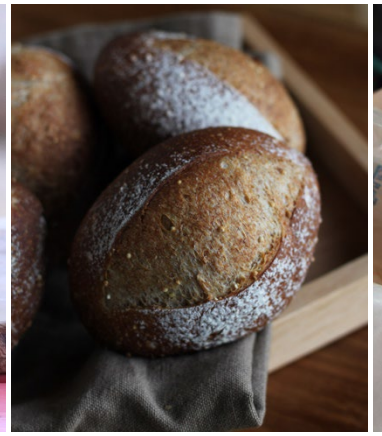
食べずに測る食品の美味しさ

筑波大学　生命環境系
粉川 美踏



概要：光を用いた食品・農産物の非破壊評価

- 光は物質と**相互作用**を起こす

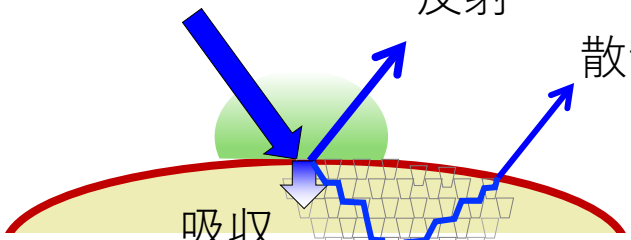
  相互作用を測れば、物質についての情報を得ることができる

  例）蛍光強度から、蛍光物質の濃度を知る

- 光測定≒目で見る行為

  （基本的に）**非破壊的**
  計測後の食品は食べられる

蛍光



概要：光を用いた食品・農産物の非破壊評価

- 光は物質と**相互作用**を起こす

  相互作用を測れば、物質についての情報を得ることができる

  例）蛍光強度から、蛍光物質の濃度を知る

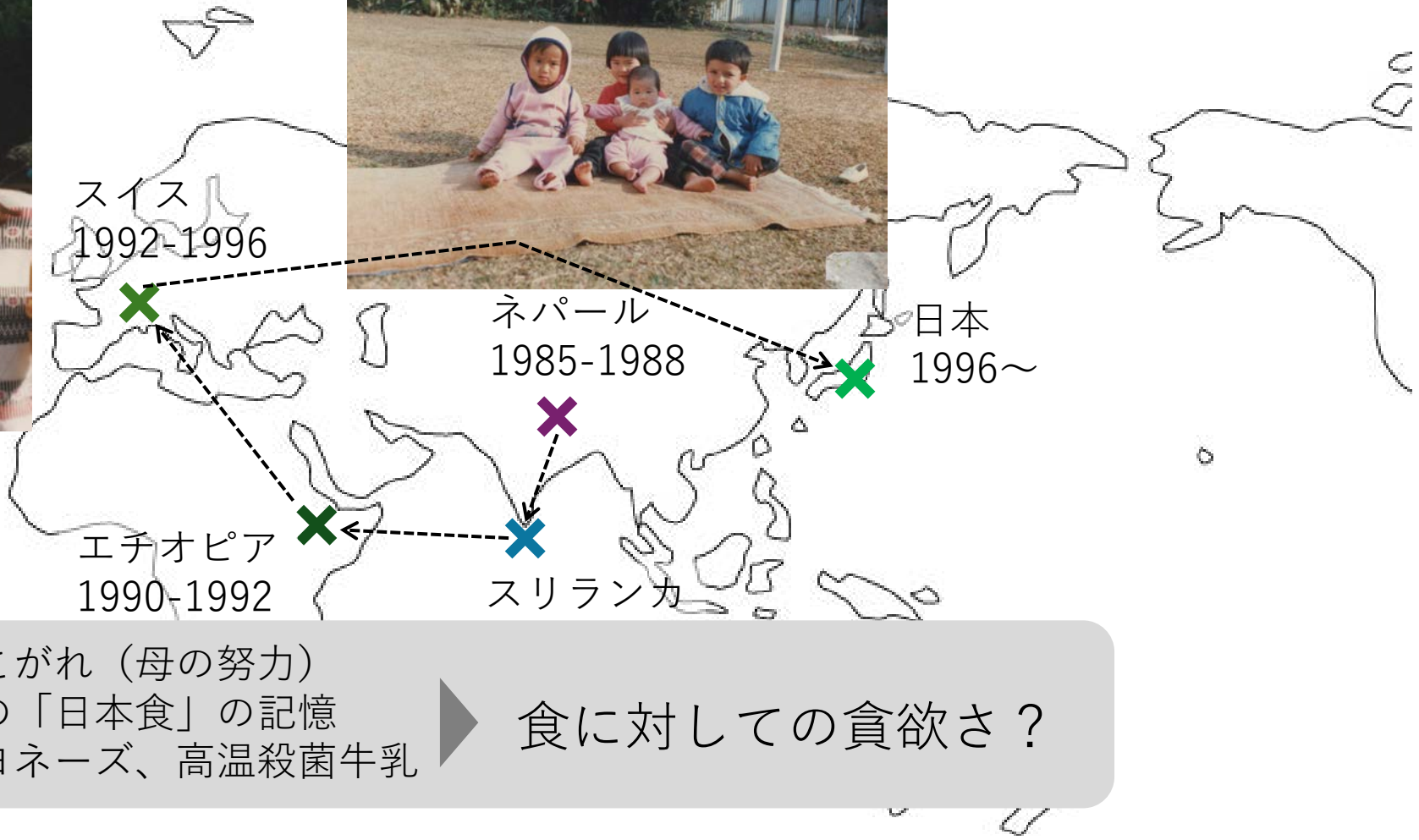
- 光測定≒目で見る行為

  （基本的に）**非破壊的**
  計測後の食品は食べられる

メロンの糖度測定
茨城県ポータルサイト

糖度よりも複雑な成分・構造を測れないか？

生い立ちの話…



- 日本食へのあこがれ（母の努力）
- 夏の帰省の時の「日本食」の記憶
  キユーピーマヨネーズ、高温殺菌牛乳

▶ 食に対しての貪欲さ？

生い立ちの話…

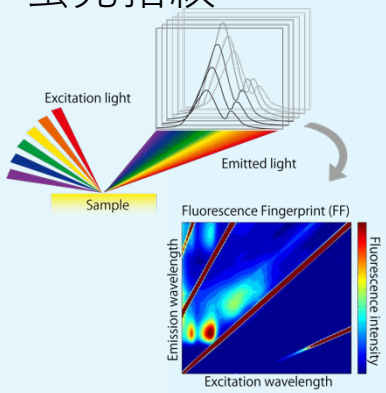
- 食品関係の職業だと栄養士しか思いつかない…
- 特にやりたいことが決まらないまま、
  東京大学 理科一類（工学系）
  →建築学科に進学
- 部活が忙しくて課題大変
  本当に建築に対して熱意があるか？？
  →農学部に転学
- 化学・生物は実験が大変なので農学部の中の工学系の学科に

工学的視点で食品に関わる

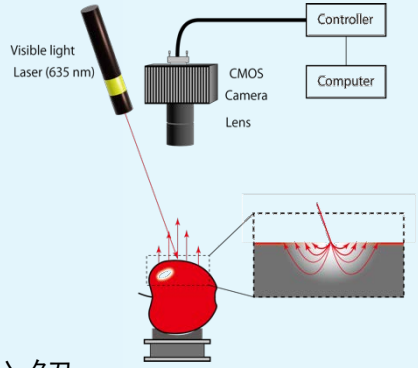
研究全般：食品の計測と加工

非破壊評価：
新しい**計測手法開発**のためには**既知の試料**が必要

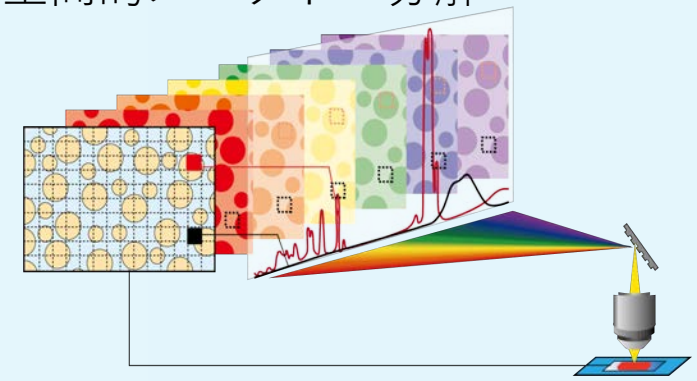
蛍光指紋



レーザー散乱

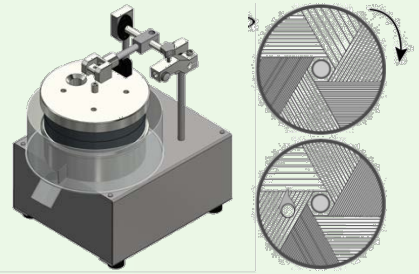


空間的スペクトル分解



食品加工：
未知の食品を計測するためには、**確立された計測手法**が必要

湿式微粉砕
溶媒を加えて植物体を粉砕することで、細胞内に閉じ込められている様々な機能性成分を抽出



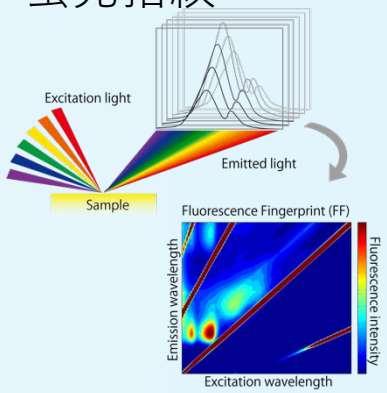
米の加工
米のスプラウト化、ゲル化を通じて新たな食品を開発

麹菌由来の新規代替蛋白
麹菌を新たな代替タンパク質源として捉え、肉様に加工

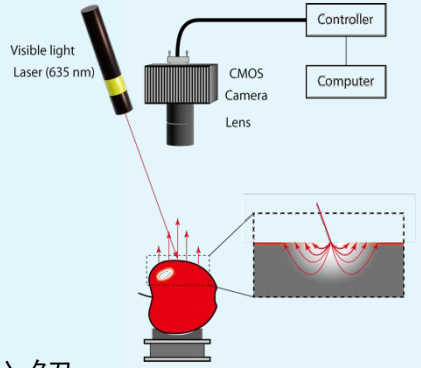
研究全般：食品の計測と加工

非破壊評価：
新しい**計測手法開発**のためには**既知の試料**が必要

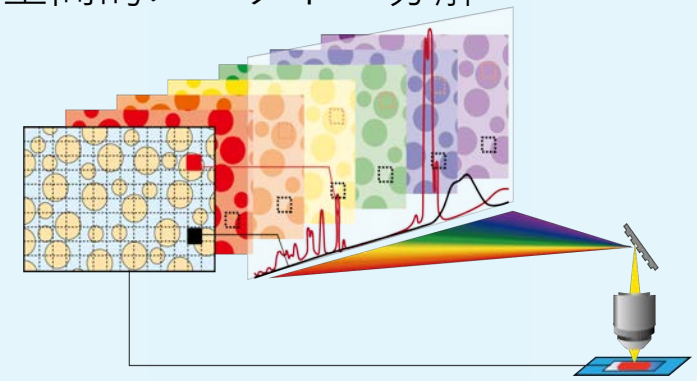
蛍光指紋



レーザー散乱

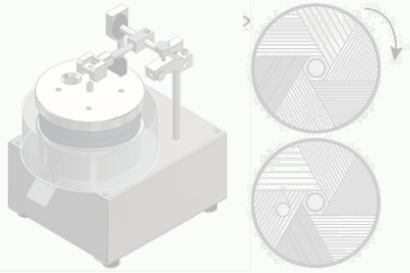


空間的スペクトル分解



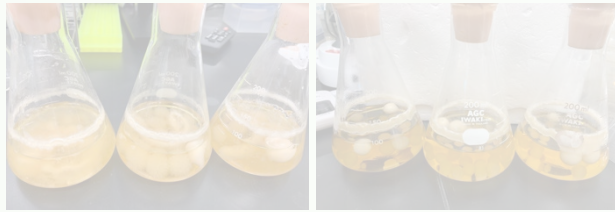
食品加工：
未知の食品を計測するためには、**確立された計測手法**が必要

湿式微粉砕
溶媒を加えて植物体を粉砕することで、細胞内に閉じ込められている様々な機能性成分を抽出



米の加工
米のスプラウト化、ゲル化を通じて新たな食品を開発

麹菌由来の新規代替蛋白
麹菌を新たな代替タンパク質源として捉え、肉様に加工



何を計測すべきか
例）ポリフェノール含有量、食感

既存の計測手法の利点を活かすには？

食品の非破壊評価：利点

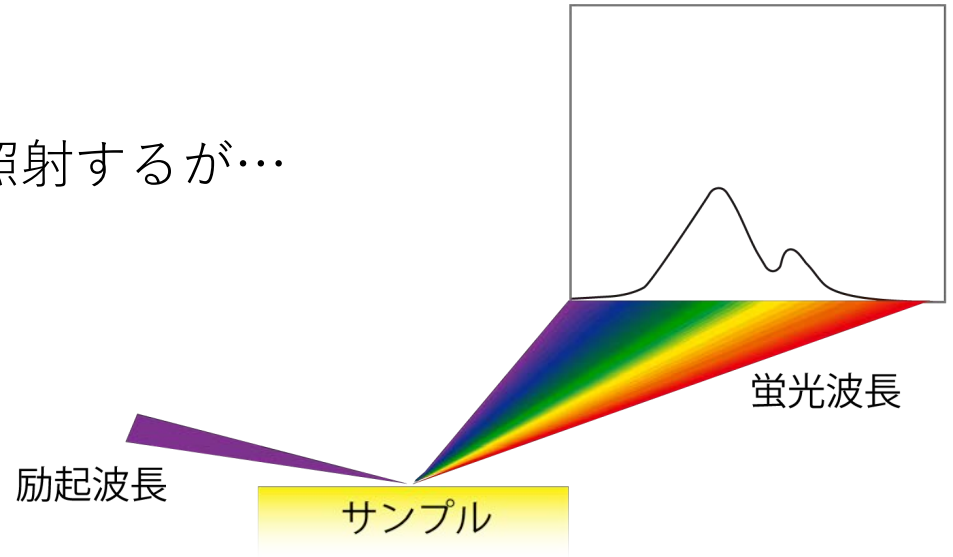
- 食品の成分（味・栄養価・機能性）や構造（食感）の計測手法の多くは破壊的
  - 有機溶媒を使った抽出が必要 ▶ 廃液の処理
  - 前処理に手間がかかる、計測時間が長い
  - サンプリングが必要（一部の試料しか測れない）

- 光を用いた非破壊計測
  - 迅速・簡易的
  - 試料を破壊しないので、全数検査が可能
  - 廃棄物が出ない

品質保証の簡易・迅速化、農産物への付加価値化

非破壊評価１：蛍光指紋

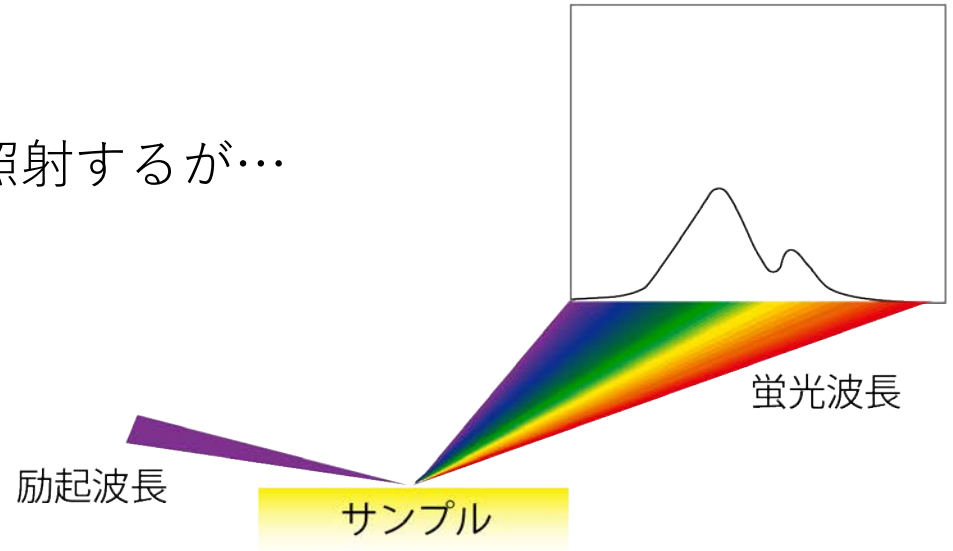
- 食品に含まれる蛍光成分*を計測
- 通常の蛍光測定では、単一波長の励起光を照射するが…



* ポリフェノール類、一部のアミノ酸、クロロフィルなどは蛍光を示す

非破壊評価１：蛍光指紋

- 食品に含まれる蛍光成分*を計測
- 通常の蛍光測定では、単一波長の励起光を照射するが…
  蛍光指紋では複数の励起波長を照射



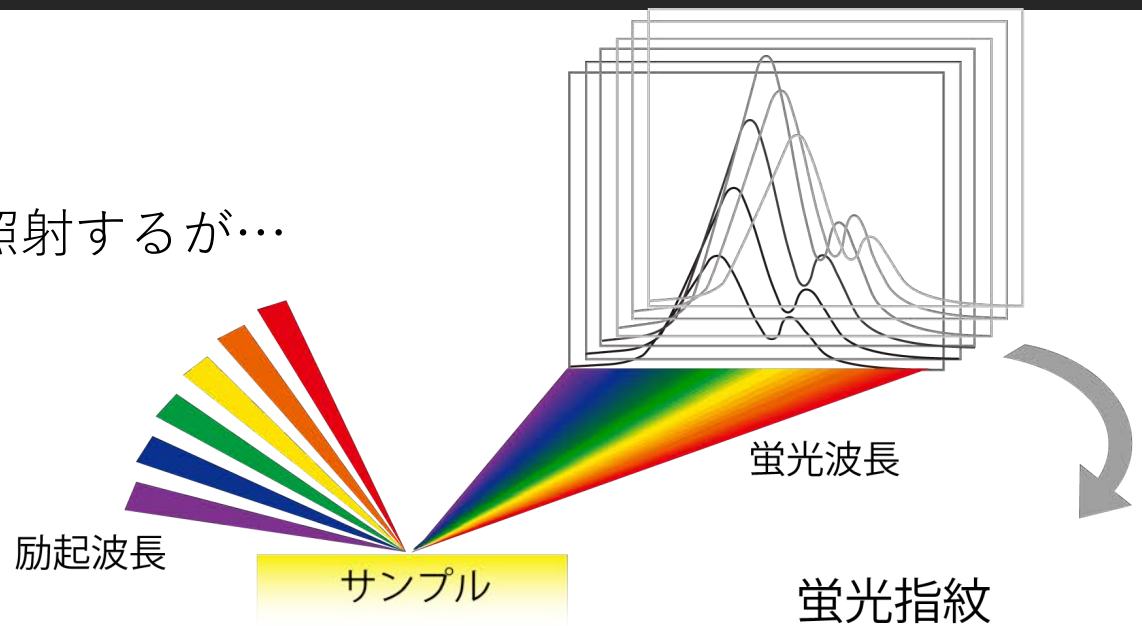
* ポリフェノール類、一部のアミノ酸、クロロフィルなどは蛍光を示す

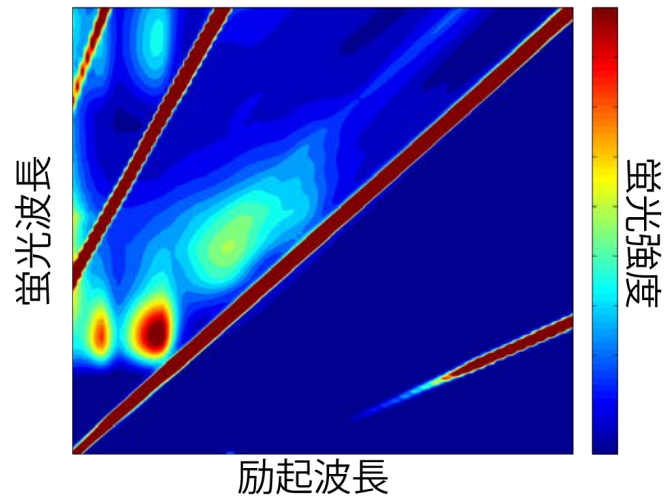
非破壊評価１：蛍光指紋

- 食品に含まれる蛍光成分*を計測
- 通常の蛍光測定では、単一波長の励起光を照射するが…
  蛍光指紋では複数の励起波長を照射

▼

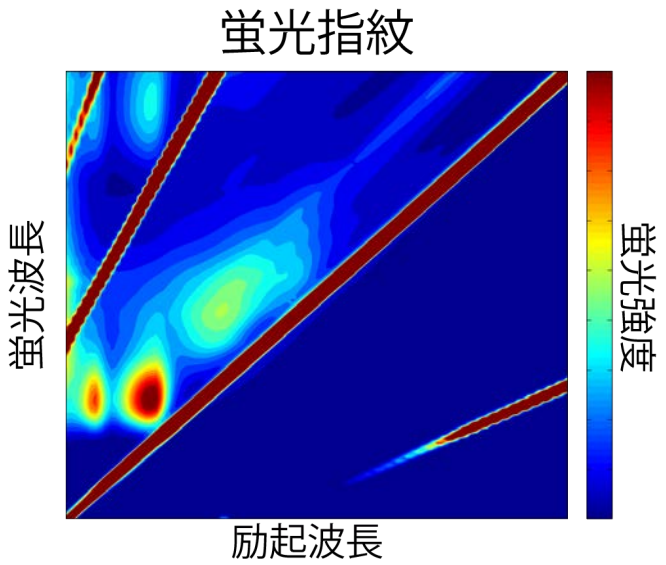
食品に含まれる成分を
網羅的に計測





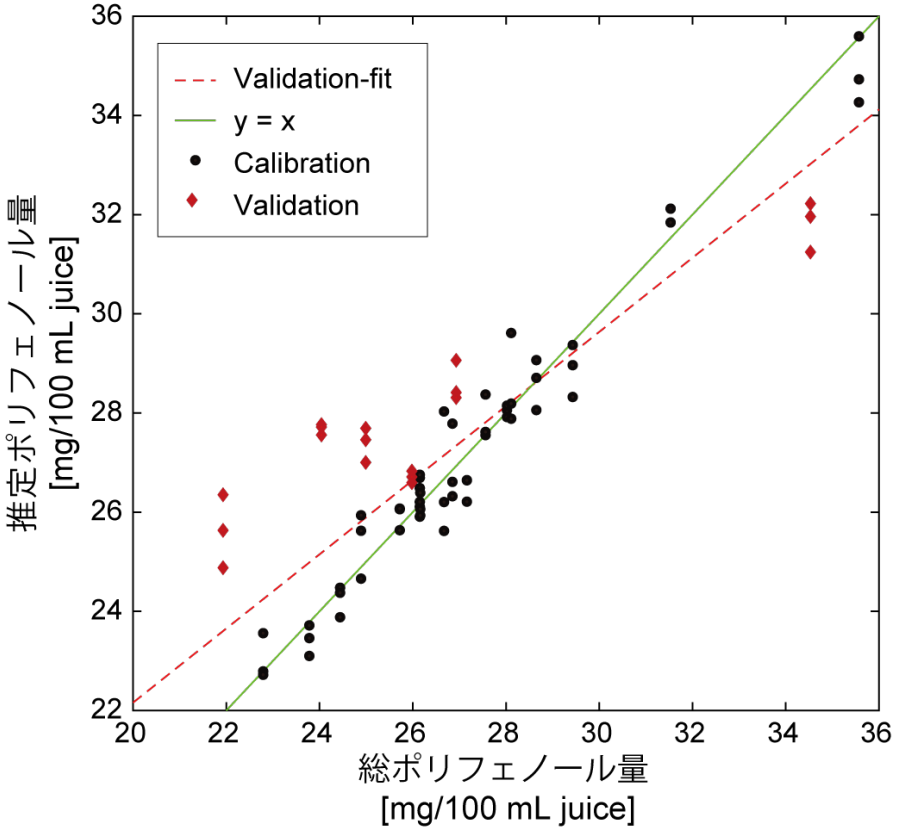
* ポリフェノール類、一部のアミノ酸、クロロフィルなどは蛍光を示す

非破壊評価１：蛍光指紋



推定したい変数

- ポリフェノール量
- 産地
- 貯蔵期間　…



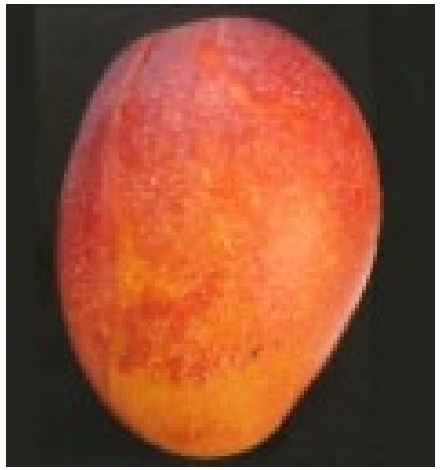
Okino et al., 2021, Food and Bioprocess Technology, 14(4)

事例：マンゴーの産地判別

- 産地によって価格に大きな差

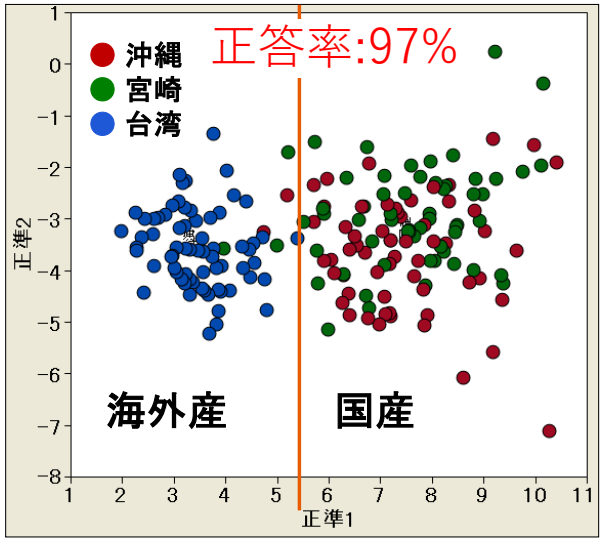
  産地の偽装表示が発生
  （台湾産を沖縄産として表示）
- 果皮の蛍光指紋と産地の関係を求めた

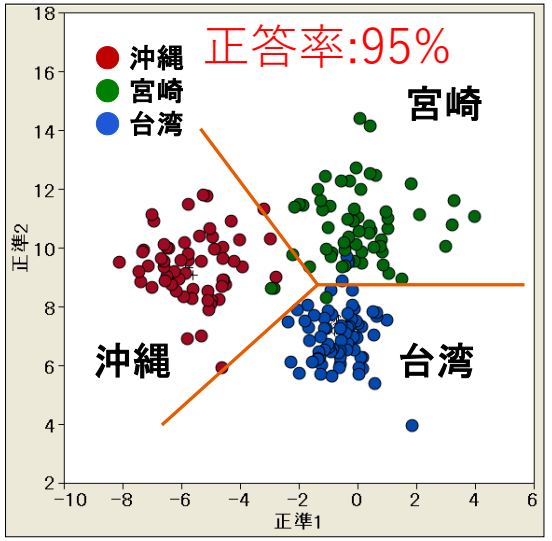
台湾



沖縄

宮崎





- 栽培条件（ハウス・路地）や輸送条件が果皮の蛍光物質に影響？

中村ら 2012, 日本食品科学工学会誌, 59(8)

食品の「美味しさ」は食感にも大きく影響を受ける

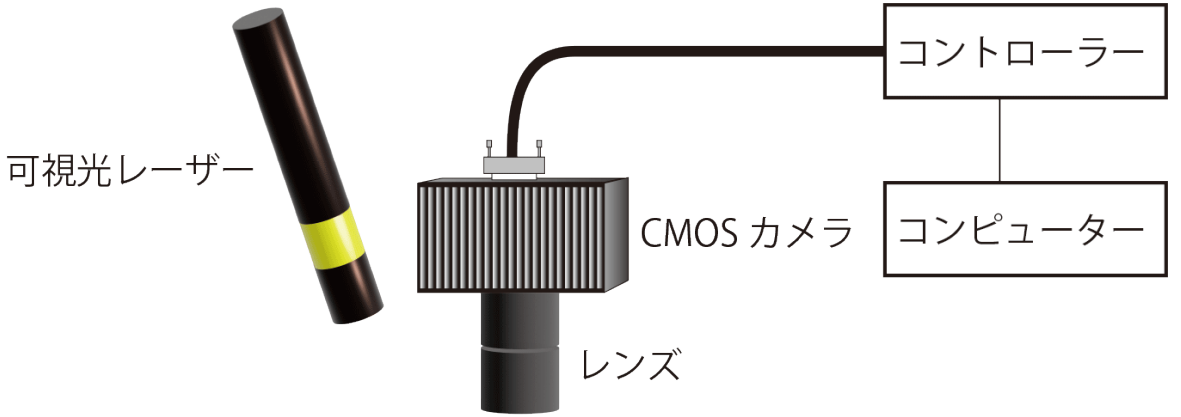
食感を非破壊で計測できないか？

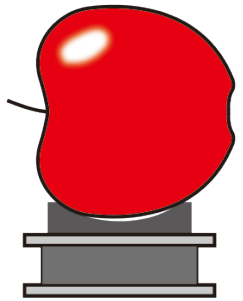
ベルギー
カトリック・ルーベン大学
（2014-2015）

非破壊評価２：レーザー散乱

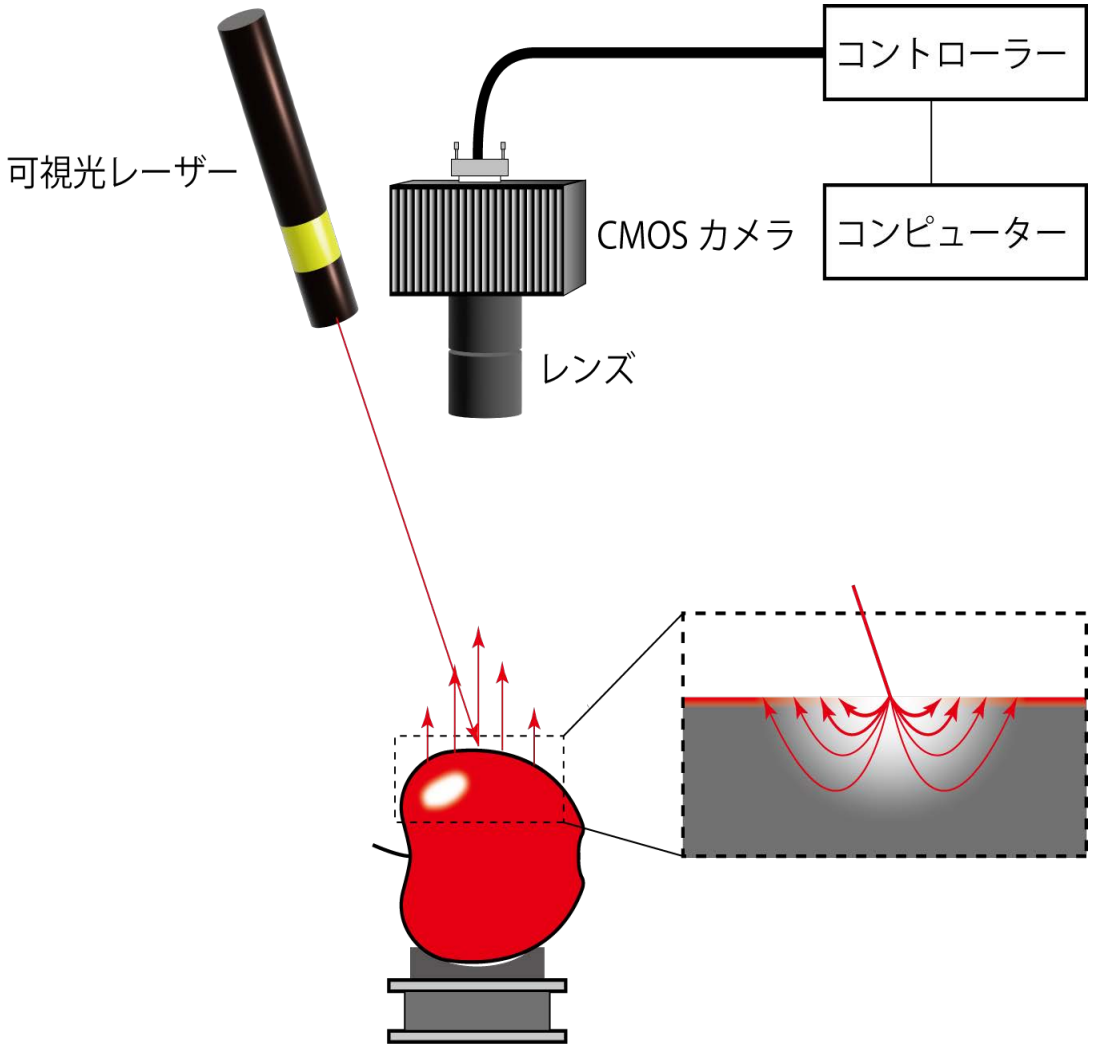
光の散乱（微小な構造による反射と屈折の繰り返し）が微細構造に影響を受けることを利用

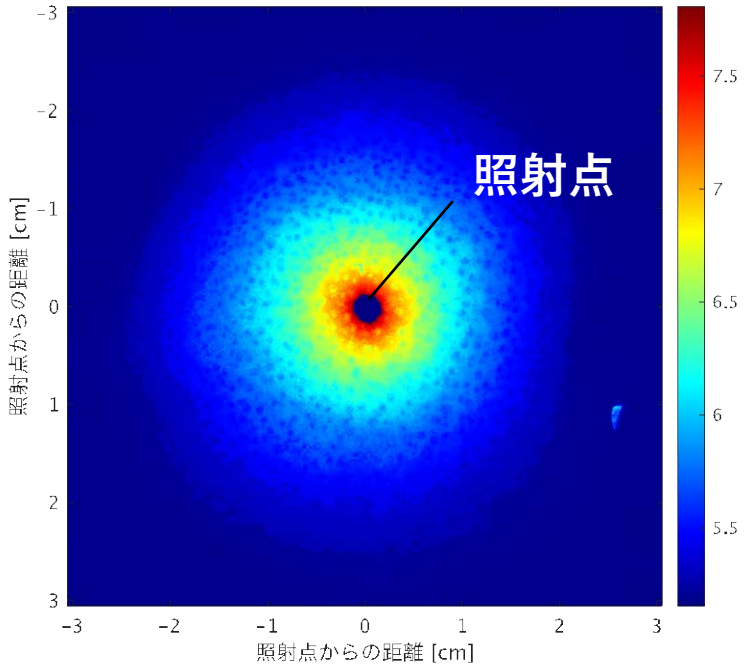
散乱計測によって
試料の微細構造が推定可能





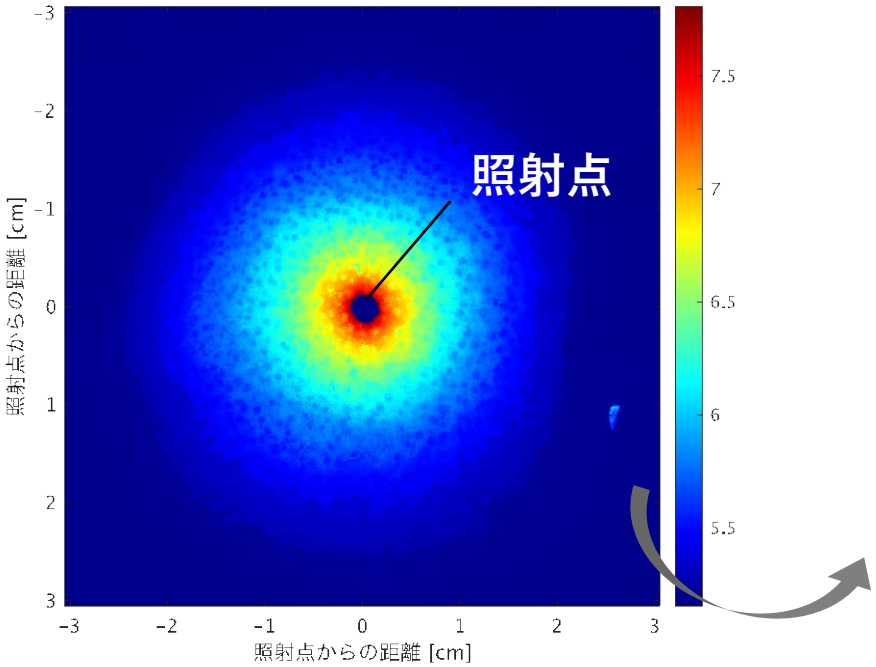
非破壊評価２：レーザー散乱

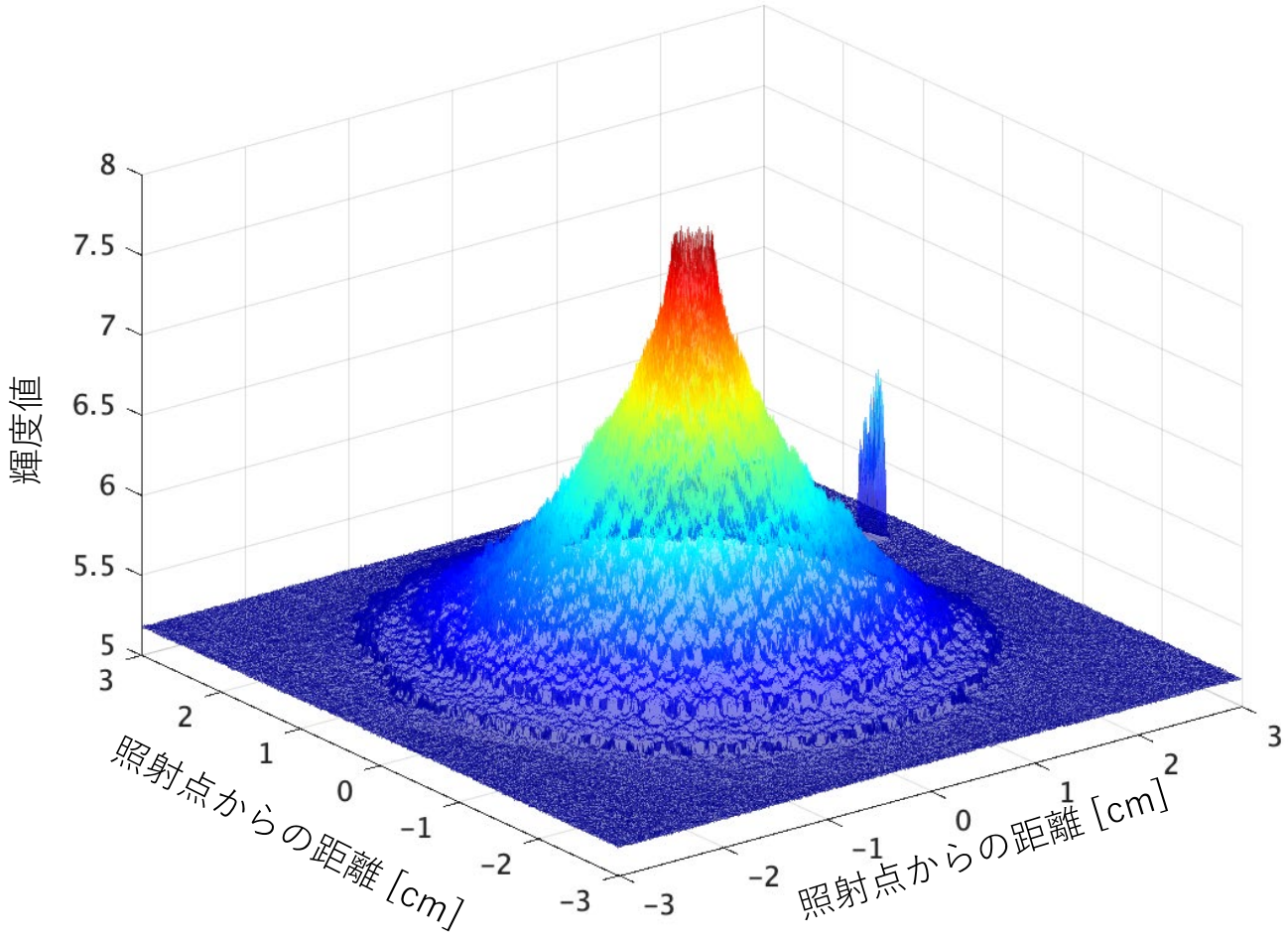




照射点からの光の広がりを定量化

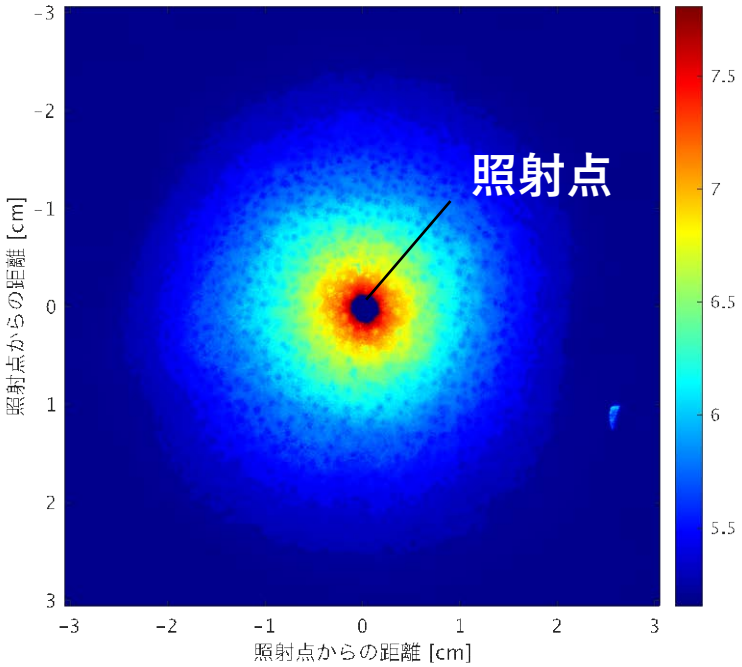
非破壊評価２：レーザー散乱



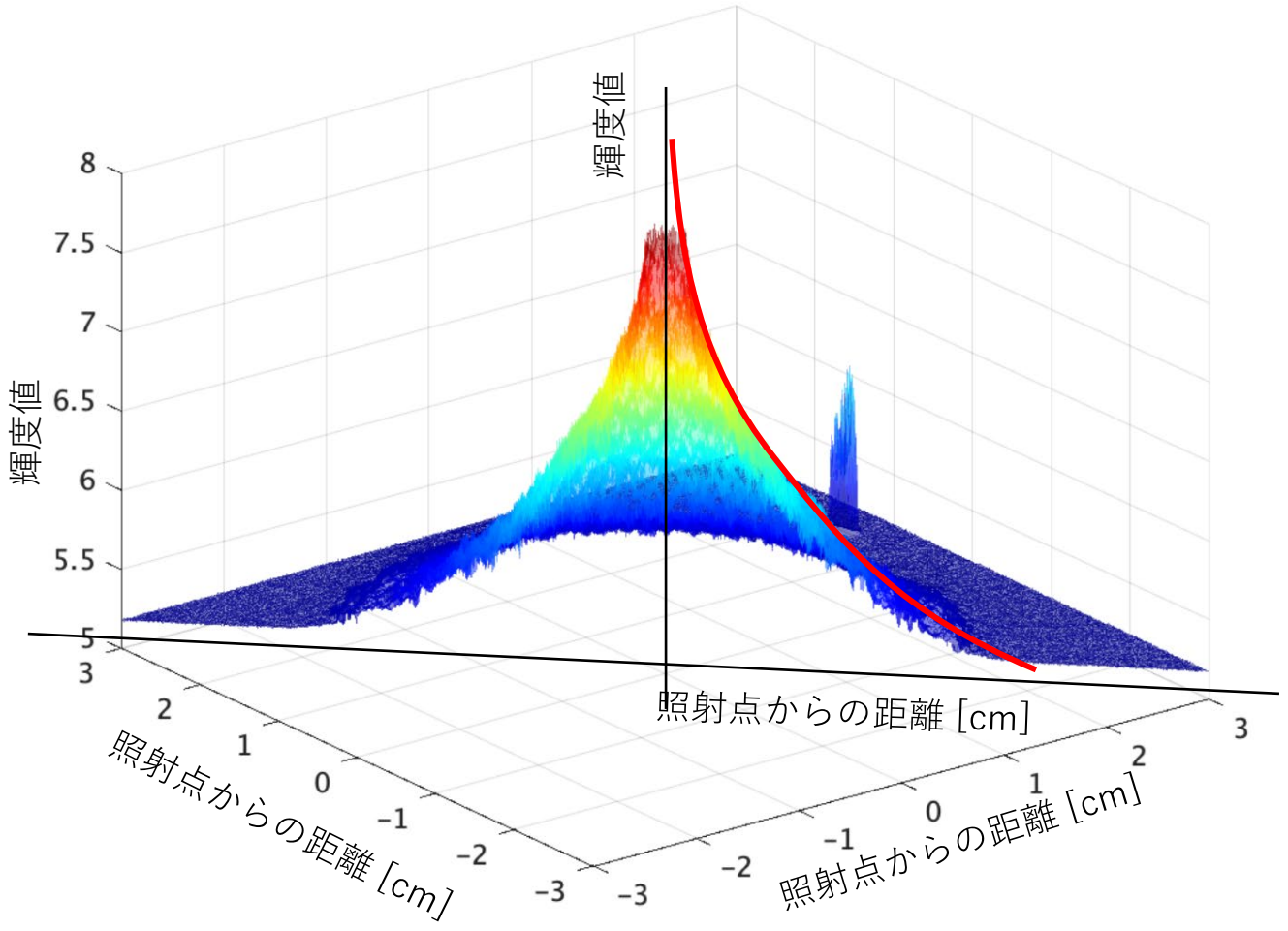


照射点からの光の広がりを定量化

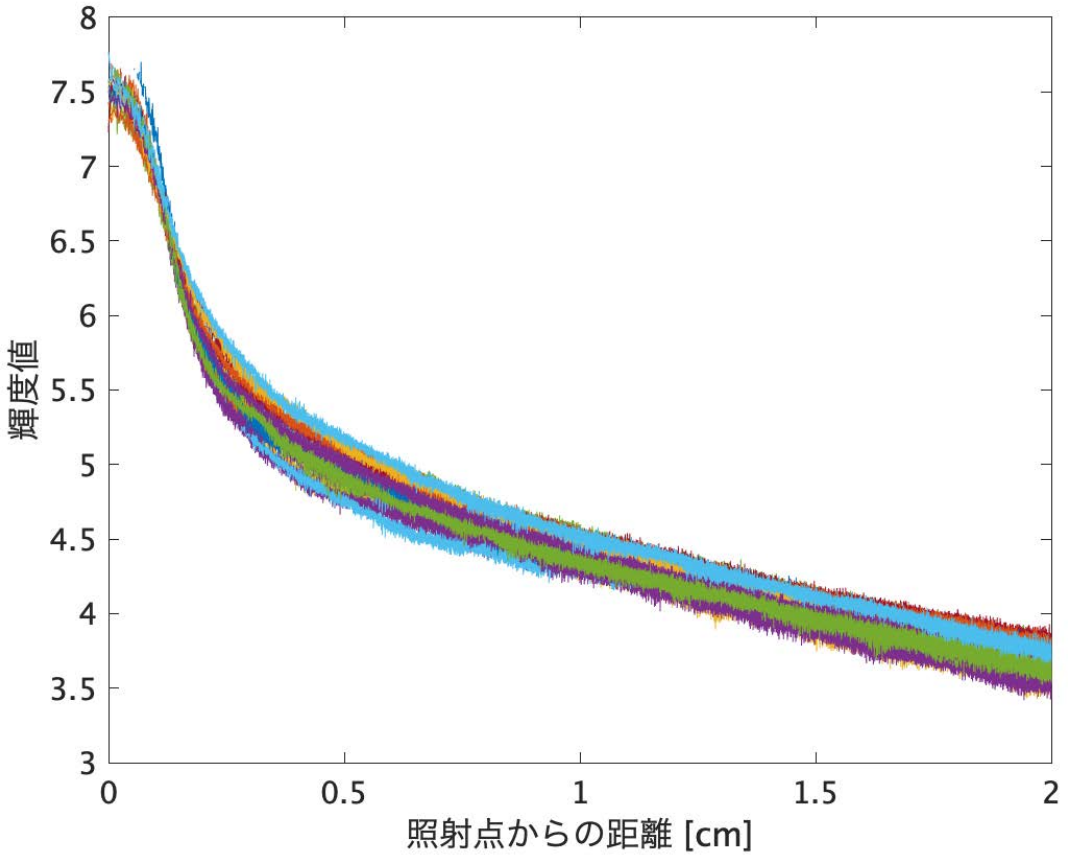
非破壊評価２：レーザー散乱



照射点からの光の広がりを定量化



非破壊評価２：レーザー散乱



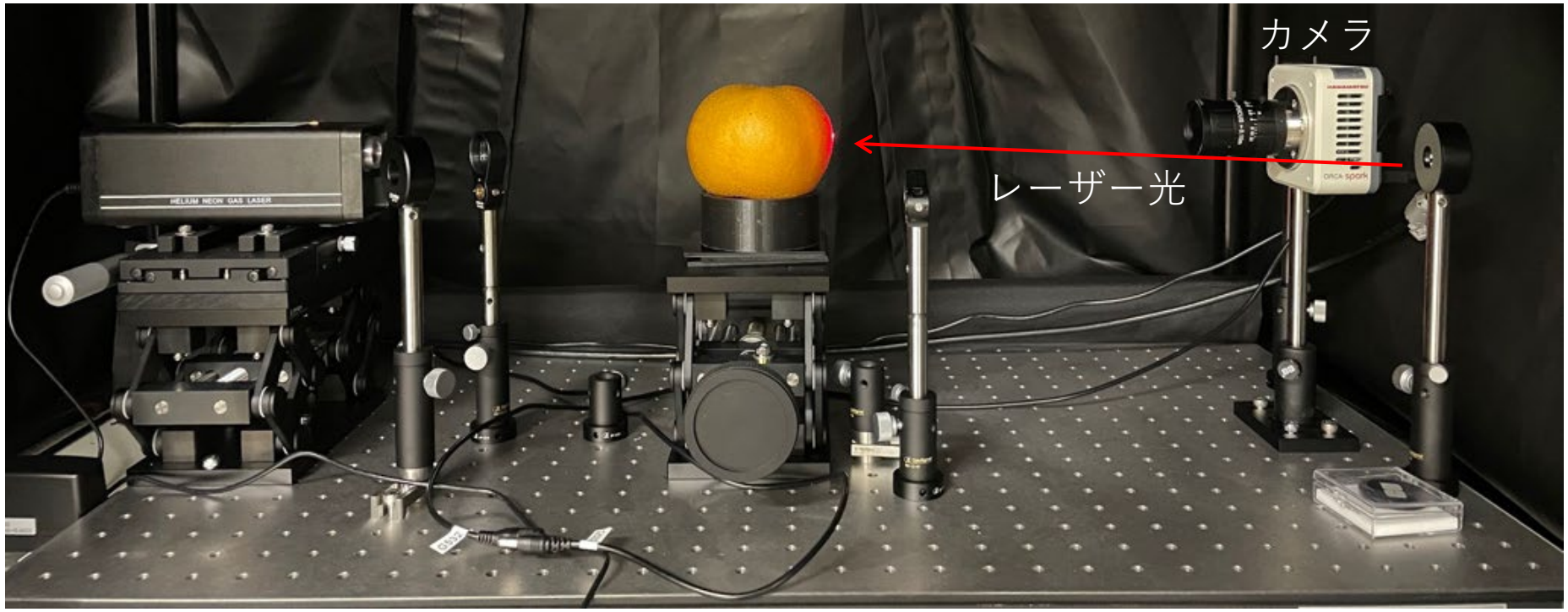
推定したい変数

- 果実の硬さ
- チーズの熟成度合い…

微細構造に関連した指標

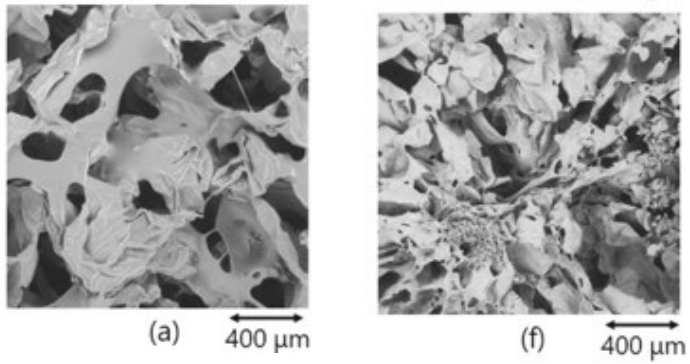
レーザー散乱法の特徴

- 計測は10秒程度
- 非接触での計測が可能
- 光は試料内部まで入るため、内部腐敗等の検出にも使用可



事例：りんごの貯蔵中の硬さ推定

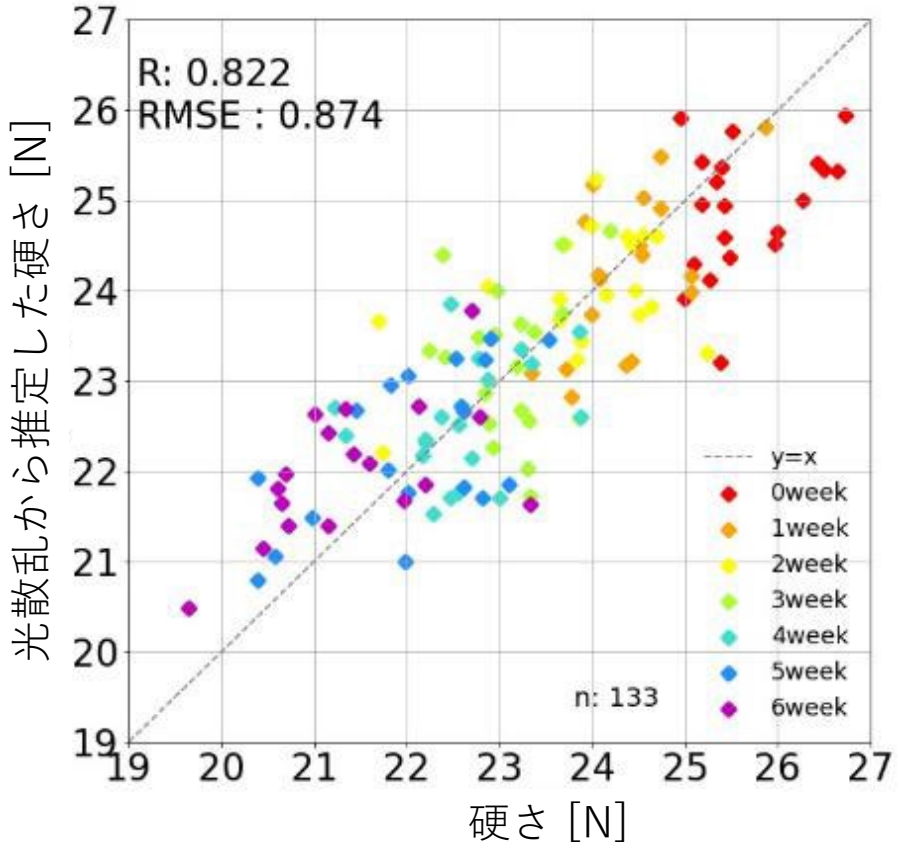
りんごの細胞壁は貯蔵中に徐々に崩壊



20°C貯蔵2週間　　20°C貯蔵7週間

光の散乱度合いが変わる

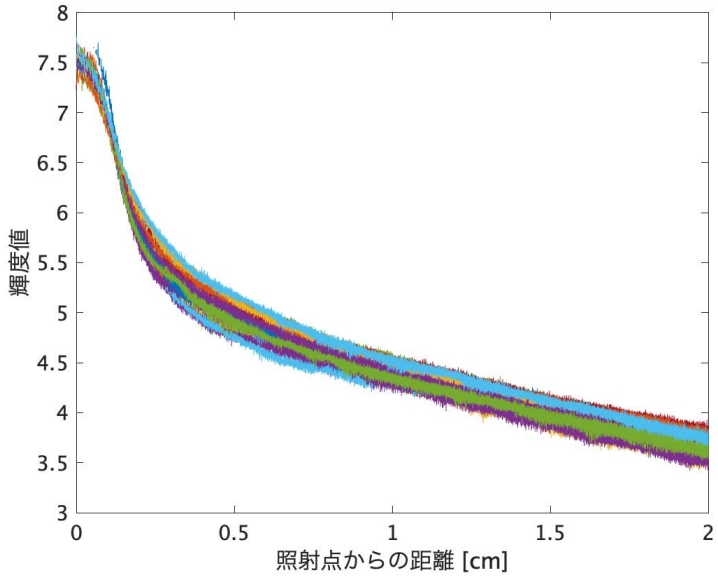
実際の硬さと、光散乱度合いを結びつける



Iida et al., 2022, Eng. Agri. Environ. Food, 15(1)

「美味しさ」に大きな影響を及ぼす「食感」が計測可能

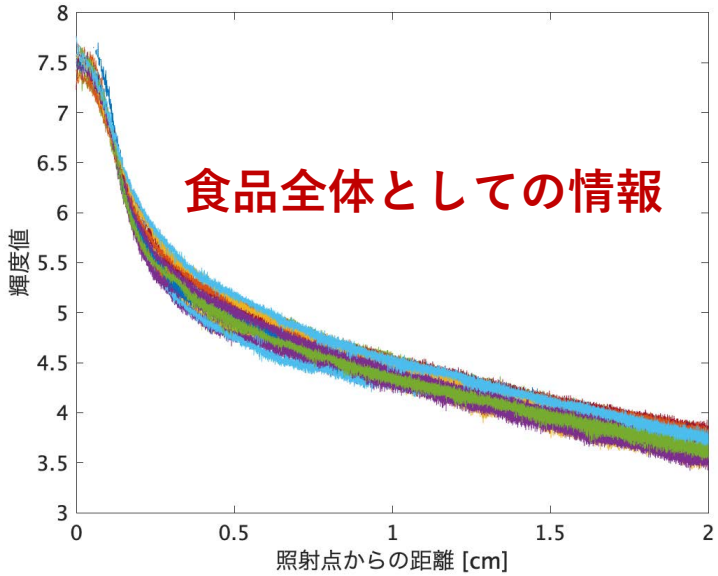
なぜ非破壊評価は
なかなか実用化されないのか？



⇔ 硬さ、ポリフェノール量、産地…

推定したい指標との
相関に基づく推定

なぜ非破壊評価は
なかなか実用化されないのか？

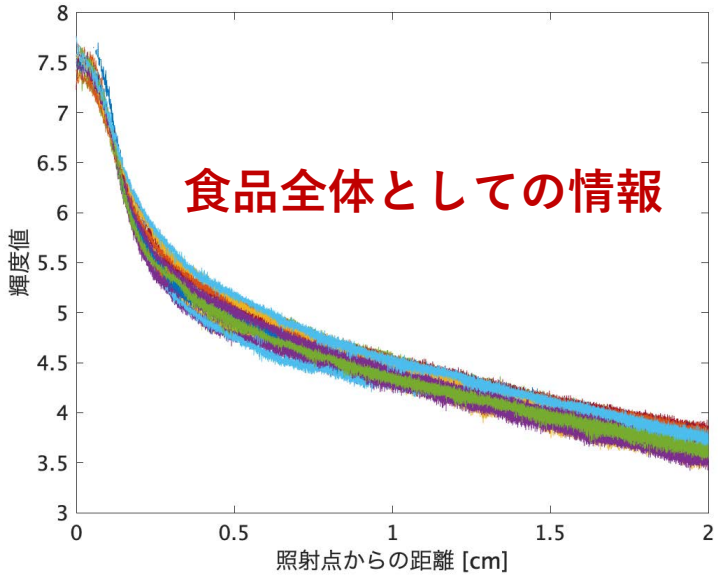


梨の　　リンゴの　　マンゴーの

硬さ、ポリフェノール量、産地…

推定したい指標との
相関に基づく推定

なぜ非破壊評価は
なかなか実用化されないのか？

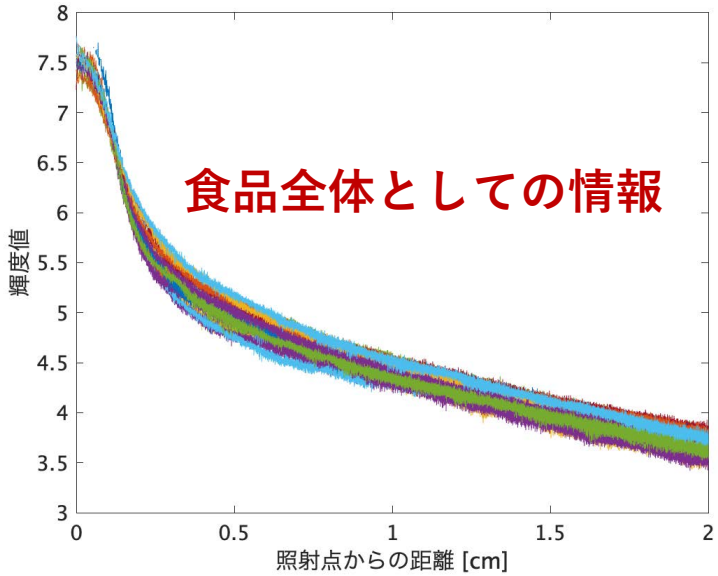


マンゴーの　梨の　リンゴの

硬さ、ポリフェノール量、産地…

推定したい指標との
相関に基づく推定

なぜ非破壊評価は
なかなか実用化されないのか？



非破壊評価でありながら、
成分の分離はできないか？

成分分離の発想：クロマトグラフィー

- クロロフィル、カロテノイドなど、複数の成分を含む葉の抽出物を炭酸カルシウムの粉に入れた
  → 異なる成分が分離

クロマトグラフィーの発見

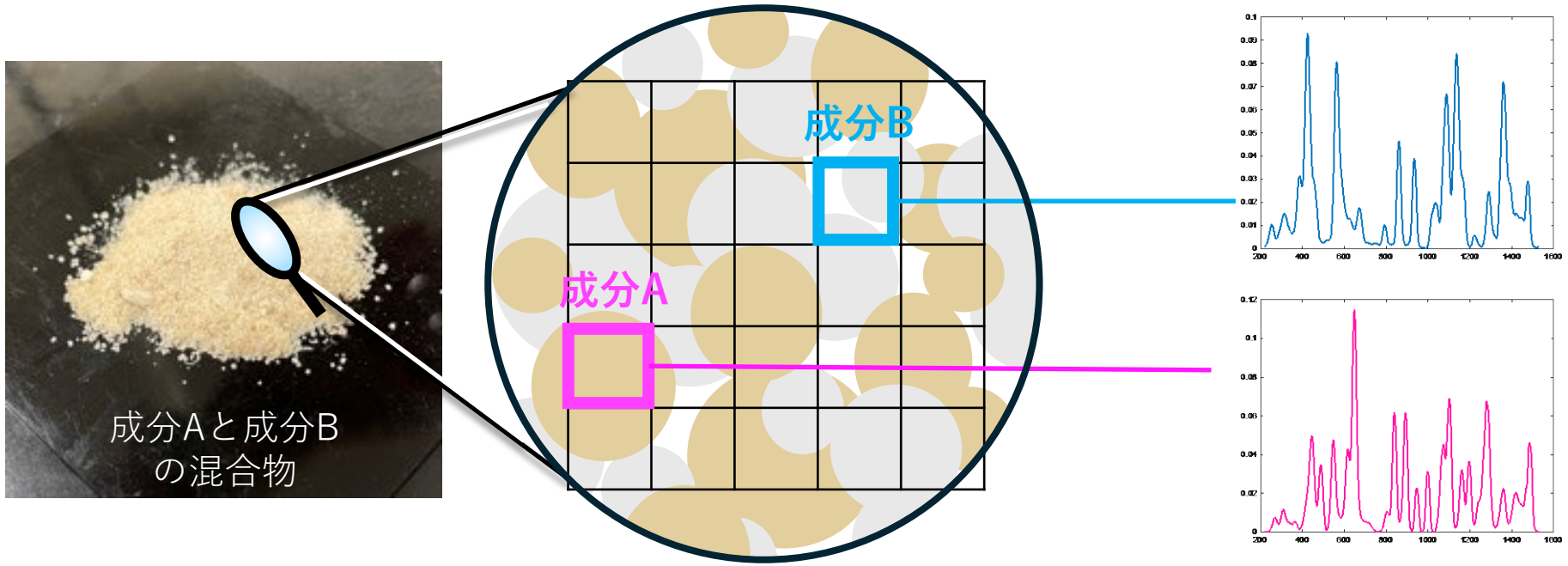
- 現在、クロマトグラフィーの原理を用いた測定は食品成分の標準的測定法

Mikhail Tsvet（1872-1919）と色素の分離

非破壊評価でありながら、成分の分離をする？

画像：Wikipedia より

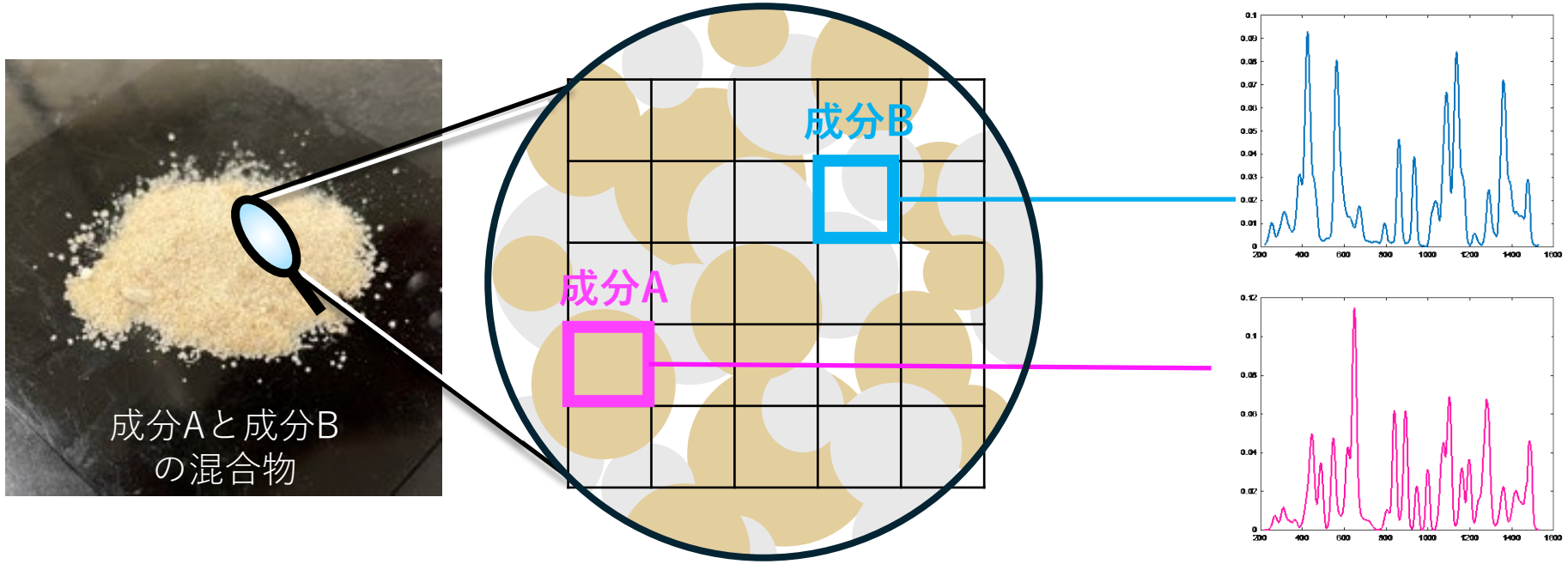
試料を破壊せずに、成分を分離する



- 顕微鏡＋分光器 を使うことで、微小領域を計測
- 微小領域には「純粋な」成分が存在

▶ 成分分離

試料を破壊せずに、成分を分離する



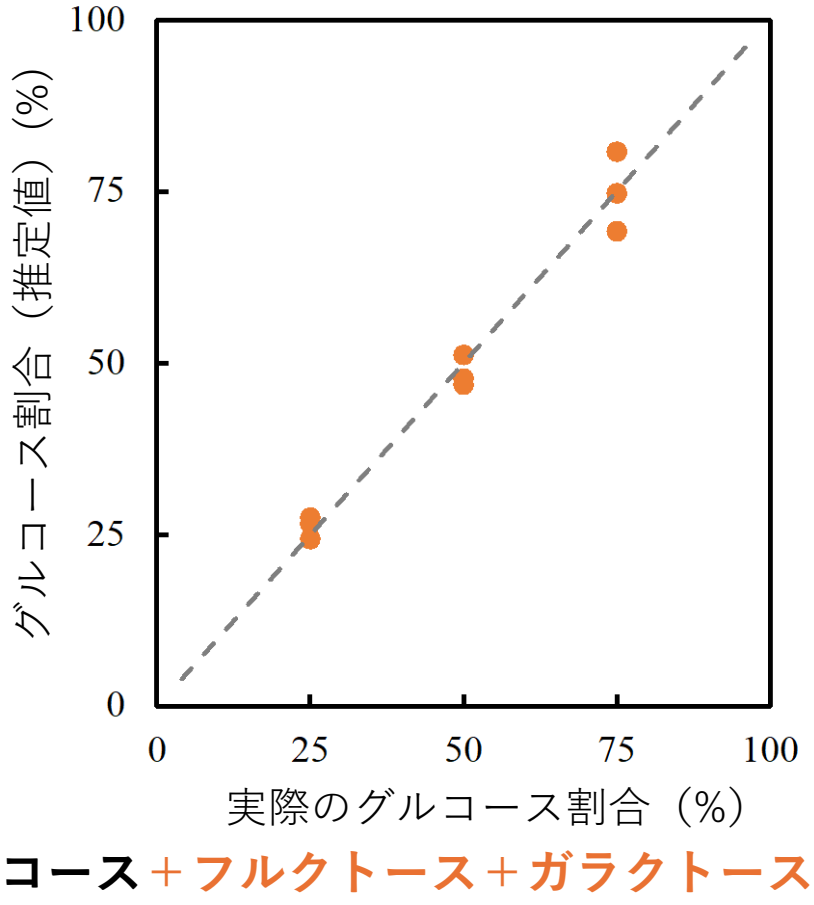
「空間」で成分を分離する：空間的スペクトル分解法

事例：糖類の割合推定（従来法）

グルコース
＋フルクトース
＋ガラクトース
の混合物

学習させる

グルコース割合
の推定



Sano et al., 2024, Food Chemistry, *in press*

事例：糖類の割合推定（従来法）

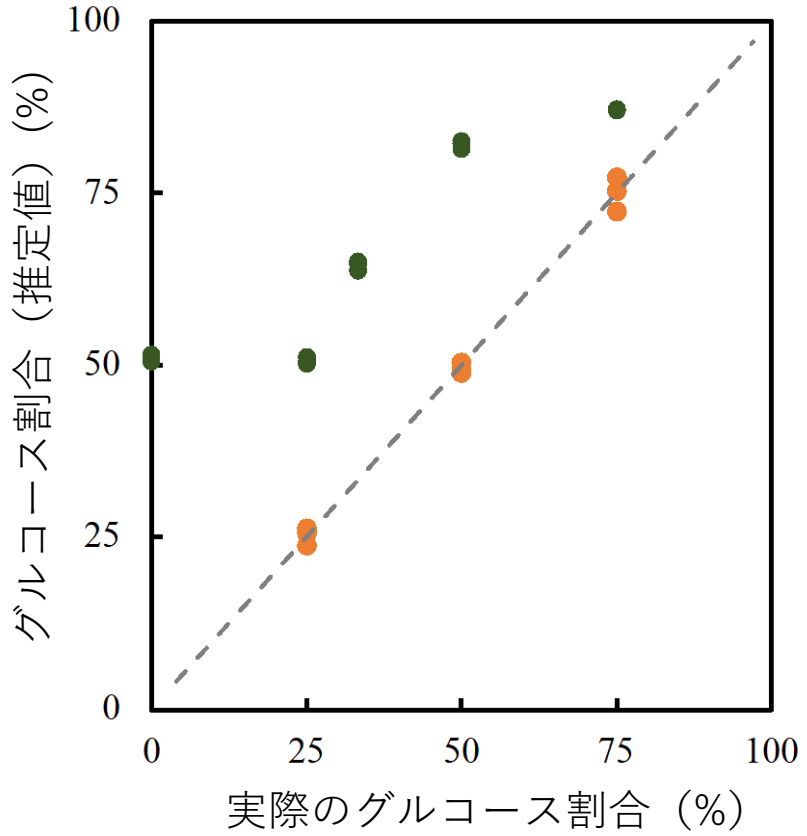
グルコース
＋フルクトース
＋ガラクトース
の混合物

グルコース割合
の推定

試す

グルコース
＋ラクトース
＋炭酸カルシウム

従来の非破壊評価



トース

トース

グルコース＋フルクトース＋ガラクトースで学習した式では、
他の粉と混ざったグルコースの割合推定はできない

事例：糖類の割合推定（空間的スペクトル分解）

グルコース
＋フルクトース
＋ガラクトース
の混合物

分離

グルコース
フルクトース
ガラクトース

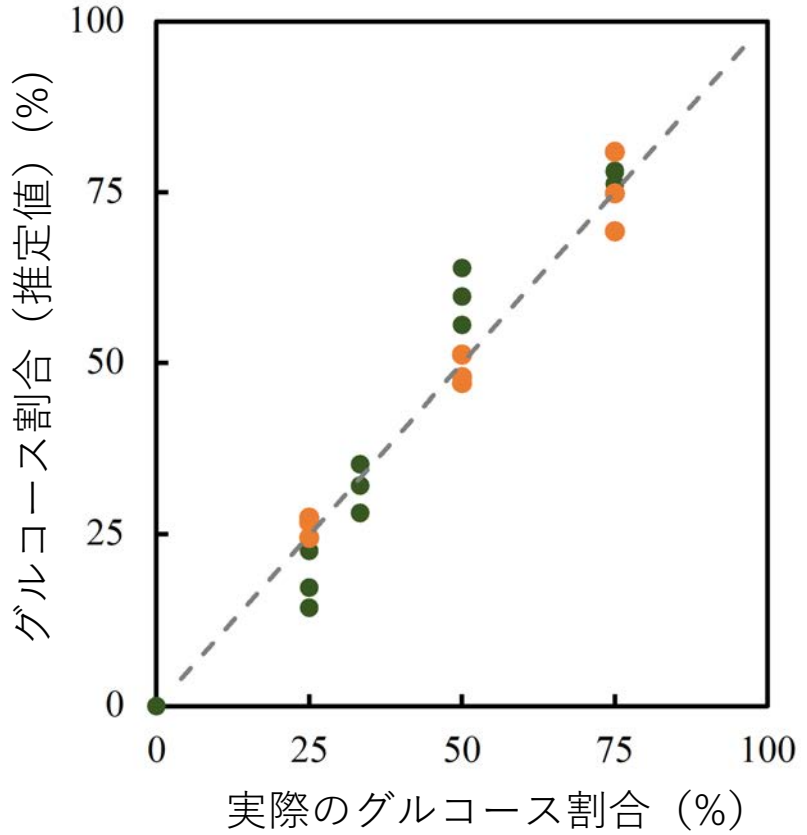
推定式を作る

グルコース
＋ラクトース
＋炭酸カルシウム
の混合物

分離

グルコース
ラクトース
炭酸カルシウム

推定式を試す



● **グルコース＋フルクトース＋ガラクトース**

● **グルコース＋フルクトース＋ガラクトース**

Sano et al., 2024, Food Chemistry, *in press*

空間的スペクトル分解の今後の展開

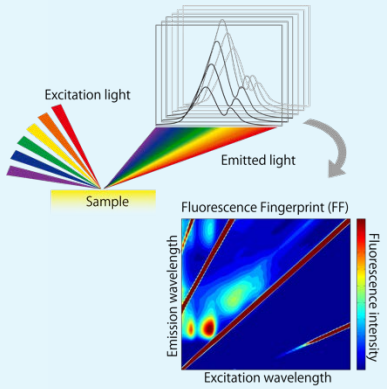
- 現時点では、粉体の混合物や乳濁液など、単純な試料のみ
- 将来的には複雑な食品への展開も行いたい

リモートセンシングなど、
空間×スペクトル のデータを扱う分野の知見

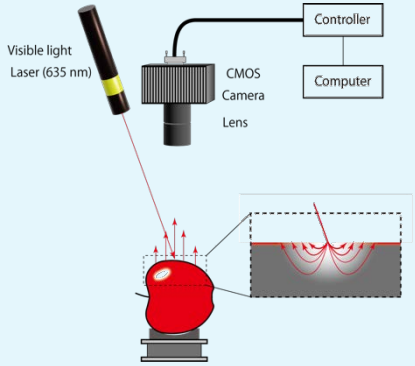
非破壊分析×食品

混合物をそのまま測る ≒「食べる」行為

- 曖昧・複雑な状態や変化をそのまま評価
- 産地、発酵プロセス、鮮度…



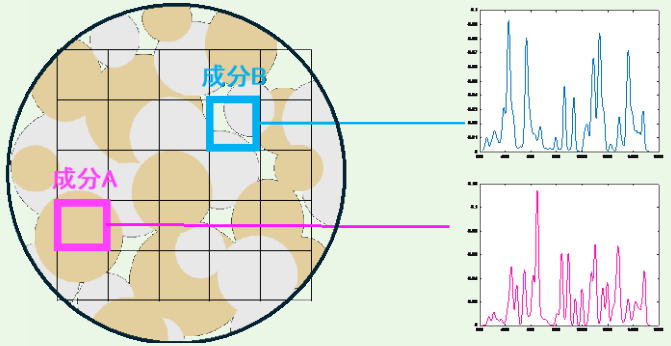
蛍光指紋



レーザー散乱

混合物を分離して測る

- 定量的な値が必要な場面
- 品質評価、食品成分表の策定、規格…



空間的スペクトル分解

さまざまな用途・需要に合わせた非破壊評価法を開発していきたい

謝辞

筑波大学・農産食品加工研究室の仲間、農業・食品産業技術開発機構（農研機構）、
研究に関わってくださった多くの企業…