

時 系 と 報 時

飯 島 重 孝*

1. 時 系

「1日 = 1か月」。これはパラドックスか、あるいは受験生の標語のように聞えるが、ここでは月の自転が1か月であるために、「月面上の1日は地球上の1か月の長さである」ということを言い表わしたつもりである。このように、時間をはかるものさし(タイムスケール)も、他のものさしと同様に、用途や場所によっていろいろ異ったものが用いられる。現在、学術的に用いられているタイムスケールには、その拠り所に従って3群に大別され、1) **世界時群**(地球の自転による)、2) **暦表時群**(地球、月、惑星などの公転運動による)、3) **原子時群**(セシウム原子の固有振動数による)などがある。これらはいずれも、天体や地球の運動の研究において重要な役割を担っており、「時」の研究は天文学の重要な一分野となっている。

一方、日常生活で用いられるタイムスケールは、1960年頃より国際的に協定して、世界的に同期したものが用いられるようになり、これが無線報時で通報されている。これを**協定世界時**という。しかしその内容は技術の進歩に応じて歴史的変遷がある。現在では、大部分の国の標準時はこの協定世界時を基にしている。理科年表天76~81(1977年)は、これらの各時系や無線報時について要約したものである。

2. 世界時群

もともと人間生活の時刻は太陽の時角(=子午線からの角距離)によって決められたので、「始めに**太陽時**ありき」ということになるが、実際の太陽時は振り時計で測ってもすぐわかるような周期的変動(均時差など)を含むので、これを除いた**平均太陽時**が用いられ、グリニッジ子午線(本初子午線)のそれが**世界時**(Universal Time, *UT*)となった。

平均太陽というのは、恒星系の間を一定速度で進行する仮想太陽であって、その赤経の時間変化の式は、ニューカムにより長年の観測を平均して理科年表天76の α_0 の式として与えられた。このようにして平均太陽は日中の太陽観測よりもむしろ、夜間に恒星を観測して春分点の時角(すなわち**恒星時** *ST*)を決め、それと α_0 の差

から決定される。これに観測点の経度(λ)も考慮すると、同ページの *UT0* の式で世界時を決定することができ、これにより、*UT0* は(才差のみ考慮した)恒星系に対する地球自転角を表わすことになる。

さて、 λ は各観測所ごとに一定の値を決めているのであるが、自転軸から見た λ は一定でなく、いわゆる極運動(天82参照)に従って天76、 $\Delta\lambda$ の式のように変化する。式からわかるように $\Delta\lambda$ は地球上の場所によって異なっており、*UT0*は(x, y が0でない限り)観測所毎に異なってしまう。そこで $UT1 = UT0 + \Delta\lambda$ とすれば、*UT1*は観測所の位置に無関係に同じ値となる。そこで*UT1*が真の地球自転角に基づく時系であると考えられるようになった。

ところで原子時などの他の時系と*UT1*を比較した場合、季節的な差があることがわかった。これは原子時計の季節変化ではなく、地球の大気の流れ(ジェット気流など)の速さの季節変化によって、固体地球の角運動量が増減するためと考えられている。そこで*UT1*を天76、 ΔT_s の式によって平滑化した*UT2*が、より均一な*UT*タイムスケールとして導入された。この*UT2*は1972年までは代表的な*UT*として用いられ、後述の協定世界時も最初はできるだけ忠実に*UT2*を表現するように管理されていた。

現在*UT*を決定する国際時刻観測事業に参加している天文台は約60あり、これらの*UT0*データはBIHでとりまとめて、 $x, y, UT1$ -原子時などの形でBIHサーキュラーとして公表されている。*UT0*の観測精度は一夜あたり ± 5 ms、*UT1*の5日平均値の精度は ± 1 msというところである。原子時から見た自転変動(*UT2*-*TAI*)は天81の表に掲載した。

3. 暦表時群

天体の運動は、ある時刻(*T*)における天体の位置(α, δ)を与える式(または表)として記述される。力学の理論に従ってすべての摂動を考慮した運動の式(表)を作っておけば、逆に天体の位置を観測してその時の時刻を求めることができる。これは力学の理論を満足するような時系であるので**力学時**と呼ばれるが、また天体位置を表として与えた暦表を満足するものとして**暦表時**(Ephemeris Time, *ET*)と呼ぶ。

*ET*は、太陽黄経の観測値から周期的変動を除いた

* 東京天文台 S. Iijima: The Time Systems.

ものを L とし、これを天 76、暦表時の部の L 式に入れた時の T の値として定義される。いわば「地球公転時」と言うべきものである。しかし実際の観測は、精度のよい月の運動の観測で行なわれ、むしろ「月公転時」となっている。この際に用いられる月の運動の理論式(月の暦)はいろいろ改訂が行なわれ、それぞれの段階における ET を $ET_0, 1, 2$ などと区別する。 ET_0 はブラウンの表から地球自転変動に基づく経験項を除き、潮汐項とよばれる実験的補正項を加えた初期の改良暦(1960~67)を用い、FK 4 基準星表に基く月の観測から決められたもの、 ET_1 はその後の天文定数の改定(1968)やブラウンの表中第 182 項の係数の誤りを修正した改良暦(1968~71)によるもの、さらに太陽摂動項の再計算を行なった暦(1972~)によるものを ET_2 と呼ぶ。

月の観測は子午環やえんべいによって行なわれ、結果の ET は $\Delta T = ET - UT_2$ の形で表わされる。天 81 の表に、1900 年からの値が注釈と共に掲載されている。ただし ET は UT よりも一様なので、 ΔT の変動はほとんど UT の変動を表わしている。原子時に対する ET の変動は、 $ET - TAI$ として同表に載せてある。 ET の年平均値決定精度が約 ± 0.2 s なので詳しくはわからないが、 T^2 を含むゆるやかな変動があるようである。これは採用されている潮汐項($-11^{\circ}22T^2$)に問題があると考えられる。

4. 原子時群

原子時 (Atomic Time, 略号 TA) は、Cs (セシウム) 原子時計の示すタイムスケールであり、理科年表天 77、国際原子時の部には、その定義が述べてある。また原子時計については、天文月報、第 69 巻、11 号に解説がある。

AT の実用化は 1955 年英国の NPL (国立物理研究所) に始まる。その後コンパクトな Cs 原子時計が市販されるようになって台数が増加したので、これらを統計的に総合して国際原子時 (International Atomic Time, 略号 TAI) を定めることが 1971 年の国際度量衡総会 (CGPM) で決定され、BIH がその任にあたることになった。現在では世界中で約 140 台の原子時計が動いているが、 TAI を決定するのは約 60 台 (予備を入ると 80 台) であり、いずれも欧米のものに限られている。日本を含む東アジア圏は約 20 台の原子時計を持ちながらこれに参加しておらず、これらを含めた真の国際原子時への要望が高まっている。日本国内の原子時 (仮称 $TA(J)$) の体系の確立が急務である。

Cs 時計には、市販のものと高精度の研究室型との 2 種類があるが、前者は数が多いのでこれを用いて TAI

を統計的に決めている。後者は米、カナダ、西独の 3 か所しか実働していないが、秒定義に照した TAI の刻みの正確さをチェックするには研究室型による以外はない。これらの実測により TAI の 1 秒が定義の値よりやや短かいことがわかって、これを $+1 \times 10^{-12}$ 秒だけ長くすることが決議され (IAU, 1976), 1977 年 1 月 1 日 0^h TAI の瞬間に実施された。

5. 協定世界時と報時

協定世界時 (Coordinated Universal Time, UTC) は標準電波による連続秒報時を、国際的に同期して発信することを目標に、1960 年頃から始められた。当初は周波数オフセット (発信時計の歩度を 50×10^{-10} の倍数で、セシウム原子時計の歩度からズラす) と秒信号ステップ調整 (0.1 秒) とを用いて、 UT_2 の時刻へ ± 0.1 秒以内に追込むことが狙いであった。これらの操作は BIH が関連天文台と相談して決定し、世界の報時発信局へ通知していた。その後、秒定義の改訂 (CGPM, 1967) にもかかわらず標準電波がオフセットされたズレた値を放射していること、度重なるステップ調整はタイムスケールに不連続、従って実用上の不便を導入することに対する不満が高まり、 UTC の大改訂が勧告された (IAU, 1970)。これに基づいて 1972 年から新 UTC へ移行した。新 UTC ではオフセットは全廃され、0.1 秒のステップ調整は秒ステップのうるう秒へ変った。つまり UTC は TAI と同じ刻みを持ち、うるう秒の挿入により UT_1 の時刻へ ± 0.7 秒以内に追込むというルールである。この際、いままでの UTC と TAI の差から秒の端数を取払うため、 UTC に -0.10776 秒という特別のステップ調整が行なわれた。最初のうるう秒は 1972 年 6 月 30 日 UTC であった。理科年表天 78 の表は、1960 年以降の UTC の調整記録で、 TAI と UTC の関係を与えている。

しかしこの UTC ルールにも、運用上の無理のあることが判り一部改訂が勧告され (IAU, 1973), 74 年から天 77 の協定世界時の部にあるようなルールに拡張された。実際のところは地球自転の現状が TAI に対し毎年ほぼ 1 秒遅れに落着いているので、1 年 1 回、1 月 1 日 (日本時間) のうるう秒が繰返されて現在に到っている。

現在世界の報時の大多数は、この UTC を基に発信され、ほとんど $50 \mu\text{s}$ 以内に互に同期している。但しこれは発信時の時刻であって、受信点ではその秒信号の伝搬時間だけ遅れることは勿論である。またこの UTC は単に報時発信だけでなく、世界の関連天文台の標準時計もこれで運転され、 UT_1 は ($UT_1 - UTC$) の形で保時されている。