

研 究 報 告 書

-2015 年度研究会活動-

第23回 研究報告会

2016 年 7 月 13 日



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

－ 目 次 －

I. 研究会活動報告

- | | |
|--|----|
| (1) 『ナノスピン変換科学研究』
大谷 義近 (スピントロニクス研究会／東京大学 教授) | 1 |
| (2) 『中性子回折装置 iBIX が示す新しい構造生物学』
日下 勝弘 (水和ナノ構造研究会／茨城大学 准教授) | 9 |
| (3) 『カーボンナノチューブいよいよ実用開始か』
片浦 弘道 (ナノカーボン研究会／産業技術総合研究所 首席研究員) | 19 |
| (4) 『新体制でのバイオ単分子研究会を始動』
西野 吉則 (バイオ単分子研究会／北海道大学 教授) | 29 |
| (5) 『界面ナノ科学の進展と取り巻く環境』
一杉 太郎 (界面ナノ科学研究会／東京工業大学 教授) | 39 |

II. 第10回合同研究会 開催報告

- | | |
|------------------------------------|----|
| 『ナノサイエンスの進展』
水和ナノ構造研究会 委員 新村 信雄 | 47 |
|------------------------------------|----|

ナノスピン変換科学研究

委員長 大谷 義近
東京大学 教授

1. 研究構想

新しいステージに入った本スピントロニクス研究会の主テーマは、ナノスピン変換科学、すなわち、スピンを媒介とした、電気、光、音、振動、熱の相互変換現象の科学である。具体的には、このようなスピン変換現象を伝導電子スピン、局在スピン、核スピン、フォトン、フォノンなど多様な粒子・準粒子が複合的に絡み合ったナノスピン変換科学として物理体系を構築することを目指している。

本研究会では、上述のスピン変換物性に関わる研究を磁氣的、電氣的、光学的、熱・力学的スピン変換機能に細分化し、それぞれの分野で世界を先導する我が国の研究者を委員に迎えた。委員内から選出した企画委員を中心にして、研究会を企画・開催し、幅広い分野から招聘する講演者と密に議論を交わす事により、スピン変換現象を実験と理論の両面から深く理解し、最終的には新しいスピントロニクス機能を提言することを本研究会の目標としている。

2. 2015 年度の研究活動の概要

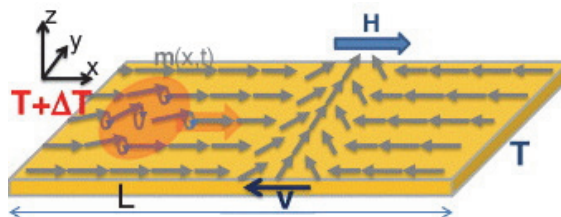
2015 年度は、当初の計画以上の 3 回の研究会を開催することができた。第 1 回研究会では、東大物性研究所と新学術領域研究ナノスピン変換科学が共催した国際会議“New Perspectives in Spintronic and Mesoscopic Physics (NPSMP2015)”で来日中の Tserkovnyak 教授 (UCLA) と Tsymbal 教授 (ネブラスカ大) にお越しいただき、それぞれ、熱誘起スピン流とトンネル異方性磁気抵抗効果についてご講演いただいた。以下に研究会の概要を纏める。

2.1 第 1 回スピントロニクス研究会 (2015 年 6 月 17 日 TKP ガーデンシティお茶の水) テーマ : New Perspectives in Spintronic and Mesoscopic Physics

● Prof. Yaroslav Tserkovnyak (UCLA)

「Thermally-induced spin transport in magnetic systems」

最近のスピントロニクスの分野で注目されている熱流とスピン流の相互作用に関する理論的な考察が丁寧に説明された。強磁性絶縁体と常磁性金属の接合に於いて熱的



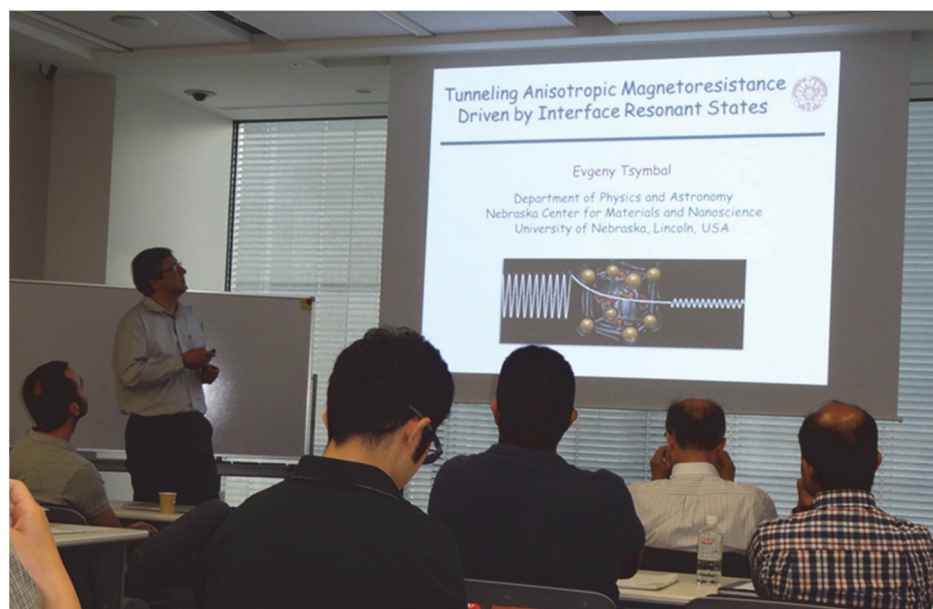
(図 1) 温度勾配によって誘起されるマグノン流がスピントルクを通じて磁壁駆動を引き起こす概念図。

に励起された均一な磁化の運動から生成されるマグノンだけでなく、不均一な磁化の運動から生じる不均一マグノンの輸送とスピン流の相互作用について詳細な議論がなされた。これにより図 1 に示すような磁壁の熱流による駆動も可能となるだけでなく、逆に磁場を印加して磁壁を駆動することで熱流を誘起することも可能となることが示された。

- Prof. Evgeny Y. Tsymbal (University of Nebraska, Lincoln)

「Tunneling anisotropic magnetoresistance driven by interface resonant states」

トンネル異方性磁気抵抗効果 (TAMR) はスピン軌道相互作用によって発現する磁化方向と電流の方向との相対角度に依存して変化する現象である。良く知られているトンネル磁気抵抗効果 (TMR) と比べ 1/100 程の小さな効果であるが、第一原理計算によるマテリアルデザインの手法を用いて、最適素子材料と構造が設計できれば TMR に新しい機能性を付加することが可能になる。この目的で Fe (001) 面と非磁性金属のトンネル接合と $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ (LSMO) electrodes と SrTiO_3 (STO) からなる TMR についての計算結果が報告された。いずれの場合も TAMR 効果は、スピン軌道相互作用により界面準位に誘起される軌道混成がその大きさを決めていること、また、LSMO と STO のトンネル接合では 500% に及ぶ TMR が期待されることが説明された。



2.2 第2回スピントロニクス研究会(2015年12月15日 TKP ガーデンシティお茶の水)

テーマ：流体を用いたスピン流生成とスピン流とスピン揺らぎの相関物性

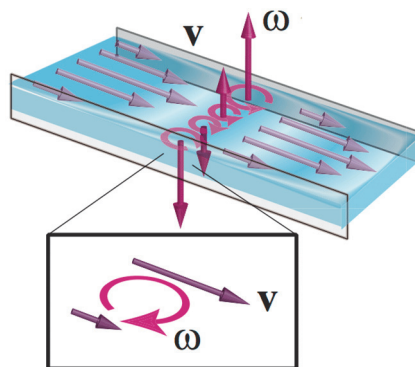
- 松尾 衛 (日本原子力研究開発機構先端基礎研究センター)

「流体運動を用いたスピン流生成理論」

● 高橋 遼（東北大金属材料研究所）

「液体金属流を用いたスピン流生成実験」

スピン流生成の研究はこれまで主に個体を用いて行われてきた。上述の2つの講演では、電子スピンと周囲の物体の振動や回転運動との相互作用に関する理論及び実験研究について丁寧な解説がなされた。最初の講師の松尾氏は物体中を流れるスピンの現象を理論的に研究し、液体金属の流れの中に電子のスピン流を生み出す方法を見いだした。具体的には、液体金属を細管に流すと、管の内壁と液体金属の間の摩擦によって、液体金属中に渦運動が発生する（図2）。この渦の強さは、管の内壁で最大であり、内壁から管の中心に向かって弱まる。このような渦運動の分布によって、液体金属中の電子スピンの密度分布が影響を受け、渦運動の強いところから弱いところに向かって、スピン流が流れること、また、管の内壁から中心に向かって生成されたスピン流は、さらに液体金属中でスピンホール効果により、管に沿った方向に電圧を発生することを理論的に明らかにした。



（図2）液体金属流の流速分布。流速は管の中心で最大であり、そこから管壁に向かって弱まっていく。このように場所ごとに流速の差があるために、渦運動 ω （オメガ）が発生する。この渦運動の強さは、流速の差が最も大きい管内壁付近で最大となり、管中心ではゼロになる。

続く高橋遼氏の講演では、水銀やガリウム合金を用いた実験手法の詳細が説明された。直径数百ミクロンの細管に液体金属を流す際に生じる液体金属の渦運動を用いて、その液体金属中にスピン流を生み出し、その結果生じる100ナノボルト（1000万分の1ボルト）の電気信号を取り出すことに世界で初めて成功した。この実験で示された出力電圧は100ナノボルトと微弱だが、この手法はタービンや磁石といった外部装置が不要なため小型化が可能であるとのこと。さらなる発展が期待される。

● 新見 康洋（大阪大学大学院理学研究科）

「磁気揺らぎのスピン流への効果」

後半部の新見氏の講演では、スピングラス合金CuMnBiのスピンホール効果についての実験が紹介された。この3元系金属は、強いスピンホール効果を示すCu-Bi希薄合金をMnでドーピングしたものである。これによりこの系は局在スピンを有し、スピングラス特性とスピンホール効果の両方を兼ね備えた磁気特性を示す。この合金でスピン吸収法により、スピングラス温度 T_g よりも高温側から低温側まで系統的にスピンホール効果が測定された。その結果、スピングラス温度10 Kよりも十分高い温度でもCu-Bi希薄

合金で観測されたのと同じ大きさのスピnhall角が測定されること、またスピnhall温度より十分高い温度 $4T_g$ からスピnhall角が減少し、 $0.5T_g$ では $1/7$ まで減少することを実験的に発見した。また、これらの効果が相対的なスピnhallのダイナミクスを考慮したモデルで説明できることを説明した。さらにこれらの結果からスピnhall効果を用いたスピnhall揺らぎの高感度計測への応用が提案された。

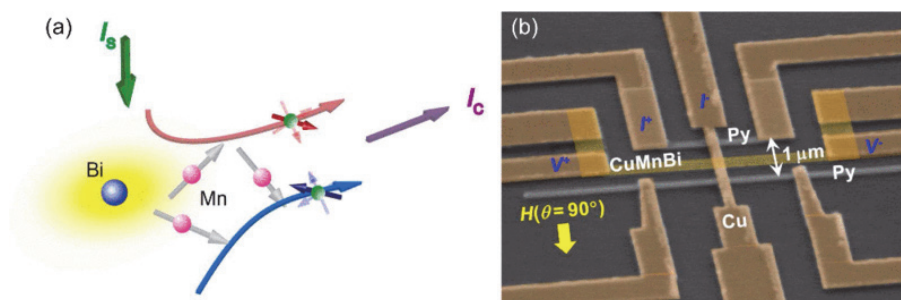


図 3 (a)CuMnBi₃ 原型合金中スピnhall効果の概念図。スピnhall流 I_s は Bi サイトでの散乱により電流 I_c に変化される。伝導電子スピnhallの向きはランダムに配向した Mn の巨磁気モーメントとの相互作用により乱雑化される。(b)測定に用いたスピnhall効果測定用の素子の電子顕微鏡像と端子配置の説明。

2.3 第3回スピントロニクス研究会(2016年3月4日 TKP ガーデンシティ御茶ノ水) テーマ：スピnhall変換機能設計

● 石井 史之 (金沢大学)

「異常熱電効果の第一原理的研究」

省エネ促進が求められる今日、未利用熱の有効利用を実現する熱電変換の普及が望まれる。材料レベルで高効率化を図るには、熱起電力の大きさを示す係数（対角：ゼーベック係数 S , 非対角：ネルンスト係数 N ）を増大させることが特に重要である。従来は、 S の寄与のうち対角伝導度のフェルミエネルギー ϵ_F 依存性によって規定されるものに注目した研究が主であった。石井氏は、高効率化を模索する新たな方向性として、異常ホール効果による非対角伝導度の ϵ_F 依存性が規定する異常ネルンスト効果が大きな S や N を生む系の物質デザインをめざしている。このアプローチの最初の適用例として、スピントロニクス分野で注目される“スカーミオン結晶”のモデルについて興味深い結果が得られたので紹介された。また現実の物質での巨大な異常熱電効果の可能性が議論された。

● Oleg Tretiakov (東北大学金属材料研究所)

「Dynamical and Thermal Properties of Antiferromagnetic Skyrmions」

スピントロニクスでも最も注目されている機能の一つが1ビットの記録単位となる微

小な磁気構造の電流駆動である。Tretiakov 氏は、最近注目されているジャロシンスキー・守谷相互作用を有する強磁性体中に生じるスカーミオン構造の電流駆動に関する研究を行っている。本講演では、特に特殊な反強磁性スカーミオン構造に注目し、従来のスカーミオンと比較して漏れ磁束を生じないことから駆動速度も速く、また速度ベクトルに横向き成分がないことが示された。

● 宮原 慎（福岡大学）

「マルチフェロイックス物質におけるスピン波スピン流」

マルチフェロイックス物質は、強誘電性と（反）強磁性が共存した物質であり、電気分極とスピンの強い結合を示す。こうしたマルチフェロイックス物質の典型例として、らせん磁性体があり、スピンと電気分極の結合により、電場活性なスピン波励起（エレクトロマグノン過程）が存在することが知られている。宮原氏により、理論的に明らかになった外部磁場中のらせん磁性体における磁場活性かつ電場活性なスピン波励起の特異な性質が紹介された。

● 小野田 繁樹（理化学研究所）

「量子スピン液体におけるスピン変換」

電子状態の特性を利用して、エネルギーや情報を効率よく物質に蓄積し、電磁波や熱などの異なる形態で物質から外部に効率よく取り出す原理を与えることは、物性理論の重要なテーマのひとつである。電子状態にアクセスするにはコヒーレンスをもった準粒子の励起・輸送を活用することが多い。特に、磁性絶縁体（Mott 絶縁体）は、金属・半導体での電子輸送・励起に付随して生じる散逸が大幅に抑制されるという特長をもつ。磁性絶縁体で生じうる準粒子は、磁気秩序に伴ってコヒーレンスを示す集団的スピン励起子、マグノンだけではない。絶対零度まで磁気秩序を示さない量子スピン液体系においては、スピン励起はコヒーレンスを示さない一方、スピン量子数を $1/2$ だけ変える、分化した準粒子がコヒーレンスを示す。この準粒子はスピノンと呼ばれている。

小野田氏は、上述のスピノンが発現する舞台としてパイロクロア磁性絶縁体 $R_2B_2O_7$ に注目して行った理論研究を紹介した。この系は、頂点を共有して繋がった正四面体のその各頂点に希土類元素 $R = \text{Pr, Tb, Yb}$ が位置し、 R^{3+} イオンの磁気二重項のモーメントが正四面体の中心方向に強い容易軸磁気異方性を示す。この系では、スピノンがエネルギー分散を持ち、熱・スピン輸送に寄与する。理論的には、このスピノンはクーパ対にも見立てることが可能であり、電磁気学での光子励起に対応する集団磁気励起がギャップレス励起として出現する。これらの励起子に期待されるバリスティック輸送、共鳴現象に関する理論が紹介された。特に、 $\text{Yb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ では、スピノンがボーズ凝縮してギャップレス励起が消失した強磁性秩序を極低温で示すことが実験・理論から示唆されて

いること、超伝導におけるマイスナー効果の磁氣的類似現象が期待されることが紹介された。この場合に生じるスピノンのスーパーカレントと位相コヒーレンスを用いることで、ナノ接合系で低散逸の革新的スピン干渉効果、スピン流・熱流変換等の原理が提案された。

3. まとめと今後の計画

上述したように 2015 年度は、第 1 回研究会としては、6 月 17 日に東大物性研究所滞在型ワークショップと「ナノスピン変換科学」が共催する国際シンポジウム“New Perspectives in Spintronic and Mesoscopic Physics 2015”で来日された外国人研究者の Yaroslav Tserkovnyak 氏 (UCLA) と Evgeny Y. Tsymbal 氏 (University of Nebraska) に熱誘起スピン伝導およびトンネル異方性磁気抵抗効果について講演をしていただいた。次に、最近新しく発見されたスピン変換現象に着目して、流体を用いたスピン流生成とスピン流とスピン揺らぎの相関物性についての研究会を開催した。当初の計画では、2 回の開催を予定していたが、本委員会の企画委員で新学術領域ナノスピン変換科学のスピン変換機能設計班班長の村上氏から公募理論班の成果報告会をスピントロニクス研究会として開催してはとの提案を受け、伊達理事長にお願いしたところ、お認め下さり、実験家からのフィードバックも得られる充実した議論の場を設けることができた。この場をお借りして、伊達理事長に感謝と御礼の意を表する。

2016 年度は、すでに第 1 回研究会を、テーマを「界面相互作用を用いたスピン流・電流相互変換物性（実験及び理論）」として開催した。この研究会では、最近急速に進展している表面あるいは界面特有の電子状態から生じるスピン運動量ロッキング現象を利用した実験と理論の研究者が一堂に会し、有効な情報交換を行うこととした。その結果、具体的な共同研究にも発展しつつある。今後もこのスピントロニクス研究会を通して共同研究の縁結びができるような研究会を企画して行きたい。

最後になるが、本年度もまた嬉しい報告である。昨年度の新見康洋氏に続き、今年度もスピントロニクス研究会から推薦した日本原子力研究開発機構先端基礎研究センタースピン・エネルギー変換材料科学研究グループの家田淳一氏が文部科学大臣表彰若手科学者賞を受賞した。委員会をより活性化して来年度の推薦・受賞にもつなげられるようお願いしている。これは、一重にスピントロニクスに関わる研究者に議論を通じて新奇な研究のアイデアや将来構想を練る場を（公財）新世代研究所が提供してくださるお陰である。心から感謝申し上げる。

4. 研究会開催記録

【第 1 回】2015 年 6 月 17 日（水） 於）TKP ガーデンシティ御茶ノ水

1. 「Thermally-induced spin transport in magnetic Systems」

Prof. Yaroslav Tserkovnyak (University of California)

2. 「Tunneling anisotropic magnetoresistance driven by interface resonant states」

Prof. Evgeny Y. Tsymbal (University of Nebraska)

【第2回】2015年12月15日（火） 於）TKPガーデンシティ御茶ノ水

1. 「流体運動を用いたスピン流生成理論」

松尾 衛（日本原子力研究開発機構先端基礎研究センター）

2. 「液体金属流を用いたスピン流生成実験」

高橋 遼（東北大学金属材料研究所）

3. 「磁気揺らぎのスピン流への効果」

新見 康洋（大阪大学大学院理学研究科）

【第3回】2016年3月4日（金） 於）TKPガーデンシティ御茶ノ水

1. 「異常熱電効果の第一原理的研究」

石井 史之（金沢大学）

2. 「Dynamical and Thermal Properties of Antiferromagnetic Skyrmions」

Oleg Tretiakov（東北大学）

3. 「マルチフェロイックス物質におけるスピン波スピン流」

宮原 慎（福岡大学）

4. 「量子スピン液体におけるスピン変換」

小野田 繁樹（理科学研究所）

スピントロニクス研究会委員

委員長	大谷 義近	東京大学物性研究所 教授
委員	前川 禎通	日本原子力研究開発機構先端基礎研究センター センター長
	大野 英男	東北大学電気通信研究所 所長・教授
	小野 輝男	京都大学化学研究所 教授
	門脇 和男	筑波大学大学院数理物質科学研究科 教授
	齊藤 英治	東北大学原子分子材料科学高等研究機構 教授
	新庄 輝也	京都大学 名誉教授
	鈴木 義茂	大阪大学大学院基礎工学研究科 教授
	高梨 弘毅	東北大学金属材料研究所 所長・教授
	永長 直人	理化学研究所創発物性科学研究センター 副センター長
	木村 崇	九州大学大学院理学研究院 教授
	福岡 康裕	九州工業大学 若手研究者フロンティア研究アカデミー 准教授
	三谷 誠司	物質材料研究機構環境・エネルギー材料部門 グループリーダー
	白石 誠司	京都大学大学院工学研究科 教授
	安藤 康夫	東北大学大学院工学研究科 教授
	水上 成美	東北大学 原子分子材料科学高等研究機構 教授
	多々良 源	理化学研究所創発物性科学研究センター チームリーダー
	大岩 顕	大阪大学産業科学研究所 教授
	村上 修一	東京工業大学大学院理工学研究科 教授
	新見 康洋	大阪大学大学院理学研究科 准教授

(2016 年 3 月現在 所属・役職は当時)

中性子回折装置 iBIX が示す新しい構造生物学

委員長 日下 勝弘
茨城大学 准教授

1. 研究構想と概要

サブナノメートルレベルで生体内機能を制御するタンパク質等の周りには、非常に多様な形で水が存在する。あるものは安定に水和し、あるものは運動し、そしてあるものはイオンの形で存在する。タンパク質や核酸 DNA のように特定の大きな構造を持つ生体高分子と比べて、地球上ではありふれた小さな分子である水が、生体高分子とどのように相互作用をして生命活動を成立させているかは、未知な部分が多い。たとえば、タンパク質や DNA が機能する直前の分子認識における水の役割、化学反応中の状態における水の関与したプロトンや水分子自体の授受および水素結合の形成・解消、そして、反応後の水の脱離やタンパク質・DNA 分子への再水和・再配置、さらには膜タンパク質のプロトンポンプ機構におけるプロトン等の授受における水の役割のように、生体機能の中において、ナノスケールで絶えず揺らぎながら重要な役割を、黒子のように果たしている。最近では、膜タンパク質などの複雑な系での水の振る舞いなどが注目されており、水素原子位置情報はますます重要視されている。

このような水和ナノ構造の解明には、水素位置決定を得意とする中性子回折法が重要な役割を担い、大強度陽子加速器施設 J-PARC の積極的利用によって加速されることが期待される。現在、生体高分子の中性子構造解析は、米国の中性子源施設 SNS においても、生体高分子解析専用のビームラインが本格的な稼働を開始し成果を出しつつある。また、ヨーロッパにおいても日本、米国に続いて次世代中性子源 ESS の建設が開始され、生体高分子回折装置の設置が最優先の目標の一つとされていることから、その必要性が世界的に認識されていることが伺える。日本の中性子源施設 J-PARC, MLF において、先行して開発・運用されてきた中性子回折計(茨城県生命物質構造解析装置 iBIX)は、今後 1 MW の最高出力を迎え、各種酵素とその基質との複合体や膜タンパク質も含めた水和構造に関して、プロトネーションも含めた機能に直結した水や水素位置構造の解明を目指しており、既に中性子の特徴を生かした成果が出始めている。さらには、生命学のさまざまな場面で用いられる X 線や NMR, 赤外線, 計算科学等との相補的な利用により生命科学分野において重要な知見をもたらすことが期待されている。

本研究会では、上記 iBIX のソフトウェアの改良や必要な大型結晶育成法も含めて、さまざまな実験分野のほか、計算科学研究者にも生体高分子中の水やプロトネーションについて議論を深めてもらい、関連分野の飛躍的な発展を狙う。

本研究会は 2014 年度末で、茨城大学田中教授が委員長の 2 期、計 6 年間の活動期間

が終了し、2015 年度から日下が委員長となり、基本的なコンセプトを引き継ぎ、活動を継続している。このため、委員は 8 名には継続をお願いし、理論計算、ソフト開発、結晶育成の活発な議論を行うことを考慮して 7 名の方に新規に委員をお願いした。

J-PARC の中性子回折装置 iBIX は 2012 年度に検出器の増強と高度化が行われ、検出器数が 2 倍、検出器感度が 3 倍、加速器出力が 1.5 倍となり、約 1 桁の測定効率向上が実現し、本格的なタンパク質試料への共用を開始した。その直後から東日本大震災、ハドロン実験施設における放射性物質漏洩事故等で何度か運転停止を余儀なくされてきた。しかしながら、少ない運転期間の中で着実に実験を遂行し、タンパク・有機分子での解析例が出、著名な雑誌にも掲載されている。2014 年度には J-APRC の加速器出力が 500kW まで増強され、タンパク質試料の測定の効率の上昇が見込まれたが、その後、中性子源ターゲットの冷却水漏洩とその対応のため現状では 200kW での運転となっている。このように加速器や中性子源の運転は様々なハードルがありながらも、可能な運転時間の中でタンパク質・有機分子結晶共に継続して成果は蓄積されており、2015 年度の初めに 3 つのタンパク質の成果が雑誌に掲載され、そのうち 2 件がプレス発表を行うに至っている。その内容は、中性子の長所を十分に活かし、他の手法（測定条件を含む）ではわからないような水素や水の位置情報が得られており、タンパク質の機能や生体内反応を新たに記述しなおす必要性や創薬に関わるタンパク質の有用な知見が示されている。このように、徐々にではあるが、J-PARC の中性子装置 iBIX が貴重な水素や水の位置情報を提供し始めており、今後、J-PARC の加速器出力が最大となればこの分野の飛躍的な発展が期待できる。

2. 2015 年度の研究活動の概要

水和ナノ構造研究会単独開催の 2 回に加え、生体高分子用中性子回折計 iBIX の運営母体である茨城県が中心となっている中性子産業利用推進協議会が主催する生物構造学研究会および茨城県中性子利用促進研究会が主催する iBIX 研究会との共催の、それぞれ 2 回、4 回も含め、計 8 回の研究会が実施された。

2.1 第 1 回水和ナノ構造研究会

(2015 年 9 月 1 日~2 日 栃木県那須塩原市明賀屋本館)

第 1 回水和ナノ研究会は那須塩原市の温泉地で行われた。外部講師 3 名と委員関係者 10 名合わせて、参加者総計は 14 名であった。本研究会は 2015 年度から日下が委員長となり、基本的なコンセプトを引き継ぎ、活動を継続することとなり、前回から 8 名の委員が継続し、新たに 7 名の委員の方に加わっていただき、新しい体制となったので、第 1 回の研究会は委員の方々にそれぞれの自己紹介と研究発表を行っていただき、それぞれの研究分野を互いに理解し、今後の研究会活動の足がかりとすることとした。



(写真 1) 第 1 回研究会の様子

まず、日下が本研究会の主たるテーマである水和構造の解明に重要な中性子回折計の茨城県生命物質構造解析装置 iBIX の現状について報告した。iBIX は 2012 年度に検出器の増強を終え、測定効率が 1 桁向上し、タンパク質試料への本格的共用が開始された。2015 年度には、「水素原子の観測により、アスパラギン側鎖がイミド酸型として観測される」、「プロトンの授受に関与しうるヒドロニウムイオンが観測される」、「エネルギーの低い中性子を用いることにより天然に近い構造が観測される」等、中性子の特徴を生かした興味深い成果が得られている。現在は、検出器の位置精度向上、積分精度の向上が進められ、より精度の高い構造情報の抽出を試みている。装置グループ員である矢野直峰氏は iBIX における積分精度の向上のため新たにプロファイルフィッティング法を応用した積分法を開発し、積分強度の統計精度向上に成功している。これらの精度向上の状況について、活発な議論が行われ、新たな手法開発について有用な意見が得られた。また、同じく iBIX の装置グループ員である田中伊知朗氏は、

中性子構造解析によって得られるタンパク質分子中の実際のプロトネーション状態が、リガンド・タンパク質間の相互作用、分子認識、立体構造安定性に重要な要因であり、生理的機能を理解する上で重要であることをこれまでの解析例を元に紹介され、その有用性が示された。横山武司氏は iBIX を用いた創薬標的タンパク質の中性子構造解析の成果について紹介された。その詳細は後述の研究成果のトピックスに記載されている。

中性子回折における一つの重要な課題である結晶育成について、高野和文氏は、溶液攪拌技術による結晶の高品質化や大型化技術の開発について発表され、タンパク質結晶の結晶成長において、水の流れや粘性が影響を及ぼすことが示された。山田貢氏は JAXA が実施している高品質タンパク質結晶生成実験について発表された。これまでの 10 年に及ぶ技術開発によって、宇宙実験により高い確率で高品質な結晶を得られるよ

うになっていることが示された。今後は中性子構造解析を見据えた、大型結晶の生成にも取り組むことを予定しているということであるので、我々の研究会としても今後注目すべきであり、共同研究等の方向性を探るべきであると考えられる重要な報告であった。

茶竹俊行氏は単角質結晶学に対して、水素原子の同位体効果を利用した D/H コントラスト法の適用を行った結果を報告された。本方法は結晶成長や装置の高度化とは異なった形でタンパク質の水素原子の情報を増やすことができる手法であり、ある種のタンパク質については非常に有用な手法であることが分かった。今後、iBIX で測定されるデータについても適用を考えるべきものであった。

秋山良氏は、結晶化理論においてマクロアニオン間の実行相互作用を積分方程式理論を用いて計算し、その実行相互作用を用いてマクロアニオンの凝集挙動をモンテカルロシミュレーションを用いて議論し、科学反応が関与した場合の秩序形成崩壊の議論がされた。重田育照氏によりタンパク質の構造予測、酵素反応の解析や pKa の予測を目的とした構造サンプリング手法や酵素反応シミュレーションの研究例が紹介された。今後、どのように中性子から得られた構造情報をシミュレーションに生かして、互いに相補的な情報を与えていくか詳細な議論が必要である。

研究会両日に渡って多彩な研究紹介が行われ、活発な議論の後、閉会した。

2.2 第2回水和ナノ構造研究会 (2016年3月6日～7日 宮城県仙台市華ノ湯)

第2回の水和ナノ研究会は仙台市の秋保温泉にて、「高度なプロトネーション分析が拓く pKa 機能分子科学」というテーマで開催した。

1人目の外部講師は、茨城大学の海野昌喜氏で、「プロトネーションを回折散乱法で見る」というタイトルで、実際には光合成色素合成酵素 PcyA とビリベルジンとの複合体の中性子結晶構造解析を行った結果を中心に発表していただいた。ビリベルジンに水素が一つ余分に付いた状態が混在していること、およびその水素化部位、周囲のアミノ酸の水素化状態を解明し、水素原子の有無により、酵素反応がコントロールされることが分かった。また、これらの結果から初期段階の反応メカニズムの提唱に至った。さらに、X線解析では、エネルギーの高いX線照射で発生する電子により、酵素の構造が本来と違う形に変化することが分かった一方で、エネルギーが低い中性子の利用により、水素を可視化すること以外に、より天然状態に近い酵素の構造を解析することができた。iBIX を用いた中性子構造解析として中性子の特徴を生かした研究成果であり、中性子回折法がタンパク質の機能解明に有効であることを非常によく示す結果をご報告いただいた。

2人目の外部講師は長岡技術科学大学の城所俊一氏で、「生体分子機能とプロトネーションの関係を熱・分光法で解明する」というタイトルで発表いただいた。熱・分光法による新しい測定法により生体分子機能とプロトネーションとの関係を解明することを目指しており、溶液条件下での ATP 加水分解反応のエンタルピーを評価する方法が

確立されている。またこの方法により、pH8.5 の ATP 加水分解全体反応エンタルピーは 3~50mM の範囲で大きな Mg^{2+} 濃度依存性を持つことが明らかとなった。また、Mg イオン共存時のピロリン酸加水分解反応に伴う水素イオン放出量を等温滴定型熱量計による測定の結果から評価する手法についても発表された。

3 人目の外部講師は九州大学の吉田紀生氏で、「プロトネーションと生体分子機能の予測：理論的アプローチ」というタイトルで発表いただいた。生体内分子のプロトン化状態を記述するためには、生体分子や水、イオンといった環境下での化学反応すなわち電子状態変化を扱う理論が必要となる。量子化学及び統計力学の種々の理論を組み合わせることで、生体分子のプロトン化状態の予測とプロトン化状態変化によって起こる生体分子機能解析に向けた理論開発が行われている。実際にチャネルロドプシンについて理論計算を行い、理論計算から連続的な水の分布の観測に成功している。

2.3 共催による研究会

その他、共催で開催された 6 研究会の概要を以下に示す。

2.3.1 茨城県 iBIX 研究会

第 9 回 iBIX 研究会 平成 27 年 6 月 5 日

新村 信雄氏（茨城大学）

「中性子タンパク質結晶構造解析の目指す方向」

第 10 回 iBIX 研究会 平成 27 年 8 月 18 日

神谷 信夫氏（大阪市立大学）

「ADPRase の結晶相反応におけるプロトン挙動」

第 11 回 iBIX 研究会 平成 27 年 10 月 28 日

岡島 俊英氏（大阪大学）／村川 武志氏（大阪医科歯科大学）

「銅含有アミン酸化酵素の反応中間体構造と触媒機構／銅含有アミン酸化酵素の大型結晶調製と予備的中性子回折測定」

第 12 回 iBIX 研究会 平成 28 年 1 月 27 日

千田 美紀氏（高エネルギー加速器研究機構）

「フェレドキシン還元酵素 BphA4 の酸化還元状態依存的な構造変化と親和性調節機構の解明」

* 開催場所はいずれも茨城県東海村いばらき量子ビーム研究センター

2.3.2 中性子産業利用推進協議会 構造生物学研究会

平成 27 年度第 1 回生物構造学研究会『分子イメージングとタンパク質結晶成長技術』（平成 26 年 11 月 17 日、東京都千代田区エッサム神田ホール、2F 多目的ホール）

「茨城県生命物質構造解析装置 iBIX の現状」 日下 勝弘 （茨城大学）

「光合成色素合成酵素の中性子結晶構造解析」	海野 昌喜	(茨城大学)
「クライオ電子線トモグラフィによる繊毛・鞭毛の「構造遺伝学」	吉川 雅英	(東京大学)
「クライオ電子顕微鏡と光学ナノ計測による分子モーターの構造・動態解析」	難波 啓一	(大阪大学)
「X 線レーザーによる細胞のナノレベルイメージング」	西野 吉則	(北海道大学)
「「きぼう」を利用する高品質タンパク質結晶生成実験」	朴 三用	(横浜市立大学)
「中性子結晶構造解析に向けたタンパク質結晶成長技術」	千田 美紀	(KEK)

平成 27 年度第 2 回生物構造学研究会『中性子で観る水・生命体のダイナミクス』

(平成 28 年 3 月 10 日, 東京都新宿区研究社英語センター, 大会議室)

「たんぱく質の動態を可視化する高速 AFM」	安藤 敏夫	(金沢大学)
「電顕イメージングと計算機シミュレーションによる 2D ハイブリッド解析」	岩崎 憲治	(大阪大学)
「NMR による酵素のダイナミクスとプロトネーション」	池上 貴久	(横浜市立大学)
「酵素によるオリゴ糖合成を目指した立体構造解析」	伏信 進矢	(東京大学)
「たんぱく質結晶の X 線トポグラフィと力学物性」	橘 勝	(横浜市立大学)
「たんぱく質結晶化における新しい技術」	高野 和文	(京都府立大学)

3. 研究成果とトピックスなど

最初の節の概要でも述べたが, J-PARC でのハドロン事故後, 安定して動き出した iBIX で測定したタンパク質の結果が, 2015 年になって 2 つの論文として発表されることになった。これらは, 中性子の長所を十分に活かしたもので, かつ, 希少で新しい構造生物学的な知見が含まれており, トピックスとして取り上げる。

3.1 中性子結晶構造解析によるセルロース分解酵素セルラーゼの加水分解時のアミド-イミド互変異性を伴うプロトンリレーの可視化¹⁾

日下委員長, 新村委員, 田中委員ほか茨城県 BL 関係者が中性子実験の中心的サポートを行ったセルロース分解酵素セルラーゼの基質有無それぞれに対応する 2 つの中性子解析と X 線超高分解能解析についてである。このセルラーゼは逆転型の加水分解を行ってセルロースを分解するものと考えられていたが, 触媒残基に酸性アミノ酸が存在せず, その反応機構が明らかでなかった。今回の中性子解析で, 中性アミノ酸が互変異性化してイミド酸に変化していたことがわかり, かつ, この加水分解反応で移動するプロトンの様子が, ニュートンのゆりかご (カチカチ玉) のように, 分子内部を低密度ながらも通路として捉えることができた。

1) "Newton's cradle" proton relay with amide-imidic acid tautomerization in inverting cellulase

visualized by neutron crystallography

Akihiko Nakamura, Takuya Ishida, Katsuhiro Kusaka, Taro Yamada, Shinya Fushinobu, Ichiro Tanaka, Satoshi Kaneko, Kazunori Ohta, Hiroaki Tanaka, Koji Inaka, Atsushi Nakagawa, Yoshiki Higuchi, Nobuo Niimura, Masahiro Samejima and Kiyohiko Igarashi, Science Advances (2015) e1500263.

3.2 PPS-ビスホスホネート複合体におけるプロトン化状態と水和構造²⁾

横山委員, 日下委員長, 新村委員, 田中委員ほかの共同研究として, 骨粗しょう症薬剤ビスホスホネートとその疾患に大きく関わる標的タンパク質であるファルネシル二リン酸合成酵素 (FPPS) 複合体の中性子結晶構造解析を, J-PARC の茨城県生命物質構造解析装置 (iBIX) とドイツのハインツ・マイアー・ライプニッツ中性子源 (FRM II) の中性子回折装置 (BIODIFF) を利用して行った。その結果, ビスホスホネートのリン酸基の水素原子が取れてすべて完全な脱プロトン化状態 (負イオン) となり, 正の電荷を帯びた標的タンパク質の水素や水分子の水素と結合していることを明らかにした。このことは, 水素と親和性の高い部分が豊富な薬剤の方が標的タンパク質阻害剤として効率が良いことを示唆しており, 副作用の少ない薬剤の設計の重要な手掛りとなりうるものである。

2) Protonation State and Hydration of Bisphosphonate Bound to Farnesyl Pyrophosphate Synthase

T. Yokoyama, M. Mizuguchi, A. Ostermann, K. Kusaka, N. Niimura, T. E. Schrader, I. Tanaka J. Med. Chem. (2015) 58, 7549-7556

4. 研究会開催記録

【第1回】2015年9月1日(火)～2日(水) 於) 塩原温泉

テーマ:「研究内容の発表と自己紹介」

9月1日(火)

日下 勝弘 (茨城大学フロンティア応用原子科学研究センター)

田中 伊知朗 (茨城大学工学部生体分子機能工学科)

新村 信雄 (茨城大学フロンティア応用原子科学研究センター)

大橋 裕二 (東京工業大学)

茶竹 俊行 (京都大学原子炉実験所粒子線基礎物性研究部門)

今野 美智子 (茨城県)

秋山 良 (九州大学大学院理学研究院)

9月2日(水)

高野 和文 (京都府立大学大学院生命環境科学研究科)

山田 貢 (宇宙航空研究開発機構有人宇宙技術部門)

横山 武司 (富山大学大学院医学薬学研究部)

重田 育照（筑波大学計算科学研究センター）

富田 賢一（株式会社ヴィジブルインフォメーションセンター）

矢野 直峰（茨城大学フロンティア応用原子科学研究センター）

【第2回】2016年3月6日（日）～7日（月） 於）秋保温泉

テーマ「高度なプロトネーション分析が拓く pKa 機能分子科学」

3月6日（日）

1. 「iBIX 現状説明」

日下 勝弘（茨城大学フロンティア応用原子科学研究センター）

2. 「プロトネーション実測方法の基盤技術を開発する」

田中 伊知朗（茨城大学工学部生体分子機能工学科）

3. 「プロトネーションを回折散乱法で見る」

海野 昌喜（茨城大学大学院理工学研究科）

4. 「生体分子機能とプロトネーションの関係を熱・分光法で解明する」

城所 俊一（長岡技術科学大学生物機能工学専攻）

5. 「Future Prospect in Neutron Protein Crystallography(NPC)」

新村 信雄（茨城大学フロンティア応用原子科学研究センター）

3月7日（月）

1. 「プロトネーションと生体分子機能の予測:理論的アプローチ」

吉田 紀生（九州大学大学院理学研究院）

2. 総合討論

矢野 直峰（茨城大学フロンティア応用原子科学研究センター）

高野 和文（京都府立大学大学院生命環境科学研究科）

秋山 良（九州大学大学院理学研究院）

ほか全員

水和ナノ構造研究会委員

委員長	日下 勝弘	茨城大学フロンティア応用原子科学研究センター 准教授
委員	田中 伊知朗	茨城大学工学部生体分子機能工学科 教授
	新村 信雄	茨城大学フロンティア応用原子科学研究センター 特命研究員
	五十嵐圭日子	東京大学大学院農学生命科学研究科 准教授
	茶竹 俊行	京都大学原子炉実験所粒子線基礎物性研究部門 准教授
	秋山 良	九州大学大学院理学研究院 准教授
	今野 美智子	茨城県 産業利用コーディネーター
	大橋 裕二	東京工業大学 名誉教授
	矢野 直峰	茨城大学フロンティア応用原子科学研究センター 産学官連携助教
	横山 武司	富山大学大学院医学薬学研究部 助教
	石北 央	東京大学先端科学技術研究センター 教授
	重田 育照	筑波大学計算科学研究センター 教授
	富田 賢一	株式会社ヴィジブルインフォメーションセンター 主任研究員
	高野 和文	京都府立大学大学院生命環境科学研究科 教授
	山田 貢	宇宙航空研究開発機構有人宇宙技術部門 主任開発員

(2016 年 3 月現在 所属・役職は当時)

カーボンナノチューブいよいよ実用開始か

委員長 片浦 弘道
産業技術総合研究所 首席研究員

1. 研究構想

ナノカーボンとは、少なくとも1次元方向の大きさが100ナノメートル以下の炭素材料であり、「ナノ」が引き出す魅力的な物性を示す。特に炭素sp²ネットワークは構造柔軟性が高く、フラーレン（0次元）、ナノチューブ（1次元）、グラフェン（2次元）等、多彩な新材料群が見出され、その優れた基礎物性から次世代半導体材料などとして期待されている。これらナノカーボン材料の合成・精製技術の近年の進展は著しく、特定の原子配列の構造体の合成や分離精製も可能になってきており、その物性解明も進みつつある。しかし、多彩な物性の本質的な理解にはたどり着いておらず、それ故にその応用展開も制限されている。

本研究会では、この魅力的なナノカーボン材料に焦点をあわせ、その基礎物性の理解から応用技術展開まで、既存の分野カテゴリーにとらわれることなく、広く調査研究を行い、科学・技術の発展への貢献を目指す。構成委員を中心に、招待講演者も加えた研究会を開催し、討論に十分な時間を確保することにより、通常の学術集会では得られない熱い議論と深い理解の機会を提供する。気鋭の若手研究者の積極的参加を促し、ナノカーボン材料研究のさらなる発展を目指す。

2. 2015年度の研究活動の概要

本年度、前委員長である東北大学・齋藤理一郎先生からバトンタッチさせていただいた。また、委員のメンバーも若干変更させていただいた。2015年度は、3回のナノカーボン研究会を開催したが、例年とは少し異なった形態となった。齋藤委員長は、毎年夏に蔵王で若手の研究者を集めて研究会を開催されていたが、残念ながら、2015年度は蔵王研究会の開催を見送らせていただいた。そのため、第1回研究会は、2015年9月3日に東京のATI会議室で開催した。第2回は、最近委員に評判の良い福島県の温泉での開催となった。当初予定していたのは、この2回の研究会であったが、MITからMildred S. Dresselhaus先生が東北大を訪問された機会を活かし、臨時に第3回研究会を開催した。2015年6月29日～7月3日にはATI国際フォーラムの位置づけで、The Sixteenth International Conference on the Science and Application of Nanotubesが名古屋大学で開催された。また、2015年11月9日～12日、九州大学で日中韓の3カ国によるA3 Symposium on Emerging Materialsが開催され、これもATI国際フォーラムとして支援をいただいた。

2.1 第1回ナノカーボン研究会（2015年9月3日 ATI 会議室）

テーマ「カーボンナノチューブにおける光学遷移の選択則」

日程調整に手間取り、若干遅い2015年9月3日に、ATI 会議室で第1回ナノカーボン研究会を開催した。まず、本研究会のトピックである、カーボンナノチューブの光学

遷移の選択則について、大阪大学から安食先生をお招きして詳しく講義していただいた。安食先生は、ナノチューブの研究の初期から光学遷移について詳しく研究されているこの道の大家であり、大変わかりやすい説明で、勉強させていただいた。なぜ、光の偏光がナノチューブの軸方向に平行な場合と垂直な場合で選択則が変わるのか、初めてすっきりと理解することが出来た。この選択則の違いは、多くの場面で議論される内容であるが、実



（写真1）第1回ナノカーボン研究会@ATI 会議室

（2015年9月3日）

発表者は片浦。左手奥から大野先生、若林先生、北浦先生、齋藤理一郎先生。右手奥から、片浦、田中先生、榎先生、一番手前がおそらく宮田先生。伊達理事長と湯田坂先生、安食先生は残念ながら枠外。

際に良く理解している人はあまり多く無い。実際、この選択則を誤解している論文も多くあるのが事実である。その意味で、今回安食先生にご講演いただいたのは、非常に有意義であった。ナノチューブの光学遷移に注目したのは、最近我々のところで測定している、カーボンナノチューブの円二色性スペクトルの解析で、選択則が問題となっていたからである。この話題については、この後の章でさらに詳しく説明する。その後、本年度から加わった新委員である、名大の大野教授、産総研の田中主任研究員、首都大学東京の宮田准教授に自己紹介を兼ねて研究内容の講演をしていただいた。大野教授はカーボンナノチューブデバイス研究の第一線の研究者で、「CNT 電子デバイスの応用に関する最近の動向」というタイトルで講演していただいた。平面でない、立体構造を持つ基板上へのデバイスの作り込みや、それを利用した人体埋め込みセンサーへの応用など、先進的なデバイスへのナノチューブの応用は、わくわくさせられる内容であった。田中先生からは、ナノチューブゲル分離の話題提供があった。宮田先生は、かつてはナノチューブの研究を行っていたが、最近では2次元系材料である、遷移金属ダイカルコゲナ

イド (TMDC) の原子層ヘテロ接合の作製で注目されている。カーボンナノチューブの構成要素である、2次元グラフェンの骨格と TMDC の関連性と相違性について議論できる立場にいる。TMDC 系では、最近試料の質に注目が集まっており、まず高品質の薄膜ありきで、そこに面白い物性を実現するための構造を作り込む事が1つのトレンドになっている。宮田先生の場合は、2段階合成によって、面内に三角形の WS_2 とそれを囲い込む MoS_2 の2種類の結晶を作り込み、その境界領域での物性を議論した。こういったヘテロ接合が容易に作製できるところが、TMDC 系の醍醐味である。そのほか、斎藤晋先生、榎先生、北浦先生、湯田坂先生、本間先生、若林先生から話題提供があり、予定の時間をオーバーする熱い議論が展開された。この議論は懇親会でも続き、その後第2回ナノカーボン研究会の開催地案で盛り上がった。

2.2 第2回ナノカーボン研究会 (2016年1月11日~12日 福島野地温泉)

第2回ナノカーボン研究会は、2016年1月11~12日、福島県の野地温泉で開催された。昨年度は、玉子湯で開催し、非常に評判が良かったので、今年度も同じ場所と考えたのだが、あいにく満室で予約できなかったため、むしろさらに奥地に踏み込んで、野地温泉での開催となった。野地温泉は、いわばピンチヒッターとしての起用だったにもかかわらず、これが予想に反して非常に良いところで、



(写真2) 第2回ナノカーボン研究会@野地温泉

(2016年1月11~12日)

左手、手前から、片浦、齋藤理一郎先生、丸山先生、田中先生、大野先生。右手手前から、学生さん2名、榎先生、伊達理事長、その他。暖房が効きすぎて、ややグロッキーな委員の先生方。

委員の先生方にも大変喜んでいただけた。若手の研究者も聞き手として数名参加いただいた。おかげで研究会も非常に熱い議論が繰り広げられた。今回は特にテーマを決めずに、委員の方々に話題提供いただいたが、まずは齋藤理一郎先生から、第1回ナノカーボン研究会で話題になった円二色スペクトルの計算を始めたとのこと報告がなされた。すでに理論計算の論文が出ているが、まじめに考えると、円二色性の計算はそれほど楽で

はないという事であった。グラフェンにおける時間反転対称性により、通常の光学遷移に用いる近似では、信号は全てゼロになってしまうという、非常に興味深い、しかし困った状況の説明があった。この話題は、第3回ナノカーボン研究会に引き継がれる事になった。本間先生からは、ナノチューブとDNAとの相互作用の話題、佐々木先生からは、キャリアドープしたナノチューブにおけるプラズモンの理論の紹介があった。高ドープしたナノチューブでは、通常では見られない新たな吸収ピークが観測され、それは表面プラズモンと解釈されているが、それはおかしいというご意見である。最近、電子顕微鏡内での電子線エネルギーロススペクトルでも、類似のピークが観測されており、タイムリーな話題で興味を惹かれた。榎先生からは、Activated carbon fiber内のナノグラフェンベースのナノポーラスカーボンの電子状態や磁性の加熱処理効果の話題が提供された。田中先生からは、ナノチューブを使った血管造影技術の話題、湯田坂先生からは、ナノチューブで特定の組織を造影する技術に関して紹介があった。これら、生体の近赤外造影剤としての応用は、ナノチューブの分離技術の低コスト化に従い、今後発展する可能性があるかと期待している。最後に宮田先生からは、原子層ヘテロ接合における話題提供で、学生の数だけ面白い結果、言い換えれば苦労話があるという話題で、締めくくられた。

2.3 第3回ナノカーボン研究会（2016年2月日 ATI 会議室）

マサチューセッツ工科大学の Mildred S. Dresselhaus 先生は、ナノカーボン材料の研究では、世界的によく知られた大御所であるが、今回東北大学で名誉博士号を授与されるとの事で来日され、帰国途中に東大に立ち寄ってフラーレン・ナノチューブ・グラフェン学会でも特別講演を行う事となった。ナノカーボン研究会としても、東大のご近所でもある事から、同日の2016年2月19日に研究会を開催し意見交換を行う事となった。急な呼びかけで、また第2回からあまり日が経っていないにも関わらず、多くの委員にお集まりいただき、盛り上がった研究会となった。当初 Dresselhaus 先生にも少しお話いただく予定であったが、本研究会の後すぐにフラーレン・ナノチューブ・グラフェン学会での特別講演があることから、本研究会では、オブザーバーとして議論に参加していただいた。

まず、齋藤理一郎先生から、第2回ナノカーボン研究会からの宿題であった、ナノチューブの円二色性スペクトルの計算について話題提供があり、いろいろ可能性を試した結果、ついに円二色シグナルの導出に成功したとの報告があった。これまで、曖昧に済まされていた、ナノチューブの円二色信号の理論的起源が明らかになり、我々実験家にとっては非常に心強い限りである。さて、長汐先生は、第1回、第2回と都合が合わず、本研究会が本年度初めての出席であった。全委員がそろうのは難しい事から、やはり研究会は年に3回程度は開催するべきなのかも知れない。長汐先生からは、ヘキサゴナルBNにおける絶縁破壊の話題を提供いただいた。一層ごとに絶縁破壊が進むという現象

を、非常に丁寧な実験から導き出しているところが面白い研究であった。丸山先生からは、ナノチューブの成長制御に関する話題をいくつかご紹介いただいた。この分野は、今非常に面白くなっているところである。また、Si との接合をつかったナノチューブ太陽電池も非常に安定で面白い。榎先生からはグラフェンのナノ構造、ゲストの Lin さんからは MoTe₂ の成長、北浦先生からは TMDC のバイエキシトンの話題提供があり、2次元系も活発に進展している事がうかがわれた。斎藤晋先生からは、ホウ素ドーパの2層グラフェンを用いた窒素酸化物センサーの話題提供があった。Dresselhaus 先生はお疲れの様子も見せず、熱心に最後まで議論に参加していただいた。



(写真3) 第3回ナノカーボン研究会@ATI 会議室 (2016年2月19日)

Dresselhaus 先生を囲んで ATI の隣の龍名館で昼食会

右手前から、齋藤理一郎先生、Dresselhaus 先生、Lin さん

左手前から、遠藤先生、丸山先生、Yan Li 先生 (ゲスト)、他

3. 研究成果とトピックスなど

今年度のナノカーボン研究会は、委員長のわがままでナノチューブの光学遷移の選択則の招待講演で始まった。これは、先にも述べた様に、カーボンナノチューブの分離技術が進展し、右巻きと左巻きの分離を含めた、単一構造のナノチューブの分離が実現しており、それら右巻き左巻きのナノチューブにおいて、円二色性スペクトルが観測されているためである。円二色性スペクトルとは、波長により右巻き円偏光と左巻き円偏光で光吸収の強さが変わる現象で、螺旋型の分子に観測されるものである。カーボンナノチューブにおいても、これまでも円二色スペクトルは観測されていたが、高純度の単一構造のナノチューブでの観測は多く無い。通常の光吸収では、ナノチューブに平行な偏光成分のみに光学遷移が観測されるが、円二色スペクトルでは、垂直方向の成分も同様に観測される。そこで、光学遷移の選択則が問題となるのである。円二色スペクトルに見えるピークを全て解析できれば、ナノチューブのバンド構造を求める事ができるはずという訳である。これまでも、円二色スペクトルを計算した理論の論文は報告されてい

るのだが、どうも内容がはっきりしない。皆様のお知恵を拝借するために、安食先生に招待講演をお願いしたと言うわけである。その甲斐あって、齋藤理一郎先生が理論計算に着手してくださり、1年がかりで難解な円二色信号の導出に成功された。これは、ナノカーボン研究会の大きな成果の一つと言って良いのではないだろうか。今後、論文の共同執筆を検討中である。

さて、2015 年度の大きなニュースは、日本ゼオンが、ナノチューブ合成のプラントを立ち上げ、大量生産を始めた事である。<http://www.zeon.co.jp/press/151104.html> これが、本報告書のタイトルにあげた、「カーボンナノチューブいよいよ実用開始か」につながっている。ここで言うカーボンナノチューブとは、一層のグラフェンレイヤーからなる、単層カーボンナノチューブの事である。これまでも、単層ナノチューブの大量合成は複数の企業において成されており、販売もされているが、多くの場合、製品に使う事を前提とした生産ではなく、むしろ試薬として使ってもらう研究用途の生産レベルであった。用途開発がなかなか進まず、企業には多く買ってもらえなかったというのが本当のところだろう。そのため価格は高く、その高価格のため、製品化には高付加価値が求められ、ハードルが上がってしまい、実用化が遅れた。そのため、ナノチューブは売れず、価格も下がらないという、負のスパイラルに陥っていた。それに対し、日本ゼオンのナノチューブ生産工場は、自社製品に使う事を前提にしているところがこれまでと大きく異なる。用途開発は NEDO のプロジェクト等ですでに進んでいる。いよいよ、ナノチューブ実用化に向けて、企業が大きく歩を進めたと言うことである。何より、先日週末にテレビを観ていて、日本ゼオンがナノチューブのテレビ CM を流しているのを偶然見かけた。これは、大きな驚きである。本気で製品にして売る気だと言うことである。我々が何気なく使う製品に、いつの間にかカーボンナノチューブが使われているという、そんな日が間近に迫っている。ATI 国際フォーラムとして、2016 年 11 月には、カーボンナノチューブ発見 25 周年を記念した国際会議 CNT25 が予定されている。そこでは、このナノチューブの実用化に関しても議論される予定である。電子顕微鏡の中で見つかった新素材が、多くの研究者を巻き込み、1/4 世紀かけて、ついに一般社会に出て行くのである。

4. 研究会開催記録

【第1回】2015 年 9 月 3 日（木） 於）A T I 会議室

1. 委員長挨拶 片浦 弘道（産業技術総合研究所）
2. 「カーボンナノチューブにおける光学遷移の選択則」
安食 博志（大阪大学光科学センター）
3. 研究委員による最新研究発表
大野 雄高（名古屋大学未来材料・システム研究所）
田中 丈士（産業技術総合研究所）

宮田 耕充（首都大学東京大学院理工学研究科）
齋藤 理一郎（東北大学大学院理学研究科）
齋藤 晋（東京工業大学大学院理工学研究科）
榎 敏明（東京工業大学）
北浦 良（名古屋大学大学院理学研究科）
湯田坂 雅子（産業技術総合研究所）
本間 芳和（東京理科大学理学部物理学科）
佐々木 健一（NTT 物性科学基礎研究所）
若林 克法（物質・材料研究機構）

【第2回】2016年1月11日（月）～12日（火） 於）福島野地温泉

1月11日（月）

1. 委員長挨拶・講演

片浦 弘道（産業技術総合研究所）

2. 研究委員による最新研究発表

齋藤 理一郎（東北大学大学院理学研究科）

本間 芳和（東京理科大学理学部物理学科）

丸山 茂夫（東京大学大学院工学系研究科）

佐々木 健一（NTT 物性科学基礎研究所）

榎 敏明（東京工業大学）

湯田坂 雅子（産業技術総合研究所）

田中 丈士（産業技術総合研究所）

大野 雄高（名古屋大学未来材料・システム研究所）

宮田 耕充（首都大学東京大学院理工学研究科）

1月12日（火）

1. 総括議論

【第3回】2016年2月19日（金） 於）ATI 会議室

1. 「Single chirality separation and optical properties of SWCNTs」

片浦 弘道（産業技術総合研究所）

2. 「Circular Dichroism of Single Wall Carbon Nanotubes

齋藤 理一郎（東北大学大学院理学研究科）

3. 「Dielectric Breakdown of Hexagonal Boron Nitride」

長汐 晃輔（東京大学大学院工学系研究科）

4. 「Large-Area Synthesis of High-Quality Uniform Few-Layer MoTe₂」

Lin Zhou（Massachusetts Institute of Technology）

5. 「Single-walled carbon nanotube film as electron-blocking-layer and transparent electrode for various solar cells」
丸山 茂夫（東京大学大学院工学系研究科）
6. 「Doped bilayer graphene for toxic gas sensors」
藤本 義隆・斎藤 晋（東京工業大学大学院理工学研究科）
7. 「Observation of biexciton formation in high-quality transition metal dichalcogenide atomiclayers grown on hexagonal boron nitride」
北浦 良（名古屋大学大学院理学研究科）
8. 「Graphene nanostructures; interdisciplinary entity between chemistry and physics」
榎 敏明（東京工業大学）

ナノカーボン研究会委員

委員長	片浦 弘道	産業技術総合研究所ナノ材料研究部門 首席研究員
委 員	齋藤 理一郎	東北大学大学院理学研究科 教授
	遠藤 守信	信州大学先鋭領域融合研究群カーボン科学研究所 特別特任教授
	榎 敏明	東京工業大学 名誉教授
	長汐 晃輔	東京大学大学院工学系研究科 准教授
	斎藤 晋	東京工業大学大学院理工学研究科 教授
	北浦 良	名古屋大学大学院理学研究科 准教授
	湯田坂 雅子	産業技術総合研究所ナノ材料研究部門 招聘研究員
	本間 芳和	東京理科大学理学部物理学科 教授
	佐々木 健一	NTT 物性科学基礎研究所 リサーチスペシャリスト
	若林 克法	関西学院大学理工学部先進エネルギーナノ工学科 教授
	丸山 茂夫	東京大学大学院工学系研究科 教授
	大野 雄高	名古屋大学未来材料・システム研究所 教授
	宮田 耕充	首都大学東京大学院理工学研究科 准教授
	田中 丈士	産業技術総合研究所ナノ材料研究部門 主任研究員

(2016 年 3 月現在 所属・役職は当時)

新体制でのバイオ単分子研究会を始動

委員長 西野 吉則
北海道大学 教授

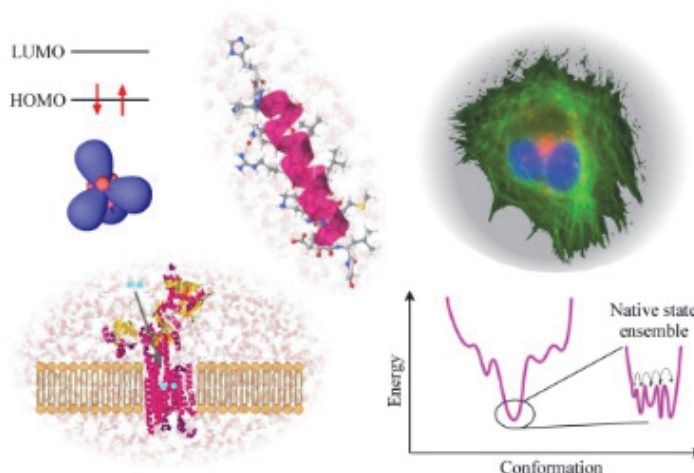
1. 研究構想

バイオ単分子研究会は 2009 年度に発足した研究会である。ATI 研究会の第 6 期（2009～2011 年度）および第 7 期（2012～2014 年度）では、佐々木裕次教授（東京大学大学院新領域創成科学研究科）が委員長を務められた。2015 年度より始まった ATI 研究会第 8 期（2015～2017 年度）では、西野がバイオ単分子研究会の委員長を拝命し、新体制での活動を開始した。

第 8 期におけるバイオ単分子研究会を始めるにあたり、以下の研究構想を描いた。生命現象を動的な分子レベルから理解することは、生物学の究極の目標の一つである。これは量子力学的な「デジタル」世界と古典統計力学的な「アナログ」世界とを結び付けるといふ、自然科学の壮大な問いにも通じる。特定の立体構造をもったタンパク質分子やその複合体は、あるものは精密な「デジタル」な分子機械として振る舞う一方で、あるものは熱的なゆらぎを受けて「アナログ」な動的機能を発現する。DNA を介して「デジタル」な遺伝情報は次世代に正確に受け継がれるが、エピジェネティックな制御により「アナログ」で多様な表現型に道が開かれる。さらに、生物は雄大な時間スケールで大進化を起こす。このように、生物は、確実な動作や情報伝達を行うデジタルな世界と、多様性と個性をもったアナログな世界を巧みに使い分けて自らを制御している。

多数の分子のアンサンブル（集団）平均や時間平均ではなく、生物試料を、生きた細胞の中や生きているに近い環境で、分子レベルで理解するには、多岐に亘る革新的な技術開発が求められる。

本研究会では、様々なプローブを用いた単分子レベルでの計測技術や、細胞の動的制御技術、さらには情報科学や理論など、様々なアプローチから、生命現象の動的な分子レベルからの理解を目指す議論を交わすことを目的とする。



(図 1) ATI 研究会第 8 期でのバイオ単分子研究会の構想図

2. 2015 年度の研究会活動の概要

2.1 新体制でのバイオ単分子研究会発足に至る経緯

私と ATI との初めての関わりは、2014 年 12 月 6～7 日に開催された 2014 年度第 2 回バイオ単分子研究会である。この研究会での講演依頼をいただくまで、私自身、ATI について全く存じ上げなかったが、講演依頼と合わせて、第 8 期でのバイオ単分子研究会の委員長の打診をいただいた。研究会において、伊達理事長にお目にかかり、ATI の概要を伺い、委員長就任の正式な依頼をいただいた。この際に、研究会の名称である「バイオ単分子研究会」は維持するようにとの要請を受けた。私自身の研究のバックグラウンドは物理学で、「バイオ単分子」に合致する研究業績も余りないが、今後の研究対象としては大変興味ある分野であったため、委員長をお引き受けした。なお、私は大学院時代に、大阪大学大学院の理学研究科に在籍し、核物理研究センターの理論部でハドロン物理を学んでいたが、その頃、伊達理事長が理学研究科長を務められていたと記憶する。阪大には大学院から所属したため、学生時代は伊達理事長の講義を受けたことは無く、個人的にお話する機会もなかったが、様々な式典ではお見かけしていた。それ以来、20 年程ぶりの再会となり、何かのご縁を感じた。

新体制でのバイオ単分子研究会を発足させるにあたり、まずは委員の人選を行った。佐々木前委員長から ATI 研究会第 7 期のバイオ単分子研究会の委員の中から継続での委員の推薦をいただき、7 名の方々にご快諾いただいた。さらに、新規に 5 名程度の委員の人選を委ねられた。バイオ単分子の探求に向けて独自の革新的な技術開発を進めている研究者のうち、特に、最近になり PI となった若く活力のある方々を中心に人選を進め、6 名の方々にご快諾いただいた。研究会に多様性をもたせる意図もあり、新任の委員の方の半数は、web 検索などをもとに、それまで面識のない方にお声がけさせていただいた。継続 7 名、委員長も合わせ新規 7 名の計 14 名の委員で、新体制のバイオ単分子研究会のスタートを切った。その後、2016 年 1 月に、もう 1 名委員を追加し、2015 年度末現在では、15 名の委員の体制となった。

研究会の活動に関して、ATI 研究会第 6～7 期のバイオ単分子研究会の状況を佐々木前委員長から伺った。温泉地での合宿形式での密な議論や、研究会と合わせた見学・視察など、活発な研究会運営に資する活動が行われてきており、これらに関して、ATI 研究会第 8 期でも踏襲していきたいと考えている。

2.2 第 1 回バイオ単分子研究会 (2015 年 8 月 26 日 ATI 会議室)

新体制での委員の初顔合わせの場となる 2015 年度第 1 回バイオ単分子研究会を、2015 年 8 月 26 日 (水) に ATI 会議室で開催した。研究会開催時点での全 14 名の委員のうち、大多数の 11 名が参加した。参加した全委員が、自己紹介として、持ち時間 20 分で、自らの経歴や研究内容、さらにバイオ単分子研究会の今後の活動への期待などを発表した。各委員の発表は、研究内容も大変興味深く、また、発表スタイルもインパク

トがあり印象深かった。ユニークな委員に集まっただき、今後の研究会活動の展開に期待が膨らんだ。

各委員は、独自のアプローチでバイオ単分子に関する研究を行われていた。中でも、ツールとして光を使っている委員が多数いた。光を生物試料観察のプロブとしてのみではなく、光を使って生命機能を操作するオプトジェネティクス（光遺伝学）などの研究への期待が、複数の委員より語られた。このため、2015 年度第2回バイオ単分子研究会では、委員長の独断で、オプトジェネティクスに焦点を当てることとした。

2.3 第2回バイオ単分子研究会（2016年3月30日～31日 ~~宮城秋保温泉~~ 福島いわき湯本温泉）

2015 年度第2回バイオ単分子研究会のテーマをオプトジェネティクスに定め、招待講演者の推薦を委員から募った。その中で、バイオ単分子研究会の須藤雄気委員を推す意見を複数いただいた。これを受けて、須藤委員に、研究分野を俯瞰したレビューを含めた講演に加えて、研究会全体の構成と一緒に議論する座長的な役割もお願いした。これにより、研究会の企画を円滑に具体化できたため、今後の委員会においても、委員の中からどなたかに、座長的な役割をお願いする形式を継続したいと考えている。

委員から推薦された招待講演者の候補について、須藤委員とも相談の上、候補者に講演の打診を行い、須藤委員に加え、山中章弘先生（名古屋大学環境医学研究所）、田中謙二先生（慶應義塾大学医学部）、成川礼先生（静岡大学理学部生物科学科）にご快諾いただいた。さらに、研究会に副題を付けることを考え、須藤委員にいくつかご提案いただいた中から、「10 年後のオプトジェネティクスを考える」を選んだ。この副題は、ご講演者に、専門の研究会等で普段行われている講演内容に加えて、一捻り考えた発表をしていただく期待を込めたものである。

研究会は、2016年3月30日（水）、31日（木）に福島県で行った。全15名の委員のうち、12名が参加した。温泉地での合宿形式で、1日目の3月30日は、いわき湯本温泉「新つた」において研究会を行い、2日目の3月31日は、福島第一原子力発電所の事故に関連した福島県富岡町での「町内環境クリーン化促進事業」の視察を行った。また、3月30日の夜には、委員がお酒を酌み交わしながら、今後の委員会運営について議論を交わした。今後研究会で取り上げるべきテーマが多数挙げられた。また、西野よりバイオ単分子研究会の web ページを作る提案をし、賛同が得られた。

2.3.1 オプトジェネティクスに関する研究会

1日目の3月30日の研究会は、西野の開会挨拶で始まった。研究会の1週間前の3月23日に文科省から、JST 戦略的創造研究推進事業（新技術シーズ創出）の平成28年度の3つの戦略目標が発表され、その一つが「生命科学分野における光操作技術の開発とそれを用いた生命機能メカニズムの解明」という、今回の研究会のテーマに合致したものであったことなどを紹介した。戦略目標を受けて、その後、「CREST」や「さが

け」の研究領域が立ち上がるため、「さきがけ」を先駆けた議論がバイオ単分子研究会で行われることが期待された。

1人目の発表は、須藤雄気先生が行った。まず、オプトジェネティクスの研究の歴史や概要に関してレビューを行った。オプトジェネティクスとは、光活性化タンパク質を遺伝子工学により細胞に発現させ、生命機能を光で操作する研究分野である。特に、光を用いて神経活動を操作する研究が盛んに行われている。オプトジェネティクス研究は、2005年にスタンフォード大の Karl Deisseroth らにより発表された Nature Neuroscience の論文に始まる (Nature Neuroscience 8, 1263 (2005))。チャネルロドプシン2を神経細胞に発現させ、光を用いて神経活動をミリ秒オーダーで制御することに成功したというものである。Karl Deisseroth は、2004年に Stanford 大で PI として研究室を立ち上げ、翌年の論文発表当時の年齢は33歳である。Nature Methods 誌により2010年の Method of the Year にも選出され、遠くない将来にノーベル賞を受賞すると目されている。また、須藤先生ご自身の研究に関しては、「光を薬へ」をスローガンに進めていると話された。オプトジェネティクスのツールとなる光活性化タンパク質の研究を行われていて、特に、ロドプシンに代表されるレチナールを発色団とする7回膜貫通型のタンパク質(レチナールタンパク質)に関する多岐に亘る研究について発表された。発色団アナログにより、イオンの輸送方向を制御するお話は、自らの研究にも活用できそうで、特に印象に残った。

2人目は、山中章弘先生が、脳疾患に起因する睡眠障害であるナルコレプシーについて発表を行った。視床下部の前方に睡眠中枢、後方に覚醒中枢があり相互に抑制しながら睡眠を制御している。ナルコレプシーの患者は、この制御が正常に働かず、日中でも耐え難い眠気に襲われる。日常生活での感情の高ぶりによって、レム睡眠と同様の状態に陥る情動脱力発作を伴う患者もいるとのことで、この症状を示す動画は衝撃的だった。睡眠の制御には、神経ペプチド「オレキシン」が関わっており、山中先生はオレキシン神経細胞に光活性化タンパク質であるハロロドプシンを導入することで、光を用いて睡眠を制御し、睡眠のメカニズムに迫る研究を行った。研究の成果もあり「ベルソムラ」(美しい眠りという意)という睡眠薬も市販されているとのことである。ナルコレプシーについては、これまで全く知識がなかったが、動画や画像を多用して、門外漢にもとても興味深くお話いただいた。

3人目は、田中謙二先生が、脳の基質的障害により、やる気がない状態に陥るアパシーについて発表を行った。特に、高齢者に起こる障害を指すとのことである。まず、オプトジェネティクスに関連して、ヒトを対象にできること・できないこと、モデル生物を対象にできること・できないことなどを、生命倫理的制約や技術的制約の側面からお話された。田中先生は、ハンチントン病の研究などに基づき、前頭葉にある線条体腹外側の D2-MSN の障害がアパシーを引き起こすと仮説をたてた。この神経細胞にチャネルロドプシン2を発現したマウスを作成して、光によりその活動を制御した。意欲の数

値的評価ではエサ報酬を動機付けとしたレバー押し課題を行った。研究の結果、D2-MSN の障害がアパシーを引き起こすことを明らかにした。「やる気」という定量的な評価が難しい研究テーマであるが、用語をひとつひとつ丁寧に定義し、数値化し、科学的議論に結び付ける研究スタイルが印象に残った。

4 人目は、成川礼先生が、光合成生物であるシアノバクテリアがもつ独自の光受容タンパク質であるシアノバクテリオクロム（CBCR）などについてお話された。成川先生は、シアノバクテリアの光応答戦略解明を目指して、新規の CBCR の探索や、シアノバクテリオクロムが制御する光応答現象に関する研究を進めている。さらに、CBCR のオプトジェネティクスや蛍光分子イメージングへの応用に向けた研究も行っている。講演では、様々な光センサータンパク質とそこで用いられる色素についても、分かりやすくレビューしていただいた。レチナールを色素としてもつロドプシンが良く知られているが、CBCR はフィトクロムと同様に、開環テトラピロールを色素としてもつ。また、フラビンを色素としてもつ LOV（Light, Oxygen, or Voltage）や BULF（Blue Light Using FAD）などのセンサータンパク質もある。研究会の全ての講演に積極的に質問・コメントをされ、研究会を大いに盛り上げていただいた。

4 人の講演の後で、大島泰郎委員より、翌日の福島県富岡町での「町内環境クリーン化促進事業」の視察に関して、レクチャーしていただいた。



（写真 1）研究会での集合写真
（2016 年 3 月 30 日、いわき湯本温泉「新つた」）

2.3.2 福島県富岡町での「町内環境クリーン化促進事業」の視察

福島県富岡町での「町内環境クリーン化促進事業」は、福島第一原子力発電所の事故を受けて、平成 26 年度から 27 年度に経産省の支援を受け富岡町が行った事業である。全町避難のため、農家に残置されたり、殺処分され埋設されたりした家畜を、菌を用いて分解し、堆肥化することで、衛生的に減容処理する事業である。大島泰郎委員が所属する共和化工(株)もこの事業に関わっており、西野の希望で視察が実現した。視察を行った養豚場は、福島第一原発から直線距離で 6 km 弱で、現在も帰還困難区域に指定されているため、視察に先だって、視察メンバーの全員の登録が必要であった。その手続きに、大島委員や ATI の高瀬さんに大変ご苦労いただいた。

家畜の処理に関しては、堆肥化と焼却が主に考えられるが、堆肥化は大規模施設や投資を必要としないというメリットがある。この事業で使われた高温好気性の *Calditerricola satsumensis* を用いた堆肥化の技術は、事業に関わる(株)山有と共和化工(株)が

開発した。従来の堆肥では内部温度が 70℃前後であるのに対して、*C. satsumensis* を用いた堆肥の内部温度は 95℃以上であり、分解力が高く、殺菌力も強い。従来の堆肥では部分的に嫌気性の菌が用いられるため通気を必要としないが、*C. satsumensis* はほぼ完全に好気性のため、床下から通気する。好気性であることにより、メタンガスの発生はなく、悪臭も少なく、減容率も大きいという好ましい特徴がある。事前の研究で、8週間で牛1頭が骨も含め完全に分解することが示された。

我々は、第1日目の研究会が開かれたいわき市からマイクロバスで現地に向かった。常磐自動車道を北上すると、あちらこちらでフレコンバッグに入れられた除染廃棄物が山積みされている光景が広がった。高速道路を降りると、居住制限区域に入り、除染作業が進められていた。無人の土地は、フレコンバッグに入れられた除染廃棄物で埋め尽くされていた。現場に近づいていき、帰還困難区域の前まで来ると検問があった。マイクロバスの中に原子力災害現地対策本部の方が来られ、参加者1人ずつを身分証で確認した。

現場に着くと、事業の担当者であるグリーンアーム㈱の国島武史様に迎えていただいた。まずプレハブ小屋に案内され、そこでレクチャーを受けた。後に伺ったところでは、このプレハブ小屋は、放射線防護がされたもので、打ち合わせなど屋外での作業の必要のない時には、プレハブ小屋を利用するよう国から指導されているとのことである。その後、白い防護服に着替えて屋外に出た。防護服は、放射性の粉塵が体に付着するのを防ぐためであり、放射線の遮蔽のためではない。なお、プレハブ小屋と防護服は、事業に関わる東レ㈱が開発したものである。

視察した事業は平成27年度で一旦終わるが、我々が視察した日は、平成27年度最後の日ということもあって、国による事業終了の点検も終わり、ほぼ片付けられている状態だった。2年前に事業が始まった際には、原発事故から3年が経ち、養豚場には雑草がうっそうと生え、飼育舎内では豚がミイラ化し、強烈な悪臭がしていたという。防護服では匂いは通ってしまい、作業後に風呂に入っても悪臭がこびり付いていた、という言葉が印象に残る。2年間で、残置家畜（豚）12,635頭、埋却家畜（牛）434頭を処理



(写真 2) 常磐自動車道から見た風景
フレコンバッグに入れられた除染廃棄物が広がる。



(写真 3) 視察風景
白い防護服を着用している。

したとのことである。平成 28 年度からは、国の直轄事業として継続されるそうである。

堆肥化の現場では、処理の終わった堆肥や、床下の通気設備の見学を行った。処理が終わった堆肥は、事業に関わる PACTEC 製のフレコンバッグに入れ保管される。使用している PACTEC 製のフレコンバッグは、国際原子力機関（IAEA）の審査を通った高品質のものとのことで、1 つ 1 万円程度するとのことである。移動途中で見たフレコンバッグがその数分の 1 の価格であろうとのことであったが、見渡す限り広がる膨大な数のフレコンバッグだけでも、極めて高額になることが容易に想像された。

ちなみに、視察では研究室の線量計を持参した。車で移動中のいわき市では、 $0.1 \mu\text{Sv/h}$ 程であった。視察現場では、レクチャーでは屋外の線量は $5 \mu\text{Sv/h}$ 程と伺った。実測値は、アスファルトの上で $2 \mu\text{Sv/h}$ 程、土や草木の上では $7 \mu\text{Sv/h}$ を超えるところもあった。これは、電離放射線障害防止規則（電離則）が定める「放射線管理区域」を設定しなければならない程の線量である。



（写真 4）堆肥化の現場



（写真 5）視察現場での線量

3. 研究成果とトピックスなど

外部資金では、西野が研究代表者、大島委員が研究分担者として申請した科研費基盤研究（S）が採択された。研究課題名は「X線レーザー回折による生細胞ダイナミクス」である。研究成果では、秋山委員がシアノバクテリアの時計タンパク質 KaiC の立体構造と機能を解明し、わずか 10 ナノメートルという小さな生体分子に、地球の自転周期（約 24 時間）を生み出す構造がデザインされていることを突き止めた研究が *Science* 誌に掲載されるなどがあった。

4. 研究会開催記録

【第 1 回】2015 年 8 月 26 日（水） 於）A T I 会議室

テーマ：「研究内容の発表と自己紹介」

西野 吉則（北海道大学電子科学研究所）

須藤 雄気（岡山大学大学院医歯薬学総合研究科）

秋山 修志（分子化学研究所協奏分子システム研究センター）

古田 寿昭（東邦大学理学部）
朽尾 豪人（京都大学大学院理学研究科）
平野 美奈子（光産業創成大学院大学光バイオ分野）
井出 徹（岡山大学自然科学研究科）
飯野 亮太（岡崎統合バイオサイエンスセンター）
関口 博史（高輝度光科学研究センター利用研究促進部門）
宮澤 淳夫（兵庫県立大学大学院生命理学研究科）
大島 泰郎（共和化工(株)環境微生物学研究所）

【第2回】2016年3月30日（水）～31日（木） 於）秋保温泉=いわき湯本温泉
テーマ「オプトジェネティクス」

3月30日（水）

1. 「光受容レチナールタンパク質の分子機能から考えるオプトジェネティクス研究の10年後」
須藤 雄気（岡山大学大学院医歯薬学総合研究科）
2. 「光遺伝学、薬理遺伝学を用いた睡眠覚醒調節メカニズムの解明」
山中 章弘（名古屋大学環境医学研究所）
3. 「単分子研究から行動研究へ」
田中 謙二（慶應義塾大学医学部）
4. 「光合成微生物・シアノバクテリアからの新規光センサーの発見とその応用利用」
成川 礼（静岡大学理学部生物科学科）

3月31日（木）

共和化工（株）作業現場視察
福島県双葉郡富岡町「町内環境クリーン化促進事業」

バイオ単分子研究会委員

委員長	西野 吉則	北海道大学電子科学研究所 教授
委 員	佐々木 裕次	東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授
	井出 徹	岡山大学・自然科学研究科 教授
	大島 泰郎	共和化工(株)環境微生物学研究所 所長
	飯野 亮太	岡崎統合バイオサイエンスセンター 教授
	関口 博史	高輝度光科学研究センター利用研究促進部門 研究員
	宮澤 淳夫	兵庫県立大学大学院生命理学研究科 教授
	養王田 正文	東京農工大学大学院工学府 教授
	小松崎 民樹	北海道大学電子科学研究所 教授
	平野 美奈子	光産業創成大学院大学光バイオ分野 講師
	朽尾 豪人	京都大学大学院理学研究科 教授
	城地 保昌	高輝度光科学研究センター チームリーダー
	須藤 雄気	岡山大学大学院医歯薬学総合研究科 教授
	秋山 修志	分子化学研究所協奏分子システム研究センター センター長
	古田 寿昭	東邦大学理学部 教授

(2016 年 3 月現在 所属・役職は当時)

界面ナノ科学の進展と取り巻く環境

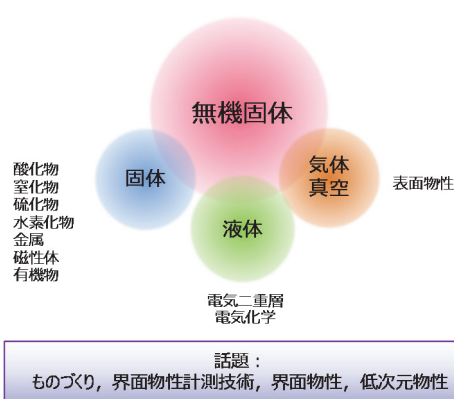
委員長 一杉 太郎
東京工業大学 教授

1. 研究構想

界面ナノ科学研究会では幅広い分野の研究者を集め、無機固体物質を中心とした界面物性に関する学理の構築に力を注いでいる（図 1）。その研究テーマは界面に関わる電気伝導性、磁性、誘電性、化学反応と多岐にわたり、最新の物性制御法、試料作製法、評価法、物性発現の理論までカバーする。

本研究会は 2012 年度に発足し、2014 年度に第一期を完了した。そして、2015 年度から第二期に入った。第二期でも、人材交流を重視しつつ、多彩な界面について研究を進める。

研究会構想



(図 1) 無機固体を軸として、他の物質系と形成する界面機能を研究対象とする

1.1 界面研究の深化

界面に関係する研究は、進展が速い研究領域である。古くはシリコンや GaAs 半導体の表面界面の理解がホットトピックであったが、今や、グラフェンやトポロジカル絶縁体、二次元遷移金属ダイカルコゲナイドなど二次元系の研究が最高潮である。さらに最近では FeSe 系の一原子層薄膜が、バルクの超伝導転移温度よりも高い転移温度で超伝導を示すことから、その起源について活発な研究が展開されている。それらに加え、硫化水素の超伝導が注目されている。驚くべきことに超高压下で超伝導転移温度 $T_c = 203$ K の超伝導が報告され (Drozdov, Nature **525**, 73 (2015)), 一気に銅酸化物超伝導体の T_c (高压下で 164 K) を越えた。今こそ界面の出番である。界面を活用して、常圧でいかに超伝導を実現するのかを考える必要がある。界面構造制御、バンドエンジニアリング等、これまで蓄積した様々な技術の総動員が期待される。

また電気化学において、界面制御の重要性が増している。界面で形成される電気二重層や化学反応についての理解は、リチウムイオン電池、燃料電池、キャパシタ、そして人工光合成や触媒材料の開発に直結する。持続可能な社会の実現に向けて、「エネルギー」の重要性がクローズアップされるなか、それを実現するための界面研究をますますスピードアップしなければならない。

以上は学術面、応用研究面での「界面研究の深化」という観点だった。そのような研

究を進める上で、現在、研究自体の進め方について大きな変革が起きつつある。その一つの流れが、マテリアルズインフォマティクスであり、昨今、大きな研究費が投じられて数多くの研究プロジェクトが走っている。

1.2 界面研究を取り巻く環境 「実験室の産業革命」に向けて

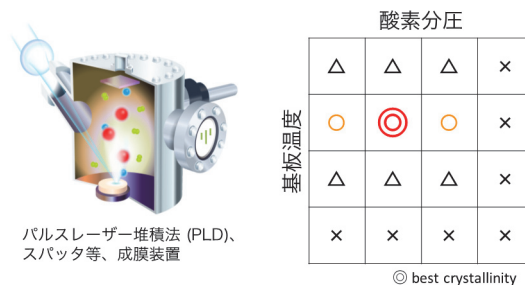
現在のマテリアルズインフォマティクスは、「多量の計算を効率的に行って物性を予測し、より良い物質を高速に選び出す」ことが骨子である。現状は、理論家が主体となって動いており、実験家には「正確な物性データを提供する」ことが求められている。次のステップとしては、その選び出された物質を「**いかに高速に合成するか**」という点が、重要になってくる。つまり、理論予測プロセスが高速になったとしても、物質合成プロセスがもたもたしていたら、全体として研究開発スピードは上がらない。したがって、目的とする物質を速やかに合成する技術が極めて重要になる。

そこで、「実験室の産業革命」ともいうべきものを起こさねばならない。旧態依然とした実験室から脱却し、新たな高みに立たなければならない。ここで重要になるのが、「超高速ものづくり」「インテリジェントものづくり」、あるいは「自律的ものづくりシステム」といった概念である。最近、人工知能が話題になっているが、「研究室でこそ、人工知能が活きる」と考えている。今や、Pepper が家で動き回り、ルンバが掃除をしてくれるという世の中である。実験室で人工知能を搭載したロボットが実験をしても、何ら不思議ではないし、その方向に我々も積極的に動かねばならない。

このような背景から、今やるべきことが定まってくる。荒唐無稽と思われるかもしれないが、究極の目標は「望みの物性を指定したら、翌朝にその物性を示す物質ができあがっている」というものである。そんなことができるのか？と思われるかもしれないが、筆者の専門分野である酸化物薄膜成長においてどのようにして実現するのか妄想してみた。以下、徒然なるままに筆を進めてみよう。

まず、現在の研究の進め方を概説する。我々は通常、将来構想と各種情報を総合的に考え、合成する物質を決める。そして、その物質の成膜を試みる。その際、成膜条件として、酸素分圧と基板温度を振ることとしてマトリックスを作成し（図 2）、そのマトリックス内で最高の結晶性を有する条件を探し出す。順を追って述べると、これまでの経験と勘から、最初の成膜条件を決定し、成膜する。そ

従来の実験プロセス: 成膜を例に

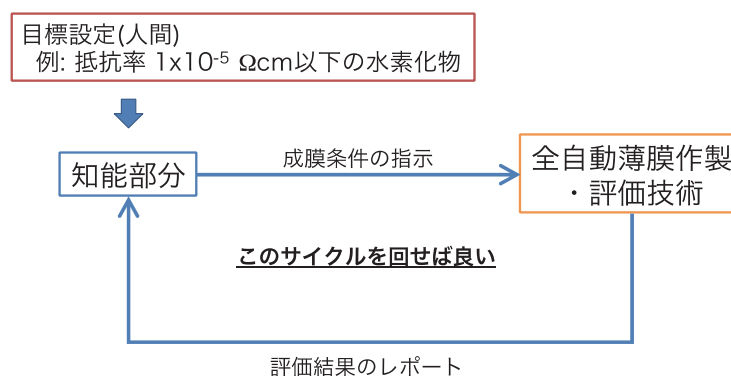


（図 2）実験では、成膜条件を振ったマトリックスを埋めていき最適な成膜条件を見つけて出す。

して、狙った物質ができているのか X 線構造解析により確認し、さらに、結晶の質を評価する。その結果を我々はマトリックスに書き込み、次の成膜条件を決める。これらの手順を目的物質が得られるまで繰り返すか、すべてのマス目を埋めても物質合成ができなかったら、別のパラメータを設定して成膜を行う（あるいは、あきらめる）。卒論生の場合、成膜手順を覚え、一つの物質に集中して成膜に取り組み、かつ、物性評価を行うとちょうど一年が終わって卒論発表となる。そんなペースを何とか高速化し、研究全体をスピードアップさせたい。

実験の高速化を実現するための要素は二つある。「全自動薄膜作製・評価技術（ロボット技術）」と「知能部分（コンピュータソフトウェア:人工知能技術）」

である。知能部分は次に設定すべき成膜条件を決め、全自動薄膜作製・評価装置へ成膜と評価を指示する。そして、その結果を知能部分が受け取り、マトリックスの頂点を見つけることを目指して次の成膜条件を決める（図 3）。このサイクルを繰り返せば、狙いの物質が得られるというわけである。



（図 3）目的の物性が得られるまで繰り返すシステム。

知能部分がなくとも、全自動薄膜作製・評価技術があれば、高速にマトリックスを埋める

全自動薄膜作製・評価技術については、現状の技術を組み合わせることにより、構築可能である。すなわち、成膜後、ロボット技術により評価装置に搬送し、X 線回折を自動的に行い、そのピークをソフトウェアで解析する。半導体デバイス作製技術の進展により、ロボット搬送装置が低価格となり、実験室でも導入可能になっている。では、知能部分についてはどうだろうか。これも現在のソフトウェア技術を使えば、可能である。上記プロセスは、地図上で山の頂点を求めることにほかならない。どのマス目をもっとも標高が高いのかを考え、そこに向かって次の成膜条件を考える。あたえられたマトリックスから次の一手を決定するソフトウェアアルゴリズムはすで存在する。

以上より、図 3 で示したサイクルは現在の技術で実現可能であり、「自動的に求める材料を得る」ことが可能であろう。ただし、研究者が初期条件を決める必要がある。

上記のプロセスでは、研究者が初期成膜条件を決める必要があるが、それを省いて、さらに自律的なシステムにしたい。もう少し考えを深めていこう。頂点に早く到達するには、最初の一手をどこに打つのが決め手となる。つまり、問題は、どの成膜条件か

ら始めるか、という最初の一手である。ここは、本当に人工知能技術が必要かもしれない。コンピュータが膨大な文献（論文）を解釈し、「どの物質の場合、どのような酸素分圧と温度で始めれば良いのか」、ということを決める技術が必要である。つまり、我々が、類似物質の成膜条件を探すことや、金属元素の酸化数から成膜条件を決めることをコンピュータに任せるわけである。今や囲碁名人に人工知能が勝てるのであるから、それも可能であろう。それに、データが多いほど人工知能技術は活躍するので、これまで人類が蓄積してきた知見が活きる。そのような意味で、実験家がしっかりとした実験をおこなう、すなわち、再現性が高く、均質なデータを得ることが望まれている。

1.3 研究者は何をすべきか？

マテリアルインフォマティクスから興味深い物質が提案され、それが実際に合成される例が増えてきた。次回の界面ナノ科学研究会（2016 年 7 月）では、そのような例を取りあげる予定である。もちろんマテリアルインフォマティクスにも強みと弱みがある。弱みは、「エンジニアリングの要素を取り入れるのが難しい」点である。純粋な単結晶の物性予測はある程度できる。しかし、多結晶、あるいは異種材料との混合体となると、膨大な「場合」が考えられ、現状のマテリアルインフォマティクスでは全く手に負えなくなる。つまり、現状では試料が均一で単結晶に近い試料を扱う物性物理という観点では、マテリアルインフォマティクスは活用可能であろう。しかし、いったん、粒界などの要素や不均一の導入が鍵を握る物性、すなわち、材料科学の分野に入ってくると、様子は異なる。たとえば、機械的強度や保磁力などは粒界特性に大きく左右される。その界面状態まですべて取り入れて計算するのは当分不可能である。つまり、「界面」が関与すると格段に難しくなるのである。

そのような環境の中、我々は何をすべきか。まず、化学系、材料系の研究者は、予測された物質の合成やその周辺物質の合成、さらには上記の弱みで述べたように、「物質から材料への作り込み」では多数の仕事がある。界面制御もその一例であろう。物性物理学者は、第一原理計算では考慮できていない物理現象の探索が主務となる。

前述のような全自動システムを開発すると、「学生が考えなくなる」、という批判がある。しかし、過去を考えると、ごく自然な流れである。ある実験装置が開発されて、その物性測定に時間と労力がとられなくなり、その分、新しい発想で別の実験に取り組むという歴史を繰り返してきた。このシステムもその一つであり、「考えない学生を増やす」装置ではないことを強調したい。

2. 2015 年度の研究活動の概要

本研究会メンバーには、ものづくり、物性測定、第一原理計算・理論家、など多様な人材がそろっており、メンバーは総勢 15 名である。メンバー間のフランクな関係を築き上げ、「議論すべきことはきっちり議論する」、という姿勢で毎年度、研究会を最低 2

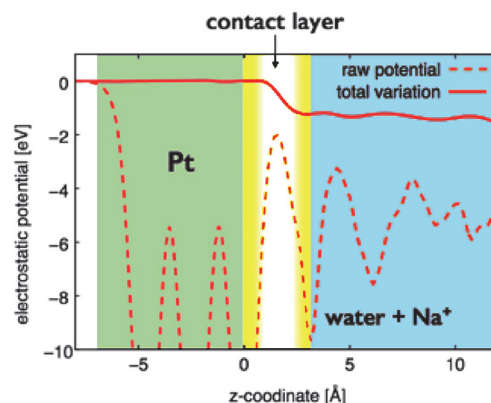
回、開催している。本年度から研究会メンバー内で幹事を決め、研究会を企画することとした。これにより、より広範囲の研究トピックについて議論を進めることができる。

2.1 第1回界面ナノ科学研究会（2015年9月24日 ATI 会議室）

界面物性の電界制御に着目した研究会を開催し、界面ナノ科学研究会の委員である東京大学の**安藤康伸**先生（現 産総研）と**千葉大地**先生に、詳しく話をうかがい、議論を行った。

まず、安藤先生より、「**電気化学界面のシミュレーション技術と電気二重層の微視的解析**」と題して、電気二重層の最先端の理解について説明していただいた。安藤先生は気鋭の理論家であり、第一原理計算手法の開発と共に、幅広い材料について研究を進めている。さらには、最近は情報科学を材料科学に取り込み、効率的な計算手法の開発も進めている。

どのようなモノでも何かに接触した瞬間に界面において電子の移動が起きる。したがって、電気化学はユビキタスな現象である。固液界面の特徴として、電極表面に「電気二重層」と呼ばれる静電的構造が形成する。電気二重層は電極上の表面電荷と、電解液中のカウンターイオンから成り、Gouy-Chapman-Stern の古典理論モデルにより微視的なキャパシタのようなものとして理解されてきた。しかし、電気二重層の厚みは nm オーダーでありながら、量子力学的な描像は明らかにされていなかった。そこで安藤先生らは第一原理シミュレーションを用いて電気二重層の微視的解析を行った。本講演では、古典モデルでは指摘されていなかった、固液界面に生じる極めて薄い低誘電率領域（コンタクト層）の存在に



（図4）白金-ナトリウムイオン水溶液界面における界面垂直方向における静電ポテンシャルの面平均分布（赤線）。緑領域：白金，黄色領域：「コンタクト層」，青領域：水溶液 をそれぞれ示す。
[Ando et al., Chem. Phys. Lett. (2013)より]

ついて（図4）、また最新の第一原理シミュレーション技術について語っていただいた。

次に、「**電界による金属超薄膜の磁性の制御**」と題して千葉先生より講演をしていただいた。千葉先生は「**スピントロニクスの魔術師**」と言っても良い存在であり、千葉先生の手にかかると、ありとあらゆるものが磁性を帯び、自在に磁性制御できるのではと思わせる。

金属薄膜に電界を加えると、遮蔽効果のために表面一原子層程度の電子濃度が変化する。この変化は、金属が数原子層程度の超薄膜であれば、その物性に变化をもたらす原

因となりうる。それは、3d 遷移金属強磁性体でも例外ではなく、これまで多くの磁気的性質、例えば磁気異方性・キュリー温度・磁気モーメントなどが電界で変化するという結果が得られている。本講演では、Pt/Co 系における磁性の電界効果や、非磁性体を磁石化する試みに向けた実験など、最近の取り組みについても紹介していただいた。

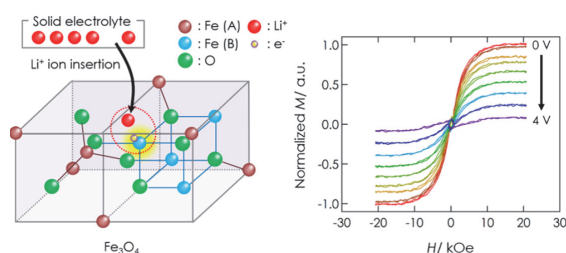
2.2 第2回界面ナノ科学研究会（2016年3月15日 ATI 会議室）

界面を活用した物性制御について、東工大・谷山智康先生、そして、物材機構・土屋敬志博士を招き、密な議論を行った。

まず、谷山先生より、「**界面マルチフェロイクにおける磁性の電界制御**」と題して講演をしていただいた。現在、磁化スイッチングや、磁壁移動に基づく新規スピントロニクスデバイスが注目を集めている。これらの磁気メモリは spin-transfer torque や spin-orbit torque 等、電流を通電することにより発現する磁化変調機構をその基本原理としているため、ジュール熱に伴うエネルギー損失を伴う。一方、強磁性体と強誘電体とのヘテロ界面において顕在化する界面マルチフェロイク状態では、電気-磁気結合効果により電流を流すことなく電界のみで磁性を制御可能であることから、低消費電力で磁性の変調を可能とする新たな舞台として近年脚光を浴びている。講演では、磁性の電界制御に関する最近の研究の進展について説明があり、その後、界面ひずみ転写による磁壁、磁化配向、磁気秩序、巨大磁気抵抗等の電界制御についての研究成果を紹介していただいた。

土屋博士は、「**固体ナノイオニクスの魔術師**」と呼べるだろう。固体中のイオンを自在に動かして物性制御する研究に強みを持ち、今回、「**ナノイオニクスデバイスによる様々な物性制御の試み**」と題して、講演していただいた。ナノイオニクスデバイスとは、イオン伝導性を有する薄膜や固体/固体電解質界面における局所的なイオン輸送によって、様々な物性を制御する機能性デバイスである。従来、ナノイオニクスデバイスに関する研究はもっぱら ReRAM や原子スイッチ、すなわち酸化還元反応を制御機構とする不揮発性スイッチ素子機能が着目されてきた。しかし、制御機構として電気二重層を利用することや、電気抵抗以外の様々な物性（超伝導、磁気特性、バンドギャップ、蛍光等）をも制御出来ることが最近わかってきており、より広範な応用に向けた新たな局面を迎えつつある。講演では、特に磁気特性制御デバイスを中心に報告していただいた（図5）。

これら講演に先立ち、ちょうど日本を訪問していた Basel 大学の Thilo Glatzel 博士よ



（図5）Fe₃O₄にLiを脱挿入する固体デバイスを作製した。それにより磁化のスイッチングを行うことができる。[Tsuchiya et al., ACS Nano(2016)より]

り，原子間力顕微鏡を用いた最先端の研究を紹介していただいた。その精緻な研究には驚くばかりであった。

3. 研究会開催記録

【第1回】2015年9月24日（木） 於）A T I 会議室

テーマ：「テーマ：界面物性の電界制御」

1. 「電気化学界面のシミュレーション技術と電気二重層の微視的解析」

安藤 康伸（東京大学）

2. 「電界による金属超薄膜の磁性の制御」

千葉 大地（東京大学）

3. 「界面ナノ科学研究会の今後の運営の仕方」

【第2回】2016年3月15日（火） 於）A T I 会議室

テーマ「界面マルチフェロイクス・スピントロニクス」

1. 「Manipulation and Imaging of Single Molecules by Atomic Force Microscopy」

Thilo Glatzel（バーゼル大学）

2. 「界面マルチフェロイクにおける磁性の電界制御」

谷山智康（東京工業大学）

3. 「ナノイオニクスデバイスによる様々な物性制御の試み」

土屋敬志（物質・材料研究機構）

界面ナノ科学研究会委員

委員長	一杉 太郎	東京工業大学大学院理工学研究科 教授
委 員	山田 啓文	京都大学工学研究科 教授
	梶村 皓二	産業技術総合研究所電子光技術研究部門 研究顧問
	高橋 琢二	東京大学生産技術研究所 准教授
	森田 清三	大阪大学 名誉教授
	大友 明	東京工業大学大学院理工学研究科 教授
	柴田 直哉	東京大学大学院工学系研究科・総合研究機構 准教授
	戸川 欣彦	大阪府立大学工学研究科 准教授
	陰山 洋	京都大学大学院工学研究科 教授
	村上 修一	東京工業大学大学院理工学研究科 教授
	合田 義弘	東京工業大学大学院総合理工学研究科 准教授
	安藤 康伸	東京大学大学院工学系研究科 助教
	千葉 大地	東京大学工学系研究科 准教授
	福間 剛士	金沢大学理工研究域電子情報学系 教授
	杉本 宜昭	東京大学大学院新領域創成科学研究科 准教授

(2016 年 3 月現在 所属・役職は当時)

(第10回A T I 合同研究会開催報告)

『ナノサイエンスの進展』

水和ナノ構造研究会 委員

新村 信雄

新世代研究所の目的のひとつは、異分野の研究やその手法に触れることによって、また異分野間の人材交流を通じて、それぞれの研究を新たな展開につなげることにある。このための合同研究会が第10回目の節目を迎え、2015年11月25日(水)にTKPガーデンシティお茶ノ水で開催された。今年度のテーマは主催者の説明によると、『ナノサイエンスの進展』で、①高い社会性・手法の先端性・高い注目度、②典型的な異分野融合・明快な結論、③高い社会性・期待される実用性をポイントに、講演テーマおよび講演者を選定されたようである。

研究会は恒例の理事長挨拶を兼ねた古典巡礼から始まった。2015年は一般相対論百年記念の年でもある、との前置きで1922年アインシュタインの来日を記念して出版されたアインシュタイン全集を取り上げられた。全4巻からなるもので、第1巻の序が訳者の石原純氏の挨拶になっていて、肝腎のアインシュタインの巻頭言が第2巻の序に収められているのが面白いとの説明があった。第1巻の一番目の論文「運動体の電気力学について」に特殊相対論の本質のすべてが論じられているそうである。ただし、全4巻の中にノーベル賞の受賞理由になっている「光電子効果」の論文は含まれていないそうである。理事長は全4巻をご自宅に所有されているとのことであった。

次は昨年度まで「バイオ単分子研究会」の代表者であった佐々木先生の講演である。高齢化社会で最も危惧される疾病のひとつが「認知症」であり、「アルツハイマー型認



知症」は認知症の中で一番多いとされており、しかもどんどん増加の傾向にあるとされている昨今である。東京大学柏キャンパスの一般公開 2015 で「アルツハイマー」に関する展示を行ったところ、多くの方が関心を持って集まってくれたそうであるが、「どうしたら罹らないで済むか？どうすれば治るか？」等の質問には閉口したそうである。私も出来るならしたい質問である。アルツハイマーは正常な分子が脳内でアミロイドベータという異常な構造に変化することが原因の一つと考えられるようになって来ている。先生等のグループはこれまで開発して来た金コロイド法によるタンパク質 1 分子運動を観測する手法で、アルブミンタンパク質 1 分子がリン酸化というプロセスでアルツハイマーに関係した構造変化する様子を捉えている。アルツハイマーの解明へのひとつのステップへ発展することを期待したい。

休憩後の最初の講演は萩原先生である。ATI 研究会で何度も取り上げられたカーボンナノチューブ (CNT) にスピン量子数 1 の常温で気体の馴染みのある酸素分子を閉じ込めて、一次元反強磁性体として有名なハルデン磁性体を創成する話である。ハルデン磁性体の決定的な証拠は、非磁性の基底状態とそこから有限の大きさのエネルギーギャップを持つ磁性励起状態の存在を証明することである。先生のグループは阪大のパルス強磁場を用い、ハルデンギャップを観測し、酸素分子を CNT に閉じ込めることでハルデン磁性体を創成できたことを証明した。CNT に種々の化合物を閉じ込めて新規材料を創成する試みはいこれまでもいくつか成されているが、ここにまた一つ新規材料が加わったことになる。次はどのような新規材料が CNT から産まれるか興味は尽きない。

最後の講演は白石先生である。ATI 研究会の中でも複数の研究員が著名な受賞の榮譽を受けるなど際立った成果を上げている研究会の一つが「スピントロニクス」であり、本日のテーマは最近先生等のグループで開発された n 型縮退シリコンを用いた室温スピン輸送のお話である。現在の CMOS トランジスタが抱える技術的、物理的限界を超える新機能素子の一つ（スピントランジスタ）として、その実現に大きな期待が集まっている。日本においては「京」という壮大なコンピュータが実現し、この分野の発展に目を見張っていたが、それを更に超えるコンピュータの実現にはスピントランジスタが中心になるのだろうか、と勝手に思いを巡らしている。ゲルマニウムから始まってシリコン、炭素系へと変遷したエレクトロニクス半導体の歴史とは反対に半導体スピントロニクスは炭素系からシリコン、ゲルマニウムへ向かっているとのお話には、今年度の合同研究会のメインテーマである「ナノサイエンスの進展」の面白さを垣間みた感じがした。合同研究会の醍醐味を味わった一日であった。

(第10回合同研究会)

『ナノサイエンスの進展』

日時：2015年11月25日(水) 13:30-17:30

場所：TKP ガーデンシティ御茶ノ水 3F

I. コンセプト

(公財)新世代研究所はその目的として、科学技術の分野において異なった発想を持つ人材による専門領域を超えた研究の推進及び新世代を担う人材の育成を掲げている。科学の歴史におけるブレイクスルーが異分野間の交流から生まれていることは紛れもない事実であるが、近年、研究分野の細分化に伴って、異分野の研究者との交流や、異分野の研究に触れる機会が少なくなっていることが懸念される。当財団が開催する合同研究会は、異分野の研究やその手法に触れることによって、また異分野間の人材交流を通じて、それぞれの研究が新たな展開につながることを目指している。

今年度は、テーマを「ナノサイエンスの進展」とし、①高い社会性・手法の先端性・高い注目度、②典型的な異分野融合・明快な結論、③高い社会性・期待される実用性をポイントに、講演テーマおよびご講演者を選定させていただいた。

II. プログラム

座長：大島 泰郎 (ATI 理事)

1. 挨拶講演「古典巡礼 アインシュタイン全集」 伊達 宗行 (ATI 理事長)
2. 研究講演(1)「アルツハイマー – バイオ単分子の目 –」
佐々木裕次 (東京大学大学院 教授)

— 休 憩 —

座長：新庄 輝也 (ATI 上席副理事長)

3. 研究講演(2)「ナノチューブに酸素 – ハルデンギャップの出現 –」
萩原政幸 (大阪大学 教授)
4. 研究講演(3)「室温スピントロニクス – ゲルマニウム時代来る? –」
白石誠司 (京都大学大学院 教授)

発行 : 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

電話 : 03-3255-5922 ファックス : 03-3255-5926

ホームページ : <http://www/ati.or.jp>