

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

SATテクノロジー・ショーケース2026

■ はじめに

外科手術における術中迅速病理診断は、がんの取り残しを防ぐなど、治療成績を左右する極めて重要なプロセスである。この診断を支援する技術として、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が期待されている。しかし、従来の点スキャン方式では、臨床現場が要求する広い関心領域(ROI)の計測に数十分から数時間を要し、数分以内での迅速な診断というニーズに応えられていない。この計測時間の大幅な短縮が、実用化への最大の障壁となっている。

この課題を解決するため、我々は主成分分析(PCA)と圧縮センシング(CS)を融合した高速イメージング法「PCA-CS法」を研究している^[1]。本手法は、構造化照明を試料に照射し、得られたスペクトルをPCAで解析、その主成分スコアと照射パターンの関係から画像を再構成することで、極めて少ない測定回数での画像取得を目指すものである^[2]。先行研究では無機粉末の識別には成功しているが、ノイズの多い生体環境下での性能や、識別可能な分子構造の微細な違い、そしてその性能限界を決定づける要因は未解明であった。

そこで本研究では、PCA-CS法の臨床応用に向けて、その性能限界と適用範囲をシミュレーションによって明らかにすることを目的とする。

■ 活動内容

1. 仮想ファントムの作成

ヒルシュスプルング病のラマンスペクトルデータ^[3]を基に、病変部と正常部の組織から構成される仮想ファントムを作成した。このファントムは、各ピクセルが固有のラマンスペクトルを持つ3次元のハイパースペクトルデータである。

2. 前処理

解析前に、自家蛍光などのバックグラウンドをAsymmetric least squares (ALS) 法で除去し、組織の厚みなどによる影響を抑えるために正規化を行った。

3. シミュレーションと再構成

空間的に不均一な強度分布を持つ構造化照明(スペクトルパターン)を仮想ファントムに照射し、その応答である散乱光ベクトルを計算した。得られた散乱光ベクトルを主成分分析し、各主成分のスコアから空間的な分布画像を再構成した。また、Total Variation (TV) 正則化を用いた画像再構成も試みた。

4. ノイズ耐性評価

生体環境を想定し、散乱光ベクトルに様々なレベルのノイズを付加して、再構成精度への影響を評価した。

シミュレーションの結果、PCA-CS法によって病変部と正常部の空間分布を再構成することに成功した。特に、第2主成分(PC2)の再構成画像が、元のファントムにおける病変部と正常部の位置関係を明確に捉えていることが確認された(図1)。

次に、ノイズ耐性を評価したところ、実用的な範囲である30dB程度のノイズ環境下においても、TV正則化を用いることで病変部と正常部の分布を十分に識別できる画像再構成が可能であることが確認された(図2)。この結果は、PCA-CS法が生体組織のようなノイズの多い環境下でも、安定した性能を発揮できる可能性を示すものである。今後の展望として、シミュレーションで得られた知見を基に実空間の光学系を構築し、本手法の有効性を実証していく。

■ 参考文献

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

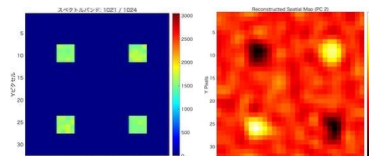


図1 仮想ファントムと第2主成分による再構成画像

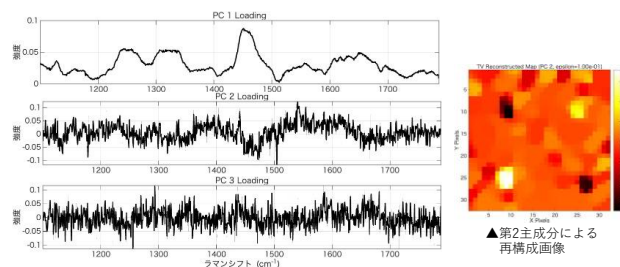


図2 ノイズ付加時の TV 再構成画像

代表発表者 小橋 音徳(こはし そりと)
所 属 富山大学大学院
理工学研究科 理工学専攻
数理情報学プログラム
計算生体光学研究室

問合せ先 〒930-8555 富山市五福 3190
TEL: 076-445-6882
m25c1019@ems.u-toyama.ac.jp

■キーワード: (1) ラマンイメージング
(2) 構造化照明
(3) 圧縮センシング

■共同研究者: 片桐 崇史(富山大学)