特集:生化学に新たな視点を与える技術の開発とその応用

ラマン散乱顕微鏡による生体分子イメージング

岡田 昌也¹, 袖岡 幹子^{2,3}, 藤田 克昌^{1,2}

ラマン散乱顕微鏡は、生体に含まれる分子振動の強度分布を画像化し、試料に含まれる分子の 種類やその状態などの情報を与えてくれる.しかしながら、ラマン散乱光が微弱なため、観察 に時間がかかり、生きた試料のラマンイメージングは困難であった.近年、試料中の多数の点 を同時に計測するラマン散乱顕微鏡が登場し、生きた細胞のイメージングが可能になった.細 胞分裂やアポトーシスなどの生命現象における分子のダイナミクスを捉えた例も報告されてい る.ラマンデータから、酸化還元状態等の細胞内分子の化学的知見を得た例もある.また、微 小なアルキンタグを用いて、細胞内の低分子化合物を観察する手法も提案され、ラマン散乱を 用いた生体イメージング法は日々着々と進歩している.

1. ラマン散乱による生体観察

細胞など生体試料に光を照射すると、透過や吸収、散乱 といった物理現象が生じる.このうちの散乱された光に は、入射時に比べて振動数が減少した(つまり、波長が長 波長側ヘシフトした)ものが含まれる.この現象はストー クスラマン散乱(以下, ラマン散乱と略す)と呼ばれる¹⁾. ラマン散乱における波長のシフト量は光を散乱した分子の 固有振動数に相当する. 生体内に存在する種々の生体分子 は、それぞれ異なる固有振動数を持つため、生体から得ら れるラマン散乱光の波長もさまざまである. どのような波 長が含まれているか解析するために、通常、試料からのラ マン散乱光を回折格子により分光し, CCD カメラで検出 してラマンスペクトルを得る.この際,標識など観察のた めの前処理が必要ないため、試料を生かしたまま測定でき る. 例として、図1に生きた HeLa 細胞から得たラマンス ペクトルを示す。横軸は波長の逆数のシフト量(ラマンシ フト.減少した振動数に対応)で cm⁻¹を単位とし,縦軸

¹大阪大学大学院工学研究科精密科学・応用物理学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1) ²JST ERATO 袖岡生細胞分子化学プロジェクト

Raman microscope imaging of molecules in living systems Masaya Okada¹, Mikiko Sodeoka^{2,3} and Katsumasa Fujita^{1,2} (¹Department of Applied Physics, Osaka University, 2–1 Yamadaoka, Suita, Osaka 565–0871, Japan, ²JST ERATO Sodeoka Live Cell Chemistry Project, ³RIKEN Synthetic Organic Chemistry Laboratory)



はラマン散乱強度を表している.励起光源には波長532 nmの連続発振レーザーを用いた.スペクトル内には、タ ンパク質に含まれるアミド結合や, 脂質内の CH 結合な ど、細胞内に多く存在する生体分子に由来するピークが現 れている.これらのうち,チトクロムc由来のピークが 強く現れているのは、可視光を励起光に用いたことで生じ たチトクロム c の共鳴ラマン散乱による². 同様に,紫外 域~可視域の範囲で観察分子の吸収帯に合わせて励起波長 を選択することで、ほかのチトクロム類やカロテノイド、 レチノール、クロロフィル、DNA 塩基などからの共鳴ラ マン散乱が得られる3~6).また、分子の振動状態は、分子 種だけでなく、分子の構造、状態、周辺の環境によっても 変化し、ラマンピークの強度変化やシフトとして検出でき る.このように、生体からのラマン散乱は、生体分子につ いての膨大な情報を与えるため、生体に関する新たな知見 をもたらす生体観察法として期待できる.

³理化学研究所袖岡有機合成化学研究室

ラマン散乱を利用した生体観察は、1990 年の Puppels ら がショウジョウバエのラマンスペクトルを報告して以来盛 んになり、スペクトルのみにとどまらず、顕微鏡に応用す ることで (ラマン散乱顕微鏡という), イメージングにも 展開されてきた". ラマン散乱顕微鏡では, 1回のイメー ジングで、試料一点一点からのラマンスペクトルを測定 し、図2に示すような空間2方向と波数の3次元データを 取得する.得たデータの中から、特定の波数の空間強度分 布を再構築することで観察したい分子のイメージを得る. 最初に報告されたイメージングは、Puppels らによるヒト リンパ球内のカロテノイドの観察である³. この後も赤芽 細胞の三次元イメージング、乳がん細胞に取り込まれた抗 がん剤の分布, HeLa 細胞内の DNA やタンパク質, ミト コンドリアなどのラマンイメージングの報告が徐々に増え ている^{8~11)}. また細胞に限らずヒトやラットの脳など組織 のイメージング例も報告されている^{12,13)}.しかしながら、 ほとんどの例では、 試料を固定してからの観察であった. これは、ラマン散乱の散乱効率がきわめて低いことに起因 する. ラマン散乱の散乱効率は, 10⁻³⁰ cm² 程度であり, 1 分子からラマン散乱光子を1個得るために、1 cm² あたり 10³⁰個もの光子密度を持つ入射光が必要なことを意味す る. 実際に、細胞からのラマン散乱を十分な信号対雑音比 で得るには試料上1点あたり数秒程度の露光時間を要し、 128×128 ピクセルなど数万ピクセルのイメージサイズで イメージングするには数~数十時間必要となる. 生体試料 は、観察中に形状や状態を変化させるので、この時間分解 能では、試料を生きたままイメージングすることが難し い. 2005 年に Naito らが, 生きた酵母細胞のラマンイメー ジングに成功しているが、これが可能なのは酵母細胞のサ イズが小さく、イメージサイズが数百ピクセルで済むため である¹⁴⁾. HeLa 細胞など大きな試料になると, 1イメージ あたり数万ピクセル取得する必要があるため、高い時間分 解能でのイメージングは困難であった.

2. 高速撮像化による生細胞イメージングの実現

このような状況下で、生きた生体試料のラマンイメージ ングを可能にするために、 ラマン散乱顕微鏡の高速撮像化 がいくつか試みられてきた. 2008年に Hamada らは, 試 料を照明するレーザー光の形状をライン状に整形すること で、高速なラマンイメージングを実現した^{15,16)}. ライン上 各点からのラマン散乱光は、同時に分光器の入射スリット に結像され、その後二次元 CCD カメラで検出される. イ メージングはライン状の照明をラインと垂直方向にスキャ ンして行う. 試料の複数点(数百点)からのラマン散乱光 を同時に取得できるため、従来のラマン散乱顕微鏡(ポイ ント状に集光したレーザー光を2方向にスキャン)に比 べ,数百倍高速なイメージングが可能となる.分光器の入 射スリットは、焦点面外からのラマン散乱光が検出器に入 るのを防ぎ、このためこのラマン散乱顕微鏡(スリット共 焦点ラマン顕微鏡という)は三次元分解能を有する. 実際 に、スリット共焦点ラマン顕微鏡を用いて生きた HeLa 細 胞をイメージングした結果を図3に示す.露光時間は、1 ライン (ピクセル) あたり約4秒で, 295×207 ピクセル (207 ライン)のイメージを約20分間で取得した.各イ メージは、750 cm⁻¹、1、686 cm⁻¹、2、587 cm⁻¹ のラマンピー クで空間強度分布を構築したものである. 750 cm⁻¹ のピー クは、チトクロム c が持つピロール環に帰属される、そ のため図 3A は、チトクロム c の分布を示す、また、健康 な細胞では、チトクロムcはミトコンドリアに局在する ため、このイメージはミトコンドリアに似た分布を示して いる. 1,686 cm⁻¹はタンパク質 B シート構造に含まれるア ミドI結合の振動モードに帰属され、図3Bは、タンパク 質の分布を示す.2,587 cm⁻¹は CH₂ 振動の対称伸縮振動 に帰属される.脂質が CH2 振動を高濃度で含むため、図3 Cは, 脂質の分布を示し, 脂肪滴や細胞内小器官の脂質膜 がコントラスト高く観察される. 多焦点化によるラマン散 乱顕微鏡の高速撮像技術は、2010年に Okuno らによって も報告されている.彼らは、複数のポイント状のレーザー



図2 ラマン散乱顕微鏡で取得されるデータ 空間2方向と波数の3次元情報を含む. ラマンピークの空間強度分布を構築す ることで,そのピークに関わる分子(に含まれる分子振動)のイメージが得ら れる.



図3 スリット走査ラマン散乱顕微鏡を用いて得た生きた HeLa 細胞のラマンイメージ 撮像時間は約16分. 画像ピクは 295×207 ピクセル. 励起波長は 532 nm.

フォーカスを試料上へ二次元的に形成し(縦8点×横8点 =計64点),ステージを試料面内2方向にスキャンするこ とで,イメージングした¹⁷⁾.その結果,酵母細胞のイメー ジを1枚あたり約20秒で撮像している.マルチフォーカ スはマイクロレンズアレイを用いて形成し,マイクロレン ズと同じ数のピンホールアレイにラマン散乱光を集光する ことで共焦点性を得ている.ほかにも,最近ではOshima らが,シート状の照明光を用いて,メダカが持つ虹色細胞 内のグアニンのラマンイメージングを約10秒で実現して いる¹⁸⁾.

細胞内分子が示す生命現象に伴うダイナミクスの 観察

これまで述べたように、焦点の多点化により、数十秒~ 数分程度でのラマンイメージングが可能となり、生きた細 胞内分子の分布の観察が実用的なレベルで可能になってき た.そのため、ラマンイメージングによる生命現象のダイ ナミクスの観察も報告され始めている.本稿では、ライン 状照明を用いたラマン散乱顕微鏡によるアプリケーション 例を紹介する.

図4は、細胞分裂中のHeLa細胞を5分ごとに経時ラマンイメージングした(イメージング時間:約3分)例である¹⁵⁾. 分裂に合わせて、細胞内のチトクロム*c*, タンパク



図4 分裂過程の HeLa 細胞の経時ラマンイメージング 5分ごとにイメージングした(撮像時間は約3分).画像ピクセル数は161×48 ピクセル.



(A, B) アポトーシスを誘導した HeLa 細胞の明視野像とチトクロム c (750 cm⁻¹) の分布. 観察開始後 30 分でチトクロム c がミトコンドリアから細胞質へ放出した. (C) 各ラマンイメージの細胞質から得たラマンスペクトル. 撮像時間は約 2 分で5 分ごとにイメージング. 画像ピクセル数は 360×20 ピクセル.

質, 脂質の分布も変化する様子がみられる.

図5は、抗がん剤(アクチノマイシンD)でアポトーシ スを誘導した細胞の観察結果である.図の左側には投与 後,数時間経過した HeLa 細胞の明視野像を示している¹⁹. この細胞の一部を5分ごと(イメージング時間:2分間) に経時ラマンイメージングし、チトクロムcとタンパク 質のイメージを構築した. 観察開始0分後では、チトクロ ム c はミトコンドリアと同様の分布を示し、タンパク質 は細胞全体に分布している. 観察開始後25分まではそれ ぞれの分布に大きな変化はなかったが、30分経過すると チトクロム c の分布がタンパク質と似た分布に変化した. これは、アポトーシスの研究でよく知られているチトクロ ム c がミトコンドリアから細胞質へ漏れ出る現象に一致 する. チトクロム c のアポトーシスにおけるダイナミク スは、蛍光タンパク質を用いても観察されているが、蛍光 タンパク質はチトクロム c より約2倍大きく, 重いためチ トクロム c のダイナミクスへの影響が無視できない²⁰⁾. 一 方で、ラマン散乱顕微鏡を用いた観察では、分子振動を直 接検出するため、標識による影響を受けていないと考えら れる.

ラマンスペクトルラマンスペクトルを利用した生体 分子の分析

前述したように、ラマンスペクトルの形状は、分子種の みならず、分子の状態や構造、周辺の環境も反映する.こ こでは、酸化型と還元型二つの状態を持つチトクロム*c* を例にあげる²¹⁾. 図 6A は、各状態のチトクロム *c* の純物 質をラマン測定した結果である.これらを比較すると、酸 化型と還元型でスペクトルの形状が異なり、また還元型の 方が強いラマン散乱強度を示すことがわかる.図 6B~E は、このような違いが細胞内でも識別できるか調べた結果 である.健康な細胞の場合は、チトクロム c の多くは還 元型で存在するため, チトクロム c のコントラストおよ びラマンピークが強く現れる. この細胞を固定するとチト クロム c に由来するイメージコントラストとラマンピー クは減少し、さらに過酸化水素水を加えるとどちらも細胞 から検出されなくなった¹⁹⁾.これは、過酸化水素水によっ て細胞内のチトクロム c が酸化されたためと考えられる. また、この情報を元に前述のアポトーシス細胞のラマンス ペクトル(図5C)を解析すると、チトクロム c がミトコ ンドリアから放出される前後でチトクロムc由来のピー ク強度がほとんど変化していない. つまりチトクロム c は酸化還元状態を保っていると推測できる. このような解 析は、高速なラマン散乱顕微鏡を用いて、アポトーシス細 胞内のチトクロム c の分布とスペクトルの両方を取得し たからこそ初めて可能となった. チトクロム c の酸化還 元状態は、ATP 合成に関与する電子伝達系にも関わるた め、ラマン散乱顕微鏡を用いて、ミトコンドリアの代謝を 測定するなどの応用も期待できる. ほかにも, Kakita ら が、細胞内のチトクロム c とチトクロム b の酸化還元状 態を定量的に解析した結果を報告している²²⁾.

5. ラマンタグイメージング

これまで示したように、生体におけるラマン散乱顕微鏡 の利用が実用的になってきたが、コントラスト高くイメー ジングできる分子の種類は決して多くない. 脂質やタンパ ク質のように細胞内に高濃度で存在する物質からは強いラ マン散乱が得られるため、これらの分布を観察することが できる. 濃度がそれほど高くなくても、チトクロム c の ように共鳴ラマン散乱を示す分子なら、細胞内での分布を



図6 細胞内外におけるチトクロム c の酸化還元状態の観察 (A)酸化型および還元型のチトクロム c が示すラマンスペクトル. (B, C) 生きた HeLa 細胞の明視野像とチトクロム c (750 cm⁻¹)の分布. (C) (A, B) の細胞を固定し, H₂O₂処理した後,得た 750 cm⁻¹のラマンイメージ. (E)各 ラマンイメージの細胞質から得たラマンスペクトル. 図中の矢印はチトクロ ム c のピーク位置を示す.

うまく検出できる場合もある.しかしながら,共鳴ラマン 散乱を効果的に利用できない分子の観察にはどうしても標 識が必要となる.ただ,標識による分子のダイナミクスへ の影響を考えると,可能な限り標識を最小限にすることが 望ましい.これを実現する方法として,Yamakoshiらが, アルキンを標識として(アルキンタグ),利用したラマン イメージング法を提案した²³⁾.アルキンタグは二つの炭素 原子と一つの水素原子の3原子で構成され,分子量がわず か25しかない.一般的に利用される蛍光色素の中で最も 小さなクマリン系のAMCO(分子量:233)と比較しても 約10倍軽い.アルキンタグは,二つの炭素原子をつなぐ 三重結合に由来するラマンピークを2,123 cm⁻¹付近に持 つ.このピークは,生体分子に由来するラマンピークと重 畳しない.このため,アルキンタグのラマン散乱は,生体 分子によるラマン散乱に邪魔されることなく選択的に観察 できる.

実際にアルキンタグを用いたイメージングを, EdU (5ethynyl-2'-deoxyuridine)をモデル化合物として行った結果 を図7に示す. この構造は DNA の構成成分である dT (2'deoyxythymidine) に似ているため, DNA 合成時に dT と 誤って DNA に取り込まれ,最終的に核へ蓄積する²⁰. 図 7A は,それぞれ EdU の水溶液,EdU を投与して 6時間経 過した HeLa 細胞の核からのラマンスペクトルである. EdU を取り込んだ細胞の核からは,アルキンタグ由来の ピークが 2,123 cm⁻¹ に観察されている.図7B は,EdU を 投与していない細胞,EdU を投与した細胞をラマンイ メージングした結果である.それぞれ EdU (2,123 cm⁻¹), チトクロム c (750 cm⁻¹)の空間分布を示している.EdU



図7 EdUを取り込んだ細胞のラマンイメージング (A) EdU とともに6時間培養した HeLa 細胞の核から得たラマンスペクトル.(B) EdUを投与していない HeLa 細胞, EdU とともに培養した HeLa 細胞のラマンイメージ. それぞれ EdU とチトクロム c の分布を示す.

を投与しなかった細胞では、EdUの分布が現れないが、3 時間 EdU とともに培養した細胞では、細胞核において EdUが検出された.培養開始後9時間が経過するとEdU を核に取り込んだ細胞の数が増え、さらに12、14時間と 培養時間が長くなると、EdU を核に持つ細胞の数とその 濃度が増加した. 培養の開始から21時間後ではすべての 細胞の核に EdU が集積した.この EdU の取り込み時間 は、HeLa細胞の倍加時間である 20 時間とほぼ一致する. この結果により、dU はアルキンタグに阻害されることな くその機能を発現し、細胞による dUの取り込み時間にほ とんど影響を与えなかったと推察できる. 同様の手法は, ニトリル、アジド、重水素等を用いても可能であるが、ア ルキンが比較的強いラマン散乱を生じることが報告されて いる²⁵⁾. また、アルキンタグのターゲット分子への結合部 位やアルキンタグの数により、アルキンのラマンシフトや 強度も制御でき、複数の小分子を同時にイメージングする ことも可能である²⁵⁾.最近では、ニトリルをタグとし、細

胞内で, プロトン化した FCCP (carbonyl cyanide-*p*-trifluoromethoxyphenylhydrazone) と脱プロトン化した FCCP を識 別した報告もされている²⁶⁾. このような微小なタグを使っ たラマンイメージング法は, これまで巨大な蛍光標識の利 用が難しかった DNA 分子や薬剤など低分子化合物の観察 にも利用することが期待できる. ただし, ラマン散乱光が 微弱であるため, 現在では, 数十から数百 μM 程度の濃度 の分子が必要であり, ラマンタグ検出の高感度化が今後の 課題である.

6. おわりに

本稿では、ラマン散乱顕微鏡による細胞のイメージング について概説した. 高速イメージングが可能なラマン散乱 顕微鏡の登場によって、生きた細胞のイメージングが可能 になり、細胞内分子のダイナミクスを捉えた報告例も徐々 に増えてきた. チトクロム c の例のように、ラマンスペ

クトルを解析すれば、細胞内で生体分子の状態も把握でき る、共鳴効果やアルキンタグの利用により、観察できる分 子種が増え、ラマン散乱顕微鏡の活躍の場が広がると期待 できる.ただし、蛍光顕微鏡法などと比べると、ラマン散 乱顕微鏡の時間分解能はまだまだ低く、また、試料が励起 光によってダメージを受けることもある. これらの課題を 解決すべく、ラマン散乱を高感度に検出する手法の研究も 進められている。たとえば、コヒーレントラマン散乱や誘 導ラマン散乱といった非線形ラマン効果を利用した手法で は、ビデオレートで細胞内の脂質やタンパク質がイメージ ングされており、また組織レベルでの観察も盛んに行われ ている27.28). ほかにも表面増強ラマン散乱を利用して、細 胞内輸送に関わる生体分子を観察した例や、細胞内の pH, 酸化還元電位を計測した報告もされている29~31). このよう に、ラマン散乱の利用によって分子振動という新たな視点 から生体を見つめ、解析することで、生体に関するより深 い洞察を得、将来的に分子生物学や、医学、薬学といった 分野に貢献できることを期待している.

謝辞

本稿で紹介した研究の一部は、大阪大学大学院工学研究 科河田研究室、理化学研究所袖岡有機合成化学研究室、大 阪大学免疫学フロンティア研究センターとの共同でなされ た.特に河田聡教授閬閬孝介研究員、Nicholas I. Smith 准 教授に心から感謝致します.また、山越博幸博士、Almar F. Palonpon 博士、安藤潤博士には実験に関して大変お世 話になりました.ここに深く御礼申し上げます.

文 献

- 1) 濵口宏夫(1988) ラマン分光法(平川編), 168 pp., 日本 分光学会測定法シリーズ. 学会出版センター, 東京.
- Spiro, T.G. & Strekas, T.C. (1972) Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 69, 2622–2626.
- Puppels, G.J., Grond, M., & Grave. J. (1993) Appl. Spectrosc., 47, 1256–1267.
- Manor, D., Callender, R., & Noy, N. (1993) Eur. J. Bio. Chem., 213, 413–418.
- 5) Lutz, M. (1974) J. Raman Spectrosc., 2, 497-516.
- Toyama, A., Takeuchi, H., & Harada, I. (1991) J. Mol. Struct., 242, 87–98.
- Puppels, G.J., de Mul, F.F., Otto, C., Greve, J., Robert-Nicoud, M., Arndt-Jovin, D.J., & Jovin, T.M. (1990) *Nature*, 347, 301–303.
- 8) Sijtsema, N.M., Wouters, S.D., de Grauw, C.J., Otto, C., &

Greve, J. (1998) Appl. Spectrosc., 52, 348-355.

- van Manen, H.J., Kraan, Y.M., Roos, D., & Otto, C. (2004) J. Phys. Chem. B., 108, 18762–18771.
- 10) Uzunbajakava, N., Lenferink, A., Kraan, Y., Volokhina, E., Vrensen, G., Greve, J., & Otto, C. (2003) *Biophys. J.*, 84, 3968–3981.
- Matthäus, C., Chernenko, T., Newmark, J.A., Warner, C.M., & Diem, M. (2007) *Biophys. J.*, 93, 668–673.
- 12) Krafft, C. (2004) Anal. Bioanal. Chem., 378, 60-62.
- 13) Krafft, C., Kirsch, M., Beleites, C., Schackert, G., & Salzer, R. (2007) Anal. Bioanal. Chem., 389, 1133–1142.
- 14) Naito, Y., Toh-e, A., & Hamaguchi, H. (2005) J. Raman Spectrosc., 36, 837–839.
- Hamada, K., Fujita, K., Smith, N.I., Kobayashi, M., Inouye, Y.,
 & Kawata, S. (2008) J. Biomed. Opt., 13, 044027.
- 16) Fujita, K. & Smith, N.I. (2008) Mol. Cells, 26, 530-535.
- 17) Okuno, M. & Hamaguchi, H.O. (2010) Opt. Lett., 35, 4096– 4098.
- 18) Oshima, Y., Sato, H., Kajiura-Kobayashi, H., Kimura, T., Naruse, K., & Nonaka, S. (2012) Opt. Express, 20, 15, 16915– 16204.
- 19) Okada, M., Smith, N.I., Palonpon, A.F., Endo, H., Kawata, S., Sodeoka, M., & Fujita, K. (2012) *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 109, 28–32.
- 20) Goldstein, J.C., Waterhouse, N.J., Juin, P., Evan, G.I., & Green, D.R. (2000) Nat. Cell Biol., 2, 156–162.
- 21) Adar, F. (1978) J. Phys. Chem., 82, 230-234.
- Kakita, M., Kaliaperumal, V., & Hamaguchi, H.O. (2012) J. Biophotonics, 5, 20–24.
- 23) Yamakoshi, H., Dodo, K., Okada, M., Ando, J., Palonpon, A., Fujita, K., Kawata, S., & Sodeoka, M. (2011) J. Am. Chem. Soc., 133, 6102–6105.
- 24) Jao, C.Y. & Salic, A. (2008) Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 105, 15635–15636.
- 25) Yamakoshi, H., Dodo, K., Palonpon, A.F., Ando, J., Fujita, K., Kawata, S., & Sodeoka, M. (2012) J. Am. Chem. Soc., 134, 20681–20689.
- 26) Yamakoshi, H., Palonpon, A.F., Dodo, K., Ando, J., Kawata, S., Fujita, K., & Sodeoka, M. (2013) *Chem. Commun.*, DOI: 10.1039/C3CC48587K
- 27) Zumbusch, A., Holtom, G.R., & Xie, S. (1999) Phys. Rev. Lett., 82, 4142–4145.
- 28) Freudiger, C.W., Min, W., Saar, B.G., Lu, S., Holtom, G.R., He, C., Tsai, J.C., Kang, J.X., & Xie, X.S. (2008) Science, 322, 1857–1861.
- 29) Ando, J., Fujita, K., Smith, N.I., & Kawata, S. (2011) Nano Lett., 11, 5344–5348.
- 30) Kneipp, J., Kneipp, H., Witting, B., & Kneipp, K. (2007) Nano Lett., 7, 2819–2823.
- 31) Auchinvole, C.A.R., Richardson, P., McGuinnes, C., Mallikarjun, V., Donaldson, K., McNab, H., & Campbell, C.J. (2012) ACS Nano, 6, 888–896

著者寸描

●岡田昌也(おかだ まさや)



日本学術振興会特別研究員 (PD). 工学 博士.

■略歴 1985年和歌山県に生る.2013年 3月年大阪大学大学院工学研究科精密科 学・応用物理学専攻卒業.11年にコンス タンツ大学(ドイツ)へ留学.12年より 日本学術振興会特別研究員.

■研究テーマと抱負 大学の研究では,

ラマン散乱を利用した顕微鏡法の開発お よびアプリケーションに取り組んできました. 2014年4月か らは神戸の医療検査機器メーカーに移り,新たな光計測技術の 開発を目指します.

■趣味 テニス, ランニング, 旅行, ラーメン屋巡り.