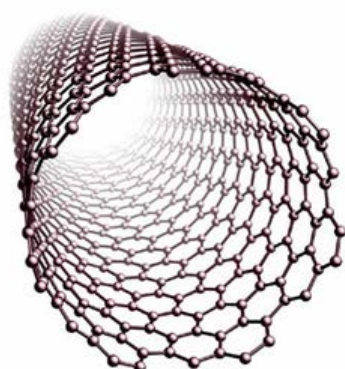


ATI News

第 23 号



単層カーボンナノチューブの模式図と透過型電子顕微鏡

*** 目 次 ***

ページ

羅針盤としてのバチカン科学アカデミー	小泉 英明 (ATI 評議員)	1
カーボンナノチューブの分離技術の進展	片浦 弘道 (ATI 研究会委員長)	2
研究報告会 報告	遠藤 守信 (ATI 理事)	8
研究助成 成果発表会 報告	(ATI 事務局)	10
研究助成 2017 年度 選考結果	森田 清三 (ATI 副理事長)	12
コーヒーブレイク 「変分原理の物語」	秋山 良 (ATI 研究会員)	14
受賞紹介	(ATI 事務局)	15
国際フォーラム開催記	高橋 琢二 (ATI 研究会員)	16
	鳥養 映子 (ATI 評議員)	17
特集：研究生産性と教育の両立	一杉 太郎 (ATI 研究会委員長)	18
特集：ATI30 年間の活動実績	(ATI 事務局)	22
事務局より (Topics、情報共有)	(ATI 事務局)	24

羅針盤としてのバチカン科学アカデミー

ATI 評議員 小泉英明
日本工学アカデミー 上級副会長
日立製作所 名誉フェロー



アカデミーとはプラトンのアカデミアから始まる言葉であるが、科学アカデミーとして最も長い歴史を持つのは、ローマ教皇庁科学アカデミーとされる。400 年以上前に発祥し、当初はガリレオ・ガリレイも会員であった。地動説によって、ローマ教会と対立したが、20 世紀のヨハネ・パウロ二世の代になって、ガリレオが科学的に正しかったことがバチカンから正式に認められた。旧約聖書の創世記と矛盾するダーウィンの進化論も、その後、生物学的な仮説として認められるようになった。バチカンでは 1990 年代にローマ教皇庁社会科学アカデミーを新設し、社会問題にまで言及できるように、科学として扱う分野を拡大している。

バチカンの両アカデミーは、現在も活発に活動し、その成果も目覚ましい。科学的な事実裏打ちされたメッセージが、フランシスコ教皇から世界に広く発信されるからである。現在、世界で最も影響力ある元首（指導者）という調査が行われると、常にローマ教皇が上位におられる。もちろん、類例ないご本人のお人柄にもよると思われるが、それを支えているのが、上記のバチカンのアカデミーであろう。

また、バチカン市国は軍隊を一切もたない国家である。ミケランジェロのデザインと言われる制服に身を包んだスイス近衛兵のみである。日本が平和憲法の下に、自衛隊（Self-Defense Force）とした組織のみを有することは、バチカンの一部でも高く評価されている。雛を守る親鳥の行動は自然の摂理であろう。バチカン市国の存在は確かに揺るぎないが、カトリックという後ろ盾以外に、宗教でありながら科学的事実を志向し、人間としての精神基盤を確立していることによるだろう。宗教という立場を離れても、最高水準の科学アカデミーを大切にするバチカン市国は、将来の科学技術あるいは国家の在り方に対して深い示唆を与えている。物質的だけでなく、精神的な豊かさ貧しさの本質を追求しているからだ。

ローマ教皇庁アカデミーは、その議論において、宗教・思想・人種・性別からの自由を保障されている。私自身、代々高野山の真言宗であるが、ローマ教皇庁アカデミーに招聘されて不自由な思いをしたことはない。2003 年のローマ教皇庁アカデミー400 周年記念に講演させていただいて以来、ヨハネ・パウロ二世やフランシスコ教皇には、謁見のみならず、わずかであるがお話しする機会も頂戴した。また、計4回逗留した会議期間中は、すべての伝統的なミサに出席できた。そこで学んだのは、世界に利己思想が蔓延し、利他思想（Altruism）が衰退する現代にあって、もう一度、人間の原点に立ち返る必要性であった。

その拠り所となるのが、「倫理を基調とした科学技術」であろう。最近、改組された国際組織の IAP (The InterAcademy Partnership)、全米アカデミーズ (The National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (NAS・NAE・NAM 及び NRC で構成)、中国両院（科学院・工程院）、そして従来の国際理工学アカデミー連合（CAETS: International Council of Academies of Engineering and Technological Sciences）など、科学技術を基調にした国際連携や、自国の政策・立法へ向けた新たな動きに注目したい。脳の解明や遺伝子操作、気候変動、富の極端な偏在と貧困、大量殺戮兵器など、適切な政策・立法・司法に、科学技術の深い理解と俯瞰的な視座は不可欠となっている。特に、科学技術の倫理的視座が求められる今、闇を照らす灯台あるいは中立的な羅針盤として、アカデミーの存在はかつてない重要性を持とうとしている。

カーボンナノチューブの分離技術の進展

片浦 弘道

ATI ナノカーボン研究会 委員長

(国立研究開発法人産業技術総合研究所 首席研究員)



カーボンナノチューブ (CNT) が発見されてから、25 年の月日が流れた。まだ 25 年なのか、もう 25 年なのか、立場によっても感じ方はいろいろだが、1/4 世紀というのは、第一線の研究者にとっては十分長い年月である。ここでは、CNT の分離技術の進展について、私の独断による歴史的概観を含めて紹介したい。

1. カーボンナノチューブの誕生

1991 年に、NEC に在籍していた飯島澄男氏が、名城大の安藤研究室でガス中アーク放電に使用された炭素電極から、電子顕微鏡観察により多層のカーボンナノチューブ (CNT) を発見した。しかし、歴史的論文のタイトルでは“Helical Microtubes of Graphitic Carbon”となっており、まだ CNT という言葉は出てこない[1]。2 年後の 1993 年に再度飯島氏から単層の CNT の論文が出された。タイトルは“Single-Shell Carbon Nanotubes of 1-nm Diameter”であり、ここで CNT という名称が正式に登場する[2]。筒状の構造を持つ炭素材料は、信州大の遠藤守信氏らにより、はるか以前に観測されていたが[3]、飯島氏は CNT からの電子線回折を測定し、筒状炭素材料がグラフェン骨格を有し、それが様々な巻き方を持つことを初めて示した。筒状炭素材料は、実はきれいな結晶構造を有する CNT という材料であることが明らかになった。グラフェンは、線形分散バンドを持つ稀有な材料であり、その物性は興味深かったが、当時は単層のグラフェンを得ることは不可能であった。単層 CNT は単層のグラフェンから構成された新材料であるという事で、グラフェンの持つ興味深い物性が、単層 CNT で観測されるのではないかと、理論家の多くが興味を示した。その第一人者が今は亡きマサチューセッツ工科大学 (MIT) のミリー・ドレッセルハウス教授である。現東北大教授の齋藤理一郎氏とともに、単層 CNT の電子状態を強結合理論で計算し、単層 CNT は構造により 金属にも半導体にもなる ことを明確に示した[4]。線形分散を持つ電子は有効質量がゼロになるため、極めて高い移動度が期待できる。しかも、バンドギャップが直径に反比例するという制御性を持った新材料というのが、単層 CNT の電子材料としての側面であることが明らかになったのである。現在、シリコンテクノロジー全盛であるが、ムー

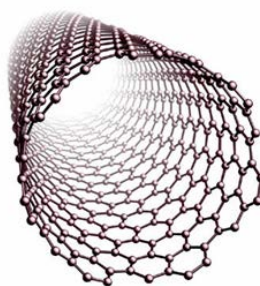


図 1 単層カーボンナノチューブの模式図と透過型電子顕微鏡 (参考写真)

アの法則は量子力学的限界を迎えつつあり、シリコンを凌ぐ新たな材料が模索されている。その中で、単層 CNT が高いポテンシャルを持った新材料であることが分かったわけであるから、多くの研究者が単層 CNT の研究に着手した。

2. CNT 分離のブレークスルー

電子顕微鏡で 1 本の CNT を観察し、その構造解析から電子状態を計算し、その物性を予測するという一連の研究は、単層 CNT の可能性を知らしめるには十分であったが、さて実際に構造を制御した CNT を準備し、それを用いてトランジスタを作製するという実務レベルになると、その困難さから多くの研究者が音を上げるようになった。単層 CNT は、鉄やコバルトなどの金属微粒子が触媒となり、有機分子や不定形カーボンなどの炭素源から金属微粒子に固溶した炭素が、微粒子表面に再度析出する過程で形成されるものと考えられたが、それを効率よく反応させることも、さらに析出する単層 CNT の原子配列を制御することも、得られた単層 CNT を精製することも、それを用いてトランジスタを作製することも、いずれも困難を極めたのである。電子顕微鏡で観察できるレベルの合成であればなんとでもなるが、それをグラム単位で、高純度に構造を制御して合成するという無理難題はいまだに有効な解が得られていない。CNT が溶媒に不溶であるという困難もあり、夢の材料である CNT の研究は遅々として進展しなかったが、何事にもブレークスルーというものが訪れる。

2006 年、信州大の遠藤守信氏らが主催者となり、長野で NT06 という国際会議が開催された。この国際会議は、カーボンナノチューブをメインテーマとする世界で唯一の国際会議で、今も毎年開催されている。その会場で、我々は驚くべきスペクトルを目の当たりにすることになる。米国ノースウエスタン大学の Mark Hersam らによって金属型と半導体型に分離された単層 CNT のスペクトルが初めて披露されたのである。論文はその後 *Nature Nanotechnology* に掲載された[5]。彼らは、密度勾配超遠心分離法(Density gradient ultracentrifugation: DGU)という、分子生物学で用いられる手法を応用して、単層 CNT を高純度で分離して見せたのである。それまでも、分離手法はいくつか報告されていたが、せいぜい 90% 程度の分離純度であり、実用レベルに無かった。DGU では、その手法の奇抜さもさることながら、得られた CNT の純度が 99% 程度と、それまでの分離とはレベルが全く違った。彼らは、CNT の見かけ上の密度の違いを使って分離したが、その分離原理は、界面活性剤と CNT の相互作用が金属型と半導体型で異なるというものであった。そのため、CNT 周りの界面活性剤の付き方が金属型と半導体型で異なり、それを DGU 法で分けて見せたのである。

単層 CNT が金属型なのか半導体型なのかは、実は光吸収スペクトルを測定すれば、すぐにわかる。これは、齋藤理一郎氏の計算結果を見れば、一目瞭然である[6]。直径と六員環の巻き方(カイラリティ)の関数として、CNT のバンドギャップが簡単に計算できる。実際には、1 次元系特有のエキシトンの高い結合エネルギーにより、光吸収は全てエキシトン由来の吸収となり、単純なバンド計算の値とは異なる事がわかっているが、金属型と半導体型は吸収波長が大きく異なるため、判断を間違えることは無い。Hersam 等が示した

＜ 研究 アラカルト ＞

分離 CNT の光吸収スペクトルは息をのむほど美しいものであった。我々は、そのスペクトルを見て、完全なる敗北を感じた。CNT は茨城県のつくばにある NEC の研究所で発見された、日本発の新物質であるが、これまでの研究のブレークスルーのほとんどが米国発であり、日本が主導権を握った事はあまりなかった。CNT の分離を行っている研究者も日本に多くいたが、DGU レベルの分離を成功させたものはいなかった。我々は、その美しいスペクトルに見とれるばかりであった。しかし、そこから我々の本当の研究がスタートしたのである。

3. CNT 分離法の進展

現在までに、単層 CNT の分離技術は多くの報告があり、界面活性剤を用いる手法が数種類[5,7-9]、そのほかにも特定の CNT と相互作用するポリマーを使う方法[10,11]などがある。いずれも素晴らしいが、これらの分離手法が発達した背景には、先駆的な DGU 法の成功があったのは間違いないと確信している。研究者にとって一番重要な情報は、目指すものが可能であるかどうかを知ることである。CNT を分離することが可能であることが一旦実証されたならば、それを別の方法で再現する事は、それほど大変な事では無い。アイデアを練り直せばよいのだ。一方、可能かどうかわからないものに挑戦するのは、精神的にも、予算獲得の面でも非常に難しい。

さて、単層 CNT の金属・半導体分離を最初に示したのは私の知る限り 2003 年の Ming Zheng 等の論文である[12]。彼らは DNA を分散剤として使って CNT を水中に分散し、それをイオン交換クロマトグラフィーで分離する事により、金属型と半導体型の割合が変化する事を示した。純度は決してすばらしいものでは無かったが、光吸収スペクトルから明確な分離が確認できる。彼らはその後も DNA を使った分離を推し進め、2009 年には 12 種類の単一構造 (single-chirality) の単層 CNT の分離を世界に先駆けて成功させた[13]。これだけすばらしい成果を上げながら、Hersam 等に比べて注目されなかったのは、やはり大量分離が困難な手法であるためだと思われる。Ming Zheng 等の手法では、合成 DNA を使用して、特定の構造の CNT と相互作用させ、それを DNA の分離手法により分離した。巧妙な手法だが、そもそも合成 DNA という高価な薬品を使用する時点で、大量分離には適さないという印象を持ってしまう。彼らはその後も研究を発展させ、2013 年には液相 2 層分離 (Aqueous Two Phase Extraction: ATP) という手法を確立する[9]。これは、ポリエチレングリコールとデキストランをドデシル硫酸ナトリウム (SDS) で分散した単層 CNT に加え、シェイクした後に静置すれば、勝手に上層下層に別れて、金属・半導体分離ができるという画期的な手法である。この手法は、高価な DNA も使用せず、高価なイオン交換カラムも使用しないため、比較的大量分離を容易に実行可能なので、多くの研究者に使われるようになった。やはり、大量分離に適した手法が注目されることがわかる。

Ming Zheng 等が、最初の DNA 分離手法を報告してから 3 年後の 2006 年、先に触れた Mark Hersam 等が DGU 法を発表した[5]。彼らは、SDS とコール酸ナトリウム (Sodium Cholate: SC) の混合界面活性剤を用いて単層 CNT を分散し、それを密度勾配超遠心分離法で 8 時間程度分離すると、低密度層と高密度層に CNT が分離し、それぞれ半導体、金属

である事を示した。この純度がすばらしく、多くの追試が行われた。その後彼らは、この手法を基にベンチャー（NanoIntegris 社）を起業し、分離した CNT の販売を開始した。当時、約 5 万円/mg と驚くほど高価であったが、多くの研究者が購入した。分離 CNT を販売したということは、確かに大量分離できる事の証でもあるが、その価格が高価なのは、高額な超遠心機を 8 時間以上もの長時間占有して分離するその分離原理にあった。しかも超遠心機のローターは高価かつ短命であるため、そのコスト負担も大きい。

一方、2007 年には界面活性剤ではなくフルオレンという芳香族を骨格にしたポリマーを使って、半導体型 CNT のみをトルエン等の有機溶媒に単分散する手法が Robin Nicholas 等により報告された[10]。この手法は、有機溶媒とポリマーを使って、簡単な遠心分離を行うだけの分離法であるにも関わらず、得られる半導体 CNT の純度が極めて高いため、大きな注目を集めた。しかし、大きな問題点として、使用するポリマーが高価である点が上げられる。ポリマーの市場価格は CNT よりも高く、特殊な機能を持たせるには、自分で合成するしか無い。また、半導体型 CNT をデバイスに使用する際には、このポリマーの除去が課題となる。

4. ゲルカラムクロマトグラフィーによる分離

2008 年、いよいよ産総研のゲル分離が発表された。使用した手法は電気泳動である。田中らは、アガー（ところてん）を精製したアガロースに単層 CNT を SDS で分散し混ぜて固め、それを電気泳動にかけると、金属型だけが泳動して分離が生じる事を発表した[7]。当初は電気を使ったが、実は電気泳動は必須では無く、アガロースの粒子を詰めたカラムを使ったクロマトグラフィーでも分離が出来る事を後に示した[8]。

ゲルカラムクロマトグラフィーによる分離と言えば、以前の手法とずいぶん違うような印象を受けるが、実は DGU や後の ATP と同じ分離原理に帰着する。金属型と半導体型の CNT は、電子状態が全く異なる事から、水中での酸化状態が異なっており、そのため陰イオン界面活性剤、特に SDS の吸着状態が大きく異なると考えられている[15]。そのため、SDS が多く吸着する金属型 CNT と少ししか吸着しない半導体型 CNT では、水中での挙動が大きく異なる。それは、DGU では有効密度の違いに反映されたり、ATP では PEG やデキストランとの親和性に反映されたり、ゲルカラムでは多糖ゲルとの親和性に反映されたりすると考えられる。しかし、同じ原理であっても、実際に大量分離を行おうとすれば、そこには少なからぬ差が生じてくる。そのような観点でこれらの分離法を比較すると、連続運転の可能なゲルカラム法が最も大量分離に向いている。実際、ラボスケールの装置でも、2 g/day の分離を実証している。さらに、ゲルカラム法では単一構造の CNT

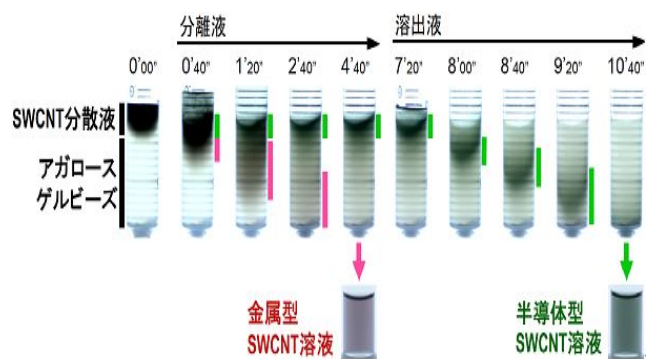


図 2 ゲルカラムによる CNT の金属・半導体分離の様子 [8]

< 研究 アラカルト >

分離も得意である。CNT の構造が異なれば、電子状態も異なるため、吸着する界面活性剤の量も変化するが、その差はわずかであり、それを DGU 等の手法で分離するのは容易では無い。しかし、ゲルとの相互作用を利用するゲルカラム法では、このわずかな違いをうまく引き出す工夫が可能である。最初にチャレンジしたのが Overloading 法で、12 種類の単一構造 CNT を分離することに成功した[14]。

現在では、界面活性剤の組成を微妙に調整することにより、単一構造 CNT もある程度大量に分離できるようになっており、ミリグラムスケールで分離が可能となった[16]。たとえば、(9,4)型と呼ばれる構造の CNT は、波長 720nm の光を吸収し、1180nm

の波長の光を蛍光として放出する。1180nm は近赤外光の領域で、生体の吸収が最も小さくなる、つまり生体が透けて見える波長帯に相当する。この様な波長の蛍光を発する材料は多く無く、CNT は貴重な発光材料として使う事ができる。実際、大量分離した(9,4)型 CNT をマウスに尾静脈から投与し、そこに 720nm の LED 光を照射すると、蛍光による血管造影が鮮明に見えることが示された。これは、分離をしていないCNTを用いた場合の100倍近い明るさを持ち、わずかな CNT を投与するだけで、造影できる事が確認された。しかも、投与する際に使用する分散剤を工夫する事により、褐色脂肪組織に選択的に蓄積されることも見出された。褐色脂肪組織とは、通常の脂肪組織とは異なり、熱を産生する脂肪である。この発見により、マウスの褐色脂肪組織の成長や収縮を簡単に調べる事が可能になった。褐色脂肪組織を活性化し、熱の産生を促す新薬開発が可能になれば、現在問題となっているメタボリックシンドロームの治療薬開発に役立つはずである。

さて、ゲルカラム法の利点のもう一つは、右巻き・左巻き分離が可能である点である。様々な構造の CNT の中で、炭素6員環の並びがねじれているものを螺旋型 CNT と呼ぶが、螺旋型には、右巻きと左巻きの2種類が存在する。他の分子と同様に、それらの電子状態は全く同じであり、異なる点は、右回り円偏光と左回り円偏光に対する吸光度の差で定義される円二色性 (Circular Dichroism: CD) の符号が反転する事だけである。通常合成した CNT は、右巻きと左巻きが同数で CD 信号がゼロとなるが、ゲルカラムで分離した CNT は、有意の CD を示す。つまり、右巻き・左巻き分離が生じている。これは、ゲルの原料であるデキストランが光学活性を持つためである。



図3 Overloading 法で分離した 12 種類の単一構造 CNT [14]



図4 CNT で可視化したマウスの褐色脂肪組織 [17]

5. まとめ

さて、右巻き左巻き分離まで実現して、最後の構造パラメータである長さ分離が残されているが、実は、サイズ分離は多糖類ゲルが本来備えている機能であり、実現は容易である。しかし、分離が技術的に難しくなくても、実際に行うのは困難である事もある。収率の問題である。金属と半導体を分離し、半導体の中でも特定の構造を持つものを分離し、さらに長さも精密に分離するとなると、いったい当初原料の何%を回収出来るのかという、本質的な問題が生じて来る。CNT 合成時にある程度選択性を持たせないと、実用レベルの収率を確保出来そうに無い。分離技術のみで何でも解決できるという訳では無いのだ。CNT の研究にはまだまだ楽しむ余地がある。

参考文献

- [1] S. Iijima, Nature 354 (1991) 56.
- [2] S. Iijima and T. Ichihashi, Nature 363 (1993) 603.
- [3] A. Oberlin, M. Endo, and T. Koyama, J. Cry. Grow. 32 (1976) 335.
- [4] R. Saito, M. Fujita, G. Dresselhaus, and M.S. Dresselhaus, Appl. Phys. Lett. 60 (1992) 2204.
- [5] M. S. Arnold, A. A. Green, J. F. Hulvat, S. I. Stupp, and M. C. Hersam, Nat. Nanotechnol., 1 (2006) 60.
- [6] R. Saito, <http://flex.phys.tohoku.ac.jp/eii/>
- [7] T. Tanaka, H. Jin, Y. Miyata and H. Kataura, Appl. Phys. Express 1 (2008) 114001.
- [8] T. Tanaka, Y. Urabe, D. Nishide, and H. Kataura, Applied Physics Express 2 (2009) 125002.
- [9] C. Y. Khripin, J. A. Fagan, and M. Zheng, J. Am. Chem. Soc. 135 (2013) 6822.
- [10] A. Nish, J. Y. Hwang, J. Doig, and R. J. Nicholas, Nat. Nanotechnol. 2 (2007) 640.
- [11] F. Toshimitsu and N. Nakashima, Nat. Commun. 5 (2014) 5041.
- [12] M. Zheng, A. Jagota, E. D. Semke, B. A. Diner, R. S. Mclean, S. R. Lustig, R. E. Richardson, and N. G. Tassi, Nat. Mat. 2 (2003) 338.
- [13] X. Tu, S. Manohar, A. Jagota, and M. Zheng, Nature 460 (2009) 250.
- [14] H. Liu, D. Nishide, T. Tanaka, and H. Kataura, Nat. Commun. 2 (2011) 309.
- [15] A. Hirano, T. Tanaka, Y. Urabe, and H. Kataura, ACS NANO 7 (2013) 10285.
- [16] Y. Yomogida, T. Tanaka, M. Zhang, M. Yudasaka, X. Wei, and H. Kataura, Nat. Commun. 7 (2016) 12056.
- [17] M. Yudasaka, Y. Yomogida, M. Zhang, T. Tanaka, M. Nakahara, N. Kobayashi, Y. Okamatsu-Ogura, K. Machida, K. Ishihara, K. Saeki, H. Kataura, Sci. Reports 7 (2017) 44760.

< 研究報告会 報告 >

第24回研究報告会 —2016年度研究会活動—

ATI 理事 遠藤守信 (信州大学特別特任教授)



表記報告会が去る7月11日(火)お茶の水ソラシティカンファレンスセンターで開催された。新世代研究所の諸事業の中で研究会活動は重点策の一つである。ことに当期はナノ科学にフォーカスした研究会構成であり、これまで当該分野の発展に貢献したと評価されている。研究会での研究者間の情報交換を通して共創(適度な競争と協力)意識を高め、国際的な最先端研究情報の交換はもとより様々な形態の共同研究等への発展、そして若手研究者や学生の育成にも機能している。また、当研究所最高顧問の和田昭允先生のご見識である『学問は越境する』の概念のもと研究会の相互協力についても一層の強化策がはかられてきた。そこでは2つ以上の研究会の相互連携による融合委員会が回を重ねている。科学の興味が分野間の境界域から異分野融合に向かうトレンドに沿ったものである。今回の研究会活動報告会はそれぞれの高いアクティビティが報告され、それについて議論を深めて次なる研究会活動に反映させていただくとともに、相互理解を促進して前述のような融合研究会に発展させていく機会としても重要なものである。

今回の研究報告会では、まず伊達理事長が研究会活動の目的とその意義について挨拶をされ、続いて各委員長から活動報告がなされた。



まずスピントロニクス研究会(会員20名)の大谷義近委員長(東京大学物性研究所、教授)は、委員長としての2期目(2015-2017)の2年目であり、ナノスピン変換科学をメインテーマに伝導電子スピン、局在スピン、フォノンなどの多様な粒子・準粒子についての複合系の物理体系を構築することを目指して運営されてきた。研究会メンバーが中心になって文部科学省科学研究費新学術領域研究『ナノスピン変換科学』が良好に推進されていることも報告された。

水和ナノ構造研究会(会員15名)の日下勝弘委員長(茨城大学フロンティア応用原子科学研究センター、教授)は、2年目の活動として中性子回折を用いて酵素と基質との複合体や膜タンパクの水和構造について、機能に直結した水や水素位置・構造を解明することを目指して活動している。成果として、中性子回折計 i-BIX の微弱な回折強度から高精度で積分強度を抽出するプロファイルフィッティング法を開発して構造精密化が実現できたことが報告された。



ナノカーボン研究会(会員16名)の片浦弘道委員長(産業技術総合研究所、主席研究員)は、委員長として2年目であり、炭素ナノ物質の基礎科学と応用について広く調査研究を進め、また関連の学術発展と若手研究者の育成を目指して活動している。成果の一つは、同研究会が開催した講演会が契機となって会員間の共同研究が開始され、カーボンナノチューブの螺旋構造について右巻きと左巻きの存在を円

二色性をベースに理論と実験から解明する研究に発展したことである。成果は Nature Communications 誌に発表され、研究会の場が研究成果につながった。また会員の連携で大型の競争資金の獲得にも至っている。

バイオ単分子研究会（会員 15 名）の西野吉則委員長（北海道大学電子科学研究所、教授）は、2 年目の活動として生きた細胞を分子レベルで理解するために単分子レベルでの計測や細胞の動的制御技術について、情報科学や理論など広範なアプローチを通してミクロな観点から生命現象を理解することを目指している。当該年度は各会員の要望を踏まえて計算生命科学等に焦点を当て講演会を実施し、活発な議論が交わされた。ナイトセッションや関連施設の見学会なども恒例化され、研究情報収集の貴重な機会が提供されている。研究会メンバーの競争的研究資金獲得や受賞にもつながったことも報告された。



界面ナノ科学研究会（会員 15 名）の一杉太郎委員長（東京工業大学物質理工学院、教授）は、無機固体物質を対象に界面物性の学理の構築が主テーマで、電気、化学的性質や物性制御、試料調製法、評価、理論等を広く対象として活動している。現在委員長として 2 期目の 2 年目であり、研究者交流を重視しつつ界面科学の一層の深化を目指している。会員の関心の高いテーマを選んで外部講師等の講演や最近のトピックスを対象に討論を深め、また ATI 若手研究助成者の中から関係のテーマについての講演会を実施していることも報告された。

さて上記の一杉委員長の報告の中で、同研究会が対象としている STM 関連の論文数が世界的レベルでは 1998 年以降から現在まではほぼ安定的に推移しているものの、日本では論文数は同期間に半減しており、一方で中国はいまだ上昇傾向にあることが示された。日本の科学力の弱体化傾向は先に Nature 誌が警鐘を鳴らしたところであるが、同委員長の STM 研究のアクティビティ分析は今後に向けて大いに参考になった。新聞紙上でもしばしば指摘されているように 10 数年前までの我が国の研究力は世界を相手に十分な輝きを放っていたものの昨今の弱体化は様々な要因が考えられる。一つには今、時間的余裕がなくなっている研究者の研究基盤力の強化が必須であろう。当研究会の機会を生かしてじっくり議論して識見の幅と厚みを広げて研究力の向上に繋げていただきたいと、研究会報告を聞いて改めて感じたことである。



報告会のひとこま、活発に討論が交わされた

この後、場所を変えて懇親会が開催され、多くの出席者が引き続いて参加された。報告会の内容のこと、最近の科学情勢、人工知能支援による科学論文や将来の学術論文誌の姿など、話題は多岐に渡った。

終わりに、有意義な機会を提供いただいた伊達理事長と新世代研究所に厚く感謝申し上げる次第である。

< 研究助成 成果発表会 報告 >

2015 年度に授与された ATI 研究助成者による『研究助成成果発表会』を 5 月 16 日に行いました。採択者 9 名の方に研究概要説明後、ポスターセッションを行っていただきました。ポスターセッションには別会議で集合していた理事の方々も参加し、活発な意見交換がされておりました。



森田選考委員長のご挨拶

2015 年度 研究助成者一覧

犬飼 宗弘	多孔性配位高分子の規則性ナノ空間に取り込まれた水素の物性解明 (徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部 講師)
石田 洋平	金属クラスターのナノ構造制御に基づく人工光合成モデルの提案 (北海道大学大学院工学研究院 助教)
伊野 浩介	ナノ分子電気化学スイッチング素子の開発とバイオ計測への応用 (東北大学大学院環境科学研究科 助教)
北條 元	次世代メモリ実現のためのBi系マルチフェロイック材料の開発 (東京工業大学応用セラミック研究所 助教)
中村 彰彦	省エネルギーリニアモーターの運動性を決める構造的要素の解明 (自然科学研究機構岡崎統合バイオサイエンスセンター 助教)
安藤 康伸	イオン液体-電極界面の電気二重層に関する理論解析 (東京大学大学院工学系研究科 助教)
根本 理子	ナノ微細構造をもつ珪藻殻を利用した高出力バイオ燃料電池の作製 (岡山大学大学院環境生命科学研究科 特任助教)
佐々木 直樹	分子クラウディング効果を利用した1分子DNA検出法の開発 (東洋大学理工学部応用化学学科 講師)
坂本 良太	史上初の有機二次元トポロジカル絶縁体「ジチオレンナノシート」の創製 (東京大学大学院理学系研究科 助教)
寺尾 京平	ナノデバイスの超高密度実装に向けた光操作によるDNA Highwireの形成 (香川大学工学部知能機械システム工学科 准教授)
大洞 光司	基盤表面に環状タンパク質を集積した光利用デバイスの開発 (大阪大学大学院工学研究科 助教)
小山 剛史	ナノリソリターと組織化された内包分子の相互作用による光学特性の発現 (名古屋大学大学院工学研究科 講師)

懇親会には、研究助成発表者や奨励賞受賞者に加え、理事、選考委員、研究会委員長等が集まり盛況に行われました。



研究助成成果発表



ポスターセッション

< 奨励賞受賞者 >

「研究助成成果発表会」のはじめには、第4回 ATI 研究奨励賞の授与式を行い、受賞された渡邊力也氏（東京大学講師）、大塚朋廣氏（理化学研究所研究員）より研究発表を行っていただきました。

ナノセルを用いた膜蛋白質の物質輸送活性の1分子計測技術の開発

渡邊 力也氏（東京大学大学院工学系研究科 講師）



この度は2017年度 ATI 研究奨励賞を頂きましたこと、大変光栄に存じます。私は工学部の機械工学科出身で、マイクロチップを利用した単分子バイオ分析技術の開発を専門としております。この度、御財団のご支援により、私は生体膜を高度に集積化した新しいマイクロチップの開発に成功いたしました。当該マイクロチップは、膜タンパク質の単分子分析はもちろんのこと、薬物動態の定量分析をも実現する革新技术といえます。

今後は当該技術の社会還元を目指すべく、創薬や医療などへの応用展開を行う予定です。

最後に、研究のご支援と賞を賜りましたことに感謝申し上げますとともに、御財団の益々のご発展を祈念いたします。

超高速量子プローブによるナノデバイス中の電子輸送ゆらぎの研究

大塚 朋廣氏（理化学研究所創発物性科学研究センター 研究員）



この度は2017年度 ATI 研究奨励賞を頂き、大変光栄に思っております。私は2014年度に研究助成を頂き、半導体量子ドット等を用いたミクロな電子状態プローブの開発、またこれを用いたナノデバイス中の電子輸送、ゆらぎを研究してまいりました。おかげさまでプローブ動作の高速化、局所電荷状態ゆらぎの観測等に成功し、ナノデバイスの性能向上につながる知見を得ることができました。

最近では研究をさらに発展させ、マイクロプローブを用いたナノ材料中の局所電子状態のダイナミクス解明やプローブ技術の量子ビット測定への応用等を進めております。今後も研究を進め、新しい知見の獲得や有用なデバイスの創製に貢献できるよう頑張りたいと考えております。

最後に、本研究助成及び研究奨励賞選考に当たりご尽力頂いた、本財団関係者並びに審査員の皆様に厚く御礼申し上げます。

< 研究助成 2017 年度選考結果 >

ATI 副理事長 選考委員長 森田 清三
(大阪大学名誉教授)

ATI 研究助成は 35 歳以下の若手研究者を育成する特色ある事業である。今年度も対象とする研究領域を“ナノサイエンス”とし、募集要項に「“ナノサイエンス”は、ナノスケールの微細な材料やデバイスを学際的・融合的に研究する新しい科学技術分野です。ナノの領域での将来の新研究領域の形成につながる萌芽的研究、チャレンジングな研究、常識を覆す独創的研究と、ナノ領域の新探索手法となる革新的計測・分析・評価・加工方法等を含みます」と掲げて公募した。

今年度の募集期間は 2017 年 6 月 1 日～6 月 30 日とした。その結果、111 件（過去最高：研究助成トレンド情報参照）の申請書提出があった。各申請者が最大 5 件を選択したキーワード件数を集計すると、上位は、ナノ構造体・集積体 41 件（去年は 44 件）、ナノ界面・ナノ表面 40 件（32 件）、ナノ粒子・ナノクラスター 27 件（20 件）、ナノバイオ 20 件（17 件）、ナノ空間・ナノ空孔 20 件（15 件）などで、ATI の研究会毎に関係キーワードを合計すると、界面ナノ科学研究会 69 件、バイオ単分子研究会 71 件、スピントロニクス研究会 56 件、ナノカーボン研究会 45 件、水和ナノ構造研究会 31 件、その他（ナノ構造体・集積体、ナノ粒子・ナノクラスター、ナノ空間・ナノ空孔など）101 件であった。応募者の主要所属先は、化学 41 件、材料 25 件、バイオ 24 件、物理 19 件などであった。

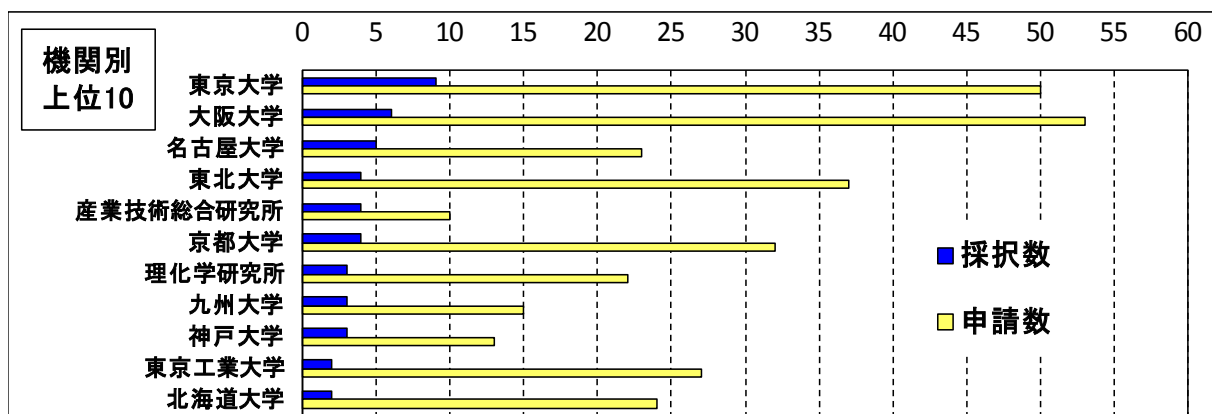
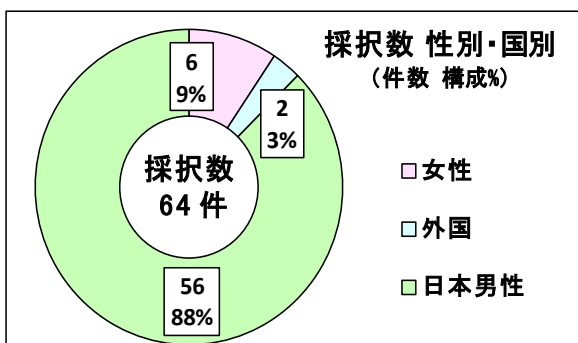
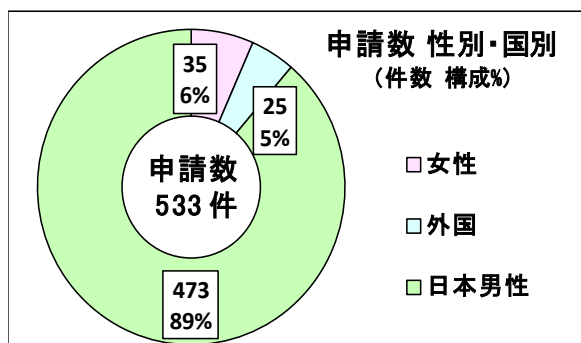
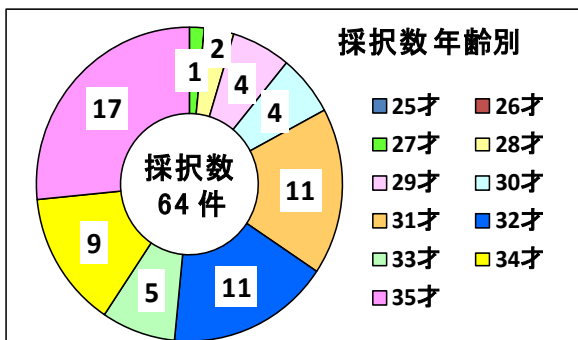
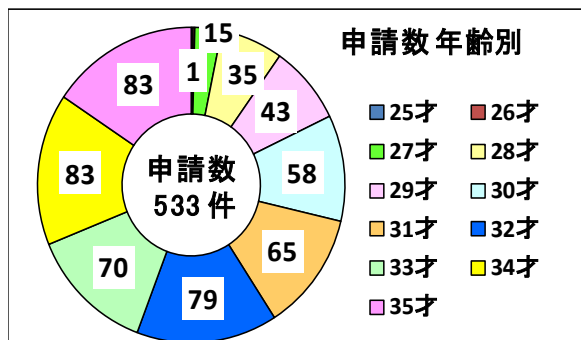
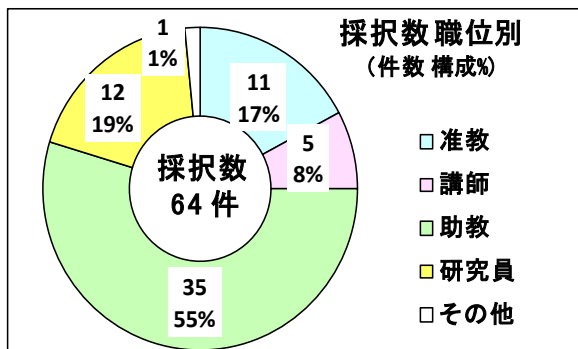
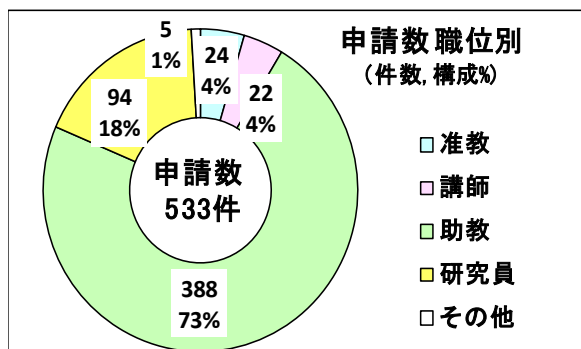
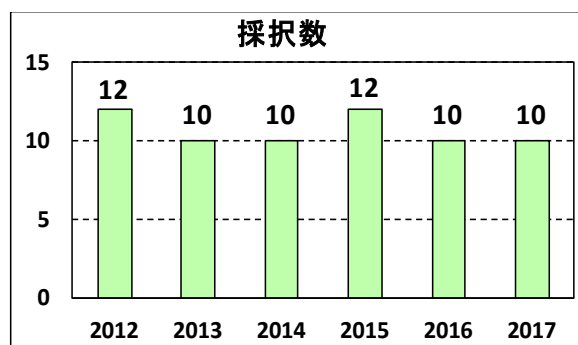
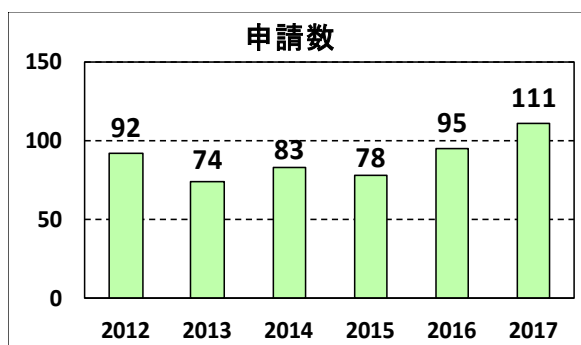
今回、まず、外部選考委員と ATI 研究会委員長を含む 10 名の委員で一次書類審査を行い、順位を付けて各 5 件選択（絶対評価）し、二次書類審査候補として 111 件の応募から 17 件を選んだ。次に、17 件全てを 8 名の委員で相対評価して再度順位を付けた。最後に、8 月 31 日に新世代研究所において選考委員会の委員 6 名による討議で採択テーマ候補を定め 9 月に理事会で承認された。なお助成金総額は 1,000 万円で、各 100 万円を 10 名に助成し、10 月 1 日から 1 年間の研究助成を行う。

大まかな分野分類では、バイオ 1 件（去年は 3 件）、材料・化学 2 件（4 件）、物理・物性・+ デバイス 7 件（3 件）となった。別の分類として、研究題目に、計測・観察・手法・検出法・解析・解明・評価の単語が入っているものが 3 件（去年は 2 件）、開発・設計・応用が入っているものが 4 件（3 件）、素子・デバイス・創成・センサ・メモリ・電池などが入っているものが 4 件（1 件）あった。

最後に、お忙しい中を選考に協力して頂いた ATI 研究会委員長と選考委員に謝意を表する。

研究題目	名前	所属機関
超高分解能原子間力顕微鏡による C1 化学反応の単原子レベル解析	塩足 亮隼	東京大学
ナノスケールインダクタの開発	田辺 賢士	名古屋大学
金属－絶縁体相転移による近接場界面の熱輸送制御	上野 藍	名古屋大学
高速 FM-AFM を用いた鈹物結晶溶解過程の原子スケールその場観察	宮田 一輝	金沢大学
遠紫外光を利用したナノ表面選択的な超高感度表面プラズモン共鳴センサーの開発	田邊 一郎	大阪大学
プラスチック上多層グラフェンの創製と革新二次電池への応用	都甲 薫	筑波大学
有機分子自己組織化膜における二次元超伝導	吉澤 俊介	物質・材料研究機構
二次元物質におけるバレーンスピン量子現象のデバイス制御	篠北 啓介	京都大学
シクロファンを用いた機械的刺激を鋭敏に検知する複合材料の開発	相良 剛光	北海道大学
ウイルス酵素の分子ライブイメージング剤開発による感染機構解析	紅林 佑希	静岡県立大学

< 研究助成データ 再開後 6 年間 (2012-2017) >



< コーヒーブレイク >

変分原理の物語

ATI 水和ナノ構造研究会員 秋山 良
(九州大学大学院理学研究院 准教授)



科学者ゆえに変分原理は身近な存在だが、小説 ”Story of Your Life” (Ted Chiang)での再会には些か面食らった。海外で大学時代の後輩にばったり会った様な驚きであった。その小説では変分原理的視点の奇妙さと人生の普遍的テーマの一つが結ばれ、その視点を意識した表現方法が生きていた。

変分原理の奇妙さは時間で際立つ。まず、学校では『粒子の運動経路 $\mathbf{x}(t)$ は、Newton の運動方程式 $\mathbf{F} = m(d^2\mathbf{x}/dt^2)$ を時々刻々と積分することで予測できる。』といった具合に力学を習う。ところが、最小作用の原理は次のとおりである。『 $\mathbf{x}(t)$ の汎関数である作用積分 $I[\mathbf{x}(t)]$ を

$$I[\mathbf{x}(t)] = \int_{t_1}^{t_2} L dt$$

と定義する。ここで、各時刻の Lagrangian L の値は経路 $\mathbf{x}(t)$ で決まる。そして、 I が最小になる $\mathbf{x}(t)$ が現実の経路となる。』この定式化では粒子の動き方は、未来の粒子挙動をも考慮して決まっているかにみえる。しかも、最初に習った因果律的な力学と等価だというのである。そのことを知った時にはクラクラした。

時間が入らない現象に対する変分原理の場合、『全体の為に各部分が折り合いをつけている』様にみえる。人間は『原因から結果へ』という因果律の説明や『部分から全体へ』の要素還元主義的説明に対しては、たとえ解決への道のりが遠くとも頷きやすい。しかし、その逆の想像は苦手な様だ。そこに奇妙さの原因の一つがあるのだろう。ところが、この妙法は多数の要素からなる系を扱う熱力学や統計力学で威力を発揮する^{注1)}。その妙に魅了される学生もしばしば見て来た。この手の感動は科学者の共有財産の一つであろう。”The Feynman Lectures on Physics”でも個人的体験に基づいた最小作用の原理の章が唐突に現れて、高校時代の Feynman が受けた感動のほどが窺われる。

それら自然科学の技法を交えた感動を小説で味わっていないことを残念に感じていたが、いずれ出会うと期待もしていた^{注2)}。というのも、大学1年時に Carson McCullers の”Madame Zerkow and the King of Finland”を読まされていたからである。文章表現に対位法などの作曲技法が応用され、技法が思考に与える影響と感動が紹介された印象深い授業であった^{注3)}。その時に、『音楽上の技法を、数学的技法に置き換える作家もいるはずだ』と、思ったのである。だから冒頭の小説を読んだときには、驚きつつも霽が晴れゆく幸せを感じたのであった。

注1：むしろ『粒子を一つずつ増やしてゆくと全体が出来上がる』という考え方が奇異に思えてしまうこともある。

注2：似たタイプの感動を与えてくれる作家として Greg Egan がいる。必ずしも SF という枠に収まらないと思う。

注3：佐藤先生のその授業とは異なり、『この作家のテーマは社会に適応できない人の魂の孤独にある』と紹介される事が多い様だ。しかも 1941 年 12 月 20 日発表の小説なので、第二次世界大戦も意識していると思われる。

最近、初出の The New Yorker の掲載ページの向かいにある挿絵を見てそれに気づいた。

<http://www.newyorker.com/magazine/1941/12/20/madame-zerkow-and-the-king-of-finland>

< 受賞 >

文部科学大臣表彰 科学技術賞受賞

文部科学省では、科学技術に関する研究開発、理解増進等において顕著な成果を収めた者を「科学技術分野の文部科学大臣表彰」として顕彰しています。

平成29年度はATI関係者3名が受賞し、4月19日に授賞式が行われました。

大野 英男 教授

所属：東北大学電気通信研究所

ATI スピントロニクス研究会員

業績：STT-RAM大容量化回路技術に関する先駆的研究開発

河原尊之氏(東京理科大学)、竹村理一郎氏(日立製作所)

との共同受賞

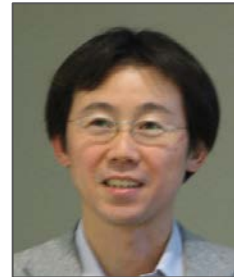


白石 誠司 教授

所属：京都大学大学院工学研究科

ATI スピントロニクス研究会員

業績：半導体スピントロニクスにおける先駆的研究



齊藤 英治 教授

所属：東北大学材料科学高等研究所

ATI スピントロニクス研究会員

業績：スピン流物理学の開拓及びその応用に関する研究



イギリス内分泌学会2016年度 最優秀論文賞 受賞

川戸 佳 特任教授

所属：帝京大学薬学部（東京大学名誉教授）

ATI 理事

業績：起床時に上昇し、睡眠時に減少するストレスホルモン（生体時計の出力）の制御により、記憶中枢の海馬の神経シナプスが起床時に増加し、睡眠時に減少することを発見。起床時には記憶神経が活性化する。



「J. of Endocrinology誌の特集 60 years of neuroendocrinology」に掲載された Ikeda et al. (2015) 論文。

< 国際フォーラム 開催記 >

第 19 回走査プローブ顕微鏡国際会議 (Kyoto 2017)

ATI 界面ナノ科学研究会員 高橋琢二

(Kyoto 2017 組織委員長、 東京大学生産技術研究所 教授)



第 19 回走査プローブ顕微鏡国際会議 (19th International Scanning Probe Microscopy Conference) は、2017 年 5 月 17～19 日に、京都市国際交流会館にて開催されました。

本国際会議は、ナノ計測のための走査プローブ顕微鏡技術やカンチレバー系を利用したセンシング技術の開発、それらを用いたナノ構造の物性評価、及びバイオセンサーやバイオチップの開発などに関する最新の研究成果について、国内外の研究者が一堂に会して議論できる国際的な場の提供を目的としています。第 1 回が 1999 年米国シアトルにて開催され、以降北南米、欧州、東アジアの三地域で持ち回りにて毎年開催され、日本での開催は 2001 年の東京、2010 年の札幌に次ぎ三回目となります。

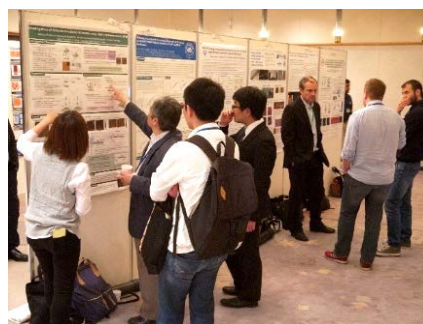


今回の会議には、合計 15 ヶ国から 117 名の参加者がありました。講演件数は、プレナリー講演 1 件、招待講演 8 件、一般口頭講演 41 件、ポスター発表 35 件の総数 85 件でした。

プレナリー講演は、T. Ando 氏 (金沢大学) より頂戴しました。同氏は、高速 AFM の研究開発を先導されてきた研究者であり、"High-speed Atomic Force Microscopy and Its Future Prospects" と題した講演では、これまでに開発されてきた高速 AFM 系を利用した研究成果について、特にバイオイメーシングに関する多くの実例を挙げながらご紹介いただくとともに、今後への期待や課題をお話いただきました。

招待講演としては、AFM を利用した電荷移動現象の高時間分解計測 [P. Grütter 氏 (McGill 大学)]、非線形誘電率顕微鏡を利用したディープレベル分光計測 [Y. Cho 氏 (東北大学)]、リン脂質とウィルスタンパク質などの相互作用力の分光測定 [S.-J. Cho 氏 (Seoul 国立大学)]、装飾探針を用いた高空間分解能 AFM による原子レベルコンタクト現象 [S. Kawai 氏 (NIMS)]、STM を利用した GaAs 中 Mn 原子の操作と磁気的相互作用の観測 [P. Koenraad 氏 (Eindhoven 工科大学)]、光ポンプ&プローブ STM の応用展開 [H. Shigekawa 氏 (筑波大学)]、SPM リソグラフィーとブロック共重合体の直接自己組織化への応用 [F. Perez-Murano 氏 (IMB-CNM, CSIC)]、1 μ 秒分解能のフォース分光計測を利用した膜タンパクの展開ダイナミクスの観測 [T.T. Perkins 氏 (NIST)] などの講演がありました。

一般講演については紙面の関係で全てに触れることはできませんが、様々な高速 AFM/生体分子等の解析ツールとしての AFM と FTIR の結合システム、等の新しい技術手法の提案や、走査イオンコンダクタンス顕微鏡による生体試料観察、カルサイトの原子ステップ端近傍での三次元フォース画像の観測、超音波 AFM を利用した埋め込みナノ粒子の観測、二重共振モードを利用したナノパターンングと形状同時計測の実現、 μ 秒分解能 EFM による光励起キャリアの減衰特性の観測、など、様々な成果発表が行われるとともに、各講演に対して活発な討論が行われました。



会議期間中は概ね好天に恵まれ、二日目午後のフリータイムでは、青もみじなどの新緑に囲まれた初夏の京都の散策を楽しまれた方も多かったと思います。また、同日夕刻には、京都モダンテラスにてバンケットが催され、芸妓さんと舞妓さんの踊りを鑑賞するとともに、参加者同士の親睦も深めることもできました。

本国際会議 20 回目の節目となる来年は、第 1 回と同じ北米で開催する方向で準備が始められています。末筆となりましたが、ご支援下さいました新世代研究所のご関係者の方々に深く御礼申し上げます。

< 国際フォーラム 開催記 >

第14回ミュオンスピン回転・緩和・共鳴 国際会議

ATI 評議員 (山梨大学名誉教授) 鳥養映子



2017 年 5 月 26 日～31 日に北海道大学（札幌）において、世界 16 か国から約 200 名の参加を得て、 μ SR2017 国際会議（組織委員長杉山純日本中間子科学会会長）が開催された。参加者の半数が海外からの参加、1/4 が学生、推定で発表者の 11% が女性であった。

本会議は、 μ SR 法を用いた固体物性、材料科学、分子科学、化学、生物物理等、広い応用範囲の世界のミュオン研究者が一堂に会して討論することを目的として 1978 年に始まったもので、第 1 回会議（Rorschach, Switzerland）以来、3 年ごとに、北米、欧州、英国、日本の各地で開催されている。この会議で、世界 4 か所のミュオン実験施設の現状や将来計画も紹介され、国際共同研究の推進に役立てられてきた。近年は、 β -NMR 法に関する報告も増えている。

会議の冒頭で、国際ミュオン科学学会（ISMS）山崎賞（ミュオン科学の発展に顕著な業績をあげた研究者に授与される賞）の表彰式があり、Robert Kiefl 氏（カナダ）が、「 μ SR 法と β -NMR 法の開発及び固体物性の研究の業績」で受賞され、記念講演があった。続いて、磁性、超伝導、物質中の水素、スピントロニクス、電池材料、ポリマー、生体物質、薄膜・表面・界面、ミュオン実験施設の現状と将来などの話題を中心に、招待講演 7 件、一般講演 51 件、ポスター発表 136 件の発表があった。このうち一般講演 7 件（海外 6 件）、ポスター講演 33 件（海外 26 件）が学生によるもので、特に海外からの学生、若手研究者の活躍が目立った。日本のミュオン実験施設 J-PARC がフル運用に入れば、日本の学生の関心もますます高まるだろうと期待され、ミュオン科学の将来を感じさせるものであった。

筆者が特に印象に残ったのは、ミュオン実験とともにミュオンのふるまいや超微細磁場のシミュレーション結果について発表する研究が増えて、理論と実験の境界がなくなりつつあること、低エネルギーミュオン（LEM: スイス PSI）を用いた薄膜と超格子の研究報告が 14 件に上ったことである。LEM の報告は、薄膜や超格子研究に対する LEM- μ SR 法の有用性を示すとともに、さらに厚さ方向の分解能向上の必要性を訴えるものであった。会議全体のサマリーの最後で、ミュオン開発者の Elvezio Molenzoni 氏からは、J-PARC の超低速ミュオン顕微鏡の早期運用開始に期待するというエールを頂いた。



μ SR2017 集合写真(2017 年 5 月 27 日)。
最前列：ボードを持つ組織委員会代表（左から杉山純議長、Ghandi 国際 μ SR 学会会長、三宅康博副議長、網塚宏副議長。中央左寄り（前から 6 列目、左から 7 人目）に伊達宗行 ATI 理事長。

会議前日の 25 日には μ SR スクールが開催され、学生からシニア研究者まで 60 名の参加があった。また、29 日には市民向け講演会「宇宙からの手紙—素粒子ミュオンの可能性—」が開催され、ミュオンの火山、文化財、はやぶさの収拾岩石の診断などへの応用に、約 40 名の市民が熱心に耳を傾け質問をしていた。

ATI から伊達宗行理事長にご臨席頂いた。伊達先生の「21 世紀はミュオンの時代」というかつてのご発言に勇気づけられた研究者も多い。今回「ミュオンは勢いがある。挑戦する姿勢が良い。」というお言葉を頂き、大変励まされた。

< 特集：研究・生産性と教育の両立 >

ATI 界面ナノ科学研究会 委員長 一杉 太郎
東京工業大学 教授

ATI ニュースにて自分の意見を披露する場をいただけるのは大変幸せなことだと思います。機会を与えていただき、ありがとうございます。本稿は 2017 年 7 月 11 日に行われた研究報告会での発表をもとに、新たに考察したことをまとめました。人工知能と教育について考えることから始め、研究生産性と教育の質について論じていきます。荒削りですので、ぜひご意見いただけますと幸いです。



起：人口知能と教育

研究報告会にて、水和ナノ構造研究会員の五十嵐圭日子先生から本質を突いた非常に興味深い質問を受けました。それは、「博士論文のストーリーと文章作成に人工知能を活用する学生がいたら、その学生に博士号を授与するか?」というものです。これはなかなか難しい問題です。その時、私は、「博士号授与には、ストーリーを自ら作る能力、作文能力すべてが問われるので、博士号授与はできないのではないかと。ただ、原著論文作成には人工知能の助けを借りても良いのではないかと」答えました。皆さんはこの問いにどう答えますか?



図 1：人工知能を活用して論文を書く時代は目の前である。まずは翻訳から。

このような心配は遠い将来の話ではなく、実は今、すでに現実のものになっています。先日、学部生向け講義の一環として、「英文原著論文の内容をまとめ、スライドを用いて発表する」という課題を出しました。その講義の狙いは、「論文の読み方とプレゼン技術を学ぶ」というものでした。すると、ある学生さんが、「Google 翻訳」を使って英語論文を日本語に翻訳して内容を掴み、その要点を発表しました。この Google 翻訳にも人工知能技術が使われています。では、この学生さんに単位を認定するか否か、その是非を考えてみたいと思います。

まずは「単位を認める」という立場から考えます。最先端技術を使いこなすという点では、この学生さんの行動は褒めるべきです。情報を速く得るために、インターネットやデータベースの利用を否定する方はいないでしょう。実は今や私自身も、ざっと意味を掴むために Google 翻訳を使うようになってしまいました。日本語だと速読ができるので、より短時間で内容を掴むことができます。

しかし、上記の議論には 何かひっかかるところがある のは確かです。そこで「単位を認めない」という考え方に立って、Google 翻訳に頼って論文を読むことのデメリットを考えます。それは、人間対人間の力が弱くなるという点ではないでしょうか。つまり、語学力が磨かれなため「face to face で議論する能力」が養われず、自分の口で意見や熱意を伝えることが難しくなるのではと危惧します。学生さん達には高いコミュニケーション力を身に付けてほしいと思います。

もともと、日本人の学生さんは講演や講義中にあまり質問をしません。語学力に不安があれば、国際学会ではさらにハードルが上がります。したがって、「質問して議論する」機会が失われていく気がします。共同研究も減るでしょう。すると、日本からの情報発信力が低下することが心配です。

単位認定の観点では、私は論文内容を掴むために Google 翻訳を使って良いと考えています（図 1）。ただ、同時にコミュニケーション能力としての 英語力を磨くことを学生さんに強く求めたいと思います。そして、ストーリーは自分で作るべきです。もしかして、情報発信力低下は杞憂かもしれません。同時通訳ソフトを使いこなして、学会での発表や共同研究の議論を行う時代が近いようにも思います。その時、ストーリーは作れるが英語は全くできない博士を我々は認めるや否や?!

承：日本発の論文数と質

このように、適切な範囲での人工知能の活用は、教育面からも研究の効率化という観点からも進めるべきだと思います。そして、それを推し進めなければ 日本発の情報発信力が低下するという懸念があります。その点で、非常に気になる記事がありました。

2017 年の日本物理学会誌に、「固体物理分野における日本発の論文数が減少している」ことを示す記事が掲載されました(桑原真人、日本物理学会誌 72, 246 (2017))。それによると、2015 年は 2003 年に比べて、論文数が半分以上になっています(図 2)。これは十分に議論すべき事項です。背景を知らずに読んだ学生さんは、「固体物理分野は縮小しているから、その分野に進むのは止めよう」と思うかもしれません。それでは困ります。

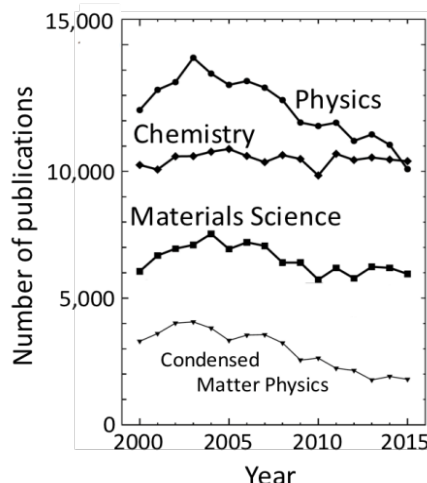


図 2：日本発論文数の推移
(Web of Science より)
データは桑原真人氏のご厚意による。

固体物理分野の論文数低下の背景には、様々な要因が考えられます。固体物理分野が成熟してきた、あるいは、研究者数が減少している可能性も考慮しなければなりません。さらに、論文数より質の向上へという研究者意識の変化も背景にあるでしょう。しかし、根本背景には「固体物理の論文が、学際的、分野融合的な雑誌に掲載されている」ことがあるのではないかと考えています。具体的には、固体物理の論文が、Nature 系、ACS(American Chemical Society)系や Wiley 系の雑誌に掲載される機会が多くなっているのではないのでしょうか。つまり、論文数は落ちているのは確実ですが、半分までは落ち込んでいないと考えられます。

では、「質」の面ではどうでしょうか。もう一つ紹介したい記事があります。科学新聞の一面トップに「日本の基礎学力 急落」(2017 年 8 月 25 日)という記事が掲載されました。これは文科省 科学技術・学術政策研究所の調査結果を紹介したもので、論文数の低下に加え、注目度の高いトップ 1% 論文は 10 年前の世界 4 位から 9 位にまで低下しているとのこと。つまり、研究の質の面でも日本の競争力が落ちていると理解できます。これは固体物理分野に限らず、全分野についてです。

その理由として、「博士課程学生や若手研究者の減少、大学部門の研究開発費の頭打ちなどが影響しているのでは」と同研究所・研究室長がコメントしています。その他にも様々な理由が思い浮かびます。読者の皆様も様々なご意見をお持ちのことと思います。

この論文数の低下を今後補うのは難しいとしても、質の向上はいつでも重要です。そこで、次は、研究・教育について質と生産性の向上について考えていきます。

転：生産性向上に向けて：「物質観」と「合成勘」の涵養

学界をとりまく状況を考えていくと、今後の日本の科学技術に強い危機感を持たざるをえません。研究・教育の効率を向上することが急務です。そして、それは人工知能やロボットなしには成り立たないだろうと考えています。特に私が専門とする薄膜作製を中心として話を進めます。危機感を持つ理由として二つ挙げます。

【研究は労働集約型産業】少なくともこの 20 年間、薄膜材料創製のプロセスは、ほとんど進歩していないといって良いでしょう。つまり、研究者は単純作業に時間を奪われ、創造的な思考を行う時間が少ないのが実情です。研究は知識集約型といわれますが、労働集約的な面も強く持っています。最新技術を活用すれば効率化が十分期待できます。

【学生さんが研究に割ける時間の減少と研究者人口の低下】最近の学生さんは企業でのインターンシップや短期海外留学が推奨され、研究室滞在時間が減少しています。従って、学生さんが研究に専念する時間は減ってきているというのが私の実感です。さらに学生さんをサポートする体制の弱体化も進んでいます。大学のポストが減り研究者数が低下し、研究者を支援する人材数の低下も顕著です。

このような状況でどのようにして研究・教育を展開すれば良いのでしょうか?

もちろん海外から優秀な学生を集めることは当然進めるべきです。その上で、さらなる解決策は、「研究生産性を上げ、教育の質を高める」しかありません。

研究スピードという観点では、2017年の報告書で述べたので、本稿では学生の教育という観点で考えていきます。私が専門とする無機固体化学では、学生さんがそれぞれの元素が持つ個性を理解し、「物質観(必要とされている物質を見抜く能力、物質についての大局観)」と「合成勘(合理的な合成ルートを見出す勘)」を涵養することが重要だと考えています。これらを短期間で効率的に習得し、新物質や新物性を開拓する能力を身に付けてほしいと思います(図 3)。

物質観と合成勘を短期間で体得することは困難です。様々な物質を合成し、「失敗と成功の経験」を通じて、肌で理解していくのが正攻法です。したがって、その経験数を増やすのが一番の策です。しかし、物質を合成するには、膨大な数の薄膜試料について成膜条件を最適化する必要があり、時間の関係から検討できる試料数は限られます。

このように考えていくと、より効率的に物質合成を行うためには、ルーチンワークをロボットと人工知能を活用した自律的物質合成システムに任せる必要があります。そして、目的の物質を最小の実験回数で得るため、ベイズ最適化や実験計画法の考え方を組み合わせることが重要です。

その結果、学生さんがこれまでよりも「多数の良い試料」に触れる機会が増えます。したがって、研究者・学生さんは多数の試料を合成し、分析し、考察できるようになります。さらに、自動化の恩恵で得た時間を、研究の「次の一手」のための行動(共同研究者との議論、講演・執筆活動等)に充てることができるようになります。

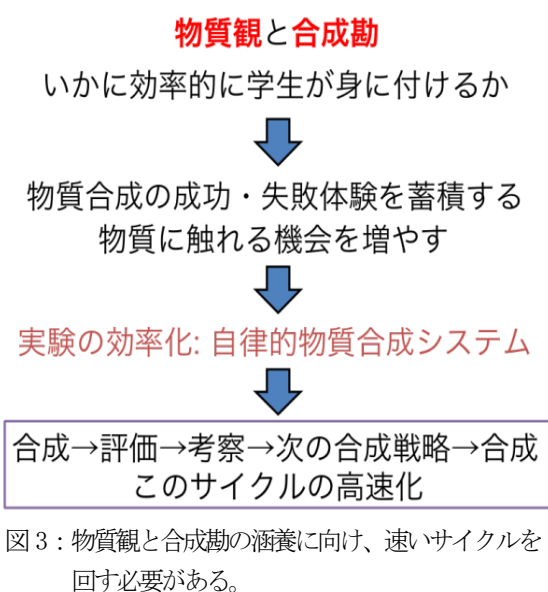
物性評価や解析、そして、考察にかける時間を増やし、「物質観」と「合成勘」を短期間で養う。我々は研究・教育においてもロボットや人工知能の力を借り、「自ら考え、実験し、パブリッシュする」ロボット科学者の構築を行っています。これにより研究・教育において飛躍的な質と生産性の向上を目指しています。

結：「動機づけ」と「徹底した分析」

これまで、人工知能と教育からスタートし、研究・教育の生産性について考えてきました。しかし、最も重要なことは、研究者、学生さんのモチベーションです。

18歳人口は、ここ数年は一定数を保っていましたが、来年から単調に減少していきます。そのような中、どれだけ多くの若者が科学をこころざしてくれるのか、ということが重要です。私が化学専攻で助教をしていた時に、指導していた非常に優秀な学生さんらが証券会社やコンサルティングファームに入社するのを見て、自分の力不足を痛感しました。つまり、若い方々に「科学の楽しさ」、「将来性」を伝えきれなかったという忸怩たる思いがあります。

科学の楽しさと重要性を伝えるのは、大学教員の重要な責務と権利です。学部生には科学の楽しさを伝え、大学院生(修士1年)にはその学生さんに合った最適な最先端テーマを設定し、エンカレッジ



していきたいと常に思っています。もちろん、その研究テーマは研究者自身が将来の科学や社会を予見して、今やるべき事として打つ渾身の一手です。そして、学生が時間を顧みずに研究に邁進するようなテーマを次々と作り出すことが理想です。つまり、「学生さんを含む研究者のモチベーションを上げる」ことが根底として重要です。研究の現場で過ごす時間を増やし、小さい発見でもわくわくドキドキする機会を作る。その繰り返しが大発見につながるのではないのでしょうか。

研究と教育は不可分であり、「最先端の研究が、最大の教育効果を生む」ことを私は信条としています。教員は学生を指導するだけではありません。それが達成されると、教員は逆に学生から刺激を受け、お互いをさらに高め合うことができます。つまり、学生さんと教員がそれぞれの「らせん」となり、「正の二重らせん」となって向上することが、健全な教育・研究の姿であると考えています。

しかし、今、大学教員は様々な仕事に追われ、学生と共に研究に取り組む時間を確保することが難しくなっています。したがって、らせんの一つがうまく機能しづらい状況です。そのため、全体のアウトプットが落ちている気がします。

今できることの一つは、徹底した現状分析と効果的な対策を講ずることです。一人あたりの生産性向上を妨げている要因を特定し、長期的な視点で戦略を立てる。我々研究者は、常日頃からデータを重視しているのですが、この分析と施策に関しては、なぜかあいまいなまま時間だけが過ぎていく気がします。科学者コミュニティが現状をしっかりと議論し、文部科学省や国と共に施策を策定し、一歩ずつその施策を進めなければならないと強く思います。

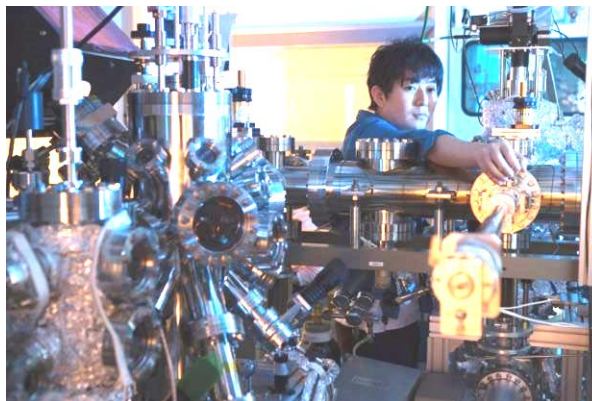


図4：実験に取り組む学生さん（一杉研究室所属）
楽しみつつ、そして、時には苦しみつつも自発的に取り組む研究テーマの創造が重要だと思います。そしてそのテーマは、「将来必ず重要になること」を自分で考え抜いて決めた、最高の一手であるべきと思っています。

その一手を打つことこそが、大学教員の最大の楽しみの一つではないかと感じています。

本稿の内容は、多くの方々との日頃の会話の中から自分なりの結論をまとめたものです。ATIの青木郁様には様々な応援をいただきました。皆様にお礼申し上げます。

補遺 1

筆者の記事(「表面科学」2017年10月号)でも論文数に関する議論しました。

補遺 2

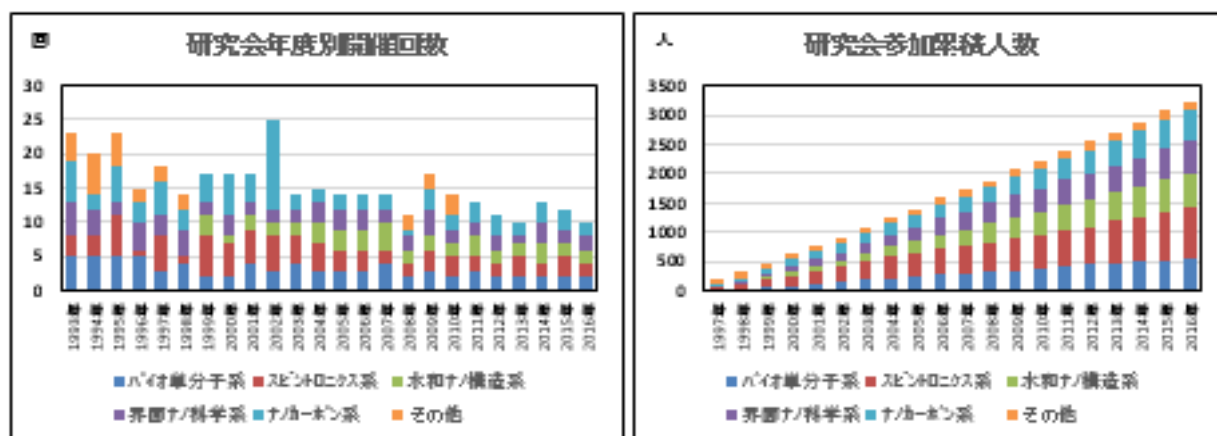
本稿の校正最終段階で、「ドイツの学界は好調」という内容の記事がNatureに掲載されました(The secret to Germany's scientific excellence, Nature 549 (2017) 18)。非常に興味深く、一気に読んでしまいました。

＜ATI 30 年間の活動実績＞

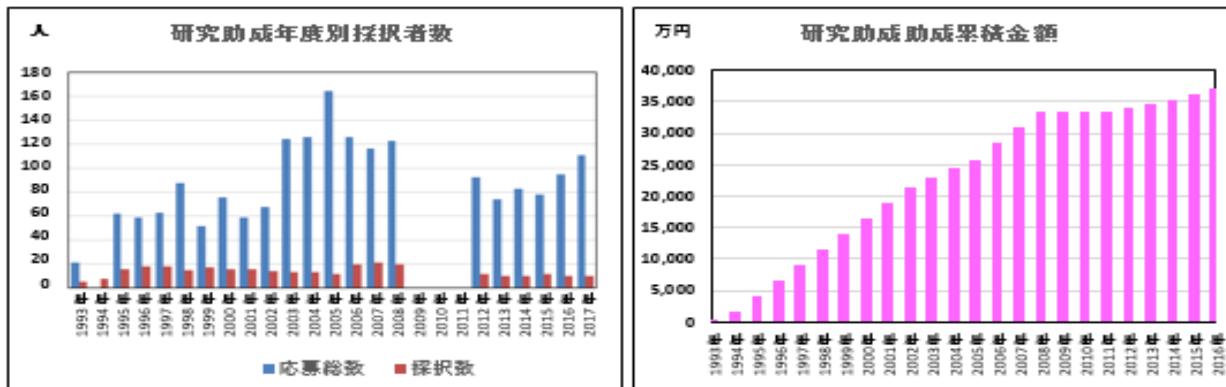
ATI は 2016 年に 30 周年を迎えました。
そこで 30 年間の主な活動実績を振り返ってみました。

- 1) ATI のメイン事業である研究会は主に 5 研究会があり、過去 24 年間(1993～2016 年)で累計 441 回の研究会が開催されてきた。この間に研究会委員に登録されたメンバーは累計 374 人で、研究会活動参加累積人数は 3231 人に上る。研究会は専門領域を超えた研究人材による科学技術研究と異分野研究領域の融合を推進しており、各研究会も 1 回は温泉で 1 泊して自由闊達な議論をとことん行うといった人材交流の場を大切にしておりその成果は十分得られていると思う。
- 2) ATI 事業の第 2 の柱である研究助成は、過去 24 年間(1993～2016 年)で延べ 296 人、助成総額 37,114 万円となっている。2014 年からは助成者の中から優秀な成果を出した人を表彰する「研究奨励賞」を設定し、延べ 6 名(2014～2016 年分)の助成者が表彰された。また、助成者達との交流を図るための研究助成成果発表会も開催している。
- 3) 海外派遣助成は過去 12 年間で延べ 286 人(1994～2005 年)、総額 6,550 万円の助成を行ってきた。
- 4) ATI 国際フォーラム支援は、研究会における成果の国際的な発信のため、国際会議などを開催・共催し、海外の研究者との交流を促進しており、累計 32 件(1994～2016 年)支援総額 3,337 万円の支援を実施してきた。
- 5) A T I 公開フォーラムは市民講座で、知的好奇心を広げるため、最新の科学・技術や時代に応じた社会・文化の話題を、その研究分野では第一人者と呼ばれる先生方に講演をお願いしてきた。講演テーマ数は延べ 71 件(1993～2016 年)になっている。

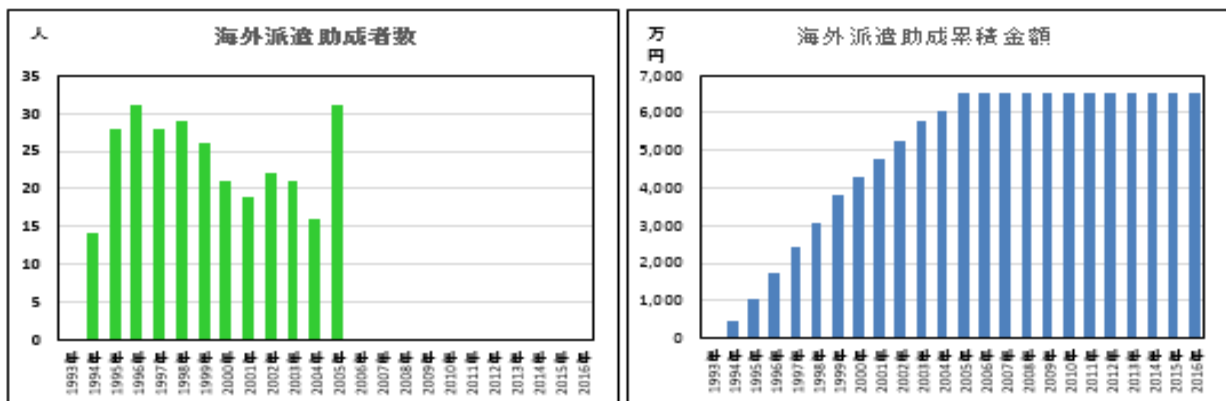
1. 研究会(開催回数及び参加累積人数)



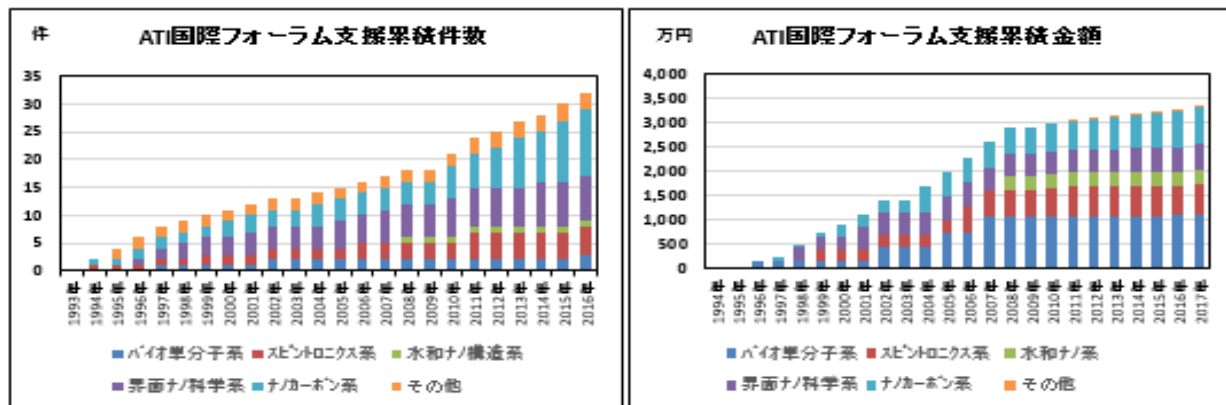
2. 研究助成（応募者数と採択者数及び助成累積金額）



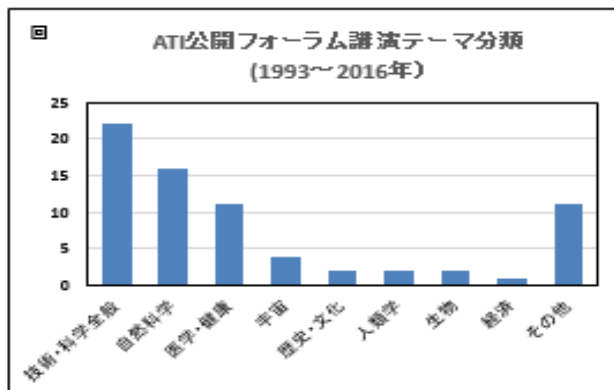
3. 海外派遣（派遣助成者数及び助成累積金額）



4. A T I 国際フォーラム（支援累積件数及び支援累積金額）



5. A T I 公開フォーラム（開催テーマ分類）



< 事務局より >

【 「5年後の科学技術」懇話会 第5回 開催 】

日時：2017年3月22日

場所：御茶ノ水 TKPガーデンシティ御茶ノ水会議室

話題：新規事業創出に向けた話題提供（事例紹介）

講師：佐々木 経世 氏（イーソリューションズ株式会社 代表取締役社長）

本懇話会では近未来に必要もしくは可能となるであろう科学技術を、時代の社会状況を推測しつつ、その実現のために必要と考えられる研究課題・技術課題をやや広い視野で自由に議論し、日本の将来社会と技術を考察する機会とすることを目的としています。

5回目は、様々な社会的課題を解決するために必要な新規事業について、話題を提供していただきました。講師の佐々木氏は、過去300社以上の新規事業立ち上げに参画した経験をお持ちで、ATI 企画委員の遠藤理事の紹介です。新規事業立ち上げの基本的な考え方、及び新規事業立ち上げプロセス事例として、電子デバイス関連、ウォッチ関連、医療関連についてお話いただきました。（事務局）



【 品質工学セミナー 開催 】

日時：2017年9月19日

場所：東京工業大学 大岡山キャンパス 東二号館

話題：「研究開発における実験の効率化」－ タグチメソッド －

講師：石田隆康氏（セイコーインスツル株式会社 元品質保証部長）

東工大一杉太郎研究室で研究開発の効率化が進められている。例えば各種成膜・評価装置を複合化したクラスターシステムの導入により、自動的に実験評価が24時間出来る様に効率化が進められている。そこで、実験の効率化をさらに高めて頂くために、多くの企業で導入されているタグチメソッド（品質工学）という手法を紹介する目的で、9月19日、一杉太郎研究室を訪問させて頂いた。十数名の院生の方達も含め、約3時間掛けてプレゼンをさせて頂き、熱心な質疑も行われた。

一部を紹介すると、実験をしたいパラメータが8パラメータ（2水準が1つ、3水準が7つ）あった場合、総当りの実験回数は4,374通りとなるが、品質工学の直交表を使えば18回の実験で、4374通りの実験結果全てが推定出来、さらに8パラメータを同時に、目的としている特性値を最大化するための最適組み合わせ条件が求められる。しかも、その実験結果の信頼性は高い。

限られた時間のため十分理解していただけたかは分からないが、実験の効率化を進める上で、参考になったとすれば幸甚である。

（事務局）

No.	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
5	1	2	2	2	3	3	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2
7	1	3	1	2	1	3	2	3
8	1	3	2	3	2	1	3	1
9	1	3	3	1	3	2	1	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2
17	2	3	2	1	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1

L 18 直行表

< 事務局より >

【 専務理事就任 】

長年ATI財団の活動に尽力されてきた前任の石田さんに代わり、7月から専務理事を務めさせて頂いている久良木です。SIIとは兄弟会社であった旧精工舎に入社、数量計画業務・海外営業・経営全般など文化系の業務を中心に、今までにグループの4社で仕事をして参りました。特に1985年から96年の11年間は当時の西ドイツに赴任（赴任中に東西ドイツの統合）駐在員オフィスの立ち上げや、現地法人の設立・運営に係わり、営業活動が主ではありましたが、管理系の業務にも従事しましたので、その経験が今後のATI財団の活動に少しでも資する事が出来ればと思っています。



大学も文化系の学部でしたが、子供の頃から科学は大好きで育ってきました。父が買ってきてくれる「子供の科学」という月刊雑誌が毎月の楽しみで、様々な科学的な刺激を受けていたように思います。テレビゲームも無い時代でしたから、小学生の頃は昆虫採集に外を駆け回り、中学時代には野球部ながら、夜になると天文気象部臨時部員として、望遠鏡で赤い火星の模様や土星の輪を覗きながら、宇宙の神秘に胸躍らせた記憶が、ATI財団に参画させて頂くことで、改めて蘇って参りました。50年近い年月を経て、現代の宇宙観を覗いてみるとブラックホール、ブラックエネルギー、白色矮星、星の生成など、科学者が探究した新しい事実に目を見張らされ、夢広がる思いで一杯です。

ATI財団も昨年30周年を迎え、50周年という次の節目に向かい、時代を見据えた社会貢献を念頭に活動を続けていると心得ております。財団に関係する皆様の様々な活動がスムーズに進み、当初の目標が達成されますよう、側面から全力でサポートさせて頂く所存です。忌憚ないご意見を頂くと共に、これからどうぞ宜しくお願い致します。

【 情報共有 】

ATI Home Page	今年4月にリニューアル	http://www.ati.or.jp/ 検索＝新世代研究所
ATI パンフレット	今年4月に発行	ご希望の方には郵送いたします ATI 事務局にご連絡ください

【 公開フォーラムのご案内 】

日時：12月5日（火）

場所：御茶ノ水 ワテラスコモンホール（JR 御茶ノ水駅 徒歩3分）

話題：(1) どうして眠るのか？ どうやって眠るのか？ 睡眠覚醒調節の最新脳科学
山中章弘氏（名古屋大学環境医学研究所教授）

(2) 放射線の影響調査とリスク評価の意義

星正治氏（放射線医学物理学者、広島大学名誉教授、

広島大学平和科学研究センター客員研究員）

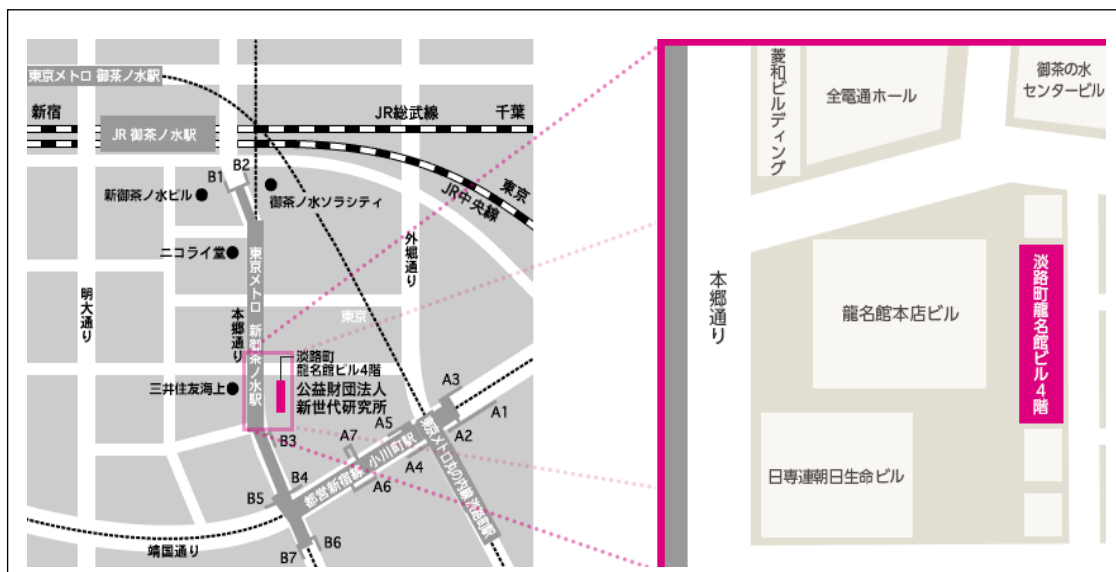
【事務局便り】

蝉時雨がすっかり鳴りを潜め、時が巡って秋の虫が音を競うようになりました。ATIにも時が巡り人事に少し動きがありました。2008年から専務理事を務めていた石田隆康さんが退任され、今年度から久良木博史さんが専務理事に就かれました。また研究会活動では守屋宏一さんに高瀬が担当している研究会運営を一部分担してもらうことになりました。

昨年は新世代研究所設立30周年を祝い、これからの10年、20年を目指してスタッフ一同頑張っています。ATIはこれからも進化し続けます。これは理事、評議員、顧問そして研究会メンバーの方々の協力がなければ成り立ちません。

皆様、これからもATIを見守り、その活動をご支援くださいますようお願いいたします。

高瀬



ATI

公益財団法人 **新世代研究所**
FOUNDATION ADVANCED TECHNOLOGY INSTITUTE

〒101-0063

東京都千代田区神田淡路町 1-23-5 淡路町龍名館ビル 4 階

Tel : 03-3255-5922、Fax : 03-3255-5926

ホームページ : <http://www.ati.or.jp/>

E:mail : info@ati.or.jp

2017 年 10 月