

2世紀前のニュートンの干渉色の観測はニュートン環で余りにも有名ではあるが、最近発展した色彩論は再びこの干渉色と取組んで興味ある成果をあげている。本文はその一部であるが従来経験的にのみ扱われていた鋭敏色の問題にはじめて理論的裏付けをなしたものである。

1. 緒言

硝子その他の均質等方の物體でも、なまし (Annealing) の不良等のために歪が残っていると結晶のやうに複屈折をする。したがって硝子の残留歪の有無をしらべるには、通常の複屈折をしらべるやうに直交ニコル*の間へ入れて見ればすぐわかるはずである。ところがこの方法ははなはだ感度が悪いので、通常下のような方法を用う。すなわち直交ニコルの間へ結晶を入れ、これを白色光で見ると波長により複屈折の程度が異なるため着色して見える。この複屈折による光路差が約 524 m μ になるような結晶 (例えば雲母の厚さ約 0.1 mm の板) を入れてやると、干渉色は紫色になる。そしてこの色は光路差の變化による干渉色の變化がもつとも鋭敏なところであるので、この結晶體に重ねて弱い複屈折をもつ物體を入れてやると (第1圖)、僅の複屈折でも色が赤または青の方へ鋭敏に變るので、弱い複屈折を敏感に検出または測定し得るのである。

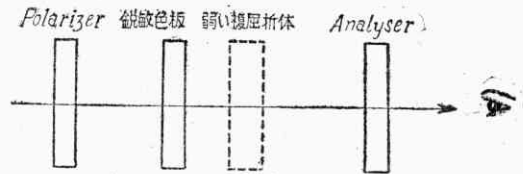
この方法は鋭敏紫色**の方法といわれ古くから知られているものであるが、主として経験によつて見出されたもので十分な理論的根據がない。それは色というものが物理學の研究の對象としてとらえ得なかつたからである。ところが最近特に戦時中から戦後に米國で色の研究 (色彩論) が非常に發達して、種々精密な data が供給され十分數量的に取扱え

* ニコルプリズムを二つ、その偏光面が互に直角になるやうにおいたもの。第一のニコルプリズムを通つた偏光は、第二ニコルプリズムで全部さきぎられるから視野は暗黒であるが、この間へ複屈折體を入れると偏光の干渉によりその部分が開くとなり、複屈折の存在がわかる装置をいう。(カット写真参照)。
** 昔は赤色といつた (4 参照)。

感度の大きい歪検査機

——色彩論應用の一成果——

久保田 廣

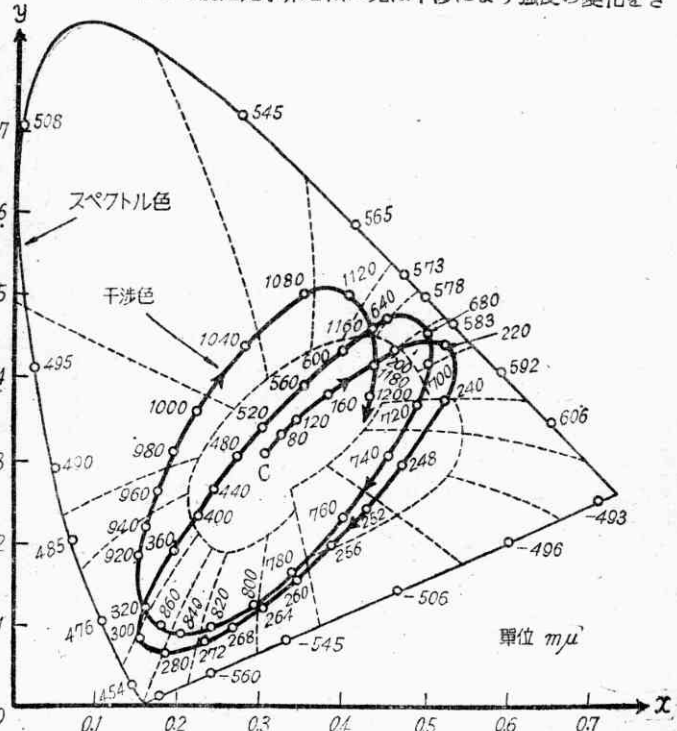


第1圖 鋭敏色歪検査機

るようになった。そこで筆者はこれを干渉による着色の現象に應用した研究をはじめたのであるが、その一つとして上述のような鋭敏紫色をこれによりしらべ面白い結果を得たので之れを述べて見よう。

2. ニコル間の結晶の色

結晶の薄片の中に光が入ると、一般に互に二つの直角な偏光面を有する偏光に分れることは結晶光學の教えるところである。この二つの偏光に對し結晶の屈折率が異なるので前記光學系を出た光は干渉により強度の變化をき



第2圖 干渉色の I.C.I. グラフ

たす。その強さ I は結晶中の二つの偏光の光路差 d および結晶と二つのニコルプリズムの偏光面の間の角の函数として與えられる。とくに二つのニコルプリズムの偏光面が平行で結晶中の偏光面の二等分線の方にある場合（「平行ニコルで対角線位置」）と、互に直角の場合（「直交ニコル」）を考えて見よう。この場合 I は d のみの函数となるが、 d は用いる波長 λ により異なるので、白色光が入射した場合には出てくる光は着色している。この色を色彩論的にしらべるためには出てくる光の中の三原色の量 (X, Y, Z) を求めればよく、これは例えば、光源のエネルギー分布 $E(\lambda)$ と、波長 λ の光の中の X の混有量 $\bar{x}(\lambda)$ を知り (E, I, \bar{x}) をすべての波長について集計すれば X が求められ、同様にして Y, Z も求められる。

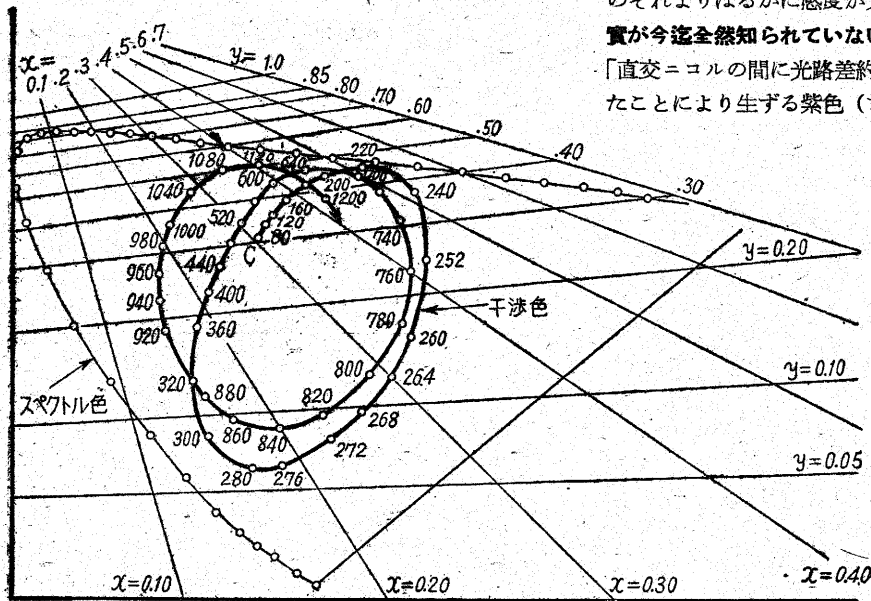
この三つの量がわかれば透過光の色相、鮮明度、明るさの三つが求められ色は完全に決るのであるが、前二者のみを問題にするときは X, Y, Z の比のみでよく、

$$x = \frac{X}{S}, \quad y = \frac{Y}{S}, \quad S = X + Y + Z$$

を用いてもよい。この x, y を縦および横軸として座標に表したものが I.C.I. の表色法* なのである。 $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ として I.C.I. で発表されたものを用い、 $E(\lambda)$ としては 7000° の黒體の輻射のそれをとつて** x, y を求めグラフに示すと例えば「平行ニコルで対角線位置」の場合は d をパラメーターとして第 2 圖のようになる。

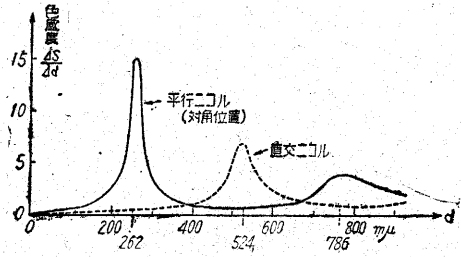
3. 鋭敏色とその感度の計算

第 2 圖から d の變化に対する色の變化の割合を求める



第 3 圖 等色差表色系 (U.C.S.)

ことは、このグラフからでは困難であるが、うまい具合に Uniform Chromaticity Scale (U.C.S.) というのがある。これはもとは色温度の計算等のために作られたものであるが、このグラフでは二点間の距離が二つの色の色相の差に比例するようにできている。第 2 圖のグラフをこれに移すと第 3 圖のようになる、これから光路差が d_1 と d_2 の色を示す点の間の距離を ΔS とすれば、 $d_1 - d_2 = \Delta d$ として $K = \Delta S / \Delta d$ が色の感度を與えることになる。第 3 圖から「直交ニコル」と「平行ニコル」の二つの場合について $K = \Delta S / \Delta d$ を求めてみると第 4 圖のようになる。



第 4 圖 色感度曲線

この圖を第 2 圖を参照しながら見ると、いずれも干渉色が紫色のところがあるが K のピークになつており、これは既述の鋭敏紫色の事實と一致するものである。同じ曲線に二つ以上のピークがあるのは第一次、第二次の鋭敏色があることを示すが、第一次鋭敏色の方が感度がよいというのも事實と一致する。ところが二つの曲線のピークをくらべて見ると、平行ニコルの鋭敏色の方が直交ニコルのそれよりはるかに感度が大きい。それなのにこの事實が今迄全然知られていないのである。鋭敏色といえ

「直交ニコルの間に光路差約 $575 \mu\text{m}$ の複屈折體を入れたことにより生ずる紫色（または赤色といわれることもある）」ということになつており、歪検査機や、鑛物顕微鏡でも鋭敏色板としてこの厚さの複屈折體を備へているのみである。だが第 4 圖の示すところにしたがえばニコルプリズムを平行にして、この間に光路差 $262 \mu\text{m}$ の複屈折體を対角線位置に入れた方がはるかによい感度が得られるのである。

ただしこれは結晶が正確に對角線位置にある時の話で、これから外れる

と色相は變らないが、飽和度が悪くなり鮮明さが落ちる。したがつて色の感度も幾分か低下することになる

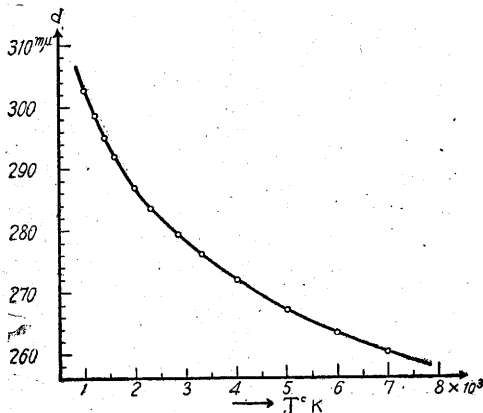
* International Committee on Illumination,

** これは平均の太陽光にもっとも近い。

が、計算によれば対角線位置から $\pm 5^\circ$ 以内では直交ニコルの場合より感度が悪くなることはないという結果が出てくる。

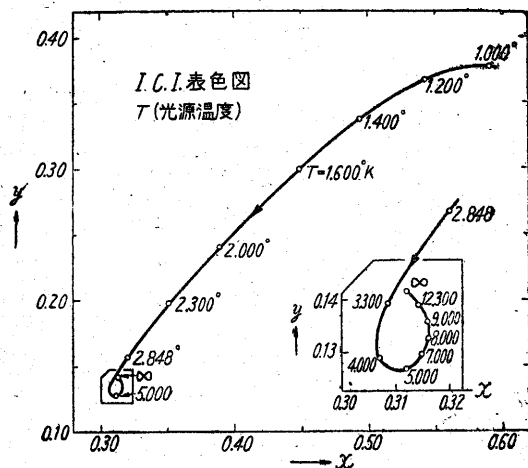
4. 光源の影響

次に昔の文献には鋭敏色を與える光路差は、直交ニコルの場合 $d=560\sim 580\text{ m}\mu$ で干渉色も紫でなく赤に近いように記されている。ところが今回の計算では $d=524\text{ m}\mu$ となつてゐるが、この差はどこからきたのであろう



第 5 圖

鋭敏色を與える d と光源の色温度との關係



第 6 圖 鋭敏色の色相

か。これをしらべるため今度は光源を別の温度 T の完全黒體として見た。この結果は第 5 圖に示したように温度が下ると、 d が増加する。この關係は a, b および c を常數として

$$d = a + b/T^c$$

で正確に表される。これを用い $d=575\text{ m}\mu$ の時の T を求めると、約 2000° になる。この場合の鋭敏色は第 6 圖に示すようにずつと赤味がかつたものになる。この温度はちょうど炭素電球のそれに相當するので、昔の人は炭素電球を使つて實驗したのではないかと想像される。事實 $575\text{ m}\mu$ を與えている文献は 1910 年のものでありタングステン電球の普及は 1910 年以後である。

このことからわれわれが鋭敏色ならびにこれを與える光路差 d を云々する場合には、用いる光源を正確に指定しなければ意味がないことが明かになつたわけである。

5. 結 び

結晶片の間を通つた白色光の着色現象を色彩論的に取扱ひ、鋭敏色というものを數量的に論じることができた。この結果今まで全然氣付かれずにあつたより感度のよい鋭敏色の存在を確め得、より敏感な複屈折體の檢出装置(例えば光學硝子の歪檢査機)を作ることができた。今までの論文でこのことを指摘しているものは、筆者の知る範圍ではない。これはその論文の書かれた當時の色彩論の發達が不十分であつたためと、peak が鋭く實驗的にはなかなか見出すことが困難であつたためもあろうが、ニコルといえば直交してのみ用いるという先入觀もあつたためであらう。

筆者の試作した (μd) $= 260\text{ m}\mu$ の鋭敏色板を鑷物顯微鏡に用いて見たところいちじるしく鋭敏で、結晶の微細な構造がよくわかり、また從來の鋭敏色板では見出せなかつたような僅の歪、例えば顯微鏡の對物レンズを粹に入れるとき締めつけ過ぎたために生じた歪等も明瞭に認めることができた。

詳細は著者の下記報告を参照していただきたい。

- 2 の干渉色については「應用物理」18 卷(昭 24) 4~5, 8~9 號, Journ. Opt. Soc. America 40 (1950) March.
- 3 の鋭敏色については 日本物理學會誌 5 卷(昭 25) 3 號, Journ. Opt. Soc. America 40 (1950) Sept.
- 4 の光源の變化の影響については Journ. Phys. Soc. Japan, 6 (1951) Jan

高 速 度 鋼

小 柴 定 雄 著

A5 版 250 頁 定價 250 圓 千 35 圓

— 誠 文 堂 新 光 社 發 行 —