

ATI News

第33号 2022年4月

— 目次 —

1. 巻頭言 「高齢者と若者の集いが可能とする新学術創成」	ナノメカニクス 研究会委員長	都甲 潔	1
2. 研究アラカルト 「情報の熱力学」	界面ナノ科学 研究会会員	沙川 貴大	3
3. コーヒーブレイク 「がっかりリモート？ビバ、リモート？」	研究助成 選考委員	湯浅 裕美	9
4. 研究助成採択／奨励賞授賞	—		10
5. 意見交換会 第2回 開催記	—		11
6. 受賞紹介 「2021年度 江崎玲於奈賞 齋藤理一郎理事」	—		12

< 巻頭言 >

高齢者と若者の集いが可能とする新学術創成

都甲 潔 ナノメカニクス研究会委員長
九州大学高等研究院 特別主幹教授
九州大学五感応用デバイス研究開発センター 特任教授



今回の巻頭言執筆にあたり「さて、何を書いたものか」と考えた。大学に入学して以来 50 年間も同じ大学、同じ研究室に留まり、言わば世間を知らない輩に何が書けるであろうか。私のいつもの思考プロセスに倣い、惰眠中の夢の中でボーッと検討を続けた。

結果、まずは新世代研究所 (ATI) のことをもっとよく知った方が良からう、とばかり、ATI の目的をそのホームページ (HP) で調べた。すると「若手研究者への助成を行うと共に、個性ある有能な研究者を集め、それぞれの専門領域を越えた討議、交流の場を作り、新しい発想、予想外の可能性を求めて新世代の科学、技術の発展に貢献することを目的とする」とある。そのメンバーは如何なるものやと思い、同じく HP 記載の集合写真を見ると、それなりにお年を召された方々と若い方々が楽しそうに一堂に会している。ATI は研究助成、研究奨励賞授与、公開フォーラム等も実施している。「まさに、これだッ！ 若い人、高齢者が一緒にいろんな意見を言い合い、結果、双方が成長し、科学技術の発展を促す」と改めて悟った次第である。

さて、私は学会参加を苦手とする。ある知り合いの教授がこう言った。「学会はお遊戯会ですよ」と。そう、その通りである。学会も最初の頃は良いが、多少馴染んで顔ぶれが揃ってくると、互いに忖度し合う、たとえレベルの低い発表でも演者に辛口コメントをしない。誰もその発表に何の感心もしていないのに、演者に「お疲れ様」とパチパチ拍手する。まさに幼稚園・保育園のお遊戯会である。そういった雰囲気が嫌いで、学会からは遠ざかっていたところに 4 年前にお声がかかり、現在、ナノメカニクス研究会を仰せつかっている。この研究会では、できるだけ皆が言いたいことを言えるよう配慮しているつもりである。

ATI 意見交換会でも議論されているとおり、昨今、日本人の勉強離れや博士課程進学率の低さが問題になっており、当研究室もそれを痛感している。当研究室は、外国人が半数以上を占めるほど留学生が多いが、正直、留学生の方が日本人学生よりも積極的である。自分の考えを臆せず主張する。議論をすると、基礎学力は双方に大差ない。しかし、突っ込み方が違うのである。留学生は私が実験データの間違った解釈を行うと、「先生、それは違うのではないですか」とこちらが

身もすくむことを言うてくる。「オイオイ、私のメンツはどうなる!？」日本人学生にはそういったことはまずない。みな一様に大人しい。もっと言えば、留学生は勉学を修めに来日し大学院（修士課程）に入学し、日本人学生は皆が進学するから自分も仲良く進学する。なお、これは日本人と外国人の一般的比較をしているのではない。何となれば、やはり日本にまで留学してくる学生となると、それなりの決心をしているだろうから、一概に日本人学生と比較することはできない。とは言っても、その姿勢の違いには驚かされる。

日本人学生が博士課程に進まないのは、博士号に価値を見出せないのであろうし、結果得る職にも魅力を感じないのでであろう。これは補助金を与えれば済むという問題ではない。さて、それではどうするか？ まずは指導する先生が楽しく振る舞うことが肝要であろう。教授がいろんな用務で疲れ果てた姿をいつも学生に見せるようでは、学生も研究職に魅力を感じないであろう。また、あまり偉そうにも頭良さそうにもしないこと。日本人学生の場合だと、教授があまり偉そうだと、「自分はあるようにはなれない」とアッサリと諦めるであろう。もっとも、逆にそういった教授に臆せず議論を吹っ掛ける学生だと大いに見込みあるのだが。

教育とは単に知識を授けることではなく、当人の能力を引き出すことである。それには幾つもの方法があろう。生物は 38 億年の長い歴史において、遺伝情報を後裔につなぎ、その生をつないできた。教育ならびに育成とは、その遺伝情報に磨きをかけ、人を進化ならびに深化させることで、生活を豊かにすると同時に人をより幸せにするための営みに他ならない。ATI が、老若男女が集うことで、新しい智と力を生み出すことを信じてやまない。

< 研究アラカルト >

情報の熱力学

沙川 貴大 界面ナノ科学研究会

東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻 教授



近年、情報と熱力学の関係に新しい光が当たっています。本稿では、情報と熱力学を融合した研究領域、いわば情報熱力学の考え方をご紹介します。なお、以下の内容は7月出版予定の教科書[1]で詳しく解説する予定です。

1. はじめに

19世紀、物理学者マクスウェルは一つの思考実験を考案した。もし原子や分子を一つずつ観測して操作できる「デーモン」が存在すれば、仕事をすることなく熱力学系のエントロピーを減らすことができ、熱力学第二法則が破れるかもしれない。このような「マクスウェルのデーモン」が第二法則と如何に整合するかについては、その後150年にわたって物理学者たちが色々な議論を行ってきたが、20世紀のうちはその議論のほとんどが思考実験に基づいたものであった。しかし21世紀に入ってから、理論と実験の両面から状況は大きく進展した（レビュー論文として[2]がある）。

まず、非平衡統計力学と（量子）情報理論を融合して、情報量を熱力学量（熱や仕事）と対等に扱う、情報熱力学の現代的な理論が構築されてきた[3-6]。この観点からは、マクスウェルのデーモンとは、熱ゆらぎのレベルで熱力学系を測定し、その測定結果に基づいた操作（フィードバック制御）を行うデバイスであると理解できる。そのとき、デーモンが測定で得た情報量が本質的な役割を果たす。すなわち、デーモンの取得した情報のエントロピーと、熱力学エントロピーを両方考慮して初めて、デーモンと第二法則の整合性が理解できることになる。

また、現代では熱ゆらぎのレベルでの測定や操作は実験的に可能であり、デーモンはもはや思考実験上の存在ではない。実際2010年になって、コロイド粒子を用いた実験によってマクスウェルのデーモンが世界で初めて実験的に実現された[7]。その後、単一電子、NMR、超伝導量子ビットといった、量子系も含めた多くの系でデーモンの実験が行われるようになり、熱力学における情報の役割が実験的にも理解されつつある。また、古典・量子を問わず、ナノスケールの熱機関を制御・設計することは最先端の技術的課題でもある。

このように、マクスウェルのデーモンはもはや歴史の遺物ではなく、現代の熱力学の最先端の研究テーマになっている。その研究を通して、熱力学における情報の役割が深く理解され、情報処理に要するエネルギーコスト（仕事）の原理的な限界が解明されてきている。これは基礎物理として重要な問題であるだけでなく、低エネルギー消費のデバイスの設計など工学的な問題にも結びつくことが期待される。

2. シラード・エンジン

情報熱力学のアイデアをもう少し定量的に説明するために、シラード・エンジンを紹介しよう。これはシラード (Szilard) が 1929 年に考案した、マクスウェルのデーモンの最もシンプルなモデルである。

考える熱力学系は、体積 V の箱の中に古典的な単一粒子が入った、単一粒子気体である (粒子としてはたとえば単原子分子を想定できるが、コロイド粒子でも良い)。箱は温度 T の熱浴に接している。図 1 にシラード・エンジンの模式図を示す。なお、ボルツマン定数を k_B とする。

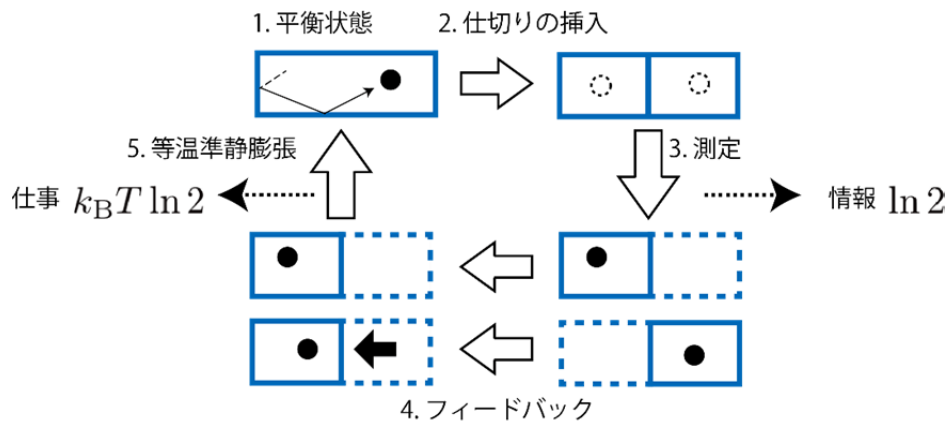


図 1: シラード・エンジンの模式図. 測定で $\ln 2$ の情報を得てフィードバックを行うことで、 $k_B T \ln 2$ の仕事を取り出すことができる。

1. 初期状態は温度 T の熱平衡状態であり、粒子は箱全体を飛び回っている。粒子は古典的であり、大きさは無視できるとする。
2. 箱の中央に仕切りを挿入し、体積 $V/2$ ずつの 2 つの箱に分ける。左と右に粒子が入っている確率はそれぞれ $1/2$ である。この仕切りは十分に薄いとすると、その挿入で粒子に仕事がされることはない。
3. デーモンが粒子が入っているのがどちらの箱かを測定する。測定に誤差はないとする。デーモンは「左」「右」のいずれかの測定結果を確率 $1/2$ で得る。この測定で得られる情報量は 1 ビットであり、自然対数で表すと $\ln 2$ である (\ln は自然対数)。なお、いま考えているのは古典系であるため、測定による粒子に対する物理的な影響は無視することができる。理想的には、測定によって系に対して仕事がなされることもない。
4. 次にデーモンの測定結果に基づいたフィードバックを行う。粒子が左の箱に入っていたら何もしない。しかし粒子が右の箱に入っていたら、右の箱を (体積を変えずに) ゆっくりと (準静的に) 左側に平行移動する。この移動の過程で、箱の左右の圧力は常に釣り合ったままなので、仕事は必要ない (自由エネルギーが変化していないことにも注意)。この操作のあと、箱は確率 1 で左側にある。なおこの操作は、測定結果 (左右) に応じて箱の動かし方を変えるという意味

で、フィードバックになっている。

5. 最後に、体積 $V/2$ だった箱を等温準静膨張させ、体積 V の初期状態に戻す。このとき外部に取り出される仕事 W_{ext} は、単一粒子理想気体の状態方程式 $pV = k_B T$ （ここで p は圧力）を用いて、

$$W_{\text{ext}} = \int_{V/2}^V p dV' = \int_{V/2}^V \frac{k_B T}{V'} dV' = k_B T \ln 2$$

と計算できる。

以上の過程は、初期状態と終状態が同じサイクルであり、熱浴は1つしかない。にもかかわらず正の仕事 $k_B T \ln 2$ が取り出せている。これは一見すると、熱力学第二法則——すなわち「単一の熱浴からサイクルで正の仕事を取り出すことはできない」あるいは「第二種永久機関は不可能である」というケルビン(Kelvin)の原理——に反しているように見える。デーモンと第二法則の整合性については後で改めて述べるが、ここでまず注目したいのは、取り出した仕事量 $k_B T \ln 2$ と、デーモンが取得した情報量 $\ln 2$ が比例していることである。ここに情報と熱力学の定量的な関係が示唆されている。

重要なのは、測定前の状態と、フィードバック後の状態を比べると、気体のエントロピーが $\ln 2$ だけ減少していることである（左右等確率だったのが左だけになった）。この過程でデーモンは仕事をしておらず、気体は熱を放出していないので、従来の熱力学とは異なる機構で系のエントロピーが減少したことになる。これがまさに取得した情報 $\ln 2$ を用いたフィードバックによってなされたことであり、デーモンによる操作の特徴である。そして、 $\ln 2$ のエントロピーの減少は $k_B T \ln 2$ の自由エネルギーの増加を意味しているので、それが最終的に仕事として取り出されたことになる。

3. 情報熱力学の第二法則

シラード・エンジンに限らず、より一般に測定とフィードバックによって仕事を取り出す熱機関（いわば、情報熱機関）について考えよう。測定で得た情報量は、情報理論で知られる相互情報量 I によって定量化することが出来る（シラード・エンジンの場合は $I = \ln 2$ である）。このとき、情報熱機関からサイクルで取り出せる仕事 W_{ext} の限界は、

$$W_{\text{ext}} \leq k_B T I$$

で与えられる。これは情報量と熱力学量（仕事）を対等に扱う形に拡張された第二法則に他ならず、相互情報量が仕事のリソースとなることを示している。シラード・エンジンの場合は、 $I = \ln 2$ に対応する最大の仕事 $W_{\text{ext}} = k_B T \ln 2$ が取り出せていることになる。この意味で、シラード・エンジンはもっとも効率の良い情報熱機関である。

情報熱機関と第二法則の整合性を理解するためには、情報を得て蓄えているデーモン自身も熱力学系と考える必要がある（図2）。デーモンは測定で得た情報を蓄えておく必要があるが、そのためには測定結果を記録しておく物理的な実体が必要になる。

この観点から、デーモンはしばしば「メモリ」と呼ばれる。そして、メモリが熱浴と接触していたらそれ自身が熱力学的に振舞うはずであり、メモリが情報処理を行う際には仕事が必要になるはずである。実際、メモリの時間発展がサイクルをなす（具体的には、測定を行って結果をメモリに書き込み、さらに初期化を行ってもとに戻す）とき、メモリに対して仕事をする必要がある、その下限は

$$W_{\text{demon}} \geq k_B T I$$

で与えられる。ここで I は上記と同様、測定で得た相互情報量である。したがって、デーモンと熱機関の全体から取り出せる仕事量は

$$W_{\text{ext}} - W_{\text{demon}} \leq 0$$

を満たし、熱力学第二法則に反しない。第二種永久機関は、たとえデーモンが存在しても不可能なのである。

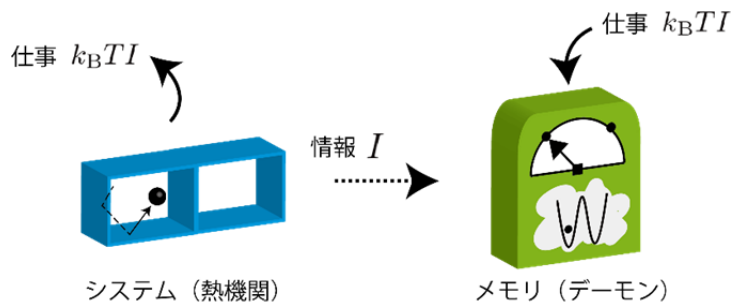


図 2: 情報熱機関の模式図。システム（熱機関）とメモリ（デーモン）の全体としては熱力学第二法則と整合している。この図におけるメモリは、二重井戸ポテンシャルで表された内部状態によってシステムの状態を記録している。

ただしここで重要なのは、デーモンと熱機関の間に直接のエネルギー（仕事）のやり取りがなくても（すなわち、純粋に情報をやり取りするだけでも）、熱機関から仕事を取り出せるという点である。メモリに対して測定過程などで必要な仕事 W_{demon} は、システムにエネルギー的に受け渡されるわけではなく、測定過程でシステムに仕事となされるわけではない。システムから仕事を取り出せるのは、フィードバックによって周囲の熱ゆらぎを整流して仕事に変換しているからである。この意味で、全体としては第二法則と整合しているものの、情報熱機関は伝統的な熱機関とは異なる概念である。

4. マクスウェルのデーモンのパラドックス

ここで、なぜマクスウェルのデーモンは第二法則と矛盾しないのか、その「パラドックス」の解決について歴史的経緯を交えて整理したい。

デーモン自身も熱力学に従う物理系として捉え、デーモンに要する熱力学的なコストを考えると全体として第二法則と整合するはずだという指摘は、1929年のシラードの論文の時点で既になされていた。そこでシラードは、測定に伴うデーモン自身のエ

ントロピー生成について考察している。しかしその後も、20世紀を通して色々な議論がなされてきた（論文集として[8]がある）。どのような物理的メカニズムで、どのようなプロセスにおいて、デーモン自身に仕事などの熱力学的コストが必要なのか、という論争が行われてきたと言える。

1951年の論文でブリルアン（Brillouin）は、測定にエネルギーが必要であると考えた。たとえば、シラード・エンジンの粒子の位置を光で測定するならば、光子が背景の熱輻射に埋もれてしまわないために、 $\hbar\omega \gg k_B T$ のエネルギーが必要ははずである。これはシラード・エンジンから取り出せる仕事 $k_B T \ln 2$ を打ち消すのに十分である。

しかし1982年の論文でベネット（Bennett）は、ブリルアンの議論は特定の（光子を用いた）測定モデルにしか妥当せず、一般には測定に仕事は必ずしも必要ないと議論した。そのかわりにベネットが着目したのが、デーモンのメモリに蓄えられた仕事を消去するプロセスである。先立つ1961年、ランダウア（Landauer）の研究によって、メモリから1ビットの情報を消去するには $k_B T \ln 2$ の仕事が必要だと議論していた（これをランダウア原理と呼ぶ）。デーモンが測定で得た情報を消去し、デーモン自身がサイクルとなるように初期化を行う過程で必ず仕事が必要だと、ベネットはランダウア原理に基づいて議論した。これにより、情報消去こそがデーモンと第二法則を整合させるというランダウア・ベネットの議論が、「マクスウェルのデーモンのパラドックスの解決」として長く受け入れられてきた。

さて、筆者が情報熱力学の研究を始めたのは修士1年のとき、2006年であった。当時はランダウア・ベネットの議論から25年近くこれといった進展のない状況であり、マクスウェルのデーモンは既に終わった歴史的なトピックであると考えられていたと言える。しかし筆者は、現代的な非平衡統計力学の理論を使えば、この問題を根底から考え直すことが出来ることに気づいた。

そもそも、ランダウア・ベネットの議論も、特定の形状のメモリのモデル（図2に示す左右対称な二重井戸ポテンシャルのような、対称メモリ）に基づいたものであった。実際、非対称メモリを用いれば仕事なしで情報消去が可能であり[4]、実験でも検証されている。すなわち、ランダウア・ベネットの議論もまた、特定の具体例に基づいたものだったのである。

そこで筆者らは、特定の思考実験を超えて、情報と熱力学を真に融合させる一般的な理論の構築に取り組み、情報熱力学の第二法則を理論的に導いた[3-6]。それによると、測定に要する仕事と消去に要する仕事には、一般にトレードオフがあり、両者の合計 W_{demon} の下限が先述のように $W_{\text{demon}} \geq k_B T I$ で与えられる。すなわち、測定と消去を合計してはじめて、仕事の普遍的な下限があるのだ。さらに重要なのは、 $k_B T I$ は測定で得た相互情報量に由来しており、「情報を取得するのに余分に必要な仕事」がデーモンに要する仕事の起源であるという点である（ただしこれは、ブリルアンとは全く異なる議論である）。このような議論によって、デーモンと第二法則の整合性が現代的に理解されると言えるだろう（詳細は[1,2]などを参照）。

5. おわりに

近年では、情報熱力学が色々な方向に広がりを見せつつある。まず、生物物理の文脈で、情報熱力学の生体情報処理への応用が盛んに研究されるようになってきた。生物の細胞の中には、マクスウェルのデーモンのような働きをする機構が実際に存在している可能性が指摘されている[9]。また、熱力学と量子情報の関係も興味深いテーマである。とくに最近注目されているのが、熱力学リソース理論と呼ばれる枠組みである。これは（統計物理の一分野として発展した狭義の情報熱力学とは異なり）量子情報理論の一分野としてここ数年で大きく発展しており、熱力学の背後にある情報理論的な深い数理構造が明らかになりつつある（筆者による教科書として [10]がある）。このように情報と熱力学の関係は、生物物理から量子情報まで一見すると大きく異なる分野を結びつける「横糸」のような役割を果たしていると言えるだろう。

参考文献

- [1] 沙川貴大, 『非平衡統計力学——ゆらぎの熱力学から情報熱力学まで』(共立出版, 2022).
- [2] J. M. R. Parrondo, J. M. Horowitz, T. Sagawa, *Nature Phys.* **11**, 131 (2015).
- [3] T. Sagawa and M. Ueda, *Phys. Rev. Lett.* **100**, 080403 (2008).
- [4] T. Sagawa and M. Ueda, *Phys. Rev. Lett.* **102**, 250602 (2009).
- [5] T. Sagawa and M. Ueda, *Phys. Rev. Lett.* **104**, 090602 (2010).
- [6] T. Sagawa and M. Ueda, *Phys. Rev. Lett.* **109**, 180602 (2012).
- [7] S. Toyabe, T. Sagawa, M. Ueda, E. Muneyuki, and M. Sano, *Nature Phys.* **6**, 988 (2010).
- [8] H. S. Leff and A. F. Rex (eds.), “*Maxwell’s demon 2: Entropy, Classical and Quantum Information, Computing*” (Princeton University Press, 2003).
- [9] S. Ito and T. Sagawa, *Nature Commu.* **6**, 7498 (2015).
- [10] T. Sagawa, “*Entropy, Divergence, and Majorization in Classical and Quantum Thermodynamics*”, SpringerBriefs in Mathematical Physics (Springer, 2022).

< コーヒーブレイク >

がっかりリモート？ビバ、リモート？

湯浅 裕美 研究助成選考委員

九州大学システム情報科学研究院 教授

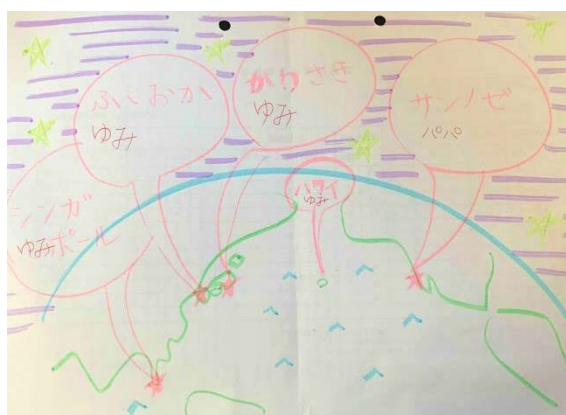


このご時勢どうしても触れたくなくなってしまう話題が、リモート生活。始めてみて浮き彫りになった様々な現象は、2年も経つことで当たり前になって来た事と思う。グローバル時代だからこそ感染が瞬く間に地球全体に広がったという側面と、一方でコツコツと作り上げて来た情報社会のお陰でまだしも社会生活を送る事ができているという側面は、技術のもたらした時代の特徴が表裏一体だとつくづく感じている。リモート生活には功罪いろいろ思い付くところではあるが、ここではポジティブに、常日頃良かったと感じている事を取り上げさせて頂く。

私の周辺という限られた範囲では、学生に講義を対面にするかオンラインにするかとアンケートを取ると、決まってオンライン希望者が圧倒的多数となる。だからと言って皆さんが出席の振りをして遊んでいるかという、そうではなく集中して聴いている人が居る事は、質問や指摘をして来ることから分かる。そんな時は、顔は見えないけどちゃんと聴いてくれているのだ、とちょっと嬉しい。恥ずかしがり屋の日本人学生は、教室よりもオンラインの方が質問をしやすいのかもしれない。キャンパスライフが無くて辛いというアンケート結果や、可哀相という声も聞くけれど、変化に順応しやすい人達は意外と楽しく過ごしているのかも。

この他、大学に出て来られず留年を繰り返して来たが、リモート2年を経て今年卒業を果たした、という例が少なからずあった。そもそも最近の留年は、遊びすぎとか他にやりたいことがあるとか、そんな積極的な理由からではなく、大学に来られなくなる事が一番多い理由だ。行かなくても良いのだと義務感から解放され、多様な学びが許容されて、社会生活への入り口が広がったのかもしれない。

教員の方はどうかと言うと、賛否両論だとは思いますが、会議のための出張が無くなったのが有難い。出張の度にシッターさんを手配し、ご飯を作り置き、友人宅へお願いし、等々、その周辺で発生する時間的・経済的・精神的な諸々が、一気に解決した。同様な境遇、子持ち専門職の仲間うちでは、そんな意見を共有している。もちろん膝を突き合わせて議論したり、何気ない会話から発見があったり、対面の価値は計り知れないのだけれども、時間は有限なので移動とか準備に掛かる時間が減ることで確実にQOLは上がった。



ここから先は個人的な話で恐縮ではあるが、実はコロナ禍の前から個人的にはプライベートで通信技術の恩恵を享受していた。我が家は仕事の都合で家族が別拠点で暮らしている。国境を跨いでいた期間も長い(当時の図参照)。技術者や研究者に転勤はつきものなので、特段珍しい訳ではない。グローバル時代の代表選手、飛行機でリアルに行き来してはいたが、一家団欒ツールとして一番役に立ったのが通信技術4Gだったのでと思う。高品質な画質と音質のお陰で、オフの時間はいつでもどこ

でも繋がっていられる。1か月ぶりのリアル再会でも、それでさ・・・、とつい先程の会話の続きから始められるのは誠に有難い話で、これはさすがに3Gの時代ではあり得ない事だった。

もっと臨場感をという事で、VR展示会なども増えてきているが、今のところ機能が限定的。いつでもどこでも臨場感が味わえるメタが出来上がっていくのを楽しみにしている。子供たちによると、そんなの当たり前じゃん、どこでもドアが欲しいよ、と言われてしまうが。

< 研究助成・奨励賞 >

<2021 年度 ATI 研究助成採択>

募集期間 : 2021 年 5 月～6 月
 応募者数 : 39 人
 審査期間 : 2021 年 7 月～8 月 (選考委員会)
 採択決定 : 2021 年 9 月 (理事会)
 助成金額 : 100 万円/人 × 5 人
 助成期間 : 2021 年 10 月～2022 年 9 月
 成果発表 : 2023 年 春予定

No.	研究テーマ	氏名	所属機関/役職
1	シリコン電子スピン対の位相反転相関の解明	米田 淳	東京工業大学 特任准教授
2	新規計測技術による細胞外小胞放出メカニズムの包括的理解	小嶋 良輔	東京大学 助教
3	原子層と MEMS を組み合わせた角度可変型複合原子層構造の実現	小野寺 桃子	東京大学 特任助教
4	Killing unkillable cancer cells with a light-responsive framework nanocarrier	于 躍	産業技術総合研究所 研究員
5	希薄窒化物半導体を基盤としたスピン選択輸送の開拓	樋浦 諭志	北海道大学 准教授

<2022 年度 奨励賞授賞>

募集期間 : 2021 年 10 月～12 月
 応募者数 : 10 人 (応募資格=研究助成採択者過去 5 年)
 審査期間 : 2022 年 1 月～2 月 (選考委員会)
 授賞決定 : 2022 年 3 月 (理事会)
 授賞式 : 2022 年 5 月予定 (賞状、副賞)

研究テーマ	氏名	採択	所属機関/役職
異種元素配合サブナノ粒子の物性・機能に関わる組成効果の解明	塚本 孝政	2018 年度	東京工業大学 科学技術創成研究 助教

<ATI 意見交換会 開催記 – ポストコロナ時代の研究と教育 II – >

ATI 意見交換会第 2 回を 12 月 1 日にオンラインで開催し、30 名と多数の ATI 関係者が参加しました。今回はオンライン懇親交流会も設け、4 時間にわたり真剣かつ自由な雰囲気での意見交換が行われました。

<主旨>

コロナ禍の中でコミュニケーション方法などが多様化した。コロナ禍で起きた変化のうち、何を残し、何を戻すべきか、そして新たに何を創り出すか。今後の研究活動と教育の姿を模索する。実際に研究者が直面している「研究の進め方」や「若手の教育」について、多くの立場の人の考え、問題、経験を聞きながら意見交換をし、今後の活動のヒントを得てもらう機会としたい。

<プログラム>

日時：2021 年 12 月 1 日 15:30～19:30

構成；挨拶 遠藤守信理事長 15:30～15:40

第 1 部 話題提供とディスカッション 15:40～17:00

座長：柴田直哉氏 界面ナノ科学研究会（東京大学）

○一杉太郎氏 界面ナノ科学研究会（東京工業大学）

○石田洋平氏 2020 年度奨励賞受賞（北海道大学）

○岸根純一郎氏 招待者（放送大学）

○齊藤英治氏 スピントロニクス研究会（東京大学）

第 2 部 全体ディスカッション 17:00～17:45

座長：齊藤英治氏

第 3 部 懇親交流会 18:00～19:30

フリーディスカッション

<飲み会セットを宅配>

意見交換キーワード

- ・研究と教育におけるデジタルトランスフォーメーション
- ・オンライン教育(学習効果を中心に)
- ・リモートワークと研究
- ・高等教育の役割



< 受賞紹介 >

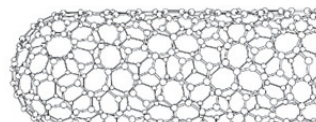
齋藤理一郎理事が江崎玲於奈賞を受賞

当財団の理事であり、ナノカーボン研究会の齋藤理一郎氏（東北大学教授）が、2021年度（第18回）江崎玲於奈賞を受賞いたしました。江崎玲於奈賞は、日本国内の研究機関においてナノサイエンスあるいはナノテクノロジーに関する研究に携わり、新分野の開拓が期待できるとともに世界的に高い評価を得た研究業績を挙げた研究者に、茨城県科学技術振興財団より授与されます。



受賞研究主題 「カーボンナノチューブの電子状態と共鳴ラマン分光の理論」

カーボンナノチューブ（以下CNT）は、1原子層のグラファイトであるグラフェンを円筒状に丸めた構造をしています。CNTの円筒の直径や、丸める方向を自由にとることができ、円筒面上の炭素の6員環の向きが変わります（図）。このCNTの立体構造は (n,m) の2つの整数で表すことができます。今日では、我々が定義した (n,m) が、各種名称と共に世界で用いられています。一本の単層CNTの電子状態は、丸め方によって金属にも半導体にもなります。 $n-m$ が3の倍数の時は金属、それ以外の時は半導体になります。1998年にMITのDresselhaus教授夫妻と共に「Physical Properties of Carbon Nanotubes」という本を出版しました。この本は現在までに11,171回引用（Google Scholar）されています。この本を読んでCNT研究を始めた、とお話される方は多いようです。



図：単層カーボンナノチューブ：強度は銅の20倍、電気伝導性は銅の1,000倍と極めて優れた素材として注目を集めている。

21世紀になると、CNTが大量に合成されました。現在では、国内外の複数の企業がCNTを1000トン/年単位で生産し、電気自動車に使用されるLiイオン電池の電流特性を改善する材料として増産しています。また、フィルム上に半導体CNT回路を作る技術が製品化されつつあります。そのほか、熱伝導材料、熱電材料、X線電極、高強度材料、発熱体、バイオ応用など幅広い応用があり、ATIナノカーボン研究会で20年にわたり議論してきました。

応用で重要になってくるのがCNT試料評価です。CNTの試料は黒い粉末であり、煤と見分けがつかえません。評価では欠陥の数、 (n,m) の分離精製純度、CNTの配向、など各種評価項目があります。光の非弾性散乱であるラマン分光でCNTを観測すると非破壊・非接触で評価できます。特に入射光のエネルギーを (n,m) の電子状態に共鳴したエネルギーにすると、強いラマン散乱強度を選択的に得ることができます。これを共鳴ラマン散乱と呼びます。我々はCNTの共鳴ラマン分光スペクトルに関する多くの理論を約20年間発表してきました。この研究成果は、グラフェンや原子層物質にも広く利用されていて、論文は今日でも毎年2,000件以上引用されています。



（授賞式 2022年3月10日、つくば国際会議場）

【 編集後記 】

今年に入ってオミクロン株が急激に感染拡大したものの 2 月下旬にはピークアウトしたようですが、新規感染者数も高止まり傾向でこのまま収束に向かうとは思えません。

このような環境下、ATI では皆様の協力を得て一昨年から研究会や理事会等のオンライン化体制を整え、更に対面とオンラインのハイブリッド化の対応も進めてきました。そして、その過程でオンライン会議ならではのメリットがあることもわかってきました。

近い将来、研究会は対面とオンラインそれぞれのメリットを活かした『研究会 2.0』へと進化して、更なる異分野融合への道を拓く一助になればと願っています。

さて、私事で恐縮ですが、この 3 月末をもって ATI/SII を退職いたします。2016 年に ATI に着任し研究会を担当してから丸 6 年になりますが、その間、至らぬ点が多い私を親切に指導してくださった研究会をはじめとする多くの人に、心より感謝しています。

温泉地での、研究や教育に関する（たまにはその他の柔らかい話題もあり）深夜におよぶ熱い議論が続出した研究会は、ATI の存在意義を肌で感じることができる貴重な機会であり、元エンジニアの私には居心地が良く元気をもらえる場でした。退職後は、趣味の旅行にもしばらく行けそうにないので、過去専門としていた画像認識や無線通信などの技術を使って”家庭内 IoT システム”でも作って遊ぼうかと考えています。

最後になりましたが、今後の皆様の更なるご健勝とご活躍を心よりお祈り申し上げます。

本当にありがとうございました。

守屋 宏一

〒104-0031

東京都中央区京橋 1-4-10 大野屋京橋ビル 3 階

電話 : 03-3516-3327

ホームページ : <http://www.ati.or.jp/>

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