

天才肌の光と向き合う



研究ノート

小西 毅*

Facing to "genius" light

Key Words : Optical Signal Processing, Ultrafast Optics,
Photonic Analog to Digital Conversion

“光”を研究の題材として扱っていて、“光”は“天才肌”であると感じることが多い。比較することが適当かどうかはわからないが、何でも器用にこなしていく“電子”は“秀才”に例えられるであろうか。天才は、時に秀才にも真似のできない際立った特長を顕すものであるが、こちらの思うように動いてもらえないところが悩ましいところである。そんな“光”を研究の題材に扱う現在の私の研究の位置付けは、五輪の書を参考に古の大工に喩えるならば、所謂“木配り”が難しいが滅多に見つからない“素晴らしい原木”から“材”を挽く“木取り”のように思っている。つまり、素材としての“光”そのものから、その適材適所を見極めて使いやすい形をした“光信号”を切り出すこと。さしもの“光”は、硬く扱いが難しいけれども大黒柱にも重用される“硬木”ということだろうか。

量子光学をもって既にその向き合い方に落ち着きをもたらされた感のある“光”だが、実際に使う立場になるとそう簡単ではない。よく知られている波か粒子かという“光の二重性”を考えただけでも、“光”は、向き合い方によって如何ようにも姿を変える（変えたように見える）。このとても興味深くも扱い難い相手である“光”と向き合うためには、それ相応の“道具立て”がいる。その“道具”としての“光学”において、幾何光学、波動光学、量子

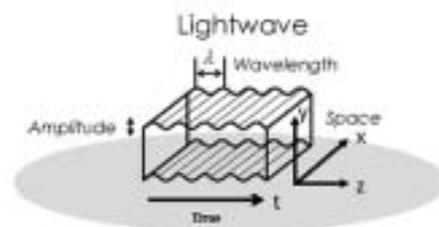


図1 光の物理的イメージ

光学は興味深いことにいずれも現役である。さらに、“光”の適用領域が広がりつつある現状では、様々な接頭語を付した“光学”が今なお生まれ、発展・共存し続けていることにその奥深さを改めて感じる。

図1に“光”の持つ物理的なイメージを表してみよう。このように光の持つ物理的な属性は実に多彩であり、それを活かすには、相当熟練した“棟梁”の腕が求められるわけである。身近なところから考えても、光パルスのパルス幅といった時間的な属性だけを見つめていたりすると、いつの間にかスペクトルの方での占有帯域が膨らんでしまって“不確定性原理”に足元をすくわれてしまう。変えた姿が裏で実はつながっていて、まさにあっち立てればこっち立たずのもぐら叩き状態である。

さて、この一見都合が悪そうに見えるもぐら叩き状態は、見方を変えると意外に都合がよかったりするるのである。あっちが立たないならこっちを立てれば良いのである。前述の光パルスの例を再度引用すると、光パルスのパルス幅が短くなれば時間的な直接制御は難しくなる一方で、スペクトル幅が広がるので、プリズムなどを用いて分光することによりパルスを構成しているスペクトル成分の空間分離が容易となる。その結果、光パルスの時間制御を空間的なスペクトル制御で代用することが可能となるのである。光の時間制御を空間制御に代えるこの操作には、“時空間変換”といういささか仰々しい名前



*Tsuyoshi KONISHI

1968年12月生
大阪大学大学院工学研究科博士後期課程
修了（1995年）
現在、大阪大学大学院工学研究科 准教授
博士（工学） 応用光学
TEL : 06-6879-7931
FAX : 06-6879-4582
E-mail : konishi@mls.eng.osaka-u.ac.jp

がついている。さすがの天才肌の“光”も頭隠して尻隠さずで、注意深く観察すると尻尾を捕まえる糸口がどこかにあるということになる。[1]

研究の実例を紹介する。“原木”がその使われ方によって“木取り”され“材”となるのと同様に、実世界の“物理現象”のどこをどのような形の“信号”として使うかはその後の用途で決まる。例えば、デジタル技術全盛の中、“物理現象”の最も身近な用途を、デジタル信号であると仮定したとき、実世界でアナログ信号である“物理現象”に必要な不可欠な“木取り”の手続きは、アナログ-デジタル変換(A/D変換)と言える。一般的には、超高速の光パルス信号のアナログ的な強度値を、受光することなく一足飛びに時間的なデジタル信号に変換することは非常に難しい。ところが、光パルス自身が物質内で誘起するセルフアクション現象を用いると、光パルスの色が自分自身の強度に応じて変化してくれるのである。強度を直接扱えないのなら、矛先を変えて代わりに色を使えば、後は前述の“時空間変換”と同様に光の超高速性を活かしてデジタル信号生成のための時間制御まで一気に持つていくことができる。この実例においてもしかり“尻尾”が隠れていたようである。図2に光A/D変換で用いる強度を色に変換する実験結果の一例を示す。入力強度の変化が、信号スペクトルの変化に変換されている様子が分かる。現在のところ、このアプローチを用いて、世界のトップレベルとなる6ビット超の光A/D変換を実現するところまできている。

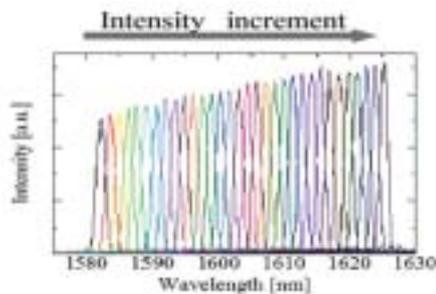


図2 光パルス強度の色への変換実験結果

光A/D変換のアプローチの決め手となっている光パルスの顕すセルフアクション現象の活用には、“木取り”の際に木を丹念に観察することが大事なように、現象を注意深く観察することも重要となる。そこで、我々は光パルスのスペクトルの時間的な変化

を鳥瞰図的な画像として観察する手法を独自に編み出して用いている。[2] 図3に半導体増幅器を透過後に光パルスの受けた変化の観察結果の一例を示す。ここでも、時間的な変化を鳥瞰図的な画像に変換するために“時空間変換”が活用されている。

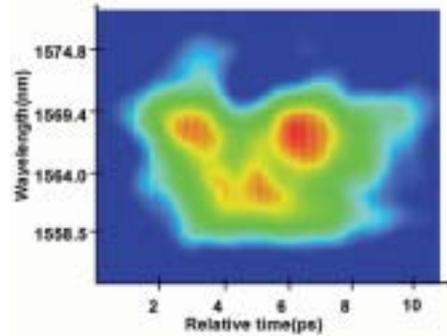


図3 光パルスのスペクトルの時間変化の鳥瞰図的な観察の例

“木取り”を意識して木を丹念に観察するには、熟練さとともに柔軟な物の見方が求められる。しかし、どうしても同じ姿勢でいると物の見方も固まってくる。そんなことを感じている最中、周囲の方々の温かい理解にも恵まれ、昨年度、一年間のフランス滞在の機会を得ることができた。滞在先である Institut d'Optique は、もともとレーザーの Fabry-Pellot 共振器でも有名な Fabry の設立した研究所である。設立当初は、現在もパリ市内にある有名な Institut Pasteur とはごく近所に位置していたが、現在は、パリ郊外の学研都市の中にある。CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) 直属の教育研究機関として、有名なナポレオンの設立した École polytechnique、一昨年 Albert Fert 名誉教授がノーベル物理学賞を取った Université Paris-Sud 11 との密接な協力関係を持ちながら世界的な“光学”の専門教育研究機関の一つとして存在している。先にも述べたが、光学とは幾つもあるいずれの体系も現役であるという特徴を持つ。その変遷におけるほとんど全ての重要な局面でフェルマー、フレネル、ド・ブロイといったフランス人が絡んでいる。図4から図6の写真はそれぞれ、フェルマーの原理がしたためられた書簡の内容を納めた古書、パリの某博物館内に鎮座するフレネルの銅像と巨大なフレネルレンズ、そしてドブロイのパリ市内旧別邸である。今でも彼らの足跡は残っており、それらに身近に触

れることができる。もちろん研究の側面で滞在中に得られた様々な有益な事柄だけでなく、そういう視点での興味からもフランスでの滞在は非常に有意義であった。

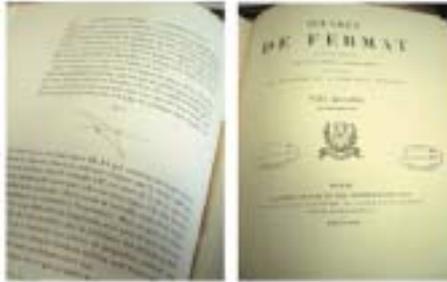


図4 フェルマーの書簡 (1657)



図5 フレネルの銅像とレンズ



図6 ド・ブロイのバリの旧別邸

レンズ磨きから最先端のフォトニクスまで多岐にわたる“光学”の教育・研究が実践されているそこは、まさに“光の棟梁”を養成するに相応しい環境であった。図7はフランスでの実験の一コマである。フランスでの交流の成果の一つとして大学間交流協定を締結して帰国した今年度、早速先方から若い客員研究員を迎えて共同研究を実践した。そこでも彼女の適応・順応の早さに驚き、古きものも大切にしながら最先端を望む姿勢に、何か本質的なものが脈々と受け継がれている印象を受け、深く感銘した。



図7 実験風景

そもそも欧州全般に古い新しいという意識が希薄なのか、それとも数世紀という時間の流れを長いと感じさせない環境があるのだろうか。農業国であるフランスならではのかもしれないが、長い年月を要する教育・研究というものに対する焼畑農業的ではない一つの成熟した形を見ることができると感じた。実際、そんな環境に囲まれての滞在中に、“光学の原理”という本を10年ぶりに何気なく紐解いてみて、見過ごしていた記述をそこに見出したときには少し考えさせられるものがあった。

現代の科学・技術の中における“光”の存在感はますます大きくなりつつあり、例えば、ここ十年のノーベル賞において、物理学賞と化学賞のいずれにも光というキーワードが付された研究テーマが多く見られるようになってきている。その適用領域もほぼ全ての分野に広がってきているといっても過言ではない状況の中で、“光”を題材に扱う自分の専門分野を既成の分野に当てはめてしまうことに窮屈さを感じることも少なくない。そもそも、“出”が応用物理であることから“根”がそうなのだともいえないものだが、それでも専門分野を聞かれた時には Optical Signal Processing と答えるようにして

いる。光の使われ方、担う役割、そして、そこで何が起きているのかを考えると、対象が人間であるか物質であるかにこだわらなければ、基本的にはある種の信号 (Signal) を “ 送り手 ” と “ 受け手 ” の間でやりとりしているといえるのではないだろうか。例えば、光と物質の相互作用を使った計測では、観測者からの光信号を物質が受け取り、その応答として物質から発せられる光信号を観測者が受け取っている。また、その光信号を乗せる “ 材 ” の切り出しに興味尽きない感もあるが、その中に自分自身がどのように工学的に関わって切り込んでいくかという立場を Processing という言葉に託して、目指す研究テーマを表す最も相応しい言葉として、Opti

cal Signal Processing を標榜している。その展開の広がりには構想を膨らませながら、フランスでもらったエスプリも少し加えて、“ 指図 ” でも描き始めようと思っている。

文献：

- [1] Tsuyoshi Konishi, *Lasers, Optics and Electro-Optics Research Trends, Chapter 1 - Optical Signal Processing assisted by Optical Data Form Conversion* (Nova Science Pub Inc; 2007) 1-22
- [2] 極短光パルスの波形計測方法，特許番号 3018173 (1998).

