

恒星の大きさ (一)

J・S・プラスチックト

T・E・生 譯 註

此の講義の表題を見る素人には我等が特に諸恒星の大きさを知らねばならぬ理由、諸恒星の形、質量及密度に關する知識がどんな目的に役立つかを問ひたいと希望するのは誠に自然的な事です。彼等が如何にして決定されるかを記述する前に云は、此の話に筋を仕組み、又單調な數字の排列に興味を加へ以つて諸星の形狀及質量を決定するの必要な理由を答へる事が望ましい様に思はれた。且又此の疑問に對する回答は近世天文學史上に於ける最も興味ある挿話の一を形ち作つてをり、同時に又之等莫大な遠方にある物體の大きさを決定した其方法は科學的方法をば困難にして且つ明白に殆ど不可解の問題に適用した最も趣味多い實例をなして居るのです。

勿論諸恒星の大きさの知識は主要な天文學上の問題、即ち宇宙の構造の決定に於ける一つの必要な部分です。何となれば位置、運動、及諸恒星の物理的並に化學的性質の知識に加へて

我等は明かに亦形態及質量を知るべきであるからです。然し附加せられた一般的利益ミ、かの主要問題の爲めの此の知識の價値ミを離れて諸恒星の大きさに關する確定的知識は天體進化説に關聯して特別の利益を有するのです。人の心は事實や觀測を單に蒐集したミて決して満足せしめられない。それは整列させようミ企て且つかゝる事實や觀測を説明しなければならぬ、かく天文學者は天上界には異なつた光ミ色の諸恒星があつて其スペクトルは連續關係に於いて整列させ得、外觀上一つの型タイプから他の型に自然的に進行するものあつた事を觀測した。彼等が又諸天體には一つの異なる階級即ち星雲が存在して、それは散漫ミ形狀ミに由つて諸恒星から區別されるが、然も其のスペクトルに於ては相似を有してゐる事を觀測した時に彼等が星雲ミ諸恒星の相異なる型ミは唯發達の異なつた階級を表示してゐるものだと想像すべき事並に、彼等天文學者が是等を一に結合して進化の過程を探らうミ企てるべきものだ云ふ事は避け難い事でした。

約五年前迄殆ど一般に容れられてゐた説は星雲ミ云ふ大層擴がつた非常に稀薄な瓦斯體又は隕星の物體が最初の本質を

形作り、それが凝縮に由つて諸恒星に進化したのだと假定した。其の過程に於ける第一の階段は甚だ高熱の諸星を生じた。例へばオリオン座の或者は、ヴェガ及シリウスの如きはそれであつて、攝氏二萬度から一萬一千度の温度にある諸恒星です。かゝる諸恒星は太陽よりも非常に密度少く、且つ空間に莫大な程度に於てエネルギーを放射してゐた。O、B、Aなる文字で指示されてゐる是等諸恒星のスペクトルは比較的單純であつて、大抵稀薄な瓦斯體水素、ヘリウム及び他の非金屬性要素に基く線を含んでゐます。收縮と冷却とは温度一萬度から八千度の白色期を経過して繼續し、スペクトルは今やF型となり、金屬線がその中に顯著となつて來る。次の階段は太陽の如くG型の諸恒星であつて、約六千度の温度にある。それからアークチュラスの如く、K型の黄色の諸恒星に移り、温度は四千五百度となり、次いで三千度或はそれ以下の温度にあるM及N型の縮状スペクトルの諸恒星になり遂に消滅するに至る。此の説は全範圍を通じて星の連續して低下する温度、減少する直徑、及増加する密度を要求した。例ひエネルギーは間斷なく收縮に由つて供給せられても、それは引き續いて起る温度の低下と共により迅速に空中に放射されてしまつた。

星の進化の様式に關する更に新しい説はよし前の如く最初

の星雲から始まるけれども、反對に増加と減少の温度階段と共に假定します。かゝる説は約三十年前ノルマン・ロツキヤ一卿に由つて諸恒星の分光器的特性から陳述された。しかし固有の難點の爲めに決して一般的に受け容れなかつた。新奇な現今一般的に受け容れられてゐる天體進化説はプリンストンのH・N・ラッセル教授に由つて發展せしめられた。彼は實際單獨で且つ舊式假説に對する一般的な信仰及天文學者の自然的保守主義に顧みず、進化に關する更に新しい説の優越を信服させる様に論證した。ラッセルの説に由れば稀薄な擴がつた最初の星雲——それは多分低温度にあるもの、分子の相互重力的引力は收縮と温度の連續的低下を惹起させる。熱を生ずる同様の方法についての卑近な例は空氣を自轉車や自動車のタイヤにポンプで注入する場合です。空氣は熱せられ、そして摩擦の爲めにはなく、空氣の分子をより密着せしめる様に強ひる働の爲めにポンプを熱するものです。終にそれから收縮が繼續するにつれて、星雲的塊は温度に於て明白に上昇し、非常に長い直徑を、甚だ低き密度を有する低温度赤色N又はM型の恒星即ち赤色の「巨星」を形成する。引續く收縮は温度と密度の増加及び形の減少を伴ひ、星は黄色及白色の階段を経て青色の階段に達し、分光型はK、G及Fを経てAに至り、温度は約攝氏三千度から一萬二千度に昇る。

過半数の星にまつては轉換の點は此の邊であつて温度は低下し始める。然しながら最も質量大なる恒星の二三のものは尚温度上昇し攝氏二萬度に於けるB及O型に迄至る。

密度は今や非常に増加し、爲めに收縮も最早放射の流れを支持するに足る充分の熱を供する事はせず、温度は低下し始め、B、A、F、G、Kを經てM及Nに至り、青色、白色及黄色を經て低き温度、小なる直徑、高密度の赤色星即ち「矮星」になり、遂に消失する。此の進化過程の第二階段は兩説に共通である事は明瞭です。此の新しい一般に承認された事實に關する短かいスケッチには收縮のみでは放射として出されるエネルギーのはした以上も供給し得ないこと云ふ事を記し得ない。然し、何が此の缺乏を補ふにしても上來略述した順序を變更しさうにも無く、唯時間の尺度を著しく擴張するのみに見えます。

此の説に基けば諸恒星は例へばM階段を二度通過する事は明かです。第一に收縮が始まる直ぐ後に其量は空氣の密度の一千萬分の一の等級の密度を有する甚だ稀薄な瓦斯の大層巨大なる球狀體であつて、一方直徑は其時數十億萬哩を以つて測られるのです。其時其恒星は文字通り且つ正當にM型の巨星と稱せらるゝのです。高温階段のA及B型を通つて後それは遂に再びM階段に達するが、その時は恐らく比較的

太陽よりも小さい直徑を有し、遙か高い密度を有してゐる。それは今やM型の矮星であつて、消失期に近づいてゐる。然し舊い説に基けばM階段は唯星が直徑に於て非常に收縮し、密度が非常に高い矮星の時のみ達し得られた。それ故に諸恒星の大きさの知識は兩説間の決定的吟味の手段をなすものである事明瞭であり、且つ若し空中に同型同温の巨星及矮星ある事を示めし得るならば、それは新説の本質的正確の強い證據となるでせう。疑ひもなく我等の有する諸恒星の大きに關する知識の大部分はラッセル及他の人に由つて新假定説の吟味手段として發達せしめられた方法に基因してゐるのです。此の事は我等が我等の主要目的即ち諸恒星の大きさの決定を進行させると共に愈々明瞭なるでせうし、此の思想を心に止めて置く事は有利でせう。

一箇の恒星の決定されなければならぬ明白な大きさは直線狀直徑です。然し一寸考へても直徑は決して完全に其狀態を決定するに足るもので無い事は明かです。二箇の恒星が同直徑を有しながら、而も其他の點に於ては著しく異つた星であり得る事は容易に考へ出し得る事です。一つは非常に稀薄な瓦斯體で、他の一つは液體又は固體で構成されてゐる様な事があり得ます。それ故に他の一つの大きが必要であつて、それは質量か、密度かの何れかでせう。密度は單に單位體積毎の

質量、立方櫃毎の瓦、又は立方呎毎の封度であるが故に、密度は若し質量と直徑が與へられてゐるか、又は若し三要素中の何れか二つ、例へば直徑、重量或は密度が、與へられ居れば、第三の者は直ちに決定し得る云ふ事に直ぐなるのは明かです。例へば若し直徑と質量が與へられると、密度は質量を體積で割つて得られる。又同様に若し質量と密度とが與へられて居れば、體積而して從つて直徑は質量を密度で割つて得られます。

大きさを決定する或る方法は諸恒星の質量を得、他のものは密度を、尙他のものは直徑を得る。同じ星に對し、之等の要素の二つが決定せられるのは方法がかく結合される場合に限るのです。兎も角も素人にまつて決定せなければならぬ大きさの中で最も明白なのは直徑です、然し不思議にもそれは從來得るに最後の、多分最も困難なものであり來つたのです。第一に決定されたのは質量でした、そして之は基礎的の大きさを考へられたらしいのです。何故なればそれは一箇の恒星の一生涯の歴史を通じて、一定を保つ唯一のものであり、之れに反して直徑と密度とは既述の如く絶えず變化しつゝあるからです。

一寸考へてはどんな星の質量をも決定する事は不可能に見えるものです。何とかなれば凡ての恒星は太陽を除けば遙かに彼

方にあつて、どんな望遠鏡も一つの見得べき視表面を示め得ないからです。故に我等はその形や密度に就いて直接な大きさを知り得ません。しかし一の恒星の重さを量る事は本質的には單純です。それは恒星がその質量の爲めに働かせる力即ち其の質量に直接比例した力、重力の宇宙的力を測量する事に頼つてゐます。凡ての人は重力の法則に付いては明いて居ます——空間に於ける二物體間の引力は質量の相乗積に正比例し、其間の距離の自乗に反比例する。それ故若し我等が引力と距離とを知れば、質量は決定し得ます。引力は唯其處に他の物體があつてその上に及ぼす引力の効果が觀測される場合にのみ決定し得ます。換言せばその恒星が廻轉する伴侶にさもなはれてゐる場合、それが二重星更に正確に云へば二連星である場合にです。二連星である場合に限り、即ち二重星であつて其兩者が互の周圍を廻轉する場合に之れが實視的のもの、分光器的のものであらうと又は蝕しつゝある連星であらうとに關せず、引力の結果は量られ、又其の爲めに質量も決定されます。引力の大きさを從つて質量は廻轉の週期と物體の距離との間の關係に由つて得られ、從つて重力の注測の直轄的結果です。此關係は一般に調和の法則と稱せられ、次の言葉で云ひ表はされてゐます——

一つの廻轉系統の併合量が第二系統の併合量に於けるは猶ほ

距離の立方を第一系統の週期の平方にて除したるものが、距離の立方を第二系統の週期の平方にて除したるものに於けるが如し。

此の關係は合成的では無いけれども、若し我等が地球—太陽系統を二連星が比較さるべきものと爲して探るならば簡易になり得ます。地球の質量は太陽の三十三萬分の一であつて、かかる計算には無視する事が出来る。然らば若し我等が二連星系統の分離を地球の太陽からの距離 γ 年々に於ける週期 γ の語を以つてすれば上掲の關係は次の簡易な法則に縮まる——凡て二連星系統の質量は距離(分離)の立方を週期の平方で割つたものの太陽の質量倍である。例へば第一に有名な星シリウスを以つて見よう。それは光度九等の伴星を有して居るが、此の一対は互に太陽と地球との距離の二十倍もある間隔で四九、三年の週期を以つて他の周圍を廻轉してゐます。之れに對し尙ほ他の二つの例外の星に付いての計算を表にして次に掲げます。

二連星の質量

$$\text{シリウス} \dots \dots \dots \text{距離} = 20, \quad \text{質量} = \frac{203}{49.3^2} = 3.3 \odot$$

$$\text{クルーエゲル六十番} \dots \dots \dots \text{距離} = 11.1, \quad \text{質量} = \frac{11.13}{54.9^2} = 0.45 \odot$$

$$\text{白鳥座 Y 星} \dots \dots \dots \text{距離} = 1.29, \quad \text{質量} = \frac{1.293}{0.082^2} = 31.9 \odot$$

上記の質量決定の方法は唯實視連星、二重星のみに、その分離 γ 方位 δ は望遠鏡に由つて視覺的に測量し得るもの、其軌道が決定せられ従つて、その週期 γ 分離 γ が知られてゐるものにのみ適用されます。不幸にも分離は孤の二分の一で與へられ、そして之れは唯視差或は距離の知れてゐる場合地球——太陽間の距離 γ と比較する爲めに哩に換え得るのみです。

殆ど一百の實視連星の軌道が計算されて來たけれども唯是等の一小部分のみが信すべき視差を有して居り、従つて質量は唯約二十程だけ正確に知られてゐます。エートケンはその著、

『連星』中に十四の表を上げてゐるが、其の平均量は太陽の一、七六倍で、クルーエゲル六〇番星に對しては太陽の〇、四五倍及シリウスに對しては三、三倍の間を變化します。是等の諸恒星は殆ど全てが前進した分光型に屬し、そしてそれが赴く限りでは、かかる二連星の系統の箇々の星の質量は太陽のそれと殆ど等しい事を指示します。教授ラッセルは彼の天體進化論の辯護の爲めに間接統計的方法に由つて約三百五十の連星の平均質量を發見しました。巨星は太陽の質量の七乃至十三倍の値を有し、矮星は同じく〇、四乃至五、四倍の値を有してゐます。直接に決定された値がより比較的小さい事實は由

つて以つて唯近い方の星が視差を決定される選擇の方法に基
 因するものです。然らば我等は矮星級の實視連星の成分の平
 均質量は太陽から餘り甚しく異つてゐない云ひ得ます。

分光器的諸連星即ちそれ等に於ては分離（距離）はいかなる
 望遠鏡で見ても分ち難い程小さく且つそれ等に於ては二重は
 分光器に由り決定された不定性視線速度に由つて發見された
 ものですが、是等は又ある場合に於ける質量の決定に役立つ
 のです。種々異なる場合に於ける視線速度の測量から軌道の
 性質、心差率、週期及投影された分離を決定し得ます。然し
 軌道の平面の傾斜は決定し得、従つて實際分離の代りに、我
 等は唯その投影即ち傾斜の正弦サインに由るその産物のみを知る
 のです。若しスペクトルの唯一つだけ見え且つ測られる時に
 は我等は二箇の成分の質量の兩數を得ますが、それは非常に
 確定的な知識を與へないのです。然し若し兩スペクトルが測
 られるならば實視連星の場合に使つたと同じ方法に由つて兩
 方の成分の質量を決定する事が出來ます。唯投影距離のみ知
 られて居り、實距離は未知に屬する故に之れ等の質量は常に
 傾斜角の正弦の立方を乗ぜられます、即ち $M \sin^3 i$ の如し。此

の故に得られた値は極小質量です、然るに實際の質量は餘程
 大なるでせうし、平均値約五十パーセントも大でせう。ルー
 デンドルフは近年分光器的連星の念入りの研究をなし、九箇
 のB型星の平均極小質量が太陽の一〇、八倍、十七箇のA型
 星は太陽の二、八倍、六箇のF型星は太陽の一、九倍である
 事を發見した。實際の質量は多分平均して是等の値より五十
 パーセント大でせう。

蝕連星即ち分光器連星にして其の廻轉の平面が殆ど地球の
 方向にある爲め彼等は互に各廻轉に際し相互に蝕するので
 が之等も明かに同様にして決定し得ます。彼等は普通の分光
 器的連星より傾斜の角が知られ、従つて實際の質量が得らる
 る點に於て優る利便を有してゐます。彼等は太陽の質量の一・
 二倍から三九倍の間に位してゐる。八箇のB型の平均量は太
 陽の一六倍、六箇のA乃至G型のそれは太陽の三倍です。若
 し我等が實視、分光器的及蝕連星の質量を比較するならば、
 我等は實視連星中の巨星は約太陽質量の一〇倍、同じく分光
 器的並に食連星中の巨星は太陽質量の一六倍であり、一方矮
 星は直接に決定された實視連星にあつては太陽質量の約一、

八倍、他の階級に於いては太陽の約二、八倍程の平均である事を發見します。

諸連星の平均質量

階級	方法	巨星	矮星
實視的	……………	……………	……………
假想的	……………	……………	……………
分光器的	……………	……………	……………
食	……………	……………	……………

此の相違は分光器的連星及食連星が其光輝ニ大速轉力位の爲めに(此の二要素は平均以上の大質量を指し示めしてゐる)選ばれた撰擇の方法によつて直ち説明せられます。多分相對的に少數の巨星を除かば如何なる連星の單一成分の平均量も太陽の質量より餘り大きく無いと云ふのが安全です。既知最小質量はクルーエゲル六〇番星の微成分であつて、太陽の約〇、一五倍ある。しかも理論的考慮の結果はバーナードの逃走星の質量は唯太陽の約四十分の一であるを假定されます。一方最大なる艦座V星は太陽の一九、四倍に相當する。しかしボス六一四二番星の輝く成分は太陽の一八、五倍の極小量

を有し、實際的には太陽の二五倍若くはそれ以上もあります。然らば質量の全範圍は唯一百倍に過ぎません。

然しながら是等の質量は唯だ二重星からのみ決定される事を忘れてはならぬ。而して我等は單獨星の質量が同様であるとは云ひ得ないのです。然しながら唯一の單獨星即ち太陽の質量が連星の個別成分の平均量と殆ど同質量である事が知れてゐます故に、其値は二重量と同様に單一星に付いても多分信頼するに足る様です。尙且つ力學的考慮は制限的質量が右に決定せられたものから非常に異なる所が無い事を事實らしく致します。(つゞく)

略註

「恒星の大小」(The Dimensions of the Stars)は恒星の形、質量、密度、直徑などを總合して云つたものです。

「巨星」は「Giant Star」の譯、場合に「Giant」のみ使つてあります。

「矮星」は「dwarfs」又は「dwarf star」の譯です。

「クルーエゲル六〇番星」(Kruiger 60)はセフェウス座デルタ星の近くにあり、九等の光度を有してゐます。

◎は太陽の表號です。

正誤。二十二號(十月號)「銀河」中の一八四頁十行「牧夫のカペラ及第三圖の牧夫は共に駁者に訂正す。