

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

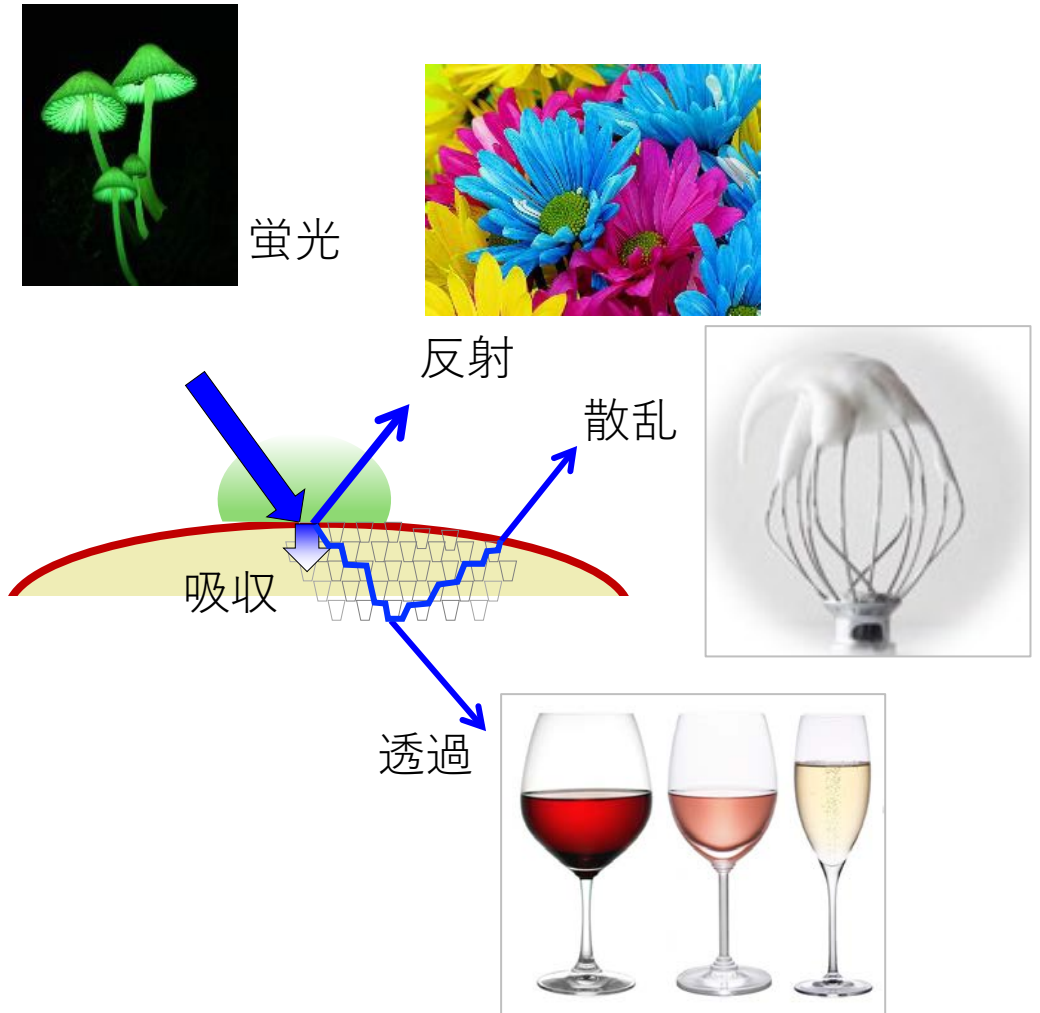
- 光は物質と**相互作用**を起こす

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≡目で見える行為

(基本的に) **非破壊的**
計測後の食品は食べられる



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≡目で見える行為



(基本的に) **非破壊的**
計測後の食品は食べられる

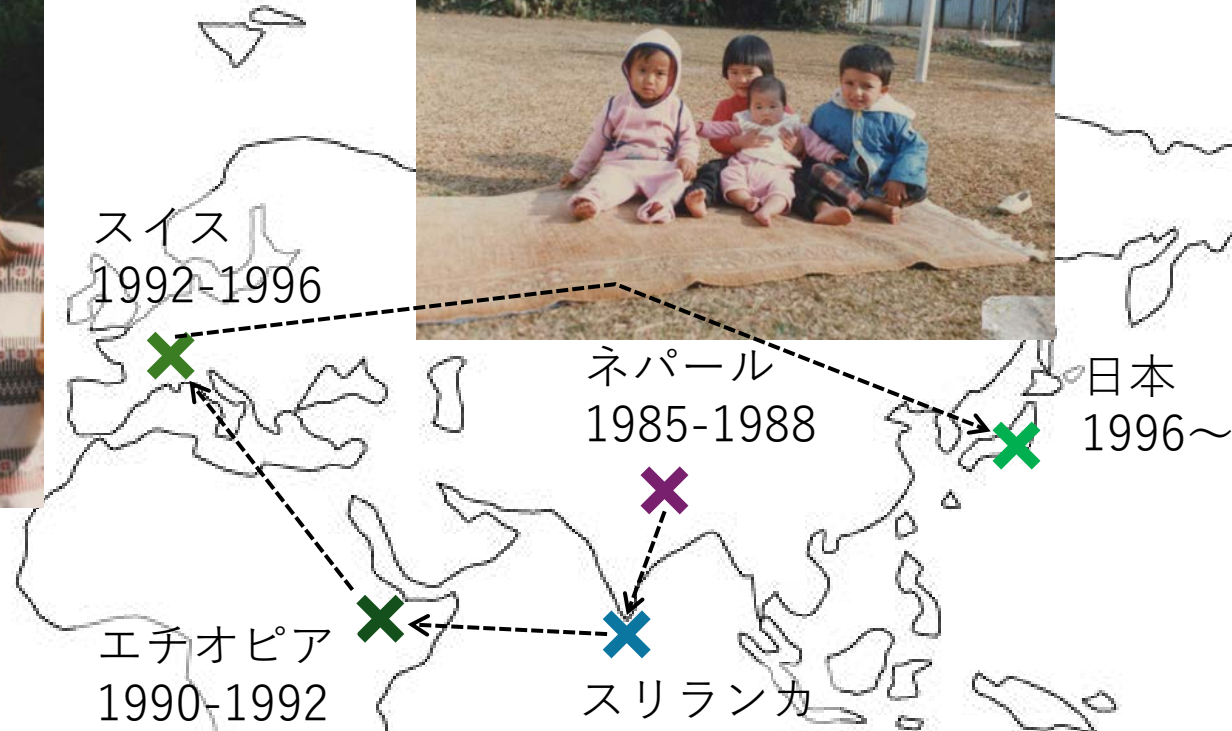


糖度よりも複雑な成分・構造を測れないか？

メロンの糖度測定

茨城県ポータルサイト

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
キューピーマヨネーズ、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??
→農学部へ転学
- 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



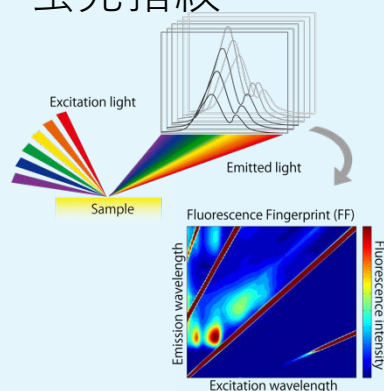
工学的視点で食品に関わる

研究全般：食品の計測と加工

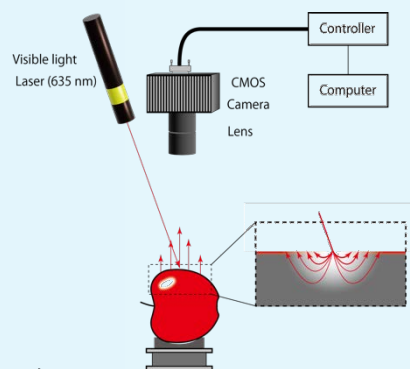
非破壊評価：

新しい**計測手法開発**のためには**既知の試料**が必要

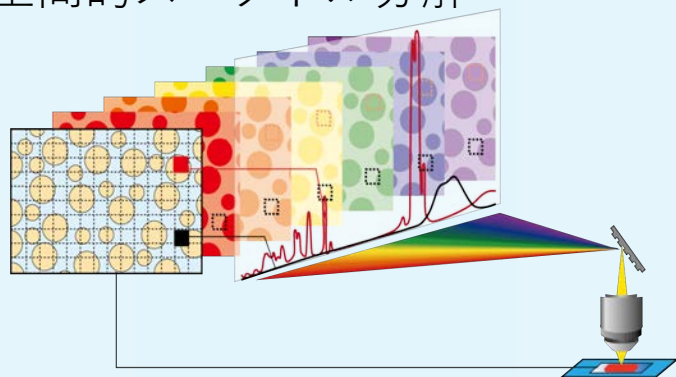
蛍光指紋



レーザー散乱



空間的スペクトル分解

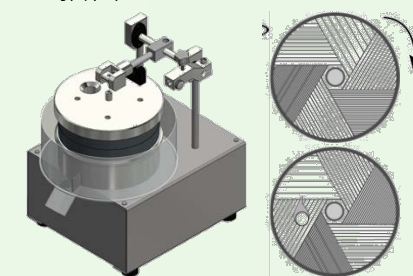


食品加工：

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

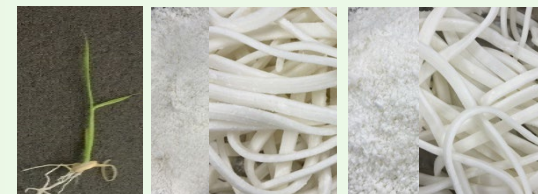
湿式微粉碎

溶媒を加えて植物体を粉碎することで、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sprout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

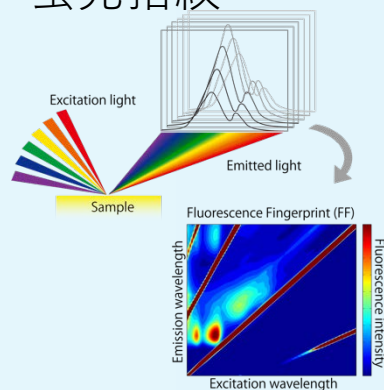


研究全般：食品の計測と加工

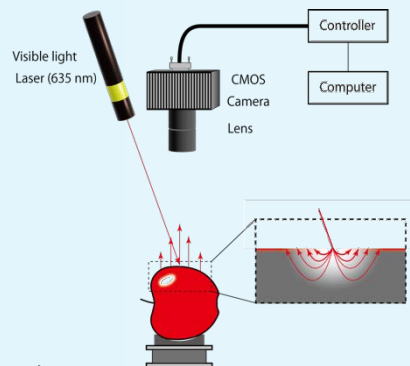
非破壊評価：

新しい**計測手法開発**のためには**既知の試料**が必要

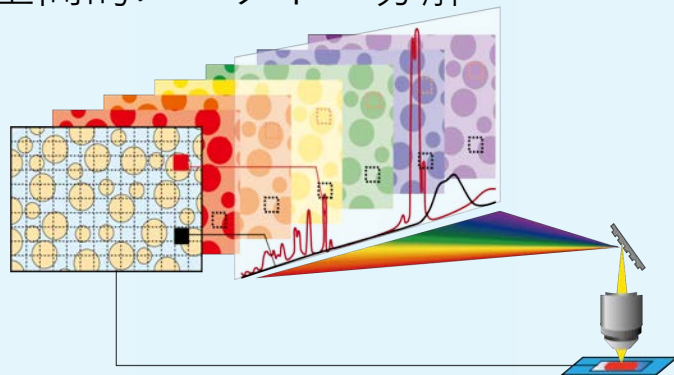
蛍光指紋



レーザー散乱



空間的スペクトル分解

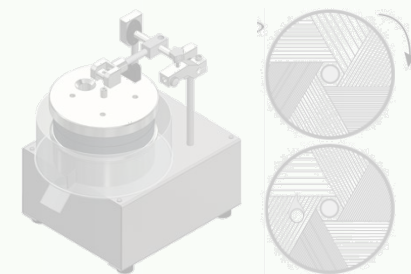


食品加工：

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

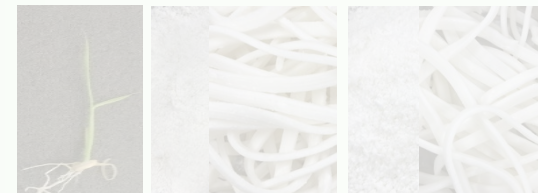
湿式微粉碎

溶媒を加えて植物体を粉碎することで、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sprout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？

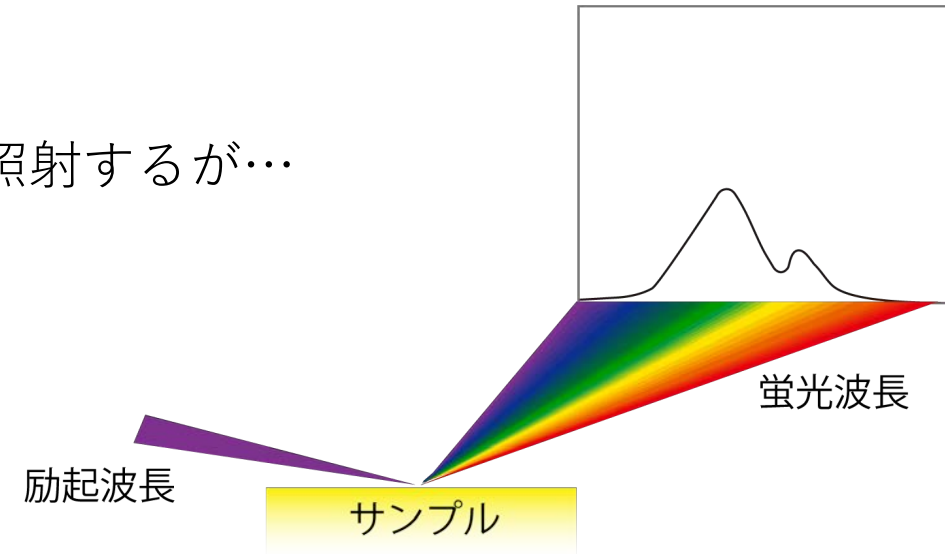
食品の非破壊評価：利点

- 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
 - サンプルングが必要（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

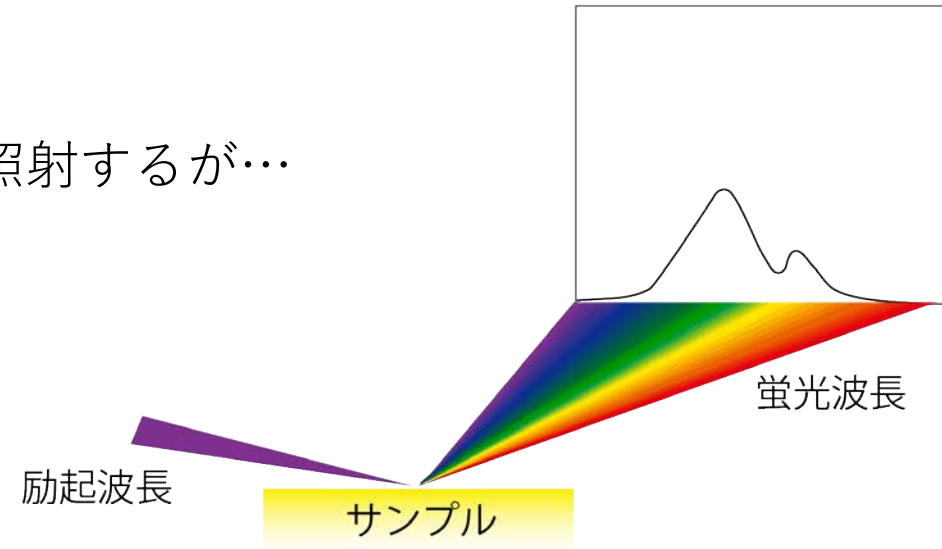
- 食品に含まれる蛍光成分*を計測
- 通常の蛍光測定では、単一波長の励起光を照射するが…



* 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

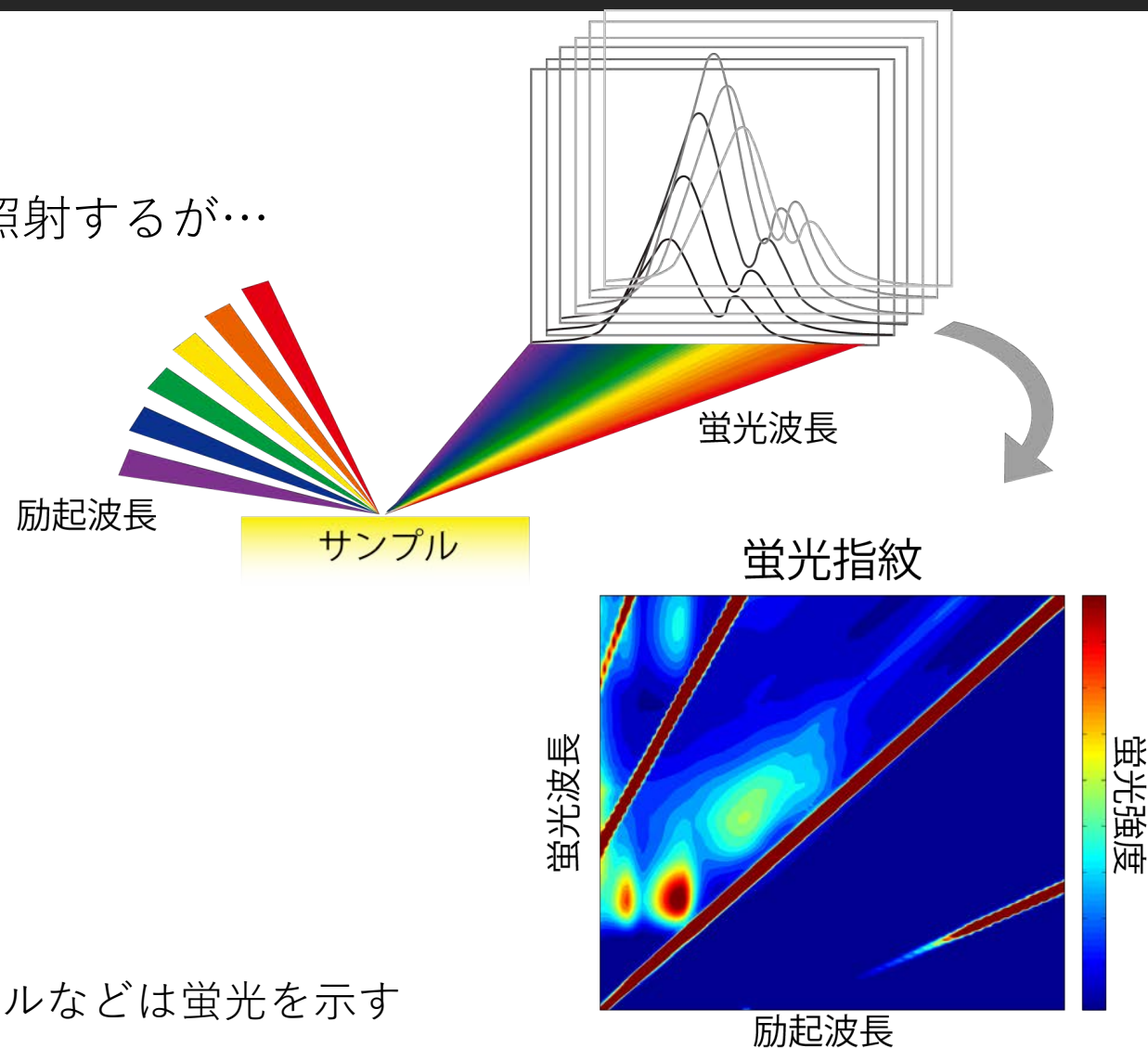


* ポリフェノール類、一部のアミノ酸、クロロフィルなどは蛍光を示す

非破壊評価 1：蛍光指紋

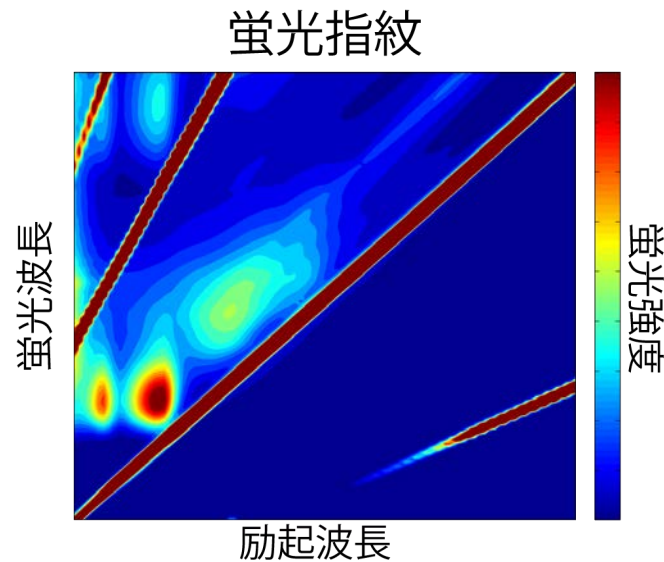
- 食品に含まれる蛍光成分*を計測
- 通常の蛍光測定では、単一波長の励起光を照射するが…
蛍光指紋では複数の励起波長を照射

食品に含まれる成分を
網羅的に計測



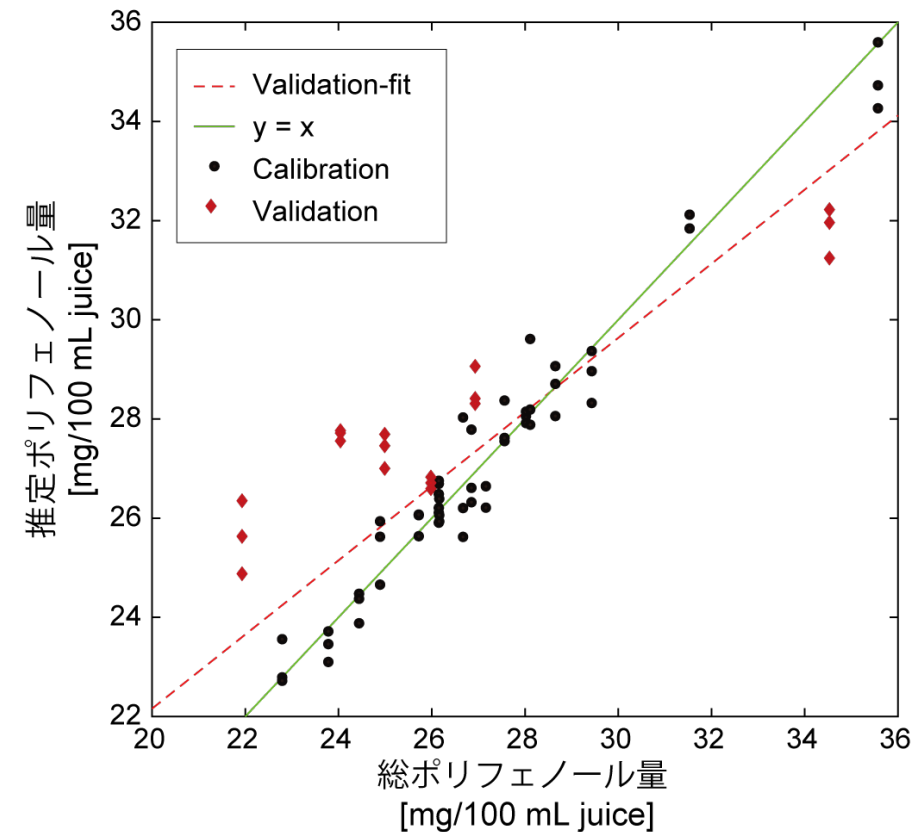
* ポリフェノール類、一部のアミノ酸、クロロフィルなどは蛍光を示す

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



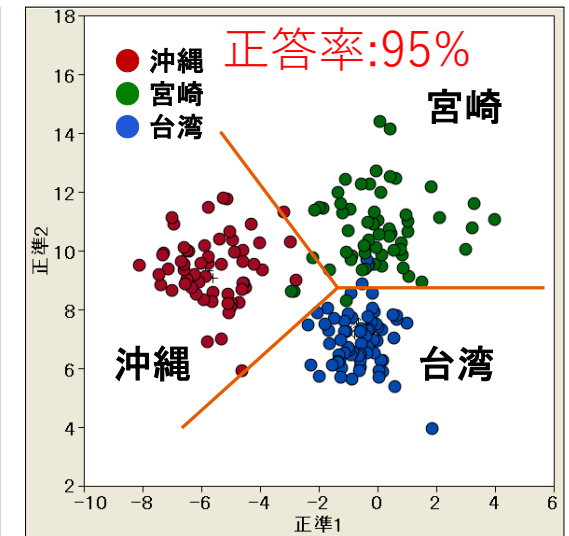
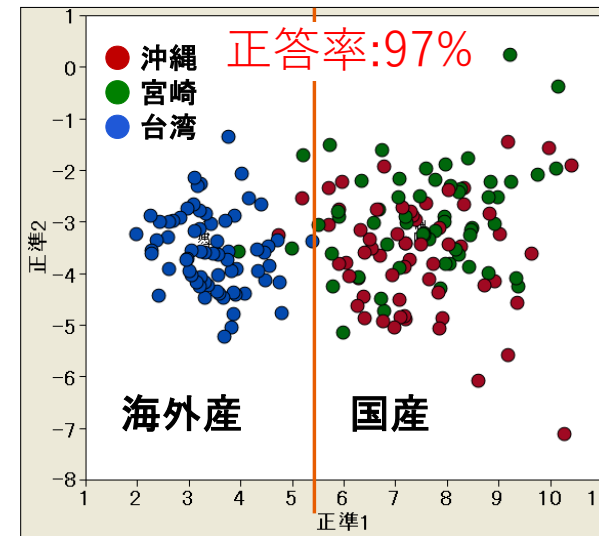
台湾

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)

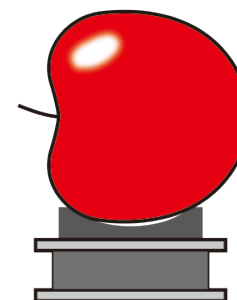
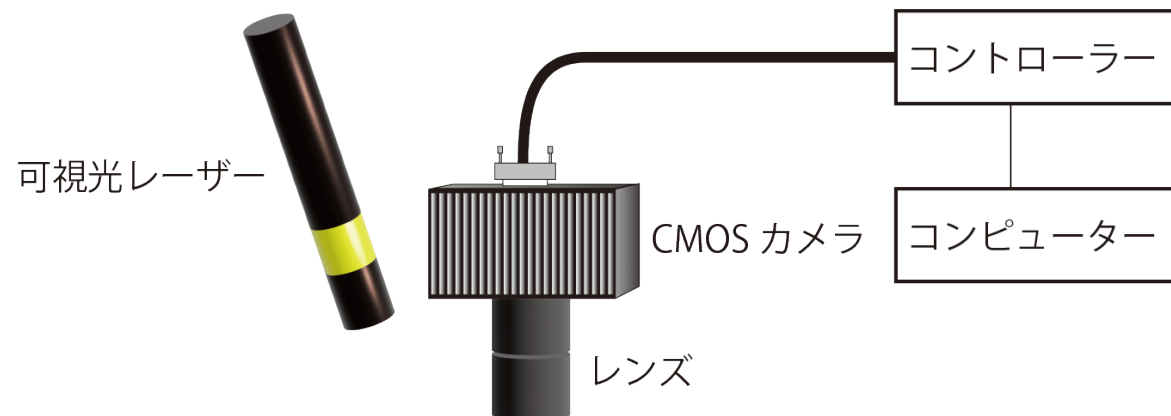


非破壊評価 2 : レーザー散乱

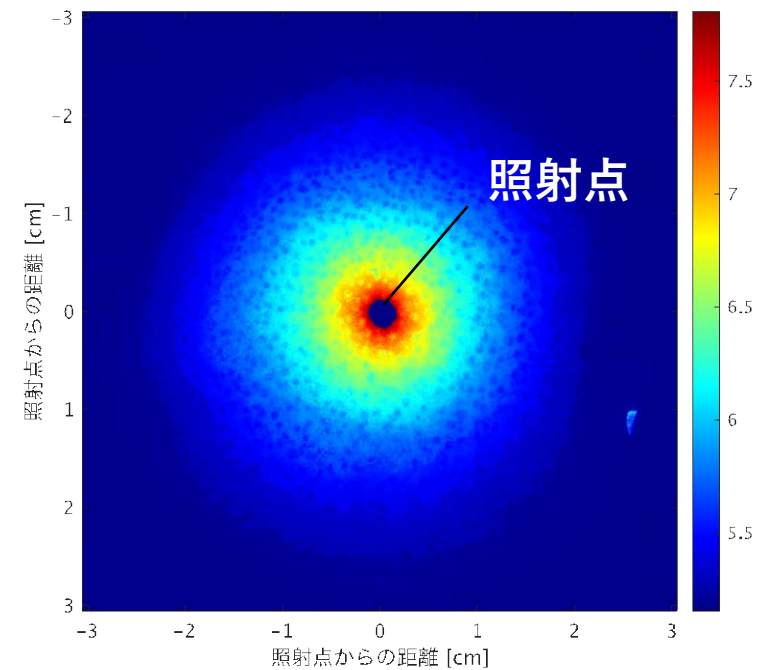
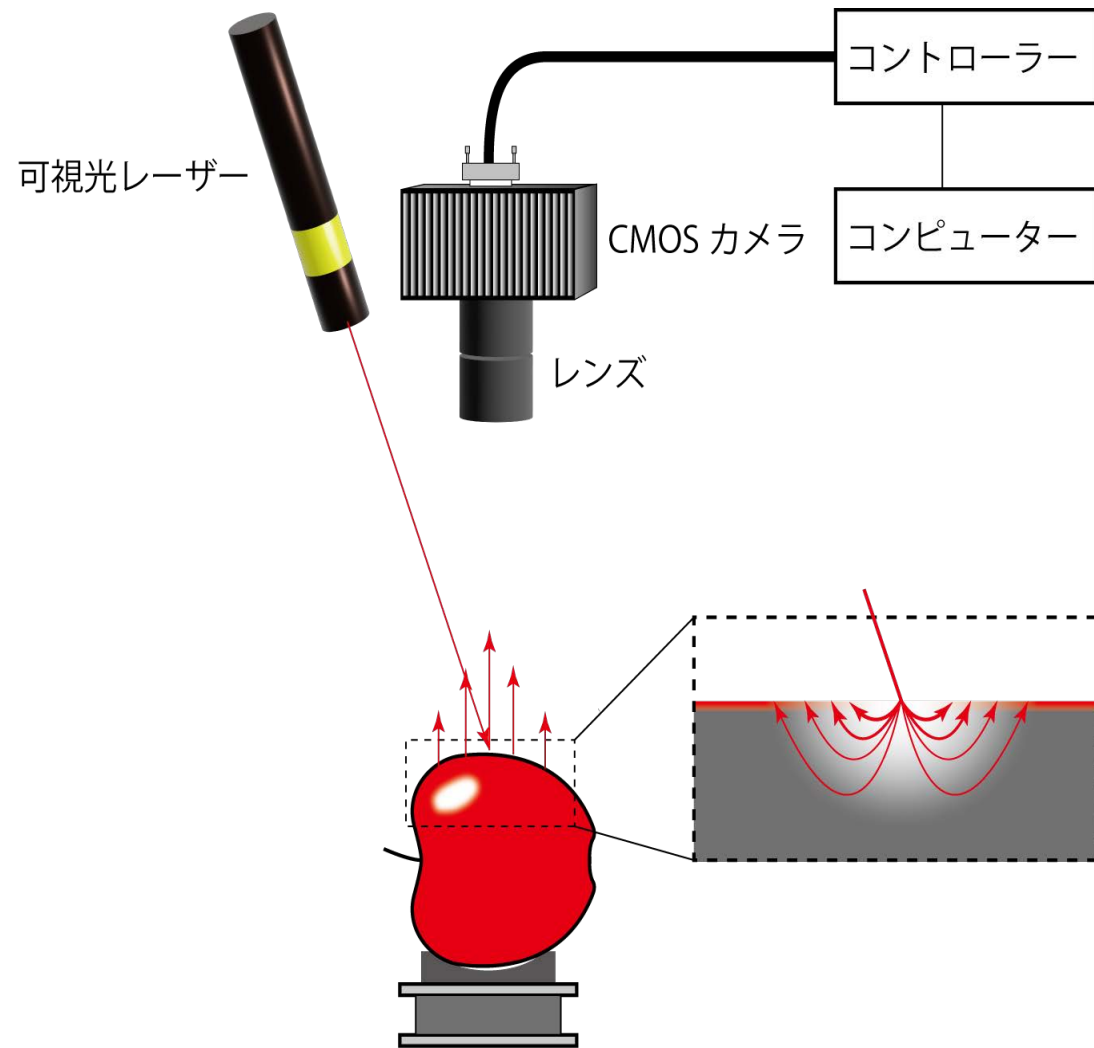
光の散乱（微小な構造による反射と屈折の繰り返し）が微細構造に影響を受けることを利用



散乱計測によって
試料の微細構造が推定可能

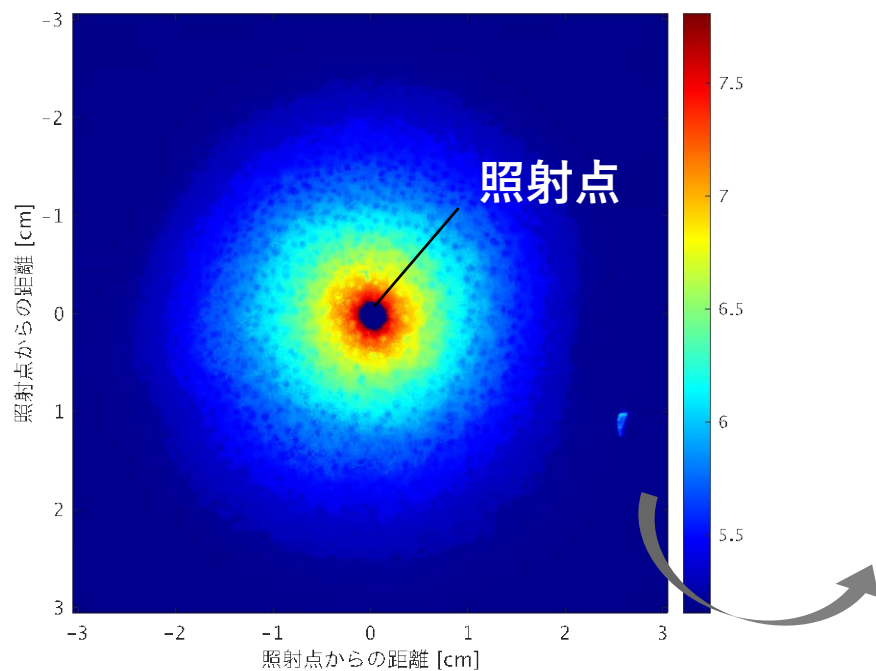


非破壊評価 2 : レーザー散乱

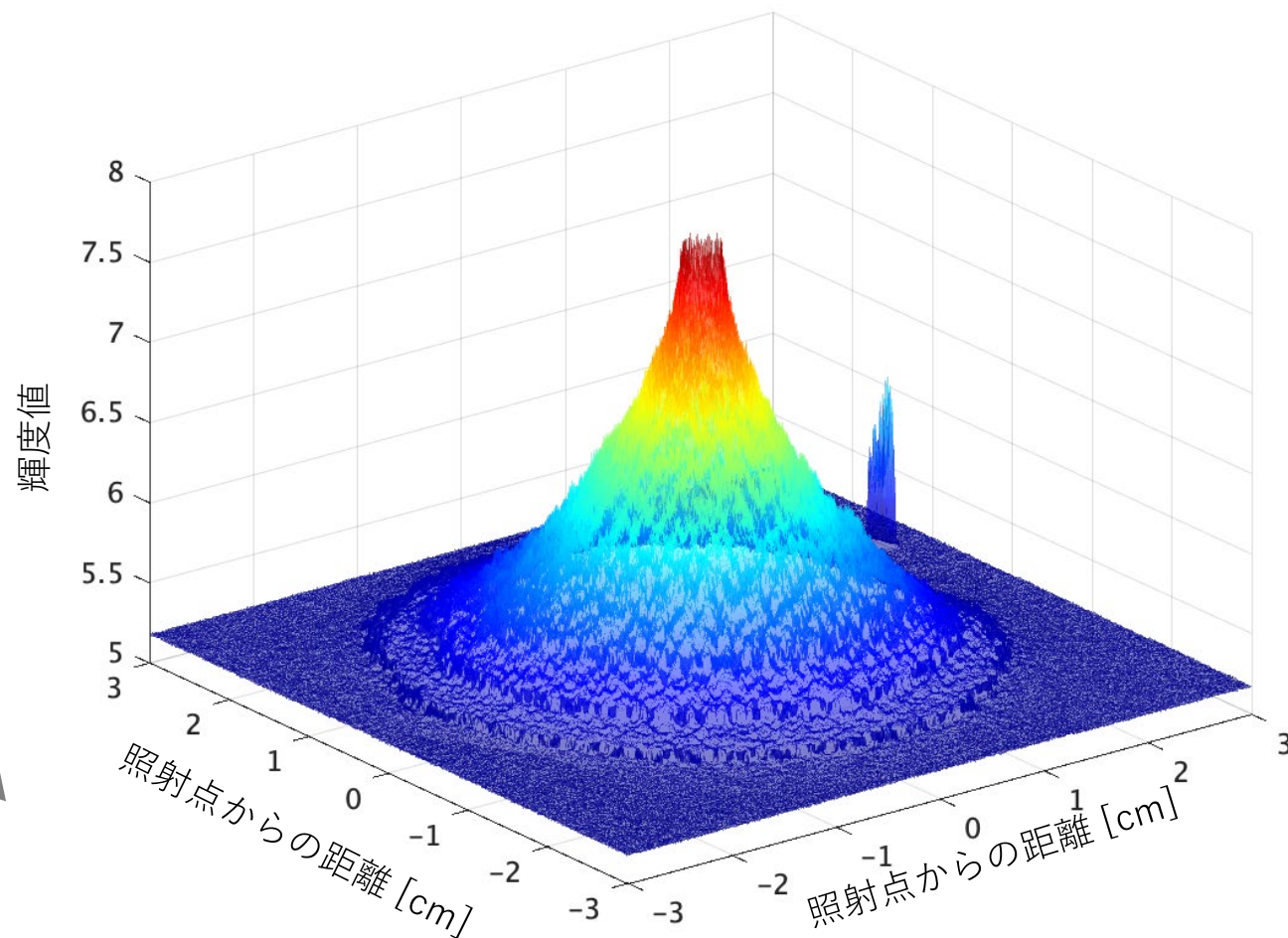


照射点からの光の広がりを定量化

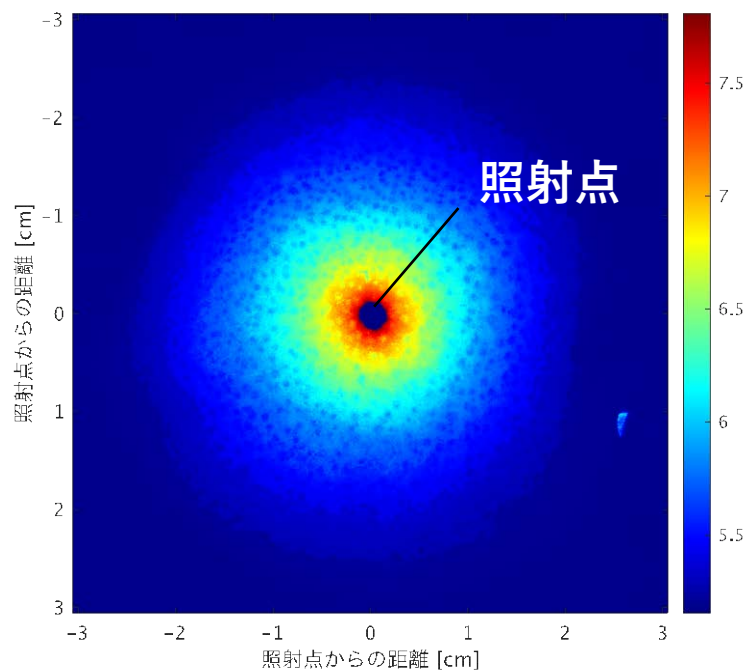
非破壊評価 2 : レーザー散乱



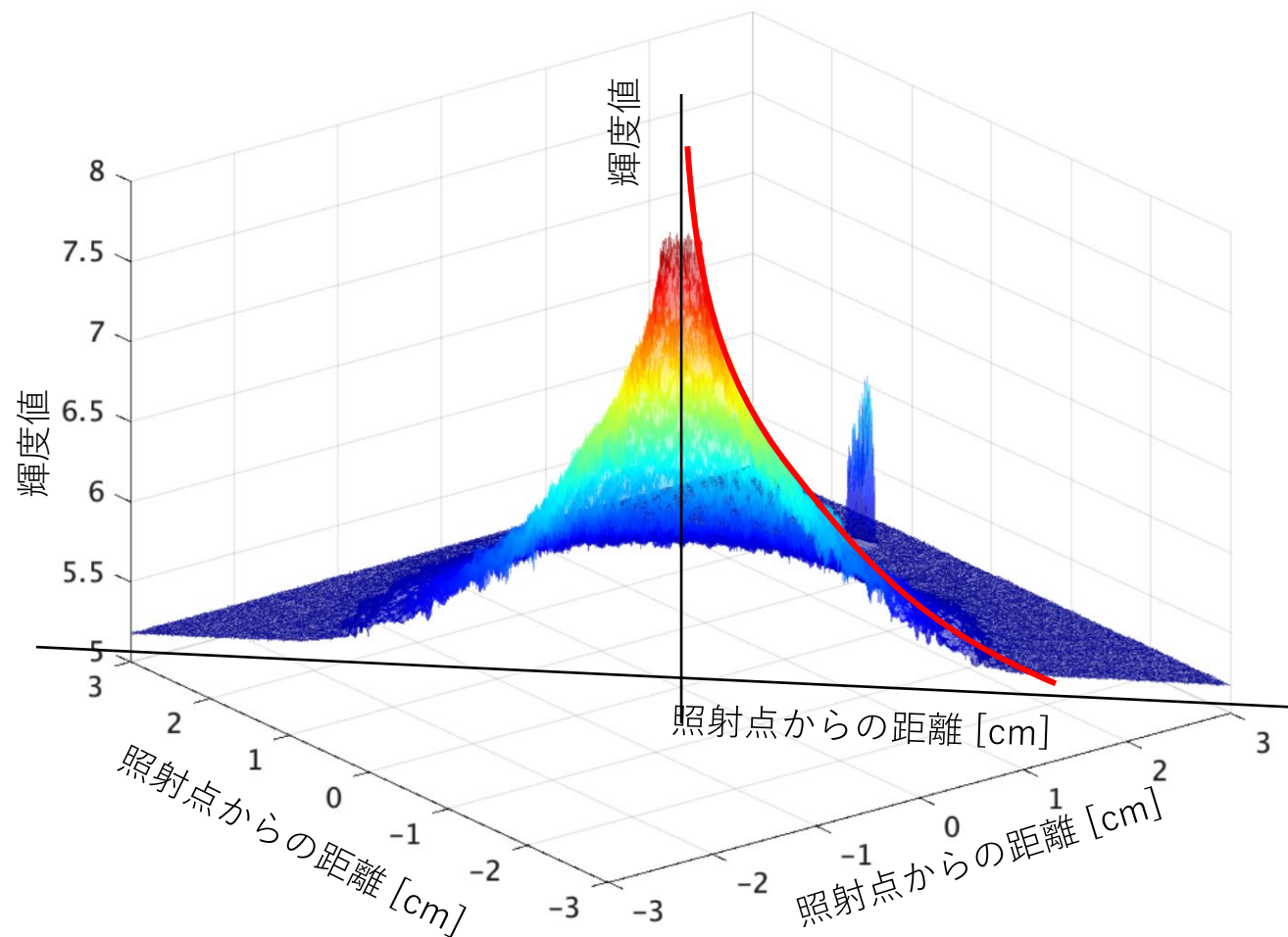
照射点からの光の広がりを定量化



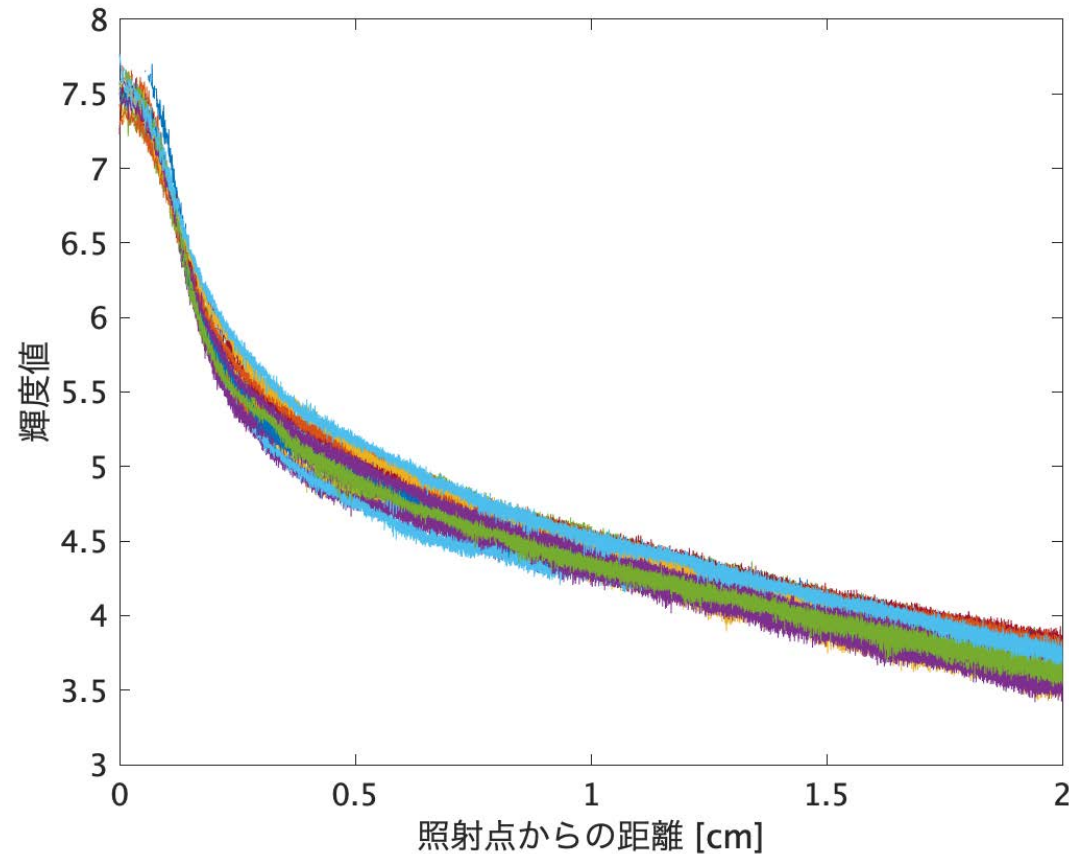
非破壊評価 2 : レーザー散乱



照射点からの光の広がりを定量化



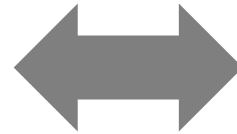
非破壊評価 2 : レーザー散乱



推定したい変数

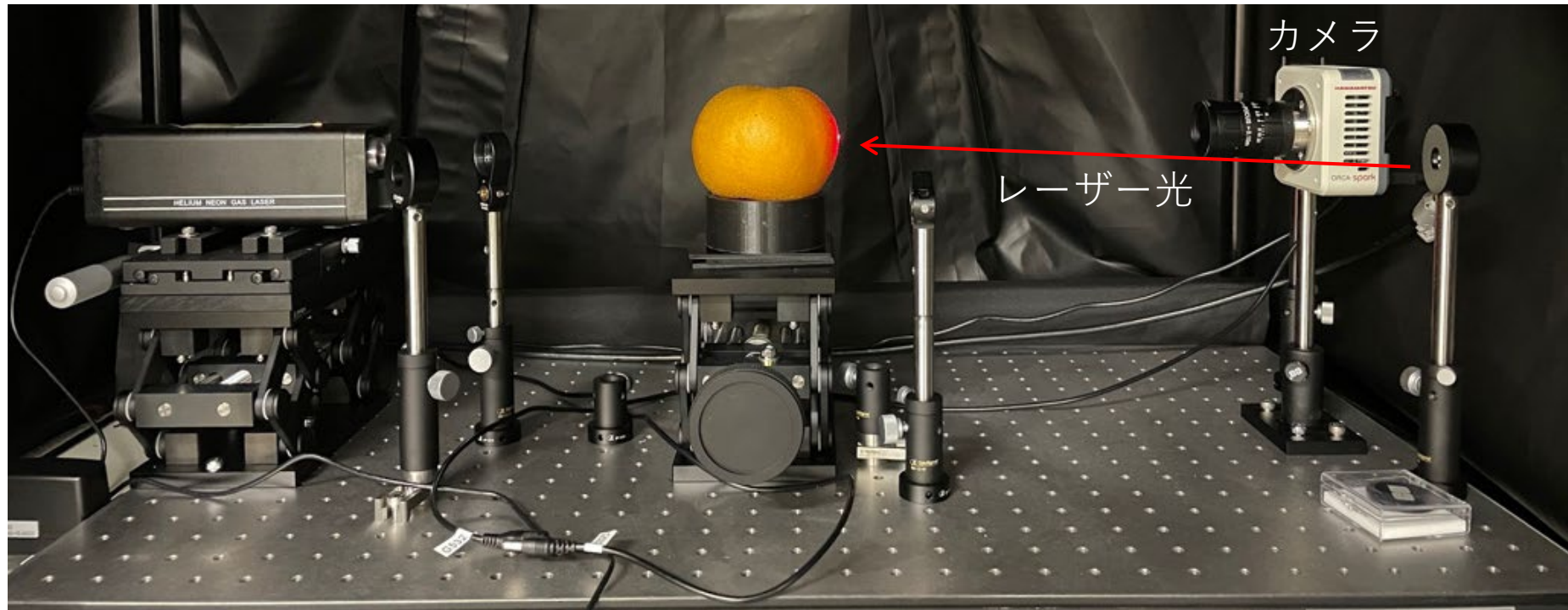
- 果実の硬さ
- チーズの熟成度合い...

微細構造に関連した指標



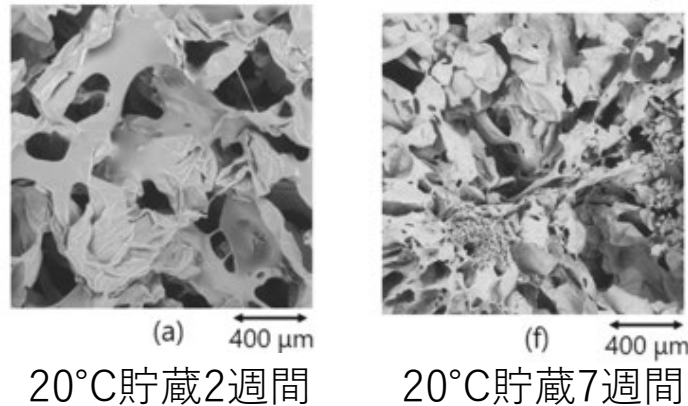
レーザー散乱法の特徴

- 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

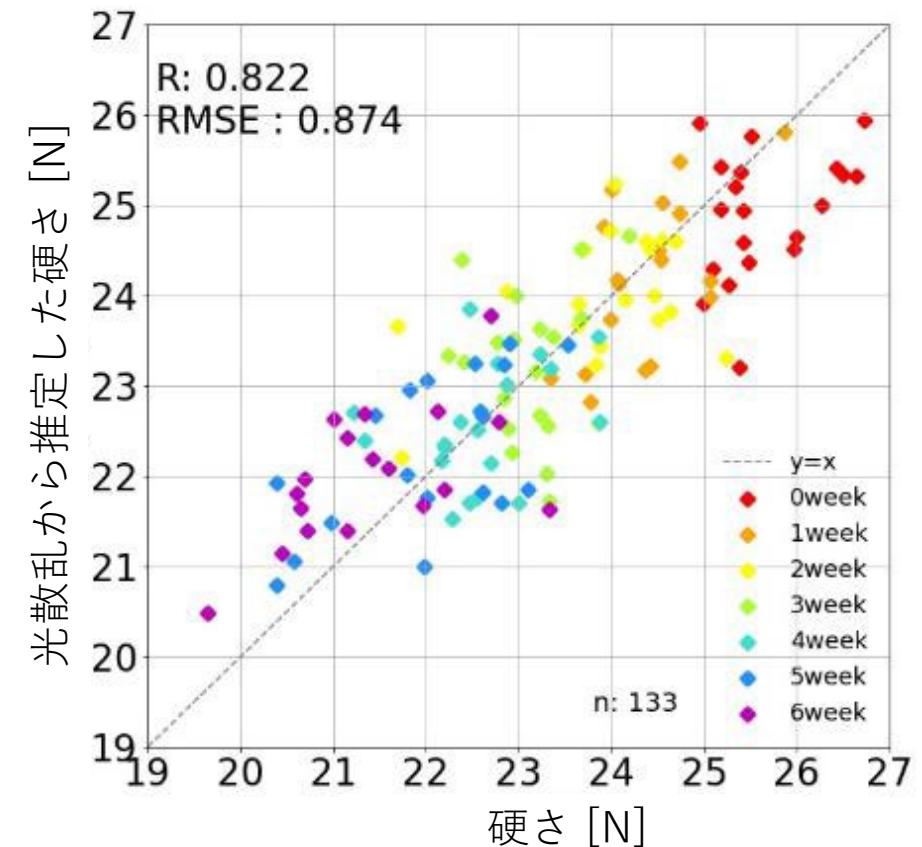


光の散乱度合いが変わる



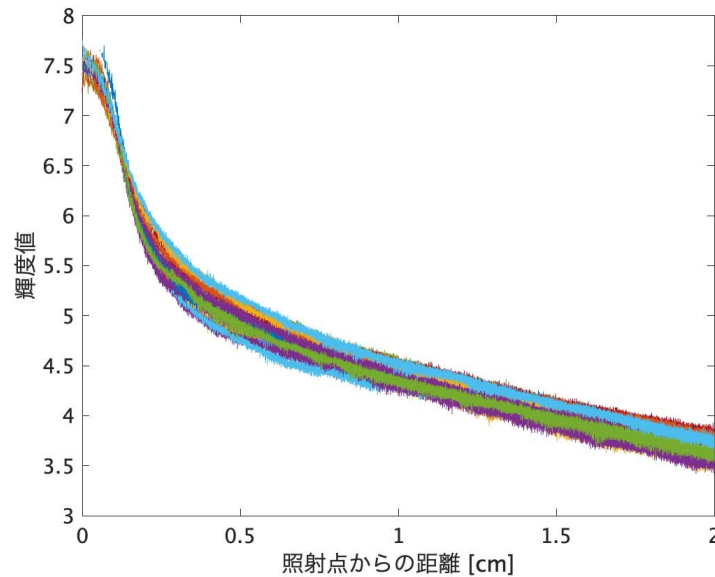
実際の硬さと、光散乱度合いを結びつける

「美味しさ」に大きな影響を及ぼす「食感」が計測可能



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

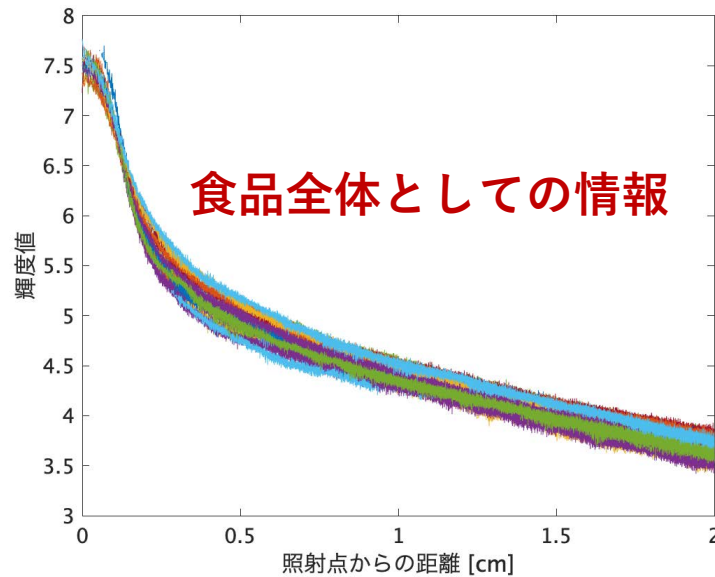
なぜ非破壊評価は なかなか実用化されないのか？



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

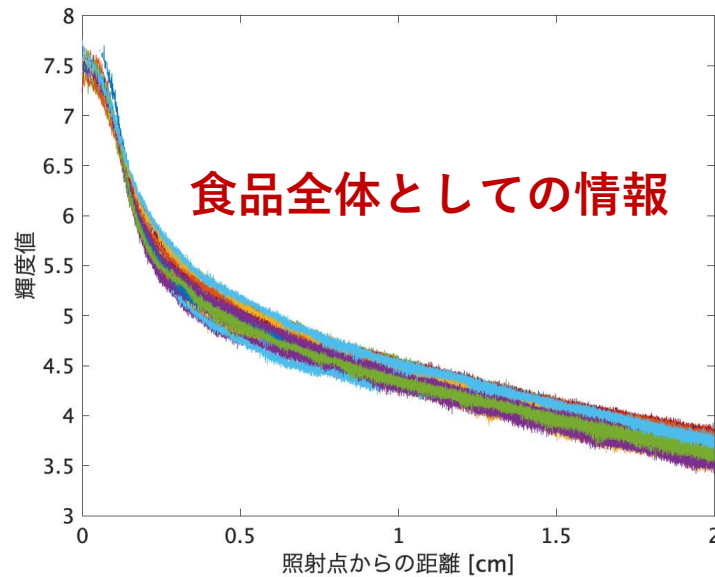
なぜ非破壊評価は なかなか実用化されないのか？



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

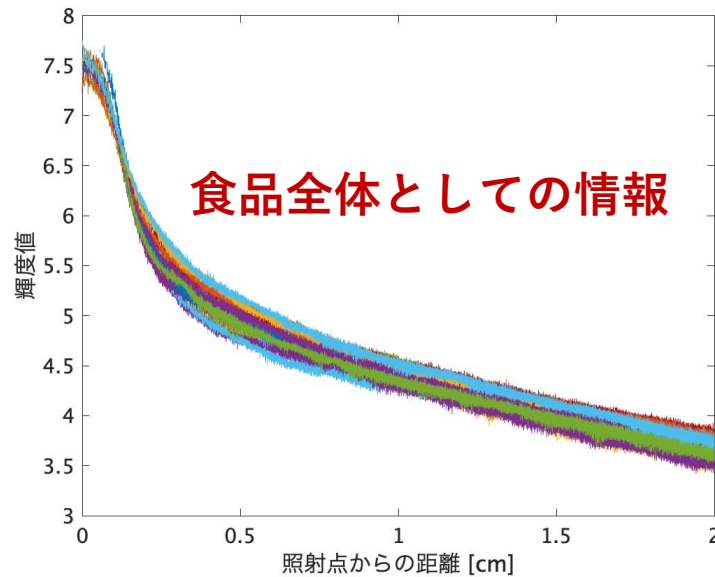
なぜ非破壊評価は なかなか実用化されないのか？



 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？

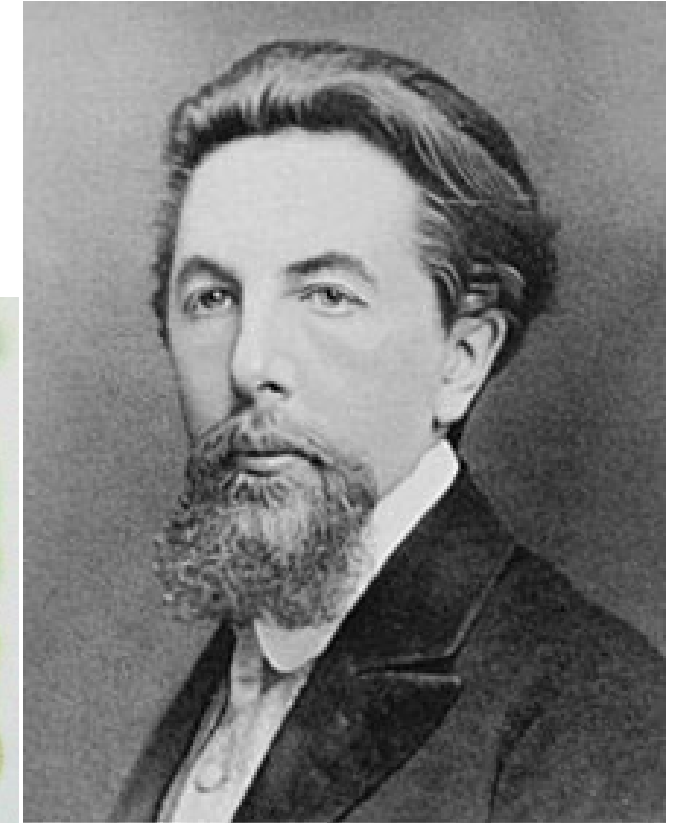
成分分離の発想：クロマトグラフィー

- 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

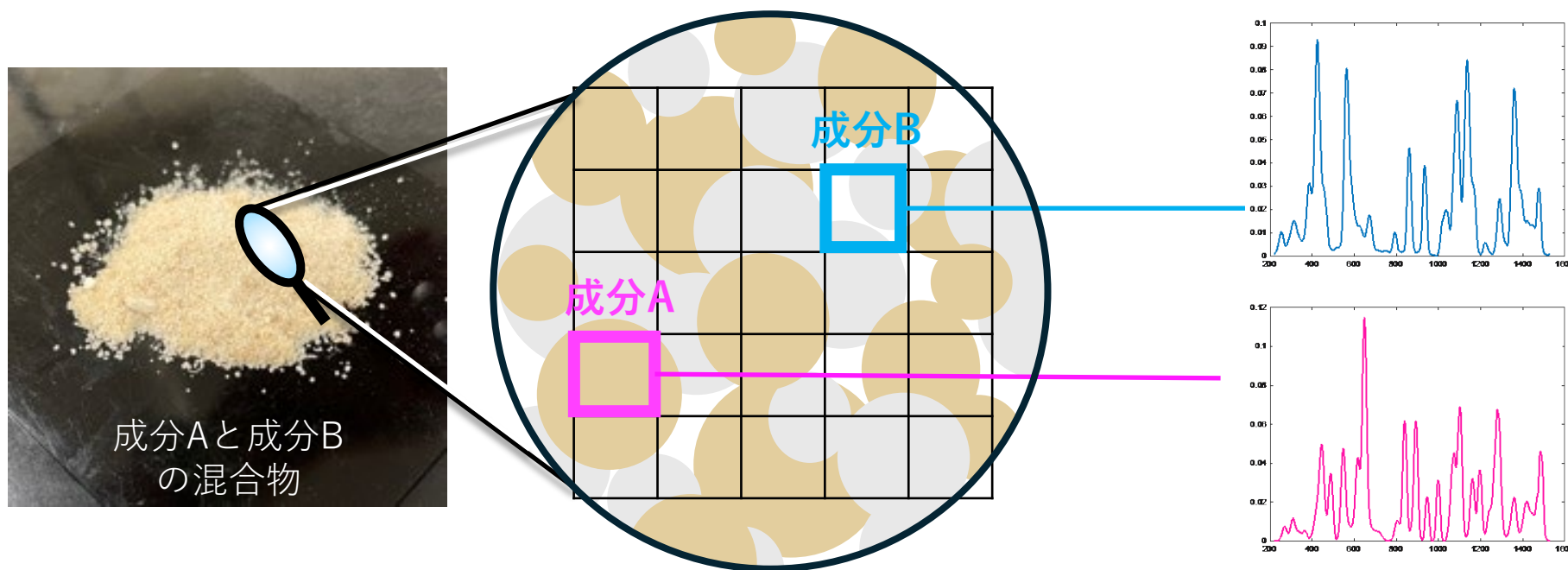


非破壊評価でありながら、成分の分離をする？

Mikhail Tsvet (1872-1919) と色素の分離

画像：Wikipedia より

試料を破壊せずに、成分を分離する

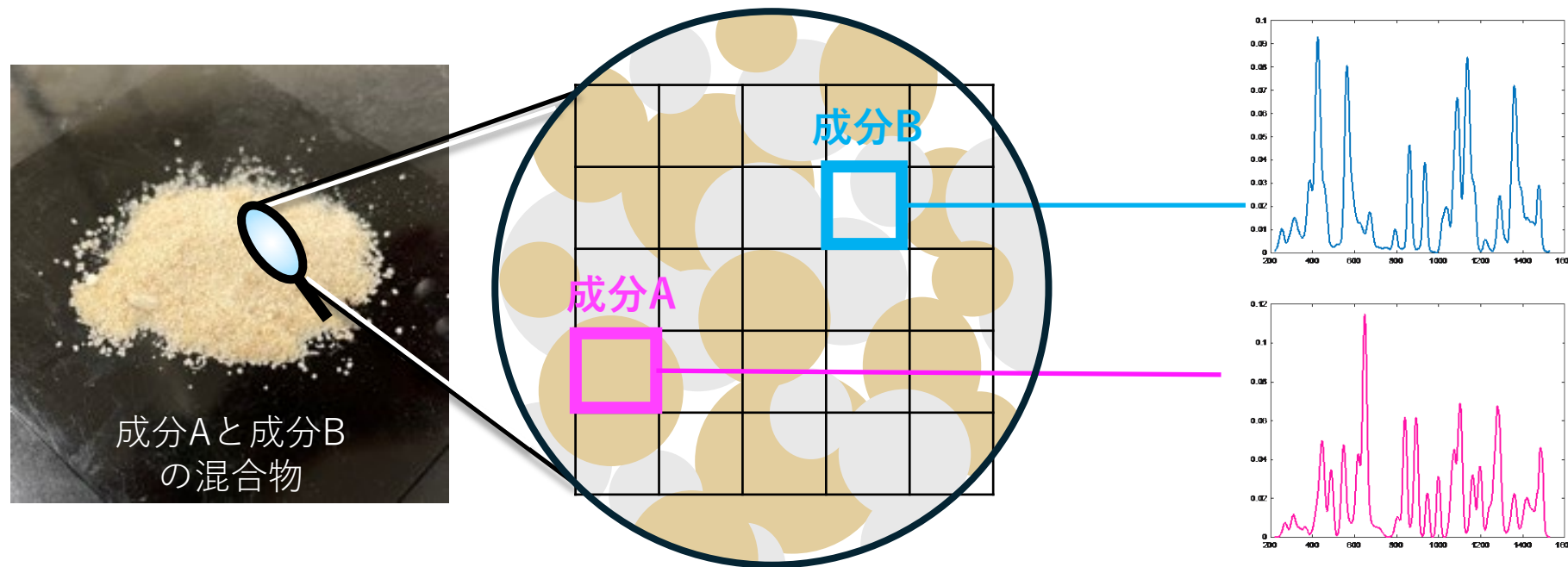


- 顕微鏡＋分光器 を使うことで、微小領域を計測
- 微小領域には「純粋な」成分が存在



成分分離

試料を破壊せずに、成分を分離する



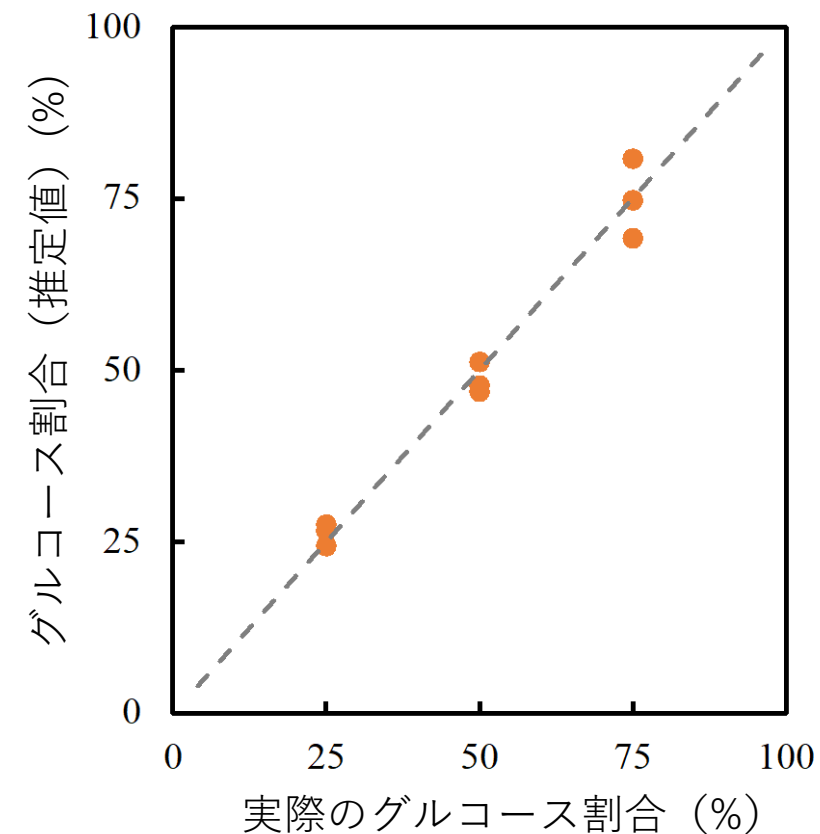
「空間」で成分を分離する：空間的スペクトル分解法

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



● グルコース + フルクトース + ガラクトース

事例：糖類の割合推定（従来法）

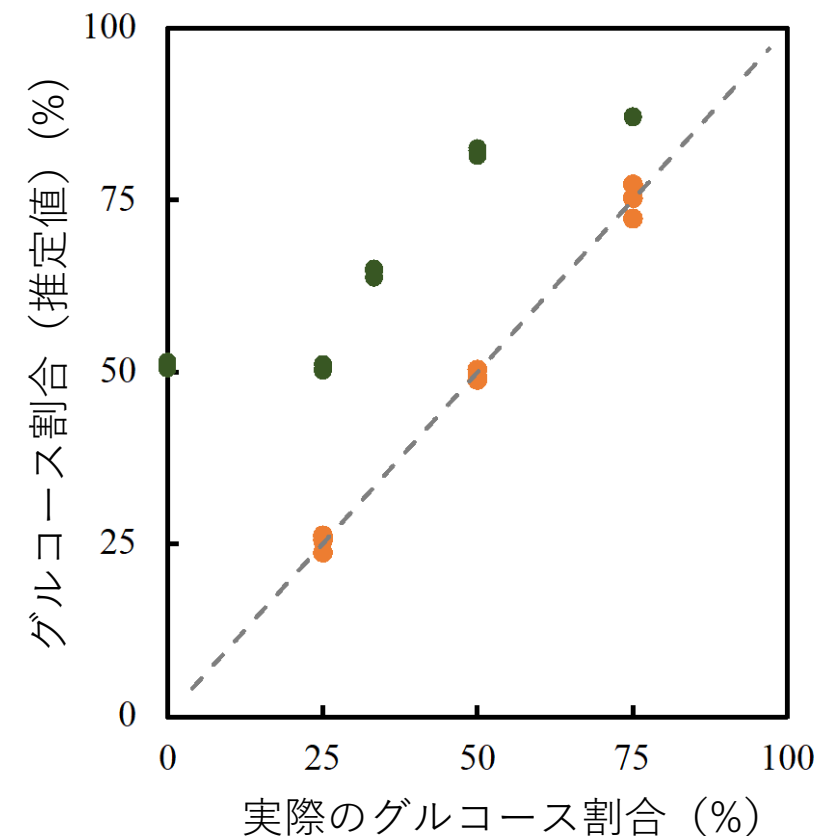
グルコース
+ フルクトース
+ ガラクトース
の混合物

グルコース割合
の推定

試す

従来の非破壊評価

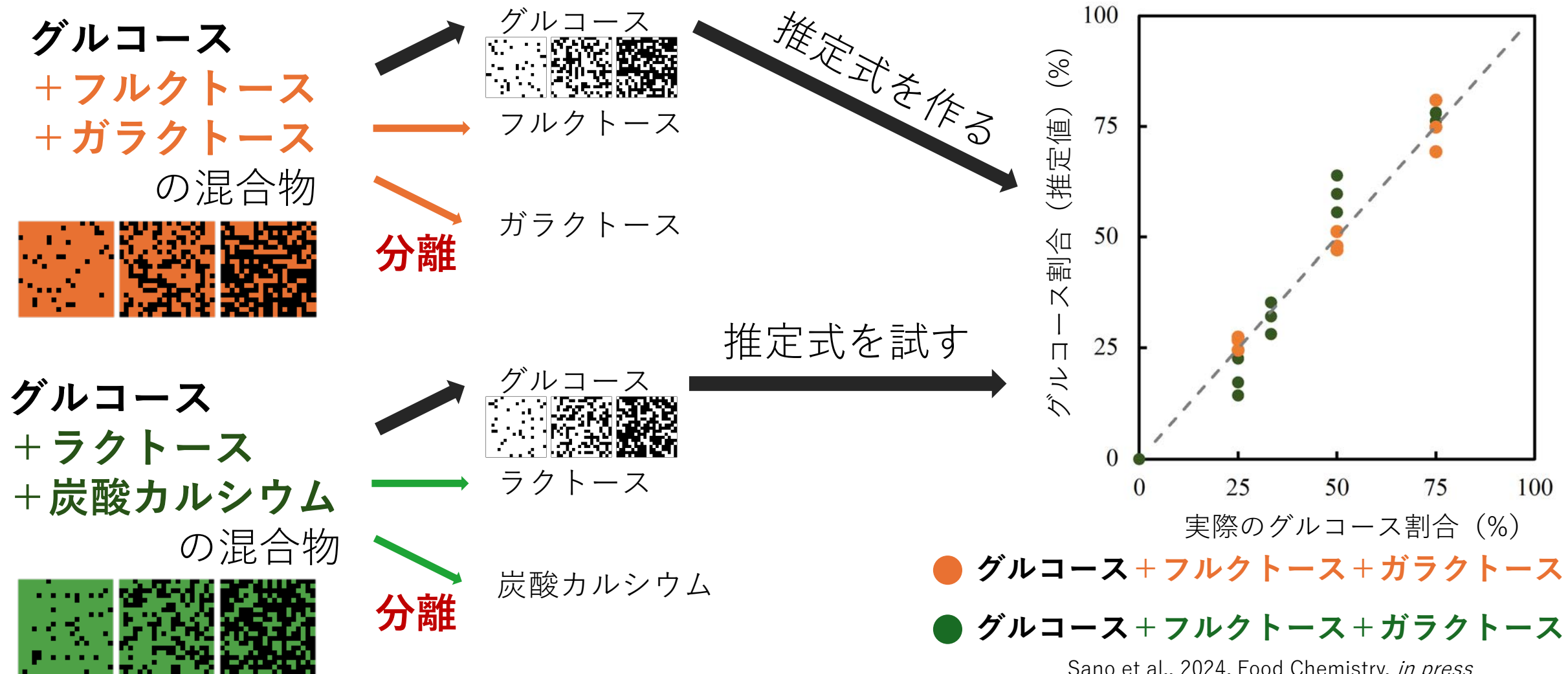
グルコース
+ ラクトース
+ 炭酸カルシウム



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

フルクトース
ガラクトース

事例：糖類の割合推定（空間的スペクトル分解）



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

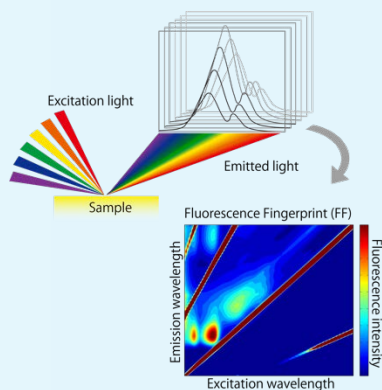


リモートセンシングなど、
空間×スペクトルのデータを扱う分野の知見

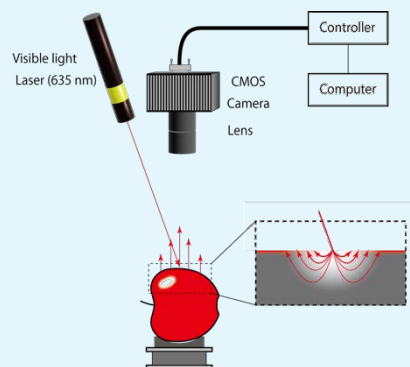
非破壊分析 × 食品

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…



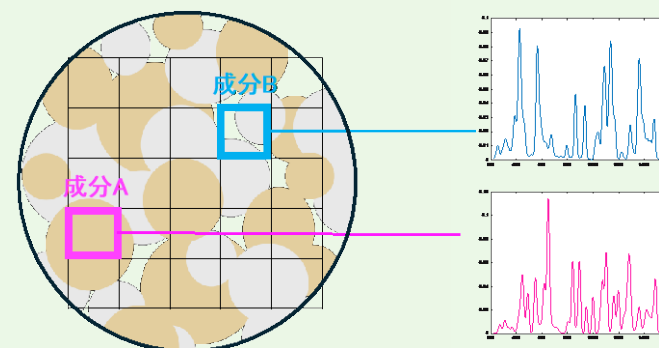
蛍光指紋



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…

