

物工同窓会だより

第 35 号

令和 2 年 9 月発行

2019 年度の物理工学科、物理工学専攻の近況報告

物理工学専攻 2019 年度 学科長・専攻長
有田 亮太郎

2019 年度の物理工学科、物理工学専攻についてご報告いたします。

例年に従い、最初に人事異動から報告します。

2019 年 10 月 1 日付で、武田俊太郎氏が物理工学講座の准教授に昇任されました。同 11 月 1 日付で、速水賢氏が工業力学講座の講師に着任されました。同 12 月 1 日付で、マクシミリアン・ヒルシュベルガー氏を量子相エレクトロニクス研究センター創発物性科学連携講座の特任講師にお迎えしました。2020 年 1 月 1 日付で、佐々木寿彦氏が工業力学講座の講師に昇任されました。同 3 月 1 日付で吉川貴史氏が齊藤研助教に着任されました。同 4 月 1 日付で、牛島一朗氏が物理工学講座の講師に昇進されました。同日付で、榎本雄太郎氏が武田研の助教に、周健治氏が吉岡研の助教に、同 5 月 16 日付で、中田芳史氏が小芦研の助教に、同 7 月 1 日付で岡場翔一氏が香取研助教に着任されました。

一方、物工で活躍され、新たなステップを踏まれるべく転出された先生方も多数おられます。2020 年 2 月 15 日付で、蔡恩美助教が Korea University の Assistant Professor として転出されました。同年 8 月 31 日付で、打田正輝講師が東京工業大学理学院准教授として転出されました。同年 9 月 13 日付で、石塚大晃助教が東京工業大学理学院准教授として転出されました。

今年も多くの方々が表彰の栄誉に輝いていらっしゃいます。2019 年 9 月には、荒井俊人講師が応用物理学会有機分子・バイオエレクトロニクス分科会奨励賞を、同 10 月には、打田正輝講師、井手上敏也助教、高木里奈助教が第 14 回日本物理学会若手奨励賞を、十倉好紀卓越教授がフンボルト賞を受賞されました。同 11 月には十倉好紀卓越教授、齊藤英治教授、永長直人教授、岩佐義宏教授および筆者(有田)が Highly Cited Researchers 2019 に選出されました。同 12 月には岩佐義宏教授が第 65 回仁科記念賞を、2020 年 1 月には求幸年教授が日本物理学会第

25回論文賞を、同3月には吉川貴史助教が第30回トーキン科学技術賞を、同4月には武田俊太郎准教授、高木里奈助教が科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞を受賞されました。また永長直人教授が米国科学アカデミー国際会員に選出されています。このように、物工では数々の名誉ある賞の受賞が続いております。

また学生も大変活躍しており、2019年度には5名の学生が物理工学科優秀卒業論文賞を受賞し、5名の学生が田中昭二賞（物理工学優秀修士論文賞）を受賞しました。また、大西由吾氏（芝内・橋本研）は工学部長賞を、修士課程の前田健人氏（小芦研）と博士課程の茂木将孝氏（十倉研）が工学系研究科長賞をそれぞれ受賞しました。前田健人氏はさらに、東京大学総長賞を受賞されています。

続いて今年度の学生の動向を報告します。2020年4月には、駒場より55名が物工に進学しました。また修士課程には61名、博士課程には19名の進学者がありました。これまで、修士課程学生の一部と、博士課程学生の多くは、文部科学省・博士課程教育リーディングプログラム「統合物質科学リーダー養成プログラム(MERIT)」及び「フォトンサイエンス・リーディング大学院(ALPS)」による経済的支援を受けていました。このうち、ALPSは2017年度末、MERITは2018年度末をもって当初計画通り文部科学省のプログラムとしては終了しましたが、両プログラムの採用学生には2020年度も奨励金がこれまで通り支給されています。また、工学系研究科によるリサーチアシスタント(SEUT-RA)制度などによる支援もあり、博士課程学生は恵まれた経済的環境にあると言えます。

次に、学内の動きについても手短にご報告します。

2019年度は五神総長就任の5年目にあたり、これまでと同様、「東京大学ビジョン2020」

(http://www.u-tokyo.ac.jp/president/b01_vision2020_j.html)

をベースに、様々な施策が進められています。全学的に展開している国際卓越大学院(WINGS)では様々な分野のコースが創設され、学生の受け入れが行われています。文部科学省からの卓越大学院プログラムの公募も行われており、本学のWINGSプログラムとあわせ、高い志と意欲にあふれる学生に対する高度博士人材の育成を展開します。今後の恒久的な学生支援体制の維持のためには、様々な工夫が必要であり、同窓生の皆様からもお知恵を頂きたいと思っております。

最後に、その他近況をお知らせします。2019年度には、物理工学科を象徴するロゴの選定を行いました。岩佐教授のご尽力で6号館正面入り口をモチーフにした素敵なロゴができました。パンフレットなどで広く使われています。また、ご父母向けのオープンキャンパスを実施し、非常に多くの方々にご参加いただき

ました。質問も多く出て、物工の教育と研究に引き続き多大なご興味をいただいていることを再確認いたしました。鳩貝さんを中心とした就職への手厚いケアも継続しています。

年度末には、新型コロナウイルス感染症が拡大し、学内で厳しい活動制限が決められました。研究教育も多大な影響を受けています。各種会議や講義、演習などはすべてオンラインで行われるようになり、物工も急激な変化に対応していくのが精一杯という状況が続いています。このような状況の中で、物工が高いレベルの教育・研究を通じて優秀な人材を輩出していくためには、様々な検討と対策をさらに重ねていく必要があります。同窓生の皆様のお知恵を、是非お聞かせください。

同窓生の皆様には、物理工学科・物理工学専攻へのさらなるご支援を賜りますようお願いいたします。残念ながら今年度のホームカミングデーは中止とさせていただきますが、来年度、皆様とお会いできることを楽しみにしております。

超伝導と量子流体とコンピュータと私

豊田理化学研究所、早稲田大学理工学術院

今田 正俊

東京大学を定年退職してから、はや1年有余が過ぎました。年を取りますと時間がたつのが早くなると言いますが、これはクロック数（情報処理能力、頭の回転）が低下するためもあり、たいして何もしていなくても、本人はとても忙しいのだということと裏腹の関係にあります。（このことをかつて私は80歳を過ぎていた母から教えられていましたが、その時はそんなものかと思いましたが、今にしていくつかの異なる意味でその実感を深くしはじめています。）光速近くで旅をして戻ってきたようなもので、このお便りはつい先日東大から移ったという浦島気分で書かせていただいています。覚えていることのほうはその逆になっており、何かおかしなことを書くかもしれませんがご容赦ください。

さてご報告が遅れた言い訳はこのくらいにして、私は学生として9年間、教員として35年余りを東京大学で過ごしてきました。つまり私の今までの人生の2/3（一人前になってからはほぼすべて）をお世話になり続け、ようやく昨年从那の外でもお仕事できるようになりました。私は1981年に東大物理専攻で博士課程を終えて、まず助手として六本木にあった物性研で職業としての理論物理学研究を始めました。5年少しを助手として過ごした六本木のうちの1年と少しは、実際はカリフォルニア大学サンタバーバラ校（UCSB）に滞在しましたので、実質4年余りとなります。初めは厳密な解のある量子力学における多体問題の統計力学を研究しておりましたが、同時に、大学院時代からの続きで、非平衡系、非線形系への研究にも興味をひかれておりました。実際助手になって2-3年後に物理学会誌の「パターン形成・自己組織系の物理」という特集の幹事を会誌編集委員として蔵本由紀先生ほかとともに務めたりしておりました。

その時期から、計算物理学という勃興しつつある分野に自然な流れとして初めて足を踏み入れることになりましたのは、当たり前とはいえ、厳密な解というものなかなか現実味のある問題に答えを出すのに苦勞するということを実感したからでした。そして計算機というものを最も信用していなかった一人である私が（良いおもちゃとは思っていましたが）、今に至るまでコンピュータと付き合うはめになったのは、使えるもの、役に立つものは何でも使うという私の持つプラグマティズムの一面と、コンピュータの圧倒的な進歩と、何よりも量子力学でできている莫大な粒子が生み出す世界を理解したいという切望とから生じた皮肉な事態でもありました。もともと学部学生でコンピュータ言語の翻訳（Fortran と Lisp の間）のプログラムの作成を卒業研究の一つとし、博士課程学生のとときに分子動力学法でソリトンの非線形ダイナミクスシミュレーションを手掛けておりましたが、本格的に計算物理学分野の研究を開始したのは量子モンテカ

ルロ法による研究からです。この手法は統計誤差を別にすれば、量子力学的多体問題に対して数値的に厳密な答えを出せる大変に万能な手法のはずでした。

スーパーコンピュータという言葉はこのころに使われ始めたと記憶しています。1940年代のロスアラモスでの原爆開発にも使われたエニアックなどに始まる、計算機の発展はとどまるところを知らず、物理学への応用もエニアックの時代からもちろん始まってはおりましたが、100年以上理論物理学と実験物理学の分業とその両輪で進んできた物理学に3番目の極として計算物理学という分野の成立が言われ始めましたのは1980年代に入ってからであると記憶しています。ほぼ最初に私が手掛けたのが枠に閉じ込められた電子系がクーロン斥力によって避けあい棲み分けて生じるウィグナー結晶が、量子的に零点振動で融解するところを、新しく自前で開発した量子モンテカルロ法を用いて突き止める、という大変基礎的な問題のシミュレーションでした。物性研の当時の富士通の大型計算機の突出した大口ユーザとして、使いたい放題使わせていただき、夜更けて帰るときに計算機をシャットダウンし、暗がりの中で、大掛かりで騒々しい空調装置を止めるのはいつも私という生活でした。(信じられないかもしれませんが、なぜか毎日電源を落とさなければならなかったのです。しかしバッチジョブがあれば走り続けていましたね。どうなっていたか忘れてしまいました)。

UCSBに滞在中もホストのScalapino教授のもとでKohn教授、Schrieffer教授との、その後も深く心にとめた議論はもとより、私の同年代の若い研究者との厳密解、数値計算手法、特に量子多体系を取り扱う方法の議論は楽しいものでした。量子多体系を扱うというのは系のサイズの増大とともに計算量が指数関数的に増大していきかねない、NPハードな問題として知られていると同時に、我々の世界を支配しているのが強く相互作用しあう莫大な数の粒子が従う量子力学である以上、物質を理解するには避けることのできない、自然科学のグランドチャレンジであるということは当時も今も変わっていません。

当時、ファインマンの経路積分法に基づく量子シミュレーション法が万能であれば、コンピュータの進歩とともに、NPハードな問題のはずとはいえ、近似的にせよ十分な精度で我々の世界を丸ごとシミュレーションができるかもしれないという期待は世界中で膨らんでいました。しかしすでにファインマンが初めから気づいていたように、フェルミ粒子の系の場合はそのように話は簡単ではなく、負符号問題と呼ばれる困難が強く認識されるようになった時期でもありました。1980年代前半まではこの困難は物理的な意味を持つものではなく、単なる技術的な問題として、いずれ突破できるだろう、そうすれば基本的には人類は現実の世界である相互作用する量子系を扱う手法を手に行けるだろうという楽観論と手法探索が続いていたのでした。しかしこの困難が決して簡単なものでなかったことを、その後の40年近くの歴史は示しているわけです。

にもかかわらず電子をはじめとして、フェルミ粒子が主役となって世界は作られており、多数のフェルミ粒子の絡み合いから、現実物質の性質が決まっていますから、自然を理解したければ、できる限り近似を避けつつ、何とかして多数のフェルミ粒子からな

る系を取り扱える汎用的な方法を開発するしかない、そのためには負符号問題を何らかの方法で回避する手立てが必要であることを、素粒子分野から物性物理まで多くの研究者が考えるようになりました。もう 40 年近く前になりますが、ファインマンの最初の発想ももとに、古典的な原理ではなく、反交換関係を満たすフェルミ粒子そのものを丸ごとシミュレートする「ハバードシミュレータ」のようなものも夢想しましたが、これは実はある自然の系を別の系にブラックボックスとして置き換える（マップする）だけかもしれないという思いもあり、いずれにしても今盛んに研究されるようになった量子コンピュータには、当時は現実的な可能性はありませんでした。

そのような時に私は物性研から埼玉大学に移り、その直後に銅酸化物超伝導体が発見されました。サンタバーバラにいる頃から強く相互作用する電子系（フェルミ粒子系）の代表的な理論模型であるハバード模型のシミュレーション法という難題を探っていましたが、銅酸化物の超伝導が発見されるに至って、この解くことが難しいけれどシンプルな理論模型が一躍脚光を浴びることになります。モグラが突然明るい光の下に引きずり出されたような感覚でしたが、しかし負符号問題による難問としての性格は変わっていませんでした。

その後、物性研に戻り、さらに物性研は柏に移転し、その間いくつかの計算手法を手掛け、いくつかの問題を解決しましたが、それらについては別の機会に譲ります。ただその時期に、磁性、超伝導などの電子が主役を演じる我々の世界の難題を解くというのは、単に理論模型の難題を解く精度を上げるだけではすまない、「第一原理的」ということの必要性も痛感するようになりました。現実に行き詰っていることと、適当にパラメタを合わせて近似的に解いた理論模型との間のギャップが大きすぎると、現実と関係なくとも似たようなことを描いて見せたり、実験と一致しない結果のときに、模型が悪いのか、近似が悪いのか、はたまた実験が悪いのか、計算した人が悪いのかわからなかったり、、、とにかくあまり科学的と言えない議論が横行するさまを、銅酸化物に始まる高温超伝導の何度かの騒ぎで目にして失望したことが必要性を痛感した理由です。究極においては真理を捉えた物理学には予言力があるはずですが、コンピュータはこの助けになる手段を用意してくれます。しかしそれは大胆に単純化して自然の一部を切り出した模型を解くだけでももちろん済むはずもありません。別の言い方をすれば、計算機の能力の急速な進歩はおもちゃ（模型）の範囲を超えて、量子多体系という自然の難題であっても、現実の物質を定量的に理解するすべを用意し始めたのだということを 21 世紀に入りかけたころに私は実感し始めたのです。これは先ほど書きました絶望から救われうる光でした。この事情は強相関量子系を第一原理的に扱うという世界的潮流を生み出すもととなりました。

量子力学の成立により 1930 年ころから始まった物性物理学の歴史で、密度汎関数法に基づいて相互作用の効果を弱いとみなしてよい半導体で、目覚ましい成果を挙げてきた第一原理計算の手法とその研究者と、パラメタに依存する直感に基づく理論模型を用いて強相関電子系を研究してきた研究者との間の協力は大きくはなく、むしろ独立な発

展を遂げてきた面が強かったのですが、ここに至って両者の協力と連携によって困難を乗り越えようという機運が 20 世紀末から 21 世紀初めにかけて熟してきました。このときに私の失望と同様の意識をもって研究を推進し、また協力・共同研究もするようになった世界中に散らばる研究者が、実は UCSB に滞在した 1980 年代半ばとそれ以降、サンタバーバラや、トリエステ、ライデン、トリノ、アスペンでの滞在、そのほか多くの国際会議や相互訪問などで事あるごとに議論を繰り返してきた仲間でもあって、その中から計算物性物理の一大潮流が生まれたことは、ここに記しておくべきことです。

物性研から物理工学専攻に移ったのはその機運のもとに「強相関電子系の第一原理計算」というのが現実的に可能になってきた時期と重なっています。本当はこの時期からこのことを書くのがこのご挨拶に求められていることだったかもしれませんが、ともかくも 6 号館にいた 13 年間の間にいくつかの限られている例ではありますが、強相関電子系を第一原理的に、すなわち任意パラメタを使わずに（とはいえ今のところは電子の質量とか電荷とか、多くの場合は現実物質の結晶構造まで実験から知られる値を使いますが）解いて、実験と定量的に比較できるようになった時期と重なっています。典型例についてですが鉄系の超伝導体と銅酸化物超伝導体で任意パラメタなしに実験との定量的な一致が見られるようになったのは、これらの高温超伝導体研究の歴史の中でそれまでなかったことでした。本当に予言力があるのかどうか、21 世紀に入ってから開発した手法が、本当に汎用的な力を持っているのかどうか、これから網羅的な検証を行うべき時期に入っています。現在スーパーコンピュータ「富岳」の利用プログラム等で実験研究者とも連携してこのプロジェクトを進めようとしています。ここで取り組んでいる課題は、今見つかっている高温超伝導がどのようにして生じるのかを解明することと、これと密接に関連しますが、量子流体の本性は何か？という、物性物理学成立以来の 2 大難題です。21 世紀に入ってから開発してきた理論・計算手法を用いれば、スーパーコンピュータの最大限活用によって、ようやくこれらの物性物理学の難題に任意パラメタなしに定量的に答えられる時期に差し掛かってきたのだと言えます。

物質の質量はどうやって生じるのかという問いに対して、今知られている答えは何らかの自発的な対称性の破れに由来するという広い意味での Nambu-Jona-Lasinio の機構です。物性物理学の世界でも励起状態が基底状態との間に粒子間の相互作用によって創発的にギャップを持つ（質量ができることと同等）のは、やはり磁性、超伝導、誘電性など原因は様々ですが、自発的な対称性の破れです。（もちろん連続的な対称性の破れの場合は南部ゴールドストーンモードが生じますから、本当にギャップが生じるにはアンダーソン-ヒッグス タイプのような付加機構が必要です。）しかしながら、電子などの素粒子が分数化すると、対称性の破れがなくてもギャップや質量が生じることが、分数量子ホール効果などで指摘されるようになりました。（素粒子の質量の場合は、陽子や中性子がクォークによって構成されているという意味で分数化といえることが起きていますが、クォーク間の相互作用が生む自発的な対称性の破れによって質量が生じるということには変わりありません。）もともと物質は電子のような素粒子からでき

ているというわけですが、ある条件が満たされるときに、この素粒子がもとは異なる属性を持つ複数の粒子の複合体としてふるまう、すなわち本当の意味での素粒子がもとから分裂した粒子によって担われるという現象が分数化(fractionalization)です。(実は今は分数化という訳が広く使われていますが、英語の **fractionalize** には分割するという意味もあり、粒子の分数化というよりは、粒子の分割あるいは分裂という方が、練られた日本語として適切とは思いますが。) このとき分数化(分割化)によってこの系は元の状態とはトポロジカルに異なる状態になりうるということが知られるようになりました。一方、銅酸化物高温超伝導の舞台を提供するモット絶縁体に生じるモットギャップも、対称性の破れなしに、電子の分割化によって理解しうることも明らかになりましたが、銅酸化物に生じる擬ギャップや超伝導そのものもこの分割(分数化)を本質としているのではないかと(そうでないと説明がつかない)ということが、クラスター動的平均場理論に基づく量子シミュレーションや、実験データの直接の機械学習からわかってきました。これは量子流体の本質は何かという問いに関係します。なぜかという分割された粒子は自発的対称性の破れを経ずに、混成ギャップあるいは擬ギャップが生じて対称性が破れないままとどまる可能性があり、これはよく知られているフェルミ液体などと異なる新たな種類の量子流体となるからです。さらに量子流体状態で、分割(分数化)した粒子同士が強く相互作用し量子力学的に絡み合った(エンタングルした)状態に留まるとき、分数化した粒子自身が粒子としての性格を失い、どんな粒子描像も成り立たない量子流体(量子スープのようなもの)となり、超伝導の直接の原因となりうる可能性も指摘されるに至っています。すなわち、万物は原子(素粒子)からできている、という思想が成り立たない状況を作れるのではないかとという問いが、真剣に追求されるようになってきました。これら、物質に関する根源課題に、コンピュータの助けで答えを出せる時期に差し掛かってきました。将来、仮に実用的な量子コンピュータが開発されると、量子多体問題を解くことは容易になるはずですが(これはファインマンが夢見たことでもあります)、ここに書いたような、古典原理のコンピュータを用いて得られてきた洞察それ自身を直接生み出せるかどうかという、やはり人の考察や実験の検証を経ることなしには進まないでしょう。道具としてのコンピュータという性格は変わることはありません。やはり根源的な理解は人間の深い洞察なしには進まないということです。

最後になってしまいましたが、現在ますます面白くなってきているこれらのテーマも、今までの第一原理的なものを含む数値手法開発、物理的洞察、すべてにわたって、ともに研究をしてきた学生、ポスドクも含む仲間たちの努力や共同研究なしには語ることはできません。これまでも、これからも、このような仲間と物理を楽しむという幸運に感謝したいと思います。また変人集団である我々研究者を助けてくださって、これらの研究を可能にしてきた、常識ある事務・教務・秘書の方々にもこの場を借りて感謝して、遅れたご挨拶に代えたいと思います。