

ATI News

第 16 号

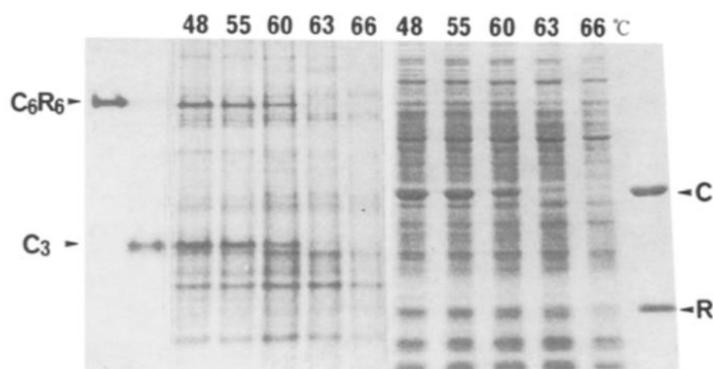


図1. 大腸菌遺伝子の中等度好熱菌での発現

発現している遺伝子は、大腸菌アスパラギン酸トランスカルバミラーゼ(ATCase)の触媒サブユニット(C)の遺伝子 *pyrB* 及び調節サブユニット(R)の遺伝子 *pyrI*。左側はnative PAGE、右側はSDS-PAGE。大腸菌ATCaseは、C₆R₆及びC₃の会合状態で、中等度好熱菌の細胞中60°Cまで安定に存在していることが分かる。

(資料提供:東洋大学 生命科学部)

*** 目次 ***	ページ
巻頭言「STEMエネルギーとSTEMマテリアル」 鯉沼 秀臣 (評議員)	1
研究アラカルト「極限環境微生物の耐熱性と放射線体制の研究」 鳴海 一成 (水和ナノ構造研究会)	2
ATI 国際フォーラム「5 th International Conference on Recent Progress in Graphene Research」 榎 敏明 (ナノカーボン研究会)	7
コーヒーブレイク 『健全な精神は健全な肉体に宿る』でフルマラソン完走！ 徳本 洋志 (評議員)	8
第8回ATI合同研究会「スピントロニクスとナノカーボン科学を啓く」 齋藤 理一郎(ナノカーボン研究会委員長)	10
挨拶講演「原子と核子 -桁違いだが似た世界-」 伊達 宗行 (理事長)	12
『ATI研究奨励賞』の設置	16
受賞・著書紹介	17

STEM エネルギーと STEM マテリアル

ATI 評議員 鯉沼秀臣

(東大・新領域創成科学研究科)

(筑波大・北アフリカ研究センター 客員教授)



太陽がある日突然なくなったら何が起きるだろうか？ 地球に到達する太陽光のエネルギーは現在世界中で使っている全エネルギーの 1 万倍に達しているのです、たちどころに地球は極寒の世界になり、あらゆる生物は死に絶えるであろう。現在の主要なエネルギー源である化石燃料も元をただせば長い時間をかけた太陽エネルギーの凝縮物である。地球固有の地熱や核燃料を動員しても全く太陽の代わりにならないことは言うまでもない。太陽光こそ、生命と地球環境を維持する幹 (ステム) エネルギーと言えよう。

生命は単細胞に始まり、未分化の ES 細胞を経て分化し、エネルギーと物質の出入りを繰り返しながら DNA の特定部位を RNA に転写し、特定のたんぱくを合成・増殖する流れの中で分化・成長し、やがて再生能力が低下して流れが止まれば死に至る。分化後の細胞から特殊な DNA カクテルで培養し、未分化細胞への初期化に成功したのが i-PS 細胞、分化したリンパ球に適切な刺激を加え未分化細胞を再生できたと報告したのが最近話題の STAP である。ES, i-PS, STAP セルを (万能) 多機能幹細胞 (ステムセル) と総称する。抽出した細胞というものが化学的、物理的処理によってステムセル化することは生物の 99.9% は物質からなり、生命現象も物質化学とエネルギーの原理で基本的に理解できるように見える。自然界の生物の初期化は生殖による単細胞

(卵子と精子) の融合で起こり、老化した生命はリフレッシュする。分化した生物のパーツから人工生命を生み出すことのリスク、個々の生命のアイデンティティ (自己認識) も物質化学の原理で理解、制御できるのか？ 疑問は尽きない。

夏の暑い日が続くと、やはり地球は温暖化していると実感し、冬に大雪が降ると寒

冷化説が出て原発は必要、なんて考えなくなる。我々の生命、生活、未来にとって何が一番重要であろうか？ 「それがないと一番困る」を評価基準とすれば、麻薬のような原発も、ナノテクも、人工万能細胞も、無くても生物は生きてきたことを考えれば、大した問題ではないかもしれない。

酸素 20% の地球環境での物質・材料の老化現象は酸化反応として顕在化する。化石燃料の燃焼による CO_2 、 H_2O ばかりでなく、約 100 種の元素の大部分は錆びて地殻や海洋を構成する。酸化物はステムマテリアルとして食品や生物系への分化基盤を提供する。太陽は CO_2 、 H_2O を光合成によって高エネルギー物質 (炭水化物など) へ分化する原動力となり、地球環境バランスを保ってきた。幸い太陽は今後 50 億年くらい燃え続けてくれそうである。太陽光のサポートで、効果的にエネルギー老廃物 (酸化物) を活性化し、食物や有用化学物質、構造物や各種機能材料に変身・再生する未来科学技術はなんだろうか？

日本学術会議が世界に発信した「サハラソーラーブリーダー (SSB) 計画」は、サハラはじめ世界中で手に入る固体酸化物のシリカをソーラー Si、さらに太陽電池に分化して原発を凌駕する巨大太陽光発電所を作り、電力を高温超伝導酸化物で世界に直流送電する究極の地球エネルギー体系である (<http://www.ssb-foundation.com/>)。

「ステムマテリアル」と「ステムエネルギー」の融合による SSB は、原発に依存せず、それを超える経済・産業の新世界を拓くポテンシャルを有する。北アフリカ、中東、中央アジアの資源国も、化石燃料で豊かなうちに次の手を打ちたいと考えている。SiO₂ を主成分とする無尽蔵の砂をソーラー Si に転化する日本の提案に賛同し、国際共同プロジェクトの推進を求めている。

極限環境微生物の耐熱性と放射線耐性の研究

水和ナノ構造研究会委員 鳴海 一成
(東洋大学生命科学部教授)



我々人類は、多少暑い寒いと言いながら、地球環境の中でも比較的温和なところで暮らしている。ところが、微生物の中には、我々の常識から外れて、生物がとても生息できないだろうと思われる地球環境で、平気で生きているものがあり、これらをまとめて極限環境微生物と呼んでいる。好熱菌、好冷菌、好アルカリ菌、好酸菌、好圧菌、好塩菌、有機溶媒耐性菌、乾燥耐性菌など、多種多様の極限環境微生物が知られている。これらは、長い進化の過程でそれぞれの極限環境に適応してきたのであろう。極限環境微生物にとってみれば、その環境は過酷でもなんでもなくて、とても居心地の良い環境なのかも知れない。逆に、人間はなんであんなところに好んで住んでいるのだろうと不思議がっているかもしれない。

1. 好熱菌とタンパク質の耐熱化

もう四半世紀以上経ってしまったが、大学院生の頃、私は自治医科大学の物理学教室に居候しており、好熱菌の細胞内で常温菌の遺伝子を発現させて、タンパク質の耐熱化を目指すという研究を行っていた。ちなみに、現在、バイオ単分子研究会委員をしている養王田正文先生は、ちょうど同時期に、自治医科大学の生化学教室に出没していたようで、ちょくちょくお見かけしていた。研究を開始する際に、当時のボスである木原裕先生と共に、東工大に居られた大島泰郎先生を訪ね、研究対象の微生物を中等

度好熱菌にするべきか、高度好熱菌にするべきかを相談させて戴いた。好熱菌はその生育温度によって、3つに分けられる。55~75℃の範囲で良好に生育するものを中等度好熱菌、75℃~90℃の範囲で良好に生育するものを高度好熱菌、90℃以上で生育できるものを超好熱菌という。大島先生の研究室では高度好熱菌 *Thermus thermophilus* を研究対象にしており、高度好熱菌の 3-イソプロピルリンゴ脱水素酵素のタンパク質結晶化に成功したと嬉しそうにお話してくださったことを今でも鮮明に覚えている。そのときに、*Thermus* とは違う中等度好熱菌を研究したらとアドバイス戴き、研究者としての私のキャリアは、中等度好熱菌から始まった。

その当時、特定の外来遺伝子の導入が可能な中等度好熱菌が限られていたので、使い勝手の良い遺伝子操作系を開発することから研究を開始した。結局、沖縄の万座ビーチの砂から新規に分離した中等度好熱菌 *Bacillus denitrificans* (当時の名称は *Bacillus stearothermophilus*) K104 株を改良して、遺伝子操作可能な汎用性宿主 K1041 株を開発し、また、秋田県鹿角市のドライブインの植込みの土から分離した中等度好熱菌由来の潜在性プラスミド pSTK1 をベクター化したものを用いて、常温菌である大腸菌のタンパク質を、K1041 株で 60℃ の培養温度で、可溶性画分に大量に発現させることに成功した。63℃や、

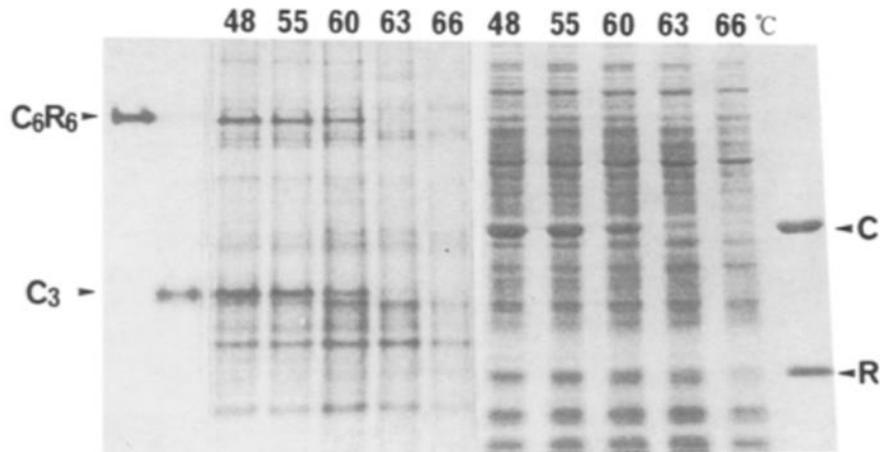


図1. 大腸菌遺伝子の中等度好熱菌での発現

発現している遺伝子は、大腸菌アスパラギン酸トランスカルバミラーゼ(ATCase)の触媒サブユニット(C)の遺伝子 *pyrB* 及び調節サブユニット(R)の遺伝子 *pyrI*。左側はnative PAGE、右側はSDS-PAGE。大腸菌ATCaseは、 C_6R_6 及び C_3 の会合状態で、中等度好熱菌の細胞中60°Cまで安定に存在していることが分かる。

K1041 株の生育上限温度の 68°Cでは、もはや発現は認められなかった (図 1)。この遺伝子操作系を使用し、ランダム変異を導入した大腸菌の遺伝子を宿主好熱菌で発現させれば、タンパク質の耐熱化が可能であろうというところまで漕ぎつけたが、論文を数報出したところで、大学院でのこの研究は時間切れとなった。

2. 放射線抵抗性細菌との出会い

どんな生物でも、多かれ少なかれ自然放射線のレベルを超えて、放射線に耐性を持っている。実際には、生物の放射線耐性には千倍以上もの違いがある。残念ながら、地球上の生物の中でも我々人類は、放射線に特に感受性が高く、10 Gy 程の放射線を急激に浴びると確実に死に至る。ところが、生物の中でも、ずば抜けて放射線に強い微生物が知られており、放射線抵抗性細菌と呼ばれている。ガンマ線照射により滅菌したはずの牛肉の缶詰から放射線抵抗性細菌 *Micrococcus radiodurans* (現在の分類では *Deinococcus radiodurans*) が単離されたとい

う報告があったのは 1956 年であり、放射線抵抗性細菌は最も古くに分離された極限環境微生物の一つと言える。*D. radiodurans* は、6,000 Gy の放射線を浴びても、生き残るのである。大腸菌と比べても約 100 倍放射線に耐性を持っている (図 2)。



図2. 寒天培地に生育した放射線抵抗性細菌のコロニー

2 Xp 6	好熱菌潜在性プラスミド pSTK 1 の塩基配列とその解析*中山憲幸, 鳴海一成*, 中本信也, 木村敏幸*, 木原 裕** (NEC, *宇都宮大農化, **自治医大看護短大) 133
2 Xp 7	好熱菌潜在性プラスミド pSTK 1 からの熱安定性ベクターの構築*鳴海一成, 中山憲幸*, 中本信也*, 木村敏幸, 柳沢 忠, 木原 裕** (宇都宮大農化, *NEC, **自治医大看護短大) 134
2 Xp 8	微細藻類の宿主ベクター系(4) <i>Spirulina platensis</i> の形質転換の検討*河田悦和, 矢野伸一, 小嶋洋之 (工技院大工試) 134
2 Xp 9	<i>D. radiodurans</i> - <i>E. coli</i> シャトルベクターの構築*菊地正博, 渡辺 宏, 北山 滋* (原研高崎, *理研細胞生理) 134
2 Xp 10	乳酸球菌 <i>Lactococcus lactis</i> における多コピーベクターの作製*木脇真祐美, 久代 明, 池邨治夫, 左古知行, 平島昭和 (ヤクルト中研) 134

図3. 日本農芸化学会1993年度大会プログラムの抜粋

仙台で開催された日本農芸化学会 1993 年度大会で、私は放射線抵抗性細菌の存在を初めて知った。私の中等度好熱菌に関する研究発表と同じセッションで、日本原子力研究所高崎研究所の渡辺宏バイオ技術研究室長(のちの高崎研究所長)と理化学研究所細胞生理学研究室の北山滋先生のグループによる、放射線抵抗性細菌の遺伝子操作系の開発についての研究発表を聴いたのである(図 3)。最初は、世の中にはもの凄い微生物がいるんだなあという程度の印象であった。ところが縁あって、1 年後には日本原子力研究所高崎研究所で、放射線抵抗性細菌の放射線耐性遺伝子群の単離及び機能解析というテーマで研究に従事することになり、以来、極限環境微生物から離れられず、現在に至るまで放射線抵抗性細菌の研究を続けることになったのである。

3. 放射線耐性遺伝子の単離

放射線抵抗性細菌 *D. radiodurans* といえども、放射線を浴びると DNA がズタズタに切断されてしまう。ホスホジエステル結合がつながってできている DNA の骨格が切断されるのである。片方の鎖が切断された DNA は、DNA

ポリメラーゼや DNA リガーゼといった DNA 修復酵素の働きで、比較的容易に修復される。しかし、一方の鎖の切断部位の近傍で他方の鎖が切断された場合は、二本鎖切断となり、これは一般的な生物にとって修復が非常に困難で厄介な DNA 損傷である。大腸菌は、ゲノム中に数個の二本鎖切断が生じると増殖できなくなる。しかし、*D. radiodurans* は、ゲノムに生じた 100 ヶ所以上の二本鎖切断を、短時間で完全に修復してしまう。知りたいのは、この細菌が持つ効率良くしかも正確な DNA 二本鎖切断修復の分子メカニズムである。

放射線抵抗性細菌の研究で私が最初に単離を目指したのは、DNA の鎖切断を修復する酵素である DNA リガーゼの遺伝子であった。放射線抵抗性細菌の DNA リガーゼには、他の生物にはない特殊な機能があるのかも知れないと考えたのである。当時の常法に従い、DNA リガーゼで保存性の高い領域の配列を基に設計したオリゴヌクレオチドをプローブに、*D. radiodurans* のゲノムから DNA リガーゼ遺伝子のクローニングを行った。ところが、クローニングに成功したと思って遺伝子の配列を調べたところ、DNA リガーゼではなくて、乳酸

脱水素酵素の遺伝子であった。設計したオリゴヌクレオチドプローブがどちらのタンパク質にもある補酵素 NAD の結合部位を認識していたのである。実験は失敗したのであるが、せっかく乳酸脱水素酵素の遺伝子をクローニングしたので、これで論文を執筆することにした。

乳酸脱水素酵素は、タンパク質の耐熱化機構研究のモデルとして知られている。*Bacillus* 属細菌には、好冷菌、常温菌、中等度好熱菌、高度好熱菌が存在しており、これらの菌の乳酸脱水素酵素のアミノ酸配列を比較することで、タンパク質の熱安定性に関与するアミノ酸残基を特定することができるという研究が過去になされていた。ところが、*Bacillus* 属細菌は、生育温度が上がるにつれて、DNA の GC 含量も高くなる傾向が認められる。これでは、タンパク質のアミノ酸配列を比較しても、その差異がタンパク質の耐熱性に関与するものか、それとも単に GC 含量の偏りに起因したものなのかを区別することができないという問題が生じる。

一方、*D. radiodurans* は至適生育温度が 30°C の常温菌であり、しかも、至適生育温度が 75°C の高度好熱菌 *T. thermophilus* と同じ *Deinococcus* 門に属し、系統分類学上、すなわち進化的にごく近縁である (図 4)。両細菌に共通の酵素は、遺伝子レベル及びタンパク質レベルで、もちろん非常に高い相同性を持つ。その上、どちらの菌の GC 含量も約 70% 程度である。そこで、*D. radiodurans* と *T. thermophilus* の乳酸脱水素酵素のアミノ酸配列を比較すれば、GC 含量の偏りによるアミノ酸置換の可能性を排除して、タンパク質の耐熱性に真に関与するアミノ酸を推定できるという粗筋である。

幸い、*T. thermophilus* の乳酸脱水素酵素の遺伝子は既に報告があり、クローニングした *D. radiodurans* の乳酸脱水素酵素の配列を比較解析するだけで良かった。解析してみると、*D. radiodurans* に比べて *T. thermophilus* では、タンパク質分子表面での親水性アミノ酸残基の偏在と、タンパク質内部での疎水性アミノ酸の偏在が顕著に認められるという結果を得た。この結果を日本農芸化学会 1995 年大会で発表したところ、大会トピックスのひとつとして取り上げられ、その後すぐ新聞記者の取材を受けて新聞掲載されることになってしまった。私の上司であった渡辺宏バイオ技術研究室長は、この新聞記事を見た原子力研究所の当時の担当理事に、こんな研究をしていることを何も聞いていないぞと言われたそうだが、事情を説明してなんとか納得して戴いたとのことである。

放射線耐性遺伝子の単離の話からかなり軌道が外れてしまったので話を元に戻すと、私の実験技術の腕が上がったからかどうかは知らないが、その後は順調に放射線抵抗性細菌の放射線耐性に関わる遺伝子群をクローニングして、カタラーゼ遺伝子 *katA*、ヌクレオチド除去修復系の遺伝子 *uvrA*、その後、*recN*、*recR*、*recA* といった組換え修復系の遺伝子群を、高崎量子応用研究所で次々と解析することができた。当時、日本原子力研究所東海研究所の先端基礎研究センターには、センター長として伊達宗行先生、中性子構造生物学の研究グループリーダーとして新村信雄先生が活躍されており、高崎と東海の間での原子力研究所内のバイオ分野の研究者の交流が盛り上がってきた時期でもあった。この頃に、放射線抵抗性細菌にのみ見られる新規放射線耐性遺伝子 *pprA* を

発見し、この遺伝子から作られるタンパク質が、DNA 切断末端に結合し、修復過程では望まれない DNA の酵素的分解から DNA 末端を保護すると同時に、DNA リガーゼによる DNA 鎖切断末端の再結合反応を強力に促進する作用を持つことを明らかにできた。また、技術移転によって、PprA タンパク質と DNA リガーゼを組み合わせた高効率 DNA ライゲーションキットの実用化にも成功した。その後、原子力機構東海の黒木良太ユニット長や安達基泰研究副主幹らの協力を得て、PprA タンパク質の X 線結晶構造をほぼ明らかにしつつあり、PprA タンパク質の構造機能解析は新たなフェーズに突入した。

4. 再び好熱菌へ

上述した通り、*T. thermophilus* は *D. radiodurans* と進化的にごく近縁種であり、両細菌の代謝系は基本的に非常に類似している。*T. thermophilus* と *D. radiodurans* が共通して持つ多くの DNA 修復酵素群は、耐熱性は異なるが、アミノ酸配列の相同性が高いことから、

DNA 修復に関わる機能に関しては差異があまりないものと考えている。しかし、*T. thermophilus* の放射線耐性は著しく弱く、その一因として *T. thermophilus* が *pprA* 遺伝子を持っていないことが考えられる。

そこで、*Deinococcus* 属細菌しか持たない *pprA* 遺伝子を *T. thermophilus* に導入して発現させ、放射線照射後でも 75°C で良好に生育するクローンの作出を試みる実験を今後やってみたいと考えている。ランダム変異によって耐熱性を獲得した PprA タンパク質変異体が高温で機能しているクローンを選抜するのである。これによって、放射線に弱い生物に放射線耐性を付与する新たな方策を示せるのではないかと考えている。加えて、得られた PprA タンパク質は耐熱性を有しているのも、その機能を利用した新たな遺伝子工学試薬を開発に繋がるという一石二鳥で、生命科学の新たな展開に貢献できると思っている。

振り返ってみると、大学院生のときにやり残したことに、今から改めて挑戦することになるのであろう。

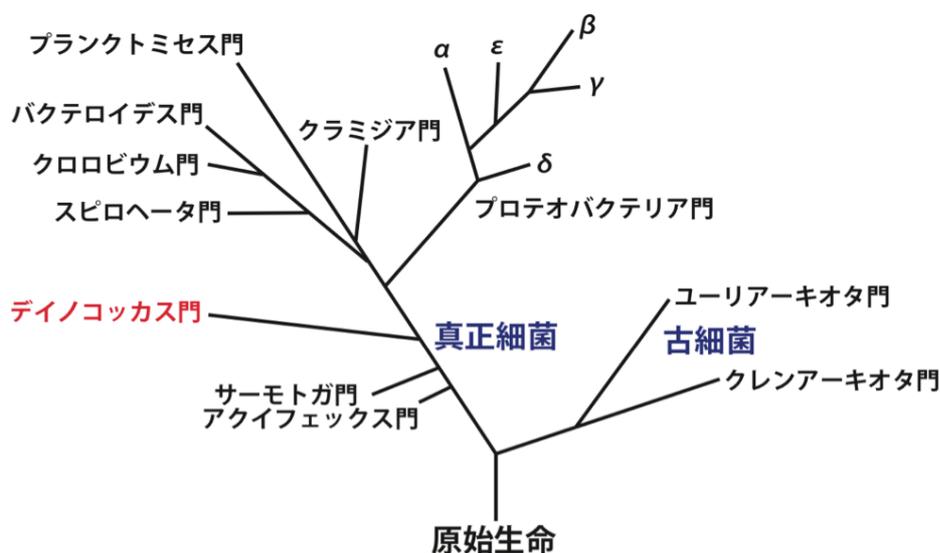


図4. デिनोकッカス門の進化的位置

高度好熱菌 *T. thermophilus* と放射線抵抗性細菌 *D. radiodurans* はデिनोकッカス門に属する。

5th International Conference on Recent Progress in Graphene Research (RPGR 2013)

ナノカーボン研究会委員 榎 敏明
(東京工業大学 名誉教授)



5th International Conference on Recent Progress in Graphene Research(RPGR 2013)が9月9日-13日に東京工業大学大岡山キャンパス Tokyo Tech Front で開催されました。この会議はグラフェンに関する最も重要な会議の一つであり、第1回のソウルでの会議が2009に開催され、その後、シンガポール(2010)、スオン(2011)、北京(2012)と、グラフェン研究の盛んなアジア各地で開催されてきました。今回の会議はこのシリーズの第5回目の会議であり、日本で開催される初めてのグラフェンに関する大きな国際会議でした。

本会議はグラフェンに関する様々な科学技術領域・分野での最新の成果を公表・議論する場とし、結晶物理、電子物性、分光、表面分析、熱伝導特性、結晶成長・合成、デバイス・プロセス・用途開発、二次元物質等を課題として討論が行われました。また、グラフェン研究に関連する、結晶成長、デバイスプロセス、分光・分析、計測評価、数値解析等の最先端装置・機器・シミュレータの企業展示も行われました。

参加者はアジア諸国(韓国、中国、台湾、シンガポール、日本、インド、オーストラリア)を中心に、18か国から合計423人に上り、基礎物理・化学、材料科学、デバイス応用研究者の他、企業からもグラフェン関係者が多数参加しました。また、講演数については、keynote講演4件、招待講演28件、一般口頭講演58、ポスター講演185の合計275件が4日間の講演スケジュールの中で行われました。

第一日目は参加登録とウェルカムパーティーが行われ、沢山の参加者が参加しました。講演プログラムは第二日目から行われ、第二日目は、飯島澄男名誉委員長によるopening addressに引き続き、ノーベル賞受賞者Konstantin Novoselov教授による“Graphene, other 2D atomic crystals and their heterostructures”と題するkeynote講演が行われました。その後、パラレルセッションの招待講演、一般口頭講演、ポスターセッションが行われました。第二日目は、Young Hee Lee教授による“Observing graphene grain boundary by optical microscopy”と題するkeynote講演に引き続き、招待講演、一般口頭講演のパラレルセッションとポスターセッション、およびバンケットが行われました。バンケットでは、International Advisory Board ChairのAntonio Castro Neto教授、ATI伊達宗行理事長、尾辻泰一組織委員長、長谷川雅考組織委員長がスピーチされ、参加者間の歓談と交流が大いに盛り上がりました。第三日目は、Rodney S. Ruoff教授による“Graphene-based and Graphene-derived Materials”と題するkeynote講演に引き続き、招待講演、一般口頭講演のパラレルセ

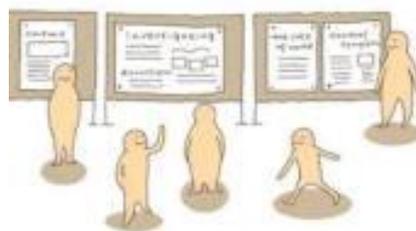


ッションとポスターセッションが行われました。第四日目はKazu Suenaga博士による“Atomic imaging and spectroscopy of defects and edge structures in two-dimensional materials”と題するkeynote講演に引き続き、招待講演、一般口頭講演のパラレルセッションが行われ、会議の最後にAntonio Castro Neto教授によるClosing remark、2014年の次回RPGR 2014(Taipei)の組織委員長Chun-Wei Chen教授によるアナウンス、榎敏明組織委員

長による挨拶と会場担当者の紹介が行われました。

会議では、グラフェンに関係する基礎から応用まで、広い範囲の多方面の研究分野での質の高い研究成果の発表と活発な議論が行われました。また、今回の会議では、企業展示を中心に、多くの企業関係者が出席し、口頭セッションでは、企業セッションを設けるなど、基礎研究、応用研究にとどまらず、産業活動についても積極的な交流がなされました。

現在、グラフェンに関する国際会議は、Graphene Week、Graphene 20XXと今回のRPGRが、重要なものとして、世界のグラフェンコミュニティの主要な交流の場となっていますが、多くの国から多数の研究者が参加した今回の会議は、グラフェン研究の発展に重要な貢献をするとともに、今まで重要な研究貢献をしてきたにも関わらず、グローバルコミュニティでの存在感の薄かった日本のグラフェン研究の重要な発信をすることができたものと確信しております。開催に当たって貴重なご支援を頂きました新世代研究所のご厚意に改めて感謝いたします。



「健全な精神は健全な肉体に宿る」でフルマラソン完走！

ATI 評議員 徳本洋志



この格言の起源は、ローマの詩人 Juvenal (ユウェナリス) の風刺詩中の「健康な身体の中にあるその精神が健全になるように祈るべきだ (It is to be prayed that the mind be sound in a sound body)」にあるという。ところが、「健全な精神は健全な身体に宿る (A healthy mind in a healthy body)」という意味で広く用いられている。この度ソチ・冬季オリンピックに参加された選手の皆さんが「サポートをしてくださった皆さんに感謝の気持ちを伝えたい」と揃って口にしたことはその表れで、ファンサービスや社会貢献活動などを通じて多くの人から尊敬される人も多いようだ。でも近年、スポーツ界では目や耳をふさぐ体罰等が見られたり、政治家や要人の心もとない発言や行動が続き目に余る状況であるが、「健全な精神は健全な身体に宿りますようにという祈り」の気持ちがこみ上げてくる。

自らを眺めてみると、いろいろ考えさせられることが多い。数年前に退職すると「肉体」に綻びをきたし、「健全な精神」どころではなくなっている。決まった時間に起き食事をとり徒歩で通い、学生や機械の前を動き回ることがなくなったのである。だからといって、雑用やいろいろのメ切に追われ「健全な精神」であったかは疑問でもあるが。ところが退職後、家族の住むつくば近郊に戻ってくると、起きたいときに起き・食べたい時に食べ・テレ

ビの番人のような生活が始まり、体重が増加するなど生活習慣病の危険域に入るとともに、肉体の綻びも目立つようになった。専門医からはショックな「糖尿病」「歯周病」だと言われ、治療はもとより「食事」と「運動」の両面からの対策が必須となった。かくして「健全な精神は健全な身体に宿る」に励まなくてはいけないことになった。

まずは、野菜を中心とした食事の方は家族にお願いし、自分自身はもっぱら「健全な身体づくり」に励むことにした。主治医の勧めと本「あるくとなぜいいか？」(大島清, PHP 文庫)の教えにしたがい、朝夕の散歩をはじめた。この散歩やジョギング程度では健全な身体を得るには効果が薄かったので、ランニングへと飛躍させた。三日坊主に終わらせない(7割が半年以内に挫折しているという)ため、素人も対象にしたランニングクラブに参加した。クラブでは70歳を超えた現役の女性(マスターズ陸上選手)のコーチングのもと、ジョギングからランニングへと飛躍させ、ストレッチや筋トレも行いランニング練習に励んだ。すると3カ月余りで20kg近く減量でき血糖値も正常値になり気分も爽快になった。これに気を良くし、今では公開のマラソン大会で走ることも楽しむまでになり、68歳にして「かすみがうらマラソン」、「北海道マラソン」、「つくばマラソン」を完走した。かたやゴルフサークルにも参加し、月に4回程度のプレーを楽しんでいる。多くの仲間とランニングやゴルフをすると気分も爽快になり、「肉体と同時に精神も健全」になってきたようである。まさしく「健全な精神は健全な肉体に宿る」の真ただ中にいる。今後、皇居周回マラソンや東京マラソン(10倍の競争率だが)も走りたい。機会があれば皆さんともご一緒したいと願いつつ……。



かすみがうらマラソン(気温5℃, 雨中)
を走る筆者(左)



第 8 回 ATI 合同研究会 開催記
『スピントロニクスとナノカーボン科学を啓く』
— 異分野交流の重要性と可能性 —

実行委員長 齋藤理一郎（ナノカーボン研究会委員長）

2013 年 11 月 27 日(水)に TKP お茶ノ水カンファレンスセンターで、第 8 回 ATI 合同研究会が開催されました。合同研究会は、ATI の 2 つの研究会が合同でテーマを決めて研究会を行うもので、今年度はスピントロニクス研究会（代表：大谷義近）とナノカーボン研究会（代表：齋藤理一郎）が、上記のタイトルで行いました。研究会では、まず伊達理事長からの挨拶講演として、格子 QCD（量子色力学）による原子核の中の中性子と陽子間のポテンシャルが、物性物理学の原子間ポテンシャルと（スケールを変えて）全く同じ形になるという先生ご自身の「発見」の話がありました。この話は、今回の異分野交流の重要性という副タイトルと見事にマッチしています。異なる分野の全く異なる現象が非常に似ているふるまいをすることがあり、人的(異分野)交流によってそういう一つの分野の常識が別の分野で大きなブレークスルーになることがあります。その異分野交流の重要性を合同研究会の「横の線」のテーマとして選んだからです。

研究会ではナノカーボン分野からは、東大の生産技術研究所の町田友樹先生からグラフェンに関する話題提供がありました。BN（ホウ化窒素）という平らな原子層にグラフェンを載せると、グラフェンのさまざまな特異な量子現象を室温でも観測できるそうです。先生は別の分野からグラフェンの分野に参入して大きな成果をあげられました。もう一人は産総研の田中丈士先生に、ナノチューブ研究で最も難問であると考えられていた、立体構造の分離法の開発に関してお話いただきました。この難問を突破するには、アガロースと呼ばれる多糖類とさまざまな界面活性剤の絶妙な関係がキーワードになります。田中先生は生物出身から全く異なる分野の研究に参入したことがこの難問の突破につながります。後半はスピントロニクス分野から、京都大学の白石誠司先生にグラフェンの純スピン流（電流がゼロでスピン情報だけの流れ）をご説明いただきました。白石先生は大学院時代に素粒子理論研空室、そのあと SONY 研究所でナノチューブの研究をされた後大阪大学、そして京都大学といろいろな分野と現場を経験された先生です。素粒子理論時代に勉強したマヨラナ粒子（対称性に関係しない特殊な粒子）の理論がグラフェン研究で出てくるとは想像もしなかったと述べられたことが印象的でした。次に理化学研究所の多々良源先生が、電磁気学でマックスウェル方程式が成り立つのと同じ形式で、スピンに対しても別のマックスウェル方程式が成り立つことを説明されました。この方程式を用いると、スピントロニクス

の運動を新たな基礎方程式で解くことができるというものです。多々良先生も別の分野からスピントロニクス分野に入られた方です。4人の共通点は、異なる分野での仕事が現在の仕事に有効であったことであると思いました。

今年は、ATI 助成研究の報告も合同研究会で行うことになりました。2012 年度から再開した研究助成の中から 2 件報告をしていただきました。東北大学の菅原克明先生が 2 層グラフェン層間化合物の新規物性に関して、また東京大学の守谷頼先生から酸化バナジウムナノ細線上の金属・絶縁体ドメイン壁のダイナミクスに関してご発表がありました。若い研究者には多くの質問がありました。最後に、副理事長の新庄先生からご挨拶をいただきました。ご挨拶で、啐啄同時（そったくどうじ）という言葉のご紹介があり、そのあとの懇親会でもひとしきり話題になりました。啐啄同時とは、鶏の雛が卵から産まれるとき殻の中から卵の殻をつくこと「啐」と、親鳥が外から殻をたたくこと「啄」が同時であってはじめて、ことがなされるという意味だそうです。師匠と弟子や合同研究会などにも通じる言葉であると思いました。



発表者 白石先生(左)、大谷先生(右)、TKP お茶ノ水カンファレンスセンターでの発表にも参加者から多くの質問がありました。

原子と核子

－ 桁違いだが似た世界 －

理事長 伊達宗行

1. 序説

昨年は核子（陽子、中性子）の中に点状のクォークがあり、高エネルギー電子を打ち込むことでその存在が見える話をした。今年はその続きで、核子関の相互作用を取り上げる。とはいってもむつかしい話ではなく、スーパーコンピュータでようやく姿を現した核子間相互作用の形が、物質科学でおなじみの原子関相互作用と大変良く似ているという話である。

核子間相互作用は、極めて複雑な量子色力学の計算をしなければならず、しかもその結果ポテンシャルエネルギーが定義できる形で現れるかどうかすらわからないという状況にあったが、青木慎也、初田哲夫、石井理修氏等はそれをえぐりだすフレームワークを作り出し、当時世界最速の高エネルギー研究所のスーパーコンピュータを 4000 時間使い、計算をすることに成功した。この成果は 2007 年のネイチャー・リサーチハイライト科学全分野で 21 件のひとつに選ばれた。この 21 件の中に日本からは 2 件採用され、他の一件は山中伸也氏の論文だったというから、評価の高さがわかる。2012 年の仁科記念賞もこの仕事に与えられた。

ところでこの研究で姿を現した核子関ポテンシャルをみると、我々が物性科学でおなじみの原子間ポテンシャル、レナード・ジョーンズポテンシャルと大変良く似ていることがわかる。勿論、距離、エネルギーとも 5-6 桁違う世界のことである。これはむしろ驚きといってよい。スケールングをするとピタリ重なるのである。具体的な曲線を眺めながら、自然のおもしろさを楽しもうというのが今回の話題である。

2. 二原子模型とクーロンエネルギー

簡単な物性の復習を兼ねて、今日の主題の準備をする。固体の成立に必要な原子関の結合

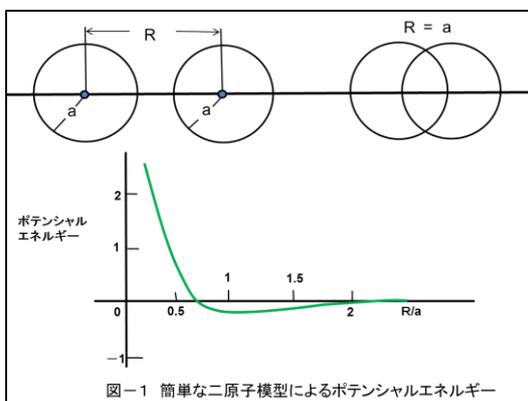


図-1 簡単な二原子模型によるポテンシャルエネルギー

力についてはよく整理されており、イオン結合、共有結合、金属結合が三大様式だが、これに希ガスの凝集力であるファン・デル・ワールズ結合（誘電結合）や水素結合が加わる。これらに共通のことは、高温ガス、あるいは液体中において自由に動いていた原子や分子は所定の環境で所定の結合力で結合するが、ある距離以下では強い反発力の存在で押し返され、安定平衡

点に収まる、ということである。これらの素過程は二原子模型で説明するのが簡明である。例えば誘電結合にはレナルド・ジョーンズ模型とその公式が広く知られている。

キッテルの固体物理学入門(上)の第三章、結晶結合の図-3・8（第四版）に簡明で教育効果のある二原子模型とそのクーロンエネルギーが示されているので引用する。図-1 がそれであるが、中心距離 R の関数として表した、半径 a のふたつの球のクーロンエネルギーで、それぞれの球は、中心にプラス q の点電荷を持ち、かつ球全体に一樣に分布したマイナス q の電荷を持つ。電荷は剛体的であるとする。したがって誘電効果は起きないとし、パウリの原理など、量子効果も起きないとする。つまり古典電磁気学で考える。するとこの原子ポテンシャルは図のような曲線となる。ここで極小点は $R/a=1$ にあり、 R がそれより小さくなると反発力が急速に高くなる。非常に簡単なモデルだが二原子模型として適切なものとなっている。

3. 核力—量子色力学の世界—

本題に入る。原子核は核子である陽子、中性子から成り立っているが、電気的には斥力しかないこれらの間になぜ強い引力が働くのか。この問題を解いたのが湯川秀樹の中間子論であることはよく知られている。パイ中間子を媒介として核子間に引力を作り、その凝集力が原子核を安定させるという理論が 1949 年のノーベル物理学賞に輝いたのである。しかしその後、原子核の構造と機能はそんな単純なものではないことが明らかになった。予想を越える多くの中間子、粒子が発見され、混迷を重ねたが、やがてより基本的な粒子としてクォーク、レプトンが発見、整理され、この世界を支配する力学、量子色力学が確立して物事を統一的に理解することができるようになった。

色力学といっても粒子に色がついているわけではない。色の三原色をイメージし、粒子に新たな三つの自由度を導入するのだが、三個のクォークでできている核子は合わせて三原色をもつことで安定する、こんなわけである。そして核力はクォークと、力を媒介するゲージ粒子（電磁気では光子に当たる）グルーオンが相互作用をすることで生み出される。しかしその複雑な生成消滅はとてすぐ計算できるような代物ではないという。これについて

核力とは

現在でも核力の詳細を基本方程式から導くことはできない。核子自体がもう素粒子とはみなされないから、いわば複雑な高分子の性質をシュレジンガー方程式から出発して決定せよというようなもので、むしろこれは無理な話である。

（南部陽一郎「クォーク」講談社 ブルーバックス 1997年）



南部陽一郎著『クォーク』1997年はずいぶん詳しく述べている。

『現在でも核力の詳細を基本方程式から導くことはできない。核子自体がもう素粒子とはみなされないから、いわば複雑な高分子の性質をシュレジンガー方程式から出発して決定せよというようなもので、むしろこれは無理な話である』

この様子をモデル的に示したのが図-2 である。左に p（陽子）と n（中性子）があり、時間を追って右に行くとする。陽子は uud, 中性子は udd の各三個のクォークから成り立っているが、ここでは色が大事で、それぞれ三原色を満たしている。矢印付きの線はクォークを、そしてバネはグルーオンを表している。それらは無数にあると考えてよい。このよ

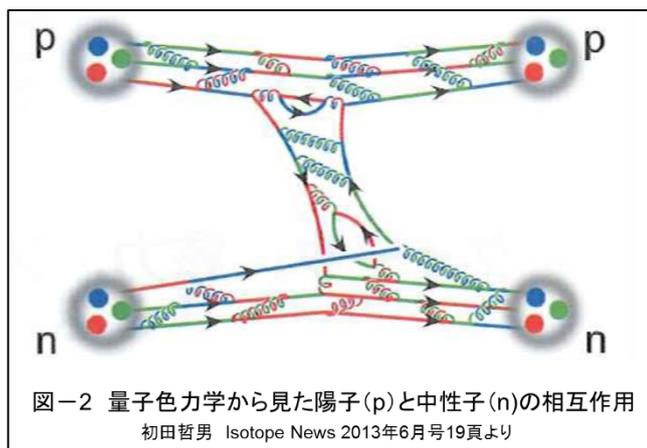


図-2 量子色力学から見た陽子(p)と中性子(n)の相互作用
初田哲男 Isotope News 2013年6月号19頁より

うにして右端に到達した陽子と中性子は初めと同じように見えるが、そこにくるまでの自分自身のラインと、象徴的に描かれた中央部のハイブリッドを通して強い相互作用が発生しているのである。これをシュレージinger方程式のようなもので書くことができない。粒子がどんどん変わって行くからである。そのために、相互作用ポテンシャルというものがない定義できるのかという疑問から解かねばならないのである。

4. 名探偵でも捕らえられない

量子色力学に限らないが、素粒子研究では第二量子化が必須なことを、故西島和彦氏はテロリスト追跡にたとえてわかりやすく面白く解説しておられる（仁科記念講演録集 1、2008 年 12 月 651 頁）。その要旨を紹介しよう。

ここに N 人の容疑者が居たとする。これを N 人の探偵に追わせる、これが第一量子化である。ところがその一人がある家に入ったからといってそこを見張っていても、変装した人間がそこから何人も出てくる。どれを追ったら良いかわからなくなる。そこで第二の方法は、町の要所要所、駅とか十字路、出来れば一軒ごとに複数の探偵を配置し、それぞれの場所にどんな人間が現れたかを報告させる。これが第二量子化である。大変な手間と報告書の山になるが、素粒子のように粒子自体が変わって行く相手にはシュレージinger方程式は立てられない。こんな話を念頭に置いて、次の話をお聞き頂きたい。

名探偵でも捕らえられない

ここにN人の容疑者が居たとする。これをN人の探偵に追わせる、これが第一量子化である。ところがその一人がある家に入ったからといってそこを見張っていても変装した人間がそこから何人も出てくる。どれを追ったらよいかわからなくなる。そこで第二の方法は、町の要所要所、駅とか十字路、できれば一軒ごとに複数の探偵を配置し、それぞれの場所にどんな人間が現れたかを報告させる。これが第二量子化である。
(西島和彦 仁科記念講演録集2008年12月 651頁)

5. スパコンの威力一見えてきた核力一

このような手ごわい相手に立ち向かう手がかりが 2006 年に見えてきた。量子色力学の数値計算、QCD シミュレーションでパイ中間子相互作用を調べていた青木慎也の仕事を見て

初田哲男は、これを発展させれば核力ポテンシャルを格子 QCD で計算できそうだと思う、初田研の客員、石井理修を引込み、検討を始めた。その結果、見込みがでてきたが、膨大な計算量を必要とすることが分かった。ちょうどその頃、KEK に、当時国内最速の大型スーパーコンピュータ Blue Gene/L が完成し、試験運転を開始するところだった。そのテストということで 4 ヶ月 3000 時間貸しきりで計算をおこなった。このスパコンは最近のマシン『京』の約 1/100 だから、京でやっても 30 時間はかかるという大変な計算である。その結果、待望の核力ポテンシャル曲線が描き出された。それが図-3 である。横軸は核子間距離でフェムトメートル単位、縦軸はエネルギーで、メガ電子ボルトである。

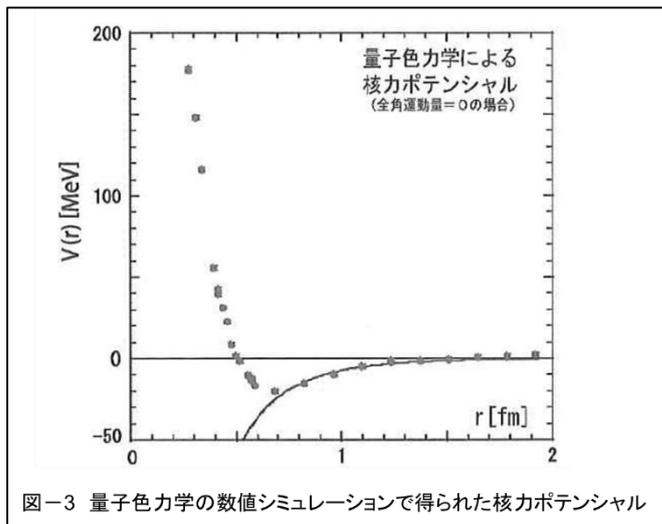


図-3 量子色力学の数値シミュレーションで得られた核力ポテンシャル

これは期待通りの結果であるといつて良い。0.65 フェムトメートルあたりにある極小点はまさに湯川の指摘によるものであり、核子間の引力が現れている。一方、より近距離になると強い斥力が働く。これは 1950 年にジャストロウが指摘したことで、この存在で中性子星がつぶれずに存在できるわけである。そしてなによりもポテンシャル曲線を明確な形で描き出したことに大きな価値があるわけだ。ネーチャー

誌の高い評価もあり、これはひょっとするとノーベル賞候補になるかもしれない。かつてクオーク間引力の秘密を解いたグロス、ウイルチェッタ、ポリツァーが 2004 年のノーベル賞になった例があるからである。

6. 存在の理法—物が在るといふことは—

図-3 のデータを見ていて連想したのが図-1 である。まったく無関係ではあるのだが大変よく似ているではないか。そこで曲線間の類似度を見るために簡単なスケールリングを試みた。図-1 の横軸を眺め、ポテンシャル極小のところを 0.65 フェムトメートルとして谷の位置を合わせる。そして谷の深さを合わせる。このスケールリングを行えば二つの曲線を比較でき

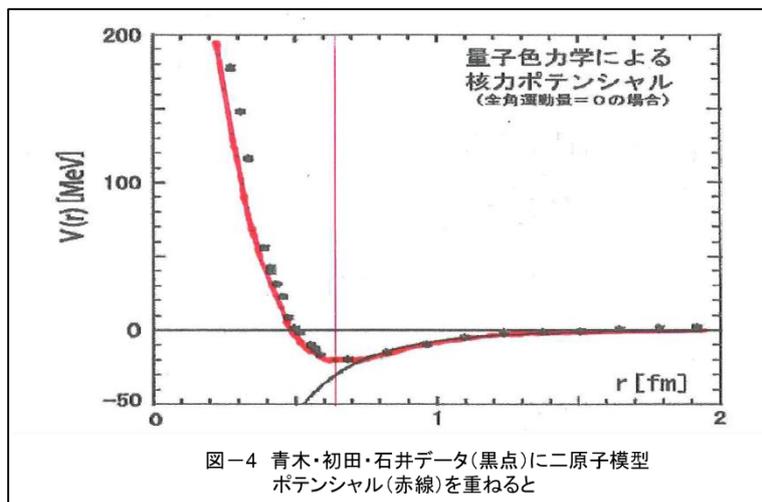
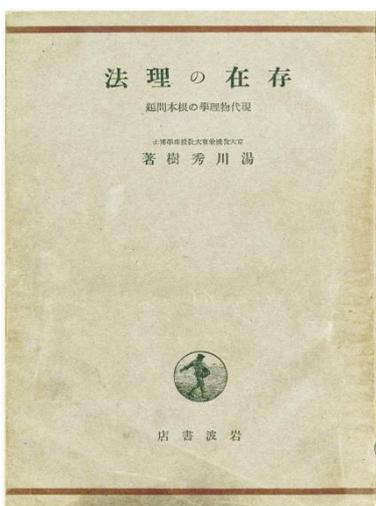


図-4 青木・初田・石井データ(黒点)に二原子模型ポテンシャル(赤線)を重ねると

る。核子の図に原子の図を重ねて描いたのが図-4 である。驚いたことにこの二曲線はピッタリと言ってよい一致を見せているのではないか。近距離でのデータがすこしズレるだけである。いたずら書きもこんなに合うと一言言いたくなる。

湯川さんの著書に『存在の理法』という本がある。初版は昭和 18 年、1943 年で、随筆集とも見えるが、本人が論文集と言っているように数式の多い本格的な著作である。この本の



湯川博士の書 「存在の理法」

タイトルがいかにも湯川さんらしい。存在の理法とはすぐれて哲学的である。この表現を借りて今回の問題を考える。

物が在るということは、その素材が存在し、素材間に結合力があるが近過ぎると反発力がある、という系ではじめて実現する。稀ガスのような原子でも、ファンデルワールスカで図-1 のようなポテンシャルができて固体となる。世界がまったく違う核子間でもパイ中間子の交換でよく似た引力ができて原子核が安定に存在し得る。しかも双方ともあまりの近接場では強い反発力が生じ、それとの兼ね合いで物の安定さが決まる。これこそ湯川さんではないが、存在の理法ではないか。こんなことを考えさせられた最近の研究成果であった。

(本稿は第 8 回合同研究会における「挨拶講演」をもとに起稿したものです。)

(お知らせ)

『ATI 研究奨励賞』の設置

ATI 研究助成は若手研究者のチャレンジングな研究を奨励する目的で毎年公募し、10 件程度の研究テーマを採択しています。従来は助成期間後の成果報告を受けることで助成終了としていましたが、若手研究者への奨励をさらに促進するため『ATI 研究奨励賞』を設置し、ATI 研究助成により研究計画が十分に達成され、かつすぐれた研究成果を出したと評価しうる研究を毎年 2 件以内で表彰を行うこととしました。2014 年度より開始し、授賞と成果報告は例年の「研究報告会」の場にて行う予定です。詳細は ATI メールニュース等にてお知らせいたします。ぜひご注目ください。

なお、本設置に先立っての試行として、2012 年度の採択テーマ 12 件より同主旨の選考を選考委員(長)、研究会委員長、外部選考委員による書類審査にて行い、下記 2 件の研究テーマについて奨励賞を授与することとしました。6 月頃予定の研究報告会にて授与します。

●菅原克明氏（東北大学 助教）

「2 層グラフェン層間化合物の新規物性解明」

●平野美奈子氏（光産業創成大学院大学 講師）

「イオンチャネルの 1 分子計測・操作による構造機能相関の解明」



● 新庄副理事長、2013 年秋の褒章にて瑞宝中綬章を受章

副理事長 新庄輝也氏（京都大学名誉教授）が 2013 年秋の褒章にて瑞宝中綬章を受章されました。

強磁性金属膜のメスバウア分光法による先駆的な磁気物性研究、金属人工格子の合成とその巨大磁気抵抗効果の発見などの研究業績によるものです。

伝達式は 11 月 13 日に行われました。



● 榎 敏明氏、ロシア Ioffe 研究所名誉所員に選任

榎 敏明氏（ナノカーボン研究会/東工大名誉教授）がロシア科学アカデミー Ioffe 研究所の名誉所員に選ばれました。同研究所は半導体などで業績のある著名な研究所で、これまでに M. S. Dresselhaus MIT 教授他、何名かのノーベル賞受賞者が選ばれています。

メダルの授与と記念講演会は本年 10 月に St.Petersburg で行われる予定です。



● 日本熱測定学会 学会賞を城所俊一氏（水和ナノ構造研究会）が受賞



城所俊一氏（長岡技科大教授）が今年度の日本熱測定学会 学会賞を受賞されました。

この賞は熱測定分野の技術開発、学術研究において顕著な業績のあった研究に贈られるもので、「タンパク質の熱力学的安定性と分子機能の精密熱量測定」が対象となり、生体物質の熱測定への貢献が評価されたものです。

授賞式は 11 月 1 日、日本熱測定学会通常総会（千葉工業大学・津田沼キャンパス）にて行われました。

● 木村 崇氏（スピントロニクス研究会）に日本学術振興会賞



木村崇氏（九州大学教授）が 2013 年度の日本学術振興会賞を受賞されました。この賞は創造性に富み優れた研究能力を有する若手研究者を顕彰し支援するもので、『革新的純スピン流制御法の開発とナノスピンドバイスへの応用』が対象となりました。

授賞式は 2 月 10 日、日本学士院にて行われました。

●五十嵐圭日子氏（水和ナノ構造研究会）が日本糖質科学会奨励賞を受賞

五十嵐圭日子氏（東京大学准教授）が2013年度日本糖質科学会の奨励賞を受賞されました。この賞は澱粉をはじめとする各種糖質科学および関連する酵素化学の進歩を図り、科学、技術および関連産業の発展に寄与した若手研究者に贈られるもので、「セルロース生分解に関わる加水分解酵素および酸化還元酵素における反応機構の解析」が対象となりました。

授賞式は9月26日、2013年度同学会大会会場(鹿児島市)にて行われました。



(著書紹介)

『スピン流とトポロジカル絶縁体 —量子物性とスピントロニクス的发展—』
(基本法則から読み解く物理学最前線 1) (共立出版)



スピントロニクス研究会委員の齊藤 英治 氏（東北大学）を著者の一人とする同書が、「基本法則から読み解く物理学最前線」シリーズ第1巻として刊行されました。

本書は近年進展の著しいスピントロニクス分野において最新の実験結果から美しい理論体系に至るまでを網羅した、学部学生を対象とする入門書です。



(お知らせ)

事務局体制の変更

4月1日より事務局の体制が次のように代わります。今後のご連絡にご留意ください。

専務理事：石田 隆康	takayasu.ishida@sii.co.jp
事務局長：色野 美和子	m.shikino@sii.co.jp
事務局員：佐藤 由紀	yuki.satou@sii.co.jp
高瀬 正江	masae.takase@sii.co.jp
内田 豊明	toyoaki.uchida@sii.co.jp
白石 貞純	sadasumi.shiraishi@sii.co.jp

【編集後記】

事務局長を退任します。この3月で足掛け9年間の勤務となりました。あと1年でちょうど10年となるところでいい区切りであると思っていたのですが、いくつかの意向があり3月を以て退任することになりました。

この間皆様にはいろいろな行事や研究会などへのご出席、またATIニュースの原稿執筆など、無理なお願い、急なお願いにもかかわらずいつも快く応じていただきました。下手な運営ではありましたがお陰様で一応は努めることができたのではないかと考えています。

しばらくは事務局員として残り業務の円滑な引継ぎに努めます。本務としてはSIIの研究開発センターで技術調査などを行うことになろうかと思えます。その節にはATIのネットワークをフルに活用させていただきますので今後ともよろしくお願い致します。

今になって振り返ると9年間は随分と短く感じられます。着任してほぼ最初の仕事は高円宮妃を迎えるのATIフォーラムで、準備にτεんでこ舞いする状況にいきなり放り込まれたなあ、など思い出しています。

いずれも会社の中ではできない経験をいたしました。大変お世話になりました。
(白石)



発行所

公益財団法人 新世代研究所
〒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

JR 御茶ノ水駅聖橋口 徒歩 5分
丸の内線 淡路町駅 徒歩 3分
千代田線 新御茶ノ水駅 徒歩 2分

ATI

公益財団法人 新世代研究所

FOUNDATION ADVANCED TECHNOLOGY INSTITUTE

2014年3月