

太陽系の大きさ

古 在 由 秀

1. 天文単位

太陽系内の天体の間の距離は天文単位で表わされる。1天文単位は、常識的には太陽と地球との平均距離といえるが、厳密にはケプラーの第3法則

$$n^2 a^3 = GS(1+m) \quad (1)$$

で、 n を1暦表日あたりの地球の平均運動、 G を引力定数、 S を太陽の質量、 E と M をそれぞれ地球と月の質量として

$$Sm = E + M \quad (2)$$

の値を代入した時の a の値である。

ここで、

$$GS = k^2, \quad (3)$$

とおいた時、 k はガウスの引力定数で、ガウスのあたえた値は、

$$\begin{aligned} k &= 0.017\ 202\ 098\ 95 \\ &= 3548''\ 1876\ 0696\ 51 \end{aligned} \quad (4)$$

である。このガウスの値は、正しくない m の値を使って求めたもので、これを使うと、太陽と地球・月の重心の平均距離は 1.000 000 2 天文単位となるが、 k の値の改訂はもっと大きな影響があるので、(4) の値は間違っている、すなわち (3) の関係は成立しないことが分っているが、 k は変えないで、天文単位を逆に (3) と (4) とで定義している。

この天文単位が何 km にあたるかを知れば、太陽系の大きさが我々の知っている地上での長さの単位で表わされることになる。

2. 惑星の視差

太陽系内のすべての天体までの距離は、ケプラーの第3法則によって天文単位で表わされている。そこで、地球とどれか一つの惑星までの距離が km で表わされれば、天文単位と km との関係が分る。

前号までに述べた三角測量の方法で惑星の視差を幾何学的に測るには、なるべく地球に近づく惑星を観測しなければならない。地球には金星で 4,200 万 km、火星で 5,570 万 km 近づくが、これらは月までの距離の 100 倍以上で、視差は 100 分の 1 以下になる。しかも、金星が地球に近づくのは内合の時で、その時金星は太陽の方

向にいたので観測しにくい。

そこで先ず火星が 1670 年以來視差決定のために使われたが、その誤差は $\pm 1''$ に近かった。1760 年以降は金星の日面経過の機会がとらえられ、誤差は、 $\pm 0''.1$ までになったが、もっと小さい小惑星を観測する方法が 1880 年に提案され、とくに 1898 年に発見された小惑星エロスは、地球に 2,250 万 km まで近づくことが分って、太陽視差、あるいは 1 天文単位の長さの決定に役立つことが期待され、1900-01 年の観測では太陽の視差として、 $8''.804 \pm 0''.002$ 、1930-31 年の観測からは $8''.789 \pm 0''.007$ という値が求められた。

3. 力学的視差

エロスの観測からは、もっと正しい値が力学的方法で求められる。エロスの軌道は地球と月との引力によって乱される。その乱され方は地球に近づくほど大きい。また地球に近いと、同じだけ乱れていても、それが見かけ上大きく見える。こうしてエロスの軌道を観測して求まるのは (2) 式で定義される m の値であり、 GE の値は前号にも述べたように地球上の重力測定から決め、 E/M を何か他の方法で決めておけば、 GS の値が cgs 単位で表わせることになる。すると、(1) の式で a の値が km で表わされることになる。

この方法により、ウィットは 1893-1903 年の観測からは $m^{-1} = 328\ 882 \pm 986$ 、1893-1931 年の観測からは $m^{-1} = 328\ 390 \pm 103$ という値を求めている。

1931 年 1 月のエロスの接近の前後にはとくに、あらかじめエロスの通過する付近の恒星の位置が子午環で念をいれて測られ、国際協同観測が行なわれたのである。前出の $8''.789 \pm 0''.007$ という値は、スペンサー・ジョーンズによって幾何学的に求められたものである。

さらに、ラーベは 1926-45 年の観測から m^{-1} の値として

$$m^{-1} = 328\ 446 \pm 43 \quad (328\ 899) \quad (5)$$

をえているが、これから計算される太陽視差の値は

$$8''.798\ 3 \pm 0''.000\ 4 \quad (8''.7942) \quad (6)$$

である。平均誤差はスペンサー・ジョーンズの 10 分の 1 以下である。

このラーベの計算は、ブラウワーやクレメンズなどが

ちゃんとチェックしたといわれ、間違いのないものとされていたが、その後レーダー観測から求めた値がラーベの結果とくいちがったので、再検討された結果、ラーベの計算に間違いのあることが分った。それらの値は、かつこの中に入れて(5)と(6)にあててある。

4. その他の方法

このほか、太陽の視差を測定する方法はいろいろ提案されている。月におよぼす太陽の摂動項のなかに、振幅の係数に太陽の視差と月の視差の比が因数として入るものがあり、この振幅を観測から決めて太陽の視差を求めることができる。

また、地球が、地球・月の重心のまわりをまわっているのので、太陽や惑星の見かけの位置が一ヶ月周期で振動する。その振幅からも同じようにして太陽の視差が求まる。

レーマーは、木星の衛星の食のおきる時刻の不等から光速度を求めたのだが、光速度は地上の実験から分っているのので、レーマーの測定をくりかえせば、1天文単位の長さが分る。また、光行差定数から、地球の軌道速度が km/sec で求まるから、これからも1天文単位の長さが求まる。

5. レーダの方法

1961年頃から、金星のレーダ観測が可能になってきた。この観測を行ったのは、アメリカではマサチューセッツ工科大学 (MIT) のリンカン研究所と、カリフォルニア工科大学のジェット推進研究所 (JPL) とであり、ソ連ではコテルニコフなどである。

また、コーネル大学がプエルトリコに作った口径 300 m の電波望遠鏡は、水星のレーダ観測にも参加している。これらの観測の結果からは、1天文単位として、 1.49598×10^8 km あたりの値が求まる。

レーダ電波の発射と受信の時刻差から距離を決めるだけではなく、周波数のドップラー効果から相対速度を km/sec で求め、これからも1天文単位の長さを決めていく。電離層の影響はこの2つの測定に逆に現われるし、2つ以上の周波数で観測を行えば、その補正はできる。

そこで、1964年のIAU総会は、ラーベの結果との不

一致を無視し、1天文単位の長さとして

$$1.49600 \times 10^8 \text{ km} \quad (7)$$

というラウンド・ナンバーの値を採用した。これから求められる太陽視差は

$$8''.794 \ 05 \quad (8)$$

である。

なお、それまで協定で決められていたのは、1896年のパリ協定によったもので、太陽視差は

$$8''.80 \quad (9)$$

であり、これはニューカムが金星の日面経過から求めたものであった。これに相当する1天文単位の長さは 1.495×10^8 km であったから、10万 km ほど新しい値は長くなったのである。

正しい1天文単位の値が決まれば、これからラーベなどのやったとの逆のプロセスで m の値が計算できる。(7)に対応した GS の値は

$$GS = 132 \ 718 \times 10^{15} \text{ m}^2/\text{sec}^2 \quad (10)$$

で、前号であたえた GE の値との比は、

$$S/E = 332 \ 958 \quad (11)$$

となり、 M/E として 81.30 という値を使うと

$$m^{-1} = 328 \ 912 \quad (12)$$

となる。

更に、光行差定数の $20''.4958$ という値、光が1天文単位を進むのに要する 499.012 秒という値も計算できる。これらも、ハンブルグ総会で誘導定数として採用されている。

その後、レーダによる測距の精度はますます向上し、IAUで採用された光速度 $299 \ 792.5$ km/sec よりも桁数が多くなって、MITの人達は1天文単位として

$$499.004786 \pm 0.000005 \text{ 光秒} \quad (13)$$

という値を出している。

ところが、最近アメリカの標準局 (NBS) でヘリウムネオン・レーザの波長と周波数とを独立に測り、光速として

$$299 \ 792 \ 456.2 \pm 1.1 \text{ m} \quad (14)$$

という値を求めているので、上の1天文単位の長さは

$$1.495 \ 987 \ 705 \times 10^8 \text{ km} \quad (15)$$

となり、その誤差は1 km ほどになってきてしまった。

(東京天文台)