

一億分の一秒の時計比較

〈国際的に結ばれた中央標準時〉

青木 信仰・藤本 眞克*

日本の中央標準時は協定世界時 (UTC) に9時間を加えた (進めた) ものである。しかし厳密に言えば、法律に従って東京天文台が現示している中央標準時は、東京天文台で作られた協定世界時 (区別して UTC (TAO) と書かれる) に9時間を加えたものなのである。それでは、パリの国際報時局 (BIH) が決める UTC と東京天文台の UTC (TAO) とは、どれだけの精度でお互いに関係づけられているのだろうか。

UTC は、世界中に散在している原子時計群から個々の時計の変動を統計的に平均化して作られる国際原子時 (TAI) と整数秒だけ異なる。それは、UTC が地球の自転変動で変化する平均太陽時に追従するよううう秒によって調整されているためである。TAI は世界中の原子時計の平均したものであると書いたが、実は今までは、平均化に使われている時計は欧米のものに限られていた。その理由は、日本を含むアジア地域の時計と欧米にある時計との関係が、十分な精度で決められなかったからである。つまり、時計比較の精度が足りなかったの

で、個々の時計の動きが精度良く分からず、平均の母集団に参加できなかったのである。

従来の国際時計比較にはロランC電波が用いられていた。同一の発射局から出たロランC電波を双方で受信して、各自の時計で到着時刻を測り比較すれば、双方の時計の動きが相対的に分かるのである。絶対値は、時々原子時計を運搬して行って直接比較することによって校正される。ヨーロッパ大陸とアメリカ合衆国やカナダの間には、いくつもの機関の間に、共通の発射局を介して結ばれた時計比較網があって、ロランC電波による国際時計比較が精度良く行われていた。しかし、極東地域にあるロランC網の発射電波は欧米の機関では遠すぎて精度良く受信することができないため精度の良い時計比較ができず、この時計比較網はアジア地域の内部だけで閉じた孤立したものであった。そのため、典型的な比較精度は、欧米内で 0.05 マイクロ秒であるのに対し、アジアと欧米の間では、0.2 マイクロ秒であった。この差は TAI 形成に参加するための条件としては決定的な差異

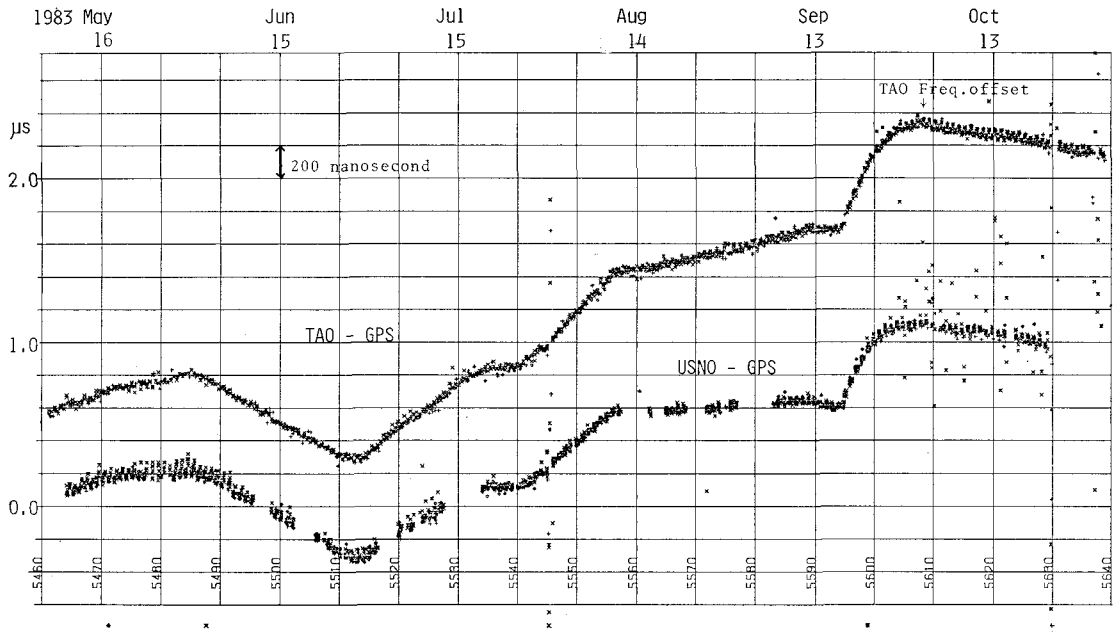


図1 約6ヶ月間の時計比較全データ。上のプロットが東京天文台の UTC (TAO) と GPS 時との差で、下は米国海軍天文台の UTC (USNO) と GPS 時の差である。1983年10月1日以前では、TAO と USNO の間におよそ 1×10^{-13} の相対周波数差があったが、東京天文台の主時計の交換により以後はほとんど差がなくなった。

* 東京天文台 Shinko Aoki and Masakatsu Fujimoto:
Precise International Time Comparison by GPS

である。

こうした事情から、全世界的に有用な精度の良い時計比較方式が検討されていたが、その中でも最も有望なものとして期待されていた「GPS衛星利用の時計比較」が実用化されようとしている。GPS衛星を利用した国際間の時計比較は次のようにして行われる。GPS衛星は搭載している原子時計に同期して信号を放射しているから、信号を受信した時刻を受信側の時計で測れば、その受信時刻と（衛星からの公称の）発射時刻との差が求まる。この差は、電波の伝播時間と双方の時計の時間差との合計であるので、衛星の軌道位置や電離層による電波の遅延量などを考慮して伝播時間が計算されれば、その残りが双方の時計の差ということになる。実際には、一億分の一秒（10ナノ秒）の精度で時計比較を行うために、時計の進み方に対する相対論的な効果や、時計比較の方法に含まれる相対的補正なども考慮されている。このようにして得られた時計の差を、他機関による同様の値と比較すれば、GPS衛星の時計を仲介して機関の間の時計の差が求まる。

東京天文台では、昭和56、57年度に科学研究費（一般研究（A）：代表者青木信仰）によって、GPS時刻信号受信システムを購入し、米国海軍天文台との間で国際時計比較実験を行った。その結果は精度、安定性ともに大変良好で、同期間内に行われた運搬時計比較とも良く一致することが確認された。これをふまえて昭和58年4月よりこの時計比較方式の定常運用を開始している。現在のところ、この時計比較に参加している機関は、東京天文台のほかに米国海軍天文台（USNO）、米国標準局（NBS）、西独国立物理工学研究所（PTB）、オーストリア

グラーツ工科大学（TUG）と国際報時局（BIH）である。これらの機関では、GPS衛星受信による時間差のデータ1週間分を、国際コンピュータ網を利用して毎週交換している。その結果、相互の時計の動きが、一億分の一秒の桁で知られるようになった。

BIHでは毎月UTCと各機関（*i*）のUTC（*i*）との差を公表しているが、従来は欧米の機関については0.01マイクロ秒の桁まで発表しアジアの機関に対しては0.1マイクロ秒の桁までしか発表していなかった。それがGPS衛星利用の時計比較によって、昭和58年後半からアジアも欧米並みの精度になった。東京天文台の時計がまず欧米の時計と高精度で結びつき、他のアジアの時計群はロランC電波による比較で東京天文台の時計と結ばれることによって間接的に欧米の時計に結ばれることになったのである。アジアの原子時計群がTAIの決定に寄与できることになって、TAIは文字通り国際原子時の名にふさわしいものになろうとしている。

国際時計比較網における欧米とアジアの結びつきが、東京天文台の時計とGPS受信システムに全面的に依存している今日、我々の責任は大変に重い。

GPS 全世界的位置決めシステム（Global Positioning System の略）。原子時計を搭載した12時間周期の衛星を6つの軌道面に合計18個配置することによって、いつでもどこからでも同時に4つ以上の衛星からの信号が受信できるようになる（現在は開発中で6つの衛星が飛んでいる）。4つの衛星に対する時間差データから、受信点のX、Y、Z座標と時計のくろいが求まることになる。

お知らせ

東京天文台野辺山宇宙電波観測所研究員公募

昭和59年1月13日

東京天文台野辺山宇宙電波観測所では、下記の要領で研究員を募集いたします。

記

1. 研究分野：電波天文学および関連分野
2. 募集人員：2名以内
3. 任 期：2年未満
(昭和59年4月～昭和61年3月)
4. 待 遇：日本学術振興会奨励研究員と同額程度の給与が支給されます。（詳細は観測所

にお問合せ下さい）

5. 研究場所：野辺山宇宙電波観測所。
6. 応募資格：大学院修士課程修了または、それと同等以上の者で当研究員に専任する者。
7. 提出書類：履歴書、研究計画、論文リスト（共著である場合はその役割分担）、および主要論文の別刷、希望の研究場所が野辺山でない場合は、その理由書。
8. 提出期限：昭和59年2月15日（水）必着。
9. 書類宛先：〒384-13 長野県南佐久郡南牧村野辺山
東京天文台野辺山宇宙電波観測所
森本雅樹
10. 選 考：野辺山宇宙電波観測所共同利用委員会
11. 問合せ先：野辺山宇宙電波観測所 森本雅樹
電話：0267-98-2831 又は 2880