



光のゆらぎに思いを馳せて

株式会社エビデント 開発部門 光学開発 先進技術担当

阿部勝行 ABE, Katsuyuki

(当協会「レンズ設計法」, 「図解による顕微鏡入門」講座 講師)

この度、「焦点」へ寄稿することになった。筆者は顕微鏡を中心とした技術開発及び商品開発を推進してきた一介の企業エンジニアであるため、これまで寄稿された皆様の知識の深さや視野の広さには到底及ばないが、意を決して、三十有余年の経験から思うところを述べたい。

結論から申し上げますと、顕微鏡の視点から「光技術」に関わることが出来たことは本当に幸運であったと感じている。なぜならば、顕微鏡は光のあらゆる要素（強度・位相・偏光・時間等）を駆使して試料の情報を低侵襲で取り出すことが出来る最先端の機器であることに加え、日本にとって重要である高度なモノづくりの要素も兼ね備えており、技術的に非常に密度が濃く、多彩な経験が可能となる分野だからである。一方、ビジネスの視点に立つと、顕微鏡は高性能・高精度なハードウェアに留まらず、検査や研究のワークフローにおける重要な構成要素であるため、全体を俯瞰したうえで顧客に提供する価値の最大化をリードできる分野でもあり、この観点でも多様な経験ができる分野であると考えている。余談ではあるが、その昔、経営層の人から、顕微鏡という言葉を使うと無意識に思考の範囲が狭まるのでないか、と言われたことが思い出される。このように様々な観点で懐の深い顕微鏡（本稿はこの言い方で通すこととする）であるが、筆者自身は技術者の端くれであるため、以下では今後の技術展開について話を進める。

上にも書いたように、顕微鏡は光のあらゆる要素を既に活用しているが、今後の方向のひとつとして、単純ではあるがそれらを磨いていくことと考える。回折限界を超えた超解像顕微鏡などはその最たる例であり、高度な光学理論に基づいて照明側の変調と結像側での復調により超解像を実現しているものや¹⁾、試料の特性も含めた変調・復調によって具現化しているものがある²⁾。さらには、定量位相イメージングによる生体の無染色観察、非線形効果やメタマテリアルを利用したイメージングなども挙げられる。なお、レンズそのものは数百年経ってもその形を変えていないが、今風な言い方にすれば超高速の並列アナログ光コンピューティング装置であり、そのコストパフォーマンスには驚かされるばかりである。

次にこれに続く方向性として、いわゆるコンピューショナルイメージングとAIとの融合が挙げられる。これまで、理論としては確立されていたものの、実際の計算が困難だったため、近似を用いて解析的に落とし込んできたケースが多いと理解しているが、計算速度の加速度的な向上によってその壁が取り払われてきていると認識している。既に知られている例としては、レンズレスイメージング、波面コード化、フーリエタイコグラフィなどが挙げられる。なお、筆者は内閣府のムーンショット型研究開発制度³⁾に参加しているが、そのプロジェクトでは光の普遍的な課題である「散乱」の克服にチャレンジしている。

ここで、マーケティングでは有名な「ドリルの穴」理論というものがあるが、これに倣うと、所望の検査や研究結果を得ることが目的であり、今後、その手段として必ずしも高精細な画像が必須になるとは限らない、とも考えている。例えば適切かどうかは自信が無いが、渡り鳥は地形を見ているのではなく地磁気を感じて目的地まで飛んでいるとのことであり、コウモリは暗闇でも超音波を用いて

自由に行動している。検査や研究に資する情報を試料から効率的に得ることがより本質であり、これまでの高精度・高性能な画像機器を用いなくても実現できる可能性はあると考える。上に挙げた事例はまだその域には達していないものの、今後、コンピューショナルイメージングと AI の融合によりそれらが推進されるものと期待している。

さて、ではその次はどうなるのであろうか。これまで述べたことは、幾何光学や波動光学を含めた「波」の性質を余すところなく使い切るということであり、さらにその先となると、物理学の流れから「量子」の出番になると想像している。この領域になると筆者如きが語ることは出来ないが、量子もつれを利用したイメージング、センシングの記事を目にするのも最近増えてきており、心躍るものがある。その一方で、コンピューショナルイメージングや量子関連は海外勢のほうが優勢のようにも感じており、こちらは憂慮するところである。

話は変わるが、顕微鏡分野に関わるようになって少し時間が経過した時、ある生命科学系の学会で生命の本質は「ゆらぎ」にあると聞いたことがある⁴⁾。実はその時に受けた感銘により、この分野に関わり続けたと言っても過言ではない。専門家ではないので多少の齟齬はご容赦いただきたいが、昨今、コンピューターの計算速度は非常に早くなったものの、正確に計算するために膨大なエネルギーを必要とする一方、その副産物として大量の熱が放出されており、お世辞にも効率が良いものとは言えない。それに対して人間は三日三晩くらいであれば飲まず食わずで活動することができる。具体的には脳の活動は1ワット程度、細胞となると数ピコワット程度しか消費しないとのことである。さらに、筋肉の動きを担う分子に至っては自由エネルギー程度で動いており、ブラン運動による「ゆらぎ」を利用し、時に間違いを起こしながらも、集団として自律的に動くとのことであった。生物は正確さを犠牲にする代わりに、超省エネで柔軟に働くメカニズムを進化の過程で獲得したのであろう。この両者を単純比較することは困難であると承知しつつも、昨今は計画性やその確実性が求められることも多く、時には窮屈さを感じることもあるが、生命の本質は「ゆらぎ」であり、私の好きな言葉に言い換えれば「いい加減」であることを心に刻み、この本質のもとで今後の人生を過ごしていければと思う今日この頃である。

このようなことに思い至った背景として、近年における AI の驚異的な発展がある。これまで私はジュール・ヴェルヌの名言「人間が想像できることは人間が必ず実現できる」を想起し、AI の発展によって将来的な人間の存在価値に疑問を感じることも多かった。しかしながら、ふと、生命の本質を思い出して余韻に浸っていたところに加え、2026 冬季オリンピックにて人知を超えた感動的なパフォーマンスを目撃し、人間の素晴らしさを改めて実感した次第である。

最後に、話が二転三転して「焦点」が定まらない内容になったが、「焦点外れ」にも多くの情報が含まれていることは光技術に関わっておられる方であればご承知のことと思う。本稿もそのように少しでもお役に立てば幸いである。

参考文献

- 1) Hayashi, S. & Okada, Y. Ultrafast superresolution fluorescence imaging with spinning disk confocal microscope optics. *Mol. Biol. Cell* 26, 1743–1751 (2015).
- 2) Hell, S. W. & Wichmann, J. Breaking the diffraction resolution limit by stimulated emission: stimulated emission depletion microscopy. *Opt. Lett.* 19, 780–782 (1994)
- 3) ムーンショット型研究開発事業 目標 2 ウイルス-人体相互作用ネットワークの理解と制御 <https://ms-virus.biken.osaka-u.ac.jp/introduction>
- 4) 柳田敏雄 著 物理の世界 物理と情報 7 生物分子モーター—ゆらぎと生体機能 岩波書店(2002)