

水沢VLBI観測所の現状と今後
Current status and future of Mizusawa VLBI Observatory

国立天文台水沢VLBI観測所 /
Mizusawa VLBI Observatory, NAOJ
本間希樹 / Mareki Honma

内容 / contents

A) プロジェクトのこれまでの経緯 / brief history

これまでの重要な科学的成果も手短にご紹介頂ければと思います。

B) 現在のサイエンスゴール / current science goals

国際的な協力・競争の中、どのような科学的目標を掲げどのような戦略でそれを達成しようとしているのかを説明して頂ければと思います。

C) サイエンスの将来展望 / future science direction

今後5-10年あるいはそれ以上の時間スケールでプロジェクトとして目指す

科学的目標とその実現のための計画、そして人材育成のための取り組み等があれば紹介して頂ければと思います。

D) 技術的側面の将来展望 / future technical development

新たな技術の検討・開発と導入を、プロジェクトとしてどのように進めていくのか、の計画や戦略があれば説明していただければと思います。

E) NAOJ で実施する意義 / Why NAOJ ?

国立天文台・日本のコミュニティの中心機関としてどのような役割を果たそうとしているのかを説明していただければと思います。

+) budgetary issue

この厳しい財政状況の中で、今後どのような戦略でプロジェクトを進めていこうとしているのか

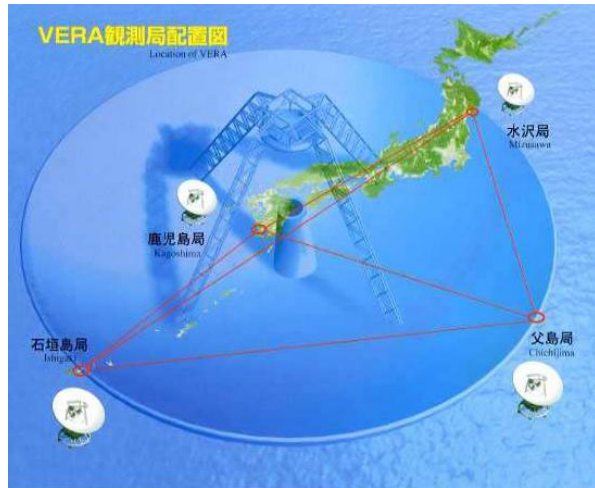
Brief History of NAOJ Mizusawa



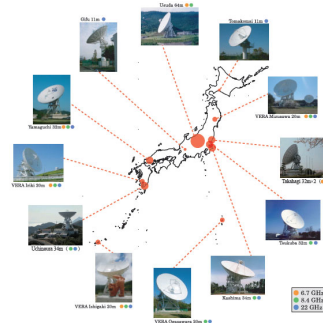
旧緯度観測所(1899-1988)
Latitude Observatory



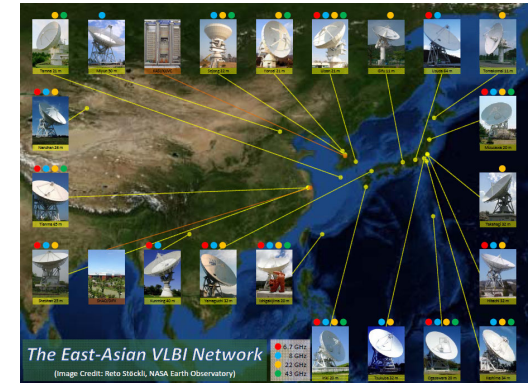
NAOJ Mizusawa
(1988-)



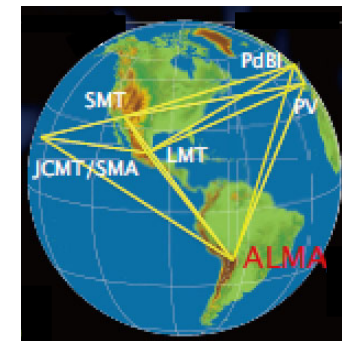
VERA (2002-)



JVN



EAVN (2018-)



EHT (2017-)

1899

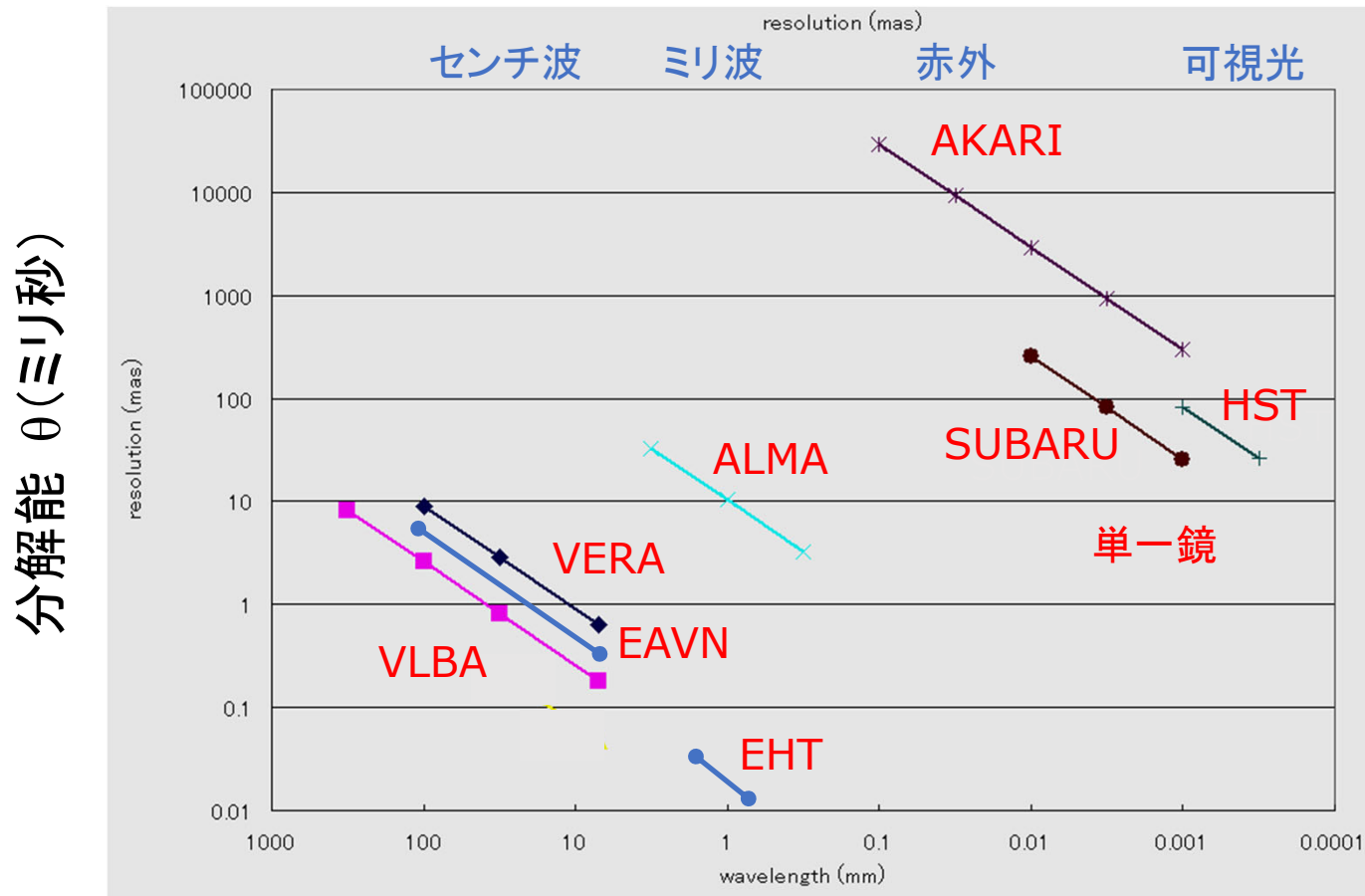
1988

2002

2022

望遠鏡の分解能 / Angular resolution

- Wavelength vs angular resolution ($\theta \sim \lambda / D$)



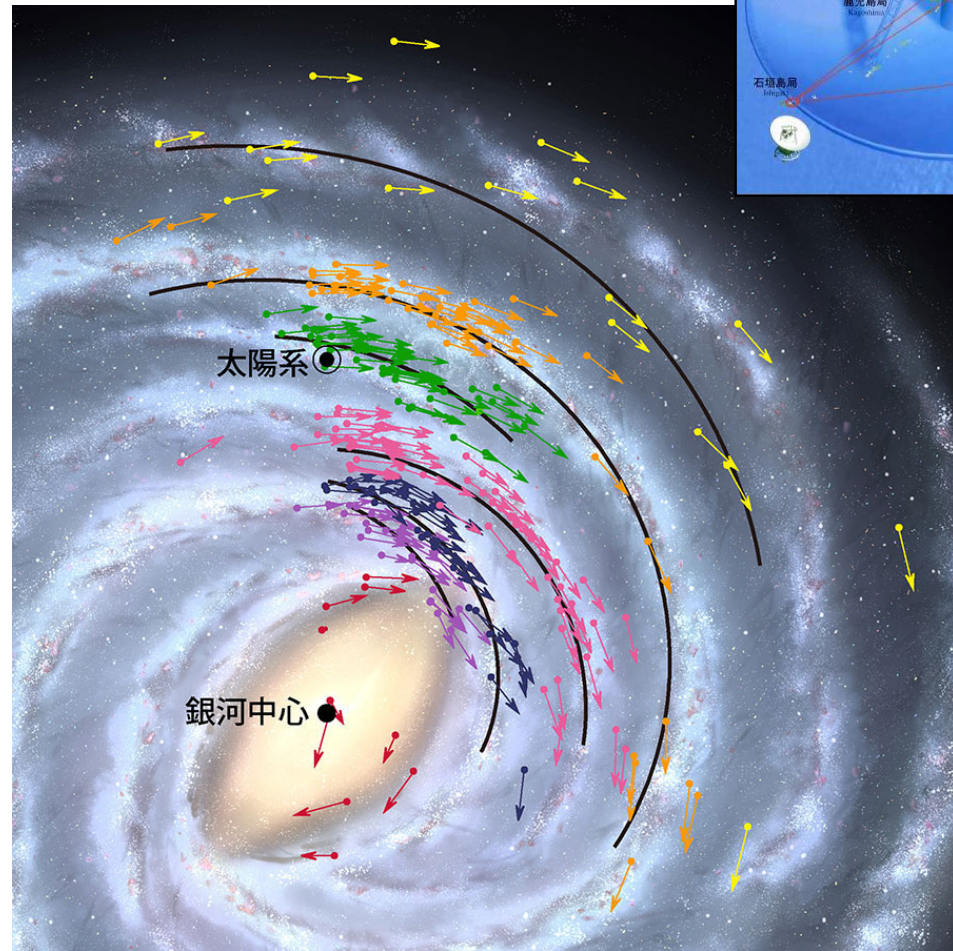
Strength:
Ultra-high angular resolution !

Weakness:
Extremely-low sensitivity...
(no use for thermal sources)

波長 λ

Recent Science highlights

- VLBIを用いた高精度位置天文観測による銀河系構造の研究
Galactic structure study based on high-precision VLBI astrometry
- 銀河系基本定数・回転曲線を測定
Fundamental parameter: R_0 , Θ_0
rotation curve, spiral arm structure



Galactic constants

	Reid+ (2009)	Honma+ (2012)	Reid+ (2014)	Reid+ (2019)	Hirota+ (2020)
N_{src}	18	52	103	200	224
R_0 (kpc)	8.4 (+/- 0.6)	8.05 (+/- 0.45)	8.34 (+/- 0.16)	8.15 (+/- 0.15)	7.92 (+/- 0.16)
Θ_0 (km/s)	247 (+/- 16)	238 (+/- 14)	240 (+/- 8)	236 (+/- 7)	227 (+/- 8)

NB: Sgr A* distance from GC stellar motions

$8.178 \pm 0.013 \pm 0.022$ kpc (Gravity Collab. 2019)

$7.946 \pm 0.050 \pm 0.032$ kpc (Do et al. 2019)

The consistency shows that Sgr A* is indeed located at the dynamical center of MWG

Recent Science highlights (II)

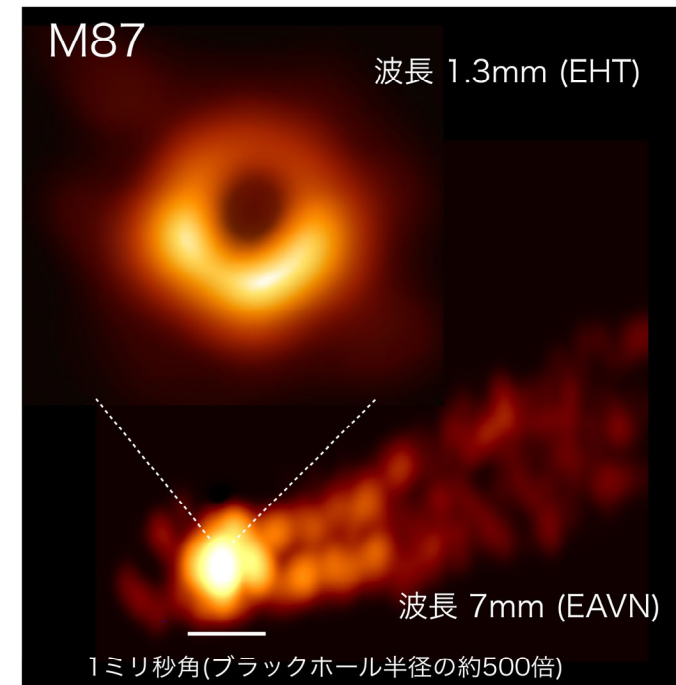
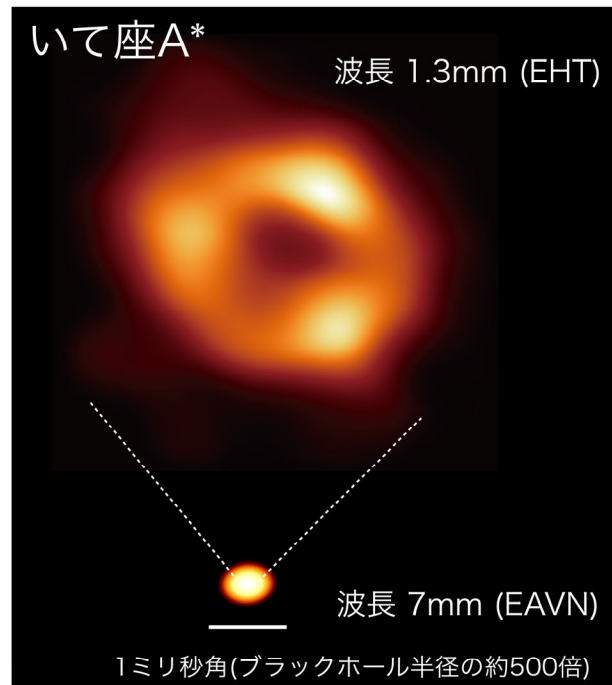
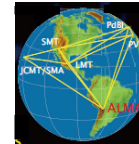
- Black hole

First ever images of super-massive BHs, after 100 yr since the first prediction based on Einstein's GR (Schwarzschild +1916)

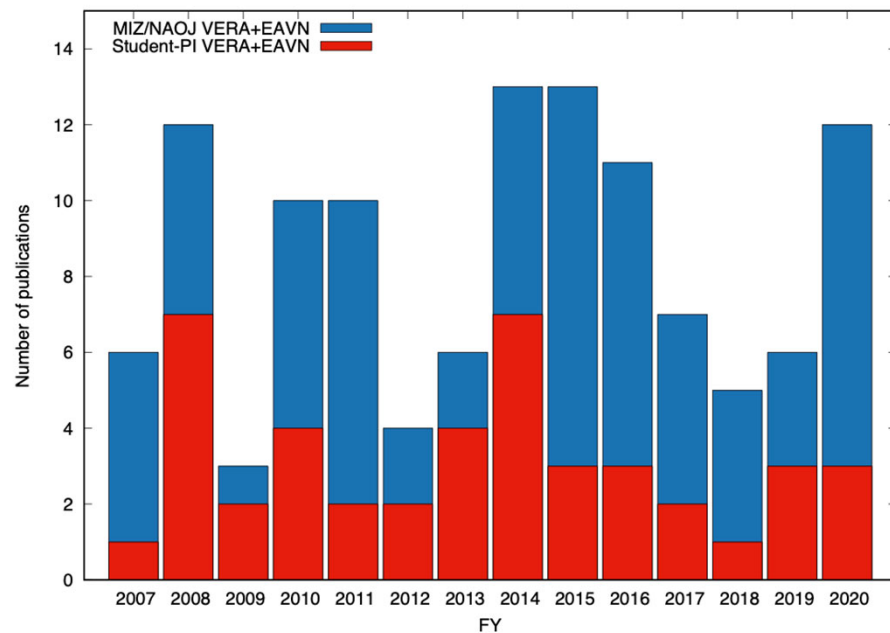
- AGN activity

Connection of BH and jet

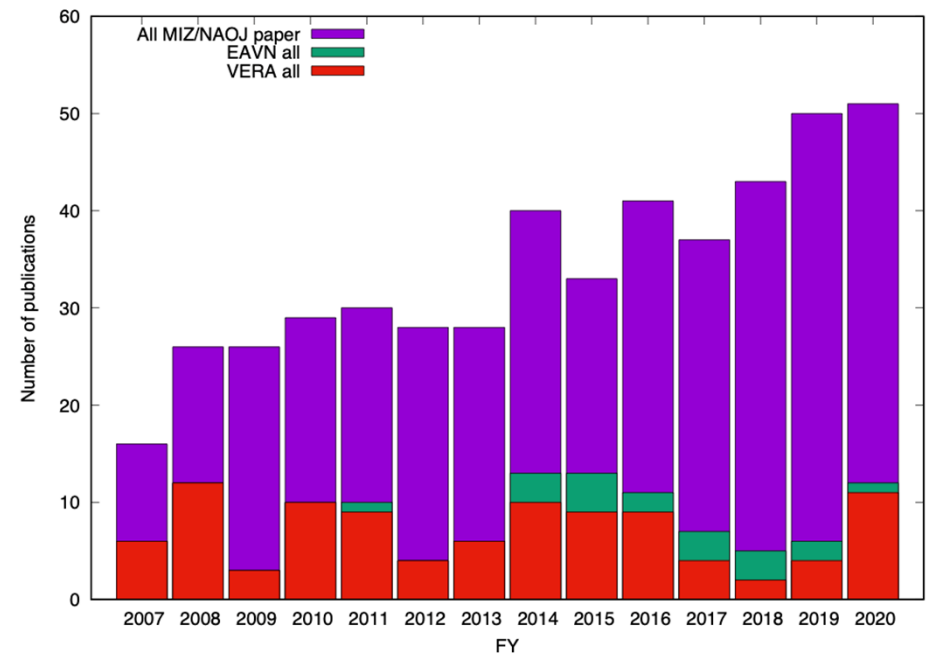
Collimation and acceleration in the vicinity of BH



Recent publication profile from VERA/EAVN



Publications related to VERA+EAVN



Publications from Mizusawa VLBI Observatory

Science observations:

~3000 h

Observing time per program:

~ 100 h

Publication rate:

~1/3 ~1/2

-> 10~15 papers/yr

今後の研究 / Direction for near-term future

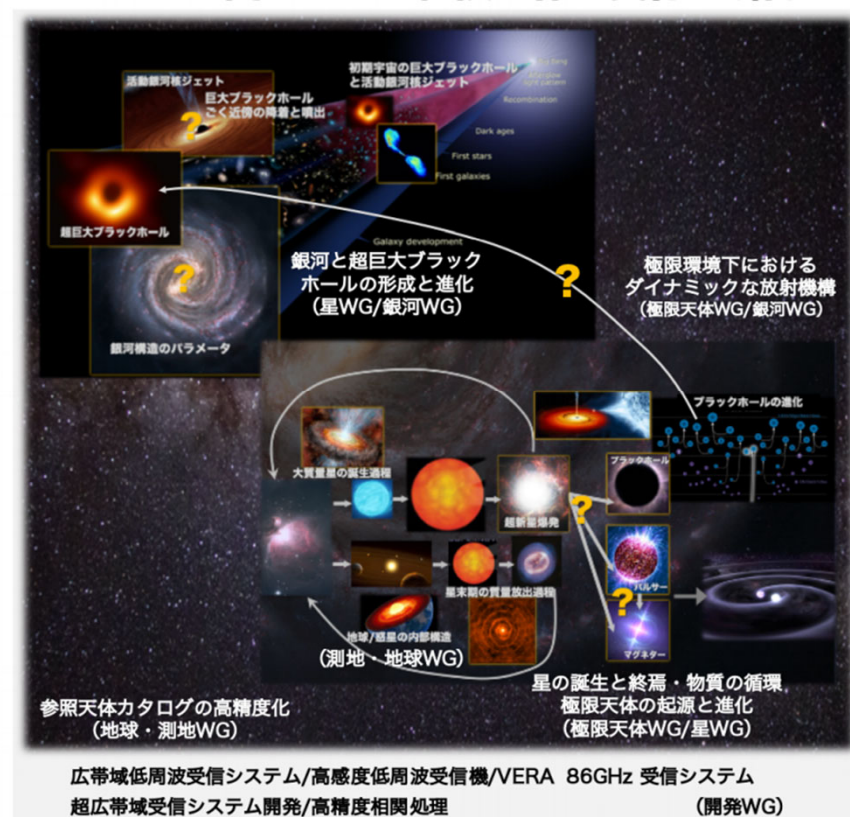
- VLBI懇談会(VLBI consortium)の議論に基づき、EAVNを始めとするより高性能なVLBIを生かした観測研究を展開



EAVNを始めとする
VLBIの高分解能を生
かし、極限天体の構
造と進化に迫る

VLBI懇談会
VLBI将来計画WG

VLBIが捉える星と極限天体の変化の瞬間



Purpose/missions (draft under review)

- Purpose

水沢VLBI観測所は、VLBIを用いた観測天文学の研究拠点として、VLBIの観測装置および関連技術を維持・発展させつつユーザーコミュニティに提供し、超高分解能による観測天文学の進展に貢献する。

- Missions

1. 現有するVERAの観測網および関連装置を維持し、アジアの国々と連携した東アジアVLBI観測網等を運用して国内外のユーザーコミュニティに観測機会を提供し、VLBI天文学研究を推進する。
2. VERAの観測網単独の観測時間について、ユーザーコミュニティの協力のもと、大型共同観測プログラムとして研究に活用する。
3. 国際ミリ波VLBIやセンチ波帯のグローバルVLBIなどの国際協力の推進により、世界規模の共同研究を推進する。

Renewed project

- EAVN

Japan : VERA + JVN

Korea : KVN+NIG

China : CVN

+ FAST 500m, QTT 120m

Thai : NARIT 40m

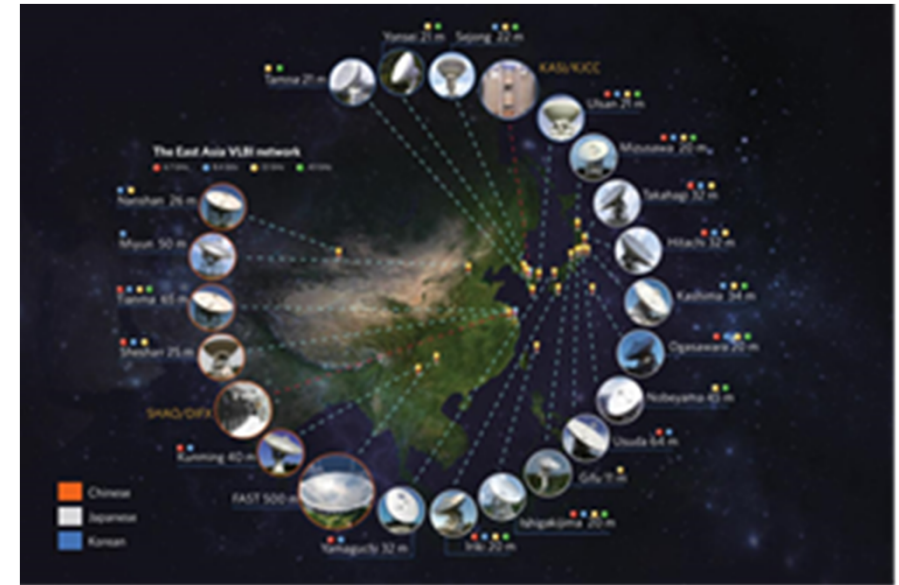
EAVN (open use) ~1300 - 1500 hr

VLCOP (domestic mode) ~1500 hr

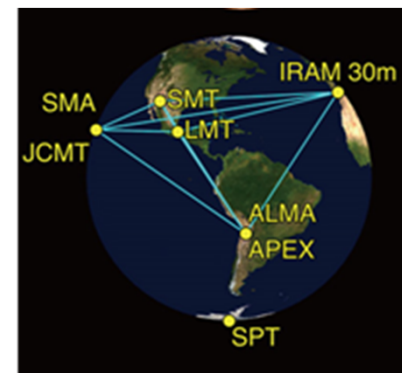
+ mm-VLBI/ EHT

We will keep serving as EHT gateway for Japanese community

+ Future: Global VLBI with SKA, ngVLA
(10-year-scale future)



VERA/KaVA/EAVN and beyond



EHT

+ Global VLBI
with SKA, ngVLA

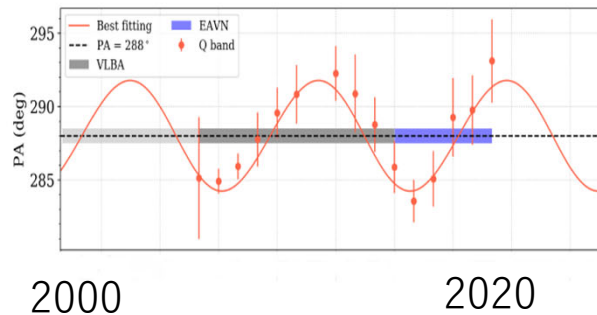
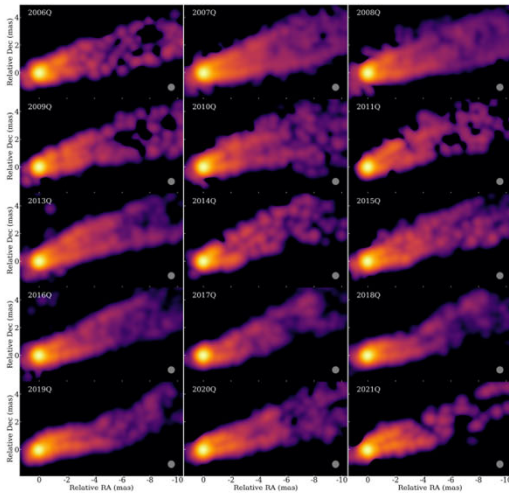
科学目標 (Scientific goals, draft under review)

3分野で主なターゲットを設定

1. 活動銀河中心核の高分解能観測により、ジェット生成や加速・収束メカニズムなど巨大ブラックホールの研究で優れた成果を挙げる。
2. メーザーの高分解能観測により、大質量星形成の動的な描像を解明する。また、メーザーを用いた晩期型星や銀河系構造などの研究を推進する。
3. 上記以外の天体のVLBI観測による研究可能性を開拓し、研究分野の拡充を目指す。

1. Interplay of BH, disk & jet

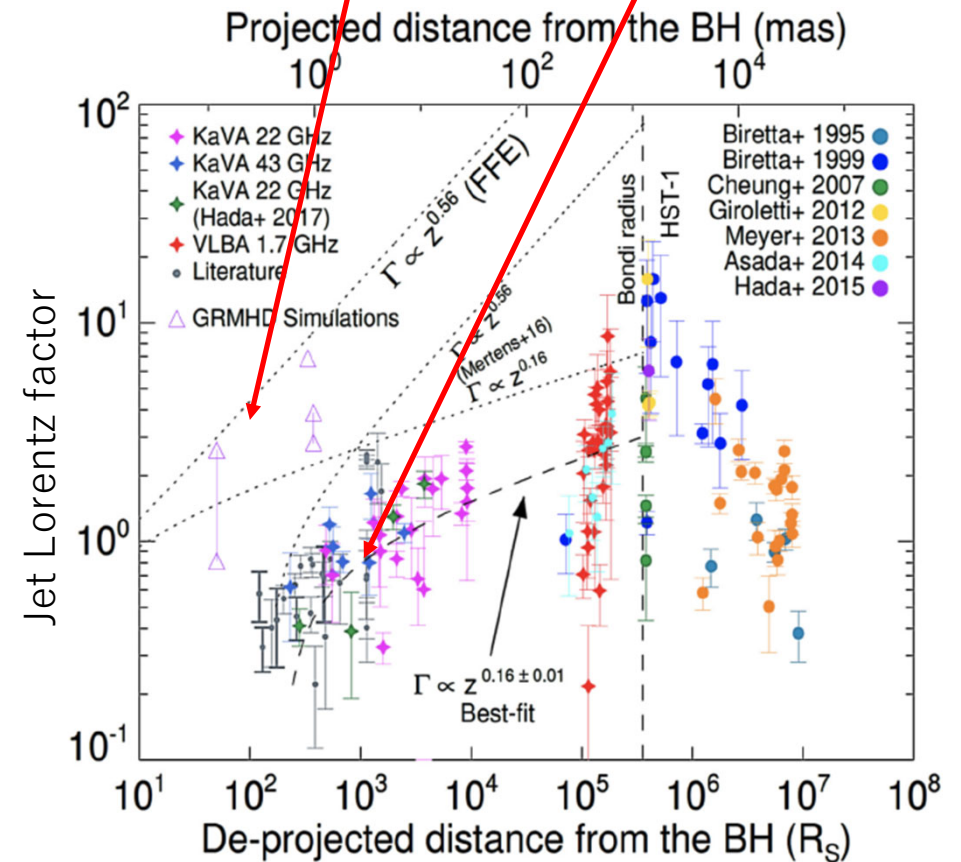
- How is a jet accelerated, collimated?
- Does BH has a non-zero spin (Kerr)?
- BZ mechanism in effect?



Cui et al, in prep, M87 with VLBA + EAVN
precision due to BH spin?

GRMHD prediction
McKinney+2006,
Nakamura+2018 etc.

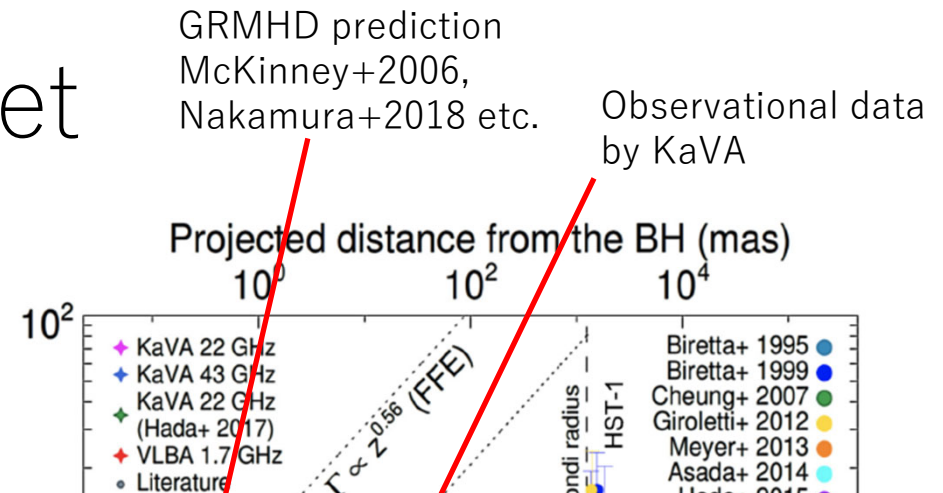
Observational data
by KaVA



Park+(2019), M87 jet obs. by KaVA

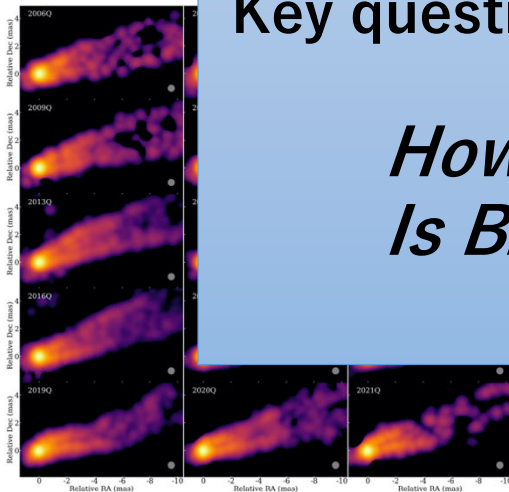
1. Interplay of BH, disk & jet

- How is a jet accelerated, collimated?
- Does BH has a non-zero spin (Kerr)?
- BZ mechanism in effect?



Key questions we would like to address:

How is jet formed/accelerated/collimated?
Is BZ mechanism in effect? (Is GR correct?)



2000

2020

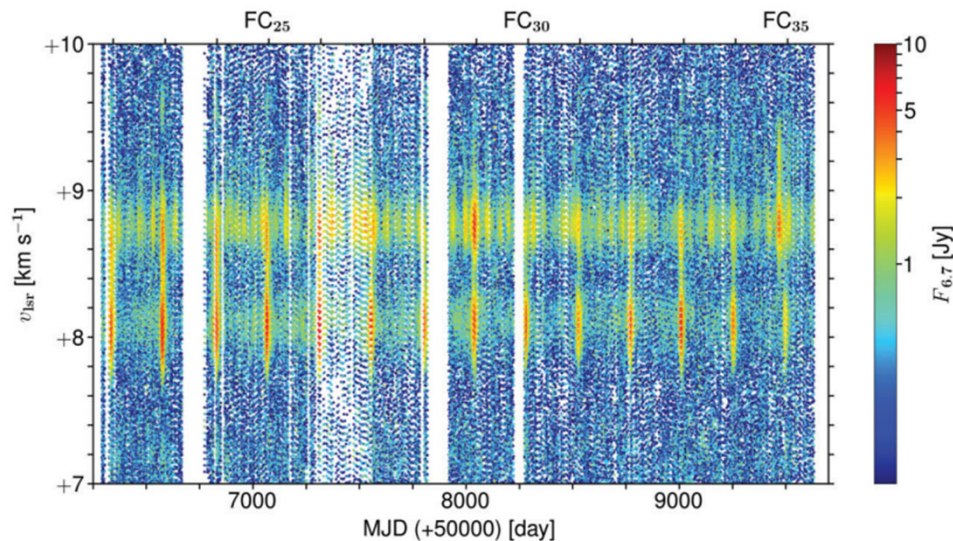
Cui et al, in prep, M87 with VLBA + EAVN
precision due to BH spin?

Park+(2019), M87 jet obs. by KaVA

2. Dynamic picture of massive star formation

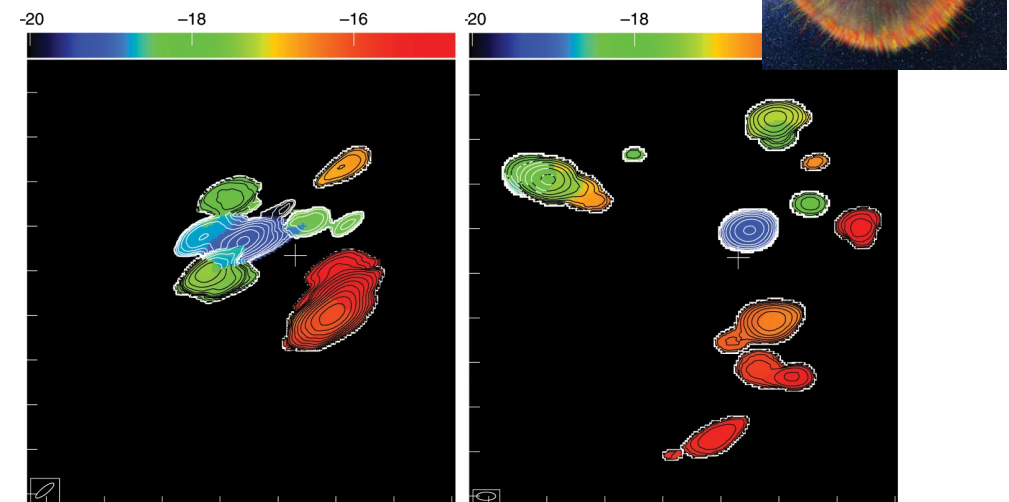
- Various types of maser time-variation has been detected via M2O program.

Double period methanol-maser flare (243 day & 52 day)



M2O collaboration (2022), based on
Observations at Ibaraki

Rapid variation of CH₃OH maser spots associated with maser burst

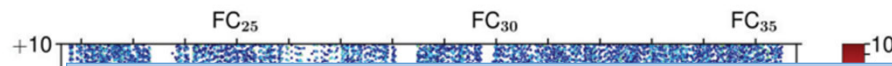


Burns+(2020) maser distribution variation
during maser burst

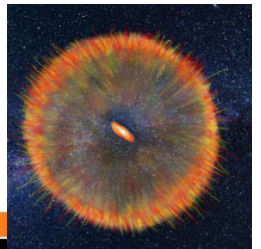
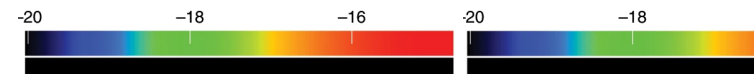
2. Dynamic picture of massive star formation

- Various types of maser time-variation has been detected via M2O program.

**Double period methanol-maser flare
(243 day & 52 day)**



Rapid variation of CH₃OH maser spots associated with maser burst



Key questions we would like to address:

How do massive-stars evolve?

What are the roles of these dynamic events in SF?

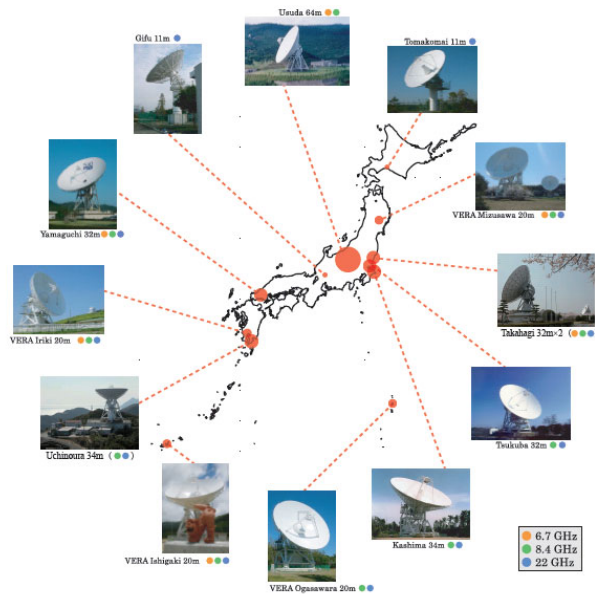
MJD (+50000) [day]

M2O collaboration (2022), based on
Observations at Ibaraki

Burns+(2020) maser distribution variation
during maser burst

3. New science targets (I)

- Pulsar/Magnetar/FRB observations with VERA + JVN stations



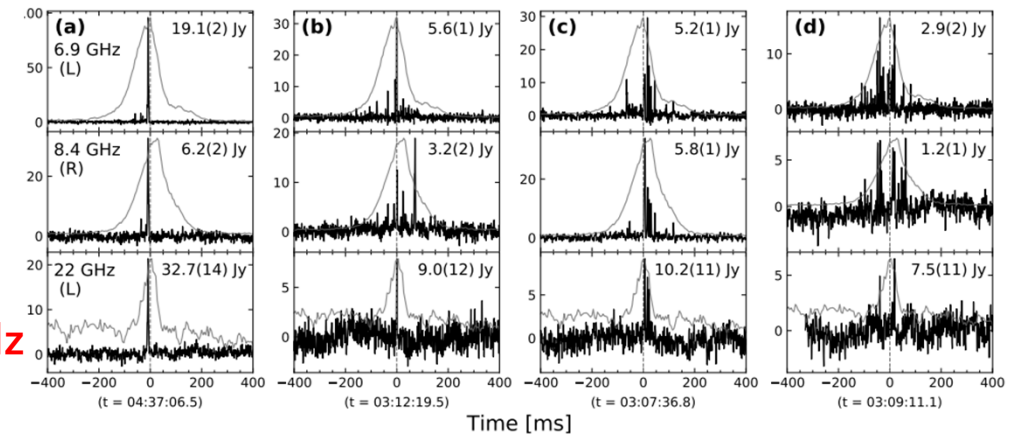
JVN

Burst detection of Magnetar XTE1810 (Eie+2021)

Ibaraki
6GHz

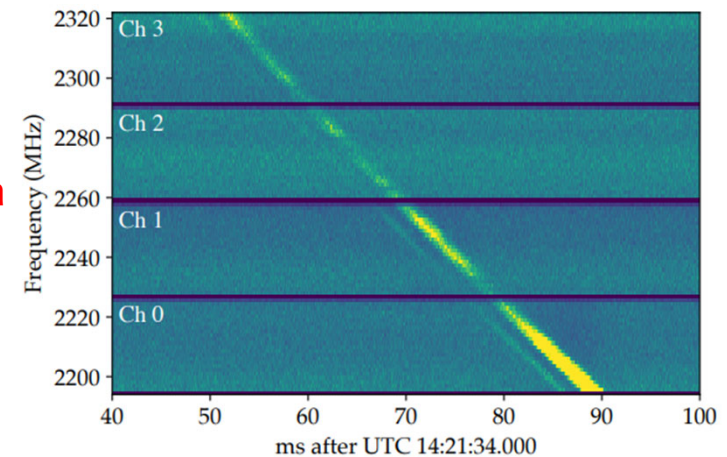
8 GHz

VERA
22 GHz



First detection of FRB with radio telescope in Japan (repeating FRB 20201124, Ikebe+2022 in press)

Usuda
2 GHz



3. New science targets (I)

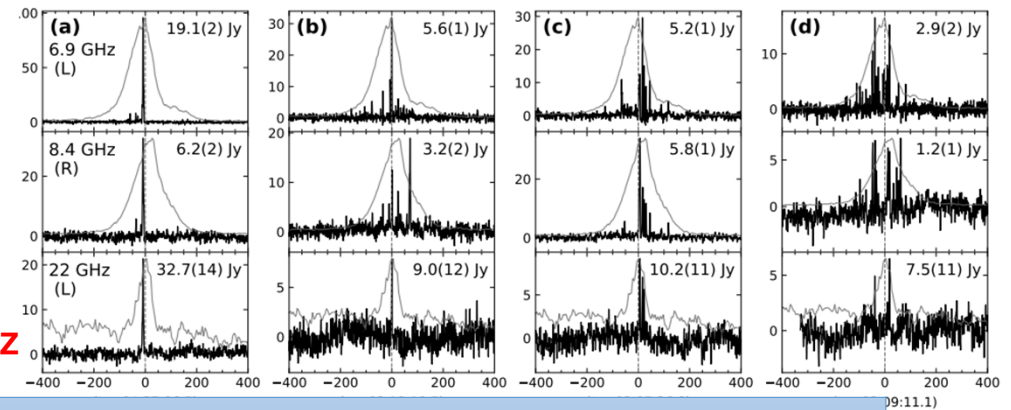
- Pulsar/Magnetar/FRB observations with VERA + JVN stations

Burst detection of Magnetar XTE1810 (Eie+2021)

Ibaraki
6GHz

8 GHz

VERA
22 GHz

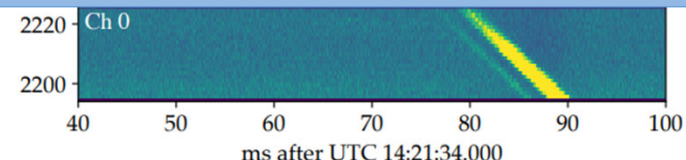


Key questions we would like to address:

What are FRBs?

Are they linked to Magnetars/Pulsars?

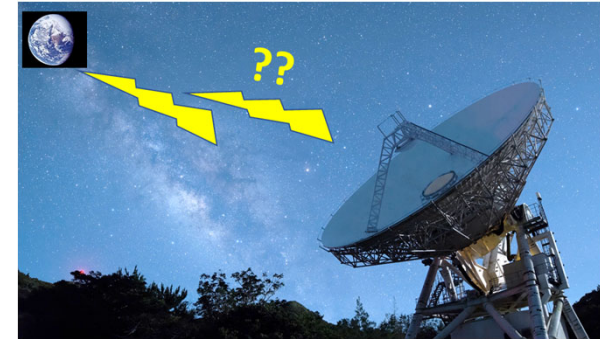
Japan
(s)



3. New science targets (II)

- SETI observations under the frame work of VLCOP
(VERA Large-scale Collaborative Observation Program,
Kumamoto-U & NAOJ)

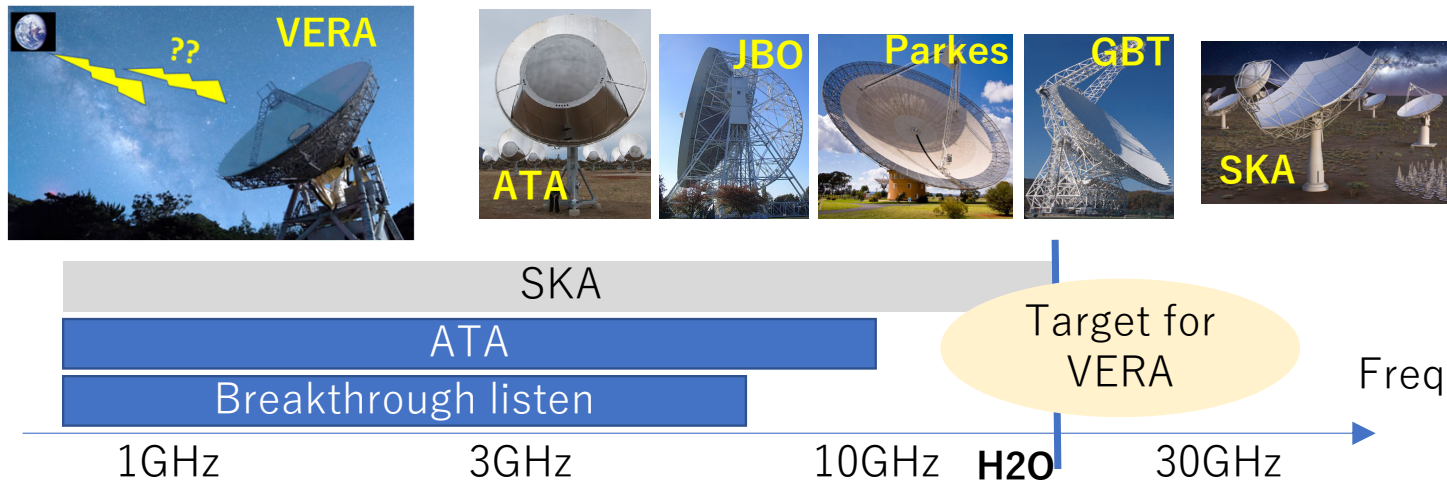
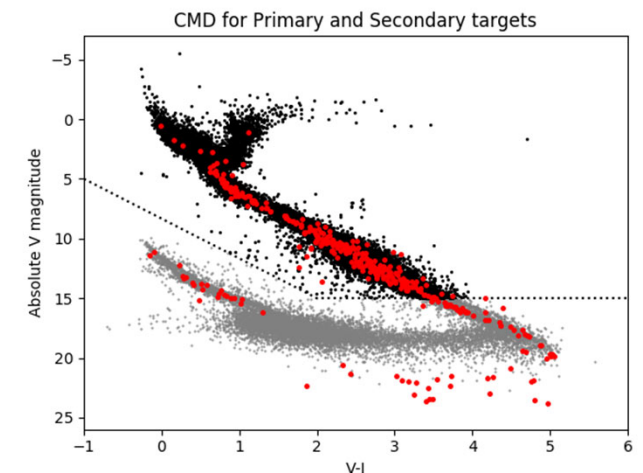
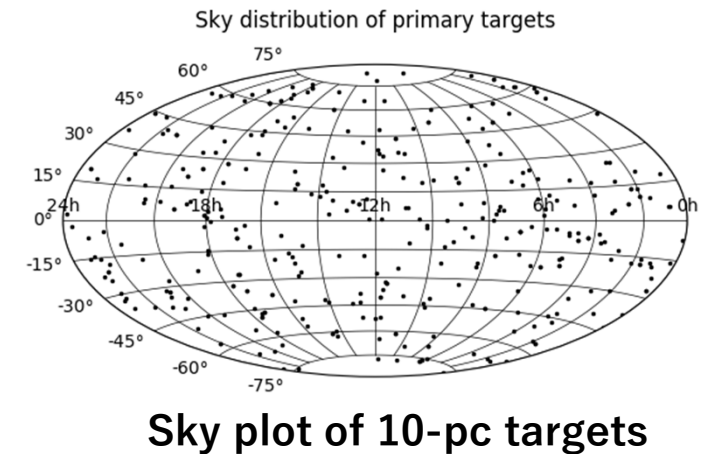
- 1) 超高分散分光機能の開発 / Technical development of ultra-high resolution spectroscopy
- 2) 月面反射地球人工電波観測 / Test observation of artificial radio signal emitted from the Earth reflected by Moon
- 3) 水メーザーバンドでの単一鏡SETI / H₂O-band single dish survey



Merit of H2O band SETI with VERA

Uniqueness:

- 1) Unexplored band
- 2) Potential SETI band due to link of H2O and life
- 3) Higher EIRP expectation compared to lower frequency (scaled as $\sim \nu^2$)
- 4) Large survey speed (4 sta. x 2 beam = 8)
- 5) Detection allows us immediate VLBI follow-up!



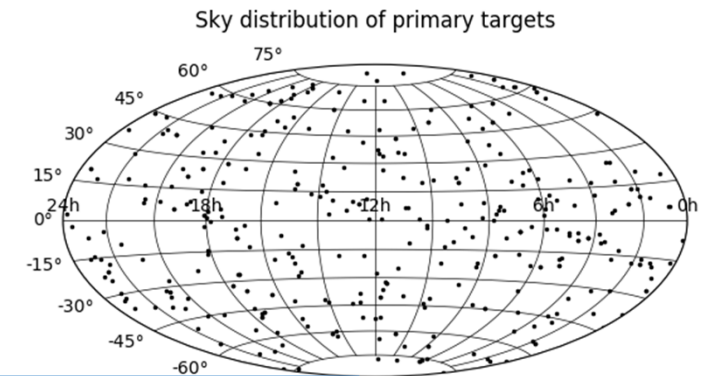
Merit of H2O band SETI with VERA

Uniqueness:

- 1) Unexplored band
- 2) Potential SETI band due to link of H2O and life
- 3) Higher EIRP expectation compared to lower frequency (scaled as $\sim \nu^2$)

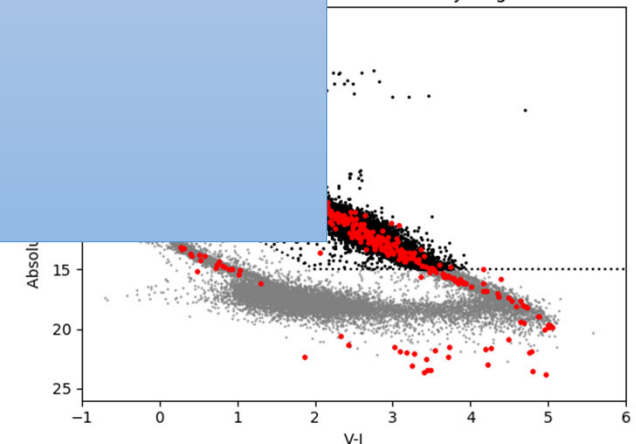
- 4) L
 - 5) D
- Key questions we would like to address:

Are we alone ?

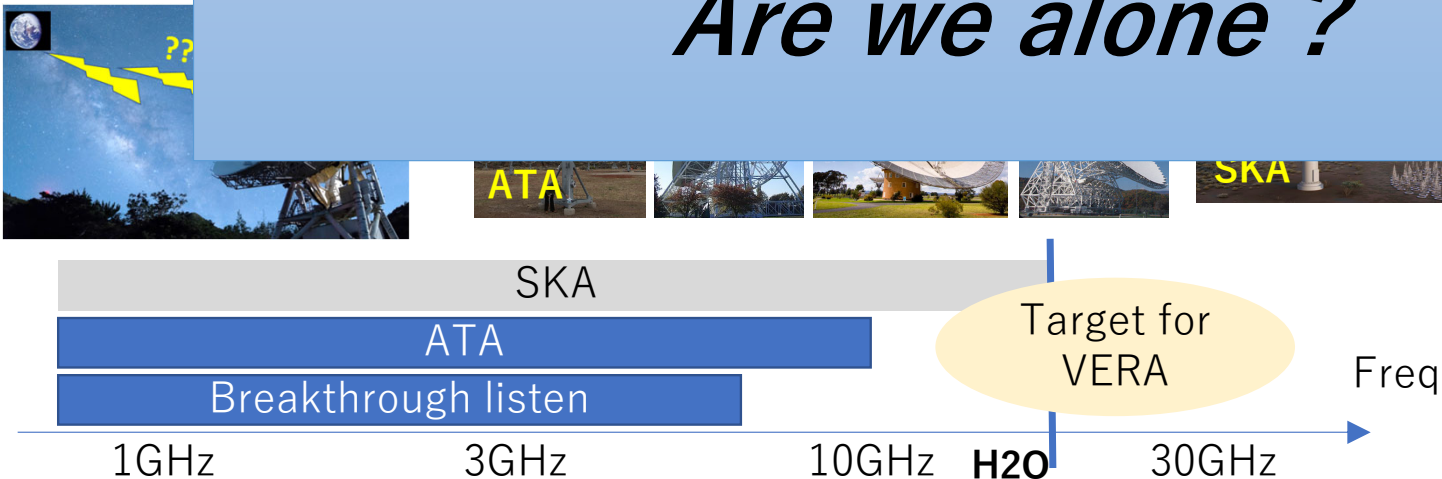


10-pc targets

and Secondary targets



Color magnitude plot of primary and secondary targets



Required Technical development

- 超広帯域記録 / Ultra-broadband recording
現在16 Gbps max -> 32/64 Gbps or more
- 超高速演算処理 / Ultra-high speed correlation)
通常の相関処理 +
未知のパルス探査 (for FRBs : 発生時刻、DMなどが未知)
超高分解能広帯域分光 (for SETI : 狭輝線、周波数未知)

これらは、SKAやngVLA、月面天文台等を支える基礎技術にもなる

国立天文台でやる必要性 / Why NAOJ?

- 科学的重要性 / Science value
- 予算規模・装置規模
budget scale/instrument scale
年間数億円の施設運用
装置・技術の発展と継承
- 研究の性質 / character
国内コミュニティの意向
国際協力
- 共同利用 / open use
(VERA, EAVN, EHT…)



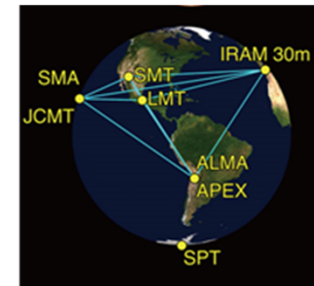
VERA 20m電波望遠鏡



ソフト関連器



VERA/KaVA/EAVN and beyond



EHT



VLBI懇談会
VLBI将来計画WG

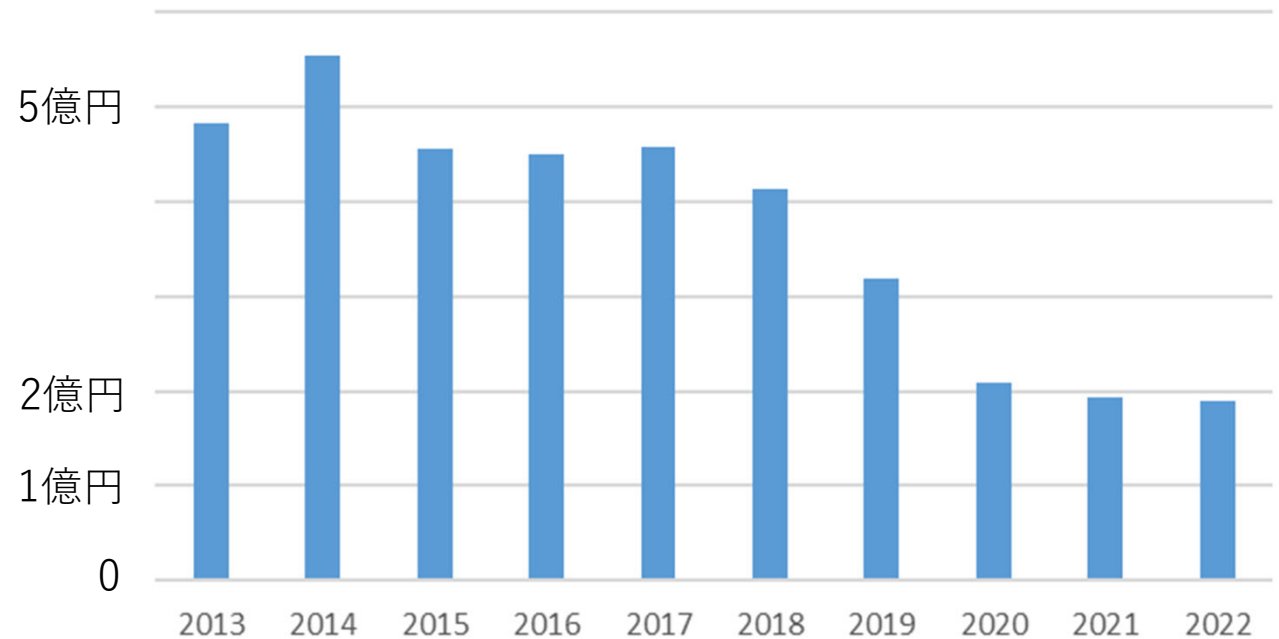
予算状況 / Budget profile

- 5年前に比べて半減
- メンテの内製化などで対応
- 予算減による捻出額は10億程度

(TMT, SKAなどの将来計画に回るとの想定で協力している)

最近現在の数値をベースに“電波の予算枠”を設置する議論が出ているが、過去の状況まで踏まえずにこれを実施すると、コミュニティの分断を生むリスクがある。

水沢予算プロフィール



財源の多様化に向けて（特に若手雇用の確保）

- 外部研究資金（科研費など）
- 個人・企業からの寄付金
- 天文学研究者の企業受入の促進
（天文学研究を業務としてもらう）
- 国立天文台と企業で連携した若手研究者採用
- クラウドファンディングによる若手研究者支援

まとめ

- これまで
VERAを中心とする銀河系位置天文学（主体的研究）
- これから
EAVNを中心とする国際協力（共同利用）
+ 国内時間の共同観測

Science: BH and jets
 Masers for star-formation, AGB stars, and the MWG
 New targets (Pulsar/Magnetar/FRB, SETI)