

日本化学会研究会
「低次元系光機能材料研究会」
ニュースレター 第23号

(2020年12月)

1. 巻頭言
「芥川先生の日本化学会学術賞受賞にあたって」
山口大学大学院創成科学研究科 鈴木 康孝
4. レビュー
「ダイナミックな分子集合体の創製から分子物性科学へ」
東北大学多元物質科学研究所 芥川 智行
- 1 2. トピック
「芥川氏の物質開発」
京都大学名誉教授 齋藤 軍治
- 1 5. トピック
「芥川智行先生の学術賞をお祝いして」
山口大学理学部化学分野 綱島 亮
- 1 7. トピック
「芥川先生の学術賞受賞に寄せて」
北海道大学電子科学研究所 高橋 仁徳

19. レビュー（査読あり）

「芥川先生から学んだこと：有機強誘電体開発と「かん」」

物質・材料研究機構 姉帯 勇人

22. 関連学会レポート・会告

23. 編集後記

■ 巻頭言 ■

芥川先生の日本化学会学術賞受賞にあたって

山口大学大学院創成科学研究科 鈴木康孝
(ニュースレター23号編集委員長)

当研究会の運営委員を務められておられる東北大学の芥川智行教授が、第37回日本化学会学術賞(2019年度)を受賞された。そのことを記念して、日本化学会研究会「低次元系光機能材料研究会」として、ニュースレターの特集号を発刊した。最初に、後の時代の人が見て不自然に思わないように、時代背景を説明させて欲しい。2020年の初頭から、新型コロナウイルス感染症が発生し、流行を食い止めるために、人をたくさん集める会議や、集会などが軒並み中止となった。当研究会も当然、主催する全てのイベントが中止、延期となった。そのような状況の最中、芥川先生の受賞の知らせを受けた会のメンバーは、受賞を記念した研究会を開催しようと考えたが、それも難しい状況にあると考え、せめてニュースレターの特集号を発刊しようということになった。この話を芥川先生に打診した際には、「何か退官前の人みたいじゃない」とツッコミを受けたが、まさに私も大層すぎるそう思っている。しかしながら、せっかくの機会なので、ということで特集号を作ることとなった。どうか読者の皆様には、そのあたりのことを理解していただき、この読み物を楽しんで欲しい。

研究の話は、後々にたくさん出てくるので、ここでは先生の人柄にフォーカスを当てて芥川先生を少しだけ紹介したい。私が川俣先生の学生ということで、芥川先生とは、学生の頃から10年以上の付き合いになる。芥川先生は、非常に温厚で気さくな性格で、日頃から私も優しく接していただいております、大変感謝している。一年に何回かは、飲み会の席で一緒にすることがあるのだが、先生が飲み会の席で言われた「教授というのは、この仕事を長くやっているだけの人で、別に偉くも何ともないんだ」という言葉は、先生の人生観や研究者として考え方を端的に表す印象的な言葉である。職級があることが大事なのではなく、ただ、きちんと実験を行って結果を論文としてまとめていく。そのサイクルをきちんと続けていくことが研究者としてもっとも大事なことで、なんと、また、サイエンスの前では、職級の上下は、関係なくフラットなんだとそういうことを意味していると私は考えている。私も憧れの芥川先生を見習って、自分の研究成果を淡々と論文にしてまとめていきたいと大いに励みになった。これからも芥川先生には、健康に気をつけながら芥川流の研究スタイルで日本の物性化学を牽引していただきたいと思います。おそらく、芥川先生は、この原稿を私が書いているその時も、バランスボールに乗りながらデスクで、黙々と論文を執筆していると思われる。

著者紹介

鈴木康孝(すずきやすたか)

山口大学・准教授

略歴: 2010年山口大学大学院医学系研究科博士課程修了(博士学術)、2011年グラスゴー大学博士研究員(Prof. Cronin group)、2012年山口大学大学院医学系研究科助教、2016年山口大学大学院創成科学研究科准教授、現在に至る

現在の研究分野/テーマ: 発光性有機分子、無機ナノシート/有機複合体、光マニピュレーション



ダイナミックな分子集合体の創製から 分子物性科学へ

東北大学多元物質科学研究所 芥川 智行

1. はじめに

北海道大学理学部化学第二学科に移行し研究室を選択する時に、松永義夫先生が指導されていた固体化学講座に配属することになった。固体化学をやりたいという強い意志があったわけでは無く、なんとなくである。ニュースレター第 15 号でも書いたが、星野直美先生に有機合成を指導して頂き、棒状分子の液晶性におよぼす置換基効果に関する卒業研究を行った。その当時、研究室には C₆₀ で有名な大澤映二先生が助教授、飯田陽一先生が講師としておられ、本研究会の前会長である川俣純先生が一期上の先輩であった。その後、北大で大学院修士課程に進学し、アルキルアミド置換ベンゼン誘導体とバナナ型分子を用いて、特異な分子形状を有する液晶性化合物の構造と物性に関する修士論文を作成した。後述するが、この時に研究対象としたアルキルアミド化合物は、現在の研究においても大事な構造のアイテムの一つになっている。当時、松永先生はいつも「何か面白い結果が出ましたか？」と優しく声をかけてくれ、いろいろな分子を設計してその物性を調べる事が楽しく感じられるようになっていった。アルキルアミドやバナナ型液晶性化合物は、いずれも松永先生が着想した分子骨格であり、後に、水素結合反転型の強誘電体とバナナ型液晶性強誘電体であることが明らかにされた。改めて、松永先生の物質に対する嗅覚の鋭さを感じる。また、簡単な分子の設計から、いかにして面白い物性を引き出すかの観点で、非常に鋭い視点を持っておられた。いろいろな分子構造を考え合成し物性測定を行うことの繰り返しの中で、徐々に研究が本当に面白く感じるようになり、博士課程への進学を考えた。時代はバブル絶頂期であり、就職に困ることはなく、大手メーカーから引く手あまたの時代であった。優秀な同期が就職していく中、あえて博士課程への進学を考えたが、松永先生はまもなく北大を御退官予定であったため、進学先として京都大学理学研究科化学専攻の斉藤軍治先生の有機物性化学研究室を選択した。

斉藤軍治先生は北大松永研の第 1 期生であり、研究や物質に対する捉え方やセンスに共通する点があり、非常に有意義な時間を過ごさせて頂いた事に、心から感謝している。その当時、斉藤研は有機超伝導体研究の日本の中心であり、固体物理から有機合成までをカバーする非常にレベルの高い研究環境であった。自身のスキルアップの場として最適で有り、ただ楽しいだけでは研究はだめである事もわかり、単結晶 X 線結晶構造解析、液体ヘリウムを使った電気伝導度や磁化率測定、理論計算、各種分光測定など、合成から物性までを網羅する研究を行うための基礎を身につけさせて頂いた。博士課程 2 年までは有機合成ばかりやっており、その当時助手だった矢持秀起先生に、有機合成の基礎を教わった。研究室として、当時注目を浴びていた BEDT-TTF 分子の有機超伝導体で華々しい研究成果を挙げる中、2,2-bi-1H-imidazole を用いたプロトン電子移動系に関する研究を一人で行っていた^{1,2)}。研究成果は全く出なかったが、斉藤先生のアドバイスの元、悩みながらも自由に研究することができたのは幸いであった。博士課程も 4 年目に入り論文もまとまらず、稲井雄人氏の「京大 M1 物語」でないが、もうすぐ博士 5 年目になる頃、北大電子科学研究所に中村貴義先生が赴任され、新しく助手を探していると話を聞き、斉藤先生から突然、就職先が決まったよと言われたのが 1994 年 2 月であった。まだ博士論文も書いていなかった。

アカデミックに就職するにあたり、斉藤先生に言われた言葉がある。“この世界で生き残るには、助手は年 2 報、助教授は年 5 報、教授は年 10 報の論文を、第一著者もしくは責任著者として書かないとだめ”である。おおおよそこの言葉を忠実に守る事ができたおかげで、今日の自分があると思っている。松永先生に研究者への道の最初のきっかけを作って頂き、斉藤先生に育てて頂いた幸運に心から感謝している。

1994 年に北大電子研に助手として戻った。当時北 13 条にあった北大電子研は、佐々木倫子著の「動物のお医者さん」の中で北大のハワイと呼ばれた研究所であった。川俣先生が物理部門で助手としておられ、同僚として再会する事になった。赴任当時、中村研究室は飛び地で 3 部屋しか無く、学生も当時高分子学科におられた山岸先生から預かった 4 年生が 1 名居るだけであり、中村先生と二人三脚で研究室の立ち上げを行った。中村研では、クラウンエーテル系の超分子構造と [Ni(dmit)₂] の組合せから作られる導電性結晶から研究をスタートさせ、その後、多くの学生に恵まれた結果、*Nature* や *Nature Materials* など^{3,4)}、非常にたくさんの論文を執筆する事ができた。中村先

生は、研究アイデアに富み先見の明があり、その後、研究者として成長するのに大きな影響を受けた。この頃は、本当に自由に研究をさせて頂き、その間、長谷川達生先生（現東大教授）と野呂真一郎先生（現北大教授）が同僚であった。長谷川先生には物性測定のコツを教えて頂き、また研究に関する楽しい議論ができた。また、松永研究室の後任教授であった稲辺保教授と内藤俊雄講師（現愛媛大教授）にも、研究に関するたくさんの議論をして頂いた。残念なことに、稲辺先生は 2018 年 10 月に若くしてご逝去され、その後、旧松永研（固体化学講座）が無くなってしまったのは、卒業生として寂しい限りである。北大中村研では、多くの博士過程修了者が育ち、現在でも 5 名の卒業生がアカデミックで活躍している。また、1998 年から「動的イオン場を介した物性制御」のテーマで“さきがけ 21 研究”に採択される幸運にも恵まれ、今日の研究基盤を築くことができた。また、分子モーターに関する先駆的な研究テーマも、中村先生が最初に言い出し、そんなことができるのかと思ったが、その後の超分子ローター型の強誘電体に繋がって居いった。電子研で助教授に昇進する頃、川俣先生が山口大学理学部に栄転されたと記憶している。1994～2010 年までの北大時代に 158 報の論文を発表することができ、その後、縁があり 2010 年から東北大学多元物質科学研究所に教授として独立する事になった。博士課程の頃にプロトンの運動自由度に着目した研究を始め、イオンチャネルから分子モーターまで、よりサイズの大きな構造ユニットの結晶中のダイナミクスに着目した分子集合体の物性化学に関する研究の原点が完成した時期だった。

学生の頃に、ある講演会で三菱化学の会長が、“人は、誰でも 3 回はチャンスがあるので、そのうち 1 つを見逃さなければ成功でき、2 つを見逃さなければ大成功できる”、と言っているのを聞いた。どこがチャンスだったのかははっきりしないが、少なくとも松永先生、斉藤先生、中村先生に出会えたのは、今日の自分の礎を築くのに欠かせないチャンスであったと思う。

2010 年に東北大多元研に移り、自分の研究室を立ち上げる事になった。前任教授は石炭に関する研究を行っており、その当時、片平の監獄と呼ばれていた研究室には助教 2 名が残され、何も無い状態からのスタートであった（図 1a）。赴任してすぐの 4 月に、2 名の 4 年生が怯えながら研究室に配属されてきたのが印象的であった。その後、2 人は博士課程まで進学する事となり、本当に楽しく心強くもあった。学生配属が行われたが研究室には何も無く、まともな卒論研究ができない状態であり、とりあえず学生には大学院入試の勉強をしてもらった。研究室にドラフトを設置し、合成実験室や居室を整備し、10 月には北大から測定装置を移設し、卒論研究のための最低限の合成と物性測定ができる環境を築いた。その頃、宮城沖地震が 90% 以上の確率で近々起こると言われており、3 月 11 日の 14:46 に思いもよらぬ大地震が起こり、東北大に赴任して 1 年も過ぎないうちに状況が一変した。3 月 11 日は、早朝から高熱が出てインフルエンザにかかったと思い、朝一番で病院に行った。検査の結果、インフルエンザではなく、前日に食べた生牡蠣が原因のノロウイルスと診断された。その日は金曜日であり、予定では 19:30 仙台空港発の飛行機で単身赴任先である仙台から札幌の家に帰る予定であったが、体調が悪いので 13:45 仙台空港発の JAL2905 便に変更し、早々に札幌に帰る事にした。約 1 時間のフライト後、ちょうど新千歳空港の上空に着いた頃に、地上で何かが起こり飛行機が着陸できないとの機内アナウンスがあり、しばらく空の上を旋回した。到着ロビーでテレビを見ると、どこかの町が火の海になっている映像が映し出されており、それが仙台である事がわかった。何かとんでもない事が起こったことが理解できた。その後、福島で立て続けに爆発が起こり、研究室とは電話も通じない状況が続いた。しばらく仙台に帰れなかったが、その後、やっと学生と連絡が取れ全員無事である事が判明した。仙台空港が使えない状態が続いたため、山形空港着の臨時便でたくさんの食料を携えて仙台に戻る事ができた。青葉山の研究室では、エレベーターが落下するなど大きな被害があったが、片平の私の研究室はドラフトのダクトが折れ、ESR のマグネットが動いた、などの比較的小さな被害で済んだ事は幸いであった。学生 2 名も元気であり、後で話を聞くと、食料が不足していたので、“お店にたくさん売っていたキャットフードに醤油をかけると美味でした”、と言っている様子を見て安心した。しかしながら、仙台は学生が研究・生活できる環境にはなく、ようやく研究が再開できるようになったのは GW 明けだった。その後、2011 年には、錯体化学と有機合成化学を専門とする星野助教と武田助教および二郷秘書が研究室メンバーとして加わり、ようやくラボとしての体裁が整った。

その後、毎年 2～4 名の優秀な学生が、青葉山の工学研究科応用化学専攻から配属されているのは幸いである。この 10 年で約 35 名の学生が研究室を卒業し、9 名が博士課程へ進学し、博士課程への進学率の高い研究室となっ



図1 2010年の研究室発足当時。現在のスタッフと学生の居室。

ている。博士修了者の中には4名がアカデミックに残っており、また、女性研究者を増やす政策が積極的に進められる中で、女性博士課程の学生が3名いるのも自慢できる。日本人学生が博士課程に進学しない状況が続いたため若手研究者の数が減り、日本の科学技術の優位性を世界で維持することが困難な状況に陥っている。このような状況がさらに続き、10年後がどのようなことになっているかを想像すると、大きな危機感を持たざるを得ない。博士課程への進学については、研究室に学生配属が行われた時点から説明し、進学に際して必要な研究業績と金銭的な援助に関する積極的な支援に取り組んできた。この問題は、積極的に分野全体で考えて対策を行う必要があると強く感じている。

東北大では北大時代とは異なる新しい研究を始めなければいけないと考え、これまでに論文を量産してきた超分子カチオンと[Ni(dmit)₂]の組合せから得られる結晶の構造と物性に関する研究を行わない事にした。一連の研究は、北大中村研究室で継続され、さらなる進展を挙げ、改めて中村先生の研究センスの良さを感じる。東北大で最初に始めた研究テーマは、今ここでできる事から始める事にして、アニリンとリン酸から成る特異な超分子構造、銅二核錯体のガス吸着能やアルキルアミド置換ベンゼン誘導体の物性などシンプルな題材であった。その後、強誘電性や発光特性などをキーワードとして単結晶だけにこだわる事無く、液晶や柔粘性結晶などの分子集合体を研究対象として加え、ダイナミックな多重機能性材料の創製に関する研究に展開した。発光性有機強誘電体・協奏的分子ローター・発光クロミック分子センサー・有機強弾性体・イオン性n型有機半導体材料など、研究テーマにはあまりまとまりがないが、総論文数は316報まで増えた。これは、スタッフと多くの学生による研究成果であり、本当に感謝の念につきない。

北大電子研・東北大多元研・東工大化生研・阪大産研・九大先導研で実施している「物質・デバイス領域共同研究拠点事業」も、多くの研究者が研究室を訪問する場となり、自身の研究の進展にも大きな役割を果たしている。北大電子研中村研究室との共同研究は、アカデミックで活躍する卒業生や多くの共同研究者を巻き込む形で北大ー東北大＋共同研究者の複合研究や学振の二国間国際共同研究に発展した。大学に対する国からの予算措置がどんどん厳しくなる現状で、共同研究者に北大や東北大学の装置を利用して頂き、良い研究成果が全国の大学から継続的に発信できる事に、少しでも貢献できればと思っている。

若い時の研究者同士の出会いは、後に大きく発展してゆく場合が多々あるので、拠点制度などを積極的に利用して頂ければと思う。若い頃に喫煙所で良く顔を合わせていた東工大の福島孝典先生は、学生の頃から顔見知りで、若い頃からアイデアに富み、熱くあきらめずに完璧を追求する性格であり、いまでもいろいろなプロジェクトで一緒にさせて頂いている。福島先生を領域代表として2014～2019年度に実施した新学術領域研究「 π 造形科学」では総括班事務局を担当し、物質合成を専門とする多くの研究者と出会うチャンスに恵まれた。このプロジェクトでは多様な π 電子系分子を研究対象とし、伝導性・磁性・光学特性などのintrinsicな π 電子機能にdynamicやelasticな機能を付加することで π 電子系化合物の新たな地平を切り開く事を目指した。また、最近では、福島先生を代表として、有機結晶中のダイナミクスが熱伝導率にどのような影響を及ぼすかに関してJST・CREST研究を行っている。北大での液晶研究からスタートし、京大博士課程でプロトン移動、北大電子研から東北大多元研でイオン輸送、分子回転、コンフォメーション変化などのダイナミックな分子集合体の物性研究を継続することができた。幸運にも、一連の研究成果に対して2020年度の日本化学会学術賞を頂けることになった。以下、ダイナミックな分子集合体の創製に関する研究成果をまとめた。

2. ダイナミックな分子集合体の機能創製

有機分子の設計自由度に着目し、機能性材料創製の観点から分子集合体中にプロトン・イオン・分子の運動ダイナミクスを組み込む事で、ダイナミックな分子集合体を舞台とした物性化学に関する研究が行える。例えば、極性分子の回転ダイナミクスを分子集合体中で設計し、外部電場による分極反転を利用した分子回転型の強誘電体が創製できる。ダイナミックな分子集合体をどの様に設計し機能と融合させるのか？に対する答を提案する事で、ダイナミックな分子集合体の物性化学に関する新たな学術的な視点が開拓可能となる⁵⁻⁷⁾。

分子集合体の秩序は、高度に規則配列した単結晶から、柔粘性結晶、液晶、液体と多様性に富んでいる。優れた伝導体や磁性体を得るに単結晶が望ましいが、イオンや分子の揺らぎ・回転・拡散が存在す

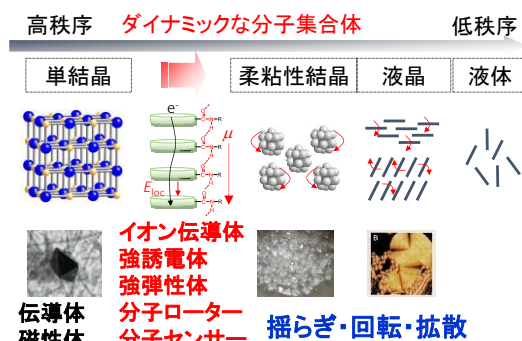


図2 分子集合体の多様性とダイナミックな構造から導かれる機能性。

るダイナミックな分子集合体に着目すると、新たな視点から分子集合体の物性化学が研究できる(図2)。これまでに研究対象としてきたイオン伝導体、強誘電体、強弾性体、分子ローター、分子センサーなどは、ダイナミックな分子集合体を舞台とする物性化学における機能開拓である。分子集合体中の分子回転と連動した双極子反転と強誘電性、ハロゲン原子間の相互作用を用いた協奏的な分子回転運動、二次元強誘電体の設計、ボウル反転型強誘電体など、ダイナミックな分子集合体の設計から見えてきた新しい物性化学の創成を目指した研究が例として挙げられる。

有機材料の特徴は、有機合成化学の手法による分子設計自由度の多様性と分子集合体構造の柔らかさにある。 BaTiO_3 などの無機材料は、化学結合で連結されたイオン性結晶であり、室温付近で伝導性・強誘電性・強磁性などの優れた物性を発現する。一方、多くの低分子系の有機材料が示す物性は、弱い分子間力による分子配列様式に支配される。従って、分子配列様式の設計が、機能発現や性能向上の鍵となっている。例えば、電子活性な π 電子ドナーやアクセプター分子の分子配列制御は、その電子状態を決定するバンド構造に影響し、半導体～金属～超伝導に至る多様な電子物性を出現させる。固体中の電子の運動自由度の制御は、今日の生活を支える電子デバイスの鍵となる動作原理である。一方、固体中のプロトンやリチウムイオンの運動自由度の制御は、燃料電池やリチウム電池などの二次電池に必要な不可欠な現象であり、その物理化学的側面の理解は、エネルギーデバイスのさらなる性能向上に重要である。では、分子集合体中の運動自由度の制御は、どのような物性を発現させ、機能性有機材料としてどのような発展が期待できるであろうか？ 複数のタンパク質からなる複雑な分子集合体中で、100%に近いエネルギー変換効率を実現するATPaseやキネシン・ダイニンなどの生物分子モーターは、分子運動と機能が融合した究極のダイナミックな分子集合体と言える。しかしながら、このような分子モーターの実現は、今日の科学技術ではその作製が困難であり、未だに化学者の夢と言える。上記の問題意識の元、機能性材料の創製の視点から分子集合体中にプロトン・イオン・分子の運動ダイナミクスを導入した、“ダイナミックな分子集合体を舞台とした物性化学”に関する研究を展開した(図3)。

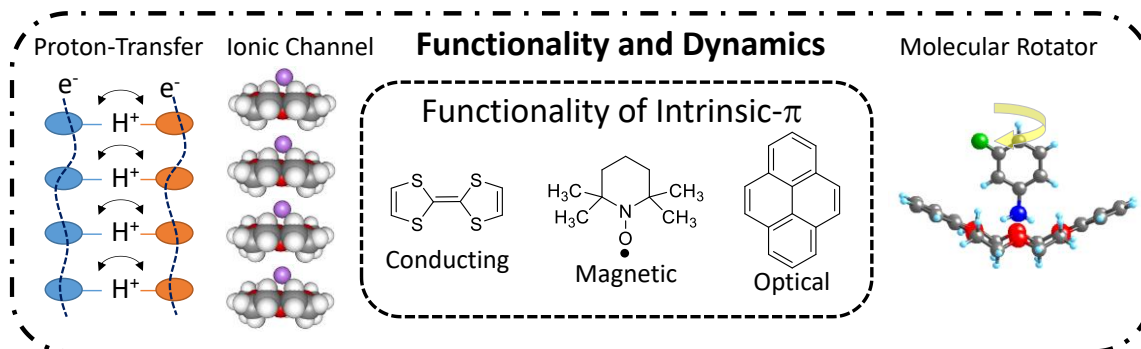


図3 有機分子の設計自由度を利用したダイナミクスと機能の創製。導電性・磁性・発光性などの π 電子物性とプロトン・イオン・分子回転などのダイナミクスの融合。

2-1. プロトンダイナミクスと誘電物性の融合

ダイナミックな一次元水素結合鎖と導電性のTCNQアニオンラジカルを共存させる事で、結晶中のプロトンダイナミクスと連動する誘電応答ー半導体システムを設計した。 $(\text{HDABCO}^+)_2(\text{TCNQ})_3$ 塩は、電気伝導鎖と一次元水素結合鎖(1D H.B. chain)が共存した結晶構造を有している(図4a)⁸⁾。鎖内の $\text{N}-\text{H}^+\cdots\text{N}$ 型水素結合は二極小ポテンシャルを形成し、306 K以上では熱($k_B T$)によるプロトン揺らぎが存在し無秩序相(常誘電体相)となる(図4b上)。一方、306 K以下の低温域では、二極小ポテンシャル内でプロトン配置が固定されマクロ双極子モーメントが発生する事で秩序相(強誘電体相)に転移する(図3b下)。分子性導体の多くは、このようなダイナミクスが無視できる静的な結晶格子であるのに対して、ダイナミッ

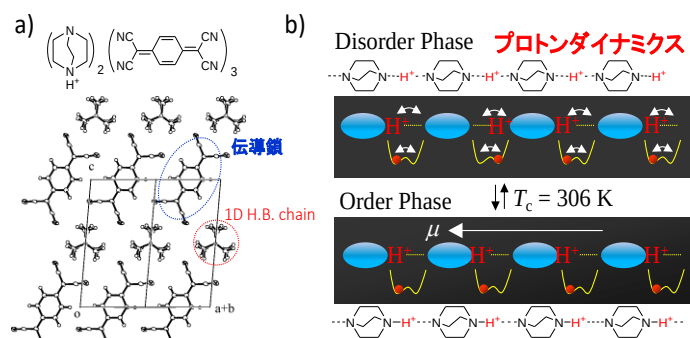


図4 分子性結晶中のプロトンダイナミクスを利用した強誘電性の実現。a) 伝導鎖と一次元水素結合鎖が共存した $(\text{HDABCO}^+)_2(\text{TCNQ})_3$ 塩の結晶構造。b) 水素結合鎖内のプロトンの秩序ー無秩序転移とマクロ双極子モーメントの発生

くな結晶格子を設計する事で誘電応答を付加した分子性材料の創製を可能とした。結晶中のプロトンダイナミクスと誘電物性の融合により、有機強誘電体に関する研究の基盤を構築することが可能となる。

2-2. 分子回転ダイナミクスと強誘電物性の融合

分子性結晶中の分子回転ダイナミクスに着目し、その分子設計から物性融合を目指す研究を試みた。アダマンタンや C_{60} の様な球状分子が柔粘性結晶中で分子回転ダイナミクスを有する事が知られているが、その運動自由度と物性の間には僅かな相関が見出されるのみである^{9,10)}。最密充填構造がエネルギー的に安定である結晶中では、球状分子を除くと、分子回転ダイナミクスを付加するには大きな困難が伴い、超分子化学的なアプローチによる結晶格子の戦略的な設計が必要となる。アニリンとクラウンエーテルによる柔軟性の高い超分子カチオン構造の設計から、多様なモードの分子回転ダイナミクスが固体中で実現できる事を実証した¹¹⁻¹⁶⁾。しかしながら、多くの系は分子回転ダイナミクスに起因する物性および機能性を出現させるには至らなかった。そこで、物性との融合の観点から、強誘電性の発現を目指して双極子モーメントを有する極性分子のダイナミクスに着目した。約 100 種類におよぶ結晶を検討した結果、超分子ローター型の双極子反転を可能とする分子性材料を、フッ素基を有するアニリンの回転運動として結晶中で実現し、強誘電物性との融合に成功した(図 5a)¹⁷⁾。これは、その後の分子ダイナミクスを用いた有機強誘電体研究に対するマイルストーン的な研究例となった。

次の研究課題として、同一位相で一方向に分子回転ダイナミクスが存在する人工分子モーターの実現があげられる。一方向回転を可能とするには、少なくとも、分子間で協奏的な分子運動が存在する必要がある。そこで、単純なハロゲン置換ベンゼン誘導体結晶をそのモデルシステムとして着目した(図 5b)。面内双極子モーメントを有する分子を用いる事で、結晶中で形成した一次元カラム内で、面内分子回転ダイナミクスと連動した誘電応答が秩序-無秩序転移として観測される(図 5b)¹⁸⁾。偏光顕微鏡イメージでも、分子回転ダイナミクスにより無秩序化した状態において、結晶ドメインが均一化する事が確認された。その分子回転は、ヨウ素原子間の $I\cdots I$ 相互作用により協奏的回転となる事が、誘電率の温度変化から結論できた。これは、人工分子モーター実現のために解決しなければならない重要な一歩である。

2-3. 水素結合ダイナミクスと強誘電物性の融合

分子ダイナミクスと物性融合の観点から、柔らかい分子集合体である液晶中の分子間アミド水素結合に着目した。分子間アミド水素結合は、タンパク質の高次構造の形成や解離に利用され、外場によるダイナミクス制御を実現しやすい特徴がある。そこで、「アルキルアミド鎖 ($-\text{CONHC}_n\text{H}_{2n+1}$) + 機能性 π 電子骨格」の分子設計指針を元に、多様な液晶性の有機強誘電体を開発した。このアプローチから、ベンゼン、ピレン、ポルフィリン、ヘリセンなど多様な π 電子機能と分子形状を有するダイナミックな分子集合体が創製可能となり、その分子設計の高い汎用性が示された¹⁹⁻²⁶⁾。アルキルアミド鎖の形成する分子間 $\text{N}-\text{H}\cdots\text{O}=\text{水素結合}$ は、電場によりその方向を協奏的に反転可能であり、同時にマクロ分極反転を実現する(図 6a)。多重機能性材料の観点から、優れた発光特性と強誘電性が共存する一次元水素結合カラム型のピレン誘導体が開発できた(図 6b 左)。カラムナ-液晶相に加えて、発光性オルガノゲルやナノファイバーなどの興味深い分子集合体を形成し、さらに、強誘電性に依存した電流スイッチング現象を示した²¹⁾。強誘電性-発光特性-電流スイッチング機能が共存する多重機能性材料の創製は、分子性材料の多様性の観点から興味深い結果である。また、分子間アミド水素結合が二次元的に連結したラメラ構造を有するヘリセン誘導体の開発にも成功した(図 6b 右)。非平面型のヘリセン分子は、二次元配列に重要な役割を果たし、ピレン誘導体の形成する一次元カラムと比較して、優れた電場-分極ヒステリシスを示した(図 6c)²⁵⁾。不揮発メ

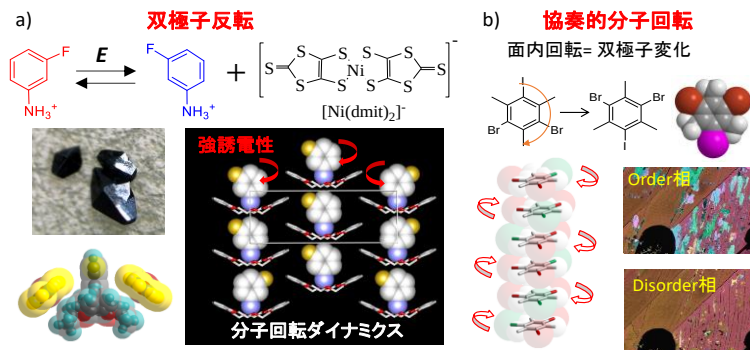


図5 結晶中の分子回転ダイナミクスの設計と強誘電物性。a) 分子ローター型の双極子反転ユニットを含む金属錯体で、分子回転ダイナミクスと強誘電性が融合。b) 一次元カラム中で、分子間の $I\cdots I$ 相互作用により協奏的な面内回転運動を実現する。秩序-無秩序転移に伴う結晶ドメインの変化。

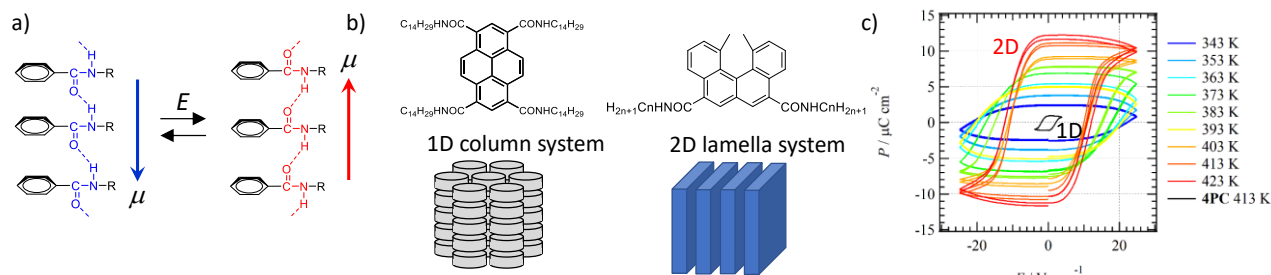


図6 液晶中の分子反転ダイナミクスの設計と強誘電物性。a) アルキルアミド鎖 ($-\text{CONHC}_n\text{H}_{2n+1}$) が形成する水素結合とその反転による分極反転。b) 一次元カラム型の水素結合鎖を形成するピレン誘導体 (左) と二次元ラメラ型の水素結合層を形成するヘリセン誘導体 (右)。c) ピレン系 (1D) とヘリセン系 (2D) の電場一分極ヒステリシス曲線。2D系が1D系と比較して、大きな残留分極と抗電場を示す。

モリ材料の性能因子である残留分極値と抗電場が著しく増加し、これは高い水素結合密度とポーリング処理無しで二次元分極ドメインが配向する事に起因している。

2-4. 分子ダイナミクスと蛍光クロミズム

温度、圧力、ガス吸着などの外部刺激にตอบสนองして蛍光特性が変化する発光クロミック材料が、蛍光センサーやメモリー材料への応用の観点から注目されている。固体中のダイナミックな分子コンフォメーション変化と連動して蛍光クロミズムを示す分子は、多様な分子を認識が可能なセンシング材料として興味深い。中でも、発光クロミズムのメカニズムとして、励起状態分子内プロトン移動 (ESIPT) は、分子内水素結合を持つ分子の励起状態プロトン移動で生じる異性体からの発光であり、ストークスシフトが非常に大きな値となる (図7a) ²⁷⁾。このESIPT発光のON/OFFを外部刺激により制御する事で、波長変化の大きな蛍光応答が誘起できる。ESIPT発光分子として2-(2'-ヒドロキシフェニル)-ベンゾチアゾールに着目し、さらに塩基性分子のセンシングによる発光クロミズムを可能とするためにスルホン酸基を導入した分子を設計した²⁸⁾。

固体状態で、ピリジン・アニリン・キノリン・チアゾールなどの有機塩基や生体分子であるヒスタミンを、その発光色調を水色～濃青～緑へと変化させる事でセンシングが可能であった (図7b上)。プロピルアミン (PA) のセンシングでは、二段階の蛍光クロミズムが観測され (図7b下)、単結晶X線構造解析を用いたメカニズムの検討から、多様なプロトン化状態とコンフォメーション変化が固体状態で実現していることが判明した。ESIPT発光と分子コンフォメーションおよび水素結合様式の変化が互いに連動して蛍光クロミズムが実現するダイナミックな現象である事が明らかとなった。固体中の分子ダイナミクスが、強誘電性だけでなく分子センシングにも利用可能である事が示された。

3. 終わりに

最密充填構造をとる分子集合体中では、大きな構造変化を伴うダイナミックな分子集合体の設計は一般に困難を伴う。ダイナミックな分子集合体における強誘電性の実現は、機能性材料の創製と物性化学の視点で重要な研究に位置づけられ、そこを出発点として国内外において新規な強誘電体に代表されるダイナミックな分子系が多数開発されている。また、この様な分子集合体中のダイナミクスは、分子センサーやボウル反転型の有機強誘電体などの新たな視点からの材料創製にも関連し、分子集合体の物性化学に新たな方向性を示す事ができたと考えている。今後、生体系における複雑性と非平衡性を取り入れた分子集合体を有機合成的に創製するにはどうすれば良いか？ あるいは、一方向分子回転が可能で高効率な仕事を可能

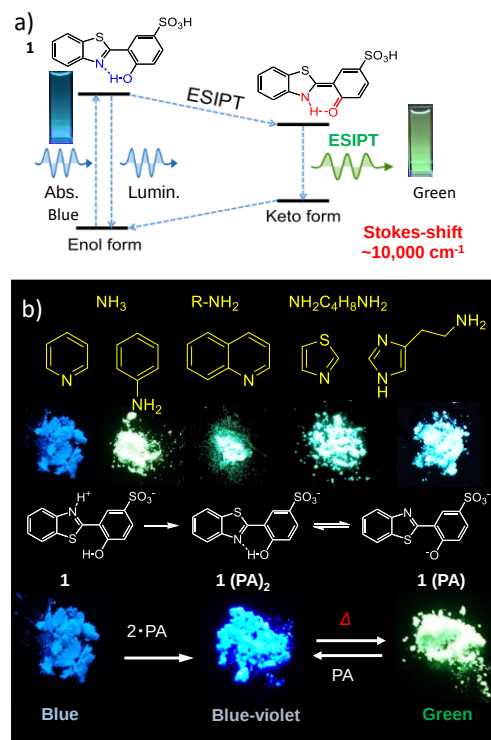


図7 ESIPT蛍光クロミズムを利用した分子センシング。a) ESIPT発光のメカニズム。b) 結晶中の分子ダイナミクスを伴う、多様な塩基性分子に対する固体蛍光センシング。

とする人工分子モーターをどの様に作製するのか？ など、未解決問題はたくさん残されている。あと、10年くらい残された研究期間でどこまでできるか楽しみである。

謝辞

30年近く一連の研究を継続的に行うことができた幸運に、心より感謝する。松永義夫先生、斉藤軍治先生、中村貴義先生には、尊敬できる恩師または上司として、今日の研究の礎を築く機会を与えて頂いた。東北大学に赴任してから、星野哲久助教、武田貴志助教、二郷愛秘書、小野寺保子秘書のサポートの元で多くの学生を指導できた。また、10年以上におよぶ単身赴任生活で、自由に研究させてくれた家族にも感謝する。

参考文献

- 1) T. Akutagawa, G. Saito, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **68**, 1753–1773 (1995).
- 2) T. Akutagawa, G. Saito, M. Kusunoki, K. Sakaguchi, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **69**, 2487–2511 (1996).
- 3) T. Nakamura, T. Akutagawa, K. Honda, A. E. Underhill, A. T. Coomber, R. H. Friend, *Nature*, **394**, 159–160 (1998).
- 4) T. Akutagawa, T. Hasegawa, T. Nakamura, S. Takeda, T. Inabe, K. Sugiura, Y. Sakata, A. E. Underhill, *Chem. Eur. J.*, **7**, 4902–4912 (2001).
- 5) T. Akutagawa, T. Nakamura, *Dalton Trans.*, **2008**, 6335–6345 (2008).
- 6) T. Akutagawa, *Mater. Chem. Front.*, **2**, 1064–1073 (2018).
- 7) 武田貴志、芥川智行、有機合成化学協会誌, **78**, 801–812 (2020).
- 8) T. Akutagawa, S. Takeda, T. Hasegawa, T. Nakamura, *J. Am. Chem. Soc.*, **126**, 291–294 (2004).
- 9) S. –S. Chang, E. R. Jr. Westrum, *J. Phys. Chem.*, **64**, 1547–1551 (1960).
- 10) E. Hampton, N. C. Lockhart, J. N. Sherwood, *Chem. Phys. Lett.*, **21**, 191–193 (1973).
- 11) S. Nishihara, T. Akutagawa, D. Sato, S. Takeda, S. Noro, T. Nakamura, *Chem. Asian J.*, **2**, 1083–1090 (2007).
- 12) D. Sato, T. Akutagawa, S. Takeda, S. Noro, T. Nakamura, *Inorg. Chem.*, **46**, 363–365 (2007).
- 13) T. Akutagawa, D. Sato, H. Koshinaka, M. Aonuma, S. Noro, S. Takeda, T. Nakamura, *T. Inorg. Chem.*, **47**, 5951–5962 (2008).
- 14) T. Akutagawa, D. Sato, Q. Ye, T. Endo, S. –i. Noro, S. Takeda, T. Nakamura, *Dalton Trans.*, **39**, 8219–8227 (2010).
- 15) T. Akutagawa, H. Koshinaka, Q. Ye, S. –i. Noro, J. Kawamata, H. Yamaki, T. Nakamura, *Chem. Asian J.*, **5**, 520–529 (2010).
- 16) T. Akutagawa, D. Sato, Q. Ye, S. –i. Noro, T. Nakamura, *Dalton Trans.*, **39**, 2191–2193 (2010).
- 17) T. Akutagawa, H. Koshinaka, D. Sato, S. Takeda, S. Noro, H. Takahashi, R. Kumai, Y. Tokura, T. Nakamura, *T. Nature Mater.*, **8**, 342–347 (2009).
- 18) J. Ichikawa, N. Hoshino, T. Takeda, T. Akutagawa, *J. Am. Chem. Soc.*, **137**, 13155–13160 (2015).
- 19) Y. Shishido, H. Anetai, T. Takeda, N. Hoshino, S. Noro, T. Nakamura, T. Akutagawa, *J. Phys. Chem. C.*, **118**, 21204–21214 (2014).
- 20) J. Wu, T. Takeda, N. Hoshino, T. Akutagawa, *J. Mater. Chem. C.*, **8**, 10283–10289 (2020).
- 21) H. Anetai, Y. Wada, T. Takeda, N. Hoshino, S. Yamamoto, M. Mitsuishi, T. Takenobu, T. Akutagawa, *J. Phys. Chem. Lett.*, **6**, 1813–1818 (2015).
- 22) H. Anetai, T. Takeda, N. Hoshino, Y. Araki, T. Wada, S. Yamamoto, M. Mitsuishi, H. Tsuchida, T. Ogoshi, T. Akutagawa, *J. Phys. Chem. C.*, **122**, 6323–6331 (2018).
- 23) H. Anetai, K. Sambe, T. Takeda, N. Hoshino, T. Akutagawa, *Chem. Eur. J.*, **25**, 11233–11239 (2019).
- 24) J. Wu, T. Takeda, N. Hoshino, Y. Suzuki, J. Kawamata, T. Akutagawa, *J. Phys. Chem. C.*, **123**, 22439–22446 (2019).
- 25) H. Anetai, T. Takeda, N. Hoshino, H. Kobayashi, N. Saito, M. Shigeno, M. Yamaguchi, T. Akutagawa, *J. Am. Chem. Soc.*, **141**, 2391–2397 (2019).
- 26) T. Takeda, J. Wu, N. Ikenaka, N. Hoshino, I. Hisaki, T. Akutagawa, *ChemistrySelect*, **3**, 10608–10614 (2018).
- 27) S. Seki, V. S. Padalkar, *Chem. Soc. Rev.*, **45**, 169–202 (2016).
- 28) Y. Nakane, T. Takeda, N. Hoshino, K. –i. Sakai, T. Akutagawa, *J. Phys. Chem. C.*, **8**, 122, 16249–16255 (2018).

著者紹介

芥川智行（あくたがわともゆき）

東北大学多元物質科学研究所・教授

略歴：1995年、京都大学大学院理学研究科化学専攻博士課程単位修得退学。1995-2003年、北海道大学電子科学研究所助手。1998-2001年、さきがけ研究21研究員併任、2003-2010年、北海道大学電子科学研究所准教授。2010年、現職。

現在の研究分野/テーマ：有機物性化学、電子デバイス、多重機能性材料、ハイブリッド材料



■トピック■

「芥川氏の物質開発」

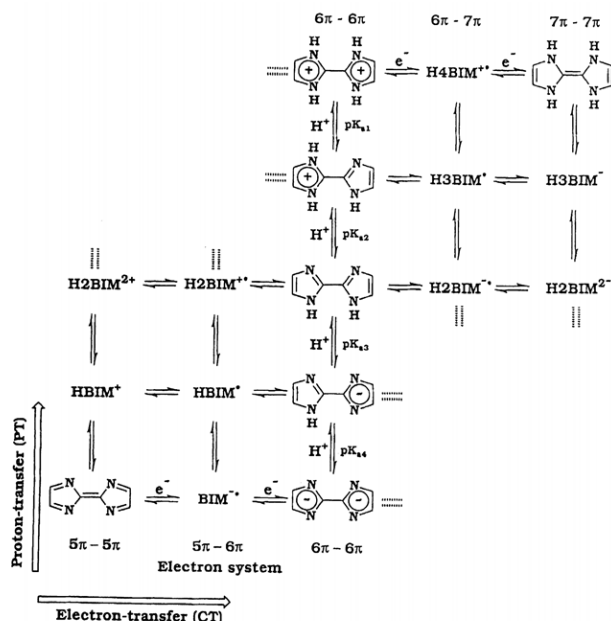
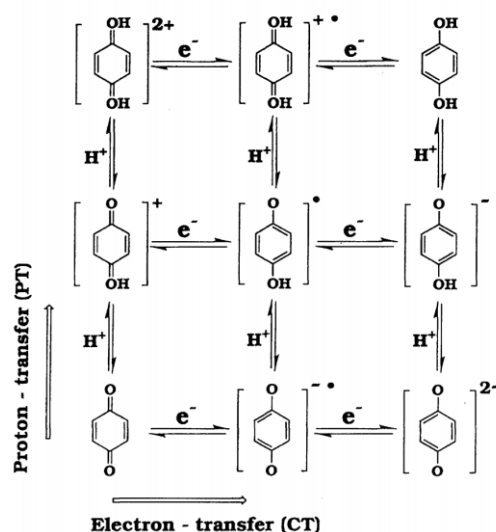
京都大学名誉教授 齋藤軍治

1. 北大・固体化学松永研から京大・有機物性化学研究室へ、次いで北海道大学電子科学研、東北大学

北海道大学化学第二・固体化学研究室的松永義夫先生から「齋藤君、僕はもうすぐ定年退職（1992年）ですが、現在博士前期（修士課程）に面白い学生がおり、博士後期課程に進みたいとの希望をもっているの、君の京都大学化学教室で、引き受けることは可能ですか？」。私は、京都大学で、有機物性化学研究室を担当し、面白い学生ならいつでも引き受ける気持ちでいました。また、松永先生は1964年に東大化学の赤松・井口先生とともに有機導電体を最初に開発した世界的先駆者であり、カナダ・スイスの民間研究機関で高伝導性有機固体の開発研究を行い、後、北海道大学に赴任し、機能性伝導材料に加え独自の視点で液晶を開発し、1989年に「機能性分子錯体の物理化学」で日本化学会賞を受賞しております。

1991年の2月頃（明確でない）、長靴（北海道は雪だったのか）をはいた芥川氏が博士入試試問のため京大化学教室にきました。非常に素朴で、発表内容・質疑応答も落ち着いた学生で、緊張しない性格と見ました。京大への編入入学は問題なく決まり、博士課程のテーマ選択になります。松永先生の初期教育方針は、「博士課程でのテーマは修士課程のテーマの延長ではなく、皆がなるべくやっていないテーマを1年かけても良いから自分で探すこと」です。芥川氏の場合、それは無理です。研究場所が北大から京大へ移るので、それほど厳密なテーマ選択を要請することはないだろうと考え、当時の私の研究室での研究テーマ（有機2次元導体・超伝導体開発）や、北大時代の仕事（有機錯体における電子（電荷）・陽子移動）を話し、京大研究室にある実験装置・機器・場所を適度に利用して、思うままのテーマを探すことを要請しました。芥川氏は「新規な電子・プロトン連動型の電荷移動錯体の合成と物性」をテーマとしました。

プロトン(H^+) $\leftrightarrow$ 水素原子($H^\bullet$) $\leftrightarrow$ ヒドリド(H^-)は、非常に特異的な原子種で、そのサイズは1s軌道にある電子の数がゼロのプロトン($0.875 \times 10^{-15}m$) $\leftrightarrow$ 1個の水素原子($31 \pm 5 \times 10^{-12}m$ (共有結合半径)、 $120 \times 10^{-12}m$ (vdW半径)) $\leftrightarrow$ 2個のヒドリド (イオン半径1.54, 1.94, 2.08(Paulingの値) $\times 10^{-10}m$)、と極端に変化します。ピアソンの酸塩基の基準では H^+ は“がちがちの硬い酸”、 H^- は“2個の電子間反発(on-site Coulomb 反発)で膨れ上がり”柔らかな塩基”など、物理、化学、生物学的に（体内のヒドリド反応は多い）興味深い対象物です。芥川氏は $4H^+$ - $4e^-$ 系の2,2'-bi-1H-imidazole (BIM)を研究対象物質(図1)として、陽子移動～電子移動25種の酸化還元特性、酸解離特性、on-site Coulomb反発、電子・陽子移動錯体形成と電子・磁気物性の相関を研究し(Ref.2,3)、学位を取得しております。

図1 5×(4H⁺ & 4e⁻) 競合系ビミダゾール図2 3×(2H⁺ & 2e⁻)競合系キノヒドロン

芥川氏の博士研究が始まる少し前（1985年）、電子・陽子移動型ヒドロキノン-キノン系($2\text{H}^+-2\text{e}^-$ 系で9種の分子種：図2)を三谷忠興氏（分子研・北陸先端大）、浦山（森）初果氏（現東大物性研所長）と共に研究発表しております（Ref.1）。図2の真ん中の種は中性ラジカル分子で、この種を成分とする結晶は、単一成分金属の可能性がありますが、高压が不可欠です。ビミダゾール系は右上の $7\pi-7\pi$ 分子（典型的なドナー分子テトラシアフルバレンTTFと等電子）から左下の $5\pi-5\pi$ 分子の間に10種のラジカル種（図1には H_4BIM^+ , H_3BIM^+ , H_2BIM^+ , H_2BIM^+ , H_2BIM^+ , HBIM^+ , BIM^+ を示す）があり、得られた電荷移動・陽子移動錯体の同定は、極めて複雑な解析を要した（Ref.2,3）。Ref. 4ではBIM分子の両横にベンゼン環を付けたBBIMを用いTCNQと高導電性錯体 10Scm^{-1} ($\text{H}_3\text{BBIM}^+(\text{TCNQ}^{0.5})(\text{Cl}^-)_{0.5}(\text{H}_2\text{O})$)の構造、磁性、プロトン伝導を調べている。

芥川氏の最初の本格的論文はBull. Chem. Soc. Jpn. のHeading Articlesに選ばれた21頁のRef. 2です。芥川氏の特質は長い論文（多重機能の複雑な系を扱い、論文の背景、実験・議論の構成がしっかりしている：Ref. 2-4）でも短い論文（何が面白いのかを主張）でも共に書くのが早く、しっかりした論点を持ちます。

私が東大物性研にいた頃、筑波の化学技術研究所の中村貴義氏が、導電性錯体の知識を得、LB膜に高導電性を付与したい目的で、私の研究室に出入りしておりました。後に、中村貴義氏が北大電子科学研究所に赴任し、ある時、「芥川氏を助手にほしい」と述べ、芥川氏はRef. 2の出版年に助手として電子科学研究所に赴任しました（論文業績が少なかったので中村氏は助手採用に苦労したのではないかと思います）。

この中村研究室で、芥川氏の機能材料開発が開眼します。私と芥川氏の共著論文は1995-2006間20報ですが、最初の数報以外は、中村氏との導電性LB膜（Ref. 5）や H_2BBIM のTCNQ錯体のsupramolecular系（Ref. 6）、川俣純氏（松永研出身→北大電子研→山口大）との非線形光学材料（Ref. 7、8）、長谷川達生氏（東大卒→北大電子研→産総研→東大物工）や十倉好紀氏（東大物工、理研）との有機エレクトロニクス材料（Ref. 9、10）の開発と、多彩な共同研究者と材料を相手に活躍をし、分子回転と強誘電性が連動した分子ローター型錯体の研究（Ref.11）を経て、2010年に東北大に赴任しております。複数の研究場所で多くの研究者とさまざまな話題で共同研究をおこなったことが、分野として斬新で面白い、新しいテーマに挑戦し続ける視野を育んだものと思います。

以上、芥川氏との共著論文の紹介を主体として、芥川氏の物質開発の背景を記述しました。芥川氏は上述したように、常に新規な機能・構造物質の分野開発をおこなっており、その視点・物質勘を持った学生たちの今後の活躍を期待します。

日本化学会学術賞受賞、おめでとうございます。

参考文献

- 1) Cooperative Phenomena Associated with Electron and Proton Transfer in Quinhydrone Charge-Transfer Crystal, T. Mitani, G. Saito, H. Urayama, *Phys. Rev. Lett.*, **60**, 2299-2302 (1988)
- 2) Multiplex Proton-Transfer and Electron-Transfer Natures Based on the 2,2'-Bi-1H-imidazole System. I. Acid Dissociation Constants and Redox Properties in Solution, T. Akutagawa, G. Saito, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **68**, 1753-1773 (1995)
- 3) Multiplex Proton-Transfer and Electron-Transfer Natures Based on the 2,2'-Bi-1H-imidazole System. II. Crystal Structures and Charge-Transfer Complex Formations, T. Akutagawa, G. Saito, M. Kusunoki, K. Sakaguchi, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **69**, 2487-2511 (1996)
- 4) Coupled Protonic and Electronic Conduction in the Molecular Conductor [2-(2-1H-Benzimidazolyl)-1H-benzimidazolium]-TCNQ, T. Akutagawa, T. Hasegawa, T. Nakamura, T. Inabe, G. Saito, *Chem. Eur. J.*, **8**, 4402-4411 (2002)
- 5) Conducting Monolayers and Langmuir-Blodgett Films Based on BEDO-TTF and Decyl-TCNQ Complex, T. Nakamura, H. Isotalo, T. Akutagawa, H. Tachibana, R. Azumi, M. Matsumoto, S. Horiuchi, H. Yamochi, G. Saito, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **284**, 235-246 (1996)
- 6) Hydrogen-Bonded Supramolecular (2,2'-Bi-1H-benzimidazole)(2-(2-1H-benzimidazolyl)-1H-benzimidazolium⁺)₂(Cl⁻) as an Electron Donor in a TCNQ Complex, T. Akutagawa, T. Hasegawa, T. Nakamura, G. Saito, *CrystEngComm*, **5**, 54-57 (2003)
- 7) Charge-Transfer Interactions and Non-linear Optical Properties of Tetrathiafulvalene-Based Langmuir-Blodgett Films, T. Konuma, T. Akutagawa, T. Yumoto, T. Nakamura, J. Kawamata, K. Inoue, T. Nakamura, H. Tachibana, M. Matsumoto, H. Ikegami, S. Horiuchi, H. Yamochi, G. Saito, *Thin Solid Films*, **327-329**, 348-352 (1998)
- 8) Observation of Third-Order Nonlinear Optical Effects of Metallo-Dimethylglyoxime Complexes by Methods Using the Evanescent Wave, J. Kawamata, T. Akutagawa, T. Hasegawa, T. Nakamura, K. Inoue, M. Kiguchi, G. Saito, *Nonlinear Optics*, **22**, 373-376 (1999)
- 9) Tuning of Electron Injections for n-Type Organic Transistor Based on Charge-Transfer Compounds, Y. Takahashi, T. Hasegawa, Y. Abe, Y. Tokura, K. Nishimura, G. Saito, *Appl. Phys. Lett.*, **86**, 063504/1-3 (2005)
- 10) Ink-Jet Printing of Organic Metal Electrodes Using Charge-Transfer Compounds, M. Hiraoka, T. Hasegawa, Y. Abe, T. Yamada, Y. Tokura, H. Yamochi, G. Saito, T. Akutagawa, T. Nakamura, *Appl. Phys. Lett.*, **89**, 173504/1-3 (2006)
- 11) T. Akutagawa, H. Koshinaka, D. Sato, S. Takeda, S. Noro, H. Takahashi, R. Kumai, Y. Tokura, T. Nakamura, Ferroelectricity and polarity control in solid state flip-flop supramolecular rotators, *Nature Materials* **8**, 342-347 (2009).

著者紹介

齋藤軍治（さいとう ぐんじ）

京都大学名誉教授

略歴：1972年 北海道大学理学研究科化学専攻博士課程卒業（理学博士）、1973年 Emory University, Atlanta, U.S.A.、1975年 University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada、1977年 University of Texas at Dallas, Richardson, Texas, U.S.A.、1979年 岡崎国立共同研究機構分子科学研究所 助教、1984年 東京大学物性研究所 助教授、1995年 京都大学大学院理学研究科 教授（1998年、2002年、2003年、2005-2007年、2009年 フランスRennes I 大学 客員教授）、1999年 東北大学国際科学研究センター 教授（兼任）、2002年 21世紀COE京都大学化学連携研究教育拠点「Kyoto University Alliance of Chemistry」リーダー、2006年 京都大学低温物質科学研究センター長（兼任）、2006年 名古屋大学物質科学国際研究センター 客員教授、2008-2017年 名城大学総合研究所 教授、2015-2018年 豊田理化学研究所 客員フェロー 受賞：1988年 井上學術賞、1988年 仁科記念賞、1991年 日本表面化学論文賞、2004年 日本化学会賞、2005年、2008年、2017年 日本化学会論文賞、2009年 紫綬褒章、2018年 瑞宝中綬章

研究分野/テーマ：エキゾチックな機能を有する π 共役系分子の開発

■トピック■

芥川智行先生の学術賞をお祝いして

山口大学理学部化学分野 網島 亮

芥川先生の日本化学会学術賞受賞をお祝いして、先生を偲ぶ寄稿を鈴木康孝先生からお誘いを頂きました。二つ返事でOKしたものの何を書いて良いか、、、悩みました。私が博士課程の学生だった北大電子研時代の思い出を語りつつ、改めて先生にお祝いとお礼（謝罪を一部含む）を、お伝えする場とさせて頂きました。学術雑誌の寄稿として不似合いな点はいくつかあると思いますがご勘弁ください。

—*—*—*—*—*—*—*—

私がはじめて芥川先生にお会いしたのは修士2年の夏にフランスで開催された国際会議ISCOMです。17年前、私がまだヤンチャな金髪頭の頃でした。今では色に拘る余裕もなく、時間の経過を痛感します。一方の芥川先生は全然変わらず、私だけが老けていきます（先生とは丁度一回り年齢が違いますが、見た目はそろそろ追いつきそうです）。当時私は、北海道大学理学部化学科・固体化学研究室に所属し、翌年度春から博士課程として当時先生が助教授を務められていた電子科学研究所・有機電子材料研究室（主宰 中村貴義 教授）に移ることが決まっていた。芥川先生ご自身も同じ固体化学研究室（主宰されていた先生は違います）で修士課程を取得なされていますので、恩師であり大先輩です。

芥川先生とのディスカッションの場は、電子研の踊り場にあった喫煙所がメインでした。そこでは、研究の話や実験のコツだけではなく、先生の部屋を訪れるのもご迷惑かな？と思えるような、整理しきれない考察の相談や「こんなことやったら面白いかな？」のようなアイデア種など、喫煙所では敷居が下がり、研究の話で良く盛り上がったことを覚えています。喫煙所で一休みするタイミングは実験や考察に煮詰まった時ですので、頭のリフレッシュとアドバイスの両方を同時に得られることがとても貴重でした。多い時では1日に3-4回、中村研を離れるまでの4年間のほとんど毎日です。これだけの頻度で指導いただけることは稀です。喫煙所で頂いた助言をもとに、実験や考察を試行錯誤しながら繰り返す毎日でした。いうまでもなく、この繰り返しによって、研究に対する考え方、組み立て方、まとめ方はもちろん、研究者としての本能や勘に関わる思考が養われたのは言うまでもありません。「喫煙」と捉えるのか「ディスカッション」と考えるのかは自由ですが、少なくとも私には後者であり、研究室をちょっと離れた喫煙所は「塾」でした。

私も芥川先生もお酒が好きで、研究室の飲み会では二次会・三次会に決まってススキノの小粋なバーを巡り、シングルモルトを飲み歩いていました。喫煙所だけではなくススキノでも「芥川塾」は開かれました。濃度が高く癖があるお酒が好みで、ピートの効いたシングルモルトをよく飲んだことを思い出します（今もです）。喫煙所でのディスカッションとも少し異なり、お酒の席ではもう少しスケールが広がった、過去や将来のことが話題になることが多かったです。過去にどのような研究が注目され、今は何が流行っていて、将来は？などの研究の背景や経緯、研究感や夢もお聞きすることができました。私も実際に教員の立場になって思ったことですが、学生との話は昔話・自慢に始まり愚痴・説教がオチになりがちですが、芥川先生からこれらの話を聞いたことはありません。酔いと共に抜けたところも多少ありますが、大部分は10年以上たった今も私の道標として生きています。



Figure. (a) 研究室登山@大雪山（芥川先生：一番右）。私（一番左）がD1の頃で、研究室で登山に行きました。天候は急変し吹雪いてしまい、この写真の後に中村先生（真中）は軽く遭難します。（b）桶で流されてしまう後ろ姿。（c）隔年開講の集中講義@山口大学。

先生からたくさんの事を教えて頂きながらも、私は悪ガキで迷惑ばかりをお掛けしていました。一番の大罪はおそらくアラルダイト事件です。当時先生は、顕微鏡で単結晶を観察する際に眼鏡をはずして机に置かれていましたが、置いた先に半乾きのアラルダイトあり、眼鏡がアラルダイトまみれになった事件がありました。いつものように喫煙所に行くと、珍しく怒り気味の先生が「アラルダイトを捨てない不届き者がいる！おかげで買ったばかりの眼鏡が…」と。私の思考はなぜか停止し、口が金縛りにあったが如く動かなくなっていました。。犯人は私でした、申し訳ありません。未だに面と向かって謝罪することはできていませんので、この場を借りてお詫びさせてください。聞いた話では、これ以降先生は眼鏡を机に置かなくなったと。。今では私も眼鏡を掛けますが、決して顕微鏡周りには置きません。

博士課程と研究員の4年間と意外に短い間でしたが、「芥川塾」は喫煙所やススキノのバーなどを転々とししました。番外編として、十勝岳や羊蹄山、スキー場など色々な思い出がたくさんあります。今では、先生も私も卒煙して喫煙所には行きませんが、芥川塾を国内外問わず不定期に開いて頂いています。学生の頃とは内容が少し変わり、研究の構想、父親論、最近では健康の話も増えつつ、本当に公私に関わらず相談させていただいています。研究に限らず何事も能動的に「愉しむ」ことを教えて頂き、今も褪せることはありません。

コロナ禍が無ければ今頃（執筆 2020年12月末）はPacifichem2020でホノルルでした。2005、2010、2015年と参加してきました。独立してからは芥川先生とは発表するセッションが異なりますが、共に発表が終わったところで慰労を兼ねて「The Beach Bar」に行くことが恒例です。一杯2千円を超えるカクテルをメニューの上から順番に注文し「いずれ、全て飲み干そう！」と。ただ、5年も過ぎると前回どこまでたどり着いたか覚えておらず、いつも振出しからです。2021年に延期になりましたが、この原稿が表に出るころには良い方向に向かっていることを祈ります。

—*—*—*—*—*—*—*—*—*

私が喫煙所とススキノの往復しかしていないように思われてしまいそうで、Introductionだけで終わったしまった感があります。まじめな研究の本論は、先生の次の受賞の際に続編として是非寄稿させてください。

芥川先生、改めて「学術賞」おめでとうございます。先生のご活躍を拝見し、後輩・教え子として大変心強い限りです。今後のさらなるご活躍をお祈りいたします。

綱島 亮（つなしま りょう）

山口大学 理学部 化学分野・准教授

略歴：

2004-2007年 北海道大学地球環境科学研究科・博士課程

2007-2008年 同大学電子科学研究所・博士研究員

2008-2010年 グラスゴー大学・Research Associate

2010年～現在 山口大学 理学部 化学分野（2010-2014 助教、2014～ 准教授）

現在の研究分野/テーマ：固体化学/分子と分子集合体の物性科学



■トピック■

芥川先生の学術賞受賞に寄せて

北海道大学 電子科学研究所 高橋 仁徳

1. はじめに

東北大学多元物質科学研究所の教授になられてから10年後の2020年、芥川先生は日本化学会の学術賞を受賞された。芥川先生、おめでとうございます。その10年の中で、筆者は初期の6年間に芥川研の学生として過ごした。このトピックでは、そのときからの出来事を交えて回想する。

2. 芥川研究室に入ったとき

2010年4月、芥川研は初年度の学生を募集している研究室として、我々の前に現れた。芥川研に関する前情報は何もなかった。そんな芥川研に同級生の吉井が配属希望を出していた。吉井と一緒に大丈夫だろうし、研究生活が意に沿わないものだったら大学院試で研究室を移ればいやと、僕も芥川研に配属の希望を出した。芥川先生が何の研究をされているかも調べもせず、きわめて怠惰に研究室を決めた。しかし、これが僕の人生を大きく左右するほどの魅力ある決断だったとは、当時思ってもいなかった。

配属が決まり所定の日に研究室に向かうとびっくり、居室には昭和を感じる灰色の事務机がタテに2段積みになれ、そのほかには何もなかった。実験室にも実験装置どころか器具も何もなく、まるで倒産した会社のような研究室だった。研究室配属をでたらめに決めた僕も大概だが、受け入れる研究室も、とんでもないところだなと思った。一方、芥川先生は、とんでもない学生が2人入ってきたと頭を抱えていた可能性が高い。

3. 研究

与えられた中から僕が選んだテーマは「Cu₂核錯体の固相分子運動が誘起する誘電応答」¹⁾、やがて「一次元鎖型金属錯体結晶の気体吸脱着をバイアスとした分子運動と誘電応答の連動系の創出」^{2,3)}になった。最初はなんのことやらさっぱりだった。しかし実験結果をまとめて報告するたびに、楽しそうな雰囲気ですディスカッションに応じてくれる先生がいた。また、普段から折に触れては笑いを交えつつ気さくに話せる雰囲気があった。そんな芥川先生の人柄・姿勢に触れるうちに、修士で大学を出た後、会社に入って同じような人柄の上司に出会えるだろうか？と考えるようになった。芥川先生を上司（指導教官）として仕事（研究）をやり遂げることは、数段良い人生経験になるだろうし、芥川先生のように人生で向き合う物事に楽しさを見出して取り組めるようになりたいと思い、博士課程進学を決めた。

ある程度研究が進む中で、2009年に芥川先生が発表された強誘電性を示す固相超分子ローターの研究⁴⁾を念頭に、先生から「気体分子の吸脱着がバイアスになって強誘電性のオンオフが出てくるようになったら、きっとネイチャー誌に論文出せるよ！」という明るいコメントをいただいた。これを聞いたとき、自分の仕事が何かインパクトのある仕事につながるのかもしれない！と感動した。実際には思い通りにはならなかったが、非常に印象深い言葉だった。先生は我々に「ネイチャーやサイエンス誌に載せられるような、独創的な研究を考えなさい」といつも助言してくれていた。研究にも遊びにも楽しさを見出して打ち込む先生の姿を見ると、この姿勢が著名な論文誌に論文を載せる基礎力なのだろうと思っている。

4. 遊びと環境

そんな研究の一方で、芥川研のメンバーとたくさん遊んだ。とある懇親会で「動物園（のようにうるさい）」と言われた我々は、学内行事は出禁になるわ、図書館を利用可能だったWPIのフリースペースは使用不可になるわ、野外BBQで近くの研究室の助教の先生を河原に突き飛ばすわ、とんでもないことばかりしでかしていた。学生が何もしでかしてくれない方が、先生としては楽に決まっている。時に芥川先生は、我々学生（特に僕）の行動によって周りの先生から顰蹙を買っていただろうと推察される。しかし芥川先生は我々に規制をかけることはせず「あまり暴れすぎないようにね」と自覚を促しつつ、見守る姿勢を貫いておられた。我々学生が自由にやりたい放題できているのは、芥川先生の暖かい見守りがあってのことだと思ふようになると、迷惑かけた分を研究で応えたいと思うようになった。実際に応えられていたかは疑問だが、自由な環境の中で研究に遊びに対して真剣に打ち込み、充実した研究室生活を過ごせたのは、芥川先生のおかげである。

5. 教育

修士1年の折、インドでの国際学会で発表させていただく機会をいただいた。初日ホテルに向かう折、一緒にインドに向かった星野先生と車で別れた後、駅前でタクシーと思いきや怪しい連中に連れていかれた後に2000ルピーを払い、なんとかホテルにたどりついたことがある。翌日、芥川先生にその旨を話すと「ええっ!」と驚いたご様子の一方で、過剰に心配せず、はははと笑っていた。学生を信じ、任せ、旅をさせ、失敗させつつ、自覚を促す。こういう所に芥川先生の教育方針が隠れていると思っている。

そんな僕も芥川先生ならびに芥川研のスタッフ・メンバーのおかげで、2016年に博士号を取得することができ、産総研の博士研究員として働き始めた。僕が博士課程の頃に取り組んでいた多孔性配位高分子に関する研究のフィーバーも、当時はひと段落していた。芥川研でも取り組んでいる有機分子性強誘電体の創出に関しても、ある程度方法論も確立されつつあり、強誘電体というだけで著名な論文誌に掲載されることはなくなりつつあった。分子や有機物を軸にした化学で、あっと驚いて感動するような明確なターゲットが減っているような気がしていた。そういった時代背景もあり、物質化学研究が達成すべき次の目標について、必要以上に考えあぐねていた。そんな頃、芥川先生とお酒を飲みながら、「次世代の化学研究はどこに向かうと思いますか?」と質問したことがある。先生の回答は「僕の仕事は、それを考えられる次世代の学生を育てることです」だった。また学生が研究に取り組む姿勢についても、芥川先生は「周りが頑張っている中で自分がどうふるまうか、これは僕が強制することではなく、本人が自覚すること。それが本人の生き方を決めると思う」とコメントしていた。個々の学生の心に明るく火を灯すのは、どうすればいいのか。学生が相互に刺激し合い、競い合い、そして助け合うような、芥川研究室のようなチームの空気をどうやって醸造するのか。そしてまだまだ芥川先生から学ばねばならないことがたくさんある。

6. まとめ

芥川研ができてからの10年間を振り返り、芥川先生が日本化学会の学術賞を受賞されたのは、芥川先生の研究力はさることながら、研究室としてのチーム力を高めつつ、個々を刺激する先生の教育力が生み出した成果ではないかと感じている。芥川先生から薫陶を受けた1人として、自分ではなく自分の周りを明るくするような「研究を楽しむ」ことに全身全霊をかけ、次世代の人材につながる仕事をしたいと改めて思うのであった。

参考文献

- 1) Q. Ye, K. Takahashi, N. Hoshino, T. Kikuchi, T. Akutagawa, S. Noro, S. Takeda, T. Nakamura, *Chem. -Eur. J.* **17**, 14442 (2011)
- 2) K. Takahashi, N. Hoshino, T. Takeda, S. Noro, T. Nakamura, S. Takeda, T. Akutagawa, *Dalton Trans.* **43**, 9081 (2014)
- 3) K. Takahashi, N. Hoshino, T. Takeda, S. Noro, T. Nakamura, S. Takeda, T. Akutagawa, *Inorg. Chem.* **54**, 9423 (2015)
- 4) T. Akutagawa, H. Koshinaka, D. Sato, S. Takeda, S. Noro, H. Takahashi, R. Kumai, Y. Tokura, T. Nakamura, *Nat. Mater.* **8**, 342 (2009).

著者紹介

高橋 仁徳 (たかはし きよのり)

北海道大学電子科学研究所・助教

略歴:

2011年 東北大学工学部化学・バイオ工学科 卒業

2013年 東北大学大学院工学研究科 応用化学専攻 博士課程前期 修了

2016年 東北大学大学院工学研究科 応用化学専攻 博士課程後期 修了 博士(工学)

2016年 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 化学プロセス研究分門 特任研究員

2016-2017年 大阪大学理学部 博士研究員

2017年 北海道大学 電子科学研究所 博士研究員

2017年- 北海道大学 電子科学研究所 助教 現在に至る



現在の研究分野/テーマ: 固相内分子運動によって物性を示す新奇分子結晶の創出

■レビュー(査読あり)■

芥川先生から学んだこと: 有機強誘電体開発と「かん」

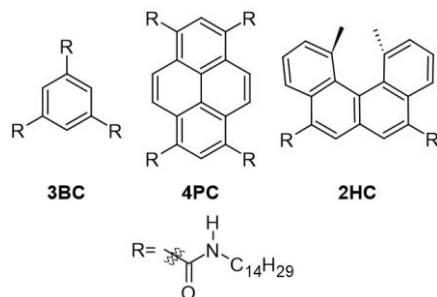
物質・材料研究機構 姉帯勇人

1. はじめに

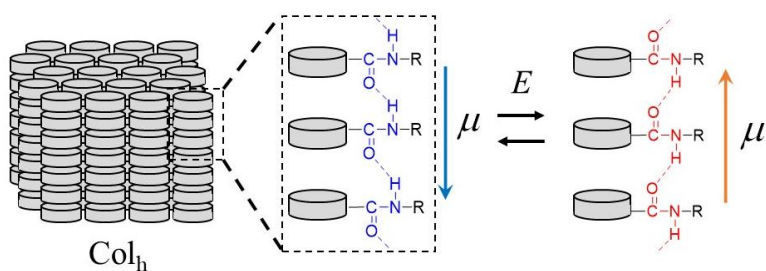
最近、ある法語(仏の教えを分かりやすく説いた文章)を目にした。「グラム単価で考えるとポルシェよりふりかけの方が高い」これは2020年12月に北九州の永明寺で公開された法語で、『モノの見方で世界は変わる』という教えだそう。また、思想家である柳宗悦は、著書「民藝四十年」にて、一般的には価値がないと思われている不断使いの雑器に美(価値)を見出すことの重要性を論じ、民藝運動を牽引してきた。このような、別の角度でモノを見ることの大切さは、自然科学分野でも当てはまる。得られた化合物で所望の物性が出なかったり、そもそも目的物が得られなかったとしても、見方を変えれば価値のある分子であったり、その反応中間体に予期せぬ物性が秘められている事がある。筆者はそのような、物事を多角的に見る大切さを、恩師である芥川先生から学んだ。芥川先生はこの能力を「物質かん」と呼んでいた。「かん」が平仮名なのは、多角的に観る、五感で感じる、勘、などの複数の意味が込められているからなのだと想像する。この度、そのような教えを御教授して下さいました芥川先生が日本化学会の学術賞を受賞された。その記念特集号の一部の執筆を、私の様な若輩者が受け賜ったことを僭越に思いながら、芥川先生への感謝の意を表しつつ、芥川先生と過ごした6年間の学生生活と研究成果の一部を振り返らせて頂きたいと思う。

2. 研究背景

芥川研に所属した6年間、私は一貫してアルキルアミド置換アレーン誘導体の物性評価、特に強誘電性の評価を行ってきた。強誘電性とは、ある閾値以上の電場によって一方向に揃った自発分極が反転できる性質を指す。有機強誘電体では様々なメカニズムによって分極反転を達成する。例えば、堀内博士が報告したクロラニル結晶では、水酸基のプロトンが、隣接する分子のカルボニル基へ一斉に移動することで分極反転を実現する。[1] また、芥川先生が報告した(*m*-fluoroanilinium) (dibenzo[18]crown-6) 超分子カチオン構造では、クラウンエーテルに内包された *m*-fluoroanilinium が、外部電場に応じて ‘Flip-flop’ 運動することで強誘電性を発現する。[2] これらの有機強誘電体はいずれも結晶であるが、製膜のし易さの観点から強誘電性液晶にも大きな注目が集まっている。Meyerらは自発分極をもつSmC*相のカラミチック分子に着目し、強誘電性液晶を初めて報告した。[3] 日本国内でも、竹添先生が、松永先生と芥川先生により報告された液晶分子[4]に注目し、バナナ型液晶が強誘電性を示す事を明らかにした。[5] 強誘電性液晶はカラミチック液晶だけでなく、ディスコチック液晶でも確認されており、その例をSchemeに示した。3BCはSi jbesmaらによって報告された強誘電性ディスコチック液晶化合物である。[6] 3BCはアミド基の分子間水素結合、ベンゼン環の π - π 相互作用、アルキル鎖の疎水性相互作用によって一次元のカラムナール構造を形成し、60~209 °Cの温度域でディスコチックヘキサゴナルカラムナール(Col_h)相を示す(Figure 1)。また、Col_h相で交流電圧を印加すると、電場—分極(*P-E*)曲線で強誘電体に特徴的なヒステリシスループを示す。これは、一方向に揃ったアミド基の分子間水素結合が外部電場によって分極反転するために起きる。芥川研ではこのメカニズムの汎用性の高さに着目し、様々な π 電子骨格にアルキルアミド基を導入することで、 π 電子由来の物性を兼ね備えた新規強誘電性体の開発が可能ではないかと考えた。そこで、学部四年生の私に初めて与えられた研究課題は、3BCに π 電子物性を付与する観点から、 π 電子骨格をベンゼンからピレンに拡張した4PCを新規に合成し、強誘電性並びに π 電子由来した物性を評価することであった。



Scheme 強誘電性液晶の分子構造

Figure 1 ディスコチックヘキサゴナルカラムナール(Col_h)相での強誘電性発現のメカニズム。円盤はディスコチック液晶分子を示す。

3. 光る強誘電体の開発 [7]

黄色固体である4PCは、3段階の反応を経て合成した。バルク状態の4PCの発光特性は無置換のピレンとは異なり、固体状態でもエキシマー発光由来の黄緑色の発光を示した。また、4PCは30℃以上の比較的低い温度から3BCと同様のCoI_h相を形成した。これは、4PCのアルキル鎖が長いのに加え、比較的疎であることが原因であると考えられる。このような発光特性と液晶性はいずれも、アミド基の分子間水素結合によってピレン同士がスタックし、カラムナール構造を形成したために起きたと考えられる (Figure 2a)。次に、4PCが3BCと同様の液晶相を示したことから、誘電率の温度一周波数依存測定と*P-E*測定を実施した。誘電率の温度一周波数依存測定では、キュリー点が分解点より高かったため、強誘電相—常誘電相転移は観測されなかったが、*P-E*測定では強誘電体に特徴的なヒステリシスループが観測された (Figure 2b、残留分極値 $P_r=0.738 \mu\text{C}/\text{cm}^2$)。この残留分極値はDFT計算から計算された分極値ともよい一致を示し、4PCの強誘電性は、3BCと同様にアミド基の回転に起因する事が分かった。一方、電圧印加後にUVランプを照射した所、発光特性に変化はなく、黄緑色の蛍光を示した。このような「光る有機強誘電体」は報告例がなく、他の π 電子化合物にアルキルアミド基を導入した場合でも強誘電性が発現することが示された。4PCでは、発光特性と強誘電性に相関性が見いだせなかったが、アルキルアミド基を導入することで、強誘電性との物性がクロスリンクした、新たな強誘電性液晶の創出が可能になると期待される。また、このヒステリシスループの観測は、芥川研創設以来初の出来事であり、芥川先生にヒステリシスループが観測出来たことを報告した際には、直ぐに実験室に駆けつけて下さり、非常に喜んでいらっしゃった事を鮮明に覚えている。

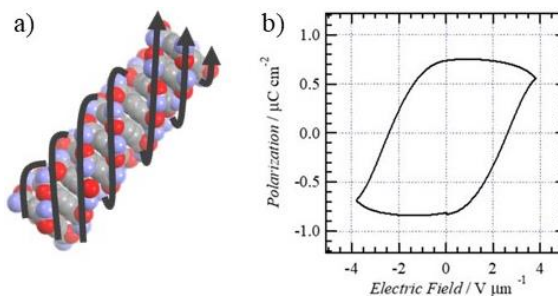


Figure 2 a) 4PCのカラムナール構造の模式図、

b) 4PC (393 K, 0.5 Hz) の電場—分極 (*P-E*) 曲線

4. 二次元水素結合ネットワークによる優れた有機強誘電体の開発 [8]

芥川先生は新学術領域「 π 造形」の計画班であったため、学生時代の私は恵まれた環境で研究することが出来た。中でも、 π 造形で知り合いが増えたことは、私の研究人生に置いて非常に価値があり、お蔭で現在の職に就くことが出来た。様々な共同研究をさせて頂いたが、その中でもアルキルアミドを導入した非平面 π 共役分子の強誘電性評価に関する研究は、国内外で非常に高い評価を受け、私としても非常に有意義な経験となった。これまで研究されてきた3BCと4PCはいずれも、平面分子であるベンゼンやピレンにアルキルアミドを導入した分子であった。一方、今日では様々な非平面 π 共役分子が報告されている。例えば、ヘリセンは末端のメチル基やベンゼン環の立体反発によって非平面構造を形成する。また、一部のヘリセンは永久双極子モーメントを有するため、金基板上で外部電場に応答した分子運動を示すことが知られている。[9]そこで、東北大学大学院薬学研究科の山口先生と重野先生からラセミ体のアルキルアミド置換ヘリセン誘導体 (2HC) を頂き、そのバルク物性を評価した。ただ、裏話をすると、中心の π 電子骨格に非平面分子を選択したのは、芥川先生の何か起きそうという「物資かん」による所が大きかった。だが、その予想は見事に的中した。2HCは、その非平面性より3BCや4PCとは異なる2次元の水素結合ネットワークを形成し、ラメラ構造の液晶相を示した (Figure 3a)。2HCの誘電率の温度一周波数依存性は、アルキルアミド置換ベンゼン誘導体[10]やピレン誘導体[7]と同様の挙動を示し、強誘電体に特徴的な誘電異常は見られなかった。しかし、*P-E*測定では強誘電体に特徴的なヒステリシスループを示し、2HCも強誘電体である事が明らかとなった (Figure 3b)。さらに、2HCの残留分極値を調べると $P_r=10.7 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ であり、4PCよりも10倍以上大きな値であった。これは、二次元構造によって、一次元構造よりも高密度かつ配向性の高い水素結合が実現したためである。よって、二次元の強誘電体の開発は、優れた強誘電体の実現に有利であり、実用化材料として高い潜在能力があると考えられる。

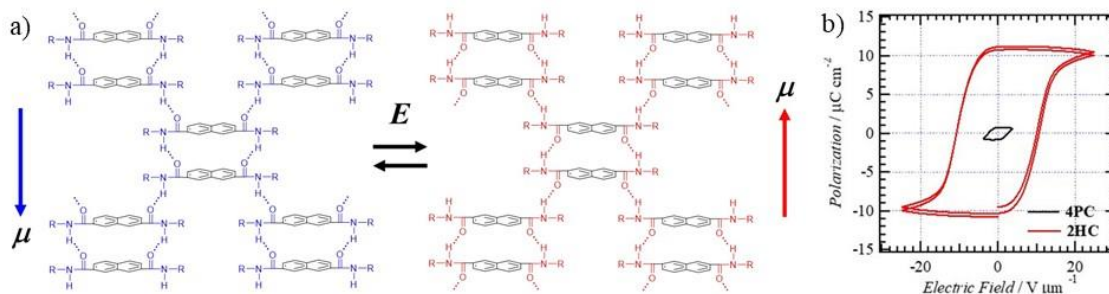


Figure 3 a) 2HCの形成する2次元水素結合ネットワークの分極反転の模式図、b) 2HC (413 K, 0.5 Hz) の*P-E*曲線

5. 最後に

筆者は現在、新たな駆動メカニズムを持つ、“動く”有機結晶の開発を行っている。それと並行して、現在所属しているラボに眠っていた反応中間体で面白い物性を示す化合物を発見したので、現在はその物性の精査を行っている。この発見は、芥川先生から学んだ「物質かん」によるもので、このスキルを見出して下さった芥川先生には感謝しかない。一方で、芥川先生が仰った言葉で一つ、記憶残っている言葉がある。「師匠を超えることは難しい。」芥川先生が、師匠である松永義夫先生と齋藤軍治先生の話をした際に仰った言葉だった。松永先生、齋藤先生ともに有機半導体や有機超伝導体の権威であり、筆者からすれば殿上人の様な存在である。また、お二方の知識量の多さは、芥川研の輪読で使用させて頂いた著書[11, 12]からも容易に窺い知れる。しかし、私からすれば、様々な知識と経験を持つ芥川先生も十分に遠い存在であるのに、芥川先生でもまだそのようなことを思うのかと驚いた。2020年「半沢直樹」から新語・流行語大賞にノミネートされた「恩返し」という言葉は、将棋界では弟子が師匠に勝つことを指すそうだ。アカデミックに勝ち負けはないが、先人の研究成果をベースに漸進する私たちは、常に広い視野を持ちながらも師匠の背中を追い続けなくてはならないのかもしれない。「青は藍より出でて藍より青し」何人の方が達成できる言葉なのであろうか。しかし、自分もいつか芥川先生へ「恩返し」が出来るように、日進月歩で研究を進める芥川先生の背中を必死に追いつきながら、精進していきたいと思う。

参考文献

- 1) S. Horiuchi, Y. Tokunaga, G. Giovannetti, S. Picozzi, H. Itoh, R. Shimano, R. Kumai, Y. Tokura, *Nature* **463**, 789 (2010).
- 2) T. Akutagawa, H. Koshinaka, D. Sato, S. Takeda, S. Noro, H. Takahashi, R. Kumai, Y. Tokura, T. Nakamura, *Nat. Mater.* **8**, 342 (2009).
- 3) R.B. Meyer, L. Liebert, L. Strzelecki, P. Keller, *J. Physique Lett.* **36**, 69 (1975).
- 4) T. Akutagawa, Y. Matsunaga, K. Yasuhara, *Liq. Cryst.* **17**, 659 (1994).
- 5) T. Niori, T. Sekine, J. Watanabe, T. Furukawa, H. Takezoe, *J. Mater. Chem.* **6**, 1231 (1996).
- 6) C. F. C. Fitiá, W. S. C. Roelofs, M. Kemerink, R. P. Sijbesma, *J. Am. Chem. Soc.* **132**, 6892 (2010).
- 7) H. Anetai, Y. Wada, T. Takeda, N. Hoshino, S. Yamamoto, M. Mitsuishi, T. Takenobu, T. Akutagawa, *J. Phys. Chem. Lett.* **6**, 1813 (2015).
- 8) H. Anetai, T. Takeda, N. Hoshino, H. Kobayashi, N. Saito, M. Shigeno, M. Yamaguchi, T. Akutagawa, *J. Am. Chem. Soc.* **141**, 2391 (2019).
- 9) R. Nouchi, M. Shigeno, N. Yamada, T. Nishino, K. Tanigaki, M. Yamaguchi, *Appl. Phys. Lett.* **104**, 013308 (2014).
- 10) Y. Shishido, H. Anetai, T. Takeda, N. Hoshino, S. Noro, T. Nakamura, T. Akutagawa, *J. Phys. Chem. C* **118**, 21204 (2014).
- 11) 松永義夫、基礎化学選書10 物性化学—材料を中心として—（オンデマンド版）、裳華房 (2002).
- 12) 齋藤軍治、有機物性化学の基礎、化学同人 (2006).

著者紹介

姉帯 勇人（あねたい はやと）

物質・材料研究機構(NIMS)・ICYS研究員

略歴： 2019年3月 東北大学大学院工学研究科応用科学専攻博士後期課程修了（博士(工学)）、2019年4月 NIMSポスドク研究員、2020年4月より現職

現在の研究分野/テーマ：有機物性化学/機能性有機材料開発



■会告■

□ **Pacificchem 2021 Symposium #304 “Inorganic Oxide and Hydroxide Nanosheets: Toolkits for Structurally and Functionally Designed Nanomaterials”**

概要：無機ナノシートは機能材料のビルディングユニットとして注目されていますが、中でも酸化物や水酸化物ナノシートは、多様な組成と物性をもち、さまざまな新規ナノ材料の構造・機能制御のためのツールキットとして有用です。本シンポジウムでは、酸化物および水酸化物ナノシートの合成、評価、組織化、そして応用に関する最新研究を糾合し、無機ナノシートを用いる材料開発の未来を展望します。

2020 年 12 月の Pacificchem 2020（ホノルル、ハワイ）で、上記シンポジウムを開催する予定でしたが、新型コロナウイルス感染症の世界的な流行のため 1 年延期になり、**2021 年 12 月 16 — 21 日に Pacificchem 2021 として開催**されることになりました。

詳細は、日本化学会のお知らせ <http://www.chemistry.or.jp/news/pacificchem-2021.html>、および Pacificchem 公式サイト <https://pacificchem.org/>をご確認ください。

これにともない、2021 年 1 月 4 日から 4 月 12 日まで、abstract の追加募集を行います。テレワークや大学の遠隔授業のために申し込みができなかった方もいらっしゃると思います。お申し込みをお待ちしております。

なお、すでにお申し込みいただいているみなさまには、再申し込みの必要はありません。ご都合がつかない場合は取り下げも可能です。お忙しい中お申し込みいただきましたこと、この場を借りてお礼申し上げます。

スケジュール、参加登録、宿泊予約などにつきましては、今後の変更もあり得ますことから、上記 web サイトなどをご確認いただきますようお願いいたします。あらためて、多くの方のご参加をお待ち申し上げます。

■編集後記■

この度、低次元系光機能材料研究会ニュースレター第 23 号を発行することができました。新型コロナウイルスの感染拡大が収まらぬ中、本号にご寄稿いただきました先生方に深く感謝を述べさせていただきます。

今号は、本研究会の運営委員である東北大学の芥川智行先生が本年、日本化学会の学術賞を受賞したことを記念し、芥川先生にゆかりの深い先生方に記事執筆をお願いする記念特集号とさせていただきました。レビューは、芥川先生ご自身に分子集合体の創生および分子物性科学に関するこれまでのご研究に関しましてを総括いただき、トピックとして、芥川先生の博士課程指導教員をなされた京都大学齋藤軍治先生、芥川先生からご指導を受けられた、山口大学綱島亮先生、北海道大学高橋仁徳先生、物質・材料研究機構姉帯勇人先生に、ご自身のご研究と芥川先生との思い出話を主として寄稿を行っていただきました。

今号は、芥川先生の受賞記念特集号ということで、有機分子の集合体およびその機能創生に関するオリジナリティあふれる着眼点のみならず、芥川先生のお人柄、研究の際の裏話も含めて大変貴重なご寄稿を賜りました。改めて、有機材料の構造の多様性と設計性および芥川先生の研究視点に感心し、大変興味深く編集をさせて頂きました。読者の皆さまも、芥川先生の研究のこれまでとこれからを想像しながら読んでいただければ、幸いと思っております。

最後になりましたが、芥川先生、日本化学会学術賞の受賞誠におめでとうございます。これからも本研究会に対しまして、変わらぬご指導ご鞭撻のほど何卒よろしくお願いいたします。

2020年12月

日本化学会研究会「低次元系光機能材料研究会」

ニュースレター 23 号 編集委員

鈴木康孝

山口大学大学院創成科学研究科

津野地直

広島大学 大学院先進理工系科学研究科

藤村卓也

島根大学 大学院自然科学研究科