

# 広帯域VLBIによる 微弱天体観測のアイデア

廣田朋也

VLBI懇談会シンポジウム 17/12/23

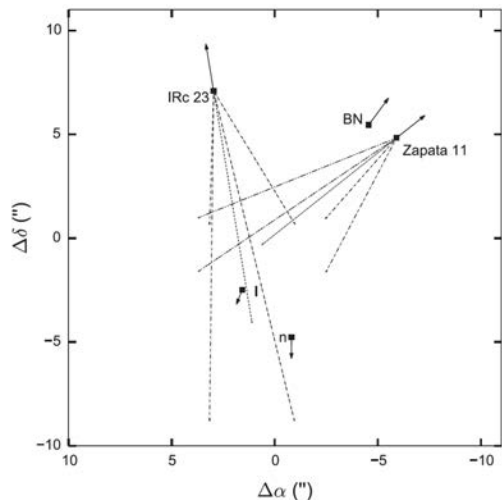
# はじめに

- 過去にもJVNを用いた連続波観測の経験
- 今年MIZ-SKA-SWGでの2年間の検討結果を報告
- V懇シンポタイトル「日本のVLBIの愉快的な将来」
- これらを踏まえたアイデア(思いつき)を紹介
- 議論はorder estimate
- 途中計算間違いがある可能性大

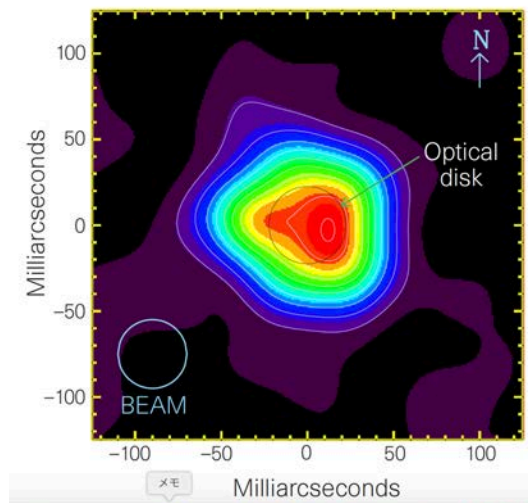
# VLBI による研究

- 特徴
  - 1ミリ秒角オーダーの究極の空間分解能
  - 輝度温度に対する感度は「絶望的」： $>10^5$  K
- 観測対象
  - 熱的放射はほぼ不可能
  - ラインはメーザーのみ (AGB、AGN、SFR)
  - 連続波は主にAGN、 $\mu$ -QSO、パルサー
  - これ以外の対象は？
  - 例えばさまざまな「電波星」の新分野開拓

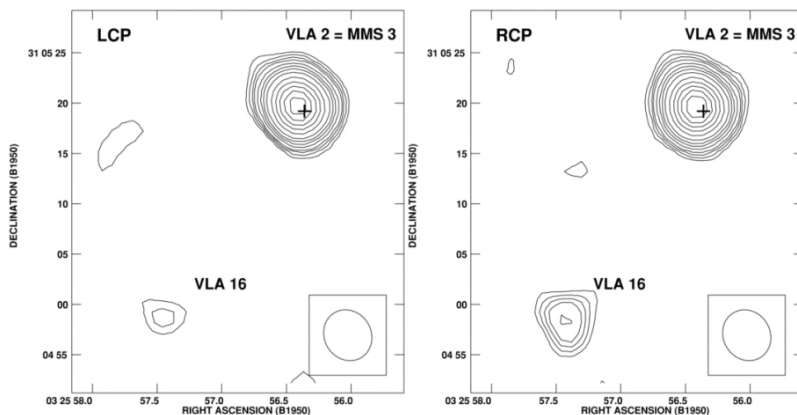
# 恒星電波観測の例：VLA



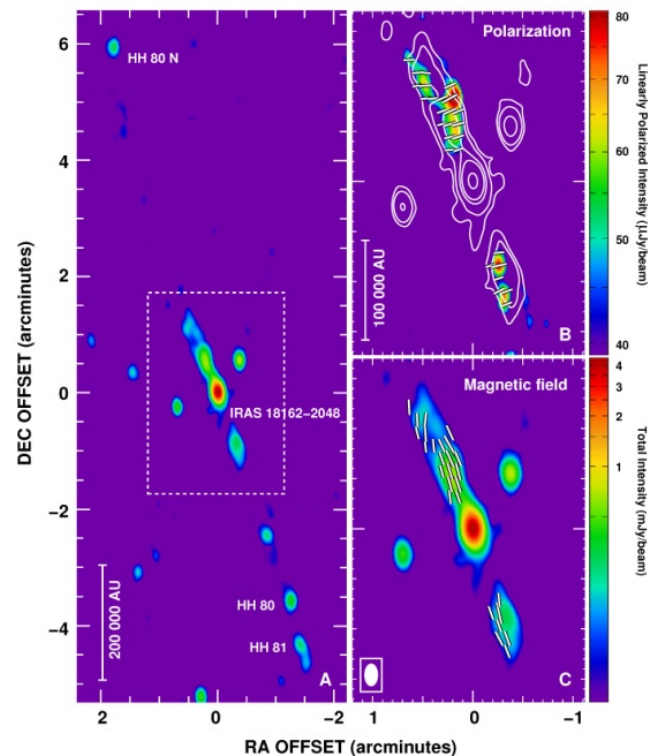
Orionの原始星固有運動計測  
(Rodriguez et al. 2005, Gomez et al. 2005,  
Gomez et al. 2008, Goddi et al. 2011,  
Dzib et al. 2017, Rodriguez et al. 2017他)



ベテルギウス光球の撮像  
(Lim et al. 1998)

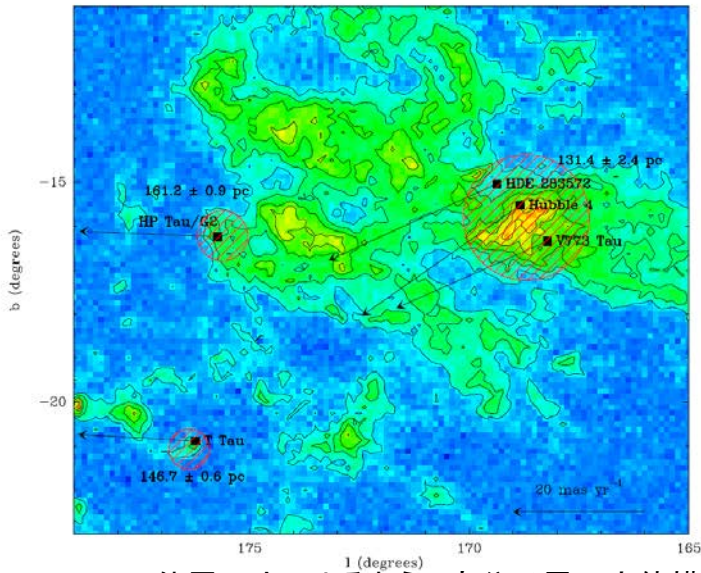


YSOの偏波観測 (Rodriguez et al. 1999)

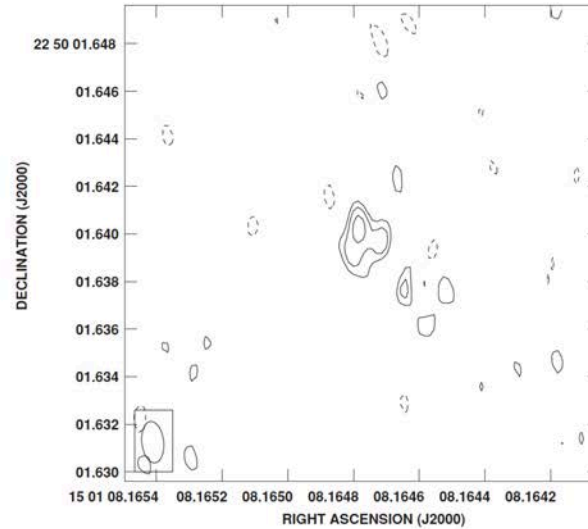


大質量星のnon-thermal jet観測  
(Carrasco-González et al. 2010,  
Rodriguez-Kamenetzky et al. 2017, 他)

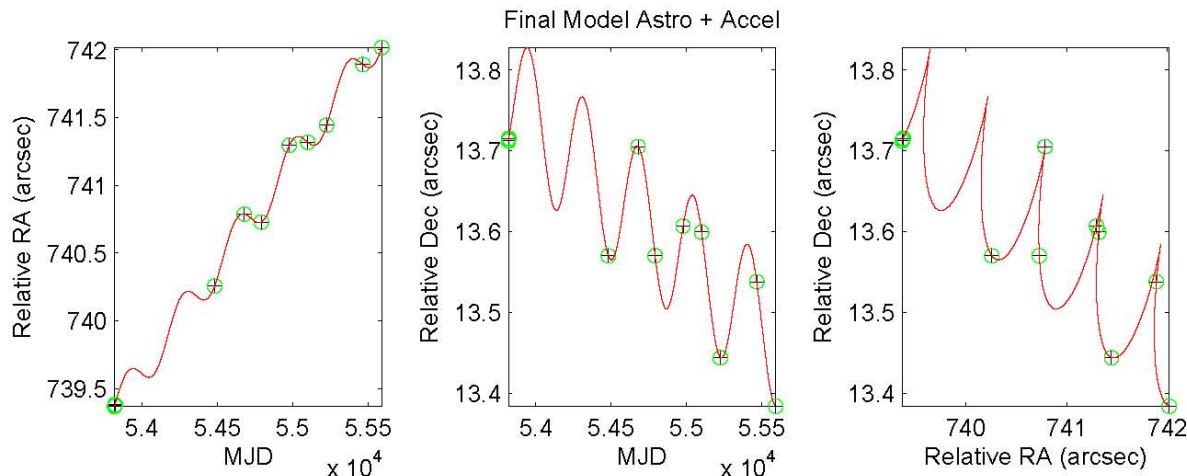
# 恒星電波観測の例: VLBA



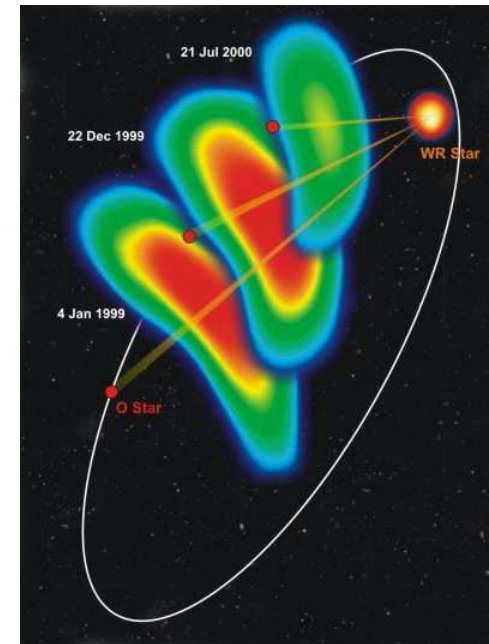
WTSの位置天文によるおうし座分子雲の立体構造  
(Loiuard et al. 2007, Torres et al. 2007, 2009, 2012, 他)



M型矮星 TVLM 513-46546の  
検出( Forbrich & Berger 2009)



惑星探査プロジェクト例(Bower et al. 2011)



大質量WR星の軌道決定  
(Dougherty et al. 2007)

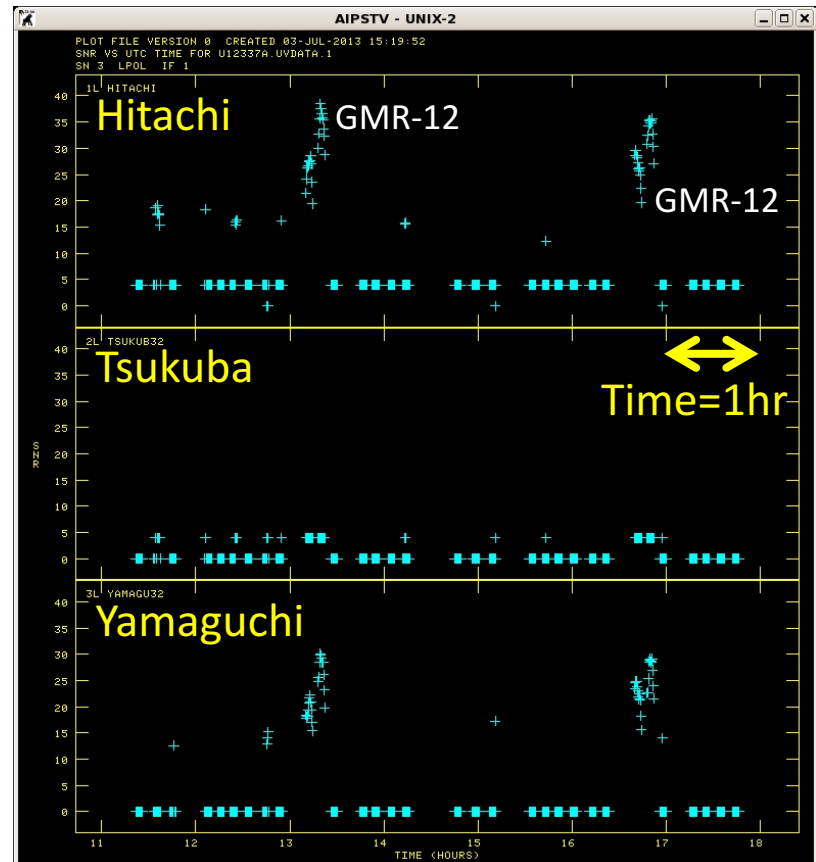
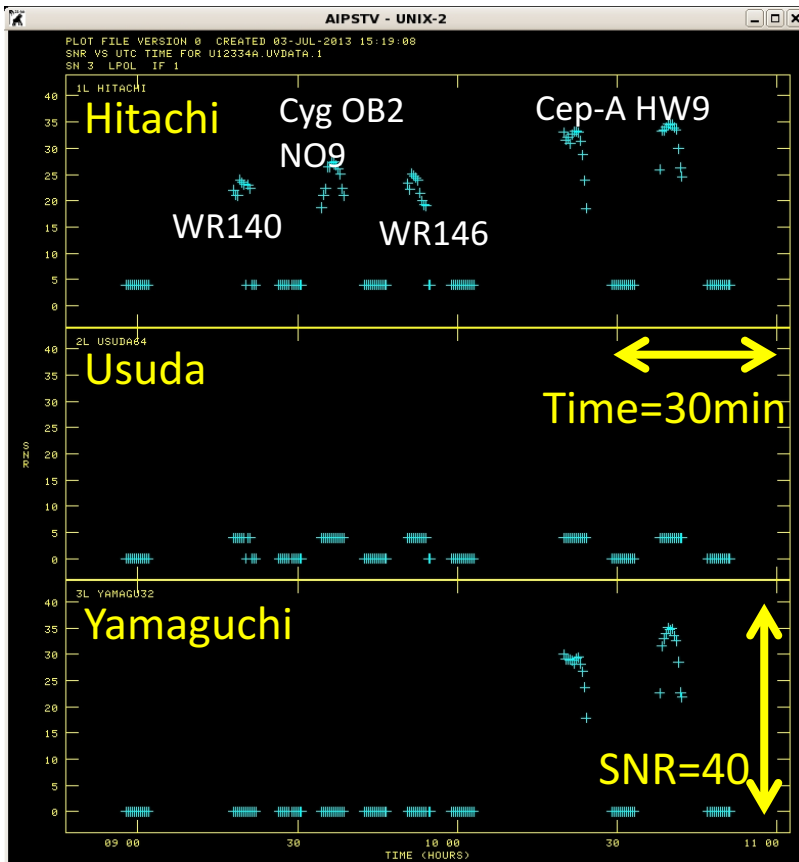
# JVNでの試験観測

- 広帯域観測
  - 観測日: 2012年11月・12月
  - 最高空間分解能: 10mas
  - 観測周波数: 8 GHz
  - 記録速度 2048 Mbps
- 観測天体
  - 主にWR、WTTS
  - VLAで検出された電波源
  - 円偏波、時間変動、非熱的シンクロトロンの特徴 ( $\nu^{-\beta}$ )



# 結果

- 23天体観測中5天体で検出
  - いくつかはVLBIイメージングの有望な対象

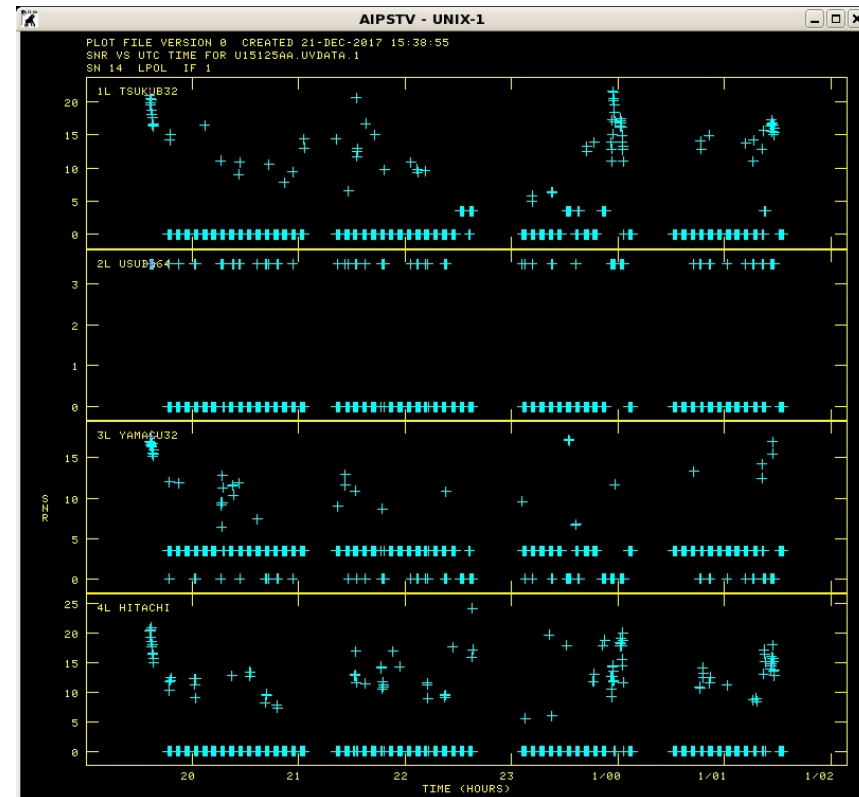


# JVNでの追加観測

- 前回と同じモード
  - 観測日: 2015年1月・5月(3回)

- WR星125天体の提案

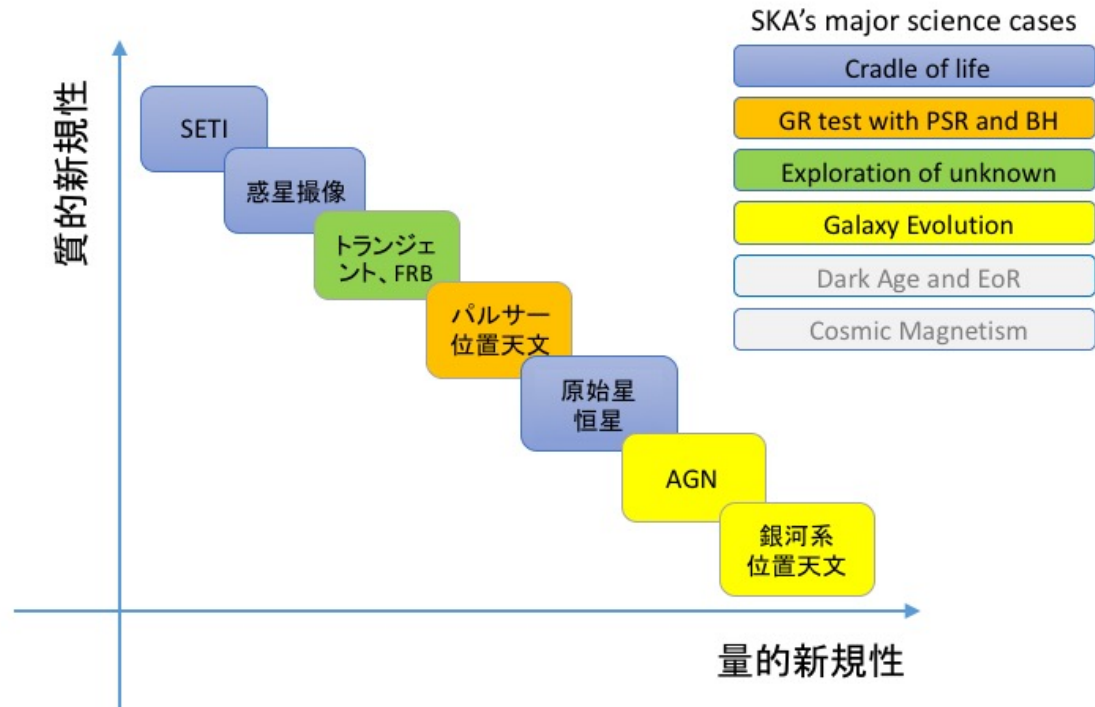
- van der Hucht 2001,  
Mauerhan et al. 2011,  
Shara et al. 2012 より
- Detection (>80%) 4/70
- Marginal (20-80%) 13/70
- 依然として感度不足?





# MIZ-SKA-SWGでの検討

- 将来のSKAへ向けての検討(2015-2017)
- 水沢VLBI観測所の将来計画として
  - 何が可能？
  - どんな優位性？
  - どう展開する？



# MIZ-SKA-SWGでの検討

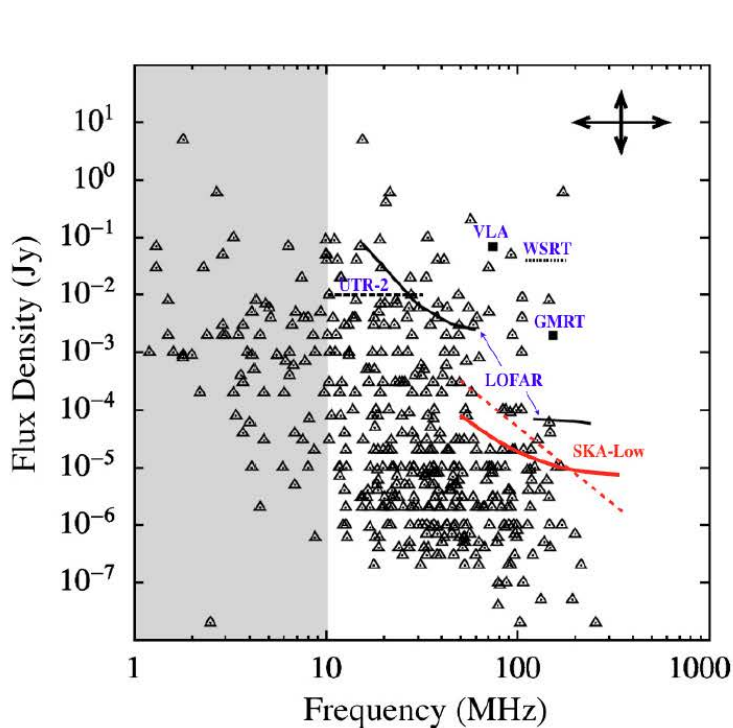
- 特にThe Cradle of Life に関連して(廣田担当)
  1. Zarka et al., Magnetospheric Radio Emissions from Exoplanets with the SKA
  2. Umana et al., The impact of the SKA on Galactic Radioastronomy: continuum observations
  3. Dickinson et al., Studies of Anomalous Microwave Emission (AME) with the SKA
  4. Testi et al., Protoplanetary disks and the dawn of planets with SKA
  5. Loinard et al., Tomography of Galactic star-forming regions and spiral arms with the Square Kilometer Array
  6. Siemion et al., Searching for Extraterrestrial Intelligence with the Square Kilometre Array

# Keywords

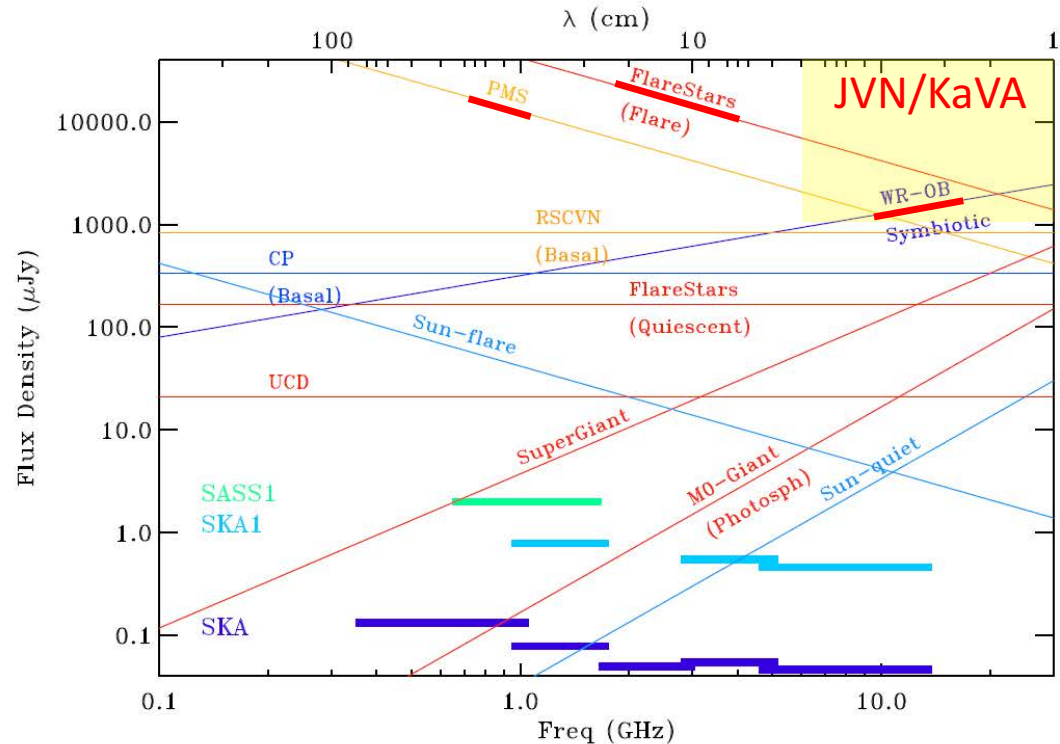
- 太陽や星のコロナの性質
- フレア星のElectron Cyclotron Maser Emission
- Luminous Blue VariableやWR星の質量放出と星風
- Ultra Cool Dwarf, Magnetic Chemically Peculiar starの磁気圏
- PNe/post-AGB/SNRの探査・質量放出と進化
- バイナリ運動と恒星パラメータ
- 位置天文観測・分子雲構造・渦状腕構造
- 大質量星原始星・UCHIIの質量降着と進化
- 原始星ジェット・YSO磁気圏(コンドリュール形成)
- 星形成領域でのダスト成長(惑星形成)
- 系外惑星磁気圏・恒星風・オーロラ
- 惑星ダイナモ・内部構造・自転・軌道パラメータ
- 系外惑星探査と多様性
- 生命環境(電離層・オゾン層の効果)

# SKAでの検出可能性

- 惑星、恒星ともに $\mu\text{Jy}$ レベルを達成可能
  - 既存のVLBIでどこまで迫れる？準備研究は可能？



系外惑星で予想される非熱的電波  
(Zarka et al. 2015 より)



さまざまな恒星電波源  
(Umama et al. 2015 より)

# 達成可能な分解能

- 天体サイズの目安

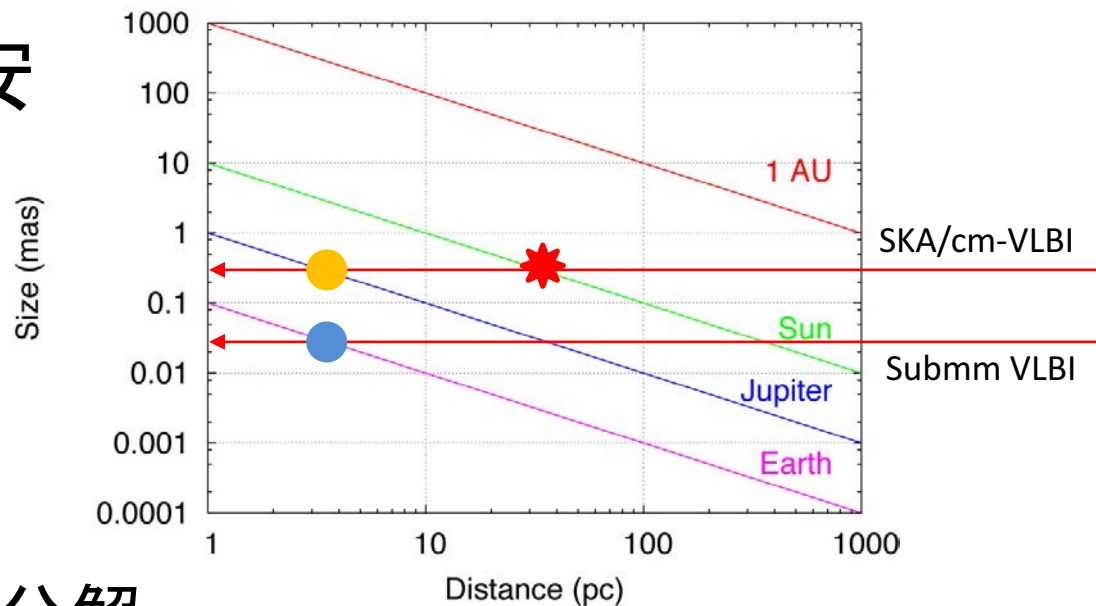
- 年周視差=1 AU

- 太陽=0.01 AU

- 木星=0.001 AU

- 地球=0.0001 AU

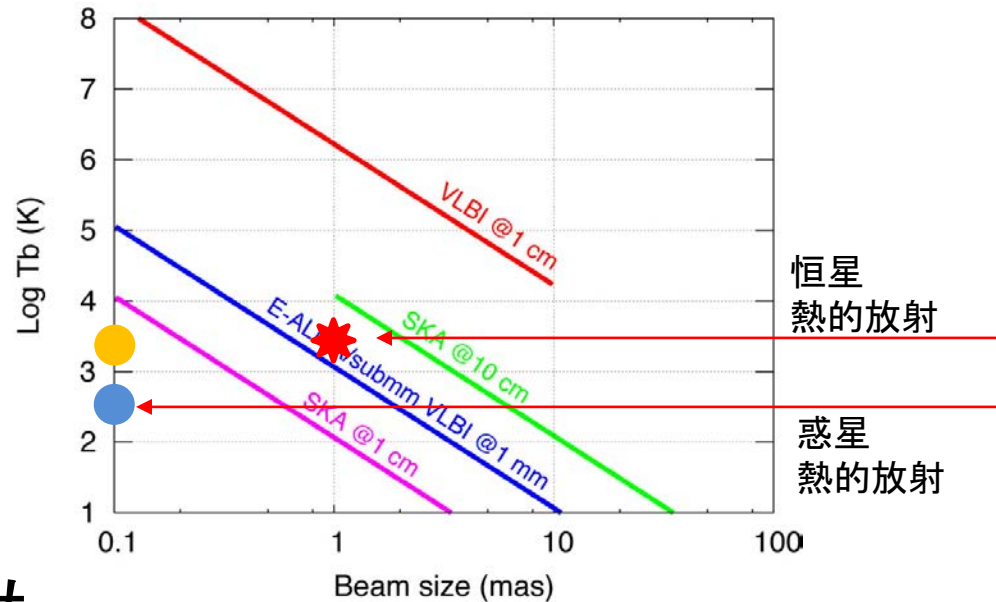
- <10 pcなら惑星も分解



天体の見かけの大きさ	基線長 20 km	基線長 200 km	基線長 2000 km
SKA/cm VLBI @ $\lambda=10\text{cm}$	1000 mas	100 mas	10 mas
SKA/cm VLBI @ $\lambda=1\text{cm}$	100 mas	10 mas	1 mas
E-ALMA/submm VLBI @ $\lambda=1\text{mm}$	10 mas	1 mas	0.1 mas

# 達成可能な感度

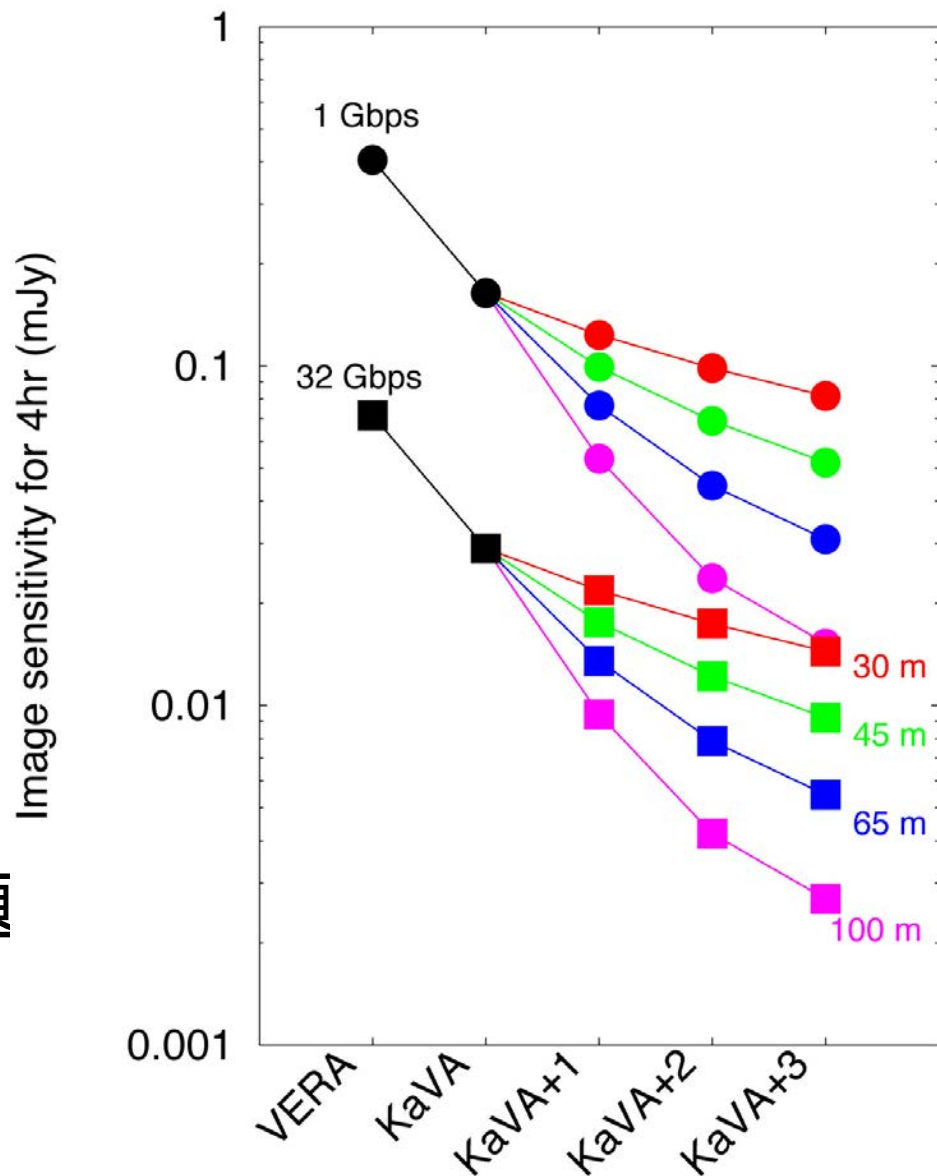
- イメージrmsの目安
  - VLBI: 0.1 mJy
  - ALMA: 0.1 mJy
  - (JVLA: 1  $\mu$ Jy)
  - SKA : 0.1  $\mu$ Jy
  - $>10^3$  Kなら熱的放射も



予想される熱的放射	太陽@10pc 6000K, 1mas	木星@10pc 3000K, 0.1mas	地球@10pc 300K, 0.01mas
SKA/cm VLBI @ $\lambda=10$ cm	40nJy	0.2nJy	0.0002nJy
SKA/cm VLBI @ $\lambda=1$ cm	4 $\mu$ Jy	20nJy	0.02nJy
E-ALMA/submm VLBI @ $\lambda=1$ mm	0.4mJy	2 $\mu$ Jy	2nJy

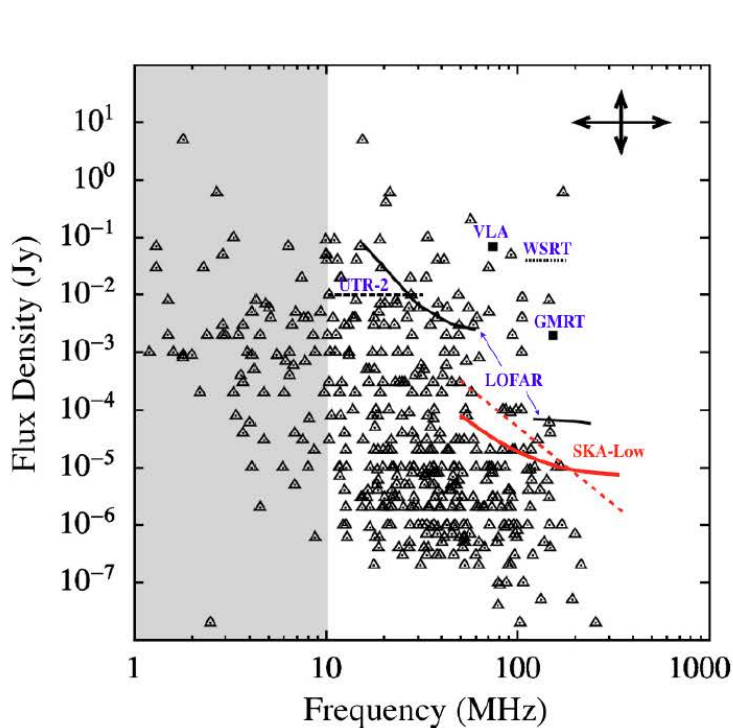
# 現実的なアレイ(e.g. EAVN)

- 試しに計算
  - $T_{\text{sys}} \sim 100 \text{ K} @ 22 \text{ GHz}$
  - $\eta \sim 0.5$
- 1桁以上の高感度化
  - 高周波数帯では  
広帯域化 > 大口径化
  - 低周波数帯での  
見積もりは今後の課題  
(大口径化は必須)

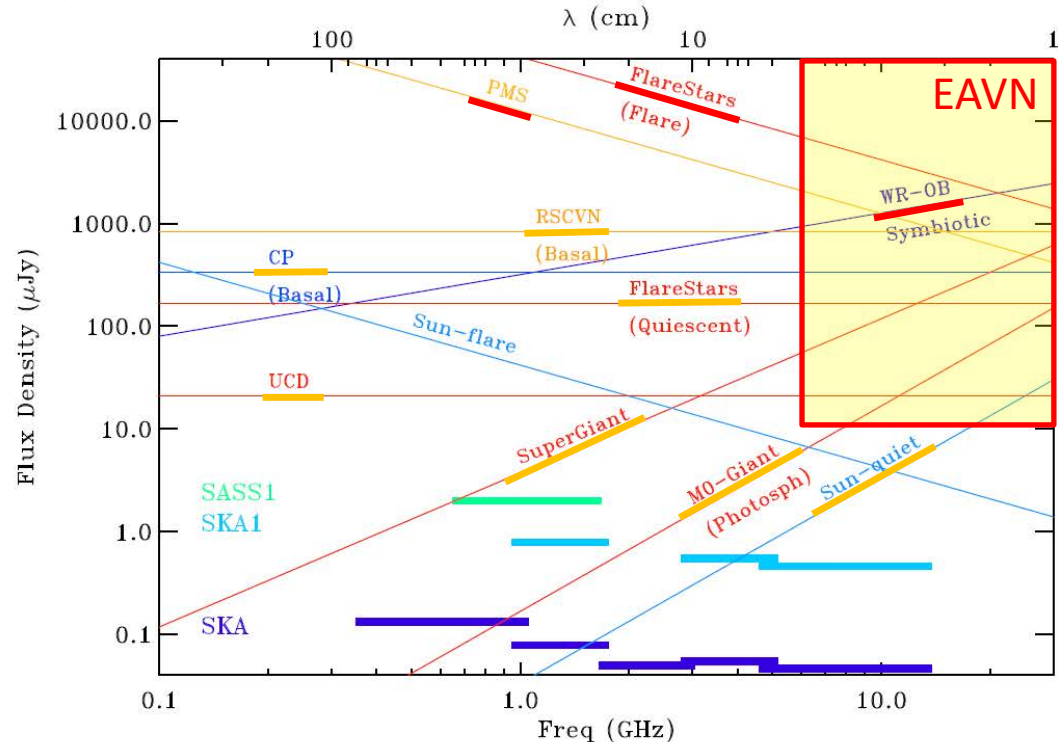


# EAVNでの検出可能性

- 広帯域化(+大口径)でサブmJyは可能性あり
  - 低周波数帯での見積もりは今後の課題



系外惑星で予想される非熱的電波  
(Zarka et al. 2015 より)



さまざまな恒星電波源  
(Umama et al. 2015 より)



# まとめ

- VLBI高感度化による新たなサイエンス  
– 広帯域＋大型アンテナ＝EAVNの発展は現実的(!?)

