

宇宙の年齢 (3)

The Time-scale of the Universe.

プリンストン大學 ラセル教授 Prof. H. N. Russell.

これは實に短か過ぎる時間尺度であつて、何か之は欠けてゐると思はれたのだが、今から20年前の多くの天體物理學者に暗示された方針が、實驗物理學を基礎として確立するに至つたのである。相對原理によれば、質量とエネルギーとは互ひに交換し得るものであつて、過去數年間、實驗室では原子核に關する多くの研究が行はれ、互ひに働らき合ふ原子核が結合して、質量が減じ、それに相當するエネルギーが現はれる事實が觀測された。エネルギーを多しく放出する方法は、水素から他の重い元素を作り出すことであつて、例へば、4ケの水素原子が變化して1ケのヘリウム原子になる場合には、質量は135分の一だけ減少する。

さて、太陽のエネルギーの放射量は知れてゐるが、それは、毎秒420萬トンの質量を失つてゐるのであつて、即ち之は、一秒毎に5億7000萬トンの水素がヘリウムに變化するのに相當する。これは實に驚くべき量ではあるが、しかし、太陽全體の36%の水素が費消されるためには、尙、現在の割り合ひで、400億年かゝることになり、むしろ之は、チト長過ぎる時間であるとも言ひ得る。

この原子變化の方法が、ベリテ氏の研究によつて、理論的にも、實驗的にも、詳細に分つて來た。水素の原子核（陽子）は、適當な方法で、炭素の原子核と衝突して、更に重い炭素の同位素となり、次ぎに又、再び同様な衝突が行はれて、始めには窒素の軽い同位素が、それから後、重い同位素が出來、最後の衝突によつてアルファ粒子（ヘリウム原子）が放出されると共に、あとには炭素の原子核が残され、それが又、再び同じ變化を繰り返すこととなる。この方法の各段が行はれる毎に、電子やガンマ線が放射されて、周圍の氣體にエネルギーを支給する。

こうした原子變化の各段階が、今日は詳しく實驗室で研究されたので、吾々は太陽のやうな温度と壓力と成分の場合に、この變轉が如何なる速さで行はれるかを算定することが出来る。太陽内部の、35%が水素で、1%が重い元素である（之は、星のスペクトル線の強さによく合致する）と假定して、充分な熱が放出し続けられるとすると、太陽の中心部の温度は1900萬度となる。これは、太陽の大きさと、質量と、水素の分量から、以前に算出された中心温度とよく合致する。

故に、今、吾々は、太陽の輝やく理由を確定したわけであつて、其の光は、將來に少くとも100億年ぐらゐ（400億年とは言はない。何となれば、水素が費消されるに従つて、光輝は大きくなるから）輝やき續けるだらうと信じ得る理由を有つ。又、太陽が、過去幾億年ほど輝やいてゐたかといふことは、始め之が獨立の天體となつた時、水素を如何ほど有つてゐたかといふことによる。若し其の殆んど全部が水素であつたのなら、過去の年数は約800億年となるのだが、これは極端である。

このペーテ氏の理論は、嘗に太陽のみならず、恒星に關しても、かのオリオン座の高溫白色の巨星から、シリウス星やプロシオン星を経て、太陽や、赤色微光の矮星に至るまで、主系列の星全部をも解説するものである。

この主系列の光りの明るい一端から始まつて、最微光の一端に至るまでに、星の質量は漸次小さくなり、同時に、直徑も減少する。上端の星では、中心の溫度は3500萬度にも達するが、下端では1200萬度に降る、原子變換の速さは、溫度と共に著しく増すのだから、上述のいろいろの差異は、大質量星の大輻射量や小星の微弱な光力を生ぜしめる理由として、充分である。

この理論は、すべて此等の星の現在の諸性質を解説し得ると共に、未來の豫言も可能であるが、しかし過去のことにについては、殆んど何も吾々に教へない。若しも、構造が太陽に似て、質量は大小さまざまの星が宇宙の各所に散布してゐたのならば、各星の運命は定まつてゐる。若し、中心の溫度が、初め、餘りに低くて、炭素循環によつて熱を出さなかつたにしても、重力のために漸次に收縮して、遂には内部が高溫となり、熱を出すに至るだらう。こうして幾百萬年を経た後、漸次その水素を費消すると共に、幾十億年の間、一定の過程を進むであらう。光の最も弱い星、即ち最も質量の小さい星には、重力による收縮が最も永く續くだらうが、しかし、數億年後には、此の如き青年期も終つて了うだらう。

さて、こゝまでは宜いのだが、しかし、尙、この外に、難問題が多くある。第一、天には非常に大きい光力の星々が現に見えてゐる。例へば、主系列の頂點に近い白鳥座Y星は、太陽の17倍の質量を有ち、光力は其の約3萬倍である。故に太陽の殆んど2000倍の速さで歳をとつてゐる。正しく主系列の頂點にある大犬座29番星は、太陽に比べて質量は46倍、光力は（チャンドラセカール氏の計算によれば）70萬倍であるから、年齢を重ねて行く速さは一萬倍以上である。全質量が水素からヘリウムへ轉換しても、其のエネルギーは此の輝やきを1000萬年だけ支へるに過ぎない。しかし、白鳥座Y星ならば6000萬年支へられる。

尙、このほかに、太陽の何千倍といふ光力の星が澤山知られてゐるが、これ等は皆、やはり、太陽よりも何百倍か速く歳をとつて行きつゝあるに違ひない。これらの星の一つに、駭者座エプ星の如き大きい直径の赤色超巨星がある。若し此等の星の内部が太陽の如き構造で出来てゐるならば、その中心部の温度は百萬度を遙かに越すものではあるまい。この温度では、自己再生的な炭素轉換も全く行はれないから、多分、重水素（もう少し高い温度の場合には、リチウム等）と陽子との相互作用が唯一のエネルギー源泉であらう。こうした元素は、地球や太陽上では非常に稀である。これ等の元素が上述の星々に澤山存在してゐると立證することは出来ないけれど、しかし、これ等の元素を含む總ての原子核作用では、この元素を費消する。尙、いかなる假定の下に於いても、上述の如き短かい時間尺度を解説する困難は残る。ミルン氏は、此等の巨星が小形の、密集した、高温の原子核があつて、全く違つた原子核作用が行はれてゐるといふ説（これは、どうも考へにくいことだが、しかし、此の説を反證することは出来ない）を唱へて、困難を、高温星と同じ程度にまで引き下げてゐる。

こゝに、吾々は又、未解決の一問題に直面する。上述の如く、吾が宇宙は、何十億年の年齢を経てゐることが種々の方面から立證されてゐるが、恐らく、これらの超巨星は此の永い歴史の中で、比較的遅い時代に輝星として現はれて來たものだらう。さうすると、これらの星が、初め、如何なる状態にあつたものなのか、又、何によつて其の凝縮が妨げられてゐたかを説明することは容易でない。尙、これらの星が、初め、何所で輝やき出したか？ 及び、彼等は水素を全く費消し盡したか否か？

又、これらの星の内部では、物質の消滅といふ如き、思ひ切つた假想的な變化が行はれて、質量が全くエネルギーに轉換して了つたのかも知れないとも、考へられる。こうしたことは、實驗室内では全く觀察されない（但し、陰陽の電子が相互に中和して消滅するといふ、全く別の現象を除けば）ので、吾々は全く空想の世界に入るより外に仕方がない。

第二の謎は、白色矮星といふものの存在である。——即ち、光力は低く、密度は非常に大きい星であるが、毎年、こうした星が幾つかづつ發見される。どうも、これは、或る一定の廣さの空間の中の星を數へたならば、この種の星が（赤色矮星を除けば）最も多いものらしい證據がある。

理論的には吾々は此の種の星のことを最も良く知つてゐる。これらは老耄の星を代表するもので——即ち、重力や原子核やその他のあらゆるエネルギーを全く費消して了ひ、すつかり放射して了つて、もはや何も起り得ない最終の状態に近い星である。これらの星の内部では、電子は全く墮落し——量子論の法則

に許し得る限度まで密集してゐて、之れ以上の凝縮は不可能となつてゐる。

チャンドラセカール氏は、この種の星の大きさや密度は、その質量（及び、残存してゐる水素の量と）から計算が出来ると言つてゐる。即ち、質量が大きければ、星は小さく、又、密度は大きいのである。或る一定限度の質量（若し水素が無ければ、太陽の質量の1.4倍）以下の星は、収縮によつて、墮落の状態に陥る。この限界以上の質量を有つならば、この危機は到来しないで、吾々の知る限り、星は無限に収縮する。

さて、かのシリウスの伴星の如き白色矮星は、我が太陽とほぼ同じ質量を有つてゐるのだが、こうなるためには、總てのエネルギーを無くしたに相違ない。若し此の星が太陽と同様に生れて來たものなら、こゝまで來るのに何十億年を必要としたのだらうが、若し質量が少なければ（エリダン座40番B星の如く）進化はもつと緩やかであるから、もつと長い時間を要するのだらう。今、十億乃至二十億年を経た膨脹宇宙の中に、こんな星が幾つかあるとすれば、吾々は、“一體、どうして此んなものが出來たのか？”と、問ひたくなる。

デシタ氏が之れに大膽な答へをした。即ち、これらの大密度の星は、宇宙が小さかつた時代を通り抜けて來たので、つまり、これらの星は銀河よりも古いのだといふ。要するに、これらの星は、どうしても割れない胡桃と同様で、つまり、かの宇宙が生れた時の危機の状態が如何なるものであつたに萬事が係つてゐるのである。

最後に、“放射能の元素”が如何にして出來たか？といふ謎がある。これらの元素は、勿論、崩壊の一路をたどつてゐるものなので、若し實驗室内で之に衝撃を與へると、益々之は壊れて了う。軽い原子から此うした元素を組み立てるためには、最高温度の恒星の内部のやうな、非常に大きい温度と壓力とが必要であらう。

數年前、考へられたことは、水素の變換によつてエネルギーが放散される場合に、その副産物として、重い元素が出來るのだらうといふのであつた。しかし、ベリテ氏の注意深い研究によれば、——少くとも、星の内部にあるやうな温度の下では——之は非常にむづかしいことである。水素と炭素とが共に存在する限り、温度は3000萬度以上には大して上らない筈である。さうでなければ、エネルギーの進化が餘りに急激となつて、遂には、重力による収縮作用の逆に、膨脹が起り、星の内部の温度は低下することとなる。又、ナトリウムや、其の他の重い原子の出來る道も開かれてゐない。しかしながら、此等の重い元素は星の表面に夥しく存在することから見ると、恐らく、太陽の内部に於いて、水素を除いた64%の其の大部分は此うした元素から出來てゐるのだらう。

如何にして此等の元素が星の内部に生じたか、吾人は知らない。或は、この宇宙が膨脹し始めた寸前に、物質の（全體ではなくとも）大部分は非常に大きい壓力下で、又、非常に高温の状態にあつたのかも知れないなどと考へるのも面白いことだが、しかし、之は空想である。

5

そこで、吾々の論議の結論は下の通りである。宇宙の時間の尺度は何十億年といふ程度であつて、大體、それは4つの獨立した證據によつて示される。最も大きい困難は、巨星が今尚ほ輝いてゐるのに、白色矮星が既に存在するのは何故であるか？ といふことである。

要するに、總ての方面からの一致する結論は、宇宙の現状は過渡的なものであるといふ一言に言ひ盡せることである。エデントン氏が言つた如く、“星々は今最初の得點を得たばかりである。”若し今後も尚、萬事が進行すれば、1000億年以内に渦巻き星霧は悉く視界から遠去かつて了ひ、放射能の物質は皆崩壊して了つて、微光の星以外の總ての星も消えて了ひ、宇宙といふものは全く興味の無いものになつて了ふだらう。

勿論、その時まで、（或は、その後も）宇宙の膨脹は止まつて收縮が始まり、それは、あらゆるものが——今、宇宙の最奥にある輻射線までも含めて——小さい空間に再び密集して來てそれから宇宙は再出發をするのかも知れない。

本當に此の通り行はれるか、否か、吾々は知らない。しかしながら、こうした考へを世の物好き者が如何に熱心に有つてゐたかといふことは、驚嘆に値する。（自分は、宗教者と言はないで、むしろ茲で物好き者と言ふわけは、宗教に於いては、物的宇宙の運命などに嘗て關心を有つてゐなかつたからである。）

とにかく、如何ほど長い時間の後にも、活動の週期的再來を信じようとする氏一般人士の要求に對しては、自分は率直に同情し兼ねる。むしろ、エデントンと共に、“私は進化論者であつて、輪廻論者ではない。幾度も々々々同じことを繰り返すのは嫌ひである”と言ひたい。（下略——終）（山本一清譯）

★ブレテン發行について 目下第328號以降未刊となつてゐるブレテンを是非續刊したいと思ひ、いろいろ交渉したり相談したり、又、原稿を整頓して題名を“速報”とすることまで定めたのであつたが、いよいよといふ場合になつて、どうしても用紙と印刷のことが氣がかりとなり、殊に長期戦に入つた現在、將來永く續刊されるか否かの保證が得られないやうに思はれるので、遂に戦争の終るまで休刊し現在編輯部にある原稿は悉く和歐兩文で“天界”の中に、紀要として、或は觀測部報告として、印刷することに決定した。（編輯部）