

## 天文基礎定数

古 在 由 秀\*

天文学のみならず、すべての自然科学の物理量を表わす数表を見くらべてみると、同じ量に異った値があたえられていることが多い。その原因として、測定者による測定値の違い、観測値に対する解釈の違い、もとなる理論の差などあげられ、観測精度の向上、新たなデータの追加、理論の発展などによってこれらの値も改訂されてくる。一方、より正しい値が知られていても、古い間違った値を使うことがある。この例が、理科年表天文部の1~3頁にのせられた定数にいくつか見られる。

地球の形や大きさは、回転楕円体で近似されるが、日本国内の測地経緯度はベッセル楕円体によって計算されている。ベッセル楕円体は1841年ベッセルによって、主としてヨーロッパと中南米の午線弧長のデータから求められたもので、日本では測量観測のはじめに基準楕円体として採用され、日本の測地経緯度はこれにもとづいて計算されている。その後1924年に、ヘイフォードが北アメリカのデータを使って求めたものに近い楕円体が国際的に採用され、国際楕円体とよばれてきたが、1964年にはこれが改訂され、赤道半径  $a_e$  が6378.160 km、扁率が1/298.25のものがIAU楕円体として採用され、国際測地学協会 (IAG) もこれになった。

IAU楕円体の赤道半径は、I. フィシャーが世界中のデータを使って改訂したもの、扁率は人工衛星の力学的観測から求めた地球ポテンシャルの2次ルジャンドル多項式の係数  $J_2$  から計算したものである。

1964年以降も、世界中の多くの測地網を人工衛星をなかだちにして結びつけ、赤道半径の値も km 以下が、.130 と、.140 km の間であることが今では知られている。 $J_2$  も1964年には0.0010827という値が採用されたが、今では0.00108264がより正しい値とされている。

このように、より正しい値が発表されるたびに、基準楕円体の要素をかえて測地経緯度を計算し直したのでは混乱を生ずるので、日本の地図はいまだにベッセル楕円体をもとにしているのである。

天文定数のうちでは、ガウスの引力定数  $k$  は採用以來変えられていない。これはもともとは太陽系内の天体のケプラーの第3法則の右辺に現れる日心重力定数として計算されたものであるが、今ではこの意味では正しい値ではない。しかし、 $k$  の値は天体の運動方程式には必

ず現れるので、これを変えると数値積分の解などにギャップがでてくる。そこで  $k$  の値を変えず、太陽の平均運動  $n_\odot$  (rad./sec) と  $k$  から  $A^3 = (k/n_\odot)^2$  で天文単位距離を定義するのに使っている。したがって  $A$  は、地球と太陽との平均距離とは少し違っている。

1964年にIAUは  $A$  の値として  $1.49600 \times 10^8$  km という値を採用し、天体暦などはこの値を使っているが、より正確には  $A$  の値は149,598,781 km である。

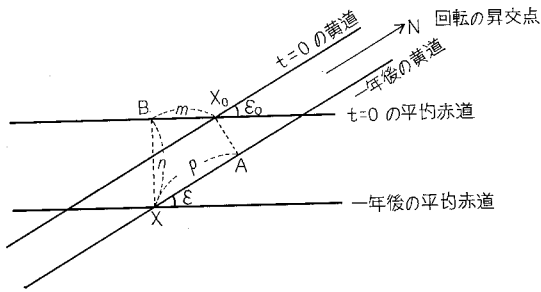
光速  $c$  としても299792.5 km/sec という値がのせられているが、レーザ光の波長と周波数を独立に精密に測定することにより、 $c = 299792.458$  km/sec という値が最近求められており、この値を採用して固定し、これで1mの長さを定義しようとしている。

地心重力定数は、万有引力定数  $G$  と地球の質量  $E$  (大気をふくむ) との積で、ケプラーの第3法則によって月までの平均距離を計算するのに使われる。昔はこの値は地球上の重力測定から決めていたが、1964年にIAUが採用した  $398,603 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/sec<sup>2</sup> という値は、主として地球から月に向けたロケットのレーダ観測にもとづいている。ロケットからかえってくるレーダ電波の周波数は発射電波とくらべて精密に測られ、ドップラー効果から速度が、速度の変化から加速度が求まり、その加速度の原因となる地球の重力定数が計算できるのである。その後、レーザ光により月までの距離が精密に測定され、ケプラーの第3法則から  $GE$  の値が  $398,600.2 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/sec<sup>2</sup> と求められており、こちらの値の方がより正確である。

太陽の動き、黄道の傾斜角の変化、歳差の式などは、ニューカムが主として十九世紀の観測を使って求めたものが今だに使われている。二十世紀前半までは一様な時系であると考えられてきた地球の自転をもとにした時系に代り、ニューカムの平均黄経の式と太陽の観測された位置とがあうようにきめた時系を、一様な時系とし暦表時とよばれ、天体暦にも使われている。ニューカムの太陽黄経の式は完全に正しいものとして、暦表時が定義されているのである。したがって理科年表記載の太陽平均黄経の式で、 $T$  は暦表時で表わしたユリウス世紀 (36525日) で、 $T^2$  の項のあるのは、この式の起点は時間とともに動く平均春分点であり、平均春分点の動きに同じような  $T^2$  の項があるためである。

平均黄経が360°ふえるのに要する日数が一太陽年で、

\* 東京天文台, Y. Kozai: Astronomical Constants.



第1図

動く平均春分点を基準としているので、太陽年の長さも年とともに変化している。恒星年は、基準としているのが動かない方向なので、年とともにの変化も少ないが、他の惑星からの摂動によってこれも僅かながら変わっていることに注意してもらいたい。近点年は、動く近地点の方向を基準として測った太陽の平均公転周期である。

一般歳差  $p$ 、赤経の歳差  $m$ 、赤緯の歳差  $n$ 、黄道回転の速度  $\pi$  は、一年あたりの値を表わす式があてられてあり、他の惑星の引力による黄道回転は、 $174^\circ$  に近い黄経のところにある昇交点  $N$  を中心としておこっている。回転の昇交点の黄経は  $X_0N$  にあたる (第1図参照)。 $\pi$  は  $X_0NX$  の角である。

1900年の年初での一太陽年あたりの一般歳差の値は、ニューカムによれば  $50'2564$  で、1964年当時でも実際は  $50'2640$  と  $50'2690$  との間にあることが分っていたが、IAUはニューカムの値を改訂しなかった。他の目的のためには正しい値を使用した方がよいが、星表などの作製ではニューカムの値をまだ使うというのがIAUの決定である。しかし、FK5の基本星表から、改訂された一般歳差の値が採用されることになる。

章動定数の  $9'21$  は、章動による黄道傾斜角の動きを表わす、白道の昇交点黄経を引数とした、18.6年の周期の項の振幅であり、章動での最大項の係数である。この値については、地球内部のモデルに関連していろいろ議論はあるが、 $9'20$  と  $9'21$  の間にあると考えられる。

太陽赤道地平視差は  $\arcsin(a_0/A)$  で計算でき、光差は  $A/c$  で求められる。光行差定数は  $n_0 a_0 A/c/\sqrt{1-e^2}$  で計算される。ここで、 $n_0$ 、 $a_0$ 、 $e$  は、太陽の軌道の秒あたりの平均運動、天文単位で表わした平均半径、および離心率である。

惑星の軌道要素は他の惑星の引力によって少しずつ変化しており、時々刻々に変化する要素は接触要素とよばれ、これから周期摂動をひきさった、より変化のゆるやかな要素を平均要素とよんでいる。これらの摂動の計算

にはIAUで採用された質量の値、 $A$ の値を使っているが、火星より内側の惑星については摂動の式が求められるが、天体暦にも採用されているので、平均要素を求めるのは比較的容易である。ところが、これより外側の惑星の位置は、直角座標で表わされた運動方程式を直接に数値積分をすることによって得られており、昭和50年より前の理科年表では内側の惑星には平均要素があてられているのに対し、外側の惑星ではある時期での接触要素があてられていた。したがって外側の惑星の要素は年ごとに大きく変り、読者に不便をかけていたので、昭和51年版からこれも平均要素に変えた。これらの要素も、動く平均春分点と平均赤道面を基準として測っており、昇交点や近日点が動いているように思えるのは、主として春分点の動きによるもので、摂動による動きはもっと小さい。

平均軌道要素の式は Astron. J. 79, p. 57-60 (1974) に P.K. Seidelmann, L.E. Doggett, M.R. Deluccia によって発表されている。

軌道の平均速度としてあてられている値は、軌道上の速さの一公転周期あたりの経度についての平均値で、平均軌道要素から、光行差定数を求めたのと同じような式で計算される。

太陽、惑星および月定数表では、質量はIAUで採用され、現在天体暦の計算に使われている値をのせてあるが、他の定数は、現在最も正しいと考えているものを集めている。惑星の質量は他の惑星への摂動、とくに永年摂動から計算され、地球をのぞいてはこれがIAUで採用されている。

日心重力定数  $GS$  は、 $A$  との値から  $132,718 \times 10^{15} \text{ m}^3/\text{sec}^2$  と計算でき、これと  $GE$  の比から地球の、太陽を単位とした質量比が計算できる。月の重力定数も、月に近づくロケットの観測から求まり、月と地球の質量の比はより正しくは  $1/81.3007$  となっている。他の惑星についても、近づいたロケットの加速度の観測からより精密な質量の値が求められている。例えば、水星の質量の逆数は  $6023600$ 、金星は  $408523.5$ 、地球+月は  $328900.2$ 、火星は  $3098710$  となっている。

IAUで採用した質量の値は、天体暦にのせる惑星の位置を計算するのに使われており、永年の観測とくらべて解析を行う仕事をするには、途中で不連続性が入っては都合が悪いので、使う定数はひんばんに改訂されない。しかし、惑星にロケットを着陸させたりしようとするれば、より正しい天文単位や質量の値を使わなければならない。

なお、天文月報 66 巻1月号 20 頁、2月号 43 頁、3月号 70 頁の記事と併読されたい。