

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：82111

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2011～2013

課題番号：23688031

研究課題名(和文) 空間・層別分解分光法の開発と食品計測への応用

研究課題名(英文) Development of Space and Layer Resolved Spectroscopy and Its Application to Food Measurement

研究代表者

蔦 瑞樹 (Tsuta, Mizuki)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・食品総合研究所・食品工学研究領域・主任研究員

研究者番号：8042553

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,900,000円、(間接経費) 4,470,000円

研究成果の概要(和文)：食品の品質を正確に評価するには、風味に関連する化学成分のみならず、食感を決定づける内部構造や物性も合わせて同時に計測すること、さらに、食品が持つ多層構造の各々における品質を、個別にかつ包括的に計測することが重要である。本研究では、対象の任意の層における光吸収・光散乱スペクトルを推定する「空間・層別分解分光法(Space and Layer Resolved Spectroscopy: SLRS法)」をマンゴー計測に応用し、果皮の外から計測した光学スペクトルを元に、果皮と果肉の光学スペクトルを個別に推定した。推定したスペクトルと、果肉の硬度指標との間に相関は見られなかった。

研究成果の概要(英文)：To investigate the simultaneous measurement of chemical components and physical properties of layered biological materials, the potential of Space and Layer Resolved Spectroscopy (SLRS) has been investigated. Optical density spectra of skin and flesh of mangoes could be estimated from spectra measured from outside skin using SLRS method. There were no significant correlation between these estimated spectra and flesh hardness.

研究分野：食品工学

科研費の分科・細目：農業工学・農業情報工学

キーワード：非破壊計測 空間分解分光法

1. 研究開始当初の背景

食品の「風味」と「食感」は、その品質を左右する重要な指標である。例えば、果実の品質は甘み、酸味と歯ごたえによって決まる。また、ほどよい甘みを持ちつつ、「もっちり」とした食感を持つパンがおいしいとされている。加えて、多くの食品は多層構造をなしている。例えば、果実は皮と実、パンはクラストとクラムの二層からなっている。果実の場合、人間が食するのは実のみであることが多く、パンの場合はクラストとクラムのもつ品質の相乗効果が人間の感じるおいしさを決定づける。したがって、食品の品質を正確に評価するには、風味に関連する化学成分のみならず、食感を決定づける内部構造や物性も合わせて同時に計測すること、さらに、食品が持つ多層構造の各々における品質を、個別にかつ包括的に計測することが重要である。

食品の品質計測に幅広く用いられている手法として、近赤外分光法が挙げられる。典型的な例として、果実中の糖度計測とその結果の基づく選果(河野(2001), 果実日本 56(1), pp.80-82)が挙げられる。近赤外分光法は試料による光吸収を計測する手法で、非破壊・非接触・迅速性を特徴とする。しかしながら、近赤外分光法は化学成分による光吸収に基づいており、試料の内部構造や物性を反映する光散乱を捉えることはできない。また、光散乱によるスペクトルのシフトは化学成分の定量精度を低下させるため、光散乱の影響を取り除くためのスペクトル前処理が行われることが多い(岩元ら編(1995), 近赤外分光法入門)。したがって、近赤外分光法により試料の内部構造、物性を推定することは困難である。また、単一の検出器によるポイント測定であるため、試料内部の成分分布を捉えることも不可能である。

申請者らは、近赤外分光法を多点測定に展開した近赤外分光イメージング手法の研究開発に従事し、食品中の成分分布可視化に成功した。しかしながら、本手法は近赤外分光法の原理を用いているため、食品中の内部構造、物性計測には適用できない。また、成分分布を可視化するためには、試料を切断して断面を露出させなければならないという限界がある。

一方、「海外特別研究員制度」により申請者が赴任したルーヴェンカトリック大学(ベルギー)では、「空間分解分光法(Space Resolved Spectroscopy, 以下 SRS 法)」の研究に取り組んでいる。SRS 法は、ある一点において光を試料に入射させ、入射点から離れた複数の位置において拡散反射スペクトルを計測する手法である。試料に入射した光は試料中で吸収及び散乱により光量を減じ、その一部が試料表面より放出される。SRS では計測位置×波長×輝度の 3 次元データ(SRS スペクトル)が得られ、波長方向のスペクトルが従来の分光法と同様に化学成分による吸収を反映す

るのに対し、計測位置による輝度の違いは物性や内部構造に起因する光散乱の程度を反映する。したがって、SRS スペクトルの解析により、試料中の光吸収係数(μ_a)のみならず、光散乱係数(μ_s)をも推定すること、さらには試料の含有成分、物性及び内部構造を同時に測定することが可能となる。既に申請者らは、SRS 法を用いた生体試料の $\mu_a \cdot \mu_s$ の推定について報告している(Saeyns ら(2010), ASABE Annual Meeting, #1000032)。SRS 法のもう一つの特徴として、異なる位置で計測されたスペクトルが、試料の異なる深さにおける情報を含んでいる点が挙げられる。不透明体内における平均光路は、光入射点-計測点距離に比例することが知られており(Tuchin 編(2007), Tissue optics, pp.451-488)。その距離が長いほど、より深い位置までの情報を得ることが可能である。したがって、SRS スペクトルを適切な解析により、試料の各層における光学特性を個別に推定することが可能になると期待される。

しかしながら、現在までに SRS 法を利用して、試料の任意の深さにおける光学特性を推定する手法は開発されていない。したがって、SRS 法による食品の光学特性推定及びそれを利用した成分推定、物性推定では、成分分布の可視化や深さ方向の情報分離は実現していないのが現状である(Xia ら(2007), Meat Sci., pp.78-83)。

2. 研究の目的

本研究の目的は、空間分解分光法と Multi-way データ解析を融合し、対象の任意の層における光吸収・光散乱特性を個別に推定する「空間・層別分解分光法(Space and Layer Resolved Spectroscopy: SLRS 法)」を開発すること、及びその食品内部の成分分布、物性及び内部構造の同時・非破壊計測への応用にある。

3. 研究の方法

(1) システム構築

試料の異なる光源 - 計測点距離における複数のスペクトル、すなわち計測位置、波長、輝度の 3 軸よりなる空間分解分光スペクトルを計測するシステムを構築した。具体的には、キセノンランプ光源(東京インスツルメンツ製 SP99-OAP-SYS) 複数のバンドパスフィルタを装着可能なフィルターホイール、光ファイバー、試料表面上に直径約 1 mm のスポット照明を行う結像レンズ及びモノクロ CMOS カメラ(浜松ホトニクス製 ORCA Flash 2.8)を組み合わせ、これらを連動させて制御するアプリケーションを開発した。

(2) 食パンへの空間分解分光法適用

開発したシステムにより、食パンを試料に空間分解分光スペクトルの計測を試みた。同時に食パンの気泡パラメータをイメージスキャナにより測定した。Partial Least Squares 回帰分析により、空間分解分光スペクトルを説

明変数、気泡パラメータを目的変数とする回帰モデルを作成した。

(3) モデル試料を用いたスペクトル分解

二層の樹脂よりなるモデル試料を計測した。具体的には、計測システムに 1200-1650 nm の範囲で 9 枚のバンドパスフィルタを装着し、ABS 樹脂シートの上にスチレン樹脂シートを積層したモデル試料を実験に供試した。モデル試料に用いた樹脂シートの厚みはそれぞれ 0.3 mm であり、モデル試料全体の厚みを 15 mm (シート 50 枚) とした上で、積層するスチレン樹脂シートの枚数を 0-50 枚まで変えつつ SRS スペクトルを計測した。得られたデータに Parallel Factor Analysis (PARAFAC) を適用し、ABS 樹脂とスチレン樹脂のスペクトル分離を試みた。

(4) マンゴーへの空間分解分光法適用

試料には市販のアーウィンマンゴーを用い、1 日に 1 回、4 日間にわたって果実表面の空間分解分光スペクトルを計測した。計測システムにはバンドパスフィルタの代わりに液晶チューナブルフィルタを装着し、透過波長を 500-720 nm の範囲で切り替え、各波長において画像を取得した。得られた各波長の画像に画像解析を適用し、波長、距離及び吸光度からなる空間分解分光スペクトルを得た。PARAFAC により、空間分解分光スペクトルを果皮と果実のスコア、波長ローディング及び距離ローディングに分解した。また、SRS 計測を行った点の果肉硬度を、打音式硬度計 (東洋精機製作所製ファームテスタ) により計測した。

4. 研究成果

(1) システム構築

様々な試料の計測を行い、照明の集光点から任意の距離の、任意の波長における輝度値、すなわち空間分解分光スペクトルを計測可能なことを確認した。本システムは紫外から近赤外領域における幅広い波長帯で計測可能なことが特徴であり、従来は可視領域に限定されていた空間分解分光スペクトル計測にブレークスルーをもたらすと期待される。

(2) 食パンへの空間分解分光法適用

図 1 に 4 種類の食パンを計測して得られた空間分解分光スペクトルを示す。照射点からの距離が離れるにつれ、輝度値が指数関数的に減少していることが確認できた。また、図 2 に PLS 回帰分析による平均気泡直径の推定結果を示す。決定係数は 0.7 であり、空間分解分光スペクトルを用いた気泡サイズ推定の可能性が示唆された。

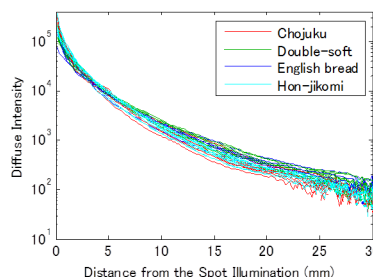


図 1 食パンの空間分解分光スペクトル

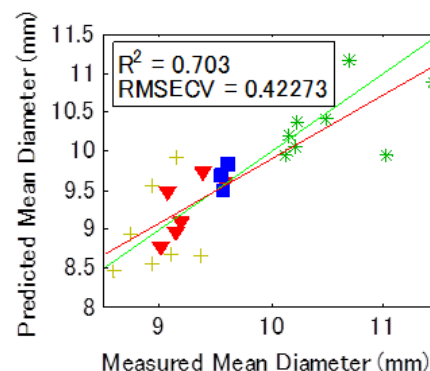


図 2 空間分解分光スペクトルによる食パンの気泡サイズ推定結果

(3) モデル試料を用いたスペクトル分解

図 3 に PARAFAC により得られた波長ローディングを示す。第 1、第 2 因子ローディングはそれぞれスチレン、ABS の吸光スペクトルと 0.94 以上の相関係数を示したことから、空間分解分光法と PARAFAC により層別スペクトル分離が可能なが示唆された。

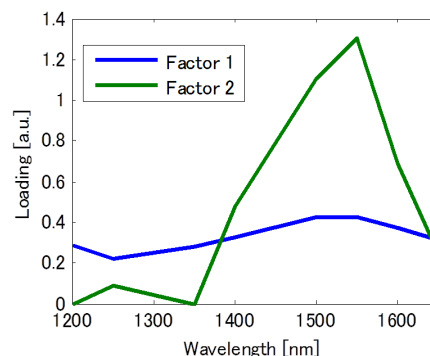


図 3 PARAFAC によるスチレン・ABS のスペクトル分離

(4) マンゴーへの空間分解分光法適用

図 4 にマンゴーの空間分解分光スペクトルを示す。550 nm 付近に色素成分によると見られる顕著な吸収ピークが観察された。また、果皮を除去して実測した果肉のスペクトルと第 2 ローディングの形状がほぼ一致していることから、第 1 因子が果皮、第 2 因子が果肉のスペクトルに対応していると考えられた (図 5)。一方、図 6、7 に示す通り、第 1 因子得点、第 2 因子得点と果肉硬度の指標値には相関が見られなかった。

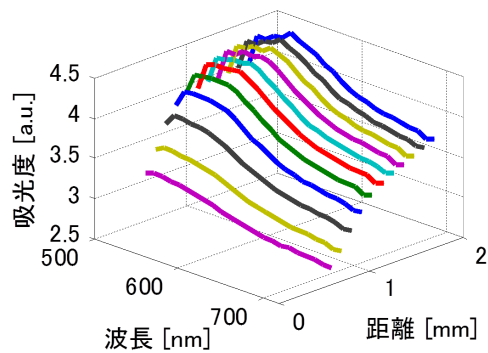


図4 マンゴーの空間分解分光スペクトル

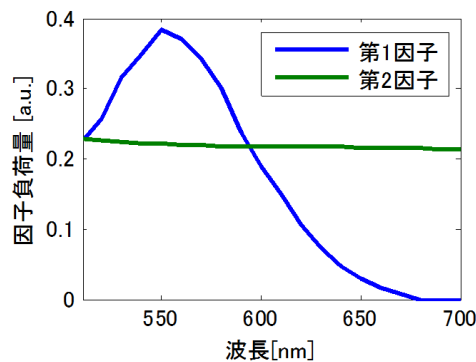


図5 PARAFACによるマンゴーの果皮・果肉スペクトル分離

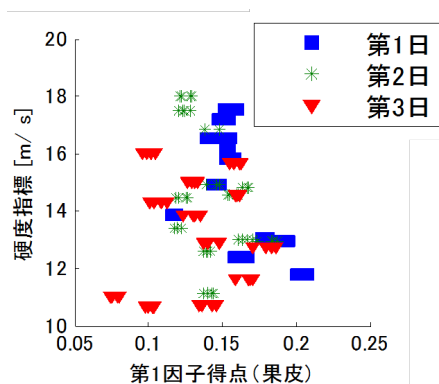


図6 第一因子得点と硬度指標の関係

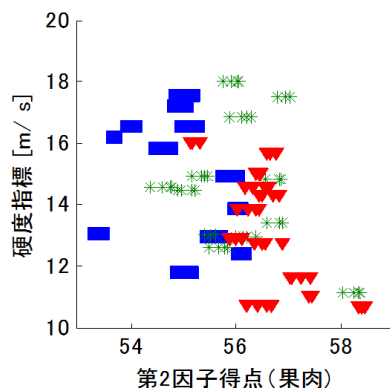


図7 第二因子得点と硬度指標の関係

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計4件)

Mito Kokawa, Junichi Sugiyama, Mizuki Tsuta, Masatoshi Yoshimura, Kaori Fujita, Mario Shibata, Tetsuya Araki, Hiroshi Nabetani, Development of a Quantitative Visualization Technique for Gluten in Dough Using Fluorescence Fingerprint Imaging, *Food and Bioprocess Technology*, 査読有, Vol. 6, 2013, 3113-3123

DOI: 10.1007/s11947-012-0982-7

中村結花子, 藤田かおり, 杉山純一, 蔦瑞樹, 柴田真理朗, 吉村正俊, 粉川美踏, 鍋谷浩志, 荒木徹也, c, 日本食品科学工学会誌, 査読有, 59巻, 2012, 387-393

DOI: 10.3136/nskkk.59.387

蔦瑞樹, 中内茂樹, 西野顕, 杉山純一, 判別・定量のための蛍光指紋フィルタ設計法とその食品評価への適用 -ヨーグルトのリボフラビン含量推定を例に-, 日本食品科学工学会誌, 査読有, 59巻, 2012, 139-145

DOI: 10.3136/nskkk.59.139

M. Tsuta, N. Nguyen Do Trong, E. Herremans, J. De Baerdemaeker, W. Saeys, Decomposition of absorption spectra of multi-layered biological materials by spatially-resolved spectroscopy and parallel factor analysis, *Proedia Food Science*, 査読有, Vol. 1, 2011, 528-535

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211601X11000812>

〔学会発表〕(計8件)

Mizuki Tsuta, Kaori Fujita, Mario Shibata, Masatoshi Yoshimura, Mito Kokawa, Junichi Sugiyama, Hyperspectral Scatter Imaging For The Spectral Spectral Decomposition Of Multi-Layered Materials, The 12th Tunisian-Japanese Symposium on Society, Science and Technology, 2013年11月15日-17日, ハマメット(チュニジア)

Mizuki Tsuta, Kaori Fujita, Mario Shibata, Masatoshi Yoshimura, Mito Kokawa, Junichi Sugiyama, Hyperspectral scatter imaging for the spectral decomposition of multi-layered materials, International Turkish Congress on Molecular Spectroscopy (TURCMOS2013), 2013年9月16日-20日, イスタンブール(トルコ)

蔦瑞樹, 藤田かおり, 柴田真理朗, 吉村正俊, 粉川美踏, 杉山純一, 散乱分光イメージングによる多層構造を持つ試料のスペクトル分離, 第72回農業食料工学会年次大会, 2013年9月10日-13日, 帯広(北海道)

Mizuki Tsuta, Kaori Fujita, Mario Shibata, Masatoshi Yoshimura, Mito Kokawa, Junichi Sugiyama, Contactless estimation of pore size in bread crumb by hyperspectral scattering imaging, 16th World Congress of Food Science and

Technology, 2012年08月05日-09日、フォス・ド・イグアス(ブラジル)

Mizuki Tsuta, Kaori Fujita, Mario Shibata, Masatoshi Yoshimura, Mito Kokawa, Junichi Sugiyama, International Conference of Agricultural Engineering CIGRAgEng2012, 2012年7月8日-12日, バレンシア(スペイン)

Nghia Nguyen Do Trong, Rodrigo Watte, Ben Aernouts, Eva Verhoelst, Mizuki Tsuta, Ewa Jakubczyk, Ewa Gondek, Pieter Verboven, Bart M. Nicolai, Wouter Saeys, Differentiation of microstructures of sugar foams by means of spatially resolved spectroscopy, SPIE Photonics Europe, 2012年4月14日-17日, ブリュッセル(ベルギー)

蔦瑞樹, N. Nguyen Do Trong, E. Herremans, J. De Baerdemaeker, B. Nicolai, W. Saeys, 空間分解分光法と多変量解析による多層構造を持つ生体材料のスペクトル分離, 第27回近赤外フォーラム, 2011年11月10日, つくば

N. Nguyen Do Trong, M. Tsuta, E. Herremans, R. Watte, C. Erkinbaev, E. Verhoelst, P. Verboven, B. Nicolai, W. Saeys, Non destructive characterization of food microstructure and composition by spatially resolved spectroscopy, 11th International Congress on Engineering and Food (ICEF11), 2011年5月23日, アテネ(ギリシャ)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

蔦 瑞樹 (TSUTA, Mizuki)

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構・食品総合研究所・食品工学研究領域・主任研究員

研究者番号：80425553