

応 用 光 学 の 分 野

久保田 広・小瀬 輝次

光学というのは、物理学の中でも最も古い学問で、完成された古典の代表的なものとしてされている。しかし最近の進歩発展はめざましく、近代光学はその進歩のとどまるところを知らない。当研究所のこの部門を担当するのは久保田研究室で、特に新しい理論の光学機械への応用に重点をおいて研究を進めている。以下に、当研究室で行なわれた、または現在行ないつつある研究を紹介しよう。

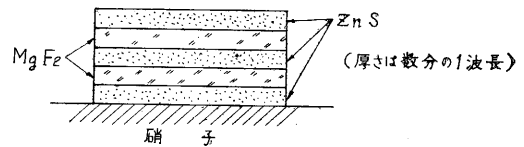
1 位相差顕微鏡

従来の顕微鏡が幾何光学の理論により出来ており、二次元的拡大を行なっているのに対し、位相差顕微鏡は波動光学の理論を用い、厚さの差（または屈折率の差）を敏感に検出しようという三次元的顕微鏡ともいえるものである。これは大戦前、オランダにおいてその原理が明らかにされていたのであるが、戦争のため日本に知られず、またその後の進展を見なかったものであるが、戦後当研究室はこの原理を知り、実用化に必要な理論的研究ならびに実験を行ない、光学会社の協力を得て日本における最初の位相差顕微鏡の製作に成功した。この発表は戦後の学界、工業界の立直りに大きな刺戟となったことは疑いない。

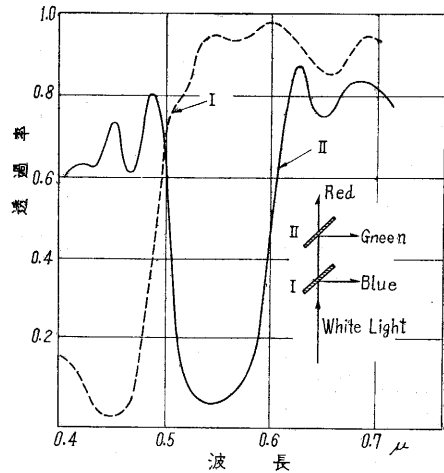
2 薄膜の光学、干渉フィルター

当研究室で次いでとりあげた問題は、薄膜の光学とその応用である干渉フィルターの問題である。

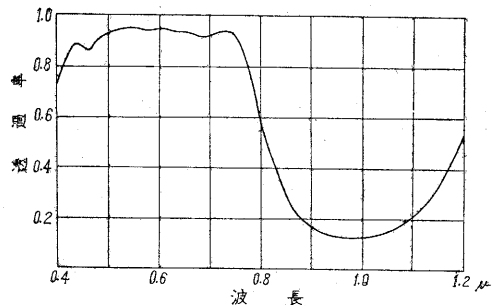
第1図(A)のように、ガラスの上へ、屈折率の低い膜（たとえば MgF_2 , $n=1.3$ ）と屈折率の極めて高い膜（たとえば ZnS , $n=2.4$ ）を交互につけ、光の干渉によりフィルター作用をさせるもので、従来の染料の吸収を用いるフィルターでは得られない特性を持つものである。これを光の干渉理論により解明し、最初は二～三層膜であったが、後には数層および十数層のものとなし、その cut off も極めて鋭いものが得られるようになった。研究成果のうち三層膜を用いた半透明鏡はカメラの距離計に用いられ（特許 184797 号）、また NHK 放送技研の委託研究により完成した九層膜による三色分解フィルター（第1図(B)）は、カラーテレビの送信機に用いられている。また干渉フィルターを用いれば、熱線を反射し可視光のみを通し、したがって自身は加熱されない防熱フィルターを設計し得ることを示し、これを完成した（特許 188917 号、第1図(C)）。これらの研究は、日本真空光学KKが新事業開発公団より融資を受け工業化を計っている。



(A) 多層膜干渉フィルター



(B) 三色分解フィルター



(C) 熱線反射フィルター

第 1 図

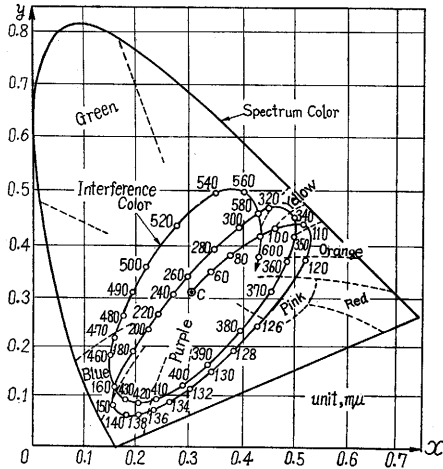
3 色彩論とその応用

これらの薄膜は真空中において蒸着を行なうものであり、膜の厚さも波長程度すなわち 0.5μ くらいのものであるので、直接機械的に測定するわけにはゆかず、これに白色光をあてた時の色すなわち干渉色を見て行なう。これはちょうどシャボン玉に太陽の光が当たったとき美

しい色を呈するようになるのであり、従来は、たとえば厚さと色の関係は左の表のような表示が行なわれていた。

膜の厚さ	色
0.114μ	明るい夕方の灰色
0.148μ	むぎわらの黄色
0.360μ	空の青色

しかし、これではいったいどのような色を指しているのかもよく判らず、科学的方法とは言い難かった。そこで当研究室では、戦時中ならびに戦後に著しく発達した色彩論を取り入れ、干渉色の数量化を計り、干渉色を国際表色記号 (x, y 表示) で表した (第2図)。このた



第2図 干渉色 CIO 記号

め蒸着作業中の膜厚の制御が科学的に行なわれ、また熟練者でなくとも正確に行なえるようになった。この研究を複屈折性の結晶における偏光干渉色に拡張し、鋭敏色の方法に理論的根拠を与え、顕微鏡における微細な厚さの測定に有用な超鋭敏色の方法を発見した。この方法は (特許 190705) 日本の光学会社において顕微鏡に用いられており、また Hand-buch der Physik で広く各国に紹介された。

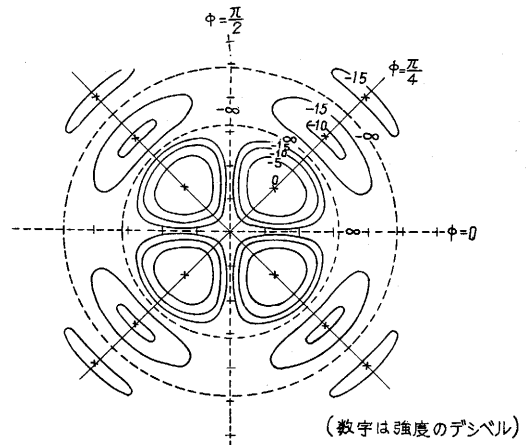
4 偏光顕微鏡の回折像の研究

顕微鏡の能力は、どのような微細なものまでを観察し得るかという解像力によって決まるものであるが、これには、回折理論を用いた古くから有名な理論がある。

鉱物などの複屈折性を調べる偏光顕微鏡も同様な回折像を与えると信じられていたが、これをよく調べてみると、回折像はまったく異なるもので (第3図)、通常の顕微鏡の回折像は中心対称の同心円であるのに反し、異方性を有し、その大きさも方向によって通常のもの倍、したがって解像力も半分である。このことを理論的に予想し、実験で確かめた。この研究は理論光学の研究として重要なものであるとともに、回折像の異方性のため、極めて特異の偽解像の現象を生じ偏光顕微鏡で物体を観察する際十分注意する必要があることを明らかにした大切な研究である。

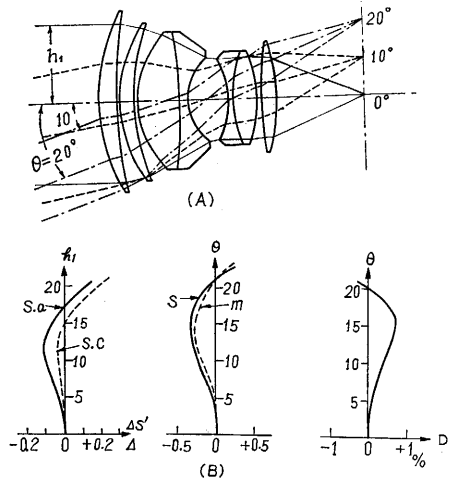
5 スポットダイヤグラムの研究

レンズの設計計算に解析的方法を用いることは、0次および1次の近似計算以外は、式が複雑となりすぎて事実上不可能である。そこで、光学会社などでレンズを精密に設計するには、第4図 (A) に示すように光線を追



第3図 偏光顕微鏡の回折像の強度分布

跡するのであるが、これには極めて面倒な数値計算を大量に行なわなければならない。この問題を解決するには人海戦術による以外なかったのであるが、電子計算機の出現は大きな変革をもたらした。日本における最初の電子計算機は富士写真フィルムの小田原工場においてレンズ設計のために作られたものであることも (Fujic)、この問題が光学会社にとっていかに切実なものであるかを示している。光線追跡法を従来対数表または卓上計算機で行なうと、一つの屈折面について、熟練した者でも約10分くらいかかる。したがって、たとえば第4図のよ



第4図 レンズの光線追跡と収差の表示

うな 12 面あるレンズでは光線を一本通すのに 120 分、これを波長や方向の異なる光線を通し、これから、同図 (B) のような収差曲線を画きつつ、error and trial の方法で設計するのであるから、莫大な時間が必要である。その上この収差図から像の様子を想像し、修正計算を行なうことは長年の経験を要し、これらが光学設計へ新人の進出を阻み光学工業の隘路となっていた。

しかるにリレー式計算機または電子計算機によれば、

計算速度が飛躍的に向上するので、多数の光線を通し、その像面との交点をプロットしたスポットダイアグラム(口絵3ページ参照)を画くのも不可能ではなくなってくる。事実第1表に示すような速度であるのでリレー式計算機

第 1 表

	電動計算機	リレー式計算機	電子計算機
近軸光線	180 秒	5 秒	0.04 秒
skew-ray	600 秒	22 秒	0.35 秒

によれば試作品についての計算くらは可能であり、電子計算機によれば全製品についての実施が可能である。このため、光学工業技術研究組合ではこの問題を取りあげ、久保田教授を委員長として強力な産学協同の研究を進めている。当研究室でもそれを分担し、スポットダイアグラムによるレンズ設計に関する研究を行なった。口絵にしたものはその一部で、設計データからレンズの性能を計算し、実測値と比較し得る量を導き得ることを理論的に示し、これを実際に行ない、理論の正しいことを確かめたものである。この研究はレンズの設計の単なる速度の向上という外に設計方法に質的な変革を与えたものといえよう。

6 レスポンス函数の研究

光学系は空間周波数フィルターと考えられるということが知られたので、光学系に電気通信の方で発達した情報論を取り入れたたり、その性能を周波数特性函数(これをレスポンス函数という)で表わしたりなど、光学としては画期的なことができるようになった。光学国際連合(International Commission of Optics)でもこのことを認め、その新しい方法を世界的に推進するための小委員会(Subcommittee for assessment and evaluation of image quality)が設けられ、久保田教授もその委員の一人となっている。

当研究室はこの実用化について日本における指導的立場に立ち、各大学、研究機関や各社の研究部、技術部と協力してこの方法の推進に必要な研究を進めた。特にこの函数の正確または簡単な測定機の研究・試作に力を注いだ。このため、研究用の精密なもの(大工試)、工場における試作品のテストまたは抜出し検査用(当研究室1号機(口絵4ページ参照))、工場における流れ作業に用いられるもの(早大)と分担して行なった。当研究所においてはさらに文部省の試験研究費(昨年度60万円)、および当所内において配付される特別研究費(昨年250万円)等を得て、2号機を完成し、実用に供されるのを待っている。

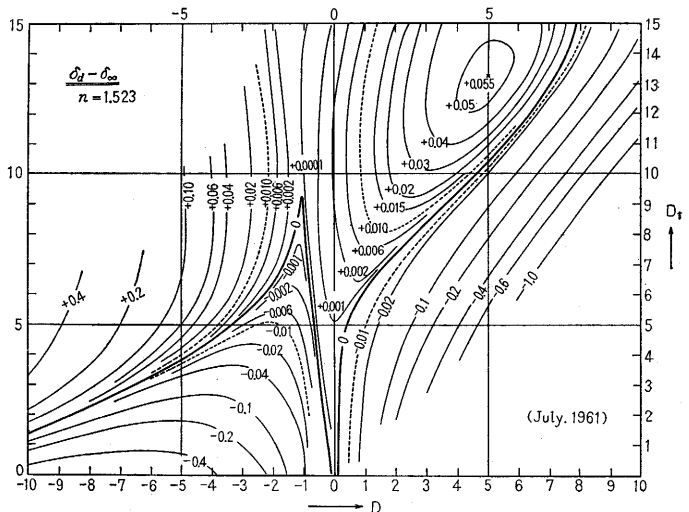
7 光学理論の研究

電子計算機の発達に伴い、数値積分を広範囲に行なえるようになったので、従来不可能に近かった回折像の計算などが容易になった。当研究室でも従来行なわれていなかった取差のある場合の回折像の詳細な解析および数値計算を行ない、光学系の性能や像の性質を調べ、光学機械の性能向上に関する研究を行なっている(解説参照)。

眼鏡レンズは一枚の単レンズで、理論的には最も取扱いの容易なものであるが、実際の計算は十分行なわれていなかった。この問題を取りあげ、あらゆる形のレンズの取差を電子計算機を用い「掃算」を行ない、眼鏡レンズの設計の基礎資料を与えた(第5図)。これに基づく眼鏡レンズは、東京レンズ工業協同組合の眼鏡レンズ(委託研究第31-25号)および保谷硝子の新型レンズ(委託研究第36-10号)として実用化されている。

8 レーザーの研究

光メーザーすなわちレーザーの研究も、当研究室においては第3部斎藤研究室との協同により行ないつつあり、主として光学的方面の開発を行なっている(解説参照)。レーザーの特徴は、光波領域で初めてコヒーレン



第5図 眼鏡レンズの取差

トな光を発生することに成功した点にあるが、これを理論的に取り扱うために新たに発展しつつあるコヒーレンシーの理論を研究し、従来の振幅および位相を用いた理論を、可観測量すなわち強度と、相互コヒーレンス函数をもって書き換え、レーザー光に関する種々の計算をなし得るよう研究しつつある。

以上にのべたように当研究室は終始、光学工業界と密接な連絡をとりつつ、日本の光学界の指導的立場にあって研究と開発を行なってきた。これらは研究室全員の協力によるものであるが、それを代表して久保田教授に昭和34年に日本学士院賞を、また同年に日本写真学会の技術賞が授与されている。(1962年6月18日受理)