

超高感度センサが拓く 新しい地球大気のすがた

—国際宇宙ステーション搭載超伝導サブミリ波サウンダ(SMILES)—

「世界最高感度により地球大気中の存在比で1兆分の1程度しか存在しない物質計測を達成した超伝導サブミリ波リム放射サウンダ SMILES(Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder) を紹介します。」

笠井 康子 (かさい やすこ)

電磁波計測研究所
センシング基盤研究室 主任研究員

共同研究者：

佐川英夫、菊池健一、落合啓、入交芳久、安井元昭、
メンドロック ヤナ、パロン フィリップ

1995年東京工業大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。理化学研究所基礎科学特別研究員を経て、1998年郵政省通信総合研究所(現 NICT)に入所。国際宇宙ステーション搭載・超伝導サブミリ波リム放射サウンダ(SMILES)を始めとした大気リモートセンシング観測研究に従事。趣味は SMILES。博士(理学)。



左から笠井康子、佐川英夫、菊池健一、落合啓、入交芳久、安井元昭
上部左からメンドロック ヤナ、パロン フィリップ

● はじめに

超伝導サブミリ波リム放射サウンド SMILES (Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder) は 2009 年 9 月に国際宇宙ステーション (ISS) に打ち上げられ、現在は日本実験棟 (JEM) 曝露部に搭載されています (図 1)。オゾン層破壊や温暖化そして大気汚染などの地球大気環境変動では、大気中に存在する微量な分子やラジカル*の働きが鍵になります。反応性が高く大気組成の変化を起こす分子ラジカルは、アクティブであるほど存在量が低いという傾向があります。SMILES では、これまで鍵になる働きをすると考えられていたにも関わらず、あまりにも微量で従来は計測が困難であった物質、例えば地球大気中の存在比で 1 兆分の 1 程度しか存在しない一酸化臭素 BrO やヒドロパーオキシラジカル HO₂、100 億分の 1 程度の次亜塩素酸 HOCl などを検出しました。現在はこれらの超微量分子の大気中における振る舞いについて詳細な研究を進めています。

SMILES ミッションの目的は、

- 1) 4K (-269°C) 機械式冷凍機により冷却した高感度サブミリ波超伝導受信機システムの宇宙における技術実証
- 2) 世界最高の超高感度観測により地球大気の新しい姿を拓く

です。SMILES は NICT と宇宙航空研究開発機構 (JAXA) の共同開発ミッションで NICT においては 1997 年から本格的に開発を開始しました。SMILES では大気からのサブミリ波放射を受信し、周波数を落としたのちに分光します。SMILES 測器開発は近年の「小短軽」(小型、開発期間を短く、質量を軽く) 衛星開発の傾向とは逆行した挑戦的な開発でした。質量 500kg、消費電力 400W、これまで宇宙では例のなかった 4K 超伝導受信機開発、など大型でひとつ間

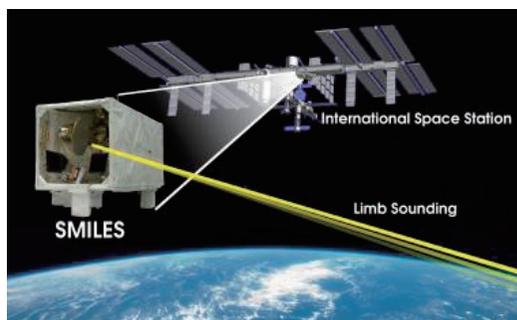


図1 SMILESと国際宇宙ステーション

違えば無謀とも言える技術的挑戦に対して、海外の親しい研究者からは“Crazy Japanese”と言われたものでした。測器の設計寿命は 1 年間でしたが、2010 年 4 月に局部発振器が不具合を起こし、さらには 2010 年 6 月から心臓部である超伝導ミキサを冷却する冷凍機が 4K に到達しなくなり、1 年に満たない期間で観測の継続を断念しています。しかしながら、従来より 10 倍以上の高精度の SMILES による観測は、地球大気の新しい姿を見せてくれました。これらの結果はオゾン層回復と気候変動の関わりを始めとした地球環境問題に対してユニークな視点を追加するでしょう。ここではごく一部ですが、初期的な成果なども紹介いたします。

● SMILES 観測スペクトルとデータ処理

SMILES は国際宇宙ステーションから見える地球周縁の大気サブミリ波放射スペクトルを観測します。SMILES 観測スペクトルの一例を図 2 に示します。一見シミュレーションとも見紛う、美しい測定スペクトルが得られました。2009 年 10 月に出た初データは国際会議等で紹介するたびに関連研究者から“Impressive! Japanese Technology!”などの敬意と称賛の言葉が次々と贈られてきました。これには SMILES 測器チームの技術力の高さを改めて感じました。

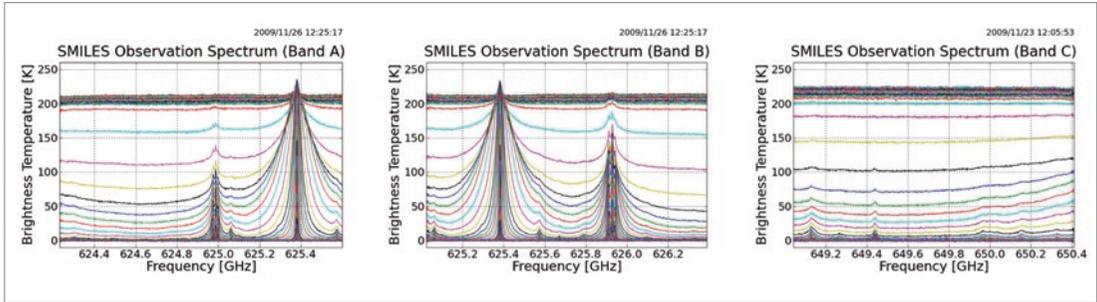


図2 SMILESで観測したスペクトル

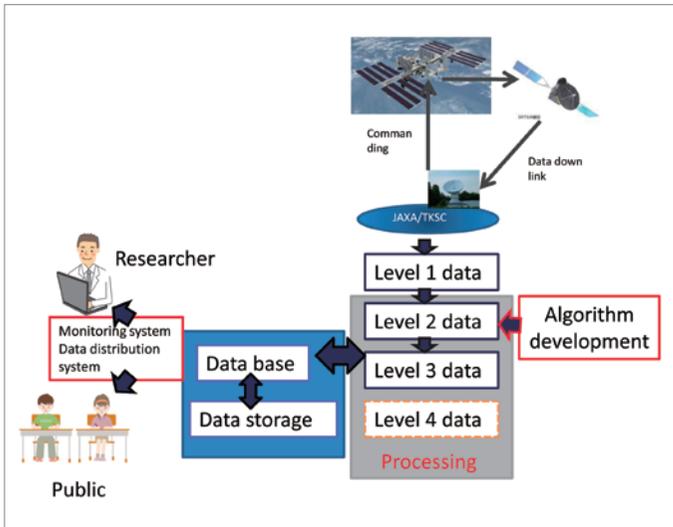


図3 SMILESのデータ処理系の概念図

NICTでは、測器開発のほか、このスペクトルから大気中分子・気温・水蒸気・氷雲・風速などを導出するLevel2アルゴリズム開発と処理、データのグリッド化などのLevel3データ処理を行うと共に、これらのデータ配布を行っています。NICTの地球環境計測分野はこれまで測器開発が主流であり、大容量の地球観測衛星データの準リアルタイム処理を行うのはこれが初めての試みでした。打ち上げ2カ月後の2009年11月末には宇宙ステーションからのSMILES観測データを準リアルタイムで処理したものを実況する「SMILES観測データのクイックルック」を世界に発信する準備が整いました。図3にデータ処理系の概念図と図4にはデータクイックルックページの一例を示します。

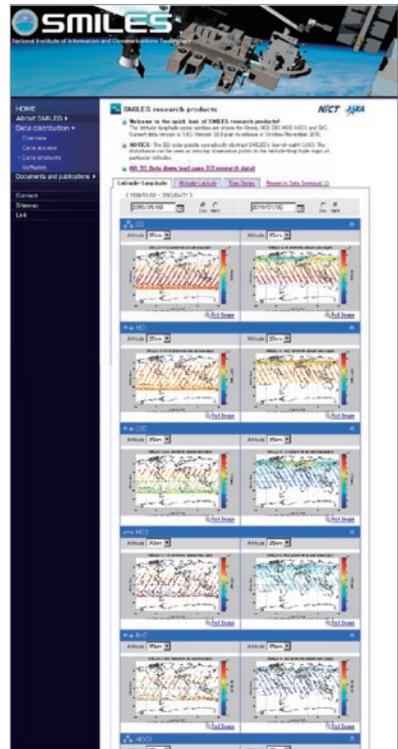


図4 SMILES観測データを実況するWebページの例

最近の成果

SMILESではこれまで上部成層圏から中間圏において光化学ラジカル物質(大気微量成分)の観測を行いました。これらのグローバルな日変化観測はこの高度領域においてはこれまで存在しておらず、世界で初めてのことでした。図5にはSMILES観測で初めて得られた赤道域上空におけるClOとHOClの24時間変化を示しました。例えば高度

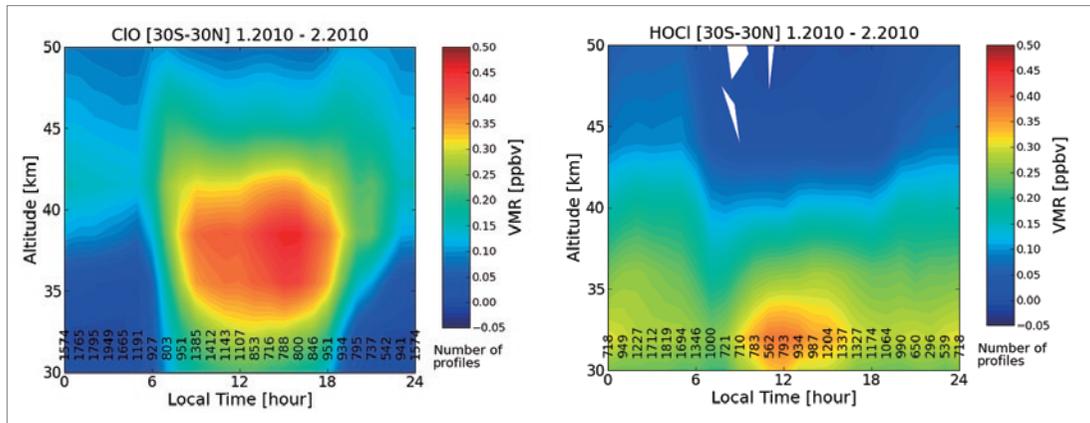


図5 上部成層圏（高度45km付近）において、日没とともにCIOがHOClに変換し、夜明けとともに再びCIOに戻る様子を初めて実測定で捉えました。[T.O.Sato, Titech, Private communication]

45km に注目すると、昼間には CIO の姿をした塩素原子 Cl が、夜間には $\text{CIO} + \text{HO}_2 \rightarrow \text{HOCl}$ の反応により HOCl となり、夜明けと共に $\text{HOCl} + h\nu \rightarrow \text{Cl} + \text{OH}$ 、 $\text{Cl} + \text{O}_3 \rightarrow \text{CIO} + \text{O}_2$ と変換していく様子を観測により捉えています。これらは理論的計算では予測されていたものの、グローバル観測では SMILES が初めて実証した現象です。SMILES 観測事実により定量的な解釈が可能になりました。オゾン破壊化学反応のメカニズムの詳細な理解は、人類の多くが居住する中緯度や赤道域におけるオゾン破壊量の定量的な見積りを可能にし、オゾン層破壊回復時期予測の精度向上に貢献します。これら SMILES で得られた研究結果を用いて今後は WMO(世界気象機関)への提言をしていくことを目指しています。

これから

現在、人類活動は地球大気環境システムに対する主要な強制力のひとつとなり、生物の生存基盤である大気質や水資源に対して影響を及ぼしています。宇宙からの大気環境の監視は、地球の温暖化や大気汚染と健康被害などの現実の実態把握の道具として非常に有効です。これらのデータを有効に使い、安心・安全な国民生活・

社会経済活動をサポートすることは今後も重要性を増すでしょう。しかし 20 年前とは異なり、現在では環境衛星観測は珍しいものではなくなりました。観測で得られる大量の衛星観測データに対してデータ処理が追いついていないことが問題になってきています。また、たくさんある衛星データの統合的解析の重要性も増してきました。今後は、NICT で進められているサイエンスクラウドプロジェクトを用いて、衛星データ処理を 1 桁高速化し、データ統合することにより新しい世界を展開していきたいと思っています。

参考

- SMILES のホームページ
<http://smiles.nict.go.jp/>
- SMILES 観測データのページ
https://smiles-p6.nict.go.jp/products/operational_latitude-longitude-2days.jsf

用語解説

* ラジカル

通常は 2 個 1 組で原子核の周りの軌道上を回転しているはずの電子が何らかの条件によって 1 つしかなくなっている状態のこと。