等量加え、攪拌し、すみやかに比色計（21150 型，朝日科学）を用いて細型試験官の混合溶液の 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。濁度と官能試験による渋味指数は式(3-1)の関係がある<sup>78)</sup>。

$$S = -2.6485T^2 + 9.5477T - 4.6024 \quad (3-1)$$

ここで、 $S$  は渋味指数、 $T$  は濁度である。

この改良型ゼラチン法での正常果と渋味果の判別率は 85.7%であった。渋味指数 1 は渋味のない状態、渋味指数 2 はわずかに渋く食べた後に渋みが残る状態、渋味指数 3 は渋い状態、渋味指数 4 は強く渋い

状態を表している。渋味指数と濁度との関係を表 3 - 1 に示す。

渋味指数 3 以上の果実は箱詰め前に取り除くべきものである。すなわち式[1]より，濁度 1.1873 以上の果実は箱詰め前に取り除くべきものである。

濁度と渋味の関係から，供試材料 97 果について濁度 1.1873 未満を正常果，1.1873 以上を渋味果と分類した。供試材料 97 果の内訳は，正常果 49 果，渋味果 48 果であった。

表 3 - 1 渋味指数と濁度との関係

| 渋味指数 | 濁度     |
|------|--------|
| 1    | 0.7378 |
| 1.5  | 0.8305 |
| 2    | 0.9330 |
| 2.5  | 1.0493 |
| 3    | 1.1873 |
| 3.5  | 1.3670 |
| 4    | 1.7728 |

### 3 - 2 - 8 判別分析法

正常果と渋味果の 2 群のどちらに属するかを，多変量（3 個以上の計測値）による判別式で分析した。本研究では，供試材料の吸光度一次微分値と濁度との単相関係数を求め，その絶対値の一定以上である波長を説明変数とした。

### 3-2-9 ニューラルネットワーク

本研究では、第2章と同様に弾力性バックプロパゲーションを用いた。入力データは、供試材料の吸光度一次微分値と濁度との単相関係数を求め、その絶対値の一定以上である波長とした。出力層は正常果ニューロンと渋味果ニューロンを配した。正常果の教師信号は、【正常果，渋味果】ニューロンに【1，0】とし、渋味果の場合の教師信号は【0，1】とした。伝達関数は、入力層ニューロンから中間層ニューロンへの伝達関数，中間層ニューロンから出力層ニューロンへの伝達関数ともに対数シグモイド関数を用いた。1回の学習ごとに、認知誤差を求め、その値が最終認知誤差以下になった時点で学習を終了させた。

### 3-3 結果および考察

#### 3-3-1 正常果および渋味果の可視・近赤外スペクトル（吸光度）

供試材料 97 果の基礎統計量を表 3-2 に示す。これらの値は，新潟県で収穫される‘ル・レクチェ’の代表的な値であった<sup>71) 78)</sup>。この 97 果の外観に異常はなく，外観から渋味果を判断することは不可能であった。

表 3-2 供試材料の基礎統計量

|      | 果重<br>(g) | 縦径<br>(mm) | 横径<br>(mm) | 糖度<br>(Brix) | pH    | 濁度      |
|------|-----------|------------|------------|--------------|-------|---------|
| 最小値  | 222.0     | 78.0       | 74.9       | 14.4         | 3.7   | 0.806   |
| 平均値  | 316.82    | 96.83      | 84.29      | 17.04        | 4.10  | 1.2825  |
| 最大値  | 416.2     | 118.0      | 95.2       | 20.5         | 4.5   | 2.000   |
| 標準偏差 | 52.649    | 8.197      | 5.051      | 1.402        | 0.176 | 0.33814 |

正常果 49 個および渋味果 48 個の可視・近赤外スペクトルを図 3-4 に示した。この図には 97 本の曲線が描かれているため，正常果と渋味果の特徴を見いだすことが困難である。

そこで，特徴を見いだすことをねらいとして，正常果 49 個の平均スペクトル，渋味果 48 個の平均スペクトルを求め<sup>57)</sup>，図 3-5 に示した。正常果に対して渋味果の吸光度は小さい結果となった。これには，渋味果の光路長が短かったことや，ベースライン変動等が原因として考えられる<sup>5) 50)</sup>。

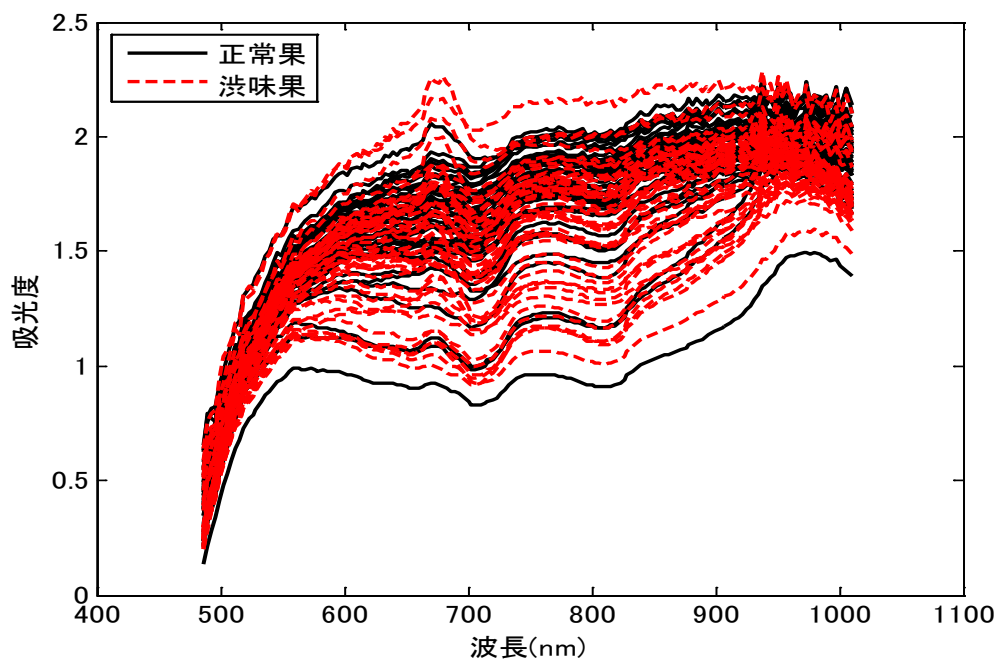


図 3 - 4 正常果 49 個と渋味果 48 個の可視・近赤外吸収スペクトル

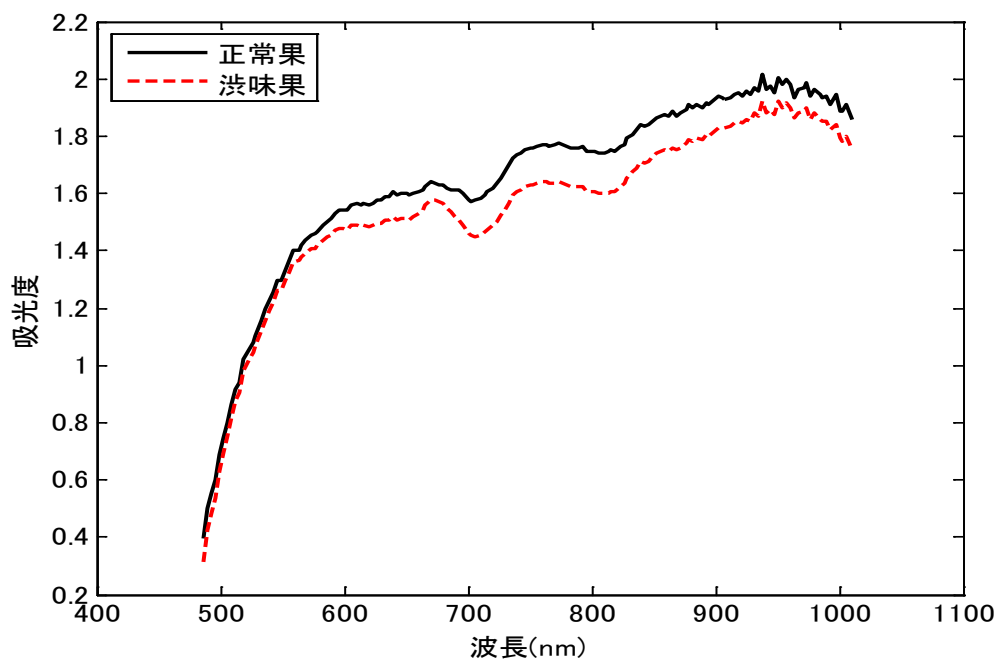


図 3 - 5 正常果 49 個と渋味果 48 個の可視・近赤外吸収スペクトル  
(吸光度, 平均)

### 3-3-2 正常果および渋味果の可視・近赤外スペクトル（吸光度一次微分）

ベースライン変動を取り除くために、正常果および渋味果の吸光度の一次微分を行い、図3-6に示した。この図には、図3-4と同様に、97本の曲線が描かれているため、正常果と渋味果の特徴を見いだすことが困難である。

そこで、特徴を見いだすことをねらいとして、正常果49個の平均スペクトル、渋味果48個の平均スペクトルを求め、図3-7に示した。その結果、ベースライン変動を除去することができ、650～700 nmの範囲におけるピークの違いが確認できた。

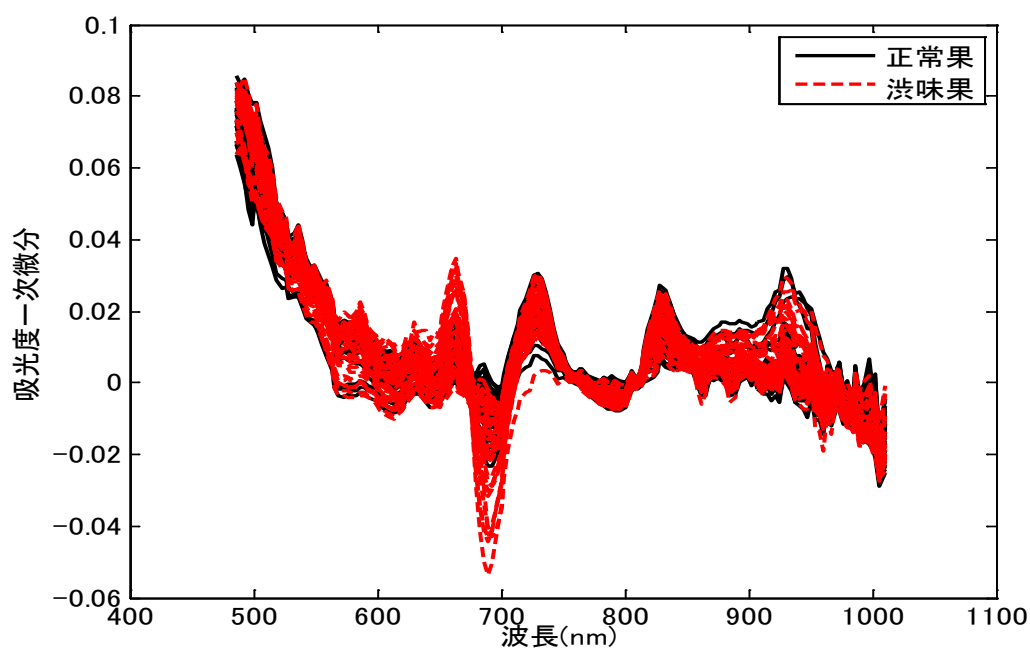


図3-6 正常果49個と渋味果48個の一次微分スペクトル

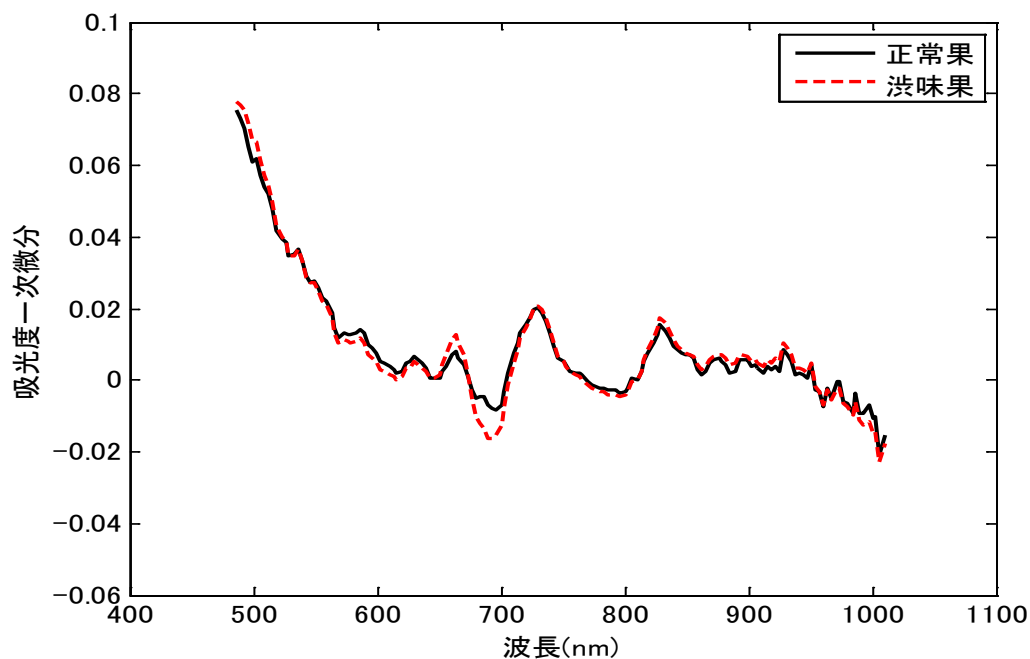


図 3 - 7 正常果と渋味果の一次微分スペクトル（平均）

### 3 - 3 - 3 多変量判別分析法による判別

多変量判別分析の説明変数を選択するために，供試材料の 486~1010 nm の吸光度一次微分値と濁度との単相関係数を求め，図 3 - 8 に示した。菅と福島（2008）によれば，「取りあえず相関関係が成立するとみなせる値は絶対値で 0.3 以上である」ことから，単相関係数の絶対値が 0.3 以上である 22 波長を入力データとした。22 波長は，波長の短いほうから並べると，496, 596, 676, 680, 683, 686, 690, 693, 696, 700, 703, 706, 710, 760, 763, 766, 770, 806, 993, 997, 1000, 1003nm である。

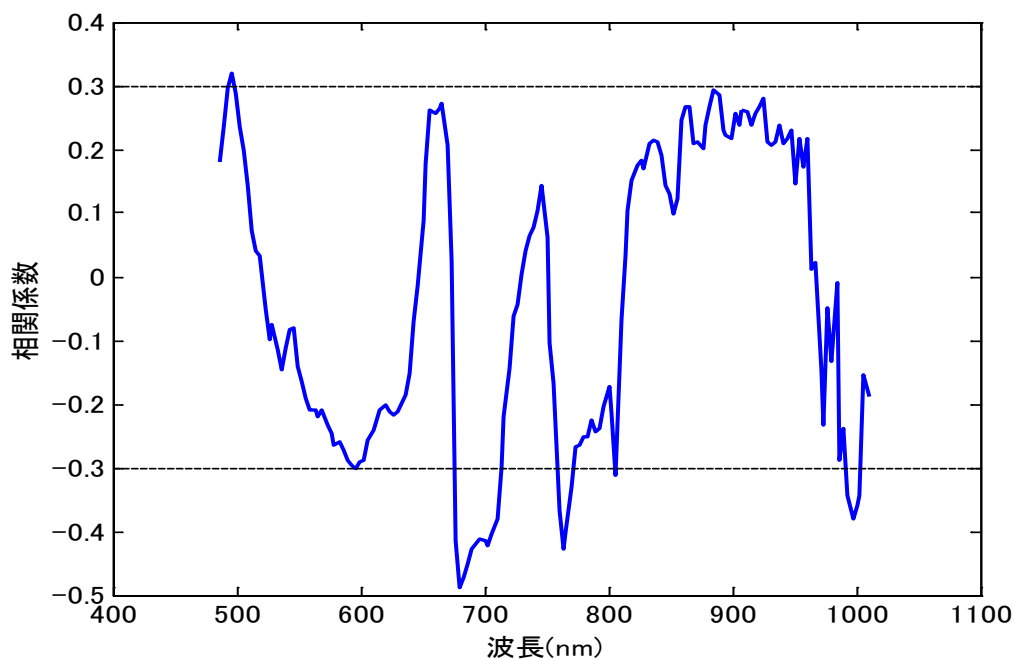


図 3-8 486～1010nm の吸光度一次微分値と濁度との単相関係数

この 22 波長の吸光度一次微分値を用い, Leave-one-out クロスバリデーション法<sup>67)</sup>による多変量判別分析を行い, 判別率を求めた。その結果を表 3-3 に示す。正常果 49 個中 38 個を「正常果」と正しく判別し, 77.6%の判別率であった。一方, 渋味果 48 個中 37 個を「渋味果」と正しく判別し, 判別率は 77.1%であった。総合判別率は 77.3%であった。いずれの判別率も, 良好な結果と言えないものであった。

表 3-3 22 波長を用いた多変量判別分析結果

|     | 判別結果 |     | 判別率 (%) |
|-----|------|-----|---------|
|     | 正常果  | 渋味果 |         |
| 正常果 | 38   | 11  | 77.6    |
| 渋味果 | 11   | 37  | 77.1    |
| 総合  |      |     | 77.3    |



### 3-3-4 ニューラルネットワークによる判別

ニューラルネットワークによる判別は、濁度と相関の高い 22 波長の吸光度一次微分値を用い、中間層ニューロン数は 3, 6, 9, 12, 15, 18 個の計 6 通り、最終認知誤差は 0.05, 0.07, 0.09, 0.11, 0.13, 0.15 の計 6 通りを用意し、計 36 通りの学習条件で、leave-one-out 法によるクロスバリデーションを 10 回繰り返し、判別率はその 10 回の平均値とした。その 36 通りの判別率を巻末の付録 2 に示す。また、36 通りの判別率のうち、正常果、渋味果、総合判別率のそれぞれ上位 3 通りと下位 3 通りを抜粋した（表 3-4）。また、中間層ユニット数と総合判定率の関係を図 3-9 に示した。

最終認知誤差が 0.05 の場合、過学習<sup>79)</sup> となり、判別率は向上しなかった。また、中間層ニューロン数と判別率との関係は、最終認知誤差と判別率ほど大きな違いは見られなかったが、中間層ニューロン数が大きくなるにしたがい、判別率は上昇傾向にあった。最終認知誤差 0.05 かつ中間層ニューロン数 9 個の場合、最も総合判別率が低く 73.6% であった。最終認知誤差 0.11 かつ中間層ニューロン数 15 個の場合、最も判別率が高く、正常果の判別率は 80.0%、渋味果の判別率は 82.3%、総合判別率は 81.1% であった。多変量判別分析による正常果と渋味果の判別では、正常果の判別率は 77.6%、渋味果の判別率は 77.1%、総合判別率は 77.3% であり、多変量判別分析と比較して良好な結果を得ることができた。最終認知誤差 0.11 は過学習傾向になくかつ小さい値であり、中間層ニューロン数が少ない際には最終認知誤差まで学習が収束しないこともあるが、ニューロン数 15 個では毎回学習は最終認知誤差まで収束している。

表 3-4 ニューラルネットワークによる判別結果

| 中間層 | 最終認知誤差 | 判別率 (%)           |                   |                   |
|-----|--------|-------------------|-------------------|-------------------|
|     |        | 正常果               | 渋味果               | 総合                |
| 3   | 0.05   | 73.9 <sup>a</sup> | 75.8              | 74.9              |
| 3   | 0.11   | 73.9 <sup>a</sup> | 80.0              | 76.9              |
| 6   | 0.07   | 74.3 <sup>a</sup> | 75.4              | 74.8 <sup>c</sup> |
| 12  | 0.05   | 74.3 <sup>a</sup> | 77.1              | 75.7              |
| 9   | 0.05   | 74.9              | 72.3 <sup>b</sup> | 73.6 <sup>c</sup> |
| 15  | 0.05   | 76.8              | 72.9 <sup>b</sup> | 74.9              |
| 6   | 0.05   | 75.1              | 73.5 <sup>b</sup> | 74.3 <sup>c</sup> |
| 18  | 0.11   | 79.2 <sup>d</sup> | 79.8              | 79.5              |
| 15  | 0.11   | 80.0 <sup>d</sup> | 82.3 <sup>e</sup> | 81.1 <sup>f</sup> |
| 15  | 0.09   | 80.8 <sup>d</sup> | 79.8              | 80.3 <sup>f</sup> |
| 9   | 0.13   | 77.0              | 82.5 <sup>e</sup> | 79.7              |
| 6   | 0.11   | 77.6              | 82.7 <sup>e</sup> | 80.1 <sup>f</sup> |

a : 正常ダイコン判別率の下位 3 通り

b : 内部障害ダイコン判別率の下位 3 通り

c : 総合判別率の下位 3 通り

d : 正常ダイコン判別率の上位 3 通り

e : 内部障害ダイコン判別率の上位 3 通り

f : 総合判別率の上位 3 通り

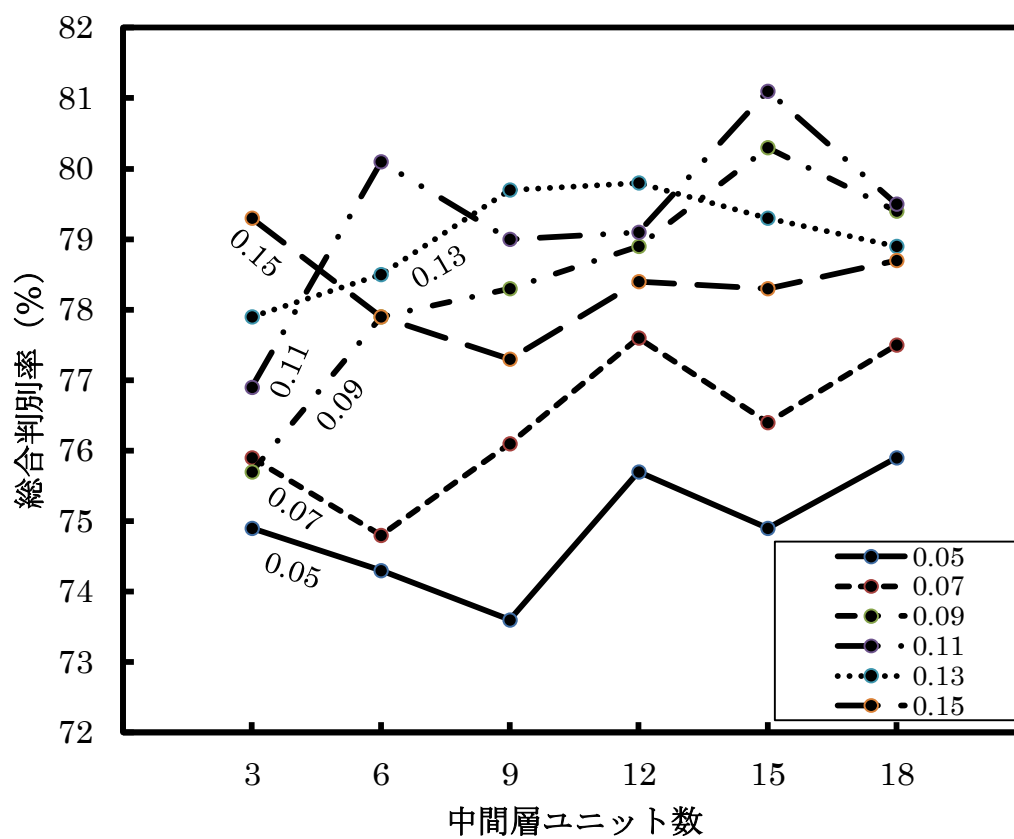


図 3-9 中間層ユニット数と総合判定率の関係

一方，ポリフェノール的一种であるクロロゲン酸およびカテキンが‘ル・レクチエ’の渋みと考えられており<sup>69)</sup>，クロロゲン酸およびカテキンにおいて吸光が大きくなる波長域である<sup>80)</sup> 680 nm 近傍を本研究の入力に用いている。

以上により，外観等からは判別不可能な‘ル・レクチエ’の正常果および渋味果を，可視・近赤外分光法とニューラルネットワークにより非破壊に判別できることが確認された。前述したように，破壊試験法である改良型ゼラチン法での正常果と渋味果の判別率は 85.7%であり，本研究の総合判別率 81.1%は若干低い結果であるが，抜き取り検査として実用化されている破壊試験との比較であることから，‘ル・レクチエ’の渋味果の非破壊判定技術として有効であると考えられる。

### 3-3-5 摘要

外観等からは判別不可能な‘ル・レクチェ’の渋味果を，可視・近赤外分光法とニューラルネットワークにより非破壊に判別を行った。そのほか多変量判別分析による判別を行った。その結果，次のような知見を得た。

- (1) 渋味判定の破壊法である改良型ゼラチン法で得られる濁度をもとに，供試材料 97 果について濁度 1.1873 未満を正常果，1.1873 以上を渋味果と分類した。供試材料 97 果の内訳は，正常果 49 果，渋味果 48 果であった。
- (2) 濁度と相関の高い 22 波長の吸光度一次微分値を用い，ニューラルネットワークによる判別を行った。最終認知誤差 0.11 かつ中間層ニューロン数 15 個の場合，最も判別率が高く，正常果の判別率は 80.0%，渋味果の判別率は 82.3%，総合判別率は 81.1%であった。多変量判別分析による正常果と渋味果の判別では，正常果の判別率は 77.6%，渋味果の判別率は 77.1%，総合判別率は 77.3%であり，多変量判別分析と比較して良好な結果を得ることができた。
- (3) 改良型ゼラチン法での正常果と渋味果の判別率は 85.7%であり，本研究の総合判別率 81.1%は若干低い結果であるが，抜き取り検査として実用化されている破壊試験との比較であることから，‘ル・レクチェ’の渋味果の非破壊判定技術として有効であった。

## 第4章 総括

### 4-1 内部障害ダイコンの非破壊検出について

選別作業中に選別精度が大きく変動する恐れのある判別式に代わり、品種、栽培条件、栽培地、収穫条件等の誤差要因の影響を受けない選別が可能となる判別法について検討した。

選果場で用いられている線形判別分析では、判別率は正常ダイコン 84.4%、内部障害ダイコンは 95.5%であり、総合では 88.1%の判別率であった。正常ダイコンの判別率はやや低かったが、このようなことは選果場でもしばしば発生する。判別状況を散布図で視覚的に確認することが可能な手法であるため、選別作業を行いながら判別率が上がるように判別関数のチューニングを行っている。

この線形判別関数に代わる解析方法として、多変量判別分析とニューラルネットワークを検討した。選択 6 波長の吸光度一次微分値を用い、Leave-one-out クロスバリデーション法で多変量判別分析を行い、判別率は正常ダイコン 98.5%、内部障害ダイコン 72.6%であり、総合では 90.1%であった。線形判別分析と比較して、総合判別率が 2 ポイント向上した。中間層ニューロンを 13 個設け、誤差が 0.05 になるまで学習したニューラルネットワークによって、92.4%の総合判別率を得た。線形判別分析と比較して、総合判別率が 4.3 ポイント向上した。選果場での毎時 3,600 本の処理を考えると、4.3 ポイントの判別率向上は有益な結果であった。

本研究では、複数の生産者が生産したダイコンを供試材料としており、選果場での選別に近い状態で判別を行った。脳の情報処理機能をコンピュータ上に再現した解析手法であるニューラルネットワークは、内部品質の選別機の問題点である品種、栽培条件、栽培地、収穫条件等の誤差要因の影響を受けにくいことが示唆された。

#### 4・2 セイヨウナシ‘ル・レクチェ’の渋味果評価について

外観等からは判別不可能な‘ル・レクチェ’の渋味果を、可視・近赤外分光法と多変量判別分析、可視・近赤外分光法とニューラルネットワークにより非破壊判別を行った。渋味判定の非破壊法である改良型ゼラチン法で得られる濁度をもとに、供試材料 97 果について濁度 1.1873 未満を正常果、1.1873 以上を渋味果と分類した。

濁度と相関の高い 22 波長の吸光度一次微分値を用い、中間層ニューロン数 15 個、最終認知誤差 0.11 の条件でニューラルネットワークを構築し、判別を行ったところ、正常果の判別率は 80.0%，渋味果の判別率は 82.3%，総合判別率は 81.1%であった。多変量判別分析では、正常果の判別率は 77.6%，渋味果の判別率は 77.1%，総合判別率は 77.3%であり、ニューラルネットワークによる判別は良好な結果を得ることができた。改良型ゼラチン法での正常果と渋味果の判別率は 85.7%であり、本研究の総合判別率 81.1%は若干低い結果であるが、抜き取り検査として実用化されている破壊試験との比較であることから、‘ル・レクチェ’の渋味果の非破壊判定技術として有効であった。

‘ル・レクチェ’は、新潟県の食と農のブランド戦略において、全国レベルでブランドとしての認知度と使用率が高いブランドに成長する可能性のある品目であると期待されている果実であるが、渋味の強い果実がクレームの対象となっている。本研究における渋味果の判別技術が‘ル・レクチェ’のクレームを減少させ、ブランド化に貢献できると確信する。

## 参考文献

- 1) 農林水産省食料産業局 (2012): 食品産業の将来ビジョン, 2013年1月7日参照,  
<http://www.maff.go.jp/j/press/shokusan/ryutu/pdf/120330-01.pdf>
- 2) 農林水産省食料産業局 (2008): 農林水産物・食品地域ブランドの確立に向けて, 2013年1月18日参照,  
[http://www.maff.go.jp/j/kanbo/tizai/brand/b\\_senryaku/wg/03/pdf/data02.pdf](http://www.maff.go.jp/j/kanbo/tizai/brand/b_senryaku/wg/03/pdf/data02.pdf)
- 3) 大森豊明 (2000): 総論, 有害微生物管理技術 第Ⅱ巻, 第1版 (柴崎勲監), フジ・テクノシステム, 519-521
- 4) 亀岡孝治 (2004): 光センシング (Optical Sensing), 新農業情報工学, 第1版 (農業情報学会編), 養賢堂, 268-269
- 5) 岩元睦夫・河野澄夫・魚住純 (1994): 近赤外分光法入門, 第1版, 幸書房, 12-95
- 6) 河野澄夫 (1989): 生体における非破壊計測 VI. 食品・農産物における非破壊品質評価法, 日本農芸化学会誌, 63(11), 1794-1796
- 7) 柏寄 勝・永末 健・早乙女英平・中島教博・大森定夫 (2009): イチゴ果実硬度の非破壊測定に関する基礎的研究(第2報)―果実表面吸光度スペクトルを用いた果実硬度推定モデルの開発―, 農業施設, 36(4), 209-214
- 8) 安平幸雄 (1980): 光学的手法によるミカン評価システムの実例, 農業機械, 41(4), 679-686
- 9) 岩元睦夫・早川 昭・河野澄夫・木村 進 (1979): 色むらのあるトマト表皮色の色彩判定について, 日本食品工業学会誌, 26(4), 156-161
- 10) 松岡孝尚・宮内樹代史・孫 徳明 (1995): 農産物の品質判定に関

- する基礎的研究—分光反射特性によるナス光沢の定量化—, 農業機械, 57(1), 33-40
- 11) 臼井善彦・中野和弘・齋藤麻奈 (2006): 異常鶏卵の非破壊検出法に関する研究 (第3報) —可視分光分析による褐色卵の血卵検出—, 農業施設, 36(4), 209-214
- 12) 中馬 豊 (1976): 果実の光学的性質に基づく選別自動化, 農業機械, 38(3), 469-473
- 13) 萩原昌司・鍋谷浩志 (2011): 食品からの微弱発光を利用した品質評価技術, 食糧-その科学と技術-, 49, 31-44
- 14) 中台忠信 (1987): 醤油の最新技術について (2), 日本醸造協会雑誌, 82(4), 236-239
- 15) 宮本久美 (2003): ウンシュウミカン選果工程における近赤外分光法による内部品質管理に関する研究, 和歌山県農林水産総合技術センター特別研究報告, 5, 1-94
- 16) 岩元睦夫・魚住 純 (1985): 近赤外分光法による食品の非破壊品質測定—最近の動向—, 日本食品工業学会誌, 32(9), 685-695
- 17) 春日康之 (2009): 選果機業界の今後の展望, フレッシュフードシステム, 38(2), 278.9-278.11
- 18) 河野澄夫 (2009): 非破壊センサは何を可能としたのか?, フレッシュフードシステム, 38(2), 278.2-278.4
- 19) 寺澤洋子・宮澤光博・河野澄夫・前川孝昭 (2003): 糊化・老化小麦デンプンの赤外吸収スペクトルの解析, 日本食品工業学会誌, 50(4), 162-166
- 20) 亀岡孝治・奥田知晴・橋本 篤・野呂明美・椎木靖彦・伊藤健介 (1998): 食品糖成分分析への FT-IR/ATR 法の応用, 日本食品工業学会誌, 45(3), 199-204
- 21) 独立行政法人科学技術振興機構・独立行政法人産業技術総合研究



- 所（2005）：有機電荷移動錯体のコヒーレントコントロールによる遠赤外光スイッチ，特開 2005-92147
- 22) 河野澄夫（2005）：食品の異物・危害等に関する非破壊検査の現状と課題，フードシステム研究，12(2)，22-30
- 23) 小川雄一・近藤 直・澁澤 栄（2005）：軟 X 線を用いた透過画像による果実の内部品質評価，農業機械，67(3)，114-121
- 24) 加藤宏郎（1988）：高周波インピーダンスによる農産物の非破壊鮮度判定（第 1 報）—青果物の電気特性と内部品質および容量結合による非接触抵抗測定—，農業機械，50(6)，99-107
- 25) 加藤宏郎・坂口守彦・大井康之・丸尾 信・豊田 薫（2000）：インピーダンス特性による魚肉の鮮度判定（第 1 報）—魚肉の電気特性と高周波域の実用的鮮度指標の導出—，農業機械，62(3)，76-83
- 26) 加藤宏郎・杉山隆夫・牧野英二・市川友彦（2002）：高水分糧の高精度水分測定技術に関する基礎研究（第 1 報）—高周波容量式コンバイン水分計の精度要因と嵩密度補正電極—，農業機械，64(5)，68-75
- 27) 山崎 恵・長尾昭彦（1985）：誘電率法によるなたね種子油分の迅速測定，日本食品工業学会誌，32(2)，130-133
- 28) 平間淳司・宮本紀男・石田 良・鈴木亮一・西堀耕三・大平安夫（2001）：MRI を用いた舞茸培地内部における菌糸の発達の観測，植物工場学会誌，13(3)，167-173
- 29) 斉藤一功・三木孝史・林征治（1997）：NMR を用いた西瓜の空洞，糖度検査装置の開発—実用化に向けての実験的検討—，農業施設，28(3)，165-173
- 30) 小川聡子・加恵田庸子・亀谷宏美・中村秀夫・鶴飼光子（2008）：標準添加法による胡椒の ESR による検知，食品照射，43(1)，14-18
- 31) 山下律也（1983）：ESR 法による米の品質評価，農業機械，45(2)，

- 32) 甫立善明・上野 聡・矢野淳子・吉本則之・葛城俊哉・佐藤清隆  
(1996):超音波音速測定によるパーム油含有 O/W エマルションの  
油脂結晶化の観察, 日本油化学会誌, 45(12), 1333-1337
- 33) 高井陸雄・鈴木 徹・三堀友雄・陳 正宣・発地由美子・小嶋秩  
夫(1994):超音波パルスエコー法によるかまぼこ内部の気泡の検  
査方法, 日本食品工業学会誌, 41(12), 897-903
- 34) 林 節男(1997):打音計測による青果物の品質評価, 農業機械,  
59(4), 112-115
- 35) 西津貴久(2005):音響法による米の単粒体積計測に関する試み,  
美味技術研究会誌, 6, 4-8
- 36) 知野秀次・松本辰也・徳田美佳子・二木明日香・太田祐樹・齋藤  
洋太郎・坂井 優・児島清秀(2011):セイヨウナシ'ル・レクチェ'  
における低温貯蔵中の弾性指標と水分消失との関係, 園学研, 10(3),  
413-419
- 37) 露木英男(1987):食品工業における高周波およびマイクロ波加熱  
の利用, 日本食品工業学会誌, 29(2), 123-130
- 38) 下原 融(1997):穀物水分の迅速計測法, 農業機械, 59(5), 123-126
- 39) 小林純夫・宮原俊二(1984):マイクロ波粉体流量計, 計測自動制  
御学会論文集, 20(6), 529-535
- 40) 永田雅輝(2004):品質評価, 新農業情報工学, 第1版(農業情報  
学会編), 養賢堂, 134-135
- 41) 宮本久美(2009):光センサで産地がどう変わったか(有田ミカン  
産地の場合), フレッシュフードシステム, 38(2), 278.4-278.7
- 42) 農林水産省大臣官房統計部(2010):平成18年青果物・花き集出  
荷機構調査報告, 2013年1月27日参照,  
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001062459>

- 43) 橋本直史・杉村泰彦・飯塚理一郎（2004）：青果物選果過程における機械化の進展と諸問題，流通，17，158-165
- 44) 長谷川美典（2007）：糖度センサーがねらったもの、夢と現実、そして将来展望，果樹試験研究推進協議会会報，3，7-9
- 45) 新潟市都市政策研究所（2008）：食と農のブランド戦略報告書，2013年1月29日参照，  
[http://www.city.niigata.lg.jp/shisei/toshi\\_ken/report.files/2008.4.18report\\_agri-brand.pdf](http://www.city.niigata.lg.jp/shisei/toshi_ken/report.files/2008.4.18report_agri-brand.pdf)
- 46) 山澤康秀（2010）：渋み果の発生と対策の検討，新潟県青果物フードブランド推進協議会（JA全農にいがた園芸部）レクチュア部会資料，2010，7-10
- 47) 農林水産省食料産業局（2012）：農林水産統計，2013年1月7日参照，  
[http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou\\_yasai/pdf/yasai\\_syutou11.pdf](http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_yasai/pdf/yasai_syutou11.pdf)
- 48) 農林水産省大臣官房統計部（2012）：平成23年度野菜生産出荷統計，2013年1月11日参照，  
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001102731>
- 49) 農林水産省大臣官房統計部（2010）：平成18年青果物・花き集出荷機構調査報告，2013年1月30日参照，  
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/Xlsdl.do?sinfid=000007397901>
- 50) Kawano, S., T. Fujiwara and M. Iwamoto（1993）：Nondestructive determination of sugar content in satsuma mandarin using near infrared (NIR) transmittance. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 62(2), 465-470
- 51) Fan, G., J. Zha, R. Du and L. Gao（2009）：Determination of

- soluble and firmness of apples by Vis/NIR transmittance. J.Food Eng. 93(4), 416-420
- 52) Nakano, K., M. Saito and Y. Usui (2004) : Development of Non-Destructive Detection Systems for Brown Shell Eggs with Blood Spots. Proc.AFITA/WCCA 2004, 477-482
- 53) Teerachaichayut, S., K. K. Young, A. Terdwongworakul, W. Thanapase and Y. Nakanishi(2007) : Non-destructive prediction of translucent flesh disorder in intact mangosteen by short wavelength near infrared spectroscopy. Postharvest Biol. Technol. 43(2), 202-206
- 54) McGlone, V. A., P. J. Martinsen, C. J. Clark and B. Jordan (2005) : On-line detection of Brownheart in Braeburn apples using near infrared transmission measurements. Postharvest Biol. Technol. 37(2), 142-151
- 55) Li, X., Y. He, and H. Fang (2007) : Non-destructive discrimination of Chinese bayberry varieties using Vis/NIR spectroscopy. J.Food Eng. 81(2), 357-363
- 56) Liu, F., X. Ye, Y. He and L. Wang (2009) : Application of visible/near infrared spectroscopy and chemometric calibrations variety discrimination of instant milk teas. J.Food Eng. 93(2), 127-133
- 57) Del Moral. F. G., A. Guillen, L. G. del Moral, F. O'Valle, L. Martinez and R. G. del Moral (2009) : Duroc and Iberian pork neural network classification by visible and near infrared spectroscopy. J.Food Eng. 90(4), 540-547
- 58) 松本高利 (2009) : 応用例から見たニューラルネットワークの構築と解析, 日本化学会情報化学部会誌, 27(4), 78-86

- 59) 臼井善彦・中野和弘・齋藤麻奈 (2006) : 異常鶏卵の非破壊検出法に関する研究 (第3報) —可視分光分析による褐色卵の血卵検出—, 農業施設, 36(4), 209-214
- 60) 北村桂介・森田栄次・穂積啓一郎 (1985) : パーソナルコンピュータを用いた Savitzky-Golay 法による紫外・可視吸光スペクトルの二次微分スペクトル, 薬学雑誌, 105(2), 161-165
- 61) Acevedo F. J., J. Jimenez, S. Maldonado, E. Dominguez and A. Narvaez (2007) : Classification of Wines Produced in Specific Regions by UV-Visible Spectroscopy Combined with Support Vector Machines. J. Agric. Food Chem. 55(17), 6842-6849
- 62) 石村貞夫 (1992) : すぐわかる多変量解析, 第1版, 東京図書, 30-31
- 63) 杉山高一 (1983) : 多変量データ解析入門, 第1版, 朝倉書店, 57-103
- 64) 萩原将文 (1994) : ニューロ・ファジィ・遺伝的アルゴリズム, 第1版, 産業図書, 38-40
- 65) Riedmiller, M. and H. Braun (1993) : A direct adaptive method for faster backpropagation learning: The RPROP algorithm. Proc. ICNN 1993. 586-591
- 66) 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ゴ果皮色の等級選別—, 農業施設, 23(2), 81-86
- 67) Nicolaie, 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: A review. Postharvest Biol. Technol. 46(2), 99-118
- 68) 新潟県 (2006) : 果樹指導指針, 第1版, 新潟県農林水産部農産園芸課, 149-178

- 69) 歌代景一・山田 寿 (1996): 西洋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(4), 779-786
- 70) 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 レクチェ」, 果実日本, 63(1), 120-122
- 71) 大竹 智 (1991): 新潟県園芸試験場試験成績書 (果樹), 第 1 版, 新潟県園芸試験場, 平成 2 年度, 115-122
- 72) Wang, J., K. Nakano and S. Ohashi (2011): Nondestructive evaluation of jujube quality by visible and near-infrared spectroscopy, LWT-Food Sci. Technol., 44(4), 1119-1125
- 73) 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., 71(S1), S10-S14
- 74) 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(1), 137-143
- 75) 古田道夫・浅野 聡 (1991): 西洋ナシ (ル レクチェ) の追熟特性, 新潟食研報, 26, 1-5
- 76) 古田道夫・浅野 聡・今井誠一 (1990): フィルム包装による西洋ナシの表皮褐変防止, 包装研究, 11(1), 1-9
- 77) 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(5), 273-277
- 78) 山澤康秀 (2010): 渋み果の発生と対策の検討, 新潟県青果物フードブランド推進協議会 (JA 全農にいがた園芸部) ル レクチェ部会資料, 2010, 7-10
- 79) 棚田東作・荒川正幹・西村竜一・船津公人 (2000): ケモメトリック手法を用いた材料開発支援プログラムの開発, Journal of

Computer Aided Chemistry, 1, 35-46

- 80) Brune, M., Hallberg, L. and Skanberg, A.B. ( 1991 ) :  
Determination of iron-binding phenolic groups in foods, J. Food  
Sci., 56(1), 128-131

## 謝 辞

本研究の遂行にあたり，常に気にかけていただき，懇切丁寧な指導を賜りました，中野和弘教授，大橋慎太郎助教に，まず心より感謝いたします。

また，長谷川英夫准教授には，暖かく見守りいただき，要所で助言いただきました。森井俊広教授には，本課程入学時から俯瞰的な視点でのアドバイスを度々いただきました。児島清秀教授には，ポリフェノールの測定方法や考察に関してアドバイスをいただきました。株式会社ヒロシ工業佐々木靖文さんには，ダイコン選果場での選別機調整作業の機会を設けていただきました。新潟県農業総合研究所園芸研究センター松本辰也さんには，‘ル・レクチェ’のデータ測定の間を提供していただき，研究のアドバイスもたくさんいただきました。新潟県農業総合研究所食品研究センター知野秀次さんには，‘ル・レクチェ’の研究を牽引していただきました。最後に，樋口泰浩さんをはじめとする現在の研究室メンバーの皆さん，過去の研究室メンバーの皆さんには，多くの刺激をいただきました。皆様に，心より御礼申し上げます。



## **SUMMARY**

### **1 . Development of nondestructive technique for detecting internal defects in Japanese radish**

Internal defects always can be found in many produces such as Japanese radish. It is impossible to be detected by human eye. Nondestructive measurement is suitable technique for detecting internal defects like black heart, and air cavity after harvest time, which makes the radish root unmarketable in Japan. This study developed the nondestructive detection algorithm for internal defects of Japanese radish by Vis/NIR spectroscopy. Using the first derivative, selected wavelengths were calculated by stepwise forward selection method. The selected wavelengths were used as classifying parameters in multiple discriminant analysis and neural network. Multiple discriminant analysis and neural network were used to build the detection algorithm based on leave-one-out cross validation. Using the multiple discriminant analysis for the prediction set (removed samples), 128 of the 130 normal radishes were correctly discriminated, giving a discriminant rate of 98.5%. The internal defect radishes were correctly discriminated for 45 of 62 samples, giving a discriminant rate of 72.6%, the overall discriminant rate was 90.1%. When the error goal was 0.05 and the number of hidden neurons was 13, the discriminant rate of the normal radish, the internal defects radish and the total sample were 97.0%, 82.9% and 92.4% respectively. These results show the potential of the proposed techniques for detecting and predicting radish with internal quality.

## **2 . Determination of Astringent Fruit in ‘Le Lectier’ Pears Using Visible and Near-infrared Spectroscopy and Neural Network**

It is impossible to distinguish the astringent fruit in ‘Le Lectier’ pears by visual inspection. This study aimed to develop nondestructive determination of the astringent fruit and quality assurance of the intact fruit using neural network classification, visible and near-infrared spectroscopy. For this study, 51 pears harvested in Sanjo City and 46 pears harvested in the Tsukigata area of Niigata City, 97 pears in all were collected. The recognition ratio was established by neural network learning and validation repeatedly using leave-one-out cross validation. The average recognition ratio was 81.1% when the neural network was discussed using 15 hidden layer units and set an error goal to 0.11 and calculated by 10 times cross validation.

付録1 ニューラルネットワークによる判別結果（ダイコン）

| 中間層 | 最終認知誤差 | 判別率（％） |      |      |
|-----|--------|--------|------|------|
|     |        | 正常     | 内部障害 | 総合   |
|     |        | ダイコン   | ダイコン |      |
| 2   | 0.03   | 94.2   | 81.5 | 90.1 |
| 2   | 0.04   | 94.8   | 84.0 | 91.3 |
| 2   | 0.05   | 96.2   | 81.6 | 91.5 |
| 2   | 0.06   | 95.6   | 79.4 | 90.4 |
| 2   | 0.07   | 96.0   | 78.2 | 90.3 |
| 2   | 0.08   | 95.3   | 75.6 | 89.0 |
| 2   | 0.09   | 95.0   | 72.9 | 87.9 |
| 2   | 0.10   | 95.6   | 70.3 | 87.4 |
| 2   | 0.11   | 96.3   | 69.4 | 87.6 |
| 2   | 0.12   | 95.8   | 65.0 | 85.8 |
| 2   | 0.13   | 94.4   | 65.2 | 84.9 |
| 2   | 0.14   | 93.7   | 58.5 | 82.3 |
| 2   | 0.15   | 95.5   | 54.7 | 82.3 |
| 3   | 0.03   | 94.5   | 82.3 | 90.5 |
| 3   | 0.04   | 95.0   | 82.9 | 91.1 |
| 3   | 0.05   | 96.2   | 81.5 | 91.4 |
| 3   | 0.06   | 95.8   | 80.6 | 90.9 |
| 3   | 0.07   | 95.2   | 79.2 | 90.0 |
| 3   | 0.08   | 96.1   | 76.3 | 89.7 |
| 3   | 0.09   | 95.6   | 73.7 | 88.5 |
| 3   | 0.10   | 95.8   | 74.0 | 88.8 |

| 中間層 | 最終認知誤差 | 判別率（％） |      |      |
|-----|--------|--------|------|------|
|     |        | 正常     | 内部障害 | 総合   |
|     |        | ダイコン   | ダイコン |      |
| 3   | 0.11   | 95.4   | 68.2 | 86.6 |
| 3   | 0.12   | 95.1   | 66.0 | 85.7 |
| 3   | 0.13   | 94.4   | 63.7 | 84.5 |
| 3   | 0.14   | 94.5   | 60.8 | 83.6 |
| 3   | 0.15   | 94.8   | 54.7 | 81.9 |
| 4   | 0.03   | 94.7   | 81.3 | 90.4 |
| 4   | 0.04   | 95.7   | 82.7 | 91.5 |
| 4   | 0.05   | 96.2   | 81.8 | 91.5 |
| 4   | 0.06   | 96.0   | 80.5 | 91.0 |
| 4   | 0.07   | 95.8   | 76.9 | 89.7 |
| 4   | 0.08   | 95.8   | 75.3 | 89.2 |
| 4   | 0.09   | 96.5   | 73.2 | 89.0 |
| 4   | 0.10   | 96.2   | 71.8 | 88.3 |
| 4   | 0.11   | 94.7   | 68.5 | 86.3 |
| 4   | 0.12   | 94.4   | 65.8 | 85.2 |
| 4   | 0.13   | 95.0   | 64.5 | 85.2 |
| 4   | 0.14   | 95.6   | 57.7 | 83.4 |
| 4   | 0.15   | 94.8   | 53.9 | 81.6 |
| 5   | 0.03   | 95.3   | 82.1 | 91.0 |
| 5   | 0.04   | 96.2   | 82.3 | 91.7 |
| 5   | 0.05   | 96.8   | 82.3 | 92.1 |
| 5   | 0.06   | 95.7   | 79.2 | 90.4 |
| 5   | 0.07   | 96.2   | 78.4 | 90.4 |

| 中間層 | 最終認知誤差 | 判別率（％） |      |      |
|-----|--------|--------|------|------|
|     |        | 正常     | 内部障害 | 総合   |
|     |        | ダイコン   | ダイコン |      |
| 5   | 0.08   | 96.0   | 75.2 | 89.3 |
| 5   | 0.09   | 95.6   | 73.9 | 88.6 |
| 5   | 0.10   | 95.5   | 71.0 | 87.6 |
| 5   | 0.11   | 95.2   | 67.6 | 86.3 |
| 5   | 0.12   | 94.5   | 65.3 | 85.1 |
| 5   | 0.13   | 95.2   | 64.2 | 85.2 |
| 5   | 0.14   | 96.0   | 56.8 | 83.3 |
| 5   | 0.15   | 95.0   | 57.7 | 83.0 |
| 6   | 0.03   | 94.8   | 79.7 | 89.9 |
| 6   | 0.04   | 95.1   | 80.5 | 90.4 |
| 6   | 0.05   | 96.5   | 81.1 | 91.6 |
| 6   | 0.06   | 95.6   | 80.2 | 90.6 |
| 6   | 0.07   | 96.4   | 79.0 | 90.8 |
| 6   | 0.08   | 96.7   | 75.8 | 89.9 |
| 6   | 0.09   | 95.9   | 74.8 | 89.1 |
| 6   | 0.10   | 96.2   | 70.5 | 87.9 |
| 6   | 0.11   | 95.6   | 69.0 | 87.0 |
| 6   | 0.12   | 95.2   | 66.1 | 85.8 |
| 6   | 0.13   | 95.3   | 64.2 | 85.3 |
| 6   | 0.14   | 94.7   | 57.9 | 82.8 |
| 6   | 0.15   | 94.4   | 55.0 | 81.7 |
| 7   | 0.03   | 94.5   | 81.0 | 90.2 |
| 7   | 0.04   | 96.2   | 80.6 | 91.2 |

| 中間層 | 最終認知誤差 | 判別率（％） |      |      |
|-----|--------|--------|------|------|
|     |        | 正常     | 内部障害 | 総合   |
|     |        | ダイコン   | ダイコン |      |
| 7   | 0.05   | 95.9   | 81.8 | 91.4 |
| 7   | 0.06   | 95.9   | 79.5 | 90.6 |
| 7   | 0.07   | 95.9   | 76.9 | 89.8 |
| 7   | 0.08   | 96.0   | 75.5 | 89.4 |
| 7   | 0.09   | 94.6   | 72.7 | 87.6 |
| 7   | 0.10   | 96.1   | 71.1 | 88.0 |
| 7   | 0.11   | 95.1   | 68.4 | 86.5 |
| 7   | 0.12   | 95.1   | 64.7 | 85.3 |
| 7   | 0.13   | 94.5   | 60.0 | 83.4 |
| 7   | 0.14   | 94.7   | 61.0 | 83.8 |
| 7   | 0.15   | 94.5   | 54.5 | 81.6 |
| 8   | 0.03   | 94.5   | 80.8 | 90.1 |
| 8   | 0.04   | 95.6   | 82.4 | 91.4 |
| 8   | 0.05   | 96.9   | 80.3 | 91.6 |
| 8   | 0.06   | 97.0   | 80.5 | 91.7 |
| 8   | 0.07   | 96.1   | 78.5 | 90.4 |
| 8   | 0.08   | 95.3   | 76.5 | 89.2 |
| 8   | 0.09   | 96.0   | 74.7 | 89.1 |
| 8   | 0.10   | 95.5   | 71.8 | 87.9 |
| 8   | 0.11   | 95.9   | 69.5 | 87.4 |
| 8   | 0.12   | 95.2   | 65.3 | 85.5 |
| 8   | 0.13   | 94.8   | 63.2 | 84.6 |
| 8   | 0.14   | 94.6   | 60.8 | 83.7 |

| 中間層 | 最終認知誤差 | 判別率（％） |      |      |
|-----|--------|--------|------|------|
|     |        | 正常     | 内部障害 | 総合   |
|     |        | ダイコン   | ダイコン |      |
| 8   | 0.15   | 95.6   | 55.6 | 82.7 |
| 9   | 0.03   | 95.5   | 80.3 | 90.6 |
| 9   | 0.04   | 96.0   | 81.5 | 91.3 |
| 9   | 0.05   | 96.8   | 82.3 | 92.1 |
| 9   | 0.06   | 95.8   | 79.4 | 90.5 |
| 9   | 0.07   | 96.2   | 77.9 | 90.3 |
| 9   | 0.08   | 95.7   | 74.5 | 88.9 |
| 9   | 0.09   | 96.0   | 74.2 | 89.0 |
| 9   | 0.10   | 96.2   | 70.8 | 88.0 |
| 9   | 0.11   | 94.9   | 71.0 | 87.2 |
| 9   | 0.12   | 94.8   | 68.1 | 86.2 |
| 9   | 0.13   | 95.3   | 62.3 | 84.6 |
| 9   | 0.14   | 94.5   | 61.1 | 83.7 |
| 9   | 0.15   | 94.3   | 56.5 | 82.1 |
| 10  | 0.03   | 94.8   | 80.5 | 90.2 |
| 10  | 0.04   | 95.0   | 82.3 | 90.9 |
| 10  | 0.05   | 96.8   | 81.5 | 91.9 |
| 10  | 0.06   | 96.2   | 79.8 | 90.9 |
| 10  | 0.07   | 96.0   | 77.7 | 90.1 |
| 10  | 0.08   | 95.6   | 74.8 | 88.9 |
| 10  | 0.09   | 96.1   | 74.8 | 89.2 |
| 10  | 0.10   | 95.8   | 71.1 | 87.8 |
| 10  | 0.11   | 94.8   | 71.9 | 87.4 |

| 中間層 | 最終認知誤差 | 判別率（％） |      |      |
|-----|--------|--------|------|------|
|     |        | 正常     | 内部障害 | 総合   |
|     |        | ダイコン   | ダイコン |      |
| 10  | 0.12   | 94.8   | 66.8 | 85.8 |
| 10  | 0.13   | 95.7   | 62.4 | 84.9 |
| 10  | 0.14   | 96.1   | 60.8 | 84.7 |
| 10  | 0.15   | 95.2   | 55.8 | 82.4 |
| 11  | 0.03   | 95.2   | 80.6 | 90.5 |
| 11  | 0.04   | 95.5   | 82.3 | 91.2 |
| 11  | 0.05   | 96.8   | 83.1 | 92.3 |
| 11  | 0.06   | 96.0   | 79.0 | 90.5 |
| 11  | 0.07   | 96.2   | 78.2 | 90.4 |
| 11  | 0.08   | 96.1   | 76.3 | 89.7 |
| 11  | 0.09   | 95.8   | 73.1 | 88.4 |
| 11  | 0.10   | 95.4   | 71.8 | 87.8 |
| 11  | 0.11   | 95.6   | 69.8 | 87.3 |
| 11  | 0.12   | 94.8   | 67.6 | 86.0 |
| 11  | 0.13   | 95.7   | 65.0 | 85.8 |
| 11  | 0.14   | 94.7   | 63.1 | 84.5 |
| 11  | 0.15   | 95.5   | 57.9 | 83.4 |
| 12  | 0.03   | 94.9   | 81.5 | 90.6 |
| 12  | 0.04   | 95.9   | 82.4 | 91.6 |
| 12  | 0.05   | 96.5   | 81.3 | 91.6 |
| 12  | 0.06   | 96.6   | 81.1 | 91.6 |
| 12  | 0.07   | 96.0   | 77.7 | 90.1 |
| 12  | 0.08   | 95.5   | 76.0 | 89.2 |



| 中間層 | 最終認知誤差 | 判別率（％） |      |      |
|-----|--------|--------|------|------|
|     |        | 正常     | 内部障害 | 総合   |
|     |        | ダイコン   | ダイコン |      |
| 12  | 0.09   | 95.0   | 75.0 | 88.5 |
| 12  | 0.10   | 95.8   | 72.3 | 88.2 |
| 12  | 0.11   | 96.1   | 71.3 | 88.1 |
| 12  | 0.12   | 95.8   | 66.5 | 86.4 |
| 12  | 0.13   | 94.8   | 64.0 | 84.8 |
| 12  | 0.14   | 95.5   | 59.5 | 83.9 |
| 12  | 0.15   | 95.2   | 56.8 | 82.8 |
| 13  | 0.03   | 95.1   | 81.0 | 90.5 |
| 13  | 0.04   | 96.1   | 81.9 | 91.5 |
| 13  | 0.05   | 97.0   | 82.9 | 92.4 |
| 13  | 0.06   | 96.7   | 79.5 | 91.1 |
| 13  | 0.07   | 96.3   | 77.1 | 90.1 |
| 13  | 0.08   | 96.3   | 76.5 | 89.9 |
| 13  | 0.09   | 95.3   | 74.2 | 88.5 |
| 13  | 0.10   | 95.4   | 71.0 | 87.5 |
| 13  | 0.11   | 95.6   | 69.0 | 87.0 |
| 13  | 0.12   | 95.3   | 66.6 | 86.0 |
| 13  | 0.13   | 96.2   | 66.3 | 86.5 |
| 13  | 0.14   | 95.5   | 60.8 | 84.3 |
| 13  | 0.15   | 95.0   | 57.7 | 83.0 |
| 14  | 0.03   | 95.1   | 80.5 | 90.4 |
| 14  | 0.04   | 96.0   | 81.1 | 91.2 |
| 14  | 0.05   | 97.0   | 82.4 | 92.3 |

| 中間層 | 最終認知誤差 | 判別率（％） |      |      |
|-----|--------|--------|------|------|
|     |        | 正常     | 内部障害 | 総合   |
|     |        | ダイコン   | ダイコン |      |
| 14  | 0.06   | 96.4   | 80.5 | 91.3 |
| 14  | 0.07   | 95.8   | 77.6 | 89.9 |
| 14  | 0.08   | 95.6   | 76.3 | 89.4 |
| 14  | 0.09   | 95.5   | 73.9 | 88.5 |
| 14  | 0.10   | 95.6   | 71.1 | 87.7 |
| 14  | 0.11   | 95.5   | 70.8 | 87.5 |
| 14  | 0.12   | 94.6   | 66.5 | 85.5 |
| 14  | 0.13   | 95.8   | 64.2 | 85.6 |
| 14  | 0.14   | 95.6   | 59.8 | 84.1 |
| 14  | 0.15   | 95.3   | 57.1 | 83.0 |
| 15  | 0.03   | 94.3   | 81.9 | 90.3 |
| 15  | 0.04   | 95.5   | 82.4 | 91.3 |
| 15  | 0.05   | 96.8   | 81.8 | 91.9 |
| 15  | 0.06   | 96.5   | 80.3 | 91.3 |
| 15  | 0.07   | 96.2   | 77.7 | 90.2 |
| 15  | 0.08   | 95.8   | 75.8 | 89.4 |
| 15  | 0.09   | 96.2   | 76.3 | 89.7 |
| 15  | 0.10   | 95.5   | 72.1 | 88.0 |
| 15  | 0.11   | 96.0   | 67.6 | 86.8 |
| 15  | 0.12   | 95.7   | 66.0 | 86.1 |
| 15  | 0.13   | 96.1   | 63.7 | 85.6 |
| 15  | 0.14   | 96.0   | 59.2 | 84.1 |
| 15  | 0.15   | 95.8   | 56.1 | 83.0 |

付録2 ニューラルネットワークによる判別結果  
 (‘ル・レクチェ’)

| 中間層 | 最終認知誤差 | 判別率 (%) |      |      |
|-----|--------|---------|------|------|
|     |        | 正常果     | 渋味果  | 総合   |
| 3   | 0.05   | 73.9    | 75.8 | 74.9 |
| 3   | 0.07   | 74.9    | 76.9 | 75.9 |
| 3   | 0.09   | 75.3    | 76.1 | 75.7 |
| 3   | 0.11   | 73.9    | 80.0 | 76.9 |
| 3   | 0.13   | 76.3    | 79.4 | 77.9 |
| 3   | 0.15   | 78.0    | 80.6 | 79.3 |
| 6   | 0.05   | 75.1    | 73.5 | 74.3 |
| 6   | 0.07   | 74.3    | 75.4 | 74.8 |
| 6   | 0.09   | 76.3    | 79.6 | 77.9 |
| 6   | 0.11   | 77.6    | 82.7 | 80.1 |
| 6   | 0.13   | 76.5    | 80.4 | 78.5 |
| 6   | 0.15   | 76.3    | 79.6 | 77.9 |
| 9   | 0.05   | 74.9    | 72.3 | 73.6 |
| 9   | 0.07   | 75.1    | 77.1 | 76.1 |
| 9   | 0.09   | 78.0    | 78.5 | 78.3 |
| 9   | 0.11   | 77.3    | 80.6 | 79.0 |
| 9   | 0.13   | 77.0    | 82.5 | 79.7 |
| 9   | 0.15   | 75.5    | 79.2 | 77.3 |
| 12  | 0.05   | 74.3    | 77.1 | 75.7 |
| 12  | 0.07   | 76.1    | 79.2 | 77.6 |
| 12  | 0.09   | 76.5    | 81.3 | 78.9 |

| 中間層 | 最終認知誤差 | 判別率（％） |      |      |
|-----|--------|--------|------|------|
|     |        | 正常果    | 渋味果  | 総合   |
| 12  | 0.11   | 77.4   | 80.9 | 79.1 |
| 12  | 0.13   | 78.0   | 81.7 | 79.8 |
| 12  | 0.15   | 77.6   | 79.2 | 78.4 |
| 15  | 0.05   | 76.8   | 72.9 | 74.9 |
| 15  | 0.07   | 74.5   | 78.4 | 76.4 |
| 15  | 0.09   | 80.8   | 79.8 | 80.3 |
| 15  | 0.11   | 80.0   | 82.3 | 81.1 |
| 15  | 0.13   | 78.6   | 80.0 | 79.3 |
| 15  | 0.15   | 76.3   | 80.2 | 78.3 |
| 18  | 0.05   | 76.1   | 75.6 | 75.9 |
| 18  | 0.07   | 76.7   | 78.4 | 77.5 |
| 18  | 0.09   | 78.8   | 80.0 | 79.4 |
| 18  | 0.11   | 79.2   | 79.8 | 79.5 |
| 18  | 0.13   | 78.4   | 79.4 | 78.9 |
| 18  | 0.15   | 76.1   | 81.3 | 78.7 |