

# 低周波 太陽・惑星 電波観測に向けた東北大の準備状況

三澤浩昭<sup>1</sup>, 土屋史紀<sup>1</sup>, 北元<sup>2</sup>, 桑山陽次<sup>1</sup>, 小林秀行<sup>3</sup>

1: 東北大学大学院理学研究科, 2: 東北工業大学工学部, 3: 国立天文台水沢 VLBI 観測所

東北大では宮城・福島両県に HF~VHF 帯と VHF~UHF 帯の低周波数帯電波観測装置を有し、太陽、木星等の太陽系内天体や系外天体の観測を国内諸機関とも連携し行うとともに、惑星探査ミッションを支援してきた。これまでの HF~VHF 帯の主な観測成果として、連続観測に基づく太陽風と木星磁気圏活動との関連性の初同定や木星電離圏上層での磁気流体波共鳴現象の同定、木星電波の偏波特性評価に基づく電波発生・伝搬過程の解釈等が挙げられる。また、長時間積分計測に基づく銀河中心方向からの到来パルスの同定によるブラックホールの存在可能性の提示等が挙げられる。VHF~UHF 帯の主な観測成果として、木星放射線帯電波の連続定常観測に基づく放射線帯粒子変動の太陽紫外線制御の同定（名大、NICT、東北工大他との共同研究<sup>\*1</sup>）、太陽電波の高分解観測に基づく電波バーストの微細構造の検出とその生成過程の解釈の提示（名大、NICT 他との共同研究<sup>\*</sup>）、また、パルサー他の観測に基づく高エネルギー電波天体の電波生成特性の考察等が挙げられる（東大、国立天文台、理研、JAXA、東北工大他との共同研究<sup>\*1</sup>）。

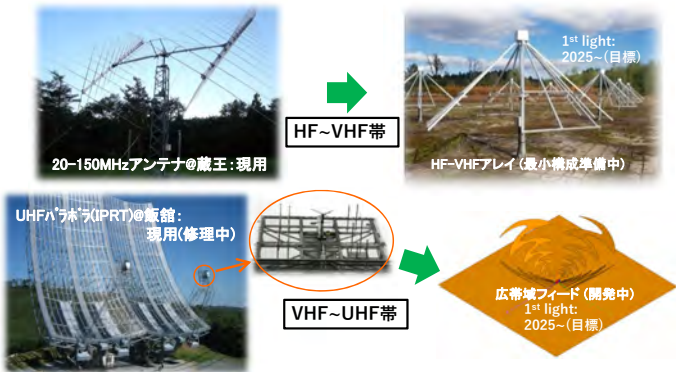
現在の観測装置は、HF~VHF 帯はログペリのアレイ・アンテナ@飯館、VHF~UHF 帯は開口面積 1000 平米のパラボラアンテナ('IPRT')@飯館と 27 素子 8 スタックの八木アンテナ@蔵王である。現有装置に関する本年度の特筆事項は IPRT の復旧遅れ(高度軸障害で 2022 年夏より通常運用停止中)がある。復旧は 2024 年度前半になる見込みである(共同観測研究関係各位に長引く観測支障をお詫び申し上げます)。一方、将来に繋がる装置開発面では、VHF~UHF 帯では IPRT 設置の現有の 150-500MHz フィードの更新を目指し、新たに 100-700MHz 高効率フィードの開発に着手した (P49 桑山他)。現在、電磁界解析ソフトウェアを用いての設計を進めており、2024 年 6 月に小スケールモデルを用いた電波暗室での特性計測を計画している。また、HF~VHF 帯では、現行機の高感度化を目指し、20~80MHz 帯の LWA 型アンテナ素子について実機を用いた適用可能性検討を開始した。より将来の計画としては、VHF~low UHF 帯でのアレイ・アンテナの導入(post IPRT)も検討課題としている。本グループでは、現~新観測系による系内諸天体の単独探査に加え、VHF~UHF 帯で、国内外の同周波数帯観測施設(名大 SWIFT,  $\mu$ GMRT, MWA(, ~SKA-Low)等)との VLBI 観測の実現による、高角度分解観測による系内天体(特に巨大惑星の氷衛星等)のプラズマ・表層環境の探査や、主星と分別した系外惑星電波の初検出に基づく、その惑星の電磁環境探査に向けた検討等も開始している。これらの実現に向けた準備として、本年度は、飯館 IPRT-蔵王アンテナ間の VLBI 試験観測(JAXA,東北工大との共同研究<sup>\*1</sup>, P44 北 他参照)を実施した。詳細は次頁以降の発表スライドを参照頂きたい。

\*1: 共同研究：東北大惑星プラズマ・大気研究センター(PPARC)では公募制共同研究“PPARC 共同研究”を実施しており、IPRT 他、本センターの観測設備を活用した研究等を毎年度末申請〆切で公募している。皆様からの更なる共同研究や低周波数帯での共同電波観測提案をお待ちしている。

※PPARC 共同研究 URL : <http://pparc.gp.tohoku.ac.jp/research/collaboration/>

# 低周波 太陽・惑星 電波観測に向けた準備状況

三澤浩昭<sup>1</sup>, 土屋史紀<sup>1</sup>, 北元<sup>2</sup>, 桑山陽次<sup>1</sup>, 小林秀行<sup>3</sup>  
(1:東北大・理, 2:東北工大・工, 3:国立天文台)



# 低周波電波観測によるサイエンス・ターゲット1: 太陽

1. 対象: 太陽...高エネルギー粒子(SEP)関連粒子電波の観測によるSEP加速過程究明~SEP予測への取組

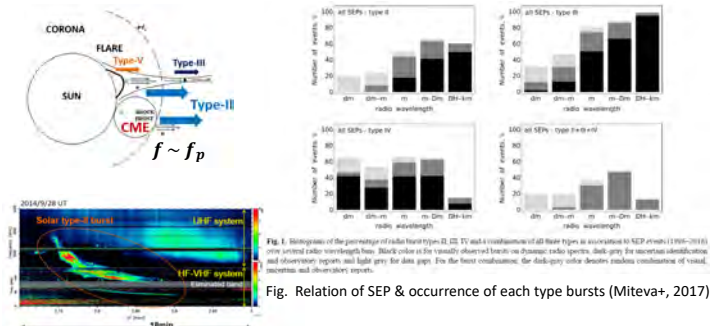


Fig. 1. Relation of SEP & occurrence of each type bursts (Miteva+, 2017)

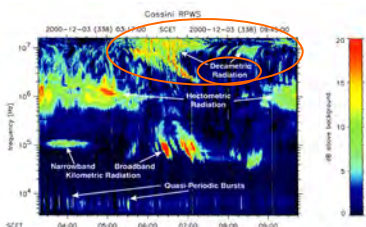
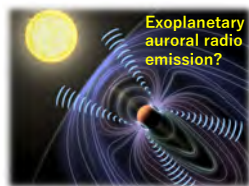
低周波数の電波バーストほどSEPと高相関  
→ SEP研究には低周波電波バーストが肝要

Fig. Example of f-t diagram of solar type II bursts (Tohoku Univ).

# 低周波電波観測によるサイエンス・ターゲット2: 惑星

2. 対象: 惑星...高感度・高角分解能電波観測による系外惑星'オーロラ'電波の同定

- ✓ 磁場強度導出 (∵  $f \sim f_{ce} \propto B$  より)
- ✓ 自転角速度情報導出 (∵ 出現確率の周期性より) ~ 内部構造 with 惑星サイズ情報 by 光学観測等)
- ✓ 大気存在推定 (∵ 'オーロラ'電波であることより)
- # 惑星電波同定後...
- ✓ (Hot Jupiter型? / 既知惑星延長型?) 磁気圏研究へ

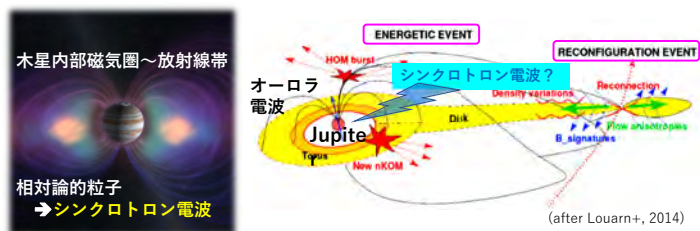


オーロラ電波はサイクロトロン放射 ( $f \sim f_{ce} \propto B$ ) で発生。  
'惑星'の範疇で、惑星スケールの天体磁場強度はそう大きくはない。  
→ 惑星磁場探索には低周波高感度電波計測が適する。

# 低周波電波観測によるサイエンス・ターゲット2: 惑星

2'. 対象: 惑星...高感度シンクロトロン電波(\*)観測による相対論的粒子変動・起源探究

- ✓ 未定の短期スケール(日オーダー)の放射線帯変動起源探究
- # 低周波数ほど(〜低エネルギーの粒子ほど)電波強度変動が大きい可能性あり。
- # 高感度イメージング観測系(〜GMRT, SKA-low, NenuFAR(仏)等)との連携観測
- 単一鏡での低周波数観測はロングレンジの時間変動情報を付与



\*:  $Power = 6 \times 10^{-22} B^2 W^2 \sin^2 \alpha$  [W]  $f_{max} = 4.8 \times B W^2 \sin^2 \alpha$  [MHz]

# 東北大学地球物理の現有電波(&光赤外)観測施設

# 東北大学地球物理 現 HF~VHF帯観測



**東北大学 地球物理  
現 UHF帯観測**

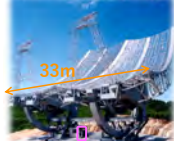
**蔵王325MHz電波望遠鏡**

- $f=325\text{MHz}$
- $Ae\sim 15\text{m}^2$



**飯館惑星電波望遠鏡:IPRT**

- Dual offset parabola ( $A=1023\text{m}^2$ )
- $f=325\text{MHz}$ , (650:立上中)・・・高感度系
- 150~500 MHz・・・高分解系
- ( $\rightarrow 100\sim 700\text{MHz}$ へ拡張予定)



● 高度系故障@2022.7 停止中  
→ 再開予定@2024春

**太陽** 主観測ターゲット：  
高分解スペクトル解析  
による粒子加速過程究明

150~500MHz AMATERAS Solar Radio Spectra  
Solar type-f bursts (Iwai+ 2013)

PPARC共同研究

**木星** 主観測ターゲット：  
高自由度のマシナタイム  
系外天体 活用下での突発天体&  
変動天体特性探査

放射線帯からの放射分布  
@610MHz (Kita+ 2015)

主観測ターゲット：  
高感度観測による放射線帯  
粒子生成・変動過程究明

Total flux obs. by IPRT  
@325MHz

Crab pulsar特性探査(三上 他, 2016)  
実時間pulsar特性探査計画(木坂・寺澤  
他, 2022-)

木星放射線帯電波の短期変動(土屋 他, 2011)

**近未来：“低周波数(HF~VHF(~UHF))高感度観測”  
with large radio obs. systems (SKA Low etc.)**

東北大: 新 feed 東北大: 新array  
● 100~700MHz (Pyramidal sinusoidal feed especially for IPRT) P49桑山他 ● ~2000m<sup>2</sup> ● 20~85MHz (LWA shape feed)

HF-UHF高感度化計画 (& 試作)

● “低周波・高感度”への拡張  
[ターゲット: 太陽系内]  
惑星: 高エネルギー現象/変動  
雷 擾乱活動の探査  
衛星: 地下海 - Radar試行・・・  
[ターゲット: 太陽系外]  
系外惑星: 検出 + 電磁環境  
高エネルギー天体 etc.

Joint res. in future (Under consideration)  
NenuFAR (Fr) @10~85MHz  
( $Ae\sim 25000\text{m}^2$ @50MHz)

SKA-Low @ 50MHz~  
after 2029~

Expected radiation from exoplanets

Lightning activities at planets?

Exoplanetary auroral radio emission?

Planetary high-E part. rad.  
(particle model: Garrett+2005)

木星探査支援

**近未来：“低周波数高感度VLBI”  
with Asia-Oceania partners**

● “低周波・高感度”への拡張

- # 地球・惑星科学研究視点
- [ターゲット: 太陽系内]
- 氷衛星: 氷層・地下海環境
- passive radar試行・・・
- [ターゲット: 太陽系外]
- 系外惑星: 検出(主星との分別)
- + 電磁環境探査

PPARC共同研究

GMRT ● 45m $\times$ 30 ● 201~242.5MHz (in ~2025)

IPRT ● ~1000m<sup>2</sup> ● 150~500, 325MHz ● 100~700MHz (in ~2025)

MWA ● 2048 dual-polarization dipoles (~2000m<sup>2</sup>) ● 70~300MHz (in ~2025)

New array ● ~2000m<sup>2</sup> ● 20~85MHz (in ~2025)

低周波数VLBI w/litate, Zao  
→ P44 北他

国際VLBI観測  
litate-GMRT(2024)  
→ w/NAOJ,JAXA

課題: 電離層揺らぎ・・・VLBI評価観測 by Zao-litate  
@325MHz from 2021 秋 → P44 北他

**On Going: HF~VHF系 高感度化**

● HF~VHF 20~85(100)MHz:

- now: Multiple log-peri.
- next: Array system (plan in ~2025-)

#easier maintenance & wider area at higher freq.

広帯域化・高感度化による

- ✓ 高精細太陽電波スペクトル解析
- ✓ 国際連携高感度系外天体VLBI観測 ex. with MWA, SKA-low etc.

**On Going: VHF~UHF系 低周波&高開口効率化**

- VHF~UHF wider-band feed
- now: 150~500MHz & 325/650MHz feeds
- next: 100~700MHz feed

現行: 平面リフレクタ付1素子ビックアップ

広帯域化・高感度化による

- ✓ 高精細太陽電波スペクトル解析
- ✓ 国際連携高感度系外天体VLBI観測 ex. with GMRT, MWA, SKA-low etc.
- # Trial obs. w/GMRT in 2024.

平面リフレクタ付 Inverted Pyramidal Sinusoidal antenna (plan)  
・・・ under design w/Feko

**まとめ: 将来の低周波電波観測に向けた準備状況**

- 低周波数電波観測によるSTP分野のサイエンス・ターゲット例
    - ・太陽電波( $f\sim f_p$ ): 高感度観測によるSEP関連電波計測・・・SEPの起源・早期警戒
    - ・系内・外惑星電波( $f\sim f_p, f_{\text{synchrotron}}$ ): 高感度・高空間分解観測による系外惑星磁場・電磁環境探査 系内惑星高エネルギー粒子環境・変動探査
  - 東北大の低周波数電波観測の現況・近未来
    - ・HF~VHF帯: ログペリ・アンテナ → Array (現行6基) → 評価開始: N基 Array
    - ・UHF帯: 飯館惑星電波アンテナ(IPRT), 蔵王325MHz帯用アンテナ
      - 飯館: 故障@2022.7・・・復旧予定@2024夏, @325,(650) & 150~500 MHz
      - 蔵王: VLBI計測他で運用中, @325MHz
      - 飯館-蔵王: VLBI試験観測(P44 北+): 他, 飯館-豊川, 飯館(+蔵王)-Ooty
      - 開発開始: IPRT 100~700MHz feed (P49 桑山+ ... → post IPRT: Array?)
- “PPARC共同研究”への参画、観測研究の議論/検討への参加もお待ちしています。