

気球VLBI実験2018報告

VERA UM 20180925

気球VLBI検討チーム (土居明広)

Institutes



要旨

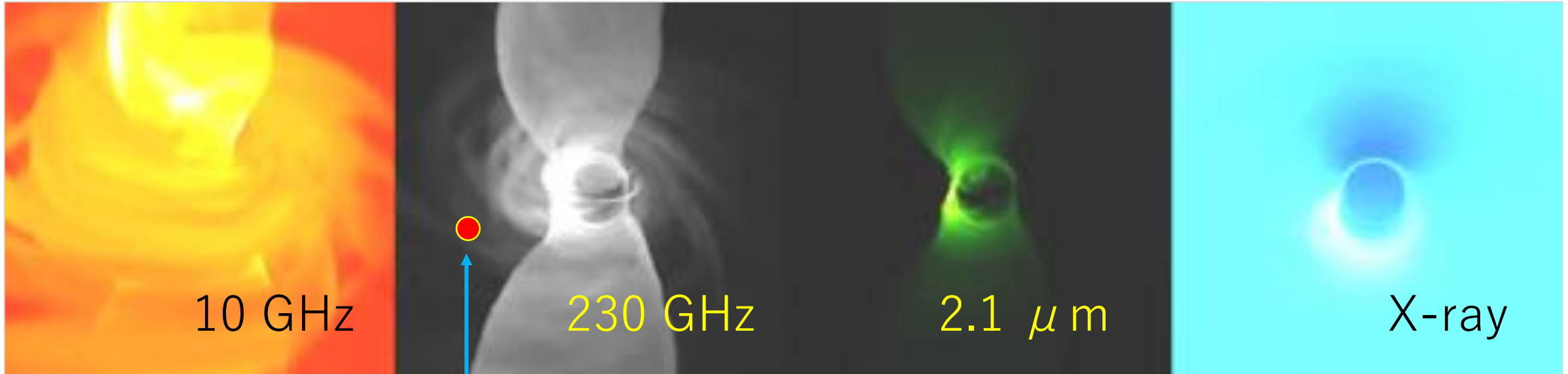
- 2018年放球実験の準備は順調に推移した
supported by 水沢VLBI観測所・大学連携VLBI局
- しかし、気象条件により実施は見送られた
- 今後に向けて、ご意見・ご議論をいただきたい

水沢VLBI観測所と気球VLBIの関わり

- 2012年
 - (当時の ASTE-VLBI/EHTメンバーにより検討開始)
 - BH撮像にUV-coverage 改善の必要性 → Our Telescope@成層圏の構想
 - 国内フライトによる技術試験ステップから始まるロードマップ
- 2013年
 - 水沢10m--VERA水沢--気球VLBIプロトタイプ局でファーストFRINGE@水沢局内
 - 人工衛星 IPSTAR 電波源で VLBI フリンジが出ることを確認
 - OCXO (ASTE-VLBI) + VSREC (水沢VLBI) + 気球システム(JAXA) を軸としたシステム構想
- 2015年
 - 水沢10m--気球VLBI局(相模原)で振り子VLBIFRINGE
 - 搭載センサーによる局位置補償について原理を確認
 - 搭載VLBIバックエンドの共同開発、搭載スタートラッカーの共同開発
- 2016年, 2017年
 - 放球実験見送り (水沢10m 参加)
- **2018年**
 - **放球実験見送り (水沢10m, VERA水沢/入来 参加)**

撮像によるブラックホール研究分野の開拓

コンピュータシミュレーション (Ozel et al.)



低周波電波では光学的に厚く
中心まで見透せない

<http://xtreme.as.arizona.edu/~fozel/index.php/project/high-performance-computing/>

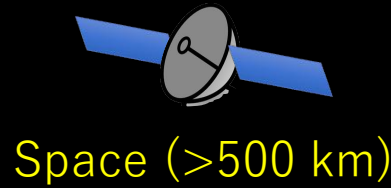
超長基線電波干渉計 (VLBI) で実現しつつある空間分解能
(ブラックホール Sgr A* / M87)

気球 VLBIの構想

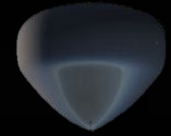
最終的なターゲット
Sgr A*/M87 ブラックホール @>300 GHz?



300 GHz 以上のVLBI 観測が可能であろう
標高 >4000 mの数少ない地上局に、
移動する飛翔体局を加えて基線を増加させる。

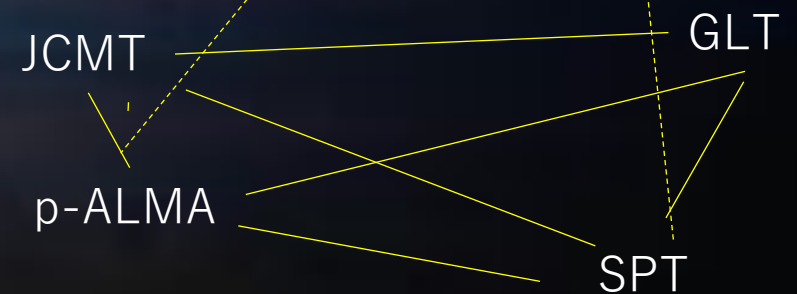
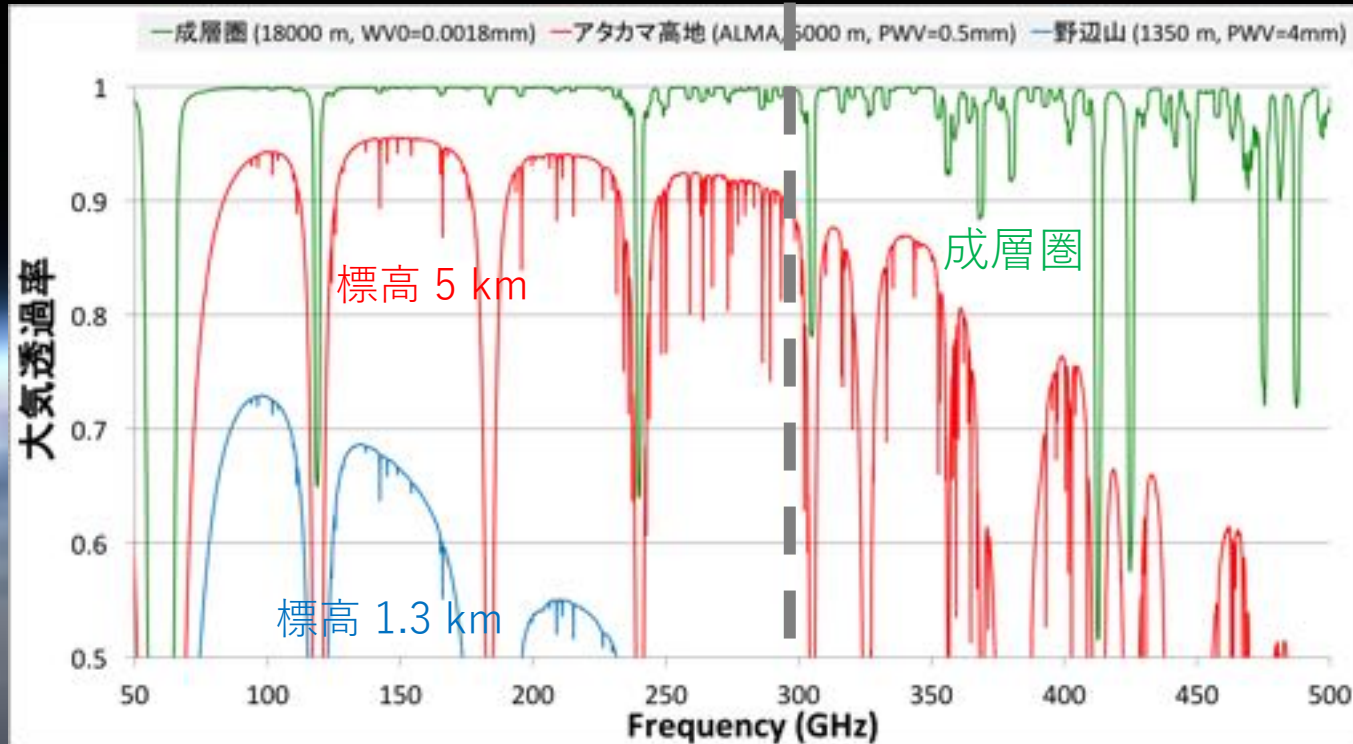


Space (>500 km)



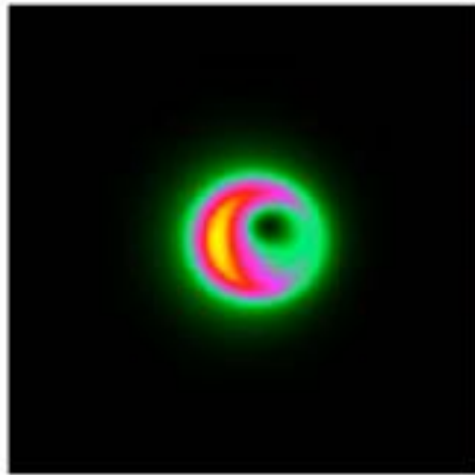
Stratosphere
(~30 km)

(VLBIにとっての)
地球側の大気の窓? ←-----→ BH 側の大気の窓?

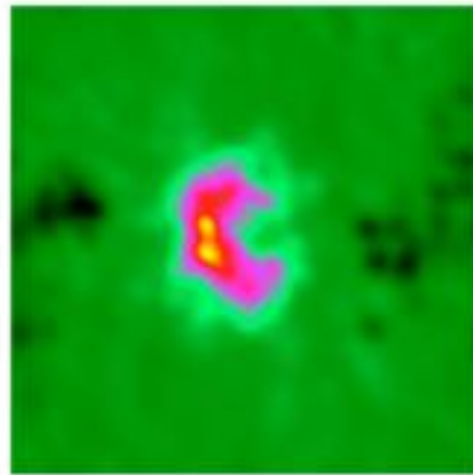


撮像クオリティにおける基線数の重要性

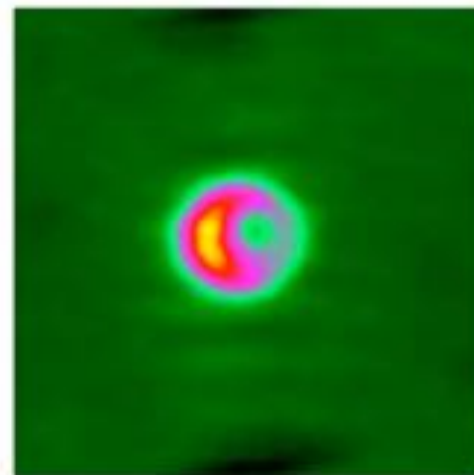
Sgr A* imaging simulation @ 345 GHz
(RIAF, $i=60$ deg; Gammie & Broderick)



[Model]



[7 antennas]



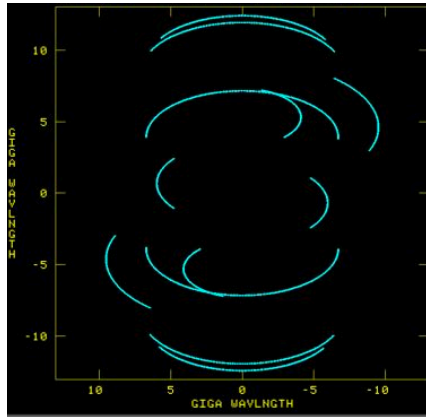
[13 antennas]

飛翔体局の威力 (基線数を日数で稼げる)

$$\frac{N(N-1)}{2} + \left(\frac{M(M-1)}{2} + NM \right) \times D,$$

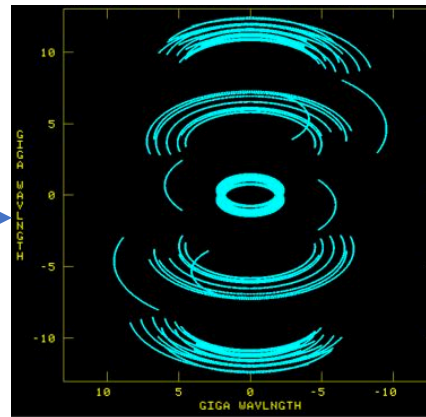
N: 地上局数
M: 飛翔体局数, D: 日数
(Doi et al. 2018 in press)

基線ベクトルの軌跡

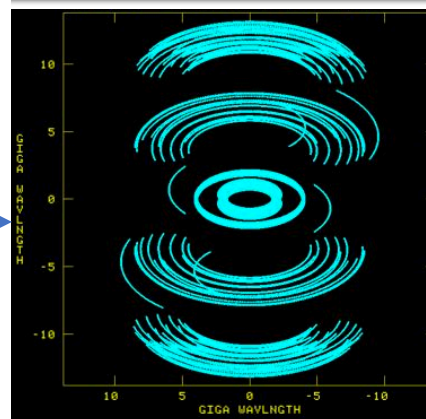


350 GHz 国際VLBI網
(4局6基線)

x7日間



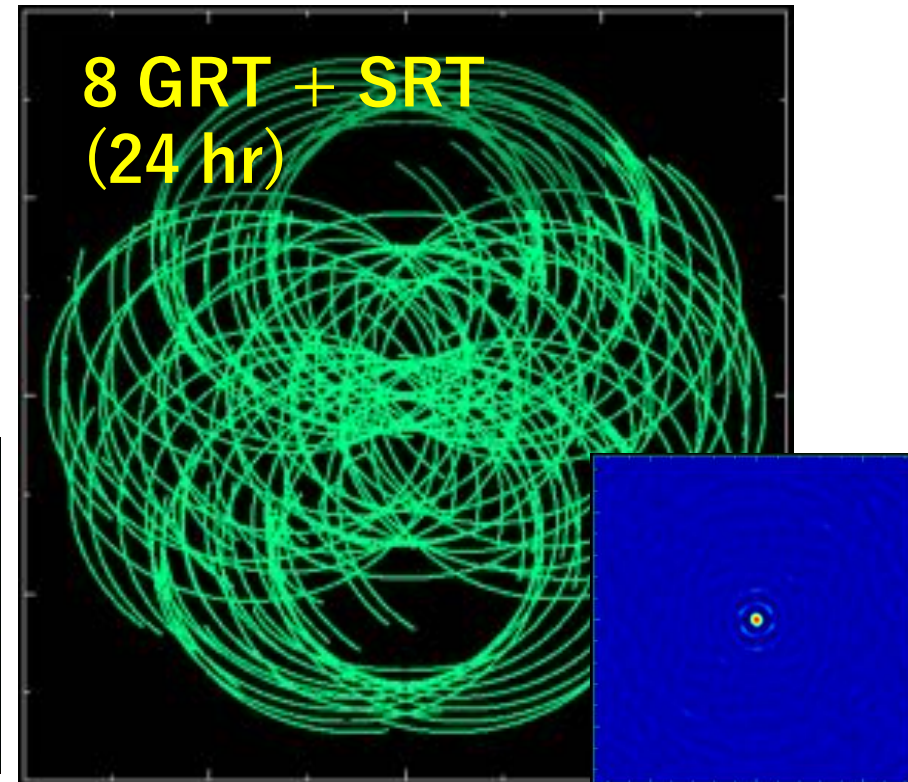
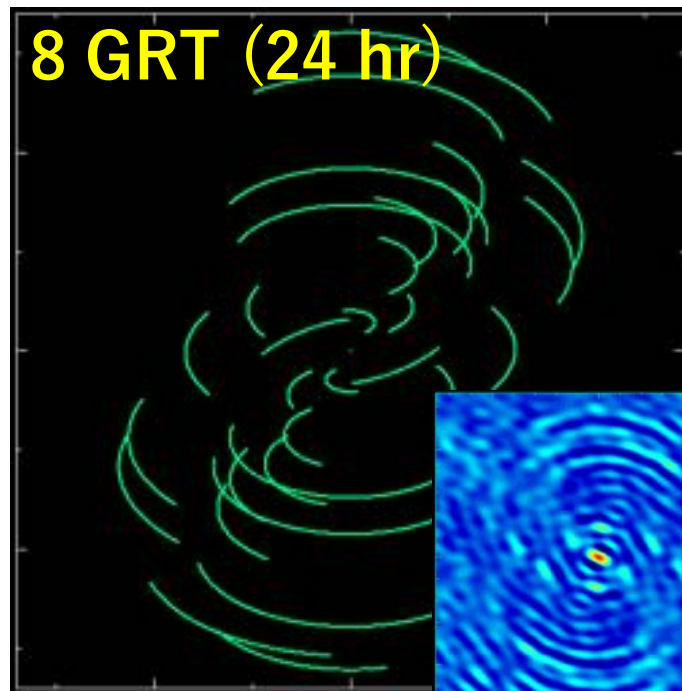
南極に**気球局**を1つ追加場合
→ 28本 増加
(8.8局相当)



南極に**気球局**を2つ追加場合
→ 63本 増加
(12.3局相当)

Ground-Space 基線がつくるUV-cov.

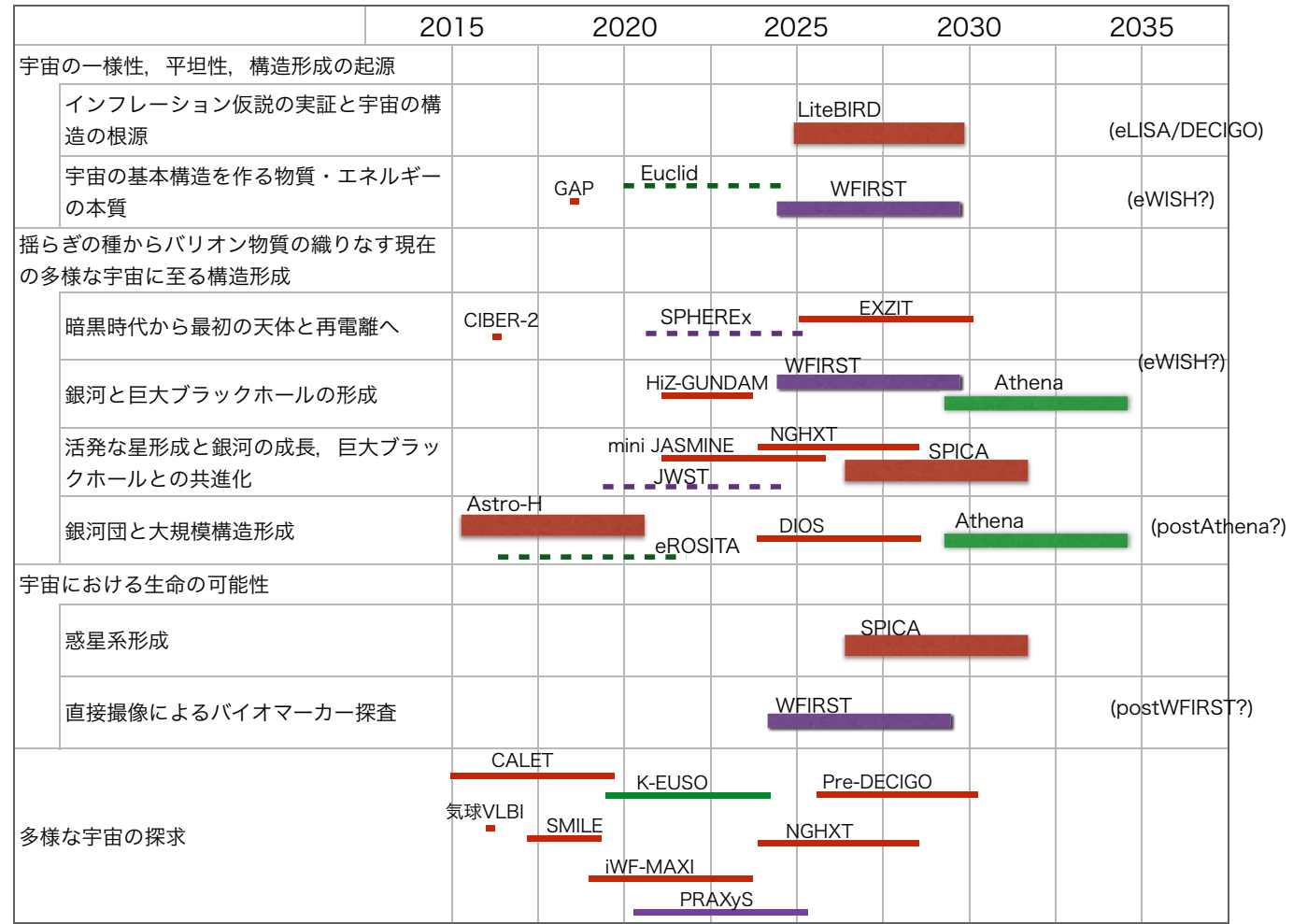
- 密なUV平面を求めて宇宙へ



- 空間分解能は地球直径の基線長で到達。より長い基線は不要だが、**地上局サイトの広がり**の限界を補うために、**高速で動き回る低高度衛星**(Low-Earth Orbit: LEO)の軌道を利用する。

宇宙科学の実行戦略案（宇宙物理学分野）

（研究領域の目標・戦略・工程表の宇宙研によるまとめ）



2015.2

VLBI懇談会役員会から提出された「成層圏気球 VLBI によるブラックホール研究について」が反映されている

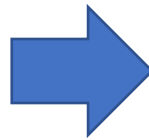
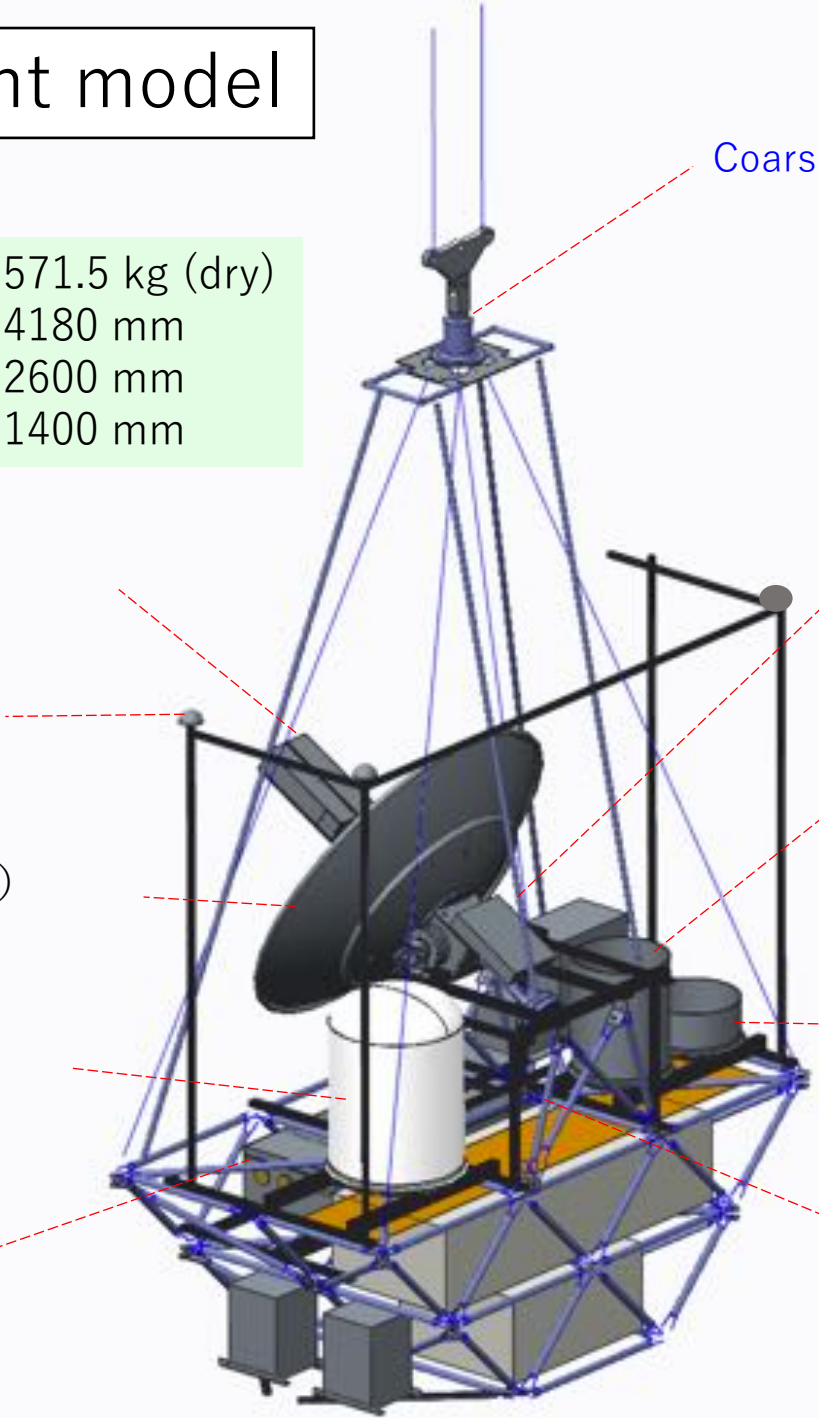


図 B.2: 宇宙物理学の目標・戦略・工程表に記載された全てのミッション。戦略的に進めることを推奨するミッション（太線, 中太線）以外のミッション（細い実線）は競争的に選定されることを想定する。

VLBI gondola test flight model

Total weight	571.5 kg (dry)
Height	4180 mm
Width	2600 mm
Depth	1400 mm

- Daytime Star Trackers
- GPS compass & Geomagnetometer
- Φ 1.5m Radio Telescope
(22 GHz → HPBW = 30 arcmin)
- Pressure Vessel - B
 - Down Converters
 - Operation PCs
 - VLBI system (redundant)
- Li-ion Batteries



Coarse Az motor "PIVOT"

Elevation actuators

Pressure Vessel - A

- VLBI A/D converter
- VLBI 8-Gbps Recorder

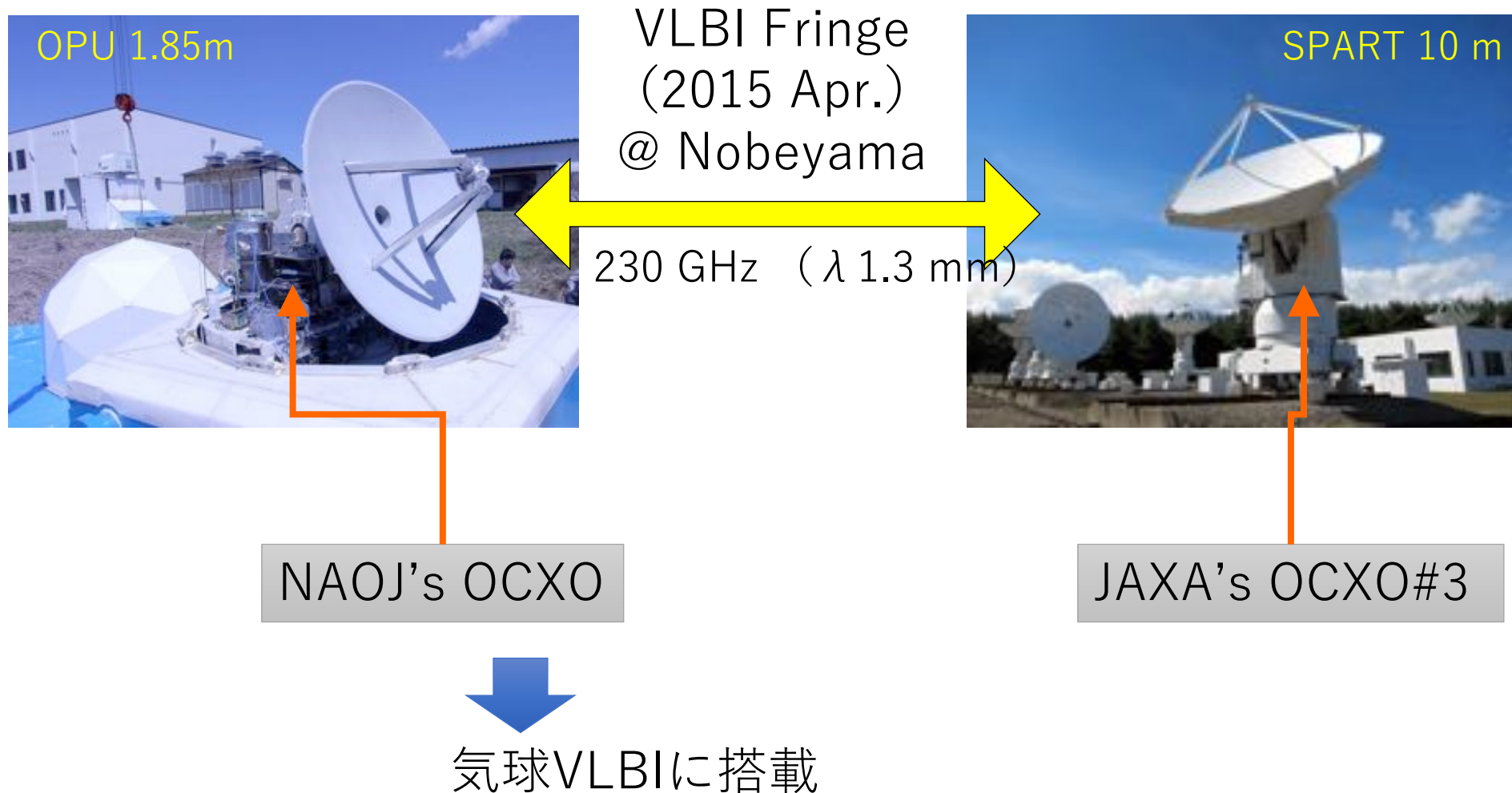
Pressure Vessel - C

- X'tal oscillator
- Gyroscope Sensors
- Accelerometer

Azimuth Reaction Wheel

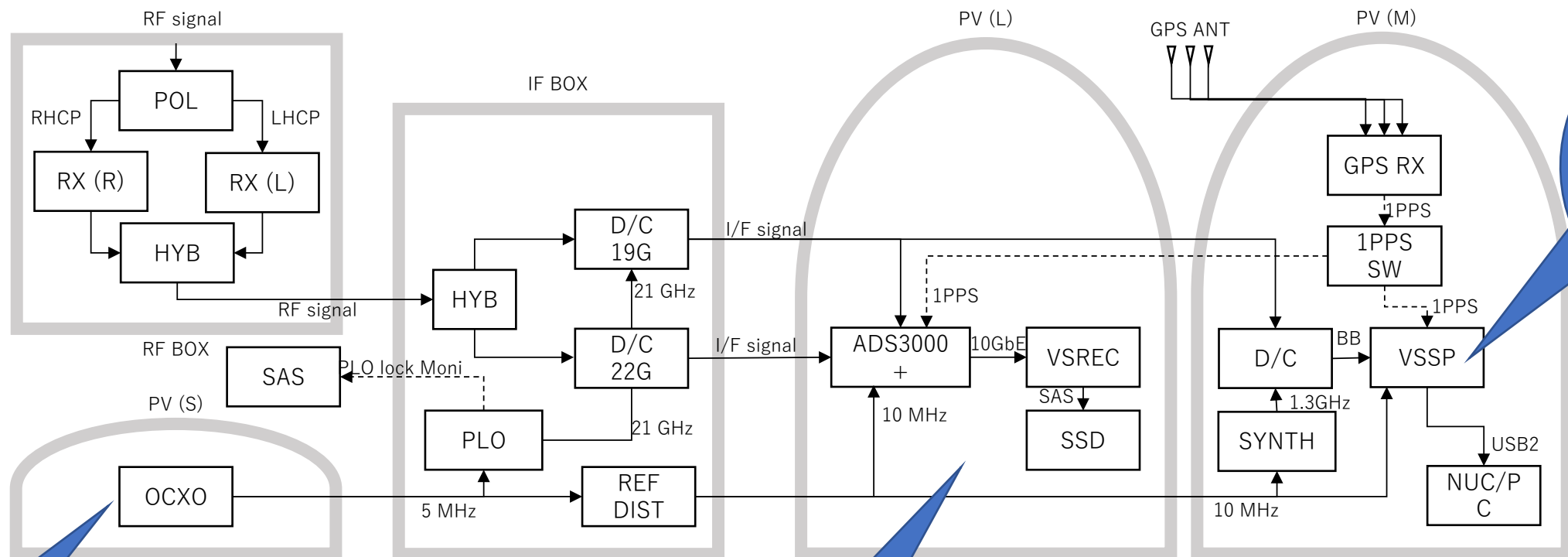
230 GHz OCXO—OCXO VLBI フリンジ検出

PI: 藤澤健太



Observation system

- OCXO(ASTE-VLBI) + ADS3000(NICT) + 搭載仕様VSREC (NAOJ)



recorder & real time spectrum analyzer

Ref.

Recorder

(Kono et al. in prep.)

“A Balloon-borne Very Long Baseline Interferometry Experiment in the Stratosphere: Systems Design and Developments”

Advances in Space Research 誌から出版予定

ゴンドラシステム

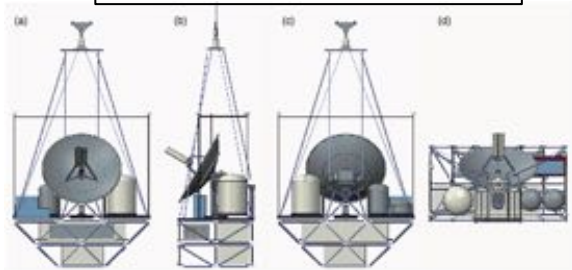


Figure 1: Four side views of the balloon-borne VLBI station. Sun shields and ballast boxes are not described in this model. (a) Front view, (b) Side view, (c) back view, and (d) top view.

VLBI 網

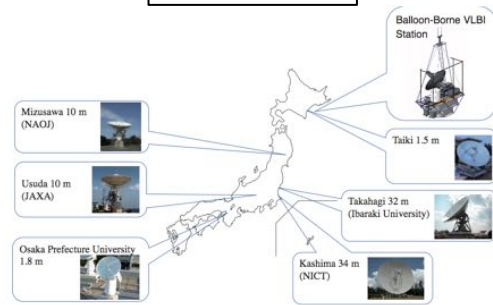


Figure 3: VLBI network for test observations in 2017.

観測システム

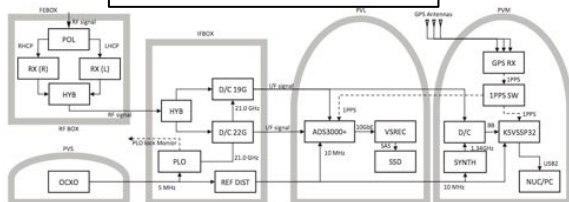


Figure 4: Block diagram of the observing systems for balloon-borne VLBI station. Abbreviations in the figure are as follows. POL: polarizer, RX: Receiver for low-noise amplifiers, HYB: hybrid coupler, D/C: downconverter, REF DIST: reference signal distributor, SYNTH: synthesizer, SW: switch, BB: base band signals.

UV平面シミュレーション

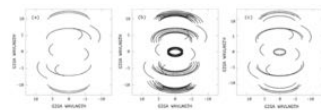


Figure 5: Simulations of uv-coverage assuming seven-day flights around Antarctica and observation toward the Galactic center. The observing frequency is 300 GHz. (a) Four ground-based stations. (b) Four ground-based stations and one balloon-borne station. (c) Four ground-based stations and one additional Antarctic ground-based station.

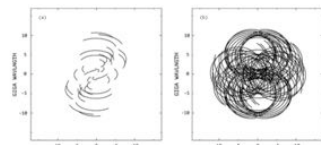


Figure 6: Simulations of uv-coverage of 24 h space VLBI observation toward the Galactic center. The observing frequency is 230 GHz. (a) Eight ground-based stations without space VLBI. (b) One space VLBI station on a low-Earth orbit (altitude 500 km) and eight ground-based stations.

A Balloon-Borne Very Long Baseline Interferometry Experiment in the Stratosphere: Systems Design and Developments

Akihito Doi^{1,2,*}, Yasuke Kono^{1,2}, Kimihiro Kimura¹, Satoshi Nakahara^{3,4}, Tomoaki Oyama¹, Noriomi Okada⁵, Yasutaka Satou⁶, Kazuyoshi Yamashita⁷, Naoko Matsumoto⁸, Mitsuhiro Baba⁹, Daisuke Yasuda¹, Shunsuke Suzuki¹, Yutaka Hasegawa¹, Mareki Horima¹, Hiroaki Tanaka¹, Kosei Ishizawa^{1,2}, Yasuhiro Murata¹, Reiko Shimozuka¹, Tomohiro Tachi¹, Kazuya Saito¹, Naohiko Watanabe¹, Nobunaka Bando¹, Osamu Kameya¹, Yoshinori Yonekura¹, Masaru Sekido¹, Yoshiyuki Inoue¹, Hikaru Sakamoto¹, Noriaki Kogiso¹, Yasuhiro Shoji¹, Hideo Ogawa¹, Kenta Fujisawa¹, Masanao Narita¹, Hiroshi Shiba¹, Hideyuki Fuke¹, Kenta Uehara¹, Shoko Koyama¹

¹The Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, 3-1-1 Yoshinodai, Chuo-ku, Sagami, Kanagawa 252-5218, Japan

²Department of Space and Astronautical Science, The Graduate University for Advanced Studies, 3-1-1 Yoshinodai, Chuo-ku, Sagami, Kanagawa 252-5218, Japan

³National Astronomical Observatory of Japan, 2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo 187-8588, Japan

⁴Department of Physical Science, Graduate School of Science, Osaka Prefecture University, 1-1 Gabuen-cho, Naka-ku, Sakai, Osaka 599-8537, Japan

⁵Mizusawa VLBI Observatory, National Astronomical Observatory of Japan, 2-12 Hoshigaoka, Mizusawa, Oita, Iitate, 025-0861, Japan

⁶Department of Aerospace Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University, 3-1 Gabuen-cho, Naka-ku, Sakai, Osaka 599-8531, Japan

⁷Department of Aerospace Engineering, National Defense Academy of Japan, 1-10-20 Hashirimizu, Yokosuka Kanagawa 239-8686, Japan

⁸Department of Modern Mechanical Engineering, School of Creative Science and Engineering, Waseda University, 3-4-1 Okubo, Shinjuku-ku, Tokyo 169-8525, Japan

⁹Department of Astronomy, Graduate School of Science, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-9033, Japan

¹⁰Department of General Systems Studies, Graduate School of Arts and Sciences, The University of Tokyo, 3-8-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo, 153-8902, Japan

¹¹Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo,

*Corresponding author

Email addresses: akihito.do@isast.jaxa.jp (Akihito Doi), kono.yasuke@nao.ac.jp (Yasuke Kono)

2018 実験の概要

- 豪州気球実験（3年度に一度）が3～5月にあり、大樹町放球実験への影響が懸念された
 - → 「気球VLBI早期実現についてのサポートレター」
from VLBI懇談会役員会2017, VLBI運営小委員会2017 to ISAS所長
- 気球VLBIが採択：5月1日
- 気球VLBI 放球準備完了: 6月29日（当初予定より1日遅れ）
- 気象条件等により、気球VLBI含む4つの実験すべてが見送られた
<http://www.isas.jaxa.jp/topics/001791.html>

2018 メンバー



気球局

(長期滞在)

土居、河野、木村、中原、下向、金口
長谷川、鈴木、

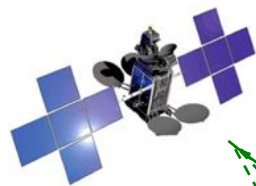
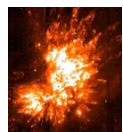
地上局

亀谷、小山、米倉、村田、岡田、保田

気球VLBI 観測網

大阪府立大局はK5VSSP32のみ
VERAは広帯域系のみ

JVNが構築してきた基盤を利用しながら、観測網を運営 (PI: 亀谷さん)



静止衛星 IPSTAR
(観測電波源: 19.6--20.2 GHz)

Orion-KL (22 GHz)
3C 454.3 (22 GHz)

白田 10 m
(JAXA)
(村田, 河野)



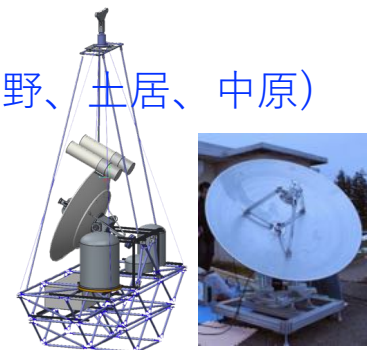
大阪 1.8 m
(大阪府立大学)
(保田, 岡田)



VERA入来20m
(国立天文台)



気球VLBI (河野、土居、中原)
&
1.5 m 地上局
(長谷川、木村
金口)



水沢 10 m
VERA水沢20m
(国立天文台)
(亀谷、小山)



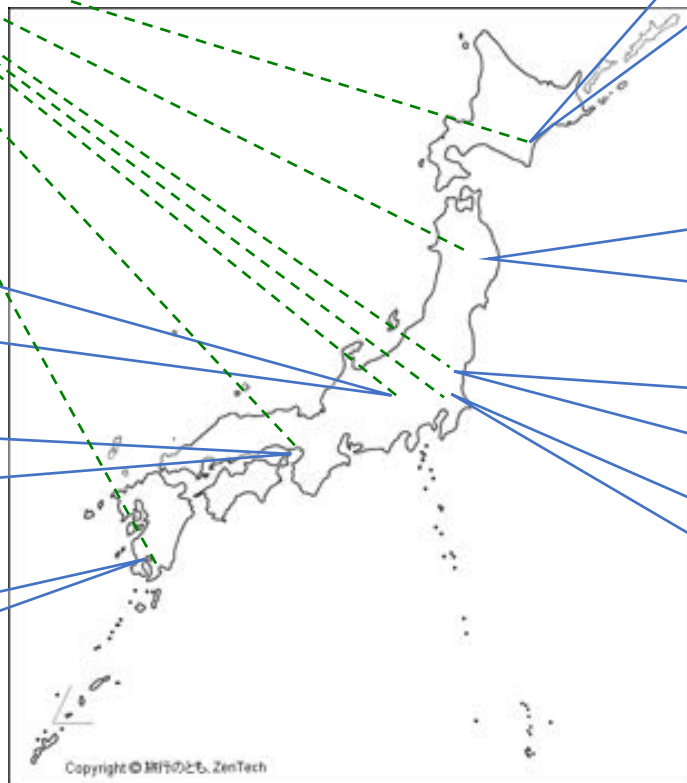
高萩 32 m
(茨城大学)
(米倉)



鹿島 34 m
(NICT)



※ 2018は不参加



Copyright © 旅行のとも、ZenTech

2018実験 (放球前の VLBI 試験観測)

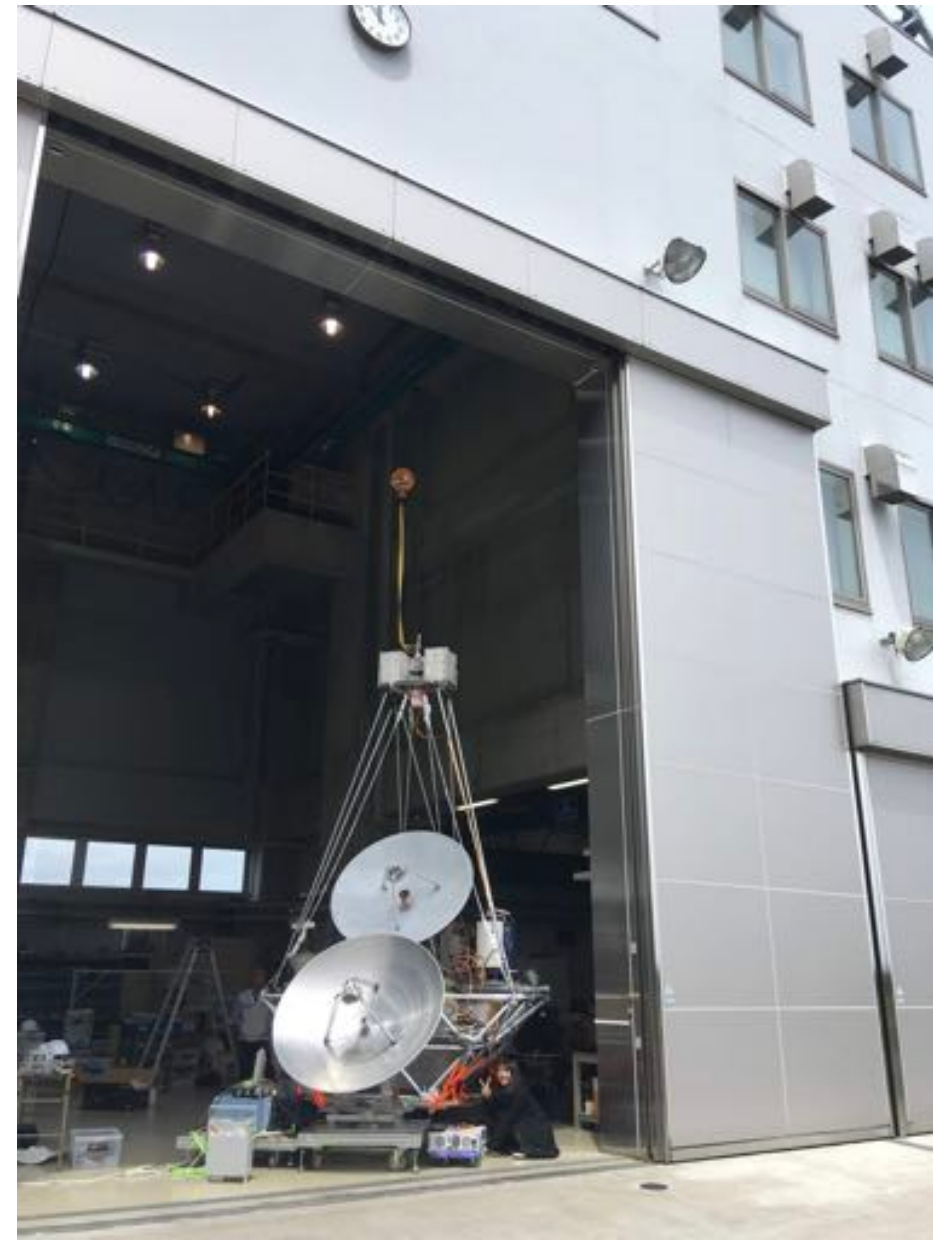
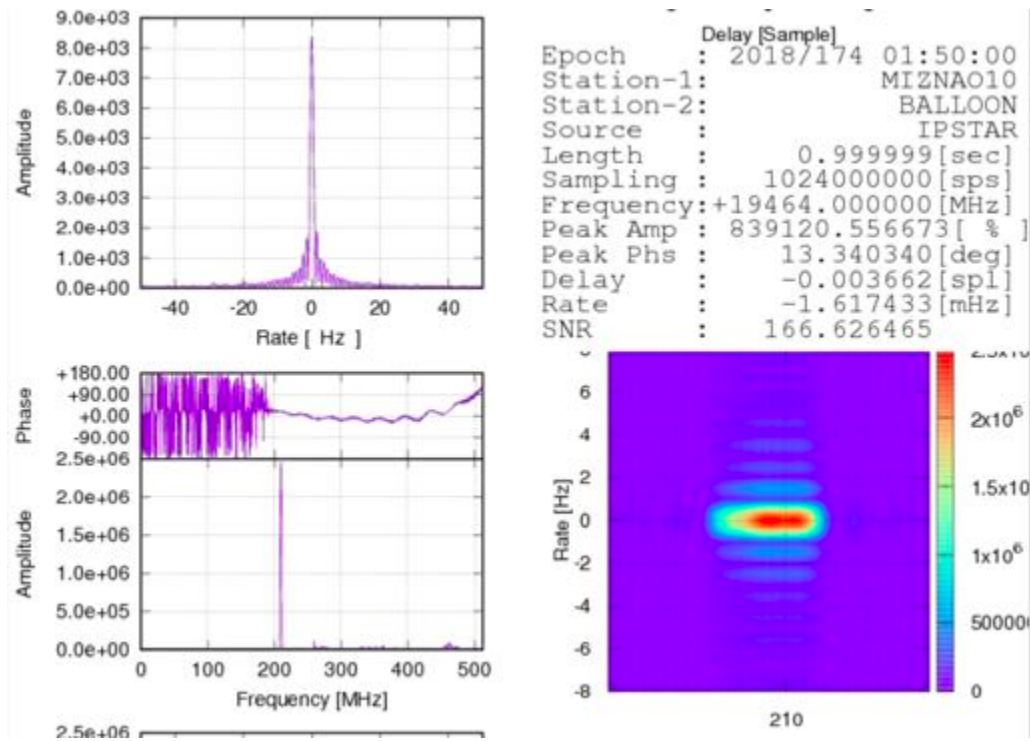
10日間、26観測

気球VLBI網運用統括: 亀谷さん
試験リスト by 小山さん

日時	code	UT	Duration	局	Freq	IF	目的	結果	
2018/6/9	t18160a	6:10	1800	m10, TK	IPSTAR	1, 2			
2018/6/10	t18161a	4:20	600	m10, TK	IPSTAR	1, 2			
2018/6/11	b18162a	5:08		m10, U	IPSTAR	1, 2			
2018/6/12	b18162b	18:05	1	m10, TU	IPSTAR	1, 2		IF1:m-U連○搬○, m-T連×搬○	
2018/6/12	b18162c	21:58	1	m10, UKB	IPSTAR	1, 2		IF1:m-t連×搬○, m-B連×搬○(rate割), m-K連○搬○ IF2:m-U連○搬○, m-B delay定まらない	
2018/6/12	b18162d	22:35	10	m10, TR	3C454.3	1, 2		IF1:m-T連×, m-R連○ IF2:m-T連×, m-R連○	
2018/6/12	b18162e	23:10	10	m10, TR	Ori-KL		1	m-Rメ○, 他×	
2018/6/18	b18169a	2:45	10	m10, UT	IPSTAR	1, 2	T(連フ未検出)検証	IF1:m-U連○搬○, m-T連×搬○	
2018/6/18	b18169b	5:00	300	m10, T	Ori-KL		1	T(連フ未検出)検証	m-Tメ○? SN低(6.6)
2018/6/18	b18169c	5:30	300	m10, T	3C84	1, 2	T(連フ未検出)検証	IF1:m-T連×	
2018/6/19	b18170a	2:00	3	m10, UKB	IPSTAR	1, 2	B(rate割), K(フリッジ未検出)検証		
2018/6/19	b18170b	2:10	3	m10, UKB	IPSTAR	1, 2	B(rate割), K(フリッジ未検出)検証	IF1:m-U連○搬○, m-B連×搬○(rate割)	
2018/6/19	b18170c	2:20	300	m10, UKB	IPSTAR	1, 2	B(rate割), K(フリッジ未検出)検証		
2018/6/19	b18170d	9:10	3	m10, UB	IPSTAR	1, 2 (Uは1のみ)	B(rate割)K悪影響? 別々取得	IF1:m-U連○搬○, m-B連×搬○	
2018/6/19	b18170e	10:10	3	m10, UTK	IPSTAR	1, 2 (Uは1のみ)	T(1PPS修正後), K(フリッジ未検出)検証	IF1:m-T連×搬○, m-K連×搬×	
2018/6/20	b18171a	6:20	3	m10, UTK	IPSTAR	1, 2 (Uは1のみ)	T(IF入替前)検証	IF1:M-T連○搬○, M-U連○搬○, M-K連×搬○, M-Tk5連○搬○ IF2:M-T連○搬○	
2018/6/20	b18171b	6:40	60	m10, T	Ori-KL		1	T(IF入替前)検証	m10自○, T自○, m-Tメ○
2018/6/20	b18171c	6:50	60	m10, T	Ori-KL		1	T(IF入替後)検証	m10自×(低EL雨), T自×, Tk5自○
2018/6/20	b18171d	7:30	60	m10, T	3C273	1, 2	T(IF入替後)検証		
2018/6/20	b18171e	7:45	60	m10, T	3C279	1, 2	T(IF入替後)検証		
2018/6/20	b18171f	7:55	60	m10, T	3C279	1, 2	T(IF入替前)検証	IF1:m-T連○ IF2:m-T連○	
2018/6/20	b18171g	8:45	60	m10, T	3C279	1, 2	T(19G帯)検証	IF1:m-T連○, m-Tk5連○ IF2:m-T連○	
2018/6/23	b18174a	1:50	3	m10, UKB	IPSTAR		1	KB検証	IF1:全基線 連○搬○
2018/6/23	b18174b	11:05	3	KB	IPSTAR		1	IF1:K-B連○搬○	
2018/6/26	b18177a	2:15	1	m10, T, U, TK5	IPSTAR	1, 2	システムチェック	IF1:M-T○, M-U○, M-Tk5○ IF2:M-T○, M-U○	
2018/6/29	b18180a	1:35	1	m10, U	IPSTAR	1, 2	システムチェック	IF1:M-U○ IF2M-U○	

2018年成果

1. 振り子VLBI 実験データの取得 (→ 東大修論)
2. IPSTAR フリンジ特性の完全理解 by 小山さん他
3. 観測運用の確立 by 亀谷さん米倉さん他



Discussion

1. 大樹町で放球できる確率？

2. 気球VLBI実験のその後