

JEM搭載 超伝導サブミリ波リム放射 サウンダ (SMILES) による観測について

～日本発の高感度成層圏オゾン観測ミッション～

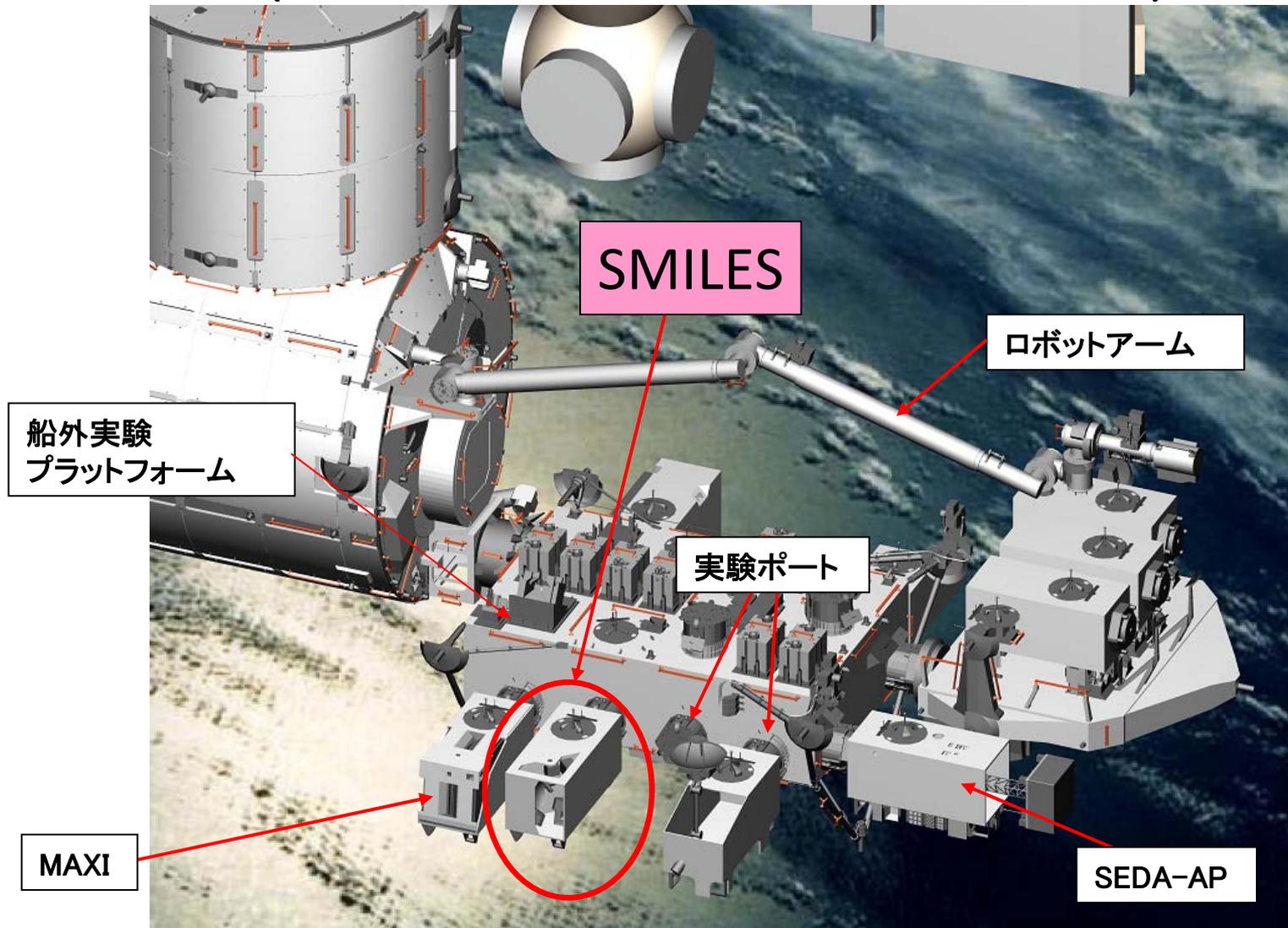
京都大学 塩谷雅人(SMILES 代表研究者)

宇宙航空研究開発機構/情報通信研究機構

2009年11月11日



JEMにおけるSMILESの設置状況 (船外実験プラットフォームの環境)



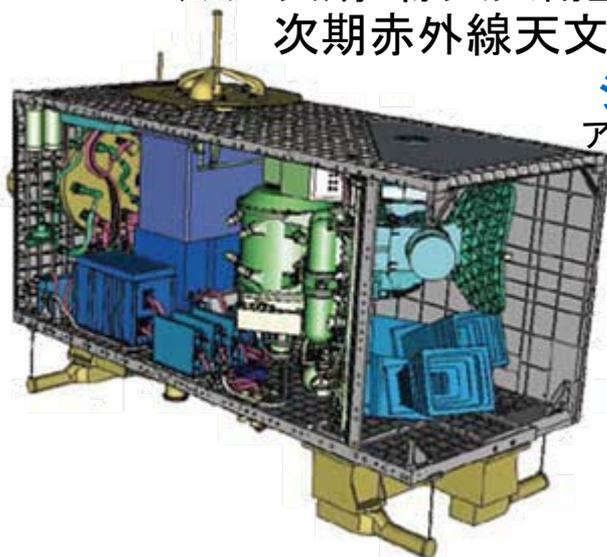
JEM/SMILES ミッションの概要

(SMILES: Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder)

1. 4K機械式冷凍機と超伝導技術を用いたサブミリ波帯リム放射サウンドの世界で初めての軌道上技術実証

→今後の科学衛星での応用が期待される

(例: 次期X線天文衛星ASTRO-H、
次期赤外線天文衛星SPICA)



システム概念図:

アンテナ 40cm × 20cm
総重量 500kg以下
ミッション期間 1年



4K級 機械式冷凍機:

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



超伝導ミキサ:

理論的な限界に迫る低
雑音を実現(野辺山宇宙
電波観測所で製作)

2. 成層圏大気微量気体成分のグローバルな時空間分布に関する観測

[標準プロダクト]

- 1スキャン: オゾン, HCl, ClO, CH₃CN, オゾン同位体, HOCl, HNO₃
- 複数スキャン(積算): HO₂, BrO

[研究プロダクト] 火山性 SO₂, H₂O₂, 水蒸気量, 雲

JEM/SMILES ミッションの科学目的と特徴

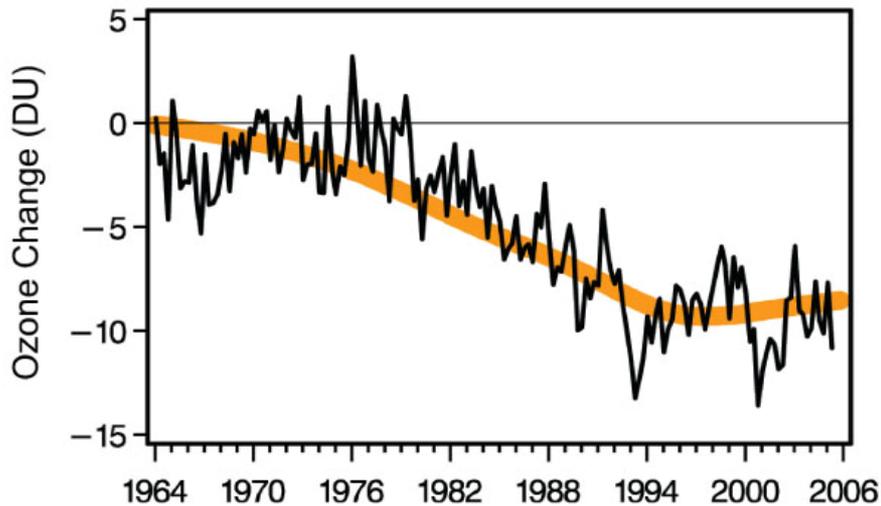
科学目的:

- 成層圏オゾンおよびオゾン破壊関連物質の精密測定による成層圏化学の精緻化
 - 塩素・臭素系物質などの微量成分の高感度測定
 - 数値モデルの精緻化とより確かな将来予測

特徴:

- **【高精度観測】**
EOS-Aura/MLS (米), UARS/MLS (米), Odin/SMR (欧) など、同じサブミリ波サウンディングを行うセンサと比較して、測定ノイズが 1/10～1/100 と低いため、これらのセンサより一桁以上 高精度な観測が可能。
(観測データを1ヶ月分程度 積算しないと導出できなかった微量成分 (BrOなど) が、1日分の観測で導出できる可能性)
- **【広域観測】**
ISSの軌道により、低～中緯度域を中心とした広域を観測することが可能。
太陽掩蔽法を採用した観測センサよりも多地点を観測することができる。
- **【技術実証環境】**
ISS は、人工衛星に比べて電力等のリソースが豊富であるため、チャレンジングな観測センサの技術実証環境として有望。人工衛星搭載へ向けての小型化・省力化等に貢献する。

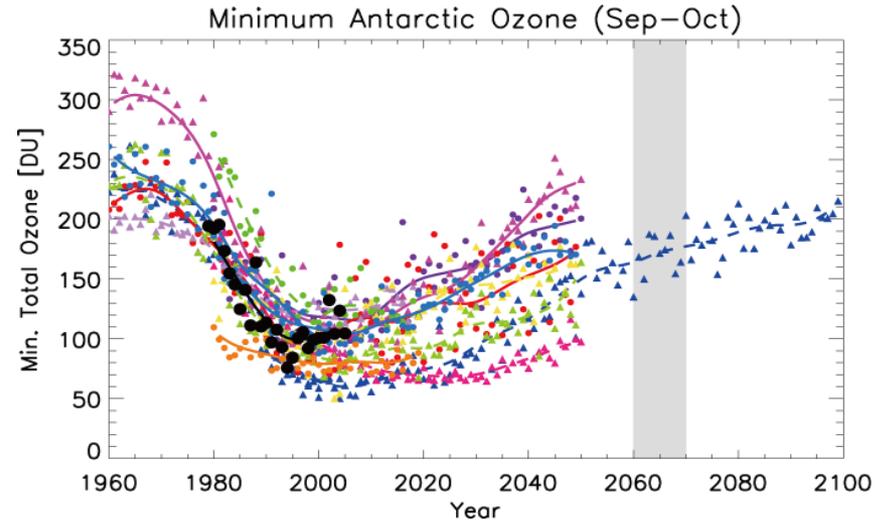
オゾン層の現状と将来予測



中・低緯度(北緯60度から南緯60度まで)のオゾン全量の変化(WMO, 2006)

オゾン層回復の将来予測モデル計算によると、1980年代のオゾン量に戻るのは2060~2070年ごろと推定されているが、それらの予測には大きなばらつきがあり、塩素系や臭素系の反応の不確実性がそのおもな要因と考えられている。

一方、温暖化→成層圏寒冷化によってオゾン層回復が早まるという予測結果もある。



- ★ — AMTRAC
- ● — CCSRNIES
- ● — CMAM
- ★ — E39C
- ▲ — GEOSCCM
- ◆ — MAECHAM4CHEM
- ★ — MRI
- ★ — SOCOL
- ★ — ULAQ
- ● — UMSLIMCAT
- ● — WACCM
- ● — Observations

南半球極域で観測されたオゾン全量の最小値(黒丸)とモデル計算の結果(色つきの印)(WMO, 2006)

SMILES の高感度観測により、モデル予測の不確実性を減少させ、より精密なオゾン層回復予測に寄与

成層圏オゾン化学の課題

- 回復傾向と言われる成層圏オゾンの動向の詳細が未解明。
 - 将来予測モデル計算によると、成層圏オゾンの量が1980年代並に戻るのは2060～2070年ごろと推定されているが、それらの予測はばらつきが大きい。
 - オゾン層問題の鍵となる、成層圏オゾンとその光化学反応に関連する大気微量成分の化学過程が、いまだ明らかになっていない。
- 成層圏オゾン化学が対流圏に及ぼす影響が十分に解明されていない。(地球温暖化予測が不確定になっている原因の一つ)



- 成層圏オゾン化学に関連する大気微量分子 (O_3 , ClO, HCl, BrO) の同時観測、精密な観測が不可欠。
- この観測データは、気候モデル・化学モデルによる将来予測の精度向上に寄与する。



JEM/SMILESは、現在軌道上にある大気観測センサでは、成層圏オゾンに焦点をあてた唯一のセンサ。

成層圏オゾン化学に関連する気体
 O_3 : オゾン
ClO: 一酸化塩素
HCl: 塩化水素
BrO: 一酸化臭素

JEM/SMILESの狙う科学目標

成層圏オゾンの回復予測の精密化

これに関して取り組むべき課題は、重要度の順に以下のとおり

1. 無機塩素の化学

- ClO と HCl の比率 (上部成層圏のオゾントレンド)
- HOCl の生成 (下部成層圏のオゾントレンド)
- 全球の ClO 分布 (ClOの背景値)

2. 臭素収支

(寿命の短いソースガス)

3. HOx 収支

(HOxジレンマ*)

4. 巻雲の観測

(異相反応と放射収支)

5. オゾン同位体

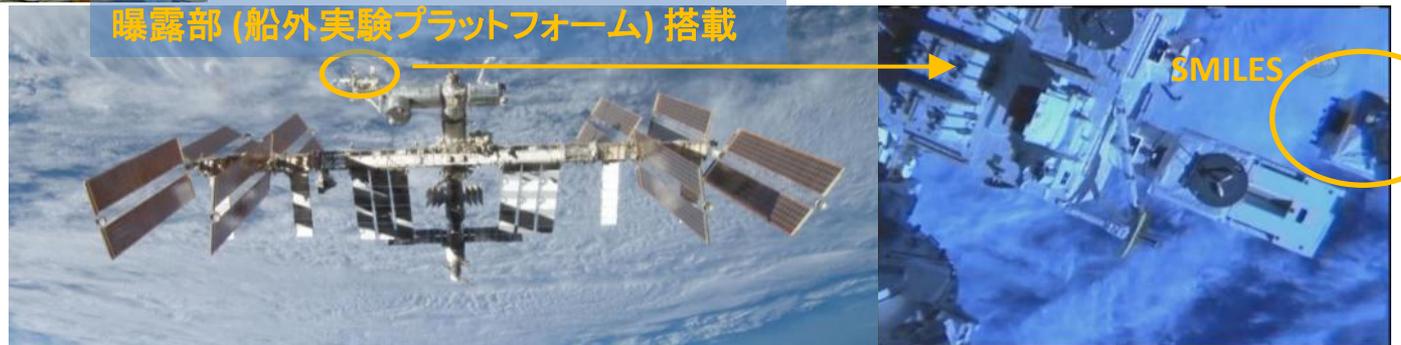
(質量に依存しない化学)

(6. 対流圏-成層圏交換

(オゾンフラックス))

•HOx ジレンマ: 成層圏・中間圏における、人工衛星等で観測したHOxの数密度が、大気の光化学モデルによって再現できない問題。大気化学における未解決課題のひとつ。

JEM/SMILES の打上げから設置・試験観測



- 9月11日 H-IIB を使ったH-II Transfer Vehicle (HTV)で打ち上げ
- 9月18日 HTV が ISS とドッキング
- 9月25日 SMILES が JEM (船外実験プラットフォーム) に設置
- 9月26日 SMILES 主電源の投入 - その後ハードウェアのチェック
- 9月28日 冷却機が4Kに到達

(注) 日本時間

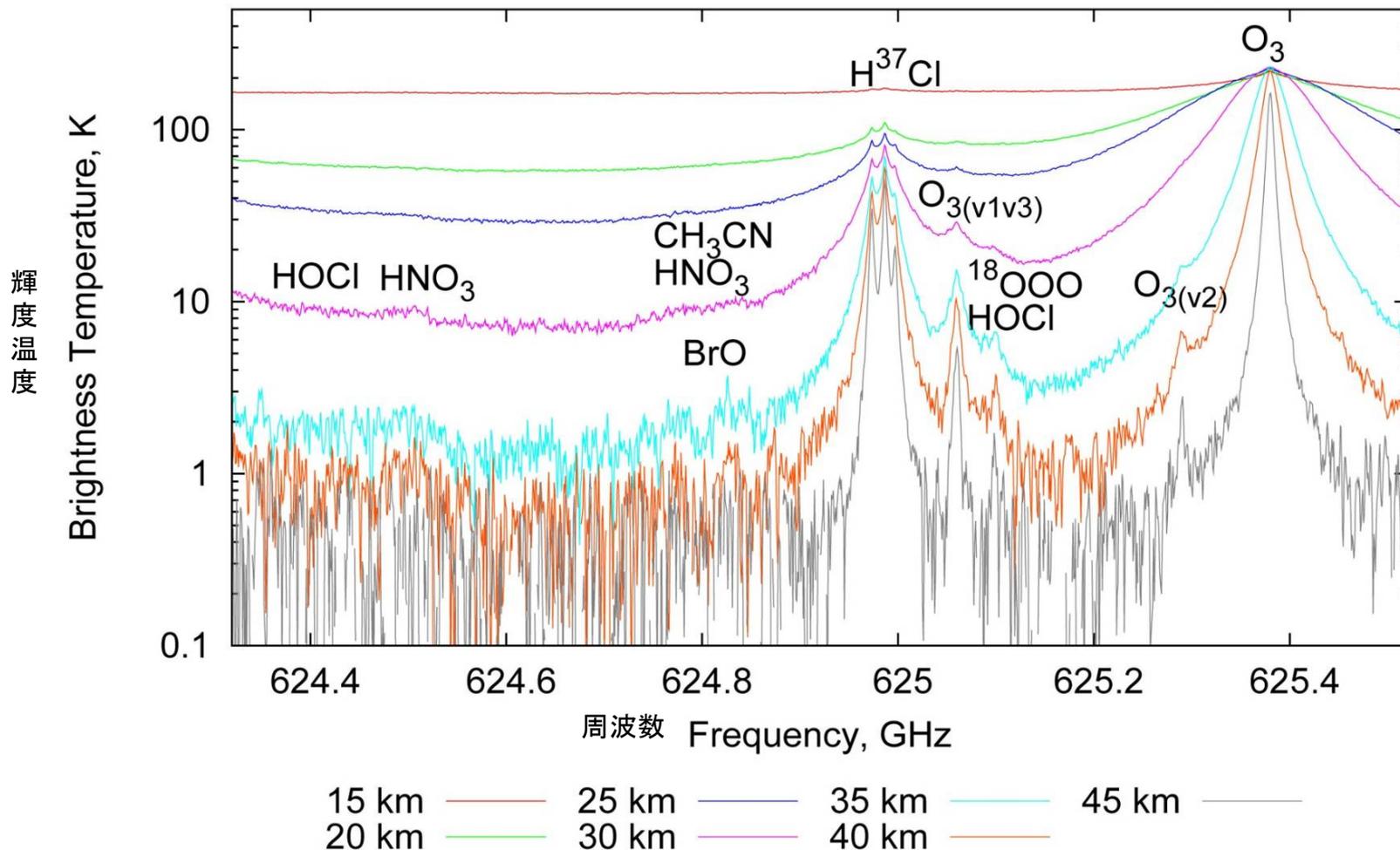
- 10月12日 連続観測を開始。
- 10月19日 ファーストライト発表
- ～10月末 初期検証第1段階 (気候値データとの比較検証)
- 11月～ 初期検証第2段階 (地上観測・他衛星データとの比較検証)
- 11月6日 定常運用移行

本報告の範囲

大気微量成分から放出されるサブミリ波 (電磁波) の測定結果(バンド A のスペクトル)

band A (091012000062)

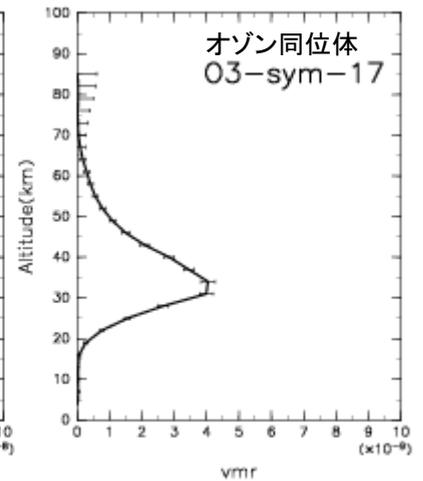
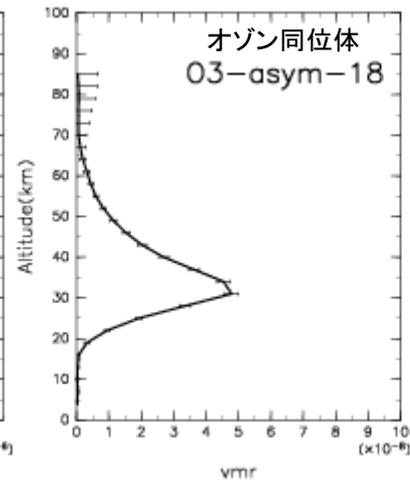
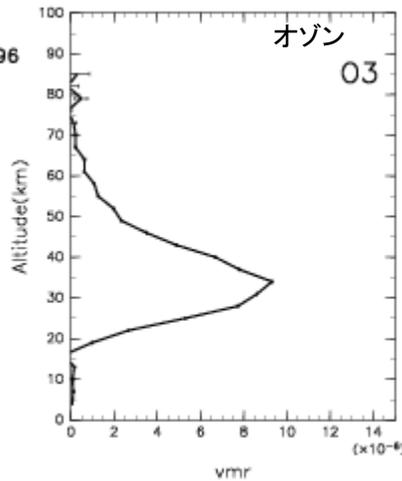
2009/10/12 03:22:14, N23.30 E173.83, SZA:55.8 deg



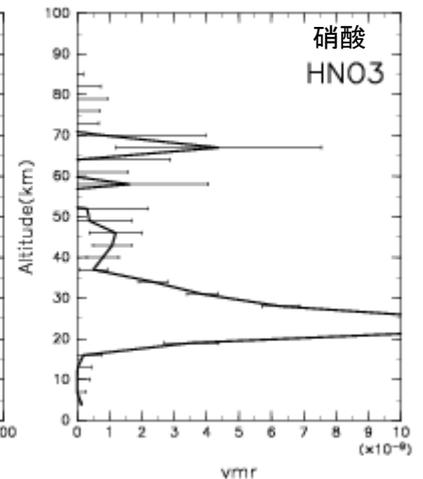
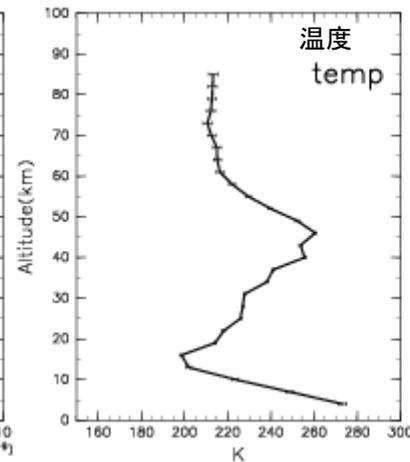
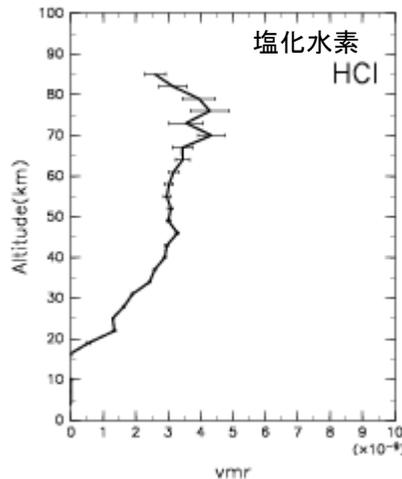
各微量成分の高度プロファイル

(バンド A スペクトルからの計算結果)

Obsdate:09/10/12
 Scanid:20091012000796
 Band:A
 Lat:27.36
 Lon:-14.92
 Time:15:31:59
 Solar zenith angle:
 53.09
 Azimuth view:
 94.80
 Local Time:
 14:32:18

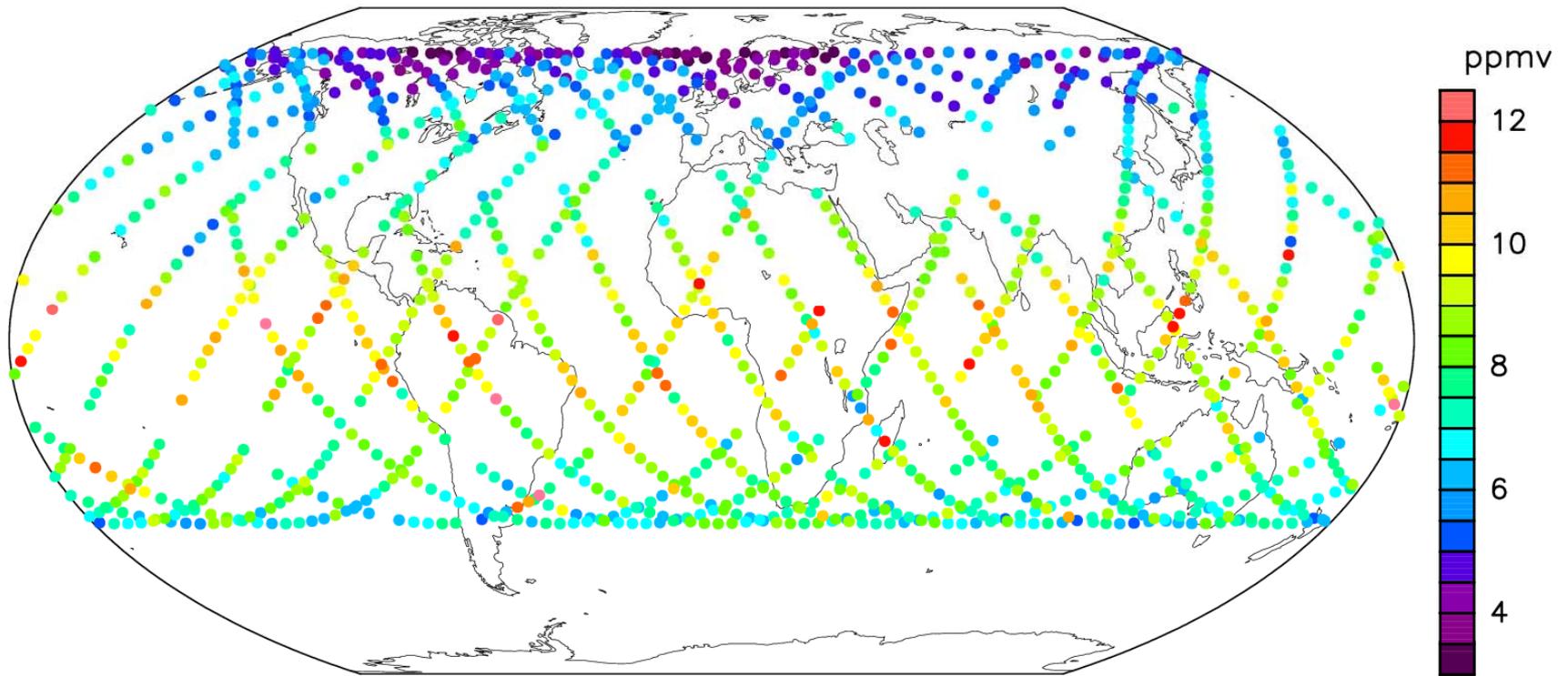


大気微量分子の高度分布が鮮明に把握できる。同時刻における微量分子の分布を把握することで、気候モデル・化学モデルによる将来予測の精度向上に寄与することができる。

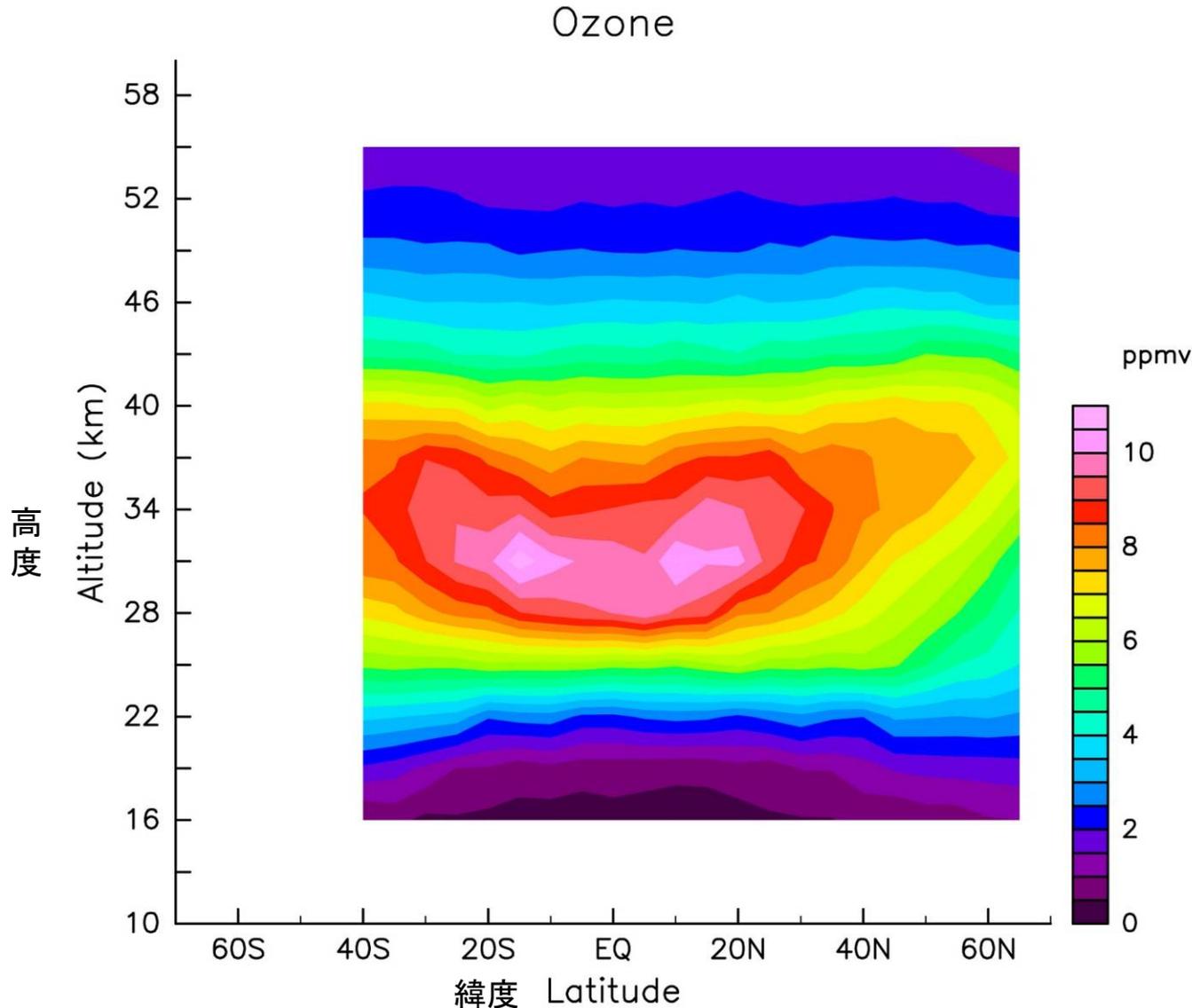


高度28kmにおけるオゾン分布 (1日分の高度プロファイルから抽出)

Ozone 28km



帯状平均したオゾンの緯度-高度分布



南半球から北半球にかけてのオゾン的高度分布を表わしたものの。
高度 30km 付近でオゾンがもっとも多くなっている (赤～ピンク色の部分) ことが示されており、オゾン層の存在が SMILES の観測で明確に捉えられていることがわかる。

今後の予定

	2009	2010
運用	<p>△ 打上げ(9月)</p> <p>↔</p> <p>初期運用 (1ヶ月)</p>	<p>←-----→</p> <p>定常運用 (約 1 年)</p> <p>-----></p> <p>後期運用</p>
研究	<p>△ 観測開始(10月12日)</p> <p>↔</p> <p>初期検証 (2ヶ月)</p>	<p>△ 研究者向け データ提供開始 (12月～)</p> <p>一般向け △ データ提供開始 (12月～)</p> <p>△ 研究代表者会議(3月)</p>

まとめ

- JEM/SMILES は ISS に取り付けられ、4K 冷却に到達し、順調にセンサの動作を開始。
- 予想よりも精密なスペクトルが取得され、これまでにない高精度で、微量成分の高度分布を導出。
- 算出が困難と思われた微量成分 (BrO など) のデータも取得。
(従来は、これらの成分の発する微弱な電磁波に対して測定装置のノイズが大きすぎたため、検出が難しかった)
- 今後 1 年程度で、以下の研究に取り組み、地球環境問題の解決に役立てる。
 - オゾン層問題の鍵となる、成層圏オゾンに関連した化学過程に関する精密なデータを提供し、成層圏オゾン回復予測の高精度化に貢献。
 - 成層圏オゾン化学が対流圏に及ぼす影響について、観測データの解析を進めることで、地球温暖化予測の精密化に貢献。

JEM/SMILESミッションにおける技術開発



情報通信研究機構(NICT)では超伝導を利用した
テラヘルツ技術による大気観測研究を推進

JEM/SMILES開発の基礎となった研究・観測(地上、気球)を
1990年代より実施してきた



地上設置機器による観測

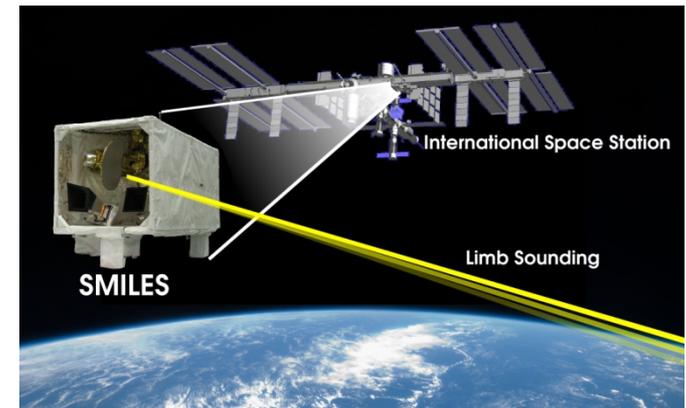


気球搭載機器による観測

JEM/SMILES では超伝導を用いた高感度受信機で、
初めて宇宙から地球大気を観測

技術開発上の成果:

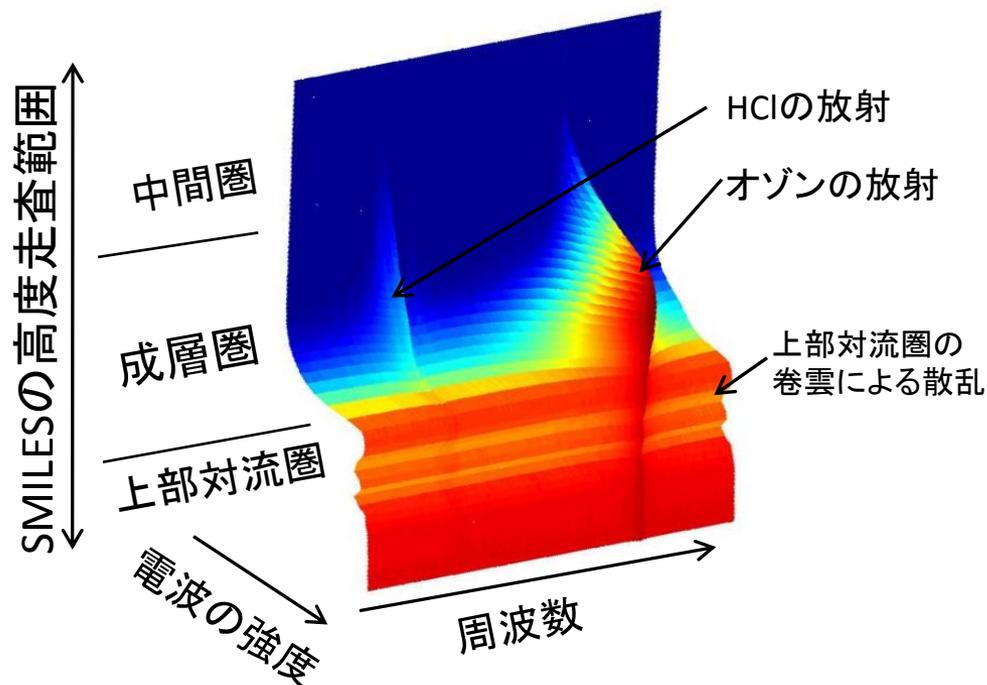
1. ハードウェアはほぼ完璧に動作しており、
従来衛星より決定的に高い感度を実現
(冷凍機など宇宙での実用化につながる技術)
2. スペクトルベースラインにも歪がほとんどない
大気研究に十分なデータを提供
(センサ、光学系を含め受信機系としての成功)



JAXAとNICTの共同開発により、超伝導テラヘルツ技術の確立と、
大気観測センサとして完成度の高い受信機の開発が実現した

NICTでは、テラヘルツ(100 GHz-10 THz)受信機技術による大気などの観測研究を、
今後もさらに発展させていく。

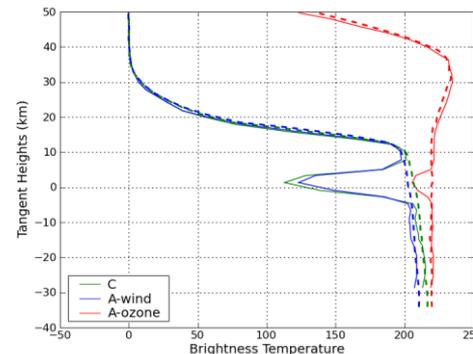
JEM/SMILESによる大気の観測研究



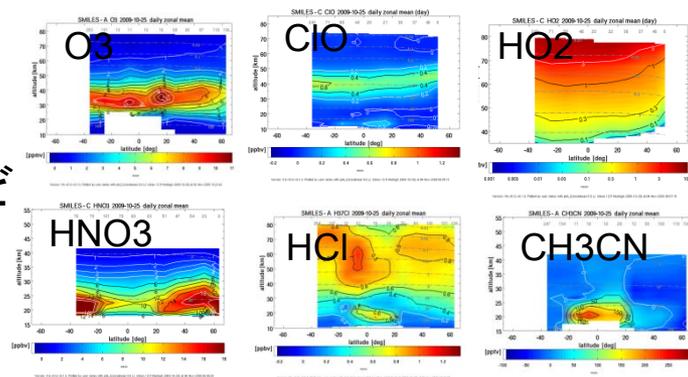
JEM/SMILESの観測スペクトル

放射収支・気候変動研究への貢献

SMILES観測データの高度分布から氷雲(巻雲)の量を見積もる



リアルタイム・クイックルックデータ表示の計画



JEM/SMILESのデータは、オゾン層化学のほかにも、中間圏の光化学、対流圏上部の氷雲や水蒸気の観測など地球温暖化の解明に貢献する研究に利用できる。

JAXAの定常データ処理、NICTの研究データ処理で役割分担をしつつ、SMILESデータ利用の研究を進めている

補足資料

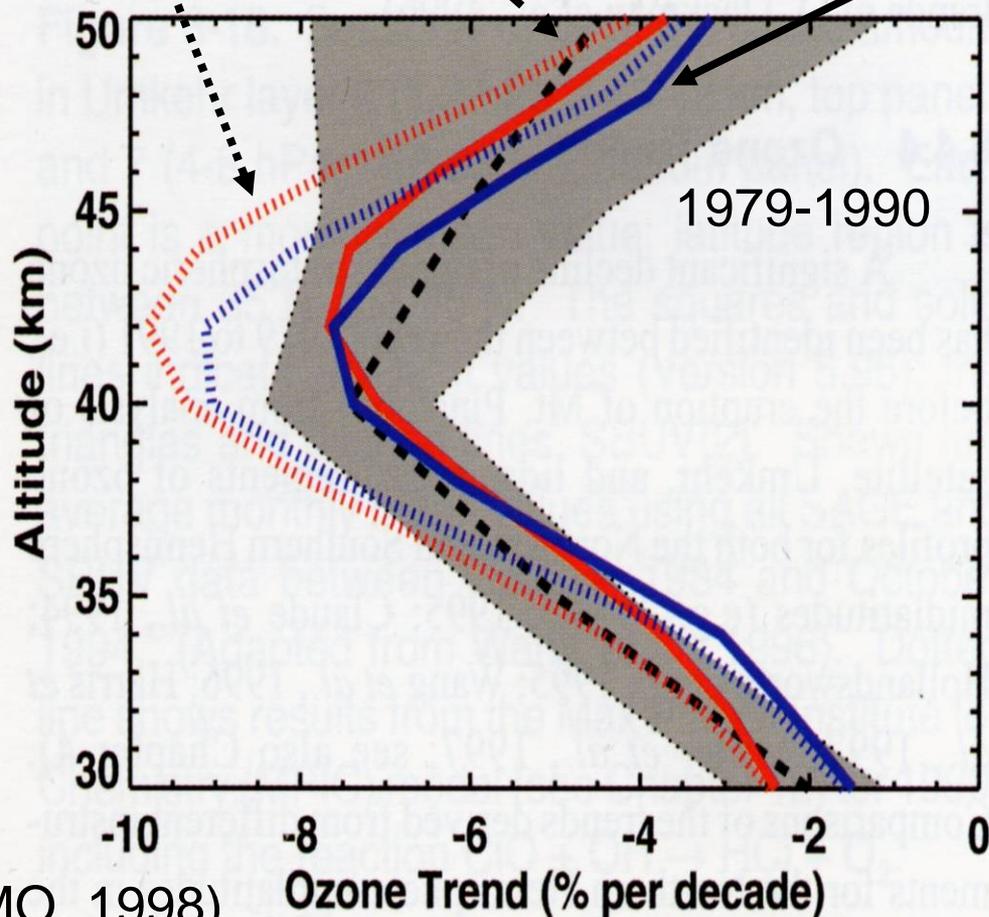
(1. 無機塩素の化学)

上部成層圏における塩素の存在様態

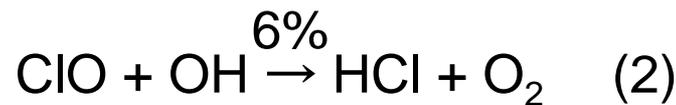
破線: observations (SAGE, SBUV, Umkehr)

点線: model without (2)

実線: model with (2)



(WMO, 1998)



気球観測から得られている
[ClO]/[HCl]の比の値は、
(2)の反応を取り込むことで、
上部成層圏のオゾンレン
ドをよりよく説明しうる。

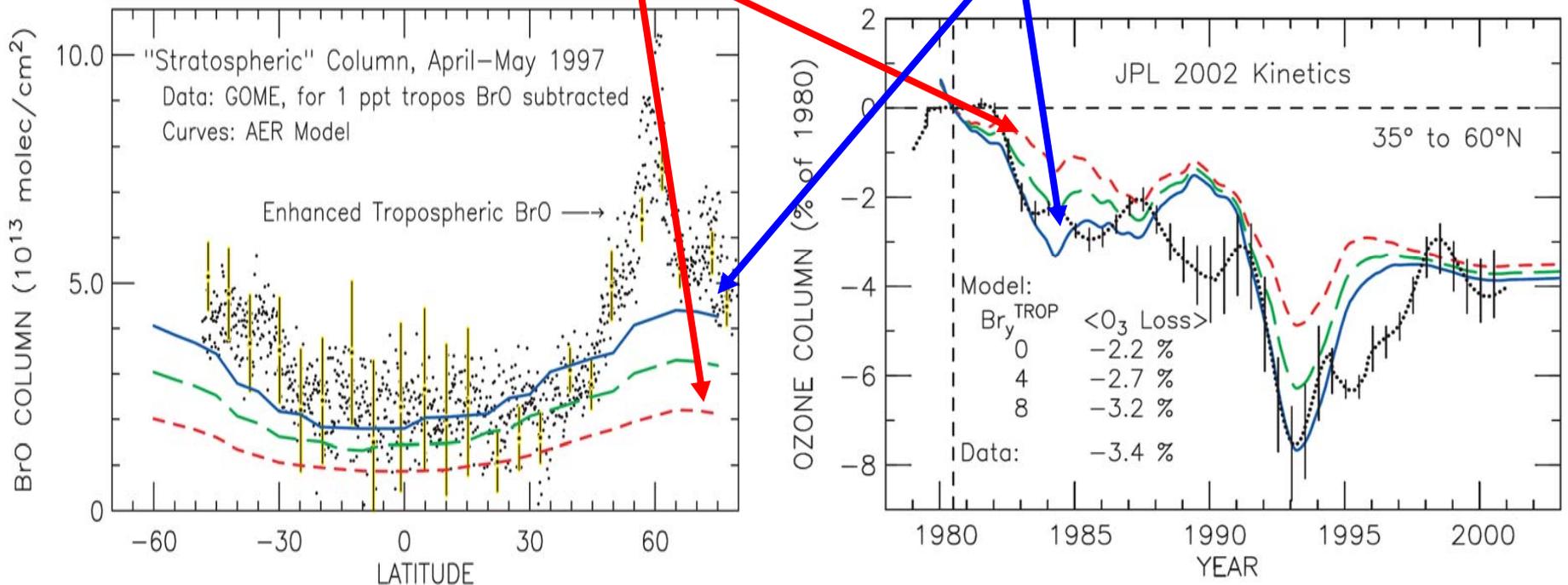
SMILES の ClO と HCl の
同時高感度観測によって、そ
の比に対する定量的な論議
に決着をつけることが可能。

(2. 臭素収支)

臭素収支の不確定性

Br_y from CH₃Br & Halons

+ 8 pptv Br_y Source



成層圏の臭素量を説明するには、寿命の長いソースガス(CH₃BrとHalon)だけでなく、寿命の短いソースガスの寄与(~8 pptv)が必要(Salawitch et al., 2005).

→SMILES による BrO の観測によって、この不確定性の解明に近づく。

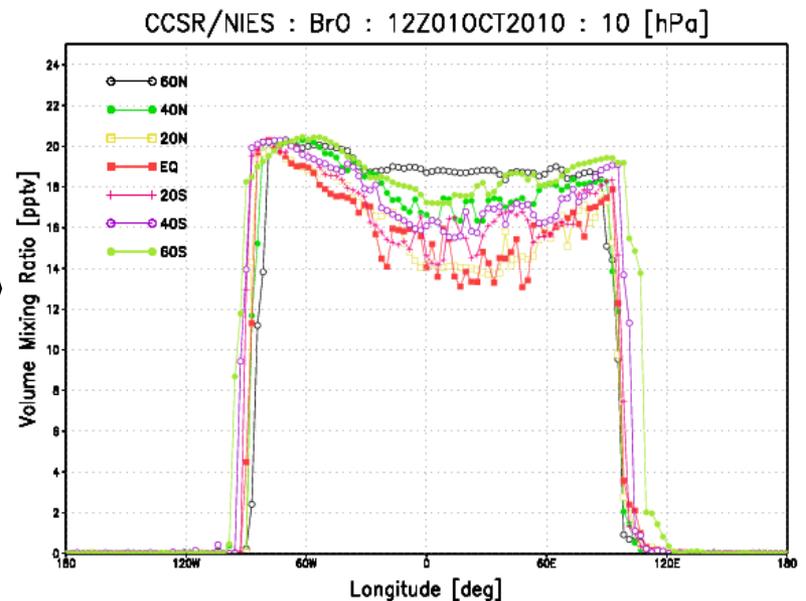
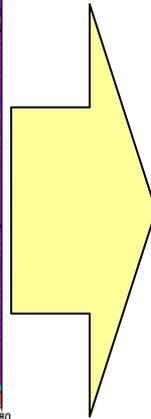
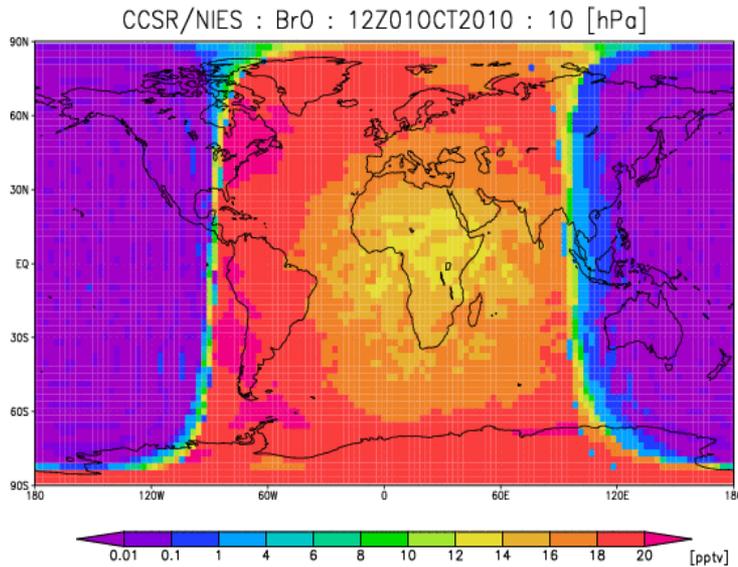
(2. 臭素収支)

化学輸送モデル計算による成層圏BrO分布

太陽非同期軌道である ISS からの観測という利点を生かし、これまでの衛星観測では捉えることのできなかつた、大気微量成分の日変化の把握が期待できる。

→SMILES による、世界初の、臭素系化合物の日変化の解明

例) 10hPa, 10月1日12Z におけるBrOのスナップショット

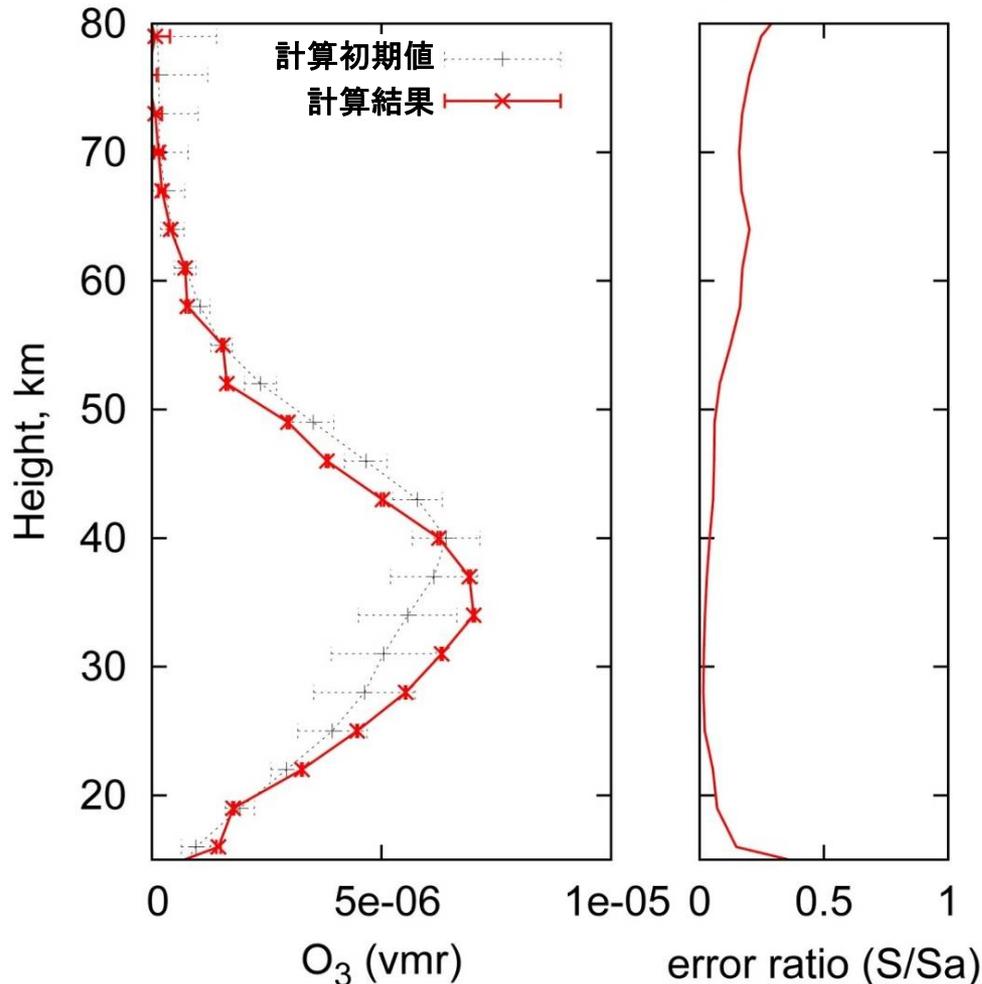


モデル計算により、経度方向に変化をもつ分布であることがわかる

異なる経度 (=地方時) の観測データを蓄積することで、日変化を捉えることが期待できる

オゾンの高度プロファイルと導出誤差 (O_3 の計算結果: バンドA)

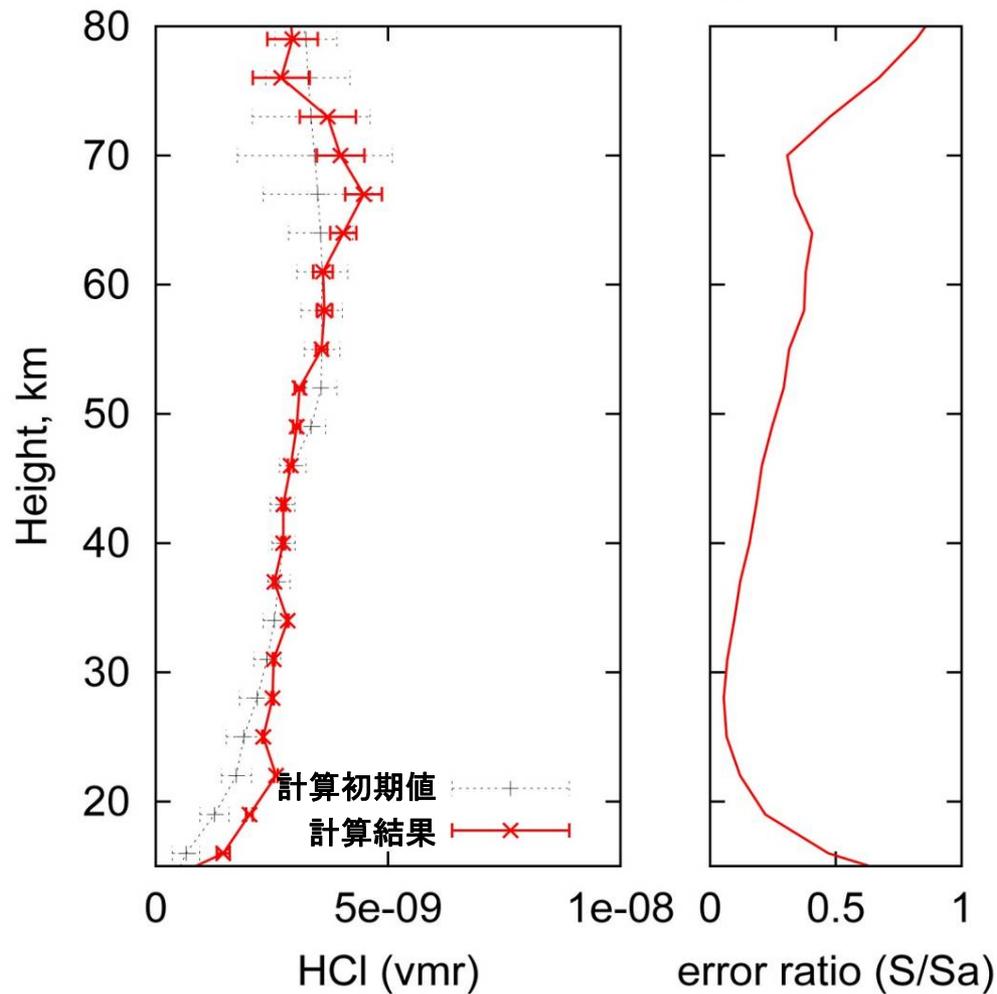
O_3 , bandA (091012000077)
2009/10/12 03:10:00
N62.90 E62.28, SZA87.07deg



各高度において、誤差2%程度の精度(未検証)で、オゾンの高度分布計算を実現している。
このことにより、十分な検証を行うことで、従来のセンサと同等以上の観測精度を実現できる見込み。

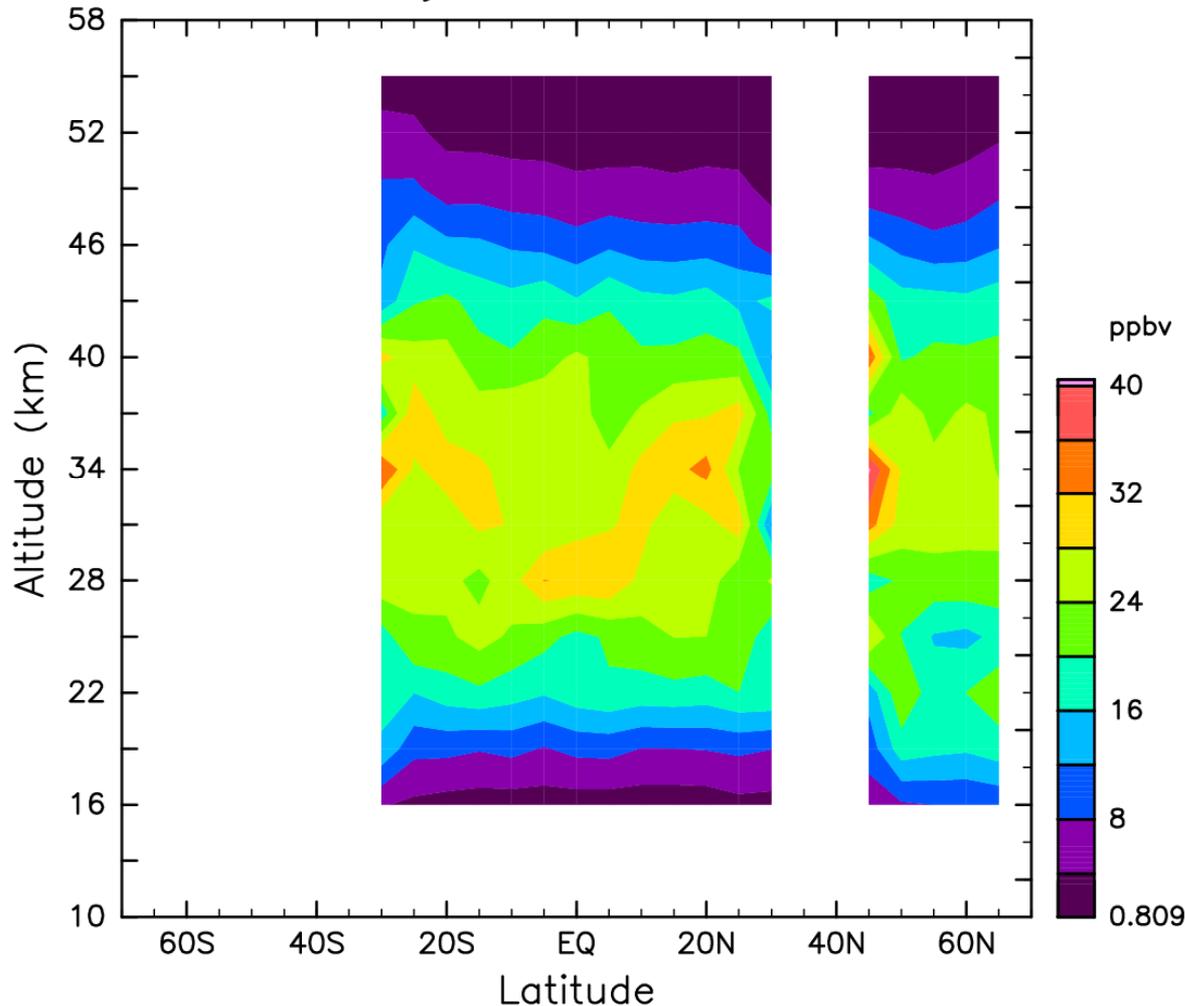
塩化水素の高度プロファイルと導出誤差 (HCl の計算結果: バンドA)

HCl, bandA (091012000077)
2009/10/12 03:10:00
N62.90 E62.28, SZA87.07deg



帯状平均した臭素化合物 (BrO) の 緯度-高度分布

BrO daytime 1012 band:C



南半球から北半球にかけての BrO の高度分布を表わしたものの。高度 30km 付近で BrO がもっとも多くなっている (黄緑～黄～オレンジ色の部分) ことが示されており、オゾン層破壊に関わる臭素化合物の存在が SMILES の観測で明確に捉えられていることがわかる。