

CT と 2 波長特徴を用いた果実内の糖度分布推定

岩口 堯史^{1,a)} 久保 尋之¹ 船富 卓哉¹ 向川 康博¹

1. はじめに

今日では、青果の流通の国際化により、日本国内においても世界各地で生産された青果が店頭に並ぶようになっており、厳しい価格競争が行われている。国内の青果生産者にとっては、安価な輸入品に対抗するため、青果商品の品質を保証し高付加価値化することが重要になっている。

青果商品の品質を保証するためには、甘さの評価が不可欠である。すでに生産現場では分光分析による糖度の計測が行われているが、1つの果実につき、果実中の平均糖度が示されるだけである。しかし、日当たりなどの栽培時の環境により、個々の果実はすべて異なった糖度の偏りを持っている [1]。また、例えばスイカでは中央部ほど甘いことを我々が経験的に知っているように、果実の糖度は1つの果実でも部位ごとに異なり、必ずしも均一ではない [2]。そこで、我々は果実品質の指標として、果実中の平均糖度ではなく、糖度の分布を利用することが、青果商品のさらなる高付加価値化に有効であると考えた。商品となる果実の計測を行い、例えば「中までまんべんなく甘い果実」といった情報を消費者に提示することは、購買意欲の向上につながると考えられる。

従来、糖度分布計測は切断を伴う破壊的な手法が用いられているが、非破壊な計測が可能になれば多くの利点をもたらされることが考えられる。例えば、果実の全数検査により、高価な果物であっても廃棄することなく計測することができる。また、果実の生長に伴う糖の蓄積過程を経時的に計測するなど、栽培技術の研究への貢献も期待できる。

そこで、本研究では果実の糖度分布推定のために非破壊な計測手法を確立することを目的とする。まず、分光計測により糖度を推定するため、糖度の特徴量を導入する。そして、この特徴量を Computed Tomography (CT) によって空間に逆投影して断面を再構成することにより、果実の糖度分布推定を試みる。

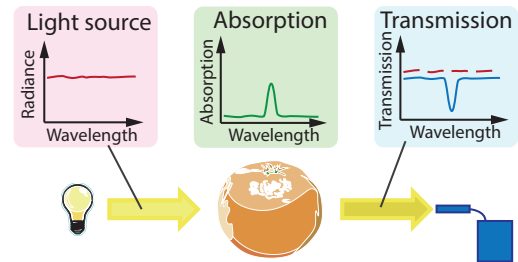


図 1: 化学成分によるスペクトル吸収

2. 特徴量の逆投影による糖度分布推定

2.1 分光解析による糖度推定

本研究では、果実の糖度を推定するために吸収スペクトルを用いる。まず、化学物質を含む物体を光が通過するときのスペクトル変化を図 1 に模式的に示す。光源から出た光は、その光源に固有のスペクトルを持っている。光が物体を通過するとき、化学物質の分子と衝突するが、そのとき特定の波長のエネルギーが吸収される。このときの吸収量は化学物質の濃度に比例するため、分光器により物体の吸収スペクトルを計測することで化学物質の含有量を推定できる。しかし、分光器は高い波長分解能を持つ一方で、1回の計測ではプローブ周辺の狭い空間しか計測できない。糖度の空間分布推定には広範囲の空間の計測が必要であるため、分光器では計測時間が長くなる。そこで、広範囲な空間の撮影を行うためにカメラを利用する。また、帯域通過フィルタを用いて、糖度の影響が現れる特定波長の撮影を行い、糖度の 3 次元空間分布を 2 次元平面に射影した特徴を得る。このとき、計測波長が分光器と比較して少数で離散的になるため、糖度推定のために少数波長から計算される**糖度の特徴量**を導入する。ここで、糖水溶液の吸収スペクトルにおいて、糖度と透過率が相関を持つ波長を**依存波長**、相関を持たない波長を**非依存波長**と定義する。依存波長では、糖度と透過率が相関を持つため、依存波長の果実の透過像には糖度の影響が現れるが、それだけでなく、糖以外の化学物質、空洞や異物も影響を与える。一方、非依存波長の透過像には糖以外の化学物質、空洞や異物が影響を与える。ここで、糖以外の化学物質、空洞や異物の影響が、依存波長と非依存波長で同じであると仮定すれば、

¹ 奈良先端科学技術大学院大学 〒630-0192 奈良県生駒市高山町 8916 番地の 5

^{a)} iwaguchi.takafumi.il6@is.naist.jp

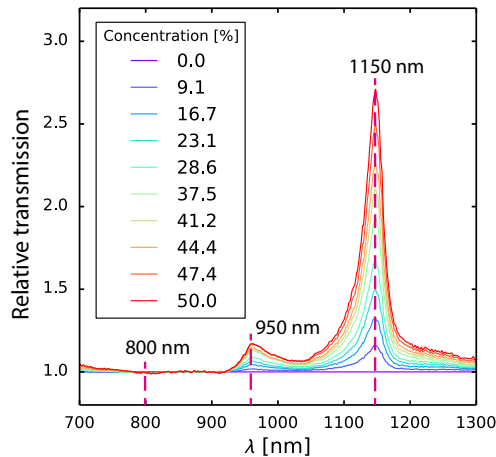


図 2: ショ糖の透過スペクトル

2 波長の透過率の差分によりこれらの影響は相殺され、糖度のみを抽出できる。以上より、本研究では糖度の特微量を依存波長と非依存波長の透過率の差分で定義する。

2.2 逆投影による空間分布推定

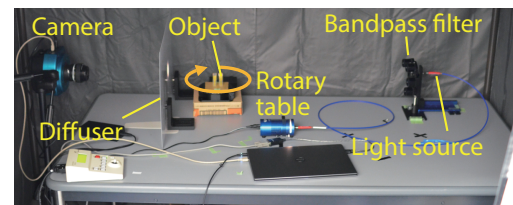
前節の方法では、糖度の 3 次元空間分布を 2 次元平面に射影した特徴しか得られない。本研究では CT によって全周から撮影した 2 次元特徴をもとに、糖度の 3 次元空間分布の推定を試みる。まず、平行光線を計測物体に照射し、物体を回転させながらその対面の透過像を撮影することで、物体全周の複数の角度方向からの透過像を得る。この全周撮影を依存波長と非依存波長で行い、それぞれの透過像の差分により特微量を計算する。そして、フィルタ補正逆投影法によって特微量を撮影方向と逆方向に投影することで断面の糖度の特微量分布が得られ、その結果糖度分布が推定できる。

3. 実験と結果

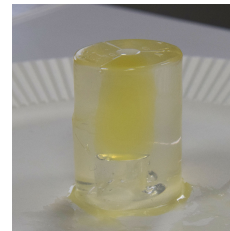
特微量計算に用いる波長 果実に含まれる糖の 1 種であるショ糖の透過スペクトルを、水を 1 とした相対値として図 2 に示す。950 nm と 1150 nm では、ショ糖濃度に比例して透過率が上昇している。一方、800 nm 付近の波長ではショ糖濃度と透過率に相関が見られない。そこで、以降の実験では依存波長として 950 nm、非依存波長として 800 nm を用いた。

糖度分布の推定 図 3(a) に示すような装置により、物体全周の透過像を撮影した。光源に取り付けた帯域通過フィルタを用いて依存波長、非依存波長の平行光を照射した。本実験では、物体を 2° ずつ回転させながら撮影を行った。対象物体は図 3(b) に示すような、糖度分布が既知のゼラチンで作成した円筒形の物体であり、中央の円筒部分は約 30% のショ糖を含み、外周部はショ糖を含まない。

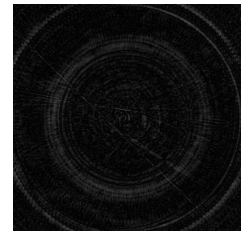
図 3(c) に本手法により推定した物体断面の糖度分布を示



(a)



(b)



(c)

図 3: 実物体断面の糖度分布計測 (a) 撮影装置, (b) 対象物体, (c) 糖度分布の推定結果

す。推定結果では、実際の糖度分布と異なり、中央部と外周部では特微量の大きさに明確な差は認められなかった。

4. 考察と今後の課題

本手法で物体断面の糖度分布が推定できなかった原因として、物体の透過像における屈折の影響があげられる。屈折の大きさには波長依存性があるため、依存波長、非依存波長で撮影したときの透過像にはずれが生じる。特微量の計算には、これらの 2 波長で撮影した透過像の差分を利用するため、屈折による投影のずれの影響で、特微量の計算が正しく行われなかったと考えられる。このため、今後は屈折を考慮した断層撮影を行う必要がある。また、果実中では散乱が起こると考えられるため、散乱媒体の断層撮影手法である散乱光トモグラフィ [3-5] による糖度分布推定を予定している。

謝辞 本研究は、ヤンマー株式会社の研究助成を受けて行われた。

参考文献

- [1] 梶浦 一郎, 佐藤 義彦, 大村 三男, 町田 裕. “ニホンナシ果実中の糖度分布と試料切片の果実からのサンプリング法. 果樹試験場報告 Vol. 6, 1-14 (1973).
- [2] 石上 清, 松浦 英之. 温室メロン果実の糖度分布と部位別糖類組成. 静岡県農業試験場研究報告 Vol. 37, 33-40 (1992).
- [3] Yasunori Ishi, Toshiya Arai, Yasuhiro Mukaigawa, Jun'ichi Tagawa, Yasushi Yagi. Scattering Tomography by Monte Carlo Voting. MVA2013.
- [4] Toru Tamaki, Bingzhi Yuan, Bisser Raytchev, Kazufumi Kaneda, Yasuhiro Mukaigawa. Multiple-scattering Optical Tomography with Layered Material. The 9th International Conference on Signal-Image Technology and Internet-Based Systems (SITIS 2013).
- [5] Ryuichi Akashi, Hajime Nagahara, Yasuhiro Mukaigawa, Rin-ichiro Taniguchi. Scattering Tomography Using Ellipsoidal Mirror. The 21th Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision, 2015.01.