

# 科学衛星「たいよう」の光学観測 (18mφアンテナの角度比較)

齊藤 成文<sup>\*</sup>・長谷部 望<sup>\*\*</sup>・瀬尾 基治  
栄 楽正光・山田 三男

## The Optical Observation of the Scientific Satellite "TAIYO"

By

Shigebumi SAITO, Nozomu HASEBE, Motoharu SEO,  
Masamitsu EIRAKU and Mitsuo YAMADA

**Abstract:** The scientific satellite "TAIYO" was launched on February 24, 1975. This paper describes the optical observation results of the scientific satellite "TAIYO". Angle data of the optical tracking system are compared with the angle data obtained from the automatic tracking antenna at Kagoshima Space Center which has the 18 meter paraboloid reflector.

### 概 要

科学衛星「たいよう」は1975年2月24日に打上げられた。本文では科学衛星「たいよう」の光学観測結果が述べられる。光学追跡装置による角度データは東京大学鹿児島宇宙空間観測所の18mのパラボラ反射鏡を有する自動追尾アンテナの角度データと比較される。

### 1 ま え が き

本報告は科学衛星「たいよう」の光学観測結果を18mφアンテナによる400 MHz電波自動追尾結果と角度比較したものである。衛星の観測については「しんせい」の観測〔1〕〔2〕で一応報告済みであるが、一部説明を省略したので、この補充の意味も含めて、データ整理の手順、計算式の説明、「たいよう」の観測結果等について述べる。

### 2 衛星位置決定の概要

人工衛星（以下衛星という）の写真撮影を行なった場合、衛星の天球上における赤経、赤緯を正確に決定する必要がある。

---

\* 宇宙研併任教授

\*\* 東大生産技術研究所

位置決定には数々の方法があるが、いずれの場合にも衛星の近傍に一緒に写っている背景の恒星の位置と比較することによって決定する。

現在、我々の使用している方法はコムリーのDナンバー法 (Comries Dependence Method) とよばれているもので、この方法は天球上を運行する一個の小惑星や彗星の位置決定によく用いられるものである。その順序としては、①写真上の衛星位置の確認、②比較星の選定、③フィルム上の測定、④赤経赤緯の計算である。

### 3 比較星の選定

フィルム上の位置の確認ができたならば、できるだけ衛星の近くに、それをとりかこむような3個の比較星をさがしだす(写真-1)。その場合衛星が比較星によってつくられる三角形の重心になるように比較星を選定することが測定精度上理想的であるが、そのような三角形を形成することはできないことが多い。又衛星を三角形内に入れることにあまりこだわる必要はない。それよりもできるだけ衛星の近くの恒星を選ぶことが重要である。

以上の方法により衛星と比較星が決まったならば、フィルムより撮影された時刻を読み出し、衛星のおよその位置(赤経、赤緯)を予報値から読み出す。読出した衛星の位置とSAO星図(Smithsonian Astrophysical Observatory Star Atols 図-1)より3個の比較星をさがしだす。なお、フィルムに写っている恒星の間隔と星図上の間隔は一致するように星図を引伸ばしてある。

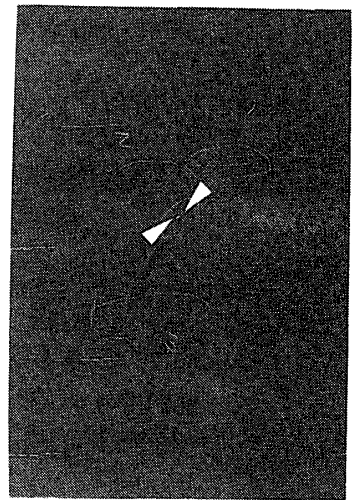


写真 - 1

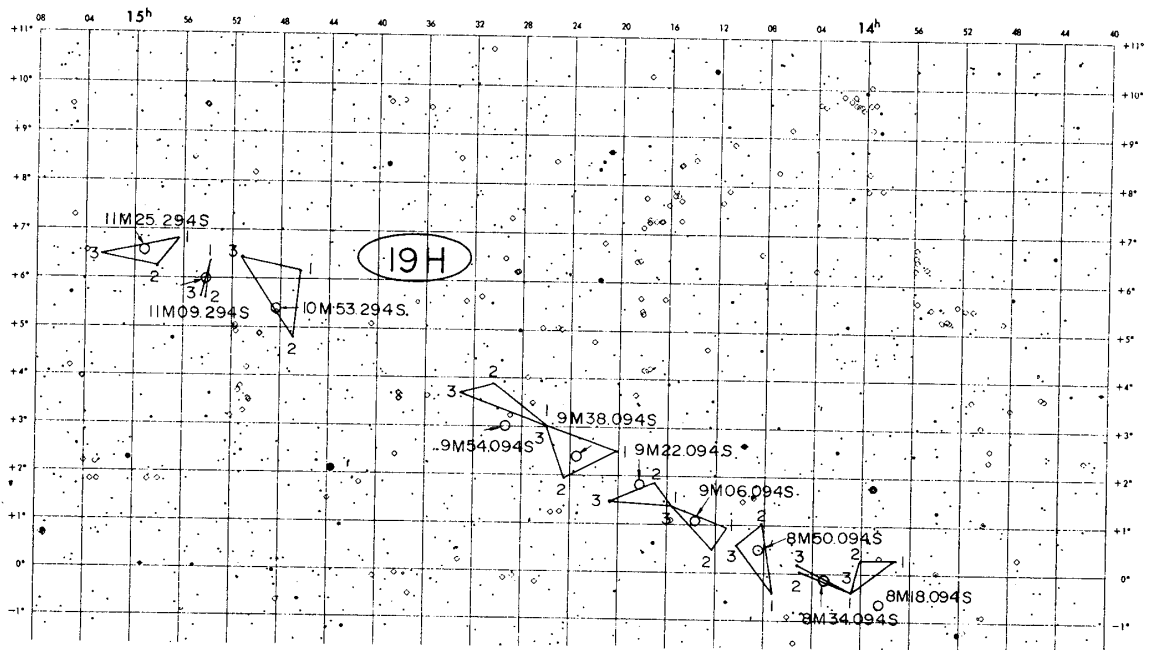


図-1 図は衛星と比較星の関係を各コマ記入したものである。

表 - 1

NUMBER	120700		EPOCH 1950								ORIGINAL EPOCH						SP	SOURCE		+0° 14H DM NUMBER		
	MAGNIT UDER		α 1950		μ	σ	δ 1950		μ'	σ	σ 1950		α2	σ	ep	δ2		σ'	ep		CAT	STAR NUM BER
	mpg	mv	h	m	s	''	'''	''	'''	''	'''	s	''	01	''	''		01	ep			
						001	°	'	''	001	''											
1	8.2 A	14 49 21.315	-0.0009	09	2 13 8.74	0.028	09	0.21	21.327	17	36.3	8.35	17	36.3	G 5	20	5073	A 2 2876				
2	9.0 A	49 23.430	-0.0004	09	4 47 33.89	-0.065	09	0.21	23.435	17	36.3	34.78	17	36.3	K 2	22A	6825	A 5 2935				
3	8.3 A	49 29.577	-0.0074	11	9 1 49.67	-0.037	11	0.21	29.655	17	39.4	50.05	17	39.4	K 0 R	22B	6826	A 9 2950				
4	9.4 A	49 43.922	-0.0006	11	4 8 35.97	-0.036	11	0.22	43.931	17	36.3	36.47	17	36.3	F 5	20	5074	A 4 2930				
5	8.8 A	49 57.112	-0.0030	09	0 19 7.42	-0.002	11	0.22	57.152	17	36.3	11.54	17	36.3	G 5	21	3819	A 0 3259				
6	8.8 A	50 2.598	0.0020	09	0 42 39.76	-0.014	11	0.22	2.571	17	36.3	39.94	17	36.3	G 0	21	3820	A 1 2991				
7	8.8 A	50 3.346	-0.0018	09	0 13 19.61	-0.036	11	0.22	3.370	17	36.3	20.10	17	36.3	G 5	21	3821	A 0 3260				
8	7.9 A	50 11.899	-0.0030	11	7 58 42.43	-0.063	11	0.22	11.941	17	36.3	43.29	17	36.3	K 0	22A	6827	A 8 2931				
9	8.0 A	50 12.644	-0.0002	11	9 24 50.84	-0.032	11	0.21	12.646	17	39.4	51.18	17	39.4	K 5	22B	6828	A 9 2952				
10	8.4 A	50 14.077	-0.0004	15	8 41 6.19	-0.009	13	0.23	14.113	17	39.4	6.28	17	39.4	F 5	22B	6829	A 9 2953				
36	9.2 A	52 38.499	-0.0001	09	0 18 16.43	-0.006	11	0.22	38.500	17	36.3	16.50	17	36.3	K 2 R	21	3829	A 0 3271				
37	8.8 A	52 50.145	-0.0038	09	0 21 52.08	0.078	11	0.22	50.196	17	36.3	51.00	17	36.3	F 8	21	3831 K	A 0 3273				
38	9.2 A	52 54.467	-0.0007	11	2 12 17.88	-0.034	09	0.22	54.477	17	36.3	8.33	17	36.3	F 8 R	20	5092	A 2 2887				
39	6.9 T	52 54.609	0.0003	07	6 59 51.57	-0.021	05	0.38	54.590	15	94.0	12.84	14	89.2	K 5	GC	20072	7 2865				
40	8.3 A	52 59.204	-0.0022	12	7 57 0.45	-0.015	11	0.23	59.234	17	36.3	50.65	17	36.3	K 5	22A	6840	A 8 2941				
41	8.5 A	52 59.969	0.0011	11	0 56 0.22	-0.025	11	0.22	59.955	17	36.3	0.55	17	36.3	G 5	20	5093	A 1 3002				
42	8.5 A	53 22.242	-0.0001	12	9 21 17.78	0.020	11	0.21	22.243	17	39.4	17.56	17	39.4	F 0	22B	6841	A 9 2959				
43	7.0 A	53 46.039	-0.0031	11	3 37 3.53	-0.046	09	0.22	46.082	17	36.3	4.16	17	36.3	F 2	20	5094	A 3 2956				
44	8.5 A	53 47.567	-0.0034	12	6 21 35.33	0.054	12	0.24	47.613	17	36.3	34.59	17	36.3	K 0	22A	6842	A 6 2961				
45	8.5 A	53 53.690	-0.0021	12	4 25 47.28	-0.044	12	0.24	53.719	17	36.3	47.89	17	36.3	K 2	22A	6843	A 4 2937				
46	8.3 A	53 54.680	-0.0040	12	9 6 8.54	0.030	11	0.21	54.722	17	39.4	8.21	17	39.4	K 0	22B	6844	A 9 2962				
47	8.0 A	53 59.548	0.0008	11	3 7 13.33	0.011	11	0.22	59.537	17	36.3	13.18	17	36.3	K 0	20	5096 K	A 3 2957				
48	8.4 A	54 2.419	-0.0036	13	7 53 10.95	0.008	12	0.25	2.468	17	36.3	10.83	17	36.3	F 2	22A	6845	A 8 2944				
49	8.4 A	54 13.021	-0.0019	12	5 35 58.95	-0.018	12	0.24	13.046	17	36.3	59.19	17	36.3	A 2	22A	6846	A 5 2945				
50	9.0 A	54 13.825	-0.0008	12	8 13 7.06	-0.005	11	0.23	13.837	17	36.3	7.12	17	36.3	F 8	22A	6847	A 8 2945				
51	8.2 A	14 54 21.112	-0.0020	12	7 42 11.51	0.034	11	0.23	21.140	17	36.3	11.04	17	36.3	K 0	22A	6848	A 8 2947				
52	9.0 Q	54 22.780	-0.0202	15	8 47 50.35	0.208	12	0.64	23.672	17	05.9	40.81	17	04.2	K 0	GC	20007	9 2966				
53	8.5 A	54 22.996	-0.0012	11	4 12 4.01	-0.035	11	0.22	23.012	17	36.3	4.49	17	36.3	K 0	20	5097	A 4 2939				
54	9.0 A	54 25.674	-0.0040	11	4 21 3.74	-0.006	11	0.22	25.729	17	36.3	3.82	17	36.3	F 0	20	5099	A 4 2940				
55	9.5 A	54 28.657	-0.0001	09	0 39 51.42	-0.070	11	0.22	28.659	17	36.3	52.37	17	36.3	G 0 R	21	3833	A 1 3005				
56	7.8 A	54 35.160	-0.0017	12	5 37 52.99	-0.014	11	0.23	35.183	17	36.3	53.18	17	36.3	K 0	22A	6850	A 6 2963				
57	8.8 A	54 56.664	-0.0111	12	6 7 17.41	0.008	11	0.23	56.815	17	36.3	17.29	17	36.3	K 0	22A	6851	A 6 2964				
58	5.7 H	54 59.224	0.0041	02	0 1 58.08	-0.027	02	0.06	59.110	04	22.4	58.92	04	19.1	K 0	F 4	1393	0 3277				
59	9.3 A	55 0.238	0.0005	12	5 22 11.41	0.014	11	0.23	0.230	17	36.3	11.22	17	36.3	A 5	22A	6852	A 5 2946				
60	9.2 A	55 14.974	-0.0012	11	4 19 36.59	-0.020	09	0.22	14.991	17	26.3	36.87	17	36.3	A 5	20	5100	A 4 2911				
91	8.3 A	58 12.183	-0.0003	11	6 13 44.67	-0.017	11	0.22	12.187	17	26.3	44.90	17	36.3	K 2	22A	6870	A 6 2971				
92	9.0 A	58 20.178	0.0003	11	8 46 59.17	0.003	11	0.21	20.175	17	29.4	59.14	17	39.4	K 2	22B	6874	A 9 2985				
93	9.0 A	58 24.533	0.0020	11	4 31 59.18	-0.034	11	0.22	24.505	17	26.3	59.65	17	36.3	F 8	22A	6873	A 4 2947				
94	6.8 T	58 30.380	-0.0037	09	3 5 45.12	-0.066	09	0.47	30.661	15	01.0	48.44	15	99.3	F 5	GC	20199	3 2966				
95	8.5 A	58 39.466	0.0015	11	2 3 2.69	-0.014	09	0.22	39.446	17	36.3	2.87	17	36.3	G 5	20	5112	A 2 2900				
96	9.3 A	58 55.227	-0.0001	09	6 50 18.55	-0.010	09	0.21	55.228	17	36.3	18.69	17	36.3	K 2	22A	6875	A 7 2881				
97	8.0 A	59 10.902	-0.0001	09	0 54 39.04	0.013	11	0.22	10.904	17	36.3	38.85	17	36.3	F 2	21	3848	A 1 3015				
98	5.9 T	59 15.090	0.0004	03	0 3 22.02	-0.027	03	0.17	15.070	09	04.1	23.30	07	02.1	K 0	GC	20212 K	B* 0 3297				
99	9.5 A	59 16.108	-0.0025	11	5 49 41.33	-0.008	09	0.22	16.142	17	36.3	41.44	17	36.3	F 8	22A	8876	A 6 2974				
90	8.4 Q	59 21.733	-0.0044	16	3 33 23.76	-0.006	11	0.63	21.920	21	07.7	24.05	19	03.5	G 0	GC	20214	3 2958				

表 - 1

U. T. 19H 11M 09.294 S に撮影された衛星の 1950年分点に於ける。比較星の位置を S A O

カタログより選び出すと下線を施した星で位置は

1 の星は α = 14h 53 m 47.567s δ = 6° 21' 35.33"

2 の星は α = 14h 54 m 13.021s δ = 5° 35' 58.95"

3 の星は α = 14h 54 m 35.160s δ = 5° 37' 52.99"

となる。

星図の上に衛星と3個の比較星の位置をプロットし、大略の位置を読み出し、SAOカタログ(表-1)より3個の比較星の正確な位置を読み出す。

次に座標測定機にフィルムをセットし、衛星と3個の比較星のX, Y方向の座標測定を行なう。測定は数回行ない平均値を用いている。

#### 4 Dナンバー法

図-2の比較星の $S_1$ のX, Y座標を $(x_1, y_1)$   $S_2$ を $(x_2, y_2)$ ,  $S_3$ を $(x_3, y_3)$ とし、衛星Aの座標を $x_a, y_a$ とすると、まず次のようなNのそれぞれの値を計算する。

$$N_1 = (x_2 - x_a)(y_3 - y_a) - (x_3 - x_a)(y_2 - y_a)$$

$$N_2 = (x_3 - x_a)(y_1 - y_a) - (x_1 - x_a)(y_3 - y_a)$$

$$N_3 = (x_1 - x_a)(y_2 - y_a) - (x_2 - x_a)(y_3 - y_a)$$

および

$$N = N_1 + N_2 + N_3$$

これらのNを用いるとDナンバーは

$$D_1 = N_1 / N$$

$$D_2 = N_2 / N$$

$$D_3 = N_3 / N$$

で求められる。ここで

$$D_1 + D_2 + D_3 = 1 \quad \text{である。}$$

以上のDナンバーより比較星 $S_1, S_2, S_3$ の赤経と赤緯をそれぞれ $(\alpha_1, \delta_1), (\alpha_2, \delta_2), (\alpha_3, \delta_3)$ とすると赤道付近の星野に対する場合には次の計算式によって、衛星Aの赤経, 赤緯 $(\alpha_a, \delta_a)$ が求められる。

$$\alpha_a = \alpha_1 + (\alpha_2 - \alpha_1) D_2 + (\alpha_3 - \alpha_1) D_3$$

$$\delta_a = \delta_1 + (\delta_2 - \delta_1) D_2 + (\delta_3 - \delta_1) D_3$$

しかし、星野が赤道帯から相当はずれている場合や比較星の三角形が大きすぎる場合には次のような修正値を上式の $\alpha_a$ と $\delta_a$ に加える必要がある。

修正値 $\Delta\alpha$ は次式で計算する。

$$K_2 = (\alpha_2 - \alpha_1)(\delta_2 - \delta_1)$$

$$K_3 = (\alpha_3 - \alpha_1)(\delta_3 - \delta_1)$$

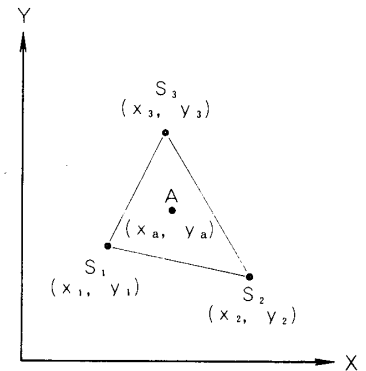


図-2 衛星と比較星の関係

$$K_a = (\alpha_a - \alpha_1)(\delta_a - \delta_1)$$

ここで  $K_a$  の項の計算に必要な  $\alpha_a$  と  $\delta_a$  は衛星についての推定値である。

$$\Delta\alpha = 0.000291 (K_a - K_2 D_2 - K_3 D_3) \tan \delta_1$$

次に  $\delta_a$  の修正値を求めるにはまず次のような  $M_a$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  を計算する。

$$M_2 = (\alpha_2 - \alpha_1)^2$$

$$M_3 = (\alpha_3 - \alpha_1)^2$$

$$M_a = (\alpha_a - \alpha_1)^2$$

$\delta_a$  に加える修正値  $\Delta\delta$  は次式により与えられる。

$$\Delta\delta = 0.000073 (M_2 D_2 + M_3 D_3 - M_a) \tan^2 \delta_1$$

これで求められる  $\Delta\delta$  は角度 (分) である。

### 5 歳差の計算

星図, 星表より与えられる比較星の赤経, 赤緯は1950年の値であるため, 観測日時の衛星の赤経, 赤緯を求めるには歳差運動の補正値を加えなければならない。この補正は地球が自転軸を振ることに対して行なうもので, その原因は地球が球でなく偏平な回転楕円体に近く, 月および太陽が自転軸の方向を変えようとする力を及ぼすためである。

次式により観測日のユリウス日 (JD) を求める。

$I$  は年,  $J$  は月,  $K$  は日である。

$$\begin{aligned} JD(I, J, K) = & K - 32075 + 1461 \\ & * (I + 4800 + (J + 14) / 12) / 4 + 367 * (J - 2 \\ & - (J - 14) / 12 * 12) / 12 - 3 * ((I + 4900 + (J - 14) \\ & / 12) / 100) / 4 \end{aligned}$$

$$d = JD - 2433000$$

$$D = d / 10000$$

上式のユリウス日より求めた  $D$  および “ $D$  ナンバー法” により求めた1950年の衛星の赤経, 赤緯を用いて,

その直交座標の  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $z_0$  の成分は

$$x_0 = \cos \delta_{1950} \cos \alpha_{1950}$$

$$y_0 = \cos \delta_{1950} \sin \alpha_{1950}$$

$$z_0 = \sin \delta_{1950}$$

で表わされる。さらに

$$Xx - 1 = -2 + 12.5D - 2226.0D^2 - 0.3D^3$$

$$Yx = -Xy = +17251 - 611903.5D - 51.1D^2 - 4.5D^3$$

$$Zx = -Xz = +7500 - 266040.8D + 15.3D^2 + 2.3D^3$$

$$Yy - 1 = -1 + 105.6D - 1872.1D^2 - 0.3D^3$$

$$Yz = Zy = -1 + 45.9D - 814.0D^2$$

$$Zz = 20.0D - 353.9D^2$$

によって求められた各項を使用することにより, 次式から観測日の衛星の  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  成分

は

$$X = x_0 + (Xx - 1) x_0 + Yx y_0 + Zx z_0$$

$$Y = y_0 + Xy x_0 + (Yy - 1) y_0 + Zy z_0$$

$$Z = z_0 + Xz x_0 + Yz y_0 + (Zz - 1) z_0$$

により求められ、歳差修正後の衛星の赤経、赤緯は

$$\alpha_{Date} = \tan^{-1} \frac{Y}{X}$$

$$\delta_{Date} = \tan^{-1} \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}}$$

で求められる。

## 6 科学衛星TAIYOの観測

衛星位置の予報値は、宮原レーダセンタの電子計算機に目的の衛星の軌道要素を与えることにより各軸の角度、赤経、赤緯等として得ることができる。

今回の観測においては予報値の時刻に若干のずれがあったために、予報値と18mφアンテナの予報値により追尾軸の角度を決めた。衛星は予報値より約3分おくれでファインダーで確認し、セミオートにより、18mφアンテナと同時観測を行ない、約50点の観測ができた。図-3はその結果をまとめたものである。図の実線は18mφアンテナが衛星からの400MHzの電波を受けて自動追尾した方位角(AZ)と高度角(EL)を時間に対して示したものである。○、×印はこのとき光学観測によって得られた衛星の赤経、赤緯の値を18mφアンテナの位置におけるAZ、ELに換算し、その値と電波追跡による値との差をとったものである。図より、衛星は北西の方向より到来し、観測点の南側を通過して東南東に去っている。

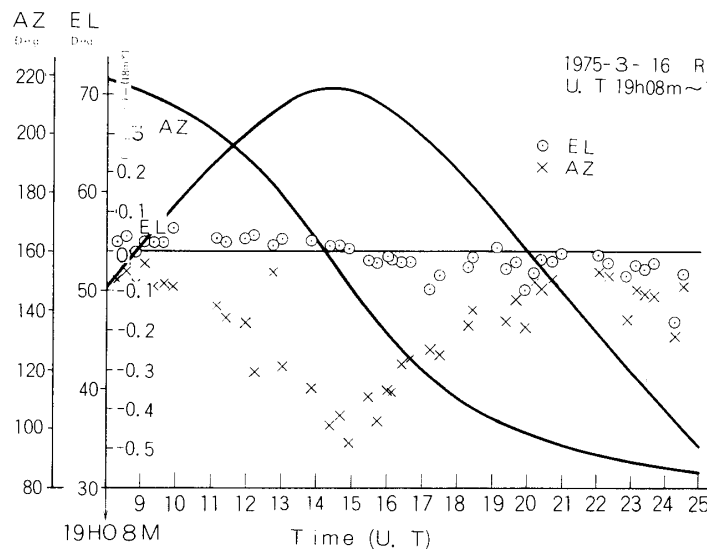


図-3 TAIYOの観測(18mφアンテナと同時観測)

ELの観測値の差はほぼ $0.1^\circ$ 以内に分布し、西側で若干 $\oplus$ 側（アンテナが下向き）に、東側では $\ominus$ 側（アンテナが上向き）にでている。また、AZの値は18m $\phi$ の値に対してシュミットカメラの角度が常に進んでいることを示している。とくにEL $>50$ 度で18m $\phi$ アンテナの角度追尾おくれが大きくなっている。これは頂点付近でのAZ角速度が大きくなるためである。

光学観測と電波追跡との角度比較に際し、AZの平均値および標準偏差はEL $<65^\circ$ の値を使用した。ELについては全数を用いている。

$$\text{差の平均値} \quad \Delta AZ = 0.1245^\circ$$

$$\Delta EL = -0.0131^\circ$$

$$\text{標準偏差} \quad \sigma AZ = 0.0689^\circ$$

$$\sigma EL = 0.0440^\circ$$

観測値のバラツキは主にデータの読み出し誤差に起因するもので、今後衛星位置決定に“乾板常数法”を用いて精度向上をはかりたい。

又、前述の計算式を使用し求めた科学衛星たいようの1975年3月16日に対する観測位置を表-2に示した。

表-2 科学衛星“たいよう”の1975年3月16日の観測位置 (Rev 248)

U. T.			赤 経			赤 緯		
<i>h</i>	<i>m</i>	<i>s</i>	<i>h</i>	<i>m</i>	<i>s</i>	°	'	"
19	08	02.09	13	54	55.38	- 1	29	22.37
19	08	18.09	13	59	47.14	- 0	52	06.09
19	08	34.09	14	04	41.20	- 0	14	12.30
19	08	50.09	14	09	40.58	- 0	23	34.91
19	09	06.09	14	14	32.82	+ 1	00	12.74
19	09	22.09	14	19	43.95	+ 1	38	54.81
19	09	38.09	14	24	53.13	+ 2	17	29.95
19	09	54.09	14	30	08.13	+ 2	55	40.61
19	10	53.29	14	49	23.08	+ 5	13	42.05
19	11	09.29	14	55	15.12	+ 5	54	04.02
19	11	25.29	15	00	46.38	+ 6	31	31.17
19	11	57.29	15	11	56.18	+ 7	47	43.27
19	12	13.29	15	17	27.94	+ 8	22	23.78
19	12	45.29	15	28	48.49	+ 9	32	53.51
19	13	01.29	15	34	53.86	+10	09	43.92
19	13	51.69	15	53	25.78	+11	56	58.58
19	14	23.69	16	05	25.02	+13	01	38.77
19	14	39.69	16	11	27.05	+13	33	00.54
19	14	55.69	16	17	28.46	+14	03	03.93
19	15	27.69	16	29	42.66	+15	01	10.12
19	15	43.69	16	35	53.46	+15	29	05.73

U. T.			赤 経 $\alpha$			赤 緯 $\delta$		
<i>h</i>	<i>m</i>	<i>s</i>	<i>h</i>	<i>m</i>	<i>s</i>	°	'	"
19	15	59.69	16	41	57.41	+15	55	32.75
19	16	07.69	16	45	01.64	+16	08	36.72
19	16	23.69	16	51	10.05	+16	33	27.56
19	16	39.69	16	57	18.95	+16	57	46.72
19	17	13.29	17	10	11.75	+17	44	57.23
19	17	29.29	17	16	19.54	+18	05	24.13
19	18	17.29	17	34	38.48	+19	00	56.89
19	18	24.49	17	37	22.28	+19	08	23.42
19	19	06.89	17	53	18.23	+19	53	23.64
19	19	22.89	17	59	22.26	+20	06	27.23
19	19	38.89	18	05	11.68	+20	13	08.14
19	19	54.89	18	11	06.50	+20	23	11.60
19	20	10.94	18	17	01.50	+20	32	15.82
19	20	26.95	18	22	41.33	+20	41	46.93
19	20	42.89	18	28	29.21	+20	48	57.04
19	20	58.89	18	33	58.62	+20	54	02.39
19	22	02.89	18	56	26.24	+21	11	58.22
19	22	18.89	19	01	54.89	+21	13	11.64
19	22	50.89	19	12	33.54	+21	15	11.12
19	23	06.89	19	17	40.43	+21	13	20.73
19	23	22.89	19	22	51.29	+21	12	09.92
19	23	38.89	19	27	52.49	+21	10	18.95
19	24	16.49	19	40	22.12	+21	03	07.92
19	24	32.49	19	44	34.60	+20	57	21.34

## 7 謝 辞

本文の説明は文献〔3〕によったことを記し、この観測にあたり種々の御協力を願った衛星トラッキング班、また、データ処理に御指導をいただいた東京天文台の諸先生方に深謝致します。

1976年6月30日 新設部（工学）

## 参 考 文 献

- 〔1〕 齊藤他 “科学衛星光学トラッキング装置” 宇宙研. 宇電工談資. Vol No 9 1972. 12. 14
- 〔2〕 長谷部他 宇宙航空研究所報告 第10巻 第3号 (A) 1974年7月
- 〔3〕 藤波著 “小型カメラによる天体写真” 共立出版KK
- 〔4〕 齊藤他 “科学衛星光学追跡装置” 生技研, 電談報 Vol 23, No 17, Jun 7, 1973
- 〔5〕 虎尾著 “宇宙航行の数学” 森北出版KK