

国際共同サイエンスへの招待

東京理科大学 理学部第二部 物理学科 教授 ^{うめむら}梅村 ^{かず お}和夫

■ 1. さくらサイエンスによる国際交流の拡大

東京理科大学に着任する前の2000年代中頃も、中国北京の清華大学に駐在したり、外国人研究者や外国人学生を招へいしていました。2008年度から東京理科大学で研究室を運営するようになり、2014年度に国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）のさくらサイエンスプログラム事業（以下、さくらサイエンス、開始当初はさくらサイエンスプラン）が開始されて、継続的にアジアからの学生や若手研究者の招へいを行うようになりました。

さくらサイエンスは、最長3週間、最大10名、公的資金で学部学生、大学院生、若手研究者などを招へいできるユニークな予算です。大きな特徴は、一般的な文化交流ではなく科学技術交流を主としたものであることでしょう。開始当初はアジアからの招へい限定でしたが、今は原則として世界中からの招へいが可能です。

さくらサイエンスの詳細についてはJSTの公式サイトを見ていただくとして、我々の場合はまず、2014年度に中国の浙江大學から4名の大学院生を10日間、招へいしてみました。東京理科大学の研究室での共同実験を中心として、日本科学未来館の見学などを行いました。

我々は物理学科に所属していますが、研究分野は生物物理学で、海での微生物採集も行います。【図1】は2014年の微生物採集の様子です。このときは三浦半島の「黒崎の鼻」という場所で採集を行いました。



【図1】初めて実施したさくらサイエンスでの微生物採集（黒崎の鼻にて、2014年）

微生物採集をする人の間では有名な採集スポットです。

2年目の2015年度も中国の浙江大學から大学院生を招へいし、1年目の内容を改良しました。例えば、微生物採集を伊豆半島の下田で一泊して行いました。下田には海洋大学の研究グループも採集に使っているとても良い岩場があります。また、文化交流が主目的でないとはいえ、海辺の町に行ってみると日本の田舎がいかにも豊かで整っているかを見てもらうことができます。伊豆半島に電車で移動するとき熱海まで新幹線に乗ると、新幹線も体験してもらうことができます。東京から熱海までは新幹線「こだま」で1時間かかりませんが、熱海から伊豆急下田までは距離的には東京、熱海よりずっと近いのに2時間近くかかるという、ちょっと不思議な体験もあります。

物理学科なのに海で微生物採集というのは珍しいのか、さくらサイエンスとは別にイアエスプログラムで生物学のドイツ人学生を受け入れたこともありました。

また、2年目は新たに、東京理科大学の学生が浙江大學を訪問する、という双方向交流を行いました。双方向交流はJSTではなく、東京理科大学の独自の制度です。このときはまだ中国が完全キャッシュレスではなかったのですが、学生時代からの知人である陳聖福教授の運転する車で有料駐車場のゲートを通り抜けたとき、まったく停止しないで自動的に駐車料金の支払いが終わっていたのに驚いた記憶があります。

■ 2. 3年目からの作戦変更

さて、2年間さくらサイエンスを行ってみて、やや考えるところがありました。一つは、共同研究をどう進めるか、です。というのは、さくらサイエンスでは同じ人が何度も来日することはできず、毎年異なる学生がやってきます。そうすると、なかなか継続的な研究になりません。もう一つは、日本への留学を期待しても、なかなか来てくれない、ということです。中国側の陳さんは米国ワシントン大学に10年近く在籍した米国通で、陳研究室の学生たちは留学するなら欧米

と決め込んでいるのです。また、中国が豊かになり、留学希望者が減っている、とのことでした。

そこで、3年目の2016年度以降は少しやり方を変えることにしました。まず、浙江大学に加えフィリピンのミンダナオ州立大学イリガン工科大学、ベトナムのハノイ工科大学から2-3名ずつ、合計10名の学生を招へいして、日本を含め4ヵ国での交流という企画にしました。また、東京理科大学理学部第二部物理学科の趙新為教授にお願いして、インドネシアのインドネシアスラ

ム大学から5名、中国の広西大学から5名の合計10名を招へいするさくらサイエンスも実施してもらうことにしました。内容は、我々のほうは生物物理学、趙先生のほうは環境エネルギーがテーマで、企画としてはまったく別のものです。

これら相手先のうち、フィリピンの教授は東京大学で博士号を取得、インドネシアの教授は北海道大学で博士号を取得していて、日本のことをよく知っている人たちです。その効果はすぐに表れました。まず、広西大学から来日した学生から留学希望が出て、趙研究室受け入れで東京理科大学の博士後期課程に入学することになりました。また、フィリピンからも国費留学生での留学希望が出てきました（後述）。

さくらサイエンスで10名を招へいすると1回で約300万円の公的資金を使います。それだけのお金を使ったら、やはり結果を出さないと、というプレッシャーがありましたが、留学生獲得が実現しました。

来日時の交流プログラムも改良を重ねました。いくつかの写真を羅列してみます。【図2】は研究室での実験の様子で、中国、ベトナム、フィリピン、日本をシャッフルする形で数グループに分けて、グループごとの共同実験としました。全員一緒だと、見ていただけの人が出てしまうからです。といって、同じ国で集まったのでは面白くありません。【図3】にはお互いの研究テーマなどを紹介する発表会の様子を示しまし



【図2】東京理科大学での共同実験の様子（2018年度）



【図4】AI・VR企業でのVR体験（2016年度）



【図3】お互いの研究テーマなどを紹介する発表会の様子（2018年度）



【図5】東京理科大学独自のさくらサイエンス双方向交流制度で訪問した中国・浙江大学での共同実験（2016年度）

たが、やってみると、日本の学生の英語力の弱さを実感することになりました。

卒業生の経営する企業の訪問も盛り込みました。理学部第二部には社会人学生もいて、社会人学生のなかには会社の経営者もいます。過去に卒業研究などで研究室に来た社会人学生の中には、ソフトウェア企業の会長、幼稚園・保育園の副理事長、アーティフィシャルインテリジェンス・バーチャルリアリティ（AI・VR）企業の社長、などがいました。卒業生が起業したというよりは、大学を出るのを待ちきれずに高校を出てすぐに起業した人など、有能で血気盛んな人たちが、会社が軌道に乗ったので大学に来てみた、というケースが多いです。理学部第二部の特徴の一つといえます。【図4】は2016年に新宿区にあるAI・VR企業を訪問してVR体験をしたときの写真です。

東京理科大学の学生が現地訪問をする「さくらサイエンス双方向交流」も毎年行いました。【図5】は2016年に中国の浙江大学を訪問し、研究室で実験を行っている様子です。

■ 3. 国際共同研究プロジェクトの開始

共同研究をどう進めるか、については、各国と共同で国際的な研究予算の獲得を狙うことにしました。応募できる予算を探していたところ、2019年になって、

JST の戦略的国際共同研究プログラム (SICORP)・e-ASIA 共同研究プログラム (以下, eASIA) の募集内容がちょうど我々の研究テーマに合うものでした。eASIA は日本を含む対象地域の 3 カ国以上がチームを組んで応募するものです。対象地域は東南アジアを中心としてオーストラリアなども入っています。そこで、さくらサイエンスの交流先の中から、ハノイ工科大学、ミンダナオ州立大学イリガン工科大学、インドネシアイスラム大学と研究チームを編成して、この予算に応募しました。中国の陳さんとは長い付き合いですが、中国は対象地域でないためチームには入ってもらいませんでした。

共同研究のテーマは「東南アジア特有の生体分子とナノカーボン材料の融合による革新的ナノバイオデバイスの創製」というものでした。卵をゆでると固まってもとに戻らないことから明らかなように、生体分子は熱に弱い、というのが特徴の一つです。水素結合などの弱い結合で成り立っている構造も多く、壊れやすいです。これらのことは、生体分子を応用的に活用しようとするとき大きな問題になります。しかし、東南アジアなど熱帯地域に見られる生体分子のなかには、熱に強いものもあります。例えば、パパインという酵素は 80 度でも高い酵素活性を示します。

ナノカーボン材料は、こちらの特徴のある物質です。ナノカーボンの一種である単層カーボンナノチューブ (SWNT) は、直径が 1 ナノメートルほどの細い筒状の構造をしています。細い割には丈夫です。また、

電気特性や光学特性も独特で、SWNT を可視光で励起すると、近赤外発光します。SWNT は真っ黒な物質ですが、実は近赤外発光をするのです。

生体分子とナノカーボンを複合してバイオデバイスを作製する研究が盛んに行われています。DNA などの生体分子で SWNT を 1 本ずつ被覆して複合化し (DNA-SWNT 複合体)、SWNT が 1 本ずつ孤立して液中に浮遊する分散液を作製すると、この分散液をバイオセンサーとして使えます。分散液に可視光を当てると、SWNT が近赤外発光します。近赤外発光の発光強度や発光波長は、分散液の pH をわずかに変えたり、分散液に何かを少し添加したりすると劇的に変化します。この発光変化を測定して添加物の種類や濃度を検知するセンサーとして使おう、という研究です。

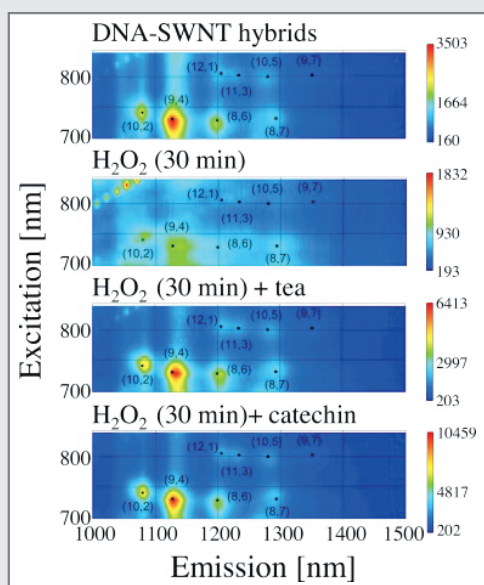
この手法を使った、グルコースセンサーやドーパミンセンサーが提案され、この手法で、コーヒーやカフェインの抗酸化作用を調べた研究報告もあります。我々も日本茶に含まれるカテキンの抗酸化作用を SWNT の発光を使って調べた研究を発表しています。

【図 6】は論文掲載した図で、カテキン添加の有無での SWNT の発光の違いを示しています。ヘルシア緑茶、という商品がありますが、このお茶は確かに高い抗酸化作用を示しました。

今回の共同研究では、東南アジア特有の生体分子と SWNT などのナノカーボンを複合して、特異な性能を持つバイオデバイスを作製するのが目的でした。例えば、ヤシノミ洗剤を DNA の代わりに使って SWNT の分散液を作る、などの実験を行ったりしました。共同研究プロジェクトの正式な開始は 2020 年 4 月で、2023 年 3 月までの 3 年計画でした。実際には予算の採択が決まった 2019 年 11 月から研究を開始しました。

■ 4. コロナ禍での国際共同研究

ところが、2019 年 11 月といえば、中国で新型コロナウイルスが流行りだしたタイミングです。2020 年 2 月にはインドネシアを訪問して研究に使えるような植物などを探したのですが、インドネシアに着いたときはまだインドネシアでは感染者ゼロだったのが、滞在中にインドネシアで初めての感染者が報告されました。日本を出るときの飛行機の機内ではマスクをしている人は少なかったのですが、日本に帰るときは機内でみんながマスクをしていました。このインドネシア訪問を最後として 2022 年秋まで、海外渡航は見送ることに



【図 6】カテキンの有無による SWNT 近赤外発光変化の例 (Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 161, 139–146, Ishibashi et al., 2018 より許諾を得て転載)

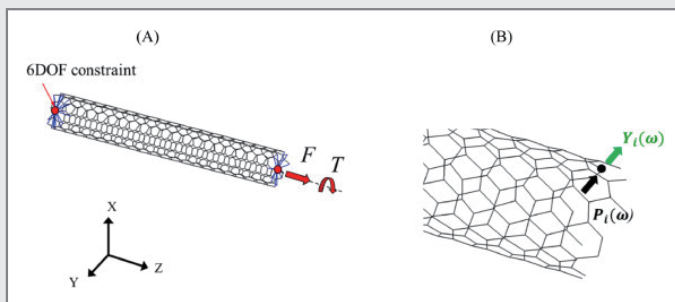
なりました。この国際共同研究プロジェクトはコロナ禍と完全に期間が重複してしまいました。

eASIA という共同研究予算は、各国が費用負担をして、総額は1億円程度でした。この研究予算では、装置や薬品を購入するだけでなく、頻繁に相互訪問して共同実験を行うはずでした。若手研究者や学生の育成という目的もあって、東京理科大学の学生もどんどん派遣する予定でした。それが、コロナ禍のおかげで2022年秋の「水際対策の緩和」まで相互訪問が封じられてしまいました。

それでもいろいろと工夫して研究を進めました。例えば、研究チームには数値計算を行う研究者もいました。SWNTと生体分子の複合体がどんな力学特性を持つかを、実験だけでなく理論計算で予測する研究です。これならコロナ禍でも実施できる、ということで2020年は特に、計算研究に助けられました。これを担当したのは日本とフィリピンの研究者でしたが、なかには社会人学生もいました。勤務先の会社では自動車の部品の強度計算などをしていました。分子の計算をする場合、分子動力学法と呼ばれる計算法がよく使われます。精密な計算はこれが良いのですが、精密なだけに計算に時間がかかります。一方、自動車部品の計算の場合は、計算量が少なく済む有限要素法もよく使われます。今回の研究では、分子動力学法ではなく有限要素法をあえて適用し、長いSWNTや分子量の大きな生体分子についても計算を行いました。【図7】は論文に掲載した、SWNTの模型を示しています。

実験研究では実験試料を宅配で送ることも試みました。しかし、サプライチェーンの乱れがあり、なかなか思うように届きませんでした。あとで聞いたらフェデックスが良かったようです。

人の往来については、2020年は手が出ませんでした。2021年になって、留学生の受け入れならできるのではないかと気づきました。当時は日本に入国すると2週間の隔離が必要でした。短期滞在の場合は2週間も隔離では困ってしまいます。しかし、東京理科大学に入学して、博士を取るために3年間滞在するのであれば、来日するとき2週間隔離されたとしても、3年間のうちのわずか2週間、と考えることもできます。そこで、ミャンマーのヤンゴン大学で修士号を取ったNay San Linさんを日本政府の国費留学生(MEXT)として2021年に招へいしました。2週間もホテルに閉じ込められて気が狂いそうだと本人は言っていたのですが、それでも来日は実現しました。残念だったのは、本来は2020年10月に来日して



【図7】有限要素法を用いたSWNTの力学特性計算の例 (Composites Part C: Open Access, 2, 100028, Miyashiro et al., 2020より許諾を得て転載)

2021年4月に入学するはずでした。すると、通常なら2020年10月から3年間奨学金がもらえ、申請が通ればさらに半年間延長して2024年3月までの3年半、奨学金をもらって研究できるはずですが、しかし、コロナ禍で来日が遅れ、実際に来日できたのは2021年7月でした。東京理科大学には2021年4月に入学して、オンラインで授業を受け、オンラインでの研究を行ってはいました。しかし、奨学金は実際に来日しないともらうことができず、また、終了は2024年3月と決まっており、実際に奨学金をもらえるのは2年8ヵ月だけになってしまいました。

日本にいと印鑑がいるだろう、ということで、Linさんだから「林」という印鑑を作ったのですがご本人はなぜか、「マイケルと呼んでくれ」、と言っていました。ミャンマーはというと、コロナ禍に加え、2021年2月1日に政変がありました。その影響で大学内にも対立があって、卒業判定や修了判定も複雑になっている、とのことで、自分の修士号が日本で認められるのか、と来日してから半年間くらい、マイケルさんはひどく心配していました。しかしそれは杞憂というもので、国費留学生の選考書類はすべて文部科学省に提出して、合格しているわけです。

マイケルさんの国費留学生枠は「eASIA 枠」という特別なもので、国際共同研究プロジェクトのために与えられたものでした。そこでマイケルさんは、研究プロジェクトの趣旨に沿って耐熱性酵素パパインをデバイス化する研究を博士論文のテーマにしました。酵素はそれ単体でももちろん働きますが、より高い反応効率を得るために、マイクロビーズなどに吸着・結合させてデバイス化する研究が盛んに行われています。このとき、酵素デバイスが沈殿しない、水中に一樣に浮遊してくれる方が、まんべんなく反応できて効率がよいはずですが、一方、一度使った酵素デバイスを回収して再利用するためには、デバイスが沈殿してくれる方が良いです。遠心処理でデバイスを沈殿させ、沈殿を回収して再利用できるからです。でも、あるとき

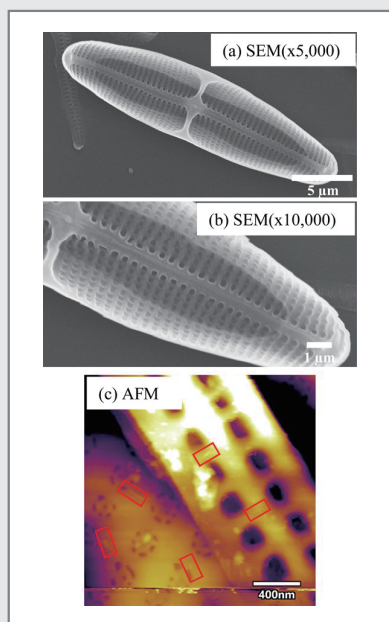
は沈澱してほしくない、あるときは沈澱してほしい、
というのは相反する要求です。

マイケルさんは、プランクトン珪藻から精製した珪藻殻を担体として用いることで、この要求にアプローチしました。生きた珪藻の比重は水よりわずかに大きい1.3といわれており、ガラスビーズなどよりは圧倒的に小さいです。比重が小さい理由は、珪藻細胞を覆っている珪藻殻がナノ多孔質構造だからです。珪藻殻は二酸化ケイ素が主成分ですが、殻の表面にはナノサイズの穴がたくさんあり、そのおかげで軽いのです。【図8】は珪藻殻の走査型電子顕微鏡写真と原子間力顕微鏡画像で、たくさんの穴がみえます。精製した珪藻殻を水中に入れていったん攪拌したのち静置すると、室温ではゆっくりと沈澱しました。30度では活発に水中を浮遊し、1時間たっても沈澱しませんでした。一方、珪藻殻の懸濁液を低速で遠心すると、容易に沈澱し、簡単に回収できました。酵素反応は37度で行うことが多く、パパインは耐熱性酵素ですから60度や80度で酵素反応を行うこともあり、いずれにしても30度以上です。そこで珪藻殻にパパインを結合させてデバイス化してみると、狙い通り、まったく攪拌しなくても高効率で酵素反応でき、かつ、遠心処理で回収して5回以上の再利用ができました。【図9】は珪

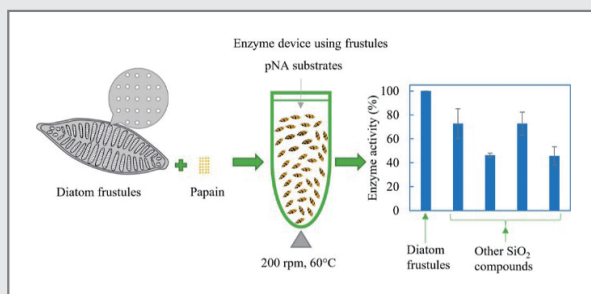
藻殻を用いた酵素デバイスの概念図です。海外渡航が再開できた2023年1月、マイケルさんはロンドンで開催された英国王立化学会のシンポジウムで発表し、表彰されました。【図10】はその表彰式の様子です。コロナ禍あり、政変あり、奨学金受給期間の短縮あり、とご苦労なことでしたが、マイケルさんは2024年3月には無事に東京理科大学で博士号を取得しました。ミャンマーに関して失敗談もあります。eASIAの国際共同研究プロジェクトに対して、東京理科大学からの支援で2年間の研究員1枠をいただくことができました。そこで、マイケルさんと同じヤンゴン大学から、博士取得見込の女性を採用することにしました。ところが、博士審査の途中で政変が起こり、博士審査が途中でストップしてしまいました。日本側としては博士号を持っていることが採用の条件であったため、採用もストップしてしまいました。そのとき、すぐにほかの候補者に切り替えるべきだったのですが、政変で博士審査が止まるというのは学生本人には罪のないことなので、半年待つ、と判断しました。しかし、半年たっても博士号の証明書の提出ができず、採用を断念することになりました。それから新たに研究員の募集をして、インドから研究員を1年契約で採用することになりました。採用に手間取ったため、インドから

からの人も1年ぼっきりの雇用となって気の毒でしたが、そこはプロの意地とでもいうのか、きっちり論文1つ出して帰国しました。

さて、短期滞在は2022年秋になってようやく実現し、インドネシアとベトナムには共同実験で、フィリ



【図8】珪藻殻の走査型電子顕微鏡 (SEM) 画像と原子間力顕微鏡 (AFM) 画像。表面にカーボンナノチューブ等を付着させたもの (Hirayama *et al.*, Chemistry Letters, 52, 5, 408-411, 2023より許可を得て転載)

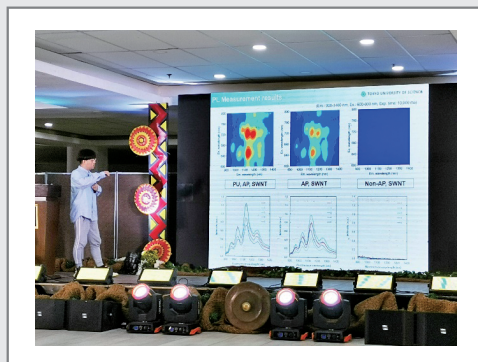


【図9】珪藻殻を用いた酵素デバイスの概念図 (Lin *et al.*, ACS Omega 8, 23, 21145-21153, 2023より許可を得て転載)



【図10】コロナ禍の2021年にミャンマーから来日した東京理科大学の留学生が、水際対策の緩和を受けて2023年1月に英国王立化学会のシンポジウムで講演して表彰された(2022年度)

ピンには国際会議で、それぞれ訪問しました。国際会議はフィリピンの共同研究先が主催してコロナ禍でも毎年開催されており、2020年と2021年はオンライン開催、2022年は対面とオンラインでのハイブリッド開催となりました。【図11】は、この会議で招待講演を行う東京理科大学の日本人学生の発表の様子です。



【図11】国際共同研究プロジェクトの最終年度となる2022年に対面開催されたフィリピン物理学会で招待講演を行う東京理科大学の学生

様々なトラブルもありましたが、共同研究プロジェクトは2023年3月をもって無事終了しました。コロナ禍についても、2023年5月をもって新型コロナが「5類相当」となり、おおむね終わったように思えます。

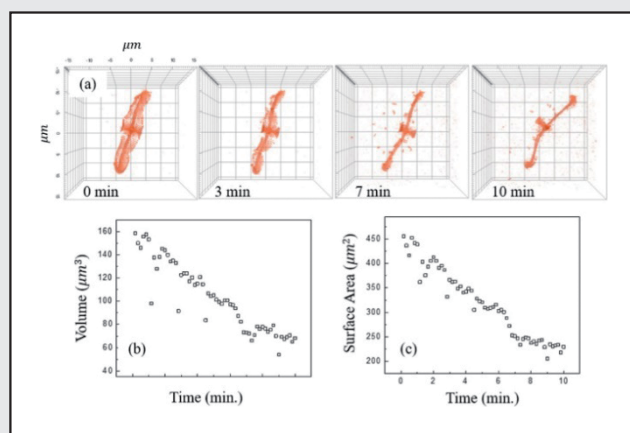
■ 5. 今後の展開

さて、コロナ禍が終わり、共同研究プロジェクトも終わってしまっていて、これからどうするかです。手始めとしてまず、2023年にさくらサイエンスを再開し、ベトナム、フィリピン、インドから9名の学生、さらに引率教員を招へいしました。これに呼応して、東京理科大学の学生が双方向交流でベトナムを訪問しました。

【図12】は2024年1月のハノイ訪問の様子です。また、我々の研究室の学生1名が公益財団法人日本台湾交流協会の短期留学予算を獲得し、台湾海洋大学に1ヵ月半滞在して共同実験を行いました。さらに、2022年10月には、さくらサイエンスで交流してきたフィリピンから、国費留学生としてMaria Christine Lugoさんが来日し、2023年4月に東京理科大学の博士後期課程に入学しました。研究室ではマリアさんと呼ばれているので、「真理亜」という印鑑を作製しました。マリアさんは来日して約1年で論文発表を行いました。コロナ禍の直前にデジタルホログラフィック顕微鏡（DHM）という、物質の屈折率などを3次元で画像化する珍しい顕微鏡を買っていたのですが、これを活用して珪藻殻を観察しました。単に静止画像を観察するのではなく、水酸化ナトリウムの水溶液中に珪藻殻を入れて、殻が溶けていく様子を動画に取り、どこから溶けていくのか、溶けると殻の体積や表面積がどう変わっていくのか、を明らかにしました。【図13】に珪藻殻のDHM画像の例を示し



【図12】2024年1月に「さくら双方向交流」でベトナムを訪問しクリーンルームを見学する東京理科大学の学生（2023年度）



【図13】Lugo et al., ACS Biomater. Sci. Eng. 10, 2, 1106-1111, 2023より許可を得て転載

ました。赤く見えているのが珪藻殻で、周囲よりも少し屈折率が大きいのので可視化されています。時間が経つにしたがって（左から右へ）、赤い部分が減っているのがわかります。

すっかりコロナ前の研究生生活に戻ってきました。2024年度はエジプト、台湾、ミャンマーからさくらサイエンスでの招へいをもくろんでいます。エジプトの相手先であるMohamed Gad教授は学生時代からの知人で、東京工業大学で博士号を取得していました。2000年ごろ、日本で生まれたGadさんの息子に日本とエジプトどちらに住みたいか、と聞いたところ「そりゃー日本だよー」と日本語で即答していましたが、あれから20年以上経って、今も同じ答えでしょうか。ピラミッド近くのGadさんのいる大学を東京理科大学の学生が訪問すれば、また新たな出会いがあり、共同研究の可能性が生まれることでしょう。