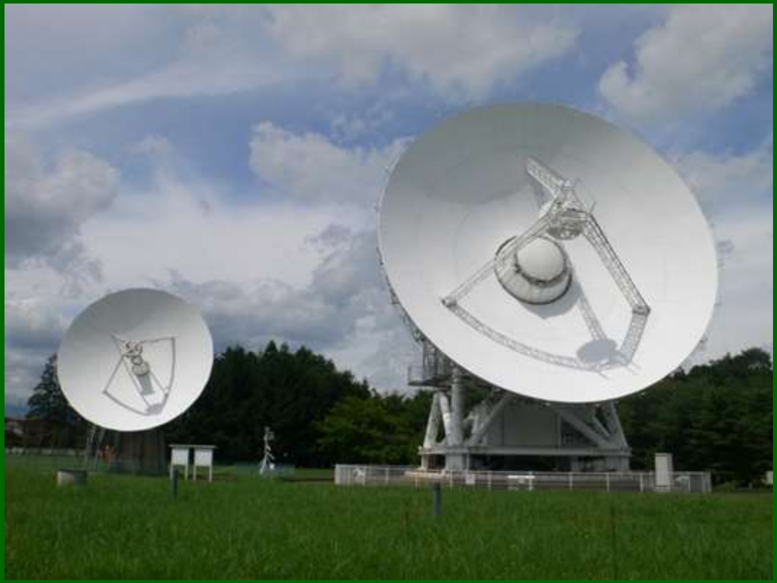
SKAに向けた水沢10m電波望遠鏡の対応

亀谷 收(国立天文台), VERA開発グループ, VERA運用グループ, VERA保守グループ, JASMINEグループ



VLBI懇談会「SKA時代のVLBIサイエンス」検討会＠国立天文台　2018年7月22日-23日

目次

１．10mアンテナの経緯と性能
２．Nano-JASMINE衛星のダウンリンク局としての要求性能
３．駆動性能測定と改修の現状
４．その他の使用状況とSKAに向けた今後の対応

１．10mアンテナの経緯と性能

Performance of the Mizusawa 10m telescope

- **1) Antenna & Receiver**
  Main reflector ：10.0m surface accuracy：0.34mm(rms)
  S Band HPBW ：54′, aperture efficiency：38%, Tsys:250K？
  X Band HPBW ：13′, aperture efficiency：63%, Tsys:100K
  22GHz Band HPBW：5.2′, aperture efficiency：36%, Tsys:130K
  43GHz Band HPBW：2.7’, aperture efficiency：25%, Tsys:200K

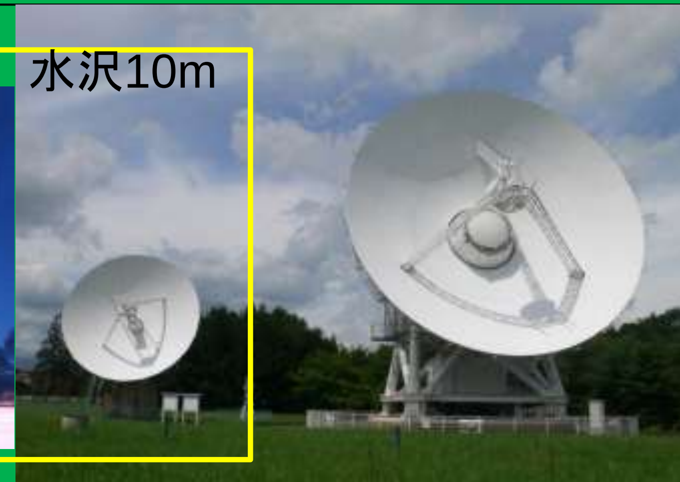
- **2) Driving ability**
  Max. slew speed ：AZ：3.14°/sec
  EL：3.06°/sec
  Max acceleration ：AZ：3.78°/sec2
  EL：3.71°/sec2

- **建設開始1990年。完成1992年から約25年たった。 J-Netで活躍、SgrA*観測、SSH観測試験観測に使われている。（RISE、位相補償VLBI、広帯域、、、）**

鹿島34m

鹿児島6m

野辺山45m



ＶＬＢＩ観測計画シンポジウム集録原稿
１９９２年１２月１６日～１８日、ＶＬＢＩ懇談会主催

水沢10mアンテナの駆動制御特性について

佐藤克久・原　忠徳・田村良明
岩舘健三郎・浅利一善・久慈清助（国立天文台・水沢）
安田　茂（東北大学・理学部）
梶原美智男・清水岳男・森　浩道（三菱電機）

あらまし
水沢１０ｍアンテナでは、駆動制御部分にディイジタルサーボ方式を採用している。これによりハードウェアの制約から開放され、伝達関数パラメータをソフト的に切り換えることが可能となり、駆動時のステップ応答の立ち上がりが急峻でなおかつオーバーシュートが無い駆動制御を実現している。

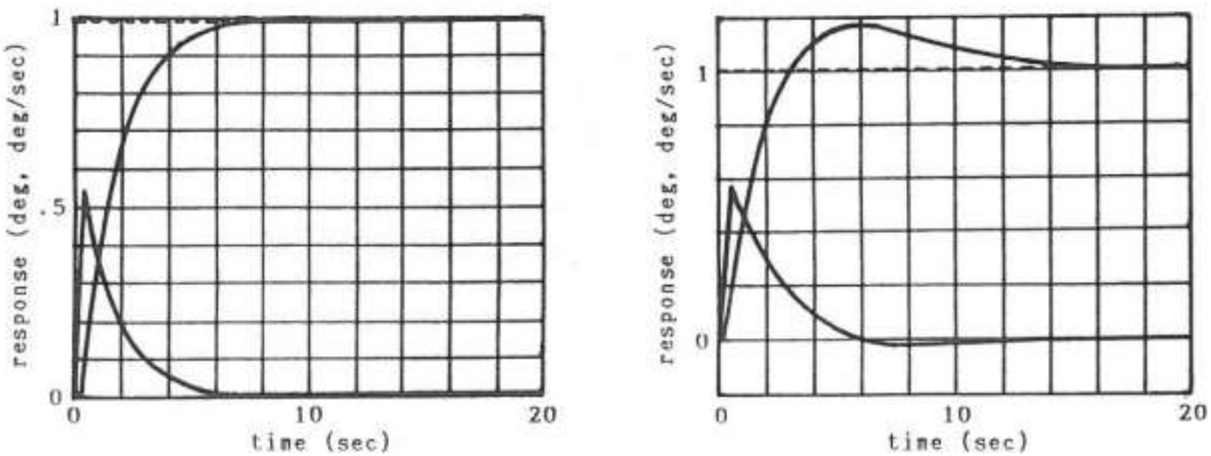


図１：アンテナ制御特性のシミュレーション（Ｉ型：左側、Ⅱ型：右側）

Ｉ型は、ステップ応答の収束付近に伝達関数が適正化されており、オーバーシュートはしないものの立ち上がりに若干時間がかかっている。Ⅱ型は、ステップ応答の立ち上がり付近に伝達関数が適正化されており、オーバーシュートが発生するので収束するまでに時間を費やしている。

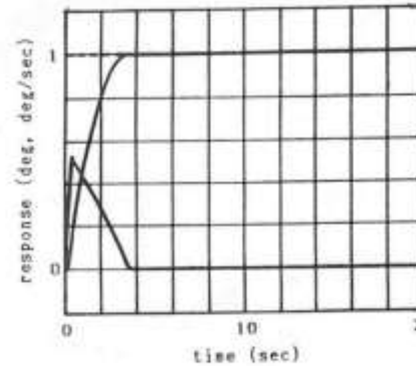


図２：　ディジタルサーボ制御特性のシュミレーション

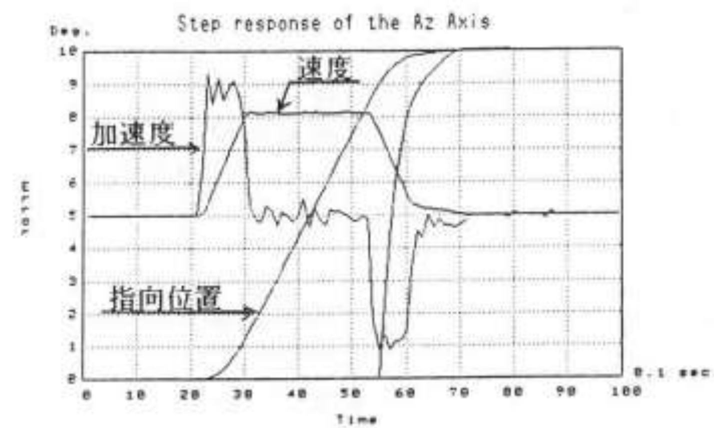


図５：振り角１０°のステップ応答特性

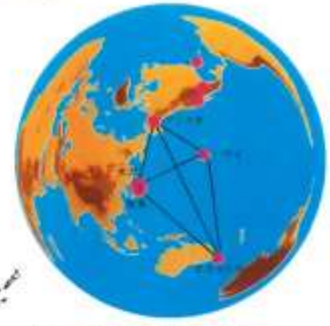
10mアンテナを用いた研究

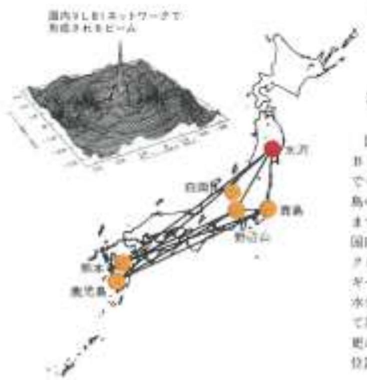
VLBIの原理

VLBIはVery Long Baseline Interferometerの略で超長基線電波干渉計と呼ばれています。VLBIは遠く離れた複数点で独立に、同時に天体電波源からの電波を受信し、一旦受信信号を記録した後、合成（相関処理）をし、位相、振幅を求めます。そうするとアンテナ間の距離に相当する大きさのアンテナの能力を得ることができます。例えば大陸間でVLBIを行うと地球の大きさのアンテナに相当する1ミリ秒角の角度分解能を得ることができ、地球自転軸の変化等を詳しく知ることができます。

1．国際VLBIネットワークによる地球回転の精密測定

地球回転の情報は、天体の位置、地上の位置を知るために不可欠です。またその変化は地球の内部を知る重要な情報源です。このため世界中の広範な研究者に利用されています。地球回転の観測はその性格上国際協力が不可欠であり、国立天文台は国際地球回転観測事業発足以来VLBI環太平洋観測網（IRIS-P）センターを担当して来ました。10mアンテナはIRIS-P観測網の主局として活躍します。



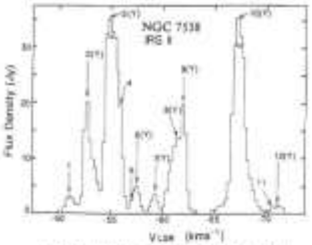


2．国内VLBIネットワークによる天体物理学と位置天文学の研究

国内には、水沢10mアンテナを含めて8ヵ所にVLBIに使えるアンテナがあります。これらのアンテナでネットワークを組みVLBI観測すると、ほぼ日本列島の大きさのアンテナに匹敵する角度分解能が得られます。また、短波長帯では、世界最高の集光力をもつ国内VLBIネットワークとなります。このネットワークを使って恒星などの構造を知ることにより高エネルギー現象を解明したり、一酸化珪素分子（波長7mm）と水分子（波長13mm）の天体メーザー源の詳細構造を調べて星生成領域や晩期型星周辺の空間の研究を行います。更に、メーザー源の距離と運動の測定から電波による位置天文学の研究という新しい分野を開拓します。

3．重力測定と同時観測

水沢地区に設置されている重力測定装置は数μgalの測定精度があります。高さの変化にすると数mmの測定精度に相当しますが、地下の質量の変化と分離できません。そこでVLBIと同時観測を行うと、高さの変化と地球内部の質量変化を分離でき、地球内部の情報を得ることができ、これまでにない研究成果が期待できます。



NGC7538における水分子メーザー源のスペクトル

4．分子輝線の観測による星雲の研究

一酸化珪素分子（波長7mm）と水分子（波長13mm）の天体メーザー源のスペクトルの日変化を10mアンテナ単体で追っていくことにより、VLBI観測で分解された構造の短時間変化の研究を行います。またアンモニア分子が出す波長13mmの輝線により、銀河系内の分子雲の温度分布等を求めて分子雲の加熱メカニズムの研究も行います。

10mアンテナに続くVERA計画

VERA（VLBI for the Earth Rotation study and Astrometry：地球回転・電波位置天文用VLBI）は、日本列島に沿って2000km級基線の新しい構想のVLBI（超長基線電波干渉計）システムを作り、世界最高の精度で地球回転の微細な変化や、電波天体の位置を測り、地球の内部構造と環境、宇宙の拡がりと天体の運動を明らかにしようとする計画です。VERA計画の実現は、国立天文台発足にあたっての基本構想で、主要な目標のひとつにあげられており、10mアンテナはVERA計画実現に必要な科学・技術両面において基礎を築くために重要な役割を果たすことになります。

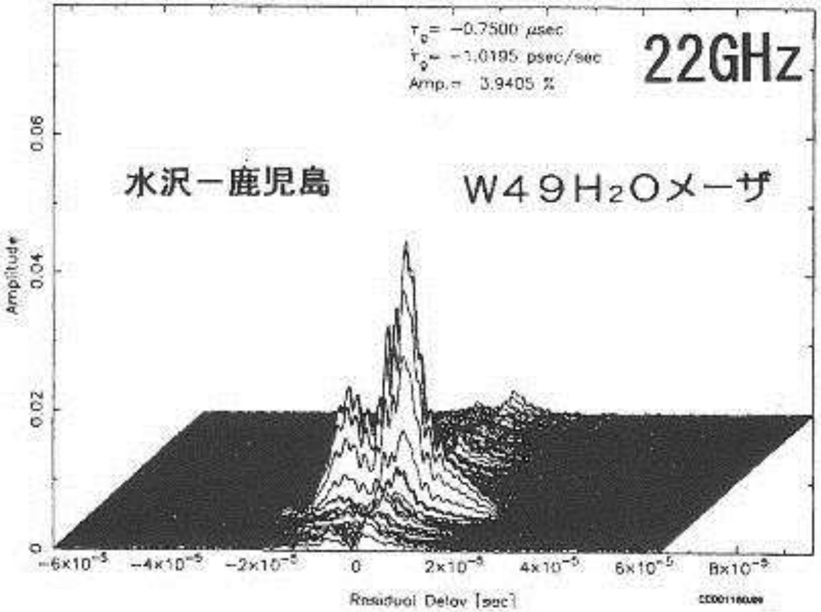
水沢10mパンフレット(1992)

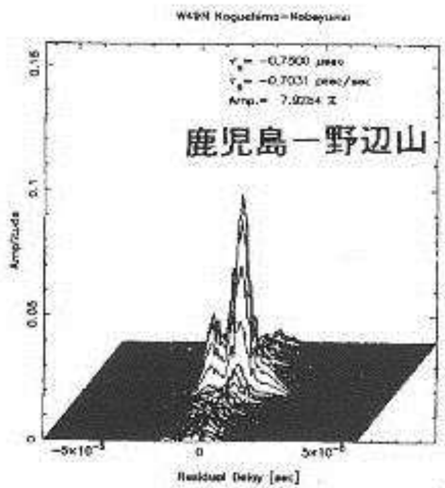
初めてのフリンジ検出

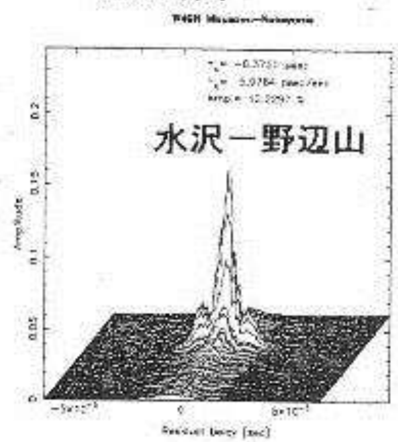
水沢10m－野辺山45m－鹿児島6mがＶＬＢＩでつながりました。

国立天文台のＶＬＢＩ３局ネット観測成功！

ＶＬＢＩ国内最長基線１２７３Ｋｍを達成







10月27日に、国立天文台の電波望遠鏡３局間、水沢（10m）－野辺山（45m）－鹿児島（6m）で、初めておこなわれたＶＬＢＩネットワーク観測で、Ｗ４９からのH_2Oメーザ電波のフリンジを検出しました。相関処理は水沢グループが担当し、国立天文台が開発した簡易型相関器が使われました。

この観測では、ＶＬＢＩ手法による電波望遠鏡鏡面のホログラフィー測定や、Ｗ４９H_2Oメーザ源のマップなどの成果が期待されており、これからの解析が待たれます。

今回の観測成功にあたって、さまざまなご協力をいただいた関係者のみなさんに心からお礼を申し上げます。

国立天文台・水沢・野辺山／鹿児島大学ＶＬＢＩグループ一同

update on : 15, Jan. 1999

Welcome to Japan VLBI-Network Home page

ＶＬＢＩ国内ネット：共同利用観測スケジュール

【４５ｍ共同利用による、Ｊｎｅｔ観測スケジュール】 Update １７期（９８−９９年）の共同利用観測が始まっています。

【鹿島３４ｍ望遠鏡の運用スケジュール】

Return to ＶＬＢＩ国内ネット Home Page

【Ｊｎｅｔ観測スケジュール】

青色文字は、４５ｍ共同利用観測、および天文台３局ネット
茶色文字は、４５ｍの参加しないＪｎｅｔ観測
紫色文字は、ＶＳＯＰ（with ＨＡＬＣＡ）観測

今後に予定されている観測です。	すでに終了した観測です。

日時は、ＵＴです。天体名の後は、観測参加局名です（N:野辺山 M:水沢 K:鹿児島 O:鹿島）
緑色は、調整中の参加予定局です。

Date(UT)	Time (hh:mm UT)	P.I.	Source	Stations	Recording mode (Mbps * bits * CH)	Total time (hours)
12月13日 (Sun)	23:00-10:00	古屋玲	IRAS20050+2720	N-M-O	３２＊２＊1	１１
12月14日 (Mon)	-10:00 conted.					
2月21日 (Sun)	05:00-14:00	VSOPグループ	ORI-KL	N-M-K-O	３２＊２＊2	9
4月 2日 (Fri)	17:00-03:00	今井裕	W51	N-M-K-O	３２＊２＊1	１０
4月 3日 (Sat)	-03:00 conted.					
5月 6日 (Thu)	15:00-01:00	今井裕	W51	N-M-K-O	３２＊２＊1	１０
5月 7日 (Fri)	-01:00 conted.					
6月 5日 (Sat)	14:00-05:00	堀内真司	NGC7538	N-M-K-O	３２＊２＊1	１５
6月 6日 (Sun)	-05:00 conted.					
6月 6日 (Sun)	13:00-23:00	今井裕	W51	N-M-K-O	３２＊２＊1	１０

J-Net

1994年～1999年
（VSOPは1996年～）
K-band
１２８Mbps記録
国内で初めてのVLBI
共同利用
多くの研究者を育てた。

VLBI 22 GHz Monitoring of Sgr A* during the G2 peri-center passing with Japanese VLBI Network

Recording system: VSSP32
Band Width: 32MHz
Sampling Rate: 128Mbps
Observation Started: Feb. 11, 2013
Finished: Aug. 31, 2014

ApJL 2015 Jan1st (Tsuboi et al.)

The Astrophysical Journal Letters, 798:L6 (4pp), 2015 January 1 doi:10.1088/2041-8205/798/1/L6

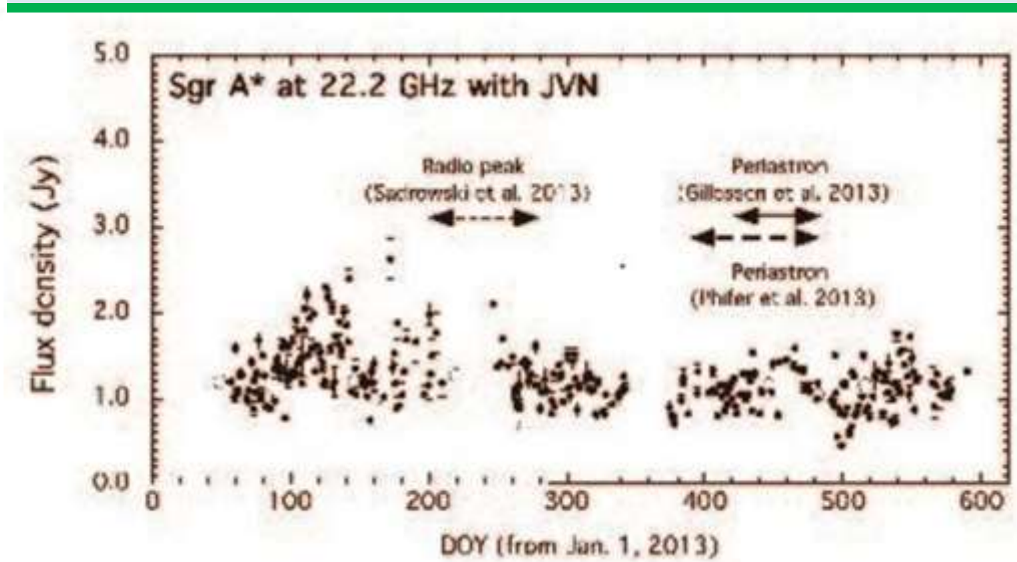
NO MICROWAVE FLARE OF SAGITTARIUS A* AROUND THE G2 PERIASTRON PASSING

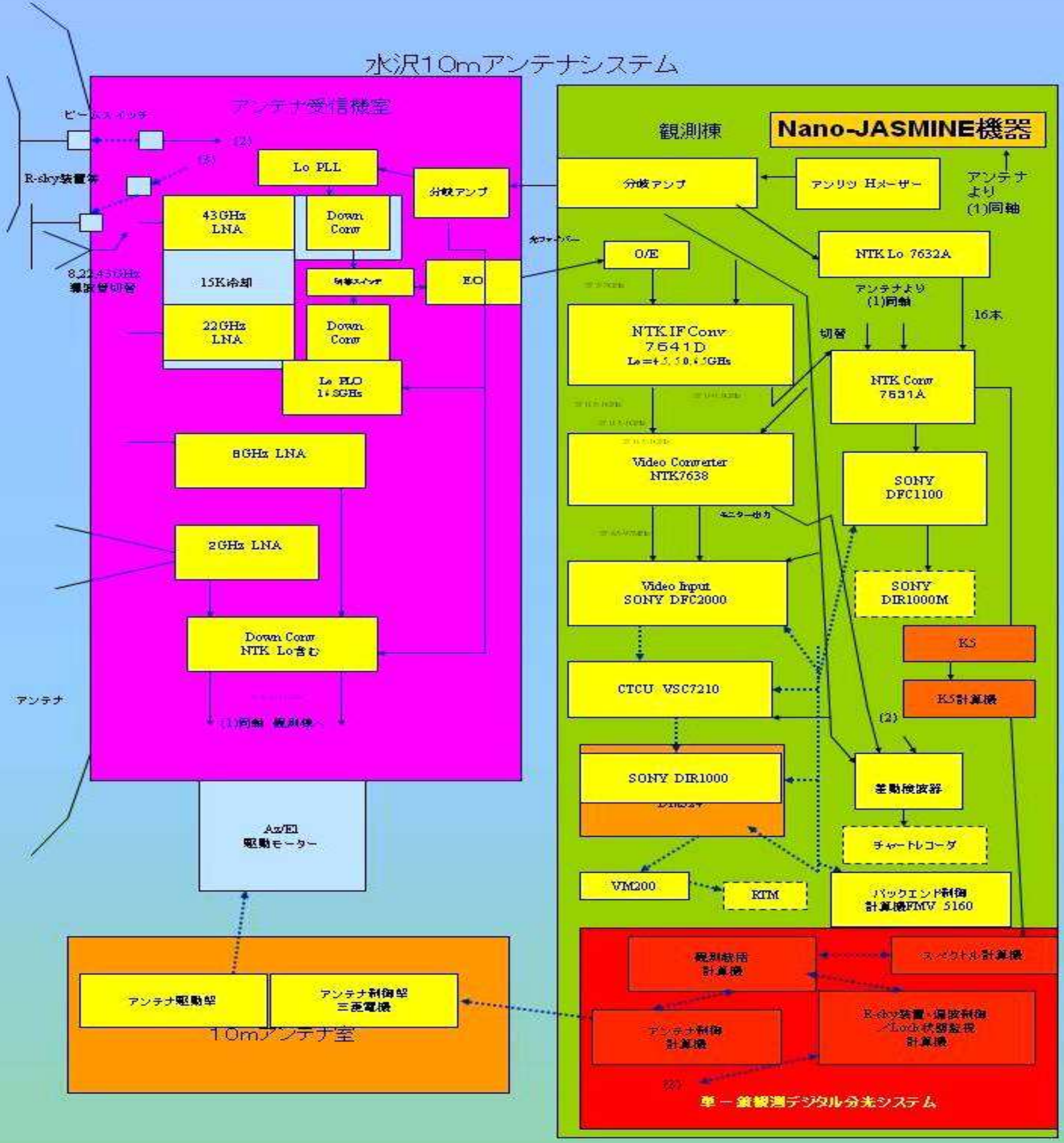
Masato Tsuboi[1], Yoshiharu Asaki[1], Osamu Kameya[2], Yoshinori Yonekura[3], Yusuke Miyamoto[3], Hiroyuki Kaneko[4], Masumichi Seta[4], Naomasa Nakai[4], Hiroshi Takaba[5], Ken-ichi Wakamatsu[5], Makoto Miyoshi[6], Yoshihiro Fukuzaki[7], Kenta Uehara[8], and Mamoru Sekido[9]
[1] Institute of Space and Astronautical Science (ISAS), Japan Aerospace Exploration Agency, 3-1-1 Yoshinodai, Chuo-ku, Sagamihara, Kanagawa 252-5210, Japan; tsuboi@vsop.isas.jaxa.jp
[2] Mizusawa VLBI Observatory, National Astronomical Observatory of Japan, 2-12, Hoshigaoka, Mizusawa, Oshu, Iwate 023-0861, Japan
[3] Center for Astronomy, Ibaraki University, 2-1-1 Bunkyo, Mito, Ibaraki 310-8512, Japan
[4] Division of Physics, Faculty of Pure and Applied Sciences, University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-8571, Japan
[5] Faculty of Engineering, Gifu University, 1-1, Yanagito, Gifu, Gifu 501-1193, Japan
[6] National Astronomical Observatory of Japan, 2-21-1, Osawa, Mitaka, Tokyo 181-8588, Japan
[7] Geospatial Information Authority of Japan, 1, Kitasato, Tsukuba 305-0811, Japan
[8] Department of Astronomy, the University of Tokyo, Bunkyo, Tokyo 113-0033, Japan
[9] Kashima Space Research Center, National Institute of Information and Communications Technology (NICT) 893-1 Hirai, Kashima, Ibaraki 314-8501, Japan
Received 2014 October 16; accepted 2014 October 26; published 2014 December 12

ABSTRACT

In order to explore any change caused by the G2 cloud approaching, we have monitored the flux density of Sgr A* at 22 GHz from 2013 February to 2014 August with a sub-array of the Japanese Very Long Baseline Interferometry Network. The observation period included the expected periastron dates. The number of observation epochs was 283 days. We have observed no significant microwave enhancement of Sgr A* in the whole observation period. The average flux density in the period is $S_\nu = 1.23 \pm 0.33$ Jy. The average is consistent with the usually observed flux density range of Sgr A* at 22 GHz.

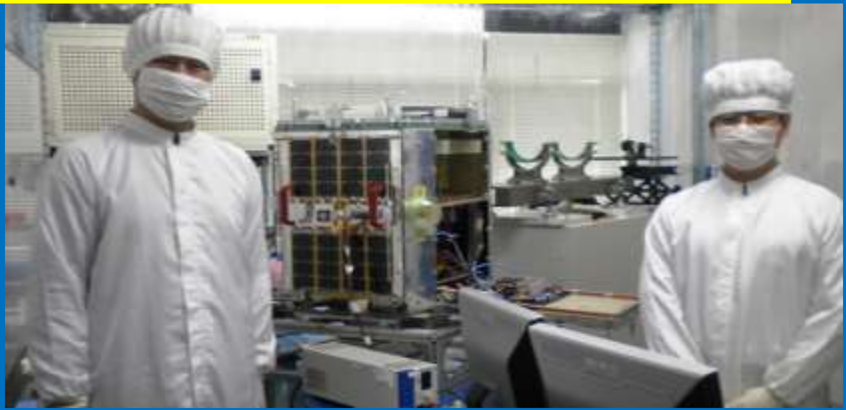
Key words: galaxies: nuclei – Galaxy: center – ISM: individual objects (G2)





水沢10m ブロックダイヤグラム

2. Nano-JASMINE衛星の
ダウンリンク局としての要求性能



・Nano-JASMINE衛星追尾時に
要求される追尾精度：0.1度

・Nano-JASMINE衛星からのS帯
電波を受信するモードは、1日に2度
それ　ぞれ1回または2回の測定時間（1回当たり20分間程度）が必要。

・それ以外の時間帯は22GHz帯の水メーザー等の単一鏡観測モード
またはVLBI観測を行う事を想定している。
（S帯と22GHz帯のデータは常に平行取得可能）

・Nano-JASMINE衛星からのデータ取得時に、人手をかけないで自動的
に短時間に観測モードを切り替えて使用する。

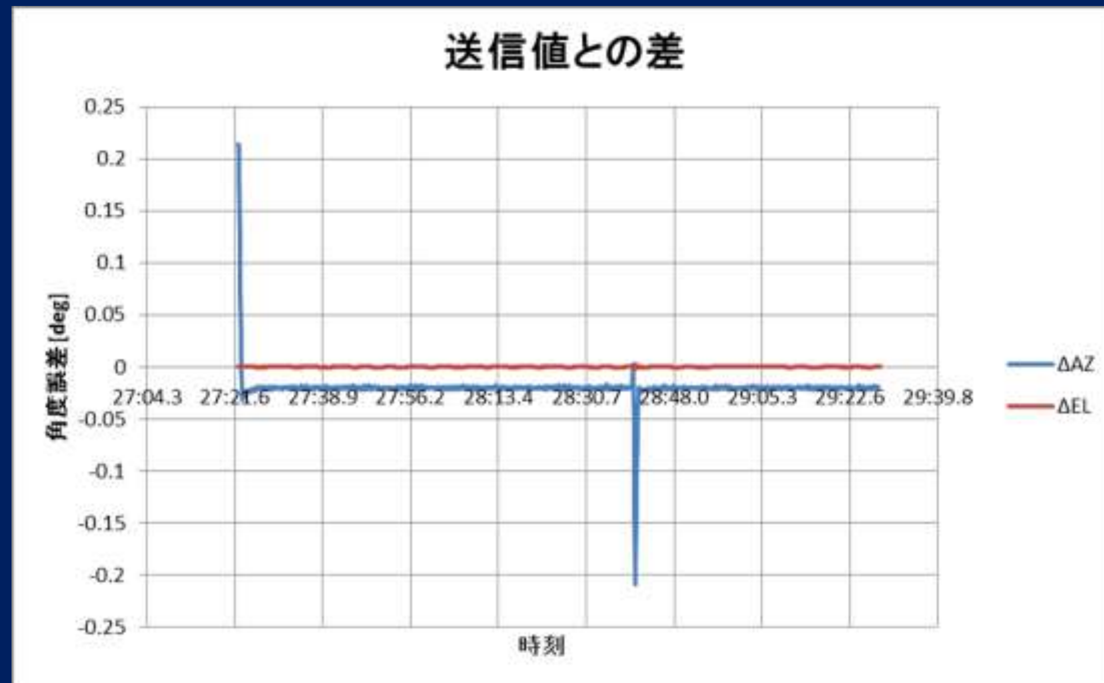
３．駆動性能測定と改修の現状
水沢10mアンテナ駆動ソフトの改修

・時刻とAzElをファイルで与えて駆動できるようにした。
・100分の1秒ごとに駆動コマンドの確認を行う事にした。

・パワーメータデータも取得できるようにした。
・衛星追尾観測、VLBI観測や単一鏡観測、
secZ測定も含めて連続して自動観測可能にした。（トラブラなければ1週間可）

2015年11月～2016年1月の対策

- 駆動計算機更新（能力く向上）
- 駆動ソフトの変更（0.01秒ごとのデータ設定をやめ、0.1秒のデータ設定で計算機への負荷を減らした）
- 駆動架への基準信号送付



- 長年の懸案であった振動問題が解決した。基本的にスペックを満たす状態にある。
- 計算機の能力に対して、ソフトの能力が限界であったと考えられる。

4．その他の使用状況と SKAに向けた今後の対応

K帯で気球VLBI、広帯域記録協力

2015~2018.7進行中

アウトリーチへの使用状況

- 中学生、高校生の電波観測に使用。
  サイエンスメイト(中学生)、水沢高校SSH、
  福島東稜高校等
- 教員研修に一部使用

岩手県立水沢高校実施の22GHz月面温度測定結果
2016年年

「月の満ち欠けと表面下温度の関係」

岩手県立水沢高等学校理数科２年
伊藤聖太　佐藤諒太　阿部佑奈　佐々木春菜

4　結果

《1 回目》輝度温度の標準偏差は平均 0.99K
《2 回目》輝度温度の標準偏差は平均 0.88K

図 1

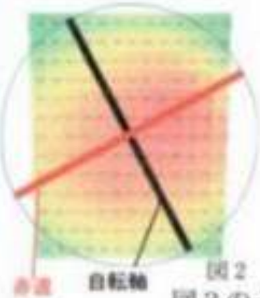


図 2

図 1：2回目の観測開始時の月の様子
図 2：2回目の視覚化した輝度温度

《グラフ化》

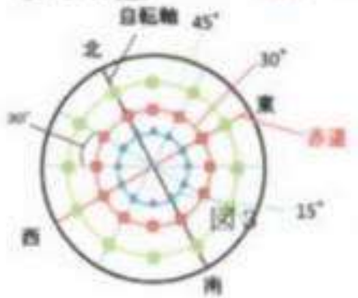
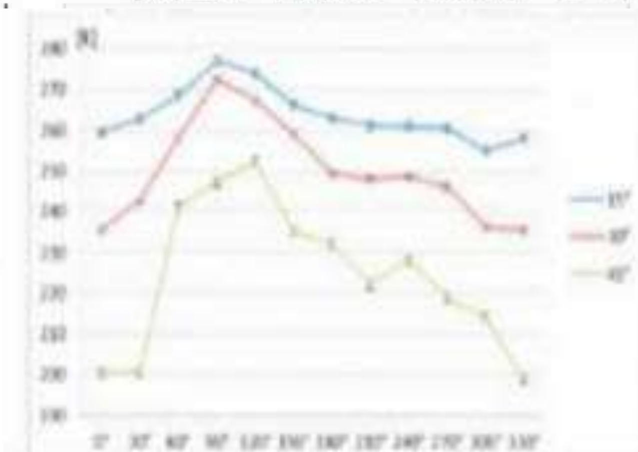


図 3

図３のように、月の中心から距離を等角度で表し、(15°、30°、45°) 自転軸を南北(経度 0°)として北から時計回りに 30°間隔でグラフ化した。(図３は実際の縮尺とは異なる。)　等角距離の観点から解析すると、それぞれの円では観測される表面下の深さが同じになるので定量的な分析ができ、全体の傾向をつかめる。縦軸は輝度温度[K]、横軸は自転軸からの角度[°]である。



←図４ 月齢 14.4 の輝度温度分布 (10 月 27 日)

《結果①》
図４から、赤道付近(90°, 270°)に近づくほど温度が高く、極付近(0°, 180°)に近づくほど温度が低くなる傾向にあることが分かった。

《結果②》
予想と同様に、東側(30°～150°)の温度が高かった。

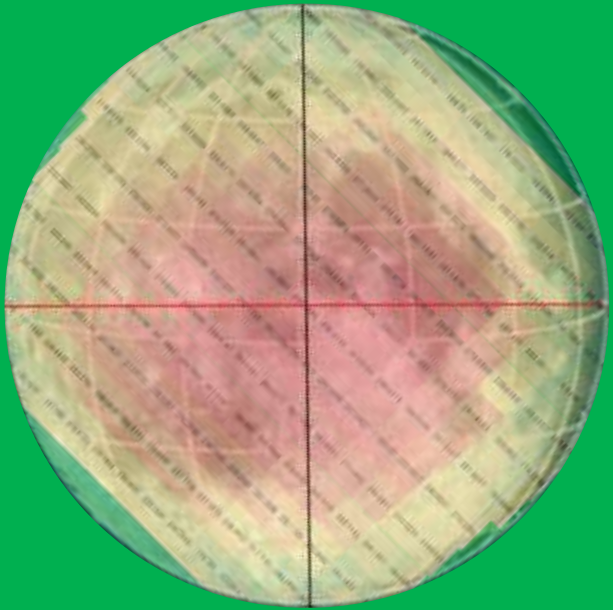
《結果③》
南北を比較すると北側(0°)の温度の方が低く、南側(180°)の方が高い傾向になった。

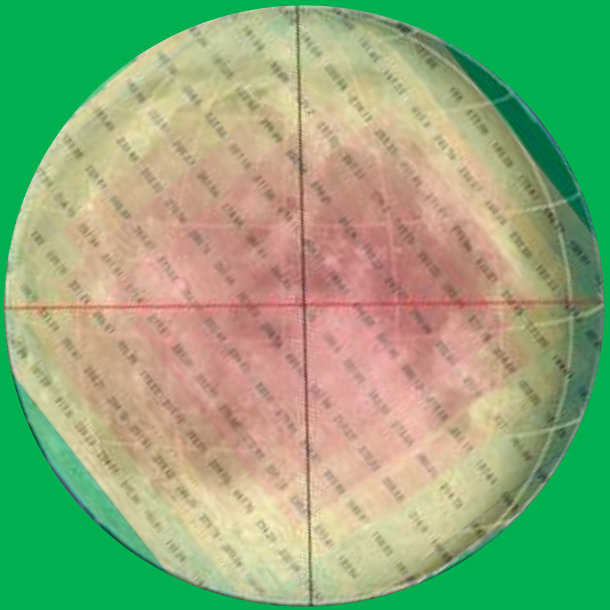
《2 回目》輝度温度の標準偏差は平均 0.88K

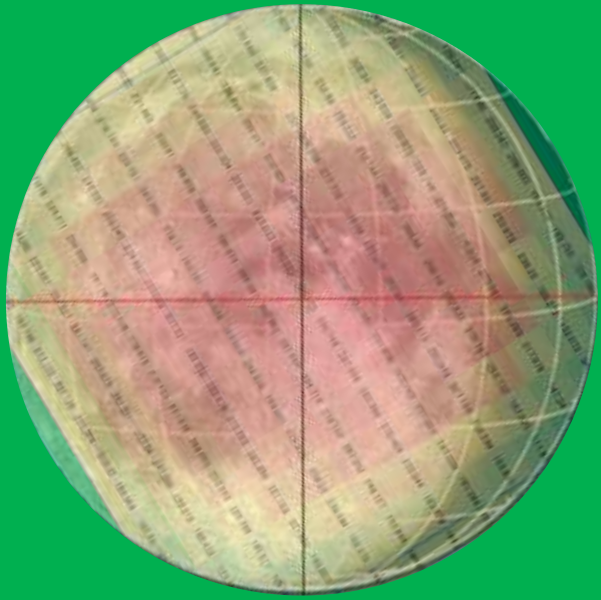
図 1：2回
目の観測

離 15°にピークがあった。この距離は約一日のピークの遅れに相当し、仮説の三日半とは異なる結果となった。文献[1]では月全体を一度に観測しているが、今回

「月の満ち欠けと表面下温度の関係 Part2」
岩手県立水沢高等学校理数科２年
岩崎凌斗　遠藤咲季　金子瞬　千葉めぐみ
SSH研究発表会より 2017.1







2016年11月15日

月齢:15.7　視直径:33.6'

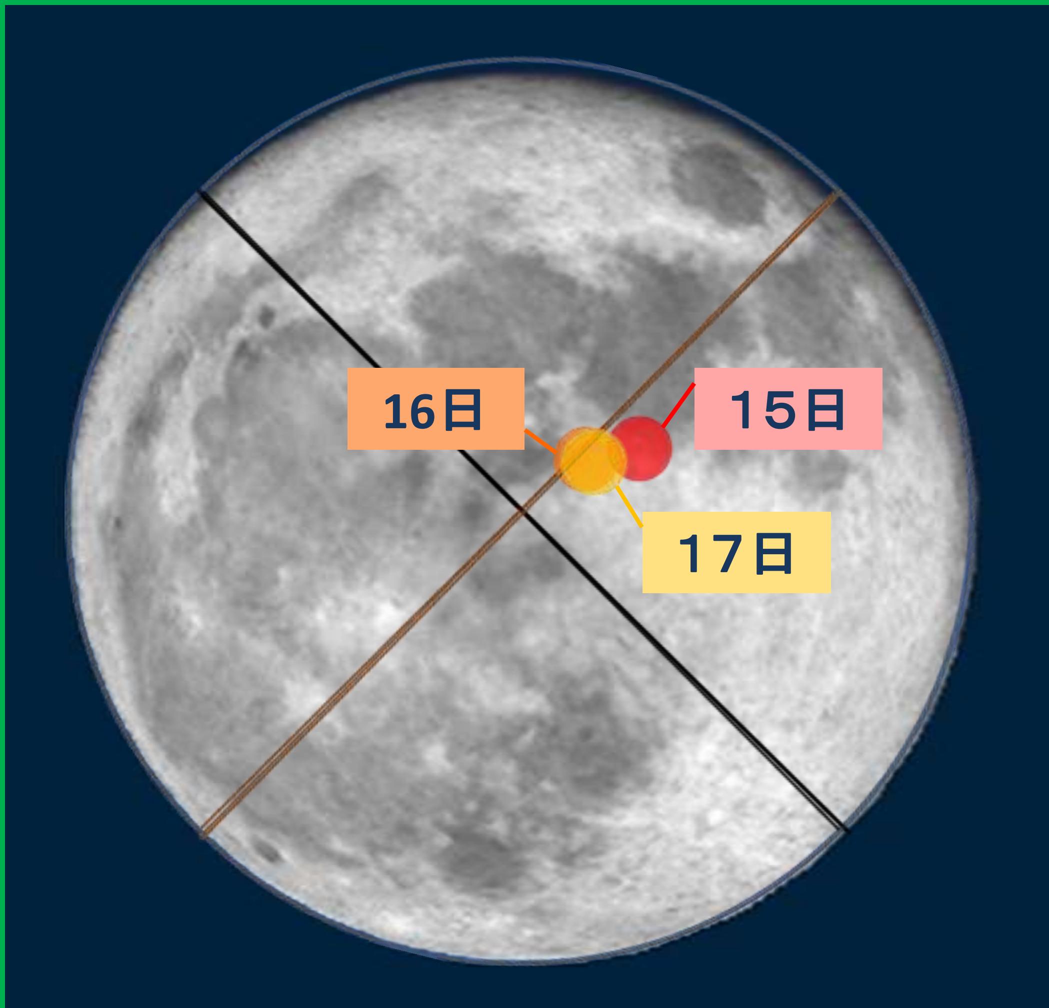
11月16日

月齢:16.7　視直径:33.4'

11月17日

月齢:17.7　視直径:32.9'

ピーク位置の変化



・9月の観測では、月表面下数十cmでは赤道上で距離22°にピークがあり、昨年度の研究に近い結果となった。

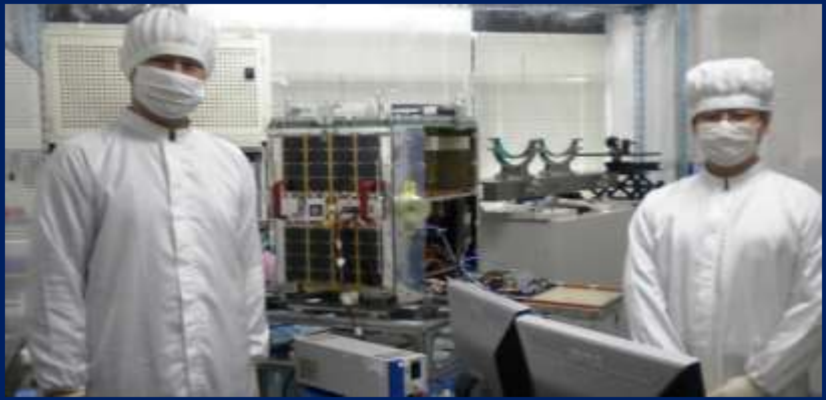
・月齢が1高くなるごとに西に約12°ずつずれていくと予想していたが、11月の観測では仮説とは異なり、ピークの位置の大きな変化は見られなかった。

2017年8月の神戸で開催されたSSH研究発表会で報告された。

これからの使用計画とそれに向けての改造と試験

Nano-JASMINE衛星（日本初めての赤外線位置天文衛星：打上げ時期検討中）の2.45GHzでのダウンリンク局として使用予定。太陽同期軌道のため、朝、夕に衛星を追尾する。それ以外の時間は独自の観測を行える。

ダウンリンク局　水沢10mアンテナ



Nano-JASMINE衛星

亀谷 收, 浅利一善, JASMINEグループ, 水沢VLBI観測所VERA運用グループ（国立天文台）

水沢10mアンテナ駆動ソフトの改修、他

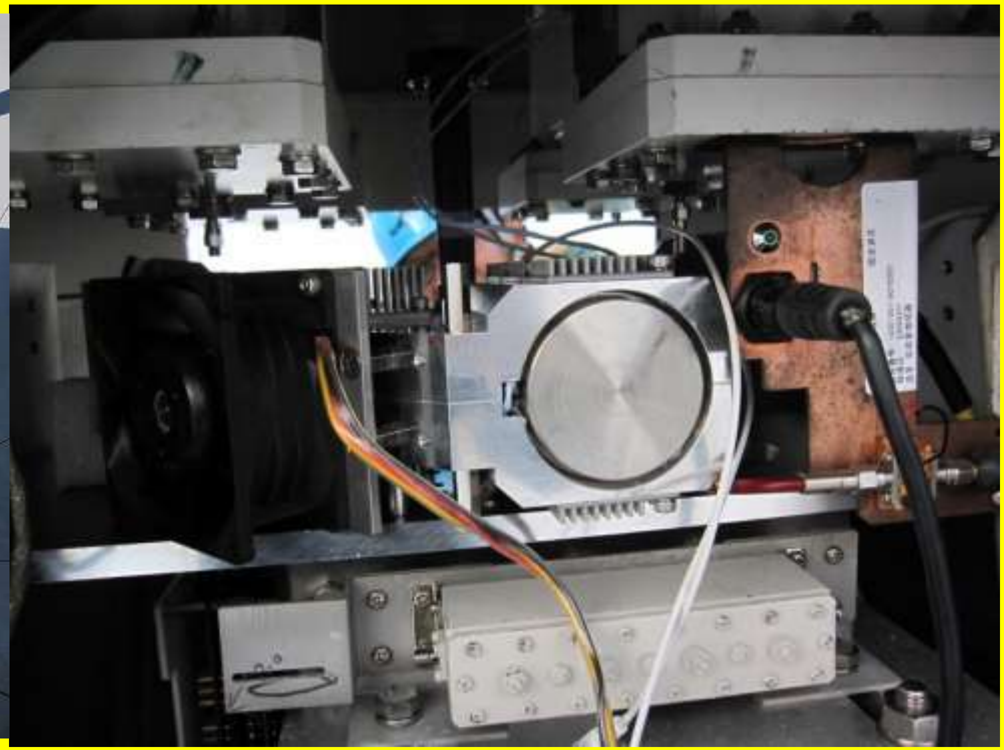
・時刻とAzElをファイルで与えて駆動できるようにした。
・100分の1秒ごとに駆動コマンドの確認を行う事にした。

・パワーメータデータも取得できるようにした。
・衛星追尾観測、VLBI観測や単一鏡観測、
secZ測定も含めて連続して自動観測可能に
した。（トラブラなければ1週間可）

・受信機室内まで有線LANがつながった。
吉田さん、小山さん、宇賀さん
他、多くの方に感謝します。
＞＞Lo周波数のリモート変更、受信機のモニター等

冷却フィルタの設置と試験

1.995GHz±10MHzのフィルター　2017年12月～

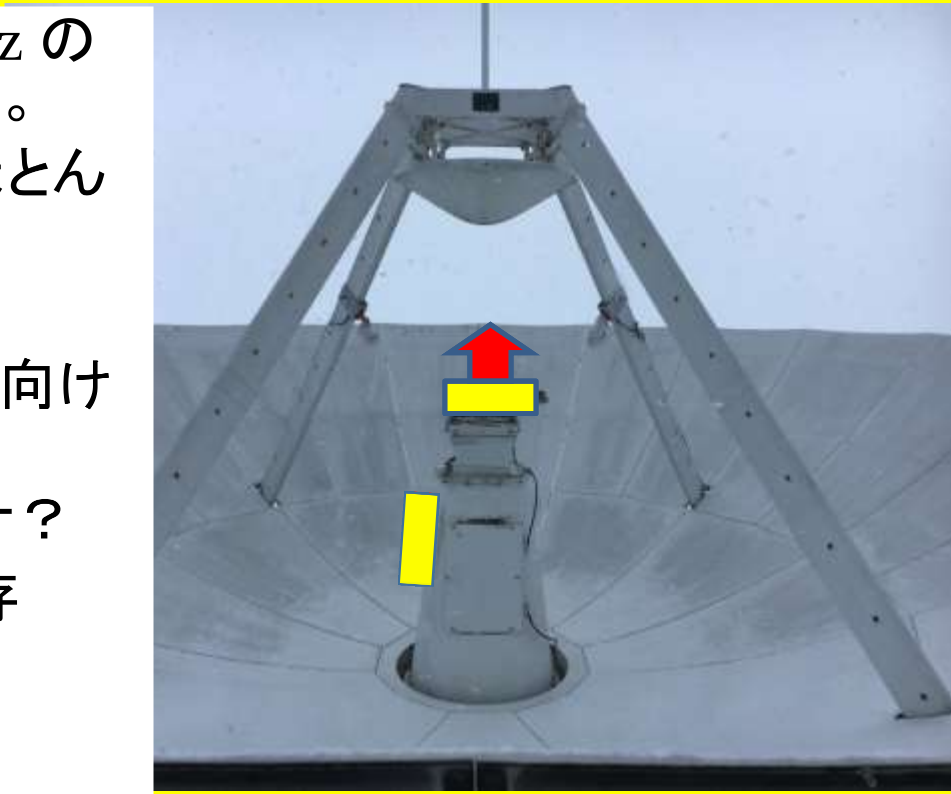


1.4/1.6GHz帯の観測可能性を検討中

- LNA は少なくとも1.40GHz～2.30GHz の周波数で44dB～45dB の利得を持つ。
- ホーンは2GHz以下では、ゲインがほとんどない。

＞＞

- 1.4GHz／1.6GHz帯の観測の実現に向け検討開始
- ヘリカルアンテナ　or　パッチアンテナ？
- 問題点：S帯など他の周波数との共存



写真：赤堀氏提供

今後の観測可能性

- Nano-JASMINE運用（毎日２～３回×３０分間）に使わされない殆どの時間を使ってVLBIや単一鏡観測に殆ど自動で使用可能
- S帯および22GHzの同時受信が可能だが、S帯は、

パルサーに対して余り強力でない。

- ＞＞1.4GHz/1.6GHzの周波数帯の観測
- SKAを視野に入れて、パルサーや突発天体に特化したモニター観測を検討中

・他の大望遠鏡と同期した観測を行い、VLBI観測を行うなど。

·かつてOri-KL水メーザーのバーストした時の偏波モニター観測を行った。このようなモニター観測は、今後も重要になるだろう。

S. Horiuchi, S. and Kameya, O. (2000) Highly polarized emission from the bursting water maser in Orion-KL, Publ. Astron. Soc. Japan, 52, 545-550.

まとめ

・国立天文台水沢VLBI観測所直径10m電波望遠鏡は、今年で建設後26年
・建設当初はS/X帯における地球回転VLBIや測地VLBI観測が主な観測
・22GHz帯における国内共同利用VLBIネットワークであるJ-Netに参加
・VERA建設後は、VERAの性能確認とバックアップ、RISEグループの試験観測、SgrA*毎日モニター観測や高校生のSSH研究に使用
・Nano-JASMINE衛星のダウンリンク局として使用する予定
人工衛星の観測運用が十分な指向精度でできるように、駆動系その他のシステムを改良。
・比較的小回りが利く運用ができる特性およびVLBI安定性を使って、
国内のVLBIモニター観測に対応：広帯域VLBI観測
国内の気球VLBI観測に参加し、フリンジ検出の重要局として対応

・SKAを視野に入れて、パルサーや突発天体に特化したモニター観測を検討中。

参考文献

S. Horiuchi, S. and Kameya, O. (2000) Highly polarized emission from the bursting water maser in Orion-KL, Publ. Astron. Soc. Japan, 52, 545-550.

亀谷 收, 浅利一善, 小山友明, 河野裕介, 郷田直輝, 矢野太平, 上田暁俊, VERA開発グループ, VERA運用グループ, VERA保守グループ(国立天文台), 山田良透（京都大）, 稲守孝哉（名古屋大）, 尾崎直哉, 大塚俊一（東京大）, JASMINEグループ、建設後25年になる水沢10m電波望遠鏡の現状と性能向上について、日本天文学会秋季年会＠北海道大、2017年9月11日-13日予稿集

亀谷收、水沢10m電波望遠鏡の25年間と今後、国立天文台水沢VLBI観測所UM、2017年11月3日-4日集録

亀谷收、本間希樹、小山友明、国立天文台水沢10m電波望遠鏡によるパルサーと突発天体観測の可能性について、「日本SKAパルサー・突発天体研究会」集録、2018年1月5日～7日

M. Tsuboi et al. (2015), NO MICROWAVE FLARE OF SAGITTARIUS A* AROUND THE G2 PERIASTRON PASSING, APJL,196, L8.