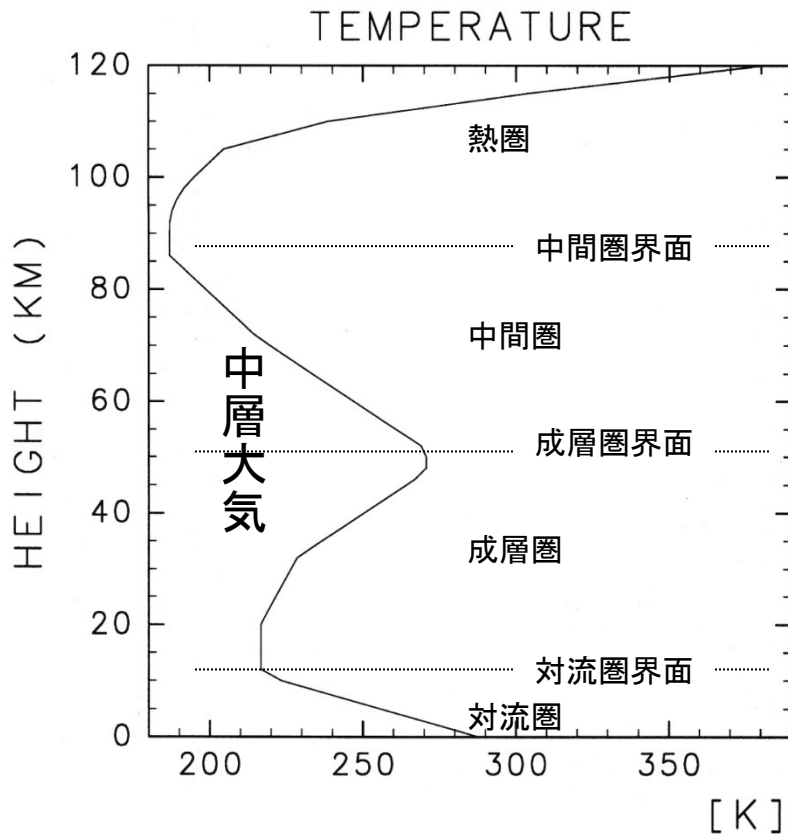


# 中層大気力学-化学のための 地球観測衛星 - SMILES-2の検討状況 -

塩谷雅人(京大生存研), 鈴木 睦(ISAS/JAXA), 落合 啓(NICT),  
鵜澤佳徳(NICT), 西堀俊幸(JAXA), Philippe Baron(NICT),  
今井弘二(ISAS/JAXA), 眞子直弘(千葉大), 坂崎貴俊(京大生存研),  
水野亮(名大STE研), 真鍋武嗣(大阪府立大)

# 地球システムにとっての中層大気



(US standard atmosphere)

- 成層圏界面の高温層～オゾン層
- 極低温の対流圏界面～乾燥した成層圏  
-> 多量のオゾンと少量の水蒸気
- 人為起源の擾乱に対して敏感
  - オゾン層破壊や下層大気の温暖化にともなう寒冷化
  - 温暖化にともなう子午面循環の変動
  - 太陽活動性に対する敏感なレスポンス
- 数値予報モデル・化学輸送モデル
  - 地表から中層大気を含む高度80km付近までがモデル領域 -> 中長期予報に対しての重要性(e.g. 北極振動)
  - 入力データ: 気象ゾンデ~30km, 衛星観測データ~40km

# SMILES観測の概要

(SMILES: Superconducting Submillimeter-wave Limb Emission Sounder)

- 4K機械式冷凍機と超伝導センサを用いた624- 650 GHz帯における超高感度測定
- 大気のリム観測に基づく鉛直プロファイルの測定(高度分解能約2-3km)
- 国際宇宙ステーションからのグローバル観測(65N- 38S; 2009年10月~2010年4月)

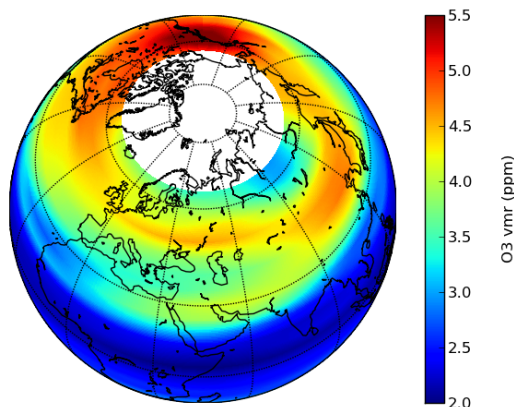


@Astro\_Wakata

HCl (AB) 2010-01-23

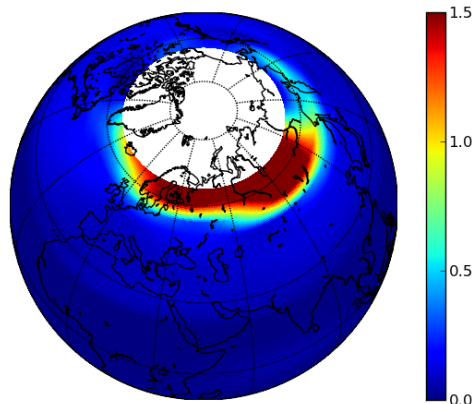
O3 (AB) 2010-01-23

ClO (C) 2010-01-23



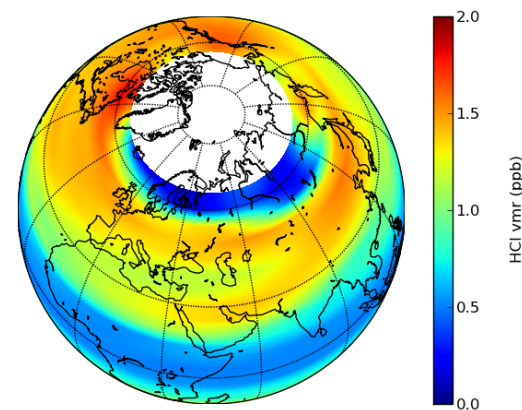
SMILES: 007-08-0310\_new

Altitude: 22.00 km



SMILES: 007-08-0310\_new

Altitude: 22.00 km



SMILES: 007-08-0310\_new

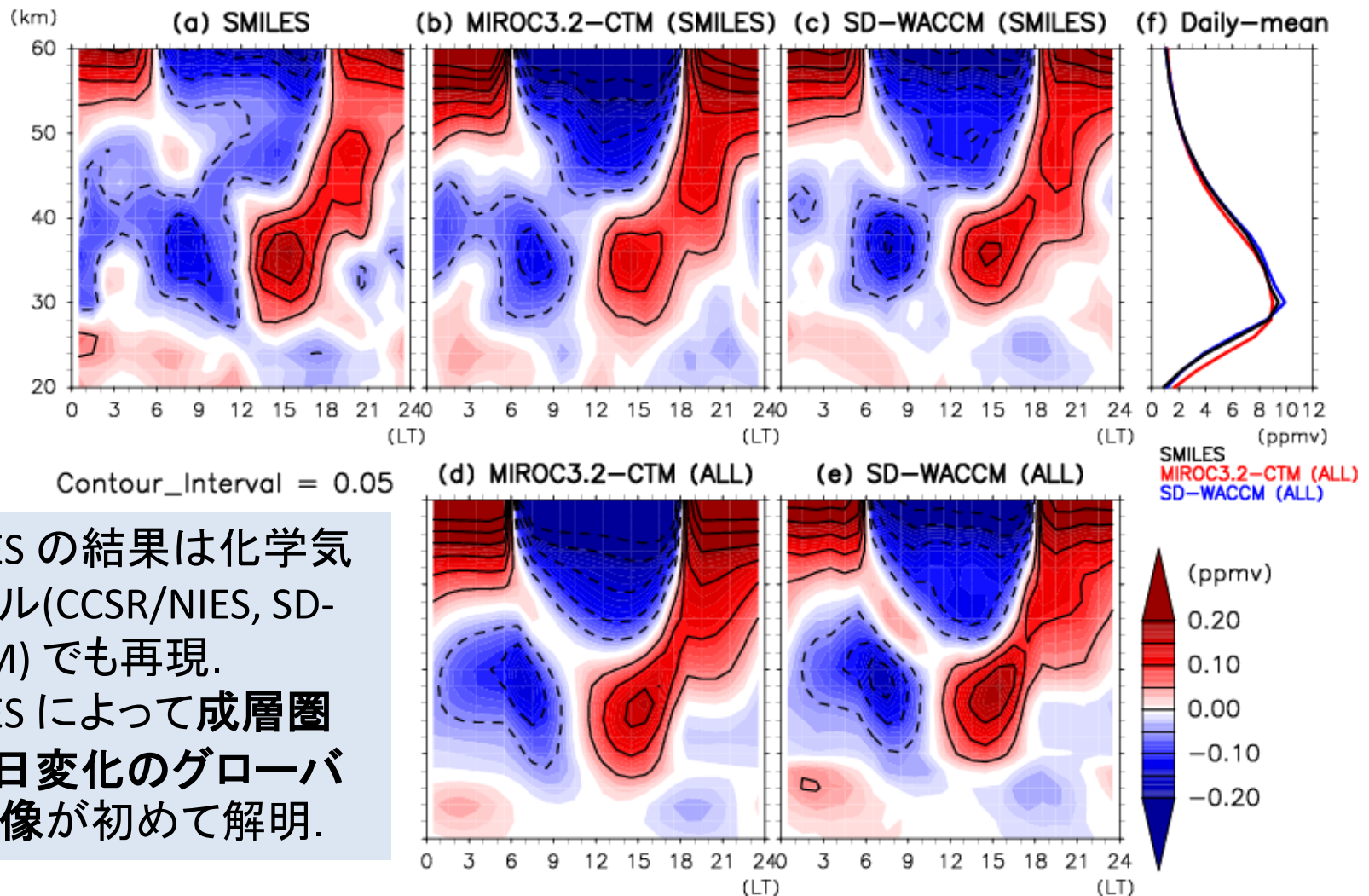
Altitude: 22.00 km

オゾンおよびオゾン化学にとって重要な役割を果たす塩素, 臭素系の大気微量成分観測をおこなった. また, それらの日変化成分を抽出.

(Kikuchi et al., 2010, JGR; Suzuki et al., 2012, T.IEE Japan)

This document is provided by JAXA.

# オゾンのグローバル日周変動

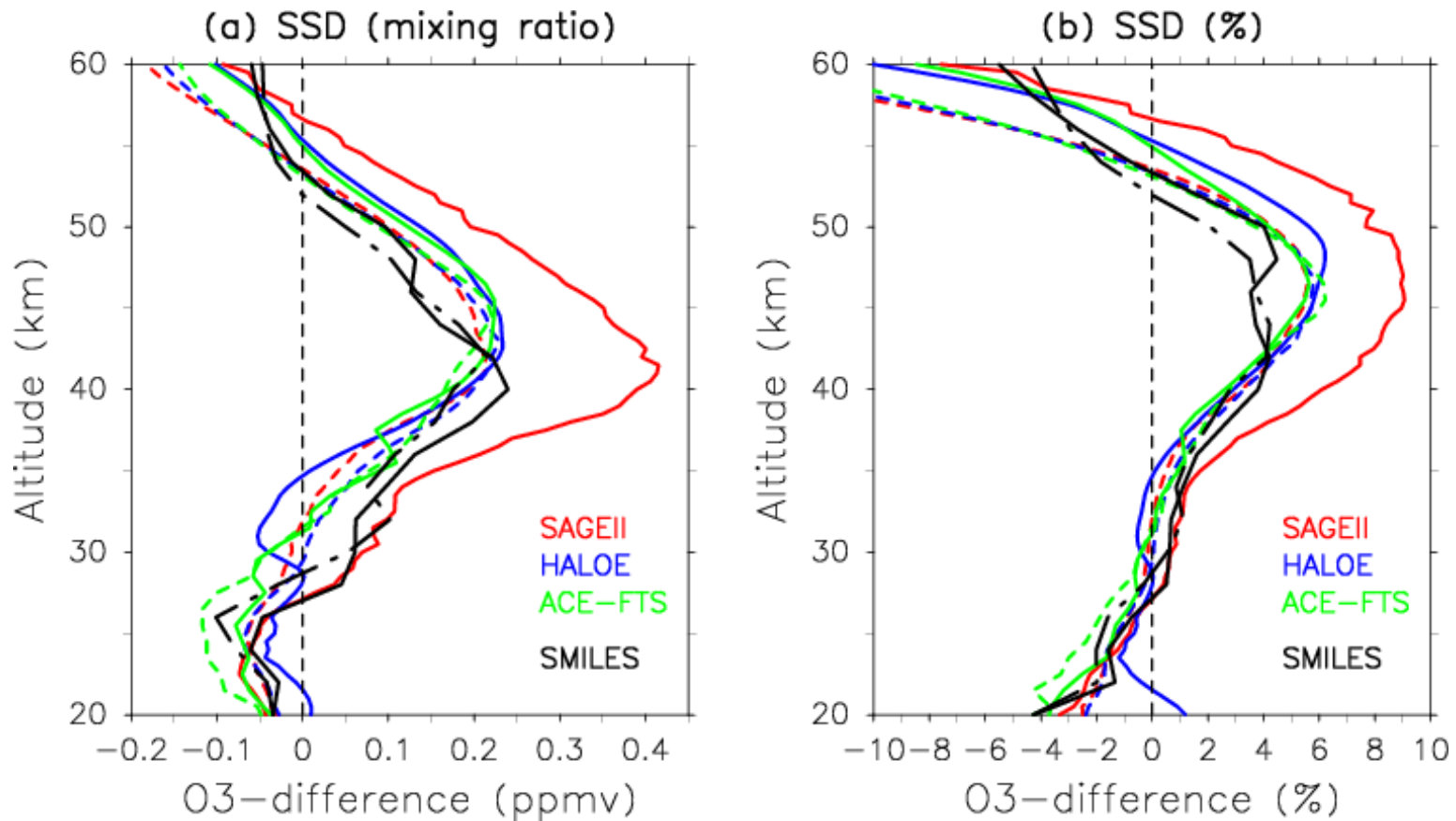


- SMILES の結果は化学気候モデル(CCSR/NIES, SD-WACCM) でも再現.
- SMILES によって成層圏オゾン日変化のグローバルな描像が初めて解明.

(Sakazaki et al., 2013, Diurnal ozone variations in the stratosphere revealed in observations from the SMILES on board the ISS, JGR)

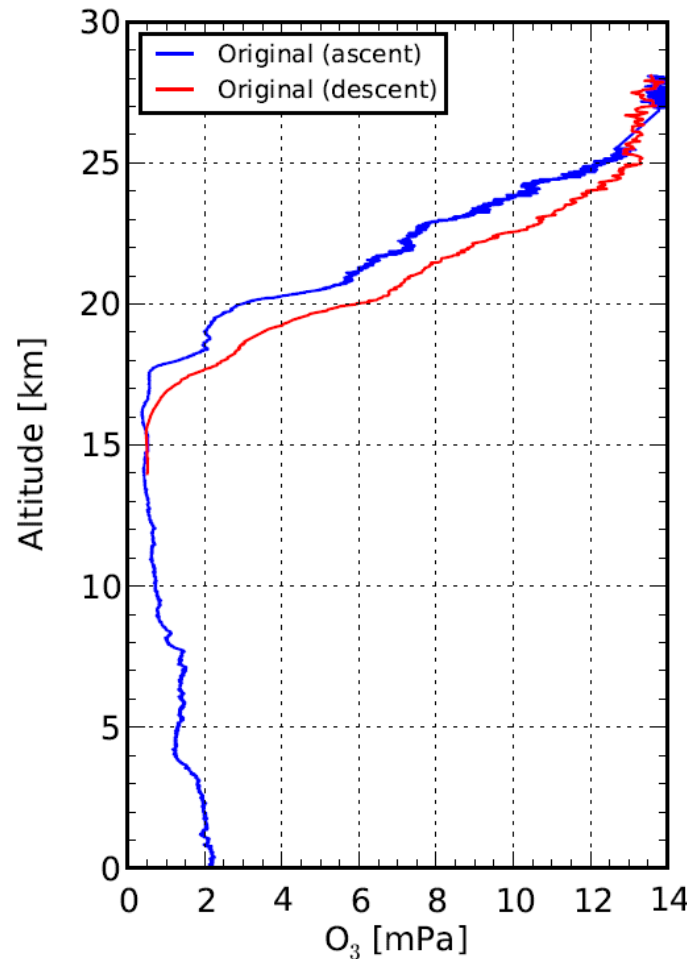
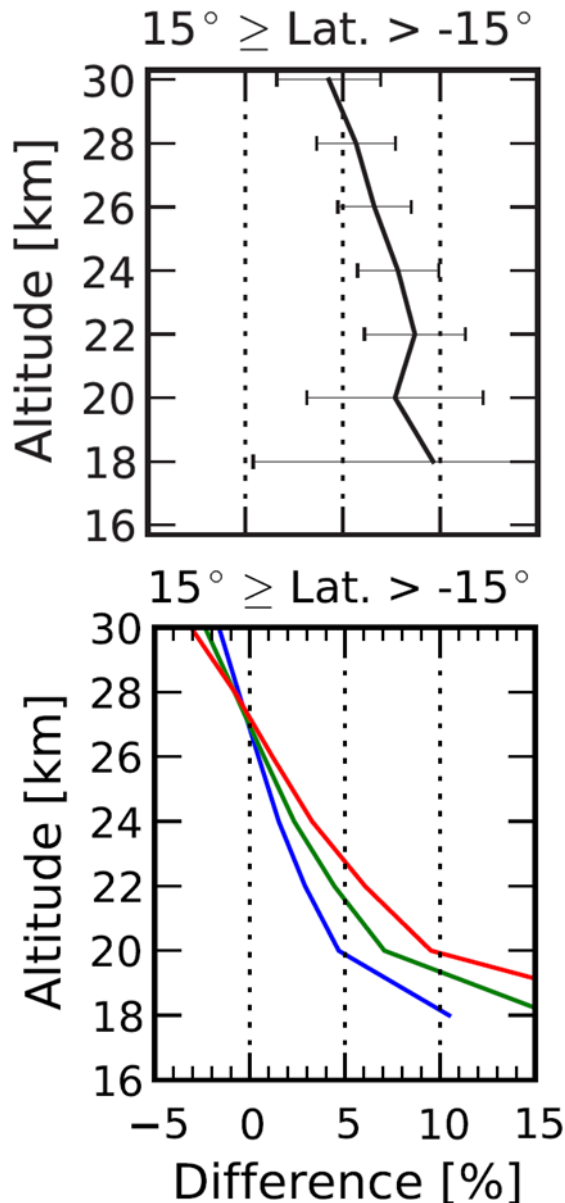
# 太陽掩蔽観測データの不確定性

10S-10Nの領域で見た日入と日出の差



(Sakazaki et al., 2015, Sunset–Sunrise Difference in Solar Occultation Ozone Measurements (SAGE II, HALOE, and ACE–FTS) and its Relationship to Tidal Vertical Winds, ACP)

# オゾンゾンデとの比較



2010年1月のSOWER  
キャンペーンデータ

Miloshevich et al.  
[2004] による応答  
時間の見積もり

$$\frac{dX_m}{dt} = k(X_a - X_m)$$

$$X_m(t) = X_a - [X_a - X_m(t_0)]e^{-\Delta t/\tau}$$

応答時間は平均し  
て28秒(これまでい  
われている値は20-  
30秒[e.g. Smit et  
al., 2007])

(Imai et al., 2013, Comparison of ozone  
profiles between SMILES and worldwide  
ozonesonde measurements, JGR)

# SMILESがコミュニティに問いかけたもの

- 日変化という観点での大気現象の見直し
- 高感度観測から見えてくる既存の観測データの不確定性(地上観測さらには衛星観測)
- 成層圏から中間圏までを一つの測器で観測することの優位性
- 化学輸送モデルのパフォーマンス検証の有効性 – (将来予測)モデルの改良に対して厳しい束縛条件を与えることになるよい素材

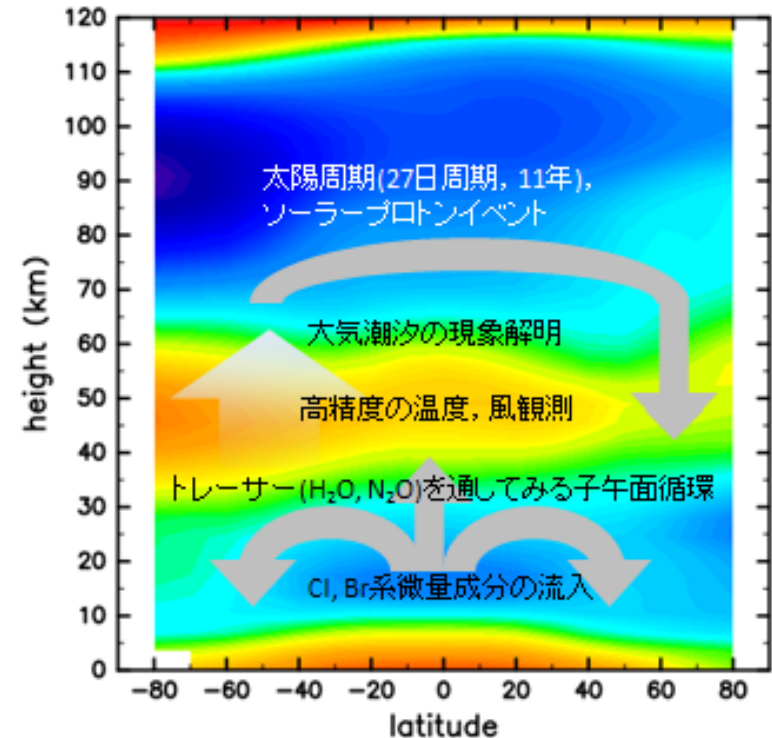
# SMILES観測の弱点

- 温度情報を得ていない – リトリバルの際の困難(微弱なシグナルの解釈), 特に中間圏領域
- 寿命の長いトレーサーの測定がない – 輸送過程を見る上で重要
- 観測期間が半年と限定 – 季節変動・準二年振動・経年変化が論議できない. 3-5年は欲しい.
- 高度決めに関する不確定性 – すべての観測が見直すべき重要な問題



# 中層大気から下部熱圏の統合観測

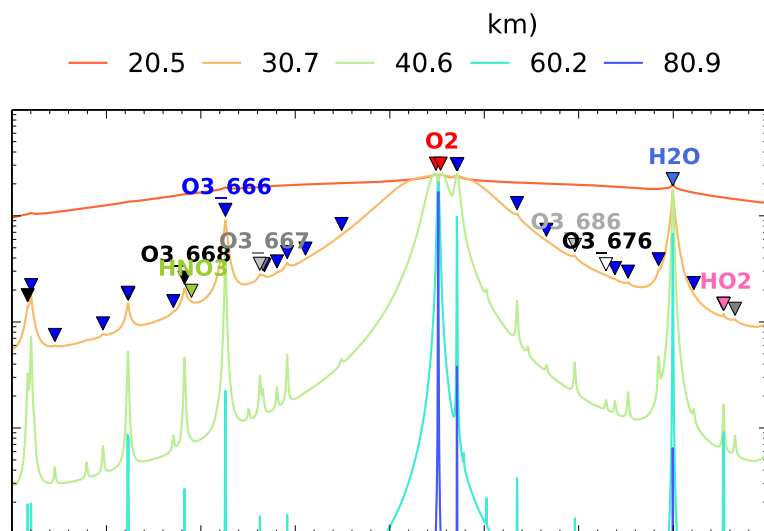
- 中層大気における熱収支・運動量収支の見積もりの精緻化
  - 1Kの精度で高度120kmまでの温度分布を導出
  - 視線方向の風観測と同化手法を用いた風速場の導出
  - 中間圏領域における大気潮汐の動態解明
- 対流圏起源物質の成層圏への流入過程
  - ClOとBrOの高精度観測
  - H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>Oトレーサー観測による子午面循環の定量化
- 太陽活動の高層大気に対する影響
  - 太陽周期(27日周期, 11年), ソーラープロトンイベントにともなう中層大気の変動についての動態解明



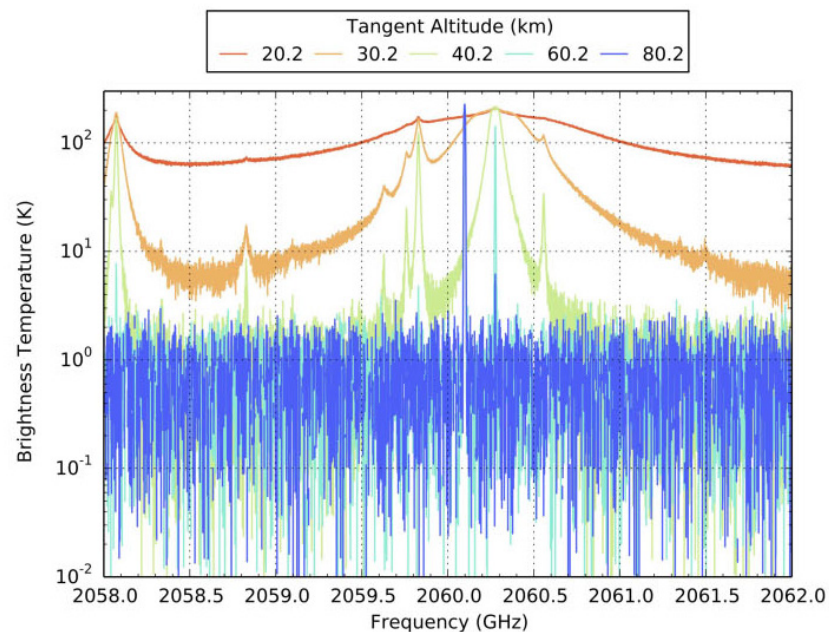
# 観測パラメータ

|                           | SMILES             | not in SMILES  | SMILES-2 submm  | SMILES-2 THz |
|---------------------------|--------------------|--|---|--------------|
| Temp.                     | 10-40 km           | 40-100 km  | 10-100 km   | 100-150 km   |
| Wind                      | 40-70 km           |  | 35-100 km   | 100-150 km   |
| Ox                        | O <sub>3</sub>     | O-atom   | O <sub>3</sub> , O <sub>2</sub>                         | O-atom       |
| HOx                       | HO <sub>2</sub>    | OH, H <sub>2</sub> O   | HO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O                      | OH           |
| CLOX                      | ClO, HOCl (poor)   | Cl, OCIO, (ClO) <sub>2</sub> ,<br>ClONO <sub>2</sub>             | ClO, HOCl (better spectrometer)                         |              |
| BrOx                      | BrO (poor)         | Br, BrCl, OBrO,<br>BrONO <sub>2</sub>                            | BrO (better ch)   |              |
| NOx                       | HNO <sub>3</sub>   | N <sub>2</sub> O, NO, NO <sub>2</sub> ,<br>ClONO <sub>2</sub>    | N <sub>2</sub> O, NO, NO <sub>2</sub> , NO <sup>+</sup> |              |
| CH <sub>4</sub> oxidation | ---                | (CH <sub>4</sub> ), H <sub>2</sub> CO, CO,<br>(CO <sub>2</sub> ) | H <sub>2</sub> CO, CO                                   |              |
| Tracer                    | ---                | H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub> O, CO                           | H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub> O, CO                  |              |
| Tropospheric source       | CH <sub>3</sub> CN | CH <sub>3</sub> Cl   | CH <sub>3</sub> Cl, CH <sub>3</sub> CN                  |              |
| IR active                 | O <sub>3</sub>     | H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub> O                               | O <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub> O     |              |

# ライン選択の検討



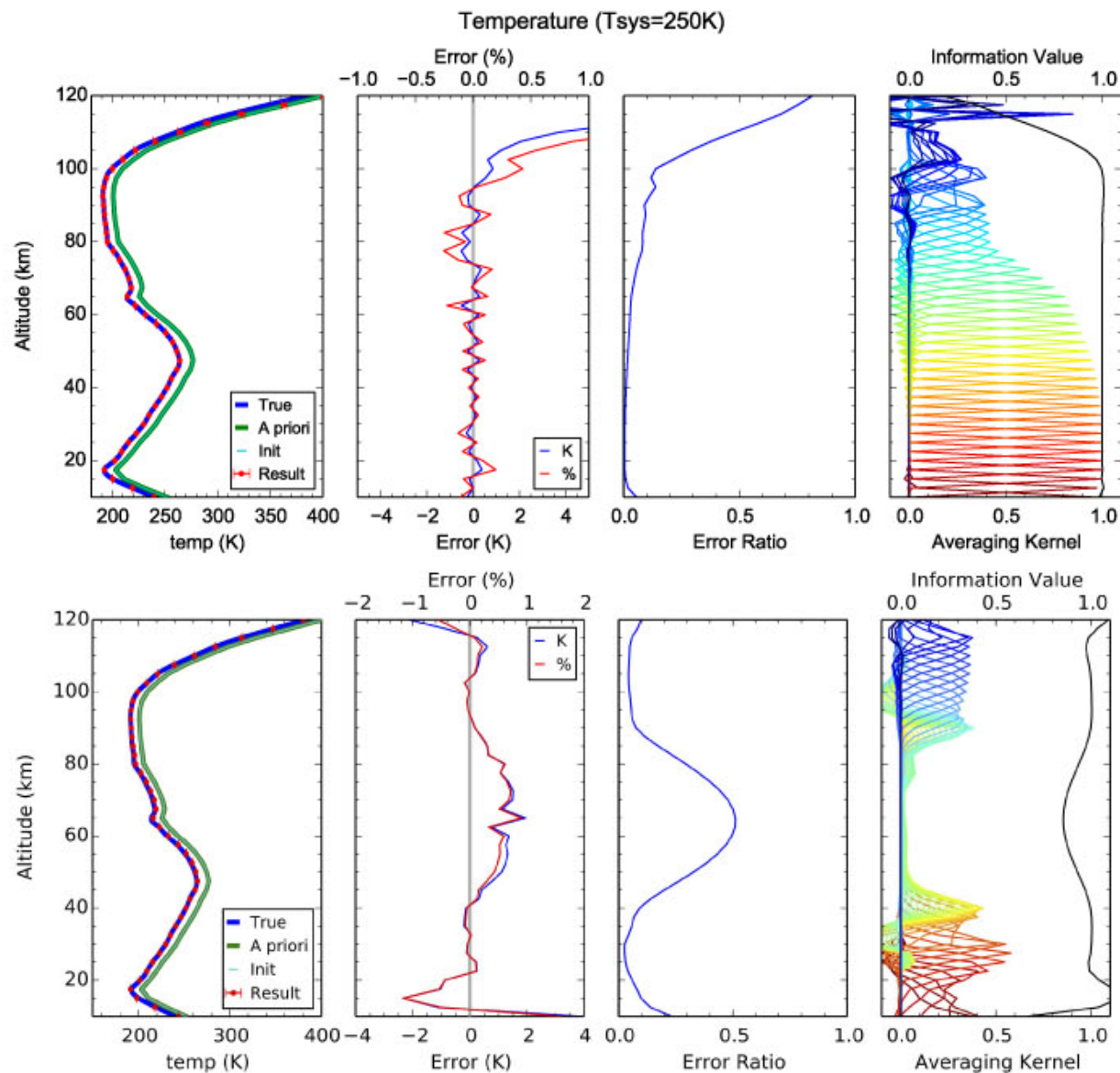
485-489 GHz のスペクトル



2060GHzにおけるO原子のライン

- (1)  $487 \pm 2$  GHz (O2=Temp., H2O),
- (2)  $525 \pm 2$  GHz (BrO, NO2, H2CO, N2O, HO2, etc),
- (3)  $614 \pm 2$  GHz (HOCl)
- (4)  $625 \pm 2$  GHz (SMILES Bands A+B extended, O3, HCl)
- (5)  $650 \pm 2$  GHz (SMILES Band C extended, ClO, HO2)

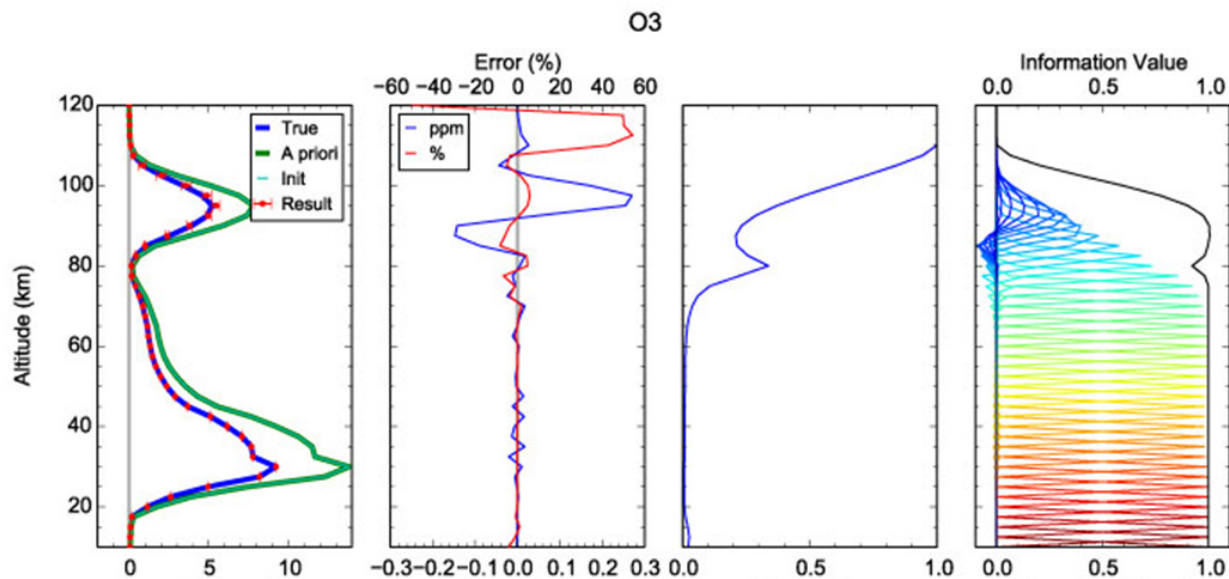
# シミュレーションによる検討：温度場



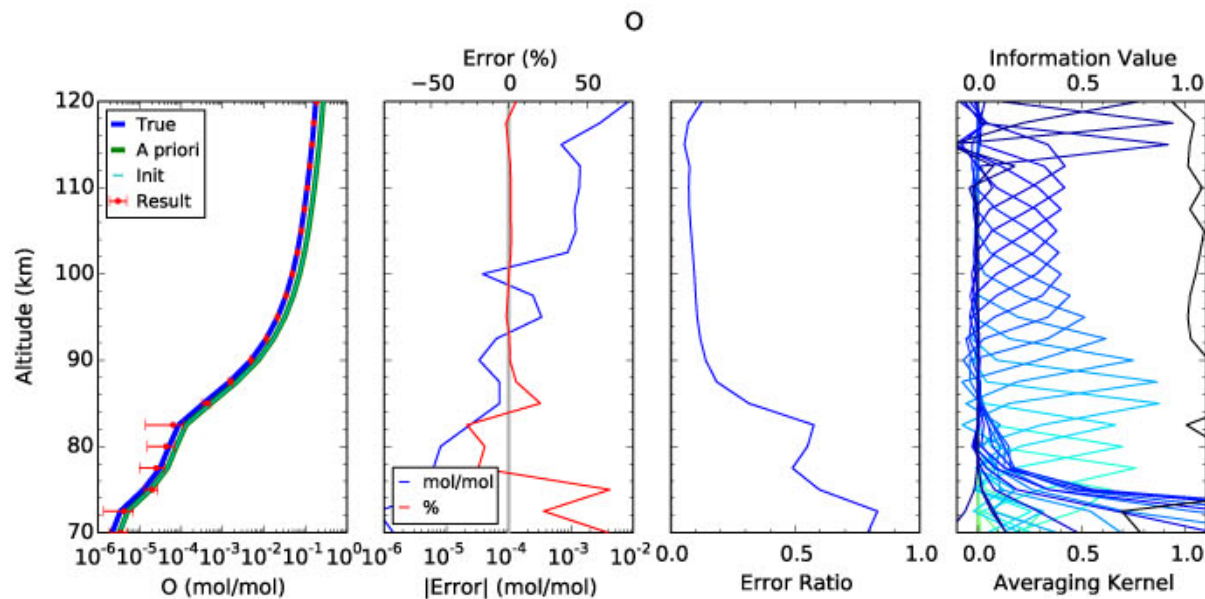
487.249 GHz

2060GHz

# シミュレーションによる検討: O<sub>x</sub>



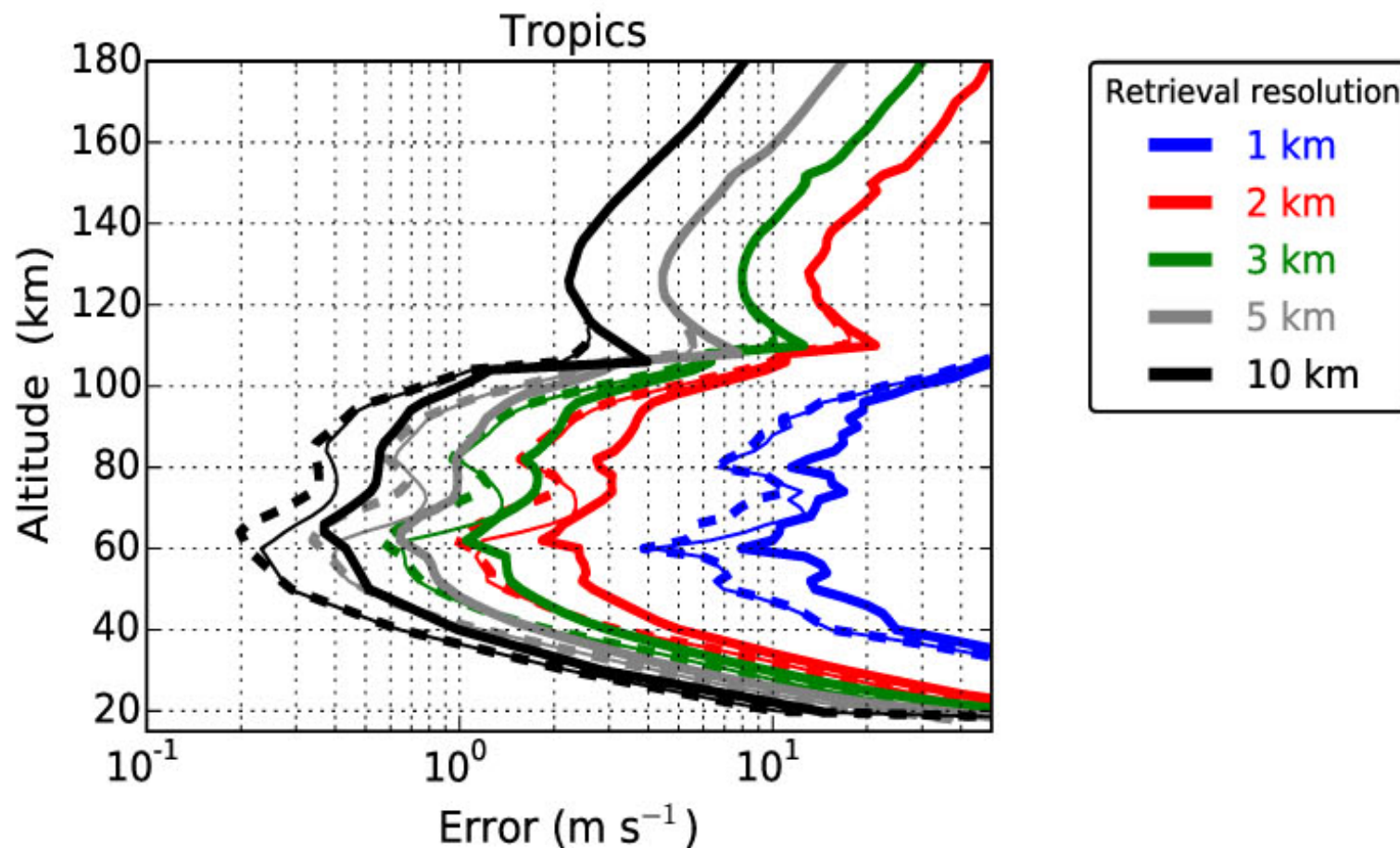
O<sub>3</sub>: 625 GHz



O: 2060GHz



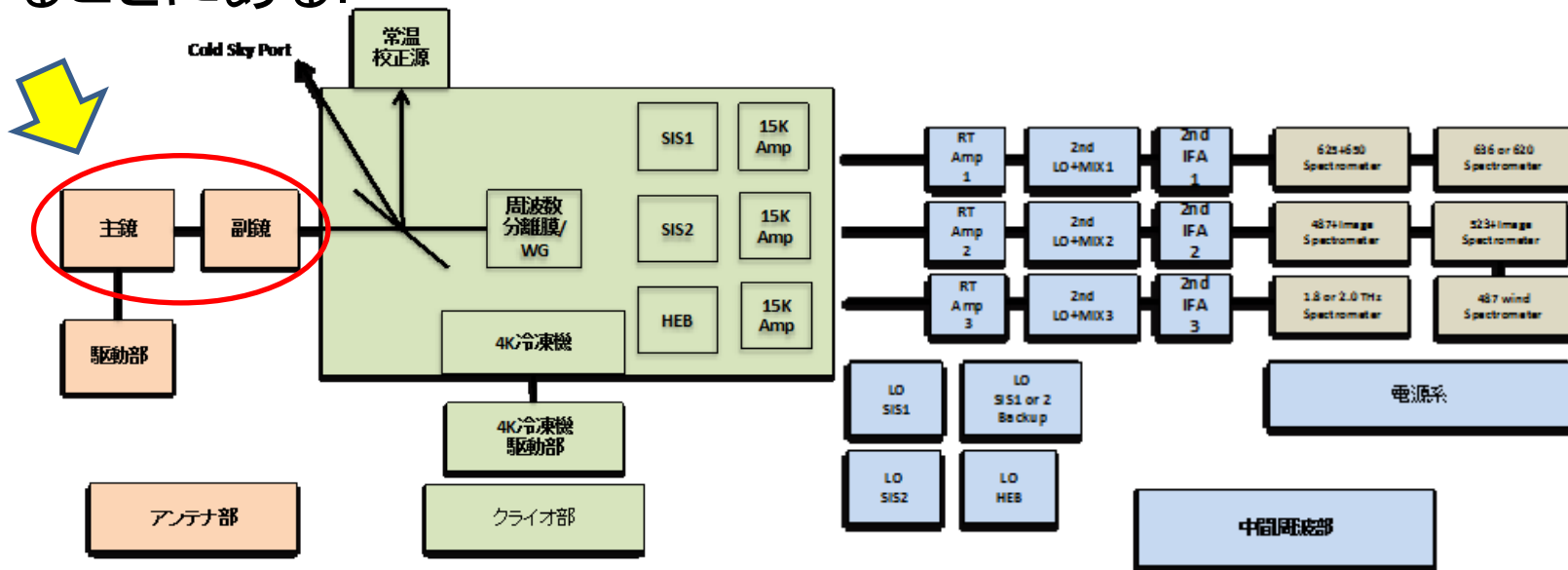
# シミュレーションによる検討：風の場合



487/552 GHz, 625/655 GHz, 2 THzの組み合わせによる見積もり

# 機器開発の検討内容

宇宙理学委員会戦略的開発研究費審査結果(通知)を受けて、本年度はSMILES-2開発に必要なキー技術の一つであるアンテナの要素研究を実施した。研究内容はアンテナ部の部分試作であり、その研究目標は1.8/2.0 THz帯へ対応することが可能な面精度を持つ軽量な主鏡を開発するための技術的見通しを得ることにある。



# THz帯観測に必要なCFRP主鏡の研究背景

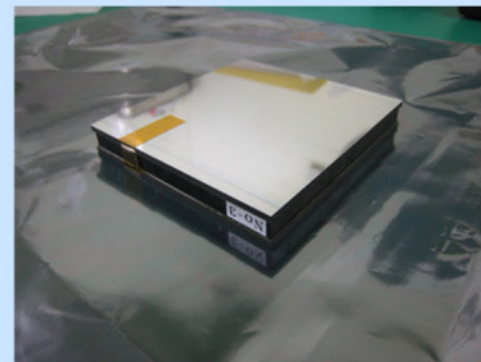
- SMILES-2は、2THz帯の観測も視野に入れており、より高精度 ( $5\mu\text{m}$  r.m.s) な鏡面を1mクラスの主鏡で実現しなければならない
- 高弾性ピッチ系炭素繊維を材料としたCFRPサンドイッチパネルを用いたCFRP鏡をベースにして、鏡面精度と鏡面粗度を改善
- 長期安定性や形状安定性に良好な特性が事前研究で得られているアルミニウムのプラズマ溶射鏡面を候補とした

\*CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics) : 炭素繊維強化プラスチック



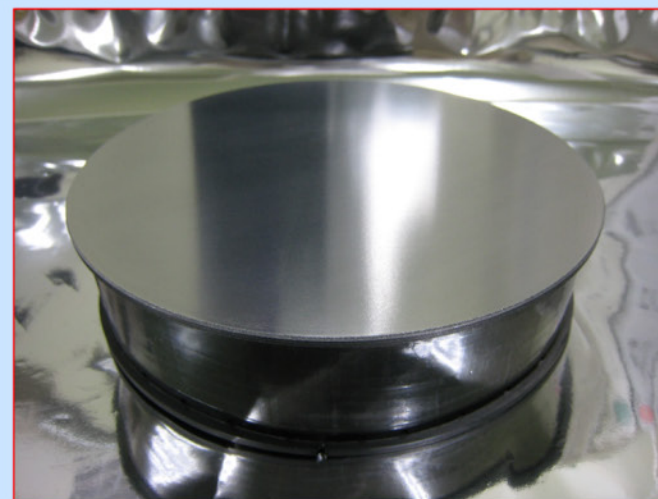
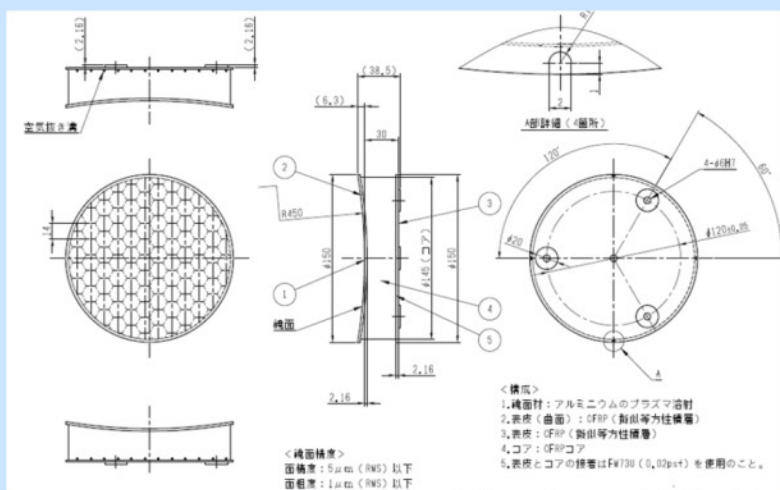
## 曲率を持つプラズマ溶射CFRP鏡(試作結果)

| 部位    | 製造結果  | 備考   |
|-------|---|--|
| 反射面   | 構成: アルミニウムのプラズマ溶射(厚さ: 200 $\mu$ m)<br>保護膜: 無し、曲率半径: 450mm、直径: 150mm<br>鏡面形状精度: 3.9 $\mu$ m r.m.s (目標仕様: 5 $\mu$ m r.m.s 以下)<br>面粗度(Rq): 0.24 $\mu$ m r.m.s (目標仕様: 1 $\mu$ m r.m.s 以下) | 接触式三次元測定機<br>(カルツァイスMMZ-G30/60/20)<br>触針式表面粗さ測定機<br>(ミツトヨ製SJ-201P) |
| スキン   | 材料: YSH60A-30S/NM-31 (UDプリプレグ)<br>積層: [(0/45/-45/90/90/-45/45/0) $\times$ 3]、24ply<br>厚さ: 2.16mm  | 裏表対称<br>硬化時ポストキュア<br>無し  |
| 接着層   | フィルム状接着剤<br>(Cytec社 FM73U)<br>厚さ: 0.2mm 以下  | 表皮とコアの接着   |
| コア    | UDプリプレグによりハニカムコアを集成<br>積層: [0/90/0]、3ply、0.3mm<br>材料: 0度 YSH60A-30S、90度 T700S-12K   |  |
| パネル厚さ | 31.79mm (設計値: 40mm 以下)  |  |
| 質量特性  | 195.8g (予測値), 215g (製造結果)   |  |



プラズマ溶射カーボン鏡の宇宙曝露実験用試料  
(2014年度製作、フライト中)

### プラズマ溶射CFRP鏡(試作結果)



# ま と め

- SMILES-2が狙うところ -

- 中層大気を一つの測器で観測することの優位性＋下部熱圏まで狙うことでようやく真に可能となる大気上下結合の描像の提示
- 日変化という観点から見直す大気現象
- 高感度観測を通して既存の観測データ(地上観測・衛星観測)の再検討
- 知識の集大成である将来予測モデルに対して厳しい束縛条件となる源泉情報を提供
  - － 将来に残る参照データを獲得