焦　点

点と空の記憶

研究工房 TenQu　代表
小野修司　ONO, Shuji

2025 年 12 月，私は 40 年余り勤めた富士フイルムを 65 歳で退職し，翌年 4 月，個人の研究活動を続けるために「研究工房 TenQu」を立ち上げた。

TenQu は「てんくう」と読む。「点」は点像分布関数，「空」は空間周波数から取った。点像分布関数は，光学系が一つの点をどのような広がりをもつ像として結ぶかを表す。これをフーリエ変換すると光学伝達関数が得られ，光学系がさまざまな空間周波数の明暗をどのように伝えるかが分かる。一つの像を実空間の「点」から見るか，周波数空間の「波」から見るか。両者は，同じ結像現象の二つの顔である。

退職後の屋号を考える際，私は自然とこの二つの言葉を選んだ。その選択の背景にある記憶の糸をたどると，大学で出会ったフーリエ光学に行き着く。さらに遡れば，一冊の本を夢中で眺めていた中学三年生の自分がいた。

１．薄暗い本棚の前で

少年時代の私は，いわゆる理系バカであった。天体やカメラに興味があり，図書室でも文学や歴史の本にはほとんど目を向けず，当時の日本十進分類法でいう 400 番台，500 番台の棚ばかりを見ていた。

天体写真を撮りたかったが，高価な望遠鏡やカメラを買うお金はなかった。通信販売でレンズを取り寄せ，望遠鏡を手作りしたが，期待したほどきれいには見えなかった。レンズを組み合わせれば遠くの星が鮮明に見えると単純に思っていたのに，像はぼけ，色がにじみ，思い描いた世界とは違っていた。

中学三年生のある日，学校の図書室で，ピンぼけ写真を計算によって復元する技術があることを知った。南校舎三階の北東端にあった図書室，その右奥の薄暗い本棚だった。おそらく帯出禁止だった分厚い本 [1]に載っていた，ピンぼけ写真の復元例 [2,3]に，私は惹きつけられた。

一度ぼけたものは，もう元には戻らない―それが当時の私の常識であった。ところが，光学像には何らかの規則があり，その規則を知れば，失われたように見える像を取り戻せるらしい。とても驚いた。

原理はほとんど理解できなかった。もちろん，点像分布関数という言葉も，空間周波数という言葉も知らなかった。しかし今から振り返れば，TenQu の「点」と「空」の原点は，あの薄暗い本棚の前にあったのだと思う。

２．フーリエ光学との出会い

大学進学にあたっては，光学と画像処理に近い研究ができそうな学科を探し，大阪大学工学部応用物理学科を選んだ。そして幸運にも，志望にぴったりだった鈴木達朗先生の研究室に入ることができ

た。卒業研究の指導は，当時助教授であった一岡芳樹先生に直接いただいた。鈴木先生は私が四年生を終える年に退官され，大学院からは一岡先生のもとで研究を続けることになった。

研究室で最初に本格的に学んだ専門書が『フーリエ光学』[4]であった。

そこには，幾何光学とは異なる世界が広がっていた。レンズは単に光線を曲げて像をつくるものではない。光は波であり，回折し，干渉する。経験的に「ぼける」「にじむ」と感じていた現象が，点像分布関数や光学伝達関数によって精緻に記述できることを知った。

中学校の図書室で見た，あのボケ復元の写真も，この世界につながっていた。像のぼけ方が分かれば，その逆の処理によって像を復元できる場合がある。少年時代には魔法のように思えたことが，数学と物理によって説明できるのである。

ただし，教科書の数式を追いかけただけでは，まだ実感には至らなかった。光の現象が本当に計算できるのだと身体で理解したのは，大学四年生の卒業研究であった。

３．緑色の画面とフレネル回折

私が大学四年生であった 1982 年から 83 年頃は，大型計算機からパーソナルコンピュータへの移行が始まった時期であった。

授業では FORTRAN を学び，プログラムをパンチカードに穿孔して計算機センターへ持ち込んだ。一文字でも入力を誤れば計算は止まり，カードを修正して再び実行を依頼しなければならない。大型計算機は高速であったが，手元で自由に試行錯誤できるものではなかった。

一方，研究室には，当時としては最新鋭のパーソナルコンピュータ，シャープの MZ-80B が置かれていた。大型計算機に比べれば遅かったが，好きなときに使い，間違えればその場でプログラムを直し，何度でも試すことができた。この自由は画期的であった。

卒業研究では，フレネル回折現象をフィルムに撮影する光学実験と並行して，ロンバーグ積分による数値計算を BASIC で実装し，実験結果と計算結果を突き合わせた。これは，私がプログラミングを実際の研究の道具として用いた最初の経験であった。

MZ-80B のメモリは小さく，計算に必要な数表をすべて保持することはできなかった。そこで，積分結果の数値をフロッピーディスク上のランダムアクセスデータファイルに数表として記録し，必要な部分をその都度読み出すようにした。現在なら意識する必要もないデータの置き場所まで考えなければ，計算を進められなかったのである。

鈴木先生からは，「パソコンの誤差，特に桁落ちについては慎重に検討しなさい」と指導を受けた。当時のパソコンの演算精度では，振動する被積分関数を加算していく過程で有効数字が失われかねない。計算機が出した数値をそのまま信じてはいけない―この教えは，その後も長く私の中に残った。

計算結果の正しさは，フレネル積分から得られるコルニュのスパイラルを XY プロッタに描かせて確認した。理論で知られた特徴的な曲線が紙の上に現れたとき，数式とプログラムと光学現象が，自分の中で初めて一つにつながった。そのプロッタ出力は，四十年以上を経た今も手元に残っている。

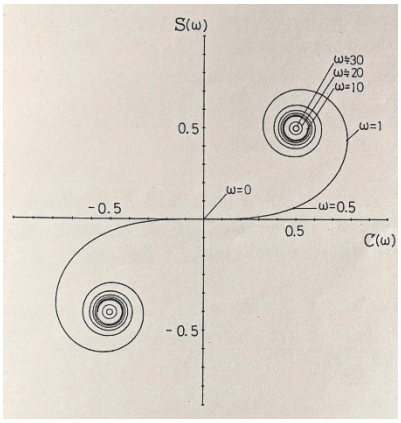

図 1　コルニュのスパイラル（卒業研究「並列光演算法における回折の影響について」より：小野, 1983 年）

計算には長い時間がかかった。計算プログラムを走らせておく一方で，光学系を調整して回折像を撮影し，暗室でフィルムを現像した。暗室から実験室へ戻る頃には，ほかの学生はみな帰り，建物の中が暗く静まり返っていることも何度もあった。誰もいない実験室では，MZ-80B の緑色の画面だけが光り，フロッピーディスクドライブが時折，コト，コトと音を立てていた。計算が無事に続いていることを確かめて帰宅し，翌朝，期待と不安を抱きながら結果を見る。

光学実験と光学計算を両輪として回すこと，そして計算自体を一つの実験として構成すること。その感覚が，今も自分の中に残っている。

４．光と画像の間で

1985 年に大阪大学大学院工学研究科応用物理学専攻の修士課程を修了し，富士写真フイルム，現在の富士フイルムに入社した。就職先を選んだ理由の一つは，光学と画像技術の両方に関われそうだと思ったことである。入社後はレーザスキャナーの開発を経験し，その後は R&D 部門で，光と画像処理にまたがるイメージング技術の研究に長く従事した。

扱ったテーマは，単眼ステレオ，EDOF（焦点深度拡張），ライトフィールドによる 2in1 カメラ，偏光マルチスペクトル撮像など，時代とともに変化した。しかし後から振り返ると，これらには共通の構造があった。レンズ瞳を操作して撮像光に情報を符号化し，通常とは異なる特徴的な像をつくり，その像を画像処理によって読み解く。いわば，瞳符号化によるイメージングである。

レンズだけで完全な像をつくるのではなく，画像処理だけで情報を生み出すのでもない。光学系の側で後段の処理に役立つ情報を像の中に仕込み，それを計算によって取り出す。学生時代に学んだ点像分布関数と空間周波数の考え方は，形を変えながら何度も私を助けてくれた。

５．ボケ写真復元との再会

会社で取り組んだ技術の一つに，EDOF [5]がある。手前から奥まで，広い範囲にわたって鮮明な画像を得るために，光学系と画像処理を一体として設計する技術である。

光波の位相を意図的に変化させ，レンズがつくる点像分布を三次元的に制御する。ピント位置が変わっても形状の変化が小さい，特徴的なボケ像を光学系でつくり，その像を画像処理によって復元する。最初から鮮明な像を得ようとするのではなく，後で復元しやすいボケをあらかじめ設計するのである。

この検討では，レンズ設計の専門家と協力した。収差を抑えるのではなく意図した収差を加えて，狙いの点像分布に迫っていく。

振り返れば，これは「点」と「空」に正面から取り組んだ仕事であった。点像分布をどうつくり，その空間周波数成分をどう保ち，計算によって像を取り戻すか。

中学校の薄暗い図書室で，意味も分からず眺めていた「ボケ写真復元」が，長い時間を経て，現実の研究課題として目の前に戻ってきたのである。

６．二度目の自由

現在，私はマルチスペクトルを用いた人検知の研究に取り組んでいる [6-8]。衣服や背景の分光特性を調べ，人の検知に適した波長の組合せを機械学習によって探索している。

計算機の速度は学生時代とは比べものにならないほど向上した。しかし，研究の規模を大きくすれば，それだけ待つ時間も長くなる。波長の組合せを広く探索すると，学習と評価に三日，四日を要することもある。道具が速くなった分，研究者が求める計算も大きくなり，結局はまた「待つ」ことになる。

それでも長時間の計算を落ち着いて待てるのは，MZ-80B の時代から計算を実験の一つに組み込んできたからだろう。光学系を組み立てて光を通すことと，プログラムを組み立てて走らせることは，

私の中ではそれほど違わない。

一方で，プログラムを書く作業は長い間，私にとって大きな壁であった。光学や画像処理の着想を，実際に動くコードに落とし込むのが苦手だった。それが今では，生成 AI と対話しながら進めることで，以前に比べてずっと短い時間で実験的なプログラムを形にできる。生成 AI が新しい原理を生み出してくれるわけではないが，自分の考えを試すまでの距離を，確実に縮めてくれた。

MZ-80B と生成 AI は，時代も性質もまったく異なる道具だ。しかし，私に与えてくれた感覚には共通するものがある。

「これを使えば，自分で好きなだけ試せる」

その感覚が，研究を次の段階へ押し進めてくれる。生成 AI は，私の研究者人生の焦点深度を，もう少し広げてくれたようだ。

7．点と空をめぐって

研究テーマは，四十年の間に何度も変わった。しかし，光がどのように像をつくり，その像にどのような情報を持たせ，そこから何を取り出せるのかという関心は，ほとんど変わっていない。

点をほどけば，空間周波数の世界が現れる。空間周波数成分を重ね合わせれば，再び点像が現れる。私はずっと「点」と「空」の間を行き来しながら，ここまで来た。

南校舎三階の薄暗い本棚の前にいた中学三年生の私は，まさかこの先，企業での四十年の研究生活を経て，退職後もなお同じ問いを抱えて光学系を組み立てる日々が続いているとは想像もしていなかった。

卒業研究でお世話になった鈴木達朗先生は，レンズ設計の大家であった。先生が退官された後，ご自宅でパソコンを使ってレンズ設計の研究を続けておられると，研究室の先輩から聞いた。退官後も研究を続けている―そのことは，当時の私に強い印象を残した。

企業には定年がある。しかし，私の点と空をめぐる探究は，まだ道半ばである。

参考文献

1) （推測ですが）久保田 広，浮田 祐吉，會田 軍太夫（編），『光学技術ハンドブック 増補版』，朝倉書店，1975 年.
2) J. Tsujiuchi, “Correction of Optical Images by Compensation of Aberrations and by Spatial Frequency Filtering,” in Progress in Optics, Vol. 2, E. Wolf, ed., pp. 131–152, North-Holland, 1963.
3) J. L. Harris, Sr., “Image Evaluation and Restoration,” Journal of the Optical Society of America, Vol. 56, No. 5, pp. 569–574, 1966.
4) J. W. Goodman, Introduction to Fourier Optics, McGraw-Hill Book Company, 1968.
5) E. R. Dowski, Jr. and W. T. Cathey, “Extended depth of field through wave-front coding,” Applied Optics, Vol. 34, No. 11, pp. 1859–1866, 1995.
6) S. Ono, “Snapshot multispectral imaging using a pixel-wise polarization color image sensor,” Optics Express, Vol. 28, No. 23, pp. 34536–34573, 2020.
7) S. Ono, “A Color-Based Multispectral Imaging Approach for a Human Detection Camera,” Journal of Imaging, Vol. 11, No. 4, Art. No. 93, 2025.
8) S. Ono, “HitoMi-Cam: A Shape-Agnostic Person Detection Method Using the Spectral Characteristics of Clothing,” Journal of Imaging, Vol. 11, No. 11, Art. No. 399, 2025.