

太陽系内天体と系外惑星の 高感度低周波電波観測

土屋史紀、三澤浩昭、熊本篤志、笠羽康正、木村智樹(東北大)、北元(ISAS)、
青木翔平(IASB)、寺澤敏夫(国立天文台)、岳藤一宏(NICT)、榎戸輝揚(京都大学)、
岩井一正(名古屋大)、久保勇樹(NICT)

東北大学における非熱的電波源観測

飯舘惑星電波望遠鏡 (litate planetary radio telescope: IPRT)

<http://pparc.gp.tohoku.ac.jp/data/iprt/>

非対称オフセットパラボラ (16.5m x 32m x 2式)

開口面積 1023 m²

観測周波数

- ・ 325MHz ($\Delta f=10\text{MHz}$, $T_{\text{sys}}=150\text{K}$) パワーメータ・K5/VSSP32
- ・ 650MHz (開発中, 785MHzの更新)
- ・ 150-500MHz (広帯域偏波スペクトル計) デジタル分光器

観測対象：木星シンクロトロン放射、太陽電波バースト
惑星雷起源電波探査、月熱的放射



HF帯偏波スペクトル計 (スペクトル計・干渉計)

<http://ariel.gp.tohoku.ac.jp/jupiter/>

クロス八木アンテナ (4局・長距離干渉計)

クロスログペリアンテナ (10基・短基線干渉計)

観測周波数 15-40MHz 掃引型受信機・波形受信機

観測対象：木星デカメータ放射、銀河電波、太陽電波バースト



PPARC共同研究

<http://pparc.gp.tohoku.ac.jp/collaboration.html>

パルサー：寺澤、榎戸、岳藤他

FRB探査：岳藤他 太陽電波・宇宙天気：久保他

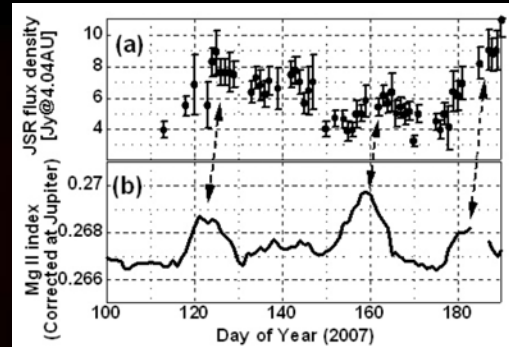


木星シンクロトロン放射

- ・放射線帯形成(相対論的電子加速)・変動
- ・大気-磁気圏/衛星-プラズマ相互作用



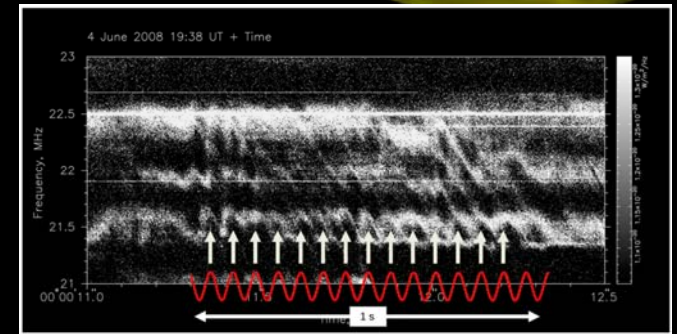
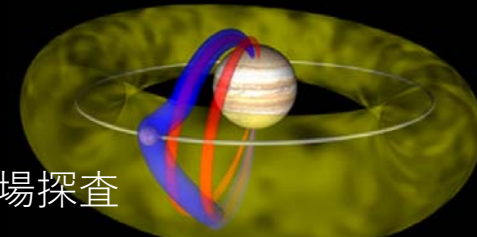
GMRT Kita+2015



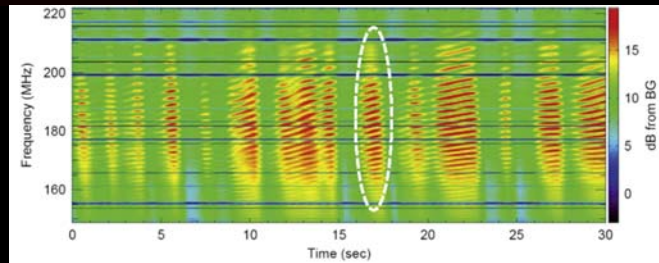
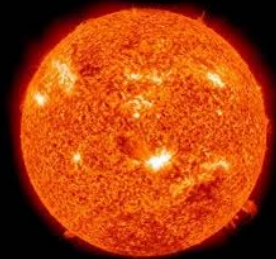
Tsuchiya+2011

木星デカメータ放射

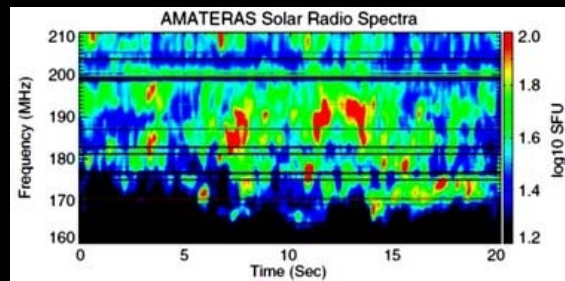
- ・オーロラ領域での電子加速
- ・衛星-磁場相互作用
- ・惑星電離大気構造・惑星磁場探査
- ・惑星自転周期



Koshida+2010



Kaneda+2015

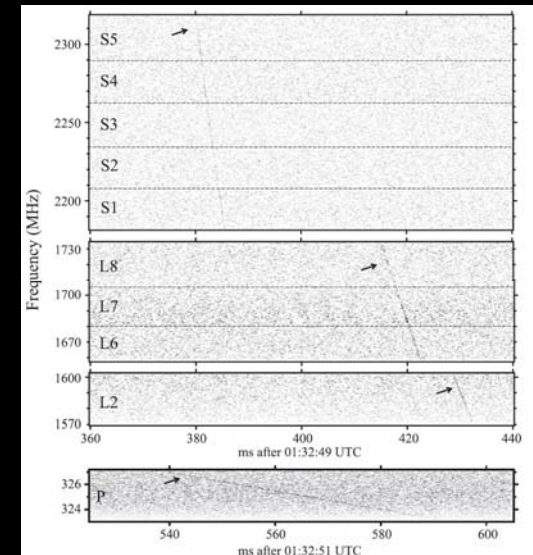


Iwai+2013



パルサー

- ・DM測定
- ・Giant pulse
- ・スペクトル観測



Mikami+2016

太陽電波バースト・微細構造

- ・コロナでの非熱定電子加速
- ・コロナ磁場・プラズマ診断
- ・電波放射・伝搬過程
- ・宇宙天気

SKAで期待される観測(太陽系内天体・系外惑星)

(1)木星シンクロトロン放射

磁気圏イメージング
 $10^{-4}\text{Jy}/2\text{arcsec beam}$

(2)惑星雷起源電波

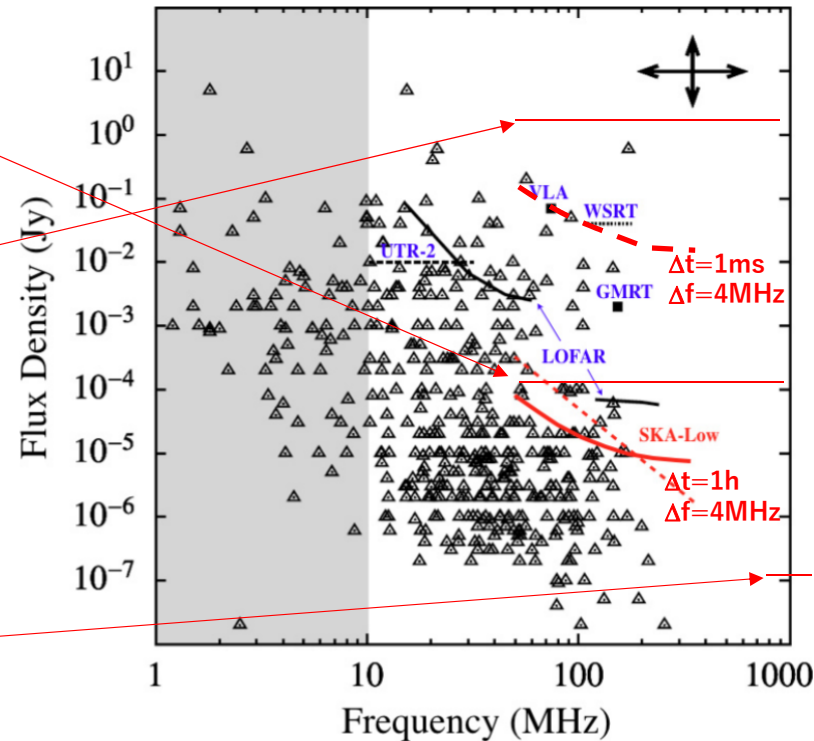
火星 (金星・土星)
 $\sim 10\text{Jy}$

(4) Askaryan効果

- ・ 月 UHE cosmic ray (Bray+2014)
- ・ 氷衛星氷殻探査(Shoji+2011)
 $10^6\text{Jy}@200\text{km}$
($0.1\ \mu\text{Jy}@\text{Earth}$) \rightarrow 探査機サイエンス

(5)太陽電波バースト

- (Nakariakov+2014)
- ・ 電波源トラッキング



(3)系外惑星同定

- (Zarka+2014)
- ・ 磁場強度(内部構造)
 - ・ 自転周期
 - ・ 恒星風活動
 - ・ 惑星電離大気

Figure 7: Predicted maximum emission frequency and expected radio flux for known exoplanets (in 2011, indicated by triangle symbols) for a rotation-independent planetary magnetic field and the scaling law of Fig. 2. The approximate sensitivity of several instruments is shown (for 1 h of integration time and a bandwidth of 4 MHz, or an equivalent combination). Confusion limit for SKA1-LOW is indicated by the dashed red line. Frequencies below 10 MHz are not observable from the ground (ionospheric cutoff). Adapted from (Griessmeier et al. 2011).

(Zarka+2014)

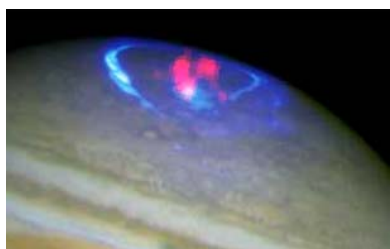
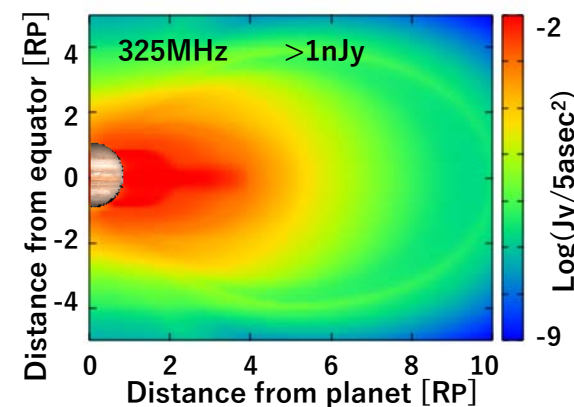
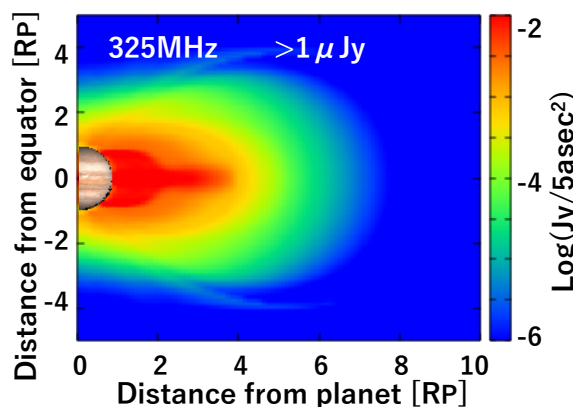
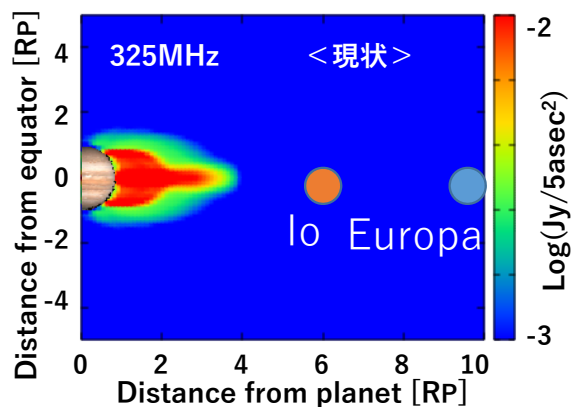
(1)木星シンクロトロン放射：磁気圏イメージング

高感度＋低周波：磁気圏のイメージングが可能

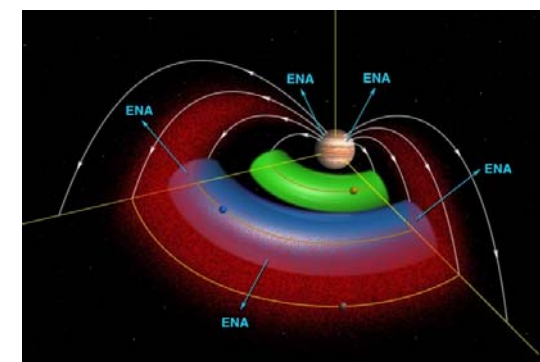
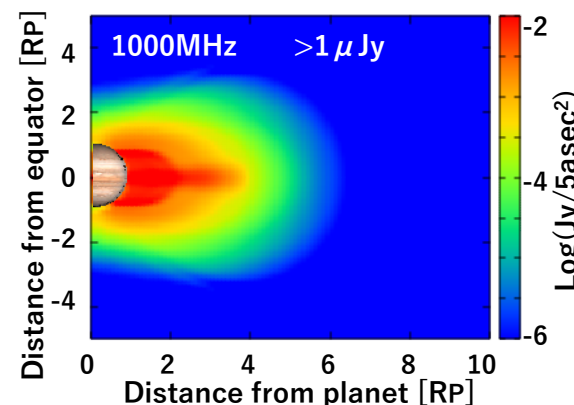
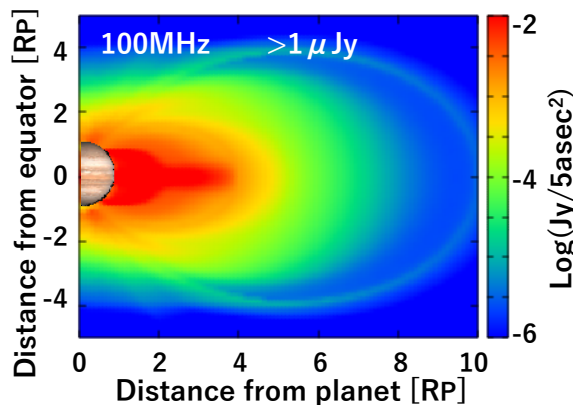
磁気圏内での相対論的エネルギー電子加速・消失・輸送過程

- ・衛星(エウロパ・イオ・アマルシア等) での吸収過程
- ・「惑星フレア」に伴う相対論的電子加速

粒子モデル：Garrett+2005



Gladstone+,Clarke +



Mauk+2004

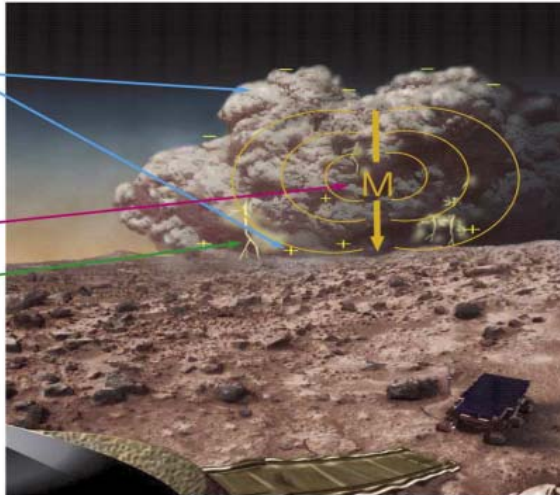
(2) 惑星大気放電現象：火星（金星・土星）

大気中の放電現象の重要性

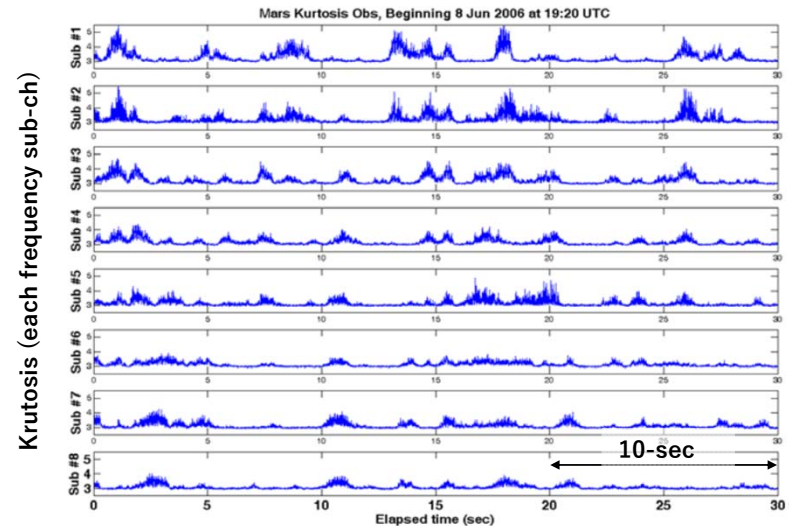
- 大気化学反応（ラジカル・有機物の生成）
- 火星：ダストストーム(**ongoing**)・ダストデビルに伴う放電現象(Ruf+2009)
- 土星・金星・(木星)：惑星大気対流圏の鉛直対流活動

THE ELECTRIC DUST DEVIL

- Triboelectric interactions: Lighter grains (-) charged, Heavy Grains (+) charged [Ette, 1971]
- Light Grains blown upward in convective process - charge separation
- Create Electric Dipole Moment, M , and Dipolar Electric field
- Swirling grains = Change in Moment (dM/dt)
- Terrestrial Devils we see:
 - DC E-fields from M
 - Radio emission from dM/dt
 - Induced Potentials on Surfaces



(Farrell+ 2004)



Krutosis of radio signal coming from Mars direction during the dust storm on Jun 2006 (Ruf+2009). Intensity seems to be a few tens Jy.

火星での放電現象起源電波の報告：単一鏡観測・1例のみRuf+2009 (8GHz).

追試観測では未検出 (Anderson+2011)

継続時間が短い:集光力が本質的に重要/空間分布・RFIとの分離：干渉計

期待される電波強度：数10Jy

(3)系外惑星検出

非熱的惑星電波(オーロラ電波)：固有磁場・大気を持つ惑星共通に存在

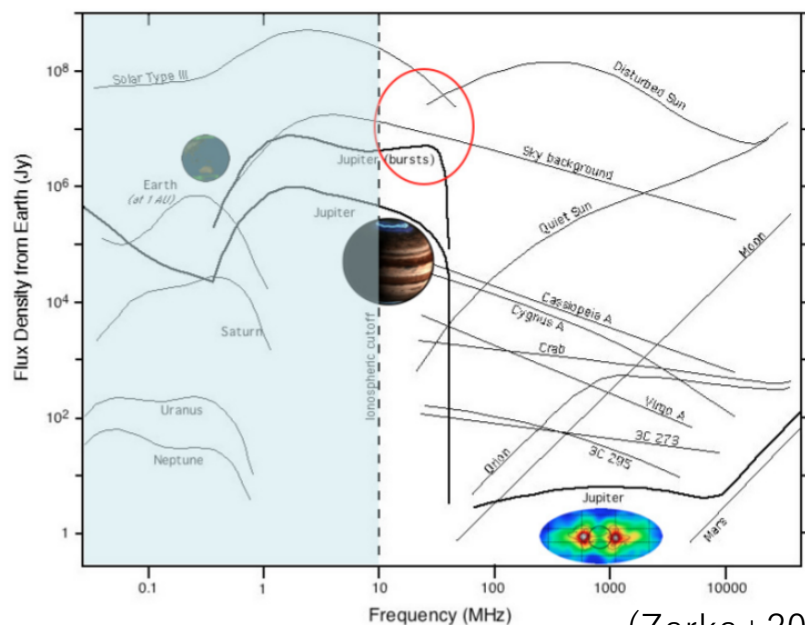
サイクロトロン共鳴による強い放射（放射周波数：電子サイクロトロン周波数）・高コントラスト

惑星磁場強度・惑星自転周期・恒星風の変動

惑星の内部構造・生命のハビタビリティの議論に本質的な情報

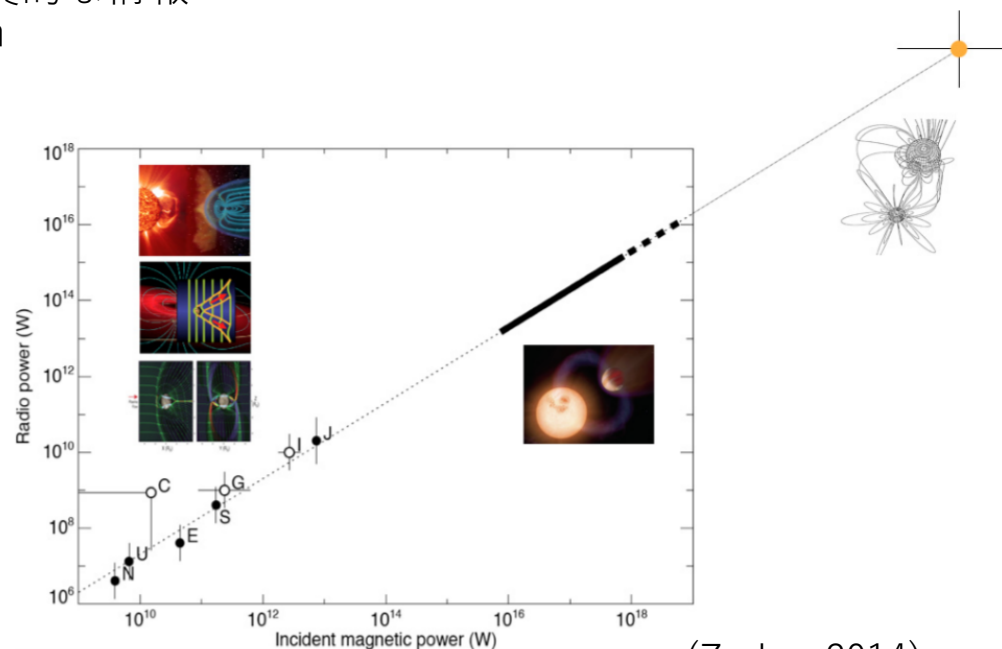
現状：VLA,GMRT,LOFAR：on going, but no detection

SKA1-LOW感度：LOFARに対し10-30倍向上



(Zarka+2014)

Figure 1: Spectra of astronomical radiosources detected from the Earth's vicinity. Auroral planetary spectra lie below the Earth's ionospheric cutoff, except Jupiter's decametric (CMI, auroral and Io-induced) and metric-decimetric (synchrotron) emissions. Normalized to the same observer distance of 1 AU, Jupiter's spectrum must be upscaled by $\times 20$, Saturn's by $\times 100$, Uranus' by $\times 400$, and Neptune's by $\times 900$, so that all are grouped within 2-3 orders of magnitude.

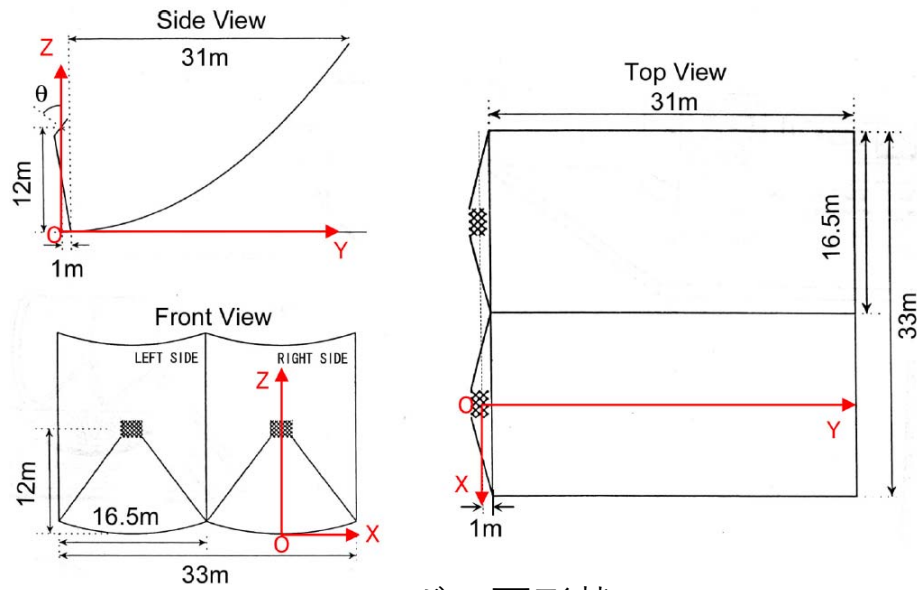
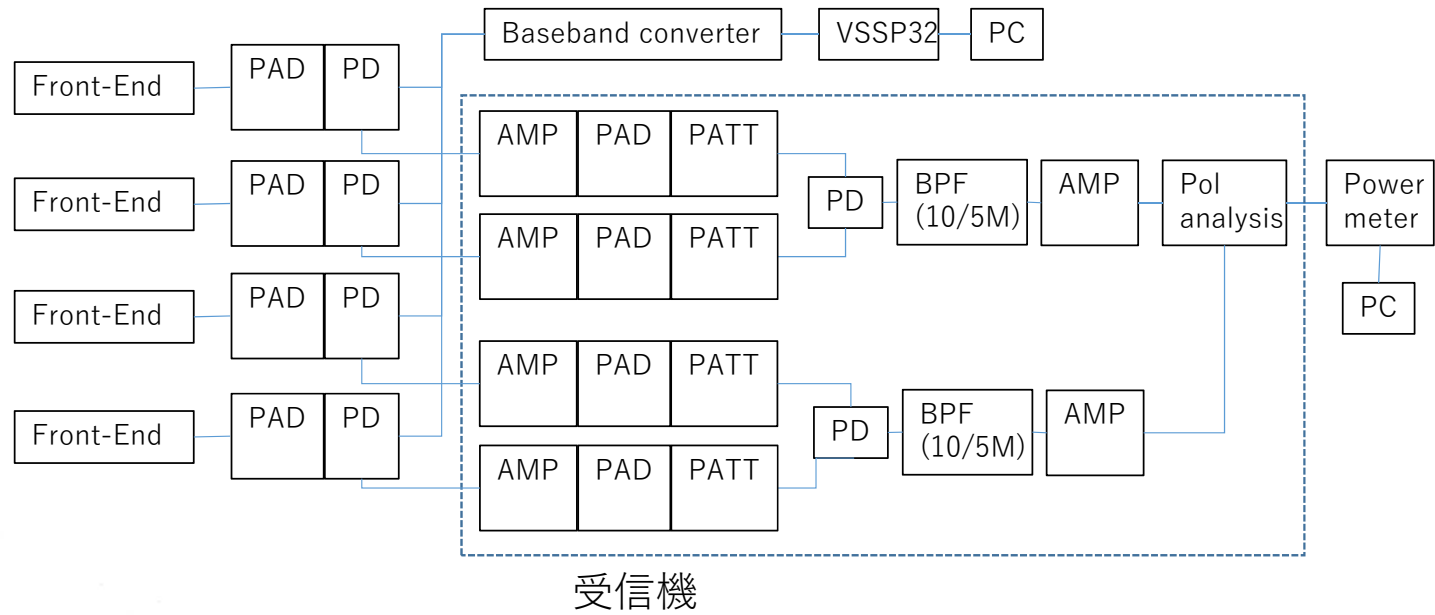


(Zarka+2014)

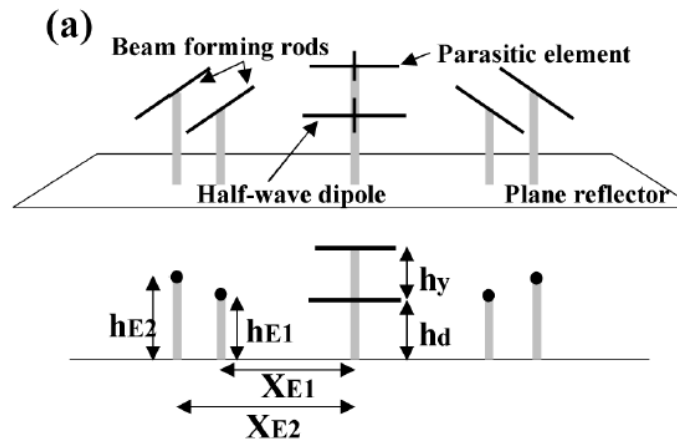
Figure 2: Scaling law relating magnetospheric (Earth, Jupiter, Saturn, Uranus and Neptune) and satellite-induced (Io, Ganymede, Callisto) average radio power to incident Poynting flux of the plasma flow on the obstacle. Dashed line has slope 1, emphasizing the proportionality between ordinates and abscissae, with a coefficient $\sim 2 \times 10^{-3}$. Note that planetary radio bursts can reach $10\times$ (resp. $100\times$) the average value $\sim 10\%$ (resp. $\sim 1\%$) of the time. The thick bar extrapolates to hot Jupiters the magnetospheric interaction (solid) and satellite-planet electrodynamic interactions (dashed). The orange dot illustrates the case of the RS CVn magnetic binary V711 τ discussed in the text. Insets sketch the types of interaction.

IPRT概要

Antenna type	Asymmetric offset parabola
Aperture size	31m(D)x16.5m(L)x2set
Focal length	12m (F/D=0.39)
Reflector surface	Stainless mesh (20mm pitch, 9mm RMS)
Feed system	Half wave dipole
Steerable range	EL : 22-100deg AZ : -270-270deg



パラボラ面形状



焦点部

