

# SMILES-2による中層大気統合観測計画と検討状況

塩谷雅人(京大), 落合啓, Philippe Baron, 入交芳久, 鷗澤佳徳, 今井弘二(NICT), 鈴木睦, 西堀俊幸(JAXA), 眞子直弘(千葉大), 眞鍋武嗣, 前澤裕之(大阪府大), 水野亮, 長浜智生(名大)

## 概要

国際宇宙ステーションに搭載されたJEM/SMILESにより実証された技術を基盤として、中層大気から下部熱圏領域の温度場とオゾンをはじめとする大気微量成分の高感度観測をおこなうことを目的とした衛星計画を提案する。これによって、中層大気から下部熱圏にいたる大気領域の上下結合の理解を目指した科学を推進すると同時に、化学気候モデルの精度向上や将来予測の信頼性向上に寄与する。

## 科学目標

地球大気システムにとって、高度約15kmから80kmに広がる中層大気(成層圏+中間圏)領域の果たす役割は大きい。この中層大気領域は多量のオゾンと少量の水蒸気とで特徴付けられる。さらにこの領域は人為起源の擾乱に対して鋭敏で、オゾン層破壊や下層大気の温暖化にともなう寒冷化などのシグナルが明瞭に認められる。したがってこの中層大気領域は、天気予報や将来予測のための道具として構築されている数値モデルにおいても重要な役割を果たしている。SMILES-2は、新たに温度測定バンドを追加することで、中層大気から下部熱圏領域の温度場と大気微量成分分布とを同時に高精度で観測する。これらのデータによって、化学気候モデルのさらなる精度向上や将来予測の信頼性向上に寄与できる。具体的な目標として以下のような科学テーマに挑む。

- 中層大気から下部熱圏における熱収支・運動量収支の見積りの精緻化
  - 1Kの精度で高度150km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
  - 大気潮汐の動態説明
- 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
- 太陽活動の超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説明

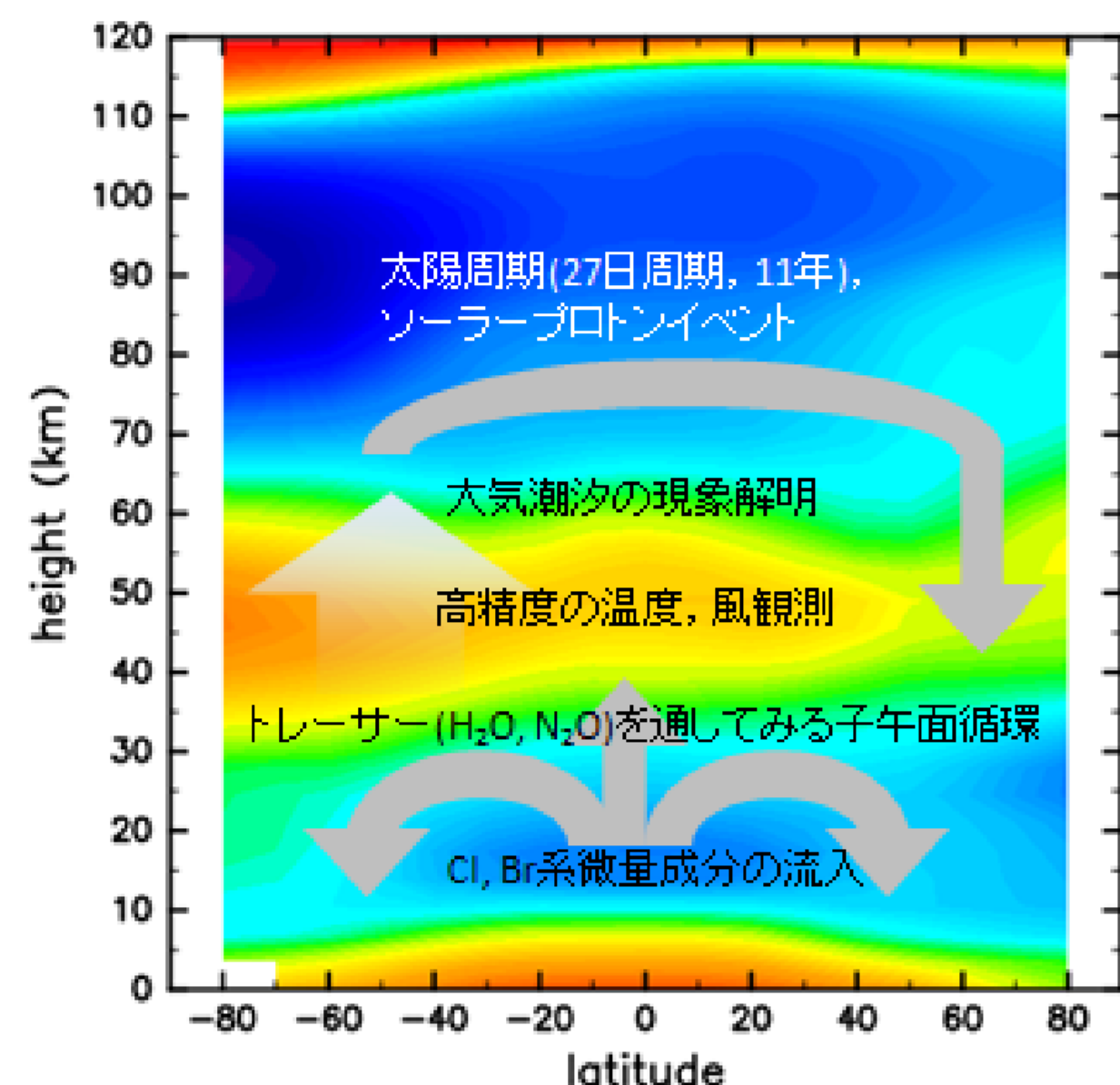


図1: 1月の対流圏から下部熱圏に及ぶ大気領域の平均的な温度場の緯度・高度断面図。中層大気における平均子午面循環を矢印で模式的に示している。

## ミッション構想

大気の基本情報として不可欠であるがSMILESでは観測できていなかった温度場の測定を実現し、さらには風の場も測定するために、4 K冷却超伝導受信機を搭載する。これによって、15 km から 150 km の高度範囲における地球大気の大気温度、風、水蒸気、酸素原子、OH、O<sub>3</sub>、HCl、ClO、BrO、N<sub>2</sub>O、HO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>等を測定する。風ベクトルを測定するために2つのアンテナ(口径1 m程度)を用いる。軌道要素としては、日変化を捉えるために太陽非同期軌道、軌道傾斜角51.6°程度を想定する。さらにGPS Occultation、紫外可視リム散乱分光計/大気分光計、大気光イメージャなどの相乗り観測機器についても考慮する。

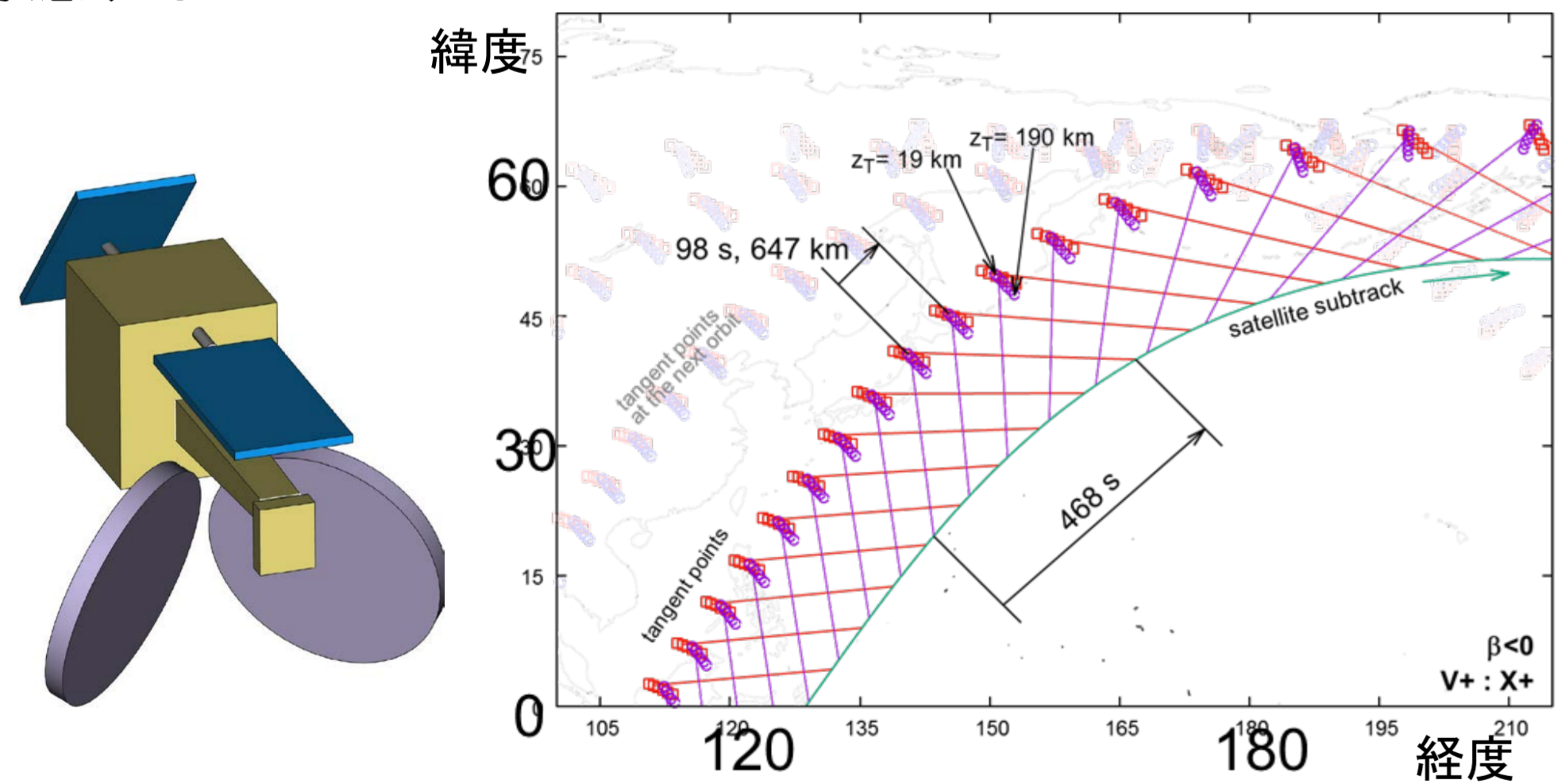


図2(左): SMILES-2観測機概念図。図3(右): 軌道傾斜角を51.6°としたときの観測範囲を表した図

## 国外の衛星計画との比較

現在、国外には類似の衛星計画として次のようなものがある。1) Low-Cost Upper Atmosphere Sounder (LOCUS) – 英国, 2) THz Limb Sounder (TLS) – 米国, 3) Stratospheric Inferred Winds (SiW) – スウェーデン, 4) IceCube – 米国。以下の表ではそれらとSMILES-2との比較を示す。

	SMILES	LOCUS	TLS	IceCube	SiW
風観測	○	△	○	×	○
MLT域観測	○	○	○	×	×
成層圏観測	○	×	×	○	○
周波数帯	487, 525, 557, 625 GHz 650 GHz, 1.8, 2 THz	0.8, 1.1, 3.5, 4.7 THz	1.12, 2.06 THz	874 GHz	650 GHz
受信機	4K冷却	100K冷却	常温	常温	常温
較正方式	スイッチ鏡	スイッチ鏡	ノイズDi	ノイズDi	スイッチ鏡
大きさ (ミッション部重量)	小型衛星 200 kg	150kg級小型衛星 50 kg	6U or SmallSat	3U	InnoSat 15 kg
打ち上げ予定	構想中 2022年以降	構想中	構想中	開発中 2017年頃	構想中 2020年

表1: SMILES-2とLOCUS, TLS, IceCube, SiWとの比較

## 観測パラメータ

科学目標を実現するためにSMILES-2ではサブミリ波帯、さらにはテラヘルツ帯において以下のような物理量あるいは微量成分のグローバル分布を観測する。以下の表では特にSMILESで観測したものとそれと比べて抜けていたものを明らかにするとともに、SMILES-2のサブミリ波帯とテラヘルツ帯での観測によって可能となるものを示している。

	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
CIOX	ClO, HOCl (poor)	Cl, OClO, (ClO) <sub>2</sub> , ClONO <sub>2</sub>	ClO, HOCl (better spectrometer)	
BrOx	BrO (poor)	Br, BrCl, OBrO, BrONO <sub>2</sub>	BrO (better ch)	
NOx	HNO <sub>3</sub>	N <sub>2</sub> O, NO, NO <sub>2</sub> , ClONO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O, NO, NO <sub>2</sub> , NO*	
CH <sub>4</sub> oxidation	---	(CH <sub>4</sub> ), H <sub>2</sub> CO, CO, (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	

表2: 観測パラメータについて、SMILESで観測したもの、SMILES-2で観測予定のもの、それらがサブミリ波帯とテラヘルツ帯でいかに実現できるかを示した表。

## シミュレーションによる検討

SMILES観測によってスペクトルラインのドップラーシフトから視線方向の風速測定ができることがわかっており、これをさらに複数の波長帯の結果を組み合わせることで広い高度範囲の風速分布を求めることが可能となる。またTHz帯を利用して160km付近までO原子、温度の測定が可能となる。以下にはそのシミュレーション結果を示す。

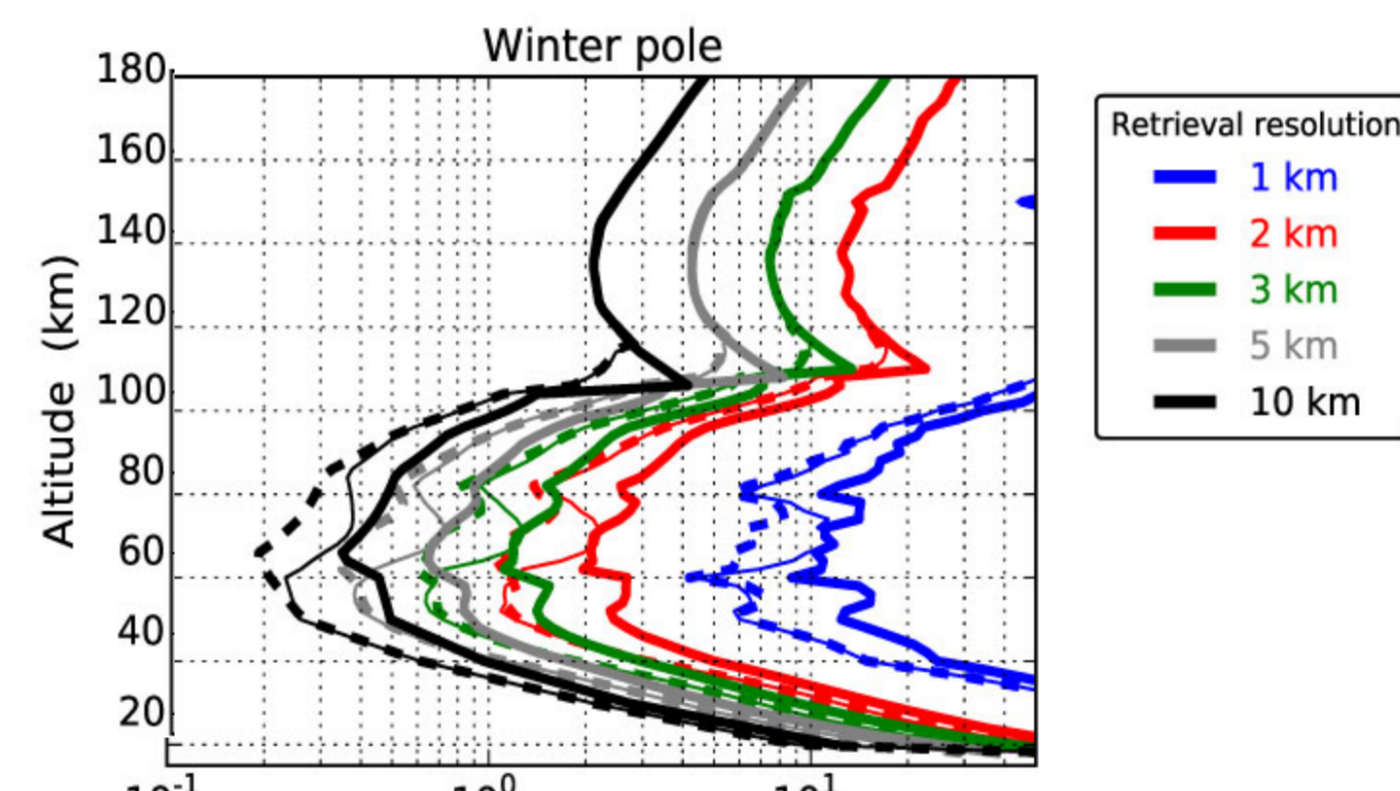


図3(左上): 487/552 GHz, 625/655 GHz および 2 THz帯を複合的に用いた風の感度解析結果。実践は個別に解いた結果で破線は3つを組み合わせたもの。図4(左下): 2.06THz帯を利用してO原子を観測する例。

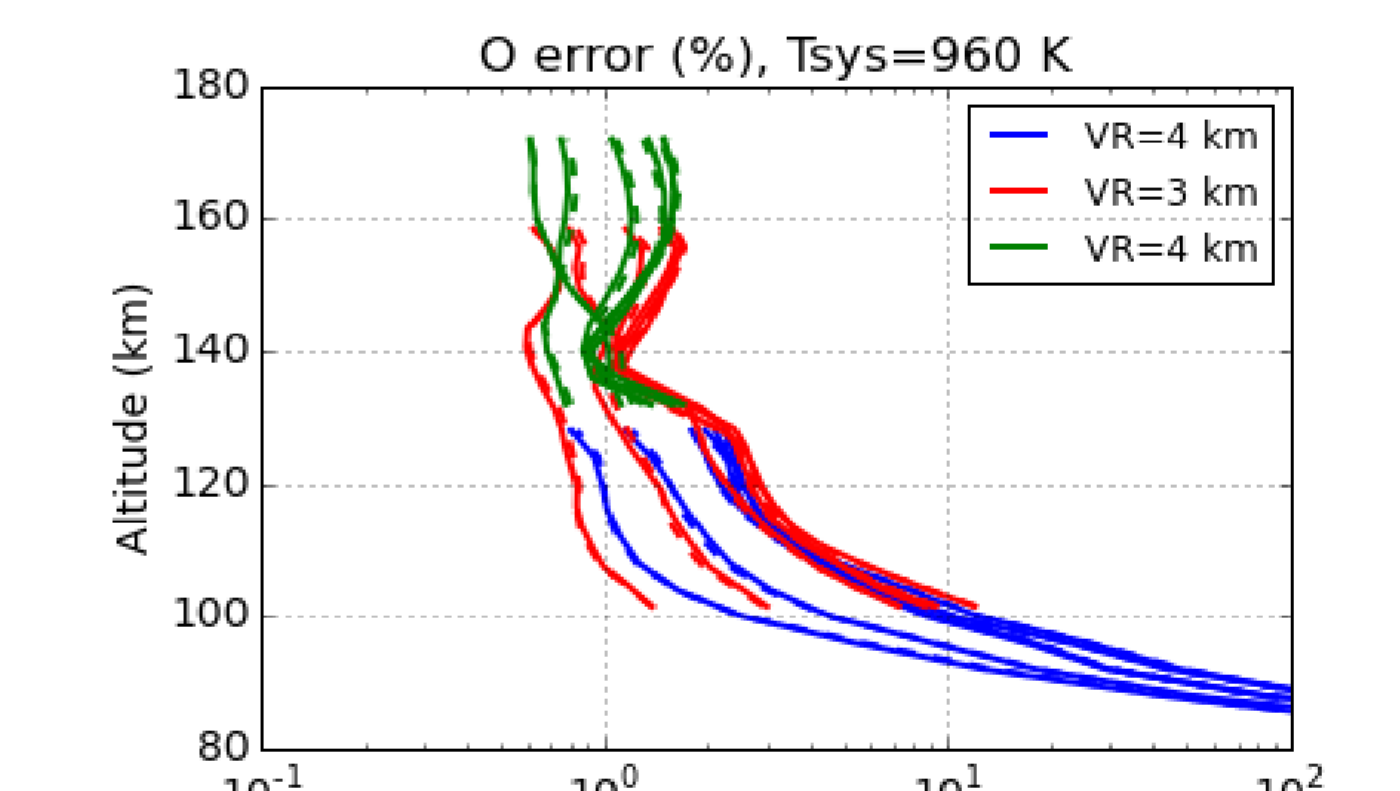
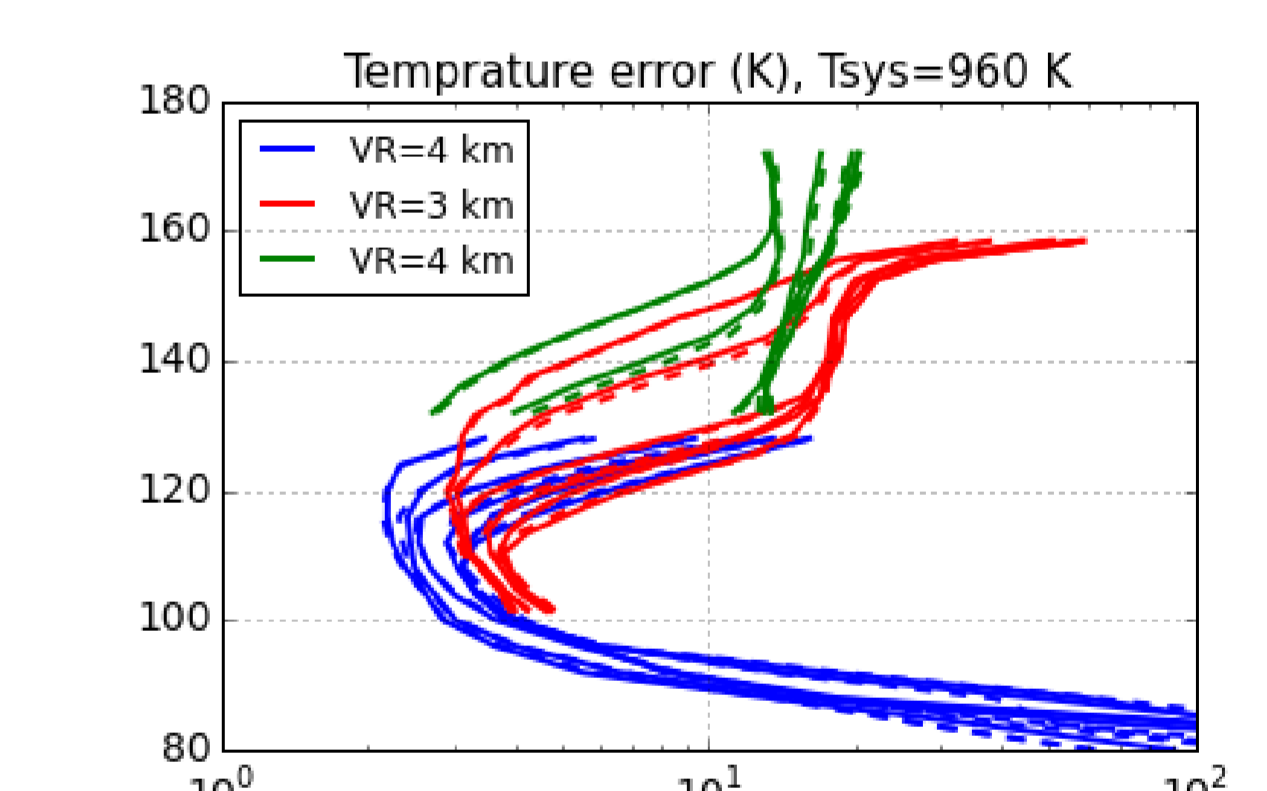


図5(右下): 2.06THz帯を利用して温度を観測する例。



## カーボン製軽量高精度鏡の試作

周回衛星から地球大気の本格的なリム放射観測を狙うSMILES-2の準備研究として、テラヘルツ帯を観測するために必要な高い精度をもち、衛星搭載を可能とする軽量化を進めたカーボン製主鏡の製作工程を確立する作業をおこなっている。現状では60nm以下の面粗さを有するコールドスプレー鏡面を持つCFRP鏡の製作に目処が立った。今後は研磨に使う工作機械の変更とプラズマ溶射工程の見直しを行った後、平面鏡の試作と球面鏡の試作(曲面鏡を研磨する工作機械の工程確認)をおこなう予定である。

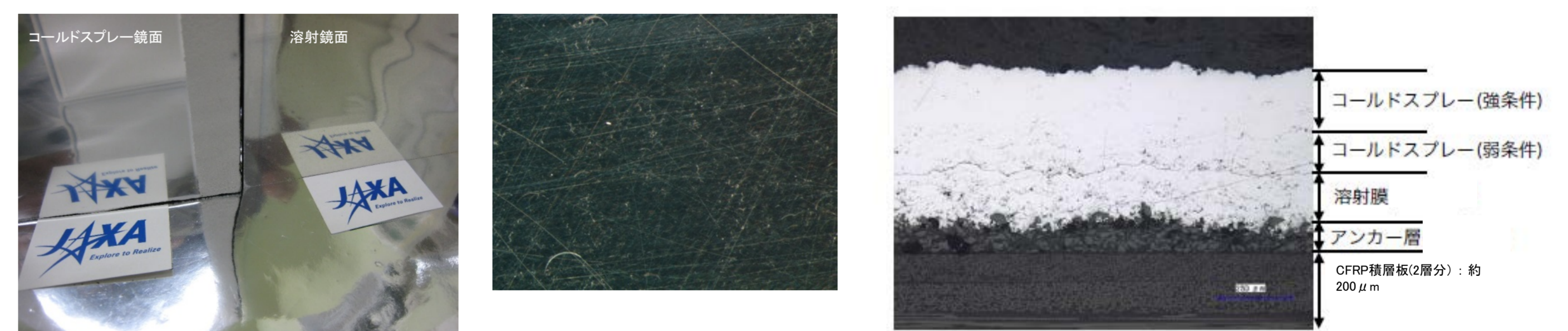


図6: (左) 試作に成功したコールドスプレー法による鏡面, (中) 鏡面の拡大画像, (右) アルミコールドスプレー鏡面部の断面

## まとめ – SMILES-2が狙うところ –

SMILES-2は中層大気から下部熱圏を一つの測器で観測するという点で大きな優位性を持つ。特に、下部熱圏までを視野に入れることによって、これまで実現してこなかった大気上下結合の描像の提示が可能となる。また、日変化という観点からもさまざまな大気現象の見直しがおこなわれる。さらに、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)の再検討を促すデータを提供することによって将来に残る参照データを獲得し、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して科学コミュニティに貢献する。