

# 12. 東京天文台における人工衛星追跡用レーザ・レーダの現況について

## A Report of Satellite Ranging Observation with Laser Radar at J. A. O.

古在由秀      土屋 淳      雷田弘一郎      神田 泰      佐藤英男  
Yoshihide      Atsushi      Kōichirō      Tai      Hideo  
KOZAI      TSUCHIYA      TOMITA      KANDA      SATŌ

東京大学 東京天文台

Tokyo Astronomical Observatory, University of Tokyo  
Mitaka near Tokyo JAPAN

### § 1 序 言

我々は1968年12月以来、東京天文台堂平観測所において、レーザレーダによる人工衛星の測距実験を行ってきた。

この実験は当初、日立製作所からの委託研究という形で始められ、1971年9月より天文台独自の課題となった。

この間の開発経過、成果報告はオ1回レーザレーダシンポジウムにおいて洲崎保司氏(日立・戸塚工場)<sup>(1)</sup>が行っている。

ここでは、現在の我々の装置の概略と得られたデータの精度、問題点、将来の展望などを書く。なお、1972年以降の改良点については天文台出版物<sup>(2)</sup>を参考にさせていただきたい。

### § 2 装置とその問題点

装置は大きく分けると、レーザ発射部、受光部、データ処理部、時計部に分けられよう。装置の動きを同時に追うと、

①時計からレーザ発射の指令がでる。      ②発射望遠鏡からレーザ光がでる。

③人工衛星からの反射光が受信望遠鏡に入る。

我々の測定は①の時刻および、②-①、③-②の時間々隔を知ることにある。

○送受信望遠鏡の架台とその運転：架台は高度、方位角方式だったものを改造、オ3軸を追加して使っている。2軸方式にくらべると確実に衛星追尾ができるようになったが、まだ追尾にむずかしい点があり、例えばオ4軸を追加するなどの改造が検討されている。その他、後に述べるように、レーザ出力の強化にともなって、送信望遠鏡の倍率を変えて最終絞り角を1 mrad から2 mrad (6分角)にした。これによって衛星の追尾がかなり容易になった。

○時計とその精度保持：データ処理部にある時計面は完全に外部同期がされている。30mほどはなれた場所には東京天文台(三鷹)のセシウム時計と±40μs以内で同期のとれた水晶時計がある。ここからレーザ観測室に基準秒パルスを送り、時計面を制御している。

○レーザの更新：1971年秋、レーザ装置を交換した。新旧の性能比較を下に示す。

	(新)	(旧)
くり返し率	毎10秒	毎秒
せん頭出力	60 MW	20 MW
パルス半値巾	15 ns	50 ns
ビーム絞り角	4 mrad	4 mrad

新レーザは発射くり返し率が低くなったが、せん頭出力が高く、半値巾がせまくなつてパルスの立上りが非常に鋭くなった。このために確実にしかも精度良くカウンタをストップさせられるようになり、測定回数減少を十分に補えるようになった。新装置は軽量化も実現でき、架台のたわみがなくなつて追尾の精度も向上した。

○レーザモータ：応答時間5ns以下のフォトダイオードを使用している。  
○光電管とその周辺：人工衛星からの反射光は光電管に入る前に干渉フィルタを通過する。半値巾は約70Åで、この中は空の明るさについてのS/N比を与えるもので、今秋、これを10Åのものとの交換する予定である。我々の受信鏡の受光ビーム巾は約2mradであるが、空のノイズレベルについての詳細は、この予稿集の月レーザの項を参照していただきたい。

光電管の冷却は当初ドライアイスで、ついで液体窒素が使われたが、信号のレベルが十分に高いこと、また観測の集中する冬期には光電管のノイズは数百カウント/秒程度であることなどから、冷却の必要はほとんどない。

光電管印加の高圧は、当初24KVにしていたが、フォトン計数法によるノイズレベルの検討の結果、光電管内の信号の遅れが増えることを考慮に入れなくてはならないが、S/N比の最良は1.7KV周辺であることがわかった。

○反射信号パルスの増幅：アンプは光電管の近くで10dB、カウンタ近くで40dBのものを使用している。帯域は150MHzである。

○レンジゲート：レンジゲートはカウンタのストップ端子に入る信号を予想される時刻の直前まで押えておこうとするもので、このゲートが信号に近づけば近いほど、ノイズによるカウンタの誤動作が少なくなるが、信号のレベルが十分に高い場合にはレベルによる制限をするだけで十分に誤動作からカウンタを守ることができ、そこで我々はレーザを発射した直後の地球大気中の散乱による強い光の光電管へのまわりこみだけを除去するような固定レンジゲートを採用することにした。

○カウンタ：100MHzすなわち分解能10nsのカウンタを使っている。このカウンタは計数部が、250MHzの計数能力を持っているので、基準パルスをしてい倍して256MHzとし、それを外部基準信号とすようにカウンタを使った。これによって、最小よみとり桁は10nsから4nsとなった。

○記録：観測の記録は、プリンタ及び紙テープパンチでなされる。紙テープパンチは計算機処理のためである。

○シミュレータ：装置全体が正常に働いているかどうか、背景光の明るさはどうかなどのチェックにシグナルシミュレータが用意されている。毎回の観測はカウンタのトリガレベルを、このチェックできめている。

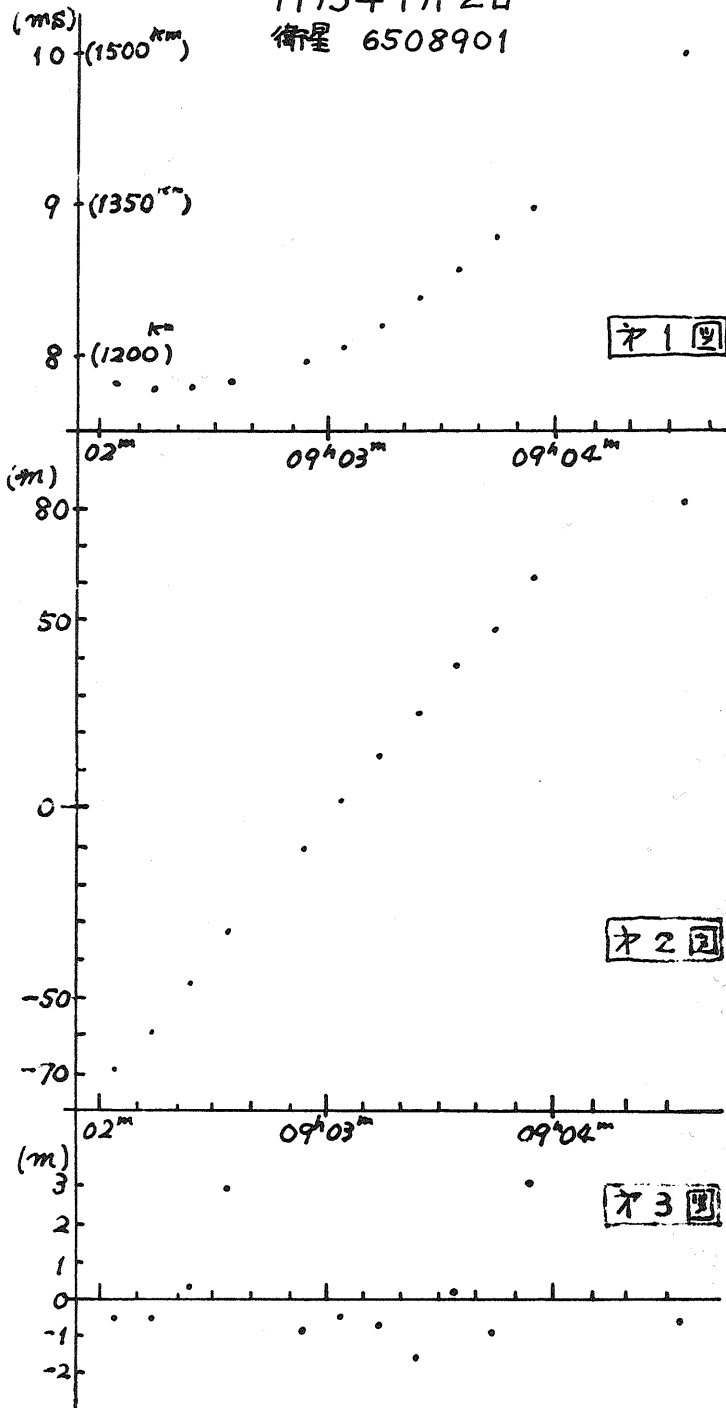
### § 3 データの処理と検討

観測の一例をオ1図に示す。横軸は時刻を、縦軸は衛星の距離が時間で表わしてある。

1回の観測から5~20個のデータが得られ、それをアメリカのスミソニアン天文台に送る。各国から送られた、レーザ、ベーカーナンカメラの遅報などが2週間分ほど集まると、全部を一連のデータとして衛星軌道の計算を始める。途中、ばらつきの大いデータは除かれ再計算をするという手続きのあと、最も確からしい軌道(c)が求まる。オ2図はこの値と観測データ(○)との差(○-c)を示す。

これを見ると(○-c)はかなり大きい値だが、何かはっきりした傾向をもっている。これを3次曲線と仮定し、そこからのずれを示したものが、オ3図である。このようにすると観測値のばらつきは標準偏差値で1.5m程度になる。この値は衛星の観測者からの距離がおよそ1500kmくらいなので、精度は $10^{-6}$ 程度と云える。一方、従来行なわれてきた写真による衛星の

1973年1月2日  
衛星 6508901



位置測定では精度が角度の2秒が限度とされており、少くともさらに1桁精度を上げることは不可能であると見られる。角度の2秒は距離1500 kmの衛星の場合、約15 mに相当し、精度は  $10^{-5}$  程度と云える。

レーザの測距精度を更に1桁高めることは後述するようにな充分可能なことであって、この点からも、人工衛星のレーザによる測距は有効な観測手段と云えよう。

なおオ2図における (O-C) の値が大きいのは ① ジオポテンシャルに地域的な大きな変化がある。② 人工衛星が通過する高空での空気の抵抗値の不確かな要素。などが原因と考えられている。

#### §4 今後に残された課題

これまで述べてきたように装置は実験機としての段階を過ぎ、実用機として改良を続けゆく段階に来ている。

○ 衛星追尾の問題：現在は、夜間見える衛星という条件のもとで、観測が行なわれている。これを晴天ならば昼夜を問わない態勢にするためには、まず架台の数値制御が必要で、その指向精度は、衛星位置の予報とあいまって角度の5分以内程度が要求される。

我々は実験機を改良して数値制御をすることは考えていない。

○ 測距精度の問題：レーザレーダによる測距の精度は主に ① パルスレーザの立ち上り時間、② 測定機、特に時間々隔測定カウンタの能力に依っている。現在カウンタは100ピコ秒まで測定できるものが市販されていて、レーザも縦方向のモードロックをかけることでピコ秒パルスが得られるので、この両方から、測距精度も1桁以上向上できうると考えている。ただその場合には、レーザモニタ用のフォトダイオードの立ち上り時間の問題、衛星からの反射光の電圧レベルとカウンタストップの関係などが十分に知られなければならない。

○ 応用面への展望 : 現在, 人工衛星の観測は測地利用, 特に陸地からの三角測量のできない離島の位置決定に偉力を發揮している。もし測距精度が, 数cm程度まで向上し, 大量のデータが得られるようになれば, 地球物理学で話題の多い, 大陸移動, 極運動などを求める有力な争がかりとなりうるし, 観測地の地殻変動がわかれば, 地震予知ということまで考えられるようになる。

## § 5 結 語

定常的な観測ができるようになった背景には, 日立製作所や塚工場の方々の多大な御協力があつたので, 厚く感謝を申し上げる。

現在, 我々は月のレーザレーダによる測距システムを開発中で, この課題にはこれまでの人工衛星レーザ測距の経験が役に立つものと考えている。

## 参考

(1) 日立, 東京天文台レーザレーダ実験グループ

『レーザレーダによる人工衛星の測距実験』

オ1回レーザレーダシンポジウム資料(1972)。

(2) Y. Kozai et al.

『Satellite Laser Ranging Instruments Operated  
at Tokyo Astronomical Observatory』

Tokyo Astronomical Bulletin 2nd Series, No. 223(1973)