

シンポジウムを開催して

日本学術振興会・学術システム研究センター・主任研究員

大阪大学教授 川村 光

はじめに

2015年11月17日、18日の両日、大阪大学豊中キャンパス・シグマホールにて、国際シンポジウム「**マテリアルサイエンスの動向**」(International Symposium on Present and Future of Material Sciences)を、日本学術振興会・学術システム研究センター・数物系専門調査班の主催により、開催いたしました。シンポジウムは、物性物理学、化学、工学、高圧地球科学などを含む幅広い分野におけるマテリアル・サイエンス研究の最前線を俯瞰し、学術的な視点から今後の展望を探ろうという趣旨で企画されました。会議のオーガナイザーを務めた川村が交付を受けた学術システム研究センターの数物系主任研究員の学術研究動向調査費によって、企画・実施されました。内外の10名の招待講演者の口頭発表と、一般参加者からの希望者によるポスター発表により行われましたが、156名の参加者を得て、成功裏に開催出来ました。シンポジウムの開催に御協力頂いた関係者の皆様に、厚く御礼申し上げます。

この報告書は、シンポジウムのプログラムと招待講演者が講演で使用されたpptファイルをメインに、前文として川村によるシンポジウム全体の簡単なまとめと感想を加えて、作成したものです。シンポジウムの記録として、今後の何がしかの参考になれば幸いです。

シンポジウム開催の経緯

シンポジウム当日の紹介に入る前に、まずは、シンポジウム開催の経緯について、少し説明しておきたいと思います。最近の学問分野は、専門化、細分化が進み、例えば数物系専門調査班がカバーしている諸分野を取ってみても、各研究者がその全体を俯瞰することは極めて困難であり、また現実にそのような機会もほとんどないというのが実情だと思われまます。こういった専門化、細分化が進む現状にささやかな一石を投じる意味合いもこめ、一昨年25年度には、数物系調査班がカバーする、素粒子物理学、原子核物理学、物性物理学、宇宙科学、惑星科学、地球科学といった諸分野の過去・現在・未来を分野横断的に俯瞰し学際的な視点から将来の動向を探ろうという趣旨の国際シンポジウム「物理学、宇宙・地球惑星科学の学際研究フロンティアの動向」(International Symposium on Research Frontiers of Physics, Earth and Space Science)を、また昨26年度には、我々の住む星「地球」をテーマに、地震、火山、津波、気象、環境、防災、生命等を対象に、物理学、地球物理学、地球化学、地質学、防災科学、環境科学、生命科学といった諸分野を横断的・統合的に扱おうという趣旨の国際シンポジウム「物理学、宇宙・地球惑星科学の学際研究フロンティアの動向」(International Symposium on Research Frontiers of Physics, Earth and Space Science)を、それぞれ2日間にわたって開催しました。いずれも、内外の著名な招待講演者の講演を得て、多数の参加者のもと活発な討論があり、成功裏に開催できました。

これらを受け、本27年度は切り口を「マテリアルサイエンス」に絞って、物性物理学、化学、工学、固体地球科学を含む広汎な視点から、物質科学の現状と将来展望をテーマとした学際的な国際シンポジウムを行うことにしました。

そのような企画は、川村個人の能力を大きく超えるので、組織委員として、化学分野より陰山洋・京都大学教授、物性物理学分野より白濱圭也慶応大学教授(本センターの数物班専門研究員も務められています)、

工学分野より井上光輝・豊橋技術科学大学教授（本センターの工学・元主任研究員）、固体地球科学分野より近藤忠・大阪大学教授に組織委員として御助力を願い、各分野より招待講演者を御推薦いただきました。その結果、招待講演者として、Bernard Raveau 博士 (Laboratoire CRISMAT)、松田祐司博士 (Kyoto Univ.)、十倉好紀博士 (RIKEN)、廣澤哲博士 (NIMS)、田中功博士 (Kyoto Univ.)、安藤恒也博士 (Tokyo Inst. Tech.)、Paul Attfield 博士 (Univ. Edinburgh)、Cheng Chin 博士 (Univ. Chicago)、八木健彦博士 (Univ. Tokyo) の内外の著名な研究者の方々に、本シンポジウムの趣旨を御理解の上、貴重な御講演を頂くことが出来ました。また、今回は小生のホームグラウンドである物性物理学をも含むテーマであったため、大変僣越ながら、私川村も講演者の末席に加わらせて頂きました。

会議の開催に当たっては、小生の研究室のメンバー、特に秘書の高比良尚子さん、HP作成や当日の運営に当たっては当研究室の助教の青山和司氏、PDの下川統久朗氏に特にお世話になりました。この場を借りて、御礼させていただきます。皆さん、本当に有難うございました。

シンポジウム当日のまとめ

それでは、シンポジウム当日の様子を、川村の個人的な感想も交えながら、以下、紹介させて頂きたいと思います。詳しい講演内容は、この後に付した各招待講演者の当日の講演の ppt ファイルのコピーを御参考ください。招待講演者の皆様には、講演の ppt ファイルを御提供頂き、御礼申し上げます。

シンポジウムは、冒頭の川村からの挨拶とシンポジウムの趣旨の簡単な説明の後、各招待講演者の講演に入りました。各講演の後には、5～10分程度の質疑応答の時間も設定され、会場と講演者の間で活発な意見交換が行われました。

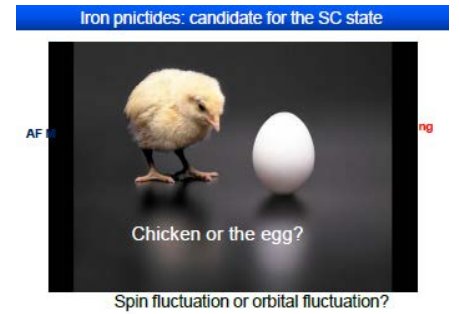
オープニング講演は、Raveau 博士による "Solid State chemistry of electron correlated oxides: From perovskite derivatives to triangular metallic lattices" で始まりました。Raveau 博士は、固体化学者として物質合成の分野で現代の物性科学に多大な貢献をなされてきた方ですが、今回は、強い電子相関を有する一連の遷移金属酸化物系、特に高温超伝導に関連しての銅酸化物系、巨大磁気抵抗に関連してのマンガン酸化物系、熱電材料としてのコバルト酸化物系、磁性と誘電性がカップルしたマルチフェロイックスに関連しての鉄酸塩系等を対象に、物質合成に長年携わってこられた化学者としての視点からの、包括的なお話がありました。マテリアルサイエンスは全て「モノ」から始まる訳ですが、Raveau 先生の「モノ」を見る視点は、小生のような物性物理学者とはまた一味異なっていて、色々と勉強させて頂くところが多かったです。

引き続きは、物性物理学の実験をご専門とされている松田博士による "Physics of





iron-based high- T_c superconductors"と題した御講演がありました。鉄系高温超伝導体は、2008年に細野秀雄博士らによって発見されて以来、大きな話題を呼び現在に至るまで極めて活発な研究が展開されている系です。発見者の細野先生は当初から超伝導を狙っていたわけではなく、パネル型のディスプレイ材料となる透明な半導体材料を創ろうとする過程で偶然発見された、といった舞台裏の話題の紹介もありました。御講演は、鉄系超伝導体を、長らく高温超伝導体の代名詞でもあった銅酸化物系の性質と比較参照しつつ、進められました。ともに、Fe(Cu)の2次元正方格子面が超伝導を担っていること、高温超伝導が反強磁性(スピン密度波)磁気秩序の近傍で実現する、といった共通点が存在する一方で、鉄



ヒ素系は銅酸化物系に比べると電子相関が弱いこと、バンド構造や超伝導対の対称性にも違いがあることについて話され、また量子臨界性が重要な役割を担っているのではないかといった話題も含めて最近の研究の発展や論争について紹介がありました。鉄系超伝導体のメカニズムに関する論争について、「Chicken or the egg?」というスライドで、なかなか単純明快な解答が与えにくい現状についての紹介もありました。

昼食をはさんで、午後は十倉博士による”Emergent phenomena from topological spin textures”から始まりました。先生のグループで長年探求してこられた、固体を舞台とした様々な電磁的創発現象(emergent phenomena)について、最近大きな話題になっているトポロジカルなスピントクスチャに注目した御講演でした。固体内で電気(誘電)的な自由度と磁気的な自由度がカップルするのが「マルチフェロイック」現象ですが、右・左の自由度に関連したベクトルカイラリティがマルチフェロイック現象を駆動することを紹介され、磁化反転による電気分極反転、新たな励起であるエレクトロマグノン等、固体内で電気と磁気が密接に絡んで引き起こされる諸現象について話されました。特にトポロジカル安定なスピントクスチャであるスキルミオンについて、聴衆の視覚に直接訴える綺麗な電子顕微鏡写真を示されながら、スキルミオンの電流駆動や、電子線照射によるスキルミオン格子の回転等を示されました。

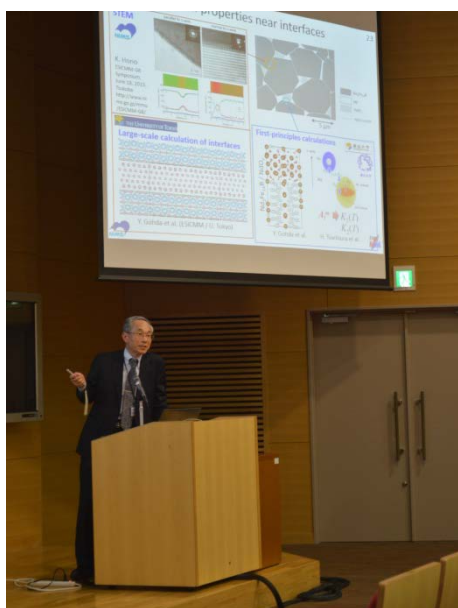


この辺りの諸現象は、スピントロニクス等の工学的な応用への可能性も十分あり、今後の発展が期待されるどころです。御講演の後半では、いわゆる「ワイル半金属」状態についての説明があり、バルク結晶の部分は絶縁体でも結晶内部に存在する磁壁上で金属的伝導が起きるといった、最近研究が活発化している強相関係でのトポロジカル現象に関連した話題提供もありました。

引き続き、オーガナイザーの川村による講演”Novel order and dynamics in frustrated and random magnets”でした。「こちらを立てれば、あちらが立たず」といった、固体内の諸要素間に競合が起きる状況を指して「フラストレーション」と呼びますが、フラストレーションに伴う強い揺らぎがフラストレー



ト系特有の新奇な物性を生む母体になります。講演では、フラストレート磁性体が示す「スピンの秩序」、「スピンの凍結」、「スピンの無秩序」の3部構成で、「ランダムネス」や「量子効果」の引き起こす効果も合わせて、最近の進展や話題について、理論家の観点から紹介させて頂きました。フラストレーション誘起のスピントクスチャである「 Z_2 渦」や「反スカーミオン」、スカラーカイラリティ誘起の異常ホール効果、スピングラスとカイラリティ、フラストレーションを介した多自由度間カップリングと複合自由度系の形成、近年実験的に見つかったその起源に注目が集まっている「量子スピン液体」状態、等々についてお話をさせて頂きました。講演後の質疑応答の場では、参加者の方々から大変示唆に富んだ御質問やコメントを頂き、大変有益でした。



コーヒーブレイクをはさんでの午後後半のセッションは、まず廣澤博士の”Mastering coercivity: the central issue in research and development of next generation high-performance permanent magnets”がありました。導入では、磁石が、現代の我々の日常生活で、如何に広汎に様々な形で使われているかについてのお話から始まりました。磁石材料としては、フェライトやネオジウム磁石（Nd-Fe-B 系）等が、その用途によって、広汎に使われているとのことです。ネオジウム磁石は非常に強い磁力を持ちますが、その保磁力を向上することが大きな課題になっているとのことで、御講演は、主にネオジウム磁石の保持力向上を巡る話題についてでした。従来はディスプロシウムを混ぜるとのことでしたが、ディスプロシウムは希少元素であるため、ディスプロシウムを用いない保持力の向上が求められている状況のようです。グレイン境界を導入し細粒化させることによって保磁力を向上させ制御する、という最近の方向についてのお話があり、そのためには理論・実験を含む学際的な協力体制が重要であることを強調されました。

引き続いての御講演は、田中博士による”Materials discovery through first principles calculations”でした。第1原理計算に基づいて、未だ見ぬ多様な物質の物性を予測し、新しい物質や有用な機能の発見に結びつけるという、魅力的かつ野心的なプログラムの現状についてのお話でした。導入では、無機物に限っても自然界にはいかに多様な物質があり得るのかについて触れられ（4元素なら、組み合わせが~1,000,000,000 通りになるとのこと）、その潜在的な多様性と現実（実験）とのギャップを埋める意味での第1原理計算予測の有用性を強調されました。その際、計算機コストも重要な要因になるわけですが、CC(computational cost)目盛り（CC0~CC6,,）を紹介もされ、100コアの現在標準的なPCクラスターで、CC0なら1分、CC6なら1週間の計算コストということでした。講演の後半では、このような研究の実際について、先生のグループの研究成果を中心に、いくつかの研究例の紹介がありました。効率的な熱電材料の開発には低い熱伝導度を持つ物質を見出すことが重要とのことですが、第1原理計算による格子熱伝導度の系統的な探索により、ICSD というデータベース中より有力な候補物質を新たに発見された一連の研究過程について、臨場感溢れるお話がありました。質疑応答の際、小生が「このような計算やデータベース構築にあたっては、

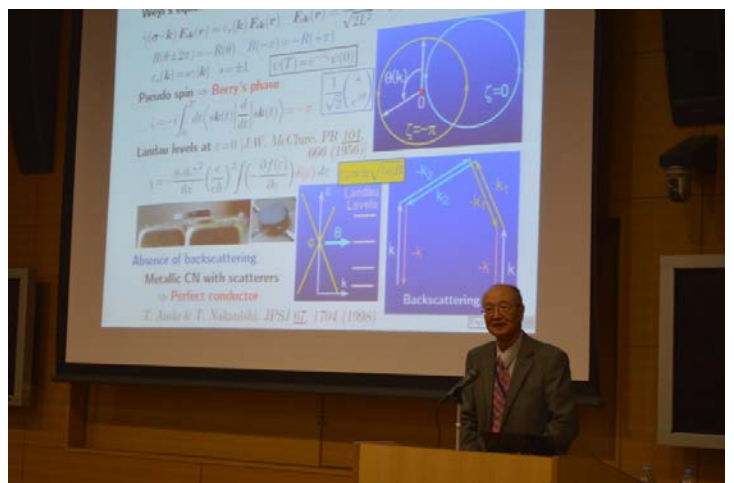


異なる国やグループの関係は、基本、協力なのか競争なのか？」と質問させて頂いたところ、「双方の要素があるが、学術として協同的に前進することが重要ではないか」というようなお答えを頂戴したか思います。

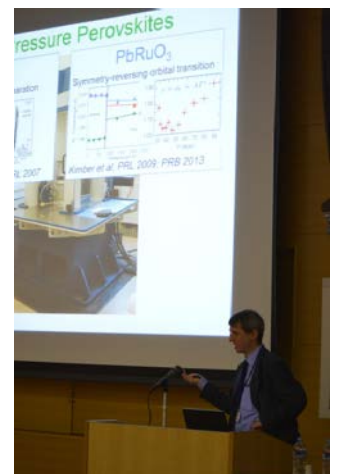
初日の夜は、夕食を兼ねた招待講演者、一般参加者、組織委員間の懇談会を、キャンパス内の学生食堂「宙」にて行いました。実質我々の貸し切り状態だったため、和気あいあいの雰囲気の中、大変活発な議論・交流を行うことが出来ました。



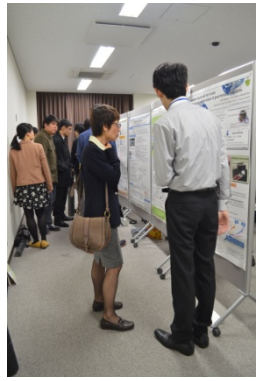
2日目朝は、安藤先生の”Physics of graphene and related materials”から始まりました。グラフェンは、2004年に Geim と Novoselov によって発見された直後から大きな注目を集めて活発な研究が進んだ系で、両氏は 2010 年のノーベル物理学賞をスピード受賞されています。お話は、スコッチテープを使って単層グラフェンを作成した Geim、Novoselov 両博士の話から始まり、グラフェン上の電子の従う分散関係が線形分散で記述される特別な点(トポロジカル特異点)があり、その点近傍での電子の挙動が質量ゼロの相対論的ディラック粒子の従う方程式(ワイル方程式)で記述されるとの説明がありました。グラフェンはトポロジカル特異点に起因する強い反磁性を示すということで、講演中では磁気浮上のトピック紹介もありました。引き続いて、安藤先生達のこれまでの研究を中心に、関連した様々な問題、例えば特異的な反強磁性帯磁率に対するギャップや空間変化する磁場の効果、グラフェンを舞台としての最近話題になっている「バレートロニクス」、単層グラフェンを2層にすると何が変わるか?といったトピックについてお話されました。



続いて、Attfield 博士による”Emergent orders in simple solids”と題した講演がありました。化学者のお立場から、遷移金属酸化物を対象に、高圧・高温合成を駆使して新しい物質や物性を開拓していくお話でした。講演中では、多彩な物質群を母体としての興味深い多様な物性現象が次々に繰り出され、圧倒されました。“ハード-ソフト化学”による新物質合成が有効というお話もありました。きちんと理解できたわけではないのですが、高圧・高温の“ハードな”条件下で準安定状態にある物質をまず合成し、次にやや“ソフトな”条件下で合成後の不安定性を緩めてやるという物質合成手法のようでした。この合成法

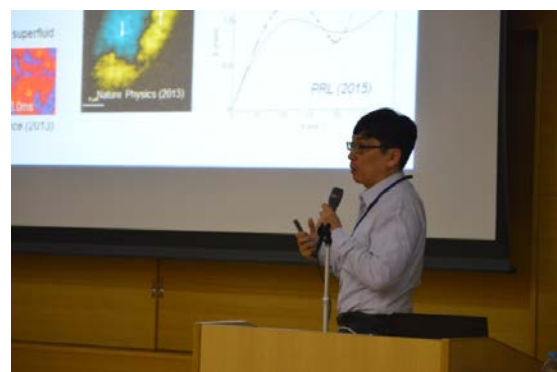


による様々な成功例の紹介もありました。御講演の最後では、マグネタイト（磁鉄鉱）の構造と磁性についての話がありました。マグネタイトは走磁性細菌中にナノ結晶として存在している物質でもあります。マグネタイトの構造と磁性、特に 120K で起きるフェルバイ(Verway)転移の問題は、実は小生がまだ学生の頃から既に古典的な課題であったように記憶しています。今回の御講演で、未だにマグネタイトの構造と磁性の問題は完全には理解されていないというお話を伺って、個人的には少し驚きました。スピン、電荷、軌道、鉄の「トライメロン(trimeron)」秩序等の自由度が複雑に絡んだ秩序化を起こしているらしいお話に、とても単純な化学式 (Fe_3O_4) の物質でも実に複雑な現象が起き得るのだということが、実感されました。



昼食に引き続いて、午後はまずポスターセッションが行われました。様々なマテリアルサイエンス分野より計 53 件の発表がありました。セッション会場のホールのすぐ横の部屋がポスター会場だったので、予定されていた 1 時間半の間、それぞれのポスターを前に参会者同士で密で活発やり取りが展開され、大変盛況でした。

ポスターに引き続いての午後のセッションでは、2 つの御講演がありました。まず、Chen Ching 博士による "Domain dynamics and roton excitations in a superfluid of cesium atoms" と題した、冷却原子系に関する御講演がありました。冷却原子気体とは、レーザー冷却等の技術を用いて絶対零度の付近まで冷却された原子あるいは原子気体のことです。レーザー冷却を用いた冷却原子系の分野は、近年大きく進展した分野で、何名ものノーベル賞学者を輩出しています。Ching 氏は、まだ若手ながらこの分野で傑出した成果を挙げられている実験家です。講演では、まず冷却原子の実験手法や実験装置の紹介がありました。装置の写真を見せて頂きましたが、その入り組んだ配線模様だけで、理論屋としては何だか圧倒されてしまいました。冷却原子のその場観察やイメージングについても話されました。御講演の後半では、セシウム原子の超流動を舞台としてドメインのダイナミクスと「ロトン」励起、「フェッシュバハ共鳴」等の話題について、氏の研究グループによる最新の研究成果の紹介がありました。



引き続いての本シンポジウム最後の御講演は、八木博士による "Materials in the Earth's deep interior" と題した、高圧地球科学に関する御講演でした。地球を構成している鉱物を対象に、高圧物性科学により高温高压条件下にある地球内部がどこまで理解されてきたか、歴史的な面にも目配りされた総括的な御講演を頂きました。地震波速度等から推定される地球の内部構造についての説明の後、まずは上部マントル内地下 410km で起きているオリビン - スピネル構造転移について、故秋本俊一博士の功績も含めて紹介がありました。続いて、上部マントルと下部マントルを分ける 660km 境界でのスピネル - ペロブスカイト転移、地球の過半を占める構成鉱物であるペロブスカイトの性質、さらには下部マントル最深部の D"層でのポストペロブスカイト転移の発見に至る最近の研究の紹介までの説明がありました。併せて、ダイヤモンドアンビルセル (DAC) やレーザー加熱など地球深部に相当する高温高压条件の生成法、放射光 X 線や中性子回折など高温高压条件下で有効な実験手段についても紹介され、今や地球内部条件下での主



要鉱物の挙動については十分理解できる状況になったこと、地球内部の理解に有用であった実験手段は地球科学を越えてより広汎な新物質開発に応用されつつあることを強調されました。最後の質疑応答の場で、チョット意地悪かなとも思ったのですが、小生の方から「鉱物を対象とした高圧地球科学という観点からは、ハッピーエンドでその歴史に幕が降りるのか？」と質問させて頂いたところ、「太陽系を対象とする限りそうかもしれないが、最近続々と見つかりつつある系外惑星にまで目を広げれば、また新しい場がありそう。」という御返事を頂きました。

終わりに

以上、川村の目を通して、シンポジウムの様子を簡単に紹介させて頂きました。小生の勘違いや不正確な点なども多々あるとは思いますが、どうか御容赦ください。本シンポジウムには計 156 名の参加者がありました。うち大学教員 37 名、学生・PD92 名、企業からの方も含めその他 27 名でした。九州や北陸、関東など遠方からの参加者もあり、2 日間を通して活発な質疑応答が行えたこと、講演者と参加者の皆様に深く感謝致しております。



2 日間のシンポジウムを通して、世界を構成する物質の多様性について改めて認識を新たにしました。有用な物質を生み出し利用して、我々の生活に役立てようという流れが一方ではあるとともに、他方では、世界の森羅万象を構成している物質の多様性に驚嘆しつつ、その成り立ちと物質が織りなす多彩な諸現象を理解しようという営みも、また極めて重要だという思いを深くしました。昨今は、産業応用を重視する国の方針もあり、世間の評価や研究者自身の指向も、ややもすると前者に傾きがちです。がしかし、やはり両者のバランスを上手く取ってこそ、我々人類の持続的発展が可能になるのではないのでしょうか？