

日本化学会研究会

# 「低次元系光機能材料研究会」 ニュースレター 第18号

(2018年7月)

1. はじめに
2. トピック  
「地球表層物質の構造を調べる」  
東京大学 小暮 敏博
5. トピック  
「低次元材料を用いた機能性、構造系複合材料  
の開発—低次元材料は魅力的!!—」  
産業技術総合研究所 堀田 裕司
9. トピック  
「山岸研究室と液晶：液晶ディスプレイ用開始剤の開発」  
BASFジャパン（株） 松岡 由記
12. トピック  
「山岸研究室と宝石：宝石の科学鑑別の世界」  
米国宝石学会・GIA Tokyo合同会社 猿渡 和子
14. トピック  
「山岸皓彦先生から教わった、ものを「観る」こと、  
そしてバイオイメージングへの展開へ」  
北海道大学 小林 健太郎

18. トピック

「粘土ポリマーナノコンポジットの高機能化」

国立研究開発法人 物質・材料研究機構 田村 堅志

21. トピック

「ミオシンIIアイソフォームの機能の違いを追い  
かけて」

北海道大学大学院理学研究院 高橋 正行

25. 関連学会レポート

26. 会告

28. 編集後記

—■はじめに■

---

第18号は、第17号に引き続き、“低次元系“の領域立ち上げから10年という記念号として、最初のキックオフからの立ち上げに寄与された山岸皓彦先生の特集号となっております。

2号あわせてひとつのニュースレターとして発行いたしますので、本号には巻頭言を掲載いたしません。

## ■トピック■

## 地球表層物質の構造を調べる

東京大学 大学院理学系研究科 小暮敏博

地球表層環境の特徴は大量の水の存在、酸化的な雰囲気、大気圧に近い圧力、そして火山とその周辺地域などの特殊な環境を除けば、高くても百度程度の温度条件と言えるだろう。そのような環境下において固体無機物質は、溶液からの沈殿や水を介した物質移動によって形成されたものが主体となる。地球表層に特徴的な物質として蒸発岩中のハライド、生物・非生物起源の炭酸塩やリン酸塩なども挙げることができるが、ここでは粘土鉱物に代表されるような層状の“低結晶物質”を考えたい。いわゆる珪酸塩鉱物は、地殻とマンツルの主要成分として圧倒的な量で地球を構成しているが、地球の内部と表層とでは形成される珪酸塩鉱物の種類のみならず、その構造的特徴も大きく異なっている。その原因は明らかにP-T条件の違いであり、地下では高い温度圧力によって平衡条件が容易に実現され、そこでの最安定相が欠陥の少なくそれなりのサイズをもった結晶として形成される。一方地球表層近傍では、低い温度のため物質拡散や反応の速度は抑えられ、結果として速度論的に有利な準安定相が出現したり、微小で高密度の欠陥を含む結晶性物質が多く形成される。その代表的な鉱物・物質群が一般的に粘土鉱物と呼ばれるものであり、地球表層に露出したマグマ、火山灰、深成岩、変成岩などに含まれるガラスや鉱物が、地表という新しい環境での風化・変質によって溶解し、再析出したものである。その多くは層状珪酸塩鉱物に分類されるが、鉄やマンガン（水）酸化物なども粘土鉱物の一種と議論されることが多い。そしてこの良質な結晶が得られないという地球表層物質の特徴のため、その構造を解明していくアプローチにはいくつかの特異性が出てくると言えるだろう。

例えば非常に微細な粘土鉱物あるいは地球表層物質の例として、アロフェン、イモゴライト、そして単層に剥離したスメクタイトなどを挙げるができる。これらは主に酸素と水酸基で六配位されたAlと、4配位されたSiの多面体で形成されるが、あたかも炭素物質のフラーレン、（単層）カーボンナノチューブ、そしてグラフェンに各々が対応したような構造と大きさになっている。アロフェンやイモゴライトは、湾曲したギブサイト（Al(OH)<sub>3</sub>）層の内側にSiO<sub>3</sub>(OH)の四面体が酸素を共有して結合したモデルが提案されているが、未だ明確には構造が決定されておらず、その構造的なバリエーションの有無を含め、未だ大きな議論の余地を残している。もちろんそこには3次元周期性を持たない構造のため、Bragg反射の積分強度を用いた一般的なX線構造解析の手法が使えないという大きな理由があるわけであるが、例えば計算機スピードの向上によって、構造モデルから計算される散乱パターンと実験値を試行錯誤的に合わせていくなどの手法により、今後の研究の進展が望まれる。

次にこれらの物質よりは大きい、結晶中に高密度の結晶欠陥を含む粘土鉱物も非常に一般的である。先に粘土鉱物の多くは層状珪酸塩であることを述べた。この他にもマンガン水酸化物、ハイドロタルサイトなどの層状複水酸化物（Layered Double Hydroxides: LDH）、リン灰ウラン石などの様々な層状物質（Layered materials）が多いことも地球表層物質の特徴と言える。これらの層状物質では、層に平行な方向ではほぼ完全な周期性が実現されており、もし積層方向にも周期性をもてば、それは何の遜色もない三次元の結晶となる。ところが一般の粘土鉱物あるいは地表の層状物質では、隣り合う層の間での相対的な回転や面内方向でのずれの方向・大きさに数種類の“選択性”があり、これが粘土鉱物の著しい積層不整、つまり積層方向における周期性の欠如をもたらす。また2種類以上の単位層（あるいは層間の構造）が規則的あるいは不規則的に積層した、いわゆる混合層鉱物（Mixed-layer minerals）もよく見られる。このような高密度の“結晶欠陥”を含む結晶も、上で述べたように室温付近での結晶成長に伴う“準安定状態”と言うことができる。そしてこの3次元周期性の欠如のため、単結晶に用いられるような構造解析の手法の適用は限られたものとならざるを得ない。もちろん何を明らかにするかというその目的が重要であるが、ここでは例えば原子座標の精密化よりも、鉱物相の同定と積層不整や混合層の構造などを明らかにし、得られる回折パターンに対して定量・半定量的な解釈をすることを考えたい。

粘土鉱物の結晶サイズはせいぜい数十μm程度がほとんどなので、X線回折では粉末法による解析が一般的となる。一方透過電子顕微鏡（TEM）を用いれば、このようなサイズでも十分“単結晶”として解析することができる。粉末X線回折にしても単結晶からの電子回折にしても、層状物質の高密度な積層不整や混合層によってその

回折パターンはかなり複雑なものとなる。積層不整を含む結晶からの回折プロファイルは、Kakinoki & Komura<sup>1)</sup>による複数の積層様式の存在割合とその遷移確率 (Junction Probability)から計算する手法を用いてある程度は計算が可能であり、実測値と計算値が合うように試行錯誤的にこれらのパラメータを最適化することが行われてきた (図1)<sup>2)</sup>。最近ではこれに最小自乗法を取り入れて、パラメータを一義的に最適化したり、さらにこれをリートベルト法に組み込むような試みが見られる。ただ、このような最近のソフトウェアの開発はほとんどが国外の研究者によって進められており、我が国が遅れをとっているのは残念なことである。

一方粉末試料を用いた解析では、当然不純物相があまり含まれず、各結晶子は結晶学的に均一な試料であることを前提としている。最初の問題は試料調整法で解決できたとしても、2番目の問題は、地球表層物質という“準安定状態”が一般的な試料で、どれほど保証されているかは疑問が残る。例えば回折ピークの拡がりや、結晶子間の格子定数の分散を含んでいる可能性も否定はできない。上で述べたようなKakinoki & Komuraの手法を用いた積層不整の解析も、まずはモデルの妥当性と、試料内のすべて結晶子の中で、ある積層様式の存在割合と遷移確率がひとつの値で表せるという仮定の上に立っている。このような“多結晶体の結晶学的均一性”の仮定についても地球表層物質では検証されなくてはならないであろう。またこの問題を克服するためにもTEMによる個々の結晶粒子の解析は重要となってくる。電子回折はもちろん有用な手法であるが、一般に粘土鉱物や水酸化鉄・マンガン鉱物などは電子線に非常に弱いために収束電子回折 (CBED) などは得にくく、そのためHOLZラインによる格子定数の精密決定やTsudaらが進めている構造の精密化<sup>3)</sup>などの応用は難しいであろう。これに対して高分解能 (HR)TEMによる原子配列の直接観察、特に断面試料を用いての積層構造の観察・解析は筆者のこれまでの研究を含め、地球表層の層状物質の解析にそれなりの成果を上げてきた。前世紀末に収差補正装置が実用化されたことでその分解能は1Åを切っており、電子線の入射方向に原子配列が周期性をもてば (層状物質であれば、電子線が層に平行ということになる)、複数の方向からの高分解能像から、それなりの精度で構造のモデルを構築することができる。また観察から得られる積層不整などの構造をもとに、上で述べた粉末X線回折パターンの計算のためのパラメータに制約を与えるような相補的な解析は非常に有効である。<sup>4)</sup>しかしこのようなHRTEMによる解析も、やはり電子線損傷の問題は大きな壁となっている。いかに電子線損傷を抑えて、結晶中の原子配列を記録するかは、高分解能化が一段落した電子顕微鏡の次の技術的な課題であることは間違いなく、今後の技術的な進展が望まれる。例えば図2は大阪大学で開発された、コンピュータによってこれまで以上にTEMの機能を制御し、像記録までの電子照射量を極端に下げられる装置によって初めて捉えられたハロサイトという多層チューブ状の粘土鉱物の高分解能像である。従来の装置では不可能であった積層構造を明瞭に記録することができた。<sup>5)</sup> 詳細は文献を参照いただければと思う。

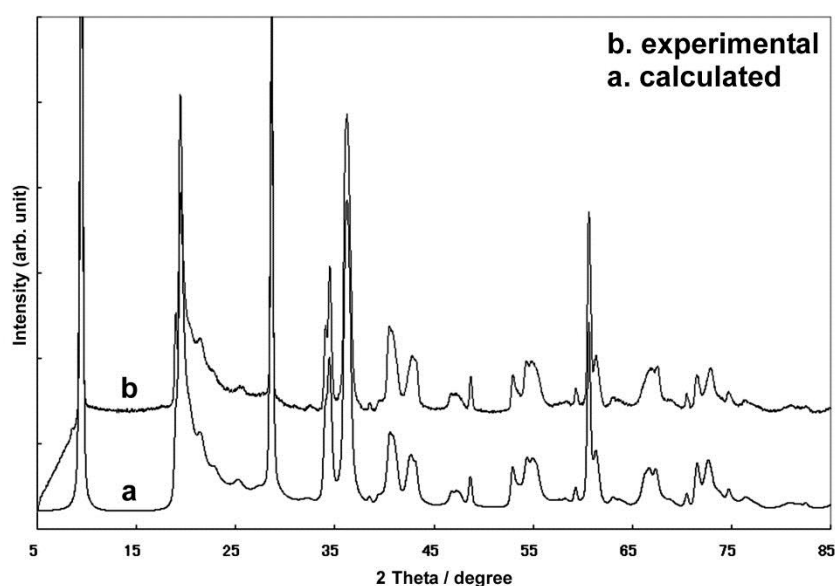


図1. タルクからの粉末X線回折パターン (b, CuK $\alpha$ ) と積層不整を考慮して計算したパターン (a)

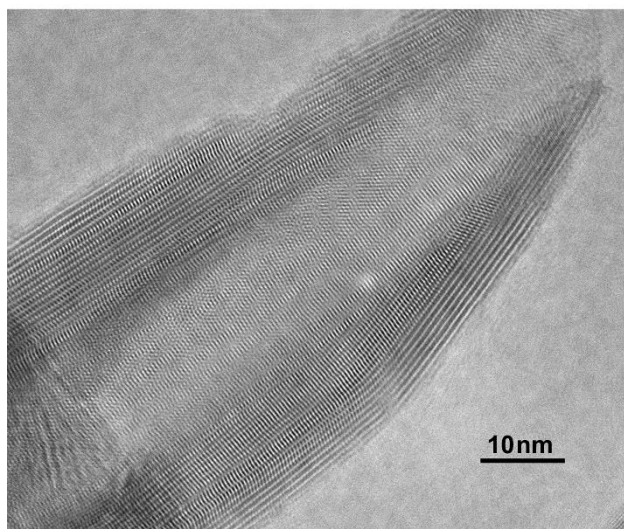


図2. 低電子照射量によって非晶質化することなくその積層構造が記録された, 多層チューブ構造をもつハロイサイトのHRTEM像.

## 文 献

- 1) J. Kakinoki and Y. Komura: *J. Phy. Soc. Jpn.*, **7**, 30 (1952).
- 2) T. Kogure, J. Kameda, T. Matsui and R. Miyawaki: *Am. Mineral.*, **91**, 1363 (2006).
- 3) K. Tsuda and M. Tanaka: *Acta Cryst.*, **A55**, 939 (1999)
- 4) T. Kogure, J. Kameda, V.A. Drits: *Clay. Clay Miner.*, **56**, 612 (2008).
- 5) T. Kogure, K. Mori, Y. Kimura and Y. Takai: *Am. Mineral.*, **96**, 1776 (2011).

## 著者紹介

### 小暮 敏博 (こぐれとしひろ)

略歴：1983 東京大学大学院 理学系研究科鉱物学専攻 修士課程修了  
1996 東京大学大学院 理学系研究科鉱物学専攻 助手  
2000 東京大学大学院 理学系研究科地球惑星科学専攻 准教授  
2016 東京大学大学院 理学系研究科地球惑星科学 教授. 現在に至る

現在の研究分野/テーマ：

主に電子顕微鏡を用いた粘土鉱物や生体鉱物お構造と形成機構、福島原発事故による放射能汚染の鉱物学的解明など.



# 低次元材料を用いた機能性、構造系複合材料の開発 —低次元材料は魅力的!!—

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 堀田裕司

## 1. はじめに

複合材料は、繊維状（針状）、板状、球状の粉体フィラーを樹脂やセラミックス、金属と複合化することで作製される。特に樹脂系の複合材料は、軽量性の観点から急速に進展する情報・家電・輸送機器・福祉医療機器・ロボットなどの産業分野において重要な材料となっている。一方で、樹脂の機能性はセラミックスや金属と比較して乏しく、機能性の向上のためには粉体フィラーを複合化した複合材料の開発は各種産業分野の発展に欠くことができない。

フィラーとしての粉体には、一次元、二次元、三次元の形態に分類することができる。一次元としてはカーボンナノチューブや炭素繊維などの繊維状の形態、二次元としてはマイカ、グラフェン、六方晶窒化ホウ素(h-BN)などの板状形態、三次元としてはアルミナ、ジルコニア、窒化アルミニウムなどの球状形態が挙げられる。特に、一次元、二次元形態のフィラーは異方性の形態を有しているだけでなく、熱伝導率などの機能性や強度・弾性率などの機械特性においても異方性をもつ場合が多く、材料開発にとって魅力的な素材でもある。

本稿では、当グループが実施している一次元、二次元の低次元形態のフィラーを用いた機能系と構造系複合材料のトピックについて述べ、低次元素材と材料の魅力について紹介させて頂く。

## 2. 機能性複合材料への低次元フィラーの活用

昨今の電子機器においては小型化・高集積化が進み、安定した動作のためにも放熱対策として軽量の樹脂を用いた絶縁かつ高熱伝導性を有する樹脂系複合材料が必要不可欠となっている。樹脂系材料の熱伝導率の向上のためには、高熱伝導性を有するアルミナや窒化アルミニウムなどの球状セラミックスフィラーを大量に樹脂と複合化し、熱伝導パスを形成させることによって高熱伝導化を図る。しかしながら、樹脂と比較してセラミックスの比重は大きいため大量に樹脂中に複合化すると複合材料自体の重量が増すことになり、樹脂の軽量性の特徴が失われる。また、球状フィラーの樹脂中への充填量の増加によって材料自体が脆くなることから実用上の問題を生じる。このことから、「低フィラー充填量において複合材料の熱伝導率を発現」させることが重要な研究課題となる。

熱伝導率の向上においては、同じ充填量でもアスペクト比の高い一次元（繊維状）および二次元（板状）形態の粉体は樹脂中でパーコレーションの状態をとるため、熱伝導パスが複合材料中で形成されることになる（図1）。当グループでは、一次元形態のフィラーとしてナノセルロース<sup>1)</sup>、カーボンナノチューブ<sup>2)</sup>、二次元形態のフィラーとして六方晶窒化ホウ素(h-BN)<sup>3,4)</sup>を対象として、フィラーの高アスペクト化のためのプロセス開発および複合材料の物性向上に関して研究開発を進めている。本稿では紙面の関係もあり、二次元形態フィラーのh-BNのアスペクト比向上に関するプロセスの検討と、開発したフィラーを用いて作製した複合材料の物性について紹介する。h-BNは、六方晶構造の面(0001)の平坦面を有する板状粒子がvan der Waals力などの比較的弱い結合によって積層したセラミックス粉体である。その(0001)面は化学結合のための官能基を有していないこと、非膨潤性のためにスメクタイト系の粘土鉱物の様に効率的な剥離が困難であるこ

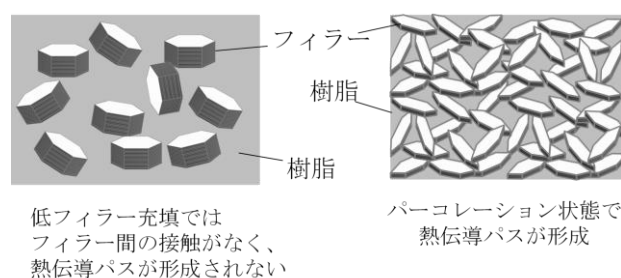


図1 同充填量での高アスペクト比のh-BNフィラーを用いた場合の内部構造モデル

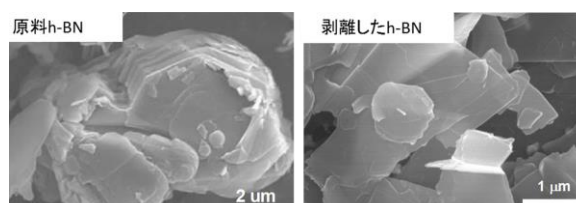


図2 開発した剥離技術によって作製した剥離h-BNと原料h-BNのSEM像



とが知られている。しかしながら、一方で、高熱伝導率、電氣的絶縁性、低比重、低硬度の特徴を持つため、絶縁且つ高熱伝導を有する複合材料のフィラーとして注目されている。このことから、積層板状フィラーであるh-BNでは剥離プロセス技術を構築できれば、低フィラー充填量で高熱伝導率を発現した複合材料が期待できる。当グループでは球状・板状・繊維状の凝集フィラーに対して、産業応用の観点から粉体の機械的処理技術

(解砕、剥離、解繊と分散)の開発に取り組んでいるが、そのプロセス技術の詳細は文献等を参照していただきたい<sup>47)</sup>。開発した剥離技術によって作製した剥離h-BNと原料h-BNのSEM像を図2に示し、表1に原料及び剥離h-BNのメジアン径 ( $D_{50}$ )、平均厚さ ( $T_{50}$ )、アスペクト比 ( $D_{50}/T_{50}$ )を示す。剥離h-BNのメジアン径はほぼ原料と同じであるが、厚さは小さくなった。つまり、機械的処理においてもh-BNフィラーの粉砕は抑制されながら剥片化していることを示す。よって、アスペクト比は高くなり、同じ粉体充填量で樹脂中にh-BNを複合化した場合、その複合材料の熱伝導率は向上することが予測できる。実際、剥離した高アスペクト比のh-BNをポリアミド6(PA6)に10～40 vol.%複合化した複合材料の熱伝導率は、図3に示す様に1.5～2倍の熱伝導率向上が見られ、高アスペクト比すなわち二次元形態の高度化が複合材料の機能物性に影響することが分かる。また、材料を実用的に用いる場合は、振動場や応力場が材料にかかることになるため、機能物性だけでなく強度などの機械特性や疲労特性の評価が重要となる。開発した剥離h-BNとPA6の複合材料の曲げ強度は、原料h-BNとPA6の複合材料と比較して40%程度向上した。疲労特性においては、原料h-BNとPA6の複合材料は1 Hzの振動において $10^5$ 回で破壊したのに対して、開発した剥離h-BNとPA6の複合材料では $10^7$ 回の連続的な振動においても破壊しない結果を得られた。この様に、機能性の低次元フィラーを高度化することによって、複合材料の機能性向上だけでなく機械特性や耐疲労特性の向上も期待できる。低次元形態のフィラーは機能性複合材料の開発にとって魅力的な素材である。

### 3. 低次元素材を用いた構造系複合材料

ガラス繊維、炭素繊維、アラミド繊維など一次元形態の繊維と樹脂を複合化した複合材料は、GFRP、CFRP、AFRPと表記され、二次元の軽量構造材料として様々な分野で期待あるいは利用されている。炭素繊維は鉄と比較すると比重で1/4、比強度で10倍、比弾性率で7倍であり、「軽くて強い」特徴の一次元軽量素材である。そのため、樹脂と複合化したCFRPは、ゴルフ・テニス・スキーなどのスポーツ用品、福祉医療分野、車両重量の削減が必要な電気自動車などの輸送機器分野へ展開と研究開発が精力的に行われている。この様に、一次元形態の炭素繊維は生活・エネルギー・地球環境に関わる材料開発の素材として魅力的な材料でもある。

CFRPを輸送機器の材料・部材として適用するためには、材料特性の向上だけでなく生産性の向上すなわち高速成形技術の開発が求められている。当研究グループでは、CFRPの新たな高速成形技術の一つとしてマイクロ波プロセスに着目している。マイクロ波は材料中の誘電率の高い素材に対して選択的に吸収し、材料内部から急速に加熱が可能であることが知られている。炭素繊維はマトリックス樹脂よりも誘電率が大きいので、CFRPにマイクロ波を照射するとCFRP中の炭素繊維は選択的にマイクロ波を吸収し、加熱が内部から急速に引き起こされる。マイクロ波照射によるCFRP加熱のメカニズムについては報告論文等<sup>8-9)</sup>を参照して頂きたい。CFRPへのマイクロ波照射においては炭素繊維自体が熱源となり、材料内部から急速に加熱が引き起こされるためマトリックス樹脂の高速硬化(熱硬化性樹脂の場合)や樹脂の高速軟化に伴う高速成形(熱可塑性樹脂の場合)が期待できる。また、炭素繊維は高熱伝導性の一次元材料であるためCFRPも高熱伝導性を持つ。そのため加熱されたCFRPには放熱特性があり、その放熱された熱を成型型内部に蓄熱できれば成型速度に有利に働くことになる。このことから、熱を浸透しにくい低熱伝導率の成型型の開発も併せて重要な研究開発の対象となる。実際、当グループではCFRP成形におけるマイクロ波プロセスの適用のために低熱伝導率の成型型を研究し、図4に示す様にマイクロ波照射によ

表1 原料及び剥離h-BNのメジアン径 ( $D_{50}$ )、平均厚さ ( $T_{50}$ )、アスペクト比 ( $D_{50}/T_{50}$ )

	メジアン径 $D_{50}$ ( $\mu\text{m}$ )	平均厚さ $T_{50}$ ( $\mu\text{m}$ )	アスペクト比 ( $D_{50}/T_{50}$ )
原料 h-BN	14.4	0.162	89
剥離 h-BN	12.4	0.048	258

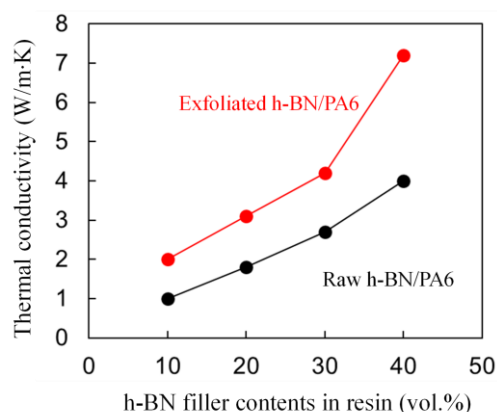


図3 原料h-BN、剥離h-BNとポリアミド6 (PA6)を複合化した複合材料の熱伝導率



って型内に蓄熱可能な成形型を開発した<sup>10)</sup>。開発した成形型を用いることによって、マトリックスを熱可塑性樹脂にした熱可塑性CFRPの成形を30秒以内で実現可能であることを見出した。一方、熱硬化性CFRPのマトリックス樹脂は主剤と硬化剤の化学反応を加熱によって促進することによって樹脂硬化、すなわち成形を行う。硬化温度と時間が120°C、180分推奨の熱硬化性樹脂(エポキシ)及び硬化剤をCFRPのマトリックスとして用いた場合、マイクロ波を照射した場合のマトリックス硬化は20分で終了し、さらに開発した成形型を用いた場合は僅か5分で硬化反応が終了した。すなわち、エポキシマトリックスの硬化反応を30倍以上高速化したことになる。これは低熱伝導率の成形型によってCFRPから放熱された熱を有効に硬化反応の促進に利用できたことによる。また、硬化後の熱硬化性CFRPの機械特性も、従来プロセスで作製したCFRPと比較して約10%向上した。熱硬化性CFRPの製造において、マイクロ波プロセスは高速成形と機械特性向上に寄与することが示唆された。一般的に、CFRPは炭素繊維とマトリックス樹脂との界面の密着性が機械特性に大きく影響することが知られている。機械特性の向上がマイクロ波照射によって引き起こされたことは、繊維と樹脂界面の密着性が強化されたことを意味する。当研究グループでは繊維と樹脂の密着性を科学的に捉えるため、フラグメンテーション法にて繊維と樹脂界面の密着性評価を実施している。その結果、マイクロ波照射によってマトリックスを硬化させた場合、繊維と樹脂の界面密着性は約10%向上していることが分かった。エポキシなどの熱硬化性樹脂は、主剤と硬化剤の硬化反応によって収縮する。一般的なマトリックスの樹脂硬化は、外部から熱が付加され硬化反応が促進される。そのため、硬化反応に伴う樹脂の収縮は図5で示す様に外側に向かって起こることが考えられる。一方、マイクロ波照射による熱硬化性CFRPの加熱は、内部に存在する炭素繊維を熱源として樹脂の硬化反応が繊維と樹脂の界面から促進されることになる。すなわち、硬化反応に伴う樹脂の収縮方向は図5に示す様に繊維の方向になり、繊維界面に対して強く樹脂の密着が引き起こされる。このことが機械特性の向上につながったと考えられる。

本稿では、一次元形態の炭素繊維を用いたCFRPの研究に関するトピックを紹介させて頂いた。詳細な研究内容に関しては、文献を参照して頂ければ幸いです<sup>11-13)</sup>。

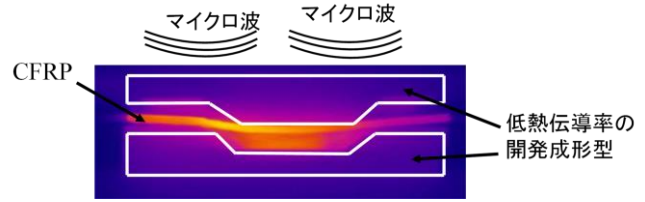


図4 開発した低熱伝導率の成形型にCFRPを挟み、マイクロ波照射した時の加熱の様子。熱の様子はサーモビューアーにて観察

○電気オープン等による外部からの樹脂硬化反応



○マイクロ波照射による炭素繊維を熱源とした樹脂硬化反応

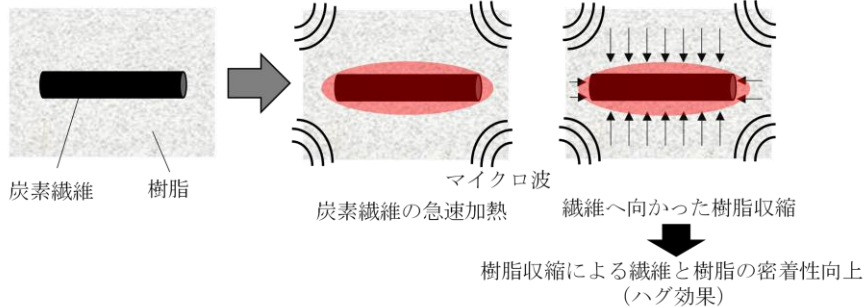


図5 熱硬化性CFRPの外部からの加熱及びマイクロ波照射による炭素繊維を熱源とした樹脂硬化反応での収縮方向の模式図

#### 4. おわりに

低次元形態の素材は機能の観点から魅力的である。一方、その素材形状を考慮しながら複合材料の材料設計を行うことで機械特性の発現も期待できる。本稿では、一次元、二次元形態のフィラーを用いた機能性と構造系複合材料のプロセス技術に基づいたトピックを紹介させて頂いた。樹脂をマトリックスとした複合材料は、その軽量性から様々な産業分野で使用されていくだろう。そのため、機能性の富んだ低次元フィラーへの期待は大きいと考えられる。

大学院修了後に行ってきたこれまでの研究から離れて、複合材料を対象とした新たな研究グループを研究資金なし・装置なし状態からスタートして約8年が過ぎた。現在は粉体工学、界面科学、高分子、物性評価を専門とする研究者で研究グループを構成し、様々な観点から複合材料に関して企業・大学等と研究開発を進めている。今から四半世紀前になるが、恩師山岸先生が北大の教授として着任され、山岸研究室で二次元材料の層状化合物の機能化について学ばせて頂いた。研究室の立ち上げ時期でもあり設備も整っていない状態であったが、研究を学ぶ上で不思議と困ったことはなかった。これは他研究室との連携によって研究を進められていたこともあったのであろう。各々の研究者が深い専門性と発想を持ち、議論と連携によって研究テーマを推進することは設備が整っていないとも可能であることを知らずと学び、自身の研究グループの立ち上げ時や現在の研究グループ運営において影響を受けていることは間違いない。研究という仕事に対する姿勢と考え方を教えて頂いた恩師に感謝すると共に、恩師の益々の健勝とご多幸をお祈り申し上げる次第である。

#### 参考文献

- 1) K. Sato, Y. Tominaga, Y. Hotta, H. Shibuya, M. Sugie, T. Saruyama, *Adv. Powder Tech.*, (2018) in press.
- 2) X. Yan, Y. Imai, D. Shimamoto, Y. Hotta, *Polymer*, **80**, 18 (2015).
- 3) K. Sato, H. Horibe, T. Shirai, Y. Hotta, H. Nakano, H. Nagai, K. Mitsuishi, K. Watari, *J. Mater. Chem.*, **20**, 2749 (2010).
- 4) Y. Tominaga, K. Sato, D. Shimamoto, Y. Imai, Y. Hotta, *Ceram. Inter.*, **41**, 10512 (2015).
- 5) Y. Tominaga, K. Sato, X. Yan, D. Shimamoto, Y. Hotta, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, **126**, 512 (2015).
- 6) Y. Hotta, T. Shirai, K. Sato, H. Yilmaz, K. Watari, *J. Am. Ceram. Soc.*, **92**, 1198 (2009).
- 7) K. Sato, Y. Hotta, H. Yilmaz, K. Sato, K. Watari, *J. Colloid. Inter. Sci.*, **331**, 221 (2009).
- 8) D. Shimamoto, Y. Imai, Y. Hotta, *Open J. Composite Mater.*, **4**, 85 (2014).
- 9) D. Shimamoto, Y. Tominaga, Y. Hotta, *Adv. Composite Mater.*, **25**, 71 (2016).
- 10) D. Shimamoto, Y. Tominaga, Y. Hotta, *J. Jpn. Soc. Powder Powder Metallurgy*, **64**, 532 (2017).
- 11) K. Sato, Y. Hotta, *Composite Inter.*, **22**, 67 (2015).
- 12) Y. Tominaga, D. Shimamoto, Y. Hotta, *Composite Inter.*, **23**, 395 (2016).
- 13) D. Shimamoto, Y. Imai, Y. Hotta, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, **122**, 732 (2014).

#### 著者紹介

##### 堀田 裕司 (ほった ゆうじ)

(国研) 産業技術総合研究所・研究グループ長

略歴：1997年北海道大学大学院理学研究科博士課程修了、博士(理学)。同年、工業技術院名古屋工業研究所(現産総研)に入所。ファインセラミックスセンター、スウェーデン表面化学研究所・客員研究員を経た後、現在、産業技術総合研究所 構造材料研究部門 無機複合プラスチックグループ・研究グループ長。

現在の研究分野/テーマ：粉体の分散凝集制御プロセスの研究、機能性ナノコンポジットおよびCFRPなどの構造系複合材料の研究開発、リサイクル炭素繊維の活用技術の開発



## ■トピック■

# 山岸研究室と液晶：液晶ディスプレイ用開始剤の開発

BASF ジャパン(株) パフォーマンスマテリアルリサーチ 松岡由記

## 1. はじめに

私は、山岸先生が北海道大学理学部生物科学科高分子機能学科にて教鞭を執られていた時の最後の卒研究生として、2002年に研究室に配属されました。以来、修士課程を卒業するまでの3年間を山岸先生のご指導のもと勉強させていただきましたが、その間研究だけでなく様々な場面で先生の気さくでパッション溢れるお人柄に触れる機会がありました。休日に部活の試合の応援に来て下さったこと、院試の勉強のために先生手製のハンドアウトで量子化学や無機化学を丁寧に教えて下さったことなど忘れられません。さらには2004年、国際金属錯体液晶シンポジウムで無謀にも発表する機会をいただき、共同研究者の故宮島直美先生とベルギーに行くことになった時には、それまで海外など一度も行ったこともなかった私のために毎朝英語の発音練習のご指導をしていただきました。今思えば、大学の教授がこんなことまで親身になって教えてくれるなんてなんとありがたいことだろうと、ただひたすらに感謝するばかりです。

## 2. 山岸研での研究生活

山岸研での私の研究テーマは、4年生の時には光学活性な金属錯体液晶の合成で、修士課程では光学活性金属錯体液晶のキラードーパントへの応用でした。生まれて初めて行なう有機合成は失敗の連続で、山岸先生や博士課程の先輩方に教わりながら卒業研究発表も間近になったところでようやく完成することができました。合成した錯体に液晶性が発現するかどうか緊張しながら顕微鏡を覗いた時、アイソトロピック状態から鮮やかな液晶のテクスチャが現れた瞬間の嬉しさは今でも覚えています。

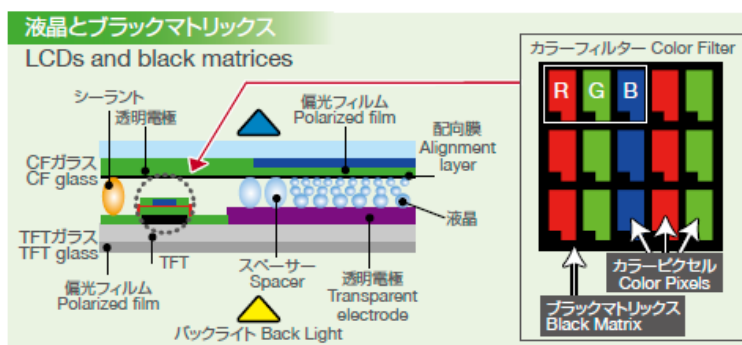
修士課程の研究は東大大学院理学系研究科地球惑星科学科の研究棟でスタートしました。研究棟といっても簡易的なプレハブ施設で、最初は実験室には実験台の横に小さな局所排気ブースがあるのみでしたが、そこに山岸先生がガラス細工でお手製の真空ラインを立ち上げて改良して下さり、手作り感あふれる立派な化学実験研究室が出来上がりました。私の研究生活は順風満帆という訳にはいかず、当初は日々新しいリガンドを合成しては失敗する繰り返しでした。基本的な有機合成化学の知識すら乏しい中、なぜうまくいかないのか？どうすれば反応が進むのか？を調べつつ反応条件を変え、とにかく必死でがむしゃらに実験をこなしました。あのプレハブ研究棟にいた2年間、質はともかく実験数だけは誰よりもこなしたと自負しています。中々進まない研究に焦りを覚えていたころ、山岸先生は私の話をいつも大きくうなずきながら聞いてくださり“大丈夫！”と繰り返しおっしゃって励ましてくださいました。もしかしたらその大丈夫には全く根拠はなかったのかもしれませんが、煮詰まっていた私はその言葉には大いに救われました。そして、ただ闇雲に突っ走るのではなく、少し落ちついて、自分は何を追求しようとしているのか、そのためにはどんなことを学ぶ必要があるのか本当に理解しているだろうか、自らを振り返るきっかけとなりました。修士課程の研究を進めていくうちに、私の興味は有機合成化学にシフトしていき、有機化学の知識を増やして望みの分子をデザイン・合成できるようになりたい、と強く思うようになりました。そして、山岸先生のご紹介で工学系研究科の西郷和彦先生のご指導の元、博士課程の研究を行なうことになりました。西郷研究室では基礎から有機合成を学ばせていただき、そこで得た知識は、山岸研で得た経験とともに現職でも大いに役立っています。

### 3. 企業研究の面白さと難しさ

私は2009年にチバジャパン(株)に入社し、ディスプレイ用添加剤の開発グループに配属されました。同年、会社がBASFジャパン(株)に統合された後も同じグループで重合開始剤の開発に携わり、現在に至ります。重合開始剤は感光性レジストの組成物のひとつであり、紫外線エネルギーや熱エネルギーをトリガーとして分解し、発生したラジカルや酸によってレジスト中のモノマーの重合を引き起こす役割を担っています。私の仕事は主に液晶ディスプレイの部材に用いられる重合開始剤の開発で、種々のアプリケーションに合わせた開始剤の分子設計や合成を行なっています。直接的に液晶分子を扱っているわけではありませんが、今も山岸先生との思い出深い液晶に関連する仕事を続けているのに不思議な縁を感じます。

企業での研究開発は、これまで山岸研や西郷研で行なっていたスタイルとは大きく変わっていました。一つは、“餅は餅屋”という点です。大学時代は一人一人が各々の研究テーマに取り組み、合成も物性評価もすべて自分で行なっていましたが、企業研究においては、分子設計・合成は合成チーム、パフォーマンスの評価や物性評価はアプリケーションチームと、各自の専門分野に特化して分業されています。お互いのチームが密な情報交換を行なうことで短時間でより高い性能の新規化合物を開発していくことができるため、非常に効率的なスタイルだと思います。また、プロジェクトは合成チーム・アプリケーションチームからなる少人数のグループ単位で行ないますので、その中で如何に個人の成果を出すのか？ばかりではなく、自分がチームにどのように貢献できるか？という視点で研究を行なうことも必要になってきます。一方で、大学時代には殆ど意識することの無かったコストリテラシーが製品開発には必要不可欠です。限られた時間・リソースの中で結果をコンスタントに出すことが求められ、製品に関してまた高いパフォーマンスを示す化合物を見つければ良いという訳ではなく、マスマプロダクションを意識しながら安価な原料かつ小ステップ数で目的化合物を得る方法を模索する必要がありますし、その他にも、製品化するためには何よりも特許性があることが必要条件となってきます。このように、大学と企業の研究スタイルには大きな違いがいくつか見受けられますが、最も大きな違いは、企業研究は研究成果を“商品”として世に送り出し、人々の生活をより良くする、あるいは産業に大きな影響与えることができるという点だと思います。

私の所属する開始剤のチームには、私が入社する以前の2000年に開発され、液晶ディスプレイ業界に大きなインパクトを与えた「IRGACURE (イルガキュア) OXE02」という光重合開始剤開発の歴史があります。液晶パネルは、主に表裏2枚のガラスとその間の液晶材料から構成されており、そのサンドイッチ構造の中にあるカラーフィルター(CF)は、赤 (R)、緑 (G)、青 (B) の三原色カラーピクセルと、それを囲む格子状の黒い部分「ブラックマトリックス (BM)」から成り、液晶ディスプレイの色特性を決定する重要な部材です。これまでBMにはソルダーレジストと呼ばれる金属クロムを含む樹脂が用いられていました。しかしながら、液晶画面の大型化に伴う製造コストや、クロム化合物の環境負荷などの問題から、各液晶メーカーはカーボンブラックと呼ばれる黒色の遮光顔料を分散させた、樹脂BMへの移行を模索していました。しかし、当時の技術では樹脂BMを効率よく光硬化することが不可能でした。これは樹脂BMに使用されているカーボンブラックが特に紫外線を強く吸収するためであり、そのため従来のものよりも高感度な光重合開始剤



の開発が強く望まれていました。IRGACURE OXE02は樹脂BMの光硬化を可能にした高感度光重合開始剤であり、現在では樹脂BM向け光重合開始剤のデファクトスタンダードとして、液晶ディスプレイの効率的な生産に大きく寄与しています。

#### 4. 新たな挑戦

現在、液晶ディスプレイの関連産業はかなり成熟してきており、テレビ向け大型液晶ディスプレイの解像度に関してはいわゆるフルハイビジョン（2K：200万画素クラス）がスタンダードとなり、さらに4Kや8Kといわれる超高解像度型ディスプレイの時代に向かおうとしています。今後は解像度だけでなく、見た目の色をより鮮やかにするとか、色の再現性をより良くしていく方向への展望が期待されています。それらのニーズに対応し、IRGACURE OXE02を超える新たなブレイクスルーとなるような製品を世に送り出すことが現在の私の夢であり、企業研究者としての成長は人生の大きな目標の一つです。

とはいえ、私の前に広がる道はとても険しく長い。これは全ての研究者にとって大なり小なり言えることだと思いますが、大量の実験データと向かい合い、そこからある仮説を導きだし、地道な検証を積み重ねて一つの結論に達する（作業仮説から分子設計にまで落とし込む）という一連の作業には、大きな苦しみが伴います。研究者として到底未熟な私は、自分の浅学さを恥じ、時間だけが過ぎていく状況に焦り、全く見当違いのことをしているのではないかと悩み、それでも答えを探して考え考え考え続ける孤独に挫けそうになることもしばしばです。私の研究者としての初めの一步は山岸研から始まりました。この道をこの先どこまで歩んでいけるのか、大きな挑戦です。

#### 著者紹介

名前 松岡 由記（まつおか ゆき）

略歴：2002 北海道大学理学部生物科学科高分子機能学科終了

2004 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学修士課程修了

2008 東京大学大学院工学系研究科化学生命工学博士課程修了 博士（工学）

2009 Cibaジャパン(株) 高機能製品統括本部リサーチ ディ스플레이グループ

2009 BASFジャパン(株) パフォーマンスマテリアルリサーチ ディ스플레이グループ

現在の研究分野/テーマ： 光化学・有機合成化学/ディスプレイ用光開始剤の開発





## ■トピック■

## 山岸研究室と宝石：宝石の科学鑑別の世界

米国宝石学会・GIA Tokyo合同会社 猿渡和子

## 1. はじめに

私が山岸先生と出会ったのは、東大の地球惑星科学のポストドク研究時代に実験室が隣合わせになったことからでした。山岸研の実験室のドアはいつもオープンで、有機溶媒の匂いと山岸先生の元気な声と笑いが響き、活発な研究活動と明るく楽しそうな研究室という印象を持ちました。当時の研究相棒・北海道大学亀田純准教授が、真剣な面持ちで山岸先生に研究の相談を持ち掛けたことをきっかけに、私も山岸研にお邪魔するようになりました。その後、山岸先生のご厚意で層状酸化物の光伝導特性の研究をさせていただき、そこで物理化学というサイエンスと様々な光学分析装置に触れる機会をいただきました。その山岸先生との研究実験・経験・成果のお陰で研究者人生を綱渡りし、現在宝石鑑別の仕事と宝石の研究に携わっています。本稿では、山岸研で培った経験と知識が繋がる宝石の科学鑑別をご紹介します。

## 2. 宝石の伝統的な鑑別と科学鑑別

「鑑別」とは、宝石の種類（宝石鉱物種・宝石変種と呼ばれる宝石名）を決定することです。伝統的な宝石鑑別は、基本的かつ簡便な道具で行われてきました（図1）。しかし、科学技術の進歩によって、多様な手法を用いた合成宝石の出現や宝石の色をよくみせるための複雑な処理方法の開発が進み、合成石や処理石を看破する（見破る）ため、また天然宝石の原産地鑑別を行うために、最新の科学機器を用いる必要がでてきています。ただし、貴重で高価な宝石なので、基本は非破壊分析を行う必要があり、光学分析が主な手法です。日々の鑑別現場では、赤外分光装置（FTIR）や紫外可視分光光度計（UV-Vis）、蛍光X線装置（XRF）、ラマン分光装置、レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析装置（LA-ICP-MS）を使用しています。FTIRやUV-Visの使用は、山岸研での測定を思い出します。山岸先生お手製のFTIRホルダーで有機物の変化を調べていた実験がとても懐かしいです。例えば、コランダム中のルビーやサファイアのFTIRスペクトルでは、カオリナイトやダイアスポア（図2）を検出し、非加熱の証拠になりうる貴重なデータとなります。UV-Vis測定では、宝石の色の起源として、遷移元素の吸収パターンを調べることができます。実際に遷移元素の有無を調べるためには、XRFやLA-ICP-MSを用いての化学元素分析も行います。

実際の鑑別現場では、伝統的な鑑別法と科学鑑別データを組み合わせ、最後に宝石顕微鏡（図3）を用いての表面と内部の観察を行います。顕微鏡で見えるインクルージョン（包有物/内包物）は様々です。個々の天然の宝石に特有な鉱物結晶や流体包有物があり、同じ宝石でも原産地によってインクルージョンの種類や特徴が変化します。例えば、エメラルド

（ベリル鉱物の緑色の宝石変種）は、コロンビア産ではギザギザな形をした三相インクルージョン、ブラジル



図1 伝統的な宝石鑑別道具。左上から、二枚の偏光板が上下についたポラリスコープ、回折格子型スペクトロスコープ、カルサイト結晶が埋め込まれている二色計、その手前がルーベ、宝石の屈折率を測定する屈折計と屈折液。左手前には宝石用クロスと宝石用ピンセットに青いブルーサファイヤ。VRL Asset ID 33708 Photo by Terri Weimer.

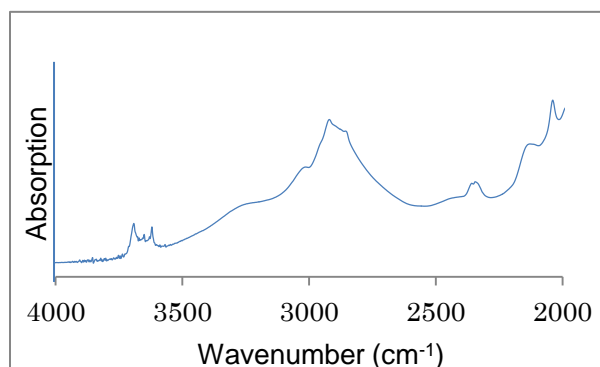


図2 コランダム中のカオリナイトとダイアスポアのFTIRパターン

産では直方体の二相インクルージョンが特徴的です。また、コランダムなどでは、加熱処理によるインクルージョンの変質や癒着割れ目の有無を確認することもとても重要です。特に面白いのは、光源に応じて観察されるインクルージョンの見え方の劇的な変化です。例えば、コランダム中のルチルの針状結晶や板状結晶は、透過光では白もしくは茶色の結晶の色を呈しますが、反射光で観察すると、虹色にキラキラと輝き、とても美しいです(図4)。様々なインクルージョンが作り出す顕微鏡下での世界は、小さな宇宙空間のようで、大変魅了されます。

### 3. おわりに

私が山岸先生と出会ってすでに10年が経ちます。今振り返ると、山岸先生との研究は、私にサイエンスの扉を開いてくれたように思えます。山岸研以前の研究で、地球惑星科学のサイズの大きさと時間の長いスケールに右往左往していた私は、山岸研での原子や分子のサイズスケールと現実時間スケールのサイエンスを学び、自分の研究スタイルとスケールを実感したのかもしれませんが。本当に山岸先生に深く感謝致します。宝石鑑別と宝石学の世界に飛び込んで5年が経過し、宝石鑑別の経験と宝石学の知見も増えてきました。山岸研究室での研究をきっかけに、東大の小暮敏博教授と生体鉱物研究に携わらせていただき、東大農学部鈴木道生准教授と知り合う機会もいただきました。そうしたご縁で、真珠のDNA鑑定実験も行っています<sup>2)</sup>。これから更に、山岸先生から学んだサイエンスを大切に、自分なりに宝石の研究を進め、宝石学と宝石鑑別の世界を極めたいと思います。

GIA 色石鑑別部門グローバルダイレクター Shan McClure氏にはニュースレター執筆の許可をいただき感謝致します。GIAリサーチサイエンティスト兼アシスタントマネージャー・小竹翔子博士にはコメントを頂き大変感謝致します。

### 参考文献

- 1) Renfro et al. (2017) *Gems and Gemology*, vol. 53, Winter, pp457-458.
- 2) Saruwatari et al. (2018) *Gems and Gemology*, Spring

### 著者紹介

猿渡和子

米国宝石学会・GIA Tokyo合同会社  
色石鑑別部門Supervisor

略歴：2000年カナダモントリオール大学Ph. D. 取得

2013年よりGIA入社、G. G., FGA, DGA

現在の研究テーマ：宝石学・鉱物学、光と宝石の色、真珠のDNA



図3 宝石顕微鏡VRL Asset ID 91100.  
The photo caption/credit is: GIA  
microscope. Photo by Kevin  
Schumacher/GIA.

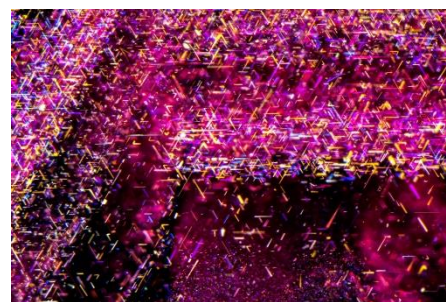


図4 ミャンマー産ルビーに観察される  
3方向に配列した虹色のルチル包有物群  
VRL Asset ID 226245 Field of view  
1.99 mm. Photo courtesy of G&G Winter  
2017<sup>1)</sup>.





## ■トピック■

# 山岸皓彦先生から教わった、ものを「観る」こと、 そしてバイオイメージングへの展開へ

北海道大学 電子科学研究所 小林健太郎

## 1. はじめに

改めて思い出してみますと、二十年前に私が山岸先生の研究室に配属されましたときは、当時の研究室のメンバーも研究内容も、とても一くくりにはできないほど多彩で、ごった煮という比喻がふさわしい研究室でした。山岸先生がターゲットとしている分野は、もちろん「粘土化合物を中心とした無機化学」であります。他の教員の専門は「高分子溶液の科学」や「表面化学」、または「生化学」であり、ここまで1研究室にジャンルの異なる研究者が集まっているということは、国内の他の大学でも類を見ないと思われました。このような研究室となりましたのも、山岸先生の懐の広さだけでなく、そして狭義の分野にとらわれずに興味のある対象を追究し続けるというスタンスを持ち続けていることかと思っております。山岸先生は常に実験をされているということは、先生をご存じの方ですと既に周知のことと思われませんが、朝に大学に着いた途端にコートのまま実験室に入って準備を行ったり、他の業務の気分転換に実験を行うというほどでしたため、大学教員になるには、なにより実験が好きであることが最も重要だと思ったほどでございます。

当時の山岸研究室では、研究分野が幅広かったこともあり、研究テーマも多彩なものとなりました。在籍時の学生の卒業論文のメインテーマは、「タンパク質であるミオシン分子の動きを、原子間力顕微鏡（AFM）で観察できるか？」や、

「粘土分子を分子輸送の担体とすることで、生物内にターゲット分子を取り込ませることができるか？」というものがありました。仮に学生が気紛らしで思いついたとしても、「それ、本当にできるの？」と自らが疑問をもってしまいそうなものですが、山岸先生には「これはおもしろそうだから、やってみよう！君ならできるよ！」と納得させる情熱がありました。

## 2. 金属錯体LB膜を用いた発光特性の研究

学生時代の私は、まさに“低次元系光機能材料”の研究として、水の効率的な光分解を目指して金属錯体を基板に積層した薄膜（LB膜）の作製とその特性評価を主とした研究を進めておりました。その一例を挙げますと、白金錯体LB膜の光学特性の検討があります。4配位平面型の白金錯体は、分子間距離が短くなるにつれて蛍光波長が長波長側にシフトすることが、以前より結晶では知られておりました。私は両親媒性となる白金錯体を作成し（図1）、このLB膜を作製することで分子の集積度合いを容易に制御することに着目いたしました。

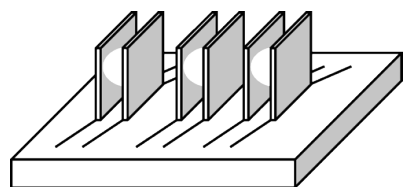


図2 白金錯体LB膜の模式図

作成したLB膜の蛍光特性と集積状態の比較検討などを行っておりました<sup>1)</sup>。両親媒性白金錯体のLB膜においては、表面圧に依存して<sup>3</sup>MMLCT (Metal-Metal-to-Ligand Charge Transfer) 発光の強度が増大することが観測されました。発光挙動や原子間力顕微鏡（AFM）観察から、図2のように錯体が界面で配列して金属錯体間相互作用を生じることが明らかになりま

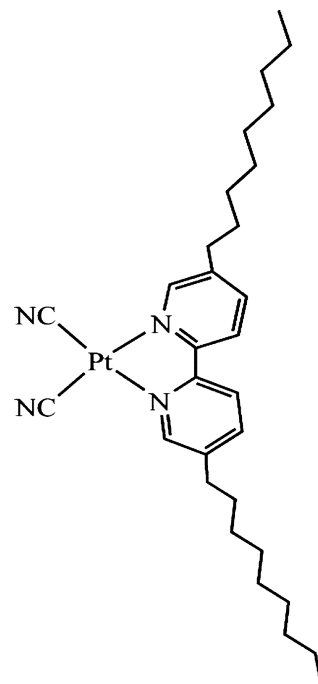


図1 両親媒性白金錯体

した。

### 3. バイオイメージングへの展開

現在、私は北海道大学・電子科学研究所で技術職員の職に就き、研究支援部門・ニコニイメージングセンターで光学顕微鏡施設の運営全般に携わっております。光学顕微鏡は、細胞内で生じる生物現象を時空間の双方で詳細に把握するためには必須の装置ですが、そもそも機器自体が非常に高額で維持も大変ですので、すべての全研究者が「マイ顕微鏡」を所有することは難しいです。そして生物系以外の研究者、例えば顕微鏡で基板上の微細構造の観察を試してみたい研究者となりますと、そもそも自身の目的に適した顕微鏡がどこにあ

り、そして機器を使わせてもらえるかも全く未知であるため、研究が停滞してしまいます。そこで平成17年に多くのメーカーの協賛を受けて、全国の研究者が光学顕微鏡を利用できる施設として当センターが設立されました。顕微鏡の利用を希望する研究者には、単なる機器の操作方法にとどまらず、優れた顕微鏡画像を取得する際のノウハウや取得した画像の処理・解析の方法までを詳細に説明いたします。そのため顕微鏡に初めて触れる初心者でも、一流の学術誌に載せられるような顕微鏡写真を撮ることができます。また遠方の企業の研究者などは、観察のために毎回北海道大学まで通うのも難しいため、スタッフが送付の試料を観察するという依頼観察も受け入れております。最近は大学等での最先端研究機器・大型研究機器の共用化が進展しておりますが、当センターはその先駆けとして創設され、開設当初から現在に至るまで、全国から多くの研究者の利用があります。

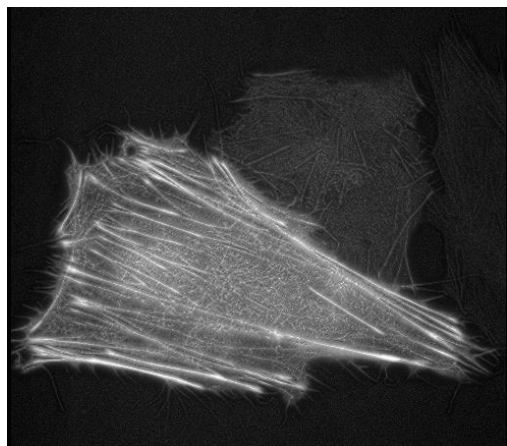


図 4 アクチンを蛍光標識した培養細胞の蛍光顕微鏡画像。

当センターには5つの顕微鏡システムがありますが(図3参照)、共焦点レーザー顕微鏡は、XY方向:200ナノメートル,Z方向:500ナノメートルの空間分解能で画像を取得できますため、高さを変えながら画像を取得することで、細胞や組織の3次元モデルを作成することも可能で、特に多くの研究者が利用しております。他にも、ガラス基板から1マイクロメートル以下の極めて限定された領域の観察に特化した全反射蛍光顕微鏡、数日間もの長時間にわたって細胞の観察が可能な顕微鏡などがあります。近年には、光学顕微鏡画像の演算解析によって光学分解能をも超えた画像作成も可能とする学術論文が発表されましたが<sup>2)</sup>、処理方法の一層の洗練化を進行させるとともに、一般の機器利用者にも提供を開始し、顕微鏡画像の超解像化手法の更なる普及を目指しております。機器の詳細や取得した顕微鏡画像の例は、本稿末尾のURLより当センターのWebサイトをご覧ください<sup>3)</sup>。私が学生の頃に、山岸研究室で助手をされていた高橋正行先生(現在は准教授)の研究室も最近では常連となりましたため、微力ながら高橋先生の研究の一助を行っております。高橋正行先生から提供を受けた蛍光顕微鏡画像を基として、上記の超解像処理を行った蛍光顕微鏡画像の一例を図4に示します。一般の蛍光顕微鏡で取得したにもかかわらず、細胞内の微細構造の

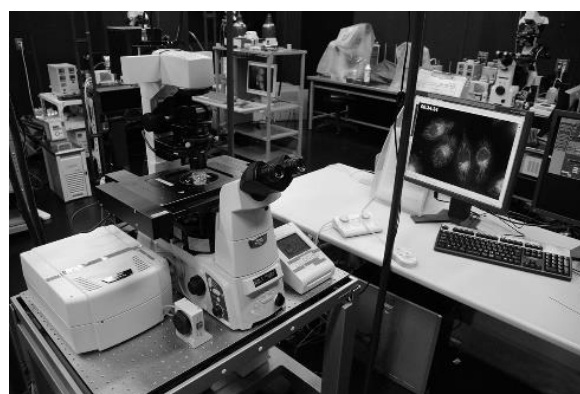


図 3 イメージングセンターの顕微鏡室

可視化が可能となりました。

こうした光学顕微鏡で対象を観察することの一番の長所は、ほとんど他の機器を介さず、対象物体を自らの目で直接かつ確実に見ることができる点です。最先端の研究者でも、たまたま立ち寄って見学に来た方でも、対象物に内在する微細構造の妙を感じる事が可能なため、まさに「百聞は一見に如かず」を地でいくこととなります。ところで顕微鏡の場合は、「見る」でも「視る」でもなく、もっぱら「観る」を用いますが、「観察」のみならず「観光」や「野球の観戦」でもこの字が用いられますように、単に外部から対象を把握するだけではなく、結果として少なからず楽しく思うことができる要素が含有されているように思われます。思えば学生のときに薄膜を積層した基板には、肉眼では薄膜の存在が視認できないにもかかわらず、AFM観察によって分子集積構造が認識できると、大きな驚きとともに新たな愛着が感じられたものでした。このように顕微鏡での観察は、常に新たな興味を感じるところでございます。「そこにはどんな面白さがあるか？」を常に自問するという事は、山岸先生から影響を受けたことに思えて他なりません。私が顕微鏡に携わるようになって十数年の間に、数百人の研究サポートを行っております。「こういうことが、顕微鏡でできるんだ！」とか、あるいは「顕微鏡写真をほとんど必要としない顕微鏡の利用」など、私では想像し得ないような事例も多く、常に未知の事象に接する可能性があるという点では、一種のスリルと面白さを感じられます。山岸先生や研究室の方々から教わりました、あらゆることに好奇心を覚え、より多くの関心を持つということは、自戒とともに認識しながら、日々を過ごしております。「日本で一番、光学顕微鏡のサポートができる人になりたい！」と、大きな目標を掲げてはおります。

#### 4. 終わりに

いずれにしましても、私が学生時代に山岸皓彦先生から学んだことといえば、「自分がおもしろいと思うことを、とにかくやり抜くこと」や、「特定のフィールドに固着しないこと」となりますでしょうか。しかしこうして文字で記すことは簡単でありますものの、果たして十年後、あるいは五年後であっても、自らがやり続けられるかは非常に難しいところでございます。一方で山岸先生ご自身は、現在でも研究の最前線に立たれており、そして二十年前と変わらず今日も実験をされているお姿が目に見えます。

そんな山岸皓彦先生を見果てぬ目標として、今後も私は励み続けてゆきます。

#### 参考文献

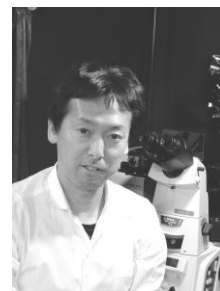
- 1) K. Kobayashi, H. Sato, S. Kishi, M. Kato, S. Ishizaka, N. Kitamura, A. Yamagishi  
A Spectroscopic Evidence for Pt-Pt Interaction in a Langmuir-Blodgett Film of an Amphiphilic Platinum(II) Complex. *J. Phys. Chem. B*, **2004**, *108* (48), 18665–18669.
- 2) Nils Gustafsson, Siân Culley, George Ashdown, Dylan M. Owen, Pedro Matos Pereira & Ricardo Henriques  
Fast live-cell conventional fluorophore nanoscopy with ImageJ through super-resolution radial fluctuations. *Nature Communications*, **2016**, *7*, 12471.
- 3) イメージングセンターのURL: <http://nic.es.hokudai.ac.jp>

### 著者紹介

**小林 健太郎**（こばやし けんたろう）

略歴：1977年宮城県生まれ。1995年北海道大学理学部入学、2003年に北海道大学理学研究科博士課程を修了して、博士（理学）を取得。2003年より北海道大学電子科学研究所の技術職員に着任して現在に至る。

現在の研究分野/テーマ： バイオイメージング、顕微観察手法の構築と模索。



## ■トピック■

# 「粘土ポリマーナノコンポジットの高機能化」

国立研究開発法人 物質・材料研究機構 田村堅志

## 1. はじめに

昨年、低次元系光機能材料研究会のニュースレター（山岸皓彦先生の特集）に記事を書いてほしいという依頼を受け、この研究会の活動に合うだろうかと少し悩みましたが、先生に色々相談しながら進めた高分子複合材料系の話題を提供させて頂きたいと思います。粘土とポリマーの複合材料である粘土ポリマーナノコンポジットの研究は、1980年代後半より盛んに進められ、はじめて（このネーミングで）工業化されたものは、豊田中央研究所のグループが開発した重合法によるモンモリロナイト-ポリアミド6 ナノコンポジット（ナイロン6粘土ハイブリッド、NCH）でした<sup>1)</sup>。このナノコンポジットは材料の比重がニートポリマーと同程度、つまり数%の粘土を添加した材料で強度、耐熱性、ガスバリア性を著しく向上させる特徴を有することから、自動車部品や包装材料として実用化されました。

その後、連続生産が可能な押出機等を用いた混練法によるナノコンポジットが昭和電工で初めて実用化され (Fig. 1)<sup>2)</sup>、重合プラントがなくてもナノコンポジットが製造できるというメリットから粘土ポリマーナノコンポジット開発は急激に拡大していきました。ここでは簡単なプロセスで製造できる高機能化粘土ポリマーナノコンポジットの試みについて紹介したいと思います。

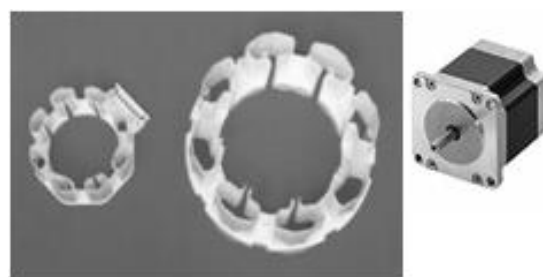


Fig. 1 溶融混練法によるナイロン66ナノコンポジットの応用例：モーターのインシュレーター

## 2. 非ハロゲン難燃化ナノコンポジット

プラスチックの大きな特徴は金属材料やセラミックスと違って、軽くて加工しやすい点です。汎用的に使われるポリマー、例えばポリプロピレンやポリアミドが低比重を保ったまま材料物性を飛躍的に向上できれば大きなメリットになります。しかし、これらの汎用プラスチックはキログラム当たり百円から数百円で取引されていますが、そんな材料にキログラム当たり千円を超える（場合によっては数千円になる）有機修飾粘土を数%複合化すると途端にコストが跳ね上がって使えないという話になります。ならば、「高くても買ってもらえるような機能を付与すればいい・・・」と考えますが、そうは簡単ではありません。高くても使わざるを得ないような状況やニーズがあれば別ですが、市場では全く相手にされないでしょう。

社会ニーズの一つになりますが、ヨーロッパでRoHS指令（欧州理事会指令2011/65/EU 特定有害物質使用制限指令）が發布され、EU市場に上市される電気・電子製品において特定有害物質の6物質（臭素系難燃剤が含まれています）を使用することが原則禁止されたことによって、非ハロゲン系難燃プラスチックへの要望が一気に高まりました。一般に電気・電子部品のプラスチックはUL規格（Underwriters Laboratories Inc.）のUL94燃焼試験をクリアしないと使用できないことになっています。UL94燃焼試験には垂直試験と水平試験の2つがあり、規定の長さの短冊状試験片を垂直につるし、試料の下方にメタンガスのバーナーで火を付けて、既定長さまで消火する時間を計測して難燃レベルを決めるという試験方法です。難燃性のランクは燃えにくい方から、

5V, V-0, V-1, V-2, HBに分かれていて(殆どの電機製品はV-0が要求されています)、試料が薄くなるとUL94の難燃レベルを維持する事は困難になる傾向があります。ハロゲン系難燃剤を使えば、V-0クラスは容易に達成できますが、無機系水和金属化合物を主体とする難燃剤では、これを多量に樹脂に添加する必要があり、物性、加工性、コストに問題が発生し、実用化にはかなり高いハードルとなってしまいます。

粘土-ポリマーナノコンポジットは、非ハロゲン系の難燃材料の一つと言えますが、難燃剤を追添せずにUL94燃焼試験に合格する材料は殆どありません。非ハロゲン系でUL94 V-0クラスを達成しようとするれば、やはり大量の難燃剤の添加を必要とします。我々は、非ハロゲン系難燃剤の添加量を最小限に抑え、低比重を維持しつつ、UL94 V-0クラスの難燃性を達成することを目指しました。粘土鉱物の修飾剤としても難燃効果が見込めるメラミンを使用しました。メラミン修飾粘土 (Mel-clay) とポリアミド66

(PA66) とを熔融混練してコンパウンドを調製すると、Mel-clay層を剥離させて、PA66中に均一に分散させることができます (Fig. 2)。このナノコンポジットは、先に述べた重合法によるNCHに匹敵するような機械的性質の向上を達成し、かつコーンカロリメーターによる燃焼試験を実施するとPPやNCHと同じように燃焼時の発熱量の低減効果が確認されました。しかし、UL94燃焼試験では、十分な難燃効果が得られませんでした。我々は、様々な検討を繰り返し、PA系ナノコンポジットのUL94燃焼試験の結果が粘土の分散性に大きく左右されることを見出しました。その結果、メラミンシアヌレートという非ハロゲン系難燃剤を少量添加し、混練プロセスによって粘土シートのドメインサイズを制御することで、意図的にマトリクスとの海島構造をつくり、UL94 V-0~V-2難燃クラスを制御できる技術を確認しました (Fig. 3)。そして、それはPA66の比重1.14を1.18程度の増加に抑えつつ、非ハロゲン系であり、弾性率、耐熱性、成形加工性などパフォーマンスバランスの優れた特徴を示すものでした<sup>5)</sup>。

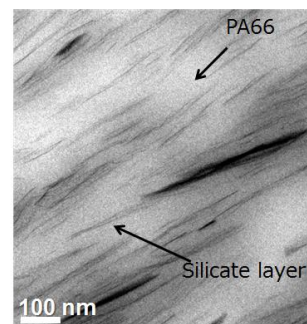


Fig. 2 Mel-clay/PA66ナノコンポジットのTEM像

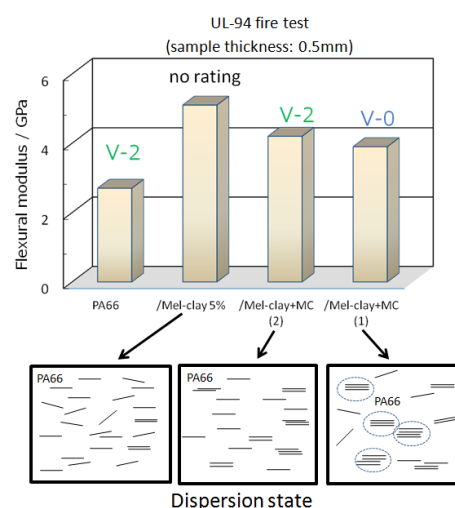


Fig. 3 PA66ナノコンポジットの粘土分散状態と曲げ弾性率及び難燃性 (UL94難燃試験)

### 3. おわりに

粘土鉱物は、地球表層で極めて安定・安全な物質といわれ、これを積極的に利用した高機能性材料の開発は循環型社会に資する新しい材料として大変重要なものだと考えています。しかし、一般に天然の粘土鉱物は不均質なものであり、ニーズに応える十分な機能を発現する材料の実用化は容易なことではありません。地道な努力の継続が重要なのは間違いありません。以上、まとまりのない話になってしまいましたが、現在でも研究に邁進されている山岸先生を見ながら、一緒にした仕事を振り返ってみました。<sup>6)</sup>

### 謝辞

東邦大学の北澤孝史教授、加藤善之氏、大山翔一氏との共同研究の一部を紹介させていただきました。発光寿

命計測においては、物質・材料研究機構の和田芳樹主幹研究員に御協力頂いています。ここに併せて謝意を表します。

### 参考文献

- 1) a) Y. Fukushima, S. Inagaki, Synthesis of an intercalated compound of montmorillonite and 6-polyamide, *J. Include. Phenom.*, **5**, 473-482(1987), b) T. Kurauchi, A. Okada, T. Nomura, T. Nishio, S. Saegusa, R. Deguchi, *SAE Technical Paper*, 910584 (1993), c) A. Usuki, Y. Kojima, M. Kawasumi, A. Okada, Y. Fukushima, T. Kawauchi, O. Kamigaito, *J. Mater. Res.*, **8**, 1179-1184 (1993).
- 2) 田村堅志, 中村純一, 押出機混練法によるナノコンポジット製造技術, *プラスチックエージ*, **45**, 106-113 (1999).
- 3) a) J. W. Gilman, T. Kashiwagi, J. D. Lichtenhan, Nanocomposites: a revolutionary new flame retardant approach. *SAMPE Journal*, **33**, 40-46 (1997), b) J. W. Gilman, C. L. Jackson, A. B. Morgan, R. Harris Jr., E. Manias, E. P. Giannelis, M. Wuthenow, D. Hilton, S. H. Phillips, Flammability properties of polymer-layered-silicate nanocomposites. polypropylene and polystyrene nanocomposites. *Chem. Mater.*, **12**, 1866-1873 (2000).
- 4) K. Tamura, S. Ohyama, K. Umeyama, T. Kitazawa, A. Yamagishi, Preparation and properties of halogen-free flame-retardant layered silicate-polyamide 66 nanocomposites, *Appl. Clay Sci.* **126**, 107-112 (2016).
- 5) C. S. K. Mak, D. Pentlehner, M. Stich, O. S Wolfbeis, W. K. Chan, H. Yersin, Exceptional Oxygen Sensing Capabilities and Triplet State Properties of Ir(ppy-NPh<sub>2</sub>)<sub>3</sub>. *Chem. Mater.*, **21**, 2173-2175 (2009).
- 6) K. Tamura, A. Yamagishi, T. Kitazawa, H. Sato, "Harvesting light energy by iridium(III) complexes on a clay surface" *Phys.Chem.Chem.Phys.*, **17**, 18288-18293 (2015).

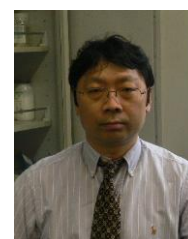
### 著者紹介

田村 堅志 (たむら けんじ)

現在の身分：国立研究開発法人 物質・材料研究機構 機能性材料研究拠点 機能性粘土材料グループ グループリーダー

略歴：1990年昭和電工株式会社入社，2003年物質・材料研究機構入所，2011年より東邦大学理学部客員教授を併任，2016年より物質・材料研究機構 機能性材料研究拠点 現職，博士（理学）北海道大学

現在の研究テーマ：粘土鉱物を使った機能性材料開発





## ■トピック■

## ミオシンIIアイソフォームの機能の違いを追いかけて

北海道大学大学院理学研究院化学部門 高橋正行

## 1. はじめに

私にとっての最も古い山岸皓彦先生の記憶は、北大の教養過程から理学部化学第二学科に移行した際に行われた研修旅行の懇親会での先生のご挨拶である。1980年の秋だったので、もう40年近くも前のことになる。山岸先生は両手をお腹の前で合わせたお得意のスタイルで目を細めながら、「粘土は右手分子と左手分子を見分けることができるんですよ!」と、ご自身の研究をととても嬉しそうにお話しされた。当時、私はこのお話の重要性を全く理解できていなかったが、山岸先生の姿勢から研究をすることの楽しさがひしひしと伝わってきたことで、しっかり記憶に刻まれたと思われる。その後、卒業研究時に山岸先生が所属されていた錯体化学講座に所属した。直接、卒業研究の指導は受けられなかったが、実験室内で、あるいはゼミ室での休憩時に、研究以外のことも含めて様々な興味深いお話を伺うことができた。その中で、“生物を構成する分子がキラルなのは地球上に粘土があったから”という生命の起源に関する仮説があるということをお聞きし、山岸先生のご研究の意義を認識した。卒業が近くなってきた頃、私は生命現象を分子レベルで研究したいという気持ちが強くなり、修士課程からは生化学を行なっている研究室（同学科の生物有機化学講座）に移ろうかどうか迷っていた。その際に、背中を押してくれたのが山岸先生だった。山岸先生はCDの測定でたびたび生物有機化学講座の実験室に来られたので、研究室が変わってからもお話しする機会に恵まれた。私の研究の進行状況についても耳を傾けていただき元気づけられたこともあった。その後、山岸先生が東大教養学部を経て理学部高分子学科の教授として再び北大に戻られてから、私を助手として採用いただき、自由に研究を行う機会を与えてくれた。本研究会のテーマとはかなり異なり恐縮であるが、その頃から長年にわたって行なっている非筋細胞ミオシンIIというタンパク質に関する研究の進行状況を、以下に簡単に紹介できればと思う。

## 2. 非筋細胞ミオシンIIアイソフォームの機能

ミオシンは、今から約150年も前に発見された骨格筋の収縮にかかわるタンパク質で、ATPを加水分解して得たエネルギーを、アクチンフィラメントを動かす運動に変換することができる。その後、私たちのほとんど全ての細胞には、非筋細胞ミオシンII（以後、ミオシンII）と呼ばれる骨格筋細胞のミオシンとは異なるミオシンが存在し、様々な細胞運動において中心的な役割を担っていることが

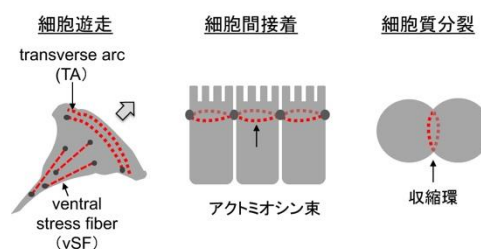


図1. 細胞内収縮装置の形成領域

明らかになってきた(図1)。脊椎動物には、異なる遺伝子にコードされたアイソフォーム (IIA、IIB、IIC) が存在し、その中で、IIAとIIBのノックアウトマウスは胎児の間に死に到るので、お互いに相補できない機能を持っていることが予想されている。米国NIHでのポスドク時代にIIB重鎖をコードするcDNAのクローニングに成功した際に、脳のcDNAライブラリーを用いたことが幸いし、中枢神経組織特異的に発現するサブアイソフォームをいくつか発見することができた<sup>(1)</sup>。山岸研では、その中の一つ、アクチン結合部位に21個のアミノ酸の挿入配列をもつIIB-B2の脳での機能を明らかにすることが研究目標の一つになった。IIB-B2は、ラットでは生後に古い脳と呼ばれる領域に発現してくること<sup>(2)</sup>、特に小脳のプルキンエ細胞の細胞体と樹状突起に多く発現すること<sup>(3)</sup>、

モーター活性がIIBよりも劣ること<sup>(4)</sup>、等を明らかにすることができた。

山岸研時代に始めたミオシンIIに関するもう一つの研究は、ミオシンIIの状態変化に関することである。ミオシンIIは単独では働かず、自己集合してフィラメントを作ることではじめて働けるようになる。ミオシンIIは不活性な状態では尾部が折りたたまれたコンパクトな構造(10S form)をとり細胞内を拡散し、“働きなさい”というシグナルを受けるとサブユニットの調節軽鎖(RLC)がリン酸化され、ATPase活性が上昇すると並行して尾部が伸びた構造(6S form)に変化しフィラメントを形成できるよ

うになるということが*in vitro*の実験結果から考えられている(図2)。収縮運動に特化した骨格筋細胞内では、ミオシンIIは常にフィラメント状態として存在しているのに対し、非筋細胞では必要な場所で必要な時にだけ細胞内収縮装置が形成されるという点が両者の顕著な違いである。私たちは、この自己会合によるフィラメント形成に必須なミオシンIIの分子内領域を特定し、分子間のパッキングモデルを提唱した<sup>(5)</sup>。さらに、10S form形成に必須な分子内領域を特定し、その領域を骨格筋ミオシンの配列に交換することで10S formを形成できなくなったキメラ変異体が遊走時の細胞の後方に取り残されることを見出した<sup>(6)\*</sup>。細胞内のある場所での仕事が終わったミオシンIIが新たな場所に拡散移動する過程に、10S formになる必要があるということを実証することができた。

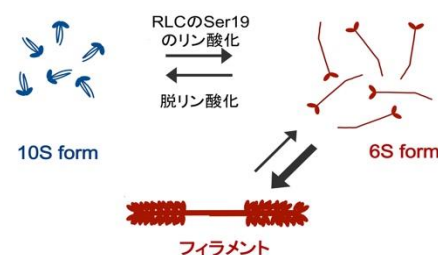


図2. ミオシンIIのコンフォメーション変化

脳でのIIB-B2の機能を明らかにするためには、IIB自体の機能を特定する必要があることに改めて気がつき、その後は、“急がば回れ”で、IIBとIIAの細胞内での機能の差異を明らかにする方向に研究を進めた。その過程で、線維芽細胞が遊走する際に、IIAが前方と後方端に多く局在するのに対し、IIBは後方の膜直下の限られた領域に多く局在することを見出した<sup>(7)</sup>。これが山岸研時代に得られた最後の結果になる。この結果を元に、最近ようやくIIBとIIAの細胞遊走における機能の違いが見えてきた。細胞は遊走する際に、前方と後方で異なる収縮装置、それぞれtransverse arc

(TA)とventral stress fiber (vSF)、を形成する(図1)。IIAとIIBの不死化線維芽細胞内での発現を、RNAiという手法によって特異的に抑制(ノックダウン: KD)したところ、IIAのKDによって前方からTAが消失し、IIBのKDによって細胞体のvSFが消失した<sup>(8)\*</sup>。このことは、IIAとIIBがそれぞれTAとvSFの形成に必須であることを示す。遊走中の細胞の前方には、ラメラと呼ばれるとても平坦な領域が形成される(図3)。この平坦化には、TAの収縮力が必要であるということが示唆されていたが、私たちは、IIAとIIBの両者が揃ってはじめてこの平坦化を実現できることを明らかにした<sup>(8)\*</sup>。細胞の先端部に近い部分においてIIAによって形成されたTAは収縮することで細胞中心部に向かって動く。そこにIIBが加わっていくことで、TAの長さを収縮した状態に維持することができ、その結果、ラメラの上部の細胞膜を押さえつけられるのではというモデルを提唱した(図3)。また、不死化線維芽細胞が頻繁に遊走方向を変えるのに対し、正常線維芽細胞は遊走方向を持続してまっすぐ動き続けられることに気がついた。この方向持続的な遊走に対するIIAとIIBの役割を明らかにするために、それぞれをノックダウンし、その表現型を解析した。IIA-KD細胞は、細胞前方から複数の仮足が形成され少しフラフラ遊走するようになったが、おおよその遊走方向は維持されていた。驚いたことに、IIB-KD細胞は一見普通に遊走するが、突然遊走方向を180°逆転することがわかった<sup>(9)\*</sup>。細胞を自動車に例えると、IIAはハンドル、IIBはシフトレバ

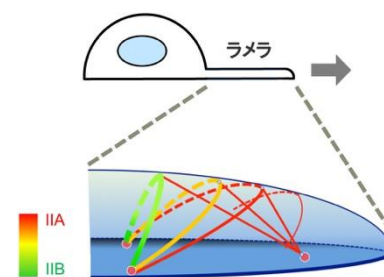


図3. ラメラの平坦化におけるミオシンIIの役割

によって特異的に抑制(ノックダウン: KD)したところ、IIAのKDによって前方からTAが消失し、IIBのKDによって細胞体のvSFが消失した<sup>(8)\*</sup>。このことは、IIAとIIBがそれぞれTAとvSFの形成に必須であることを示す。遊走中の細胞の前方には、ラメラと呼ばれるとても平坦な領域が形成される(図3)。この平坦化には、TAの収縮力が必要であるということが示唆されていたが、私たちは、IIAとIIBの両者が揃ってはじめてこの平坦化を実現できることを明らかにした<sup>(8)\*</sup>。細胞の先端部に近い部分においてIIAによって形成されたTAは収縮することで細胞中心部に向かって動く。そこにIIBが加わっていくことで、TAの長さを収縮した状態に維持することができ、その結果、ラメラの上部の細胞膜を押さえつけられるのではというモデルを提唱した(図3)。また、不死化線維芽細胞が頻繁に遊走方向を変えるのに対し、正常線維芽細胞は遊走方向を持続してまっすぐ動き続けられることに気がついた。この方向持続的な遊走に対するIIAとIIBの役割を明らかにするために、それぞれをノックダウンし、その表現型を解析した。IIA-KD細胞は、細胞前方から複数の仮足が形成され少しフラフラ遊走するようになったが、おおよその遊走方向は維持されていた。驚いたことに、IIB-KD細胞は一見普通に遊走するが、突然遊走方向を180°逆転することがわかった<sup>(9)\*</sup>。細胞を自動車に例えると、IIAはハンドル、IIBはシフトレバ

一の役割を担っているといえる(図4)。IIAは前方から仮足が正常に突出するように制御し、IIBは後方から仮足が出ることを抑制することによって前後の極性を維持していることが考えられる。*in vitro*の実験結果から、IIAはIIBに比べてモーター活性が高く、IIBは1個のATPを加水分解する間にアクチンに対して強く結合する状態にいる時間が長いことが示唆されている、以上の結果から、現時点で各アイソフォームの役割を以下のように予想している。IIAは主にアクチンフィラメントを動かすモーターとして働き、細胞の形態を変化させる役割を担う。一方のIIBは主にアクチンフィラメントをつなぎ止めるクロスリンカーとして働き、変化した細胞の形態を維持する役割を担う。

神経細胞は、非常に長い突起を伸ばし、さらに枝分かれをした複雑な形態をしている。また、脳ではIIBがIIAに比べてかなり多く発現している。もし、IIB-B2が通常のIIBよりさらにクロスリンカーとしての機能に優れるのであれば、成長に伴ってIIB-B2が発現してくることで<sup>(2,3)</sup>、神経細胞の複雑な形態を保つことができ、それによって記憶が維持されているのではというような妄想を抱いている。

### 3. おわりに

山岸先生は実験されている姿が最もしっくりくる。当時の山岸研において実験室内で過ごす時間が一番長かったのは山岸先生かもしれない。教えるだけでなく自らの手を動かして研究することの大切さを、身をもって示されていた。東大での最終講義の際のことである。ご挨拶できればと思い開始時刻の1時間ほど前に教授室に伺ったが、山岸先生は普段と変わらず実験をされていて教授室にはいらっしやらなかった。実験室から出てこられたのは、最終講義開始時刻のわずか20分くらい前だったと思う。先生の研究に対する姿勢に敬服せずにはいられない。今の自分を振り返ると、自らの手で実験にいそしむ時間がだんだんと減ってしまっている。本稿をまとめることで初心を思い出すことができ、もうひと頑張りしなければという気持ちになっている。

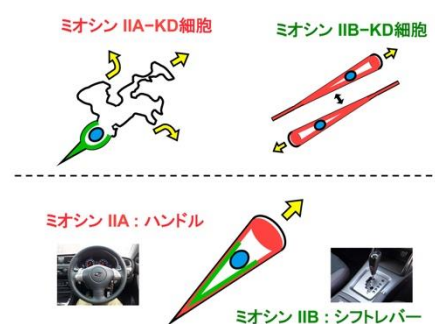


図4. 遊走時のミオシンIIアイソフォームの役割

### 参考文献

- (1) M. Takahashi, S. Kawamoto, R.S. Adelstein, *J. Biol. Chem.* 267(25), 17864-17871 (1992).
- (2) M. Takahashi, T. Hirano, K. Uchida, A. Yamagishi, *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 259(1), 29-33 (1999).
- (3) T. Miyazaki, M. Watanabe, A. Yamagishi, M. Takahashi, *Neurosci. Res.* 37(4), 299-306 (2000).
- (4) M. Takahashi, K. Takahashi, Y. Hiratsuka, K. Uchida, A. Yamagishi, T.Q.P. Uyeda, M. Yazawa, *J. Biol. Chem.* 276(2), 1034-1040 (2001).
- (5) T. Nakasawa, M. Takahashi, F. Matsuzawa, S. Aikawa, Y. Togashi, T. Saitoh, A. Yamagishi, M. Yazawa, *Biochemistry* 44(1), 174-183 (2005).
- (6) T. Kiboku, T. Katoh, A. Nakamura, A. Kitamura, M. Kinjo, Y. Murakami, M. Takahashi, *Genes to Cells* 18(2), 90-109 (2013).  
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gtc.12021/full>
- (7) T. Saitoh, S. Takemura, K. Ueda, H. Hosoya, M. Nagayama, H. Haga, K. Kawabata, A. Yamagishi, M. Takahashi, *FEBS Lett.* 509(3), 365-369. (2001).
- (8) M. Kuragano, T.Q.P. Uyeda, K. Kamijo, Y. Murakami, M. Takahashi, *Mol. Biol. Cell* 29(8), 911-922 (2018).  
<https://www.molbiolcell.org/doi/10.1091/mbc.E17-04-0215>
- (9) M. Kuragano, Y. Murakami, M. Takahashi, *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 498(1), 25-31 (2018).  
<https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2018.02.171>

\*細胞の染色像や生細胞の動画等が、参考文献(6, 8, 9)に記したウェブサイトに掲載しています。本号で寄稿されている北大電子研の小林健太郎さんのサポートを受けたものも多く含まれています。お時間の許す時に、ご覧

いただけると幸いです。

### 著者紹介

#### 高橋正行（たかはしまさゆき）

北海道大学大学院理学研究院化学部門・准教授

略歴：1983北海道大学理学部化学第二学科卒業、1985年同大学院理学研究科化学第二専攻修士課程修了、1988年同博士課程単位取得退学、花王株式会社勤務、1989年理学博士（北海道大学）、米国国立衛生研究所（NIH）博士研究員、1992年北海道大学理学部高分子学科助手、2001年同大学院理学研究科化学専攻助教授、2007年同理学研究院化学部門准教授、現在に至る。

現在の研究分野/テーマ：細胞生化学／細胞形態の変化と維持の分子機構



## ■ 関連学会レポート ■

## 第7回研究講演会

2018年6月22日

鈴木 康孝（山口大学大学院創成科学研究科）

第7回研究講演会が2018年6月22日に化学会館（東京）で行われました。世話人は、川俣純教授（山口大学）、芥川智行（東北大学）、および鈴木がつとめました。今回の研究会のテーマは、二次元構造を有する $\pi$ 電子系の光・電子機能で、新学術領域の $\pi$ 造形科学との共催で行いました。有機物ベースおよび無機物ベースの低次元性材料に関する話題を以下の先生方に紹介していただきました。（演者（敬称略）、題目）

宮坂 等（東北大）「Guest-Sensitive Dynamical Magnets」

武田 貴志（東北大）「有機化合物の分子運動に立脚した新奇機能性材料開発」

上田 顕（東京大）「水素結合を活用した新しい $\pi$ 電子系機能物質の開発」

西原 寛（東京大）「配位ナノシートの合成と機能」

羽曾部 卓（慶応義塾大）「二次元 $\pi$ 共役分子および集合体の励起ダイナミクス制御」

松尾 吉晃（兵庫県立大）「積層したグラフェン」の合成と機能」

川俣 純（山口大）「多光子励起イメージングのための蛍光化合物の開発」

高木 慎介（首都大学東京）「ナノシート上における $\pi$ 電子系化合物の振る舞い」

宮坂先生にご講演いただいた錯体を用いた外場応答性分子マグネットの話は、将来の電子デバイスに搭載される未来を想像させるもので非常に興味深いお話でした。質疑応答では、徳丸先生から磁石の事始めに関するコメントがあり、磁石の過去から未来までの非常に幅広い議論ができ、理解が深まりました。武田先生からは、動く結晶のことを講演いただき、分子性材料の新しい側面に対する理解が深まりました。上田先生には、重水素を用いることで、水素結合だけ異なる結晶性材料の創出、またそれに伴う物性の変化を丁寧に調べた結果を講演いただきました。西原先生には、2次元的に成長する金属錯体に関する講演がなされ、その電子的な機能性まで教えていただき、材料の先進性がよく理解できました。羽曾部先生には、一重項分裂を効率的に生じる有機分子の開発について講演いただきました、有機分子材料の新しい電子機能の可能性を感じることができました。研究会のメンバーの中からは、松尾先生、川俣先生、高木先生に講演いただきました。

いずれの講演も活発な議論があり、時間を気にしながらの進行となりましたが、参加いただけた方々の研究の種となれば、幸いです。最後に、ご多忙の中ご講演をお引き受けいただいた、先生がたに厚くお礼申し上げます。また、会の取りしきりをお引き受けいただいた、島根大学の藤村先生、およびお手伝いいただいた学生の方々にも感謝いたします。



講演会の様子



**■ 会 告 ■****主催行事****日本化学会「低次元系光機能材料研究会」第8回サマーセミナー2018  
—複雑系材料の精密評価技術—**

**共 催** 日本粘土学会研究グループ「粘土鉱物を利用した革新的材料創製グループ」  
西日本ナノシート研究会

**協 賛** 日本化学会  
物質・材料研究機構(NIMS)国際ナノアーキテクトニクス研究拠点(MANA)

**会 期** 9月21日(金)13時30分 ～ 22日(土)12時

**会 場** NIMS(並木地区研究本館4F大会議室), 筑波山京成ホテル

[交通] NIMS並木地区へは, 羽田空港からのリムジンバスやTXつくば駅(つくばセンター)からの関東鉄道バス(それぞれ並木一丁目下車徒歩数分)の他に, TXつくば駅からのNIMS無料定期便バス(<http://www.nims.go.jp/nims/office/hdfqf10000000qyf-att/hdfqf1000002mj5h.pdf> 並木下車直ぐ)をご利用頂けます。NIMS並木地区から筑波山京成ホテルまでは貸切バスで送迎いたします。貸切バス(21日16:40前後に出発予定)に乗り遅れますと, 他の送迎はございませんのでご注意ください。

**趣 旨** 層状結晶やメソ多孔体などの低次元系材料と, 分子や微粒子, ポリマーなどの機能ユニットからなるハイブリッド材料は, 古くから合成と応用が盛んに研究されている一方, 多くの場合, 構造を決定することが困難であり, 構造-機能相関を(単結晶が得られる材料ほどには)精密に議論できない。近年, 同材料の構造は(より高機能を発現させるために)複雑化してきており, 応用研究も多様化しつつあるため, その魅力を最大限に引き出すには, 精密な構造評価は重要な課題である。本セミナーでは, 複雑な構造を有する材料を先進的な技術で評価されている講師を招き, 最先端の研究成果を紹介いただき, 独自の手法でハイブリッド材料合成を行っている研究会若手メンバーからの話題提供も併せ, 同材料の構造・機能設計の新たな可能性について議論する。

[招待講演] 立川貴士(神戸大), 富中悟史(MANA)

**一般発表形式** 口頭発表(発表15分, 質疑応答4分程度)を6件程度募集します。学生のポスター発表も行います。優秀な学生発表には表彰があります。申込件数によっては, 口頭/ポスターの振替えをお願いします。口頭・ポスター発表は, 一件につきA4で1ページの予稿原稿を提出いただきます(下記の研究会HPからテンプレートをダウンロードいただき記入ください)。ポスター発表の方には, ショートプレゼンテーション(2~3分程度)を行っていただきます。ポスターはA0サイズ程度でご準備下さい。ポスター貼付用のテープ等はこちらで準備いたします。

**参加および発表申込締切** 7月31日(火): 定員(60名程度)になり次第切りますので, 早めにお申し込み下さい。

当研究会HP (<http://photonlowd.chemistry.or.jp/>) から参加・発表申し込みフォームをダウンロード、必要事項を記入いただき、件名を【第8回サマーセミナー参加・発表申し込み】とし、E-mailで下記の申込/問合せ先まで送信下さい。出来る限り研究室単位でお申し込み下さい。

**予稿原稿締切** 8月31日(金): テンプレートを当研究会HP (<http://photonlowd.chemistry.or.jp/>) からダウンロードいただきご利用下さい。必要事項記入の上、件名を【第8回サマーセミナー予稿原稿】とし、E-mailで下記の申込/問合せ先まで送信下さい。

**参加費** 会員(日本化学会, 協賛学会員含む) 20,000円, 非会員25,000円, 学生10,000円(宿泊料, 朝食, 意見交流会参加費含む)

### タイムスケジュール(仮)

#### 21日

13:30~13:45	オープニング
13:45~14:25	招待講演 (40 min)
14:25~14:45	一般発表 (20 min)
14:45~15:10	休憩
15:10~16:40	ポスターショートプレゼン
16:40~17:30	NIMSから筑波山京成ホテルへ移動
17:30~18:30	チェックイン, 休憩 (運営委員会, 総会)
18:30~20:00	夕食
20:00~21:30	ポスター発表

#### 22日

08:00~09:15	朝食&チェックアウト
09:15~09:55	招待講演
09:55~10:35	一般発表
10:35~10:50	休憩
10:50~11:50	一般発表
11:50~12:00	表彰式, 閉会式

\*最終的なスケジュールは時間等を変更する場合がございます。ご了承ください。

[交通] 筑波山京成ホテルからつくばセンターまでは、ホテル無料送迎バス(12:00 & 14:30発の2便を予定), あるいは、関東鉄道シャトルバスをご利用頂けます(ホテル付近つつじヶ丘バス停から9時~17時まで30分毎に出発)。

**申込/問合せ先** 305-0044 つくば市並木1-1 国立研究開発法人物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクトゥクス研究拠点 井出裕介 電話: 029-860-4826 E-mail: IDE.Yusuke@nims.go.jp



## ■ 編集後記 ■

低次元系光機能材料研究会ニュースレター第18号を発行することができました。今回は第17号に引き続き、“低次元系”の領域立ち上げから10年という記念として、最初のキックオフからの立ち上げに寄与された山岸皓彦先生の特集号となっております。

第17号でも記載いたしましたが、山岸先生は、北海道大学、東京大学、北海道大学、東京大学と異動され、退職後はお茶の水女子大学、東邦大学で研究をされてきました。現在、物質材料研究機構で、新しい研究にチャレンジされております。それぞれの年代でのゆかりある方々に記事の記載をお願いいたしました。年度末のお忙しい中、原稿を寄せて下さった先生方に大変感謝いたします。ニュースレターとして、あえて、統一性を求めず、執筆者の方々の個性を優先させていただきました。低次元系光機能材料に関わっている皆様になにかしらのインスピレーションを与える記事になっているのではないかと考えております。

私事となりますが、私は川俣先生が第17号の巻頭言で述べられております特定領域「光機能界面の学理と技術」（平成13～18年度、藤嶋昭代表）で山岸先生にポスドクとして雇用してもらいました。このときから、遅ればせながらに研究人生をスタートさせました。領域会議で、この研究会を立ち上げられることになる多くの若い先生方とお会いして、先生方の研究レベルの高さに圧倒されました。そして、10年以上がたち、6月におこなわれた講演会では先生方の研究のフィロソフィーを感じました。

私のほうは、その後の綱渡りな人生も気づけば、愛媛大学に職を得て10年目になりました。この間、常にぎりぎりの状況の中で、研究会の多くの先生方々に随所で助けていただいて、研究できることを喜びに思います。まさに、“横糸”としての“研究会のネットワーク”によって、“縦糸”としての研究が、人生を支えていると言っても過言ではありません。

第17、18号のニュースレターの編集という機会を与您いただき、大変ありがとうございました。皆様の記事を読ませていただいて、“初心”を更新して研究をしたいという想いを得ることができました。

最後に、お忙しい中、編集に携わって下さった北海道大学の高橋正行先生、北里大学の吉田純先生に深く感謝いたします。

2018年 7月

日本化学会研究会「低次元系光機能材料研究会」  
ニュースレター 18号, 2018 編集委員

佐藤久子

愛媛大学 大学院理工学研究科