

構造化照明を用いた 広視野生体ラマンイメージングに関する研究

○小橋音徳, 片桐崇史 (富山大学)

研究背景・目的

術中迅速病理診断を支援するラマンイメージング

単色レーザー光で試料を破壊せず、接触することなく物質の化学的性質を分析できる、**ラマン分光法**
生体組織を非侵襲かつ分子レベルで可視化できる**ラマンイメージング**に期待

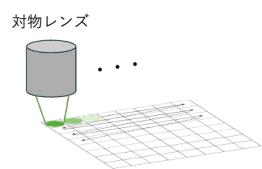
ラマンイメージング実用化への最大の障壁：計測時間

臨床現場からの要求

広い関心領域を数分以内で計測する必要あり

従来技術の限界

従来の点スキャン方式では
数十分から数時間を要する



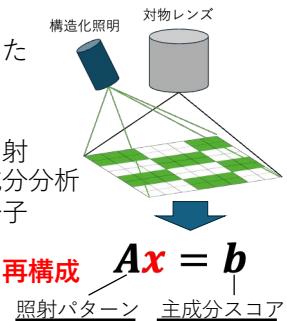
提案手法

主成分分析と圧縮センシングを融合した高速イメージング法^[1]

測定方法

- 構造化照明（パターン）を組織に照射
- 照射パターン毎のスペクトルを主成分分析
- 主成分スコアと照射パターンから分子イメージを再構成

極めて少ない測定回数からでも画像を再構成
できる可能性^[2]



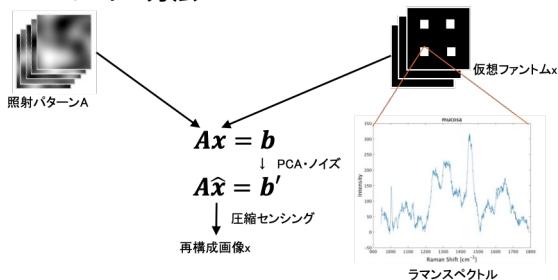
ノイズの多い生体環境下でどの程度性能を発揮するか？

[1] 片桐崇史 他, レーザー学会研究会報告, vol. 566, pp. 55-59 (2022).

[2] S. Nakano et al., Proc. SPIE Vol. 10488, 104880R (2018).

シミュレーション

シミュレーション方法

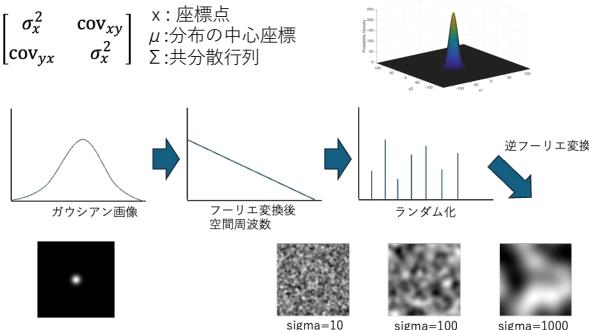


照射パターンと生体を模した仮想ファントムをそれぞれ作成
病変部と正常部が判別できることを確認する

照射パターンの作成

$$f(x, \mu, \Sigma) = \frac{1}{\sqrt{|\Sigma|(2\pi)^d}} \exp\left(-\frac{1}{2}(x - \mu)\Sigma^{-1}(x - \mu)'\right)$$

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & \text{cov}_{xy} \\ \text{cov}_{yx} & \sigma_y^2 \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} x: \text{座標点} \\ \mu: \text{分布の中心座標} \\ \Sigma: \text{共分散行列} \end{array}$$

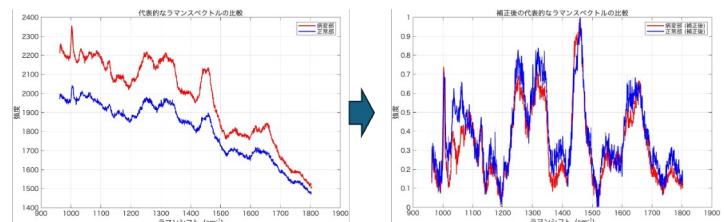


仮想ファントムの作成

ヒルシュスブルン病の病変部と正常部のラマンスペクトル^[3]を用いて、生体を模した仮想ファントムを作成する

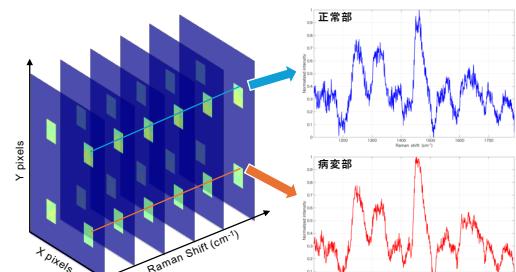
前処理

自家蛍光を含むバックグラウンドを除去・正規化



仮想ファントムの構造

各ピクセルに波数ごとの値が対応するように配置
縦×横×波数の3次元配列となる



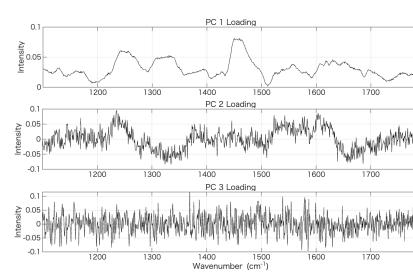
[3] Y. Matsumoto, et al., Proc. SPIE, vol. 12368, 123680B (2023).

結果・考察

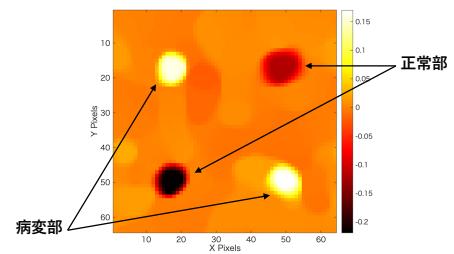
- 実用上のノイズの範囲である30dB環境下で
 $64 \times 64 \times 1024$ のファントムに対し
100回の測定を行った
- 第2主成分のローディングスペクトルを用いて
画像再構成をしたところ、
病変部と正常部が判別可能であった
- 再構成には約0.31秒を要した

提案手法の堅牢性と高速性を確認できた

現在、実空間における本手法の利用を検証中



第1~3主成分のローディングスペクトル



第2主成分による再構成画像