

# 非接触式水分ストレス計の開発

機械システム科 科長 兵頭 竜二  
電子情報科 科長 指方 顕  
電子情報科 研究員 田中 博樹

生育果実の糖度と水分ストレス（樹体の渇き具合）との間には密接な関係があるため、高品質な果実の生産には水分ストレスを指標とした適切な灌水管理が求められている。このため、水分ストレスによる緑葉の分光特性（色）の変化に着目した水分ストレス計の試作開発を進めている。試作開発する装置は、昼間、太陽光の下で、樹木赤道部（葉の茂った部分）を自動走査して簡便に水分ストレスを推定できる機能とする。

この報告では、主に、離れた対象物の分光特性を取得するための光学系について検討した。この結果、放物面鏡などで構成される特殊な光学系を活用することで、装置正面の延長上にある、スポット径約20mmの箇所の分光反射率特性を取得できることを確認した。また、測定対象物である緑葉が様々な傾きを持っていても、水分ストレスと関連性の深いレッドエッジ波長（可視光域から近赤外域にかけて反射率の増加率が最大を示す波長）は、安定して取得できることが確認できた。

## 1. 緒言

生育果実の糖度と、樹体の渇き具合である水分ストレスとの間には密接な関係があるため、高品質果実の生産では水分ストレスを指標とした適切な灌水管理が求められる<sup>1)</sup>。このため、水分ストレスによる緑葉の分光特性の変化<sup>2)3)</sup>に着目した簡易な水分ストレス計の開発が進められている<sup>4)5)</sup>。しかしその開発では、予め選定した複数枚の緑葉について分光特性を計測し、その特徴量の変化から水分ストレスの推定を行っているため、葉の性状の変化や虫による食害などの影響で推定精度の向上に限界がある。

この報告では、このような誤差要因を軽減するための緑葉分光特性の計測方法として、樹木赤道部の分光特性を走査して、目的の緑葉分光特性のみを大量かつ効率的に抽出する方法について考察した。

## 2. 実験方法

サンプルとして摘み取ってきた緑葉を一行に並べて分光特性を直線状に測定し、その結果を用いて、樹木赤道部の分光特性の走査方法について検討した。

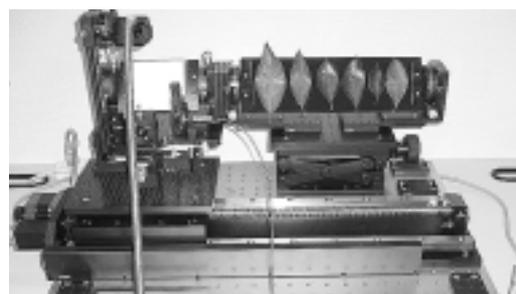
### 2.1 緑葉分光特性の走査実験

走査実験では、サンプルした緑葉を複数枚並べた実験用治具を準備し、一軸方向に光源と分光器の受光部を移動させながら葉面の分光特性を連続的に取得した。図1(a)はその外観を示し、図1(b)は光源やサンプル緑

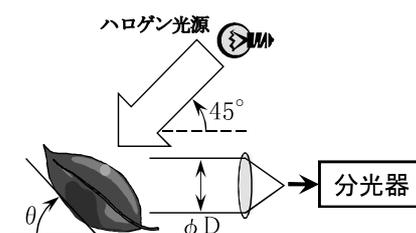
葉、分光器受光部などの位置関係を模式的に示している。

受光部には放物面鏡による光学系が組んであり、葉面で散乱される光の内、水平方向に向かう平行光のみが分光器に入射するように調整している。そして、入射する光束の直径は10mm~20mmとした。

ハロゲン光源から出る光については、分光器に入射する光との角度を45°に固定した。また、葉の水平面との角度は、35°、40°、45°、50°、55°とした。



(a) 外観



(b) 光源とサンプル葉と受光部の位置関係

図1 実験用治具

## 2.2 緑葉分光特性の解析処理

取得された分光特性は、分光反射率に換算した。さらに、その特性に現れる特徴量として、レッドエッジ波長<sup>4)</sup> $\lambda_{RE}$ と正規化植生指標 NDVI を求めて、その走査位置に応じた特徴量の変化を調べた。なお、 $\lambda_{RE}$  ならびに NDVI の算出には次式を使用した。

$$\lambda_{RE} = \int_{\lambda_s}^{\lambda_e} R'(\lambda) \lambda d\lambda / \int_{\lambda_s}^{\lambda_e} R'(\lambda) d\lambda$$

$$NDVI = (\bar{R}_{800 \sim 820} - \bar{R}_{660 \sim 670}) / (\bar{R}_{800 \sim 820} + \bar{R}_{660 \sim 670})$$

## 3. 結果と考察

実験は、幅が15mm~30mm 程度のミカン緑葉を用いて実施した。

### 3.1 分光特性

図2は取得した分光特性の中から  $\theta = 15\text{mm}$  の場合を例示したものであり、図1(a)にみられる左から3番目の葉のほぼ中央に相当する箇所のものである。なお、図中の凡例の順は、800mm~1000mm の領域のグラフの順に一致させている。また図中に細い実線で示された特性は、葉を取り除いて測定した結果であり、治具に使用したサポート材の分光特性を示している。

この図から、サンプル緑葉の角度  $\theta$  の変化に伴い、近赤外の反射率が変化して見えることや、 $\theta = 55^\circ$  の時には分光反射率全体が上方に平行移動して観測されていることなどが分かる。これらの原因は、緑葉が凹型に湾曲しているなど完全な平面でないため、サンプル緑葉を設置した角度によっては、緑葉内部の色素の状態などを反映した散乱光に加え、内部の状態を反映しない表面での反射光が分光器に紛れ込みやすくなるためと考えられる。

### 3.2 分光特性にみられる特徴量の位置的变化

図3は取得した分光特性から得られた特徴量について

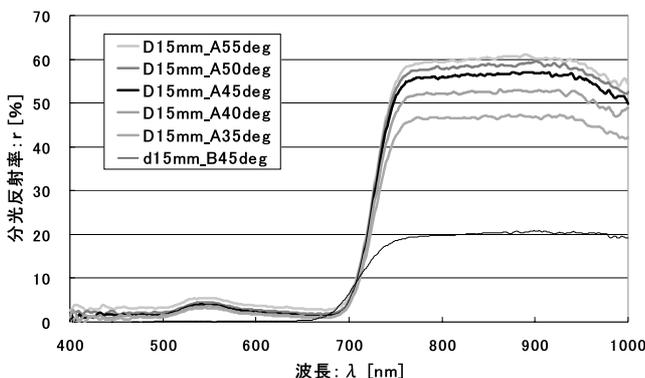
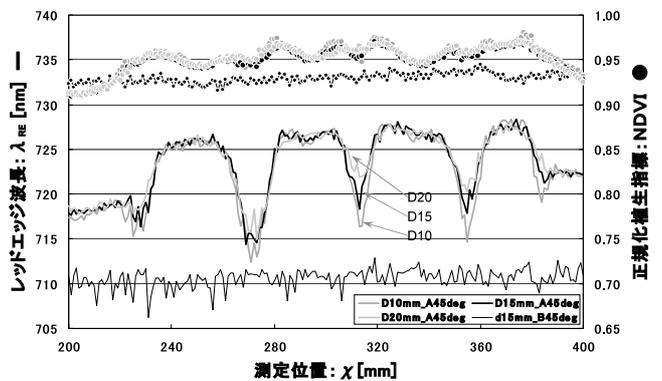


図2 分光特性の計測例 ( $\theta = 15\text{mm}$  の場合)

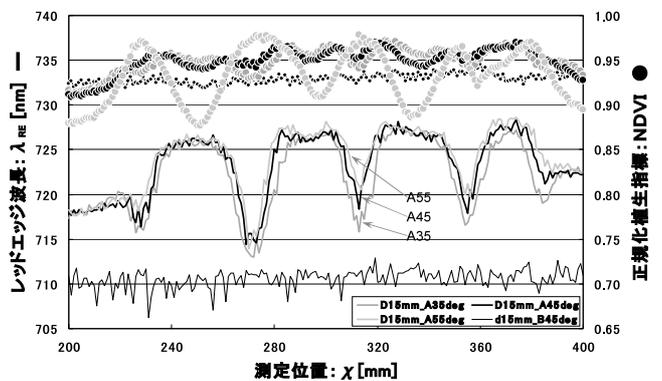
て、横軸を走査位置にして描画したものであり、実線がレッドエッジ波長、丸印の並びが NDVI である。また、レッドエッジ波長の特徴で山状になっている部分が緑葉を捉えた部分である。

図3(a)は  $\theta = 45^\circ$  とし、 $D = 10\text{mm}, 15\text{mm}, 20\text{mm}$  の場合を示している。この図によれば、NDVI については、開口径  $D$  の影響を殆ど受けないことが分かる。一方、レッドエッジ波長については、小さな開口径を用いた場合、緑葉と緑葉との隙間において、サポート材が持つレッドエッジ波長に近い値を示している。このことから、レッドエッジ波長は、開口径に依存して空間的な選択性が敏感になることが確認できる。言い換えれば、混在した分光特性の中から緑葉の分光特性を選択し易いことを意味する。

図3(b)は  $D = 15\text{mm}$  で、 $\theta = 35^\circ, 45^\circ, 55^\circ$  の場合を示している。この図から、NDVI もレッドエッジ波長もサンプルの設置角度に依存して変化していることが分かる。特に NDVI の変化は3.1で述べた緑葉内部の状態を反映しない表面反射光の影響を強く受けていると理解できる。一方、レッドエッジ波長については、その算出に微分演算を含んでいることもあり、表面反射光の影響は NDVI の場合に比べて少ないと理解できる。



(a)  $\theta = 45^\circ$  の場合



(b)  $D = 15\text{mm}$  の場合

図3 レッドエッジ波長と正規化植生指標

#### 4. 結 言

緑葉分光特性を用いて樹木の状態をセンシングする場合、樹木に付いている緑葉の分光特性を取得する必要がある。単葉毎の分光特性を利用するならば、測定できる枚数に限界があるため、数葉の分光特性から樹木全体の状態を推測することとなるが、緑葉の性状などの影響を拭い去れない。また、継続した観測を行う場合、条件が同一となるようなサンプル葉の選定も重要となる。これらを満足するには、必然的に多くのサンプル葉が必要となる。

また、樹木全体の分光特性を観察する方法も考えられるが、その場合には目的の緑葉だけでなく枝や果実などの分光特性も入り混じったものとなる。こうなれば、後で緑葉分光特性だけを分離抽出することは難しく、正しいセンシングが行えない。

図4は、本報告で提案する分光特性の走査方法を概念的に示したものである。例えば、樹木の赤道部と呼ばれる枝葉が最も繁って広がった部分を横一直線状に走査することを考える。この場合、取得された分光特性には、樹木表面に展開する緑葉や果実、枝、折り重なった緑葉のものなどが混在する。先に述べた様に、NDVIの観測値は葉の角度に依存するが、レッドエッジ波長など、微分特性を利用した特徴量の観測値には葉の角度の影響は現れにくい。そこで、これらの特徴を上手く利用して、走査された分光特性から緑葉のものだけを抽出すれば、一度の走査で大量の緑葉分光特性を取得することが可能となる。後はこの結果を利用すれば、簡易に樹木の状態をセンシングすることができると思われる。

今後は、この手法を用いた簡単操作型の樹木水分ストレス計の試作開発を試みる計画である。

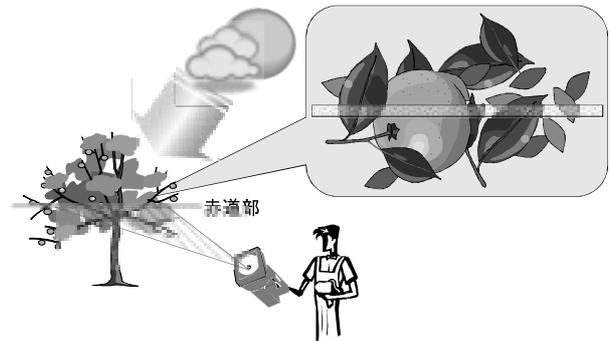


図4 樹木赤道部の分光特性の走査

#### 参考文献

- 1) 野並浩、2001．植物水分生理学、pp 236 - 257．
- 2) 本郷千春、他、1998．分光反射率からみた樹木の水ストレス反応、写真測量とリモートセンシング、37( 4 ) pp 43 - 50．
- 3) 西田顕郎、他、2000．樹木単葉の分光反射率特性と光合成速度および水分欠乏との関係、日本リモートセンシング学会誌、20( 3 ) pp 6 - 16．
- 4) 兵頭竜二、他、2004．果実育成期間に水分ストレスを与えられたウンシュウミカンの緑葉分光特性とその果実糖度との関係、写真測量とリモートセンシング、43( 5 ) pp 24 - 35．
- 5) 兵頭竜二、2008．簡易型樹木水分ストレス計の試作開発、日本写真測量学会平成21年度年次学術講演会発表論文集、pp .119 - 122．