

令和元年6月17日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K07968

研究課題名(和文)ハイパースペクトル画像計測によるりんご樹の栄養診断と収量推定・予測システムの構築

研究課題名(英文) Nutritional diagnosis and yield estimation of apple trees using hyperspectral imaging

研究代表者

叶 旭君 (YE, Xujun)

弘前大学・農学生命科学部・准教授

研究者番号：10708168

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、りんご樹の栄養状態の評価法及び可視化技術の開発に重点を置いて研究活動を実施してきた。ハイパースペクトル画像計測及び化学分析を行って、少数の波長のスペクトルに基づいた窒素含有量やクロロフィル含有量の推定モデルを構築し、りんご成葉と樹冠レベルの窒素やクロロフィルの空間分布の可視化に成功した。また、マクセル株式会社で開発中のライススキャンを用いてりんご成葉の栄養状態を評価するための新たな葉色指数(Leaf Color Index)及びそのLCIをベースにした簡易なカラーチャートの開発に成功した。今後これらの成果を基に実装技術を確立すれば、りんご樹の簡易栄養診断への応用が大いに期待できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ハイパースペクトル画像計測によるりんご樹体生育状況取得、様々なケモメトリックス解析とモデリング手法および画像処理も統合した技術開発である点に学術的意義がある。また、果樹園の精密管理の実現に資する栄養診断と収量予測技術の利活用により、樹体毎のニーズに応じた施肥作業による環境負荷の低減、樹体の生産持続性の向上および管理作業の省力化が図れる点で社会的意義が高い。

研究成果の概要(英文)：This research placed emphasis on the development of evaluation methods and visualization techniques for the nutritional status of apple trees. Hyperspectral imagery was obtained and chemical analysis was performed to quantify the nitrogen and chlorophyll contents in apple leaves. Multiple linear regression (MLR) models for estimating the nitrogen and chlorophyll contents based on the reflectance spectrum of a few selected key wavelengths were established. Nitrogen distribution maps at both leaf and canopy levels were generated. Moreover, this research also verified the applicability of a newly developed smartphone-based rice scan device (Maxell Co., Ltd.) to the evaluation of nutritional status in apple leaves. An original leaf color index (LCI) based on RGB parameters obtained by the device, and an inexpensive and easy-to-use leaf color chart (LCC) were developed. These new approaches and tools may be potentially applied to precision nutrient management in apple orchard.

研究分野：農学

キーワード：ハイパースペクトルイメージング りんご 画像処理 栄養診断 収量推定・予測

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

(1) リンゴは、青森県の最も重要な果樹であり、近年ずっと日本の総生産量の約6割を占めている。慣行の果樹栄養診断と収量推定・予測は、少数の樹体からの葉のサンプリングと化学分析および樹あたりの果実の計数、大きさの計測などを基に行われている。このような樹体毎の抜き取り検査と計数調査に多大な時間・費用・労力を要する。そのために、栽培現場を含め迅速かつ簡易な樹体の栄養診断および果実収量の推定・予測技術が強く望まれている。

(2) 近年、分光計測と画像化の融合を特徴としたハイパースペクトル画像計測(Hyperspectral Imaging) 技術は飛躍的な発展を遂げてきた。この技術により、分光と位置情報を同時に取得し、観測対象における様々な情報の予測・評価および各種情報分布の可視化画像が得られる。研究代表者らは、これを用いて様々なケモメトリックス解析とモデリング手法を開発し、温州ミカンの樹体栄養診断と収量早期予測の可能性を明らかにした。このような学術的背景を踏まえて、本研究課題は、ハイパースペクトル画像計測を用いたリンゴ樹の栄養診断と収量推定・予測システムを構築することを提案した。

2. 研究の目的

(1) ハイパースペクトル画像計測による少数の波長のスペクトルに基づいたリンゴ葉内の窒素含有量やクロロフィル含有量の推定モデルを構築する。

(2) リンゴ樹の個葉と樹冠レベルの窒素やクロロフィルの空間的分布の可視化・マッピング技術を開発する。また、マクセル株式会社で開発中のより簡便な葉色計測装置ライスカンのリンゴ葉の栄養状態評価への適用可能性について検証実験を行う。

(3) リンゴ特有の剪定、摘花、摘果などの生産管理作業が樹体の栄養状態評価と果実収量予測に及ぼす影響および、早期に果実収量を予測する可能性についても検討する。

3. 研究の方法

(1) ハイパースペクトルカメラ ImSpector V10 を用いて、リンゴ樹冠における葉のスペクトル特性と画像を取得する。リンゴ栽培に最も重要な栄養成分である窒素の含有量および健康度の指標であるクロロフィルの含有量について、同一の葉を用いてそれぞれ分析した。

(2) リンゴ葉のスペクトル特性と窒素含有量やクロロフィル含有量との相関関係を解析し、様々なモデリング手法を用いてスペクトル特性から窒素含有量とクロロフィル含有量の推定モデルを構築する。さらに、構築した推定モデルを検証したうえ、取得した個葉と樹冠の画像に適用し、ピクセル毎に窒素含有量を推定し、窒素含有量の空間的分布を可視化できるようにする。

(3) ライスキャンによるRGB画像データからリンゴ成葉の窒素やクロロフィル含有量の推定モデルを構築する。また、リンゴ成葉の栄養状態を評価するための新たな葉色指数(LCI, Leaf Color Index) およびそのLCIをベースにした簡易なカラーチャートを開発する。

4. 研究成果

(1) リンゴ樹の栄養状態の推定モデルの構築を目指し、ハイパースペクトルカメラ ImSpector V10 によるリンゴ成葉の窒素含有量の推定の可能性について検討した。実験では、研究期間に弘前大学藤崎農場で栽培されているリンゴ樹より、栄養状態が異なる成葉を採取しサンプルとした(供試した品種は“ふじ”である)。ImSpector V10 を用いて、成葉サンプルそれぞれのハイパースペクトル画像を計測した。その後、各成葉サンプルに対して、乾燥・粉碎処理を行った上、全自動元素分析装置 Vario EL cube を用いて、各サンプルの窒素含有量の分析を行った。データ解析では、ハイパースペクトル画像からリンゴ葉のスペクトル特性を抽出し、そのスペクトル反射率

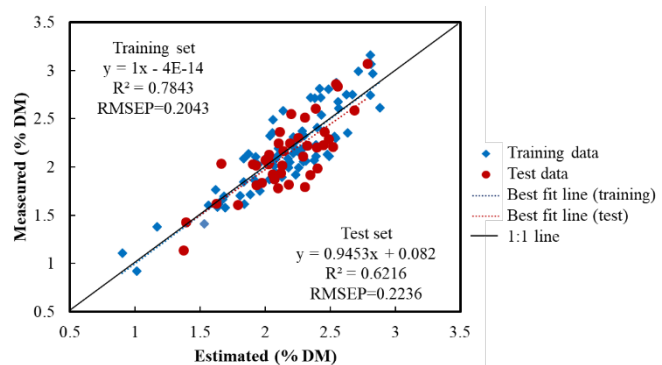


図1. 窒素含有量MLRモデルの推定結果

の生データおよびそれを基に算出した一次微分値が化学分析による窒素含有量との相関関係解析を行った。その結果、560、675、705 と 505nm の 4 つの波長がリンゴ成葉の窒素含有量の推定に有効であることを明らかにした。さらに、それらの波長を用いてさまざまなケモメトリクス解析およびモデリング手法 (MLR、PLS や ANN) を生かして、スペクトル特性から窒素含有量の推定モデルの構築を検討した。図 1 は、特定した 4 波長を予測変数として構築した MLR モデルの推定結果を示している。これらの結果より、ハイパースペクトル画像計測を用いて迅速かつ非破壊的にリンゴ樹体の栄養状態の推定が可能であると示唆された。

(2) 上述の特定した 4 波長の画像をハイパースペクトル画像から抽出し、画像処理によってリンゴ個葉レベルの窒素含有量の空間的分布の可視化を行った (図 2)。また、同 ImSpector V10 カメラを用いて、リンゴ樹体を対象にハイパースペクトル画像を計測し、同じような推定モデル適用と画像処理を行い、リンゴ樹冠レベルの窒素含有量の空間的分布の可視化にも成功した (図 3)。以上より、ハイパースペクトル画像計測によるリンゴ樹の栄養状態の空間的分布の可視化・マッピング技術を確立した。今後この成果を基に実装技術を確立すれば、リンゴ樹の簡易栄養診断への応用が大いに期待できる。

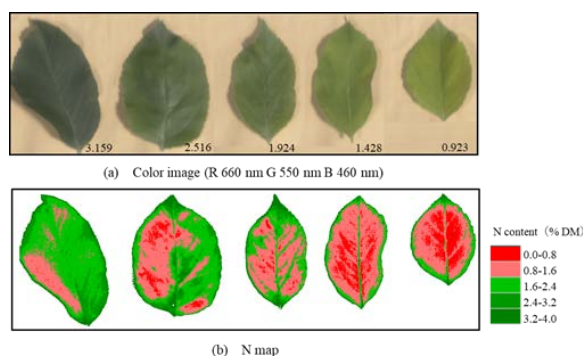


図 2. 個葉レベルの窒素含有量の可視化

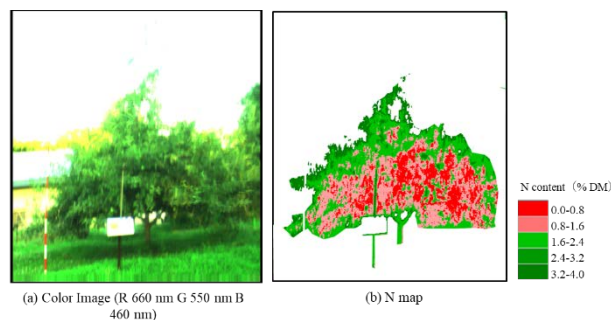


図 3. 樹冠レベルの窒素含有量の可視化

(3) さらに、本研究の主テーマであるハイパースペクトル画像計測による研究の展開に合わせて、マクセル株式会社で開発中のライسسキャンのリンゴ成葉の栄養状態評価への適用性の検証を行った。その結果、ライسسキャンによる RGB 画像データでもリンゴ成葉の窒素やクロロフィル含有量を推定できることを確認し (図 4)、リンゴ成葉の栄養状態を評価するための新たな葉色指数 (LCI, Leaf Color Index) 及びその LCI をベースにした簡易なカラーチャートの開発に成功した (図 5)。以上の知見を踏まえて、今後新たな簡便なリンゴ樹栄養診断のデバイスの開発を検討している。

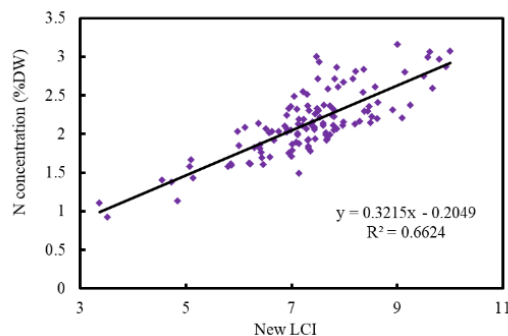


図 4. 新規開発した LCI と窒素含有量の相関関係

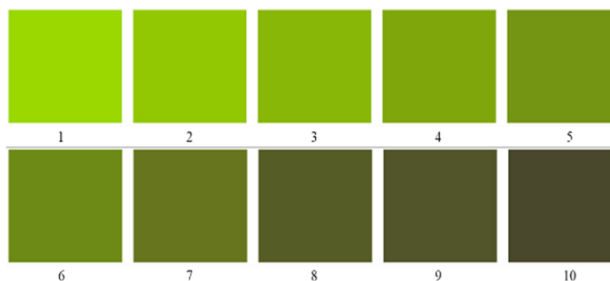


図 5 リンゴ葉色診断用の簡易カラーチャート

(4) なお、本研究で予定していたリンゴ果実収量予測については、リンゴの生産に剪定、摘花、摘果などの人為的生産管理作業が頻繁に行われるため、早期に個々の樹体の果実収量を予測することがかなり困難であると判断し、果実数の変動がなくなる生育後期での画像処理による判別・予測法についてのみ検討を行った。

<引用文献>

- ① Xu jun Ye, Shiori Abe, Shuhuai Zhang. Estimation and mapping of nitrogen content in apple trees at leaf and canopy levels using hyperspectral imaging. Precision Agriculture, 査読有, 2019
- ② 叶 旭君, 阿部汐里, 張 樹槐, 芳村裕之. ライススキャンを用いたリンゴ樹の栄養状態評

価のための簡易な葉色指数とカラーチャートの開発, 農業環境工学関連学会 2018 年合同大会 (CDROM, 愛媛大学), 2018

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計2件)

① Xujun Ye, Shiori Abe, Shuhuai Zhang. Estimation and mapping of nitrogen content in apple trees at leaf and canopy levels using hyperspectral imaging. Precision Agriculture, 査読有, 2019

DOI: 10.1007/s11119-019-09661-x

② 阿部汐里, 張 樹槐, 叶 旭君. ハイパースペクトル画像計測によるリンゴ成葉の窒素含有量推定モデルの構築. 農業食料工学会東北支部報, No. 63, 29~32, 2016

[学会発表](計5件)

① Xujun Ye, Shuhuai Zhang. Application of spectroscopy and hyperspectral imaging for agriculture and food research. 3rd IPFS-FAFU 2018 International Symposium, Fuzhou, China.

② 叶 旭君, 阿部汐里, 張 樹槐, 芳村裕之. ライススキャンを用いたリンゴ樹の栄養状態評価のための簡易な葉色指数とカラーチャートの開発, 農業環境工学関連学会 2018 年合同大会 (CDROM, 愛媛大学), 2018

③ 叶 旭君, 阿部汐里, 張 樹槐. ハイパースペクトル画像計測を用いたリンゴ樹の個葉および樹冠レベルの栄養状態評価と可視化. 第76回農業食料工学会年次大会講演要旨(東京農業大学), pp.26, 2017

④ 阿部汐里, 張 樹槐, 叶 旭君, 河内遥香, 芳村裕之. ライススキャンと SPAD によるリンゴ成葉の窒素含有量の推定. 第76回農業食料工学会年次大会講演要旨(東京農業大学), pp.232, 2017

⑤ 叶 旭君, 阿部汐里, 張 樹槐. ハイパースペクトル計測によるリンゴ成葉の窒素含有量推定モデルの構築. 第75回農業食料工学会年次大会講演要旨(京都大学), pp.179, 2016

⑥ 阿部汐里, 張 樹槐, 叶 旭君. ハイパースペクトル画像計測によるリンゴ成葉の窒素含有量推定モデルの構築. 平成28年度(2016)農業食料工学会東北支部大会研究発表会講演要旨(北里大学), pp.24-25, 2016

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 張 樹槐

ローマ字氏名: ZHANG Shuhuai

所属研究機関名: 弘前大学

部局名: 農学生命科学部

職名: 教授

研究者番号(8桁): 90261429

(2) 研究協力者

研究協力者氏名: 阿部汐里

ローマ字氏名: ABE Shiori

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。