

天 界

第 百 九 號 (第十卷) 昭和五年四月

太陽とはどんなものか [2]

ア ボ ト 博 士

西暦1920年から1927年頃までは、太陽全体が氣體で、内部の深い奥の諸層では、總ての原子核は殆んど全く電離の状態にあると思はれてゐた。斯うした場合には、總ての微粒子の大きさが、極めて小さくなつて、恰も普通の稀薄な氣體の中にある分子と同様な、完全な自由運動が許されることとなる。一体、水の1.4倍もある平均密度の大質量でありながら、(中心あたりではもつと濃厚であること勿論なのに) 尙、完全氣體と同じ性質を持つてゐるといふのは、實に奇異に感ぜられる。しかしながら、1920年から1927年頃までは、太陽ばかりでなく水の60000倍も濃厚なシリウス伴星でさへ此の様な状態であると一般に考へられてゐたのである。

1927年に、英國ロイヤル學會の幹事ジーンズ博士は、太陽や恒星の内部の状態に關する考へについて、新説を提唱した。博士は、種々の方面からの研究の結果、此等の天体の氣體外殼の内部は液体の核心で出来てゐると考へざるを得ないと言ふのである。こゝに、むしろNature雜誌1928年二月號に載せられてある博士自身の言を借りて、其の意見を述べることにしよう。

『星々が氣體から出来てゐるといふ意見は、半世紀以上も學界を支配してゐた。之れは、かの太陽エネルギーの源泉に關するヘルムホルツの收縮説にも含まれてゐるし、又、ホーミ・レーンのあの開拓的な研究にも含まれてゐる。エドントンが、此の問題を其の著「氣體球」の中で論じた時にも、星の中心部は普通の氣體よりも濃厚である筈だといふことを知つたけれど、しかし、他に變つた考へを殆んど述べなかつた。去る1917年に、自分は、星の内部にある原子は極端な電離の状態にあるといふ考へを發表したが、此の考へに照して見ると、上に述べたやうな矛盾は無くなつて、總ての問題は全く新しい意味を持つこととなる。エドントン氏も、其の後述べられた通り、電子や原子核は非常に小さいものであるから、若し此等が恰かも氣體の中で飛びまわるかの微粒子のやうに働くならば、天文學上に見出される密度といふものは、普通の氣體と比べて、決して高過ぎるといふのは無い、

『自分が始めて恒星内部に關する此の意見を發表して以來、今日まで十年の間に、エドントン氏や其の他の人々によつて多くの研究が行はれたが、問題はすべて、恒星内の物質は完全氣體と同様な性質を持つといふ憶説——即ち運動する微粒子は非常に小さくて、殆んど相互に運動を妨害しないといふ想定の下に、星の性質を研究するものであつた。恒星の中心部の温度は今や可なり正確に推算されるのであるから、高温度によつて物質原子が如何ほど破壊されるか、従つて、氣體法則が如何に成立するかを知ることが簡単なことである。若し原子の、原子量さへ知れて居れば、他は知れないでも差支へは無い；100000度の温度は完全に水素原子を破壊することが出来るが、100000000度ではウラニウム原子を破壊することが出来ない。エドントン氏は普通40乃至50といふ原子量の原子を星の内部のものと假定してゐるが、此の程度の原子量ならば、原子は完全に粉碎される。しかし、若し原子量が其の五倍も大きければ、未だ或る部分は、

破壊し切れずに、元のまゝ残されて、氣體法則に従はないこととなる。尤も、吾人は高度に電離された原子の實効的な大きさを知らないので、氣體法則がどの程度まで外れるかを推算することは困難であるが。

『氣體法則が成立するといふ憶説は近頃駄目だと立証され、殊に其れは何としても観測の結果と合致しないことが明らかになつて、此の説を捨てなければならない時機は今や熟した。エデントン氏と自分とは、此の説に立脚して、恒星の光輝と、質量及び直徑との關係を、別々に研究して見たが、其の結果、實際の星は皆此の説から推算すると光が弱すぎるということが分つた。之を別の言葉で言ひ換へると、星の内部に若し氣體法則が行はれてゐるのならば、星々の直徑は、實際の大きさよりも、もつと大きくなるべき筈となる。自分がやつた最近の計算に據ると、こうした理論と事實とのくひ違ひは、實に數百倍といふ係數にまで達する。エデントン氏は、全く別の材料と、全く違つた假定から出發して、幾らか小さい係數を算出したが、とにかく、疑はしい所はすべて御譲りして、大負けに負けた憶説を以つてしても、此のくひ違ひを無くして置くことは出来ない；係數は、何としても、少なくとも10ぐらゐにはなる。

『尙ほ、自分は、近頃、星は、力學的にも熱力學的にも、或は此の兩方面同時に考へて見ても、氣體と同様の性質を持つといふことは有り得ないと立証した。先頃、エデントン、ラセル兩氏は、星が若し氣體であるならば、其の温度の上昇と共に可なり早くエネルギーを生じるのでなければ、結局此の星は力學的に不安定であることを知つたが、其の後、自分は又此のやうな星ならば、熱力學上からも不安定であることを知つた。それで、斯うした星が若し力學的に安定であるためには、ちやうど今爆發点にある爆藥のやうな性質のものであるとしなければならぬ。言ひかへれば、純粹氣體の星は、力學的に言へば破壊されるれか、又は、熱力學的に言へば爆發するか、又は此の兩方が同時に行は

れることになるのであつて、其の何れになるかは、全く、温度によるエネルギーの成生の割合によるのである。しかし、實際の星は此等の何れでもない。

『最後に、星が氣體でないといふ直接の証據は、連星によつて示される。連星といふものは、誰にも明らかな通り、始め一つの星であつたものが、余り急速な廻轉のため、安定上、分裂して出来たのである。はづみ車にしても、一般に固体や液体の廻轉体にしても、皆、此の様にして分裂によるものであるが、自分が証明し得た通り、純粹な氣體は決してそんなことはない。氣體は收縮や膨脹するけれど、決して分裂はしない。

『自分が近頃發表した通り(ロイヤル天文學會月報第87巻第400頁及び第720頁、1927年)、星が若し中央部は氣體よりもむしろ液体で、只、外部層のみ氣體であると想像されるならば、上述のさまざまな困難は除かれ、最も好都合に觀察上の事實を説明することが出来る。斯ういふ風に、中央部を一種の液体と想像して見ると、其の原子は完全に分裂しないで、電子の一二輪又は三輪までも保有するために、其の結果として、此れが氣體法則を守つてゐる場合よりも凡そ40倍の壓力を表はすこととなる。斯うして氣體法則から著しく外れてゐるがために、結局、星の力學的安定を保ち、中央部は殆んど液体に等しくて、堅固な、不收縮的な土臺を形成し、其の上層に、氣體が安全に存在することとなる。そして、星から發生するエネルギーは、恰も放射能的なもので、従つて、殆んど温度や密度の影響を受けないこととなる。

『……原子の原子量や原子番號が知れないでは、單に理論だけで、絶對値を定めることは出来ない。自分の考へでは、原子番號を凡そ94とすると………觀測上の事實と一致する。之れより小さい番號の原子では電子を失ふ温度が余りに低過ぎ、又、大きい番號の原子は、電子を、余り強く保有し過ぎてゐる。故に、星々の中央液体部の、主な質量は、言はゞ一種の「超放射

能的」原子から出来て居るのであつて、其の原子番號は、かのラヂウム(88)や、ウラニウム(92)のやうな、普通の放射能元素より少しく大きい。それで、吾々は、圖らずもニュートンの考へに習ひ、星は特別な「發光」物質から成り、此の「發光」物質とは吾が地上の「半發光」放射能物質の親であつて、其れに次ぐ複雑性のこのであると考へざるを得ない。』

ジーンズ博士は、太陽や恒星の内部の可なりの部分が、ウラニウムより大きい原子量の化學元素から出来て居り、温度は幾千萬度といふ程度であると思つて居る。斯うした基礎の上に、氣體の外部層があるのであるが、其の温度でさへ、各原子が結合して分子となるには尙ほ高過ぎ、其れのみならず、陽核と電子と結合して原子になることさへ許さないほどのものである。又、各原子の中心核や電子は飛遊しまはるうちに、盛んに衝突するものであるから壓力は大きくなるが、只、最も外部の層では此の大壓力も消え失せ、遂に、更に最も上層の、高い所では極めて輕少な壓力となるため、此所で、かのコロナやプロミネンスなどの美觀が見えるのである。

太陽の内部から外部へ熱が傳はるのは、對流か、又は、輻射によるのである。對流とは即ち、飛んでゐる微粒子が相互に衝突して熱を傳へるのであるから、此等の微粒子一つ々は、言はゞ、一滴々々の熱量を、太陽の高温部から低温部に送る小さい桶のやうに考へて好いわけである。輻射とは、至る所に於いて輻射線の波を起するといふ方法であつて、此の波は次ぎ々々の場所で吸収され、従つて、エネルギーが所々に傳はつて行くのである。

殆んど完全な輻射体の理論と觀察とに據れば、此の場合の輻射エネルギーの波長は、如何なる温度の源泉からでも、常に、最長波から最短波まであらゆる波長を含むものである。しかし、輻射の最大エネルギーを持つ波長は源泉の温度に比例して短縮する、故に、太陽の中央部の温度と思はれる殆んど50000000度

の高温では、最大輻射エネルギーの波長は 眼に見える日光の凡そ10000分の一、即ち略々0.5オングストレームとなる。之れは硬性のX線と同程度である。

此のやうな輻射線は、甚だしく電離氣體に吸収されるものであつて、恐らく二三センチメートル位の間に、完全に消滅する。故に、太陽の内部から外部へ熱が傳はるには大變な妨げに出合ふわけであつて、従つて、之れは極めて徐々たるものである。それでも、中部層や外部層は完全氣體である。とにかく、中央の最高温部から出る輻射線は、僅々二三センチの間を通過して僅か低温の部分まで進む時既に全く吸収され、同時に熱を生じる。此の新しい部分から出る新輻射線は、逆行して元の熱源の方へ進むけれど、之れは、幾分か低温の部分から高温部へ送られる熱であるが故に、高温部から發する熱よりも幾らか少ない。故に、結局、最高温部は、極めて少しづつではあるが、交換によつてエネルギーを失ふこととなる。しかし、上に記した通り、エネルギーを吸収した部分からは、輻射は逆行も前進もするのであるから、やはり、次ぎの御隣りの層よりも幾らか高温であるため、交換によつて、同様、にエネルギーを失ふこととなる。斯やうな無數の輻射交換を漸次續けることによつて、エネルギーは遂に太陽の表面に達する。しかし、此所には、交換が始まつた場所よりもズツと低温の氣體があるので、此の氣體は廣い空間へ自由に輻射し、其の波長は、紫外線から、可視線及び赤外線を含むこととなる。

吾々が太陽の内部を考へる場合には、普通の地上の實驗室内で極めて小さい一種の力のことを忘れてはならない。即ち之れ太は輻射によつて起る壓力の事である。此の力は絶対温度の四乗に比例して増すものであるから、何百萬度に至る温度に於ては陽内部の中位層に於て既に其の上に積み重なつてゐる氣體の重力を支へる程の大きい力となる。吾々が現に觀察し得る現象の一つとして、之れがプロミネンスと或る關係を持つてゐるの

は更に尙ほ興味深いことである。此の点に就て此の壓力の働きを説明するためには、原子の構造に關する輻射や吸収の理論へ幾らか論を進めなければならない。

今まで吾々は只、原子からイオンの取り去られること、即ち電離のことのみを話したのであるが、しかし、尙、此の外に、原子の内部では電子が場所を變ずるといふことが信せられる。之れが所謂「興奮」 excitation と呼ばれるもので、即ち之れは電氣的又は熱の刺激によつて起されるものである。常態から excited の状態へ原子が移る場合には、原子はエネルギーを吸収するものであるし、又、之れが元の常態に歸る場合には、同量のエネルギーを發射するものである。斯うして、取り入れたり發散したりするエネルギーの量はチャンと定つた分量であつて、若し此の場合、形態の變化に必要な或る最小量よりも少ないエネルギーしか與へられないならば、原子は變化しない。最も簡単な水素でさへ、二十種類以上も違つた興奮状態を取ることが出来るのであるから、もつと原子量の大きい複雑な原子は、幾百種類も違つた状態を取り得るわけである。

原子が或る状態から、エネルギーの少ない他の状態に移る時には、一般に輻射エネルギーの發射を伴ふものであつて、此の輻射は、此の特別な變移を特徴づけるやうな一定のスペクトル線によつて起る。又、之れに反して、状態の變化と共にエネルギーを採り入れる場合には、同じスペクトル線の範圍内に於て、輻射が吸収される。此等の變移の理論は、僅か數年前には、諸原子のスペクトルに於て、全く解く望みの無い混亂の謎と思はれてゐたものを遂に解いた。

吾々は、分光學上の最近の著しい進歩の中に含まれてゐる複雑な數理を、此の書のやうな初歩の書物で、明快に説明することが出来ないの、只、こゝには、單に獲られた幾つかの結果と、太陽のスペクトル研究への其れ等の應用について述べるだけで満足を願はねばならない。

一つ卑近な例によつて、現象の大体は了解されるだろう。ここに、小山の急坂に一列の樹が植えられてあるとしよう。そして、幾人かの兒童が、樹一本づつに、地面から上の方へ、凡そ同じ間隔を置いて枝に止つてゐるとしよう。兒童は皆各々一つづつ球^{ボール}を持つてゐて、其れを近所にある樹の其れ々々の枝に縛りつけてある籠の中へ任意に投げ入れることが出来る。しかし、自身より上の方へ球を投げ上げるためには、何とかして特別な力を與へられなければならない。すると、すぐ分る通り、樹の最も上位に居る兒童は、球を近所のどの樹の籠へでも揺り落すことは出来る、しかし、最も下手の樹の最下位にゐる兒童は、特に球を上へ投げ上げる大力を與へられなければならない、たゞ常に球をジツと保持してゐるだけで、ほかにやり様が無いわけである。中程の樹の、中程の所にゐる兒童は、近所の樹のどの籠へでも球を投げ上げたり揺り落したりすることは出来る。どの樹にゐる兒童でも、特別な力さへ持つて居れば、球を上へ投げ上げることはいくらでも出来るのだが、とにかく、揺り落すにも投げ上げるにも、其の元來の高さの違ひによる動作の違ひによつていろいろの程度のエネルギーが必要なことは言ふまでもない。

此の例が、ほゞスペクトル線の吸収や輻射に關する多くの化學原子の「状態」の理論に對して、當ると思ふ。高さの少しの違ひさは、赤外スペクトル線の場合に必要なエネルギーに當るのであるし、中加減の違ひは可視スペクトル線の場合に當り、又、高さの大きい違ひといふのは紫外スペクトル線の場合に當る。氣體の紫外スペクトルを得る場合には、赤外スペクトルに比べて強烈な excitation が必要であるが、上述の例で兒童たちにいろいろの場合があるのと同様に、此の場合にも、使用し得るエネルギー單位の大小に應じて、發光にも吸収にも種々のスペクトル線があるのである。

ナトリウムを例にとるならば、ブンゼン焰のやうな微弱な excitation の場合には、只、黄いろい二つの D 線だけが可

なりの強さで得られるのであるが、之れは恰も最も下位にある只二本の樹にある兒童の場合に當る。しかし、若し、電氣爐などで、凡そ2000度又は其れ以上まで温度を高めれば、ナトリウム原子は更にもつといろいろの現象を呈するのであつて、之れは恰も第三本目の樹に居る兒童たちが、揺り落したり投げ上げたりする機會をもつと多く持つのと同様である。又、凡そ3500度の温度を持つ電弧の場合ならば第四の樹にある兒童のやうに尙此の上にいろいろ新しい可能性を示すだらうし、次ぎに、まだもつと高温の電氣閃光の場合は、同様に、もつと上の方の兒童の場合と同じであらう。

今1930年を紀念する古人

今1930年に紀念すべき學術史上の人々を擧げて見ると――

ケプラー J. Kepler. (1571—1630) 近世天文學の開祖、遊星運
行法則の發見者として、ケプラーは學史上の重要な人傑であ
る。彼は今から300年前の1630年11月15日に死んだ。此の人の
詳傳は近々に本誌へ載せる筈。

バロウ Isaac Barrow (1630年生—1677年死) 英國ケンブ
リッヂ大學の數學天文學の教授で、トリニテイ學院の長とな
り、かの宇宙の引力の發見者ニュートンを教へた人であり、又
當時の大宗教學者であつた。

ブリウム Thomas Plume (1630年生—1704年死) グリニチ天
文臺長フラムスティードに薦められてハイゲンズの著書「宇宙
論」Cosmotheoros を讀み、大に感ずる所あり、遂にケンブリ
ヂ大學に資金を寄附して大學天文臺を建設せしめ、尙ほ、
天文學と物理學とを専攻する講座を創設せしめた人である。
此の講座は「ブリウム 講座」と言ひ、コッツ R. Cotes が最
初此の擔任教授となつたが、現今はエデントン A. S. Edding