

干渉計に依る天體觀測

公 文 武 彦

1. まへがき

望遠鏡を通じて見た星像は、星其物を見てゐるのでは無く、星の光に依る口径の廻折環像を見てゐるので、この像の分離が大きい程望遠鏡の分離能 (Resolving Power) は大きい。分離能は理論的には口径のみに關係するが、實際にはレンズの性質、特に F 數にも關係がある。其れで望遠鏡の分離能を更に増大して、天體の微角を測定する事が考へられる。光の干渉原理を望遠鏡に應用したものが、天體用の干渉計で、之に依れば分離能を 2 倍餘りに増大する。例へば、對物鏡の直徑を l とし、一つの星の廻折像の中心像が他星の廻折像の第一暗輪に來るとし、兩星の距離を d とすれば、

$$d(\text{秒角}) = 2.44\lambda/2l \sin 1'' \quad \lambda \text{ は星の有効波長}$$

となり、AO 型の星では 5600Å を λ とすれば、18吋鏡では望遠鏡の分解能は $0.''32$ となる。所が對物玉の兩端の廻折像を考へると、干渉理論のスペンサー・ジョンス (H. Spencer Jones) の式が適用され

$$d(\text{秒角}) = \lambda/2l \sin 1''$$

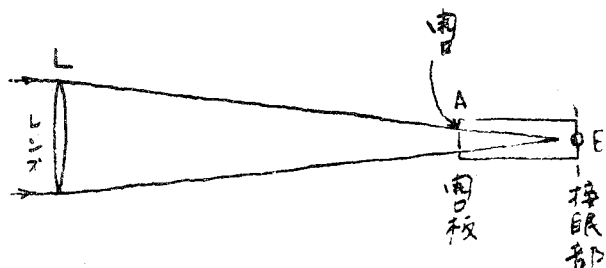
となり、18吋全部を使用すれば $0.''14$ の分解が可能である。干渉の原理を最初に星の直徑測定に應用したのはフィゾー (Fizeau) 1868年で、其後1873年ステファン (Stephan) がマルセー天文臺で、フィゾーの方法に依り80種の屈折望遠鏡を使用して實測を試みたが、 $0.''2$ 以下の測定は不可能で、結局 $0.''2$ 以上の星は無く、最大のものでも之より遙かに小さい値を持つだろうと結論した。1890年頃からマイケルソン (A. A. Michelson) は理論、觀測兩方面に活躍し、極微角の觀測に干渉計の使用を述べて、遊星、衛星、二重星等の觀測を主張し、1891年には木星の衛星を觀測したが、一般の恒星には大氣の擴散による誤差を考慮して手を着けてゐなかつた。所が1919年の9月にキルソン山で60吋及び100吋の大反射鏡を使用して之を實驗し、又ヤキス天文臺でも40吋屈折鏡を使つて實測の結果、比較的不良なシイニングの下でも、見

事な干渉縞を得る事を知り、又アンダーソン (J. A. Anderson) は100吋を使つてカペラの離角を測定して、 $0''.0545$ を得。而も誤差は僅に1パーセントと云ふ見事な結果を得た。實際この望遠鏡では11等級、 $0''.025$ 迄の微角は正確に測定されるが、恒星の直径を測定するには、開口間隔は少くとも10米は必要である。

2. 干渉計の構造、原理

第1圖に示す様に干渉計は中心に對して對稱的に設けられた2個の開口部を

第 1 圖



有する遮光板 A を對物玉の焦點近くに置き、焦點面に作られた干渉縞を E なる高倍率の接眼子で觀測する仕掛になつてゐる。干渉計全體は望遠鏡の軸の周りに廻轉して、開口部の中心を結ぶ直線の位置角を變化する様になつており、開口自身の間隔も適當に變へ(開口板を取換へる)、位置角は目盛環に依つて讀取り、同時に分離角も決定される。觀測方法にはマイケルソンの方法もあるが、此處では現在普通に行はれてゐるアンダーソンの方法を述べる。簡單の爲めに對物鏡の前に開口部があるとする。其の開口連絡線の方に測つた長さを d 、即ち圓形の開口なれば其の直径を d とし、開口の中心距離を D とすれば、焦點で見た廻折像の形は開口の形に關係するものであるが、吾々の問題は開口線の方に測つた長さであるから、これを望遠鏡の焦點距離から見た角 α は $\alpha = 2C\lambda/d$ で、圓形な開口なれば焦點面に直径 $2C\lambda/d$ なる回折環輪を生じる。この中心環の光度を 1 とすれば、光度零なる最初の點は中心から $\alpha/2$ の所に來る。此處に C は開口の函數で、短形なれば $C=1$ 、圓形なれば $C=1.22$ となる。此の際各々の廻折像の上には干渉縞が現はれ、(干渉は同一光源から來た光に依つて起るもので、此の様に裝置したのが干渉計

である), 其の方向は開口の中心連結線に直角で, D/λ なる間隔に列ぶ. 故に中心廻折像に現はれる縞の数は D/d に關係し, $2CD/d$ となる. 縞の数が10箇以上になると端の方は種々の色が重つて白色となり縞は見えなくなる.

さて干渉計で接近した二重星を觀る場合に角距離を β とすると, $\beta > 2C\lambda/d$ ならば兩星の廻折像は分離して見え各々の像に干渉縞が見える. $\beta < 2C\lambda/d$ ならば廻折像は互に重なり合つて, $\beta = \lambda/2D$ 即ち β が縞の間隔の $1/2$ で兩開口を結ぶ線と, 兩星を連ねる線が一致すれば, 兩星の縞の明暗部が一致して, 兩星の光度が等しければ縞は完全に消失し, 幾分の光度差がある場合には縞の “minimum visibility” が得られる. 即ち干渉計は角距離が $\lambda/2D$ なる兩星を分離すると云ふ事が出来る. 一方對物玉の直徑が D なる望遠鏡の分解能は $1.22\lambda/D$ であるから, 干渉計は望遠鏡に比べて2倍餘の分解能を持つと云ふ事が出来る. 尙特に注意を要する事は角距離が $\lambda/2D$ よりも遙かに小なる場合にも可能で, D_0 を干渉縞の消失する D の最小値として $D_0 = D \cos \theta$ とすると, 二重星の位置角と開口の連絡線の一致する所では縞は消失せず, $\pm \theta$ だけ廻轉さすと縞が消え, 更に $180^\circ \pm \theta$ の所でも同じ現象が現れ, 都合一廻轉に對して4回の消失或は minimum visibility がある. この4個の位置角と D の値から D_0 及び重星の位置角が分る. 第2圖を参照せられよ.

3. 觀 測 方 法

二重星の觀測方法は至極簡單で, 干渉縞の光度極小個所を夫々 $\theta_1, \theta_2, \theta_1 + 180^\circ, \theta_2 + 180^\circ$ とすれば, 二重星の位置角は $\theta = 1/2(\theta_1 + \theta_2)$, 或は $1/2(\theta_1 + \theta_2 + 180^\circ)$ で與へられる. 時としては縞の光度極大から求める場合もある. 距離は, 二重星の位置角 θ と干渉縞の消失或は最小光度を示す時の角度の差とすれば $d = d'/\cos \xi$ で與へられる. ξ に對しては $\cos \xi$ の變化が急激で縞の光度極小の時が望ましく, 従つて $\xi = 30^\circ \sim 50^\circ$ が適當である.

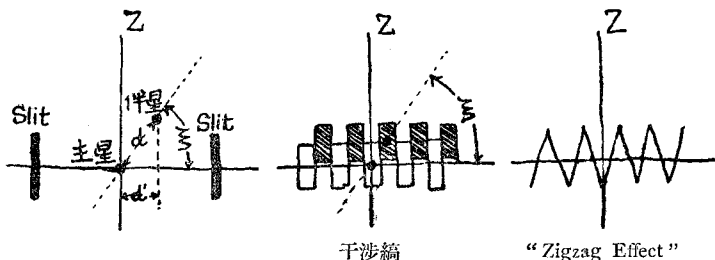
註. 位置角とは伴星の主星に對する位置を示すもので, 北から計つて東廻りに兩星を連ねる線迄の角度である.

星の直徑測定も同様の理由で開口間隔を増減して, 干渉縞の最も暗くなる開口間隔から星の直徑が $k\lambda/D$ で與へられる. 此處で k は星面の見かけの光度分布で定る常數で, 圓形で均等の光度分布ならば $k=1.22$ で, 太陽と同

様の分布法則であれば $k=1.33$ となる。

第 2 圖

“Minimum visibility” に於ける星と縞の關係を示す



4. 恒星の直径の測定

昔は星の直径を相當大きく考へてゐた。例へば

App. Mg. 等級	Cardanus 1543年	Tycho Brahe 1602年	Maginus 1608年	Landsbergius 1631年	Vanden Hove 1630年	Riccioli 1651年	Hewelke 1662年
1	480''	120''	600''	60''		13.7—16.7	5.1—6.6
2	360	90°	330	40	6''	7.9—12.3	4.5''
3	240	65°	240	30	5	7.0''	3.8
4	180	45°	180	20	4	6.2	3.2
5	120	30°	120	10	3	5.3	2.5
6	60	20°	60	5	2	4.4	2.0

であるが、望遠鏡の發達に従ひ漸次其の値は小さくなり、大體次表に示す様な變化を辿つてゐる。

人名 Authority	シリウスの直径
Albategnius	45''
Kepler	(240)
Galilei	5.3
Van den Hove	10
Riccioli	18
Hewelke	6.57
J. Cassini	5
Michell	0.01
W. Herschel	<0.01
現在 Actual Value	0.0053

1868年にフィゾーが干渉計の應用を唱へて後、マイケルソンに至つて漸やく數個ながらも正確な直径を測定した。現在製作中の200吋鏡完成の暁には、更に星數も増加する事が考へられる。100吋鏡に備へた干渉計は、直径約150耗の平面

鏡 M_1 , M_2 , M_3 , M_4 を筒先に取り付け、最大距離6米の M_1 , M_4 から來る光

が焦點距離 40.84 米の カセグラン式望遠鏡の一點に結像し、干渉縞の間隔は 0.02mm で 1600 倍の下に樂々觀測が出来た。M₁, M₄ を増減して縞を消す仕掛けで、其の間隔に一定の制限がある爲めに測り得た星數は少いが、理論と觀測とは好く一致する事を示してゐる。次表中 () は分離不足で確かでないものを示す。

星 名	直 徑	視 差	實直徑(單位太陽)
α Orionis	0.047	0.011	460 $\odot$
α Bootis	0.022	0.090	26
α Scorpii	0.040	0.026	160
σ Ceti	0.056	0.010	600
α Herculis	0.021	0.007	320
α Tauri	0.020	0.060	36
β Pegasi	0.021	0.020	110
γ Andromedae	(0.014)	0.010	(150)
α Arietis	(0.011)	0.040	(30)

5. 二重星の觀測

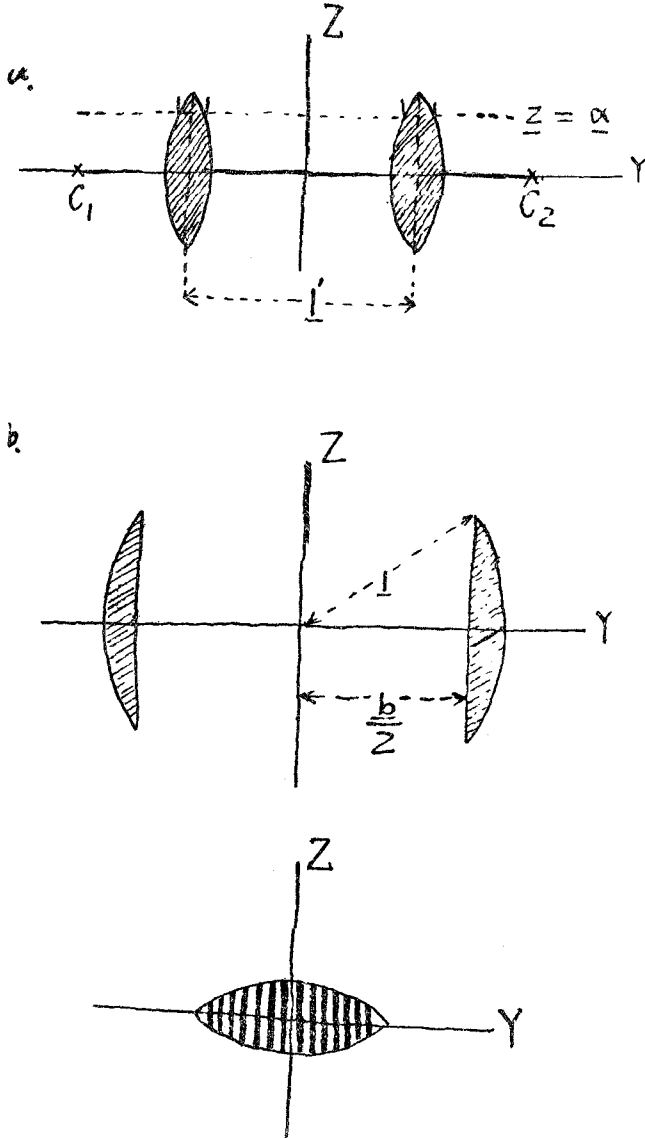
其後干渉計の使用は漸次増加し、マールリル (Merrill) は 100 吋鏡を使用して位置角で 1° 以内の誤差、距離で 0.0007 迄の正確度を發表した。又伊太利のマグニは木星の衛星の形、連星の軌道等に就いて研究し、又比較的小口径の望遠鏡でも十分の成果を得る事を證明した。現在干渉計を使用してゐる天文臺にはリック、ヤルクス、巴里、ストラスブルグ、カタニヤ等があるが、1933 年から南阿のユニオン天文臺のフィンゼン (W. S. Finsen) は 26.5 吋の屈折望遠鏡に干渉計をつけて觀測し、測微尺に依る方法と比較發表してゐるが、極微の角では測微尺で不可能のものでも樂に觀測出来たと述べてゐる。この器械では遮光板上の光束の直徑は 18 耗で、4 種のスリットを使用してゐる。即ち

細 隙	細 隙 の 巾	細隙間の距離	分 離 度	細隙常数 ($k = \frac{2D}{\lambda}$)
1	1.5mm	14.3mm	15.8mm	0.096
2	2.2	12.8	15.0	0.101
3	2.4	10.8	13.2	0.115
4	—	9.6	12.0	0.127

$\lambda = 5370\text{\AA}$, AO 型

第 3 圖

a, b はキルソンの使用した開口



Y 軸は開口の連絡線これに直角に見えるが干渉縞中心廻折像を示す。形状は開口の形に従つて異なる。

又近頃フラワ 1 天文臺でキルソン氏は、18時の屈折鏡に干渉計をつけて、
0."1 乃至 0."6 光度7.5等迄の星の觀測に成功してゐる。細隙(開口)の形狀、
干渉縞の見取圖等は第3圖参照。觀測結果を測微尺によるものと比較すれば、

星 名	日 Date	位置角の差 Δp	距離の差 Δd	望遠鏡の口径	觀 測 者
ADS 102	32.619	— 0.5	0.00	40吋	Van Biesbroeck
434	31.72	12.5	0.06	8	Philips
490	33.89	8.4	0.03	36	Aitken
”	34.96	—20.3	0.01	36	”
520	32.878	— 3.5	—0.01	26.5	Van den Bos
784	34.210	28.7	—0.04	40	Van Biesbroeck
940	33.25	1.9	—0.07	36	Aitken
7780	34.236	7.4	0.12	40	Van Biesbroeck
”	35.414	0.4	0.00	18	Wilson
8804	35.261	8.8	—0.04	18	”
8987	34.53	1.3	0.08	36	Aitken
9301	34.46	2.6	0.07	36	”

上表は干渉計と測微尺に依る差を示す

上表で Δp の値の比較的大きいのは、極微角の二重星觀測では測微尺に依る場合でも誤差は相當に大で觀測困難に起因すると考へられるが、又同時に干渉計では光度差の大きい時と光度の低い星には相當の誤差は止むを得ない。

以上の結果から見て二重星に干渉計の應用は、12吋級の望遠鏡にも可能で、又設備の至極簡單な事より見ても、我國の熱心家は試みられても興味ある問題であろう。但し、反射望遠鏡にはマイケルソンの試みた様な 2 個の開口部に相當する平面鏡が必要で實際小型望遠鏡には推奨出来ない。(3月4日)

觀 象 偶 成

向 晚 緣 明 玉。
月 光 流 靜 寂。
嫋 々 風 林 調。
漠 河 宇 宙 外。

正 元

無 看 世 上 氣。
夜 色 定 氤 氲。
昂 々 圓 蓋 文。
捕 得 幾 星 雲。

神戶關守畔 改 發 香 嶋