

ORCA[®]-Quest

お客様導入事例集



究極の定量イメージングを実現

浜松ホトニクスは、1980年代から独自のカメラ設計技術を生かした 高感度・低ノイズなカメラの開発を続け、常に最先端の科学技術研究の発展に貢献してきました。

独自の設計技術と最新の製造技術を駆使して開発した qCMOS® イメージセンサを搭載し、世界で初めての光子数識別による究極の定量イメージングを実現した ORCA-Quest。

ORCA-Quest 2 では、0.3 electrons rms という低読み出しノイズ、および温度や時間に対する安定性、各画素値の個別校正とリアルタイム補正などの高度なカメラ技術の投入により、光子数識別を実現しています。

ORCA-Quest2

qCMOSカメラ C15550-22UP



極めて優れた低ノイズ性能と高速読み出し

0.30 ELECTRONS RMS @ 25 fps*
ULTRA QUIET SCAN

0.43 ELECTRONS RMS @ 120 fps*
STANDARD SCAN

高画素

4096 × 2304

9.4 MEGAPIXELS

高量子効率

85 % @460 nm

PEAK QE

製品詳細はWebサイトをご参照ください

<https://www.hamamatsu.com/jp/ja/product/cameras/qcmos-cameras.html>

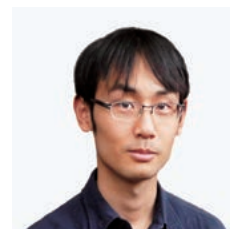


原子量子コンピュータシステムに向けた 原子アレイイメージング

大阪大学 量子情報・量子生命研究センター (QIQB) では、大規模な誤り耐性型汎用量子コンピュータを作るために「中性原子を用いた量子コンピュータ」の研究を行っており、原子トラップの様子や量子状態の観測などに「ORCA-Quest」を導入いただいています。同研究センターの山本様、小林様に弊社カメラ導入の決め手、今後の展望などをお伺いしました。



山本 俊 様



小林 俊輝 様

インタビュー

大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授 / 量子情報・量子生命研究センター (QIQB) 副センター長 山本 俊 様

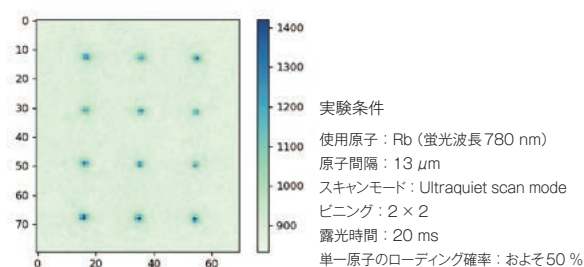
大阪大学 量子情報・量子生命研究センター (QIQB) 准教授、博士 (理学) 小林 俊輝 様

Q 原子量子コンピュータとORCA-Questの用途 について教えてください。

中性原子の量子コンピュータでは、中性原子をレーザーによる光ピンセットで真空中にトラップし、格子状に整列させます。科学計測用カメラの用途としては、その格子状に光トラップした原子1個1個からの蛍光を見ることであり、原子のトラップの様子や、量子状態を観測することに使用されます。原子からの蛍光がないときに、カメラノイズにより偽陽性、原子から蛍光が発生していると誤検出されることを無くするため、ノイズが少なく量子効率が高いということが科学計測用カメラへの要求になります。本研究は、本質的には単一光子が放出されるような光源を用いているため、ORCA-Questのような、1つ1つの光子数を数えながら撮影できるカメラが非常に理想的であると考えています。

もう一つの要求性能として、量子ビットの誤り訂正を行うためには、なるべく早く量子ビットの状態を読み出し、その状態に応じてすぐにフィードバックをかける必要があります。その点でも、従来のCCDカメラよりもORCA-QuestといったCMOSカメラのほうがデータの読み出し速度という点で優れていると思います。

今までの原子量子コンピュータの論文を見ると、EM-CCDを使っている方が多いですが、最近は性能向上によりsCMOSを使っている方も増えてきていると感じています。EM-CCDとsCMOSの技術がかなり向上しており、量子効率やノイズ性能もともに良くなってきている中で、今回ORCA-Questを選定する際の決め手となったのはPhoton number resolving (PNR) モードでした。EM-CCDではセンサ技術上実現することができない性能であり、PNRモードを有効活用できる方法を見つけることができれば面白いだろうなというqCMOS技術への期待の部分も大きく、ORCA-Questを採用しました。



データ提供 大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授 / 量子情報・量子生命研究センター (QIQB) 副センター長 山本 俊 様、大阪大学 量子情報・量子生命研究センター (QIQB) 准教授、博士 (理学) 小林 俊輝 様

Q 今後の研究の展望について教えてください。

先に述べたように、大規模な誤り耐性型汎用量子コンピュータを作ることが量子コンピュータ分野の最大の目標になります。誤り耐性を備えた汎用量子コンピュータというのは非常に大規模なものになり、アルゴリズムやプロトコルによりますが、10の6乗個くらいの原子が必要となると考えられています。その目標に到達するためには1つの物理系だけでは不足であると考えられており、2022年にノーベル物理学賞も受賞した「量子もつれ」を利用した量子状態の転送 (量子テレポーテーション) を使うことで複数の物理系を繋ぐネットワーク型量子コンピュータが推進されています。現状は、1つの物理系だけでも誤り耐性を備えた汎用量子コンピュータに足るサイズのものは出来ていないため、ローカルな原子量子コンピュータの部分を一生懸命作っている段階にあります。

ORCA-Questの画素数 (4096(H) × 2304(V)) であれば、10の4乗個の原子くらいは一つのカメラで撮れるようになって考えています。浜松ホトニクスさんが提示したORCA-QuestとEM-CCDの感度シミュレーション結果を比べた際に、どちらも良さそうだという感触は得ましたが、最後の決め手となったのはPNRモードといった、qCMOS技術の将来性への期待でした。

ORCA-Questを用いたオーロラの観測

電気通信大学大学院 情報理工学研究科 情報・ネットワーク工学専攻 情報通信工学プログラム 細川研究室では、高感度カメラを用いたオーロラのイメージングを行っており、オーロラの観測用カメラとして「ORCA-Quest」を導入いただいております。同研究室の細川様に弊社カメラ導入の決め手、今後の研究の展望などをお伺いしました。



細川 敬祐 様

インタビュー

電気通信大学大学院 情報理工学研究科 情報・ネットワーク工学専攻 情報通信工学プログラム 細川研究室 教授
細川 敬祐 様

Q 研究内容について教えてください。

当研究室では、数秒から数十秒の周期で明滅する脈動オーロラを観測するために、北欧やアラスカの複数地点において高感度カメラを用いたオーロライメージングを行っています。2015年に開始した脈動オーロラ研究プロジェクト (Pulsating Aurora Project) では、浜松ホトニクス製のEM-CCDカメラ (ImagEM®) を使い高い時間分解能のイメージングを行っています。このカメラを用いた地上からのオーロライメージングと、欧州非干渉散乱 (EISCAT) レーダー、2016年12月に打ち上げられたジオスペース探査衛星「あらせ」や、2022年に打ち上げが行われた脈動オーロラロケット実験による観測を組み合わせて、脈動オーロラ明滅の起源を明らかにする研究を行っています。

Q オーロラのイメージングにはどのような課題があるのでしょうか。

オーロラのイメージングにおいては主に以下のような課題があります。

1. 暗いオーロラを検出するための感度
2. オーロラの形態を詳細に観測するための空間分解能
3. カメラのノイズによるデータ解析への影響

感度に関しては、以前まではEM-CCDカメラ (ImagEM) を使用していました。EM-CCDカメラは入射した電子を増倍することで非常に高感度な撮像ができるため、高い時間分解能を必要とするオーロラの観測において最適でした。ただし、EM-CCDカメラはピクセルサイズが大きいことに加え画素数も少ないため、広い範囲を撮影しようとするとき空間分解能が低くなってしまい、オーロラの形態を詳細に観測することはできていませんでした。

先に述べたように、EM-CCDカメラは空間分解能の面が課題であったため、感度を維持しながらより高い空間分解能でイメージングをしたいと思っています。浜松ホトニクスからORCA-Questという高感度且つ高解像度なカメラが登場したため、「空間分解能の面を改善できるかも」と思ったことを覚えています。



また、カメラのノイズによるデータ解析への影響に関しては、撮像した画像にオーロラからの信号以外が混じると、その後のデータ解析時に影響を受けてしまうため、できるだけノイズの少ないカメラを使う必要があります。EM-CCDカメラでは、信号を増倍することで読み出しノイズが相対的に小さくなる一方、信号を増倍した際に増倍ゆらぎと呼ばれる大きなノイズが加わってしまい、取得した画像のバックグラウンドがゆらぐため、解析がしにくいという課題がありました。

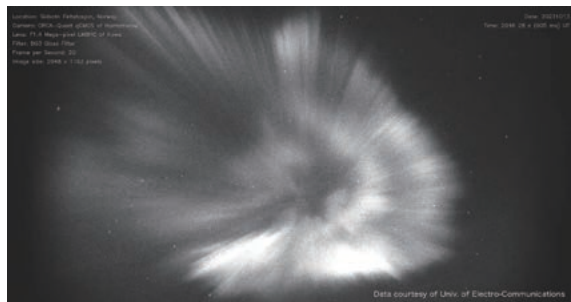
Q ORCA-Questの導入に至った理由や決め手を教えてください。

ORCA-Questを導入した一番の決め手は、解像度が非常に高いことです。EM-CCDカメラの画素数は512 × 512であるのに対し、ORCA-Questは4096 × 2304と画素数が非常に多いことに加え、1画素のサイズもEM-CCDカメラが16 μm × 16 μmであるのに対し、ORCA-Questは4.6 μm × 4.6 μmと小さくなっているため、

EM-CCDカメラよりもはるかに高い空間分解能でオーロラを観測できるようになりました。撮像範囲が変わったことありますが、EM-CCDカメラとORCA-Questで取得した画像を比較すると約10倍程度空間分解能を向上させることができています。

また、感度の面においては画素サイズが大きく、電子増倍機能があるEM-CCDカメラには少し劣るものの、読み出しノイズが非常に小さくなったことで、かなり暗い現象でも検出できるようになりました。EM-CCDカメラは電子増倍をして信号を稼げる半面、増倍によるゆらぎがノイズとなり解析に影響を及ぼしていましたが、ORCA-Questは電子増倍を行っていないため増倍ゆらぎの影響がなく、読み出しノイズや暗電流ノイズも非常に低く抑えられているため、ノイズの影響を受けずにデータ解析ができるという点も魅力でした。

カーテン状のオーロラの観測



スキャンモード：Ultra quiet scan
フレームレート：20フレーム/秒 (2048 × 1152)
ピンング：2 × 2

データ提供：電気通信大学大学院 情報理工学研究科 情報・ネットワーク工学専攻
情報通信工学プログラム 細川研究室 細川 敬祐 様

波を打つオーロラの観測



スキャンモード：Ultra quiet scan
フレームレート：20フレーム/秒 (1024 × 576)
ピンング：4 × 4

データ提供：電気通信大学大学院 情報理工学研究科 情報・ネットワーク工学専攻
情報通信工学プログラム 細川研究室 細川 敬祐 様

Q オーロラ観測のために常にカメラを稼働させているのでしょうか。また、ORCA-Questで取得した撮影データはどのように管理されているのでしょうか。

オーロラはいつ出現するのが予想できないため、基本的にカメラは毎夜撮影をしています。そのため、画像データを保存しておく大容量のストレージが必要になりますが、ストレージ容量にも限界がありますし、観測したデータを観測地から日本にインターネット経由で送る必要もあるため、できるだけオーロラが撮影されていない不要なデータは削減したいという希望があります。

そこで現在考えているのは、AIを使った自動判別です。夜間撮影した画像を昼間のうちにAIを使って自動判別し、オーロラが撮影できて

いる部分のみを残し、不要なデータを削除するプログラムを開発中です。すでに自動判定を行うためのAI (Tromsø AI) の開発は進んでいて、近いうちに実際の観測現場で試してみたいと考えています。これによって不要なデータを保存しなくて済むので、ストレージ容量の節約につながります。

また、AIを用いた観測のさらなる発展として、オーロラの出現だけでなく、オーロラの種類や明るさなどの詳細な情報をリアルタイムに自動で判定して、カメラのパラメータを最適化し撮影を行うといったこともやりたいと思っています。例えば動きの速いオーロラが出ているときはカメラの露光時間を短くして高い時間分解能での撮影を行い、非常に暗いオーロラが出ているときはカメラの露光時間を長くしたりピンングを使ったりして感度を稼ぎながら撮影するといったことができればいいなと思っています。

Q 今後の研究の展望を教えてください。

今後の研究展望としては主に以下のようなことを考えています。

1. 100 km以下の空間スケールを持つメソスケールオーロラが果たしている役割の解明
2. EISCAT_3D、人工衛星「あらせ」、ORCA-Quest等の地上観測データを用いた多角的なデータ解析
3. 複数のORCA-Questを用いた、多点光学観測網の構築

1に関しては、従来のカメラでは空間分解能が足りなかったことにより、微細な構造を持つメソスケールオーロラのメカニズムの解明ができていませんでした。今回ORCA-Questを導入したことにより空間分解能が向上したことに加え、国際共同で整備中のEISCAT_3Dレーダーを組み合わせて観測することで、メソスケールオーロラのメカニズム解明を加速させたいと考えています。

また、2に関しては、前述のORCA-QuestとEISCAT_3Dに加え、人工衛星「あらせ」のデータも組み合わせることで地上側、宇宙側の両面からオーロラのデータを取得し、多角的にオーロラのメカニズムを解明できると考えています。

ただし、2を行うためには、以下のような条件がすべてそろえる必要があります。

1. カメラ、レーダーの観測範囲上を「あらせ」が通過すること
2. 「あらせ」が通過するタイミングでオーロラが出ていること
3. オーロラが出ているタイミングで天気が良いこと（雲で覆われていないこと）

オーロラの出現タイミングと天気は変えられないため、「あらせ」が通過する軌道の下をできるだけ広い範囲でカバーできるように、3の複数のORCA-Questを用いた多点光学観測網の構築を進めています。3つのカメラを別々の地点に配置し、観測したデータをパッチワークのように結合することで、広い範囲を観測することができます。すでにカメラは購入しているので、現在はカメラの設置を行うこととEISCAT_3Dの運用開始を待っているという状況です。

放射光実験施設におけるX線イメージング装置の開発

公益財団法人 高輝度光科学研究センター（JASRI[®]）放射光利用研究基盤センター 散乱・イメージング推進室 顕微・動的画像計測チームでは、放射光を使ったX線イメージングシステムの開発やX線イメージングを行いたい研究者への利用支援を行っており、システムの検出器として「ORCA-Quest」を導入いただいております。同チーム主幹研究員の星野様に弊社カメラ導入の決め手、今後の展望などをお伺いしました。

※ Japan Synchrotron Radiation Research Institute



星野 真人 様

インタビュー

公益財団法人 高輝度光科学研究センター（JASRI）放射光利用研究基盤センター
散乱・イメージング推進室 顕微・動的画像計測チーム 主幹研究員 星野 真人 様

Q 顕微・動的画像計測チームの業務内容について教えてください。

当チームでは、主にX線を用いたイメージングシステムの開発や、そのシステムを利用したい研究者への利用支援などを行っています。観察対象は生体試料や材料系の試料、遺跡からの発掘物や化石など多岐にわたりますが、いずれも不透明な対象物を破壊せずに内部を観察したいという要望に対応しています。私たちの施設では、いわゆるレントゲン写真のような2次元画像だけでなく、X線CTを用いた3次元画像も取得することが可能です。

当チームの強みは、高い分解能で対象物の内部観察ができるという点です。一般的なX線源はビームの発散角が大きいため、対象物に照射されるまでにX線が広がってしまい、単位面積当たりの光子数が少なくなってしまいます。単位面積当たりの光子数が少なくなるとS/Nが低下するため、対象物内部の細かい構造を高いS/Nで撮影することが困難になります。

SPring-8で生成されるX線は強力かつ指向性が高いので、ビームが発散しにくく細いビームを照射できるという強みがあります。これにより単位面積当たりの光子数が多くなるため、高いS/Nを維持したまま高分解能で観察をすることが可能になります。

Q X線を用いたイメージングにはどのような課題があるのでしょうか。

X線イメージングを行う上で重要な要素として「視野サイズ」「空間分解能」「撮影速度」があります。当チームではさまざまな研究者の支援をしている関係で、大きな対象物から小さな対象物、内部構造が非常に細かい対象物、動きのある対象物など、取り扱う対象物も多岐にわたります。対象物にあわせて3つの要素も最適化する必要がある

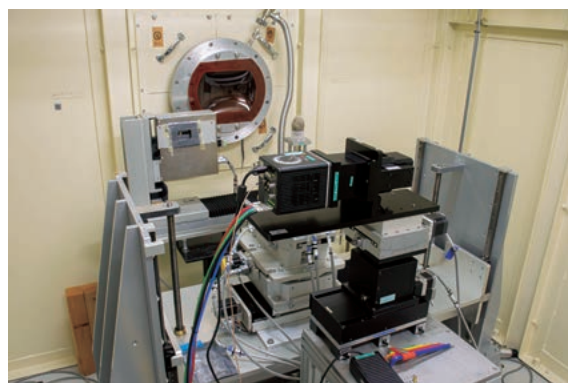
のですが、それを行う上でそれぞれ課題があります。

大きな対象物を観察する際は広い視野が必要になりますが、カメラの視野サイズを超える対象物を観察する場合は1枚で撮像できないため、視野を変えながら複数枚の画像を取得し、それをつなぎ合わせる必要があります。撮影枚数が多くなればなるほど撮影時間が長くなりますし、撮影後の画像処理の手間が増えます。

内部構造を高い分解能で観察するためには、検出器の画素サイズがある程度小さいことも重要なポイントです。ただ、画素サイズが小さくなると1画素あたりの光量が減少し、S/Nが低下してしまいます。

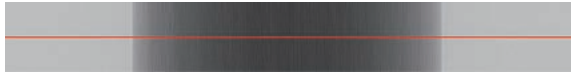
撮影速度は、画像の取得時間や動きのある対象物の観察に大きく影響します。例えば、3次元画像を取得するX線CTでは対象物を回転しさまざまな角度から画像を取得するのですが、多い時には数千枚の画像を取得することもあるため、1枚あたりの画像の取得時間が長いと、すべての画像の取得に非常に長い時間がかかってしまいます。また動きのある対象物を撮影する際、検出器のフレームレートが遅いと撮影したい瞬間を撮り逃してしまったり、露光時間が長いとブレた画像になってしまいます。

取り扱う対象物が多い分、考慮しなければならない要素が多く、課題も多いと考えています。

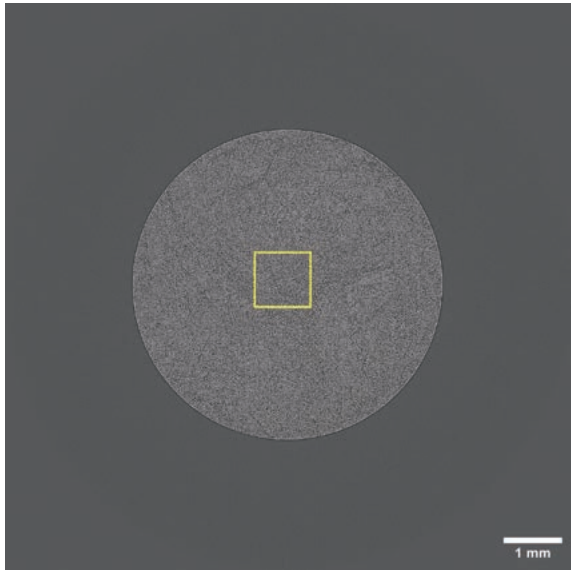


GFRP (Glass Fiber Reinforced Plastic) のX線CT画像

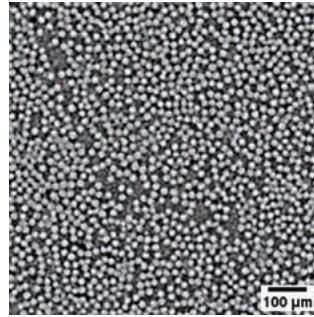
1. Φ8 mmのGFRPロッドの透過像(横方向4096 pixels, 2.68 μm/pixels)



2. 高精細X線マイクロCTによって得られた透過像の断層像(画像1の赤線部)

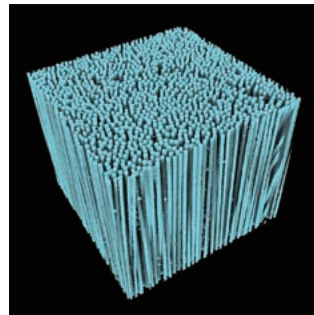


3. 画像2の黄色枠部の拡大像



直径15 μm程度のガラスファイバーが密集している様子を鮮明に観察することができます。

4. 3次元表示したガラスファイバーの配向



高精細画像によりファイバーの1本1本の配向を確認することができます。

3次元表示にはDrishti*を使用

*A. Limaye, Proc. SPIE, 8506 (2012) 85060X.

カメラ：ORCA-Quest qCMOSカメラ C15550-20UP
投影数：7200枚/180度

光学系：X線イメージングシステム M11427
露光時間：20 ms/投影

ビームライン：SPRING-8 BL20B2
トータル計測時間：3 min

画像提供：公益財団法人 高輝度光科学研究センター (JASRI) 放射光利用研究基盤センター 散乱・イメージング推進室 顕微・動画像計測チーム 主幹研究員 星野 真人 様

Q ORCA-Questの導入に至った理由や決め手を教えてください。

1点目は、従来のカメラよりもセンサが多画素化したことにより、高精細な撮影ができるようになった点です。4.6 μm × 4.6 μmという小さな画素サイズを維持しながら、4096 (H) × 2304 (V) という多画素化により、高い分解能と広い視野を同時に実現することができます。

2点目は、撮影スピードです。カメラのフレームレートをあげると1フレーム当たりの光子数が少なくなるため、S/Nが悪くなってしまうという課題がありましたが、ORCA-Questは120フレーム/秒とフレームレートが速いだけでなく、量子効率が高いことや読み出しノイズが非常に低く抑えられていることで、高いS/Nを維持したまま高速に撮影することができます。これによりX線CT画像の取得時間が短縮できたり、生体試料のライブイメージングができるというメリットがあります。最近の実験では、小動物の肺の動きなどを高速にライブイメージングするということを行ったりしました。

また、ORCA-Questを設置しているビームラインBL20B2では、偏向電磁石光源を使用しています。偏向電磁石光源からは非常に幅広い波長(エネルギー)領域のX線が出てくるため、分光器により任意のエネルギーのX線を切り出して使うことができます。一方で、鉛直方向よりも水平方向にビームが広がるという特性がありますので、ビームの断面形状は横長となります。このため、偏光電磁石光源と組み合わせるカメラとしてはセンサの形が横長なもののほうが相性が良く、ORCA-Questのセンサの形は奇遇にもこのビームラインに適していました。

Q 今後の装置開発における展望を教えてください。

現在は主にマルチスケール計測を行うためのX線イメージングシステム開発に力を入れています。マルチスケール計測とは、その名の通り複数の空間スケールで撮影を行うことですが、当施設を利用する研究者の中には、遺跡からの発掘物や化石などの大きな対象物の内部をできるだけ細かく見たいという方もいます。BL20B2で利用できるビームは最大で150 mm (H) × 20 mm (V) 程度あり、より大きな対象物の観察ができるポテンシャルがあります。X線画像を撮影する際は、シンチレータによりX線を可視光に変換してからレンズによりセンサ上に結像するという方法を用いていますが、視野サイズと空間分解能を天秤にかけると、一度の撮影ではどちらかを優先せざるを得ません。マルチスケール計測では、大きな視野サイズを持ったカメラで最初に対象物全体を撮影し、その中でより詳細に観察したい部分をクローズアップしてORCA-Questで観察するという方法を用いることにより、より効率的に観察を行うことができます。使用するカメラが変わると、対象物を乗せるステージなどの周辺機器との同期や、ビームサイズといったその他の設定なども細かく調整する必要があるため、さまざまな条件で常に最適なイメージングができるよう、今後も検証を重ねていきます。

もちろん、現在の画素サイズや感度を維持しながら、今よりも画素数が多くセンササイズが大きい、すなわちより大きな視野サイズで観察が可能なカメラが発売されればそれを検出器として用いるのが最適ではあるので、今後の浜松ホトニクスのカメラ開発にも期待しています。

ORCA-Questを用いた細胞の1分子蛍光観察

岐阜大学 糖鎖生命コア研究所 細胞生物物理学研究室では、1分子蛍光観察用のカメラとして「ORCA-Quest」を導入いただいております。同研究室の鈴木様、廣澤様と国立がん研究センター研究所 先端バイオイメージング研究分野 ユニット長を務める笠井様に、1分子蛍光観察における現状の課題や弊社カメラ導入の決め手、撮像例、今後の研究の展望などをお伺いしました。



(左) 笠井 倫志 様 (中央) 鈴木 健一 様
(右) 廣澤 幸一朗 様

インタビュー

岐阜大学 糖鎖生命コア研究所 細胞生物物理学研究室 教授 鈴木 健一 様、研究員 廣澤 幸一朗 様
国立研究開発法人 国立がん研究センター研究所 先端バイオイメージング研究分野 ユニット長 笠井 倫志 様

Q 研究内容について教えてください。

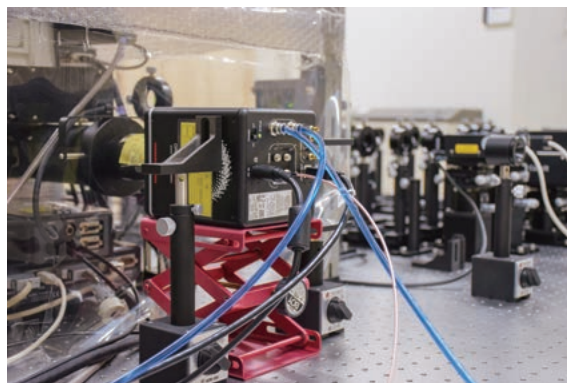
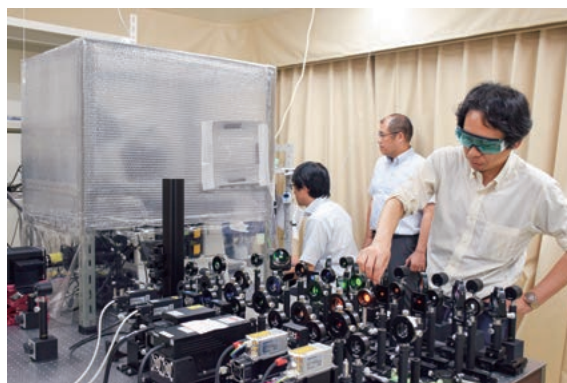
岐阜大学 糖鎖生命コア研究所 細胞生物物理学研究室では、細胞内に存在するタンパク質や脂質分子等を1分子ずつ観察し、起きている事象の時間や頻度等の統計を取ることで分子の働く仕組みを解明することを目指しています。

分子の働く仕組みを解明するためには、分子の挙動を顕微鏡下で観察する必要があります。私たちは超高感度なカメラを使って、実験の内容に合わせて、ときには高速に、ときには高解像度に分子をイメージングし、分子の挙動や分子と分子の相互作用を解明しようとしています。また、このような観察を行うための最適な光学系の構築やイメージング手法の開発も行っています。

Q 1分子蛍光観察にはどのような課題があるのでしょうか。

1分子蛍光観察における一番の課題は、分子から発せられる信号が非常に微弱であることです。加えて、分子の挙動を観察するために高速撮像を行うことから1フレームあたりの入射信号が少なくなること、信号が微弱ゆえに通常の落射照明観察ではバックグラウンドに信号が埋もれてしまうことなど、複数の要因が重なることで、信号の検出のハードルが高くなってしまいます。バックグラウンドを低減させるために、1分子蛍光観察では全反射照明蛍光顕微鏡 (TIRF) を使用することが一般的ですが、最終的に信号をデータとして出力するカメラ側の読み出しノイズを下げることもまた重要となります。

このように1分子蛍光観察には様々な課題がありますが、この課題を解決する方法として一般的なのは、微弱な信号を増倍して検出することができるEM-CCDカメラや、I.I. (イメージインテンシファイア)

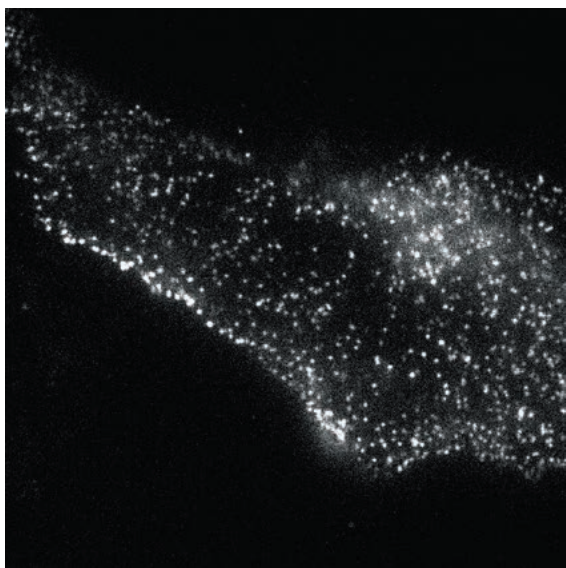


とsCMOSカメラ (科学計測用CMOSカメラ) を組み合わせて撮影を行うことでした。しかし、EM-CCDカメラやI.I.は信号を増倍する過程で信号のゆらぎを発生させてしまうため、信号の定量性が低くなることに加え、分解能も低下するという欠点があります。私達の研究室では近年1分子の超解像イメージングも行っていますが、ゆらぎによる分解能の低下は超解像画像の画質低下につながるため、I.I.等を使わずに信号を検出できるカメラを必要としていました。

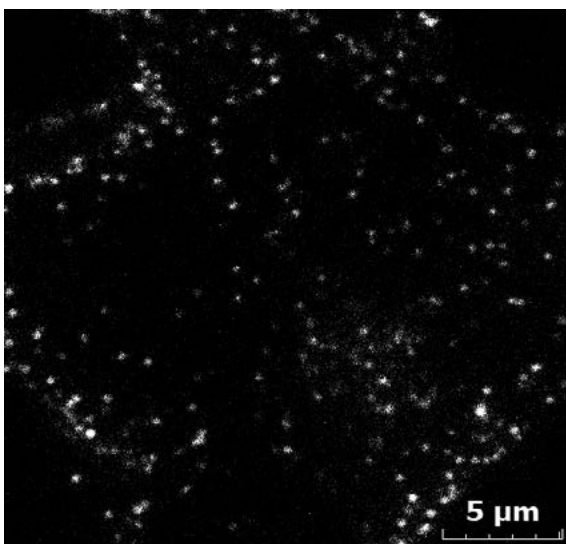
Q ORCA-Questの導入に至った理由や決め手を教えてください。

ORCA-Questを導入した一番の決め手は、ORCA-Questをお借りした際に取得した画像を見て一目でノイズの低下による画質の向上がこれまでのカメラとは格段に違うと実感できたことです。もちろんスベックシートを見てノイズが下がっていることはわかっていましたが、実際に出力された画像を目で見てすぐに明らかな違いが実感できるほどの性能の向上には、「カメラの性能もここまで来たか」と感じたことを覚えています。

チャイニーズハムスター卵巣由来のCHO細胞内に、蛍光タンパク質mStargoldで標識したケモカイン受容体CXCR4を発現させ、ORCA-Questを用いて1分子蛍光観察を行いました。



スキャンモード：Standard scan
フレームレート：40フレーム/秒（1024 × 1024）



スキャンモード：Ultra quiet scan
フレームレート：40フレーム/秒（512 × 512）

画像提供：国立研究開発法人 国立がん研究センター研究所
先端バイオイメージング研究分野 笠井 倫志 様

私達の研究室では、ORCA-Quest以前のORCA-Flash4.0やORCA-Fusion等も使用しています。これらのカメラも非常に高感度なカメラではあるのですが、私達が必要とするフレームレートではやはり1分子からの信号が弱く、カメラ単体では満足のいく画像が得られませんでした。そのため、これらのsCMOSカメラとI.I.を組み合わせで撮影をし

ていました。しかし、ORCA-Questではカメラ単体で撮影をしても満足のいく1分子蛍光画像が取得できました。これによって1分子のトラッキングや、超解像画像作成時のクオリティを向上させることができると考え、導入に至りました。

現在はORCA-QuestとI.I.+sCMOSカメラを実験によって使い分けています。非常に高速な撮影を行う必要があるケースでは、感度面でI.I.+sCMOSカメラの組み合わせに軍配が上がることもあります。多くのケースではORCA-Questで満足のいく画像を取得することができています。

Q 今後の研究の展望を教えてください。

今後の研究の展望としては、主に以下の2つの撮影手法を用いて研究を発展させていきたいと考えています。

1. 多波長化
2. 三次元超解像観察

多波長化に関して、私達は現在主に2波長で1分子蛍光観察を行っています。これを3波長、4波長と増やしていきたいと考えています。例えば3波長同時イメージングを行えるようになると、そのうちの2波長は分子の挙動を観察するために使用し、残りの1波長は超解像画像の撮影のために使用するというように、2種類のイメージングを同時に行うことができるようになります。これにより、現在よりもさらに複雑な分子の解析ができるようになると期待しています。

三次元超解像観察に関して、現在は主に細胞膜の表面に存在する分子の挙動を観察していますが、三次元超解像観察によって膜の内側も同時にイメージングすることにより、そこに存在する小胞体やゴルジ体等と分子の相互作用を観察することができるようになります。これにより膜上で起きている現象に膜内の小胞体やゴルジ体等がどのように関わっているのか、また膜上で起きている現象の情報がどのように膜内に伝わっているのかということを解明できる可能性があります。三次元超解像画像を撮影する方法はいくつかありますが、我々の研究室ではシリンドリカルレンズを用いた手法を使用しています。この手法で三次元超解像画像を取得するためには、二次元画像の分子の形から分子のZ軸方向の位置情報を逆算する必要があります。その際、ただ分子が光っていることがわかるだけでは十分でなく、その分子の形がどのようなになっているかわかるレベルの分解能が必要になります。I.I.を使用すると感度が上がる反面、分解能が低下してしまい分子の形がぼやけてしまうため、超解像画像の作成時に画質の低下を及ぼしていました。今回、ORCA-Questを導入したことによってI.I.を使わなくてもよくなったため、この課題が解決できました。また、I.I.によるゆらぎがなくなったことで輝度の定量性も向上しましたが、これも超解像画像を構築する際の画質の向上につながっています。ORCA-Questは、私達の研究のさらなる発展を支えるカメラだと思っています。

ORCA-Questのコンピュータシヨナル 量子イメージングへの応用

広島大学大学院 統合生命科学研究科 超階層システム数理行動学研究室では、コンピュータシヨナル量子イメージング手法の開発を行っており、開発に使うカメラとして「ORCA-Quest」を導入いただいております。同研究室の特定教授の杉様、実験を担当している博士課程1年の中根様に現状の課題や弊社カメラ導入の決め手、今後の展望などをお伺いしました。



中根 有梨奈 様

杉 拓磨 様

インタビュー

広島大学 大学院統合生命科学研究科 超階層システム数理行動学研究室特定教授 杉 拓磨 様
博士前期課程1年卓越大学院プログラム 中根 有梨奈 様

Q 研究内容について教えてください。

当研究室では、コンピュータシヨナルイメージング技術を用いたイメージング手法の開発を行っており、その中でも特にライトフィールド顕微鏡技術と量子センシング技術の開発をメインに行っています。ライトフィールド顕微鏡は、特殊な光学系を用いることで3次元の情報を2次元画像の中に記録することができるため、その2次元画像から高速に3次元情報を演算し、3次元画像を復元することができます。そのため、共焦点顕微鏡やライトシート顕微鏡のような空間スキャンが不要なく、100倍以上高速に3次元画像を取得することが可能です。しかし、そのトレードオフとして、空間分解能が低いという欠点がありました。当研究室では、情報科学的な画像処理技術の開発により、この空間分解能を1細胞レベルの分解能に高めることに成功し、独自の4次元イメージング技術を確立しました。また、上記のような最新鋭の光イメージング技術や数理モデリング等の物理学を融合し、脳神経回路の情報処理機構を始めとする生体内ダイナミクスの研究も行っています。

Q ライトフィールド顕微鏡にはどのような課題があるのでしょうか。

ライトフィールド顕微鏡にはいくつかの課題があります。はじめに、ライトフィールド顕微鏡は共焦点顕微鏡やライトシート顕微鏡のようなスキャンが必要ないため、高速に3次元画像を取得できることが一番の利点です。一方で、その高速性を活かすためにはフレームレートの速いカメラを使用する必要があります。また、フレームレートを速くするためにはカメラの露光時間を短くする必要がありますが、露光時間を短くすると1フレームあたりの光量が減少するため、高感度なカメラが必要になるという課題があります。

次に、ライトフィールド顕微鏡の画像は空間分解能が低いという課題があるため、当研究室では空間分解能を向上させる画像処理技術を開発しています。この画像処理技術ではカメラのピクセルサイズを小さくするほど空間分解能を向上させることができるため、ピクセルサイズの小さなカメラを探していました。しかし、ピクセルサイズを小さくすると空間分解能が向上する一方で1ピクセルあたりの光量が低下するため、ここでも高感度なカメラを必要としていました。

さらに、ライトフィールド顕微鏡はスキャンが必要ないというメリットがありますが、大きな対象物を撮影する場合はセンサのサイズが小さいとそれが視野のボトルネックになり、1度に全面を撮影できないことがあります。そこで、大きな対象物をスキャンレスに撮影するためにセンサのサイズが大きいカメラを必要としていました。

これまでCCDカメラやsCMOSカメラといったさまざまな高感度カメラを試しましたが、感度の高さ、ピクセルサイズの小ささ、フレームレートの速さ、視野の広さなどのスペックを全て満たすカメラがないという課題がありました。



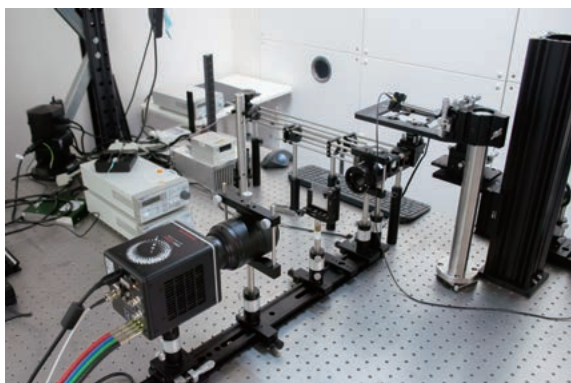
Q ORCA-Quest の導入に至った理由や決め手を教えてください。

ORCA-Quest の導入を決めた理由は、現時点で ORCA-Quest が以下の性能を最も高水準に満たすカメラであったからです。

- ・ 感度の高さ
- ・ ピクセルサイズの小ささ
- ・ フレームレートの速さ
- ・ 視野の広さ

ORCA-Quest を導入する以前は、浜松ホトニクス の ORCA-Lightning を使用していました。このカメラも非常にフレームレートが速く、視野も広いカメラでしたが、感度が十分でなく、ピクセルサイズももう少し小さくなればよいのにと感じていました。そう思っていると ORCA-Quest が発売されたため、すぐにデモをさせてもらったところ、感度、フレームレート、ピクセルサイズ、視野の性能が非常に高く驚きました。

さらに、現在行っている量子センサの蛍光ナノダイヤモンド粒子 (FND) を用いた光検出磁気共鳴 (ODMR) 信号の計測では、カメラのノイズが計測に影響してくるため、できるだけノイズが少ないカメラである必要があります。ORCA-Quest は読み出しノイズや暗電流ノイズ等のノイズも非常に低いため、このような計測も高精度に行うことができています。



Q 今後の研究の展望を教えてください。

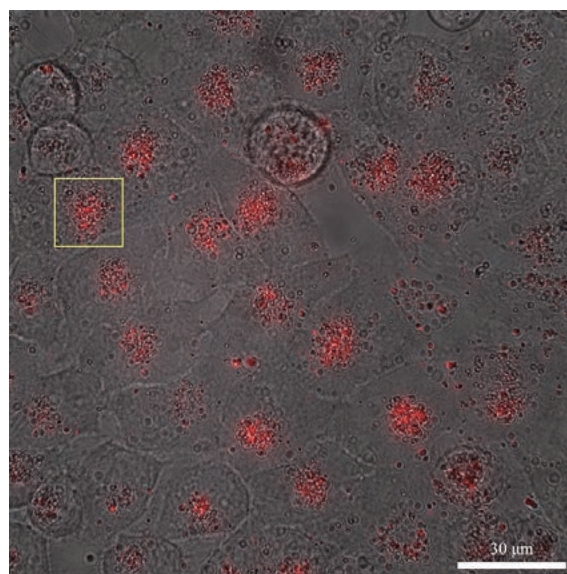
直近では主に以下のような研究テーマを持っています。

- ・ ライトフィールド顕微鏡と量子センサを統合した測定系の開発
- ・ バンドルファイバを用いたライトフィールド顕微鏡の開発
- ・ ライトフィールドカメラを用いた 4π システムの開発

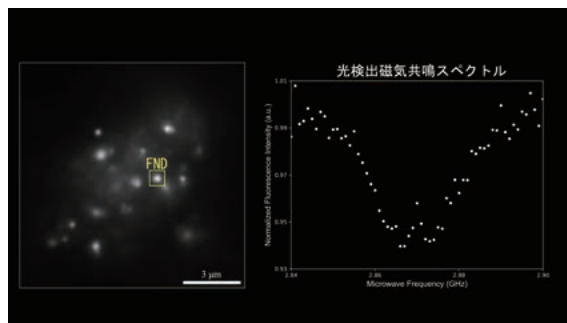
また、上記の他にもライトフィールドカメラの開発や、補償光学を用いたさらなるライトフィールド顕微鏡の分解能向上、AI を用いたコンピュータショナルイメージング技術の発展などさまざまなテーマを考えています。

ライトフィールド顕微鏡と量子センサを統合した測定での撮像例

1. HeLa 細胞における明視野像と FND の蛍光像



2. 1 細胞の FND の 1 分子量子イメージング



1. の黄色四角部を 2. で拡大表示しています。

画像・データ提供：広島大学大学院 統合生命科学研究科
超階層システム数理行動学研究室 杉 拓磨 様

もっと詳しく

本カタログで紹介している事例はWebサイトで公開しています。カタログには載っていない事例や撮像動画なども掲載しています。



科学計測用カメラ

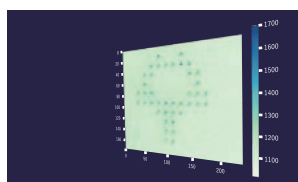
お客様導入事例

https://camera.hamamatsu.com/jp/ja/application_and_case_study.html

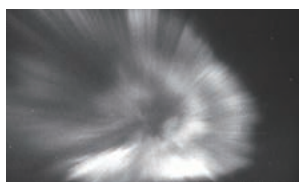


物理分野や生命科学分野を中心としたユーザーの皆様へ、研究内容や弊社カメラの魅力についてインタビューしています。

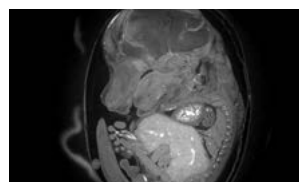
アプリケーションから事例を探す



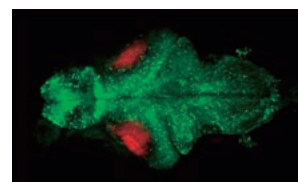
量子



天文



放射光



ライフサイエンス

その他にもカメラ関連の情報を公開しています。

<https://camera.hamamatsu.com/jp/ja.html>



- ORCA-Quest、qCMOS、ImagEMは、浜松ホトニクス（株）の登録商標です。
- その他の記載商品名、ソフトウェア名などは該当商品製造会社の商標または登録商標です。
- カタログに記載の測定データにおけるご提供者の氏名・所属などは、現在と異なる場合があります。
- カタログに記載の測定例は代表例を示すもので、保証するものではありません。
- 本カタログの記載内容は2025年3月現在のものです。本内容は改良のため予告なく変更する場合があります。

浜松ホトニクス株式会社 www.hamamatsu.com

- | | | |
|----------|-----------|---------------------------------|
| □ 仙台営業所 | 〒980-0021 | 仙台市青葉区中央3-2-1（青葉通プラザ11階） |
| □ 東京営業所 | 〒100-0004 | 東京都千代田区大手町2-6-4（常盤橋タワー11階） |
| □ 中部営業所 | 〒430-8587 | 浜松市中央区砂山町325-6（日本生命浜松駅前ビル） |
| □ 大阪営業所 | 〒541-0052 | 大阪市中央区安土町2-3-13（大阪国際ビル10階） |
| □ 西日本営業所 | 〒812-0013 | 福岡市博多区博多駅東1-13-6（いちご博多イーストビル5階） |

- | | |
|--------------------|--------------------|
| TEL (022) 267-0121 | FAX (022) 267-0135 |
| TEL (03) 6757-4994 | FAX (03) 6757-4997 |
| TEL (053) 459-1112 | FAX (053) 459-1114 |
| TEL (06) 6271-0441 | FAX (06) 6271-0450 |
| TEL (092) 482-0390 | FAX (092) 482-0550 |

□ システム営業推進部 〒431-3196 浜松市中央区常光町812 TEL (053) 431-0150 FAX (053) 433-8031

Cat. No. SCAS0174J01
MAR/2025 HPK