

## 三四郎が見た光と色の科学

大阪大学／理化学研究所

河田 聡

小川三四郎は熊本から上京する汽車で、女性の『色』が京、大阪に近づくにつれ次第に白くなると気づく。名古屋で一泊して東京への汽車の中で、広田先生（漱石がモデルであると言われている）と出会い、西洋人が美しいとか富士山がきれいだとか話をする。

東京に着くと、理科大学の野々宮宗八の実験室を訪問し、『光線の圧力』の実験を見る。野々宮の実験室を出た三四郎が、池（いわゆる三四郎池）のそばにしゃがんで故郷を思い出しつつ、ふと目を上げて見たのは落ちかかった夕陽に向かう2人の女性であった。夕陽は丘の向こうから、木立と女性と赤煉瓦の建物を横に『光』を通していった。漱石は書く、『この時、三四郎の受けた感じはただきれいな色彩だということであった』。

文学者は光と色を見つめる。漱石は語る、『青い空の静まり返った上皮に白い薄雲が刷毛先でかき払った跡のように筋かいに長く浮いている』。科学者もまた光と色を見る。野々宮が言う、「あれはみんな雪の粉ですよ。こうやって下から見ると、ちっとも動いていない。しかし、あれで地上に起こる颶風以上の速力で動いているのですよ」。

野々宮は、科学者・寺田寅彦がモデルだったと言われている。寅彦は五高時代の漱石の生徒である。渡辺正隆の『一粒の柿の種』（岩波書店、2008）によれば、漱石は光圧については話を聞いただけで、寅彦の実験室では弾丸の飛行の気波のシュリーレン写真を見たそうだ\*。

昨今、理系博士・ポストドクは、論文数や研究費、流行などといった世俗な雑音の中に生きている。しかし私は、

科学者は文学者であると思う。宇宙の起源も生命の起源も物語である。科学者は世俗な競争や流行に惑わされることなく、科学の『美しさ』を追求する。科学とは物語であり、哲学であり、芸術である。

筆者の祖父と曾祖父は画家であった。そのせいか、理系の世界に入っても科学に芸術を見る。科学技術の理屈や技術よりも、その美しさに心を奪われる。レーザーの深い『色』と自然の『かたち』を映し出す光学顕微鏡に魅了されて、光と画像を研究テーマに選んだ。大学院生の時から光と画像をテーマとしてきたが、今ではそのスペクトルは可視域を超え、その空間は回折限界を超えてしまい、光も色も自分の目では見えなくなった。それでもこのテーマから離れることはない。光と画像の未来への夢はと聞かれれば、もっと高エネルギーへ、もっと高分解能へ、と答えるべきなのだろうけれど、私の答えは『もっと美しく』である。もっと美しい光と画像を見たい。もっともっと美しい光と画像を作りたい。

寺田寅彦が夏目漱石に見せたシュリーレン写真は、さぞかし幻想的な画像であったことであろう。透明な空気を可視化して人を幻惑させる。マッキントッシュのデスクトップイメージにもシュリーレン写真を思わせるものがある。ちなみにシュリーレン撮影法は、フックの法則のロバート・フックが発明（発見）した。フックはさまざまな生物を光学顕微鏡で観察してスケッチし、ミクログラフィアという図鑑にまとめた。物理学者であり天文学者であり、そして生物学者でもある。細胞をセルと名付けたのもフックである。ニュートンと光の波動性と粒子性について争い、『ニュートンに消された男』（中島秀人著、朝日選書、1996）という本まで出ている。

かわた さとし

\* 正確には三四郎のモデルと言われる小宮豊隆が『夏目漱石先生の追憶』（寺田寅彦随筆集、岩波文庫）で語っている、と紹介。ちなみにこの『一粒の柿の種』は、岩波の『科学』に渡辺さんが連載されたエッセー集で、これに限らず彼の著作はお薦めである。

昨年、文部科学省の依頼で『一家に一枚光マップ』を作った時、私は『光マップ』に物語性を求め、レイアウトの美しさにこだわった (O plus E, 2008年11月号の『一枚の写真』にその経緯を記している)。光の起源はもとより、紅葉や青空、太陽の七変化などについても記した。たまたまこの原稿を書きながら、今、私は熱海の温泉で太平洋に日の出を望んでいる。濃いオレンジの点が海面に輝くと、そこから一気に太陽の形が作りあげられる。眩くて目を細めた瞬間、部屋の中まで陽の光が差し込む。「宇宙も生命も『光』が創った。光合成や呼吸を行う真正細菌が原核生物の細胞に取り込まれて、葉緑体やミトコンドリアとして共生したのが生命の起源である」との説を読んだ (『光合成とは何か』, 園池公毅著, 講談社, 2008)。宇宙も生命体も、神秘の美である。

現実に戻って2009年。O plus E 30周年の光と画像の夢。最近、筆者は講演会で表面プラズモンは、遅い光 (スローライト) であると解説する。表面プラズモンの共鳴振動数において、金属表面に走る光 (表面プラズモンポラリトン) はその運動量が無限大となり、速度は零になる。金属の誘電率は共鳴振動数のエネルギーにおいては-1であり、空気 (真空, 誘電率が1) との界面で光は止まる。John Pendry が考案した Superlens (Pendry, Phys. Rev. Lett., 2000) は、この状態にある。

止まる光を見てみたい。私たちは金属針の先端に止まる光を使って、近接場光学顕微鏡を作った (Inouye and Kawata, Opt. Lett., 1994)。これを使って、800nmの波長で15nmの分解能のDNAのラマン像を見ることに成功した (Ichimura, et al., Phys. Rev. Lett., 2004)。回折限界を50倍以上超えたのである。表面プラズモンの科学は、今ではプラズモニクスと呼ばれる\*。

Superlens は光の速度が零であってもスポットは金属表面で広がる。プラズモンは、自由電子の集団的な振動であるからである。金属針も無限に細くすると、自由

電子が集団する空間がなくなる。プラズモニクスにも分解能の限界が存在する。これを超えるために、私たちは金属探針の最先端の金属原子による分子構造の歪みをラマンスペクトルの変化として検出するラマン顕微鏡を発表し (Yano, et al. Nano Lett., 2006), 最近、ついに4nmの分解能を得た (投稿中)。探針の最先端の金属原子が試料の分子と化学吸着して、錯体を形成する様子をラマンスペクトルで観察すれば、さらに感度が高く単一分子レベルでの光学顕微鏡も不可能でない (Ichimura, et al., J. Phys. Chem., 2007)。分子分解能の光学顕微鏡画像は、シュリーレン写真のように芸術的かつ幻想的な世界だろうか。その夢のすぐ近くにいるのか、まだまだ遠い先なのか分からない\*\*。

急峻なプラズモン共鳴線近傍の異常分散は、物質の誘電率 (屈折率) を零や負にする。零屈折率は瞬時に情報を遠方に伝え、負屈折率は光を逆方向に走らせる。異常分散はプラズモン共鳴に限らない。ナノの共振器アレイからなるメタ材料は、原理の提案や確認から実際の材料作製へと進展している。透磁率すら光学領域で制御することが可能となりつつある。高透磁率、かつ高誘電率の異方性メタ材料を設計すれば、偏波依存もなく光を反射しない表面を持つ物質ができる (Tanaka, et al., Phys. Rev. B, 2006)。メタ材料で周囲を覆うことによって、敵から姿の見えないステルス戦闘機ができ得るので、海外で大きな期待が持たれている。醜さを隠して透明になることを美しいと感じるかどうか、感性は異なる。プラズモニクスの効果を期待するならば、可視域でメタ材料を作製したい。そのために私たちは3次元の金属ナノネットワークを2光子光還元で作製しているが (Tanaka and kawata, IEEE. Trans Magn., 2007), 2光子光重合 (Kawata, et al., Nature, 2001) や2光子光異性化 (Kawata and Kawata, Chem. Rev., 2000) と異なり金属は結晶成長するの

\* プラズモニクスの歴史は古く、100年以上前にさかのぼる。グスタフ・ミーが散乱の理論を発表したのは、今からちょうど100年前の1908年。その4年前にマクスウェル・ガーネットが、ガラス中の金属微粒子のスペクトルについての理論を発表している。イエス・キリストの半生が描かれるステンドグラスの中で、金微粒子は時代を越えて永久に褪色することなく鮮やかに輝く。マクスウェル・ガーネットの論文よりさらに2年前の1902年、分光学者のロバート・ウッドは、回折格子で分散される虹色の中に暗線を見つけた。ウッドがよく見ると、回折格子が水で濡れていた。水にグリセリンを溶かしてみると、暗線の位置が虹の中を動く。高次の回折光がエバネッセント場化し、表面プラズモンと結合したのである。その結果、エネルギーの再分配により、1次回折光において特定の波長で強度が失われ暗線となる。ウッドのアノマリーとして知られる現象は、光とプラズモンの結合であった。

\*\* 回折限界を超える顕微鏡をテーマに昨年4月、淡路島で国際会議を開いた。参加者500人の過半数は海外からの参加者であった。Nature Photonics誌はこれをニュースとして取り上げた (Nature Photonics, 2008)。そのオープニングの基調講演をくださった下村脩先生は、その後08年ノーベル賞を受賞された。海洋『生物』学者が『化学』でノーベル賞を受賞し、共焦点レーザー顕微鏡という『物理』が大きな役割を果たしている。学問の壁を越えて受賞したテーマは、青色化学発光するイクオリンと緑色蛍光発光するGFPという2つのタンパク分子が見せる生命体の『色』と『かたち』の美しさであったのかもしれない。下村先生には、淡路での講演において、世界と日本の若者に生物が創る光の世界の美しさとともに、科学者とはどうあるべきかを言葉を使わずに教えていただいた気がした。ノーベル賞受賞は、先生の科学の発見のみならず、先生の科学者としての生き方にも与えられたものだと思う。この場を借りて、誠におめでとうございます。

で、その制御は容易でない。

科学者・野々宮宗八は三四郎に「ジョン・ラスキンを知っていますか」と尋ねる。「この空を写生してみたらおもしろいですね」。漱石が今の時代に生きたなら、野々宮に何を語らせるだろう。回折限界を超えて波長が零の止まる光、無限に伝わる零の屈折率、存在を消して透明にしてしまうマントや光学領域で1ではない透磁率を持つ物質の存在など、野々宮が三四郎に見せたい『光と色』の話題は広がる。『光と色』は永遠の科学物語である。

『光と色』の物語を私たちに語り続けてくださっている霜田光一先生が、昨年、文化功労者を受賞されました。光科学者全員の喜びでもあり、この場を借りて霜田先生にお祝いを申し上げます。

#### 追記：漱石が実際には見ていないはずの、野々宮の光圧の実験についての後日談。

小説家・田村に問われて、野々宮は『雲母か何かで十六武蔵ぐらゐの大きさの薄い円盤を作って、水晶の糸でつるして真空のうちに置いて、この円盤の面へ弧光燈の光を直角にあてると、この円盤が光に押されて動く』と説明をする。水晶の糸？ これって光ファイバーのこと？ たしかに水晶も光ファイバーもSiO<sub>2</sub>だが、アモルファスと結晶の違いがある。明治に水晶の糸ができていた？ 三四郎が聞く、「野々宮さん、水晶の糸がありますか」。いつの間にか野々宮君は、野々宮さんと呼ばれている。それはともかく、「水晶の粉をね、酸水素吹管の炎で溶かしておいて、両方の手で左右へ引っ張ると細い糸ができるのです」。それなら、水晶ではなくガラス。ピペットやファイバーの作り方に似て、ガラス工作。いずれにしても野々宮さんに『水晶の糸』と言われると、光学研究者はうれしくなる。この会話の後、野々宮さん

が『彗星の尾』の説明をする有名なくだりが出てくる。「太陽の方へ引きつけられるべきはずであるのに、出るたびにいつでも反射の方角になびくのは光の圧力で吹き飛ばされるんじゃないかなろうかと思いついた人もあるくらいです」。広田先生（夏目漱石のこと）が言う、「罪がなくて愉快だ」。画家の原口さんが言う、「その思いつきが外れたらなお罪がなくていい」。ここで、科学者野々宮の発言、「光線の圧力は変形の二乗に比例するが、引力の方は半径の三乗に比例するんだから、ものが小さくなればなるほど引力の方が負けて……」。ナノテクの基本が『三四郎』の中で語られている。三四郎は、都会と学問と恋愛の中での青年の葛藤がテーマのように思われているが、サイエンスの切り口から見ると違った『光と色』が見えてくる。

ちなみに、この会話はいわゆる異分野交流会的な人の集まりの中での会話であり、『物理学者は自然派か浪漫派か』というテーマをたわいなく文学者や画家と語り合い、彼らの類似点などに話題がおよび、『我が輩は猫である』にも出てくるガリレオやニュートンの実験の話へと広がる。私は2009年の1月から仲間と一緒に、理系博士が小説家・ジャーナリスト・政治家・起業家・映画監督などの分野に進むための私塾「SORIA 科学者維新塾」を始める（河田聡：「不都合な科学」Laser Focus World Japan, 2008年9月号, <http://sites.google.com/site/nposoria/>）。科学者志望の光学研究者には、まずは『三四郎』から読んでもらうのがいいかもしれない。先に示した渡辺政隆さんの『一粒の柿の種』には、ファラデーの『金曜講話』や、最近のサイエンスカフェの海外での活動が紹介されており、優れた科学者は優れたサイエンス・コミュニケーターであったことが、ダーウィンやガリレオ・ガリレイの論文などを例にしながら紹介してある。お正月にはたくさん小説を読んで、光と色の科学を楽しみましょう。