

みんなでふたたび木星へ、そして氷衛星へ その11 ～電波・プラズマ波動観測器RPWI from 打ち上げ (2023) toward 月・地球フライバイ (2024)～

笠羽 康正¹, 土屋 史紀¹, 三澤 浩昭¹, 北 元², 安田 陸人¹, 加藤 雄人¹, 熊本 篤志¹, 木村 智樹³, 三好 由純⁴, 笠原 禎也⁵, 松田 昇也⁵, 八木谷 聡⁵, 尾崎 光紀⁵, 小嶋 浩嗣⁶, 栗田 怜⁶, Baptiste Cecconi⁷, Jan-Erik Wahlund⁸, JUICE-RPWI日本チーム

(概要) ESA木星探査機JUICEに搭載される電波・プラズマ波動観測器RPWIは、2023年4月14日の打ち上げ後、伸展物の展開に取り掛かった。RIMEアンテナのトラブルで待たされたものの、JpGU 2023期間中にすべての展開に成功。とはいえ、この直後から探査機ノイズに悩まされる日々が始まる。その結果、ノイズ対策を施したオンボードソフトウェアをアップロードし、2024年8月の月・地球フライバイへ向かうこととなった。2031年の木星系到達前の「分厚い大気を持たない天体」への接近観測として唯一無二の機会となった月フライバイを含め、各種機能の検証と問題抽出を行った後、JUICEは2025年の金星フライバイ（観測は無い予定）へ向かいつつある。JUICERPWI日本チームが担う高周波電波受信部の基本機能検証を中心に、2023～2024年の諸活動を振り返る。

1. アンテナ伸展への挑戦: 2023年4-5月

2026年末の周回軌道投入を目指して巡航中の日欧共同水星探査機BepiColombo、木星・氷衛星探査機JUICEは、これに続く欧州宇宙機関(ESA)の最大級(L-Class) ミッションである。2031年に木星系に到着し、2034年にガニメデを巡る初の氷衛星周回探査を予定する。

この探査機に搭載される電波・プラズマ波動観測器RPWI (Radio and Plasma Wave Instruments) は、3種のセンサー群が3つのレシーバー群に結合される複雑なシステムである [1]。木星と氷衛星群が

放つ低周波から40 MHzに至る電磁波動と氷衛星を包む電離大気を捉えるべく、そのセンサー群は、4本のLangmuirプローブ用LPブーム(3-m長)、そしてJMAG(磁場チーム) センサー3つにRPWIの3軸の磁場サーチコイル(SCM)と3軸の電場アンテナ(RWI)が相乗りするMAGブーム(10.5-m長)によって、冷たく高エネルギー放射線にさらされる過酷な探査機外の空間へ暴露される(図1)。日本側が担当した高周波受信部は、木星周回軌道に初投入される3軸電波アンテナRWIに高周波受信機HFが結合したもので、これによって木星・衛星周回軌道初となる電波の方向探知・偏波観測機能、および氷衛星の電離大気と表層・地下構造を探索するパッシブ表層・地下探査レーダー機能を担う。これらのサイエンス目的などについて遊星人の記事として2016年にまとめたものがあるので、ご参照頂きたい [2]。

伸展物は、真空下での固体表面間の固着や極端な高・低温環境を避けるため、打ち上げから短い時間経過後に展開することが通例である（水星到着後にこれらを行うBepiColombo/Mioはこの点で高リスク。惑星到達後の子機や着陸機の分離に通じる問

1. 東北大学

2. 東北工業大学

3. 東京理科大学

4. 名古屋大学

5. 金沢大学

6. 京都大学

7. LESIA, Obs. de Paris, France

8. IRF-Uppsala, Sweden

kasaba.y@tohoku.ac.jp

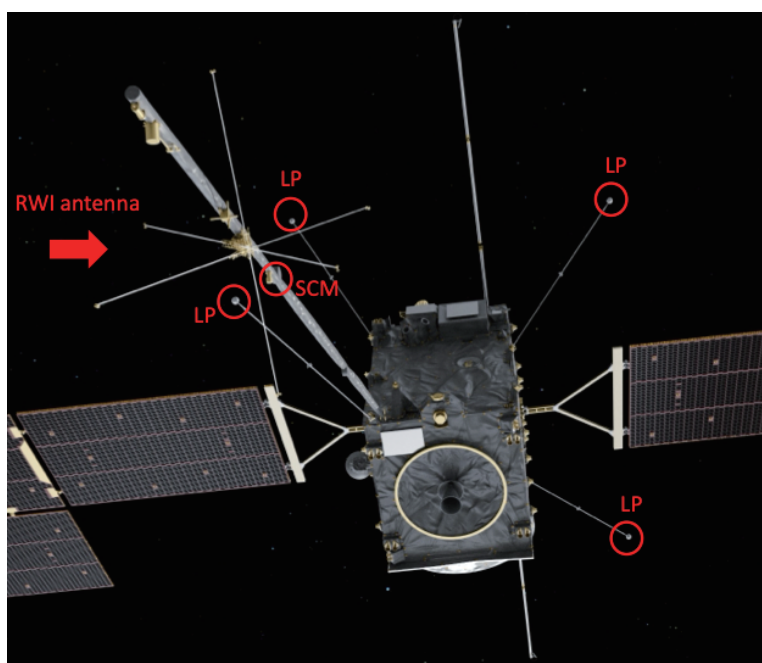


図1:JUICE探査機とRPWIの伸展センサー群. 3-m長のLP boom(LP-PWI)x4, および10.5-m長のMAG boom(RWI, SCM, および3つのJMAGセンサー)からなる. RWIは1.25-m x 6, 3ペアのダイポールアンテナを擁する. 左右に伸びる太陽電池パネル, 上下に伸びる8.3-m x 2のRIMEアンテナも見える.

題). JUICEでは, 巨大な太陽電池パネル, 氷衛星探査用アクティブレーダー RIME (Radar for Icy Moon Exploration) の8.3-mアンテナ2本(ペアで16-mトータル), そしてJMAGおよびRPWIのアンテナ群の伸展が予定された.

天候理由で一日順延となったものの, JUICEは2023年4月14日に打ち上げられ, Arian Vロケットからの分離後に太陽電池パネルを速やかに伸展し, 次いで探査機バスシステムの初動確認にも成功. 打ち上げから6~8日目の4月19~21日には, 予定よりも前倒しでRPWIの初動電気試験が行われた. レシーバー系を含む電気系統はその健全性を示し, 堂々とセンサーの全伸展へと向かえることとなった. JUICE-RPWIチームは大学メンバー主体で, 講義期間が始まったため南米Kourouでの打ち上げには現地参加しなかったものの, 手ぐすねを引いて伸展運用への対応を準備してきた.

ところが, 伸展は順延されることになる. RPWIの初動電気試験が予定よりも前倒し実施となったのは, その直前の4月17日に実施されたRIMEアン

テナの伸展が不調だったためであった [3]. 探査機モニターカメラの視野内とはいえ原因は即わかるべくもなかったが, 「伸展にあたって抜ける必要があるピンが動かないまま」と推定された. 燃料噴射の加速によって探査機を揺らす, 探査機の姿勢を変えて日照により加温する, といった試行錯誤が続く. RIMEは9 MHz帯のレーダーによって氷衛星の表層および氷地殻(深さ ~9 kmまで)の探査を狙う機器だが, これが動作しない状態で木星に向かう可能性が浮上したことになる. サイエンスダメージとともに, RPWI・JMAGのアンテナ伸展後に突如RIMEアンテナが伸展することも視野に入れる必要がでる(確認はとられ, 幸いRIMEアンテナが何かへぶつかって損傷を起こすことはない, とされた). 伸展物は怖い……. 幸い, 3週間以上の試行錯誤を経て, ついにRIMEアンテナの伸展に成功 [4]. 粘り強く成功へたどり着いたESAとRIME関係者には, さすがというほかない.

こうして我々の伸展運用は, 打ち上げから一月以上経過した5月22~25日, すなわち日本地球惑星科

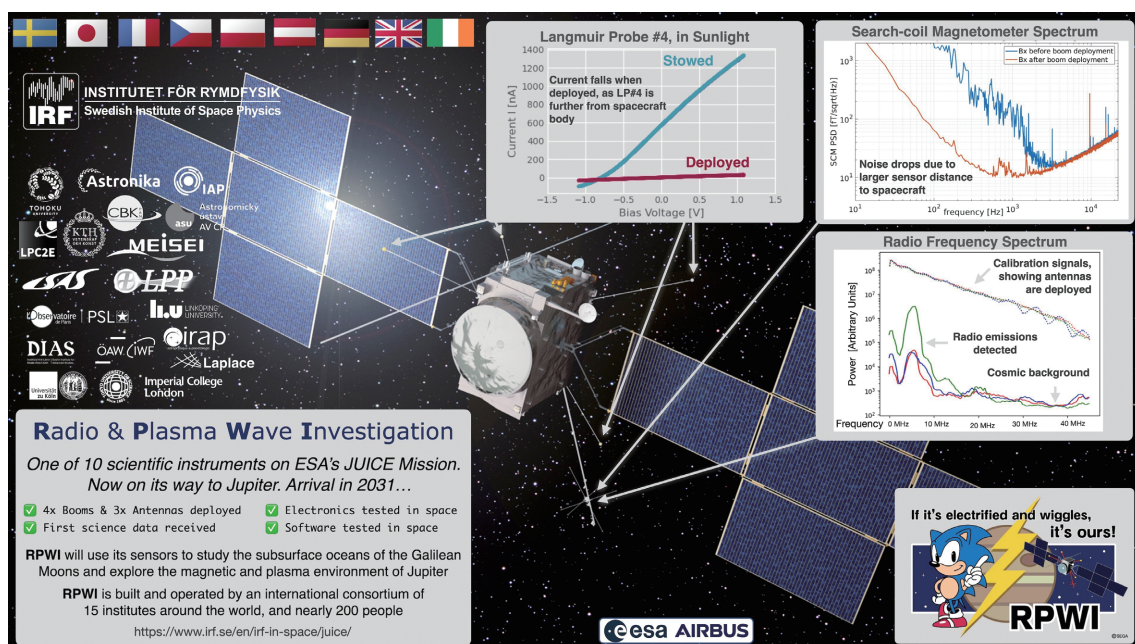


図2:RPWIチームの伸展運用成功をアナウンスしたプレスリリース(RPWI)。右欄中段に、伸展後に見えるようになったRWIアンテナで観測された80 kHz – 45 MHzの電波強度を示す。右下は、SEGAのご協力を得て作成されたRPWIチームロゴ。

学連合 (JpGU) 2023(2023年5月21～26日)の真っ最中となった。我々の企画である外惑星セッション PS-01「Outer Solar System Exploration Today and Tomorrow」は5月25日。私の「RPWI初期運用の講演」は09:30である。5月22日にMAG-BOOMが伸展。5月23日にMAG-BOOM上のRPWI電波アンテナ(RWI)が持つ1.25-m x 6本(3ペア)のアンテナ伸展、5月24～26日に3-m x 4本のLangmuir Probeの伸展が、それぞれ慎重に行われた。幸い、すべての伸展が円滑に終了 [5]。私の5月25日講演は、奇しくも最速の報告機会となった。こうしてJUICEは全ての羽を広げ、木星へと羽ばたく。

2. 探査機起因ノイズとの闘い: 2023年6月～

この高揚感はすぐ暗転した。図2はRPWIのpress release用に作成したもので、右欄中段にはRWIの伸展直後に受かるようになった80 kHz～45 MHzの電波強度も示されている。伸展前のアンテナは接地されており、外界の信号は全く受からなかつ

た。伸展によって強い電波が数MHz帯に現れ「無事、伸展!」と喜んだのだが・・・え?直後に行ったJpGU2023講演では明確に述べなかったが、すぐに疑問は浮かぶ。「この周波数で常時受信されるような自然電波は、存在しないのでは?地球からはすでに遠い上に、この周波数帯は地球のオーロラ電波(<1 MHz)より高い。太陽電波ならありえるが、フレア時にしか存在しないし、もっと広帯域だぞ?」

調査のため6～7月に追加運用が行われ、残念ながら、これらが「探査機が放つ電波ノイズ」であることが判明した。JUICEは木星周回軌道で十分な電力を確保するため、トータル85 m² (シングルのテニスコート半面に匹敵)、全幅25-mに達する太陽電池パネルを持つ。これをフル展開した地上電気試験は存在しえなかった。改めて地上試験データを見直したものの、電磁干渉試験で3-9 MHz帯に若干のノイズがみえていたがRWIのノイズフロアを若干上回る程度。これがフル伸展されると、巨大な導体でもある太陽電池パネルは、周波数6 MHz(波長50-m)の電波にとって「半波長アンテナ」となりうる。不幸にして宇宙空間におけるJUICEは、この周波数帯の電波

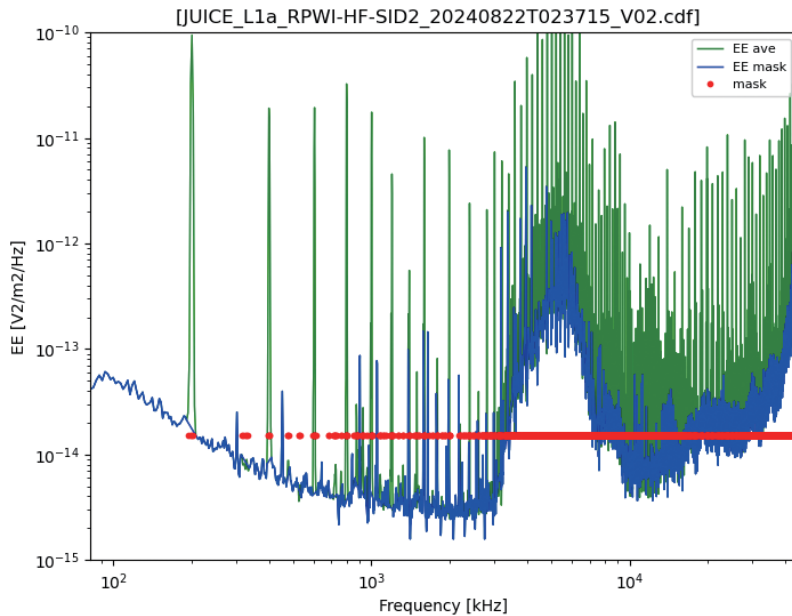


図3: 試験(RAW)モードで得たRPWI HFの高周波電波スペクトル。縦軸は校正に依存する暫定値。緑線は実測で、200 kHzとその高調波ノイズおよび3-9 MHzの広帯域ノイズがみえる。前者をマスク周波数(赤点)で除去する機能を月・地球フライバイ前に実装した。マスクオン時には青線が実質ノイズレベルとなりうる。

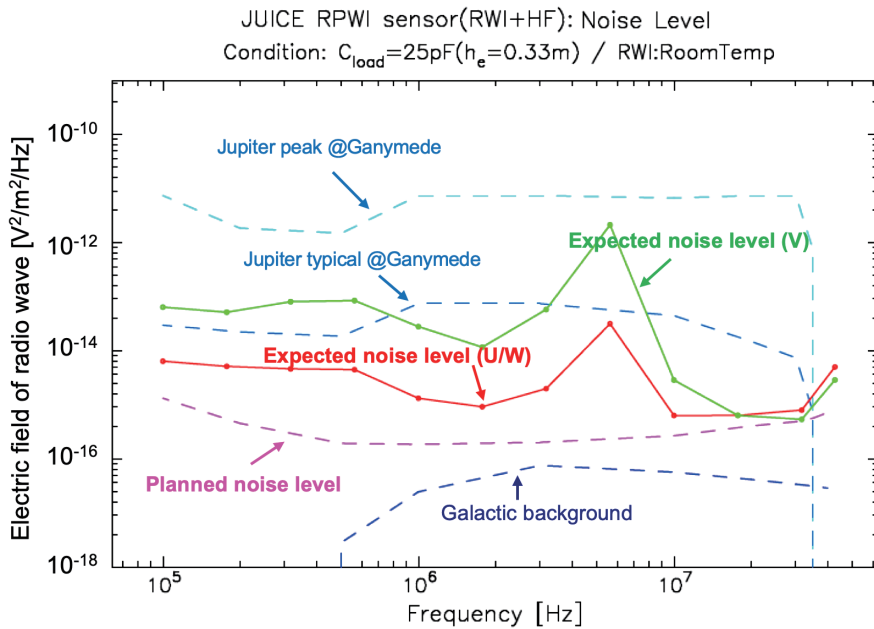


図4: 木星軌道上での定常観測モードにおける暫定想定感度。当初想定(“Planned”)には届かないが、高調波ノイズを除いて改善すると、3-9 MHzの広帯域ノイズ帯を除けばガリレオ衛星近傍で典型的な木星電波受信が可能な見通しとなる。3本のアンテナのうち1本はノイズがより大きい。この図は校正の進展後に再評価する。



図5:JUICE 月・地球フライバイの軌道模式図 (ESA)[6].

を効率よく放射する巨大なアンテナとなることがわかってきた。

この詳細調査のため、テレメトリを馬鹿食いするため普段は使えない最高周波数分解能(2.3 kHz)を引き出せる「試験データ取得 (RAW) モード」を動員した。得られた周波数スペクトルを図3に示す。緑線が実測で、基本周波数200 kHzの高調波からなるラインノイズが数十MHz帯まで及び、さらに3-9 MHzの広帯域ノイズが載る。「200 kHz」は探査機内電源の作動周波数に起因するものである。1つ1つは狭帯域だが、より低レートの「通常観測モード」では周波数平均を課するため高調波群によって全周波数域でノイズフロアが上昇してしまう(図4)。また3-9 MHz帯はもっとも高感度に設定されていた周波数でもある。木星の南北極域上空から出る強いオーロラ電波の周波数域で、RPWIはこの定常観測によって磁気圏トータル活動度のモニターを行うとともに、この強力な電波の掩蔽を用いた氷衛星の「電離大気密度のリモート観測」、さらに反射を用いた「氷地殻のパッシブレーダー観測」を想定しており、非常に痛い問題である。7.5-10.5 MHzはRIMEのレーダー観測周波数帯でもあり、RIMEにとっても問題となる。

幸い、200 kHzノイズとその高調波は、幅が数kHzと狭く、周波数も十分安定であった。間の周波数でもノイズは上昇しており本来性能には至らないものの、高調波を除けばより低ノイズは達成しうる。ここまでの「被害」は想定していなかったが、特定周波数群をマスクして取り除く機能は予めソフトウェア的に実装可能な設計としてあった。これをフルに活

かせば、図3の青線まで実効ノイズレベルを下げる見込みはあるということになる。この対策を施したオンボードソフトウェアVer.2は、8～12月にかけて地上に残されたフライトスペア系などを使って機能確認された後、2024年1月に探査機へアップロード。探査機上での実働試験の機会は、2024年7月に行われた月・地球フライバイの手順確認運用でようやく巡ってきたが、3-9 MHzの広帯域ノイズ帯の外側ではある程度のダメージ抑制、広帯域ノイズ帯でも若干の改善を確認した。この機能はまだ仕様調整中でもあり、そもそも完全解決に至りうるものでもない。とはいえ、広帯域ノイズ帯の外側でのサイエンス、また広帯域ノイズ帯でも高活動度の際には木星電波活動の観測が可能な見通しである。この状態で、2024年8月の月・地球フライバイによるJUICE初の「惑星・衛星の電波観測試験」を迎える。

3. 月・地球フライバイ: 2024年8-9月

JUICEは2023年4月の打ち上げ後、地球とはほぼ並走する軌道を描いていたが、2024年8月に月・地球へ戻ってきた。2024/8/19 21UT頃に月の夕方側、2024/8/20の22UT頃に地球の朝側を通過し、次の経由地である金星へ向かう(図5)[6]。(「史上初の月・地球連続フライバイ」という報道がなされたが、日本の火星探査機のぞみが1998年12月に月・地球連続フライバイを経て火星へ向かっている。ただし地球フライバイでおきた推力不足により、1999年10月

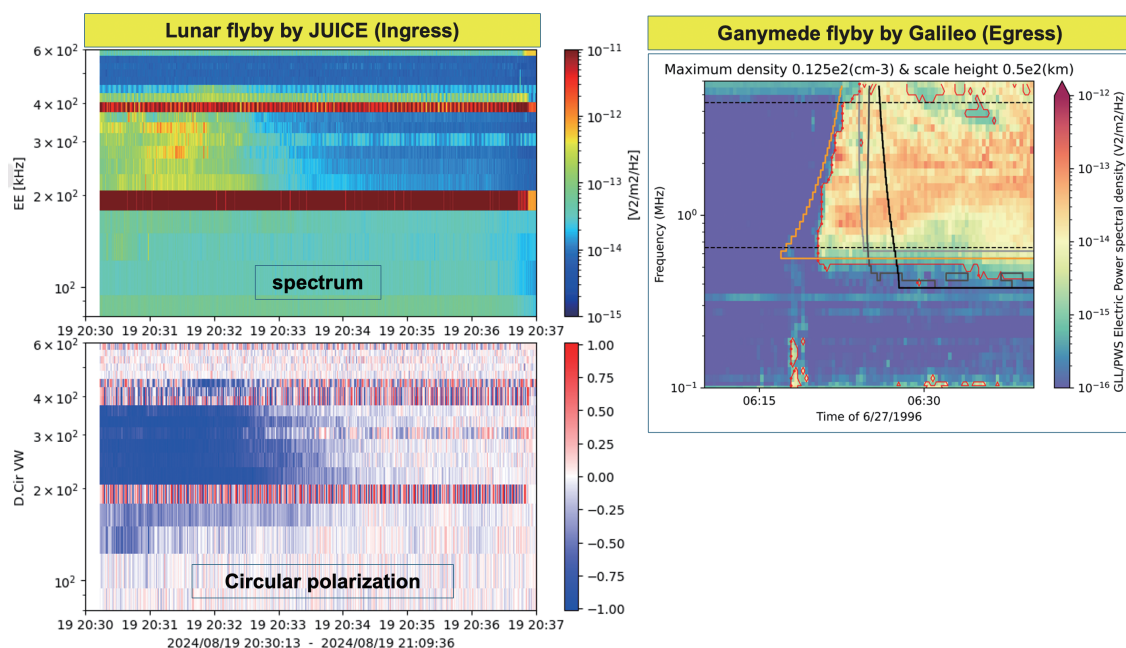


図6: JUICE月フライバイのIngressで得られた地球オーロラ電波スペクトル・円偏波度(左)とGalileo ガニメデフライバイのEgressで得られた木星オーロラ電波スペクトル(右)[8]. それぞれ月・ガニメデの本体+電離大気によって地球・木星からの電波が掩蔽され、そのタイミングから電離大気の密度分布推定を行うことができる。

の火星軌道投入ができなくなった。[7])

分厚い大気を持たない天体への次の接近は、2030年代の木星氷衛星群フライバイとなる。すなわち今回の月フライバイは「氷衛星フライバイの模擬」として最初で最後の機会であった。軌道制御要請などから、フライバイ時の観測・試験はBepiColomboで見てきた地球・金星・水星フライバイと比べると極めて保守的で限られたものの、以下、我々RPWIが実施できた内容とその結果をまとめる。

(1) 月フライバイ: 電波掩蔽による月の「電離大気」検出? ~ 電波掩蔽観測

月はほぼ満月に近く、JUICEはその夜側から接近したため、月フライバイに伴って「地球の月による掩蔽」がなされることとなった。将来の氷衛星フライバイでも「木星の氷衛星による掩蔽」が起きうる。RPWIは、この掩蔽に伴う強力な木星オーロラ電波(数百kHz~数MHz)の吸収を使って、氷衛星の電離大気を表面近傍から高高度までリモート観測する予定である。この手法は、探査機が直接アクセスで

きない低高度領域のリモセン手段として貴重なもので、米Galileo探査機による電波掩蔽観測データを使った手法検証も進めてきた[8]。ガニメデの例(図6右)では、表層からの揮発酸素に由来する密度最大数百/cc、スケールハイト数百kmの電離大気の構造を導出している。地球も、上限500-600 kHz(中波放送周波数帯の下端)の周波数帯で「オーロラキロメータ波」と呼ばれる強力な電波を北極・南極オーロラ帯の上空(高度数千km)で放っている。この掩蔽を使うことで、月フライバイは「木星-氷衛星ペア」で行う電波掩蔽観測を「地球-月ペア」で試す機会となった。

今回の月フライバイで「掩蔽観測モード」で取得したデータを図6左にしめす。8/19 20:32-20:34UTにかけ、月の本体+電離大気によって地球のオーロラ電波源が徐々に遮蔽されていく。オーロラ電波は電子のサイクロトロン運動で生成されるため円偏波を示すが、3軸アンテナを利してこの円偏波もきれいに捉えられた。地球でも木星でも、電波の偏波方向は南北で逆回りとなる。Galileoは偏波観測能力を持

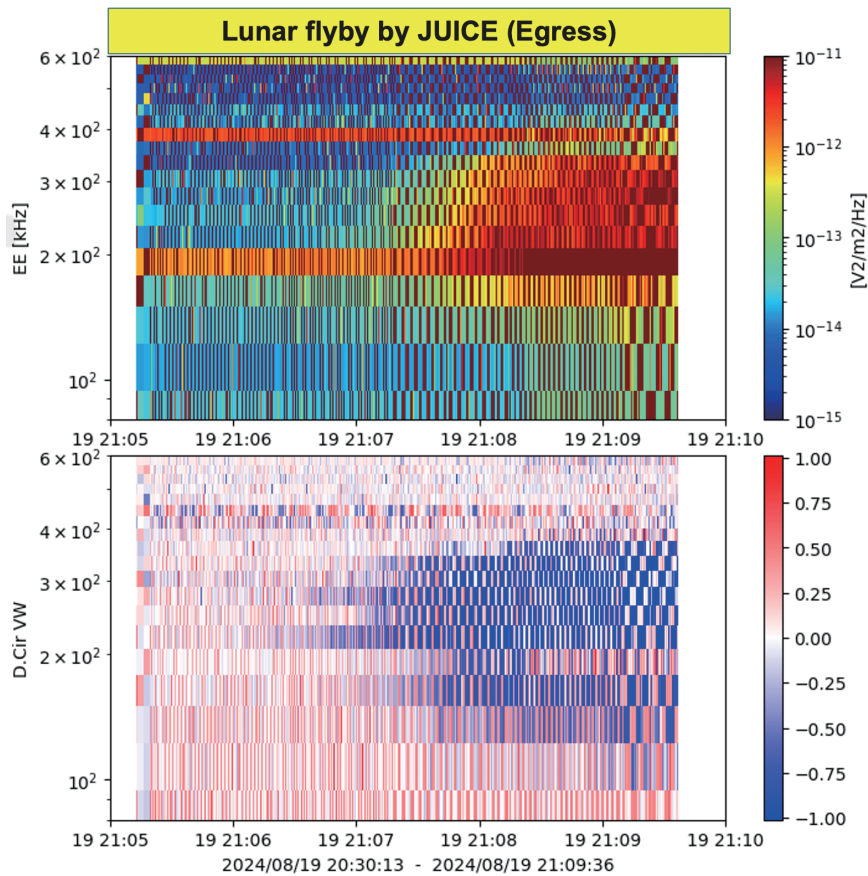


図7:JUICE月フライバイのEgressで得られた地球オーロラ電波スペクトル・円偏波度。RIMEのレーダー電波放射タイミングで障害を受けるが、図6と同程度の掩蔽判定はできそうである。

たないためこの南北分離ができず、電波源位置の不定性につながっていた。JUICEではこの問題を解消できる。偏波度は電波強度よりも掩蔽タイミングがより明瞭となるメリットもある。

表層の揮発物質がより限られる月の電離大気は、日照側でもスケールハイト20-30 km程度しかない[9]。今回の観測パスである「日夜境界域」での密度はより低いはずで、電離大気の分布は分離困難ではあった。しかし、実観測機会となる「氷衛星フライバイ時の大気観測」に向けた能力証明が明確に得られたこととなる。

(2) 月最接近：衛星表面・内部からの惑星電波反射波検出 ～パッシブレーダー観測

RIMEは、9 MHz帯の電波を放ち、氷衛星の固

体表面・地殻内部からの反射波を捉える「アクティブレーダー」である。2節で述べた探査機起因ノイズはこの能力を阻害する。このため、レーダー反射波の受信能力の検証がRIMEからの強い要請として優先された。このため、掩蔽明けから月最接近(高度約750 km)後に至る時間帯がRIMEのレーダー波送信に割り当てられ、RPWIの観測は阻害されることとなった。とはいえ、以下の検証機会ともなった。

A. RIMEレーダー波はパルス的である。この間隙をぬった「パッシブ観測」はどの程度共存可能か。

B. 強力な木星電波も固体表面・地殻で反射する[10]。地球でもオーロラ電波の月面反射波は検出可能か。

AについてはRIME活動時間帯にいくつかの観測モードで検証したが、「掩蔽観測モード」で行った

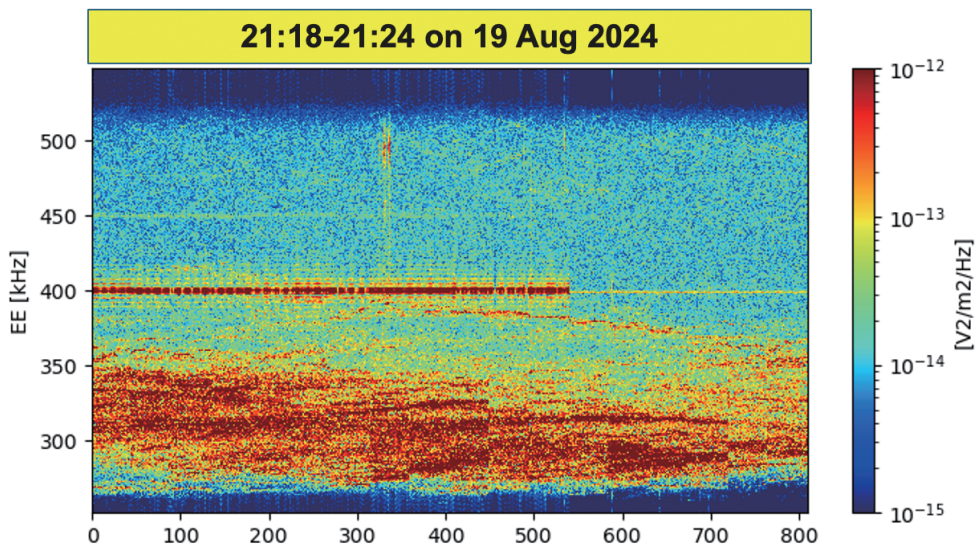


図8: パッシブレーダーモードで捉えた地球オーロラ電波スペクトル。前半2/3は、RIME送信波の合間をぬっている。400 kHzにみられるのは「200 kHz高調波ノイズ」。

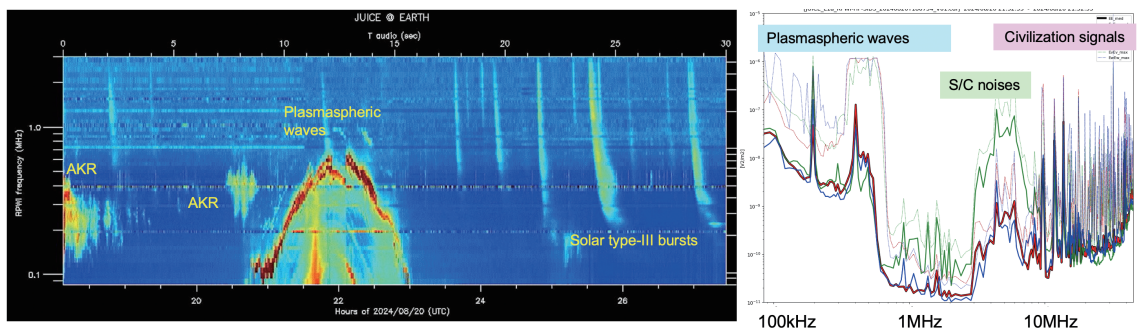


図9: 地球最接近前後の電波スペクトル。左は3 MHz以下のスペクトルで、可聴域変換した音声データも公開している [12]。右は観測可能な全周波数領域。電離圏を透過する10 MHz超では人類が放つ様々な電波が受信され、地球に文明が存在することをまざまざと示している。

例を 図7に示す。8/19 21:07-21:08にかけて掩蔽が明けていく中、RIME起因ノイズの隙間ではあるが地球のオーロラ電波とその円偏波は捉えられていた。掩蔽モードは高時間(0.5-sec)・高周波数(56-kHz)分解能であり、この程度の高速データでないと駄目だということでもあるが、RIMEとの共存を要する将来の氷衛星フライバイ観測にとって朗報といえる。(なお、RIMEレーダー波の強度はRPWIを完全飽和させるほどではなく、物理的な破損リスクはないという確認も取れた。)

Bについては、これもテレメトリを馬鹿食いする

「パッシブレーダーモード」で検証した。このモードは、特定周波数(今回の設定は地球オーロラ電波域をカバーする 400 ± 110 kHz)で連続観測を行うもので、惑星電波と遅延して戻ってくるその反射波を捉えることができる。図8にその一例を示す。250-400 kHzにかけて地球オーロラ電波の微細構造がきれいにみえており、「反射波があれば」この微細構造が時間遅延を伴って重畳することになる。残念ながら月面距離が1,000 km以上と大きな時間帯で、かぐや衛星でみられた反射波 [11] は現時点では得られていない。とはいえS/Nはあり、月の地球側をより低



図10: JUICE木星への旅 2023～2035年. 最後の地球フライバイは2029年, 木星系到達は2031年である.

高度で飛翔した場合には表面反射波は捉えられるだろう. 地下反射波については「乞うご期待」だが.

氷衛星を木星側でフライバイする場合, 強力な木星電波がRIMEレーダー反射波を妨害するため, パッシブ観測が主とされてきた. 表層(ひいては氷地殻内部)からの反射波を広周波数域で捉える可能性をRPWIはもつ. 今回得られたデータをベースとして解析手法を確立し, その時を待つことになる.

(3) 地球フライバイ: 惑星電波活動の全貌検出, そしてアンテナパターン・感度の検証へ

8月20日22UT頃, JUICEは地球の朝側に6,840 kmまで接近した. JAXA Arase衛星が日々探査・モニターし続けている放射線帯領域にも重なるところで, JUICEでもin-situおよびremoteで様々な観測が行われた. 図9左は, 3 MHz以下(広帯域ノイズ周波数域より下)でみたスペクトルである [12]. これを可聴域(80 Hz - 3 kHz)へ変換したものをyoutubeで公開しているので, 「宇宙の声」としてもお楽しみいただきたい. 冒頭の時間帯では, 本稿で何度か登場したオーロラ電波 (AKR) が極域上空で鳴り響く. 中盤では, 地球の下層大気・電離圏から連なり地球本体とともに周回する外圏プラズマ大気に突入し, 密度の高まりに応じて高音域へ登っていく. JUICEが昼側へ抜けた後は, 活動最盛期にある太陽のフレア爆発に伴って惑星間空間を走る高エネルギー電子(光速の～10%程度)が放つ太陽電波バーストが多数聞こえる.

図9右は観測可能な全周波数域を示す. 電離圏を貫きうる10 MHz以上の周波数帯では, 「人類が放つ電波」も多数受信された. 最接近時, JUICEは日本が属する経度域の上空を西から東へ通過した. すなわち, これらは東南アジア・西太平洋域, および日本を含む東アジア域で放たれる様々な放送・通信波や, 高層気象観測機関が放つ電離圏探査レーダー「イオ

ノゾンデ」である. これらの電波は文明の存在をまざまざと示す, 他惑星にはない地球ならではの「現象」である.

この地球フライバイでは, 探査機を回しながら既知の方向からくる「地球オーロラ電波および太陽電波バースト」を連続観測し, アンテナパターンを確立して電波源方向を識別可能とする, という重要な目的もあった. これは, 木星系で「どの方向からどの強度の電波が来たか」「それらは木星・氷衛星衛星でどう屈折・反射しているか」の決定に重要である. とはいえ, 今回のフライバイでの「姿勢変更運用」は8/23, 最接近から2.5日後に2時間だけ行われ, 残念ながら有用な連続受信がされずじまいとなった. あと2回存在する地球フライバイでの宿題として持ち越しとなっている.

地球周辺にはJAXA Arase衛星やNASA Wind衛星がおり, 同時受信された太陽電波バーストの強度比較で, アンテナ感度の校正を行うことも目的であった. ここまでの作業でみてきたのは, 「3-9 MHzの広帯域ノイズは, 探査機からの電波放射だけでなく, 太陽電池パネルやMAG-BOOMとの共鳴でRWIアンテナの実効感度が高くなったことも寄与するかもしれない」ことである. 3-9 MHz帯および周辺周波数帯での観測能力が図4よりましかもしれないことを意味する重要なこの作業を, Solar Orbiterと同様の校正 [13] を行ったパリ天文台のメンバーとともに進めている.

4. 金星へと木星への旅は続く: 2025年～

月・地球フライバイ後, JUICEは2025年8月の金星フライバイに向かって飛翔中である(図10). この寄り道は木星以遠へのアクセスの常道で, 金星の重力(実際にはその太陽周回運動の運動量)のアシスト

によって、重たい探査機を加速するのに必要な燃料を節約する。寄り道での金星観測も常道だが、ESA提案は「なにもしない、熱い通信可能量も少ない」とのこと。JUICEの設計は、木星系での低温環境へ耐えることが前提である。探査機本体には巨大なHigh Gain Antenna (HGA) がつき、これを地球に向けることで高rateでの通信量を実現する。一方、地球～金星近傍ではHGAは探査機本体を守る「Radiation Shield」としての働きもある。すなわちHGAを太陽に向けることで探査機本体をその陰に隠れる・・・HGAは太陽を向いており、地球に向けられない。

このため、JUICEは「金星に接近するが観測しない」(観測装置群はall OFFの予定) 史上初の探査機となる予定である。2025年1月には太陽距離が金星程度(0.64AU) となったが、MAG-BOOM上の温度はすでに 80 degC を常時超える状態。我々のRWIは電源を入れず、ひっそりと高温phaseが過ぎるのを待つことになる。

再び地球に戻って来るのは2026年9月。地球重力でさらに加速して小惑星帯(太陽距離: 3.4 AU) まで遠日点を上げ、2029年1月の最後の地球フライバイを経て、2031年7月に木星系(太陽距離: 5.2 AU) に到達。ここで、先行して木星系を周回する NASA Europa Clipper に追いつく(Europa Clipperは2024年10月に打ち上がったが、金星フライバイを省略してより早く2031年春に木星に到着)。

我々のフル活動は2031年の木星接近時から始まる。電子・イオンの密度・温度観測、電場・プラズマ波動観測、電波観測によって木星の木星磁気圏活動、イオ・氷衛星群との相互作用、氷衛星群の周辺環境および電離大気と電流系、氷衛星群の地表・内部の構造と電流系を巡る探査を、木星圏内の巡航、氷衛星フライバイ、そしてGanymedeの周回軌道上行う。以下は[2]の記述と重複するが、改めて。

●木星磁気圏・衛星電離圏には、様々な時間・空間スケールを持つ電磁界が存在する。数100 Hz以下の遅い変動は電場によるプラズマ大規模輸送・加速を引き起こし、kHz以上の速い変動はプラズマ密度・組成・エネルギー分布情報、および無衝突プラズマの最重要エネルギー過程「波動-粒子相互作用」による粒子加速・加熱を特徴づけ、粒子・磁

場観測とともに諸活動域の現場情報をもたらす。Remote観測される高周波電波はこの現場群から飛来し、赤外・可視・紫外・X線とともに「高エネルギー粒子加速・加熱域」の時間・空間変動および全活動量の情報をもたらす。電波はまた伝搬・反射経路の情報を含み、氷衛星電離圏の密度情報や氷衛星の表層・地下構造情報をもたらす。

●RPWIは、日本チームにとり2つの合流点に位置する。(1) 外惑星研究: UV/EUV望遠鏡衛星ひさきによる木星系長期観測、解析してきたCassini(土星)・Juno(木星)、そして両者を支援する地上観測(東北大ハレアカラ60cm望遠鏡・飯館IPRT-31m電波望遠鏡および利用してきた世界の大口径望遠鏡群)。(2) 地球・月・水星研究: Arase衛星など地球磁気圏探査、Kaguya探査機等による衛星環境・電波サウンダー探査、2027年から周回観測開始となるBepiColombo水星探査。

これらを横断・包含する数値モデル研究も含め、我々および次世代研究者の問題意識をJUICEに向け深化させていく。JUICEおよびEuropa Clipperの観測機器群とともに、低温・高放射線環境下でのフル観測に耐え抜き、大きな成果をもたらすべく奮闘予定である。

参考文献

- [1] Wahlund, J.-E. et al., 2024, Space Science Rev. 221:1. <https://doi.org/10.1007/s11214-024-01110-0>
- [2] 笠羽康正ほか, 2016, 遊星人 25, 3, 96. <https://www.wakusei.jp/book/pp/2016/2016-3/2016-3-096.pdf>
- [3] ESA web, “Work continues to deploy Juice RIME antenna”, Apr 28, 2024. https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Juice/Work_continues_to_deploy_Juice_RIME_antenna
- [4] Le Letty, R. et al., 20th ESMATS, 2023 <https://www.esmats.eu/esmatspapers/pastpapers/pdfs/2023/leletty.pdf>
- [5] ESA web, “Juice deployments complete: final form for Jupiter”, May 26, 2024. https://www.esa.int/Science_Exploration/

- Space_Science/Juice/Juice_deployments_complete_final_form_for_Jupiter
- [6] ESA web, 2024, “Juice lunar-Earth flyby media kit”.
https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Juice/Juice_lunar-Earth_flyby_media_kit
- [7] 井上浩三郎, 2006, “科学衛星秘話第45回 火星探査機「のぞみ」その2”.
<https://www.isas.jaxa.jp/j/column/hiwa/45.shtml>
- [8] Yasuda, R. et al., 2024, J. Geophys. Res. Space Phys. 129, e2024JA032454. <https://doi.org/10.1029/2024JA032454>
- [9] Imamura, T. et al., 2012, J. Geophys. Res. 117, A06303. <https://doi.org/10.1029/2011JA017293>
- [10] Kumamoto, A. et al., 2017, Planetary Radio Emissions VIII, 127. <https://doi.org/10.1553/PRE8s127>.
- [11] Ono, T. et al., 2010, Space Sci. Rev. 154, 145, <https://doi.org/10.1007/s11214-010-9673-8>
- [12] ESA web, “Listen to Juice’s flyby of Earth”, Aug 29, 2024.
https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2024/08/Listen_to_Juice_s_flyby_of_Earth
(youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=dwtJQHvztg&t=1s>)
- [13] Vecchio, A. et al., 2021, Astron. Astrophys. 656, A33. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202140988>

著者紹介

笠羽 康正



東北大学大学院理学研究科教授。京都大学工学研究科博士課程修了。博士(工学)。富山県立大工学部助手、宇宙科学研究所助手・助教授、宇宙航空開発研究機構・宇宙科学研究本部准教授を経て、2007年4月より現職(地球物理学専攻。2017年から惑星プラズマ・大気研究センター)。専門は太陽系電波・赤外線科学。地球電磁気・地球惑星圏学会、日本惑星科学会、日本天文学会に所属。BepiColombo PWIのPI, Arase PWEの元PI・現Co-PI。JUICEではRPWIのCo-PI(日本側代表)。

土屋 史紀

東北大学大学院理学研究科教授。東北大学理学研究科博士課程修了。博士(理学)。東北大学大学院理学研究科助手、助教、准教授を経て2023年5月より現職(惑星プラズマ・大気研究センター、2024年4月から同センター長)。専門は電波天文学・惑星磁気圏物理学。地球電磁気・地球惑星圏学会、日本惑星科学会、日本天文学会に所属。紫外線宇宙望遠鏡衛星計画LAPYUTAの提案代表者でもある。