

色彩色差情報を用いた果実収穫適期の定量判定

石井雅樹¹, 山根治起², 土谷響造¹¹ 秋田県立大学システム科学技術学部機械知能システム学科² 秋田県産業技術センター

現在の日本では、農業就業人口の減少、担い手の高齢化が進んでいることから、高品質あるいは付加価値の高い農作物を経験や勘に頼らずに生産する手法の確立が求められている。付加価値の高い果実、例えばリンゴ等の場合、収穫の適期はカラーチャートを用いた目視検査により行われる。これは感性情報を利用した官能検査である。しかし、色の感じ方には個人差があるため、判断基準は統一されていない。本研究では、樹上に着果した状態で果実の収穫適期を判定する果実収穫適期簡易判定システムの開発を目標としている。本論文ではリンゴを対象とし、収穫適期を定量的に判定する手法の開発を目的とした。具体的には、色彩色差計測を行うことにより、リンゴの果色判定に有用な特徴を導出した。また、リンゴの生育状態と色彩色差情報を比較分析し、収穫適期を定量的に判定するための手法について検討した。

キーワード：果色判定, 感性情報, 官能検査, $L^*a^*b^*$, HSV

近年、世界的な穀物需要の逼迫や、食の安全・安心に対する関心の高まり、地球温暖化対策としての農地保全など、農業と農村を取り巻く状況は大きく変化しており、農作物の安定した供給が求められている。一方、現在の日本では、農業就業人口の減少、担い手の高齢化が進んでおり、高品質あるいは付加価値の高い農作物を経験や勘に頼ることなく生産できる手法の確立が求められている。

高品質のリンゴ等の果実では、収穫適期を判断するための指標として品種ごとに異なるカラーチャートが利用されている。これは官能検査（感性情報の利用）であり、色の感じ方には個人差があることから、判断基準は統一されていないのが現状である。

これまで、リンゴの階級分けを自動で行う検査装置は多数開発されている。しかし、これらの多くは収穫後のリンゴを対象としたものであり、検査対象には成熟したリンゴとともに未熟のリンゴも多数含まれていることから、非効率的である。一方、樹上に着果した状態で品質判定を行う事例も提案されて

いるが、未だ実用化には至っていない（岸，2010）。適期のリンゴのみを収穫し、未熟状態のリンゴは収穫せずに生育を進めることができれば、効率的なリンゴの栽培、更には効率的かつ安定的な農業経営の支援につながると考える。

そこで本研究では、リンゴの色彩情報を解析することにより、収穫適期を定量的に判定する手法について検討した。

果色判定に用いる色空間

色を数値的に表現するための空間を色空間という。色の表記方法には、色の見え方に基づいて表す顕色系と、色光の混色により表す混色系が存在する。本研究では4つの色空間（RGB, XYZ, $L^*a^*b^*$, HSV）について比較検討を行い、有意性の認められた $L^*a^*b^*$, HSV 色空間を用いて適期判定を行った。

$L^*a^*b^*$ 色空間とは均等色空間であり、XYZ 色空間からの変換により求められる（高木，1991）。 L^* は

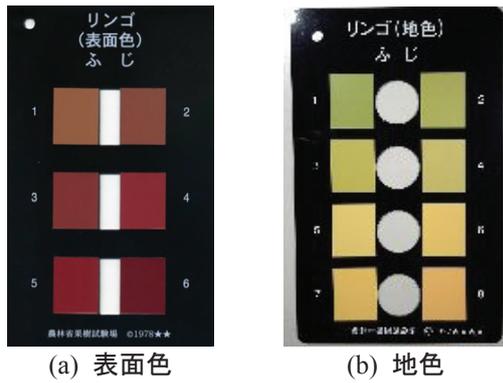


図1 カラーチャート

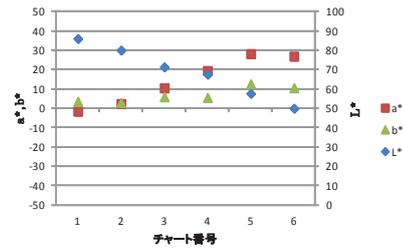
明度を表しており、 a^* の正は赤成分，負は緑成分， b^* の正は黄成分，負は青成分を表しており，色差の判定に有用である。

HSV 色空間とは，色相 (Hue)，彩度 (Saturation)，明度 (Value) を表しており，RGB 色空間 (内川，2000) からの変換により求められる。色情報を人間の感覚的な指標で表現できるため，直感的に理解しやすく，操作しやすいという利点がある (David A. Forsyth et al., 2007)。

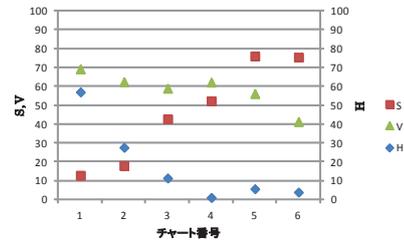
果色用カラーチャートの解析

リンゴの収穫適期判定は，リンゴの表面色および地色と果色用カラーチャートの色を比較して行われる。本研究では，はじめに果色用カラーチャートの解析を行った。図1にカラーチャートの外観を示す。なお，表面色，地色のカラーチャートでは4以上の番号が収穫適期に該当する。

表面色カラーチャートの解析結果を図2に示す。同図より $L^*a^*b^*$ 色空間の a^* ，HSV 色空間の H の値は線形に変化しており (a^* は増加，Hは減少)，有意な差が表れている。地色のカラーチャートの解析結果を図3に示す。表面色と同様に a^* ，H の値に有意な差が表れていることが分かる (a^* は増加，Hは減少)。以上より，本研究では a^* ，H の値を用いて収穫適期判定を行った。

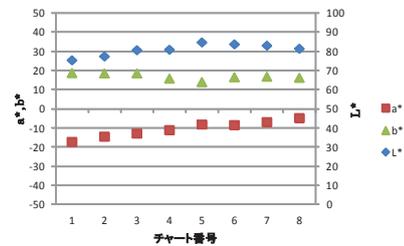


(a) $L^*a^*b^*$

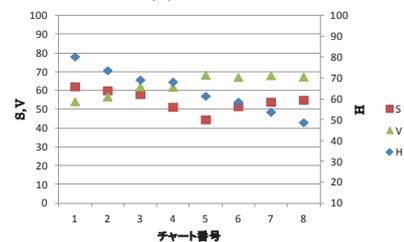


(b) HSV

図2 カラーチャートの解析結果 (表面色)



(a) $L^*a^*b^*$



(b) HSV

図3 カラーチャートの解析結果 (地色)

果色の解析

果実画像の取得方法

本研究では，専門家によって階級付けされた 24 個 (12 個×2, Dataset 1・2) のリンゴ (品種：やたか) を対象として果色の解析を行った。Dataset 1, 2 において収穫適期のリンゴは No.10~12 の 3 個である。回転台の上に載せたリンゴを，50[cm]離れた位置から USB カメラ (Panasonic 社製，TY-CC10W) を用いて撮影し，解析に使用した。具体的には，表面色は 45° ずつ，地色は 90° ずつ回転させて撮影を行い，

静止画像(24 bit color, 640×480 pixel)を取得した。なお、照明環境は一定とした。

解析方法

取得した画像には照明の影響によりハレーションが認められた。そこで本研究では、ハレーションと背景の黒色を除去する処理を施した。具体的には、各画素の RGB 値の標準偏差を計算し、しきい値以下の画素をハレーションおよび背景として除去した。除去処理の結果を図 4 に示す。除去処理後の全画素を処理対象領域とし(図 4 のマスク部分)、領域内の全画素の RGB 値を取得し、 $L^*a^*b^*$ 、HSV の値を算出した。

解析結果および考察

Dataset 1 を対象とした表面色の解析結果($L^*a^*b^*$ 、HSV 値)を図 5 に示す。表面色については 8 画像(45° ずつ)の平均値を算出した。同図より、生育が進むに連れて a^* の値は線形に増加、H の値は線形に減少する傾向が認められる。また、全般に収穫適期である No.10~12 の a^* の値は高く、H の値は低いことから、表面色の判定において、 a^* 、H の値は有用であると判断できる。

地色の解析結果を図 6 に示す。地色については 4 画像(90° ずつ)の平均値を算出した。表面色と同様に a^* の値は増加、H の値は減少する傾向にある。従って、地色においても、 a^* 、H の値は定量的な収穫適期判定に有用と判断できる。

なお、Dataset 2 を対象とした場合においても同様の結果が得られることを確認している。

収穫適期判定実験

果色用カラーチャートの a^* 、H の値と、Dataset 1、2 の a^* 、H の値を比較し、収穫適期判定に関する基礎実験を実施した。本研究では 4 種類の判定方法(差分、最短距離法、類似度法、線形関数)を採用し、各々の判定結果について比較検討を行った。本稿では、最良の結果が得られた最短距離法を用いた判定手法について考察する。

果色用カラーチャートおよびリンゴの a^* 、H の値

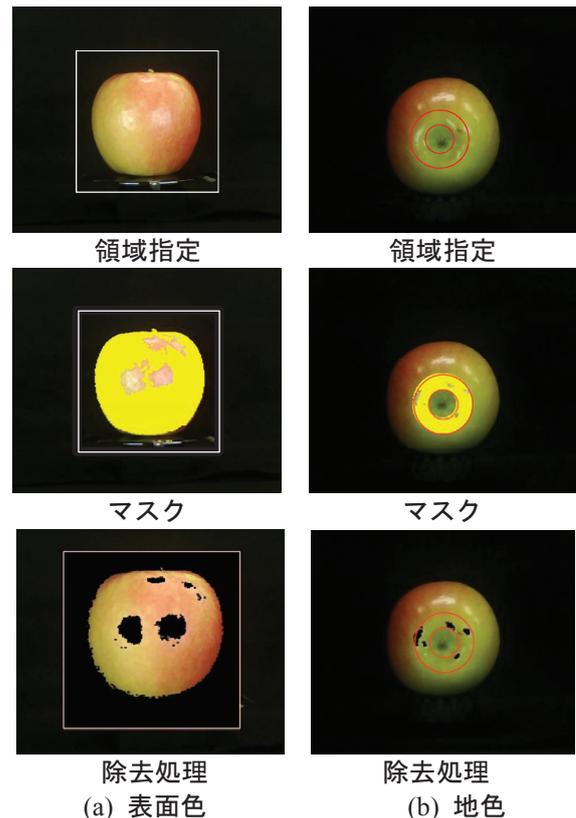
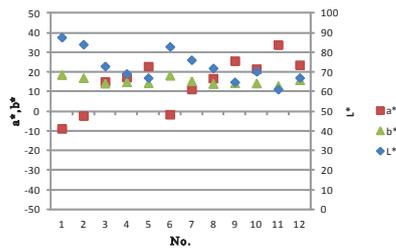


図 4 ハレーション及び背景の除去処理

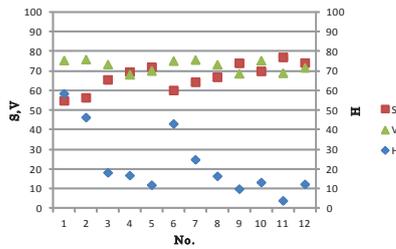
を 2 次元ベクトルとみなし、ユークリッド距離を算出して判定を行った。具体的には、距離が最も近いカラーチャート番号と 2 番目に近いカラーチャート番号を導出し、2 つの距離の比率から実数値で判定結果を算出した。Dataset 1 を対象とした場合の判定結果を図 7 に示す。

同図(a)より、表面色の判定結果で適期(チャート番号 4 以上)と判定されたサンプルは、No.5, 9, 10, 11, 12 の 5 サンプルであった。一方、同図(b)より、地色の判定結果で適期(チャート番号 4 以上)と判定されたサンプルは、No.3, 9, 10, 11, 12 の 5 サンプルであった。以上より、本手法では No.9, 10, 11, 12 の 4 サンプルが収穫適期と判断できる(表面色と地色判定結果の AND)。

専門家の判定では、No.10~12 が収穫適期のリングゴであると判断されている。したがって、提案手法によって得られた判定結果は、専門家の知見とほぼ一致していると判断できる。なお、Dataset 2 において収穫適期と判定されたサンプルは No.10, 11, 12 の 3 サンプルであり、専門家の知見と一致することを確認している。

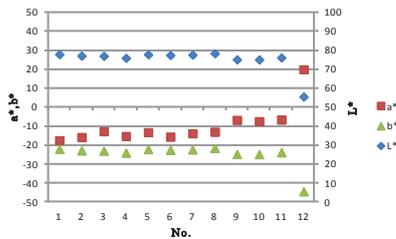


(a) L*a*b*

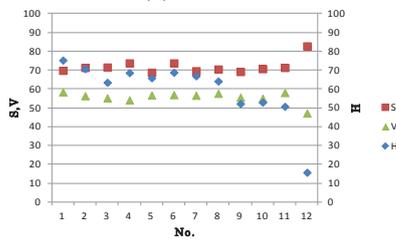


(b) HSV

図5 果色解析結果 (Dataset1 表面色)



(a) L*a*b*

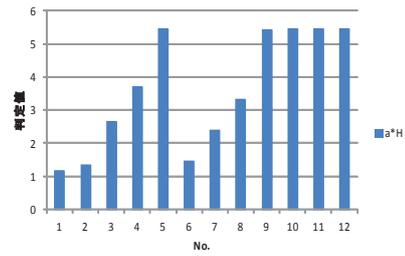


(b) HSV

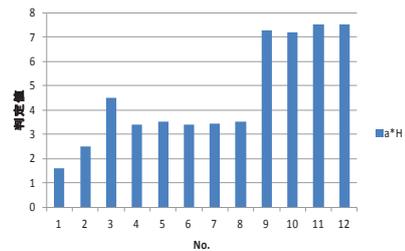
図6 果色解析結果 (Dataset1 地色)

結言

本研究では、リンゴ (品種: やたか) を対象とし、収穫適期を定量的に判定する手法の開発を目的とした。果色用カラーチャートおよびリンゴの画像解析を行い、リンゴの生育に伴う色変化の傾向を確認したところ、 a^* の値とHの値は定量的な階級判定に有用であることが明らかとなった。また、 a^* 、Hの値を用いて収穫適期判定実験を実施したところ、最短距離法を用いた判定が最良の結果を示し、専門家の知見とほぼ一致する定量的な判定結果が得られた。



(a) 表面色



(b) 地色

図7 判定結果 (Dataset1 最短距離法)

今後は、照明変動に頑強な画像取得方法および色空間の利用法について検討を加え、屋外かつ樹上に着果した状態のリンゴを対象とし、収穫適期判定を行う予定である。

文献

岸知彦 (2010) . 「簡易モニタリングシステムによるリンゴ収穫適期の判断方法」『H23 農業農村工学会大会講演会講演要旨集』, 792-793.
 高木幹雄 (1991) . 『新編画像解析ハンドブック』 (pp.549-555) . 東京大学出版会.
 内川恵二, 日本視覚学会 (編) (2000) . 『視覚情報処理ハンドブック』 (pp.166-168) . 朝倉書店.
 David A. Forsyth, Jean Ponce (著), 大北剛 (訳) (2007) . 『コンピュータビジョン』 (p126) . 共立出版.

〔平成 28 年 7 月 20 日受付〕
 〔平成 28 年 7 月 31 日受理〕

Determination of Fruit Ripeness for Picking Based on Color and Color Differences

Masaki Ishii¹, Haruki Yamane², Kyouzou Tsuchiya¹

¹ *Department of Machine Intelligence and Systems Engineering, Faculty of Systems Science and Technology, Akita Prefectural University*

² *Akita Industrial Technology Center*

In Japan, the agricultural worker population is now declining, and those involved in the industry are aging. As a result, there is a demand for establishing a method for the production of high quality or high value-added agricultural produce that does not rely on experience or intuition. In case of high value-added fruits such as apples, visual inspection based on a color chart is used to determine the ripeness for picking. However, this test is based on sensory analysis, and because the perception of color differs among individuals, the judgment standards are not unified. In this research, our objective was to develop a simple ripeness determination system for fruits still on the tree. We used apples to develop a quantitative method for determining fruit ripeness for picking. In particular, we used the measured color and color differences to identify useful characteristics for assessing apple color. We also conducted a comparative analysis of apple growth and color and color differences to investigate our quantitative method for determining fruit ripeness for picking.

Keywords: fruit-color judgment, sensory information, sensory inspection, L*a*b*, HSV