

カラーチャートによるオイルパーム成熟度判別に向けた基礎検討

Preliminary study for discriminating oil palm ripeness by using color chart

皆方 快公^{*1} 小林 一樹^{*1} 田代 晋久^{*1} 脇若 弘之^{*1} 永田 浩一^{*2}
Kaiko Minakata Kazuki Kobayashi Kunihiisa Tashiro Hiroyuki Wakiwaka Hirokazu Nagata

Norhisam Misrom^{*3} Nor Aziana Aliteh^{*3} 長谷川 拓真^{*1} 二俣 昌樹^{*1}
Takuma Hasegawa Masaki Futamata

^{*1}信州大学 大学院 総合理工研究科
Graduate School of Science and Technology, Shinshu University

^{*2}信州大学グローバル教育推進センター
Global Education Center, Shinshu University

^{*3} Faculty of Engineering, Universiti Putra Malaysia

The purpose of this study is to compare human vision and Color chart to discriminate oil palm ripeness. First of all, moisture content of oil palm is estimated by human vision. And R value of RGB is extracted from oil palm pictures. Then it is evaluated by using testing of statistical hypothesis whether moisture content that is estimated by human vision can be discriminated by Color chart or not. As a result, combination of unripe and ripe, under-ripe and ripe can be discriminated by using Tukey test. But combination of unripe and under-ripe cannot. It is concluded that Color chart is not comparable to human vision yet.

1. はじめに

オイルパームはギニアアブラヤシから採油される西アフリカ発祥の世界で最も生産されている油脂植物である。現在、総生産量のうちの 85 % がマレーシアとインドネシアで生産されている。これらの 2 国にとってオイルパーム産業は国の経済に大きな役割を担っている。それ故、効率的に生産するために、オイルパームに関する研究が盛んに行われている。

オイルパームに関する研究の1つとして成熟度判別がある。成熟度は主に油の抽出率に影響を与え、生産量に影響を与える。現在主流な成熟度の判別方法は、「落ちている実の数」と「実の表面の色」を目視することで判別する[MPOB 03]。そのため、判別者ごとの感覚によって結果にばらつきが発生する問題が生じる。そこで、人の目に代わって、カメラで撮影したオイルパームの写真の色から成熟度判別を行う方法がある。この方法を用いることで、非破壊に成熟度の判別が可能となる。しかし、天候や時間帯といった撮影環境に影響を受けやすいという欠点がある。

先行研究[Makky 16]では、撮影環境を一定にするために、房が入るほどの大きめの箱に LED を封入して 500 ルクスという一定光源下で RGB 値を抽出することで、オイルパームの成熟度の判別を行っていた。しかしこの方法では、実験に用いる器具の総重量が 5 kg と決して手軽とは言えない重さであった。

筆者らは、オイルパームの成熟度判別にカラーチャートを用いる[島田 11]。カラーチャートを用いることで、人の目による判別誤差を防ぐことが見込まれる。カラーチャートの利点は、たとえ一定光源下でなくとも、同じ基準で RGB 値の抽出を行える。水分量と成熟度に関係が存在するという報告[Siregar 76]から、抽出した RGB 値から水分量を推定して成熟度の判別を行うことを提案する。

本報告では、カラーチャートを用いた成熟度判別法を評価するために、まず目視によって水分量範囲の推定を行った。そして、

カラーチャートを用いて目視による水分量範囲を判別できるかを比較し、評価したので報告する。

2. 基本原理

2.1 RGB 値

RGB 値とは、赤(R)、緑(G)、青(B)を組み合わせて様々な色を表現することができる加法混合の一種である。主に、ブラウン管や液晶ディスプレイなどに使用されている。

RGB はそれぞれ 0 ~ 255 の値を取り、合計約 1670 万色の色を表現することができる。例えば、(R, G, B) = (255, 255, 255)であれば白色、(R, G, B) = (0, 0, 0)であれば黒色となる。

本報告ではオイルパームが成熟とともに赤みを増していくことから、R 値(赤色の成分)に着目し、抽出して評価を行った。

2.2 カラーチャート

図 1 にカラーチャートの構成図を示す。カラーチャートは画像から RGB 値を抽出する際に、撮影環境による影響を補正するために用いられる。

図 1 よりカラーチャートは AR マーカと 12 色のカラーチップで構成されている。各カラーチップは、AR マーカの中心から相対距離で管理されており、写真撮影時に、AR マーカの位置と姿勢から各カラーチップの位置を自動的に把握してカラーチップの画素値を抽出する。

2.3 色補正[島田 11]

線形回帰分析により、補正前画像が基準画像に近づくように基準画像のカラーチップと補正前のカラーチップから変換行列を求める。補正後画像を求めるための式を式(1)に示す。C'は補正後の画素値、a は 3 行 4 列の回帰係数行列、C は補正前の画素値を表す。補正画像の全画素に変換行列を適用することで色補正された画像を得る。図 2 に前報[島田 11]で報告された補正例を示す。図 2 より、(a)の補正前は画像全体が暗い。しかし、補

連絡先: 田代晋久, 信州大学田代研究室,
〒380-8553, 長野県長野市若里 4-17-1,
Tel: 026-269-5194, Email: tashiro@shinshu-u.ac.jp

正を行うことで(b)のようになり, (c)の基準画像に近い画像が得られている。

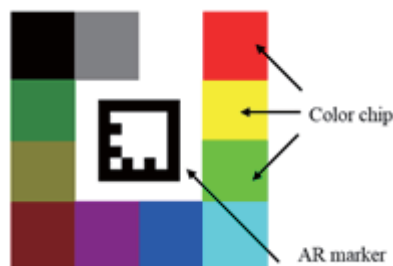


図 1: カラーチャートの構成図

$$\begin{bmatrix} C'_r \\ C'_g \\ C'_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_4 & a_7 & a_{10} \\ a_2 & a_5 & a_8 & a_{11} \\ a_3 & a_6 & a_9 & a_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_r \\ C_g \\ C_b \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

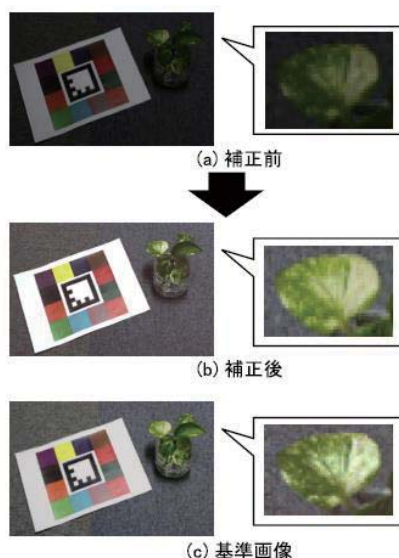


図 2: カラーチャートによる画像補正例[島田 11]

2.4 目視による成熟度の定義

本報告で用いたオイルパームの成熟度の定義を表 1 に示す. 実の成熟度は採取のしやすさと実の表面の色から定義を行った. 表 1 より, 「未熟」は採取時に金槌が必要かつ青紫色の実, 「成熟過程」は金槌が必要かつ赤紫色, 「成熟」は手で採取が可能かつ橙色の実とした. 図 3 に各成熟度のオイルパームの外観図を示す.

表 1: 本報告で用いた成熟度の定義

Stage of ripeness	The way how to take fruits	Oil palm color
Unripe	Hammer	Bluish purple
Under-ripe	Hammer	Reddish purple
Ripe	Hand	Orange

2.5 検定方法

「未熟-成熟過程」, 「未熟-成熟」, 「成熟過程-成熟」の条件間に有意差が存在するかを統計的に評価するために, 多重比較法の 1 つである Tukey の範囲検定を用いた.

多重比較法とは, 有意水準 α において, すべての組み合わせを同時に比較することができる検定方法である. 本報告では, 多重比較法の中でも最もよく利用される Tukey の範囲検定を用いた[石村 10]. Tukey の範囲検定を行うためには, 標本が正規分布に従うかつ分散が等しいかを確認する必要がある. 以下に検定の流れを示す.

- ① $\alpha = 1\%$ で一元配置分散分析を行い, 各成熟度の組み合わせの母平均間に有意差を確認する. 有意確率 p を導出, $p < 0.01$ ならば「母平均間に有意差を認める」, $p > 0.01$ ならば「母平均間に有意差を認められない」とする.
- ② Tukey の範囲検定を用いて $\alpha = 1\%$ として, 各条件間に有意差が存在するかを確認する. 有意確率 p を導出, $p < 0.01$ ならば「成熟度間に有意差を認める」, $p > 0.01$ ならば「成熟度間に有意差を認められない」とする.

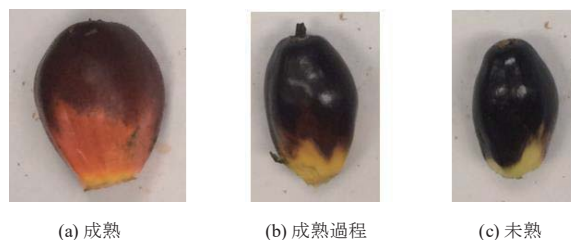


図 3: 成熟度別のオイルパームの外観図

3. 目視による水分量推定

3.1 実験方法

目視によるオイルパームの水分量範囲を不偏標準偏差 s を求めることで推定するために, オイルパームの房から〈2・4〉の定義に従って未熟 83 個, 成熟過程 68 個, 成熟 63 個の合計 214 個の実を採取した. 採取した後, 赤外線水分計(kett 社, FD-610)を用いて水分量 m [%] の測定を行った.

3.2 実験結果

図 4 に各成熟度の水分量 m [%] の確率密度関数 $p(x)$ を示す. いずれの $p(x)$ は正規分布に従う形となった. 表 2 に水分量の平均値 m_a [%] と不偏標準偏差 s を示す. 「成熟」の s が最も小さいのでばらつきが小さい. 「成熟過程」の s が最も大きいのでばらつきが大きい結果となった. 各成熟度の平均値に着目すると, 成熟 $m_r = 26\%$, 成熟過程 $m_m = 49\%$, 未熟 $m_u = 81\%$ であり, 成熟した実ほど水分量の平均値が低い結果となった.

表 2: 各成熟度の水分量の平均値と不変標準偏差

Stage of ripeness	Average of moisture, m_a [%]	Sample standard deviation, s [%]
Unripe	81	6
Under-ripe	49	11
Ripe	26	5

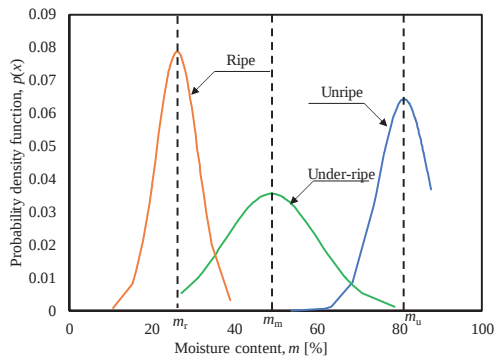


図 4: 各成熟度の水分量の確率密度関数

3.3 考察

ここで、目視によるオイルパームの水分量範囲の推定を行う。まず各成熟度の水分量範囲が重ならなくなる不偏標準偏差 s を求める。

各成熟度の水分量範囲が重ならなくなる s を見つけるために $s = 2.0, 1.9, 1.8 \dots$ のように、 s を 0.1 ずつ小さくしながら代入をして水分量範囲 m_a [%] を算出した。すると、 $s = 1.4$ で各水分量範囲が重ならなくなった。表 3 に $s = 1.4$ における水分量範囲 m_r [%] と調整した水分量範囲 m_{ra} [%] を示す。しかし、表 3 より「未熟」の最小値は 72 %、「成熟過程」の最大値は 64 %となり、連続ではない部分が現れた。そこで、連続にするために 64 %と 72 %の中間値である 68 %を「成熟過程」と「未熟」の境界とした。以上より、2・4 節の基準に従って採取を行うと、83.8 %の確率($s = 1.4$)でオイルパームの水分量は 19 %~33 % (成熟), 33 % ~ 68 % (成熟過程), 68 % ~ 90 % (未熟) となることが推定された。

4 章では目視による水分量範囲をカラーチャートによって判別可能かを統計的に評価する。

表 3: 目視により推定された水分量範囲

Stage of ripeness	The range of moisture, m_r [%]	The adjusted range of moisture, m_{ra} [%]
Unripe	$72 < m < 90$	$68 < m < 90$
Under-ripe	$33 < m < 64$	$33 < m < 68$
Ripe	$19 < m < 33$	$19 < m < 33$

4. R 値による成熟度判別可能性評価

4.1 実験方法

カラーチャートによる方法の評価するために、オイルパームから R 値(赤色)の抽出を行い、統計的処理を行った。カラーチャートからオイルパームの R 値を抽出するまでの手順を簡単に以下に示す。

- (1) 図 5 にオイルパームから R 値の抽出するための実験模式図を示す。図 5 のようにカラーチャートと共にオイルパームの写真を撮影
- (2) 式(1)を用いて、基準画像と同様の撮影環境になるように画像を補正
- (3) 重線形回帰を用いた色抽出ソフトでオイルパームの上部の R 値の抽出

R 値の取得後、赤外線水分計(kett 社, FD-610)を用いて水分量 m [%] を測定した。水分計の設定は、加熱温度 115 度、加熱時間 60 分とした。測定した水分量は 3 章で推定した水分量範囲、68 ~ 90 % (未熟), 33 ~ 68 % (成熟過程), 19 ~ 33 % (成

熟)に割り振り、各成熟度間に有意差が認められるかを評価するために Tukey の範囲検定を用いた。

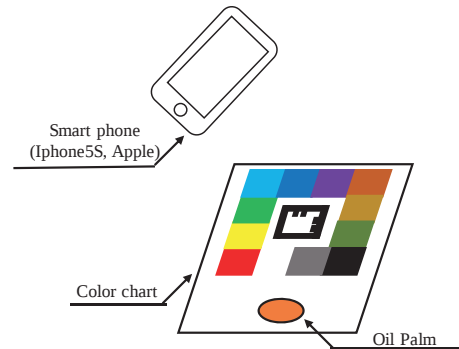


図 5: R 値を抽出するための撮影模式図。

4.2 実験結果

図 6 に各成熟度の R 値の箱ひげ図を示す。「成熟」は 8 ~ 129 で R 値のばらつきが最も大きい。「成熟過程」と「成熟」は 0 ~ 80 でほとんど同じ範囲であった。各成熟度の R 値の平均値(図 9 中 × 印)に着目すると、成熟は 55, 成熟過程 21, 未熟 26 で成熟しているものが最も R 値が高いという結果となった。成熟したオイルパームは橙色であることから R 値が高いので、予測通りの結果が得られた。

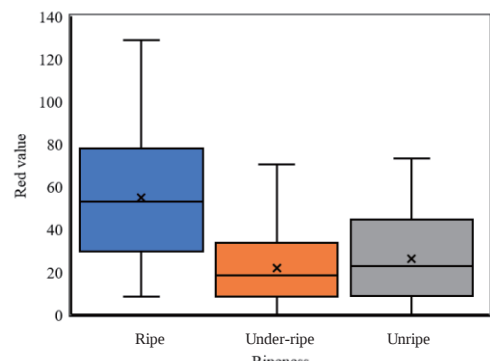


図 6: 各成熟度の R 値の箱ひげ図

4.3 考察

成熟度間の R 値の平均値に有意差が存在するかを確認するために、Tukey の範囲検定を用いて 2・5 節の手順に従って多重比較検定を行う。

- ① $\alpha = 1\%$ として一元配置分散分析を行うと、有意確率 $p = 2 \times 10^{-14}$ ($F(2, 175) = 37.931, p < .01$) であった。このことから、 p が 0.01 より小さいので各成熟度の母平均間には有意差があることを確認した。
- ② $\alpha = 1\%$ として Tukey の範囲検定を行った時の有意確率と判別可能性を表 4 に示す。表 4 より、有意水準 $\alpha = 1\%$ の時、 p が 0.01 を下回ったものは「成熟過程-成熟」、「未熟-成熟」であった。一方、 p が 0.01 を上回ったものは「成熟過程-未熟」であった。

以上より、「成熟過程-成熟」、「未熟-成熟」の 2 つの組み合わせでは有意差が認められ、「成熟過程-未熟」の間には有意差が認められなかった。このことから、R 値を用いることで、「成熟過程-成熟」、「未熟-成熟」は判別可能性があることが示唆された。

ここで目視による方法と比較する。R 値では「成熟過程-成熟」、「未熟-成熟」の 2 つの組み合わせの判別可能性が示唆された。しかし、「成熟過程-未熟」は有意差が示唆されなかった。すなわ

ち、目視によって推定できた水分量範囲をカラーチャートの R 値では推定することができなかったこととなる。このことから、カラーチャートの R 値を用いる方法は、現段階では、目視に対して優位性がないと言える。

そこで、今後の検討として本報告では RGB 値の R 値にのみ着目したが、G 値と B 値にも着目して評価を行い、サポートベクターマシンを用いて判別精度に関する検討を行う。

表 4: 各成熟度間の p 値と採択仮説

Ripeness level	p-value	Possibility to distinguish
Unripe - Under ripe	0.452	×
Unripe - Ripe	< 0.01	○
Under ripe - Ripe	< 0.01	○

5. おわりに

本報告では、カラーチャートによる方法を評価するために目視による方法と比較を行った。以下に得られた結果を示す。

- (1) 2・4 節の定義に従い採取を行うと、83.8 %の確率($s = 1.4$)で 19 %~33 % (成熟) , 33 %~68 % (成熟過程) , 68 %~90 % (未熟) となる。
- (2) 目視によって推定した水分量が判別可能かを調べるために Tukey の範囲検定を行うと、有意水準 1 %において、「成熟過程-成熟」、「未熟-成熟」の 2 つの組み合わせでは有意差が認められ、「成熟過程-未熟」の間には有意差が認められなかった。
- (3) 目視によって推定できた水分量範囲をカラーチャートでは推定することができなかったことから、カラーチャートの R 値による方法は、現段階では、目視に対して優位性がないと言える。

謝辞

本研究の一部信州大学山下貴紀氏にも協力していただいた。ここに謝意を表します。

参考文献

- [MPOB 03] MPOB : OIL PALM FRUIT GRADING MANUAL Second Edition, p4, 2003
- [Makky 16] Muhammad Makky: A Portable Low-cost Non-destructive Ripeness Inspection for Oil Palm FFB, Agriculture and Agricultural Science Procedia, 9, pp230-240(2016)
- [島田 11] 島田善一郎, 小林一樹, 斎藤保典: 農作物画像のための AR 技術を用いた自動色補正ビューアの開発, The25th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2B1-OS13-3(2011)
- [Siregar 76] Siregar, I.M., In Wastie, R.L., Earps. : Assessment of ripeness and crop control in oil palm. *Proc. of Malaysian Int. Agric. Oil Palm Conf.*, Kuala Lumpur, PORIM, pp711-723.(1976)
- [石村 10] 石村貞夫, 石村光資郎: すぐわかる統計処理の選び方, 東京図書, pp33-37(2010)