

重 力 常 数

古 在 由 秀*

1. もうだいぶ前になるが、ラジオをきいていると天文のH先生が、科学ものをかく漫画家たちから、「万有引力の法則によってすべての物体は引力をおよぼしあっているが、何百万年、何億年と年月がたつにつれて、引力が弱まってくることはないのか」という質問をうけていた。

よく考えてみると、このような疑問をありえないことといって、一笑にふしてしまうわけにはいかない。しかしながら、ここ数百年の間には、引力の大きさを表わす重力常数 G が、かなり大きく変化してはいないということは、いままでの天文の観測結果から判断するといえる。この G は比例常数で、 r だけはなれた2つの質量 m, m' の質点間の引力は $-Gmm'/r^2$ とかける。天体力学ではもちろん G は一定として、たとえば惑星運動の理論といったものを考えているが、これで充分観測事実を説明できる。もし G が一定でないとすれば、惑星軌道の長半径の3乗と公転周期の2乗の比は一定であるというケプラーの第3法則はなりたたなくなるはずで、当然観測にもその影響があらわれてこなければならぬ。

2. 引力がよまわるかどうかはともかくとして、重力常数は場所あるいは時間の函数であるべきだということは、マッハの原理からもみちびきだされる。

ニュートンの力学では、絶対静止空間というものを考え、これに対して等速度で運動している惰性系について、ニュートンの力学の原理がなりたつとしている。そしてもちろん空間はユークリッドの幾何学のなりたつユークリッド空間で、重力の常数 G も時と所をとわず一定で、空間の性質はそのなかにふくまれている物質によっても左右されない。

これに対してマッハによって代表される考え方によれば、絶対静止空間というようなものは仮定せず、すべて物体の運動は宇宙の他の物体に相対的に考えて意味があるという。このマッハの考えはアインシュタインの一般相対性理論のなかに実現されている。又、空間の性質はそのなかにふくまれている物質の分布によって決まり、真空の空間などというのは意味がない、というのがマッハの原理とよばれているものである。一般相対性理論でも、空間の性質あるいは場の方程式は物質分布によって左右されるが、後者によって一義的には決まらない。この意味においてマッハの原理はアインシュタインの一般相対性理論に完全には実現されていないといえるのであ

るが、 G の値が一定であるという仮定をすて、一般相対性理論をさらに一般化させて、マッハの原理を実現させようというところみは、すでに何人かの人によってなされている。

マッハの原理によれば、絶対静止空間をみいだすことは不可能である。したがって、我々のいる空間内で質点間に働く力を測定したとしても、これが本当に引力によるものが、我々の空間が宇宙の他の物体に対して加速度運動をしているためにうける力なのか、この2つを分離できない。そこで重力常数 G は場所による函数と考え、我々の空間内の物体による力だけを考えれば、この空間が我々からは見られない他の宇宙にたいしてどんな運動をしていようと一向にかまわない。これが、重力常数 G は常数ではないということのマッハの原理による一つの解釈である。

3. 一樣にぼう張している宇宙について計算すると、 G は物質分布の函数として次のように表わされる。

$$G \sim Rc^2/M$$

ここで M と R とは、我々からみえるはんいの宇宙にふくまれている、物質の質量および宇宙の半径で、 c は光速を表わしている。この式では G を場所の函数としてあらわしていると考えてもよいが、 G が時間とともに変化しているとみなしてよからう。又この式によれば、我々のそばで G の値を測定すれば、ある仮定のもとに大きな宇宙についてもある程度の知識がえられるということになる。

さて上の式で、 R/M が一定な宇宙では G の値も一定ということが分る。しかし、我々の宇宙では G は時間的に減少していると考えられる。

アメリカ、プリンストン大学のディッケ(Dicke)によれば、たとえこのように G が一定でないとしても、一般相対論の3つの検証といわれている、水星の近日点移動、白色わい星からの光のスペクトルの赤色偏移、太陽のそばを通る光の彎曲などの説明は、一般相対論とおなじようにできる。もちろん、水星の近日点移動の大きさなどは G を一定とした場合と多少違った値としてもとまるが、その差は観測誤差の範囲内にある。ディッケの推定している G の相対減少率は、一年に 3×10^{-11} と非常に小さいから、従来の惑星運動の理論もいまのところはかえる必要はない。

4. ディッケはこの G のかわる重力理論を宇宙進化論に応用しようとしている。(Review of Modern Physics, 34巻, 110頁, 1962年)

* 東京天文台

Y. Kozai; Gravitation Constant

ディッケはまず、星の進化論から推定された球状星団の250億年という年令が、宇宙全体としての年令100億年にくらべてながくなっていることに注目し、このむじゅんを解決しようところみた。この宇宙全体の年令はハッブルの宇宙ぼう張の法則から推定されたものである。

現在では天体物理学的な観測や理論から、星がどんな具合に進化するかということは大体わかっている。そこで、球状星団中の個々の星の光度、色をはかりヘルツシュプルング・ラッセル図をかき、どのような明るさまでの星、あるいはいいかえるとどれ位の質量までの星が主系列からはなれ、赤色巨星の方向にむかいつつあるかをしらべてみる。さらに星の化学組成がわかれば、星の進化の理論から球状星団の年令を、そのなかにふくまれる星がほぼ同じ頃生れたと仮定して推定できる。

このような方法で球状星団の年令は250億年と求められているのであるが、散開星団のなかでもNGC 188の年令は160億年と比較的長く計算されている。散開星団の星は金属元素などを非較的汎山ふくみ、若い種に属しているのだが、このNGC 188の160億年という年令は、ウラニウムの年令と考えられている100億年にくらべて長いというのがディッケの指摘する第2のむじゅんである。

大昔にはGの値が今より大きかったとすると、同じ質量をもった星でも今より明るく、中心温度もたかかったはずである。この中心温度の高さが、星の内部の原子核反応をそくしんし、同じ質量をもった星でも、Gを一定とした進化の理論から計算されるよりも、はやく進化のみちをたどったにちがいないとディッケは考える。Gが一年に -3×10^{-11} の割合で変化しているとすれば、球状星団の年令もNGC 188の年令もともに80億年となり、まえにのべたような宇宙やウラニウムの年令とのむじゅんはなくなる。

もちろん、他の天体の年令もこれにしたがって短くなり、たとえば40~150億年と思われていた太陽の年令もGの値をかえると30~70億年となり、放射性同位元素から推定される年令45億年とむじゅんしない。

しかしながら、今までのべた天体の年令はあくまで推定値で、これにむじゅんがあったとしても、このこと自体がGの変化を証明することにはならない。又、この年令のむじゅんが本当のむじゅんとしても、これを説明する他の方法も考えられよう。

5. ディッケはさらに、銀河系内の星の種族と、銀河面に垂直な速度成分との相関を説明しようとしている。

進化の考えによると古い種族といわれているし、種族

IIにぞくする球状星団は、銀河系内に球状に分布しており、したがって銀河面に垂直な速度成分も大きい。これにくらべて若い種族Iの星やガスでは、銀河面内において、この成分が非常に小さい。

星の相互作用によって個々の星の速度が大きくなるには、 10^{14} 年かかるといわれ、又星とガス雲との相互作用もあまり大きくない。したがって、星はもともとガスから生まれたという考え方によれば、いまの星の速度はガスからうけつがれたものとみなしてよからう。一方、ガス雲はその相互作用で、2億年位の間に速度分布は交ってくる。

もし球状星団のうまれたころ、ガスがかっぱつに運動しており、その後このうごきがとまったとすれば、球状星団だけが大きな速度分布をもっていたとしてもさしつかえない。しかしながら、すべての球状星団が2億年という比較的短い期間内にうまれたということになる。

ディッケによれば、Gが昔は大きかったとすると、ガスのかっぱつな動きも2億年以上つづいたはずだという。前にのべたように、Gの変化で昔の星は今よりも明るかったのだから、星の輻射圧がガスの運動をささえていた。この考えで、ディッケは星を5つの種族にわけ、速度成分の分布を計算で再現させている。

6. まえにのべたように、これらはすべて実際にGが変化している確証とならない。もしGの値が 10^{-10} の割合で変化しているのならば、観測にあらわれる現象は存在するだろうかとさがしてみても、なかなかうまいものはみあたらない。

水星の近日点にはじめて相対論の影響があらわれたように、大きな質量をもつ天体のすぐ近くで運動するものが、我々のためにのぞましい。水星でもまだ遠すぎるのである。地球の人工衛星ということも考えられるが、地球の場合は大気がこれをさまたげている。Gが少しずつ変化すると、公転周期が変化するはずで、大気抵抗による影響と分離しにくい。

今一番のぞみのあるのは月のまわりの孫衛星の運動をしらべることであろう。月衛星はここ数年のうちに実現されるであろうが、月には大気がないこと、又ファン・アレン帯のようなものもないと考えられるので、衛星の周期の変化からGの変化は見出しやすい。しかし、月衛星は地球の衛星にくらべて、観測精度はおとるであろうという不利な点はある。又、月衛星の運動は、地球や月の形状による摂動を大きくうけるが、さいわいなことにこれらの摂動は、周期には大きな影響をあたえない。今ディッケはこの月衛星の観測にのぞみをかけている。