

地球の
大気
を
宇宙
から
診^み
る



SMILES

JEM搭載超伝導サブミリ波リム放射サウンダ

Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder

今、私たちが生活する地球の環境は、健康なものでしょ

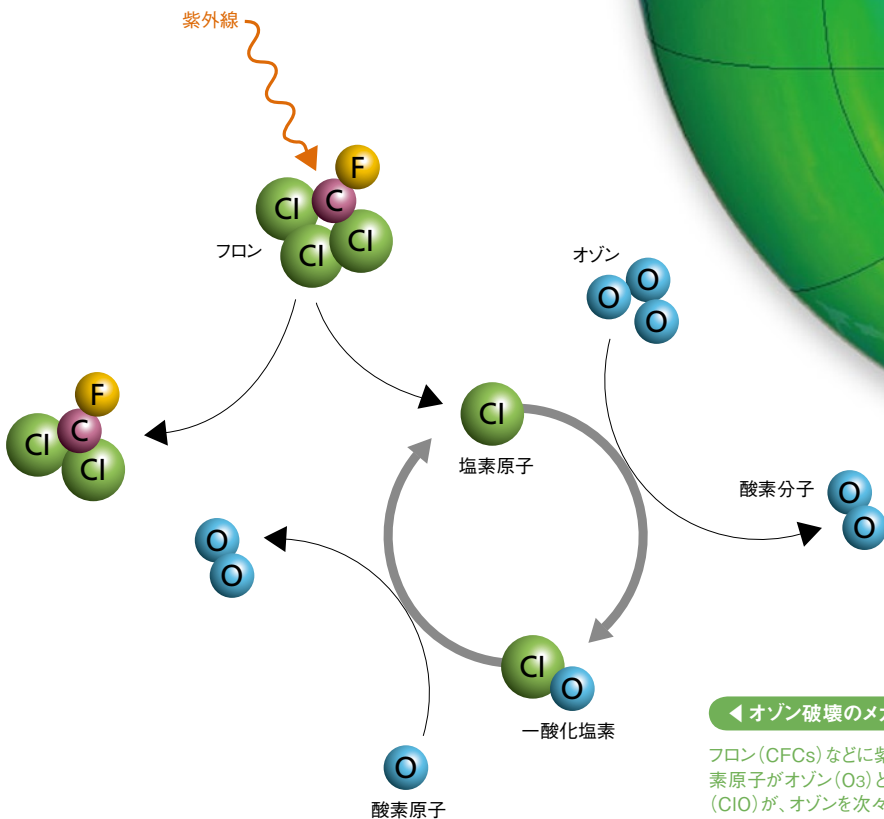
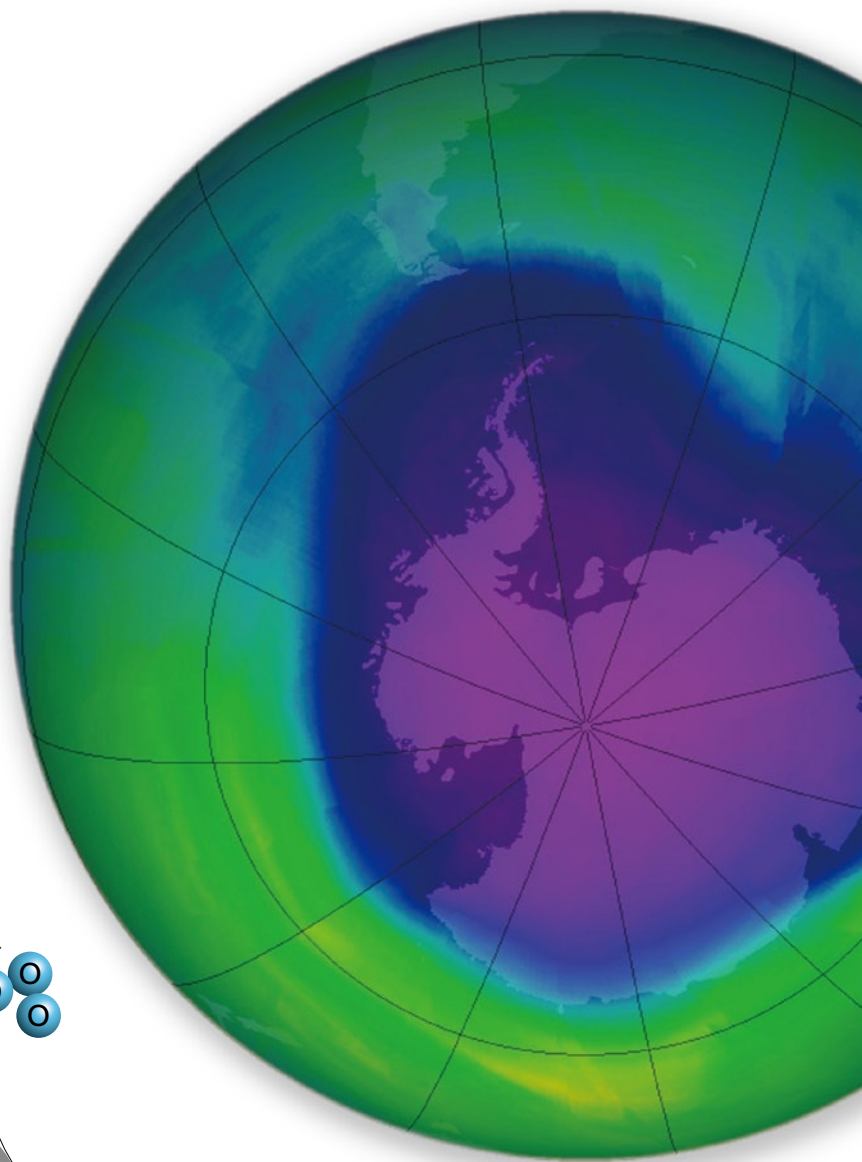
スマイルズ SMILES は「きぼう」 地球の大気を診断します

地球に現れた大きな傷口 それがオゾンホール

地球の大気は、病んでいます。身近なところでは大気汚染。自動車や工場からダイオキシンや窒素酸化物などの有害物質が大気中に排出され、私たちの健康にも悪影響を及ぼしています。そして、最近の地球は、発熱も続いています。地球全体の地表平均気温は、この100年で約0.74℃上昇しました。特に20世紀後半からは、地球がかつて経験したことがないほど急激に気温が上昇しているのです。そして宇宙から地球を眺めると、大きな傷口が見えてきます。それがオゾンホールです。

南極上空に出現したオゾンホール(画像提供: NASA) ▶

2008年10月4日のオゾン全量の分布。青がオゾン濃度が低いところ。人工衛星に搭載されたオゾン監視装置(OMI)のデータによる。冬、南極大陸の上空には強いジェット気流が渦を巻くように吹き(極渦)、その内側にはオゾンを破壊する物質がたまりやすい。春になりそこに太陽の光が当たると、オゾンの破壊が一気に進む。南半球の春にあたる毎年9~10月に、オゾンホールは最大になる。



◀ オゾン破壊のメカニズム

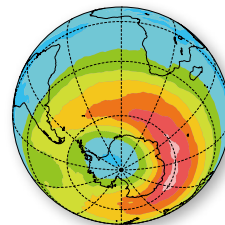
フロン(CFCs)などに紫外線が当たると、塩素原子(Cl)が飛び出す。その塩素原子がオゾン(O₃)と反応し、オゾン破壊する。そうしてできた一酸化塩素(ClO)が、オゾン次々と破壊していく。一酸化臭素(BrO)、塩化水素(HCl)も、一酸化塩素と同じようにオゾンの破壊にかかわっている。

どうか?

から

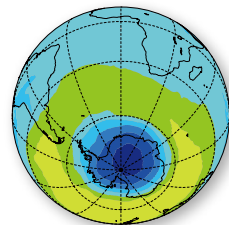
広がる傷口 治療の効果は?

オゾンホールは、1980年代初めです。人工衛星が観測したオゾン濃度の画像を見ると、南極上空のオゾン層にぽっかり穴が開いているように見えます。オゾン層に穴が開くなんて、いったい誰が想像したのでしょうか。しかも、オゾン層を破壊しているのは、フロンなど人間がつくり出した物質だったとは……。人類の活動が、地球の大気をむしばむ。大気への影響まで考えて行動しなければならない——オゾンホールの出現は、私たちにそのことを気付かせてくれました。しかし時すでに遅く、オゾンホールは年々拡大していきました。そして1987年、オゾン破壊の原因となるフロンやハロンなどの排出を規制する「モントリオール議定書」が採択されました。現在では100を超える国が締約しています。規制の効果は徐々に現れ、オゾン濃度の低下は止まったように見えます。



1979年

TOMSによる南半球のオゾンの観測開始



1985年

「オゾン層保護のためのウィーン条約」採択

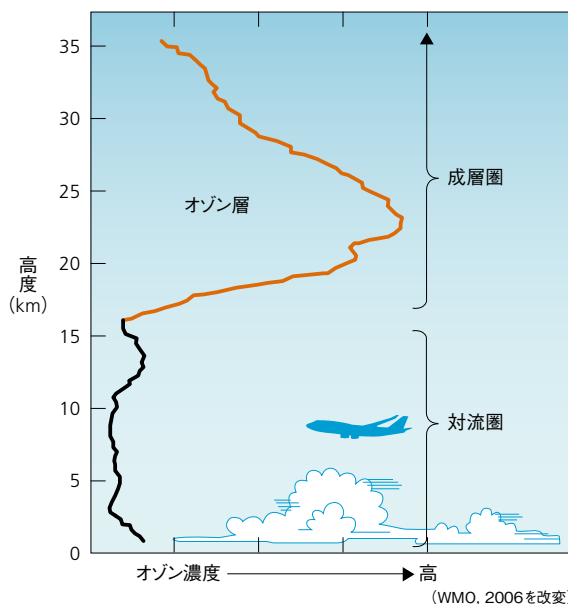
▲オゾンホールの変化(10月の平均マップ、データ提供: NASA)

生命を守るベール オゾン層の成り立ち

オゾン層をつくったのは、生物です。約28億年前、光合成によって酸素をつくり出すラン藻類が海に出現し、大気中に酸素が増えていきました。そして約4億年前、成層圏にオゾン層が形成されました。オゾン層は、太陽からやってくる有害な紫外線を吸収します。そのおかげで、生物は海を出て、陸でも生活できるようになりました。太陽系の中に、オゾン層をもつ惑星や衛星は、ほかにありません。地球を生命あふれる星へと変えたのは、オゾン層なのです。

大気圏の構造とオゾン濃度 ▶

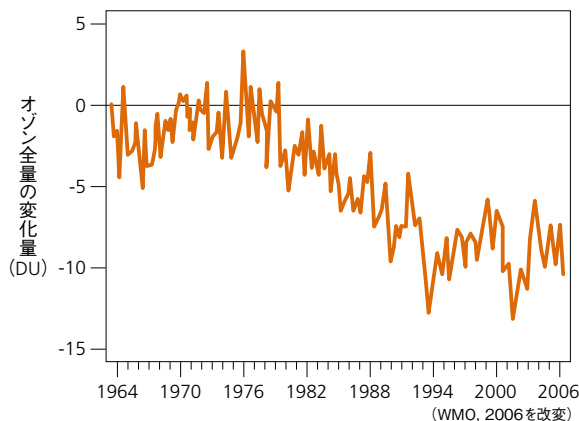
地球を覆う大気は、地表から約100km上空まで広がっている。雲や雨などの気象現象は、高度15kmくらいまでの対流圏で起きている。その上が成層圏で、オゾン濃度が高い高度領域を「オゾン層」と呼ぶ。



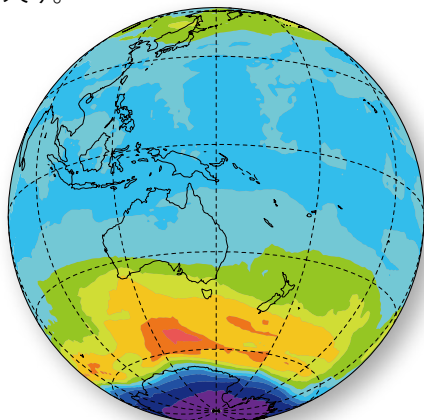
(WMO, 2006を改変)

中・低緯度にも症状が

人が多く住んでいるのは中緯度です。私たちの日本もあります。中・低緯度のオゾン濃度も低下傾向にあることが分かっています。生命を守ってきたオゾン濃度が減少したら……。有害な紫外線が地上に降り注ぎ、皮膚がんや白内障、免疫機能の低下を起こす人が増えるといわれています。オゾン濃度の減少は遠く離れた南極での出来事ではなく、私たちの生活に直接かわる問題なのです。

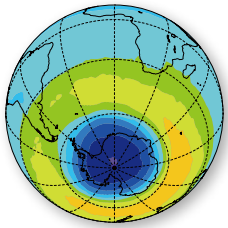


(WMO, 2006を改変)



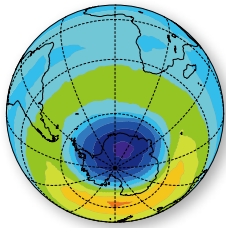
▲中・低緯度(北緯60度から南緯60度)のオゾン全量の変化
◀中・低緯度のオゾン全量の分布
(2008年10月4日、データ提供: NASA)

オゾン全量の分布(左)ではオゾンホールが発生する高緯度(極域)ほどの劇的な低下は見えにくいですが、変化を示すグラフ(上)では緩やかではあるものの中・低緯度でも年々オゾン全量が低下し、全球で低下傾向にあることが分かる。



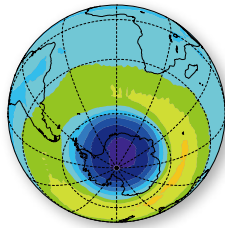
1987年

「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」採択。1989年より規制開始。



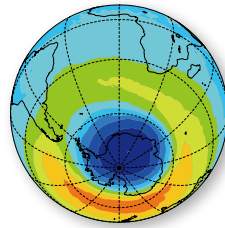
1992年

「モントリオール議定書」締約国会合で「コペンハーゲン改正」採択。規制物質の追加と全廃前倒を議決。

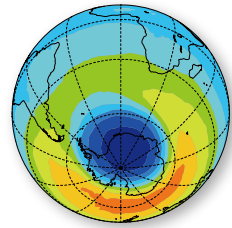


1997年

気候変動枠組条約に基づき「京都議定書」採択。代替フロンであるHFCs、PFCsが規制対象に。



2003年



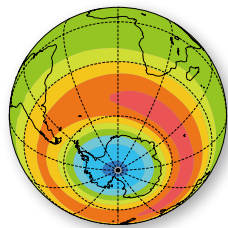
2007年



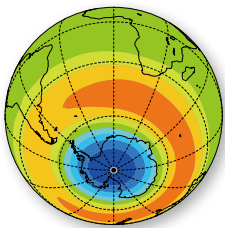
オゾン層の回復状況を見守る

オゾン濃度の回復時期については、さまざまな大学や研究機関が予測を出していますが、ばらつきがあります。それは、フロンやハロンから生じた塩素や臭素がオゾンの破壊にかかわっていることは分かっているものの、破壊メカニズムの理解がまだ不十分だからです。また、現在進行している地球温暖化がオゾン濃度の回復にどのような影響を及ぼすのかも、よく分かって

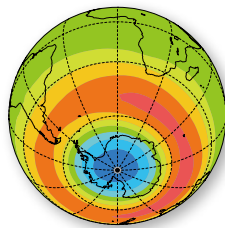
いません。オゾン破壊物質の排出を規制し、オゾン濃度の回復をただ待つだけでなく、私たちには回復の状況を見守り続ける責任があるのです。その一翼を担うのが、SMILESです。SMILESは、国際宇宙ステーションの「きぼう」に取り付けられ、宇宙から地球の大気を観測します。



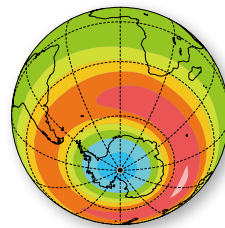
1980~1989年



2000~2009年



2020~2029年



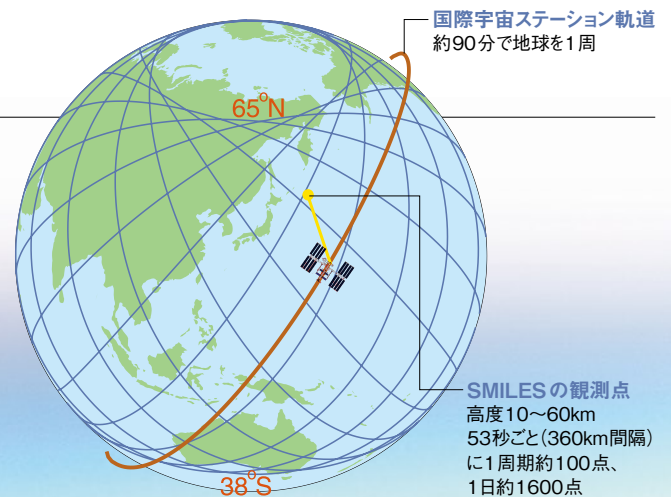
2040~2049年

◀ オゾンホールの推移予測
(数値計算結果提供：国立環境研究所)

オゾンホールが出現していなかったころの状態に戻るの、この予測では2050年ごろとされている。(10月の平均マップ)

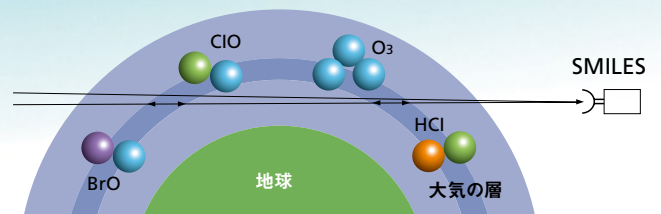
視線の先には地球 ターゲットは中・低緯度

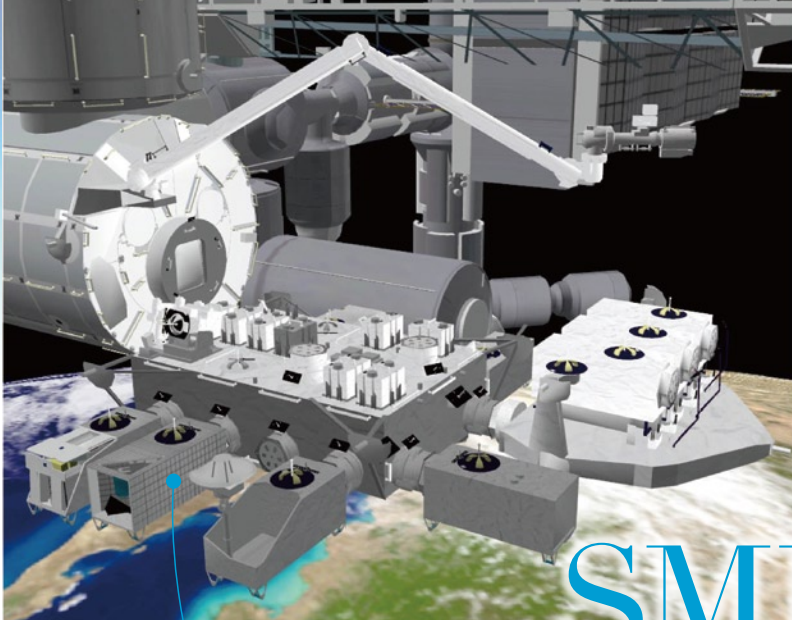
SMILESの「L」は「Limb」で、「縁」という意味です。SMILESは、アンテナを地球の縁に向けて、大気中の微量分子が放射するサブミリ波をとらえます。国際宇宙ステーションは、約90分で地球を1周します。SMILESは、1周で約100点、1日で約1600点の観測を行います。観測範囲は、北緯65度から南緯38度の間です。アンテナを上下に動かし、微量分子の高度分布を精度よく観測します。高度分解能は約3kmです。SMILESは、国際宇宙ステーションで行われるたくさんのミッションの中で、かけがえない地球の大気環境を観測する重要なミッションです。



SMILES が見つめるもの

SMILESは、成層圏のオゾン量を、これまでにない高精度で観測します。高精度な観測は、超伝導ミキサという新しい技術を使い、装置を絶対温度4K(マイナス269℃)まで冷却することで実現させます。これは、世界初の試みです。また、オゾンの破壊にかかわっている一酸化塩素(CIO)、一酸化臭素(BrO)、塩化水素(HCl)など、10種類以上の分子を同時に高精度で観測します。このような観測は世界初で、さまざまな分子がかかわるオゾン破壊のメカニズムの理解が進むと期待されています。





◀SMILESは、宇宙ステーション補給機「HTV」実証機に搭載して、H-II/Bロケットによって打ち上げられ、国際宇宙ステーションと「きぼう」のロボットアームを使って「きぼう」船外実験プラットフォームに取り付けられます。SMILESは「きぼう」第1期利用テーマとして、全天X線監視装置(MAXI)と宇宙環境計測ミッション装置(SEDA-AP)とともに、船外実験プラットフォームからの観測を行います。

国際宇宙ステーションからの地球観測ミッション

SMILESには世界最先端の技術が詰め込まれています

アンテナ駆動制御系

電波分光系

信号処理制御系

中間周波数変換増幅系

サブミリ波アンテナ鏡面部

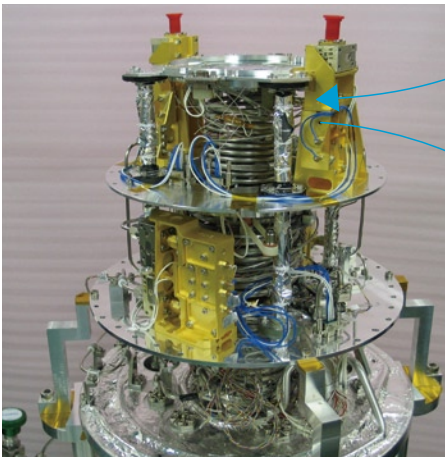
大気中の分子から放射されたサブミリ波は、まずサブミリ波アンテナによって集められ、絶対温度4Kまで冷却された超伝導ミキサによって検出されます。その信号を電波分光計によって分光スペクトルに変換します。分光スペクトルから分子の種類とその存在量が分かります。

姿勢検出系

ヘリウム圧縮機

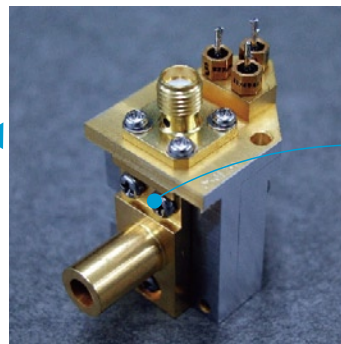
受信機クライオスタット

▼ SMILESの4K級機械式冷凍機

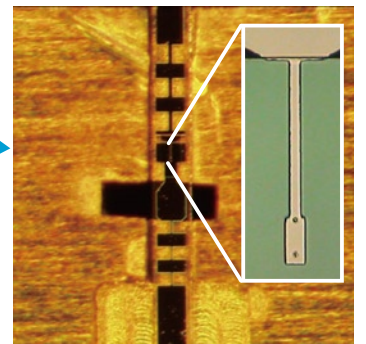


世界初! 4Kの極低温にまで冷却して観測

雑音を抑え、高感度の観測を実現するために、SMILESは、機械式の冷凍機によって超伝導ミキサを絶対温度4K(マイナス269℃)まで冷却します。この技術は、地上からの電波天文観測などで使われていますが、宇宙空間で使用するのはSMILESが世界で初めてです。この冷凍機は、高い冷却能力を持ちながら、重さ90kg、消費電力270Wと、小型・低消費電力を実現しています。



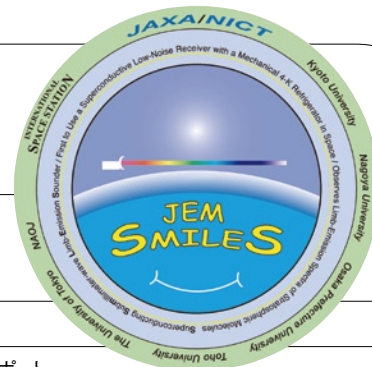
▲ SMILESの超伝導ミキサと超伝導デバイス(右)



新技術「超伝導ミキサ」で高感度観測を実現!

SMILESは、大気中の微量分子が発するサブミリ波を受信機でとらえます。しかし、その信号はとても弱いので、雑音を最小限に抑えなければなりません。また、サブミリ波は電波の中で最も周波数が高いため、取り扱いがとても難しいという問題もあります。そこで、SMILESの受信機には、「超伝導ミキサ」という新しい技術を採用しました。電波天文観測で使われる超伝導技術を利用したもので、理論的な限界に迫る低雑音を実現しています。この超伝導ミキサの心臓部である超伝導デバイスは、国立天文台野辺山宇宙電波観測所で製作されました。

「きぼう」(JEM)搭載 SMILES 基本仕様



大きさ	1.85m×1m×0.8m、約500kg
取り付け場所	国際宇宙ステーション(ISS)「きぼう」日本実験棟 船外実験プラットフォーム#3ポート
観測領域	高度：10～60km 緯度：北緯65°～南緯38°
観測周期	1周約90分のISSの周回軌道に沿って53秒ごとに約100点(360km間隔)で観測
高度分解能	ビーム幅：0.096°(3.5～4.1km*) サンプリング間隔：0.056°(2.1～2.4km*) 高度の決定精度：バイアス誤差 約0.76km ランダム誤差 約0.34km *ISSの高度を407kmとして計算
周波数と観測分子	Band-A：624.32～625.52GHz O ₃ 、O ₃ 同位体、HCl、HOCl、HNO ₃ 、CH ₃ CN、BrO、SO ₂ Band-B：625.12～626.32GHz O ₃ 、O ₃ 同位体、HCl、HO ₂ 、SO ₂ Band-C：649.12～650.32GHz ClO、O ₃ 同位体、HO ₂ 、HNO ₃ 、BrO、SO ₂ うち2つのバンドを同時に観測可能
スペクトル	周波数分解能：1.8MHz チャンネル数：1728
分子輝線の検出感度	20K以下の輝線に対して約0.7K 200Kの輝線に対して約1.0K 積分時間を1ユニット(0.5秒)として計算
分子濃度の決定精度	オゾン(O ₃)：<5%(15～60km)、<1%(～30km) 塩化水素(HCl)：<10%(15～50km) 一酸化塩素(ClO)：<30%(25～50km) など

開発機関

宇宙航空研究開発機構
情報通信研究機構

協力機関

国立天文台
東京大学
大阪府立大学
京都大学
名古屋大学
東邦大学

独立行政法人
宇宙航空研究開発機構



〒305-8505 茨城県つくば市千現2-1-1 筑波宇宙センター
TEL：050-3362-3202 (ISS広報代表) FAX：029-868-3950
JAXAホームページ <http://www.jaxa.jp/>
宇宙ステーション・きぼう広報・情報センターホームページ <http://iss.jaxa.jp/>
SMILESホームページ <http://smiles.tksc.jaxa.jp/>

独立行政法人
情報通信研究機構



〒184-8795 東京都小金井市貫井北町4-2-1
TEL：042-327-7429(代表)
NICTホームページ <http://www.nict.go.jp/>