

宇宙の年齢 (I)

The Time-scale of the Universe.

プリンストン大學 ラセル教授 Prof. H. N. Russell'.

宇宙の年齢を、何歳何ヶ月何十ケ日などといふ風に精密に定めることは、到底われ々々の力に及ばないことだし、又、そんなことを考へるさへ不可能である。しかしながら、例へば、人間は、30ケ日の間には大して變ることはないけれども30ケ年の間には（珍らしい例外はあるかも知れないが）可なり變るものである。故に、宇宙の場合だつて、何か適當な現象を利用すれば、年齢を推定することも出来る理である。

さて、しからば、之れには、どんな尺度を用ゐれば宜いか？ 何千年が良いか？ 何百萬年か？ 何十億年、或は其れ以上の長さを單位とすべきか？ 又は、小さい赤ん坊の年齢などは、何歳と言はず、單に何ヶ月と言ふが如く、考慮する現象によつて、單位を變へた方が良いだろうか？

第十九世紀末から、第二十世紀の初めの頃は、宇宙や地球の年齢は百萬年と言つたやうな單位を用ゐるべきだといふことがほど判斷されたが、果して其れが何百萬年であるかを定めることは不可能であつた。尙、又、何か未知の力が徐々と働いてゐるのでなければ、必ず或る有限の時間内に、この宇宙は、終りとなるものと思はれてゐた。この結論は、過去40ケ年間、不動の原理として認められてゐた“熱力學の第二法則”によるのであつた。この法則によれば、宇宙のエネルギーは不減であるといふのであつたが、其の後、今日まで漸次このエネルギーは減じて來てゐる。水は流れ、石は落下し、長い間には、高い場所は平坦となり、凹所は埋まる。熱は、傳導や輻射によつて、高温の物體から低温の物體へ持ち去られ、其の他、いろいろな方法で、天然界は、差別の無い平等、平穩、死滅の狀態に向つて變化してゐる。尤も、このほかに、山を作ると言つたやうな、下降に對して反對の方向へ向ふやうな現象も時々は現はれるけれど、これは、つまり他の方面に蓄積された有限のエネルギーが費消されてゐるのであつて、そんな蓄積は、まもなく盡きて了ひ、結局、やはり、宇宙は無差別平凡化の傾向が支配するのである。

こんな結論は、誰も好まないものだけれど、しかし、“大局の法則”といふものによつて、これは立證されてゐるのであつて、その理論は至つて簡單至極である。例へば、今こゝに、^{かぶ}角の取れた平滑な白い砂粒（皆、大きさも、形も、重さも同じやうなもの）が10000ケあると假定し、更に又、全く同様な黒色の砂粒が10000ケあるとしやう。さて、先づ、この白砂を全部、一つのガラス球の

中へ注ぎ込んだとし、續いて、黒い方の砂粒を注ぎ込み、それから、このガラス球をよく振つて見る。さうすれば、遂に、白と黒との砂は混じて、灰色の混合物になつて了う。ところが、更に、もつと盛んにこのガラス球を振つて見て、さて、何時になつたら、球の左方の半分に白い砂粒のみが集まり、右方の半分に黒い砂粒が集まるだろうかといふに、何もむづかしい研究も要らない。要するに、そんなことは決して起らないのである。尤も、若し白い砂粒が黒い砂粒よりも軽いのであれば、振つてゐるうちに、クリームのように、だん々々其れは上部へ登つて来るだろう。しかし、吾々が初めから、砂の色だけが違ふので、重さの違いがあると考へてゐないのだし、色が振るのに影響があるとは考へてゐないのである。

山や谿があつたり、高温や低温や、其の他いろいろのものがある此の物的宇宙は、深く研究して見ると、いはゞ灰色の表面に塗つた砂の模様みたやうなものである。但し、上述の場合との違ひは、“振りまはす”といふことは亂暴な取り扱ひであるが、傳導や、輻射などといふのは大人しい行き方である。しかし、何れにしても、最後にはやはり無差別平等の状態に陥つて了ふことに變りはない。學者は、これを“エントロピの増加”と言ふ。吾々は一般に其れを“無差別平等性の増加”と呼んでも、大した間違ひでは無いと思ふ。

そこで、結論は二つ。第一は、宇宙の未來といふものが、漸次、平々凡々な、興味の無いものになつて了うことが非常に確かである。尤も、窮極に死の靜寂に歸つて了う其の變化はだん々々おそく延びるけれど、しかし、確實である。

第二は、遠い未來を（既知の諸法則のみが行はれると假定して）かように推論することが出来るけれど、しかし過去を、之と同様に推論することは出来ない。例へば、有名な故ケルビン卿の場合が思ひ浮ぶ。今、かりに吾々が野外で一ケの石を拾つたと考へやう。ところが、其れが熱くて、手に持つてゐられないで、すぐ落して了つたとしやう。さて、この石が冷却して行く状態は研究によつて、知ることが出来る。しかし、その石の過去について、吾々がせいぜい言ひ得ることは、多分あまり長くない過去に、この石が或る熱い場所にあつたといふ一事である。若し此の石が此の野原に1時間だけ置かれてあつたのなら、初め其れが何度かの温度であつたかを、計算することが出来る。又、2時間この野原に置かれてあつたのなら、初めの温度はもつと高かつた筈であつたとして、それも計算することが出来る。しかしながら、單に此れだけで、もつと何か別の材料が與へられない限り、何時、どんなにして熱せられたのであるかといふことを定めることは出来ない。

星は、石と違つて、（或る學生が巧みに言つた如く）所謂“自熱物體”であるが、しかし、少しく意味を變へれば、石と同様に考へても宜い。吾々は遠い過

去の状態を（一種の“逆の豫言”として）計算することが出来る。しかし無限の過去に遡ることは出来ない。例の“萬物退化の方法”がズーッと永く連続してゐたと假定しての計算が、遅かれ早かれ、何時かは或る極限に達して、それ以上遡り得ないことになる。しかし、こゝで、何か他の力が働くと考えて了うのは不徹底である。

ガラス球中に入れた砂粒の群のやうに、如何なる統計的の問題に於ても、若し幾度も幾度も無茶苦茶に振つて見るならば、砂のあらゆる配置状態が起り得るのである。宇宙は、今、非常に興味ある、珍らしい状態にあるだが、しかし、之は決して單なる偶然の現象として出来たものといふ證據はない。

例へば、 10^{100} 年と言つたやうな非常に長い時間の間には、殆んどどんなことでも起り得る。ハルデーン (J. B. S. Haldane) 氏が、かつて、陰語的に、この論を下の如く言つたことがある：“第二法測からの正しい結論は、この宇宙が偶然に出来上つたものでなくて、無窮永遠といふことが dull なのだ”。

かうした考へは、一般的には、40年前に吾々が知つてゐたことであるけれど、今の吾々は、この物的宇宙が實は過渡期にあるのだといふことを、以前よりもつと明瞭に知つてゐる。小は、原子核から、大は、最遠の銀河系に至るまで、到る所、變化は一方的であつて、逆行しない。或る幾つの場合については、此等の諸變動の速さを測ることが出来るが、いろ々々と違つた方面から同じ此の問題を研究して見て、全く同じ結果になるといふことは、現代の物理學上に於いて驚くべきことである。原子から始まつて、星霧までの時間は何十億年といふ程度のものであつて、何百萬年といふのは短か過ぎ、又何兆年といふのは長過ぎる。こうした結論を、私は、簡単に、餘り脇道に外れないで、要約して見よう。

1

現代の多くの諸發見中に、種々の原子は不安定で、自然に崩壊するものだといふ事實がある。原子核は（原子全體を作るため、自働的に多くの電子を引きつけてゐるものだが）其の一部分を投げ出して、電量や質量の異なる別の原子になつて了う。こんな不安定な原子が自然界に20種以上も知られてゐるし、又、高位のエネルギーを有つ微粒子を衝撃せしめて、何百種類の原子が既に人工的にも作られた。この人工原子のことは次ぎに述べるとして、今は主に前者、即ち天然の原子について述べよう。これは、普通その主な代表者の名を用ゐて、ラザウム系と、アクチニウム系と、トリウム系とに分ける。各系は、始め、殆んど安定した原子からなる。そして、一年間に崩壊するのはホンの僅かである。非常に精密精巧な放射能測定技術によつて（その方法を今こゝで述べては、ゐられないが）此等の微量は頗る正確に測定された。重いウラニウム（原子量

238) は、自然の變化によつて、一年間に、初めの65億7000萬ケの原子の中の一ケが失はれる。又、軽いウラニウム、即ちアクチノ・ウラニウム(原子量235)は10億3000萬中の一ケが無くなり、トリウム(原子量232)は200億中の一ケが無くなる。こうして變つた原子は、甚だ不安定で、アルファ粒子(ヘリウム核)や、電子を放出しつゝ、次ぎ次ぎに變化を進める。最後に各系は、或る安定した鉛の原子(原子量206, 207及び208の)となつて了う。こゝまで來る途中に生れたものの中には、百萬年間も生存するものがあつたり、一秒の何分ノ一といふ短命のものもある。何れの場合にも、こうした放射能物質の變轉の速度を、吾々は如何なる方法によつても、變へることは出来ない。高溫も高壓も無効であり、又、高速度の粒子を衝擊せしめるといふやうな亂暴をしても、(直撃された原子核が全く違つたものになつて了ふことはあるけれど)全く何の影響も現はさない。

今、吾々が述べやうとする長時間から見れば、これらの變化も頗る速いと思はれて、その中間に何が起つたといふことなどは全く忘れられ、計算の誤りなどは何も無くて、恰も各元素が直ぐ鉛に變つて了つたと考へられるかも知れない。

若しウラニウムを含む一片の礦石が岩の中に十億年間も放置されたとすれば、最初の分量の15% (詳しく言へば14%) が崩壊して、ある86%だけが残ることになり、從つて此の14%だけが鉛となるが、これは初めのウラニウムの重さの12% (又は、あとに残つてゐる分量の14%) に當り、其の他の2%は此の變化中にヘリウムとなつて逃げ去つたことになる。こうして、礦石が古く存在する年數を算定することが出来る。

尤も之には或る修正が必要である。若し、トリウムも存在するならば、それから出來た鉛もあると考へなければならぬ。重いウラニウムの中には、常に140分ノ一だけアクチノ・ウラニウムにあることを認めなければならぬ。但し、この永い間、この礦石中に埋没してゐて、その結晶が、中に含まれた水などのために、化學的な變化を受けないことを確かめなければならぬ。故に、實は、そんな化學變化のない純粹な結晶の内部の一片を試験に用ゐる必要がある。尙、最後に、この結晶が最初作られた時に、鉛が含まれてゐなかつたことを、如何にして確かめるべきであるか?

自然界は吾々にいろ々々便利を與へてくれる。吾々は、質量スペクトル寫眞器によつて、原子量206と207と208を持つ鉛の相互の割合ひを定めることが出来る。普通の鉛には原子量204のものを少しく含んでゐるが、これは放射能作用から出来るものではないらしいので、この分量を測ると、最初に含まれてゐた通常の鉛の量を決定することが出来る。

いろいろこうした注意を以つて、放射能法による礦石の年齢の決定は非常に信頼すべきものである。尤も、之は只、火成岩に對してのみ用ゐられる。普通、火成岩の地質學的な年齢は、附近の地層の研究によつて定められるのだが、この方法によつて、地質年代の各部が決定せられ、かくて、地層學と古生物學と研究結果の一致は著しいものがある。

こうして吾々は宇宙最大の年代を、15億年から18億年らしいと定め得る。カナダの中央マニトバ州にあるペグマタイト礦石は、ウラニウムを含む酸化ウラニウムとトリウムを含むモナザイトと、ルビデウムを含む雲母とを有つてゐる最も著名な例である。この石も亦放射能的であつて、極めて緩慢に崩壊して、ストロンチウムの一種の同位素に變る。この三種類の礦石から別々に定められた年数は、16億年、19億年、17億年である。

故に、これ等の礦石が山から礦夫たちによつて爆破されるまでには、この岩石中に少くとも15億年間以上も埋れてゐたものであるといふ結論を避けることは出来ない。

地球の（少くとも其の皮殻の）年齢の最大限度を、同様な放射能法によつて決定することが出来る。この放射能による方法は、非常に鋭敏であつて、吾々は非常に正確に一トンの岩石中にウラニウムやトリウムが含まれてあるかを知ることが出来るから、いろいろの岩の平均をとつて、地球の外皮の年齢を定めることになるのである。鉛の分量は普通の化學法で定めるのだが、之は可なり信頼し得る。地殻が他の物質と混在してゐる限り、ウラニウムやトリウムの崩壊による鉛も亦存在してゐる筈であつて、簡単な計算によつて、吾々は、地球上にある總ての鉛は、39乃至40億年の間に放射能物質から生じたものであると推定する。尤も、この年数は前のものよりもよほど不正確であるが、最初に多分普通の鉛があつただろうと思はれるから、これは言はゞ最大限を表はすものである。假りに、ウラニウムやトリウムや鉛の量が正しく測定されたとして、地殻が如何ほど熔融や凝固の變動を何回も受けたとしても、それによつてウラニウムや鉛が選擇的に地球の内部へ取り込まれない限り、この計算は成立するわけである。結局、地殻は、17億年以上、35億年以内の年齢であると考へられる。こんな大きい年数が、この程度に決定し得られるといふことは驚異である。

若し放射能作用によつて生ずる總てのヘリウムが、その礦石の中に閉ぢ込められてあるのならば、その分量からも年代を定めることが出来る筈である。若し此のガスの一部が厚い結晶や細粒の岩石中に居ないために脱出するとすれば、計算し得た年代は短か過ぎることとなる。この方法を地球の礦石に應用すると、鉛の比例法から算出した年代乃至それ以下を得る。（つづく）〔山本一清譯〕