

南鳥島測量データ解析

鹿島宇宙通信センター
第三宇宙通信研究室
近藤哲朗

1. 座標系

- a. 基準座標系・・・SLR点を原点とする地平座標系(O-XYZ)。X軸を東、Y軸を真北にとる。Y軸は北極星観測から決定する。便宜的に基準座標系を各測量点に平行移動した座標系(O'-X'Y'Z')も用いる。
- c. アンテナ座標系・アンテナに固定した座標系(O'-xyz)。

測量の対象としている範囲はたかだか1kmオーダーであり、今回目標とするcmオーダーの測量では地球面を平面と扱うことができる。

2. 直接測量の解析

VLBI-B点(以下B点)はアンテナのAZの回転に伴い、アンテナAZ回転軸の周りを回るが、この回転中心をVLBI-C点(以下C点)し、回転は水平面内と仮定する。C点とEL回転軸までの距離(δZ)はアンテナ図面から読み取る。

Cを原点とするアンテナ座標系(2次元極座標)でのBの位置を(r, θ)とする。基準座標系でのVLBI点を(X_v, Y_v, Z_v)、測量点Pの座標を(X_p, Y_p, Z_p)とし、点Pに設置したジオジメータ(Pからの高さをIHとする)でB点(X_b, Y_b, Z_b)の測距・測角データを(SD, HA, VA)とすると、観測方程式は下式のように表せる。

$$SD = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2 + (\Delta Z)^2}$$

$$HA = \tan^{-1}\{\Delta X/\Delta Y\}$$

$$VA = \tan^{-1}\{\Delta XY/\Delta Z\} = \cos^{-1}\{\Delta Z/SD\}$$

ここで

$$\Delta X = X_b - X_p$$

$$\Delta Y = Y_b - Y_p$$

$$\Delta Z = Z_b - Z_p - IH$$

$$\Delta XY = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2}$$

$$X_b = X_v + r \sin(AZ + \theta)$$

$$Y_b = Y_v + r \cos(AZ + \theta)$$

$$Z_b = Z_v + \delta Z$$

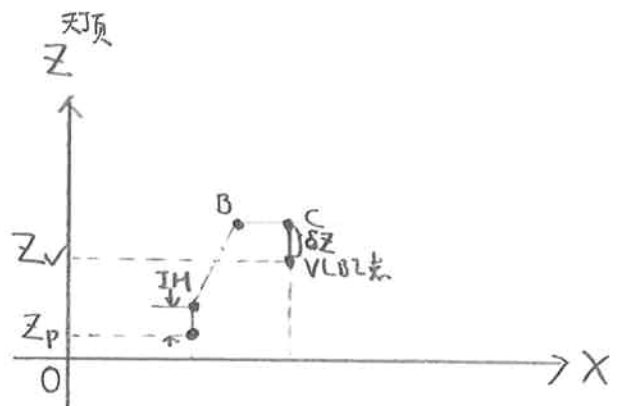
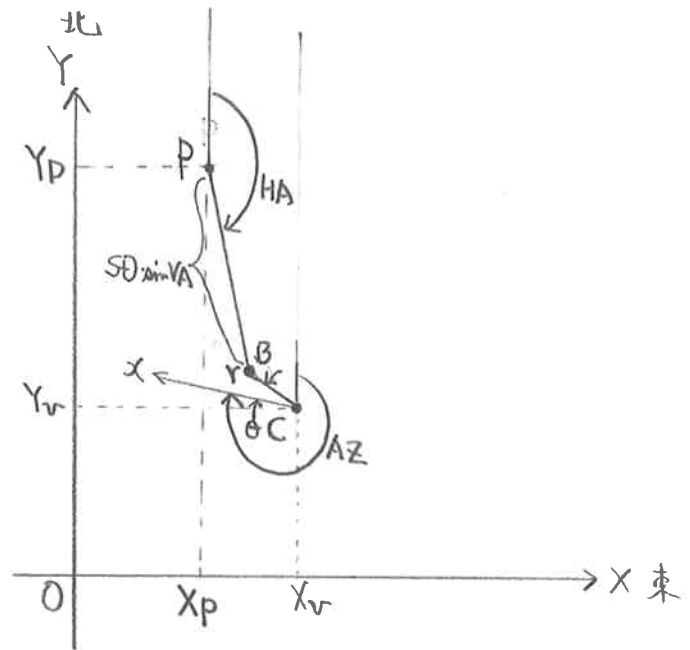


図1.

ただし AZ:アンテナ方位角(エンコーダの読み)

この観測方程式において未知数は

$$X_v, Y_v, Z_v, r, \theta$$

であり、既知量は

$$\delta Z = 44.7 \text{ cm} + SH$$

$$SH = 30.0 \text{ cm}$$

AZ:エンコーダ読み

X_p, Y_p, Z_p :別途測量による

IH=測量点による

である。

最小二乗法で未知パラメータのフィッティングを行うが、観測方程式は非線形であるため、イタレーションにより収束解を求めることになる。

ヤコビアンは

$$\partial SD / \partial X_v = \Delta X / SD$$

$$\partial SD / \partial Y_v = \Delta Y / SD$$

$$\partial SD / \partial Z_v = \Delta Z / SD$$

$$\partial SD / \partial r = \{ \Delta X \sin(AZ + \theta) + \Delta Y \cos(AZ + \theta) \} / SD$$

$$\partial SD / \partial \theta = r \{ \Delta X \cos(AZ + \theta) - \Delta Y \sin(AZ + \theta) \} / SD$$

$$\partial HA / \partial X_v = \Delta Y / (\Delta XY)^2$$

$$\partial HA / \partial Y_v = -\Delta X / (\Delta XY)^2$$

$$\partial HA / \partial Z_v = 0$$

$$\partial HA / \partial r = \{ \Delta Y \sin(AZ + \theta) - \Delta X \cos(AZ + \theta) \} / (\Delta XY)^2$$

$$\partial HA / \partial \theta = r \{ \Delta Y \cos(AZ + \theta) + \Delta X \sin(AZ + \theta) \} / (\Delta XY)^2$$

$$\partial VA / \partial X_v = \Delta X \Delta Z / (SD \Delta XY)$$

$$\partial VA / \partial Y_v = \Delta Y \Delta Z / (SD \Delta XY)$$

$$\partial VA / \partial Z_v = -\Delta XY / SD$$

$$\partial VA / \partial r = \Delta Z \{ \Delta X \sin(AZ + \theta) + \Delta Y \cos(AZ + \theta) \} / (SD \Delta XY)$$

$$\partial VA / \partial \theta = r \Delta Z \{ \Delta X \cos(AZ + \theta) - \Delta Y \sin(AZ + \theta) \} / (SD \Delta XY)$$

で計算される。

3. 間接測量の解析

VLBI-A点(以下A点)はアンテナのAZ・EL直交点を中心とする球面上を動くがその位置はアンテナに固定した座標系では不変である。その位置をアンテナ座標系(極座標)で(r, θ, ϕ)とする。基準座標系に対するアンテナ座標系の回転成分はAZ・ELエンコーダの読みで十分な精度で記述できるものとする。

基準座標系でのVLBI点を(X_v, Y_v, Z_v)、測量点Pの座標を(X_p, Y_p, Z_p)とし、点Pに設置したジオジメータ(Pからの高さをIHとする)でA点(X_a, Y_a, Z_a)の測距・測角データを(SD, HA, VA)とすると、観測方程式は下式のように表せる。ただし、測距データは付録Aの(a2)式に従って正しい測距値(付録AではRと記している)に直したものをを用いるものとする。

$$SD = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2 + (\Delta Z)^2}$$

$$HA = \tan^{-1}\{\Delta X/\Delta Y\}$$

$$VA = \tan^{-1}\{\Delta XY/\Delta Z\} = \cos^{-1}\{\Delta Z/SD\}$$

ここで

$$\Delta X = X_a - X_p$$

$$\Delta Y = Y_a - Y_p$$

$$\Delta Z = Z_a - Z_p - IH$$

$$\Delta XY = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2}$$

$$X_a = X_v + \Delta X_a$$

$$Y_a = Y_v + \Delta Y_a$$

$$Z_a = Z_v + \Delta Z_a$$

ただし $\Delta X_a, \Delta Y_a, \Delta Z_a$ はアンテナ座標系でのA点の位置の基準座標系成分であり、座標系の回転から、

$$\Delta X_a = r \sin \theta \cos \phi \cos AZ + r \sin \theta \sin \phi \sin AZ \cos EL - r \cos \theta \sin AZ \sin EL$$

$$\Delta Y_a = -r \sin \theta \cos \phi \sin AZ + r \sin \theta \sin \phi \cos AZ \cos EL - r \cos \theta \cos AZ \sin EL$$

$$\Delta Z_a = r \sin \theta \sin \phi \sin EL + r \cos \theta \cos EL$$

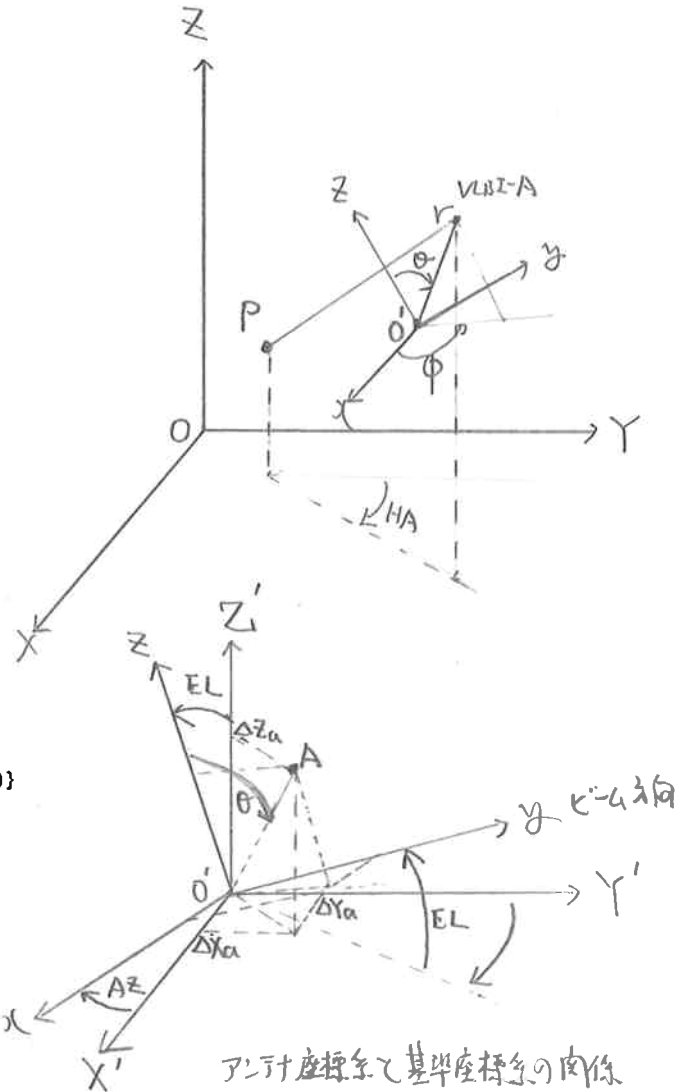
と表される。ここでは便宜的にアンテナ座標系の ψ 軸をアンテナビーム方向とし、 χ 軸は水平面内としている。またAZおよびELはアンテナエンコーダの読みである。

この観測方程式において未知数は

$$X_v, Y_v, Z_v, r, \theta, \phi$$

であり、既知量は

AZ : エンコーダ読み
 EL : エンコーダ読み
 X_p, Y_p, Z_p : 別途測量による



I H = 測量点による

である。

最小二乗法で未知パラメータのフィッティングを行うが、観測方程式は非線形であるため、イタレーションにより収束解を求めることになる。

ヤコビアンは

$$\begin{aligned} \partial SD / \partial X_v &= \Delta X / SD \\ \partial SD / \partial Y_v &= \Delta Y / SD \\ \partial SD / \partial Z_v &= \Delta Z / SD \\ \partial SD / \partial r &= \{ \Delta X (\partial \Delta X_a / \partial r) + \Delta Y (\partial \Delta Y_a / \partial r) + \Delta Z (\partial \Delta Z_a / \partial r) \} / SD \\ \partial SD / \partial \theta &= \{ \Delta X (\partial \Delta X_a / \partial \theta) + \Delta Y (\partial \Delta Y_a / \partial \theta) + \Delta Z (\partial \Delta Z_a / \partial \theta) \} / SD \\ \partial SD / \partial \phi &= \{ \Delta X (\partial \Delta X_a / \partial \phi) + \Delta Y (\partial \Delta Y_a / \partial \phi) + \Delta Z (\partial \Delta Z_a / \partial \phi) \} / SD \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \partial HA / \partial X_v &= \Delta Y / (\Delta XY)^2 \\ \partial HA / \partial Y_v &= -\Delta X / (\Delta XY)^2 \\ \partial HA / \partial Z_v &= 0 \\ \partial HA / \partial r &= \{ \Delta Y (\partial \Delta X_a / \partial r) - \Delta X (\partial \Delta Y_a / \partial r) \} / (\Delta XY)^2 \\ \partial HA / \partial \theta &= \{ \Delta Y (\partial \Delta X_a / \partial \theta) - \Delta X (\partial \Delta Y_a / \partial \theta) \} / (\Delta XY)^2 \\ \partial HA / \partial \phi &= \{ \Delta Y (\partial \Delta X_a / \partial \phi) - \Delta X (\partial \Delta Y_a / \partial \phi) \} / (\Delta XY)^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \partial VA / \partial X_v &= \Delta X \Delta Z / (SD \Delta XY) \\ \partial VA / \partial Y_v &= \Delta Y \Delta Z / (SD \Delta XY) \\ \partial VA / \partial Z_v &= -\Delta XY / SD \\ \partial VA / \partial r &= \{ \Delta X (\partial \Delta X_a / \partial r) + \Delta Y (\partial \Delta Y_a / \partial r) \\ &\quad - (\Delta XY)^2 (\partial \Delta Z_a / \partial r) \} / (SD \Delta XY) \\ \partial VA / \partial \theta &= \{ \Delta X (\partial \Delta X_a / \partial \theta) + \Delta Y (\partial \Delta Y_a / \partial \theta) \\ &\quad - (\Delta XY)^2 (\partial \Delta Z_a / \partial \theta) \} / (SD \Delta XY) \\ \partial VA / \partial \phi &= \{ \Delta X (\partial \Delta X_a / \partial \phi) + \Delta Y (\partial \Delta Y_a / \partial \phi) \\ &\quad - (\Delta XY)^2 (\partial \Delta Z_a / \partial \phi) \} / (SD \Delta XY) \end{aligned}$$

ここで

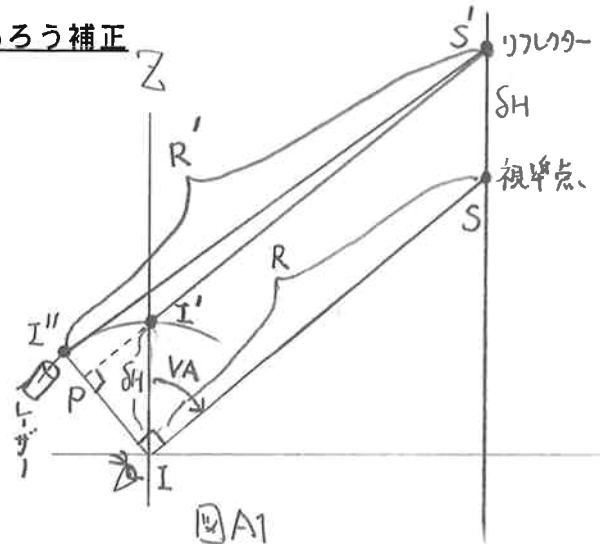
$$\begin{aligned} \partial \Delta X_a / \partial r &= \sin \theta \cos \phi \cos AZ + \sin \theta \sin \phi \sin AZ \cos EL - \cos \theta \sin AZ \sin EL \\ \partial \Delta Y_a / \partial r &= -\sin \theta \cos \phi \sin AZ + \sin \theta \sin \phi \cos AZ \cos EL - \cos \theta \cos AZ \sin EL \\ \partial \Delta Z_a / \partial r &= \sin \theta \sin \phi \sin EL + \cos \theta \cos EL \\ \partial \Delta X_a / \partial \theta &= r (\cos \theta \cos \phi \cos AZ + \cos \theta \sin \phi \sin AZ \cos EL + \sin \theta \sin AZ \sin EL) \\ \partial \Delta Y_a / \partial \theta &= -r (\cos \theta \cos \phi \sin AZ + \cos \theta \sin \phi \cos AZ \cos EL + \sin \theta \cos AZ \sin EL) \\ \partial \Delta Z_a / \partial \theta &= r (\cos \theta \sin \phi \sin EL - \sin \theta \cos EL) \\ \partial \Delta X_a / \partial \phi &= -r (\sin \theta \sin \phi \cos AZ - \sin \theta \cos \phi \sin AZ \cos EL) \\ \partial \Delta Y_a / \partial \phi &= r (\sin \theta \sin \phi \sin AZ - \sin \theta \cos \phi \cos AZ \cos EL) \\ \partial \Delta Z_a / \partial \phi &= r (\sin \theta \cos \phi \sin EL) \end{aligned}$$

付録A. コーナーキューブ中心を視準することによる測距測角データの補正

通常ジオジメータ測量では視準点はコーナーキューブの真下 δH の点であるが、今回の間接測量のようにコーナーキューブそのものを測角の視準点とした場合には天頂角(VA)の測角データや測距データは補正が必要となる。ここではその補正について考える。(測距データの補正を考へみる)

1. ジオジメータ内部で行われているであろう補正

まず、通常の測量において測距データがどのようにして求められているか考えてみる。図A1は通常の測量時を示している。すなわち測角の視準点はコーナーキューブより下方へ δH の点である。この時、レーザー光線で直接に測られる距離は $I''S'$ ($=R'$)であり、 $I'S'$ ($=R$)ではない。ジオジメータから出力される測距値SDはRと考えられるので、何らかの方法で R' からRを求めているものと考えられる。 R' とRの関係性を求めてみよう。



まず $S'I'$ を延長し、 $I'I''$ との交点をPとする。

$$S'P // SI \text{ より } \angle PI'I = VA$$

また $\triangle I''S'P$ は直角三角形だから

$$R'^2 = (R + I'P)^2 + I''P^2$$

ここで $I'P = \delta H \cos VA$
 $I''P = \delta H (1 - \sin VA)$
 を代入し、Rについて整理すると

$$R^2 + 2\delta H \cos VA \cdot R + 2(\delta H)^2(1 - \sin VA) - R'^2 = 0$$

Rについて解くと

$$R = -\delta H \cos VA \pm \sqrt{R'^2 - \{(\delta H)^2(1 - \sin VA)\}^2}$$

複号は+をとり、 $R' \gg \delta H$ の近似を行うとmmオーダーの精度では

$$R = R' - \delta H \cos VA \quad (a1)$$

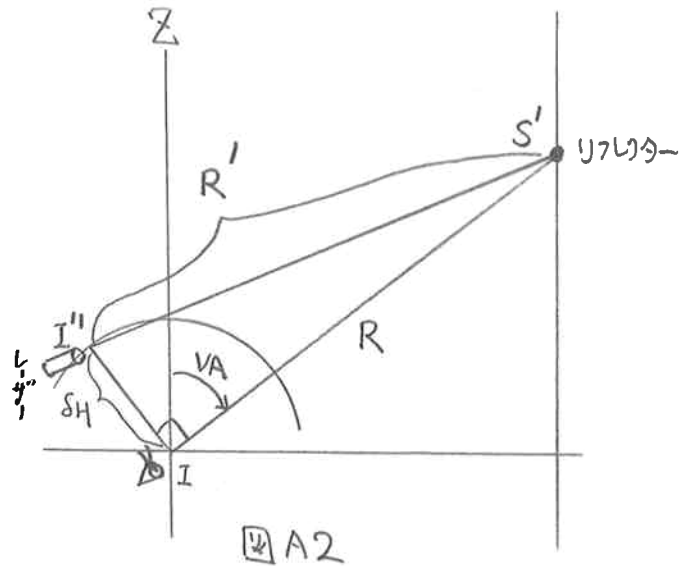
と表すことができる。ジオジメータ内部では多分(a1)式による補正を行っているのではなからうか。

2. コーナーキューブを測角視準点とした場合はどうなるか

近距離でコーナーキューブを視準した場合、レーザー光線がコーナーキューブに当たらないため、リターンが得られず測距不能であるが遠距離ではレーザー光線が広がるためコーナーキューブを視準しても測距が可能となる。この時、ジオジメータで測量された値と実際の値の関係を考えてみる。

図A2はコーナーキューブ中心を視準した場合を示しているが、ジオジメータ内部で(a1)式の補正をしているとするとジオジメータから出力される測距値SDは

$$SD = S' I'' - \delta H \cos VA$$



であろう。実際に測量値として欲しいのは $I S'$ の長さである。さて、 $\triangle S' I I''$ は直角三角形であるから $I S' = R$ 、 $I'' S' = R'$ とすると

$$R^2 = R'^2 - (\delta H)^2$$

また $R' = SD + \delta H \cos VA$ であるから代入すると

$$R^2 = SD^2 (1 + 2 \delta H \cos VA / SD - (\delta H \sin VA / SD)^2)$$

$SD \gg \delta H$ の近似をすると

$$R = SD + \delta H \cos VA \quad (a2)$$

となる。したがってジオジメータで測量された値SDおよびVAから(a2)式を用いて補正した値Rを測距値とすれば良いことになる。

まとめ

コーナーキューブ中心を視準した場合にジオジメータで得られた測距測角データをSD, VA, HAとすると、測距データは下式に従って補正し、正しい距離Rを求めなければならない。

$$R = SD + \delta H \cos VA$$

ただし、 $\delta H = 5.0 \text{ cm}$

南鳥島SLR点とVLBI点の相対位置測量データ

鹿島宇宙通信センター
近藤哲朗

1. 測量点の定義

- VLBI点・・・南鳥島の10mアンテナAZEL直交点のことであるが直接測量は不可能であるのでアンテナディッシュ縁に取り付けたコーナーキューブ(VLBI-A点)やAZ回転軸の上に取り付けたコーナーキューブ(VLBI-B点)から間接的に求める。
- VLBI-A・・・アンテナディッシュ縁の航空灯取り付けパイプに取り付けたコーナーキューブ
- VLBI-B・・・アンテナAZ回転軸上に設置したコーナーキューブ
- SLR点・・・SLR測量基準点
- LC点・・・ロラン-Cアンテナ最上部の航空灯の先端
- NW1点・・・滑走路北東端の誘導灯(SLR点から見ると赤く見える)
- NW2点・・・NW1からさらに東北の海岸よりに寄った仮の測量点
- 気1・・・気象ドーム屋上の手すりの北東コーナーの上端
- 気2・・・気象ドーム屋上の南東コーナーに設定した仮の測量点

2. 用語の定義

- IH・・・地面(屋上)のマーカから測ったジオジメーターの高さ。
- SH・・・〃 視準点までの高さ。
- HA・・・方位角。度分秒で表しここではDDD.MMSSと表記する。
- ZA・・・天頂離角。〃
- SD・・・ジオジメーターで測った距離(m)。

3. 測量方法

ジオジメーターの初期設定ではIH, SHはともに0として測量して後で補正する。

3.1 間接測量

SLR点からはアンテナ上部の一部分しか見えないため、アンテナのAZELを変えてVLBI-A点を何回か測量する。VLBI-A点にはSPIDER PETROのコーナーキューブを取り付け、取り付け点のアンテナ上での位置は未知とし、アンテナの角度(エンコーダの読み)、SLR点からVLBI-Aの測距測角データからVLBI点を推定する。

コーナーキューブから良好なリターンが得られるのは±20°位の範囲である。そこで取り付け角を90°ずつ変えてアンテナのAZも大きく90°ずつかえて測定する。この場合コーナーキューブのアンテナに対する位置も変化するのでコーナーキューブの取り付け角を変える度にVLBI-A点のアンテナ上での位置を未知とする。

3.2 直接測量

VLBI点とSLR点が同時に見える点(NW2および気2)からVLBI-B

を測量する。VLBI-B点にはジオジメーター純正のコーナーキューブを設置し、VLBI-BとVLBI点とはアンテナ図面より求める。測量は相対する方向に対してアンテナAZを180°回転させたものについても実施し正確なAZ回転軸の延長とアンテナ構造物との交点(VLBI-B点)を求めるようにする。

4. 測量結果 (日付順)

4. 1 方位角基準点観測 (北極星の測角)

北極星ならびに基準方位点観測 (6月20日)

日時 : 90/06/20 18h15m-19h10mJST
 ジオジ補正 : 0ppm (1012mb 27°C) 晴れ
 測量点 : SLR (IH=110.5cm)

北極星 時刻JST	観測値 (O)		予測値 (C)	HA
	HA	ZA	HA	O-C
18h15m	210.2812	66.2600	359.4733	210.4039
20	.2916	.2624	.4838	.4038
25	.3018	.2642	.4944	.4034
30	.3122	.2648	.5050	.4032
35	.3234	.2656	.5156	.4038
40	.3340	.2704	.5302	.4038
45	.3446	.2710	.5409	.4037
50	.3550	.2716	.5515	.4035
55	.3700	.2724	.5622	.4038
19h00m	.3810	.2724	.5729	.4041
05	.3912	.2728	.5836	.4036
NW1	262.3924	89.5550	-----	-----
LC	0.0002	69.1608	-----	-----

北極星HAのO-Cから求めた真北のHAは

210.4037±0.0002

従ってSLR点から見た各基準点の絶対方位角に直すと

LC HA = 149.1925"
 NW1 HA = 51.5847"

4. 2 アンテナ間接測量 (6月21日)

日時 : 90/06/21 8h30m-10h00mJST
 ジオジ補正 : 9ppm (1013mb 30°C) 晴れ
 測量点 : SLR (IH=110.5cm)
 方位基準 : LC (HA=149.1935, ZA=-----)
 シンレーション : 10" 程度
 ターゲット : VLBI-A (コーナーキューブ中心)

アンテナ A Z (実角=エンコーダー読み)

アンテナ EL	340° (340.000)	350° (349.997)	0° (0.005)	10° (10.003)	20° (20.002)
25°	EL: -----	25.001	25.003	25.000?	-----
	HA: -----	90.2714	90.2730	90.2734	-----
	ZA: -----	88.3222	88.3224	88.3224	-----
	SD: -----	556.121	556.334	556.544	-----
30°	EL: 30.004	29.998	30.005	30.000	30.000
	HA: 90.3122	90.3108	90.3102	90.3104	90.3102
	ZA: 88.3156	88.3156	88.3152	88.3200	88.3204
	SD: 556.140	556.230	556.331	556.448	556.543
35°	EL: 35.001	35.003	35.003	34.995	35.004
	HA: 90.3444	90.3434	90.3432	90.3428	90.3424
	ZA: 88.3136	88.3136	88.3146	88.3144	88.3146
	SD: 556.337	556.330	556.333	556.340	556.353
40°	EL: 40.003	39.997	40.003	40.000?	40.001
	HA: 90.3752	90.3804	90.3800	90.3754	90.3744
	ZA: 88.3158	88.3142	88.3158	88.3200	88.3154
	SD: 556.529	556.434	556.333	556.242	556.161
45°	EL: 45.001	45.000	45.003	45.000?	45.001
	HA: 90.4100	90.4126	90.4132	90.4118	90.4058
	ZA: 88.3224	88.3228	88.3224	88.3216	88.3216
	SD: 556.729	556.528	556.335	556.147	555.964
50°	EL: 50.003	49.998	50.003	50.002	49.998
	HA: 90.4416	90.4456	90.4452	90.4446	90.4416
	ZA: 88.3314	88.3308	88.3310	88.3306	88.3310
	SD: 556.928	556.620	556.333	556.045	555.776
55°	EL: 55.003	55.003	54.999	55.003	55.003
	HA: 90.4700	90.4800	90.4818	90.4804	90.4720
	ZA: 88.3402	88.3354	88.3406	88.3352	88.3410
	SD: 557.076	556.714	556.331	555.948	555.588

注: ELはアンテナの実角で単位は度(AZの実角も同じ)。
HA,ZAは度分秒をDDD.MMSSで表記。SDの単位はm。

北極星ならびに基準方位点観測 (6月21日)

日時 : 90/06/21 18h10m-19h25mJST
ジオジ補正 : 9ppm (1010mb 28°C) 晴れ
測量点 : S L R (IH=110.5cm)

北極星 時刻JST	観測値(O)		予測値(C)	HA
	HA	ZA	HA	O-C
18h10m	359.4738	66.2550	359.4718	0.0020
15	.4834	.2608	.4823	.0011

20	.4942	.2620	.4929	.0013
25	.5048	.2630	.5035	.0013

NW 1	51.5856	89.5546	51.5847	0.0009
LC	149.1938	69.1558	149.1925	0.0013
=====				

4. 3 アンテナ間接測量 (6月22日)

日時 : 90/06/22 7h00m-8h00mJST
 ジオジ補正 : 9ppm (1012mb 28℃) 晴れ
 測量点 : SLR (IH=110.5cm)
 方位基準 : LC (HA=149.1946, ZA=69.1546)
 シンチレーション : 10" 程度
 ターゲット : VLBI-A (コーナキューブ中心)

=====					
アンテナ AZ (実角=エンコーダー読み)					
アンテナ	70°	80°	90°	100°	110°
EL	(70.000)	(79.997)	(89.973)	(99.992)	(110.002)

10°	EL: -----	-----	10.000	-----	-----
	HA: -----	-----	90.3446	-----	-----
	ZA: -----	-----	88.3544	-----	-----
	SD: -----	-----	559.086	-----	-----
15°	EL: -----	15.002	14.987	15.014	-----
	HA: -----	90.3232	90.3450	90.3710	-----
	ZA: -----	88.3422	88.3422	88.3424	-----
	SD: -----	558.524	558.551	558.513	-----
20°	EL: 20.013	20.001	20.004	20.004	-----
	HA: 90.3120	90.3256	90.3444	90.3636	-----
	ZA: 88.3310	88.3310	88.3320	88.3306	-----
	SD: 557.941	557.992	558.010	557.981	-----
25°	EL: 25.000	25.005	25.005	25.006	25.000
	HA: 90.3230	90.3336	90.3450	90.3556	90.3714
	ZA: 88.3230	88.3232	88.3232	88.3224	88.3230
	SD: 557.407	557.448	557.456	557.436	557.383
30°	EL: 29.997?	30.008	29.998	30.004	30.004
	HA: 90.3342	90.3412	90.3450	90.3528	90.3500
	ZA: 88.3146	88.3146	88.3152	88.3158	88.3156
	SD: 556.884	556.898	556.898	556.883	556.856
35°	EL: -----	35.003	35.006	35.009	34.997
	HA: -----	90.3450	90.3442	90.3446	90.3448
	ZA: -----	88.3142	88.3140	88.3142	88.3138
	SD: -----	556.337	556.331	556.326	556.323
40°	EL: -----	40.002	40.006	40.003	40.003
	HA: -----	90.3524	90.3444	90.3406	90.3334
	ZA: -----	88.3142	88.3140	88.3144	88.3146

	SD:	-----	555.776	555.760	555.763	555.791
45°	EL:	-----	45.012	45.005	45.015	-----
	HA:	-----	90.3602	90.3446	90.3344	-----
	ZA:	-----	88.3208	88.3204	88.3208	-----
	SD:	-----	555.218	555.195	555.207	-----
50°	EL:	-----	50.004	50.008	50.008	-----
	HA:	-----	90.3636	90.3452	90.3300	-----
	ZA:	-----	88.3246	88.3250	88.3250	-----
	SD:	-----	554.677	554.641	554.665	-----

注: ELはアンテナの実角で単位は度(AZの実角も同じ)。
HA,ZAは度分秒をDDD.MMSSで表記。SDの単位はm。

日時 : 90/06/22 8h00m-8h45mJST
 ジオジ補正 : 9ppm (1012mb 30℃) 晴れ
 測量点 : SLR (IH=110.5cm)
 方位基準 : LC (HA=149.1946, ZA=69.1546)
 シンチレーション : 10" 程度
 ターゲット : VLB1-A (コーナキューブ中心)

アンテナAZ (実角=エンコーダ読み)

アンテナ	EL	160°	170°	180°	190°	200°
		(159.992)	(169.990)	(179.990)	(189.996)	(199.985)
0°	EL:	0.000	-0.004	-0.004	0.000	-0.001
	HA:	90.5638	90.5738	90.5802	90.5744	90.5638
	ZA:	88.3914	88.3900	88.3900	88.3854	88.3846
	SD:	557.651	557.012	556.357	555.702	555.065
5°	EL:	-----	-----	5.003	-----	-----
	HA:	-----	-----	90.5452	-----	-----
	ZA:	-----	-----	88.3702	-----	-----
	SD:	-----	-----	556.360	-----	-----
10°	EL:	8.012	9.005	10.003	10.012	8.983
	HA:	90.5156	90.5206	90.5156	90.5138	90.5130
	ZA:	88.3614	88.3548	88.3524	88.3528	88.3542
	SD:	557.399	556.867	556.365	555.879	555.370
15°	EL:	-----	-----	15.002	-----	-----
	HA:	-----	-----	90.4838	-----	-----
	ZA:	-----	-----	88.3408	-----	-----
	SD:	-----	-----	556.366	-----	-----
20°	EL:	20.005	20.007	20.001	20.001	20.006
	HA:	90.4444	90.4516	90.4516	90.4510	90.4432
	ZA:	88.3310	88.3310	88.3304	88.3250	88.3258
	SD:	556.962	556.667	556.369	556.068	555.779
25°	EL:	-----	-----	25.003	-----	-----

	HA:	-----	-----	90.4152	-----	-----
	ZA:	-----	-----	88.3230	-----	-----
	SD:	-----	-----	556.368	-----	-----
30°	EL:	30.004	30.008	30.008	30.009	30.008
	HA:	90.3818	90.3818	90.3818	90.3820	90.3810
	ZA:	88.3142	88.3152	88.3142	88.3148	88.3142
	SD:	556.582	556.473	556.369	556.263	556.163
35°	EL:	-----	-----	35.004	-----	-----
	HA:	-----	-----	90.3450	-----	-----
	ZA:	-----	-----	88.3140	-----	-----
	SD:	-----	-----	556.367	-----	-----
40°	EL:	39.996	40.006	40.002	40.005	40.009
	HA:	90.3126	90.3122	90.3126	90.3128	90.3128
	ZA:	88.3144	88.3146	88.3144	88.3150	88.3142
	SD:	556.193	556.277	556.368	556.460	556.549
45°	EL:	-----	-----	45.013	-----	-----
	HA:	-----	-----	90.2746	-----	-----
	ZA:	-----	-----	88.3206	-----	-----
	SD:	-----	-----	556.367	-----	-----
50°	EL:	50.008	50.008	50.001	50.008	50.008
	HA:	90.2504	90.2436	90.2418	90.2432	90.2456
	ZA:	88.3252	88.3258	88.3300	88.3258	88.3258
	SD:	555.801	556.077	556.326	556.649	556.927

注: ELはアンテナの実角で単位は度(AZの実角も同じ)。
HA,ZAは度分秒をDDD.MMSSで表記。SDの単位はm。

4.4 アンテナ間接測量(6月23日)

日時 : 90/06/23 7h10m-8h00mJST
 ジオジ補正 : 9ppm (1011mb 28°C) くもり
 測量点 : SLR (IH=110.5cm)
 方位基準 : LC (HA=149.1934, ZA=69.1552)
 シンチレーション : 10" 程度
 ターゲット : VLBI-A (コーナキューブ中心)

アンテナAZ(実角=エンコーダー読み)

アンテナ	EL	250°	260°	270°	280°	290°
		(250.000)	(259.993)	(269.996)	(279.980)	(290.002)
10°	EL:	-----	10.010	9.996	10.000	-----
	HA:	-----	90.3752	90.3502	90.3154	-----
	ZA:	-----	88.3420	88.3424	88.3422	-----
	SD:	-----	553.622	553.566	553.597	-----
15°	EL:	-----	15.005	15.005	15.006	-----
	HA:	-----	90.3720	90.3452	90.3236	-----
	ZA:	-----	88.3304	88.3304	88.3312	-----

	SD: -----	554.150	554.105	554.127	-----
20°	EL: 20.010	20.001	20.007	20.004	20.003
	HA: 90.3834	90.3640	90.3452	90.3308	90.3120
	ZA: 88.3204	88.3200	88.3206	88.3216	88.3226
	SD: 554.782	554.696	554.658	554.672	554.739
25°	EL: 25.003	25.008	25.002	25.003	25.002
	HA: 90.3720	90.3606	90.3458	90.3338	90.3228
	ZA: 88.3128	88.3130	88.3124	88.3126	88.3128
	SD: 555.314	555.253	555.222	555.228	555.267
30°	EL: 30.008	30.001	30.008	30.004	30.007
	HA: 90.3612	90.3540	90.3454	90.3416	90.3342
	ZA: 88.3100	88.3102	88.3100	88.3058	88.3102
	SD: 555.855	555.820	555.800	555.796	555.809
35°	EL: 35.007	35.001	35.006	35.008	35.005
	HA: 90.3454	90.3454	90.3454	90.3452	90.3454
	ZA: 88.3050	88.3100	88.3100	88.3058	88.3100
	SD: 556.401	556.390	556.376	556.365	556.354
40°	EL: 40.009	40.005	40.007	40.008	40.007
	HA: 90.3338	90.3420	90.3452	90.3536	90.3558
	ZA: 88.3114	88.3114	88.3116	88.3114	88.3112
	SD: 556.943	556.957	556.900	556.933	556.956
45°	EL: -----	45.003	45.012	45.008	-----
	HA: -----	90.3340	90.3500	90.3606	-----
	ZA: -----	88.3140	88.3150	88.3152	-----
	SD: -----	557.517	557.525	557.496	-----
50°	EL: -----	-----	50.001	-----	-----
	HA: -----	-----	90.3454	-----	-----
	ZA: -----	-----	88.3240	-----	-----
	SD: -----	-----	558.084	-----	-----

注: ELはアンテナの実角で単位は度(AZの実角も同じ)。
HA,ZAは度分秒をDDD.MMSSで表記。SDの単位はm。

4. 4 方位角測量 (6月24~28日)

北極星ならびに基準方位点観測 (6月24日)

日時 : 90/06/24 18h00m-18h30mJST
ジオジ補正 : 9ppm (1012mb 25°C) 晴れ
測量点 : S L R (IH=110.5cm)

北極星 時刻JST	観測値 (O)		予測値 (C)	HA O-C
	HA	ZA	HA	
18h05m	359.4810	66.2610	359.4846	-0.0036
10	.4916	.2622	.4952	-0.0036
15	.5018	.2634	.5057	-0.0039
20	.5130	.2644	.5203	-0.0033

NW 1	51.5808	89.5532	51.5847	-0.0039
LC	149.1848	69.1552	149.1925	-0.0037

基準方位点観測 (6月25日)

日時 : 90/06/25 7h00m- 7h10mJST
 ジオジ補正 : 5ppm (1012mb 25℃) 晴れ
 測量点 : SLR (IH=110.5cm)

視準点	観測値 (O)		予測値 (C)	HA O-C
	HA	ZA		
NW 1	51.5820	89.5632	51.5847	-0.0027
LC	149.1858	69.1544	149.1925	-0.0027
気 1	329.0426	82.5952	-----	-----

基準方位点観測 (6月27日)

日時 : 90/06/27 8h40m- 8h50mJST
 ジオジ補正 : 5ppm (1010mb 28℃) 晴れ
 測量点 : SLR (IH=110.5cm)

視準点	観測値 (O)		予測値 (C)	HA O-C
	HA	ZA		
LC	149.1840	69.1546	149.1925	-0.0045
気 1	329.0414	82.5950	-----	-----

基準方位点観測 (6月28日)

日時 : 90/06/28 - JST
 ジオジ補正 : 5ppm (1010mb 26℃) 晴れ
 測量点 : SLR (IH=111.0cm)

視準点	観測値 (O)		予測値 (C)	HA O-C
	HA	ZA		
NW 1	51.5732	89.5618	51.5847	-0.0115
LC	149.1814	69.1544	149.1925	-0.0111
気 1	329.0338	82.5948	-----	-----

4. 5 アンテナ直接測量 (6月28日)

日時 : 90/06/28 15h40m-16h30mJST
 ジオジ補正 : 5ppm (1010mb 25℃) 晴れ
 測量点 : 気 2 (IH=114.5cm)
 方位基準 : SLR (HA=0.0000, ZA=98.3416)
 シンチレーション : 10" 以下
 ターゲット : VLBI-B (SH=30.0cm)

アンテナ AZ (実角)	HA	ZA	SD
69.99	310.0626	89.5220	590.085
79.97	310.0628	89.5218	590.082
89.94	310.0624	89.5214	590.081
90.03	310.0624	89.5222	590.083
99.98	310.0624	89.5218	590.081
109.98	310.0628	89.5216	590.079
120.01	310.0628	89.5216	590.086
249.97	310.0622	89.5216	590.084
259.99	310.0620	89.5218	590.085
270.05	310.0622	89.5218	590.085
280.00	310.0620	89.5220	590.084
290.03	310.0620	89.5222	590.086
299.94	310.0628	89.5218	590.091

注: AZはアンテナの実角(エンコーダーの読み)で単位は度。
HA, ZAは度分秒をDDD.MMSSで表記。SDの単位はm。

北極星ならびに基準方位点観測(6月28日)

日時 : 90/06/28 18h00m-18h30mJST
ジオジ補正 : 5ppm (---mb 25℃) 晴れ
測量点 : 気2 (IH=114.5cm)

北極星 時刻JST	観測値(O)		予測値(C)	HA
	HA	ZA	HA	O-C
18h05m	215.0340	66.2646	359.5212	215.1128
10	.0450	.2656	.5319	.1131
15	.0550	.2700	.5425	.1125
20	.0700	.2710	.5532	.1128
25	.0810	.2714	.5639	.1131
NW1	271.3552	90.3038	-----	-----
LC	4.0654	72.3218	-----	-----
SLR	0.0002	98.3416	-----	-----

北極星観測から求められた気2から見た各基準点の方位角

SLR 144° 48' 29.4" ±2.2"
NW1 56 24 19
LC 148 55 21

4.6 アンテナ直接測量(6月29日)

日時 : 90/06/29 7h30m-8h30mJST
ジオジ補正 : 7ppm (1010mb 28℃) 晴れ

測量点 : NW2 (IH=111.5cm)
 方位基準 : SLR (HA=0.0000, ZA=-----)
 シンチレーション : 10" 以下
 ターゲット : VLBI-B (SH=30.0cm)

アンテナ AZ (実角)	HA	ZA	SD
339.99	310.4638	89.1030	455.096
350.00	.4642	.1034	.094
0.00	.4642	.1030	.097
9.98	.4642	.1028	.097
20.01	.4642	.1028	.098
160.01	310.4642	89.1036	455.097
169.99	.4644	.1032	.095
180.00	.4646	.1030	.094
190.01	.4642	.1034	.094
200.01	.4636	.1034	.095

注: AZはアンテナの実角(エンコーダーの読み)で単位は度。
 HA, ZAは度分秒をDDD.MMSSで表記。SDの単位はm。

NW2からの基準方位点観測(6月29日)

日時 : 90/06/29 7h30m-9h00mJST
 ジオジ補正 : 7ppm (1010mb 28℃)
 測量点 : NW2 (IH=111.5cm)

	HA	ZA	SD	SH	備考
LC	324.4920	77.4306	-----	-----	7h30mJST
LC	324.4918	77.4308	-----	-----	9h00mJST
NW1	10.4618	92.5548	-----	-----	参考データ
気1	-----	-----	-----	-----	見えず
SLR	0.0000?	90.1152?	733.858	67.0cm	ゆらぎ大きい

4.7 各基準点測量

日時 : 90/06/29 9h30m-9h40mJST
 ジオジ補正 : 7ppm (1010mb 28℃)
 測量点 : SLR (IH=106.5cm)

	HA	ZA	SD	SH	備考
気1	0.0000	82.5818	-----	-----	
気2	355.4400	83.0214	55.504	64.5cm	
LC	180.1434	69.1536	-----	-----	
NW1	-----	-----	-----	-----	ゆらぎ大きい

日時 : 90/06/29 17h05m-17h50mJST

ジオジ補正 : 6ppm (1010mb 26℃)
 測量点 : S L R (IH=106.5cm)

	HA	ZA	SD	SH	備考
気1	0.0000	82.5818	-----	-----	
気2	-----	-----	-----	-----	
LC	180.1434	69.1540	-----	-----	
NW1	82.5344	89.5548	-----	-----	ランプ外形中心
NW2	83.1230	89.5252	733.841	66.0cm	
気1	0.0000	82.5816	-----	-----	再測量
LC	180.1436	69.1536	-----	-----	//
NW1	82.5348	89.5536	-----	-----	//

日時 : 90/06/30 8h30mJST
 ジオジ補正 : 7ppm (1010mb 28℃)
 測量点 : S L R (IH=106.5cm)

	HA	ZA	SD	SH	備考
気1	0.0000	82.5824	-----	-----	
LC	180.1446	69.1540	-----	-----	
NW1	-----	-----	-----	-----	ゆらぎ大

北極星ならびに基準方位点観測 (6月30日)

日時 : 90/06/30 17h30m-18h10mJST
 ジオジ補正 : 6ppm (1010mb 26℃) 晴れ
 測量点 : S L R (IH=106.5cm)

北極星 時刻JST	観測値 (O)		予測値 (C)	HA
	HA	ZA	HA	O-C
17h45m	30.4438	66.2620	359.4931	30.5507
50m	.4546	.2632	.5037	.5509
55m	.4652	.2638	.5143	.5509
18h00m	.4758	.2650	.5250	.5508
05	.4910?	.2658	.5356	.5514?
07	.4928	.2704	.5423	.5505
気1	0.0000	82.5814	-----	-----
NW1	82.5346	89.5544	-----	-----
LC	180.1434	69.1542	-----	-----

平均
30.5507.6

零を控

30°55'7.6"

気1の方位角は 329°4'52.4"
 = 329.081222°

LC 149°19'26.4"

NW1 51°58'58.4"