

テラヘルツ波を用いた宇宙からの地球惑星リモートセンシング観測

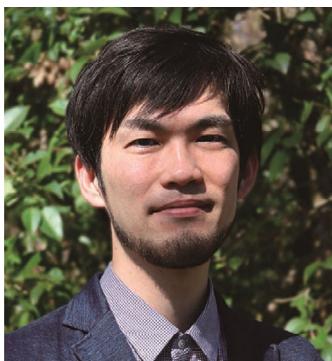


笠井 康子

(かさい やすこ)

テラヘルツ研究センター
上席研究員

1995年博士課程修了後、1999年郵政省通信総合研究所(CRL、現NICT)入所、テラヘルツ波リモートセンシングによる地球惑星観測に従事。博士(理学)。



山田 崇貴

(やまだ たかよし)

テラヘルツ研究センター
テラヘルツ連携研究室
研究員

2018年大学院博士課程修了。同年、NICTに入所。テラヘルツ波リモートセンシングによる地球惑星観測及び、放射伝達モデルの構築、小型軽量な衛星搭載のためのテラヘルツ波受信機開発に従事。博士(理学)。

リモートセンシングは、電磁波などを活用し、人間の手や目の届かないところを「観る」技術です。遠いところでは宇宙の果てに近いところ、また、物質を透過してその内部などを「観ることができます。これまで光や電波を用いたセンシングが主流でしたが、近年、光と電波の中間周波数であるテラヘルツ波の利活用が進みつつあります。宇宙テラヘルツ波リモートセンシング利活用による新たな科学的発見や、新宇宙ビジネスへの展開について紹介します。

■背景

従来、衛星による宇宙からの地球リモートセンシング(リモセン)は「光学・赤外」若しくは「電波」による画像や分光観測などが主流を担っていました。それらに対し、電波と光の境界領域に相当するテラヘルツ(THz)電磁波が衛星観測の歴史に登場したのは比較的最近で、2002年のことでした。近年のTHz技術進化は著しく、高利得アンテナやハイパワー出力デバイスなどの新しい技術が

次々と開拓され、これらが宇宙リモセン技術にも応用されています。THz波は、「光」と「電波」の両者の性質が混在する特異的な特徴を有します。例えば、高空間解像度(光の特徴)かつ物質を透過(電波の特徴)するセンシング、数キロ級の超小型軽量なセンサ(高周波数の特徴)などを実現してきました。これらの技術革新により、例えば、地球環境観測においてはこれまで困難であった氷雲のサイズ分布推定、木星圏水衛星ガニメデなどにおけるハビタビリティ探査のための大気分子同位体観測や地表面水含有率観測、月や火星など地球近傍宇宙においてエネルギー源として期待されている水資源の探査など、多岐にわたり、従来困難であった新たな物理量を測定するリモセン観測を実現しています。

■NICTにおけるテラヘルツリモートセンシング研究

図1にNICTにおける宇宙からのTHzリモセン観測開拓の進化を示します。地球環境の実態把握→木星圏の生命探査→

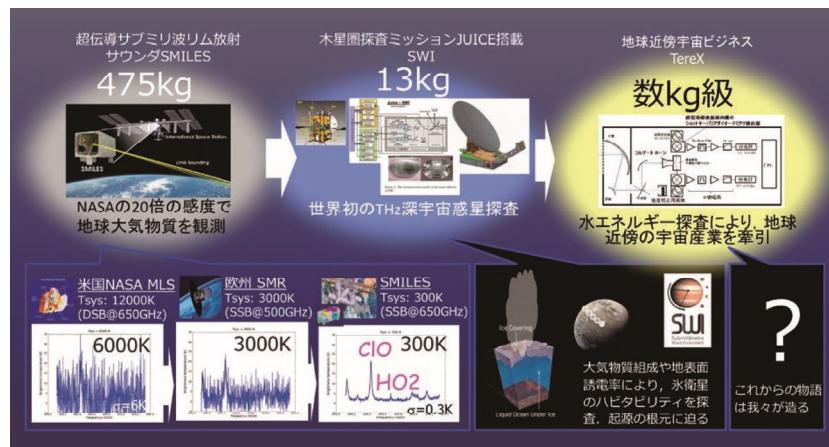


図1 NICTにおけるテラヘルツリモートセンシングの進化

地球近傍宇宙（月と火星）における水エネルギー探査と進んできました。

超伝導サブミリ波サウンダ（SMILES: Superconducting Submillimeter-Wave Limb Emission Sounder）は、1998年より開発を開始、国際宇宙ステーション搭載の曝露部にある日本実験モジュールに搭載され2009年10月から2010年4月まで約7か月間の観測を行いました。地球環境診断のためのTHz電磁波利活用の開拓を目的としたNICTとJAXAの共同ミッションです。SMILESの特徴は0.6 THzにおける4K超伝導ミキサによる超高感度と確度の高い較正技術です。HTV補給機初号機による打上げ、地上でも前例のない0.6 THzの超伝導ミキサ・HEMT低ノイズアンプ・THz光学系・較正系開発、日本初のTHz宇宙センサ開発など、数々の前例や経験のなさの中での大いなる挑戦でした。その困難さに、欧米の研究者から「うまくいくわけがない」と言わされたこともあります。しかし、結果として、SMILESは、米国NASAや欧州の従来の類似衛星と比較して約20倍もの世界一の分子検出感度を誇り、打上げ後10年度の今でも、そのユニークな信頼性の高いデータで、速報性が重要なレター誌に論文が掲載されています。

SMILESは地球大気中に超微量（大気分圧で1億分の1程度）に存在している短寿命で活性な「ラジカル分子HO₂」スペクトルを0.5秒単発直接測定でとらえることに成功しました。現在は温室効果ガスの放出により地球大気上端のH₂O、CO₂、CH₄などが増加し地球放射収支を変化させる可能性が指摘されていますが、HO₂ラジカルはこれらの物質の大気組成を変化させる酸化剤としての役割を

持ちます。我々は、HO₂単発での直接測定と、衛星による上空の雷スプライト観測や地上観測との時空間的なコインシデントを取り（図2-1）、それにより、雷スプライトにより新たにHO₂が生成されていることを証明し、さらに地球規模でHO₂濃度が増加していることを示唆しました（図2-2）。この論文は、現在地球環境が変動している中で新たな警告を鳴らしたという科学的な観点のほか、統計的データを用いて現象を扱うことが主流な既存のデータサイエンスに対して、統計には隠れてしまう“瞬間の現象”をとらえることで新たな知見を得るという、これまでにない新たな科学の道筋を拓いたものです。

■今後の展望 地球近傍宇宙における水エネルギーの探査

第四次産業革命による地球規模の産業構造変革のパラダイムシフトの中で、宇宙を取り巻く産業構造もこの数年で激変しています。主たる産業が存在しない地球近傍宇宙は、新たな発想や技術等により既存の社会や経済等を劇的に変化させる破壊的イノベーションの場としての期待が大きく*、世界の宇宙産業は、地上から地球近傍宇宙までをシームレスに結

合した3次元宇宙（成層圏プラットフォーム・低軌道衛星・静止衛星・月など）を対象とした経済活動基盤インフラ整備に着手し始めています。

地球の産業や人類活動における石油に代わる地球近傍宇宙におけるエネルギー源は「水」です。水素と酸素に化学分解しロケット燃料や工場の駆動力等に用いることが期待されています。全ての電磁波の中で、最も水に敏感で検出感度が高いのは「THz波」です。現在、我々は、SMILESの475 kgに対し、8 kg級のTHzリモセンセンサの開発に挑戦しています。軽量化を実現するためのCFRP素材のTHzアンテナや較正系、SMILESの10年間に亘り3年間でのスピード重視のフライモデル完成など、新たな困難に立ち向かっているところです。今後我々は、月や火星における水を探査し、地球近傍宇宙におけるビジネスを牽引していくと考えています。また、更なる夢は、宇宙THzセンサの経験をBeyond 5G時代のTHz通信につなげ、地球近傍宇宙全体をTHz通信で網羅し「AI Driven Space THz network」を作っていくことです。我々の研究活動にご興味のある方の参加をお待ちしております。

* 総務省「宇宙 × ICTに関する懇談会」報告書
https://www.soumu.go.jp/main_content/000502202.pdf

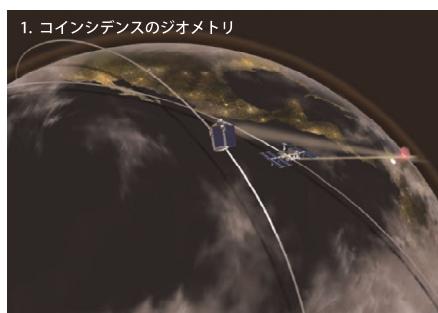
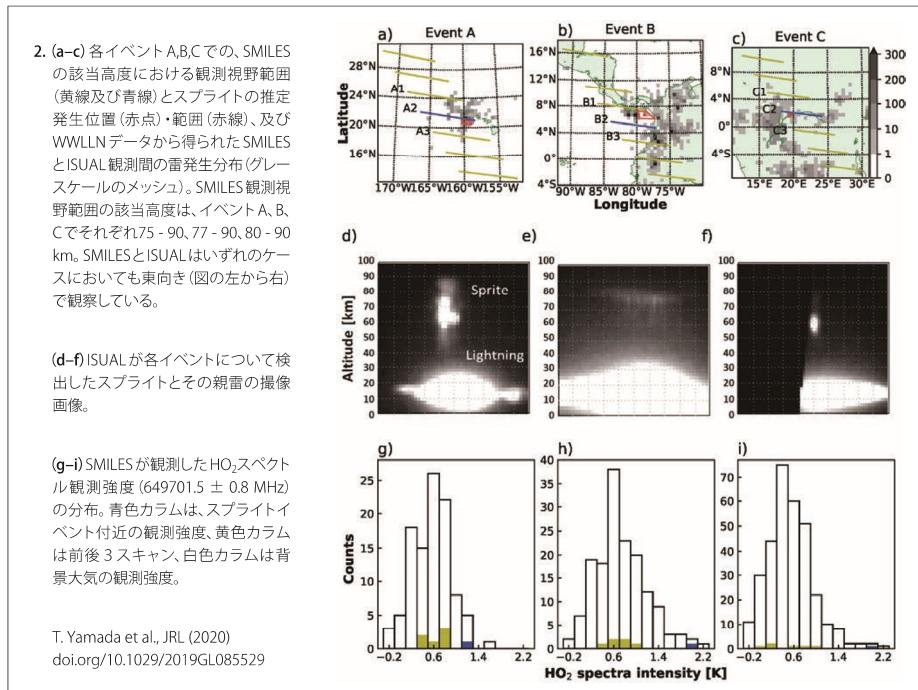


図2 SMILES、雷スプライト衛星、地上観測とのインシデントの実現と SMILES HO₂スペクトル強度