

気球VLBI 2019実験と2020計画

河野裕介(国立天文台), 土居明広(JAXA), 木村公洋(JAXA), 中原聡美(JAXA), 下向怜歩(東大・院), 長谷川豊(JAXA), 小山友明(国立天文台), 亀谷収(国立天文台), 村田泰宏(JAXA), 鈴木駿策(国立天文台), 米倉覚則(茨城大), 岡田望(大阪府大), 関戸衛(NICT), 海老沢研(JAXA), 井上芳幸(理研), 石村康生(早大), 本間希樹(国立天文台), 小川英夫(大阪府大), 田中宏明(防衛大), 小木曾望(大阪府大), 海老沢研(JAXA)ほか



要旨

気球VLBI実験とは、成層圏に気球搭載型電波望遠鏡を滞在させ電波干渉計を形成できるかを検証する技術フィージビリティ・スタディである。将来のブラックホール直接撮像などの天文観測に向けた技術実証試験をおこなう。成層圏は、高周波電波帯(サブミリ波帯)の天文観測にとって、大気の影響をほぼ完全に避けることのできるサイトであり、地上の電波干渉計・スペースの人工衛星に次ぐ第三の観測プラットフォームとなりうる。最初のステップとして、受信周波数20GHz帯の口径1.5m電波望遠鏡を搭載したVLBI Gondola局と地上電波望遠鏡との間で Very-Long-Baseline Interferometry の干渉縞の検出を目指し、その技術評価をおこなう。2017年、2018年、この実験機を北海道広尾郡大樹町の JAXA 大樹航空宇宙実験場に輸送し、再び放球準備を整えたが、適する気象条件には恵まれず、放球は次年度以降へ持ち越された。システムが確立した気球VLBI Gondolaシステムは、大樹町施設にそのまま保管されていた。2019年も放球提案したが、ヘリウム流通量の急減により、放球場が確保できたヘリウムガスは1機分のみとなり、気球VLBIは放球できなかった。そのため、約1年間越冬させたGondolaシステムの健全性を確認するのが2019年の活動となった。水沢10mと水沢相関局の協力を得て、放球場ではVLBI観測を含めた地上動作試験をおこない、すべての機能の確認を完了した。姿勢制御システムのアップグレードをおこない、吊り下げて振り子運動している状態のアンテナ指向安定度は20秒角となり、約3倍向上した。2020年度の放球も提案した。現在審査中である。

2019年活動 と 2020年計画の違い

- **PIの変更: 土居 (JAXA) → 河野 (NAOJ)**
 - 放球待ちリストの上位を取るため
 - ✓ EHTで成果を出した NAOJ からの提案
 - ✓ 研究コミュニティ (JAXA外) からの提案
- **放球場ヘリウムガスの状況: おそらく大きな変化なし**
 - 米国土地管理局(BLM)備蓄の海外向け販売終了。米国以外の新ガス田の供給待ちへ (~2022)
 - 2019年のJAXA気球実験実施は1機のみ (放球待ちは6機だった。2020は4機(予想))
- **放球条件**
 - フライト要求は同じ: 要求高度 19 km 以上、レベルフライト時間 60~180分間
 - 2019年の地上/高層風の状況は 2018年(0機)と同程度であった

2019年 大樹での活動

2018年から現地で越冬させた。1年後、FRINGE試験を含む全機能の健全性を確認

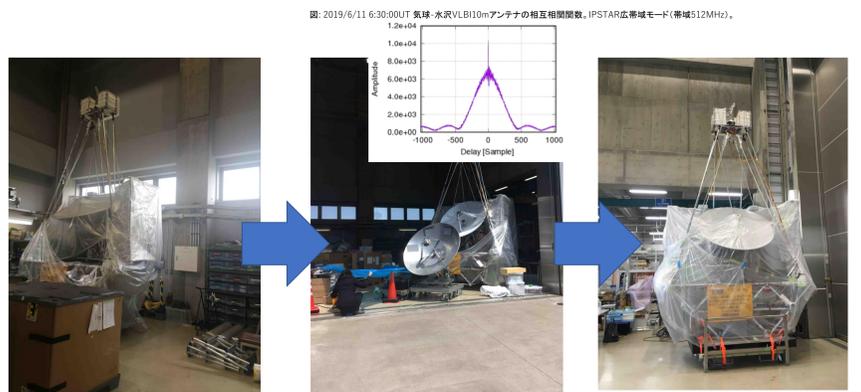
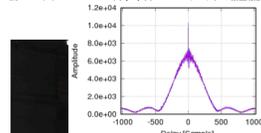
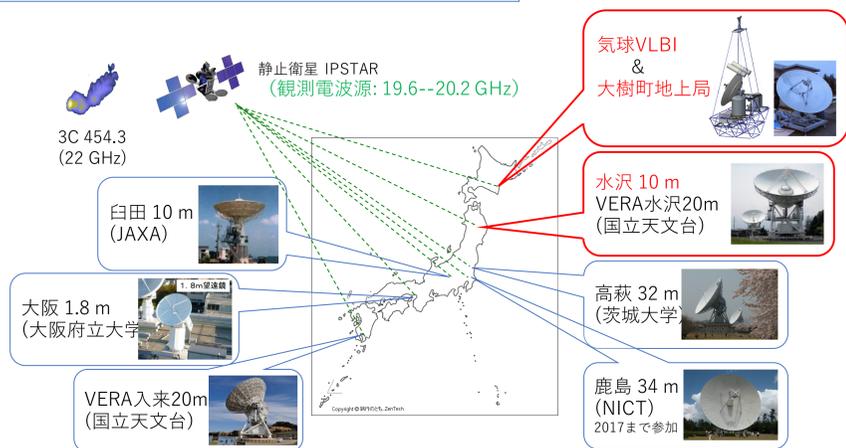


図: 2019/6/11 6:30:00UT 気球-水沢VLBI10mアンテナの相互相関関数。IPSTAR広帯域モード(帯域512MHz)。

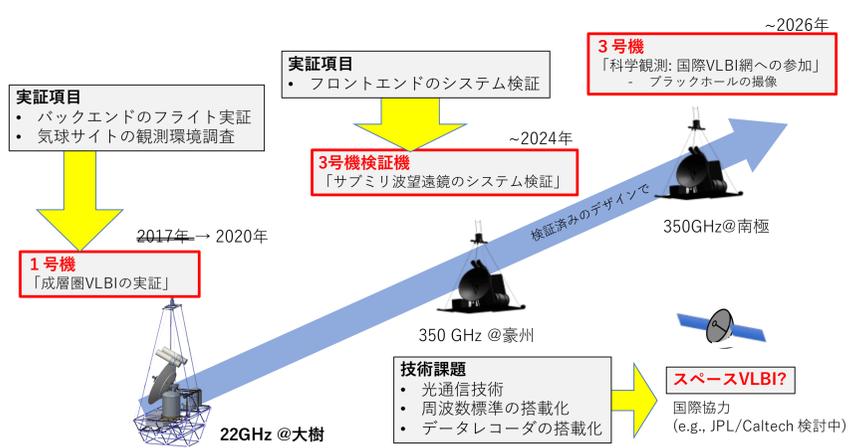


気球VLBI 観測網 (赤字は2019年参加)

大阪府立大局はK5VSSP32のみ
VERAは広帯域系のみ



ロードマップ



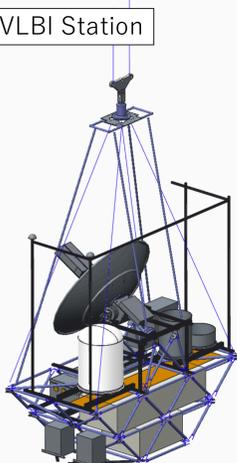
Payload: Balloon-borne VLBI Station

Total weight 611.5 kg (2018)
Height 4180 mm
Width 2600 mm
Depth 1400 mm

Radio Telescope
• Φ1.5m
• HPBW = 0.6 deg at 20 GHz

Receiver
• 19.5~23.0 GHz
• LHCP/RHCP (Room Temp.)

Backend
• Oven-Controlled X'tal oscillator (OCXO)
• VLBI sampler ADS3000+ recorder VSREC (8Gbps)
• VLBI sampler K5VSSP32 + NUC (128Mbps)
• digital spectrometer



Attitude Control
• Coarse Az motor "PIVOT"
• EL actuator
• AZ reaction wheel

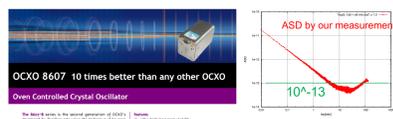
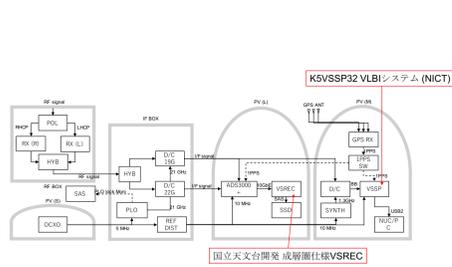
Attitude Determination
• Coarse sensors
• Geomagnetic sensor
• GPS Compass
• Sun sensor
• Fine sensors
• 3-axis Fiber-optic/MEMS gyro (Star tracker x2)

Position Determination
• GPS
• gyros, accelerometer

Power Supply System
• Li-Ion Batteries (LiFePO4)
• 400~700W
• 5000Wh

Observation system

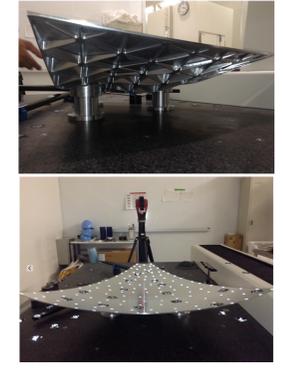
VLBIの心臓部「周波数標準時計」「広帯域データレコーダ」を搭載する構成が特徴
(電波天文衛星HALCAでは搭載できず地上設備とし、感度と運用効率と制限された)



- 8Gbps VLBI Recorder for BVLBI
- VSREC by Mitsubashi VLBI Observatory team
- ADS3000+(NICT), DC-powered
- Thermal insulation and Active Cooling system
- Too cold in flight operation
- Too hot in recording operation
- Supported by INAMORI and CASIO foundation

気球用サブミリ波の開発 (気球VLBI+JAXA) [JAXA工学委員会戦略的研究]

- 口径 2 m
- 6分割鏡
- 30μm RMS (目標20μm)

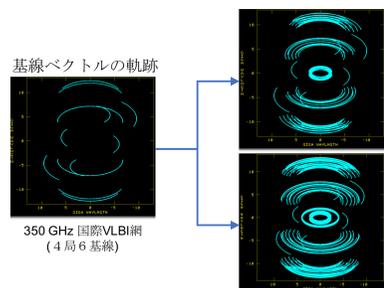


飛行体局の威力 (基線数が日数/周回で増加)

表: 局数と基線数の関係

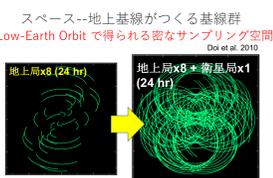
地上局 N	→ 基線数 $N(N-1)/2$
地上局 N + 飛行体局 M	→ 基線数 $N(N-1)/2 + (M(M-1)/2 + NM) \times \text{日数}$

Doi et al. 2019, AdSpR, 63, 779



南極に気球局を1つ追加
→ 28本増加 (8.8局相当)

南極に気球局を2つ追加
→ 63本増加 (12.3局相当)



Space VLBI meeting

- Beyond Interstellar: Extracting Science from Black Hole Images
 - September 2019
 - JPL+MIT主導 @カルテック
 - 参加: 土居 (JAXA)

