

# AIMR

Advanced  
Institute  
for  
Materials  
Research

MAGAZINE

Vol.8

「特集」  
元素をめぐる情熱。

【対談】 機構長、世界と語る

A. L. グリア

AIMR主任研究者  
Head of the School of Physical Sciences, the University of Cambridge

Best Partner

— 信頼に基づいた選択によって

【連載】

「科学」の肖像 [磁性・スピン]

数学と私 平岡裕章

蘇る研究室 高橋 隆

こちら、AIMRの現場です。[外国人に優しいAIMR]



【特集】

# 元素をめぐる情熱。

見えないものを見る。  
その隠された性質を見極める。  
そして、新たな材料を創り出す。  
想像から確信に至るまでの様々な葛藤を乗り越え、  
やがて、研究者は大きな成果を紡ぎ出します。  
彼らの営みは、私たちが生きるこの現実を  
緩やかに、そして大胆に、作り変えていくのです。  
元素をめぐる情熱 — AIMRの研究者たちは  
自らの脳裏に浮かんで消える表象を追い求めて、  
日々、新たな実験に取り組んでいます。



## はじめに

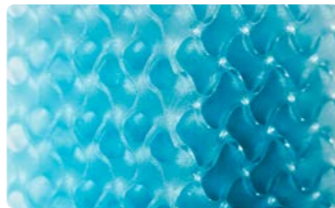


AIMRマガジン第8号をお届けします。2016年度、AIMRは設立から10年目を迎えました。今号は、今まで醸成されてきたAIMRの魅力により効果的にお伝えするために、デザインも内容も一新しました。特集テーマは「元素をめぐる情熱」。水素の研究によって社会をより良く変えていこうと考える研究者、理想の電池を目指して研究を続ける研究者、ナノレベルの電気化学反応を追跡し続ける研究者が登場します。材料科学の研究分野は実に幅広く、研究者のアプローチは多様性に富んでいます。これからも、AIMRマガジンでは、世界的な頭脳循環のハブとして歩み続けるAIMRの「かたち」を魅力的な研究者の姿を通して皆様にお伝えしていきます。どうぞ、お楽しみください。

AIMR機構長 小谷元子

## Cover

表紙の写真はジャイロイド(gyroid)と呼ばれる曲面の模型です。平均曲率が至るところでゼロになっており、「馬の鞍」のような形の面になっています。藤田武志准教授、義永那津人助教、熊代良太郎助教による「gyroidの形にヒントを得た新奇ポーラス材料の開発」など、AIMRでもこの曲面に関わる研究が行われています。



## Contents

- 003 【特集】 **元素をめぐる情熱。**
- 004            これからの「水素」の話をしよう。折茂慎一
- 008            電池に魅せられた男、大いに語る。川治 純
- 010            未知を目撃するという欲望。熊谷明哉
- 012 【対談】 機構長、世界と語る
- Best Partner** — 信頼に基づいた選択によって
- A. L. グリア × 小谷元子
- 014 【連載】 「科学」の肖像 【磁性・スピン】
- 017            数学と私 平岡裕章
- 018            蘇る研究室 高橋 隆
- 020            こちら、AIMRの現場です。【外国人に優しいAIMR】
- 022            AIMR ACTION LOG [2015.4-2016.3]

東北大学原子分子材料科学  
高等研究機構

【AIMR】

東北大学原子分子材料科学高等研究機構(略称:AIMR)は「材料科学と数学の融合研究を研究所レベルで推進する世界初の研究所」です。日本国内に世界トップレベル研究拠点を形成するために文部科学省が進めているWPIプログラム(World Premier International Research Center Initiative)によって設立された9つの拠点のうちのひとつであり、2007年の設立以来、材料科学における世界拠点となるべく、新たな組織システムを構築し、最先端の研究に挑戦し続けています。



新たなエネルギーの出現は社会を一変させる可能性を秘めています。  
今、その可能性をもっと感じさせるのが水素エネルギー。  
水素社会という言葉はすでに「リアル」の射程に入ってきているのです。  
開発の先頭を走る研究者の思いは、世の中をどのように変えていくのでしょうか。

30年間、「水素」に魅せられて研究してきました。その魅力と可能性は無限大。まだまだ、興味が尽きません。新たな発想、実験による確信、そして、未来への展望……僕にとって、「水素」はどこまでも追求したい永遠の研究テーマなのです。

水素(H)って、周期表の左上の端っこにありますよね。陽子ひとつと電子ひとつのもっとも軽くて小さい元素です。水素から電子が抜けると陽子ひとつの $H^+$ になり、電子が加わると、 $H^-$ になります。実は、この水素は周期表をずーっと横に移動して右端にも位置を移せるし、電子を共有するので、真ん中あたりに位置することができる。つまり、自由自在に自分のポジションを変えることができるフレキシブルな元素なのです。結合自由度が高い、変幻自在の元素。相手の状況に合わせて柔軟な結びつきをする。それが水素です。水素のこのフレキシブルな特徴が、燃料電池、ニッケル水素電池、リチウムイオン電池など、いろいろなエネルギーデバイスに関わる機能性の根源となっています。でも、現状のサイエンスでは、このような水素のポテンシャルを十分に引き出せているとは言えません。ですから、僕は材料科学に水素の特性を応用して、「エネルギーに関わる今までにない機能」を引き出したいと考えています。

「フレキシブル」に加えて、水素には「シンプル」という魅力もあります。地球上で、水素は単独ではほとんど存在していません。多くの場合、酸素と結びついて「水」として存

在しています。この水から水素を作り、燃料電池としてエネルギー利用しています。燃料電池は水素と酸素で水を作る時に発生する電気・熱エネルギーを利用するシステム。ですから、最後に水が出てきます。その水から、また水素を作り、再び電気・熱エネルギーを作り出す……水から生まれて水に戻る「水素のシンプルな美しさ」がここにあります。

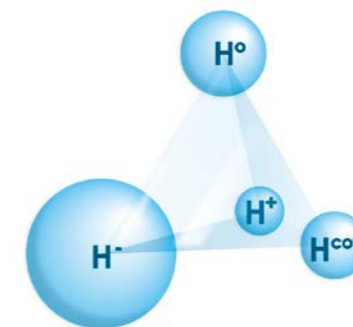
元々、水素はいろいろなものの原料として使われてきました。多くの石油化学製品やマーガリンなどは水素がなければ作れません。原料として意識されていたその水素が、60年代に米国のアポロ計画の燃料電池に使われました。その後、水素を二次エネルギーとして使う科学・技術が民生化され、80～90年代には日本でも国家プロジェクトとなり、現在に至っています。

しかしながら、現在のところ、水素の結合自由度を実際の材料科学に展開している研究者がとて少ないのです。僕が先頭を切って、そういうアプローチを進めているのが現状です。

### 水素を巡る研究の軌跡

具体的に自分が進めている研究を挙げるとするなら……「超伝導」という言葉をご存知ですよね。電気抵抗がゼロになる状態です。これが実用化されれば遠くまで大量の電気を運べるのでとても革新的です。しかし、現状では超伝導の状態を作り出すために、普通は $-140^{\circ}\text{C}$ 以下の極めて低温にする必要があります。実は「水素は極端な低温でなくても超伝導化できる」ということが約50年前に理論予測されていました。そして昨年、それが実現するかもしれないという状況になってきました。水素と硫黄が結合した硫化水素を約200万気圧の超高圧にすると、 $-70^{\circ}\text{C}$ でも超伝導化する。そういう論文がNatureに掲載されたのです。僕は「超高圧にしなくても超伝導化できる水素化合物の材料は作れないか」ということで研究を進めています。

これ……。(白色の粉末を指し示す) 錯体



水素の結合自由度を示した「水素の地図」。水素は電子をもらったり出したりして自由に姿を変えるのだ

### INTERVIEW

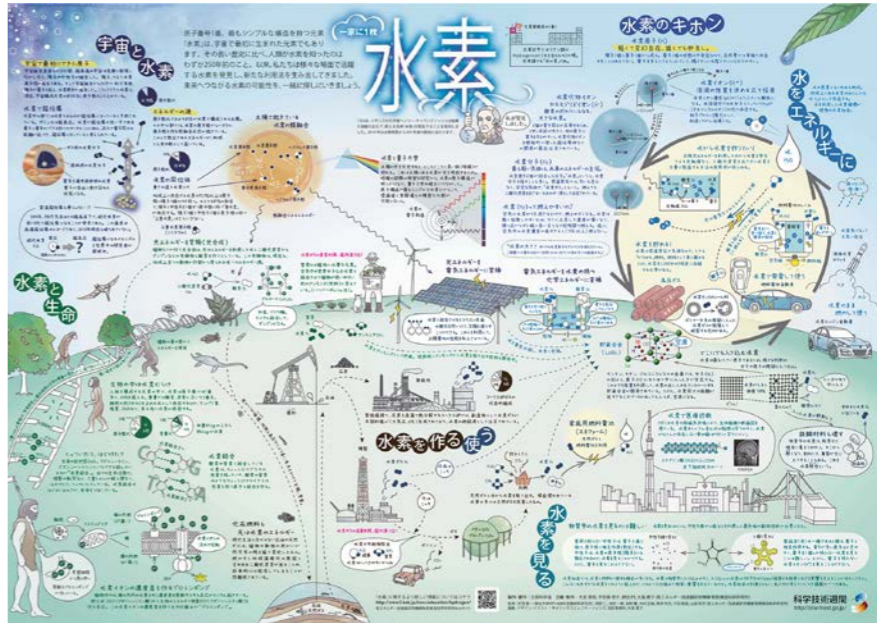
## これからの「水素」の話をしよう。

### 折茂 慎一

AIMR主任研究者  
東北大学金属材料研究所 教授

1995年、広島大学大学院生物圏科学研究科(物理系)博士課程修了。同年、広島大学助手(1998～99年ドイツ・マックスプランク研究所)。2002年、東北大学金属材料研究所助教授。2008年、同教授。13年よりAIMR主任研究者を兼任。(2012～14年、総長特別補佐。2015年より先端エネルギー材料理工共創研究センター長)





折茂教授が監修をした「一家に1枚」の「水素」。

「一家に1枚」は、毎年、文部科学省が実施している科学技術週間の一環として制作・配布されている、大人から子供まで興味を持てるように作られた「図解」シリーズだ (<http://stw.mext.go.jp/series.html>)

らっていますよ。指導というのではなく、水素のような柔軟な結びつきを彼らは許してくれているかんじですね。僕が水素一筋でやってこられた背景には、そんな様々な結びつきが隠されているのです。

水素元年である昨年から2020年に向けて「水素」への注目度が非常に高まっているというお話をしました。おそらくその10年先、2030年頃には特定の分野においては「水素」の利用がどんどん普及しているのではないのでしょうか。2020年はあくまでも通過点ですね。大学でも産業界でも継続的な取り組みを期待したいところです。

自分自身の研究の展望としては、「水素と水素化物に関わる材料科学・物理学・化学・生物学を広い視野で眺めた統合研究」を進めたいと考えています。「水素」が関わ

電子レンジと同じ原理で温めてみるということですね。「まあ、やってみようか」ということで軽い気持ちで実験してみたら、水素がすごく早く取り出せることが分かりました。それで、「なぜ、そんなに早く水素を取り出せるのか」を調べてみると、リチウムイオンが高速で移動しながら、マイクロ波によって揺すぶられて発熱することが分かったんです。そこから次世代リチウムイオン電池の研究に結びついていったわけですね。

本筋の研究からはちょっと外れた、いわば「自由な遊び心」でマイクロ波実験をやってみた。すると、思わぬ展開（高速リチウムイオン伝導の発見）となって、思わぬ結果（次世代リチウムイオン電池の開発）に結びついていく……これはとても重要なことを示唆していると思います。学問全体で考えても、自然科学に限定して考えても「研究の多様性を守り抜いていくこと」はとても大切なこと。学問は、そして科学は、「巨大な樹木」のようなひとつの体系です。幹があって、豊かな枝葉が茂っている。その枝葉のなかのひとつがどんどん太くなっていった新たな幹になっていく。マイクロ波実験は当初、小さな枝葉のひとつにすぎませんでしたが、だんだん太い幹になりつつあります。だから、トップラン的な研究ばかりでなく、ボトムアップ的な研究、その中間的な研究、異分野融合的な研究も、同様に大切なんですね。それらの多様なテーマの中から次の革新的なテーマがでてくるのではないかと思いますし、「遊び心」がそういう展開を可能にするのだらうと思います。

## 水素で世界を変えるために

水素はフレキシブルかつシンプルに相手と柔軟な結びつきをする……この水素の振る舞いも自然のメカニズムの一部ですね。人間も、いや、人間の「心」も自然の一部であると考えれば、人間関係も水素のように柔軟な結びつきをしていくことが理想的なのではないかなと思います。僕も研究者として水素のように柔軟でありたいし、様々な方と良い形で結びついていきたい……実際、今までの研究者人生で実に様々な方々との結びつきの機会をいただき、お世話になってきました。もちろん、研究者は孤独に耐えながら研究し続けなければならない側面もありますが、その一方で、様々な方々からの協力がなければここまで続けてこれなかった。うちの研究室の若手からもずいぶん刺激をも



う点が大切で、それ自体が社会全体に関わる公共性の高い取り組みなのではないかと感じています。

水素に関わる研究は、たとえ基礎研究であっても「社会との関わり」がとても深いのです。自分が続けている研究の中で「鉄などのありふれた金属を利用した『実用性のある軽量な水素貯蔵材料』の開発」などは特に社会と深く関わる研究です。そのような研究はぜひ、これからも続けていきたいですね。

## 科学の多様性を守る「遊び心」

さきほど、日立の共同研究部門（次世代革新電池研究室）の方々の次世代リチウムイオン電池研究の話をしました。そのきっかけとなった高速リチウムイオン伝導の発見は、実は、かなり偶然性の高い出来事というか、たまたまやった実験で発見できた成果だったのですよ。元々、錯体水素化物には水素がたくさん入っています。そこから水素を取り出すには温めてやれば良いのですが、当時、研究室に在籍していた研究者が「マイクロ波を当ててみたい」と言い出しました。



力になったと思います。当時はまだ、大学も（おそらく企業も）今より自由度がありました。今は研究をプロジェクトとして進めて評価されるわけですが、当時はいろいろなことが自由な発想でできてとても刺激になりました。

修士課程を終えて神戸製鋼所に入社。ここではひとつのプロジェクトをゼロから任されて短期間で研究成果を出すことができました。任されたプロジェクトがうまくいったために、その事業化も自分の仕事となりそうでした。この時、やはり、ずっと研究者でいたいなど感じたのです……それで、広島大学に戻る決意をしました。

大学ではちょっと短縮で博士号を取らせていただき、ドイツにも留学させていただきました（フンボルトフェロー）。帰国後、2002年に東北大学金属材料研究所へ。そして、2013年以降はAIMRの主任研究者にもなって、現在に至っています。地方大学から研究者としてのキャリアをスタートさせて、企業研究者にもなり、海外でも研究し、また東北大学でも研究を続けて、ずいぶん自分はいろいろと経験してきたものだと思います。水素一筋で来たとはいえ、その時その時の立ち位置で視点を変え、水素に対して違うアプローチをしてきたのです。それを自分の「強み」と考えたいですね。

## 水素元年から展開する研究の広がり

2014年の12月、トヨタが燃料電池自動車を発表しました。それで、翌2015年、つまり昨年はマスコミ等で「水素元年」という言葉をよく目にしました。これは東京オリンピックが開催される2020年に向けて、産学官が協力して水素利用の技術開発をしていこうということですね。たとえば水素を使った東芝の自立型エネルギーシステム。太陽光を利用して水から水素を作り、それを燃料電池に送って発電していくというシステムの研究です。また、水素に関しては材料開発のための計測・計算を含めた解析技術の共有がまだまだ必要な状況なので、日本学術振興会のもと、「材料中の水素機能解析技術第190委員会」という産学協力研究委員会を組織させていただきました。僕がその委員長を務めています。これは大学、研究機関、産業界の研究者・技術者にオールジャパン体制で参加していただいて、水素の機能に関する基礎的な解析の知見を蓄積していこうという試みです。オールジャパンでやるとい

水素化物と呼ばれる「塩のようなもの」です。本当の塩ではないのですが、塩に近いもの。14年前、東北大学に来た時からこの錯体水素化物の研究もずっと続けています。これだけの少量にたくさんの水素が詰まっているのですよ。少し温めるとふーっと水素が外に出てくる。水素貯蔵機能に優れているわけですね。これを燃料電池のために研究していましたが、2007年に「錯体水素化物の原子構造を変えると、その中をリチウムイオンが高速で動く（高速リチウムイオン伝導）」という現象を発見しました。リチウムイオンが動く時、水素は「場」を提供していることになります。この現象を見つけた時、「あ、リチウムイオン電池にも使える」と思いました。リチウムイオンを動かすことがリチウムイオン電池の原理そのものだからです。実際に電池に応用してみようということで、2014年に日立製作所との共同研究部門がAIMRの中に設立されました。この研究ユニットを「次世代革新電池研究室」と名づけて、川治純客員准教授らとともに錯体水素化物を利用した次世代リチウムイオン電池の研究を進めました。長い間、水素に関わる様々な研究にトライし続ける中、ひとつの成果として高速リチウムイオン伝導という発見をして、そこから次世代リチウムイオン電池の話につながっていきました。振り返れば、いろいろなことがすべて、つながっているのですね。

## 大学、企業、そして海外

僕は広島で生まれ育ちました。中学高校の頃はブルーボックス（講談社の一般向け科学新書）が好きで、都築卓司先生（故人。横浜市立大学名誉教授）の『マックスウェルの悪魔』などを熱心に読みました。大学は迷いなく地元の広島大学へ。4年生で研究室に入り「水素」と出会いました。その時から現在までずっと水素一筋です。

広島大学の修士課程の頃、自動車メーカーのマツダと「水素ロータリーエンジン」にも関わる共同研究をさせていただきました。企業研究者の方々と一緒に電子顕微鏡を覗かせてもらって、「ああ、こういう微細構造だから水素をたくさん吸収するんですね」なんてやっていました。あの頃に感じた「材料開発してる」感は今でも思い出しますよ。これまでにない材料を作り出すかんじ。あの感覚が「水素」の研究にコミットし続ける原動





た後、日立製作所の電池研究部門に入社。日立では5年ほど燃料電池の研究をした後にリチウムイオン電池研究に移り、2014年、AIMRに日立共同研究部門が設立されたのと同じに仙台に移って来ました。

AIMRに来て一番うれしいことは、大学の研究室とWin-Winの共同研究ができること。折茂研と週1回のミーティングをやって、意見を擦り合わせて道筋が一本にまとまっていくのがうれしいですね。また、AIMRには材料科学の幅広い分野にわたって様々な研究者がいることも魅力的。私は「全固体電池が動いた」ということで満足してしまうんですが、たとえば、熊谷先生(AIMR末永研究室・熊谷明哉助教)にナノ電気科学セル顕微鏡を使ってナノレベルで評価してもらいたいと考えています。「実はこんな問題があった」ということも分かるかもしれないので。

## 見事な黒子、「究極の電池」を夢見て

バッテリーってかわいそうな存在ですよね。電気がちゃんと流れて長時間使えて当たり前。ちょっと充電時間が長いと文句を言われる(笑)。それでも健気がんばる電池を見事な黒子にしたい。究極の電池は「電池の存在を意識させない電池」ですね。「電池に魅せられた男」としてはついそんな夢想をしてしまうのです。あ、そんな発言をすると、AIMRから会社に戻った時に「君は一生、電池ね」って決められちゃいそうですね。でも、まあ、それもいいかな……今日のインタビューでは話を大きく広げすぎたような気がして、今、ちょっと後悔し始めています(笑)。

[2016年1月21日。AIMRラボ棟・次世代電池研究室にて]

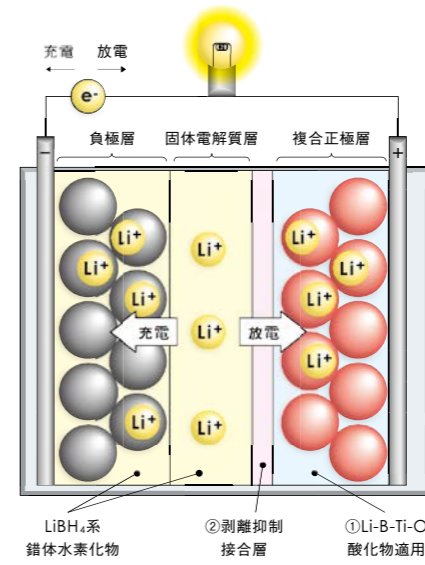


全固体リチウムイオン電池は、空気に触れないようにグローブボックスの中で組み上げて実験に使用する

### 高耐熱全固体リチウムイオン二次電池の基礎技術を開発

[http://www.wpi-aimr.tohoku.ac.jp/jp/news/press/2015/20151112\\_000592.html](http://www.wpi-aimr.tohoku.ac.jp/jp/news/press/2015/20151112_000592.html)

図B 全固体リチウムイオン電池

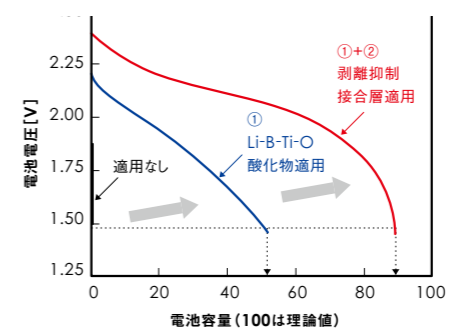


ば」という話になって。AIMRに常駐している日立の研究者・鈴木渉平さん(AIMR客員共同研究員)が折茂研の論文を精密に読んで、接着剤的な部分、「剥離抑制接合層」の材料を考えてくれました。LiBH<sub>4</sub>に別の元素を加えて「高温の時には溶けるが冷えると固まって元の形に戻る」という性質の接合層を作って試してみると剥がれなくなりました。「Li-B-Ti-O酸化物の添加」と「剥離抑制接合層の構築」という2つの工夫で150℃環境で動く全固体電池が実現したんです。

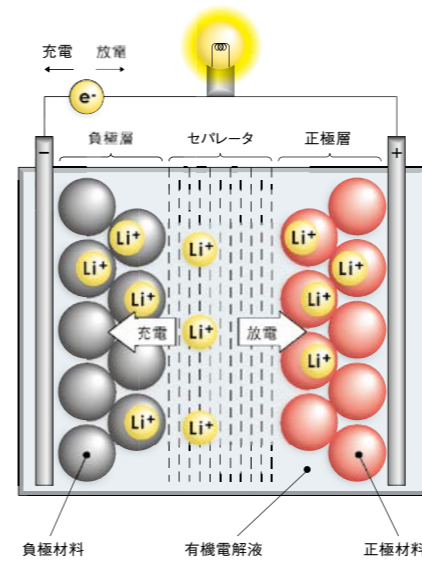
## ずっとやりたかった電池の研究

昔、予備校の授業で「電池の仕組み」を聞いて一気に化学が好きになりました。その時からずっと電池の研究をやりたかったんです。でも大学では研究室配属の面談で「体力だけは自信があります」と言ってしまったために「実験で体力が必要なハードディスクの研究」に配置されました。ずっと電池をやりたかったので、ハードディスクで博士号を取っ

図C 150℃環境での放物曲線



図A 従来のリチウムイオン電池



今度は正極から負極にリチウムイオンを移動させていく。これが充電。正極、負極、セパレータは有機電解液に浸されていてその中をリチウムイオンが動いていく。この有機電解液が燃えやすいんですよ。また、60℃くらいで劣化してしまいます。そこで、有機電解液を固体にして燃えにくく劣化しにくい電池を作ろうと考えて、全固体電池を作ってみました。正式名称は「高耐熱全固体リチウムイオン二次電池」。このグラフ[図C 150℃環境での放電曲線]は横軸が「電気を取り出せる量」。電気量です。これが100だと理想的。縦軸は「電池の電圧」。これも高めれば高いほど良い。グラフの最初のほうにある「適用なし」というのは、全固体電池を作ったけれどまったく電気が流れなかった頃の値。これに工夫を加えていくことで赤線や青線のように電気が流れるようになりました。

どんな工夫をしたかと言うと……[図B 全固体リチウムイオン電池]という図が全固体電池の構造図なんですが、この黄色いところがLiBH<sub>4</sub>系の錯体水素化合物。宇根本先生(折茂研・宇根本篤講師)や吉田さん(日立共同研究部門・吉田浩二助手)に作ってもらった固体電解質。電池全体の素材に使っています。最初は「適用なし」でしたが、正極(複合正極層)にLi-B-Ti-O酸化物を加えることによって、きちんと充放電できるようになりました。この酸化物を加えないと、固体でも高温環境下で不安定化してしまうんです。しかし、この電池を使っていると複合正極層と固体電解質層(セパレータ)がパカッと剥がれちゃうことがあります。だから「ここに接着剤みたいなものを入れなけれ

## INTERVIEW

## 電池に魅せられた男、大いに語る。

### 川治 純

AIMR日立共同研究部門(次世代革新電池研究室)客員准教授/(株)日立製作所(研究開発グループ)主任研究員

2000年、早稲田大学理工学部応用化学科卒。2005年、同大学院理工学研究科博士課程修了。同年、日本学術振興会PD研究員。同年、株式会社日立製作所入社。2014年、AIMR客員准教授(兼務)。

150℃の環境下でちゃんと動いたのが最近の成果です。実用化すれば自動車のエンジンルームなどでリチウムイオン電池を使えるわけですね。

## 2つの工夫で全固体電池を実現

リチウムイオン電池の構造はこの図のようになっています[図A 従来のリチウムイオン電池]。電池全体にリチウムが詰まっています。正極、負極、セパレータがあります。負極に溜め込んだリチウムイオンを正極に移動することによって電流が流れる仕組み。放電している時は負極から正極にリチウムイオンがどんどん動いている状態ですね。電池内の電圧が下がってきたら、コンセントにつないで、

普段、私たちがあまり意識することのない「電池」というデバイス。いわば、目立たぬ黒子のような存在です。

この「電池」に魅せられて探究を続けている研究者がいます。

彼は今日も「究極の電池」に思いを馳せながら新たな実験に取り組んでいます。

皆さんはふだん電池のことなんてほとんど考えませんか? 普通は電池って、ただ「使う」ものだから。でもね、私はいつも電池のことを考えているんです。いわば「電池に魅せられた男」なんですよ。

私は「リチウムイオン電池の材料」の研究をしています。リチウムイオン電池は携帯電話やパソコンのバッテリーに使われている、あれです。軽いのにたくさん電気を詰め込んでおけるので広く実用化されていますね。あのリチウムイオン電池を電気自動車や家庭用太陽光発電の蓄電に使えるようにするために「大きな電池」を開発しようとしています。大きくすればそれだけエネルギーを詰め込めるので自動車などにも使えます。でも、たくさんエネルギーを詰め込むと加熱し過

ぎて発火する可能性があるんですよ。ノートPCが火を噴いたみたいな事故の話が新聞に載ったりするじゃないですか。だから「発火しない大きな電池を作る」というのが現在の大きな目標ですね。その大目標に加えて、今、こだわっているのは「高温環境下でも使えるリチウムイオン電池」。現在の携帯電話のバッテリーは60℃以上の環境になると電池の中の部材が劣化して使いものにならなくなるんです。今まで高温環境下で劣化しない電池材料が見つからなかったんですが、折茂先生(AIMR主任研究者・折茂慎一教授)の「水素化物を使えば高速リチウムイオン伝導が可能」という研究成果を応用して、折茂研と共同で「水素化物を組み込んだリチウムイオン電池」を作りました。それが



2004年、英国:ユニバーシティ・カレッジ・ロンドン博士課程修了。2009年、物質・材料研究機構MANAリサーチアソシエイト。2011年、東北大学原子分子材料科学高等研究機構助手。2013年、同環境科学研究科研究員。2014年、同原子分子材料科学高等研究機構特任助教。2015年、同助教。



INTERVIEW

### 未知を目撃するという欲望。

**熊谷明哉**  
AIMR 助教(末永智一研究室)

人は古来から「見えぬもの」に畏敬を感じてきました。その畏れは憧れに近い感覚でもあります。どこまでも人を衝き動かす「見えぬものを見る」という行為。研究者はひたすらスティックに、日夜、「見えぬもの」への接近を続けているのです。

私たちは日常生活の中で何となく「周囲が見えている」と思っていますよね。でも、ナノの世界を覗いてみると、人はほぼ何も見えていないのだと私は感じます。だからどこまでも「見てみたい」のです。自分は「見えないものを見る」ために研究者という仕事を続けてきているのだと思っています。私が行っている研究は「顕微鏡を使って対象物を見て、まだ知られていない現象を発見する」という研究です。顕微鏡と言っても一般にイメージされる顕微鏡ではなく「ナノ電気化学セル顕微鏡」というナノメートル(10<sup>-9</sup> m)スケールで電気化学の現象を観察できる顕微鏡です。私はこの顕微鏡で「界面」を見るのが好きなんです。界面というのは、性質が違う二つの物質がくっ

いた境のこと。表面と表面が接触した部分。「界面で電子やイオンの移動がどのように起こっているのか」を見るのです。電子は既に走査型トンネル顕微鏡に代表される顕微鏡を用いて幅広く研究されていますが、イオンに関してはまだほとんど何が起こっているのか分かっていません。だから、そこを誰よりも早く「直接」見てみたいのです……現在進めている研究を2つ紹介します。一つめの研究は一杉先生(AIMRジュニア主任研究者・一杉太郎教授)とともにやっている「リチウムイオン電池の電極材料内でのイオンの動き、特に結晶方位や結晶粒界の違いで電極と電解質の界面では何が実際起こっているのかを調べる」という研究。方位や構造を規定した薄膜を理想的なモデル試料とし

て使い、顕微鏡が作る微小な界面を通してイオンの動きを調べています。二つめの研究は駒場先生(東京理科大学・駒場慎一教授)とともにやっている「様々な材料が混在している実際の電極で起こる電池特性を

図1 走査型プローブ顕微鏡の種類

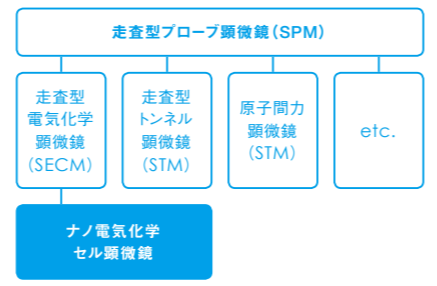
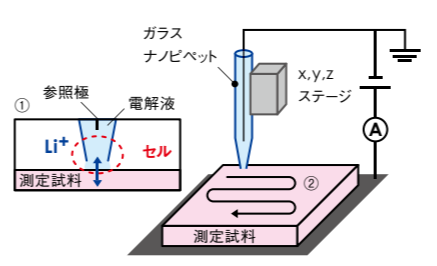


図2 ナノ電気化学セル顕微鏡のしくみ



- ①微小電池構造(セル)を形成し、固定 →「局所的な電気化学測定」が可能
- ②ナノピペットを走査し、測定 →「電極表面形状」と「電気化学応答」を可視化

見る」という研究。特に結着剤(バインダー)に注目していて、どちらもナノ電気化学セル顕微鏡を使っています。

### 世界トップレベルの分解能で「見る」

私が使っているナノ電気化学セル顕微鏡は「走査型プローブ顕微鏡(SPM)」の一種です。SPMというのは、細い探針(プローブ)を用いて対象物の上をなぞるようにして調べていく顕微鏡のこと。そのSPMの一種に「走査型電気化学顕微鏡(SECM)」というジャンルがあって、その中に「ナノ電気化学セル顕微鏡」も入っています。SPMの系統図を簡単に描くと、この様な感じです。[図1 走査型プローブ顕微鏡の種類]その仕組みですが……我々はピペットを用います。ガラス管にレーザーを当てて引っ張ることで50 nm程度の穴が空いたピペットを作製。このピペットの大きさが顕微鏡の分解能なのですが、50 nmの分解能というのは世界トップレベルです。ピペットに電解液と電極(参照極)を入れておき、対象物に近づけていくと、対象物とくっつく前に「液滴(セル)」ができます。こんなかんじです[図2 ナノ電気化学セル顕微鏡のしくみ]。この微小なセルの構造を見ると、まさに電極間に電解液がある「電池」が出来ているわけです。この微小セルを介してリチウムイオンの挿入・脱離を起こすんです。それを全測定点で繰り返して行う(走査する)ことでマッピングし、電気化学イメージが出来上がります。こうして、局所空間でつくる界面のイオンの動きを直接「見る」ことができるわけですね。ナノ電気化学セル顕微鏡のユニークな点は、電気化学反応の起こる領域をナノスケールで観察でき

ること。他のSECMは、溶液に浸した対象物を見るんですが、ナノ電気化学セル顕微鏡は液滴の中での電気化学反応のみを見るので局所的な情報が得られます。この顕微鏡は電気化学反応に起因する応答であれば何でも検証可能なので、用途は幅広く様々なものの観察に使えます。現在、ナノ電気化学セル顕微鏡は世界に数台しかありません。そして、リチウムイオン電池を通常と同じように動作させ、見ることができるのは世界でもこのAIMRの1台のみです。

### 一杉先生、高橋先生との出会い

私は修士課程までは英国:キングスカレッジ・ロンドンで、博士課程はユニバーシティカレッジ・ロンドンで学びました。大学院時代はナノカーボンなど炭素の表面についての研究に従事し、博士号取得後、塚越先生(物質・材料研究機構NIMS・塚越一仁PI)の研究室へ。NIMSでは「有機半導体と電極の界面で電荷がどのように注入されていくか」を研究していました。この時に、「界面」での現象に心奪われていました。そして2011年にAIMR一杉先生の研究室へ。一杉研では冒頭で話した「薄膜電極(電池)や電極・電解質界面におけるイオン伝導」を研究して、現在も続いています。2011年当時はまだナノ電気化学セル顕微鏡には出会ってなくて、上記の研究でイオンの定量的測定に苦労していました。そんな時、AIMRのシンポジウムで、高橋康史先生(当時・AIMR助教、現・金沢大学准教授)と出会ったんです。高橋先生は当時、SECMを使って「生物」の電気化学反応を追っていました。ポスターセッション会場で意気投合し、「生物で使われるSECMの技術を使って、新しくナノ電気化学セル顕微鏡を立ち上げ、材料研究に応用するために一緒にやろう!」という話になりました。その後、高橋先生が所属していた末

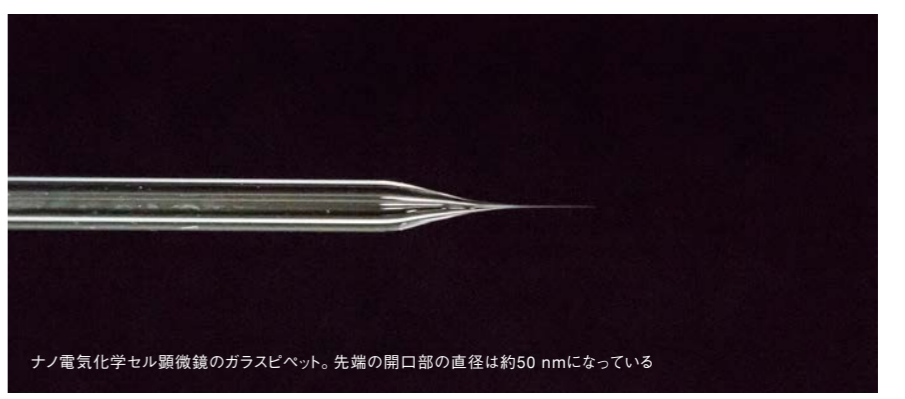
永智一先生(AIMR主任研究者)の研究室へ。電気化学の第一人者でもある末永先生のご指導のもと、ナノ電気化学セル顕微鏡の研究に取り組んでいます。

### 幅広い分野の研究者とともに

ナノ電気化学セル顕微鏡はSPMの中ではまだ産声を上げたばかりの顕微鏡なんです。だから様々な分野の研究者にナノ電気化学セル顕微鏡の存在を知ってもらって活用してほしいですね。今後は、グラフェンなどの二次元材料の局所的な電気化学応答も調べたりしたい……AIMRには幅広い分野の研究者がいるので、皆さんとコラボレーションできることが無限にあるのではないかと考えています。グラフェンは「エッジにおける高い機能性の発現が電気化学特性を向上させる」と考えられていますが、その反応を「見る」ことによってはっきり分かるのではないかと考えています。振り返れば……ナノカーボン、有機半導体、リチウムイオン電池と興味の対象は変遷してきましたが、一貫して「ナノレベルで起こっている界面の現象を目撃したい。まだ見えていないものを何とかして見てみたい」という気持ちで研究を続けてきました。これは私の根源的な欲望なんじゃないかな。これからも、ナノ電気化学セル顕微鏡という宝物を駆使して、ナノレベルの「他の人が見たことがないもの」を目撃し続けていきたいと思っています。

[2015年12月15日。AIMRラボ棟・末永研究室にて]

**界面イオン伝導顕微鏡(ナノ電気化学セル顕微鏡)によるLiFe PO<sub>4</sub> 電極材料表面のその場観察**  
<http://www.che.tohoku.ac.jp/~bioinfo/kenkyu/kenkyuushoukai-image/130724%E3%80%80Denka.pdf>





## A. L. グリア

AIMR主任研究者  
Head of the School of Physical Sciences,  
the University of Cambridge

## 小谷元子

AIMR機構長  
東北大学理学研究科 教授

### Alan Lindsay Greer × Motoko Kotani



PHASE  
01

# Best Partner

## —— 信頼に基づいた選択によって

海外拠点形成はAIMRが国際的頭脳循環のハブとなるために進めてきた重要な施策。

ケンブリッジAJCはその理想的な成功例とすることができるでしょう。

数ヶ月ぶりに再会した小谷機構長とグリア教授のさりげない会話は、

「充実した共同研究拠点は人の人との信頼の上に成り立っている」ということを示唆していました。

グリア AIMRとケンブリッジ大学がケンブリッジ・AIMRジョイントリサーチセンター(以下CAJC)を設立してから4年が経ちましたね。

小谷 私がAIMR機構長となって最初に取り組んだことのひとつが国際的なネットワークの強化です。AIMR設立以来、15のパートナー機関の中から、ケンブリッジ大学、カリフォルニア大学サンタバーバラ校、中国科学院化学研究所の3機関をコアパートナーと定めて強固な連携関係を築いていました。それをより実体化し組織的な共同研究を進める仕組みとして、この3機関にジョイント・リサーチセンターの設置を提案しました。グリア先生は、即座に「前向きに検討しよう」と言ってくれましたね。後にシカゴ大学でもAJCが設立されたので4拠点になったのですが、CAJCは最初の実現し、また理想的な展開を続けてきた印象があり、AIMRジョイント・リサーチセンターのモデルとなりました。海外の研究機関と共同研究を効果的に進めるには、架け橋となる研究者が両方の機関に「共同」で雇用されて、どちらでも自由に働けることが重要です。AIMRはそれを実現する場としてCAJCを進めてきたので高い効果があったのだと思っています。

グリア ケンブリッジ大学は「基礎研究を貴ぶ」という校風があるので、基礎科学で世界トップを目指すAIMRとのコラボレーションはとても馴染みますね。きわめて高い相乗効果を上げてくれたように思います。CAJCが設立された2012年、CAJCに所属するJ.オラバ研究員(AIMR助手)と私は「動作温度範囲におけるカルコゲナイド液体中の結晶成長速度の定量化」に成功するという成果をあげていました。

小谷 そうですね。研究者が両方に所属していることが大きいと思います。組織的共同研究を目指していますので、まずはケンブリッジとAIMRでワークショップを開催、そこでじっくりと共同研究の相談をして、いくつかの共同研究提案のなかから最もよいものを選んで支援するようにしています。金属ガラス研究におけるグリア先生とD.ルズギン先生(AIMR教授・主任研究者)の共同研究以外に、化学科との共同研究として、E.ライズナー先生(ケンブリッジ大学化学科講師)、K.オーチャードさん(AIMR助手)、阿尻雅文先生(AIMR教授・主任研究者)、浅尾直樹先生(当時・AIMR教授、現・信州大学教授)が研究グループを立ち上げるといった展開にも発展しています。AIMRとケンブリッジ大学をつなぐという意味において、オラバさんとオーチャードさんという2人のCAJC研究員の存在はとても大きいと思います……グリア先生はお若い頃から何度も東北大学に滞在されていたんですよね？ そういう強い結びつきが現在のCAJCにも生きているのですね。

グリア 私が初めて東北大に来たのは1981年、博士研究員の頃のことです。あいにく東京から仙台までの列車ダイヤが乱れてなかなか杜の都にたどり着けなかったうえに、体調を壊して、仙台の病院で3週間も入院してしまいました。しかし、この時から東北大学に、仙台に、そして日本に強い愛着を感じるよ



うになりました。研究面でも、この時から少しずつ、金属ガラスの共同研究を進めていったのです。先日、他のメディアでの取材で「なぜ、AIMRをパートナーに選んだのか」と尋ねられて「ケンブリッジは『最良の連携』しか求めない。だからこそ、材料科学分野ではAIMRを選んだのだ」と答えました。これは私自身が長年続けてきた東北大学との共同研究に対する「信頼」に基づいた選択なのです。

小谷 はい、AIMRの研究者はそれぞれ世界的によく知られていますが、その実力を借りて組織としてのAIMRが世界のなかで認知される仕組みCAJCができました。そして、CAJCがあることで、更に新しい共同研究が広がっていくことがうれしいのです。

グリア 昨年も、オラバさんと「相変化メモリー」に関する研究成果を、ルズギン先生たちと「金属ガラスの若返り」に関する研究成果を、それぞれ発表することができました。CAJCというシステムは現在も活発に機能していると実感していますよ。

小谷 AIMR機構長として、これからもCAJCに大きな希望を感じています……さあ、そろそろ、AMIS2016(The AIMR International Symposium 2016)のレセプションが始まりますよ。

グリア 行きましょう。明日からのAMIS2016、今回もとても楽しみにしています。

[2016年2月21日。ウェスティンホテル仙台2階ホワイエにて]

### ケンブリッジAJC(CAJC)とは?

ケンブリッジ・AIMRジョイントリサーチセンター(CAJC)は、AIMRが英国ケンブリッジ大学に設置している海外サテライトです。2012年に締結された東北大学AIMRとケンブリッジ大学金属学・材料科学科、化学科、数学科との学術協定により、CAJCが設立され、2015年11月には、小谷元子AIMR機構長とA. L. グリア ケンブリッジ大学教授の署名により、CAJCの契約更新が行われました。非平衡材料分野とソフトマテリアル分野、数学を中心に活動を展開しており、AIMR研究者が2名常駐しています。



## 「科学」の肖像

解説者 **追川康之**  
AIMR特任助教



## 第1回 磁性・スピン

あるジャンルの科学を人に見立てて、その経歴と現在の表情を探るこの連載。

第1回の対象は「磁性・スピン」です。磁石の不思議な性質が、今、様々な発展を遂げようとしています。

## このコーナーの楽しみ方

逆年表とその下に置かれた時代解説は、左側が現在、右側が過去を示しています。

左側の「現在の「科学」の肖像」から読み始めてもよし、右側の「若き日の「科学」の肖像」から読み始めてもまたよし。

時代ごとに個性を持つ「科学」のイメージをお楽しみください。

## 2010年～

スピン流物理の進展と、トポロジカル絶縁体などの特異なスピン輸送系の発見。次世代の素子原理へ。

## 2000年～2010年

スピン注入磁化反転の発見とMRAMの実現。究極のメモリの開発競争。

## 1980年～2000年

1987年のGMR発見からスピントロニクスが勃興する。記憶密度の急速な発展と、酸化物薄膜材料の探索が加速。

## 1950年～1980年

トランジスタの発明に始まる情報技術革命。磁石が情報記憶という新たな役割を担うことに。

## 1850年～1950年

電磁気学を使った歴史的発明が多数なされた時代。磁石に関するミクロな理解が進み、永久磁石の開発競争が繰り広げられる。

## 1700年～1850年

産業革命の最中に発電機とモーターが開発される。並行して電気と磁気の関係が明らかになり、蒸気から電力への移行が始まる。

## 1500年～1600年

世界三大発明「羅針盤」の要素として大航海時代を支える。1600年からギルバートによる磁石の科学的研究が始まる。

## 4000年前

最古の磁石の伝説。ギリシアのクレタ島で、羊飼いたちが磁鉄鉱(マグネタイト)を発見する。

## 2000年から現在まで

本格的にスピントロニクスの時代に入来。スピン注入磁化反転、MRAMの実現、そして、スピン流からスピントロニクスへの道を望む。

電子のスピンを制御することで高機能デバイスを作るのがスピントロニクスの挑戦です。目指す一つのゴールが磁気ランダムアクセスメモリ(MRAM)の実用化。MRAMは1972年に提案されて以来、その実現が望まれていました。最初のブレークスルーは、磁気トンネル接合(MTJ)\*における、より大きな磁気抵抗比を実現するMgOバリア層の発見でした。この大きな磁気抵抗比が、記憶素子からの情報の読み出しを改善。続いて、記憶素子への書き込みを電流注入によって行うスピン注入磁化反転が実証されました。これらの発見によってMRAMは高速大容量化に向けて大きく舵が切られます。2006年にはFreescale Semiconductor社(現Everspin)から16Mbitのプロトタイプが上市され、現在は複数の企業が各社の方式で開発、生産しています。スピントロニクスの進展は、基礎科学にも新しい知見をもたらしました。スピン流もその一つです。電気が電流として伝搬する様に、電子のスピンも伝搬するのです。電流を伴わないスピン流は絶縁体中を流すことができます。絶縁体中を流れるスピン流で情報処理を行う試みはマグノニクスと呼ばれています。また、スピン流は熱を運ぶことも、熱によって駆動されることもできます。この熱とスピン流に関する分野は、スピントロニクスと呼ばれています。さらにスピン流はトポロジカル絶縁体など新しい物性物理学の概念と密接に関わっており、活発な研究が繰り広げられています。

## 1950年から2000年まで

磁石が情報技術と結びついて主役となっていた時代。本多光太郎のKS鋼、磁気テープやトランジスタの発明、HDD、そして、スピントロニクスの勃興。

20世紀は磁石の世紀でした。電子の角運動量を理論的に扱う量子力学と様々な実験技術が磁石の理解と開発に拍車をかけました。ピッター法による磁区\*観察によって得られたミクロな磁石の研究と冶金技術を用いて多様な磁石が提案されます。本多光太郎によるKS鋼は鑄造磁石の時代の先駆けとなり、続くフェライト磁石\*の発明によって、日本が人工磁石の開発を牽引。1960年代の希土類磁石の実現に続き、現代最強のネオジム磁石\*が発明されます。これらのフェライト磁石やレアアース磁石は現代のエレクトロニクスを支える礎になっています。磁石の磁区\*構造や結晶構造の研究によって磁石のヒステリシス\*の理解が進むと、磁石は記録媒体として注目され始めました。1900年代中頃から磁気テープとして始まった磁気記録技術は、デジタル情報化社会において、その性能を飛躍的に高めていきます。もっとも一般的な磁気記録媒体はハードディスクドライブ(HDD)です。HDDは読み出し用のヘッドに生じる磁気抵抗の変化から電氣的にディスク上の磁化パターンを読み出しているため、磁化変化に対して大きな磁気抵抗変化を得ることにより高容量が実現されます。このような物理現象である巨大磁気抵抗(GMR)\*とトンネル巨大磁気抵抗(TMR)\*が発見されたことで、HDDは飛躍的に容量を増やしました。これらの現象は電子の電荷とスピン(磁気)を使ったエレクトロニクス素子として、スピントロニクスの幕開けとなりました。

## 1700年から1950年まで

電気が実用化され、「電気と磁気の関係」が明らかになっていった時代。発電機やモーターの発明。電磁石の発明。そして、電子の存在が証明される。

18世紀から電気と磁気に関する理解と技術が飛躍的に進歩します。まず、クーロンとキャベンディッシュが「二つの電荷の間に働く力が距離の逆二乗に比例すること(クーロンの法則:1785年)」を発見します。続いて、ボルタ電池が登場すると、「動電気」すなわち電流が実現されます。この電流が近くに置かれた方位磁針を動かしたことで、エルステッドとアンペールは電流が磁場を作ること(アンペールの法則:1820年)を発見。これに続き、ファラデーはアンペールの法則の逆効果である電磁誘導(1831年)を実証します。これらの基礎現象はその後、マクスウェルによって電磁気学として数学的に定式化されます(1865年)。この基礎現象の確立は、電流と磁石を用いた発明と並行して実現されました。電磁石、モーター、発電機、電信機といった現代の電気利用を支える基礎発明がこの時代になされます。マクスウェル方程式の発表直後には、ジーメンスが自励式直流発電機を発表し、翌年に商用化。さらに、内燃機関と自動車の発明に続き三相モーターが開発され、交流送電が始まります。この頃になると電気と動力を担う磁石の重要性が強く認識され、その物性の理解とより強力な磁石の開発が始まりました。トムソンによって電子の存在が確認され、電子がスピンを持つことがわかると、ハイゼンベルグの交換相互作用の理論によって、量子力学的な磁性の起源が提案されました。

## 4000年前から1600年まで

天然磁鉄の発見から始まった「人と磁石」の歴史。錬金術師は磁力を「物質の精神力」と呼んだ。羅針盤の発明により、磁石を利用する時代へ。

人間と磁石とのつき合いは古代ギリシアから始まったと言われていいます。マグネットの語源は、天然磁石が発見された地名である「マグネシア」であるとする説が有力です。この天然磁石は磁鉄鉱(マグネタイト:Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)であり、今日でも広く使われています。磁鉄鉱はやがて、磁石の性質により、人間の生活に入り込んでいきます。歴史的に最初の磁石の応用品は、中国での指南魚です。これは磁鉄鉱の薄片を水に浮かべて、地磁気によって回転できる様にした原初の方位磁針です。指南魚のはちに羅針盤となって欧州に輸出され、大航海時代を支えることとなります。磁鉄鉱は鉄の酸化物であり、鉄の精練に欠かせません。古代での鉄器は武器の製造を支える先端技術でした。鉄や金銀などの金属を精錬する中で錬金術が形作られ、ギリシャからアラビア、そして欧州へと伝えられていきました。錬金術師たちは、磁力を「物質の精神力」と表現していました。こうした非科学的な解釈は、ギルバートによって改められました。ギルバートは、1600年に発刊された著書「磁石論」の中で、磁石に関する現象と俗説を詳細に検討しています。そして、初めて地磁気存在を論証し、近代磁気学の幕を開きました。

マグネットワールド—磁石の歴史と文化(吉岡安之著・日刊工業新聞社刊)/\*Spintronics: Fundamentals and applications\* I. Zutic, J. Fabian, and S.D. Sarma, Rev. Mod. Phys. 76, 323 (2004)/\*Future Perspectives for spintronic devices\* A. Hirohata, and K. Takahashi J.Phys. D, 47 193001 (2014)/\*Spintronics Market Analysis and Forecast\* Industry Arc, (2014)



「科学」の肖像  
ミニコラム & 用語解説

ここでは、「磁性・スピン」が社会のどんな場面で活躍しているのか、その一例を紹介しします。また、前ページの逆年表&時代解説に出てくる学術用語もご説明します。



こんなところに使われている

磁性・スピン



宇宙服

真空の宇宙空間で活動する宇宙飛行士を守る宇宙服には、曲げられる真空シールを実現するために磁性流体が使われています。磁性流体は径が10nm程度の磁性微粒子が、界面活性剤によって分散されたものです。



スマホ磁石

スマートフォンやタブレットなどの無線機器の送信回路には、受信回路との混信を防ぐためにアイソレータが使われています。アイソレータは電磁波の偏光面が磁化によって変化する磁気光学効果を利用しています。



インターフェース

ロボットやAIの発展とともに、人の動きを機会に認識させるインターフェースが身近になっています。磁気インピーダンスセンサは非常に小型で敏感なモーションセンサとして、様々な機器に搭載されています。



医療磁石

磁気共鳴イメージング(MRI)は脳を診察できるほぼ唯一の手段です。強力な超伝導磁石によって、体内の水素原子の振る舞いを観測して、病変を検出しています。最近では血流動態も同時に計ることが可能です。

「磁性・スピン」に関する用語解説

【巨大磁気抵抗(GMR)】

強磁性体と非磁性金属の積層構造において、隣り合う強磁性体の磁化の向きに応じて、積層構造の電気抵抗が大きく変化する現象。

【トンネル巨大磁気抵抗(TMR)】

薄い絶縁体を二つの強磁性体で挟んだトンネル接合において、強磁性体の磁化の向きに応じて、接合の電気抵抗が大きく変化する現象。

【磁気トンネル接合(MTJ)】

薄い絶縁体を二つの強磁性体で挟んだ構造のこと。一方の強磁性体から他方の強磁性体へ、絶縁膜をトンネルして電気が流れる。

【フェライト磁石】

鉄酸化物であるヘマタイトやマグネタイトに、他の金属元素を含んだ磁石一般の総称。

【ネオジム磁石】

希土類元素を利用した合金で作られる希土類磁石のうち、ネオジム、鉄、ホウ素を主成分とした磁石。永久磁石として最も強い磁力を持つ。

【磁区】

N極とS極を持った磁石の内部構造を磁区という。磁区は磁石の表面に現れる磁極をできる限り小さくするように、構造を作る。

【ヒステリシス(履歴効果)】

磁石の磁化Mが、過去に印加された外部磁場Hに依存して変化すること。MとHのグラフはヒステリシスカーブと呼ばれる。

数  
学  
と  
私

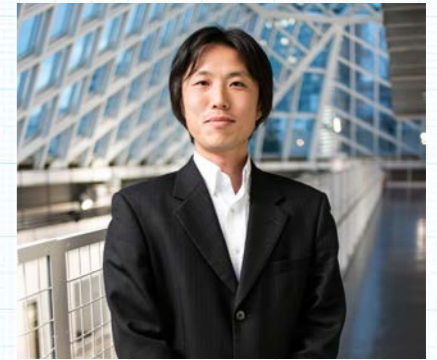
第1回

この「ことば」を鮮やかに操るために

$$H_*(X)$$

平岡 裕章

AIMRジュニア主任研究者 准教授



大分県生まれ。2000年、大阪大学工学部卒。2005年、大阪大学大学院基礎工学研究科博士課程修了。理学博士。広島大学理学研究科助教・准教授、九州大学マスマテファインダストリ研究所准教授を経て、2015年より東北大学AIMR准教授。学部までは工学の教育を受け、大学院から数学にチャレンジ。研究の基本スタンスは、基礎研究から応用研究までの全てを楽しみながらクリエイティブな数学活動を行うこと。

様々な研究者が数学への思いを語ります。

第1回は応用数学者が考える数学のイメージです。

数学ってなんだと思いますか? いろいろな見方があるでしょうけれど、ぼくにとっては「ことば」なんです。現象や形を表現していくためのことば。もちろん、最初からそう思っていたわけではなくて、この何年かでそんなふうには確信するようになりました。

よく「数学は森羅万象を記述する言語である」と言われます。でもぼくは「何でも記述できる」と思えるほど、自分が数学のことを分かっているとは思えません。ただ、ある特定の分野だけでも「何か記述できるのではないか」と思って研究を進めています。何かを記述するためには「記述したいモノ・コト」の特徴や本質を見抜かなければ表現できません。本質を記述することが数学ということばに課せられた使命なんですね。その「本質の捉え方」も対象のどこに着目して記述するかによって表現が変わってきます。今は材料科学における様々な「形」を記述するためにトポロジーという数学を使っています。それがもっともフィットすることばだと思っているからです。

高専で工学を学んだ後に大阪大学に編入学して、学部で工学、大学院で数学を学びました。その時期に大切な「二人の師匠」との出会いがありました。見玉裕治先生と小川知之先生。現在、見玉先生はオハイオ州立大学で、小川先生は明治大学で研究をなさっています。

ぼくが最初に取り組んだ応用数学は「情報

通信」の話でした。その後、広島大学にいた時に「タンパク質の形を数学で特徴づける」ということをやりました。この時に研究テーマがやや材料寄りになり、現在のAIMRでの研究にまでつながっていきわけです。当初は「動き」を数学的に記述することに興味があったけれど、博士課程の途中から「形」を記述することに興味の対象が移って、その方向に進んできたことになりました……数学者って、かなりトレーニングが必要なんですよ。現在、数学者として給料をもらっていますが、常に新しい数学を吸収し続けていかないと、すぐに数学の力が弱ってきちゃうんです。だから、学生の頃からトレーニングを積んできて、何となく数学の全体像が掴めるようになってから、応用の現場を眺めて「自分がやりたいのは形を記述することなんだ」と思ったわけですね。

自分にとってもっとも大切な数式ですか? 常に使っているのは、「式」というよりも「記号」ですね。H\*(X)という記号です。このH\*(X)は「Xというものの形」を表しているんです。Xに入れるのは何でもいいんです。画像でもいいし、散りばめられた点でもいい。さらに抽象的なデータでもかまいません。これを使って形を記述していくわけです。

数学者って「完結した数学世界の中で研究したい」という純粋数学者が圧倒的に多いと思います。ぼくは工学から数学に移った研究者なので「何か具体的なものがあって、そこから数学を考える」というのが基本的な

スタンス。つまり応用数学者です。純粋数学者はひとつのテーマを長年突き詰めていく人が多いので、ぼくが「見る対象によって研究テーマが変わってきた」と口に出してしまうのは数学界ではあまり好ましくない発言なのかもしれません(笑)。でも自分はそういう数学者者なんですよ。

数学のトレーニングにおいては今まで挫折ばかりでした。一般的に数学者は学部時代に数学の全分野をひととおり学び、それを基礎として自分のテーマとなる分野に進んでいきます。でも、ぼくは学部で工学をやったので、数学の全分野を詰めて学んだ経験がありません。自分のテーマに関係する分野の数学だけ集中的にトレーニングしてきたので、数学の知識に「空き」があるんです。空きがあることが挫折の感覚になることもあります。でも、海外には様々な知的バックグラウンドを持った優れた数学者がたくさんいます。ですから、海外に目を向けると挫折の感覚も薄らいで「学部時代には良い経験ができたな」という気分になってきますね。

今後の展望は、自分が持っているトポロジーという道具を材料科学のあらゆる分野に応用してみたいということですね。そして、それによって分かったことを今度は数学にフィードバックして「新しい数学」を作りたい。もっと遠くの展望? それは……まあ、ないですね(笑)。「常に今を見つめていたい」なんて言ったら、かっこつけすぎでしょうか。今を見つめて……数学者として、ずっと社会的存在でありたいと、いつも思っています。

[2016年1月6日。AIMR本館平岡准教授室にて]



# 蘇る研究室

第1話

## 研究の喜びをかみしめた真夜中の実験室

高橋 隆

AIMR主任研究者／東北大学理学研究科教授

1974年、東京大学理学部物理学科卒。74年-77年、電機系企業研究員。81年、東京大学大学院理学系研究科博士課程中退。1981年、東北大学理学部物理学科助手。82年、理学博士。94年、同助教授。2001年、同教授。07年、AIMR主任研究者(理学研究科兼任)



研究者の心の中には、自らの人生に大きな影響を与えた「研究室の風景」が鮮やかに刻まれています。この連載では、そんな「原風景としての研究室」を紹介していきます。

### ▶ わずかな閃きを実験に加えたあの日

もっとも心に残っている研究室の話ですか。そうだな……やはり、大学院生の時のあの日の研究室かな。今でも鮮明に思い浮んできます。私にとって、とても大切な経験でした。

大学院時代、私は東京大学駒場キャンパスで原田義也先生の研究室に所属していました。相関理化学分野、つまり、「化学」の研究室です。学部時代は物理をやっていたんですが、大学院では化学。なぜかといえば、「光電子分光」の研究がしたかったからです。私の母校で光電子分光が研究できるのは化学の研究室だけだったんですね。

研究室は、現在ではもう存在しない駒場6号館というボロボロの建物の中にありました。実験室を兼ねた研究室ですね。その大きさは25㎡くらい。実験装置、機材、作業台や備品がとこ狭しと並んでいて、入り口のドアから入ると、それらの間を縫うようにして机まで行くわけです。窓の外には駒場のグラウンドがあって、よく学生たちのサッカーを眺めたりしていました。当時、原田研究室の院生は私だけ。ひとりで研究室に寝泊まりして実験を行い、論文もあの部屋で書きました。実験で泊まり込みになる時などは、部屋の隅に置いてあったボンボンベッドを……ビーチなどでよく使われる折りたたみのサマーベッドですね……あれを部屋の真ん中に広げて寝ていました。寝ているそばで動いているロータリーポンプに腕を巻き込まれないように気

をつけながらね。そんな院生生活をしていた頃に、あの研究室で、その後の研究者人生を決定づけるようなことが起こったんです。

あの日、私はいつものように実験していました。光電子分光装置を使った実験。当時(1970年代)はまだ、製品としての光電子分光装置はこの世に存在していません。ですから、原田先生が手作りで作られた装置を使わせてもらっていました。現在よりもずっと原始的な光電子分光装置です。当時やっていた実験は準備に1日以上かかりました。前日から準備をしてね。真空チャンバーを開けてブレークし、蒸着するものを入れて締める。それを一回、ベーキングする。装置全体を焼くんです。しっかり蒸着するために基板をきれいにしたり、フィラメントを掃除したり。そんなふうの前日から準備をして、あの日は午後3時くらいから試料を作り始めました。

試料を作っている最中に、ちょっと閃きました。「低温でつけてみようかな」と。アモルファスセレンは常温でつけてもアモルファスになるのですが、低温でつけばアモルファスな性質がもっと強調されるかもしれないと閃いたんです。さっそく、基板の温度を液体窒素温度まで冷やしました。77ケルビン。-196℃くらいですね。この実験では過去に誰もそれほど低温では試してなかったもので、新たな試みでした。

光電子分光装置の実験は、蒸着して膜を作ったものに光を当てて測定するというも

のです。光電子分光装置から引いたケーブルが棚に置かれたプロッターに繋がれていて、そのプロッターが測定結果のグラフを描き出すようになっていました。プロッターってご存知ですか。データを入力すると、紙にペンで図やグラフを描く出力機器です。当時は現在のように測定結果をモニターに映し出せるわけではなかったので、そうやって、製図みたいにペンで紙にグラフを描いていたわけです。プロッターが1本のスペクトルを描き出すには約1時間かかります。準備から測定結果の確認まで、とても時間がかかったわけですが、それをひとりでこつこつとやっていた時は楽しくてしょうがないんです。今でもそうです。

どこまで話しましたっけ……そう、基板を77ケルビンまで冷やしてセットして、実験を開始しました。結果を見るために、プロッターを置いた棚の前に座ってじっと眺めていました。この時は、どんな結果が出るか、まさに真剣勝負です。睨むようにしてずっと見つめていました。

プロッターがカシャカシャと音を立てて紙にグラフを描き始めました。あの実験の結果のグラフでは二つのピークが描かれました。いつものように一番目のピークが描かれました。私はじっと見えています。そして、二番目のピークが描かれ始めた時、「あれ?」と思ったんです。

### ▶ 誰もが見たことのないデータを手にして

通常ならば、ピークが一番目のほうが大きいはず。ところが、このグラフは二番目のほうが大きい……。最初は「何か、実験のやりかたが悪くて、正しい結果が出ていないんじゃないか」と思いました。そこで、再度、実験に取りかかりました。この時、すでに夜中になっていました。

腕組みをして、プロッターの前に座り、二回目の結果を見守ります。すると……今度も二番目のピークが大きく描かれたんです。これを見た瞬間、「やったー!」と大きな叫び声を上げていました。

これはもう間違いない。明らかに二番目のピークが強くなっている。この実験でこんな結果を見たのは、日本中でぼくが初めてではないか。いや、日本中で初めて、世界中で初めて、宇宙で初めてだ。誰も見たことがない現象を今、ぼくは見ているんだ。

新たな結果を紡ぎ出したことによる、ものすごい興奮。そして、大きな喜び……あんな経験は初めてでした。強烈なエクスタシー。わくわくする気持ちが私を包んでいました。その日は明け方、朝焼けを眺めながら帰宅しました。ひとりで喜びをかみしめて。

あの日の結果はその後、博士号を取るための学位論文となりました。論文もあの部屋の机で書いたんです。IBMの古いタイプライターを叩いてね。これがその論文です。日付が1980年。米国物理学会の『Physical Review B』という学術誌に掲載されました。

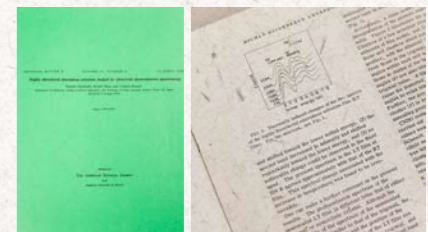
私は学生によく、こう言うんです。「自分で取ったデータを大切にせよ」「従来と違うデータが出てきたら喜べ」ってね。この2つの言葉は、あの時の経験から導き出された私の思いです。たまた、「先生、とても良いデータが取れました。あの論文のグラフにそっくりのデータです!」なんて言うてくる学生がいますが、それではダメだと叱ることにしています(笑)。良いデータというのは従来とは違うデータのこと。そうでなければ新たな発見はない。違うデータが出てきたからこそ、そこから「なぜ?」と考える作業が始まるわけですね。

それから、自分で取ったデータを大切にすることがなぜ重要なのか。自分で取ったデータが一番「強い」からです。自分がセットした装置で自分が作った試料を使って実験の一部始終をしっかりと凝視して弾き出したデー

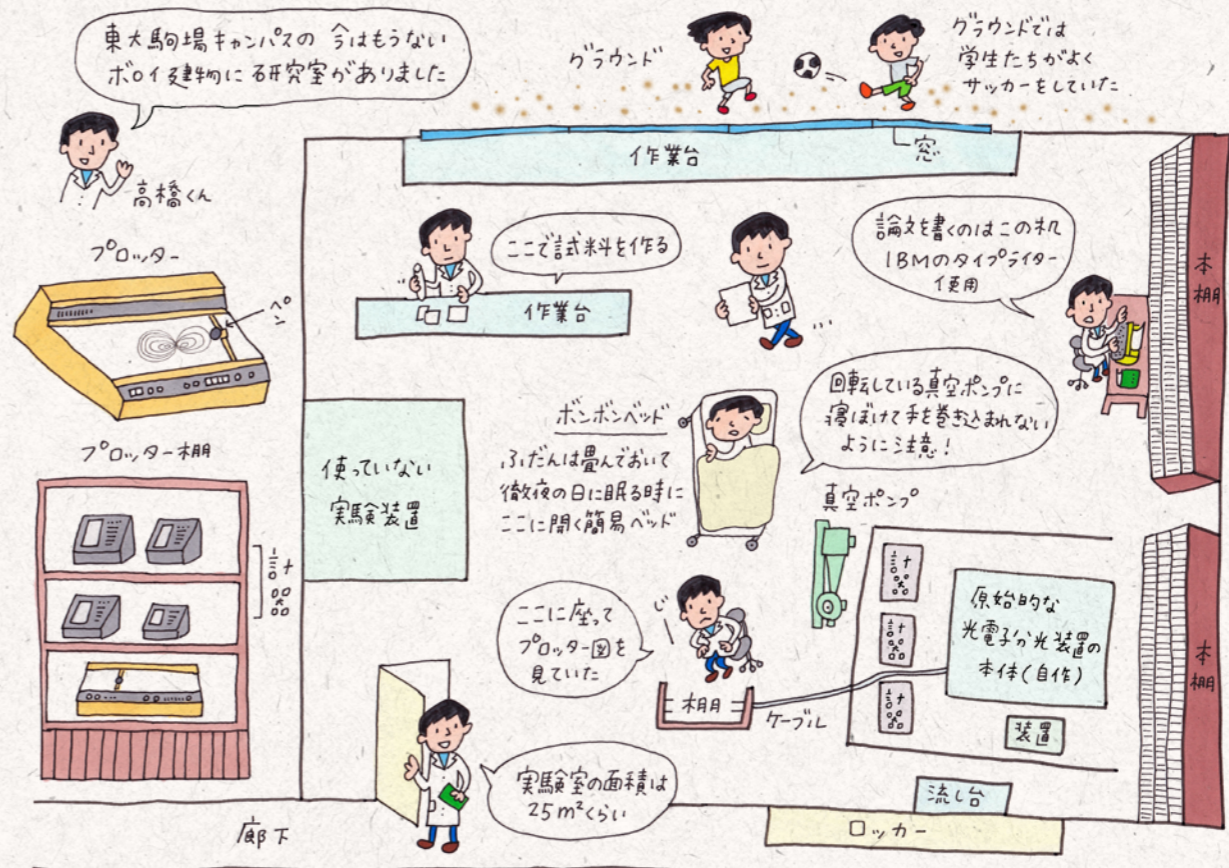
タには「確信」を持つことができます。学会で自らのデータを示して論争になった時も、確信を持って主張することができる。これはデータ捏造行為とは対極にある「真の実験データが備え持つ『自分への信頼』」ですね。

思えば……あの日、研究室で起こった出来事は私にとって研究者としての原点でした。あの日の思いがあったからこそ、今まで研究を続けてこられたような気がしています。きっと、これからも、事あるごとにあの日のことを思い出すでしょうね。

[2016年1月8日。東北大学青葉山北キャンパス物理系研究棟にて]



現在も高橋教授が所蔵している自らの博士論文。"Highly disordered amorphous selenium studied by ultraviolet photoemission spectroscopy"。米国物理学会のPhysical Review Bに掲載された。あの日、プロッターが描き出した「誰も見たことがない」スペクトルが示されている



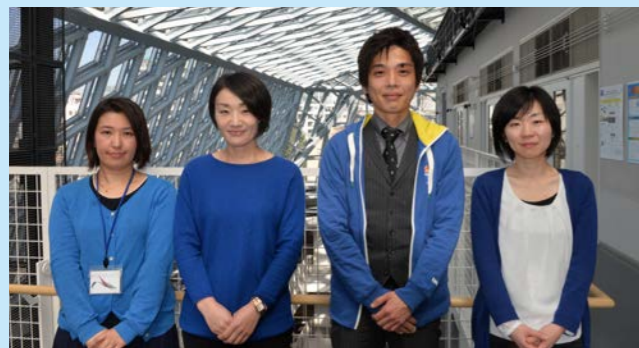


## こちら、AIMRの現場です。



### 外国人研究者の味方、IAC —— 最高のスタッフと最高のサービスを。

この4月より東北大学高等研究機構に設置されたInternational Affairs Center (IAC)は「海外から着任した外国人研究者の生活基盤全般の支援」を目的とするサポートオフィス。さっそく、このIACのメンバー4人に現在の状況などをうかがってみました。



IACの及川係長と最高のスタッフたち。  
写真左より、鵜浦係員、丹野係員、及川係長、本多係員

—— まずは「IACとは何か」から教えてください。

及川 IACは正式名称をInternational Affairs Centerと言います。外国人研究者の生活基盤サポートを行うために今年4月に設置されました。そもそも従来から、研究者の約半数が外国人であるAIMRにおいては、外国人サポートは重要な課題のひとつでした。一昨年、AIMR事務スタッフは3つのグループに分か

れて、ハーバード大学、シカゴ大学、コペンハーゲン大学など、欧米の有名大学における外国人サポートの実態を調査してきたのですが、そこで分かったのは「どの大学でも外国人サポート部署が効果的に機能している」ということ。ひとつひとつのサポートの様子を間近に見て、その充実ぶりに圧倒された記憶があります。その後、昨年7月に、IACの前身であるRRC(リサーチレセプションセンター)がAIMR内に設置され、多角的な外国人サポートの本格的検討を始めました。そして、この4月からはIACの業務を開始しました。

—— IACの具体的な業務は？

及川 まず、「生活情報の提供」です。メーリングリストを通じての生活情報に関するニュースレターの配信、情報交換掲示板による情報提供、生活情報誌の発行。次に、「着任時のサポート」。海外から着任した研究者に対して、銀行口座の開設、役所の手続き、宿舍入居の立会い、家電などのレンタルサービスといった支援を始めています。

本多 皆さん、海外から着任して、「どこに何が売っているか」も分からないでしょうし、英語のウェブサイトから得られる情報も限られていると思うのです。たとえば、真冬の仙台に着任して宿舍に入居した場合、宿舍には備品が何もないので、真っ先にヒーターはレンタルしなければなりません。

鵜浦 外国の場合、宿舍や賃貸の部屋では家具付きが主流ですが、

### 第1報

### 外国人に優しいAIMR

日本では家具がないのが普通ですね。もちろん、事前情報としてそれを知っていたとしても、着任して買いに行くこと自体が大変なはずですから。

丹野 最初は、自動車などもなく、買ったものを運ぶ手段だけでも大変ですね。ですので、電動自転車のレンタルも取り入れました。

—— 外国人サポートに関して、従来はどのような問題点があったのですか？

及川 本学には留学生課があるので、外国人留学生に関してはそこでサポートをしていたわけですが、外国人研究者サポートに関しては担当オフィスが存在せず、その役割は、着任する研究室が担っていました。研究室の若手研究者などが海外から着任した外国人研究者のサポートをしていたのです。しかし、外国人研究者が多いAIMRなどのような部局ではオフィスレベルで外国人サポートをしなければ研究室の研究にも支障をきたしてしまうでしょう。IACのような体制作りはまさに急務だったわけですね。

—— 今後の展開としては？

及川 新年度もたくさんの外国人の方々から着任されていますので、まずは皆さんを集めてオリエンテーションを実施し、基本的な生活情報をそこで提供しようと考えています。長いスパンでの展望としては、ここで培ったサポートのノウハウを本学の各部局に展開して、部局ごとの外国人研究者サポートが充実していくことが理想ですね。

—— それではIACメンバーとしての意気込みの言葉をそれぞれいただけますか？

このコーナーでは、レポーターが実況中継をするがごとく、AIMRという魅力的な組織の様々な特徴を読者の皆様にお伝えしていきます。第1回は、外国人に優しいAIMRの国際性を現場レベルからご紹介しましょう。

丹野 私の場合はコペンハーゲン大学の外国人研究者サポートオフィスを二度、視察に行かせていただきました。そこで思ったことは「着任時のサポートも大切だけれど、その研究者に長く勤めていただくためのサポートも大切」ということでした。やはり、着任した環境を好きになってもらうようなサポートをしていかなければと思います。

鵜浦 環境を好きになってもらうには、やはり「家族と一緒に安心して生活できる環境」をいかに整えるかという点が大切ですね。着任した外国人研究者の家族へのケアも含めて、トータルにサポートしていきたいと思っています。

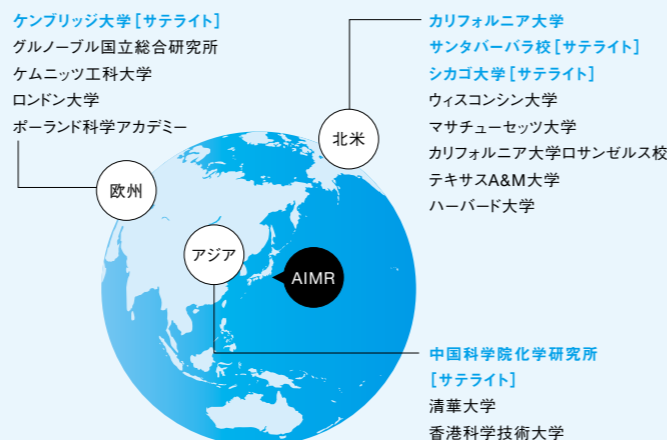
本多 まず、IACに関するフライヤーを作って配布して、認知度をあげたいと思っています。それから、いろいろとサポートさせていただいた後に「受けたサービスのうち、どのサービスが良かったか」というフィードバックもいただきたいと考えています。それによって、新たなサービス内容を考えることも可能になりますし。従来のように研究室単位で外国人研究者サポートをしていると、そのノウハウは研究室の中でのみ積み上げて行くはずですが、IACのようなオフィスでノウハウを積み上げれば組織全体で共有することも可能になります。その点も意識して仕事を進めたいと思っています。

及川 IACのキャッチフレーズは「最高のスタッフと最高のサービスを」。今の3人の意気込みからお分かりの通り、最高のスタッフはもう揃えましたので(笑)、あとは最高のサービスを実践していくのみです。結局は「人が人を支援する」ということだと思うので、真心を持ってサポートしていきたいと考えています。

[2016年4月4日。AIMR本館5階・International Affairs Centerにて]

### [AIMR] 海外パートナー機関、海外サテライト

国際的な頭脳循環のハブとして機能しているAIMRには、左の図のように15の海外パートナー機関があります。それぞれの研究機関とは、材料科学、物理学、化学、数学などの複合的な分野において研究者のインタラクティブな学術交流が活発に行われています。特に、ケンブリッジ大学、カリフォルニア大学サンタバーバラ校、中国科学院化学研究所、シカゴ大学の4つの研究機関には、海外サテライトとして「AIMRジョイントリサーチセンター(AJC)」が設置されています。それぞれのAJCにはAIMR所属の研究員が常駐し、その研究機関とAIMRの架け橋となっています。AIMRにとって、まさに世界は「ひとつの研究所」なのです。



### The AIMR International Symposium 2016 (AMIS2016)、開催される。

2016年2月22日から3日間、仙台国際センターにてThe AIMR International Symposium 2016 (AMIS2016)が開催されました。22の招待講演が行われ104組のポスター掲示が行われたAMIS2016には、世界14カ国から235人の研究者が集い、材料科学、物理学、化学、数学の幅広い分野における様々な知見が行き交っていました。今回のテーマは“harmonious collaborations between mathematics and materials science”。特に材料科学と数学の融合研究に重点をおいたこのイベントに対して、参加者からは「焦点が絞られた良いセミナーやディスカッションが多かった」などの感想もいただきました。AIMRとしての10年の蓄積は、今、大きく花開いています。





# AIMR ACTION LOG

## [2015.4-2016.3]

協定・就任	2015年4月	万立駿教授、中国科学技術大学学長に就任
	2015年11月	AIMRとケンブリッジ大学がケンブリッジAJC(ケンブリッジ・AIMRジョイントリサーチセンター)の協定を更新
	2016年1月	末永智一教授、国際電気化学会副会長に就任
受賞	2015年4月	幾原雄一教授、日本金属学会谷川・ハリス賞受賞
	2015年4月	佐藤宗太准教授、文部科学大臣表彰若手科学者賞受賞
	2015年5月	伊藤良一助教、高橋康史助教、日本化学会優秀講演賞受賞
	2015年5月	高橋康史助教、ナノブローテクノロジー奨励賞受賞
	2015年5月	林育菁准教授、貴金属に関する研究助成金・ゴールド賞を受賞
	2015年10月	幾原雄一教授、Robert B. Sosman Awardを受賞
	2015年11月	山本嘉則名誉教授、瑞宝中綬章を受章
	2015年12月	江刺正喜教授、2016 IEEE 西澤潤一メダル受賞
	2016年1月	磯部寛之教授、日本化学会学術賞受賞
2016年3月	伊藤良一助教、トーキン科学技術賞受賞	
セミナー・シンポジウム	2015年4月～2016年1月	[AIMRジョイントセミナー] 第1回 4/24 高塚琢二教授(東京大学生産技術研究所) 第2回 5/22 澤田和明教授(豊橋技術科学大学) 第3回 6/19 久保佳実博士(物質・材料研究機構ナノ材料科学環境拠点運営総括室長) 第4回 7/31 山下正廣教授(東北大学大学院理学研究科) 第5回 10/30 平山秀樹博士(理化学研究所主任研究員) 第6回 11/27 山本浩史教授(分子科学研究所) 第7回 12/10 高田昌樹教授(東北大学多元物質科学研究所) 第8回 1/29 上野隆史教授(東京工業大学大学院生命理工学研究科)
	2015年9月30日	AIMR・新学術領域「疎性モデリング」合同シンポ
	2015年11月10日・20日	International lecture of Spintronics
	2015年12月8日・9日	In-situ TEM symposium
	2016年2月21日	Structure and Dynamics of Glasses
	2016年2月22日～24日	The AIMR International Symposium 2016
	2016年3月3日	栗原和枝教授(AIMR)最終講義
	2016年3月4日	西浦廉政教授(AIMR)最終講義
一般向けイベント	2015年10月10日・11日	片平まつり(AIMR一般公開)
	2015年11月14日	みやぎサイエンスフェスタ ポスター発表
	2015年12月26日	WPI合同シンポジウム(京都大学)ブース出展
	2016年2月12日～14日	AAAS年次大会(ワシントンD.C.)ブース出展
高校生向けイベント	2015年6月26日	セドリック・ヴィラニ教授講演会
	2015年8月5日・6日	スーパーサイエンスハイスクール研究発表会(大阪市)ブース出展
	2015年9月2日	やさしい科学技術セミナー(国際科学技術財団共催)
	2015年10月26日・29日	仙台一高・三高出前授業(ダニエル バックウッド助教)
	2015年11月24日	仙台市出前授業(中嶋健教授)
学術発信	プレスリリース 32本	

Director: 小谷元子 [AIMR機構長]  
 Adviser: 池田 進 [AIMR副事務部門長]  
 Editor: 清水 修 [AIMR特任准教授]  
 Writers: 清水 修 [AIMR特任准教授] (2-13p, 17-23p)  
 追川康之 [AIMR特任助教] (14-16p)  
 Art Director & Designer: 古田雅美 [opportune design inc.]  
 Photographer: 熱海俊一 [SHUN'S] (4-11p, 17-19p)  
 多田 寛(表紙)  
 佐藤未樹 [SHUN'S] (12-13p)  
 Illustrator: 佐藤ジュンコ (19p)

Cooperated by:  
 中瀬博之 [東北大学工学部特任教授]  
 義永那津人 [AIMR助教]

Publisher:  
 東北大学 原子分子材料科学高等研究機構 (AIMR)  
 広報・アウトリーチオフィス  
 〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1  
 Tel. 022-217-6146  
 Email. aimr-outreach@grp.tohoku.ac.jp  
 http://www.wpi-aimr.tohoku.ac.jp

発行日: 2016.5.18  
 印刷・製本: 今野印刷株式会社  
 © The Advanced Institute for Materials Research, Tohoku University  
 Printed in Japan







東北大学原子分子材料科学高等研究機構  
Advanced Institute for Materials Research, Tohoku University  
<http://www.wpi-aimr.tohoku.ac.jp/>



World Premier International Research Center Initiative  
文部科学省 世界トップレベル研究拠点プログラム