

全大気圏衛星観測 - 超伝導サブミリ波リム放射サウンダ (SMILES-2)

Satellite Observation of the Whole Atmosphere - Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder (SMILES-2)

塩谷雅人, 齊藤昭則, 坂崎貴俊(京大), 落合啓, 入交芳久, Philippe Baron(NICT), 鴫澤佳徳(国立天文台), 西堀俊幸, 阿部琢美, 鈴木睦(JAXA), 前澤裕之(大阪府大), 水野亮, 長浜智生, 大山伸一郎(名大)

概要

国際宇宙ステーションに搭載されたJEM/SMILES (JEM: Japanese Experiment Module; SMILES: Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder)により世界ではじめて4K冷却による超高感度サブミリ波大気観測が宇宙実証された。その成果を進展させ、中層大気(成層圏・中間圏)から超高層大気(熱圏・電離圏)の温度場・風速場と大気微量成分の高精度観測を3年間おこなうことを目標としたSMILESの発展型衛星観測計画(SMILES-2)を提案する。SMILES-2の観測によって、データの空白域ともいえる上部中間圏から下部熱圏を含めたグローバルな地球大気情報がかつてない高い精度で得ることができ、中層大気から超高層大気までの領域を一気に通して観測することにより、地球大気変動の最も重要な要素の一つである日周変動成分(潮汐)の鉛直構造を含めた動態把握がはじめて可能となる。また高精度な大気微量成分分布の観測から、気候変動の理解にとって重要なオゾン層変動に影響を与える化学過程を定量的に特定できる。さらに、大気圏と宇宙空間の遷移領域である超高層大気における温度場・風速場の観測から、地球全大気における電磁気的エネルギーの役割を明らかにすることができる。これらによって、気候研究のための化学モデルによる将来予測の信頼性向上や、宇宙天気のためのモデルのさらなる精度向上に寄与できる。

背景と科学目標

地球大気システムにとって、中層大気(成層圏+中間圏)から超高層大気(熱圏・電離圏)領域の果たす役割は大きい。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。同時に太陽の活動性に対しても敏感で、太陽の27日周期、11年周期、ソーラー・プロトン・イベントなどの影響を受けたシグナルが大気中に捉えられている。いっぽうで、中層大気領域では日変化のシグナルは弱い、超高層大気では日変化が支配的となる(図1)。結果的に、中層大気領域では数日~数週間の時空間スケールを持った大気現象が卓越するのに対して、超高層大気では日周変動が卓越する。

SMILES-2では、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にかけての大気の熱潮汐の構造・日周変動を力学、化学、電磁気学過程の観点から明らかにすることを中心的なテーマとする。特に、SMILES-2が対象とする高度領域における大気上下結合に着目し、これまで断片的な観測しかなかった下層大気の変動が電離圏に与える影響や、電離圏からのエネルギー流入が下層大気に与える影響などについての課題解決を目指す。具体的に設定する科学目標は以下の4つである。

- (MO.1) 潮汐に代表される日周変動の構造とその及ぼす力学・化学・電磁気学的影響の解明
 - (MO.2) 中層大気で卓越する惑星規模の大気波動(成層圏突然昇温現象、太陽非同期潮汐など)による下層から超高層大気への影響
 - (MO.3) 粒子降り込みや磁気嵐などのイベント的な現象による変動の理解
 - (MO.4) 背景場(時間・空間平均(帯状平均))の熱構造とそれを作り出す微量成分分布の定量的な把握とその気候影響
- (MO.1)で大気熱潮汐の構造・日周変動を明らかにし、(MO.2)で下層大気から高層大気への大気波動の伝播過程を、(MO.3)で電離圏からのエネルギー流入による大気変動を解明する。さらに(MO.4)で背景の温度場や微量成分分布の詳細な記述から気候モデルのベンチマークを提供する。詳しくはポスター発表「SMILES-2の科学目標詳細」を参照のこと。

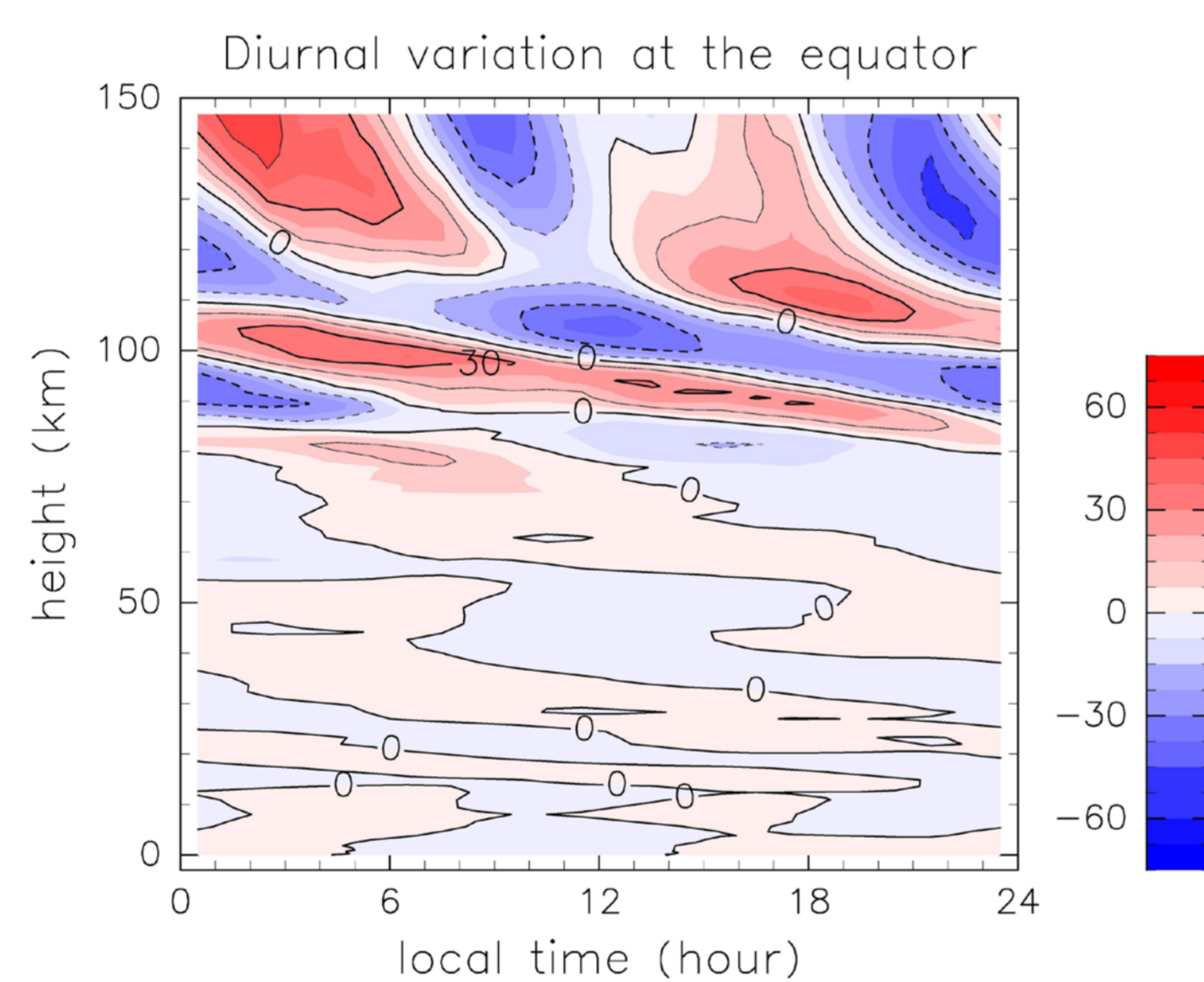


図1: GAIAモデルによる、地表から高度150kmまでの赤道上空における東西風の地方時-高度断面図。地表から高度80km付近までは日変化の振幅は小さいが、それより高い高度領域では日変化の振幅が大きくなる。

ミッション構想

SMILES-2衛星の概要は以下の通り。詳しくはポスター発表「SMILES-2機器検討状況」を参照のこと。

- 4 K冷却超伝導受信機の搭載
- 観測対象: 15 km から 150 km までの高度範囲で大気の温度、風、水蒸気、酸素原子、OH、O₃、HCl、ClO、BrO、N₂O、HO₂、NO、NO₂等を測定
- ふたつの口径75cmのアンテナで風ベクトルを測定(図2)
- 太陽非同期軌道、高度550 km程度、軌道傾斜角66.0程度(Epsilon増強型)(図3)
- ミッション機器として200 kg、< 320 W程度の規模
- GPS Occultation, その場観測装置(電子密度、イオン密度、イオン速度など)の相乗り測定機器
- 3年間の運用目標(1年運用=仕様)

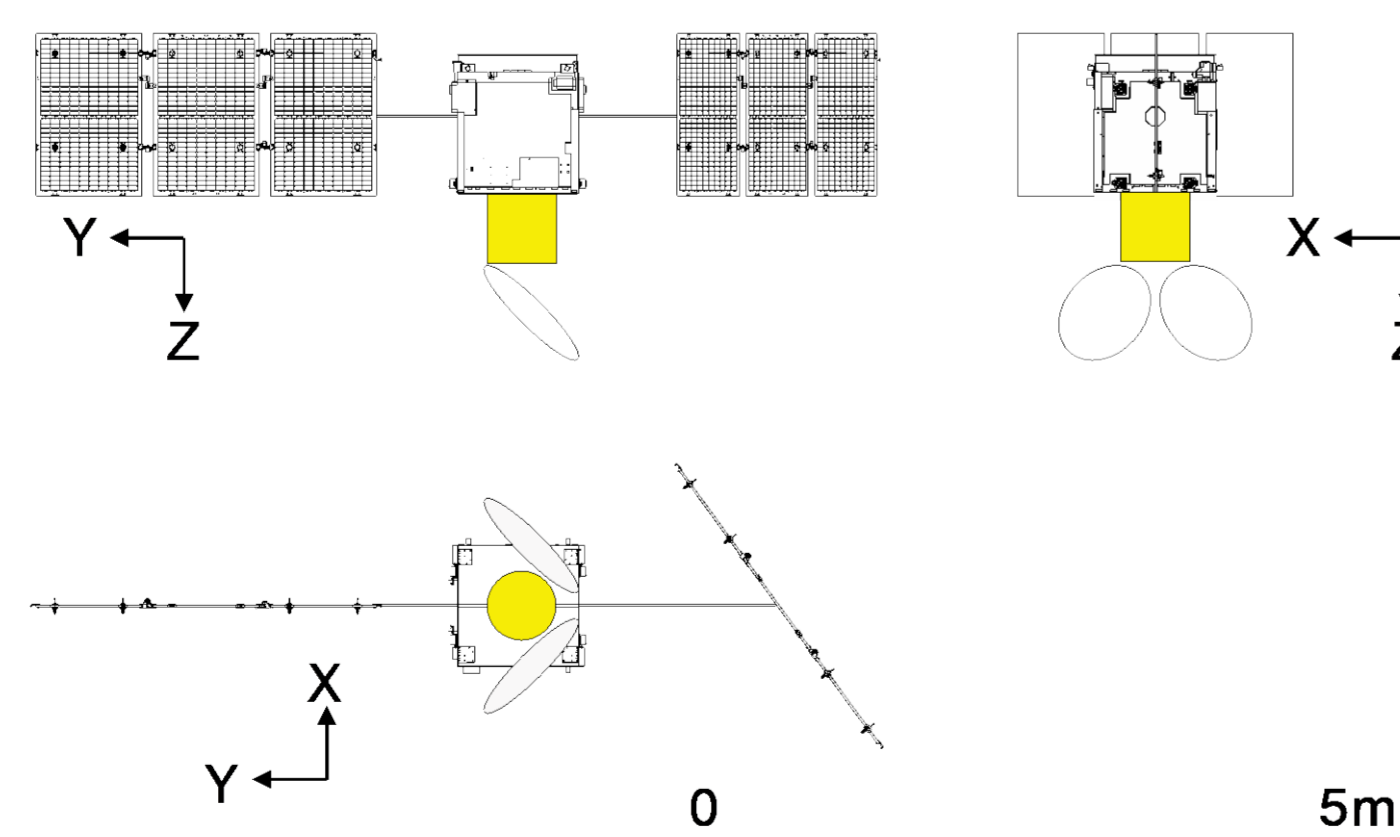


図2(左): SMILES-2観測機概念図。

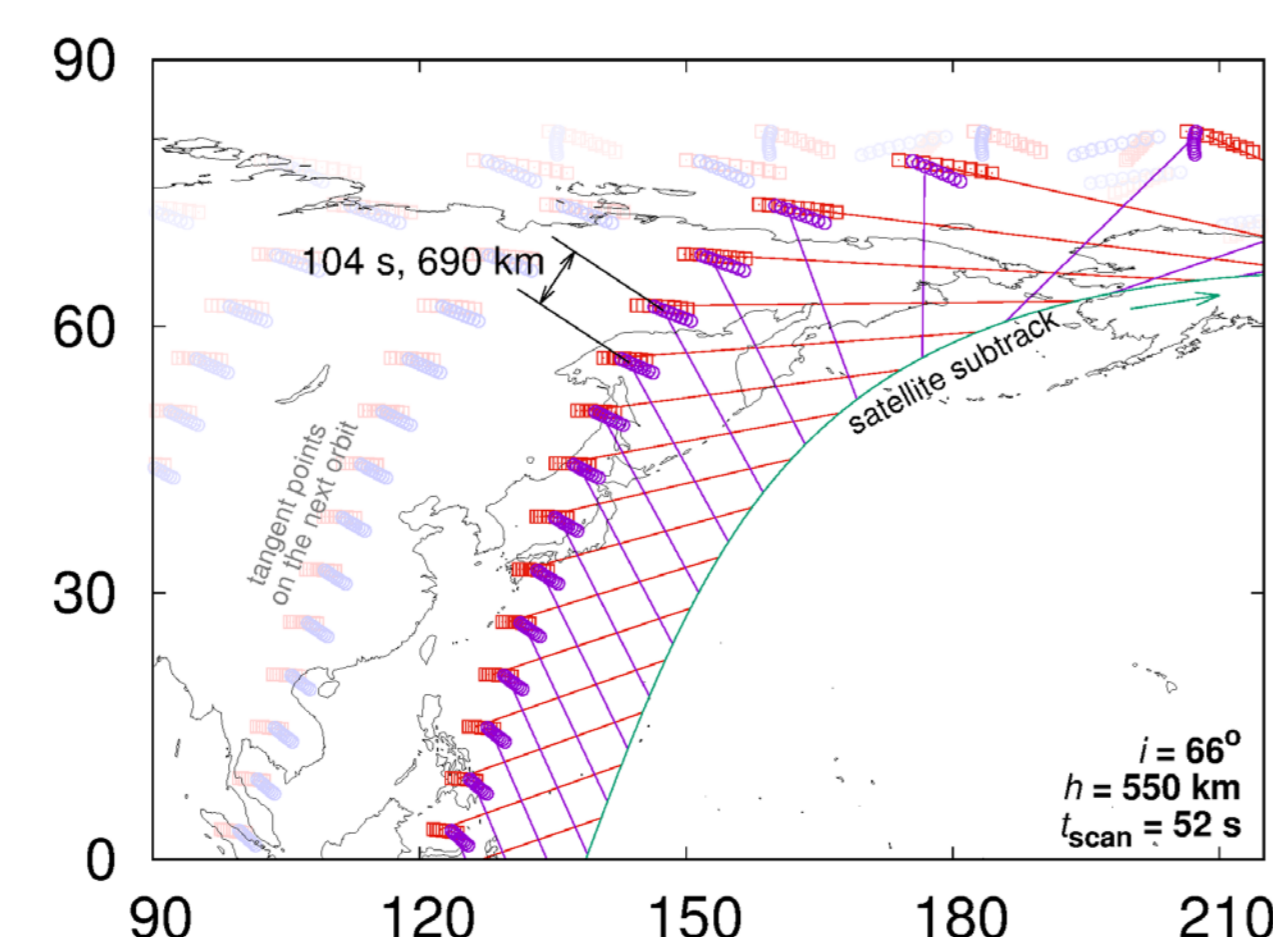


図3: 軌道傾斜角を66°としたときの観測範囲。

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では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	SMILES-2 submm	SMILES-2 THz
Temp.	10-40 km	10-100 km	100-150 km
Wind	40-70 km	35-100 km	100-150 km
Ox	O ₃	O ₃ , O ₂	O-atom
HOx	HO ₂	HO ₂ , H ₂ O	OH
ClOx	ClO, HOCl (poor)	ClO, HOCl (better spectrometer)	
BrOx	BrO (poor)	BrO (better ch)	
NOx	HNO ₃	N ₂ O, NO, NO ₂	(NO+)
CH ₄ oxidation	---	H ₂ CO, CO	
Tropospheric source	CH ₃ CN	CH ₃ Cl, CH ₃ CN	
IR active	O ₃	O ₃ , H ₂ O, N ₂ O	

表1: 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。詳しくはポスター発表「SMILES-2観測精度の検討」を参照のこと。

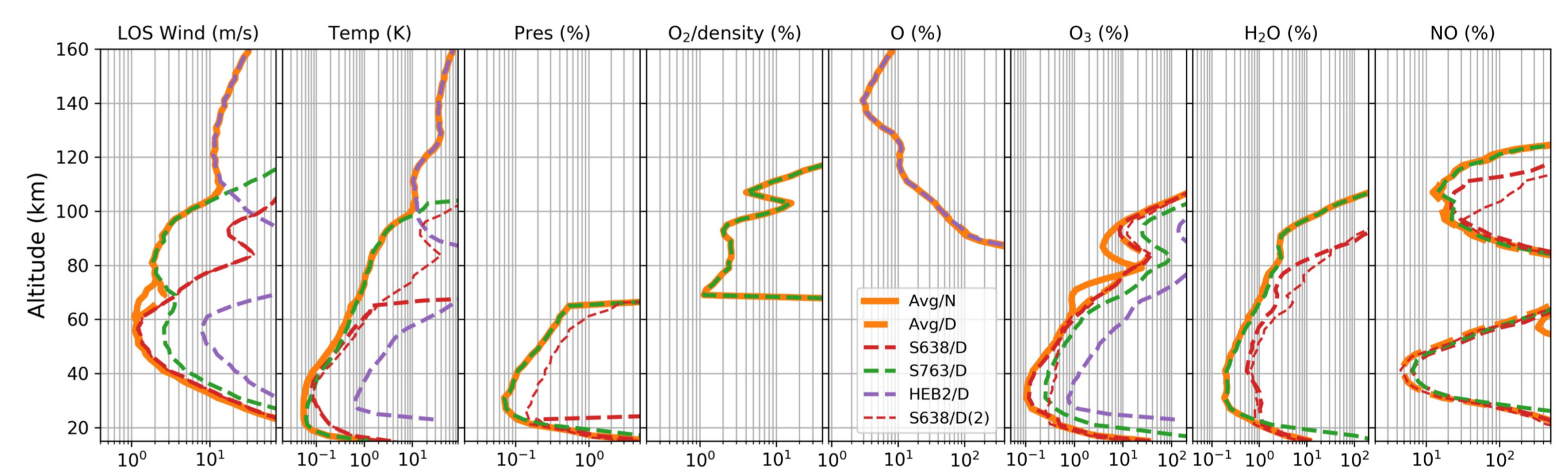


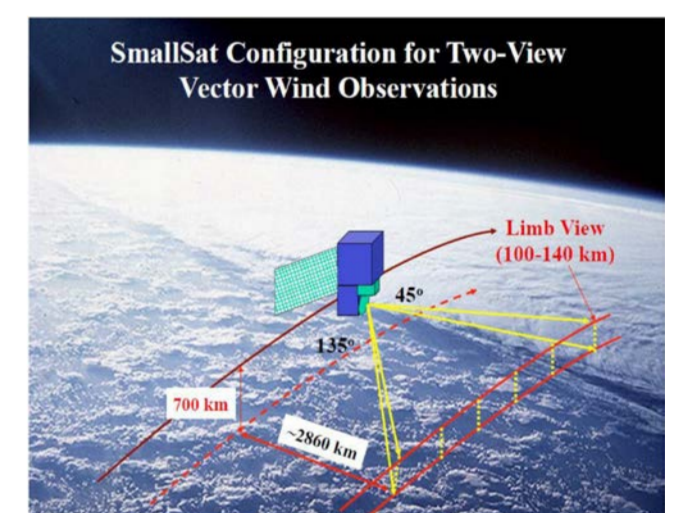
図4: 新たに760 GHz帯の観測も考慮したシミュレーション結果。

国外の衛星計画との比較

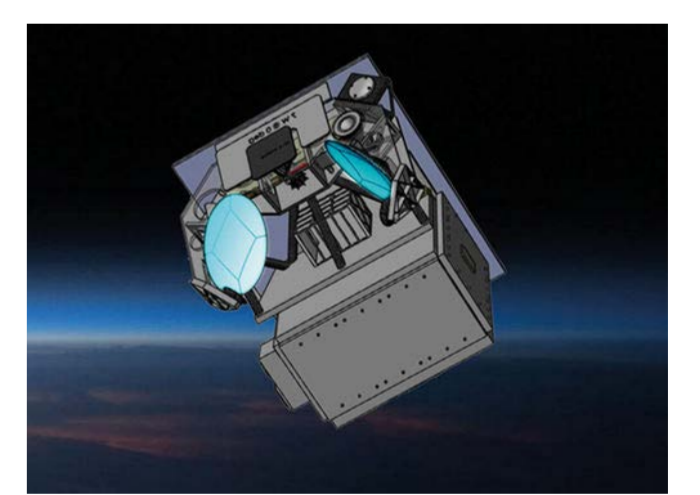
現在、国外にはSMILES-2と類似のLimb観測による衛星計画として図5のようなものがある。しかしながら、いずれも感度がSMILES-2に対して著しく劣っており、SMILES-2が目標とする科学目標は達成できない。

図5: 国外の関連する衛星計画(TLS, SIW)。

THz Limb Sounder (TLS) - 米国
2.06 THz 受信機 (O-atom 吸収線)
1.12 THz 受信機 (O₂ 吸収線) (368.5 GHz の O₂ 吸収線)
6U CubeSat または SmallSat を想定
D. L. Wu, et al., JGR-A, 2016



Stratospheric Inferred Winds (SIW) - スウェーデン
638 GHz の受信機
2 台の 20 cm x 40 cm の反射鏡
4 台の 2 GHz 幅分光計
InnoSat を想定 (15 kg 以下)



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、大気上下結合の描像が提示できる。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、高精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。このようにし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。

このほかのポスター発表

今回の宇宙科学シンポジウムでは、本発表以外に以下のポスター発表がおこなわれているので、参考にされたい。

- SMILES-2観測精度の検討(Baronほか)
- SMILES-2機器検討状況(落合ほか)
- SMILES-2の科学目標詳細(齊藤ほか)