

SKA と VLBI



今井 裕

鹿児島大学
理工学研究科附属天の川研究センター
総合教育機構共通教育センター

SKA-JP SKA-VLBI sub-Working Group

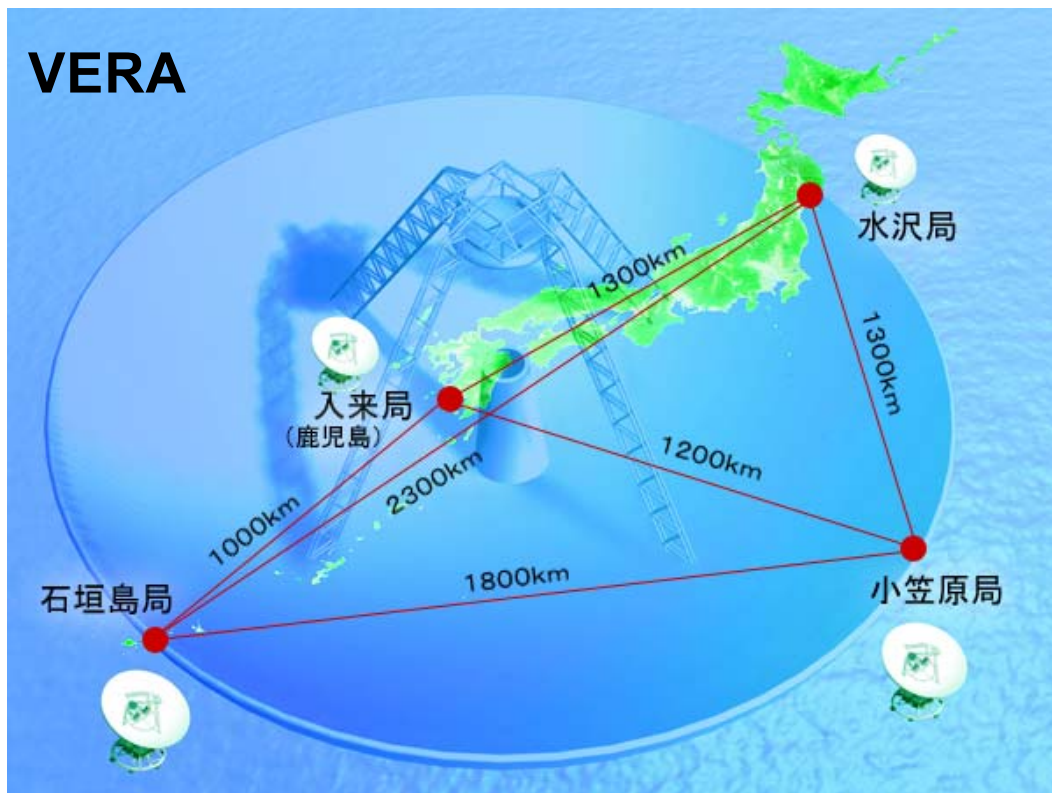
日本SKA協会ウェビナーシリーズ

2021年2月5日



VLBI (very long baseline interferometry)

2

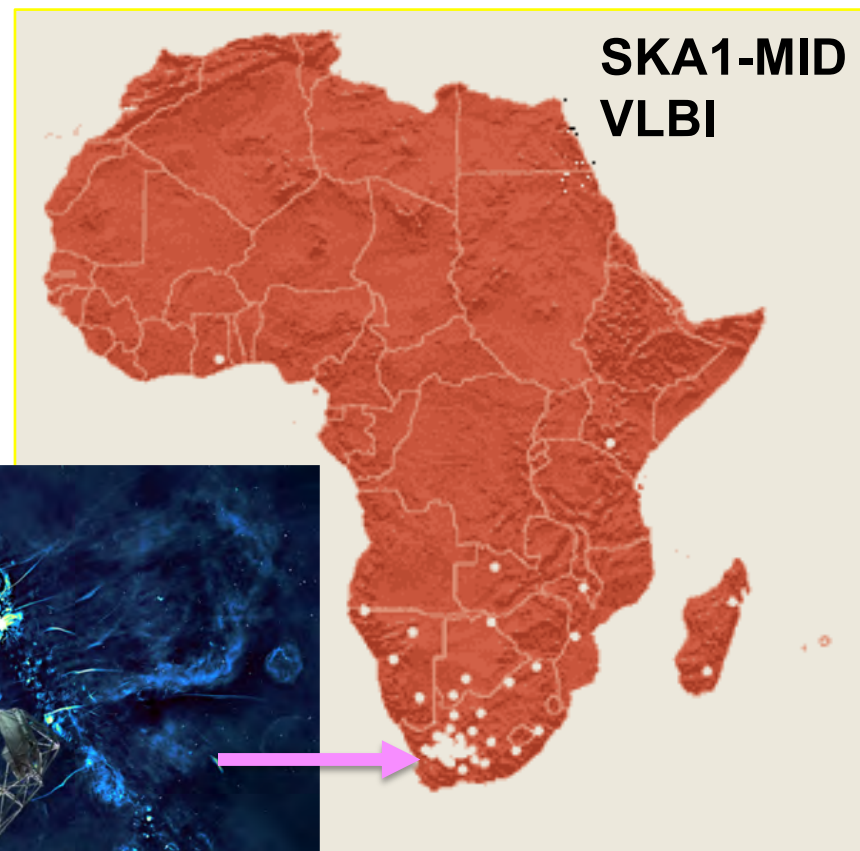


VLBI (very long baseline interferometry)



VLBI (very long baseline interferometry)

4



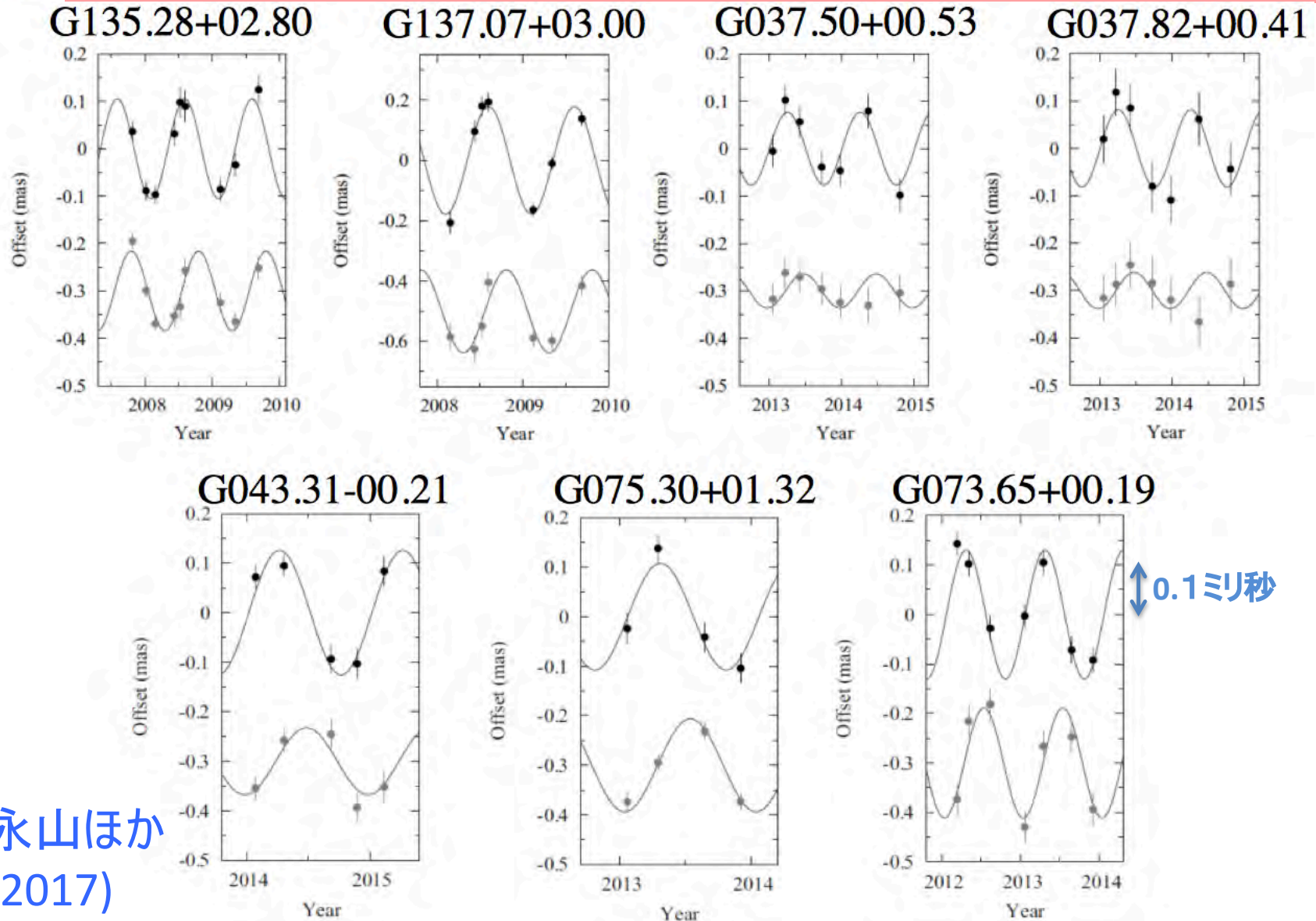
VLBI (very long baseline interferometry)



❖ (2020年度)ウェビナーシリーズで紹介される SKA重要科学研究分野

- VLBIが直接関わる／主導するサイエンス:
 - 非熱的放射源: 高輝度天体($T_B \gg 10^{10}$ K)
 - 宇宙メーザー・シンクロトロン放射
 - (濃密)星間物質・ブラックホール・パルサー・電波フレア源(恒星・惑星)
 - 超高精度電波源位置計測: 年周視差・(永年)固有運動・公転軌道・重力的屈折効果(astrometric microlensing)
 - 銀河構造/進化・星/惑星形成(+進化)・突発天体特定
 - 精密撮像: 重力レンズ→宇宙論
- VLBIと密接する分野
 - 熱的放射源: 高輝度天体手前の媒質(吸収線源、ファラデー回転源)
 - 宇宙再電離／宇宙論・(希薄)星間物質・宇宙磁場

10 kpc 台の宇宙測量(年周視差計測) 大質量星形成領域



永山ほか
(2017)

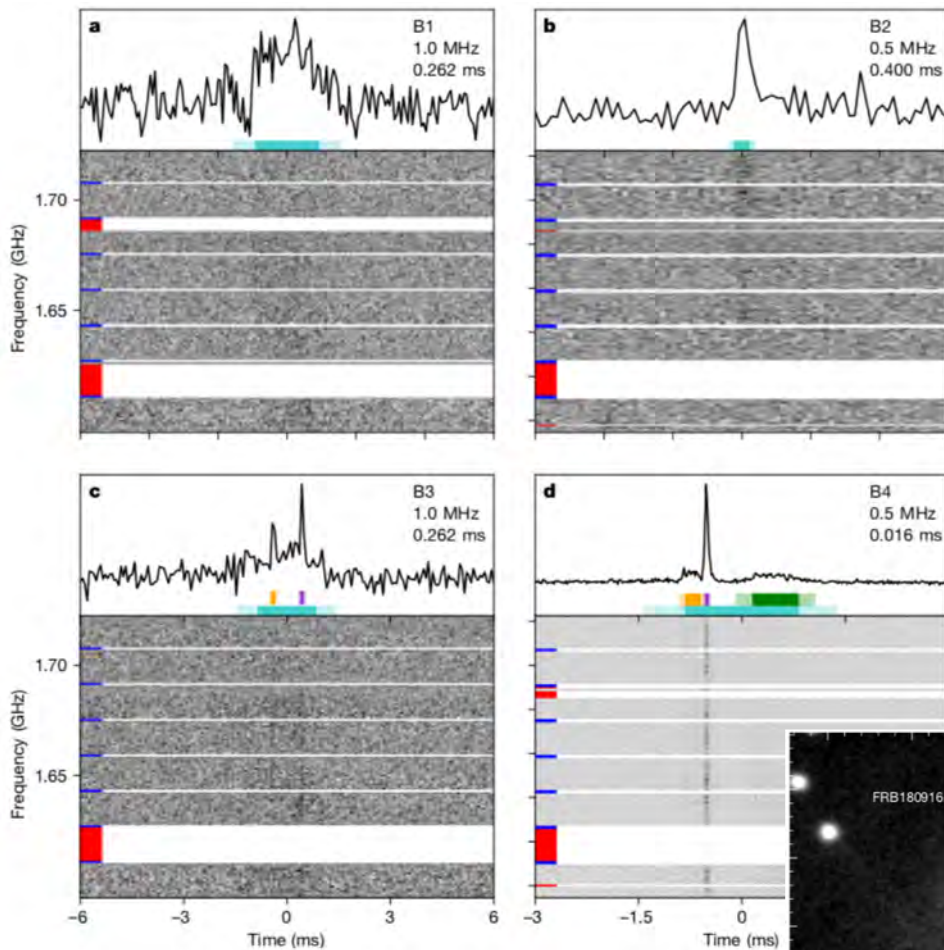


10 kpc 台の宇宙測量(年周視差計測) Sgr A* (VERA collaboration in prep.)

8

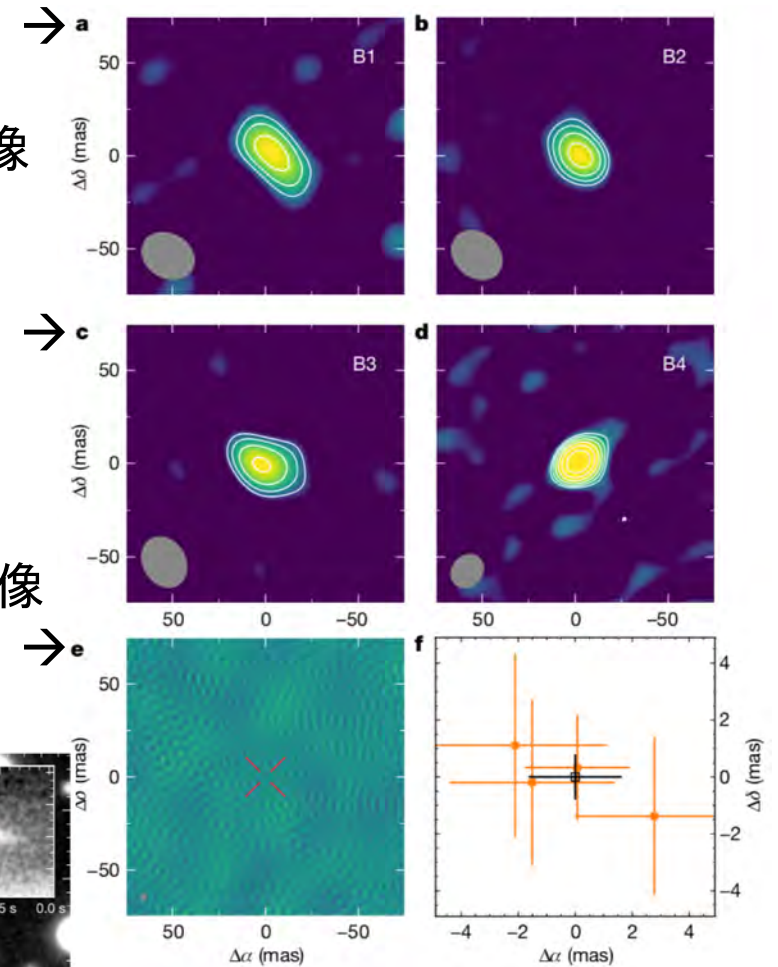
Confidential

瞬間電波バースト源に対するVLBIによる位置特定 (FRB180916.J0156+65, Marcote et al. 2020)

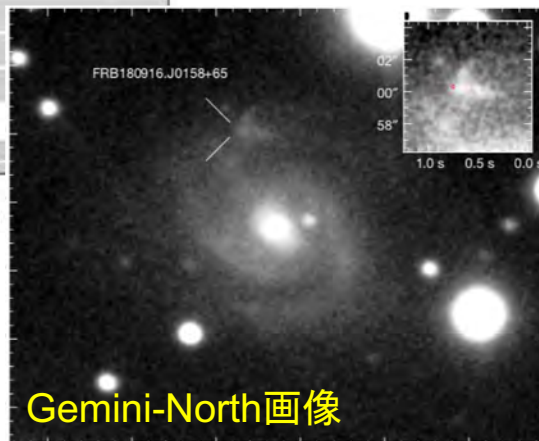


Pulse-gated
visibilityで撮像

単純2s積分
visibilityで撮像



EVN撮像
(European VLBI Network)



Effelsberg データ
(自己相関、16- μ s 間隔サンプリング)

❖ (今季)ウェビナーで取り上げない分野にも関連性が強い

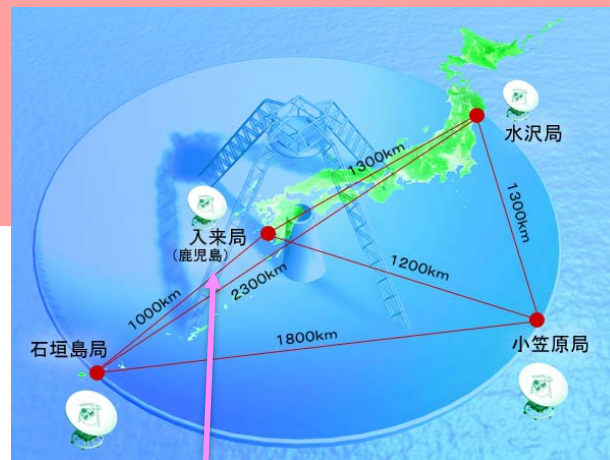
➤ 較正用データが切り開くサイエンス

- 地球科学(地球大気／気象、プレートテクトニクス、地球自転)
- RFI (GNSS、イリジウム): 特定・除去の対象

→ RFI除去法・干渉計データ中におけるRFI可干渉性の研究

- 深太陽系探査(飛翔体軌道追跡)
- 未知のRFI(全望遠鏡で同時検出)

→ SETI(地球外知的生命体探査)



❖ 高感度(アレイ感度&基線感度)

- 口径 170m 望遠鏡相当 (SKA1-MID)
SKA-VLBIの場合はその70%程度
- (我々が現在活用している)KaVA
から数10倍の感度の飛躍

- FAST(300m鏡相当)とのVLBI
SKA1以上の感度(天頂方向)



SKA-VLBIの感度を体験!

早急に
SKA-VLBIデモを!



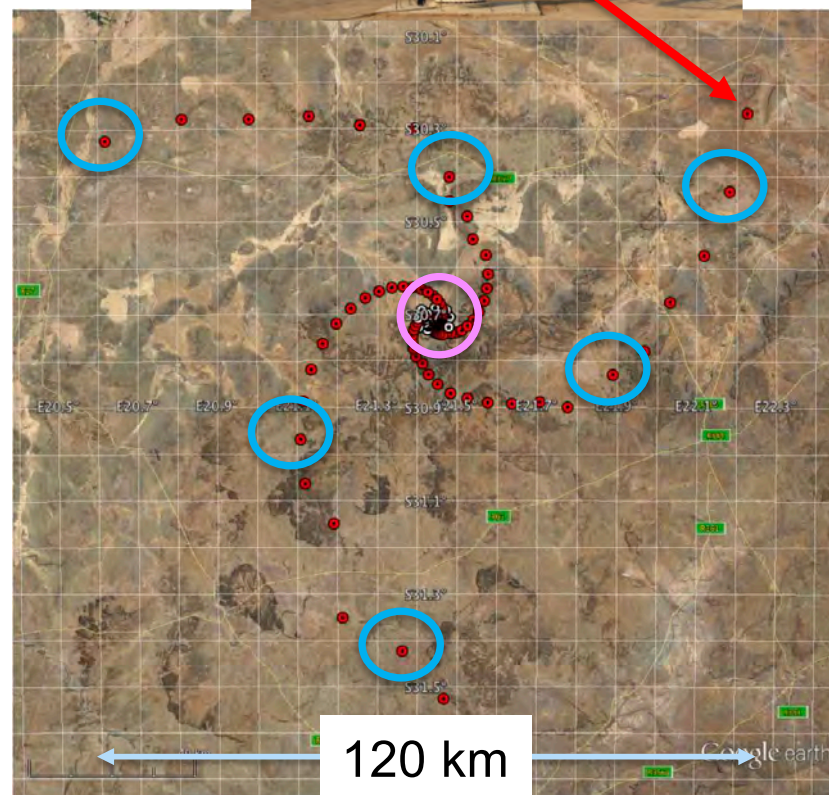
FAST(中国)

❖ 高画質:

SKA1単体撮像+VLBI撮像

- 非熱的放射源の解像 ($\theta < 10$ ミリ秒角)
 - EHTほど究極的角分解能ではない
 - 遠方電波源の解像・特定には必須
- SKA1中心部アンテナ群(コア)
 - (アンテナ数全体の7割が集中)
 - + SKA1外縁部アンテナ群(~100 km)
 - コア自身が干渉計
(SKA1単体撮像)
 - VLBIビーム合成過程で天体像合成
 - 例: FRBとその周辺天体の同時撮像

133基の
口径15m
パラボラ
アンテナ



SKA1-MID (南アフリカ)

❖ 広視野＋複視野

※相手局も複数or広視野アンテナ必要

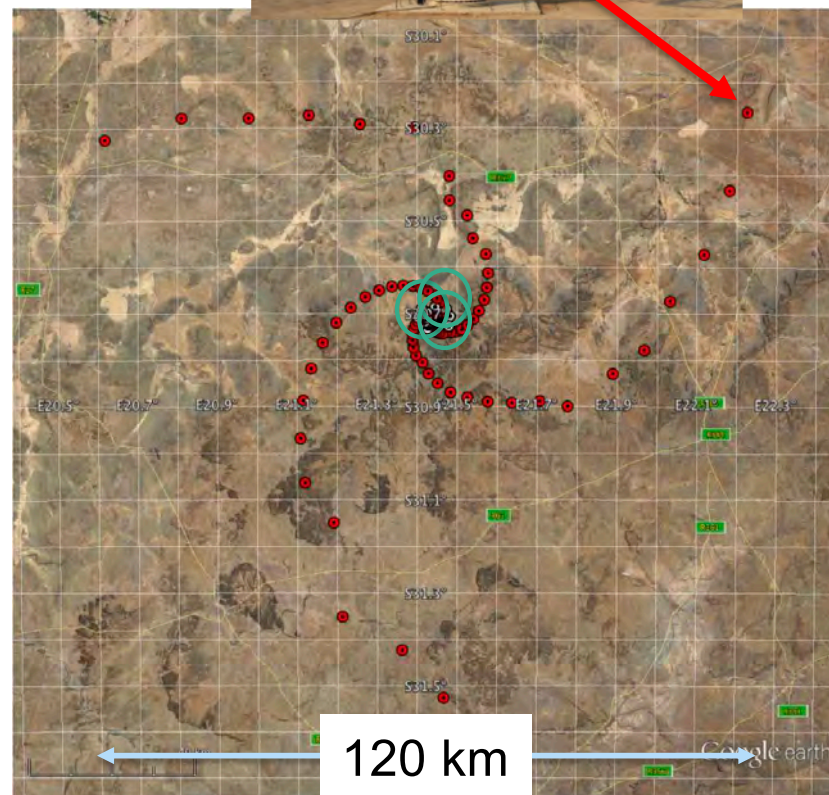
- 一度に観測できる視野 $\sim \lambda/D$
 - ALMA Band 6 $\rightarrow <20''$
 - SKA1-MID Band 2 $\rightarrow <2000''$

→観測中にFRB(瞬間電波バースト)

検出→即時VLBI観測の可能性も

- 大離角複視野
 - SKA1コアの分割(サブアレイ化)
- 狭離角複視野
 - 同一視野内複数合成ビーム
 - 目標天体＋較正天体の同時観測
 - 高精度天体位置計測 (VERA方式)

133基の
口径15m
パラボラ
アンテナ



SKA1-MID (南アフリカ)

State-of-the-art

* MultiView | Astrometry Cheat Sheet for SKA1-VLBI (7+1 beams)

Frequency	MV-ast-error	matching DR (FWHM/DR= MV-ast-error))	Flux Density cont./spectral line (1 km/s)	FMHM ($\lambda/6000\text{km}$)
300 MHz	150 μas	230	598 mJy	36 mas
900 MHz	17 μas	693	5.3 mJy	12 mas
1.6 GHz	6 μas	>1000 (1200)	3mJy/1.6Jy (DR1000, 7 μas)	6.8 mas
5 GHz	~1 μas	>1000 (2400)	3mJy /800mJy (DR1000; 2.2 μas)	2.2 mas
8 GHz	~1 μas	>1000 (2400)	3mJy (DR1000; 1.4 μas)	1.4 mas
22 GHz	~1 μas	>1000 (1250)	12.9mJy/1.3Jy (DR1000;0.5 μas)	0.5 mas

系統誤差
で決まる
精度

統計誤差
=感度
(DR=1000)
で決まる
精度

系統誤差の方が
大きくなる
DRの下限

DR=dynamic range

Rioja & Dodson (2017)

❖ とにかく即時に電波源位置特定 (LOW, MID Band 1—2)

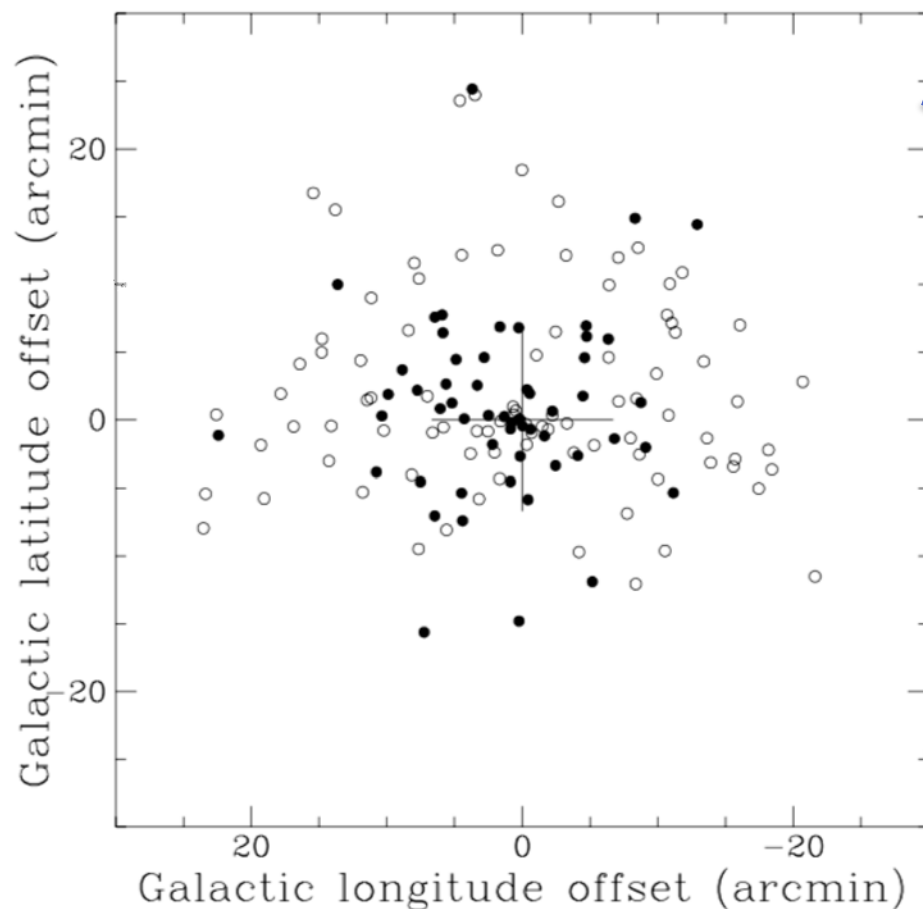
- FRBs, TDEs (tidal disruption events) 等

❖ 10マイクロ秒角天体位置決定精度 (MID Band 2)

- VERA測量の継承・発展
- 数1000個のパルサー・水酸基メーザー源・電波フレア星・BH候補天体
 - 既知の天体であれば毎回数分間の観測で位置計測
 - 同一視野内の複数天体に対する同時測量

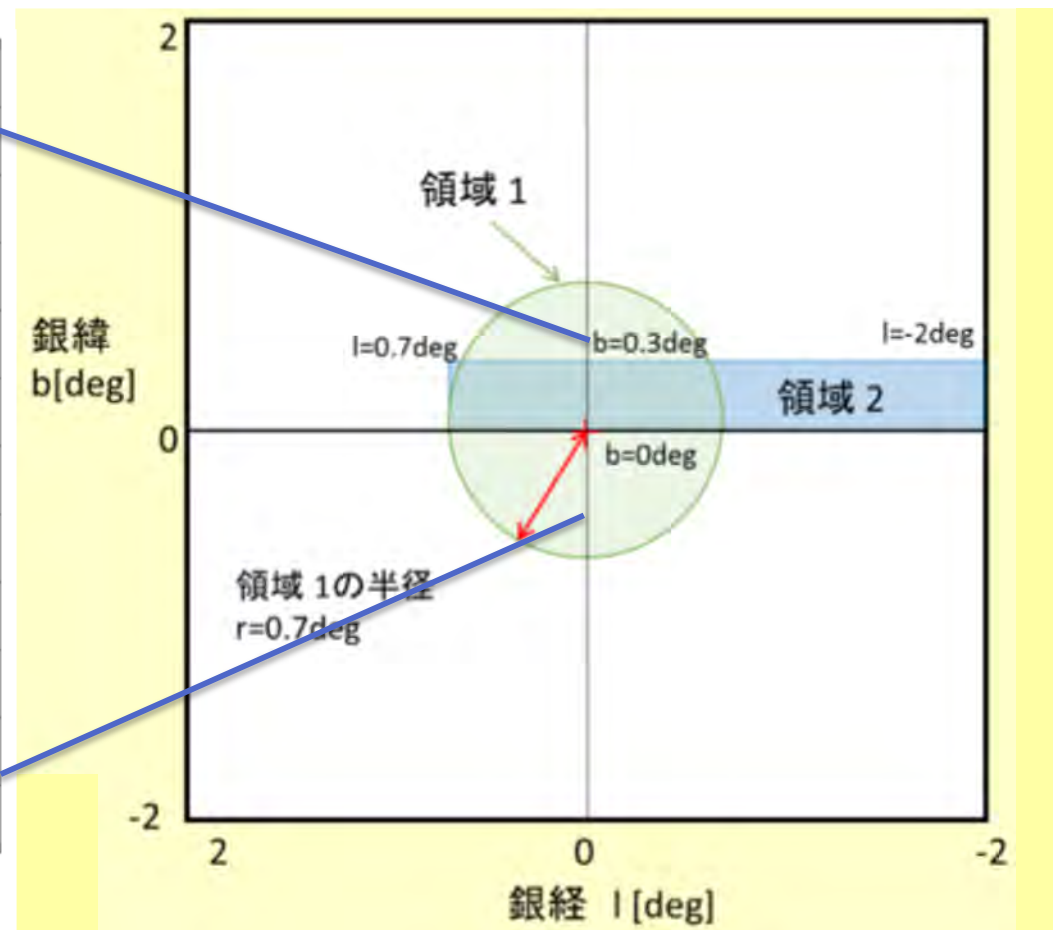
❖ 1マイクロ秒角天体位置決定精度 (MID Band 5)

- Sgr A*の年周視差 ($\pi \sim 120 \mu\text{as}$ 、VERAでまず数%精度を目指す)
- 大小マゼラン雲の年周視差 ($\pi \sim 20 \mu\text{as}$)
- 手前を横切る天体による重力的屈折効果の影響を受けるかも



1612 MHz OHメーザー源
(1000万年—数億年前に生まれた星々)
の分布

(Sjouwerman et al. 1998)



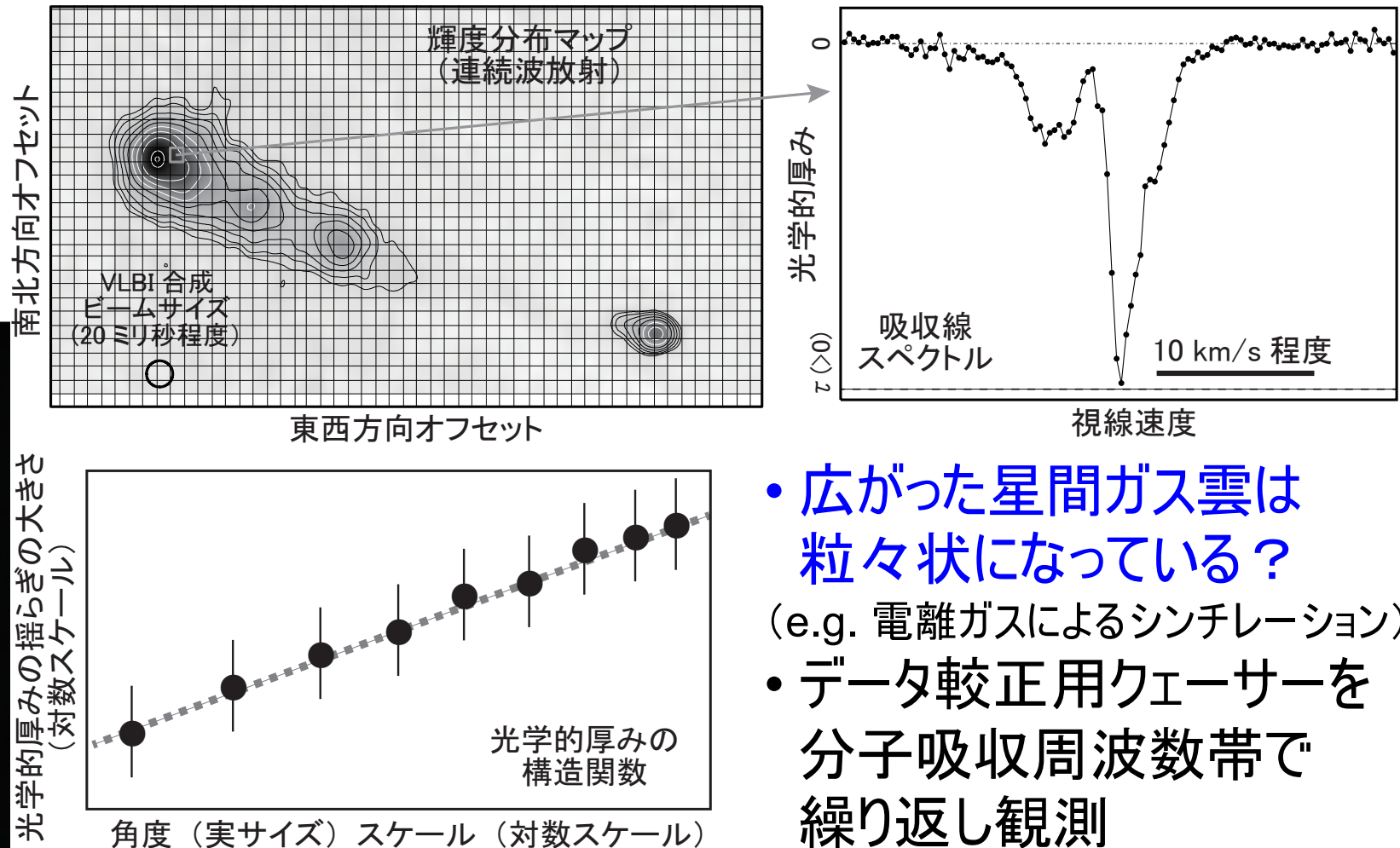
小型JASMINE測量領域

天の川銀河における
巨大ブラックホールとバルジの共進化の解明

熱的放射源 (クエーサー手前の吸収線源) を VLBI で探査

- ❖ 活動銀河中心核 (AGNs) に降着していくガスを捉える
- ❖ 天の川銀河中: 1天文単位スケールの分子ガス塊の探索 (HI, OH, CH, H₂OH)

Roy et al. (2012) より
改変



- 広がった星間ガス雲は粒々状になっている?
(e.g. 電離ガスによるシンチレーション)
- データ較正用クエーサーを分子吸収周波数帯で繰り返し観測

- ❖ 広視野・高感度を売りとするSKAならではの大规模掃天観測提案
- ❖ 干渉計撮像 **and/or** パルサータイミング **and/or** VLBI
- ❖ 測量プロジェクトの一部を相乗りで測量数を稼ぐ (パルサー、天の川銀河)
c.f. 年1回しかVLBI観測に参加ができないALMA

Table 1. Basic parameters of four suggested generic surveys.

Survey	Freq (MHz)	Area (deg ²)	Time (hours)	
Mid-A	950 – 1760	31000	8000	全天
Mid-B	950 – 1760	500	4000	深宇宙
Mid-C	950 – 1760	20	2000	宇宙初期
Mid-D	4600 - 13800	480/Gal	2000	天の川銀河

SKA-SCI-GSR-001 (R. Braun 2016)

❖ SKA-VLBI: 最高感度にしてalmightyな世界のVLBIキー局へ

- 大集光力＋複数視野→高精度天体位置計測、突発天体対応
- VLBI占有時間(年間 N 回)+相乗りVLBI観測
- 1桁上の測量精度($\sigma \sim 1 \mu\text{as}$)、1桁上の測量天体数($\sim 3,000$)が目標
- 少数天体数に標準を定め key scienceを狙う c.f. Gaia ($\sim 10^9$ 星)

❖ Global VLBI Alliance の構築へ

- SKA-VLBIと連携を組む相手局の問題(欧州、アフリカ、アジア、豪州)
- VERA/KaVA/EAVN(地域)運用枠をさらに拡張・調整
- 究極のVLBI感度→FAST, ngVLAとの連携

❖ FASTとのVLBI実験：SKA-VLBIとの連携を実体験

- SKA1-MID Band 1—2 / LOW に対応した国内VLBI局整備
- EAVNにおける突発天体対応運用モデルの構築

❖ SKA1建設そのものへの貢献

(主にassembly, integration, verification)

- 装置を作るだけでは天体観測はできない
観測結果シミュレーション、各種測定、デモ観測、試験データ分析、.....
- 人材供給：VERA運用・保守に基づく経験・実績の積み上げの継続
装置が完成する前のエピソード的な活動にこそ
次世代研究者・技術者の腕の見せ所