

ば二重に電離した原子の線が又それに代る。例へば Al 原子の線が最初に現はれて次に Al<sup>+</sup> 原子の線が之に代り、更に Al<sup>++</sup> 原子の線が又それに代つて現はれるのである。(Al を AlI, Al<sup>+</sup> を AlII, Al<sup>++</sup> を AlIII とも記す)。

166. スペクトル型の電離説 インドの學者 Saha の説によれば分子が温度によつて分解して原子となる様に中性原子は分解してイオン即ち電離原子と電子とになる。此の如く電離した原子は永く其儘に残るものでは無くて遊離電子と會合する機会があれば再び結合して中性原子となる。温度が一層高まれば電離原子が更に又他の電子を分離して二重にも三重にも電離することが可能である。例へば中性原子 Al は分解して Al<sup>+</sup> と e (遊離電子) とになり更に Al<sup>+</sup> が再び分解して Al<sup>++</sup> と e とになる。電離した原子が還元するには遊離電子と會合する事を必要とするが故に、それが多ければ多い程早く還元する。それであるから電離原子の数は温度が高ければ高い程多くなり遊離電子が多ければ多い程少くなつて、そこに一種の平衡が成生する。Nernst の化學平衡論を此場合に適用すれば原子の電離率  $x$  は次の關係式によつて表はされる。

$$\text{Log} \frac{x^2}{1-x^2} = -\frac{5048}{T} I + \frac{5}{2} \text{Log} T - 6.5 - \text{Log} P$$

式中 Log は 10 を底數とせる對數、 $T$  は絶對溫度、 $P$  は一氣壓を單位とした蒸氣壓、 $I$  は一個の原子を電離するに要する熱量をエルトで表はしたもので所謂電離ポテンシアルである。電離ポテンシアルは電離の難易を示すもので實驗的に其値が求められる。Russell により主なる元素の値を其大きさの順に配列すれば次表の通りである。

Rb は最も電離し易い元素で K, Na, Ca 等も亦殆ど同じ程度にその容易いものである。中性原子で最も電離し難いのは A, Ne, He 等の所謂稀瓦斯類で、中にも He は最もその難いものである。此等の元素が特に大なる

Rb	4.16	Fe	8.15	N	14.18	Si <sup>++</sup>	31.66
K	4.36	Si	8.19	A	15.69	O <sup>+</sup>	35.00
Na	5.13	Hg	10.39	Si <sup>+</sup>	16.27	Ti <sup>+++</sup>	43.07
Ba	5.19	C	11.3	Ne	21.47	Si <sup>+++</sup>	44.95
Ca	6.09	Ca <sup>+</sup>	11.82	C <sup>+</sup>	24.3	C <sup>++</sup>	46.4
Ti	6.80	H	13.54	He	24.41	N <sup>++</sup>	47.2
Cu	7.69	O	13.56	Ti <sup>++</sup>	28.4	He <sup>+</sup>	54.18
Ni	7.8	Ti <sup>+</sup>	13.6	N <sup>+</sup>	29.6	O <sup>++</sup>	54.8

$I$  の値を有つ譯は原子の構造が堅固で核の周圍に

$$2(1^2+2^2+2^2+3^2+3^2+4^2)$$

個の電子核を形成して居る爲めと言はれる。他の原子と化合しないのも同じ譯でなければならぬ。

蒸氣壓  $P$  が大きくなれば一定容積内の遊離電子の数が多くなり従つて電離原子の還元が早くなる、其結果電離率は小となる。反對に  $P$  が小さくなれば  $T$  が小さくとも  $x$  は大となる。それであるから常溫の眞空管にスパークを通じて眞空度さへ強ければ電離原子のスペクトルを見る事が出来る。次の表は上式により Ca に就いて計算した電離率  $x$  の値である。

$T \backslash P$	1	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>
3000°	—	—	—	0.3	1	9
4000	—	—	3	9	26	23
5000	2	6	20	55	90	
6000	8	26	64	93	99	
7000	23	69	91			
8000	46	84	99			
9000	70	95				
10000	85	99				

Saha の電離説のよく當つて居る事は實際的に恆星のスペクトルの連系によつてわかる。O, B 型のスペクトルに He, He<sup>+</sup>, O<sup>+</sup> 等の電離ポテンシ



アルの高いもののみが現はれて多数の中性原子の線が無いのは其等の元素が無い爲めではなくて高温である爲めに大部分電離して居る爲めでなければならぬ。H の Balmer 線系が全種型に通じて現はれるのは、それが多量に存在するばかりで無く H の電離ポテンシャルの値が割合に大きい爲めで、Ca<sup>+</sup> の H, K 線が比較的低位のスペクトルの中に現はれるのは Ca のポテンシャルの小さい爲めと解せられる。

Rb<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ba<sup>+</sup> 等の線が Ca<sup>+</sup> と同じ様に恒星のスペクトルの中に見えないのは其分量が少い事と主要なる線、殊に最終線がスペクトルの可視部に無い事に歸するであらう。

167. 輻射と等級 恒星の等級に就いては既に 10 項に述べたが、もつと根本的な事と寫眞等級に関する事とを茲に述べる。 $b$  を光度、 $m_0$  を単位光度に相當する等級とすれば、 $b$  に相當する等級  $m$  は

$$m = m_0 - \frac{5}{2} \text{Log } b$$

で表はされる事は既述の通りで、光度  $b$  は又恒星の表面積に比例し且つ距離の二乗に反比例するによつて、 $r$  を恒星の半径、 $d$  を距離とすれば

$$b = \left( \frac{r}{d} \right)^2 L$$

となる。こゝで  $L$  は表面の一定面積から出る光の強さによるものである。

吾々の眼に感ずる光は人によつて多少違ふが、波長  $\lambda$  に二つの極限  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  があつて其間に在るもののみが感ずる。而も其感度は一定では無くて  $\lambda$  によつて變じ又光度  $b$  によつて多少の相違がある。光度によつて感光度の違ふ事を Purkinje 効果と言ふ。此現象は要するに光度が感ずると共に赤に對する感度がわるくなる事をいふので之を數量的に論ずる事は難いが、光度觀測の結果を近似的に修正して此影響を軽減する事が出来る。それで茲に

は感光度を唯  $\lambda$  のみの函数とし  $F(\lambda)$  なる記號を用ひて之を表はす。 $F(\lambda_1)$ ,  $F(\lambda_2)$  は假定によつて共に 0 である。波長  $\lambda$  に相當する輻射量を  $E_\lambda$  とすれば、それで

$$L = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} F(\lambda) E_\lambda d\lambda$$

となる。輻射量  $E_\lambda$  が絶対温度  $T$  の函数である事は無論で、猶ほ其外に恒星の表面の化學的組織と壓力とによるべきである。然し大體から見て化學的組織と壓力とによる差は割合に小さい、其事はスペクトル系の簡單なる事によつて推測される。それで茲には近似的に其等の差を無視し、且つ恒星の表面を完全黒體、即ち完全輻射體と假定する。さうすれば Planck の公式 (91 項) が其儘用ひられて

$$E_\lambda = \frac{c^2 h \lambda^{-5}}{e^{\frac{hc}{\lambda T}} - 1}$$

となる。此式は又次の如く書く事も出来る。

$$E_\lambda = \frac{C \lambda^{-5}}{10^{\frac{K}{\lambda T}} - 1}$$

こゝで  $K$  は一の普通常數で  $\lambda$  を cm で表はせば

$$K = 0.624$$

である。

$F(\lambda)$  は如何なる函数か確かな事はまだわかつて居ない。併しそれが  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  の間に一の極大を持つ事は疑が無い事で、又  $\lambda_2 - \lambda_1$  が  $\lambda$  の全長に比して小さい事も明かな事實である。それであるから  $F(\lambda)$  を極大にする  $\lambda$  の値を  $\lambda_0$  とし  $E_\lambda$  の式の中に  $\lambda$  を  $\lambda_0$  で置換へたものを  $E_{\lambda_0}$  とすれば近似的に



$$L = E_{\lambda_0} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} F(\lambda) d\lambda \equiv \alpha E_{\lambda_0}$$

となる。 $E_{\lambda}$  の式に於て  $K/\lambda T$  は常に正で  $T$  が特に大なる場合の外、決して小さくなる事が無い。それであるから一般に  $10^{K/\lambda T}$  に對して 1 を無視する事が出来る。従つて

$$\text{Log } E_{\lambda_0} = \text{Log } \frac{C}{\lambda_0^5} - \frac{K}{\lambda_0 T}$$

これによつて

$$\text{Log } b = 2 \text{Log } \frac{r}{d} - \frac{K}{\lambda_0 T} + \text{const.}$$

となり結局

$$m = \frac{5}{2} \frac{K}{\lambda_0 T} - 5 \text{Log } \frac{r}{d} + C_0$$

となる。此式は實視等級の式であるが同時に寫眞にも適用される。唯其場合  $\lambda_0$  と  $C_0$  の値が違ふのみである。 $\lambda_0$  を平均有效波長といふ。Harvard の光度測定から Brill が求めた  $\lambda_0$  の値は

$$\text{實視} \quad \lambda_0 = 5.29 \times 10^{-5} \text{cm}$$

$$\text{寫眞} \quad \lambda'_0 = 4.25 \times 10^{-5} \text{cm}$$

で  $\frac{5}{2} \frac{K}{\lambda_0}$  の値はそれぞれ 29500, 36700 である。

太陽に對して (10, 91 項)

$$m = -26.70, \quad \frac{r}{d} = \sin(16' 0''), \quad T = 6000^\circ \text{K}$$

であるから

$$C_0 = -43.28$$

従つて

$$m = \frac{29500}{T} - 5 \text{Log } \frac{r}{d} - 43.28 \quad \text{實視等級}$$

寫眞等級  $m'$  に對して同じく太陽の場合を取れば其スペクトル型は G0 の矮

星である故、色指數  $m' - m$  は (164 項)

$$m' - m = +0.57 \quad m' = -26.13$$

で

$$C'_0 = -43.91$$

となる。従つて

$$m' = \frac{36700}{T} - 5 \text{Log } \frac{r}{d} - 43.91 \quad \text{寫眞等級}$$

$m$  及び  $m'$  の式から色指數  $m' - m$  の式が直ちに出る。即ち

$$m' - m = \frac{7200}{T} - 0.63$$

此式を用ひて色指數から表面の絶對溫度  $T$  を求める事が出来る。164 項の色指數の表から各スペクトル型の溫度を出せば次の通りである。

種 型	絶對溫度 (K)	種 型	絶對溫度 (K)	
			巨 星	矮 星
B0	2,4000°	G0	5500°	6000°
B5	1,6000	G5	4600	5700
A0	1,1400	K0	4100	5100
A5	8700	K5	3300	4500
F0	7500	M0	3100	3500
F5	6500	N	2200°	

此等の溫度は所謂有效溫度と稱せられるもので恆星の表面のどの層の溫度とも明示する事は出来ない。且つ又此推定には幾多の假定が含まれて居るので餘り確かなものと見る事は出来ない。溫度の推定には他にも方法があるが大略此程度である。

168. 熱量等級 感光度に関係なく輻射エネルギーの總量によつて計る等級を熱量等級といふ。此場合の  $L$  は

$$L = \int_0^{\infty} E_{\lambda} d\lambda = \sigma T^4$$



にて表はされ Stephan の法則其儘となる。熱量等級  $n$  は之によつて

$$n = \text{const.} - 5 \log \frac{r}{d} - 10 \log T$$

となる。それで

$$m - n = \frac{29500}{T} + 10 \log T - C$$

となる。此差を熱指數といふ。此値は  $T$  が  $6793^\circ\text{K}$  の時極小になるので其時の値が 0 になる如く  $C$  を定める。それは 42.66 といふ値である。Eddington の熱量等級は  $5200^\circ\text{K}$  を標準としたもので、それに對する  $C$  の値は 42.83 である。

熱量計によつて恆星の熱量を測りそれから熱指數を求めて温度  $T$  を求める事も出事が高温の星には不適當である。それは  $T$  による指數の變化が極めて小さいからである。なほ又一般に恆星から地球に達する熱量は極めて微小なもので、オリオン座  $\alpha$  は最大の熱量を送るものであるが、それでさへ  $7.7 \times 10^{-11} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$  に過ぎない。100 吋望遠鏡を用ひて一年に僅か 2 cal の割合である。

169. 恆星の視半徑 視半徑を  $s$  秒とすれば、それは極めて小さい角である故

$$\frac{r}{d} = \sin s = s \sin 1''$$

と書くことが出来る。此式を 167 項の實視等級の式に最換へれば容易く

$$\log s = \frac{5900}{T} - \frac{m}{5} - 3.35$$

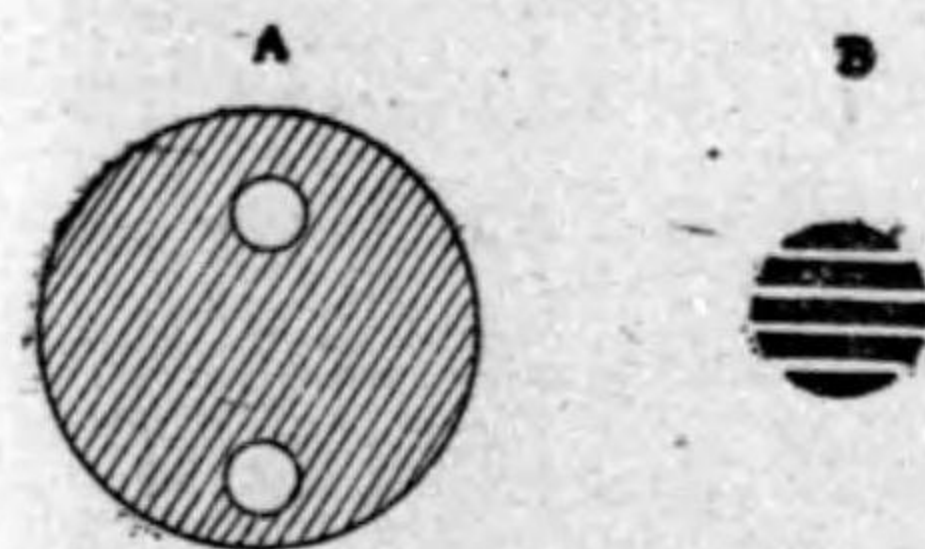
となる。スペクトル型がわかれば 167 項の表によつて  $T$  がわかり、それと實視等級  $m$  がわかれば此式によつて直ちに  $s$  が求められる。例へば牡牛座  $\alpha$  (Aldebaran) は  $m = +1.1$  で K5 型の巨星である故  $T = 3300^\circ\text{K}$  となつ

て  $s = 0.''017$  といふ結果になる。

恆星の視半徑は上式の示す通り  $T$  は小さければ小さい程大で、等級  $m$  が大きければ大きい程小さい。恆星の中で最も視半徑の大きいのはオリオン座  $\alpha$  (Betelgeuse) で上の式の計算から出る値は  $0.''024$  である。普通の恆星の視半徑は之に比べて遙かに小さい。

恆星の視半徑は此の如く小さいもので大望遠鏡を用ひても直接に測る事はむづかしいが、特別の装置を用ひて比較的大なるものを測る事が出来る。特別の装置とは即ち干渉計である。

170. 干渉計の原理 望遠鏡の筒先に左圖 A の如き切抜板をあて二つの



第57圖 恆星の光の干渉

孔からだけ光を通せば星像は B の如き格子となつて見える。此格子の縞の幅はどれだけになるか普通の波動光學の方法によつて計算すれば、 $r$  を二つの孔の中心間の距離の  $\frac{1}{2}$ ,  $f$  を焦點距離,  $\lambda$  を有效波長として

$$x = \frac{f\lambda}{2r}$$

となる。非常に接近した二重星を此装置の望遠鏡で見れば各の像が縞になつて見えるが適當に孔の向きと  $r$  とを變へれば一方の縞の暗い部分と他の縞の明るい部分とが重なり合つて全く縞が消えて了ふ。二つの恆星の角距離を  $\theta$  (弧度) とすれば焦點に於ける像の間の距離は  $f\theta$  であるから縞が消える爲めには

$$f\theta = \frac{x}{2}, \frac{3x}{2}, \dots$$

でなければならぬ。 $r$  を 0 より次第に増して行つたとすれば最初は  $x$  が大で



$$0 < f\theta < \frac{x}{2}$$

であるが  $x$  は次第に減じ遂に  $f\theta = x/2$  の位置に達して縞が消える。之より更に  $r$  を増せば

$$\frac{x}{2} < f\theta < \frac{3x}{2}$$

の区域に入り再び縞が現はれる。 $r$  を更に増せば  $x$  は更に減じて遂に  $f\theta = 3x/2$  となり再び縞が消える。以下次第に此の如く縞は現はれたり消えたりする。最初の消滅のみに就いて言へば

$$\theta = \lambda/4r$$

である。 $r$  と  $\lambda$  の値から此式によつて  $\theta$  が求められる。 $\lambda$  には色によつて異なる所の有効波長を取るべきだが平均有効波長 (167 項) を用ひて大差ない。二つの恒星の光度が餘り違はぬ限り非常に接近して居る二重星の角距離を測るに此方法が最もよいのである。

單獨の恒星でもそれが或る大きさを持つ以上、之を直径により折半して等しい光度の二重星と見る事が出来る。二つの半圓の重心間の距離は  $s$  を視半径 (秒) として  $8s/3\pi$  に等しいから

$$\theta = \frac{8}{3\pi} s \sin 1'' \quad (\pi \text{ は圓周率})$$

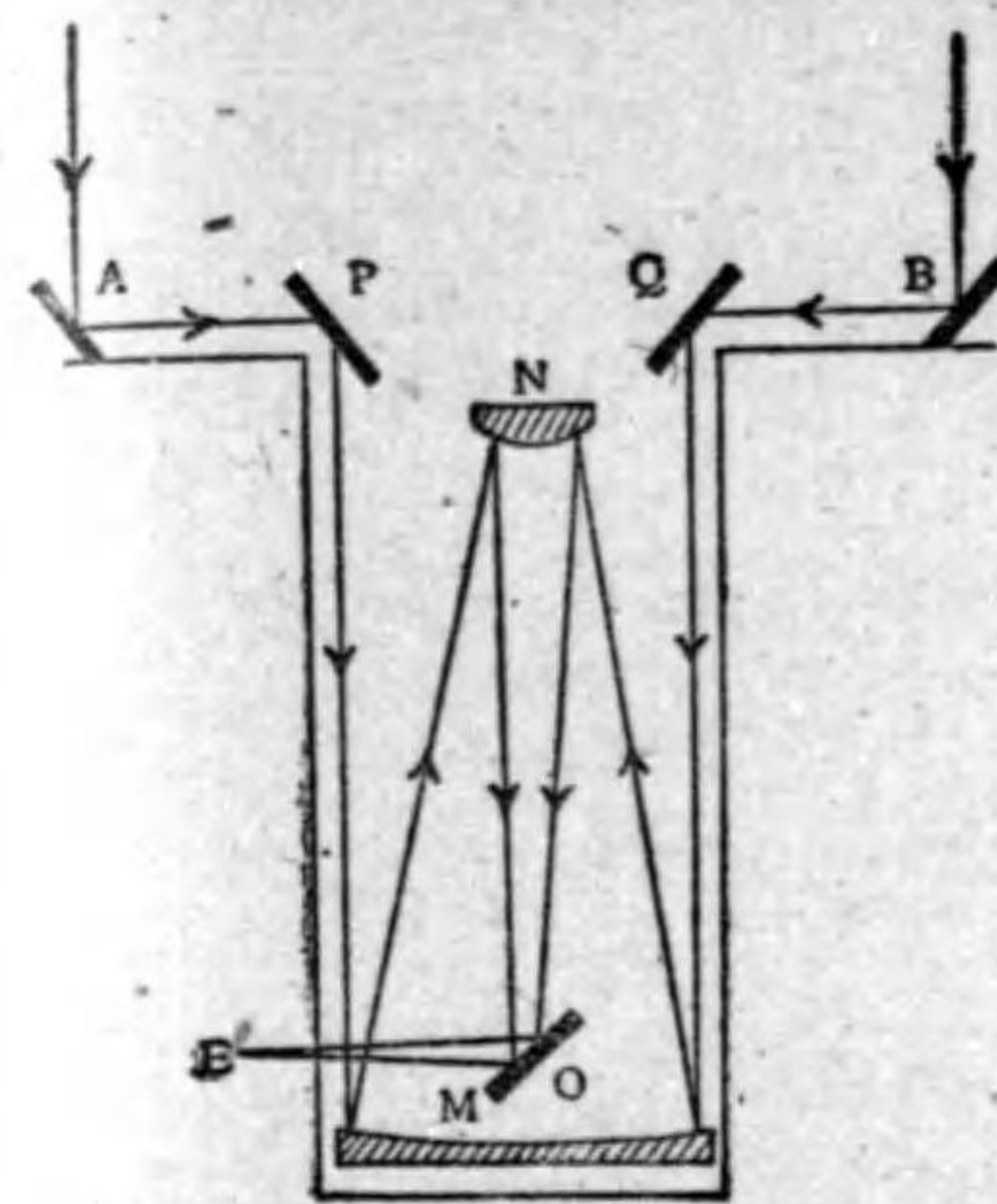
となり従つて

$$s = \frac{3\pi\lambda}{32r \sin 1''}$$

である。 $s$  の此値は恒星面を一様に輝く圓面と見なして出したもので實際は太陽の場合と同様、縁邊に近い所に吸収があるから恒星の種類により一割乃至二割之を増す必要がある。

171. 二十呎恒星干涉計 干涉計を用ひて小さい角度殊に小天體の直径等

を測ることは以前から試みられたものであるが本式に其方法が行はれたのは 1920年 Michelson 及び Pease が Wilson 山天文臺に於て恒星の視直径を測



第 58 圖

つたのに始まる。此爲めに百吋反射望遠鏡につけられた二十呎恒星干涉計は左圖に示す様な構造のものである。M は百吋鏡, N は Cassegrain 凸面鏡, O は平面鏡で何れも大望遠鏡附屬のもの, P, Q は二個の固定平面鏡, A, B は横に AB 線に沿ふて自由に動かし得る平面鏡である。AB 間の距離は前項の  $r$  の二倍に相當するもので 20 呎 (610cm) 迄之を伸ばす事が出来る。之によつて視半径  $s$  を最小限 0."01 迄測る事が出来るのである。

である。

實測の結果と前項の方法により計算した結果とを對照すれば次の通りである。

	實 視 等 級 $m$	スペクトル型	視 直 徑 ( $2s$ )	
			實 測	計 算
牛 飼 $\alpha$	0.2	K0	0.020	0.023
牡 牛 $\alpha$	1.1	K5	0.020	0.034
オ リ オ ン $\alpha$	0.9 (變)	M0	0.047 0.034	0.048
蝸 $\alpha$	1.2	M0	0.040	0.042
ハ ガ ス $\beta$	2.6	M5	0.021	0.025

オリオン座  $\alpha$  に二通りの實測値が出るのは一の疑問で、多分それが變光



星である事と関係があるのであらう。其他は牡牛座  $\alpha$  を除いてかなりよく一致するのを認める。

### 第十三章 恆星の運動及び距離

172. 恆星の數 肉眼で見える恆星の總數は約六千で決して多い數では無いが望遠鏡で見える數は非常に多いもので其數を數へるだけでも容易で無い。況して等級やスペクトルや運動等を一々調べる事は殆ど不可能な事である。それで 1906 年にオランダの Kapteyn は所謂選擇面の計劃を立てた。此計畫は全天球に 206 ヶ所の小さな區劃を設け徹底的に其中の恆星を調査して其結果を全天球に擴めようとするものである。此事業はまだ完成しないが Van Rhijn 及び Seares が既にわかつて居る材料から出した結果によれば實視等級 20 等迄の恆星の總數は十億で一等毎の増加率は 3.0 より次第に減じて 1.67 となる。寫眞等級 21 等迄の恆星の總數は八億九千萬で一等毎の増加率は 2.9 より次第に減じて 1.54 となる。同じ等級に對して寫眞の方が實視より少いのは多數の恆星殊に光度の小さい星が赤い爲めで、言ひ換へれば寫眞等級と實視等級との差、即ち色指數が多數の恆星に對して正である爲めである (164 項)。

望遠鏡の視力は將來如何程増大するか不明で、從つて視得べき恆星の數は如何程増加するか豫測すべからざるものであるが Van Rhijn 及び Seares が前記の増加率から推定した結果は大略三百億といふ大數である。

實視等級 20 等迄の恆星から來る光の總量は標準一等星 1092 個の光量に等しい。Van Rhijn の研究によれば夜の空の光の總量はこれよりも數倍大でそれは主に黃道光と永久的な極光とに基づくものである。全く恆星に基づくものは全光量の約六分の一でそれは標準一等星の 1440 個の光量に當るといふ。

173. 恆星の銀河集率 恆星の分布が一様で無い事は誰の眼にもよくわかる事で、銀河といふ密集した部分が天球を帯の様に取巻いて居る。銀河は大



凡大圈の上に在つて其北極は髪座に在り、位置(1900.0)は赤經  $12^{\text{h}} 40^{\text{m}}$ 、赤緯は  $+28^{\circ}$  である。銀河が赤道と交る點は從つて赤經  $6^{\text{h}} 40^{\text{m}}$  と  $18^{\text{h}} 40^{\text{m}}$  との二點で此中第二の點を原點とし銀河に沿ふて測る經緯度を銀經銀緯といふ。銀緯  $+90^{\circ}$  の點は即ち其北極で  $-90^{\circ}$  の點は其南極である。

一定の球面積に對する恆星の數を恆星の球面密度といふ。普通一度平方の面積を取る。球面密度は銀河の附近に大で其兩極の附近に於て小である。銀緯  $0^{\circ}$  附近、即ち銀河の上と其兩極とに於ける恆星密度の比を銀河集率といふ。Van Rhijn 及び Seares による球面密度及び銀河集率は次表の通りである。

寫眞等級	銀緯 $0^{\circ}$		銀緯 $90^{\circ}$		全天球平均		銀河集率
	球面密度	増加率	球面密度	増加率	球面密度	増加率	
- 2.0 - 5.0	0.045		0.013		0.025		3.5
5.1 - 9.0	2.75	61.4	0.69	53.1	1.48	59.2	4.0
9.1 - 13.0	143.	52.0	20.7	30.0	64.5	43.6	6.9
13.1 - 17.0	4634.	32.4	267.	12.9	1640.	25.4	17.4
17.1 - 21.0	68820.	14.9	1382.	5.2	19900.	12.1	49.8

銀河集率が等級と共に増加するのは著しい現象で 17 等以下の小星では殆ど 50 といふ大きい値である。宇宙が平板の様な形をして居るといふ W. Herschel の考は此事から起るのである。

174. スペクトル型と恆星密度 Harvard 大學天文臺で出版した Henry Draper Catalogue には實視等級 9.5 等迄の恆星 22,5000 個の恆星のスペクトル型が記されてある。B 型より M 型に至る各種型の恆星の百分率を此表から求めたものは次の通りである。

種 型	B	A	F	G	K	M
實視等級 } 2.25 迄	28	28	7	10	15	12
全 部	2	29	9	21	33	6
差	-26	+1	+2	+11	+18	-6

此表に示す通り B 型の恆星は光度が減ると共に著しく減じ反對に G 型、K 型の恆星は増加する。A 型 F 型は大差なく M 型が又明かに減ずる。

銀河集率が又スペクトル型によつて著しく違ふ。實視等級 7.0 迄の恆星の球面密度は次の通りである。

種 型	B	A	F	G	K	M
銀緯 $0^{\circ}$ - $40^{\circ}$	0.108	0.211	0.051	0.051	0.151	0.039
" $40^{\circ}$ - $90^{\circ}$	0.002	0.066	0.030	0.034	0.102	0.015
比 率	54.0	3.2	1.7	1.5	1.5	2.6

銀河集率の最大なのは B 型で、最小なのは G、K 型で F 型も略同等である。

B より M に至る種型以外の恆星は極少數で全數の百分の一以内である。B 型以上に銀河集率の大きいのは O 型で、銀緯  $\pm 18^{\circ}$  より外には全く無い(マゼラン雲を除く、其項参照)。N 型も略同様である。

175. 固有運動 第二章に述べた通り Halley は 1718 年に牡牛座  $\alpha$  (Aldebaran), 牛飼座  $\alpha$  (Arcturus), 大犬座  $\alpha$  (Sirius) の三星の位置が Ptolemaius の星表と比べて變つて居る事から固有運動を發見した。固有運動は大きくとも一年に數秒以内のもので短時日の觀測から求める事は出来ぬが十年若しくはそれ以上を隔てた精密な觀測があればそれを求める事が出来る。Ptolemaius の星表は古いが位置が不精密である爲めに特に大きいものでな



ければ出す事が出来ない。古い割合に精密な Bradley, Lalande, Piazzi, Groombridge 等の観測は其點から見て貴重な資料である。

異つた観測結果を比較するには歳差、章動、光行差、氣差の外に器械的及び個人的系統誤差を除かねばならぬので、かなり複雑な計算を要する。其計算が正確でなければ結果に多少の系統誤差が残る。それであるから古い観測は度々計算し直された。例へば Bradley の 3268 個の恆星の観測は 1750 年から 1756 年の間に行はれたものであるが、結果の一部が 1773 年に一の星表として出版された外、正確に計算されたものは無かつた。Bessel が始めてそれを行つて、彼の *Fundamenta Astronomiae* の中に其星表を載せたのは 1818 年の事である。其後 Auwers は更に根本的に之を改算して 1882—1903 年に Bradley の星表を出版した。それ程にしても系統的誤差が全く除かれたとは言はれぬ。唯、固有運動は年數で其差を割つたものであるから年數が多ければ多い程、差が小さくなるだけである。

歳差と固有運動とは何れも長年性のもので其差別は唯、一方が赤經赤緯の定まつた形の函數であるに反して一方はそれに無關係な點にある。それであるから観測から歳差の常數を定める場合、固有運動は其剩餘として現はれる。固有運動が全く偶然的なものでなくて其中に多少系統的な部分があれば歳差の常數は多少違つてくるわけである。歳差と固有運動とを完全に分離して兩方の値を精密に定めるのは餘程むづかしい事なのである。

固有運動の特に大なる恆星を多數の恆星の中から發見するには一年若しくはそれ以上前に取つた寫眞を最近の寫眞と比べて見ればよい。同じ器械で同じ様に取つた寫眞を比べて見るに最も便利なのは瞬間顯微鏡 (Blink microscope) を用ひるものである。此器械は同一の接眼鏡を通して二枚の寫眞板を瞬間的に交互に替へて見る事の出来るもので、多數の恆星が其交換によつて位置を變へない様に器械を調節すれば、中に固有運動の大きいものは瞬間的

に飛躍する。之によつて直ちにそれを發見する事が出来る。此器械は太陽系内の天體、即ち惑星及び彗星の發見にも用ひられ、又變光星の發見にもよく用ひられる。

固有運動は其大さと方向とによつて定められる。大きさは一年に對する角の秒數  $\mu$  を以て表はし、方向は所謂方向角、即ち天球の内面に於て北極の方向より時計の針と反對の向きに  $360^\circ$  迄計る角度  $p$  を以て表はす。赤緯を  $\delta$  とすれば赤經赤緯に於ける固有運動  $\mu_\alpha, \mu_\delta$  は次の式で表はされる。

$$\mu_\alpha = \mu \sin p \sec \delta, \quad \mu_\delta = \mu \cos p$$

固有運動の最大なる恆星は 1916 年に Barnard が蛇遺座の中に發見したもので  $\mu$  の値は  $10.''30$  である。之を Barnard 星、又は Barnard 疾走星と呼ぶ。光度は 9.7 等である。之に次くものは Kapteyn の發見した畫架座中の 9.2 等の星で  $\mu$  は  $8.''75$  である。

176. 視線速度 視線に沿ふて動く速さが直接に、而も即座に測られるといふ事は一世紀前の學者には夢にも思ひ浮ばなかつた事で、之によつて從來の天文学が面目を一新したといつても過言では無い。始めて Doppler の原理によつて分光器的に天體の視線速度を測つたのはドイツの Vogel である (1888年)。

視線速度を測る方法は 43 項に述べた通りで、 $c$  を光速度、 $\lambda$  を波長、 $d\lambda$  を其差として簡単に

$$V = cd\lambda/\lambda$$

の式によつて與へられる。 $V$  は  $d\lambda$  が正の場合、即ちスペクトル線が赤の方にずれる場合に正で、従つて恆星が遠さかる場合に正、近寄る場合に負である。直接に測つたものに地球の公轉による補正を要する事は既に述べた通りである (57 項)。

數千の恆星の視線速度は Lick, Yerkes 等の大望遠鏡で測られた。それ等



は多く 30km/sec 以内のもので 100km/sec を超ゆるものは甚だ稀である。これ迄に測られた最大の視線速度はヘルクレス座 VX 星の -405 km/sec である。星雲の視線速度は後に述べる通りその百倍以上である。

177. 太陽の空間運動 恆星の距離を測る方法は便宜上後に述べるが、どの途それは非常に遠いもので恆星其物が太陽と同格のものである事は確實である。さうすれば太陽にも固有の運動があるべき筈で、それによつて相対的に恆星が動く事も亦當然である。それであるから固有運動も視線速度も決して各恆星に特有なものばかりで無くそれ以外に太陽の運動に基づく所の相対的のものが混入して居るわけである。前者を特有運動及び速度、後者を對視運動及び速度と呼ぶ。

此二種の運動を分離するには唯、特有運動を偶然的のものとして観測誤差と同様に取扱ふ方法があるのみである。特有運動を無いとすれば凡ての恆星は皆相対的に等しい速度を以て動く事になる。それであるから春分點と赤道面とを以て直交座標を定め、それに沿ふ分速度を  $X, Y, Z$  とすれば其等は常數と見なされる。今、視線速度を  $V$ 、赤道面に平行で  $V$  と直交の分速度を  $U$ 、兩方に直交の分速度を  $W$  とすれば、 $\alpha, \delta$  を恆星の赤經赤緯として

$$U = -X \sin \alpha + Y \cos \alpha$$

$$V = X \cos \alpha \cos \delta + Y \sin \alpha \cos \delta + Z \sin \delta$$

$$W = -X \cos \alpha \sin \delta - Y \sin \alpha \sin \delta + Z \cos \delta$$

なる關係が成立する。

視線速度の測られた恆星の  $\alpha, \delta$  はよくわかつて居るから第二式に於て  $V, \alpha, \delta$  は既知である。それで各の恆星から一個づゝの方程式、即ち  $X, Y, Z$  の條件方程式が作られる。最小二乗法によつてそれを解けば  $X, Y, Z$  の最も確らしき値が求められる。  $X, Y, Z$  から太陽の空間速度  $S$  と向點の赤經赤緯  $A, D$  を求めるには次の三式を用ひればよい。

$$S \cos A \cos D = -X, \quad S \sin A \cos D = -Y, \quad S \sin D = -Z$$

$X, Y, Z$  に負の符號がつくのは言ふ迄もなく恆星の對視運動と太陽の運動とが正反對であるからである。

Lick 天文臺で Campbell 及び Moore が此方法で 2119 個の視線速度から得た値は次の通りである。

$$S = 19.6 \text{ km/sec,}$$

$$A = 271.^\circ 5 = 18^\circ 6', \quad D = +28.^\circ 6$$

之によれば太陽の空間速度は地球の軌道上の速度の殆ど三分の二で、向點はヘルクレス座  $\sigma$  のすぐ傍である。天球に於て向點と相對する點を背點といふ。

$\Delta$  を恆星の距離とすれば近似的に

$$\frac{U}{\Delta} = \mu_\alpha \cos \delta, \quad \frac{W}{\Delta} = \mu_\delta$$

であるから (175 項) 上の  $U, W$  の式は

$$\mu_\alpha = -\frac{X}{\Delta} \sin \alpha \sec \delta + \frac{Y}{\Delta} \cos \alpha \sec \delta$$

$$\mu_\delta = -\frac{X}{\Delta} \cos \alpha \sin \delta - \frac{Y}{\Delta} \sin \alpha \sin \delta + \frac{Z}{\Delta} \cos \delta$$

となる。こゝで  $\Delta$  を一定と假定して固有運動の既知の値を取り前と同様に最小二乗法によつて解けば  $X/\Delta, Y/\Delta, Z/\Delta$  の最も確らしき値が求められる。此三つの値から又、前と同様に  $S/\Delta, A, D$  の値が求められる。此場合  $\Delta$  の値がわからないから  $S$  を出す事は出来ない。

B. Boss が此方法で 5413 個の恆星の固有運動から求めた結果は

$$A = 270.^\circ 5 = 18^\circ 2', \quad D = +34.^\circ 3$$

であるが同じ様に Eichelberger が 1198 個の標準星の固有運動から出したものは

$$A = 265.^\circ 2 = 17^\circ 41', \quad D = +20.^\circ 5$$



で特に  $D$  に著しい差違がある。かういふ差は何によつて起るか其原因は種考へられるが主なるものは等級によつて  $d$  の値の違ふ事と固有運動には相當大きな系統的誤差が含まれて居る事に歸する (175 項)。

太陽の空間運動は此様に視線速度と固有運動と兩方から別々に出す事は出来るが少くも方法は視線速度の方が優つて居る。單に此事から見ても如何に視線速度が天文学的に重要な役を演ずるか會得されるであらう。

178. 恆星の視差及び距離 [ 恆星を太陽に對して動かぬものと假定し地球のみが公轉によつて軌道の上を動くとすれば恆星は一年を週期として天球の上の一の楕圓軌道を畫く。此楕圓は恆星の距離及び方向と地球の軌道の形によつて定まるものであるが地球の軌道の離心率を 0 とした時の長徑の二分の一を年週視差常數と言ひ通常恆星の年週視差、又は日心視差、略して恆星の視差といふ。地球の軌道の半長徑を  $a$  とし太陽より恆星迄の距離を  $d$  とすれば年週視差  $\pi$  は近似的に

$$\pi = \frac{a}{d \sin 1''} \text{ 秒}$$

に等しくなる。

恆星の距離を計るに古くから最もよく用ひられる單位は光が一年間に進行する距離、即ち光年で

$$1 \text{ 光年} = 0.9463 \times 10^{13} \text{ km}$$

$$d = \frac{a}{\pi \sin 1''} = \frac{3.259}{\pi} \text{ 光年}$$

である。光年の外に恆星の距離を計る單位として専門的に用ひられるのはパーセク (parsec) である。パーセクは年週視差  $1''$  に相當する距離で

$$d = \frac{1}{\pi} \text{ pars}$$

$$1 \text{ pars} = 3.259 \text{ 光年} = 3.084 \times 10^{13} \text{ km}$$

である。parsec を用ひれば  $d$  と  $\pi$  との關係は簡單になるが、之を以て最も自然的な單位、光年を置換へようとするのは無理で、結局其爲めに單位制度が複雑となるに過ぎない。

恆星の視差が永い間學者の目標であつたに拘らず、發見されなかつたのは其値が意外に小さかつた爲めである。始めて其値が信すべき程度に測られたのは 1838 年で偶然にも三通りの結果が殆ど同時に三人の學者によつて發表された。それ等の値を現今の値と對照して見れば次の通りである。

	測定視差	測定者	等級	固有運動	視差(現在)
ケンタウルス $\alpha$	1.0	Henderson	0.3	3.68	0.76
白鳥 61	0.314	Bessel	5.6	5.20	0.30
琴 $\alpha$	0.262	W. Struve	0.1	0.35	0.12

測定の方法は皆別である。Henderson は Bradley に倣つて天頂距離の變化を測つた。(Bradley は特に龍座  $\gamma$  を選んで視差を求めようとしたが其値が  $0.02''$  といふ小さな値である爲めに不成功に了つた。其代りに豫想しなかつた光行差を發見したのであつた)。天頂距離の變化による方法は所謂絶対法で、それから出るものは絶対視差である。之に對して Bessel, Struve は附近の小恆星に對して位置の變化を測つた。それから出るものは所謂相對視差である。相對的位置を測るのに Bessel は太陽儀 (太陽の視半徑を測る目的の器械) を用ひ、Struve は普通の測微器を用ひた。

何故に Bessel が白鳥座 61 といふ特別の星を選んだかといふに、それは當時最大の固有運動を持つ恆星として知られて居た爲めである。Struve が琴座  $\alpha$  を選んだのは、それが北方の天に於て最大光度の星だからである。近い恆星ならば一般に光度も視運動も大きいわけで其兩方を兼ねるものならば視差を測り得る見込が最も多いのであるが北方の天にはそれを兼ねるものが



無い。Bessel と Struve は各一方に適應するものを選んだのである。然るに Henderson は南半球の Cape 天文臺に居た爲めに其兩方を兼ねる最も適當な星を選ぶ事が出来たのである。

絶対視差と相對視差とを比べて絶対の方に價値の多い事は無論であるが唯、それを精密に測る事が非常にむづかしい。ケンタウルス座  $\alpha$  は特に視差の大きいもので、それが出来たが多數の遠距離の恆星には到底行はれ難い事である。相對視差には其困難が無い代り絶対で無いといふ缺點がある。相對的である爲めに時として負數の値が出る。如何に精密に測つて觀測誤差を減じてもそれが出るのである。さういふ譯で相對視差から十分に信用の措ける距離を求める事は出来ない。

恆星の距離の測定は此様に重大なる困難に遭遇したのであるが幸にも視線速度の助けによつて其困難が除き去られた。事實恆星の距離が獨立に視線速度の觀測から求められる場合があるのみならず (183 項) 統計的に多數の恆星の平均距離がそれによつて求められる。例へば前に述べた太陽の空間運動に就いて視線速度の方から速度  $S$  が求められ固有運動の方から  $S/d$  が求められる。此二つの値から  $d$ , 即ち恆星の平均距離が求められる。此様にして種々な等級及び固有運動に對する多數の恆星の平均距離を求める事が出来る。Kapteyn が其様な方法によつて統計的に求めた平均視差  $\bar{\pi}$  の式は次の如きものである。

$$\text{Log } \bar{\pi} = -0.690 - 0.0713m + 0.645 \text{Log } \mu$$

- ここで  $m$  は等級,  $\mu$  は固有運動である。此式は視差の平均値を與ふるもので單獨の場合、約四割位の誤差はあるが相對視差を比較星の視差によつて修正するには十分である。何故なれば比較星には何時でも光度と固有運動の特に小なる星が選ばれるからである。

現今の視差の測定には専ら寫眞觀測が行はれる。目的の恆星を中心に多數

の比較星を同じ乾板の上に寫す。目的の星の光度は一般に大きいので、それを小さな比較星の光度と揃へる爲め撮影中、小さな矢車を乾板の中心の前で廻轉せしめる。撮影の時季は目的の恆星に對して成るべく視差の影響の最大となる時を選ばなければならぬ。約半年を隔て、又同じ様に寫眞を取る。それを前の寫眞と比較して見れば星の位置が顯微鏡的に多少違つて居る。其違は視差と半年間の固有運動とによつて起るもので、固有運動に屬するものを除けば視差の影響のみとなる。半年間の固有運動をよくきめるには、古い寫眞があればそれからでもよいが、若し無ければ更に半年若しくはそれ以上を經過した後の寫眞と比較して見ればよい。個々の比較星の視差は前記の Kapteyn の式から求める。

ケンタウルス座  $\alpha$  星は最近の恆星として永く其名を稱へられて居たが 1917 年に Innes によつて、それよりも近い恆星が発見された。ケンタウルス座 Proxima と稱せられる (Proxima は近いといふ意味)。視差は  $0.76''$ , 距離は 4.2 光年である。 $\alpha$  星よりの角距離は  $2^{\circ}12'$  で固有運動 ( $3.85''$ ) が又殆ど相等しいから空間に於てそれと群を爲すものと認められる。

179. 絶対等級 任意の恆星を視差  $0.1''$  に相當する距離即ち 10 pars = 32.58 光年の距離に移した時の實視等級を其恆星の絶対等級といふ。 $m, b$  を恆星の等級及び光度とし  $M, B$  を其絶対等級及びそれに相當する實光度とすれば

$$M = m + \frac{5}{2} \text{Log } \frac{b}{B}$$

となる事は 10 項の式から明かである。然るに光度は距離の二乗に反比例し従つて視差の二乗に正比例するによつて

$$\frac{b}{B} = \left( \frac{\pi}{0.1} \right)^2 = 100\pi^2$$

である。故に



$$M = m + 5(1 + \text{Log} \pi)$$

$m$  と  $\pi$  とから此式によつて直ちに  $M$  が求められる。

所謂太陽の視差 8."80 (74 項) は地心視差で之を年週視差に改めるには 8."80 sin 1" を以て割らなければならぬ。それであるから太陽の年週視差の Log は

$$-\text{Log} \sin 1" = 5.3144$$

で、 $m$  は -26.7 (10項) であるから絶対等級  $M$  は 4.87 となる。

恒星の中で絶対等級の最も高い恒星三個の等級、スペクトル型等を記せば次表の通りである (旗魚座 S の絶対等級に就いてはマゼラン雲の項参照)。

星名	$m$	型	$\pi$	$M$	實光度( $\odot=1$ )
オリオン $\beta$ (Rigel)	0.34	B	0.006	-5.8	1,8000
アルゴ $\alpha$ (Canopus)	-0.86	F	0.021	-4.3	4500
白鳥 $\alpha$ (Deneb)	1.33	A	0.008	-4.2	4100

此等の恒星の視差は何れも小で、それを精密に測る事は出来ないから絶対等級にも實光度にも相當大きい誤差が含まれて居るのは事實である。それにしても此種の特別に實光度の大きい星の存在する事は疑ふべくもない。

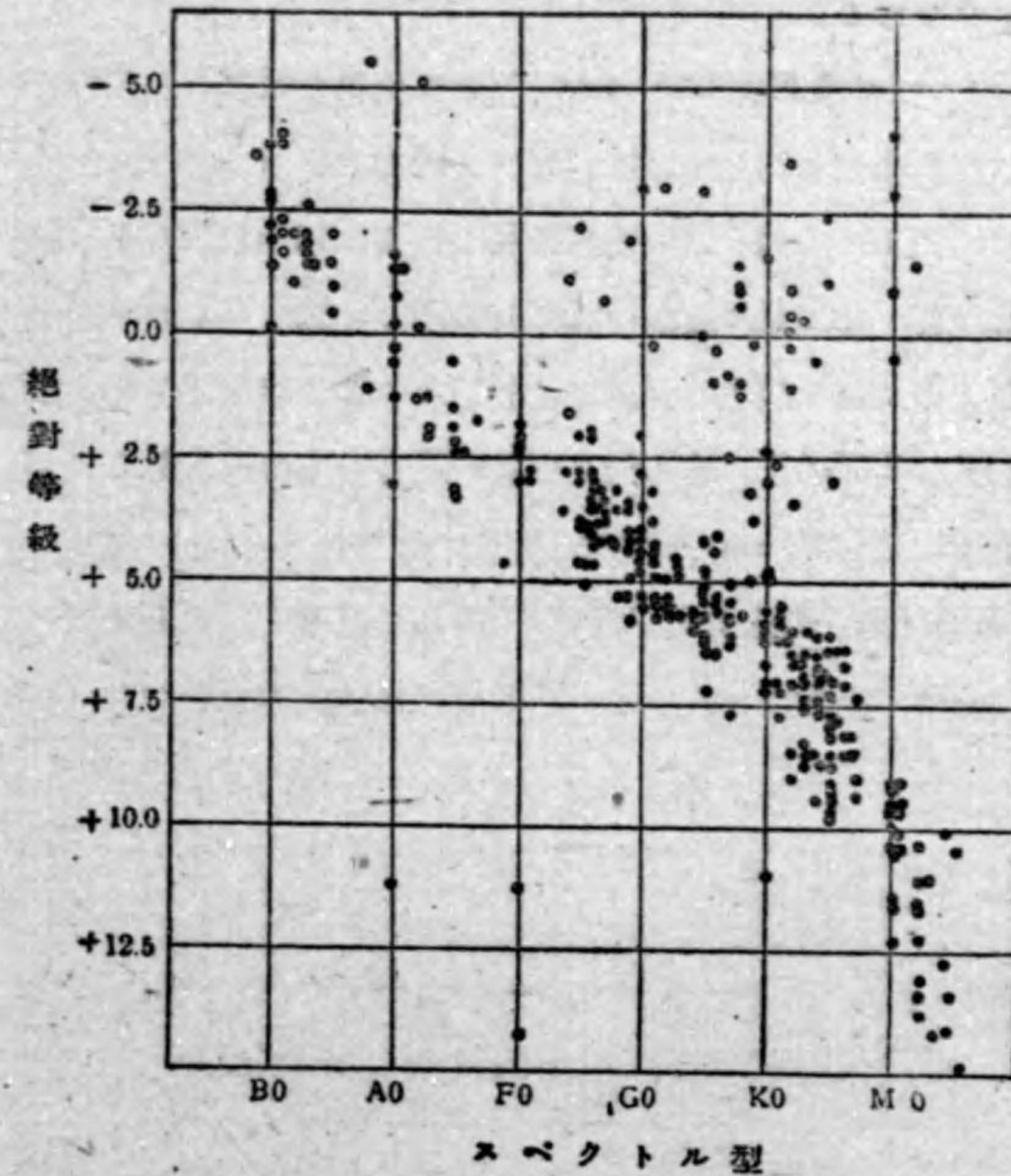
反對に絶対等級の最も低いもの即ち實光度の最も小なるもので現にわかつて居るのは次の三つである。

星名	$m$	型	$\pi$	$M$	實光度( $\odot=1$ )
Wolf 359	13.5	M	0.407	16.5	$2.3 \times 10^{-4}$
小犬 $\alpha$ 伴星	14.	F	0.291	16.3	$2.8 \times 10^{-4}$
ケンタウルス Proxima	11.	M	0.762	15.4	$6.3 \times 10^{-4}$

此等は何れも近距離にある爲めに発見されて居るのである。従つて此種の恒

星は如何に多く宇宙に存在するかわからぬ。

180. 巨星及び矮星 統計的にスペクトル型によつて恒星の絶対等級を調べて見れば著しい事に気がつく。即ち B 型の恒星は皆、絶対等級の高いもの許りで 1.0 等以下の小星は一つも無い。それに対して M 型の恒星には二種あつて八等以下の小星と一等以上のものとに別れる。中間のスペクトル型のものにも其傾向がある、唯小さい方の等級が多少高いだけの相違である。同じスペクトル型に就いて等級の高い方の恒星を巨星といひ低い方を矮星といふ。巨星は殆どスペクトル型に関係なく +1.0 等より -5.0 等の間に在



第59圖 スペクトル型と絶対等級との關係

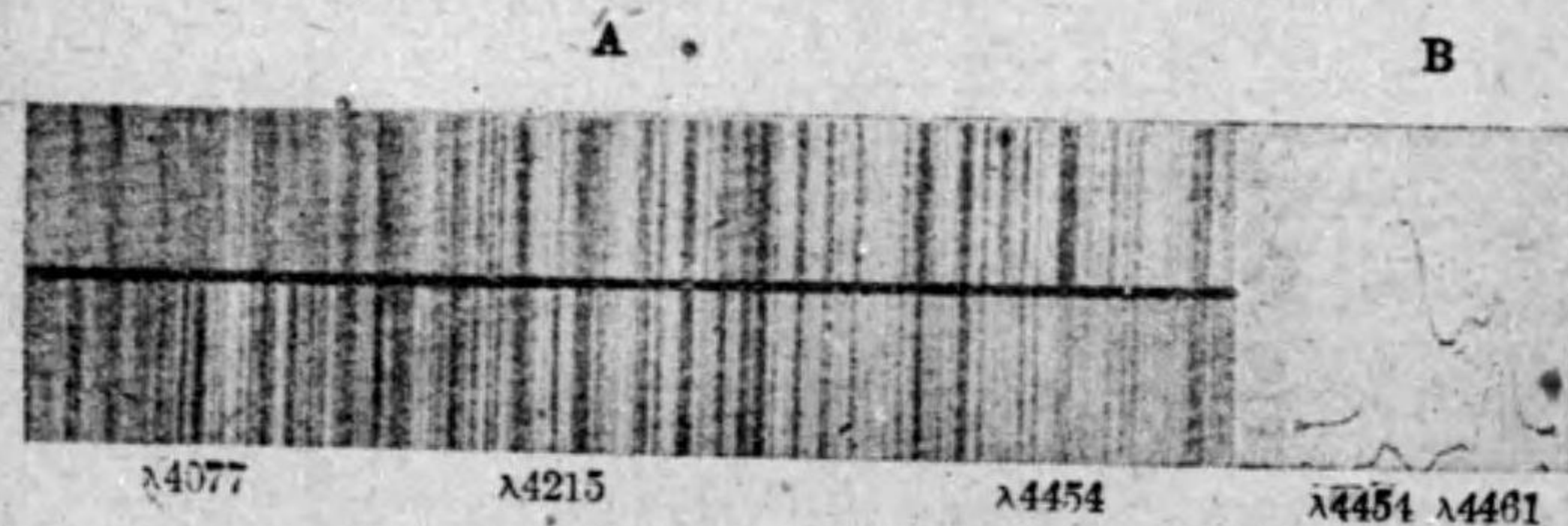


り、矮星は A, F 以下の型にのみ認められ等級はスペクトル型と共に殆ど直線的に低下する。太陽は G0 線上、丁度矮星群の中央に位置を占める。同じスペクトル型でも馭者座  $\alpha$  (Capella) は -0.6 等の巨星である。

普通一等星と呼ばれる恒星の中で矮星に属するものは小犬座  $\alpha$  (Procyon,  $M=+2.8$ ), 鷲座  $\alpha$  (Altair,  $M=+2.5$ ), ケンタウルス座  $\alpha$  ( $M=+4.7$ ) で、大犬座  $\alpha$  (Sirius,  $M=+1.3$ ) は何れかといへば矮星、其他は全部巨星である。中にも大きい巨星は前項に挙げたオリオン座  $\beta$ , アルゴ座  $\alpha$ , 白鳥座  $\alpha$  の三星で此種のもを特に超巨星と呼ぶこともある。蝸座  $\alpha$  (Antares) もそれに近いものである。

A 型 F 型の恒星は絶対等級 +2.0 程度で巨星と矮星との區別が明瞭で無いが中に二三の著しい例外がある。それは絶対等級 +10.0 等以下のもので、A 型 F 型は白色である故、之を白色矮星といふ。Sirius の伴星は其代表的のもので此星に就いては更に連星の章に於て詳しく説くべき事がある (28 項)。一定の容積内に在る矮星は巨星よりも遙かに多いが肉眼で見える恒星は多く巨星である。其譯は言ふ迄も無く巨星は遠方のものでも見えるが遠方の矮星は肉眼では見られぬからである。

181. 巨星と矮星との分光器的差違 同型の巨星と矮星とを比べて巨星の方が赤い。従つて色指數が大である。其事は既に恒星の色の項 (164 項) 中



第60圖 矮星と巨星との分光器的差違

に記してある通り、差が G0 より次第に大となり K5 に對して約 0.6 等となる。

色ばかりで無くスペクトルの上にも何處かに差が現はれて居ようといふので Wilson 山天文臺で Adams 及び Kohlschütter が精しく同型のスペクトルを比較して見た結果、確に其差のある事を發見した。スペクトルの上の或線は巨星の方に強く、又他の線は反對に矮星の方に強く現はれるのである。第60圖は K 型矮星の白鳥座 61 と同型の巨星 Aldebaran とのスペクトルを對照したもので、線の配置はよく似て居るが  $\lambda 4077$ ,  $\lambda 4215$  の二線は下の巨星の方が強く、 $\lambda 4454$  は上の矮星の方が強い。なほ  $\lambda 4454$  の部分を自記分光光度計で曲線に表はして見れば B 圖の如く  $\lambda 4461$  の線は殆ど同じ強さであるが  $\lambda 4454$  の線及びそれと  $\lambda 4461$  の間は上の矮星の方が餘程強い。

巨星と矮星との差別が此様にしてスペクトルによつてわかるから前項の關係によつて絶対等級  $M$  が求められ、それと實視等級とから次の式によつて (179 項)

$$\text{Log } \pi = 0.2 (M - m) - 1$$

容易く視差  $\pi$  が求められる。例へば白鳥座 61 は K7 型の矮星であるから前項の圖によつて  $M=+8.0$  である事がわかり  $m=+5.6$  であるから  $\pi$  は上式によつて  $0.''30$  となる。此値は實測とよく一致する。

此の如く巨星と矮星との差別によつて求めた視差を分光器的視差といふ。之に對して從來の測定法により求めたものを三角法的視差といふ。分光器的視差は容易く求められるが何時でも正しいとは言はれぬ。何故なればスペクトルと絶対等級との關係には多少の差違及び例外があるからである。

182. 恒星の實大 恒星の半径  $r$  は太陽の半径を單位として近似的に次の式によつて表はされる (167 項)。



$$\text{Log } r = \frac{5900}{T} - \frac{M}{5} - 0.009$$

M の値を巨星に対して -1.5 とし, G0 型と M0 型の矮星に対してそれぞれ +5.0, +10.0 とし, T を 167 項の表から

種 型	巨 星	矮 星
B0	3	3.4
G0	23	0.9
M0	156	0.5

取つて r を求めたものは次の通りである。

干渉計で測つた視直径 (171 項) と實測の視差とから直接に求めた巨星の半径は次の通りである。

星 名	型	半径(☉=1)	星 名	型	半径(☉=1)
牛 飼 α	K0	16	蝸 α	M0	286
牡 牛 α	K5	28	ペガサス β	M5	98
オリオン α	M0	362			

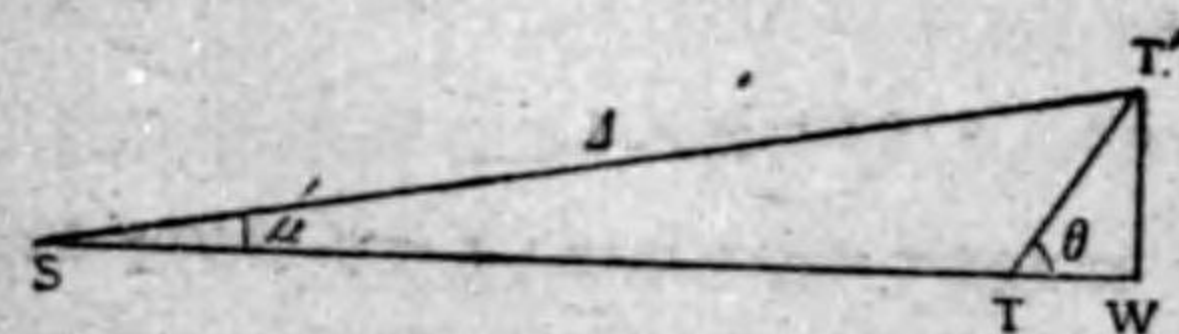
此等の値は視直径にも視差にもかなり大きい観測誤差があるので餘り確なものとは言はれない。唯其概略の値を示すに過ぎない。

183. 視線速度による距離の測定 固有運動と視線速度がわかり猶ほ其外に太陽に対する空間運動の方向がわかれば直接に恒星の距離を求める事が出来る。圖に於て S を太陽, T を恒星, T' を単位時間後の T の位置, W を T' から ST 線に下した垂線の足點とすれば

$$TW = \text{視線速度} = V$$

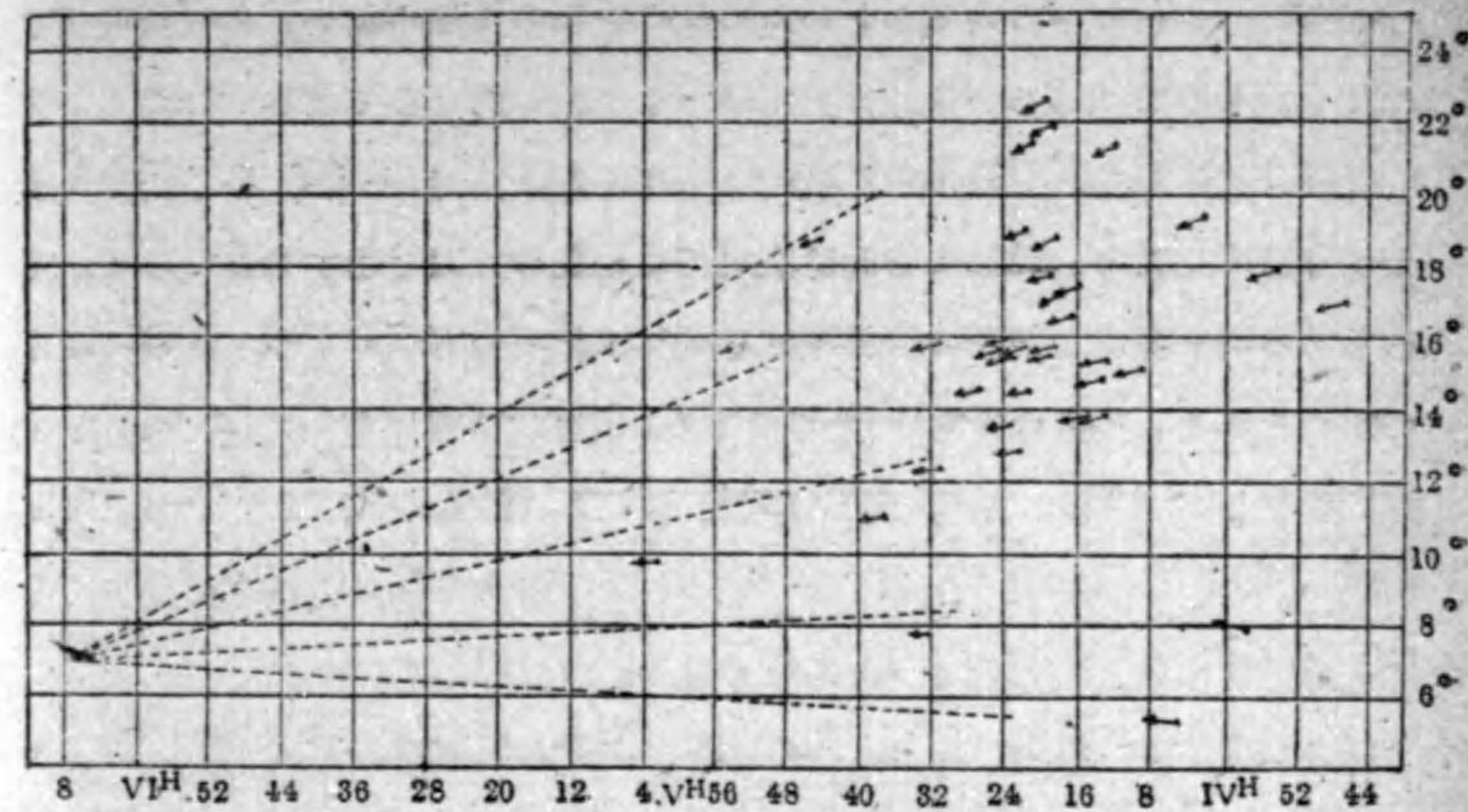
$$\angle TST' = \text{固有運動} = \mu$$

$$ST = ST' = \text{距離} = D$$



第61圖 恒星の視線速度と距離

である。今 T の運動の方向が空間的にわかつたとすれば  $\angle TT'W = \theta$  は既知である。距離 D は



第 62 圖 牡牛座星群の固有運動

それで

$$D = V \tan \theta / \sin \mu$$

となるので容易く  $\mu, V, \theta$  の値から求められる。 $\mu$  を一年に対する秒數,

V を km/sec, D を光年單位で表せば

$$D = 0.688 \frac{V \tan \theta}{\mu}$$

である。此方法で求めた距離は絶対的であることに價値がある。恒星の空間運動の方向は次に述べる星群の場合に知られる。

184 星群 天界には後に述べる通り多數の星團があり, 星團には球狀のものがあり又多少散開したものがある。星群は特別に大きく散開した星團とも見られるが便宜上先づ其事をこゝに述べる。

牡牛座の中に  $\alpha$  星 (Aldebaran) を取圍む一の恒星の群がある。肉眼でもそれがよくわかるので古くから之を Hyades と呼んで居る。此群に屬する恒星の固有運動を圖に表はして見れば不思議な事に天球上の一點に會合する



(第62圖)。何故にさうなるかといふに他に説明の方法が無い、此一群の恆星は疎らなものではあるが空間に於て平行な等速運動をして居るのである。それを吾々は透視的に見るから外觀的に固有運動の方向が一點、即ち消點に會合する様に見える。消點の方向は空間的に運動の方向を示すものである。それであるから其中の恆星の視線速度を測れば前項の方法によつて直接に距離が求められる。其値は平均120光年である。速度は太陽に對して 40.5 km/sec, 空間に對して 27.8 km/sec, 向點は銀經 148.°8, 銀緯 +11.°1 である。Rasmuson によれば牡牛座  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon$ ,  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  以下四十三個の星が之に屬し、全體の形は球に近く直徑は約 50 光年である。

北斗七星中の  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon$ ,  $\zeta$  の五星が共通の固有運動を爲す事は早くから (Procter, 1869) 注意された事であるが、それ以外に大犬座  $\alpha$  (Sirius), 駁者座  $\beta$ , 冠座  $\alpha$ , 蛇遺座  $\beta$ , 牛飼座  $\zeta$ , エリダヌス座  $\xi$ , 飛魚座  $\alpha$  等、全く違つた方面の恆星が此群に屬する事は 1909 年に始めて Hertzsprung によつて発見された著名の事實である。此場合廣がり全天球に及んで居るので太陽が此群の中を動いて居る事になる。星團や星群は遠方から見れば纏つたものになるが近よつて其中に入つて見れば却てわからなくなるのである。太陽に對する平均の速度は 18.6 km/sec 空間に對しては 30 km/sec, 向點は銀經 0.°0, 銀緯 -7.°6 である。此群の恆星は主に A 型で、絶對等級の最も高いのは駁者座  $\beta$  である。

オリオン座の  $\delta$ ,  $\epsilon$ ,  $\zeta$  は三つ星として誰でもよく氣の附くものであるが、これが又一の群を爲すものである。オリオン座大星雲の附近に散在する約二十個の恆星が之に屬する。それ等の恆星の固有運動は殆ど 0 で視線速度は平均 +18 km/sec, スペクトル型が揃つて B 型である事は著しい特徴である。太陽からの平均距離は 590 光年で空間に對する速度は 5.6 km/sec, 向點は銀經 80.°0, 銀緯 -9.°0 の位置に在る。視線速度の共通な點から見て此星

群は大星雲と共に存在するものと認められる。

此外多少有名な星群にペルセウス星群、及び蝸ケンタウルス星群がある。前者は約四十五個の恆星より成り向點は銀經 175.°9 銀緯 +1.°0 で、後者は約百六十個より成り向點は銀經 313.°7 銀緯 +9.°8 である。以上五個の星群に共通な點は空間に對する向點の銀緯が小さい事、即ち其運動の方向が銀河面と小さい角を爲す事である。スペクトル型が主に B, A に屬する事も亦、其特色である。

185. 二大星流 恆星の特有運動 (177 項) は偶然的であるべき筈だが統計的にそれを研究して見れば決してさうで無い。空間に對して銀經 166° 銀緯 -1° 及び其反對の方面に向ふものが割合に多く、且つ其速度も亦大きい。何故にさういふ事があるのか確でないが、之を星群が空間に於て入交つて居ると考へて、二大星流と稱へる。若し果してさういふ事があるならば所謂太陽系の空間運動は兩方の平均に對するものである。Eddington によれば太陽に對する二星流の向點及び其各に屬する恆星の割合は次の通りである。

	向 點		星 數 %	速度の割合
	赤 經	赤 緯		
第 一 星 流	90.8	-14.6	59.6	1.52
第 二 星 流	287.8	-64.1	40.4	0.86

二大星流説、即ち星群説で多少都合の悪い事は所屬の不明な恆星がかなり多い事、殊に B 型の恆星には少しも其傾向の見えない事である。Schwarzschild は之に對して所謂橢圓體説を提起した。それによれば速度の分布が二群に分れる代り一の橢圓體の中に入る。どうしてさういふ分布になるかといふに恆星は空間に於て一つの中心の周圍に右廻り又は左廻りの橢圓運動を爲すもので太陽は其中心からかなり遠い距離に在る。それで大體速度は一方



向とそれと正反対の方向とに別れるが中間的のものも相應に多く存在するといふのである。

186. 恆星の運動に関する諸問題 恆星の特有運動は一般に巨星に小で矮星に大である。後章に述べる通り巨星の質量は矮星より大きいから或程度のエネルギーの等分が恆星界にも成立するものと見られる。Campbell の出した結果によれば特有視線運動の平均は下表に示す通り B 型より M 型迄次第に増加する。

	B	A	F	G	K	M
平均速度	8.7	9.9	12.5	14.8	15.3	16.1 km/sec

此様な結果が出るのは F 型以下に多数の矮星が混じて居る爲めであるが、それだけでは説明が不十分である。事實 K, M 型の巨星は B 型の巨星よりも速度が大きいのである。

太陽の空間運動をきめるには材料の取り方によつて著しく違つた結果が出る。後に述べる球状星團と渦状星雲との視線速度から Lundmark が求めたのは

	赤 經	赤 緯	速 度
球 状 星 團	20 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup>	+60°	305 km/sec
渦 状 星 雲	20 20	+75	651 "

といふ値で恆星の運動から求めたものとは非常の相違である。Strömberg の研究によれば之と同様の違ひは恆星の中からも現はれる。唯其差が比較的小さいだけである。恆星の中で光度の弱い、さうして空間運動の 100km/sec 以上の所謂高速度星のみを取つて太陽の運動を出せば向點の位置は

赤 經 20<sup>h</sup> 40<sup>m</sup> 赤 緯 +57°

となつて大抵上記の値と一致する。長週期の變光星 (194項), 殊に週期 150

日乃至 210 日のものを取れば球状星團から出るものと最も近い結果が出る。

かういふ譯で太陽の空間運動の意義が全く従來の考と變つた。所謂太陽の空間運動は絶對的で無いのは勿論、銀河系の宇宙に對するものでも無い。それは唯、附近の比較的低速の恆星の群に對する局部的の運動なのである。太陽が低速の恆星群に屬して居ると考へるのは當然である。Kapteyn 以前の學者は此群を宇宙と考へたが Shapley は之を局部系と呼んで大銀河系内の一小部分と見る。高速度星は此系に屬さない。Oort によれば速度の極限は 60 km/sec で、それが局部系の逃脫速度であるといふ。

恆星の特有視線速度は符號の儘、平均すれば 0 となるべき筈だが常に正の値が残る。Campbell が之を視線速度の K 項と呼んで以來、それを通つて居る。各スペクトルに對する K 項の値は次の通りである。

種 型	B	A	F	G	K	M
K 項	+4.90	+1.68	+0.34	-0.19	+0.28	+0.66 km/sec

平均の値は +1.26 km/sec で至つて小さいが後に述べる通り、球状星團や渦状星雲に對して驚くべき大きい値が出る。K 項を文字通りに解釋すれば銀河系の宇宙が膨脹する事になり、更に大宇宙が又、膨脹する事になるが、それが果して事實か否か、十分に研究を要する問題である。

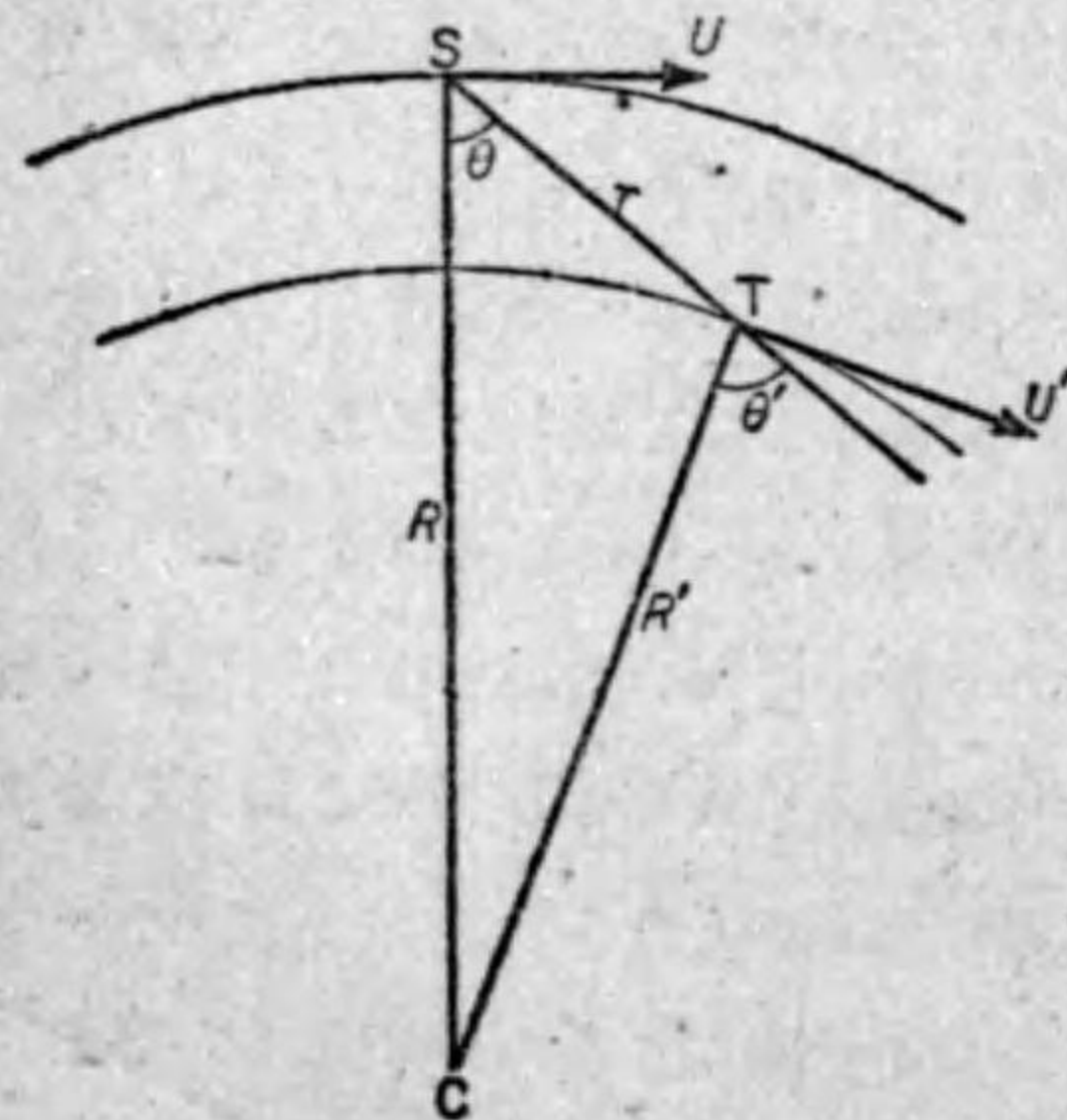
187. 銀河の廻轉 銀河は後に述べる通り宇宙の一部であつて數百億の恆星の一系統であるが、それが大體レンズ形のもので見られるので、それに廻轉があるだらうといふ事は前世紀中より既に考へられた事であるが、それを確める爲めの材料が無かつた。然るに今世紀に入つてから恆星の運動の研究が益々盛となり殊に視線速度の測定が其爲めに最もよき材料を與へる事になつた結果、銀河の廻轉は今では殆ど疑の無い事となつた。

吾々は銀河の内に在る結果、其中の星の分布がどうなつて居るか容易にわからぬ。従つて中心がどの方向にどれだけの距離に在るかわからぬ。唯吾々



はそれが銀河面の中に在つて恆星が其周圍に同じ向きに廻るといふ事だけを考へる。各恆星の軌道はどういふ形か、それは無論わからぬが便宜上それを圓周と考へ、同時に又物質が中心に集積して居るといふ極めて簡単な場合を考へる。さうすれば各恆星の軌道上の速度は皆 Kepler の第三法則によつて定まり太陽に對する各恆星の相對的運動は方向と距離とによつて一意的に決定する。それを觀測と比べて果してどの程度に一致するか、其結果によつて銀河廻轉の説が正しいか正しくないか定まるわけである。

視線速度と固有運動とで視線速度の方が有力な材料となる事は明かなので以下専らそれに就いて述べる事にする。それで先づ多數の恆星の視線速度を銀經によつて別けて其平均を取れば、第一に氣が附く事は太陽の空間運動の影響である。即ち其向點の方に在るものは負となり背點の方に在るものは正となり、中間に在るものは殆ど0になる。調和解析によりそれに相當する項を出せばそれから向點の銀經と太陽の速度とが求められる。從來の考からいへば結果はそれだけとなつて他の項は皆0になるべきであるが實際にはさうならない。先づ第一に前述の  $K$  項が常數の形で現はれ、次に第二次項、即



第63圖 銀河の廻轉

はれる。それち銀經の一周に對して二つの極大と二つの極小とを持つ項が現が即ち銀河廻轉によるべきものなのである。其理由は次の考によつて明かである。

圖に於て  $C$  を銀河の中心、 $S$  を太陽、 $T$  を一の恆星とし何れも  $C$  を中心として圓周運動を爲すものとする。距離  $SC$  を  $R$ 、 $S$  の角速度を  $n$ 、速度を  $U$  と

し、 $T$  に對するものに (1) を附する事にすれば假定により全質量  $\mu$  は

$$\mu = n^2 R^3 = n'^2 R'^3$$

$$U = nR = \sqrt{\frac{\mu}{R}}, \quad U' = n'R' = \sqrt{\frac{\mu}{R'}}$$

となり、 $S$  に對する相對的視線速度は之によつて、

$$V = \sqrt{\frac{\mu}{R'}} \sin \theta' - \sqrt{\frac{\mu}{R}} \sin \theta$$

となる。但し  $\theta = \angle CST, \quad \theta' = 180^\circ - \angle CTS$

然るに  $R' \sin \theta' = R \sin \theta$

$$\text{故に} \quad V = \sqrt{\frac{\mu}{R}} \left\{ \left( \frac{R}{R'} \right)^{\frac{3}{2}} - 1 \right\} \sin \theta$$

今  $r = ST$  を  $R$  に比して小とし二次以上を省き得るとすれば

$$\left( \frac{R}{R'} \right)^{\frac{3}{2}} = 1 + \frac{3}{2} \frac{r}{R} \cos \theta$$

$$\text{故に} \quad V = \frac{3}{4} \sqrt{\frac{\mu}{R}} \frac{r}{R} \sin 2\theta = \frac{3}{4} \frac{U}{R} r \sin 2\theta$$

となる。 $\theta$  は  $S$  から見た  $CT$  間の角で、 $C, T$  の銀經をそれぞれ  $l_0, l$  とすれば  $\theta = l - l_0$  である。故に

$$V = A \sin 2(l - l_0), \quad A \equiv \frac{3}{4} \frac{U}{R} = \frac{3}{4} n$$

調和解析によつて此項が求められる。それによつて中心  $C$  の銀經  $l_0$  が求められ、 $r$  の既知の値を入れて係數  $A$  が求められる。更に系全體に對する太陽の速度  $U$  がわかれば中心迄の距離  $R$  が求められる。銀河廻轉の假説の當つて居る事は各種の恆星から求めた  $A$  及び  $l_0$  の値のよく揃ふ事によつてわかる。Oort, Lindblad, Plaskett 等が出した値は大略

$$l_0 = 325^\circ, \quad \text{週期} = 1,500,000 \text{ 年}, \quad \mu = 10^{11} \odot$$



$$R=6500\text{pars}=2,0000\text{光年}, \quad U=275\text{ km/sec}$$

で、廻轉の方向は北から見て逆、即ち時計と同じ向きである。 $l_0$ の値は後に述べる通り Shapley が球狀星團の分布から出したものと一致する(212項)。

## 第十四章 變光星

188. 變光星の發見 變光星とは名の如く其光度が變化する星をいふので最初に發見されたのは鯨座の(Mira)である。1596年ドイツの Fabricius が鯨座に見慣れぬ星の認め其後時々注意して居たが一ヶ月餘の後に光度が弱くなり遂に見えなくなつた。其後此様に光度の變る星が次第に發見せられ殊に十九世紀末に寫眞によつて發見する方法が行はれてから變光星の數は著しく増加し、近頃は年々三、四百個も發見され、現在約一萬個の變光星が知られて居る。然し近年發見のものゝ大部分は肉眼には勿論、小さな望遠鏡では見られない様な微小なものである。

變光星の觀測は十九世紀の中葉までは餘り多く行はれて居なかつた。この方面の研究に力を注いだのはドイツの Argelander で、彼は Bonn 天文臺で星表編纂の傍、變光星を觀測した。觀測の方法も從來の方法を改良し、又 Schmidt, Schönfeld 其他幾多の後繼者を養成する等、學界に残した功績は大きい。十九世紀末にはアメリカの Pickering (E. C.) が光度計によつて多數の恆星の等級を定め、又寫眞によつて變光星を發見し觀測する事を始めた。ドイツの Hartwig は年々變光星推算表を編纂し、又 Müller と共に變光星に関する文獻を集めた大著がある。理論的方面ではイギリスの Eddington 及び Jeans, 統計的方面ではアメリカの Shapley 其他の研究が最も重要なものである。

189. 變光星の命名 現今變光星の命名に関する事務はドイツの變光星委員會が取扱つて居る。變光星が新たに發見された時之を委員會に報告すると先づ假の名稱が與へられる。假名は例へば I.1940 Lacertae といふ様な表はし方で、これは 1940 年に第一番に報告された變光星で蜥蜴座に在る事を示



すものである。

十分の観測によつて光度の変る事が確められた場合には同じ委員会によつて永久的の名稱が與へられる。其方法は Argelander の創めたものを擴張したもので各星座毎に變光する事が確められた順に R, S, T……Z と命名し次に RR, RS, ……RZ, SS……SZ, TT……YZ, ZZ, 更に AA, AB, ……AZ, BB……BZ, CC……QY; QZ といふ様に命名する。此様にすれば一星座毎に 334 個を命名することが出来るが、併し近年に至つて變光星の数は激増し、二三の星座では此方法では間に合はず遂に V 335, V 336, ……といふ様に命名することゝなつた。以上の方法は星雲や星團中の變光星には應用されない。

此外 Harvard 天文臺で屢々用ひる方法が二つある。その一つは同天文臺で発見した變光星を発見の順序に H. V 400 といふ様に記すものである。もう一つは六個の數字を以て變光星の名を示し、それによつて大體の位置を表はすもので例へばペルセウス座  $\beta$  は 030140 である。これは 1900.0 の赤経が  $3^h 1^m$ , 赤緯が北  $40^\circ$  餘の位置に在る事を示すものである。赤道以南の星はイタリックで記す事になつて居る。例へば鯨座  $\sigma$  は 021403 と記される。

190. 變光曲線 光度が時と共に變化する有様を示す爲めに變光曲線を用ひる。これは實視的、寫眞的、又は光度計的に附近に在る光度の餘り違はない星と光度を比較して變光星の等級を決定し、等級と時日との關係を曲線で表はしたものである。變光曲線から極大光度及び極小光度の時日を決定し、それによつて週期を求めることが出来る。短い期間に同じ様な曲線を繰り返す短週期變光星や食變光星の場合には數十回乃至數千回に亘る觀測を一纏にして平均變光曲線を作る。

191. 變光星の分類 現在知られて居る多數の變光星を變光の状態や物理的性質によつて分類することは變光星研究の上に必要な事であるが、それには種々の困難があつて今でもなほ完全な分類法は無い。次に現在多くの人に

よつて採用される Pickering の分類法を少しく修正したものを記載する。

1. 新星
2. 不規則變光星
  - a) 雙子座 U 型      b) 冠座 R 型
  - c) オリオン座  $\alpha$  型   d) 牡牛座 RV 型
3. 長週期變光星
4. 短週期變光星
5. 食變光星

以上の中で牡牛座 RV 型は近年に至つて認められた多少規則的な變光星で、Pickering の分類法には無いのであるが便宜上不規則變光星の一種とする。

192. 新星 非常に微かな星が急に光度を増して或る等級に達し、それから急に減光するのが新星である。新星の出現後、古い寫眞を調べると非常に弱い光の星として寫つて居る場合が多い。表は今日迄に出現した新星の中、極大等級が三等以上に達したものである。光度の弱いものは多く何等かの目的で撮影した寫眞から発見される。

名	稱	年	代	極大光度	發見者
カシオペア座	B	1572		$-3.5^m$	Tycho Brahe
蛇遺座	新星	1604		-2.5	Brunowski
小狐座	新星	1670		2.7	Anselmus
冠座	T	1866		2.0	Birmingham
白鳥座	Q	1876		3.0	Schmidt
ペルセウス座	新星	1901		0.0	Anderson
鷲座	新星	1918		-1.4	數人
白鳥座	新星	1920		1.5	Denning
畫架座	RR	1925		1.0	Watson
ヘルクレス座	DQ	1934		1.3	'rentice
蜥蜴座	CP	1936		1.9	五味



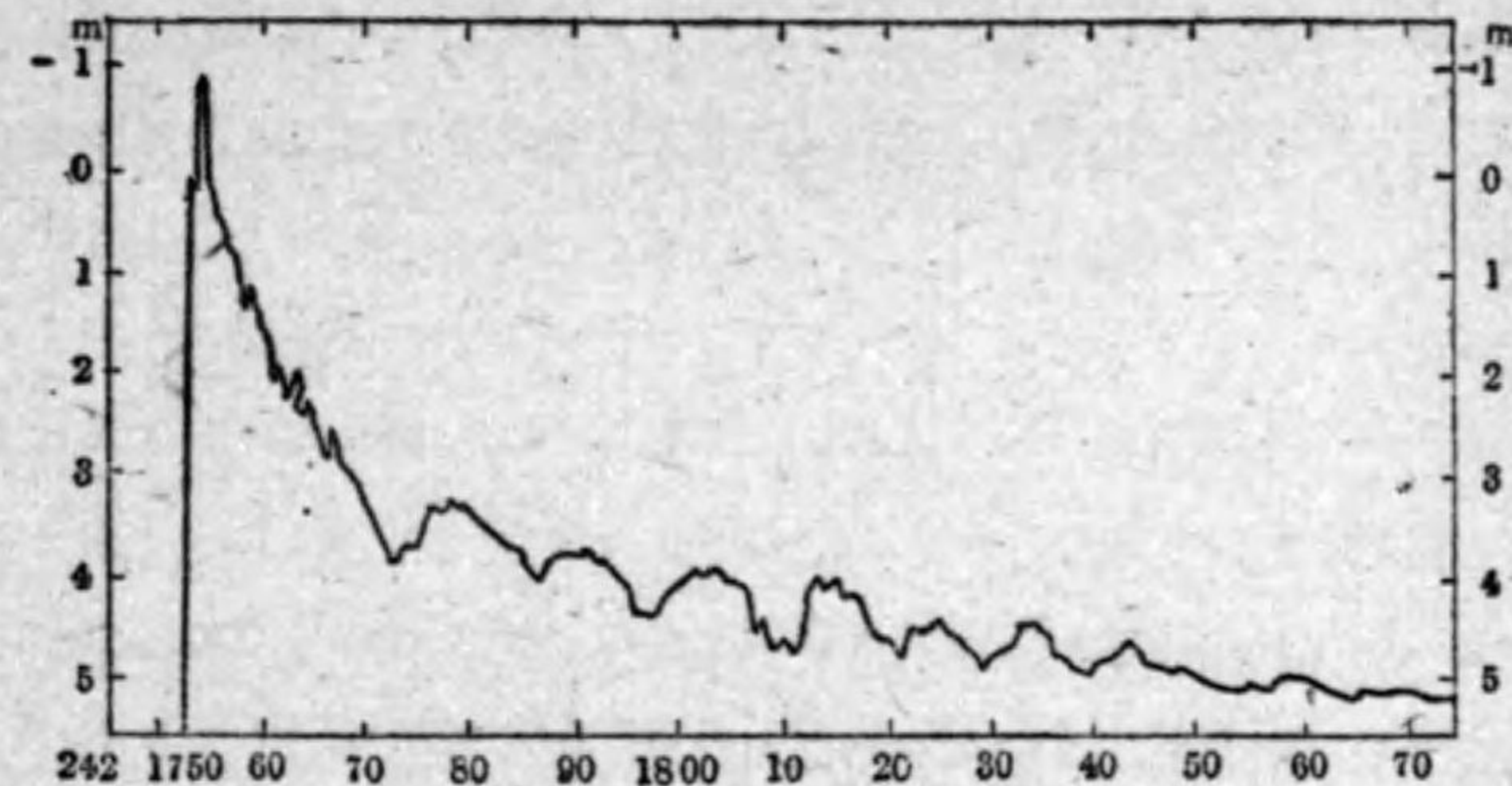
次に表の中の主な新星に就いて説明すれば 1572 年のカシオペア座の新星は近代の新星の中最も明るく輝いたもので、Tycho が之を認めたのは同年 XI 11 であつた。其數日前に此星を認めたものもあつたが Tycho は発見後光度の變化に注意して其記録を残したので之を一般に Tycho の新星と呼ぶ。Tycho が始めて見た時は木星位の光度であつたが其後光度を増して一時は金星位の明るさになり、それから緩かに光度を減じ 1575 年 III に見えなくなつた。

1604 年の蛇遺座の新星は Kepler によつて詳しく観測されたので普通 Kepler の新星と稱する。

1866 年の冠座の新星は初めて分光器によつて研究された新星であるが、1901 年ペルセウス座に新星が出現するに及んで吾々の新星に関する知識は著しく進んだ。此星は 1901 年 II 21 にイギリスの Anderson が二等星として発見したものであるが、それより 28 時間前に Williams が撮つた寫眞には十一等星まで寫つて居ても全く新星の像を認める事が出来なかつた。発見後 II 23 には 0 等星に達し、それから徐々に光度を減じて同年 VI 月には六等星となり現在では約十三等星大の光を呈して居る。

此新星に就いて認められた著しい事實は (1) III 月末から VI 月頃に至る間には後に述べるケフェウス星に類似した變光曲線を示した事、(2) 発見當時は青白色であつたが II 24 には黄色を帯び III 月に入つて赤色になり、VII 月頃に再び白色となつた事、(3) スペクトルは極大に達する前は普通の白色星のスペクトルを示したが極大後急に輝線が輝き始めた事、(4) 1901 年秋に新星の近傍に星雲状のものが現はれた事等であつた。之と略同様の現象は其後に現はれた著しい新星の多くの場合に見出されたので現今では以上の特徴は新星の一般的性質と考へられる様になつた。(4) の星雲状の物質に就いては更に述べる事がある (217 項)。

1918 年の鷲座新星は VI 8 世界各地で多數の人によつて発見されたもので翌日はシリウスに比すべき光を放つた。第 64 圖は此新星の變光曲線である。圖の下方に記してある數字はユリウス日である (119 項)。



第 64 圖 1918 年鷲座新星變光曲線

1925 年の畫架座新星は V 24 に南アフリカの Watson が二等半の星として発見したものであるが同年 IV 13 の寫眞には三等星として寫つて居た。発見後も緩かに光度を増し VI 9 に至つて極大となり、其後數回光度の増減があつて從來の新星とは全く違つた變光状態を示した。尙ほ此新星は 1928 III 月に至り二個に分裂した事が Johannesburg 天文臺で発見された。二星の間の角距離は約 0."5 で光度の差は殆ど 0 であつた。

1934 年のヘルクレス座新星は XII 3 に発見されたものだがこれも翌年の VII 月に二つに分裂した。二星の光度の差は 0.4 等で距離は 0."2 であつたが次第に増加し年末には 0."5 となつた。

1936 年の蜥蜴座新星は北海道の日食皆既の前夜 (VI 18) 五味氏が発見したもので翌日に極大に達し、それより急速に減光したものである。

新星に関する一般的性質としては其分布が銀河と密接な關係のある事である。現に知られて居る新星で銀緯が 20° 以上のものは極めて少い。又銀經に



對しては銀河系の中心の方向と考へられる射手座の方向に最も多く発見されて居る。極大光度の後スペクトルが著しい變化をする場合、暗線がすべて藍色の方に移動し、これを視線速度によるものとすれば毎秒數千 km の大速度で近づく事になる。これと對をなして現はれる輝線は必ず多少赤色の方に變位して居り、幅が著しく廣い。此事實は新星の原因を考へる上に最も重要な事である。

新星の原因については未だ明言することが出来ない。變光曲線に種々の型のものがあるから凡てが同じ原因によつて起るとは言はれないかも知れぬ。惑星との衝突又は二つの星の著しい接近によつて起るものでないかといふ説があり、又新星の出現後、周圍に星雲の現はれる事から暗黒星雲の中に星が突入して新星の現象を呈するといふ説もある。併し速度は餘り大きくないから星雲と星との衝突によつて數日間に數萬倍の光度に上る事は不可能であらう。爆發によるといふ説は比較的有力であるがこれとても新星の凡ての現象を説明するには不十分である。その一つとして白色矮星 (180 項) は密度が大きい爲めに不安定で、これが爆發して新星の現象を呈するであらうといふ説も出て居る。

新星の視差を精密に測る事はむづかしいが、これ迄の測定の数から平均を出せば大略  $0.010$  となり、之に對して最大光度は平均 1.9 等となる。最大光度の絶対等級をこれから求めれば  $-3.1$  等となる。

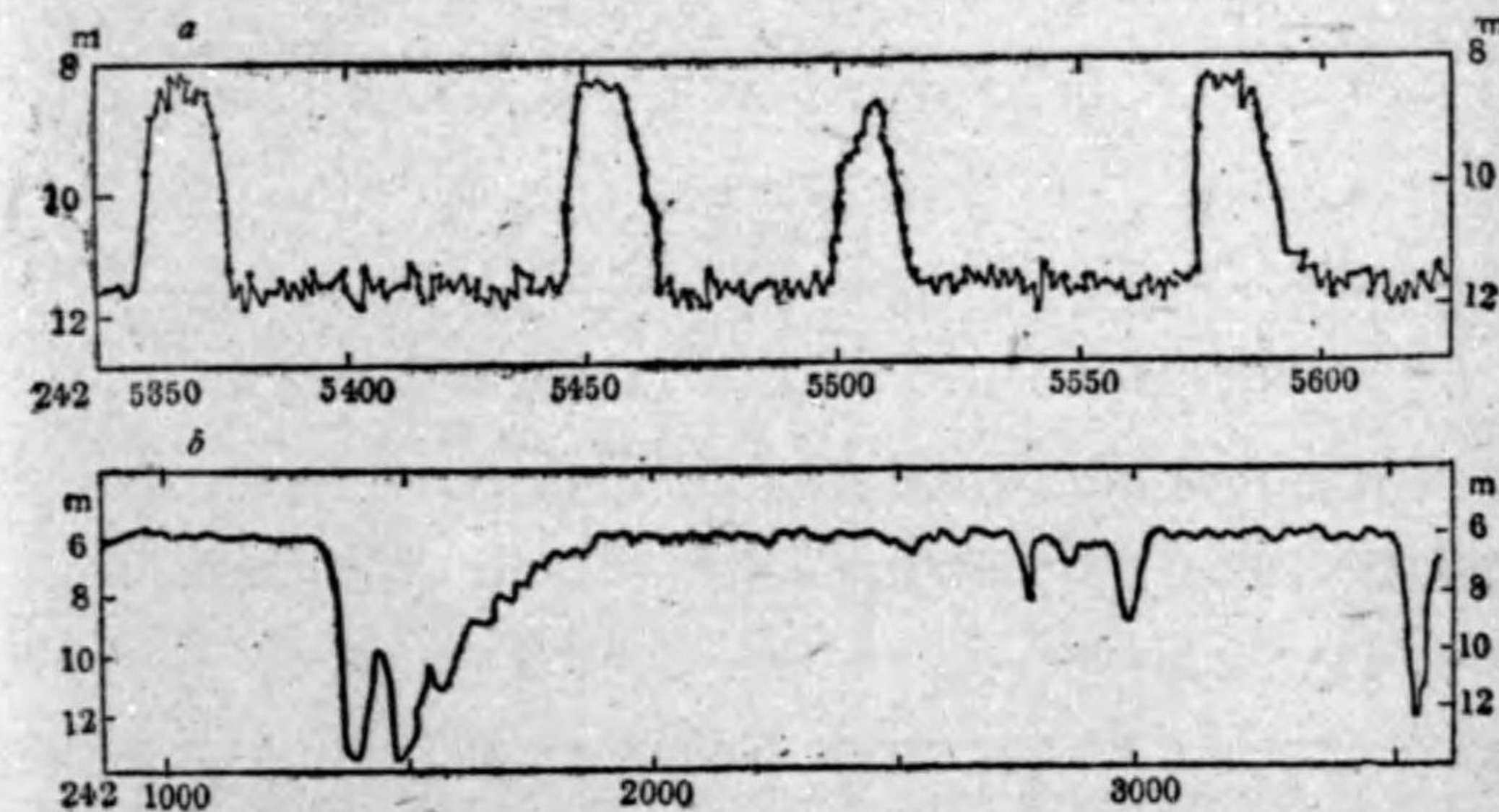
新星は渦狀星雲の中に多數発見されて居る。其事に就いては便宜上銀河系外星雲の條に於て述べる (225 項)。

普通の新星とは稍趣を異にして居るが新星に類似の變光星に就いて少しく述べれば龍骨座  $\eta$  は十七世紀以來二等乃至四等の星として觀測されて來たが 1827 年頃一等星となり其後一旦光度が減じ再び増光して 1843 年には負一等星となつた。其後は光度が弱くなり現在は八等星になつて居る。スペクトル

は新星に類似し周圍に星雲も現はれた。羅針盤座 T は平常十四等であるが 1890, 1902, 1920 年の三回、七等星となつた。これも新星と同一の原因によつて起るものと考へられる。

193. 不規則變光星 普通不規則變光星と呼ぶのは新星と週期的に變る凡ての變光星とを除いた残りの變光星の總稱で、種々の種類があるが大體次の四種に分ける事が出来る。

(a) 双子座 U 型 此種の星は平常は光度の弱いものであるが時々急に増光して或る大體一定の光度に達しやがて稍緩かに減光するもので名高いのは双子座 U と白鳥座 SS とである。第 65 圖 (a) は 1928 年の白鳥座 SS の變光曲線である。此種のもは現在十數個知られて居るが變光範圍は四、五等級に及ぶものもあり多くは銀河の近くに存在しスペクトル型は多く高温度のものである。



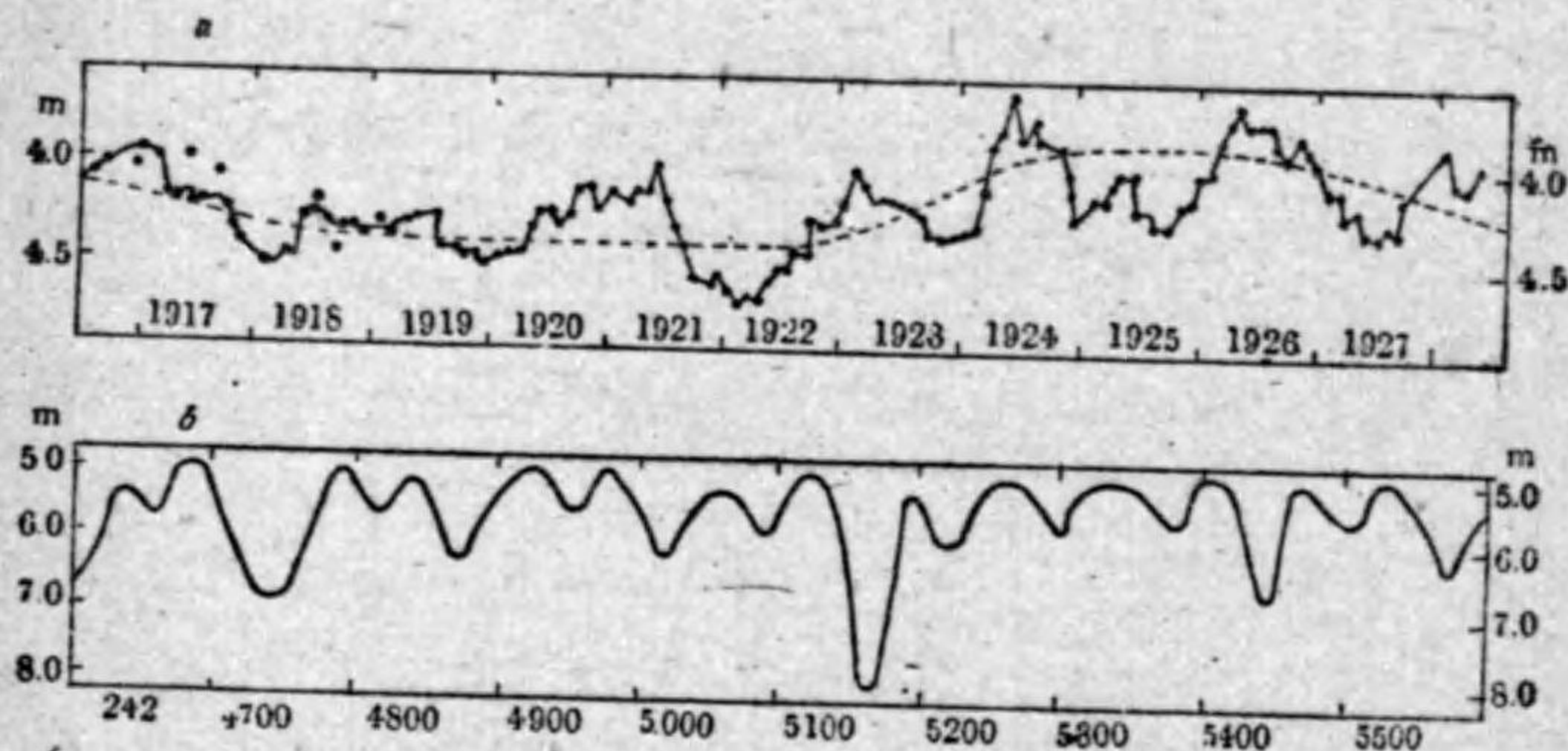
第 65 圖 (a) 白鳥座 SS, (b) 冠座 R の變光曲線

(b) 冠座 R 型 此種の星は平常は略ぼ一定の光度で餘り光度が變らないが時々急激に光度が減じやがて増光して元の光度となるもので現在此種に屬する星が十數個知られて居る。冠座 R は其中の最も名高いもので平常は六



等星の光輝を有して居るが時々不規則に減光して時には十四等位まで下る事がある。第65圖(b)は此星の1916年から1923年までの變光曲線である。此種のものに變光範囲の大きいものや小さいものがあるが銀河附近にやはり密集して居り變光原因は遮光物質が空間の所々に擴がつて居て星の前面を掩ふ時に減光するのであらうといふ説が有力である。

(c) オリオン座  $\alpha$  型 時としてはケフェウス座  $\mu$  型とも呼ばれるもので現在此種に屬するものが數百個知られて居る。多くは赤色の巨星でスペクトルは M 型又は N 型のもが多く、變光範囲は一等級以内である。オリオ



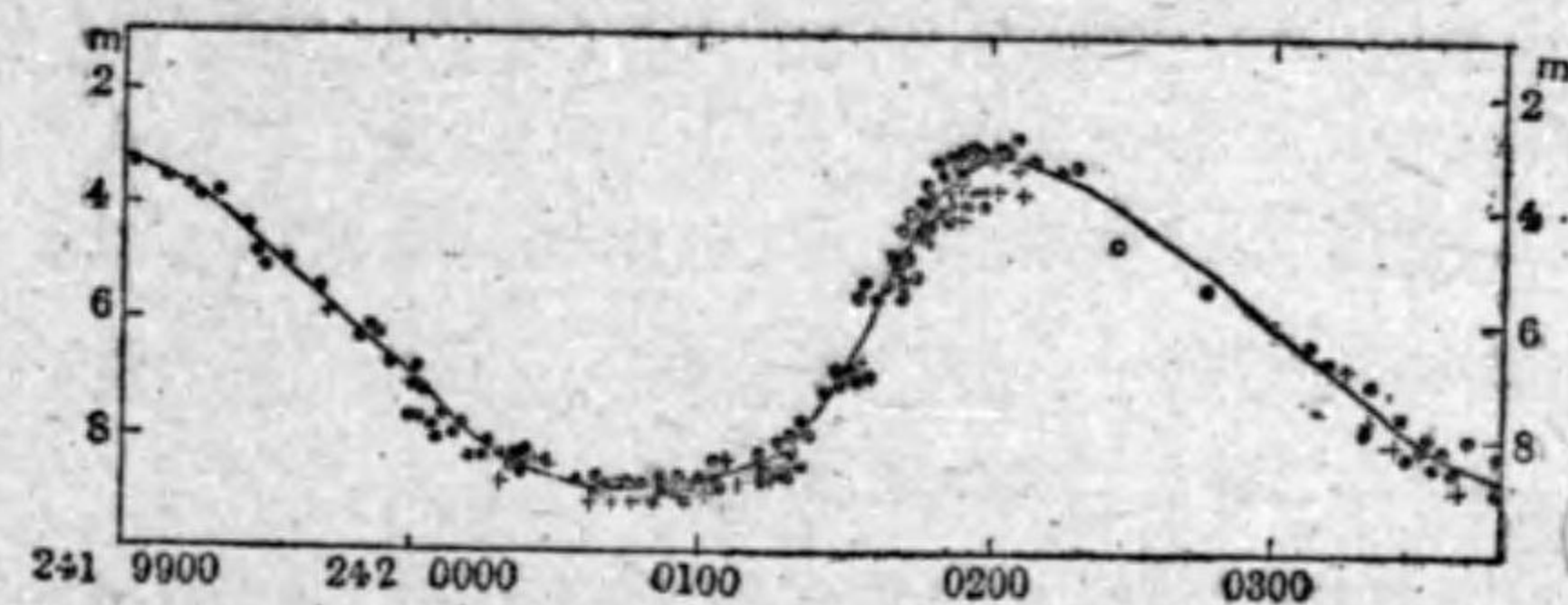
第66圖 (a) ケフェウス座  $\mu$ , (b) 桶座 R の變光曲線

ン座  $\alpha$  は凡そ六年許りの週期で變るものではないかと考へられて居る。なほ視線速度も干渉計で測つた視直径も (171 項) やはり同様に變ると見られて居る。此種のものの中、少数は不確ながら週期が見出されて居り星の膨脹収縮による變光とも考へられるが詳しい事はなほ不明である。第66圖(a)はケフェウス座  $\mu$  の1917年から1927迄の變光曲線である。

(d) 牡牛座 RV 型 此種のもは前記の三種のものよりは遙かに規則的のもので従来は後に述べる長週期又は短週期の特別なものと考へられて居たが近頃は別種のものとして取扱はれて居る。變光範囲は一等級乃至三等級位

で五十日乃至百數十日の不規則な週期で變光し變光曲線は琴座  $\beta$  型 (196 項) に似て居る。この種のもで名高いのは桶座 R, 矢座 R, 牡牛座 RV 等で第66圖(b)は桶座 R の1926年から1928年迄の曲線である。現在十數個の星が此種のもで考へられて居りやはり銀河面に密集の傾向があつてスペクトル型は G 型又は K 型のもが多い。變光の原因は明かでない。

194 長週期變光星 長週期變光星とは數十日乃至數百日の週期で光度の變るもので二百五十日から四百日迄の週期のものが最も多い。變光範囲は甚だ大きく通常四、五等級で時には八、九等に及ぶものもある。併し中には一等級位に過ぎないものも少しある。變光は大體に於て週期的であるが各極大の間隔は必ずしも一定では無く、又極大等級、極小等級も毎回一定でないといふ様に嚴密な意味に於ては週期的でない。此種の中で最も古くから知られ



第67圖 鯨座  $\alpha$  (ミラ) の變光曲線

て居る鯨座  $\alpha$  (Mira) に就いていへば1906年秋の極大には二等であつたが1924年の極大には五等に過ぎなかつた。第67圖は此星の1913—14年の變光曲線である。表は此種の星の主なるものである。

長週期變光星は殆ど皆赤色で大多數は M 型のもであり N 型又は S 型のもも幾らかある。スペクトルには水素の輝線が著しい特徴である。N 型のもは一般に變光範囲が狭く一層不規則で S 型のもは變光範囲が廣く週期の長いものが多い。週期が四百日以下のものは天空上に略一様に分布し



星名	光度	週期
鯨座 $\sigma$	2.0—10.1	332
時計 R	4.0—13.4	400
双子 $\eta$	3.1—4.2	236
龍座 L <sup>3</sup>	3.2—6.3	141
龍骨 R	4.0—10.0	305
海蛇 R	3.5—10.1	415
白鳥 $\chi$	4.2—14.0	413

てるが四百日以上のもは銀河の近くに密集して居る。極小から極大に達するのに急速のものが多い。

長週期變光星は固有運動が小さく平均凡そ 0."03 位であるが視線速度はかなり大きく週期の短いもの程大きい傾向がある。固有運動が小さく視線速度

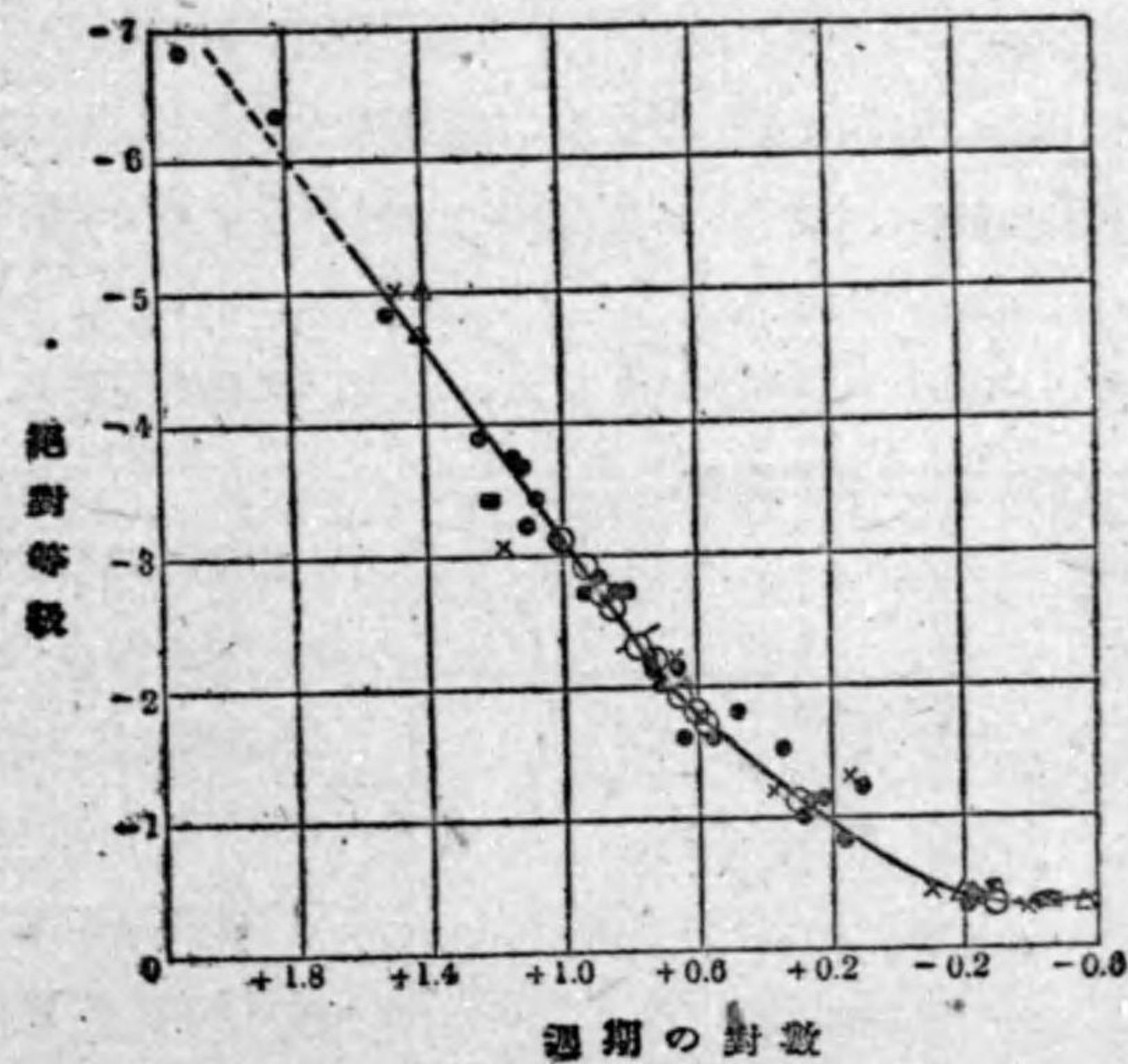
が大きい事は遠距離に在る事を示すもので極大に於ける絶対等級は 0 等級で巨星であると考へられる。最近の研究によれば長週期變光星にも次項に述べる様に週期と絶対等級との間に一定の関係があるらしく考へられるが此場合には長い週期のもの程光度が弱いらしい。視線速度がよく観測されて居るものは變光の週期と同じ週期で變化するが極大光度の時、視線速度が正の最大の値を取る事は短週期變光星の場合と反対である。鯨座  $\sigma$  の場合には視線速度の變化から連星系の假定の下に軌道が計算され、又 Wilson 山の干渉計によつて直径も測られて居る。其等の結果によれば直径が太陽の數百倍で表面温度は約 2000°K、質量は太陽の數倍である。

長週期變光星の變光原因は種々研究されて居るが今でも猶ほ明かでない。次に主なるものを挙げれば Eddington は此種の星も次に述べる短週期のものと同様に脈動説で説明が出来ると考へアメリカの Merrill は星の外部に時時週期的に不透明な雲が出来ると變光が起ると説明し、イギリスの Jeans は分裂しかつて居る星の廻轉によつて起るものであると力説して居る。併し何れの説にも多少困難な點があつてこれ迄に観測された種々の事實を完全に説明するものは無い様である。

195. 短週期變光星 は數時間乃至五十日位の週期のもので次に述べる食變光星を除いたものゝ總稱である。此中週期一日以下のものは星團の中によ

く発見されるので星團種變光星と呼ばれ一週間前後のものはケフェウス座  $\delta$  の星座名を取つてケフェウス種變光星と呼ばれる。短週期變光星全部をケフェウス種といふ事もよくある。

短週期變光星に関する主なる観測事實は次の通りである。(1) 光度は絶えず變化し變光はかなり規則正しい。(2) 週期は半日及び五日位のもの多數を占め一日内外の週期のものは殆んど知られて居ない。(3) 變光範囲は一等級以内の場合が多い。併し寫眞等級の範囲は實視等級の範囲より大で一等以上のもの相當にある。(4) 變光曲線は一般に下降より上昇のとき急であるが變光範囲の小さいものでは曲線が對稱的である。(5) スペクトル型は變光の週期と同じ週期で變化し光度の極大のとき最も高温のスペクトル型を示し極



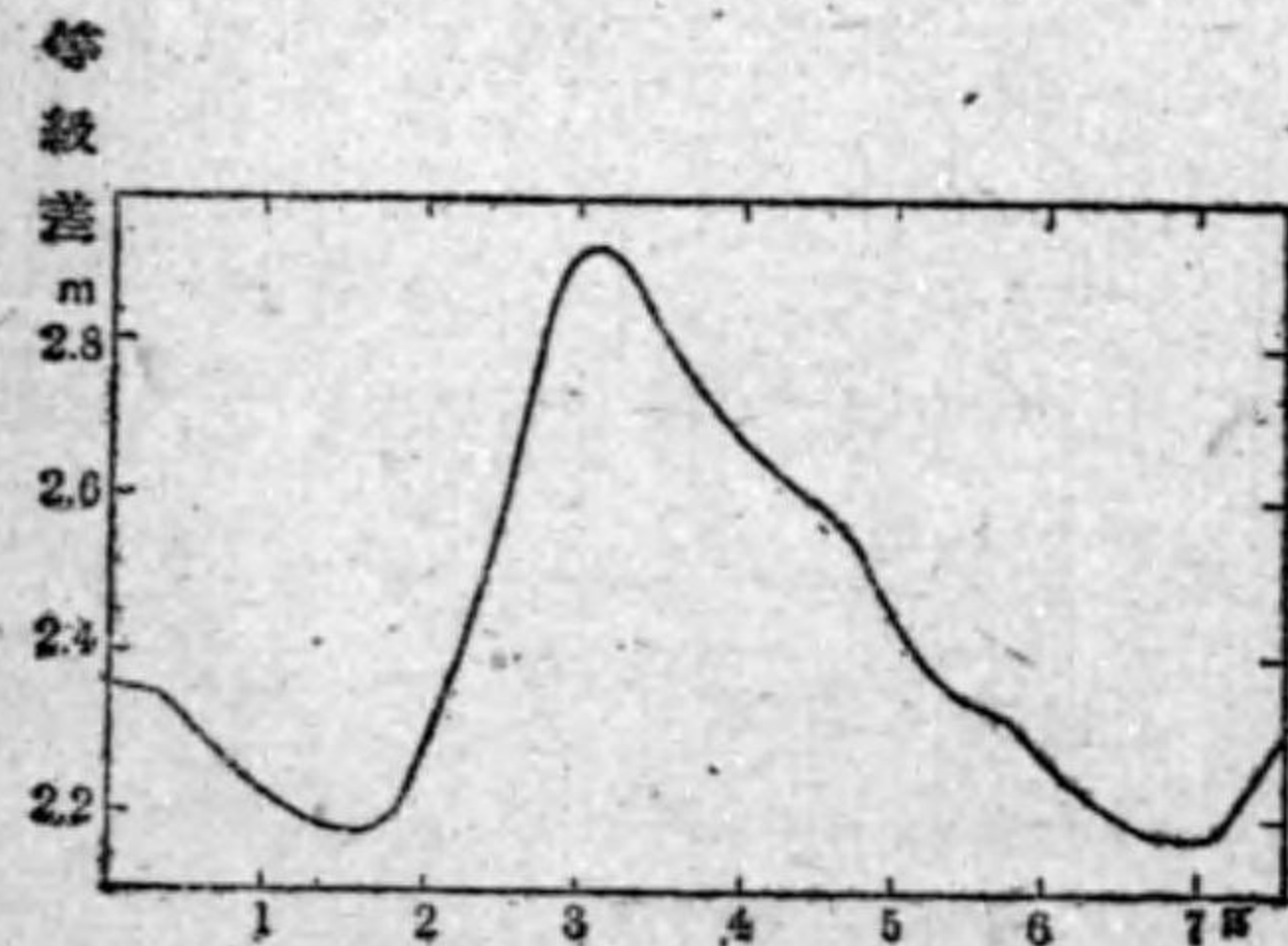
第 68 圖 ケフェウス種變光星の光度週期の關係  
Shapley の原圖、●△○等の記號は  
諸種の群屬を示す



小光度のとき最も低温のスペクトル型を示す。(6) 平均のスペクトル型は一日以下の週期のものでは A 型で、週期の長いもの程次第に低温スペクトル型 F, G, K 型を示す。(7) 視線速度は變光の週期と同一の週期で變化し光度の極大の時は視線速度の負の最大の値をとる時であり極小光度の時は正の最大の速度を示す時である。(8) 銀河系に屬するものに就いていへば週期が一日以下のものは見掛上天空に一樣に分布して居るが一日以上のものは殆ど全部銀河方面に密集して居る。(9) 視差は極めて小で従つて遠距離にあり凡て巨星である。(10) 週期と絶対等級との間には一定の關係があつて絶対等級の高いもの程週期が長い。

これ等の性質の中で最後のものは最も著名な關係で光度週期の關係と呼ばれ宇宙間の距離を測るに無二の方法である事は第 26 項に述べた通りである(68圖)。變光星の週期がわかれば直ちに絶対等級がわかり、それと實視等級とから距離がわかるのである。何故に週期と絶対等級との間に關係があるかに就いては今猶ほ不明である。

第 69 圖は此種の中で最も有名なケフェウス座  $\delta$  の變光曲線で、表は短週期變光星の中の主なものである。



第 69 圖 ケフェウス座  $\delta$  の變光曲線

短週期變光星は球狀星團の中に多數に發見される(211 項)。これには週期一日以下のものが多い。又渦狀星雲の中にも比較的長週期のものが多數發見された(226 項)。これは週期が長い程絶対等級が高い爲めに比較的容易に發見されたの

星名	光度	週期
小熊 $\alpha$	2.1—2.2	3.97
旗魚 $\beta$	4.2—5.7	9.84
双子 $\zeta$	3.7—4.1	10.15
龍骨 $\iota$	3.6—4.8	32.52
孔雀 $\kappa$	4.2—5.1	9.11
鷲 $\eta$	3.7—4.4	7.18
ケフェウス $\delta$	3.7—4.4	5.37

であらう。

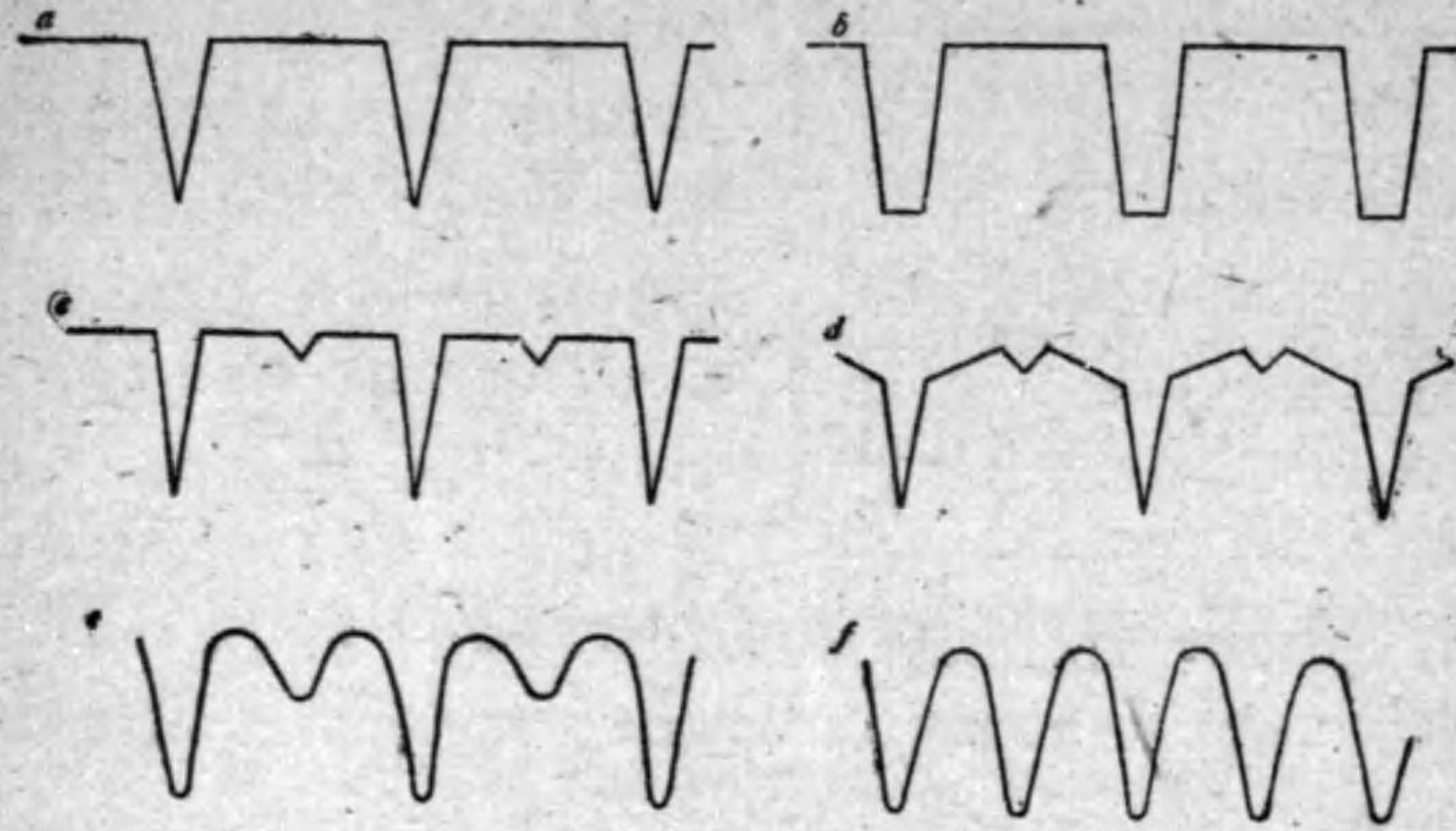
短週期變光星の變光原因は天體物理學上の難題であつて、これ迄も多くの研究が爲されたのであるがまだ十分な説明がされて居ない。現在最も有力なものは初め Shapley によつて提出され、Eddington によつて理論的に研究

された脈動説で、變光の原因を星の脈動に歸するものである。之に對して Jeans は分裂しかけた瓢箪形の星の廻轉によつて變光が起るといふ説を提出して居る。

終りに短週期變光星に類似したケフェウス座  $\beta$  型變光星なるものがある事を附加へて置く。此種のもは現在十數個知られて居るが何れも變光範圍は極めて少く、0.1 等級以内であり週期は 0.1 乃至 0.2 日、スペクトル型は B 又は A である。變光曲線や視線速度の振幅は時によつて著しく變るので短週期變光星と果して同じ原因によるものかどうか疑問となつて居る。

196. 食變光星 食變光星は空間に於て二星が相互の引力によつて廻轉して居る場合、其軌道が偶然太陽系の方に向つて居る爲めに一つの星が他の星の前を通るとき日食と同様の現象を起すので光度が一時的に減少するのをいふのである。此様な變光の原因はイギリスの Goodricke が約百六十年前にペルセウス座  $\beta$  (Algol) を觀測して其週期を求めた折に想像した説であつたが十九世紀の末 Vogel が視線速度の研究によつて其考の正しい事を證明したものである。日食に皆既食、金環食、部分食の差別がある様に食變光星の食にも種々のものがある。第 70 圖は食變光星の種々の變光曲線を示すもので (a), (b) は暗黒な伴星が主星の周りを廻る場合で前者は部分食、後者は金環食の場合である。(c), (d) は主星は明るく伴星も少しく光を放つ場合で、





\*第70圖 食變光星の變光曲線各種

深い極小の間にある浅い極小、即ち第二極小は伴星が主星によつて隠される事によつて起るものである。又伴星が主星の光を反射する場合が(d)の曲線でペルセウス座βの精密な光度観測による變光曲線はこれに似て居る。以上の様な曲線を示す變光星を普通アルゴル型變光星と呼ぶが、此外にも(e)、(f)の様な型の食變光星が少くない。これは二つの星が著しく接近して居る爲めに光の反射又は反映の影響が著しく、従つて絶えず光度が變るもので、(e)は二星の大きさが異なるもの、(f)は大きさが等しいものである。通常(e)の様な變光曲線を示すものを琴座β型、(f)の様な曲線を示すものを大熊座W型と稱する。以上は二星の形や軌道の形が圓形の場合のみを考へたものであるが、若し軌道が楕圓形であれば第二極小の現はれる時が主要極小と主要極小との丁度真中では無くて一方に偏る。白鳥座Yは此適例で主要極小から第二極小までは約33時間であるが第二極小から次の主要極小までは凡そ39時間である。

食變光星は三百餘個知られて居るが表は其主なるものである。食變光星も

星名	光度	週期	種類
ペルセウス座β	$2.2^m - 3.5^m$	2.867 <sup>日</sup>	アルゴル型
牡牛座λ	3.8—4.1	3.953	同
取座ε	3.1—3.8	9883.	同
同座ζ	3.9—4.4	972.	同
蠍座V	4.1—4.8	1.455	琴座β型
琴座β	3.4—4.3	12.908	同

亦、銀河面に密集して居るが密集の程度は週期の一日以上の短週期變光星程には著しくない。視線速度の變化は百數十km程度を普通とし變光範圍は一等級内外のものが多く三等級以上のものは少い。

食變光星の光度を精密に測定して正確な變光曲線を求める事が出来れば、それと視線速度の観測とから軌道傾斜と二星の相對的大さを定める事が出来、更に軌道並に各星の實大及び質量を求める事が出来る(204項)。



## 第十五章 連 星

197. 複星 天球に於て二つ以上の恆星が、一二分以内の距離に接近して見えるものを複星といひ、二つの場合に之を二重星といふ。例へば大熊座 $\zeta$ は2.4等と4.0等の二星よりなり其間の距離が $14''.4$ ある。双子座 $\alpha$  (Castor)も亦2.0等と2.9等の二星より成り其間の距離が $4''.3$ であるので有名な二重星であるが、もう一つ中心から $73''$ を距てた所に9.0等の小星がある。

複星は1780年頃までは餘り注意されなかつたがW. Herschelが始めて之を觀測して七百の二重星の表を遺した。其後ロシアのStruve親子(W.及びO.)、近代にはLick及びYerkes天文臺に於けるBurnham, Aitken等の専門家によつて數千の二重星が発見され又觀測された。

どれだけの距離に接近して居るものを二重星とするか、それは勿論約束次第であるがAitkenが提起した限界は大體二等以上の恆星に $40''$ 、六等星に $10''$ 、九等星に $5''$ といふのである。此範囲内に入るものは北半球だけに5400個程あつて九等迄の恆星の總數の約十八分の一である。六等半以上の輝星に就いては此割合は増加して九分の一となる。之によつて如何に二重星が多數に存在するかわかるのである。

複星の相對的位置を測るには普通動糸測微器を用ひ、二星の間の距離と方向とを測る。極接近して居る二重星を觀測するには口径の大きな望遠鏡を用ひなければならぬ(33項)。更に接近して居るもの即ち二つの星像が重なり合つて幾分楕圓形に見える様なものには干涉計(170項)を用ひる必要がある。接近した二重星に寫眞を應用する事は出来ない。

198. 實視連星 言ふ迄もなく複星には偶然に同じ方向に見えるものと實際空間に於て接近して居て相互に引力を及ぼして居るものと二種ある。後者

を實視連星といふ。偶然的なもの一例はヘルクレス座 $\delta$ で、その偶然のものである事は二星の固有運動が共に方向を異にする等速直線運動になる事によつて明かである。一般に固有運動の大き及び方向が略ぼ等しいもの即ち相對的固有運動の比較的小さいものは連星である。其意味に於て星群(184項)は一大連星系であるが併し餘りに個數の多いものは普通連星とは言はぬ。

一の連星系に於て個々の星を指定するのに光度の順に附されるA, B, C等の記號を用ひる。又最大光度の星、即ちAを主星といひ他を總稱して伴星といふ。

連星の球面運動は普通主星に對する相對的軌道によつて表はされる。之を觀軌道といふ。視軌道は二體の場合一の楕圓になる。それは天球面の小部分が平面と見られる事、並に楕圓の正射影が矢張り楕圓である事による。焦點の位置は主星の位置と合はないが面積速度の法則は視軌道の上でも成立する。何故なれば面積の比は實軌道と視軌道とに對して一定だからである。視軌道は時として直線(大圓)になる。髮座42が其適例である。

199. 實視連星の軌道 の要素は大體惑星の軌道要素と同じで、此場合軌道を天球面に對して表はすのが最も便利である。要素は太陽の質星に相當するものが一つ加つて次の七つになる。

$T$  近點通過日時

$P$  週期、通常一年を單位とする

$a$  實軌道の半長徑、角の秒を單位とする

$e$  離心率

$\Omega$  交點の方向角、昇交點降交點の差別を設けず常に $180^\circ$ 以内を取る

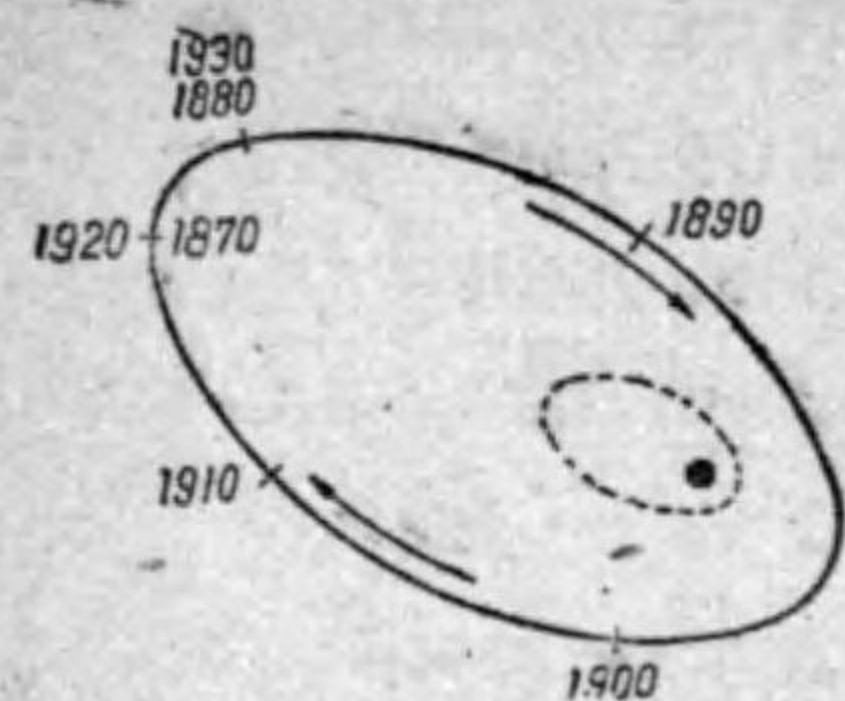
$w$  交點から近點までの角、運動の方向に $360^\circ$ 迄計る

$i$  天球面に對する傾斜、 $\pm 90^\circ$ 以内を取る

此外に視運動が順行か逆行かを區別する必要がある。傾斜は交點に於て伴星



が太陽に遠ざかる場合を正とし反対の場合を負とするが其符号は視線速度の



第71圖 シリウスの伴星の視軌道  
(点線は重心の軌道)

年週視差を  $\pi$  とすれば軌道の半長径  $a$  の実際の距離  $A$  は簡単に次の式によつて表はされる。

$$A = a/\pi, \text{ 天文単位}$$

シリウスの視差は  $0.371''$  であるから  $A$  は 20.4 天文単位で太陽系内で天王星の平均距離に近い。

連星の軌道は週期の短いものでなければよくきめられない。週期は最も短いもので 2—3 年、長いものは數百年に及ぶ(厥者座  $\alpha$  の事は後に 205 項に述べる)。連星の軌道の大略わかつて居るものは百個以上になるが特に惑星の軌道と比べて遠ふ點は離心率の著しく大きい事である。最も其値の大きいのは牛飼座  $\xi$  の 0.96 で Halley 彗星の離心率と大差なく實視連星全体の平均は 0.50 といふ大きい値である。

200. 實視連星の質量  $m_1$  を主星,  $m_2$  を伴星,  $\odot$  を太陽,  $E$  を地球の質量とすれば Kepler の第三法則によつて

$$\frac{m_1 + m_2}{\odot + E} = \frac{A^3}{P^2}$$

である。 $E$  は  $\odot$  に比して非常に小で且つ  $A$  は前項の式により  $a/\pi$  に等しいから

観測が無ければ定まらない。

一例として爰にシリウスの伴星の軌道要素を掲げる (Aitken)。

	1894.133	$Q$	$42^\circ.71$
$P$	50.04 年	$w$	145.69
$a$	$7.570''$	$i$	$43.31$
$e$	0.5945	視運動逆行	

$$m_1 + m_2 = \frac{a^3}{\pi^3 T^2} \text{ 太陽単位}$$

となる。シリウスの場合に之を適用すれば

$$m_1 + m_2 = 3.40$$

となる。

$m_1$  を  $m_2$  と分離するには重心の位置を知らねばならぬがそれは多數の比較星 (178 項) に對照してよくきめられる。Boss の定めたものによれば重心からの距離の比、即ち  $m_1/m_2$  の値は  $1:0.393$  である。それであるから太陽を単位とした兩者の質量は

$$m_1 = 2.44 \quad m_2 = 0.96$$

である。

201 シリウスの伴星 シリウスは標準星、又は測時星 (Time star) としてよく観測されたのであるが其位置が或時は進み或時は後れ正確な計算と合はない。Bessel が今から約百年前これを研究して原因を見えない伴星に歸した。ロシアの Peters は其後シリウスの軌道を計算したが伴星は見ることが出来なかつた。所が茲にアメリカの望遠鏡製作者 A. Clark は 1862 年に自分で製作した 18 吋の望遠鏡を試す爲めシリウスに向けて計らずも其傍に八等星大の伴星を發見した。それが丁度 Bessel と Peters が豫想したものだったのである。伴星は其後屢々観測されて軌道の要素がよくきめられ同時にシリウスの視差もよくきまつたので前項に述べた通り兩者の質量がかなり正確に求められるに至つた。

伴星の實視等級は 8.44 で、Adams によればスペクトル型は F0 より少し A に近い。さうすれば表面の温度は約  $8000^\circ\text{K}$  であるわけで (167 項) それによつて實視等級を熱量等級に直せば 8.38 となる (168 項)。視差は前項に記した通り  $0.371''$  であるからそれから絶対熱量等級を出せば +11.23 と



なる (179 項)。一方太陽の絶対熱量等級は +4.83 であるから熱量等級の差は 6.40, 光度の比は 1:363 である。

Stephan の法則によれば一定の面積から出る全輻射の量, 即ち熱エネルギーの総量は絶対温度の四乗に比例する。8000°K と 6000°K との四乗の比は 3.16 である。それであるから太陽の表面積に対する伴星の表面積は

$$1:363 \times 3.16 = 1:1147$$

となり容積の比は 1:3,8800 となる。伴星の質量は太陽に比して 0.96 であるから比重の比は 3,7200:1 でなければならぬ。太陽の比重は水を 1 として 1.41 である (76 項)。それであるからシリウスの伴星の比重は水の 5,2500 倍でなければならぬ。

如何に天界のものとは言へ水の 5,0000 倍以上の比重の物が自然界に存在するとはどうして信ぜられよう。此様な結果が出るのは何處かに根本的な誤がある爲では無いかと, 誤の個所を探して見るがどうしてもわからぬ。さういふ風に一部の天文学者は此問題で行惱んで居たのである。所がこゝに一つ意外な理論が現はれて此問題を解く爲めの有力なヒントを與へた。それは彼の有名な相對律である。相對律によれば引力の場から出る光は固有時の差違によつて波長を變へる (88 項)。波長の變化は簡単に次の式によつて表はされる。

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{m}{r}$$

こゝで  $m$  は質量を引力単位で表したもので太陽に對して 1.47 km (71 項),  $r$  は質點からの距離,  $\lambda$  は波長,  $\Delta\lambda$  は其變化である。シリウスの伴星の質量は太陽の 0.96 倍であるから  $m$  は 1.41 km である。半径は太陽の半径の  $1/\sqrt{1147}$  であるから表面に於ける  $r$  は 2,0500 km である。それであるから  $\Delta\lambda/\lambda$  は  $0.69 \times 10^{-4}$  である。 $\lambda$  の此變化を視線速度による變化 (176 項),

即ち

$$V = \frac{c\Delta\lambda}{\lambda} \quad (c \text{ は光速})$$

と見なして  $V$  を求めれば +21 km/sec となる。

視線速度 21 km/sec に相等するスペクトル線の變位は決して少いものではないが此場合 11."3 を隔て、-1.6 等の本星が輝いて居る。其爲めに唯、見る事さへ困難な星のスペクトルを寫眞に取り、それから視線速度を求める事は容易ならぬ仕事である。然るに Wilson 山天文臺の臺長 Adams は百吋の反射鏡を用ひて遂に此事を確めた。觀測から求めた速度は +19 km/sec で計算から出るものと少しの違ひはあるが問題の性質上これ位は寧ろ當然である。其後 Lick 天文臺でも之を測つてやはり同様の結果を得た。此の如くして物理学上の大問題であつた相對律と水の 5,0000 倍の比重といふ驚くべき事實が同時に確められた。

シリウスの伴星の比重が此様に大きいのは Eddington の説によれば内部の物質原子が非常な高温と強大な壓力とによつて殆ど全部核と電子とに分たれ壓縮されて居る結果だといふ (207 項)。

シリウスの伴星は比較的近距离に在つて且つ連星系に屬する爲めに早くも其特異性を認める事が出来た。宇宙間には此種の天體がかなり多數に存在するであらう。現に其疑の最も多いものは次の二星である。

星名	實視等級	絶対等級	質量(☉=1)	種型
小犬座 α の伴星	13.5	16.0	0.4	不明
エリダヌス座 α <sub>2</sub>	9.7	11.4	0.44	A0

202. 分光器的連星 恆星の視線速度が週期的に變る場合が澤山ある。それは特別な場合、即ち變光を伴ふもの又は週期の特に短いものを除き一般に連星系を爲す結果と見られる。現にスペクトル線が二本から成つて兩方が反



對の位相を以て動搖する場合も少くない。二星の光度が餘り違はぬ場合にはさう見える筈だが二等以上も違ふときには一方のみ見えるのは當然である。此等を總稱して分光器的連星といふ。週期は數時間から數十年までであるが短週期のものは眞に連星であるかどうか疑はしい。現に知られて居る分光器的連星は千個以上に及ぶが其中約六分の一は複線のものである。

分光器的連星の視線速度を時に對して表はしたものを速度曲線といふ。此曲線は多く波形になるが波の形は場合によつて一方が非常に尖り反對に他のものが扁平になる場合がよくある。極大極小間の間隔も違ふ場合が多い。

203. 分光器的連星の軌道 空間に於ける二體運動を視線の上に射影したものが即ち其視線運動である。 $a$  を相對軌道の半長徑、 $n$  を平均運動(平均角速度)、 $e$  を離心率、 $i$  を軌道面と天球面との間の角( $0^\circ < i < 90^\circ$ )、 $v$  を眞近點離角、 $\omega$  を近點と交點との經度差とすれば、相對的視線速度は二體運動の式によつて

$$V = \frac{na \sin i}{\sqrt{1-e^2}} (\cos \lambda + e \cos \omega), \quad \lambda = v + \omega$$

となる。二體の眞軌道の半長徑をそれぞれ  $a_1$ 、 $a_2$  とし、太陽に對する視線速度を同じく  $V_1$ 、 $V_2$  とし、重心の視線速度を  $V_0$  とすれば

$$a = a_1 + a_2$$

$$V_1 = \frac{a_1}{a} V + V_0, \quad V_2 = -\frac{a_2}{a} V + V_0, \quad V = V_1 - V_2$$

となる。それであるから

$$C = \frac{na_1 \sin i}{\sqrt{1-e^2}}, \quad \gamma = Ce \cos \omega + V_0$$

と置けば

$$V_1 = C \cos \lambda + \gamma$$

である。 $C$ 、 $\gamma$  は常數であるから  $V_1$  は  $\lambda$  が  $0^\circ$  又は  $180^\circ$  の時、即ち二體が交點に在る時、極大極小となる。 $V_1$  の極大極小の平均が  $\gamma$  で、差の二

分の一が  $C$  である。それであるから速度曲線から直ちに此二つの常數が求められる。 $C$ 、 $\gamma$  がきまれば任意の  $t$  に對する  $\cos \lambda$  がわかる。 $\cos \lambda$  から  $\lambda$  の値は二通り出るが  $t$  と共に増加するといふ條件でそれが定まる。任意の  $t$  に對する  $\lambda$  の値から  $d\lambda/dt$  がわかる。そこで  $h$  を面積速度の二倍とすれば

$$\frac{d\lambda}{dt} = \frac{dv}{dt} = \frac{h}{r^2}$$

であるから

$$\rho = \left( \frac{d\lambda}{dt} \right)^{-1/2}$$

とすれば  $\rho$  は  $r$  に比例し、その極小値  $\rho_1$  と極大値  $\rho_2$  とから

$$e = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1 + \rho_2}$$

の式によつて離心率  $e$  が求められる。 $\rho_1$  に相當する時は即ち近點通過の時、 $T$  で其時の  $\lambda$  が即ち  $\omega$  である。それで  $T$  と  $\omega$  がわかる。又

$$a_1 \sin i = \frac{\sqrt{1-e^2}}{n} C = \frac{C\sqrt{1-e^2}}{2\pi} P$$

の式に於て週期  $P$  から  $a_1 \sin i$  が求められる。此様にして  $P$  の外に  $T$ 、 $\omega$ 、 $e$ 、 $a_1 \sin i$  は求められるが交點の方向  $Q$  は求める事が出来ぬ。又  $a_1$  と  $i$  とは分離する事が出来ぬ。問題の性質上致し方の無い事なのである。第二體の觀測が出来る場合には更に  $a_2 \sin i$  がわかり従つて  $a \sin i$  がわかる。

分光器的連星の離心率は一般に小で平均約 0.17 である。短週期のものは特に小で週期六日以内のものゝ平均は 0.06 に過ぎぬ。實視連星と分光器的連星とを一處に考へて週期と共に離心率の減ずる事は著しい現象である。

204. 分光器的連星の質量 二體の質量を  $m_1$ 、 $m_2$  とすれば

$$m_1 a_1 = m_2 a_2$$

であり、又距離を天文單位で表はし質量を太陽、週期を年の單位で表はせば



Kepler の第三法則により

$$m_1 + m_2 = (a_1 + a_2)^3 / P^3$$

である。それで今  $a_1 \sin i$ ,  $a_2 \sin i$ ,  $m_1 \sin^3 i$ ,  $m_2 \sin^3 i$  をそれぞれ  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  とすれば

$$\mu_1 = \frac{\alpha_2 (\alpha_1 + \alpha_2)^2}{P^2} \quad \mu_2 = \frac{\alpha_1 (\alpha_1 + \alpha_2)^2}{P^2}$$

となる。之によつて  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $P$  から  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  が求められる。

$\mu$  は常に  $m$  よりも小で之によつて質量の最小限がわかる。Plaskett が一角獣座の中に発見した B. D. +6° 1309 星は

$$\mu_1 = 75, \mu_2 = 63 \quad (\odot = 1)$$

で恒星中質量の最大なるものと言はれる。光度は六等、スペクトルは O8 型である。

分光器的連星は B 型の恒星に多くさうして一般に其質量が大きい。F 型以下には極少数である。

分光器連星が同時に食変光星である場合、分光器的連星として  $e$ ,  $\omega$ ,  $a \sin i$ ,  $m_1 \sin^3 i$ ,  $m_2 \sin^3 i$  がわかり食変光星として  $i$  と、二星の半径  $b_1$ ,  $b_2$  と  $a$  との比がわかるので

$$a, m_1, m_2, b_1, b_2$$

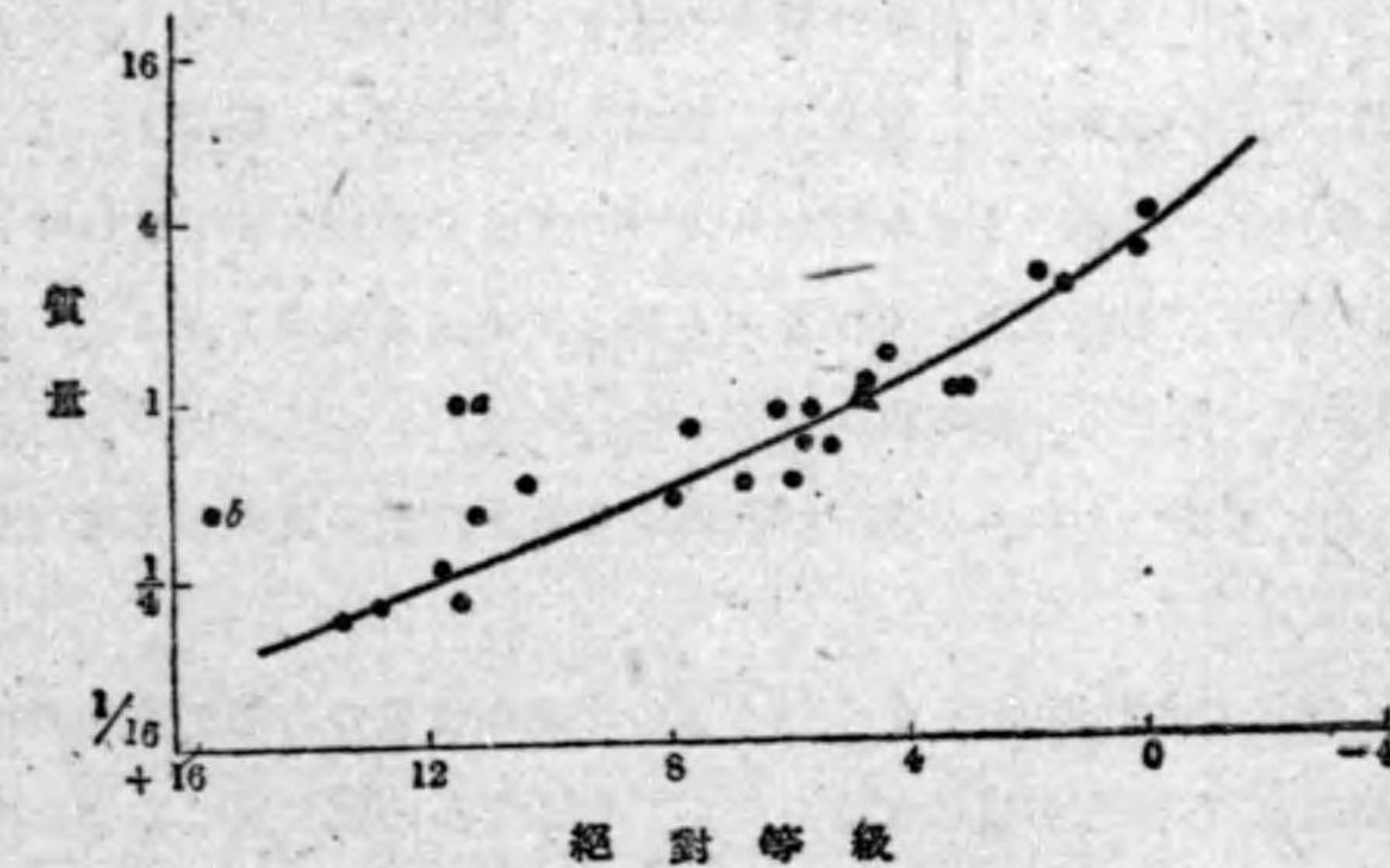
が求められ質量と半径とから各の密度が求められる。

205. 連星の距離 實視連星を分光器連星と見て其公式を適用すれば  $a \sin i$  が天文単位で求められ、實視連星としての軌道から  $i$  が求められ  $a$  が又、秒の単位で求められる。後の  $a$  を  $a''$  で表はせば 199 項の式によつて  $\pi = a''/a$  である。之から直ちに距離が求められる。之が絶對的に恒星の距離を求める一の方法である (178 項)。數多の連星の視差は此方法によつて求められ其結果を三角法的視差と比較して観測誤差以上の差の現はれない事が確

められた。

駟者座  $\alpha$  (Capella) は分光器連星であるが 1920 年に Anderson 及び Merrill が干涉計 (170 項) を用ひ二星の角距離 (0."045) と方向角とを測りそれから實視連星としての軌道を計算した。さうして上の方法により兩方の結果を比較して視差 0."063 を求めたが此結果は三角法的に求めた相對的視差 0."067 とよく合ふ。連星としてのカペラの光度は 0.8 及び 1.1 等で週期は 0.285 年、此種の研究に最も適した對星なのである。尙ほ其スペクトル型は G0 と F5、二星の間の平均距離  $a$  は 0.85 天文単位、絶對等級は -0.2 と 0.1、質量は太陽を單位として 4.2 と 3.3 で此場合何れもよくわかるのである。

206. 質量と絶對等級との關係 絶對等級と質量とが追々多數の恒星に就



第 72 圖 質量と絶對等級との關係

いてわかつて來たので其等の結果を統計的に研究して見る事が出来る様になつた。それに就いて最も著しい事は恒星の大きさにも絶對等級にも相等大きい差等があるに拘らず質量には餘り大きい差別の無い事である。これ迄に知られて居るもので最も質量の小さいのは實視連星 Krüger 60 B の 0.16 ( $\odot = 1$ )



で、最も大きいのは Plaskett が発見した O 型星の 75 以上のもので (204 項) 兩者の比は 1000 を超えない様である。次に著しい事は質量が絶対等級と関係のある事で數量的にそれを表はしたものは次の通りである。

絶対等級	15.0	12.5	10.0	7.5	5.0	2.5	0.0	-2.5
質量 (☉=1)	0.14	0.22	0.34	0.55	0.91	1.72	4.0	12.
十倍の光度に對する質量比	1.6	1.5	1.6	1.7	1.9	2.3	3.0	

第 72 圖は比較的確な材料二十五によつて出した曲線で右端の點はカペラの主星、中央の三角は太陽、左方の a, b はそれぞれシリウス及びプロキオンの伴星 (白色矮星) に相當する。a, b の二點を除けば各點と曲線とは大略重なる。

上の表によれば等級の差 2.5 即ち光度比 10 に對する質量の比は 1.5 乃至 3.0 で平均 1.9 である。此事は質量の大きいもの程割合に多く光を發することを表はし、平均の場合、質量が二倍になれば光度は十倍以上に上ることを示す。後に述べる通り恆星が輻射によつて質量を消費するとすれば質量の大きなもの程早くそれを減じて小さいものと平均する傾向を取る譯である。恆星の質量が一定に近い事の理由は強烈な輻射壓によつて原子が空間に驅逐される爲めとも考へられるが又、輻射による質量消費の爲めとも考へられるのである。

207. 恆星の内部構造 全く見る事の出來ぬ恆星の内部を理論的に推察するのは餘程むづかしい事に相違ないが、何億年かの過去又は將來を推察する事が出來ると同様に或程度迄は可能と認められる。勿論それには何かの假定が必要で、結論の眞價は主としてそれによつて決するわけである。此方面の權威者として有名な Eddington の假定は次の如きものである。

- (1) 恆星の内部は熱と輻射とに對して平衡状態にある。
- (2) 恆星を組織する物質は白色矮星の如き特種のものを除き全部完全な

瓦斯である。

- (3) 恆星の内部に於ては原子は殆ど完全に電離して居て平均の分子量は水素の原子量の約二倍である。
- (4) 輻射壓と瓦斯壓との比は一の恆星の内部に於て一定であつて、それは唯、全質量のみによつて定まる。

恆星の自轉と内部の對流とは全く考へない。其外に猶ほ式の積分又は微分を簡略にする爲め二三の便宜上の假定を採つて居る。かくして Eddington が求めた恆星の中心の密度及び温度は次の如きものである。

星名	種型	質量 ☉=1	中心密度 水=1	中心温度 百萬度單位
取者 α	G0	4.2	0.123	9
ケフェウス δ	F9	9.0	0.018	6
織女星 V	B1	19.2	3.35	42
太陽	G0	1.00	76.	40
Krüger 60 A	M0	0.27	493.	32

此内取者座 α とケフェウス座 δ は何れも巨星で他は矮星である。矮星の中心密度は種型が B より M に進むに従つて著るしく増大するが温度が殆ど一定に近い點に注目すべきである。

恆星の内部構造論は空想から生れた小説の様なものだといへばそれ迄であるが、多くの學説がさういふ状態から出發して遂に不拔の境域に到達する事を思へば必ずしも輕視すべきでは無いであらう。然もそれは他の學科即ち物理學化學等に新らしき刺戟を與へてそれ等の進歩を促進するとすれば寧ろ重要な事とも言へるであらう。



第十六章 星團及び銀河系内星雲

208. 星團及び星雲 は名の如く恆星の集合及び雲状の天體の總稱で形状は種々様々である。等級は全體の光量を恆星の光量と比較して定め、特にそれを恆星の場合と區別して積分等級といふ事もある。尙ほ此章と次の章とに於て單に等級又は光度といふのは寫眞等級又は寫眞光度の意味である。

星團及び星雲の目録で古くから有名なのはフランスの Messier (1730—1817) の 103 個の表で其中のものを M. 1, M. 2 等の記號で表はす事になつて居る。Messier の表に出て居るものは何れも皆著明なもので小望遠鏡でも



第 73 圖 ヘルグレス座球狀星團

明かに見える程度のものである。次に古いのは Herschel の表であるがそれは其後に出版された N.G.C. によつて置換へられた。N.G.C. は New General Catalogue の略字でイギリスの Dreyer (1852—1926) によつて編纂された 7840 個の星雲及び星團の目録である。その續編 I.C. 即ち Index Catalogue には更に 5386 個を加へてある。N.G.C. 及び I.C. に出て居るのは十四五等迄のもので、それ以下の微小なものは非常な數に上る。

なほ此等の目録に載つて居るものゝ大多數は星雲で星團は比較少數である。

星雲も多くは銀河系外のものである。

209. 散開星團 星群の事は既に述べたが (184 項) 星群と散開星團との差別は唯、見掛上の事で空間的には同種のもつと見られる。現に Pleiades 及び Hyades の如きは丁度其中間のもので何れの種類に入れてもよいものである。Hyades の事は星群の所で述べたからこゝには説かない。

Pleiades は牡牛座の中 η 星の附近に在つて六連星 (むつらぼし) とも昴 (すばる) とも呼ばれ支那では之を昴宿と稱し二十八宿 (8 項) の一に數へる。インドもアラビヤも同じである。肉眼で見る星の數は普通六個であるが視力の特に強い眼には十一個まで數へられる。實際の擴がり直径 6° に及ぶが肉眼にはそれ程に見えない。光度の最も大きいのは η 星 (Alcyone) で約三等、十四五等迄の星の數が約 250 個、微小なるものまで數へると 2600 個に及ぶ。光度の大きい星は主に B 型で赤色の巨星は一個も見えない。分光器的に測つた距離は約 500 光年である。

蟹座の中には Praesepe といふ散開星團があつて肉眼にも氣が附く。支那ではこれを鬼宿と呼ぶ (8 項)。髮座は大きい星の無い星座であるが其中にやはり星團がある。彗星の頭部を髮といふと同じ意味で星座の名はそれから出たものと見える。もう一つ散開星團で著明なものはペルセウス座の  $\kappa$  及び  $\lambda$  である。二重の星團で星の數は數千に上り、小さな望遠鏡で見れば、まるで銀粉を散した様である。距離は約 8000 光年である。

210. 球狀星團 天球上に見える球狀星團の數は一百に近く、それが皆同じ様に圓形に見るので空間的に球狀である事は疑が無い。星の數は非常に多く少くも數萬に上る、其點で明かに星群又は散開星團と區別される。最大の球狀星團はケンタウルス座  $\omega$  及び巨嘴鳥座  $\xi$  で直径が約 23'、北半球で大きいのはヘルグレス座星團と獵犬座星團とで直径が約 10' である。

球狀星團の天球上の分布は特別のもので銀河の附近に多いが其中には殆ど



見出されない。それともう一つ特別な事は殆ど全部が銀経  $325^\circ$ 、銀緯  $-2^\circ$  の點を中心とする半球の中に収まる事である。此點は射手座の中に在つて後に述べる通り銀河系宇宙の中心と見られる。球状星團は皆同じ様な構造で、他の天體に見られる様に種別は認められない。恆星の密度は空間的に  $r$  を中心からの距離、 $k$ 、 $a$  を常數として  $k(r^2+a^2)^{-\frac{3}{2}}$  の式で表はされる。

211. 球状星團の距離及び大きさ 球状星團の中に多數の短週期變光星が存在する事は 1895 年に Bailey が發見した事で其後 Leavitt がマゼラン雲 (227 項) の中に 1800 個の變光星を發見し其中の變光曲線のよくきまつたものから所謂光度週期の著しい關係を發見した (195 項)。Shapley は同様の關係が數個の他の球状星團中の變光星の間にも成立する事を認めたので其關係を利用して恆星の絶對等級を求め、それによつて星團の距離を出す方法を案出した (179 項)。球状星團中に存在する短週期變光星又はケフェウス種變光星の週期と等級とがわかれば此方法によつて容易に距離が求められるのである。變光星の發見されない多數の星團の距離を推定するに Shapley は次の二つの方法を用ひた。

第一の方法は星團内の最大星によるもので既に距離のわかつた他の星團内の最大星 (赤色超巨星) の絶對等級を求め其結果を應用するのである。最大星の絶對寫眞等級は Shapley によれば  $-1.5$  等で實視等級は  $-2.8$  等である。此方法を適用するに就いて注意すべき事は星團外の比較的近距离の恆星が偶然に其上に投影されて見える事で、それを避ける爲めに Shapley は最大星中の最初の五個を捨てた。

第二の方法は距離の既知なる星團の實大を比較してそれが略一定である事から、その平均の直径を距離の未知なる星團の視直径に比して距離を求めるものである。

此等の巧妙なる方法は後に Hubble が渦状星雲に應用したものである。Sha-

pley の得た結果によれば最近の球状星團ケンタウルス座  $\omega$  の距離が 2,200 光年、ヘルクレス座星團の距離が 3,400 光年、最遠の N.G.C 7006 星團が 18,500 光年である。如何に此等の距離が大きいかを見る爲めに假に太陽を此等の星團の中に移したと考へよう。さうすればケンタウルス座  $\omega$  の中では十九等、ヘルクレス座星團の中では二十等の微星となつて百吋望遠鏡で漸く寫る程度のもことになる。

Shapley が標準に取つたケフェウス種變光星の絶對等級は統計的に固有運動から求めたもので、それが大き過ぎる結果、距離が三倍程大きく出るといふ異論もあるが、それ程の大きい違ひも無い様である。

球状星團の直径は中央の濃密な部分だけで十五光年、多少稀薄な部分を入れて百光年と推定される。星團内の恆星の空間密度は太陽の附近に比べて數千倍になるが、それでも猶ほ恆星間の平均最近距離は 0.8 光年程である。それであるから星と星とが衝突する様な事は容易に起らぬわけである。星團内の恆星の相對的固有運動の極小さい事も距離の遠い爲でなければならぬ。

212. 球状星團の空間分布及び銀河系の宇宙 球状星團の視線速度は主に Slipher によつて測られたが、それだけから太陽の向點と速度とを出せば

$$A=20^{\text{h}} 24^{\text{m}}, D=+60^\circ, V=305 \text{ km/sec}$$

となる (186 項)。普通の恆星から求めたものとは非常な違ひで殊に速度に對して甚だしい。

球状星團の距離がわかれば、その空間分布がわかり更にそれを包容する宇宙の大きさと形状とがわかる。Shapley が其様にして推定した宇宙の最大直径は 20,000 光年で大體銀河面内に在り、中心は銀経  $325^\circ$ 、即ち射手座の方向、約 5,000 光年の所に在る。それであるから太陽は此宇宙の中心と周邊との中間に在る。球状星團が大部分射手座の方面に限つて見えるのは其爲めであるといふ。



宇宙の大き及び形状に就いては W. Herschel 以来、様々の説があつた。Charlier は B 型の恒星の空間分布を考へて其集團の中心が龍骨座の方向(銀經  $260^\circ$ )、約 300 光年の距離に在るといつた。Kapteyn は又、各種の恒星を統計的に扱つて宇宙の中心が帆座の方向(銀經  $257^\circ$ )、約 2000 光年の距離に在るといつた。B 型の恒星は前に述べた通り太陽に對する運動の小さなものであるから、それ等は太陽と共に一の星系を作り大銀河系内を運行して居るものと見られる。Shapley の所謂局部系はそれなのである。

鍋木博士は數年前より局部系の構成に就いて研究を行ひ、それが渦状を爲して居るといふ説を出して居る。

213. 光の空間吸収 空間に一般的な光の吸収があるといふ説は前からあつたが確かな根據が無いので一般には認められなかつた。Shapley はそれを考へなかつたのである。然るに 1930 年に至り Lick 天文臺の Trumpler は多數の散開星團の研究から、銀河面に沿ふて一様に分布して居る所の吸収層があるといふ説を發表した。それによれば吸収層の厚さは 200 乃至 300 pars 程度で高銀緯の星には影響が少いが銀河面に沿ふて其中央を通る光は 1000 pars につき 0.67 等、實視等級ならば 0.35 等だけ吸収を受けるといふ。寫真等級と實視等級とに對する吸収の差は所謂色超過となり同一のスペクトル型に對する色指數(164 項)の値が之によつて 0.32 だけ増す事になる。其爲めに 3000 pars (1,000 光年)の距離に在る銀河の上の A 型の星は K 型の星と同じ赤味を帯びる事になる。Stebbins は光電装置により低銀緯の球状星團の色を測定して其事を確めた。Hubble は Shapley と同様、最初は空間吸収を認めなかつたのであるが遂にそれを認める事になつた。銀河系の宇宙の大きさは光の空間吸収を認める事によつて殆ど二分の一に縮小する。それであるから現在の所、銀河系の最大直徑を 10,000 光年位と見るのが最も適當であらう。

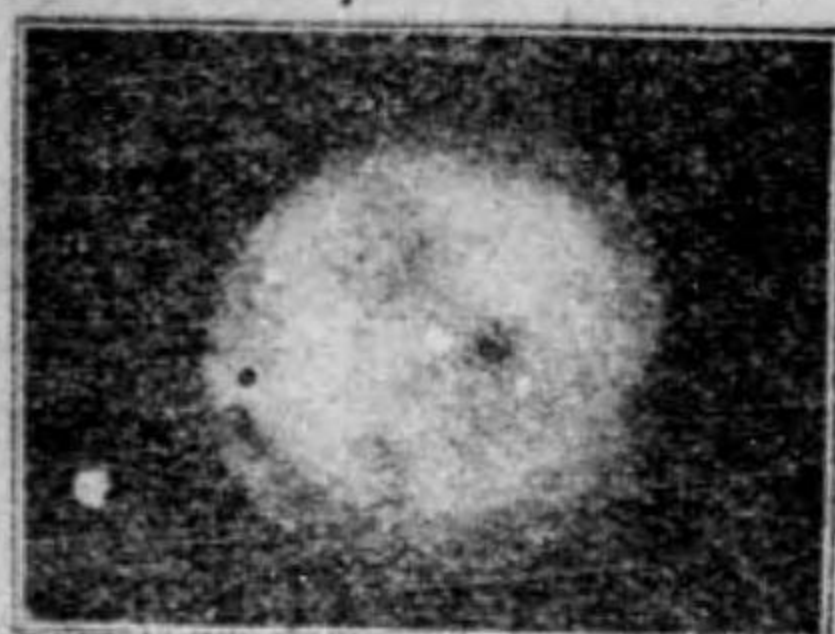
214. カルシウム雲 B 型の恒星が分光器的連星である場合スペクトル線は皆週期的に動くが唯  $\text{Ca}^+$  の細い H, K 線だけは静止の状態に在る。Na の D 線は普通の寫真には寫らないがそれも同様動かない。何故に動かないか、それは此等の瓦斯が地球の大氣の中、又は太陽系内に存在する爲めでもなければ又連星系の周圍に存在する爲めでも無い。何故なれば視線速度がそれ等のものと一致しないからである。さうすれば此吸収は恒星界の廣い空間で起るものでなければならぬ。A 型以下の連星にも静止線がある筈だが固有の H, K 又は D 線の幅が廣い爲めに見別ける事が出来ない。

恒星界の空間に電離原子  $\text{Ca}^+$  が存在するといふ事は一の不可思議であるが、Saha や Eddington, Milne 等の學說によれば必ずしもさうで無い。 $\text{Ca}^+$  はスペクトル線 H, K に相當する輻射壓が特に強い爲めに恒星の引力に對抗して空間に飛出す可能性が多く、且つ又電子壓が極度に小さい爲めに遊離電子と結付いて中性原子になる機會は極めて少い。猶ほ又原子が非常に弱い光から輻射エネルギーを吸収するといふのも不思議であるが之も光量子説によれば可能な事で、唯其機會が非常に少いだけである。

215. 銀河系内星雲 星雲は名の如く天球の各所に見える雲状の天體であつて恒星界のものである事は疑が無いが固有運動も視差も容易な事ではわからない。唯、形とスペクトルとによつてそれに幾通りも種類のある事がわかる。以前は銀河系内のものと系外のものととの區別がつかなくつたが今では判然とそれを區別し得る様になつた。同じ様なものでも距離と大きさに非常な差があるのである。銀河系外星雲の事は次の章に別けて説く事にして先づ系内のものについて述べる。大別してそれを惑星状、散光、暗黒の三種とする。

216. 惑星状星雲 の數は全天球に 100 個乃至 150 個で形は大體圓形であるが其中に幾つかの對稱的な橢圓形の組織が見られる。中心には殆ど常に一





第74圖 大熊座環状星雲(惑星状)

個の恒星がある。それを惑星状星雲の中心星といふ。銀河の中殊に射手座の附近に多く銀河系のものである事は疑が無い。惑星状星雲の視差は中心星を目標として測られるが、値が小さいので容易にきめられない。Van Maanenが Wilson 山天文臺で 21 個の中心星から求めた平均の視差は  $0.0007$  といふ値で、距離は 4700 光年である。Lick 天文臺の Anderson が 33 個の星雲の固有運動から推定した値も之と同じである。中心星の絶対等級の平均は之によつて 0.9 等となり、これ迄矮星と考へて居たのは誤りであつた。なほ又星雲の直径は之によつて平均 1.8 光年となる。視線速度は星雲のスペクトルの中に輝線があるので割合によく定められる。其値は一般に視直径の小さいもの程大で中には 100 km/sec を超えるものがある。

中心星のスペクトルは O 型で暗線のみのもので特有の輝線を交へる Wolf-Rayet 星との二種である (163 項)。星雲のスペクトルは瓦斯星雲特有のもので弱い連続スペクトルに所謂星雲線及び水素の Balmer 線系等が鮮明な輝線として現はれるものである。それ等の輝線が彎曲して居る事と中央に於て分裂して居る事から惑星状星雲には自轉があり又膨脹のある事が認められる。それ等の問題に就いては萩原雄祐博士の詳しい理論的研究がある。

惑星状星雲の中で特に有名なのは次の三つである。

琴座の環状星雲は大きさが  $1.4 \times 1.0$  で  $\beta$  星と  $\gamma$  星との丁度中間に在り中心星の寫眞等級は 13 等である。

大熊座の環状星雲は圓形で大きさが  $3.3 \times 3.4$ ,  $\beta$  星 (北斗第二星) の近くに在る。中心星の等級 11.5 等。

小狐座の亞鈴形星雲は大きさが  $8' \times 4'$  で星座の中央に在る。中心星の等級は約

1. 等である。

217. 散光星雲 は不規則な形のもので、然も其界が判然しない爲に大きさがよくきめられない。特に銀河の附近に多いので銀河系のものである事は疑が無い。

散光星雲は其スペクトルによつて更に二種に分けられる。其一は連続スペクトルを出すもので附近の強光度の星の光を反射するものと認められる。最も著明な例は Pleiades の星雲で星團を取圍む稀薄な星雲が長い露出の寫眞の上に現はれる。Slipher は分光器的に研究してそれが恒星と同じく B 型である事を確めた。

もう一つの種類は惑星状星雲と同じ輝線スペクトルを出すものである。惑星状星雲には中心星がある。此場合にもそれに相當するものがあるべきで、現にオリオンの大星雲の最も光の強い部分に四つの恒星が梯形を爲して居る。然も其等の星 (4.8 等) のスペクトルは惑星状星雲の中心星と同じく O 型である。Hubble は此考に基づいて一般に惑星状星雲及び散光星雲は雲状の物質が附近の恒星の光によつて輝くもので自身に發光するものではないといふ新學説を提出した (1922 年)。然らば何故に星雲のスペクトルが連続と瓦斯状と二種に別れるかといふに、それは恒星の種型、即ち温度による。恒星が低温で B2 型以下であれば星雲は連続スペクトルを出し O 型又は B0 型なれば瓦斯スペクトルを出すといふ。其事を Hubble は多數の事實に就いて示した。

Hubble の説には二三の例外がある。白鳥座の所謂北アメリカ星雲は A2 型の超巨星  $\alpha$  によつて輝くものと見られるがスペクトルには輝線が混ざる。同じく白鳥座の網状星雲にはそれに關聯した適當の星が無い。Hubble はそれは恐らく暗黒星雲に掩はれて居るのであらうと言つて居る。事實惑星状星雲にも中心星の不明なものがある。此様な少數の例外はあるが Hubble の説は



銀河系の星雲全部に適用される最も有力な説である。

雲状の物質が高温の恒星の光に輝される事によつて瓦斯状の光を發するのは一種の螢光作用であらうが詳しい事は理論的にも亦、實驗的にもわかつて居ない。星雲線中の最も光の強いのは  $\lambda 5006.8$  と  $\lambda 4958.9$  との對線で何れも綠色の線である。これ等が如何なる物質によつて發生するものであるか、それに相當する未知の物質を新元素と考へネブリ



第75圖 オリオン大星雲(散光)

ウムといふ名まで附されたのであるがコロニウムと同様(86項)、元素としての存在は甚だ疑はしい。さういふわけで此事が永い間、問題となつて居たのであるが近年の量子論の發達と共に漸くわかつて來た。Bowenの理論的研究によれば此所謂星雲線なるものは  $O^+$ 、 $O^{++}$  及び  $N^+$  によるもので、それ等の原子の準安定状態よりの轉移によつて發生するものである。何故にそれが星雲にのみ現はるかといへば、瓦斯密度が普通であれば全く起り得ない状態のものが密度が非常に小なる場合、衝突の回数は非常に減じて所謂準安定状態となり、それが自然的に他の状態に移る際に發生するのであるといふ。實驗的に星雲線を出すことは容易で無い。何故なればそれには  $B0$  に相當する少くも  $2,0000^\circ K$  の高温が必要であるのみならず、極度の真空が出来なければならぬからである。

散光星雲で有名なのは次の三つである。

オリオン大星雲は三つ星の南方の星の傍に在つて肉眼でも容易に見出される。長い露出の寫真で見れば此星雲は殆どオリオン座全部に擴がつて居るのでオリオン座星群は此星雲と一所のものと考えられる(184項)。射手座の三裂星雲は大きさが  $24' \times 20'$ 、冬至點の右上約一度の所に在る。

白鳥座の網状星雲は二部より成り長さ  $80'$ 、全體として擴がりつゝある。星の密度が其兩側に於て著しく違ふ。

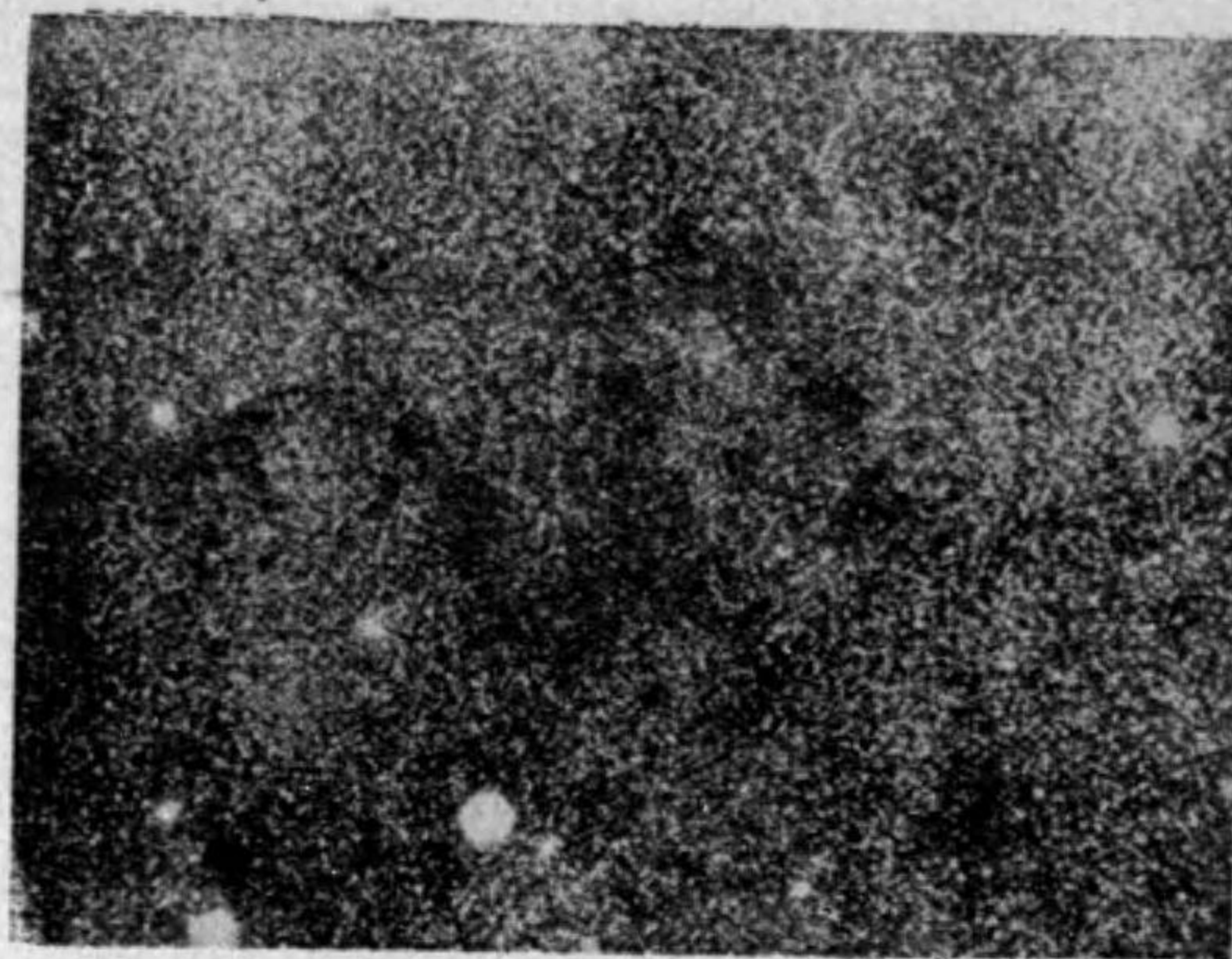
218. 特異散光星雲 變光星雲は少いが確かに存在する。一は一角獣座の中、一は南冠座の中に在つて形は稍彗星に似て居る。頭部に在る星は何れも不規則變光星でスペクトルは輝線を交へるものである。星のスペクトルと星雲のスペクトルは大體同じである。前項に述べた Hubble の説によれば此場合、星雲が變光するのは當然である。

蟹状星雲は牡牛座の傍に在つて特別な組織を有つものである。大きさは  $6' \times 4'$  程で年々約  $0.18''$  づつ擴がつて行く。スペクトルには輝線が見え各の線が中央に於て分裂して居る。それによつて星雲が  $1300 \text{ km/sec}$  の速度で膨脹しつゝある事がわかる。それ等の事實によつて Hubble は此星雲を約 900 年前に現はれた新星の遺留物と考へ、さうして其距離を大略 5000 光年と推定した。此考は 1901 年のペルセウス座新星の周りに星雲状のものが現はれた事に基づくものなのである(192項)。そこで 900 年前に果して新星が現はれたかどうか、過去の記録を調べて見るに確かにある。日本には明月記と稱する記録の中に「天喜二年四月中旬以後丑ノ時、客星觜參度ニ出ヅ大サ歳星ノ如シ」とある。天喜二年は西曆 1054 年である。支那にも同様の記録が宋史の中にある。それには一年以上見えて居た事が記されてある。大きさが木星位で一年以上見えて居たとすれば新星として餘程大きいものであつたに相違ない。Mayall はそれで此新星を超新星であつたといふ。其事は又後に述べる



(225 項)。

219. 暗黒星雲 銀河の中所々に眼立つて星の少い部分がある。それで最も有名なのは南十字の傍に在るもので俗に「炭囊」と呼ぶ。航海者がつけた名ださうである。學問的に始めて之を問題にしたのは Barnard で、天球の全部に互つて其種のを擧げ 182 の暗黒星雲の表を作つた。それ以來暗黒星雲といふ語は普通に用ひられる様にあつた。



第 76 圖 蛇道座 S 字形暗黒星雲

↑暗黒星雲は實際其方向の空間に星が無い譯では無く空間の所々に不透明なメチウムがあつて、それより遠い恒星の光を全く掩ふて居るものである事は疑ふべくも無い。暗黒星雲は特に星の多い銀河の附近にのみあつて銀河の極の方には餘り無い様である。↓

散光星雲と暗黒星雲とが離すべからざる關係を有つ事はオリオン星雲や三裂星雲の寫眞を見れば直ぐわかる事で暗黒な部分が其組織の中に入り混つて居る。又暗黒星雲のある部分を長く露出して寫眞に取れば縁の部分が明るく出る。Hubble の説によれば散光星雲と暗黒星雲とは實質的に同じ物で、唯一方は強い光に照される結果其表面から光を放ち、一方は光に照されない爲に見えないだけの相違である。

白鳥座から蝸座ケンタウルス座にかけて銀河が二筋に分裂して居る事は肉

眼にもよくわかる事だが Charlier が指摘した通り其中に一個も球状星團が見えない。さうして銀河の外、しかもそれに接近した部分に澤山に見える。其事から考へて銀河が分裂して居る様に見えるのは事實分裂して居るのでは無くて細長い暗黒星雲の帯が其部分を掩ふて居る爲めに相違ない。

「炭囊」は其一例であるが暗黒星雲には屢々界線の極めて明瞭なものがある。何の爲めにさうなるのか星雲自身の引力だけでは説明が出来ない。多分周圍の恒星の輻射壓がそれに手傳つて居るのであらう。



## 第十七章 銀河系外星雲

220. 銀河系外星雲及び其種類 銀河系内星雲と系外星雲とは其形によつて容易く區別が出来る。稀に其區別が付き難い場合があつても大體に於て



第 77 圖 獵犬座渦狀星雲



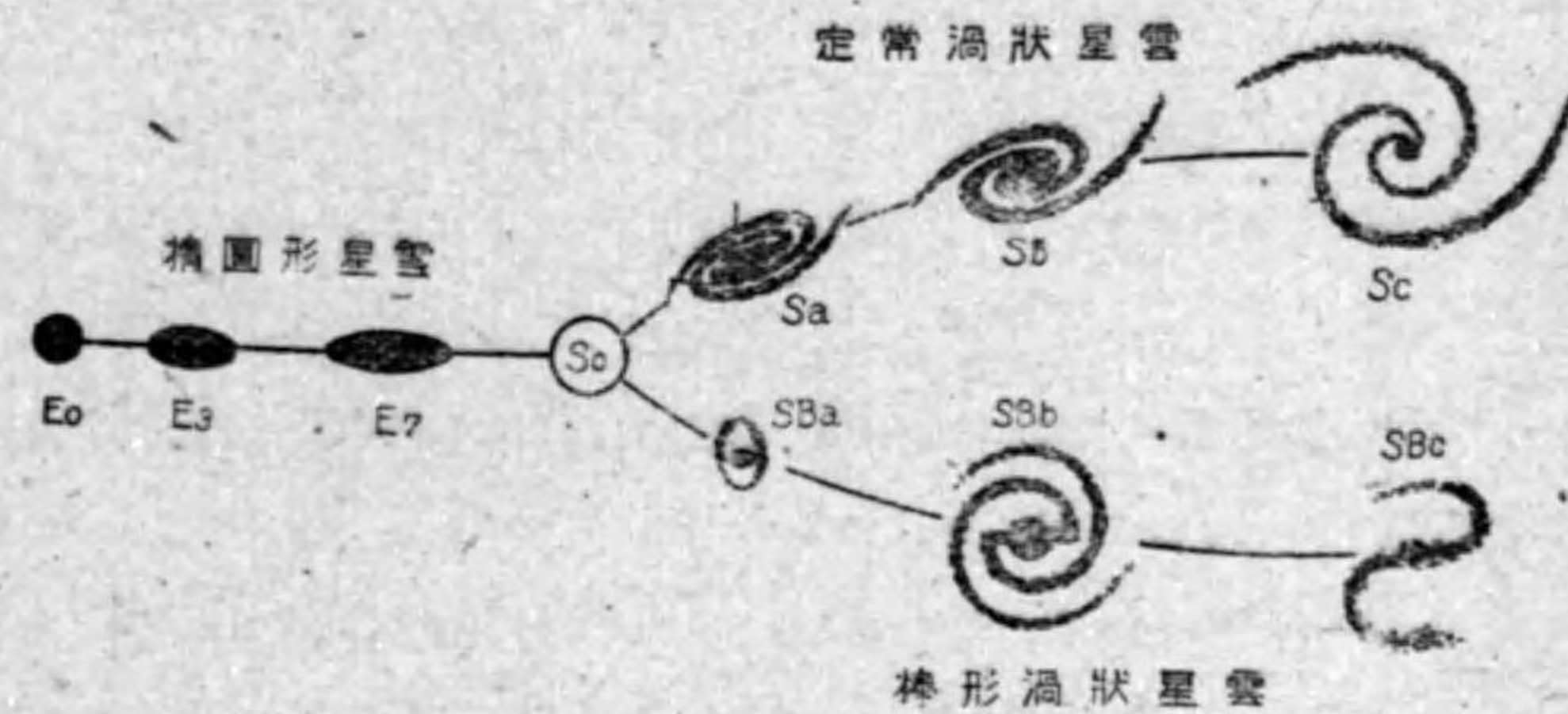
第 78 圖 乙女座紡錘形星雲

つた形を爲し、且つ其周邊が不明瞭で大きさよくわからぬものならば銀河系

外星雲と考へて差支ない。銀河系外星雲は又、銀河の附近に稀で其兩極の附近に多い。其點全く銀河系内星雲の分布と反對である。

銀河系外星雲の數はどれだけあるか詳しい事はわからぬが現在の望遠鏡で見得るものは少くも數千萬に上るであらう。望遠鏡の口径が増すに従つて其數の増すのは無論である。

銀河系外星雲にも種々の型がある。以前は球狀、橢圓形、紡錘形、渦狀、不規則等の名稱が用ひられ、それによつて區別されたのであるが近頃は Hubble の分類法が廣く行はれる。其分類は次の如きものである。



第 79 圖 銀河系外星雲の種別

種 別	記 號	個 數 %
A. 定 形		
1. 橢 圓 形	$E_0, E_1, \dots, E_7$	17
2. 渦 狀		
a. 定常渦狀	Sa, Sb, Sc	19, 25, 36
b. 棒形渦狀	SBa, SBb, SBc	
B. 不 定 形	Ir	2.5

定形星雲は形の對稱的なものの總稱で、橢圓形星雲は直交軸について對稱で



あり渦状星雲は中心について對稱のものである。

221. 橢圓形星雲 の  $E_0$  より  $E_7$  に至る種別は橢圓の長徑と短徑との差と長徑との比の十倍を整約したもので別けたものである。それであるから  $E_0$  は最も圓に近いもので前の所謂球状星雲である。之に對して  $E_7$  は最も細長いもので前に紡錘形星雲としたものゝ一種である。 $E_0$  以上のものも考へられるが實際には存在しない様である。Hubble によれば標本的な  $E_0$  型の星雲は N.G.C. 3379 で、 $E_7$  型のもの N.G.C. 3115 である。 $E_0$  乃至  $E_7$  の種別は何れも見掛によるもので實際の形はどうなつて居るか容易にわからぬ。

橢圓形星雲は中心を遠ざかるに従つて次第に光が弱くなるが組織は一様で其中に星は勿論、その集合をも認める事が出来ぬ。寫眞による橢圓形星雲の大きさは露出時間の長短によつて著しく違ふ。惑星状星雲とは其點で明かに區別される。

222. 定常渦状星雲  $Sa, Sb, Sc$  の種別は其中の凝集の多寡によつて定める。その少いものが  $Sa$  で多いものが  $Sc$ 、中間のものが  $Sb$  である。大體に於て一の平面上に擴がつ居るのは明かであるが、視線の方向によつて圓形にも橢圓形にも又は紡錘形にも見える。凝集の殆ど無いもの即ち  $Sa$  が紡錘形に見える場合は  $E_7$  と區別が出来難いが、渦状星雲には一般に其周邊に吸収物質があるので、紡錘形星雲の中に縦に吸収帯のあるもの又は二つに分裂して居るものは  $Sa$  の中に入れる。N.G.C. 4594 は其例である。中心の光度は  $Sa$  が最も高く、 $Sc$  が最も低い。アンドロメダ座大星雲 (M. 31, N.G.C. 224) は  $Sb$  の適例で、三角座星雲 (M. 33, N.G.C. 598) は又  $Sc$  の最もよい例である。

定常渦状星雲の大なるものの中には散光星雲及び暗黒星雲が認められ、附近には球状星團及び散開星團が認められる。更にそれに屬する個々の恒星も多數認められ、其中には新星もあり週期變光星もあり又 B 型の恒星もある。銀

河系内の天體は殆ど皆其中に見出される。連星はまだ發見されないが之も其中に見出されるであらう。

223 棒形渦状星雲 は定常型と似たものであるが形の上に著しい相違がある。一般に外部は稀薄な渦状であるが中央は棒状を爲す。Curtis が始めて其形の異常な事に氣がついてそれを  $\phi$  形と稱したが、 $\phi$  よりは  $\theta$  ( $\theta$  の大文字) に似て居る。 $Sb_c$  には  $S$  の字形のものもある。中心の光度及び凝集等に就いては定常型と差別が無い。何故に天體が此様な形に集積するかまだ説明されて無い。標本的なのは N.G.C. 2859 ( $Sb_a$ ), N.G.C. 5850 ( $Sb_b$ ), N.G.C. 7479 ( $Sb_c$ ) である。

$Sb$  型星雲の数は  $S$  型の約四分の一である。

224. 不定形星雲 は  $Sc$  型に近いが對照的で無い事と中心の不明な事が特異點である。内容は  $Sc$  型と全く同じで凡ての種類銀河系内の天體を含む。此型に屬するもので最も著明なのは大小二つのマゼラン雲である。それ等に就いては又別に述べる。

225. 銀河系外星雲内の新星 1885年にアンドロメダ星雲の核の近くに七等級の新星 ( $S$  And) が現はれた。1895年にも亦、ケンタウルス座の一星雲の中に新星 ( $Z$  Cen) が現はれた。さういふ様に星雲の中に新星が現はれるのは事實で一般に光度が低い故に大望遠鏡によらなければ發見は出来ない。新星が多數に星雲の中に發見さるゝ様になつたのは 1910 年後で主に Wilson 山天文臺の 60 吋及び 100 吋鏡によるものである。

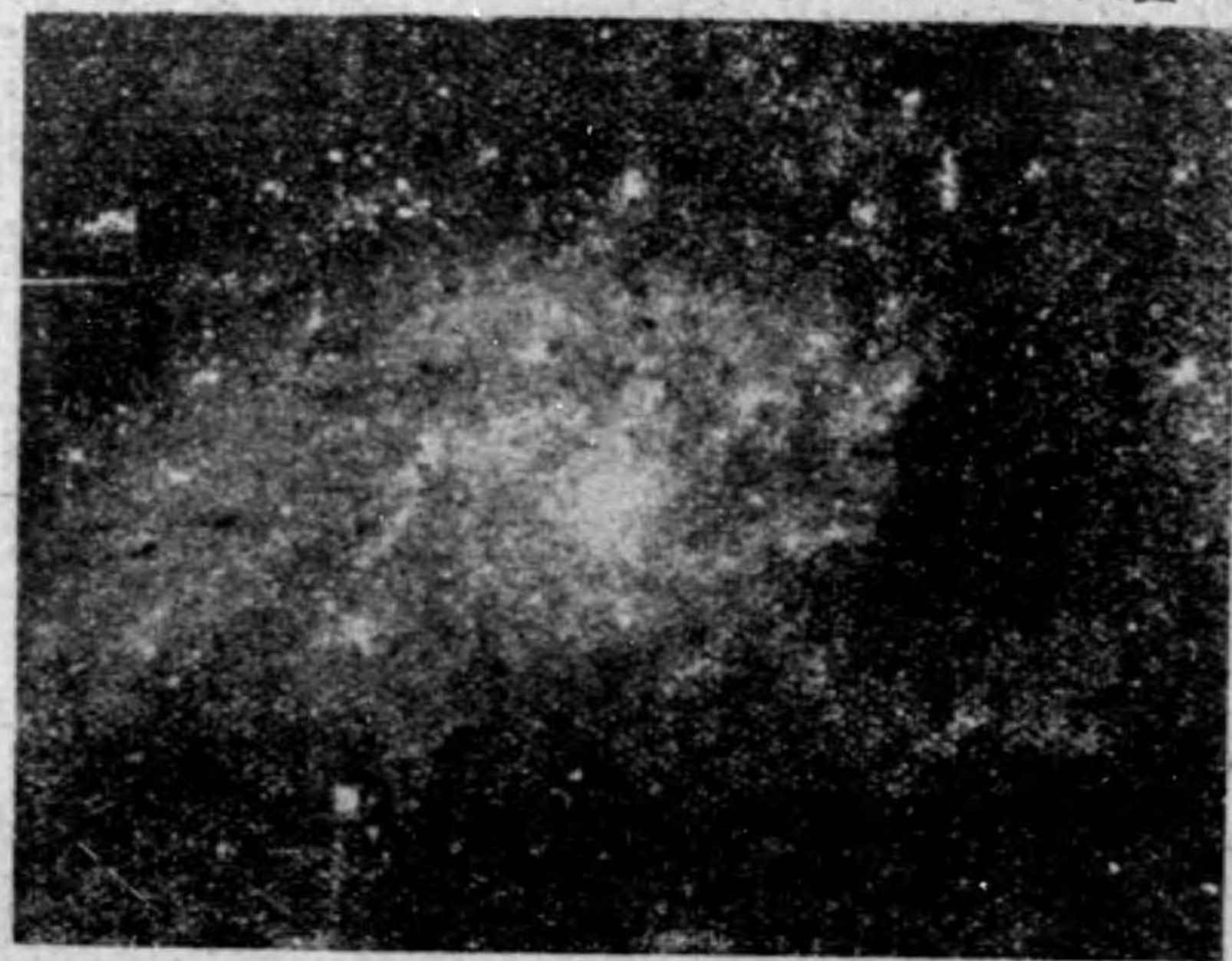
アンドロメダ座星雲の中に發見された新星は 115 個以上に達して居る。Hubble によれば年々 25—30 個の新星が此中に現はれるといふ。それ等の平均極大等級は 17 等である。之を對して銀河系内の新星の絶對極大等級は大略 -3 等である。假に此値を用ひてアンドロメダ座星雲の距離を計算して見れば 30,000 光年となる。之によつて非常に遠い事はわかるがまだ確かな



値とは言はれぬ。

1885年のアンドロメダ座星雲内の新星は後に発見された多数の新星と比べて別種のものと考えなければならぬ。何故なれば等級の差が十等で、それに對する光度の比は一萬倍に上るからである。猶ほ又、星雲其ものの全等級は約五等であるから、1885年の新星は大略星雲自身と同じ光度であつたといふ事が出来る。スウェーデンの Lundmark は此事に基づいて新星を高級と低級との二種に區別する必要があるといつたが、Zwicky 其他近頃の人々は其所謂高級のものを超新星と呼ぶ。前に述べた 1895年のケンタウルス座新星、1917年の N.G.C. 6946 内の新星等は何れも超新星であつたといふ。

Zwicky は新設の Palomar 山天文臺に於て數年來、超新星の搜索を行ひ N.G.C. 4157, N.G.C. 1003 及び I. C. 4182 の銀河系外星雲の中に各一個づつを発見した。それ等は何れも星雲と略同一の光度のもので特に最後のものは絶対等級  $-16.6$  と推定され、これ迄観測されたあらゆる天體の中で最も光



第80圖 三角座渦狀星雲

の強いものである。絶対等級  $-16.6$  は太陽の光度の  $3.9 \times 10^8$  倍である事を

意味する。尙ほ Zwicky が此等の発見に使用した器械は 18 吋の Schmidt 鏡 (33 項) で此種の目的に最も適したものである。

牡牛座の蟹状星雲は西暦 1054 年の超新星の遺留物であるといふ説は既に 218 項に述べた。

226. 銀河系外星雲内のケフェウス種變光星 100 吋反射鏡でアンドロメダ座星雲及び三角座星雲等の寫眞を取つて見れば少くも其外の部分が多数の細かい星群に分離する。Hubble は 1924 年、其中から數十個の週期變光星を発見した。さうして其變光曲線によつて多数のものがケフェウス種である事を確めた。此等の變光星の週期は 18 日乃至 50 日、極大等級は 18.2 乃至 19.1 等で大體に光度週期の關係を支持するものである。Hubble はそこで Shapley に倣ひ其關係を基礎として星雲の距離を求めた。其結果、兩星雲に對して 87,000 光年といふ値を發表した。此値は光の空間吸収 (213 項) を考慮しないものであるが、Hubble は後にそれを考に取り、同時に新しい材料をも加へてそれを次の如く訂正した。

	變光星數	距離
アンドロメダ座星雲	40	68,000 光年
三角座星雲	35	72,000 "

變光星數は測定に用ひたケフェウス種變光星の數である。

227. マゼラン雲 大小二個のマゼラン雲は不定形星雲で特に近距離に在るものである。十六世紀頃の航海者 Magellan の名を取つたのは其頃始めて之を知つた爲めなのである。大マゼラン雲は旗魚座の中に在つて銀經  $247^\circ$ 、銀緯  $-35^\circ$ 、小マゼラン雲は巨嘴鳥座の中に在つて銀經  $269^\circ$ 、銀緯  $-45^\circ$  である。視直徑は普通大の方が  $7.2^\circ$ 、小の方が其二分の一といふ事になつて居るが、Shapley の所謂密度計量 (Densitometer) にまればそれが  $12^\circ$  と  $8^\circ$  とに増大する。



マゼラン雲の中には多数の恒星の外に散開星團もあり球状星團もあり又瓦斯の散光星雲もある。恒星の中には三千以上の変光星があつて主にケフェウス種である。Leavitt はそれによつて光度週期の関係を発見したのである。Shapley がそれ等の変光星から求めた大マゼラン雲の距離は 8,6000 光年で其中の八個の球状星團から求めたものも略同じである。小マゼラン雲は之よりも稍速く 9,5000 光年の距離に在る。實直径は 1,1000 光年と 6000 光年とであるが、Shapley の密度計量の値をとれば 1,8000 光年と 1,3000 光年となる。



第 81 圖 小マゼラン雲及び球状星團巨嘴鳥座 47

銀河系内の恒星の絶対等級をきめるには一々距離又は視差を知らねばならぬがマゼラン雲中のものならば唯一の恒星の絶対等級がわかつただけでも容易に他のものの絶対等級が求められる。大マゼラン雲の中で最も光度の大きい星は不規則変光星旗魚座 S で絶対等級  $-8.3$  等のものである (179 項)。O 型の恒星で最大のもは  $-8$  等である。新星は各一つ宛発見されて居るがそれ等の絶対等級は  $-5$  等及び  $-6$  等である。大マゼラン雲中には又直径 200 光年の散光星雲がある。

228. アンドロメダ座星雲及び其伴星雲 アンドロメダ座星雲は典型的な渦状星雲で Sb 種に属する大星雲である。位置は銀経  $80^\circ$ 、銀緯  $-21^\circ$  で比較的銀河に近い方である。大きさは  $160' \times 40'$  といふ細長いものであるが、Shapley の密度計量によれば  $4.5 \times 4.0$  といふ値で殆ど圓に近い。全等級は 5 等で肉眼でも見える。距離は既に述べた通り 68,000 光年であるから絶対等級は  $-17.5$  等となり太陽の  $1.7 \times 10^9$  倍の光度を持つ事になる。實大は  $3,2000 \times 8000$  光年、Shapley の密度計量による大きさは  $5,3000 \times 4,7000$  光年である。

星雲の外部には散開星團もあるが特に球状星團が多い。其数は 140 を超ゆるといふ。新星及びケフェウス種変光星の事は既に述べた通りである。

アンドロメダ座星雲には二個の伴星雲がある。其一は M. 32 (N.G.C. 221) で E<sub>2</sub> 型のものである。位置は主星雲の核の南約 25' の所に在り星雲と重なり合つて居る。大きさは  $2.6 \times 2.1$ 、光度は 9.5 等である。もう一つは N. G. C. 205 で E<sub>3</sub> 型、位置は主星雲の核の前北方 37' の邊に在り、大きさは  $8' \times 4'$ 、光度は 10.6 等である。

229. 局部星雲群 銀河系から約百萬光年以内の空間に星雲が比較的によく集合して居る。Hubble はそれを局部星雲群と呼んで居る。確かなものは次の八個であるといふ。



星雲	種型	銀経銀緯	距離	直径	絶対等級	視線速度
大マゼラン雲	Ir	247°-33°	萬光年 8.6	萬光年 1.1	等 -15.9	km/sec 0
小マゼラン雲	Ir	269 -45	9.5	0.6	-14.5	+ 60
N. G. C. 224	Sb	89 -21	68.0	4.0	-17.5	- 30
N. G. C. 221	E <sub>s</sub>			0.08	-12.6	-
N. G. C. 205	E <sub>s</sub>			0.16	-11.5	-
N. G. C. 598	Sc	108 -31	72.0	1.2	-14.9	-180
N. G. C. 6822	Ir	354 -20	53.0	0.32	-11.0	- 30
I. C. 1613	Ir	99 -60	90.0	0.44	-11.2	-

視線速度の事は後に述べる。

局部群に属するかどうか疑はしいのは I.C. 10, I.C. 342, N.G.C. 6946 の三つであるが、これ等は何れも銀河面に近く、特に I.C. 10 は殆ど其内に在る爲めに確かな観測を行ふ事が出来ぬ。三個共 Sc 型に属するものと認められる。

230. 星雲團 Shapley や Hubble によれば銀河系外星雲は決して一様に空間に分布して居るものではなくて何百又は何千といふ多数の星雲が所々に

星雲團	視直径	m <sub>s</sub>	距離	視線速度
乙女座	12.0	等 10.49	億光年 0.08	萬km/sec + 0.12
ペガスス座	1.0	12.88	0.24	+ 0.38
ペルセウス座	2.0	13.48	0.32	+ 0.52
髪座	1.7	14.23	0.45	+ 0.74
大熊座第一	0.7	16.12	1.06	+ 1.55
獅子座	0.6	16.33	1.17	+ 1.96
冠座		16.54	1.29	+ 2.12
牛飼座		17.89	2.40	+ 3.92
大熊座第二		17.73	2.23	+ 4.21

集團を作つて居る。それを星雲團といふ。前項に述べた局部星雲群はその小さなものと見られるのである。Hubble は変光星及び最大光度星とによつ

て近距離に在る星雲の距離と絶対光度とを推定し、更に進んで集團内の最大光度星雲の絶対光度を求め、それによつて遠距離の星雲團の平均距離を求めた。推定の方法は大體に於て Shapley が球状星團に適用した方法と同じであるが唯 Hubble の推定には光の空間吸収が考慮されて居る。

主なる星雲團は表(前頁)の通りである。

m<sub>s</sub> は第五番目の輝星雲の等級で第五番目を採つたわけは星雲團以外のものの混入を避ける爲めである。視線速度の事は後に述べる。

231. 島宇宙説 島宇宙とは多数の所謂宇宙が大洋の中の島の如く點々空



第 82 圖 ペガスス座渦状星雲群

間に散布し、各の宇宙はそれぞれ銀河系の如く巨多の恒星とその屬星とが圓板状に散布して居るものだといふ説である。Hubble によれば此説を始めて唱へたのはイギリスの機械製作者 Thomas Wright (1711-86) で、それを發表したのは 1780 年であつた。

それより五年を経て彼の Emmanuel Kant が更に詳しく説いたものだといふ。其様な歴史的な説が百五十年以上、殆ど凡ての人に忘れられて居たのは如何にも不思議である。1920 年頃から急速な進歩を遂げ輝かしい成果を収めつゝある現代の島宇宙説は事實、Wright や Kant が唱へたものと同じなのである。

唯一つまだ十分に分つて居ない事は銀河系其物の構造である。それが果して一つの星雲であるかどうか、一つとすれば渦状か又は不定形か、そこが問題なのである。今後此問題が如何に展開するか、豫斷を許さない事ではある



が現在の状勢から考へて Seares が 1928 年に提起した説は最も有力なものと認められる。それによれば銀河系は Sc 型の一つの渦状星雲であつて三角座星雲 (M. 33) に似たものである。球状星團によつて定まる銀河系の宇宙の容積は大で且つ其形は寧ろ球に近いものであるが散開星團若しくは星の集合によつて定まる容積は割合に小で且つ扁平である。三角座星雲よりは多少大きいと思はれるが、それは唯程度の差であつて質的な違ひでは無いといふ。此説によれば銀河系内の所謂局部系 (212 項) は渦の一本の腕の中部に在る所の節であつて其の爲に核の方向と直角を爲す方向に伸長して居る。

232. 銀河系外星雲のスペクトル 微かな星雲のスペクトルを寫眞に取るには大口徑の望遠鏡が必要であるのみならず特別に速い寫眞玉が必要である。Wilson 山天文臺で現に 100 吋鏡附屬として用ひ居るのは Rayton レンズ ( $f=32$  mm,  $f/a=0.59$ ) といふ顯微鏡を倒にした様な組合せのもので焦點は最後のレンズの直ぐ外に出来る。Rayton レンズよりも一層速い B. S. I. R. A レンズ ( $f/a=0.35$ ) といふのもあるがまだ使用されてない。

Wilson 山天文臺の Humason の研究によれば銀河系外星雲の核のスペクトルは主に早期の G 型であつて稀に F 型 K 型のものもある。さうしてそれは確かに矮星型であるので太陽のスペクトルと最もよく似て居る。核のスペクトルに惑星状星雲特有の輝線を出すものもあるが、それは極稀な場合である。核以外の部分から局部的に輝線を出すものは多分、オリオン座星雲の如き瓦斯星雲が所々に散在して居る爲めであらう。

核のスペクトルの中に最も著しいのは  $\text{Ca}^+$  の H, K 線で其外に鐵の G 線帯、水素の線等も認められるが、其他の線は見別けられない。視線速度は主に H, K 線によつて定められる。

233. 銀河系外星雲の視線速度 第二章第 25 項に述べた通り最も早く渦状星雲の視線速度を測つたのは Lowell 天文臺の Sipher で、それは 1912

年の事であつた。Slipher は 24 吋屈折鏡に特別に速いカメラを附し長い時間の露出によつてそれを測り得たのである。

Slipher は 1914 年迄に 13, 1925 年迄に 41 の速度を測る事が出来た。最初に測つた數個のものの中には地球に接近して来るものも二三あつたが大部分は遠ざかり行くもの即ち正の符號のもので、しかも其値は恆星の場合と比較にならぬ程大きいものである。其事は既に 186 項の中に述べた通りである。

Slipher に續いて Humason は更に 150 以上の視線速度を 100 吋鏡によつて測つた。それによつて銀河系外星雲の速度の特徴が一層明かになつた。微小な星雲程、速度が正で大きいのである。即ちそれが速く遠ざかり行くのである。230 項の表によつてわかる通り一萬 km/sec を超ゆる速度の星雲團が五つもあつて最大の値は既に 4,2000 km/sec に達し、將に五萬の線を超えんとして居る。五萬 km/sec は光速の六分の一である。

銀河には廻轉があつて太陽は約 275 km/sec の速度で中心の周圍を廻るといふ事は既に述べた (187 項)。229 項及び 230 項の表の値はそれによつて修正したものである。

定形星雲に自轉がある事はそれ等の形によつても想像されるが、紡錘形星雲、E<sub>1</sub>, Sa 等の長軸に細隙を合せスペクトルの寫眞を取つて見れば各の線が幾分傾斜して現はれる事によつて確められる。唯、其傾斜の量或は自轉の速さ等はまだよく測られてない。

234. 宇宙膨脹説 銀河系外星雲の視線速度が距離と共に増大する事は第 230 項の表によつてわかり、しかもそれが大體に於て比例する事が認められる。Hubble によれば視線速度  $V$  と距離  $r$  との関係は

$$\begin{aligned} V/r &= 530 \text{ km/sec}/10^6 \text{ pars} \\ &= 163 \text{ km/sec}/10^6 \text{ 光年} \end{aligned}$$

であつて一億光年に對し 1,6300 km/sec の割合で星雲が後退するといふ事に



なる。視線速度は光波長  $\lambda$  の増加  $\Delta\lambda$  によつて測つたものであるから上の関係と第 176 項の式とから

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{V}{c} = \frac{r}{H}$$

なる式が得られる。但し  $c$  は光速度、 $H$  は

$$H = 1.84 \times 10^9 \text{ 光年}$$

なる常数である。

銀河系外星雲が各其距離に比例する速度を以て後退するといふ事は星雲相互間の距離が時間に比例して増加する事を意味し宇宙が全體として膨脹する事になるのである。これが十年前から盛に論議せられる所謂宇宙膨脹論の實際的根拠である。

理論の方はどうかといふに詳しくそれをこゝに述べる事は出来ぬが 1917 年に Einstein が公表した相對論的宇宙構造説は所謂宇宙項なるものを取り物質間の引力の外に距離に正比例する斥力を假定したものでそれによつて等質なる空間内の力を全く取除いたものである。これが爲めに宇宙は空間的に三次元の球面（普通の球面より一次元だけ高い）を以て表はさるゝ事になり物質の密度は丁度宇宙の大きさに適合するものになる。Einstein に續いてオランダの de Sitter が發表した説は宇宙が空間的に三次元の球面である事と靜的である事に於て Einstein の宇宙と同じであるが唯、それが空虛であるといふ點で全く違つて居る。空虛である故に引力は起らないが Einstein の場合と同様に斥力がある。其爲めに假に一つの物が其中に存在するとすればそれは或る加速度を以て座標の原點から遠ざかり行く事になる。星雲の後退視線速度はそれによつて説明されるが空虛であるといふ點はどうしても實際的で無い。

さういふわけで何れの説にも不備な點があつて満足に實際の状態を説明し

得なかつたのであるが 1922 年以來ドイツの Friedmann, ベルギーの Lemaitre, イギリスの Eddington 等により動的宇宙の考が取入れられ Einstein や de Sitter の説の不備な點が補はれる様になつた。それは要するに次の點に歸着する。Einstein の宇宙に於て密度が少しでも不足であれば斥力の方が勝つて宇宙は膨脹を始める。膨脹すれば密度は更に減ずる。其爲めに加速度的に膨脹が續く。反對に若し密度に過剰があれば收縮を始め更に加速度的にそれを續ける。力學的にいへば宇宙は不安定である。限りなく膨脹するのが其の實狀である。膨脹の結果、密度は益々小となり遂に空虛となつて結局 de Sitter の宇宙になるといふ。

星雲の視線速度が益々大となり遂に光速度に等しくなつたとしたらどうであらう。さうすれば如何に強力な望遠鏡を用ひても視られなくなる。Eddington の考では其様な絶對不可視な天體は無限に存在する。吾々が現に宇宙と稱するのは其中の可視的な部分だけであつてそれを有限と考へるのである。理論的にも de Sitter の球狀宇宙には可視的な半球と不可視的な半球とがある。

過去に遡つて宇宙の出發點を考へても亦問題がある。Eddington は Einstein の宇宙から出發して始めは徐々に膨脹したものだといふが Lemaitre は宇宙の根元を非常に大なる一個の原子と考へ、それが放射により次第に分裂し崩壊すると同時に擴大して現在の宇宙になつたといふ。

一方銀河系外星雲が距離に比例する速度を以て遠ざかるといふのは實際では無くて單に見掛上の事であるといふのは Hubble 其他の學者の見解である。Zwicky は光が空間を進行する途中遊離電子に出逢つて Compton 効果を受け、多少のエネルギーを失ふ爲めに波長が伸びるであらうといふ意見を出した。オランダの ten Bruggencate は其事を確める爲めに球狀星團の視線速度を統計的に調べて光が進行する途中それを妨げるものが多ければ多



い程スペクトル線の波長が伸びる事を認めた。

宇宙が膨脹するといふ代りに尺度と時間とが同じ割合で短縮するといつても差支ない。其割合は一年に  $0.54 \times 10^{-9}$  即ち二十億分の一程度であるから実際には無意味である。尺度と時間とに絶対的な基準が無い限りさう考へてもよい譯である。

## 第十八章 恒星の生涯

235. ラプラスの星雲説 Laplace が 1796 年に提出した星雲説は太陽系の發達を説明する爲めに考へられたもので、それによれば太陽は始め尨大な雲状塊團で徐に自轉をして居るものであつた。それが引力により次第に收縮し、收縮と共に角運動量不變の法則により次第に自轉の速度を増し、遠心力と引力とが相等しい程度に達して周圍に環状の物質を遺留した。此環状の物質は土星の環を模型とするもので、それが不安定の状態に在る爲めに集つて塊團となり各塊團が又、太陽と同じ経過によつて惑星系を造つたといふのである。

Laplace の前に遡つて Kant が 1755 年に發表した説は同じ様な考に歸するものであるが、唯一つ違ふ點は Kant が、静止した物質の平等に散布して居る空間に太陽系の核が出来、それが周圍の物質を集めて大なる自轉體になるとした事である。角運動量が無から發生するといふ事は普通の力學ではあり得ない事である。

Kant-Laplace の説は最も弘く行はれたものであるが、それに重大なる缺點のある事は其後に至つて理論的にも又、實際的にも指示された。主なるものは次の五項である。

- (1) 如何にして環から惑星團が出来るか不明である。
- (2) 惑星團の自轉の向きが疑問である。
- (3) 惑星公轉の角運動量は太陽系全部の角運動量の九割八分に當るが此値は過大である。換言すれば太陽の自轉が餘りに遅い。
- (4) 火星の自轉速度が其衛星の公轉速度に比して餘りに遅い。
- (5) 木星及び土星の外部の衛星が逆行であるのは何故か。



此中(3)は Babinet の異論と呼はるゝもので最も大なる難點と認められる。(5)も亦、致命的な難點と言つて差支ない。それ等に對して Poincaré 等の辨明もあるが、現代の知識に違背する點が餘りに著しい。言ふ迄もなく Laplace は球狀星雲及び橢圓形星雲を銀河系内のものと信じ、それを太陽系の起原と考へたのである。

236. 微惑星説 今世紀の始め Chamberlin 及び Moulton が提起した微惑星説は瓦斯狀の太陽が空間に於て同種の他の天體と遭遇し或程度以上に接近する事を假定する。さうすれば兩者の間に潮力が起り(107項)形は橢圓體より次第に隆起部が突出して二本の腕が出來、第二體の引力が更にそれに加つて遂に全部が渦狀のものとなる。拋出された物質は始めは瓦斯狀であるが輻射により冷却して大部分液態となり更に固態となる。それが即ち微惑星と呼はるゝものである。微惑星は殆ど同一の平面内に在つて同じ向きに太陽の周圍を廻轉するが軌道の大きさ及び形は定まらない。其結果衝突が起り熱の爲めに熔合して再び液體又は瓦斯態となり集結して惑星團を形成する。かくの如くして出來る惑星團の軌道は集積の結果、圓形に近いものになる。唯其自轉の向きがどうなるか問題であるが、然し後方より衝突するものは空間速度が大きい爲めに外方に出で、反對に前方より衝突するものは空間速度が小さい故に内部に入る事によつて公轉と同じ向きになる事の説明が出来る。

微惑星が集結して惑星團となるが全部がそれになるわけではない。一部分は太陽に復歸して角運動量をそれに附與する結果太陽も亦、同じ向きに自轉を爲す事になる。それと前から持つて居た角運動量と合成の結果自轉の向きは惑星系の公轉の向きと多少の傾斜を爲す。現に太陽の赤道面が惑星の不攪平面と七度餘の傾斜を爲すわけは其爲めと見られる(65項, 77項)。

惑星團から衛星系が出來る事を説明するには多少の困難がある。それについて特に考慮しなければならないのは次の三項である。

- (1) 木星及び土星の内部衛星の軌道、及び土星の環は殆ど皆主星の赤道面内に在る。
- (2) 木星及び土星の外部衛星の軌道は主星の赤道面に對する傾斜が大で特に最外部のものは逆行である。
- (3) 月は衛星として過大である。

此中(1)は Laplace の説に最もよく適合するもので、特に木星及び土星の自轉速度の大きい事を考へればさうである。此點だけに Laplace の説を借りればよいわけだが、さうすれば火星の場合が問題になる。(2)は一個の惑星團の代りに大きさを異にする數個の惑星團が殆ど同一の軌道の上に出來、それが瓦斯狀物質の抵抗により合同して一つの系を作つたと考へれば説明のつく事である。逆行衛星の出來る事も惑星團の軌道の内外に於ける公轉速度の差を考へれば説明が出来る。

一つの恆星が平均何年の間に一回、或る距離以内に他の恆星と接近するか假に兩者の引力を無いとして其年數を求める事が出来る。恆星の空間密度を  $l$  光年立方に一個の割合とし平均速度を  $v$  とし接近距離を  $r$  とすれば其年數は

$$l^3 / \pi v r^2$$

にて表はされる。 $l$  を 7 光年とし、 $r$  を 30 天文單位(太陽より海王星迄の距離)とし  $v$  を 40 km/sec とすれば平均年數はこれによつて

$$3.7 \times 10^{12} \text{年}$$

となる。此年數は少し長過ぎるが平均年數であるが故にそれを理由に微惑星説を否定する事も出來ぬ。

微惑星説は名の如く小惑星と渦狀星雲とを標本としたものである。イギリスの Jeans 及び Jeffreys が其後に出した説は微惑星説と略同一のもので、唯それに Darwin の潮汐進化説(110項)を取入れただけの違ひである。

237. 惑星の捕獲説 アメリカの See が 1906 に始めて提出した捕獲説



は次の如きものである。太陽は始め尨大な雲状物質に囲まれて全體として或速度の自轉を爲すものであつた。惑星は始めは空間を勝手に殆ど直線的に動いて居るものであつたが、それが雲状物質の中に突入し、抵抗によつて捕獲された。捕獲された後、雲状物質の自轉の向きと反對に廻るものは大なる抵抗を受け次第に其軌道を縮小して遂に太陽は落下した。それに反して同じ向きに廻るものは次第に其軌道が圓形に近くなるが太陽に落下する事は無い。それが次第に雲状物質を吸収し太陽と同様の経過によつて惑星系を作つたといふ。此説によつて惑星が殆ど同一の面内に在る事を説明するには雲状物質の自轉の速度を大なるものとし其形を餘程扁平なものであつたと言はねばならぬ。さうすればそれは Laplace 説の中間状態と同じものになるが唯それと異なる點は太陽が、反對の向きに廻る多數の惑星を併合する結果、その自轉速度の小さくなることである。Laplace 説の (3), (4) の缺點は従つて此説によつて除かれる。唯、これについて問題となるのは惑星となるべき天體が果して空間に存在するかどうかであるが、拋物線乃至双曲線軌道の流星が現存することから考へれば必ずしも不當の假定とは言はれぬであらう。

238. 連星の分離説 急速に廻轉する液體が扁球から橢圓體に變り更に收縮して瓢箪形のものになるといふのは力學的に Poincaré や Darwin が考へた事であるが Jeans は更にそれが分離して連星になる事を力説して居る。之が所謂、連星の分離説であつて月が地球から分離したいふ Darwin の潮汐進化説を恆星に擴張したものである。かくの如くして分離したものは最初は分光器的連星の如く非常に接近して居るが收縮と共に兩者の自轉速度が増加し其結果潮汐摩擦が働いて次第に遠ざかる。(109項)。さうして遂に實視連星にもなるといふ説である。此説の缺點は次の三項に歸するであらう。

- (1) 恆星が液體であるといふ假定は正しく無い。
- (2) 潮汐摩擦が働いても分離した恆星が或程度以上遠ざかる事は無い。

- (3) 實視連星の軌道の離心率の大なる事を説明するに大なる困難がある(199項)。

239. 恆星の捕獲説 著者が1931年に公表した説は次の如きものである。球に近い雲状の天體、即ち小さな星雲の中に恆星が入ればそれによつて或程度の抵抗を受け、相對的に双曲線軌道を畫いたものも拋物線に近い橢圓軌道を畫くことになる。従つてそれを脱出した後、幾十年又は幾百年かの後に再び同じ星雲の中に入る。さうして更に又抵抗を受ける。幾度も其種の運動を繰返した後、若し其間に他から攪亂を受ける事が無ければ恆星は永久的に星雲の中に入り、相對的に雲状の物質が恆星の周圍を廻轉することになる。それが即ち See の捕獲説の最初の状態である。

星雲が一個の恆星を捕獲した後、更に他の恆星を捕獲すれば、二つの恆星は相對的に一の橢圓軌道を畫き、同時に周圍の雲状の物質はそれ等の恆星によつて吸収せられる。それが即ち一の連星系である。比較的に大なる星雲が多數の恆星を捕獲すれば星團が出来る。星雲が球状で他より攪亂を受けることが無ければ球状星團が出来る。

現實の太陽系に於て太陽の赤道面が惑星の不變平面と七度餘の傾斜を爲す理由は太陽の固有の赤道面と星雲の相對的角運動の面とか異なる爲めで、現在の太陽の自轉は固有の自轉と雲状物質の併合とによつて合成せられたものと認められる。

240. 銀河系外星雲の遭遇 第236項の式に於て銀河系外星雲の空間密度を50,000光年に一個の割合とし、接近距離  $r$  を1,000光年とし、平均速度を一年に對して  $3.3 \times 10^{-3}$  光年 (=1000 km/sec) とすれば一の星雲が一同、他の星雲と遭遇する迄の平均年數は  $1.2 \times 10^{11}$  年となる。銀河系外星雲の中、球状のものは未だ他と遭遇する機會の無かつたものと見られ、橢圓形のものには遭遇はしても、それ程に接近しなかつたものと見られ、一回他と接



近したものは渦状となり、二回以上接近したものは組織が亂れて不定形星雲となつたものと認められる。此考によつて球状星雲は一般に若いもので不定形星雲は老年のものと見られる。一の星雲が生涯の中に平均二回他の星雲と接近するとすれば平均寿命は前の計算によつて約  $2 \times 10^{11}$  年となる。此年数は後に述べる恒星の寿命と比べて決して長過ぎるものではない。恐らく星雲は其生涯の中に數回他の星雲と接近するものであらう。

241. 太陽の寿命 太陽は一秒間に  $3.8 \times 10^{33}$  erg の輻射エネルギーを放散しつゝあるが、それがどれだけ續くか其熱を補給するものが無ければ一年に一度以上温度が降り數千年を俟たずして冷却する事になる。然るに古生物學の方から見れば地球面上の温度は數百萬年の間に著しく變つて居ない。さうすれば其熱量は何かによつて補給されて居なくてはならぬ。Mayer は此原因を流星の落下に歸した。流星が拋物線軌道を畫いて太陽に落下する時の速度は 620 km/sec である故、それによつてどれだけの質量のものが落下すれば足るか、計算して見れば百年に約地球だけのものでなければならぬ。太陽系内の流星の總量を定める事は難いが、大略之が最大限で、それが百年間に全部太陽に落ち込むとは考へられぬ。假に又さういふ事があるとすれば、太陽の質量はそれによつて次第に増加し惑星の運動の上に影響が現はれなくてはならぬ。

Helmholtz は收縮説を出して此事を説明しようとした。それによれば一年に 45m の割合で太陽の半径が短縮すれば其熱量を補ふに十分である。此短縮に相當する視半径の短縮は 1,6000 年に一秒の割合で、觀測の上には現はれない程度である。Kelvin も此説に同意で太陽の發生した時代を 2000,0000 年以前に上らないと言つたが其後にわかつたウラン礦石の年齢  $1.2 \times 10^9$  年はそれに比して遙かに大である。地球の中の礦石よりも太陽が若いとは容易に考へられぬ。Helmholtz-Kelvin の説は之によつて疑はしいものとなつた。

次に考へられる説明は放射性元素によるものである。1 gr のウランが鉛と同位體のものに變ずるまでに約  $5 \times 10^{10}$  cal のエネルギーを放射する。それであるから太陽の熱量が放射性元素によつて或程度に補はれるのは事實であらうが、スペクトルの中にはまだそれが發見されてない。存在するとしても極少量でそれによつて太陽の全輻射が維持されるとは考へられぬ。ウランよりも原子量が大でも放射能の大なる所謂、超ウランが太陽の中に存在するとも考へられるが、少くも現在に於ては一の空想に外ならない。

次に考へられるのは元素の轉換である。實驗的に  $\alpha$  粒子や中性子の衝擊によつて元素の轉換する事から考へれば太陽の内部に於ける如く高温強壓の所では容易に其種の轉換が行はれるであらう。さうすれば例へば四個の水素原子が一個のヘリウム原子に變る事も可能である。然るに水素の原子量 1.008 の四倍はヘリウムの原子量 4.000 よりも 0.8% だけ大である。それだけの過剰の質量がどうなるか、相對律の理論によれば質量  $m$  は  $mc^2$  ( $c$  は光速) だけのエネルギーに相當する。Eddington 其他の學者の説によれば此變化は實際に可能で、太陽の中の水素は次第にヘリウム等の重い元素に變じつゝある。さうしてそれのみによつて太陽の生命は百億年も續くであらうといふ。

元素の轉換が實際起るとすれば其爲めに發生する輻射はエネルギーが大きい故に量子論の原則により非常に短い波長のものであり、それが太陽の内部を通過する間に Compton 効果を受けて次第に長い波長となり、光波として連続スペクトルを出すに至るであらう。天體の表面に近い所で若しそれが起るならば其場合の輻射は元の儘で、特に波長の短い、さうして透過力の大きなものでなければならぬ。それが即ち宇宙線であるといふのは一つの解釋である。

終りに述べるのは所謂、物質消滅説又は質量輻射説である。波動力學によれば物質も亦、波動である。唯其波動は空間を直線的に進行する普通の波で



は無くして監禁された波である。監禁が解かるれば何時でもそれは普通の波に変わる。普通の波といへば此場合即ち輻射である。監禁が如何にして解かれるか、Eddington はそれに對して臨界温度 (約4000,000° K) を考へ太陽又は恆星の中心の附近に於てのみそれを可能と考へたが、Jeans はそれをラヂウム原子が崩壊すると同様、 $n$  個の原子核の中の一個が平均  $t$  時間を隔て偶發的に輻射に變るのであるといふ。此説によれば太陽の内部からも表面からも同様に輻射が発生する。内部から出るものは前に述べた通り Compton 効果を受けて長波長のものに變るが、表面から出るものは特に強力で且つ波長の短いものであることはいふ迄も無い。Jeans は宇宙線の中の特に透過力の強いものを此原因に歸する。

物質消滅説によれば太陽は一年に  $1.33 \times 10^{20}$  gr の質量を失ひつゝある。 $1.33 \times 10^{20}$  gr は地球の質量の 4500,000 分の一で惑星の運動には感じない程度である。太陽の現在の質量は  $1.99 \times 10^{33}$  gr であるから毎年これだけつゝ消費しても猶  $1.5 \times 10^{13}$  年 (十五兆年) の餘命がある。

物質が果して消滅するかどうか、實驗的にはまだ證明されてない。Jeans や Eddington の考は根據の無いことでもないが、少くとも現在の所、想像説であることを免れない。

## 人名索引

Abott, C. G. (アボット)	92
Achellis, E. (アケリス)	123
Adams, J. C. (アダムス)	17, 154-5
Adams, W. S. (アダムス)	22-3, 78, 89, 133-4, 207, 235, 237
Airy, G. B. (エーリー)	36, 154
Aitken, R. G. (エッケン)	232, 234
Anderson, T. D. (アンダーソン)	220
Anderson, J. A. (アンダーソン)	241, 250
Antoniadi, E. M. (アントニアデー)	136
Argelander, F. W. A. (アルゲランデル)	9, 15, 20, 217-8
Aristarchus of Samos (アリストタルコス)	11
Auwers, G. F. (アウゾルス)	76, 196
Babinet, J. (バビネ)	272
Bailey, S. I. (ベーリー)	246
Barnard, E. E. (バーナード)	136, 144, 147, 151, 160, 166, 197, 254
Bessel, F. W. (ベッセル)	15-6, 167, 196, 201-2, 235
Bjerknes, V. (ビヤークネス)	94
Bode, J. E. (ボーデ)	137, 153
Bond, G. P. (ボン)	149, 151
Boss, B. (ボス)	199
Boss, L. (ボス)	235
Bouvard, A. (ブーヴァール)	154
Bowen, I. S. (ボーエン)	252
Bowie, W. (ボーキー)	42
Bradley, J. (ブラッドレイ)	14-5, 50, 153, 196, 201
Bredichin, T. (ブレディキン)	167
Brill, A. (ブリル)	186
Brooks, W. R. (ブルックス)	160
Brown, E. W. (ブラウン)	17, 42, 97
Burnham, S. W. (バルナム)	232
Caesar, Augustus (ケーザル)	120
Caesar, Julius (ケーザル)	120



Campbell, L. (カンベル)	153
Campbell, W. W. (カンベル)	20, 199, 212-3
Carnegie, A. (カーネギー)	31
Carrington, R. C. (カーリントン)	19
Cassini, D. (カッシニー)	16, 25, 98, 149, 151
Challis, J. (チャリス)	154
Chamberlin, T. C. (チェンバーリン)	272
Chandler, S. C. (チャンドラー)	50
Charlier, C. V. L. (シャルリエー)	248, 255
Clark, A. G. (クラーク)	235
Coblentz, W. W. (コブレンツ)	145, 148
Columbus, C. (コロンブス)	128
Comte, A. (コント)	122
Copernicus, N. (コペルニクス)	12, 46
Cowell, P. H. (コウエル)	106
Crommelin, A. C. D. (クロンメルン)	161, 170
Curtis, H. D. (カルチス)	259
Daguerre, L. J. M. (ダゲール)	18
Darwin, G. H. (ダーウィン)	17, 66, 112, 273-4
da Vinci, L. (ダ・ヴィンチ)	100
de Bruin, T. L. (ド・ブライン)	88
Delaunay, C. (ドロナー)	17
de Sitter, W. (ド・シッター)	42, 130, 268-9
Donati, G. (ドナチー)	169
Dreyer, J. L. E. (ドレーヤー)	244
Eastman, G. (イーストマン)	122
Eddington, A. S. (エッチングトン)	22-3, 73, 188, 211, 217, 226, 229 237, 242-3, 249, 269, 277-8
Eichelberger, W. S. (アイケルバーガー)	199
Einstein, A. (アインシュタイン)	46, 53, 71, 268-9
Euler, L. (オイレル)	14, 50
Evershed, J. (エヴァーシェット)	89
Fabricius, D. (ファブリキウス)	15, 217
Fechner, G. T. (フェヒネル)	9
Fizeau, H. L. (フィゾー)	14

Flamsteed, J. (フラムステード)	153
Fotheringham, J. K. (フォザリンガム)	97, 111
Foucault, L. (フーコー)	46-7
Friedmann, A. (フリードマン)	269
Frost, E. B. (フロスト)	20
Fraunhofer, J. (フラオンホーフェル)	18
Gaillet, A. (ガイヨー)	156
Galilei, G. (ガリレイ)	13, 16, 25, 80, 146, 151
Galle, J. G. (ガルレ)	17, 154, 161
Gauss, C. F. (ガウス)	16, 138
Gautier, R. (ゴーチエー)	81
George III (ジョージ三世)	16
五味一明 (Gomi K.)	221
Goodricke, J. (グードリック)	229
Gregorio XIII (グレゴリオ十三世)	121
Groombridge, S. (グームブリッジ)	196
虞喜 (Yü-Hsi)	49
Gylden, J. A. H. (ギルデン)	68
Hale, G. E. (ハール)	19, 20, 87, 91, 93-4
Hall, A. (ホール)	136
Halley, E. (ハリー)	13, 15, 17, 61, 96, 162, 195
萩原雄祐 (Hagihara Y.)	250
Hamilton, W. R. (ハミルトン)	14
Hansen, P. A. (ハンセン)	17
Hartwig, E. (ハルトギツヒ)	217
Harzer, P. (ハルツェル)	144
Hayford, J. F. (ヘーフォード)	41-2, 76
Helmholtz, H. (ヘルムホルツ)	276
Henderson, T. (ヘンダーソン)	16, 201-2
Herschel, J. (ハーシェル)	9
Herschel, W. (ハーシェル)	15-6, 27, 149, 152-3, 232, 244, 248
Hertzsprung, E. (ヘルツスプルング)	21, 210
Hill, G. W. (ヒル)	17, 96
Hinks, A. R. (ヒンクス)	99
Hipparchus (ヒッパルコス)	9, 11-2, 49



平山信 (Hirayama S.)	139
Holetschek, J. (ホレツェック)	165
Hooker, J. D. (フッカー)	31
Hubble, E. P. (ハッブル)	21, 23-4, 246, 248, 251, 253-4 257-9, 261, 263-5, 267, 269
Huggins, W. (ハッギンス)	18
Hull, G. F. (ハル)	168
Humason, M. Z. (ハムエーソン)	266-7
Huygens, C. (フイゲンス)	16, 25, 148, 151
Innes, R. T. A. (インネス)	203
Jeans, J. H. (ジーンズ)	101, 217, 226, 229, 273-4, 278
Jeffreys, H. (ゼッフレス)	109, 273
Joy, A. H. (ジョーイ)	89
楠木政岐 (Kaburaki M.)	248
Kant, I. (カント)	265, 271
Kapteyn, J. C. (カプタイン)	193, 197, 202, 213, 248
Keeler, J. E. (キーラー)	151
Kelvin, Lord (ケルギン)	276
Kepler, J. (ケプレル)	12-3, 24, 54-7, 220
木村榮 (Kimura H.)	51
Kirkwood, D. (カークウッド)	141, 152
Kohlschütter, A. (コールシュッテル)	207
Küstner, F. (キュスネル)	50
Lacaille, N. L. (ラカイユ)	6, 15
Lagrange, J. L. (ラグランジュ)	14, 66-7, 69, 98
Lalande, J. de (ラランド)	15, 156, 196
Laplace, P. S. (ラブラース)	14, 63, 68-9, 97, 111, 137, 146, 271, 273-4
Lassell, W. (ラッセル)	149, 153
Leavitt, H. S. (リアギット)	21, 246, 262
Lebedew, P. (レベデフ)	168
Lemaître, G. (ルメートル)	269
Lemonnier, P. (ルモンニエ)	153
Leverrier, V. J. (ルゴリエ)	17, 22, 70, 154-6, 157, 173
Lindblad, B. (リンドブラット)	215
Lipperhey, H. (リップスルハイ)	13

Lockyer, N. (ロッキヤー)	18-9, 181
Lowell, P. (ローエル)	134, 136, 152-3, 157-8
Lundmark, K. (ルンドマルク)	212, 260
Lyot, B. (リヨー)	89
Mach, E. (マッハ)	46
Magellan F. de (マゼラン)	261
Maunder, E. W. (モンダー)	78, 83
Maxwell, J. C. (マックスウェル)	151, 168
Mayall, N. (メーヨール)	158
Mayall, N. U. (メーヨール)	253
Mayer, T. (マイエル)	153
Mayer, R. (マイエル)	276
Melotte, P. (メロット)	147
Merrill, P. W. (メリル)	226, 241
Messier, C. (メッシエー)	244
Meton (メトン)	119
Michelson, A. A. (マイケルソン)	108, 191
Milne, E. A. (ミルン)	249
Moore, J. H. (モーア)	199
Moulton, F. R. (モールトン)	272
Müller, G. (ミュレル)	217
Newcomb, S. (ニューコム)	17, 22, 50, 62, 70, 81, 97, 99, 130, 149
Newton, H. A. (ニュートン)	18, 173
Newton, I. (ニュートン)	13-4, 17, 24, 27, 41, 46, 54-7
Nichols, E. E. (ニコルス)	168
Nicholson, S. B. (ニコルソン)	147-8, 158
及川奥郎 (Oikawa O.)	139
Olbers, H. W. M. (オルベルス)	138, 143, 173
Olmsted, D. (オルムステッド)	173
Oort, J. H. (オールト)	215
Oppolzer, T. (オップホルツェル)	18, 105
Osten, H. (オステン)	144
Pease, F. G. (ピース)	191
Perrine, C. D. (ペライン)	147
Peters, C. A. F. (ピーターズ)	235



Piazz, G. (ピアジ)	15-6, 138, 196
Pickering, E. C. (ピッカリング)	19, 39, 217
Pickering, W. (ピッカリング)	149
Planck, M. (プランク)	92
Plaskett, J. S. (プラスケット)	215, 242
Poincaré, H. (ポアンカレ)	17, 66, 272, 274
Poisson, S. D. (ポアソン)	14, 62-3
Pons, J. L. (ボンズ)	160
Procter, R. A. (プロクター)	170
Ptolemaeus, C. (プトレマイオス)	9, 12, 106
Ramsay, W. (ラムゼー)	19
Rasmuson, H. N. (ラスムソン)	210
Reinmuth, K. (ラインムート)	140
Ritchey, G. W. (リッチェー)	31
Römer, O. (レーメル)	14, 146
Russell, H. N. (ラッセル)	21, 64, 131, 159, 182
Saha, M. N. (サハ)	182-3, 249
St. John, C. E. (セント・ジョン)	90, 133-4
Sampson, R. A. (サンブソン)	147
Schiaparelli, G. V. (スキアパレリ)	18, 135, 173
Schmidt, J. F. F. (シミット)	170, 217
Schoch, C. (ショッホ)	106
Schönfeld, E. (シェーンフェルト)	217
Schwabe, S. H. (シワーベ)	19, 80-1
Schwarzschild, K. (シワルツシルド)	211
Schwinner, R. (シギンネル)	176
Seares, F. H. (シアレス)	193-4, 266
Secchi, A. (セッキ)	18
See, T. J. J. (シー)	273
Seeliger, H. von (ゼーリーゲル)	70
Shapley, H. (シェプレイ)	21, 213, 216-7, 227, 229, 246-8, 261-5
Slipher, V. M. (スライファー)	20, 153, 157, 247, 251, 266-7
Spörer, G. (シュペーレル)	19, 81
Stockwell, J. N. (ストックウェル)	63-4
Strömberg, G. (ストレームベルグ)	212

Strömberg, E. (ストレームグレン)	163
Struve, O. (シュトルーフエ)	164, 232
Struve, W. (シュトルーフエ)	201-2, 232
Taylor, G. I. (テイラー)	109
ten Bruggencate, P. (テン・ブルッゲンカーテ)	269
Titius (チチウス)	137
Tombough, C. W. (トンボウ)	157
Trumpler, R. J. (トランブラー)	248
Tycho Brahe (チコ・ブラヘ)	12-3, 55-6, 220
van Maanen, A. (ヴァン・マーネン)	250
van Rhijn, P. J. (ヴァン・ライン)	158, 193-4
Vogel, H. C. (フォーゲル)	18, 20, 229
von Sichert (フォン・ジハルト)	123
Vsessviatsky, S. K. (ヴセッスギアツキー)	166
Watson, R. (ワトソン)	221
Williams, A. S. (キリアムス)	220
Wilson, A. (キルソン)	93
Wolf, Max (ドルフ)	139, 157, 165
Wolf, R. (ドルフ)	19, 80-1
Woodward, R. S. (ウッドワード)	46
Wright, T. (ライト)	265
Young, C. A. (ヤング)	91, 143
Zwicky, F. (ズキッキ)	260, 169



件名索引

アインシュタイン塔	Einstein tower	33
明の明星	morning star	5
明六つ		44
アルゴル型変光星	Algol-type variable	230
アルミニウム電気鍍銀	electrical aluminizing	27
暗黒星雲	dark nebula	254
アンドロメダ(座)星雲	Andromeda nebula	263
一般摂動論	general perturbation	60
一般相對律	general theory of relativity	71
緯度	latitude	1
—の測定	determination of —	126
—變化	variation of —	50
色指數	colour index	40, 180
—超過	excess	248
隕石	meteorite	174
—の起原	origin of —	176
インヴァール	invar	37
宇宙線	cosmic ray	277
宇宙膨脹説	theory of expanding universe	267
ヴルカン	Vulcan	70
永久の満月	perpetual full moon	68
英國式赤道儀	equatorial of English-type mounting	30
衛星	satellite	16, 130
エーテル	ether	53
エンケ彗星	Encke's comet	161
エンケの空隙	Encke's division	152
遠日點	aphelion	54
鉛直線の偏差	deviation of vertical	42
掩蔽	occultation	106
黄金數	golden number	119
牡牛座 RV 型變光星	RV Tauri-type variable	224
大熊座 W 型變光星	W Ursae Majoris-type variable	230

件名索引

287

大潮	spring tide	109
オリオン座 $\alpha$ 型變光星	$\alpha$ Orionis-type variable	224
海王星	Neptune	17, 154
—屬彗星	comet of Neptune's family	162
—の衛星	satellite of Neptune	156
皆既食	total eclipse	103
回歸年	tropical year	7, 62
會合週期	synodic period	6
廻轉羅針儀	gyro-compass	47
外惑星	outer planet	6
下弦	last quarter	5
下合	inferior conjunction	6
夏時	summer time	117
渦狀星雲	spiral nebula	23, 256-7
火星	Mars	134
—の衛星	satellite of —	136
—の温度	temperature of —	135
—の極冠	polar cap of —	134
—の溝渠	canal of —	135
—の自轉	rotation of —	134
—の大氣	atmosphere of —	134
カッシーニの空隙	Cassini division	151
カリボス法	Callipus cycle	120
カルシウム雲	calcium cloud	249
干涉計	interferometer	189
冠座 R 型變光星	R Coronae Borealis-type variable	223
氣差	atmospheric refraction	42
起潮力	tide-generating force	107
軌道	orbit	54, 57
—の傾斜	inclination of —	57
—表	table of —	130
—の要素	elements of —	57
—論	determination of —	16, 60
木村項	Kimura's term	51
逆行	retrograde motion	5



——衛星	satellite of	147, 149
球状星雲	globular nebula	257
——星團	globular cluster	245
——の大きさ	dimension of	246
——の距離	distance of	246
——の空間分布	space distribution of	247
鏡銅	speculum-metal	27
極光	aurora	81
極軸	polar axis	30
局部系	local system	213
局部星雲群	local group of extra-galactic nebulae	263
巨星	giant star	21, 205-6
ギリシャの天文学	Greek astronomy	11
銀緯	galactic latitude	194
銀河	galaxy, milky way	193
——系外星雲	extra-galactic nebula	23, 256
——の視線速度	radial velocity of	266
——の種類	classification of	256
——のスペクトル	spectrum of	266
——の遭遇	encounter of	275
——内のケフェウス種変光星	Cepheid in	261
——内の新星	nova in	259
——系内星雲	galactic nebula	249
——系の宇宙	universe	247
——集率	concentration	194
——の廻轉	rotation	213
金環食	annular eclipse	103
銀經	galactic longitude	194
近日點	perihelion	54
——の運動(水星の)	motion of (of Mercury)	69
——の黄經	longitude of	57
金星	Venus	133
——の最大光度	greatest brilliancy of	133
——の自轉	rotation of	133
——の大氣	atmosphere of	133

——の日面經過	transit of	133
近點月	anomalistic month	96
楔形光度計	wedge photometer	39
屈折望遠鏡	refractor	25, 29
グレゴリオ暦	Gregorian calendar	121
暮六つ		44
クロノグラフ	chronograph	88
クロノメートル	chronometer	38
経帯時	zone-time	116
経度	longitude	36, 42
——の測定	determination of	125
火星	Mars	134
夏至	summer solstice	4
——點	summer solsticial point	4
月角差	parallactic inequality	96
月食	lunar eclipse	103
月面圖	selenograph	102
月理学	selenography	102
ケフェウス種變光星	Cepheid variable, Cepheid	21, 227, 261
ケプレルの法則	Kepler's law	54
——の方程式	equation	59
元期の平均黄經	mean longitude at epoch	57
原始時代の天文学	astronomy of primitive age	11
元素の轉換	transmutation of atom	277
合	conjunction	6
光壓	light pressure	168
黄緯	(celestial) latitude	5
紅焰	prominence	85
航海天文学	nautical astronomy	128
光冠	corona	88
光球	photosphere	78
黄經	(celestial) longitude	5
光行差	aberration of light	14, 52
降交點	descending node	57
光差	light equation	76



恒星	fixed star	頁 3
一月	sidereal month	5
一時	time	113
一天文学	stellar astronomy	15
一年	sidereal year	4, 62
の色	colour of fixed star	179
の運動	motion of	15, 195, 212
の数	number of	193
の距離	distance of	15, 200, 208, 240
の銀河集率	galactic concentration of	193
の子午線通過	meridian transit of	125
の視差	parallax of	15, 200
の實大	dimension of	207
の質量	mass of	241
の視半徑	semi-diameter of	188
のスペクトル型	spectral class of	177
の内部構造	internal constitution of	242
の輻射	radiation of	177
の捕獲説	capture theory of	275
の名稱	designation of	8
密度	star-density	194
光速度の発見	discovery of light-velocity	14, 146
交點	node	57
一月	nodical month	96
光電作用	photo-electric effect	39
黄道	ecliptic	3
光	zodiacal light	158
光度計	photometer	39
光度測定	photometry	20
光年	light year	200
光比	light ratio	9
國際聯盟	League of Nations	123
黒點	sun-spot	79
の週期	period	19, 80
帯	zone	81

の磁性	magnetic polarity of	頁 91
の壽命	duration of	80
の蝶形分布圖	butterfly-diagram of	82
小潮	neap tide	109
古代の日月食	ancient eclipse	106
琴座β形變光星	β Lyrae-type variable	230
個人差	personal equation	35
固有運動	proper motion	15, 195
固有時	proper time	71
コンプトン効果	Compton effect	269
彩球	chromosphere	85
歳差	precession	4, 48
歳星	Jupiter	145
彩層	chromosphere	85
最大光度(金星の)	greatest brilliancy (of Venus)	133
朔	new moon	5
朔望月	synodic month	5
サムナーの方法	Sumner's method	129
サロス	Saros	104
三垣		6
散開星團	open cluster	245
三角法的視差	trigonometrical parallax	207
散光星雲	diffuse nebula	251
三體問題	problem of three bodies	65
の正三角形解	triangular solution of	66
の直線解	linear solution of	67
シロスタット	coelostat	32
收穫月	harvest moon	95
週期軌道	periodic orbit	66
の擾動	perturbation	61
の彗星	comet	161
の變光星	variable	20, 225-6
周極星	circumpolar star	1
十三ヶ月案	13-month proposal	122
十三夜		95



收縮説(太陽の)..... contraction theory (of sun).....	Ⅱ	278
獸帯..... zodiac .....	6	6
十二宮..... signs of zodiac .....	6	6
狩獵月..... hunter's moon .....	95	95
秋分..... autumnal equinox .....	4	4
——點..... equinoctial point.....	3	3
視運動..... apparent motion .....	3	3
時角..... hour angle .....	3	3
四季..... seasons .....	119	119
視軌道..... apparent orbit .....	233	233
子午環..... meridian circle .....	34	34
——儀..... transit.....	36	36
——線..... .....	3	3
——高度..... altitude .....	126	126
——通過..... transit.....	125	125
視差..... parallax .....	15, 52, 74, 200	15, 52, 74, 200
時差..... equation of time .....	114	114
獅子座流星群..... Leonids.....	172	172
視線速度..... radial velocity .....	20, 197, 208	20, 197, 208
——のK項..... K-term of —— .....	213	213
實光度..... absolute brightness .....	203	203
實視等級..... visual magnitude .....	40, 186	40, 186
——連星..... visubl binary .....	232	232
——の軌道..... orbit of —— .....	233	233
——の質量..... mass of —— .....	234	234
質量輻射..... mass radiation .....	277	277
シデロスタット..... siderostat.....	32	32
自轉速度の變化(地球の)..... variation of rotation (of earth).....	51	51
指導望遠鏡..... guiding telescope .....	31	31
四分法..... Callipus cycle .....	120	120
シュペーレルの法則..... Spörer's law .....	81	81
時法..... time system .....	115	115
——の改良..... reform of —— .....	116	116
島宇宙説..... theory of island universe .....	265	265
耳目法..... eye and ear method .....	35	35

# 欠



# 欠

—の赤道加速	equatorial acceleration of	73
—の大気	atmosphere of	84, 90
—の背點	ant-apex of	199
—の比重	specific gravity of	77
—の輻射	radiation of	92
—物理学	solar physics	19
—曆	calendar	120
楕圓形星雲	elliptical nebula	258
短週期擾動	perturbation of short period	61
—變光星	short-period variable	226
中氣		119
中心差	equation of centre	59, 96
—食	central eclipse	103
—星(惑星狀星雲の)	star (of planetary nebula)	250
地球	earth	41
—の形	figure of	41
—の公轉	revolution of	52
—の質量	mass of	44
—の自轉	rotation of	46
—の大氣線	telluric line	84
—の照返し(月の)	earth-shine (of moon)	100
地磁氣の變動	variation of terrestrial magnetism	81
地心緯度	geocentric latitude	42
—視差	parallax	74
地動說	heliocentric theory	12
地方時	local time	114
超巨星	super-giant (star)	206
潮候差	establishment of port	109
長週期擾動	perturbation of long period	61
—變光星	long-period variable	21, 225
超新星	super-nova	253
潮汐	tides	108
—進化說	tidal evolution	112
—表	tide table	109
—摩擦	tidal friction	109



長年擾動.....secular perturbation .....	62
地理的經緯度.....geographical longitude and latitude .....	42
チンゲルの方法.....Zinger's method .....	125
鎮星.....Saturn .....	148
月.....moon .....	95
一の距離.....distance of — .....	74, 99
一の公轉.....revolution of — .....	95
一の視運動.....apparent motion of — .....	5, 95
一の自轉.....rotation of — .....	98
一の質量.....mass of — .....	99
一の大氣.....atmosphere of — .....	100
一の長週期不等.....long-period inequality of — .....	97
一の長年加速.....secular acceleration of — .....	17, 97, 111
一の熱.....heat of — .....	99
一の反射能.....albedo of — .....	100
一の光.....light of — .....	99
一の秤動.....libration of — .....	17, 98
一の表面.....surface of — .....	101
一の火口.....crater of — .....	101
定氣.....	119
定朔.....	118
天球.....celestial sphere .....	1
天頂.....zenith .....	1
一儀.....telescope .....	128
天王星.....Uranus .....	16, 152
一の衛星.....satellite of — .....	153
一屬彗星.....comet of —' family .....	162
天文學的經緯度.....astronomical longitude and latitude .....	42
一時.....time .....	113
一單位距離.....unit of distance .....	76
一時計.....clock .....	37
電離ポテンシャル.....ionization potential .....	182, 184
電離率.....fraction of ionization .....	182
塔型望遠鏡.....tower telescope .....	33
等級.....magnitude .....	9, 40

等高度法.....equal-altitude method .....	125
冬至.....winter solstice .....	4
一點.....solstitial point .....	4
逃脫速度.....velocity of escape .....	58, 101, 213
時.....time .....	113
一の測定.....determination of — .....	124
一の不等.....inequality of — .....	113
鍍銀硝子鏡.....silvered-glass mirror .....	27
特異散光星雲.....abnormal diffuse nebula .....	253
一小惑星.....asteroid .....	139
特有運動.....peculiar motion .....	198
特別擾動.....special perturbation .....	69
土星.....Saturn .....	148
一の衛星.....satellite of — .....	148
一の環.....ring of — .....	151
一屬彗星.....comet of —'s family .....	161
ドップレル・フィゾー原理.....Doppler-Pizeaus principle (Doppler effect) .....	20
トロヤ群小惑星.....Trojan group of asteroids .....	67, 141
内惑星.....inner planet .....	5
中折型子午儀.....meridian transit of broken-type .....	36
南極(天の).....south pole .....	2
二均差.....variation .....	96
二十四氣.....	119
二重星.....double star .....	232
二十八宿.....(獨 Mondstationen) .....	6
二十四時通算法.....twenty-four-hour system .....	117
二體運動.....motion of two bodies .....	58
二大星流.....two-stream motion .....	211
日面緯度.....heliographic latitude .....	77
一經過.....transit .....	132, 133
日週運動.....diurnal motion .....	1
一光行差.....aberration .....	53
一潮.....tide .....	109
日食.....solar eclipse .....	102
日心地動説.....heliocentric theory .....	12



	頁
熱指數.....heat index .....	188
熱量等級.....bolometric magnitude .....	187
年差.....annual equation .....	96
年週視差.....parallax .....	52, 200
後の月(十三夜) .....	95
白色矮星.....white dwarf .....	23, 206
白道.....moon's apparent orbit .....	5
薄明.....twilight .....	44
ハリー彗星.....Halley's comet .....	17, 162
バルマー線系.....Balmer series .....	19, 84, 177-8
半影.....penumbra .....	79
——圓錐.....penumbral cone .....	102
反彩層.....reversing layer .....	84
反射能.....albedo .....	100, 131, 144
——望遠鏡.....reflector .....	27, 29
伴星.....companion .....	233
伴星雲.....nebula .....	263
半長徑.....semi-major axis .....	57
半日週潮.....semi-diurnal tide .....	109
日影の曲線.....shad. w curve .....	4
光の空間吸収.....absorption of light in space .....	248
非週期彗星.....non-periodic comet .....	162
肘型望遠鏡.....(佛 équatorial coudé) .....	33
日時計.....sun-dial .....	115
日の十分法.....decimal system of day .....	116
秤動.....libration .....	98, 147, 150
標準時.....standard time .....	116
微惑星説.....planetesimal theory .....	272
フーコーの實驗.....Foucault's experiment .....	46
不規則變光星.....irregular-variable .....	20, 223
輻射壓.....radiation pressure .....	243
複星.....multiple star .....	232
双子座U型變光星.....U Geminorum-type variable .....	223
物質消滅.....annihilation of matter .....	277
不定形星雲.....irregular nebula .....	259

	頁
——時.....temporary hour .....	115
不變平面.....invariable plane .....	64
プランクの輻射の公式.....Planck's formula of radiation .....	92
フランス共和曆.....(佛 Calendrier républicque) .....	122
ブルキンジェ効果.....Purkinje effect .....	184
プルートー.....Pluto .....	156
分光器.....spectroscope .....	18, 39
——的視差.....spectroscopic parallax .....	22, 207
——連星.....binary .....	20, 237
——の軌道.....orbit of —— .....	238
——の質量.....mass of —— .....	239
分光太陽寫眞.....spectroheliograph .....	86
——熱量計.....spectrobolometer .....	92
分食.....partial eclipse .....	102
噴出狀紅焰.....eruptive prominence .....	86
平氣.....	119
平均運動.....mean motion .....	58
——距離.....distance .....	54
——近點離角.....anomaly .....	59
——時.....time .....	114, 115
——太陽.....sun .....	114
——時.....solar time .....	114, 115
——有效波長.....effective wave-length .....	186
平朔.....	118
平分時.....equinoctial hour .....	115
ベッセル年.....Besselian year .....	123
ヘリウム.....helium .....	19
ペルセウス座流星群.....Perseids .....	172
扁球.....oblate spheroid .....	41
變光曲線.....light-curve .....	218
——星.....variable star, variable .....	15, 217
——の分類.....classification of —— .....	218
——の命名.....designation of —— .....	217
——星雲.....variable nebula .....	253
扁率.....oblateness, ellipticity .....	41



	頁
ポアッソンの定理.....Poisson's theorem .....	62
望.....full moon .....	5
方位の測定.....determination of azimuth .....	124
望遠鏡.....telescope .....	13, 25, 27
棒形渦状星雲.....barred spiral .....	257, 259
放射性元素.....radio-active elements .....	277
紡錘形星雲.....spindle nebula .....	256-8
ボーデの法則.....Bode's law .....	137
北極(天の).....north pole .....	1
——距離.....polar distance .....	1
——星.....polaris .....	1, 49, 124, 125
ホレボータルコット法.....Horrebow-Talcott method .....	127
本影.....umbra .....	79
——圓錐.....umbral cone .....	102
マゼラン雲.....Magellanic cloud .....	261
満月.....full moon .....	5
脈動説.....pulsation theory .....	229
密度計量.....densitometer .....	261-3
冥王星.....Pluto .....	156
名月.....	95
メトン期.....Metonic cycle.....	119
面積速度.....areal velocity.....	54
木星.....Jupiter .....	145
——彗星.....comet of Jupiter's family .....	161
——の衛星.....satellite of Jupiter .....	146
有效温度.....effective temperature .....	187
ユリウス日.....Julian day .....	123
——年.....year .....	120
——曆.....calendar .....	120
宵の明星.....evening star .....	5
羊毛斑.....flocculi .....	86
落下體.....falling body .....	47
ラプラスの星雲説.....Laplace's nebular hypothesis .....	271
粒状體.....granule.....	79
流星.....meteor .....	17, 170

	頁
——雨.....meteoric shower .....	18, 170
——群.....swarm.....	171
——の観測.....observation of meteor.....	171
——の起原.....origin of ——.....	176
——の軌道.....orbit of ——.....	172
——の視運動.....apparent motion of ——.....	6
——の出現数.....number of ——.....	170
——の状況.....appearance of ——.....	174
——の輻射點.....radiant point of ——.....	171
——の落下.....fall of ——.....	276
力学的天文学.....dynamical astronomy .....	13
離心率.....eccentricity .....	54, 57
龍座流星群.....Draconids .....	172
緑色閃光.....green flash.....	43
曆法の改良.....reform of calendar .....	121
連星.....binary star, binary .....	16, 232
——の距離.....distance of ——.....	240
——の分離説.....fission theory of ——.....	274
ローレンツ轉換式.....Lorentz transformation .....	53
六分儀.....sextant .....	124
矮星.....dwarf star .....	21, 205-6
惑星.....planet .....	130
——運動の三法則.....three laws of planetary motion.....	13, 54
——状星雲.....planetary nebula .....	249
——の公轉.....revolution of ——.....	17, 54
——の軌道表.....table of planetary orbits .....	130
——の距離.....distance of planet.....	74
——の形.....figure of ——.....	131
——の視運動.....apparent motion of ——.....	5
——の質量.....mass of ——.....	130
——の反射能.....albedo of ——.....	131
——の捕獲説.....capture theory of ——.....	273
ギーンの法則.....Wien's law .....	92
ワルフ・ライエ星.....Wolf-Rayet star .....	179



8574

一般天文學

定價 95 圓

昭和15年5月10日 初版印刷  
昭和15年5月15日 初版發行  
昭和22年11月5日 四版印刷發行

著者 平山清次

代表者

發行者 南條初五郎  
東京都千代田區神田駿河臺3/9

印刷者 北川武之輔  
東京都中央區銀座西6/2

印刷所 細川活版所  
東京都中央區銀座西6/2



發行所 東京都千代田區神田駿河臺3/9  
電話 神田區 1518・2624 番 共立出版株式會社

配給元 東京都千代田區神田淡路町2/9 日本出版配給株式會社



'29.10.16



440-H69



1200500742985

終