

光学像の復元に関するフランスでの研究の思い出

辻内 順平

(機械試験所)

要 旨

顕微鏡対物レンズの結像性能測定の研究を行い、レンズ干渉計を使って得た測定データを利用して光学系の OTF を算出する方法が最も良い測定法と結論した。さらに、光学系の収差、焦点はずれ、撮影中の振動などによって起る画像の劣化を復元する方法を考察した。最も簡単で良い結果が期待できるコヒーレント光学系による方法を解説し、この処理における被処理画像が起こす光の波面の劣化による不鮮明像の復元方法の研究に着手した。

この研究は留学先のパリの光学研究所でコヒーレント光学処理を用いて行った。そのための復元処理に使う逆フィルターの製作方法を述べ、結果を報告した。この方法は、被処理画像の準備が面倒な欠点があり、それに代わる方法の一つとして、光学系とビデオ系の組み合わせの復元方法を提案し、その結果を報告している。この方法は原理的には問題は無いが、広い画面の像を修正するときには限界があることが明らかになった。

緒 言

筆者は 1951 年 3 月工業技術院機械試験所に入所し、初めの希望通り光学研究室に配属された。最初に与えられた仕事は顕微鏡の対物レンズの性能評価という仕事であった。これは筆者の入所より前に、外国製顕微鏡の性能調査が通産省の事業として行われ、当所の光学研究室がまとめ役となり、国内の顕微鏡業界の技術者を組織して、検査方法を決め実行されたとのことであった。

その結果、顕微鏡の対物レンズの収差測定方法と、分解能の測定方法が宿題として残されていて、その研究が筆者の最初の仕事として与えられた。幾何光学的な対物レンズの球面収差の測定方法は、浮田（敬称略、以下同様）によって試みられ、国産及び外国産の代表的なレンズの球面収差を測定し、カバーガラスの厚さ、鏡筒長、偏心との関係を調べ、また光源の色による変化も考察している¹⁾。しかし、対物レンズが非常に小さく測定方法が面倒であるため、多数の測定には時間と労力が必要という結論になっていた。

顕微鏡の結像特性の研究

これらの欠点を補うために Twynan レンズ干渉計の試作を東京光学機械（株）に発注していたのが、筆者が研修を終えて職場に戻ったころ完成して納入された。この干渉計は従来のレンズ干渉計に加えて、対物レンズの物点・像点を有限距離にするための補助光学系が組み込まれていたが、その後光軸を $\pm 3^\circ$ の範囲で傾けるための偏角プリズムが特設された²⁾。この干渉計での測定は、瞳内における波面収差量の分布³⁾、光軸を傾けた時の収差の変化などであるが、後にこれらの収差量の分布からレンズの Optical Transfer Function (OTF) を数値計算し、その結果が正しいかどうかを検証する結像装置も追加した。

収差量から OTF を計算することが当時有効な方法だとは知られていなかった。もちろん、まだ computer などなく、数値計算も手回し計算機か電動計算機しかなかった時期だったので、手回し計算機と電動計算機を使って計算した。すなわち、顕微鏡を使用する状態での収差分布から OTF を数値計算し、その形状から分解能を求めたが、よく実験と一致した⁴⁾。分解能標本の無い高性能の顕微鏡の分解能を求める方法として合理的な解答⁴⁾と判断できた。

このようにして、顕微鏡の対物レンズの性能試験は一応目的を達したが、設計の制約や製造上の誤差のために残った収差によって劣化した像を別の方法で改良する方法を考え始めた。最も簡単な方法として、レンズの表面に入射光の振幅や位相を変調して像を改良する方法を提案し、多少の実験も行ったが、その効果は思ったほどでは無いことが分かった⁵⁾。

次の方法として、欠陥を伴った顕微鏡で得られた像を後で改善する方法がないかを考えることとした。この方法は顕微鏡という特殊な光学系ではなく、むしろ一般的な光学機械で撮影した像を後で改良する方法を考えることとした。

Institut d'Optique (Paris)への留学

その頃、ParisのInstitut d'OptiqueのA. Maréchalが光の回折を使った極めてエレガントな実験装置で、コントラストの低い像をコントラストの高い像に変換するアイデアを発表したのを、たまたま読んだフランスの学士院報告⁶⁾で知った。これが筆者の求めていた手法に近いとの感を深くし、この方法を試みてみたいと思うようになった。

その頃、「フランス政府の技術留学制度にチャレンジしてみないか」と浮田に勧められたが、筆者は学校では英語とドイツ語を学んだが、フランス語は正式に習ったことがなく、辞書を片手に文献を読むのがやっとであったため、興味はあるがさてどうしたものかと迷い、実情を知るため、とにかく選考試験を受けてみたところ、テストはフランス語の口頭試問だけ、後は書類選考であった。予想通り不合格となったが、留学目的の明確な筆者を何とか合格させようというフランス大使館の文化部の好意があり、日本の若い女性と初老のスイス女性を紹介して頂いた。初めは日本女性、その後スイス女性のお宅に週に1回通って勉強した。その効果もあって、翌年もう一度受験し、やっと合格した。

1958年10月Parisに到着、Cité Universitaire内のMaison du Japonに住居を定め、翌日Institut d'Optiqueを訪ね、A. Maréchal, M. Françonなど文献でおなじみの学者に会って挨拶をした後、翌日から毎日通うようになった。しばらく所内の見学や、他の所員への挨拶、またMaréchalの依頼で彼が以前の研究のため試作した収差のあるレンズの点像の振幅/強度分布を計算する機械式計算機の整備など雑用で過ごしたが、11月中旬頃から実験に入った。地下の光学測定実験室の隣にあった長い行き止まりの廊下に設定してあった大きなコリメーターレンズを中心に組み立てた全長10mほどある長い光学ベンチ(Fig.1)を使って実験を始めた。これはMaréchalが最初に使い、その後彼の部下の所員の一人が使っていたとのことであったので、当時パリ大学のSorbonneキャンパスの物理研究室にいる該当の人に会い、助言を頂いた。

筆者のような留学生を受け入れたのはInstitut d'Optiqueにとって初めての経験であったらしく、しばらく経ってから「貴方に払って貰う経費はこのようになったのでよろしく」と研究所の事務室から連絡があった。そこですぐ事務室に行き、「これはフランス外務省の給費技術留学制度を使っているのだから、経費が必要だったら外務省に要求してくれ」と云ったら、その後は連絡が来なくなった。

Maréchalは助手を付けてくれなかったもので、作業室として使うように指示された地下の工作室/写真暗室が実験の準備室となり、1日の大部分をここで過ごすこととなったが、これが思わぬメリットをもたらした。あちこちの実験室に行き詰ると質問したり、道具を借りたり、光学部品の製作を依頼したりで、フランス語の会話が急速に上達した。

あるとき、ガラス研磨室に部品の製作を頼みに行った時、東大理学部(旧制)で机を並べて講義を聴いた地球物理学科の友人に会い、双方でびっくりしたことがあった。ちなみに、筆者は理学部天文学科で、1年生の時は物理・天文・地球物理学科は同じ講義を一緒に聴いた。2年生になると地球物理学科は別になり、物理・天文学科は午前中一緒に講義に出席、午後は物理学科は本郷キャンパスで演習・特別実験、天文学科は麻布の天文学教室で天文学特別講義・演習を受けた。聞いて

見れば、彼はナポリ大学の火山研究所に留学中とかで、火山で採取した岩石を分析するため、ここに研磨を依頼に来たとのことであった。筆者はこの研究所に留学中だといひ、彼は午後の日帰りでナポリに帰るとのことであった。必要があれば日帰りで隣国の研究機関に行つて、資料の調達や測定依頼ができる環境をうらやましく思つたことであつた。

ガウス関数劣化像の復元

Institut d'Optique の研究の第 1 歩は、光学像の点像が 1 方向に Gauss 曲線状に広がっている劣化像 (1 次元 Gauss 曲線形劣化像) の復元からスタートすることにした。これは像の OTF も 1 方向にほぼ Gauss 曲線状に広がっているため、処理用のフィルターも作りやすいと考えたからである。装置は前述したように、地下室の廊下に設置してあつた大型の光学ベンチであつた。

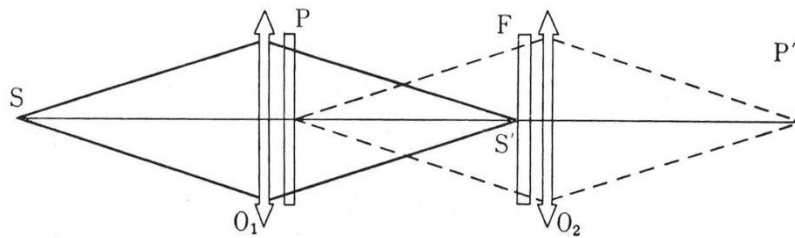


Fig.1 画像復元装置

Fig.1 はこの装置の略図である。S は点光源、 O_1 はコリメーターレンズで、 O_1 の瞳の近傍に被処理画像 P を置くと、その焦点の近傍に P の Fraunhofer 回折像 S' ができる。光源は高圧水銀灯で、フィルターを通して緑色の単色光を選び、それを光源に使つた。このとき S' の振幅分布は画像 P の振幅分布の Fourier 変換となる。そこで、 S' の位置にフィルター F を置き、その透過率分布を S' の分布の逆数に比例するようになれば、 S' の分布は一樣に近くなり、像の劣化を復元することができる。これが、この装置による画像復元の原理であつて、復元用のフィルターは Inverse Filter (逆フィルター) と呼ばれる。

1 次元 Gauss 曲線形劣化像は実験が簡単で、すぐ結果が出ると思われ、本格的実験の練習台とする目的であつた。Fig.2 に示すように、大型の写場用カメラのレンズ E_1 の前に円筒形レンズ E_2 を置き、そのレンズと写真レンズとの間に放物線の形に切り抜いた遮光板 D を置き、その曲線の軸を円筒レンズの軸と直交させて取り付けられた。このカメラを使って、大小の文字を印刷した紙、風景写真など適当な物体を低いコントラストで撮影すると被処理画像のサンプルができる。撮影には銀粒子が細かく、像のコントラストの低い gaslight 印画紙用の乳剤を塗布した乾板を用い、実験用の原面を作成した。

これらの器具は作業場として使用の許可を得た地下の工作室で作り、円筒レンズなどは研究所付属の研磨工場に依頼した。この辺の事情は、当時の機械試験所の地下の実験室とよく似ていて、その経験が思わぬところで役に立った。画像処理に使う逆フィルターは、Fig. 2 と同様の構成をした光学系で、物体面 (u,v) の v 軸に添って細いスリットを置き、その背後においた光源で照明しながら、その像を I 面においた乾板で撮影して作った。こうすれば Fig. 1 の F に置く処理用のフィルターの振幅透過率分布は、処理画像の Fourier スペクトルの逆数に比例するので、Inverse Filter ができる。

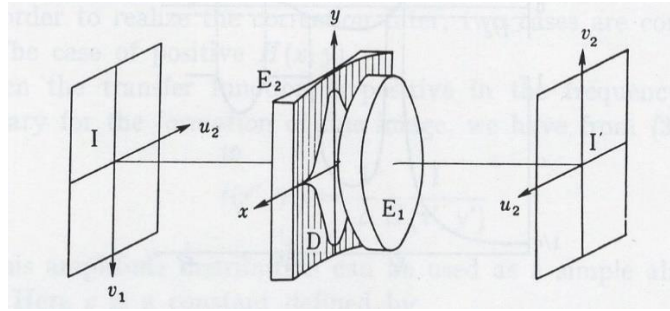


Fig.2 被処理画像の準備

このとき、計算上はすべて振幅分布での取扱いとなっているが、実際には写真像を用いた。これは、使用する像のコントラストを充分小さくしておけば、像の強度分布を Taylor 展開すると、その第 1 項しか有効とならないという現象を利用して、写真処理はできるだけコントラストの低い像が得られるように、感光材料、現像方法などを吟味して使った。これには趣味の写真技術が役に立った。

被処理画像には、画像を記録している乾板・フィルムなどのゼラチン幕のため、光が通過したとき起りやすい波面の乱れを除く必要がある。これには、現像後、ゼラチン幕に dibutyl phthalate 液を塗布し、その上に 50 X 50mm 程度の平行平面ガラスを載せて、ゼラチン膜を通過した光の波面の乱れを除去する必要がある。このやり方は、従来からの経験を持つ Institut d'Optique の技術者から教わったが、実はこの実験の最大の難点はこの被処理原版の製作であり、始めはなかなかうまく行かなかったが、慣れてくるとかなり成功率が高くなった。失敗した乾板から不要になった乳剤をはがして液浸のガラス板に流用すると、乳剤剥がしの時の“へら”の圧力でガラス板の表面に僅かな変形が起こり、位相の乱れが生じることもあった。

ただし、これらの実験の構成上の数値は、実験におけるデータが理論上の矛盾がないように選定することは、言うまでもない。実験結果の 1 例は Fig. 3 に示した。復元された像は完全な像に近い。

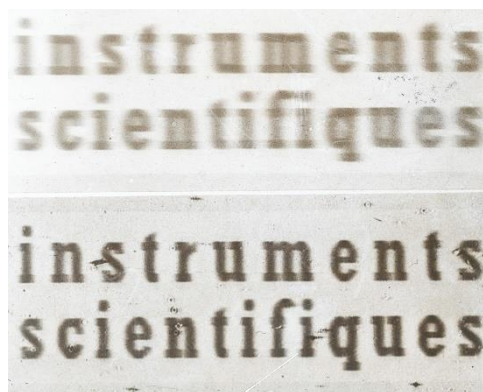


Fig.3 1次元ガウス曲線形劣化像の復元の1例

この頃は実験が好調に進み始めたので、毎週 1 回 Maréchal の比較的暇な時間に彼の居室を訪れて、結果を報告するようになっていた。実はこの技術留学は最初半年と期限が切られていて、その代わり月々の給費は日本の文部省が扱ういわゆる国費留学生の 2 倍と決められていた。その期限が迫っていたので、その報告をまとめなければいけなかった。そこで、これまでの成果をフランス語

で論文としてまとめ、それを報告するとともに、構成を論文向きに編集し、適当な雑誌、たとえば *Revue d'Optique* というフランスの光学専門の学術雑誌に投稿することを考えていた。そのことを *Maréchal* に相談すると、「これはいい成果だから、もっと国際的に通用する雑誌、たとえば *ICO (International Commission for Optics)* が創刊・発行に協力した *Optica Acta* にしてはどうか」とのアドバイスを受けた。

また、引き続いて焦点外れ像の復元を実現したいので、留学期限の延長と、そのために *CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique)* の研究員 (*Attaché de Recherche*) に応募したいので、その推薦を *Maréchal* をお願いした。これも異存なく承知して頂き、*Baccalauréat* の証明書を取り寄せることが必要とのことを聞き、日本の家族に手紙を書き、郷里に近い神戸のフランス領事館に相談し、中学の4年修了の証明書を提出して *Baccalauréat* 証明書を入手し、*Institut d'Optique* の庶務課を経由して *CNRS* に届けた。

その結果、その年の9月から *CNRS* に採用されることが決まり、技術留学の終わりから9月の *CNRS* 入所までの期間の留学生としての給費が特例として継続されることとなった。これは異例の特別措置であったと後に聞いた。

焦点外れ像の復元

ガウス関数状の劣化像の復元は予想通りできたが、これは実験方法のテストのようなもので、まず要領を把握してから本命の実験に進む予備段階であった。

Maréchal も始めは筆者がどの程度の能力を持っているかが分からない状況であったので、実験装置も廊下に放置してあった昔使った装置を使うことを提案したらしいと思われる。この装置は大型なので、逆フィルターも大型で作りやすいという計算もあったようである。焦点外れも同じ方法が適用できるが、問題は焦点外れの場合の *Optical Transfer Function (OTF)* は *Fig.4* に示すように、曲線が途中でマイナスの領域に入っていることである。*Inverse Filter* はこれをマイナスからプラスに変える必要があり、これには光学薄膜を利用しようという腹案があった。

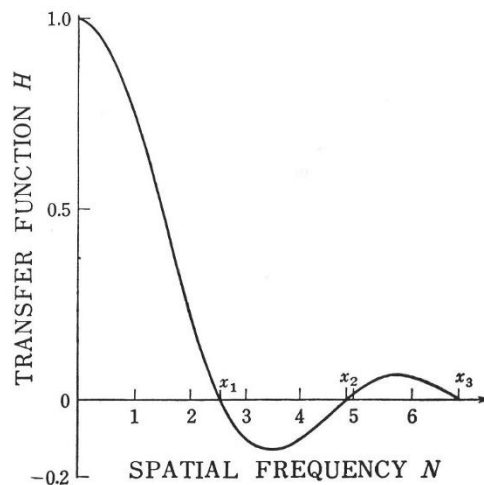


Fig. 4 焦点外れレンズの OTF

最初の結果が比較的順調にできたことで、*Maréchal* から1階の写真研究室に設置してあった小型精密で使いやすい画像処理装置 (*Institut d'Optique* では *Dispositif de Double Diffraction* と呼んでいた) を使ってはどうかとの提案を受けたので、お礼を言って引っ越した。

逆フィルターとしては、焦点外れの値を決めて計算してみると、Fig.5 に示すような、外半径 0.33mm、内半径 0.3mm というドーナツ型の位相フィルターが要ることとなった。これは当時レンズの反射防止に使っていた MgF_2 で作ることとし、その可能性を同じ研究所にいた光学薄膜の大家 F. Abelès に相談に行った。彼からは「Edge の特性は？」と質問されたので「Sharp Cut にしたい」と返事すると、それは不可能だと即座に断られた。

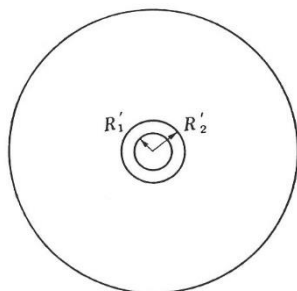


Fig. 5 焦点外れ像の復元に用いる位相フィルター

そこで、当時の 8mm 撮影機のファインダーに薄膜のエッチングでフレームを作っていた化学工場で働く旧知の技術者に手紙を書き、作り方の腹案を示して可否を聞いたところ、引き受けたとの返事があったので、機械試験所の予算を使うことのできることを取り製作を依頼した。この頃は computer など無く、勿論メールなどという便利なものも無いので、現在では 1 時間もあればできるこのような相談も、航空便の往復で行うため 2 週間以上もかかったことを記憶している。

薄膜の厚さのチェックは、現在なら数値制御の薄膜蒸着装置で難なくできると思うが、その当時はそのような便利な方法や装置も無く、水銀灯の e 線 ($649.1m\mu$) で反射防止の薄膜の 7 倍の厚さで実現できることを計算し、薄膜真空蒸着装置で所要の薄膜を蒸着するガラス板と、反射防止膜を蒸着するガラス板を近くに置き、反射防止用のガラスを交換しながら 7 回蒸着を繰り返して、所要の厚さの薄膜を実現するというアイデアであった。少々面倒なやり方であったが、快く応じて頂き、しばらく経って完成品が送られてきた。

一方、Inverse Filter の実数部分は写真で作ることとし、レコードプレーヤーのような回転円盤上に黒いインクでパターンを描き、それを回転しながら回転軸の延長上においたカメラで撮影する方法を選んだ。細かい計算は省略するが、その形は論文⁸⁾を参照されたい。

Maréchal は 1959 年 8 月に Stockholm で開催された ICO-5 で「Institut d'Optique における最近の成果」という招待講演を依頼されていたが、筆者自身、東京大学附属東京天文台の依頼で、英国 Newcastle の Grubb Parson 社で製作されていた 58 インチの反射鏡の最終検査のために現地に行くように東京大学総長から辞令が届けられていた。そこで、講演に必要なスライドなどは作って Maréchal に渡しておいたが、詳しい説明はする暇が無く英国に行ってしまったので、Stockholm で休憩時間の時、喫茶室で補足説明を行ったことを記憶している。



Fig.6 焦点外れの写真の復元の1例

当時、日本も1964年にICO Topical Meetingを東京・京都で開催する予定があり、その計画をこのICO-5で予告することを計画しており、昼食をとりながら日本から来たICOの国内委員会の先生方と同じ食卓を囲むことが多かった。一方フランスも近くICO総会を開く計画があるとかで、「君はフランスのテーブルに來い」と声がかかり、2つのテーブルの間を行き来して忙しい思いをしたことを記憶している。

夏休みが終わってパリに帰ってきた後で、同じ研究所にいたG. Nomarskiが筆者の実験室にやって来て、「君が留守の間に位相フィルターを借りて計って見たら、正確に π の位相差ができていたことが分かったが、あれはどのようにして作ったのか？」と言う質問を受けた。他人のものを黙って持ち出すとはけしからんと思ったが、フランス語でそんな啖呵を切れるほどの能力は無いので、先に述べた製法を述べた。筆者自身この位相フィルターの検証ができていなかったのが、こんなことで正確な測定ができ、有り難いことであった。

この研究で得られた焦点外れ像の画像復元の1例をFig. 6に示す。上の写真は焦点外れの像、下の写真は復元像である。特に3行目の小さい文字が著しく改善されていることが分かる。また1-2行目の像には隈取りが見えるが、これはFig.4のOTFがゼロとなった現象の副作用であって、これを目立たなくする方法も分かっていたが、そのためにはInverse Filterに微細な加工をする必要があり、当時の実験技術では不可能であったので、やむを得ず省略した。

日本を出発する時、機械試験所に期間を1年と届けていたので、それをもう1年延期してほしいと届けたが、海外留学の規制が厳しくなり聞き入れられなかったので、半年間の休職を申請していた。帰国の準備を始めた頃、Maréchalから“もう少しフランスにいないか”との誘いがあり、“学位をとってはどうか”と勧められたが、これも帰国の手続きも終わっていたのでお断りした。Institut d'Optiqueで行っているパリ大学理学部の講義Optique Approfondie（光学特論）を一緒に聴いていた友人からも「本当に帰ってしまうのか？」と言われたことを記憶している。

帰国後の研究

上記の研究は留学中という時間の制限のある条件で行ったので、もう少し続けたいとの思いが残っていた。帰国後、機械試験所で機構を多少変えた形で装置を試作した。Fig. 7はその装置の原理図と外観である。

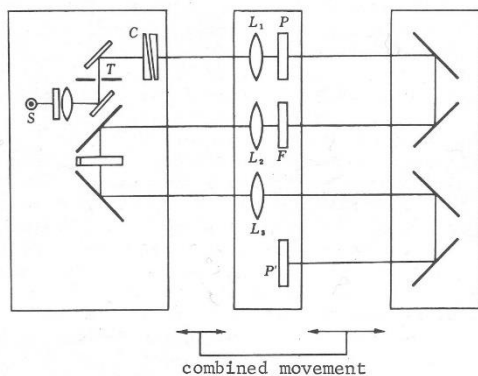


Fig.7 機械試験所に設置した画像復元装置。左図はその光学系の略図、右図は外観図

原理は Institut d'Optique の装置とほとんど同じであるが、Inverse Filter の位置合わせを正確に行うための上下左右の微動装置、その位置の撮影装置、実験結果を記録する 2 眼レフカメラを取り付けてある。この装置はピンホール T とコリメーターレンズ L1 で平行光ビームを作り、被処理画像 P を照明し、その焦点に Inverse Filter F を置き、処理を実行する。その後 2 個のレンズ L1、L2 と 4 枚の反射鏡を経て、最終像を F に作るようになっているが、中央の静止ベンチに対し、左右のベンチが位置を変え P、F 間の距離を変えるためフィルターの大きさの不一致を補正し、しかも最終像 F の大きさが変化しないようになっている。これによって、フィルターの寸法誤差を補正しても、最終像の大きさが一定になるため使いやすいう長所を持っている。ただ、残念ながらこの装置の完成後の調整が終わり、実用実験を進めている途中に、筆者の東京工業大学への移籍が決まったが、装置の移転手続きに時間がかかったため、最後の運用に充分時間がとれなかったのは残念であった。

結 語

この仕事は、機械試験所での仕事と言うより、機械試験所在職中に外国留学した時の仕事であったが、筆者の研究の原点となった意味で今回の報告として取り上げた。帰国後、この研究に関する事項で、応用物理学会から光学論文賞(1962)、日本写真学会から技術賞(1981)、Optical Society of America から C. E. K. Mees Medal(1997)、応用物理学会から業績賞(2011)、Optical Society of America から Emmett. N. Leith Medal(2017)を頂くこととなった。また、この研究の主論文はフランス語で書いてあるが、後に著名な論文を集めて 1 年に 1 巻ずつ発行していた Progress in Optics にも英語で書いた論文⁹⁾として掲載されている。

終わりに、この仕事に関連して種々お世話になった浮田祐吉機械試験所所長、久保田広東京大学教授、菊池真一東京大学教授、Maison du Japon 館長、André Maréchal Paris 大学教授（所属は当時）に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 浮田祐吉：顕微鏡の対物レンズの研究。第 1 報 球面収差の測定について、機械試験所所報、5(1951)58
- 2) 浮田祐吉・辻内順平：顕微鏡の対物レンズの研究。第 2 報 レンズ干渉計について、機械試験所所報、6(1952)161

- 3) 浮田祐吉・辻内順平・谷口正美：顕微鏡の対物レンズの研究。第4報 レンズ干渉計による球面収差の測定について、機械試験所所報、**8(1954)37**
- 4) Y. Ukita and J. Tsujiuchi: Interferometric study of microscope objective, *Opt. Act.* **5(1958)39**
- 5) J. Tsujiuchi: A density filter improving aberrant optical images: *J. Phys. Soc. Japan*, **12(1957)744**
- 6) A. Maréshal et P. Croce: Un filter de fréquences spatiales pour l'amélioration du contraste des images optiques, *C. R. Acad. Sci.*, **237(1953) 607**
- 7) J. Tsujiuchi: Restitution des images aberrantes par le filtrage des fréquences spatiales, *Opt. Act.* **7(1960)243**
- 8) J. Tsujiuchi : Restitution des images aberrantes par le filtrage des fréquences spatiales, II Restitution de l'image dont le spectre comprend une partie négative, *Opt. Act.* **7(1960) 385**
- 9) J. Tsujiuchi : correlation of Optical Images by Compensation of aberrations and by spatial frequency Filtering, *Progress in Optics, Vol. II, Edited by E. Wolf, North Holland Publishing Co. (1963)131*

あとがき 光学における情報通信理論と筆者の研究の関係

「光学像の復元に関するフランスでの研究の思い出」を書きましたが、筆者の研究の基礎は光学における情報通信理論を使っているため、他分野の方々には分かり難いと思われる。これを上記の文中に入れると却って混乱すると思われるので、一般的な話題として解説するあとがきを付け加えることにしました。

電気通信機器とか音響機器では周波数の概念はよく知られていますが、光学や写真の分野でこの考え方を展開すると分かりにくいといわれています。通信・音響の分野での周波数は1秒間にどれだけの振動を扱えるかというのはわかりやすいのですが、光学や写真の分野では「1mmの間に黒白(明暗)の縞が何本含まれているか」が問題となっています。これを空間周波数といい、lines/mmの単位で表します。

音響分野では周波数が高いというのは、高い音が扱えるということになりますが、光学分野では空間周波数が高いということは細かい物まで扱える(見える/記録できる)ということに相当します。例えば音楽では、高低種々の音が混じり合って構成されていますが、写真や光学器械では細かい成分や粗い成分が組み合わされています。音楽では1次元情報を扱いますが、光学や写真では2次元または3次元情報を扱います。音楽ではどのような周波数成分が含まれているかを調べるためには、耳で聞くか周波数分析器で調べることができます。光学では目で見るか光の回折という現象を利用します。光学ではFraunhofer回折という現象を使います。これはその写真をレンズの前に置き、そのレンズの焦点にできる光の分布を見れば分かります。分解能の高い写真は焦点の周りの光の分布は広がって見えますが、分解能の低い写真では焦点の周りの光の分布は広がり小さくなります。

そこで、筆者の使った方法は目的の写真をレンズの直前に置き、そのレンズの焦点にできるFraunhofer回折像にフィルターをかけて、その分布をできるだけ広げるようにします。この際増幅はできませんので、明るいところをフィルターで減殺し、位相が180度変化している部分をさらに180度変えて元に戻すことを実行しているのです。これがInverse filter(逆フィルター)の役目です。この現象をうまく使ったのが、筆者の研究のやり方と言うことになります。

この研究は、留学先の Institut d' Optique で約 60 年前に行いましたが、このことをはっきり指摘したのは 2017 年に受賞した Emmett N. Leith Medal の審査委員会が初めてでした。

筆者略歴 辻内順平

昭和 26 年 3 月 東京大学理学部天文学科卒業
昭和 26 年 4 月 工業技術院機械試験所入所
昭和 33 年 10 月 Institut d' Optique, Paris, France 留学
昭和 34 年 9 月 機械試験所休職
昭和 34 年 9 月 Attaché de Recherche, CNRS, France (Institut d' Optique 勤務)
昭和 35 年 5 月 帰国、機械試験所復帰
昭和 40 年 4 月 機械試験所第 1 部第 1 課長
昭和 43 年 3 月 機械試験所辞職
昭和 43 年 4 月 東京工業大学教授 (工学部)
昭和 63 年 3 月 東京工業大学定年退官
昭和 63 年 4 月 東京工業大学名誉教授 現在に至る
昭和 63 年 4 月 千葉大学教授 (工学部)
平成 5 年 3 月 千葉大学定年退官
昭和 37 年 3 月 工学博士 (東京大学)
昭和 56 年 8 月 ICO (International Commission for Optics) 会長 (昭和 59 年 8 月まで)
昭和 63 年 3 月 応用物理学会会長 (平成 2 年 3 月まで)
平成 7 年 6 月 日本医用画像工学会会長 (平成 17 年 6 月まで)
昭和 47 年 Optical Society of America (USA) Fellow
平成 2 年 SPIE (USA) Fellow
平成 2 年 Institute of Physics (UK) Fellow
昭和 37 年 光学論文賞 (応用物理学会)
昭和 56 年 技術賞 (日本写真学会)
昭和 62 年 President' s Special Award (SPIE, USA)
昭和 62 年 J. Petzval Award (Hungary)
平成 9 年 C. E. K. Mees Medal (Optical Society of America, USA)
平成 16 年 藍綬褒章
平成 23 年 業績賞 (応用物理学会)
平成 29 年 Emmett N. Leith Medal (Optical Society of America, U.S.A)

受理日：2018年7月9日