

アボカドの食べ頃を非破壊で予測する方法の検討

	生物資源科学部	生物生産科学科
		1年 寺門優
	生物資源科学部	生物生産科学科
		1年 千葉漣翔
	生物資源科学部	生物生産科学科
		1年 中舘陵映
指導教員	生物資源科学部	生物生産科学科
		教授 小川敦史
	生物資源科学部	生物生産科学科
		特任助教 豊福恭子

【背景と目的】

アボカド (*Persea americana*) は、栄養価が高く高カロリーで、「森のバター」の異名でもよばれている。しかし、アボカドは食べごろの判断は難しく、食べた時に未熟や過熟であった経験がある人も少なくないだろう。本研究では、

- 1) 果皮の色を示す可視光および近赤外光の分光反射率と硬さ、食感との関係
- 2) 貯蔵温度と果皮の色の変化との関係

について検討する。これらを通して、その法則性を見つけ、非破壊でアボカドの食べ頃を予測する方法を確立することを目的とする。

【材料と方法】

材料には、市販されているアボカド (*Persea americana*) のハス種を用いた。可視光反射率の測定には小型分光測色計 (Spectro1 TM, Variable, Inc., Chattanooga, TN, USA) を用い、アボカド表面の無作為に選択した3点について400 nm~700 nmの波長範囲を10 nm間隔で測定した (図1)。近赤外光反射率の測定には、近赤外分光器 (NIR-S-G1, InnoSpectra Co., Hsinchu, Taiwan) を用い、アボカド表面の無作為に選択した3点について900 nm~1700 nmの波長範囲を3.5 nm間隔で測定した。反射率測定後、アボカドを縦に2つに切断し、可食部の硬さについて果実硬度計を用いて測定した。

熟度の指標を決めるために食味試験を行った。硬く未熟な果実を「1」、最適な果実を「5」、過熟な果実を「10」として10段階で判定した (図2)。判定は5から10人で行い、平均値をその果実の熟度の指標とした。



図1 可視光 (左) および近赤外光 (右) 反射率の測定の様子

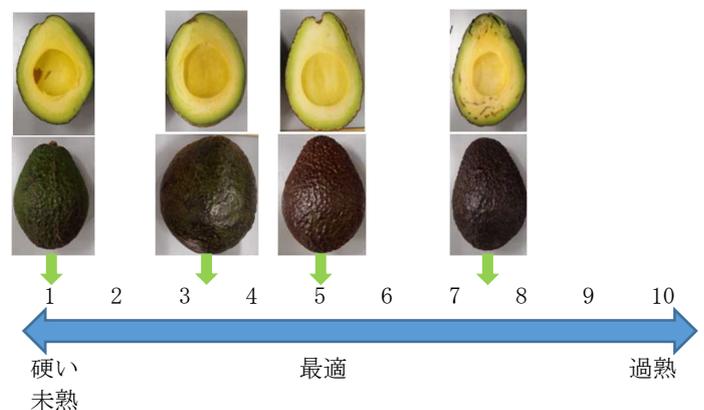


図2 熟度の指標とその時の外観と切断面の様子

反射率と熟度の指標の関係を求めるために、部分最小二乗法（PLS）回帰分析を用いた。本研究では、熟度の指標を従属変数とし、反射率の二次微分値を独立変数とした。PLS分析は、統計ソフトOrigin Pro 2024 (Lightstone Corp. Tokyo, Japan)を用いた。

保存温度と熟度の指標の変化の関係について検討した。上記の方法で果実の反射率を測定した後、15、20、25、30、35°Cの条件下に2日間保存し1日毎に反射率を測定した。上記で作成した反射率と熟度の指標との関係を用い、各測定日における熟度の指標を算出し、保存温度と熟度の指標の変化の関係を求めた。

【結果と考察】

図3に硬さと熟度の指標との関係を示した。硬さと熟度の指標との関係は累乗近似式で示すことができ、両者の間には有意な相関があった。この結果から、硬さが減少すると熟度の指標は増加することが明らかになった。一方で硬さが2 kgf/cm²周辺では、熟度の指標が最適な熟度である5程度である場合もあれば、未熟である3程度であることもあり、一方で過熟である7程度であることもあるため、硬さで熟度を判断することは難しいと考えられた。

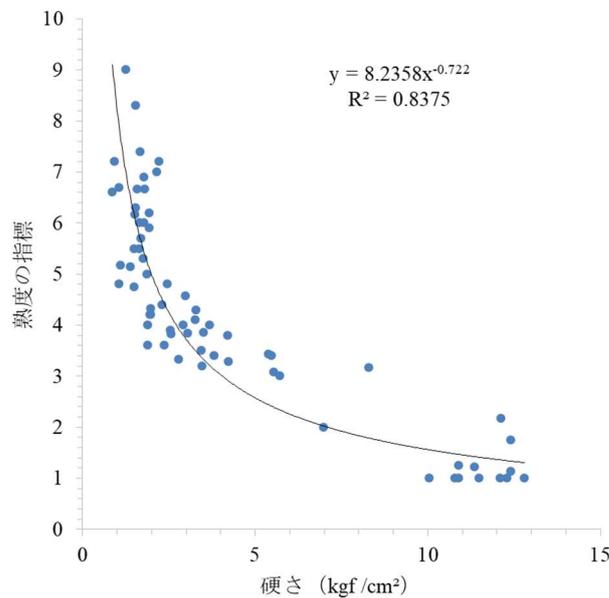


図3 硬さと熟度の指標との関係

図4に可視光ならびに近赤外光域における各果実の反射率、図5にその値の二次微分値を示した。二次微分値より、可視光域において560 nmあたりに負のピーク、近赤外光域において980, 1180, 1330, 1420, 1650 nm付近に正のピーク、1120, 1300, 1380 nm付近に負のピークが観察された。

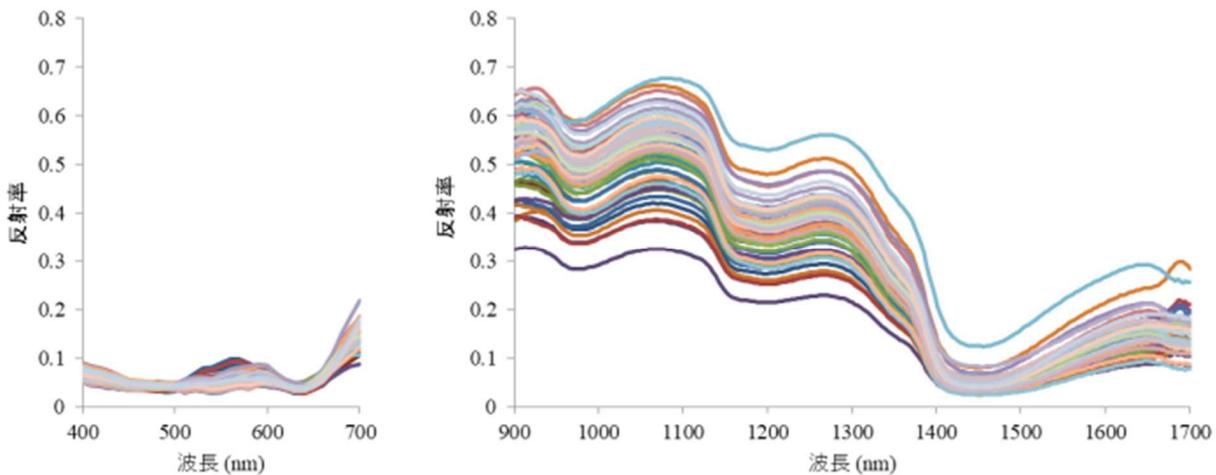


図4 可視光ならびに近赤外光域における各果実の反射率

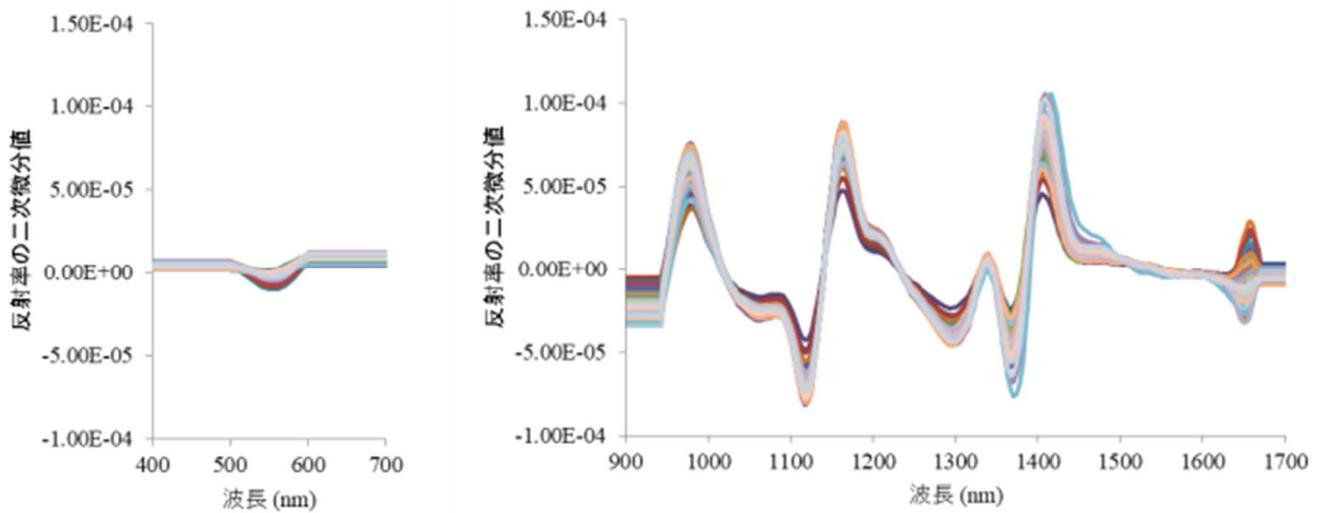


図5 可視光ならびに近赤外光域における各果実の反射率の二次微分値

反射スペクトルの二次微分値と熟度の指標の実測値を用いてPLS回帰分析を行った(図6, 表1)。相関係数(R)が0.963, 傾きが1, 切片(Bias)がほぼ0であり, t値が3E+01であったことより, 熟度の指標の予測値と実測値の間には非常に高い有意な相関があることが示された。検量線(モデル)の分析精度を示す「予測試料セットの標準偏差と予測値の標準誤差の比(RPD)」は8.0であり, 本研究で示したアボカドにおける熟度の指標の非破壊予測モデルは, 「実用的で極めて高い精度で推定できる可能性がある」モデルであることが示された。これらの結果からアボカドにおける可視光域と近赤外光域の反射率を測定することで, 非破壊的に熟度を把握することが可能であることが明らかになった。

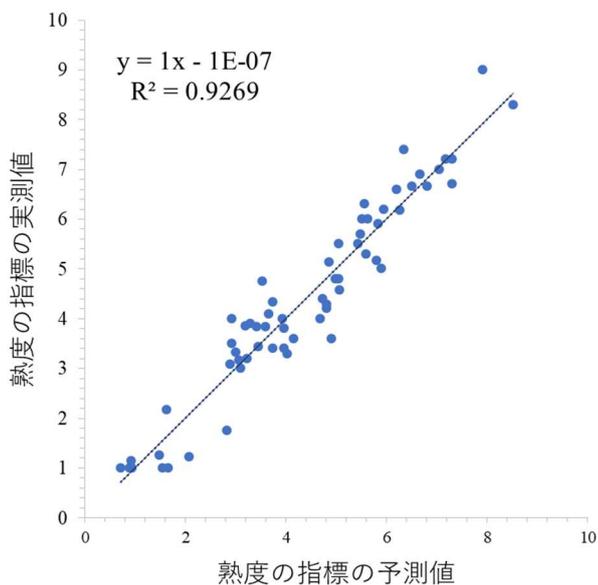


図6 熟度の指標の予測値と実測値との関係

表1 熟度の指標の予測値と実測値との関係の検量モデルの基礎統計値

	表記	式	数値
標準偏差	SD		0.5
サンプル数	n		64
標準誤差	SE		0.066
自由度		n-1	63
		$\sum(\text{予測値}-\text{実測値})^2$	18
二乗平均平方根誤差	RMSE		0.531
検量線の精度	RPD	SD/SE	8.0
		RMSE/SE	
		SD/RMSEP	
相関係数	R		0.963
傾き	Slope		1
切片	Bias		2E-07
t			3E+01

RPD

- <2.3 精度は非常に低い
- 2.4-3.0 準実用的な精度で推定できる可能性あり
- 3.1-4.9 実用的で高い精度で推定できる可能性あり
- 5.0-6.4 実用的で非常に高い精度で推定できる可能性あり
- 6.5-8.0 実用的で極めて高い精度で推定できる可能性あり
- 8.1< 化学分析相当で極めて高い精度で推定できる可能性あり

このモデルを使って、貯蔵温度と1日あたりの熟度の指標の増加量との関係を検討した（図7）。両者の関係は対数近似式で示すことができ、両者の間には有意な相関があった。温度が高いほど1日あたりの熟度の指標の増加量は大きかった。また、12℃以下で貯蔵すると1日あたりの熟度の指標の増加量が0になることから、未熟な果実は12℃以上のところで貯蔵し、十分熟成が進んだ果実は12℃以下で貯蔵することが明らかになった。

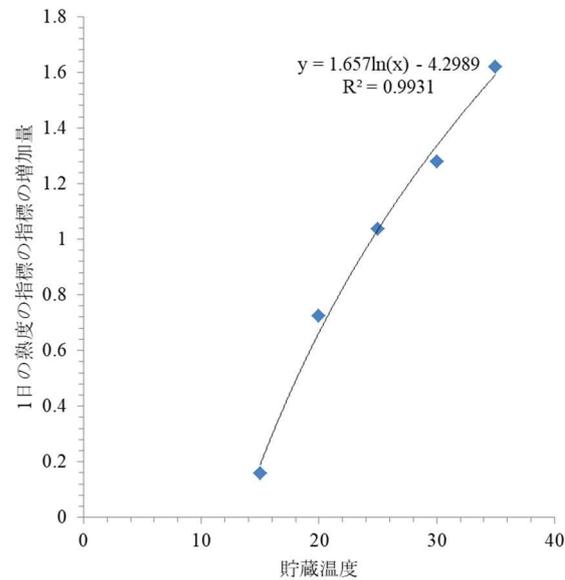


図7 貯蔵温度と1日あたりの熟度の指標の増加量との関係

【まとめ】

この自主研究を通して、可視光および近赤外光の分光反射率からアボカドの熟度を予測する方法を確立することができた。また、貯蔵温度と果皮の色の変化には相関がみられた。これにより貯蔵日数から、最適な保存温度を計算する方法を確立することができた。

本研究の成果を特許出願する準備を進めている。