

マテリアルズ サイエンス イノベーション

—学融合からみる物質科学の未来—

新領域で進めてきたマテリアルズサイエンスイノベーション(MSI)の活動は、学内外の研究の連携や教育の両方で様々な広がりを見せています。物質科学や関連する分野で活躍中の教員が集い、現在のMSIの学融合の姿と物質科学の未来への取り組みについて語り合います。

木村 薫 教授 物質系専攻	佐々木 岳彦 准教授 複雑理工学専攻	松浦 宏行 准教授 工学系研究科 マテリアル工学専攻	鎗目 雅 准教授 School of Energy and Environment, City University of Hong Kong	佐々木 裕次 教授 物質系専攻	大友 順一郎 准教授 環境システム学専攻
---------------------	--------------------------	-------------------------------------	--	-----------------------	----------------------------



Materials Science Innovation

大友:今日は、新領域マテリアルズサイエンスイノベーション(MSI)の活動について、学融合の観点で先生方からお話を伺いたいと思います。まずは、MSI関連の研究紹介と学融合に対するお考えをお聞かせ下さい。

新しい概念を創る

木村:私の学融合に対するイメージについてお話しします。学融合は、既存の学問分野を融合して新しい学問を創ることで、学問は概念を創ることであり、新しい学問を創ることは、新しい概念を創ることの積み重ねです。私の分野で準結晶の概念があります。固体の構造は、結晶かアモルファスのどちらかでしたが、数学パズルの世界では、非周期規則充填が可能なペンローズタイリングがあり、これに相当する物質が発見されました。それが準結晶です。これは、数学と固体物理学、結晶学との学融合で生まれた概念です。私の研究室では準結晶の研究を行っていますが、その中で生まれたのが、金属結合-共有結合転換という概念です。準結晶の構造単位である正20面体クラスターは、中心原子の有無によって金属結合-共有

結合転換を起こすことが分かりました。

私の学融合のイメージは次の2つです。1つは、学問領域Aと学問領域Bがあり、両者に共通点を見出して比較することで新しい概念が生まれる、比較-学融合と名付けました。その例から、金属結合-共有結合転換という新しい概念が生まれました。もう1つは、全く異なる学問領域Cの言葉で、AやBの内容を記述することによって新しい概念が生まれる、異分野視点-学融合と名付けました。それが前半の例で、数学パズルの世界でのペンローズタイリングから準結晶という新しい概念が生まれました。以上が、2種類の学融合のイメージです。

組織連携、 分野間の分断をつなぐ

佐々木裕次:私の専門領域は1分子計測です。X線で1分子計測ができることを私の論文で証明しました。私はX線でバイオの計測を行っていますが、基本は材料系なので、いつでもバイオで特性を掴んだら、それをマテリアルに応用できないかと考えています。最近の学融合を目指した動きについてご紹介いたします。1つ目は、東大と産業技術総合研究所(産総研)で進めてい

るオープンイノベーションアリーナです。機能している状態をその場で測定するオペラント計測の研究を進めています。2つ目がつくばイノベーションアリーナ(TIA)です。これは産総研、物質・材料研究機構(NIMS)、筑波大、高エネルギー加速器研究機構(KEK)に東大が加わってできました。ナノバイオ、データ駆動科学、計算化学や航空・宇宙関連の基礎研究があります。加えて、文理融合した教育アライアンスとして新しい教育システムの立ち上げも議論されています。最後がマテリアルイノベーション研究センターですが、これは東大の新領域、工学部、物性研に、NIMSや産総研が連なって、基礎研究だけでなく社会にもものを出すことまでを考えて研究開発を進めています。

私の計測分野での学融合は、実験で3次元ブラウン運動の大量のデータが出るので、データ駆動科学と組み合わせたり、もう一つは計算機科学です。いつも問題になるのは、計算機科学と実験の時間軸の違いです。しかし最近、振動スペクトラムが非常によくなったので、ナノ秒まで測定できるようになりました。計算もコンピューターがすごく速くなって「京」みたいなのが

出てきたので、マイクロ秒・ミリ秒まで計算できるようになりました。今、両者をつなぐ機が熟したタイミングなので、学融合を積極的に進めていこうと思っています。

最後にもう1つだけ付け加えると、材料の計測をしている人達が材料を開発している人達と完全に分断していることが問題です。両方とも高度化していて、どちらかが寄り添ってあげればいいのですが、今は計測側が材料側に寄り添う形で考えています。サンプルを測定施設に送って自分の研究室で遠隔で測定できるシステムを考えています。計測と材料開発が分断した状態が続くのはよくないので、これをTIAでやろうとしています。学術的な話ではないですが、学融合しやすい「計測」と「材料」の架け橋を作ろうとしています。

MSIの立ち上げと国際連携

佐々木岳彦:私は専門分野が化学で、固定化触媒や表面化学を研究しています。ものづくり、構造解析、計算化学、プラズマ利用、さらに最近は触媒での二酸化炭素固定化もやっています。MSI学融合活動は2009年からです。私が基盤系の先生方を中心に、環境系の先生、生命系の先生

にも声をかけて、持続可能社会を支えるMSIを立ち上げました。当時既に持続可能社会実現のために克服すべき地球環境の様々な問題が注目され、それを克服するために研究を進めるべきだという認識がありました。新領域の中で関心のある先生が多くなって、相互理解を深め新しいことができると考え提案しました。MSI活動を進める中で、本郷にいた頃はあまり想像できなかった幅広い共同研究を進めることができました。本郷にいる頃は、異分野の方と共同研究をする発想がなかったので、新領域での学融合の楽しさを感じています。私自身の研究としては、日本とインド間の国際共同研究に参加し、水と二酸化炭素を利用してバイオマス資源を活用するための触媒反応システムの研究開発を行いました。インドは熱帯の国なので、バイオマス資源の密度が高く、化学工業でそれらを利用する技術がかなり進んでいて、特許もかなりとっている状況です。そういった研究機関や大学とネットワークをつくり共同研究や交流を行いました。触媒・化学工学分野の人達が集まっていますが、インド側にも理論計算のグループもあり、比較的広い範囲の分野の人が集まってプロジェクト

を推進しています。

MSI活動での教育と人材育成

松浦:私の専門は金属の製造、特に鉄鋼製造がメインですので、鉄鋼の製造プロセスの特徴を理解する必要があります。例えば環境問題を考えると、特に鉄鋼製造プロセスは大量の資源とエネルギーを使って材料をつくっていますので、エネルギー効率の向上は必須ですし、いろいろな副産物や廃熱の取り扱いも重要です。もの作りでは環境負荷があり、それを大きく低減させる必要があることを常に念頭においています。学問を構築する学融合を進めるうえで、どういったところで連携があるかと私なりに考えてきました。製鉄プロセスから様々な副産物が出ますが、一番多いのはガスで、次にスラグであり、その利用方法の多様化は大きな課題です。農業向けの肥料として、水田や畑での利用が拡大しています。海洋利用ですと「海の砂漠化」といわれる磯焼けの改善に製鋼スラグと腐葉土を入れて、鉄を海に供給する方法が検討されています。スラグ利用のために、漁業関係、水産学、生物学の先生方もコラボして様々な先生方と一緒に仕事させてい

未来ビジョンとステークホルダー・プラットフォームを通じて科学技術と政策・制度の共進化に貢献する。

鎗目 雅 Masaru Yarime
School of Energy and Environment,
City University of Hong Kong 准教授



触媒研究の推進：
国際連携による新フロンティアの
開拓と学融合の実践

佐々木 岳彦 Takehiko Sasaki
複雑理工学専攻 准教授



ただいています。

MSIの活動として大事にしていたのは教育です。教員同士の認識は共有できていますが、マテリアルズサイエンスの分野に造詣の深い人材を輩出できる活動にしようと思いました。MSIの集中講義では環境系や生命系の先生にも講義していただき、シンポジウムでは、材料・物質科学の研究を通じた社会貢献やキャリアパスについて若手の卒業生に講演してもらい、学生に還元できる内容を進めてきました。私のMSI集中講義ではリサイクルについて話をしますが、実は日本にも資源はありますよという図を見せます。その資源のほとんどは石ですから、いかにエネルギーや資源がないかを認識してもらいます。日本社会のサステナビリティの観点からも、もの出入りは重要で、その点を客観的に見られる人材施策などの検討で物質科学の観点から見る人材は大事です。また、こういう話を通じて日本は人材が唯一の資源だということを理解するのも大事かと。そんなことを思いながらやっています。

物質科学から 社会導入までの方法論

大友: 現在MSI活動の世話役を務めています。私の専門は化学工学で、エネルギーシステム関連の反応制御やイオン輸送現象の問題を取り扱っています。ものづくりの研究を進める際、化学のベースがあってデバイスやシステムにしますが、その逆設計を意識しながら研究を進めています。燃料電池や水素製造の研究をやっていますが、最終的にどのように理想的な形になるか、そもそもどのような材料や物

性を得るべきか、あるいは制御すべき反応過程はどこなのか、理想のフレームワークを考えて、それを数値化して材料設計にフィードバックしています。その逆設計の過程で新しい材料がみつかったり、発見的な面白いことが起こります。新領域にきてからはもう少し広がって、これらを社会にどのように導入するかを問うようになりました。化学工学の面白さの一つはマイクロ現象からマクロシステムまでを構築していくところですが、それをシステム化して本当に世の中に入るかという、技術に加え経済性のある問題もあるので、最近は技術とコストの評価研究もやっています。技術経済評価の先生と連携して、新技術導入がどのように地域経済に影響を与えるか、どれだけ社会が活性化するか、あるいは最終的に温暖化ガスの削減に貢献できるかを考えて、学融合を意識しながら進めています。環境・エネルギー問題に対する物質、技術、経済に軸足を置いた統合的な立場での研究活動は、MSIの中でもできると思っています。教育でも、物質科学からシステムの設計、さらに社会導入までの方法論を提示して自分で課題をつくり、予測したりということができるよう、そんな仕掛けがありうると考えています。私からは以上ですが、鎗目先生からは学融合のアプローチについて伺いたいと思います。鎗目先生は、香港からスカイプでの参加です。

基礎となる知と実践的な知を 共に創る

鎗目: 私も元々は化学工学を勉強していました。今年1月に東大からCity University of Hong Kongに移り、現在は環境、エネ

ルギー、サステナビリティに向けたイノベーションに関して研究しています。科学者のタイプに関して、類型化したスキームでは、パストツール型、ポーア型、エジソン型があります。例えば、光触媒はパストツール型に分類され、将来的な応用からインスパイアされた形の基礎研究を行って商業化までつながった1つの成功例です。サステナビリティに向けて、大学の研究者が積極的に社会のステークホルダーと連携して具体的な課題に対して一緒に取り組んでいくことが、マテリアル研究の実用化の点でも重要だと思います。学融合に関して、私も所属しているUniversity College Londonでは、大学レベルでGrand Challengesというものを掲げて、関連する大学内の様々な知識を融合して、課題の解決に向けて活用する動きがあります。そこで重要なのが、多分野間の連携とアカデミアを超えたステークホルダーとの連携です。政府や産業、さらにスマート・シティなどでは実際に住んでいる人達も巻き込んだ形で社会実験が行われています。工学的な基礎知識を基盤としながら、それに加えて社会的、実践的な知識も統合して、サステナビリティの課題に向けて連携して対応する流れが大きくなっています。また、先日策定された「科学技術イノベーション総合戦略」などでも社会的な課題に向けて科学技術をどう使っていくかが、政策レベルでも大きな課題になっています。従来、そういうものから離れていると思われていた基礎研究でも、最初から意識していくことが重要ではないかと思っています。

大友: 課題予測は学融合の中からみつけられるもので、これまで外から課題が与えられ

固体物理学の基本問題の解決と
高性能熱電材料の実現のため
「半導体準結晶」の創製を目指す。

木村 薫 Kaoru Kimura
物質系専攻 教授



材料研究現場と先端計測現場が
合体してこそ
新しいサイエンスが登場する！

佐々木 裕次 Yuji Sasaki
物質系専攻 教授

ていたものが、自分でみつけるところに世の中の動きがシフトしている感じがします。
鎗目: 大学が将来に向けたビジョンを出していくのが大事だと思います。例えば、柏自体をプラットフォームとして、物理的、バーチャルでも場を形成して、未来のビジョンに向けた課題を同定し、シナリオを形成しながら、共鳴する人達を巻きこんでいくことが、学融合にとって重要だと思います。

大友: MSIでの学融合のポイントが幾つか出てきましたが、その将来像についてもお尋ねします。

MSIの未来

木村: 準結晶の概念は、物理、化学、材料学、数学と、様々な分野の人が関わって発展してきました。金属結合-共有結合転換の概念も、計測分野の研究者との出会いから生まれました。MSIに期待するのは、学融合は最初から狙ってはできないので、様々な分野の人との交流です。他分野との交流の中で予想外の学融合が見つかるのだと思います。今始めたのがデータ科学との学融合です。熱電材料では、非常に多くの組み合わせの可能性があります。今までの研究方法では不可能で、データ科学の助けが必要です。

佐々木 裕次: 予算公募でも、社会のニーズにズバッと答えを出すためのサイエンスとは何かというのを、問いかけられています。社会を見据えなければ、サイエンスが見えないというスタンスで提案された。それに影響されても仕方ないかもしれませんが、基礎研究だけではやっていけない状況になっています。そういう流れに見合ったマテリアルサイエンスを展開しないと、置いてき

ぼりになってしまう現実があります。今回の話で思ったのは、大学人がやるべきことは教育です。従来のマテリアルサイエンスではなく、若い人は計算もできて、実験もできて、何でもできてということは、僕等よりわかっていないと、その次の世代の融合にいけない。だから大学人として教育をしっかりやる必要がある。ただし、それを学生のほ

大友: そういう意識をもった学生も結構いますよね。

佐々木 裕次: 少しずつ出ていると思います。
松浦: 学生の意識が高いことはあります。新領域には学部がないので、在学生は多少なりとも自分の進路を考えてきていると感じます。

木村: 教育についてのアピールの仕方を考えています。研究科の理念は、学融合と知の冒険ですが、それは主に研究についてです。それと並んで教育についての理念もアピールしたらどうでしょうか。研究者に限らず、どんな仕事に就くにしても独創性は重要です。独創性は直感から生まれ、直感

は人間の過去の経験の積み重ねから生まれます。独創的な人間を育てるためには、いかに他の人と違う経験を多くさせるかです。新領域へのキャリアパスが学生の独創性を育むということ、最近私は学生を集めるための宣伝に使っています。
大友: 外からの多様な刺激や知識を自分の中で温めて、その中から創造的なもの出てくるので、そういう切り口での宣伝も新領域でできますね。独創性を育む学融合。
佐々木 岳彦: MSIでは学生への教育です。現状では集中講義をやっていますが、教育をどう充実させていくかというのが我々の課



題ですし、教員が相当頑張らないといけない。加えて、MSI研究センターとうまく連携できれば、我々のほうはありがたいと思います。
松浦: MSIについては、教育をもう少し体系的にできるいいと思っています。物質科学等の観点で人材を育てられるプログラムを整備して、データ駆動科学、マテリアルインフォマティクスのような分野も学習できればと思います。物質科学や材料科学に対しては、シーズとニーズが分断されていると考えています。計測技術、解析技術、分析技術はすごく進んでいますが、使いたくてもどう使ったらいいかかわからないことが多いです。その分断を埋められると、飛躍があります。大学人としてもチャレンジが必要だと思います。

鎗目: 本郷の公共政策大学院では、工学系の学生と公共政策の学生と一緒に参加して、社会的な課題に向けて科学技術をどのように活用することができるか、実際に問題に関係しているステークホルダーと連携しながら取り組むプログラムに関わっていました。エンジニア側でも社会の動きやニーズ、要望、政策、そういう動きにも触れるような教育プログラムは非常に大事だと思います。その際に、実際に関わっている産業、政府、国際機関の人達と一緒に課題解決に取り組むような機会を教育プログラムとして提供できれば、将来のグローバルリーダーの育成として大変有意義だと思います。

大友: 今日はマテリアル研究の現場から出てくる、我々が必要としている学融合研究のあり方やその育み方、そして教育のあり方まで幅広くお聞かせいただきました。ありがとうございました。

社会とつながる物質科学を
突き詰めるところから新しいサイエンスの
領域を拓いていきたい。

大友 順一郎 Junichiro Otomo
環境システム専攻 准教授



物質科学イノベーション創成を
担う人材を輩出する研究科教育
プログラム構築に貢献する。

松浦 宏行 Hiroyuki Matsuura
工学系研究科 マテリアル工学専攻 准教授

