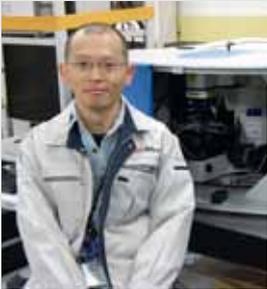


超解像技術の顕微ラマンイメージングへの適用 試料中の共焦点測定領域を高精度に解析



丸山 豊

まるやま ゆたか
y.maruyama@aist.go.jp

計測フロンティア研究部門
不均質性解析研究グループ
研究員（中部センター）

以前は、ミクロとマクロの間、メソスコピックな存在であるマイクロクラスターの特異な電子物性や構造、表面拡散現象に興味があり、種々の計算科学的手法を用いて調べていました。現在ではより大きな、理想的な系から隔たった現実の材料と向き合うため、手法の異なる、さまざまなスケールの計測データを相互に役立てる統合的な解析手法の開発を目指した研究を行っています。

関連情報：

- 共同研究者
兼松 渉（産総研）

顕微ラマン深さ測定とその問題点

レーザー走査共焦点顕微鏡と分光器を組み合わせた顕微ラマン分光装置の登場により、多層膜材料の構造や樹脂中の微小異物が手軽に非破壊で同定、観察可能になりつつあります。しかし、試料自体の屈折の影響により見かけの測定位置と実際の位置が一致しないこと、表面測定から予想される分解能に比べて実際の分解能は低く、小さいスケールの変化が期待ほどには見えないなどの問題点が指摘されています。対物レンズと試料の間を液体で満たすことにより高い分解能が得られますが、さまざまな試料に合わせて屈折率のズレを解消することは現実的とはいえませんでした。

共焦点測定領域の理論計算に基づく超解像技術

これらの問題を解決するために、私たちはデジタル超解像技術の適用を提案し、これに必要な理論計算を行っています。

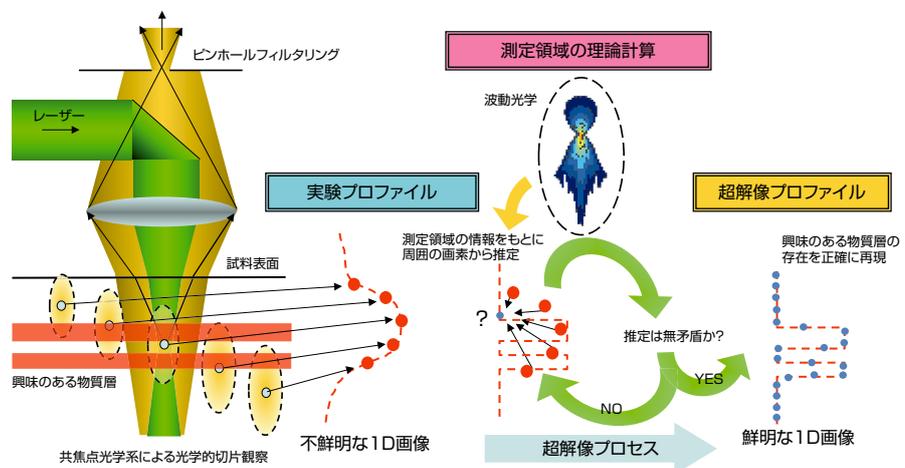
デジタル超解像技術とは低解像度のデジタル画像から元の鮮明な画像を計算により復元する技術であり、最近では薄型TVなどで利用されつつあります。例えば地上デジタル放送では、画像データは圧縮や変換に伴い情報を一部失うため、画質の低下（ボケ）を生じます。超解像プロセスではこのボケの原因から逆に元の画素値を推定し、正值性などの拘束条件を課したり推

定画像を再度低解像度化して元画像と比較、補正し、自己無矛盾となるまで繰り返すことで失われた情報を復元します。

正しい超解像結果を得るためにはボケの原因を正しく理解、再現できることが重要です。顕微測定におけるボケは、理想的には点である試料中の測定領域が、図に示すように実際には小さいながらも有限の大きさをもつことによります。理論計算によれば、この測定領域の大きさを決めるのは、対物レンズの後方、分光器の前の焦点位置に置かれた共焦点ピンホールの大きさで、屈折の影響により出射ラマン散乱光が合焦点位置に関して非対称に像を結ぶことが重要であるとわかっています。既知の屈折率をもつ均質なサンプルで得られる表面深さ方向のラマン強度プロファイルは、実際に用いる対物レンズの光学特性（焦点距離、開口数）、入射光束径を重要な要素としてピンホールサイズごとにとっても良い精度で理論計算により再現できることがわかりました。

今後の展開

最適化アルゴリズムとあわせることで、複雑な構造や未知の屈折率をもつ試料に対して、自動的に屈折率を決定し並行して回折限界を超える分解能の3D画像が得られる解析技術を実現したいと考えています。



共焦点光学系による深さ方向の測定原理と得られる強度プロファイルの超解像プロセスの概念図

実験的に得られる強度プロファイルは測定領域の広がりに応じたボケ方をするため、測定領域をまずは正確に知ることが重要である。実際の測定領域は破線円内に示されるように、強度の高い合焦点位置の上下で非対称となる。