計算機による三点測距距離試験の評価方法について

On the Evaluation Method of Range and Ranging Rate Data Acquired for TRRR Test of GMS-3 Mission Check

長谷川秀行*

Hideyuki Hasegawa*

ミッションチェックの一試験項目，三点測距距離試験のデータ解析は DPC で行なわれた。試験の主目的は，測距局の送信電力，衛星の中継器を通過する信号の種類等をいろいろ変えて，測距データのバラツキの大きさやその変化傾向を評価することである。バラツキの大きさは，測距データを一定時間の区間毎に時間の関数としてチェビシェフ多項式で最小二乗近似し，それからの偏差の大きさで評価される。

1. はじめに

ミッションチェックの試験項目の一つとして三点測距距離試験がある。この試験の概要は，試験対象衛星を使って実際に三点測距を行い，測距局の送信電力，衛星の中継器を通過する信号の種類等のパラメータをいろいろ変えて測距データの分散の大きさおよびその変化傾向を調べることである。この試験は通信系試験の一つであって，試験の為のコマンド送出やデータの取込み等の主要な作業は CDAS において実施されるが，取得されたデータの解析には計算機処理が必要で，今回も GMS, GMS-IIのミッションチェック時と同様に DPC において評価の為のデータ処理が行なわれた。このデータ処理の概要について記す。

2. 試験の目的と評価規準

TRRR システムで測定される衛星測距局間の距離は，静止衛星のものといえども一定ではなく変動しているものである。Fig. 1 は各測距局からの距離の時間変化の一例（ただし計算機による予測値）であるが，軌跡は正弦カーブにきわめて近い。衛星直下点の変化で見ても，1日程度の時間スケールでは，南北方向には衛星の軌道面が地球赤道面とある角度（Inclination）を持つことが主原因となって，また東西方向には衛星の軌道が真円でなく惰円であることが主原因となって変動している。また東西方向のいずれかにドリフト速度を持つのが普通である。Fig. 2 はその1例である。実際の測距データにはこれらの変動の上にランダムな誤差が重畳されている。このランダム誤差は，CDAS における受信信号レベルが低いために熱雑音が主因となって生ずるものとされている。このランダム誤差の大きさは各測距局の送信電力によって影響を受ける。この試験では各測距局の動作状態をパラメータとしてこのランダム誤差の大きさを評価することが目的である。

評価規準は，「ランダム誤差が 2.8 m 以下であること」および「ランダム誤差が GMS-2 ミッションチェック時と同程度であること」となっている。2.8 m という数値は軌道決定処理結果が画像のピクセルの地理的位置決定に及ぼす影響を評価して決定された値である。

3. データ種類と処理方法

この試験は，主系及び冗長系について同等の試験が行なわれたが，簡単のために片系のみについて記す。Table 1 は試験時の各測距局の送信電力マトリクスである。ただしここに記されている値は代表値であって実際の送信

* 気象衛星センターシステム管理課，Meteorological Satellite Center

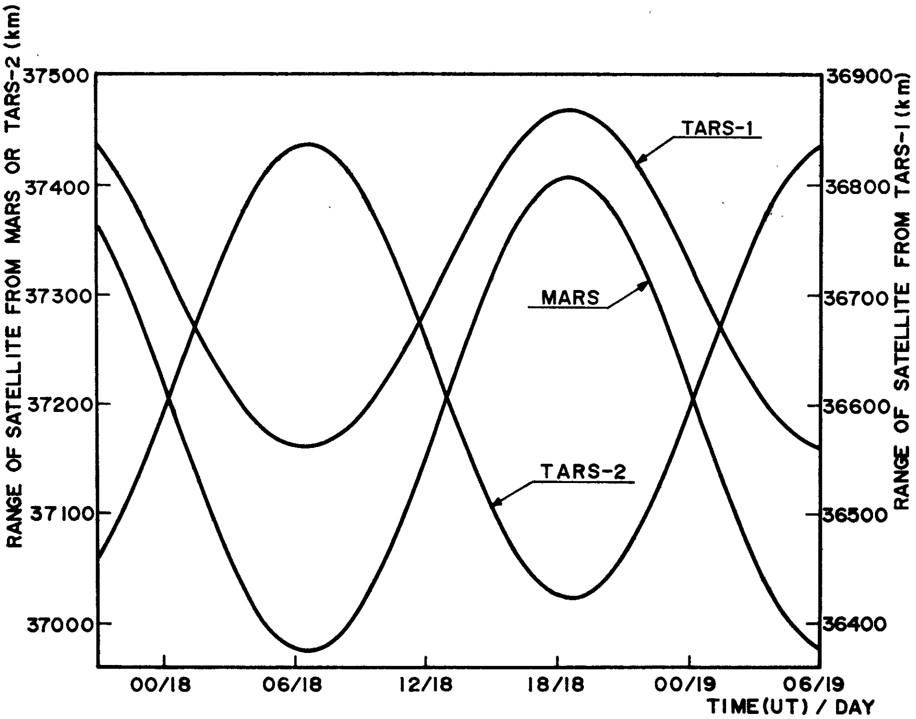

Fig. 1 An example of the temporal variations of the distances between GMS and the ranging stations from 23 : 30 UT, 17 July to 06 : 00 UT, 19 July, 1984.

Table 1 Matrix to show the output power combinations of the ranging stations (MARS, TARS-1, 2). Asterisk indicates a combination to be used for normal operations, and circles indicate combinations used just for the Mission Check.

MARS 送信電力 / TARS 1,2 送信電力	50W	100W	200W
100W	○	○	○
200W	○	*	○

電力は若干異なると考えるべきである。＊マークを付加したのはノミナル値で，通常の運用はこのモードで行なわれる。

試験の第一段階として，約1日間にわたって通常運用のスケジュールに近い形で4回分の測距データが取得される。このデータはマイクロ回線で CDAS から DPC に送られ，DPC において TRRR データ編集処理にかけられた後，軌道決定予測処理に入力される。この処理では初期値として NASDA で決定された軌道パラメータを使っているので，NASDA 決定値による軌道と試験で得られた測距データを比較することができる。

第二段階として，各測距局の送信電力および衛星の中継器を通過する信号の種類を変えて次々に各モードの測距データが取得される。Table 2 に通過信号の種類を示す。モードの数は合計10となり，したがって測距回数も10回となるが，今回のミッションチェックでは各回約6分間のデータが取得された。測距データは1秒に1回の頻度で得られるから，各回の各測距局に対する測距データ数は約360であった。これらの測距データも前述と同様に CDAS から DPC に送られ DPC において TRRR データ編集処理に入力され，さらに軌道決定予測処理に入力される。これらの処理の内容については北村(1979)

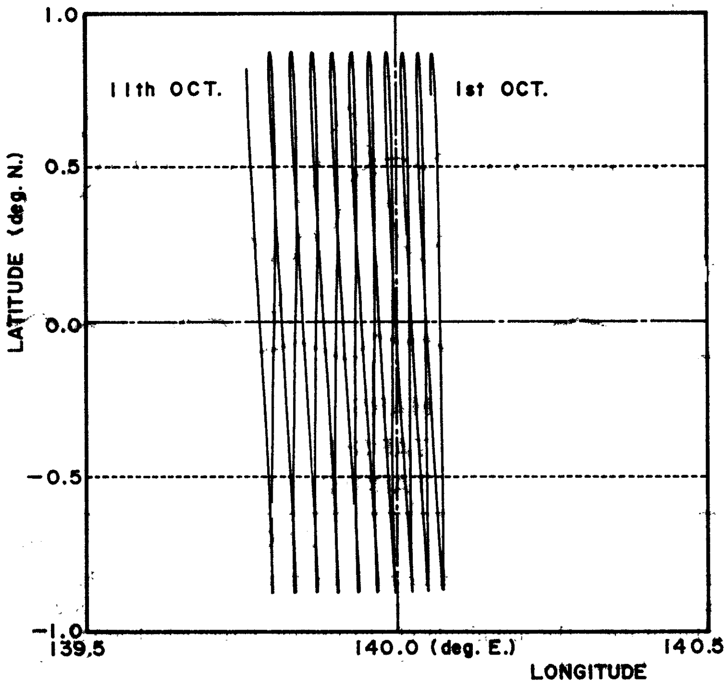

Fig. 2 An example of the temporal variations of the subsatellite point of GMS from 00: 00 UT, 1 Oct to 24: 00 UT, 11 Oct, 1980.

Table 2 Matrix to show the combination patterns of the ranging stations' output powers. Dashes indicates that the relevant station output no power.

	MARS 送信電力	TARS-1 送信電力	TARS-2 送信電力
Pattern 1	100W	——	——
2	100W	200W	——
3	100W	——	200W
4	100W	200W	200W

を参照して頂きたい。軌道決定予測処理に入力された測距データは前処理（北村，1979）によって平滑化され，この時平滑化された値との標準偏差 σ が計算され 3σ 以上離れたデータは不良データとして棄却される。平滑化はチェビシェフの3次多項式による最小二乗近似を時間的に連続した30データに対して行い，得られた近似多項式は中央の10データに相当する時間に当てはめられ，したがって棄却の対象となるのも中央の10データである。この最小二乗近似は10データずつずらして全データに対して行なわれる。このようにして計算された10データ毎の標準偏差をもって評価すべきランダム誤差とみなしている。測距の初めと終りだけは20データが対象となる。

4. 結 果

上述のよう方法で得た結果の一部を紹介する。Fig. 3は，MARS=100W，TARS-1=200W，TARS-2=200Wの測距局送信電力モードで，衛星の冗長系中継器を使用して取得された測距データの標準偏差の時間的推移を示したものである。前述の評価基準を十分に満足しているとともに，時間的にも安定していることがわかる。これは結果の一例でしかないが，主系冗長系の両試験を通して，ランダム誤差の大きさは十分に評価基準をクリアしていた。NASDA 決定値に基づく軌道と試験で得られた測距値とのパス（一回の測距で取得されるデータを1パ

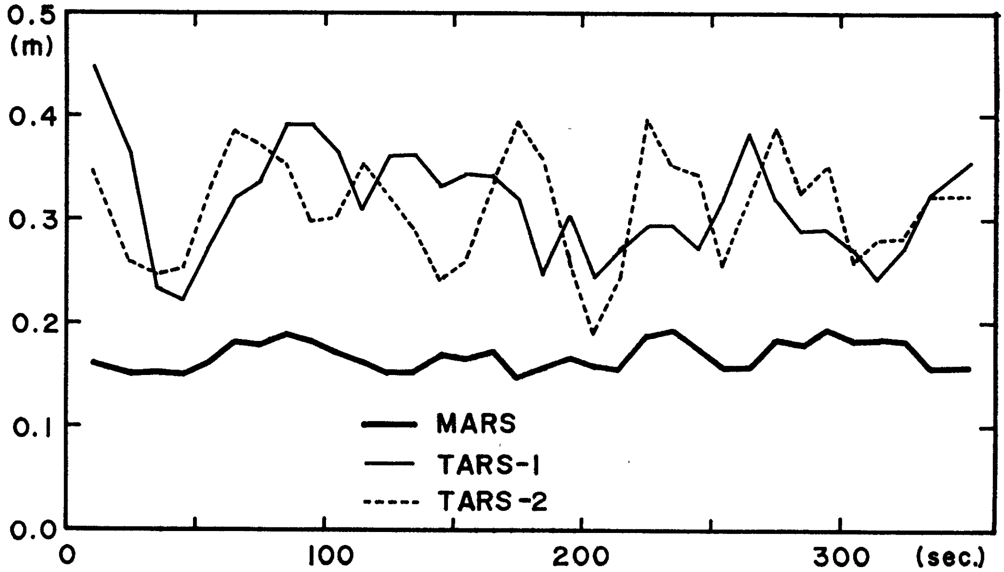

Fig. 3 An example of the temporal variations of the random errors of the ranging data. The numbers on the abscissa mean the time from the start of the ranging in seconds, and the numbers on the ordinate mean the magnitude of the random errors which are the standard deviations in meters around the least square approximations expressed with Chebyshev polynomials of the third order.

ス分のデータと呼ぶ）毎の残差も評価することができたが，測距システムの違い，観測日時の違い等を考慮に入れれば十分満足できる値であった。

最後に本計算機処理を実行するに際して，御指導御協力を頂いた高橋管制課長と広岡調査管（システム管理課）に感謝致します。

付録　チェビシェフ (Chebyshev) 多項式 $T_n(x)$

n 次のチェビシェフ多項式 $T_n(x)$ の一般的表式は

$$T_n(x)=\frac{(-1)^n 2^n}{(2n)!}(1-x^2)^{1/2}\frac{d^n}{dx^n}\{(1-x^2\}^{n-(1/2)}\} \qquad (1)$$

であるが，漸化式

$$T_n(x)=2xT_{n-1}(x)-T_n(x) \qquad (2)$$

を満足することと，$T_0(x)=1$，$T_1(x)=x$ であることから，

$$T_0(x)=1 \qquad (3)$$

$$T_1(x)=x \qquad (4)$$

$$T_2(x)=2x^2-1 \qquad (5)$$

$$T_3(x)=4x^3-3x \qquad (6)$$

$$T_4(x)=8x^4-8x^2+1 \qquad (7)$$

$$T_5(x)=16x^5-20x^3+5x \qquad (8)$$

等を得ることができる。$T_n(x)$ はまた

$$T_n(x)=\cos(n\cdot\arccos x) \qquad (9)$$

とも表わされることがある。チェビシェフ多項式の重要な性質として，区間 $[-1,\ 1]$ で n 次の多項式 $Q(x)$ を $n-1$ 次の多項式 $P(x)$ で近似する時，この区間における $|Q(x)-P(x)|$ の最大値を最小にするという意味で最良近似を得ることのできる分点 $(x_1,\ x_2,\cdots,\ x_n)$ を与えてくれるということがある。この分点は $T_n(x)$ の極値を与える点で，(9)式から，

$$x_k=\cos\frac{k}{n}\pi \quad (k=1,\ 2,\cdots,\ n) \qquad (10)$$

である。また $Q(x)$ が分っていれば

$$P(x)=Q(x)-\frac{1}{2^{n-1}}T_n(x) \qquad (11)$$

が上の意味で最良近似多項式で，したがって誤差の最大値は $1/2^{n-1}$ である。また $T_n(x)$ は $(1-x^2)^{-(1/2)}$ を重み関数として区間 $[-1,\ 1]$ で直交多項式を成している。

略語表

CDAS　Command and Data Acquisition Station
（指令資料収集局，気象衛星通信所）

DPC DATA Processing Center
(データ処理センター)
MARS Master Panging Station
(主測距局)
NASDA National Space Development Agency
(宇宙開発事業団)
TARS Turn Around Ranging Station
(測距局)
TRRR Trilateration Range and Range Rate
(三点測距)

参考文献

北村利次，1979：軌道データ処理，気象衛星センター技術報告（特別号Ⅱ-1），41.