

SKA+VLBIによる 電波天文学の新展開

本間 希樹

国立天文台 水沢VLBI観測所

国立天文台 水沢



電波望遠鏡



奥州宇宙遊学館

木村記念館

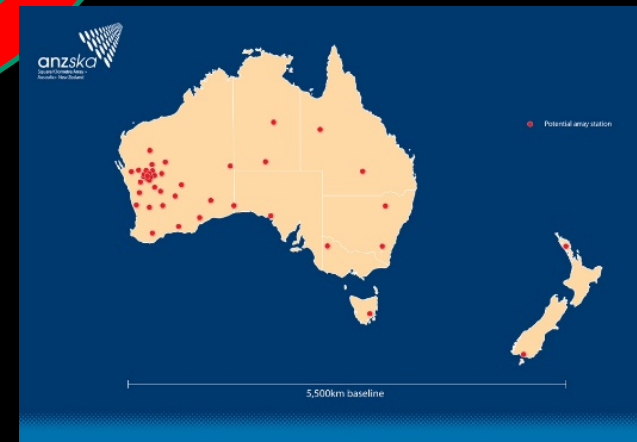


スパコン「アテルイ-II」

この話の位置付け

理論・光他
銀河進化宇宙論

VLBI
メーザー・
ブラックホール



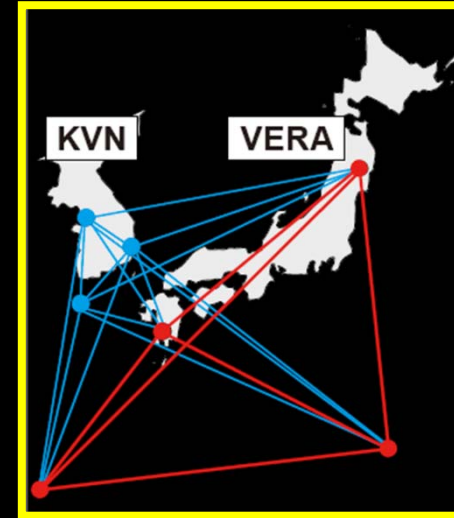
VLBI (Very Long Baseline Interferometry)

超長基線電波干涉計

VERA



KaVA



EAVN



EHT



VLBIの特徴: ミリ秒角以下の超高分解能! (超低感度...)

EAVNからグローバルVLBIへ

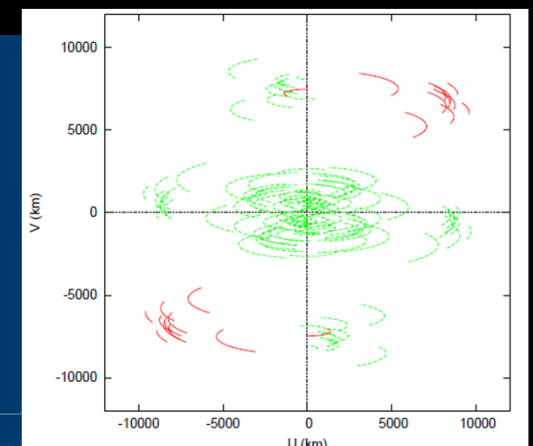
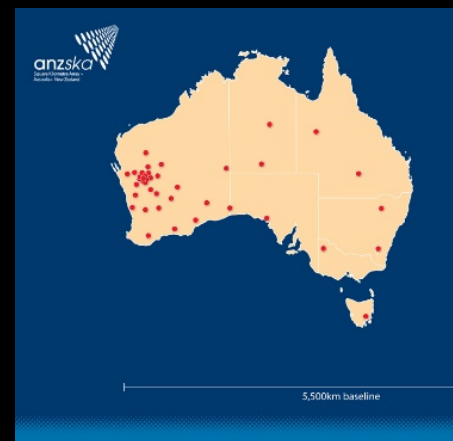
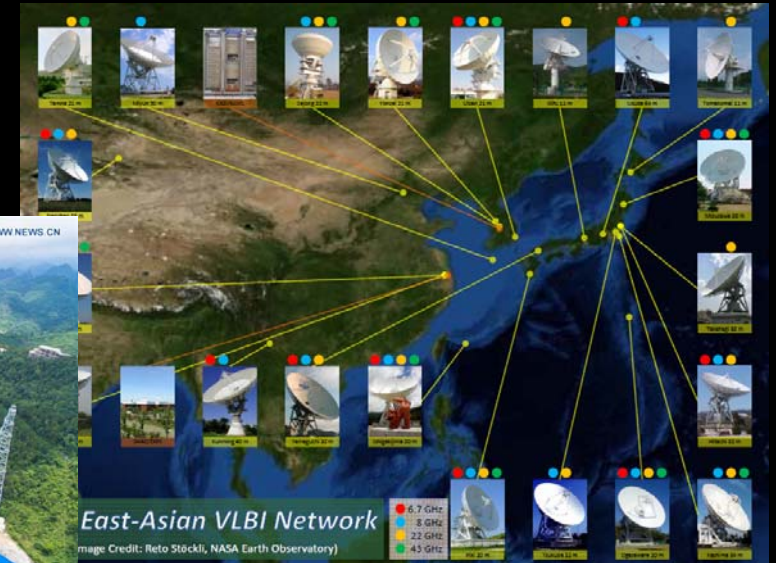
EVN



FAST

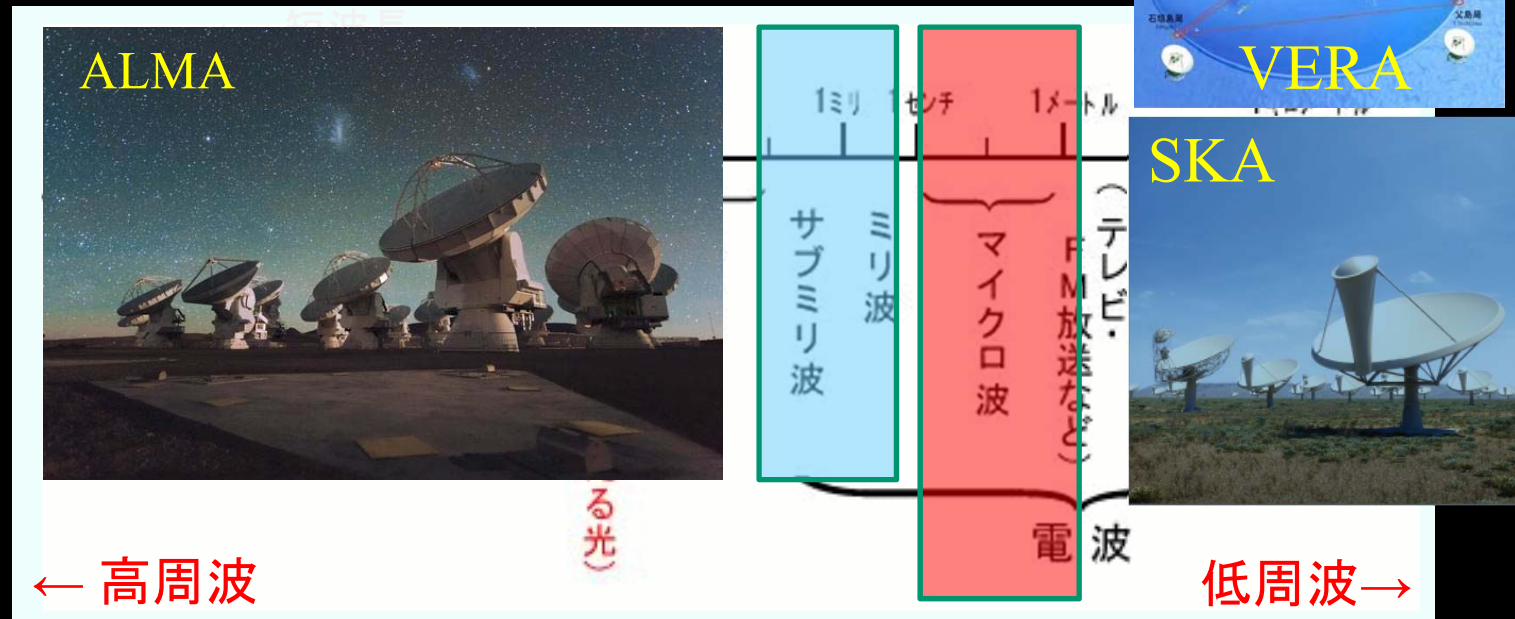


EAVN



波長：センチ波～メートル波

- 電波：電磁波の中でも低周波、低エネルギー
 $E = h\nu$, $T \sim h\nu/k$
- 周波数約30GHz以下, 波長1cm以上



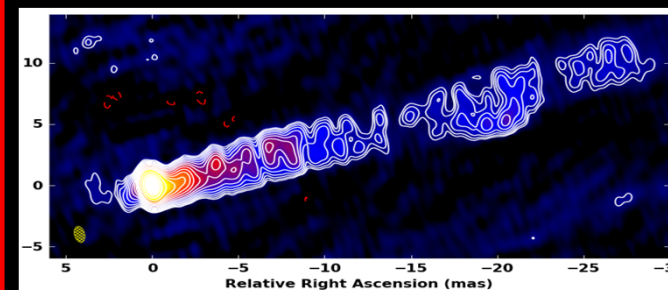
VLBI観測可能な放射源

- 観測可能： 非熱放射

シンクロトロン放射、メーザーなど

AGN、パルサー、突発天体

若い星、年老いた星

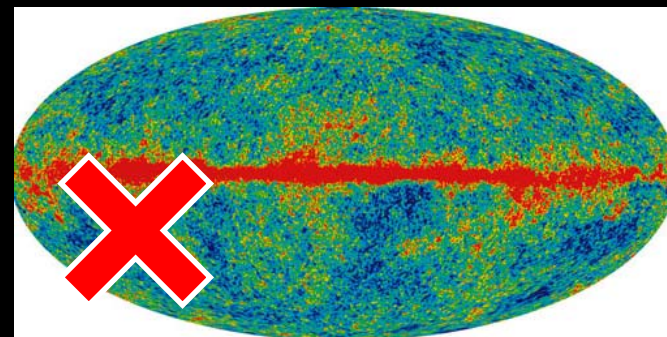


- 不可能： 熱放射

HI（中性水素）

電離領域、ダスト

宇宙背景放射



日本における電波天文

ミリ波(熱的世界)



6m mm-wave
telescope
(1970's)

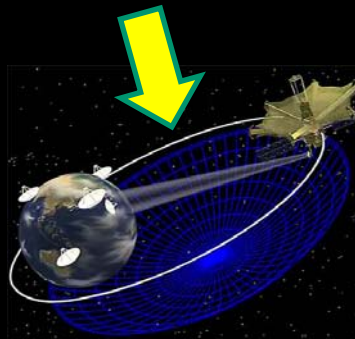


Nobeyama 45m
and NMA
(1980's~)

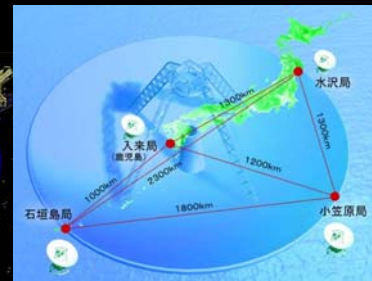


ALMA
(2011~)

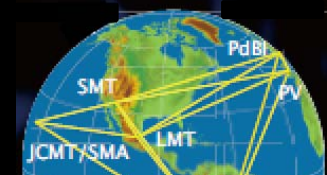
センチ波 (非熱的世界)



VSOP
(1997~2005)

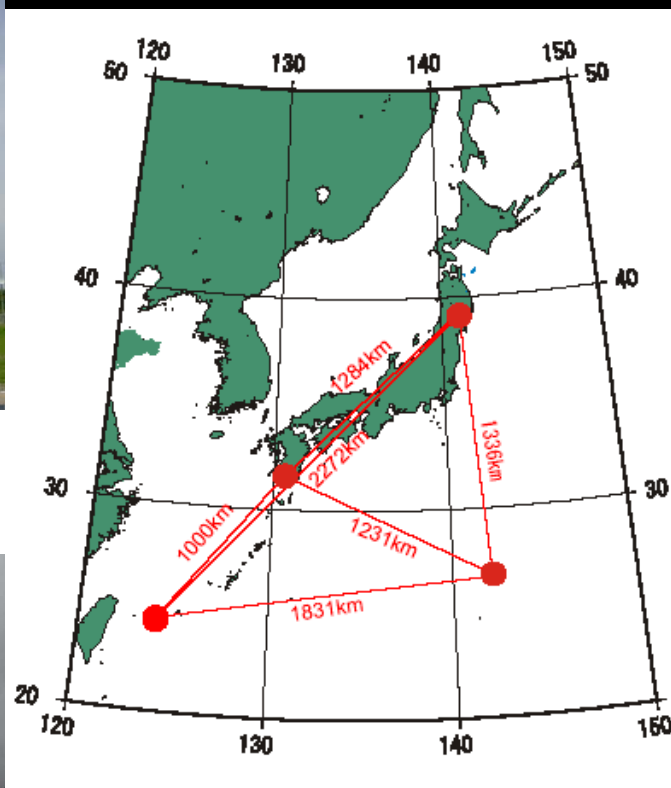


VERA
(2002~)

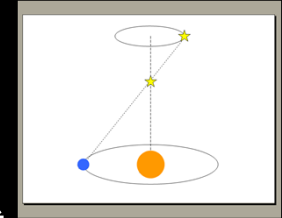


VERAの望遠鏡

視力10万の電波望遠鏡ネットワーク(VLBI)

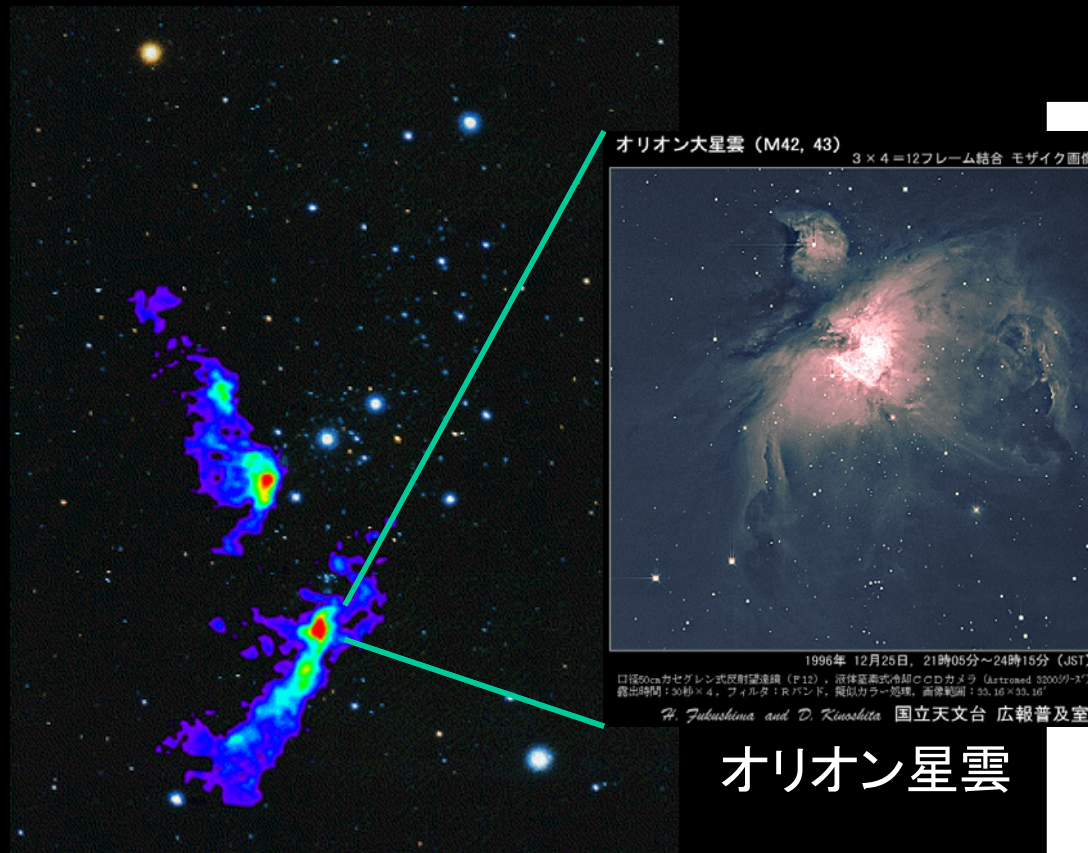


観測結果の例



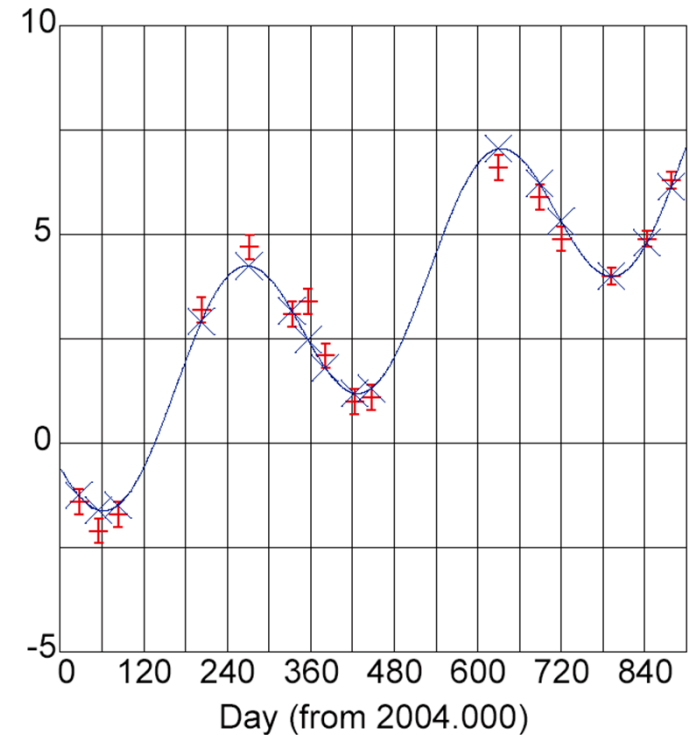
オリオン分子雲： 太陽に最も近い、大質量星形成領域
分子ガスから星が生まれている現場

距離 1560 光年



オリオン星雲

オリオン座と分子雲



オリオン星雲内の電波源の動き
Hirota+(2007)

Galactic constants

As of 2017 (preliminary)

144 SFRs

$$R_0 = 8.16 \pm 0.26 \text{ kpc}$$

$$\Theta_0 = 237 \pm 8 \text{ km/s}$$

$$\Omega_0 = 28.99 \pm 0.39 \text{ km/s/kpc}$$

Honma+ (2012)

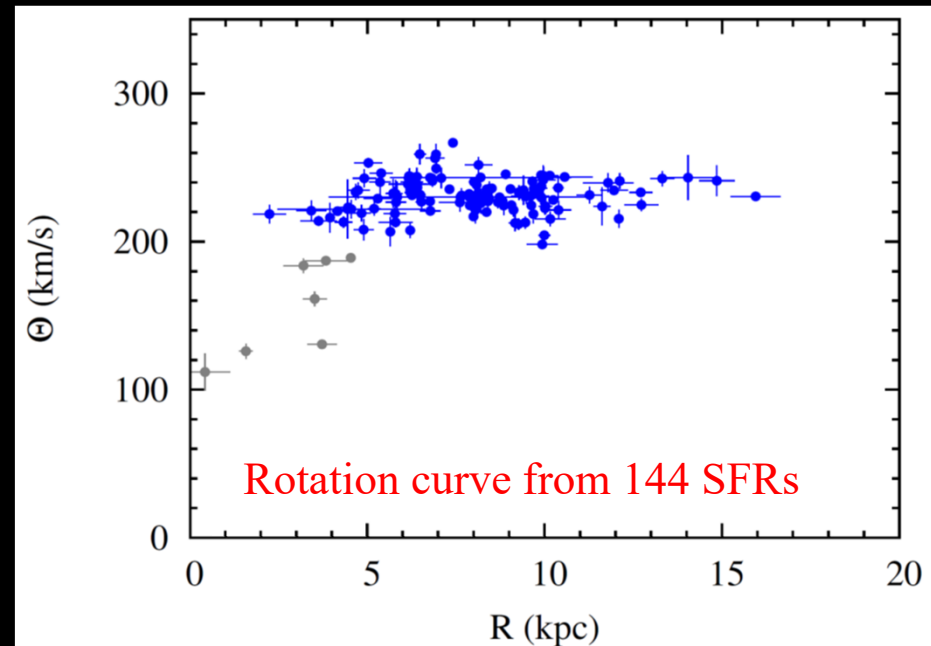
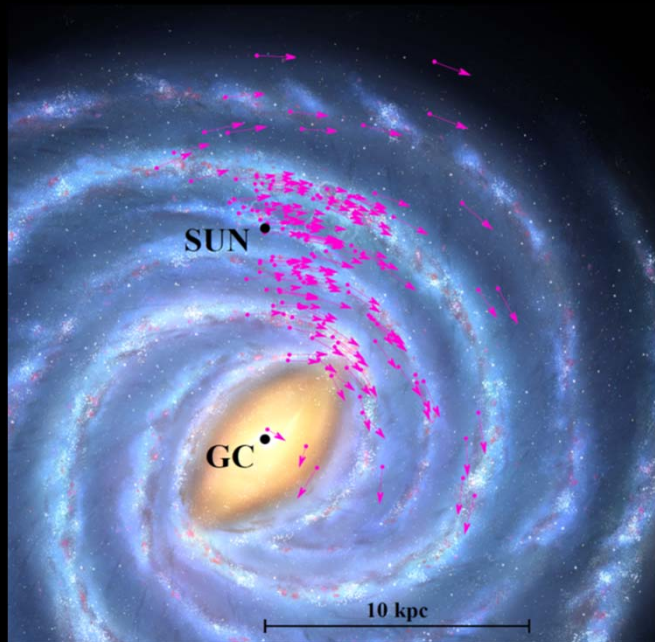
52 SFRs

$$R_0 = 8.05 \pm 0.45 \text{ kpc}$$

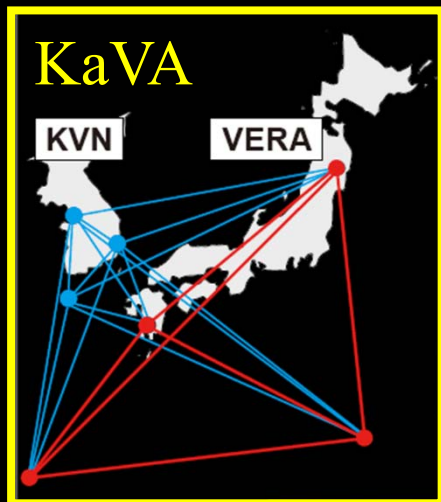
$$\Theta_0 = 238 \pm 14 \text{ km/s}$$

$$\Omega_0 = 29.57 \pm 0.78 \text{ km/s/kpc}$$

$(U_{\odot}, V_{\odot}, W_{\odot}) = (11.10, 12.24, 7.25) \text{ km/s}$ (Schorich, Binney, Dehnen 2012) assumed



KaVA as Imaging machine



M87 with HST

2013/12/05

2014/01/15

2014/03/02

2014/05/03

2014/06/14

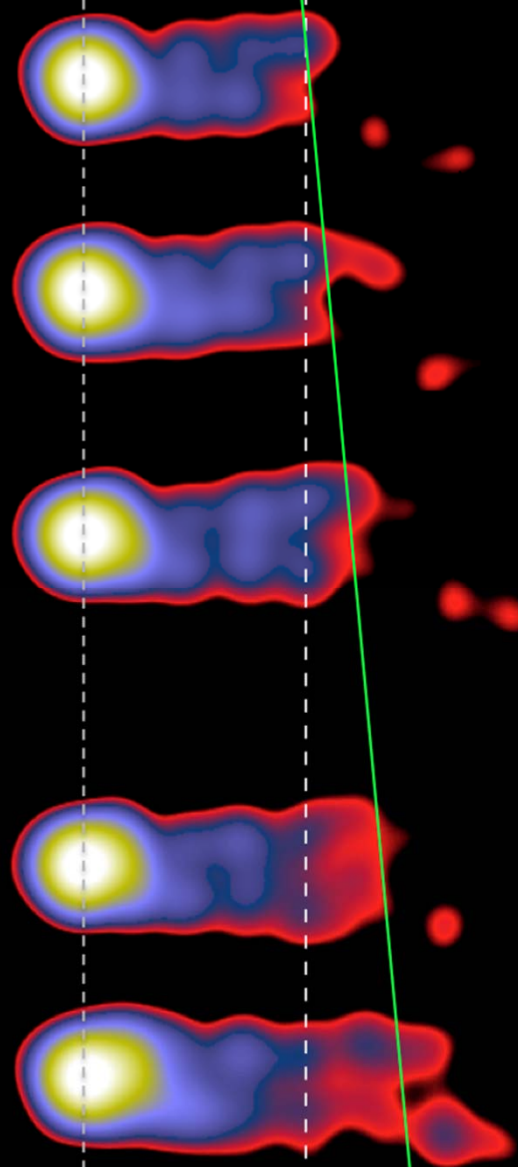
3 光年

M87 jet

巨大ブラックホールの
存在位置

$v=0$

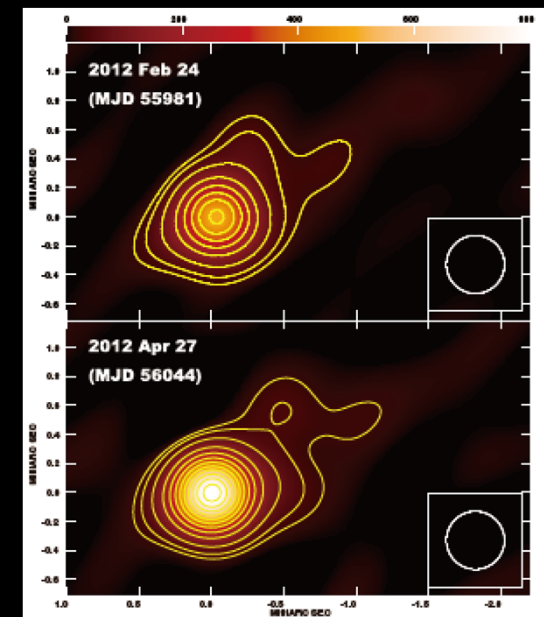
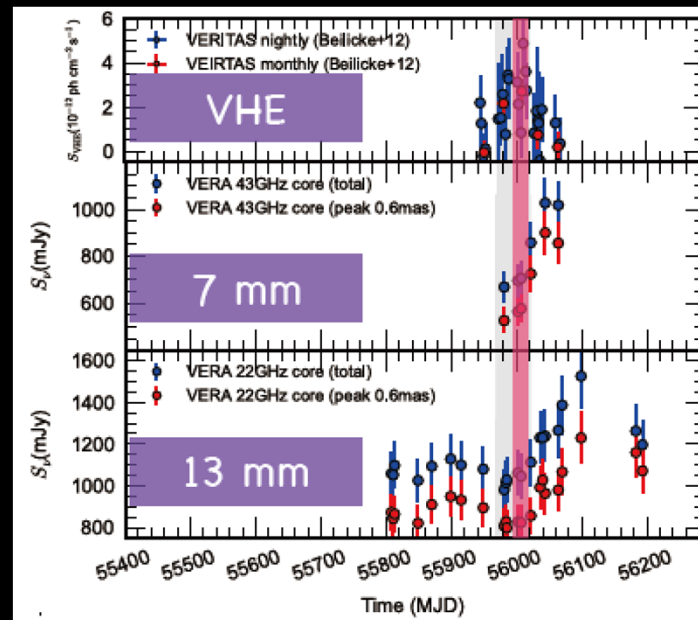
$v=c$



AGNジェットと高エネルギー現象

AGNジェットのガンマ線フレア観測

- VeritasのM87VHE増光にともなう電波増光を確認



M87 VHE and radio flare: Hada+(2014), ApJ, 785, 165

将来展望

- より広範な国際協力の時代



KaVA→東アジアVLBI
日中韓台、タイ、その他



SKA: 欧州+南アを中心にした
国際協力(アフリカに建設)
+VLBIも

国際協力により良い装置と成果を！

EAVNからグローバルVLBIへ

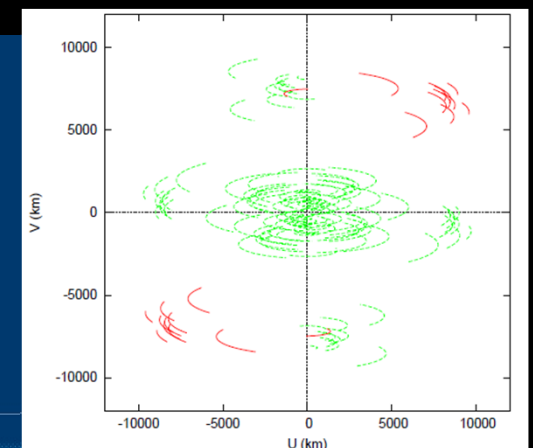
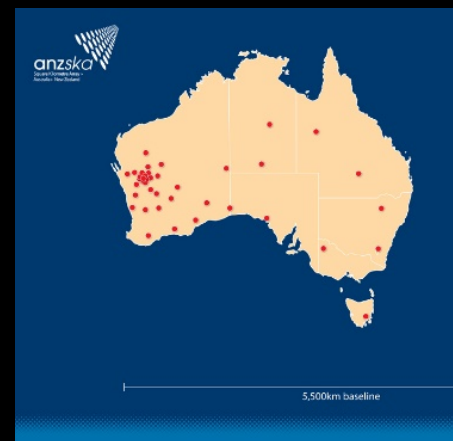
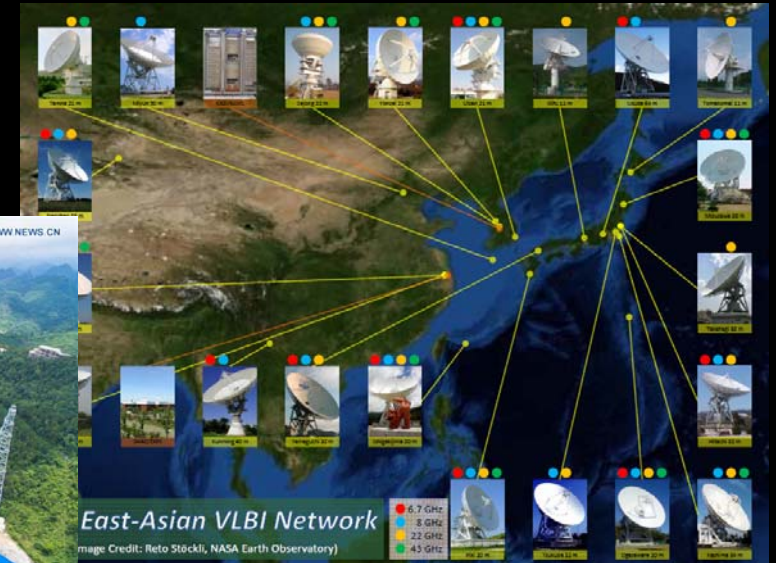
EVN



FAST



EAVN



From VLBI to SKA

	VERA	KaVA	EAVN	EAVN+ QTT110 m	Global VLBI (EA/Eu/ US)	SKA-1 (mid)	SKA-2 (mid)
運用 開始年	2004	2014	2018?	2022?	?	2023?	2028??
最長基線 (km)	2300	2300	5000	5000	10000	150	3000
集光面積 (m ²)	1250	2300	15000	23000	70000	32600	440000

VERA/KaVA/EAVN → SKA (+global VLBI)

Science cases

- Galactic structure
- AGNs
- Maser

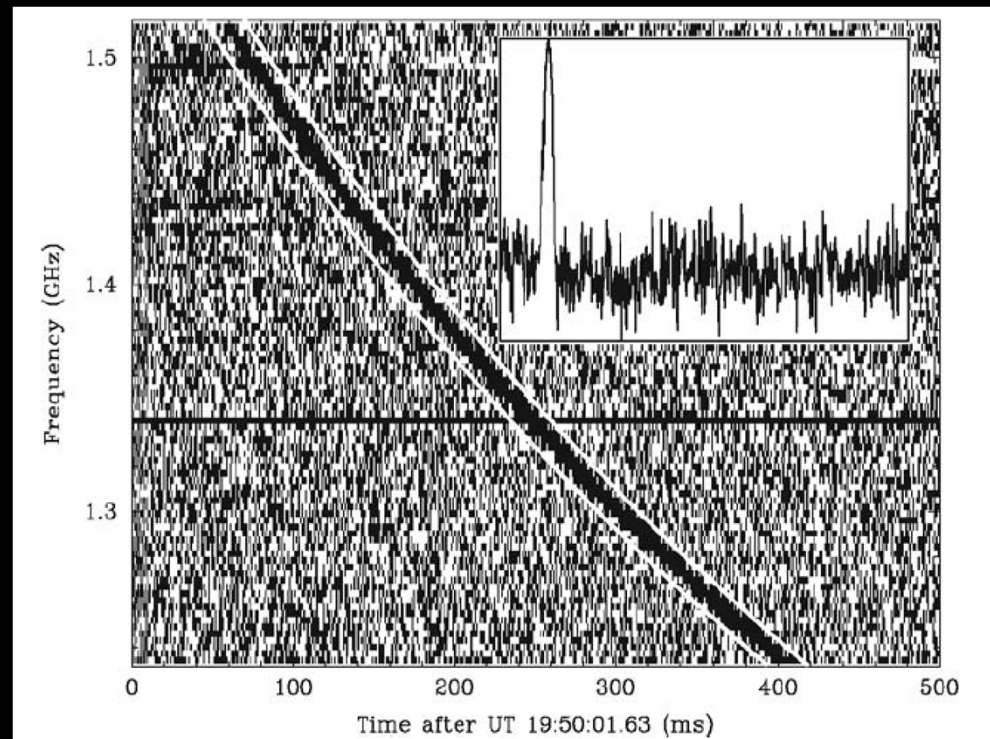
+

- Radio transients/Pulsars
- Early universe(?)
- SETI (!?)

and hopefully more

1: FRB cosmology

- FRB (Fast Radio Burst):
millisec radio burst with large
DM (Dispersion Measure)
- Origin is still unknown
- Candidates vary from
cosmological source (e.g.,
mergers of compact sources)
to man-made artificial noise
(such as microwave oven)



The Lorimer Burst (Lorimer+ 2007)

LETTER

A repeating fast radio

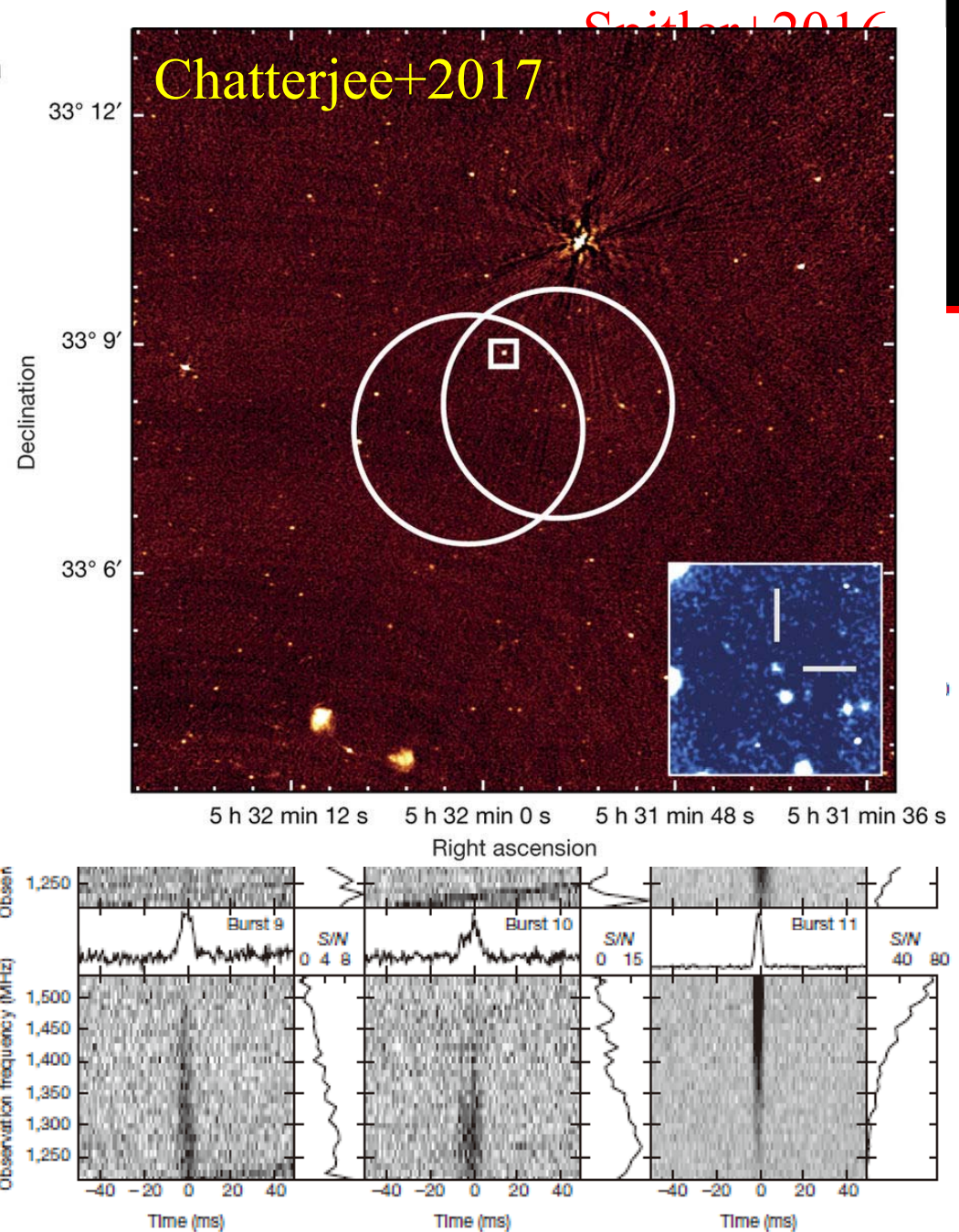
L. G. Spitler¹, P. Scholz², J. W. T. Hessels^{3,4}, S. Bogdan⁵,
J. Deneva¹⁰, R. D. Ferdman², P. C. C. Freire¹, V. M. Kas⁶,
S. M. Ransom¹³, A. Seymour¹⁴, I. H. Stairs^{2,15}, B. W. S.

Repeating FRB !

位置とホスト銀河の
観測に成功(星形成
矮小銀河)

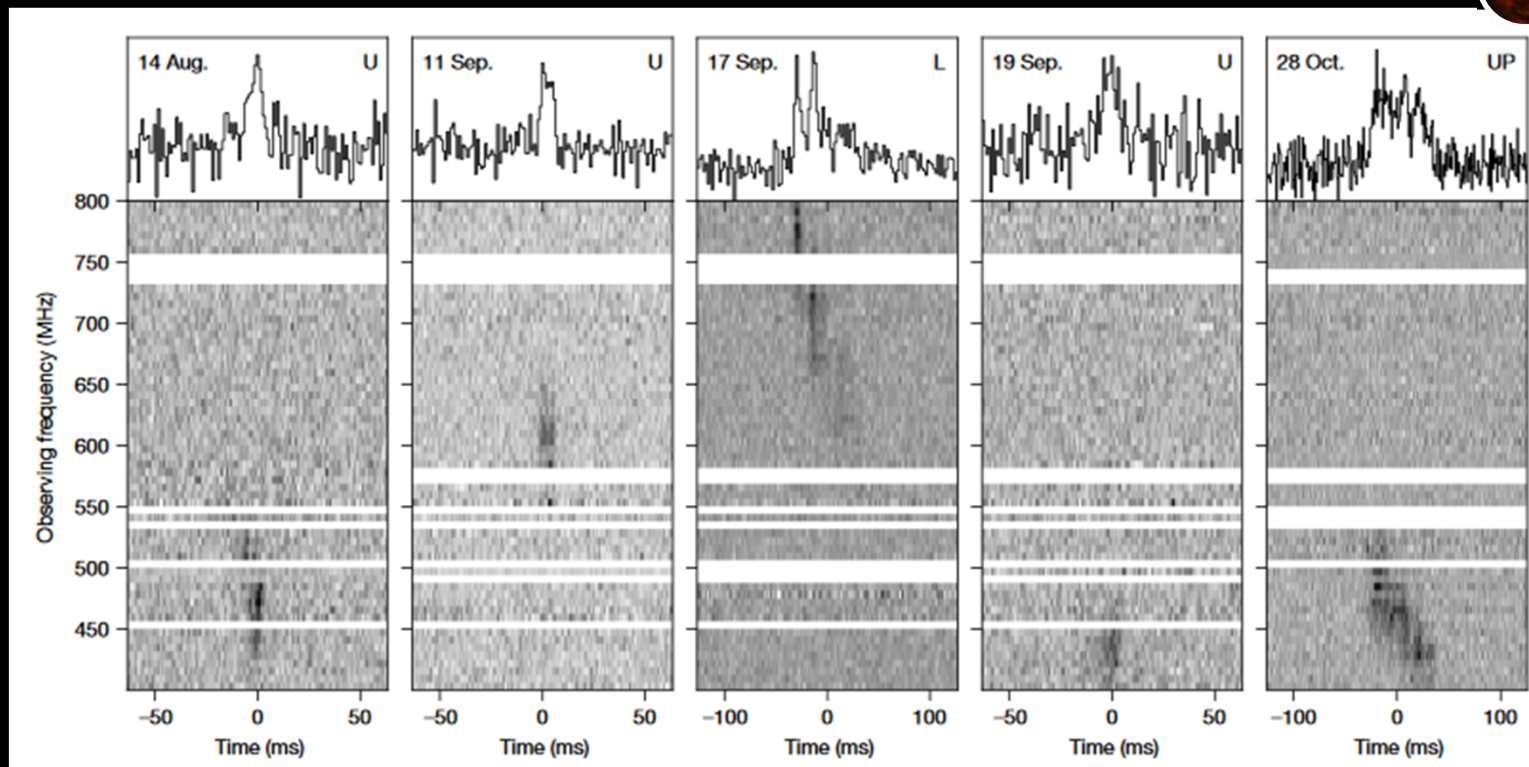
FRB宇宙論へ

a



2nd repeating FRB by CHIME

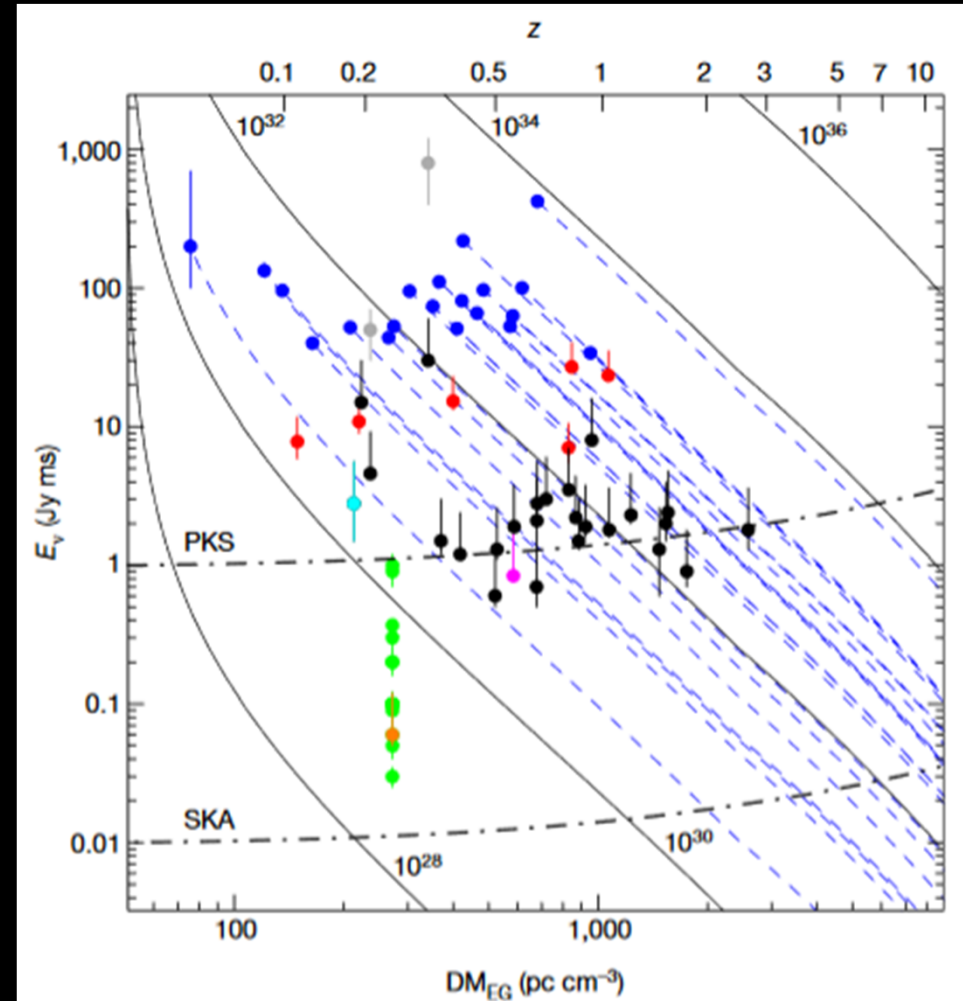
DM=189.4 pc/cm³



CHIME collaboration (2019)

ASKAP FRB survey

- 20 new detection with ASKAP 12m
- Repeating FRB is a different population?
- FRB Cosmology?
(dark baryon measure)



Shannon+(2018)

Key: FRB localization

- Shadowing observations with larger telescopes (FAST 500m, Parkes, etc)
- If a FRB is detected, then correlate the data as VLBI, allowing sub-arcsec localization



2: AGN at early universe

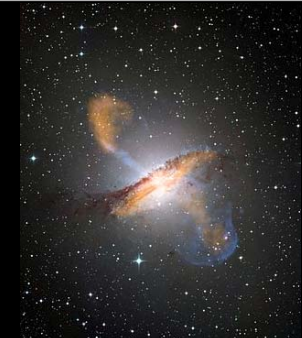
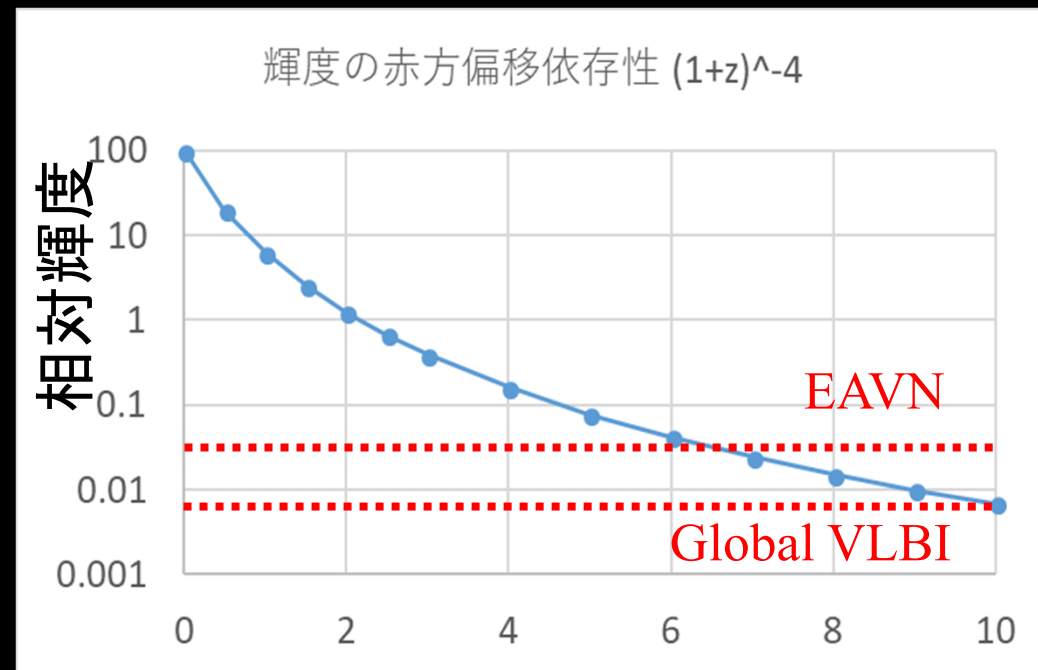
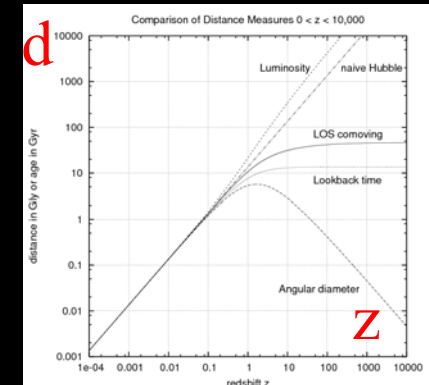
宇宙初期の観測可能なAGNをすべて検出することを目指す。

近傍LL AGNの典型輝度を
100 mJy/beamとすると、
2時間積分で

- EAVNで $z \sim 6$
- Global+SKA VLBIで $z \sim 10$

まで検出できる可能性がある

→ SKAのサーベイデータをベースに、宇宙誕生以降の
ブラックホールの進化史を解き明かすことが可能に
他に、宇宙ジェットの高多様性研究も。

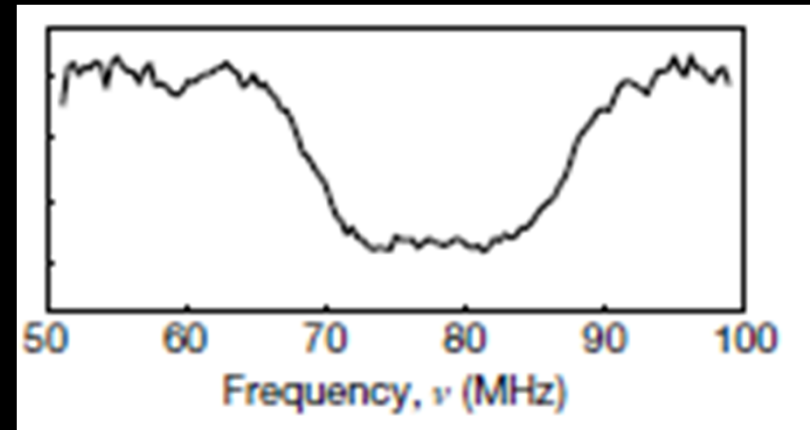
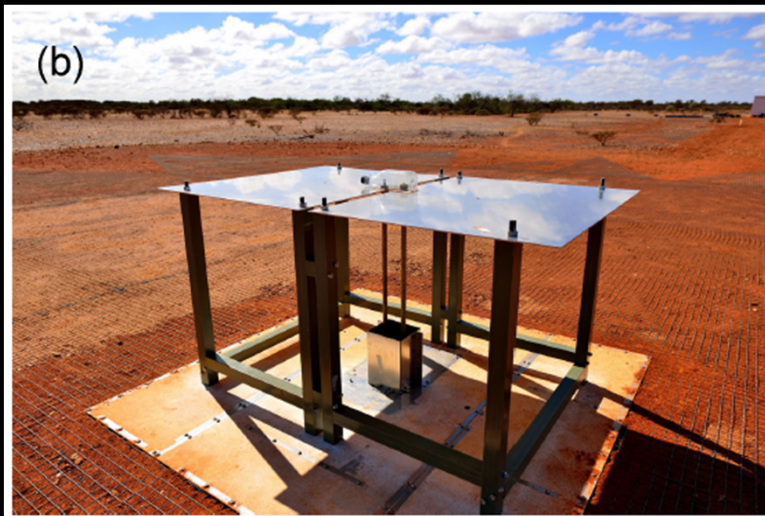


Cosmic dawn signal by EDGES

宇宙初期の銀河誕生前後の水素ガスを検出

An absorption profile centred at 78 megahertz in the sky-averaged spectrum

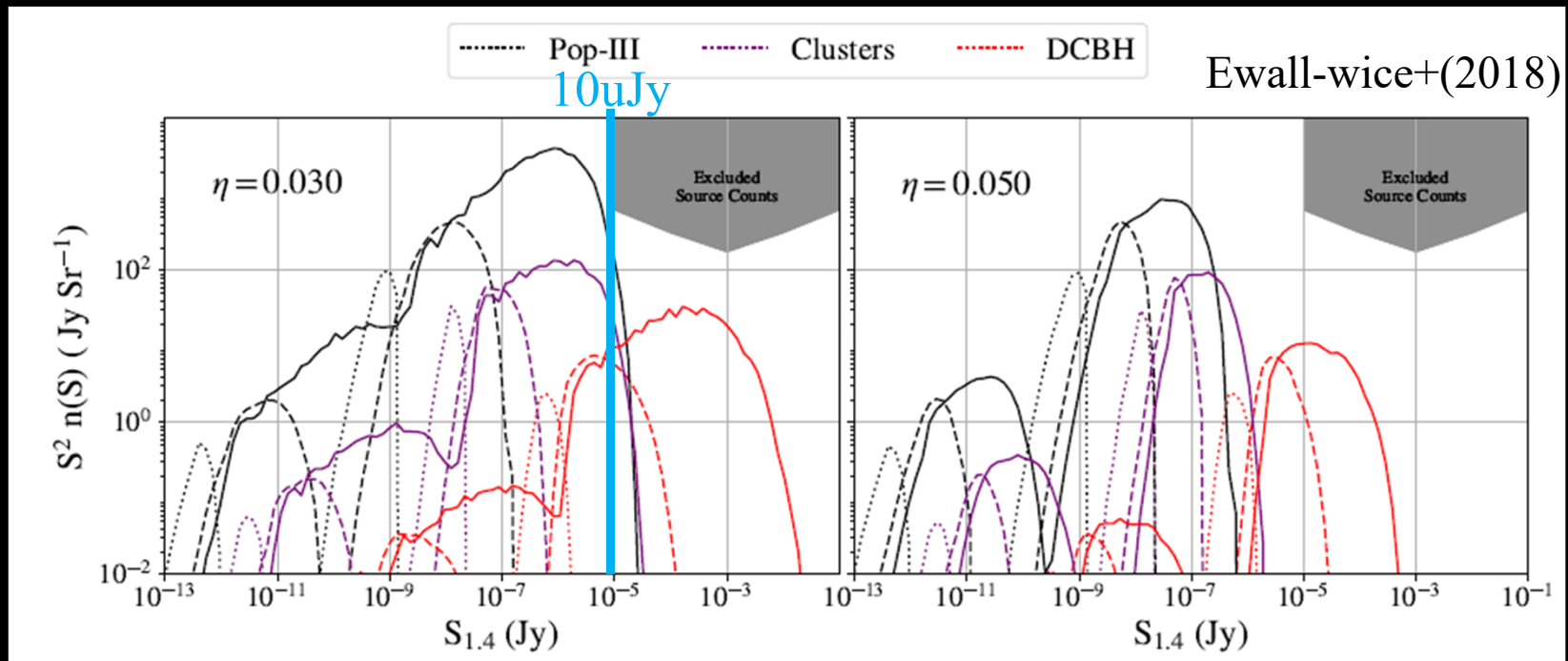
Judd D. Bowman¹, Alan E. E. Rogers², Raul A. Monsalve^{1,3,4}, Thomas J. Mozdzen¹ & Nivedita Mahesh¹



宇宙誕生から2億年程度の
中性水素ガス？
予想より大きな吸収？

Excess in radio background?

- Black holes in early universe may be able to produce the radio excess?



Target flux: 10-0.1 uJy (depending on black hole formation scenario). This certainly requires VLBI!!

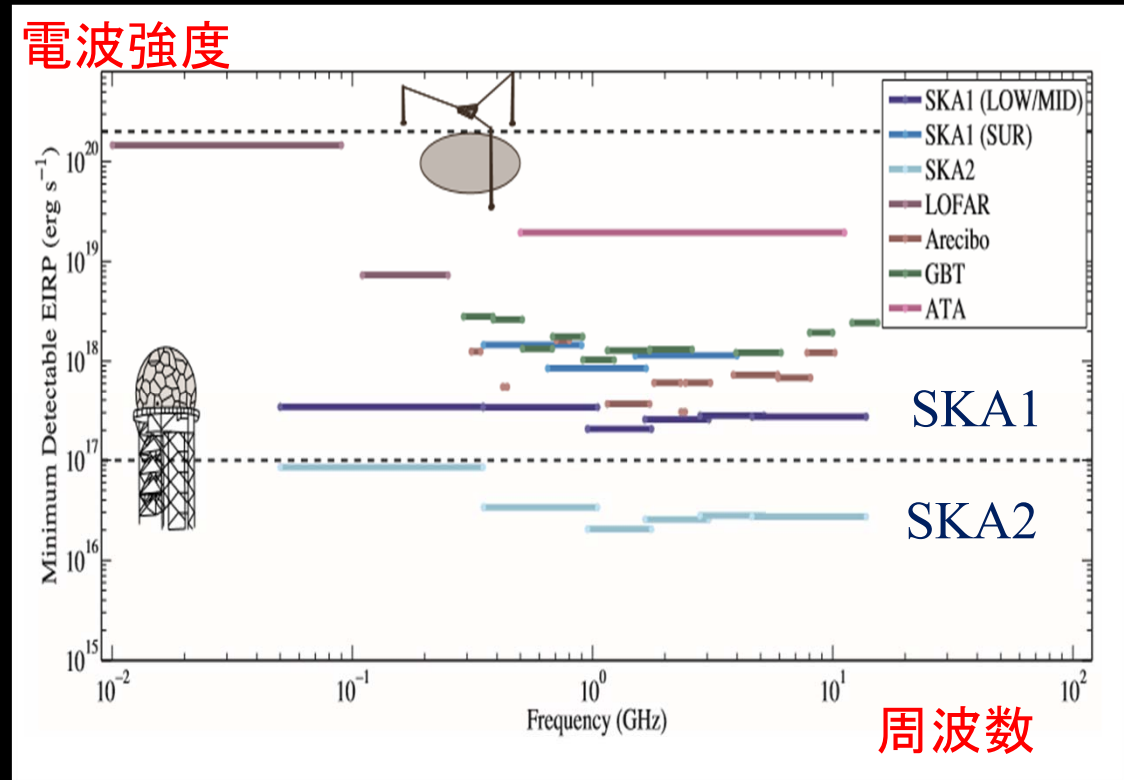
3: SETI ?

SKA1で近傍15 pc以内の人工電波が観測対象に

惑星間通信 空港レーダー 等

SETIにはVLBIが最適

(混信防止、アストロメトリ)

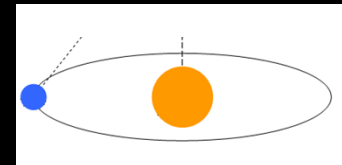


SETI and astrometry

- Full SKA is sensitive enough to detect artificial radio emission from nearby exo-planets within a few tens of pc from the Earth
- Exo-planets orbiting around their host should be easily measured with astrometry

Amplitude ~ 1 AU $\rightarrow$ larger than 10 mas

Period ~ 1 yr



Astrometry of ETI signal should provide fundamental parameters for exo-planets, such as planet orbit, temperature & environment.

SKA時代のVLBIに
ご期待ください