

鹿島34mアンテナ  
2010年 2011年  
年次報告書



情報通信研究機構  
電磁波計測研究所  
時空標準研究室





## 目次

<b>1</b>	<b>はじめに</b>	<b>1</b>
1.1	第2期中期計画の研究テーマと概要	1
1.2	第3期中期計画の研究テーマと概要	1
<b>2</b>	<b>34m アンテナステータス</b>	<b>3</b>
2.1	34m 局主要諸元	3
2.2	アンテナ制御システム	3
2.3	追尾性能	4
2.4	受信機性能	5
2.4.1	L 帯	5
2.4.2	S/X 帯	7
2.4.3	C 帯	10
2.4.4	K 帯	13
2.4.5	Ka 帯	15
2.4.6	Q 帯	16
2.5	運用状況 (2010 年)	19
<b>3</b>	<b>保守・補修作業</b>	<b>21</b>
3.1	保守支援の導入	21
3.2	2010 年の補修作業と定期保守	21
3.2.1	構造体錆落とし・補修作業 (2010/5/27-7/20)	21
3.2.2	定期保守 2010 年 2 月 19 日～3 月 30 日	21
3.3	2011 年の補修作業と保守作業	26
3.3.1	構造体錆落とし・補修作業 (2011/1/21-6/24)	26
3.3.2	2011 年機械系保守作業	26
3.4	駆動系トラブル・修理作業等 (2010-2011 年)	29
3.4.1	ヘリウムコンプレッサの更新 (2010/2/16)	29
3.4.2	ETR 空調システムの故障 (2010/4/7)	29
3.4.3	エンコーダ接続ケーブルの予防交換	30
3.4.4	EL モータ交換 (2010/8/27)	30
3.4.5	AZ レールボルトの点検 (2010/12/1)	30
3.4.6	L 帯 IF アンプの故障・発振	31
3.4.7	トロリー制御不良 (2010/12/11)	31
3.4.8	AZ#4 モータの TachLoss/OverSpeed 点検 (2010/12/19)	31
3.4.9	地震後の故障箇所と修理工事	31
3.4.10	AZ#3 DCPA の故障 (2011/7/5)	32
3.4.11	ストーアラインスイッチ修理 (2011/8/8)	32
3.4.12	副反射鏡駆動機構等の点検、修理 (2011/8/24)	33
3.4.13	AZ レールボルトの交換 (2011/8-9)	34
3.4.14	AZ#2 駆動モータ回転不良 (2011/9/1)	35
3.4.15	AZ 軸駆動速度の調整 (2011/9/28)	35
3.4.16	AZ エンコーダの固定部の緩み (2011/10)	37
3.4.17	AZ 軸角度飛び (2011/12/7)	37
3.4.18	駆動モータ過電流 (2011/10-12)	38
3.4.19	受信機ステータス取得用バスエクステンダー故障 (2011/12/5)	38

3.4.20	34m フィードーム交換について (2009 年 ~ 2010 年)	39
3.4.21	未解決課題	40
3.5	34m アンテナ駆動系の更新に向けた検討	42
3.6	今後の予定	43
<b>4</b>	<b>研究/開発</b>	<b>44</b>
4.1	Development of an e-VLBI data Transport Software Suite with VDIF	44
4.1.1	はじめに	44
4.1.2	VLBI Data Interchange Format (VDIF)	44
4.1.3	VDIF/SUDP と C++ Class library KVTP-lib	45
4.1.4	まとめと今後の展望	47
4.1.5	謝辞	48
4.2	広帯域フィードの開発	48
4.3	RF ダイレクトサンプリングを利用した VLBI 技術	50
4.3.1	はじめに	50
4.3.2	RF ダイレクトサンプリング実験の DSAMS への検証	50
4.3.3	DSAMS を応用した 24 時間測地 VLBI	51
4.3.4	まとめと今後の予定	52
<b>5</b>	<b>鹿島 11m アンテナステータス</b>	<b>53</b>
5.1	概要	53
5.2	ヒステリシスの改善	54
5.2.1	背景	54
5.2.2	観測結果	54
5.2.3	確認観測	54
5.2.4	結論	57
5.3	3.11 東北地方太平洋沖地震に伴う軸校正パラメータの変化	57
<b>6</b>	<b>小金井 11m アンテナステータス</b>	<b>61</b>
6.1	概要	61
6.2	軸校正観測の結果	61
6.2.1	背景	61
6.2.2	観測結果	61
6.2.3	結論	64
<b>7</b>	<b>VLBI2010 広帯域受信のための電波環境調査</b>	<b>65</b>
7.1	概要	65
7.2	経緯	65
7.3	鹿島、小金井における電波環境調査	65
7.4	まとめ	66
<b>8</b>	<b>34m アンテナの震災被害</b>	<b>70</b>
8.1	はじめに	70
8.2	鹿島 34m アンテナの現況	70
8.3	東北地方太平洋沖地震による地殻変動	72
<b>A</b>	<b>S/X 帯軸校正用電波源</b>	<b>74</b>

目次	iii
B 略語集	75
C 光・時空標準グループ VLBI 関連成果論文（発表）リスト （2010年1月 - 12月）	76
D 次世代時空計測グループ鹿島 VLBI 関連成果論文（発表）リスト （2011年1月 - 12月）	80

## 1 はじめに

34m アンテナを用いた開発研究の組織的な位置付けとなる情報通信研究機構 (以下 “NICT” と略す) の中期計画は、2010 年度に第 2 期中期計画の最終年度を迎え、2011 年度より 2015 年度までの 5 年間にわたる第 3 期中期計画に移行した。ここでは、その概要について述べる。

### 1.1 第 2 期中期計画の研究テーマと概要

**e-VLBI 技術開発** “UT1-UTC で  $2\mu$ 秒、極運動で  $40\mu$ 秒角 の推定精度達成” という数値目標を掲げて研究推進。観測後数分以内の “UT1-UTC” 推定技術をまず確立し、国土地理院に技術移転。さらに 2010 年度には、オンサラ (スウェーデン)、ウェツェル (ドイツ)、及びつくば局により実施された e-VLBI 観測による迅速地球姿勢計測データの解析により、10 時間以上の観測を行うことで、地球姿勢の 3 パラメータで表記精度を達成。現在は、技術移転されたシステムによる国土地理院の定常運用観測は年間 200 回を越える (2011 年の実績：UT1-UTC に特化した 1 時間観測 123 回、及び 24 時間実験 96 回、計 219 回<sup>1)</sup>)

**距離基準超小型 VLBI システムの研究開発** 距離基準超小型 VLBI システムとは、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の較正を目的として、NICT が GSI と共同で開発する分割可搬型 VLBI システムのことである (詳細はこれまでの文献を参考にされたい)。実際の運用では、本システムと大型アンテナから構成される観測網により、較正を行う。この手法による基線場検定システムを、我々は “MARBLE システム (Multiple Antenna Radio-interferometer for Baseline Length Evaluation System/距離基準用多アンテナ干渉計システム)” と呼んでいる [1]。当初の開発目標として “基線長結果の RMS2mm 以下の達成” としていた。第 2 期中期計画終了までに、超小型 VLBI システムの試作機を 2 基開発し、これらと 34m アンテナ、及び国土地理院つくば 32m を組み合わせた測地実験を 7 回実施した。そのうち、データ品質が良い 2010 年 8 月から 12 月までの 5 回の観測に基づく基線長結果として、 $54184874.00 \pm 2.4mm$  が得られた。なお、5 回の観測のうち、10 月から 12 月までの 3 回は X バンドで 512MHz の広帯域データ取得を行っており、この期間に限定すれば基線長結果は  $1.4mm$  のばらつきにおさまリ、VLBI2010 で示されるように今後の観測の主流が広帯域化することを考慮すれば、目標を達成できたと考えている。

**位置認証技術の研究開発** 位置認証技術開発に関しては、これまで “位置認証サーバ VPS(verified position service: <http://vps.nict.go.jp/Login.html>)” の試験運用を進めてきたが、これに加えて、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の開発を併行して進めてきた。後者については、これまでに “KAshima RAytracing Tools (KARAT)[2]” として開発してきたツールの有効性が確認できたことに基づき、WEB 上での GPS データ補正試験サービス “KAshima RAytracing Service (KARATS) の試験運用も 2010 年 1 月 27 日より開始した (<http://vps.nict.go.jp/karats/index.html>)<sup>2)</sup>。

### 1.2 第 3 期中期計画の研究テーマと概要

第 3 期中期計画においても、34m アンテナを核とした研究開発を推進することに変わりはないが、特に周波数・時刻比較への VLBI 技術の応用を念頭においた開発が中心となっている。ただ、別項でも述べるように、第 3 期中期計画開始直前の 2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による東日

<sup>1)</sup>ちなみにこの観測回数は IVS 観測に参加する全観測局中で第 3 位である。1 位は Wettzell[535 回]、2 位は Kokee Park[382 回] である

<sup>2)</sup>ただし、2012 年 7 月 1 日現在、NICT でのセキュリティ指針の変更により、“位置認証” 及び “KARATS” の両試験サービスを停止している。

本大震災のため、肝心の 34m アンテナも被災し、2012 年 12 月現在までに 2 年近い観測停止状態を余儀なくされている。現在も AZ ホイールや AZ レールの損傷や破損したケーブルラック等の復旧などに対処しているが、少なくとも 2012 年度一杯これらの作業に傾注する必要があると考えている。こうした現状ではあるが、以下に第 3 期中期計画の概要をまとめておく。

まず、第 3 期中期計画は 2011 年 4 月に開始したが、これに伴い、VLBI の開発研究を担当する我々の組織に若干の変更があり、“情報通信研究機構電磁波計測研究所時空標準研究室次世代時空計測グループ”として再出発した。我々が所属する時空標準研究室の主たる研究開発目標の一つとして、従来の水素メーザの安定度を 2 桁以上上回る光周波数標準技術の実用化があり、これには複数地点に設置された光周波数標準器の周波数・時刻比較技術も同程度の安定度で実現する必要がある。そこで、今中期計画では、“VLBI 周波数・時刻比較手法のさらなる高度化を目指し、汎地球的規模で平均化時間 1 日での安定度  $10^{-16}$  を達成すること”を目標と掲げている。また、同グループ全体としては、VLBI だけではなく、衛星双方向技術や GPS など関連技術の高度化も併せて推進することが強く求められている。

VLBI 技術に関しては、広帯域受信系の開発により高感度化をはかり、前中期計画で開発した超小型 VLBI システムをさらに発展させたシステムに搭載する戦略である。さらに、VLBI 観測システムに供給する標準周波数信号の高安定化を実現するために、標準信号の位相のばらつきを補償可能なファイバ伝送システムの導入を想定している。もちろん、一連の VLBI 技術開発では、次世代 VLBI 規格“VLBI2010”への寄与も念頭に置いている。

2011 年度については、現行の超小型 VLBI システムを用いた場合の周波数・時刻比較精度を評価するために、2011 年 2 月末まで国土地理院に設置してあった試作 2 号機を NICT 小金井本部 2 号館の屋上に移設した。2011 年度中には実際の観測を行う予定であったが、試作 2 号機の設置場所周辺での混信状況が予想以上に深刻であることが判明し、アンテナ周辺での信号の遮蔽やプログラム追尾でのスカイマスク設定、あるいは帯域制限フィルターの組み込みなど複数の方法を検討している。また、VLBI 周波数・時刻比較の高度化を実現するためには、VLBI システムそのものにも手を加える必要がある。具体的には、広帯域受信系の新規開発がその要となる。現有のフィードは必ずしも主鏡に最適化されたビーム形状とはなっており、アンテナ開口効率の点で改善の余地がある。また、必ずしも VLBI2010 で提唱されている 2-14GHz の範囲でフラットな周波数特性を最初から追求するのではなく、RFI を避けつつ現実的な周波数配列を選択する検討も進めている。

## 2 34m アンテナステータス

### 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 1987 年度に建設され、2011 年 12 月現在、23 年が経過、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) の各種受信機が搭載されている他、標準周波数信号源である水素メーザ (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。アンテナ各部の名称を図 2.1 に示す。

なお、本報告で使用される略語については付録 B にまとめた。

表 2.1: 鹿島 34m 局アンテナの主要諸元

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° 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° - 90°
副反射鏡 5 軸駆動制御範囲	各軸 ±60mm
最大駆動角速度 AZ	0.8°/s
EL	0.64°/s
製造	米国 TIW (現 VertexRSI)

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)
	X : -3997649.227 ± .003	-.0003 ± .0004
	Y : 3276690.754 ± .002	.0052 ± .0003
	Z : 3724278.825 ± .003	-.0118 ± .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<sup>3</sup>。FS9 の新しいバージョンがリリースされる度に適宜

<sup>3</sup>[http://lupus.gsfc.nasa.gov/software\\_fs\\_main.htm](http://lupus.gsfc.nasa.gov/software_fs_main.htm)

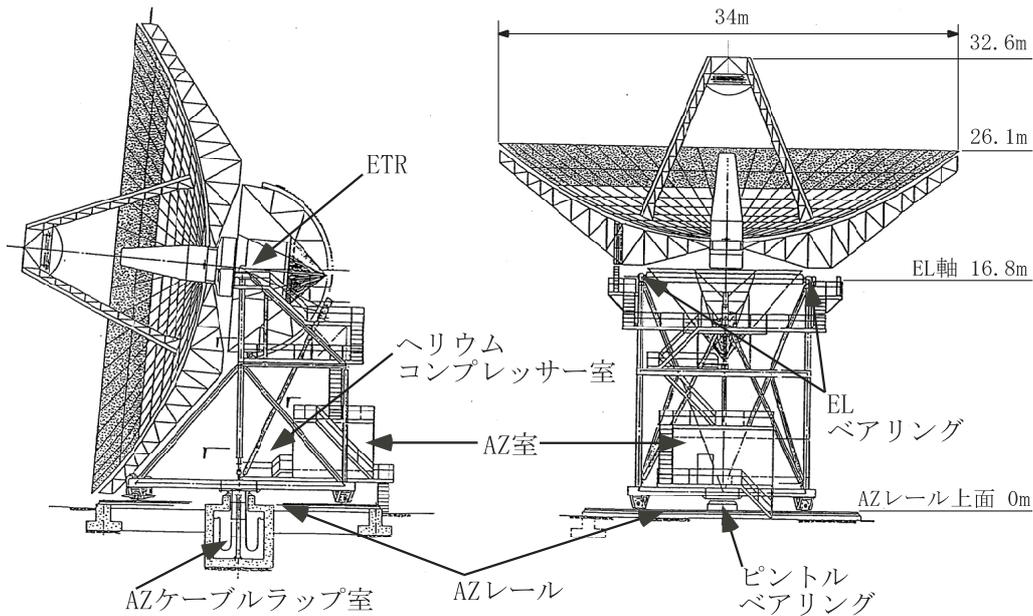


図 2.1: 34m アンテナ各部の名称

バージョンアップを行っているが、2011年12月現在、使用しているバージョンは fs-9.10.2 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。複数の周波数の受信機の中から必要に応じて選択した受信機をを焦点面に移動させて観測する 34m アンテナシステムでは、観測周波数毎に光軸が多少異なるため、表 2.5 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、アンテナ構造物の重力変形や、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。

軸較正観測を 2010 年には 5 回実施し（表 2.3）、2011 年には 9 回実施（表 2.4）した。2009 年は軸較正を行わなかったため、定期保守前であったが観測のため 2010 年 2 月に K 帯、Q 帯の軸較正観測を行った。そして 2010 年 2 月から 3 月に定期保守を行い、この工事は指向誤差に影響するため、保守後の 2010 年 4 月に X 帯、K 帯の軸較正を行った。

2011 年 3 月 11 日の地震後の最初の軸較正観測はパラメータが大きくずれていることが予想されたので、2011 年 10 月 6 日の観測では AZ 側に判明している 0.1 度のオフセットを与えて、通常の 24 時間より短い 14 時間実施、暫定的に軸較正パラメータを求めた。そのパラメータで 24 時間軸較正観測を実施したが、AZ のみ通常より残差が 4 倍程度大きかったため、延長して 48 時間実施したが残差は変わらなかった。AZ エンコーダを交換後 2011 年 10 月 14 日に実施したが、残差はほとんど小さくならなかった。調査の結果、AZ エンコーダの基準軸との接続部に緩みが発見され、これを改善して、10 月 18 日に実施した所、若干大きい程度までになった。

C 帯は、受信機を改造して 5.8GHz 帯の UNITEC-1 の受信試行を行ったが、C 帯ビームサイズ (HPBW) 0.125 度と比較して指向誤差約 0.01 度は十分に小さかったため、軸較正は行わず 2008 年 12 月に設定し

た軸較正パラメータを 2010 年に使用した。

表 2.3: 2010 年の軸較正結果

観測日 (通日) 時 UT	周波数帯	残差 (rms) AZ (1/1000 度)	残差 (rms)EL (1/1000 度)	軸較正パラメータ 更新日時 (UT)
2010/2/2(33)0627 ~2/6(37)0142	K	3.84	2.79	2010/2/8(39)0056
2010/2/6(37)1455 ~2/7(38)2301	Q	2.26	2.89	2010/2/8(39)0025
2010/4/10(100)0250 ~ 4/11(101)0300	X	3.82	2.59	2010/4/13(103)0234
2010/4/24(114)1145 ~ 4/25(115)0600, 4/26(116)0700 ~4/26(116)1100	K	4.38	3.94	2010/4/30(120)0108
2010/10/15(288)1630 ~ 10/16(289)1630	K	3.83	2.43	2010/10/26(299)0931

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 2.5 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、前項で述べたように周波数帯ごとに受信機の位置が異なるためである。

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イルは暫定的に S/X 帯用のパラメータを使用する。付録 A 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。

## 2.4 受信機性能

2011 年の東日本大震災により 34m アンテナが被災したため、受信機性能の十分な測定ができなかった。受信機雑音温度などの性能については、2009 年度版を参照されたい。今年次報告書は 2010 年と 2011 年の 2 回の受信状況について記述しており、以下の項に各帯域の受信状況を述べる。

### 2.4.1 L 帯

L 帯 (1.5GHz) の受信機ブロックダイアグラムを図 2.2 に示す。L 帯は単鏡による天文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 月から 1405-1435MHz の 8 段のバンドパスフィルタ (BPF:Band Path Filter) を導入し、帯域を狭めて混信対策を行ってきた。詳細は、2008 年白書 3.2.1 フィルタ交換を参照。

**L 帯受信状況-IF スペクトル** 受信状況を確認するため、観測室 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、2008 年より導入した通過帯域周波数が 1405MHz から 1435MHz のバンドパスフィルタで受信可能な帯域について受信状況を測定した結果を示している。

図 2.3 と図 2.4 は 2010 年の測定で、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

表 2.4: 2011 年の軸較正結果

観測日 (通日) 時 UT	周波数帯	残差 (rms) AZ (1/1000 度)	残差 (rms)EL (1/1000 度)	軸較正パラメータ 更新日時 (UT)
2011/1/24(24)0800 ~1/25(25)0840	X	4.51	3.32	2011/1/25(25)0902
2011/10/6(279)1000 ~10/7(280)0030	X	10.0	3.60	2011/10/7(280)0846
2011/10/7(280)0108 ~ 10/9(282)0138	X	14.7	4.02	2011/10/9(282)0210
2011/10/14(287)1115 ~ 10/15(288)1630,	X	12.9	3.93	2011/10/16(289)0519
2010/10/18(291)1106 ~ 10/19(292)1133	X	4.83	3.74	2011/10/19(292)1139
2011/10/20(293)0345 ~ 10/21(294)1515	K	6.15	3.56	2011/10/24(297)0040
2011/11/13(317)0730 ~ 11/14(318)2200	K	3.17	2.95	2011/11/15(319)0645
2011/12/9(343)0630 ~ 12/10(344)0620	K	3.76	2.67	2011/12/10(344)0639
2011/12/13(347)0910 ~ 12/14(348)0920	K	4.16	2.93	2011/12/14(348)0843

表 2.5: 軸較正パラメータファイル

周波数帯	F S 9 起動コマンド	軸較正パラメータファイル
L、S/X	fssx	mdlpoctl.sx
C	fs5G	mdlpoctl.c
K	fs22	mdlpoctl.k
Ka	fs32	mdlpoctl.ka
Q	fs43	mdlpoctl.43g

(1250MHz~1750MHz) に亘って認められた混信波 (例えば、鹿島 34m アンテナ 2009 年年次報告書 p.5 図 2.4) 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 の下限近くの強力な混信を避けるために下限の遮断周波数を 1405MHz とし、上限を 1435MHz としたため、今回の測定では受信されなかったが、帯域の上側に混信が見られることがある。

図 2.5 と図 2.6 は 2011 年の測定で、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。1 回掃引の測定で従来は見られなかった混信波が 1406MHz に入っている。この周波数は電波天文保護バンドであるが発信源は不明である。最大値保持モードの測定では、2009 年に見られた 1395MHz、2011 年新たに見られた 1406MHz、そして 1 回掃引では見られなかった 1431MHz にも強い混信が入っている。1431MHz は従来混信が少なく広い帯域を取得するために電波天文保護バンドの上限を超えて受信していたものである。

従来にない混信があったことから、LNA 出力をスペクトラムアナライザで測定した結果を 1 回掃引の図 2.7 と最大値保持モード 10 分間の図 2.8 に示す。1 回掃引の図 2.7 には、1473~1483MHz、1500~1510MHz が、最大値保持モード 10 分間では 1293MHz、1370MHz、1380MHz、1390MHz、1453MHz、1480MHz、

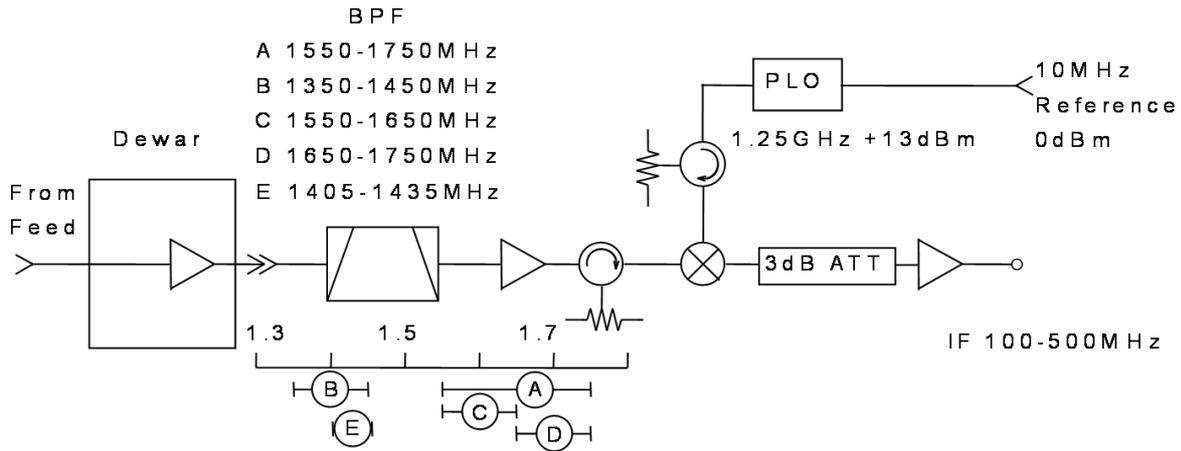


図 2.2: L 帯 (1.5GHz) 受信機のブロックダイアグラム

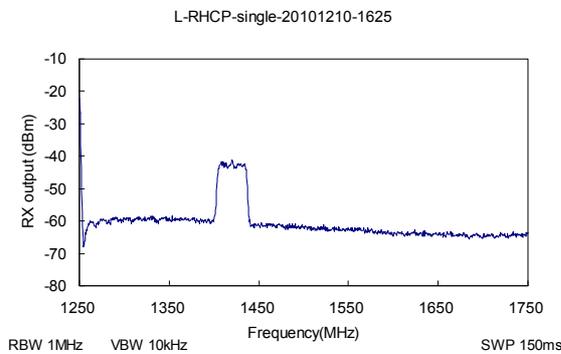


図 2.3: L 帯 (RHCP:1405~1435MHzBPF フィルタ使用) 受信状況。スペクトラムアナライザにより 1 回掃引モードで計測した結果。測定日時 2010 年 12 月 10 日 16 時 25 分 (JST)。

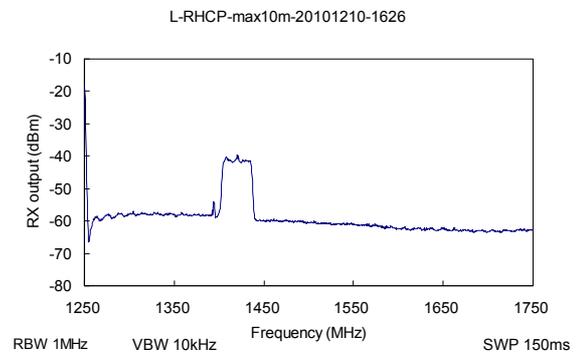


図 2.4: L 帯 (RHCP:1405~1435MHzBPF フィルタ使用) 受信状況。最大値保持モードで 10 分間測定した結果。2009 年ではフィルタの帯域外であるが、強い混信が 1395MHz に入っていたが、2010 年は弱く入っている。測定日時 2010 年 12 月 10 日 16 時 26 分 (JST) からの記録。

1505MHz、1620MHz 付近に信号が見られる。この時にはフィルタ通過帯域周波数近傍の信号は受信されなかった。これらの信号はフィルタ通過後の図 2.5、図 2.6 等には見られないことから、最も強い 1480MHz の信号も 1405~1435MHz のバンドパスフィルタにより有効に遮断されている。

### 2.4.2 S/X 帯

S/X 帯の受信機ブロックダイアグラムを図 2.9 に示す。X 帯は帯域の違いにより、X-narrow 系 (以下、X-n とする。) と X-wide 系 (以下、X-w とする。) の二つの系統がある。X-n は、8180MHz~ 9080MHz までの受信帯域があり、X-w は二つに分かれており、受信帯域は低域側の X-wL が 7860MHz~8360MHz であり、高域側の X-wH は X-n と同様の 8180MHz~9080MHz である。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 に変更して、その後も継続して使用している。PLO 変更時の記録資料は内部向け HP に掲載している<sup>4</sup>。

<sup>4</sup>[http://ryuu.nict.go.jp/naibu/documents/34m-system/Receiv-char/SX-band/7600PLO\\_Downconv.pdf](http://ryuu.nict.go.jp/naibu/documents/34m-system/Receiv-char/SX-band/7600PLO_Downconv.pdf)

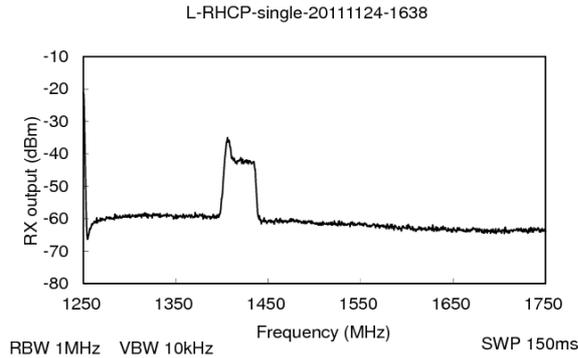


図 2.5: L 帯 (RHCP:1405~1435MHzBPF フィルタ使用) 受信状況。スペクトラムアナライザにより 1 回掃引モードで計測した結果。測定日時 2011 年 11 月 24 日 16 時 38 分 (JST)。

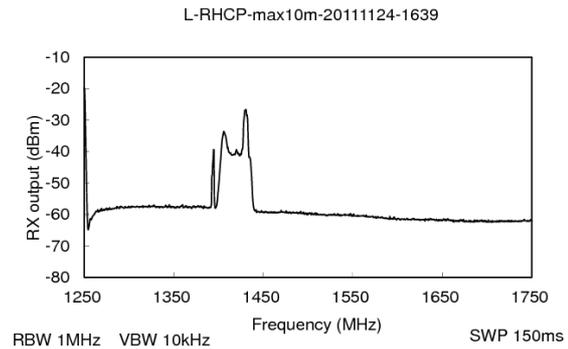


図 2.6: L 帯 (RHCP:1405~1435MHzBPF フィルタ使用) 受信状況。最大値保持モードで 10 分間測定した結果。測定日時 2011 年 11 月 24 日 16 時 39 分 (JST) からの記録。

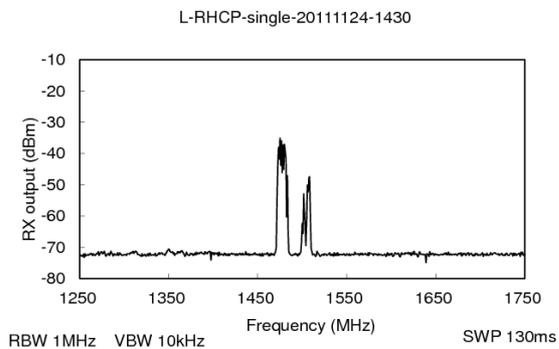


図 2.7: L 帯 (RHCP:LNA 出力) 受信状況。スペクトラムアナライザにより 1 回掃引モードで測定日時 2011 年 11 月 24 日 14 時 30 分 (JST)。

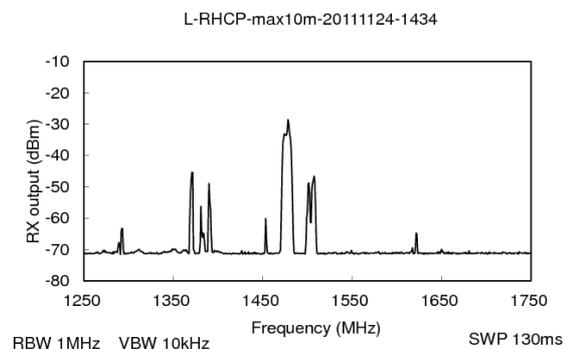


図 2.8: L 帯 (RHCP:LNA 出力) 受信状況。最大値保持モードで 10 分間測定した結果。測定日時 2011 年 11 月 24 日 14 時 30 分 (JST) からの記録。

### S/X 帯受信状況-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 2010 年を図 2.10 に 1 回掃引、図 2.11 に最大値保持モード 20 分の例を、2011 年を図 2.12 に 1 回掃引、図 2.13 に最大値保持モード 20 分の例を示す。2193MHz における急峻なカットオフ特性は後述する高温超伝導フィルタ (HTS フィルタ) の特性である。1 回掃引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。最大値保持モードでは 2010 年に比べて 2011 年は混信が少なくなっているが、これも連続的な送信ではなく間欠的に使用されているためと考えられる。

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

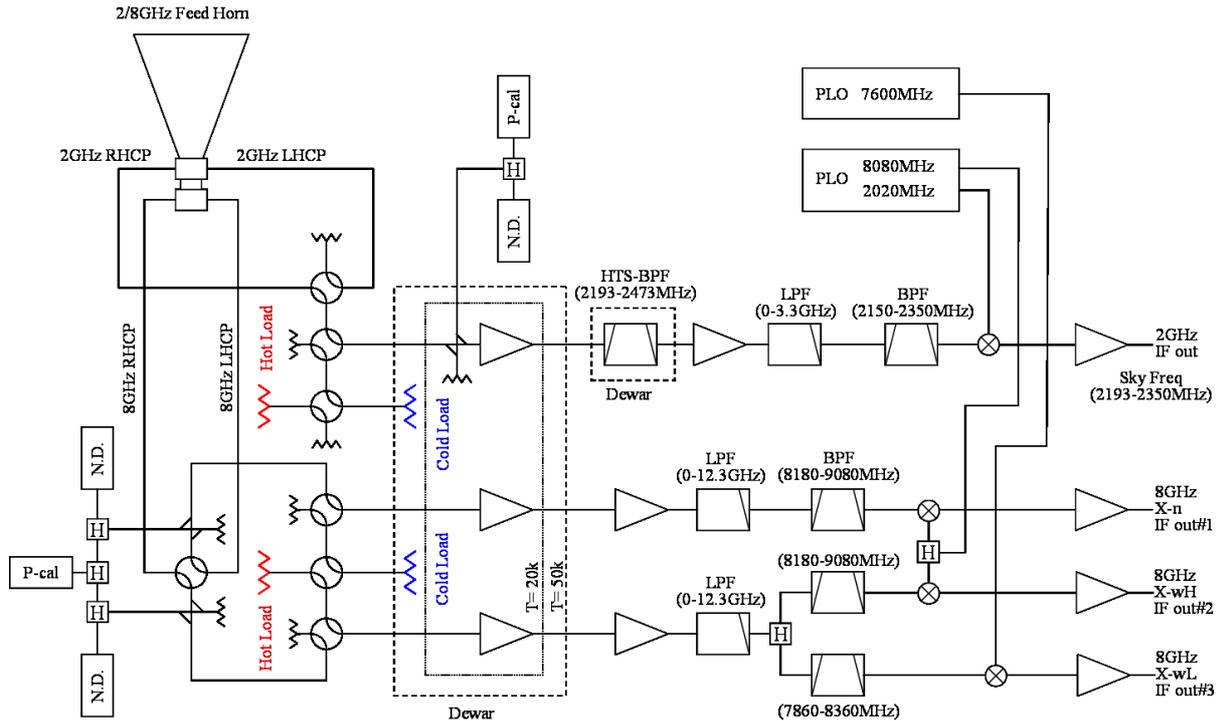


図 2.9: S/X 帯受信機ブロックダイアグラム (2011 年 12 月現在)。

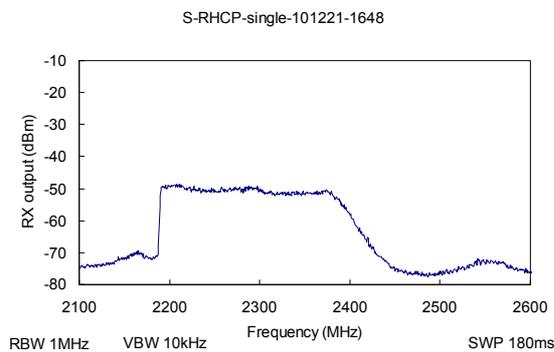


図 2.10: 1 回掃引での S 帯 (RHCP) 受信状況。2010 年 12 月 21 日 16 時 48 分の記録。

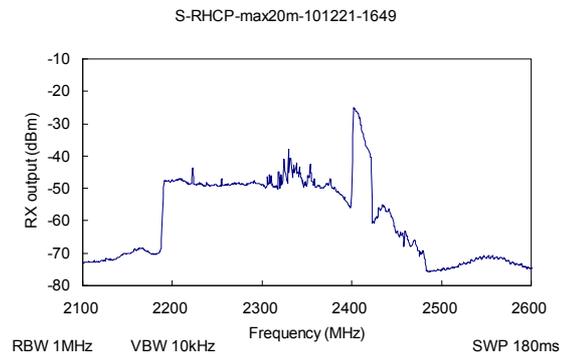


図 2.11: 最大値保持モード 20 分間での S 帯 (RHCP) 受信状況。2010 年 12 月 21 日 16 時 49 分からの記録。

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 2.14 に HTS フィルタを通過する前の LNA 出力 (デューア出力、トロリーは焦点位置) での S 帯の 2011 年 2 月と 2011 年 11 月の状況を示す。第 3 世代携帯電話では、2115–2130MHz が KDDI(au)、2130–2150MHz が NTT ドコモ (FOMA)、2150–2170MHz 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 2135MHz–2145MHz の 2 波 (1 波は 5MHz 幅) だけであったが、2005 年 7 月 5 日の測定ではドコモが 2135MHz–2150MHz の 3 波に増波され、ボーダフォン (現 SoftBank) も 2160MHz–2165MHz 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 2120MHz の信号が確認された。2009 年 12 月には SoftBank が 2160MHz–2165MHz に加え 2165MHz–2170MHz での使用が開始され、更に 2011 年 2 月のデータでは 2155MHz–2160MHz の使用が確認され 3 波となった。2011 年 11 月も同様である。SoftBank が使用する周波数帯は 34m アンテナ S 帯受信帯域に最も近い周波数であるが、図 2.12 の 2011 年 S 帯受信状況に示

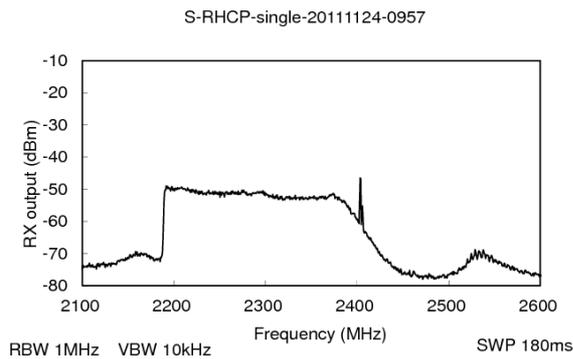


図 2.12: 1 回掃引での S 帯 (RHCP) 受信状況。2011 年 11 月 24 日 09 時 57 分の記録。

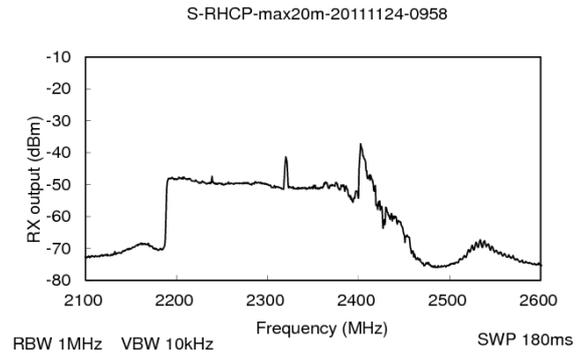


図 2.13: 最大値保持モード 20 分間での S 帯 (RHCP) 受信状況。2011 年 11 月 24 日 09 時 58 分からの記録。

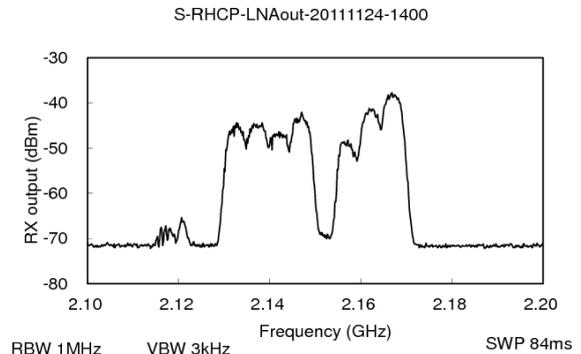
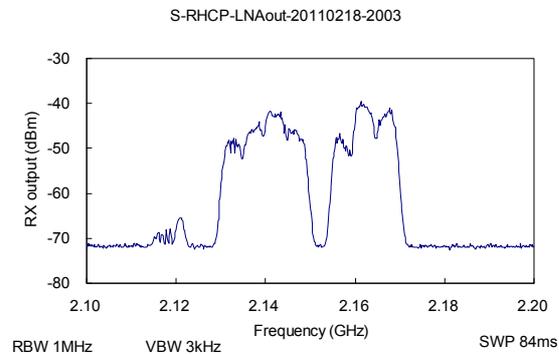


図 2.14: 第 3 世代携帯電話からの混信波の状況。図は HTS フィルタを通す前の S 帯 LNA 出力の状況を示しており左図は 2011 年 2 月 18 日 20 時 03 分、右図は 2011 年 11 月 24 日 14 時 00 分に計測した結果を示している。

されるように混信波の増加はなく、HTS フィルタが有効に動作していることを示している。KDDI(au) は、2.115MHz-2.12MHz、2.12MHz-2.125MHz の 2 波を使用しているが、他の携帯電話会社 2 社に比べると 34m アンテナでの混信波は弱い。

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ている。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、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 2.15 ~ 2.20 に示す。X-n 帯は、2008 年には 8950MHz 付近から上側にくし状の混信が強く入っていたが、2009 年の測定からは受信されていない。X-wL 系は受信機出力が異常のため、一時的に復旧した 2011 年 11 月の結果を示した。

### 2.4.3 C 帯

C 帯 (5GHz) の受信機ブロックダイアグラムを図 2.21 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。2010 年は UNITEC-1 受信協力のため 5.8GHz 帯が受信できるように改造して使用された。

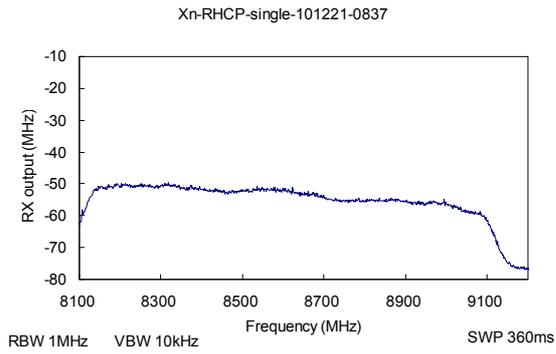


図 2.15: X-n 帯 (RHCP) の受信状況。1 回掃引。2010 年 12 月 21 日 08 時 37 分。

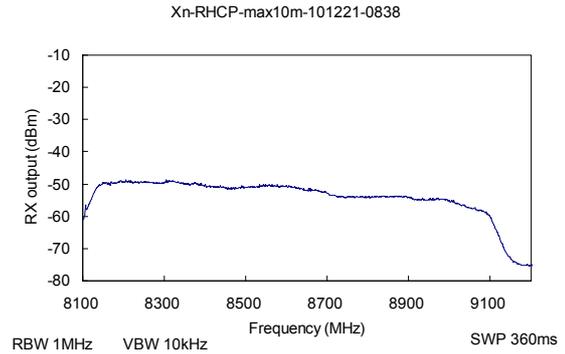


図 2.16: X-n 帯 (RHCP) の受信状況。2010 年 12 月 21 日 08 時 38 分から最大値保持モードで 10 分間の測定結果。

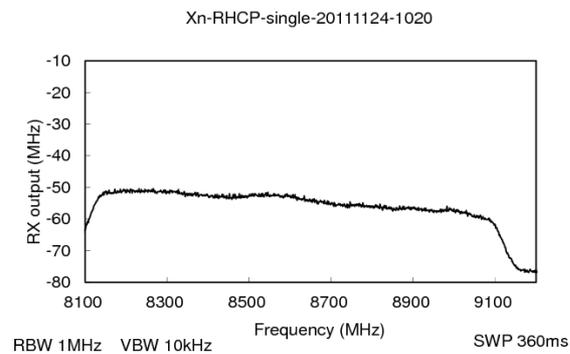


図 2.17: X-n 帯 (RHCP) の受信状況。1 回掃引。2011 年 11 月 24 日 10 時 20 分。

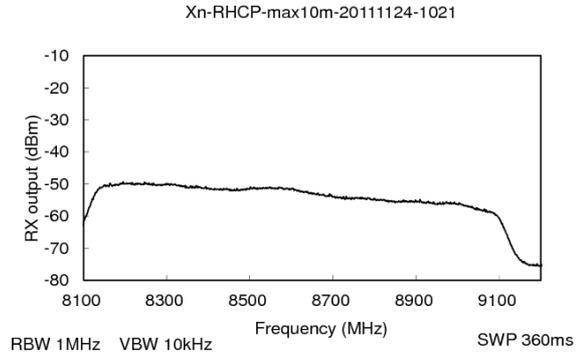


図 2.18: X-n 帯 (RHCP) の受信状況。2011 年 11 月 24 日 10 時 21 分から最大値保持モードで 10 分間の測定結果。

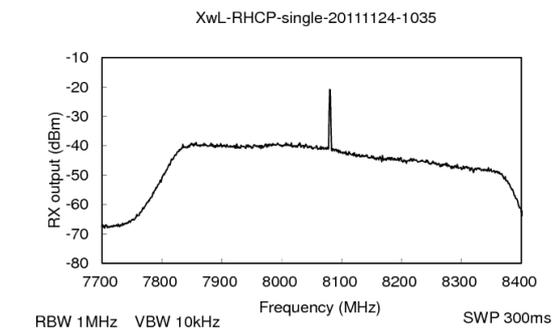


図 2.19: X-wL 帯 (RHCP) の受信状況。1 回掃引。2010 年の測定時に受信機が故障していたが、2011 年の測定時、一時的に復旧した結果を載せている。8080MHz に X-n 帯および X-wH 帯に使用しているローカル信号が漏れ込んでいる。2011 年 11 月 24 日 10 時 35 分。

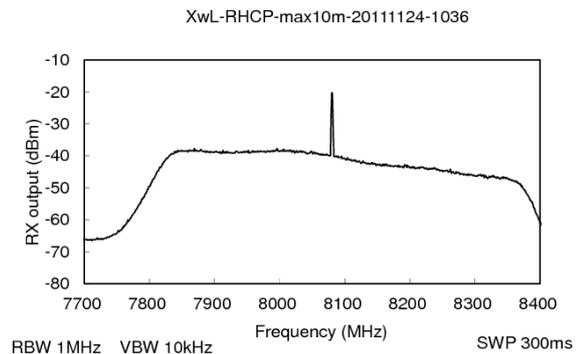


図 2.20: X-wL 帯 (RHCP) の受信状況。2010 年の測定時に受信機が故障していたが、2011 年の測定時、一時的に復旧した結果を載せている。2011 年 11 月 24 日 10 時 36 分から最大値保持モードで 10 分間の測定結果。

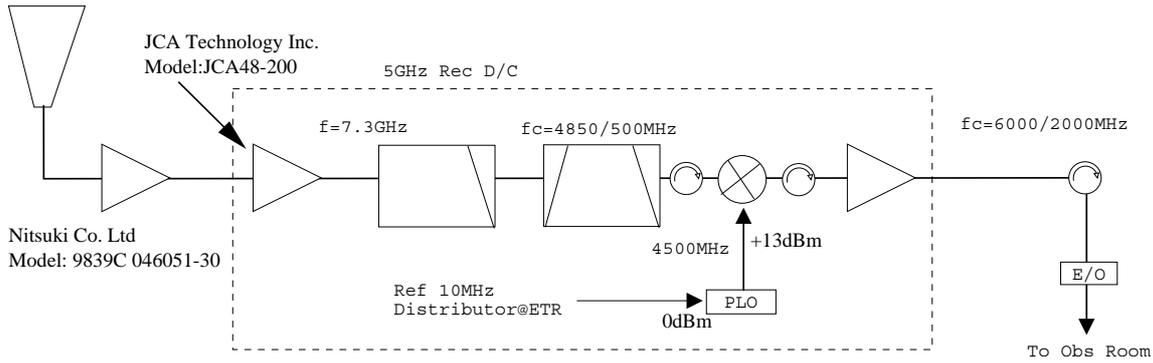


図 2.21: C 帯 (5GHz) 受信機のブロックダイアグラム

C 帯受信状況-IF スペクトル 受信状況を確認するため、観測室 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。2010 年は UNITE-1 受信用に改造していたため、ここでは 2011 年に測定した結果を示す。図 2.22 と図 2.23 は、1 回掃引 (掃引時間 240ms) および最大値保持モードで 10 分間計測した結果である。C 帯には顕著な混信は認められない。

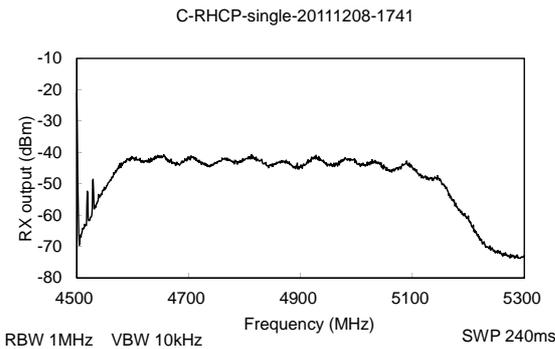


図 2.22: C 帯受信状況。スペクトラムアナライザにより 1 回掃引モードで計測した結果。測定日時 2011 年 12 月 8 日 17 時 41 分 (JST)。

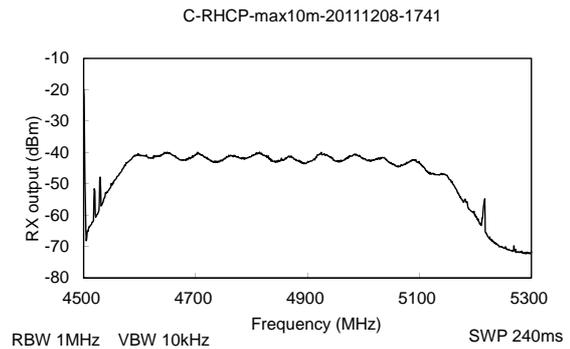


図 2.23: C 帯受信状況。最大値保持モードで 10 分間測定した結果。測定日時 2011 年 12 月 8 日 17 時 41 分 (JST) からの記録。

C 帯受信機による 5.8GHz 帯の受信 UNITEC-1 受信協力のため、C 帯受信機を 5840MHz が受信できるように一時的に改造した。34m アンテナオリジナルの C 帯受信機は周波数 4.6GHz から 5.1GHz を IF に変換するダウンコンバータが搭載されている。UNISEC が用意した Kuhne 社のダウンコンバータの利得は 34m アンテナ C 帯ダウンコンバータに対して -2dB であったので、既存ダウンコンバータを図 2.25 に示すように Kuhne 社のダウンコンバータに置き換えて 5.8GHz 帯を受信することとした。このダウンコンバータは 5840MHz の RF 入力を 435MHz の IF に変換するものであり、既存 C 帯 IF 伝送系にそのまま接続することができる。ただし、IF 出力の 1GHz 以上にローカル信号の 5405MHz、その他の不要信号が強く出力されていたため、IF 出力にダイプレクサを挿入した。このダイプレクサは周波数による分波と共に遮断周波数 750MHz の低域側は出力され、高域側の信号はダイプレクサ内で終端される機能を有するもの



図 2.24: 5.8GHz 帯受信機の周波数特性。帯域幅は約 14MHz である。

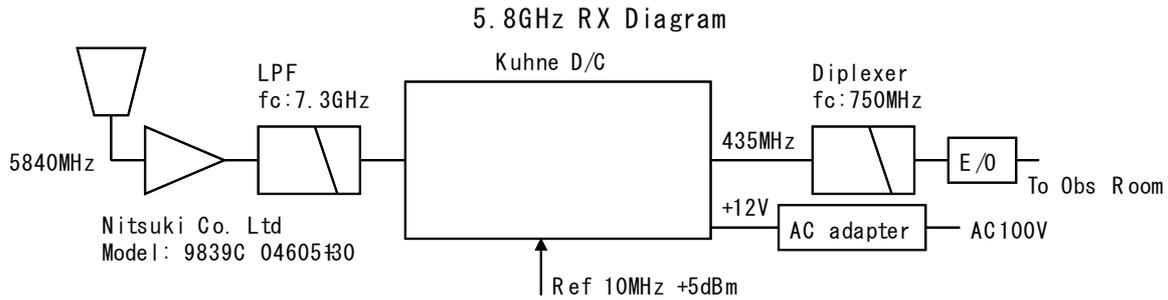


図 2.25: C 帯受信機を 5.8GHz 帯受信改造時のブロックダイアグラム。

である。Kuhne 社のダウンコンバータの電源電圧は 12V であったので、以前に増設していた AC100V ラインに AC アダプタを取り付け、電源を供給した。Kuhne 社のダウンコンバータの周波数特性を図 2.24 に示す。34m アンテナ天頂時の信号を LNA に入力した時の IF 出力である。R-Sky 法によるシステム雑音温度は 5834MHz~5860MHz の平均で 190K であり、ダウンコンバータ変更前に同じ方法により測定した 4.6GHz から 5.1GHz のシステム雑音温度 150K より 26%高い値であった(鹿島 34m アンテナ 2009 年 年次報告書 5.1 鹿島 34m アンテナ C 帯 5.8GHz のシステム雑音温度測定 参照)。

#### 2.4.4 K 帯

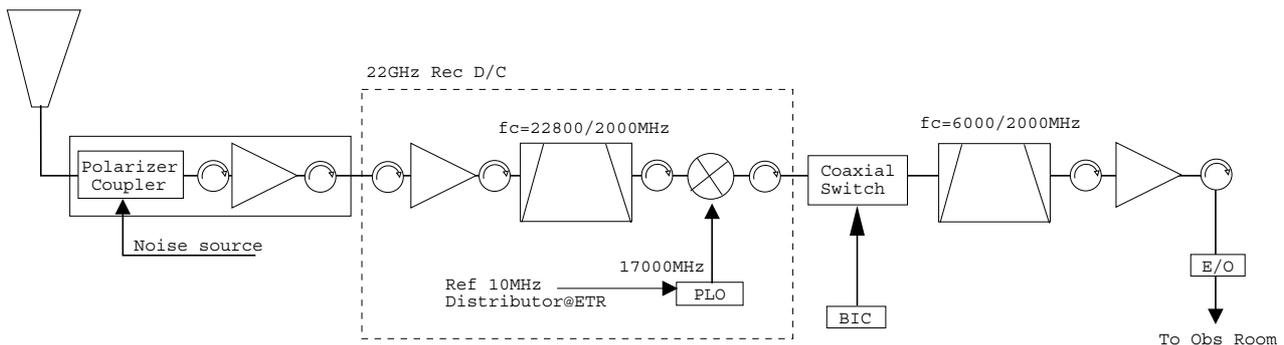


図 2.26: K 帯 (22GHz) 受信機のブロックダイアグラム

K 帯 (22GHz) の受信機ブロックダイアグラムを図 2.26 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が、両偏波観測を行えるように改造することを検討している。

**K 帯受信状況-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。2010 年、2011 年の測定結果を図 2.27~ 図 2.30 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 帯については顕著な混信は認められない。

#### K 帯開口能率と AZ 角に依存した能率低下

**木星連続波観測による開口能率測定** 2011 年 12 月 15 日 09:17~10:00UT に木星連続波観測による開口能率測定を実施した。測定時の気象と SecZ 測定の結果は以下の通り。

晴れ 10.2 77.3% 1007.2hPa ESE0.7m s<sup>-1</sup>  $\tau_0 = 0.091$   $T_{rx} = 98K$   $T_{sys} = 134K$

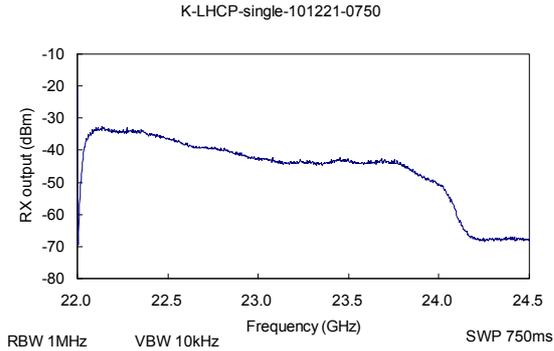


図 2.27: K 帯 (LHCP) の受信状況。1 回掃引。  
2010 年 12 月 21 日 07 時 50 分測定。

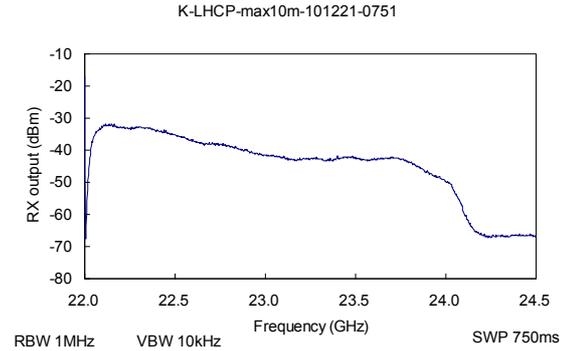


図 2.28: K 帯 (LHCP) の受信状況。2010 年 12 月 21 日 07 時 51 分から最大値保持モードで 10 分間の測定結果。

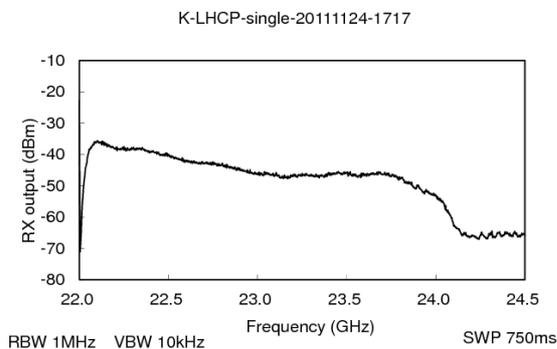


図 2.29: K 帯 (LHCP) の受信状況。1 回掃引。  
2011 年 11 月 24 日 17 時 17 分測定。

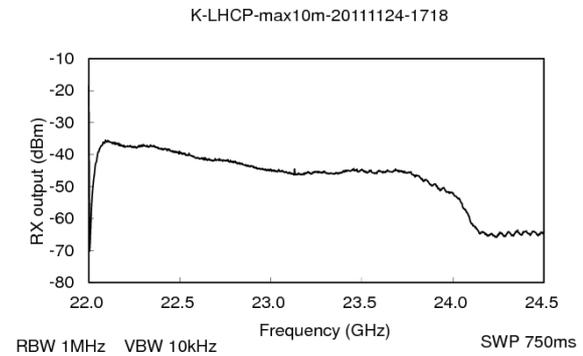


図 2.30: K 帯 (LHCP) の受信状況。2011 年 11 月 24 日 17 時 18 分から最大値保持モードで 10 分間の測定結果。

木星連続波を 5 点法で観測し、各点の強度をパワーメータで測定し、9 スキャン観測した。観測時の AZ と EL はそれぞれ、132–149 度と 56–61 度であった。

木星はアンテナ温度  $T_a^* = 9.0 \pm 0.4$  K で検出された。2011 年 12 月 15 日の木星の視直径 45.7 秒角を使用した。木星の輝度温度は 160 K を仮定した。この輝度温度は VERA も使用している (VERA2008 年ステータスレポート)。これらをもとに求められた開口能率は  $30 \pm 2\%$ 、主ビーム能率  $37 \pm 2\%$  であった。

水メーザー天体 WB755 による仰角依存性測定 2011 年 12 月 14 日 15:04–21:28UT に水メーザー天体 WB755 を観測し、開口能率の仰角依存性を測定した。測定時の気象と SecZ 測定の結果は以下の通り。

晴れ 2.7 80.1% 1009.7hPa WSW1.5 m s<sup>-1</sup>  $\tau_0 = 0.076$   $T_{rx} = 95$ K  $T_{sys} = 125$ K

WB755 を EL=10–76 度の範囲 (南中から沈むまで) で観測し、合計 191 点のデータを取得した。データは ON-OFF のスイッチングで取得した。積分時間 30 秒である。帯域幅 256MHz、分光点数 8192 点のデジタル分光計を使用して得られた。システム雑音温度はパワーメータで測定した。

仰角依存性は木星観測で開口能率が得られた仰角を基準にして、各仰角での開口能率を計算することで得られた (仰角 56–61 度のアンテナ温度と各仰角でのアンテナ温度の相対強度比から計算した)。アンテナ温度は SecZ 計測の結果  $\tau_0 = 0.076$  を基に各仰角での大気の光学的厚みを計算し、吸収量を補正した。

測定された開口能率の EL 角依存性を図 2.31 に示す。開口能率は EL60 度で最大値 33% である。EL30 度以下では 23% に低下する。図 2.31 には最適にあてはめた 3 次多項式の曲線も示している。得られた 3 次多項式は

$$\eta_a[\%] = 22.1 - 0.0281EL + 0.00751EL^2 - 0.0000748EL^3 \quad EL[\text{deg}]$$

である。

図 2.31 では、EL23 度、53 度、68 度付近で 10 ポイント前後の能率の低下が見られる。これの原因については次節で述べる。

**AZ 角に依存した能率低下の調査** 前節で述べた能率低下は、AZ レール接合部と関係があることがわかった。図 2.32 に開口能率の AZ 角依存性を示す。AZ レール接合部で能率が 10 ポイント前後低下していることがわかる。AZ レール接合部でポインティングがずれるためと推測される。そこで、ポインティングオフセットを計測した。

2011 年 12 月 15 日 15:57–20:30UT に水メーザー天体 WB755 を観測し、ポインティングオフセットを測定した。WB755 を AZ=217–283 度、EL=20–72 度の範囲で観測し、合計 107 点のデータを取得した。図 2.33 に AZ 角に対する AZ 角と EL 角のポインティングオフセットを示す。AZ レール接合部で、AZ オフセットと EL オフセットが共に大きくなることがわかる。オフセットは最大で 0.011 度で 22GHz のビームサイズ (HPBW) 0.027 度の約 1/2 であり、受信レベルが 3dB 低下する。

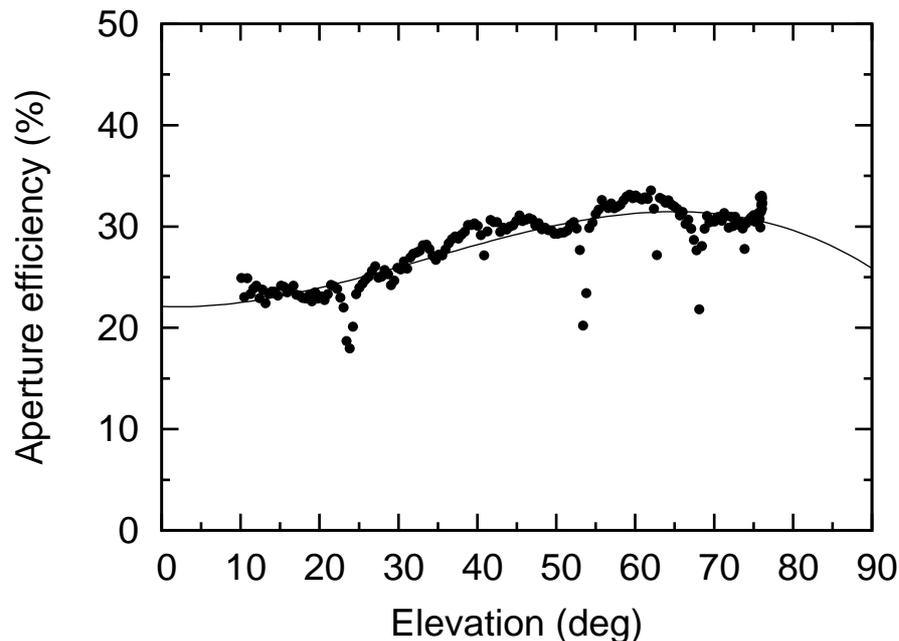


図 2.31: 22GHz 帯の開口能率の仰角依存性

#### 2.4.5 Ka 帯

Ka 帯 (32GHz) の受信機ブロックダイアグラムを図 2.34 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 Ka 帯の受信機を導入した。

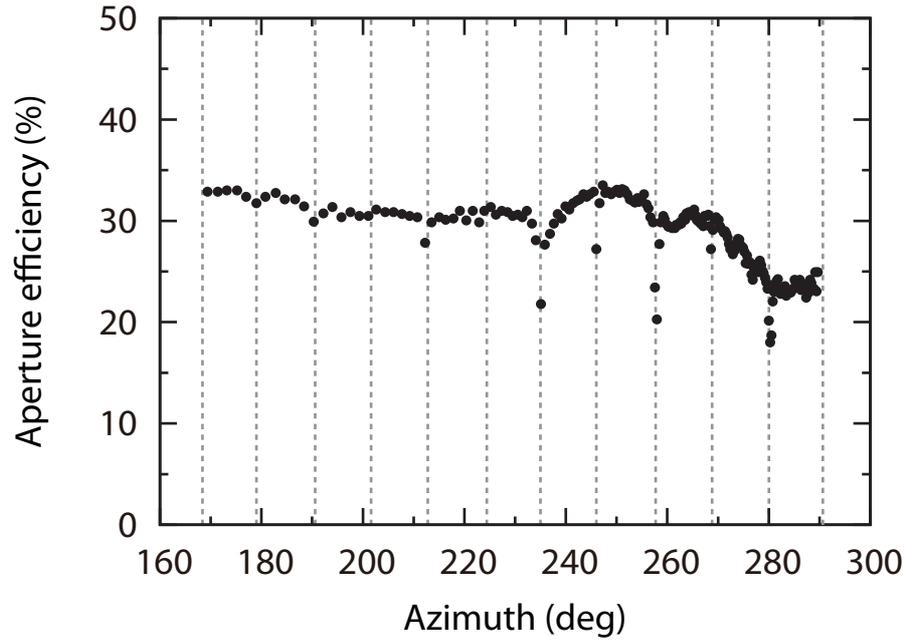


図 2.32: 22GHz 帯の開口能率の AZ 角依存性。灰色の点線は AZ レール接合部の角度。

#### 2.4.6 Q 帯

Q 帯 (43GHz) の受信機ブロックダイアグラムを図 2.35 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  $13 \times 40 \times 54\text{cm}$  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。

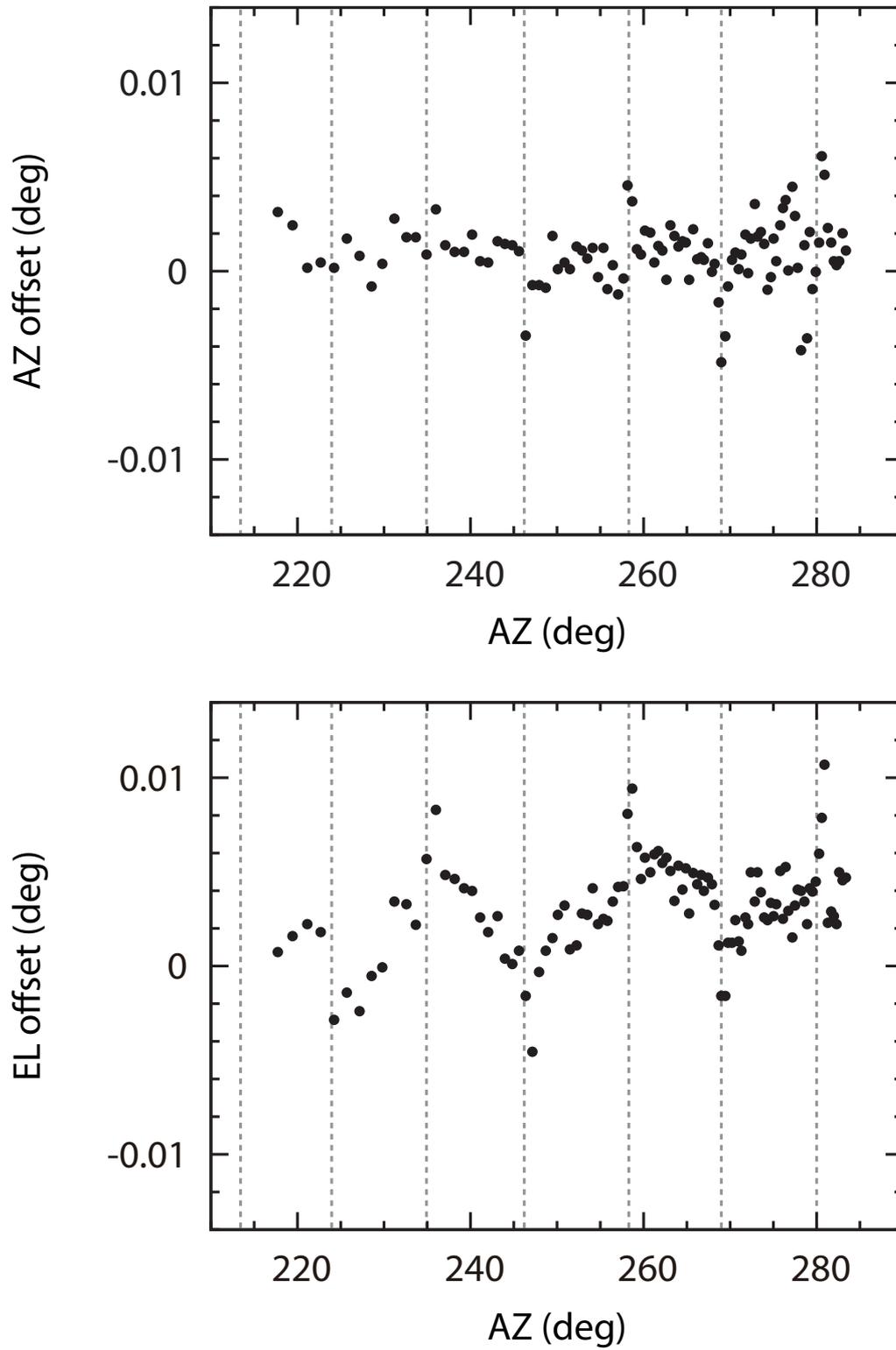


図 2.33: 22GHz で観測した AZ 角に対する AZ 角と EL 角のポインティングオフセット。灰色の点線は AZ レール接合部の角度。

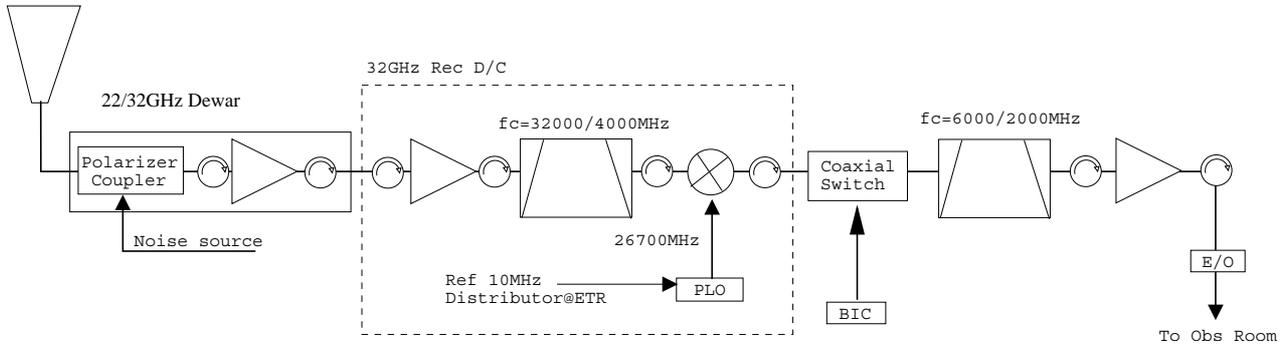


図 2.34: Ka 帯 (32GHz) 受信機のブロックダイアグラム

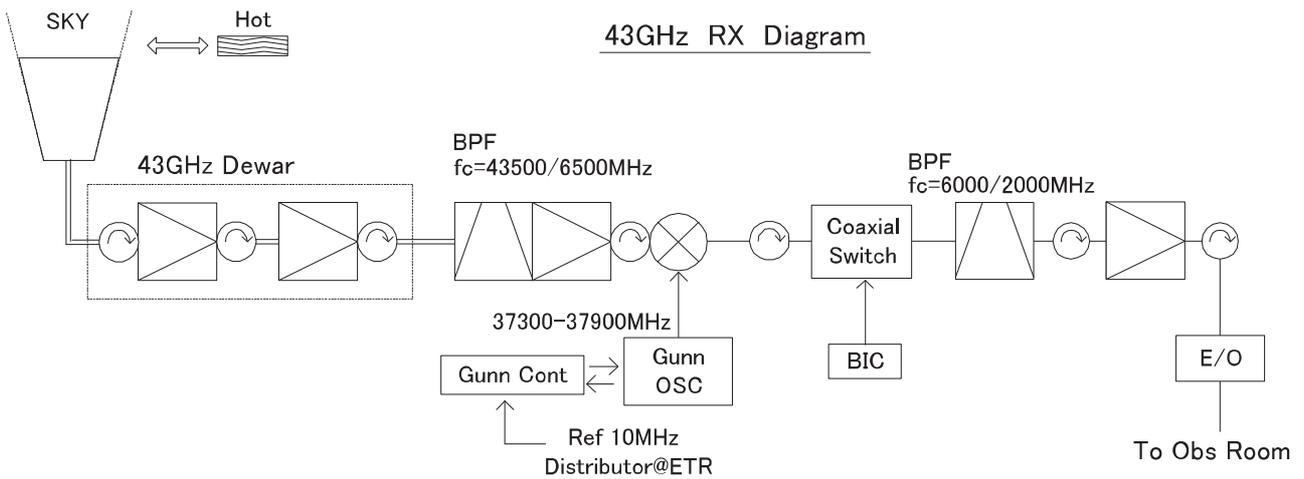


図 2.35: Q 帯 (43GHz) 受信機のブロックダイアグラム

## 2.5 運用状況 (2010 年)

2010 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 2.36 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。運用時間の合計は 1543 時間で前年の 1246.5 時間からは約 300 時間の増加である。

この主な要因は、国際測地実験が約 110 時間増加、国内測地が約 100 時間、電波天文が約 50 時間増加である。国際測地実験を鹿島では年間 10 回程度実施しているが、2010 年は 3 月の定期保守、6 月の補修工事により 8 回等と減少したが、後述するつくば 32m アンテナの代役観測を実施したことにより国際測地は約 110 時間の増加となった。国内測地は小型アンテナによる測地システム検証の実験が行われたため、約 100 時間増加した。

つくば 32m アンテナの代役観測は、以下のような経緯による。国土地理院のつくば 32m アンテナが 2010 年 7 月 25 日、落雷により故障したが、調査により修理に長期間かかることが判明した。つくば 32m アンテナは国際測地実験等を週 3 回程度、定常的に実施している重要な局である。そこで、NICT と国土地理院で協議して、鹿島 34m アンテナによりつくば 32m アンテナの代役観測を実施することになり、2010 年 8 月 16 日から 9 月 30 日まで 30 観測を実施した。

34m アンテナの準備、運用は国土地理院からの運用支援者により行われた。更に代役観測を実施にあたり、観測準備、観測データの転送、変換の自動化も行われた。24 時間国際測地実験のデータ量は 1TB オーダーの容量となり、転送、変換に時間がかかる。測地実験では、多数の天体を切り換えて観測を行っているが、つくば 32m アンテナシステムでは受信天体を切り換えて記録していない間に、観測データを転送サーバへコピーする仕組みを持っている。コピーされたデータは必要に応じてフォーマット変換も転送サーバ上で観測中に行われる。この仕組みが鹿島 34m アンテナシステムにも導入された。これにより観測終了とほぼ同時から遅くとも半日程度で観測データを転送サーバに準備できるようになった。この仕組みは代役観測後も鹿島で活躍中である。従来は観測終了後からデータ転送、変換を行っていたため、相関局へデータ転送の準備完了を知らせるまでに 1.5 日から 4 日ほどを要していた。なお、つくば 32m アンテナは 10 月 1 日に鹿島 34m アンテナとフリンジテストを行い復旧が確認された。

図 2.37 に運用予定表の例として、2010 年 12 月の 34m アンテナ運用予定表を示す。年間 1500 時間余りであるが、観測、保守等でアンテナに多くの予定が入っている状態となっている。2011 年 1 月から 3 月まで 34m アンテナ主鏡塗装等改修工事が予定されたため、アンテナ運用停止前に特に使用が集中した。

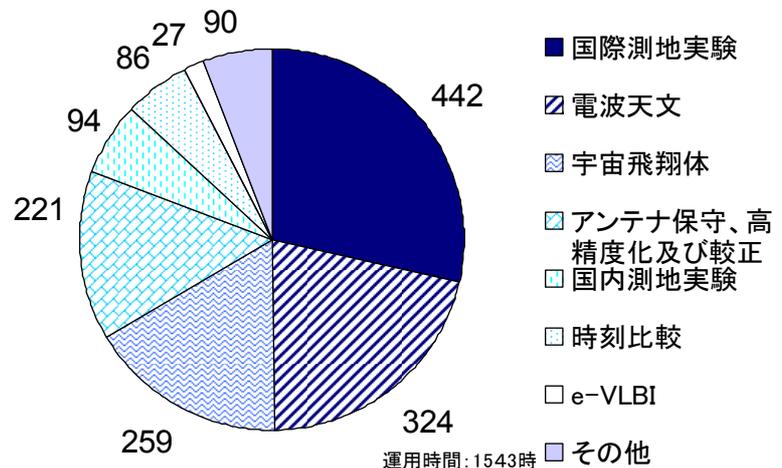


図 2.36: 2010 年の 34m アンテナ運用時間

DAY	EXPERIMENT(UT)	BAND	OPERATOR
1	WED 0000-0800 maintenance AZ rail 0000-0300 maintenance H maser backup power NH3		
2	THU 0000-0800 preparation QZS EIRP NH3		
3	FRI NH3 (0800-Network can not available due to Kashima HQ bilding power outage)		
4	SAT NH3 (Network can not available due to Kashima HQ bilding power outage)		
5	SUN NH3 0900-2200 Crab pulsar (Network can not available due to Kashima HQ bilding power outage)	K L	
6	MON NH3 0900-2200 Crab pulsar	K L	
7	TUE 0000-1200 preparation IVS 1730-1730 IVS-RDV84	S/X	
8	WED -1730 NH3		
9	THU preparation QZS EIRP NH3		
10	FRI NH3 0600- preparation power outage		
11	SAT Power outage 0400-vacuuuming S/X, K-band RX NH3		
12	SUN NH3		
13	MON 0000-0800 maintenance AZ cable wrap NH3		
14	TUE 0000-1200 preparation IVS 1730-1730 IVS-CRF61	S/X	
15	WED -1730 NH3	K	
16	THU 0000-0800 maintenance 0830-0940 FT w/ Gifu11m NH3	K K	
17	FRI 0000-0800 maintenance NH3	K	

図 2.37: 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。この予定表は <http://www2.nict.go.jp/aeri/sts/stmg/34m/plan/plan34m.html> (あるいは“ 34m radio telescope ”で検索) から確認できる。

### 3 保守・補修作業

#### 3.1 保守支援の導入

2010年より外部委託による保守支援を導入し、保守作業を職員で行う負担の軽減を図っている。2010年の支援者のサポート1名が、2010年10月～2011年3月、2011年11月～2012年3月の期間、週3日の頻度で鹿島に滞在し、アンテナの保守作業に関わる仕事をサポートしている。

#### 3.2 2010年の補修作業と定期保守

##### 3.2.1 構造体錆落とし・補修作業 (2010/5/27-7/20)

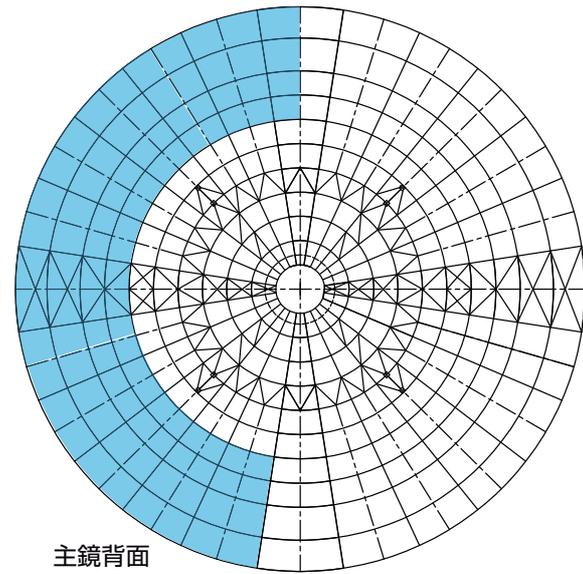
2008年度後半に予算確保が実現したため、背面構造部中心部の全周(半径方向には半分程度の長さ)に対して施す第2期補修工事を2009年2月から3月まで実施した。また2009年9月には外周の半分程度の補修工事を行った。

それでも背面外周部の残り箇所の腐食が進んでいたため、主鏡背面構造部の残り箇所に対する錆落とし、補修溶接、再塗装、アリデードと呼ばれるアンテナ架台の特に腐食が進行した箇所の補修塗装を図3.1に示す範囲を2010年5月27日から7月20日に実施した。主鏡背面構造部の残りの外周ほぼ左半分、アリデードと呼ばれるアンテナ架台の構造部等の補修塗装等を行った。従来は主鏡を支えている背面構造部の腐食対策を行ってきたが、架台についても徐々に腐食が進行してきたため、今回対策を行った(図3.2～図3.5)。

##### 3.2.2 定期保守 2010年2月19日～3月30日

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。2008年度は電気系等を除いた定期保守を夏季に行い、そして2009年度は冬季に計画して2010年2月19日から3月30日まで実施した。

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、2009年中は定期保守



主鏡背面

主鏡パネルkeyPlan  
アンテナ主鏡 背面

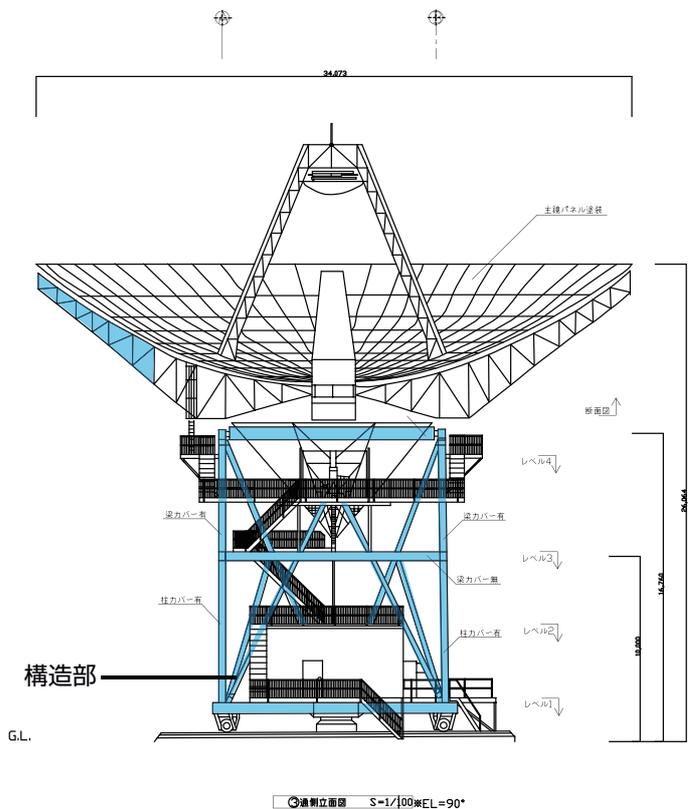


図 3.1: 主鏡背面構造部の外周側の約半分(上図)、アンテナ架台構造部(下図)の補修塗装等を2010年5月27日から7月20日に実施した。

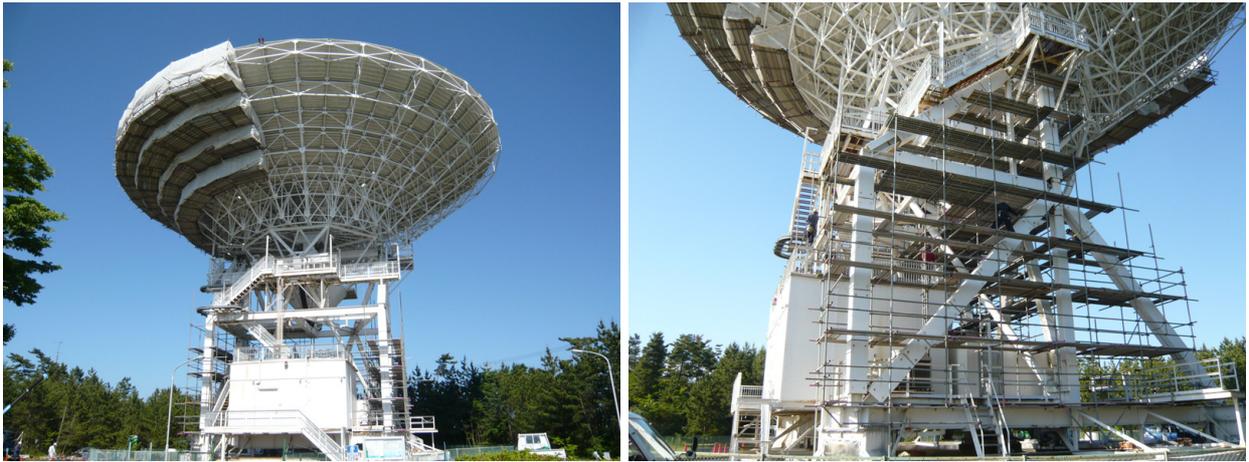


図 3.2: 34m アンテナ背面構造部に吊り足場を仮設、周囲に飛散防止のメッシュシートを張った (左写真)。アンテナ架台の構造部の補修ができるように足場を仮設中 (右写真)。



図 3.3: アンテナ架台構造部仮設足場に飛散防止用のメッシュシートを取り付け中 (左写真)。アンテナ架台の日射カバーを取り外し。支柱接合部の補強プレート周囲が特に腐食が進行している (右写真)。



図 3.4: 腐食が進行していた日射カバーを固定するボルト (左写真)。日射カバーを固定する古いボルトを撤去、新しいボルトを取り付けた (右写真)。

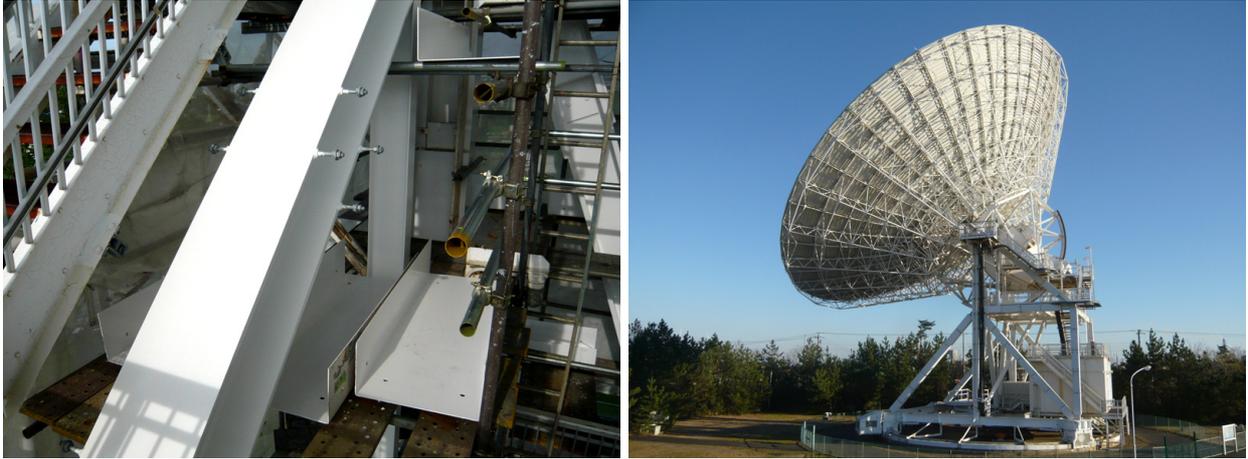


図 3.5: アンテナ架台構造部の支柱塗装後。日射カバーはまだ取り付けしていない (左写真)。背面構造部の外周側の約半分、架台構造部の支柱塗装等が完了した (右写真)。

を行わなかったこと、2010年は第2期中期計画の最終年であり、その後の保守予算の見通しが厳しいことから、2010年の保守は機械系について可能な範囲でできるだけ多くの項目についての保守を2010年2月19日から3月30日に行った。

ELギアのグリスアップは定期保守時の3月17日の他は11月25日のみしか実施できなかった。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。

**機械系の点検整備** 34mアンテナの2010年2月19日～3月30日に実施した定期保守機械系について主な項目と結果を表3.1に示す。副反射鏡は2～3年毎に地上に降ろした整備を実施しているが、2010年は地上に降ろして保守を行った。副反射鏡の保守後、位置センサーの取り付けに緩みがあると位置センサーの読み取りが異常となることがある。図3.6に2010年2～3月に実施した副反射鏡保守前後の副鏡変位を示す。仰角に応じて各軸の読み取り値に変動があるが、それは保守前後で同様であり、位置センサーは正常に取り付けられている。副反射鏡の5軸機構を構成しているプレートの溶接割れが発見されたため補修溶接を行った。

**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、今回も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。

**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。AZ、ELそれぞれ1台ずつの予備モータを保有しているが、昨年(2009年)3月に予備AZモータ2個を追加、2010年の定期保守時に新しいAZモータ2個の防錆処理も行った。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3.3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3.4にAzimuth4機、Elevation2機、及び予備のモータの交換履歴を示す。2010年は定期保守を行い、モータの位置が一部入れ替わった。EL#2モータが故障したため2010年8月27日に予備機と交換した。予備機状況等の詳細については3.4.4ELモータ交換(2010/8/27)を参照のこと。

表 3.1: 機械系点検整備項目 (2010/1/19-3/30)

項目	結果	備考
AZ(アジマス) 旋回部		
AZ ホイール回転部の異音の有無の確認	異常なし	
スクレイパーの点検	異常なし	スクレイパー 4 箇所とも交換
避雷用アースブロック点検	異常なし	摩耗したアースブロック 4 箇所とも交換 (無酸素銅)
CW/CCW ゾーン判定用 SW	要調整	位置調整実施
AZ レール部		
AZ レール点検、清掃	完了	ウェアストリップ防錆油塗布および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: 18 本 (すべて旧型ボルト) 折損。交換実施
AZ 駆動部		
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 モータの定期オーバーホール	実施	異常の無いことを確認
予備 AZ モータ分解、防錆処理	実施	2009 年 3 月購入の 2 台を実施
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
回転部		
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	
角度検出部		
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 (別途、AZ/EL エンコーダケーブル交換)
反射鏡部		
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 (別途、補修工事に対応した)
フィードコーンの目視点検、フィードトロリーの目視点検および動作点検	異常なし	フィードコーン内壁断熱材に割れ、はがれあり、接着補修
副反射鏡部 (地上に降ろした状態での点検を実施)		
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、ジョイントボックスの乾燥剤交換、プレート溶接部に割れあり、補修溶接実施、副反射鏡面下部の内部木材に腐食あり、交換が必要
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のボルト交換及び周辺部の補修塗装	実施	
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コンプレッサ	異常なし	2009 年 11 月に先行実施したため目視点検、清掃のみ実施
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 駆動部ガードバンパー、AZ 室タラップバンパー、反射鏡出入口ハッチ、EL アライン、ストーピン挿入確認) の点検確認	異常なし	

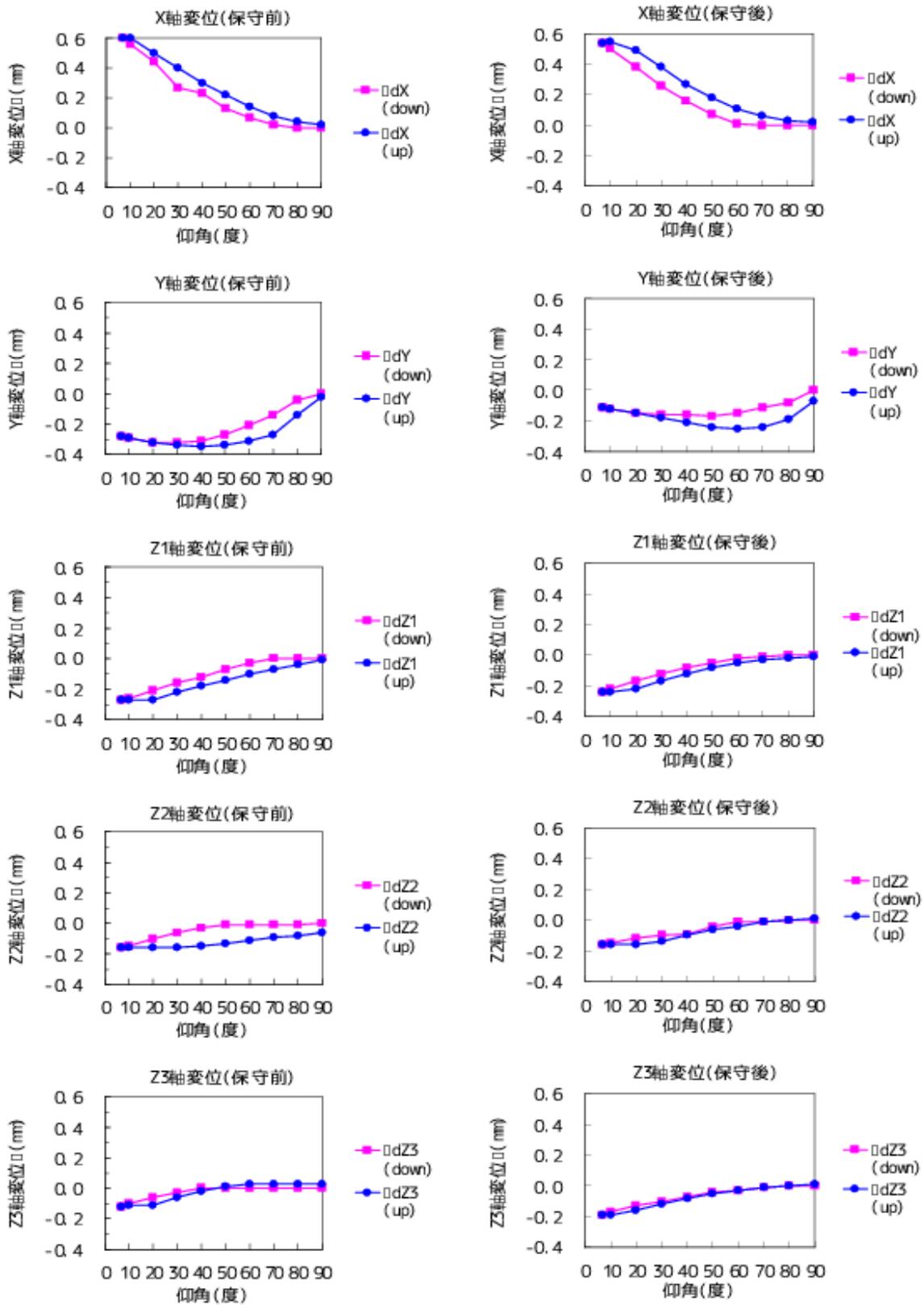


図 3.6: 副鏡保守前後の位置センサー読み取り値の状況。仰角を 90 度から 7 度に変化させ、また 90 度に戻した時の副鏡位置センサーの表示変位を示す。保守後は、保守前と同様な状態に戻っていることが確認できる。

### 3.3 2011年の補修作業と保守作業

#### 3.3.1 構造体錆落とし・補修作業 (2011/1/21-6/24)

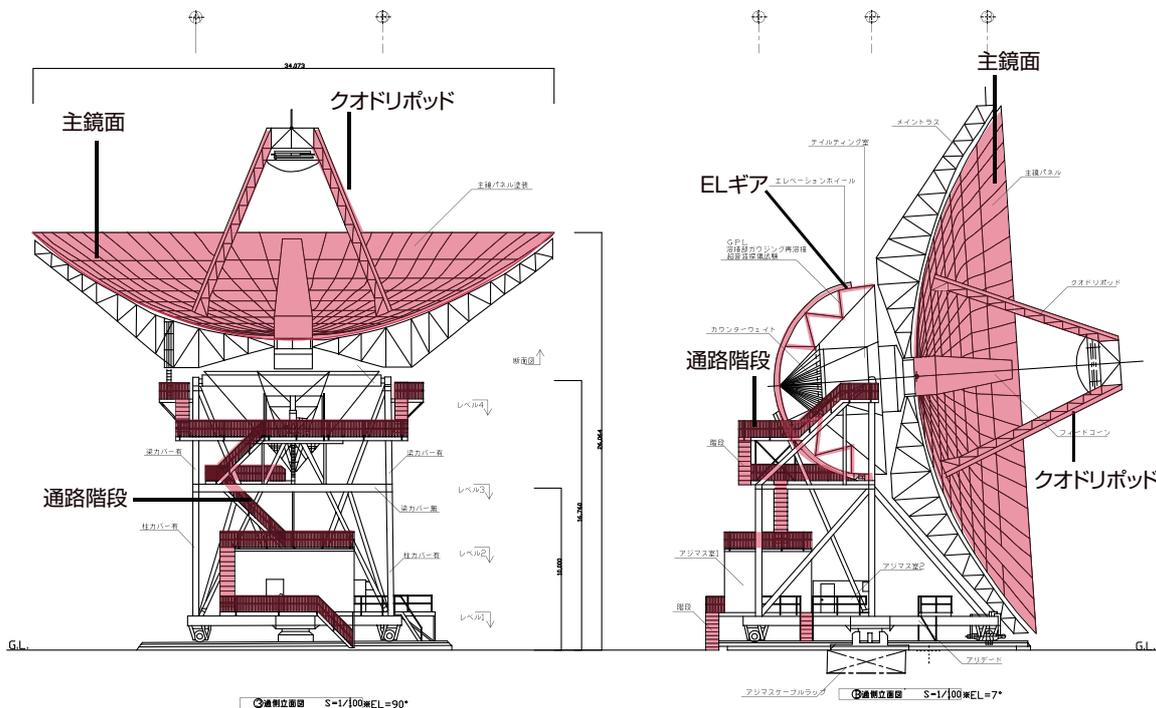


図 3.7: (左写真) クオドリポッドの支柱部分、主鏡面、アンテナ各所にアクセスするための通路、階段等の補修塗装等を 2011 年 1 月 21 日から 6 月 24 日に実施した。

34m アンテナの腐食が進行していたため、計画を前倒して図 3.7 に示す範囲を実施した。クオドリポッドの支柱部分、主鏡面、アンテナ各所にアクセスするための通路、階段等の補修塗装等を行った。この作業は 3 月末で完了する予定であったが、2011 年 3 月 11 日の東日本大震災の影響により作業が遅れ、6 月 24 日に完了した (図 3.8 ~ 図 3.10)。

#### 3.3.2 2011 年機械系保守作業

定期保守は 2010 年 (2 月 ~ 3 月に実施) 以降は予算の都合により定期的には実施できなくなったため、2011 年は機械系保守については表 3.2 の項目のみについてグリスアップ等を実施した。EL ギアについては年 4 回の程度の頻度でグリスアップすることが望ましいが、2011 年は 1 月から 6 月まで補修工事により運用がなかったため、後半に 2 回実施した。

CW/CCW ゾーン判定用スイッチ (クオドラントスイッチ) については設定角度の調整を行った。このスイッチのゾーン設定はアンテナ運用時間と共に CW 方向に約 0.03 度/時で移動する傾向があり、設定角度が大きすぎるとゾーンを誤判定してしまうため定期保守時に調整を行っていた。2010 年の定期保守 (2 月 ~ 3 月) 時に調整後、2010 年は夏季につくば 32m アンテナの代役観測を多数行ったため、2010 年 12 月 28 日にゾーン誤判定までの余裕角度を測定した所、残り 2.2 度、約 70 時間でゾーンを誤判定する恐れがあった。そこで、2011 年 1 月 4 日に CCW 方向へ約 60 度程度調整した。

受信機冷凍機の保守は専門業者 (鈴木商館) に依頼して実施した。使用頻度の高い L 帯、S/X 帯、K/Ka 帯は保守を行ったが、Q 帯は使用頻度が少ないため今回は実施しなかった。K/Ka 帯デューワーは通常冷却温度 16.4K より 1K 程度高くなるがあったが、今回の保守で図 3.11 に示すようにシールに摩耗が見つかった。シールを交換、保守後は安定して通常温度で冷却されるようになった。

2011 年 7 月に AZ/EL リミット動作確認を行っている時に AZ 捻回部のケーブルがスムーズに動かな

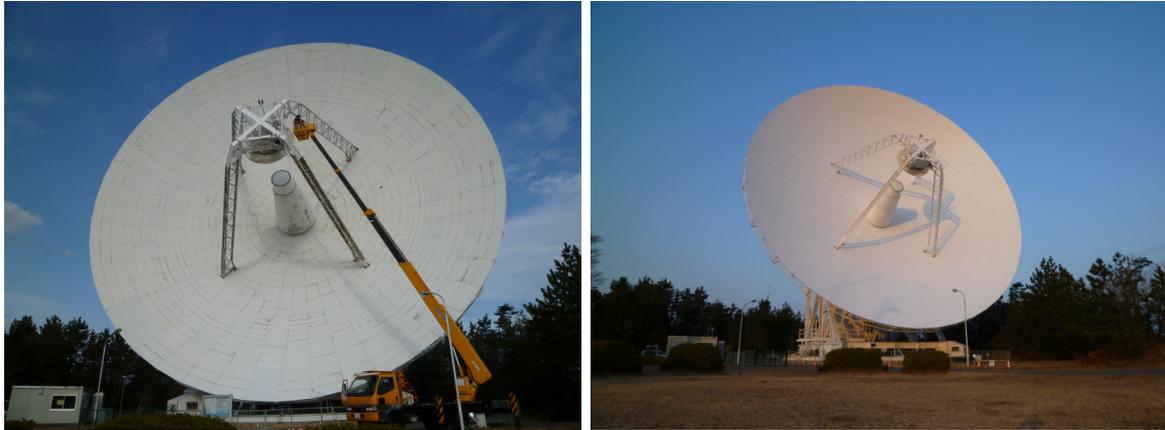


図 3.8: (左写真) クオドリポッドの支柱部分の補修塗装は高所作業車を用いて行った。主鏡面は水洗いが完了しているため白く見える。(右写真) クオドリポッド、主鏡面等の補修塗装が完了して真っ白になった 34m アンテナ。まだロゴは貼られていない。



図 3.9: (左写真) 階段、通路の補修塗装等ができるように足場を仮設、その回りに飛散防止用のメッシュシートを取り付けた。右側面が途中から張り出しているのは、EL ベアリングへの階段、ステージがあるためである。(右写真) 腐食していた階段の踏み板を撤去後、階段の側桁、手すり等を塗装後、溶融亜鉛メッキした踏み板を取り付けた。



図 3.10: 補修塗装等が完了して、主鏡面にはロゴが貼り付けられた。

表 3.2: 2011 年に行ったグリスアップ等の作業箇所

グリスアップ箇所	実施時期
副鏡リニアベアリング	8月9日
受信機トロリー	1月21日
EL ベアリング	8月6日
EL ギア	8月6日、12月15日
EL 減速機	11月
AZ ホイールベアリング、減速機	6月1台、11月3台
ピントルベアリング	8月6日
AZ/EL リミット	7月、8月30日
CW/CCW ゾーン判定用スイッチ	1月4日 角度調整
受信機冷凍機	2月10日 L、S/X、K/Kaの3台実施
AZ ケーブル捻回部	7月、8月30日

い等以下のような問題があることが分かった。

- アンテナ回転時にケーブルがスムーズに動かずに損傷する。
- AZ ケーブルラップ室の AZ インターロックケーブルが運用角度以内で切断する恐れがある。

そこで、2011年8月30日にケーブルをガイドするアイボルト頭部のリングが可動するように固定ナットをダブルナットに変更し、アイボルトが抜けないようにした。また、アイボルト及びその周辺のケーブルには配管工事等に使用される入線用潤滑剤（ケーブルスライダ）を塗布してケーブルがスムーズに動くようにした。

インターロックケーブルは張りを調整して、リミット角度以内では切断されないように設定した。



図 3.11: 冷凍機のシール。左が正常なシール。右が摩耗して一部が欠損しているシール。

### 3.4 駆動系トラブル・修理作業等 (2010-2011 年)

#### 3.4.1 ヘリウムコンプレッサの更新 (2010/2/16)

受信機を冷却するために使用しているヘリウムコンプレッサは 2 台をローテーションで使用している。鹿島 34m アンテナ 2008 年年次報告書 p.30 5.2.5 その他の故障/トラブル/修理の“ヘリウムコンプレッサの過熱”で報告しているように、しばしば過熱警報により停止したため、予備機に交換して使用していた。過熱するコンプレッサは 1997 年製造と古いため修理は行わないこととして、2010 年 2 月 16 日に更新した (図 3.12)。

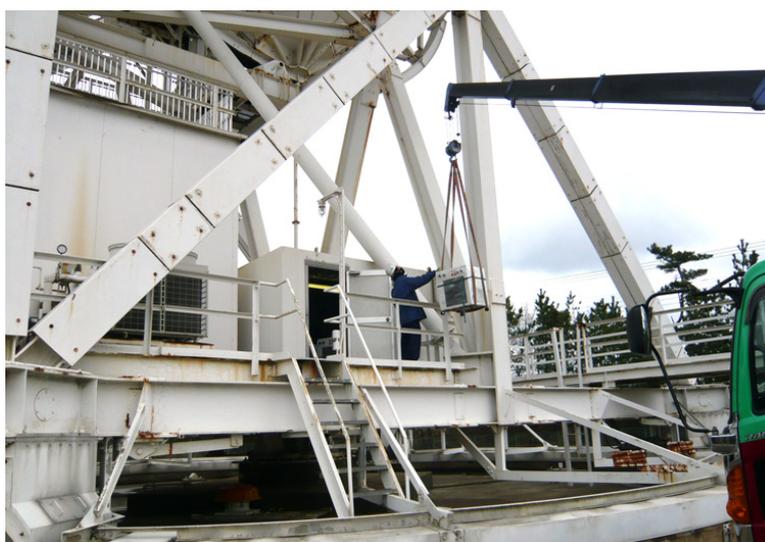


図 3.12: ヘリウムコンプレッサ更新。34m アンテナで使用しているヘリウムコンプレッサは重量 140kg のため、重機によりヘリウムコンプレッサ室へ搬入、設置した。

#### 3.4.2 ETR 空調系統の故障 (2010/4/7)

ストレーナー (フィルタ) の詰まり 受信機室を空調している ETR 空調は冷水配管系統に微少な漏れがあるため年に 1、2 回の割合で補水しながら使用してきた。冷水圧力が低下 (0.28MPa) してきたため、2010 年 4 月 7 日に補水後、圧縮機の冷却動作開始時に瞬間的に圧縮機が停止する現象が発生した。そこで、4 月 8 日に点検した所、冷水系統のストレーナー (フィルタ) の詰まりにより流量が低下、フロースイッチが流量低下を検出、圧縮機が停止することが分かった。ストレーナーを清掃したところ、正常な運転となり、復旧した。

電磁接触器の接点の溶着 (2010/5/13) ETR 空調用チラーの異音を 2010 年 5 月 13 日に発見、コントローラで停止操作を行っても異音が消えなかったため、ブレーカを切断した。調査した所、圧縮機用の電磁接触器の接点が溶着、圧縮機が連続運転となりチラー内の熱交換器内で冷水が凍結していた。自然解凍させて 5 月 14 日に電磁接触器を交換して復旧した。幸い、熱交換器は損傷しなかった。

### 3.4.3 エンコーダ接続ケーブルの予防交換

EL 角度エンコーダ光学ユニットとエンコーダ電気ユニットを接続する多心のケーブルは長年の屋外使用による劣化のため、ケーブルの割れ、電気ユニットが格納されている J-Box へ接続するコネクタの腐食、割れが発見されていた。角度信号はアンテナ制御に重要な信号であることと、コネクタピン数が 55 本の多心の屋外ケーブルであるため、故障時には暫定的な修理も難しく、またコネクタ等の入手にも長期を要することから、前年に用意した AZ/EL のエンコーダ接続ケーブルを 2010 年 7 月 22 日に予防交換した。交換後は、AZ/EL 共にビット飛び等の異常はなく正常に動作することを確認した。

### 3.4.4 EL モータ交換 (2010/8/27)

EL#2 モータの IOC (瞬時過電流) が発生したため、2010 年 8 月 19 日に点検した所、回転子コイル抵抗が一部で 0 付近を示した。そこで、8 月 27 日にモータを交換、IOC は発生しなくなった。回転子コイルの短絡は修理できないため交換となるが、2010 年は、駆動系更新の設計、モータを含む主要部品の購入を進めているため、EL モータの予備機は用意しないこととした。この結果、EL モータは予備機が無い状態となった。表 3.3、表 3.4 にそれぞれモータの保守履歴、交換履歴を示す。

表 3.3: AZ/EL モータ保守履歴 (2008 年以降)

AZ モータ ID	TL-8-506-WL 506	TL-8-502-WL 502	RN-8-40-WL 40	TL-8-500-WL 500	TL-8-501-WL 501	KB-8-44-MB	JB-8-103-MB
保守履歴	2008/8/27 OH 2008/10/16 納品 2008/10/17 AZ4	2008/6/24 修理 2008/8/27 納品 2008/8/27 AZ1	2008/6/24 Az1	2008/8/27 OH 2008/9/10 納品 2008/10/17 修理 2008/11/7 納品	2008/8/27 OH 2008/19/10 納品 2008/19/10 AZ3		
						2009/3/31 納品	2009/3/31 納品
	2010/2/19 OH 2010/3/12 AZ4	2010/2/19 OH 2010/3/12 AZ1	2010/2/19 OH 2010/3/19 納品	2010/2/19 AZ2	2010/2/19 OH 2010/3/12 AZ3	2010/2/19 防錆	2010/2/19 防錆 2010/3/19 納品
EL モータ ID	WL-8-325-WL 325	ZV-8-103-ZV 103	TP-8-71-TP 71				
保守履歴	2008/8/27 OH 2008/10/16 納品	2008/8/27 EL1	2008/8/27 OH 2008/9/10 納品 2008/9/10 EL2				
	2010/2/19 EL2	2010/2/19 OH 2010/3/12 EL1	2010/2/19 OH 2010/3/19 納品				
	2010/8/27 故障		2010/8/27 EL2				

### 3.4.5 AZ レールボルトの点検 (2010/12/1)

定期保守が 2010 年 3 月に終了後、2010 年は通常の IVS 観測等に加えて、つくば 32m アンテナの代役観測を多数行ったこともあるため、AZ レールボルトの点検を 2010 年 12 月 1 日に実施した。その結果、全周で 10 本の折損が確認された。2011 年 3 月 11 日の震災の影響により 2011 年 1 月から開始されたアンテナ構造体の錆落とし補修工事が 6 月末まで伸びたため、交換は 3.4.13AZ レールボルトの交換 (2011/8-9) で述べているように 2011 年 8 月頃に行った。

表 3.4: 34m 駆動モータ交換履歴

場所 時期/ID	AZ1	AZ2	AZ3	AZ4	AZ 予備 1	AZ 予備 2	AZ 予備 3	EL1	EL2	EL 予備 1	備考
2005/07/20	506	502	040	500	501			325	103	071	定期保守
2006/09/15	↓	↓	501	↓	040			↓	↓	↓	AZ3 交換
2006/12/21	040	↓	↓	↓	506			↓	071	103	定期保守
2007/11/16	506	↓	↓	↓	040			↓	↓	↓	AZ1 交換
2008/06/24	↓	040	↓	↓	502 修理			↓	↓	↓	AZ2 交換
2008/08/27	502	↓	501 OH	500 OH	506 OH			103	071 OH	EL325 OH	定期保守
2008/09/10	↓	↓	501	500				↓	071		定期保守
2008/10/16	↓	↓	↓	↓	506 納品			↓	↓	325 納品	
2008/10/17	↓	↓	↓	506	500 修理			↓	↓	↓	AZ4 交換
2008/11/07	↓	↓	↓	↓	500 納品			↓	↓	↓	
2009/3/31	↓	↓	↓	↓		044 購入	103 購入	↓	↓	↓	予備購入
2010/2/19	なし	500	なし	なし		044 防錆	103 防錆	なし	325		定期保守
2010/3/12	502	↓	501	506				103	↓		定期保守
2010/3/19	↓	↓	↓	↓	040 納品	044 納品	103 納品	↓	↓	701 納品	定期保守
2010/8/27	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	071	なし	325 故障

#### 3.4.6 L 帯 IF アンプの故障・発振

L 帯受信機出力に強力な不要信号が発生、本来の受信帯域の信号が抑圧され、正常に出力されなくなったため調査した所、ダウンコンバータ内にある IF アンプの発振が原因と分かり、同アンプの交換により復旧した。

#### 3.4.7 トロリー制御不良 (2010/12/11)

設備点検のための計画停電から復電後の 2010 年 12 月 11 日、観測準備中に受信機トロリーの制御不良が発見された。調査した所、トロリー制御を行うバンドインターチェンジドライブキャビネット内にある三相電源の相回転誤接続検知リレーが長年の使用により劣化、故障したためと判明した。リレー出力端子をジャンパーしてトロリー駆動を復旧した。同型リレーを探して手配し修理を行う予定である。

#### 3.4.8 AZ#4 モータの TachLoss/OverSpeed 点検 (2010/12/19)

運用者から 2010 年 12 月 19 日、AZ#4 モータで TachLoss/OverSpeed のエラーが発生するとの報告があったため、12 月 20 日に点検した所、モータブラシが固着して整流子と正常に接触していなかった。ブラシホルダーとブラシを清掃後、エラーは発生しなくなり、モータは正常に動作することを確認した。

#### 3.4.9 地震後の故障箇所と修理工事

2011 年 3 月 11 日の東日本大震災で完了が延びていた主鏡等改修工事終了後、各所の点検を行い、以下のような問題があることが分かった。

建築 EL ホイール支柱の補修、土間コンクリートの沈下等

電気 ケーブル損傷、配管の脱落等

設備 受信機空調の配管脱落、故障等

受信機制御系 受信機制御系の計算機が地震により影響を受け、動作不良となった。

AZ レール、及び AZ ホイール 34m アンテナステータス、2.4.4 の中の AZ 角に依存した能率低下の調査で述べているように AZ レールに段差が生じており、指向性精度に影響が生じたほか、AZ ホイールの走行面に重大な損傷が見つかり、アンテナの運用が全く出来なくなってしまった。

受信機制御系の修理作業は、2011年度内の契約により進行中である。空調設備やELホイール、土間コンクリートなどの修繕に関しては2011年8月9日に工事設計契約による調査と、その結果に基づいた修理工事の入札公告を11月10日に行ったが、応札者がいなかったため、2012年に鹿島宇宙技術センターのその他の震災被害と合わせた工事の入札公告を行い工事を予定している。またAZレール、AZホイールに関する修理は、米国技術者による現場調査を2012年3月に予定しており、2012年度内の修理に向けて対応中である。

#### 3.4.10 AZ#3 DCPA の故障 (2011/7/5)

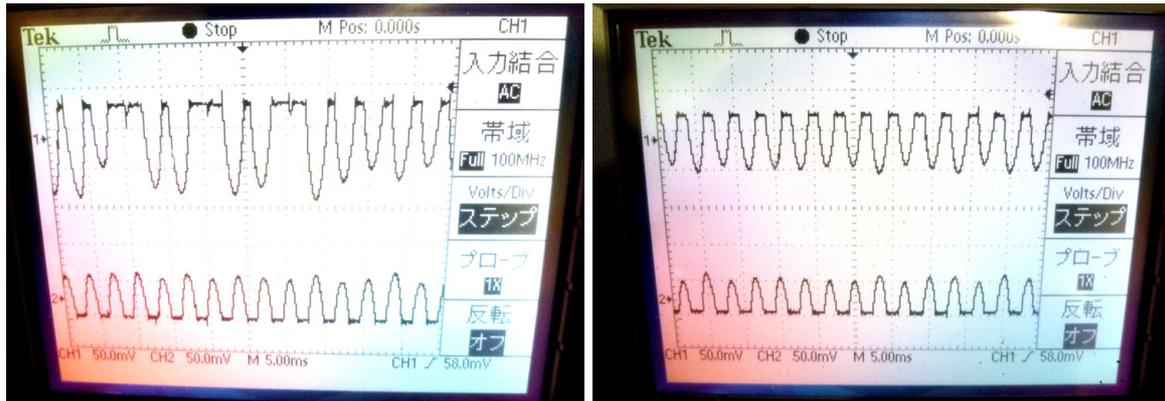


図 3.13: (左写真)故障した DCPA の電流波形。上が故障した AZ#3、下が正常な AZ#4 の電流モニターの波形である。三相交流を全波整流しているため 6 個の山で交流 1 周期分となる。AZ#3 の電流は一部で流れなかったり、小さくなっており動作が不安定となっていた。AZ#4 は各相の電流がほぼ同じ大きさで流れている。(右写真)DCPA 交換後の電流波形。上が AZ#3、下が AZ#4 の電流モニターの波形である。AZ#3 の電流も AZ#4 と同様に各相の電流がほぼ同じ大きさで流れるようになった。AZ#3 と AZ#4 の電流極性が反対となっているのは両モータは対向して取り付けられており、他方は逆回転となるためである。

動作確認中に AZ#3 モータから異音があったため、2011年7月5日に点検した所、DCPA(S/N 130)の電流波形に異常があった。DCPA は三相交流をサイリスタにより整流しているが図 3.13(左)に示すように AZ#3 モータの電流に異常が見られた。そこで、DCPA を予備機 (S/N 131) に交換し、DCPA のパラメータをマニュアルに従って調整したところ、図 3.13(右)に示すように電流は均一に流れて正常に動作するようになり、モータの異音もなくなった。故障した DCPA をチェックした所、サイリスタ、制御用の Firing 基板は正常であったので、SCR INTERFACE ASSEMBLY 故障の可能性が高い。しかし、駆動系更新を計画しているため、DCPA の修理は行わないこととした。この結果、正常動作する予備 AZ 用 DCPA はなくなった。

#### 3.4.11 ストーアラインスイッチ修理 (2011/8/8)

34m アンテナの EL 軸ストープピンが挿入できる位置にあることを検出するためにストーアラインスイッチがある。地震後の点検で図 3.14 左写真に示すように通常動かない方向に動いたため、破損していることが分かった。そこで、その他の修理と合わせて、2011年8月8日にスイッチを交換・調整を行い、ストープピンの正しい挿入位置の検出ができるようになった(図 3.14 右)。



図 3.14: (左写真) 破損したストアラインスイッチ。 アンテナ EL 駆動時には前後にピンが動くが、地震時には通常動かない左右に動いたため、ストアライン検出用スイッチのローラプランジャ形のアクチュエータ部分が破損した。(右写真) 交換後のストアラインスイッチ。 正しいストアピン挿入位置直前の状態である。EL 軸が回転、上部のボルトがもう少し左に動くときアクチュエータが押され、封入されたマイクロスイッチが動作する。

#### 3.4.12 副反射鏡駆動機構等の点検、修理 (2011/8/24)

副反射鏡リニアベアリングのグリスアップと共に駆動機構等の点検を 2011 年 8 月 9 日に行った。その結果、以下のような不具合が見つかった。

- Z1 軸の位置読み取り装置固定部が少し緩んでおり、左右に動いてしまう。
- Z3 軸の位置読み取り装置固定部が大きく緩んでおり、読み取り値が変化しない。
- ウェザーシール (アクチュエータの保護用蛇腹) に 10 箇所程度の破れあり。
- X 軸アクチュエータとプレート固定ボルトのナット脱落

修理部品等の準備を行い、2011 年 8 月 24 日から 26 日に点検、修理を行った。その際に発見した不具合等も含め以下の修理、処置を行った。

- 位置読み取り装置 (LVDT) 点検修理:
  - X 軸 点検、良好
  - Y 軸 点検、良好
  - Z1 軸 センサー延長ロッド折損、交換、芯出し、固定ボルト増し締め
  - Z2 軸 センサー延長ロッド歪み、交換、芯出し、固定ボルト増し締め
  - Z3 軸 センサー延長ロッド折損、交換、芯出し、固定ボルト増し締め
- X 軸アクチュエータとプレート固定: ボルト、ナット等を交換、固定。
- Z 軸リニアベアリング固定部の緩み: 2 個増し締めを行った。
- 位置読み取り装置ウェザーシール簡易補修: シールプライマー塗布後、耐候性に優れたシリコンコークにて穴埋め。

位置センサーを交換、取り付け部の増し締めを行ったため、リミット位置の確認を行い、Z1、Z3 軸についてはリミット位置の調整を行った。Z2 軸の延長ロッドは、歪みが見られたためロッドを交換した。Z 軸リニアベアリングは点検中に緩みが見つかったため、増し締めを行った。ウェザーシールについては部品調達に時間がかかるため、シリコンコークによる簡易補修とした。

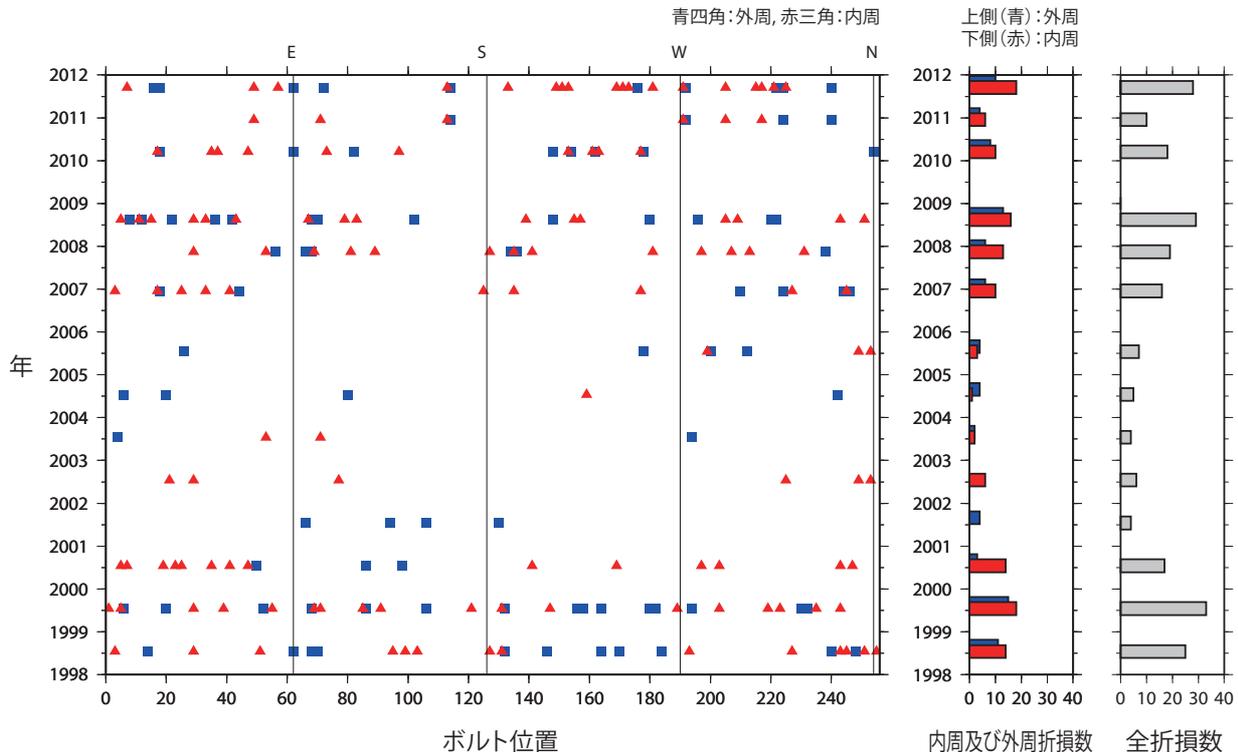


図 3.15: AZ レールボルト折損の経年変化

駆動時、Z1 軸、Z3 軸の減速機付近、また X 軸、Z 軸駆動時にリニアベアリング付近から異音があった。副反射鏡の駆動機構は地上に降ろさないと保守できない部分があるため、準備を開始したが、リニアベアリングが製造中止となり、同等品の調査中である。

### 3.4.13 AZ レールボルトの交換 (2011/8-9)

AZ リミット点検中の 2011 年 8 月 8 日にレール接合部の内、レールボルトが折損している箇所は異音が大きくなっていることに気がついた。AZ レールボルトは、2010 年 12 月 1 日の点検で折損 10 本を確認していた。2011 年 1 月から補修工事を開始して地震の影響で工事が延長となり、6 月末まで運用できなかったことから 12 月以降の運用は少なく、レールボルトの交換は 10 本+ を想定して 2011 年 8 月 22 日、23 日の予定でボルトの点検、交換を実施した。ところが 8 月 22 日に作業を開始したところ、ボルトの点検で新たな折損 3 本、既折損 3 本を交換、23 日に 4 本を交換、AZ レールの四分の一の周りで 10 本の折損を交換<sup>5</sup>することになってしまった。図 3.16 に折損する旧ボルトと首の部分を強化した新ボルトを示す。また、従来は頭部が折損したボルトは折損して残ったボルトにナットを溶接、回転して抜くことができたが、今回は多くのボルトで溶接したナットが取れてしまい、従来の方法では抜けない間

<sup>5</sup>8/23 当時のメモ：3.4 m AZ レールボルト点検交換 レール表面に地震時に移動したと思われる跡があった。最大 1 cm 程度。昨夕から抜けないボルト 1 本は 2010 年 12 月確認の既折損ボルト。折損ボルトに 5 回程度溶接したが抜けないボルト 1 本は小型ボール盤を設置、内部をくりぬいて撤去した。なお、このボルトはベースプレートとウェアストリップの穴が偏心して新型ボルトの頭が使えて入らなかったため、旧来の座金が少し小さい皿ネジタイプのボルトで固定した。23 日は 4 本の内、どうしても 1 本が入らず、撤収。この二日間で結局、折れたボルト 10 本を抜いて、新しくボルト 9 本を入れた。2 日間で AZ 角度約 90 度 (1/4) しか回していない状況で 10 本折損しており、単純計算で全周では 40 本程度のボルト折損がある計算になる。



図 3.16: (左写真) 折損ボルトと新ボルト。 左から、折損したボルト、折損する旧ボルト、折損する首の部分を強化した新ボルトである。(右写真) 折損したボルトをドリルで除去中。 AZ レール上に磁気吸着ボール盤を設置、折れて残ったボルトをドリルでくりぬいた。ボルトは固いため、小さいドリルから徐々に太くして穴を大きくした。また通常のドリルは歯がすぐに鈍るため、現場で歯の研磨も繰り返した。途中から超硬ドリルを使用した。

題が発生した。そこで、磁気吸着でドリルを鋼板に固定できる磁気吸着ボール盤を使用してボルトをくりぬき取り除くこととした(図 3.16)。ボルトは固いため細いドリルから徐々に太くして作業を繰り返すため、従来より大幅な手間の増加となった。残りのボルト点検、折損ボルトの交換は、9月12日から14日と9月20日から22日に再度実施して折損ボルト31本を交換した。その後、9月27日にレール面の清掃、ユウレカ塗布を行った。

図 3.17 に AZ レールボルトの配置を、図 3.15 にボルト折損の経年変化を示す。ボルトは首の部分で折損するため 2000 年から首の部分強化したボルト(図 3.16)を使用した。内周と外周、ボルト配置による折損傾向に大きな違いは見られない。

運用状況を時間数で計数を開始した 2004 年から 2011 年までの運用時間を図 3.18 に、前年の運用時間と AZ レールボルト折損数の関係を図 3.18 示す。運用しない場合は折損は 0 となると仮定して求めた近似曲線もプロットした。ただし、地震のあった 2011 年(図中の三角)は計算から除外した。この図からボルト折損には前年の運用時間との相関が見られる。ところが、地震後のボルト交換では 1543 時間の運用に対して 28 本の折損(図中の三角)があり通常より多い。2010 年 12 月のレールボルト点検(未交換)では、折損が 10 本確認されていた。点検後から 2011 年 3 月の地震までの運用時間は 290 時間であり、この運用期間中に 18 本(図中の四角)が折損したことになる。これは 1500 時間程度の運用時間数に相当する本数であり、通常の 20% 程度の運用時間で折損していることから、地震動が大きく影響したと考えられる。

#### 3.4.14 AZ#2 駆動モータ回転不良 (2011/9/1)

アンテナ動作確認中にモータ回転不良を意味する Tachloss/Overspeed の警告が AZ#2 の DCPA で 2011 年 9 月 1 日に発生した。駆動モータのブラシを点検した所、右側ブラシがブラシホルダーに固着、接触していないことが判明した。また、新品ブラシでは長い辺の長さ 38mm が摩耗して 32mm となっていたため、ブラシを交換した。ブラシがスムーズに動くことを確認、Tachloss/Overspeed の警告は発生しなくなった。

#### 3.4.15 AZ 軸駆動速度の調整 (2011/9/28)

AZ 捻回部の調整等を別項で述べたように 2011 年 8 月 30 日に実施後、AZ 駆動範囲の全周を使用したアンテナ動作試験を行っていたが、AZ ホイールが AZ レール接合部通過時に異音、衝撃が従来より

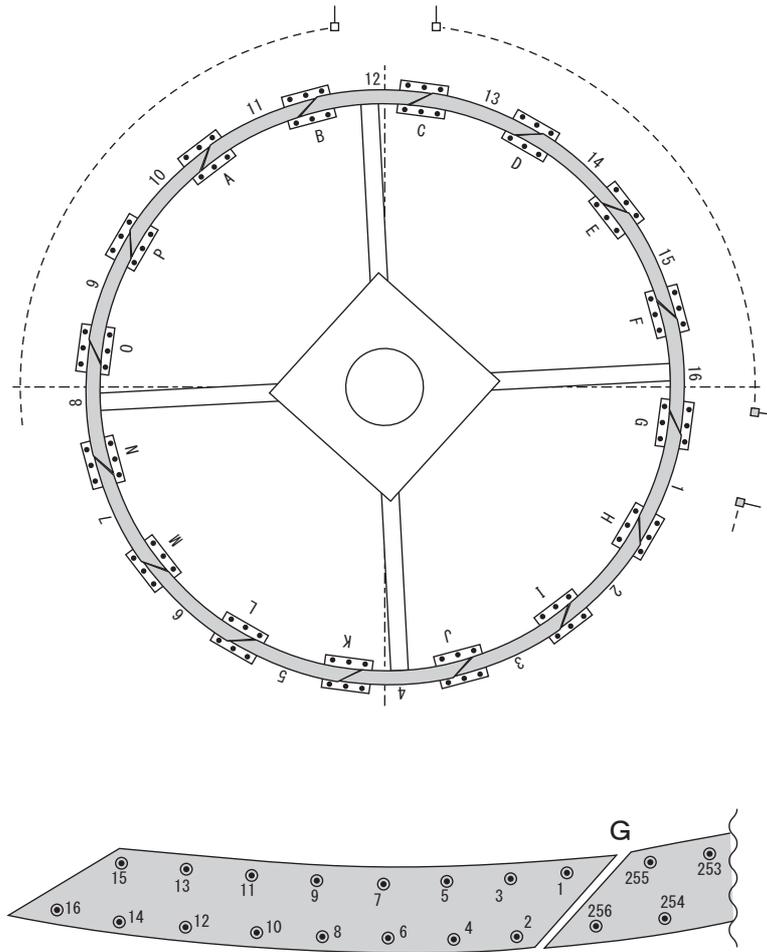


図 3.17: AZ ボルトとレールの定義図 AZ レールは 1 枚の長さが約 4m のレールが 16 枚接合されている。接合部は A から P の記号を付与している。接合部 G から時計回りにレール番号 1 から 16 まで付与している。レール番号 16 が北方向である。ボルト番号はレール 1 の内側を 1、外側を 2 として時計方向回りに付与しており、全部で 256 本のボルトがある。

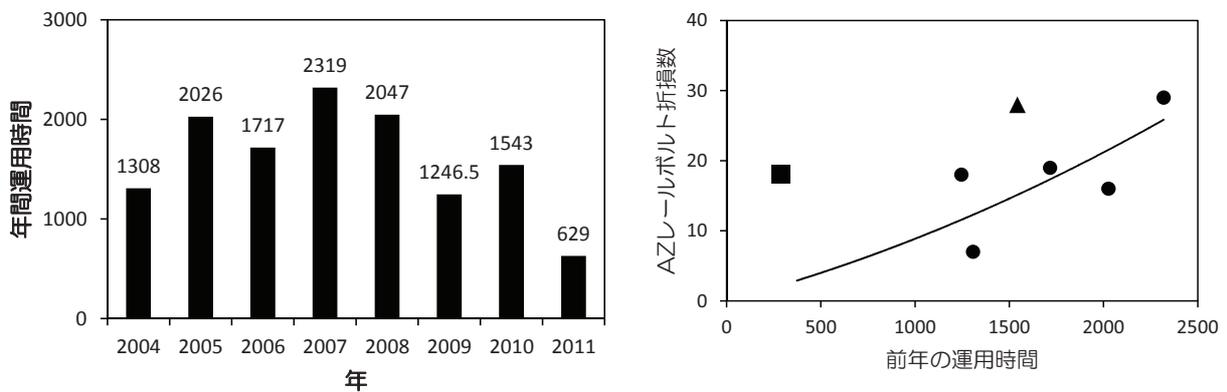


図 3.18: 34m アンテナの年間運用時間 (左図)。前年の運用時間と AZ レールボルトの折損数 (右図)。2005 年から 2011 年の折損数と前年の運用時間数をプロットした。ただし、2009 年は保守間隔の都合から交換がなかったため、プロットしていない。運用時間が 0 ならば折損も 0 と仮定して近似曲線も示している。ただし、地震に関連している三角と四角のデータは除外した。四角は地震前の運用 290 時間で 18 本が折損していることを示しており、地震動が大きく影響したと考えられる。



図 3.19: AZ エンコーダ軸固定部の緩み。四角い箱とエンコーダが固定され、その下のシャフトが地上側の基準軸で、エンコーダ中心にある回転部と接続されている。エンコーダとシャフトの固定部に僅かな緩みがあったため、増し締めした。地上側基準軸は地下室から約 6.6m ほど高さのある自立柱のため、地震動で大きく揺らされたためこの緩みが生じたと推測される。

大きくなったようであったので 2011 年 9 月 28 日に従来の駆動速度 0.8 度/秒から 0.7/秒へ下げた。これにより異音、衝撃は従来程度となった。

#### 3.4.16 AZ エンコーダの固定部の緩み (2011/10)

地震後初めての軸較正観測を 2011 年 10 月 7 日に鹿児島大学の協力を得て実施したところ、X 帯の AZ 残差が従来値 (0.004 度弱) をはるかに上回り、4 倍近い 0.015 度という結果となった。この原因について調査した結果、AZ エンコーダ軸の固定部分での緩みが認められ、10 月 17 日にこれを増し締めして再固定した結果 AZ 残差 RMS が 0.005 度と改善した。図 3.19 に AZ エンコーダと地上側基準軸を示す。

#### 3.4.17 AZ 軸角度飛び (2011/12/7)

EL 減速機取り付け後のアンテナ動作確認中の 2011 年 12 月 7 日に AZ 角度の飛びが発見された。ACU 内の角度信号モニター LED で現象を確認した所、角度が大きくなる時に 6 ビット目が消灯して 7 ビット目が点灯しなければならないところ、6 ビット目と 7 ビット目が同時に点灯していることが確認された。そこで、以下の確認作業を 12 月 8 日に行った。

- ACU での AZ/EL 角度信号入れ替え: AZ 角度信号を ACU の EL 側に入れた所、EL 側が同様な表示となった。
- AZ エンコーダ電気ユニットの電源電圧 ( $6V \pm 0.1V$ ) の確認: AZ エンコーダジャンクションボックス内にある電源電圧を確認、PS1:5.95V、PS2:5.98V で問題なかった。
- エンコーダ電気ユニットの交換: 電気ユニットを交換したが、現象に変化はなかった。
- 予備エンコーダ光学ユニットの接続試験: 予備光学ユニットを電気ユニットに接続、光学ユニットを手でゆっくり回転させてテストを図 3.20 のように行ったが、角度飛びは発生しなかった。

そこで、エンコーダ光学ユニットを予備品に交換した。交換前後のエンコーダ光学ユニットを図 3.21 に示す。交換後の光学ユニットは高さが 2 倍になっているが、これは製造中止により同等機能を有する代替機を入手していたためである。交換後、角度飛びはなくなり、電気ユニットで角度オフセットを調整して復旧した。



図 3.20: 予備エンコーダ光学ユニットでの動作試験。電気ユニットに予備のエンコーダ光学ユニットを接続、エンコーダ軸に 1.5m のアルミ棒を取り付け手でゆっくり回転させてテストを行い、角度飛びが発生しないことを確認した。



図 3.21: (左写真) 交換前の AZ エンコーダ光学ユニット (S/N 4195)。取り付け箱の中の円柱形が光学ユニットで、その下は地上側基準軸である。(右写真) 交換後の AZ エンコーダ光学ユニット (S/N 062248)。同型が入手できなかったため、同等品として入手した予備機は高さが 2 倍となったが、どうにか収納箱に納められた。

#### 3.4.18 駆動モータ過電流 (2011/10-12)

駆動モータ用の DCPA で瞬時過電流 (IOC) が時々発生するため、モータブラシの点検を 2011 年 10 月 21 日 (AZ#1、AZ#2)、11 月 15 日 (AZ#1)、11 月 18 日 (AZ#1、AZ#2) に行ったが、ブラシ表面は鏡面ようになっており、接触に問題は見つからなかった。しかし、別項の 22GHz 帯の開口能率低下で AZ レール接合部の問題が指摘されたため、2011 年 12 月 21 日に AZ#1 の駆動モータ電流をクランプ電流計で測定した所、レール接合部の通過時には 10A 以上が流れており、実際に過電流となっていた。従来はクランプ電流計による測定で数 A が流れている程度であった。AZ レールについては 34m アンテナステータス、2.4.4 の中の AZ 角に依存した能率低下の調査で述べているように調査を行った。

#### 3.4.19 受信機ステータス取得用バスエクステンダー故障 (2011/12/5)

34m アンテナ受信機の温度等のステータス取得では、計測器の接続に GPIB を使用しているが、観測室と受信機室間は 110m 程度あるため、RS422 信号による GPIB バスエクステンダーを使用している。アンテナ点検中の 2011 年 12 月 5 日に受信機温度等のステータス取得不良が発見されたため調査し

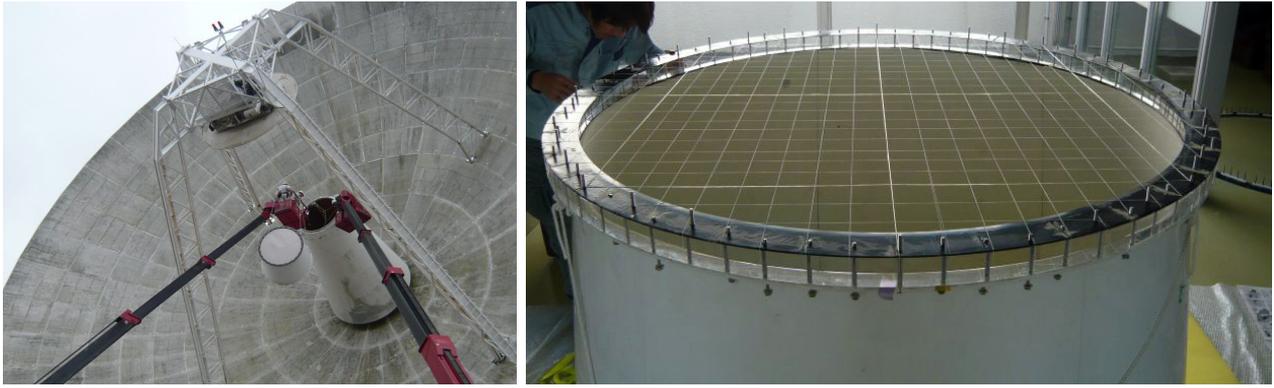


図 3.22: フィドーム膜の交換。フィドームをフィードコーン頂部と共に高所作業車で取り外した (左写真)。フィードコーン頂部に PTFE 糸をメッシュ状に取り付けてフィドーム膜材 GORE-TEX の内側への膨らみを防止した。フィードコーン頂部にフィドームを固定後、取り外し時と同様に高所作業車を使用してアンテナに取り付けた (右写真)。

た所、 GPIB バスエクステンダーが正常に通信していなかったため、バスエクステンダー一式を予備機と交換、受信機温度等のステータス取得は復旧した。この交換でバスエクステンダーの予備はなくなったが、受信機ステータス取得も含めた受信機制御系の交換を予定していることからバスエクステンダーの予備は準備しないこととした。

#### 3.4.20 34m フィドーム交換について (2009 年～2010 年)

1. はじめに 34m アンテナのフィドームは、鹿島 34m アンテナ 2009 年 年次報告書 “ 5.2 フィドームの交換 ” で述べたように使用した膜材 ECOTEX1200 の吸湿によりシステム雑音温度が上昇してしまう問題が分かったため、浸水しても表面が乾燥すると電波特性が回復する特性の GORE-TEX を使用したフィドームに交換を行った。その後、漏気の問題が発生したが、塗料を塗布することでフィドームは膨らむようになった。

2. フィドーム膜の再交換 フィドーム膜の交換に使用した内幕の膜材 ECOTEX1200 の吸湿によりシステム雑音温度が上昇してしまう問題が分かったため、2010 年 1 月 29 日～30 日、外膜は従来と同じ FGT-600、内幕は GORE-TEX(RA7956) を使用したフィドームと交換した (図 3.22)。

GORE-TEX で作った膜は伸びが大きいため、デハイドレータによる乾燥空気の注入 (300Pa 程度) により膨張することが予想された。受信機を交換して観測周波数を変える 34m アンテナでは、L 帯や S/X 帯の大型フィードホーンを持つ受信機はフィードホーン前面がフィドーム膜直下までせり上がっていくため、フィドーム膜 (内側 GORE-TEX) が膨張してフィードホーンと接触することを防ぐ必要がある。2009 年のフィドーム交換工事で、フィドームを固定するアクリル製の枠を 5cm 厚いものにしてフィードホーンとの接触を避ける工夫を行っているが、今回 GORE-TEX は更に膨張することが予想されたため、これを抑えるためにフィドーム膜の固定ボルトの間隔 (約 5～7cm 程度) で糸を張り、膨張を抑えるメッシュを作って対処した。糸はポリアリレート繊維 (ベクトラン) と四フッ化エチレン樹脂 (PTFE) の電波透過損失を計測、いずれもほとんど損失はなかったが、ベクトランはわずかに吸水性があり、その点 PTFE は吸水性がない。前回水分を吸収して ECOTEX1200 に問題が生じたことを考慮して PTFE の糸を使用して、メッシュを作成した (図 3.22)。

3. フィドーム膜の漏気対策 フィドームをアンテナに取り付け後、フィドームが正常に膨らまないことが判明した (図 3.23)。そこで、膨らまない原因を検討、以下の可能性が考えられた。

1. 工場出荷以降、フィドーム本体への設置までに膜体が破損し、空気が漏れているため、膨らまない。
2. デハイドレータの乾燥空気給気量に対し、内膜（GORE-TEX 膜）自体の空気透過量が上回っているため、膨らまない。

前者については、工場での漏気検査、鹿島センターでのフィドーム膜のフィードコーン頂部への取り付け後の漏気検査は行っているが、いずれもデハイドレータより大出力コンプレッサを使用した。鹿島センターでのフィドーム膜の取り付け時に膜へ加工を行っているため、溶着部の剥がれ、ボルト穴あけの際の位置ずれなどによる微少の漏気が考えられた。しかし、製造、鹿島センターでの加工については可能性が低いと考え、後者の乾燥空気供給量の問題を検討した結果、以下のように GORE-TEX 膜材からの通気が乾燥空気供給量より大きいことが考えられた。

GORE-TEX の通気量は、0.1 ミリリットル/cm<sup>2</sup>/秒以下（内圧 125Pa 時）というデータしか入手できなかった。これを直径 1.5m のフィドーム面積に換算すると 約 106 リットル/分以下である。デハイドレータはフィドームの他に各受信機のフィードホーン、導波管へも乾燥空気を供給しているが、フィドームへの乾燥空気供給量は測定の結果、約 1 リットル/分と判明した。GORE-TEX の微量の通気量に関しては不明であるが、デハイドレータより 3~4 倍高い圧力（約 410Pa）を持つ二重反転ファン式送風機を組み立て、送気した所、約 30 分でフィドームが膨らんだことから、膜材からの漏気の可能性が高いとして、膜材の漏気対策を検討、実施した。

漏気対策はシリコン等も検討したが薄く均一に塗布できることを考え、塗料を検討した。塗料選定に当たり、溶剤塗料は GORE-TEX が縮む問題があるため除外した。そして耐候性に優れ、かつ、電波の減衰が少ない塗料を選定するため、金属を原料とする顔料を含まない塗料としてクリアー塗料を数種類候補としたが、メーカーは塗料の詳細成分を公表していないこと、また電波の減衰特性は測定されていないため、情報通信研究機構 電磁波計測研究所 電磁環境研究室 (<http://emc.nict.go.jp/>) が開発した 2 焦点型扁平空洞 (DFFC: Dual Focus Flat Cavity) を用いた。シート状の電磁シールド材のシールド効果測定法により GORE-TEX に塗装した幕材の減衰を測定した。同測定法は、マイクロ波帯におけるシート状の電磁シールド材のシールド効果測定を行うために開発されたものであり、同研究室 EMC グループの協力を得て減衰を測定した。前述のメッシュ用の糸の選定では電波暗室で送受信アンテナを十分カバーする大きな試料（約 50cm × 30cm）を作成、複数の送受信アンテナを交換して減衰を測定していたが、DFFC を用いた測定法では一度の測定で可能である。また、試料の大きさも 200mm × 20mm 程度と比較的小さな試料で測定可能である。測定の結果、減衰の最も少ない水系ダイヤモンドセラミック クリヤーを選定した。そして塗料を 2010 年 9 月 3 日、GORE-TEX 幕にハケ塗りにより 2 回塗布した後、フィドームは図 3.23 に示すように正常に膨らむようになった。フィドームが膨らまない原因は GORE-TEX 幕からの微少漏れに対してデハイドレータからの供給が不足したことであった。塗料を塗布後、約 1 年半経過した 2012 年 4 月現在もフィドームは正常に膨らんでいる。

なお、フィドーム吸湿対策を検討した 2009 年後半は、ECOTEX1200 の吸湿対策が難しかったため 34m アンテナでは GORE-TEX を使用した。その後、メーカーで吸湿対策ができたとのことで、ECOTEX1200 の吸湿による減衰の増加はなくなった模様である。

#### 3.4.21 未解決課題

以下のような問題が未解決の問題として残っている。

- X-wide 系、S 帯受信機出力異常:
- 超伝導フィルタの冷却器性能低下: 地震により延期された主鏡等改修工事後、各所の点検を行っていたが、2011 年 7 月 28 日に S 帯受信機、HTS フィルタに通電して点検した所、HTS フィルタが設定の 70K まで冷却されないことが判明した。冷却は 80K 程度であるが、フィルターとしては動作していたため、試験観測は行うことができた。9 月 6 日には約 78K と 2K 下がっていたが、2011 年の年末年始休暇の間にエラーで停止していた。受信機室の室温が低いいため年始めに HTS



図 3.23: フィードコーン頂部をアンテナに取り付け後、デハイドレータからフィドームに送気したがフィドームが膨らまない (左写真)。GORE-TEX 膜材に塗装後、膨らむようになったフィドーム (右写真)。

フィルタを起動後、70K まで冷却されたが、2003 年 5 月に設置してから冷凍機は定期的な保守をせず 10 年間連続使用しており冷却性能が低下してきているため、代替策を検討している。

### 3.5 34m アンテナ駆動系の更新に向けた検討

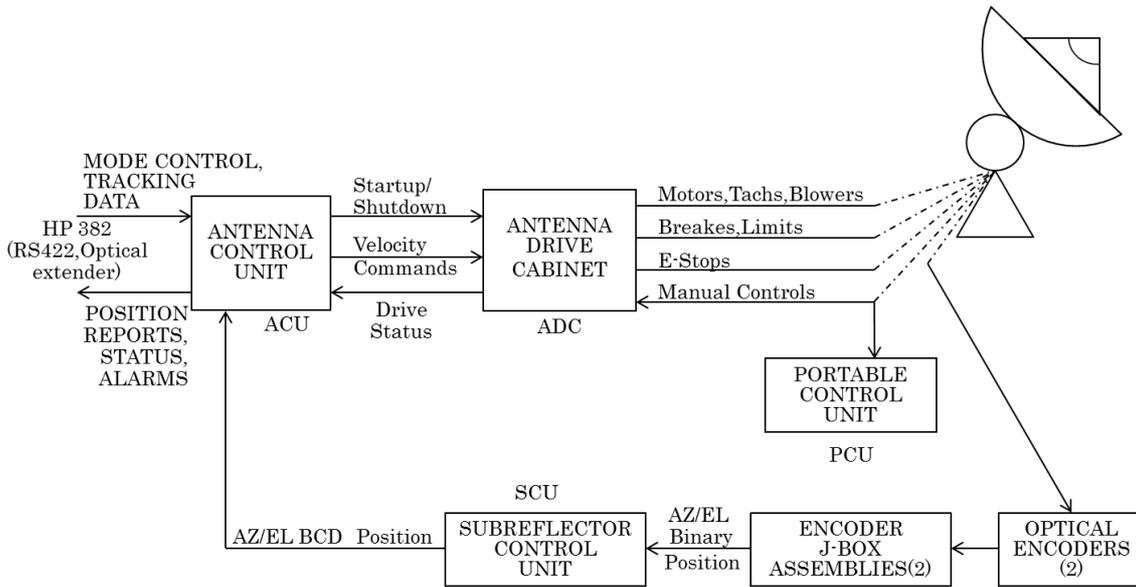


図 3.24: 34m アンテナのオリジナルの制御系ブロックダイアグラム。

34m アンテナは 1987 年度製造、2011 年においては製造後、24 年が経過している。電気系装置に関しては主要な部品、つまり ACU、制御系ロジックボード、DCPA、エンコーダ光学ユニット、エンコーダ電気ユニット、駆動モータ等の予備品を順次、米国メーカから購入、更新してきた。しかし、現行品でない装置の再製作となり高価となる、代替品の購入となるなど、今後の安定的な入手が困難な時期となってきた。そこで、国産装置による駆動系更新について検討し、AC サーボモータを使った駆動系に更新する方針を立て、2010 年度に駆動系制御システムの設計、主要部品の購入を行った。図 3.24 に 34m アンテナオリジナルの駆動系ブロックダイアグラムを示す。アンテナドライブキャビネット (ADC) 内にモータコントローラがあり、ここで三相交流を整流、AZ/EL 合計 6 台ある DC モータを制御している。

AZ/EL 軸の角度読み取りはエンコーダ光学ユニットの信号をエンコーダ J-Box 内の電気ユニットで Binary/差動信号に変換、AZ 室まで伝送している。角度信号は当初、副反射制御装置 (SCU) 経由として SCU に EL 軸角度を取り込んでいたが、SCU 老朽化のため、代替 SCU をパーソナルコンピュータで製作した。その時点で、EL 軸角度信号は ACU への指令角度を SCU が読み込む方式としていた。

図 3.25 に更新予定の駆動系ブロックダイアグラムを示す。ACU は産業用で広く使用されている汎用プログラマブルロジックコントローラ (PLC、またはシーケンサと呼ばれる) を採用することで専用ハードウェアの開発を不要とした。ACU は AZ 室にあるが、モータコントローラ (ACPA) は AZ/EL それぞれのモータ近くにドライバボックスを設置、その中に設置した。モータ制御には高速な応答ができる SSCNET III により行われる。モータ状態モニター、インターロック制御等は産業用フィールドネットワーク CC-Link で接続する。モータはブラシの保守が不要となる AC モータとした。またモータ内のコイル絶縁不良が発生しにくい密閉型モータを採用した。モータコントローラ等が各ドライバボックスに分散することになるが、ACU との通信には Ethernet や CC-Link を用いることでシンプル、低コストのシステムを目指した。角度エンコーダは現用エンコーダ精度 20 ビット以上が国産では見つからなかったことからドイツ製となったため、角度信号は PROFIBUS により ACU と接続される。CC-Link は 4 線、PROFIBUS は 2 線、SSCNET III は 2 心の光ケーブル 1 本といずれも安価なケーブルで接続できる。2011 年度はモータ、角度エンコーダなどを工場で作組立、動作の検証を行うこととした。そして、2012 年度には 34m アンテナに組み付けて動作確認を行う計画であったが、2011 年 3 月 11 日の震災後の点検を進めた所、AZ レールの接合部で 22GHz 帯で受信能率が約 10 ポイント低下する問題、そ

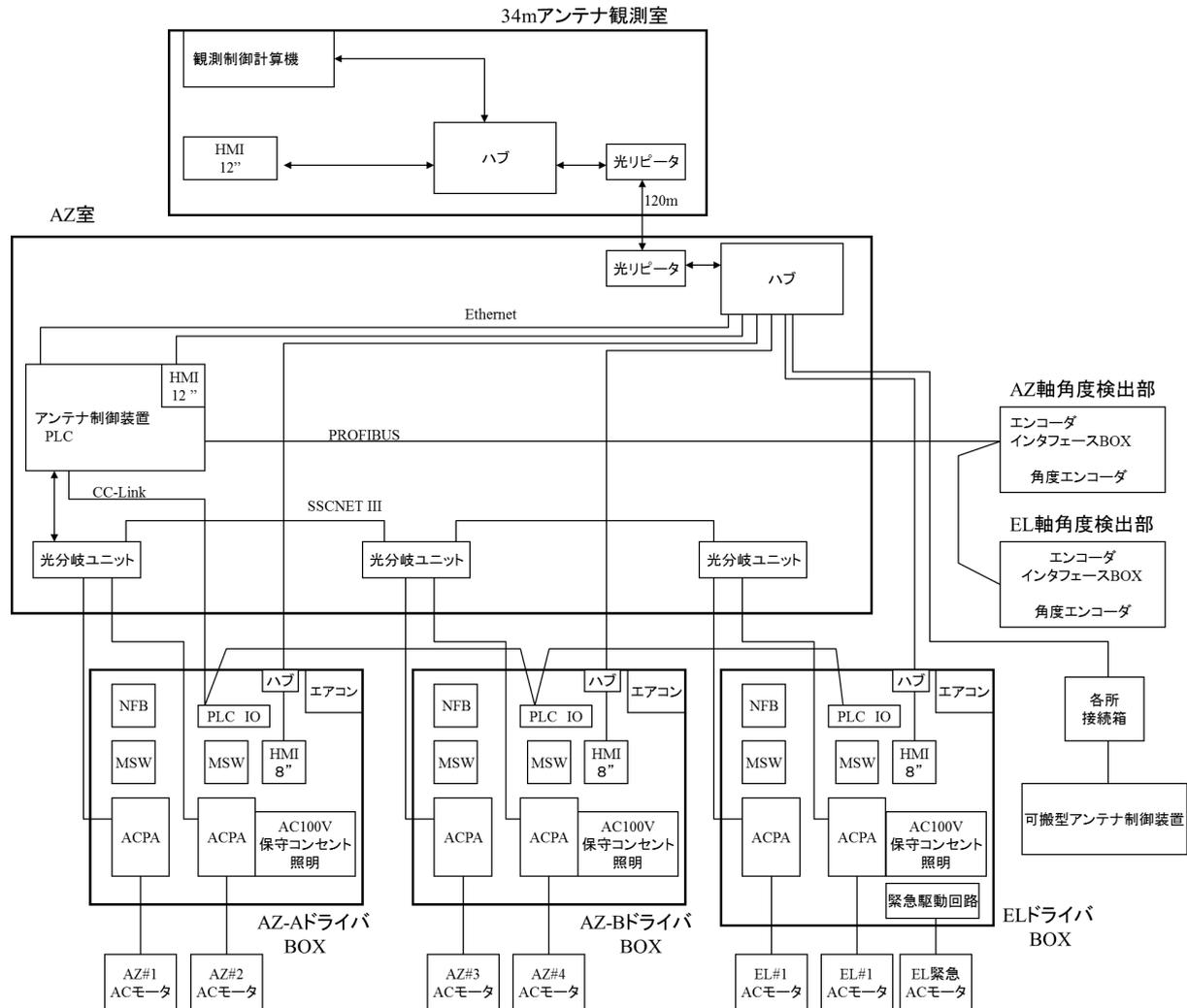


図 3.25: 新しく検討している 34m アンテナの駆動系ブロックダイアグラム。

その後、AZ ホイール表面に重大な剥離が発見されたため、アンテナの駆動を停止せざるを得なくなった。そこで、AZ ホイール、レールの修理を行ってから、その後の更新を再計画することとした。

### 3.6 今後の予定

2012 年は前半に震災による復旧工事を進めつつ、2012 年 1 月に判明した AZ ホイール損傷と AZ レールの交換等を 2012 年度中に実施するための調査、仕様の策定、そして実際の交換工事を実施することとした。前記に伴い駆動系更新は 2013 年以降に再計画とした。34m アンテナ補修と並行して 2012 年に広帯域受信系の設計、試作を進めて 2013 年にアンテナへ搭載する予定である。

## 4 研究/開発

### 4.1 Development of an e-VLBI data Transport Software Suite with VDIF

ネットワークを通じてデータ伝送を行う eVLBI の国際的な標準 VLBI データフォーマットとして VDIF (VLBI Data Interchange Format) が提案されている。NICT はこのネットワーク伝送フォーマットの標準化委員会に参加し、積極的に推進してきた。我々は、VDIF を使って、データを伝送するソフトウェアライブラリ KVTP-LIB を開発した。このソフトウェアパッケージは、アプリケーション層 (VDIF Frame) とデータ伝送層の独立性に配慮して、それぞれの層の新しい技術が容易に取り入れられるように設計している。同様に NICT が開発してきた VLBI の標準ハードウェアインタフェース (VSI-H) のキャプチャーカード PC-VSI と KVTP-LIB を使って、リアルタイムにデータの送受信を行うソフトウェアツール 'sudp-send', 'sudp-recv' を開発し、実際に地球回転パラメータである UT1 を定常的に計測するドイツ Wettzell と国土地理院つくば 32m 局の国際基線で定常的に利用されている。以下で、このソフトウェアで使用している伝送プロトコル SUDP について、やや詳しく説明する。

#### 4.1.1 はじめに

コンピュータ技術と高速ネットワーク技術を使った e-VLBI は、高速ネットワークを利用して VLBI データを観測局から関連処理センターに迅速に転送できるというだけでなく、市販の小型計算機 (PC) を使ったソフトウェア相関器が可能になり、観測や処理自動化、省力化を実現可能にした。更に、e-VLBI の別の重要な利点は、従来記録・処理システムごとに異なっていた VLBI データフォーマット (Mark3/4/5, VLBA, K5, S2/LBA 等) のフォーマット変換が容易になり、互換性が改善して共同観測の幅が大きく広がったということである。そのような共同観測をさらに推進するため、2008 年上海天文台で開催された第 7 回 e-VLBI ワークショップにおいて VLBI データの標準フォーマットについて話し合わせ、翌年の第 8 回国際 e-VLBI ワークショップ (マドリッド) において、標準 VLBI データフォーマットとして VLBI data interchange format (VDIF)[3] が合意された。VDIF はネットワーク伝送を念頭に設計され、この形式でデータを相互に交換することを想定している。個別の VLBI 観測機器による差異は、データの送信側または受信側で吸収する。たとえば、データの送り側で Mark5 データを VDIF 形式で伝送し、受信側では VDIF や、K5 などのフォーマットで記録するといったことが可能になる。我々は、この VDIF フォーマットを使って VLBI データを取り扱うソフトウェアライブラリ (KVTP-LIB) を開発した。このソフトウェアは、C++ 言語のオブジェクト指向のクラスライブラリとして、データ伝送層とアプリケーション層の独立性に注意を払って設計されている。

#### 4.1.2 VLBI Data Interchange Format (VDIF)

VDIF[3, 4] のフォーマットは 32 バイトのヘッダー部と、自由な長さを設定できるデータ部分からなるフレーム形式からなり、一つの VDIF フレームをネットワーク上のプロトコルで定義された 1 つのパケットに収容して伝送する。ヘッダー部はデータ部分のサンプルの時刻を一意に特定できる情報を含んでおり、ネットワーク伝送に伴うフレームの重複や欠損に影響を受けないようになっている。データ部分の長さはヘッダ部のパラメータに記述され、ネットワーク伝送や、ファイル記録の際に柔軟にフレームサイズを変更することも可能である。また、VDIF は下位のネットワーク伝送層と独立を保つように設計されており、ネットワーク伝送層 (UDP/IP, Ethernet など) を必要に応じて変更することも可能である。VDIF の使用例を図 4.1 に示している。VDIF 仕様の詳しい内容については文献 [4] を参照されたい。

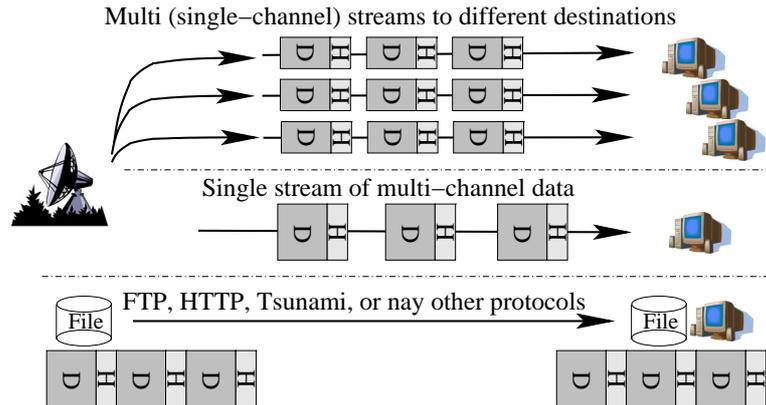


図 4.1: VDIF は VLBI データの記録フォーマット形式の仕様である。その使用例を示す。VDIF は VLBI データをネットワークパケットにのせて伝送することを意図して設計されており、複数のデータチャンネル毎に宛先を分けた送信 (分散相関処理など) や、観測局単位のデータとして 1 つのストリームでの送信、あるいは、ローカルに記録してオフラインで伝送するなどの使いかたができる。

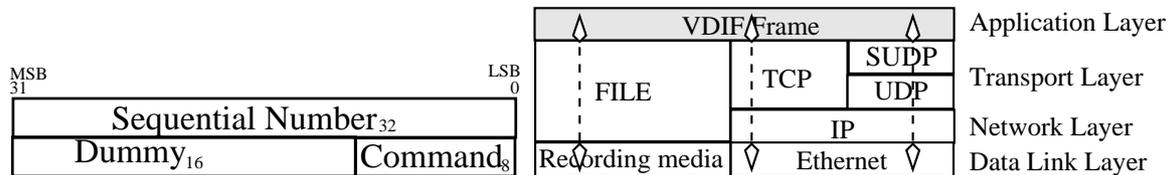


図 4.2: 左の図は、Simple-UDP (SUDP) プロトコルのヘッダーフォーマットを示している。シーケンス番号 ('Sequential number') はパケットごとにカウントアップされる。'Command' は現在未定義であるがテストパケットやその他のマルチストリームの機能として使われる事が想定されている。右のパネルは、KVTP-lib のパッケージに実装された SUDP と VDIF のプロトコルスタックを示している。

#### 4.1.3 VDIF/SUDP と C++ Class library KVTP-lib

**VDIF/SUDP** VDIF はファイル等の記録媒体やネットワーク媒体上での VLBI データのフォーマットの仕様であり、このデータをどのように伝送するかといった伝送プロトコルについては別途規定される必要がある。VDIF の仕様案を作成した委員会 (A. Whitney, M. Kettenis, C. Phillips, M. Sekido, and R. Huigens) によって引き続き伝送プロトコルの標準仕様 VTP (VDIF Transport Protocol) がまとめられつつある。NICT はこれに先立って、UDP/IP を使って VDIF を伝送するプロトコルを設定し、Simple UDP (SUDP) として、VLBI データのリアルタイム伝送ソフトウェアを開発した。

記録媒体の物理的な輸送や、TCP/IP を使ったネットワーク伝送では、ロスのないデータ伝送が可能であるが、伝送距離が長くなると TCP/IP は伝送速度の制限が大きくなる。そのため、我々は長距離の伝送のために、UDP/IP のプロトコル層の上に、8 バイトのヘッダーをつけた SUDP と名づけるプロトコルを定義した。SUDP のヘッダフォーマットを図 4.2 に示す。シーケンス番号をヘッダにつけたデータ伝送は、2009 年に JIVE-EVN と共同で行ったリアルタイム VLBI 観測<sup>6</sup>での Mark5B データの伝送に既に使用したものである。この SUDP のヘッダ構造 (図 4.2) は、イギリスのマンチェスター大学の R. Hughes-Jones が第 8 回 国際 e-VLBI Workshop で提案したものを採用している。SUDP はトランスポート層に属し、そのヘッダ情報は伝送レート、パケットロスや重複をモニターするために使用されて、データ受信側で取り去られる。SUDP はデータ伝送をシンプルに一方向で行い、伝送中に失ったパ

<sup>6</sup>ガリレオ・ガリレイが初めて自作の天体望遠鏡を夜空に向けてから 400 年を記念して、国際連合、ユネスコ (国連教育科学文化機関)、国際天文学連合が定めた国際年「世界天文年 2009」は、世界の 148 の国と地域が参加してさまざまなイベントが開催された。ヨーロッパの VLBI 研究機関である JIVE は世界中の電波望遠鏡を Network でつなぐ e-VLBI 観測を計画し、日本からは NICT が 34m アンテナを使って参加した。

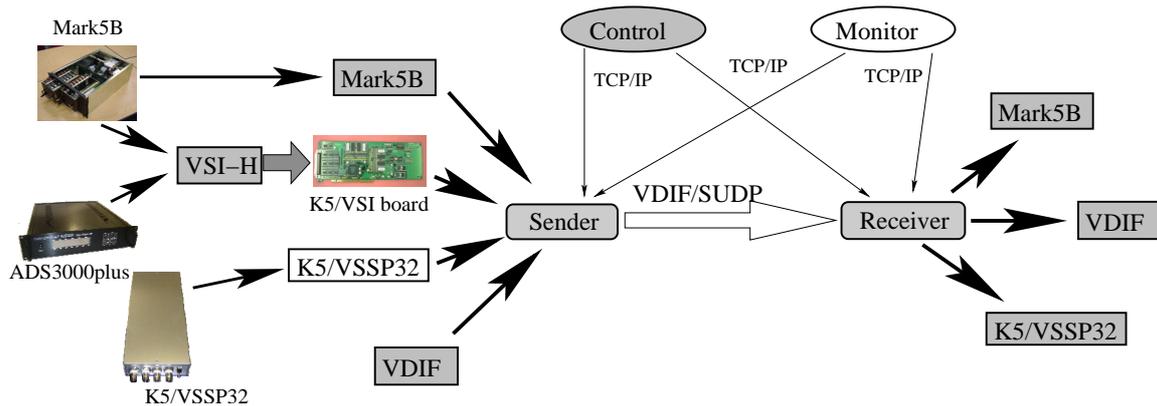


図 4.3: クラスライブラリ KVTP-lib を使ったデータ伝送ツール 'sudp-send' と 'sudp-recv' のデータ変換機能を図示している。灰色で示している部分はほぼ実装されている。

ケットの再送メカニズム等は持っていない。リアルタイム VLBI のデータ伝送は、VLBI の取得データレートを流すだけの十分なネットワークの容量がある場合にだけ使える技術であるため、再送を持たないこの簡単なメカニズムで十分に機能する。実際に、600Mbps の帯域を持つネットワークで 512Mbps のデータ伝送が十分に機能している。SUDP ではネットワークの MTU (Maximum Transmission Unit) のサイズが 1500 バイトの標準的なネットワーク条件の下で 1464 バイトのサイズの packets が使用される。この場合、UDP/IP、SUDP、と VDIIF を含めたオーバーヘッドの割合は、5.2 % である。例えば、256Mbps のデータを流す場合には、269.2Mbps の伝送容量が必要であり、512Mbps のデータレートの場合には、538.5Mbps の容量を必要とする。我々の経験では、ヨーロッパの VLBI 局 (Onsala, Metsähovi, Wettzell, and JIVE) との間で 512Mbps までの国際的なデータ伝送は、これまでのところ常に問題なく利用可能である。

リアルタイムデータ伝送・変換のツールとしての C++ Class Library KVTP-lib 我々は、VLBI データのネットワークを通じたリアルタイム伝送・変換を行うための C++ のクラスライブラリ KVTP-lib (VTP library of Kashima) を開発した。Mark5 や K5 など、VLBI データは基本的に一定の長さのデータとヘッダ部がセットになって繰り返されるフレーム形式のフォーマットである。そのため、フレーム形式の 'VLBI frame' を基本クラスとして定義し、VDIIF、Mark5B、K5/VSSP のデータ形式は、その派生クラスとして同一のインターフェースでアクセスできるように設計した。

KVTP-LIB の記録・伝送媒体への読み書きのインターフェースは、MIT/Haystack 観測所の David Lapsley 氏によって開発されたライブラリ vtp (version H)[5] を修正して利用している。このライブラリの中ではネットワークとファイルアクセスが同一の基本クラスから派生したクラスで実現されており、TCP/IP を使ったネットワーク伝送とファイルアクセスが同じ記述で実現でき、C++ の「多態 (ポリモフィズム)」が可能ないように設計されている。KVTP-LIB はこの MIT の VTP ライブラリのやり方に習い、VLBI のデータ収集システム DAS に共通な機能は基本クラスに收容し、個々の DAS の違いを派生クラスで吸収するようにしている。KVTP-LIB を使ったリアルタイム VLBI データ伝送アプリケーションソフトウェアとして、'sudp-send' および 'sudp-recv' を開発した<sup>7</sup>。前者は、NICT の開発した PC-VSI を使って VLBI の標準ハードウェアフォーマットである VSI-H インターフェースから VLBI データストリームを取り込み、量子化ビット数や指定データレートへの削減など処理とフォーマットの後、これをネットワークから VDIIF/SUDP で送信するソフトウェアである。後者は、VDIIF/SUDP のパケットストリームをネットワークから受信し、データを K5/VSSP32 や Mark5B、VDIIF 形式で保存する。図 4.3 は KVTP-lib を使ったアプリケーションの例を図示している。

<sup>7</sup>2012 年現在は、'sudp-send' や 'sudp-recv3' などバージョンアップしている。

表 4.1: Intensive-2 観測における Wettzell-Tsukuba 基線において、sudp-send/sudp-recv を使って Wettzell から Tsukuba 局にリアルタイムにデータ伝送した場合 (on) と、Mark-IV 形式でローカルに記録しオフラインで伝送・変換した場合 (off) の比較を、相関処理結果 (SNR)、CALC/SOLVE の解析残差について比較した結果を示す。リアルタイム伝送を行った場合のデータに遜色は見られない。

Exp. Code	Avg. SNR <sub>on</sub> /SNR <sub>off</sub>		Residual
	X-band	S-band	On/Off (ps)
K10093	1.00	1.00	0.99
K10094	1.02	1.02	1.08
K10100	1.03	1.02	1.00
K10101	0.95	0.94	0.90
K10107	1.03	1.02	1.34
K10108	0.98	0.97	1.03
K10114	1.01	1.02	1.27
K10115	0.93	0.93	0.97
K10122	0.98	0.98	0.72

迅速 UT1 計測への応用 上で述べた、リアルタイムデータ伝送ソフトウェアは、現在、Tsukuba – Wettzell 基線で毎週観測されている Intensive-2(Int-2) 観測で定常的に使用され、迅速な UT1 計測のために使われている。Mark5B 型データ収集システムの VSI-H 出力は Wettzell 局において NICT の設置した PC-VSI システムに接続されている。VLBI 観測が実施される間 VSI-H のから出力される 16 channel のデータストリームは、VDIF フォーマットの SUDP データパケットにしてトータル 256 Mbps のデータレートで日本の国土地理院つくば局にリアルタイムに送信される。つくば局側の受信ソフトウェアは、送られてくる VDIF/SUDP のデータストリームを受け取り、K5/VSSP32 フォーマットで記録する。

リアルタイムに伝送されたデータと、送信側でローカルに記録されたデータをオフラインで伝送した Mark – IV データの比較が Int-2 実験を使って 1ヶ月間実施された。平均 SNR、CALC/SOLVE を使った解析残差の比較結果を表 4.1 に示している。この表の結果から、リアルタイム伝送はオフライン伝送の場合と遜色ないことが分かる。リアルタイム伝送の場合、わずかながら記録開始時間が早く観測時間が長くなっていることが、表において SNR と解析残差がオフラインの場合より良くなっている理由と考えられる。

#### 4.1.4 まとめと今後の展望

C++のクラスライブラリ 'KVTP-lib' を開発し、VLBI のデータ標準フォーマットとして提案されている VDIF を SUDP のパケットにして伝送するリアルタイム VLBI 伝送を実現した。受信側では現在、K5/VSSP32、Mark5B、VDIF フォーマットによる記録が実装されている。KVTP-LIB はオブジェクト指向のクラス継承を意識して設計しており、種類の異なるデータフォーマットへのアクセスを統一して扱えるため、データ伝送やデータ変換のソフトウェアを書くことが容易である。

現在使用している SUDP プロトコルは NICT 独自で定めたプロトコルである。国際的な VLBI データ伝送の標準プロトコルとしての VTP の仕様を検討している作業チームのプロトコル仕様案がほぼ固まりつつあり、今後 KVTP-LIB もこれに対応していく計画である。KVTP-LIB のソースコードはフリーで公開しており<sup>8,9</sup> 利用される際には、発表論文などに謝辞等に NICT により開発された KVTP-LIB を使用している旨を記載して頂く条件で、自由に活用して頂きたい。

<sup>8</sup>[http://www2.nict.go.jp/aeri/sts/stmg/K5/Software/VDIF\\_SUDP/VDIF-SUDP-j.html](http://www2.nict.go.jp/aeri/sts/stmg/K5/Software/VDIF_SUDP/VDIF-SUDP-j.html)

<sup>9</sup>[http://milkyway.sci.kagoshima-u.ac.jp/groups/vcon\\_lib/wiki/7cac1/Data\\_Transmission.html](http://milkyway.sci.kagoshima-u.ac.jp/groups/vcon_lib/wiki/7cac1/Data_Transmission.html)

#### 4.1.5 謝辞

ドイツ Wettzell 局の Gerhard Kroshnable 氏には、NICT の PC-VSI ボードの導入や接続をサポートしていただいた。国土地理院の小門氏、栗原氏、ほかの皆様には、Wettzell - Tsukuba 基線のリアルタイム VLBI データ伝送のテストや、オフラインデータ取得との比較を行っていただいた。MIT Haystack 観測所の David Lapsley 氏が書いた VTP のソフトウェアソースコードは KVTP-LIB でもリンクして使わせてもらっている他、そのソースコードは C++ のクラスライブラリの規範として大変参考にさせていただいた。ここに改めて感謝の意を示したい。

## 4.2 広帯域フィードの開発

鹿児島大 中川亜紀助 助教を代表とする国立天文台共同開発研究経費に協力し、広帯域フィードの開発を行った。これは次世代の電波干渉計の国際プロジェクトである SKA や測地 VLBI プロジェクトの VLBI2010 などへの応用を主目的とするが、既存の電波望遠鏡での利用も視野に入れて基礎開発を続けている。例えば、鹿島では MARBLE や 34m アンテナである。比帯域は SKA では 1-10GHz、VLBI2010 であれば 2-14GHz であり、後者のほうが比帯域が狭いのでまずは VLBI2010 を目標としている。試作アンテナの性能測定には京都大学生存圏研究所の METLAB を利用した。

昨年度までは TSA (Tapered Slot Antenna) を素子として基礎実験を行ってきた。これは基板の両面に作られた放射素子へマイクロストリップ線路で給電する構造である。放射素子の基部の線路はマイクロストリップ線路のグランド面を徐々に絞り基板の上下で対称としている。マイクロストリップ線路には LNA を直結する構造を当初は考えていたが、そのグランド面と相対する放射素子でアンテナを構成してしまい、望まないサイドローブの要因となる問題があった。また、マイクロストリップ線路と放射素子をつなぐ部分はテーパバランと呼ばれていたが、寸法と波長の比を考えると平衡・非平衡電流の変換を行うバランと機能は持ち得ないことがわかる。また、放射素子が基板の軸に対して対称であるので交差偏波が大きくなること、放射素子部のインピーダンスの研鑽が難しいことから、今年度は TSA に代えて TWA (Traveling Wave Antenna) を素子として利用することとした。この素子は基板の片面に給電線路があり、これが広がって放射素子となるため、インピーダンスの近似計算には平行二線モデルが利用できる上、線路から放射素子の間で電場がねじれないので交差偏波が小さくなることが期待できる。この素子をアレイに組んで (図 4.4)、直線 2 偏波対応とともにビーム幅のコントロールを目指すこととした。

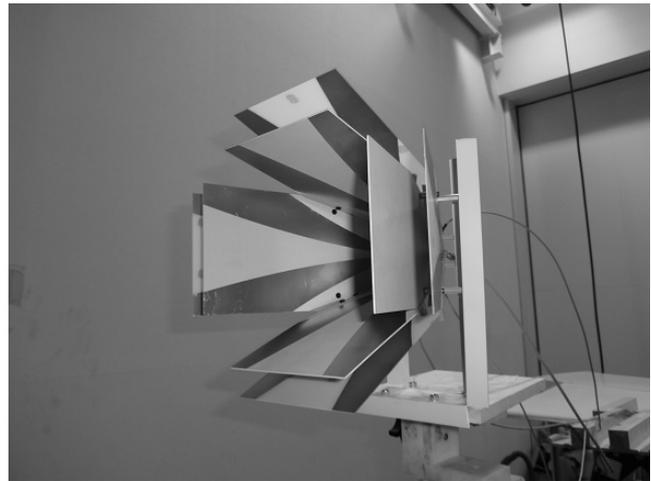


図 4.4: METLAB で測定中の Arrayed TWA.

METLAB で測定した遠方界ビームパターン (図 4.5) では綺麗な回折ローブが見られ、アレイの素子間の給電バランスに問題がないことを確認できた。また、素子単体での COMSOL による電磁界シミュレーションの結果を図 4.6 に示す。比誘電率が高い程、電場が基板内へ閉じ込められ、ビームの軸対称性が悪化する。また、線路上の電磁波は素子先端まで走り、開口端から放射されるので開口面の大きさは周波数に寄らず一定である。目標とするところは周波数の変化に応じて電氣的な透過開口径が変化し、ビーム幅が一定になることであるから、このような素子単体では目標を達成できないのは明らかである。よって本年度は Arrayed-TWA でビーム幅制御を目指し、試作と測定を行ってきた。来年度以降も継続的に開発を進めていきたいと考えている。

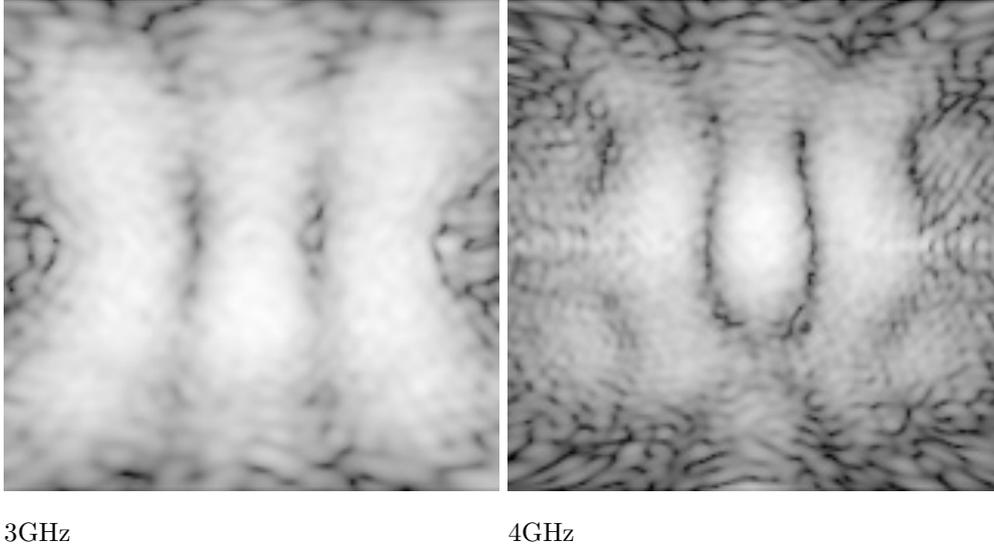


図 4.5: METLAB で測定した試作 Arrayed TWA の遠方界ビームパターン。回折ローブが残っているが各素子への給電バランスは十分によい。

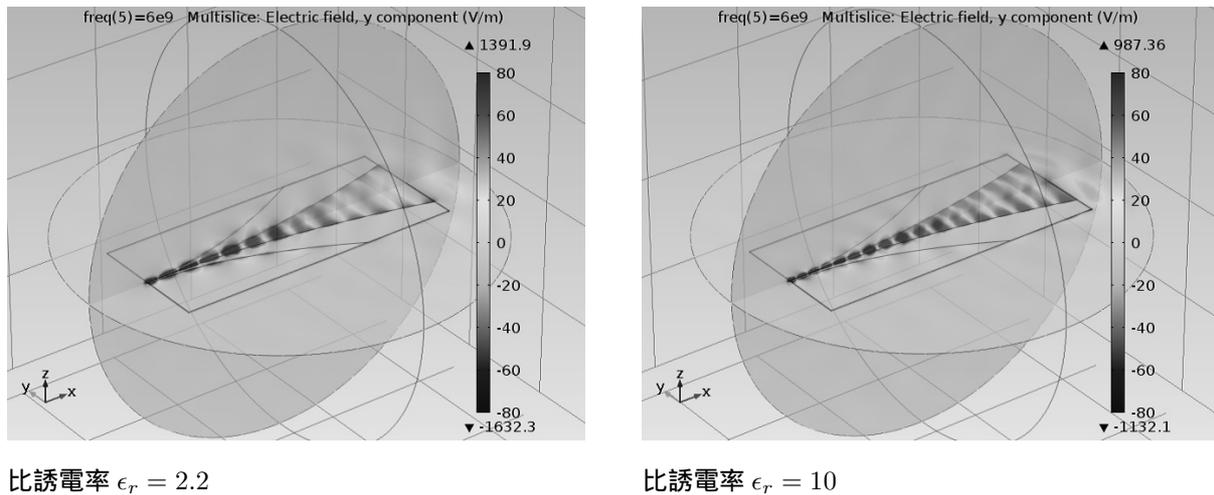


図 4.6: COMSOL で計算した TWA 素子基板に平行な電場成分の分布。周波数は 6GHz。基板寸法は  $L = 280\text{mm} \times W = 120\text{mm} \times t = 1\text{mm}$ 。比誘電率が高くなると電場は基板内に閉じ込められる。

### 4.3 RF ダイレクトサンプリングを利用した VLBI 技術

#### 4.3.1 はじめに

通常の測地 VLBI では S (2GHz) / X (8GHz) バンドが用いられる。これらの帯域は周波数が高いために低周波にダウンコンバートされ、サンプリングされるが、周波数変換をしない場合、位相安定度やメンテナンス性が向上し、高周波部品も削減できる。我々は早期にこれに着目して 2011 年 5 月にプロトタイプ装置を組み込み、X バンドをそのままの RF 領域をサンプルして、世界初のフリンジを検出することに成功した。さらに S バンド、X バンドを合成する全く新しい試みで 24 時間測地 VLBI を行い、世界初のフリンジ検出と、このシステムによる基線長を得た。ここでは RF ダイレクトサンプリングの考察と、RF ミックスダイレクトサンプリング (DSAMS = direct sampling applied for mixed signals) の検討をおこなう。

#### 4.3.2 RF ダイレクトサンプリング実験の DSAMS への検証

ダイレクトサンプリング実験において RF 帯域にアンチエイリアスフィルタを挿入しないとき、これをサンプルすると、複数のバンドがエイリアシングの影響で折り返し、サンプルデータ内に複数のバンドが内部に存在しうる。このとき折り返した複数のバンドごとにフリンジ位相回転を行うことで、バンドごとのフリンジが検出可能か検証した。検証では RF ダイレクトサンプリング VLBI 実験で取得された、つくば 32m - 鹿島 11m データをもちいた。折り返された複数バンドのエイリアス周波数をダウンコンバート周波数としてフリンジ検出をおこなった。図 4.7 はその結果であり、折り返したバンドごとのフリンジを同時に検出することに成功した。我々は折り返しを積極的に応用した実験を DSAMS (ディーサムズと発音) と名付けた。DSAMS では複数のバンドがエイリアシングで折り返し、重なるた

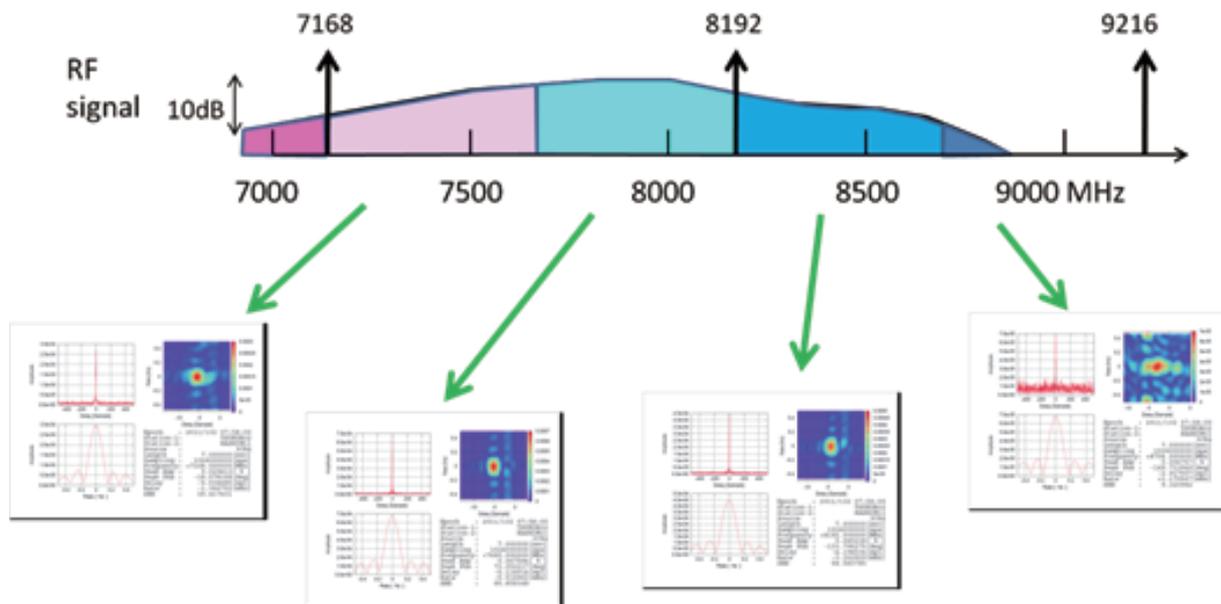


図 4.7: X バンドで折り返した帯域を相関処理して、それぞれのフリンジを同時に検出した。

め、通常よりも相関処理で SNR が落ちることが予想される。そこで、定量的に調査すべくシミュレーションを行った。シミュレーションはバンド特性がフラットであることを前提において、折り返しのない時～5つのバンドが折り返したときまでを求めた。図 4.8 がその結果である。量子化は 1,2,3bit でおこない、折り返したバンド数に反比例して効率が低下していくことが分かった。

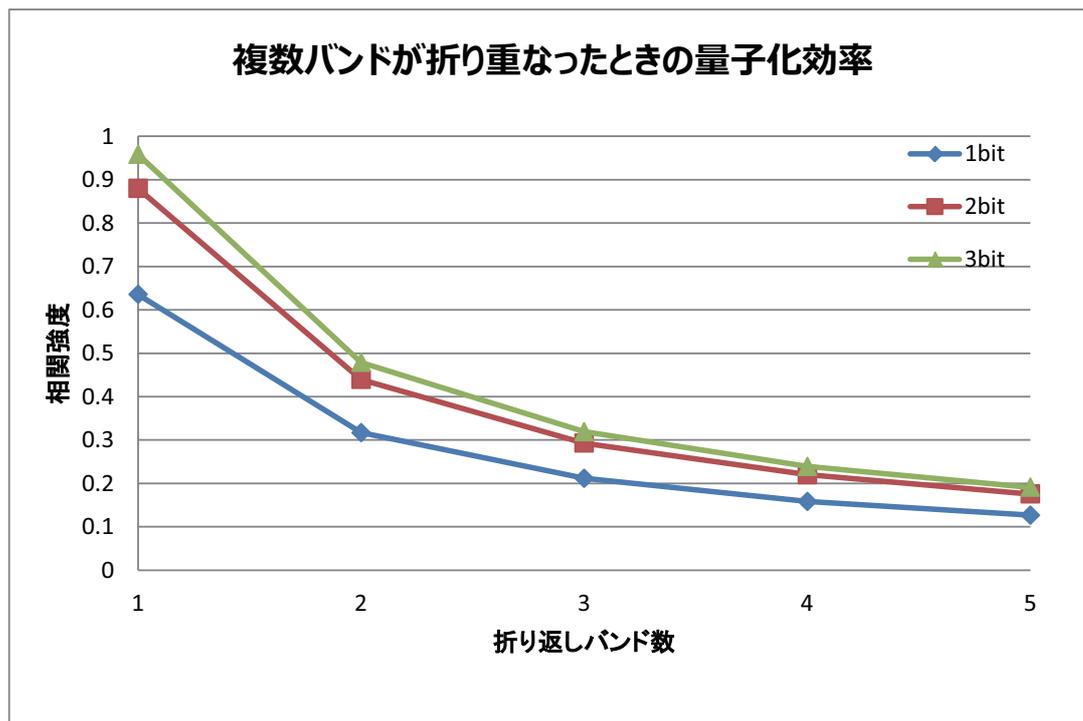


図 4.8: 複数のバンドが合成されたときの量子化効率

#### 4.3.3 DSAMS を応用した 24 時間測地 VLBI

DSAMS 実験を測地 VLBI に応用する実験を 2011 年 10 月に行った。測地 VLBI では S バンドと X バンド（それぞれ 2GHz 帯と 8GHz 帯）を用いる。そこで RF の段階で S バンドと X バンドを合成して、あたかも一つのバンドとしてデジタルサンプラに入力する。図 4.9 は S バンドと X バンドを RF 領域で合成したスペクトラム（鹿島 11m）である。これらのバンドは相関処理で同じ SNR となるようにアッテネータなどで調整しつつ合成した。合成されたバンドは 1GHz, 2bit でサンプリングされ、24 時間で計 945 スキャン、一つのスキャンが 30 秒であるため一局あたり約 7.3TB のデータ量となった。相関処理では S バンドと X バンドで 3 つのフリンジの計 4 つのフリンジを安定的に検出することに成功した。X バンドはバンド幅合成を実施し 1.5GHz 帯域とした。また S バンドは電離層を解くために用いられる。基線解析は Calc/Solve で処理を行い、鹿島 11m - つくば 32m の基線長は  $L = 53812800.01$  mm、 $\sigma = 0.98$  mm と求められた。表 4.2 は直近の測地実験での解と DSAMS 実験の測地解の比較である。これらの基線長でほとんど違いは見られず、デジタルサンプラが安定的にサンプリングでき、測地 VLBI として成功していたと結論できる。

実験名	時期	基線長 [mm]	Sigma[mm]
APSG	2011/8/17	53812792.68	5.53
T2077	2011/8/23	53812801.23	3.03
DSAMS	2011/10/20	53812800.01	0.98

表 4.2: 直近の測地実験での解と DSAMS 実験の測地解の比較

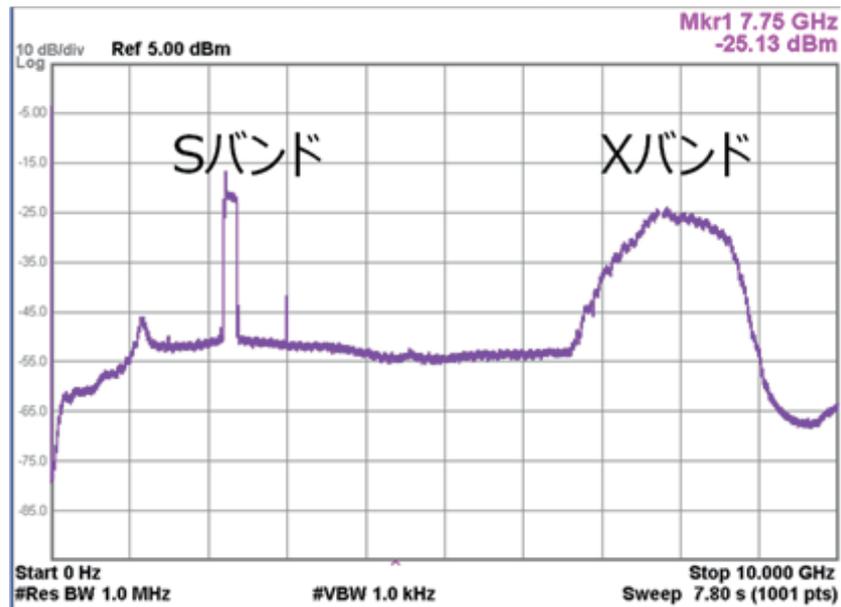


図 4.9: DSAMS 実験で、RF で合成された S バンドと X バンドのスペクトラム。それぞれ LNA の出力後を合成している。

#### 4.3.4 まとめと今後の予定

RF ダイレクトサンプリングで初フリッジを検出することに成功した。またバンドがサンプリングで折り返した帯域についてもフリッジを独立に検出することができた。また RF ダイレクトサンプリング方式の測地 VLBI を実施して、直近の測地解と矛盾のない結果を得ることができた。

RF ダイレクトサンプリング実験においては、エレックス製デジタルサンプラ (ADX-831) と東陽テクニカ製の高精度光変換器を使用しました。また GSI 様、並びに東陽テクニカ様、エレックス工業様、富士通エフアイピー様、日本通信機様のご協力のもと、VLBI 実験を行うことができました。ここに感謝の意を表します。

## 5 鹿島 11m アンテナステータス

### 5.1 概要

鹿島 11m アンテナは、首都圏地殻変動観測プロジェクト (KSP) が終了した後、ひきつづき VLBI グループ (時空標準研究室) で運用

し、技術開発に関係した実験観測に使用している。2011 年 3 月 11 日の東日本大震災の後は、鹿島 34m アンテナが観測に使用できなくなったため、IVS の国際 VLBI 観測に参加して、鹿島局の国際的な位置を計測している。また、2011 年 5 月から鹿島-小金井間での VLBI 実験を定期的実施し、基線長の変化をモニターする観測を行ってきた (図 5.1)。

表 5.1: 鹿島 11m アンテナの諸元

Diameter	11m
Tsys (X/S)	130 K / 70 K
Efficiency (X/S)	0.58 / 0.39
SEFD (X/S)	6500 Jy / 5200 Jy

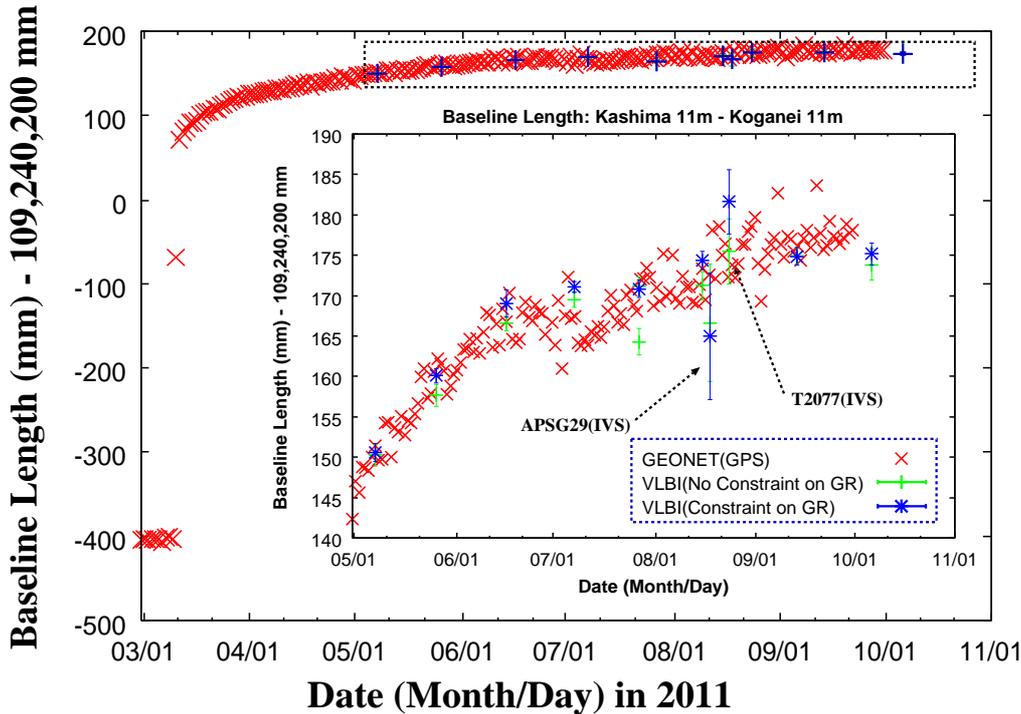


図 5.1: 鹿島 11m – 小金井 11m アンテナの間の基線長変化。2011.3.11 の地震後の余効変動が観測されている。

アンテナの保守に関しては、ワイヤレスネットワーク研究所宇宙通信システム研究室との協力により、施設維持費確保し、毎年 NEC による定期保守を行ってきた<sup>10</sup>。

2011 年に複数回行った軸校正観測の結果、2011.3.11 の地震によって鹿島 11m アンテナの軸の向きが変化し、ポインティングパラメータに影響を与えていたことがわかった。また、方位角の角度表示の値にヒステリシスが生じて、アンテナのポインティングに影響を与えていた問題について処置を行い、改善が見られた。以下の節では特にこれらの、軸校正観測結果について報告する。

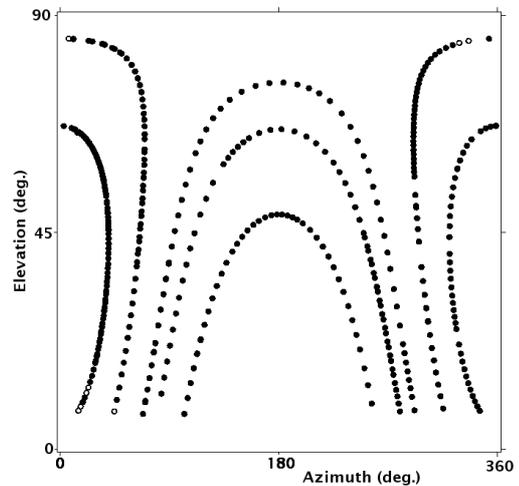


図 5.2: 鹿島 11m アンテナのポインティング観測に使用した天体の Sky Coverage

<sup>10</sup>2013 年度以後は研究費で賄うべきとの方針が出され、今後定期的な保守が困難になる可能性がある。

## 5.2 ヒステリシスの改善

### 5.2.1 背景

鹿島 11m アンテナの AZ 角度に 0.04 度程度のヒステリシスがあることが 2008 年ころの NEC による点検により発見されており、2011 年 12 月 25 日 28 日の日程で、このヒステリシス解消のための改修作業が行われた。具体的には、エンコーダに接続されているポールと回転するアンテナが接触する金属リングにゴミが入り、接触抵抗によりヒステリシスが生じていたものと考えられている。対策として接触リングと金属貫通軸を交換し、ゴミが入りにくいようにゴム製スカートが設置された。この対策の結果ポインティング精度に改善がみられるかどうか確認するため、軸校正観測を行った。観測時間、使用した天体/ポインティングモデルなどは、以下のとおりである。天体の Sky Coverage を図 5.2 に、FS9 のポインティングモデルについて、図 5.3 に示す。

観測実施期間:

2011.12.28.05:48 -2011.12.29.06:20 (UT)

使用した天体: Casiopea-A, Taurus-A, Orion-A, Virgo-A, Cygnus-A

使用点数/観測点数: 360/361 点

### 5.2.2 観測結果

軸校正観測の結果、ポインティングモデルをフィッティングした残差 RMS はヒステリシス改善作業以前の結果より小さくなっている。ポストフィット RMS 残差の値を表 5.2 に示す。また、表 6.3 にフィッティングによって得られたパラメータを、2011/8/30 と今回 (2011/12/28) の結果について示している。エンコーダを取り付け直しているため、Az オフセットが変わった他、他のパラメータも前回に比べて変わった。図 5.4-5.5 に FS9 の pdplt により解析したモデルフィット後の残差を示す。

今回のヒステリシス改善のための作業により顕著な改善が、EL-AZ プロット (図 5.5) にみられる。比較のため、8 月 30 日の軸校正観測時の EL-AZ プロットを図 5.6 に示している。仰角の高い天体の観測では方位角が速く動くため、8 月の軸校正観測では方位角のヒステリシスにより残差が大きくなっているが、今回の軸校正観測結果 (図 5.5) では、残差の仰角依存性が小さくなり、AZ のヒステリシスが改善していることが分かる。

表 5.2: 観測残差の比較。Pre-fit Mean, RMS はそれまで使用していたモデルからのずれの平均、及び RMS である。Post-fit RMS が前回 (8/30) に比べて小さくなっている。

Unit: degree.	Az Residual			El Residual		
	Pre-fit Mean	Pre-fit RMS	Post-fit RMS	Pre-fit Mean	Pre-fit RMS	post-fit RMS
2011/8/30	-0.0022	0.0079	<u>0.0095</u>	+0.0007	0.0075	<u>0.0061</u>
2011/12/28	-0.0153	0.0054	<u>0.0059</u>	-0.0032	0.0087	<u>0.0049</u>

### 5.2.3 確認観測

パラメータとヒステリシスの改善を確認するため、軸校正パラメータを更新して再び軸校正観測を行った。

観測実施期間: 2012.1.1.02:28 -2012.1.2.08:49 (UT)

使用した天体: Casiopea-A, Taurus-A, Orion-A, Virgo-A, Cygnus-A

## MODEL PARAMETERS

The model parameters are expressed in terms of a first angle X and second angle Y using FORTRAN notation. All angles are degrees unless otherwise noted.

$$\begin{aligned} \Delta X = & P1 - P2*\cos(\text{Phi})*\tan(Y) + P3*\tan(Y) - P4/\cos(Y) \\ & + P5*\sin(X)*\tan(Y) - P6*\cos(X)*\tan(Y) \\ & + P12*X + P13*\cos(X) + P14*\sin(X) + P17*\cos(2*X) + P18*\sin(2*X) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta Y = & P5*\cos(X) + P6*\sin(X) \\ & + P7 - P8*(\cos(\text{Phi})*\sin(Y)*\cos(X) - \sin(\text{Phi})*\cos(Y)) + P9*Y \\ & + P10*\cos(Y) + P11*\sin(Y) + P15*\cos(2*X) + P16*\sin(2*X) \\ & + P19*\cos(8*Y) + P20*\sin(8*Y) + P21*\cos(X) + P22*\sin(X) \end{aligned}$$

where:

Delta X = X-angle pointing correction (add to raw angles)

Delta Y = Y-angle pointing correction (add to raw angles)

Phi = elevation angle of +Y axis (positive from Y=+90 to X,Y=0,0)

P1 = X-angle Encoder Offset  
 P2 = X-angle Sag  
 P3 = Axis SKew  
 P4 = Box Offset  
 P5 = Tilt Out (tilt of Y=+90 toward X,Y=0,0)  
 P6 = Tilt Over (tilt of Y=+90 toward X,Y=90,0)  
 P7 = Y-Angle Encoder Offset  
 P8 = Y-Angle Sag  
 P9 = ad hoc Y-angle slope (degrees/radian)  
 P10 = ad hoc Y-angle cos(Y) term  
 P11 = ad hoc Y-angle sin(Y) term  
 P12 = ad hoc X-angle slope (degrees/radian)  
 P13 = ad hoc X-angle cos(X) term  
 P14 = ad hoc X-angle sin(X) term  
 P15 = ad hoc Y-angle cos(2\*X) term  
 P16 = ad hoc Y-angle sin(2\*X) term  
 P17 = ad hoc X-angle cos(2\*X) term  
 P18 = ad hoc X-angle sin(2\*X) term  
 P19 = ad hoc Y-angle cos(8\*Y) term  
 P20 = ad hoc Y-angle sin(8\*Y) term  
 P21 = ad hoc Y-angle cos(X) term  
 P22 = ad hoc Y-angle sin(X) term

図 5.3: FS9 ポインティングモデルの説明

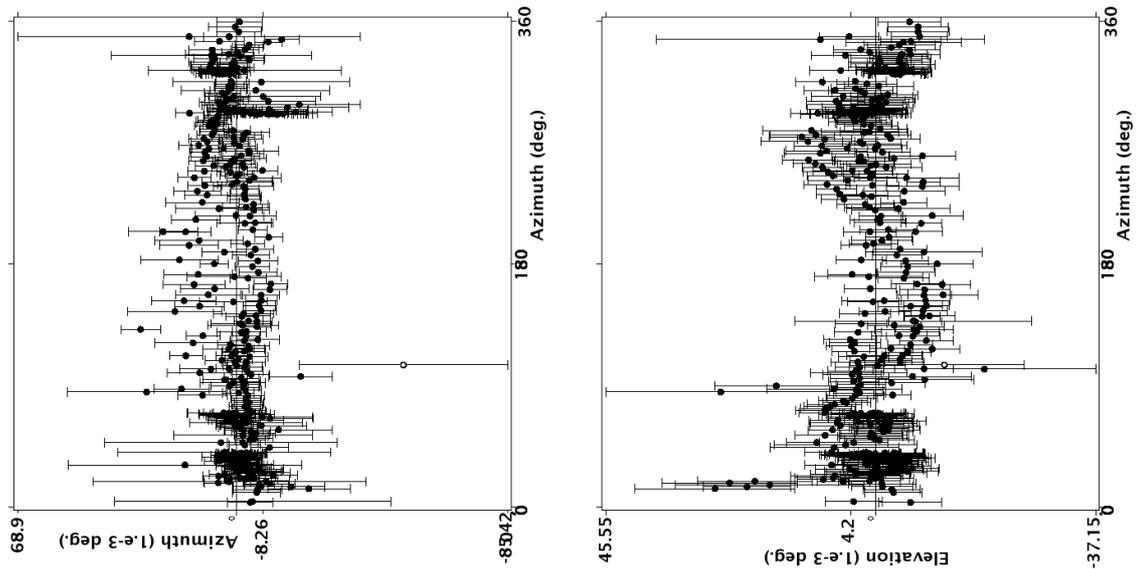


図 5.4: 鹿島 11m アンテナの方位角に対する Az オフセット (左) と El オフセット (右) について最小自乗 Fit 後の残差を示している。

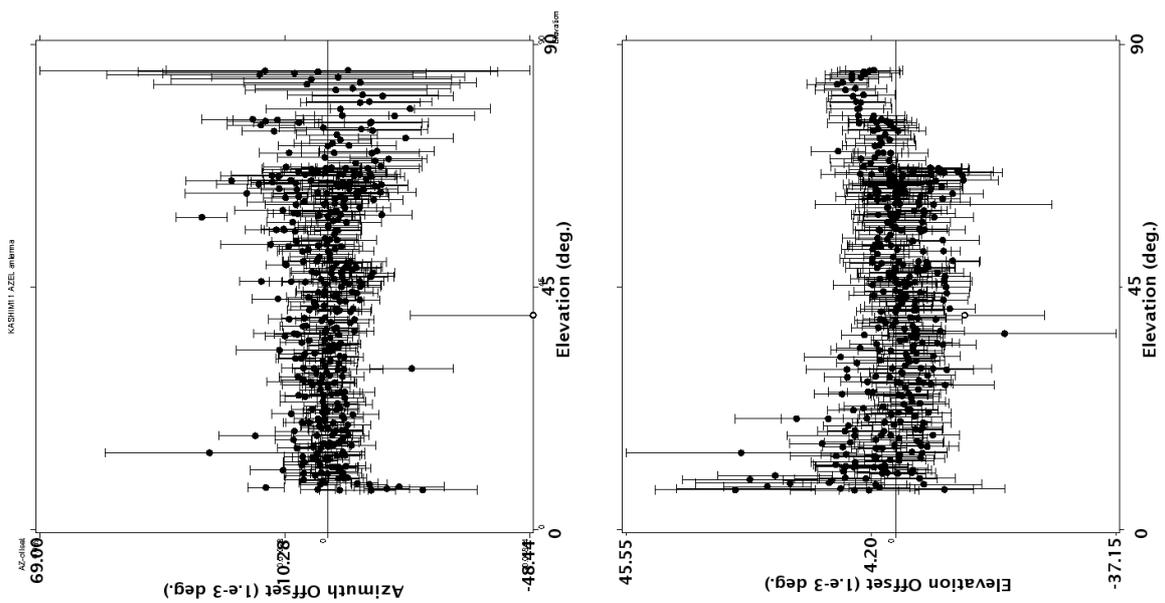


図 5.5: 鹿島 11m アンテナの仰角に対する Az オフセット (左) と El オフセット (右) について最小自乗 Fit 後の残差を示している。

表 5.3: 2008 年、2011/6/8、7/4、8/30 及び今回 (12/28) のポインティング観測により得られたモデルのパラメータの値を比較した。モデルのうち、推定していないパラメータは省略している。エンコーダを取り付け直しているため、Az オフセットが変わった他、El に関する他のパラメータも前回に比べて変わっている。

Parameters	2008 年	2011/6/8	2011/7/4	2011/8/29	2011/12/28(今回)
Az Offset	-0.0358585417	-0.0742194280	-0.0746930987	-0.0749544725	-0.0776158646
Axis Skew	0.0222240463	-0.0106271664	-0.0037432017	-0.0074875662	0.0077510164
Box Offset	0.0256789364	-0.0059580179	-0.0010745355	-0.0044555510	0.0108102644
Tilte to Az=0	0.0054086223	-0.0229738243	-0.0205775443	-0.0219960026	-0.0189756621
Tilte to Az=90	-0.0163006820	-0.0449485816	-0.0411801040	-0.0443869680	-0.0451335013
El Offset	0.0125214504	0.0199030563	0.0250666402	0.0236276668	0.0057816440
El Slope	0.0135284066	0.0049067042	0.0010666407	0.0007025333	0.0204054508
$\delta Az \cos(Az)$	0.0119285034	0.0001349985	-0.0006914366	-0.0002819792	0.0090797991

表 5.4: 2012/1/1 の確認観測の結果得られた Az,El それぞれのオフセットと残差 RMS

	Mean Offset ( $10^{-3}$ deg.)	RMS ( $10^{-3}$ deg.)
Az	+8.19	5.97
El	-0.25	5.45

使用点数/観測点数: 370/382 点

観測データの残差プロットを図 5.7 – 図 5.8 に示す。観測の結果得られた Az,El それぞれのオフセットと残差 RMS を表 5.4 にまとめている。残差の El-Az プロットでは、仰角の高いところで Az 残差がやや大きくばらついてはいるが、以前のような系統的な残差とはなっていないことから、Az 角度のヒステリシスが改善していきとえられる。

#### 5.2.4 結論

1. 方位角の 0.04 度程度あるヒステリシスを改善するための部品交換を行った結果、ヒステリシスは 0.015 程度に改善したことが、NEC による測定で報告されている。
2. 今回の軸校正観測の結果、方位角、仰角の post-fit 残差の RMS が改善し、El-Az プロットでは高い仰角での系統的な方位角残差が小さくなっていることが確認された。

### 5.3 3.11 東北地方太平洋沖地震に伴う軸校正パラメータの変化

2011年3月の地震とその後の余効変動の影響を疑って、6月、7月、8月、12月に鹿島11mアンテナのポインティングの確認観測を行ってきた。それぞれの観測結果はWEBにまとめている。これまでのポインティング観測で得られたアンテナの軸校正パラメータを表5.5に示す。このポインティングパラメータを並べてみると地震の影響で大きく変わったパラメータとして、AZ-offset, と Az 軸の傾斜 ( $Az=0,90$  それぞれ) が明らかとなった。図5.9に軸校正パラメータの観測回ごとの変化を示す。AZ 軸の傾きと AZ オフセットについてはそれぞれ明確な変化が見られたが、その他のパラメータについては12月の観測で2008年の軸校正観測の値に戻っているため地震後の変化として明確ではない。再度軸校正観測した際に確認する必要があるだろう。変化のあった3つのパラメータについて表5.6に変化分をまとめる。

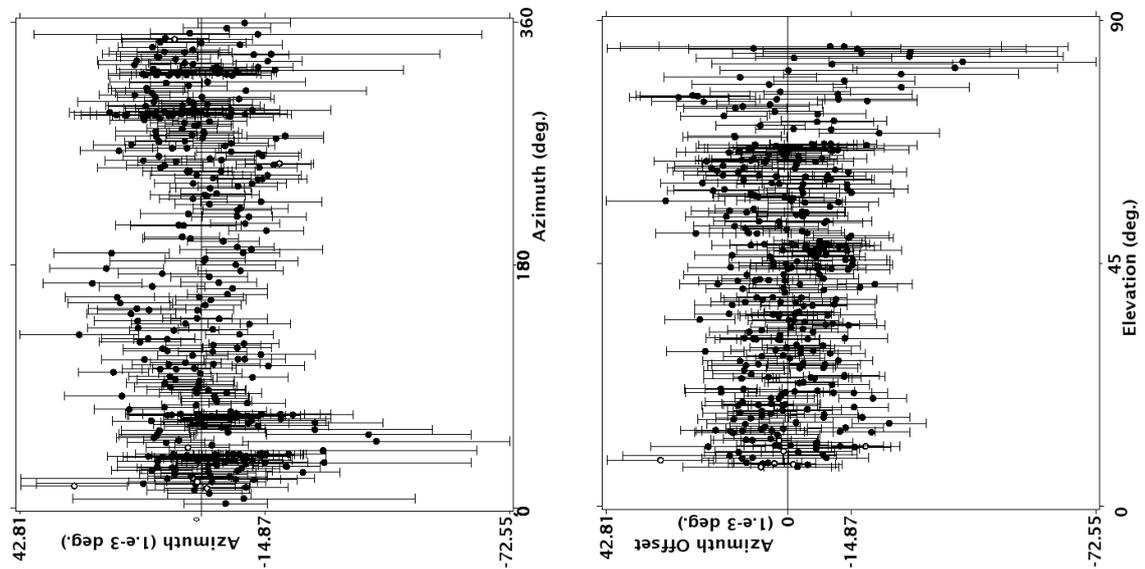


図 5.6: 8月30日の鹿島 11m アンテナ軸校正観測の結果 (改善前) における Az オフセット残差 (Post Fit Residual)。改善後のデータ: 図 5.4(左)、図 5.5(左) と比較すると、以前は EL=90 近くにおいて AZ 残差が系統的に大きかったことがわかる。

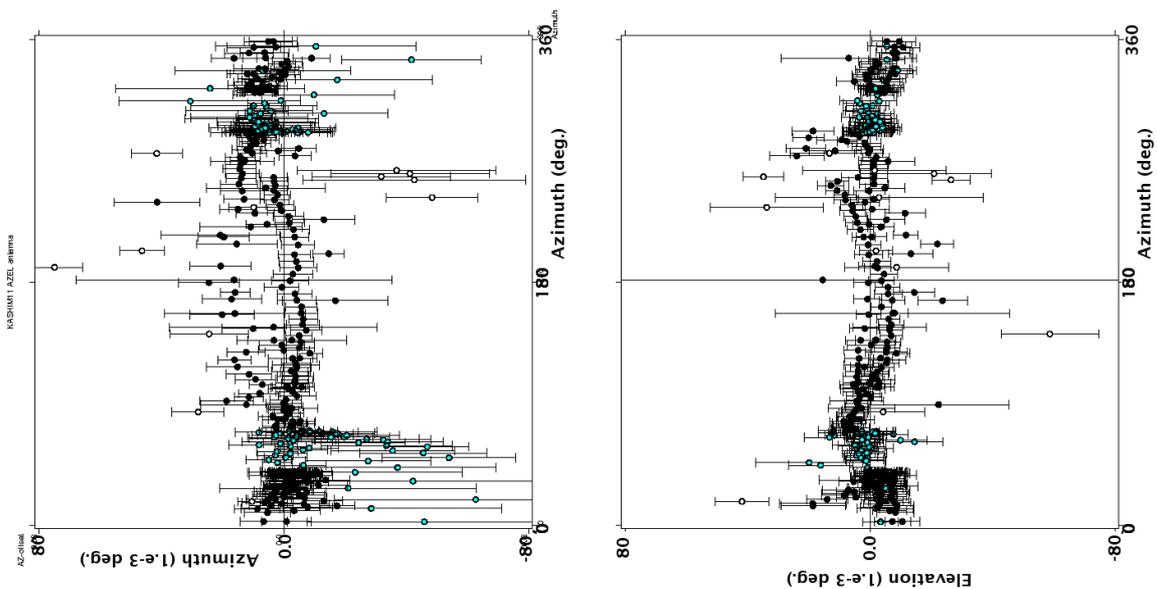


図 5.7: 2012/1/1 の確認観測の結果。鹿島 11m アンテナの方位角に対する Az 残差 (左) と El 残差 (右)

表 5.5: 鹿島 11m アンテナの軸校正観測の結果得られたパラメータ

Parameters	2008	2011/6/8	2011/7/4	2011/8/29	2011/12/28
AZ offset	-0.03586	-0.07422	-0.074693	-0.0749545	-0.07761586
Axis Skew (AZ,EL 非直交度)	0.022224	-0.01063	-0.003743	-0.0074876	0.007751016
BOX offset (光軸 Az 方向 offset)	0.025679	-0.00596	-0.001075	-0.0044556	0.010810264
Title to Az=0	0.005409	-0.02297	-0.020578	-0.021996	-0.01897566
Title to AZ=90	-0.0163	-0.04495	-0.04118	-0.044387	-0.0451335
El Offset	0.012521	0.019903	0.0250666	0.02362767	0.005781644
El Slope	0.013528	0.004907	0.0010666	0.00070253	0.020405451
delta Az cos(Az)	0.011929	0.000135	-0.000691	-0.000282	0.009079799

表 5.6: 地震後に明瞭な変が見られた 3 つの軸校正パラメータ

パラメータ名	地震後の変化分 (平均値) [deg.]
AZ Offset	-0.0395
Az Tilte (A=0 方向)	-0.0265
Az Tilte (A=90 方向)	-0.0276

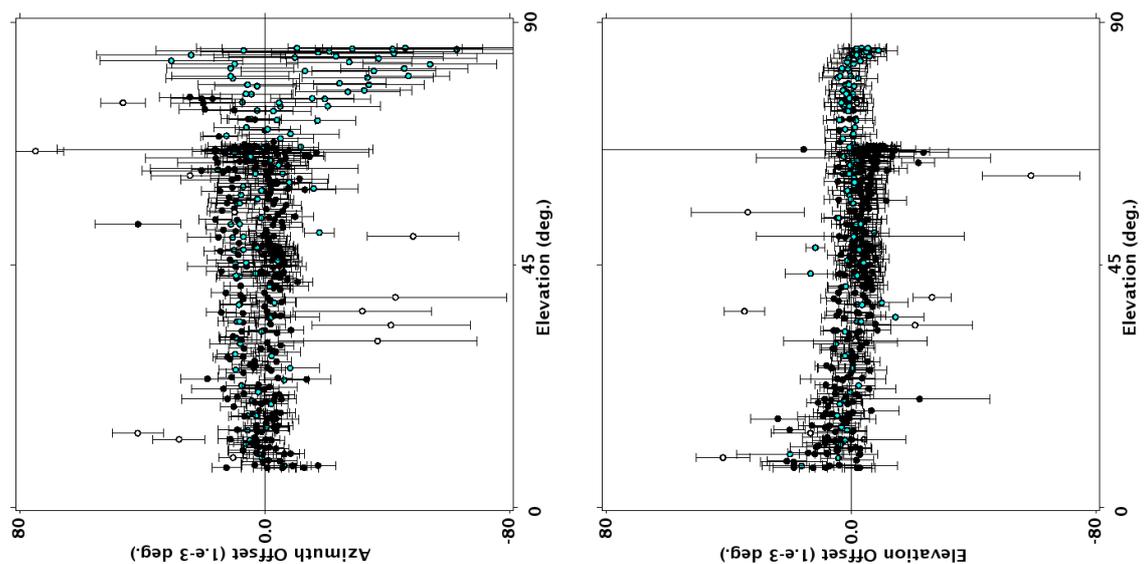


図 5.8: 2012/1/1 の確認観測の結果。鹿島 11m アンテナの仰角に対する Az 残差 (左) と El 残差 (右)

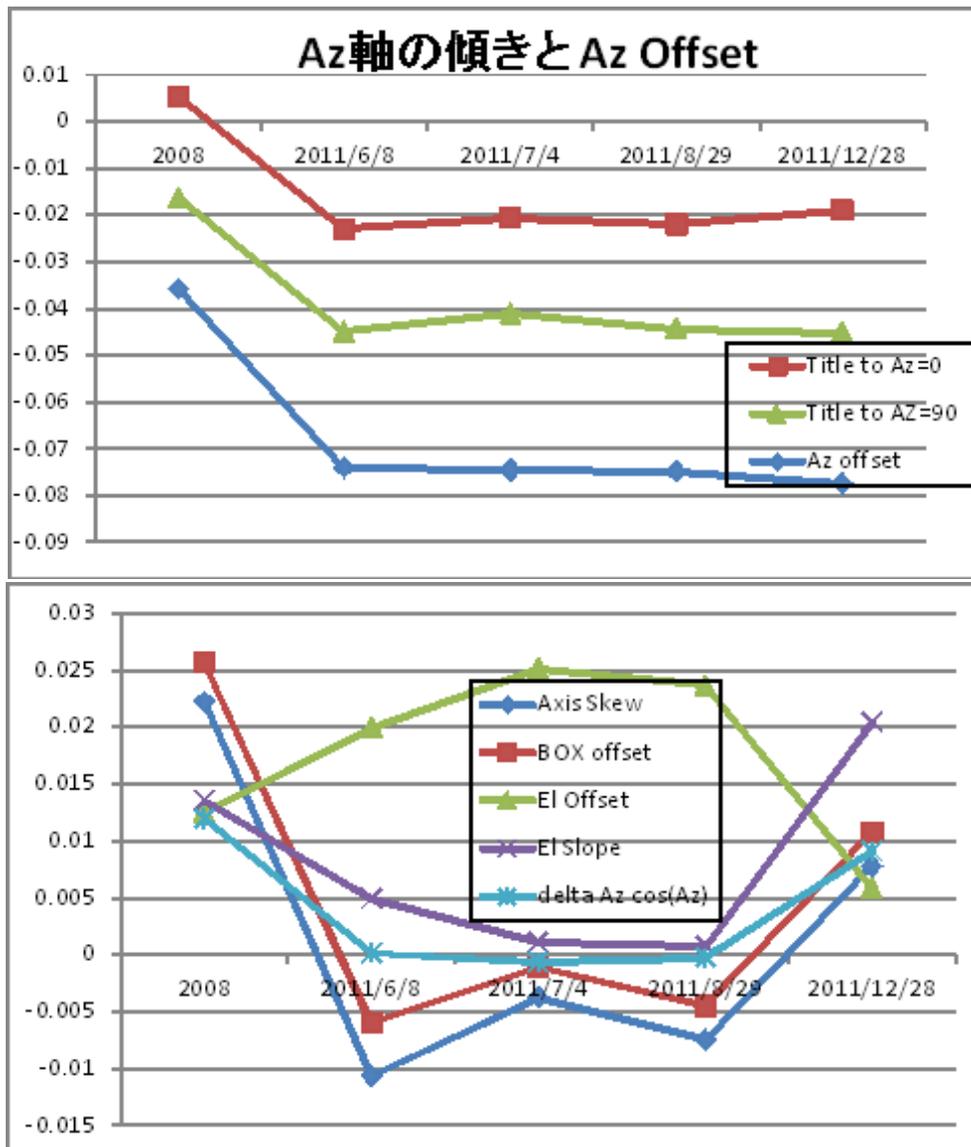


図 5.9: 鹿島 11m アンテナ Az-Offset パラメータの変化 (上図) とその他の軸校正パラメータ (下図)

## 6 小金井 11m アンテナステータス

### 6.1 概要

小金井 11m アンテナについても、首都圏地殻変動観測プロジェクト (KSP) が終了した後、VLBI グループ (時空標準研究室) で運用し、技術開発に

関係した実験観測に使用している他、宇宙環境インフォマティクス研究室と協力関係から、NASA の太陽観測衛星である STEREO 衛星のダウンリンクデータ取得を定期的に行っている。また、2011 年 3 月 11 日の東日本大震災の後は、IVS の国際 VLBI 観測に参加しているほか、2011 年 5 月から鹿島-小金井間での VLBI 実験を定期的実施し、基線長の変化をモニターする観測を行ってきた (図 5.1)。

アンテナの保守に関しては、ワイヤレスネットワーク研究所宇宙通信システム研究室との協力により、施設維持費確保し、毎年 NEC による定期保守を行ってきているアンテナとしては、鹿島 11m アンテナと同じものであるが、アンテナ制御ソフトウェア FS9 との調整の問題によるものか、現在のところ、FS9 に備えられている軸校正観測コマンド acquire による軸校正観測でアンテナのゲインパラメータ校正のための ON/OFF 自動観測ができない状態にある (手動コマンドによる ON/OFF は問題ない)。鹿島 11m アンテナと同一天体を同時に観測した場合でも SEFD 測定の結果は小金井 11m アンテナの方が倍以上効率が悪いという結果が得られている。この原因については、まだよくわかっていないが、原因のひとつには AZ 軸の角度計測が疑われる。2011 年に複数回行った軸校正観測の結果小金井 11m アンテナについても鹿島 11m で生じていたような AZ 軸のヒステリシスがあるような結果が得られている。以下の節では、軸校正観測を行った結果についてまとめて報告する。

しかし、11m アンテナのビームサイズが 0.18 度であることを考えると、半値半幅約 0.1 度程度もビームがずれていると解釈するのは、やや厳しいようにも思われる。効率低下をもたらす他の原因 (樹木の影響など) について、さらに検討する必要がある。

表 6.1: 小金井 11m アンテナの諸元

Diameter	11m
Tsys (X/S)	130 K / 70 K
Efficiency (X/S)	0.48 / 0.32
SEFD (X/S)	7800 Jy / 6400 Jy

### 6.2 軸校正観測の結果

#### 6.2.1 背景

小金井 11m アンテナの軸校正観測を 2011 年 12 月 29-31 日に行った。小金井の 11m アンテナの軸校正観測は 2011 年 10 月 14 日に行い、アンテナポインティングパラメータの更新を行っていたが、ステレオ衛星の観測に問題が発生し、その原因調査の一貫として軸校正観測を行った。図 6.1 に今回観測を行なった天体の天球上の天を示す。

観測実施期間:

2011.12.29.06:13 -2011.12.31.01:10 (UT)

使用した天体: Casiopea-A, Taurus-A, Orion-A, Virgo-A, Cygnus-A

使用点数/観測点数: 715/716 点

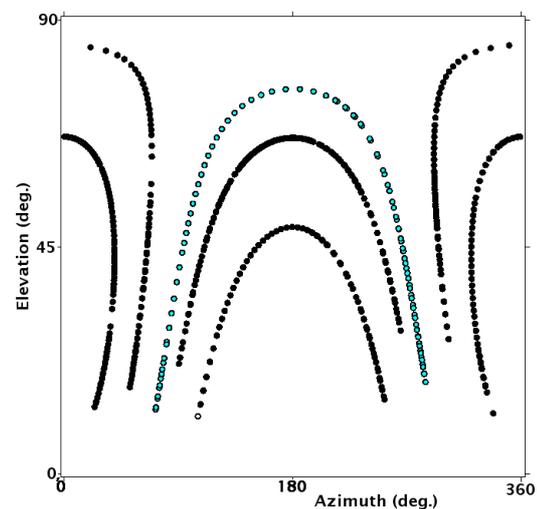


図 6.1: 観測の SkyCoverage, 南側でもっとも高い高度を通る Taurus-A について、マークをつけて示している。

#### 6.2.2 観測結果

観測によって得られたポインティングの残差とモデルフィット後の残差を比較のため上下並べて図 6.2-6.5 に示す。南側で高仰角を通過する Taurus-A に印をつけてプロットしている。高仰角を南側で通

過する Taurus-A は Az の正の残差が大きく、高仰角を北側で通過する Cygnus-A は Az の負の残差が大きいことがわかる。このことは、Az の角度ヒステリシスが存在することを示唆している。

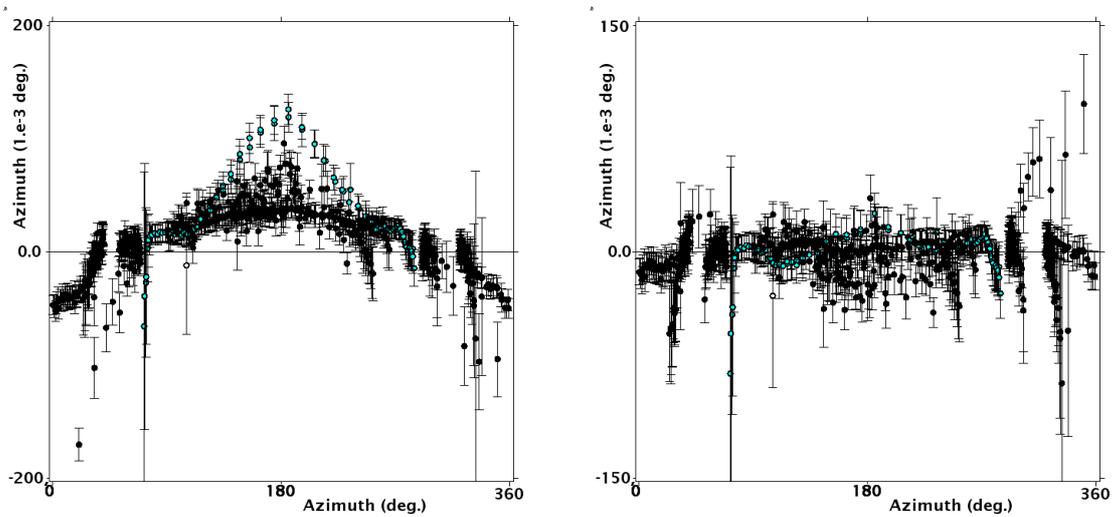


図 6.2: ポインティング観測の方位角に対する方位角 ( $Az-Az$ ) 残差 (観測データ: 左図) とポインティングモデルフィット後の残差 (右図)。観測データ残差ではマークをつけている Taurus-A だけが南側で Az 残差が大きい。

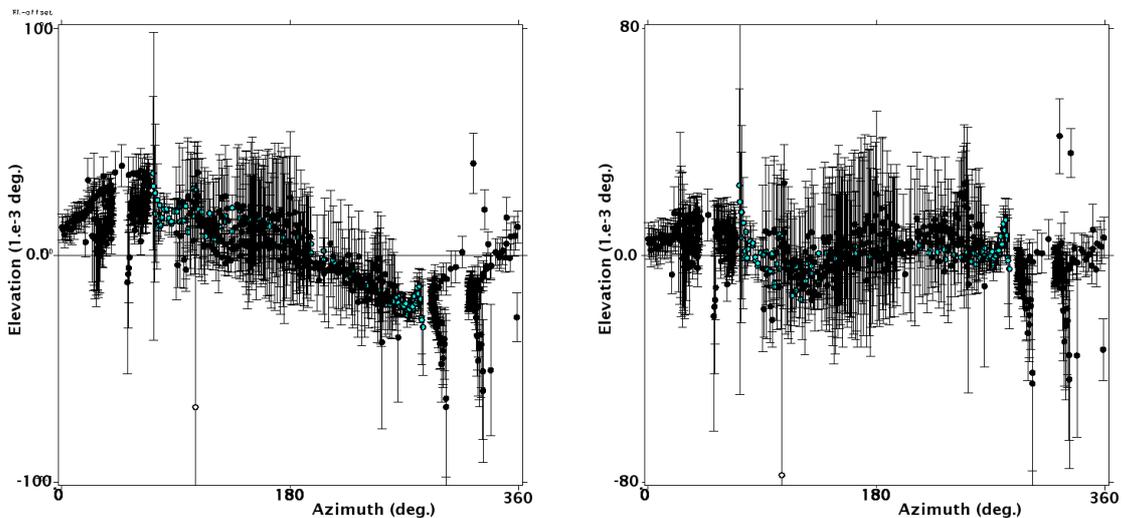


図 6.3: ポインティング観測の方位角に対する仰角 ( $Az-El$ ) 残差 (観測データ: 左図) とポインティングモデルフィット後の残差 (右図)。

前回 (2011/10) と今回 (2011/12) のモデルフィットの残差 RMS 等の値を表 6.2 に示す。今回のパラメータフィットで、RMS が改善したが、10 月の際にも同様に改善したはずであった。残差の増加は、AZ 角度のヒステリシスが関係していると思われる。そのため、またヒステリシスに影響を与える軸受の抵抗等が変わった条件では、また違ったポインティング誤差を生じる可能性がある。

前前回 (2006 年)、前回 (2011/10) と今回 (2011/12) のモデルフィットパラメータとの比較を表 6.3 に示す。

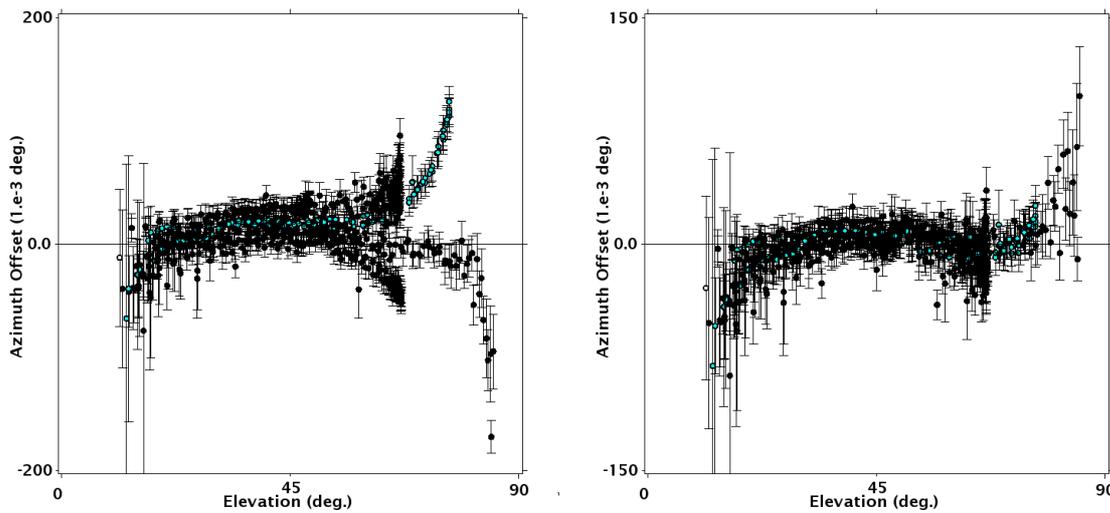


図 6.4: ポインティング観測の仰角に対する方位角 (Az-El) 残差 (観測データ: 左図) とポインティングモデルフィット後の残差 (右図)。観測データ残差ではマークをつけている Taurus-A(南側の高い仰角を通る) が高仰角で正の残差が大きい。高仰角で負の残差が大きい点は Cygnus-A であり北側の高仰角を通過する。

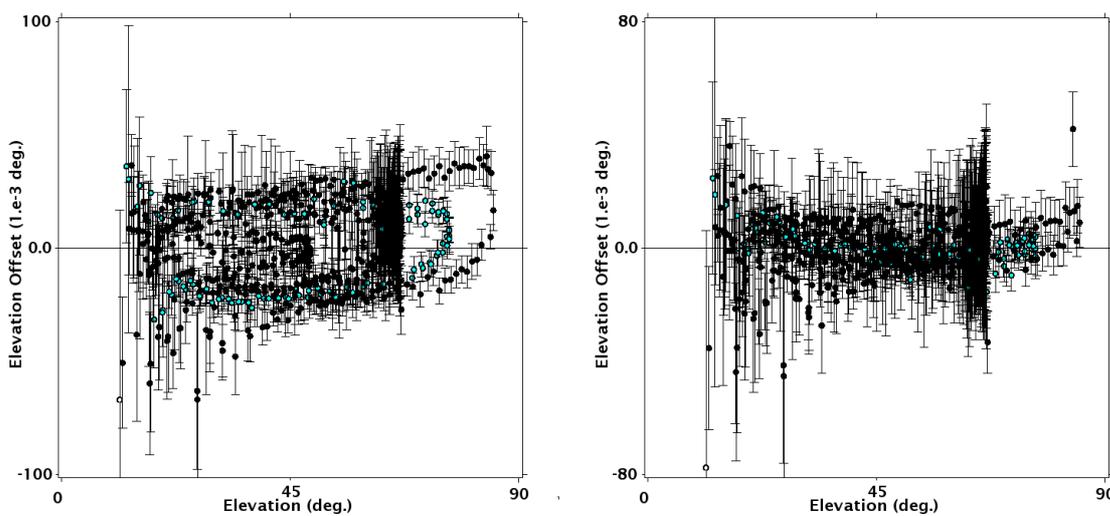


図 6.5: ポインティング観測の仰角に対する仰角 (El-El) 残差 (観測データ: 左図) とポインティングモデルフィット後の残差 (右図)

表 6.2: パラメータフィット前後のポインティング残差の統計量

	2011/10 の修正		2011/12 の修正	
	Pre-fit	Post-fit	Pre-fit	Post-fit
AZ 平均残差	0.0688	0.0	+0.0232	0.0
AZ RMS	0.0269	0.0107	0.0184	0.0101
EL 平均残差	0.0700	0.0	-0.0058	0.0
EL RMS	0.0202	0.0078	0.0165	0.0070

表 6.3: 前回 (2006 年) と今回 (2011/10) のポインティング観測により得られたモデルのパラメータの値を比較した。

Parameters	2006 年	2011/11/14	2011/12/29(今回)
Az Offset	0.0815145448	0.0817209631	0.0851938874
Axis Skew	-0.0396491513	-0.0047605284	-0.0161738209
hline Box Offset	-0.0405232906	-0.0759727582	-0.0904617682
Tilte to Az=0	0.0033816006	0.0067374520	0.0081249569
Tilte to Az=90	0.0084463665	-0.0160997882	0.0045164954
El Offset	-0.0262660179	0.0495490544	0.0376999974
El Slope	0.0043992158	0.0017341302	0.0163176190
$\delta Az \cos(Az)$	0.0012111574	0.0133468425	0.0142048765

### 6.2.3 結論

1. 今回の観測の結果、10月から使用していたモデルでは、高仰角の観測点で Az 方向に 0.1 度程度の誤差があることがわかった。しかし、高仰角のため、天球面上の角度誤差としてはこの半分程度と考えられる。今回モデルフィッティングにより得られたデータでポインティングパラメータを更新する。
2. 高仰角の南側 (Taurus-A) と北側 (Cygnus-A) で Az の残差が大きく符号が逆であることから、Az 軸の角度読み取りにヒステリシスが存在することを示唆している。同様の現象が鹿島 11m でも確認されていたが、2011 年 12 月に改修工事を行い、現在は 0.04 度あったヒステリシスが 0.015 以下に改善している。小金井 11m でも、ヒステリシスを解消するための改修工事が必要であると考えられる。
3. 今回の軸校正観測で確認されたポインティング誤差の大きさは X-band のビーム幅 0.18 度よりは小さいが受信効率の低下を引き起こす可能性が考えられる程度の値である。STEREO 衛星の受信に多少の影響があった可能性もある。

## 7 VLBI2010 広帯域受信のための電波環境調査

### 7.1 概要

次世代の測地 VLBI システムとして世界各国で開発が進められている VLBI2010 仕様の広帯域 VLBI システムでは、広い電波領域を利用するため、電波干渉 (RFI) は VLBI2010 の成功にとって重要な問題である。我々は、NICT 小金井本部に設置した MARBLE 2号機において、RFI を経験し、その調査結果を報告する。この問題については、最終的にハイパスフィルター (HPF) を使って対策をとることとし、現在カットオフ周波数 3.5GHz のフィルタを使用しているが、この場合通常の測地 VLBI で使用してきた 2GHz 帯はもはや使用できないことになる。また、広帯域受信のため、直線偏波 2 系統を記録し、相関処理において円偏波合成を行うこととなる。今後、3-14GHz の帯域で 1 GHz 幅を 4 チャンネル取得する新しい周波数配列を RFI 調査結果を考慮し、MARBLE の受信システム設計に資する。

### 7.2 経緯

次世代の測地 VLBI システムの仕様として検討・開発が進められている VLBI2010 では、2GHz から 14GHz までの広帯域電波を受信して感度を向上させ、速い駆動速度のアンテナを使用してより多くの天体を短時間に観測することによって測地 VLBI の計測精度向上を目指している。NICT と GSI の VLBI グループでは、距離基準計測を目的として VLBI2010 仕様に準じた広帯域の受信機を搭載した直径 1.6m の小型アンテナ (MARBLE) を開発してきた (図 7.1)。その後、NICT はこのシステムを時刻・周波数比較に利用する計画を進めている。しかし、広帯域であるが故に RFI の影響を受けやすいという弱点があり、実際につくばから移設され、NICT 小金井本部の 2 号館屋上に設置された MARBLE 2号機では、システム雑音温度の測定が困難な状況が発生し、対策としては LNA の前段に RFI をカットするハイパスフィルター (HPF) フィルタを挿入することが考えられた。そこで、VLBI2010 が観測対象とする 2-14GHz の周波数帯域の環境電波強度を把握するため、調査を行った。

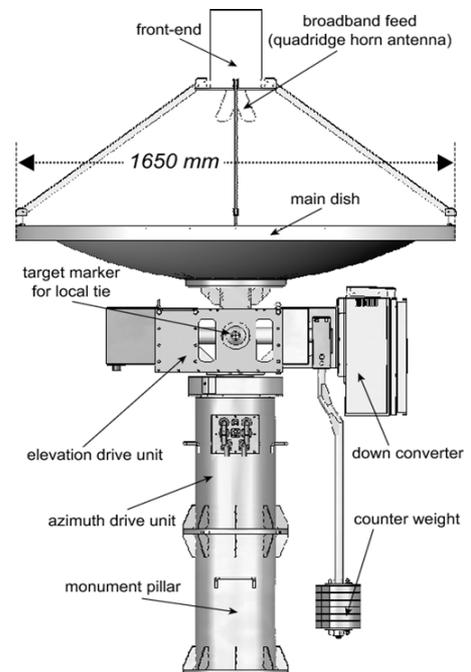


図 7.1: MARBLE アンテナは VLBI と GPS の基線長計測の検定を目的として開発された。アジマスドライブより上部は取り外しが可能で、GPS 受信機をコロケーション観測のため設置できるようになっている。

### 7.3 鹿島、小金井における電波環境調査

小型の広帯域受信システム (SIRIUS: 図 7.3) を使って鹿島及び NICT 小金井本部にて電波環境調査を行った。調査実施場所を 図 7.2 に、それぞれの地点での測定結果を 図 7.2 に示す。地点-3(Kashima) では SIRIUS を使った方法と MARBLE 1号機の LNA 出力をスペクトラムアナライザで測定する方法を比較して行った (図 7.5)。図 7.5 から MARBLE の RFI の影響は SIRIUS よりも小さく、これはアンテナの指向性の違いによるものと考えられる。測定結果の図では、それぞれのプロットは見やすいように縦方向にずらして表示している。これらの測定結果から、RFI の影響により SIRIUS の受信機が飽和して高調波が発生していることが示唆された。そこで、カットオフ周波数 3.5GHz のハイパスフィルター (HPF) を挿入し、再度、3.5GHz 以上の電波環境の調査を行った。図 7.6 に MARBLE の LNA 前段に遮断周波数 3.5GHz の HPF を挿入して測定した電波環境調査の結果を示す。また、周波数割り当てから推定される RFI の発信源を図 7.7 に示す。

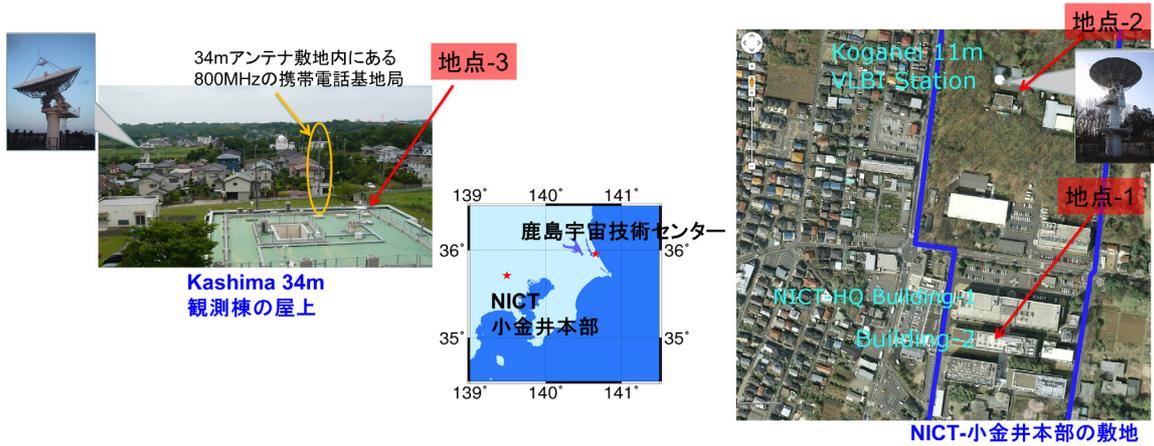


図 7.2: 鹿島宇宙技術センター及び NICT 小金井本部の中で、RFI 調査を行なった地点を示している。地点 1:は小金井本部 2 号館屋上、地点 2:は小金井 11m VLBI 観測棟の屋上、地点 3:は鹿島の 34m アンテナ観測棟の屋上である。

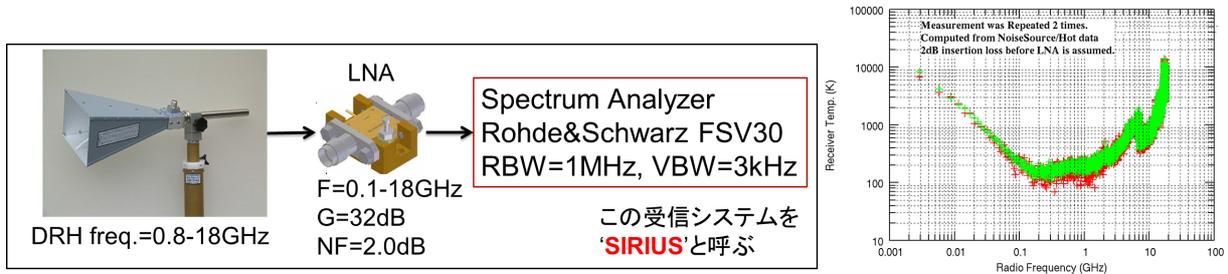


図 7.3: 電波環境調査は、「統計的手法による微弱放射電力の計測」(名称: SIRIUS)で整備された広帯域アンテナ (Dual-Ridged Horn Antenna: DRHA) と広帯域 LNA を組み合わせ、スペクトラムアナライザーで計測を行った。使用した受信機の雑音温度-周波数特性 (測定値) を右の図に示している。

#### 7.4 まとめ

1. RFI の影響は鹿島、小金井共に 2GHz 帯以下では厳しい状況にあり、無線 LAN や ((スマートフォンの普及により今後厳しさを増すと予想される。
2. 一方、3GHz 以上の周波数域は東京であっても比較的穏やかであり、干渉計観測が可能であると見込まれる。
3. RFI 対策のため現在、3.5GHz の HPF を導入したが、LNA 前段への挿入は受信機雑音温度を増加させている。
4. カットオフ周波数 ( $f_c$ ) 3.5GHz は少し保守的すぎるかもしれない。  $f_c=3$ GHz に変更する予定。
5. S/X 帯に代わる 3-14GHz の中で帯域幅 1GHz の周波数配列を現在検討中である。

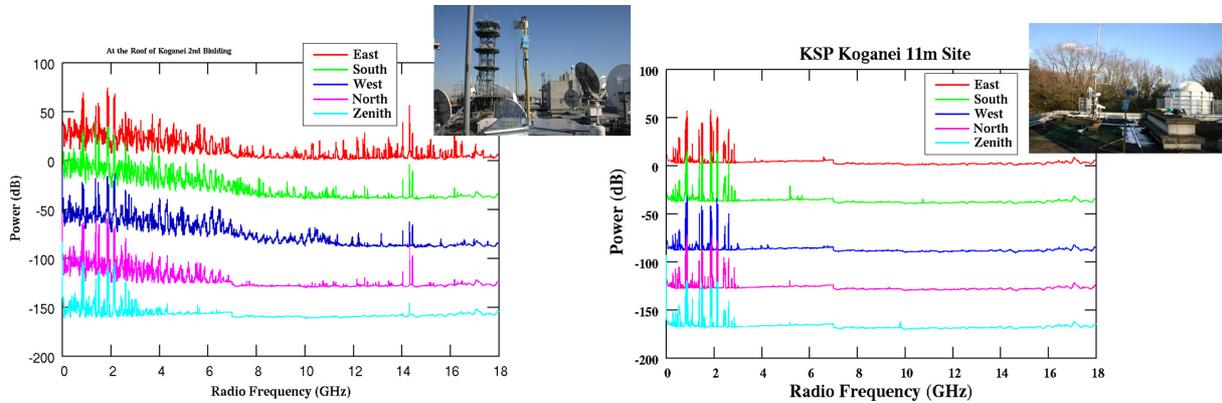


図 7.4: NICT 小金井本部での電波環境調査を行った結果。地点1(図左)と地点2(図右)において SIRIUS を使って観測された 0-18GHz の周波数範囲の電波強度をそれぞれ示す。それぞれの色のついた線は、アンテナを東西南北の水平方向及び天頂に向けたときの受信スペクトルであり、重ならないように縦方向にずらして表示している。数百メートルしか離れていない2つの地点の測定結果の比較から、地点-1 で観測された 3GHz 以上の RFI は NICT の研究所内部からの放射であることがわかる。VLBI 用 11m のある北敷地 (地点-2) は 2号館屋上 (地点-1) より電波環境が比較的良好であるが、3GHz 以下の周波数では2つの地点に大きな差はないことがわかる。

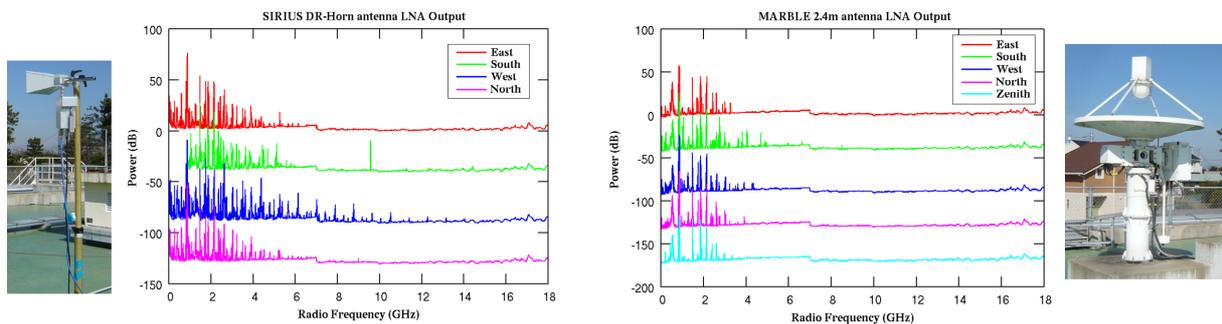


図 7.5: 鹿島 (地点-3) において、SIRIUS (左) と MARBLE (右) を使って、それぞれ水平方向の東西南北に向けて計測した受信電波を示す。二つのアンテナの結果の違いは主に、ビームサイズによるものであると考えられる。SIRIUS を携帯基地局のある西の方角に向けると混変調による高調波が受信機内で発生していることがわかる。

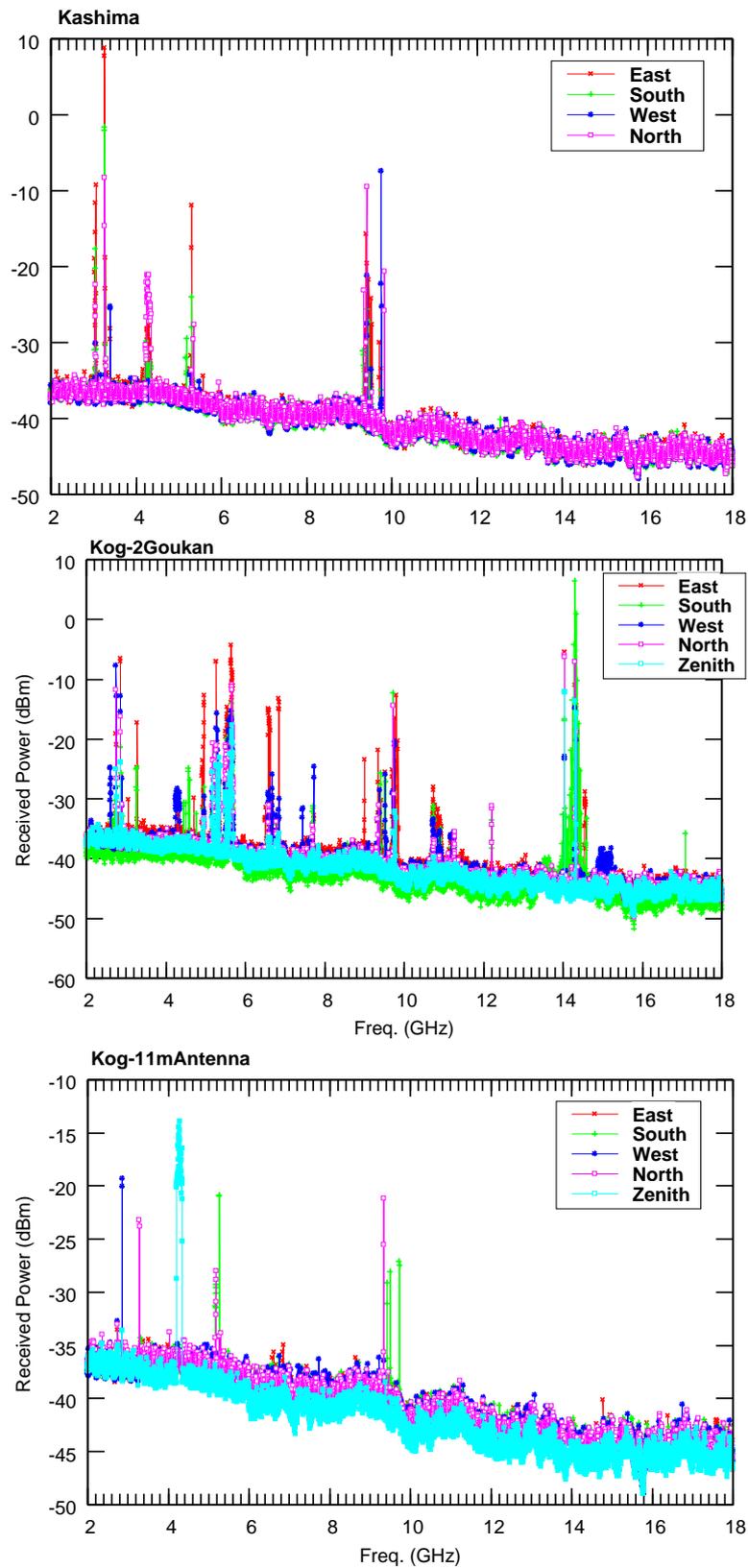


図 7.6: MARBLE の LNA 前段に 3.5GHz の HPF を挿入して測定した、鹿島 34m 観測庁舎屋上、小金井 2 号館、11m アンテナそれぞれの地点で取得した環境電波の生データ。東西南北方向の LNA 出力。

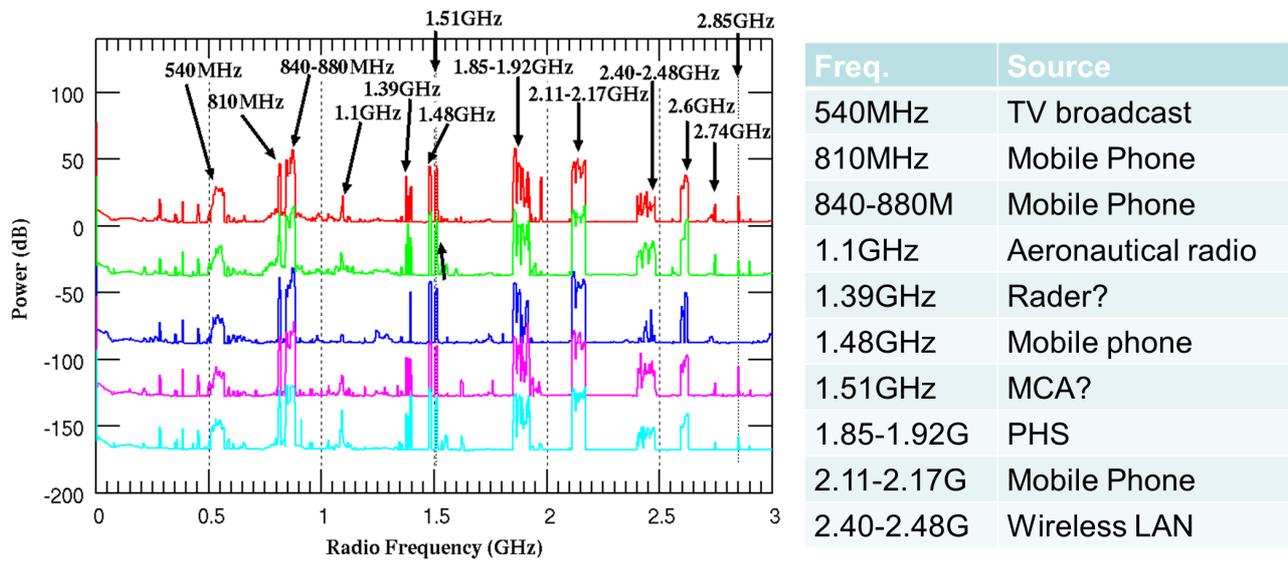


図 7.7: 総務省の周波数割当割当てから推定される RFI の発信源。

## 8 34m アンテナの震災被害

### 8.1 はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による東日本大震災のため、NICTでの実証実験に不可欠な道具立ての一つである鹿島34mアンテナも被災し、長期にわたる観測停止状態を余儀なくされている。本稿では、震災による様々な影響をまとめた。

### 8.2 鹿島34mアンテナの現況

錆による鹿島34mアンテナの構造劣化を防ぐために、エレベーションギヤ部及びステップ部分の補修、主鏡面の洗浄などを2011年1月12日に開始した。この補修工事の一環として、NICTの新ロゴ(図3.10)もアンテナに描画することとした。ところが、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による東日本大震災により34mアンテナも被災し、かつ補修工事請負業者側でも職人確保が困難となり、またガソリンや建設用資材の不足、震災復興作業を優先するなどの事情のため、工事の一旦停止を余儀なくされた。その後、5月の連休後から本格的に補修工事を再開し、6月18日に完了した。

アンテナの被災については、下記のような時間経過とともに詳細が判明し、当初より極めて深刻な状況にあることがわかった(図8.2)。

なお、2011年に行った修理、補修等については、3.4 駆動系トラブル・修理作業等(2010-2011年)の項目中に詳細を記述した。

#### 2011年3月末 目視による緊急調査

1. 電気、及び空調配管の剥離・落下
2. アンテナ基台コンクリートの不同沈下とこれによる排水不良
3. エレベーションギヤ支柱の構造部の弱体化

#### 2011年6月下旬以降 アンテナ低速駆動による調査

1. アジマスモータ減速機異音発生、1台の分解調査により破損判明。残り全モータ(エレベーション2台、アジマス3台、計5台)の減速機のオーバーホール補修を実施することを決定。
2. ケーブル捻回部破損。これにより、アンテナ駆動による調査中断。これについては既に対応済み。
3. 受信機制御系動作不良。

#### 2011.9月末～2012年1月 アンテナ低速駆動による調査再開(11月中旬～12月上旬にかけて減速機取り外しにより一旦中断)

1. 軸校正試験実施。22GHz受信での光軸ずれを鹿児島大学の協力のもと発見。アジマスレールの継ぎ目でずれが顕著であることから、2mmにも及び継ぎ目の段差を確認。その後、8GHz帯の信号受信でも光軸ずれが地震前に比べて増大していることが判明。

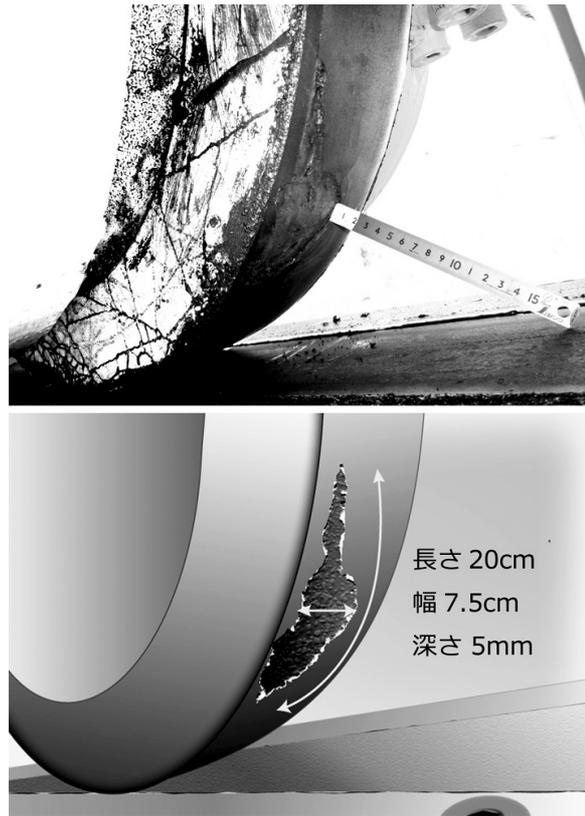


図 8.1: 34m アジマスホイールの損傷状況。上段: 損傷部分の写真、下段: 損傷部分を強調したイラスト。

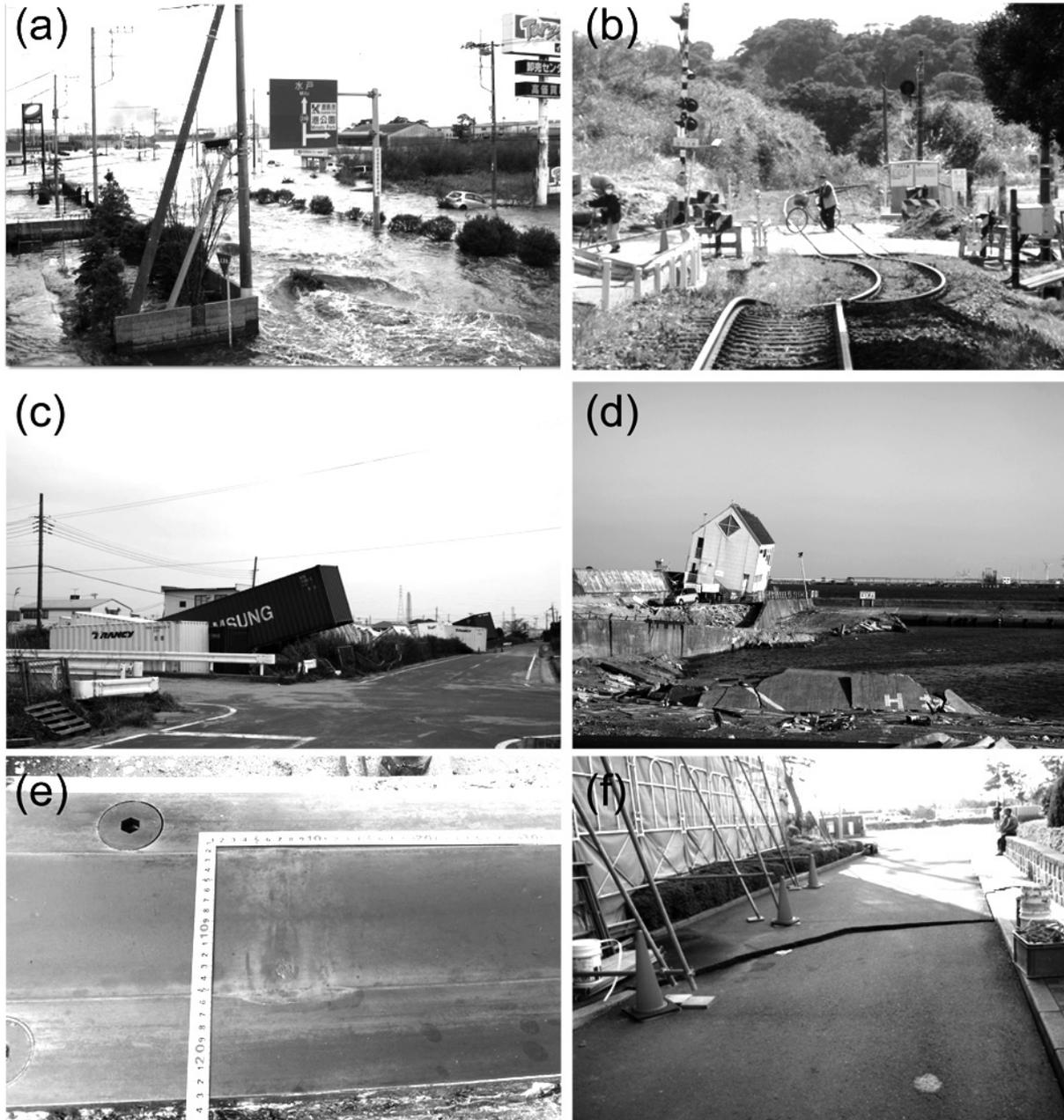


図 8.2: 東日本大震災による鹿嶋市周辺、及び鹿島宇宙技術センターの被害。(a) 鹿島港周辺に襲いかかる津波の被害 [6], (b) 強震動のため曲がった鹿島臨海鉄道のレール、(c) 鹿島港から津波で流された多数のコンテナ、(d) 津波によって破壊された鹿島港、(e) 34m アンテナアジマスホイールによるアジマスレール上の擦過痕、(f) 鹿島宇宙技術センター玄関前の状況 (写真 (b) と (f) は近藤氏による)。

2. アジマスレールを調査する中で、レール面の抉れを発見。なお、この時までには、被災時にアジマスホイールがレールと設置していた場所で、幅 1cm を越える抉れも確認している。
3. 2012 年 1 月 27 日にアジマスホイールの 1 輪に重大な損傷を発見 (図 8.1)。

2012 年 2 月現在、第一次補正予算による 34m アンテナ復旧のための補修作業を順次進めているところである。

### 8.3 東北地方太平洋沖地震による地殻変動

“東北地方太平洋沖地震”発生後の余効変動が 2012 年 1 月現在も継続している。34m アンテナ庁舎屋上に設置した NICT の GPS 観測点 (観測点名: KS34) のデータ解析によれば、図 8.3 に示すように、地震後 2011 年末までに、東方向へ 30cm、南方向へ 18cm、鉛直上向きに 13cm の変位が認められる。VLBI、GPS 共に世界測地座標系の中での局位置を正確に把握しておく必要があり、今後も継続的に観測を行うことにしている。

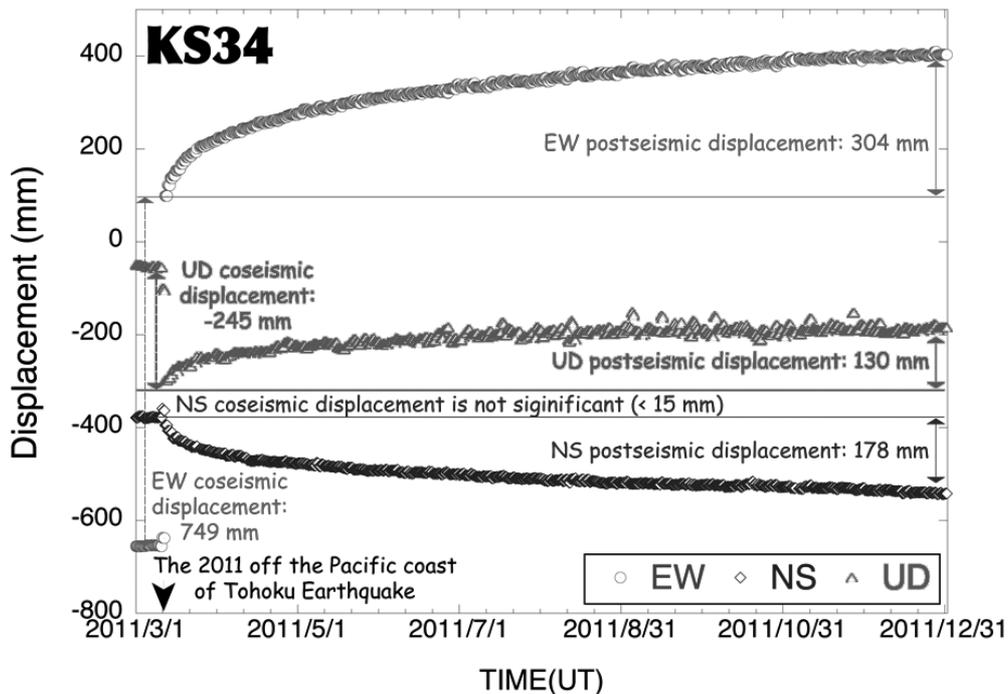


図 8.3: 鹿島宇宙技術センターに設置された GPS 観測データによって得られた東北地方太平洋沖地震に起因する地殻変動。

## 参考文献

- [1] Ichikawa R., Ishii A., Takiguchi H., Koyama Y., Kondo T., Kokado K., Kurihara S., and Matsuzaka S., Present Status and Outlook of Compact VLBI System Development for Providing over 10km Baseline Calibration, TDC/News, Vol.30, pp.22–25, 2009.
- [2] Hobiger, T., Shimada, S., Shimizu, S., Ichikawa, R., Koyama, Y. and Kondo, T., Improving GPS positioning estimates during extreme weather situations by the help of fine-mesh numerical weather models, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, Vol. 72(2-3), pp. 262–270, 2010.
- [3] Whitney, A., VLBI Data Interchange Format (VDIF), Proceedings of the 8th International e-VLBI Workshop, PoS(EXPReS09)042, 2009
- [4] Kettenis, M., C. Phillips, M. Sekido, and A. Whitney, VLBI Data Interchange Format (VDIF) Specification, <http://www.vlbi.org/vsi/index.html>, 2008.
- [5] Lapsley, D., and A. Whitney, VSI-E Software Suite, Proceedings of 7th European VLBI Network Symposium on VLBI Scientific Research and Technology, 291-292, 2004.
- [6] 広報かしま [[http://city.kashima.ibaraki.jp/20kouhou/data/20110401/0401\\_all\\_ver2.eps](http://city.kashima.ibaraki.jp/20kouhou/data/20110401/0401_all_ver2.eps)]), No. 393, 4月1日号, 2011.

## A 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 A.1 に示す。

表 A.1: S/X 帯の軸較正観測に使用する電波源

		Northern Sources						Total Flux Densities		
Source and letter code		Position (1950.0)			Size*			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' × 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	
o	3C348	16 48	40.0	+05 04	35.	115"	27.0	6.8		
p	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		
s	1921–293	19 21	42.18	–29 20	24.9	< 1"		5–10	VAR	
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 <sup>+</sup>	23 21	09.	+58 32	30.	3'	1510 <sup>+</sup>	528 <sup>+</sup>		

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.

<sup>+</sup> 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)

## B 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
APPS	Advanced Precise Positioning System
AZ	Azimuth
CW	Clockwise
CCW	Counter-Clockwise
CDDIS	Crustal Dynamics Data Information System
D CPA	Direct Current Power Amplifier
DSAMS	Direct Sampling Applied for Mixed Signals
ESA	European Space Agency
EL	Elevation
ETR	Elevation Tilting Room
FS9	Field System version 9
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning System
GSFC	Goddard Space Flight Center
GSI	Geospatial Information Authority of Japan
HPBW	Half-power Beam-width
HTS	High-Temperature Superconductor
IGS	International GNSS Service (formerly International GPS Service)
IOC	Instantaneous Over Current
ISAS	Institute of Space and Astronautical Science
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
IVS	International VLBI Service for Geodesy and Astrometry
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
JIVE	Joint Institute for VLBI in Europe
KSP	Key Stone Project
MIT	Massachusetts Institute of Technology
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NICT	National Institute of Information and Communications Technology
Pcal	Phase calibration
PLO	Phase Locked Oscillator
SCU	Subreflector Control Unit
SEFD	System Equivalent Flux Density
STEREO	Solar TERrestrial RELations Observatory
UNISEC	University Space Engineering Consortium
UNITEC-1	UNIsec Technological Experiment Carrier-1
VDIF	VLBI Data Interchange Format
VERA	VLBI Exploration of Radio Astrometry
VLBI	Very Long Baseline Interferometer
VSOP	VLBI Space Observatory Programme
VSSP	Versatile Scientific Sampling Processor

## C 光・時空標準グループ VLBI 関連成果論文 (発表) リスト (2010年1月 - 12月)

### 原著論文

- Hobiger Thomas**, 後藤 忠広, 雨谷 純, 小山 泰弘, A GPU based real-time GPS software receiver, *GPS Solutions*, **14**, 2, pp.207-216, 2010
- Hobiger Thomas**, 島田 誠一, 清水 慎吾, 市川 隆一, 小山 泰弘, 近藤 哲朗, Improving GPS positioning estimates during extreme weather situations by the help of fine-mesh numerical weather models, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, **72**, 40212, pp.262-270,
- Hobiger Thomas**, 木下陽平, 清水慎吾, 市川 隆一, 古屋正人, 近藤 哲朗, 小山 泰弘, On the importance of accurately ray-traced troposphere corrections for Interferometric SAR data, *Journal of Geodesy*, **84**, pp.537-546, 2010
- Haas R., 関戸 衛, **Hobiger Thomas**, 近藤 哲朗, Kurihara S., Tanimoto D., Kokado K., Wagner J., Ritakari J., Mujunen A., ULTRA-RAPID DUT1-OBSERVATIONS WITH E-VLBI, *ARTIFICIAL SATELLITES*, **45**, 2, 2010
- Boehm Johannes, **Hobiger Thomas**, 市川 隆一, 近藤 哲朗, 小山 泰弘, Pany Andrea, Schuh Harald, Teke Kamil, Asymmetric tropospheric delays from numerical weather models for UT1 determination from VLBI Intensive sessions on the baseline Wettzell-Tsukuba, *Journal of Geodesy*, **84**, 5, pp.319-325, 2010

### 収録論文等

- 関戸 衛, 岳藤 一宏, 木村 守孝, 秦野 拓哉, 高橋 富士信, Development of eVLBI data Transport Software Suite with VDIF, 第 6 回国際 VLBI 事業 (International VLBI Service for Geodesy and Astrometry) 総会,
- 石井 敦利, 市川 隆一, 瀧口 博士, 岳藤 一宏, 氏原 秀樹, 小山 泰弘, 近藤 哲朗, 栗原 忍, 三浦 優司, 松坂 茂, 谷本 大輔, Current status of development of a transportable and compact VLBI system by NICT and GSI, *Sixth IVS General Meeting*, **S1**, T10,
- 瀧口 博士, 小山 泰弘, 市川 隆一, 後藤 忠広, 石井 敦利, **Hobiger Thomas**, 細川 瑞彦, 測地 VLBI 技術を用いた時刻・周波数比較への取り組み, *IVS 技術開発センター (TDC) シンポジウム*,
- 氏原 秀樹, 石井 敦利, 川口 則幸, 萩原 喜昭, 河野 祐介, 武士 健, 本間 稀樹, 木村 公洋, 松本 浩平, 黒岩 宏一, 小川 英夫, 上妻 昇志, 中西 裕之, 中川 亜紀治, 加藤 昌, 池崎 克俊, 大田 泉, 山下 一芳, 貴島 政親, 三谷 友彦, SKA に向けた広帯域フィードの基礎開発と上海天文台用 6.7GHz 帯多モードホーンの開発, 第 146 回生存圏シンポジウム 第 28 回宇宙太陽発電時限研究専門委員会研究会 第 9 回宇宙太陽発電と無線電力伝送に関する研究会 (METLAB 研究会) ,
- 後藤 忠広, 雨谷 純, 高橋 靖宏, 浜 真一, **Hobiger Thomas**, 李 廷魚, 準天頂衛星搭載狭帯域ベントパイプによる双方向時刻比較, 第 54 回宇宙科学技術連合講演会,
- 岳藤 一宏, 竹内 央, 堤 正則, 小山 泰弘, DBBC status on the ADS3000+, *TDC シンポジウム* ,
- 小山 泰弘, 近藤 哲朗, 関戸 衛, **Hobiger Thomas**, 瀧口 博士, 和田 弘人, 栗原 忍, Ruediger Haas, Jan Wagner, Ari Mujunen, Jouko Ritakari, Ultra Rapid dUT1 Estimations from e-VLBI Sessions, *Advances in Geophysics*, **20**, pp.197-204,
- Pany Andrea, Boehm Johannes, Schuh Harald, **Hobiger Thomas**, 市川 隆一, Modeling azimuthal asymmetries of the troposphere delay during a 14-days typhoon period in Tsukuba, "Proceedings of the 19th European VLBI for Geodesy and Astrometry Working Meeting,, 24-25 March 2009,, Bordeaux", pp.44-48,
- Boehm Johannes, Spicakova Hana, Plank Lucia, Teke Kamil, A. Pany, Wresnik Joerg, Englich Sigrid, Nilsson Tobias, Schuh Harald, **Hobiger Thomas**, 市川 隆一, 小山 泰弘, 後藤 忠広, 久保岡 俊宏, 大坪 俊通, Plans for the Vienna VLBI Software VieVS, "Proceedings of the 19th European VLBI for Geodesy and Astrometry Working Meeting,, 24-25 March 2009,, Bordeaux", pp.160-163,
- 岳藤 一宏, 竹内 央, 堤 正則, 小山 泰弘, DBBC status on the ADS3000+, *TDC シンポジウム* ,
- 氏原 秀樹, 関戸 衛, 岳藤 一宏, 市川 隆一, 小山 泰弘, 微弱電力の測定技術の研究開発 (II), 電子情報通信学会 環境電磁工学研究会,
- 氏原 秀樹, 岳藤 一宏, 関戸 衛, 市川 隆一, 小山 泰弘, 統計的手法による微弱電力の測定技術の研究開発, 第 10 回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ,

### 口頭発表

- 近藤 哲朗, 竹内 央, 岩田 隆浩, 今井 一雅, 中城 智之, 三澤 浩昭, 土屋 史紀, 熊本 篤志, 月 - 地球間 VLBI 観測を  
目指した LLFAST プロジェクト用サンプラー, *2010 Asia-Pacific Radio Science Conference (AP-RASC'10)* ,
- 石井 敦利, 市川 隆一, 瀧口 博士, 岳藤 一宏, 氏原 秀樹, 小山 泰弘, 近藤 哲朗, 栗原 忍, 三浦 優司, 谷本 大輔, 小  
型・可搬型 VLBI システムの開発状況, *IVS 技術開発センターシンポジウム*,
- 瀧口 博士, 後藤 忠広, 大坪 俊通, Development of the Estimation Service of the Earth's Surface Fluid Load  
Effects for Space Geodetic Techniques, *AGU American Geophysical Union Fall Meeting*,
- 瀧口 博士, 小山 泰弘, 市川 隆一, 後藤 忠広, 石井 敦利, **Hobiger Thomas**, 藤枝 美穂, 雨谷 純, 細川 瑞  
彦, Intercomparison between VLBI Frequency Transfer and Other Techniques, *Asia-Pacific Radio Science  
Conference (AP-RASC)* ,
- 瀧口 博士, 木村 守孝, 近藤 哲朗, **Hobiger Thomas**, 岳藤 一宏, 市川 隆一, 小山 泰弘, K5/VSI システムによ  
る測地及び時刻比較実験, 日本測地学会第 114 回講演会,
- 瀧口 博士, 後藤 忠広, 大坪 俊通, 地球表面流体の荷重変動データベースの構築と荷重変動補正を伴う GPS 解  
析, 日本測地学会第 114 回講演会,
- 瀧口 博士, 雨谷 純, 後藤 忠広, 相田 政則, 市川 隆一, 近藤 哲朗, 長基線電波干渉計のための衛星時刻・周波数配  
信, 日本測地学会第 114 回講演会,
- 氏原 秀樹, 市川 隆一, 小山 泰弘, 武士俣 健, 川口 則幸, 近田 義広, 上妻 昇志, 中川 亜紀治, 西尾 正則,  
有限要素法ソフトによるアンテナシミュレーション, 日本天文学会 春季年会,
- 木下陽平, 島田政信, 古屋正人, **Hobiger Thomas**, 市川 隆一, InSAR で捉えた集中豪雨 -2008 年 9 月中部日本  
での豪雨の事例解析, 日本測地学会第 114 回講演会,
- 木下陽平, **Hobiger Thomas**, 古屋正人, 市川 隆一, 高分解能数値気象モデルと高速波線追跡ツール KARAT を  
用いた InSAR における大気伝搬遅延の補正についてその 2, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会,
- 市川 隆一, 石井 敦利, 瀧口 博士, 岳藤 一宏, 氏原 秀樹, 小山 泰弘, 近藤 哲朗, 栗原 忍, 三浦 優司, 松坂 茂, 谷  
本 大輔, MARBLE (Multiple Antenna Radio-interferometer for Baseline Length Evaluation): Development  
of a compact VLBI system for calibrating GNSS and electronic distance measurement devices, "*VLBI and  
GNSS: New Zealand and Australian perspectives*," *SKANZ(Square Kilometre Array in New Zealand) 2010*",
- 市川 隆一, **Hobiger Thomas**, 小山 泰弘, 近藤 哲朗, メソスケールスケール数値予報データに基づく波線追跡  
法ツールによる大気遅延除去, *European Geosciences Union General Assembly 2010*,
- 市川 隆一, **Hobiger Thomas**, 小山 泰弘, 近藤 哲朗, 気象庁メソスケール客観解析データによる大気遅延除去  
のための高速計算ツールの開発, 日本気象学会 2009 年春季大会, B459,
- 岳藤 一宏, 小山 泰弘, 関戸 衛, 竹内 央, Applications of the Next Generation A/D sampler ADS3000+, *The  
3rd East Asia VLBI Workshop*,
- 岳藤 一宏, 近藤 哲朗, 小山 泰弘, 蜂須賀 一也, Cooperations for East Asia VLBI Network, *China-Japan  
Information and Communications Technology Forum 2010*,
- 岳藤 一宏, 小山 泰弘, 堤 正則, 梅宮 結花, 市川 隆一, Distribution of Radio Emission Measurement Interferometer,  
*2010 Asia-Pacific Radio Science Conference*,
- 岳藤 一宏, 竹内 央, 堤 正則, 小山 泰弘, Next-Generation A/D Sampler ADS3000+ for VLBI2010, *Sixth IVS  
General Meeting*, S05-T03, 2010
- 岳藤 一宏, 広域電波強度分布測定の開発 (DoREMI) その 2, 電子情報通信学会 ソサイエティ大会,
- 岩間 司, 町澤 朗彦, 齋藤 春夫, 西田 知敬, 関口 勝彦, 特別高圧受電設備近傍における長波標準電波の測定, 平  
成 22 年 電気学会全国大会, 6, 194, pp.338-338,
- 小山 泰弘, **Hobiger Thomas**, 関戸 衛, 近藤 哲朗, 瀧口 博士, 栗原 忍, 小門 研亮, 農澤 健太郎, R. Haas, J.  
Ritakari, J. Wagner, 大坪 俊通, 後藤 忠広, 久保岡 俊宏, Automated Operational Processing of e-VLBI UT1  
Sessions, *Joint GGOS/IAU Science Workshop on Observing and Understanding Earth Rotation*,
- 小山 泰弘, 岳藤 一宏, 堤 正則, Omnidirectional Reverse Parabolic Reflector Antenna, *2010 Asia-Pacific Radio  
Science Conference (AP-RASC'2010)*,
- 小山 泰弘, Research on Space-Time Standards and Time Management System for Quasi-Zenith Satellite System  
(QZSS): 「地理空間情報の統合利用が拓げる安全・安心」に関する国際シンポジウム,
- Teke Kamil, Boehm Johannes, Nilsson Tobias, Schuh Harald, Steigenberger Peter, Dach Rolf, Heinkelmann  
Robert, Willis Pascal, Haas Ruediger, Espada Garcia, **Hobiger Thomas**, 市川 隆一, 清水 慎吾, Multi-  
technique comparison of troposphere zenith delays and gradients during CONT08, *European Geosciences  
Union General Assembly 2010*,

- Navisi V., Wijaya D., Boehm J., Schuh H., **Hobiger Thomas**, 市川 隆一, Urquhart L., Santos M., Nievinski, Zus F., Wickert J., Gegout P., Ardalán A., Benchmarking ray-traced tropospheric delays, *AGU Fall Meeting 2010*,
- Matsuzaka Shigeru, Kurihara Shinobu, 関戸 衛, **Hobiger Thomas**, Haas Ruediger, Ritakari Jouko, Wagner Jan, Ultra-rapid dUT1 Measurements on Japan-Fennoscandian baselines -Application to 24 hour Session-, *Sixth IVS General Meeting*,
- Kinoshita Y., Shimada M., Furuya M., **Hobiger Thomas**, 市川 隆一, , *AGU 2010 - Fall meeting*,
- Hobiger Thomas**, 雨谷 純, 後藤 忠広, A low-cost GNSS-R system based on GNU Radio, 日本測地学会第 114 回講演会,
- Hobiger Thomas**, 関戸 衛, Kurihara S., Kokado K., Nozawa K., Haas Ruediger, 小山 泰弘, 近藤 哲朗, 瀧口 博士, Ritakari J., Wagner Jan, Uunila M., Molera G., AUTOMATED PROCESSING OF ULTRA-RAPID VLBI UT1 EXPERIMENTS, *2010 Asia-Pacific Radio Science Conference*,
- Hobiger Thomas**, 大坪 俊通, 後藤 忠広, 久保岡 俊宏, 関戸 衛, 瀧口 博士, 竹内 央, Automated processing of VLBI experiments with c5++, 第 9 回 *IVS 技術開発センターシンポジウム*,
- Hobiger Thomas**, 後藤 忠広, 雨谷 純, 近藤 哲朗, 小山 泰弘, Development of a real-time multi-frequency software GNSS receiver, 日本測地学会第 114 回講演会,
- Hobiger Thomas**, 木村 守孝, 岳藤 一宏, 小山 友明, 小山 泰弘, 近藤 哲朗, 後藤 忠広, 雨谷 純, GPU Based Software Correlators - Perspectives for VLBI2010, *Sixth IVS General Meeting*,
- Hobiger Thomas**, 後藤 忠広, 雨谷 純, 近藤 哲朗, 小山 泰弘, GPU based GNSS software receivers - status quo and plans, 第 9 回 *IVS 技術開発センターシンポジウム*,
- Hobiger Thomas**, 後藤 忠広, 雨谷 純, 近藤 哲朗, 小山 泰弘, GPUGPS - A GPS RECEIVER RUNNING ON AN OFF-THE-SHELF GRAPHICS CARD, *2010 Asia-Pacific Radio Science Conference*,
- Hobiger Thomas**, 市川 隆一, 小山 泰弘, 近藤 哲朗, Ray-tracing and high resolution numerical weather models, *Workshop on Ray-Tracing for Space Geodetic Techniques*,
- Hobiger Thomas**, Boehm Johannes, 市川 隆一, Rigorous comparison of ray-traced troposphere delays under the umbrella of IAG WG 4.3.3. and IAG SC 1.1. WG3, 日本測地学会第 114 回講演会,
- Hobiger Thomas**, 市川 隆一, 小山 泰弘, 近藤 哲朗, TROPOSPHERE DELAY CORRECTIONS FOR SPACE APPLICATIONS BASED ON THE KASHIMA RAY-TRACING TOOLS (KARAT), *2010 Asia-Pacific Radio Science Conference*,
- Hobiger Thomas**, 関戸 衛, Kurihara S., Kokado K., Nozawa K., Haas Ruediger, 小山 泰弘, 近藤 哲朗, 瀧口 博士, Ritakari J., Wagner Jan, Uunila M., Molera G., Towards automated processing of VLBI UT1 sessions, *AGU - meeting of the Americas*,
- Hobiger Thomas**, 関戸 衛, 小山 泰弘, 近藤 哲朗, 瀧口 博士, Kurihara S., Kokado K., Nozawa K., Haas R., 大坪 俊通, 後藤 忠広, 久保岡 俊宏, , *AGU 2010 - Fall meeting*,
- Hobiger Thomas**, 市川 隆一, 小山 泰弘, 近藤 哲朗, Troposphere slant delay corrections from numerical weather models - status and outlook, *European Geosciences Union General Assembly 2010*,
- Hobiger Thomas**, 大坪 俊通, 後藤 忠広, 久保岡 俊宏, 関戸 衛, 瀧口 博士, 竹内 央, c5++ -Multi-technique Analysis Software for Next Generation Geodetic Instruments, *Sixth IVS General Meeting*,
- Hobiger Thomas**, 大坪 俊通, 関戸 衛, 後藤 忠広, 久保岡 俊宏, 瀧口 博士, c5++を用いた UT1 自動解析について, 日本測地学会第 114 回講演会,
- Hobiger Thomas**, 市川 隆一, 小山 泰弘, 近藤 哲朗, 宇宙測地技術の大気遅延除去を目的とした大気屈折 4 次元構造のハイブリッド推定, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会,
- Boehm Johannes, Urquhart Landon, Steigenberger Peter, **Hobiger Thomas**, Schuh Harald, Future prospects of troposphere delay modelling in GNSS analysis, *International GNSS Service Workshop 2010*,
- Boehm Johannes, Nilsson Tobias, **Hobiger Thomas**, Schuh Harald, VLBI Intensive Sessions for the Estimation of UT1, *German DFG Research Unit FOR584 - status seminar*,
- 岳藤 一宏, 小山 泰弘, 堤 正則, 梅宮 結花, 市川 隆一, Distribution of Radio Emission Measurement Interferometer, *2010 Asia-Pacific Radio Science Conference*,
- 岳藤 一宏, 広域電波強度分布測定の開発 (DoREMI) その 2, 電子情報通信学会 ソサイエティ大会,
- 小山 泰弘, 岳藤 一宏, 堤 正則, Omnidirectional Reverse Parabolic Reflector Antenna, *2010 Asia-Pacific Radio Science Conference (AP-RASC'2010)*,

氏原 秀樹, 岳藤 一宏, 関戸 衛, 市川 隆一, 小山 泰弘, 統計的手法による微弱放射電力測定システムの開発 (低周波部), 日本天文学会 春季年会,

報道発表・特許・一般記事

小山 泰弘, e-VLBI : 高速ネットワークを利用した科学的応用研究, *JACIC* 情報 (財団法人日本建設情報総合センター機関誌),

## D 次世代時空計測グループ鹿島 VLBI 関連成果論文 (発表) リスト (2011年1月 - 12月)

### 原著論文

- Kamil T., J. Boehm, T. Nilsson, H. Schuh, P. Steigenberger, R. Dach, R. Heinkelmann, P. Willis, R. Haas, S. García-Espada, **T. Hobiger**, **R. Ichikawa**, S. Shimizu, Multi-technique comparison of troposphere zenith delays and gradients during CONT08, *Journal of Geodesy*, 85, 7, pp.395 - 413, 2011.6.22.
- Hobiger T.**, T. Otsubo, **M. Sekido**, T. Gotoh, T. Kubooka, **H. Takiguchi**, Fully automated VLBI analysis with c5++ for ultra-rapid determination of UT1, *Earth, Planets and Space*, 62, 12, pp.933 - 937, 2011.2.2.

### 収録論文

- Ichikawa R.**, H. Takiguchi, M. Kimura, A. Ishii, **T. Hobiger**, **Y. Koyama**, **T. Kondo**, Y. Takahashi, S. Tsuchiya, F. Nakagawa, M. Nakamura, R. Tabuchi, S. Hama, T. Gotoh, M. Fujieda, M. Aida, T. Li, **J. Amagai**, Precise Frequency Transfer Experiments using VLBI and other Techniques, *The XXX General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science (URSI/GASS 2011)*, 978-1-4244, 2011.8.18.
- Haas R., **T. Hobiger**, **M. Sekido**, **Y. Koyama**, **T. Kondo**, Takiguchi H., Kurihara S., Kokado K., Tanimoto D., Nozawa K., Wagner J., Ritakari J., Mujunen A., Uunila M., Near real-time monitoring of UT1 with geodetic VLBI, *Proceedings of the 20th EVGA*, pp.64 - 66, 2011.10.1.
- Hobiger T.**, T. Gotoh, T. Otsubo, T. Kubooka, **M. Sekido**, **H. Takiguchi**, H. Takeuchi, c5++ - Multi-technique Analysis Software for Next Generation Geodetic Instruments, *IVS 2010 General Meeting Proceedings VLBI2010: From Vision to Reality*, pp.212 - 216, 2011.1.21.
- Hobiger T.**, **M. Kimura**, **K. Takefuji**, **Y. Koyama**, **T. Kondo**, T. Gotoh, **J. Amagai**, T. Oyama, GPU Based Software Correlators - Perspectives for VLBI2010, *IVS 2010 General Meeting Proceedings VLBI2010: From Vision to Reality*, pp.40 - 44, 2011.1.21.
- Hobiger T.**, **H. Takiguchi**, **R. Ichikawa**, **M. Sekido**, **Y. Koyama**, **T. Kondo**, Analysis Center at National Institute of Information and Communications Technology, *International VLBI Service for Geodesy and Astrometry 2010 Annual Report*, 2011.6.24.
- Hobiger T.**, **M. Sekido**, T. Otsubo, T. Gotoh, T. Kubooka, H. Takiguchi, H. Takeuchi, VLBI analysis with c5++ - status quo and outlook, *Proceedings of the 20th EVGA*, pp.89 - 92, 2011.10.1.

小山 泰弘, 時空標準における VLBI 技術の果たす役割, 情報通信研究機構季報 vol.56 Nos.3/4 時空標準特集, 2011.3.31.

瀧口 博士, 小山 泰弘, 市川 隆一, 後藤 忠広, 石井 敦利, **Hobiger Thomas**, VLBI および GPS による時刻比較, 情報通信研究機構季報 vol.56 Nos.3/4 時空標準特集, 2011.3.31.

**Hobiger Thomas**, 小山 泰弘, 関戸 衛, 近藤 哲朗, e-VLBI による UT1 の実時間決定, 情報通信研究機構季報 vol.56 Nos.3/4 時空標準特集, 2011.3.31.

### 一般口頭発表

- Ichikawa R.**, A. Ishii, H. Takiguchi, M. Kimura, S. Kurihara, MARBLE (Multiple Antenna Radio-interferometer for Baseline Length Evaluation): Development of a compact VLBI system for calibrating GNSS and electronic distance measurement devices, *XXV International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) General Assembly*, 5475, 2011.6.28.
- Haas R., **T. Hobiger**, **M. Sekido**, **Y. Koyama**, **T. Kondo**, **H. Takiguchi**, S. Kurihara, K. Kokado, K. Nozawa, J. Wagner, J. Ritakari, A. Mujunen, Near real-time monitoring of UT1 with geodetic VLBI, *20th EVGA Meeting*, 2011.3.30.
- Haas R., **T. Hobiger**, **M. Sekido**, **Y. Koyama**, **T. Kondo**, **H. Takiguchi**, S. Kurihara, K. Kokado, K. Nozawa, J. Wagner, J. Ritakari, A. Mujunen, Near real-time monitoring of the Earth's rotation angle with geodetic VLBI, *European Geosciences Union General Assembly 2011*, 2011.4.6.
- Hobiger T.**, **M. Sekido**, T. Otsubo, T. Gotoh, T. Kubooka, **H. Takiguchi**, H. Takeuchi, VLBI analysis with c5++ - status quo and outlook, *20th EVGA Meeting & 12th Analysis Workshop*, 2011.3.30.

- Hobiger T., Y. Koyama, Y. Hanado, R. Ichikawa, J. Amagai, M. Sekido, J. Boehm, J. Sun**, On the feasibility to utilize space-geodetic techniques for advanced time and frequency transfer, *BIPM Workshop on Development of advanced time and frequency transfer techniques*, 2011.6.29.
- Hobiger T., M. Sekido, T. Otsubo, T. Gotoh, T. Kubooka, H. Takiguchi, Y. Koyama, T. Kondo, H. Takeuchi, R. Ichikawa, K. Kokado, K. Nozawa, R. Haas**, Operational automated analysis of ultra-rapid VLBI UT1 experiments with c5++, *XXV IUGG General Assembly*, 2011.7.5.
- Hobiger T., Y. Koyama, Y. Hanado, R. Ichikawa, M. Sekido, J. Boehm, J. Sun**, On the potential of VLBI2010 for time and frequency transfer, *Journées 2011 - Earth rotation., reference systems and celestial mechanics: Synergies of geodesy and astronomy*, 2011.9.19.
- Kurihara S., K. Kokado, J. Kuroda, M. Ishihara, R. Kawabata, **Y. Koyama, T. Kondo, M. Sekido, R. Ichikawa, T. Hobiger**, Geodetic VLBI in Japan, *AOGS 2011*, 2011.8.11.
- Plank L., H. Schuh, J. Boehm, **T. Hobiger, J. Sun**, VLBI2010 - status and considerations concerning time and frequency transfer with VLBI2010, *R&D workshop of the FGS concerning time and frequency transfer*, 2011.7.22.
- Ujihara H., K. Kimura, H. Ogawa, K. Matsumoto, T. Ohno, M. Tsuboi, T. Kashuga, M. Homma, N. Kawaguchi**, DEVELOPMENT OF MULTIMODE HONRS AND WIDEBAND FEED FOR RADIO TELESCOPES, *The XXX General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science (URSI GASS 2011)*, 2011.8.18.
- 氏原 秀樹, 中川亜紀治, 大野剛志, 貴島政親, 広帯域フィードの開発, 第 29 回 NRO ユーザーズミーティング, 2011.7.27.
- 近藤 哲朗, 岳藤 一宏, 市川 隆一, 栗原 忍, 小門 研亮, 川畑 亮二, RF ダイレクトサンプリング法による VLBI 技術 - 評価実験結果 -, 日本測地学会第 116 回講演会, pp.151 - 152, 2011.10.28.
- 関戸 衛, 市川 隆一, 川合 栄治, 東北地方太平洋沖地震後の鹿島小金井基線の奇妙な余効変動, 日本測地学会第 116 回講演会, 2011.10.26.
- 関戸 衛, Chris Phillips, Mark Kettenis, Allan Whitney, eVLBI の標準データ伝送プロトコル VTP (VDIF Transport Protocol) の仕様概要, *VLBI 懇談会シンポジウム*, 2011.11.16.
- 瀧口 博士, 木村 守孝, 近藤 哲朗, 石井 敦利, **Hobiger Thomas**, 市川 隆一, 小山 泰弘, 高橋 靖宏, 中川 史丸, 中村 真帆, 田淵 良, 土屋 茂, 浜 真一, 後藤 忠広, 藤枝 美穂, 相田 政則, 李 廷魚, 雨谷 純, 周波数比較技術 (VLBI, GPS, 衛星双方向) の相互比較実験, *IVS 技術開発センター (TDC) シンポジウム*, 2011.2.23.
- 岳藤 一宏, 近藤 哲朗, 関戸 衛, 栗原 忍, 小門 研亮, 川畑 亮二, DSAMS : RF ミックスダイレクトサンプリング VLBI の研究, 日本測地学会, 2011.10.28.
- 岳藤 一宏, 近藤 哲朗, 関戸 衛, 市川 隆一, 栗原 忍, 小門 研亮, 川畑 亮二, RF ダイレクトサンプリング法による VLBI 技術開発 - マルチバンド混合 VLBI -, *VLBI 懇談会シンポジウム*, 2011.11.18.
- Hobiger Thomas**, 宇宙測地技術における電波伝播の高精度補正, 2011 年度坪井賞受賞講演, 2011.5.23.
- Hobiger Thomas**, 市川 隆一, 関戸 衛, 花土 ゆう子, 小山 泰弘, VLBI2010 技術を用いた時刻・周波数比較の可能性, 日本測地学会第 116 回講演会, 2011.10.28.

鹿島 34m アンテナ 2010 年 2011 年 年次報告書

2013 年 5 月 16 日発行

発行 独立行政法人 情報通信研究機構

電磁波計測研究所

時空標準研究室

URL <http://www.nict.go.jp/aeri/sts/>





独立行政法人 情報通信研究機構