

令和 4 年 5 月 18 日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K06306

研究課題名(和文) 実用化に向けたリンゴ樹の栄養診断法及びスマートフォン連携型簡易測定デバイスの開発

研究課題名(英文) Development of a smartphone-based device for nutritional diagnosis of apple trees

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) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究はリンゴ樹の栄養診断のための簡易デバイスシステムの開発を目的に実施した。その主な成果として、まずハイパースペクトル画像の計測と統計解析により、リンゴ樹の栄養診断に適した複数の狭帯域波長を選び出し、それらを基にリンゴ樹の栄養診断モデルを構築した。次に実用化に向けて上述した狭帯域波長LEDライト付きの小型低コスト簡易デバイス本体を新規開発すると共に、デバイス本体と連携するソフトウェアの開発及びそれらの統合により、迅速かつ簡便なリンゴ樹栄養診断に適用できるスマートフォン連携型測定デバイスシステムを構築した。今後このシステムの実装技術を確立して、リンゴ樹栄養診断への利活用を進めていく予定である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

実用化に向けたリンゴ樹の栄養診断法の再構築および、それを実装したハードウェアとソフトウェアの統合的開発により、スマートフォン連携型簡易デバイスシステムの技術開発に学術的意義がある。また開発したデバイスシステムを用いて、リンゴ園の精密管理の実現に資する栄養診断を行って、リンゴ園内における樹体毎のニーズに応じた施肥作業が可能となり、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)：In this study, we developed a simple device system with specific wavelength LED lights for nutrition diagnosis of apple trees. First, we identified multiple narrow-band wavelengths suitable for apple tree nutrition diagnosis by hyperspectral imaging, and then constructed an apple tree nutrition diagnosis model based on them. Next, we developed a new small-type and low-cost simple device with the selected specific wavelength LEDs for practical use and developed a software that works with the simple device. By integrating the device and the software, we finally developed a PC- and smartphone-based device system that can be easily applied to diagnosis of apple trees. If the implementation technology of this system is further established in the future, it can be potentially applied to apple tree nutrition diagnosis in practice.

研究分野：農学

キーワード：リンゴ 栄養診断 スマートデバイス 非破壊計測 画像処理

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 青森県のリンゴ生産量は全国の約6割を占めている。高品質果実を生産するためには、優れた栽培技術だけでなく、圃場や樹体の栄養状態に応じた適切な施肥管理も重要である。しかし、慣行の窒素や葉緑素の分析によるリンゴ樹の栄養診断は時間がかかるため、圃場レベルでの実施がそれほど多くない。そのため、リンゴの栽培現場で迅速かつ非破壊的に利用できる樹体の新しい診断法およびそのための簡易測定ツールの開発が強く要望されている。

(2) 近年、ハイパースペクトル画像計測技術は飛躍的な発展を遂げており、農作物の生育状況評価への応用に大きな可能性を示している。しかし、このような技術は多大な時間と労力を要するとともに、データ解析に高度な専門的知識や技術も必要とされる。一方、葉緑素計 SPAD に代表される携帯型作物生育情報測定装置が多数開発され、作物の生育管理に利用されているが、それらの簡易装置は主に水稻を対象に開発したため、他の作物への適用性に劣ることが指摘された。本研究は、Maxell 社の小型機器ライスカンを基にして、リンゴ樹栄養診断に複数の最適な狭帯域波長の LED 照明を搭載した新規簡易デバイスシステムの開発を目的とした。

### 2. 研究の目的

(1) ハイパースペクトル画像計測により、リンゴ樹の栄養診断に適した複数の狭帯域波長を選び出し、それらを基にリンゴ樹の新たな栄養診断法(モデル)を新規に構築する。

(2) 実用化に向けたリンゴ樹の栄養診断法(モデル)を実装した小型低コスト LED ライト付き簡易デバイス本体を新規開発する。

(3) 簡易デバイス本体と連携するソフトウェアとスマートフォンアプリの開発により、迅速かつ簡便なリンゴ樹栄養診断に適用できる PC やスマートフォン連携型測定デバイスシステムを構築する。

### 3. 研究の方法

(1) ハイパースペクトル画像計測により、リンゴ葉のスペクトル特性と画像の取得および、サンプル葉中の窒素とクロロフィルの含有量を測定する。窒素含有量は全自動元素分析装置 vario EL cube により分析し、クロロフィル含有量は有機溶媒(アセトン)抽出法で色素を抽出した後分光光度計で計測した吸光度より推定する。葉のスペクトル特性と窒素含有量、クロロフィル含有量との相関関係について、様々な統計モデリング手法を用いて推定モデルの構築を検討した上、実用化を前提にした数少ない波長による簡易な栄養診断モデルを構築した。

(2) Maxell 社のライスカンをベースに、上記構築した窒素栄養診断モデルに用いた狭帯域波長の LED 光源及び、それらの光源に最適な小型カメラを組み込んだ試作機を製作するとともに、栄養診断モデルを実装したソフトウェアとスマートフォンアプリの機能も追加・改良し、リンゴ樹専用の簡易測定デバイスシステムを構築した。

(3) 構築された簡易測定デバイスシステムを用いて、弘前大学農学生命科学部附属藤崎農場で栽培されるリンゴ樹を供試材料とし、そのシステムのデータ連携機能・測定の安定性やリンゴ樹の栄養状態評価の精度について検証した。

### 4. 研究成果

(1) 本研究では、単にスペクトル特性からリンゴ葉の栄養状態を評価できるモデルの構築だけでなく、開発予定の測定デバイスシステムに実装可能なものを目指すため、できる限り数少ない波長による簡易な栄養診断モデルの構築が望まれる。実証的実験により、560nm、675nm、705nm 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再確認できた。

(2) Maxell 社のライスカンをベースにして簡易装置デバイスの開発を行った。既製品のカメラに一つの白色光 LED のみ搭載されており、それを4つのキー波長の LED に入れ替えて、試作機の開発を行う予定であった。しかし、選出した一部の LED が市販されていないため、それらの波長に



図1. 特定波長のLED照明付カメラの試作機

一番近い3つのLED(560nm、660nm、727nm)と、高反射率を持つ950nmのLEDを使用した。また、4つのLEDが本体に物理的に収まらないため、3つのLED組み合わせで構成される、2種類のカメラ試作機を製作した(図1)。

(3) さらに、試作機と連携するためのソフトウェアの開発を行った。図2には、開発したソフトウェアの主画面を示している。画像の撮影方法は、図1の本体を用いて、リンゴ葉の表を下に向け、測定部をカメラ読み取り窓に合わせた後、昇降カバーで葉を挟んで行われる。なおソフトウェアにおいて、三つのLEDを選択することが



図2. 試作機と連携するソフトウェア

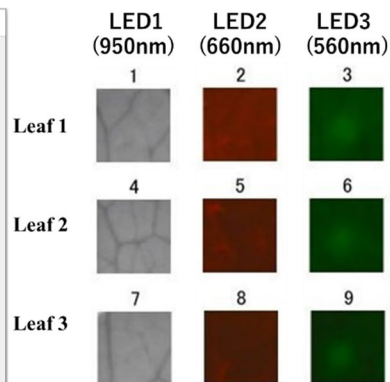


図3. カメラ1で撮影した画像の中心部関心領域(150×150ピクセル)

でき、異なるLED照明条件下でサンプルの画像を撮影できる。図3には、カメラ1で三つの異なるLED照明条件下(950nm、660nm、560nm)で撮影した三つのリンゴ成葉サンプルの画像を示している。サンプル毎に撮影した画像に対して、中心部関心領域(150×150ピクセル)を切り取り、その範囲内のデータの平均値を算出した。これにより画像から抽出した特定波長の反射率を用いて、試作機のリンゴ樹栄養状態評価への利用可能性を検討できるようにした。

(4) 上記試作の簡易測定デバイスシステムを用いて、弘前大学農学生命科学部附属藤崎農場で栽培されるリンゴ樹を供試材料とし、そのシステムのデータ連携機能・測定の安定性およびリンゴ樹の栄養状態評価の精度について検証した。具体的に、新規開発した専用ソフトウェアとデバイス本体の連携機能が確認され、画像の撮影・保存機能も設計通りであった。このシステムで得た画像データと標準ツールとして幅広く応用される葉緑素計(SPAD計)によるデータとの相関関係分析を行った。その結果、画像から抽出したRGBデータによるモデルの推定値(図4a)と、RGBデータから変換したL\*a\*b\*データによるモデルの推定値(図4b)ともに、SPAD値との相関係数が0.94以上となり、非常に高い相関関係を示している。これにより、試作機がSPAD計の代替ツールとして利用できると強く示唆される。また、先行研究の結果から、SPAD計がリンゴ葉の栄養状態、特にクロロフィル含有量(相関係数0.93)と窒素含有量(相関係数0.71)を評価できることが確認できている。これらの結果から、本研究で開発した簡易な測定デバイスシステムがリンゴ樹の栄養管理に利用できる可能性を示している。

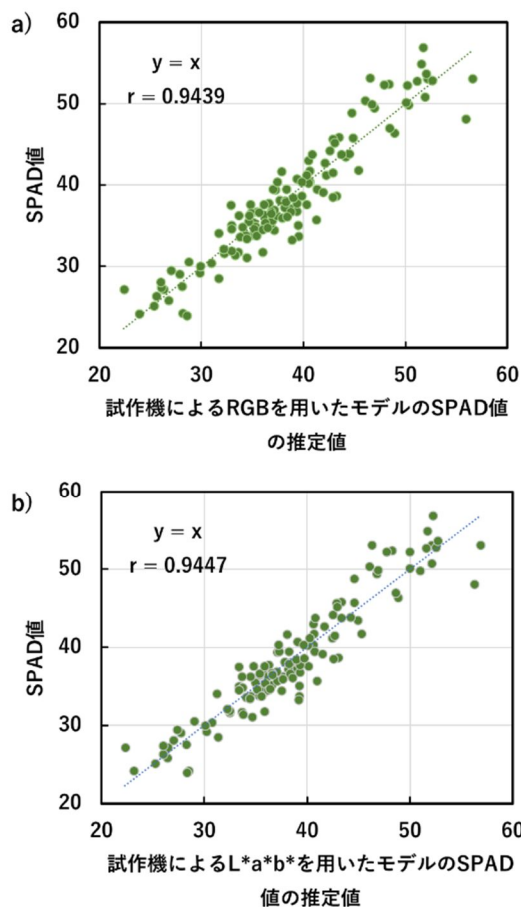


図4. 試作機によるデータを用いたモデルのSPAD値の推定値とSPAD計による実測値との相関関係

(5) 本研究で開発した簡易な測定デバイスシステムは、市販の類似の装置と比較して、より安価で容易にIoT化することもできる。よって、今後試作したデバイスシステムのさらなる改造・改良およびIoT化などを進め、リンゴ樹の栄養状態をより高精度・安定的に計測できるための実用化基盤技術の一つとして取り組んでいく予定である。

<引用文献>

Xujun Ye, Shiori Abe, Shuhuai Zhang, Hiroyuki Yoshimura. Rapid and non-destructive assessment of nutritional status in apple trees using a new smartphone-based wireless crop scanner system. Computers and Electronics in Agriculture, 査読有, 2020

叶 旭君、阿部汐里、張 樹槐．リンゴ樹の簡易栄養状態測定装置開発の可能性．農業食料工学会東北支部 2019 年次大会、2019

盛 繁星、叶 旭君、張 樹槐．低コスト LED 照明付小型カメラによる果樹栄養状態の非破壊的推定．農業食料工学会東北支部研究発表会、2020

叶 旭君、盛 繁星、張 樹槐．果樹栄養状態評価のための低コスト特定波長 LED ライト付小型カメラの開発．第 79 回農業食料工学会年次大会講演会、2021

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Xujun Ye, Shiori Abe, Shuhuai Zhang, Hiroyuki Yoshimura	4. 巻 173
2. 論文標題 Rapid and non-destructive assessment of nutritional status in apple trees using a new smartphone-based wireless crop scanner system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Computers and Electronics in Agriculture	6. 最初と最後の頁 105417
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.compag.2020.105417	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 盛 繁星・叶 旭君・張 樹槐
2. 発表標題 低コスト LED 照明付小型カメラによる果樹栄養状態の非破壊的推定
3. 学会等名 農業食料工学会東北支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上田 翔・叶 旭君・張 樹槐
2. 発表標題 小型分光センサを利用した低コスト IoT システムの開発
3. 学会等名 農業食料工学会東北支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 叶 旭君, 阿部汐里, 張 樹槐
2. 発表標題 リンゴ樹の簡易栄養状態測定装置開発の可能性
3. 学会等名 農業食料工学会東北支部2019年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 叶 旭君, 盛 繁星, 張 樹槐
2. 発表標題 果樹栄養状態評価のための低コスト特定波長LEDライト付小型カメラの開発
3. 学会等名 第79回農業食料工学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 叶 旭君
2. 発表標題 スペクトルイメージングの農産物生産および品質管理における体系的研究
3. 学会等名 79回農業食料工学会年次大会学会賞表彰式受賞記念講演（招待講演）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	張 樹槐  (ZHANG Shuhuai)  (90261429)	弘前大学・農学生命科学部・教授   (11101)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 協力者	北谷 真凜  (KITAYA Marin)	弘前大学・農学生命科学部・学部生   (11101)	
研究 協力者	盛 繁星  (SHENG Fanxing)	弘前大学・大学院農学生命科学研究科・院生   (11101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------