

## 荻原充宏

Mitsuhiro Ebara

子どもたちに人気のマンガ絵本『ナノ戦隊 スマポレンジャー』（発行元 MANA）。荻原さんの夢はこの中に詰め込まれています。「スマポレンジャー」は新材料の「スマートポリマー」でできている未来の薬です。5種類のスマートポリマーからなるナノ戦隊が血管の中に入り、性質や形を変えながら互いに協力してウイルスを探索、みごとに撃退します。

「今の医療技術はインフラが整っていないと使えないことが多い。そのため、発展途上国や、日本でも大震災があったりすると、何もできなくなってしまう。そんなときにも使えるような医療用材料を作りたい」。荻原さんはこんな思いで研究をしています。

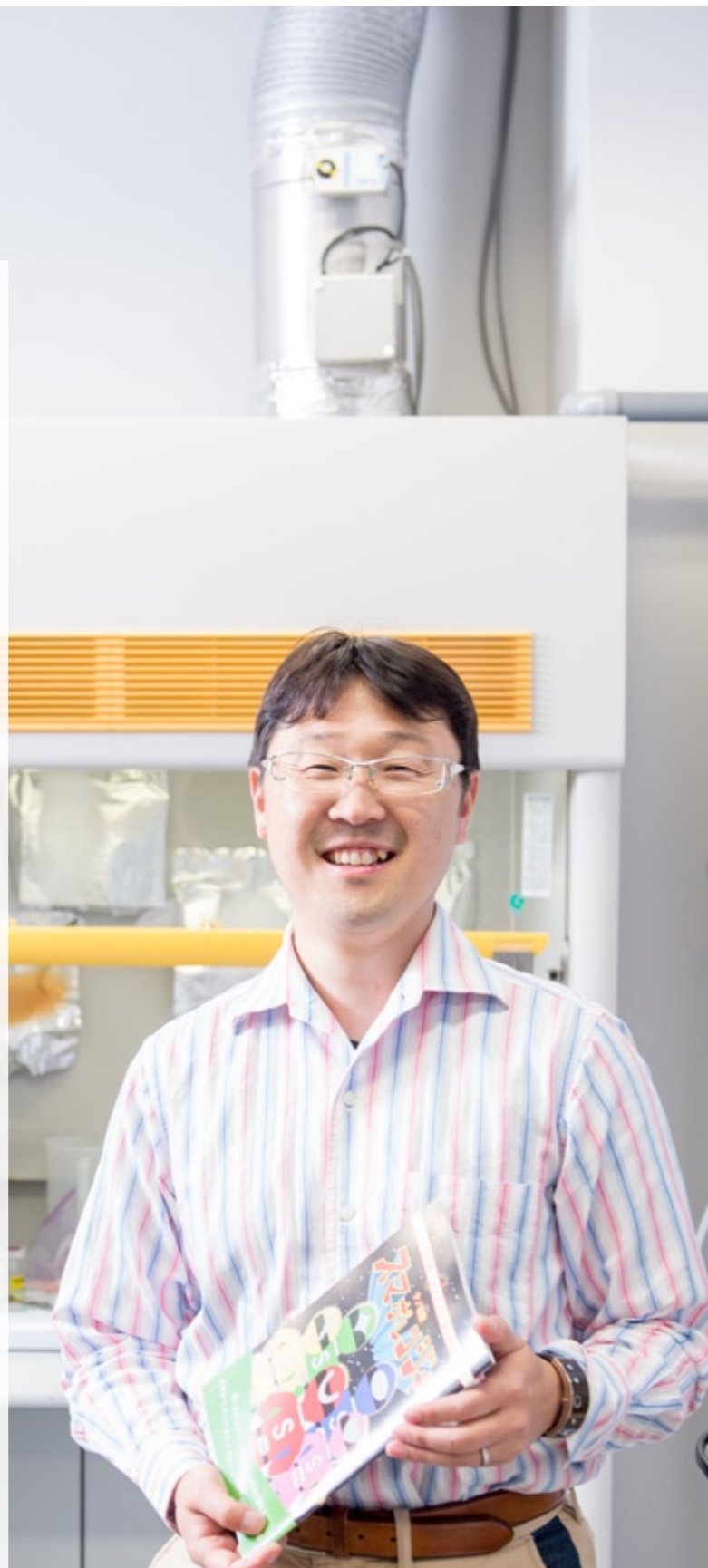
たとえば、指でこするだけで、その熱をエネルギー源としてスマートポリマーが駆動。血液や尿の中に疾病の原因となるウイルスなどがあれば、それをとらえて診断します。また、がん治療用に開発した不織布ナノファイバーは、外部磁場によって薬剤を放出したり熱を出したりしてがん細胞を攻撃します。この研究は高く評価され、今年の第13回国際ナノテクノロジー総合展・技術会議において、nano tech 大賞プロジェクト賞を受けました。

絵本にはもう1つ大きなメッセージが込められています。「モノづくりはだれもがもっているちょっとしたアイデアで生まれるんです。それで病気が治せる。材料、とくにナノサイズの材料がとてつもない威力をもっていることを伝えたいですね」。

### Profile

#### 荻原充宏

MANA ナノライフ分野 生体機能材料  
ユニット・複合化生体材料グループ  
MANA 研究者。博士（工学）。専門は  
スマート材料、生体材料、医療デバイス。



### CONTENTS

- 2 Asking the Researcher 未来をひらくナノシート / 佐々木高義
- 6 Leader's Voice 共存と融合—異なる視点や取り組みが相乗効果を生む / 小林 誠
- 5 Research Outcome 1 光触媒材料のナノアーキテクトニクスによる効率的なソーラ燃料生産と環境浄化 / Jinhua Ye
- 9 Research Outcome 2 ナノマテリアル物性研究のための最先端電子顕微鏡内「その場」測定 / Dmitri Golberg
- 10 Progress of MANA 数字で見る MANA の研究業績
- 11 NEWS & Topics
- 12 Emerging MANA Researcher 荻原充宏

# CONVERGENCE

No.17 | 2014 | JUNE

国際ナノアーキテクトニクス研究拠点  
International Center for Materials Nanoarchitectonics(MANA)



## Asking the Researcher

# 未来をひらく ナノシート

# 佐々木高義

## Leader's Voice

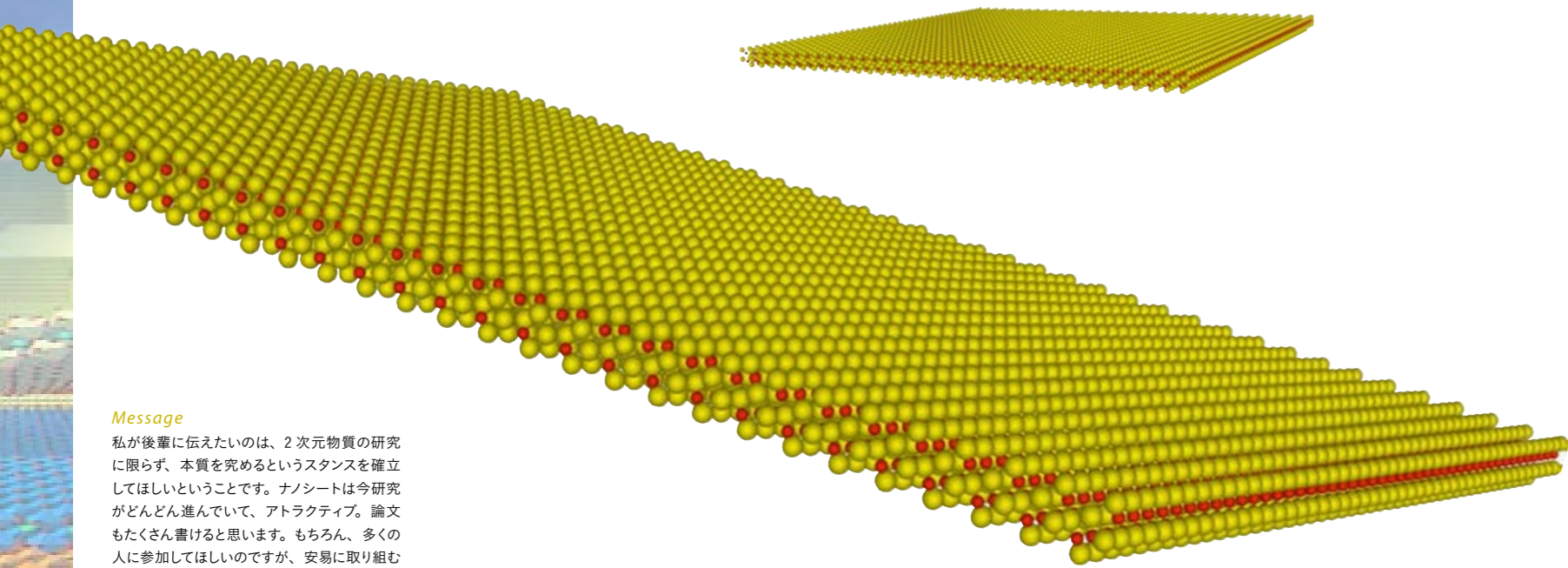
# 共存と融合

—異なる視点や取り組みが相乗効果を生む

# 小林 誠







Message

私が後輩に伝えたいのは、2次元物質の研究に限らず、本質を究めようというスタンスを確立してほしいということです。ナノシートは今研究がどんどん進んでいて、アトラクティブ。論文もたくさん書けると思います。もちろん、多くの人に参加してほしいのですが、安易に取り組むと、「今度はこっちかな」「次はあっちかな」と、だんだんフォーカスがとれなくなってしまいます。またリーダーになったとき、グループを導く独自の方向性を示していくためにも本質を究めようとするマインドが重要になります。

# 未来をひらく ナノシート 佐々木高義

Takayoshi Sasaki

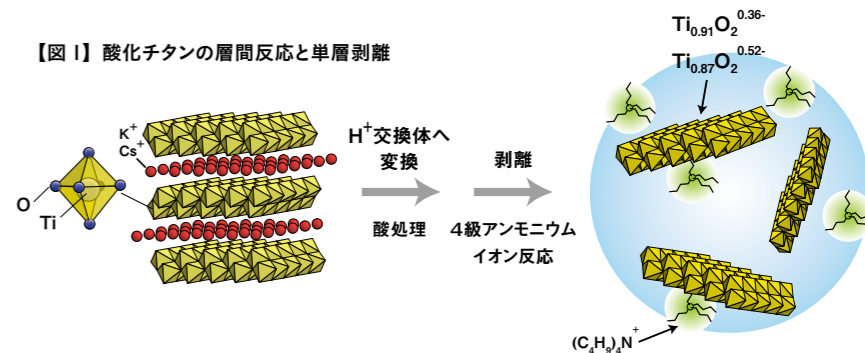
MANA 主任研究者 ナノマテリアル分野 / NIMS フェロー

ナノテクノロジーの中で「ナノシート」が注目を集めています。  
多種多様なナノシートがもつ機能を集積して  
新たに高度な機能が生まれてきているのです。  
ナノシート研究を20年近く続けてきたパイオニアの一人、  
佐々木高義主任研究者が、その背景と今後を展望しました。



●インタビュー：科学ジャーナリスト 舘取章男

【図1】酸化チタンの層間反応と単層剥離



## ナノシートの出発点は 層状物質

ナノテクノロジーの発端は、1985年のフラーレンの発見と、1991年のカーボンナノチューブの発見からとされています。

「物質をバルクではなく小さくしていくと独特の性質が出てくることがわかり、研究が走りだしたのですが、カーボンナノチューブやナノ粒子といった1次元や3次元物質の研究が先行したのに対して、2次元物質の研究はかなり遅れました。それは、ナノレベルの薄さの2次元物質が既存の合成法ではつくることが困難だからです。」

佐々木主任研究者は1980年に無機材料研究所（物質・材料研究機構の前身）に入り、層状チタン酸化物をテーマとして研究を始めました。層状チタン酸化物とは、チタンと酸素とが横方向に強い結合で連鎖して厚さ1ナノメートル（nm）の層を形成し、これが積み重なった構造をもつ化合物です。厚さ方向の力は比較的に弱いので、層と層の間で分子やイオンが入れ換わる反応（インターカレーション）が起こります。これによって、構造や物性がどう変化するかを丹念に調べるのが当初の研究でした。

「セラミックス材料の合成は多くが約1000度の高温で行われますが、インターカレーションの反応は低温（室温）で起こります。当時、インターカレーションを合成手段ととらえて新しい生成物をつくらうという“ソフト化学合成”“ソフトケミストリー”という流れが出てきました。これがうちのグループ（NIMSソフト化学グループ）の名前になったのです。」

1993年、ソフトケミストリーの国際シンポジウムに参加した佐々木主任研究者は、粘土鉱物をはじめとする層状物質が溶液中で剥離されコロイド状に変化するという先進的な研究に出会い、強いインスピレーションを受けました。これまで研究してきた層状チタン酸化物でも剥離できるのではないかと考えたのです。これが「ナノシート」研究の発端でした。

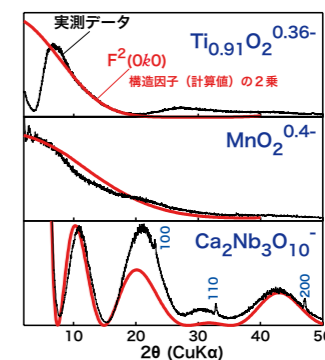
佐々木主任研究者たちが開発したナノシートの合成法は基本的に、層状化合物の層と層の間である反応をさせて層間を膨張（膨潤）させます。膨潤が大きくなると、層と層の間にはたらく力が弱くなるため、層1枚ずつ

をそっとはがせるというものです【図1】。層と層の間は等価なので、反応も一緒に起こり、原理的には一層のものが大量にできるはずですが、実験をくりかえした結果、シート状の物質ができ上がりましたが、それが単一層かどうかを確かめる方法がなかなか見つかりませんでした。電子顕微鏡で調べようと、シート状物質を溶液から取り出すと、乾いて重なってしまったりして、本来の姿を失ってしまいました。

「ナノシートは生ものなので、そのまま見るしかない。結局、溶液のままX線回折像を撮る方法を見つけて、剥離された一層一層が溶液中に分散していることを実証できました【図2】」。

この論文が発表されたのは1996年、ナノチューブやナノ粒子に比べて、剥離させた層は形状が2次元なので「ナノシート」と名付けられました。

【図2】単層剥離を実証したX線回折データ



特徴的な連続パターンを示している。

## ナノシートで世界最小の コンデンサ素子を実現

ナノシートの研究は酸化チタンナノシートの合成から始まって、その構造、性質の解明へと研究が深まってきました。並行して、さまざまな層状物質でナノシートの合成が試みられ、酸化マンガン、酸化タンタル、ニオブをはじめとして20~30種類のナノシートがつけられました。その過程で2004年にグラフェンが登場し、2次元物質への注目度が急速に高まってきました。

ナノシートは厚み方向が原子数個で構成されているので、厚さは1nm前後と極薄なのに対して、横方向はそ



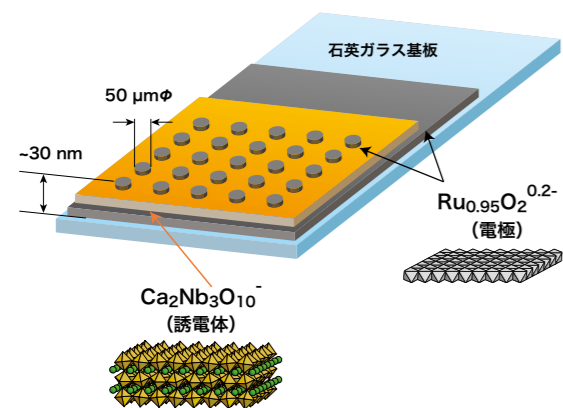
の数倍から数百万倍にも広がっています。そのユニークな形状を反映してさまざまな機能を発揮するものが見つかっています。では、ナノシートは今後どのように使われていくのでしょうか。

たとえば、酸化チタンナノシートは紫外線をよく吸収する、光触媒性が高いといった機能をもっています。酸化チタンの粒子はすでに、化粧品のファンデーションの成分として使われています。ところが、粒子サイズを小さくして性能を上げていこうとすると、皮膚に塗ったときムラになりやすく、うまく伸びていないところが日焼けするという問題が出てきました。そこで、粒子の代わりにナノシートから作った薄片を使ってみたら、伸びがよくなり、感触もよいということが明らかになり、その特徴を生かして商品化されました。

光触媒性の応用としては、窓ガラスの汚れ防止のため、酸化チタンのコーティング膜が開発されています。この場合も、粒子をコートして膜を形成すると凹凸ができるので、そこに汚れがついてしまうという問題が出ています。ナノシートを使うと、ナノシートは非常に平滑なので、ガラスに貼ったときに汚れを吸いつけることができます。そのうえ、ナノシートを用いると硬い膜にできるので、洗ってもはがれないという利点があります。新幹線の車両を使った性能テストも行われました。

佐々木主任研究者たちが今力を入れているのは誘電体の薄膜の研究です。電子部品の微細化が進んでいく中で、電気を流す機能はグラフェンによってナノサイズのデバイスが実現していますが、電荷を蓄える新しい誘電体材料の開発が遅れています。NIMSソフト化学グループでは、ナノレベルでも機能する高誘電体の探索を行い、酸化チタンやペロブスカイト型ナノシートが高い性能を発揮することを発見しました。このナノシートを一層ずつ積み重ね、コンデンサ素子の作製を進め、2014年には、素子の厚みを30nmまで薄くすることに成功しています【図3】。これは現在市販されている

【図3】世界最小の高性能コンデンサ素子の模式図



誘電体、電極材料として2次元構造をもったナノシートを使用している。

るMLCC（積層セラミックコンデンサ）などと比べて、世界最小であるにもかかわらず、性能（誘電率）はMLCCの約2000倍です。

「この研究には早くからメーカーがコンタクトしていて、大手企業との共同研究が進められています」。

## 「ナノアーキテククス」の旗手として

今回試作に成功した高性能誘電素子は、誘電体層にペロブスカイト型酸化ニオブシート(Ca<sub>2</sub>Nb<sub>3</sub>O<sub>10</sub>)を、電極層に酸化ルテニウムシート(Ru<sub>0.95</sub>O<sub>2</sub><sup>0.2-</sup>)を採用して、現行のMLCCの電極/誘電体/電極(MIM)構造1ユニットに相当します。ナノシートは溶液中に分散したコロイドとして得られるため、この誘電素子は室温の溶液プロセスで製造することができます。そのため環境負荷が小さく、コストも低くすることができますし、今後の課題である多層化にも有利であるといえます。

「ナノシートはモノづくりのいわばパーツです。いろいろな種類のナノシートができてきたので、部品を組み合わせることで電子回路をつくるように、今後はパーツの組み合わせ方によって高度な機能をもたせていく。そこは、まさに「ナノアーキテククス」なのです」。

ナノシートの特性は多彩です。先にあげた酸化チタンやニオブ系ナノシートは光触媒性や誘電性に優れていますし、酸化タングステン系ナノシートは光などの刺激により色が変わるフォトクロミック性を示します。酸化マンガン・コバルト系ナノシートは高度に制御された酸化・還元性や磁性を実現することができます。こうした特性を生かして新しいナノ材料やデバイスをつくりだすのがナノアーキテククスのコンセプトです。

「ナノシートの利点はもう一つ、ナノシートだけでなく、いろいろなものとの相性がいいことです。さまざまなクラスターや金属錯体と組み合わせることもできますから、それによって生まれる機能は無限と言えるかもしれません」。

ナノシートを出発にして多様な機能性材料が生まれ、それがエレクトロニクスや環境・エネルギー技術などさまざまな分野に応用されていく日が見えてきたようです。

Jinhua Ye

主任研究者 ナノパワー分野



## 光触媒材料の ナノアーキテククスによる 効率的なソーラ燃料生産と環境浄化

半 導体光触媒は、太陽エネルギーを利用することにより、環境有害物質を浄化できるのみならずソーラ燃料を生産することができるため、現代社会が直面しているエネルギー枯渇問題や環境汚染問題に対する解決策を提供する可能性を秘めています。MANAでは、太陽光をより効率的に捕集するためにエネルギーバンド工学を活用して新しい材料を探索するとともに、より高い反応性を得るために表面・界面ナノ構造の制御を行い、さらに、実験的・理論的両面からのアプローチで反応メカニズムを解明することによりナノ触媒材料の可能性に取り組んできました。これまでに、人工光合成の主要プロセスである水酸化反応において、独自の設計指針を用いて可視光照射下で世界最高クラスの量子効率(約90%)を持つAg<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>材料を開発しました。この新しい光触媒材料は、種々の有機汚染物質の分解においても非常に高い可視光活性を示しています。ナノメタル/酸化物の表面/界面構造を精密に制御することにより、さらに効率的な光捕集性、電荷分離性、表面反応性が得られています。

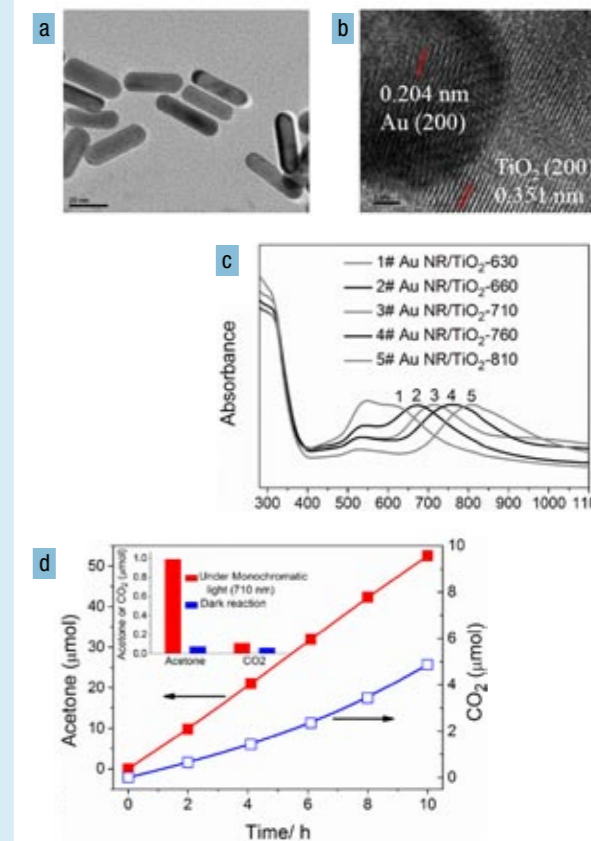
しかしながら、これまでに開発された光触媒材料は、十分な酸化還元ポテンシャルを満たすため、その光応答範囲が概ね紫外光領域あるいは一部の狭い可視光領域に限られています。実用化の観点から、広い範囲の可視光、ひいては近赤外光でも光子を捕集する光触媒の開発が強く望まれています。

最近、我々はAuナノロッド(NR)のアスペクト比を精密に調整することにより、ナノメタルの表面局在プラズモン共鳴(LSPR)の発生する波長分布を制御し、それをTiO<sub>2</sub>に担持することにより、TiO<sub>2</sub>の活性領域を紫外光から可視光さらには近赤外光領域まで拡張することに成功しました(参考文献)。【図1】は、Auナノロッド増感TiO<sub>2</sub>の組織形態と光触媒性能を示しています。球形Au粒子と同じ波長範囲(~520nm)のみならず、ロッドの長軸方向の自由電子の振動に対応し、Auナノロッドの縦方向プラズモンによる可視光・赤外光領域でも光吸収が見られます。【図1】dは、サンプル3のAu NR/TiO<sub>2</sub>-710における波長が400<λ<820nmの広い範囲の可視光下での揮発性有機化合物(IPA)の光触媒酸化を示しています。可視光照射だけでなく710nmの長い波長の単色光照射でも、IPAはまずアセトンに分解され、その後最終的にCO<sub>2</sub>に酸化分解されることが分かり、Au

NRの縦方向プラズモンが光触媒反応に寄与することを示しています。

我々は現在LSPR現象をより困難な光エネルギー変換・蓄積型反応、つまり光触媒による水分解あるいはCO<sub>2</sub>の炭化水素燃料への変換に応用することに挑戦しています。ナノメタルの化学組成や組織形態の多様性、さらに多様な酸化物光触媒との複合によって、従来の酸化物光触媒による太陽光化学変換の効率を飛躍的に向上する新しい可能性を与えるものと期待されています。

【図1】



a Au NRのTEM像 b Au NR/TiO<sub>2</sub>-660光触媒のTEM像  
c 種々のAu NRのアスペクト比を持つAu NR/TiO<sub>2</sub>光触媒の紫外・可視波長域拡散反射率スペクトル d 可視光(波長400<λ<820nm)照射時のAu NR/TiO<sub>2</sub>-710上のIPAの光触媒酸化と反応時間の関係、挿入図は単色光照射時の反応(710nm)

参考文献: Lequan Liu, Shuxin Ouyang, Jinhua Ye, Angew. Chem. Int. Ed., 52: 6689, (2013).





# 小林 誠 博士に聞く

●インタビュー：科学ジャーナリスト 舘取章男



**Profile**

**小林 誠 Makoto Kobayashi**  
名古屋大学大学院で理学博士号を取得して京都大学へ。そこで1973年、益川敏英氏（現在は名古屋大学素粒子宇宙起源研究機構長）と共同で、CP対称性の破れを説明する「小林・益川理論」を発表した。79年から高エネルギー物理学研究所（現・高エネルギー加速器研究機構）。2003年同機構・素粒子原子核研究所長、07年日本学術振興会理事。08年ノーベル物理学賞受賞。現在は高エネルギー加速器研究機構特別荣誉教授、日本学術振興会学術システム研究センター所長、日本学士院会員。

## 活発な議論が 人と研究を育てる

—— 益川先生との共同研究はどのように始まったのですか？

私は名古屋大学で坂田昌一先生の研究室に入ったのですが、益川さんは私よりも学年が5つ上で、すでにそこで助手をされていました。学生の私に対して、益川さんは先生の立場でした。益川さんの研究グループに私が参加したのが一緒に研究を始めたきっかけです。

そのころ、素粒子物理学の分野では南部先生も手掛けておられたカイラル対称性や、CP対称性の問題などが大きく注目されていました。坂田先生の研究室は、素粒子研究で大きな功績をあげていましたし、そのような内容にも積極的に取り組んでいました。私はラッキーにもその研究グループにもぐりこむことができたわけです。研究室では研究の議論がさかんにされていましたが、そうした場に自由に参加することができました。若い学生が議論に入ることに寛容で、活発でオープンな雰囲気研究室にあったと思います。

私がまだ名古屋大学で大学院生のとき、益川さんは京都大学に移っていかれました。その3年後に私も学位を取って、京都大学の助手として赴任し、また益川さんと近くで一緒に研究をできるようになりました。ノーベル賞受賞の対象となっ

た研究をしたのは、私が京都にいてまだ数カ月くらいのことです。益川さんと議論を戦わせているうちに、そのもととなるものが出来上がったのです。その後も益川さんとは長い間研究を共にしてきました。

—— そのときノーベル賞受賞の予感のようなものはあったのでしょうか。また、小林先生はノーベル賞を受賞されて、何かが変わりましたか？

CP対称性の問題は、学生のころから注目していたわけですが、この研究を益川さんと具体的に一緒に進めたのは私が京都に移ってからのことです。その当時は受賞のことなどは全く考えてもいませんでした。

その後といっても最近ですが、高エネ研（高エネルギー加速器研究機構）をリタイアして、これからはのんびりできるな、と考えていたのです。受賞の後は、のんびりなどすることができなくなってしまい、想像以上に忙しくなりました。国内外での招待講演が数多くありますし、学術的な委員をたくさん引き受けることになってしまいました。自ら仕事を求めることはないのですが、頼まれた仕事を引き受けていると、いつの間にか仕事が増えてしまいます。ただし、あまりにも専門が遠すぎたら断ることもありますけれど。

—— 小林先生のみからみて、これからの素粒子論の未解決部分はどうに進んでいくとお考えでしょうか？

これからの素粒子論には、大きく二つの課題があると考えています。一つ目は超対称性理論などの標準模型の先にあると考えられているものの実験的検証です。ヒッグス粒子の発見で有名になったLHC（大型ハドロン衝突型加速器。CERNが建設した世界最大の衝突型円型加速器）の大きな目的の一つも超対称性理論から予測される素粒子を探すことです。CP対称性の実験やヒッグス粒子の発見によって、標準模型の研究の流れはひと段落しましたが、標準模型では説明しきれない問題がまだたくさんあって、それを解決するためにいろいろな可能性が考えられています。

素粒子論の二つ目の大きな課題は、重力場をきちんと説明できる理論を完成させることです。重力の理論の解明については“ひも理論”が有効であると考えられていますが、まだこれも完成していません。標準模型の場合にはゲージ理論によって、3種類の素粒子の相互作用を説明できるまで進んだのですが、重力の理論を巡る研究は現在進行形なのです。重力の理論は物理学の全てのものを包含するものと考えられますので、この理論がどういった形で完成するかによって最終的な解決方向も変わっていくのかもしれない。

# 共存と融合

異なる視点や取り組みが相乗効果を生む



—— ILC（国際リニアコライダー）の日本への誘致に期待しますか？

そうですね。高エネルギーの一研究者の立場からいうと、現在の技術力で到達できる装置で、未解決のものが確かめられる、ということは素晴らしいことで、実現を期待しています。しかし日本への誘致については、予算の問題や、他の科学の分野にどんなエフェクトがあるかなどよく議論する必要があります。

科学技術への投資はマクロな視点で

—— 若い研究者を育てるためにはどのようなことが必要とお考えですか？ また青少年の多くを科学の道に進ませるために国がなすべきことは何でしょうか。

若いころは、国内外に限らずあちこちでさまざまな経験をするのは大切ですね。私自身は海外の長期滞在の経験はないのですが、大学院時代の研究室でいろいろな経験をしたことがその後もずっと役に立ちました。私の場合には、ちょうど大学院を出るころ、素粒子論の転換期といえますが素粒子の研究が大きく動く時期にあたりました。そんな時期に経験や年齢を問わず、活発に議論ができる環境で研究することができました。そう考えると、やはりオープンな雰囲気、活発な議論は人を育てるのに重要な条件の一つだと思います。

昨今では、研究者に限らず若い方が海外に行きたがらないからといって、国が予算を作ってプログラム化したりしています。これもムリに行かせるということでしたら、あまり意味がないのではないのでしょうか。武者修行とはいいますが、若い人は、外部からの圧力によってではなく、自発的に動いていかないと能力は伸

びないのではないのでしょうか。

日本の教育や科学技術政策の在り方がしっかりすることも青少年を科学の道に育てていくのに大変重要だと思っています。日本では、どういう規模で科学技術に投資をするか、どういう規模で人材を育てるべきか、という“マクロな視点”がちよっと欠けていると思います。科学技術に関する予算規模を拡大する、といったとき全体をどのようにデザインするのか、きちっと議論されているでしょうか。世の中の「役に立つかどうか」だけを判断基準にした表面的な議論がされてしまうのは寂しいです。自然現象の原理原則の発見や解明は、すぐには役に立たないかもしれませんが、学問の発展には大変重要なことです。

内外の研究者がキャリアアップできる環境を

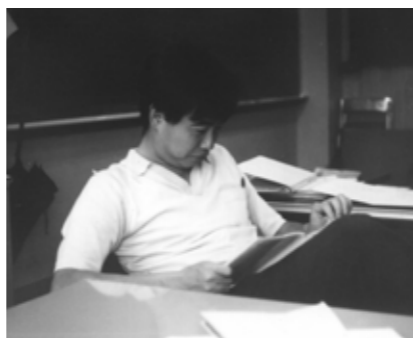
—— MANA は、WPI プログラム（世界トップレベル研究拠点プログラム）の一拠点として独立行政法人としては唯一、助成対象機関に選定されていますが、MANA について期待されることやお考えがあれば、お願いします。

MANA は優れた研究拠点だと思います。分野の特性を生かした個々の優れた研究が行われていますね。これからは、国内や特に海外の優れた研究者が来てくれるために、いかに活発で魅力的な研究をしているかを発信していかなければならないと思います。MANA に限らず、日本の研究の水準を上げていくためにも、海外の方が日本でキャリアを積めるようなしくみを作っていくことが大切かもしれません。今の日本にはそれが不十分だと思います。例えば、海外からキャリアのあるシニア層の研究者が、最終的なポストを日本に持てるようなしくみ作りはあまり進ん

でいません。研究環境を整えて、給与などの待遇改善を実現することは、すぐには難しいかもしれません。それでも、魅力的な研究環境を整えて、若い研究者もシニア層の研究者も、さらに自分のキャリアアップができる、という研究機関が日本に増え、よい実績を少しずつでも増やしていけば、国内外で高く評価されて海外にも伝わるようになるでしょう。

専門外の人間から見たイメージですが、MANA は個々のグループ（ユニット）がそれぞれ最先端の良いテーマに取り組んでいると思います。これだけ多くの優れた研究がおこなわれているのですから、これらが集積していることによる“相乗効果”を期待したいと思います。ユニット間の違った視点や取り組みが、たがいに影響しあい、全く新しいものを生みだしていく、そんなことを期待しています。

1972～1974年（小林博士28～30歳）の京都大学理学部助手時代に研究室にて撮られた写真。「小林・益川理論」が提唱された頃。



Dmitri GOLBERG

主任研究者 ナノマテリアル分野

ナノマテリアル物性研究のための最先端電子顕微鏡内‘その場’測定

の数十年間、ナノマテリアルは材料科学の中でも最も注目を集めています。ナノマテリアルは、機械、電気、熱電、電気化学、磁気、圧電、強誘電、光電、光起電など、様々な物性で、バルクと異なる特異性を持つことから、科学者や技術者の注目を常に集めてきました。これらの材料を既存もしくは新しい技術と組み合わせることでいろいろな機能が得られるであろうことは容易に想像できます。しかし、実際に組み合わせようとしたとき、個々のナノマテリアルが持つ紛れもない性質を知っておくことが、大変重要になることは言うまでもありません。ところが、これまで行われてきたナノマテリアルの物性測定では、走査電子顕微鏡（SEM）や走査トンネル顕微鏡（STM）、原子間力顕微鏡（AFM）など、表面形状を知ることができるものの、材料内部の構造を調べることのできない手法が多く用いられていました。これらの測定では、実験前、実験中そして実験後における、ナノマテリアルの内部構造変化を知ることができず、得られたデータの信憑性は著しく低いものでした。すなわち、計測された結果は、ナノ物質の特定な形状や結晶構造、組成分布、欠陥構造に左右され、それらとの関係は不明なままでした。このために、文献に報告されている特性データは広い範囲に散らばっており、ナノマテリアルの実用化を極めて困難にしていた上、工業化の可能性をも絶望視させるものでした。

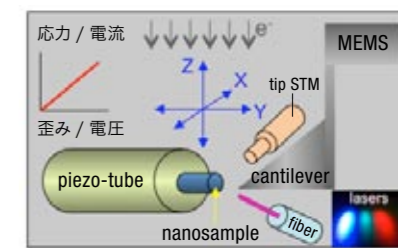
以前から存在するこれらの大きな欠点を考慮し、我々は高分解能透過型電子顕微鏡（HRTEM）を用いた新しい‘その場’測定手法を開発し、実用化に成功しました。この手法では、ナノマテリアルの拡大像（200万倍まで）を得ることができ、その結晶構造の奥深くまで知ることができるのみならず、それらの真の機械的、電気的、熱的および光学的特性を測定しながらナノメートルの精度で結晶構造や原子配列を操作することができます。従来のHRTEM用試料ホルダに、原子間力センサや走査トンネル顕微鏡プローブ、あるいは精密に位置

制御ができる光ファイバーを組み合わせることで【図1】、ナノチューブ、ナノワイヤ、ナノシート、グラフェンおよびナノ粒子など50以上の様々なナノマテリアルとナノ構造を解析できる有力なツールに仕上げました。

我々のグループは、電子顕微鏡内での‘その場’測定を実施する研究機関として、世界有数のグループの一つとなっており、曲げ、引っ張り直接測定によるナノチューブ、ナノワイヤ、グラフェン状構造物質の塑性、弾性特性の解析、ナノ構造体における電子輸送の詳細な追跡や、オンデマンドのナノ工学（薄片化、充填／排出、溶着、ドーピング、剥離など）【図2】、さらには、歪みを与えた状態での光電効果および光起電力の測定などを実現してきています。

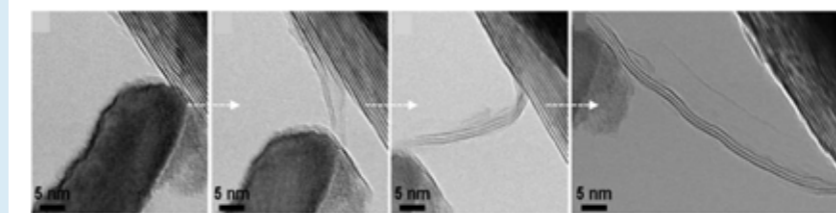
本手法が持つ重要な点は、HRTEMでしか得られない非常に高い空間分解能、時間分解能、エネルギー分解能を用いて、一つ一つのナノ構造レベルでナノマテリアルの物性が調べられることです。すなわち、結晶構造と欠陥状態に関する完全な情報（例えば、積層欠陥、転位、粒界や相境界、種々の構造領域の界面、個々の空孔およびそれらの凝集体、ナノ表面の状態や酸化状態など）を、測定中のあらゆる段階でリアルタイムに‘その場’観察が可能であることです。これにより、材料科学における“幻の聖杯”とも言える、構造と物性の因果関係を、紛れもなく解明することができます。

【図1】 高分解能電子顕微鏡内に設置された種々の‘その場’測定装置の模式図



【図2】

原子層の剥離を行うスコッチテープ法の動力学を示す HRTEM 連続像：金属探針を用いた精巧なナノモニタリングにより、層状の MoS<sub>2</sub> 単結晶から3原子層を剥離



参考文献: D. M. Tang, D. G. Kvashnin, S. Najmaei, Y. Bando, K. Kimoto, P. Koskinen, P. M. Ajayan, B. I. Yakobson, P. B. Sorokin, J. Lou, and D. Golberg, Nature Commun., 5: 3631, (2014).



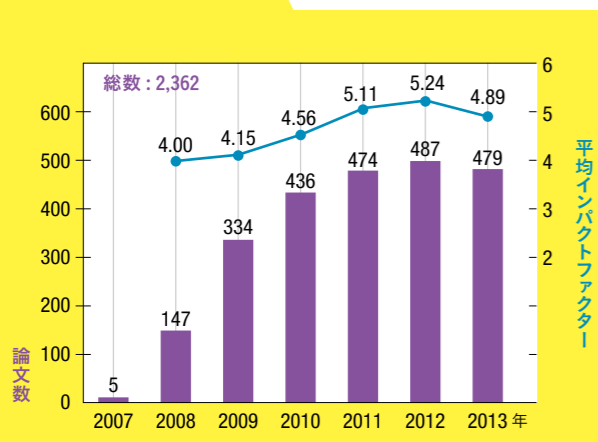
## 数字で見る MANA の研究業績

2007年10月にMANAが設立されてから6年半が経ちました。

この間、MANA所属の研究者は数多くの顕著な研究成果をあげ、本誌ではそれらを紹介してきました。ここでは、MANA全体の業績を統計的に俯瞰してみます。

■ 過去6年半の間にMANA所属の研究者から発表された論文は年々増加しており、合計2,362報に達します【図1】。MANAが質の高い研究をしていることは、MANAの研究者がインパクトの高い雑誌に多くの論文を発表していることにも表れています。2013年の論文479報が発表された雑誌の平均インパクトファクターは4.89と高い水準にあります。

【図1】 MANA 論文の推移



注) 平均インパクトファクターは当該年の各雑誌のインパクトファクターを使用して計算 (2013年のみ2012年の値を使用)

■ また過去6年半の間に発表された2,362報の論文のうち、被引用数が上位1%に入る注目度の非常に高い論文の数(トップ1%論文数)は80を数えます。総論文数に占めるトップ1%論文の割合は3.4%と高い数値を示しており、これもまたMANAが質の高い研究をしていることを示しています。

【表1】は、トップ1%論文が多く発表された雑誌です。

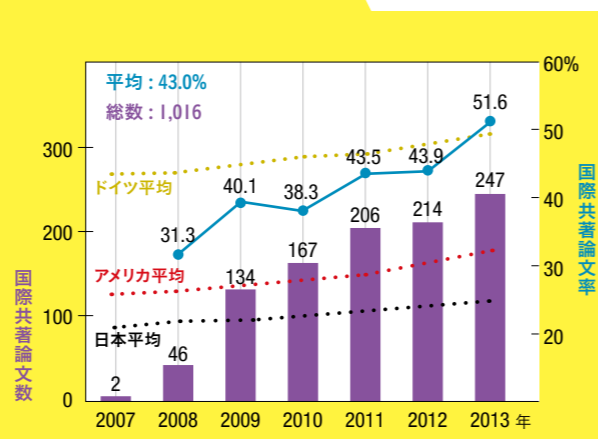
【表1】 MANA のトップ1%論文が多く発表された雑誌

| 雑誌名  | 論文数 |
|--|-----|
| <i>Advanced Materials</i> (14.829)                       | 14  |
| <i>Journal of the American Chemical Society</i> (10.677) | 9   |
| <i>Advanced Functional Materials</i> (9.765)             | 7   |
| <i>Journal of Materials Chemistry</i> (6.108)            | 6   |
| <i>Nature Materials</i> (35.749)                         | 3   |
| <i>Nano Letters</i> (13.025)                             | 3   |
| <i>ACS Nano</i> (12.062)                                 | 3   |
| <i>Chemistry of Materials</i> (8.238)                    | 3   |

( ) の数字はインパクトファクター

■ 平成25年版の『科学技術白書』では、国際共著論文の重要性が指摘されています。国際共著論文とは、国境を越えた組織間の研究者による共著論文のことです。『科学技術白書』は、国際頭脳循環の活発化により世界各国で国際共著論文が急増しており、かつ国際共著論文の被引用数は高い傾向にあると述べています。【図2】は、過去6年半のMANAの国際共著論文数の推移を示したものです。国際共著論文は年々増えており、2013年は半数以上が国際共著論文となっています。これは国際共著論文率で世界トップレベルにあるドイツに匹敵する高い数字で、MANAでは異国間の研究者が協力して研究に取り組む体制作りが進んでいることを示しています。

【図2】 MANA 国際共著論文の推移



国平均出典：エルゼビア社 SciVal データベース 2014年6月時点

### イベント報告

#### MANA/ICYS Reunion ワークショップ

2014年3月3日、4日の2日間にわたり、WPI-MANA棟オーデトリウムにて、MANA/ICYS Reunion ワークショップが行われました。MANA または ICYS (若手国際研究拠点) にかつて在籍した研究者 (Alumni) および在職研究者による計21名が研究報告を行い、それぞれについて熱心な討議がなされました。2日間で113名が集い、旧交を温めるとともに今後の交流計画についての意見交換もなされ、再会を約して閉会しました。

#### E-MRS 2014 Spring Meeting WPI 4 拠点合同出展

2014年5月26日から30日にかけてフランス リールにて開催されたヨーロッパ材料科学会 2014 年春季会合 (European Materials Research Society (E-MRS) 2014 Spring Meeting) に、MANA および東北大学 AIMR、京都大学 iCeMS、九州大学 I<sup>2</sup>CNER の WPI 4 拠点が合同出展しました。WPI の国際認知度の向上や優秀な人材の獲得等を目的として、「Japan in Motion - Recent WPI Advances in Materials」と題するワークショップ、招待講演、研究発表、またブース展示を行いました。黒木登志夫 WPI プログラムディレクターおよび各 WPI 拠点長による WPI 紹介や、各拠点から参加した研究者とのディスカッション等を通して、多くの海外の研究者が、WPI による材料科学研究の成果や日本での研究環境について理解を深めました。



WPI ブース

#### MANA 国際シンポジウム 2014

2014年3月5日から3月7日の3日間にわたり、つくば国際会議場にて「MANA 国際シンポジウム2014」が開催されました。「MANA 国際シンポジウム」は、MANA の研究成果を国内外にアピールするために毎年開催しているもので、今回で7回目となります。

今回は、ノーベル物理学賞受賞者の江崎玲於奈博士および小林誠博士による特別講演、国内外の著名な研究者19名による招待講演のほか、11件の口頭発表および115件のポスター発表による MANA の研究成果発表が実施されました。3日間で425名の来場があり、活発な質疑応答や意見交換が行われて、盛況のうちに終了しました。



シンポジウム参加者

### 受賞ニュース

- 荻原充宏 MANA 研究者 「nano tech 2014 プロジェクト賞」 (2014.1)
- 鴻池貴子 独立研究者 「日本物理学会 若手奨励賞」 (2014.3)
- 塚越一仁 主任研究者 / 生田目俊秀 MANA ファウンダリ統括マネージャー 「第9回 NIMS 理事長賞 研究奨励賞 (共同受賞)」 (2014.4)
- 内橋隆 MANA 研究者 「第9回 NIMS 理事長賞 研究奨励賞」 (2014.4)
- Dmitri Golberg 主任研究者 「日本顕微鏡学会 学会賞 (潮藤賞)」 (2014.5)
- 魚崎浩平主任研究者 「日本表面科学学会賞」 (2014.5)

### 新任研究者紹介



独立研究者  
鴻池貴子  
(2014.3.1)



MANA 研究者  
ジェバスワン ウィバコーン  
(2014.3.10)



独立研究者  
中西尚志  
(2014.4.1)