鹿島34mアンテナ2008年年次報告書



情報通信研究機構 新世代ネットワーク研究センター 光・時空標準グループ



目	次
---	---

目 次

1	はじ	うめに しんしん しんしん しんしん しんしん しんしん しんしん しんしん しん	1
2	鹿島	8 34m 局位置/駆動性能	2
	2.1	34m 局主要諸元	2
	2.2	アンテナ制御システム	2
	2.3	追尾性能	3
3	受信	「検	4
	3.1	 受信機の構成	4
	3.2	L帯	4
		3.2.1 フィルタの交換	5
		3.2.2 BPF 取付後のL帯 secZ	5
		3.2.3 受信状況-IF スペクトル	5
	3.3	C 带	7
	3.4	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	7
		3.4.1 受信状況-IF スペクトル	8
		3.4.2 S/X 帯における長時間ノイズサーベイ	9
	3.5	K帯	11
		3.5.1 受信状況-IF スペクトル	11
	3.6	Q 带	12
	3.7	、、 Ka 带	12
	3.8	34m アンテナのバックエンドシステム	13
	3.9	34m アンテナ併設の観測機器	16
		3.9.1 水蒸気ラジオメータ	16
		3.9.2 測地用 GPS	17
1	2 /		10
4	1 1	· M アンアプの進出 2008 年運用代現	10 10
	4.1	2008 午建用11/1/1	10
5	34	m アンテナの保守 ごうちょう こうちょう こうちょう こうちょう こうちょう ひょう ひょう ひょう ひょう ひょう ひょう ひょう ひょう ひょう ひ	18
	5.1	定期保守	18
		5.1.1 機械系の点検整備	18
		5.1.2 電気系の点検整備	21
		5.1.3 駆動モータの交換履歴	21
		5.1.4 副反射鏡位置歪み調査	21
	5.2	修理・補修・トラブル	22
		5.2.1 構造体/レール	22
		5.2.2 駆動系/モータ	25
		5.2.3 アンテナ制御系	28
		5.2.4 受信/信号伝送系	28
		5.2.5 その他の 故障/トラブル/修理	30
	5.3	副反射鏡取り外し保守前後の位置のシフト量推定	31
		5.3.1 目的	31

		5.3.2	測定手順	32
		5.3.3	位置の推定アルゴリズム	33
		5.3.4	測定と処理の結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	37
6	技術	開発		39
	6.1	超小型	VLBI システムの開発	39
		6.1.1	CARAVAN2400	39
		6.1.2	MARBLE 距離基準超小型 VLBI システム	40
	6.2	APPS-	簡便な高精度測位を目指して	43
	6.3	CARA	VAN2400 による測地 VLBI 実験	45
	6.4	ガスセ	ル型 Cs 発振器を用いた測地実験	46
		6.4.1	実験概要	46
		6.4.2	解析結果	48
		6.4.3	アラン分散の結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	48
		6.4.4	まとめ	49
	6.5	eVLBI	に関する技術開発・実験・観測	49
		6.5.1	UT1 の迅速推定	49
		6.5.2	日中豪初のリアルタイム eVLBI 実験	49
		6.5.3	2009 年世界天文年の eVLBI 観測への参加	50
		6.5.4	SC08 での eVLBI デモ実験	50
		6.5.5	光結合 VLBI	51
7	終わ	りに		53
۸	受信	*楼生 次 *	プログラムの概要	54
л	ХI	יין און נייוי צארי		94
в	自然	雑音電	波(大気雑音)	57
\mathbf{C}	シス	テム雑	音温度の測定法	58
	C.1	Y係数	(Y-factor) 法	58
	C.2	R-Sky	(room-sky) 法	59
D	SEI	FD とは		61
\mathbf{E}	S/X	(帯軸較	正用電波源	62
\mathbf{F}	略語	集		63
~	۱۱ مار			
G	次世 (2	1代時空 0081	計測フロシェクト鹿島 VLBI クルーフ成果論文(発表)リスト 年1月-12月)	64

1 はじめに

鹿島 34m アンテナ (図 1.1) は、西太平洋域でのプレート運動の実測を目指した西太平洋電波干渉計プ ロジェクトの主アンテナとして、1987 年度補正予算により通信総合研究所鹿島宇宙通信研究センター (現 情報通信研究機構鹿島宇宙技術センター)(茨城県鹿嶋市)に建設されたアンテナである。その後、同 アンテナは測地学的成果だけではなく電波天文学分野においても多くの成果を生み出してきており、国 内外からその重要度が認知されている。建設後、20 年が経過しているが、定期的な保守および安定運 用性向上を図る種々の対策により安定な運用を実現している。

2001年4月の独法化直後に開始した第1期中期計画(2001年4月~2006年3月)では、34m アンテナ は「宇宙における時空標準基盤技術の研究開発」という課題を遂行するために、微弱な天体電波源や小 惑星探査機「はやぶさ」などの深宇宙探査機からの電波受信において重要な役割を果たした。その後、 2004年4月には、独立行政法人としての通信総合研究所から、通信・放送機構を統合した情報通信研 究機構(以後 NICT と称す)となった。さらに、2006年度から5カ年計画で第2期中期計画がスタート し、2008年は本計画の中間年となる。

第2期中期計画開始に伴う NICT 内部の改組により、34m アンテナの運用母体は第一研究部門新世 代ネットワーク研究センター光・時空標準グループ時空統合標準プロジェクトとなった。また、鹿島宇 宙通信センターは鹿島宇宙技術センターと改名された。その後、2008年7月にプロジェクト再編成によ リ同グループ次世代時空計測プロジェクトとなった。本プロジェクト(現次世代時空計測プロジェク ト)では『電磁波の干渉技術を用いた基準座標系の高精度化として極運動で40マイクロ秒角、UT1で 2µs を達成するために、リアルタイム地球姿勢決定技術の研究開発を行うとともに、測位における距離 基準を確立するための研究開発を行う』とされ、34m アンテナはプロジェクトを達成する上で引き続き 重要な役割を担っている。

本報告書は 2008 年のアンテナ使用状況、保守、修理、改修等の記述によりアンテナの現状を把握す るとともに、必要な基礎的情報を利用者・関係者で共有し、今後もアンテナの安定した運用に資するこ とを目的とする。更に 2008 年の研究グループの活動成果についても代表的なものを記した。



図 1.1: 34mアンテナ

2 鹿島 34m 局位置/駆動性能

2.1 34m 局主要諸元

鹿島 34m 局は、旧郵政省電波研究所により VLBI 観測を目的として建設され、2008 年 12 月現在、独 立行政法人情報通信研究機構 (NICT) 鹿島宇宙技術センター (以下鹿島センター) において運用されてい る主鏡口径 34m の電波望遠鏡である。鹿島 34m 局には、L帯 (1.4GHz)、S帯 (2.2GHz)、C帯 (5GHz)、 X帯 (8.4GHz)、K帯 (22GHz)、Ka帯 (32GHz)、及びQ帯 (43GHz) の各種受信機を搭載される他、水 素メーザ (アンリツ社製)2 台と、K4,K5型のデータ収集装置が備えられ、また鹿島センターには、超高 速光ネットワーク "JGN2plus" のアクセスポイントが設置されており、10Gbps の高速ネットワークが 利用できる。表 2.1 に鹿島 34m 局アンテナの主要諸元を、表 2.2 に 1997.0 エポックにおける鹿島 34m 局の局位置を示す。

主反射鏡開口径	34.073m
アンテナ形式	鏡面修正カセグレン
マウント形式	車輪レール型 AZ-EL マウント
主反射鏡鏡面精度	$0.17mmr.m.s.(EL = 45^{\circ}$ 建設時)
駆動可能範囲 方位角 (AZ) 方向	北 ±270°(自動運用中)
仰角 (EL)方向	$7^{\circ} - 90^{\circ}$
副反射鏡 5 軸駆動制御範囲	各軸 ±60mm
最大駆動角速度 A Z	$0.8^{\circ}/s$
EL	$0.64^{\circ}/s$
製造	米国 TIW (現 VertexRSI)

表 2.1: 鹿島 34m 局アンテナの主要諸元

表 2.2: 鹿島 34m 局アンテナの位置(1997 年1月1日エポックの値)

ITRF2000 における AZ-EL 直交点の位置と速度	位置 (m)	速度 (m/年)
	$\rm X:-3997649.227\pm.003$	$0003 \pm .0004$
	$Y: 3276690.754 \pm .002$	$.0052\pm.0003$
	$\rm Z: 3724278.825 \pm .003$	$0118 \pm .0005$
世界測地系での AZ-EL 直交点の位置	北緯 35°57′21.78″	
	東経 140°39′36.32″	
	標高 43.4m	

2.2 アンテナ制御システム

天球上の電波源を追尾観測するためのシステムとして、 鹿島 34m 局では NASA/GSFC が開発した FS9(Field System Version 9)を使用している。FS9の新しいバージョンがリリースされる度に適宜バー ジョンアップを行っているが、2009年2月現在使用しているバージョンは fs-9.10.2 である。複数の周波 数の受信機を焦点面に移動/交換させて観測する 34m システムでは、観測周波数毎に光軸が多少異なる ため、表 2.4 に示すように、それぞれの観測周波数に応じた軸較正パラメータを適用して運用している。

2.3 追尾性能

アンテナ角度エンコーダの読みが示す方向と実際にアンテナビームが指向する方向には種々の誤差要 因(例えば、重力変形や、エンコーダの偏芯誤差等)があるため、ビームを正しく指向するためには角 度エンコーダ読み値に補正を加える必要がある。この補正量を求める観測を軸較正観測と呼ぶ。

2008年は軸較正観測を5回実施した(表2.3)。9月から10月にかけて行われている観測は定期保守の 終了後の立ち上げであり、概ね従来通りの追尾誤差で較正されている。近年、C帯は使用していなかっ たため、軸較正観測の頻度は他の周波数と比べて低かった。ところが、世界天文年(2009年)の記念行 事として、2009年1月の開会式典における大規模 e-VLBI 観測デモが企画され、鹿島34mの参加を要 請された。この観測デモではC帯の受信が予定されたため、12月7日から軸較正観測を行った。AZ誤 差が0.01度程度とX帯と比較して2.5倍ほど大きかったが、観測デモ後に補修工事等の予定があった ことと、C帯のビームサイズ(HPFW)0.125度と比較して十分小さかったため再観測は行わなかった。

観測日 (通日) 時	周波数帯	残差 (rms) AZ	残差 (rms)EL	軸較正パラメータ
UT		(1/1000 度)	(1/1000 度)	更新日時(UT)
2008/1/26(26)0440	Q	2.9	3.71	2008/1/31(31)1556
$\sim 1/26(26)2300,$				
1/27(27)2340				
$\sim 1/28(28)0400$				
2008/4/14(105)1000	Х	3.89	3.87	2008/4/22(113)0242
$\sim 4/15(106)0110$				
2008/9/28(272)0720	Х	3.95	2.48	2008/9/29(273)0844
$\sim 9/29(273)0730$				
2008/10/3(277)1500	Κ	3.59	3.13	2008/10/6(280)0124
$\sim 10/4(278)1500$				
2008/10/13(287)0920	Q	2.79	2.81	2008/10/31(305)0843
$\sim 10/13(287)1500,$				
10/29(303)1750				
$\sim 10/30(304)0600,$				
10/30(304)1400				
$\sim \! 10/31(305)0430$				
2008/12/7(342)0710	С	10.1	5.45	2008/12/9(344)1023
$\sim 12/7(342)2330$				

表 2.3: 2008 年の軸較正結果

観測周波数帯と FS9 起動コマンドおよび使用される軸較正パラメータファイルの関係を表 2.4 に示 す。周波数帯ごとに軸較正パラメータが分かれているのは、周波数帯ごとに受信機の位置が異なるため である。34m アンテナは多周波受信を行うために、トロリーと呼ばれる台車により受信機を焦点位置に 移動する構造となっている。ところが、1台に複数の受信機が搭載されているトロリーでは真の焦点に 位置しない受信機があり、副反射鏡を制御することによりこうした受信機にも焦点位置調整を行ってい る。ただし、Ka帯受信機のホーンはS/X帯等と同じ真の焦点に位置するので、軸較正パラメータファ

周波数帯	FS9起動コマンド	軸較正パラメータファイル
L, S/X	fssx	mdlpo.ctl.sx
С	fs5G	mdlpo.ctl.c
K	fs22	mdlpo.ctl.k
Ka	fs32	mdlpo.ctl.ka
Q	fs43	mdlpo.ctl.43g

表 2.4: 軸較正パラメータファイル

表 3.1: 各受信機性能

周波数帯	周波数	Trx	Tsys	開口効率	SEFD (Jy)	受信偏波	較正装置 [†]	備考
	(GHz)	(K)	(K)	(%)	(Jy)			
L	1.35 - 1.75	18	50	68	200	L/R	H,C,ND	
S	2.193 - 2.35	15	64	65	370	L/R	H,C,ND	2008.1
С	4.60 - 5.10	—	150^{*}	65	700	L	ND	2009.1 測定
X-n	8.18 - 9.08	17	47	61	280	L/R	H,C,ND	2008.1
X-wH	8.18 - 9.08	45	66	57	300	H,C,ND	L/R	
X-wL	7.86 - 8.36	45	66	63	300	H,C,ND	L/R	
Κ	22.0 - 24.0	135	130^{*}	39 - 42	990	L(R)	H,ND	
Ka	31.7 - 33.7	85	150	40	1100	R(L)	Η	
Q	42.3 - 44.9	280	350^{*}	25-30	4200	L(R)	Η	

†: (H)ot, (C)old, (ND):Noise Diode

*: Tsys ではなく R-Sky 法によって測定した Tsys*の値

イルは暫定的に S/X 帯用のパラメータを使用する。付録 E には、S/X 帯の軸較正観測に使用する電波 源を示す。なお軸較正パラメータファイル等の変更は FS9 起動コマンドにより行われるのでオペレー タが意識する必要はない。

3 受信機

3.1 受信機の構成

各周波数帯域の観測周波数レンジと受信性能を表 3.1 に示す。

3.2 L帯

L帯 (1.5GHz) の受信機ブロックダイヤグラムを図 3.1 に示す。L帯は主にレベデフ物理学研究所 (ロシア) とのパルサーの VLBI 観測で使用されている。1.5GHz 周辺の帯域では、GPS 衛星や無線通信、管制 レーダなどの強い混信があり、2008 年 7 月に 1405-1435MHz の 8 段のバンドパスフィルタ (BPF:Band



Path Filter) を導入し¹、帯域特性を狭めて改善を行った。

図 3.1: L-帯 (1.5GHz) 受信機のブロックダイヤグラム

3.2.1 フィルタの交換

電波天文でL帯はシンクロトロン放射を行っている天体、例えばクェーサーを含む活動銀河核 (AGN) や Pulsar、などは S/X帯よりも強度を強く受信することができる。そのため、L帯を使用することは 電波観測を行う上で非常に重要である。電波天文保護バンド 1400 ~ 1427MHz は法律でこの帯域内の 放射を強く規制しているが、これ以外の帯域での放射がバンドキャラクタに比べ 40dB 以上と非常に強 く、L帯の使用は困難であった。今回この困難を解消するため、新たに 1405 ~ 1435MHz までの BPF を導入した。

3.2.2 BPF 取付後の L 帯 secZ

BPF 交換後の鹿島 34m 局 L 帯の secZ を HOT-COLD-SKY(Y-Factor 法) を用いて調べた (表 3.2)。 アンテナ温度の計算には 較正用信号源の温度 HOT: 295K COLD: 80K を用いた。このとき、L 帯 の LNA,HOT,COLD の温度を取得することができず、予測値を用いている。結果を図 3.2 に示すが、大 気の光学的厚さによる Tsys の増加で線形性が保たれているのがわかる。

3.2.3 受信状況-IF スペクトル

受信状況を確認するため、O/E 変換器背面の IF 出力からスペクトラムアナライザ (HP 8566B)を用 いて1回掃引および最大値保持モードで取得した。周波数は受信周波数に換算して表示している。L帯 は挿入するバンドパスフィルターとして今年新たに導入した通過帯域周波数が1405MHz から1435MHz

日時		気温/天候		偏波	\mathbf{Az}
2008/7/15	15 時	26.2 度	晴れ	RHCP	280 deg.

表 3.2: 測定環境

¹http://ryuu/naibu/documents/34m-system/Receiv-char/L-band/L-BPF_report.doc



図 3.2: BPF 交換後測定されたシステム雑音温度の仰角依存性。 ● は受信機雑音温度、 ■ はシステム雑 音温度、及び ▲ は R/Sky 法から得られる Tsys*

の場合について受信状況を測定した結果を示している。

図 3.3 と図 3.4 は、1 回掃引 (掃引時間 150ms) および最大値保持モードで 10 分間計測した結果であ る。最大値保持モードの測定結果から分かるように、従来、L 帯のほぼ全域 (1250MHz ~ 1750MHz) に 亘って認められた混信波 (2007 年度白書 2.4 図参照) がほとんど除去されている。ただし、電波天文保護 バンド 1400MHz ~ 1427MHz の下限近くの混信を避けるために下限の遮断周波数を 1405MHz として、 上限を 1435MHz としたため、上側に一部の混信が見られる。



図 3.3: L帯 (RHCP:1405~1435MHzBPF フィ ルタ使用) 受信状況。スペクトラムアナライザ により1回掃引モードで計測した結果。測定日 時 2009 年 2 月 13 日 15 時 05 分 (JST)。



図 3.4: L帯 (RHCP:1405~1435MHzBPF フィ ルタ使用) 受信状況。最大値保持モードで 10 分 間測定した結果。

3.3 C帯

C帯(5GHz)の受信機ブロックダイヤグラムを図 3.5 に示す。C帯の受信機は常温タイプで、VSOP プロジェクトの観測のために 1997 年頃設置された。2009 年の世界天文年の記念イベントとして JIVE との共同 eVLBI 観測で使用された他、鹿児島大学西尾研究室の大気の電波伝播特性の計測などに使用 されている。



図 3.5: C帯 (5GHz) 受信機のブロックダイヤグラム

3.4 S/X 帯受信機



図 3.6: S/X 帯受信機ブロックダイヤグラム (2009 年 2 月現在)。2008 年 6 月に X 帯の PLO を 7760MHz から 7600MHz に変更し、小金井 11m アンテナとの光結合 VLBI 観測に使用した。

S/X 帯の受信機ブロックダイヤグラムを図 3.6 に示す。2008 年 6 月に小金井 11m-鹿島 34m 間で光結 合 VLBI 観測 (6Gbps) の観測のために、X-wL の初段のローカル周波数を 7760MHz から 7600MHz に

3. 受信機

New PLO=7600MHz 5MHz Ref. signal was introduced



図 3.7: S/X帯のダウンコンバータの写真 (2008 年 6 月)。新たに設置した 7600MHz の位相同 期発振器が中央上部に斜めに取り付けられて いる。基準信号 5MHz を入力し、アラーム信 号線も接続した。

変更した。この PLO は KSP のアンテナで使用していたものを使ったため、基準周波数が 5MHz であった。そこで、ETR(Elevation Tilt Room)の日本通信機製の標準信号分配アンプから 5MHz の信号を供給するように変更した。その際に撮影した S/X 帯ダウンコンバータの写真を図 3.7 に示す。PLO 変更時の記録資料² は内部向け HP に掲載している。

3.4.1 受信状況-IF スペクトル

S帯 受信状況を確認するため、O/E 変換器背面の IF 出力からスペクトラムアナライザ (HP 8566B) を用いて1回掃引および最大値保持モードで IF スペクトルを取得した。周波数は受信周波数に換算し て表示している。S帯の受信状況を図 3.8 に1回掃引、図 3.9 に最大値保持モード 20 分の例を示す。各 図の 2520MHz 付近に見える信号 (IF で 500MHz の信号) は観測室の周波数アップコンバータで使用さ れている 500MHz の局部発振器の信号である。また 2193MHz における急峻なカットオフ特性は高温超 伝導フィルタ (HTS フィルタ) の特性である。1 分の最大値保持モードでは帯域内に混信は認められな いが、20 分では帯域内に混信が認められることから、混信は常時発生しているのではなく、数分の時間 スケールで発生していると考えられる。

一方、測地 VLBI においては数 10~数 100 秒の観測を単位とした観測(スキャンと呼ぶ)を繰り返 すが、このスキャン中のデータが混信の影響を受けることなく生き残る可能性は高いと考えられる。実 際の観測では混信の起こらない周波数を選んで観測していることもあり、測地 VLBI でのS 帯利用は現 状ではまだ可能である。

S 帯は第3世代携帯電話 (IMT-2000) からの混信を防止するために通常は HTS フィルタを使用して おり、観測室での受信機出力には第3世代携帯電話からの混信波は見られない。図 3.10 に HTS フィル タを通過する前の LNA 出力 (デュワー出力、トロリーは焦点位置) でのS 帯の昨年と今年の状況を示 す。第3世代携帯電話では、2115-2130 MHz が KDDI(au)、2130-2150 MHz が NTT ドコモ (FOMA)、 2150-2170 MHz が SoftBank のそれぞれの基地局用に割り当てられている。2002 年3月2日に鹿島周辺 で第3世代携帯電話のサービスが開始された頃は、ドコモの 2135 MHz-2145 MHz の2波 (1 波は 5 MHz 幅) だけであったが、2005 年7月5日の測定ではドコモが 2135 MHz-2150 MHz の3 波に増波され、ボー ダフォン (現 SoftBank) も 2160 MHz-2165 MHz の1 波が新たに追加されていた。更に 2006 年8月21 日の測定では 2120 MHz の信号が確認された。昨年のデータと比較すると受信状況はほぼ同様であり、 2GHz 帯の携帯電話基地局の増波が鹿島 34m アンテナ周辺では一段落したようである。

²http://ryuu.nict.go.jp/naibu/documents/34m-system/Receiv-char/SX-band/7600PLO_Downconv.pdf



図 3.8: 1回掃引でのS帯 (RHCP) 受信状況。 2009年2月13日9時47分の記録。



図 3.9: 最大値保持モード 20 分間での S 帯 (RHCP) 受信状況。



図 3.10: S帯 LNA 出力 (HTS フィルタを通す前の LNA 出力)の状況。左図は 2007 年 12 月 20 日、右 図は 2009 年 2 月 13 日に計測。

しかし、キャリア各社によるサービスエリア改善を目的とした増強は引き続き行われており、2GHz 帯を補強する 800MHz 帯の携帯電話基地局が NTT ドコモにより 34m アンテナから約 90m の距離に設 置され、2008 年 2 月から運用が開始された。基地局の送信周波数は 875–880MHz、最大送信電力は 10W である。スペクトラムアナライザによる測定では幸いに混信は見られず、また国際 VLBI 観測の解析に おいても異常は報告されていない。

X 帯 1回掃引および最大値保持モードでの X 帯の受信状況を図 3.11 ~ 3.14 に示す。 X-n 帯は、2007 年と比較すると 8950MHz 付近から上側にくし状の混信が強く入るようになってきた。

3.4.2 S/X 帯における長時間ノイズサーベイ

図 3.15~3.16 は S/X 帯それぞれをスペクトラムアナライザでノイズサーベイしたものである。図の左 側がスペクトラムアナライザの最大値保持モードで 30 分間データを取得した結果で、図の右側は一回 掃引したものから最大値保持モードのデータを差し引いたものであり、外部からのノイズの大きさを表 している。図 3.15 から、S 帯において全帯域内で通常のバンドキャラクタレベルよりも 10dB 以上強い 混信が見られた。現在のところ S 帯は 測地 VLBI 観測 (S/X) における電離層補正のためのみにデータ 取得がなされている。一方、シングルディッシュ観測は困難と考えられ、天文用途でも測地同様 VLBI



図 3.11: X-n帯 (RHCP) の受信状況。1回掃 引。2009年2月13日14時15分。



X-n-band-RHCP-max10m-20090213-1415

図 3.12: X-n 帯 (RHCP) の受信状況。最大値 保持モードで 10 分間の測定結果。



図 3.13: X-wL帯 (RHCP) の受信状況。1回掃 引。8080MHz に X-n帯および X-wH帯に使用 しているローカル信号が漏れ込んでいる。2009 年2月13日14時30分。



図 3.14: X-wL帯 (RHCP)の受信状況。最大値 保持モードで 10 分間の測定結果。

観測でのみ利用可能である。

X帯は他の帯域に比べ混信は顕著ではない。だが8950MHzより高周波数側でくし状のノイズが見られる。



図 3.15: S 帯のノイズサーベイ結果。スペクトラムアナライザで 30 分間最大値保持モードで取得 (左)、 及び S 帯の最大値保持モードと一回掃引でそれぞれ取得したデータの差 (右)



図 3.16: X帯のノイズサーベイ結果。スペクトラムアナライザで 30 分間最大値保持モードで取得 (左)、 及び X帯の最大値保持モードと一回掃引でそれぞれ取得したデータの差 (右)

3.5 K帯

K帯 (22GHz) の受信機ブロックダイヤグラムを図 3.17 に示す。現在の受信機は LHCP のみの固定偏 波であり、導波管を接続変更しなければ偏波を切り替えられない。国立天文台と JAXA/ISAS(宇宙科 学研究本部)が計画している VSOP2 プロジェクトでは両偏波観測を重要な観測要素としており、その 地上観測局として両偏波観測を行えるように改造することが検討されている。

3.5.1 受信状況-IF スペクトル

受信状況を確認するため、O/E 変換器背面の IF 出力からスペクトラムアナライザ (HP 8566B)を用いて、1回掃引および最大値保持モードで K 帯の信号を取得した。図 3.18 及び、図 3.19 に1回掃引および最大値保持モードで受信した状況の例を示す。周波数は受信周波数に換算して表示している。K 帯



図 3.17: K帯 (22GHz) 受信機のブロックダイヤグラム

については顕著な混信は認められない。



図 3.18: K帯 (LHCP) の受信状況。 1回掃引。 2009 年 2 月 13 日 1540。



図 3.19: K帯 (LHCP) の受信状況。最大値保 持モードで 10 分間の測定結果。

3.6 Q帯

Q帯(43GHz)の受信機ブロックダイヤグラムを図 3.20 に示す。Q帯は 22GHz,32GHz の受信機と同じ トローリに搭載されているため、スペースが極めて限られている。そのため、デュアーも 13×40×54cm の非常にコンパクトなサイズで設計されており、デュアー内部には LNA とアイソレータのみ搭載され、 偏波分離は行っていない。先に述べた VSOP2 プロジェクトでは Q帯の両偏波観測が必要とされてお り、今後の検討課題である。

3.7 Ka帯

Ka帯(32GHz)の受信機ブロックダイヤグラムを図 3.21 に示す。Ka帯は深宇宙探査機の次期の通信 バンドとして NASA/JPL が導入を進めているもので、NICT でも受信することを計画して 2002 年に 22GHz 受信機の更新と共に導入された。



図 3.21: Ka帯 (32GHz) 受信機のブロックダイヤグラム

3.8 34m アンテナのバックエンドシステム

鹿島 34m アンテナで利用可能なバックエンドは、K3、K4、Mk-IIIA、S-2、K5/VSSP、そして K5/VSI(ギガビット系)が準備されている。34m アンテナシステムでは、VLBI 技術開発センターの 開発成果の評価検証という位置付けから様々なバックエンドが用意されていたが、現在主として使用さ れる VLBI 用バックエンドは K5/VSSP,K5/VSSP32,K5/VSI である。これらの主要なバックエンドの 種類と概要について説明する。バックエンドの詳細については説明書が個別に準備されている。

トータルパワー計測システム 電波望遠鏡としては基本となる測定システムである。34m アンテナ IF 信号の全電力、または任意の周波数から 2,4,8,16MHz などの帯域を選択し、受信電力を計測することが できる。トータルパワーシステムにより天体の単一鏡によるポインティング、システム雑音などを計測 することができる。測定はフィールドシステム(望遠鏡及び測定装置の制御ソフト、名称 FS9)により 自動化されている。

K4/KSPシステム 定常的に稼動している VLBI データ取得系である。情報通信研究機構の開発した 64/128/256Mbps の磁気テープによる観測システムで、自動でテープを交換するロボットにより無人 テープ交換運用が可能である。100-600MHz または 500-1000MHz の IF 帯域から任意の 16 チャンネル をベースバンドに変換した後、DFC2000/DFC2100/DFC1100 という AD サンプラで記録する。K4 シ ステムは測地観測で用いられている標準的なシステムとして、1996 年~2001 年までの首都圏広域地殻

To Obs Room

変動観測計画 (KSP) での定常観測、各種測地実験で使用されたほか、国土地理院に技術移転され我が 国の測地網維持に大きく寄与している。運用はフィールドシステムから自動的に行われる。

VSOP システム 宇宙科学研究所が VSOP 観測の為に国立天文台と供に整備したシステムでデータ レートは 128Mbps である。IF からは 32MHz 幅を AD コンバータの高次モードと呼ばれる周波数に切 リ出すサンプラインターフェース、AD コンバータ DFC2000、および TCU と呼ばれる時系制御装置が 併用される。制御は CFS と呼ばれる Windows のソフトウェアから行う。テープデッキ部及びテープ自 動交換ロボットは K4 のものが共通に使用できる。2005 年以降は VSOP 衛星の観測がなく、大学 VLBI 連携観測等で使用されている。

K5/VSSP システム AD コンバータが PC のインターフェースに搭載されている為、PC1 台当たり 4ch 入力で構成される新世代のバックエンドである。現在、PC1 台当たり最高 64Mbps までのデータ レートでハードディスクに記録することができる。またデータはソフトウエアにより相関処理が行われ る。相関処理ソフトウエアは K5 システムの一部として JIVE(Joint Institute for VLBI in Europe) に ライセンス提供された他、現在も高速化のための分散相関処理技術の開発が進められている。データの 相関処理は、これまでのテープ観測で培われた VLBI の解析処理系にインターフェースされており、ス ムーズな解析処理が可能となっている。このシステムも技術移転が行われており、国土地理院、大学等 でも採用されつつある。国内測地実証実験や米国 MIT の Haystack 観測所との間での VLBI 実験により 測地システムとしての性能が確認されている。その他、チャンネル数とデータレートの選択の自由度を 生かして狭帯域の電波源である衛星と電波天体を受信して飛翔体位置を決定する研究開発が進められて いる。



図 3.22: K5/VSSP システム。ラック組込型の PC4 台により最大 256Mbps のデータレートで記録が 可能である。



図 3.23: K5/VSSP32 システム。ラック組込型の PC4 台により最大 1024Mbps のデータレートで記 録が可能である。

K5/VSSP32システム PC とのインターフェースに USB2.0 を採用した AD コンバータユニット1台 当たり4ch入力で構成されるバックエンドであり、K5/VSSPシステムの後継機として2005年に新たに 開発された。PC1台当たり最高256Mbps(1ch当たりの最高サンプリング周波数64MHz)までのデー タレートでハードディスクに記録することができる。データフォーマットはヘッダー部以外はK5/VSSP と互換性を有しており、K5/VSSP 用に整備された観測ソフトウェアおよび相関処理ソフトウェアは、す べてK5/VSSP32システムでも使用できるよう改修がなされている。表3.3にK5/VSSPとK5VSSP32 の仕様の比較を示す。

K5/VSI システム

RAID ハードディスクを用いることにより PC 1 台あたり最大 2048Mbps でデータ取得を行う汎用 PC ベースの VLBI データ記録システムである。1ch、1024Msps の天文観測用 AD サンプラ (ADS1000) 16ch、64Msps/ch の測地 VLBI 観測用多チャンネルサンプラ (ADS2000) 1ch、2048Msps、8bit の汎 用 AD サンプラ (ADS3000) と国際標準インターフェースである VSI (Versatile Scientific Interface) 規格に準拠したコネクタおよびケーブルで接続しデータ記録を行う (図 3.24)。

OSにLinuxを利用し、高速RAIDハードディスクに データ記録を行いながら同時に高速ネットワークへの リアルタイムデータ送出や、ソフトウェアによる実時 間デジタルデータ処理が可能である。膨大なデータを 実時間で処理するため、相関処理には超高速ソフト相 関処理コアプログラムが別途開発されている 2003 年度 に構成したシステムでは 2TB の記録容量を持ち、ディ スクを交換することなく4時間程度の連続観測が可能 であったが、ハードディスク単体の容量増加と16台の ハードディスクをサポートする RAID カードの採用に より PC あたりの総記録容量は8TB となった。1Gbps のデータレートで記録を行った場合、約17.8時間連続 して記録できることになる。さらにファイバーチャン ネルなどの方式で RAID システムを追加接続すること により記録容量の拡張が可能である。



図 3.24: K5/VSI システム。左上が 16ch、 64Msps/ch のサンプラ ADS2000、右上が 1ch、 1024Msps/ch のサンプラ ADS1000 である。そ れぞれの下の PC のハードディスクは 2TB の 記録容量を持つ。

	K5/VSSP(ボード)	K5/VSSP32(ユニット)
サンプリング周波数 (MHz)	0.04, 0.1, 0.2, 0.5, 1,	0.04, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 4, 8,
	2, 4, 8, 16	16, 32, 64
内蔵デジタル LPF (ローパスフィルター) (MHz)	-	2, 4, 8, 16, through
入力信号レベル	-1V ~ +1V	-1V ~ +1V
AD変換器アナログ帯域幅	100 MHz	300 MHz
A D分解能(ビット)	1, 2, 4, 8	1, 2, 4, 8
ボード(ユニット)あたりのチャンネル数	1, 4	1, 4
ボード (ユニット) あたりの最大データレート	64 Mbps	256 Mbps
DCオフセット調整機能	無し	ホストPCからリモートで可
		能
標準信号入力	1PPS, 10MHz	1PPS, 10MHz または 5MHz
PCとのインターフェース	PCI バス	USB 2.0

表 3.3: K5/VSSP と K5/VSSP32 の仕様の比較

AOS 分光システム 共同研究協力協定により鹿児島大学が中心となって開発した AOS(音響光学型)分 光装置が整備されている。微弱なメーザー天体などの観測に用いている。ミリ波観測時の軸較正観測シ ステムに組み込まれ不可欠の装置となっている。今後デジタル化への移行も検討されている。

デジタル分光計 高速サンプラ ADS1000 と高速 PC を用いて AOS 分光システムに代わる新たな分光 計として鹿児島大学と協力して開発した装置。1 台の PC を用いて帯域幅 32MHz、周波数分解能 16kHz の分光処理を実時間で行う分光計の開発に続いて、4 台の PC による並列演算による帯域幅 256MHz、 周波数分解能 32kHz の分光処理が可能なシステムも開発された。

パルサータイミングバックエンド 旧時間周波数計測グループが開発したタイミング計測用のバック エンド。ミリ秒パルサーは信号強度が非常に弱いことから、直径 60m 以上のアンテナが観測局の主流 となっているが、本装置では広帯域受信(最大帯域幅 200MHz)と、パルスの長時間実時間積分(最大 1600万回)により、十分な感度でミリ秒パルサーを検出している。広帯域化においては狭帯域のチャン ネルを多数連ねる必要があるが、ここに AOS を用いているのが本システムの特徴である。この装置で は口径比でアレシボに迫る精度でのパルサータイミング観測が継続的に実施されている。

3.9 34m アンテナ併設の観測機器

3.9.1 水蒸気ラジオメータ

鹿島宇宙技術センター 34m 庁舎屋上には水蒸気ラジオメータ が設置されており、基本的には常時観測を行っている。我々が 使用しているのは、米国 radiometrics 社³製の WVR1100 型で、 23.8GHz、および 31.4GHz の2 周波を受信して視線方向の水蒸 気積分量を計測できる。ビーム幅は約5度である。図 3.25は、屋 外で観測中の WVR1100 の様子である。写真にあるように、こ のWVR1100には、ラジオメータのアンテナを任意の方位・仰角 に向けることの出来る AZEL 追跡ドライバが付属しており、例 えば VLBI や GPS の観測時にクェーサーや GPS 衛星などの電 波源の視線方向の水蒸気観測が可能である。ただし、通常は天頂 観測を継続して実施している。その他、これまでに世界規模での VLBI 集中観測の "CONT05(Continuous VLBI Campaign) 実験 [2005.9.12 1700UTC - 2005.9.27 1630UTC]"、及び"CONT08 実験 [2008.8.12 0000UTC - 2008.8.26 2359UTC]"の際には、国 土地理院つくば 32m 局近傍に移設して湿潤遅延量の臨時観測を 行った。なお、"CONT08 実験"後に、ラジオメータから得られ る湿潤遅延量の値を較正するために、つくば市にある気象庁気象 研究所構内にラジオメータを設置して約1ヶ月間にわたり、同じ 敷地内の高層気象台から打ち上げられるラジオゾンデとの並行 観測を行った。



図 3.25: NICT で運用する水蒸気ラジ オメータ Radiometrics 社 WVR1100 型。本体の下部に付属している白い 小さな箱はラジオメータのアンテナ を任意の仰角・方位に向けるための AZEL 追跡ドライバ。

3.9.2 測地用 GPS

測地 GPS に関する国際連携組織である IGS(International GNSS Service/国際測位衛星システム サービス)⁴は、全世界約 420 点 (2009 年 2 月 1 日現在)の GPS 観測点からなる観測網を統括し、観測 データ配信、高精度軌道情報の提供などを行っている。NICT も IGS 観測網に参加しており、鹿島 11m アンテナ、及び小金井 11m アンテナの近傍にそれぞれ GPS 観測点を併設している。各局に設置されて いる GPS 受信機は、いずれも測地用 2 周波タイプである。これらの観測点を表 3.4 に示す。

2007 年 12 月までは、いずれの観測点でも米国 Ashtech 社製の Z12 型受信機を使用していた。これら が老朽化したため、新たに Trimble 社製 NetRS 測地受信機を導入し、小金井については 2007 年 12 月 20 日より、また鹿島については 12 月 26 日より運用を開始した。運用にあたっては各局に供給されて いる水素メーザ発振器からの標準信号をこれらの GPS 受信機にも入力し、データ品質の向上を図ると 共に、時刻比較実験にも応用可能な体制を整えた。その他、2007 年 12 月 26 日は、34m 庁舎屋上にも "KS34" と名付けた新たな観測点を設け、こちらにも水素メーザからの標準信号を入力する NetRS 受信 機を設置した。なお、いずれの観測点とも、チョークリングアンテナ (型式:SCIGN レドーム⁵付きの ASH700936E 型) アンテナを使用し、KGNI と KSMV は鉄製のピラー上に (図 3.26 参照)、KS34 は臨 時観測点設置用の 3 脚マスト上に設置されている。それぞれの観測点のデータは、毎日 2 4 時間の観測 終了後に 34m 庁舎内に設置された専用サーバによりダウンロードされ、データ圧縮・ヘッダの編集処 理などをなされた後に CDDIS に ftp 伝送されている。また、2005 年 4 月より韓国天文宇宙科学研究所 (KASI/Korea Astronomy and Space Science Institute⁶) 内の IGS データセンターにもデータ伝送を開 始した。これらのデータは数日後には、IGS 各局のデータと共に国土地理院の他、IGS や CDDIS 等の 匿名 ftp サイト⁷などより自由に取得できる。

なお、NICT 構内には国土地理院が運用する全国約 1400 箇所の GPS 観測網からなる GEONET(GPS Earth Observation Network)の点が、鹿島 (観測点番号: 93009) と小金井 (観測点番号: 93019) にそれ ぞれ 1 基ずつある。なお、これらについての詳細は地理院 WEB サイト⁸ で紹介されている。

表 3.4: NICT で運用する VLBI 局近傍の IGS/GPS 観測点

GPS 局観測点名	アンテナ設置場所
KSMV	茨城県鹿嶋市 NICT 鹿島宇宙技 術センター 11m アンテナ近傍
KGNI	東京都小金井市 NICT 小金井本 部 11mVLBI アンテナ庁舎屋上



図 3.26: NICT で運用する GPS 観測点 (鹿島 KSMV 局)。後方は 11m アンテナ。

⁴http://igscb.jpl.nasa.gov/

⁸国土地理院 http://www.gsi.go.jp/

⁵http://www.scign.org/

⁶http://www.kao.re.kr/html/english/

⁷例えば http://cddis.gsfc.nasa.gov/ftpgpsstruct.html や http://igscb.jpl.nasa.gov/components/data.html などを参照 のこと。

4 34mアンテナの運用

4.1 2008 年運用状況

2008年1月1日から12月31日まで のアンテナの運用時間を目的別使用頻 度で示したのが図4.1である。これらに は、アンテナ保守、較正等に関する日 常的な保守、測定、軸較正観測等を含 むが、長期間にわたる定期保守や補修 工事期間は含まない。使用時間の合計 は2047時間で前年の2319時間からは 約270時間の減少である。これの主な 要因は、単鏡観測が前年に比べ約400時 間減少したことによるものだが、一方 保守後の立ち上げ(軸較正、副鏡較正) 観測の増加があり、ある程度相殺して いる。



図 4.1: 2008 年の 34m アンテナ運用時間

図 4.2 に例として、2008 年 11 月の 34m アンテナ運用予定表を示す。年間 2000 時間余りの使用では、 ほぼ毎日のように観測、保守等でアンテナに何らかの予定が入っている状態となっている。最近は、特 に e-VLBI 観測の頻度が増加しているのが特徴である。デモ観測のようなリアルタイム実験の他、IVS データ伝送での非リアルタイムデータ伝送でも回線確保を考慮しつつ観測スケジュールを組む必要が ある。

5 34mアンテナの保守

5.1 定期保守

NICT の第2期中期計画5ヶ年期間の開始に伴う経費削減のため2006年より、34mアンテナの定期 保守についての頻度と中身の見直しを行い、毎年実施していた定期保守を1年半毎の実施頻度とした。 2006年は冬期に行い、2007年は大規模な定期保守は実施しなかった。2008年度は電気系等を除いた定 期保守を8月20日から9月30日に行った。また、主鏡背面構造部の一部に対する錆落とし、溶接、再 塗装を行う補修工事を12月8日~12月19日に実施した。その後、予算確保が実現したため、同様の 手当を背面構造部中心部の全周(半径方向には半分程度の長さ)に対して施す第2期補修工事を2009年 2月から年度いっぱいに実施する予定である。また、ELギアのグリスアップは5月9日、10月15日、 12月25日の3回実施した。AZレールへの油塗布は冬期は1か月に1度程度、その他の高湿度時期は 2~3週間に1度程度の頻度で実施している。34mアンテナの定期保守は機械系と電気系のそれぞれに ついて実施されるが主な項目と結果を以下に示す。

5.1.1 機械系の点検整備

機械系の点検整備項目を表 5.1 に示す。モータの故障やアジマスレールボルトの破損/交換なども行ったが、それぞれについては、後の項目で詳しく述べる。

🕲 Mo:	zilla Fi	refox			X
ファイル	Œ)編	集(E) 表示(V) 履歴(S) ブックマーク(B) ツール	(D) AN	レプ(圧)	0
20	80	Nov			^
					1
DAY		EXPERIMENT(UT)	BAND	OPERATOR	
1	SAT	NH3 Network is not available	к	Tojima	
2	SUN	NH3 Network is not available	к	Tojima	
3	MON	NH3 Network is not available –2400 Public Holiday	ĸ	Tojima	≣
4	TUE	0300-1400 VERA	К	Tojima	
5	WED	NH3	К	Tojima	
6	THU	NH3	К	Tojima	
7	FRI	0000-0800 maintenance AZ reducer NH3	к	Tojima	
8	SAT	NH3	К	Tojima	
9	SUN				
10	MON				
11	TUE	0100-0600 maintenance AZ motor fan IVS-T2058 1730-1730	s/x	kawai	
12	WED	-1730]		
13	THU	0000-0800 maintenance reflector			
14	FRI	0000-0800 maintenance reflector preparation Hayabusa 1400-1800 SC08-FT 2200-0130 Hayabusa	×	Ichikawa	
15	SAT	-0130			
16	SUN	SC08			
17	MON	SC08			v

図 4.2: 34m アンテナの運用予定表の例。観測予定の他に装置の開発、改良、保守点検、修理、調整等の予定が記入されている。これは http://www2.nict.go.jp/w/w114/stsi/34m/plan/plan34m.html から確認できる。

百日	結果	備老
AZ(アジマス) 旋回部		
	異常なし	
スクレイパーの点検	異常なし	スクレイパー4箇所とも清掃
アンディー・ションス	異常なし	
CW/CCW ゾーン判定用 SW	要調整	位置調整実施
	又附足	
	宝 了	ウェフフトリップ防结油涂在お トバ
	无」	レール部の再シーリング実施。
固定ボルトの調査点検 	異常	AZ レールボルト: 29 本 (すべて旧 型ボルト) 折損。交換実施
AZリミットスイッチの点検、動作確認	異常なし	アクチュエータ稼働部へのグリス補 給実施
AZ モーターの定期オーバーホール	実施	異常の無いことを確認
EL 駆動部		·
EL 歯車の異音の有無の確認	異常なし	
ELリミットスイッチの点検、動作確認	異常なし	アクチュエータ稼働部へのグリス補 給実施
EL モーターの定期オーバーホール	実施	異常の無いことを確認
		·
EL ベアリングの異音の有無の確認	異常なし	
ピントルベアリングの異音の有無の確認	異常なし	
		1
AZ.EL角度エンコーダの電源電圧確認	異常なし	
取り付け状況、内部錆の発生状況他の目視点検	異常なし	EL エンコーダコネクタに軽微な発 錆あり
		•
目視可能な範囲の腐食状況の確認	異常	背面構造部に重度な発錆あり
フィードコーンの目視点検、フィードトロリー	異常なし	S/X帯下降時の異音は給脂により解
の目視点検および動作点検		消
	l.	•
5 軸制御機構目視点検	異常なし	アクチュエータ、リニアベアリング、 リミットスイッチボックスへのグリ
		ス注入実施、ジョイントホックスの 乾燥剤交換
5 軸制御リミットスイッチの動作確認	異常なし	頂部に残る副反射鏡支持部に軽微な 発錆あり
付帯設備		
AZ ケーブルラップ室の排水ポンプ動作確認	異常なし	
ガスヘリウム冷却系のオーバーホール	異常	コンプレッサ右機過熱、左機へ変更。
緊急停止スイッチの動作確認	異常なし	
各部リミットスイッチ(AZ 駆動部ガードバン	異常なし	
パー、AZ 室タラップバンパー、反射鏡出入り		
ロハッチ、EL アライン、ストーピン挿入確認)		
の点検確認		

表 5.1: 機械系点検整備項目

5.1.2 電気系の点検整備

電気系は、アンテナコントロールユニット (ACU)、サブリフレクタコントロールユニット (SCU)、ア ンテナドライブキャビネット (ADC)、及びサブリフレクタドライブキャビネットの点検をこれまで実 施していたが、保守経費の見直しにより、今回はこれらの電気系の点検は行わなかった。

一方、機械系の保守作業のために、ADC にある自動運用リミットスイッチ、SCU の動作確認を実施 した。また、ADC にあるモータコントローラの過電流等の各種警報値の確認、調整も行い、いずれも 正常であった。

5.1.3 駆動モータの交換履歴

34m アンテナは、AZ 駆動に4台、EL 駆動に2台のモータを使用している。更にAZ、EL それぞれ1 台づつの予備モータを保有している。予備モータも含めて定期的に点検を行うため、使用するモータを 交換しながらオーバーホールを行っている。表 5.2 に保有しているモータのシリアル番号と修理/オー バーホール (OH)の履歴を示す。また、表 5.3 に Azimuth4 機, Elevation 2 機、及び予備のモータの交 換履歴を示す。定期点検前の 2008 年 6 月 24 日に AZ#2 で不具合 (ブレーキ故障) によりモータを交換 したため、定期保守時には AZ#2 は交換しなかった。また、2008 年 10 月 17 日、AZ#4 でブレーキ不 具合のためモーター式を交換した。

表 5.2: AZ/EL モータ保守履歴 (2008 年以降)

AZ モータ	TL-8-506-WL	TL-8-502-WL	RN-8-40-WL	TL-8-500-WL	TL-8-501-WL
ID	506	502	40	500	501
保守履歴	2008/8/27 OH	2008/6/24 修理	2008/6/24 Az1	2008/8/27 OH	2008/8/27 OH
	2008/10/16 納品	2008/8/27 納品		2008/9/10 納品	2008/19/10 納品
	2008/10/17 AZ4	2008/8/27 AZ1		2008/10/17 修理	2008/19/10 AZ3
				2008/11/7 納品	

EL モータ	WL-8-325-WL	ZV-8-103-ZV	TP-8-71-TP
ID	325	103	71
保守履歴	2008/8/27 OH	2008/8/27 EL1	2008/8/27 OH
	2008/10/16 納品		2008/9/10 納品
			2008/9/10 EL2

5.1.4 副反射鏡位置歪み調査

22GHz 帯、43GHz 帯という高周波帯での運用増加を考慮して、副反射鏡位置の再現性を確認するために、毎回の定期保守開始前と終了後に副反射鏡5軸位置の仰角による読み取り値を測定している。

図 5.1 は、仰角を 90 度から 7 度まで変化させ、その後、90 度まで戻したときの各軸の初期値からの変 位の様子である。測定開始の 90 度の値を変位 0mm としている。変位量は X 軸は 0.0~0.6mm 程度、Y 軸は 0.0~-0.4mm 程度、Z2、Z3 軸は 0.0~-0.3mm 程度あった。Z1 軸は保守による取り外し前が 0.1mm 以下であったが取り付け後は、0.0~-0.2mm 程度となった。しかしながら、他の Z 軸と同様の値であり 問題はないと判断した。2005年の保守時には Z1軸のステップ状の変位が見られたが、2006年と今回 は類似の異常は認められなかった。また変位量、傾向とも 2005年測定時(ただしステップ状変位は除 く)、2006年と同様であった。2007年は定期保守を実施しなかったため、副反射鏡位置の計測は実施し ていない。

5.2 修理・補修・トラブル

5.2.1 構造体/レール

背面構造部の補修工事 34m アンテナの背面構造部は腐食が進行しているため、補修工事を行ってい る。従来は、背面構造部の中でも腐食が進行していた主鏡パネルに近い上部のトラス支柱の補修工事 を主に行っていた。しかし、これまで補修を行っていなかった下部トラス支柱にも腐食が進行してきた ため、現況を確認することも含めて図 5.2(左)に示す箇所の背面構造部下部の補修工事を 2008 年 12 月 8 日から 19 日に行った。その結果、肉厚 10mm の比較的厚い H 鋼の一部に腐食が進行して部分的に肉 厚が薄くなっている箇所があった。そこで、背面構造部下部と上部、それらを接続している中間部も含 めて図 5.2(右)に示すように内周側の半径約 10m 範囲の補修工事を 2009 年 2 月から 3 月に行うことと した。

ナットプレートの腐食対策 34m アンテナ主鏡パネルと背 面構造部を結合しているナットプレートと呼ばれる部品の 腐食が進行している。特に進行が著しかった外周側のナット プレートについては背面構造部の補修工事と合わせて、交 換工事を行っていた。しかし、近年、内周側のナットプレー トも腐食が進行してきたため何らかの対策が必要となってき た。ナットプレートを交換するためには主鏡パネルの取り外 し、取り付け、及び鏡面調整が必要となり、部分的に少しず つしか実施することができない。そこで、次善策としてこれ 以上の腐食進行を防止するためにグリスを塗布することし て、2008 年 11 月 14 日から 20 日に実施した (5.3)。グリス



図 5.3: 主鏡パネルを固定している部品、 ナットプレートの腐食防止のためユウレ カグリスを塗布した。

表 5.3: 34m 駆動モータ交換履歴

場所	AZ1	AZ2	AZ3	AZ4	AZ 予備 1	EL1	EL2	EL 予備 1	備考
時期/ID									
2005/07/20	506	502	40	500	501	325	103	71	定期保守
2006/09/15	⇒	\Downarrow	501	\Downarrow	40	⇒	\Downarrow	\Downarrow	AZ3 交換
2006/12/21	40	\Downarrow	\Downarrow	\Downarrow	506	⇒	71	103	定期保守
2007/11/16	506	\Downarrow	\Downarrow	\Downarrow		⇒	\Downarrow	\Downarrow	AZ1 交換
2008/06/24	⇒	40	\Downarrow	\Downarrow	502 修理	⇒	\Downarrow	\Downarrow	AZ2 交換
2008/08/27	502	\Downarrow	501 OH	500 OH	506 OH	103	71 OH	325 OH	定期保守
2008/09/10	⇒	\Downarrow	501	500		⇒	71		定期保守
2008/10/16	⇒	\Downarrow	\Downarrow	\Downarrow	506 納品	⇒	\Downarrow	325 納品	
2008/10/17	₩	\Downarrow	\downarrow	506	500 修理	₩	\downarrow	\downarrow	AZ4 交換
2008/11/07	₩	\Downarrow	\downarrow	\downarrow	500 納品	₩	\downarrow	\downarrow	



図 5.1: 副反射鏡の5軸制御装置をある位置で停止させ、仰角を下げ/上げしたときの それぞれの軸: X 軸 (a),Y 軸 (b),Z1 軸 (c),Z2 軸 (d),Z3 軸 (e) の変移量を保守前、保守後について示している。



図 5.2: 2008 年 12 月 8 日から 19 日に背面構造部の下部トラス支柱の一部分の補修を行った (左)。右の 図は 2009 年 2-3 月に追加で行う背面構造部の補修工事範囲 (平面図)である。

は34m アンテナ屋外のリミットスイッチ可動部等にも塗布していたユウレカ WRN を用いた。

AZ レールボルトの折損 34m アンテナの AZ レール は直径 20 mの円周を 16 分割した構造となっており、1 枚のレールは外側 8本、内側 8本のボルトでベースプ レートに固定されている。従って、レール全体での固 定ボルトの総数は 256 本となる。このボルトの折損が 定期保守毎に発見されるが、図 5.5 に 2008 年定期保守 時に新たに見つかった折損箇所を含め、1998 年からの AZ レールボルトの累積折損箇所を示す。円周の数字は AZ レールの北を 1 番として時計回りに付したボルト位 置を示す番号である。2008 年の折損は、内側 16本、外 側 13 本の合計 29 本であった。ただし、折損はすべて 旧型のボルトで 2000 年より折損ボルトの交換時に使用 している強化ボルトでの折損は今の所皆無である。ボ ルトの折損は首の部分で発生するため 2000 年より首の



図 5.4: AZ レールボルト。左から折損したボルトの頭部、従来型のボルト、そして一番右側が2000 年から使用を開始した強化ボルト。

部分を強化したボルトを折損ボルトの交換に使用している(図 5.4)。表 5.4 に 1998 年から 2008 年まで の年別のボルトの折損本数を示すが、折損総数は 164 本である。内訳は、内側が 101 本、外側が 63 本 であり、内側ボルトの方が外側に比べて約 1.6 倍多くなっている。



図 5.5: 2008 年定期保守までの AZ レールボルトの累積折損箇所, 大きな △,○ が今年の破断ボルトの 位置

年	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	計
内側	14	18	14	4	6	2	1	3	10	13	16	101
外側	11	15	3	0	0	2	3	4	6	6	13	101
計	25	33	17	4	6	4	4	7	16	19	29	164

表 5.4: AZ レールボルトの折損本数

5.2.2 駆動系/モータ

ゾーン判定用スイッチのシャフト破断 34m アンテナの AZ 回転角は柔軟な追尾が行えるように北を中 心として±270度の可動範囲がある。そのために、回転角に加えて時計回り (CW) と反時計回り (CCW) というゾーンを併用して回転範囲の制限を行うリミット機構を構成している。CW/CCW ゾーンの判定 は AZ ホイールのひとつに取り付けられている Quadrant スイッチ (Q-SW) により行われている。

アンテナの AZ 角度がリミット範囲内であるにも関わ らず、リミットを超過したとしてリミット機構が作動し てアンテナが停止するという不具合が 2008 年 3 月 9 日 に発生した。点検の結果、AZ ホイールから Q-SW へ回 転を伝達するシャフトが破断していることが分かった (図 5.6)。そこで以前の交換時に保管してあった Q-SW よりシャフトを取り出して交換して、仮復旧した。旧 シャフトは摩耗のため抜ける恐れがある。現状では、3



図 5.6: AZ ホイールから Q-SW へ回転を伝達 するシャフトが破断した。

月から6月までに毎月一回、計3回点検したが異常はなかったため、次回の点検時に購入した Q-SW と 交換することとした。

AZ#2 モータ取付ボルトの緩み IVS の RDV69 観測中の 5 月 15 日に観測中の点検で天体を切り替え る時にモータが高速で回転する場合に AZ#2 モータから異音が発生していた。原因はモータと減速機 を取り付けるボルトが緩んでいるためであった。取り付けボルトを増し締めして異音は解消された。

AZ#1 駆動異常 6Gbps での光結合連続観測中に AZ#1 の DCPA で、Tach Loss/Over Speed の警報 が発生した。そこで、AZ#2 の DCPA で過電流警報の点検と共に 2008 年 6 月 23 日 ~ 24 日に調査した。 原因はモータ回転子に接触するカーボンブラシがブラシホルダーに固着したため、ブラシが回転子の電 極からわずかに浮いて隙間ができ電流が流れず、モータが回転しないためであった。ブラシの固着を解 消、ブラシ面を回転子の形状に合わせて研磨後は、警報が発生することはなくなり、正常動作となった。

AZ#2ブレーキ故障 2008年6月20日の観測中にAZ#2のDCPAでカレントリミットの警報が点灯 した。6月22日までにDCPA、モータ絶縁抵抗の点検の結果、異常は認められなかった。モータと減 速機との接続を切り、空回しするとブレーキ付近より異音が発生した。そこで、6月24日にモータ、ブ レーキー式を取り外したところ、ブレーキ内部のハブとブレーキ板が固着していたため、ブレーキが 正常に開放されず過電流となっていることが分かった。ブレーキを含むモーター式を予備と交換、復旧 した。

AZ#2 モータ過熱 22GHz 帯でアンモニアメーザを観測中の 2008 年 10 月 30 日、オペレータより、 AZ#2 モータが過熱しているとの報告を受けた。調べたところ、モータ筐体の表面温度が AZ#1 は 25 度、AZ#3 は 28 度であるが、AZ#2 は 46 度と過熱していた。冷却ファンモータは回転していたが、送 風量が著しく低下していた。そこで、冷却空気取り入れ口に扇風機を仮固定して送風、温度 42 度で観 測は継続した。翌 31 日に電動機専門業者に分解点検を行ってもらったところ、冷却ファンが逆回転し ており、三相電源の接続を修正して正常回転となった。約 1 時間後に 25 度まで低下して、他のモータ と同程度の温度となった。

AZ#4 フィールド電流異常 AZ#4 モータの界磁の異常を示す Field Loss の警告灯が DCPA で点灯し たので、2008 年 7 月 1 日に点検した。界磁コイルに電流を流すフィールドパワーユニット (FPU) の故 障と判明、FPU を予備品と交換して復旧した。

AZ#4 ブレーキ異音 パルサー観測中の 2008 年 10 月 16 日に、オペレータより AZ#4 モータ付近か ら異音が発生しているとの報告を受けた。異音はブレーキ内部のようであったが、夜間であり、電動機 専門業者による内部の分解点検が必要であると判断し、観測を中止。翌 17 日に点検を行った。その結 果、ブレーキ部分の軸受け固定リングが脱落、軸が移動したことによりブレーキ内部で部品が当たり、 異音を発生していることが分かった。現場では修理できないため、予備モータ、ブレーキー式と交換、 復旧した。異音を発生したブレーキは内部のハブが振動により摩耗していたため、故障モータのブレー キから部品を取り、復旧させた。

EL ブレーキ誤作動 駆動モータのブレーキ解除時には、ブレーキ開放 (BRS: ブレーキリリースステー タス) 信号にブレーキ開放が確認されないモータが一つでもあると、安全のためその系統 (AZ/EL) の 全てのブレーキをかけるようになっている。 駆動開始時、または観測中にまれに EL ブレーキが誤作動するという現象が発生していた。ブレーキ 開放信号系統を点検したところ、ブレーキ内部にある BRS スイッチの不具合が疑われた。しかし、BRS スイッチはモータを取り外さないとブレーキが分解できない構造となっているために定期保守時まで対 応を待って、定期保守中の 2008 年 9 月 10 日に EL#2(右) モータの BRS スイッチを交換した。交換直 後は正常に動作することが確認されたが、2009 年初めには再び同様の症状がみられており、今後の対 策が必要である。

EL ピニオンギアベアリングと AZ/EL 減速機の潤滑不足 定期保守時に EL ギアボックスから異音が 認められたため、点検したところ、EL ギアと噛み合うピニオンギアを支えるベアリングの一部 (図 5.7 に潤滑不足があり、異音が発生していたことが分かった。ベアリングに給脂することで、この異音は解 消された。この機会に駆動機構の給脂状況を再点検したところ、AZ/EL 減速機のリングギアハウジン グ部分にも給脂が十分行われていない箇所があることが分かり、給脂を行った¹⁰。



図 5.7: 中央の四角い箱に EL ブルギアとピニオンギアがあり、左側面の円形カバーの中にピニオンギ アベアリングある。

AZ#2 Tach Loss / Over Speed アンテナ制御装置からの速度コマンド電圧をモータが駆動でき る電力にまでに増幅する DCPA にはモータ保護のため各種の警報が備えられている。AZ#2 モータで は、その警報のひとつ、Tach Loss/Over Speed という回転異常が時々発生している。2008 年 8 月、9 月に行われた保守後も発生状況は同様である。DCPA での設定値の確認、モータの回転子のブラシの 点検等を実施しているが、今のところ原因不明で、引き続き調査中である。

AZ#3 モータの瞬時過電流 AZ#3 モータにおいて、DCPA 警報のひとつで、瞬時過電流(IOC)の 警告灯が点灯する現象が時々発生している。保守後にも発生することがあったため、2008 年 11 月 14 日 には駆動モータのブラシ整流子の点検を行ったが、明らかな異常は認められず原因が判明していない。 これも現在調査中である。

¹⁰これまでの理経の定期点検では点検されていなかった可能性がある。

5.2.3 アンテナ制御系

角度入力ボードのジャンパーピン接触不良 アンテナ 制御装置 (ACU)の EL 角度に約 0.02 度の飛びが見ら れた。EL 角度を変化させても ACU 角度入力ボードの ビット D5(0.01 度に相当)のモニター LED が消灯した 状態となっていた。2008年1月15日~16日に調査し たところ、角度入力ボードのビット D5 系統上にある ジャンパーピン JP10-5の接触不良(図 5.8 が発見され、 この接触不良を修復することにより角度読み取りは正 常に動作するようになった。

受信機制御 RS422 コネクタ半田外れ 受信機等の制御 ができない不具合が 2008 年 3 月 4 日に発生した。34m

図 5.8: 角度入力ボードのジャンパーピン JP10-5 が接触不良であった。

アンテナの受信機制御、ステータス取得は AZ 室の受信機制御計算機から RS422 信号により行われている。不具合を調査したところ、受信機制御計算機の RS422 コネクタピンに接続されているケーブルの 半田が外れて信号が伝送されなくなったためと判明した。半田付けを行い、受信機制御等は復旧した。

EL 角度飛び IVS-T2056 観測前の点検で、EL 角度が 0.02 度程度飛ぶ現象が見られた。観測直前で あったので、調査を観測後の 2008 年 7 月 31 日に行った。角度飛びが再現していたため、アンテナ制御 装置の角度入力ボードの入力コネクタを入れ替えて Z/EL 角度入力を交換したところ、現象が見られな くなった。元に戻しても発生しなくなり、その後は、現象が現れなくなった。角度が飛ぶ時は D7、D8 ビットが異常 (モニター LED の点滅状況) となる。コネクタの接触不良、あるいは角度入力ボード等が 疑われるが、これも原因は未解明で同じく現在調査中である。

5.2.4 受信/信号伝送系

IF 伝送用の光ケーブル更新 34m アン テナの IF 信号は受信機室より観測室ま で光ケーブルにより伝送されている。こ のケーブルが仰角捻回部での断線等に より使用できなくなった。そこで、2008 年2月にケーブルを更新した。ケーブ ル内の光ファイバーは従来と同様、6芯 ケーブル2本の12系統として予備系と 将来のIF 信号拡張等に備えた構成とし た。図5.9に34m アンテナへの敷設経 路を示す。また表5.5に敷設したファイ バーの使用状況を示す。

表	5.5:	観測室 -	ETR 間	光ファ・	イバケー	-ブル	⁄使用状況
---	------	-------	-------	------	------	-----	-------

ケーブル 番号	用途	備考
11	E/O#2	X-wL,L,C Band
12		未使用
13		未使用
14	E/O#3	X-n Band 専用
15	E/O#4	S Band 専用
16		未使用
21	E/O#1	X-wL Band
22		未使用
23	22GHz	32/43GHz とも共用
24		未使用
25	10MHz	観測室 $\rightarrow \text{ETR}$
26		未使用

22GHz 帯受信機 IF 伝送系電源のコンデンサ不良 34m アンテナの観測中に 22GHz 帯受信機出力が消失したとの報告を受けて、2008 年 10 月 10 日~11 日に調査したところ、22GHz 帯 D/C と 5-7GHz IF アンプに電源を供給している 12V 1.2A 電源 (型番 Volgen EXU-121R2)のパイロットランプが消灯していた。調査中に一時、受信機出力が復旧したが、また消失したため電源盤をトロリーから外して詳細に調査した。その結果、12V 電源のコンデンサ付近が腐食していた (図 5.10) ため、リード線側から液漏



図 5.9: 2008 年 2 月に更新した、IF 信号を伝送する光ファイバケーブルの敷設経路。

れしていることが分かった。負荷電流合計 0.51A であったので、代替電源 (Nemic-Lambda HK10A-12 12V 0.9A INPUT 100-120VAC) と交換して復旧した。故障した電源は 22GHz 帯用の光 IF 伝送系と共 に 1998 年に整備したものであり、約 10 年が経過していた 。

X 帯スプリアス 鹿島 34m アンテナは IVS の元に国際観測を行っているが、相関処理局から 2008 年 2 月 26 日実施の crf50 観測で X 帯 8 チャンネルの内、 Pcal 信号に対して 4 チャンネルに-7 – -9dBc のス プリアスがあるとの報告があった。また、2月5日実施の t2053 観測では X 帯 8 チャンネルの全チャン ネルにスプリアスがあるとの指摘があった。多数のチャンネルにスプリアスがあることから Pcal 信号 発生器が疑われた。そこで、5月2日~7日に調査、対策を行った。

まず、受信機の近くに取り付けられている Pcal 信号発生器の周囲を電波吸収体で覆ったところ、20dB 程度減少したため、Pcal 信号発生器の筐体等から放射している信号がフィードに入っていることが分 かった。そこで、Pcal 信号発生器の内部に底面を除く5面に電波吸収体を入れた(図 5.11)。その結果、 真の Pcal 信号より 40dB 程度、スプリアスを低減することができた。使用を中止した明星電気製の Pcal 信号発生器のケース肉厚が 8mm(現用は 2mm) あり、かつ電源入力が直流(現用は交流入力)であった。 よって、これらの違いがスプリアスの発生に影響していると考えられる。

L 帯のスプリアス L 帯の混信防止のため、新たに 1405–1435MHz のフィルタを導入して混信の低減 に効果的であったが、まだスプリアスが残っていた。そこで、受信機室の装置の電源を順次停止して調 査したところ、スプリアスの原因として、ネットワークハブ、RS232C 用光送受信機、及び S/X 帯用 Pcal 信号発生器が複合的な要因であり、さらに他にも発生原因が疑われている状況である。まず、ハブ は HTS フィルタ等のステータスをネットワーク経由で取得するために設置したものである。RS232C 用光送受信機は HTS フィルタのステータスを長距離伝送するために使用している。Pcal 信号発生器に





図 5.10: 22GHz IF 伝送系統の電源使用されて いたコンデンサ (右端)。周囲に腐食の跡が見ら れた。

図 5.11: スプリアス防止のため Pcal 信号発生 器の内部に底面を除く 5 面に電波吸収体を入 れた。

ついては、前述の 5.2.4X 帯スプリアスで述べた現象を反映している。当面は、観測で必要な場合に機 器を停止することで対応することとした。

5.2.5 その他の 故障/トラブル/修理

ヘリウムコンプレッサの過熱 34m アンテ ナでは受信機フロントエンドにある低雑音増 幅器を冷却するためにヘリウムコンプレッサ (C300K)を用いている。このコンプレッサが 夏季の7月、8月にファン停止、またはコン プレッサ過熱を示す FAN 警告により停止す ることが時々、発生した。そこで、保守時の 2008年9月11日に装置内にある圧縮機周辺 の温度を測定したところ、表 5.6 のように現 用機は内部温度が高いことが分かった。

測定箇所	現用機 (右)	予備機 (左)	停止温度
	S/N 010978	S/N 015493	
第一吐出	88	77	120
第一リターン	68	52	80
出口	57	36	60

表 5.6: ヘリウムコンプレッサの内部温度

コンプレッサの熱交換器はエアーブロー清掃済みであったので圧縮機本体のオイル不足が考えられた。しかしながら、コンプレッサは1997年製造と比較的古いため、修理の是非については検討することとし、暫定的に予備機との入れ替えのみを行った。

S/X帯トロリー下降時の異音 34mアンテナでは受信機をトロリーに搭載して焦点位置への調整を行う(2.3節「追尾性能」参照)。S/X帯トロリーの下降時に異音が発生していることが定期保守時に分かった。そこで、2008年9月12日にトロリーのリニアベアリング等の駆動機構の給脂を行った結果、異音は発生しなくなった。

C帯トロリー下降停止不良 C帯トロリーが下降時、待機位置 (リムーブ)のリミットスイッチで停止せ ず、リミットを超えて異常な位置に入ってラッチスイッチで停止するという現象が時々発生していた。 また、2008 年 12 月 22 日にはラッチからの解除中に更にトロリーが下降してリミット機構が変形する ことも発生した。そこで、12 月 24 日にトロリー制御系統を詳細に調査したところ、リムーブのリミッ トスイッチは正常動作する一方で、トロリーを下降させるモータへの電源供給を切り替える電磁接触器 の復帰動作が数秒から十数秒、遅延することが判明した。また C帯のトローリでは、上昇時もリミッ トスイッチの動作に遅延があることがわかった。電磁接触器は同等品の入手に約 2 か月を要するため、 2009 年 3 月に交換を行う予定とした。

34m アンテナの受信機室にある4台のトロリーは巧妙に設計、配置されており、正しい待機位置から ずれた位置に停止した状態で他のトロリーを上昇させると衝突する恐れがある。そこで、電磁接触器の 交換までは、受信機の切り替えは目視確認者を加えて2名でトロリーの制御を行うこととした。34m ア ンテナの建設から20年間これらの電磁接触機は交換されておらず、2009年3月に4台のトローリ全て と緊急停止(Emergency)の電磁接触機を交換する予定である。

デハイドレータのタイマーリレー接点不良 34m アンテナの給電部は導波管、ホーンアンテナが使用 されている。これらの内部の腐食を防止するための乾燥空気を充填するためのデハイドレータが2008 年6月13日に停止していた。調査したところ、タイマーリレー接点の接触不良であったったが、予備 品がないため接点をサンドペーパーで磨き、臨時に復旧した。6月18日に入手したリレーと交換した。 このデハイドレータは34m アンテナオリジナルの装置が不調となった時に、NEC製11m アンテナ に使用されていたデハイドレータに外部シリカゲルタンクを追加、一部改造して流用したものである。 本来は1時間に1度程度動作することを前提として設計、製造された装置である。34m アンテナでは流 量が多いため2~3分に1回程度と高頻度で動作し、また外部シリカゲルタンクも簡易に増設したため 強度不足によりエアー漏れが発生したりしたため、2009年の早期に代替機の導入を予定している。

地下室換気扇の交換 34m アンテナの AZ ケーブルラップは地下室にあり、この地下室の酸素欠乏等 を防止するために換気扇を設置している。この換気扇の架台部分が腐食によりほぼ支えられない状態と なったため、2008 年 12 月 24 日に交換した。

受信機室屋外の電気配管の腐食 受信機室屋外にある電気配線保護用の金属配管 (コンジット) が腐食 していることが 2008 年 11 月 26 日に分かった。調べたところ、手で容易に崩れる程となっていた。コ ンジットの接続先の分電盤内部に浸水はなかったが、端子、分電盤内側等の表面にわずかな腐食が見ら れた。そこで、電気工事業者に依頼して 12 月 24 日、配管内の配線を一度抜いて、腐食した部分の金属 配管を交換、配線を復旧した。

主鏡面洗浄 34m アンテナ主鏡面は白色塗装されているが、長年の塵埃の付着により汚れが堆積したため、高圧洗浄機2台をレンタルして2008年8月13日~15日に表面の洗浄を研究室のメンバーにより行った(図 5.12)。

5.3 副反射鏡取り外し保守前後の位置のシフト量推定

5.3.1 目的

副反射鏡は、数年に一度地上に降ろして可動部のグリスアップなどの保守作業を行わなければならない。特に5軸駆動機構(XYZ移動機構)は外部に暴露しているため、グリスの劣化やごみの付着など



図 5.12: 34m 主反射鏡面の高圧洗浄機による洗浄

により観測運用中に動作不可能となれば観測時間の大きなロスとなるほか、プロジェクト推進の面から も支障をきたす可能性がある。

2008年夏の保守では、2005年から3年後の副反射鏡保守作業のため、副反射鏡を取り外して地上で グリスアップなどの作業を行った後、再び副反射鏡を34mアンテナに取り付けた。この前後で、取り 付けの再現性を確保することは、保守後のアンテナ立ち上げ期間を短縮するために重要である。アンテ ナで天体を追尾しつつ5軸駆動機構の副鏡の5つの設定パラメータを広い範囲で調整するには多大な時 間を要するが、事前に治具による測定を行うことで再現性が確保されこの時間を大幅に短縮できる。具 体的には、先端にノギスをつけた治具を副反射鏡を支える構造体に装着し、取り外しの前後で測定を行 う操作を2003年から副反射鏡を取り外す際に行っている(2003年34m白書¹¹参照)。副反射鏡位置 推定のアルゴリズムについて2003年白書に記述あるが、一部改訂があるため、今回改めてそのアルゴ リズムについて記載し、結果について報告する。

5.3.2 測定手順

計測作業は以下の手順で行われる。

- 1. 副反射鏡上部の構造体(骨組み)に対してノギスのついた治具を5ヶ所取り付ける。
- 2. 副反射鏡上での取り外し前の測定
- (a) 副反射鏡上部の治具直下に十数センチ四方の大きさに切った OHP シートをビニルテープで貼り 付ける。
- (b) S/X 帯受信機の焦点位置に副反射鏡パラメータをあわせ、原点位置を記録する。さらに XY 軸の シフト量を(+40,+20,-20,-40,-60)と変化させながら、ノギス先端の位置をシート上に記録する (局所座標系の記録・作成)。
- (c) XY 位置を S/X 受信機の焦点位置にして、Z1,Z2,Z3 をひとつづつ (-20,-10,0,+10,+20) とシフト

¹¹鹿島34mアンテナ 2003 年 年次報告書,pp.35-38, 2003.


図 5.13: 副反射鏡上での計測作業:副反射鏡を取り外し・取り付け前後の移動量の基準とするために 取り付けた治具(左)。治具の先端に取り付けたノギスと、副反射鏡を移動させて作成した局所座標系 (中)。作業は3人で5点の基準位置の計測を副反射鏡上で行った。

させながらノギスで測った副反射鏡表面の位置を記録する。

- 3. 副反射鏡を地上に降ろす。
- 4. 地上に降ろした副反射鏡で、5つの局所座標系間の(原点間距離、およびX,Y軸方向にシフトした 点との間の距離測定を行う。また、副反射鏡の中心位置を定め(今年は前回の中心位置の印があり、 それを流用した)、中心位置から各局所座標系の原点位置、X,Y それぞれ(+40,0,-60)シフトした点 までの距離を計測する。
- 5. 副反射鏡を再びアンテナに取り付け、副反射鏡パラメータを S/X 受信機の焦点位置に設定して、副 反射鏡上での治具(ノギス)の5つの局所座標系上でのずれ(X,Y)を計測する。また、Z1,Z2,Z3 をひとつづ (0 mm,±10 mm, ±20 mm) 動かした時のノギスの読みを記録する。
- 6. また、副反射鏡を 22GHz, 43GHz の焦点位置に動かした時の、局所座標系上での位置 (X,Y,Z:ノギ スの読み) を記録する。

以上のような手順で計測されたデータから、副反射鏡の取り外し・取り付け前後の変位量 ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z1, \Delta Z2, \Delta Z3$)を推定することが目的である。そのための中間作業として、副反射鏡の中心を原 点とする大局的な座標系における、各治具の位置、およびアクチュエータ Z1, Z2, Z3 の位置を推定する。

5.3.3 位置の推定アルゴリズム

副反射鏡の取り外し・取り付け前後の変位量 (△ X, △ Y, △ Z1, △ Z2, △ Z3) 推定のアルゴリズムに ついては 2003 年の「34m白書」に記されているが、若干アルゴリズムが異なるので、一部重複する が改めてここに記す。

 Δ X, Δ Y の変位量の推定 水平成分 (X,Y) の位置のシフトは平行移動と回転により完全に記述でき る。ある位置点 $P_i(x_i,y_i)$ の位置が ($\delta x_i, \delta y_i$) だけ変位して観測されたとき、 水平方向の変位量 (Δ X, Δ Y) と回転 θ を使って

$$\begin{pmatrix} \delta x_i \\ \delta y_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \end{pmatrix}$$
(5.1)

で表される。副反射鏡の取り外し・取り付け前後での位置は数 mm 程度ずれる程度であり、回転角 θ は 十分小さいので、一時近似 $(\cos \theta \sim 1, \sin \theta \sim \theta)$ で線形化し

$$\begin{pmatrix} \delta x_i \\ \delta y_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -y_i & 1 & 0 \\ x_i & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \theta \\ \Delta X \\ \Delta Y \end{pmatrix}$$
(5.2)

を観測方程式として、最小二乗法で解くと、副反射鏡の取り外し・取り付け前後での水平位置の変位量 $(\theta, \Delta X, \Delta Y)$ が得られる。

△ Z1,△ Z2,△ Z3 の変位量の推定 Z 成分の変位量の推定は以下のような手順で行う。測定の際の副 反射鏡パラメータは S/X 受信機焦点位置にあることを基本(局所座標系の原点)とする。

- 1. 副反射鏡の中心を原点とする座標系において、5つの治具の位置 P1-P5の座標 (X,Y) を求める。い い換えれば、大局的座標系での5つの局所座標系原点の位置を求める。
- 2. 大局的座標系上の Z1,Z2,Z3 のアクチュエータの位置 (X,Y) を求める。
- 3. 副反射鏡取り外し・取り付け前後での、Z 成分の P1-P5 における変位量からアクチュエータの位置 Z1,Z2,Z3 における Z 成分の変位量 ΔZ1, Δ Z2, Δ Z3 を推定する。

それぞれのステップの具体的方法は以下のとおりである。

大局的座標系における、治具 P 1~P 5の位置の推定

観測データ 1. 副反射鏡の中心から各治具の原点点

 $P_i(x_i, y_i)$ (i=1-5) からオフセット $\alpha = (40, 0, -60)$ 、 $\beta = (40, 0, -60)$ した点までの距離 r 2. 各治具の原点点

 $P_i(x_i, y_i)$ (i=1-5) からオフセット $\alpha = (40, 0, -60)$ 、 $\beta = (40, 0, -60)$ した点 $P_i(x_i + \alpha_k, y_i + \beta_k)$, $P_j(x_j + \alpha_l, y_i + \beta_l)$ の間の距離

観測方程式 1. 中心から各治具の点間での距離

$$r_{i,k} = \sqrt{(x_i + \alpha_k)^2 + (y_i + \beta_k)^2}$$
(5.3)

2. 各治具の点間の距離

$$s_{i,j,k,l} = \sqrt{(x_i + \alpha_k - x_j - \alpha_l)^2 + (y_i + \beta_k - y_j - \beta_l)^2}$$
(5.4)

未知数 $(x_i, y_i), (i=1..5)$ を 観測方程式 (5.3), (5.4) から求める。観測方程式の偏微分係数

$$\frac{\partial r_{i,k}}{\partial x_i} = \frac{(x_i + \alpha_k)}{\sqrt{(x_i + \alpha_k)^2 + (y_i + \beta_k)^2}}$$
(5.5)

$$\frac{\partial r_{i,k}}{\partial y_i} = \frac{(y_i + \beta_k)}{\sqrt{(x_i + \alpha_k)^2 + (y_i + \beta_k)^2}}$$
(5.6)

$$\frac{\partial s_{i,j,k,l}}{\partial x_i} = \frac{(x_i - x_j + \alpha_k - \alpha_l)}{\sqrt{(x_i - x_i + \alpha_k - \alpha_l)^2 + (y_i - y_i + \beta_k - \beta_l)^2}}$$
(5.7)

$$\frac{\partial s_{i,j,k,l}}{\partial y_i} = \frac{(y_i - y_j + \beta_k - \beta_l)}{\sqrt{(x_i - x_j + \alpha_k - \alpha_l)^2 + (y_i - y_j + \beta_k - \beta_l)^2}}$$
(5.8)

を使って、線形化し最小二乗法で (x_i, y_i) i=1..5 を解く。初期値 (x_i^0, y_i^0) を適切に選んで、それを使って 計算値 $r_{i,k}^{cal}, s_{i,i,k,l}^{cal}$ を計算し、

$$\delta r_{i,k} = r_{i,k}^{\text{obs}} - r_{i,k}^{cal} \tag{5.9}$$

を得て、 $\delta x_i, \delta y_i$ の修正値を、線形化した方程式

$$\begin{pmatrix} \delta r_{i,k} \\ \delta s_{i,j,k,l} \\ \dots \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial r_{i,k}}{\partial x_i} & \frac{\partial r_{i,k}}{\partial y_i} \\ \frac{\partial s_{i,j,k,l}}{\partial x_i} & \frac{\partial s_{i,j,k,l}}{\partial y_i} \\ \dots \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta x_i \\ \delta y_i \\ \dots \end{pmatrix}$$
(5.10)

を解いて求め、 $x'_i = x^0_i + \delta x_i, y'_i = y^0_i + \delta y_i$ として修正し、最小自乗法を繰り返し使用して、値が収束するまで繰り返す。

アクチュエータ Z1,Z2,Z3 の位置の推定

前節の推定アルゴリズムで、副反射鏡の中心を原点とする大局的座標系上の治具の位置 P_i (i=1,..,5) は得られている。Z1,Z2,Z3を一つづつ ±10 mm, ±20 mm 動かして計測された P1,..,P5 の Z の変位量か ら、動かしてないアクチュエータ位置を通る直線の式が求められる。こうして得られる 3 つの直線の式 の交点として、Z1,Z2,Z3 の大局的な座標系における位置が得られる¹²。副反射鏡を上面から見たときの アクチュエータの位置 Z1,Z2,Z3 と測定の基準となる治具の位置 P1,..,P5 や、アクチュエータ Z1,Z2,Z3 の座標位置を推定するために、使う直線 Z1-Z3 を図 5.14 に示している。



図 5.14: 副反射鏡を上から見て、アクチュ エータの位置 Z1,Z2,Z3 と治具の測定点の位置 → P1,...,P5を示している。アクチュエータZ2を動 かしたとき、不動となる アクチュエータZ1,Z3 を結ぶ直線と、動かしたアクチュエータ (Z2) からその直線までの距離を *d_m* として示して いる。

Z_m(m=1..3) を通る直線の方程式

- 観測データ Z_1, Z_2, Z_3 のうち、ひとつだけを動かし、 $\Delta Z_{m,k} = (-20, -10, 0, +10, +20)$ だけ Z の位置を 変える。このときの、治具の位置 P_i 点での鉛直方向シフト量 $\delta Z_{i,m,k}$ をノギスで計測する。
- 観測方程式 アクチュエータ $Z_m(m=1,..,3)$ のうちひとつだけを $(\Delta Z_{m,k})$ 動かし、他のアクチュエータ は基本位置 (S/X 受信機の焦点位置)に固定するとき、 Z_1,Z_2,Z_3 のうち、固定する 2 点を結ぶ直 線は不動である。この直線の式を大局的な座標系上で $y = a_m x + b_m$ と表すことにする。この直 線と治具の位置 $P_i(x_i, y_i)$ の間の距離 d_i は、

$$d_i = \frac{|y_i - a_m x_i - b_m|}{\sqrt{a_m^2 + 1}} \tag{5.11}$$

と表され、 Z_m とこの直線との距離を d_m とすると、点 P_i において観測されるシフト量 $\delta Z_{i,m,k}$ と アクチュエータのシフト量 $\Delta Z_{m,k}$ の関係は

$$\delta Z_{i,m,k} = \frac{y_i - a_m x_i - b_m}{d_m \sqrt{a_m^2 + 1}} \Delta Z_{m,k} \equiv F(i,m,k) \Delta Z_{m,k}$$
(5.12)

である。ただし d_m は、点 Z_m が直線より下にある場合を負、上にある場合に正とする。F() は、 (5.12) の $\Delta Z_{m,k}$ の係数を表す式と定義する。未知数 (d_m, a_m, b_m) を解くために、式 (5.12) を線形

¹²アクチュエータの位置 $Z_m(x_m, y_m)$ (m=1,..,3) をを未知数として一度に方程式を解くことも可能かもしれないが、方程式が複雑であるため、計算の簡単のため、2 段階に分けて Z_m の位置 (x_m, y_m) を求めた。

化する。それぞれの未知数に対する偏微分係数は

$$\frac{\partial F}{\partial a_m} = \frac{a_m b_m - a_m y_i - x_i}{d_m (a_m^2 + 1)^{3/2}}$$
(5.13)

$$\frac{\partial F}{\partial b_m} = \frac{-1}{d_m \sqrt{a_m^2 + 1}} \tag{5.14}$$

$$\frac{\partial F}{\partial d_m} = \frac{a_m x_i + b_m - y_i}{d_m^2 \sqrt{a_m^2 + 1}} \tag{5.15}$$

である。適当な初期値 (a_m^0, b_m^0, d_m^0) を仮定し、これを使って計算される $\delta Z_{i,m,k}^{calc}$ を観測量から差 し引いた残差 $\delta Z_{i,m,k}^{obs-calc} = \delta Z_{i,m,k}^{obs} - \delta Z_{i,m,k}^{calc}$ と線形化した観測方程式

$$\delta Z_{i,m,k}^{\text{obs-calc}} = \left(\frac{\partial F}{\partial a_m}\delta a_m + \frac{\partial F}{\partial b_m}\delta b_m + \frac{\partial F}{\partial d_m}\delta d_m\right)\Delta Z_{m,k}$$
(5.16)

を使って修正量 $(\delta a_m, \delta b_m, \delta d_m)$ を求め、

$$(a_m^{(k+1)}, b_m^{(k+1)}, d_m^{(k+1)}) = (a_m^{(k)}, b_m^{(k)}, d_m^{(k)}) + (\delta a_m, \delta b_m, \delta d_m)$$
(5.17)

で、値を改善しつつ解が収束するま繰り返して求める。

こうして直線の式の係数 (a_m, b_m) (m=1,...,3) が得られる。 さらにその交点の座標 $Z_m(x_m, y_m)$ (m = 1,...,3) として、アクチュエータの座標が得られる。

副反射鏡を取り外し/取り付け前後のアクチ ュエータの Z シフト量の推定

副反射鏡の取り外し・取り付け前後での、 取り付け誤差によりアクチュエータの Z 方向 の値がそれぞれ $\Delta Z1$, $\Delta Z2$, $\Delta Z3$ であると する。全体が $\Delta Z1$ だけシフトし、Z1 を基準 として Z2,Z3 が $\Delta Z2 - \Delta Z1$, $\Delta Z3 - \Delta Z1$ だけ変位したものと考える。アクチュエータ Z1,Z2,Z3 の水平位置は既知であり、測定を行 う冶具の点 P1,...,P5 の点の水平位置も既知で ある¹³。ベクトル $\vec{e_1} = Z_2 Z_1$, $\vec{e_2} = Z_3 Z_1$ を定 義し、これをサブレフの水平方向の座標を張 る基底ベクトルとすると、Z1 から点 $P_i(x,y)$ へのベクトルは



図 5.15: 各アクチュエータの Z 方向のシフト量を計算す るために導入した、斜交基底ベクトルの表示

$$P_i Z_1 = x' \vec{e}_1 + y' \vec{e}_2 \tag{5.18}$$

とあらわすことができる。この斜交ベクトルと基底とする新しい座標の組 (x',y') を P1,...,P5 について 求める。そして、これを使って、点 $P_i(x',y')$ における Z 方向の変位量 $\Delta Z(x',y')$ は

$$\Delta Z(x',y') = x'(\Delta Z2 - \Delta Z1) + y'(\Delta Z3 - \Delta Z1) + \Delta Z1 = (1 - x' - y')\Delta Z1 + x'\Delta Z2 + y'\Delta Z3$$
(5.19)

 $^{^{13}}$ これらの水平位置としては、副反射鏡取り外し前の値を使って差し支えない。なぜなら、これらの位置の変位量は数 mm に対して、それぞれの点間の距離は1mオーダであるため、これの水平位置のずれによる Z への影響は 1%以下である。一 方、後で見るように、 ΔZ の補正量が数 mm であるから、水平位置のずれによる ΔZ の補正量への影響は、10 ミクロン程度 のオーダで無視できる。

P_i	X(mm)	Y(mm)
1	-1438.0 ± 0.4	817.1 ± 0.7
2	-1446.4 ± 0.5	-859.2 ± 0.8
3	1449.4 ± 0.5	-853.0 ± 0.7
4	1417.6 ± 0.4	834.5 ± 0.7
5	32.5 ± 0.6	-1247.6 ± 0.1

表 5.7: 治具の位置 P1,...,P5 (保守前)の推定結果

とあらわされる。これを観測方程式として、最小二乗法により ΔZ1,ΔZ2,ΔZ3, が求められる。得られた ΔZ の値を従来使用していた副反射鏡パラメータに補正することにより「副反射鏡取り外し」前の副 鏡位置が再現できる。

5.3.4 測定と処理の結果

大局的座標系における、治具1~5の位置の推定 副反射鏡を34mアンテナから下ろす前の、副反射 鏡中心を原点とする大局的な座標系上の治具の位置 $P_i(x_i, y_i)$ (i=1..5)の10個の未知パラメータに対し て、中心(原点)から各点 P_i までの 距離測定値25個、各点間の測距値250個を使って求めた結果を 表5.7にまとめてある。推定後の残差のRMSは1.1mmであり、各点の座標は推定誤差は1mm以下の 高い精度で得られた。また、残差の分布のカイ2乗値を1にするように重み付けを調整した結果、測定 データの計測精度は0.4mm程度と推測される。推定後の残差の分布を図5.16に示す。



図 5.16: 治具 1-5 の大局的座標を推定した際の推定後残差

アクチュエータ Z1,Z2,Z3 の位置の推定 5.3.3 節で述べた方法により、Z1,Z2,Z3 を通る直線の推定結 果を表 5.8 に示す。パラメータフィット後の残差の RMS は 0.2-0.3 mm であった。この推定によって得 られた直線の交点として Z1,Z2,Z3 のアクチュエータ位置が表 5.9 のように得られた。

副反射鏡を取り外し/取り付け前後のアクチュエータの XY シフト量推定 5.3.3 節で述べた方法によ り得られた XY の変位と、回転角 θ を表 5.10 に示す。ここでの、残差 RMS は 0.6mm 残差の Reduced

表 5.8: Z1,Z2,Z3 を通る直線 y = ax + b と直線とアクチュエータまでの距離 d の推定結果

	a	b (mm)	d (mm)
Z3	-3 ± 4	-594 ± 4	1805 ± 7
Z2	1728 ± 20	1178 ± 19	-1798 ± 8
$\mathbf{Z}1$	-1722 ± 23	1198 ± 21	-1805 ± 9

表 5.9: 直線の交点として得られた Z1,Z2,Z3 の推定位置

	X (mm)	Y (mm)
Z1	1024.1 ± 11	590.3 ± 4
Z2	-1042.1 ± 13	597.3 ± 4
Z3	-6.3 ± 8	-1188.1 ± 14

カイ2乗が1となるように調整することにより、各測定点の誤差 0.15mm 程度と見積もられた。このときの残差のプロットを図 5.17 に示す。



図 5.17: XY、および Z のシフト量の推定における、観測量推定残差のプロット。左は XY のシフト量を推定したときの推定後残差。右は Z のシフト量を推定したデータの推定後残差。

副反射鏡を取り外し/取り付け前後のアクチュエータの Z シフト量推定 5.3.3 節に記述した方法によ り、副反射鏡の取り外し/取り付け前後のアクチュエータの Z シフト量推定結果を表 5.11 に示す。パラ メータ推定後の残差の標準偏差は 0.17mm であり、Reduced カイ 2 乗の値を 1 にするように重みを調整 した結果、個々の測定値の平均測定誤差は 30µm 程度となった。

今回、目的とした副反射鏡取り外し/取り付け前後のシフト量は、XY方向で 2-3mm、誤差 50 µm 程 度、Z 方向で 2mm 程度誤差 10µ 程度の精度で推定することができた。副反射鏡取り外し前の位置を復

θ (rad.)	-0.0003 \pm 3. E-05
$\Delta X \ (\mathrm{mm})$	-2.03 ± 0.05
$\Delta Y \ (\mathrm{mm})$	-3.34 ± 0.05

表 5.10: 副反射鏡取り外し/取り付け前後での XY 方向の変位量および回転角の推定量

表 5.11: Z の変位量推定結果。この値の符号を逆にして、副反射鏡パラメータに補正することで、副反 射鏡取り外し前の位置を復元することができる。

$\Delta Z1$	$-1.352 \pm 0.005 \text{ (mm)}$
$\Delta Z2$	$-0.70 \pm 0.01 \text{ (mm)}$
$\Delta Z3$	$-2.30 \pm 0.01 \text{ (mm)}$

元するためには、表 5.10 及び表 5.11 の値を逆符号にして、副反射鏡パラメータに補正すればよい。

副反射鏡本体の裏側には筋交いは一部にしか通っておらず、筋交いと筋交いの間はやや中空になって おり、太鼓のように膜が支えている状態である。今回初めて副反射鏡上部での測定作業を行ったが、(1) 副反射鏡に浸水があれば、受信特性が極端に劣化することも考えられること、(2) 副反射鏡裏側の強度 は人が乗って作業するように設計されていないと考えられる、ことなどを考慮すると、可能な限り副反 射鏡裏(高所)での作業は避けるべきとの感想を持った。

来年以降の保守の参考のため、副反射鏡位置測定データ¹⁴と計算シート¹⁵を内部向け HP 上に置いて いる。

6 技術開発

6.1 超小型 VLBI システムの開発

6.1.1 CARAVAN2400

CARAVAN(Compact Antenna of Radio Astronomy VLBI Adapted for Network) とは情報通信研究機構(以 下NICT)が開発を進めている、小型で持ち運び可能な電 波望遠鏡システムの総称である。当所のCARAVAN開発 の究極的な目標は、現在電波望遠鏡の観測網が手薄な大洋 域や南半球なども含めて汎地球的規模での観測が可能な VLBIシステムの実現であり、高精度コロケーションや柔 軟な運用スケジュールでの深宇宙飛翔体追尾観測などへの 寄与を念頭においていた。この目的は、後述する"距離基 準超小型 VLBIシステムの開発"に引き継がれ、現在推進 中である。近年、VLBIシステムのバックエンド系は汎用 PC により大幅な小型化と低コスト化が進んでいる。特に



図 6.1: CARAVAN2400の外観

NICT が開発したギガビットでのデータ取得可能な K5/VSI システム¹⁶による高感度化は、CARAVAN、 あるいは後述の距離基準超小型 VLBI システムの実用化を達成する上での重要な鍵の一つとなっている。

NICT では 2002 年に試作機としてアンテナ直径 65cm の CARAVAN650 の 1 号機を完成させ、 鹿島 34m パラボラアンテナとの間で 22GHz 帯の信号受信によるクェーサーのフリンジ検出に成功した¹⁷。さら に測地分野での機能評価を目的として 5 年前から 2.4m 口径のパラボラアンテナを用いた CARAVAN2400

¹⁷Yonezawa, I. et al., Development of compact VLBI system, IVS CRL-TDC News, No.21, pp.29–30, Nov. 2002.

 $^{^{14} \}rm http://ryuu.nict.go.jp/naibu/documents/34m-system/maintenance/SubrefPositionData2008.xls$

¹⁵http://ryuu.nict.go.jp/naibu/documents/34m-system/maintenance/CalcSheet08a.xls

¹⁶Kimura, M. et al., The implementation of the PC based giga bit VLBI system, IVS CRL-TDC News, No.21, pp.31–33, Nov. 2002.



From Wide Band Feed 2-18GHz

図 6.2: 新フロントエンドのブロックダイアグラム

の開発を進め、2005 年度からは国土地理院と共同で、距離基準超小型 VLBI システムのテストベッド として運用している。

図 6.1 に CARAVAN2400 の外観を示す。2005 年 12 月に太陽電波を鹿島 11m と共に同時受信し、初の VLBI 観測および待ち受けでの CasA 単独鏡受信にも成功した。その後、2006 年 9 月 21 日の初 VLBI 測地観測に成功、2007 年 1 月 31 日から 2 月 1 日にかけて第 2 回の測地 VLBI 観測にも成功した(6.3 節「CARAVAN2400 による測地観測」を参照)。さらに、距離基準超小型 VLBI システム開発へ繋げる 重要な要素技術の一つとして、2007 年 11 月末に広帯域クワッドリッジホーンアンテナ¹⁸を用いたフロ ントエンドに換装し、2007 年 12 月 5 日には初フリンジ観測に成功した。

フロントエンド換装前と後での仕様を表 6.1.1 に示した。2008 年 4 月より新型フロントエンドを用い た測地実験に取り組み、6月 23-24 日、及び7月 2-3 日の2回の実験で測地解を得ることに成功した。図 6.2 に新フロントエンドのブロックダイアグラムを示す。なお、測地実験の結果についての詳細は 6.3 節の "CARAVAN2400 による測地 VLBI 実験"を参照されたい¹⁹。

6.1.2 MARBLE 距離基準超小型 VLBI システム

MARBLE とは、GPS や光波測距儀の検定を目的として測量法に則って運用される距離比 較基線場 (図 6.4)の較正を目的として情報通信研究機構 (以下 "NICT") と国土地理院 (以 下 "GSI")が共同で開発中のシステムの名称であり、Multiple Antenna Radio-interferometry of Baseline Length Evaluation System(距離基準用多アンテナ干渉計システム)の略である。

¹⁸ETS-Lindgren 社製 Broadband Dual-Polarized Quad-Ridge Horn Antenna "type 3164-05"、2-18 GHz の帯域での受 信が可能

¹⁹その他、石井敦利、市川隆一、瀧口博士、岳藤一宏、小山泰弘、栗原忍、小門研亮、谷本大輔、クワッドリッジホーンアンテナを用いた電波望遠鏡の測地 VLBI における性能評価、2008 年 VLBI 懇談会シンポジウム集録、2009.

	2007 年 11 月まで	2007年12月以降	
アンテナ直径		2.4 m	
受信周波数	X-帯 (8.18-8.60GHz)	S-帯 (2.215–2.375GHz), X- 帯 (8.18–9.08GHz)	
HPBW		1.1°	
偏波	右旋円偏波 (RHCP)	直線偏波 (90° ハイブリッドにより円偏波に変換)	
雑音温度	125K(常温 LNA)	X-帯 (170K), S-帯 (86K)	
アンテナ制御方法	専用アンテナコントローラー + SkySensor MAOS		
アンテナ指向精度		0.1°	
アンテナ駆動速度	1°/sec (AZ、EL ともに)		
形式	カセグレンアンテナ、AZ-EL マウント		
重量	アンテナ 105kg、架台 535kg		





図 6.4: 国土地理院比較基線場の概略

図 6.5: MARBLE システムのコンセプト

本開発の主眼は、究極的には長さの国家標準にトレーサブルな 計測手法を VLBIを用いて確立することにある。中でも、CAR-AVAN2400 の項でも触れた距離基準超小型 VLBI システムの開 発は、今中期計画での主要研究テーマの一つであり、MARBLE を構成する根幹部分でもある。これまでに、2007 年度に初号機 を完成させ、2008 年度は2号機の開発を進めると共に初号機の 性能評価を行い、2009 年2月12日にはフリンジテストにも成功 した。ここでは、この開発の現況について簡単に述べる。図 6.5 にあるように実際の運用では距離基準超小型 VLBI システムを 比較基線場の両端に設置し、これらと 30m 級の大口径アンテナ とで観測網を構成する。ここで、基線場の両端の観測局をそれぞ れ X 局、Y 局、大型アンテナ同を R 局としたとき、距離基準超 小型 VLBI システムのアンテナロ径は 1.6m 前後で設計すること から、X 局 – Y 局 での群遅延を精度良く決めることは難しい。 そこで、基線ベクトルRX、及びRYでの群遅延データから間接



図 6.3: 鹿島宇宙技術センターの 34m 庁舎屋上に設置した距離基準超小型 VLBI システムの支柱部に GPS アン テナを据え付けた様子 (手前側)。後 方は 34m アンテナ。

的にXYでの群遅延を計算する。この手法の妥当性については現在評価中であるが、 鹿島 34m 局、 鹿

島 11m 局、及び小金井 11m 局のデータを用いた予備的なシミュレーション²⁰では、その有効性が示唆 されている。

距離基準超小型 VLBI システムそのものは、口径 1.6m クラスのパラボラアンテナ、パラボラ焦点付 近の給電アンテナ (取付け部及びその支柱を含む)、バックエンドデータ取得系、及びアンテナ制御用 PC 等からなる。ここで、パラボラアンテナ本体を分割可搬型としたことが最大の特徴であり、図 6.7 の仕様図にあるように初号機では、(1)主鏡部、(2)フロントエンド、(3)仰角駆動部、(4)方位駆動部、 (5) ダウンコンバータ (D/C) ケース部、(6)支柱部、及び (7) カウンターウェイト、の各パーツに分割で き、その他、アンテナ駆動部の制御系と制御用 PC へのインタフェース部分を収納する駆動制御部を含 めて全体を構成する。



図 6.6: 距離基準超小型 VLBI システムの設置の様子。

図 6.7: 距離基準超小型 VLBI シス テムの仕様

各パーツは、クレーン等の重機を使用せずに大人3人程度で持ち運び、及び据え付け調整が可能なように分割可搬とすることを目指した。初号機では要求仕様をやや上回る性能のハーモニックギヤドライブを採用したこともあり、特にElevation駆動部の重量が100kgを越えたが、実際には滑車と吊り三脚を用いて1時間以内で組み立てることができる。図 6.6 は、完成した初号機を鹿島宇宙技術センターの34m 庁舎屋上に整備したコンクリートベッド上に据え付け時の作業の様子である。

先に述べた CARAVAN2400 でテストした S/X 同時受信広帯域フィードを更に改良し、信号ロス軽減 のために広帯域 LNA を QRHA 直後に配した (図 6.8 参照)。これを距離基準超小型 VLBI システム初 号機に搭載し、2009 年 2 月 12 日に初のフリンジテストを実施した。テストは無事成功し、図 6.9 に示 すように本小型アンテナシステムが VLBI として機能することが確認できた。

VLBI 測位で求められるのは、AZEL 交点の位置であることから、この AZEL 交点と GPS 基準点との高精度なコロケーションが必要となる。初号機では、AZEL 交点位置に測量用ターゲットマーカを設置することができる構造 (図 6.7 参照) となっており、VLBI-GPS 間のコロケーションが容易である。ま



図 6.8: MARBLE 小型 VLBI 初号機で採用したフロントエンドのブロック図

た、GPS アンテナは、アンテナの主鏡、方位・仰角の両駆動部、D/C ケース、カウンターウェイトを 取り去った後の支柱部上面に 5/8 ピッチのボルトに直付けできるようになっている。図 6.3 は、実際に GPS のチョークリングアンテナを設置した様子である。

MARBLE システムでは、少なくとも2基の超小型 VLBI システムを必要とし、初号機の開発に続いて 2008 年度は2号機の開発に着手した。2号機での主な改良点は、(1) 焦点距離を X-帯に最適化した 主鏡設計、(2) アルミ材使用による各パーツの軽量化、及び(3) 駆動ドライブの 100V 化 (初号機の駆動 には 200V 電源が必要)、である。初号機と併せ、2009年度はこの2号機を用いた VLBI 実験を実施 する予定である。

6.2 APPS-簡便な高精度測位を目指して-

高度精密測位システム APPS(Advanced Precise Positioning System) とは、「いつでも」「だれでも」 「かんたんに」、高精度な測位結果を得られることをめざして、情報通信研究機構が開発したシステムで ある。不特定多数のユーザを対象とし、個々のユーザが取得した RINEX 形式²¹ での GPS データを電 子メールの添付ファイルとしてサーバに送信すると、サーバでは自動的に GPS 解析を行い、その解析 結果をユーザーに返信する。

このシステムは、測地学、あるいは GPS に関する専門的な知識のないユーザーでも容易に信頼性の 高い高精度測位を行うことを可能とすることを目的としている。システムそのものは、2000 年に旧通 信総合研究所と日立造船情報システムとの共同で開発を開始し、2002 年に試作品を完成させ、その後 試験運用に入っている

APPS の中核をなすのは、GPS データの自動解析サーバである。このサーバでは、ユーザーから RINEX データを添付した電子メールを受信すると、そのデータの解析に必要な複数の GPS 観測デー タ(当初は我が国周辺の IGS 点データのみ)、軌道情報、地球回転パラメータ (EOP) などを ftp によ り自動で収集し、電子メールに記述されているユーザーの要求に応じて干渉測位解析を行う。解析結果 は、ユーザからの要求に応じて、基線長や3次元位置情報の独自形式のファイル、および SINEX ファ イルなどをテキストファイルとしてメールに添付してユーザーに返送する。RINEX データの送信から

²¹RINEX 形式 http://www.ngs.noaa.gov/CORS/Rinex2.html

6. 技術開発



図 6.9: 2009 年 2 月 12 日に 34m アンテナと MARBLE 小型 VLBI 初号機との間で実施した初フリンジ テストの結果

解析結果の受領までに要する時間は平均して10分程度である。なお、サーバーでの解析エンジンとしては、BERN大学開発のGPS解析ソフトウェアBernese Ver.4.2を当初用いていたが、その後2007年度の改修でVer.5.0にバージョンアップした。また、最新の測地座標系"ITRF2005"にも同じタイミングで対応した。一連の処理は全自動で実行され、ユーザは測地学やGPSに関する特別の知識がなくても、ただ単にGPS受信機を設置するだけで信頼性の高い解析結果を得ることができる。

2009年2月現在、APPSはユーザーが送信した GPS 観測データの局位置推定結果をユーザーにメー ル返信で提供するにあたり、以下の付加機能が使用可能である。

- 国土地理院電子基準点網 GEONET データを含めた解析
- 大気遅延量推定機能(天頂遅延量、及び大気勾配係数)
- 多様な軌道情報の利用~世界複数の機関 (BERN大学、GFZ[GeoForschungsZentrum]、JPL、MIT、 スクリップス海洋研究所 [SIO] など) で生産される超高速暦 (ultra rapid orbit)、高速暦 (rapid orbit)、精密暦 (final orbit)
- ユーザ側で用意する ftp サイトに格納された GPS データを自動推定する機能
- GPS メーカから随時リリースされる新型受信機やアンテナの形式に関する情報を更新して APPS で利用可能

この他、WEB ブラウザを用いた APPS 利用についても開発途上である。これらの詳細と APPS 利 用については、APPS 説明サイト²² を参照されたい。さらに、この APPS をコアとした"位置認証サー バ VPS(verified position service)"も試験運用を開始しているほか、数値気象予報データの波線追跡計 算による大気伝搬遅延除去ツール"KAshima RAytracing Tools (KARAT)²³"の組み込みを検討中であ る。KARAT については、その有効性がほぼ確認できたことを受けて、WEB 上での GPS データ補正 試験サービス"KAshima RAytracing Service (KARATS)を開始する準備を進めている。

今後、APPS と位置認証サーバの信頼性を高めるために、引き続き公開運用を継続する他、地殻変動 の影響を考慮しつつ測地成果 2000 との整合性を確保したセミ・ダイナミック測地系²⁴への将来の移行 を見越して準備中である。また、電離層遅延の推定機能や潮汐モデルの組み込みなども予定している。 一方、NICT では、高速インターネット回線を用いた準リアルタイム EOP 決定の研究を推進している が、将来的には即時決定された EOP を用いた軌道情報、および測位精度の評価実験を APPS で行いた いと考えている。

6.3 CARAVAN2400 による測地 VLBI 実験

??章で紹介した CARAVAN2400 を用いて、これまでに複数回の測地実験を実施した。2006 年 9 月 21 日の初 VLBI 測地観測成功以降、2008 年末までに第 2 回実験を 2007 年 1 月 31 日 ~ 2 月 1 日、第 3 回 実験を 2008 年 4 月 30 日 ~ 5 月 1 日、第 4 回実験を 2008 年 6 月 23-24 日、及び第 5 回実験を 2008 年 7 月 2-3 日につくば 32 mアンテナとの間で実施してきた。これらのうち 2008 年 4 月の第 3 回実験以外は すべて成功し、測地解が得られている。

まず 2007 年の実験では、開発中の距離基準超小型 VLBI システムに将来適用することを念頭に置い て広帯域データ取得観測を行い、実際に必要とされる精度で VLBI 計測を行うことが出来るかどうか の検証を目指した。超小型 VLBI システムでは口径 1.5m 程度のアンテナの使用を検討しているが、小 口径アンテナによる受信感度の低下を広帯域受信により補うことが必須である。このときの観測では、 K5/VSI を用いて X 帯の信号を帯域 512MHz でデータ取得した他、比較のために K5/VSSP を用いて 帯域 128MHz でデータを取得した (図 6.10 参照)。。観測は成功し、2つのシステムによる測位解も得 られた。

その後、2007 年末から 2008 年にかけて、将来の距離基準超小型 VLBI システムに搭載予定の広帯域 フィードを用いた新型フロントエンドの開発を進め、これを CARAVAN2400 に載せて第3回以降の測 地 VLBI 実験を実施した。2008 年末までに実施した測地 VLBI 実験の結果を図 6.11 と表 6.1 に示す。

これらの図表によれば、それぞれの測位結果は誤差の範囲内でお互いに一致していることがわかる。 一方で、2008年の2回の測位結果の内部誤差が明らかにそれ以前の結果より大きく、広帯域フロント エンドの効果が明瞭ではない。これは、CARAVAN2400の主鏡が必ずしも換装したフロントエンドに 対して最適な形状となってなく、かつ主鏡の中心付近をフロントエンドが遮蔽している効果が大きいこ とから、数%の開口効率しか得られず、充分な SNR で相関処理ができなかったことが原因と考えられ る。現在開発中の距離基準超小型 VLBIシステムでは、クワッドリッジホーンアンテナのビームパター ンに適した主鏡を製作しており、開口効率の大幅な向上を見込んでいる。事前の推定では、X 帯での開 口効率が 40%に達すると計算されている。さらに、現行の低雑音増幅器 (LNA) から、受信機雑音温度 が約 60K(S/X 帯共に) より低雑音で S 帯と X 帯をカバーする広帯域なタイプに変更することも検討し ている。これらの改良を施した距離基準超小型 VLBIシステムを用いて、2009年中に最初の測地 VLBI

²²http://www2.nict.go.jp/w/w114/stsi/research/APPS/

²³例えば、Hobiger, T., R. Ichikawa, Y. Koyama and T. Kondo, Fast and accurate ray-tracing algorithms for real-time space geodetic applications using numerical weather models, *J. Geophys. Res.*, doi:10.1029/2008JD010503, 2008b. など ²⁴田中愛幸、岩田和美、豊田友夫、平井英明、川口保、松坂 茂、畑中雄樹、飛田幹男、黒石裕樹、今給黎哲郎、セミ・ダ イナミックな測地系の構築に向けた取り組みについて、国土地理院時報、第 110 集、1-9、2006.



図 6.10: 国土地理院つくば 32m 局に設置された K5/PC-VSI 装置 (左写真)と K5/PC-VSI による相関 処理結果の例(右図)。

実験を実施する予定である。最後に、観測に協力頂いた国土地理院の皆さんに深く感謝致します。



図 6.11: CARAVAN2400-つくば 32m 局間の基線長解析結果

(R.I. 記)

6.4 ガスセル型 Cs 発振器を用いた測地実験

6.4.1 実験概要

アンリツ株式会社製レーザ励起ガスセル型セシウム原子発振器の評価を目的として、測地 VLBI 実験 を鹿島 34m アンテナ–小金井 11m アンテナ基線 (基線長:約 110km) で 2007 年 7 月 19 日に実施した。

		解析結	果	
観測日	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	基線長 (mm)
2006.9.21 (K5/VSSP)	-3997490931.9 ± 7.3	3276829224.9 ± 7.0	3724308222.1 ± 7.2	53814847.0 ± 2.8
2007.2.1 (K5/VSSP)	$-3997490925.0 {\pm} 6.5$	3276829227.2 ± 5.1	3724308207.9 ± 5.6	$53814846.9{\pm}2.0$
2007.2.1 (K5/VSI)	$-3997491031.7 {\pm} 4.9$	3276829321.6 ± 3.9	$3724308293.9 {\pm} 4.3$	$53814845.3{\pm}4.6$
2008.6.23 (K5/VSSP)	$-3997490956.0{\pm}17.5$	$3276829253.9 {\pm} 13.6$	$3724308212.9 {\pm} 14.9$	$53814851.9{\pm}6.3$
2008.7.2 (K5/VSSP)	-3997490934.5 ± 17.5	3276829228.6 ± 13.3	3724308192.3 ± 15.2	$53814856.7{\pm}6.1$

表 6.1: CARAVAN2400 の局位置推定結果

この度、お借りしたのは、図 6.12 に示すガスセル型 Cs 発振器 "SD2T01A" である²⁵。この図からもわ かるように、ちょうど PC1 台分程度の大きさ (手前に置いたマジックペンと比較されたい) であり、重 量は 18kg である。実験では、鹿島側のみ従来周波数標準に使用していた水素メーザーからガスセル型



図 6.12: アンリツ製レーザ励起ガスセル型セシウム原子発振器の外観 (左写真) とガスセル型 Cs 発振器、 及び水素メーザ発振器の設置環境 (右図)。

Cs 発振器に切り替えて各システムに周波数標準を供給するようにした。観測は、19日 09:00UT-20日 11:00UT の約 26 時間行い、データ取得できた 1088 個の OBS のうち 1054 個を解析に使用することが 出来た (約 97%)。1obs あたりの積分時間は、30~45 秒程度である。なお、今回測地 VLBI 実験の際の ガスセル型 Cs 発振器、及び水素メーザ発振器が設置された環境は図 6.12 の右図に示すようになって いる。

図 6.12 で示される個々の環境のうち、恒温槽内は $\pm 0.1^{\circ}C$ 程度、またメーザー室そのものは $\pm 1^{\circ}C$ 程度で温度制御されている。それぞれの温度設定は、恒温槽が 23°C、またメーザー室が 24°C である。 測地 VLBI 実験の前には、ガスセル型 Cs 発振器を図 6.12 に示すような恒温槽内に設置して、一定温 度条件下での特性を調べた。また VLBI 実験後は恒温槽の外にガスセル型 Cs 発振器を設置して、水素 メーザー室のエアコン設定により温度を変化させた場合の特性を調べた。なお、紙面の都合から温度依 存性に関する評価結果については他の文献²⁶を参照されたい。

²⁵大内他、高安定レーザ励起 Cs ガスセル型原子発振器の実用化、電気学会研究会計測研究会資料、IM-06-29、2006. ²⁶34m 白書 2007 年版、及び Ishii et al.[2008](本白書巻末の成果リスト参照)

date	\mathbf{W} RMS residual (psec)	b aseline vector(mm)	sigma(mm)		
uate		baseline vector (iiiii)	length	horizontal	vertical
2007.6.15 (時刻比較実験)	32	109337424.10 ± 1.17	1.17	0.76	4.82
2007.6.17 (時刻比較実験)	29	109337422.26 ± 1.00	1.00	0.67	4.09
2007.6.20 (時刻比較実験)	37	109337421.45 ± 0.76	0.76	0.51	3.12
2 007.7.19 (Cs 実験)	39	109337422.58 ± 1.26	1.26	0.92	5.14

表 6.2: CS7200 実験の解析結果 (時刻比較実験との比較)

6.4.2 解析結果

まず、表 6.2 に今回実施した CS7200 実験の解析結果を、6 月に実施した同基線での時刻比較連続 VLBI 実験の結果と共に示す。基線ベクトルの推定値は 2mm 程度の範囲内で一致しており、基線長、 水平成分、鉛直成分の σ もほぼ調和的な値を示す。また、CS7200 実験の解析残差 ("Weighted RMS Residual")39psec という値も、他の3回の実験に比べてほぼ同等とみなせる。この結果より、測地 VLBI 実験での周波数標準としてガスセル型 Cs 発振器の使用した場合、水素メーザーを使用した場合と遜色 ない精度で解析結果を得ることができるといえる。

6.4.3 アラン分散の結果



図 6.13: ガスセル型 Cs 発振器のアラン分散

最後に、図 6.13 はガスセル型 Cs 発振器から得られたアラン分散である。この図には、測地実験の際の値の他、後日の温度依存性モニターでの結果、及び水素メーザから得られた結果 (黒実線)を並べて示した。この図のうち、赤実線は図 6.12 で水素メーザが設置された恒温槽内にガスセル型 Cs 発振器を置いて計測した結果であり、現状でガスセル型 Cs 発振器の性能を最も良く引き出せる環境下での評価といえる。

表 6.2 に示した測地 VLBI 実験の際には、図 6.12 に示す状態でガスセル型 Cs 発振器が設置されていた。この実験で得られたアラン分散は緑色の実線で示している。この事実は逆に言えば、周囲の温度変動を $\pm 1^{\circ}C$ 程度に抑えることが出来れば、水素メーザを用いた測地 VLBI 実験と遜色ない結果を得られることを意味する。また、周囲の温度変化が急な場合(青色の実線)、そして緩やかな場合(紫色の実線)の場合は、 τ が概ね 300 秒を越えるあたりから初めて各々の安定度に違いが生じていることがわかる。このことは、ガスセル型 Cs 発振器の安定度が、測地 VLBI 実験での一般的な積分時間(30-300 秒)の範囲で周囲の環境に影響されにくいことを示唆する。

6.4.4 まとめ

ガスセル型 Cs 発振器を用いて測地実験を行った結果、少なくとも設置環境の温度変化を ±1°C に押 さえる限りは、水素メーザ利用での測地 VLBI 実験と遜色ない精度で基線ベクトルを推定可能であるこ とがわかった。借用したガスセル型 Cs 発振器は汎用 PC と同程度の大きさ、重さであり、その可搬性 を生かすことで測地 VLBI 実験が実施できる範囲、条件を大きく広げることができると考えられる。今 後、例えば発泡スチロール製の簡易恒温槽などを用いた場合の精度評価を実施してガスセル型 Cs 発振 器の適用限界を調べることが重要である。

謝辞 今回の評価実験に際し、快くレーザ励起ガスセル型セシウム原子発振器の使用を許可していただ いたアンリツ株式会社および関係者ご一同様に感謝いたします。

(R.I. 記)

6.5 eVLBI に関する技術開発・実験・観測

6.5.1 UT1の迅速推定

2007 年より NICT は国土地理院のつくば局、スウェーデンの Onsala 局、フィンランドの Metsähovi 局と UT1 の迅速推定の観測を行ってきた (図 6.14 及び「2007 年度 34m 白書」参照)。鹿島、つくばの 局では K5 システムを使用し、Onsala、Metsähovi 局では Mark5A システムを使用してデータを取得し ている。ヨーロッパの局で取得した Mark5 のデータは、Tsunami という UDP/IP ベースのネットワー クプロトコルによって、データを観測と同時にリアルタイムに日本側に伝送し、鹿島局またはつくば 局において迅速に相関処理を行うための仕組みを開発してきた。また、T.Hobiger 氏によって、Mark3 データベースの作成と UT1 推定解析も自動的に行うソフトウェアが開発された。これらの技術によっ て、2008 年 2 月には、つくばーオンサラ基線において UT1 の推定値を観測後 4 分以内に算出すること に成功した。

6.5.2 日中豪初のリアルタイム eVLBI 実験

2008年6月に上海天文台にいおいて第7回国際 eLVBI ワークショップが開催され、オーストラリアで 開発された DiFX ソフトウェア相関機によるリアルタイム eVLBI 観測のデモンストレーションが行わ れた。NICT 鹿島の 34m アンテナと上海天文台の 26m アンテナ、及びオーストラリア国内の Parks64m, ATCA22m, Mopra22m が参加した (図 6.15 参照)。

これまで NICT の eVLBI 観測では、K5/VSSP のシステムを用いて海外の Mark5 データを国内で相 関処理していたが、K5 システムで取得したデータを国外にリアルタイムで伝送することは行ったこと がなかった。この観測のために、ADS-2000 のサンプラと、K5/VSI システムを使ってデータを取得し、 豪州側で期待している MarkB のデータフォーマットでデータをリアルタイム伝送するソフトウェアを 開発した。

6.5.3 2009 年世界天文年の eVLBI 観測への参加

2009 年 1 月にフランスのパリで世界天文年を記念して開催されたオープニングセレモニーにおいて、 eVLBI のでデモンストレーション観測がオランダの JIVE のグループによって企画され、日本から NICT の鹿島 3 4 m アンテナが参加した (図 6.16 参照)。

ここでは、オーストラリア実験で開発したソフトウェアをさらに改良し、ADS-2000とK5/VSIを使っ て Mark5B のエミュレーションソフトウェアを作成した。これは、相関器側から TCP/IP でサンプリ ングレートやデータ送信の開始/停止をコントロールし、そのコマンドに応答して Mark5B フォーマッ トのデータを UDP/IP で送信するものである。

6.5.4 SC08 での eVLBI デモ実験

2008 年 11 月 15-21 の期間で、米国 Austin において Super Computing 2008(SC08) という、スー パコンピュータと高速ネットワークの技術に関する展示会が開催され、NICT は JGN2plus が中心と なってブースを出展した。eVLBI もその展示内容の一つとして位置付けられ、DCN(Dynamic Circuit Network) という新しいネットワーク技術を使ってリアルタイム VLBI 観測のデモンストレーションを 行った。鹿島 34m アンテナからは、ADS-2000 と PC-VSI の組み合わたシステムで 256Mbps の VSI 形 式のデータを UDP/IP により会場の Austin に伝送し、相手局としてフィンランドのメッツァホビから



図 6.14: eVLBI を使って鹿島、オンサラ、つくば、メッツアホビの観測局で観測した UT1 の値を、 IERS の公表値である EOPc04 シリーズのデータ比較 (差をとった) 結果の残差プロット。比較のため、 Bulletin-A に記載されている Rapid Service(Combined solution) の値と EOPc04 の残差もプロットし ている。



Satellite image: Blue Marble Next Generation, courtesy of NASA Visibible Earth

図 6.15: アジア太平洋地域初の eVLBI 実験。鹿島 34m、上海 26m からオーストラリアのシドニーへ データを伝送し、オーストラリア国内の Parkes,Mopra, ATCA が共同で観測を行った。

は、Mark5A 形式のデータを Tsunami プロトコルで Ausitin に伝送し、現地の中継サーバで Mark5A 形式から VSI 形式に変換し、リアルタイムに相関処理を行った。

6.5.5 光結合 VLBI

2008 年 3 月テストベッドネットワークが JGN2 から JGN2plus へ移行するに際に、鹿島ー小金井間のネット ワークが 10Gbps にアップグレードされ、このネット ワークを使った eVLBI実験が、鹿島 34m - 小金井 11m 間で実現した。データ伝送システムとして国立天文台 で開発された VOA200(図 6.17)を使用し、サンプラと して ADS1000 を 3 台をそれぞれ両局に配置して、2つ の X-帯と S-帯それぞれを 1Gsps-2bit サンプリングし、 1局当たり 6Gbps のデータをリアルタイムに鹿島から 小金井へ伝送した。図 6.18 に使用した周波数帯域を示 している。相関処理装置には天文台で開発したハード ウェア相関器を使用し、6 Gbps の相関処理をリアル タイムに行った。この観測システムを使って、5 月から



図 6.17: 天文台が開発した高速データ伝送装置 VOA200

8月の期間でほぼ毎日"v773tau"という T タウリ型周期変光星の観測を行った。周期的なフレアアップを期待しての観測であったが、参照電波源のフリンジはもちろん検出しているが、残念ながらターゲット天体のフリンジはまだ得られていない。



Networks and telescopes used for IYA2009 24hr e-VLBI. Image by Paul Boven
boven@jive.nl>. Satellite image: Blue Marble Next Generation, courtesy of Nasa Visible Earth (visibleearth.nasa.gov).

図 6.16: 2009 年世界天文年を記念して,JIVE(Joint Institute for VLBI in Europe)の呼びかけで行われ た世界最大規模の eVLBI 観測。観測は 1/15-16 日の 2 日間にわたって、C-帯 (5GHz) で行われ、鹿島 34m をはじめとする世界各地の高速ネットワークに接続された電波望遠鏡が参加した。



図 6.18: 鹿島ー小金井間の 6Gbps 光結合 VLBI 観測で使用した周波数帯域. X-帯 2 チャンネル,S-帯 1 チャンネルの IF 帯をそのままサンプリングする。

7 終わりに

鹿島 34m アンテナは、VLBI 観測を主目的とする大型アンテナとして日本で初めて建設された先駆 的な観測装置である。ここで培われた技術開発のノウハウは、国土交通省国土地理院が実施する測地 VLBI 観測業務や、自然科学研究機構国立天文台などが実施する電波天文研究に大いに活かされており、 今日では国内に多様な観測網が整備されて大きなコミュニティが形成されるに至っている。こういった 技術移転は国内だけにとどまらず、最近では韓国の新しい測地観測用アンテナの設計・開発への技術協 力が具体化しつつある。また、高速ネットワークに早くから接続されていることや、多くの周波数帯で 今なお国内屈指の観測感度を有することから、高速大容量ネットワーク研究開発や様々な電波天文観測 にとって不可欠な重要アンテナとしての位置付けがますます強くなっている。

一方、情報通信研究機構の自ら実施する研究開発でも、次世代時空計測プロジェクトにおいて「リア ルタイム地球姿勢決定技術の研究開発」および「測位における距離基準を確立するための研究開発」を 遂行する上で重要な役割を担っている。このような多目的な観測システムを最高の状態で維持しつつ、 長期安定運用を目指しているが、主鏡背面構造の錆など経年劣化が顕著になりつつある。そこで、今年 から 2009 年にかけて、定常の保守作業の他に大規模な補修工事を実施し、アンテナの性能確保に傾注 している。今後も、計画的な保守・補修作業に努める。

本報告書のような年次報告書を継続して発行し、毎年の運用状況や保守・補修作業の履歴をまとめる ことは、現在のような安定した 34m アンテナシステムの運用を可能としている重要な活動の一つでも あると考えている。この報告書が、鹿島 34m アンテナのみならず、全国の他機関等において、多くの 大型観測施設の維持・運用の一助として参考になれば幸いである。



A 受信機制御プログラムの概要

34m アンテナを制御する計算機およびネットワーク系統図を図 A.1 に示す。34m アンテナは2台の HP382 で制御されている。1台は受信機の制御を行い、もう1台はアンテナ駆動制御を行う。これら 2台の HP382 とホスト PC は GP-IB 経由でコマンドやデータのやりとりを行う。ここでは、受信機制 御用 HP382 と各機器の接続状況および、この HP382 上で動作する受信機制御プログラムのオフライン 操作時の機能の概要を説明する。

受信機制御用 HP382 と各機器も GP-IB で接続されているが受信機制御プラグラムから見た接続機器の詳細を図 A.2 に示す。

オフラインでの受信機制御はファンクションキーで行うが、ファンクションキーに設定されている機能は図 A.3 のとおりである。

(資料作成 K.S.)



34mアンテナ制御・モニター計算機等系統図(2007.12現在)

図 A.1: 34mアンテナ制御・モニター計算機等系統図 (2007.12 現在)。



図 A.2: 受信機制御プログラムの機器構成図。



図 A.3: 受信機制御プログラムの機器構成図。

B 自然雑音電波(大気雑音)

天頂方向での大気雑音(地球大気による熱放射)および銀河電波雑音を図 B.1 に示す。



図 B.1: 地球大気による熱放射と銀河電波(出典: Kraus, RADIO ASTRONOMY, 2nd ed.)。

C システム雑音温度の測定法

以下ではアンテナ系の雑音温度を T_A 、受信機の雑音温度を T_R 、システム雑音温度を $T_{sys}(=T_A+T_R)$ と表記する。

C.1 Y係数 (Y-factor)法

34m アンテナのL帯やS帯およびX帯受信機で採用されているシステム雑音温度計測方法である。 物理温度が既知である雑音源(黒体)が2つ必要となる(図C.1)。以下でその測定方法を述べる。



図 C.1: 34m アンテナ雑音温度計測系の模式図 (L帯,S帯,X帯)。

1. 受信機雑音温度 T_R を求める

導波管スイッチ1を雑音源側につなぎ、導波管スイッチ2を常温雑音源、低温雑音源それぞれにつないだ場合の出力電力 W_h、W_c は、

$$W_h = k(T_h + T_R)GB$$

 $W_c = k(T_c + T_R)GB$
ここで $k: ボルツマン常数 (1.38 \times 10^{-23} \text{WHz}^{-1})$
 $G: 受信系の利得$
 $B: 受信系の帯域幅 (Hz)$

となる。

$$Y = W_h/W_c = \frac{T_h + T_R}{T_c + T_R}$$

とおいて整理すると、

$$T_R = \frac{T_h - Y \cdot T_c}{Y - 1}$$

となり、受信機雑音温度を求めることができる。

2. システム雑音温度 *T_{sys}* を求める

つぎに導波管スイッチ2を常温雑音源側につなぐ。導波管スイッチ1をアンテナ側と常温雑音源側 それぞれにつないだ場合の出力電力 W_h、W_A は、

$$W_h = k(T_h + T_R)GB$$
$$W_A = k(T_A + T_R)GB$$
$$Y' = W_h/W_A = \frac{T_h + T_R}{T_A + T_R} = \frac{T_h + T_R}{T_{sys}}$$

とおいて整理すると、

$$T_{sys} = \frac{T_h + T_R}{Y'}$$

となり、システム雑音温度を求めることができる。

C.2 R-Sky (room-sky)法

34m アンテナの 22GHz 帯などで採用されているシステム雑音温度計測方法である。物理温度がわかった雑音源 (黒体) が1つですむ簡易的な計測方法である。22GHz 帯では給電ホーンの開口面を常温の電 波吸収体でおおったり外したりすることで R-Sky 法を実現している (図 C.2)。R-Sky 法で求められる修 正システム雑音温度 T_{sys}^* は、大気の底で測ったシステム雑音温度 T_{sys} と等価の雑音源が大気外にある と定義したもので、以下のように表すことができる。

$$T_{sys}^* = T_{sys} \cdot e^{\tau}$$
ここで au : 大気の光学的厚さ

以下でその測定方法を述べる。



図 C.2: 34m アンテナ雑音温度計測系の模式図 (22GHz 帯)。

1. 電波吸収体を外してアンテナが空をみたときの出力電力 W_{sky} を測定

$$W_{sky} = kT_{sys}GB = k[T_R + (1 - e^{-\tau})T_{atm}]$$

ここで T_{atm} :大気の大気の物理温度
(地面の熱放射の影響は無視している)

2. 電波吸収体を給電ホーンにかぶせたときの出力電力 Wabs を測定

$$W_{abs} = k[T_R + T_{room}]$$

ここで T_{room} :電波吸収体の温度

3. T_{sys} を計算

 $T_{atm} = T_{room}$ を仮定し、次のように比を取る。

$$y = \frac{W_{abs}}{W_{sky}} = \frac{T_R + T_{room}}{T_R + (1 - e^{-\tau})T_{atm}}$$
$$= 1 + \frac{e^{-\tau} \cdot T_{room}}{T_R + (1 - e^{-\tau})T_{atm}}$$

これに $T_{sys}=T_R+(1-e^{-\tau})T_{atm}$ を代入して整理すると、

$$T_{sys} = \frac{e^{-\tau} \cdot T_{room}}{y - 1}$$

さらに、

$$T_{sys}^* = T_{sys} \cdot e^\tau = \frac{T_{room}}{y-1}$$

より T^*_{sys} を求めることができる。

(A.I.記)

D SEFDとは

SEFD とは System Equivalent Flux Density (システム等価フラックス密度:単位はジャンスキー $(Jy=10^{-26}Wm^{-2}Hz^{-1}))$ のことで以下の式で表される。

SEFD =
$$\frac{2kT_{sys}}{A\eta}$$
 (D.20)
ここで k:ボルツマン常数 (1.38×10^{-23} WHz⁻¹)
 $T_{sys}: システム雑音温度 (K)$
A:アンテナ開口面積 (m²)
 $\eta:$ アンテナ開口効率

ところで、2つのアンテナでフラックス密度 F(Jy) の電波星を受けたときのアンテナ温度の増加分を それぞれ T_a, T'_a とし、システム雑音温度をそれぞれ T_{sys}, T'_{sys} とすると、規格化相関強度(フリンジ強度)は

$$\rho = \sqrt{\frac{T_a \cdot T'_a}{T_{sys} \cdot T'_{sys}}} \tag{D.21}$$

となる。ただし、電波星は分解されておらず、 $T_{sys} \gg T_a, T'_{sys} \gg T'_a$ とする。また電波星のフラックス密度とアンテナ温度の増加分の関係は

$$kT_a = \frac{1}{2}FA\eta \tag{D.22}$$

$$kT'_a = \frac{1}{2}FA'\eta' \tag{D.23}$$

で与えられる。ここで A', η' は 2 つ目のアンテナの開口面積および開口効率である。1/2 は一つの偏波 しか受信しないことを示している。式 (D.22)(D.23) から

$$\sqrt{T_a \cdot T_a'} = \frac{F\sqrt{A\eta \cdot A'\eta'}}{2k} \tag{D.24}$$

式 (D.20)(D.24) を使って規格化相関強度(フリンジ強度)を SEFD で表すと

$$\rho = \frac{F}{\sqrt{SEFD \cdot SEFD'}} \tag{D.25}$$

となる。ここで *SEFD*' は2つ目のアンテナの SEFD である。この式を使うと、2つのアンテナの SEFD および電波星の強度から相関強度を見積もることができる。また式 (D.25) を変形すると

$$F = \rho \sqrt{SEFD \cdot SEFD'} \tag{D.26}$$

となる。つまり、規格化相関強度(フリンジ強度)に2つのアンテナの SEFD の幾何平均を掛けるとフ ラックス密度単位になおすことができる。

E S/X 帯軸較正用電波源

S/X 帯の軸較正観測に使用している電波源リストを Field System の取扱書から抜粋して表 E.1 に示す。

Northern Sources							
Source and $Position (1950.0)$		$Size^*$	Total	Flux Dens	ities		
le	etter code	1 05101011	(1990.0)	0120	S-Band	X-Band	
a	3C84	$03 \ 16 \ 29.54$	$+41 \ 19 \ 51.7$	< 1"	40	50 - 60	VAR
b	3C123	$04 \ 33 \ 55.2$	+29 34 14.	20"	32.9	10.1	
c	0521 - 365	$05\ 21\ 13.2$	-36 30 19.	15"	13.5	5.5	
d	Taurus A	$05 \ 31 \ 31.$	+21 59 00.	$3' \times 5'$	815	552	
e	Orion A	$05 \ 32 \ 49.$	-05 25 15.	4'	440	340	
f	3C147	$05 \ 38 \ 43.52$	+49 49 42.4	< 1"	15.6	4.9	
g	3C161	$06\ 24\ 43.2$	-05 51 12.	< 3"	13.1	4.0	
h	3C218	$09\ 15\ 41.2$	-11 53 05.	200"	27.7	8.4	
i	3C273	$12\ 26\ 33.25$	+02 19 43.5	< 20"	30	30 - 40	VAR
j	Virgo A	$12\ 28\ 17.57$	+12 40 02.0	Core/Halo	141	46	
k	3C279	$12 \ 53 \ 35.83$	$-05 \ 31 \ 07.9$	< 1"	10	10	VAR
l	3C286	$13\ 28\ 49.66$	+30 45 58.7	< 1"	11.6	5.2	
m	3C295	$14 \ 09 \ 33.5$	$+52\ 26\ 13.$	4"	14.4	3.4	
n	3C345	$16\ 41\ 17.64$	+39 54 11.0	< 1"	5 - 10	10	VAR
0	3C348	$16\ 48\ 40.0$	$+05 \ 04 \ 35.$	115"	27.0	6.8	
р	3C353	$17 \ 17 \ 53.3$	$-00\ 55\ 50.$	150"	39.9	13.6	
q	3C380	$18\ 28\ 13.47$	+48 42 41.0	< 1"	11.	5.2	
r	3C391	$18 \ 46 \ 48.5$	$-00\ 58\ 58.$	4.5'	16.	7.5	
\mathbf{S}	1921 - 293	$19\ 21\ 42.18$	$-29 \ 20 \ 24.9$	< 1"		5 - 10	VAR
\mathbf{t}	Cyg A	$19\ 57\ 44.4$	+40 35 46.	115"	966	190	
u	2134 + 004	$21 \ 34 \ 05.23$	+00 28 25.0	< 1"	6	10 - 13	VAR
v	3C454.3	$22\ 51\ 29.53$	+15 52 54.2	< 1"	10 - 15	10 - 20	VAR
W	$Cas A^+$	23 21 09.	+58 32 30.	3'	1510^{+}	528^{+}	

表 E.1: S/X 帯の軸較正観測に使用する電波源

VAR The flux density of these sources varies with time. The value given is a rough average.

* Sources larger than about 0.1 times the half-power beamwidth will be partially resolved, and their apparent peak flux densities will be less than the values in this table. Centroid positions will be nearly unaffected for these sources.

⁺ The flux density of Cas A is slowly decreasing. The values given here are for 1984.0. The S-Band flux density is decreasing by 0.86% per year, and the X-Band flux density is decreasing by 0.69% per year. The S-Band flux density was revised from 1397 to 1510 Jy as of September 1, 1993.

(Field System Documentation Antenna Performance より抜粋)

F 略語集

本年次報告で使用する略語を以下に示す。

ACU	Antenna Control Unit
ADC	Antenna Drive Cabinet
AOS	Acousto-Optical Spectrometer
APPS	Advanced Precise Positioning System
AZ	Azimuth
CARAVAN	Compact Antenna for Radio Astronomy VLBI Adapted for Network
\mathbf{CCW}	Counter-Clockwise
CDDIS	Crustal Dynamics Data Information System
CONTXX	Continuous VLBI Campaign 20XX
CW	Clockwise
DCPA	Direct Current Power Amplifier
ESA	European Space Agency
EL	Elevation
\mathbf{ETR}	Elevation Tilting Room
FS9	Field System version 9
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning System
HPBW	Half-power Beam-width
HTS	High-Temperature Superconductor
IGS	International GNSS Service (formerly International GPS Service)
IOC	Instantaneous Over Current
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
IVS	International VLBI Service for Geodesy and Astrometry
JIVE	Joint Institute for VLBI in Europe
KSP	Key Stone Project
MIT	Massachusetts Institute of Technology
NICT	National Institute of Information and Communications Technology
Pcal	Phase calibration
PLO	Phase Locked Oscillator
SCU	Subreflector Control Unit
SEFD	System Equivalent Flux Density
VLBI	Very Long Baseline Interferometer
VSOP	VLBI Space Observatory Programme
VSSP	Versatile Scientific Sampling Processor

G 次世代時空計測プロジェクト鹿島 VLBI グループ成果論文(発表)リスト (2008年1月-12月)

原著論文

- Hobiger, T., R. Ichikawa, T. Takasu, Y. Koyama, T. Kondo, Ray-traced troposphere slant delays for precise point positioning, *Earth Planets Space*, Vol.60, No.5, pp.e1–e4, 2008.
- Hobiger, T., T. Kondo, Y. Koyama, Constrained simultaneous algebraic reconstruction technique (C-SART) –a new and simple algorithm applied to ionospheric tomography, *Earth Planets Space*, Vol.60, No.7, pp.727–735, 2008.
- Hobiger, T., R. Ichikawa R., Y. Koyama, T. Kondo, Fast and accurate ray-tracing algorithms for real-time space geodetic applications using numerical weather models, J. Geophys. Res., 113, D20302, doi:10.1029/2008JD010503, 2008.
- Hobiger, T., R. Ichikawa, Y. Koyama, T. Kondo, Kashima Ray-tracing Service (KARATS) On-line provision of total troposphere slant delay corrections for East Asian sites, *International Symposium on GPS/GNSS 2008*, 1, 1, pp.40–44, 2008.
- Hobiger, T., Y. Koyama, J. Boehm, T. Kondo, and R. Ichikawa, The effect of neglecting VLBI reference station clock-offsets on UT1 estimates, *Advances in Space Research*, doi: 10.1016/j.asr.2008.11.005, 2008.
- Ichikawa, R., Michael Bevis, James Foster, Mannoji Nobutaka, Evaluation of Anisotropic Mapping Function Using JMA 10-km Spectral Model, Trans. Japan Soc. Aero. Space Sci., 51, 171, pp.16–21, 2008.
- Ichikawa, R., T. Hobiger, Y. Koyama, T. Kondo, An Evaluation of the practicability of current mapping functions using ray-traced delays from JMA Mesoscale Numerical Weather Data, *International Symposium* on GPS/GNSS 2008, 1, 1, pp.5–12, 2008.
- Ishii, A., R. Ichikawa, H. Takiguchi, H. Kuboki, M. Sekido, Y. Koyama, Y. Ohuchi, Evaluation of a Laser-pumped Cs Gas-cell Frequency Standard on Geodetic VLBI, J. Geodetic Soc. Japan, 54, pp.259–268, 2008.
- Kawai, E., J. Nakajima, H. Takeuchi, H. Kuboki, T. Kondo, M. Suzuki, K. Saito, RFI mitigation at a 2GHz band by using a wide-band high-temperature superconductor filter, J. Geodetic Soc. Japan, 54, pp.31–37, 2008.
- Kondo, T., Y. Koyama, R. Ichikawa, M. Sekido, E. Kawai, M. Kimura, Development of the K5/VSSP system, J. Geodetic Soc. Japan, 54, pp.233–248, 2008.
- Kondo, T., T. Hobiger, M. Sekido, R. Ichikawa, Y. Koyama, H. Takaba, Estimation of scan gap limits on phase delay connections in Delta VLBI observations based on the phase structure function at a short time period, *Earth Planets Space* (accepted for publication).
- Koyama, Y., T. Kondo, M. Sekido, T. Hobiger, H. Takiguchi, K. Wada, S. Kurihara, R. Haas, J. Wagner, A. Mujunen, and J. Ritakari, Ultra Rapid dUT1 Estimations from e-VLBI Sessions, Advances in Geosciences (in printing).
- Koyama, Y., T. Kondo, M. Sekido, J. Nakajima, M. Kimura, H. Takeuchi, Adaption of the VLBI Standard Interface to the K5 VLBI System, J. Geodetic Soc. Japan, 54, pp.249–258, 2008.
- Motogi, K., Y. Watanabe, K. Sorai, A. Habe, M. Honma, H. Imai, A. Yamauchi, H. Kobayashi, K. Fujisawa, T. Omodaka, H. Takaba, K. M. Shibata, T. Minamidani, K. Wakamatsu, H. Sudou, E. Kawai, Y. Koyama, Microstructure and kinematics of H2O masers in the massive star-forming region IRAS 06061+2151, Mon. Not. R. Astron. Soc., 390, pp.523–534, 2008.
- Nagayama, T., K. Takeda, T. Omodaka, H. Imai, S. Kameno, Y. Sofue, A. Doi, K. Fujisawa, A. Habe, M. Honma, N. Kawaguchi, E. Kawai, H. Kobayashi, Y. Koyama, Y. Murata, K. Sorai, H. Sudou, H. Takaba, S. Tamura, and K. Wakamatsu, H²O Maser Outflow from the Red Supergiant Star NML Cygni Observed with Japanese VLBI Network, Publ. Astron. Soc. Japan, 60, 5, pp.1069–1075, 2008.
- Sekido, M., H. Takiguchi, Y. Koyama, T. Kondo, R. Haas, J. Wagner, J. Ritakari, S. Kurihara, K. Kokado, Ultra-rapid UT1 measurement by e-VLBI, *Earth Planets Space*, 60, pp.865–870, 2008.
- Sorai, K., A. Habe, H. Nishitani, K. Hosaka, Y. Watanabe, S. Miwa, Y. Ohishi, K. Motogi, T. Minamidani, J. Awano, S. Sumida, Y. Fukuya, R. Uchida, N. Kaneko, M. Y. Fujimoto, **Y. Koyama, M. Kimura**, and N.

Nakai, Large-scale NH³ Observations toward the Galactic Star Forming Regions I. W 51 Molecular Clouds Complex, Publ. Astron. Soc. Japan, 60, pp.1285–1296, 2008.

- Takaba, H., H. Sudou, K. Wakamatsu, N. Kawaguchi, Y. Kono, T. Oyama, K. Takashima, M. Ishimoto, Y. Koyama, T. Kondo, M. Sekido, H. Takeuchi, and K. Heki, Development of real-time gigabit geodesy e-VLBI using the Super-Sinet, J. Geodetic Soc. Japan, 54, pp.269–278, 2008.
- Todorova, S., T. Hobiger, and H. Schuh, Using the Global Navigation Satellite System and satellite altimetry for combined Global Ionosphere Maps, Advances in Space Research, 42, pp.727–736, 2008.
- Tsuboi, M., T. Tosaki, N. Kuno, K. Nakanishi, T. Sawada, T. Umemoto, S. A. Trushkin, T. Kotani, N. Kawai, Y. Kurono, T. Handa, K. Kohno, T. Tsukagoshi, O. Kameya, H. Kobayashi, K. Fujisawa, A. Doi, T. Omodaka, H. Takaba, H. Sudou, K. Wakamatsu, Y. Koyama, E. Kawai, N. Mochizuki, and Y. Murata, The 2006 Radio Outbursts of a Microquasar Cygnus X-3: Observations and Data, *Publ. Astron. Soc. Japan*, 60, pp.465–473, 2008.

収録論文等

- 市川 隆一, Hobiger T., 後藤 忠広, 小山 泰弘, 近藤 哲朗, 数値天気予報データを用いた大気遅延推定ツー ル KARAT と従来の大気モデルとの比較, 日本航空宇宙学会主催 第 52 回 宇宙科学技術連合講演会, 2F11, pp.1316-1321, 2008.
- 後藤 忠広, Hobiger T., 市川 隆一, Thorsten Feldmann, Dirk Piester, 破線追跡ツール KARAT の GPS 時刻比 較への適用, 第 52 回宇宙科学技術連合講演会, 2F12, pp.1322–1326, 2008.
- 輪島 清昭,藤澤 健太,木村 守孝,川合 栄治,K5/VSI システムを用いた VLBI 試験観測,大学 VLBI 連携研究成 果報告書 2008 年 10 月 第 1 巻 第 3 号, pp.4-9, 2008.
- Hobiger, T., Y. Koyama, T. Kondo, MK3TOOLS seamless interfaces for the creation of VLBI databases from post-correlation output, "Measuring The Future", Proc. of the Fifth IVS General Meeting, pp.153–156, 2008. 2008.
- Hobiger, T., M. Sekido, Y. Koyama, and T. Kondo, Integer least squares adjustment for VLBI, IVS NICT-TDC News, No. 29, pp.8–11, 2008.
- Hobiger, T., R. Ichikawa, Y. Koyama, and T. Kondo, Real-time raytracing through numerical weather models for space geodesy, *IVS NICT-TDC News*, No. 29, pp.31–33, 2008.
- Ichikawa, R., T. Hobiger, Y. Koyama, T. Kondo, Real-time ray-tracing through numerical weather models for space geodesy, "Measuring The Future", Proc. of the Fifth IVS General Meeting, pp.168–172, 2008. 2008.
- Ichikawa, R., A. Ishii, H. Takiguchi, H. Kuboki, M. Kimura, J. Nakajima, Y. Koyama, T. Kondo, M. Machida, S. Kurihara, K. Kokado, and S. Matsuzaka, Development of a Compact VLBI System for Providing over 10-km Baseline Calibration, "Measuring The Future", Proc. of the Fifth IVS General Meeting, pp.400–404, 2008.
- Ichikawa, R., T. Hobiger, Y. Koyama, and T. Kondo, A Comparison between Current Mapping Functions and Ray-traced Slant Delays from JMA Mesoscale Numerical Weather Data, *IVS NICT-TDC News* No. 29, pp.3–7, 2008.
- Ishii, A., R. Ichikawa, H. Takiguchi, H. Kuboki, T. Kondo, Y. Koyama, M.Machida, and S. Kurihara, Current Status of Development of a Compact VLBI System for Providing over 10-km Baseline Calibration, *IVS NICT-TDC News*, No. 29, pp.19–22, 2008.
- Kondo, T., Y. Koyama, R. Ichikawa, and M. Sekido, Technology development center at NICT, IVS 2007 Annual Report, NASA/TP-2008-214162, pp.257–260, 2008.
- Kondo, T., Y. Koyama, R. Ichikawa, M. Sekido, E. Kawai, and M. Kimura, Recent VLBI technology at NICT and VLBI2010, Proc. Workshop for Astronomical Instrumentation (July 10-11, 2008, Chonan Sangnok Resort, Korea), Vol.2, pp.1–6, 2008.
- Koyama, Y., Kashima and Koganei 11-m VLBI stations, IVS 2007 Annual Report, NASA/TP-2008-214162, pp.55–58, 2008.
- Koyama, Y., Sekido M., Takiguchi H., Data center at NICT, IVS 2007 Annual Report, NASA/TP-2008-214162, pp.168–171, 2008.

- Koyama, Y., M. Sekido, T. Hobiger, H. Takiguchi, and T. Kondo, Developments of Automated Data Processing System for Ultra Rapid dUT1 e-VLBI Sessions, "Measuring The Future", Proc. of the Fifth IVS General Meeting, pp.405–409, 2008.
- Koyama, Y., M. Hosokawa, K. Imamura, T. Iwama, S. Hama, J. Amagai, Y. Hanado, and R. Ichikawa, Status Report of Time and Frequency Activities at NICT, *Proceedings of the Asia-Pacific Workshop on Time and Frequency* (October 30-November 1, 2008, Jakarta, Indonesia).
- Koyama, Y., T. Kondo, M. Sekido, and M. Kimura, Developments of K5/VSI System for Geodetic VLBI Observations, *IVS NICT-TDC News*, No. 29, pp.15–18, 2008.
- Sekido, M., T. Kondo, J. Wagner, T. Hobiger, K. Kokado, H. Takiguchi, Y. Koyama, R. Haas, J. Ritakari, and S. Kurihara, Development of e-VLBI technologies for ultra-rapid UT1 measurement. *IVS NICT-TDC News*, No. 29, pp.28–30, 2008.
- Takiguchi, H., E. Kawai, H. Kuboki, and T. Kondo, Kashima 34-m radio telescope, IVS 2007 Annual Report, NASA/TP-2008-214162, pp.51–54, 2008.
- Takiguchi, H., Y. Koyama, R. Ichikawa, T. Gotoh, A. Ishii, T. Hobiger, and M. Hosokawa, VLBI measurements for frequency transfer, *Proceedings of the Asia-Pacific Workshop on Time and Frequency (October 30-November 1, 2008, Jakarta, Indonesia)*, 2008.
- Takiguchi, H., Y. Koyama, R. Ichikawa, T. Gotoh, A. Ishii, T. Hobiger and M. Hosokawa, VLBI measurements for time and frequency transfer, *Proceedings of 22nd European Frequency and Time Forum*, 2008.
- Takiguchi, H., Y. Koyama, R. Ichikawa, T. Gotoh, A. Ishii, T. Hobiger and M. Hosokawa, Comparison study of VLBI and GPS carrier phase frequency transfer using IVS and IGS data, *IVS NICT-TDC News*, No.29, pp.23–27, 2008.

口頭発表

- 石井 敦利,市川 隆一,瀧口 博士,久保木 裕充,近藤 哲朗,小山 泰弘,町田 守人,栗原 忍,1m 級アンテナを用い た基線場検定用 VLBII システムの開発状況,第7回 IVS 技術開発センターシンポジウム,2008.2.15.
- 石井 敦利,市川隆一,瀧口博士,久保木裕充,近藤哲朗,小山泰弘,町田守人,栗原忍,1m級アンテナを用いた 基線場検定用 VLBI システムの開発状況,日本地球惑星科学連合 2008 年大会,2008.5.29.
- 石井 敦利, 市川 隆一, 瀧口 博士, 岳藤 一宏, 小山 泰弘, 栗原 忍, 小門 研亮, 谷本 大輔, クワッドリッジホーンア ンテナ (広帯域フィード)を用いた電波望遠鏡の測地 VLBI における性能評価, 2008 年度 VLBI 懇談会シンポ ジウム (於岐阜大), 2008.12.23.
- 石井 敦利, 市川 隆一, 瀧口 博士, 岳藤 一宏, 小山 泰弘, 栗原忍, 小門研亮, 谷本大輔, クワッドリッジホーンアン テナ (広帯域フィード)を用いた電波望遠鏡の測地 VLBI における性能評価, 日本測地学会第 110 回講演会,18, 2008.10.22.
- 市川 隆一, Hobiger T., 小山 泰弘, 近藤 哲朗, 波線追跡ツール KARAT によるマッピング関数の評価, 第7回 IVS 技術開発センターシンポジウム, 2008.2.15.
- 市川 隆一, Hobiger T., 高須知二, 小山 泰弘, 近藤 哲朗, 波線追跡ツール KARAT によるマッピング関数の評価, 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, D106-011, 2008.5.29.
- 市川隆一, Hobiger T.,後藤忠広,小山泰弘,近藤哲朗,GEONET/PPP 解析における KARAT による大気伝 搬遅延除去効果,日本測地学会第110回秋季講演会,44,87-88,2008.10.22.
- 木村 守孝,小山 泰弘,関戸 衛,小林秀行,川口則幸,小山友明,原哲也,三鷹 FX 相関器互換のソフトウェア相関 処理システムの構築 3,日本天文学会 2008 年春季年会, V84a, 2008.3.27.
- 木村 守孝, 関戸 衛, 小山 泰弘, 小林 秀行, 川口 則幸, 小山 友明, 原 哲也, 三鷹 FX 相関器互換のソフトウェア相 関処理システムの構築 2, 第7回 IVS 技術開発センターシンポジウム, 2008.2.15.
- 木村 守孝,小山友明, GPU 技術を利用した VLBI 相関器, 2008 年度 VLBI 懇談会シンポジウム (於岐阜大), 2008.
- 後藤 忠広, 雨谷 純, 近藤 哲朗, K5/VSSP サンプラの時刻比較分野への応用, 第 7回 *IVS* 技術開発センターシン ポジウム, 3,2, 2008.2.15.
- 小山 泰弘, 近藤 哲朗, 関戸 衛, 木村 守孝, 測地 VLBI 観測用 K5/VSI システムの開発, 第 7回 *IVS* 技術開発セン ターシンポジウム, 2008.2.15.

- 小山 泰弘, 近藤 哲朗, 関戸 衛, 木村 守孝, 測地VLBI観測用K5/VSIシステムの開発, 日本地球惑星科学 連合 2008 年大会, D106-002, 2008.5.29.
- 小山 泰弘, 小林 岳彦, 前木 陽, 宮崎 祐行, 飯田 幸榮, 近田 義広, 関口 英紀, 浅井 雅文, 吉木 和久, 杉野 聡, 工 藤 均, 井辺 博之, 川合 栄治, 関戸 衛, 市川 隆一, 石井 敦利, UWB 無線機器の電波天文業務への干渉評価実験, UWB 無線システム高度化シンポジウム, 2008.7.11.
- 小山 泰弘, VLBI による地球姿勢と距離基準の計測, 日本学術会議 URSI-C 委員会第 20 期第 7 回公開研究会, 2008.8.29.
- 小山 泰弘, 第3期中期計画の検討に向けて, 第22回時空分野談話会, 2008.9.25.
- 小山 泰弘, 竹内 央, 関戸 衛, 近藤 哲朗, 岳藤 一宏, 堤 正則, 汎用高速 A/D サンプラ-ADS3000+の開発, 日本測 地学会第110回講演会, P-8, 2008.10.22.
- 小山 泰弘, VLBI2010 の中間報告書について, 2008 年度 VLBI 懇談会シンポジウム(於岐阜大), 2008.12.24.
- 小山 泰弘, 関戸 衛, 岳藤 一宏, 堤 正則, 近藤 哲朗, 竹内 央, 汎用高速 A/D サンプラー ADS3000+の開発, 2008 年度 VLBI 懇談会シンポジウム(於岐阜大), 2008.12.23.
- 近藤 哲朗, 韓国測地 VLBI の進展, 2008 年度 VLBI 懇談会シンポジウム(於岐阜大), 2008.
- 近藤 哲朗, 両サイドバンドデータがある多チャンネルVLBIデータのバンド幅合成処理, 日本地球惑星科学連 合 2008 年大会, D106, P004, 2008.5.29.
- 近藤 哲朗, T. Kim, T. Sasao, Y. Kwak, H. Oh, S. Yi, D. Hyun, and M. Bae, 動き始めた韓国測地VLBIシス テム構築(その1), 日本測地学会第 110 回講演会, 2008.10.22.
- 関戸 衛, 近藤 哲朗, J. Wagmer, Hobiger T., K. Kokado, 瀧口 博士, 小山 泰弘, R. Haas, J. Ritakari, S. Kurihara, e-VLBI 相関処理自動化ツール (cor_mgr) の開発-Ultra-Rapid UT1 計測の実現-, 第 7回 *IVS* 技術開 発センターシンポジウム, 2008.2.25.
- 関戸 衛, 川口 則幸, e-VLBI-高速ネットワークによる電波望遠鏡の結合-, 第 24 回 情報ネットワーク・ネット ワークシステム研究ワークショップ, 2008.3.3.
- 関戸衛,小山泰弘,松坂茂,和田弘人,世界最速、地球の自転をほぼリアルタイムに計測-宇宙空間における地球の位置決定の精度向上に貢献-,報道発表3月,2008.3.19.
- 関戸衛,瀧口博士,小山泰弘,近藤哲朗,木村守孝,堤正則,川合栄治,市川隆一,原井洋明,平原正樹,池田 貴俊,徐蘇鋼, e-VLBI activity in NICT,東アジア VLBI ミーティング, 2008.3.20.
- 関戸 衛, UT1 の迅速計測を可能にした,相関処理自動化ツールについて,日本地球惑星科学連合 2008 年大会, 2008.5.29.
- 関戸 衛, 小山 泰弘, 市川 隆一, 川合 栄治, 木村 守孝, 瀧口 博士, Hobiger T., 石井 敦利, 岳藤 一宏, 堤 正則 , 近藤 哲朗, VLBA の IVS への寄与 NICT の今後の VLBI 技術開発, 国立天文台研究会「VLBA と日本の VLBI 天文学」, 2008.9.5.
- 関戸 衛, Pulsar の電波観測について, SKA ワークショップ 08 -SKA に向けたサイエンスと技術開発-, 2008.11.2.
- 関戸 衛, 木村 守孝, 小山 泰弘, 近藤 哲朗, 瀧口 博士, Hobiger T., 川合 栄治, 市川 隆一, 堤 正則, 岳藤 一宏, 石井 敦利, NICT の eVLBI 開発と VLBI Data Interchange Format (VDIF), 2008 年度 VLBI 懇談会シンポジ ウム (於岐阜大), 2008.12.24.
- 高羽浩,須藤広志,川口則幸,河野祐介,小山友明,寺家孝明,日置幸介,近藤哲朗,小山泰弘,関戸衛,竹内 央,22GHz帯測地 e-VLBIの開発(2),日本測地学会第110回講演会,17,2008.10.22.
- 瀧口 博士,小山 泰弘,市川 隆一,後藤 忠広,石井 敦利, Hobiger T.,細川 瑞彦, IVS 観測データを用いた VLBI
 時刻比較能力の検証, IVS 技術開発センター (TDC) シンポジウム,11, 2008.2.15.
- 瀧口 博士,小山 泰弘,市川 隆一,後藤 忠広,石井 敦利, Hobiger T.,細川 瑞彦,測地VLBI技術による高精 度時刻比較,日本地球惑星科学連合 2008 年大会, D106, 4, 2008.5.25.
- 瀧口 博士,小山 泰弘,市川 隆一,後藤 忠広,石井 敦利, Hobiger T.,細川 瑞彦,測地VLBI技術による高精 度時刻比較,応用物理学会秋季応用物理学会学術講演会, 3p-ZG2, 2008.9.2.
- 瀧口 博士,小山 泰弘,市川 隆一,後藤 忠広,石井 敦利, Hobiger T.,高精度周波数比較を目的とした連続 VLBI 実験,日本測地学会第 110 回講演会, 15, 2008.10.22.
- 瀧口 博士,小山 泰弘,市川 隆一,後藤 忠広,石井 敦利, Hobiger T.,細川 瑞彦,測地 VLBI 技術による高精度 時刻比較, 2008 年度 VLBI 懇談会シンポジウム(於岐阜大), 2008.

- 瀧口 博士, Hobiger T., 小山 泰弘, 近藤 哲朗, IVS WG4 -VLBI Data Structures- 活動報告, 2008 年度 VLBI 懇談会シンポジウム
- 岳藤 一宏,川合 栄治,小山 泰弘,関戸 衛,鹿島センター受信システムにおける電波環境の調査と対策,日本天文 学会 秋季年会,2008.9.12.
- 岳藤 一宏, 小山 泰弘, 竹内 央, 近藤 哲朗, 関戸 衛, 堤 正則, 超高速 A/D サンプラ-ADS3000+の性能評価, 日本 測地学会第 110 回講演会, 3, 2008.10.22.
- 東島 英志, 永山 匠, 面高俊宏, 半田利弘, 小林秀行, 小山 泰弘, A molecular cloud in an HII region NGC 7000 is as cold as a dark cloud, 日本天文学会 2008 年秋季年会, P47a, 2008.9.13.
- 橋本 厚太, 河野 裕介, 竹内 央, 関戸 衛, 川合 栄治, 岳藤 一宏, Astro-G 衛星のデジタルフィルタの開発, 2008 年 度 VLBI 懇談会シンポジウム(於岐阜大), 2008.
- Hobiger, T., 市川 隆一, 小山 泰弘, 近藤 哲朗, Real-time ray-tracing through numerical weather models for space geodesy, *IVS* 技術開発センター (*TDC*) シンポジウム,11, 2008.2.15.
- Hobiger, T., 関戸 衛, 小山 泰弘, 近藤 哲朗, Integer phase ambiguity estimation in next-generation geodetic Very Long Baseline Interferometry, 日本測地学会第 110 回講演会, 2008.10.22.
- Hobiger T., 市川 隆一, 小山 泰弘, 近藤 哲朗, KAshima Ray-tracing Service (KARATS) Online provision of ray-traced troposphere slant delays for space-geodetic applications in East Asia, 日本測地学会第 110 回講演 会, 2008.10.22.
- Fujieda, M., R. Tabuchi, L. Q. Tung, M. Aida, S. Hama, J. Amagai, H. Maeno, Y. Koyama, NICT station report, CCTF TWSTFT WG, 16th meeting, 2008.
- Goto, T., T. Feldmann, T. Hobiger, R. Ichikawa, D. Piester, New approaches for GPS carrier phase time transfer, Asia-Pacific Workshop on Time and Frequency 2008
- Hobiger, T., R. Ichikawa, T. Takasu, Y. Koyama, and T. Kondo, Ray-traced tropospheric total slant delays for precise point positioning, *EGU General Assembly 2008*, **10**, EGU2008-A-11, 2008.4.13.
- Ichikawa, R., T. Hobiger, Y. Koyama, and T. Kondo, An evaluation of the practicability of current mapping functions using ray-traced atmosphere slant delays from JMA mesoscale numerical weather data, *AGU American Geophysical Union Fall Meeting.*
- Kondo, T., e-VLBI Network application introduction, 7th NICT-ETRI Joint Workshop, (Dec. 4, 2008, Daejeon, Korea), 2008.12.4.
- Kondo, T., T. Kim, T. Sasao, Y. Kwak, H. Oh, S. Yi, D. Hyun, and M. Bae, Construction of a new geodetic VLBI station in Korea, AGU American Geophysical Union Fall Meeting, G33A,669, 2008.12.17.
- Koyama, Y., M. Hosokawa, K. Imamura, T. Iwama, S. Hama, J. Amagai, Y. Hanado, R. Ichikawa, Status report of time and frequency activities at NICT, Asia-Pacific Workshop on Time and Frequency 2008 (ATF2008), 1–6, 2008.10.30.
- Koyama, Y., M. Sekido, T. Hobiger, H. Takiguchi, T. Kondo, H. Wada, S. Kurihara, R. Haas, J. Wagner, A. Mujunen, and J. Ritakari, Ultra rapid dUT1 estimations from e-VLBI sessions, AOGS2008 (Asia Oceania Geosciences Society 5th Annual General Meeting), SE87, A014, 2008.6.18.
- Koyama, Y., K. Imamura, T. Iwama, S. Hama, J. Amagai, Y. Hanado, R. Ichikawa, M. Kumagai, T. Goto, Time and frequency activities at NICT, Japan, 40th Annual Precise Time and Time Interval Systems and Applications Meeting 2008 (PTTI2008), Session 5, Poster 12.
- Sekido, M., Y. Koyama, M. Kimura, H. Takiguchi, T. Kondo, T. Hobiger, T. Ikeda, H. Harai, M. Hirabaru, E-VLBI development in NICT, *International e-VLBI workshop*, 2008.6.17.
- Sekido, M., T. Kondo, M. Kimura, and Y. Koyama, VLBI correlators in Kashima, International VLBI Service for Geodesy and Astrometry, 2008.3.31.
- Takefuji, K., H. Takeuchi, M. Kimura, T. Kondo, and Y. Koyama, Developments of digital backend & software correlator systems at NICT Kashima, *Max-Planck-Institute for Radioastronomy*, RadioNet Engineering Forum Workshop.
- Takiguchi, H., Y. Koyama, R. Ichikawa, T. Goto, A. Ishii, T. Hobiger, and M. Hosokawa, VLBI measurements for frequency transfer, Asia-Pacific Workshop on Time and Frequency ,25, 1–7, 2008.10.31.
- Takiguchi, H., Y. Koyama, R. Ichikawa, T. Goto, A. Ishii, T. Hobiger, and M. Hosokawa, VLBI measurements for time and frequency transfer, *European Frequency and Time Forum*, Th5,71, 1–5, 2008.4.23.
- Petrachenko, W., D. Behrend, J. Boehm, P. Charlot, A. Collioud, T. Clark, B. Corey, J. Gipson, R. Haas, Koyama Y., D. MacMillan, Z. Malkin, A. Niell, T. Nilsson, A. Rogers, G. Tuccari, and J. Wresnik, VLBI2010, AOGS2008 (Asia Oceania Geosciences Society 5th Annual General Meeting), SE87, A025, 2008.6.18.
- Yi, Y., 近藤 哲朗, T. Kim, T. Sasao, Y. Kwak, H. Oh, D. Hyun, and M. Bae, 動き始めた韓国測地VLBIシ ステム構築(その2), 日本測地学会第110回講演会, 2008.10.22.

報道発表・特許

- 関戸衛,小山泰弘,世界最速、地球の自転をほぼリアルタイムに計測 宇宙空間における地球の位置決定の精度 向上に貢献 - ,報道発表, 2008.3.19.
- 関戸 衛,小山 泰弘,アジア・太平洋地域で初の e-VLBI 実験成功-日本・中国・オーストラリアを結ぶネットワー クを利用した電波干渉計 -,報道発表,2008.6.25.
- 高橋 冨士信, 梅野 健, 近藤 哲朗, 認証システム、認証装置、被認証装置、認証方法、被認証方法、プログラム、 ならびに、情報記録媒体, 103 03 074, 特許, 2008.10.30.

鹿島 34m アンテナ 2008 年 年次報告書

2009 年 2 月 20 日発行 発行 独立行政法人 情報通信研究機構 新世代ネットワーク研究センター 光・時空標準グループ URL http://www2.nict.go.jp/w/w114/stmp/index.html



独立行政法人 情報通信研究機構