

散乱透視学

Scattering Clairvoyance

7/2024

Newsletter Vol. 8

●計画研究一覧

●公募研究第2期一覧

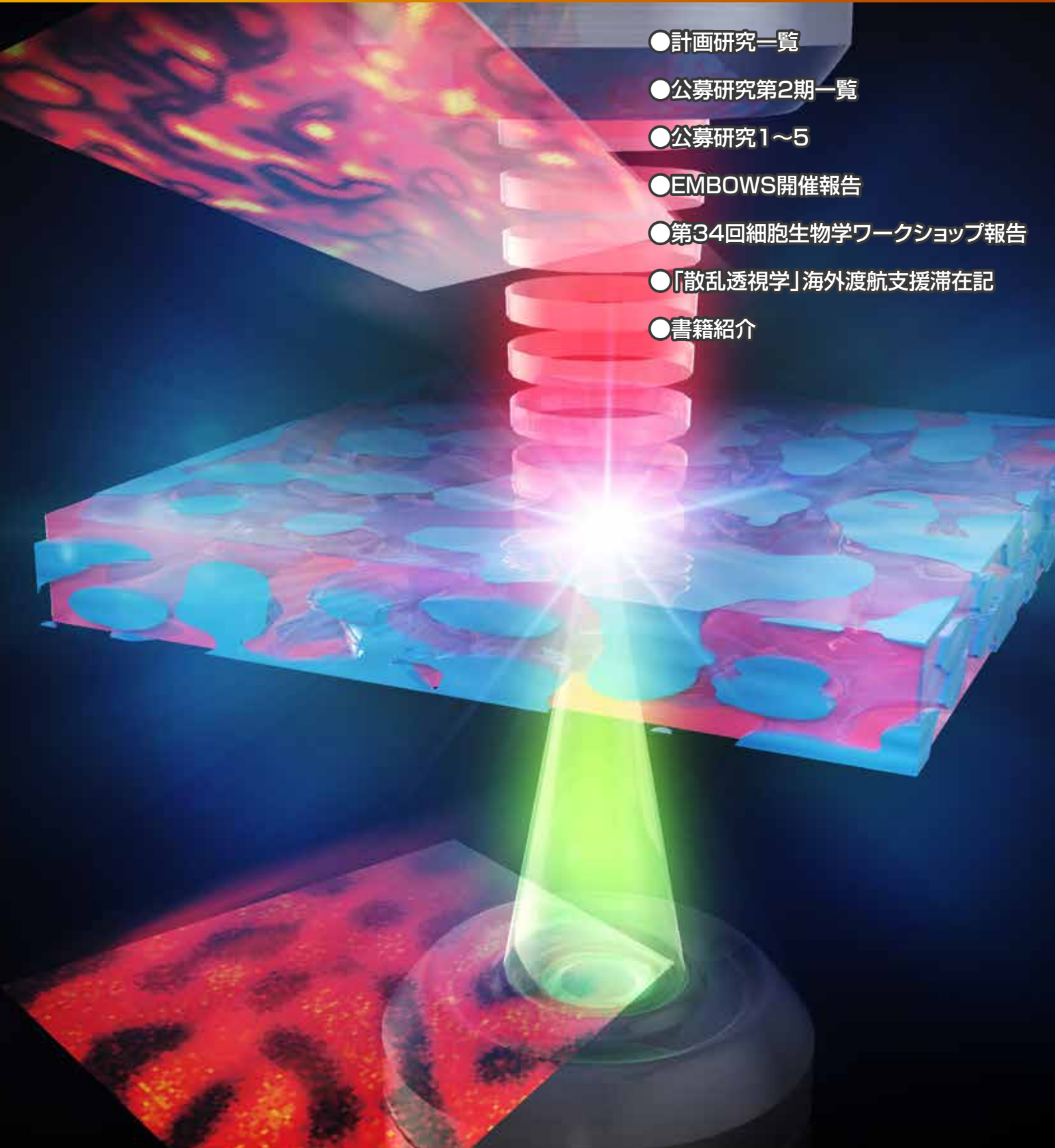
●公募研究1~5

●EMBOWS開催報告

●第34回細胞生物学ワークショップ報告

●「散乱透視学」海外渡航支援滞在記

●書籍紹介



研究項目A01

物理基盤による散乱透視学

- 計画研究1 時空間光波シンセシスによる散乱透視基盤の構築
研究代表者: 的場修(神戸大学・教授)
研究分担者: 小倉裕介(大阪大学・准教授)
上野原努(大阪大学・助教)
- 計画研究2 散乱・揺らぎ場における光の伝搬の可視化
研究代表者: 粟辻安浩(京都工芸繊維大学・教授)
研究分担者: 角江崇(千葉大学・助教)
- 計画研究3 大規模光データベースによる散乱・揺らぎ場モデリング
研究代表者: 渡邊恵理子(電気通信大学・准教授)
研究分担者: 宮本洋子(電気通信大学・教授)
池田佳奈美(大阪府立大学・助教)

研究項目A02

数理基盤による散乱透視学

- 計画研究4 散乱理論・散乱イメージング理論の構築
研究代表者: 木村建次郎(神戸大学・教授)
- 計画研究5 インテリジェント散乱・揺らぎイメージング
研究代表者: 谷田純(大阪大学・教授)
研究分担者: 中村友哉(東京工業大学・助教)
西崎陽平(大阪産業技術研究所・研究員)

研究項目A03

実問題における散乱透視学

- 計画研究6 生きた細胞や組織における散乱・揺らぎ計測と制御
研究代表者: 松田厚志(情報通信研究機構・主任研究員)
研究分担者: 坂本丞(基礎生物学研究所・特任助教)
平野泰弘(大阪大学・助教)
亀井保博(基礎生物学研究所・特任准教授)
- 計画研究7 空間光伝搬通信における散乱・揺らぎ計測と制御
研究代表者: 高山佳久(東海大学・教授)
研究分担者: 玉川一郎(岐阜大学・教授)
小林智尚(岐阜大学・教授)
- 計画研究8 光波の時空間における計測・変調・制御を駆使した天文イメージング
研究代表者: 早野裕(国立天文台・教授)
研究分担者: 西川淳(国立天文台・助教)
入部正継(大阪電気通信大学・教授)

公募研究一覧

第2期

- 公募研究1 中赤外光熱変調散乱計測による生体化学イメージング
加藤 遼 (徳島大学ポストLEDフォトンクス研究所・特任助教)
- 公募研究2 粒子懸濁液の散乱透視:特異挙動の理解と計測手法基礎の確立
桂木 洋光 (大阪大学・教授)
- 公募研究3 大気揺らぎの中を伝搬するレーザー通信光のTEM波の特性に適した基底モードの解明
山下 泰輝 (国立研究開発法人情報通信研究機構 デジタル光学基盤研究室・研究員)
- 公募研究4 大視野3次元蛍光イメージング法の開発
市村 垂生 (大阪大学・特任准教授)
- 公募研究5 散乱透視のための量子プロトコルにもとづく位相回復法の進化
深津 晋 (東京大学大学院総合文化研究科・教授)
- 公募研究6 正常細胞と病的細胞の光散乱・揺らぎ4次元解析:散乱透視学と医学の融合
出沢 真理 (東北大学医学系研究科・教授)
- 公募研究7 トポロジカル解析に基づく生体組織の光学構造表現の探索と散乱透視への応用
西村 隆宏 (大阪大学大学院工学研究科・助教)
- 公募研究8 多重散乱体での光渦の伝搬解析と拡散蛍光イメージングへの応用
西村 吾朗 (北海道大学電子科学研究所・助教)
- 公募研究9 散乱体透過条件下における微小領域での空間-時間分解分光法の開発
太田 薫 (神戸大学分子フォトサイエンス研究センター・研究員)
- 公募研究10 ホログラフィック顕微鏡による脳の揺らぎ操作
中井 信裕 (神戸大学大学院医学研究科・特命助教)
- 公募研究11 波面整形顕微動的散乱法によるソフトマテリアルの不均一性の可視化
廣井 卓思 (芝浦工業大学 工学部・准教授)

中赤外光熱変調散乱計測による生体化学イメージング

加藤 遼 (徳島大学ポストLEDフォトニクス研究所)

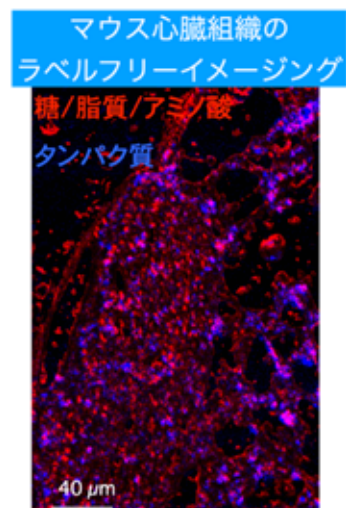
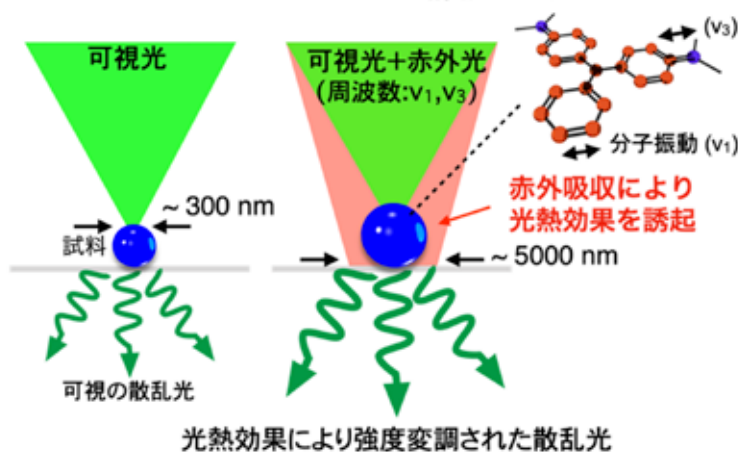
生体内で起きる様々な生理現象や生体機能を理解するためには、生体内の分子ダイナミクスをラベルフリーかつ高感度に計測することが必要である。これまでに、蛍光や散乱光計測によるバイオイメーキング研究が精力的に行われてきた。しかし、蛍光標識による生体機能の阻害や蛍光退色、分子同定能力が低いという課題がある。

本公募研究では、蛍光や散乱を用いた従来の生体イメージングの利点である高い時空間分解能と、赤外分光法の高い検出感度と分子同定能力を両立する新たな生体化学イメージング法の開発を目的とする。そのために、申請者が近年開発した、散乱光をプローブ光として用いる「中赤外光熱変調散乱計測」を基軸とした、生体イメージング基盤を確立する。本手法では、分子が中赤外光を吸収した際の微小な屈折率変化・体積膨張(光熱効果)を、可視光の散乱を検出することで赤外吸収情報を間接的に計測する。更なる高感度化と高速化に向けた技術開発を行い、細胞・組織のラベルフリーイメージングを実証する。新規生体化学イメージングにより、生体機能や生理現象、疾病に関する新たな知見を得ることを目指す。また、生体内の散乱体を同定できるため、生体からの散乱や自家蛍光の計測結果を包括的・統合的に理解・解釈する手助けし、散乱透視学に貢献する。

光熱効果を可視光で検知することで、分子の赤外吸収情報を超解像観察



Vib. Spectro., 118 (2022)
Anal. Sci., 38 (2022)
Analyst, 148 (2023)

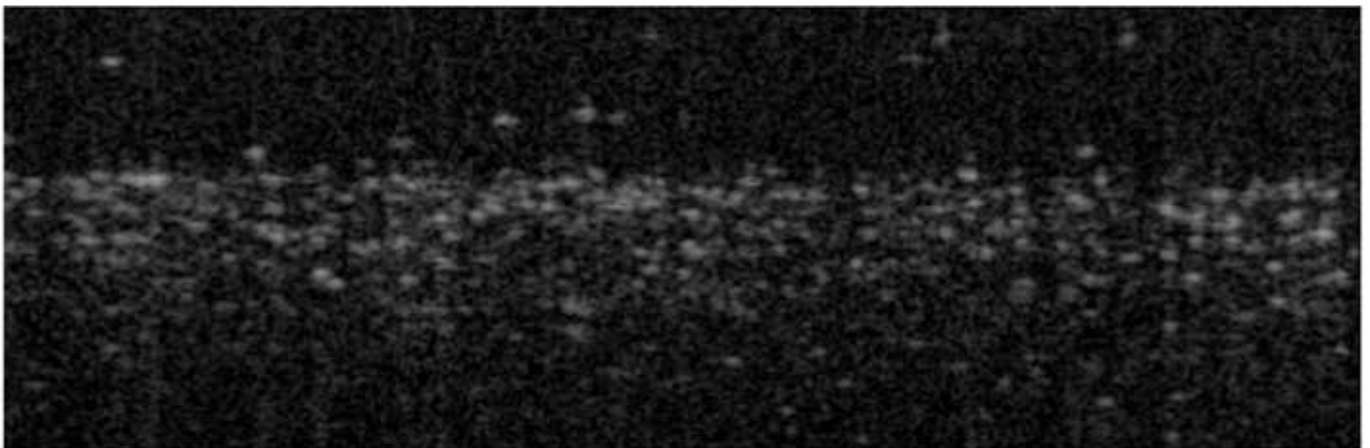


粒子懸濁液の散乱透視:特異挙動の理解と計測手法基礎の確立

桂木 洋光(大阪大学)

片栗粉やコーンスターチの濃厚懸濁液は、ゆっくりとした変形に対しては流体的に応答し、速い変形に対して固体的に応答することが知られている。特に、濃厚懸濁液に固体物体が衝突すると、跳ね返りを起こすほどの応答を示すこともあり、このような濃厚懸濁液は固まる液体として科学デモンストレーション等で用いられることも多い。しかし、この懸濁液の衝突による突発的固化現象を引き起こす物理過程については未解明の点が残されている。例えば、液中に懸濁する粒子が衝突により局所的に混み合いの状態(ジャミング状態)を形成し、それにより実効的に固化した塊が容器壁に到達し、弾性反発が起こると考えられている。しかし、どの程度のジャミング状態が実現され、どのように緩和していくのか等の基礎的挙動についてはほとんど分かっていない。これは懸濁液中の粒子挙動の観察が難しいことに由来している。

本研究では、光干渉断層法や屈性率マッチング法などの手法を用いて、懸濁液内部の粒子配置等を直接観察することに挑む。この系に、衝突のような外部撃力を加えた場合に懸濁液にどのような変動が現れるか明らかにしたい。現在、予備的計測をすすめているところであるが、光干渉断層法の計測では、計測手法の時間分解能の限界から、衝突に対する応答の詳細を捉えることが困難という感触を得ている。今後は、定常的な外力を印加した懸濁液内部の粒子配置の計測等にも挑む。これらを通して、懸濁液内の粒子の直接計測の技術確立と、突発的固化の起源となる物理機構解明を目指す。



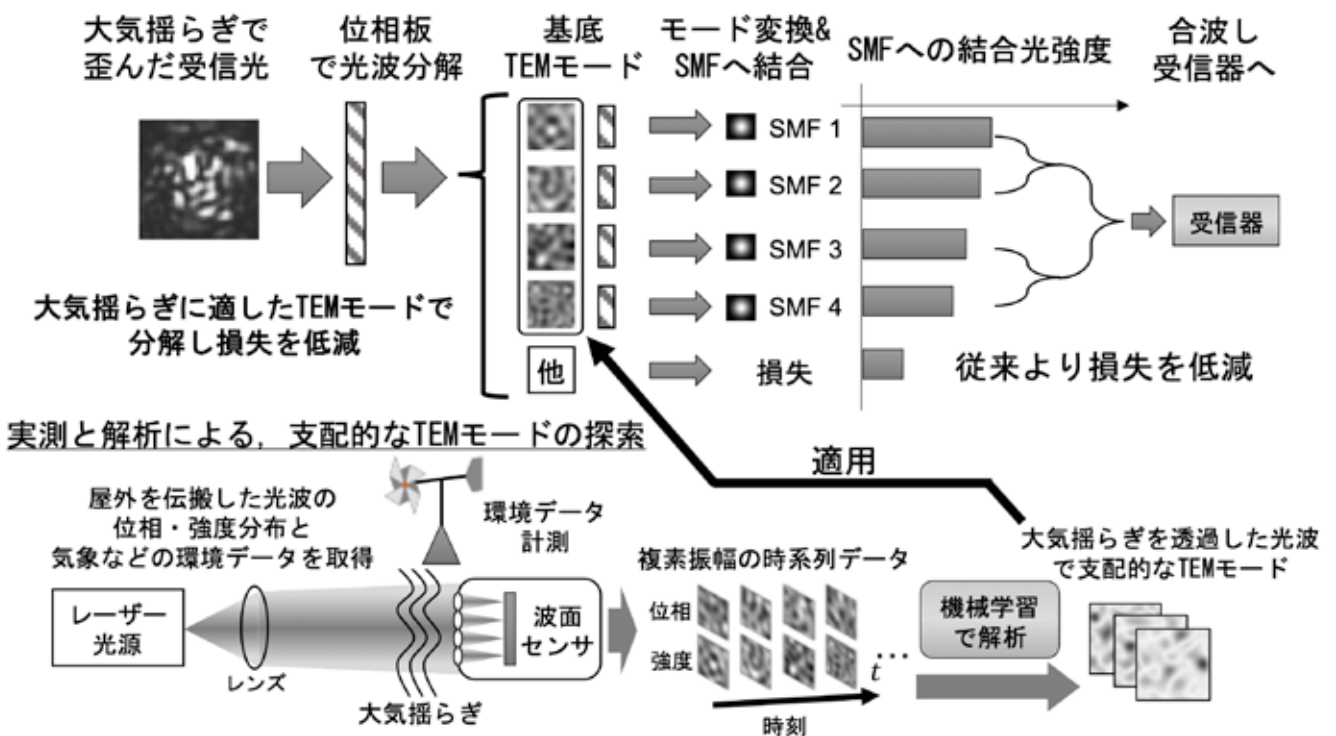
大気揺らぎの中を伝搬するレーザー通信光のTEM波の特性に適した基底モードの解明

山下泰輝(情報通信研究機構)

レーザー光で高速無線通信を行う空間光通信では、通信光が大気中を伝搬した際に光波が歪み、波面と強度の分布が時間的に変動することが、伝送速度のさらなる高速化や通信装置の小型簡易化を行う上での課題である。現行技術では補償光学などのフィードバックによるアクティブな波面制御により光波の歪みを補正するが、通信装置の設計の観点に立つと、小型簡易化の為にはパッシブな素子で光波の歪みを補正できる事が望ましい。その方法として、光波を位相板により変調し直行基底を成すTEMモードの成分に分解の後に、TEM00モードへ変換する手法が提案されている。この際、複数の横モードの成分を予め仮定し、それらの成分で光波を近似することになるため、光の伝搬経路の特性を考慮してTEMモードを選ぶ必要があり、現在は光波補正の効率に課題がある。

そこで本研究では、位相板によるパッシブな波面補正の光波分解の効率を向上するため、大気中を伝搬した光波の位相と強度の時空間的なデータを実測により収集し、支配的な固有モードを機械学習によって見出す。本研究を通してパッシブな受信光学系でも高速な通信を可能とする基礎を固め、空間光通信装置の構成を刷新することを目指す。

位相板によるパッシブな光波補正の概念図



公募研究4

大視野3次元蛍光イメージング法の開発

市村垂生(大阪大学)

近年の多細胞システムの理解を目的とする研究では、システム全体の動作と個々の細胞の動作を同時に捉えるために、光学イメージングの大視野化が重要な技術の一つとなっている。しかし、従来の生物顕微鏡はレンズの性能、筐体の構造、イメージセンサーの画素数などの制限により、必ずしもその需要に応えられていなかった。この需要に応えるために、センチメートルを越える視野全域を1細胞分解能で観察できるイメージング系AMATERASを開発している[1]。本研究では、とくに個体や組織などの散乱体内部を単細胞分解で観察可能な3次元分解能を有する大視野蛍光イメージング技術を開発する。これまでに大視野イメージングのための巨大レンズ系を開発し(図1A)、低倍結像系のために独自設計した共焦点光学系と、新規開発した画像解析法を付加することにより、大視野3次元イメージング技術を確立した。さらに、マウス脳組織内での3次元細胞観察(図1B-C)およびウズラ胚の血管ネットワーク形成プロセスの3次元経時観察を実現した [2-3]。公募研究期間中に、発生生物学およびマウス全脳イメージングに応用することで、本手法の有効性を実証したい。

[1] T. Ichimura, *et al.*, *Scientific Reports* 11, 16539 (2021).

[2] T. Ichimura, *et al.*, *Biophys. Physicobiol.* 21, e211017 (2024)

[3] T. Ichimura *et al.*, *eLife*, doi:10.7554/eLife.93633.

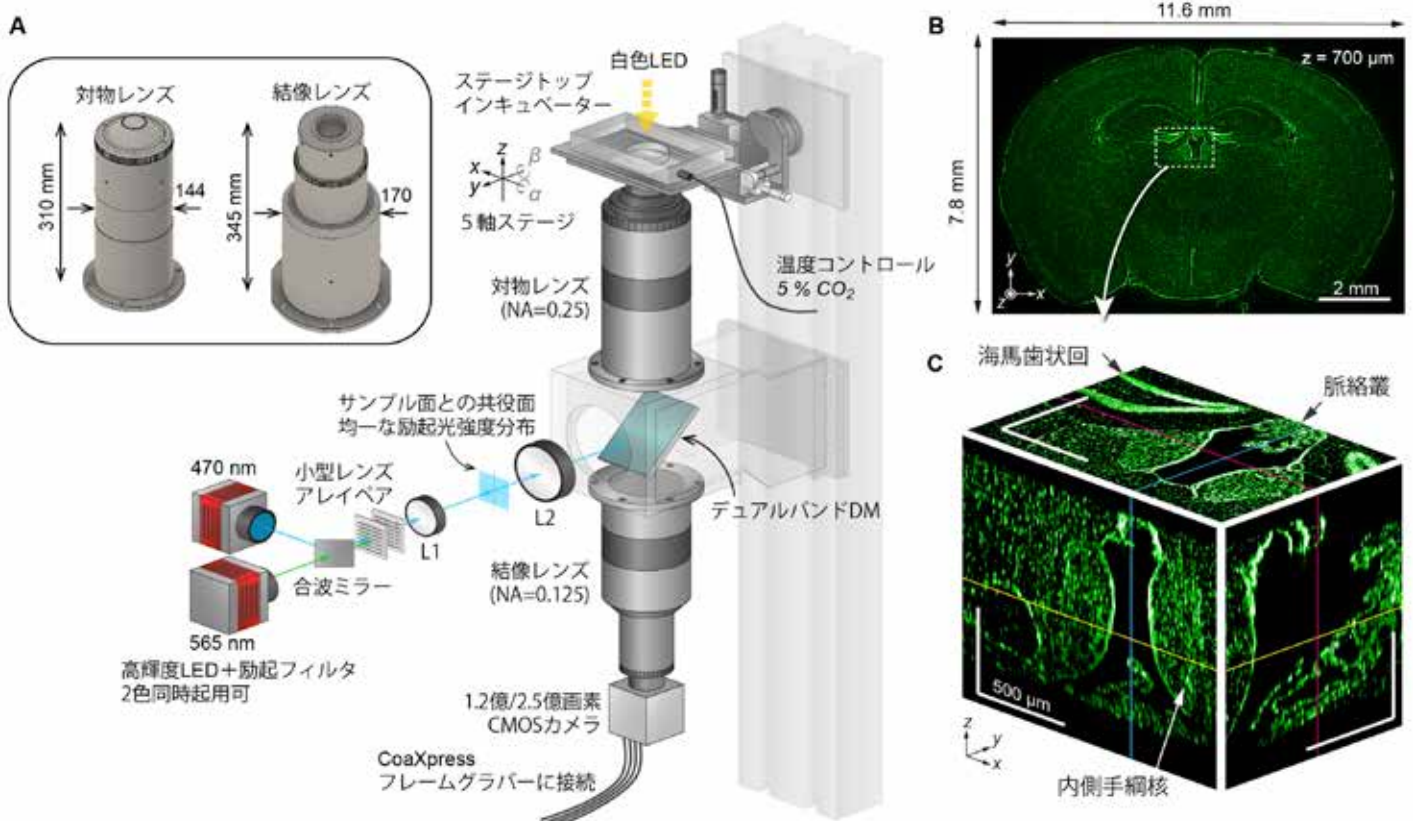


図1. (A)開発した巨大レンズを用いた大視野蛍光イメージング系。(B-C)マウス脳切片(1.5mm厚)の3次元イメージング。(B)表面から700μmのz面の蛍光像(視野全域)。(C)破線領域のxy面、xz面、yz面の蛍光像。

散乱透視のための量子プロトコルにもとづく位相回復法の進化

研究代表者：深津 晋 (東京大学)

研究協力者：槻 凌多 (東京大学)

角谷聡太 (東京大学)

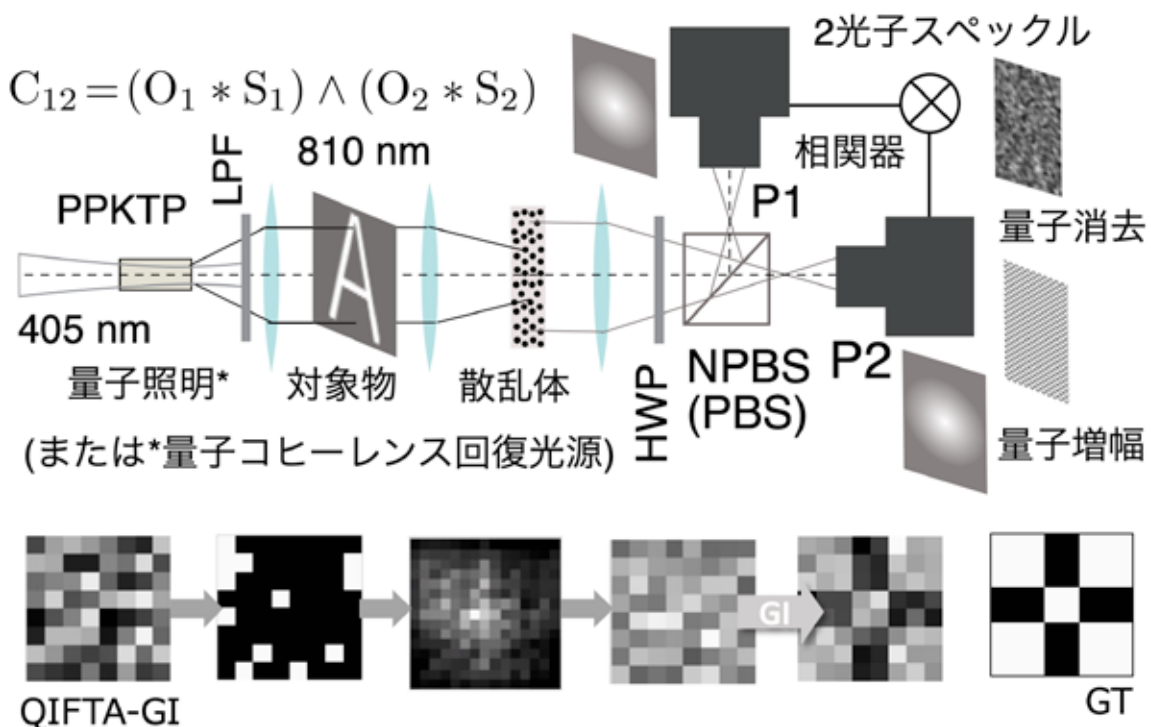
玉木隆太 (東京大学)

神野莉衣奈 (東京大学)

一瞥で判別できないほど乱れた画像を再生することは、生命科学・天文学を筆頭に通信・計測ほか実験科学全般の究極課題であると同時に社会からの要請でもあります。本研究では、未開拓の自然の性質である光の量子性を用いてこの難題に挑みます。光路上の散乱ゆらぎ場の効果を低減し、画像劣化や視界不良を改善できる新基軸の散乱透視技術の基盤形成を試みます。

ここでは位相回復法の進化を目標に、イメージングに特化した量子プロトコルの物理実装を目指します。ところが今までに光の量子性を画像再生に適用した事例はありませんでした。そこで量子コンピューショナル散乱透視への先鞭をつけるべく、第1期公募研究「2光子プロトコルによる擾乱透明化イメージング」の成果の積極的な活用を試みます。

具体的には、2光子スペックル・量子照明を用いて、位相回復の生命線と言える自己相関関数の先鋭化を達成します。2光子メモリー効果を検証した後、量子コヒーレンス回復法を適用して非侵襲・非局所的な画像再生のプロトコルの実現を目指します。しかし、光量子検出はスパースなため画像のデータ欠損が不可避です。本研究では、圧縮センシング・深層学習など推定・予測技術との戦略連携により問題の解決を図ります。時間領域への拡張を通して情報伝送・通信分野への応用展開を試みるとともに新学理の構築を目指します。



国際会議開催報告

①EMBO & The Company of Biologists Workshop “Trans-Scale Biology using exotic non-model organisms”, 25 – 27 July 2023 in Okazaki, Japan

(<https://meetings.embo.org/event/23-trans-scale-bio>)

②EMBO/COB Satellite Meeting "New Approaches for the Properties of Bio-materials", 28 July 2023 in Okazaki, Japan

(<https://sites.google.com/nibb.ac.jp/embo-ws-tsb-satellite-meeting/home>)

開催報告(世話人) 亀井保博(基礎生物学研究所)

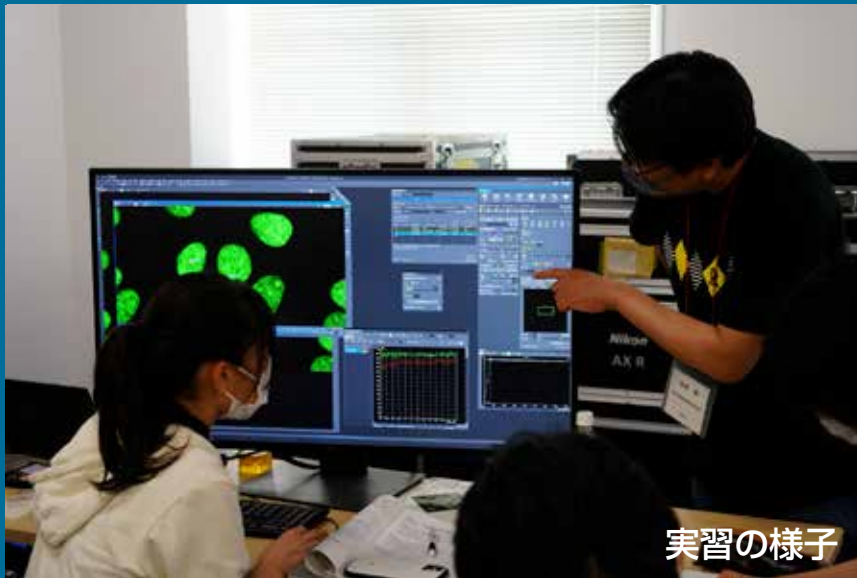
欧州分子生物学機構(EMBO: European Molecular Biology Organization)による公募国際ワークショップであるEMBO/COBワークショップに基礎生物学研究所の提案が採択され①EMBO/COB Workshop “Trans-Scale Biology’ using exotic non-model organisms”が7月25-27日に愛知県岡崎市で開催された。続けてサテライト会議として、②EMBO/COB Satellite Meeting “New Approaches for the Properties of Bio-materials”も続けて開催された。参加者は100名超(うち海外からは20名程度)で、サテライトには30名超(海外8名)の参加があった。散乱透視学領域は両会議に共催し、的場修(領域代表)はメイン会議の招待講演者としてNew technologies to develop emerging model organismsのセッションにて「Two-photon holographic microscope and 3D fluorescence imaging」のタイトルで招待講演を行った。また、サテライト会議は、学術変革領域(A)からだ工務店とのJoint WS形式で開催され、両領域の紹介(栗辻安浩計画班代表が散乱透視学の、井上康博領域代表がからだ工務店の紹介)で幕を開け、それぞれの領域に関係する招待講演(7演題)や、ポスター発表から選ばれたショートトーク(3演題)が行われた。散乱透視学領域メンバーとしては、栗辻安浩(計画班代表)が、「High-speed 3-D / Ultrafast Imaging by Holography」、市村垂生(公募班員)が、「Three-dimensional imaging of micrometer-scale cellular dynamics in centimeter-scale multicellular systems」、友井拓実(玉田班員)が「Targeted Single-cell Gene Induction by Infrared-laser Heating in Plants」の各演題の講演を行った。今回は生物系の研究者の国際会議であったため、領域からの参加者数は多くは無かったが、当領域の新しいイメージング手法に関して興味を持ってもらえた。今回のメイン会議ではGroup Discussionのテーマとして、Omix, Genome EditingそしてBioimagingが取り上げられて、3グループx2回の議論が行われ、新しいイメージング手法についても質問があり、新手法への期待が見られた。また、サテライト会議においては、両領域の活動を相互に知る機会となり、領域間共同研究に繋がるきっかけになったのではないと思われる。サテライト会議の最後にはメイン会議招待講演者のAnastasios Pavlopoulos博士(Institute of Molecular Biology & Biotechnology, Greece)ならびに基礎生物学研究所の藤森俊彦TSBセンター長によるClosing Remarksがあり、今後のイメージング技術を含めた超階層生物学(Trans-Scale Biology)への期待が語られ、4日間の会議を無事閉会した。

最後に、この2つの会議が無事開催する事ができましたのも全ての講演者、参加者の皆さまのご協力のたまものであり、感謝します。また、開催に当たり散乱透視学領域関係者(Organizerとして、的場、栗辻、友井)ならびからだ工務店領域の皆さま、基礎生物学研究所の関係者のご協力に感謝します。

第34回細胞生物学ワークショップ開催報告

(大阪大学大学院生命機能研究科・平野泰弘)

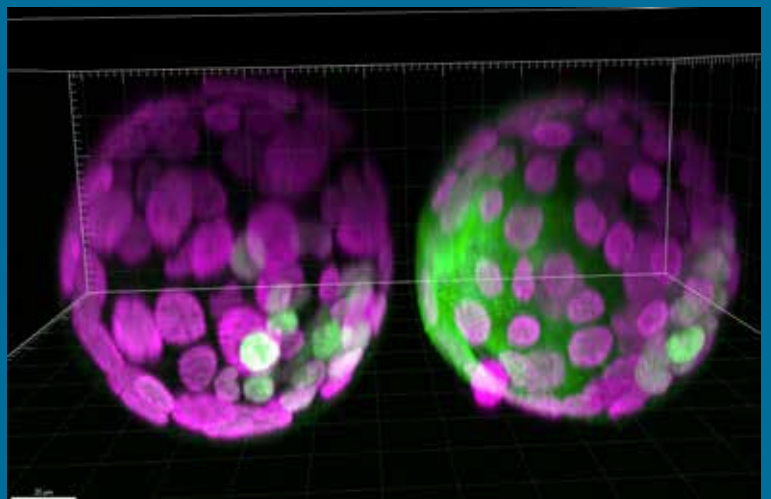
ライブセルイメージングに関する技術習得を主題とした「第34回細胞生物学ワークショップ」を7月24-28日に大阪大学生命機能研究科にて開催した。本領域から玉田班の平野、松田の2名が共焦点顕微鏡や超解像顕微鏡の基礎に関する講義と実習を行い、生物試料を観察する際に起きる揺らぎの問題に関して、啓蒙・議論を行った。



今年度も顕微技術の啓蒙を広く行うという観点からオンサイト・オンラインのハイブリット開催とし、オンサイト参加14名、オンライン参加46名の計60名の若手研究者の方々が参加した。この人数は、細胞生物学ワークショップ史上、最多とのことであった。参加者の増加の要因として、SNSによる情報発信が挙げられる。参加者アンケートの中で、「どのようにしてこのワークショップのことを知ったか」という項目を毎年作っているが、今年度はこれまでの主経路であった口コミ(ラボのPIや先輩、友達)に加え、SNSで見た、というコメントが多く寄せられた。確かに今年度は高名な名誉教授と推察されるアカウントがtwitter(現X)で盛んにワークショップのことをつぶやいて(宣伝して)おり、SNSの情報拡散能力を実感した次第である。実際、これまでに参加者がいなかった大学からも応募があり、ワークショップへの認知度が上がったと感ずることができた。本領域でもSNSを積極的に活用することが肝要であろう。

本ワークショップは、午前に基礎知識の講義、午後に午前の講義内容の実習、夕方には講義・実習内容を踏まえた総合討論(復習)という三部で構成される。これを月曜から金曜まで5日間行い、生物学研究の最前線で最低限必要となる内容をカバーするものである。レンズを通した光の結像特性から始まり、蛍光顕微鏡の成り立ち、実践的な利用法を学んでいく。各顕微鏡メーカーの協力により、本来なら見ることのできない光学パーツを見せて頂けたりと、蛍光顕微鏡に関する知識を体系的に学ぶ。本年度は近畿大学山縣一夫博士と山縣研の博士後期課程の学生である米澤直央さんの協力を得て、生体深部の観察における散乱や揺らぎの影響を実感してもらうための実習を行い、我々の領域のアプローチについて議論を行うことができた。

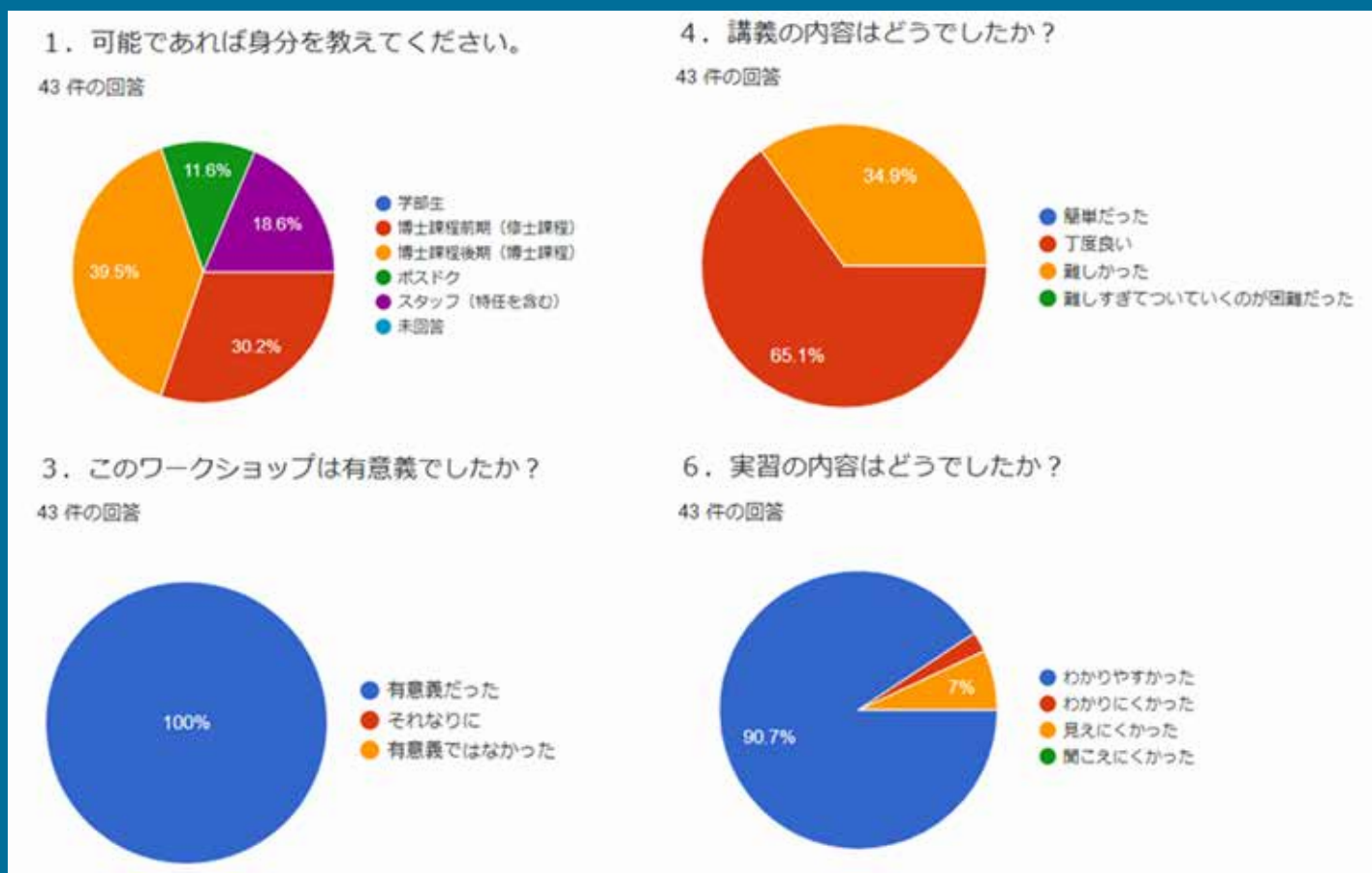
本ワークショップは、午前に基礎知識の講義、午後に午前の講義内容の実習、夕方には講義・実習内容を踏まえた総合討論(復習)という三部で構成される。これを月曜から金曜まで5日間行い、生物学研究の最前線で最低限必要となる内容をカバーするものである。レンズを通した光の結像特性から始まり、蛍光顕微鏡の成り立ち、実践的な利用法を学んでいく。各顕微鏡メーカーの協力により、本来なら見ることのできない光学パーツを見せて頂けたりと、蛍光顕微鏡に関する知識を体系的に学ぶ。本年度は近畿大学山縣一夫博士と山縣研の博士後期課程の学生である米澤直央さんの協力を得て、生体深部の観察における散乱や揺らぎの影響を実感してもらうための実習を行い、我々の領域のアプローチについて議論を行うことができた。



実習で撮影したマウス初期胚サンプル深部(画像上方向)に行くと散乱やゆらぎの影響で蛍光が暗くなってしまうことを実感してもらう実習。(サンプル提供:近畿大学・山縣一夫博士)

受講後のアンケート結果を以下に示す。受講生の方々には満足して頂けたようであるが、オンラインで受講されていたから、zoomのフレームレートが低いために動画が見えにくいことや、オンサイトの方からはモニターが小さくて見にくかったなどの意見が出た。短期的に解決できない部分もあるが、今後アップデートを検討していく。

アンケート結果



コロナの感染法上の取り扱いが5類に変更されてから初のワークショップであったが、オンサイトでの感染拡大には神経を使う会であった。恐らくワークショップ参加前に感染されたと思われる方が期間中に発症してしまい、急遽オンライン受講に切り替えて頂くなどの対応や、講師・参加者への抗原検査の徹底とマスク着用の義務化を行うことで、それ以上の感染拡大は防げたようである。状況に応じた感染対策で、オンサイト実習を完遂できたのが何よりであった。ところで、今回のワークショップではコロナ初期の完全オンライン開催のときの受講生が、TAとして改めて現地参加してくれた。当時からオンライン講習良かったと話してくれていたが、現地参加してみて、現地参加の方が圧倒的に良かったそうだ。実習のライブ感や、人とのつながりが作りやすいなどは、まだまだオンラインでは難しいようである。

「散乱透視学」海外渡航支援 滞在記

2023年3月24日

神戸大学 大学院システム情報学研究科 特命助教 米田 成

2023年1月30日から3月6日にかけて、スペインのCastellón de la PlanaにあるUniversitat Jaume IのEnrique Tajahuerce准教授の研究室に滞在しました。本渡航の目的は、高速なシングルピクセルホログラフィシステムの開発およびその散乱透視への応用でした。

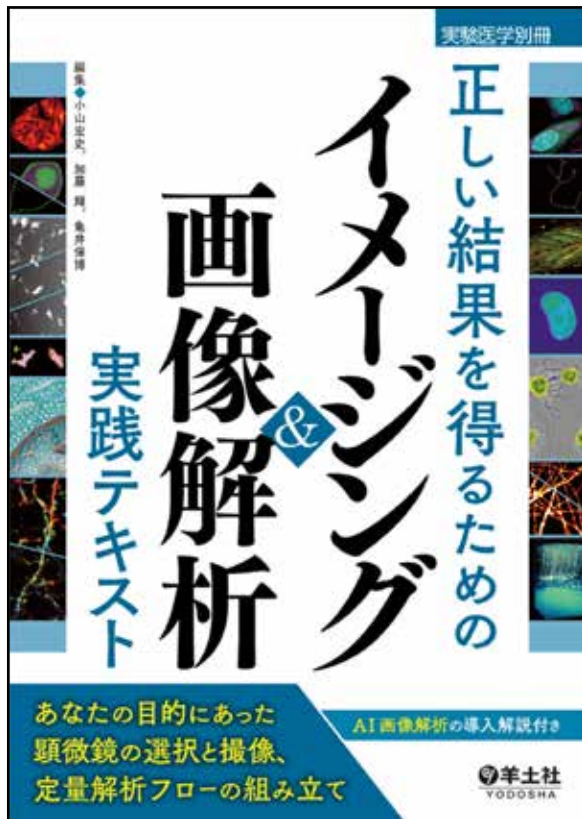
これまで私は、空間光変調器 (SLM) を用いたシングルピクセルホログラフィの技術を開発し、それを用いて散乱体の背後に存在する蛍光三次元物体の可視化を行ってきました。しかし、画像の取得に必要な計測時間がSLMのリフレッシュレートによって制限されてしまうため、128x128の画素数のホログラムを取得するのに最低でも5分ほど必要でした。スペインのEnrique Tajahuerce准教授らは、デジタルマイクロミラーデバイス (DMD) を使用した高速シングルピクセルイメージングに関する研究を多く発表しています。そこで、Enrique Tajahuerce准教授らの技術と融合することで、高速なシングルピクセルホログラフィを実現しようということになりました。

約一か月という、比較的短期間であったため、効率的に研究が行えたと思います。まず、DMDを使用する場合は二階調変調による影響を評価する必要がありました。これまでの方法と比較すると、照明光の二階調化にともなう背景ノイズが現れましたが、想定していたよりも影響が小さかったため、すぐに実験に取り掛かりました。もちろん、背景ノイズの低減に関する研究は引き続き行っております。その後、どの程度フレームレートを変えて像が得られるかを評価しました。その結果、DMDを最も速く動かした場合でも像が得られることがわかり、この結果から提案手法を用いて動画像記録ができるのではないか、と提案しました。滞在先の研究室には動画像記録をするためのソフトウェアがなかったため、改良し、最終的に1.25fpsの動画像記録が可能になりました。この方法を散乱透視へ応用し、通常ホログラフィ技術では不可能な、散乱体背後の動的物体の可視化を行いました。

私にとっては海外での長期滞在が初めてであったこともあり、文化や言葉の違いに最初は戸惑いましたが、現地の方々の暖かい支援と心遣いにより、スペイン生活を楽しむことができました。渡航先の研究室はエクアドル、ブラジル、コロンビア、フィリピン、メキシコ、中国、イタリア、ドイツからの学生も参加しており、とても国際的なグループでした。ある休日に、OPTICAとSPIEの学生チャプターが開催していたイベントに参加しました。このイベントは、バレンシア大学の植物園で開催され、子供や一般の人たちに物理や光学の面白さを伝えるものでした。写真にある巨大なダイクロイックミラーを使って学生が光学現象の説明をしていました。参加の記念に、学生チャプターのTシャツを頂きました。いいお土産です。



渡航を支援してくださった散乱透視学および領域事務局の方々・貴重な機会をいただきました。場先生とTajahuerce先生、一緒に実験してくれたErickとLuisに深く御礼申し上げます。



実験医学別冊

正しい結果を得るためのイメージング&画像解析実践テキスト

あなたの目的にあった顕微鏡の選択と撮像、
定量解析フローの組み立て

小山宏史,加藤 輝,亀井保博／編

2024年05月10日発行 B5判 267ページ
ISBN 978-4-7581-2271-9

定価:6,600円(本体6,000円+税)

羊土社

<https://www.yodosha.co.jp/jikkenigaku/-book/9784758122719/index.html>

著者/編者のコメント

生物学においては、顕微鏡に代表されるバイオイメージングの重要性がますます高まっています。これまでは典型例を示したり、研究・実験の概念の理解を助けるための写真、つまり、「定性」を示す例として利用されてきましたが、近年は「定量」を目的にして多数の画像データを活用する時代となっています。一方で、生物学研究者の光学に対する知識や認識は不十分な状況です。これは生物系学科における顕微鏡光学的な講義がほとんど無いことや、生物系研究者の物理や数学に対する苦手意識があるのではないかと考えています。そして、定量のための画像処理・画像解析についても同様です。

この様な状況から、基礎生物学研究所では以前から顕微鏡光学や画像解析の基礎的な知識獲得のためのコースを開催してきました。1つは、散乱透視学領域も協賛で開催している「OPT:顕微鏡基礎実習」です。これは生物学研究者を対象に、顕微鏡光学基礎の座学と、レンズやカメラといった光学部品を光学定盤上に自ら組んで座学の理論を体験を通じて理解する実習をセットにしたコースです。もう1つは、画像解析の基礎の座学と、ImageJを使った実際の解析実習をセットにした「BIATC:生物画像データ解析実習」です。本書は、これら2つの実習コースの座学部分を中心に、画像解析を前提とした顕微鏡撮影を意識した書籍として刊行しました。最新の顕微鏡イメージング技術に関してもトピックとしていくつか取り上げており、的場領域代表にもご執筆頂いております。

これから顕微鏡を使い始める方や、利用しているが理解できていないと感じている方などの初学者向けの基礎的な内容となっております。本領域の研究者の方々には少々物足りない内容だと思っておりますが、研究室配属されたばかりの学生・院生には参考になるのではないかと考えていますので、一度お手に取って頂ければ幸いです。

学術変革領域研究(A)
散乱・揺らぎ場の包括的理解 と透視の科学



COPYRIGHT©2022 . ALL RIGHTS RESERVED.

学術変革領域「散乱透視学」事務局
玉田 洋介(宇都宮大学工学部)
tamada [at] cc.utsunomiya-u.ac.jp
([at] は @ にしてください)