

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 音響フォノン計測で拓く超次元力学イメージング

2. 個人研究者名

市村 垂生（大阪大学先導的学際研究機構 特任准教授）

3. 事後評価結果

本研究では、細胞や組織内に自発的に発生する微弱な超音波（音響フォノン）による光散乱に着目し、ブリルアン散乱と呼ばれるこの光散乱の周波数が媒質の弾性特性に依存する現象を利用して、生体組織や細胞内の弾性を定量、特に三次元弾性テンソルを定量する技術を確認するとともに、生命科学応用の可能性を実証することを目指した。

[どのような量子性をどのように扱ったのか]

- ・音響フォノンとフォトンとの相互作用によって生じる光散乱現象。
- ・ブリルアン散乱を量子技術として用いて、生体細胞や組織内の弾性を定量。

[達成状況とインパクト]

市村研究者は、ブリルアン散乱と他の物理量（ラマン散乱、蛍光、屈折率）を同時に計測するマルチモーダルイメージング装置系を開発し、心筋シートのみならず上皮細胞の癌変異における弾性分布を観察するなど、本技術を生命現象に応用する可能性を示すことに成功した。音響フォノンのスペクトル重畳が予想以上に複雑であったため、スペクトル解析および弾性テンソル推定を早期に解決すべき課題と設定し、瞳上に空間マスクを配置して取得した複数のスペクトルから弾性の軸（配向）を推定する検討を続けた。それらの検討の結果、独自に開発した分光器とレーザー顕微鏡を組み合わせたイメージング装置をベースとし、他の物理量を同時に計測可能なマルチモーダルイメージング装置としての機能を加え、細胞の弾性分布を計測できる装置を開発するに至っている。例えば、ラマン散乱と蛍光によるイメージング機構を付加したマルチモーダルイメージングの開発では、核内クロマチンで蛍光タンパク質（ECFP）が発現するマウス ES 細胞株や上皮細胞を用いて、分裂期の細胞に特徴的な細胞内弾性分布、つまり核内の DNA の凝集に起因すると考えられる弾性状態の観察に成功したことは高く評価できる点である。さらに生体内での力学特性を理解するため、弾性の大きさだけでなく方向性や異方性の計測にも取り組んでいる。コラーゲン繊維束をモデル試料として用い、繊維軸と光軸の角度によってスペクトルが変化することを実測し、繊維軸と光軸の角度が大きくなるにつれてスペクトルのピークが低周波数側にシフトしていることを示すなど、今後の細胞計測において弾性の異方性を検出できる可能性を示した。この計測方法では観察に時間を要するため、現状では生物試料の観察範囲が限られると思われるが、当初の目標を概ね達成したと評価できる。また市村研究者は応用物理出身ではあるが、領域内外の生命科学系研究者と積極的に連携研究を展開している姿勢は素晴らしく、量子計測技術をテーマとする本さがけ研究領域において模範となるケースとなっている。

本技術がどのような生命活動・分子挙動への計測に応用できるかの方向性について、市村研究者は発生物学や再生医療などへの応用を念頭に、細胞集団の状態が不連続に転移する現象への応用を提案している。細胞弾性や力発生の計測から新たな生命現象の仕組みを明らかにし、疾患メカニズムを解明するためのマルチモーダル観察・マルチスケール観察への応用につなげるなど、さらなる発展に期待したい。