

令和 3 年 6 月 3 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K15886

研究課題名(和文)近赤外空間分解分光法による木材の樹種判別および多形質の同時非破壊評価

研究課題名(英文) Non-destructive wood species classification and multiple characteristics evaluation of wood by near-infrared spatially resolved spectroscopy

研究代表者

馬 特 (Ma, Te)

名古屋大学・生命農学研究科・特任助教

研究者番号：70824316

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、木材試料に照射した点光源の空間分布から多波長の吸収・散乱特性を高速、同時に取得する光学系を考案・設計した。これにより、複数樹種の非破壊判別モデルを作成でき、従来の分光法より予測精度の向上を実現できた。また、同じ空間分解分光法による木材引張ひずみの測定可能性も見出した。さらに、国際共同研究にもつなげて、本手法による果物の硬度を非破壊かつ高精度での測定可能性を見出した。これらの成果を国内学会(第71日本木材学会)で一度、2件国際ジャーナルへの論文投稿(Holzforchung, Postharvest Biology and Technology)を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の測定法で得られる拡散反射スペクトルには木材の化学成分(吸収係数)と物理構造(散乱係数)の情報が混在しており、複雑な多変量解析によって構築した材質予測モデルの分光学的および物理学的な解釈が曖昧になることがある(実用化に向けての大きな課題)。本研究はこれまでのスペクトル解析では障害となっていた散乱情報を有効に活用して、分光学的な情報のみから独自のアルゴリズムによって木材含水率、引張ひずみなどの高精度予測に成功した。さらに細胞構造の違いによる散乱情報に着目することで樹種識別の可能性を見出した。また、本手法に必要な分光装置は低価格化かつ小型化もでき、現場での実用化を期待できる。

研究成果の概要(英文)：In this research, an optical system was developed to acquire multi-wavelength absorption and scattering characteristics from the spatial distribution of a point light source that used to illuminate wood sample. As a result, it was possible to create a calibration model that can be used to classify multiple wood species, and it was possible to improve the prediction accuracy compared to conventional spectroscopy. We also found the possibility of measuring wood tensile strain by the same spatially resolved spectroscopy. Furthermore, in connection with international joint research, we found the possibility of measuring the hardness of fruits by this method in a non-destructive and highly accurate manner. These results were submitted to two international journals (Holzforschung, Postharvest Biology and Technology) and once at a domestic conference (71st Japan Wood Society).

研究分野：農業工学

キーワード：近赤外空間分解分光法 木材の樹種判別 多波長の吸収・散乱特性 非破壊評価

1. 研究開始当初の背景

消費者の信頼を獲得するため、バラツキが大きい木材の品質・性能を可視化(数値化)し、分かりやすい情報の提示を進めていくことが非常に重要である。また、違法伐採は持続可能な森林経営にとって大きな問題であり、流通している樹種を正しく迅速に判定できる技術の確立が強く求められている。試料の分子振動情報を非破壊で測定できる近赤外分光法(波長 800-2500nm の近赤外領域の光における拡散反射、または透過スペクトルに基づき有機物質の諸特性を分析する手法)は、木材の非破壊品質評価や樹種判別を安全・正確・低廉に行える手法として注目され、近年様々な基礎・応用実験が進められている(Tsuchikawa and Kobori, *J. of Wood Science*, 2015)。一般的な分光器を用いると、近赤外光が照射されている局所的な試料部位のスペクトル情報に基づいて解析されることがほとんどで、試料全体の材質評価は困難であるが、近年、分光分析と画像解析を融合させたハイパースペクトラルイメージング(HSI: Hyperspectral Imaging)法が開発され、分光情報と位置情報の同時測定が可能となった。申請者はNIR-HSI法と多変量解析の一種であるPartial Least Squares(PLS)回帰分析を併用して、木材密度、マイクロフィブリル傾角(MFA)、曲げヤング率(MOE)、およびファイバ品質(fiber coarseness)を156 $\mu\text{m}/\text{pixel}$ という高い空間分解能で可視化することに成功した。(Ma et al., *Holzforschung*, 2017; Ma et al., *J. Near Infrared Spec.*, 2018)。

しかし、上記の手法で得られる光拡散反射スペクトルには吸収情報だけでなく光の散乱情報も同時に含まれる。とりわけ木材の場合は細胞内腔での多重散乱が顕著であり、多変量解析によって構築した材質予測モデルの分光学的および物理学的な解釈が曖昧になることがある。さらに、全波長領域の分光画像の解析には時間がかかり、装置の導入コストも高くなるため、実用化にはまだ大きな壁が残っている。

2. 研究の目的

光の拡散反射スペクトルを吸収情報と散乱情報に分離して把握できれば、これまでのスペクトル解析では障害となっていた散乱情報を有効に活用して、分光学的な情報のみから独自のアルゴリズムによって木材密度・含水率などの高精度予測、さらに細胞構造の違いによる散乱情報に着目することで樹種識別も可能となると考えられる。本研究は「近赤外ハイパースペクトラル空間分解分光法」という新しい概念を提案し、木材試料に照射した点光源の空間分布から多波長の吸収・散乱特性を高速、同時に取得する光学系を考案・設計する。それによって、多変量解析の援用によってスペクトルから試料情報を予測するアプローチから脱却し、各材質に適した新規予測モデルの構築を試みる。さらに、各樹種固有の光散乱特性に着目した非破壊・高精度な樹種識別アルゴリズムを提案する。

3. 研究の方法

本研究は令和元-1年度にかけて実施した。

令和元年度は主に近赤外ハイパースペクトル空間分解分光計測システムの設計・開発を行った。木材中、光がどのように吸収散乱されているかを把握するため、木材の3次元モデルに照射した光の伝播経路をモンテカルロ法でシミュレーションを行った。その結果、同じ針葉樹もしくは広葉樹でも、樹種によって光伝播経路の違いを確認できた。その後、名古屋大学において可視-近赤外スペクトラルイメージングカメラ、光ファイバおよびハロゲン光源を主たる構成要素とす

分光イメージングユニットを設計・試作した。その後、含水率および繊維走行等を変更した木材試料を測定し、拡散反射光の空間分布からファレル式 (Farrell et al., *edphys*, 1992) を基盤とするアルゴリズムを構築した。これによって、多波長の吸収・散乱係数の同時算出を試みた。さらに、木材標本試料を測定して樹種判別モデルの構築を試みた。

令和 2 年度は上記試作した空間分解分光計測システムにより、樹種判別実験の継続と複数材質の非破壊評価を行った。試料中での光の散乱特性に着目して木材引張りずみの予測モデルの構築を試みた。これにより、木材引張りずみの測定可能性を見出した。さらに、国際共同研究にもつなげて、本手法による果物硬度の予測モデルの構築を試みた。

4. 研究成果

令和 1 年度成果

図 1 は空間分解分光装置で測定したデータの例を示す。撮影した各画像データには測定試料の分光情報(縦軸)と光ファイバー配置の情報(横軸)が同時に含まれている。画像データの右側からは試料に照射した光源から 1 mm 離れる 6 本の光ファイバで取得した光反射強度である。その左側には光源から 2 mm、3 mm、4 mm、5 mm および 10 mm 離れる光ファイバで取得した信号になる。照射した光源からの距離が長くなると跳ね返ってくる光の量が減ることがわかる。

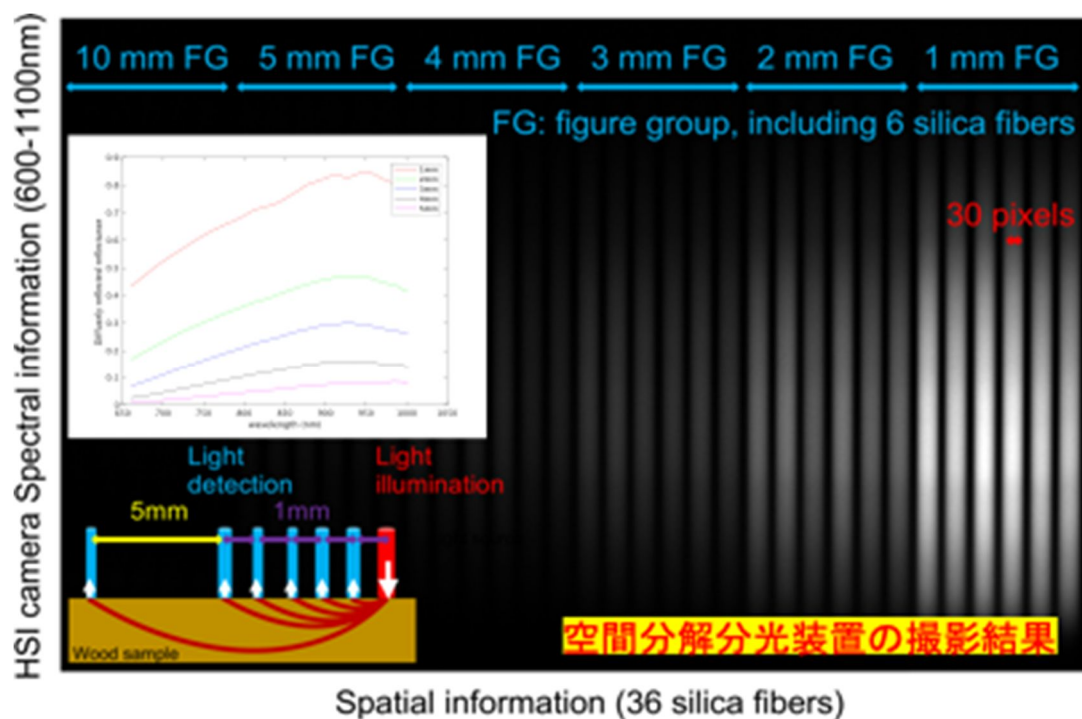


図 1 空間分解分光装置で測定したデータの例

図 2(a)は代表的な 10 広葉樹木材から獲得した空間分光情報を主成分分析およびサポートベクターマシンを用いて解析した結果を示す。キャリブレーションセットは 100%の正解率(5 分割クロスバリデーション)、さらに、モデルの構築に使用していない木材サンプルによるテストの結果は 90.1%の正解率であった (図 2(b))。これにより、空間分解分光法による木材の樹種判別の有効性を見出した。これらの成果を *Holzforschung* に投稿し受理された。また、含水率、繊維走行、密度などの違いによって空間分解分光信号の変化も確認できた。

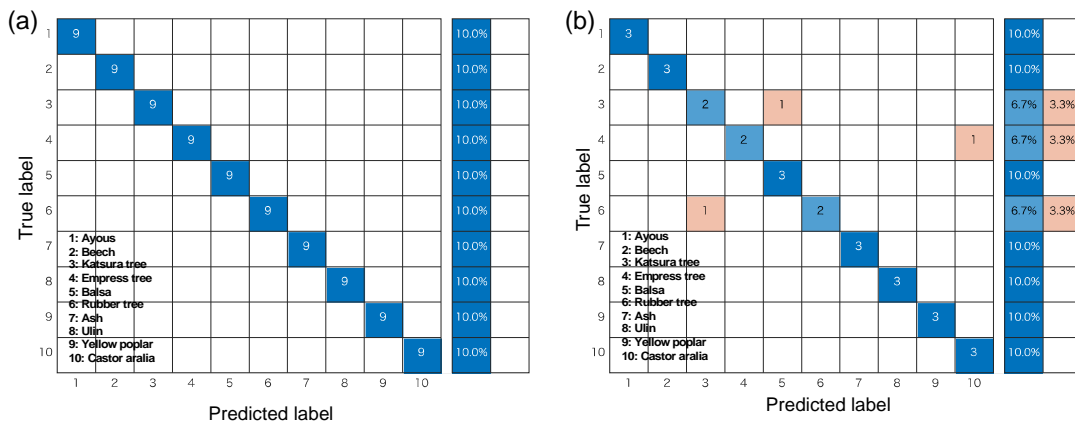


図2 代表的な10広葉樹木材の判別結果 (a: キャリブレーションセット; b: テストセット)

令和2年度成果

図3(a)は木材試料の引張試験を行いながら測定した分光信号の平均値を示す。図3(b)は主成分ローディングを示す。第1主成分ローディングは主に光の散乱特徴を説明することが分かる。第2主成分ローディングは水の吸収によるスペクトルの分散を説明できる。図3(c)は主成分スコアの結果を示す。実測ひずみとの高い相関を確認でき、可視-近赤外空間分解分光法による引張ひずみを予測できる可能性を見出した。これらの成果を国内学会(第71日本木材学会)で発表した。

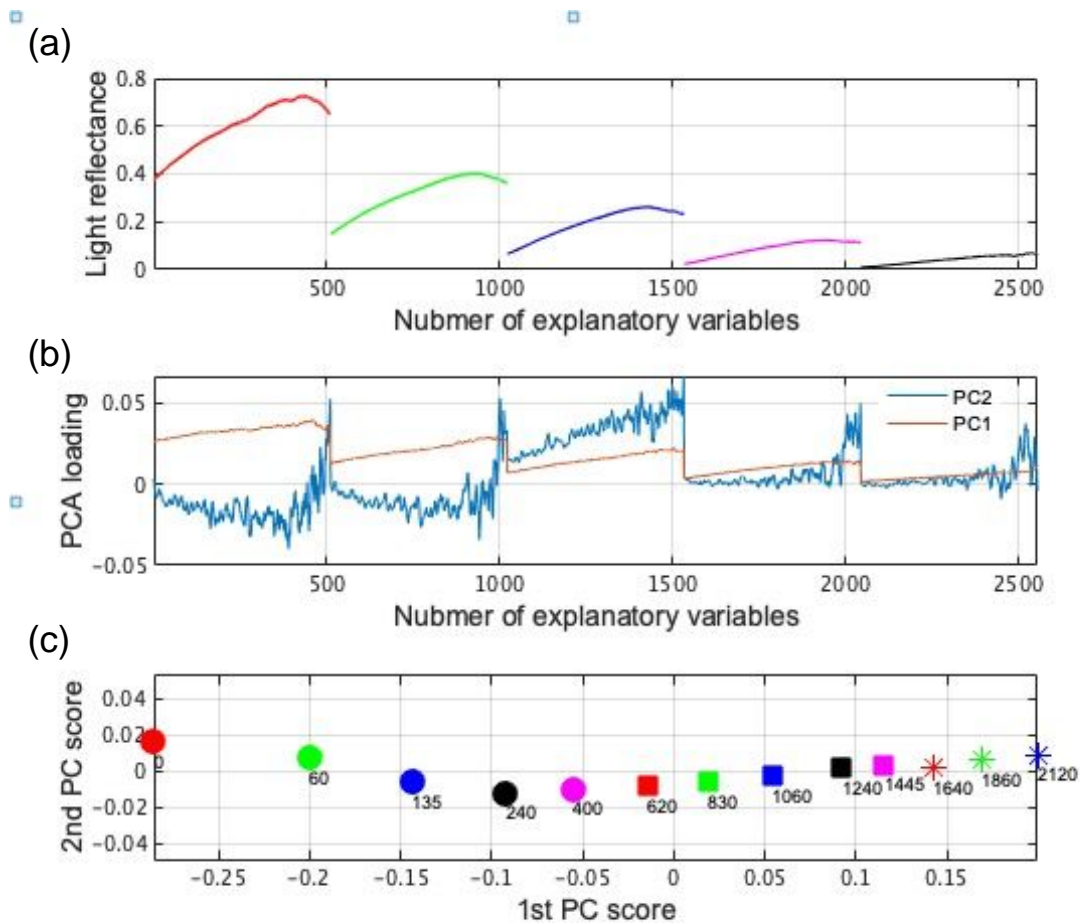


図3 主成分分析を施した結果 (a: 空間分解分光スペクトル; b: PC ローディング; c: PC スコア)

また、同じ空間分解分光法を用いて、りんごの硬度を非破壊かつ高精度での測定を試みた。図4に多変量解析による予測モデル作成の結果を示す。これらの実験により、高い精度で果物硬度を予測する可能性を見出した。これらの成果を *Postharvest Biology and Technology* に投稿し受理された。

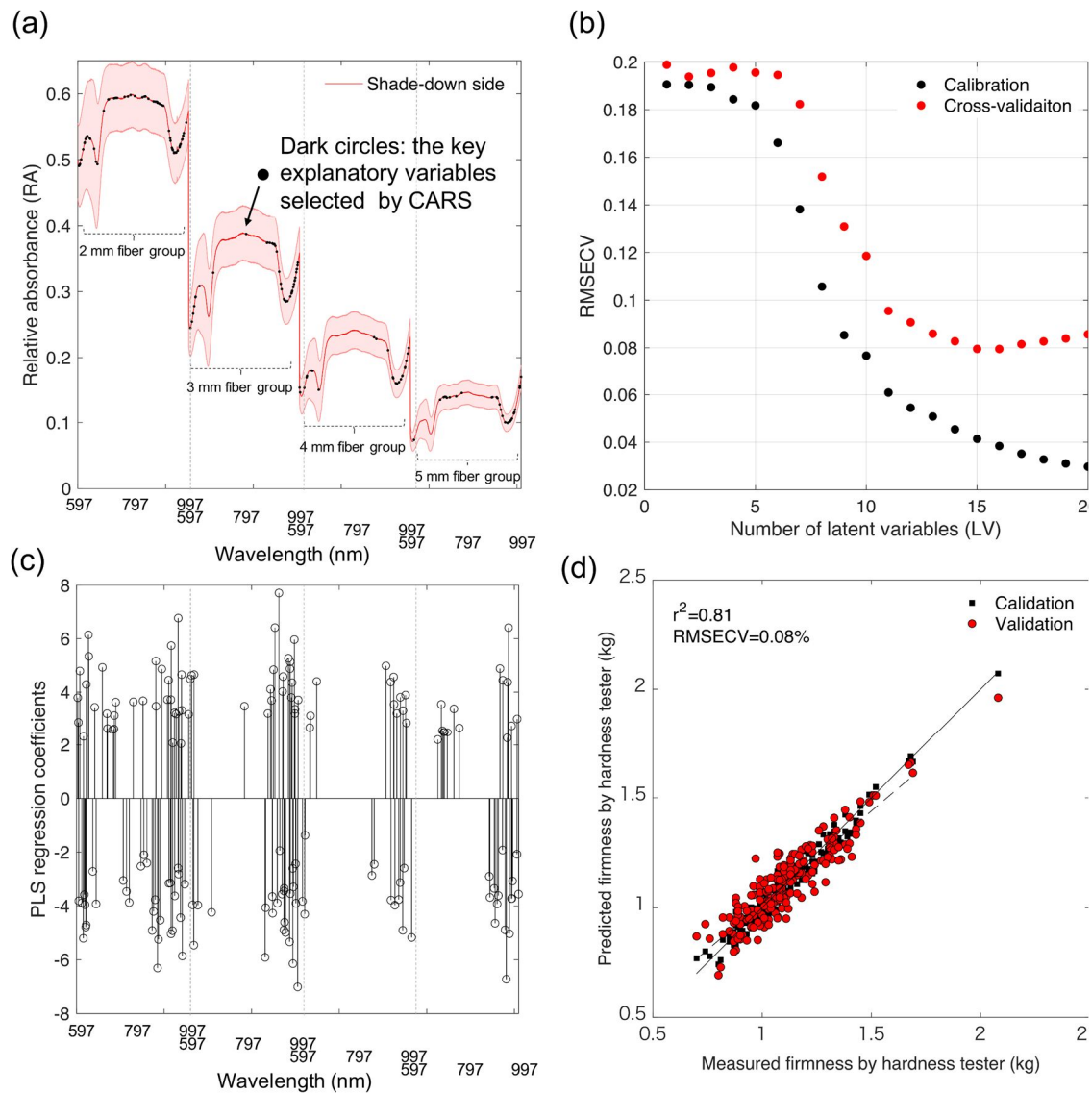


図4 多変量解析によるりんご硬度予測の結果を示す (a: 空間分解分光スペクトル; b: 予測誤差; c: 回帰係数 (予測モデル); d: 実測値と予測値の散布図)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ma Te, Xia Yu, Inagaki Tetsuya, Tsuchikawa Satoru	4. 巻 173
2. 論文標題 Rapid and nondestructive evaluation of soluble solids content (SSC) and firmness in apple using Vis?NIR spatially resolved spectroscopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Postharvest Biology and Technology	6. 最初と最後の頁 111417 ~ 111417
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.postharvbio.2020.111417	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 -

1. 著者名 Ma Te, Inagaki Tetsuya, Tsuchikawa Satoru	4. 巻 75
2. 論文標題 Demonstration of the applicability of visible and near-infrared spatially resolved spectroscopy for rapid and nondestructive wood classification	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Holzforschung	6. 最初と最後の頁 419 ~ 427
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1515/hf-2020-0074	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 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 馬 特、稲垣哲也、市野 真裕美、吉田正人、土川 寛
2. 発表標題 可視近赤外空間分解分光法による木材の引張ひずみの測定
3. 学会等名 第71回日本木材学会大会（東京大会）
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
---------------------------	-----------------------	----

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			
中国	Northwest A&F University			