## 領域代表より



領域代表 陰山 洋

5年間にわたる新学術領域の活動がこの3月をもって終了しました。本領域に関わった全ての方々に厚く御礼申し上げます。60名にもおよび、計画研究者と公募研究者、さらには所属する学生を含めると数百名がワンチームとして、開始当時は得体がしれなかった複合アニオン化合物に挑んだ結果、革新的な発見を含む当初の予想を上回る数多くの成果が得られ、複合アニオンの学理を構築するという目的を達成することができたと考えております。ただし、昨年度の領域主催の国際会議は今年の12月に延期され、最終報告会もまだ行っていませんので気分的には継続しているのですが、ここを区切りとしてこれまでの活動を個人的な(領域代表目線での)感想も含めて振り返りたいと思います。

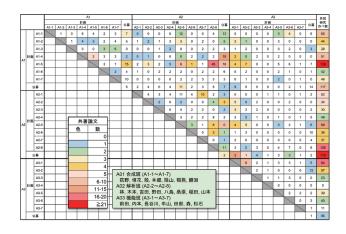
霞ヶ関(文科省)での面接など申請期間を含めて7年間のいろいろな思い出が駆け巡り、語ればきりがありません。ただ、私にとって最大のポイントになったのが、2016年に採択されてまもなくのキックオフ会議です。これから5年間一緒にやるぞ!という熱気ムンムンの会になると勝手に想像していたのですが、実際には"お通夜のよう"な静かな講演会に私にはみえました。今になって思えば、領域代表にしかわからない独特のプレッシャーがあったのかもし

れません。しかし、そのときはこのままでは 大した成果もでないまま静かに終わってしま うのではと異常に焦りました。開き直って、 年齢、身分、分野の違いも何もかも気にせず 好奇心ベースでどんどん共同研究をすすめま しょうと宣言しました。「共同研究を1人20 個がノルマです」と言った記憶があります。 しかし、この思いつきの発言(ハッタリ)の 効果は絶大でした。

新学術の運営、特に前半のフェイズで最も苦慮したこと は、いかにして共通の感覚をもって取り組むかということ です。研究分野が異なる上に、従来型の"カチオン中心" の科学が染み付いている研究者が、共通の感覚で会話する ことは簡単なことではありません。班長の荻野さん、林さ ん、前田さんと頻繁に連絡をとりながら、班内と班間の共 同研究をいかに拡げるかということに注力しました。共同 研究依頼は断り NG で、ダメ元でもまずはやってみること お願いしました。毎月の共同研究のメール報告の義務化や、 領域会議のプレゼンでは共同研究の成果(共同研究になり そうなネタを含む)を要求したのは特によかったと思いま す。必然的に領域会議(写真は第4回領域会議)での講演 会や深夜まで続く懇親会は共同研究を探す機会そのものに なりました。幸い2年度目に入るころには、共同研究が加 速的に行われていることを実感しました。具体的には2年 目の5月の九州大学での領域会議、ちょうど第一期の公募 研究者が加わられたときに自信が芽生え、夏の仙台での領 域会議で確信に変わりました。2年度目の終わりには外部 評価の先生からは、「自発的に共同研究が発生している状態」







と表現していただいて嬉しく思いました。中間評価のための資料として、共同研究数と共著論文数を集計しましたが、自分でも驚くほどのテーブル(星取表、図)が完成しました。後半では「共同研究をしましょう」と運営側からいうことはなくなりました。このような取り組みが噂で伝わったのか、JSTから共同研究の進め方に関する講演を依頼されました。後半のフェイズでは、コンセプトを意識することと新たに探すことをお願いしました。異なる分野(例えば、触媒と超伝導)でも同じコンセプトを使っていることはあるためで、これも元々異分野の研究者の集合体からスタートした我々の新学術が真のワンチームとしてつながったことに貢献したのではないかと思います。

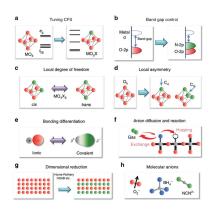
しかし、爆発的な共同研究が進んだ一番の要因は、なん といっても学理のない複合アニオン科学の研究には必要だ ったからでしょう。本領域では酸化物などセラミックスの 研究者が多いですが、合成、解析、機能のどれにとっても 従来のやり方が通用しないのですから。各分野のプロが結 集して、あれこれ意見や疑問をだしながらチリが積もって いくうちに、気がついたら複合アニオンの新しい学理が見 えてきて、さらにその形が時間とともに明確化していった ような印象をもっています。それらの中から、"0+0=1" となる予想外の結果や、ホームラン級の成果が3年目にな ったくらいからでるようになったように思います。「合成(荻 野) 班」では、ユニークな複合アニオン新物質が数多く合 成されました。なかでも、鱒渕さんを中心とした「固体窒 素源を用いた酸窒化物の合成」は、安価で無毒な合成法と してのメリットだけでなく、モルフォロジー制御、反応中 間体の発見、単結晶育成と初の強誘電動作など領域の多く

の研究者を巻き込んだ研究へと発展しました。「解析(林)班」では、関場さん(公募)の「重イオンERDAによるアニオン分析法」のほか、複合アニオンで登場する新しい自由度(cis-trans)を観る新しい技術(NMR、偏光 XANES、計算など)が次々と開発されました。「機能(前田)班」でも、前田先生の酸フッ化物光触媒や内本先生の酸フッ化物正極材料は、従来の酸化物のチャンピオンデータを遥かに凌駕する結果が得られました。また、低温高速ヒドリド伝導や酸水素化物触媒もこれまでの固定観念を打ち破る発見といえます。これらの成果のほぼ全てが領域の共同研究から得られたものです。計画・公募研究者10名がかかわった応力を用いて酸窒化物薄膜の構造の自在制御を達成した研究(下図は反応のイメージ)は、海外のメディアにも大きく取りあげられました。



本新学術では、複合アニオンの科学の学理を築くという 目標を立てました。「学理の構築」は申請書としては響き がよいですが、正直申し上げますと、これもほぼ勝算ゼロ のハッタリでした。しかし、新しいデータも共有したワン チームの活動の結果、新学術が開始して半分が経過したこ ろにはおぼろげながら学理のかたちがみえてきました。そ こで、その当時わかっている複合アニオンのコンセプト をまとめた世界初の複合アニオンのレビュー論文(Nat. Commun. 9, 772, 2018) を執筆しました。このレビュー は私を含め7名の共著ですが、この執筆には領域全員が共 通の感覚をもつために格闘した血と汗の結晶だと考えてい ます。特に林さん、前田さんには大きな負担をかけました (あの前田さんが"血を吐くほど"と形容するほど)が、こ の出版後は、これをベースに円滑に議論をすることができ たのはよかったです。新しく加入した学生にも、領域外の 複合アニオンを知らない研究者にも「このレビュー論文を 読んでください」で済むわけですから。幸い、このレビュ 一論文は、海外の研究者からも大変評判がよく、高被引用 論文に指定されているだけでなく、論文中のコンセプト(図)

はシンポジウムなどでたびたび使っていただいています。



学理の構築のもう一つの証が、世界初の複合アニオンの 教科書(2021年3月、丸善)の出版です。レビュー論文 の反響が大きかったことから、最終年度に出版する予定だ

った教科書の出版を思い 切って前倒ししてその前 年に出版する計画を立立 ました。概略(1章)、構造分析(3章)、 機能(4章)、理論(5章) を総勢 28名で執筆した(右図)。しかし、再び、 複合アニオンのコを上で、 で統一感のあるに 打取 経にすることに が取 結果、 莫大な時間が取



れてしまい、最終的に出版がギリギリの今年3月になってしまいました。度重なる修正の要求に応えてくだった著者の諸先生にはご迷惑をおかけしました。編集は、あまり負担はかからないはずと高を括ってご年配の長谷川先生にお願いしたのですが、これほどまでに大変だとは思いませんでした(長谷川先生、申し訳ありません)。同様に、荻野さんは、細部にまで気を配って原稿をみてくださり助かりました。お二方のご尽力がなければ、出版そのものもですが、今ほどの完成度には到底達しませんでした。出版にあたり、改めて感じたのは、我々は期せずして「カチオン中心の科学」に囚われてしまっていたことです。固体化学や固体物

理の教科書は、カチオン中心といっても過言ではありません。陰陽の考え方によれば、カチオン(陽イオン)とアニオン(陰イオン)を一緒に考えてこそ、物質の真の姿がみえるのではないでしょうか。そのことを知るだけでも本書を読む価値はあると確信しています。ぜひ、ご購入を検討いただければと思います。なお、今年度(令和3年度)には翻訳作業を行い、英語版を出版する予定でおります。

日本が先導して複合アニオンの科学を発展させるという のは、上記のレビュー論文、教科書からもおわかりいただ けると思いますが、レクチャーツアー(陰山は、英国、ドイツ、 スペイン、前田さんは、豪州、荻野さんはイタリア、林さ んはドイツ)、逆レクチャーツアー(海外から著名研究者を 招聘)、国際シンポジウムの主催や運営などでその役目は果 たせたと思っています。新学術が主催となった国際シンポ ジウムは毎年のように開催(写真は2017年)しました(た だし、まだ"最終年度"の国際会議は残っています)。最近 になって米国、英国など他国でも複合アニオンの大型プロ ジェクトが立ち上がっています。昨年度から、小生を代表 とする Core-to-Core プロジェクト「エネルギー変換を目 指した複合アニオン国際研究拠点」がスタートしましたが、 これは本新学術の活動がベースになったものであり、同様 のワンチームコンセプトで国際的な共同研究を進めており ます。国際活動支援班による活動では、海外の大型施設の 利用に関しては、八島先生のリーダーシップにより進めて いただきました。放射光、中性子によって精密構造や結合 状態が可視化できたことで研究(= 論文)の質が飛躍的に 向上しましたし、研究をタイムリーに行うことができたこ とは計り知れないメリットでした。

複合アニオンを拡げるためにアウトリーチ活動も積極的に展開しました。ホームページ、ニュースレターも大きな役割を果たしました。本新学術の開始時には、セラミックス分野ですら「複合アニオンって何?」という状態でしたが、今は広い学術分野で知られることになりました。同様に企業からも関心をもっていただき、多くの依頼講演のほか、共同研究も数多く立ち上がりました。特許申請も多く出されていますので、近い将来に複合アニオン化合物が材料を席巻する日は近いと思います。博士課程1年で早期学位を取得し、某有名企業にヘッドハンティングされた例もありました。また、一般市民、特に若者へのアウトリーチ活





れらの活動の効果で、ドクタ ーコースに進むことを決意し た学生が増え、また、その後、 助教などのポジションを獲得 したケースも数々ありました。 また、多くの若手教員も、助 教から准教授へ、准教授から 教授へステップアップしまし た。山本くんら若手教員も若 手スクールの企画運営を率先

動は強化して進めました(スーパーサイエンスハイスクー ル(SSH)指定校との連携や、各種の出前授業)。堀越さん (公募) には、アウトリーチに特化して幅広い普及活動をし ていただきました。ピンポン球を利用した複合アニオンの 結晶モデル(下図)に関する論文が、Chemistry Teacher

International からこの3

月に出版されました。こ れは世界初の複合アニオ ンの化学教育論文となり ます。また、今年2月5 日に開催されたケムステ (化学ポータルサイト) 主 催のオンラインセミナー

(講演は陰山、前田、桑原)には、通知期間が1週間しかな かったにも関わらず、800名を超える視聴者がありました。 ケムステのメインの有機系の読者からは外れていたので運 営の方に驚かれました。これも複合アニオンが世の中に広 く認知されてきたことの現れだと考えています。

本新学術の圧倒的な共同研究の原動力は学生、ポスド ク、助教までの若手に他なりません。私を含めシニアの研 究者はカチオン科学の固定観念で凝り固まってしまってい るわけですから、若い学生が自由な発想のもと研究をすす めることができる格好の舞台ではなかったでしょうか。若 手の活動をエンカレッジするために、領域会議では個々の 学生に研究立案させて表彰しましたが、回を重ねるごとに 優れた提案がでてきて、それがハイインパクト論文に掲載 されるにいたった例もいくつかありました。高野山で行っ た 2019 年の領域会議では、異なる研究室の学生がチーム を組んで大広間で議論している姿が印象的です(写真)。こ

してやっていただいたことも助かりました。稲田隊長を筆 頭として、小林さん、朝倉さん、由井さんほかノリのいい 元気な若手の存在は領域活性化の原動力となりました。上 述したように私はハッタリを利かせて鼓舞しただけですが、 それにノッてくれた若手の皆さんには感謝しています。で きれば、この新学術で得た経験を、次の若い世代に語り継 いでいって欲しいと思っています。



キックオフ会議での前園先生の発案により実現したのが、 理論家による実験家への計算技術指導システムです。私に とっては寝耳に水でしたが、気に入って領域として導入す ると驚くほどの効果がありました。理論・実験の両輪をつ かいこなせる次世代型の研究者は、複合アニオンに限らず、 あらゆる材料に対しても重要であることは疑いもなく、我々 はその流れをつくることを実際の人材輩出とともにできた と自負しています。電池や触媒の研究室の学生が、新物質 を作り、精密構造解析を行い、高いレベルのバンド計算を する、このような研究者が次世代のリーダーとして世界を 引っ張ってくれることを願っています。

一方、シニアの先生はそれぞれ築き上げられた研究と様々 な責任があるはずで、興味をもって積極的に取り組んでい ただけるのか若干の不安はありました。しかし、これも杞 憂に終わり、上述の内本先生の成果をはじめとし、大きな 成果をあげていただきました。カチオン科学を築き上げて こられ、極められたからこそ見えてくるものはありますね。 また、これまでの深い専門知識や経験に裏打ちされた厳し いコメントをいただいたことで、複合アニオンの価値を正 しく評価し、軌道にのせることができたことは疑いの余地 はありません。高野山の帰り道のケーブルカーで、長谷川 先生より「(物性ではなく) 化学をこの歳で楽しめる自分が 嬉しい」と仰っていただいたことは印象に残っています。 田部先生からは、「これまで携わった新学術(特定領域研究 を含む)で最も一体化している」とことあるごとに励まし てくださったのも心の支えになりました。また、内本先生 オーガイズで開催された打ち合わせ(吉田さん、前田さん、 桑原さん、陰山、内本先生)はその後の運営方針に大きな 参考になりました。

ここまで書いて、申請書どおりに進めたというよりも臨機 応変に舵をきったのだなと改めて感じます。しかしながら、私の経験不足を棚に上げてあえていうと、運営は骨格を保 ちつつそのときそのときの状況に応じてダイナミックに行うのが大事ではないでしょうか(研究と同じですね)。その意味でも、総括班を拡張したコアメンバーの先生方には、運営に積極的に携わってくださり感謝しています。特に垣花先生、片桐さんには、アウトリーチや会議など肝になるところで助言をいただきました。また、事務的なサポートしていただいた西之園さん、野尻さんにも感謝申し上げます。

最後になりましたが、外部評価者の堂免一成先生、武 田保雄先生、幾原雄一先生、上田寛先生、吉川信一先生、 Kenneth Poeppelmeier 先生、Paul Attfield 先生からの大所高所からのアドバイスには感謝してもしきれません。常に励ましていただきながらも、「バラバラにみえる。まとめるコンセプトは?」、「誰にでもわかる圧倒的な結果がほしい」、「鳥無き里の蝙蝠にならないように」などの2年目、3年目あたりのコメントがあったからこそ、ここまでたどり着けたのだと思います。

さて、冒頭で述べたように大型予算を使っての研究は区 切りを迎えました。しかし、我々の新学術は大所帯である ため、そもそも計画研究者の1人当たりの予算は大きくは なく、ましてや公募研究者の配分額は知れています。よっ て、お金目当ての研究と考えれば、ここまで共同研究は進 まなかったはずです(複合アニオン様様)。我々は、ワンチ ーム体制で、装置だけでなく、様々な観点から知恵を出し 合うことで、ダイナミックに研究がすすむことを学びまし た。複合アニオン科学の基礎学理ができた今、真の醍醐味 はこれからであり、本当に研究を楽しめるフェイズに入る と思います。新しい学問として深化していくと同時に、さ らに分野を広げながら大きく発展していき、その先に産業 応用もみえてくるでしょう(下図)。単に役にたつ未来材料 としてだけではなく、人類がまだ見ぬ自然の美しさに触れ ることができることでしょう。したがって、複合アニオン 新学術で築き上げた体制、スピリッツは今後、緩くでも、 大なり小なりでも継続していければいいなと考えています。 複合アニオン科学の世界がますます発展していくことを祈 念しながら、キックオフ会議で上田先生から頂戴した言葉 を添えて締めたいと思います。5年間ありがとうございま した。これからも楽しみにしています。

"Mixed is Different"

