

425. 9-Sa157



1200500742748

15.9
15



始



26. 5. 16

425.9
SA15

醫學博士佐口榮著

顯微鏡及其使用法



吐鳳堂書店發行

42/23
H

5973

序

本書の目的は顯微鏡學的研究に従事せんとするものに向つて顯微鏡に關する學理及び其使用法を容易に而かも科學的に理解せしめんとするにある。であるから成可く數學的に所置する事を避け多數の構圖を用ひて説明を助くる事にした。顯微鏡的結像に關するアッペ氏の學説は近來顯微鏡の光學的裝置の製作上に影響を及ぼしたのみならず顯微鏡學に關する多くの實際問題の解決に向つて重要な關係を有するから其解説には特に意を用ひた。其他偏光を用ふる研究、顯微鏡的計測法、顯微鏡寫眞術等は顯微鏡學に關する知識を前提とするから茲に併せ述べる事にした。本書が多少なりとも斯學の研究に志すものの示針ともなれば著者の幸甚とする所である。

昭和二年正月

著者識

序文

顯微鏡及其使用法目次

- 第一章 肉眼に依る物體の認識……………一
- 第二章 光線の屈折に關する二三の法則……………六
 - 第一節 二種の媒質の境界平面に於ける光の屈折……………六
 - 第二節 單光系に於ける光の屈折……………三
 - 第三節 複光系に於ける光の屈折……………二七
 - 第一 レンズ又はレンズ系の基準點……………一八
 - 第二 レンズ系に於ける結像構圖……………二五
 - 第三 凸レンズ及び凹レンズに於ける像の位置及び大きさ……………二六
 - 第四 眼に於ける基準點及び結像構圖……………三
- 第三章 廓大鏡又は單顯微鏡……………三三
 - 廓大鏡の構造……………三七
- 第四章 顯微鏡……………四一
 - 第一節 顯微鏡に依る結像……………四一
 - 第二節 焦點作用に基く單一レンズの……………四二

目次

- 缺點……………四五
 - 第一 球面收差……………四六
 - 球面收差の矯正……………四八
 - 第二 色彩收差……………五
 - 第三 球面收差に基く色彩差異……………五
- 第三節 光線の限界に就きて……………六〇
 - 第一 進入瞳孔及び進出瞳孔……………六〇
 - 第二 開角及び開數……………六三
 - 第三 顯微鏡に於ける進入瞳孔及び進出瞳孔……………六五
- 第四節 顯微鏡の構造……………七五
 - 第一 光學的裝置……………七五
 - 對物鏡……………七六
 - 對物鏡の構造……………七六
 - 覆蓋硝子の厚さに對する矯正……………八四
 - 液浸對物鏡……………八〇
 - 對眼鏡……………八五
 - 第二 廓大作用に基く單一レンズの缺點……………八五

- 一 非點收差…………… 六
- 二 視野の穹窿…………… 七
- 三 像の歪曲…………… 九
- 四 廓大作用に基づく色彩差異…………… 九
- 對眼鏡の種類及び構造…………… 一〇
- 對眼鏡の任務…………… 一一
- 三 照明装置…………… 一二
 - 反射鏡…………… 一三
 - 集光鏡…………… 一七
 - アッペ氏の照明装置…………… 一八
 - 液浸集光鏡…………… 二二
 - 遮光器…………… 二五
- 照明装置の準焦及び其開角の選擇…………… 二六
- 第二 器械的裝置…………… 二六
 - 一 臺足及柱…………… 二八
 - 二 載物机…………… 三三
 - 三 鏡筒…………… 三三
 - 交換装置…………… 三五
 - 四 準焦裝置…………… 三九

- 第五節 顯微鏡内に於ける光線の進路…………… 一四
- 第六節 準焦の意義…………… 一七
- 第五章 顯微鏡に依る結像機轉…………… 一四
- 第一節 光の波動説、光の干渉及び光の廻折…………… 一五
- 第二節 發光體の結像(又は第一次結像)…………… 一五
- 第三節 非發光體の結像(又は第二次結像)…………… 一六
 - 第一 廻折像の形成…………… 一六
 - 第二 第二次像の形成…………… 一七
 - 第三 顯微鏡的結像に關するアッペ氏の學説の實驗的證明…………… 一七
- 第六章 顯微鏡的認識の限界…………… 一八
- 第七章 光學的基準點の決定…………… 一八
 - 一 焦點の決定…………… 一八
 - 二 焦點距離の決定…………… 一八
 - 三 開角及び開數の決定…………… 一八
- 第八章 顯微鏡の能力…………… 一九

- 一 廓大力…………… 一八
- 廓大力の計測…………… 一九
- 二 區別力…………… 二〇
- 三 解像力…………… 二〇
- 四 透視力…………… 二九
- 第九章 顯微鏡的認識の特徴…………… 一〇一
 - 一 平滑なる表面を有する不透明體の結像…………… 一〇一
 - 二 透明なる小球の結像…………… 一〇四
 - 三 透明なる絲狀體の結像…………… 一〇九
 - 四 染色せざる組織成分の顯微鏡像…………… 一三〇
 - 五 染色せる組織成分の顯微鏡像…………… 一三三

- 第十章 顯微鏡使用上の注意…………… 一三三
- 第十一章 顯微鏡保存上の注意…………… 一三六
- 第十二章 落射光線に依る物體の觀察(不透明體照明法)…………… 一三八
- 第十三章 暗視野照明法及び限外顯微鏡…………… 一三〇
- 第十四章 偏光顯微鏡…………… 一三七

- 第一節 偏光…………… 一三七
- 第二節 光學的均質及び不均質。光學的彈性橢圓體…………… 一三〇
- 第三節 單屈折及び重屈折…………… 一三三
- 第四節 ニコル氏のプリスマ…………… 一三六
- 第五節 重屈折體の交叉ニコルに及ぼす影響…………… 一四〇
- 第六節 重屈折體の干渉色彩…………… 一四四
- 第七節 加増色彩及び減殺色彩。光學的彈性橢圓體の位置…………… 一五〇
- 第八節 圓筒狀及び球狀物體に於ける彈性軸…………… 一五七
- 第十五章 顯微鏡的計測法…………… 一六一
 - 第一節 準焦面に於ける長さの計測法…………… 一六二
 - 第二節 厚さの計測法…………… 一六五
 - 第三節 計數法…………… 一六八
 - 第十六章 描寫法…………… 一六九

目次

第一節 強廓大に用ひらるゝ描寫器	二七〇	第九節 露出及び露出時間	三一九
第二節 弱廓大に用ひらるゝ描寫器	二七五	第十節 乾板	三二三
第十七章 顯微鏡寫眞術	二七六	第十一節 陰畫法及び陽畫法	三二六
第一節 顯微鏡像の射影	二七九	第十二節 標本	三三二
第一 射影系	二七九	第十八章 天然色顯微鏡寫眞術	三三五
第二 對物鏡に依る射影	二八〇	第一節 濾光裝置	三三六
第三 射影に用ふる對物鏡、集光鏡及び鏡基の選擇	二八七	第二節 暗室光及び乾板の裝入	三三八
第二節 カメラ、撮影室及び撮影裝置の取附	二九二	第三節 對物鏡、像の準焦及び露出	三三九
第三節 光源及び濾光裝置	二九五	第四節 現像法	三四〇
第一 光源	二九五	第五節 補力法、減力法及ラック塗布法	三四四
第二 濾光裝置	二九六	第十九章 紫外光線を用ふる顯微鏡寫眞術	三四六
第四節 照明法	三〇五	第一節 光學的裝置	三四七
第五節 撮影裝置の準軸	三二三	第二節 器械的裝置	三五一
第六節 照明光束の整調	三二四	第三節 標本	三五四
第七節 像の準焦	三二六	第四節 撮影裝置の準軸、標本の準焦及び其撮影	三五五
第八節 廓大度の選定及び其決定	三二七	第五節 紫外光線に依る顯微鏡寫眞術の價値	三五九

顯微鏡及其使用法

金澤醫科大學教授

醫學博士 佐口 榮 著

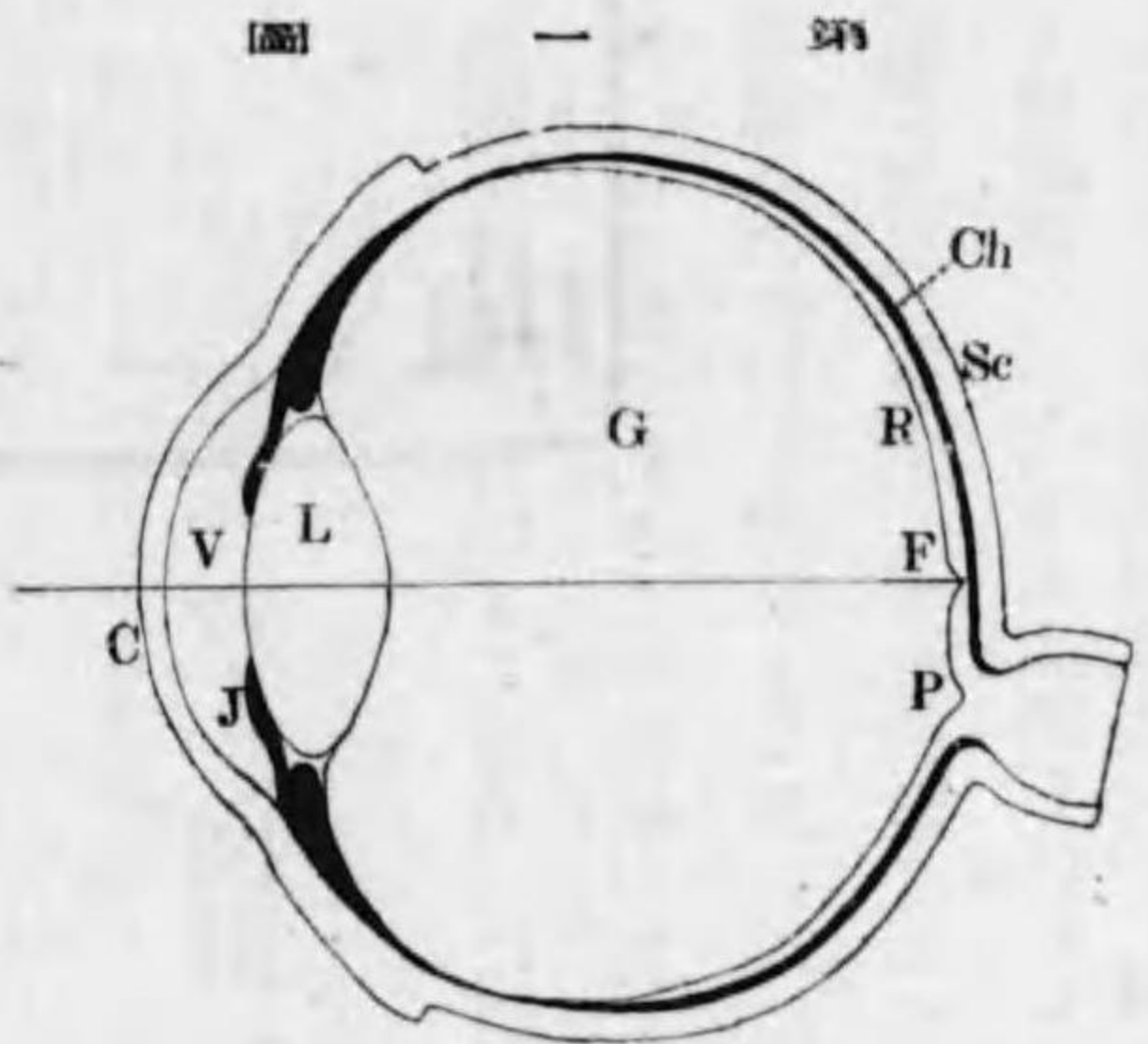


第一章 肉眼に依る物體の認識

肉眼が物體を認識する能力には限りがある。此制限以上に認識能力を高めんとするには廓大鏡、顯微鏡、望遠鏡の如き光學器械を用ふる事が必要である。

顯微鏡の作用を理解する爲めには先づ第一に如何にして外界の物體が眼によりて認識さるか云ふ事を知るを要する。第一圖は人眼の水平断面であつてCは角膜で、其後方には水様液を以て充されたる前眼房V、次で水晶體Iがある。水晶體の前面にある膜は虹彩(J)であつて、中央にある圓形の孔は瞳孔である。瞳孔の大きさは光線の強弱によりて差異があるけれども中等強度の光線に對しては約三

肉眼に依る物體の認識



乃至四耗の直径を有して居る。水晶體の後方に於ける大なる腔は透明なる膠様の物質にて充されて居る、之れは硝子體である(G)。Rは網膜であつて内方は硝子體に接し外方は脈絡膜(Ch)及び鞏膜(Sc)より包まれて居る。

網膜は眼の最も重要な部分であつて外界の物體は此處に結像し其刺戟は視神經を介して腦の方に運ばれる。網膜の構造は甚だ複雑であるから其詳細に關しては茲に述べる事は出来ないが唯光を感受する所の視細胞即ち桿體及び錐體に就きて一言すべし。此者は網膜の最外層に於て存し外方は色素層より界せられ、内方は數個の細胞を介して視神經に連なる。かくして桿體

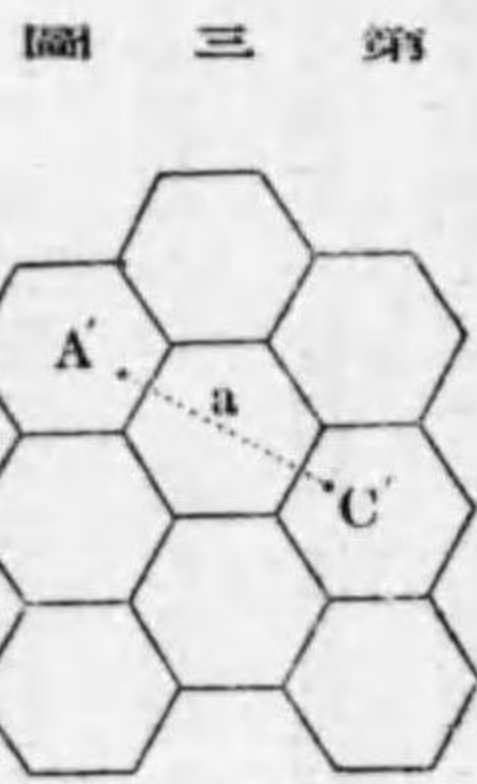
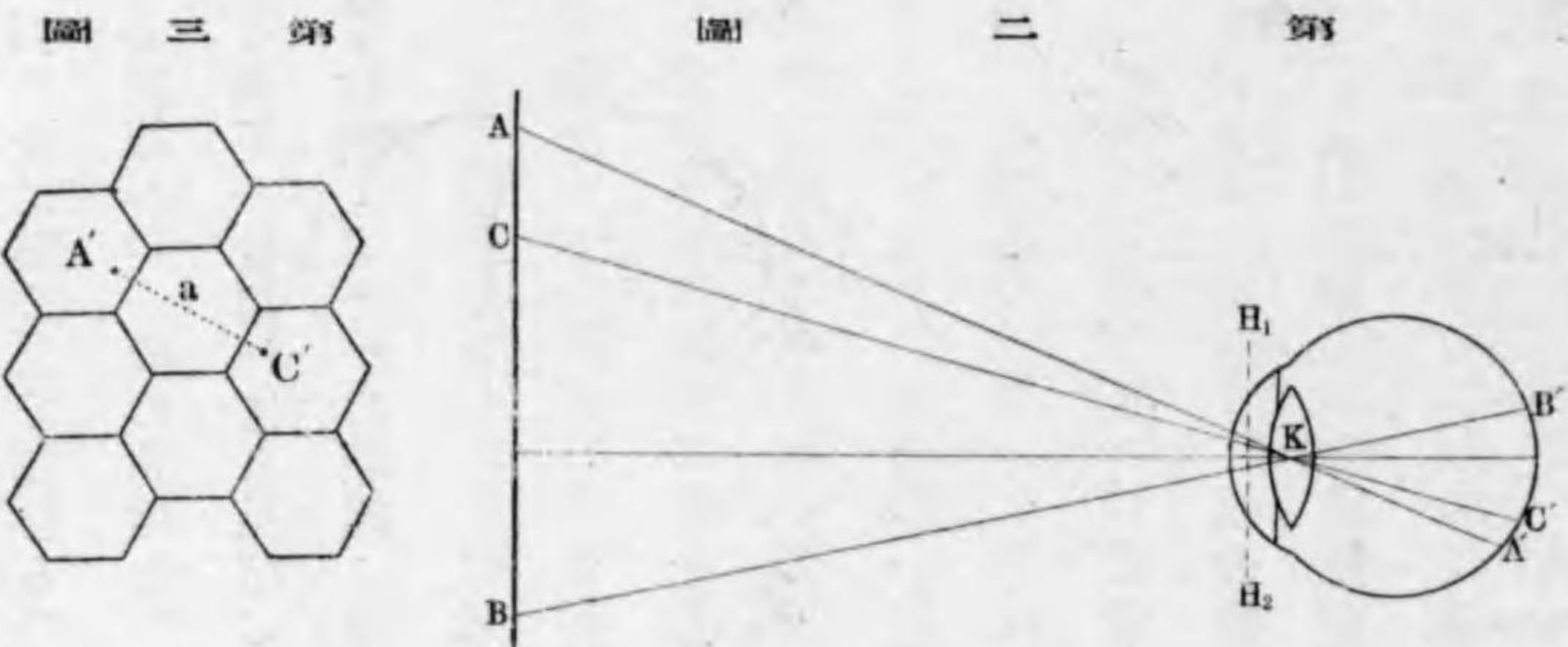
及び錐體の受けたる刺戟を眼に傳へるのである。第一圖に於てFなる部分は少しく凹陥し特別の構造を有して居る、此部を中心窩と云ひ眼球の後極に近く視神經進入部より三乃至四耗外方に存し外界の像を最も明確に認識する事の出来る場所である。發光點を最も明確に認知せんとする時は當該點の像を中心窩に結ばしむる様に眼を動かす事が必要である。中心窩に於ては視細胞は錐體のみより成つて居る。此部に於ける錐體は他の部に於けるよりも細く約三乃至四ミクロンの直径を有し面視に於ては

甚だ美なる網工となつて現はれる。

眼の解像力即ち如何にして二つの點を互に區別する事が出来るかと云ふ事を第二圖に於て説明すべし。今眼をABなる平面に正確に準焦せりさせよ、然る時は此平面の各點は網膜に明確なる像を結ぶべし。

Aの像はA'に、Bの像はB'にあるからA'B'に存する各錐體は刺戟さるゝと共に外界に於ける發光點の位置を感知するのである、即ち網膜に於て刺戟されたる點が益々低ければ低き程發光點は益々高く見ゆるのである。斯様にA、Bなる二點が互に相離れて居ると云ふ感じが起ると云ふ事は多少相離れて存する錐體が刺戟さるゝからである。

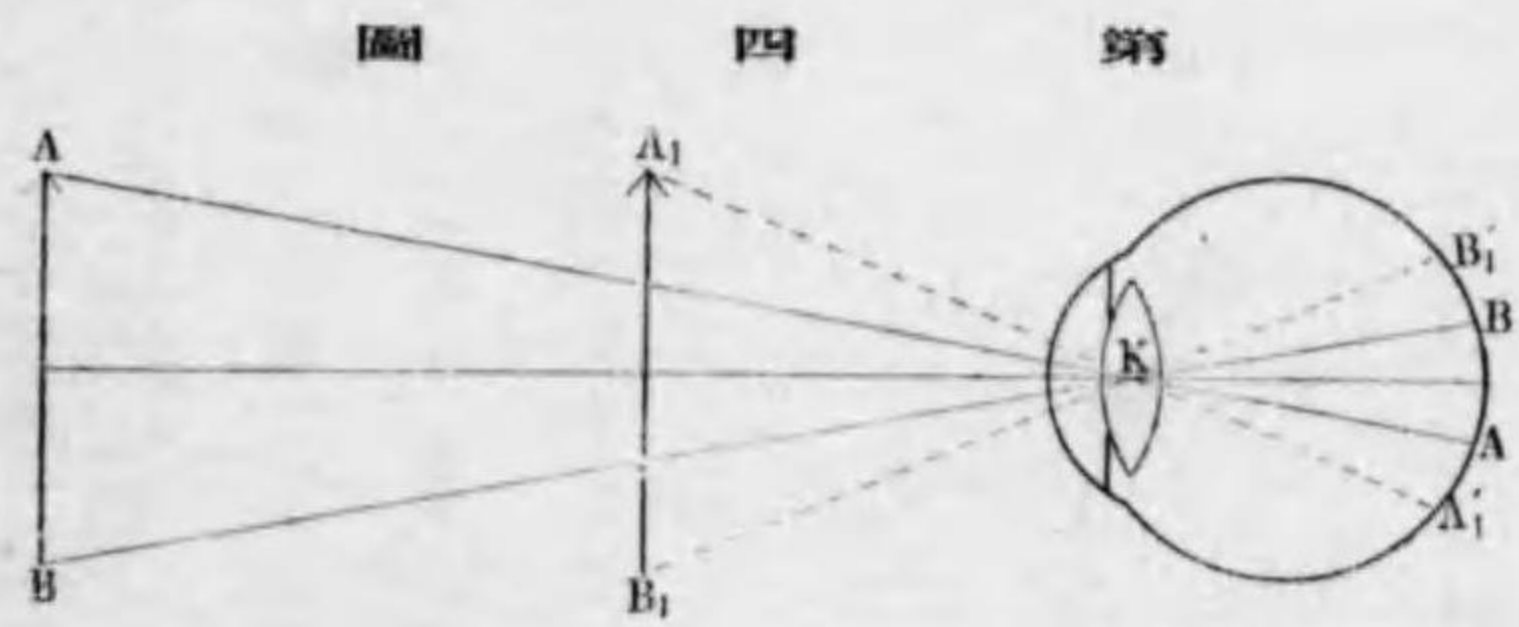
今Bなる發光點をCなる位置に持ち來たす時は其像C'はA'に近づくべし、此兩點によりて刺戟されたる錐體の間に尙刺戟されない錐體が唯一個(第三圖a)介在するに至る迄近づけたりさせよ。此場合に於ては此兩發光點は尙分離せる二點として認知さるゝのである。更に發光點A及びCが近寄りて相隣れる二つの錐體が刺戟されたりとする時は眼は最早や此兩點を分離せる二點として認知する事は出來ずして寧ろ



一個の發光點として認むるのである。精細なる計測に依るに兩發光點と網膜上に於ける像點とを結合する直線が約一分の角度をなす時に於て兩點は一點に結合すと云ふ。第二圖に於て AKC 又は AKC' なる角が一分なれば A 及び C は最早や二點として認知する事は出来ないのである。此角は網膜の上に於て約四ミクロンの距離に相當する。此事實は網膜に於ける像點の距離が錐體の幅よりも大である時に於て始めて二點を明確に區別する事が出来ること云ふ考へと一致するのである。

併し茲に注意すべきは網膜は一點より來れる光線が唯一個の錐體を興奮せしめる様に鋭敏なものではなく、多少近隣の錐體の上に興奮が波及するものであるけれども、之れを度外視して上に述べた如く考へても大した差はない。

互に區別さるべき二點より眼の結節點に引ける二直線が互になす角を視角と云ふ。第二圖に於て AC なる距離に對する視角は AKC である。此視角が一分より小なる時は當該物體に何等の構造を認める事が出来ないものである。二點が眼より遠方に存するか又は眼に近く存するかによりて視角に差異を生ずる。例へば第四圖に於て A, B なる二點が眼の結節點となす角度は一分以下であると假定する。今之れを眼に近づけて A_1B_1 に持來り、 A_1KB_1 なる角度が



一分よりも大となつたと假定する時は、 A_1, B_1 なる兩點は互に區別する事が出来る様になる。併し物體を眼に近づくるに従ひて像は益々明確になるとは云へない、之れには一定の限度がある、此限度を越へたならば網膜には明確なる像を結ばない。若年の人の正常眼に於ては無窮の遠距離より約八厘迄準焦を行ふ事が出来る、即ち調節機能によりて網膜に明確なる像を結ばしめる事が出来る。物體を約八厘より以上に眼に近づけたならば像は次第に朦朧となり、如何に努力しても之れに調節する事が出来ない。八厘迄近づけたる際に一分の視角に相當する二點の距離、即ち尙區別する事が出来る距離は○。二三毫である。此距離は肉眼を以て認知する事の出来る最小距離である。強き近視眼に於ては此最小距離は遙かに小であつて約○・○一六毫となる。

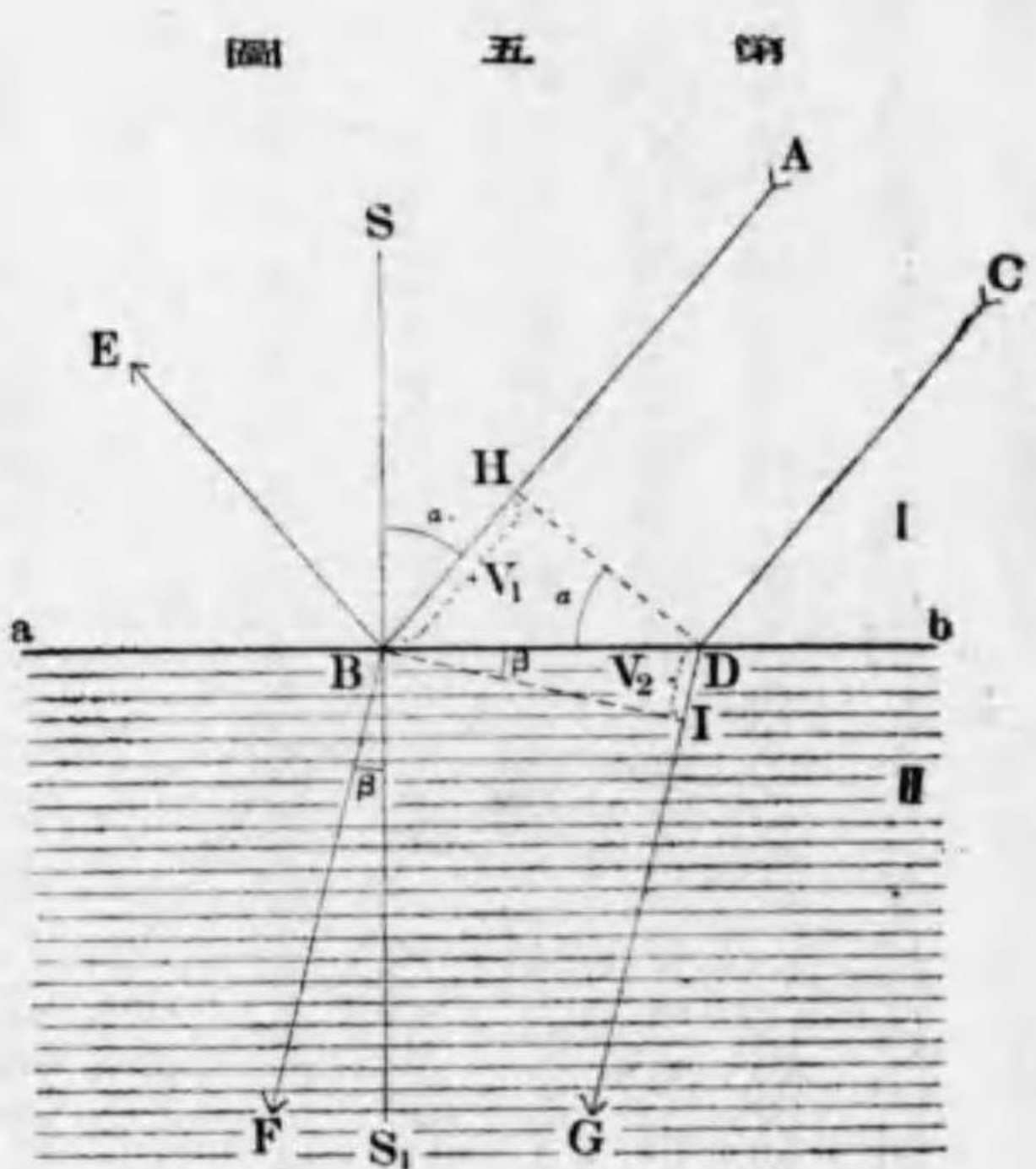
網膜の解剖的構造と眼の光學的装置の不完全であると云ふ事に基きて、吾人の眼は上に述べたる最短距離以下の二點を區別する事が出来ない。此限度以下の大きさを有する物體を認識せんとするには一定の光學器械を用ひて二點を肉眼で見るとよりも大なる視角に於て正視距離即ち大凡そ二五厘の距離に結像せしむる事を要す。廓大鏡、顯微鏡等は要するに物體の廓大せる像を正視距離に結ばしむるものである。

第二章 光線の屈折に関する二三の法則

次に顕微鏡の作用に關する理解を容易ならしむるために、光線の屈折に關する主要なる法則を幾何學的構圖に依りて説明する事とする。

第一節 二種の媒質の境界平面に於ける光の屈折

第五圖に於て平行光線 AB, CD が I なる媒質(例へば空氣)より II なる媒質(例へば硝子)に達せりとせば、是等の光線は兩媒質の境界面に於て其方向を變じ、I なる媒質に反射せらるゝものと II なる媒質内へ屈折進入するものとに分れる。射入點 B に於て境界面(屈折面)に對する垂線を SS_1 とし、反射光線を BE 、屈折光線を BF とする時は、射入光線 AB 、反射光線 BE 、屈折光線 BF 及び射入點に於ける垂線 SS_1 は同一平面上に在る。而して射入角 ABS と反射角 SBE は相等しけれ共、射入角 ABS と屈折角 SBF とは相等しからず、射入角の正弦と屈折角の正弦との比は射入角の大きさに關係なく兩媒質に對して常に一定せる値を有して居る。此比を I なる媒質に對する II なる媒質の屈折率と云ふ。光線が二媒質の境界面に於て其進行方向を變ずると云ふ事は光の波動説より説明する事が出来る。



光の進行速度は媒質の性質によりて異なり、水中に於ては空氣中に於けるよりも遅く、硝子中に於ては水中に於けるよりも遅し。二媒質例へば空氣と硝子との境界面に於ける屈折は此兩媒質内に於ける光の進行速度の差異に基くのである。今或瞬間に於て光源より發出する平行光線は一定時の後同一距離だけ進行する、例へば AB なる光線が H に來る間に CD なる光線は D に達する。今 CD なる光線は既に光學的密なる硝子に入し其運動は緩慢となるに反し、 AH なる光線は H より B 迄進行する間に、 CD なる光線は DI なる距離だけ走る。 HB なる距離は DI なる距離よりも大である。此の同一時間に空氣及び硝子中を走れる距離 V_1 、 V_2 は此兩媒質内に於ける光線の進行速度の比を示めすものである。 BI 以下は全光線は何等の障礙なしに II なる媒質中を BI なる線に鉛直なる方向に進行する。三角形 BDI 及び DBH に於て

$$\sin \beta = \frac{DI}{BD} = \frac{V_2}{V_1}$$

二種の媒質の境界平面に於ける光の屈折

$$\sin \alpha = \frac{HB}{BD} = \frac{V_1}{V_2}$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{V_1}{V_2}$$

であつて、角 $HDB = HBS$ 、角 $DBI = FBS$ である。故に上に掲げたる方程式から射入角の正弦と屈折角の正弦との比は I なる媒質に於ける光の速度と II なる媒質に於ける光の速度との比に等しと云ふ事になる。光の速度と云ふ代りに屈折率と云ふ語を用ひ n を以て示す。I なる媒質の屈折率を n_1 、II なる媒質の屈折率を n_2 とす。而して是等の屈折率は真空中に於ける光の進行速度 (V_0) と当該媒質内に於ける光の速度 (V_1, V_2) との比によりて示さるゝから

$$n_1 = \frac{V_0}{V_1}, \quad V_1 = \frac{V_0}{n_1}$$

$$n_2 = \frac{V_0}{V_2}, \quad V_2 = \frac{V_0}{n_2}$$

なり。故に

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\text{又は } \sin \alpha \cdot n_1 = \sin \beta \cdot n_2$$

となる。換言すれば射入角の正弦と屈折角の正弦との比は II なる媒質の屈折率と I なる媒質の屈折率との比に等し。此法則は之れを屈折法則と云ひ總ての光系に於ける光線進行の構圖及び計測に應用せらる。I なる媒質として空氣を選ぶ時は空氣中に於ける光線の進行速度は大凡そ真空中に於けると

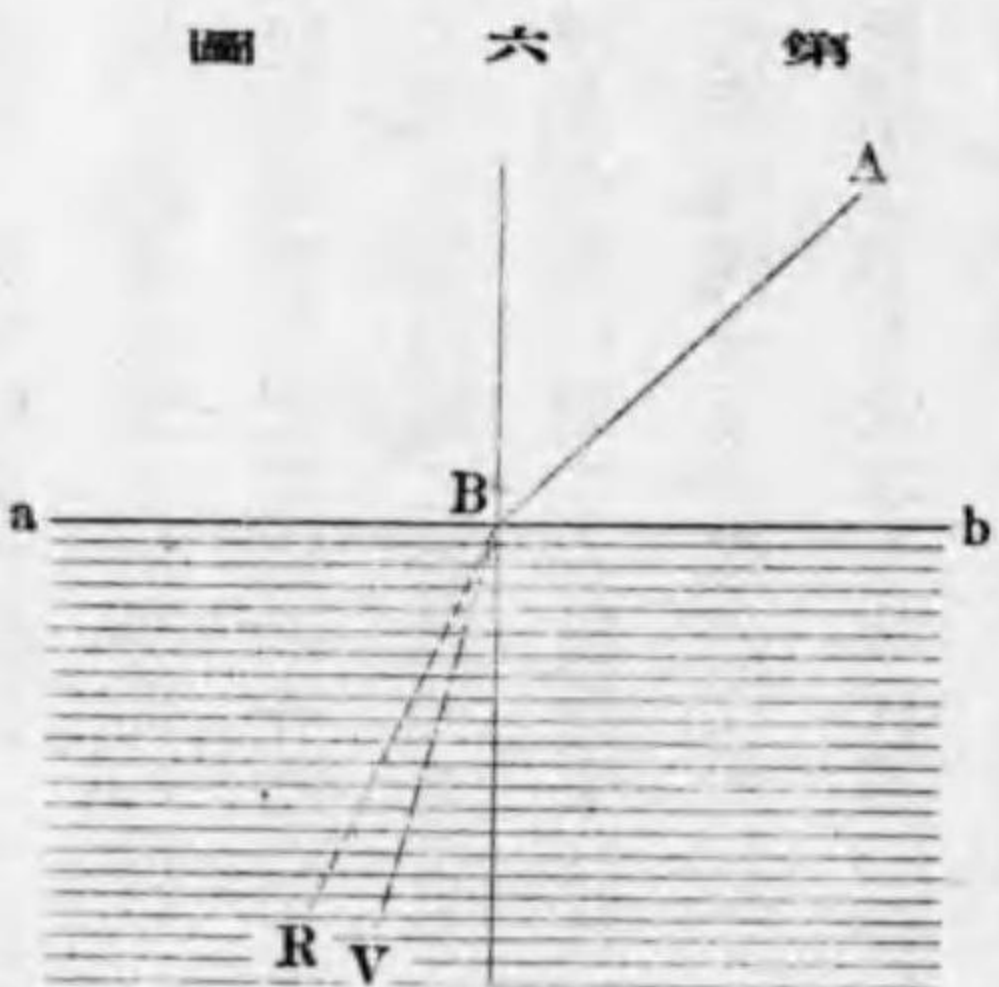
等しいから $n_1 = \frac{V_0}{V_1}$ は大凡そ I に等し。故に

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_2$$

となる。

上述の光の屈折の説明に於ては單色光を用ひたと假定したのであるが次に白色光線を用ふる場合を述べん。白色光線は種々の色から成立つて居る。プリズマによりて日光を分解する際に於て現はるゝスペクトルム又は虹に於ては移行色を除いても尙赤、橙、黄、綠、青、藍、紫等の各色を區別する事が出来る。光はエーテルの横振動であつて、種々の色を生ずるのは眼に達するエーテル波長の差異によりて起るものであると説明される。赤なる感覺を與へる所の光線は最も長き波長を有し七五九ミリクロン（一ミリクロンは九七ミリクロンの波長を有して居る）

今白色光線が光學的密なる媒質内へ進入するにせよ、此内に於ける光の進行速度は光の色によりて差異がある。短かき波長を有する光線は長き波長のものよりも徐々に進行するから、屈折率は小なる波長の光線（青・紫）に於ては大なる波長の光線（赤・黄）より



二種の媒質の境界平面に於ける光の屈折

も強い。例へば第六圖に示す如く一條の白色光線 $\angle \alpha$ が空氣中より水を盛れる深き器中に射入るとせば、此兩媒質の境界面に於て白色光中に含まれて居る赤色光線は $\angle \beta$ の方向に、紫色光線は $\angle \gamma$ の方向に屈折し、其他の各色は此兩光線の間にて配列する。故に器底に於ては白色の線條を見ずして少くとも其邊緣に著色せる帯を生ずべし。

種々の色に對する屈折率は媒質の異なるに従ひて同一ではない。例へば赤色に對する二種の媒質の屈折率は同一でも紫色に對しては異なるが如し。同一種の光線に對して或媒質の屈折率が他の媒質の屈折率よりも大なる時は第一の媒質は第二の媒質よりも大なる分散力を有すと云ふ。次の表はフリント硝子、クラウン硝子及び水の屈折率を示し、Bなる列は赤色光即ちフリウンホーフエル氏線のBに對する屈折率、H列はH線に於ける紫色光線の屈折率を示めす。

媒質名	B	H
フリント硝子 (N.F. 13)	一・六二七七	一・六七一一
クラウン硝子 (N.F. 9)	一・五二五八	一・五四六五
水	一・三三〇九	一・三四四二

上表によりてフリント硝子はクラウン硝子よりも大なる分散力を有し、水の分散力はクラウン硝子よりも遙かに小なる事を知るのである。而して分散の度はスペクトルムの部位によりて異なり、フリ

ント硝子に於ては分散力は青紫色の方に強く水に於ては赤色の方に強し。一般的に云へば、光の波長による屈折率の差の割合は物質によりて一様ではない。平均屈折率は大きくして分散力の差異のある二つの硝子を用ひてプリスマ又はレンズを色消しにする事が出来る。此事は顯微鏡の製作に際して重要な事柄である。

顯微鏡的検査に際して物體を封鎖するに用ふる媒質即ち封鎖劑の屈折率を次表に示す。此屈折率 (D) はフリウンホーフエル氏線D即ちナトリウム線 (波長五八九ミリクロン) に於て計られたものである。

媒質名	n _D
空氣	一・〇〇〇
蒸餾水	一・三三六
海水	一・三四三
グリセリン	一・三九七
蒸餾水	一・四七〇
オリブ油	一・五一〇
ツエーデル油	一・五二〇
ツエーデル油 (濃縮せる者)	一・五二〇

二種の媒質の境界平面に於ける光の屈折

トルケン油	一・五三三
カナダバルサム	一・五三五
一臭化ナフタリン	一・六五八

第二節 單光系に於ける光の屈折

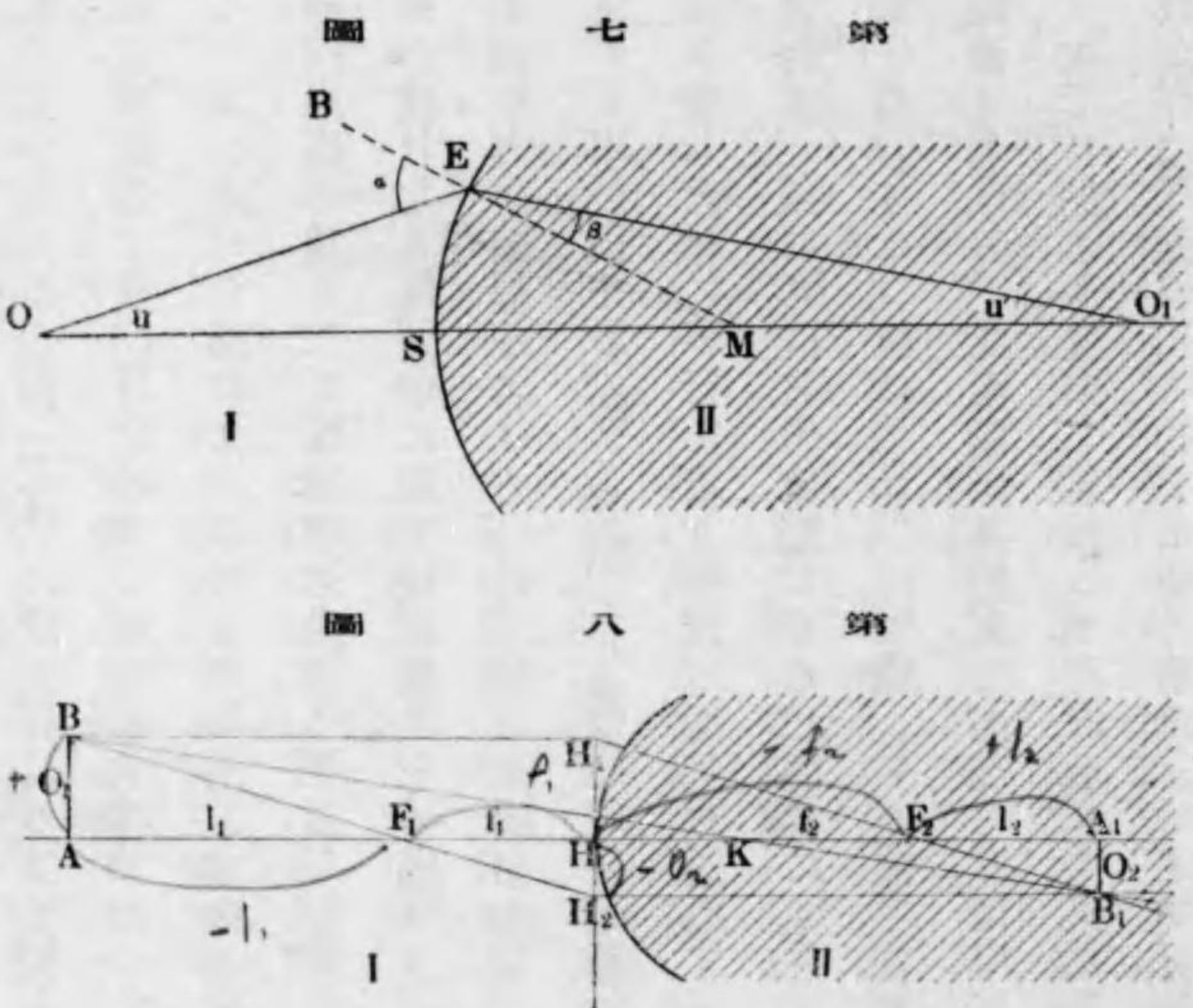
單光系とは光學的密度を異にせる二種の媒質が一つの球面によりて界せられてある場合であつて、此球の中心を通す任意の直線を光軸と云ふ。第七圖に於てSEは二つの媒質I、IIを分界せる球面とし、Mを其中心とす。OMなる光軸上に存するOなる發光點より發出する多數の光線の内OEなる光線の進路を追及せんに、此光線が球面に達する點Eに於ける小平面を想像する時は、此小平面はE點と球の中心とを結び付けたる線即ち球の半径EMに垂直であるからOEなる光線はEに於て一平面に於けると同様に屈折せらる。而してI及びIIなる媒質の屈折率を夫々 n_1 及び n_2 とすれば

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$$

なる屈折法則によりて β 角の値を見出す事が出来る。かくして見出されたるEO₁なる直線はEに於て屈折せる光線の進行する方向を示めす。此光線はO₁に於て光軸を切る。同様にO點より發出する他の光線も屈折の後O₁點に會すべし。O₁點を像點と名け之れに對してOなる發光點を物體點と云ふ。

物體點の存する媒質を物體空、像の生ずる媒質を像空と云ふ。之れと反對にO₁に光點が存する時は之より發する光線はO點に集るべし。然る時はO₁は物體點であつてOは像點である。斯くの如く互に相關聯せる所の二點を共軛點と名ける。

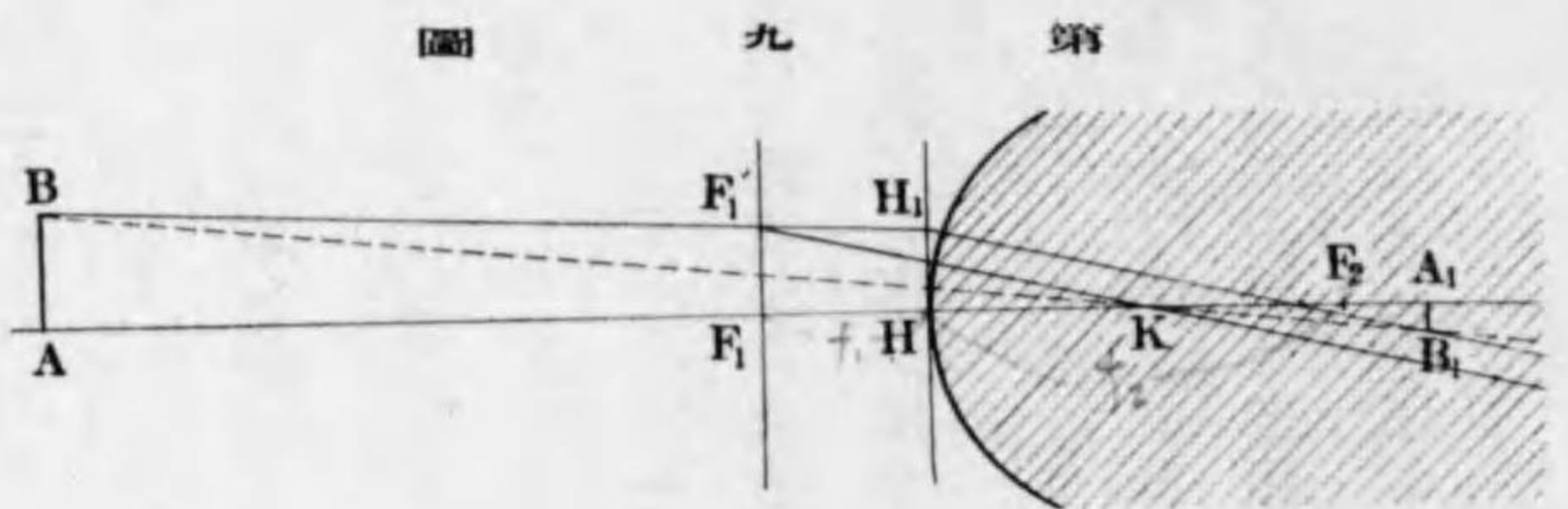
今光點が光軸上に於て無窮の遠距離にある場合には(第八圖)之れより出づる光線は光軸に平行に走る。かゝる平行光線も亦屈折の後一點に會合する。此點を當該光系の焦點と名ける(F₂)。反對に媒質II内を光軸に平行して走る光線は屈折の後Iなる媒質に於ける一點に會合すべし。之れも同じく焦點である(F₁)。F₁を前焦點、F₂を後焦點と名ける。逆にF₁又はF₂に光點が存すると考ふる時は之れより發する光線は屈折の後、各媒質II又はI内を光軸と平行して走るべし。



單光系に於ける光の屈折

一 物體より發する光線の進路及び物體と像との位置及び大きさの關係を第八圖によりて説明すべし。此際説明を簡單ならしむる爲めに光線の屈折は分界球面に於てせず、此球面の頂點Hに於て光軸に垂直に置かれたる平面 H_1H_2 に於て行はると假定する。此頂點を主要點、此平面を主要面と名ける。Kは兩媒質I及びIIを界せる球面の中心であつて結節點と名け、 F_1 及び F_2 を各々前焦點、後焦點とする。前に述べた所によりてBより發出する次の三様の光線の進路は定まつて居る。第一に F_1 を通す光線は屈折の後IIなる媒質中を光軸に平行して走る。第二の光線はIなる媒質を光軸に平行して走り屈折の後IIなる媒質中に於て後焦點 F_2 を通過する。第三に球の中心Kを通す光線は屈折する事なし、此光線を方向光線と名ける。此三種の光線を使用し、一物體ABに對する像の位置及び大きさを容易く定める事が出来る。即ちB點より發し、 F_1 を通過してIIなる媒質中を光軸に平行して走る光線 H_1B_1 、Bより發し光軸に平行に走り屈折の後 F_2 を通過する光線 H_2B_2 及び方向光線 B_3K は共に一點 B_1 に於て相會合す。故に B_1 はBの像點である。同様にAB上に於ける總ての點は A_1B_1 の上の之れに相當する點に會合する。故に A_1B_1 は物體ABの像である。物體の存する面を物體面と云ひ、像の生ずる面を像面と名ける。此兩面は其軀面であつて互に平行して居る。

次でB點より發出し光軸と平行に走らず又 F_1 をも通過せざる任意の光線 BH_1 の進路を決定するには(第九圖)先づ F_1 に於て光軸に垂直をなす平面を設ける。此平面を焦面と云ふ。Bなる光線は此焦面



を F_1 に於て切るとせよ。焦點より發する總ての光線は第二の媒質に於て光軸に平行に走ると同様に、焦面の一點 F_1 より發する光線は第二の媒質に於て方向光線に平行して走る。即ち H_1B_1 は F_1K に平行である。而して H_2B_2 なる光線はBより發しKを通す方向光線と B_1 に於て相會す。 B_1 はBの像である。

上に掲げた構圖に従ひて像の大きさ及び位置を簡單に計測する事が出来る。之れに用ふる方程式に於て符號(+)又は(-)を附せるは基點より當該距離の計らるゝ方向を示めすのである。基點としては焦點を選ぶ、何となれば焦點は最も容易に見出す事が出来るからである。第八圖に於ては水平の方向に於ては左方より右方へ計る場合を(+)とし、之れと反對の方向へ計る時には(-)を附す。此圖に於ては F_1 は前焦點、 F_2 は後焦點、Hは主要點、Kは結節點とすれば H_1H_2 なる距離は前焦點距離であつて f_1 を以て示めし(+)である、之に反して H_2H_1 なる距離は後焦點距離であつて f_2 を以て示めし、基點 F_2 より左方にあるから(-)符號を附す。其他 $AF_1 = -f_1$, $A_1F_1 = +f_1$ 也。又鉛直の方向に於ては光

軸より上方へ計らるゝ場合を(+), 下方へ計る場合を(-)とす。故に圖に於て $AB = +O_1$ であつて、 $A_1B_1 = -O_2$ である。上記の計測によりて O_1 なる物體より O_2 なる像が結びたりとせば、三角形

$F_1A_1B_1$ 及び $F_2H_2I_2$ は相似であつて $H_2H_1 \parallel O_2O_1$ であるから

$$\frac{-l_1}{+O_1} = \frac{+f_1}{-O_2} \text{ 又 } \frac{l_1}{O_1} = \frac{f_1}{O_2} \dots \dots (1)$$

又三角形 $F_2A_1B_1$ 及び $F_2H_2I_2$ は相似である。而して $H_2H_1 \parallel O_1O_2$ であるから

$$\frac{+l_2}{-O_2} = \frac{-f_2}{+O_1} \text{ 又 } \frac{l_2}{O_2} = \frac{f_2}{O_1} \dots \dots (2)$$

(1) 及び (2) を乗じて

$$\frac{l_1 l_2}{O_1 O_2} = \frac{f_1 f_2}{O_1 O_2}$$

即ち

$$l_1 l_2 = f_1 f_2 \dots \dots I$$

を得。此式から前焦點と物體間の距離 (l_1) 及び兩焦點距離 (f_1, f_2) を知れば像と後焦點との距離 (l_2) を計測する事が出来る。又方程式 (1) 及び (2) より

$$\frac{-O_2}{O_1} = \frac{f_1}{-l_1} = \frac{l_2}{-f_2} \dots \dots II$$

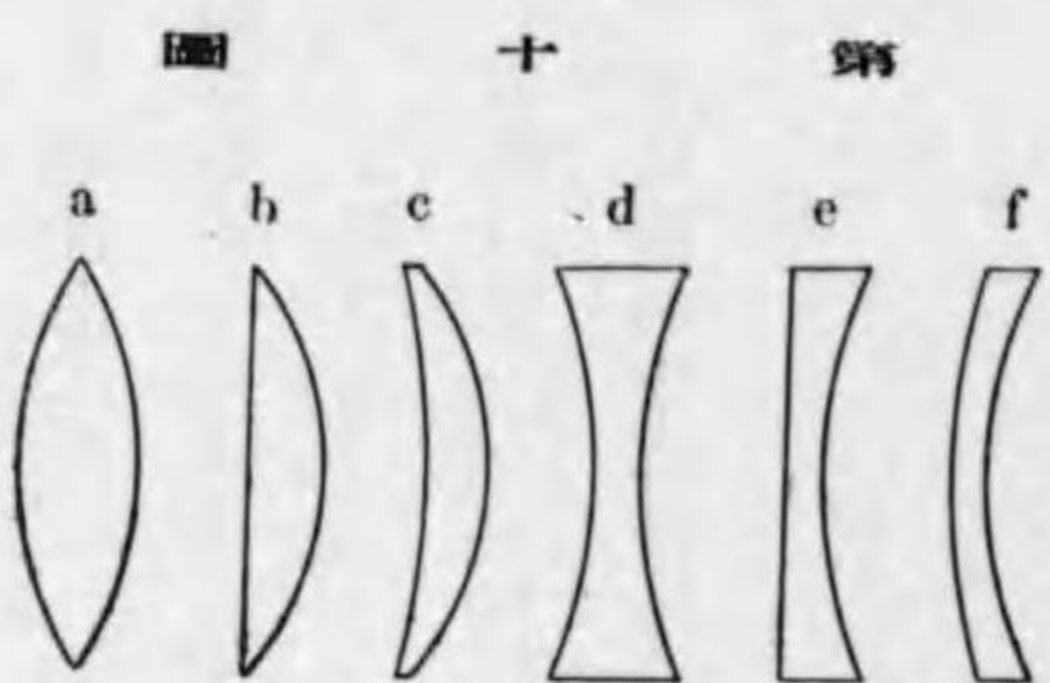
を得。此方程式に依れば物體の大きさに對する像の大きさの比即ち廓大力は前焦點距離と物體距離、若くは後焦點距離と像距離との比によりて示さるゝ事を知る。

上記せる方程式は複光系に對しても適用せらる。

第三節 複光系に於ける光の屈折

球面によりて界せられたる三種以上の媒質の列を複光系と云ふ。かゝる光系の球面の中心が同一直線上にあり且之れに對して其兩側部が對等なる時は之れを準軸光系と云ふ。かゝる複光系の最も簡單なるは二つの球面によりて界せられたる媒質が他の二媒質の間に存する場合である。第一の媒質の屈折率が之れを界せる他の二媒質の屈折率よりも大なる時には之れをレンズと名ける。

「レンズ」は其兩側が球面にて界さるゝか又は一側は球面、他側は平面にて界せられたるものである。而して此球面は或は凸面又は凹面であり得るから、次の六種の組合せが出来る理である。兩凸レンズ、平凸レンズ、凹凸レンズ、兩凹レンズ、平凹レンズ、凸凹レンズが之れである。此六種のレンズは之れを二群に分ける事が出来る、一群は其中央部が周縁部よりも厚きものであつて之れを凸レンズ又は集光レンズ(陽性レンズ、廓大レンズとも云ふ)第十圖の a、b、c 之れに屬す。之れに反して中央部が周縁部よりも薄きものを凹レンズ又は散光レンズ(陰性レンズ、縮小レンズ)と云ひ第十圖の d、e、f 之れに屬す。此等のレンズの内 c と f とは共に一側は凸面、他側は凹



複光系に於ける光の屈折

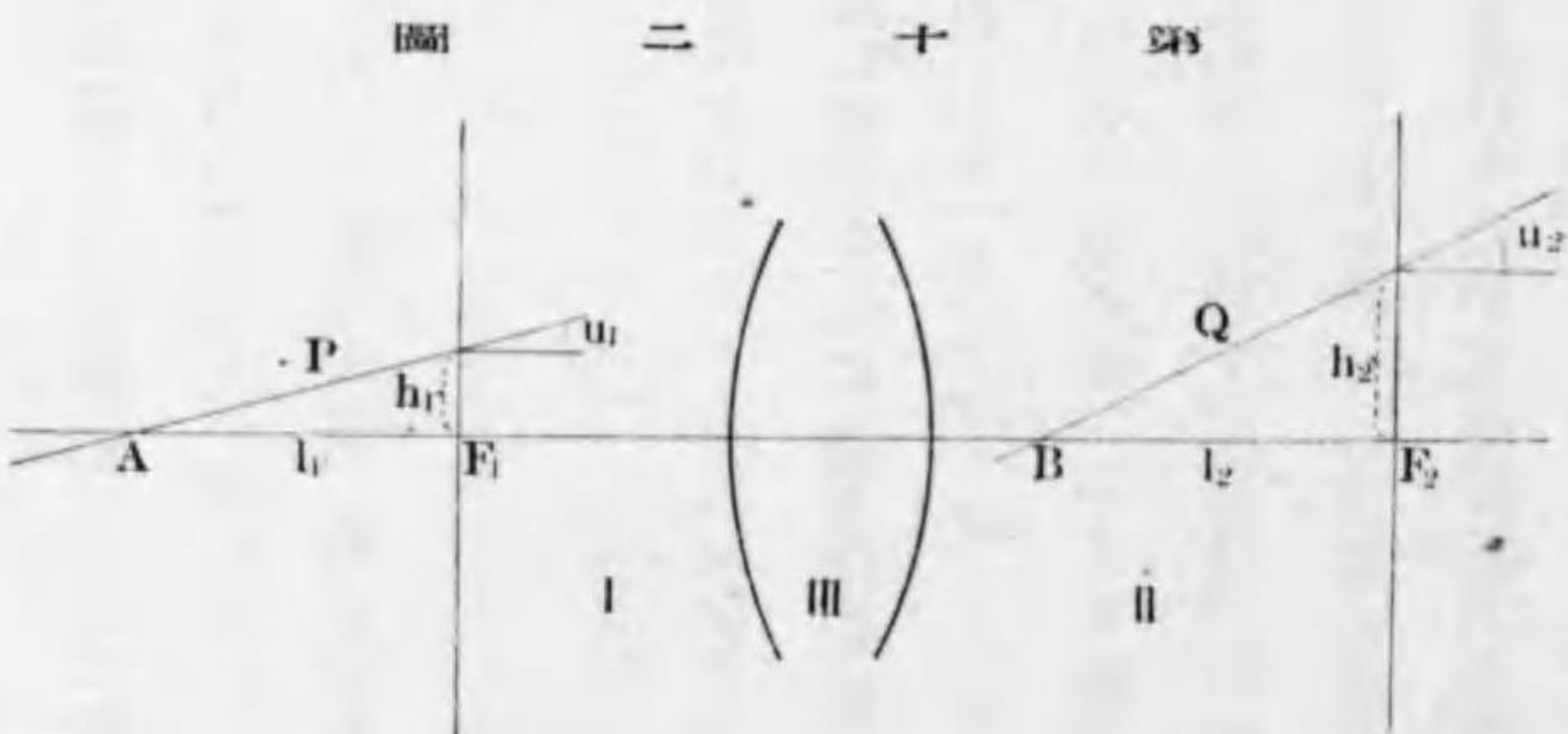
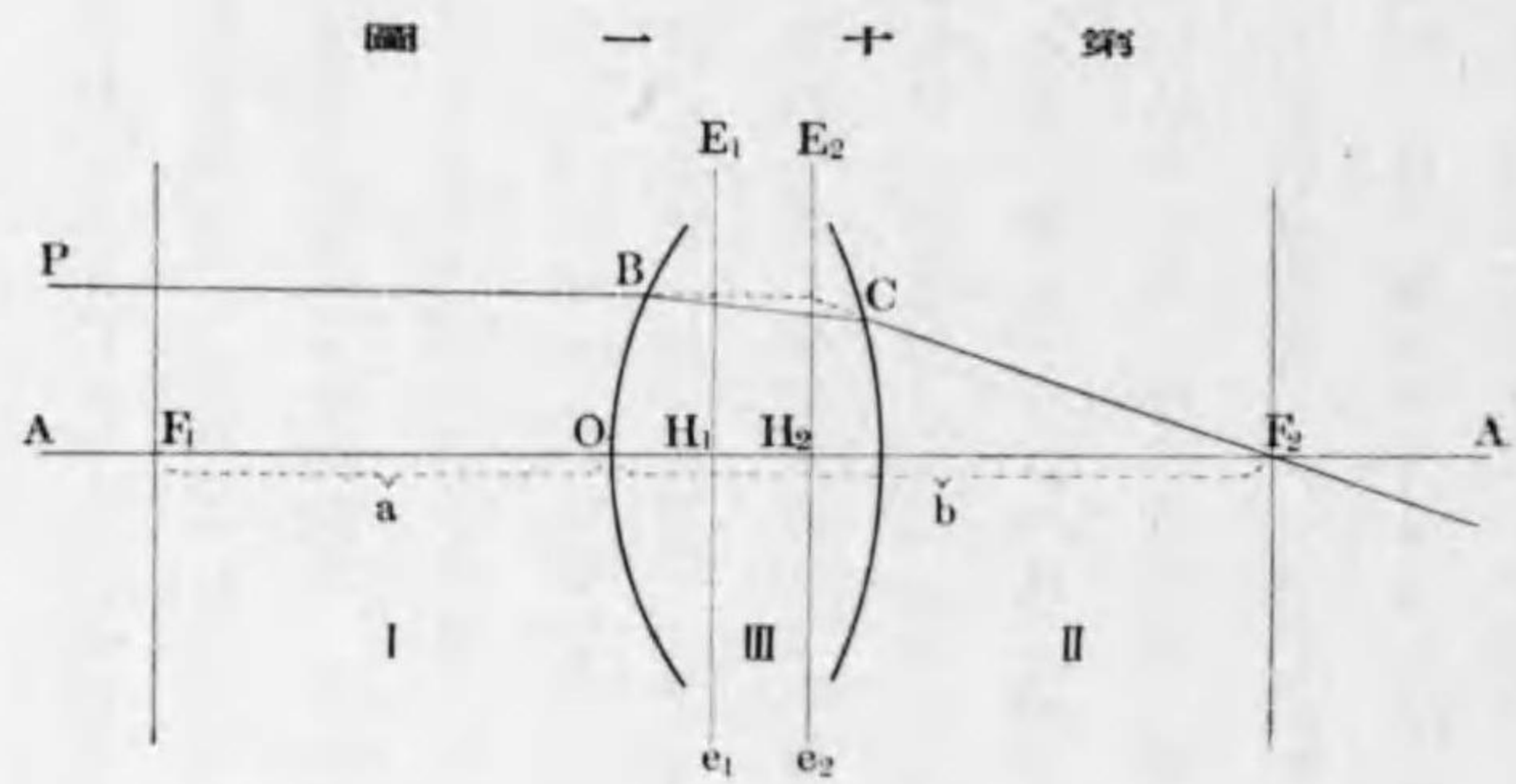
面より界せられて居る、而して之れが集光レンズに属するか又は散光レンズであるかは兩球面の彎曲度に關係して居る。凸面の彎曲度が凹面の夫れよりも大なる時は集光レンズであつて、之れに反する時は散光レンズである。是等のレンズは彎形レンズとも云ひ、 c を陽性彎形レンズ、 f を陰性彎形レンズと名ける。

二個以上のレンズを組合せ準軸せるものをレンズ系と云ふ。であるからレンズ系では各レンズを界せる球面の中心は一直線上に在る。

第一 レンズ又はレンズ系の基準點

レンズ又はレンズ系の光學的作用を研究するには其基準點を決定する事が必要である。基準點とは焦點、主要點及び結節點を云ふ。

一、焦點及び焦點距離。第十一圖に於てIIIをレンズ、I及びIIをレンズの前方及び後方に於ける媒質とし、 n_1 、 n_2 、 n_3 を夫々媒質I、II、IIIの屈折率とする。物體空に於て光軸に平行に走れる總ての光線は像空に於て光軸上の一點に會合す。又物體空の一定點より出づる光線はレンズを通過せる後、像空に於て光軸に平行に走るべし。かゝる點を焦點と云ひ、其の物體空に於けるものを前焦點、像空に於けるを後焦點と名ける。



焦點を定めるに最も簡單なる方は無窮の遠距離にある點例へば太陽より來れる光線を用ふる。太陽より來り媒質II中を光軸に平行に進行し來る光線はレンズによりて屈折せられ媒質Iに於て一點即ち前焦點(F_1)に集會す。之れと反對に媒質Iを平行光線が進行し來る時は媒質II内にて一點即ち後焦點(F_2)に集る。レンズが可なり大なる時は焦點に持來せる白紙は炭化すべし、之れは焦點に於ては日光の光線のみならず又其溫線が集會する爲めである。其點に於て光

軸に直角をなす平面を焦面と云ふ。 F_1 に於けるものは前焦面であつて、 F_2 に於けるものは後焦面であ

る。而してレンズに於ける固定點例へばOよりF₁及びF₂迄の距離a及びbを計れば焦點の位置が定まる。

何れの光系に於ても任意の光線が像空(若くは物體空)に於て焦面を切る高さ之れに關聯せる光線が物體空(若くは像空)に於て光軸となす角の正切との比は常に一定不變である。第十二圖に於てIIIを或光系とし、Iを物體空、IIを像空とし、F₁を前焦面、F₂を後焦面とする時は其關係は次の方程式によりて示さる。

$$\frac{h_1}{s_u} = f_1 \cdot \frac{h_2}{s_v}$$

圖に示せる如く媒質I中をu₁なる角度を以て走り前焦面を光軸よりh₁なる高さに於て切る所の光線は屈折の後、媒質IIに於てu₂なる角度に於て光軸に傾き後焦面をh₂なる高さに於て切れりと假定する時は $\frac{h_1}{s_u}$ 及び $\frac{h_2}{s_v}$ は任意の光線に對して一定不變の値を有す。之れを焦點距離と名けf₁及びf₂にて示す。換言すればu₂は光軸上に於て無窮の遠距離に存する媒質II中の物體(例へば太陽)の視角の二分の一に、h₁は像の大きさの二分の一に相當す。即ち媒質II中に於て無窮の遠距離にある物體は媒質II中に於て後焦點(F₂)の部に置かれたる眼にu×f₂なる視角に於て現はれ、媒質I中に於てu×f₁なる大きさの像を結ぶのである。故に焦點距離は無窮の遠距離にある物體の像の大きさの半ばと他側の媒質中に於て視たる二分の一の視角の正切との比である。

上の方程式が示す様に焦點距離の値は無窮の遠距離にある物體の像h₁の大きさと無窮の遠距離にある物體に對する視角u₂との比を測定して知るのであるが、短かき焦點距離を有する光系(例へば顯微鏡の對物鏡の如き)に於ては一米の距離は無窮と考へても差支へない。物體が近距離にある際に焦點距離を決定するには像と物體との大きさを計りて方程式

$$\frac{O_1}{f_1} = \frac{f_1}{s_v}$$

によりて見出せば宜い。

其他焦點距離と媒質の屈折率との關係は次の方程式によりて現はさる。

$$\frac{f_2}{s_u} = \frac{f_1}{s_v} \quad \text{III}$$

此方程式によりて分界球面の彎曲度が不變なる時は焦點距離は所屬の媒質の屈折率に正比例する事を知る。例へば前焦點距離f₁はn₁がn₂に比して小なるに従ひて小となる。

二、主要點及び主要面。單光系に應用したる方程式

$$I \dots \dots \dots y_1 y_2 = r_1 r_2$$

$$II \dots \dots \dots \frac{1}{f_1} = \frac{1}{f_2} + \frac{1}{s}$$

$$III \dots \dots \dots \frac{s_u}{f_1} = \frac{s_v}{f_2}$$

は複光系にも亦適合する。其他焦點距離の決定に向つて使用せる方程式

より相関聯せる光線が光軸となす角度即ち開角の關係を示す方程式を誘導する事が出来る。即ち第十
二圖に於て u_1 及び u_2 を相関聯せる兩光線 P 及び Q が光軸となす角度とする時は

$$\frac{h_2}{f_2 u_2} = f_1, \quad \frac{h_1}{f_1 u_1} = f_2$$

$$f_2 u_1 = -\frac{h_1}{f_1}, \quad f_1 u_2 = -\frac{h_2}{f_2}$$

$$h_1 = -f_1 \cdot f_2 u_1, \quad h_2 = -f_2 \cdot f_1 u_2$$

を得る。此方程式と前述せる焦點距離の決定に使用せる方程式とより

$$\frac{f_2 u_1}{f_1 u_1} = -\frac{f_1}{f_2} = -\frac{f_1}{f_2} \dots \dots \text{IV} \text{ を得る。}$$

今二二二に於て物體點と前焦點間の距離 l_1 と前焦點距離 f_1 とを等しと假定する時は二二二である
から

$$l_1 = f_1$$

となり、従ふて方程式 II は

$$\frac{O_2}{O_1} = \frac{l_1}{f_1} = \frac{f_1}{f_2} = 1$$

となる。換言すれば前焦點より f_1 なる距離にある物體は後焦點より f_2 の距離に於て同大で且同方向の
像を結ぶと云ふ事を示めす。又物體と像とを取換へて考へても同様である。複光系に於ては物體及び
像が同大で同方向に結ぶ所の兩共軛面を主要面と云ふ(第十三圖 $H_1 E_1, H_2 E_2$)。此面と光軸と交はる點

は主要點 (H_1, H_2) である。 f_1 及び f_2 は焦點より之れに相當する主要點迄の距
離であるから f_2 が (-)、 f_1 が (+) なる時は H_2 は F_2 の左方に、 H_1 は F_1 の右方に
存す。

三、結節點及び結節面。今二二二とすれば方程式 I より

$$l_1 = -f_1$$

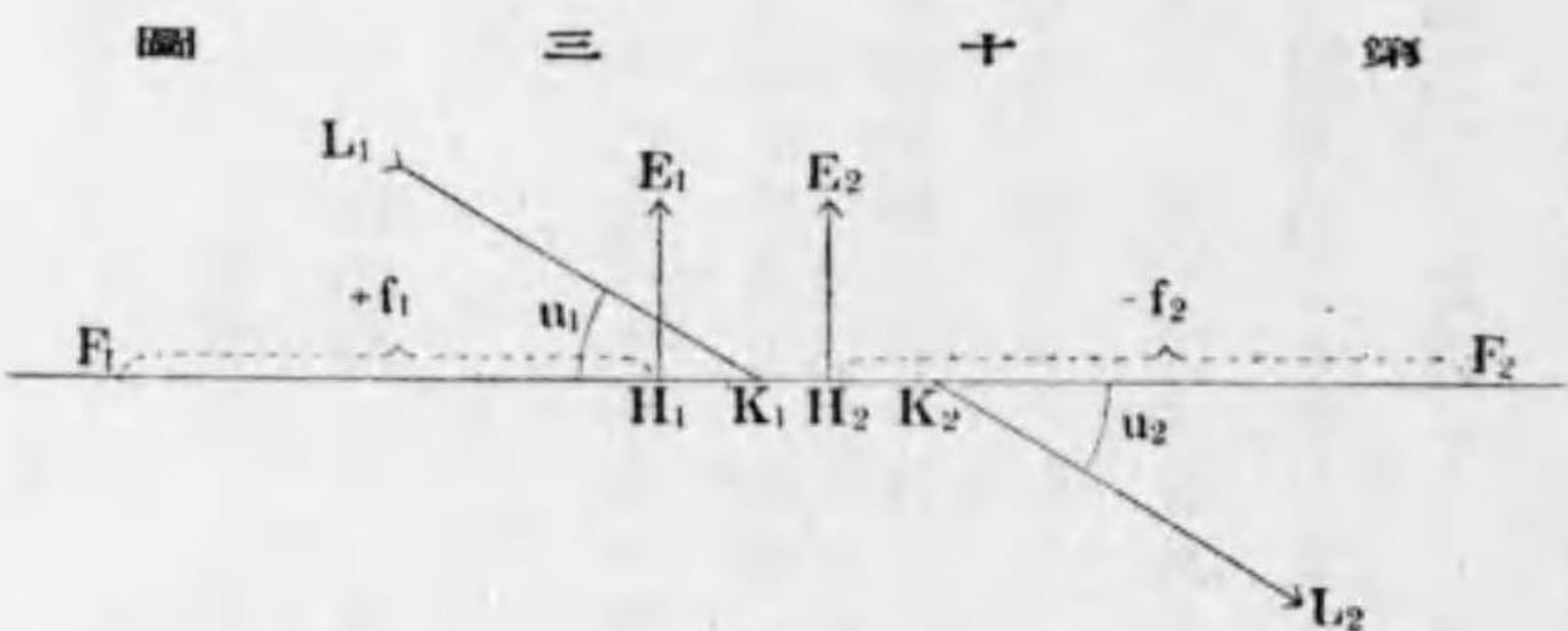
となり。従ふて方程式 IV より

$$\frac{f_2 u_1}{f_1 u_1} = 1$$

を得る。此式は $u_1 = u_2$ なる要約に於て相関聯せる二光線が兩共軛
點に於て光軸となす角は相等しと云ふ事を示す。此點を結節點と名づける。

第一の媒質に於て第一の結節點に向つて一定の角度を以て進入する光線 L_1
 (第十三圖) は第二の結節點より同一の角度を以て進出し第二の媒質に入る
($K_2 L_2$)、即ち兩光線は相平行せり。第十三圖に於て $F_1 K_1 = H_1 F_2, F_2 K_2 = F_1 H_1$
である。 K_1, K_2 點に於ける平面を結節面と稱へる。

上に述べた焦點、主要點及び結節點は當該光系特有のものであつて其光系
の機能を決する要素である、之れを基準點と云ふ。基準點に關して述べた



所を總括すれば

(一) 焦點は光軸に平行して來る所の光線の結合する所である。此點に於て光軸に直角をなす面は焦面である。

(二) 主要點及び主要面に於ては像と物體とは同大で同方向に向ふ。

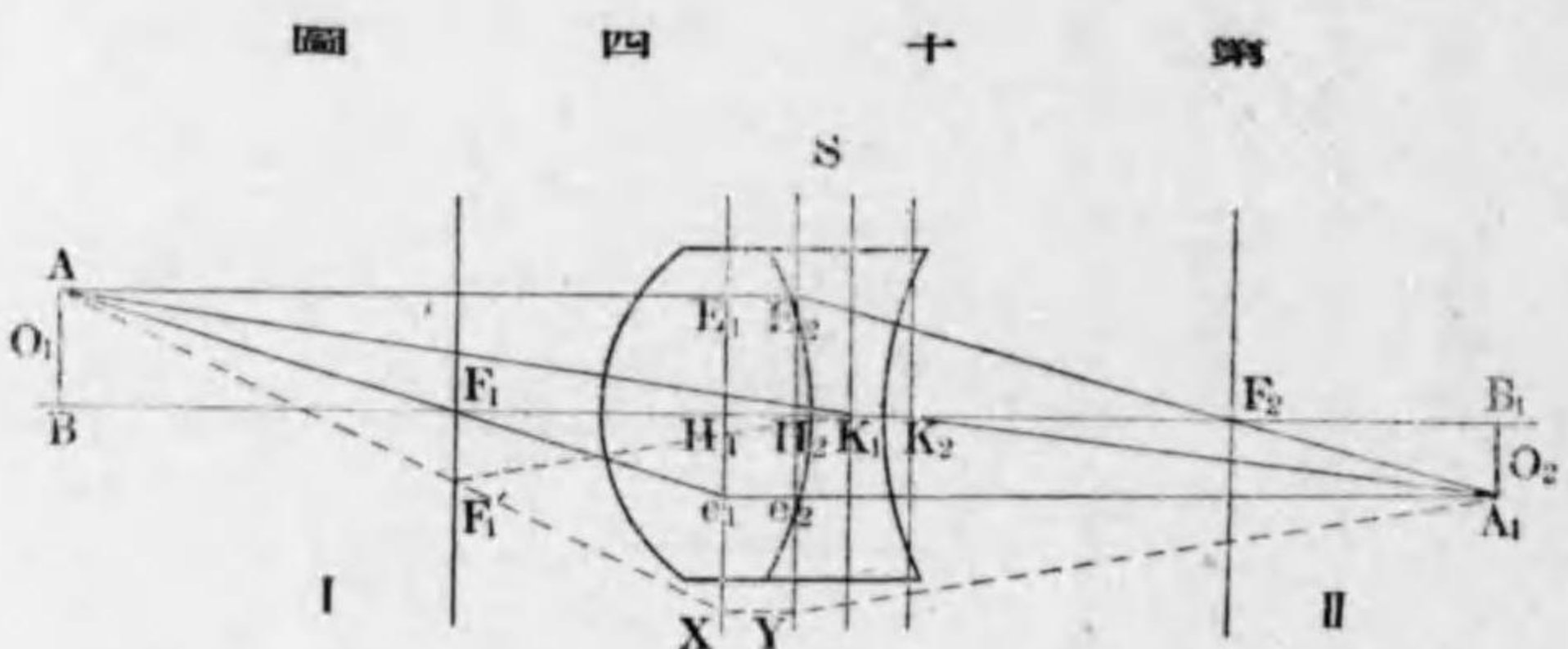
(三) 結節點に於て光系に進入する光線及び之れと關聯して光系より進出する光線が光軸と同一角をなす。

上に述べた所より或光系の焦點の位置及び焦點距離を知れば之より主要點及び結節點の位置を定める事が出来る。第十三圖に於て F_1 及び F_2 を兩焦點とし $+f_1$ を F_1H_1 の距離に、 $-f_2$ を F_2H_2 の距離に光軸を切れば $+f_1$ であるから F_1H_1 の距離は F_1 より右方に計り、 $-f_2$ は $(-)$ であるから F_2 點より左方に計るのである。此兩距離の終點 H_1 、 H_2 は主要點であつて、此點に於て光軸に鉛直をなす面 H_1E_1 及び H_2E_2 は主要面である。第一の主要面に存する物體 H_1E_1 は第二の主要面 H_2E_2 に於て同大にして同方向なる像を生ずるのである。次で F_1 より第一の結節點迄の距離 H_1N_1 を f_1' と、 F_2 より第二の結節點迄の距離 H_2N_2 を f_2' と等しく切れば K_1 、 K_2 なる兩結節點を得る。故に K_1 、 K_2 間の距離は H_1 、 H_2 間の距離に等しく、兩結節點は兩主要點の一侧に存する。

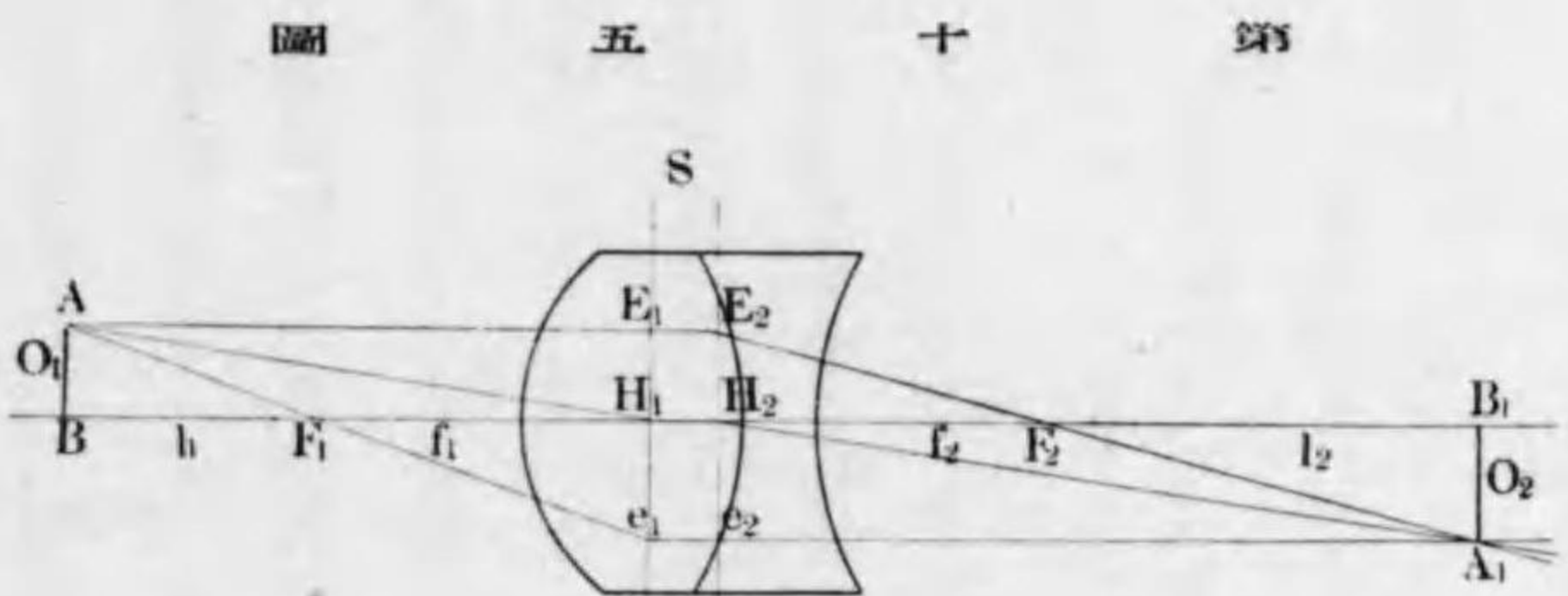
第二 レンズ系に於ける結像構圖

一、先づ第一に或レンズ系の兩側に存する媒質I及びIIが光學的密度を異にして居る時、例へば眼球又は液浸系に於けるが如き場合を述べん。此場合には焦點距離 f_1 、 f_2 は不同である。眼に於ては物體空には空氣(I)存し、像空の媒質は硝子體(II)である。液浸系に於ては物體空は封鎖劑、覆蓋硝子及浸液であつて、像空は空氣である。

第十四圖に於てSをレンズ系とし、I及びIIを前後の媒質とし、 F_1 及び F_2 は前、後の焦點、 H_1 及び H_2 は主要點、 K_1 及び K_2 は結節點とす。今物體ABの一點Aに對する像點 A_1 を求むるには第一にAより發し光軸に平行に走る光線 AE_1 はレンズを通過せる後、後焦點 F_2 を通す。第二にA點より發し前焦點 F_1 を通過する光線 AE_2 はレンズを通過せる後、光軸と平行に走るべし。而して此兩光線は A_1 に於て交はる。 A_1 點はA點の像であつて、 A_1 より光軸に下せる垂線 A_1B_1 は物體ABの像である。次でAより第一の結節點 K_1 に引ける直線に平行して第二の結



複光系に於ける光の屈折



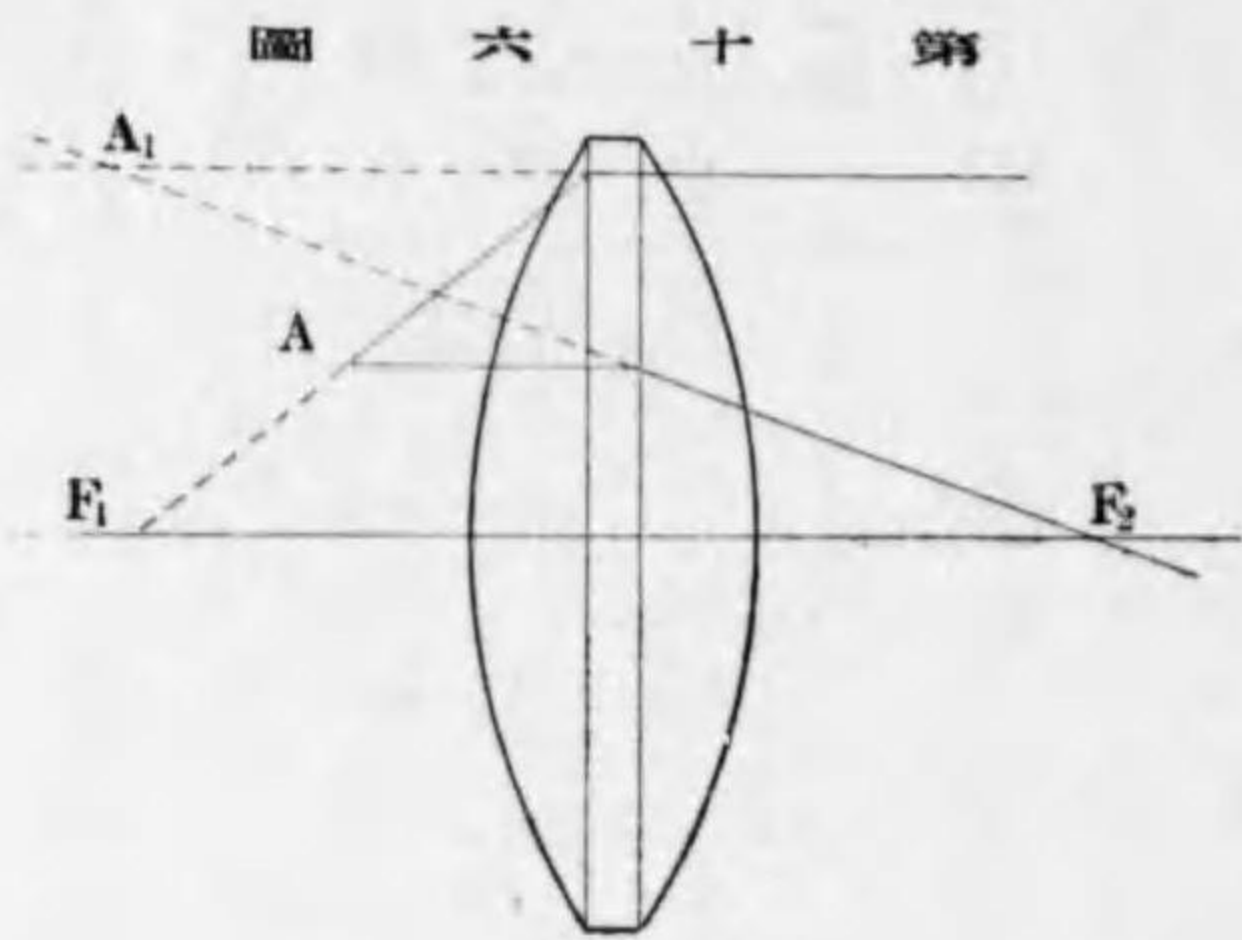
第十 五 圖

節點 K_2 より直線を引けば同様に A_1 に會すべし。
 次で A より發し光軸と平行に走らす。又 F_1 をも通過せざる任意の光線 AX の經路を知るには AX が前焦面と交叉する點 F_1' より第一結節點 K_1 に直線 $F_1'K_1$ を引けば F_1' より發する總ての光線は媒質 Π 中に於ては $F_1'K_1$ に平行に走るから、第一主要面に於ける X に對する第二主要面に於ける Y 點より $F_1'K_1$ に平行に YA_1 を引けば求むる所の光線の進路である。此光線も亦 A_1 點に會合す。

二、次でレンズ系の兩側が同一の媒質より界されて居る場合、例へば多くの光學器械に於ける如くレンズ系が空氣中に存する場合の結像状態を見るに

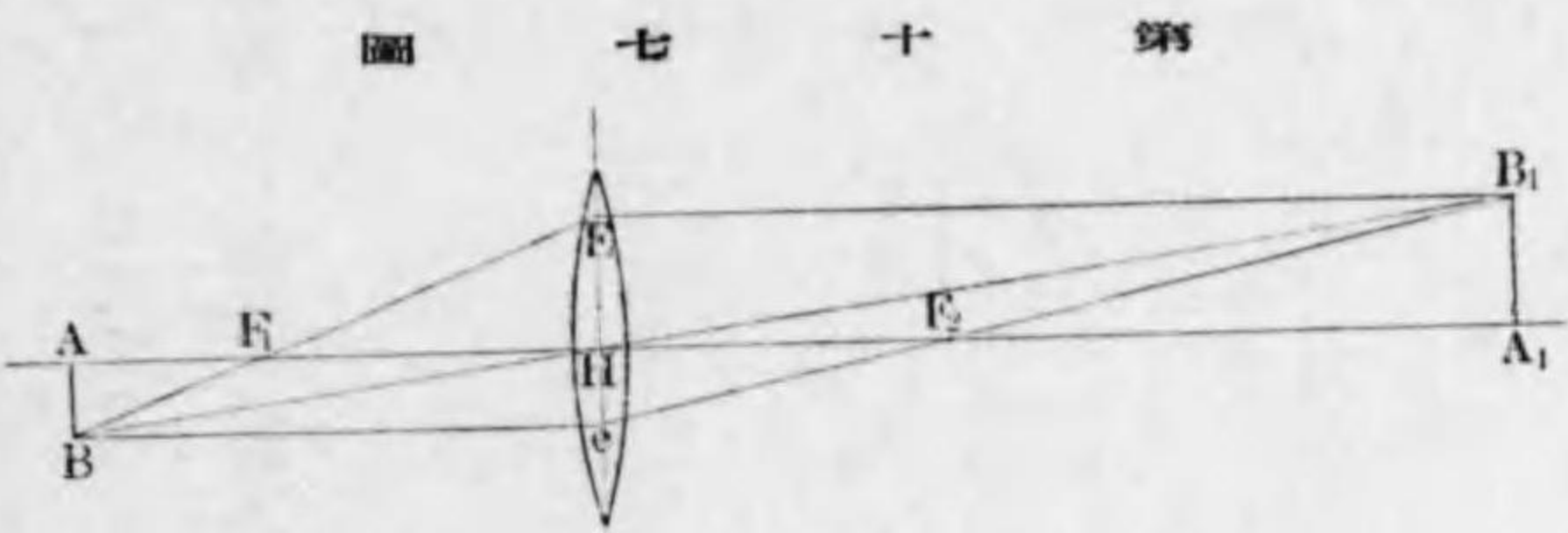
$$\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{f}$$

なる方程式より $f = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2}$ であるから f である。即ち前、後の焦點距離は同一で其符號を異にして居るから相反對せる側に存する理である。第十五圖に於て S なるレンズ系の焦點 F_1 及び F_2 より F_1H_1 及び F_2H_2 なる距離を各 f_1, f_2 とすれば主要點 H_1, H_2 を得る。結節點は此場合に於ては

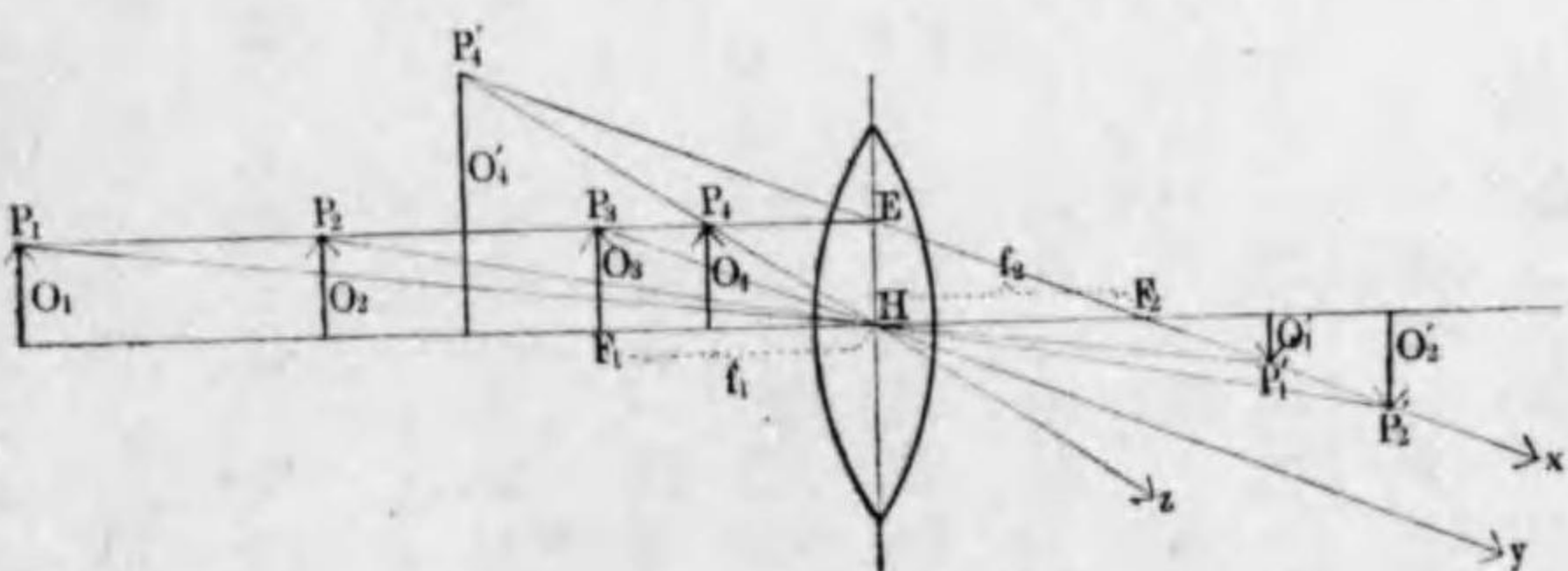


第十 六 圖

「 f 」であるから H_1 及び H_2 と合し爲めに構圖は簡單である。今 AB なる物體の一點 A より光軸に平行に進む所の光線 AE_1 は F_1E_1 なる距離丈け光軸と平行に移動し後、屈折し後焦點 F_2 を通して $F_2E_1A_1$ の方向に走る。次に A より前焦點 F_1 を通す光線 AE_2 は F_2E_2 間を移動し光軸と平行に走り A_1 に於て $F_2E_2A_1$ と交叉す。 A_1 は A 點の像である。又此場合に於ては結節點は主要點と合致し A より第一の結節點 H_1 に向つて進入する光線が光軸となす角は第二結節點 H_2 より出で A_1 に達する光線が光軸となす角と同一であるから SAH_1 及び H_2A_1 は平行に走る。 A_1 は A の像點であるから O_1 の像は O_2 である。
 又或一點の像を見出す爲めに設ける所の光線が像空内に於て交叉しない事がある。例へば第十六圖に示す様に A なる點が焦面内に於て存する場合に A の像を見出す爲めには此點より光軸に平行なる光線及び此點と焦點 F_1 とを結び付けたる光線はレンズによりて屈折されたる後、分散し像空に於ては交叉せず之れを物體空の方に延長すれば A_1 に於て交叉す。前に述べた場合に於ては像を紙上に受ける事が出来たけれ共此場合には出来ない。第一の場合の像を眞像と云ひ、第二の場合を虚像と云ふ。



第十 七 圖



第十 八 圖

レンズが甚だ薄き時、換言すればレンズを界せる
 兩球面の距離が主要面と之れに屬せる焦點との距離
 に比して小なる時はレンズの厚さを度外視しても差
 支へないから、兩主要面は單一なる面に合致せりと
 考ふる事が出来、構圖は一層簡單となる。かゝるレン
 ズに於ける光線の進路は第十七圖の示す如くBより
 發出する光線の内F₁を通過するもの及び光軸に平行
 に走るものは他側に於てB₁に合す又レンズの中心即
 ち主要點Hを通過する光線は屈折せずして走りB₁に
 會合す。

第三 凸レンズ及び凹レンズに於ける
 像の位置及び大きさ

一、第十八圖に於ては構圖を簡單ならしめる爲めに兩主要面は一平面(H₁H₂)に合せりと假定する。
 F₁及びF₂は前、後の焦點であつて、HF₁(f₁)及びHF₂(f₂)なる距離は同一である。P₁、P₂なる物體點に

相當せる像點P₁'、P₂'は物體點より光軸に平行に走り屈折の後、後焦點を通す光線P₁X、P₂Xと各物體點より
 結節點(此場合に於てはレンズの中心H)を通す所の直線即ち方向光線を引けば見出す事が出来る。
 物體が無窮の遠距離にある時は像はF₂に於て結ぶ。物體を之よりレンズに近づくるに従ひて方向光線
 が光軸となす角は益々増大し従ふて像空に於て後焦點を通して進む光線との交叉點は益々レンズより
 遠ざかり之れと同時に像は益々大となる。物體がレンズより二倍の焦點距離の部に達した時には(P₂)
 像は像空に於て同様に二倍の焦點距離の部に結ぶ、此際には物體と像とは同大である。尙之れよりも
 物體をレンズに近づければ像は益々増大し物體が前焦面に來れば(P₁)像は無窮の遠距離に生ず、何
 となればP₁より發出する光線はEX及びHYの方向を取り而かも兩光線は平行に走るから無窮の遠
 距離に於て合するのである。無窮の遠距離より前焦點迄の間に存する物體の像は後焦點より左方無窮
 の遠距離間に生じ磨硝子を以て此像を受取る事が出来るから之れを眞像と名け倒立して居る。次で物
 體が前焦點より第一主要點に向つて移動するならば(O₁)直立せる像は左方の無窮の遠距離から第二主
 要點(H₂)に向つて移動すべし。例へばP₁なる點より發出する光線はレンズの他側に於ては分散し會合
 する事なし。之れに反してEX及びHYを左側に延長すればP₁'に於て相交するるのである。故に此
 場合に於ては物體と同側に於て増大せる直立の虚像を生ずる。而して此虚像は物體をレンズに近づ
 くるに従ひて益々小となる、物體を第一主要面(H₁)に持來せば第二主要面(H₂)に於て同大にして同方向

の像を生ずるに至る。故に凸レンズによる結像は次の法則に従ふ。

(一) 物体が二倍の焦点距離以上レンズより離れてある時は倒立せる眞像を生じ、此像は物体がレンズに近づくに従ひて益々大となる。

(二) 二倍の焦点距離と焦点距離間に物体が存在する時にも倒立せる眞像を生ず而して此像は物体が焦点に近づくに従ふて益々増大する。

(三) 焦点距離内に物体の存在する時には直立せる虚像を生ず。此像は物体がレンズに近づくに従ひて縮小す。

二、凹レンズに於ても(第十九圖)前述せると同様に主要面を一個として考ふ。凹レンズの左側に於て P_1, P_2, P_3 等の物体点より發し光軸と平行に走る所の光線は屈折の後分散し之れを延長すれば焦点を通る。而して是等の点より發しレンズの中心を通ずる方向光線と P'_1, P'_2, P'_3 に於て交叉せることすれば P'_1, P'_2, P'_3 は P_1, P_2, P_3 の像点であつて O_1, O_2, O_3 なる物体の像は各 O'_1, O'_2, O'_3 である。是等の像はレンズの他側に於て結ばず却つて皆物体空に存するから

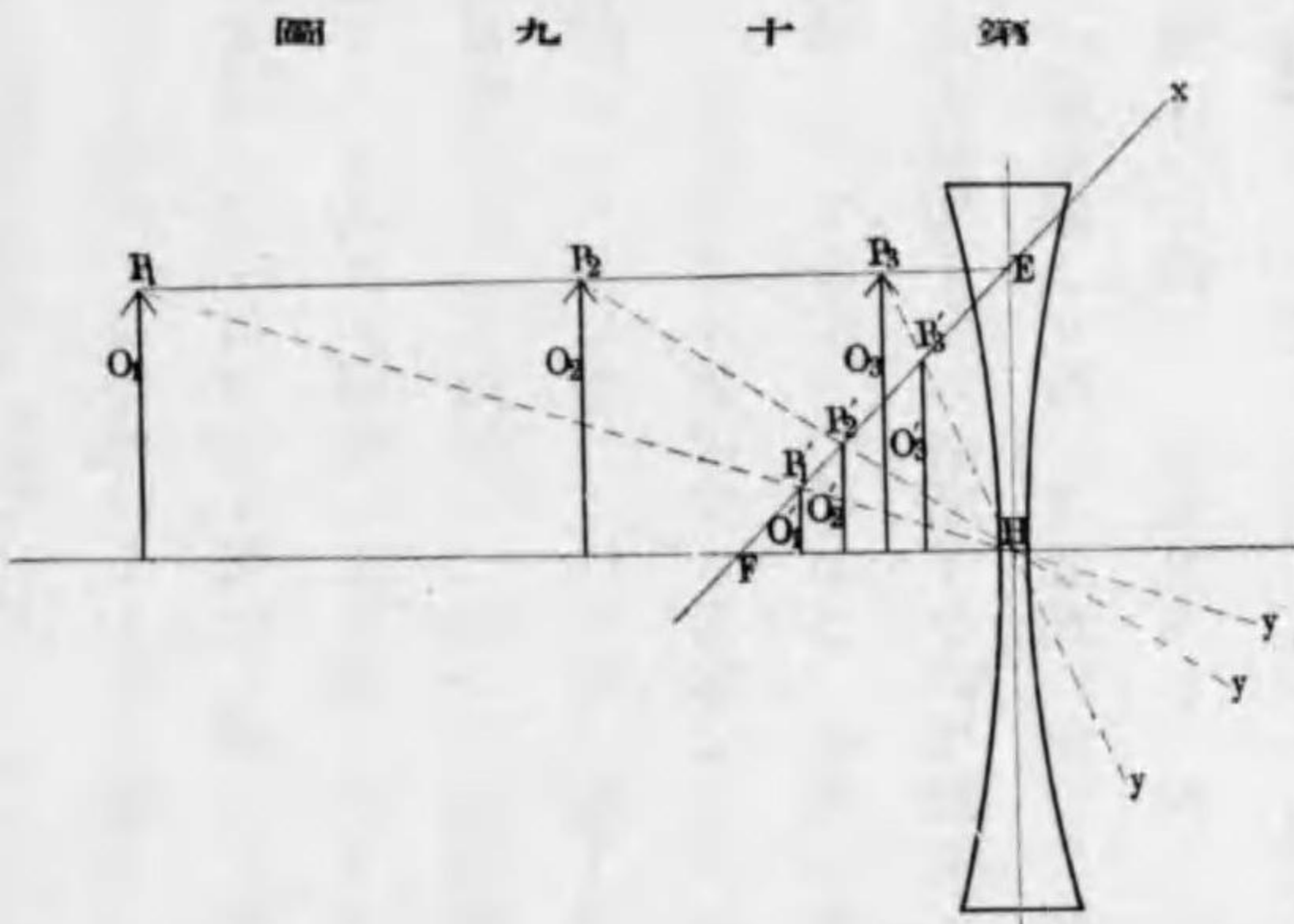


圖 九 十

虚像である。物体が H_1 に來たれば H_2 に於て同大で直立せる像を生ずる。故に凹レンズに於ける結像に關しては次の法則が適用される。

(一) 凹レンズは常に直立せる虚像を與へる。

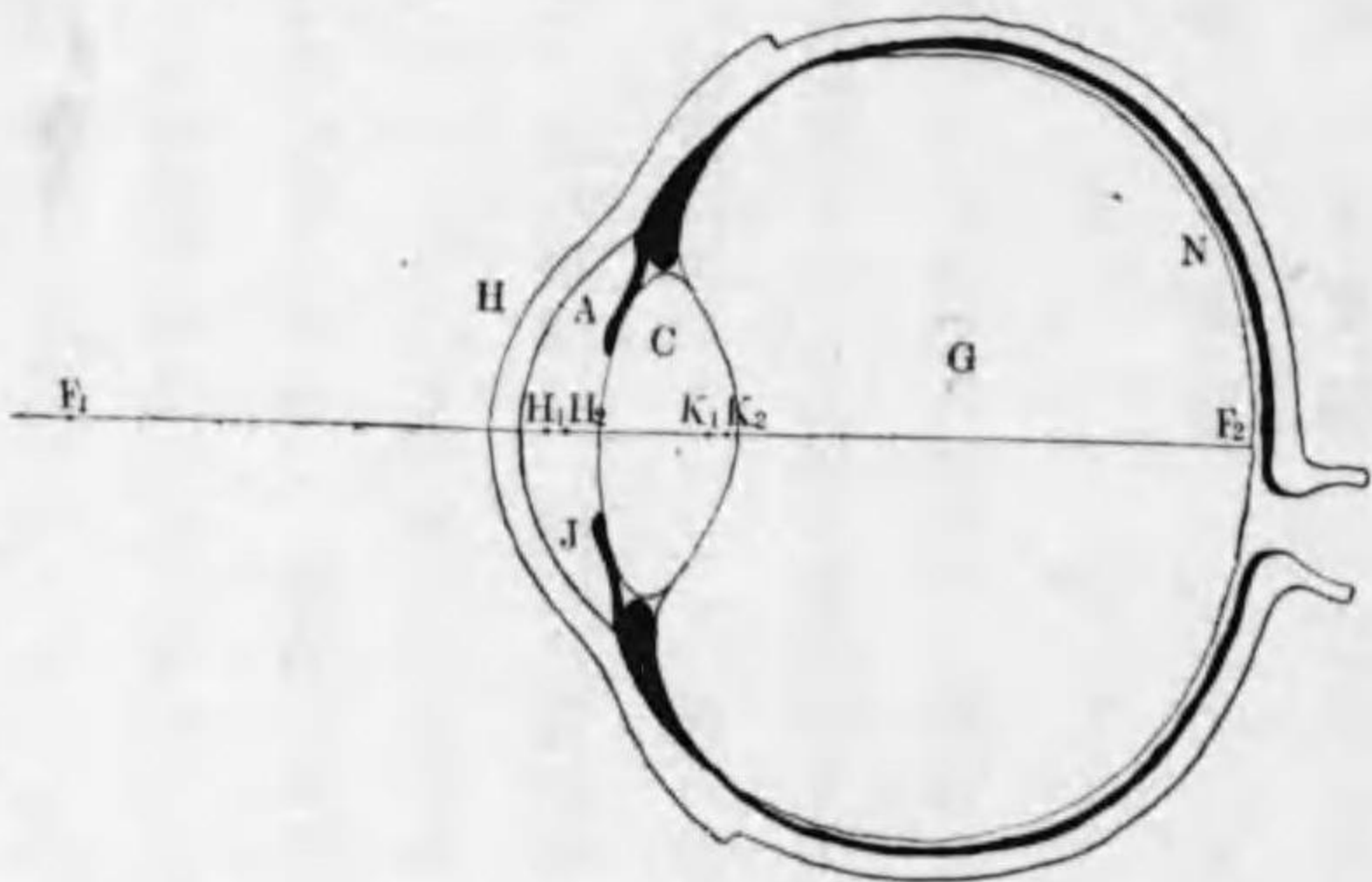
(二) 此像は焦点距離とレンズ間に存し物体がレンズより遠ざかるに従ひて益々小となり益々焦点に近づく。

第四 眼に於ける基準點及び結像構圖

眼は複光系に屬し屈折率を異にせる數個の媒質より成つて居る。此媒質を前方より擧ぐれば角膜(第二十圖H)前房水(A)、水晶體(C)、硝子體(G)である。次の表はグルストランド氏に依り人眼に於ける諸媒質の屈折率の蓋然値を示めす。

角 膜	一・三七六
前 房 水	一・三三六
水晶體の皮質	一・三八六
水晶體の中心核	一・四〇六

圖 十 二



複光系に於ける光の屈折

硝子體 一・三三六

外界の物體を明確に見る爲めには其像が網膜の上に結ぶ事が必用である。而して上記せる眼の諸成分は皆此結像に關與し、嚴格に云へば光線は是等諸成分の境界に於て屈折するのであるが普通の構圖に向つては是等の光學的媒質を各別に計測して得たる値を平均して造れる所謂模型眼を用ふれば充分である。即ち眼球は一種の均等性媒質より成り光線は此中に於て唯一回屈折するとして計測すれば基準點の位置はグルストランド氏に依れば次表の如し。此表に於ては種々の基準點の位置は角膜の頂點よりの距離を示し光線の進行する方向を(+)とし、之れと反對の方向を(-)として計測してある。而して此數字は正常眼の静止せる眼即ち調節を行はない眼に於て計測せるものである。(第二十圖を参照せよ)。

第一主要點	(+)	一・三四八耗
第二主要點	(+)	一・六〇二
第一結節點	(+)	七・〇七八
第二結節點	(+)	七・三三二
前焦點	(-)	一五・七〇七
後焦點	(+)	二四・三八七

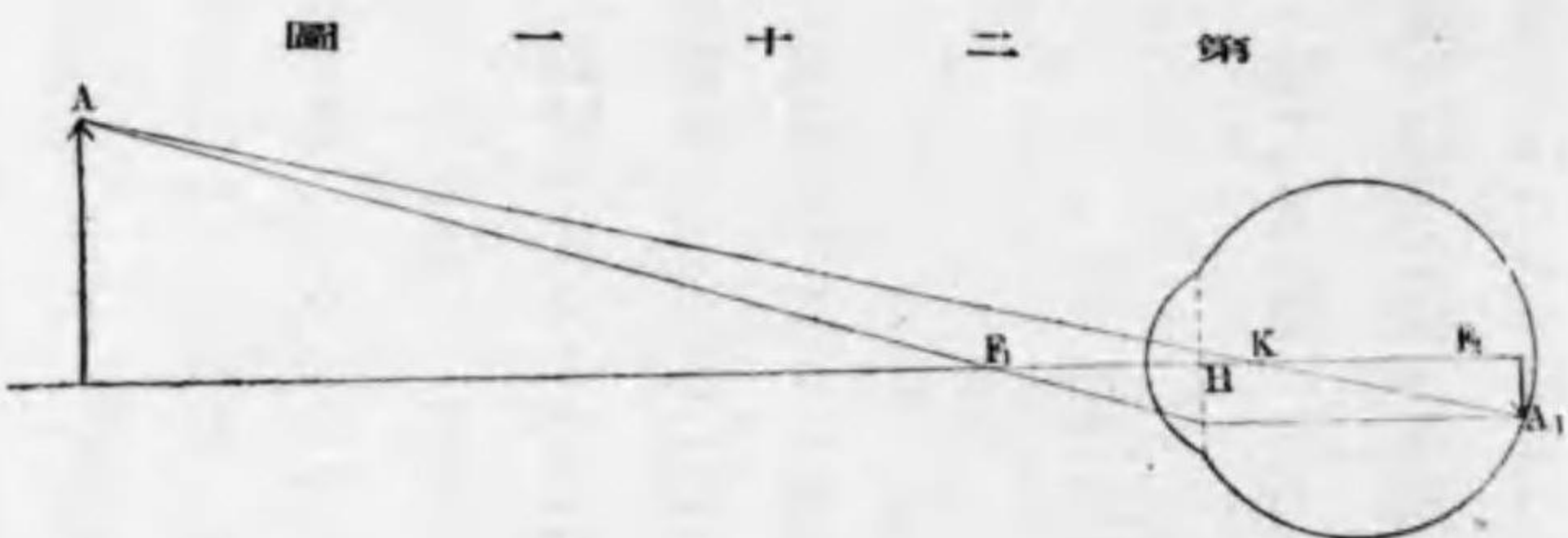
前焦點距離 (一)一七・〇五五耗

後焦點距離 (+)二二・七八五

此表によりて見れば兩主要點は前眼房の大凡そ中央に存し、兩結節點は水晶體と硝子體との境界部に存す。

是等の基準點を用ひて眼中に於ける光線の進路構圖を設ける事が出来る。併し兩主要點及び兩結節點間の距離は上表に於て見る様に非常に小であるから(〇・二五四耗)多くの目的に向つては兩主要點及び兩結節點は一點に會せりと假定しても宜い。斯様に單光系と考へたる場合の眼を省略眼と名づける。省略眼に於ては單一主要點は角膜の前面より一・四七五耗、單一結節點は七・二〇五耗の距離に在り。第二十一圖はかゝる省略眼に於ける光線の進路を示めす。A點の眼中に於ける像を見出すには前述せる様にAより發しF₁を通過する光線は主要面にて屈折したる後、視軸に平行に走り、Aより結節點Kを通過する光線とA₁に於て會合す、即ちA₁はAの像である。

上表に示せる基準點の位置は眼の異なるに従ひて異なるのみならず同一眼に於ても調節を異にするに従ひて差異あるものである。此調節機能は主に水晶體の形態の變化に基く

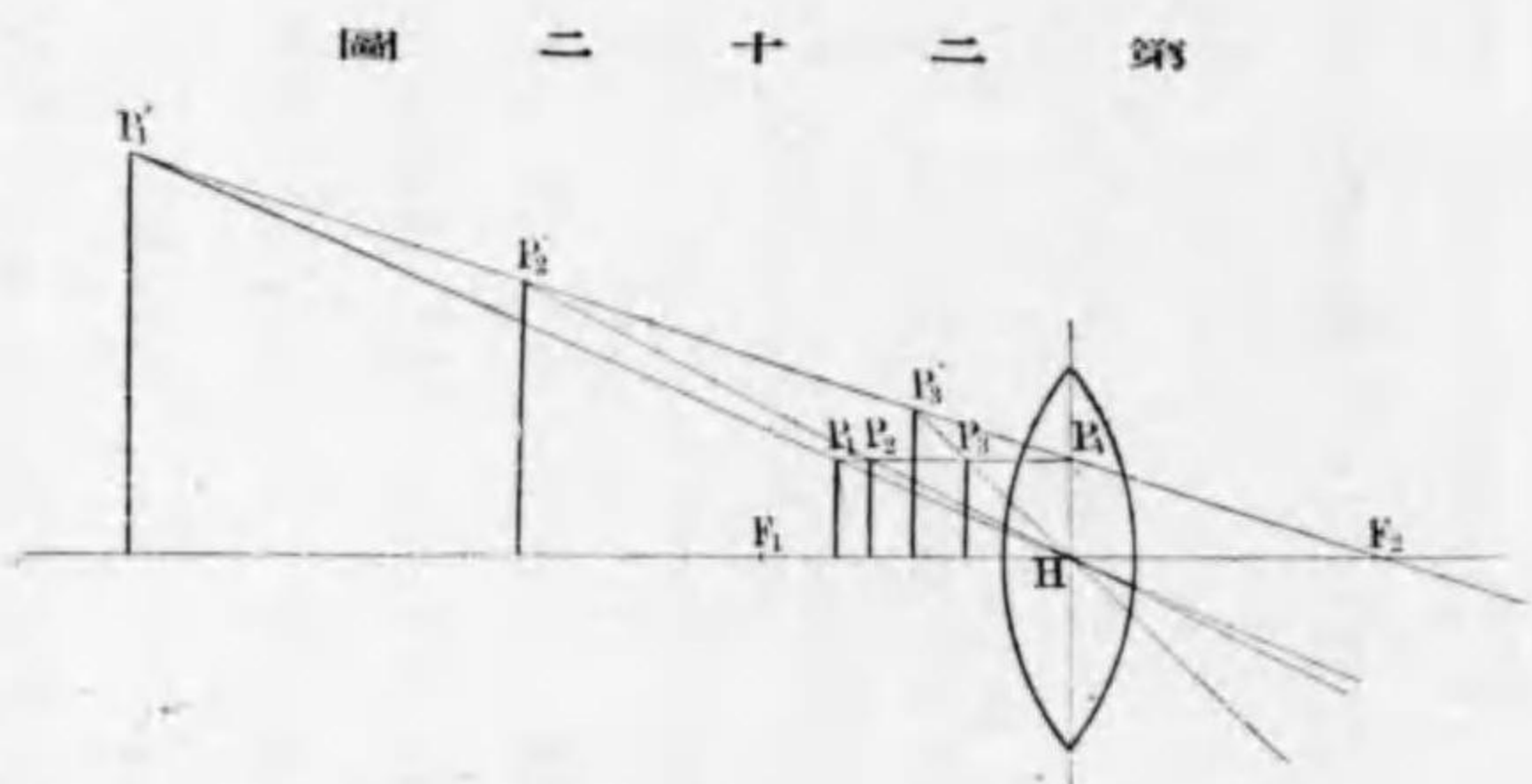


複光系に於ける光の屈折

ものであつて、之れによりて眼は種々の距離にある所の物體の像を網膜の上に結ばしめる事が出来るのである。若しも調節なる能力が無かつたならば眼は唯一定距離に在る物體しか見る事が出来ない理である。小なる物體例へば普通の印刷物が何等の努力なしに明確に認めらるゝ距離を當該眼の明視距離と云ふ。正常眼に於ける明視距離を正視距離と云ひ約二五糎である。近視眼とは明視距離が二五糎より著しく小なる眼を云ふ、故に明確に見る爲めには物體を遙かに眼に近づけねばならぬ。之れに反して遠視眼は二五糎より大なる明視距離を有して居る。或るレンズによりて造られたる像を最も明確に認識する爲には之れを正視距離に持來する事が必要である。同様に顯微鏡に於ても像は眼より正視距離即ち二五糎に結ぶ様に計測されてあるから近視眼又は遠視眼を以て鏡檢する際には此距離に對して調節する爲めに適當の眼鏡を用ふる事が必要である。

第三章 廓大鏡又は單顯微鏡

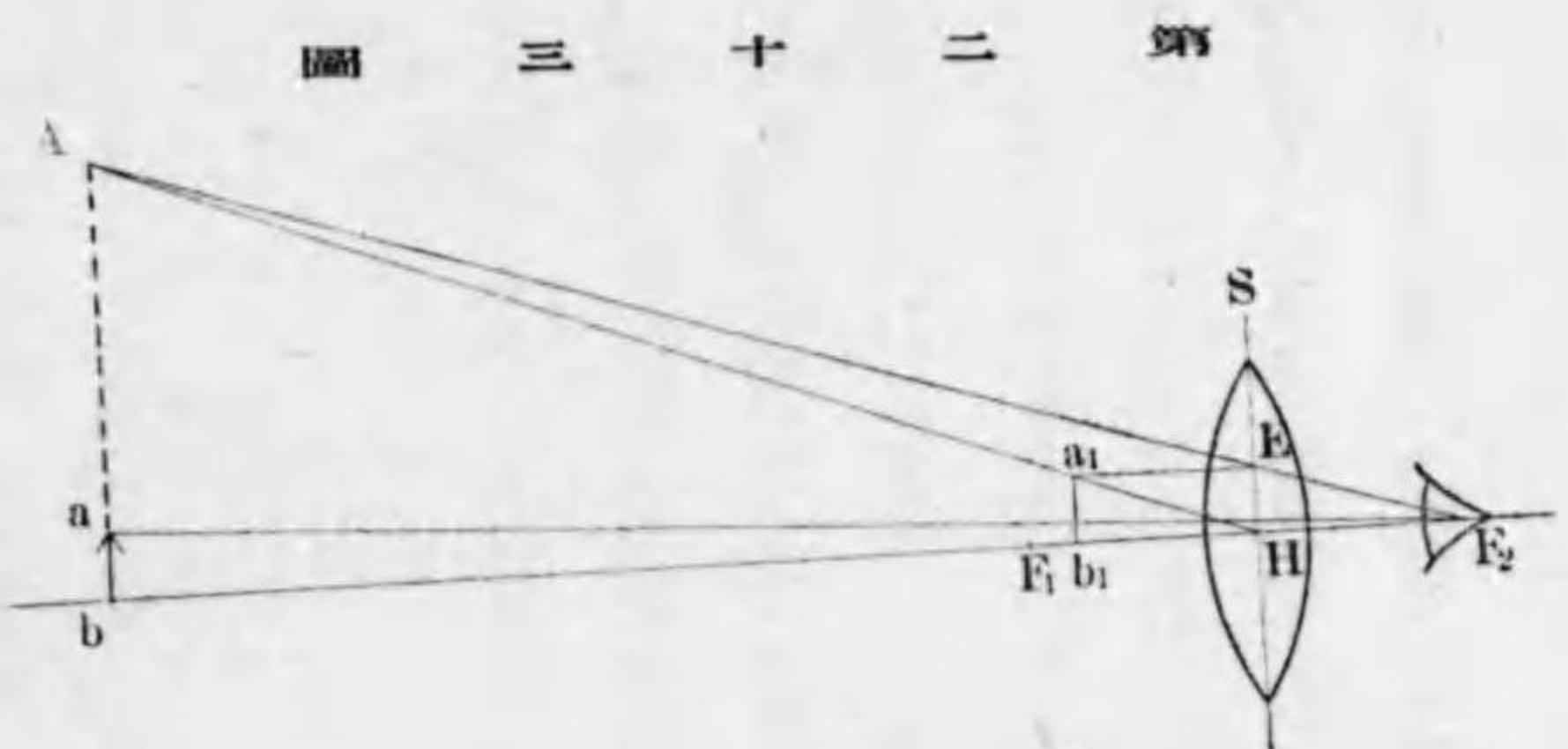
第二十二圖に示めす如く P_1 なる物體が或レンズの焦點距離内に於て其焦點 F_1 に近く存することせば其像 P_1' は甚だ遠き場所に生じ、從ふて像は大である。物體がレンズに近づけば (P_2, P_3) 其像は (P_2', P_3') 同様にレンズに近づき且小さくなる。加之像は焦點距離内に結ぶ様になり (P_3) 、最後に物體が主要面



第二十二圖

の上に来る時は同大で同方向の像が同一面に生ず（此圖に於ては兩主要面が一面に合せりと假定す）。今眼の調節點が F_2 にありとすれば同大の物體 P_1, P_2, P_3, P_4 等の像 P_1', P_2', P_3', P_4' 等は眼に對しては同一の角度即ち $P_1'F_2E_1$ なる角度を以て現はれる。若しも眼が F_2 なる點より像 P_1', P_2' と同様に P_4 を明確に認知する事が出来たならばレンズは何等役に立たぬ理である。換言すれば P_1 の像はレンズを用ゐても之れを用ゐなくても網膜には同一の大きさに現はれる、何となれば網膜に同一の視角に於て現はるゝ物體は、たとへ實際に於て其大きさを異にして居つても常に同大の像を結ぶからである。併し乍ら前にも述べた理由によりて眼に非常に近づけた物體を明確に見る事は出来ない。若年の人の正常眼に於ては高々八糎迄近づけた物體に對して調節する事が出来るのみである。此點を近點と云ふ。老年に至るに従ひて近點の距離は大となる。正常眼が努力せずに即ち調節を行はずに微細なる物體を認知する事の出来る最短距離即ち正視距離は大凡そ二五〇糎である事は前に述べた。

今第二十三圖に於て S なる凸レンズを用ゐずして F_2 に置かれたる眼を以て其正視距離 F_2E_2 に存する



第二十三圖

一物體 ab に對する視角は $\angle a_1 b_1 e_1$ である。次で S なる凸レンズを眼の前に持ち來り其前焦點 F_1 内に ab と同大の物體 $a_1 b_1$ を置き眼を F_2 に置く時は、 $a_1 b_1$ は此レンズによりて廓大せられ眼の正視距離 $F_1 F_2$ に於て大なる虚像 $A_1 B_1$ を結ぶべし。正視距離に於てレンズを用ゐずして ab なる物體を見たる時の視角 $\angle a b e$ は今や増大して $\angle A_1 B_1 e_1$ となる。レンズの廓大力は其焦點距離内に存する物體をレンズが眼より二五〇耗の距離に於て造る所の虚像に對する視角 $\angle A_1 B_1 e_1$ と正視距離に存する同大の物體を見る場合の視角 $\angle a b e$ との比を以て示さるゝのである。物體が小なる時は廓大を現はすに視角の代りに物體の大きさと像の大きさとの比を以てしても大なるが差ない。即ちレンズの廓大力 (N) は $N = \frac{\angle A_1 B_1 e_1}{\angle a b e}$ によりて現はさる。此式によりて當該レンズの焦點距離より其廓大力を測定する事が出来る。

構圖により
 $ab = HE$

である。而して三角形 HEF_1 と $b_1 F_1 A_1$ とは相似であるから

$$\frac{HE}{F_1 H} = \frac{Ab}{F_1 b}, \quad \frac{Ab}{F_1 H} = \frac{F_1 b}{F_1 H}$$

なり、 $F_1 b = 250\text{mm} = X$ となり、 $HE = ab$, $F_1 H = f$ であるから

$$\frac{Ab}{ab} = \frac{X}{f}$$

なり、 $\frac{Ab}{ab} = N$ であるから

$$N = \frac{X}{f} = \frac{250\text{mm}}{f}$$

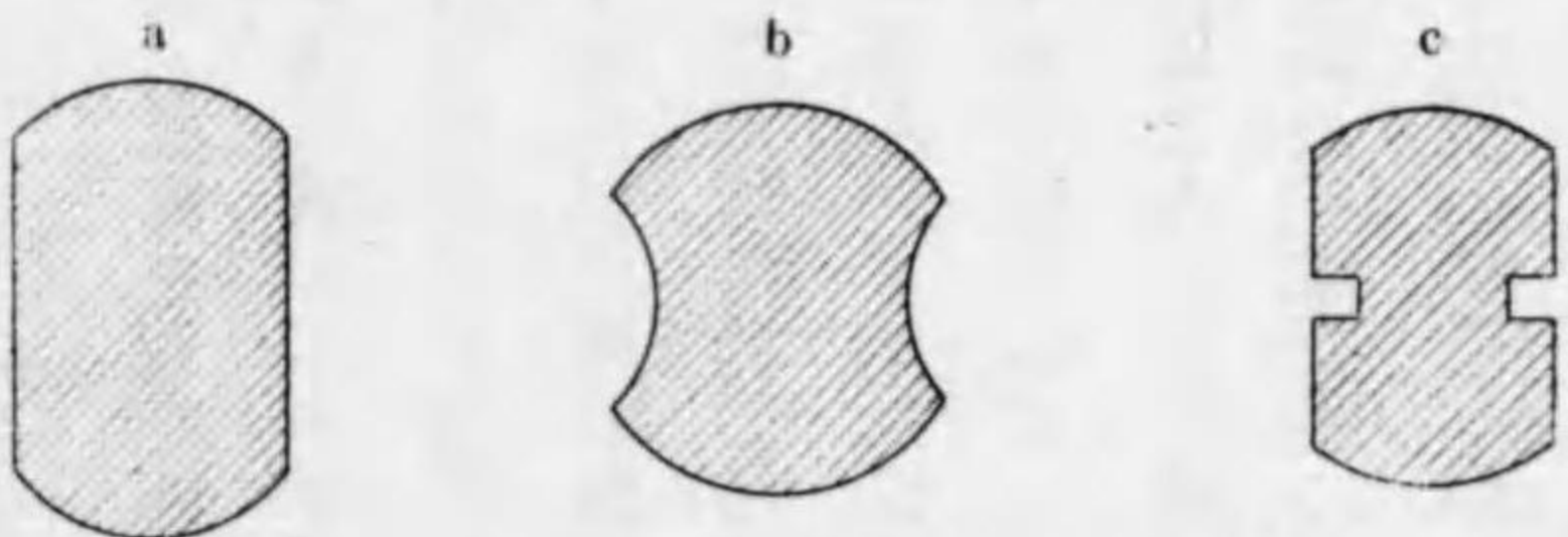
を得。此際正視距離及び f は耗にて現はさる。

此方程式が示めす様に廓大力は全くレンズの焦點距離に關係して居る。レンズが強ければ強き丈け換言すれば f が小なれば小なる程廓大力は大なる理である。例へば $f = 1\text{mm}$ であつてレンズを眼に充分近づける事が出来ると假定せば單一のレンズによりて二五〇倍の廓大を得る事が出来る理である。けれ共實際に於ては不可能である。何となれば第一にレンズを眼に近づける事は一定限度を越へる事は出来ない。第二には焦點距離の減少すると共に單レンズに伴ふ種々の收差の度を増し結像が害せらるゝからである。

其他吾人の眼の明視距離は同一でないから廓大鏡に示されてある廓大力は唯、正視眼にのみ適し、近視眼及び遠視眼に向つては適應しないから正常なる廓大力を得る爲めには眼鏡を用ふる要がある。

廓大鏡の構造。同一の穹窿半徑を有する兩凸レンズは著しき球面收差を伴ひ然かも其結果として起る視野の穹窿はレンズ面の穹窿の度を増すと共に増加するから、通常單純なる兩凸レンズは唯弱廓大

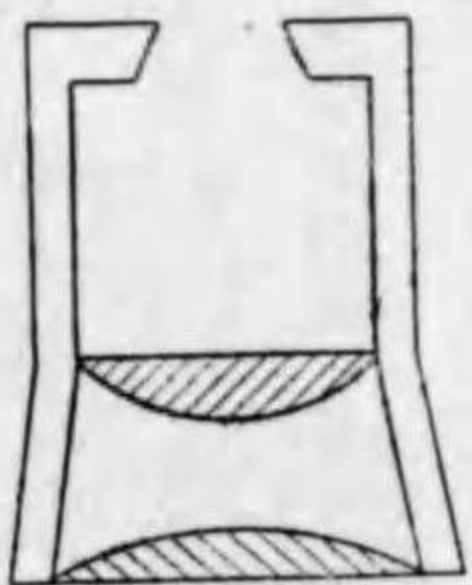
第二十四圖



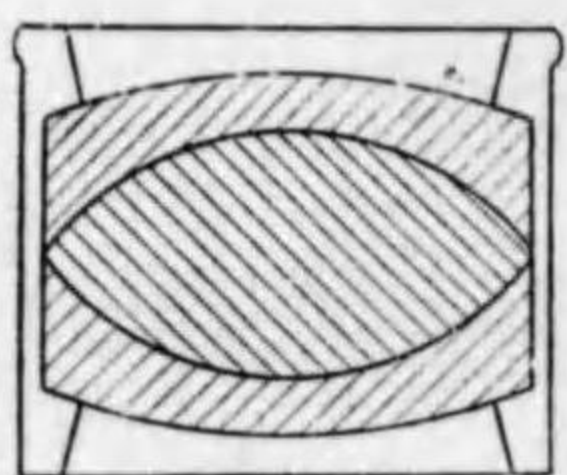
用として應用せらるゝのみである。而してかゝる兩凸レンズは通常視野の中央の小部分のみが明確なる像を與へるから單一兩凸レンズを以て廓大鏡を製する場合には周縁光線を除外して球面收差を小さくせねばならぬ。柱狀廓大鏡、プリュースター氏廓大鏡及びゴディングトン氏廓大鏡は此原則に従ひて造られたるものである。柱狀廓大鏡は第二十四圖aに示す様に硝子の圓柱であつて其上下面は一定の半徑を有する球面によりて界されてある。之れを用ふる時には弱き穹窿面を物體に向はしめる方が宜い。此レンズは大なるレンズの中心部のみを切出したと考ふべきものであるから周縁光線は除かれてある。プリュースター氏(b)及びゴディングトン氏廓大鏡(c)に於ては圓柱の側面に適當なる陷凹を設け周縁光線を一層完全に除いてある。

凸レンズの内、兩凸レンズよりは平凸レンズにして其平坦面が物體の方に向へる所謂最良形のレンズに於てはレンズの收差が非常に減少するから廓大鏡として用ふるに適して居る。二個のレンズを組合せたる廓大鏡を二聯式廓大鏡と云ふ此者には常に二個の平凸レンズを用ひ其凸隆面が相對向するか(第二十五圖)又は其平坦面が共に物體の方に向ふ様にしてある。

第二十五圖



第二十六圖



視野の大きさは廓大鏡に用ひられたるレンズ又はレンズ系の直徑を増すに従ひて増大し又廓大鏡の廓大力は使用せるレンズの焦點距離に反比例するから強き廓大を得んとするには短かき焦點距離のレンズを用ひねばならぬ。之れと同時にレンズの直徑を小さくせねばならぬ。何となれば直徑を大くすれば球面收差が大となるからである。一方直徑を小さくすると視野が狭小となるのであるから多少強き廓大鏡に於ては顯微鏡の對物鏡に於ける様に數個のレンズを接合せしめ收差の矯正が行はれてある。シュタインハイル氏の所謂アブラナート式廓大鏡はかゝる光系より成つて居る。此廓大鏡は(第二十六圖)一個の兩凸のクラウン硝子レンズが二個の凸凹(陰性彎形)のフリント硝子レンズより圍まれたるものであつて色彩を示さない平坦なる像を與へる。此者は最も應用の廣いものであつて六乃至一〇倍の廓大力を有し直徑は二二耗迄のものがある。其他ツァイス會社製のアナスタグマート式廓大鏡は四個のレンズより成り一六乃至二七倍の廓大力を有し、廓大力の大なるにも係はらず比較的大なる視野と明確なる像とを與へる。

一層大なる物體距離に於て可なり強き廓大を得る爲めにブリュッケ氏廓大鏡と名づけらるゝものがある。此者は嚴格なる意味に於ては顯微鏡に算入すべきものであるが對眼鏡に比すべき上方のレンズ

廓大鏡又は單顯微鏡

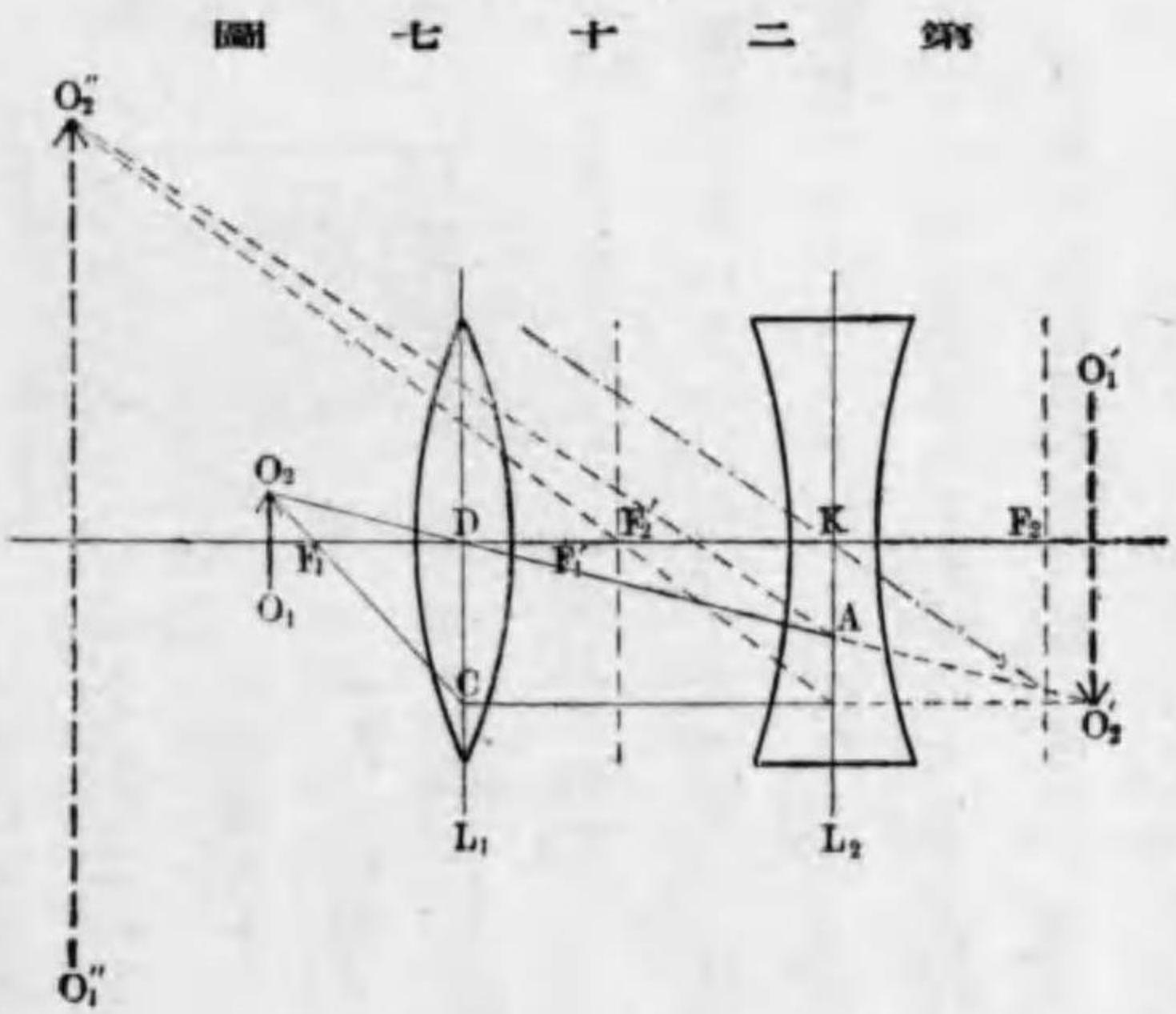


圖 七 十 二 第

かに小である事は此廓大鏡の缺點である。

廓大鏡のレンズは鏡框を有し弱廓大のものには角質、硬護膜又は金屬より成れる保護枠の間へ疊み込む事が出来る。此疊込廓大鏡は通常廓大力を異にせる二個又は三個のレンズを有し是等のレンズは單獨として又は相重ねても用ふる事が出来る。強廓大用の廓大鏡は通常鏡基に取附けて用ふる。か

四〇

は凹レンズである。第二十七圖に示めす如く L_1 なる凸レンズの焦點距離外にある物體 O_1 より發出する光線は O_2 に於て倒立せる眞像 O_2' を生ず。併し F_2 及び F_2' なる焦點を有せる L_2 なる凹レンズが光線の進路中に存する時には構圖の示す様に O_2 より來る光線は恰かも O_2' より來るか如く屈折する。此點は L_1 なるレンズの左方に於て正視距離に存するから $O_1''O_2''$ は O_1O_2 廓大せる虚像である。ブリュッケ氏廓大鏡は物體距離が普通の廓大鏡よりも大である。何となれば物體は L_1 なるレンズの焦點外にあるからである。其他 L_1 及び L_2 なるレンズの距離を變じて廓大度を一定限度内に於て増減する事が出来る。併し視野が普通の廓大鏡よりも遙

圖 八 十 二 第



第四章 顯微鏡

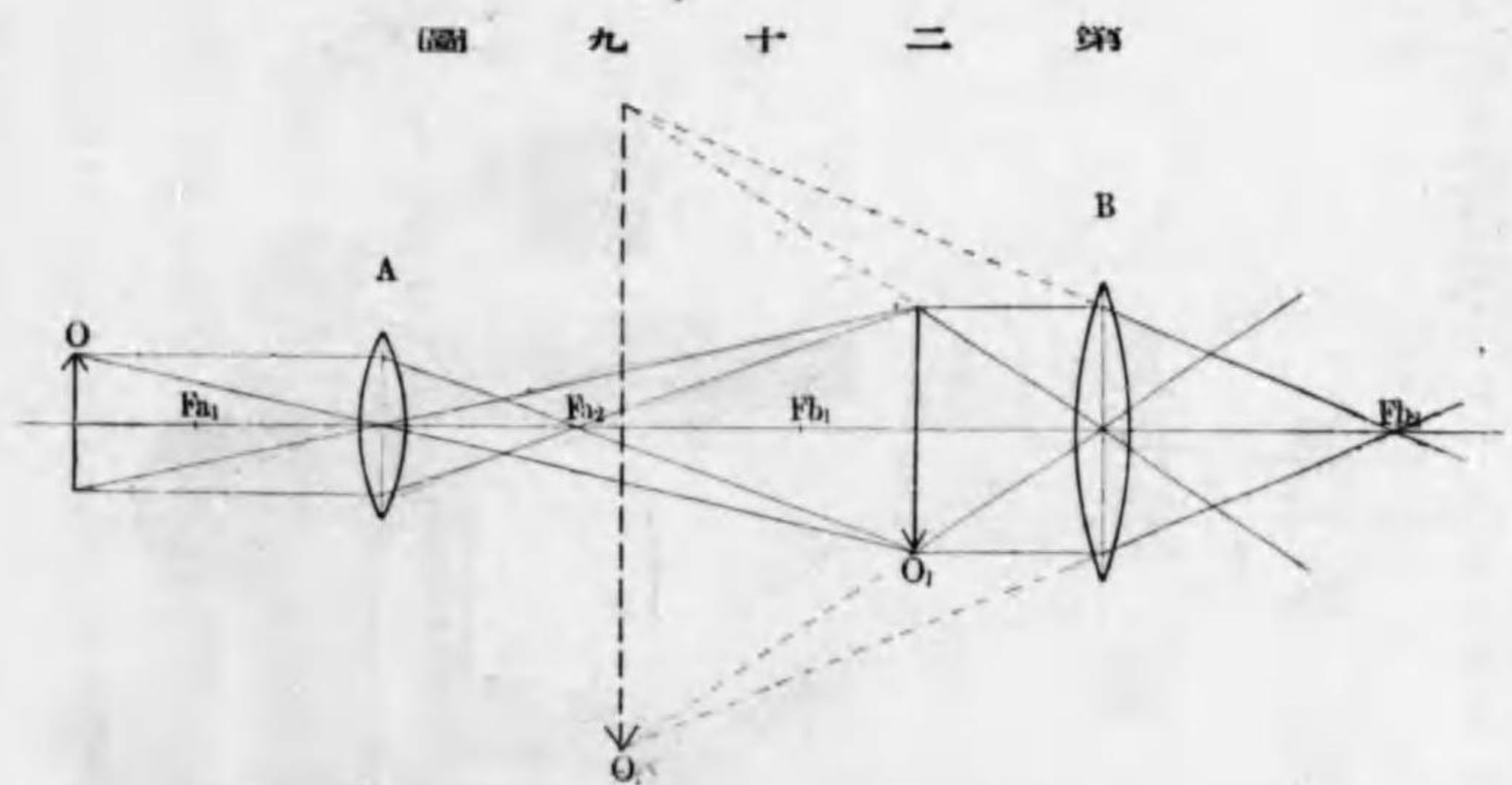
第一節 顯微鏡による結像

廓大鏡は單一レンズより成るか又は數個のレンズを結合せしめて一個の光系とせる者であつて其廓大力は勿論レンズの焦點距離と反比例する。併し種々の理由より此焦點距離を一定限度(約一〇耗)以

顯微鏡に依る結像

かる鏡基を廓大鏡基又は解剖顯微鏡(第二十八圖)と名づける。廓大鏡基の下部は重き臺足より成り、之より上方に走れる柱には載物机が固定されてある。載物机より上方に種々の高さに上下させ得べき廓大鏡支持器が出でて居る。又載物机の兩側には物體を所置する際に手を支持する爲めの金屬板を取附け又は取り外す事が出来る。

下にする事は出来ない。二五倍以上の廓大力を有する單一レンズより成る廓大鏡を造る事は不可能であるから、之れ以上の廓大力を得んとするには顯微鏡に依らねばならない。顯微鏡は二個のレンズ系を一定の距離に於て組合せて準軸したものである。



第二十九圖に示す如くA及びBなるレンズ系を準軸されてあるとし \$F_{a1}\$ 及び \$F_{a2}\$ をAの前及び後焦点、\$F_{b1}\$ 及び \$F_{b2}\$ をBの前及び後焦点とす。今物體OをAなるレンズ系の焦点距離と二倍の焦点距離間に置く時は此者はAによりて廓大せられ倒立せる眞像を \$O_1\$ に生ず。而してBなるレンズ系は此眞像 \$O_1\$ が其焦点距離内に來る様な位置に存するからBは廓大鏡として作用し \$O_2\$ に於て直立せる虚像を生ずる。而かも顯微鏡は此虚像がBなるレンズの後焦点 \$F_{b2}\$ より正視距離即ち二五〇耗の距離に生ずる様に計測されてあるから、眼を \$F_{b2}\$ に置けばOなる物體の廓大せる虚像 \$O_2\$ を見る事が出来るのである。今 \$f_1\$ をAなる光系の焦点距離、\$f_2\$ をBなる光系の焦点距離、Xを正視距離(二五〇耗)、JをAなる光系の後焦

點とBなる光系の前焦点間の距離(此距離を光學的筒長と云ふ)とすれば顯微鏡の廓大力Nは次の式によりて現はさる。

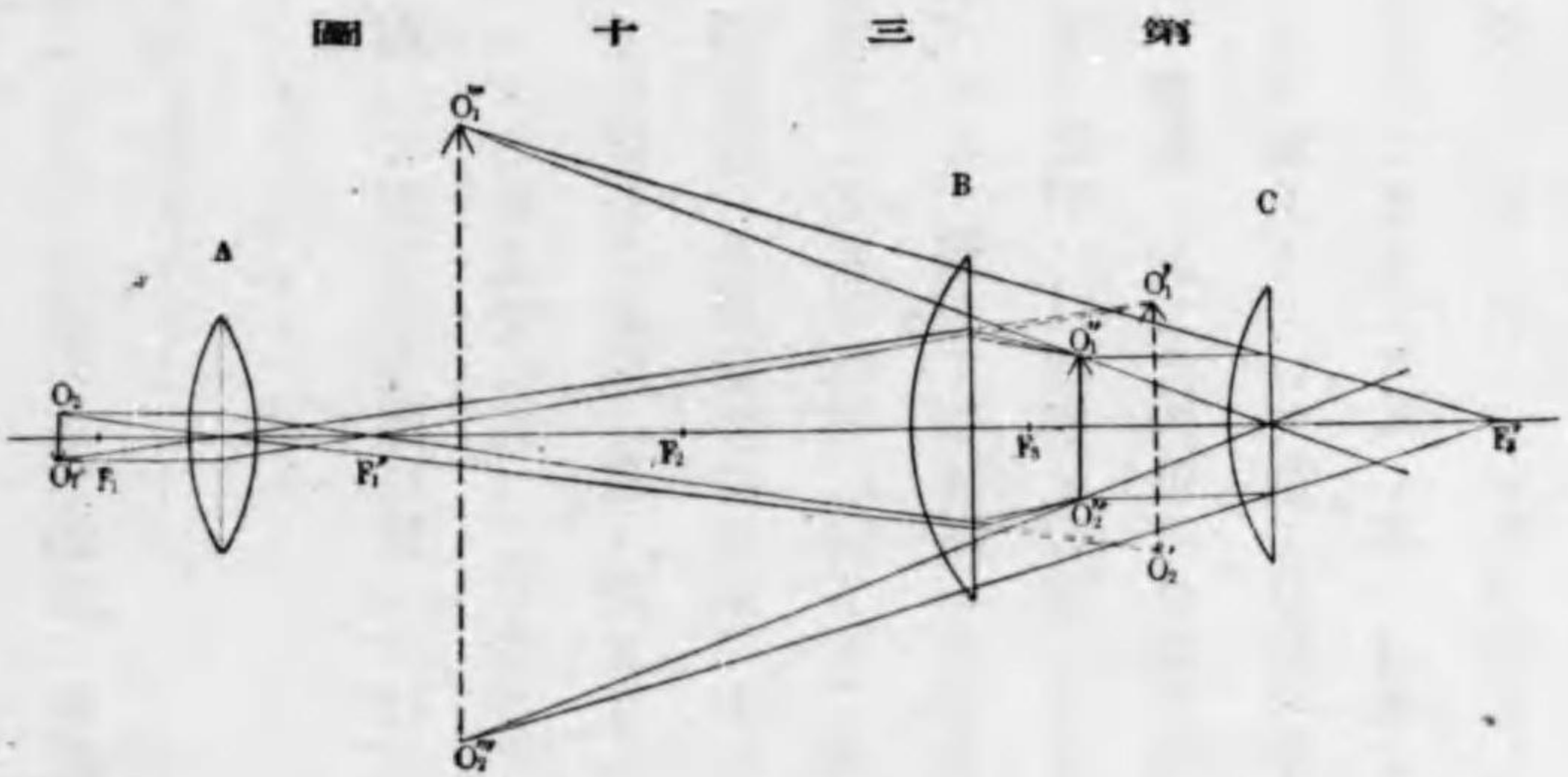
$$N = \frac{X}{f_1} \cdot \frac{A}{f_2}$$

而して第二十九圖に於て \$O_1\$ はBなるレンズの焦点距離内に存するから前にも述べた如く \$O_1\$ がBなるレンズの前焦点に近づくに従ひて虚像 \$O_2\$ は益々大となる。即ちBなるレンズをAなるレンズより遠ざけるに従ひて虚像は益々大となる理である。

顯微鏡の光學的装置は第二十九圖に示せる如く上下二個のレンズ系より成り立つて居る。下方Aに相當する光系は物體に向ふから對物鏡と云ひ、上方Bに相當する光系は檢者の眼に向ふから對眼鏡と名づける。而して對物鏡の焦点距離は一般に短かいから物體を其焦点距離外に置く事は容易である。

上の説明には理解を容易ならしめる爲めに對眼鏡を一個のレンズ(B)によりて代表せしめたけれども、實際に於ては對眼鏡は其作用を異にせる上下二個のレンズより成つて居る。對物鏡は數個のレンズより組立てられて居るけれども、單一のレンズとして取扱ふて差支へないから顯微鏡は三個のレンズより成れる光系と考へる事が出来る。

第三十圖に於てAを對物鏡としB及びCは對眼鏡を形成す。此兩レンズの内、Bを集束レンズと云ひ下方に存し、Cを眼レンズと云ひ檢者の眼に向ふ。物體 \$O_1\$ より發する光線はAなるレンズを通



過したる後に O_1O_2 、於て其廓大せる像を結ぶべきであるけれども、Bなる集束レンズが存する爲め光束は集合せられ O_1O_2 より小なる像 $O_1'O_2'$ を造る。此像はCなる眼レンズの前焦点距離内に在るからCレンズは廓大鏡として作用し $O_1'O_2'$ の廓大せる虚像 $O_1''O_2''$ を生ず。今眼をCレンズの後焦点なる O_3 に置けば正視距離に於て此虚像を見る事が出来るのである。而して此場合には對眼鏡(B、C)の前焦点は O_1O_2 なる像の生ずべき筒所に存す故に此面と對物鏡の後點 F_1 との距離は光學的筒長(L)である。

廓大作用が顯微鏡に於て分立せる二個のレンズ系によりて行はるゝと云ふ事には次の如き利益がある。

(一)前にも述べた様に廓大力は其焦点距離に反比例するから、焦点距離の小なるレンズを使用するに従ひて益々強き廓大を得る事が出来るかの如き観がある。例へば二五〇倍の廓大を得るには一耗の焦点距離を有する兩凸レンズを用ふれば宜い様

に思はるゝけれども、實際に於ては此事は不可能である。何となればかゝる小なるレンズを製作する事が困難である許りでなく、かゝる小なるレンズは非常に光力が弱く且つ物體をレンズ及び檢者の眼に非常に近く置かねばならぬからである。之れに反して顯微鏡を用ふれば物體と檢者との距離は少くも筒長以上である。

(二)顯微鏡を用ふれば對物鏡を單に廓大鏡として使用する場合よりも對物鏡と物體との距離即ち物體距離は大となり、而かも其廓大度は當該對物鏡を單に廓大鏡として用ゐた時よりも遙かに大である。

(三)顯微鏡に於ては廓大作用は對物鏡及び對眼鏡によりて分擔されてあるから對物鏡の缺點を對眼鏡によりて矯正する事が出来る利益がある。對物鏡の任務は其焦点距離に比して小なる面積の物體を廣角の光束によりて結像せしめ、對眼鏡は其焦点距離に比して大なる物體即ち對物鏡によりて結びたる像を狭角の光束によりて結像せしむるに在るから、顯微鏡によりて明確なる像を得る爲めには對物鏡は之れを無収差とする事が必要である、即ち球面及び色彩収差を除き、正弦要約に適ふ様にする事を要し、對眼鏡に對しては狭き斜走する光束に依る障除く様にせねばならない。

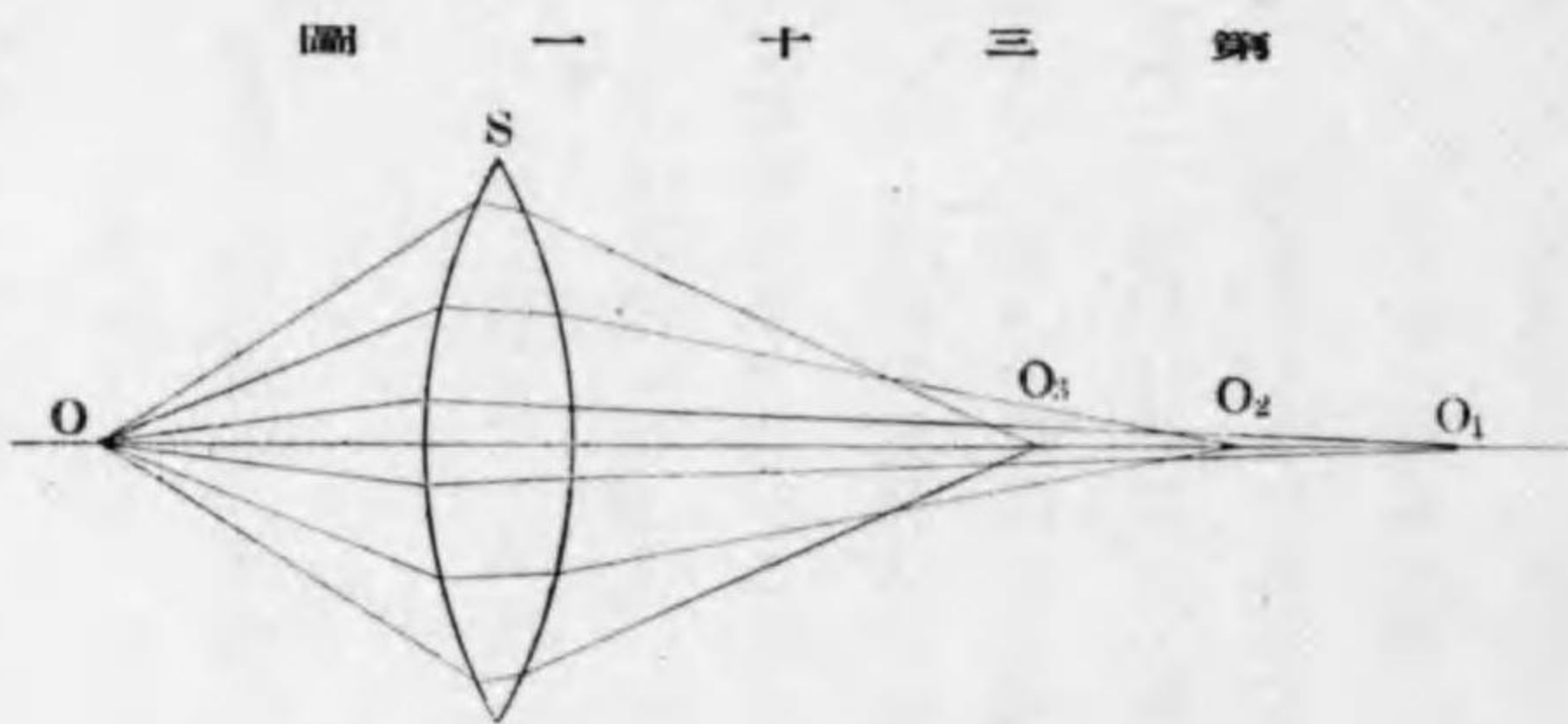
第二節 焦點作用に基く單一レンズの缺點

前にも述べた様に單一の兩凸レンズが廣角なる光束によりて色彩を示さない明確なる像を造る事が出来ないこと云ふ事はかゝるレンズには種々の缺點を伴ふて居るからである。今二個又は數個のレンズを互に透明なる樹脂を以て接合する時は一つのレンズが出来る。かゝるレンズの組合せには異なる屈折率及び分散力を有する二種の硝子を選ぶ事が普通である。例へばフリント硝子より成れる平凹レンズとクラウン硝子より成れる兩凸レンズを組合せる時はレンズの缺點の全部を除く事が出来るか又は少くとも無害の程度に迄減少せしめる事が出来る。望遠鏡、顯微鏡等の光學的裝置、寫眞鏡玉等にかゝるレンズ系より成つて居る。

單一レンズの缺點は焦點作用に基く缺點と廓大作用に基く缺點とに分れる。焦點作用に基く缺點としては球面収差、色彩収差及び球面収差に基く色彩差異を擧ぐべく、廓大作用に基く缺點としては非點収差、視野の穹窿、像の歪曲及び廓大作用に基く色彩差異を擧ぐる事が出来る。茲には焦點作用に基く缺點に就きて述べ、廓大作用に基く缺點は後章に於て説明すべし。

第一 球面収差

レンズ系に於ける結像に關する條下に於ては光軸と平行して集光レンズ内に進入する光線は屈折の後其焦點に合すること云ふ前提の下に説明した。此事は球面の一小部分によりて界されて居るレンズか



又は非常に狭き光束の進入し來る場合に於てのみ適合し、其他の單一レンズ又は不良なるレンズ系若しくは顯微鏡の對物鏡に於ける如く廣角の光束を受ける様な場合には當て嵌まらない。今光軸に平行して來る光線(單色光線を用ふると假定す)が兩凸レンズに進入することせばレンズの周縁を通過する光線即ち周縁光線の焦點距離は、光軸に近き部を通過する光線即ち中心光線の焦點距離よりも小である。換言すればレンズに進入する光線が光軸より遠ざかれば遠ざかるだけ益々強く屈折する、其結果として一個の焦點を生ぜず焦點の列を生ず。此事は遠距離より來る光線に於てのみならず近距離にある光線にも適するのである。

第三十一圖に於てSを單一レンズとし之れに向つてOなる光點より廣角なる光束が射入する時は中心光線はレンズの他側に於てO₁に集まり、周縁を通過する光線はO₂に、此兩部間を通ずる中間光線はO₃とO₂との間に於て種々の部に其焦點を有す。今磨硝子を以て此像を受けるならば、像は點狀をなさず弱き光圈(散光圈)によりて圍まれたる光斑となりて現はれる。此缺點は總ての光系に伴ふもので、二媒質が球面によりて界されてある際には必ず起る所の現象であるから之れを球面収差と名ける。

かゝるレンズに於ては結像は明確に行はれず散光圈を以て圍まる、から像は浮べる如く不明瞭であつて本來の像面なるものが存しない。第三十一圖に於て O_1O_2 間を球面収差の長さ云ふ。

球面収差の矯正。球面収差を除去するか又は之れを無害の程度に減少せしむるには種々の方法がある。

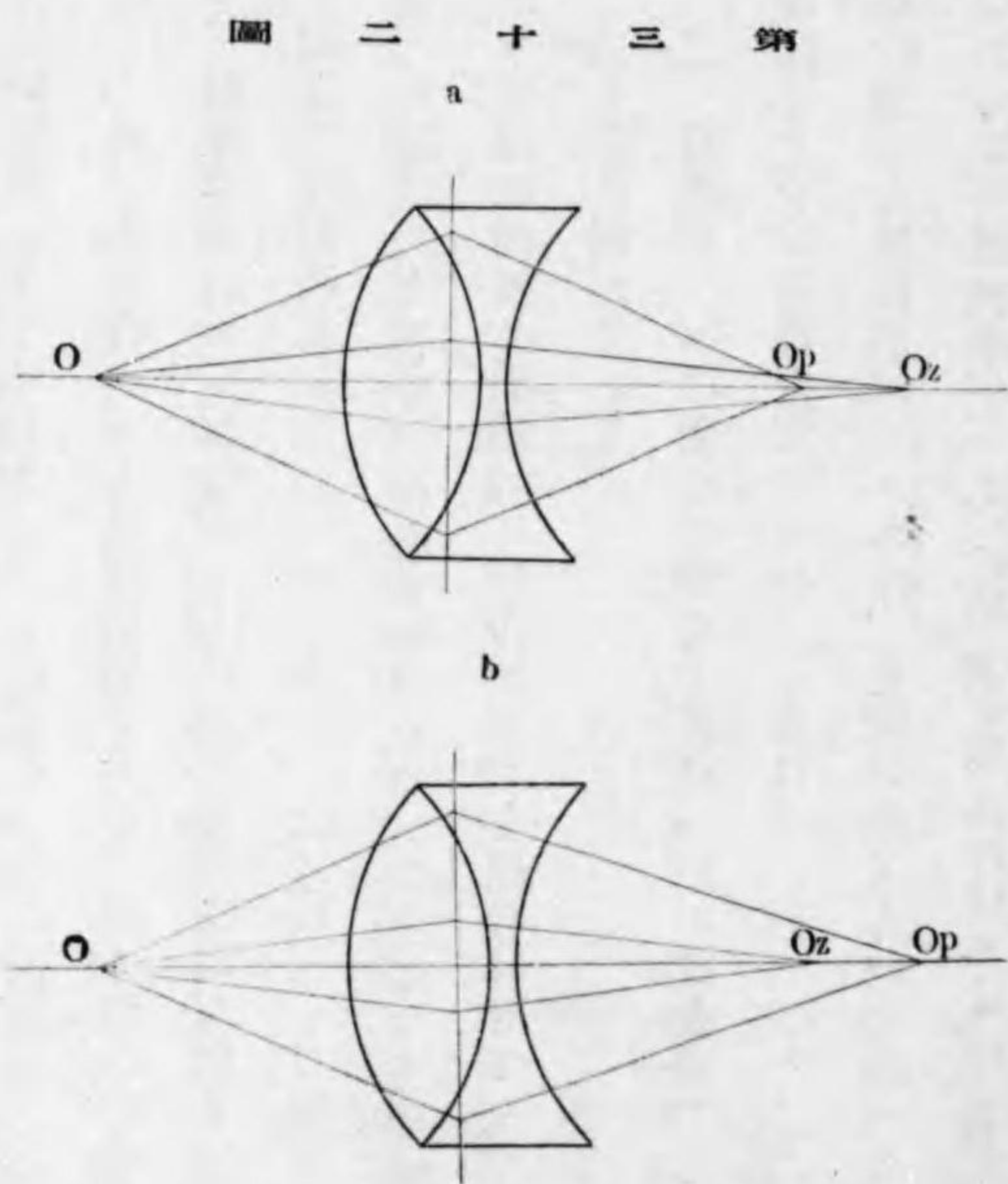
一、最も簡單なる方法は周縁光線を遮るのである。之れによりて球面収差の長さを短縮し散光圈を小さくする事が出来る。併し乍ら此方法は何れの場合にも應用する事が出来ることは云へない、何となれば周縁光線を遮ざる結果として開角は減少し従ふて開数は小となる、換言すれば此爲めに光量の減退を來し光系の解像力に影響を及ぼすからである。光線は廓大方の増加と共に其平方の割合に減少するものであつて強廓大を用ふる際には成可くレンズの開角の全部を利用する必要があるから開角の減少による障碍は強廓大の場合に於て殊に著しいのである。故に此方法は多くの場合に於て顯微鏡の製作には應用する事が出来ない。

二、レンズの球面収差は一般に彎曲度の増加と共に大となる、又レンズの焦點距離はレンズの彎曲度の外、其屈折率に關係するから異種の硝子より造れるレンズが同一の焦點距離と異なる収差を示めす事もあるべく又は同一の収差と異なる焦點距離を有する事もあり得べし。又集光レンズは中心光線よりも周縁光線を強く屈折し散光レンズに於ては周縁光線よりも中心光線を強く屈折するから、此兩

種のレンズの球面の半徑を適當に選擇して接合せしめ一方のレンズが有する球面収差を、之れと同程度であるけれども相反せる球面収差を有する他方のレンズによりて除く事が出来る。例へばクラウン硝子より成れる凸レンズとフリント硝子より成れる凹レンズとを組合はする如し。此方法によりて凸レンズによりて強く屈折したる周縁光線を凹レンズによりて反對の方向に轉向せしめるのである。而

かも凸レンズの焦點距離を凹レンズのものよりも短かく採る時には光系は全體として集光レンズの性質を失はない。かゝる組合せに於ては色彩収差も亦同時に矯正さるゝものである。

顯微鏡の對物鏡に於ける如く數個のレンズより成立つて居る光系に於ては一個のレンズの有する球面収差を他のレンズによりて除く様に組合はせてある。此際には接合レンズの球面収差が完全に除かれてないのみならず却つて故意にレンズに種々の程度

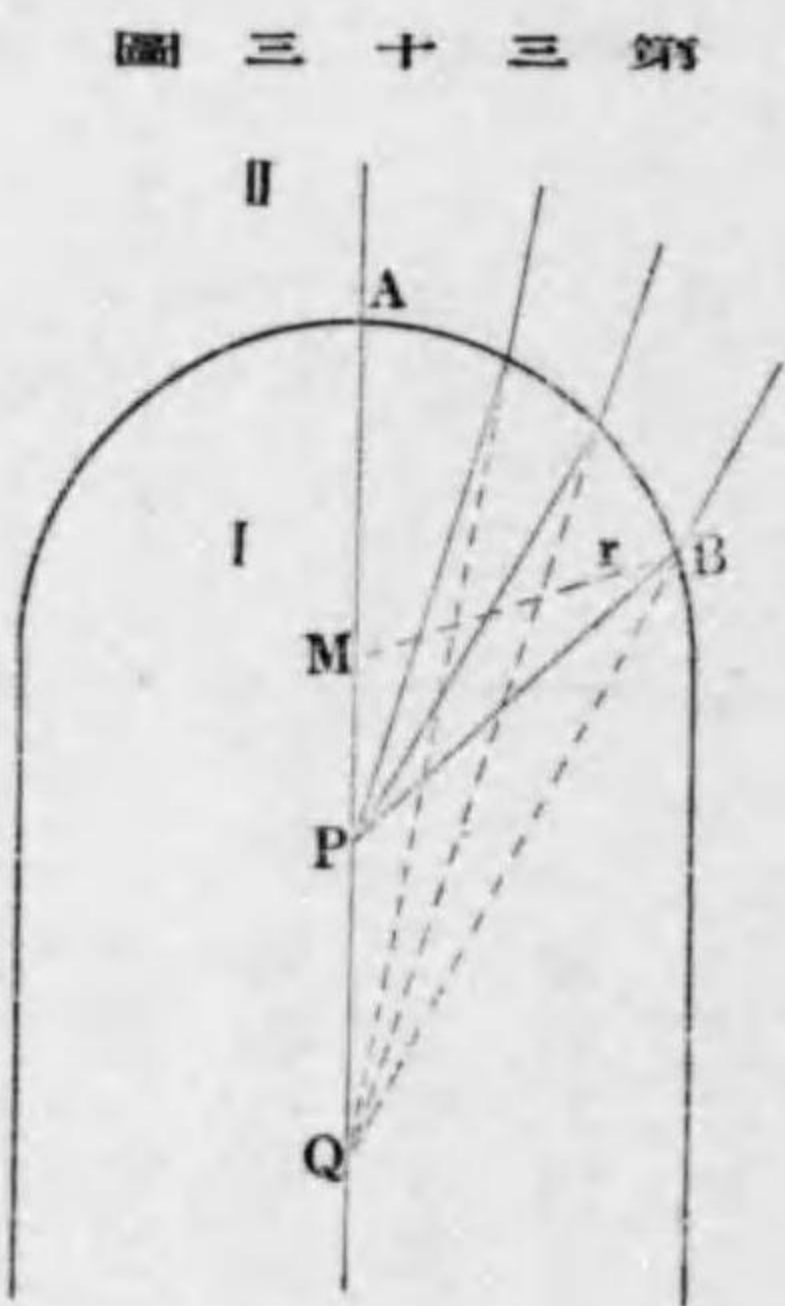


焦點作用に基く單一レンズの缺點

の球面収差を與へてある、かゝる接合レンズに微矯的レンズ及び過矯的レンズの區別がある。第三十二圖 a に於ける接合レンズは微矯的である、何となれば中心光線はレンズより遠き距離にある O_z 點に集り、周縁光線はレンズに近く Op に於て光軸を切るからである、即ち此接合レンズには單一の凸レンズと同様な球面収差を持たしめてある。之れに反して同圖 b は過矯的接合レンズであつて周縁光線はレンズに遠ざかり (Op)、中心光線はレンズに近く (O_z) 光軸を切る、即ち球面収差は矯正し過ぎてある。かゝる微矯的及び過矯的の接合レンズを組合はせて一つの光系を造れば其球面収差は互に相平均すると云ふ事は明かである。

三、兩凸レンズの兩面の彎曲半径に一定の比を持たしめる時は球面収差を少なくする事が出来る、斯様なレンズを最良形のレンズと名ける。例へば一・五の屈折率を有する硝子を用ひたる際に平行光線に對する最良形のレンズは、光線の進入方向に向へる面の半径と之れと反對面の半径との比が $\frac{1}{1.5}$ であつて、屈折率が一・六の硝子を用ふれば其比は $\frac{1}{1.6}$ 、屈折率一・六八六なれば、其比は $\frac{1}{1.686}$ なり。最後の場合に於ては最良形のレンズは平凸レンズである。併し何れの面が物體に向つても同様であるとは云へない、物體が遠距離にある時には強く彎曲せる面を物體の方に向はしめ、之れに反して顯微鏡の對物鏡に於けるが如く物體は其焦點距離の近くに存し、從ふて廣角の光束が對物鏡に進入する様な場合には彎曲度の小なる方を物體に向はしめるのである。又最良形のレンズにはアブラナー

ト點が存して居る、即ち此點よりレンズに進入する光線は球面収差を起す事なしにレンズを去るから此點に置かれたる物體は明確に結像する。かゝるレンズを對物鏡の前端レンズとして始めて使用せる人はアミチー氏であつて顯微鏡が今日の如く完成した動機となつた。對物鏡の前端レンズとして接合レンズを用ふる事は製作上困難であるからアブラナー點の原理を應用して平凸レンズが用ひらるゝのである。



第三十三圖に於て AB を二種の媒質を分界せる球面とし、M を此球の中心とし、媒質 I の屈折率 (n₁) は媒質 II の屈折率 (n₂) よりも大なりと假定する。然る時は光軸上に於て収差を伴はずに結像する二點がある。其内、一は球の中心點 M である之れより發する總ての光線は球面に垂直をなすから屈折せずに進行す、即ち M 自身は物體點であると同時に像點である。其他

$$MP = \frac{n_2}{n_1} r, \quad MQ = \frac{n_1}{n_2} r$$

なる場合に於て P より發し球面に於て屈折せる總ての光線は之れを後方に延長する時は一點 Q に於て合すべし。即ち P より發せる光線は Q より來れるかの如し。此兩點 M 及び P をアブラナー點と名け之れに對しては球面収差は零である。此アブラナー點の原則は顯微鏡の對物鏡の製作に向つて重大

なる關係を有して居るものであつて強度の對物鏡の前端レンズは此原則に従ふて造られてある。均等液浸に於ては上述せる場合と全く合致するから物體をP點に置けば之れより發する光線は前端レンズを通過する際球面收差を受けない。乾燥系に於ては物體はIなる媒質中に存するのではなく空氣中に存するのである。即ち媒質Iは下方一平面によりて空氣と界す。第三十四圖に示せる如く光線は境界平面ABに於て屈折するからPより發出する光線は最早や一點P'に於て會合しない。であるから上例に於けるが如くP'なる像點に對する無收差點なるものがない。之れに反してPより種々の傾きを以て進入する光線に就きて見るに大なる射入角を以て進入する光線が割合に強く屈折せられ恰かも遠距離の點より來れるかの如し。故に平凸レンズは物體點Pが其平面側の下方一定距離に存する時

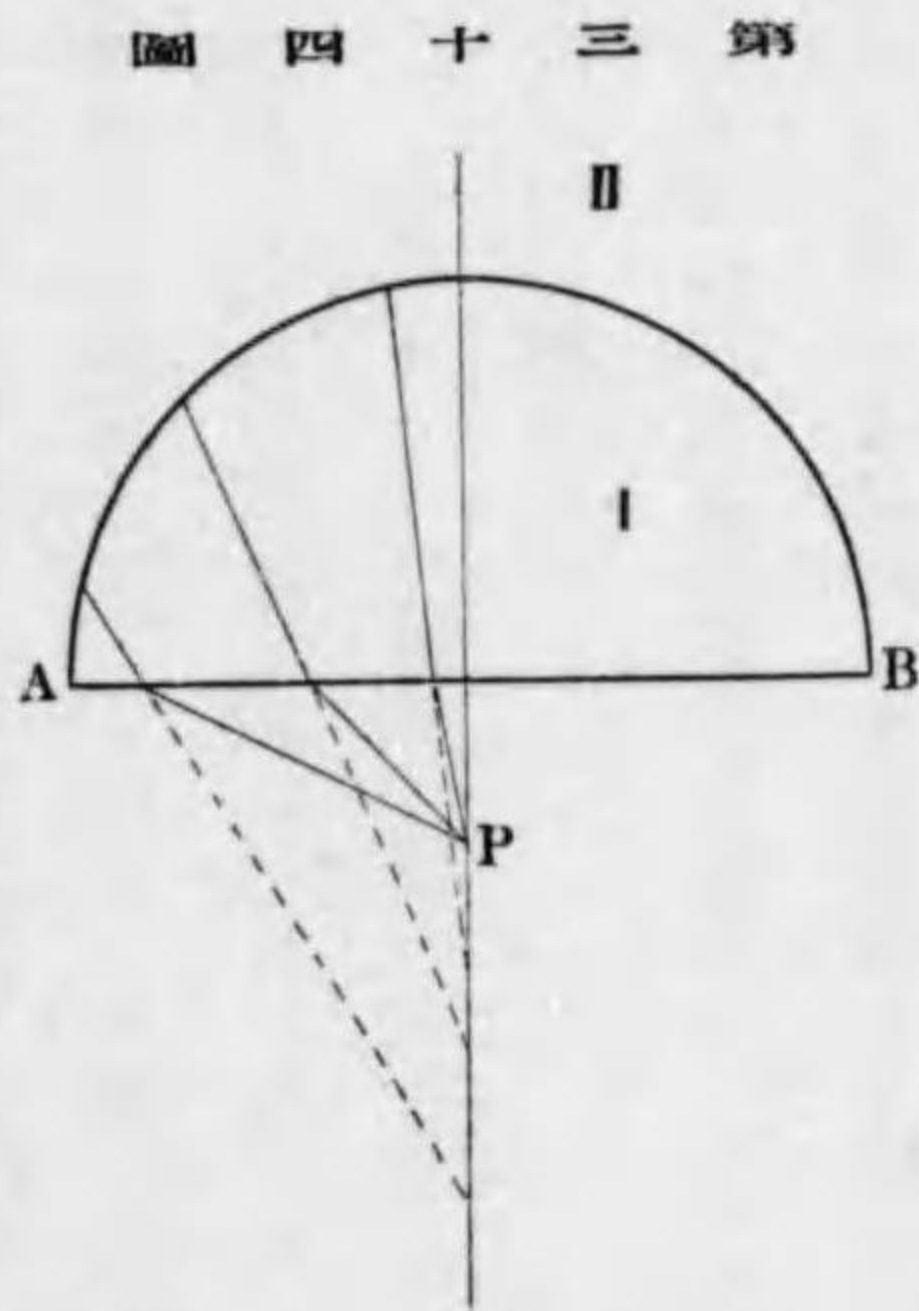


圖 四 十 三 第

には球面收差に關して微矯的に作用す。故に過矯的作用ある他のレンズによりて矯正する要がある。
 四、近來單一のレンズで球面收差の起らぬ様に計測製造さるゝに至つた。かゝるレンズの兩面は球面でなく、面の各部分は各異なる彎曲半径を有して居る、斯様な面を非球面と名ける。かゝる面を有するレンズに於ては球面收差は起らぬけれども之れを精細に研磨する事は非常に困難であつて今日迄

唯ツァイス會社より顯微射影に用ふる照明レンズ及びアッペ氏の照明裝置に用ふるアブラナート式集光鏡の一部に使用さるゝのみである。

上記せる方法で光軸點に對して球面收差が除かれたならば廣角の光束を以て照しても此點を明確に結像せしむる事が出来る。併し乍ら光軸點に對してのみ球面收差を除いてある光系では光軸外の點より來る光線の結像は散光圈の爲めに不明瞭となり、而かも物體點が光軸より遠ざかるに従ひて益々甚だしくなる。第三十五圖に於てSを光軸點に對して球面收差が除かれてある光系とす。Aなる光軸上の一點より來たれる總ての光線はA'に於て結像す、即ちA點より來たれる光束はCでもDでも皆此點に集まる。之れに反して光軸の近傍に於ける一點Bより發する光束の内、軸光束CはB'に於て結像するけれども、周緣光束DはB'に集まる。故にABなる物體より A'B' 及び A''B'' なる大きさを異にせる二個の像が生ずるのである。此像は其中央部に於ては相重なりて居るけれども、周

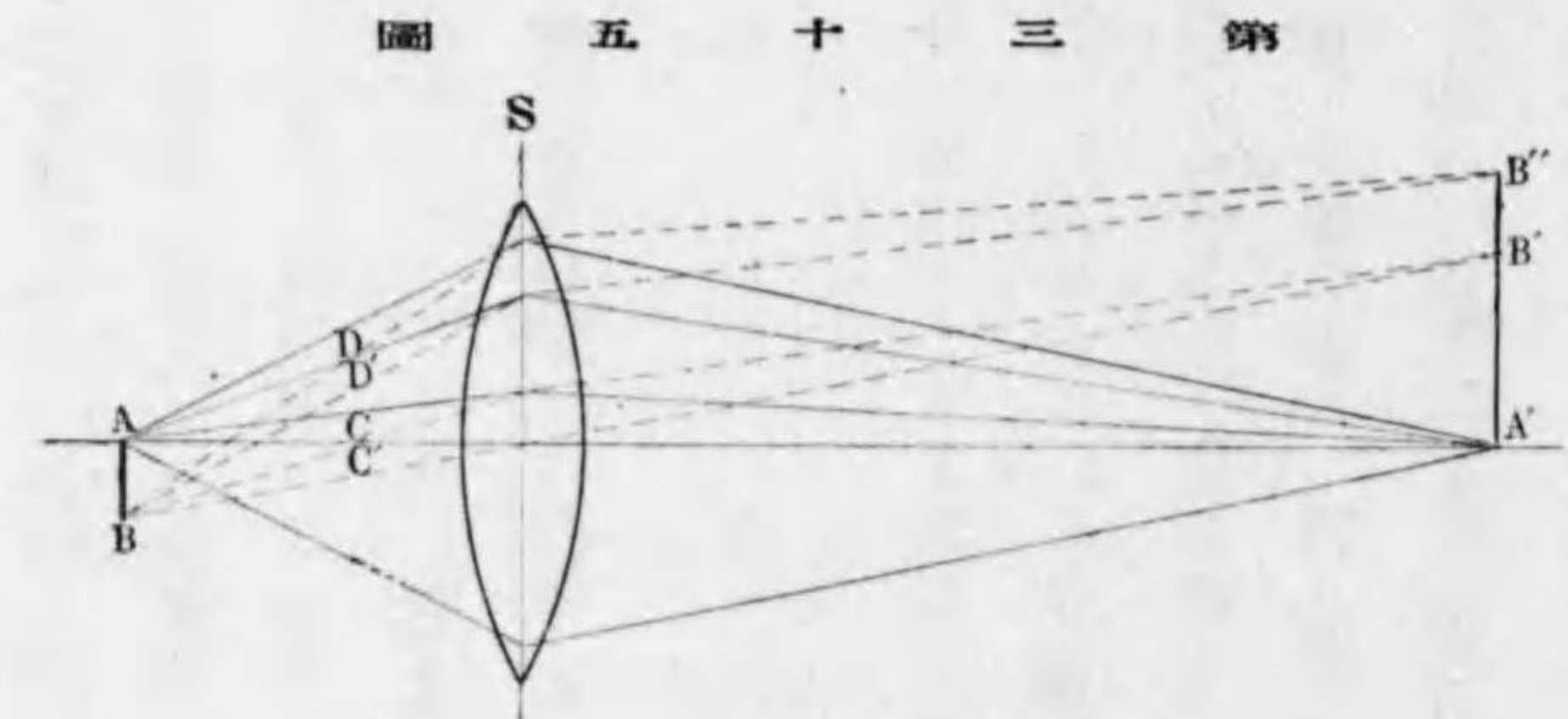


圖 五 十 三 第

緣部に於ては一方の像が他の像よりも廣がつて居る。であるから唯光軸に對してのみ球面收差が除かれてあつても此光系によつて生ずる像は部位によつて廓大度が違つて居る理である。大なる開角を有

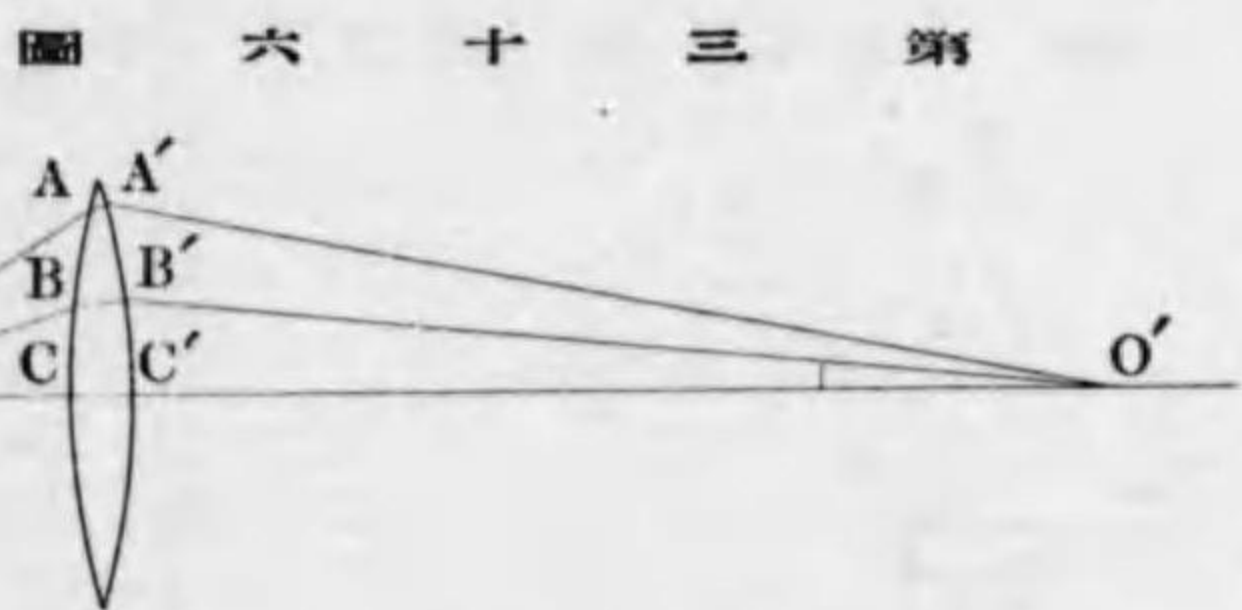
する對物鏡の中央部と周縁部との廓大の差異は時として五〇%、又は其れ以上であつて明確なる結像を妨げる事がある。かゝる光系を以て物體を見れば視野は穹窿せるかの如き觀を呈して居る。

或光系の各部に於ける廓大の差異が除かれてある時、換言すれば光軸點に對して球面收差が矯正されてあるのみならず尙此點より光軸に鉛直に立つ平面上の一定部面より發してレンズ系を通ずる總ての光束が其共軛面に於て同大に結像さるゝ時には、かゝる光系をアブラナート式光系と名ける。かゝる光系に於ては其何れの部面に對しても焦點距離が同一であるから平面が平面として結像される。アッペ氏に依れば光系がアナブライト式であるべき爲めには光軸上に存する一點Aより發し屈折して像點A'に結合する總ての光線が物體空及び像空に於て光軸となす角の正弦の比は一定不變である事を要すと。今物體空に於て或光線が光軸となす角をu、像空に於て之れに關聯せる光線と光軸となす角をu'とすれば

$$\sin u : \sin u' = \frac{r}{R}$$

なる時に於て當該光系はアブラナート式である。此規則を正弦要約と云ふ。第三十六圖に於ける光系を正弦要約に適せるものとすれば、

$$\frac{\sin COA}{\sin COA'} = \frac{\sin COB}{\sin COB'}$$



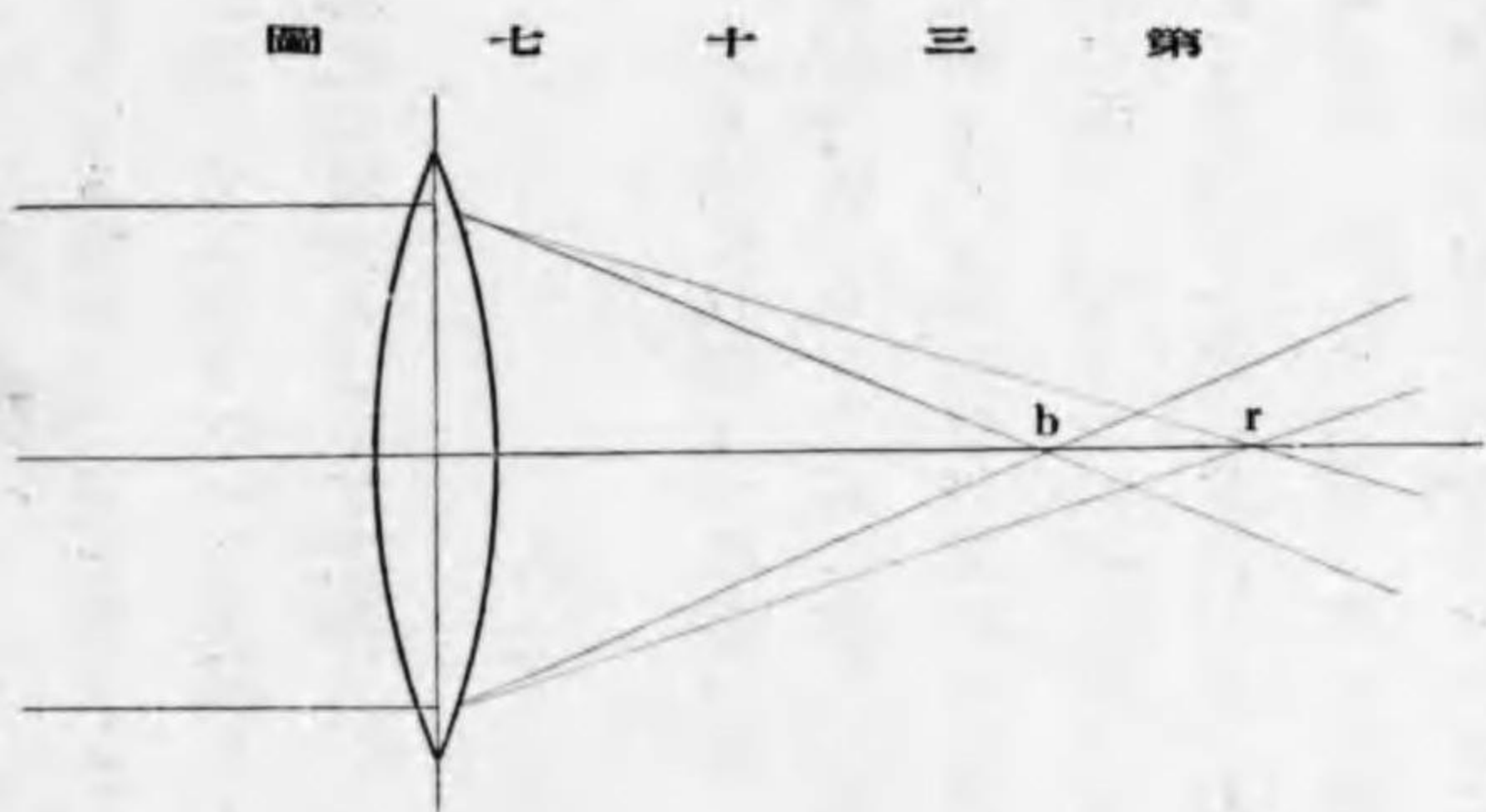
第三十六圖

である。

最後に一言すべきは如何に精細に計測して造られたる光系でも全く相似の像を與へると云ふ事は不可能なる事である。併し乍ら前にも述べた様に吾人の眼は直径が一定限度を越えない（視角約一分に相當する大小の）圓を點として認知するものであるから、對眼鏡によりて造られたる虚像内の散光圈が眼にて區別さるべき距離以下の大きさであつたならば別に障礙とならない。であるから球面收差及び其他の收差によりて惹起されたる散光圈を此限度以下にすれば充分である。

第二 色彩收差

色彩收差は種々の色即ち光の波長の異なるに従ひて其屈折率を異にすると云ふ事に基くのである。其結果同一レンズ系に對して各種の色に對する光學上の基準點が同一でない。例へば青色光線は赤色光線よりも屈折率が強いかから其焦點は赤色に對するものよりもレンズに近い。今白色光線が光軸に平行に進行し來りレンズに射入せりとせば第三十七圖に示す如く青色光線はbに於て、赤色光線はrに於て其焦點を有し其間の波長の光線は此兩點間に焦點を有して居る。故に今bに磨硝子を置けば中心は青色であつて赤色の圈にて圍まれ、rに置けば中心は赤色であつて青色の圈にて圍まれ爲めに像は不明瞭である。或接合レンズに於て普通の集光レンズに於ける様に故意に青色光線が赤色光線よりも



強く屈折する様に造られてある場合には此レンズは色彩収差に關して微矯的なりと云ひ、之れに反して散光レンズに於ける如く赤色光線の方が青色光線よりも強く屈折する様に計測接合されてあるレンズ系を色彩収差に關して過矯的であると云ふ。

色彩収差を除く方法は種類の異なつた硝子にて造れる凸レンズと凹レンズとを接合せしめるにある、即ち屈折率の差異は小であるけれど共分散力の差異の大なるレンズを互に接合して、凹レンズをして凸レンズの分散作用を矯正せしめ而かも此際接合レンズは凸レンズたる價値を失はない様に計測するのである。斯様にして組合せたるものをアクロマート式レンズ又は色消しレンズと名ける。

種々の色に對する屈折率即ち分散力が大となるに従ひて色彩収差に基く缺點は益々大となる。又屈折率と分散力とは必ずしも比例するものではない。例へばクラウン硝子とフリント硝子に於てクラウン硝子に於て見る如くB及びHに對する屈折率の差異はクラウン硝子に於ては0.0204、フリント硝子に於ては0.0434であるからフリント硝子の分散力はクラウン硝子よりも二倍程大である。之れに反して兩硝子の屈折率の差異は割合に小である(其差異は0.1乃至0.2である)。アクロマート式レンズはクラウン硝子より成れる集光レンズとフリント硝子より成れる散光性の凸凹レンズとを接合せしめたものである(第三十八圖)。分散力を同一で相反する様に計測する時はクラウン硝子レンズの陽性焦點距離はフリント硝子の陰性焦點距離よりも著しく短くなる。此兩レンズを接合せしむればフリント硝子より成れる凹レンズはクラウン硝子より成れる凸レンズの屈折力の一部を消殺し全焦點距離はクラウン硝子のみの場合よりも長くなるけれど共分散力は同一で相反して居るから相消殺される。

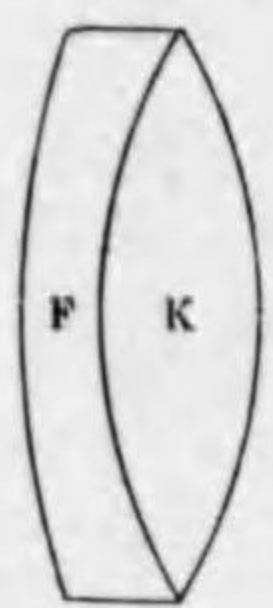
ンホーフエル氏線B、D、Hに相當せる光線に對する屈折率は次の表に示す様である。

クラウン硝子	一・五二四三 ^B	一・五二八〇 ^D	一・五四四七 ^H
--------	---------------------	---------------------	---------------------

フリント硝子	一・六二七七	一・六三五〇	一・六七二一
--------	--------	--------	--------

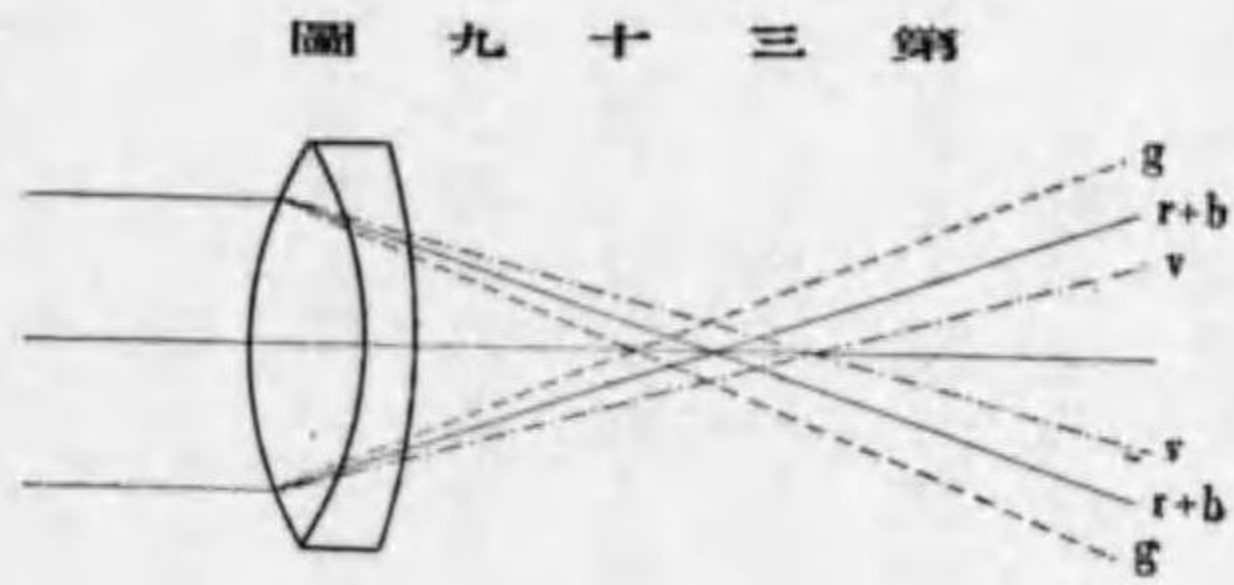
此表に於て見る如くB及びHに對する屈折率の差異はクラウン硝子に於ては0.0204、フリント硝子に於ては0.0434であるからフリント硝子の分散力はクラウン硝子よりも二倍程大である。之れに反して兩硝子の屈折率の差異は割合に小である(其差異は0.1乃至0.2である)。アクロマート式レンズはクラウン硝子より成れる集光レンズとフリント硝子より成れる散光性の凸凹レンズとを接合せしめたものである(第三十八圖)。分散力を同一で相反する様に計測する時はクラウン硝子レンズの陽性焦點距離はフリント硝子の陰性焦點距離よりも著しく短くなる。此兩レンズを接合せしむればフリント硝子より成れる凹レンズはクラウン硝子より成れる凸レンズの屈折力の一部を消殺し全焦點距離はクラウン硝子のみの場合よりも長くなるけれど共分散力は同一で相反して居るから相消殺される。

第三十八圖



上表に見る如く分散力と光の波長との間には何等の比例が存せない、換言すればクラウン硝子及びフリント硝子の分散力は何れの波長に對しても同一ではないから、或光系に於て二色例へば赤色と青色光線を一點に結合せしむる事が出来ても他の色に對しては出来ることは云へない。アクロマート式レンズに於ては二色に對して矯正してあるけれど其他の色に對しては矯正されてないから是等の色は他の方向に屈折せられ他の場所に於て光軸を切る。斯様にアクロマート式レンズに於て矯正されずに殘

焦點作用に基く單一レンズの缺點



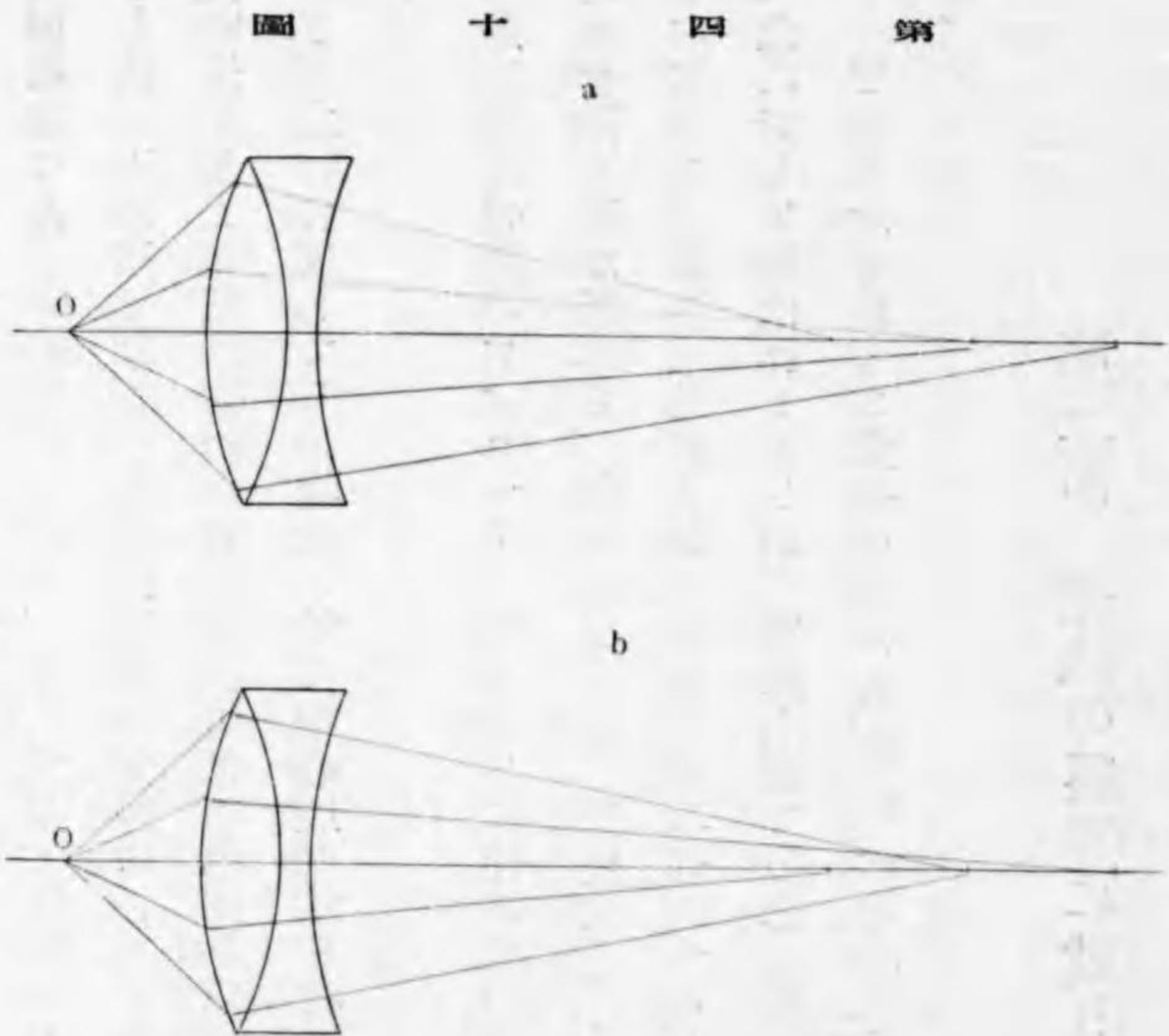
第三十九圖

ば一定の障物を来たすものである。此事に關しては顯微鏡寫真術の條下に於て述べる事にする。

第三 球面収差に基づく色彩差異

前條に於て球面収差の矯正に關して述べた所は當該レンズ系は一定の波長の光線に對して矯正してあると云ふ事を前提とした。以前は一色以上の色に對して球面収差を除く事が出来なかつた、而して此色としては眼に最も明白に見ゆる黄綠色の光線が選ばれたのである。併し乍らかゝる光系は赤色に

對しては球面収差は微矯的であつて青色に對しては過矯的である爲めにレンズの中央部と周縁部とによりて矯正が不同である。今第四十圖 a に於ける如くレンズの中央部を通す光線に對して色彩収差が



第四十圖

焦點作用に基づく單一レンズの缺點

除かれてあるとする例へば青色及び赤色光線が一點に會合するとせば青色の周縁光線はレンズより遠ざかりて、赤色の周縁光線はレンズに近く光軸を切るべし。b 圖は之れに反して赤色及び青色の周縁光線が一點に結合したりと假定する。然る時は中心光線の内、赤色はレンズより遠く青色はレンズに近く光軸を切るべし。a の場合に於てはレンズの周縁部は色彩収差に關して過矯的にされてあり、b の場合には中心部は微矯的の色彩収差を示めす理である。斯様に大なる開角を以て射入する光線を同一點に會合せしむる事は不可能である、即ち各種の色に對する球面収差が種々の程度に現はれる。此缺點を

球面収差に基づく色彩差異と名け、殊に大なる開数を有する光系に於ては此缺點の爲めに結像の障礙を來し像は不明確となる。其他照明法の如何によりて像の明確度に影響を及ぼす。aの場合に於て傾斜照明法を用ふる時は物體は黄色及び青色の色圈を以て圍まる、之れは周縁部の過矯的色彩収差の證である。之れに反してbの場合に於て中心照明法を行ふ時は物體は青色及赤色の圈を以て圍まるを見らる。

此缺點は普通のアクロマート式レンズに伴ふ所のものであるが、アポクロマート式光系を用ふれば之れを除く事が出来る。後にも述べる様にアポクロマート系に於ては色彩収差は三色に對して矯正されてある、即ち三色が一點に結合し第二次スペクトルムが全く除かれてある外、球面収差の矯正は二色に對して行はれてあるから實際上總ての色に對して矯正されてあると殆んど同一の結果を示めず。であるからかゝる光系を用ふる時には中心照明法でも傾斜照明法でも同様に明確なる像を與へる。

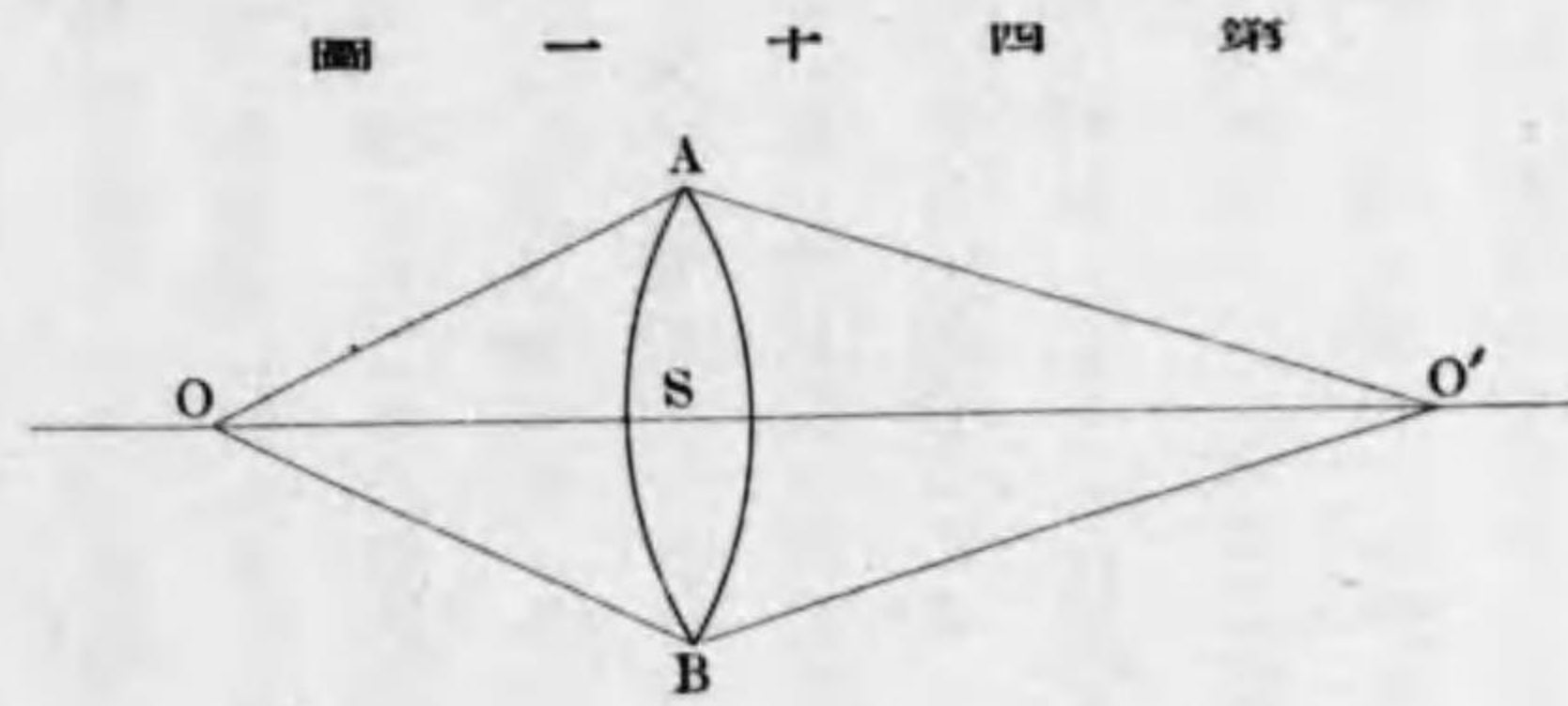
第三節 光線の限界に就きて

第一 進入瞳孔及び進出瞳孔

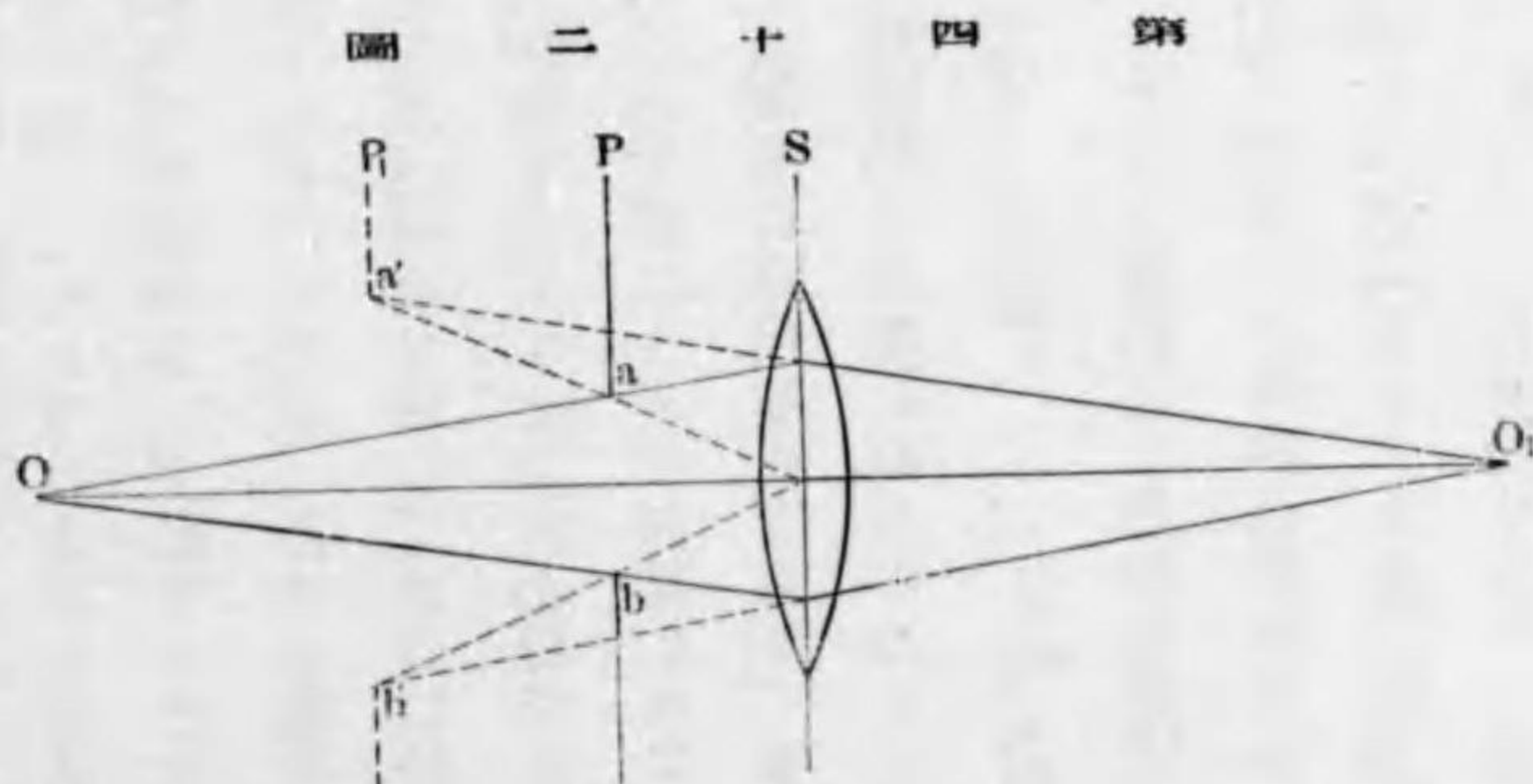
顯微鏡の作用を理解するには結像に關與する光線を限界する要約を知る事が必要である。任意の物

體點より發する光線は空間の總ての方向に放散す。是等の光線の内、光系より攝取せらるゝには一定の限界孔を通して進入するものに限る。進入する光線の限界孔として役立つものはレンズ自身の周縁であるが、之れを支へる鏡框の縁であるか又は光系の前方、中央或は後方に装置せられたる遮光器孔又は其像である。結縁に關與する光線は常に上記せる孔又は其像によりて界されて居るのであるから、物體空に於て之れを通過しなかつた光線は此孔の像を通過する理がない。物體空に於て物體の方より見られたる有効の限界孔を進入瞳孔と云ひ、像空に於て像の側より見られたるものを進出瞳孔と云ふ。進入瞳孔はレンズ系の開数を決定する上に必要であるから開數瞳孔とも云ふ。

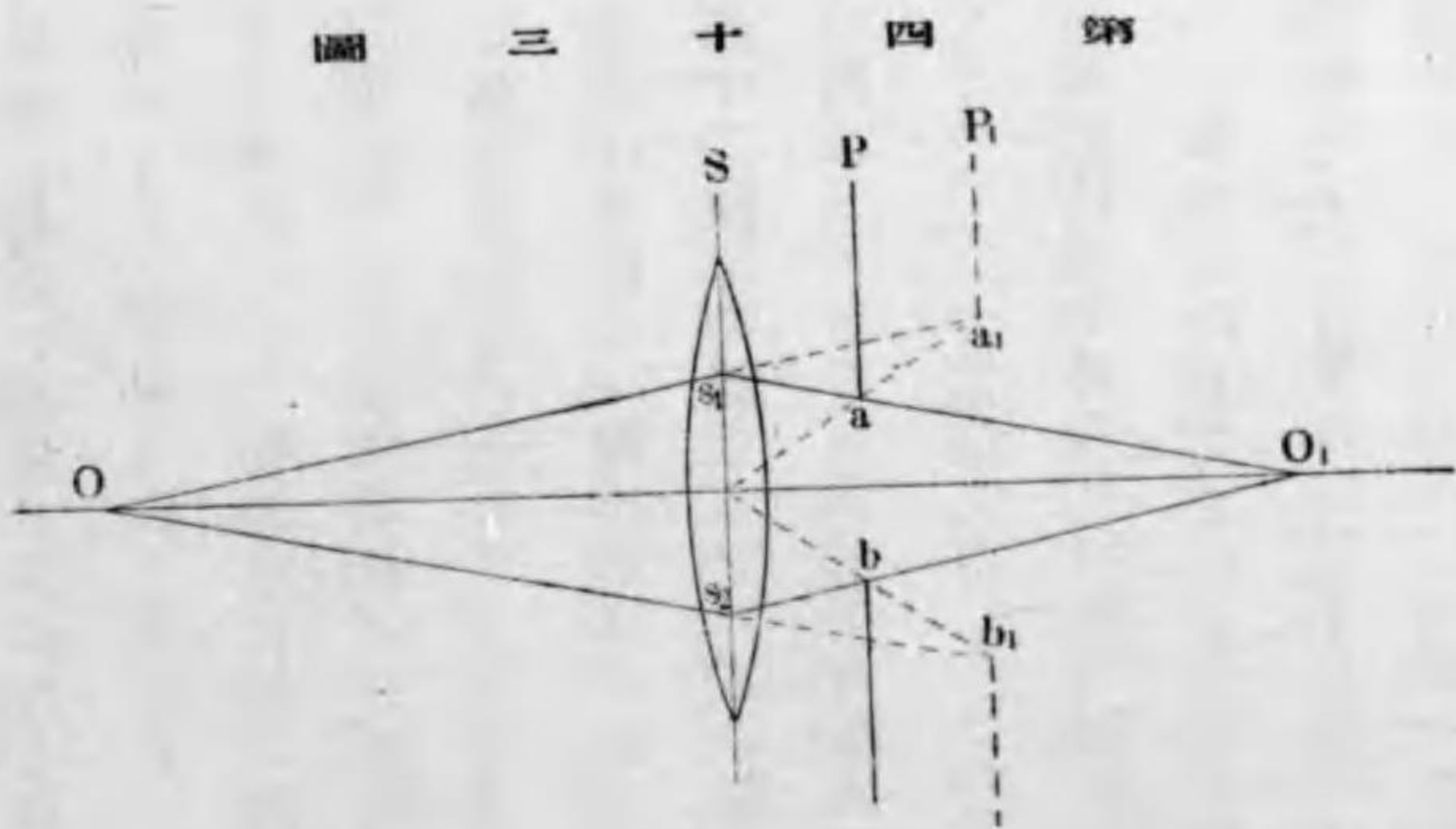
進入光線がレンズの周縁又は其鏡框によりて限界されて居る場合は第四十一圖に示せる如くレンズの周縁ABは進入瞳孔であると同時に進出瞳孔である。次に第四十二圖は物體とレンズとの間に遮光器の存する場合である。Oを物體點とし之れとSなるレンズとの間に σ なる孔を有する遮光器Pを置く時は、レンズSに進入する總ての光線は σ なる光束内に含まるゝから此光束を界する孔 σ は進入瞳孔である。次でSなるレンズより進出する光線に對する限界孔を見出す爲めPの像P₁を見出せば宜い。然る時はレンズより外出する總ての光線は此遮光器の像P₁の孔 σ_1 を基底とし σ_1 なる有形の孔を代理するのである。即ち σ_1 は進出瞳孔である。次で遮光器がレンズの後方に存する場合は第四十三圖に示めす如し。遮光器Pの孔 σ にて界せらるゝ光束を見出すには先づ始めOの像O₁を見出し



第一十四圖



第二十四圖



第三十四圖

之れより反對に ab を通して O_1S_1 及び $O_1P_1S_1$ を決定せよ。此周縁光線以外の光線はレンズを通したる後 O_1 に達する事が出来ない、即ち $S_1O_1S_1$ なる光束のみが ab を通して O_1 に達するのである。今 ab

の像 a_1b_1 を見出せば $a_1O_1b_1$ なる光束は ab を通して O_1 に赴くものである。此光系に於ける進入瞳孔は a_1b_1 であつて、進出瞳孔は ab である。故に此場合には進入瞳孔は眞の遮光器孔の像である。

第二 開角及び開數

開角とは進入瞳孔の縁と光軸上に於ける物體點とを結び付けて出来る角度を云ふ。進入瞳孔がレンズの鏡框の縁より成れる時は最も簡單であつて第四十一圖に示す如く光軸上に存する物體點 O とレンズ AB の縁とを結付ける周縁光線 OA 及び OB にて界せらるゝ角 AOB は AB なるレンズの開角である。進入瞳孔がレンズ系の前方、後方又は中間に置かれたる遮光器孔又は其像である場合には第四十二圖及び第四十三圖に示せる如し、即ち第四十二圖に於ては角 aOb 第四十三圖に於ては角 $S_1O_1S_1$ は開角である。開角は物體とレンズの距離が一定して居れば常に一定の値を有して居るけれども物體點が焦點距離に近づけば増大し、之より遠ざかれば減少する。開角の大きさはレンズ系に進入し結像に關與する光線の量に關係を有して居る、換言すれば開角は顯微鏡の能力に影響を及ぼすものである。即ち開角が増大するに従ひて對物鏡内に進入する光線は益々多くなり像と物體との類似度は益々大なる。併し乍ら下述する如く或光系の能力を判断する標準としては開角の大きさの外、物體點より發出する光束の通過すべき媒質の性質をも顧慮する事を要するのである。

今第四十四圖に示せる如く空氣(I)中に存する一點Oより發出する周縁光線 OP 及び OP₁が LL なる平面に於て硝子(II)中に進入するとせば、P 及び P₁點に於て引ける垂線 NN' の方に屈折さる。射入角(OPN = α)と屈折角(OP₁N₁ = β)との間に次の關係が成立つ。

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n'}{n}$$

n は空氣(I)の、n' は硝子(II)の屈折率とす。此式より

$$\sin \beta = \frac{\sin \alpha \cdot n}{n'}$$

を得、而して此場合には $\cos \beta = 1$ であるから

$$\sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n'}$$

となり硝子の屈折率を一・五三とすれば

$$\sin \beta = \frac{\sin \alpha}{1.53}$$

であつて射入角(α)が四六度なる時はβの値は二八度である。

其他上圖に於て見る様に角α及びβは當該光束の開角の半ばに等しい。IIなる媒質(硝子)に於ける開角は OP 及び OP₁を後方に延長すれば知らる。而して角 POP₁ 及び角 PO₁P₁ は LL なる平面に對する垂線 OS にて切半せらる。又角 NPO = POS 角 QPN₁ = N₁P₁O である。各開角の半ば即ち角 POS = u 角 PO₁S = u' にて現はせば、u = α、u' = β であるから、上記の方程式より

$$\frac{\sin u}{\sin u'} = \frac{n'}{n} \quad \text{又は} \quad \sin u' \cdot n' = \sin u \cdot n$$

である、此方程式より任意の媒質中に於ける開角を他の媒質中に於ける開角及び兩媒質の屈折率から計測する事が出来る。

次て一つの光束が硝子(I)より空氣(II)中に進入するとせば(第四十五圖)屈折角は射入角よりも大

である即ち $\beta > \alpha$ である。屈折法則

によりて

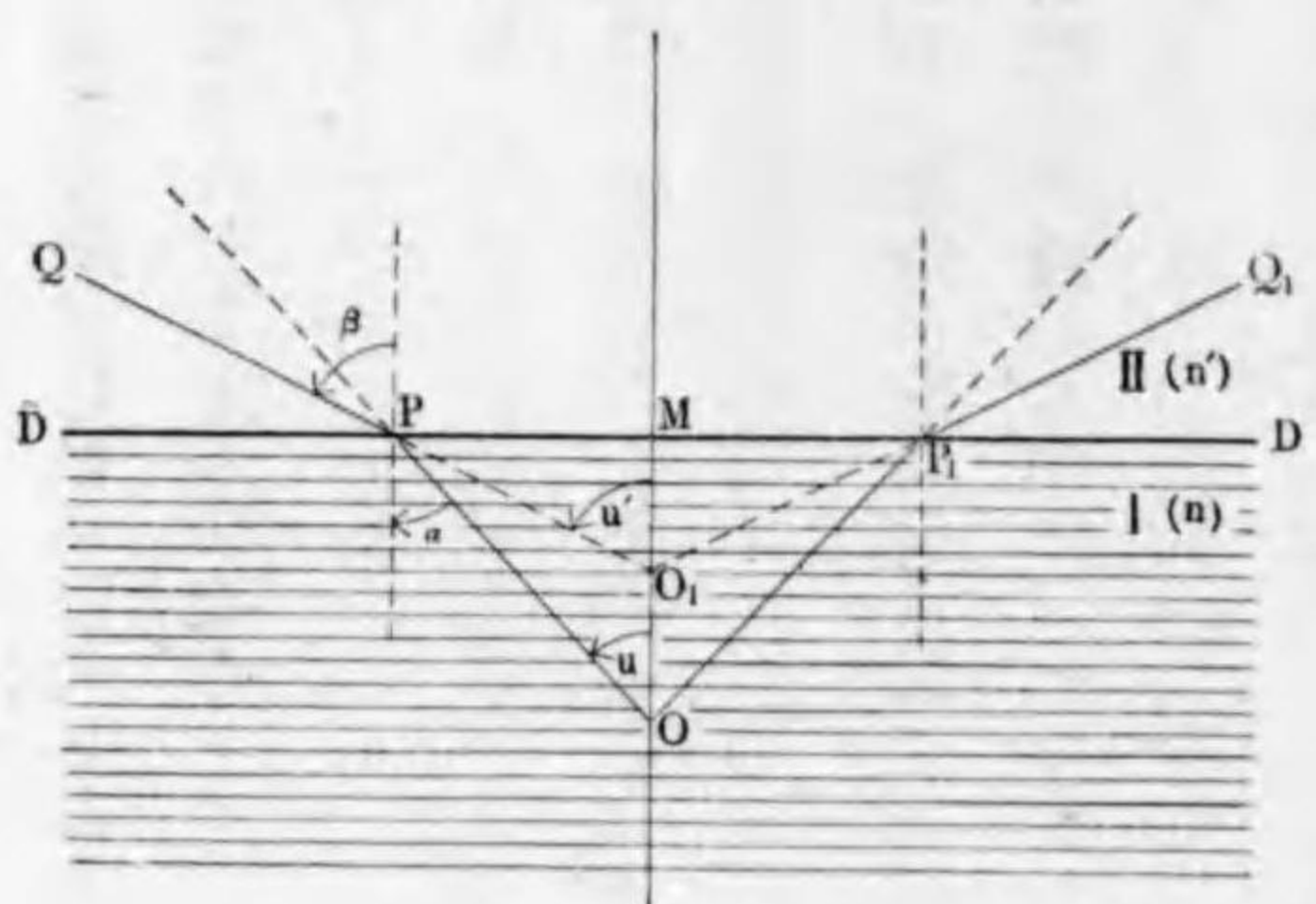
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n'}{n}$$

である。今 I なる媒質即ち硝子(n)中に於ける開角の半ばを u とすれば u は射入角αに等し。又 II なる媒質即ち空氣(n')に於ける開角(PO₁P₁)の半ばを u' とすれば u' = β である。故に上記の方程式より

$$\frac{\sin u}{\sin u'} = \frac{n'}{n}, \quad \sin u' \cdot n' = \sin u \cdot n$$

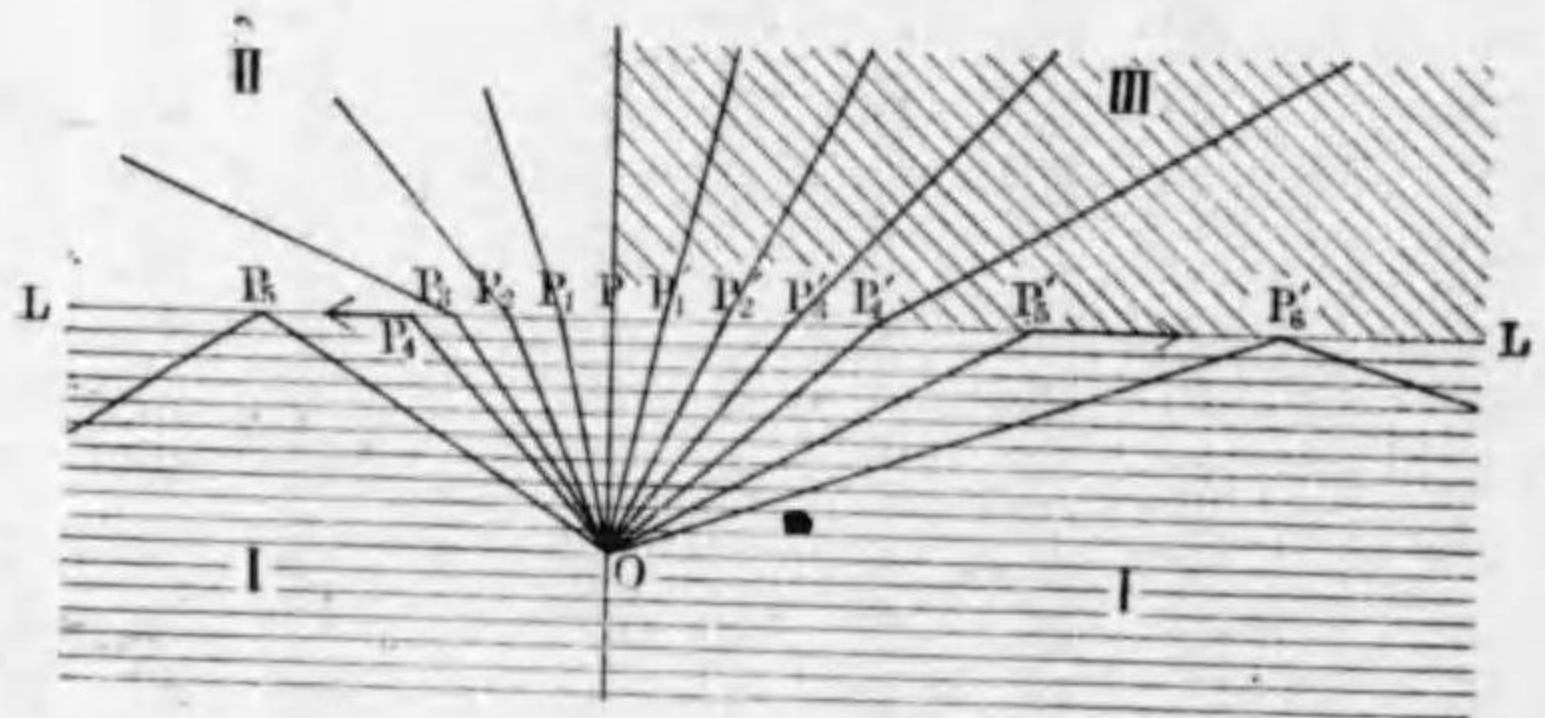
である。

圖 五 十 四 第



光線の限界に就きて

圖 六 十 四 第



第四十六圖の左半に示めす如く硝子中に於ける一點Oより發する光線が空氣中に進入するときは射入光線と垂線となす角が大なるに従ひて屈折光線は益々水平線に近くなり、最後には屈折光線が境界面に平行して走るに至る(P₁)。方程式 $\sin \alpha \cdot n = \sin \beta \cdot n'$ に於て $\beta = 90^\circ$ である、 $\sin 90^\circ = 1$ であつて且 $n' = 1$ であるから

$$\sin \alpha \cdot n = 1$$

となる。硝子(I)の屈折率 $n = 1.53$ とすれば

$$\sin \alpha \cdot 1.53 = 1 \quad \alpha = 41^\circ$$

となる。此角を限界角と云ふ。限界角は兩媒質の屈折率の差異が小なるに従ひて益々大なる、例へば第四十六圖の右半に示せる如く光線が硝子(I)より水中(III)に進入する際には、 $\sin \alpha \cdot n = \sin \beta \cdot n'$ に於て $\sin \beta = 1$ であるから

$$\sin \alpha = \frac{n'}{n} = \frac{1.34}{1.53}, \quad \alpha = 61^\circ$$

となる。即ち光線が硝子より水中に進入する際の限界角は六一度である。

今光線が硝子中より空氣中に進入する場合に α なる角が限界角(四一度)より大なる時、例へば四五度なる時は $\sin \alpha = 0.7071$ であるから

$$\sin \beta \cdot n' = \sin \alpha \cdot n$$

$$\sin \beta \cdot n' = 0.7071 \cdot 1.53$$

$n' = 1$ なる故に

$$\sin \beta = 1.08$$

となる。或角の正弦の値は高々一に等しいから此場合に於ける β の値は虚である。即ち光線は最早や第二の媒質(空氣)に進入せずして境界面に於て全反射さるのである(P₂)。故に光學的密なる媒質より發出せる光束は其開角の半ばが限界角より大でない場合に於てのみ光學的粗なる媒質に進入する事が出来るのである。

上例に示せる如く硝子と空氣間に於ける限界角は四一度、硝子と水との間の限界角は六一度である。限界角は開角の半ばであるから硝子より空氣中に進入する光束の最大の開角は八二度、硝子より水中に進入する場合に於ては一二二度である。今若しも光線が硝子より之れと同一の屈折率を有する媒質例へばツェーデル油内に進入する時は光線は屈折せず、此場合には理論上開角は一八〇度であるべきである。

上述せる様に光線が硝子より空氣中に又は水中に進入する場合でも或は空氣中より硝子中に進入する場合に於ても、開角 β の値は變じて β の値となるけれ共兩媒質の屈折率と兩媒質中に於ける開角の半ば(α 及び β')の正弦との積は同一の光系に對しては常に一定せる値である。換言すれば

$$\sin u' \cdot n' = \sin u \cdot n$$

なる方程式に於て $\sin u \cdot n$ なる値は物體の存する媒質の如何及び開角の度に關係せずして同一の光束に對しては常に一定せる事を示めす。アッペ氏は此 $\sin u \cdot n$ なる積を開數と名け n を以て示せり。即ち或光系の開數は $n = \frac{\sin u'}{\sin u}$ にて示さる。此式に於て u は n なる屈折率を有する媒質内に於て計られたる開角の二分の一である。觀察すべき物體が空氣中に存する時には $n = 1$ であるから此場合には $n = \sin u'$ なる故開數は開角の二分の一の正弦を以て現はさる。

對物鏡に進入せる光量を定めるには開角の大きさのみならず物體空に於ける媒質の屈折率 (n) を顧慮せねばならないと云ふ事を説明する爲めにツァイス會社製の 3mm の焦點距離と 1.40 の開數を有する均等液浸系と、3mm の焦點距離と 0.95 の開數を有する乾燥系とを比較すべし。

1.40 の開數の液浸系を用ふる時には $n = 1.5$ なる屈折率の浸液例へばツェーデル油を以て覆蓋硝子と對物鏡とを結合す。

$$a = n \cdot \sin u$$

$$1.40 = 1.5 \cdot \sin u$$

$$\sin u = \frac{1.4}{1.5} = 0.9333$$

$$u = 69^\circ$$

であるから開角は一三八度である。

又 0.95 の開數を有する乾燥系を用ふる際には $n = 1$ であるから

$$0.95 = n \cdot \sin u$$

$$\sin u = 0.95$$

$$u = 72^\circ$$

であつて開角は一四四度となる。

此兩例を比較する爲めに硝子中に於ける元の光束の大きさを檢するに第四十七圖に示めすが如く、A なる油浸系に於ては開角は不變であつて一三八度である。B なる乾燥系に於ては開角の二分の一は三九度二〇分の大きさを有する事を知る。何となれば

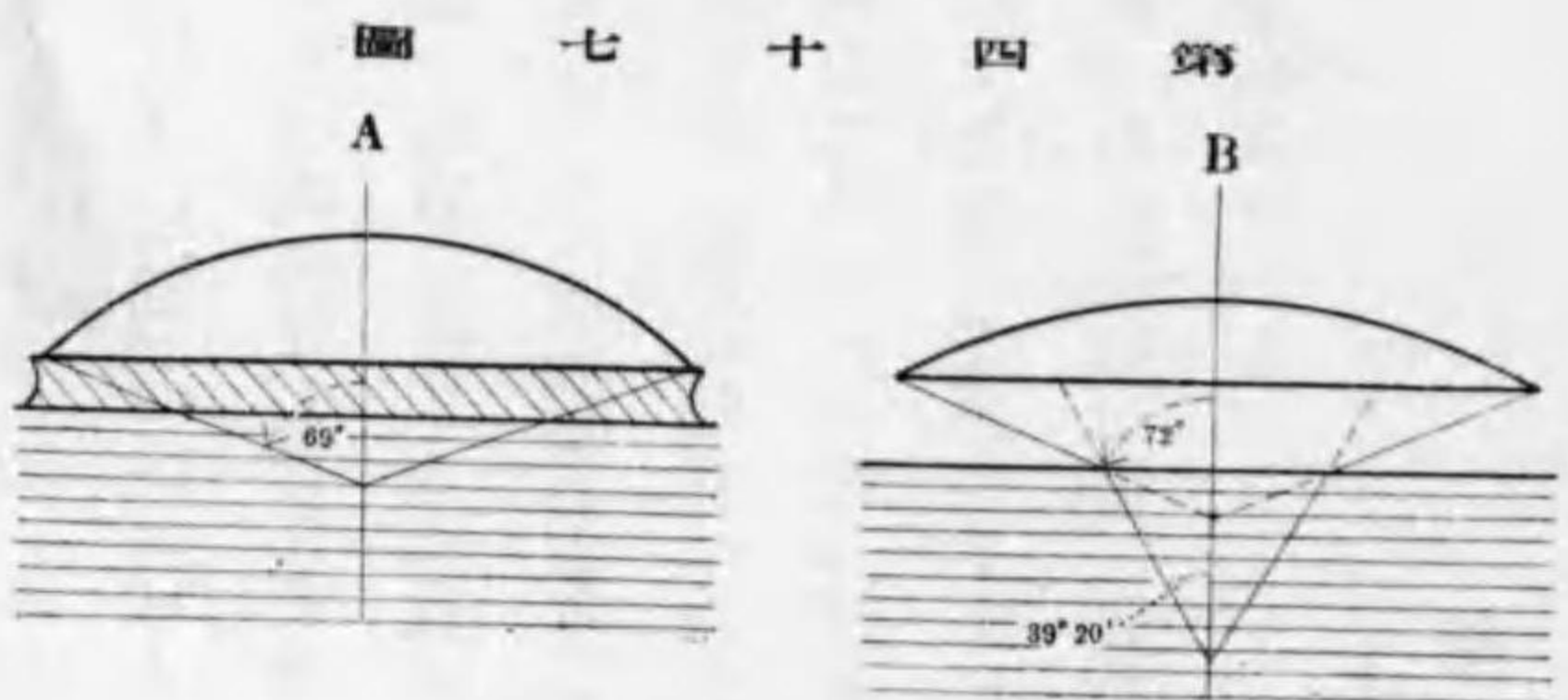
$$\sin u \cdot n = \sin u' \cdot n'$$

$$\sin u = \frac{\sin 72^\circ \cdot n'}{n} = \frac{0.9511 \times 1}{1.5} = 0.635$$

$$u = 39^\circ 20'$$

であるから開角は七八度四〇分となつて油浸系に於ける一三八度よりも著しく小なる事を知る。而かも三九度二〇分なる値は殆んど限界角に近いものである。之れによりて見

光線の限界に就きて

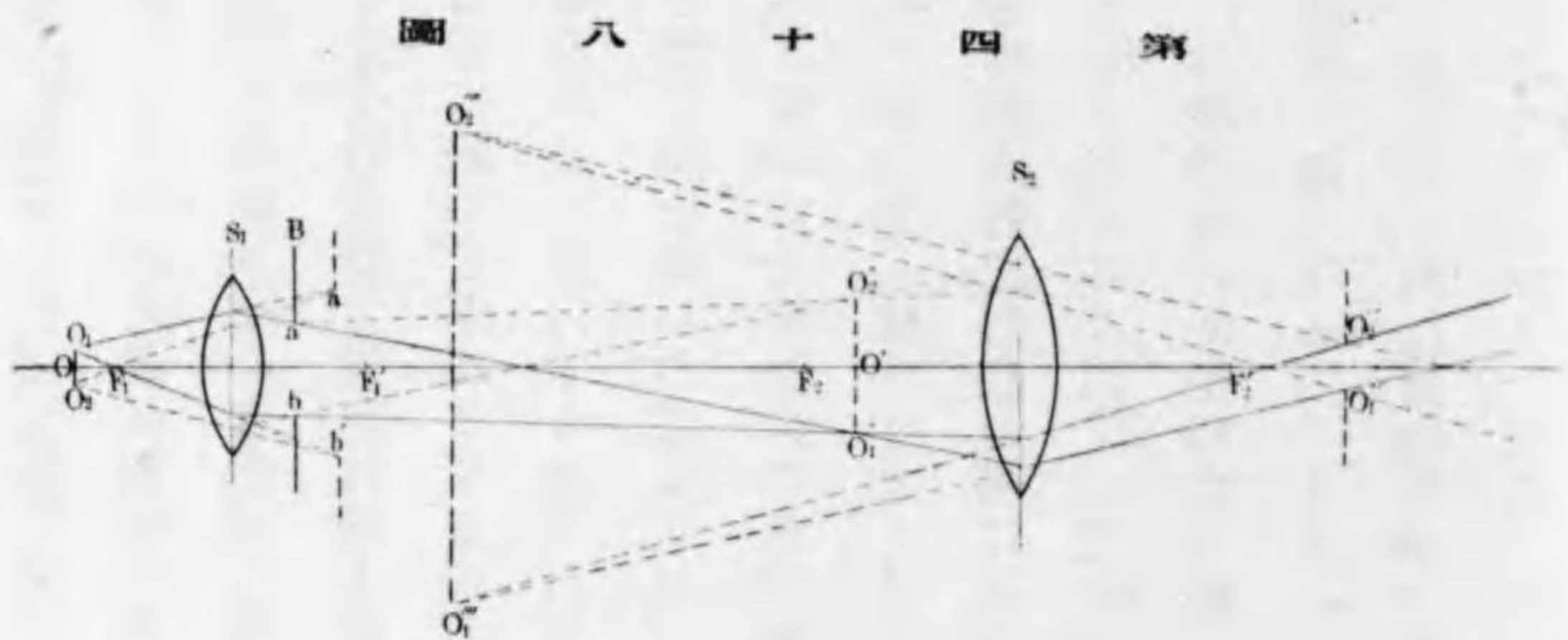


れば乾燥系に於ては硝子より空氣中に進入し得る殆んど總ての光量を利用して尚ほ油浸系の開角に遠く及ばないと云ふ事を知るのである。即ち γ の屈折率の媒質中に於て一三八度の開角は $\gamma=1$ なる媒質(空氣)中に於ける一四四度の開角よりも多くの光線を像點に送る理である。

上に説明せる様に或光系より受取らるる光量は必ずしも開角の大きさに比例するものではなく、對物鏡の前方に存する媒質の屈折率に大なる關係を有して居るのであるから光系によりて取らるべき光量、從ふて顯微鏡の光學的能力の標準としては必ず開數に依るべきである。乾燥系に於ては對物鏡と前
端レンズ間の媒質は空氣である。此際には $\gamma=1$ なる故開數は高々 γ に等し、何となれば此場合には開角の二分の一は九〇度より大なる事は無く、九〇度の正弦は 1 であつて $\gamma=1$ より大ではないからである。光系の下方に於ける媒質が水なる時は $\gamma=1.33$ を、ツェーデル油なる時は 1.5 を乗すれば開數を得。實際に於て乾燥系に於ける開數は 0.95 、油浸系に於ては 1.4 が現今達し得る最高値である。

第三 顯微鏡に於ける進入瞳孔及び進出瞳孔

第四十八圖は顯微鏡の最も簡單なる場合を示めす。 S_1 を對物鏡、 S_2 を對眼鏡とし、其焦點を各々 F_1 、 F_2 及び F_1' 、 F_2' とす。今 S_1 を對物鏡の後方に存する遮光器Bの孔とする時は上述せる所によりて S_1 に關

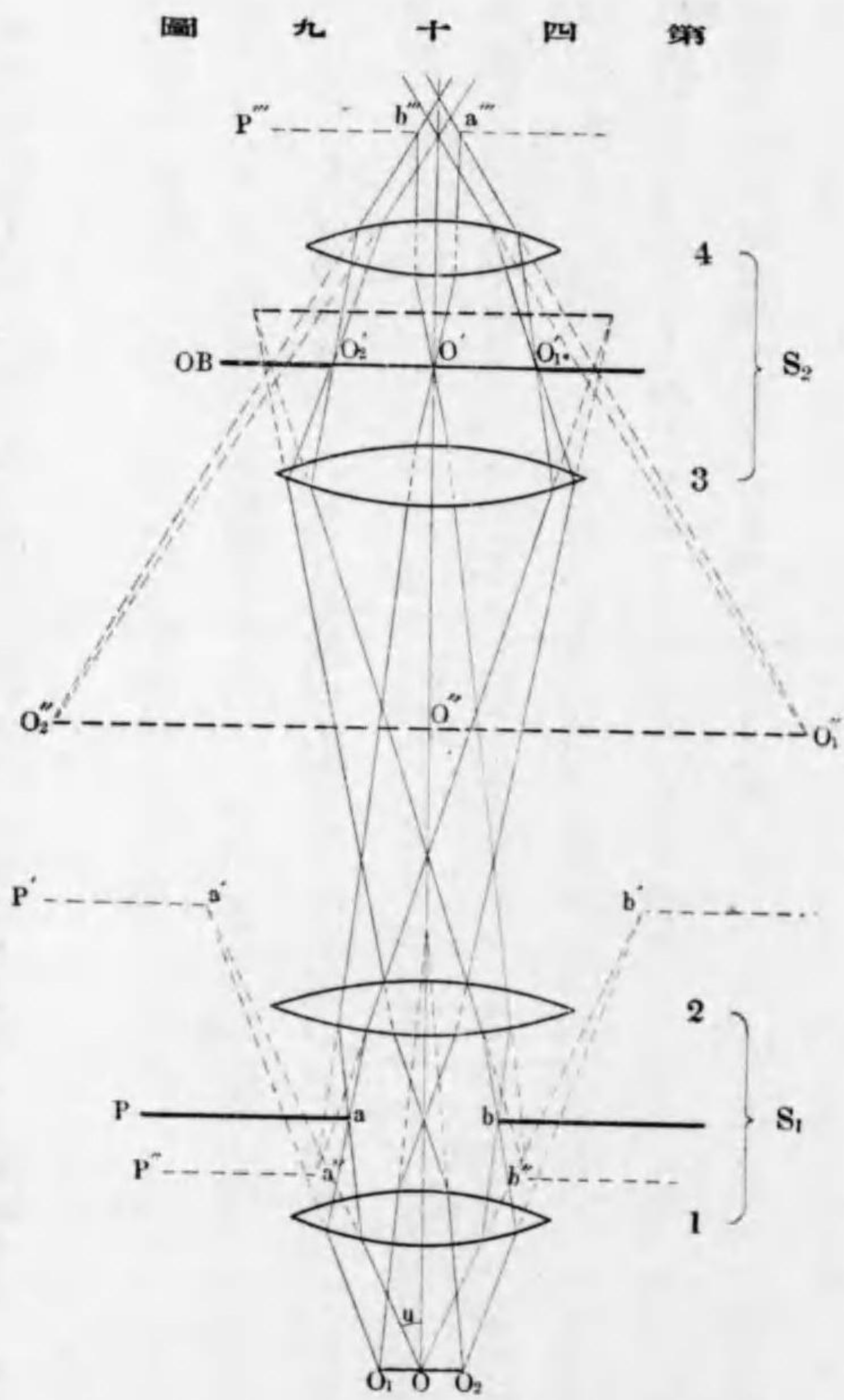


光線の限界に就きて

して S_1' の虚像は S_1' である、即ち有形の孔 S_1' は F_1 の側より見れば S_1' に在る如く見へる。 S_1' は S_1 なる光系の進入瞳孔である。今 S_1 の前方に於て一物體 OO_1 が F_1 の外方に於て短距離に在りしすれば OO_1' の像點は $O_1'O_1''$ に生ずる、即ち $O_1'O_1''$ は $O_1'O_1$ なる物體の像である。此像は S_2 なる光系の前焦點距離内に結ぶから S_2 は廓大鏡として作用し正視距離に於て $O_1'O_1''$ の虚像 $O_1''O_1'''$ を結ぶ。此場合に於ては光束の限界は先づ第一に對物鏡 S_1 の後方に存する遮光器Bの孔 S_1 にて行はる。而して S_1 を通過する光束の開角は物體點より S_1 の像 S_1' に引ける直線によりて界せらる。 $S_1'O_1''$ は O_1 點に對する開角である。而して此光束が S_1 によりて屈折を受け爲めに生ずる光束 $S_1'O_1''$ の開角は遙かに小である。 $O_1'O_1''$ よりは $S_1'O_1''$ と同一開角の光束が對眼鏡 S_2 に進入する。而して對眼鏡より發出する光線の限界は顯微鏡の進出瞳孔によりて行はる。此進出瞳孔は對眼鏡によりて結べる遮光器孔 S_2 の像である。 S_2' なる孔は對眼鏡より比較的遠距離に存するから其像は對眼鏡に近くに於て存す。上圖に示めす様に對眼鏡の後焦點の直上に

於て存する O_1O_2 は O_1O_2 なる遮光器孔の眞像であつて顯微鏡全體の進出瞳孔である。今磨硝子を此部に持來す時は此像は明確なる限界を有せる二乃至三耗直径の明白なる光圈となりて現はれる。此者を眼圏と名け其中心を眼點と云ふ。虚像 O_1O_2 より發出する所の周縁光線は進出瞳孔 O_1O_2 を通過し此平面に於て光束は最も狭く之より後方に於ては光線は分散す。總ての像點より眼中に進入し來る光束は眼圏を基底とするから此眼圏の遙か後方に眼を置く時は O_1O_2 なる像より來れる光束の一部のみ眼に進入する理である。故に像の全部を通覽する爲には眼の進出瞳孔が光系の進出瞳孔に存する様に眼を置かねばならぬ。成可く多くの光線が眼中に進入すべき爲には即ち像が成可く明瞭であるべき爲には全顯微鏡の進出瞳孔と檢者の眼の進出瞳孔とは全く符合する事を要する。顯微鏡の進出瞳孔が眼の進出瞳孔よりも小なる時は前者を通す光線は全部眼の網膜に達する、此場合の視野の限界は對物鏡内遮光器孔の縁によりて行はる。之れに反して進出瞳孔が眼の進出瞳孔よりも大なりと假定する時は後者は進出する光束の眼界縁として作用し、爲めに顯微鏡像の限界は不明確となる理である。れ共顯微鏡の進出瞳孔は眼の進出瞳孔よりも常に小であるから實際に於ては物體より來る光線は總て眼中に進入するのである。

上記せる所は對物鏡及び對眼鏡は各一個のレンズより成つて居ると假定したのである。併し實際に於ては對眼鏡は二個のレンズより成立つて居るから顯微鏡内に於ける光線の限界される關係は上述せ

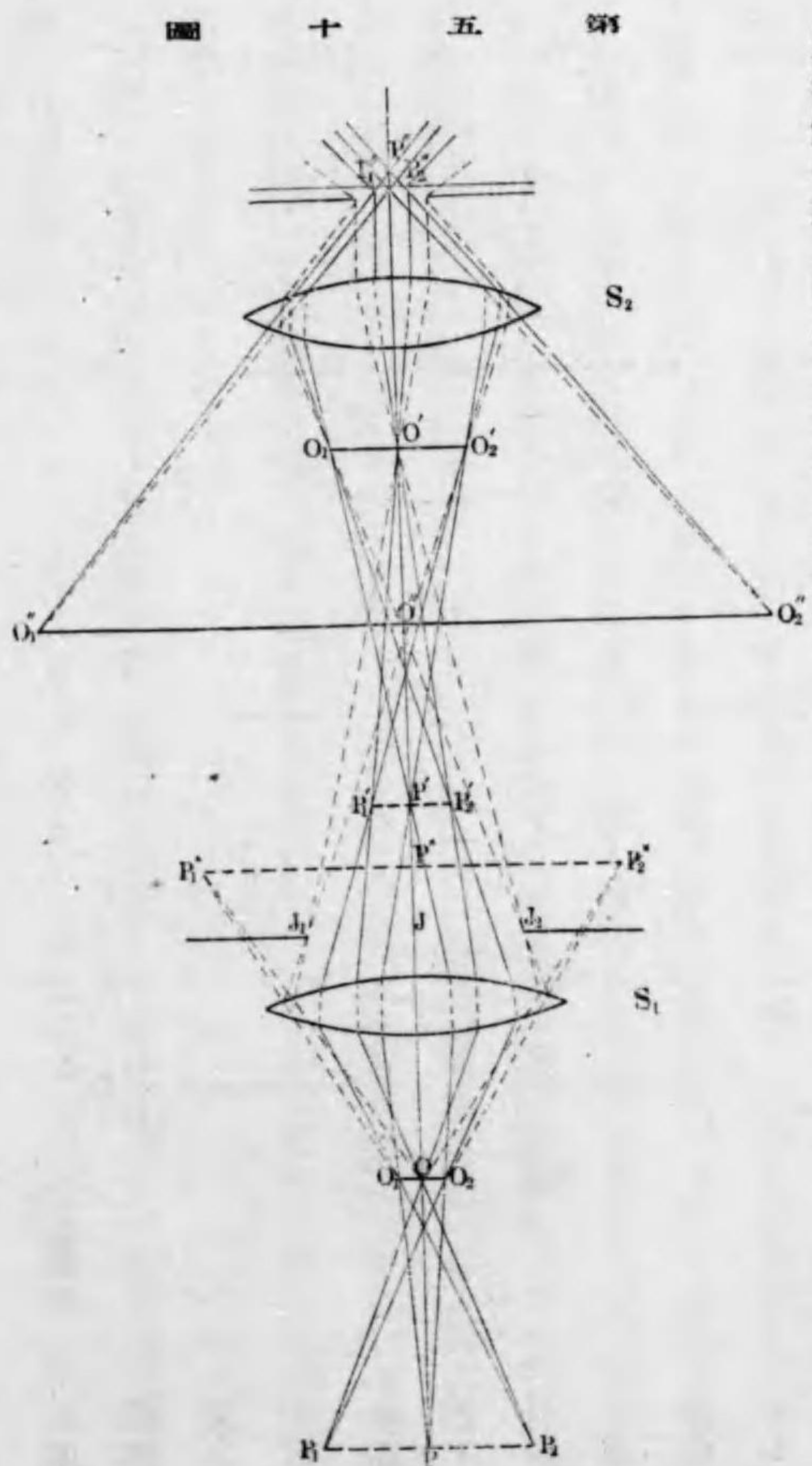


る所と多少異つて居る
第四十九圖に於て對物鏡 S_1 は 1 及び 2 なるレンズより成り、其間に ab なる孔を有せる遮光器 P 存す。對眼鏡 S_2 は 3 及び 4 なるレンズより成り、其間に OB なる遮光器を有す。1 なるレンズは P' なる面に於て ab の虚像 $a'b'$ を造

る。故に此像は對物鏡、從ふて全顯微鏡の進出瞳孔である。2 なるレンズは P'' なる面に於て遮光器 P の孔 ab の像 $a''b''$ を造る。此像は對物鏡より進出する總ての光線に對する限界孔、即ち對物鏡の進出瞳孔である。進入瞳孔が知られたならば進出瞳孔の像は有形の遮光器孔を顧慮せずとも容易に見出す事が出来る、同様に進入瞳孔の位置は進出瞳孔の位置より決定する事が出来る。上圖に於ては進入瞳孔は

光線の限界に就きて

一見像空に存し、進出瞳孔は物體空に存す。進出瞳孔は S_1 なる光系全體によりて物體として結像さる。即ち進出瞳孔によりて界されたる光線は對物鏡を通過したる後放散し對眼鏡 S_2 の集束レンズ 3 及び眼レンズ 4 によりて集められ眼レンズの上方に於て P_{111} なる面に q_{111} なる眼圏を生ずる事は前述せる所である。光線が對眼鏡を通ずる際に於て其内に存する遮光器 OB によりて光束の一部が遮断される。



顯微鏡の進入瞳孔及び進出瞳孔に關して上に説明した所では物體自身が發光體であるを假定したのである。併し顯微鏡によりて觀察する物體は自身發光體である事は稀であつて多くは他の光源より照さるゝのものである。此場合に於ては光線を送る所の面

即ち反射鏡の面又は集光鏡に附屬せる遮光器孔が進入瞳孔を決定するのである。而して此進入瞳孔は物體の前方遠距離に存すると假定すべきものであるから、其像である進出瞳孔は對物鏡の後焦面に存し對眼鏡を除去する時は容易に之れを見る事が出来る。第五十圖に於て S_1 を對物鏡とし S_2 を對眼鏡とす。 P_1P_2 を反射鏡又は集光鏡の下方に存する遮光器孔にて界せられたる光面とし、顯微鏡は透明なる物體に對して準焦されたりと考ふる時は對物鏡内へは唯遮光器孔にて界せられたる光線のみが進入する理である。 P_1P_2 なる點より出で O_1O_2 なる物體を通し次で全光系を通す所の光線を追及するに、先づ P_1P_2 の眞像 $P_1'P_2'$ は對物鏡の後焦面に於て造らる。此者は $O_1'O_2'$ の方に集る所の光束の基底となるから對物鏡の進出瞳孔である。對眼鏡 S_2 は其上方に於て $P_1'P_2'$ の倒立せる眞像 $P_1''P_2''$ を生ず。此者は $P_1'P_2'$ に對する全顯微鏡の進出瞳孔である。

第四節 顯微鏡の構造

顯微鏡は光學的装置と機械的装置とから成立つて居る。光學的装置が顯微鏡の作用に對して重要である事は言を俟たないけれ共、顯微鏡が其能力を充分に發揮するには光學的装置の適當なる配置と機械的装置の構造が堅固で精巧なる事を要するのである。

第一 光學的装置

顯微鏡の光學的装置とは對物鏡、對眼鏡及び照明装置の事である。

一、對物鏡

前にも述べた様に對物鏡は近距離に於ける物體より大なる開角を以て進入し來る光線を小なる開角に變じ遠距離に於て倒立せる眞像を結ばしめる作用がある。而して此像は對眼鏡によりて更に廓大せらる。強き對眼鏡は對物鏡によりて造られたる像を尙著しく廓大するけれ共之れによりて像中には何等新らしき構造が現はれない、即ち對物鏡によりて見えない構造は強き對眼鏡にても現はす事が出来ないこと云ふ事は前述せる所であつて解像力は専ら對物鏡に依るものであるから對物鏡は光學上の缺點殊に球面収差及び色彩収差を有して居つてはならない。其他解像力は對物鏡の集光力と關係し此集光力の標準は對物鏡の開角、從ふて開數によりて定まる事は前述せる所である。

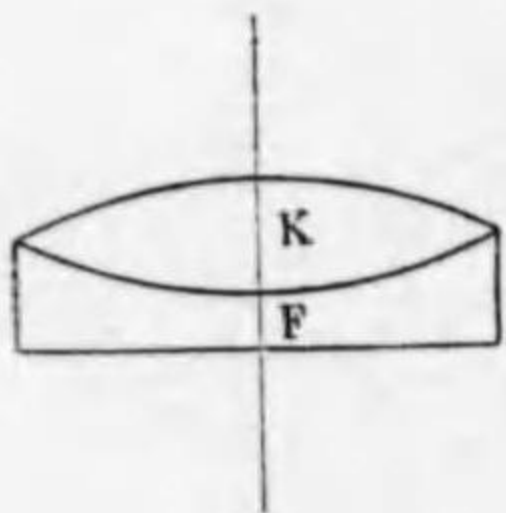
對物鏡の構造。對物鏡は一個又は數個のレンズ節より成り各節は金屬輪によりて共通の金屬性鏡框に螺入せられ精密に準軸されてある。通常此等の節は一定の距離に固定せられ節間の距離を變せしめる事は出来ないけれ共、時として各節間の距離を一定限度内に於て移動せしむる事の出来る様に造られたる對物鏡もある。節の數は對物鏡の種類によりて異なるけれ共通常一乃至四個である。一般に後方の節は前方の節よりも大であつて、最前方の節は前端レンズと云ひ常に最小である。前端レンズは當該對物鏡の廓大を支配するものであつて、其後方に存する他のレンズは多少光線を集束する能力

はあるけれ共、其主なる作用は前端レンズに固著せる缺點を除去するにある。であるから前端レンズの大きさは當該對物鏡の廓大力の標準となる、即ち前端レンズが大となるに従ひて廓大力は弱くなる。弱き對物鏡は強きものよりも大なる集點距離を有し且つ前にも述べた様に物體は對物鏡の前焦點距離外にあるを要するから正確なる準焦の際には物體を覆へる覆蓋硝子と對物鏡の前端レンズとの間の距離即ち有效物體距離は弱度の對物鏡にては強度のものよりも大である。例へば一六〇耗の筒長に於てホイゲン氏對眼鏡²を用ひたる時 15mm の焦點距離の乾燥式對物鏡の有効物體距離は九耗 1.8mm の油浸系にては〇・一七耗である。斯様に強度の對物鏡にては物體距離は非常に小であるから薄き覆蓋硝子を使用する必要がある。

現今使用されて居る顯微鏡の對物鏡にはアクロマート式、アポクロマート式、フルオリート式（螢石式）及びモノクロマート式の四型がある。

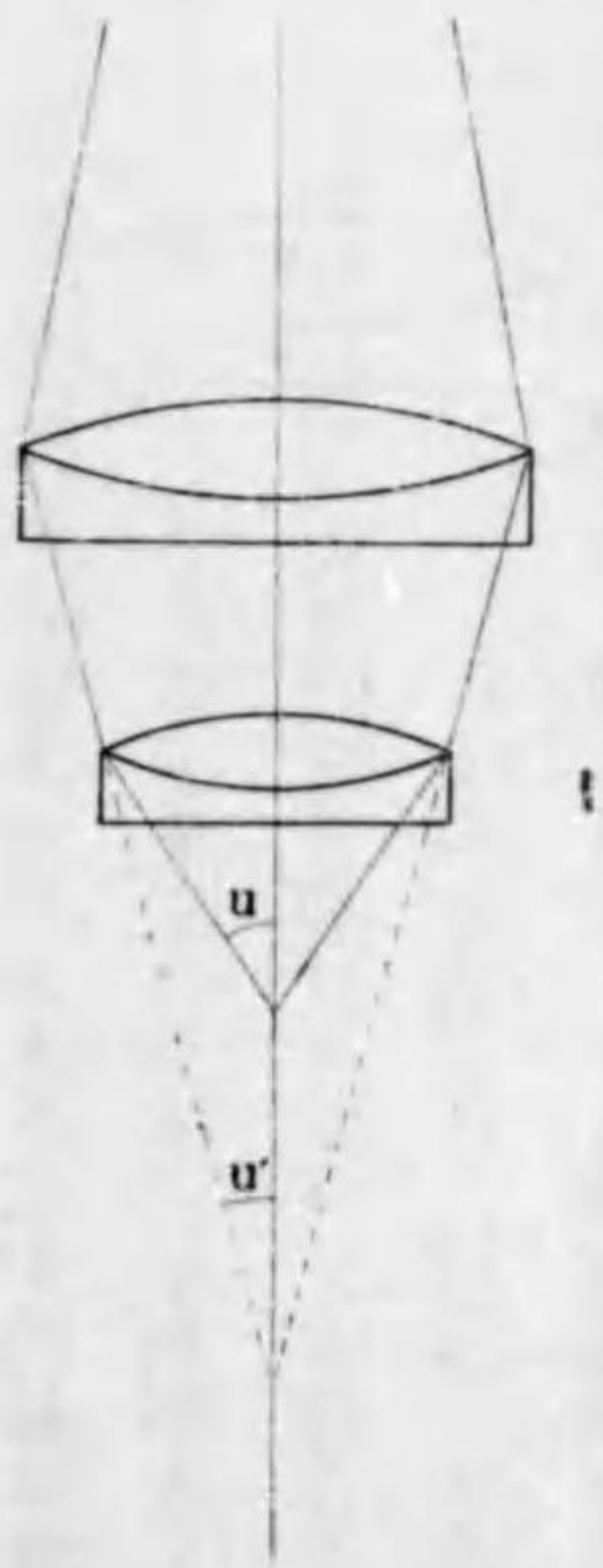
アクロマート式對物鏡は其名の如く一個又は數個のアクロマート式レンズより成つて居る。最弱廓大に向つては兩凸のクラウン硝子レンズと平凹のフリント硝子レンズとを接合せしめたる一個のアクロマート式レンズが用ひられてある（第五十一圖）、かゝるレンズの周縁部に於ては尙可なり強き収差が遺存して居るから周縁光線を遮ぎる事が必要である。かゝる單一のアクロマ

第五十一圖



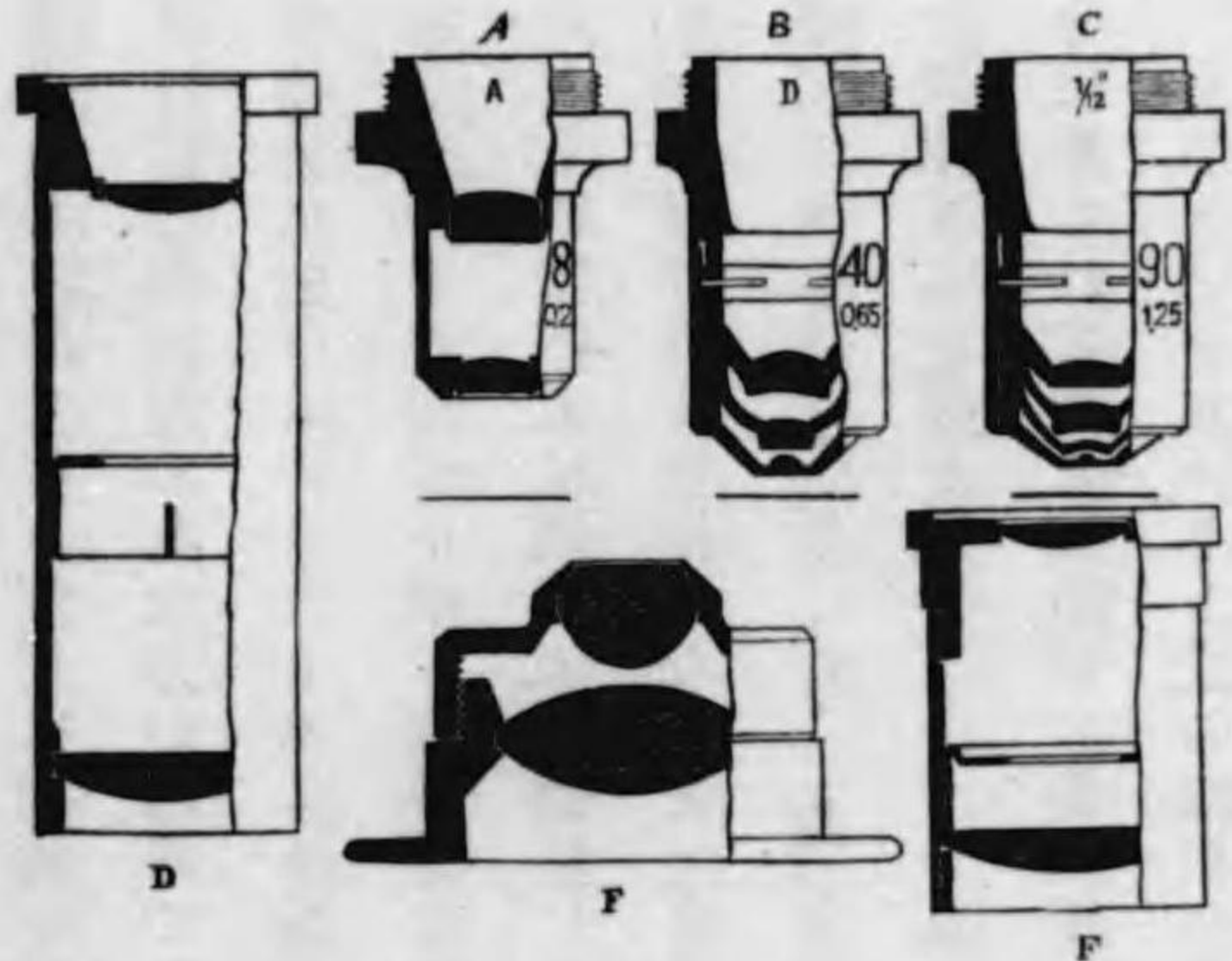
顯微鏡の構造

圖二十五第



ト式レンズのみを用ひて一層強度の對物鏡を造らんとするにはレンズの彎曲度を高めねばならぬけれども一方彎曲度の大きなレンズは種々の障壁を伴ふから其代りに弱き彎曲度を有する二個又は數個のアクロマート式レンズ

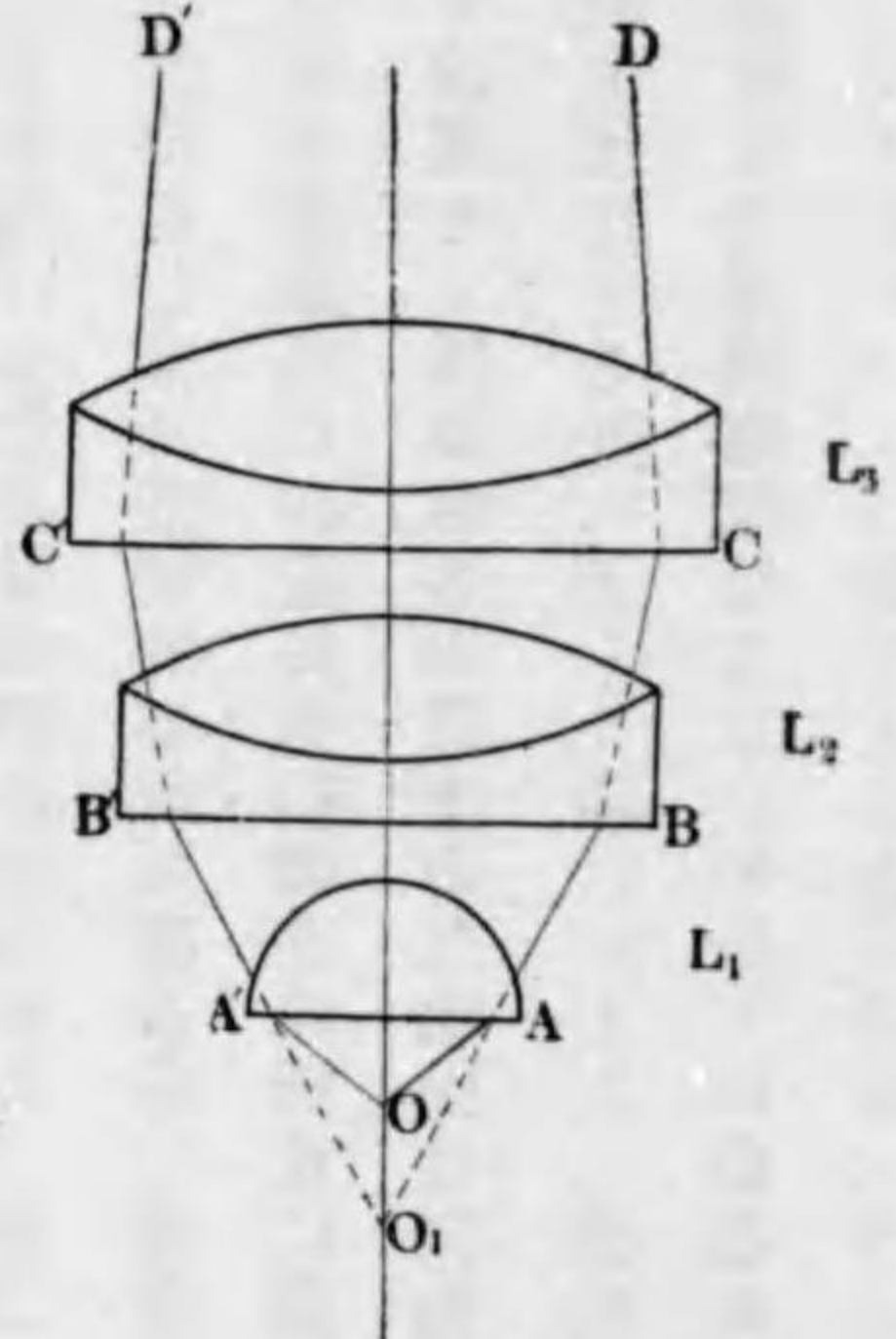
圖三十五第



を一定距離に組合はせて其目的を達するのである。即ち之れによりて球面收差を増す事なしに開角を u' より u 迄高める事が出来る事は第五十二圖に示めす様である。かくして焦點距離は減少し廓大力は増加する。多くの弱廓大の對物鏡は二節より成つて居つて兩レンズが廓大と矯正との兩作用を同時に負擔して居るのである、而して前端レンズの平坦面は常に物體の方に向つて居る(第五十三圖A)。

併し斯様な構造に於ても一定の制限があつて之れ以上に開數を高める事は出来ない。更に強度の對物鏡に向つては前端レンズとしてクラウン硝子より成れる半球形の單レンズ(第

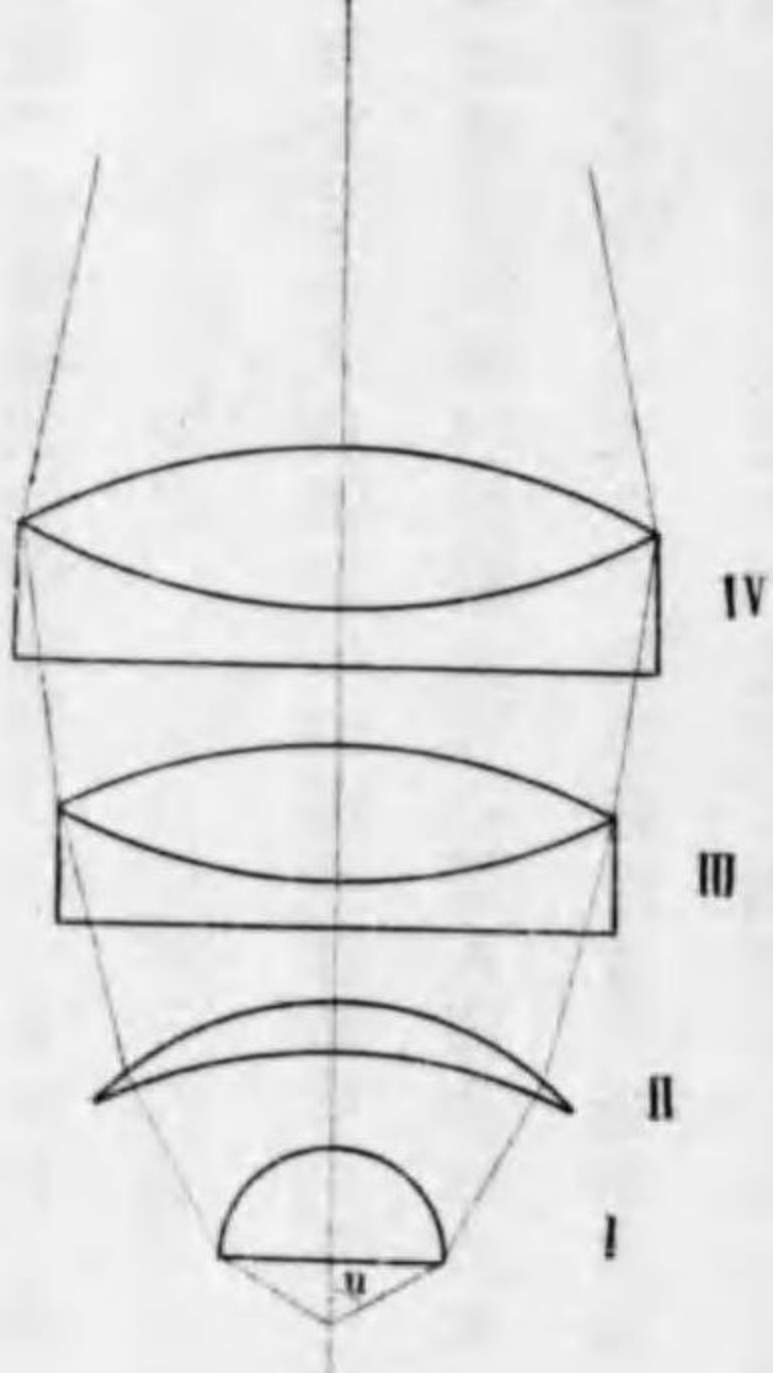
圖四十五第



五十四圖L₁)が用ひらるゝ様になつた。此レンズは著明なる球面收差を起す事なしに大なる開數の光束を小なる開角に變せしむる性質がある。之れは前述せる様にアプナート點の法則に基づき第五十四圖に示めす如くOより發する光線はO₁より來るかの如く屈折せられ光束 $\angle AOA'$ はL₁によりて集束され小なる角 $\angle BOB'$ を造りL₂なるレンズに進入す。故に此部に

於ける球面收差は遙かに小であつて、L₃に於ては球面收差は尙一層減少す。かくして光線は次第に集束せられ對物鏡より一定距離に於て結像する。其他凹凸レンズは著明なる球面收差を起す事なしに光束

圖五十五第



を集める作用があるから多くの對物鏡に於ては半球形の前端レンズの後方にかゝるレンズが組合せられてある、第五十五圖のIIなるレンズは凹凸レンズである。半球形の前端レンズは著明なる微矯的の色彩收差を伴ふて居るが、此收差は過矯的にしてある上方のレンズ(III, IV)によりて矯正さるゝ

のである。中等廓大の對物鏡はI、III、IVを備へ(第五十三圖B)、最強度のものはI、II、III、IVを備ふ(第五十三圖C)。

アクロマート式對物鏡の命名法は數字(〇—Ⅴ)又は文字(A—E)等によりて示めされてある、數の多き方又は後方の文字が廓大力の強き方を示めす。外見上對物鏡の強弱は前端レンズの直徑によりて知る事が出来る。近來ツァイス會社より發賣するアクロマート式對物鏡にてはアポクロマート式對物鏡と同様に對物鏡自己の廓大力と開數とによりて命名されてある。

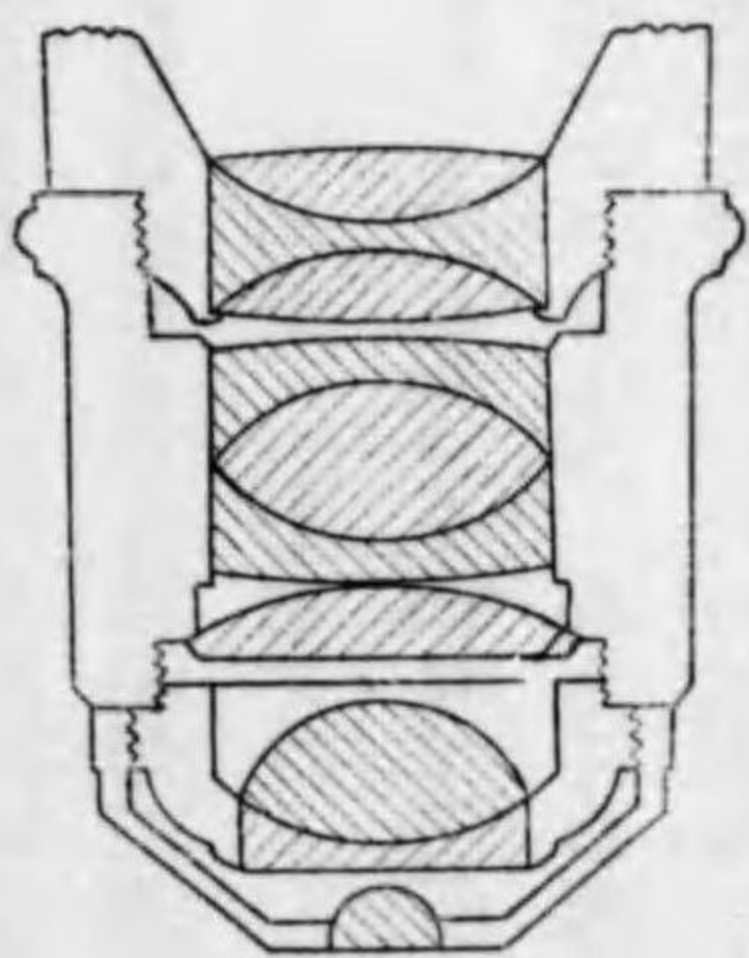
アポクロマート式對物鏡。善良なるアクロマート式對物鏡でも尙多少の缺點を有して居る。第一にスペクトルムの二色以上に對して色彩收差を除く事が出来ない爲めに第二次スペクトルムが遺存して居るから像内に有色の散光圈が現はれる。第二に球面收差は一色即ち黄綠色に對して除かれてあるけれども共赤色に對しては微矯的の球面收差が、青色に對しては過矯的の球面收差が残つて居るから對物鏡の中央部と周縁部との間に色彩收差の矯正に對しての差異が起る、是れは球面收差に基く色彩差異として前述せる所である。以上の二缺點は對物鏡の開數が大なるに従ふて益々甚しくなり殊に強き對眼鏡を使用する際に著しく現はれるから強廓大を得る爲めには短かき焦點距離を有する對物鏡と弱き對眼鏡とを用ひねばならないが餘りに小なる焦點距離の光系には種々の缺點が伴ふ不利益がある。アッペ氏はシヨットの硝子工場より造り出されたる新種の硝子所謂エーナ硝子及び螢石を用ひて精細

なる計測に基きてアクロマート式對物鏡に伴ふ上記の二缺點を完全に除去し學理上現今最も完全であること考へられる對物鏡を造り、ツァイス會社は是れをアポクロマート式對物鏡と名け一八六六年に發賣した。

アポクロマート式對物鏡に於ては第二次スペクトルムは殆んど全く除かれてある。何となれば三色に對して色彩收差の矯正が行はれてあるから遺存せる第三次のスペクトルムは甚だ輕微であつて實際上全色に對して矯正されてあると同結果を來して居るからである。又球面收差の矯正は二色に對して行はれ且球面收差に伴ふ色彩差異も殆んど零に等しい。斯様に矯正が完全に行はれてあるからアポクロマートは明瞭で色彩を示さない像を與へ照明法(中心照明法又は傾斜照明法にても)及び照明光(白色光線にても又は單色光線にても)の如何を問はず視野は其中央部より周縁部迄全く同一の明確度を有して居るのみならず、標本の自然の色は少しも變化されずに像に現はれる。併しアポクロマートは開數の大なる割合に有效物體距離が大であるから像面の穹窿が多少の程度に於て起る、即ち像の中央部と周縁部とを同時に明確に見る事は出来ないから測微螺旋を用ひて順次に各部を準焦する事が必要である。元來アポクロマートを顯微鏡學的研究に用ふるの目的は概覽像を得る爲めではなく寧ろ解像困難なる微細構造の探究にあるから像の穹窿は大した害にならない。唯顯微鏡寫眞撮影にアポクロマートを使用する際には視野全部が同時に明確に現はれないと云ふ事は不快な點である。其他アポクロマ

ト式對物鏡は集光力が好良であるからアクロマートに於けるよりも遙かに強き對眼鏡と併用しても像は明確であつて充分なる明度を有して居る。故に比較的大なる物體距離に於て高度の廓大を得る事が出来るのである。

第五十六圖



アポクロマート式對物鏡は乾燥式としての外、水浸式及び油浸式として用ひらる。アポクロマート式油浸系は現今得らるゝ最も完全なるものであつて且最も強き廓大を與へる。第五十六圖は2mmの焦點距離と1.25の開數とを有するアポクロマート式油浸系の断面である。此圖に於て見る様に異種の硝子より造られたる十個のレンズが一つの光系に組合せられてある。

前にも述べた様にアクロマート式光系でも亦アポクロマート式光系でも收差の矯正は一定の物體距離及び像距離に對して行はれてあるから規定の筒長を嚴格に守る事が必要である。此規定に相違する際には結像の障礙が起る、殊にアポクロマートは此點に關して鋭敏である。

アポクロマートの名命はmmにて現はされたる焦點距離と開數とに依るであるから對物鏡自己の廓大力を容易に知る事が出来る。即ち焦點距離を以て正視距離を除すれば廓大力が出る。例へば 8mm

の焦點距離を有せる對物鏡の廓大力は

$$\frac{250}{8} = 31.25$$

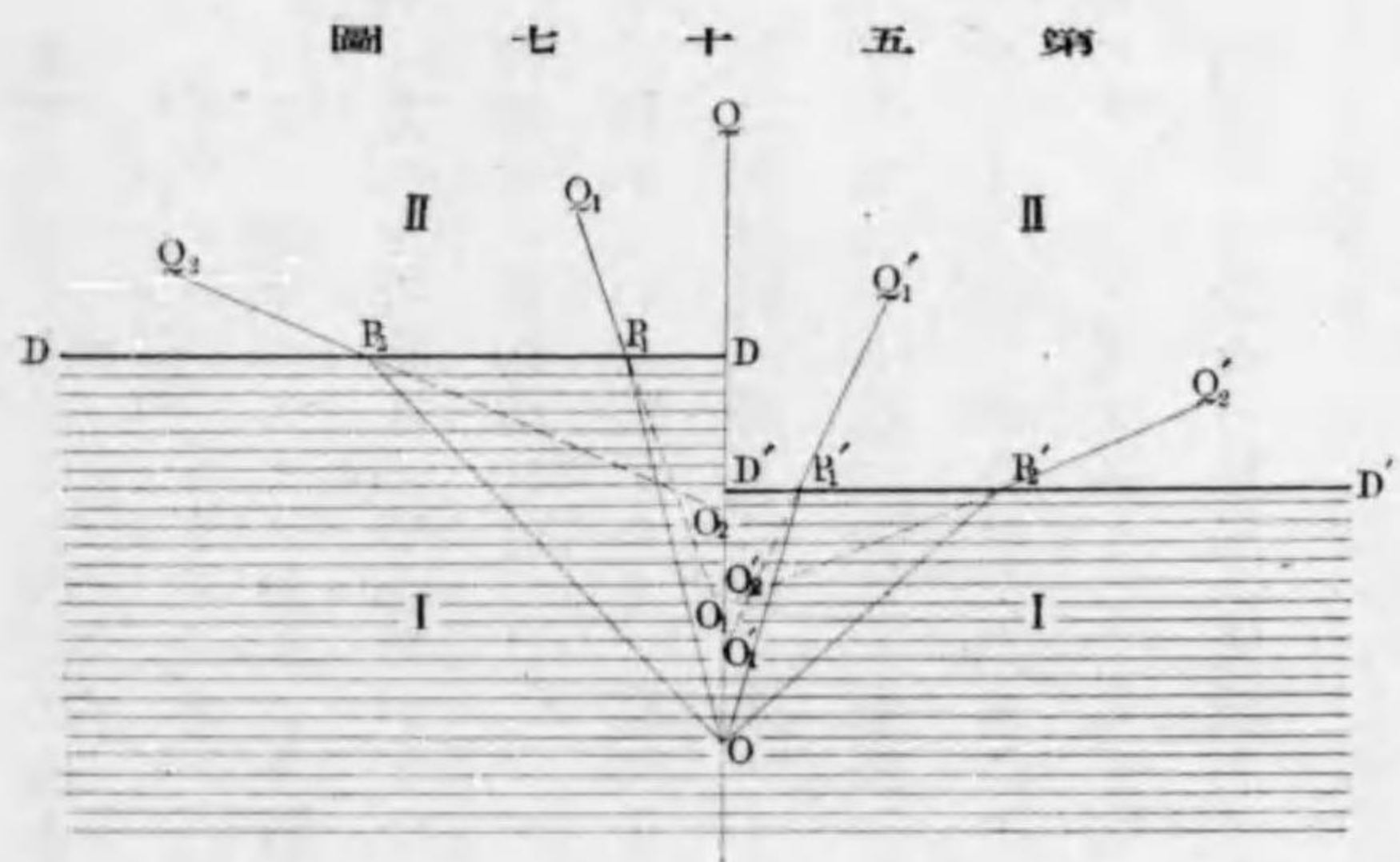
である。近來ツァイス會社より發賣するアポクロマートの鏡框には各自の廓大力が記入してあるから特に是れを計算するの必要がない。

強廓大の對物鏡に於てはアクロマート式でもアポクロマート式でも對物鏡自身では完全に除去する事の出来ない缺點がある、是れを廓大作用に基く色彩差異と名づける。此者の意義及び其矯正法に關しては對眼鏡の條下に於て述べる事とする。

フルオリート式對物鏡。新種の硝子(所謂エーナ硝子)及び螢石の使用と特別の計測法によりてアポクロマートが完成された以來アクロマート式對物鏡にも大に改良が加へられた。二三の會社より半アポクロマート又はフルオリート式(螢石式)對物鏡として販賣せらるゝものはエーナ硝子を充分利用して高價なる螢石の使用を節減してあるから其製造費は數個の螢石レンズを有して居るアポクロマートよりも安價である。而かも限界力及び解像力は殆んどアポクロマートに匹敵し、第二次スペクトルムは實際上問題にならぬ程減少せしめてある。ツァイス會社製の D.D.E.F. ライツ會社製の Ga. Ta. S.9 及び油浸系 $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{15}$ 等は螢石式對物鏡に屬するものである。

モノクロマート式對物鏡。後述する様に對物鏡の解像力を高めるには二つの方法がある。一は其開

數を増す事であつて、他は短波長の光線を用ふるにある。即ち照明光として紫色光線(四〇〇ミリミクロンの波長を有す)よりも遙かに短かき波長を有する紫外光線を使用するに在る。此光線は眼にて直接に見る事は出来ないけれ共感光板に感せしむるか又はウラン硝子を用ひて螢光を生せしめて見る事が出来る。此短波長の光線を利用する爲めにケール氏は紫外光線に使用すべき顯微鏡を製作した。紫外光線は普通の硝子を通過しないから是れに用ふる對物鏡、對眼鏡其他總ての光學裝置は石英より造るを要す。ケール氏の造れる石英對物鏡は二七五ミリミクロンの波長に對して矯正せるものであるから、かゝる對物鏡をモノクロマトと名づけるのである。

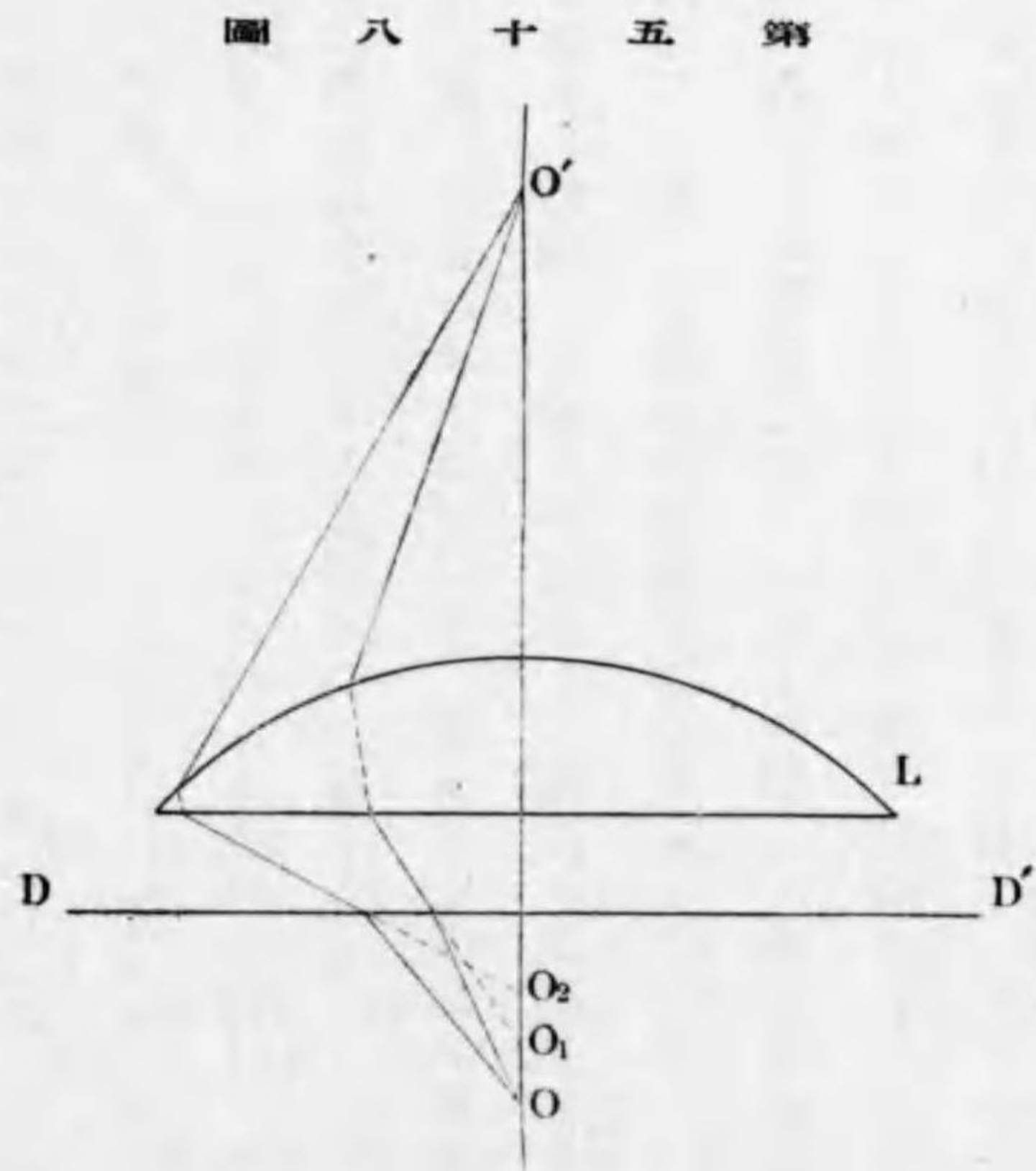


覆蓋硝子の厚さに對する矯正。多くの場合に於て鏡檢せんとする物體は載物硝子の上に置き薄き硝子片即ち覆蓋硝子を以て是れを被ふ。此際覆蓋硝子の厚さは強廓大の對物鏡の有効物體距離よりは小なる事を要するは勿論である。物體より來る光線は覆蓋硝子を通して是れより密度の小なる媒質、空氣又は水中に進入する際に其部に於て屈折し恰かもレンズに於ける球面收差に類せ

る現象を惹起し結像に影響を及ぼすものである。第五十七圖に於てOは物體點であつて覆蓋硝子の下に於て硝子と同一屈折率を有する媒質中に在りとする、故に覆蓋硝子の上面DD, D', D'', より下方は同一の媒質(I)と考へて差支へない。而してDD及びD', D'', の上方には空氣又は水(II)が存すると考ふ。光線OOは屈折せずに媒質II中に進入す。圖の左半側に於てOPなる光線は少しく屈折して媒質IIに於てP, O1の方向に走り恰かも其延長線上に在るO1點より來れるかの如し。是れに反して大なる射入角を以て進入する光線OP2は強く屈折しP, O2の方に走り恰かもO2より來れるかの如き經過を取る。故にPより來り媒質II中に進入する光線の経路より見る時は光線は媒質Iに於てOO2なる距離を有する物體より來るかの如し。斯様に周縁光線が中心光線よりも遙かに強く放散すること云ふ事は丁度DDに於て過矯的の球面收差を有して居る凸レンズが存しO點より發出せる光線が是れを通過する際に起る所の現象と全く一致して居る。此球面收差の大きさは使用せる覆蓋硝子の厚さに關係して居ると云ふ事は同圖の左半側を右半側と比較すれば明かである、左半側に於ては覆蓋硝子は右半側よりも厚いから左半側に於ける球面收差の長さOO1の距離に對して右半側に於てはOO2の距離となる。故に覆蓋硝子の上面に於て屈折によりて惹起さるゝ球面收差は覆蓋硝子の厚さを増すに従ひて増加する事を知る。是れと反對に覆蓋硝子が薄過ぎる時は微矯的の球面收差が起る。

上述せる様に覆蓋硝子に於ける光の屈折の爲めに對物鏡は過矯的球面收差を有すると同一結果を來

たし像の鮮明度を害する様になる。弱廓大の對物鏡即ち大なる焦點距離と小なる開數を有し従ふて其有效物體距離が大なる對物鏡に於ては覆蓋硝子の厚さは結像に大した影響を及ぼすものではないけれども、大なる開數(0.65以上)を有する對物鏡に於ては此障は開數を増すと共に大なるから、かゝる對物鏡は一定の厚さの覆蓋硝子に對して微矯的に矯正してあるか又は随時に矯正の出来る装置を備へて居る事が必要である。而して此矯正の原理は下に説明する様である、前にも述べた様に微矯的の球面收差を有する光系に於ては一點より來れる光線の内、周縁光線が中心光線よりもレンズに近く光軸を切るのである。第五十八圖に於てLを著しく微矯的にしてある光系とし、DD'を覆蓋硝子の上面とす、今O'より種々の角度を以てレンズに進入する光線は微矯的球面收差を有するLなるレンズによりて屈折せらるゝから若しも覆蓋硝子DD'が存して居ないと考ふればO₁及びO₂なる點に於て光軸を切るべし。是れに反してDD'が存するとすれば光線は其表面に於

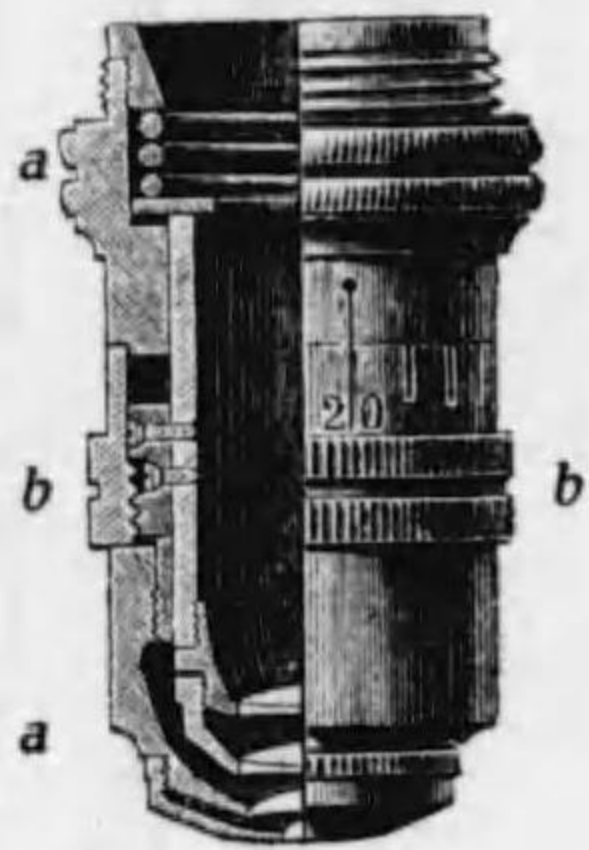


て屈折しO點に會合すべし、故にOはO'點の共軛點である。是れを反對に考ふればOより發する光線はDD'及びLに於て屈折の後O'に於て光軸を切るのである。此構圖に示めす様に覆蓋硝子によりて惹起されたる球面收差は是れを同一程度で相反せる收差を持たしめてある對物鏡によりて是れを除去する事が出来るのである。覆蓋硝子の厚き時には是れに基く過矯的球面收差は大であるから従ふて對物鏡に於ける微矯的球面收差も大でなければならぬ。是れに反して覆蓋硝子が薄き時には僅かの微矯的球面收差を對物鏡に與ふれば宜い理である。

高度の開數(0.85以上)を有する乾燥系及び水浸系(1.25)に於ては上記せる原理に従ふて矯正せられ其鏡框に當該對物鏡に對して使用すべき覆蓋硝子の厚さ(0.15-0.2mm)が刻されてある。であるからかゝる對物鏡を使用する際には此規定に應じたる覆蓋硝子を用ふべきである。此際當該顯微鏡に規定せる筒長を守る可きは勿論である。若しも覆蓋硝子が規定の厚さよりも厚過ぎるか又は薄過ぎる場合には筒長の伸縮によりて是れを矯正する事が出来る即ち覆蓋硝子の厚過ぎる時には筒長を少しく短縮し、薄過ぎる時には是れを延長せしむれば良い。其他覆蓋硝子に關して何等規定されてない對物鏡は一般に0.15乃至0.2耗の厚さの覆蓋硝子に對して矯正されてあるから此範圍内の覆蓋硝子を用ふべきである、例へばツァイス會社製の對物鏡は0.17耗の厚さの覆蓋硝子に對して矯正してある。

ある。

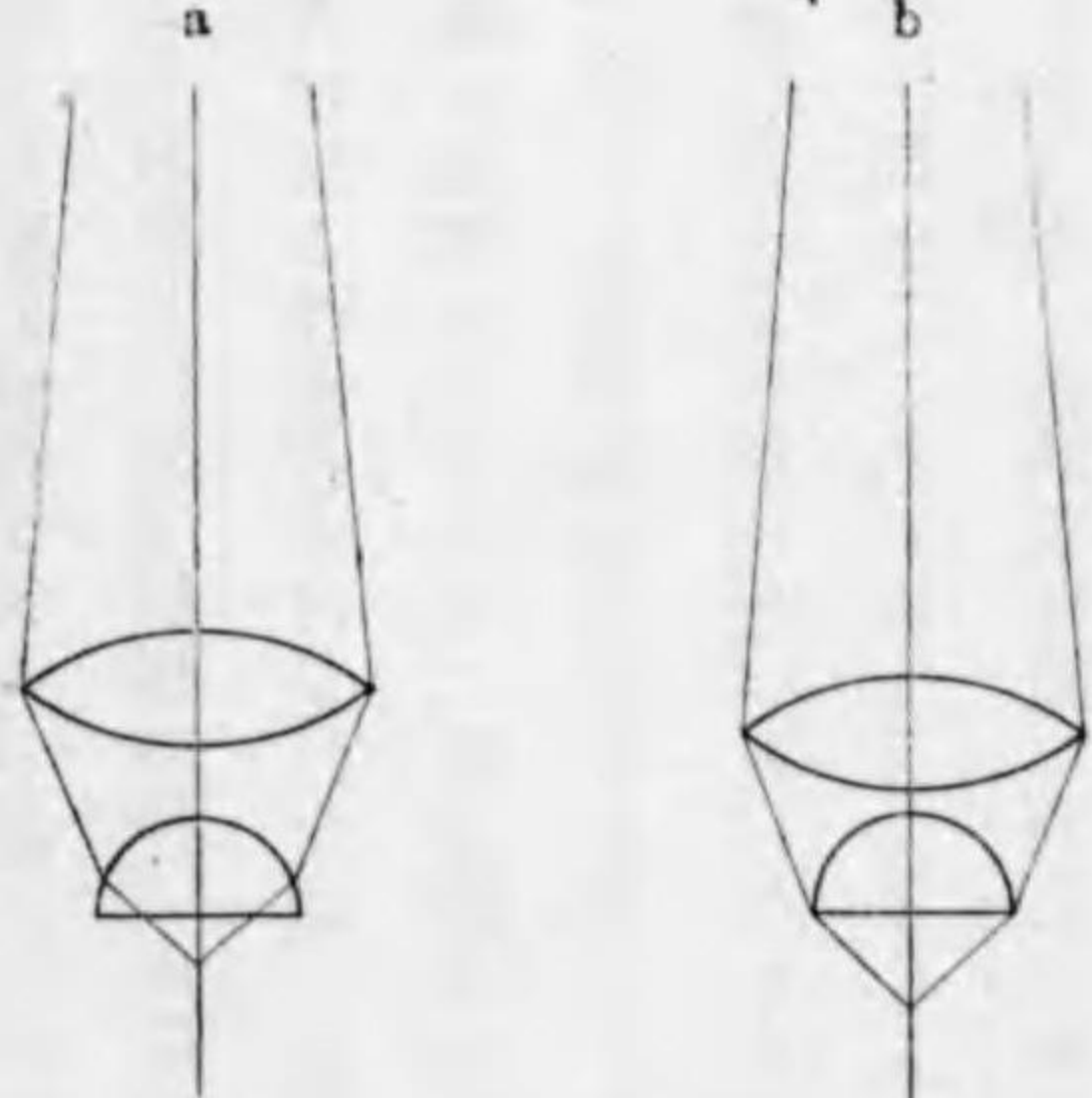
圖九十五第



併し覆蓋硝子の厚さを何時でも規定通りに守る事が出来るに限り
らないから各對物鏡に種々の厚さの覆蓋硝子に對して適應せしめ
る事の出来る様な装置を持たしめると云ふ事は望ましい事であ
る。此目的に送られたる對物鏡を矯正輪を有する對物鏡と名ける
(第五十九圖)。此對物鏡の鏡框に取附けてある輪を廻轉すれば對

物鏡を組立て、居る上下のレンズ節(上方二個の接合レンズと下方二個の單レンズ)間の距離を變せし
め種々の程度に球面收差を微矯的にする事が出来る。而して矯正輪に刻してある百分の一耗の目盛り

圖十 六 第

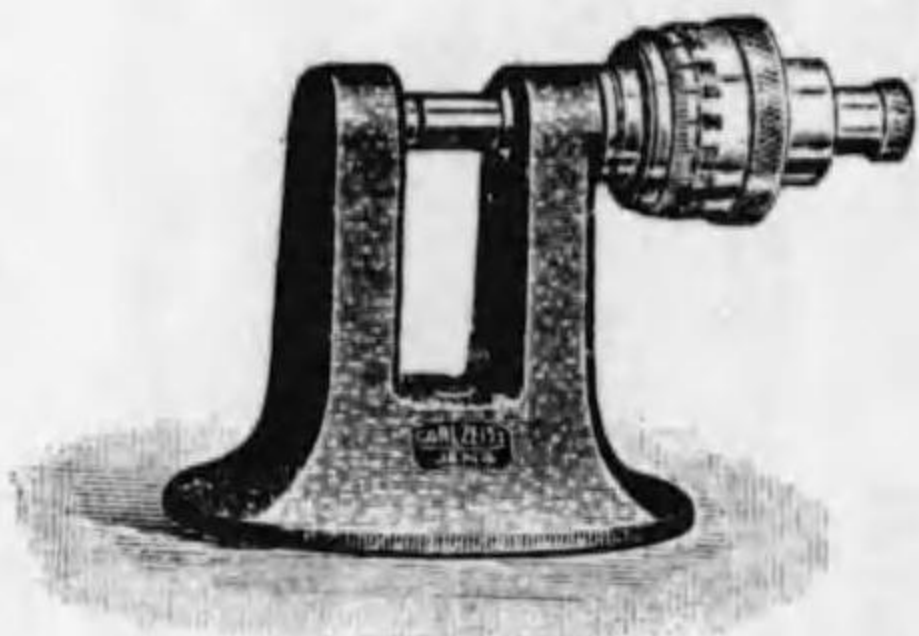


から對物鏡が丁度正當に矯正されてある場合に當該覆蓋硝
子の厚さを知る事が出来る。此矯正輪は強き乾燥系及び水
浸系に應用されてあるけれ共、焦點距離四耗以下の對物鏡
には備へしめてない。かゝる矯正輪の作用を第六十圖に於
て説明せん、此圖に於て對物鏡を形成せるレンズ節の上下
の二部を各一個のレンズとして示せり。今光線が物體と反
對の方向即ち上方より來ることせば上下兩部の距離が増す
時は(a)像距離には何等の變化が起らず從ふて上部に於け

る收差には著しき差異が起らぬけれ共、周縁光線はb圖に於けるよりも光軸に近く前端レンズを切る
べし。爲めにレンズの微矯的矯正が減少し對物鏡は過矯的にされる。反對に兩レンズ節を近づくる時
は對物鏡の微矯的矯正が増加する。

矯正輪を有する對物鏡を使用するに當り覆蓋硝子の厚さが既知の場合と未知の場合とが起る。第一

圖一 十 六 第



の場合には百分の一耗によりて現はされたる覆蓋硝子の厚さに相當して
矯正輪を相當の目盛り迄廻轉すれば宜い。覆蓋硝子の厚さを計るには覆
蓋硝子計を用ふ(第六十一圖)。是れによりて見出されたる覆蓋硝子の厚
さは是れを標本に記入し後の研究の便とするが宜い。次に製作せる標本
に用ひてある覆蓋硝子の厚さが不明なる場合に於ても覆蓋硝子計を用ひ
て覆蓋硝子と載物硝子とを共に計測し此値より載物硝子の厚さを控除す
れば其殘餘は大體に於て覆蓋硝子の厚さと見做して宜い。此法を行はな
い場合には次の様にして矯正輪を照準するのである、即ち一側の手を以て矯正輪を、他側の手を以て
測微螺旋を把持し明確なる限界線を有する小體に準焦し其線が最も明確に現はれる迄輪を廻轉すれば
宜い。かくして知れる矯正輪の位置を目盛りによりて讀み標本に記入すべし。封鎖に用ひたるバルサ
ム層の厚さも亦厚き覆蓋硝子と同一の作用を有するから注意を要する。

液浸對物鏡。乾燥系と液浸系と異なる點は前者を用ふる際には其前端レンズと覆蓋硝子間には空氣存し、後者を用ふる際には空氣の代りに液體即ち浸液(蒸餾水、ツェーデル油等)が存する。液浸系は乾燥系に比して種々の利益がある。第一に覆蓋硝子及び前端レンズと其間に於ける媒質との屈折率の差異が減少するから是等の硝子面に於て反射の結果として起る光線の損失が減少し、従ふて同一開數を有する乾燥系に比し像の明度は大である。第二に油浸系を用ふる時には是れを覆蓋硝子の厚さの障に對して矯正するの要がないから同一の開數と焦點距離を有する乾燥系に比して一層完全に製作する事が出来る。第三に同一開角に於て n なる屈折率を有する液體中に於ては空氣中に於けるよりも n^2 倍丈け多くの光線を含有す、第四には前にも述べた様に乾燥系に於ては光軸に對して一定の角度即ち限界角(約四一度)より以上の傾きを有して居る總ての光線は覆蓋硝子より空氣に出づる際に全反射する、而かも兩限界角の和即ち開角(八二度)は比較的小である、今若しも對物鏡と覆蓋硝子との間に蒸餾水が存する時は開角は更に大となる(二二二度)、更に水の代りに硝子と同一屈折率を有する媒質を以て對物鏡の前端レンズと覆蓋硝子とを結び付ける時は總ての光線は少しも屈折する事なく對物鏡内に進入す。此場合には對物鏡の開角の大きさは全く其構造によりてのみ決定せらる、開數 $n \parallel n_{\text{硝子}} \parallel n$ に於て n は九〇度より大である云ふ事はないから $n_{\text{硝子}}$ は高々一に等しい、であるから乾燥系に於ては開數は原則上一より高い事はない、實際に於ては〇・九五が到達せらるゝ最高値である。 n が一よ

り大となるに従ひて開數は一より大となる。第二次結像の條下に於て述べる様に像と物體との類似度は對物鏡が受領する廻折光束の數に關係する、即ち廻折せる光線が光系内に進入する事が多きに従ひて像と物體との類似度は増すのである、而して物體空の屈折率が大きなるに従ひて同一開角内を走る廻折光束は益々多くなる、換言すれば乾燥系に於て進入しなかつた廻折像が液浸系に於ては進入するのである、此點は液浸系の有する主要なる特長である。

現今用ひらるゝ浸液としては蒸餾水($n \parallel 1.333$)、ツェーデル油($n \parallel 1.518$)が主なるものである。従ふて之れに用ふる對物鏡を水浸系及び油浸系に區別する。

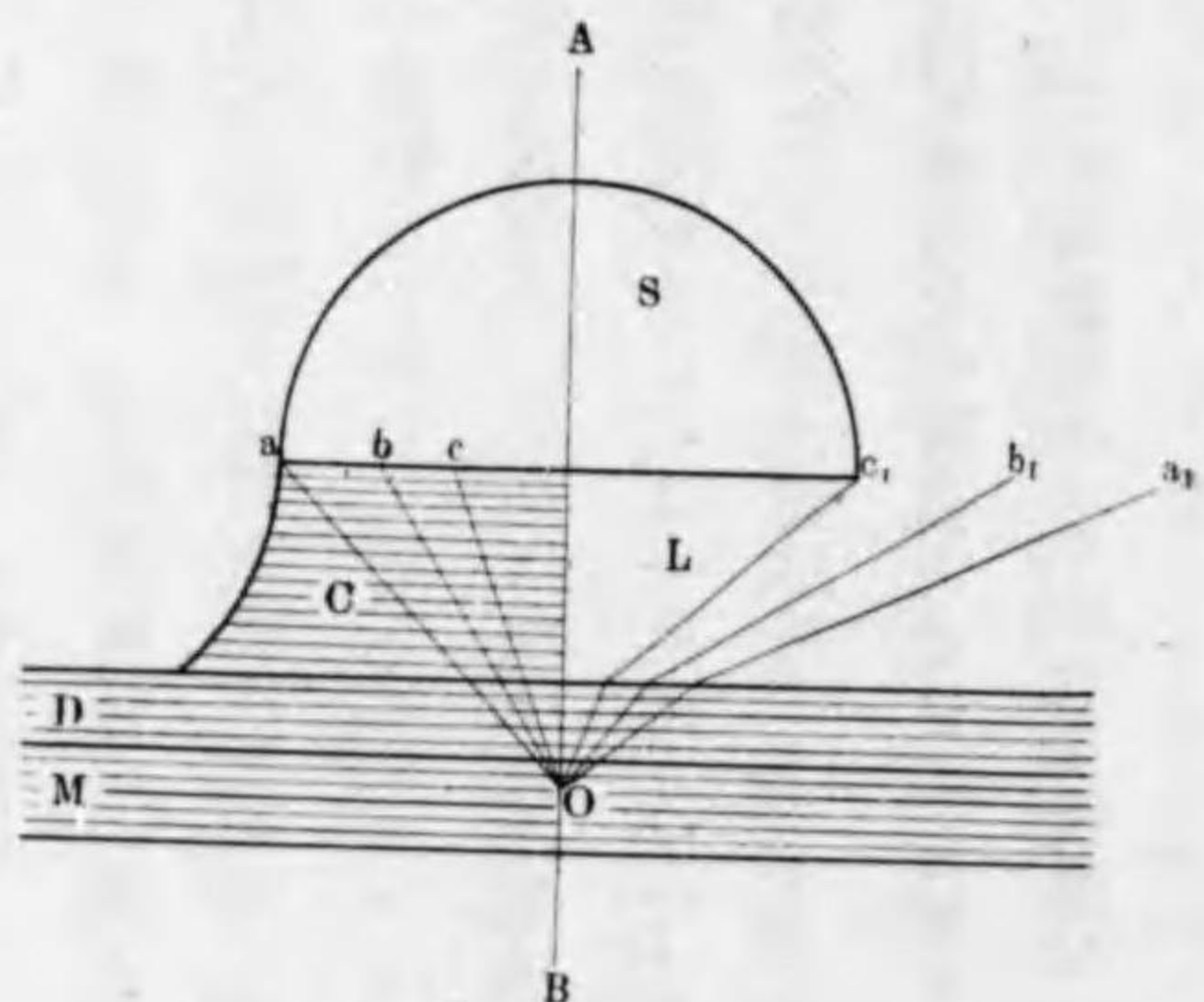
水浸として用ふる對物鏡にはアクロマート式のものもアポクロマート式のものもある。水浸系を用ふるには覆蓋硝子の上面に一滴の蒸餾水を置き前端レンズを下げて之れと結合せむ。水を浸液として用ふる事によりて對物鏡の開數を一・二五迄高める事が出来る、此際光量は乾燥系に比し ($1.333 \parallel 1.171$) 倍丈け増加する。併し乍ら水浸に於ても覆蓋硝子及び前端レンズに於て起る球面收差、光の反射によりて起る光量の減少等の障は乾燥系に於けるよりは減少するけれ共全く消失しないから殊に短かき焦點距離を有する水浸系に於ては覆蓋硝子の厚さに對して調節する事の出来る様に矯正輪を備へしめである。水浸系は光學的效果に於ては油浸系に劣るけれ共種々の長所がある。第一には油浸系よりも安價なる事、第二には浸液即ち水を覆蓋硝子の上面より除去する事が容易であるから速かに他の對物

鏡と交換する事が出来る、殊に懸滴中に於て微生物を観察する際には便利である、第三に水中に存する微生物を研究する際に覆蓋硝子を使用するを要しないと云ふ便利がある、此目的に用ふる對物鏡は一般に其廓大力に比して大なる有効物體距離を持たしめてある。ツァイス製の水浸系PIは弱廓大の水浸系であつて浮游微生物探索鏡の名がある。又同會社の水浸系Dは中等度の廓大力(二〇〇乃至五〇〇倍)を有し比較的小なる開數と大なる焦點距離を有するから水中に生活する微生物の行ふ上下運動を可なり大なる範圍内に於て觀察する事が出来る。此者は淡水でも鹹水でも使用する事が出来、鹹水を用ふる際には使用後良く蒸留水を以て洗滌し布片にて清拭乾燥せしむべし。

油浸系。對物鏡の前端レンズと覆蓋硝子との間を硝子と同一の屈折率を有する油にて結び付ける時は覆蓋硝子より前端レンズ迄光學學均等なる結合が行はれ液浸の効果は完全である、故に油浸を一に均等液浸とも云ふ。浸液としては濃厚にせるツェーデル油($n=1.52$)を用ひ之によりて開數を一・四迄高める事が出来る。其他前にも述べた様に物體點は前端レンズの上面に對するアプナート點に精確に一致するから光線は前端レンズによりて何等の球面收差を受けずに第二のレンズに進入する。

乾燥系を用ふる際に對物鏡に達しない光線でも油浸系を用ふれば之れに進入する事は第六十二圖を見れば明かである、Sを對物鏡の前端レンズとし、ABを光軸とす、圖の左半側に於ては覆蓋硝子(D)とレンズとは硝子と同一屈折率を有する油C($n=1.515$)にて結合せられ、圖の右半側に於ては覆

第六十二圖



蓋硝子とレンズとの間には空氣L($n=1$)が存するとする。Oなる物體點は $n=1.515$ なる屈折率を有せる媒質M中にありて之れより發する光線は圖の左半側に於てはOa, Ob, Ocの方向に進む時は覆蓋硝子と對物鏡とは硝子と同一の屈折率を有するツェーデル油にて結合されてあるから三條の光線は屈折せずして進行し $\angle Oa$ なる角内の總ての光線は對物鏡内に進入し結像に關與する、之れに反し圖の右半側に於ては覆蓋硝子とレンズ間が空氣であるからO點より來れる光線は覆蓋硝子より外出する際屈折せられOa', Ob', Oc'なる光線は對物鏡内に進入せず唯O'以内の光線のみ對物

鏡内に進入し結像に關與す。之れによつて見ても同一開角に於て油浸系は乾燥系よりも集光力が遙かに良好であること云ふ事が明かである。

均等液浸系は大なる開數を有して居る外、之れを用ふる際には覆蓋硝子の上面に於ける球面收差が起らないから覆蓋硝子の厚さに基く結像の障礙を伴はない、故に均等液浸に於ては種々の厚さの覆蓋硝子を使用しても差支へない、従ふて之れに用ふる對物鏡には矯正輪は不用である。其他注意すべき

事は油浸の効果は物體が硝子と近似の屈折率を有して居る媒質例へばカナダバルサム又はツェーデル油中に存する時に於てのみ得らるゝものであつて弱き屈折率の媒質例へば空氣又は水中に存する時は開數を充分高める事は出来ない。又照明に用ふる集光鏡の開數は少くとも對物鏡の開數と同一なる事を要し、集光鏡も同様に液浸として使用せねばならない。

均等液浸系は主に強廓大に用ひらるゝから其焦點距離は非常に小である。アクロマート式で最も強きものは $f = 1.8\text{mm}$ の焦點距離を有し、アポクロマート式で最強廓大力を有するものは $f = 1.5\text{mm}$ の焦點距離を有す。其他球面收差の矯正が完全に行はるゝと云ふ事と覆蓋硝子の厚さに無關係であること云ふ特長を弱廓大の對物鏡に應用して造られたものはツァイス會社發賣の $f = 3.5\text{mm}$ の焦點距離と 0.50 の開數を有して居る所のアクロマート式油浸系である、此對物鏡は上記せる如き特長を有するから強き乾燥系の代りに顯微鏡寫眞撮影に使用して有利である。

其他液浸系としては一臭化ナフタリン液浸系及びグリツェリン液浸系を擧げる事が出来る。

一臭化ナフタリン液浸系。ツェーデル油よりも尙強く光線を屈折する媒質を用ひて對物鏡の開數、從ふて其解像力を一層高める目的を以て使用された媒質は一臭化ナフタリン ($n = 1.66$) である。此媒質に對して計測製作せられた對物鏡は一臭化ナフタリン液浸系である。此者の開數は一・六四であつて其前端レンズ、載物硝子、覆蓋硝子は共に一・七二の屈折率を有するフリントと硝子より成る事を要す。

し、集光鏡は一・六の開數を有し液浸として用ひ物體も亦同一の屈折率を有する液中に封鎖せねばならぬ。此種の液浸系の高價なる事は別としてかゝる高度の屈折率を有せる適當なる封鎖媒質は少ないから此液浸系の應用の範圍は甚だ狭い。

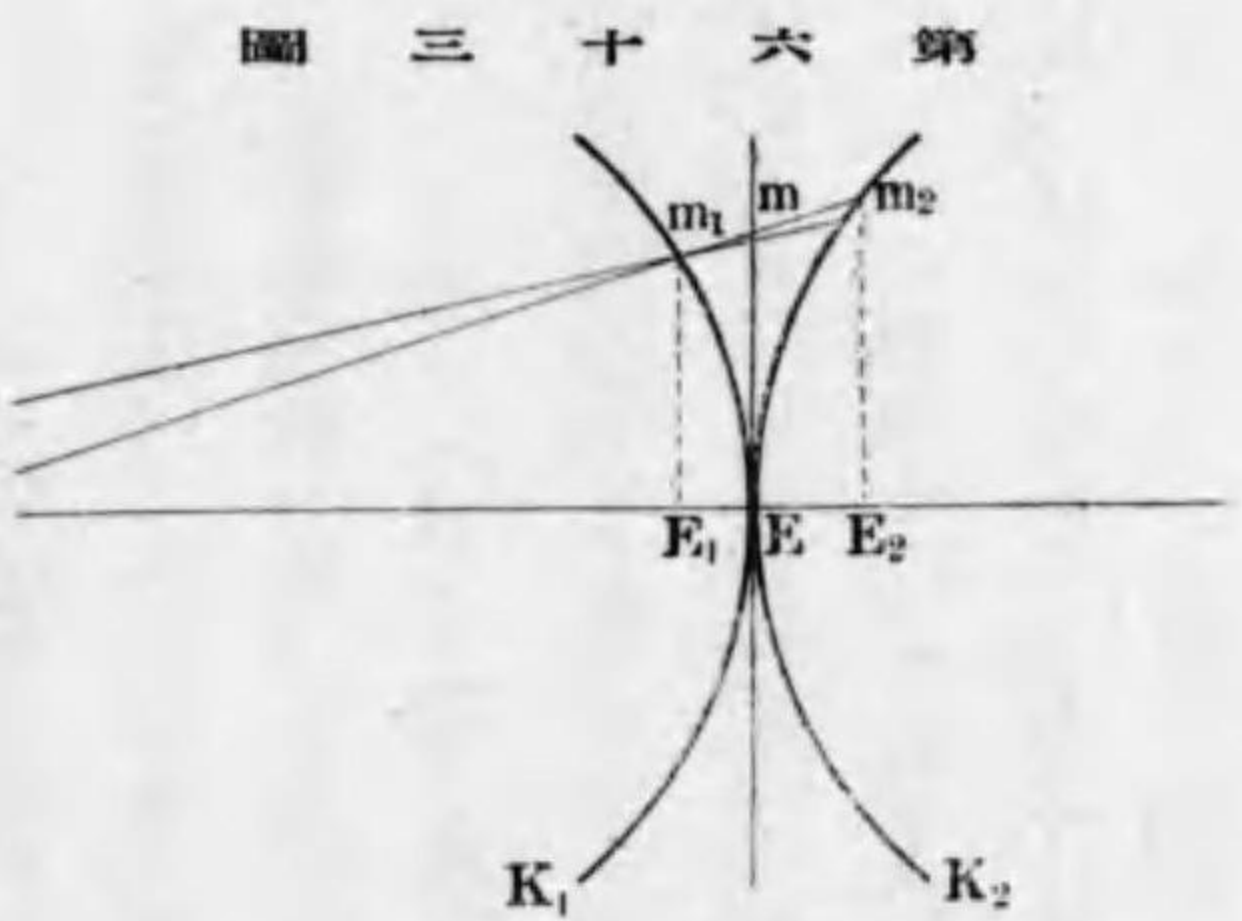
グリツェリン液浸系。紫外光線を使用する顯微鏡に於て液浸を利用する際には浸液として油を用ふる事は出来ない。何となれば此者は短波長の光線を通過せしめないからである。此場合にはグリツェリンを使用する。ツァイス會社は此目的に二種のモノクロマート式グリツェリン液浸系を販賣す。

二、對眼鏡

廓大作用に基づく單レンズの缺點。前にも述べた様に對眼鏡は對物鏡によりて結べる像を單に引伸ばすに過ぎない。對物鏡にて結びたる比較的大なる像は對眼鏡によりて狭き光束を介して結像するのであるから對眼鏡による廓大に就きて述ぶるに先だち狭き光束による結像に對するレンズの缺點の意義及び之れを矯正する方法に就きて知る事が必要である。對眼鏡は次の條件に適應して居る事を要するのである、(一)非點收差を除去する事、(二)視野の穹窿を減少する事、(三)像の歪曲を除く事、(四)種々の色に對する廓大を同一にする事即ち廓大作用に基づく色彩差異を除く事之れなり。此等の缺點の内、廓大作用に基づく色彩差異の原因は對物鏡に存し、像の歪曲を起す原因は對眼鏡に存し、非點收差と視野の穹窿の原因は對物鏡及び對眼鏡の兩者に存す、次に此等の缺點の意義を簡單に述べる事

にする。

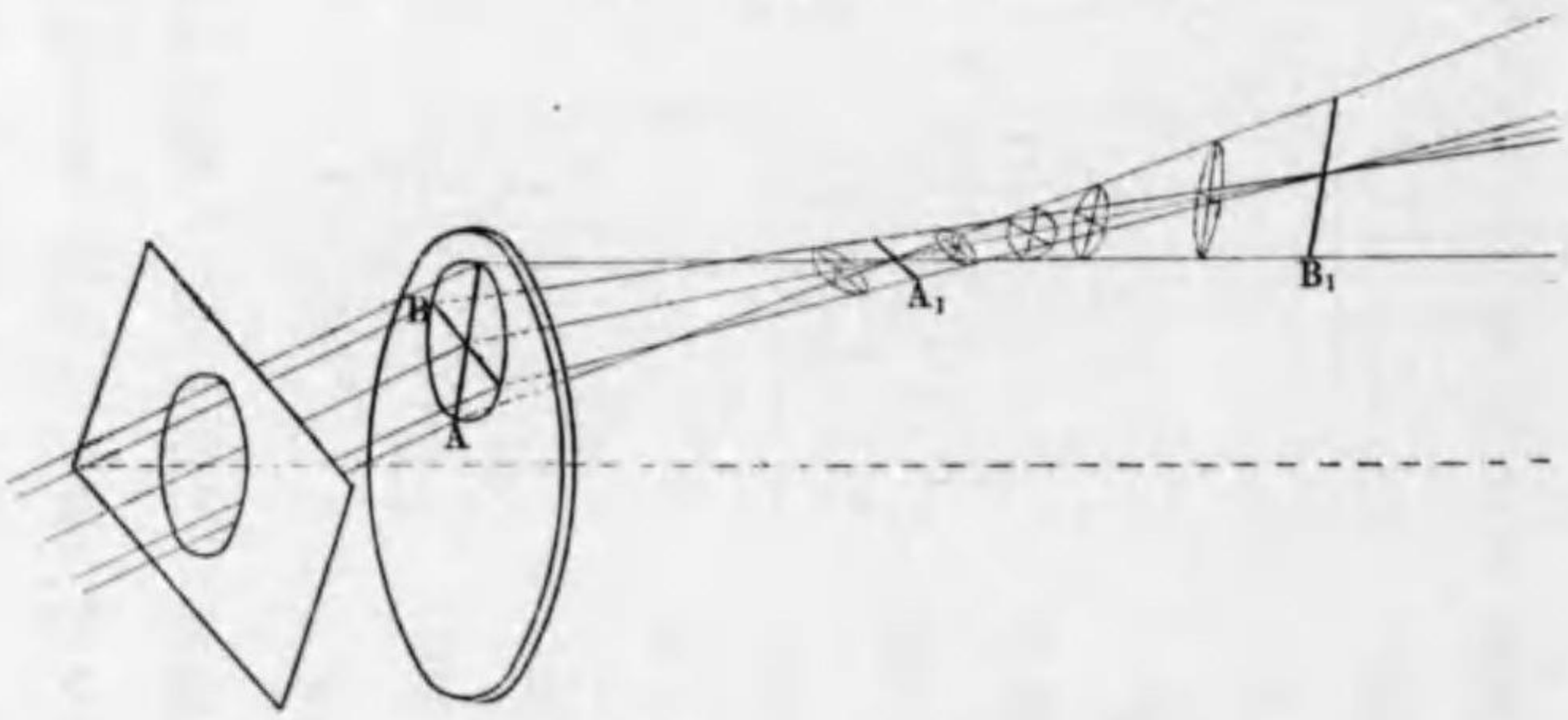
一、非點收差とは斜走する狭き光束の光線が一點に會合せずして互に且つ軸光線に對して鉛直をなせる小なる二焦線に結合するを云ひ、互に鉛直に立てる子午線に於けるレンズの穹窿の不同作用によ



圖三十六第

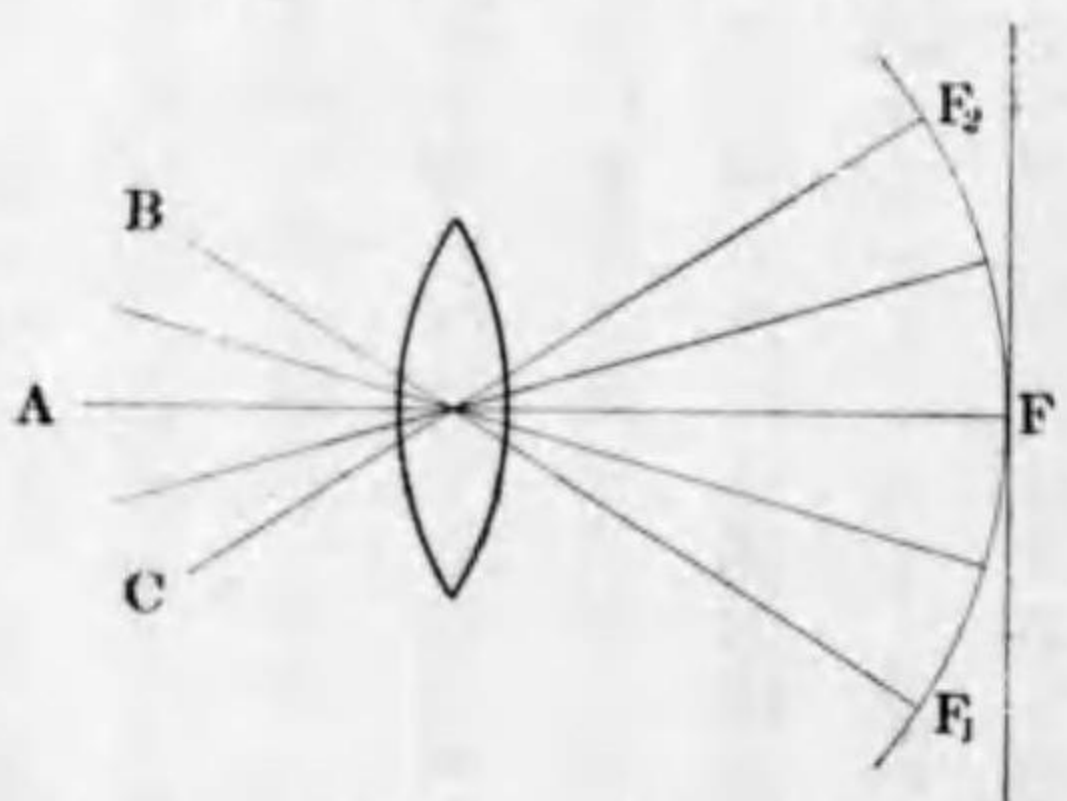
りて惹起さるゝものである。第六十三圖に示めす如く軸光線はEなる焦面に結合すれども斜走する光束は焦面Eに於ける一點mに結合せず焦面E1の上に(圖の面に鉛直なる)小なる像線m1及び焦面E2上に(圖の面内に於ける)第二の像線m2に於て合す、即ち像線m1に結合する光線とm2なる像線に結合する所の光線とは異なる面を走る。前者は光系の光軸及び光束の軸を含める光軸面を走り、後者は光束の軸を含めども光軸面に鉛直をなす面内に存す。光束が益々斜めにレンズ内へ射入するに従ひて像線m1及びm2はEなる面より益々遠ざかり、之れに反して光軸面に進むに従ひて相近づき遂にはEなる光軸

圖四十六第



顯微鏡の構造

圖五十六第



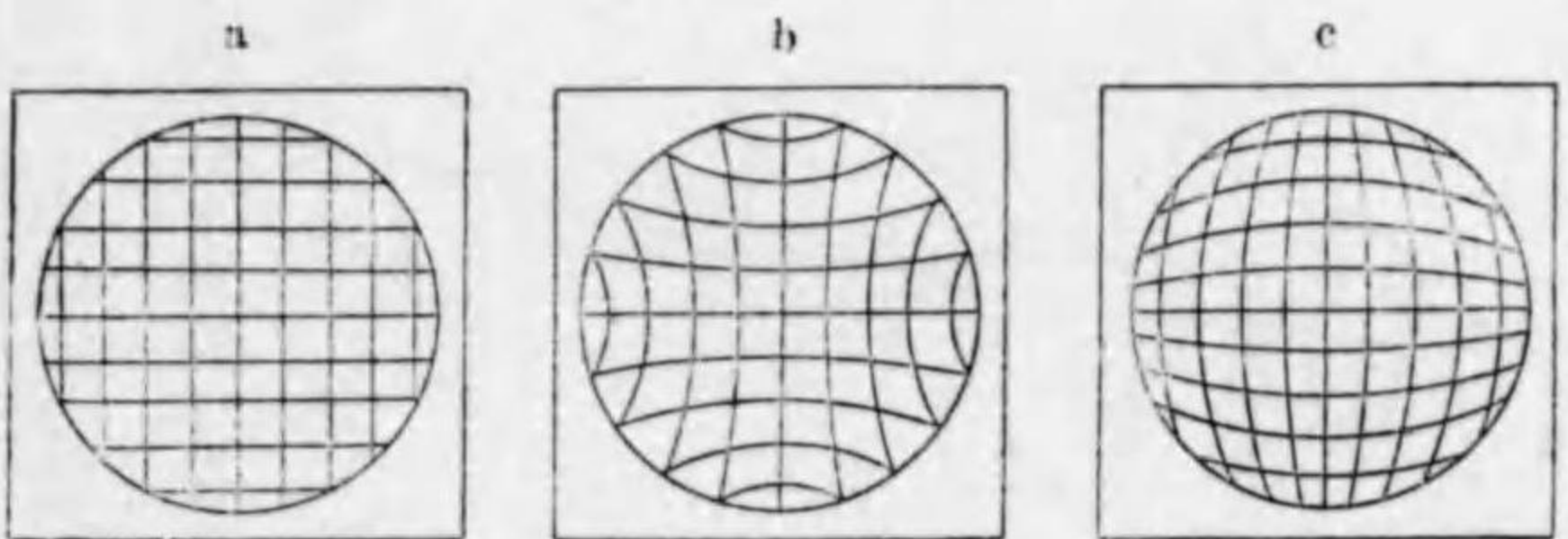
合し此兩焦線は互に直角をなす。非點收差を實驗するには互に直角をなせる線よりなれる網を此收差を有せるレンズを通して見れば宜い、此際物體が光軸に鋭角をなして居る時は此收差は最も著明に現はれ鉛直の線に準焦する時は水平線が不明確となり、水平線に準焦する時は鉛直線が不明確となり、中間の程度に準焦する時は兩者共不明瞭である。

二、視野の穹窿。今非點收差が除かれたりと考ふる時は各物體點

は二個の像線を造らず一個の像點に合し従ふて兩像面K1及びK2は一面に合し、此像面の頂點は軸光線が結合する面Eに存す。光束が光軸に對して斜めに走るに従ひ即ち光軸より遠ざかるに従ひて像點は益々Eなる面より離れる爲めに視野は穹窿す、即ち像は一個の球面上に在りて其球面の頂點は光軸上

に存す。第六十五圖に於てAを軸光束としFに於て結合し、B及びCは斜走光束であつてF₁及びF₂に於て結合すると假定す。此三點F、F₁、F₂は共に屈折面より同距離に存するから球面上に在る。視野の穹窿の結果として平坦なる物體は再び一平面に結合せず却つて球面をなすから視野の中央部と周縁部

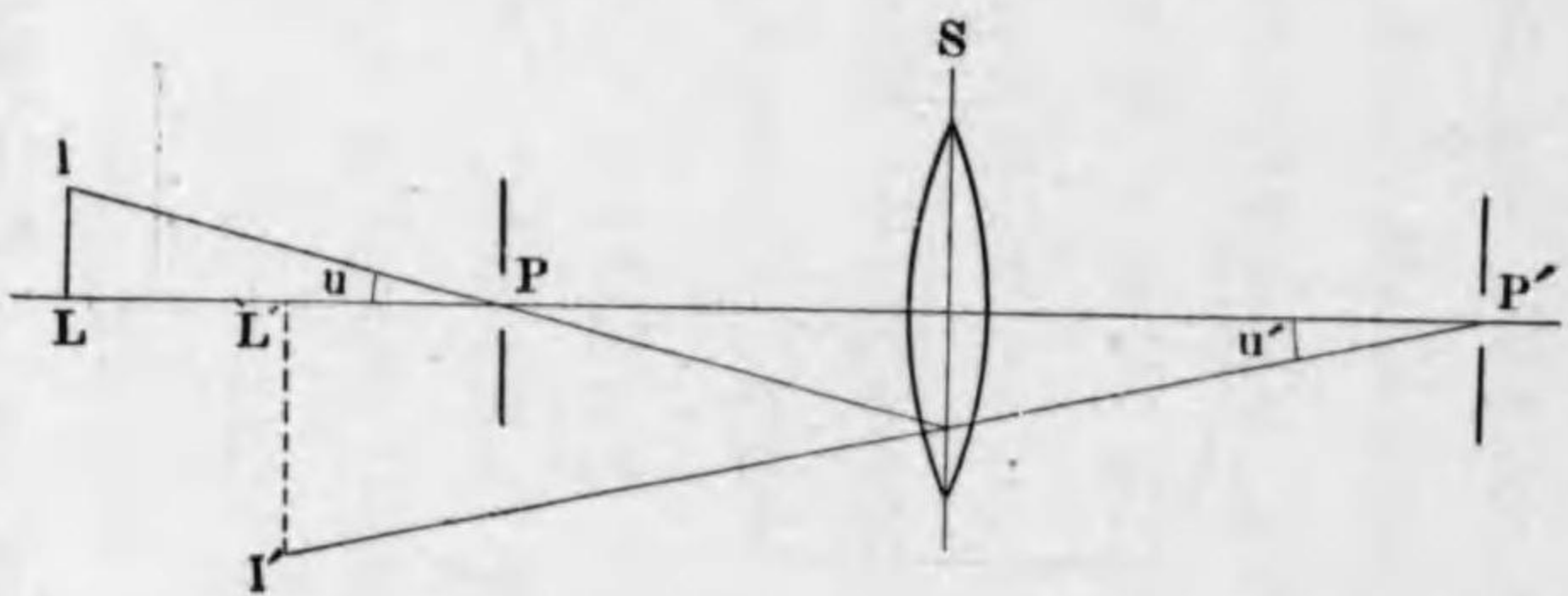
第六十六圖



を同時に明確に準焦する事は不可能である。殊に此缺點は強度の對物鏡を用ふる際に著明に現はれる。併し此事は普通の鏡檢に際しては障礙となる事が少い。何となれば測微螺旋を用ひて中央部と周縁部とを順次に準焦する事が出来るからである。之れに反して顯微鏡寫眞撮影に際しては像は平坦なる面(感光板)に結ぶ事を要するから畫像が不良となるを免れない。像の穹窿の全く起らない對眼鏡を造る事は不可能であるから一定程度を越へぬ限りは致し方がない。

三、像の歪曲は斜に射入する光線に對する單レンズの缺點の一つであつて、斜走光束及直走光束の焦點距離の差異に基づく。同一の物體距離に於て像の廓大度は焦點距離の長さに關係するから物體の周縁部より來る斜走光線が中央部より來る光線よりも長き焦點距離を有する時は像の周縁部は中央部よりも強く廓大せられ、之れと反對なる場合には中央部が周縁部よ

第六十七圖



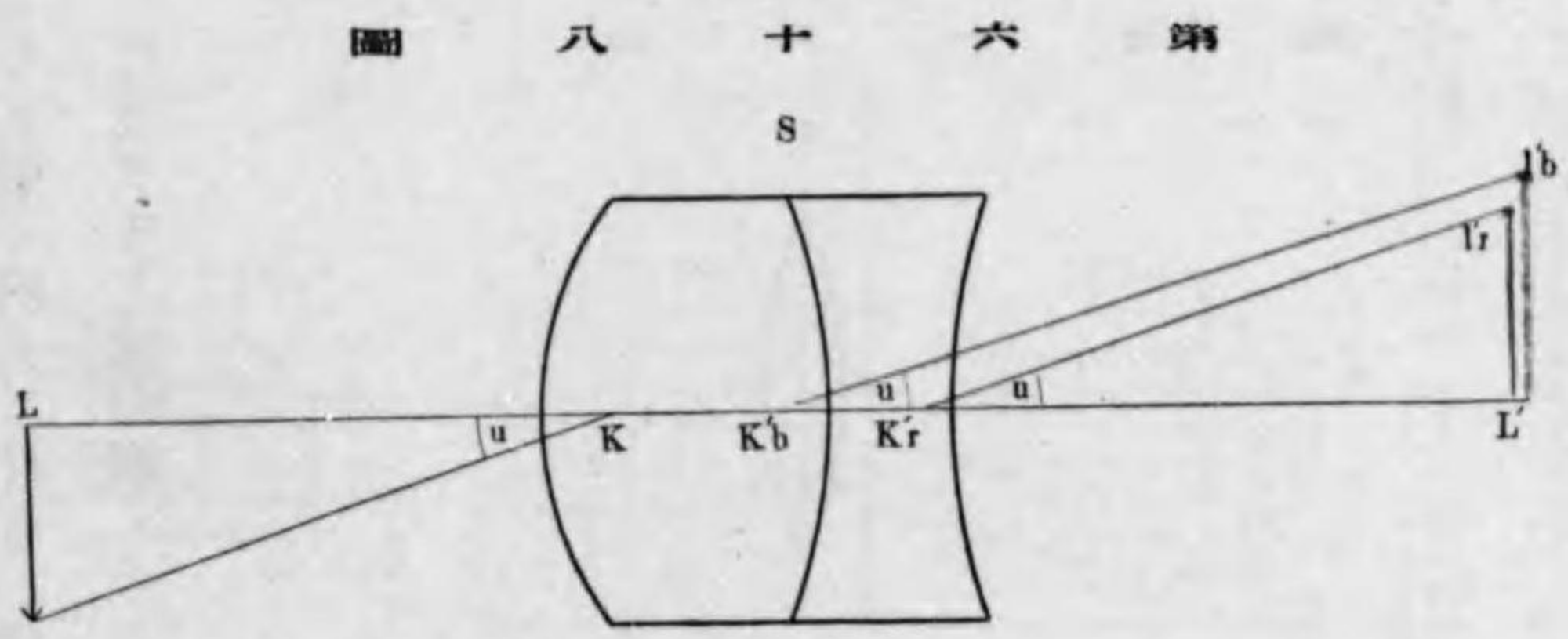
顯微鏡の構造

りも強く廓大される、換言すれば像は部位によりて其廓大を異にす。第六十六圖に於てaを互に直角に交叉する線の網とする、今此網が視野の中央部よりは周縁部に於て廓大の強いレンズにて結像する時にはbに於けるが如く中央より外方に至るに従ひて直線は彎曲して見へる、時としてcに於ける如く中央部が周縁部よりも廓大の強いレンズもある。或一物體が幾何學的に類似せる像を結ぶ爲めには對物鏡の進入瞳孔の中心に走る光線及び之れに對應せる全顯微鏡の進出瞳孔の中心に走る光線が光軸となす角の正切の比は恒値である事を要する。此要約を正切要約と名け次の式によりて示さる。

$$\frac{F_1 u'}{F_2 u} = \frac{F_1}{F_2} = \text{定値}$$

第六十七圖に於てIを任意の物體點、I'を像點とし、u及びu'を此等の點より來れる光線が光軸となす角とし、n及びn'を物體空及び像空に於ける媒質の屈折率、Nを顯微鏡の全廓大力とする。對眼鏡の特別な構造によりて此正切要約が果さるゝ時には像の歪曲は起らない。

四、廓大作用に基く色彩差異。單レンズは色彩に關して二様の缺點を伴ふ、第一の缺點は種々の色に對する焦點の差異であつて(色彩收差)、第



二の缺點は種々の色に對する焦點距離の差異である。色彩收差とは異なる面に種々の色像の生ずるを云ひ此缺點を除去する方法に關しては前に述べた。種々の色に對して焦點距離に差異がある時には種々の大きさの色像を生ずるのである。或一個のレンズ系に於て此兩缺點を完全に除去すると云ふ事は不可能である、異種の色像を一面に合致せしむれば異種の色像の廓大の差異が遺存し、之れに反して廓大に基く色彩差異を除けば像が一面に合致しない様になる。今第六十八圖に於てSなる光系を赤色及び青色に對して焦點差異が矯正されてあると假定し、Lを無窮の遠距離に存する物體であつてSなるレンズの前結節點よりuなる角度を以て見られ赤色及び青色像は同一面L'に合すると考ふ。焦點距離は焦點から之れに相當せる主要點(此場合には主要點は結節點と合せり)迄の距離であつて此距離は光の色によりて異なる、圖に示せるアクロマート系に於ては赤色及び青色光線に對する焦點は同一であるから此兩色に對する結節點は異なる理である、今青色に對する結節點をK₁とし赤色に對する結節點をK₂とす、赤色像及び青色像を見出すにはK₁よりL'に平行線を引けば共軛像に關する幾何學的構圖に従ひて青色光線

第六十八圖

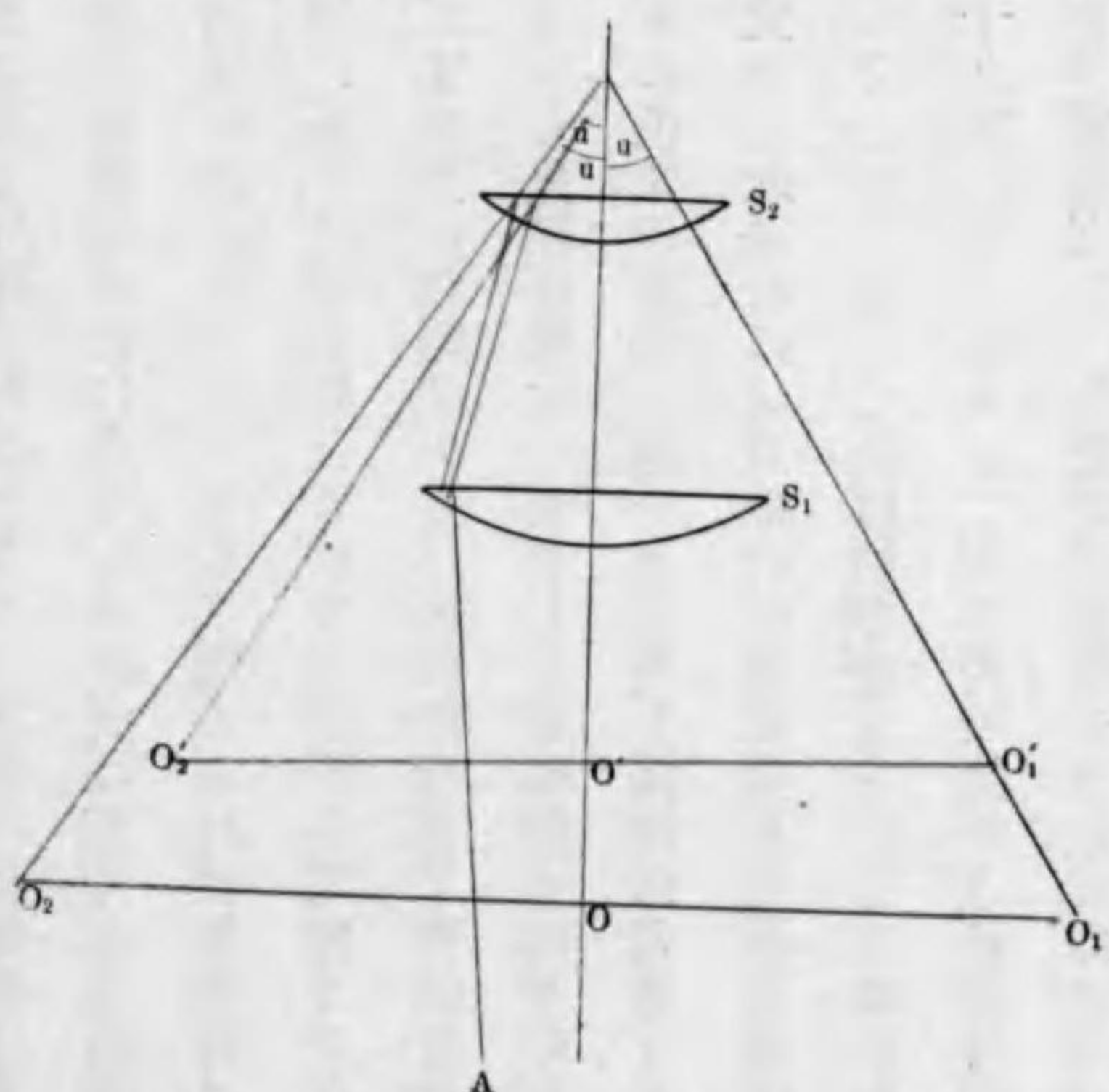
が焦面に會する所にIなる點の青色像K₁存す、同様にIなる點の赤色像はK₂に平行なる線をL'より引けばI₂に存す、而して青色像L'K₁及び赤色像L'K₂は中央部に於ては相重さなるけれ共周縁部に於ては青色像は赤色像よりも外方に廣がつて居る(圖に於ては理解し易き爲めに分離せる二面とせり)。此大きさの差異は結像すべき物體が大となるに従ひ即ち開角が大となるに従ひて大となる。

全顯微鏡を完全に色消しとする事即ち顯微鏡像が何等色彩を示さない様にする爲には對物鏡に於ては異種の色像を一面に合せしめ廓大作用に基く色彩差異を其儘として殘し之れを對眼鏡によりて矯正する方法が採らるのである。何となれば對物鏡は比較的小なる視野を現はせば充分であり従ふて廓大作用に基く色彩差異は著明でないから其儘とし、却つて顯微鏡像を非常に障礙する所の焦點の差異を矯正する方が利益である、之れに反して對眼鏡に於ては像を廓大して大なる視角を造らしむる作用があるから焦點距離を一致せしむる事即ち種々の色像の廓大を同一にする事を要するのである。

種々の色像の廓大が同一なるべき爲には光系より外出する色線が光軸を同一角度を以て切る様になれば宜い。此場合には異種の色像は異なる面に存するけれ共、同一角度の下に現はれるから同大に見えるのである。而して此目的を達するには二個の單レンズを適當に組合はせて對眼鏡を造れば宜い。

第六十九圖に於て集束しながら對眼鏡の方に進行し來る光線Aは對眼鏡の集束レンズS₁によりて方向を變じ一層集束し、此際青色光線は赤色光線よりも強く屈折し爲めに赤色光線よりも光軸に近くS₂な

圖九十六第



る。又此場合に於ては結像すべき光束の開角は小であるから異種の色像の存する高さが異なつて居ても像の明確度に對して何等障礙とならない。

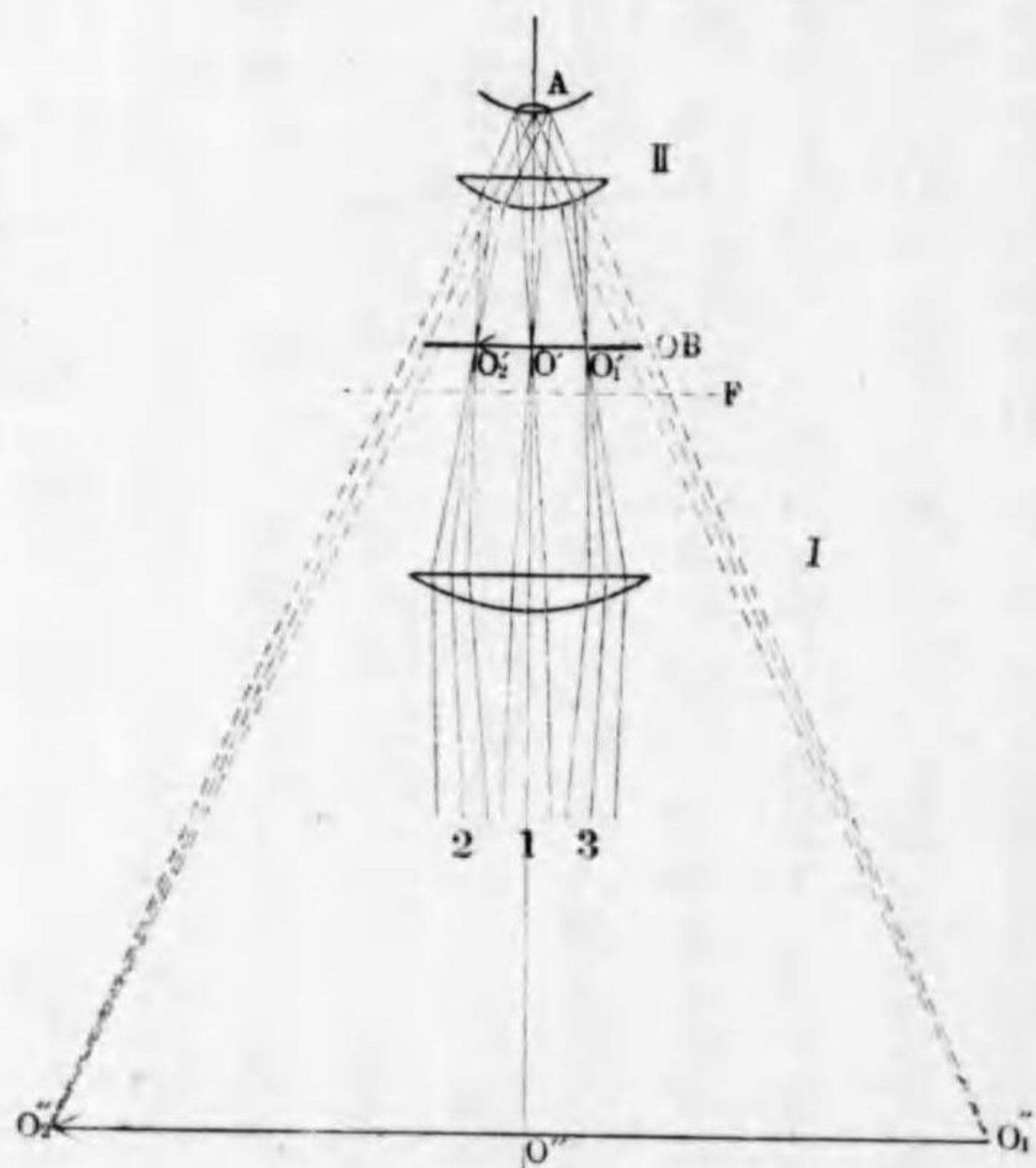
下に述ぶる様に對眼鏡を形成せる二個のレンズの焦點距離及び配置を適當に選擇する事によりて大なる物體を色彩を示さない様に結像せしむる事が出来るのみならず、非點收差及び像の歪曲を減せし

める事が出来る。視野の穹窿は之れを全部除去する事は困難であるけれ共此構造によりて著しく減少するのである。

對眼鏡の種類及び其構造。(一)ホイゲン氏對眼鏡は普通使用されるものであつて色消しにされてない二個の平凸の單レンズより成り、其凸側は共に對物鏡の方に向つて居る。下方のレンズを集束レンズと名け、上方眼に向へるを眼レンズと云ひ、共に共通の金屬性圓筒に嵌め込まれてある。此兩レンズ

の中間に取附けてある圓孔を有せる金屬板を對眼鏡遮光器(又は視野遮光器)と名け、對物鏡と集束レンズとによりて造られたる眞像は丁度此遮光器の面に結像し、眼レンズは此眞像と圓孔の縁とを廓大し虚像として正視距離に結ばしめる。故に顯微鏡内に於て見る所の視野の限界縁は對眼鏡遮光器の圓孔の縁である。第五十三圖D及びEはホイゲン氏對眼鏡の斷面を示す。ホイゲン氏對眼鏡の作用は第七十圖を見れば明かである、1、2、3を對

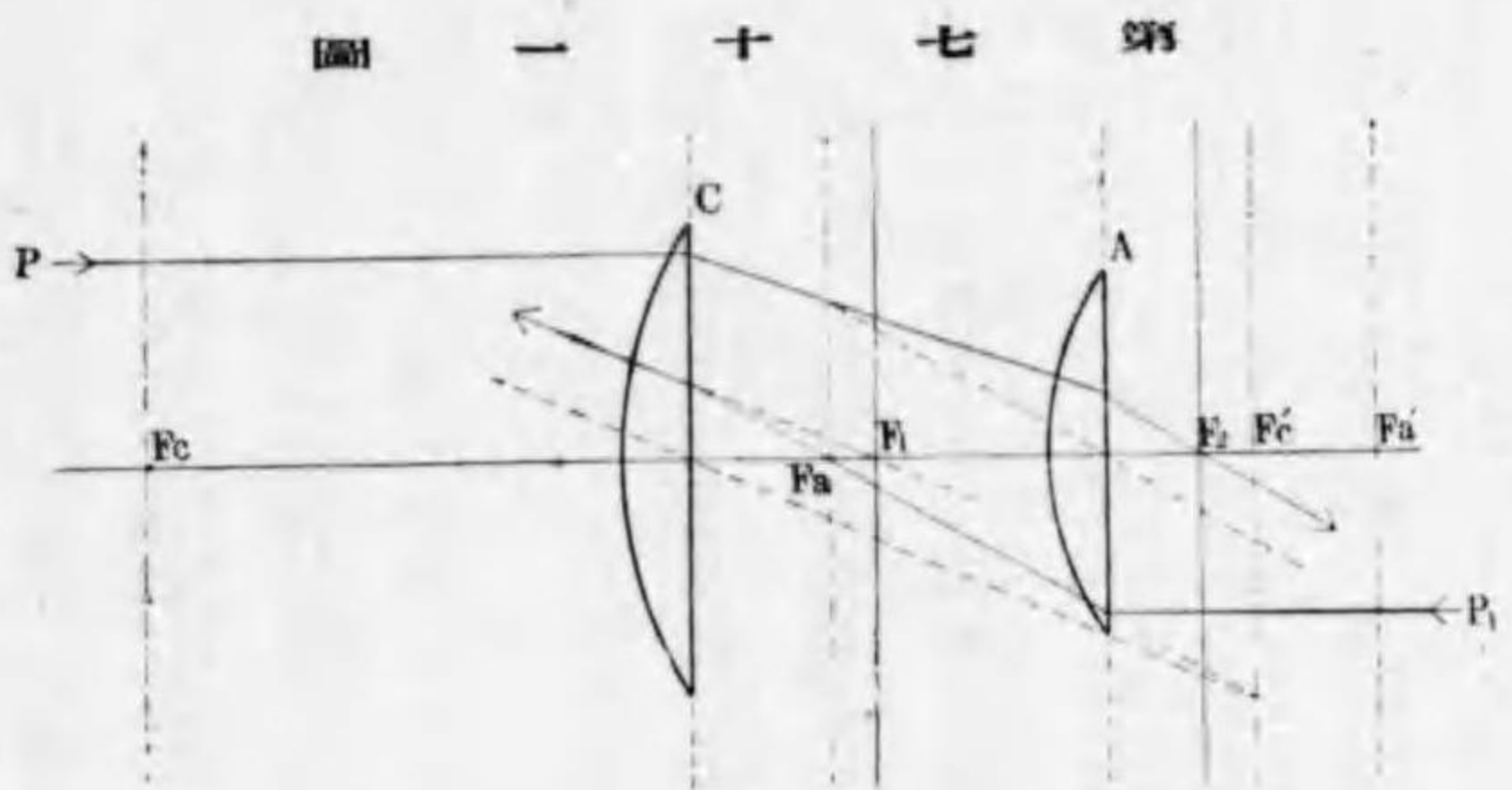
圖十七第



物鏡より來たれる三個の光束とし此光線が三個の像點に結合する以前に於て集束レンズIが存して居るから放散性であつた光線は之によりて集束せられ丁度對眼鏡遮光器OBの存する面に於てO'A'O'A'なる眞像を生ず、而して此像は眼レンズIIの前焦面F以内存するから眼レンズは廓大鏡として作用しAなる眼は其正視距離に於てO'A'O'A'の虚像O'A'O'A'を見るのである。對眼鏡遮光器OBの部に集束レンズによりて造られたる像の存する事を證明するには任意の對眼鏡(測微對眼鏡を良くす)を鏡筒に挿入したる後、眼レンズを去り遮光器孔の上に薄き油紙を置く時は此眞像を見る事が出来る、次で集束レンズをも去りて同様の實驗を行ふ時は遙かに大なる像が現はれる、併し此場合には明確に準焦する爲めには鏡筒を少しく延長する事が必要である。集束レンズは像の廣き部面を視野に現はす作用がある。若しも集束レンズが無かつたならば周縁の光線は視野に達しないと云ふ事は對眼鏡の集束レンズを去り眼レンズのみにて像を見れば明かである、故に集束レンズは嚴格なる意味に於て對物鏡に屬すと云ふても宜い、其他集束レンズは像を少しく縮小するから其明度は増加し一方像の穹窿を多少矯正する作用がある。眼レンズは眞像を單に引伸ばすに過ぎないから同一光量が廣き部面に擴げられ像の明度は著しく減退する、而かも此明度の減退は對眼鏡が強くなるに従ひて益々著しくなるから對眼鏡に依る廓大は一定度以上に増す事は好ましくない、ホイゲン氏對眼鏡にては十二倍の廓大を以て極度とすべきである。

對眼鏡を形成せる兩レンズの内、眼レンズは集束レンズよりも廓大強く其焦點距離(f_1)は集束レンズの焦點距離(f_2)の半ばであつて兩レンズの距離(d)は焦點距離の和の $\frac{1}{2}$ としてある、即ち $d = \frac{f_1 + f_2}{2}$ 、 $f_1 = 2f_2$ である。第四十九圖に示せる如く對物鏡より來れる光束は物體面より遠く距りたる像面に達せねばならないから長くして狭い、従ふて集束レンズ及び眼レンズの小なる面を通して進行する、斯かる狭き面内に於ては矯正を要する様な球面収差は起らない。其他二個の單レンズの焦點距離と其相互間の距離を上述べた様に選擇する事によりて對物鏡によりて生せる像を色圈を生ぜない様に廓大する事が出来るのみならず、廓大作用に基く色彩差異、像の歪曲、非點収差等を矯正する事が出来るのである。

對眼鏡全體の焦點距離を計るには集束レンズと眼レンズとの距離即ち對眼鏡の長さを計れば宜い、例へばツァイスの對眼鏡IIIに於ては兩レンズの距離は三六耗であるから方程式 $d = \frac{f_1 + f_2}{2}$ 、 $f_1 = 2f_2$ なる要約が果たさるゝ爲めには f_1 即ち眼レンズの焦點距離は二四耗、 f_2 即ち集束レンズの焦點距離は四八耗でなければならぬ。レンズ列の焦點の決定に向つての方程式 $\frac{1}{d} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$ に於てホイゲン氏對物鏡に對しては $d = 36$ であるから上記の場合に於ける全對眼鏡の焦點距離 $f = \frac{f_1 f_2}{d} = \frac{24 \times 48}{36} = 32 \text{mm}$ なる。次に對眼鏡全體の焦點の位置を見出すには眼及び對物鏡の方向より光軸に平行に進行し來る光線の經過を追及すれば明かである、第七十一圖に於てAを眼レンズ、Cを集束レンズとし、 F_1A 及び F_2C を眼レ



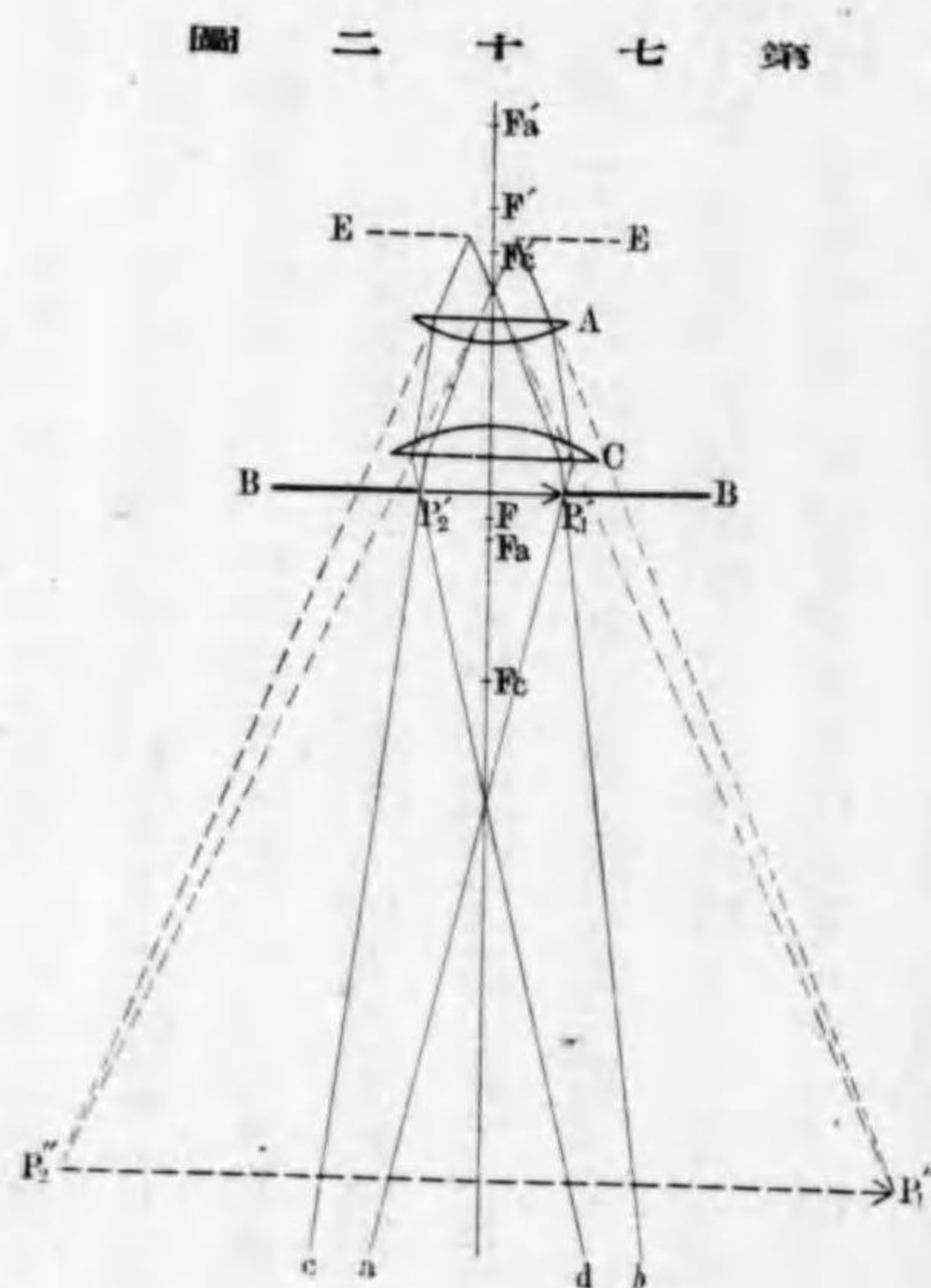
レンズの前後の焦点、 F_5 及び F_6 を集束レンズの前後の焦点、 P を對物鏡の方より来る平行光線とし、 P_1 を眼の方向より来る平行光線とす、然る時は P なる平行光線に對する全對眼鏡の焦点は F_2 に存し、 P_1 なる平行光線に對する全對眼鏡の焦点は F_1 に存すべし。 F_1 は全對眼鏡の前焦点であつて F_2 は其後焦点である。 F_1 は對眼鏡の兩レンズの間に存し、 F_2 は其外に於て眼レンズの上方短距離に在る。であるからホイゲン氏對眼鏡を廓大鏡として使用する際には眼レンズを眼に近づけて用ふる事は出来ない、必ず之れを倒にして用ひねばならないと云ふ事が明かである。

ホイゲン氏對眼鏡はアボクロマト式及びフルオート式對物鏡と共に用ふる事の誤りである事は前に述べた。

ホイゲン氏對物鏡はローマ数字又はアラビア数字を以て命名されてある、此等の数字は製造會社より任意に選ばれたものであつて對眼鏡の廓大鏡とは無關係である、例へばツァイス會社の1, 2, 3, 4, 5等の番號のある對眼鏡は各三、四、五・五及び九倍の廓大鏡を有して居る。對眼鏡の廓大鏡は一見眼レンズの大きさ及び對眼鏡の長さによりて知る事が出来る、即

ち廓大鏡を増すに従ひて眼レンズは小となり、對眼鏡の長さは短くなる。近來ツァイス會社より製出されるホイゲン氏對眼鏡の焦点距離は以前のもものと異なつて居り且其廓大鏡によりて命名されてある。

(二)ラムスデン氏對眼鏡。此種の對眼鏡もホイゲン氏對眼鏡と同様に二個の平凸レンズより成つて居るけれ共其凸面は相對向せしめてある。而して此兩個の單レンズの焦点距離は同一にし且兩レンズの距離は其焦点距離と等しくする事によりて色消しの目的を達するのである。併しディッペル氏に従



へばツァイス製のラムスデン氏對眼鏡に於ては集束レンズの焦点距離は三九耗、眼レンズのものは三五耗であつて兩レンズの距離は二二耗なり。故に全對眼鏡の前焦点は集束レンズの前方九、七六耗に存し、後焦点は眼レンズの後方一・四耗に存すと云ふ。斯様にラムスデン氏對眼鏡に於ては兩焦点は對眼鏡の外に存するから何れの位置に於ても之れを廓大鏡として使用する事が出来る。第七十二圖はラムスデン氏對眼鏡

に於ける光線の進路を示めず、集束レンズCの焦點を F_c, F'_c とし、眼レンズAの焦點を F_a, F'_a とし、全對眼鏡の前後の焦點を各 F, F' とす。對物鏡より來れる光束 aP_1b, cP_2d によりて造られたる P_1P_2 なる眞像は集束レンズCの前方に於てFなる焦點内に存す、此部に EE なる對物鏡遮光器がある。此 P_1P_2 なる眞像は對眼鏡によりて廓大せられ眼の正視距離に於て P_1P_2 なる虚像を生ずる、而して此對眼鏡の進出瞳孔は其後焦點の近部に於て $E'E'$ なる面に存す。

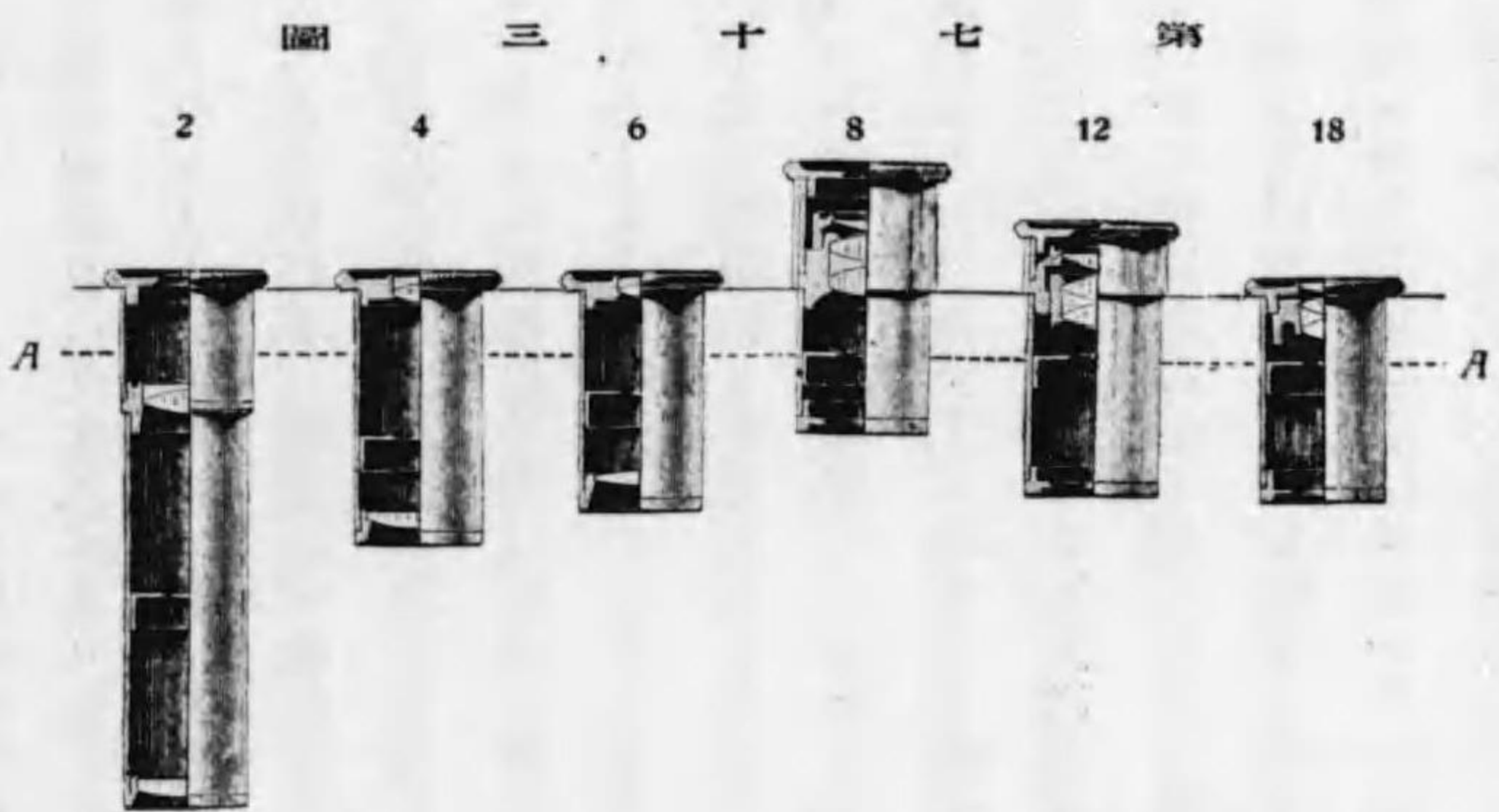
ラムスデン氏對眼鏡は對眼測微計と共に用ふるに適する。對眼測微計を EE なる面に置く時は測微計上の尺度は全對眼鏡より平等に廓大せらるゝけれども對眼測微計をホイゲン氏對眼鏡と共に用ふる時には測微計と視野遮光器とは集束レンズと眼レンズとの間に存するから測微計は眼レンズのみによりて廓大せられ爲めに一定の結像の障礙を伴ふものである(顯微鏡的計測法の條下参照)。

(三)補正對眼鏡。前にも述べた様に強度の對物鏡は廓大に基く色彩差異なる缺點を有して居る、此缺點を除く爲めには之れを反對の意味に於て持たしめてある對眼鏡を用ひて補正する事が必要である、かゝる對眼鏡を補正對眼鏡と名ける。廓大に基く色彩差異に關しては前に述べた、此色彩差異に於ては青色像が赤色像よりも強く廓大されるのである、之れに反して補正對眼鏡は青色像よりも赤色像が強く廓大さるゝ様に矯正されてある、此事は補正對眼鏡の遮光器孔の縁が赤色を呈して居ると云ふ事によりて明かである。今此對眼鏡を對物鏡と共に用ふる時は像は周縁迄全く無色であつて唯遮光器孔

の縁に於て帶黄色又は帶赤色の帶を示めず許りである。

補正對眼鏡は元來アポクロマト式對物鏡と組合せて用ふる爲めに造られたものである、而してアポクロマト式對物鏡の有する廓大に基く色彩差異は強廓大の對物鏡にては其構造上必然的に起るものであるけれども、弱度の對物鏡にては此缺點は問題にならぬ程微弱である、併し弱度の對物鏡に對しても故意に此缺點を高め強廓大のものと同じにしてあるから同一の補正對眼鏡を種々の強度のアポクロマト式對物鏡と共に用ふる事が出来る。其他強度(〇・六五の開數以上)のアポクロマト式及びブルオリート式對物鏡もアポクロマトと殆んど同一程度の廓大に基く色彩差異を有して居るから之れを補正對眼鏡と併用しても差支へない、殊に補正對眼鏡は油浸系と共に用ふる際に於て最も有效である。中等度及び弱度のアポクロマトは常にホイゲン氏對眼鏡と併用せねばならない。ホイゲン氏對眼鏡はアポクロマトの有する廓大作用に基く色彩差異を矯正する能力がないから、此兩者を併用してはならぬ。又之れと反對に弱度のアポクロマトは廓大作用に基く色彩差異なる缺點を有して居ないから補正對眼鏡と共に用ゆる事は不合理である。

補正對眼鏡の構造は其廓大力によりて異つて居る、弱度の補正對眼鏡はホイゲン氏對眼鏡と同様の構造を有し其前焦點は集束レンズの上方に存す、強度の補正對眼鏡に於てはラムスデン氏對眼鏡に類似前焦點は集束レンズの下方に在る。眞像の生ずる場所は遮光板の位置によりて直に知る事が出来る。



強度の補正對眼鏡にては集束レンズは三個のレンズを接合せしめて造つたアクロマート式レンズである。其他補正對眼鏡（第七十三圖）の前焦点は鏡筒内の同一場所（A）に來る様に造られてある従ふて對物鏡の後焦点と對眼鏡の前焦点間の距離即ち光學的筒長は常に一定不變であるから全顯微鏡の廓大力の計測に際して便利である。

補正對眼鏡を用ふれば廓大の強さを可なり廣き範圍に於て變せしめる事が出来る。補正對眼鏡のこの名づけられたるものは探索對眼鏡とも云ふ、強き對物鏡例へば液浸系を用ふる際、弱度の對物鏡と交換する事は不便であるから其儘とし探索對眼鏡と共に用ふる時は廓大は弱くなるから容易に標本内の任意の箇所を搜し出す事が出来る。又最強度の補正對眼鏡 12 及び 18 の弱き對物鏡と併用する事も出来る。

補正對眼鏡には 2, 4, 6, 8, 12, 18 等の數字が刻してある、是等の數字は一定の筒長に於て當該對物鏡の自己の廓大力を示

めすのである。對物鏡と補正對眼鏡との共同作用によりて生ずる顯微鏡の全廓大力は對物鏡の自己廓大力と補正對眼鏡の番號とを乗すれば知る事が出来る。而して對物鏡自己の廓大力は正視距離即ち二五〇耗を、mmによりて示されたる對物鏡の焦點距離によりて除したる商である、例へば 2mm のアポクロマート式對物鏡と補正對物鏡 12 とが一六〇耗の筒長に於て造る廓大力は次の式によりて見出す事が出来る。

$$\frac{250}{2} \times 12 = 1500$$

併し近來發賣せらるるツァイス會社の補正對眼鏡の焦點距離は以前造られたものよりも多少の差異があるから番號も多少異なつて居る。

其他オルトスコープ式對眼鏡（ツァイス會社製）、コンプラナート式對眼鏡（ウィンケル會社製）、ペリプラナート式對眼鏡（ライツ會社製）と名づけられるものがある。オルトスコープ式對眼鏡は平凸の單レンズと接合レンズとを組合はせたるものであつて弱度のアクロマート式對物鏡と共に用ひて強廓大を得るに適する。コンプラナート式及ペリプラナート式對眼鏡はホイゲン氏對眼鏡と異なりて其眼レンズは接合レンズであつて集束レンズは單一の平凸レンズである、此等の接眼鏡は色消しにしてあつて平坦なる視野を與へるから射影又は顯微鏡寫真撮影に用ひて便利である。

對眼鏡の任務。顯微鏡内に於ける光線の進路構圖によりて明かなる如く對眼鏡は對物鏡によりて造

られたる像を廓大して大なる視野に引伸ばす作用がある。併し如何程此廓大を高めても唯對物鏡によりて實際に結んだ像の構造が見らるゝのみであつて其れ以上の構造が新たに現はれる事はない。後述する様に如何に良き對物鏡でも其解像力即ち二點を區別すべき能力には限度がある、而して對眼鏡は此二點を眼の正視距離に於て二個の像點として區別さるゝ様に結像せしむるのである、前にも述べた様に像中に於ける此二點は少くとも一分の視角に相當する丈の距離を有して居る事を要する、かゝる廓大を顯微鏡の有効廓大と云ふ。此廓大力を強き對眼鏡によりて一層高める時は像點は對眼鏡によりて造られたる虚像に於て、従ふて眼の網膜上に於て更に相離れるけれ共此兩點の間には何等新しき構造が現はれない、かゝる過度の廓大を無効廓大と名ける、此結果は有効廓大に於けるよりも高々眼に對して微細なる構造の認識を便利にするのみであるから強度の對眼鏡を顯微鏡的検査に用ゆる事は特別の利益のある事柄ではない。一般に云へば弱度及び中等強度の對眼鏡によりて強度の對眼鏡に於けると同様の構造を認識する事が出来、加之寧ろ強度のものよりも優つて居る場合が多い。殊に強き對眼鏡を強きアクロマート式對物鏡と共に用ふる際には像の明度が障得せられ同時に對眼鏡に附隨せる缺點が益々像を不良に陥らしめる。アポクロマート式對物鏡に於ては光線の結合が完全であるから強き對眼鏡を用ひても結像を障得する事はない。

三、照明装置

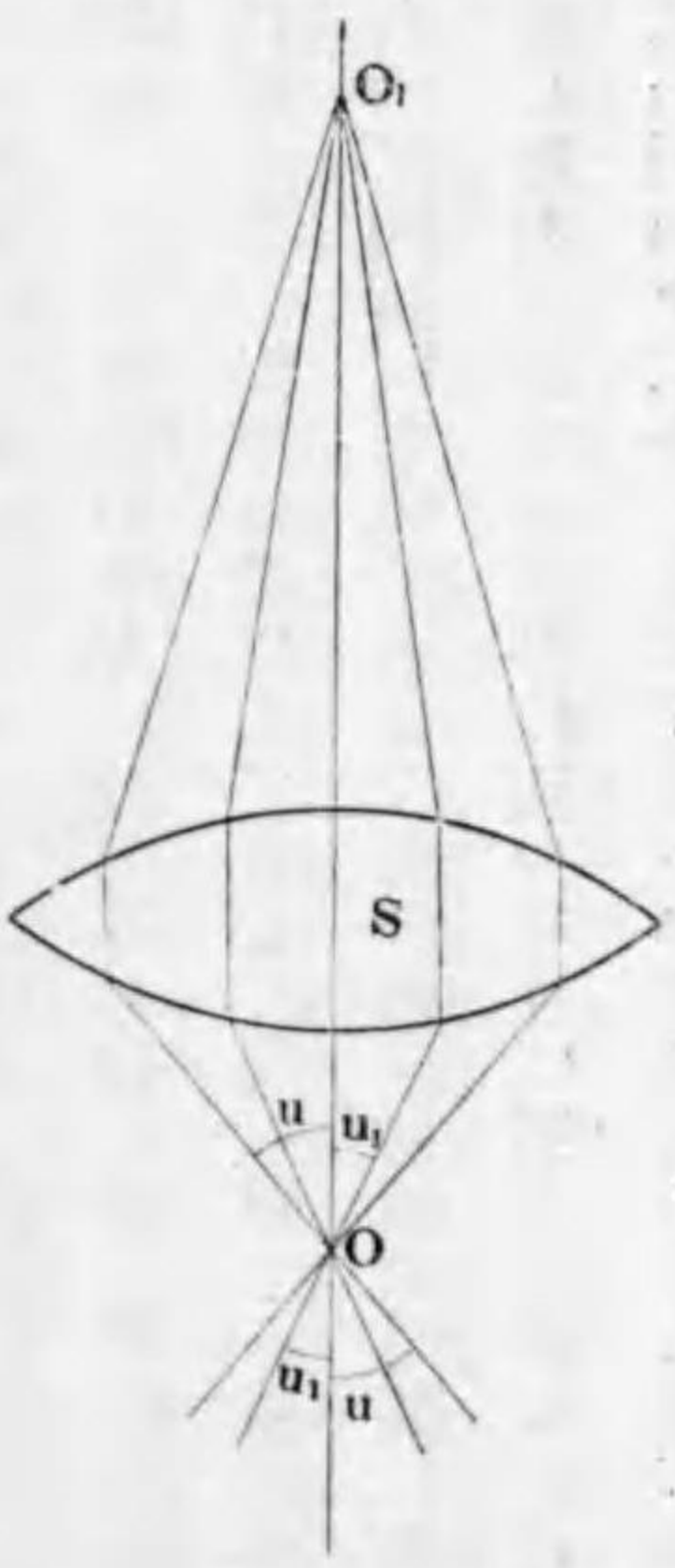
鏡檢す可き物體は自身發光體である場合は稀であるから之れを照明して物體より光線を發出せしめる事が必要である。物體を照明するには或は上方より物體の上に又は下方より物體を通じて行ふ、第一の方法は落射照明法であつて組織學的鏡檢には餘り必要ではない、顯微鏡的標本を觀察するには通常透射照明法を用ふる。

顯微鏡の照明装置の目的は一定の大きき位置を有する光源より來る所の光線の光力を減殺する事なしに物體に射入せしむるの外、使用する光束の開角及び傾斜を任意に且確實に加減調節し得る事にある。此要求に應ずる爲めに先づ第一に顯微鏡の載物机の下に種々の方向に廻轉する事の出来る反射鏡を取附けるのである、併し尙光量が充分でない時には種々の集光鏡を用ひて光線を集束せしめる。其他光量を加減すべき遮光器竝に光線の傾斜を調節すべき装置あるを要す。像の明度は顯微鏡の廓大力の平方に比例して減少するから廓大が強くなるに従ひて益強く照明する必要がある事は勿論である。

反射鏡 は載物机の下方に於て各方向に動く様に取附けられ種々の方向より來る光線を鏡檢すべき物體に送る事が出来る様にしてある。反射鏡の一面は平面であつて平面反射鏡と云ひ、他の一面は凹面であつて凹面反射鏡と云ふ、此の兩反射鏡は必要に應じて之れを自由に轉換する事が出来る。

鏡檢に際して視野を平等に且つ有効に照らす爲めには照明装置より送らるゝ光束の開角が使用せる對物鏡の開角を完全に充たす事が必要であるから先づ第一に平面及び凹面反射鏡より來る光線の開角

圖四十七第

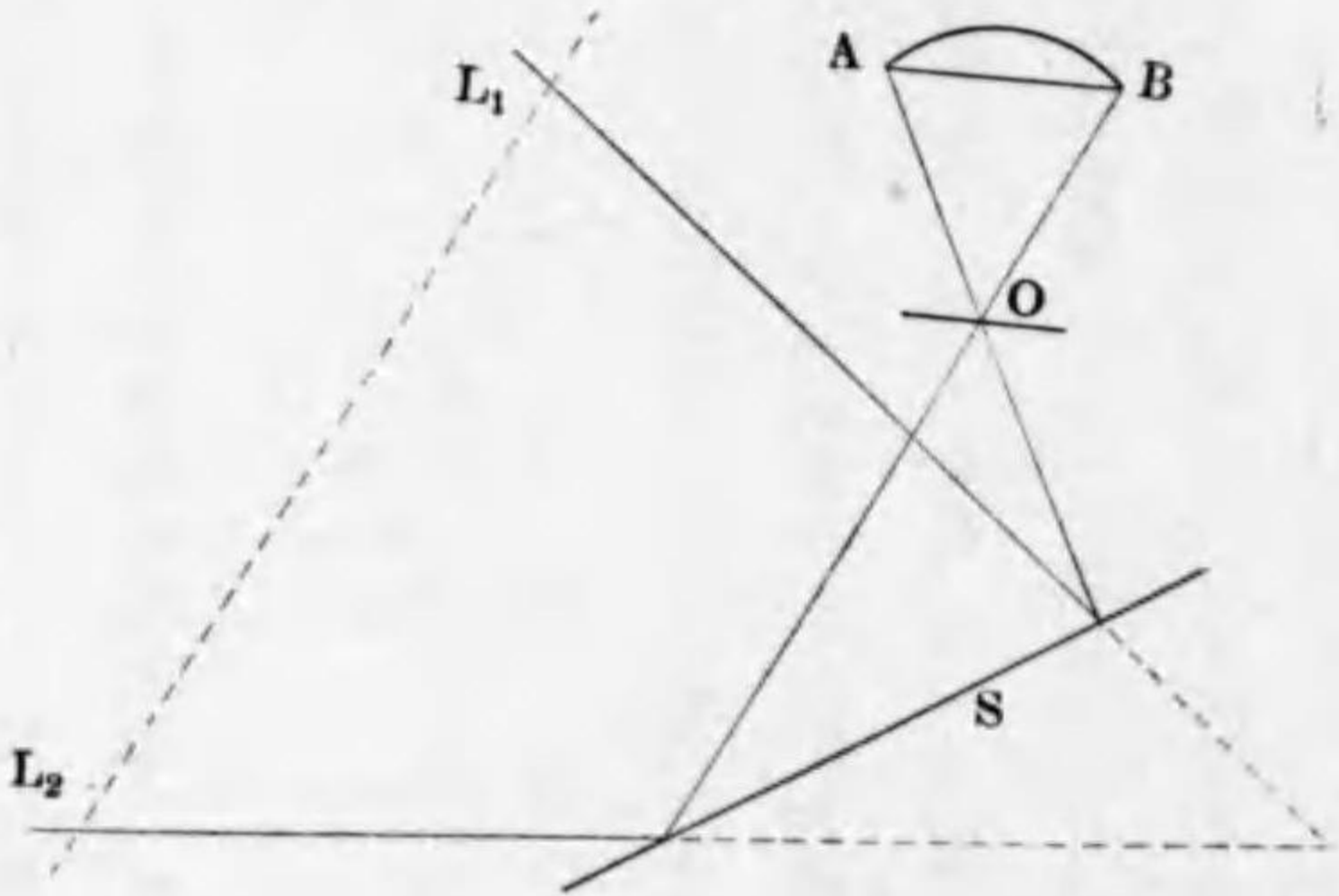


の大きさに關係のある事情を述べる事とする。第七十四圖に於て或對物鏡が其全開數を以て作用し得べき爲に、換言すれば此開數が有効に利用される爲には進入し來る光束の開數が少くとも對物鏡の開數と同一なるを要する事を示めず、Sをparallelに

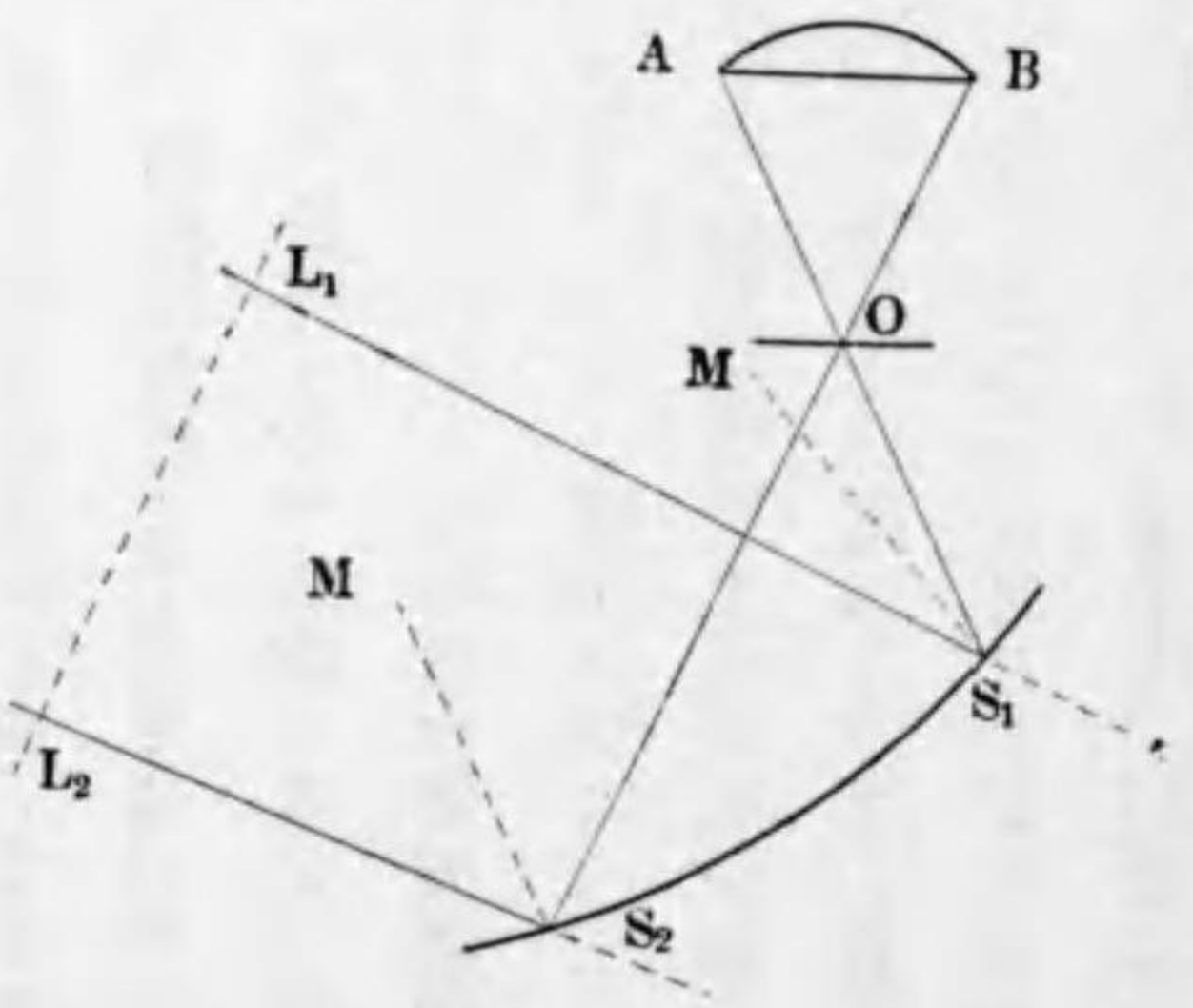
る開數を有する對物鏡とし之れに進入し來る照明光束の開角が光系Sの開角と同一なる時即ち $u_1 = u$ なる時に於て此光系は物體點Oより來り顯微鏡に進入する總ての光線を受領する理である、今若しも照明光束の開角の二分の一が u なる大きさを有するとせば對物鏡も亦parallelなる開數を以て作用するから照明光束の開數よりも高き開數を有する對物鏡を用ふると云ふ事は無意味となる。併し實際に於て顯微鏡による結像の際には物體の構造に基く廻折現象が起り爲めに物體を通す所の照明光束は遙かに大なる開角の光束に變じて對物鏡の開數は尙充分利用さるゝのである。

第七十五圖に於てOを物體點としABを對物鏡の進入瞳孔とする時はOよりAOBなる光束發出すべし。今此光線の經過を後方、平面反射鏡S及び光源L₁の方に追及すれば對物鏡の全開角を充たす爲めには「L₁」なる大きさの發光面を要する事を知る、而して對物鏡の開角が増すに従ひて之れを全く充

圖五十七第



圖六十七第

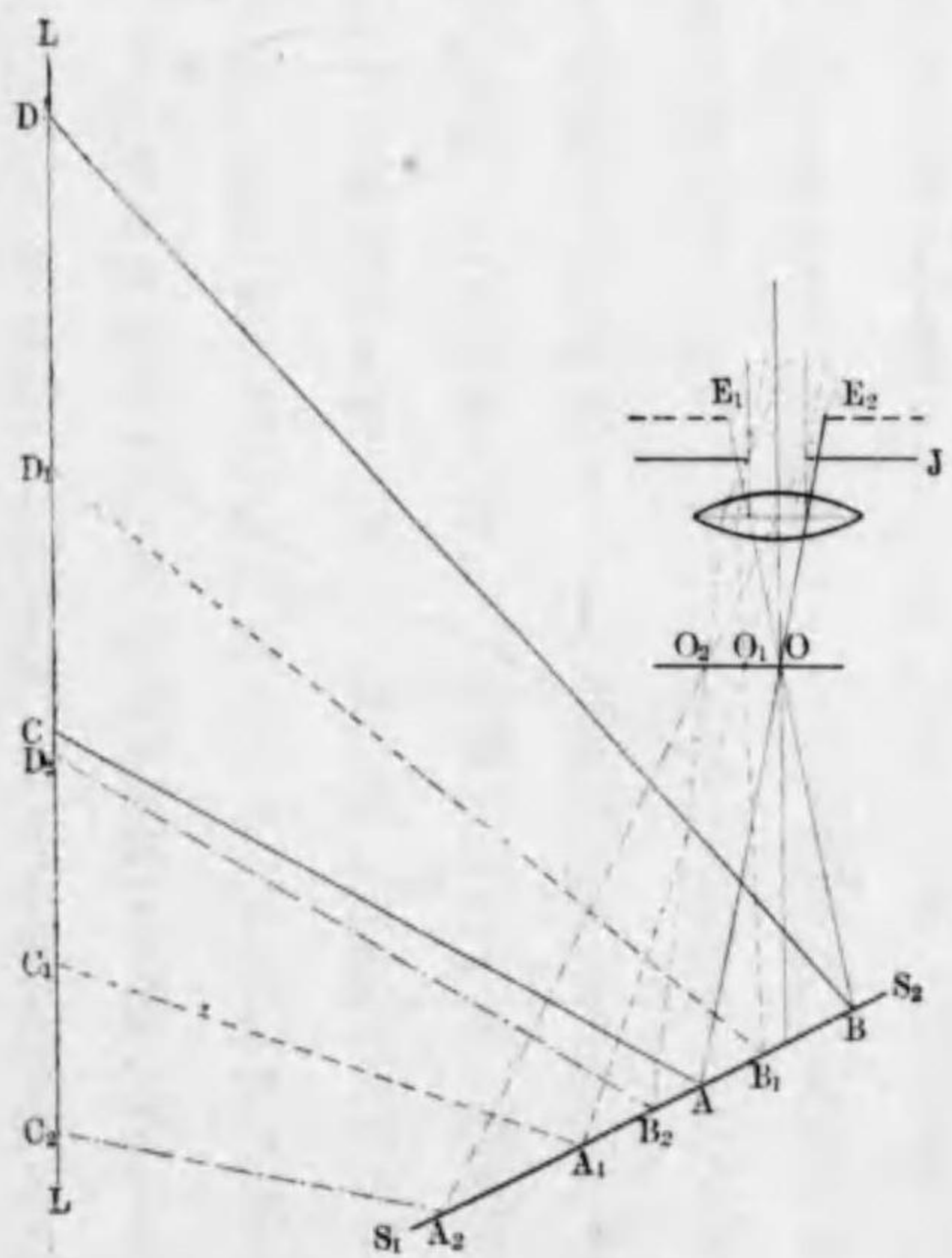


たす光束を得るには平面反射鏡の面及び發光面の大きさは益々増加する事を要する理である。對物鏡に進入する光束は反射鏡の直徑を其基底として居るから發光面が一定して居ると假定する時は平面反射鏡より發する光束の開角は反射鏡の直徑及び反射鏡と物體との距離の大小によつて定まる、その直徑が益々大となり兩者間の

距離が益々小となれば開角は益々大となる理である。併し乍ら平面反射鏡の直徑には限りがあり又之を物體に非常に接近せしむると云ふ事は顯微鏡の構造上不可能であるから平面反射鏡によりて得らるる光束の開角にも一定の限度がある、従ふて平面反射鏡は専ら小なる開角の對物鏡即ち弱度の對物鏡に用ひらるゝのである。

凹面反射鏡を用ひたならば平面反射鏡を用ふるよりも大なる開角の光束を得る事が出来る。第七十六圖に於てOを物體點、 S_1S_2 を凹面反射鏡とすればAOBなる光束の周縁光線PO及びAOを後方反射鏡及び光源 L_1 の方向に延長すれば反射法則に従ひて S_1L_1 及び S_2L_1 なる光線を得べし。此圖に於て見る様に凹面反射鏡を用ふれば同一開角の光束 $\angle AOB$ を得る爲めの發光面 L_1L_2 は平面反射鏡を用ひたる場合よりも小さくて足る事を知る、換言すれば發光面を同一とすれば凹面反射鏡は平面反射鏡よりも大なる開角の光束を與へるのである。凹面反射鏡に平行光線が落射する時には其反射によつて約四〇度 ($\alpha \approx 0.65$) の開角の光束を與へ

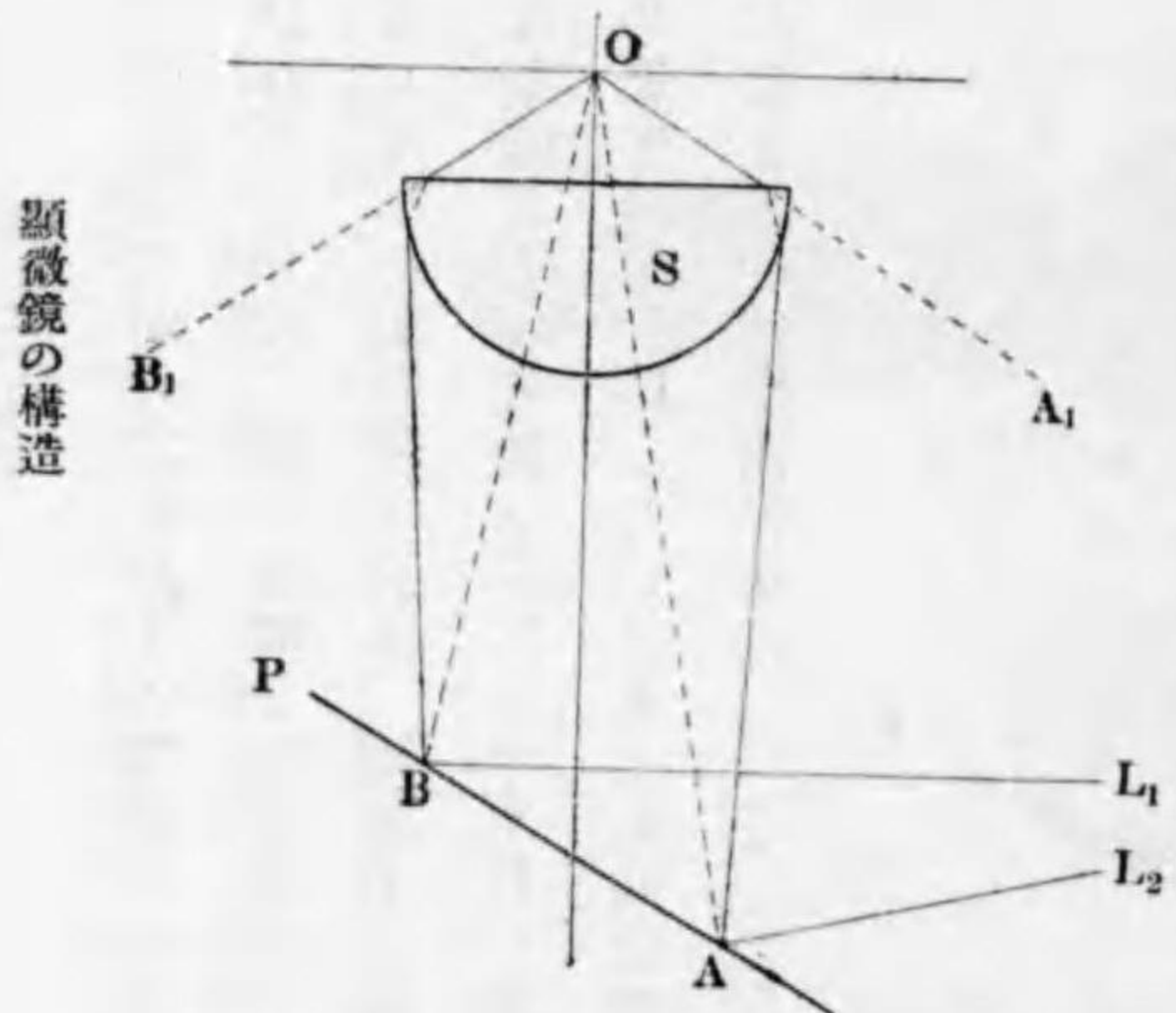
圖 七 十 七 第



るから中等強度の對物鏡に向つては之れで充分である。
上には唯一個の物體點の照さるゝ場合を述べた。併し實際に於て殊に弱廓大に於ては可なり大なる部面が平等に照さるゝ事を要する。平面反射鏡の方が凹面反射鏡よりも物體を照らす面が大であるから弱廓大の場合には平面反射鏡を用ふるが宜い。發光

體としては可なり廣き面を要す、白雲を以つて覆はれたる天空は最も此目的に適する。第七十七圖に示す様に物體中の點O、 O_1 、 O_2 等より對物鏡内に達する光束は是等の諸點より對物鏡の進入瞳孔の縁に引ける周縁光線によつて界せらる。今Jを遮光器とし E_1E_2 を進入瞳孔の縁とし、Oを光軸上に於ける物體點とし、 E_1O 及び E_2O を後方に延長する時は E_1O_1 なる光束を與へる爲には反射鏡は少くともABなる廣がり有し、發光面はCDなる大きさを有すべきである。次に光軸外に於ける點例へば O_1 、 O_2 なる物體點に對する反射鏡及び光源の大きさは此構圖によりて見出さる、即ち O_1 に對する周縁

圖 八 十 七 第



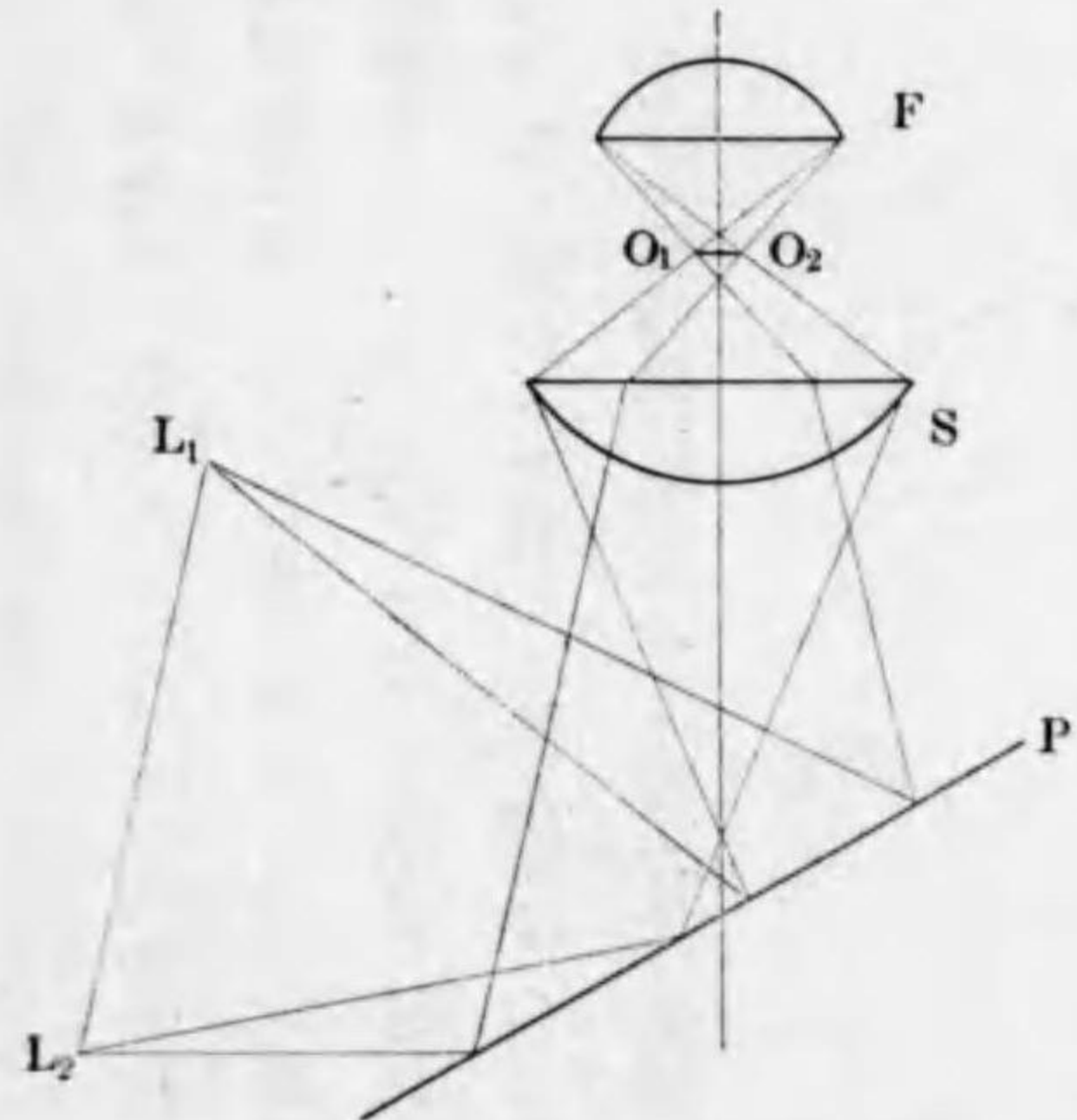
顯微鏡の構造

光線は O_1A_1 及び O_1B_1 であつて之れを光源の方に延長すれば A_1C_1 、 B_1D_1 を得べし。同様 O_2 なる點より O_2A_2 、 O_2B_2 及び A_2C_2 、 B_2D_2 を得。故に OO_1 なる距離が對物鏡の開角を全く充す所の光束を以て平等に照らさるゝ爲には反射鏡はBAなる大を有し、光源は C_1D_1 なる廣がり有する要がある。
集光鏡。凹面反射鏡を用ひても照明光束の開角を一定限度以上に高める事は出来ない、凹面反射鏡によつて造らるる開角は大凡そ四〇度であつて、之れは〇・六五の

開數に相當するから之れ以上の開數を有する對物鏡に向つては四〇度よりも大なる開角を有する光束を用ひねばならぬ、即ち物體と反射鏡との間に集光レンズを置き照明光束の開角を高めるのである、かかるレンズを集光鏡と云ふ。第七十八圖は集光鏡の作用を示めず、Oを光軸上に於ける物體點、Pを平面反射鏡とし、光源 L_1, L_2 より來れる光線 L_1B, L_2A が平面反射鏡の AB なる面を照らしたりとす。今集光鏡 S が存しないと考ふる時は照明光束は AOB なる開角を有す、之れに反して集光鏡 S を挿入したりとせば照明光束は $A'OB'$ となる。之れによりて見れば集光鏡は或意味に於て凹面反射鏡の如き作用を有し、光は AB なる面よりも遙かに廣き發光面より來るかの如く、大なる角度を以て物體を照らすのである。又集光鏡は之れを發光面の像が物體面に結ぶ様な位置に持ち來たすを要す、然る時は第七十九圖に見る様に L_1, L_2 なる發光面より來れる光線は P なる反射鏡によりて反射せられたる後 S なる集光鏡によりて集束せられ物體面 OO_1 に於て發光面 L_1, L_2 の縮少せる像を結ぶのである。

アッペ氏の照明装置。現今顯微鏡に使用さるゝ最も

圖九十七第

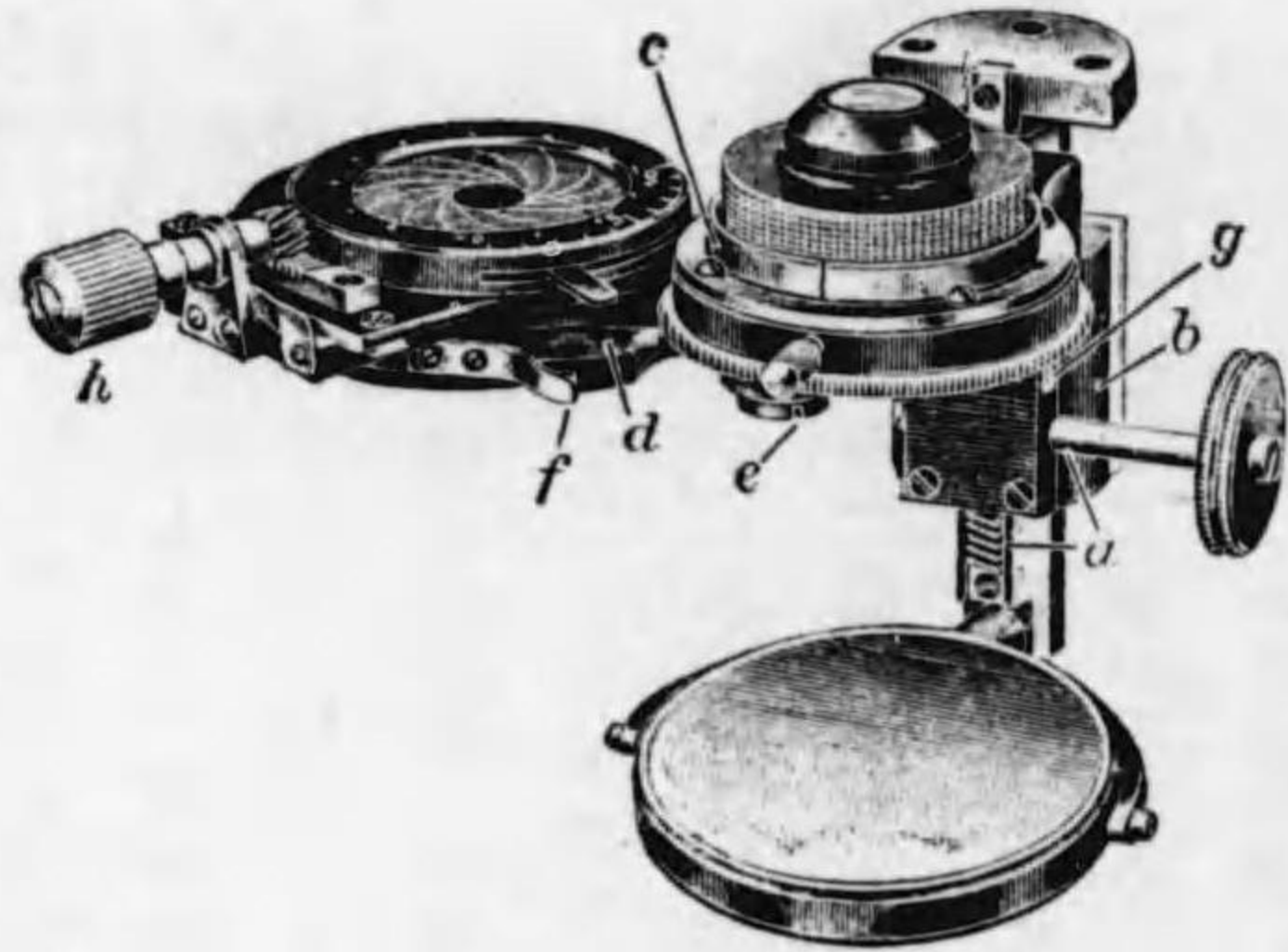


完全なる照明装置はアッペ氏の照明装置である(第八十圖)。此装置の重要成分は集光鏡であつて其下方に存する虹彩遮光器と共に一個の圓柱に固定され、齒車の作用によりて上下に移動せしめ載物机に

或は近づけ又は遠ざける事が出来る。次にはアッペ氏の照明装置の各成分に就きて其構造と使用法とを説明すべし。

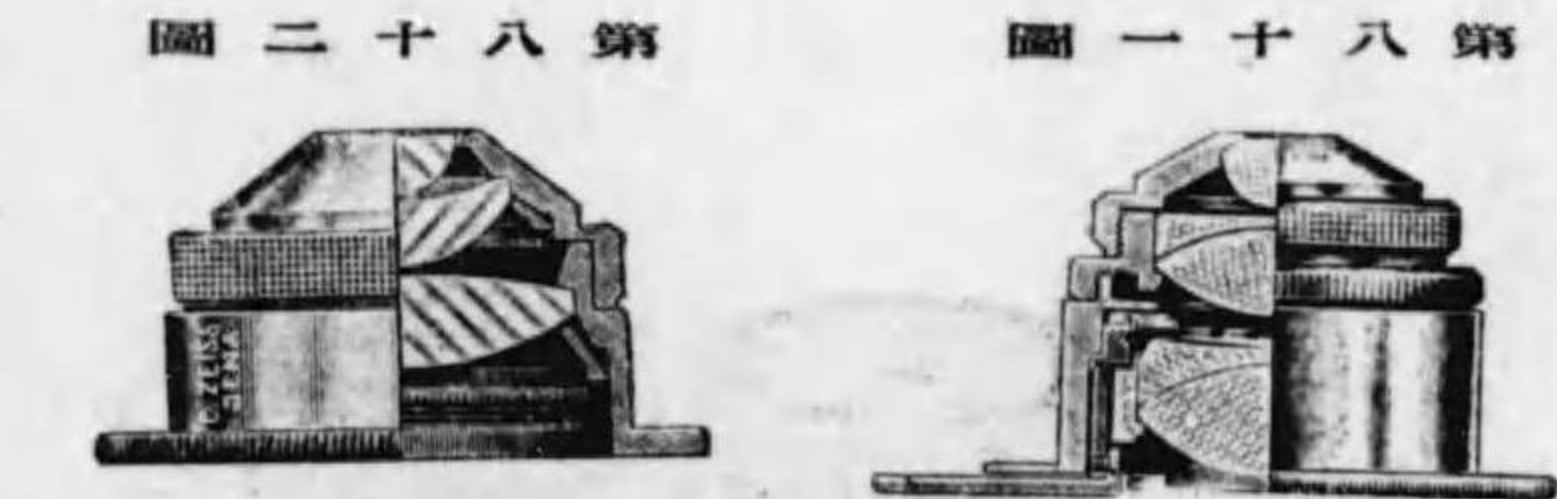
集光鏡は大體に於て倒にせる對物鏡と考ふべく二個又は三個のレンズより成り、上方物體に向へるレンズは半球以上である、之れを前端レンズと云ふ。二個のレンズより成立つて居る集光鏡に於ては下方のレンズは兩凸レンズである。三個のレンズより成れる場合に於ては前端レンズと兩凸レンズとの間に凹凸陽性レンズが挿入されてある。ツァイス會社製の二個のレンズより成れる集光鏡(第五十三圖F)は一〇耗の焦點距離と一・二〇の最大開數を有し(一〇四度の開角に一致

圖十八第



す)、三個のレンズより成れるものは八耗の焦點距離と一・四〇の最大開數を有す。茲に注意すべきは一より大なる開數を得るには集光鏡と載物硝子との間に一より大なる屈折率を有する媒質の存する場合に限る。假令薄層であつても集光鏡と載物硝子の下面との間に空氣が存する時は一より大なる開數

の光束は全反射によりて屈折せられ唯、一より小なる部分のみ作用するのである。



圖一十八第

圖二十八第

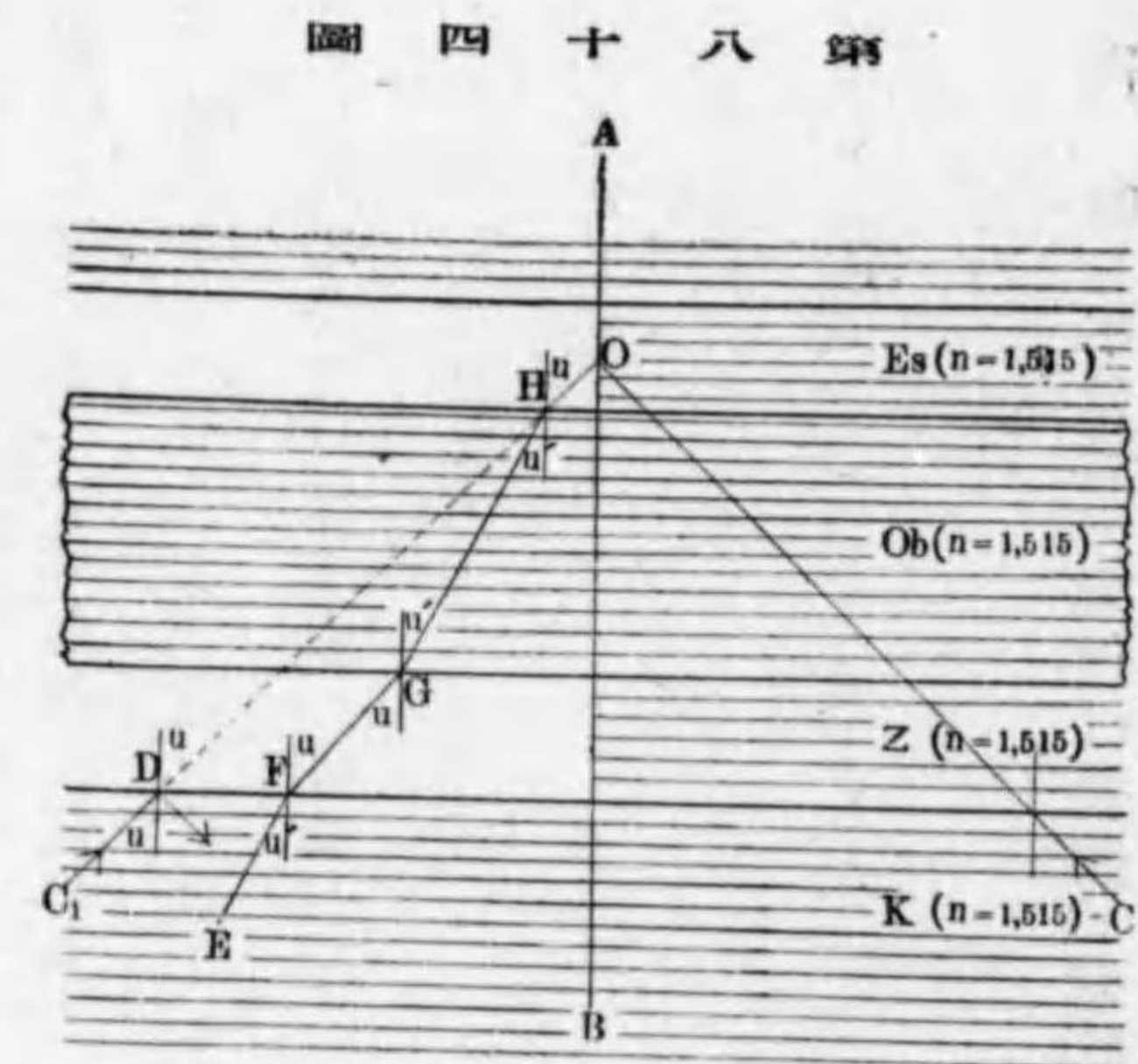
普通の集光鏡は球面収差に對しても色彩収差に對しても共に矯正されてないから光源の像は一面に結ばず多數の相重さなれる像を生ずる。分散日光を以て照明する際には此収差は大した障碍とならない、何となれば此際には照明に向つて充分なる大きさの光源が存し従ふて光線は種々の方向から物體に進入するからである。之れに反して小なる光源を使用する際例へば顯微鏡寫真撮影に用ひらるゝ如きものに於ては光源の像を物體面に明確に結像せしむる爲めに良く矯正せる集光鏡を用ひねばならぬ。ツァイス會社は此目的に一四耗の焦點距離一・〇の開數を有するアクロマート式集光鏡(第八十一圖)を製作する。其他同會社のアブラナート式集光鏡(第八十二圖)は球面収差を矯正し且つ正弦要約に適應せる點に於て完全なるものである、此者は一・四〇の開數を有し三個のレンズより成る、其内上二個は之れを外づす事が出来る、然る時は〇・四〇の開數を有するアブラナート式レンズを得べし、此者は單獨に小なる開數を有する對物鏡と共に使用して便である。アブラナート式集光鏡はアクロマート式集光鏡と同様にアッペ氏の照明装置の椎鞘内に挿入固定さる。此際照明光束の調節は集光鏡のレンズ間に存する虹彩遮光器を用ひ、照明装置に屬する虹彩遮光器は開放せ

圖三十八第



る儘とす。此集光鏡は視野を平等に照明するから射影又は顯微鏡寫真撮影に適する、色彩収差に對して矯正されてないけれ共單光色を用ふる際には障碍とはならない。ライツ會社は顯微鏡寫真撮影用として球面収差及び色彩収差を矯正せるアブラナート式集光鏡(八一圖)を製造す(第八十三圖)。

液浸集光鏡



圖四十八第

集光鏡の前端レンズと載物硝子との間の媒質が空氣なる時は乾燥集光鏡と云ひ、其媒質が液體(油又は水)なる時は液浸集光鏡と云ふ。第八十四圖に於ては此二つの場合に於ける集光鏡の開數の關係を示めす。ABを光軸とし右半側に於ては集光鏡(K)と載物硝子(Ob)の下面とはツェーデル油Z(n=1.515)にて結合せられ、物體Oは屈折率 $n=1.515$ なる封鎖劑(Es)中にありとす、然る時は物體と集光鏡間の總ての媒質の屈折率が同一であるから均等液浸が成り立ち〇〇なる光線は屈折されずにOに達す、此場合には集光鏡の開數は $n \parallel n \sin u$ (二)である。圖の左半側に於ては載物硝子と集光鏡との間に

空氣(三)存し、物體も亦空氣中に存するとするならば光線の進路は變じて次の如くなる、即ち光軸

に對してCOと同一の傾き(u)を有せる光線CDは集光鏡より進出せずDに於て全反射さる、前にも述べた様に硝子と空氣間の限界角は四一度であるから之れよりも大なる角度を有する總ての光線は全反射さるゝのである。之れに反しEFGHOなる光線は集光鏡より空氣中に入る際にεなる角を造るから此場合には集光鏡の開數は $a_1 = n \sin u'$ (2)である。屈折法則に従ひて

$$\frac{\sin u}{\sin u'} = n, \quad \sin u = n \sin u'$$

であるから(2)より

$$a_1 = n \sin u' = \sin u \dots (3)$$

となる。此式を(1)なる式と比較すれば

$$\frac{a_1}{a} = \frac{\sin u}{n \sin u} = \frac{1}{n} \dots (4)$$

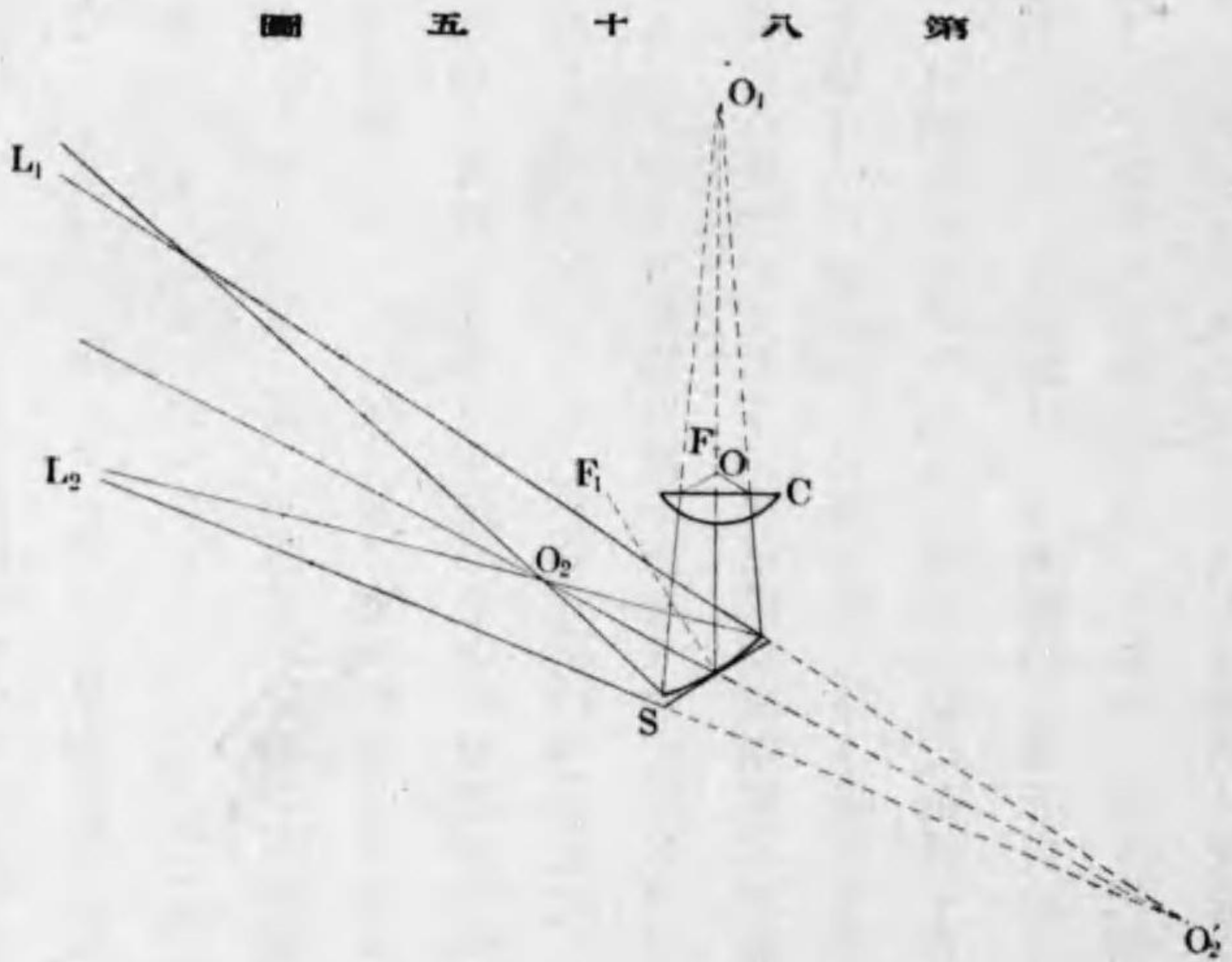
を得。即ち集光鏡の開數は物體と載物硝子並に集光鏡と載物硝子との間に屈折率の強い液の代りに空氣が存すればn倍丈け減少する。方程式(3)より集光鏡の上方に空氣の存する場合の集光鏡の開數は一より大とはならない、何となれば $n \geq 1$ 。としても $\sin u$ は高々1に等しいからである。之れに反して空氣よりも屈折率の高い媒質が存する時には一より大となる。浸液として水を用ふれば其開數は理論上一、二三迄、ツェーデル油を用ふる時は一、五―五迄高まる理である、併し實際には一、四が最高値である。

集光鏡を液浸として用ふるには始め齒車を用ひて集光鏡を下げ載物硝子を裏返し物體に相當せる部

に一滴の浸液を滴下し速かに反轉せしめ載物机上に載せ集光鏡を上げ浸液と接觸せしむれば宜い。

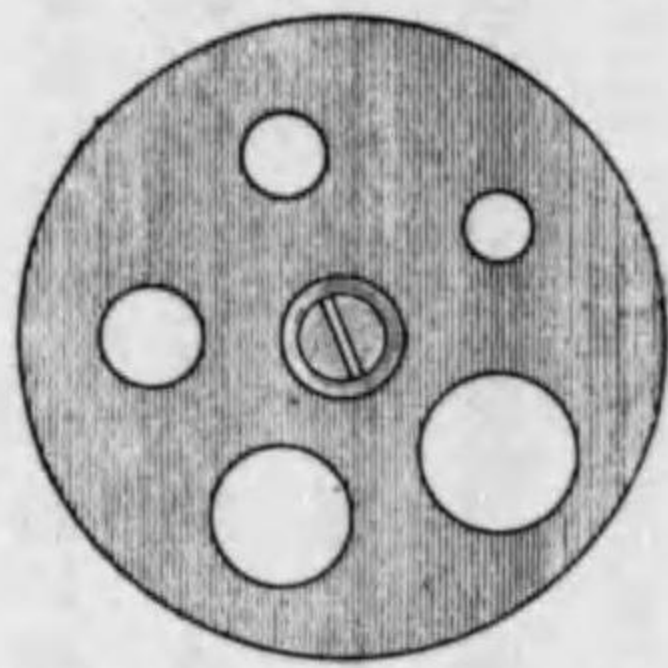
前にも述べた様に集光鏡は齒車によりて之れを物體面に近づけ又は之より遠ざける事が出来る様にしてある。かゝる装置の目的は光源の像を精確に物體面に結ばしめ又之れによりて種々の厚さの載物硝子を用ふる際に於て各硝子に適應する様に調節して照明光束の開數を充分に利用する事が出来る、殊に此事は高度の開數の對物鏡を用ふる際に於ては注意して行はねばならない。又集光鏡はアッペ氏の照明装置に附屬せる椎鞘内に挿入し螺旋によりて固定し又は之より抜き去る事の出来る様にしてあるのは弱廓大の對物鏡を用ふる爲め之れを要しない場合又他の集光鏡と交換する時に必要であるからである。

顯微鏡の構造



次に集光鏡を用ふる際には平面又は凹面反射鏡の内、何れを選ぶべきかの問題が起る。前にも述べた様に一定限度の廣がりをも有する光源を用ふる際には凹面反射鏡の方が平面反射鏡よりも大なる開角を與へるのである。之れに反して反射鏡と物體との間に集光鏡の存する時は凹面反射鏡は光源が甚だ近く存する場合に於てのみ有利であつて普通の場合には平面反射鏡の方が大なる開角を與へる。第八十五圖に於てCを集光鏡としSに於て平面及び凹面反射鏡が存すると假定すれば L_1 なる光源より來れる光線は平面反射鏡によりて反射せられ O_1 の方に向ふ、而して此光束は集光鏡によりて其焦點距離Fに近き部にあるOに集まる。之れに反してF₁なる焦點距離を有する凹面反射鏡によつて結像せる O_1 の像は其焦點距離の近部に於て O_2 に存する。之れによつて見れば光源が O_2 の近部に存すれば集光鏡の全開角を充たす爲には凹面反射鏡は平面反射鏡よりも光源の大きさは小さくて足る理である。周縁光線は O_2 に於ては O_1 に於けるよりも大なる角を造るから光源が遠くにあるならば同一光束を與へる爲には凹面反射鏡を用ふる時は平面反射鏡を用ふるよりも大なる發光面を要する理である。又集光鏡を用ふる際には觀察すべき物體Oは集光鏡の上焦點に近く持ち來す事を常とするから、O點に於て結合する光線は集光鏡によりて屈折せらるゝ以前に於ては光軸と殆んど平行して走るのである、故に此際には凹面反射鏡によりて大なる開角の光束を造る必要がないから平面反射鏡を用ふるのが合理的である。

圖六十八第



圖七十八第



圖八十八第



顯微鏡の構造

遮光器。反射鏡又は集光鏡より來る光束の全部を作用せしむる事が望ましくない場合には必要に應じて之れを加減する爲めに種々の遮光器を用ふる。遮光器には板狀遮光器、圓筒遮光器及び虹彩遮光器の三種がある。

板狀遮光器(第八十六圖)は最も簡單なるものであつて金屬製の圓板に大小種々の圓孔が穿つてあつて廻轉の際に各圓孔が順次に丁度載物机孔の中心に來る様に圓板の中心が載物机の下面に固定されてある。

圓筒遮光器(第八十七圖)は短かき圓筒であつて其上端に種々の大きさの孔を有する金屬板を箆め之れを下方より載物机孔の下方に取り附けてある撥條性の椎鞘内へ挿入し、其内に於て上下に移動せしめ之れによりて照明に用ふる光量を加減するのである。即ち上ぐるに従ひて光束は大となり下ぐるに従ひて狭くなる、此點に於て此遮光器は板狀遮光器に優つて居る。板狀遮光器及び圓筒遮光器は通常小型又は中等大の顯微鏡に取附けられてある。

虹彩遮光器(第八十圖、第八十八圖)は取扱上最も便利なものであつて集光鏡を有せざる小型又は中等大の顯微鏡に取附けてある事もあるけれども共多

くは集光鏡と共に用ひられる。虹彩遮光器は多數の鎌状の薄き金屬板より成り金屬性の小箱中に藏せられてある、各鎌状板の一端は固定され他端は金屬輪に存する切れ目に嵌入して居る。今此金屬輪を遮光器の外縁に現はれて居る把柄によりて動かせば各鎌状板は同時に運動する、即ち把柄を右方に動かせば總ての鎌状板は中央の方に進み之れによつて界せられて居る圓孔は益々小となり、之れを反対の方向へ動かせば圓孔は大となり、かくして種々の大きさの孔を容易に且速かに造る事が出来、圓筒遮光器に於ける如く一々交換する手数が省ける。虹彩遮光器はアッペ氏の照明装置に於ては反射鏡と集光鏡の間又は集光鏡のレンズ間に存す。

アッペ氏照明装置の遮光器を載せて居る金屬輪を遮光器支持器と名ける(第八十圖d)。此者は齒車によりて光軸と直角の方向即ち水平に動かす事が出来、之れによりて遮光器孔を光軸外に持來たし物體に種々の方向から斜走光束を送る事が出来る、かゝる照明法を傾斜照明法と名ける。之れに對して顯微鏡の光軸の方向に照明光束を送る照明法を中心照明法と云ふ。傾斜照明法の解像力に對する意義に關しては後條に於て述べる事とする。其他遮光器支持器の上には磨硝子、濾光板、ニコル氏のプリスマ、中心遮光器等を載せる事が出来る。

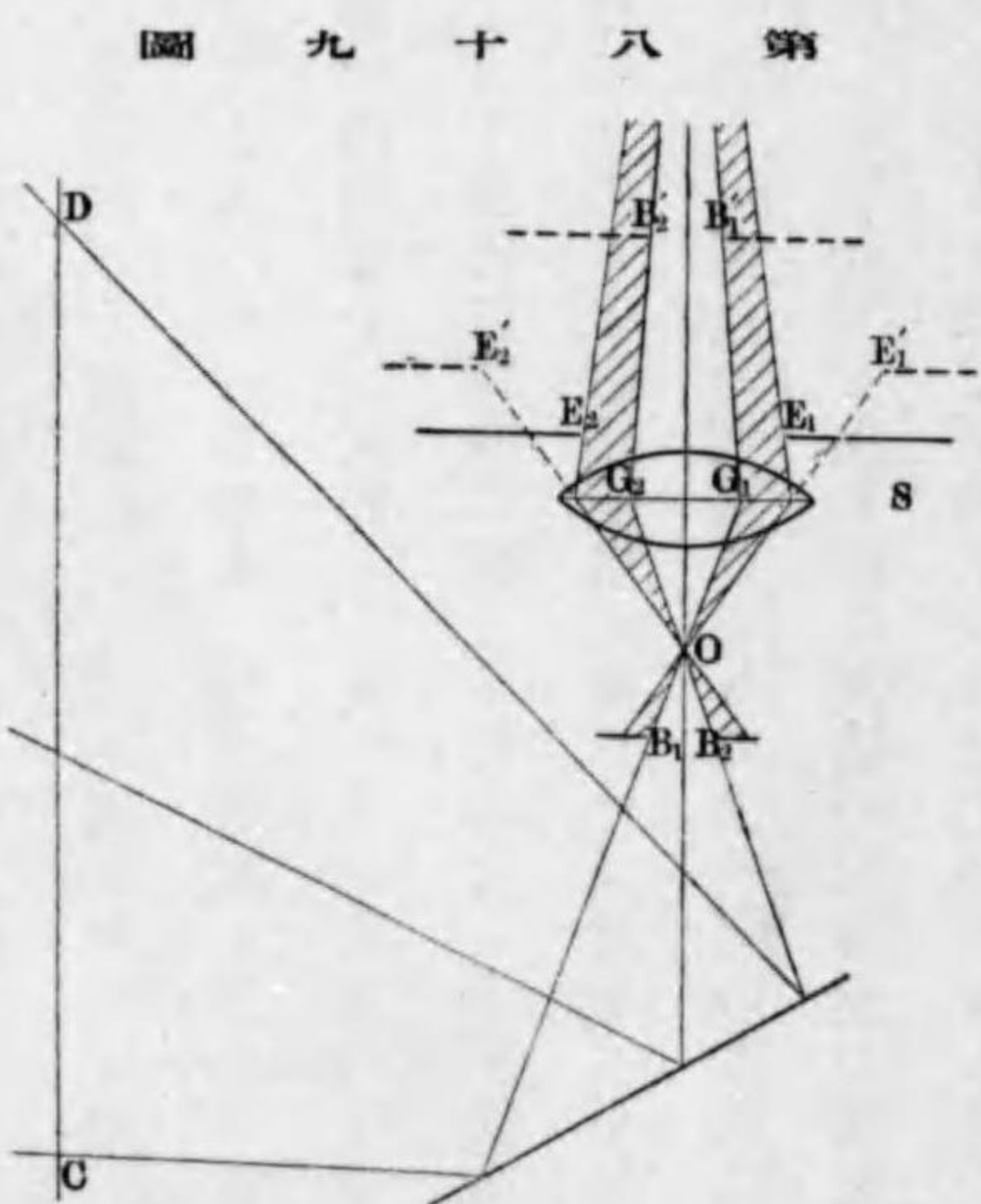
照明装置の準焦及び其開角の選擇。前にも述べた様に遮光器孔の廣さは使用せる對物鏡に適應せねばならぬ、即ち照明光束の開數と對物鏡の開數とは一致せねばならぬ。此事は鏡檢に際してのみなら

ず顯微鏡寫眞撮影の場合に必要である。顯微鏡寫眞撮影に用ふる集光鏡には虹彩遮光器の孔の廣さを指示する目盛りを備へて居るものが便利である。遮光器孔が廣過ぎる時従ひて照明光束が大に過ぎる時は物體の組成分によりて不規則なる廻折現象が起り像は互に相重さなり浮べる如くなる、此現象は

殊に高度の開數を有せる乾燥系に於て著明であつて甚だしき時は像は全く消失する様になる。一般の規則として照明光束の開數を對物鏡の開數よりも大としてはならない。

次に遮光器の作用を第八十九圖によりて説明すべし、此際對物鏡、反射鏡及び光源は共に大なる開角を與へる事が出来るものと假定する。此場合に直接に作用する光束を得るには圖に示せる如く物體點Oより遮光器孔の縁に走る光線 OB_1 、 OB_2 を兩方面に追及すれば

明かである、光源の方に延長すれば其CDなる範圍に相當し、對物鏡S内へは G_1OG_2 なる角を以て進入し、遮光器孔 B_1B_2 の像を $B_1'B_2'$ に造り以て對物鏡より外出する光束を限界して居る。此圖によりて見れば遮光器を使用して光束を狭むれば對物鏡の開角の一部のみが作用し、圖に於て陰影線を以て



第八十九圖

示めせる部は作用せず。後にも述べる様に此暗空を通して物體の組成分によりて造られ且結像に向つて重要な意義を有して居る廻折光束が進行するのである。之れによりても顯微鏡的結像は當該對物鏡の開數が大となるに従ひて完全となるけれ共、故意に照明光束の開角を遮光器によりて狭めねばならぬと云ふ事が理解される。

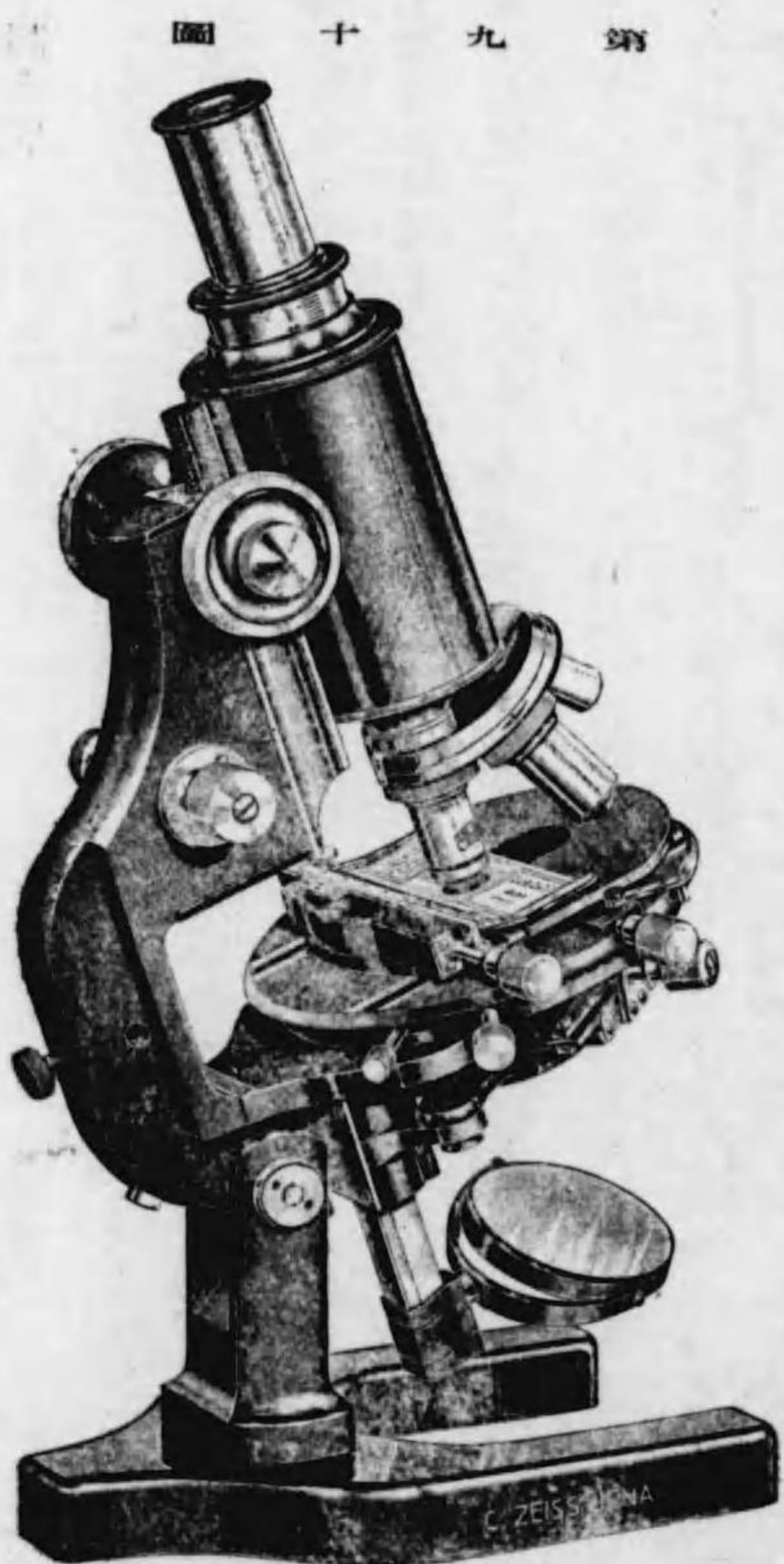
染色せざる標本に於ては物體は其屈折力の差異によりて互に且其物體の存する媒質より區別さるゝのである。かゝる標本に於ては遮光器孔は尙一層狭くする必要がある、然らざれば構造を明確に見る事が出来ない。又餘りに狭くする事も不可である、此場合には標本中の組成分は二重縁所謂廻折縁によりて圍まれ鏡檢に際してのみならず、顯微鏡寫眞撮影に際して障りとなる。又一方解像する事の困難なる多くの微細構造に向つては餘りに小なる開角の照明光束を用ふる事は出来ない。染色せる標本に於ては構造の認識さるゝのは色彩の差異に依るのであるから廣角の光束を用ひて照明するが良い、併し此場合でも集光鏡の開數が對物鏡の開數を超過してはならない。之れに反して染色物體を餘りに狭き光束を以て照明する時は光の屈折に基く廻折現象が起り色彩の區別が次第に消失するに至るものである。

第二 器械的裝置

顯微鏡の器械的裝置を總稱して鏡基と名ける。精確なる顯微鏡像を得る爲めには光學的裝置の善良なる事を要するは勿論であるが實地の作業上に於ては器械的裝置の良否が重要な關係を有して居る、即ちレンズ系が精確に準軸さるゝ事及び物體を最も適當に照明する事を可能ならしむるは勿論、弱廓大及び強廓大の對物鏡を速かに且つ正確に交換し得べき裝置、標本の種々の高さに於ける成分を速かに且つ明確に順次に準焦する事の出来る裝置、若くは載物硝子を徐々に移動せしめ一定の箇所を視野の中央に持ち來たす様にする裝置等が必要である、而かも是等の作業が速かに、便利に且つ精確

に行はねばならない。

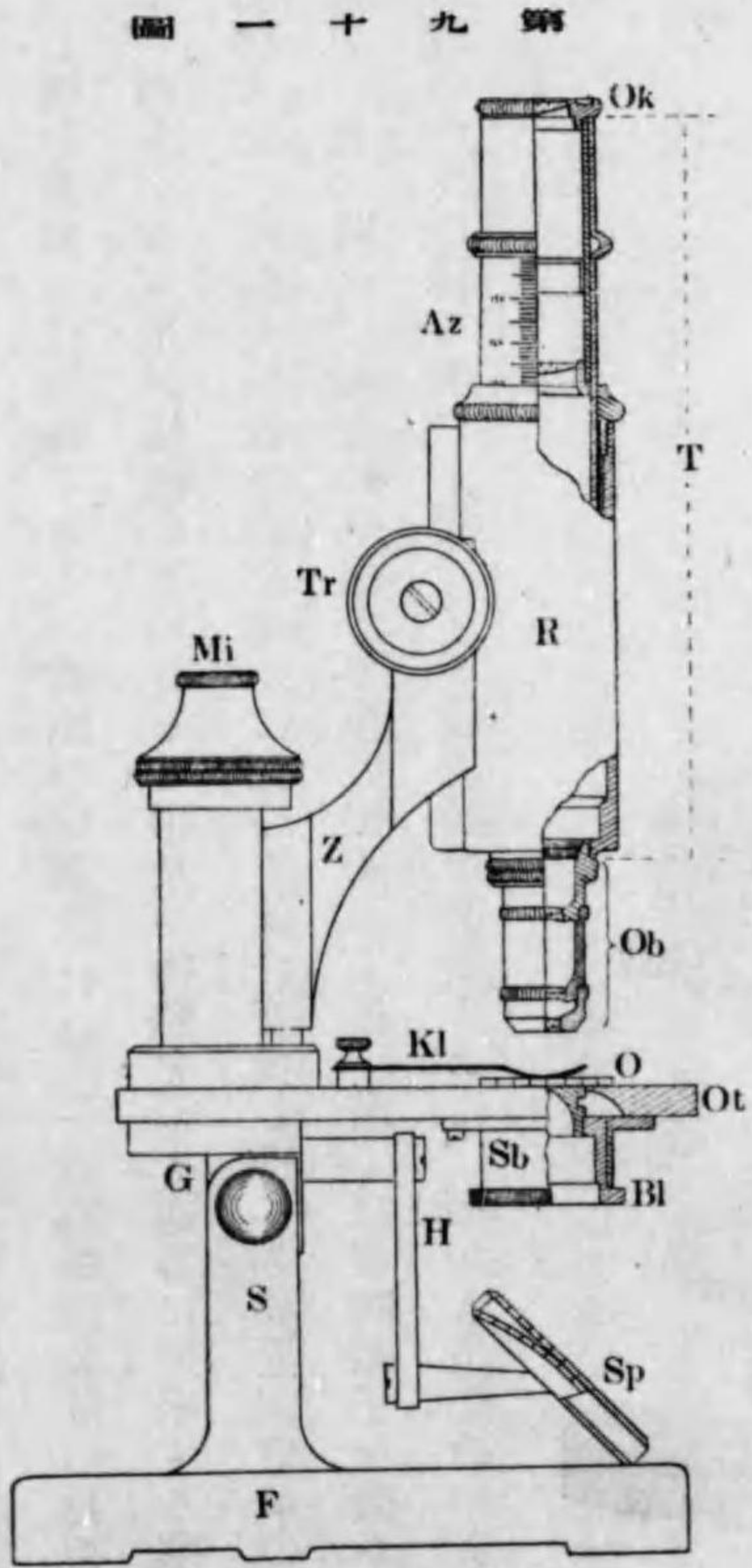
現今販賣せらるゝ大型の顯微鏡(第九十圖)に於ては上記の目的に向つて殆んど遺憾なき迄完全に裝置されてある。下には器械的裝置を臺足、柱、載物机、鏡筒、準焦裝置等に分けて述べる(第九十



顯微鏡の構造

一、臺足及び柱

臺足Fは全顯微鏡を支持する基礎となるものであるから顯微鏡の直立位に於ては勿論、其上部を屈曲せしめても顛倒しない様な大きさと重さを有する事を要す。一般には馬蹄鐵型の臺足が用ひられる。實驗臺の不平に基く動搖を避ける爲めに臺足の兩前端と後端とは少しく下方に突出し三點が机上に接觸する様にしてある。又實際に三脚形の臺足を有する顯微鏡もある。



柱(S)は臺足と堅く結合し之より鉛直に行する強き金屬柱であつて其高さは臺足と載物机との距離に一致し載物机の下方に於ける照明装置及び遮光装置の挿入及び其處置に便なる丈けの高さを有す

べく、高過ぎる事は無益である。中等大及び大型の顯微鏡に於ては柱の上端に關節(G)存し之れによりて顯微鏡の上部を斜めに屈曲し坐位に於て長時の鏡檢に便ならしめてある。又顯微鏡の上部を柱と直角に屈曲する事の出来るものは水平位のカメラを用ひて顯微鏡寫眞を撮影する際に必要である。

二、載物机

載物机(O)は鏡檢すべき物體を載せる机であつて大小種々の載物硝子より全培養板を載せる事の出来る様に載物机の大きさにも差異がある。載物机は金屬製又は硬護謨製であつて其表面は平坦で黒塗りにされてある、其上面は鏡筒の軸と直角をなし其中央に載物机孔を備へ下方より來れる光線を通過せしむる。又載物硝子(O)を固定する爲めに載物机の兩側には鋼鐵より成れる撥條性の壓子(C)が取附けてある。小型の顯微鏡に於ては載物机の下側には遮光器(E)を挿入し得べき撥條性の椎鞘(D)存し、反射鏡支持器(H)も亦机の下面に固定されてある。中等大及び大型の顯微鏡に於てはアッペ氏照明装置を齒車の作用によりて載物机より下方に鉛直に突出せる金屬柱に沿ふて上下せしめる事が出来る。

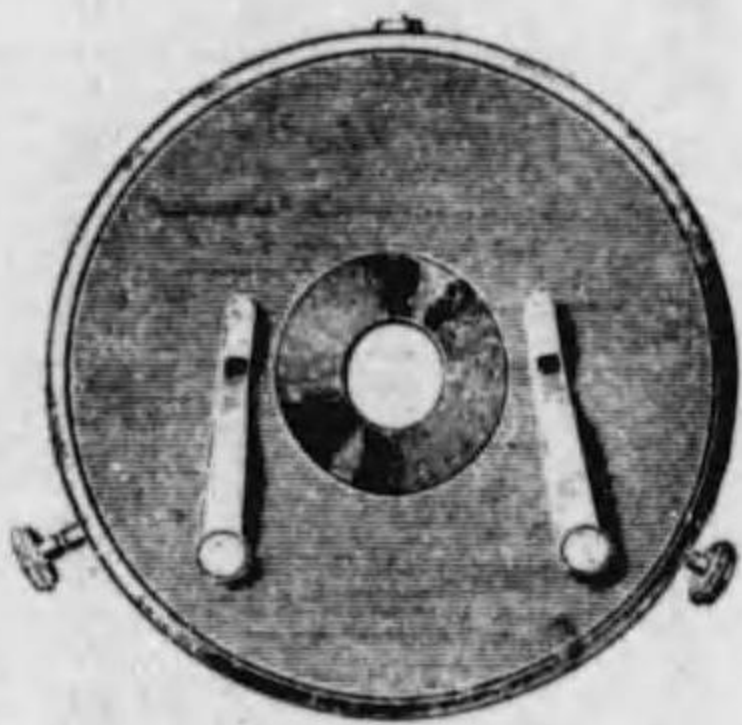
弱廓大に於ては載物机の上に持ち來せる標本を動かすには手にて行ふて充分であるけれ共強廓大を用ふる際には手にて動かす事は餘りに粗雑であるから種々の方向に圓滑に移動せしめる事の出来る器械的装置を用ふる方が便利である、かゝる装置を有する載物机を可動性載物机と名ける。準軸装置を

備へたる載物机、廻轉載物机、十字載物机等は皆之れに屬するものである。

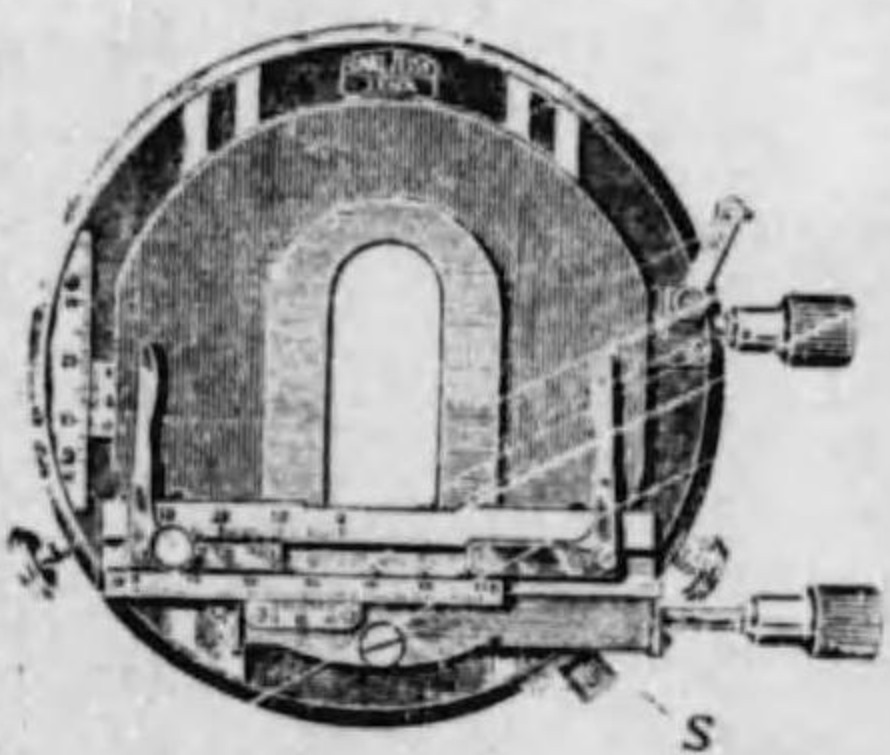
準軸装置を備へたる載物机 に於ては二個の螺旋(準軸用螺旋)と一個の撥條性の對壓子とによりて載物机を約一〇耗丈移動せしめる事が出来る。強廓大に於ては之れで充分である。又此装置によりて載物机を準軸する事も出来る。

廻轉載物机。多くの研究に向つては物體を鏡檢しながら載物机を顯微鏡の鉛直軸の周りに廻轉せしむるの必要のある事がある、例へば物體を種々の方向より傾斜照明せんとする際に於ける如し。顯微鏡の各部は何れの對物鏡に對しても良く準軸されたとは限らないから殊に強廓大の對物鏡を用ふる際に載物机を廻轉せんとする時は前以て之れを準軸する事が必要である。準軸の操作に關しては後に述べる。廻轉載物机の上部は圓形の金屬板より成り金屬輪内を滑動し螺旋によりて固定する事が出来る。又角度を計測する際は偏光を用ひて研究する際には廻轉載物机の周縁に目盛りが附してある方が便利である。第九十二圖は準軸装置を備へて居る廻轉載物机を示す。

圖二十九第



圖三十九第



に述べる。廻轉載物机の上部は圓形の金屬板より成り金屬輪内を滑動し螺旋によりて固定する事が出来る。又角度を計測する際は偏光を用ひて研究する際には廻轉載物机の周縁に目盛りが附してある方が便利である。第九十二圖は準軸装置を備へて居る廻轉載物机を示す。

十字載物机(第九十三圖)に於ては精巧なる螺旋と齒車とによりて載物机を互に直角をなす方向に凡そ五〇耗迄移動せしむる事が出来る、而して之れにノニウスを備へたる二個の目盛りが附してあるから標本内に於ける一定の箇所を相當する目盛りを記して置けば後に再び同一箇所を容易に見出す事が出来る。十字載物机は前以て顯微鏡に備へ附けられてある場合もあるけれども其普通の載物机上に任意に取附ける事も出来る。大型の顯微鏡に於ては十字載物机は水平に廻轉する事が出来る様にしてある。

三、鏡筒

鏡筒(第九十一圖R)は鏡筒支持器(Z)を以て載物机(O)と結合されたる圓筒であつて其下端には對物鏡(O)又は交換装置を螺入する事が出来、其上端へは對眼鏡(O)が挿入せらる。鏡筒の内面は光線の反射を避ける爲めに黒塗りにされ且同一目的に一個の遮光板が取附けてある。鏡筒の長さ即ち筒長は小型の顯微鏡に於ては一定にしてあつて自由に伸縮する事が出来ないのが普通である。鏡筒の長さはツァイス會社製の顯微鏡では一六〇耗、ライツ會社製のものでは一七〇耗と規定されてある、此長さを當該顯微鏡の器械的筒長(T)と云ひ對物鏡が螺入さるべき鏡筒の下端から對眼鏡の挿入さるべき其上端に至る長さである。中等大及び大型の顯微鏡では通常鏡筒は上方へ引出す事の出来る内筒(A)を備へて居る、此者の側面には耗の目盛りが刻してある。此内筒は次の様な場合に必要である。第

一には當該顯微鏡に規定されてある筒長を定める爲めである、中等大及び大型の顯微鏡に於ては内筒を鏡筒内へ挿入し切る時は鏡筒の長さは當該顯微鏡に規定されてある長さよりも短くなるから内筒を其側面に於ける目盛りが一六〇耗又は一七〇耗になる迄引出す事を要す。此際注意すべきは交換装置の附屬せる場合には其厚さを筒長に算入する事である、例へばツァイス製の顯微鏡に於ては交換装置の厚さは約八耗であるから之れを一六〇耗より差引きて一五二耗の所迄内筒を引出せば良い、併し近來製造のツァイス會社の顯微鏡に於て交換装置を有する大型のものには交換装置が筒長に算入せられてあるから單に一六〇耗の目盛りのある所迄圓筒を引出せば宜いのである。各顯微鏡に規定されて居る筒長は之れを嚴格に守らねばならない。殊に強き對物鏡(開數 \cdot 八五以上)を使用する時に於て然りである。前述せる結像の障礙即ち球面収差、色彩収差等は唯一定の物體距離に於て最も良く矯正されてあるから今若しも強廓大に於て規定の筒長よりも著しく差異ある筒長を用ふる時は物體距離は變化し結像の障礙が起るのである。第二に弱廓大の對物鏡を用ふる際には筒長の差異に基く結像の障礙は少ない、のみならず内筒を引出す時は像の廓大度を増加せしめる事が出来る、之れ對物鏡は對眼鏡より遠ざかり爲めに兩側の焦點が相離れるからである。第三に矯正輪を備へて居ない強き乾燥系又は水浸系を用ふる際に覆蓋硝子の厚さの過不足によりて起る結像の障礙を矯正する爲めに筒長を伸縮せしむ、即ち覆蓋硝子が厚過ぎる時には筒長を少しく短縮し、薄過ぎる時には之れを少しく延長せしむるのである。

鏡筒の上口から對眼鏡が挿入せらるゝ際對眼鏡の上端の突出せる縁が鏡筒の上縁によりて支へらる。補正對眼鏡に於ては其構造を異にするにも係はらず同一の光學的筒長を保たしめる爲めに對眼鏡の外表面には種々の高さの金屬輪が取附けてある。

對物鏡を鏡筒に固定するには小型の顯微鏡に於ては單に之れを其下端に螺入すれば宜い。多くの會社は對物鏡の螺旋の外直徑を大凡そ二十耗させる英國標準螺旋を採用して居るから是等の會社の製造せる對物鏡は何れの鏡基に對しても使用する事が出来る。中等大及び大型の顯微鏡では通常強弱種々の對物鏡を速かに且つ容易に交換し得べき装置が附してある、之れを交換装置と名ける。之れを用ふれば一々對物鏡を螺入する手数が省ける。交換装置には三種類がある廻轉交換器、滑道交換器及び鉗子型交換器之れである。

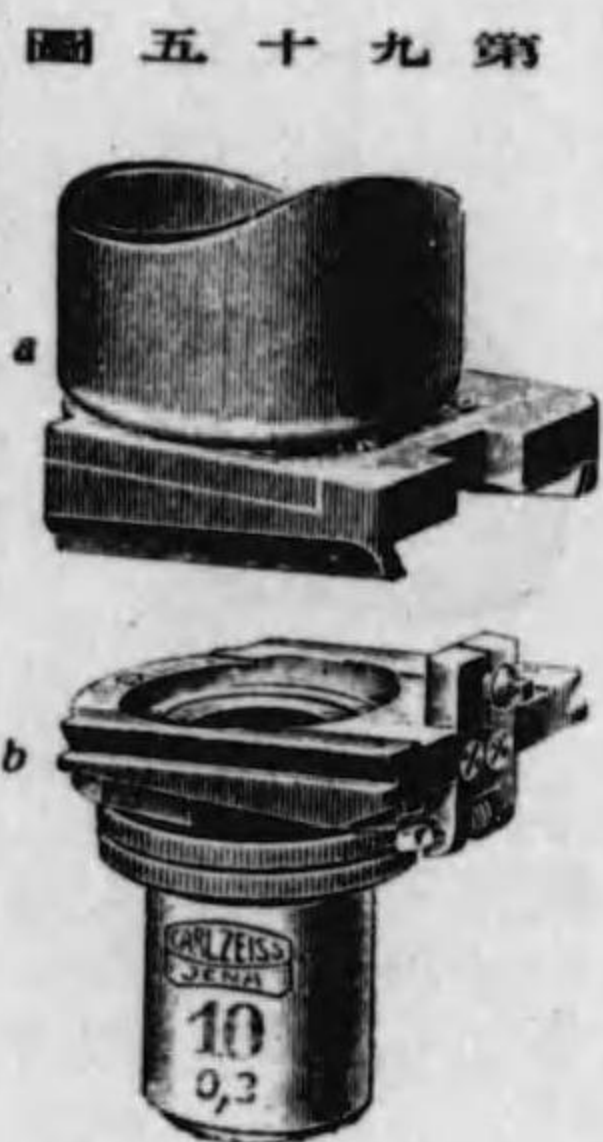
圖四十九第



廻轉交換器(第九十四圖)は普通用ひらるゝものであつて二個の金屬板より成り共通の中心の周りに廻轉する。一方の板は鏡筒の下端に螺入され、他方の板には二個、三個又は四個の對物鏡に適合すべき雌螺旋を有して居る。而して此兩板の廻轉中心は鏡筒の軸の外に在つて對物鏡の螺入されてある板を廻轉すれば對物鏡の光軸を容易に顯微鏡の光軸に一致せしめる事が出来る。弱廓大の乾燥系は強廓大

のものよりも大なる物體距離を有して居るから始め弱廓大の對物鏡にて準焦せる後、廻轉交換器によりて強き乾燥系と交換しても大體に於て當該對物鏡に對する物體距離が保たれてある、故に交換せる後唯測微螺旋を用ひて少しく準焦すれば像は明確に現はれるのである。

滑道交換器(第九十五圖)は各個の對物鏡に對して正確に準軸する事が出来るから殊に顯微鏡的標本の射影又は撮影に際して應用せらる。此器は鏡筒部(a)と對物部(b)との二部より成り前者は鏡筒の



第九十五圖

下端に螺入され、後者には對物鏡を螺入す。各個の對物鏡に對して各別の對物部を要す。而して一度對物部に存する二個の螺旋を動かして對物鏡を準軸して置けば何時でも其儘で使用出来る事が出る、即ち斯様にして調節せる對物鏡を有する對物部を鏡筒部に挿入すれば準軸されてあるから物體の一部分が常に視野の中心部に現はる。故に一度調節せる時には對物鏡を對物部より成可く外さぬ方が宜い。鏡筒部及び對物部に存する滑道は鏡筒の軸と八四度の角度をなして居る爲め對物鏡を引出す際には標本から遠ざかるから之れを破壊し又は對物鏡の前端レンズを損する恐れがないのみならず交換の際に鏡筒を上方へ振り戻す必要がない、此事は殊に顯微鏡的標本の撮影又は射影に於て非常に便利である。

滑道交換器に螺入されたる對物鏡を準軸するには次の如くする。鏡基の光軸は照明装置又は載物機の廻轉軸にて決定せらるゝものである。第一には廻轉せざるか又は廻轉し且準軸する事の出来る載物機を有して居る場合であつて、第二には廻轉し得れども準軸する事の出来ない載物機を有する場合である。

第一に光軸が照明装置によりて決定せらるゝ場合には先づ滑道交換器の對物部に弱度の對物鏡を挿入し遮光器孔を狭め弱き對眼鏡を用ひて集光鏡によりて其上焦點に結像せる遮光器孔の像に準焦し交換器の對物部に存する二個の準軸螺旋によりて此遮光器孔の像を視野の中央に持ち來たす可し。又載物機が準軸装置を備へて居る時には之れを用ひて載物機の廻轉軸を光軸に一致せしめよ。此目的には準軸硝子を載物機の上に載せ其十字線の交叉點を視野の中央に持ち來し載物機を廻轉する際交叉點は其位置を變せず常に視野の中央に存する時には載物機は準軸されて居るのである。之れに反して交叉點が其位置を變ずる時は載物機は準軸されて居ないのであるから載物機に所屬せる準軸螺旋を用ひて載物機を廻轉せしめて交叉點が常に視野の中心にある様に調節すれば宜い。

第二に載物機は廻轉するけれ共準軸する事の出来ない場合には光軸は載物機の廻轉軸によりて定まるのであるから對物鏡を之れに對して準軸せねばならない。之れを行ふには上記の準軸硝子を用ひて載物機を廻轉しても十字の交叉點が常に視野の中心に在る様に對物鏡を滑道交換器に附屬せる準軸用

螺旋を動かして準軸すべし。

上記の方法によりて弱廓大の對物鏡が準軸されたならば之れを中等強度のものに交換し之れに對して再び同様に準軸すべし。かくして次第に強廓大のものに及ぼすのである。

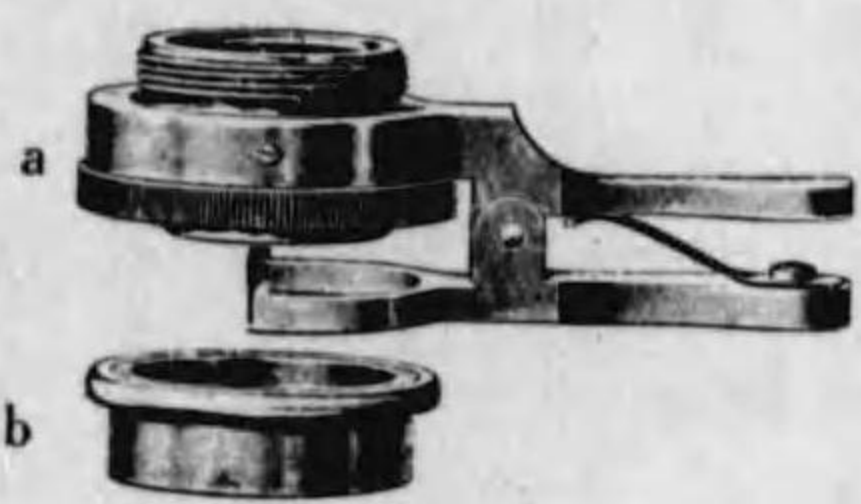
鉗子型交換器(第九十六圖)は多數の對物鏡を屢々交換する事の必要である際に用ひて便利である。

此者は滑道交換器と同様に鏡筒部(a)と對物部(b)とより成り、鏡筒部は鉗子を有し鏡筒の下端に螺入され、對物鏡は對物部に螺入され鉗子によりて鏡筒部に固定せらる。

前にも述べた様に交換装置を使用する際には此爲めに筒長が延長するから當該顯微鏡に規定されてある筒長例へばツァイス製の顯微鏡にては一六〇耗、ライツ製のものにては一七〇耗の筒長を保たしめる爲めに内筒を交換器の厚さだけ引込ます事を要する。

上記せる交換装置は所謂英國標準螺旋を有して居る普通の對物鏡に用ふるものである。併し乍ら之れよりも大なる直徑と長き焦點距離とを有して居る射影系を同様に取扱ふ爲めには廣き鏡筒を有する鏡基を用ふるを要す。而して大なる滑道交換器を用ふるか又は中間輪を介して鏡筒の下端に螺入し或は挿入管の下端に對物鏡を螺入し内筒を抜き去りたる後、鏡筒内へ上方より挿入固定するのである。

第九十六圖



四、準焦装置

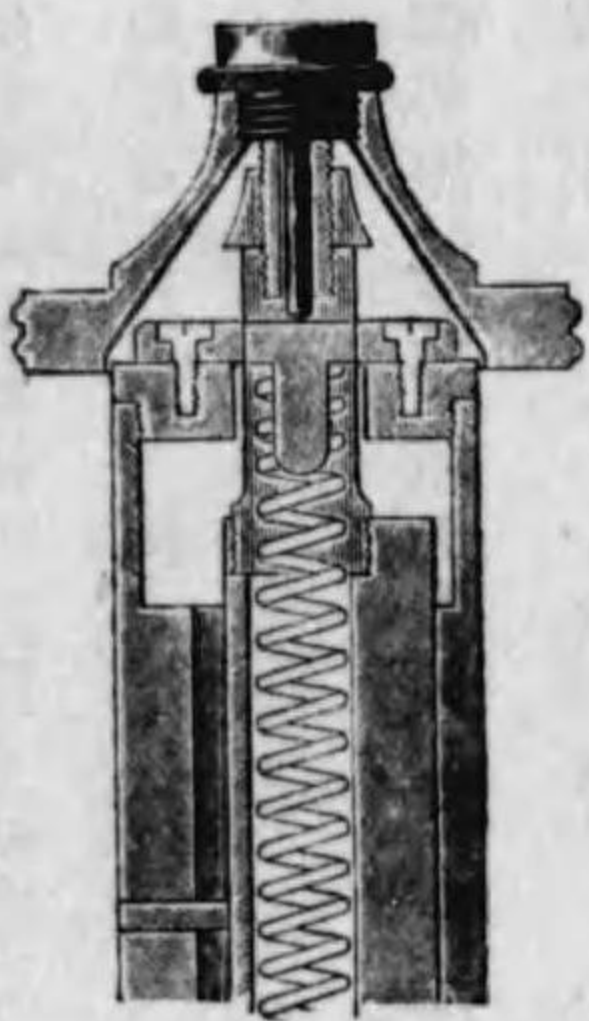
對物鏡及び對眼鏡を以て備へ附けられたる鏡筒を鏡檢すべき物體に近づけ物體が最も明確に現はれる様にする操作を準焦と云ふ。多くの顯微鏡は二様の準焦装置を備へて居る。一を粗大準焦装置、他を微細準焦装置と云ふ。

粗大準焦装置。小型の顯微鏡に於ては粗大準焦装置を有して居らぬものがある。かゝる鏡基に於ては鏡筒は撥條性の外筒内に挿入されてあるから手を以て之れを上下に移動せしめ準焦するのである。此際對物鏡が物體に衝突する事を避ける爲めに鏡筒を廻轉せしめ乍ら徐々に下降せしむべし。中等大及び大型の顯微鏡に於ては粗大準焦は齒車の作用によりて行はる(第九十一圖Tr)、此際鏡筒に固著せる齒を有する金屬柱が鏡筒支持器(Z)に存する溝中を滑動する。此滑動は適度の強さの摩擦を以て行はれねばならない、何となれば餘り摩擦の少い時には鏡筒は自己の重力によりて自から下降するからである。

微細準焦装置。粗大準焦装置を用ひて大體に於て準焦せる像を一層正確に準焦する爲めには特別な装置を用ふ、是れを測微螺旋と云ふ、是れにより又物體の厚さを測定する事が出来るからかく名けるるのである。測微螺旋は顯微鏡の一部として鏡筒支持器内に装置され其構造に従ひて次の如き種類がある。

稜柱測微螺旋 は主に舊型又は小型の顯微鏡に用ひらるゝものであつて(第九十一圖Mi及第九十七圖)、其中軸は三稜柱より成り其上端には大なる鐘狀の把持器と結合せる測微螺旋を備へて居る。三稜

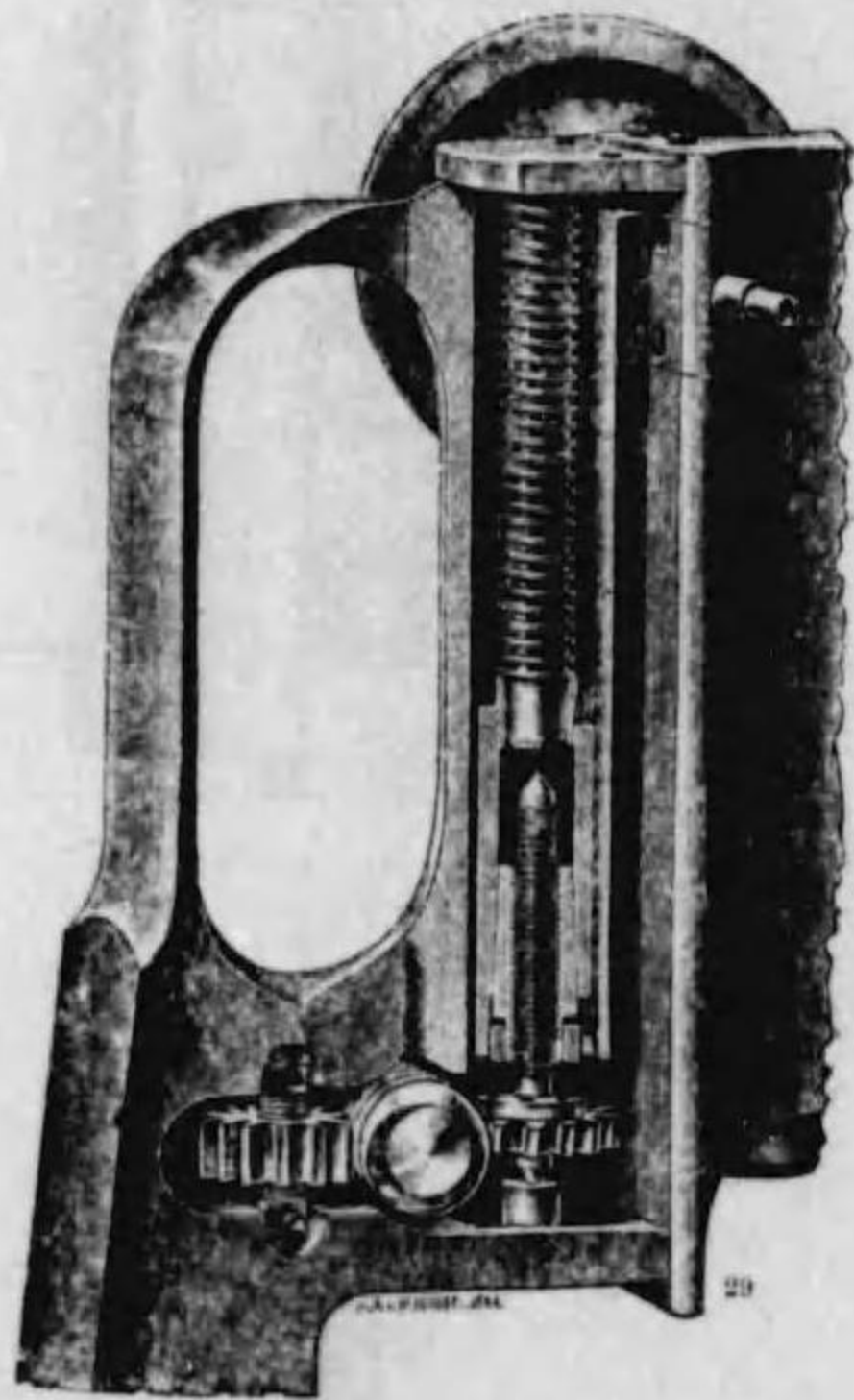
圖七十九第



柱内には管があつて其内に強き螺旋形撥條存し此者は上方に向つて鏡筒支持器(第九十一圖乙)に壓を及ぼすから此者は舉上せられ測微螺旋に固定せられてある鋼鐵製の小桿の尖端に對抗する。故に今測微螺旋を把持器によりて左方へ廻轉する時は支持器は上方に移動し、右方に廻轉する時は下方に移動す、即ち前の場合には鏡筒は上昇し後の場合には下降す。大型の鏡基には測微螺旋の把持器に目盛りが附してあつて〇・〇〇一乃至〇・〇〇二耗迄の厚さの測定を行ふ事が出来る。此測定法に關しては後述すべし。

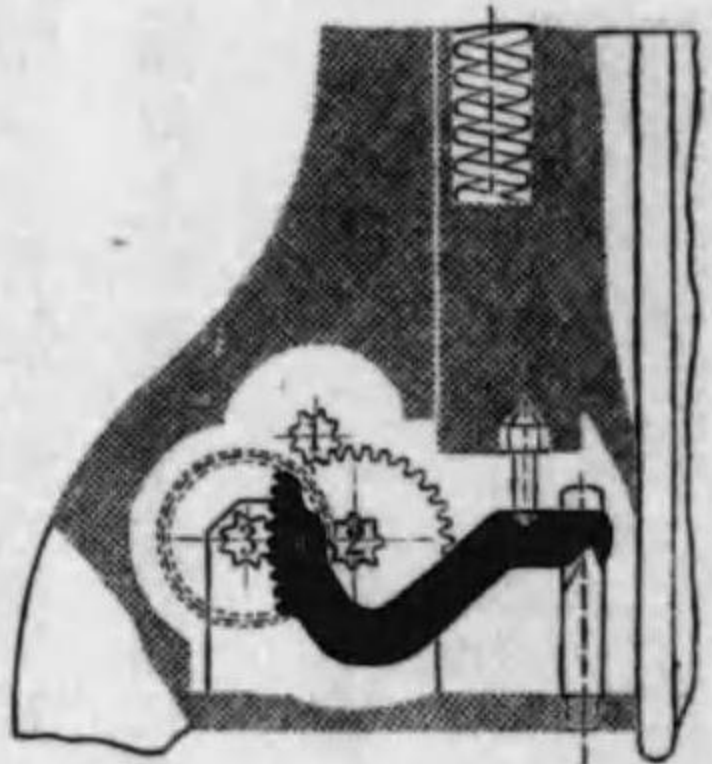
上記せる微細準焦装置に於ては推移運動の靜止する事が甚だ徐々に行はるゝから顯微鏡寫眞撮影には賞用されない。近來粗大準焦装置の直後に於て齒車によりて微細運動が行はるゝ様に装置されたものが使用さるゝに至つた、殊に顯微鏡寫眞撮影又は射影に用ふる爲めに鏡筒を著しく廣くする事の必要なる場合に此構造が選ばれてある。ツァイス會社製の新型の鏡基は有限運動を行ふベルゲル氏の測微螺旋を備へて居る。此装置(第九十八圖)は粗大準焦装置の直後に於て是れと堅く結合されてある。下

圖八十九第



方には一個の齒車存し是れは外方に突出して居る把持器によりて無限に動かされ、此齒車の運動は測微螺旋に傳はり更に三個の鋼鐵片の接觸によりて鏡筒支持器に傳へらる。此測微螺旋の運動は有限であるから其運動の極度に達した時に測微螺旋の損害さるゝ事を避ける爲めに鏡筒支持器の右側方に目標として二條の白線を附し測微螺旋の位置は此白線に對向せる一條の指示線によりて示さる、即ち指示線が二條の白線の中間に存して居る時は螺旋は中間位に在る。之れに反して示指線が上方又は下方の白線に近く存する時は螺旋運動が其終極に近づける事を示めすから此場合には是れを中間位置に調節し返へす事が必要である。又齒車の把持器の周りには目盛りが刻まれてある、其一度は〇・〇〇二耗に相當す。

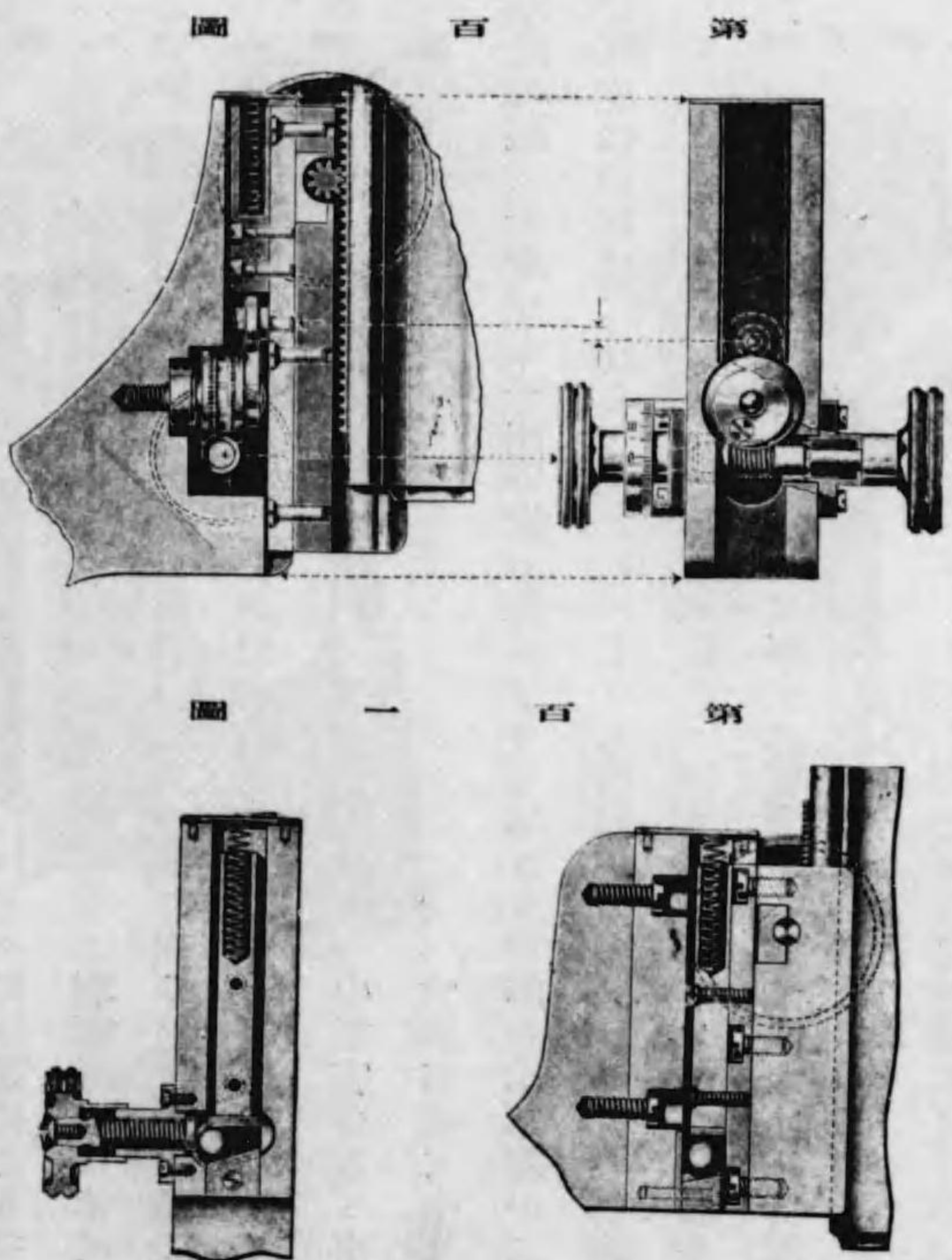
圖九十九第



マイエル氏齒車式微細準焦装置(第九十九圖)は最近ツァイス會社製の鏡基に採用せられたるもので時計仕掛に類せる齒車と槓杆の作用によりて上方螺旋型撥條に對抗して居る。

欠

心臓型測微螺旋(第百圖)はライツ製の顕微鏡に見るものであつて齒車の作用によりて動かさるる心臓形の圓板上に鏡筒支持器に固定されて居る滑車が接觸して居る。心臓形の圓板の周縁は二個の螺旋



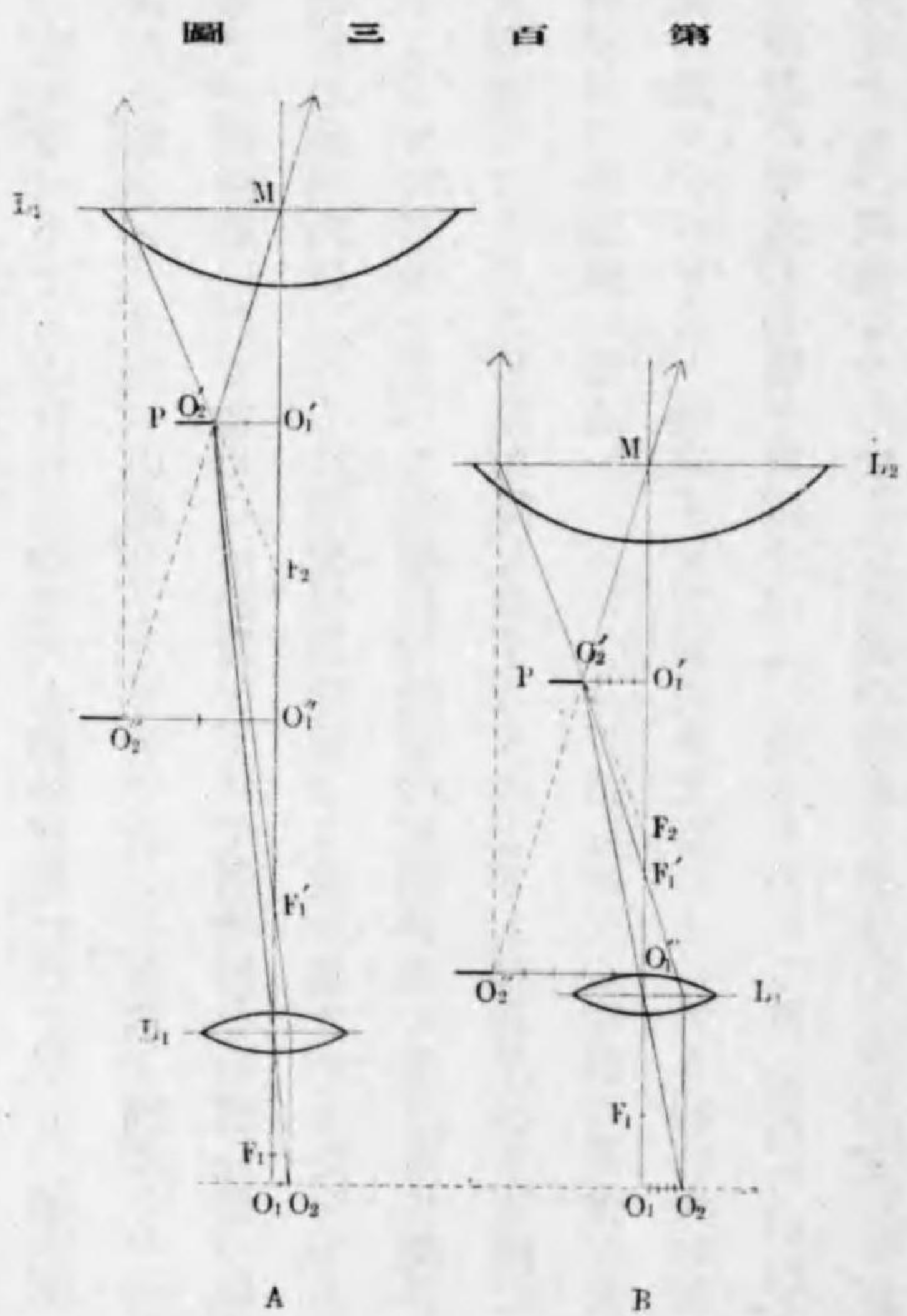
狀曲線を成して居るから此上に行はるゝ滑車の運動は無限である、故に如何に多く齒車を廻轉しても運動が停止すること云ふ事はない。

球狀測微螺旋(第百一圖)はライツ會社製の小型の顕微鏡に取附けられてあるものであつて一個の金屬球が螺旋の作用によりて斜面上に運動し之れによりて鏡筒支持器を上下せしむる装置である。併し其

運動は有限である。

欠

對物鏡の後焦點と對眼鏡の前焦點との距離を「 L 」を以て現はし光學的筒長と名ける。此長さは顯微鏡の廓大力を決定する上に重要なものであるけれども實用上には其代りに器械的筒長 T を使用す。前にも述べた様に弱廓大に於ては鏡筒を長くするに従ひて顯微鏡の廓大力が大となり而かも此際像の明度には大した障礙が起らない。であるから同一の對物鏡と對眼鏡とを用ひて種々の廓大を得る事が出来る。第百三圖Aに於ては筒長を延長せしめたりと假定す。



物體距離はAに於けるよりも大となりPに於て造られたる像 O_1O_2 は廓大度は小であるけれ共物體

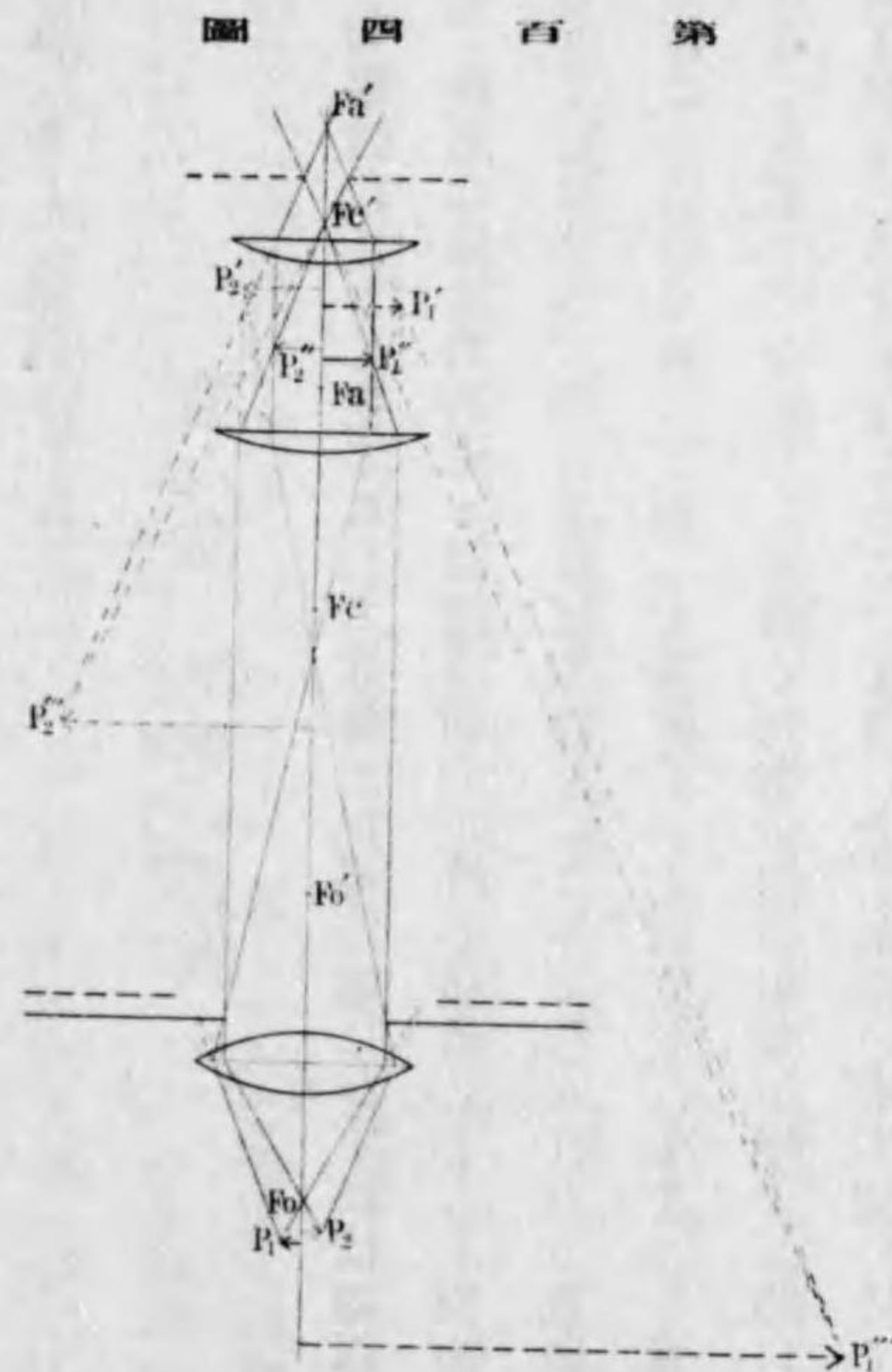
顯微鏡内に於ける光線の進路

の大部分が結像して居る。此像は對眼鏡によりて正視距離に廓大せられるから此虚像に於ても同様に廓大度は小であるけれ共物體の大部分が現はれて居る。第二の場合に於ては物體と對物鏡の前焦點間の距離 MO は第一の場合よりも大である。鏡筒を延ばして對物鏡と對眼鏡との距離を大にすれば像を正視距離に造る爲めには鏡筒を下げて對物鏡を物體に近づけねばならない、何となれば物體が對物鏡の前焦點に近づく程眞像は對物鏡より益々遠ざかるからである。筒長を延長する際、正確に準焦する爲めに移動さるべき距離は對物鏡の焦點距離の異なるに従ひて異なる、短かき焦點距離を有する對物鏡では大なる焦點距離を有するものよりも移動すべき距離は小である。今鏡筒を延長する際に對物鏡及び對眼鏡の集束レンズによりて造られたる物體の眞像が其位置を變ずる事を實驗するには對眼鏡の眼レンズを去り磨硝子を對眼鏡遮光器の上に置き弱廓大の對物鏡を以て明確なる物體例へば對物測微計に準焦し其像を磨硝子の上に造らしめたる後、圓筒を引出す時は磨硝子上の像は不明確となる。此像を再び明像ならしむるには測微螺旋を廻はして鏡筒を一定距離だけ物體に近づくるを要す。強き對物鏡を用ひて此實驗を行へば明確なる像を得る爲には測微螺旋を廻はす事は弱廓大の對物鏡を用ふる時よりも遙かに少なくして足る事を知る、換言すれば對物鏡の焦點距離が短かき時は長き焦點距離を有する對物鏡に於けるよりも像の同一轉位に對して對物鏡と物體間の距離の異動は小である。併し強廓大の對物鏡に於て鏡筒の長さを任意に異動せしめると云ふ事は許されてない、何となれば前にも述べた様に強度の對物鏡は光軸上の或一點に對してのみアプナートの要約に適ふのである。第三百圖に示めす様に鏡筒の長さを變ずる時は對物鏡と物體との距離が變じ従つてアプナート點は物體の外に落つる様になるから成可く缺點の少ない像を得る爲めには像を準焦した後に物體が對物鏡より一定の距離を有して居る様な筒長を當該顯微鏡に與へて置く必要がある。各製造會社の顯微鏡の筒長が常に一定されてあると云ふのは此理に基くのである。強き對物鏡に於ては一極の筒長の異動があつても結像は著しく障礙される。

第六節 準焦の意義

對眼鏡によりて造られたる虚像が正視距離に存すれば顯微鏡は正當に準焦されてあると云ふのである。準焦は通常對物鏡と對眼鏡間の距離の移動によらず對物鏡及び對眼鏡を備へたる全鏡筒の移動によりて行はれる、換言すれば對物鏡によりて造られたる眞像が一定の位置にある時に於て虚像は正視距離にあるのである、而して眞像が一定の位置に生ずべき爲には對物鏡と物體との距離は一定して居ることを要す。今若しも物體と對物鏡間の距離が變ずる時には眞像、從ふて虚像の位置の變ずる事は第四百圖に示せる様である。此圖に於て光軸の兩半側に於て物體 P_1P_2 と對物鏡との距離が異なれりと假定する。 P_1 の眞像を P_1'' として、 P_2 の虚像を P_2''' とす。今對物鏡を物體に近づくる時は (P_2) 對

物鏡によりて造られたる眞像 P_2 は第一の場合の眞像 P_1 よりも眼レンズに近く存するから眼レン



ズによりて造られたる虚像 P_1'' は P_1' の像 P_1 よりも遙かに小である。即ち對物鏡より離れて居る物體 P_1 の像 P_1' は對物鏡に近く存する物體 P_2 の像 P_2' よりも大である。之れによりて見れば鏡筒の移動、從ふて物體の位置の移動が僅かに行はれても眞像 P_1'' 、 P_2'' に於ける位置の移動は著しく、最後に造られたる虚像 P_1'' 、 P_2'' の位置の差異

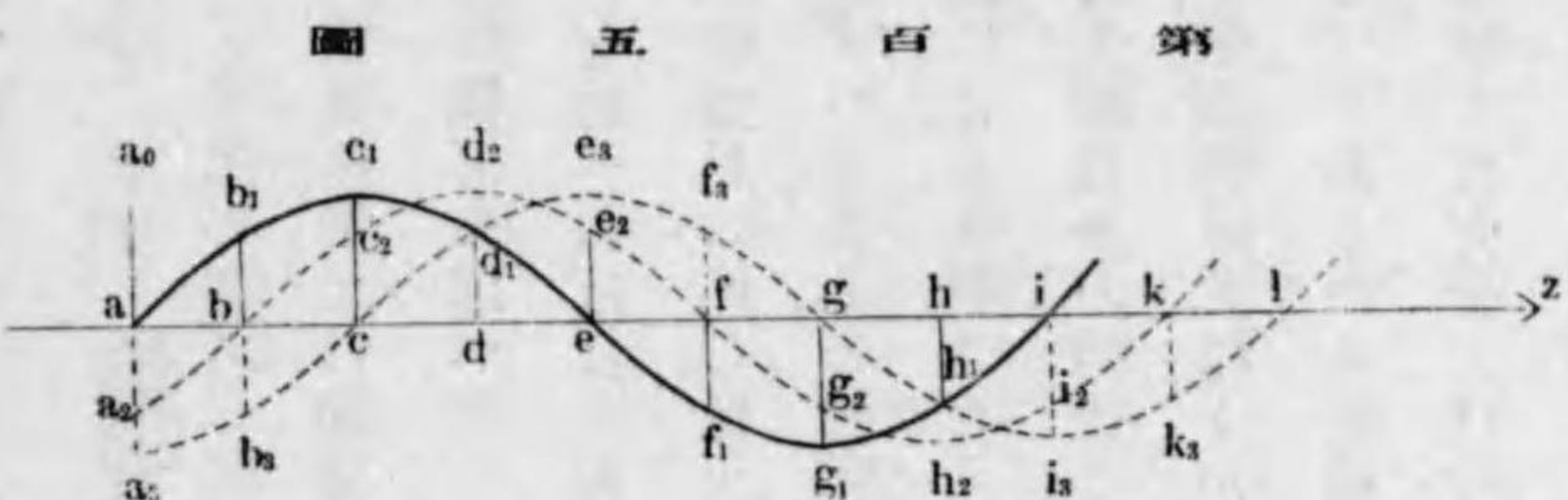
は尙一層甚しい事を見る。 P_1'' なる像は正視距離に存するけれど共 P_1' は近く存するから近視眼には見へるかも知れないが正視眼には見へないから之れを準焦し直す必要がある。同様に始め遠視眼に對して準焦されたる顯微鏡は近視眼又は正視眼を以て準焦する爲めには鏡筒を少しく移動せしめねばならぬ。之れによりても近視眼又は遠視眼を有する者は鏡筒に際して適當なる眼鏡を使用するの要ある事が明かである。

第五章 顯微鏡に依る結像機轉

前條に於ては顯微鏡各部の構造、顯微鏡内へ進入する光束の限界竝に結像に關與する光線の量の決定に關して述べた。次には如何にして結像が行はるか、換言すれば如何にして顯微鏡像が生ずるかを述べねばならぬ。此際行はるゝ光學的機轉を特に顧慮する事が必要であると云ふ理由は顯微鏡像は普通見る所の像又は普通の寫眞に於て像の生ずる方法とは全く異なる法で生ずるからである。鏡檢すべき多くの物體は多少透明なる薄層より成り載物硝子と覆蓋硝子との間に封鎖せられ透射する光線によりて照さるゝのである。微細構造を有して居る物體が透射光線によりて照さるゝ場合の結像は發光體自身の結像とは物理學上根本的の差異がある。顯微鏡的物體は一種の微細なる格子であつて其結像機轉は此格子が反射鏡より來る所の光線の上に及ぼす廻折作用に基づくものと考へる事が出来る。であるから鏡檢すべき物體の結像に關する説明には光線は直線的に走ると云ふ事を假定する幾何光學では充分ではない、寧ろ物理光學說に依らねばならぬ。アッペ氏は始めて顯微鏡像の形成に關して満足なる説明を與へた、此アッペ氏の學說は光の廻折現象を根據として居るから之れを理解する爲めには簡單に光の波動說、光の干渉現象及び光の廻折現象に就きて述ぶる必要がある。

第一節 光の波動説、光の干渉及び光の廻折

發光體は到る所に充滿せる光エーテルを振動せしむ、而して光線は發光體から總ての方向に進行する所の光エーテルの波狀運動なりと考へらる。光の偏光現象によりて明かなる如く光エーテル分子の振動は常に光の進行方向に直角に行はる、即ち光波は横振動を行ふ。第五圖に於て aa_1 を a より z に向つて進む光線と假定する時は休止期に於て aa_1 なる直線上に存する光エーテルは發光體により振動せしめられ或瞬間に於ては $abcd, efgh, i$ なる波動を造るけれども短時間の後運動は k に迄進行しエーテル分子は $abcd, efgh, i, k$ に存す。かくして波動は次第に傳播し恰かも水中に投せられたる小石より波動が水の表面に沿ふて傳播する様である。此際エーテル分子は光線の進行方向に移動せず、光の進行方向である zz_1 と直角をなす方向に運動するものと考へらる。而して或る波動の進行の際に於ては a なるエーテル分子は aa_1 なる距離を二回往復するのである、即ち休止位置に於ける a より a_2 の方に行き次で a に歸り之より a_0 に達し再び a に歸る。此運動は波動の傳播する方向即ち光線の進行方向に直



角をなすから光波は光エーテルの横振動なりと云ふのである。光波に於て同一の振動状態即ち同一の位相に於ける二點の距離例へば、 aa_1 又は aa_2 を光の波長と名け、 λ なる文字にて示めす。振動する分子の休止位置から最も大なる隔離位置迄の距離例へば aa_1, cc_1 等の距離を振幅と名ける。光波は甚だ小なるものであつて且つ其振動は非常に速かであるから吾人の感覺によりては直接に之れを認知する事が出来ないけれ共、光がエーテルの波動であると云ふ事は間接に光波が互に相干渉すると云ふ事實によりて推論する事が出来るのである。

波長は光の色によりて異なるものであるが又光の進行する媒質の性質によりて異なる。次の表は Fraunhofer 氏線に於ける波長であつて大氣中に於て計られたるものである。

フラウンホーフェル氏線	A	B	C	D	E	F	G	H
波長(ミクロンにて現はす)	0.76	0.69	0.65	0.59	0.53	0.49	0.43	0.40

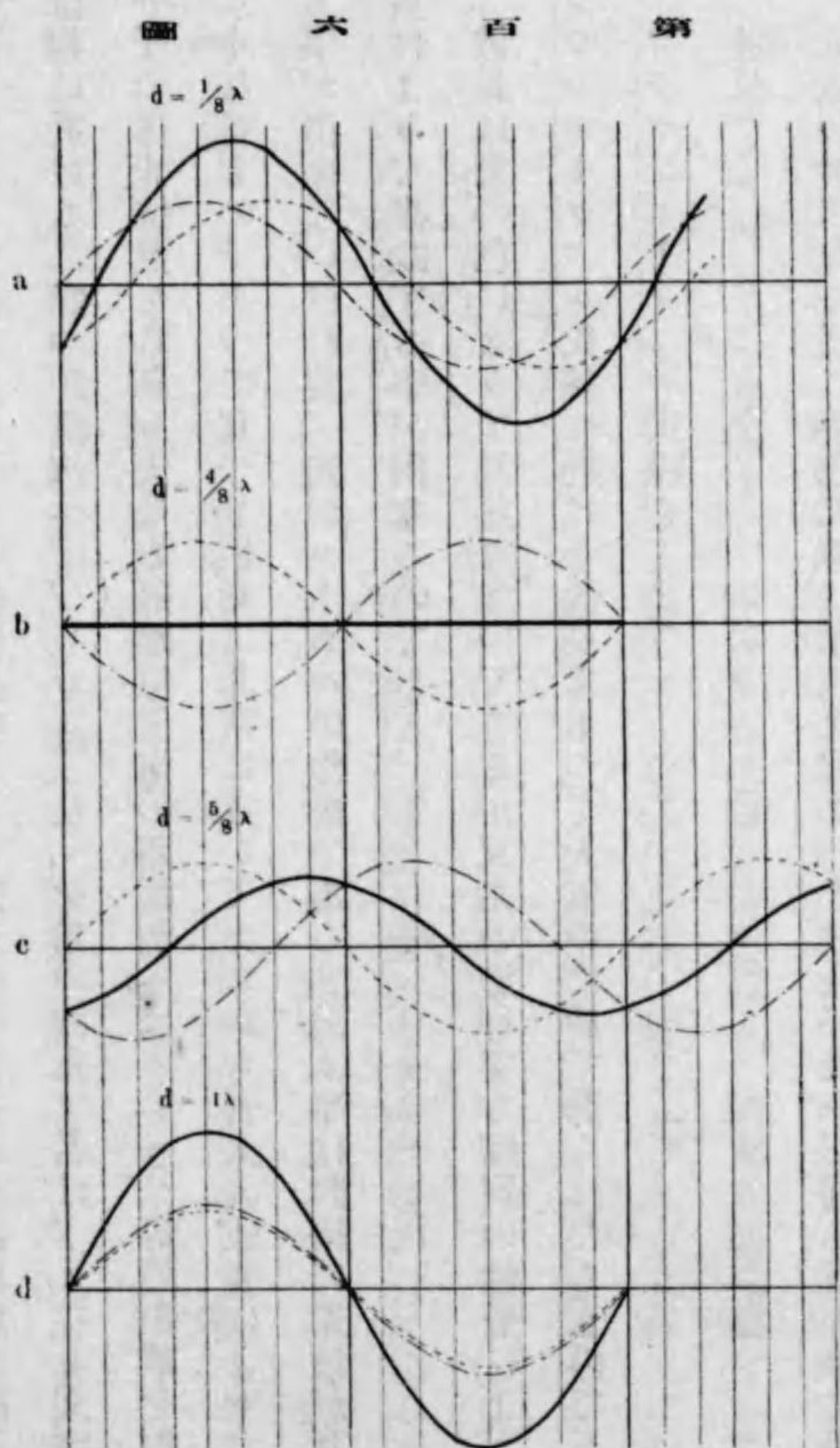
此表に於て見る様に赤色光線は紫色光線よりも波長が長い、例へば A 線に於ける波長は 0.76 ミクロン(又は 760 ミリミクロン)であるけれども H 線に於ては 0.40 ミクロン(又は 400 ミリミクロン)である。ミリミクロン (mm) とは千分の一ミクロン即ち百萬分の一耗の長さである。次で振幅は光の強さを決定するものであつて光の強さは振幅の平方に比例する。

普通の光に於ては光エーテル分子の振動は多數の面に於て行はるゝものであつて圖に見る様に唯一

面に於て行はるゝものではない。又或發光點より始まる光波は四方に傳播するから均等媒質内に於ては光波は發光點を中心とせる球面に於て同一位相に在る換言すれば光波は球狀に傳播する。

光の干涉。同一波長 λ を有し位相に於て一定の差異を示せる二個又は數個の光波が同時に進行する時には各エーテル分子の受ける運動の大きさは各個の運動の代數學的和である、かゝる相互の影響を

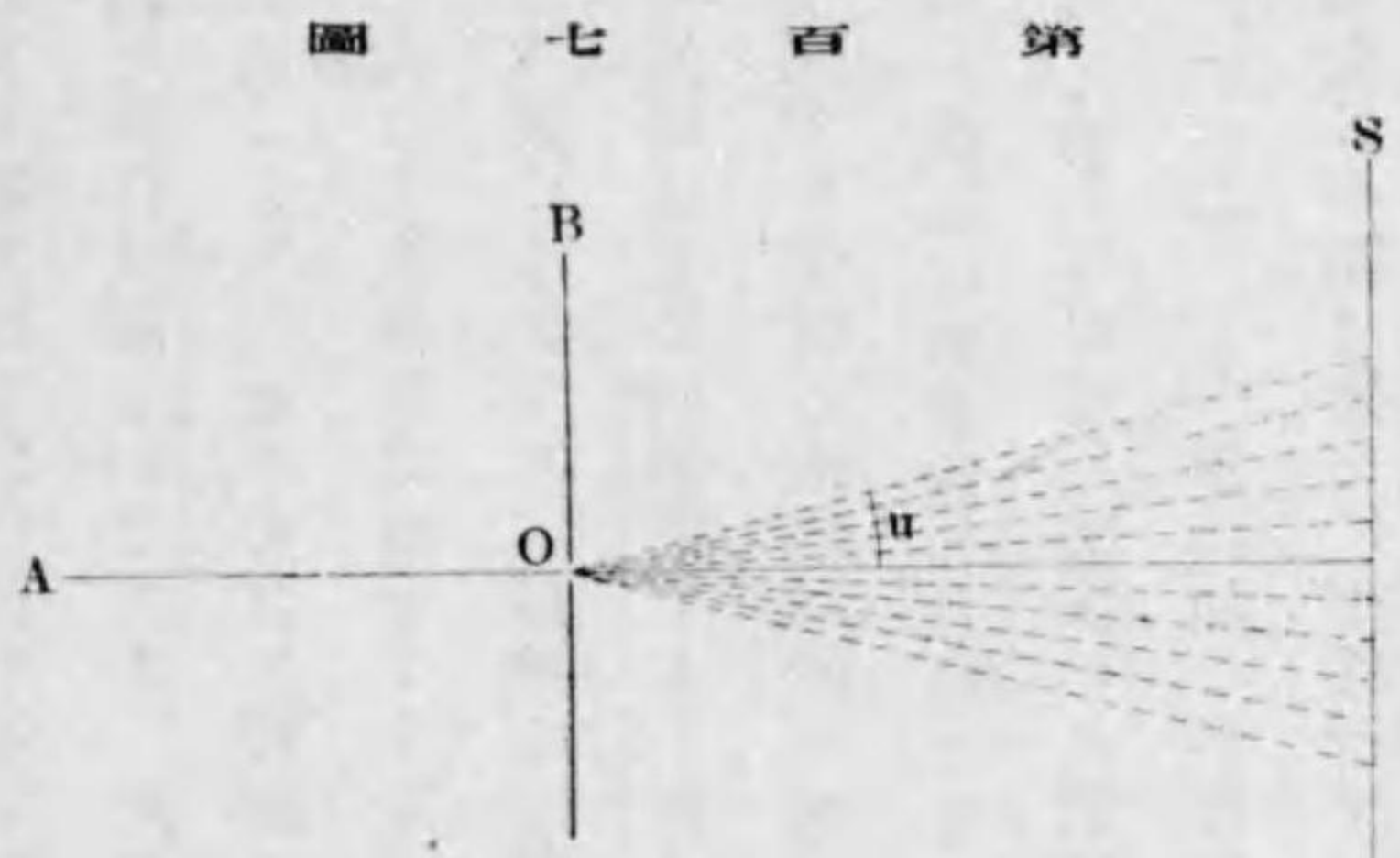
光の干涉と云ふ。此干涉は二つの光波が同一の發光點より來れる場合即ち結合性ある場合に於てのみ起るものであつて一つの發光體の異なる點より來るか又は異なる所の發光體より來る所の光波は互に結合性がないから干



渉する能力がない。相干涉する兩光波の位相の差異によりて干涉の結果を異にする云ふ事は第百六圖を見れば明らかである。此圖に於ては二種の點線を以て示せる二光波が互に相干涉するとし且つ其結果として生ぜる光波を實線にて示せり。aに於ては位相の差異 $\rho = \frac{1}{8}\lambda$ なりとする時は運動が合併し大なる振幅の光波を生ずる。位相の差異が之れよりも大となれば其干涉によりて生ずる光波の振幅は次第に小となり、最後に位相の差異が $\rho = \frac{1}{2}\lambda$ となる時は差異は同大であるけれ共互に相反して居るから光波は互に相消殺する。尙ほ之よりも位相の差異が大となれば例へば $\rho = \frac{3}{8}\lambda$ に於ては合和によりて生ずる光波の振幅は餘り大でないけれ共、之れより次第に増加し $\rho = \lambda$ となれる時には合和せる光波の振幅は兩光波の二倍となつて最も大となる。即ち位相の差異が $\frac{1}{2}\lambda, \frac{3}{2}\lambda, \frac{5}{2}\lambda$ ($d = (n + \frac{1}{2})\lambda = \frac{2n+1}{2}\lambda$) 等、換言すれば半波長の奇數倍なる光波が干涉する時は互に相消殺し最弱明度を生じ、位相の差異が $\frac{1}{2}\lambda, \frac{3}{2}\lambda, \frac{5}{2}\lambda$ ($d = n\lambda$) 等の如く半波長の偶數倍なる時には其結果は合和し最強明度となる。最強明度と最弱明度との間は徐々に相移行す。而して光の強さは其振幅の平方に比例するものであるから最強明度に於ては光は最も強く最弱明度に於ては光は最も弱い即ち暗黒である。

光の廻折。幾何光學の説明では光線は常に直線的に進行するものであると假定せらる。併し此事は經驗上竝に學理上よりも正當なりと云ふ事は出來ない。之れを實驗によりて説明するには日光を反射鏡の作用によりて壁に設けたる一個の細隙を通して水平の方向に暗室内に進入せしめ此細隙より二乃

至三米距りたる所に持ち來せる不透明の衝立(第七圖B)にて之れを受け此衝立に設けたる幅約一耗なる第二の細隙Oを通して光線を進ませしめ此衝立の後方短距離に白紙Sを持來す時は其上にOなる細隙よりも廣い光帯を生じ且つ此光帯の周圍に於ては暗帯によりて分たれたる數條の明帯を見る、此明帯は外方に至るに従ひて其明度が次第に弱くなる。此實驗に依れば光の一部は其直線方向を變じ



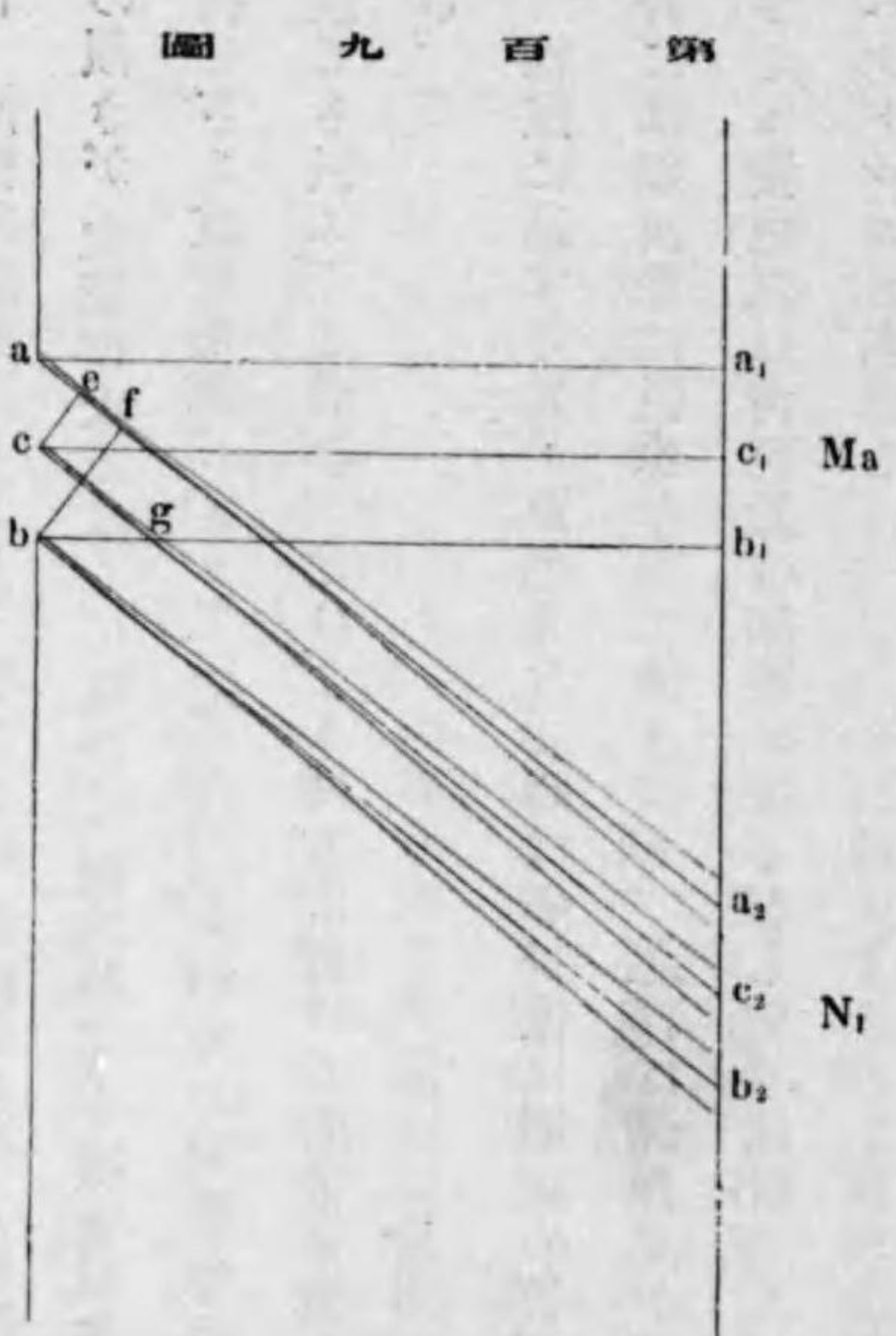
細隙の縁に於て屈曲せる事を知る、此現象を光の廻折と名け、廻折によりて生せる像を廻折像と云ふ。而して光線の通過すべき細隙が狭ければ狭きに從ひて廻折光線と直走光線となす角は益々大となる。細隙の代りに圓孔を用ふれば中央の明帯の周圍に明暗相交代せる求心性の輪を生ず(第八圖)。



圖。

次に此現象が如何にして起るかを説明すべし。光の波動説に依ればエーテル波動に衝突せる點は再び總ての方向に球狀に傳播する波動を送る。併し此波動は普通の場合に於ては近傍の分子と相干渉して消殺せられ唯光線の直線的進行方向に走る所の光波のみ何等の

障礙を受けずに傳播するものと考へらる。然るに今衝立よりて此球狀波動の一部の進行が抑制さるゝならば其部の各點から球狀波動が發出する。今遠距離にある發光點より發出せる光線が一つの細隙を有せる衝立に達したりとせば此細隙に於けるエーテル分子は光源より同一距離にありと考ふる事が出



來、從ふて是等のエーテル分子は同一の振動位相にある。而して此各のエーテル分子は恰かも自身發光體であるかの如く衝立の後方に於て其振動を球狀に傳播せしむるのである。第百九圖に於てe₀なる細隙が平

他此光線は細隙に於て廻折せられ其各點より光線が總ての方向に進行す。今光線がN₁の方向に進行せりとせば此等の光線は位相の差異を示めすべし、即ちae₀なる光線はe₀よりae₁丈け長く、e₀g₁はb₀より同一距離丈け長いと假定す。ae₁がN₁であれば是等光線は互に消殺し爲めにN₁に於て暗帯を

生ず。而して此暗帯 M_1 と M_2 の間は明帯であるけれども M_2 より M_1 に向つて光線は次第に干渉によつて弱めらるゝから次第に暗黒の度を増す。而して更に M_2 の外方 M_1 に来る光線の位相の差異が $\frac{\lambda}{2}$ であれば此處に第二の暗帯を生ず。斯様にして位相の差異が $\frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2}$ 等なる時は暗帯を生じ、位相の差異が $\lambda, 2\lambda, 3\lambda$ 等なる時は明帯を生じ明暗帯は相交代す。而して衝立に對する廻折光線の傾きが次第に大なるに従ひて相消殺する機會が多くなるから明帯の明度は次第に減少する。廻折せざる直走光線によりて造られたる中央の明帯を主最強明度（又は絶対最強明度或は零度最強明度とも云ふ）と云ひ、之れより外方に於ける明帯を夫々第一次、第二次、第三次等の最強明度と名ける。

細隙に達する光が單色光なる時は廻折像は明暗の帯となりて現はるゝのみなれども混合光である場合には廻折像は色縁を以て圍まれる。之れは混合光が其原色に分解さるゝ爲めであつて此際強く屈折さるゝ紫色又は青色光は細隙に近く存し弱く屈折さるゝ赤色光線は之れより遠かる。此色帯を廻折スペクトルと名ける。

第二節 發光體の結像（又は第一次結像）

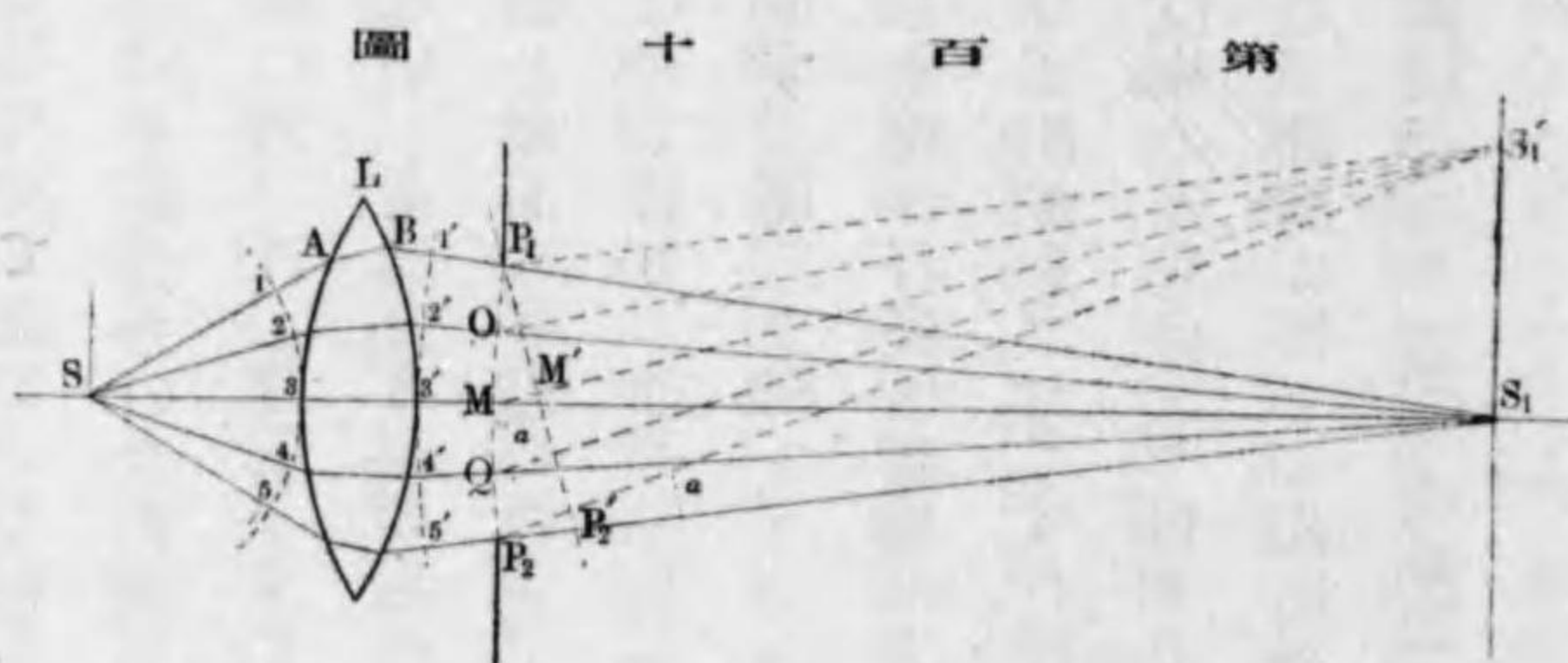
發光體を光學器械例へば顯微鏡によりて結像せしめる際に於ても其關係は上述せる所と類似して居

る。光の限界はレンズの周縁又は鏡筒内に存する遮光器孔の縁に於て行はる。第百十圖に於て遮光器の前方に一個のレンズが存すると假定して説明すべし。Lなるレンズの光軸上に存する發光點Sより一つの光束がレンズに射入する時は幾何光學の法則に従ひて發光點は同様に光軸上に存する S_1 なる點に結像される。今此結像機構を光の波動説によりて説明すれば S_1 なる點に存するエーテルの振動は明かにSより發出せる各光波に由來するものである事を知る、即ち物體空及び像空に於ける此兩共軛點の間に於て

は其一方より同一の位相を以て發出せる光線は他の點に於て全部同一位相に於て到着するのである。此法則は一見奇なるが如し何となれば今S及び S_1 を中心としてレンズの兩面に接する圓を畫けば此兩圓の間に於て光線の進行すべき距離は異なる長さを有するからである、例へば SMS_1 なる光線上に於ける SS_1 なる距離は $SABS_1$ なる周縁光線の上に於けるなる IAS_1 なる距離よりも著しく短かし。併し光の波長は波動が進行する媒質の密度

に關係するものであるから光學的密なる硝子中に於ては光學的粗なる空氣中よりは同一距離に對して波動の數が多いのである。中心光線は光學的密なる硝子内に於て比較的長き距離 SS_1 を進むに反し周

發光體の結像（又は第一次結像）



縁光線は短かき距離 AB 丈け硝子内を進行するのみである實際に於て $1,2,3,4,5$, 及び $1',2',3',4',5'$, なる兩圓間に於ける距離に對して同数の光波が存すると云ふ事が證明されたのである。此の法則の結果は S_1 に於て總ての光線は同一位相に於て到着する、換言すれば全部が互に合和すると云ふ事になる。今 P_1P_2 を此光系の進出瞳孔とする時は S_1 を中心として畫ける圓 P_1MP_2 は同一の振動位相に在り。顯微鏡に於ては MS_1 なる距離は進出瞳孔の廣さに比して大であるから P_1MP_2 は直線として考へても大差ない。前述せる光の廻折の法則に従ひて P_1P_2 なる間隙に於ける各點 $P_1OM_1Q_1P_1$ より球狀波動が發出し像面の各點に達す。今 S_1' なる點に達せりと假定する時は此點に達せる各光線の進行せる距離は異なつて居る、即ち $P_1OM_1Q_1P_1$ なる各點より同一の位相を以て發出する光線は異なる位相に於て S_1' に達す、而して S_1' より P_1P_2' なる面の各點に至る迄の行程は同大なりと考ふる事が出来るから S_1' に達する光線の行程の差異は P_1P_2', M_1M_1' 等の距離であつて此距離は $P_1P_2P_2'$ なる角に關係して居る。今 P_1P_2' なる距離を $\frac{1}{2}\lambda$ とすれば周縁光線 P_1S_1', P_2S_1' は干涉により相消殺され、他の光線 OS_1', MS_1', QS_1' 等の位相の差異は $\frac{1}{2}\lambda$ 以下であるから互に相合和する。其結果明度は S_1' に於ては S_1 に於けるよりも小である。計測に依るに此場合に於ける光の強さは廻折像の中央部に於ける光の強さ（主最強明度）の約 0.4 倍である（第一次最強明度）。次で $P_1P_2' = \lambda$ とすれば P_1S_1' 及び P_2S_1' より界せられたる光束は M_1S_1' に於て切半せられ而して此兩半の同一線から同一距離丈け距たれる光線の行程は $\frac{1}{2}\lambda$ 丈けの差異

があるから一對づゝ干涉によりて消殺さる。故に此場合 S_1' に於ける光の強さは零である。次に P_1P_2' なる距離が $\frac{3}{2}\lambda$ なる時は此光束を三部に分けて考へる事が出来る、始め二個の $\frac{1}{2}$ 部は上例に示せる如く其周縁光線の行程の差異が λ である場合と全く同じいから互に相消殺され、残りの $\frac{1}{2}$ 部は其周縁光線が $\frac{1}{2}\lambda$ 丈けの位相の差を示めて居るから互に相合和する。此場合の光の強さは S_1 に於ける光の強さの約 0.4 倍である（第二次最強明度）。周縁光線の位相の差異が $\frac{3}{2}\lambda$ となりとせば此光束を四個に分けて考へる事が出来る、其各二個は $P_1P_2' = \lambda$ なる場合に於ける如く互に一對づゝ消殺さる。又周縁光線の位相の差が λ の任意の倍数である光束に向つても同様に光の強さは零である。次で周縁光線の位相の差異が $\frac{5}{2}\lambda$ となりとせば此光束の五分の四は有對の干涉によりて消殺せられ残りの五分の一のみ合和する。此場合に於ける光の強さは S_1 に於ける強さの 0.4×0.4 倍である（第三次最強明度）。かくの如く第一次の最強明度は主最強明度の約二分の一で、第二次の最強明度は其約二十分の一、第三次の最強明度は五十分の一より少ない。であるから其後の最強明度に於ては P_1P_2' が $\frac{7}{2}\lambda, \frac{9}{2}\lambda$ となるに従ひて光の強さが速かに減少すると云ふ事は明かである。かくして S より發出する所の光束によりて像點 S_1 に最も強き光斑が生じ此者は一定数の光圏によりて圍まれ此光圏の明度は外方に至るに従ひて速かに減少するのである。此光圏（散光圏又は干涉圏とも云ふ）の距離を測定する事が出来る。今 S_1 を主最強明度、 S_1' を第一次最強明度、 $P_1P_2' = \frac{3}{2}\lambda$ となす。 $\lambda = 0.5\mu$ であれば $P_1P_2' = \frac{3}{2} \times 0.5\mu = 0.75\mu$

なる。顯微鏡に向つては $S_1M=180\text{mm}$ 、 P_1P_2 即ち瞳孔を 10 耗とし、角 $P_1P_2P_2'=2\alpha$ すれば

$$\sin\alpha = \frac{P_1P_2'}{P_1P_2} = \frac{1/2 \times 0.5}{10}$$

である。然るに角 $P_1P_2P_2'=S_1'MS_1'$ なり。三角形 $S_1'MS_1'$ に於て $S_1'S_1'$ なる距離が小である際には M

$$S_1'MS_1' \text{ の考へても大差ない。であるから}$$

$$\sin\alpha = \frac{S_1'S_1'}{180}$$

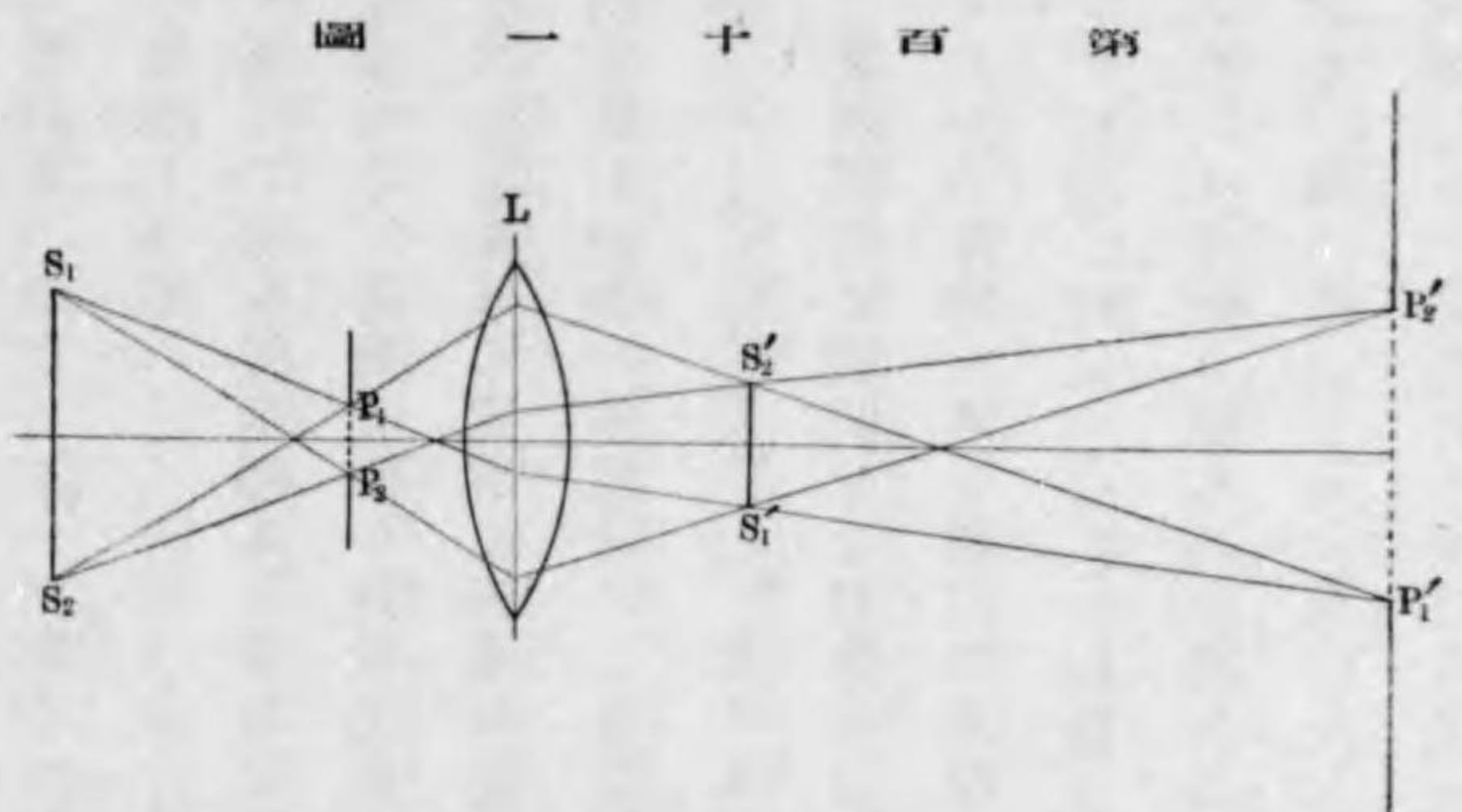
となる。此場合に於ては散光圈の半径は約 0.135mm であつて肉眼を以て殆んど見る事の出来ない距離である。又上式によりて瞳孔が一耗の直径の時には散光圈は 0.135 耗の半径を有する理である。即ち細隙又は瞳孔が小となるに従ひて廻折によりて生ずる散光圈は益々大となる。又上式によりて進出瞳孔が餘りに狭くない時には發光點より結べる散光圈を認知する事が出来ないから發光點の結像は幾何光學の法則に従ふと考へて差支へない。

其他上に述べたと同様に S の周圍即ち光軸外に存する各點に對しても廻折像を生じ而して是等の廻折像は互に相重なる。何となれば一つの發光體の同一點から來る所の光線は結合性を有するから互に相干涉する能力を有して居るけれ共、一發光體の種々の點より發出する光波は結合性を有して居ないから互に干涉せず結像に際して何等相障礙しないからである。而して發光體が大なるに従ひて或發光

點の最強明度と他の發光點の最弱明度と相重なり、最後には各發光點に對する各別の廻折像を互に區別する事が出来ない様になる。

第三節 非發光體の結像(又は第二次結像)

多くの顯微鏡的標本は非發光體であるから其像を造らしめんとするには之れを照明する爲めに光源を要する、非發光體が透射光線によりて結像する事をアッペ氏は第二次結像と名けた。第一次結像に於ては結像する光線は光系の進入瞳孔に於ける廻折現象を特徴とするに反し、第二次結像に於ては照明光線が物體の組成分によりて廻折作用を受けるのである。今第百十一圖に見る様に遠方に在る發光體 S_1S_2 より光線が P_1P_2 なる孔及對物鏡 L を通して顯微鏡内に進入するとせば其後焦面に於て發光體と幾何學的に類似せる眞像 $S_1'S_2'$ を生ずる。圖に於て見る様に發光點 S_1 より來れる光線は像點 S_1' に合するから此點に來る總ての光線は結合性を有して居る、 S_2' に對しても同様である。今顯微鏡的標本を P_1P_2 に置く時は P_1P_2 に相當せる面 $P_1'P_2'$ に其像を結ぶならん。併し此結像機構は S_1S_2' の結像に比して次の如き根本的差異がある。一見 P_1 より來る光線は實は發光體の異なる點より來れるものである。例へば $P_1S_2P_1'$ 及び $P_1S_1P_1'$ は互に結合性がないから相干涉せず従ふて P_1 の廻折像を造る事も出来ない。其れにも係はらず P_1P_2' なる面に於て多少物體に類似せる像が生ずると云ふ事は次の理由



に依るのである。光線が P_1P_2 なる標本中に於ける細隙を通ず際に之れにより廻折され P_1P_2 の構造に従ひて S_1S_1' なる面は光源 S_1S_1' の廻折像を生ずる。此廻折像は更に P_1P_1' なる面の上に光線を發出する。而して S_2S_2' なる面の種々の點に存する廻折像は光源の一定點より來れるものであつて振動中樞として結合性の光源を發出するから之より P_2P_2' なる面に來る光線は互に相干渉する。斯くの如くして P_1P_1' なる面に生ずる像を第二次像又は干渉像と云ふ。此干渉像が廻折を惹き起す物體に多少類似して居るや否やは P_1P_2 より發出する廻折光束が對物鏡を通して S_1S_1' なる面に達する程度に關係する、即ち當該對物鏡より受領される廻折像が多ければ多き程像と物體との類似度は益々増加するのである。

第二次結像に關するアッペ氏の學説は顯微鏡の光學的裝置の構造の進歩に對して大なる貢獻をなしたのみならず顯微鏡的検査に於ける實際問題の解決に向つて重要な意義を有して居るから多少重複の嫌があるけれども次の條下に於ては第一に微細構造によりて廻折像の造らるゝ方法を述べ、第二には如何にして此廻折像から顯微鏡

像が生ずるかを説明し、第三には此學説の實驗的證明を述べる事とする。

第一 廻折像の形成

今第百十二圖に於て赤色又は青色硝子を通して單色となした平行光線 S が一個の細隙を有する不透明體 P_1P_2 に達せりと假定す。此光線は P_1P_2 なる面に於て同一の振動位相に在るから對物鏡 L を通せる後其焦點 S_1 に於て同一位相を以て到着し光波の合和を來たす。 S_1 は無窮の遠距離に在る物體の像である（主最强明度）。之れに反して P_1P_2 なる細隙に於て $C_1P_1C_2$ なる角度を以て廻折せられたる P_1C_1 及び P_2C_2 なる光束は對物鏡によりて屈折し S_1' に於て S の廻折像を造りたりと假定す。此光束の光學的作用は之れを形成せる各光線の位相の差異によりて知る事が出来る。今 P_2 より P_1C_2 に垂線 P_2D を引けば DC_1S_1' 及び $P_1C_1S_1'$ の光學的距離は同一であるから P_2D なる面に於ける同一位相の光波は同一位相を以て S_1' に到着すべし。圖に於て P_1P_2 間に存する點は同一の振動位相にあるから此部に於て廻折せられたる光束の周縁光線は DP_1 丈けの行程に一致せる位相の差異を有せねば

非發光體の結像（又は第二次結像）

ならん。 $P.D = 1\lambda, 2\lambda, 3\lambda$ 等なる時は S_1' には最弱明度を生じ、 $P.D = 1/2\lambda, 3/2\lambda, 5/2\lambda$ 等なる時は S_1' に於て最強明度を生ずる事は前に述べた通りである。であるから S_1' に於て最強明度が生ずるか又は最弱明度が生ずるかは廻折光束が光軸となす角 CP_1C_2 即ち DP_1 なる距離に關係する。而して DP_1 なる値は細隙の幅に關係すると云ふ事は次の式によりて示さる。

$$\frac{P.D}{k} = \sin \alpha$$

此式に於て α を廻折光束と光軸となす角とし、 k を細隙 P_1P_2 の幅とす。故に

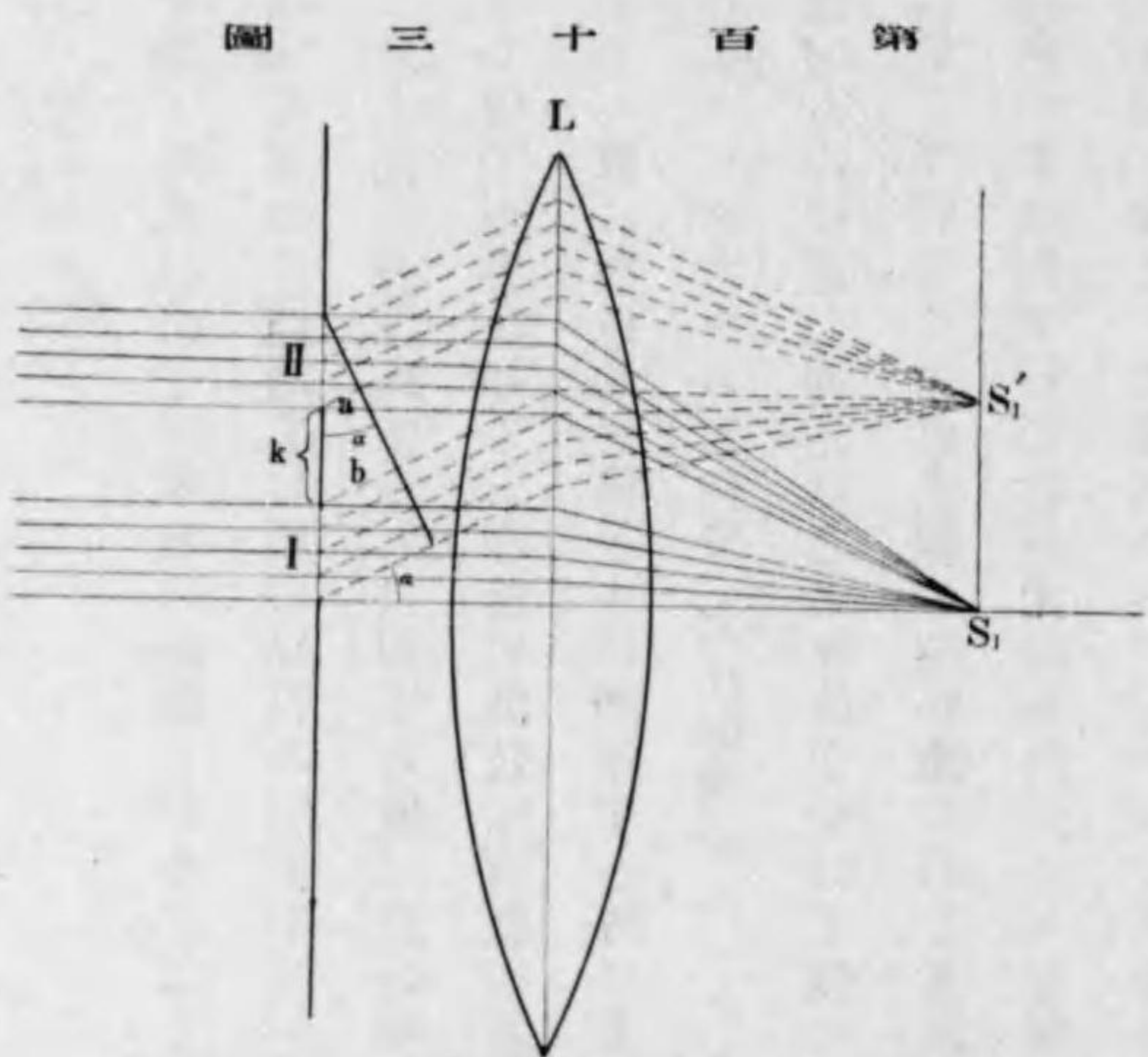
$$\sin \alpha = \frac{\lambda}{2k}, \frac{3\lambda}{2k}, \frac{5\lambda}{2k} \text{ 等}$$

なる時は S_1' に於て最強明度を生じ

$$\sin \alpha = \frac{\lambda}{k}, \frac{3\lambda}{k}, \frac{5\lambda}{k} \text{ 等}$$

なる時は最弱明度を生ずるのである。細隙の幅 k は分母であるから細隙 P_1P_2 が狭きに從ひて、一般的に云へば物体の構造の微細度が増すに從ひて廻折光束と直走光束とのなす角 α は益々大となる理である。細隙の幅が狭く且對物鏡 L の開口が小であつて第一次廻折最強明度の光束は其内へ進入する事が出来ない時には其焦面に於て唯 S_1 なる点のみ結像し廻折像を缺く。後にも述べる様に此場合には顕微鏡像が全然生ぜない。

次に一個の細隙を有する物体の代りに同一幅を有し且相交代せる明暗の平行せる線條を有する物



體即ち格子を顕微鏡的標本として採れる場合を述べん。其最も簡單なる場合として同一幅 (k) を有して居る二つの細隙が之れと同一幅を有する不透明部によりて距てられてある物体に向つて結合性の光線が進行し來るとせば(第百十三圖) I なる細隙によりて廻折せられたる光束の光線が相干涉するのみならず細隙 II に於て廻折せられたる光束の光線と共に焦面の一點 S_1' に於て互に相干涉する。 $a = 1/2\lambda, 3/2\lambda$ 等の場合即ち $b = 1\lambda, 2\lambda$ 等の場合には最強明度を生じ、 $b = 1/2\lambda, 3/2\lambda, 5/2\lambda$ 等なる時は最弱明度を生ずる、換言すれば

$$\sin \alpha = \frac{\lambda}{2k}, \frac{3\lambda}{2k} \text{ 等の場合には最強明度を生じ、}$$

$$\sin \alpha = \frac{\lambda}{4k}, \frac{3\lambda}{4k}, \frac{5\lambda}{4k} \text{ 等の時は最弱明度を生ずる。}$$

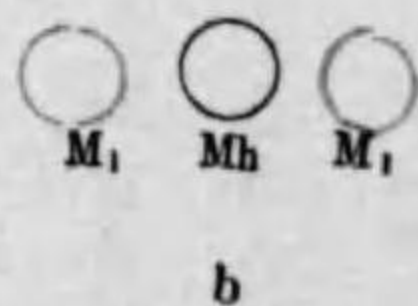
此關係は線條の數が増加しても同様であつて最強明度の位置は線條の幅に關係し其數には關係しないと云ふ一般法則を得るのである。即ち線條の數の増加と共に最強明度の數が次第に増加するけれ共明暗線條の幅が同一なる時は最強明度は互に同一距離だけ相離れて居る。

今格子の線條の幅の代りに近接せる不透明線間の距離を d を以て示せば $\frac{\lambda}{2k} \parallel \pi$ であるから上に掲げた最強明度に對する式 $\sin \alpha = \frac{\lambda}{2k}$, $\frac{\lambda}{2k}$, $\frac{\lambda}{2k}$, $\frac{\lambda}{2k}$ 等は $\sin \alpha = \frac{\lambda}{d}$, $\frac{\lambda}{d}$, $\frac{\lambda}{d}$ 等となる。今第一次最強明度のみを顧慮する時は之れと主最強明度となす角 α に對する方程式 $\frac{\lambda}{2k} \parallel \pi$ に光源の方に向へる側の媒質の屈折率 n を入るれば

$$\sin \alpha = \frac{\lambda}{nd}$$

を得。此式は格子の線條の距離 d が小くなるに従ひて即ち構造が微細となるに従ひて且つ光が格子に達する爲めに通過する所の媒質の屈折率 n が減少するに従ひて α は益々大なる事を示めす。

又上掲の方程式より α に對する値は最強明度の傾きが同一なる時に於ては波長 (λ) 即ち光の色によりて變ずる事を知る。赤色の波長は青色の波長よりも大であるから赤色光は青色光よりも強く廻折せらる。故に白色光が格子上に到達する時は光線は多數の光束に廻折さるゝのみならず各光束は分光されてスペクトルを生ず、之れを廻折スペクトルと云ふ。廻折スペクトルに於ては青色は主最強明度の方に接近し赤色は之より遠ざかれる側に存す。第百十四圖は廻折スペクトルの像を示めす、a 圖に於て平行なる白色光線が遠距離にある光源より來る時は格子 O は上述せる方法によりて光を廻折し同色の光は相平行し赤色光は青色光よりも強く廻折せらる。顯微鏡の對物鏡 S は其後焦面 F に於て最強明度の像として廻折スペクトルの眞像を結ぶ。此最強明度 M_1 に於て青色は内方主最強明度に近く



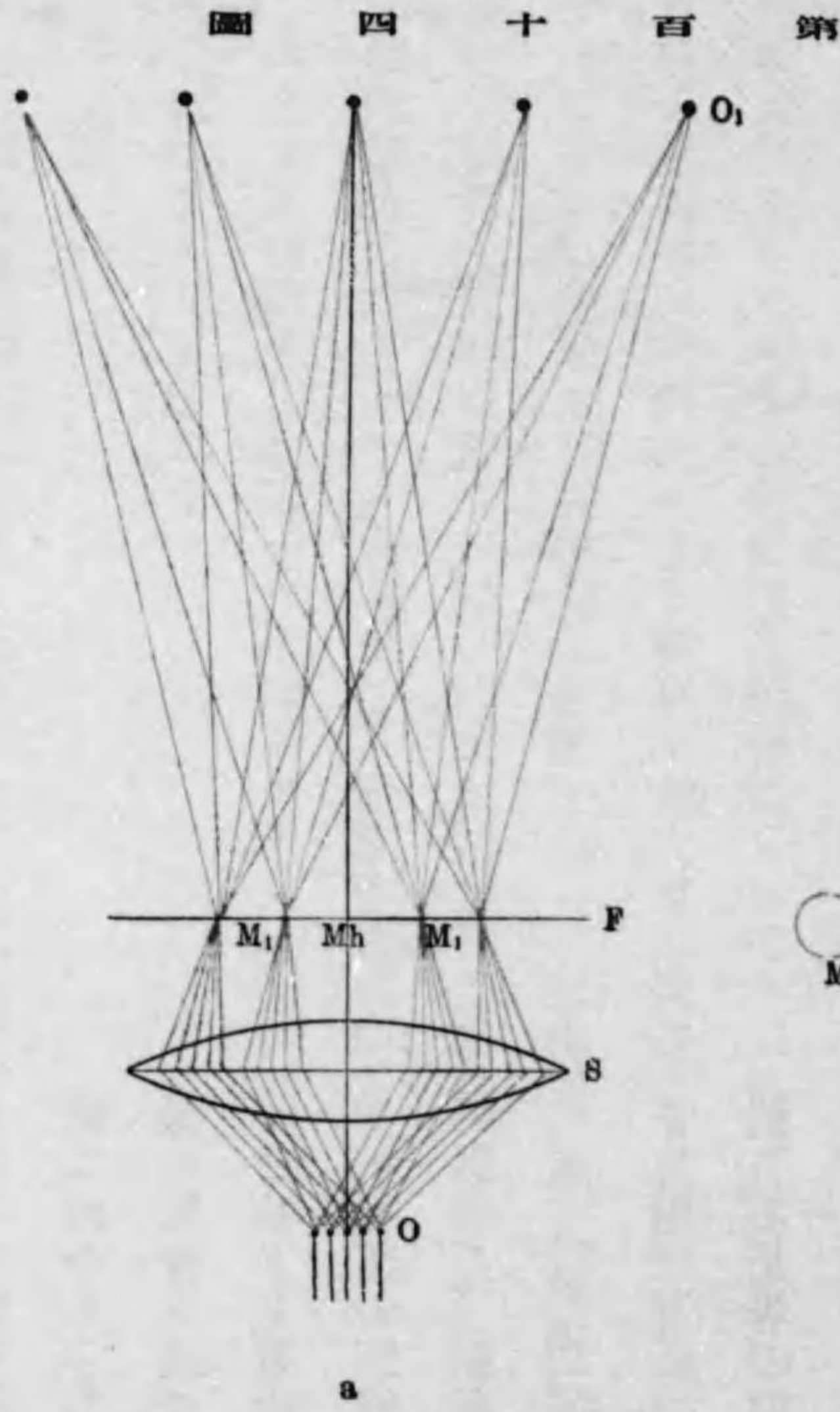
赤色は外方に位置す。而して主最強明度 (M_1) は圓形の明斑として存す。b 圖は a 圖の後焦面 F に於ける面視を示めす。此關係は第二次、第三次等の最強明度に對しても同様である、

第一 第二次像の形成

上記せる如く格子の廻折作用によりて造られたる光源の廻折像を第一次像と云ふのである。

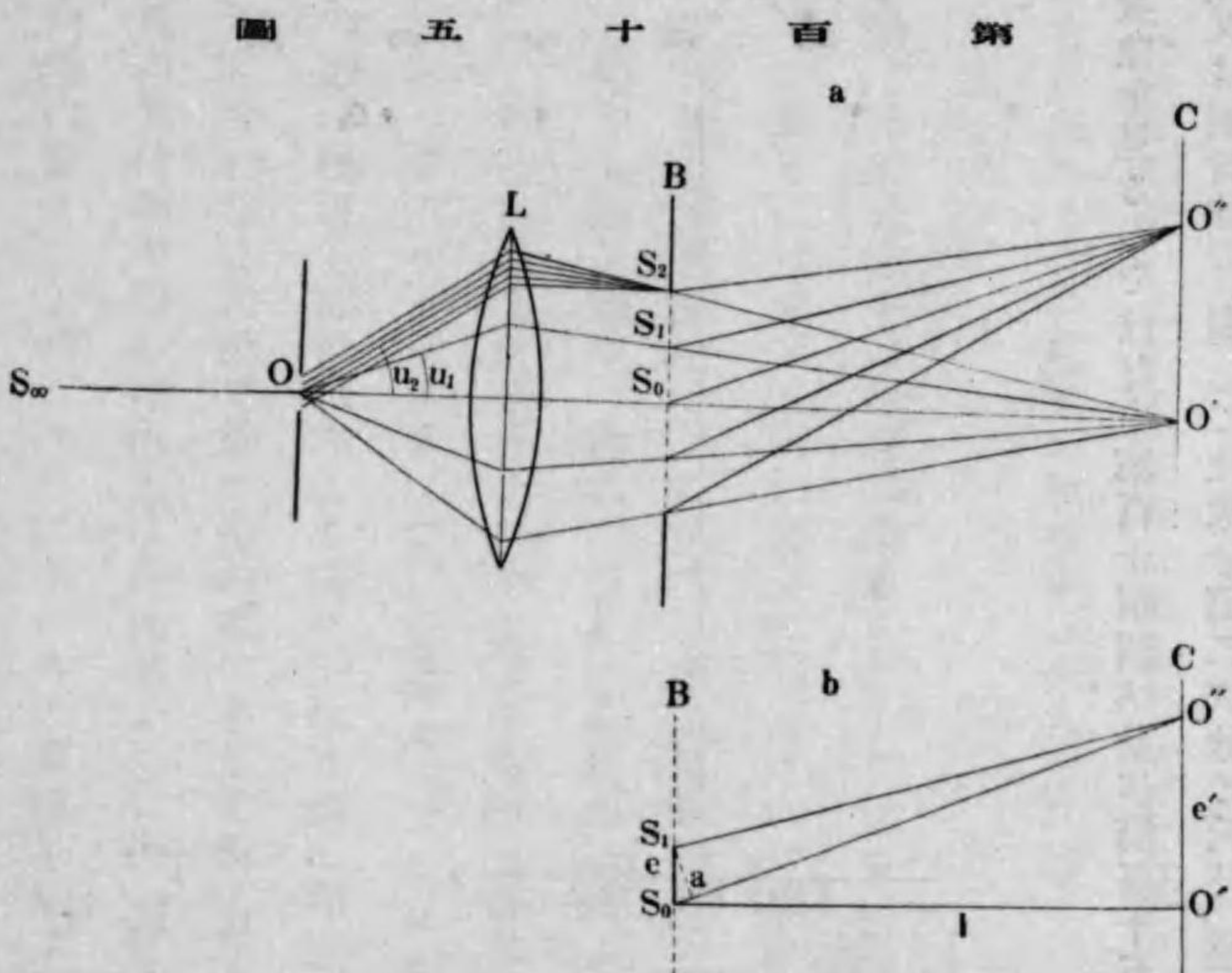
併し吾人は鏡檢に際して此第一

次像を見るのではなく第百十四圖 O_1 及び第百十五圖 C なる面に生じたる像を見るのである。第一次像 (又は廻折像) に對して此像を第二次像と云ひ、通常顯微鏡像と稱するものである。而して此第二次像は格子の作用によりて對物鏡の後焦面に造られたる光源の廻折像即ち第一次像より導かれたる干渉像に



非發光體の結像(又は第二次結像)

外ならない。第百十五圖に於てOを格子とし遠距離にある光源Sより來れる光線は此格子によりて廻



折せられ、各々の廻折光束を形成せる所の光線は互に平行に走るから(圖に於ては OS_2 なる廻折光束のみに於て之れを示めせり)對物鏡の後焦面に於て結合し $S_0S_1S_2$ 等に無窮の遠距離に存する光源の眞像を結ぶ。顯微鏡に於ては S_0O' なる距離は光軸より對物鏡に進入せる最外方の廻折スペクトル迄の距離に比して無窮に大なりと考ふる事が出来る。此要約の下に於て總ての廻折スペクトル $S_0S_1S_2$ 等より像面Cの同一點 O' に赴く所の各光線は互に平行して走ると見做す事が出来る。而して是等の廻折スペクトルが同一の發光點より來る場合に於ては光線は結合性を有して居るから互に相干涉する。此干涉の結果として光線の行程の差異が $\lambda/2$ の偶數倍なりや又は奇數倍なりや

によりて像面Cの種々の點例へば O' に於て最強明度又は最弱明度を生じ其間に於ては光線は唯一部分のみ消殺さる。かくして廻折スペクトルより來れる結合性の光線の干涉の結果としてCなる像面に於ける光線の分布は物體面Oに於ける如く相交代せる明暗の線條より成る理である。第百十四圖に於ては廻折スペクトルを赤色及び青色線にて示せり。格子の作用によりて白色光線の分解によりて生せる有色の廻折スペクトルより明暗相交代せる線條より成れる無色の干涉像を生ずるのである。

干涉によりて生せる最強明度の距離を知るには像面に走る相隣れる二光線の行程の差異を計測すれば宜い。第百十五圖に於て一點 O' に走る結合性の光線は互に平行せりと見做す事が出来るから相隣れる二個の廻折スペクトルより來れる光線の行程の差異は同一である。同圖bに於て S_0O' を光軸とし、 S_0 を主最強明度 S_1 を第一次廻折スペクトルとし、 S_1S_1' を e を以て示めせば $O'O'$ 間の距離 e' は次の式によりて現はさる。

$$e' = Ne$$

$N = \frac{1}{\lambda}$ 即ち廓大力を示めす。此式によりて見れば干涉像に於ける線條間の距離は光の波長 (λ) 即ち色には全く無關係である。

精細なる計測に依るに干涉像が物體に幾何學的精確に類似するべき爲めには廻折せる總ての光線が作用する事を要す、換言すれば後焦面に造られたる廻折スペクトルが格子より來れる總ての廻折光

線を含む事を要す。今第一次廻折スペクトルムを除外し主最強明度と第二次スペクトルムとの干渉作用を検するに e の値は前の場合の二倍となるから上式 $e = \frac{1}{2} \lambda$ の代りに

$$e' = N \cdot \frac{e}{2}$$

なる關係となる。第二次と第四次、第四次と第六次等のスペクトルム間の干渉に於ても同様である。かくして第一次、第三次、第五次等の廻折スペクトルムを除外する時は干渉像に於ては總てのスペクトルムが作用する場合よりも明線の数が二倍となる、換言すれば此場合の格子の像は $e/2$ なる線條を有する格子を用ひたると同一の結果を來たす。次で第一次及び第二次又は第三次及び第四次等のスペクトルムを遮る時は e は $e/2$ となりて干渉像の線條の距離は

$$e' = N \cdot \frac{e}{2}$$

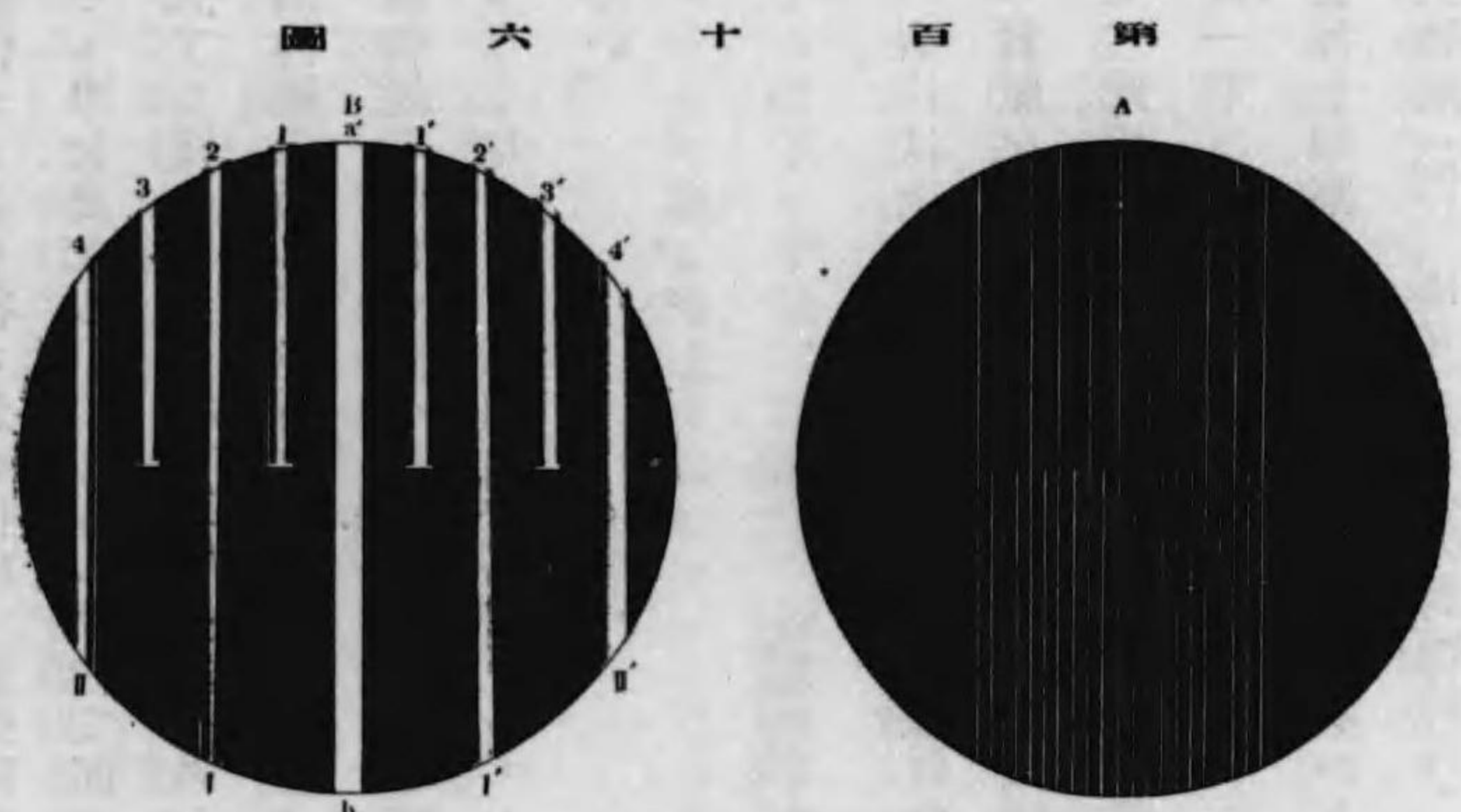
にて示さる。

アッペ氏に依れば一般に L なる光系が非發光體 O によりて廻折せられたる總ての光線を B なる面に導く時は幾何學的類似せる結像が行はれるけれども主最強明度の兩側に於ける總ての廻折スペクトルムを遮る時は像面 C に於て何等明暗の線條を見ず、唯殆んど平等なる明度を示せる光圈を見る許りである。之れは主最強明度の各點は光源の各點より其光を受けるから非結合性である、従ふて之より發する光線は互に相干渉する能力がないと云ふ事に基づくのである。之れを経験に徴するに多少物體に

類似せる像を得る爲めには主最強明度の外、少くとも第一次の廻折スペクトルムが對物鏡より受領さるゝ事を要するのである。而して進入する廻折スペクトルムの数が多ければ多き程像は益々物體に類似する様になる。總ての廻折スペクトルムが像の形成に關與する爲には廻折角が小である場合か又は對物鏡の開口が是等の總ての廻折スペクトルムを受領する事が出来る程大なる事を要す。之に反して對物鏡の開口が同一なりと假定する時は線條間の距離が小なるに従ひて焦面に達する廻折光線は益々少なくなるから高列次のスペクトルムは干渉像の形成に關係せず、従ふて格子の結像は完全に行はれない。

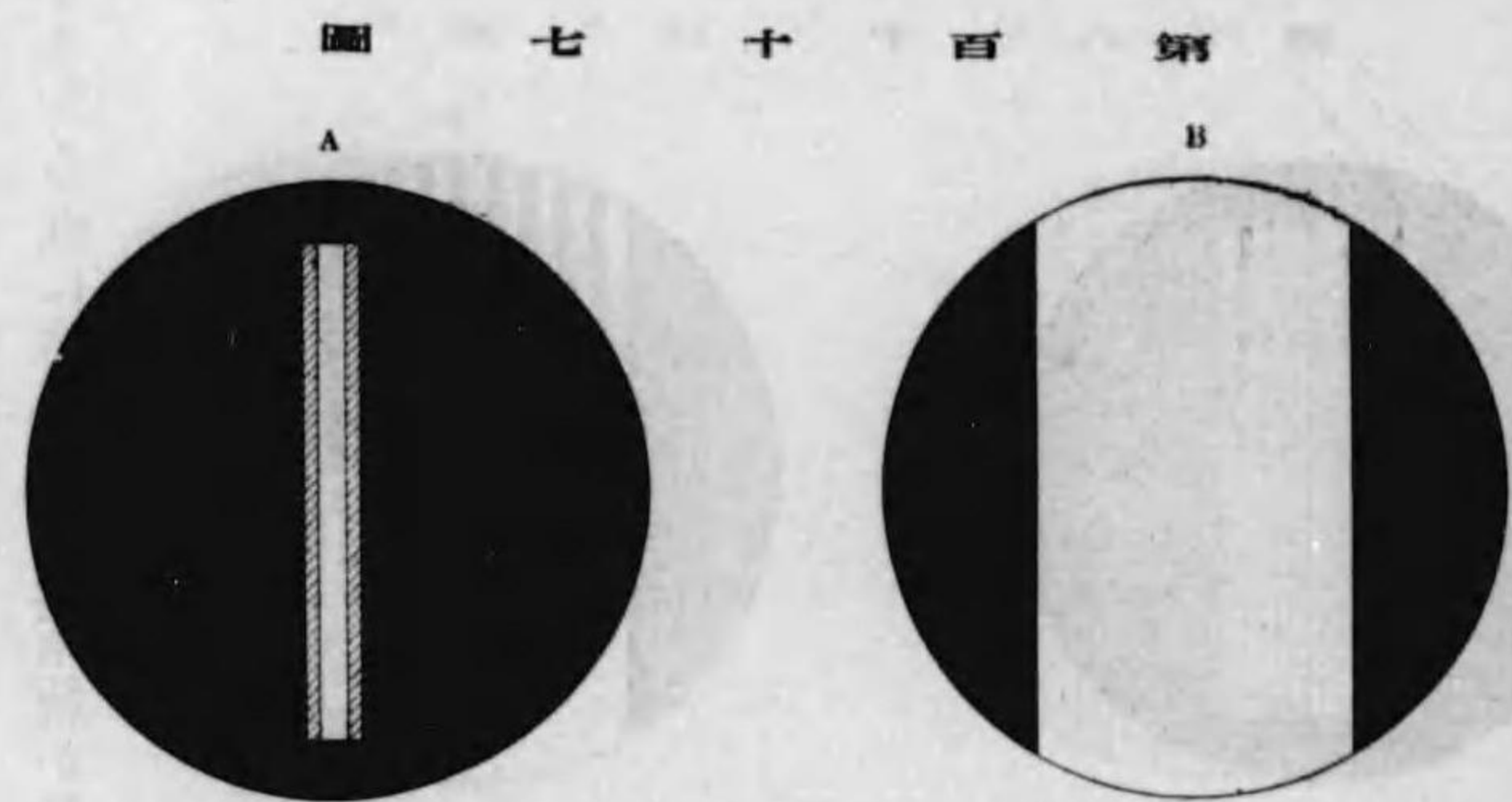
第三 顯微鏡的結像に關するアッペ氏の學說の實驗的證明

次には上記の法則によりて顯微鏡像が光線の廻折像に關係して居ると云ふ事を説明する爲めに二三の實驗を行はん。廻折像を直接顯微鏡下に觀察する爲めにはアッペ氏の廻折板を用ふるが便利である。此板の上には三種の線條系統が薄き鍍銀面に刻かれてある。其内中央のものは平行線條であつて其一半に於ける各線間の距離は他半に於ける距離の二倍にしてある。今此線條系統より與へらるゝ廻折像を觀察する爲には此線條の細かき方が檢者に近き方に見える様に載物机の上に載せ始め弱廓大の對物鏡(例へばツァイスの對物鏡A)を用ひ對物鏡に相應せる集光鏡を以て強く照明せる線條に準焦



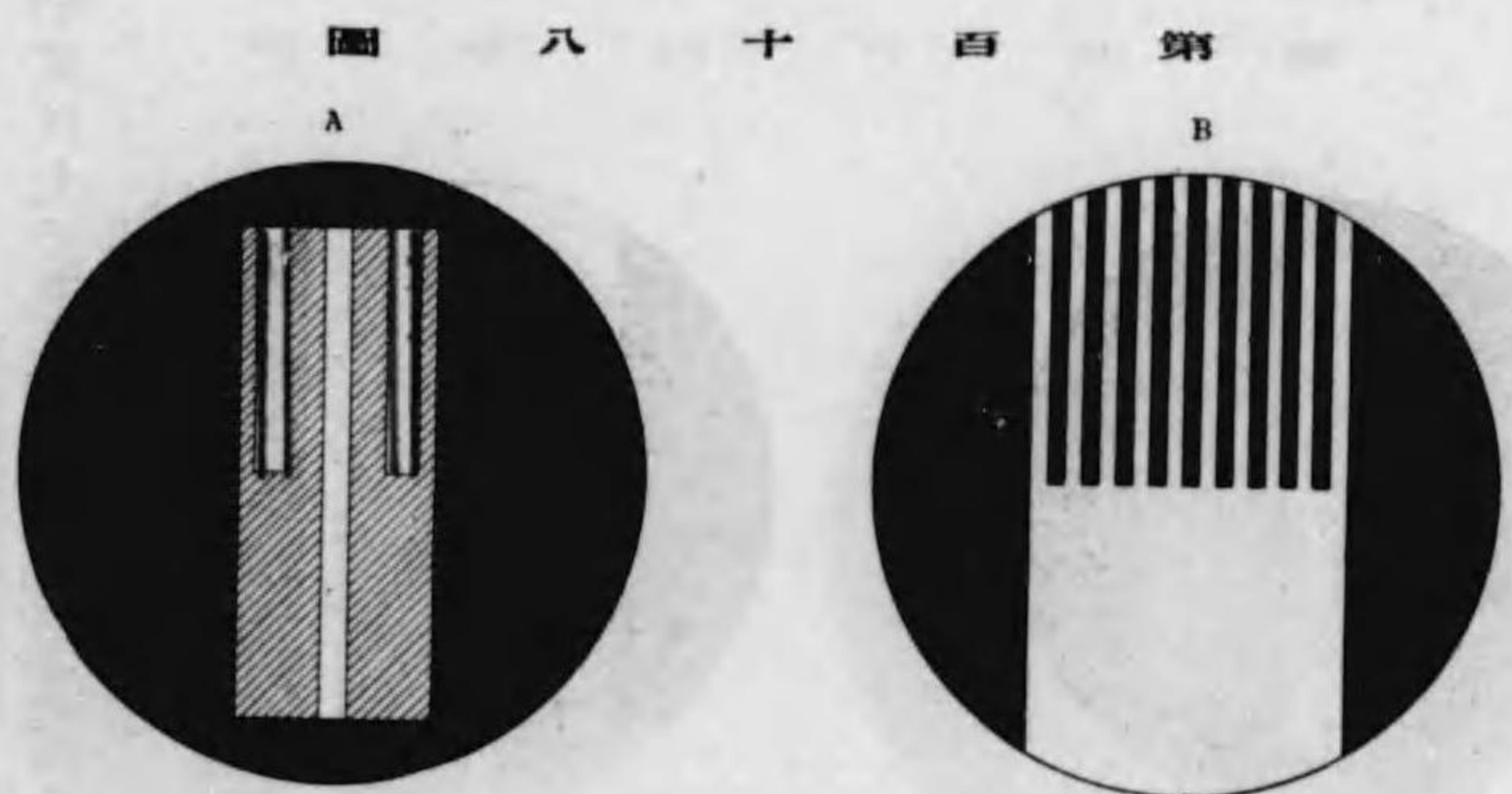
し(第百十六圖A)後アッペ氏の照明装置に屬する遮光器支持器の上に○・五耗の幅の細隙を有する圓板を載せ此細隙を光軸に持ち來たし線條系統と平行に前後に走る様に置くべし。次で對眼鏡を去り眼を鏡筒の上縁より約七厘程上方に置きて鏡筒内を覗く時には鏡筒の底に於て對物鏡によりて結像せる細隙の白色像即ち主最強明度(第百十六圖B)は中央に存し其の左右には多數の狭き細隙狀の廻折スペクトルムの竝列せる事を見るべし。此際全像を見通す爲めには眼を水平に前後左右に動かす事が必要である。強度の對物鏡即ち大なる開角の光系を用ふる時は尙多數の廻折像を見る事が出来る理であるけれ共實際に於ては廻折像は次第に小となりて肉眼には見へない様になる。此際には内筒の下端に弱き對物鏡を螺入し普通の如く對眼鏡を挿入して見る時は廻折像は廓大せらるるから明かになるけれども像は直接觀察の場合の反對となる。廻折像の位置と兩線條系統の位置とを比較する時は細か

き方の線條に對する廻折スペクトルムは粗なる方の線條に對するスペクトルムよりも相互の距離が二倍丈け大である事を見る(第百十六圖B)。即ち構造が微細となるに従ふて細隙の廻折像は益々相離れると云ふ上述の學説が證明されたのである。次に二二の實驗を附加すべし。



一、今廻折像の生ずる面即ち對物鏡の後焦面に唯細隙の直接像即ち主最強明度(第百十六圖B)のみを通過せしむる様な幅の細隙を有する板を置け。アッペ氏の廻折板には一個の中間輪が附屬して居る、此中間輪は鏡筒の下端に螺入せられ側方に於ける裂隙からは遮光板を挿入する事が出来る。今對物鏡Aを中間輪の下端に螺入し線條に對して明確に準焦し後對眼鏡を去り廻折像を見ながら上記の細隙遮光板を挿入し細隙を廻折スペクトルムの線條の方向に一致せしむる時は第百十七圖Aに示めす如く唯主最強明度のみを見、其他の廻折スペクトルムは全部遮斷さる。次で對眼鏡を挿入する時は格子の線條を見ずして却つて何等構造を示さない透明なる面を見る許りである(B)。今細隙板を取り去れば廻折スペクトルムは全部作用

するから直に格子の線條系統が見へる様になる。此實驗に依りて主最強明度のみでは物體に類似せる結像が行はれないと云ふ事を知るのである。



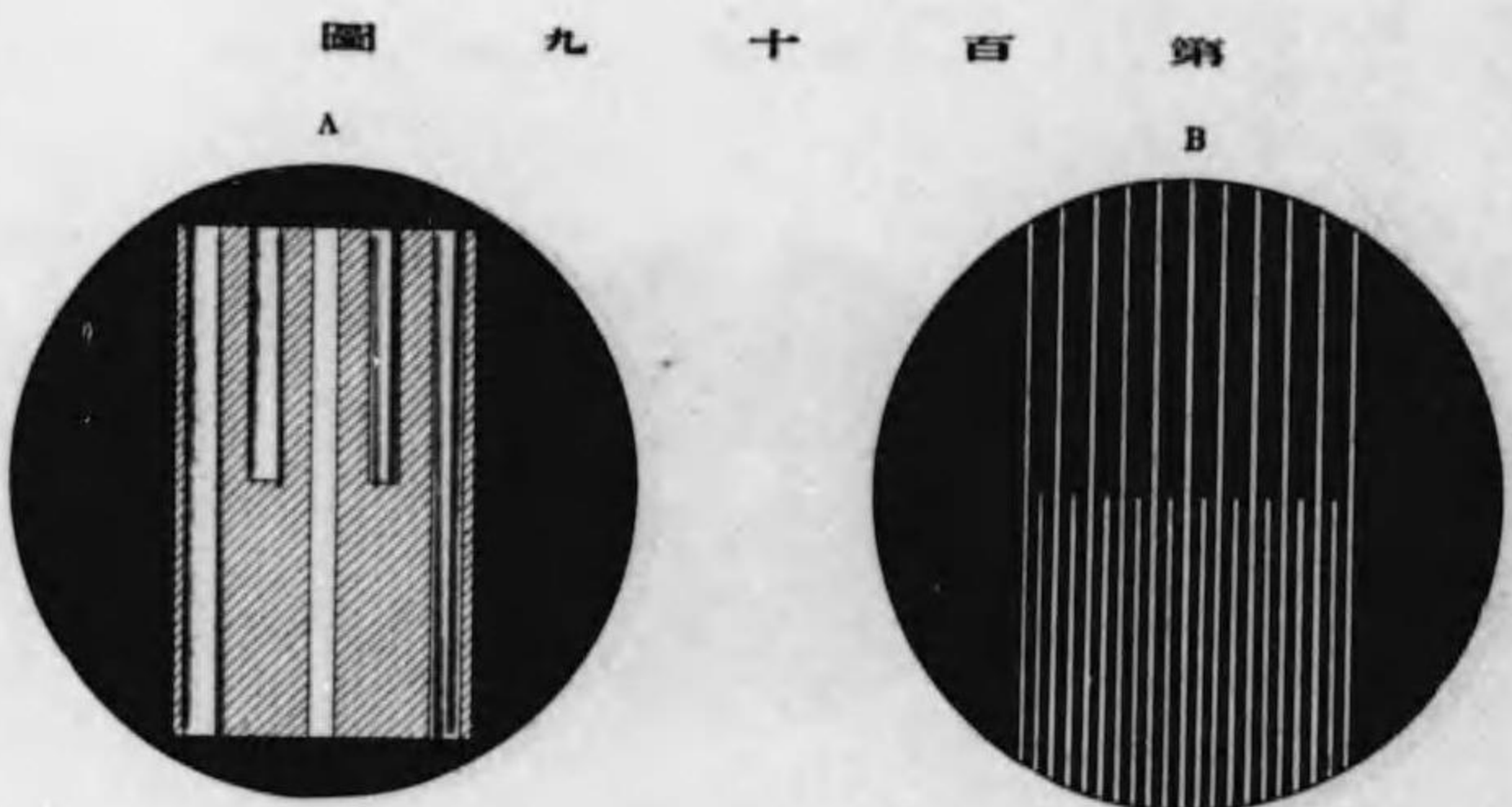
二、次で光源の直接像の外、粗なる線條系統に相當せる第一の廻折スペクトルム(第百十六圖 B. 11)を通し密なる線條系統に相當する廻折スペクトルム(此者は前にも述べた様に粗なる方の線條系統のものよりも遙かに相離れて居る)を通さない様な幅の細隙を有する遮光板を用ひ(第百十八圖 A)對眼鏡を挿入する時は粗なる線條系統に相當する側(第百十八圖 B の上半部)には線條を見、其數も實物と一致し唯明線が實際よりも遙かに太いのみであるけれども密なる線條系統に一致する方即ち B 圖の下半側に於ては廻折スペクトルムは遮られてあるから何等構造を示さず唯明白なる部面を見るのである。此實驗によりて主最強明度の外第一次最強明度が加はる時は像は多少物體に類似する様になると云ふ事を知るのである。

三、次で密なる線條系統の第一次の廻折スペクトルム(第百十六圖 B. 11)及び粗なる線條系統の第

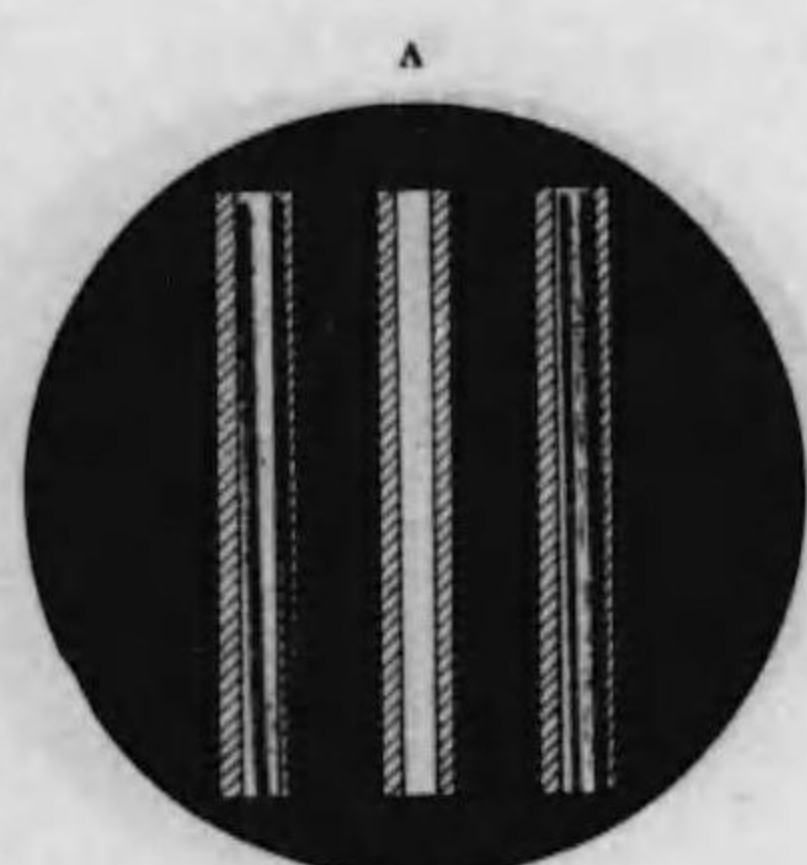
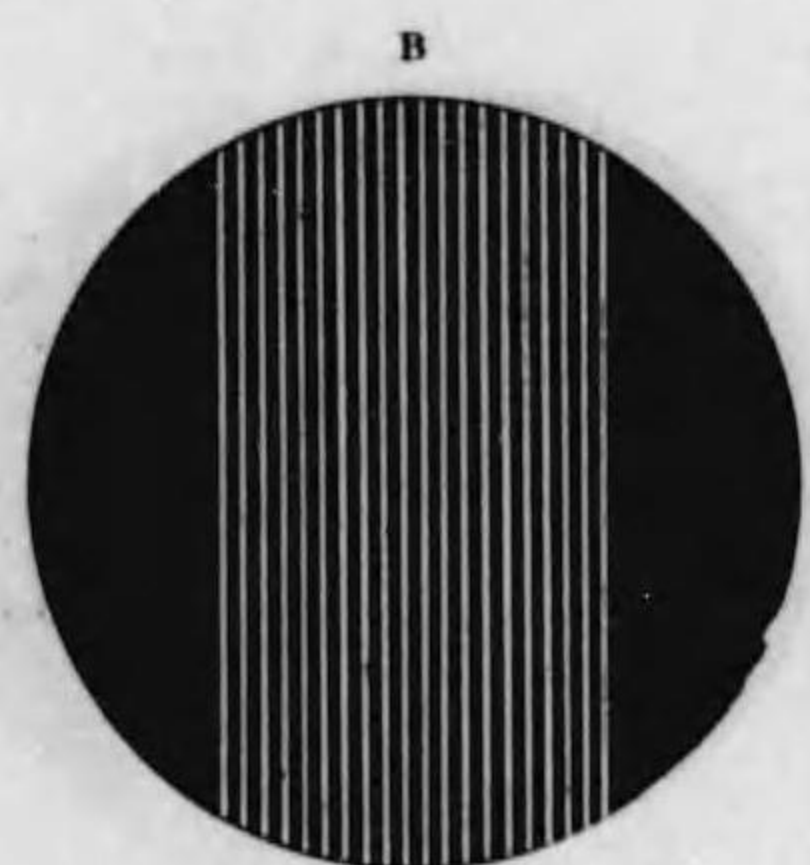
一次及び第二次廻折スペクトルム(同圖 B. 11)及び 22)を通す様な幅の細隙を有する遮光板を選ぶ時は(第百十九圖 A)上半側に於ては四個の、下半側に於ては二個の廻折スペクトルムを見るべし。次

で對眼鏡を挿入する時は(第百十九圖 B)二様の線條系統を見る即ち第二次迄の廻折スペクトルムが存するから粗なる線條系統の各線條の幅は前の場合よりも遙かに狭くなつたけれ共密なる線條系統の線條は之れと比較にならぬ程粗大である。之れは唯第一次の廻折スペクトルムのみが遮光板を通すからである。

四、三個の細隙を有する遮光板を使用する時は一層有益なる實驗を行ふ事が出来る。此三個の相平行せる細隙の内、中央のものは直接像を通し、他の二個は密なる線條系統に屬する第一次のスペクトルム(第百十六圖 B. 11)及び粗なる線條系統に屬する第二次のスペクトルム(B. 12)を通すけれども粗なる線條系統によりて造られたる第一次のスペクトルム(11)は遮光板によりて遮ぎらるゝものとす(第百二十圖 A)。今對眼鏡を用ひて像を見る時は其上下兩半側に於て同數の線條が存し其數は密なる線條系統に一致する事を知る。故



非發光體の結像(又は第二次結像)

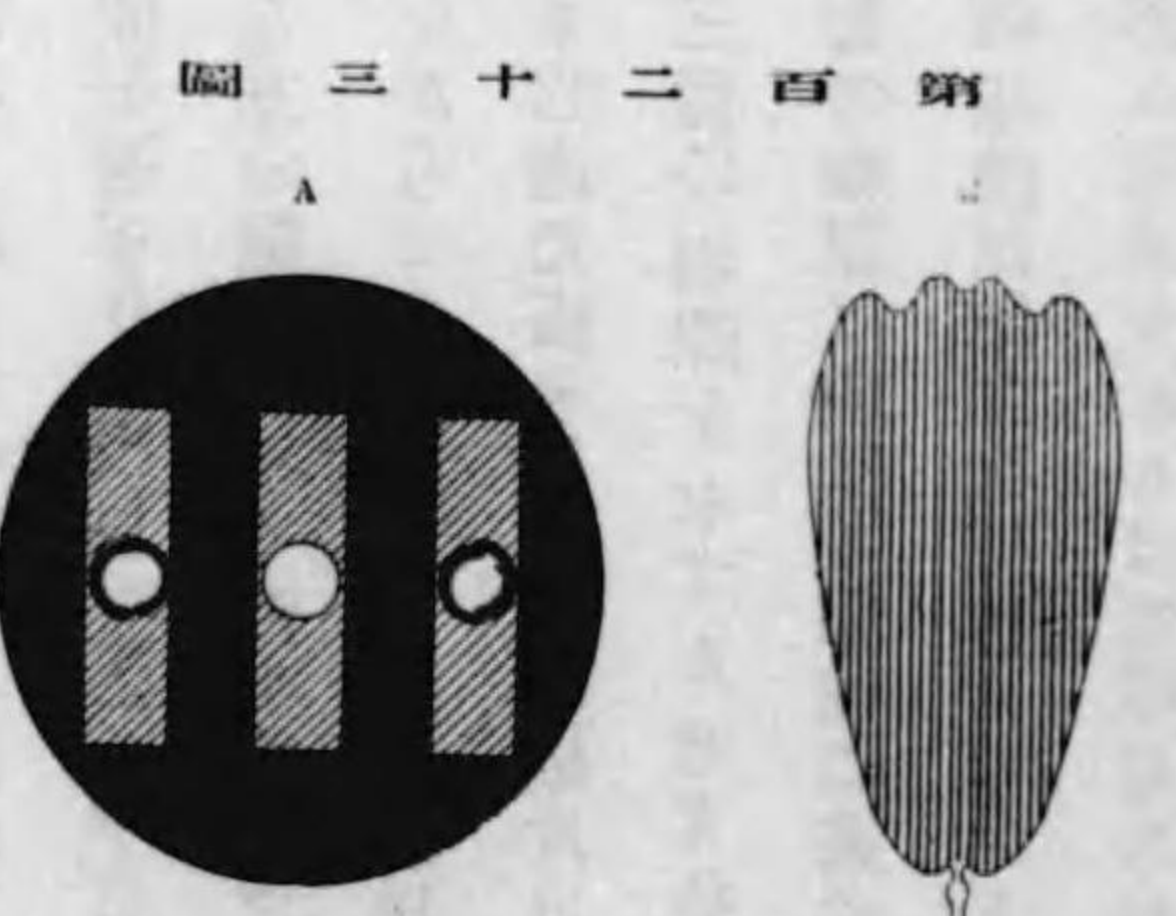
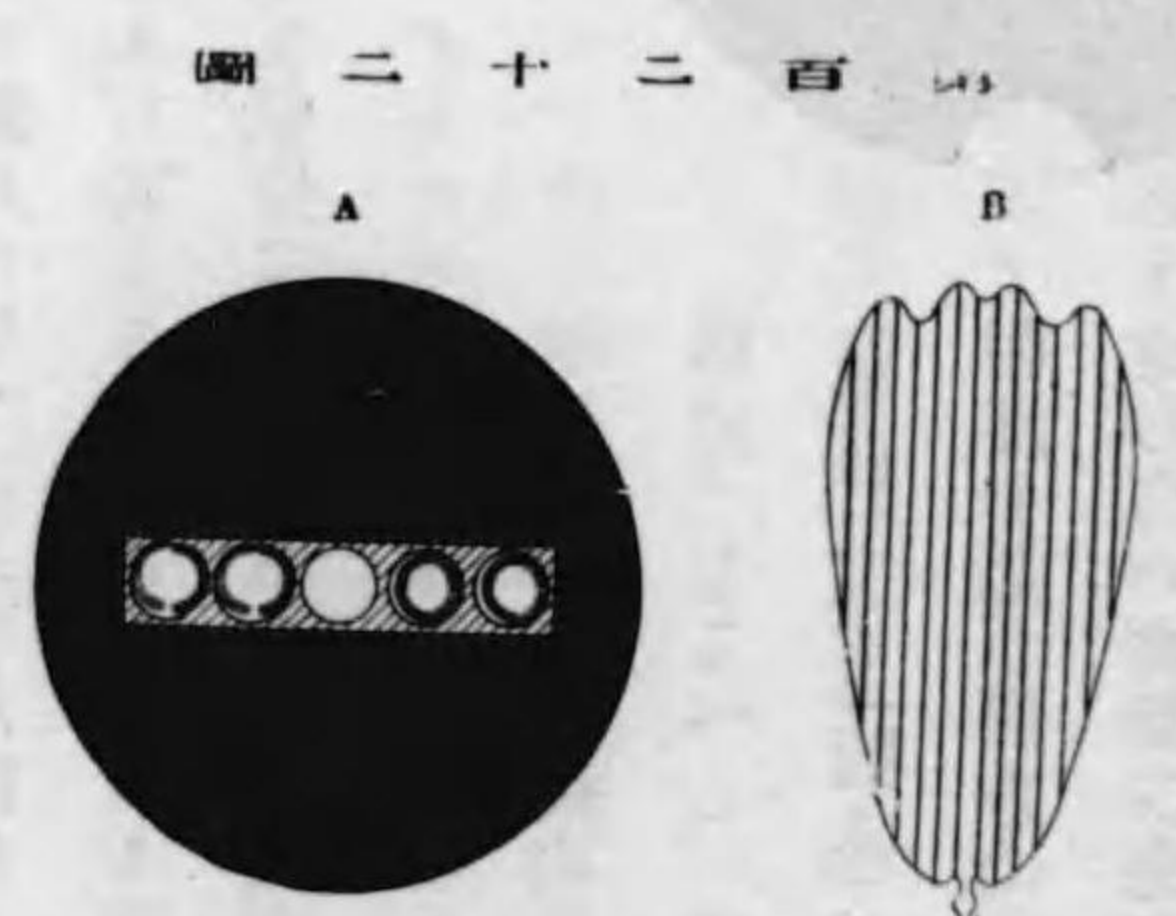
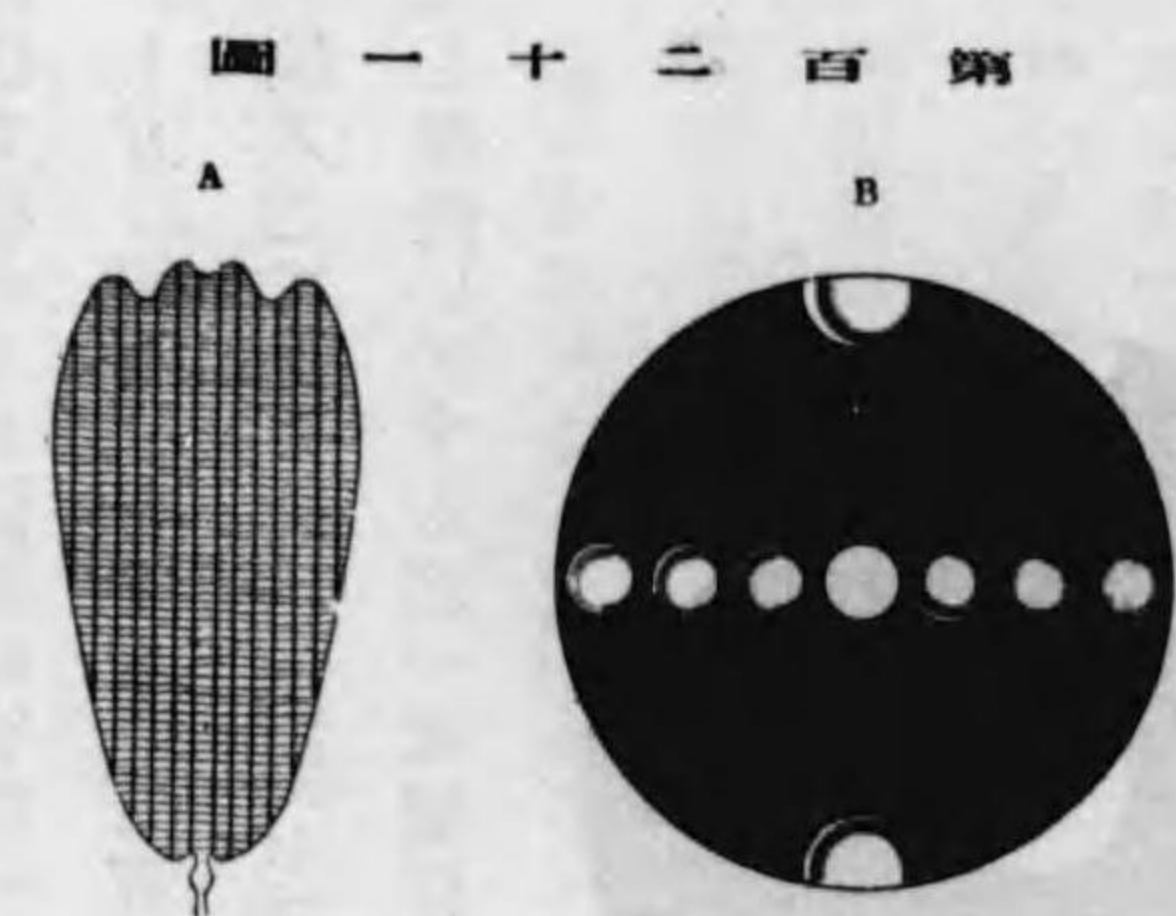


に像の上半側に於ては線條の數は倍加して居る。之れは前記の學說より期待さるべき事であつて粗なる線條系統の廻折像は人工的に倍加され密なる線條系統と同一にされた爲めである。此實驗と同様に第一次及び第二次又は第四次及第五次のスペクトルムを遮ぎれば線條の數は三倍する事を見る。

④廻折板に於ける實驗と同様に組織學的標本に於ても廻折像を見る事が出来る理であるけれ共かゝる標本の構造は甚だ複雑であるから廻折現象を説明するには適當しない。併し規則正しき微細構造を有せる物體例へば蝶の鱗片又は硅藻の硅殻を試験物體として用ふる時は甚だ美なる廻折像を見る事が出来る。かゝる微細構造の研究には物體を狭き遮光器孔によりて照明し對眼鏡を去り其代りに細孔を備へたる遮光板を鏡筒の上端に挿入して鏡筒内を覗くが宜い。

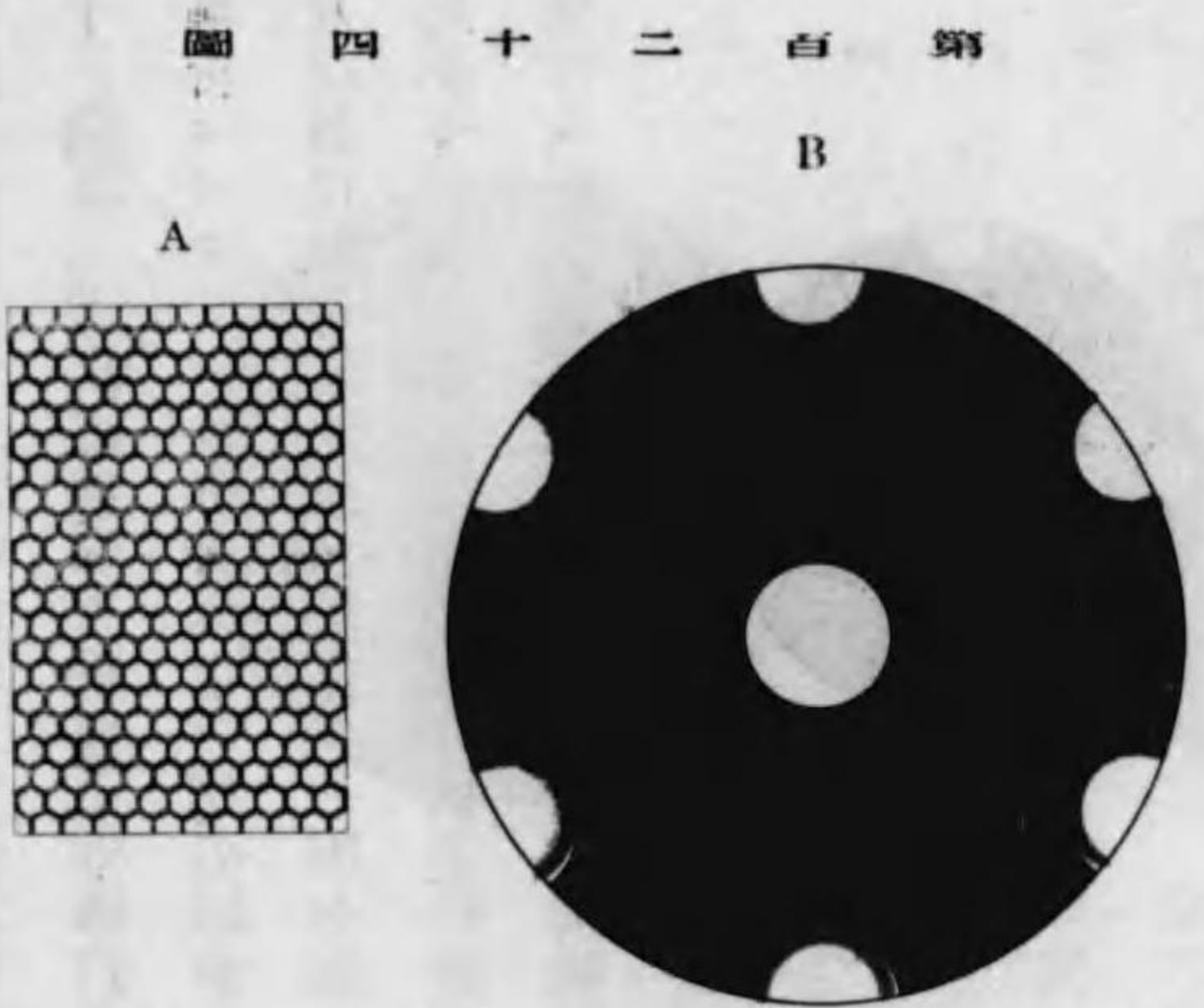
⑤今黄蝶の鱗片を強廓大の對物鏡(例へばライツ7又はツァイスE)にて準焦し對眼鏡を抜き去りて鏡筒内を覗く時には中央に於て白色の光圈を見る、此者は主最強明度であつて反射鏡又は照明装置に屬する遮光器孔の直接像である。鱗片の粗なる線條が前後の方向に走

る様な位置にある時は(第百二十一圖A)主最強明度の左右に廻折スペクトルムの一行を見る(第百二十一圖B)、之れは粗なる線條より來れるものである。之れに反して密なる線條系統に基ける第一次の廻折スペクトルムの青紫色の端のみが視野の上下に突出するを見る。此事實によりても廻折像の距離及び數は線條の距離と關係する事を知る。即ち廻折像の數は線條間の距離に正比例し其距離は之に反比例す。故に非常に微細なる構造に於ては其廻折像と直接像間の距離は大であるから此者を尙視野に受け入れる爲めには大なる開角の對物鏡を使用するの要があること云ふ事が理解さるゝ。其他廻折板を



非發光體の結像(又は第二次結像)

用ひて行へると同様の實驗を黃蝶の鱗片に於て行ふ事が出来る、即ち上記せる中間輪を用ひて對物鏡の上方に細隙を有する遮光板を挿入し密なる線條に基づける廻折像を遮ぎり(第百二十二圖A)對眼鏡を挿入して見る時は(同圖B)粗なる線條は其儘であるけれど共密なる方の線條は全く消失す。之れは密なる線條に對する第一次廻折スペクトルが像の形成に關與しないからである。若しも主最強度の



みを通す様な細孔を有する遮光板を用ふれば鱗片は全く無構造となるべし。次て三個の細隙を有する遮光板を採り(第百二十三圖A)其中央の細隙は粗なる線條に基く主最強度を通し側方の二個の細隙は第二次廻折スペクトルを通し第一次及び第三次のスペクトルは遮断せられたりとする時は主最強度と側方の廻折スペクトルとの距離は二倍となり、之れに應じて粗なる線條の距離は半減せるを見る。換言すれば粗なる線條の数は二倍となりて現はれる(第百二十三圖B)。

又ブロイロシグマアングラトウムと云ふ硅藻(第百二十四圖A、第二圖表、第三圖表I)の硅殼の廻折像を見る

に(第百二十四圖B)中央には主最強度存し視野の周縁に於て六個の廻折像の青紫色の縁が現はれて居る。之れは互に六〇度の角度をなして交叉せる線條に基づける廻折像である。此場合に於ても遮光板を用ひ第一次の廻折像を遮ぎる時は硅藻の構造は消失する。

上述せる廻折板及び規則正しき構造を有する天然の物體に於てなせる實驗の結果を總括すれば次の如くなる。

- (一) 微細構造の結像は對物鏡の後焦面に於ける廻折像から導かれたものである。
- (二) 對物鏡が唯主最強度のみを受領する時には物體に於て何等の構造を認める事が出来ない。
- (三) 微細構造が多少なりとも認知さるゝ爲めには光源の直接像即ち主最強度の外、少くとも第一次の廻折スペクトルが對物鏡より受領さるゝ事を要す。併し此場合に於ては像は尙未だ完全に物體に類似して居ない。
- (四) 對物鏡より受領さるゝ廻折スペクトルの數が多ければ多き程像は益々物體に類似する様になる。

(五) $\frac{2\pi}{\lambda} \sin \theta$ なる式より構造が微細なるに従ひて廻折光束と直接光束となす角度は益々大きくなるから、非常に微細なる構造を現はすには充分廣き開角を有する對物鏡を用ひ、之れによりて少くとも主最強度の外、第一次の廻折スペクトルを對物鏡に進入せしむる事を要するのである。

第六章 顯微鏡的認識の限界

アッペ氏の第二次結像に關する學理から顯微鏡を用ひて認識する事の出来る距離即ち顯微鏡の解像力には限界があること云ふ事を知つた。今平行なる線條系統を使用することせば

$$\sin \alpha = \frac{\lambda}{d}$$

なる式に於て、 λ の値を平均〇・五ミクロンとして計測せる場合に於ける d 及び α の値は次表の示めす様である。

d (ミクロンにて示る線條の距離)	α (直走光束と第一廻折光線のなす角)
10	3° 52'
5	5° 44'
3	9° 35'
2	14° 30'
1.5	19° 28'
1	30°

0.5

90°

此表に示めす様に線條間の距離の減少即ち構造の微細度が増加すると共に廻折光束と直走光束となす角度は次第に増加し最後には第一次の廻折光束が最早や對物鏡内に進入しない様になり、従ふて構造の認識が不可能となるのである。對物鏡の光軸と第一廻折光束とが α なる角度をなすことせば當該對物鏡の開角が少くとも α なる時に於て此廻折光束が受領さるゝのである。例へば上表の示めす様に一ミクロンの距離は六〇度の開角の光系によりて認知さるゝ、けれ共〇・五ミクロンの距離を認識するには對物鏡は一八〇度の開角を有する事を要す。而して $\sin 90^\circ = 1$ であるから百八十度の開角に對しては $\lambda = d$ となる、即ちかゝる光系を用ひて見らるべき線條間の距離は波長と等しい理である。此距離は理論上顯微鏡によりて認識せらるゝ最小限度である。

顯微鏡によりて認識せらるべき最小距離を此限度以下にするには種々の方法がある。

一、 $\sin \alpha = \frac{\lambda}{d}$ なる式より λ 即ち波長を小さくする場合例へば平均波長〇・五ミクロンの代りに〇・四ミクロンの波長の光即ちフラウンホッフ線Hに一致せる光線を用ふる時は〇・五ミクロンなる(實際に於ては到著する事の出来ない)解像力の限界を〇・四ミクロン迄降下せしめる事が出来る。更に短かき波長の光線として紫外光線を用ふる事も出来る。紫外光線は肉眼にては認むる事は出来ない、けれ共感光板に感ずるから、此光線を用ひて物體を撮影し眼により解像する事の出来ない構造を認知す

るのである。此事に關しては後條に於て述べる。

二、次には物體より進出する光の波長を減少せしめ之れによりて $\frac{2}{\lambda}$ を減ずる事の出来る方法がある。物理学の法則に従へば光の波長及び其進行速度は之れを通ず媒質の屈折率に反比例するのである。故に對物鏡の前端レンズと物體との間に屈折率一なる空氣の代りに屈折率一・五なる浸液が存する時は次の式によりて α を計測すれば宜い。

$$\frac{\lambda(L)}{\lambda(Z)} = \frac{1.5}{1}$$

此式に於て $\lambda(L)$ は空氣中に於ける、 $\lambda(Z)$ はツェーデル油中に於ける波長を示めず然る時は $\lambda(L) = 0.5\mu$ であるから

$$\lambda(Z) = \frac{0.5 \times 1}{1.5} = 0.33$$

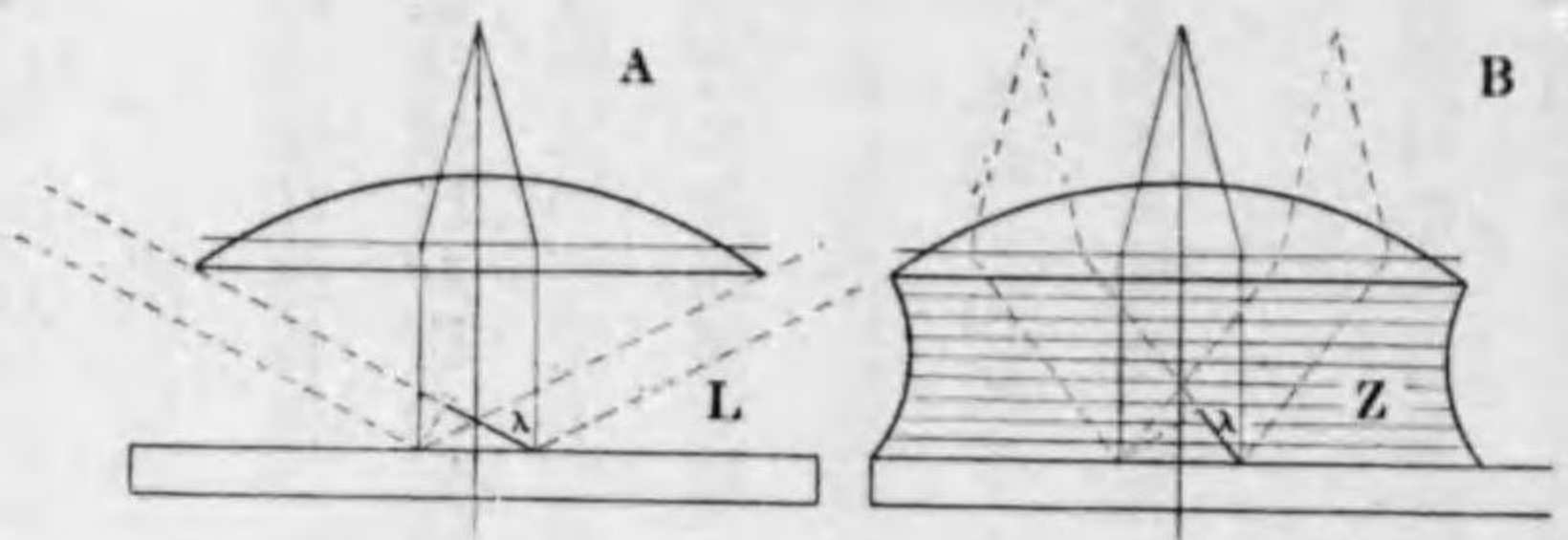
となる。故に線條間の距離が〇・五ミクロンの時には

$$\sin \alpha = \frac{0.33}{0.5} = 0.66$$

$$\alpha = 42^\circ$$

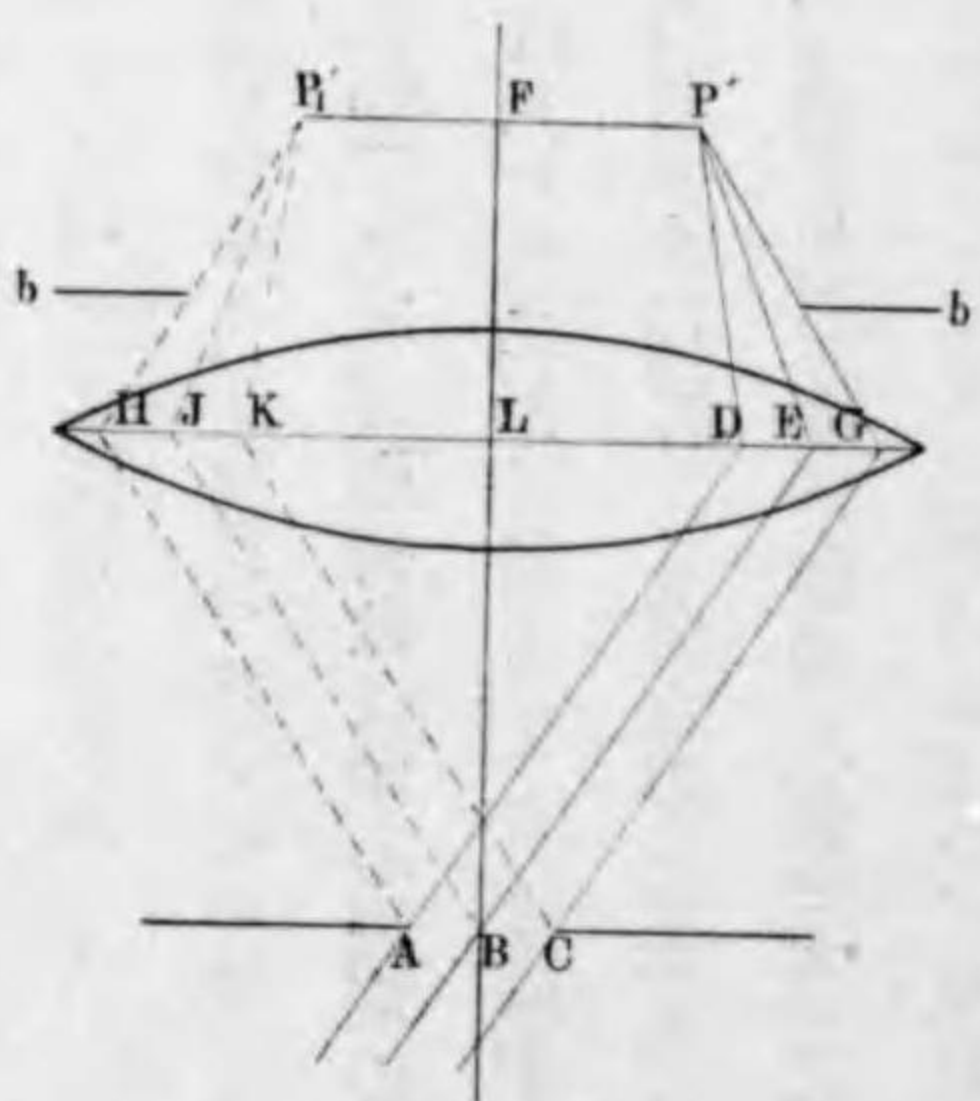
となる。即ち屈折率一・五の媒質を用ふれば空氣中に於けるよりも波長は約三分の二に減少し従ふて第一次廻折光束は四二度の角度を以て對物鏡内に進入す、換言すれば此際には八四度の開角又は〇・六六の開数を有する對物鏡を用ひて第一次廻折スペクトルを受領する事が出来るのである。斯様にし

圖 五 十 二 百 第



顯微鏡的認識の限界

圖 六 十 二 百 第



て強き屈折率を有せる浸液を用ひ物體より進出する廻折光束の波長を短縮し以て廻折光束と直走光束となす角度を減少せしめる事が出来ること云ふ事が液浸の主なる效能である。第百二十五圖Aは乾燥系、Bは油浸系とし、Aに於て前端レンズ内へ進入しない廻折光束がBに於ては進入する事を示めす。此理によりてツェーデル油よりも屈折率の一層強い浸液を用ふれば α 角を更に小ならしめる事が出来る理である。此目的に $n = 1.66$ なる屈折率を有する一臭化ナフタリンが使用せらる。今此浸液と〇・四ミクロンの波長の光線を用ふれば解像力の最小限度として $\frac{0.4}{1.66} = 0.24$ を得。

三、次に解像力を増すには光軸に平行なる光線を用ひず傾斜照明法によりて一定の傾きを有せる光線を對物鏡に進入せしむるのである。今此照明法によりて第百二十六圖に示めす如く直接光束ACGDが屈折の後丁度對物鏡の遮光器孔(b, b)に切す

る場合に於て此光束と EBI なる角をなせる廻折光束 ACKH も顯微鏡内へ進入せしむる事が出来る。とすれば、角 EBI は中心照明法を用ふる際に生ずる角 EBL の二倍である。即ち中心照明法に於ては直接像は廻折像の中央に存し兩側より廻折スペクトルムによりて圍まるゝに反し傾斜照明法に於ては直接像は視野の周縁に存し他側に存する廻折像は中心照明の場合に於けるよりも二倍だけ直接像より距たつて居る。換言すれば角 α は二倍となるから d は中心照明の場合の二分の一となり従つて解像力は傾斜照明法にては中心照明法に於ける場合の二倍となる理である。此傾斜照明法は照明光束の狭い場合に有効であつて、遮光器を擴げ照明光束を大とする時には光軸以外の光源より來る無数の光線が作用するから傾斜照明の効果が現はれない。傾斜照明を行はんに始め中心照明法によりて物體を觀察したる後遮光器孔を狭め齒車の作用により遮光器支持器を水平に移動せしむれば宜い。

傾斜照明法の効果を實驗によりて證明せんには任意の硅藻の殻を用ふ。比較的強き縦横の線條を備へて居るプロイロシグマールチウムが宜い。今此硅藻を鏡檢する際、中心照明法に依りて第一次の廻折光束が丁度視野の外に落つる様な大きさの開數を有する對物鏡を用ひ、次で中心照明法に代ゆるに傾斜照明法を以てする時は廻折スペクトルムは直に遮光器孔の周縁に現はるべし。之れと一致して對眼鏡を挿入して見る際に中心照明法を用ふる時には何等の線條が現はれないけれ共、照明光束を縦

線に鉛直をなせる方向に移動せしむる時は線條は著明に現はれる。今標本を九〇度廻轉せしむれば縦線は消失し横線が現はれる。四五度廻轉する時は縦横線條より造られたる廻折光束が共に對物鏡に進入するから兩線條は同時に現はれる。此實驗を行ふ際には強き對眼鏡を用ふるが宜しい。

中心照明法を用ふる際に乾燥系に於ける解像力の最小限度を〇・五ミクロンとすれば油浸系に於ては〇・三三三になること云ふ事は前に掲げた方程式

$$\sin \alpha = \frac{\lambda}{nd}, \quad d = \frac{\lambda}{n \sin \alpha}$$

より計測する事が出来る。即ち $\alpha = 90^\circ$ とすれば $\sin \alpha = 1$ であるから

$$d = \frac{0.5}{1.5 \times 1} = 0.333$$

となる。今傾斜照明法を用ふれば解像さるべき限度は二分の一に降下するから乾燥系を用ふる際には〇・二五ミクロン、油浸系の場合には〇・一五ミクロンとなる。此値は理論上普通の光源を用ふる際に於て解像し得べき最小限度である。又一臭化ナフタリンと〇・四ミクロンの波長の光線を使用する時は中心照明法にては〇・二四ミクロン、傾斜照明法にては〇・一二ミクロン迄の距離を解像する事が出来る。更に解像力を高めるには紫外光線を用ふるにある、此際には $\lambda = 0.275 \mu$ となるから解像力は上に掲げたる場合の約二倍となる理である。

第七章 光學的基準點の決定

一、焦點の決定。焦點とは平行光線が對物鏡によりて屈折したる後、光軸上に於て結合する點を云ふ。短かき焦點距離(二乃至三粒)を有する對物鏡に對しては一米程の距離でも已に遠距離と云ふ事が出来るから此距離に於ける物體の像の位置を決定すれば焦點を知る事が出来る。此際には平面反射鏡のみを使用せねばならない、何となれば球面反射鏡又は集光鏡を使用する時には遠距離にある物體の像が對物鏡に近き所に造らるゝからである。

任意の對物鏡の後焦點の位置を定むるには先づ弱度の對物鏡(例へばツァイスのa)を内筒の下端に螺入し鏡筒の上端に對眼鏡(例へば2)を挿入して造れる補助顯微鏡を用ひて鏡筒の下端に準焦するを要す。之れをなすには對物測微計を外筒の下縁に接著せしめ其線に對して準焦すれば宜い。斯くして得たる内筒の位置を其目盛りによりて記憶すべし。次で外筒の下端へ検査すべき對物鏡を螺入し内筒を上下に動かして遠距離の物體例へば窓框の像が明確に認知さるゝ様にする時は補助顯微鏡は試験すべき對物鏡の後焦面に準焦されたのである。故に此準焦をなす爲めに内筒を移動せしむるに要した距離は後焦點と鏡筒の下端との距離である。同様にして前焦點を計る事も出来る。之れをなすには對

物鏡を倒まにして載物机の上に置き前端レンズを上方に向はしめ、始め補助顯微鏡(中等度の對物鏡例へばアポクロマト 16mm)及び補正對眼鏡(+)を用ひて對物鏡の前面に附著せる塵埃に對して準焦せる後、遠距離にある物體に對して明確に準焦す。此際内筒の移動に要した距離は當該對物鏡の前焦點と其前面との距離に相當するのである。

對眼鏡の焦點を見出だすには始め檢定すべき對眼鏡を倒まにして載物机の上に載せ、弱き對物鏡(例へばツァイスのa)と對眼鏡(2)とを用ひて造れる補助顯微鏡と以て檢定すべき對眼鏡の下縁に準焦すべし、之れをなすには對眼鏡の下縁に持ち來せる對物測微計に對して準焦すれば宜い。次で對眼鏡により結像せる遠距離の物體に向つて準焦せよ、然る時は此兩準焦位置の差異は對眼鏡の下縁より前焦面迄の距離に一致する。

二、焦點距離の決定。厚さを無視しても差支へない程薄きレンズに於ては焦點距離の長さは焦點とレンズ間の距離と考へても大差がない。併し、對物鏡はレンズ系であつて一定の厚さを有して居るから焦點の位置が知られても之れによりて焦點距離を定める事は出来ない。かゝるレンズ系に對しては焦點距離を決定する爲めには主要面の位置を知る事が必要である。併し主要面を直接に決定する事は非常に困難であるから下には比較的簡單なる方法を述べる事とする。第百二十七圖に於て O_2 を O_1 の像とし、三角形 $H_1F_1E_2$ 及び $B_1E_1A_1$ は相似であるから