

無機薄膜・界面の原子レベル制御を通じた新奇電子・イオン物性の探索

しみず・りょうた

2011年東京大学大学院理学系研究科化学専攻博士課程修了 博士（理学）。2011年東北大学原子分子材料科学高等研究機構 助手、2012年日本学術振興会特別研究員（PD）、2015年東北大学原子分子材料科学高等研究機構 助教。2016年東京工業大学物質理工学院特任講師、2017年科学技術振興機構 さきがけ専任研究員、2018年東京工業大学物質理工学院 助教。2020年東京工業大学物質理工学院 准教授、2023年東京大学大学院理学系研究科化学専攻 准教授、2025年より現職。

2025年4月より、物質分子科学研究領域・電子物性部門に着任いたしました。出身は福岡県で、高校卒業までの18年間を過ごしました。その後、東京で6年、宮城県で8年（その間、米国カリフォルニア州に半年間滞在）、さらに東京で9年を過ごし、これまでは無縁の土地であった愛知県・中部地方に移ってまいりました。どうぞよろしくお願いたします。

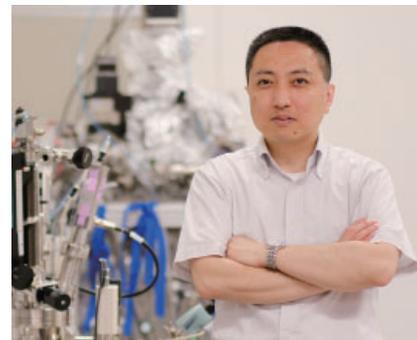
私は、博士課程からポストドク時代にかけて、合成から計測までを一貫して自ら手がける研究スタイルで取り組んできました。具体的には、高品質な酸化物薄膜の作製装置と、超安定な走査型トンネル顕微鏡（STM）を融合した独自の装置を開発し、原子スケールでの電子状態の観察に注力しました。高品質な試料の作製と高度な計測は分業されることが一般的ですが、私は酸化物薄膜の作製から測定までを自ら行ってきました。既製の装置では対応できないため、装置そのものの開発も並行して進め、独自に構築した装置を用いて独自の物質科学研究を展開するというスタイルを確立してきました。これが、私の研究における大きな特色のひとつです。

近年は、「水素」をキーワードにした

物質科学研究を展開しています。水素は、貯蔵・燃料用途などのエネルギー分野で注目されていますが、私は水素を介した新しい物性制御に着目しています。水素は非常に小さく軽いだけでなく、陽イオンにも陰イオンにもなり得る柔軟な性質を持ちます。この変幻自在な性質を薄膜・界面技術で顕在化させ、さらに光照射、加熱、電場印加などの外場制御を組み合わせることで、金属―絶縁体間を可逆的にスイッチする材料を見出すなど、新しい応用展開を進めています。

その一方で、物質中における水素の状態を理解することは容易ではありません。水素は電子密度が非常に小さく、従来の測定手法では感度が極めて低いことが知られています。さらに、水素化合物は熱的安定性があまり高くないため、単結晶の作製が難しく、物性研究に適したモデル系がほとんど存在しないのが現状です。こうした課題を克服するために、独自の技術で作製した疑似単結晶薄膜試料を用い、量子ビーム研究者との共同により、高精度かつ動的な解析に取り組んでいます。

また、物質研究に加えて、物質研究の進め方の変革にも取り組んできました。特に、物質材料研究においては、



ロボットによる自動化と人工知能（AI）による意思決定を融合させた自律型実験システム、いわば「ロボット物質科学者」の開発に注力しています。

このコンセプトは、2020年のコロナ禍のさなかに、国内外の複数の研究グループによって発表されました。その後、ChatGPTに代表される生成AIの登場により、誰もが自然な対話形式でAIとやり取りできる環境が整い、専門家だけでなく一般の人々も日常的にAIを活用する時代へと急速に移行しています。こうした変化を受け、私たちの研究スタイルも、新たな次元へと進化していくことが求められています。

近年の世界的な動向を踏まえ、Nature誌では「2025年に注目すべき7つの技術」のひとつとして「Self-driving laboratory（自律型研究環境）」がトップ項目に選ばれました。この分野は、現在、世界的にも極めて高い関心を集めるホットトピックとなっています。

とはいえ、AIやロボットがすべての実験を担える時代がすぐに到来するわけでもありません。現状のAIは、あらかじめ定義された範囲内での最適化には強いものの、「既存の材料を超える新しい機能材料を教えてください」と

いった抽象的かつ創造的な問いにはまだ十分に答えられません。これは、AIは本質的に「既知の情報の内挿」に強く、これまでの学習範囲にない「未知の発見」には不向きなためです。

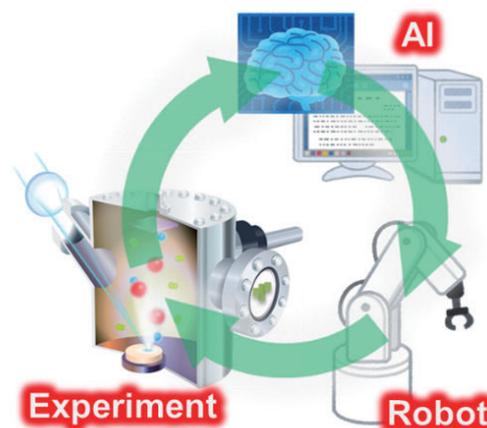
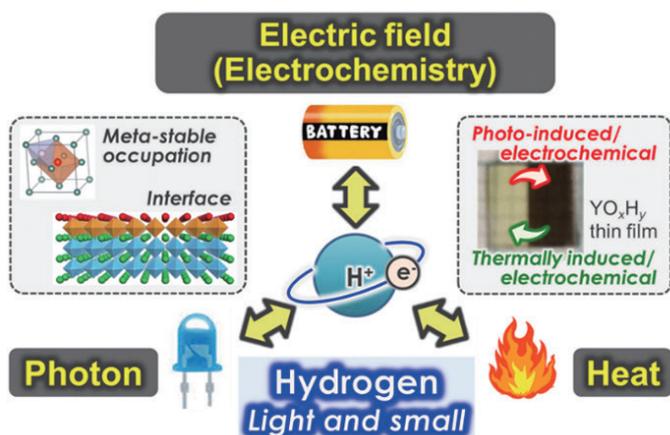
また、ロボットにも課題は山積しています。サイバー空間のAIとは異なり、実空間で動作するロボットの開発には、部品の調達や組み立て、保守など実社会との密接な連携が不可欠です。そのため、AIと比べて開発スピードはどうしても遅くなりがちです。さらに、ロボットは高精度で高速な操作が可能であっても、形状や固さにばらつきのある試料を人間のように柔軟に扱うこと

は依然として困難です。従って、どの作業をロボット化すべきか、という判断力やセンスが求められます。場合によっては、意思決定も含めた「完全自動化」そのものが本当に望ましいのか、立ち止まって考える必要もあるでしょう。

現在、私が注目しているのは、省資源・省エネルギーでありながら、大量の試行をこなせるような自律実験システムの構築です。これまでの自動化対象は、人間の手作業のスケールを前提としており、原材料やエネルギーを大量に消費する設計になっていました。貴金属を用いた試料作製などはコストがかか

りすぎ、現実的ではありません。これに対し、より小スケールでの合成・評価を可能にする、持続可能なグリーン自律研究スタイルの実現を目指しています。

大学共同利用機関である分子科学研究所は、国内のさまざまな研究者との共同利用を通じて、実験手法の標準化・自動化・システム化を進める拠点として理想的な場であると感じています。人間が本来取り組むべき課題は何かという、哲学的な問いにも向き合いながら、日々研究に取り組んでまいります。どうぞよろしくお願いいたします。



相対論的電子で自在に光を作り、使う

かねやす・たつお

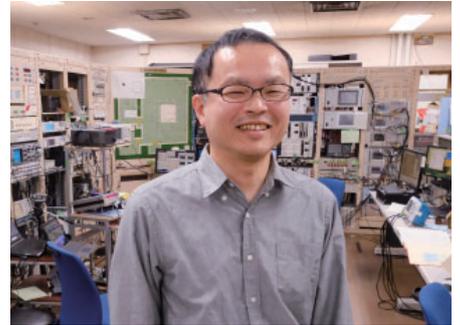
1998年上智大学理工学部卒、2000年東京都立大学大学院理学研究科修士課程修了、2004年東京都立大学大学院理学研究科博士課程修了 博士（理学）、2004年東京大学大学院 研究機関研究員、2005年分子科学研究所 IMS フェロー、2008-24年九州シンクロトロン光研究センター研究員、副主任研究員、2025年より現職。

2025年4月1日付けで分子科学研究所、極端紫外光研究施設（UVSOR）の光源加速器開発研究部門に着任しました。着任に際して所内外の多くの方々から多大なるサポートをいただきました。この場を借りて御礼申し上げます。分子研に来るまでは地方自治体（佐賀県）が建設した放射光施設SAGA-LSに勤務していましたが、2005年から三年間、当時UVSORの繁政英治准教授（現技術推進部長）のグループにIMSフェローとしてお世話になっていました。また最近ではUVSORの施設利用でたびたび分子研に来ていましたので、異動による環境変化には適応しやすかったかもしれません。分子研に着任して三か月ほど経ちましたが、この間にUVSORでは加速器メンテナンス、ビーム調整運転、ユーザー運転、とひと月ごとに状況が目まぐるしく変化したこともあり、年度末に九州から岡崎へ慌ただしく引っ越してきたことがはるか昔のように感じられます。本稿では自己紹介としてこれまでの研究経歴と今後の抱負について述べたいと思います。

分子研での研究テーマは光源開発と放射光計測法の開拓です。それに加えて量子ビーム源の開発にも取り組みます。またUVSOR加速器の運転維持管理と性能向上へ向けたビーム技術の開

発、次期計画の検討も重要なミッションに挙げられます。現時点での研究グループの構成員は私と広島大から来た特別共同利用研究員の浅井君の二人だけでグループのマンパワーは限られているのですが、早速UVSORの加速器システムを学びながら自由に使わせてもらい、通常のコピー運転中にはできない特殊な実験を始めたところです。

現在の私の研究では光源加速器の占める割合が高いのですが、もともとのバックグラウンドは原子分子物理です。東京都立大学で奥野和彦教授の下、多価イオンと原子分子の相互作用に関する研究で学位を取得した後、放射光分野で仕事をすることになったのは、先述のようにUVSORでIMSフェローとしてお世話になったことがきっかけでした。当時を振り返ると、放射光施設の維持管理や運営の苦勞を何もわかっていない若手でしたので、国内外の放射光施設で共同研究者とともに原子分子の内殻励起や多重イオン化の研究を楽しんだ記憶しかありません。その後、縁あって佐賀県の放射光施設SAGA-LSに職を得て光源加速器の分野へと移りました。光を使う側から光を作る側への転身です。今から思うとかなり大袈裟ですが「もうUVSORのビームラインで実験をする機会はないだろうな」と寂しく感じながら、岡崎から佐賀県



へと引っ越していったことを思い出します。

SAGA-LSは比較的小さな放射光施設ですが、そこでの研究生活は建設間もない施設の立ち上げの活気にあふれた日々でした。リングのビーム制御や光源開発などの加速器研究はもちろんのこと、小さな組織ですので運転当番からユーティリティ設備の維持管理まで、多岐にわたる仕事をこなす必要があります。これらは施設管理を学ぶ貴重な機会になりましたが、地方産業の振興を目的とする放射光施設でどのように自分の研究を展開すべきか、研究の方向性を模索する期間も随分長かったように思えます。その後、光源加速器の性能が順調に向上しSAGA-LSが放射光源として完成度の高い状態に達したころ、とある学会でお会いした加藤政博教授（現広大特任教授）からUVSORで光の渦を作ってみないか？とお誘いを受けました。光の渦とは何だろうかと戸惑いながらも面白いことが出来そうだと直感し、それからはUVSORスタッフの協力の下、新規光源の探査とその利用開拓が研究テーマとなっていきました。また放射光のパルス利用や偏光測定の研究をKEKのフォトンファクトリーで行うことになり、ここ10年ほどはSAGA-LSでの地道な研究活動をこなしつつ、毎週のように福岡

空港から飛行機に乗って日本各地へ移動して研究する生活が続いていました。分子研に着任してUVSORがホームグラウンドとなり移動の労力は激減しましたが、この空いた時間を研究活動へ生かせるだけでも大変ありがたく感じられます。

現在の放射光分野では光を作る加速器研究者と光を利用する研究者の分業制が確立されています。UVSORやSAGA-LSのような小さな放射光施設でも、加速器研究者が放射光ビームラインで実験をすることはまずありませんし、その逆もまた然りです。期せずして私は光源加速器と放射光利用の双方で研究活動を行うことになったため、加速器と利用の両方の立場から放射光研究を進められる珍しい存在だと思います。たとえば我々のグループでは渦光や二連パルスなど時空間構造を持つ光の利用開拓を中心テーマに据えていま

すが、その発生原理は相対論的速度の電子の運動をセンチメートルオーダーの磁場分布で制御するだけです。放射光リングの中で電子はほぼ光速で運動していますので相対論的效果を利用すると、電磁放射にアト秒精度の位相構造を作り出したり、ナノメートルスケールの螺旋波面を作り出すことが簡単にできます。もっと踏み込んでいえば、放射光源を使って任意の電場波形の光パルスを作り出せるはずですが、これは加速器光源の大変面白い特徴と思うのですが、そのような性質を放射光実験で意識することはまずないでしょう。我々のグループではこの特性を具体的な利用実験へと落とし込み、原子分子の量子制御や超高速分光といった放射光実験の限界を打ち破る新たな利用法を切り開いてきました。さらに最近時は空間構造光を汎用的な分析手法へと応用することを目指して研究開発

を開始しました。

近年、世界中で稼働が相次ぐ第四世代型の放射光リングは非常に優れた電子ビーム性能を持ちますが、このビーム性能は時空間構造光の利用に不可欠であり、第四世代光源の本格稼働と相まって放射光の時空間構造の利用が今後活発化する可能性があります。そのためにはUVSORのような小規模施設での基礎研究が欠かせません。これまで多くの方が指摘されてきたようにUVSORの光源研究は機動性や俊敏性が持ち味です。量子ビーム源の開発研究においてもその優位性は明らかでしょう。UVSORが先鞭をつけた光源技術や計測手法が世界中へ普及し新たな研究分野が創出されるよう、努力していきます。どうぞよろしくお願いいたします。

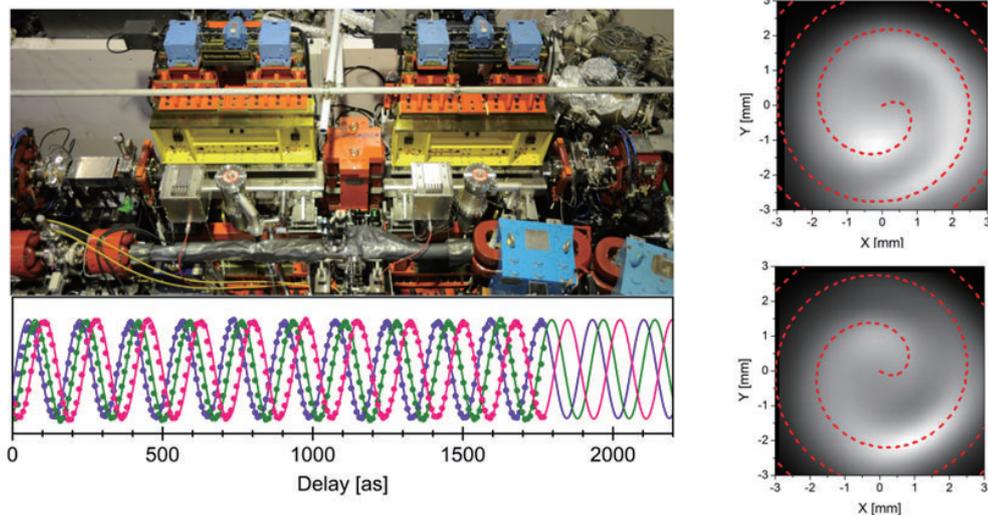
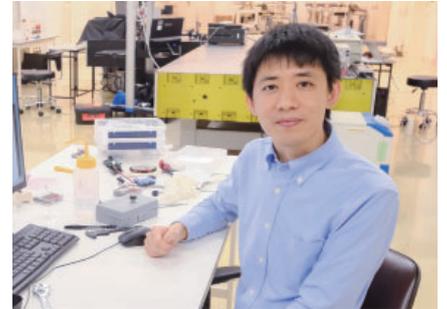


図 放射光によるアト秒干渉実験と渦光の生成

分子研にたどり着くまで

しのきた・けいすけ

2008年に京都大学理学部卒業後、2013年同大学大学院理学研究科物理学専攻博士後期課程を修了、博士（理学）。2010年に日本学術振興会特別研究員DC1を経て、2013年グローニンゲン大学で博士研究員、2015年にマックスボルン研究所客員研究員、2017年京都大学エネルギー理工学研究所特定助教、2020年には同研究所助教、2025年1月より現職。専門はナノ物質・ナノ構造の光科学。



この度、分子科学研究領域に着任いたしました。着任にあたり、渡辺所長、研究主幹の横山先生をはじめ、所内外の多くの方々大変お世話になりました。この場を借りて心より御礼申し上げます。本稿では自己紹介に代えて、私がこの分子研にたどり着くまでの、いくつかの「縁」の物語にお付き合いいただければ幸いです。

すべての始まりは、高校時代に遡ります。通っていた地元の予備校に、傑出して頭の切れる数学の先生がいました。それが、昨年度まで分子研に在籍されていた石崎章仁先生です。その思考の鋭さに触れ、「こんな凄い人がある京都大学理学部とは、どれほど刺激的な場所なのだろう」という憧れが、私が京大理学部に進学する大きな動機となりました。

京大では、昨年度まで分子研で客員教授をされていた田中耕一郎先生のもとで、研究活動をスタートしました。私の専門は、ナノ構造に電子を閉じ込め光で操り新機能を生み出す半導体ナノ光物性です。超高速レーザーとテラヘルツ光を用いた研究に没頭し、半導体GaAs量子井戸中の電子の非線形非平衡な振る舞いを発見し、その物理メカニズムを解き明かす日々明け暮れました。ちなみに、同じ研究領域の杉本敏樹准教授は、在籍期間こそ重なっ

ていませんが、田中研の一つ先輩にあたります。

このように私は物理の人間ですが、当時から分子研に一方的な憧れを抱いていました。超高速分光を専門としていたため、田原太平先生や藤貴夫先生の論文を頻繁に拝見し、「分子研は超高速分光のメッカなのだ」と、畏敬の念を抱いていたのです。ただ、その名の通り「分子」科学研究所ですから、「ここは化学者の聖地であり、物理の人間が足を踏み入れてはならないに違いない」と、固く思い込んでいました。

学位取得後は、オランダのグローニンゲン大学でポスドクとして新たな研究を始めました。赤外二次元分光法を用いて、水やアルコールといった液体の振る舞いを追究しました。指導教官であったMaxim S. Pshenichnikov先生や、同僚のThomas la Cour Jansen先生も石崎先生の知人であり、世間の狭さを実感したものです。その頃に参加した学会では、昨年度まで分子研におられた倉持光先生や、当時ポスドクだった井上賢一さんとも面識を得ることができました。オランダでの経験が物理と分子の世界を繋ぐ大きな一歩となりました。

石崎先生には大学進学後も多大なご指導を賜り、大学2回生の時に進路に迷って相談に伺えば飲み連れて行っ

てくださり、オランダ在籍時に日本学術振興会海外特別研究員に応募する際には申請書を参考にさせていただきました。そのおかげで、ドイツのマックス・ボルン研究所で研究を続けることができました。この研究所はレーザー研究のメッカで、半導体と分子の双方にまたがる私の経験を存分に活かし、Thomas Elsaesser先生の元で、充実した研究生活を送りました。

海外学振の任期満了が近づく頃、幸いにも京都大学の松田一成先生からお声がけいただき、特定助教として研究を続けられることになりました。京大では、当時注目を集め始めていた単層MoS₂に代表される原子層半導体の光科学の研究に取り組みました。この物質は、グラフェンのような原子数層レベルの薄膜であり、極めて顕著な量子効果を示します。私がこれまで培ってきた分光技術、半導体の知識、デバイス加工技術を総動員できる、まさにうってつけの研究対象であり、数々の新しい現象を発見することができました。

転機はコロナ禍でした。学生は皆オンラインとなり、研究室に一人での時間が増え、普段は雑務に消費されていた時間を研究に使えるようになったのです。ちょうどその頃、原子層半導体を特定の角度で積層すると現れる「モアレ」と呼ばれる干渉縞が、新しい量

子効果を生むという報告が出始めました。「暇だし、モアレの研究でもしてみるか」。そんな軽い気持ちで始めた研究が、これまで培った実験技術と見事にマッチして、世界に先駆けて成果を出すことに繋がったのです。

やがて助教の任期満了が近づいた頃、石崎先生から分子研でのセミナーのお誘いを受けました。物理が中心の自分の研究に、化学の聴衆が興味を持つか不安で、急遽、オランダ時代の研究に関するスライドを一枚追加し、「今日は分子の話がほとんどなくて恐縮ですが、……」と話し始めました。すると、石崎先生がこうおっしゃったのです。「分子研の人も、ほとんど分子に興味ないよ」。

さらに、セミナー後の雑談で、学生時代からの「分子研は超高速分光のメッカだが、分子をやっていない自分には縁がない」という思い込みを話すと、石崎先生はさらにこう続けました。

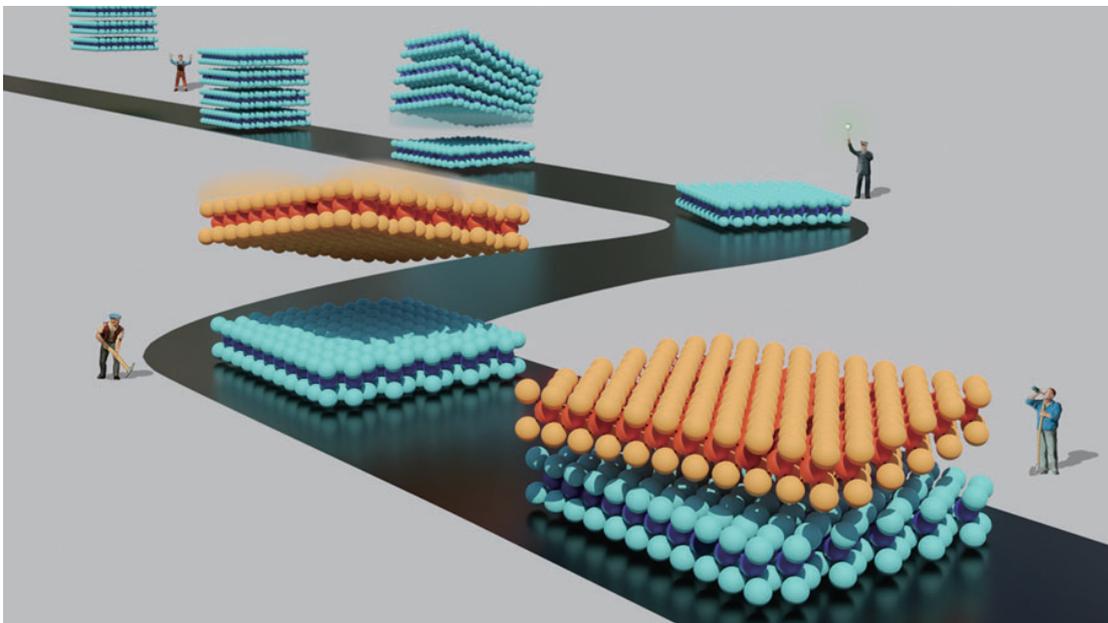
「分子研はほとんど分子をやっていないし、『分子研』って名前が悪いねん」。

その一言で、長年の霧が晴れたような気がしました。「分子じゃなくてもいいんだ」と、分子研への応募を決意しました。幸運にも分子研に採用された私は「物理学者が抱く『分子研』への誤解を解き、その魅力を伝えていくこと」も自分の大切な使命の一つだと感じています。今後は分子研の物理領域における闘いを下げるべく、尽力していく所存です。

現在は、原子層物質を用いてナノ構造を創り出し、そこに潜む未知の現象を探索する研究をスタートしています。モアレの研究も今や世界的な一大潮流となり、競争の激しさを肌で感じています。マンパワーで研究を推し進める海外勢との競争の中で、独創的なアイデアで道を切り拓くことの重要性を痛感しています。

だからこそ分子研では、流行を追いかけるのではなく、誰も思いつかなかったアイデアで、自らが「次の流行」を創り出すような研究を目指したいと考えています。物理の枠組みを超えて、化学や生物物理の専門家と協力し、新物質の創成や新デバイスの設計といった異分野融合が可能です。私が“場違い”だと感じていた物理と化学の境界領域にこそ、まだ見ぬ発見の種が眠っていると確信しています。幸い、分子研では研究に没頭できる時間が豊かにあり、改めて研究の楽しさを実感しています。初心に帰り、知的好奇心を原動力に世界を驚かせる成果を生み出す、そんな理想を追求していく所存です。

皆様、これからどうぞよろしく願います。



コロナ禍でお絵描きも始めました。Amazonで「篠北」で検索いただくと、セルフ出版した本がヒットします。ぜひ、お買い求めください。