

# マルチ分光センシングを用いたレタスの鮮度計測手法の開発

## Development of lettuce freshness measurement method using a multi-spectral sensing

亀岡 孝治 伊藤 良栄 亀岡 慎一 橋本 篤  
Takaharu Kameoka Ryohei Ito Shinichi Kameoka Atsushi Hashimoto

三重大学大学院生物資源学研究科  
Graduate School of Bioresources, Mie University

There is no scientific definition of "freshness" that consumers place emphasis on yet. In this study, the preservation experiment of 6 head lettuces for 7 days was conducted. As multi-spectroscopic methods, fluorescent X-ray analysis was used to acquire elemental information, dye fluorescence measurement was used to acquire dye information, and color image processing was used to obtain color information. We performed basic statistical processing on the acquired data and organized the data for machine learning. In machine learning, clustering was performed using the K-means method, classification of good and bad freshness was classified, classification results were used as teacher data, discriminant analysis by support vector machine (SVM) and decision tree was conducted, It was confirmed that a model with high prediction accuracy for generalization performance and evaluation data was constructed.

### 1. はじめに

消費者が重視する「鮮度」の科学的定義は未だ存在しない。本研究では鮮度低下が速いレタスを用い、野菜表面の色彩画像解析、蛍光 X 線分光分析 (Young 2016)、色素蛍光計測、といったマルチ光センシングを行い、レタスの保蔵特性の分析と解析、その結果を用いた機械学習による鮮度判定を目的とした。

### 2. 実験試料, 実験装置および方法

#### 2.1 実験試料

実験には、2016 年 11 月 13 日午前 9 時に茨城県古川市で収穫されたレタス(マイルドヘッドグラス, 鶴田種苗)26 個体を 10°C で 26 時間の輸送の後に実験に使用した。レタスは外葉付きで届いたため、実験に使用する際はレタス重量のばらつきが少ない様に外葉を取り除き使用した。本研究ではレタスを 10 個体使用し、残りの個体は実験条件の検討などのための予備実験に用いた。10 個体の平均重量は 496.5g, 最大重量は 546.1g, 最小重量は 446.2g である。

#### 2.2 実験装置および方法

##### (a) 保蔵実験

25°C に設定した実験室に設置したプラスチックケース内にレタスを収納し、保蔵実験を行った。ケース内の湿度は飽和塩水溶液を用いてコントロールした。今回の実験ではレタス鮮度低下過程の経時変化を追うため 10 個体中 8 個体を温度 25°C 相対湿度 75.29±0.12%(塩化ナトリウム, 和光純薬工業株式会社製)で保蔵し、1 個を温度 25°C, 相対湿度 84.34±0.26%(塩化カルシウム, ナカライテック株式会社製)で保蔵した。また、ケース内の温湿度をモニタリングした。

##### (b) マルチ分光計測

レタス 6 個体に対して 7 日間継続して、既存の色彩画像処理システムで色彩情報(図 1)、蛍光 X 線分析計(OLYMPUS 社製 DELTA Premium)で元素情報(図 2)を、ポリフェノール計測

器(DUALEX SCIENTIFIC+)で色素情報(図 3)を取得した。



図1 色彩画像解析システムの外観



図2 蛍光 X 線計測のためのレタス計測スタンド



(a)ポリフェノール計測器 (b)センサー部詳細

図3 ポリフェノール計測器の外観とセンサー部詳細

連絡先: 亀岡孝治, 三重大学大学院生物資源学研究科,  
〒514-8507 三重県津市栗真町屋町 1577,  
Tel. 059-231-92468, E-mail: kameoka@mie-u.ac.jp

### (c) 機械学習

得られたセンシングデータに対して基礎統計処理を施し、機械学習のためのデータ整理を行った。機械学習では K 平均法を用いてクラスタリングを行い、鮮度が良いものと良くないものを分類し、その分類結果を教師データとして用い、判別能力が非常に高いサポートベクターマシン(SVM)、生データでの判別が可能な決定木(Guo 2013)による判別分析を行った

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 結球レタスの表面色彩画像計測

色彩画像解析システムを用いて、葉と芯部分の色相 H, 彩度 S, 明度 V を取得した。合わせて、画像処理により結球表面積を計算し、計 7 項目を取得した。その結果、全ての個体に共通の特徴的な経時変化が認められた。

### 3.2 結球レタスの蛍光 X 線分光分析

蛍光 X 線分析装置を用いたレタスの計測では主として 4 つの元素すなわちカリウム K, カルシウム Ca, リン P, 軽元素 LE が計測された。蛍光 X 線分析では特定のスポット体積の情報が取得されるため、細胞内の元素の流出が生じないと仮定すると、軽元素 LE では水分情報が、それ以外の 3 つの元素情報では収縮情報が得られることが示された。図 4 に K, 図 5 に LE の変化を示した。

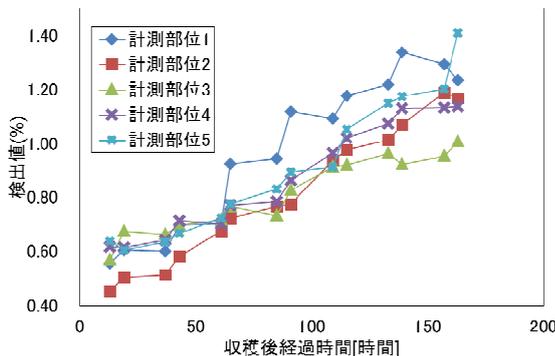


図4 Sample9の計測点5箇所におけるK検出量の経時変化

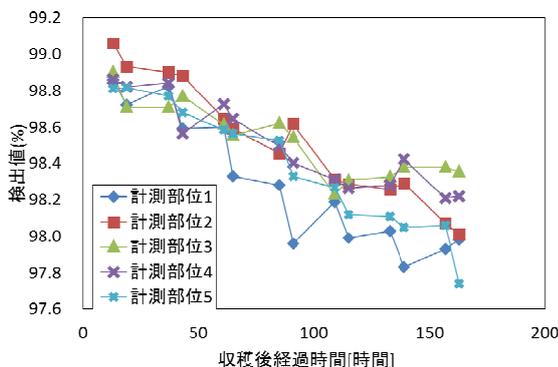


図5 Sample9の計測点5箇所におけるLE検出量の経時変化

### 3.3 レタス葉の色素蛍光計測

ポリフェノール計測器を用いてクロロフィル値 Chl, フラボノール値 Flav, アントシアニン値 Anth, NBI 値(Chl/Flav)の計 4 項目を取得した。他の情報を含めたデータ解析の結果、これらの情報はレタスの代謝指標とみなせることが確認された。

## 3.4 鮮度の機械学習

マルチ光計測で得られた全 15 項目の状態指標をレタスの鮮度を表す「データセット」とし、84 個のデータセットを用いて K 平均法によるクラスタリングを行った。分類結果を表 1 に示した。

表1 K 平均法での分類結果

	Sample1	Sample2	Sample3	Sample4	Sample5	Sample6
13h	Fresh	Fresh	Fresh	Fresh	Fresh	Fresh
19h	Fresh	Fresh	Fresh	Fresh	Fresh	Fresh
37h	Fresh	Fresh	Fresh	Fresh	Fresh	Fresh
43h	Fresh	Fresh	Fresh	Fresh	Fresh	Fresh
61h	Fresh	Fresh	Fresh	Fresh	Fresh	Fresh
67h	Fresh	Fresh	Fresh	Fresh	Fresh	Fresh
85h	Fresh	Non Fresh	Non Fresh	Non Fresh	Fresh	Fresh
91h	Non Fresh	Non Fresh	Fresh	Non Fresh	Non Fresh	Fresh
109h	Non Fresh					
115h	Non Fresh					
133h	Non Fresh					
139h	Non Fresh					
157h	Non Fresh					
163h	Non Fresh					

レタスの劣化ステージは収穫後経過時間 85~109 時間のあたりで Fresh, Non Fresh に大別でき、この結果はそれぞれの計測値において変化傾向が大きく変わる経過時間と一致したため、この分類は鮮度判定に利用できると判断された。この分類結果(図 2)を判別分析における正解とし、SVM・決定木による判別分析を行った。続いて「データセット」を訓練データ(42 セット)・テストデータ(42 セット)に分割し、鮮度判定モデルの構築及びその精度検証を行った。SVM では交差検証 97.2%, 予測正解率 95.2%が得られ、決定木では交差検証 84.1%, 予測正解率 95.2%が得られ、汎化性能及び評価データへの予測精度が高いモデルの構築が確認された。今後は実験個体数を増やし、より確かな機械学習モデルの検討が必要となる。

## 4. おわりに

今回用いた蛍光 X 線分析はレタス結球内側まで測定できる唯一の計測手法である。結球内側までを計測することで、今まで可視化できなかった野菜内部の水分まで把握できる可能性があり、蛍光 X 線分析だけを用いた鮮度判定の可能性が考えられる。また、機械学習では、マルチ分光センシングによる取得データセットの有効性の検討のみを行ったため、分類(SVM, 決定木)では、訓練データと評価データの数や分類手法の各最適パラメータの検討、データクレンジングの検討は今後の課題である。本研究では鮮度の良し悪しの分類のみを行ったが、サンプル数を増やした回帰モデルの構築が必要である。

## 参考文献

- [Young 2016] KE Young, CA Evans, et al.: A review of the handheld X-ray fluorescence spectrometer as a tool for field geologic investigations on Earth and in planetary surface exploration., Applied Geochemistry, 72, pp77-87, 2016.
- [Guo 2013] W. Guo, U. K. Rage, and S. Ninomiya: Illumination invariant segmentation of vegetation for time series wheat images based on decision tree model, Computers and Electronics in Agriculture 96, pp58-66, 2013.