

果実の収穫適期定量判定アプリの開発 ～収穫時の目視判定を定量評価に～

秋田県立大学 システム科学技術学部 情報工学科 石井 雅樹

1. はじめに

近年、最先端の工学技術を農業分野に応用展開する農工連携の動きが活発化している。具体的には、完全制御型の植物工場に代表される情報技術を用いた作物の栽培・管理、農業経営の効率化、作業者の負荷の軽減を目的としたロボット技術などがあり、様々なアグリ・イノベーションを生み出している。農工連携は今後の農業の活性化・持続的発展を目的とした場合に必要不可欠なものとして期待されている。

一方、果樹分野は全国的に後継者不足・就業者の高齢化が進んでおり、機械化・自動化・省力化が遅れていることから、未だ雇用労力に頼らざるを得ない状況にある。また、果樹の管理作業は熟練技術であるため、習熟までには長い時間を要する。経験や勘に頼ることなく、未経験者でも即戦力として作業に従事するためには、上述の工学技術を利用した管理作業を支援する装置・システムの開発が急務と考える。

果樹の管理作業の中で従事時間の割合が高い作業項目は剪定、摘花・摘果、着色管理、収穫などが挙げられる。中でも、収穫作業は出荷直前の重要かつ従事期間の短い作業であることから、収穫の適期判断を的確に行うことや作業の効率化が求められている。

秋田県内陸の横手平鹿地域ではリンゴの栽培が盛んに行われている。リンゴの品種を収穫期で大別すると、早生、中生、晩生の三種類があり、収穫方法は二種類に分けられる。ひとつ目は、成熟期を迎えたリンゴを一時期にまとめて収穫する方法であり、「ふじ」等の晩生品種ではこの方法が用いられる。二つ目は、個々のリンゴの成熟度を判定しながら収穫する方法であり、これは主に高品質あるいは付加価値の高い早生、中生品種に用いられる収穫方法である。

後者の収穫方法では、収穫時期を判断する指標としてカラーチャートが使用されている。作業者はリンゴの表面色・地色とカラーチャートの色を目視により比較し、収穫適期であるかどうかを判定する。人の目による収穫期の判断は感性情報を用いた定性評価である。したがって、判定結果には個人差が生じる。また、収穫時の

天候、光量（時間帯）などにより果色の見え方が変化するため、判定結果にばらつきが生じるといった課題を有している。

本研究では、屋外かつ樹上に着果した状態で、リンゴの成熟度を簡便に評価するための収穫適期定量判定システムの開発を目的としている。具体的には、色彩色差測定により、①色見本との簡便な比較から収穫適期を定量的に判定する手法、②利用環境による屋外光の変化に頑強な判定手法、③作業者の動作を妨げることのないハンズフリー型の判定装置の開発に取り組んでいる。本稿では上述の①②に係る概要を紹介する。

2. カラーチャートの利用法

本稿では、リンゴの品種「やたか」を対象とした果色の解析および収穫適期判定実験の結果について紹介する。「やたか」は「ふじ」の早生種であるため、生育状況の調査には「ふじ」の果色用カラーチャート（図1）が用いられる。表面色の評価基準は6段階、地色は8段階に分けられており、一般的に表面色・地色ともに、4以上であれば収穫適期とされている。

3. 屋内の果色解析による収穫適期判定

3.1 収穫適期判定に用いる特徴

色を数値的に表現するための空間を色空間と言う。本研究では図1に示したカラーチャートについて四つの色空間（RGB, XYZ, $L^*a^*b^*$, HSV）による解析を行い、有意性の認められた $L^*a^*b^*$ 色空間の a^* 値、HSV色空間のH値を用いて適期判定を行った。

$L^*a^*b^*$ 色空間において a^* 値の正は赤成分、負は緑成分を表しており、色差の判定に有用である。HSV色空間のH値は色相を表している。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を有している。

3.2 収穫適期判定結果（屋内）

はじめに、屋内で撮影したリンゴ（収穫後）を対象とした収穫適期判定実験を行った。同日



図1 収穫時期判定用カラーチャート



図2 成熟度によって順位付けしたリンゴ

に採取したリンゴを専門家の指導のもと、生育状況に従ってサンプル①（未熟）～⑫（成熟）に順位付けした（図2）。このうち、サンプル⑩～⑫の三つは収穫適期と判定されたリンゴである。この画像に対して前述した特徴を用いて適期判定実験を行った結果を図3に示す。

同図よりサンプル番号の増加に伴い、判定結果の数値も増加する傾向が認められる。表面色で適期（チャート番号が4以上）と判定されたサンプルは、⑤⑨⑩⑪⑫の五つである。一方、地色で適期と判定されたサンプルは、③⑨⑩⑪⑫の五つである。両者を合わせた場合、提案手法では⑨⑩⑪⑫の四つのサンプルが収穫適期であると判断できる。これは、前述した専門家の判定結果とほぼ一致する結果を示している。

4. 屋外の果色解析による収穫適期判定

4.1 画像補正手法

屋外では同じ対象を撮影した場合でも時間や天候により画像の色情報が著しく変化する。

したがって、樹上に着果した状態で果実の正確な色彩情報を取得することは困難であり、前述の判定手法をそのまま適用することは難しい。そこで本研究では、屋外光の影響を軽減するための画像補正手法について検討を加えた。

画像補正手法は、リンゴとともに撮影した補正用カラーチェッカーの白、黒、灰色の画素値を用いた色調補正およびガンマ補正、並びにハレーション（白とび）除去処理から構成される。

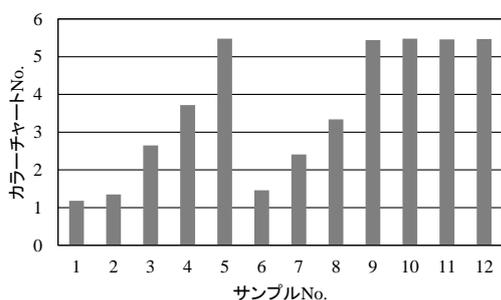
4.2 収穫適期判定結果（屋外）

屋外で撮影したリンゴを対象として収穫適期判定実験を実施した。樹上に着果した状態の12個のリンゴを「ふじ」の地色カラーチャートおよび補正用カラーチェッカーとともに撮影した。撮影はリンゴが収穫されるまでの一ヶ月間、約一週間間隔で5回実施した。

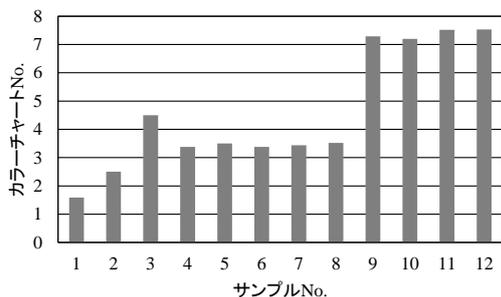
図4は撮影した原画像と前述した画像補正手法によって補正を施した画像を示している（サンプル⑦の表面色）。また、図5は図4の果色変化（a*値とH値）を示している。同図の



図4 画像補正結果



(a) 表面色

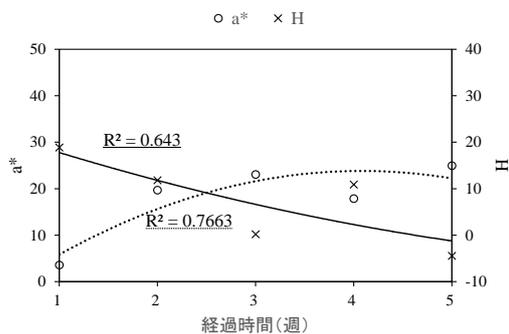


(b) 地色

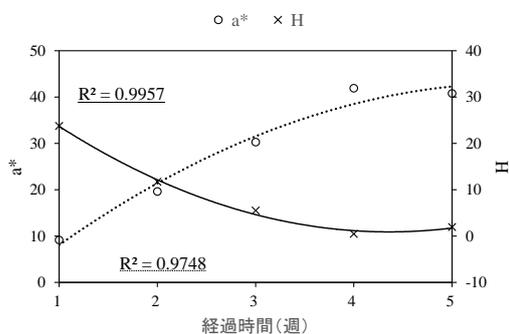
図3 屋内における収穫適期判定結果

横軸は、約1週間間隔の撮影日(2014年9月1, 8, 16, 22, 29日の5日間)を表しており、 R^2 の値は a^* 値およびH値を対象とした近似曲線の決定係数を意味している。

図5より、表面色の a^* の値は時間経過、すなわちリンゴの熟度が進むにつれて増加し、Hの値は減少する傾向が認められる。さらに、同図の近似曲線に着目すると、原画像では a^* およびHの値にばらつきが認められ、決定係数の値は小さいことが分かる($a^* = 0.7663$, $H = 0.643$)。一方、補正後の画像では a^* 、Hの値のばらつきが生育状況に沿った値に改善され、決定係数の値は増加していることが分かる($a^* = 0.9748$, $H = 0.9957$)。この傾向は地色でも同様に認められた。



(a) 原画像



(b) 補正画像

図5 原画像と補正画像における果色変化

表1は上述のサンプルの地色を対象として収穫適期判定を行った際の結果を示している。原画像を対象とした場合は、専門家の目視判定結果との差が大きいのに対し、補正画像を用いた場合は、9サンプルで差が減少している様子が分かる(表の網掛部)。中でも、半数のサンプルでは誤差の絶対値が1未満となっており、専門家の判定結果とほぼ等しい結果が得られている(表の下線部)。

以上の結果は、提案した画像補正手法が屋外での果実収穫適期判定において有用であることを示唆している。

表 1 屋外における収穫適期判定結果

サンプルNo.	専門家の 目視判定結果	提案手法による判定値		目視判定結果との差	
		原画像	補正画像	原画像	補正画像
1	7	3.62	7.75	-3.38	0.75
2	6	7.69	7.61	1.69	1.61
3	6	2.48	5.48	-3.52	-0.52
4	6	3.39	6.76	-2.61	0.76
5	5	3.45	5.49	-1.55	0.49
6	5	3.62	7.19	-1.38	2.19
7	7	4.49	6.53	-2.51	-0.47
8	5	3.59	7.72	-1.41	2.72
9	6	4.49	7.93	-1.51	1.93
10	6	2.51	3.56	-3.49	-2.44
11	5.5	2.43	5.48	-3.07	-0.02
12	7	1.5	3.48	-5.50	-3.52

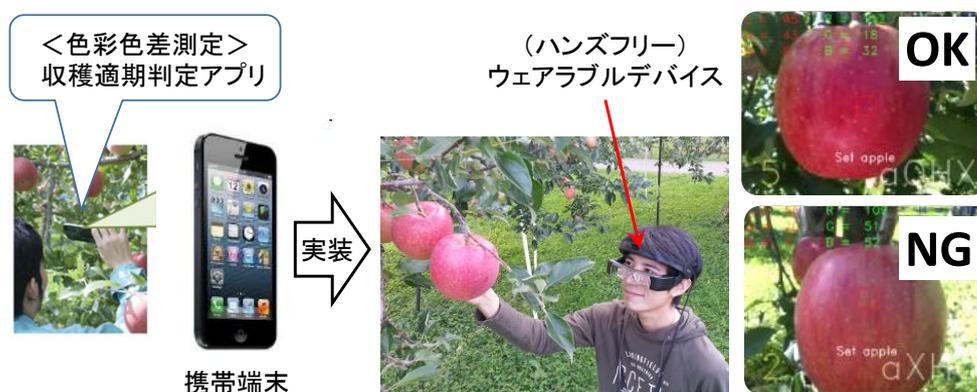


図 6 収穫適期判定手法の今後の展開

と考えている。

5. まとめ

本稿では、屋外かつ樹上に着果した状態で、果色からリンゴの成熟度を定量的に評価するための「収穫適期定量判定システム」の開発に係る概要を紹介した。

人による収穫判断は目視検査による定性評価である。収穫適期の定量評価が可能になれば、判定のばらつきを軽減することができ、品質の均一化、産地のブランド力・信頼度の向上につながるかと考える。また、後継者不足・就業者の高齢化が進んでいる中で、新規就農者のための熟練技能伝承ツールとしても有用と考える。

現在は、本稿で述べた手法をスマートフォン等の携帯デバイス、さらにはウェアラブルデバイスへ実装するための検討を進めており（図6）、これが実現できれば、作業者の動作を妨げることのないハンズフリーな収穫適期判定システムとして作業効率の改善にも貢献できる

【本研究に係る発表文献】

- [1] Masaki Ishii, Ikumi Kusada, “Image Correction for Quantitatively Determining Harvest Time of Apple Outdoors,” International Journal of the Society of Materials Engineering for Resources, Vol.23, No.1, pp.74–79 (2018)
- [2] 石井雅樹, 山根治起, 草田育美「色彩情報を用いた林檎の収穫適期に関する定量判定手法」, 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), Vol.137, No.9, pp.1209–1218 (2017)
- [3] Masaki Ishii, Ikumi Kusada, Haruki Yamane, “Image Correction Method to Determine Appropriate Apple Harvest Time for Outdoor Trees,” Journal of Institute of Industrial Applications Engineers (JIAE), Vol.5, No.1, pp.1–6 (2017)