

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)

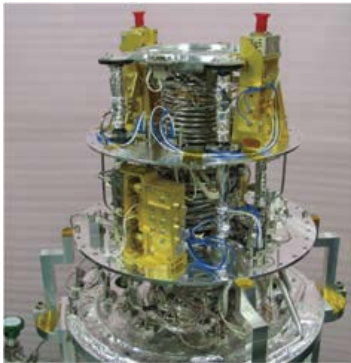
SMILES-2ワーキンググループ,

塩谷雅人(京都大), 齊藤昭則(京都大), 阿部琢美(JAXA), 入交芳久(NICT),
鵜澤佳徳(NICT), 大塚雄一(名古屋大), 大山伸一郎(名古屋大), 落合啓(NICT),
坂崎貴俊(京都大), 佐川英夫(京産大), 陣英克(NICT), 鈴木睦(JAXA),
富川喜弘(NIPR), 西堀俊幸(JAXA), Baron Philippe(NICT), 藤原均(成蹊大),
前澤裕之(大阪府大), 三好勉信(九州大), 山崎敦(JAXA), Liu Huixin(九州大)

SMILES はどのようなものであったか

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

- 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ダの世界で初めての軌道上技術実証



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



超伝導ミクサ:
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)

- 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実験

[標準プロダクト]

- 1スキャン: O_3 , HCl, ClO, CH_3CN , O_3 isotopes, HOCl, HNO_3
- 複数スキャン(積算): HO_2 , BrO

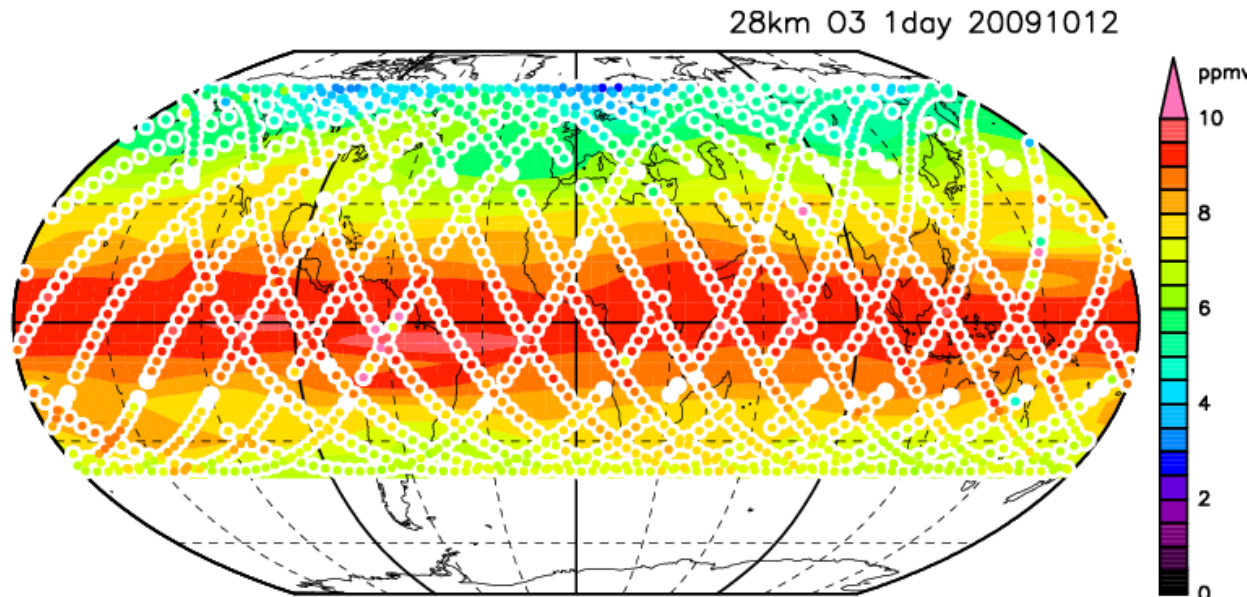
[研究プロダクト] volcanic SO_2 , H_2O_2 , UTH, Cirrus Clouds

(SMILESミッションの詳細は http://smiles.tksc.jaxa.jp/document/SMILES_MP_ver2.11.pdf)

SMILES観測の概要

(SMILES: Superconducting Submillimeter-wave Limb Emission Sounder)

- 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)
- 大気のリム観測に基づく鉛直プロファイルの測定(高度15-80km; 分解能約2-3km)
- 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

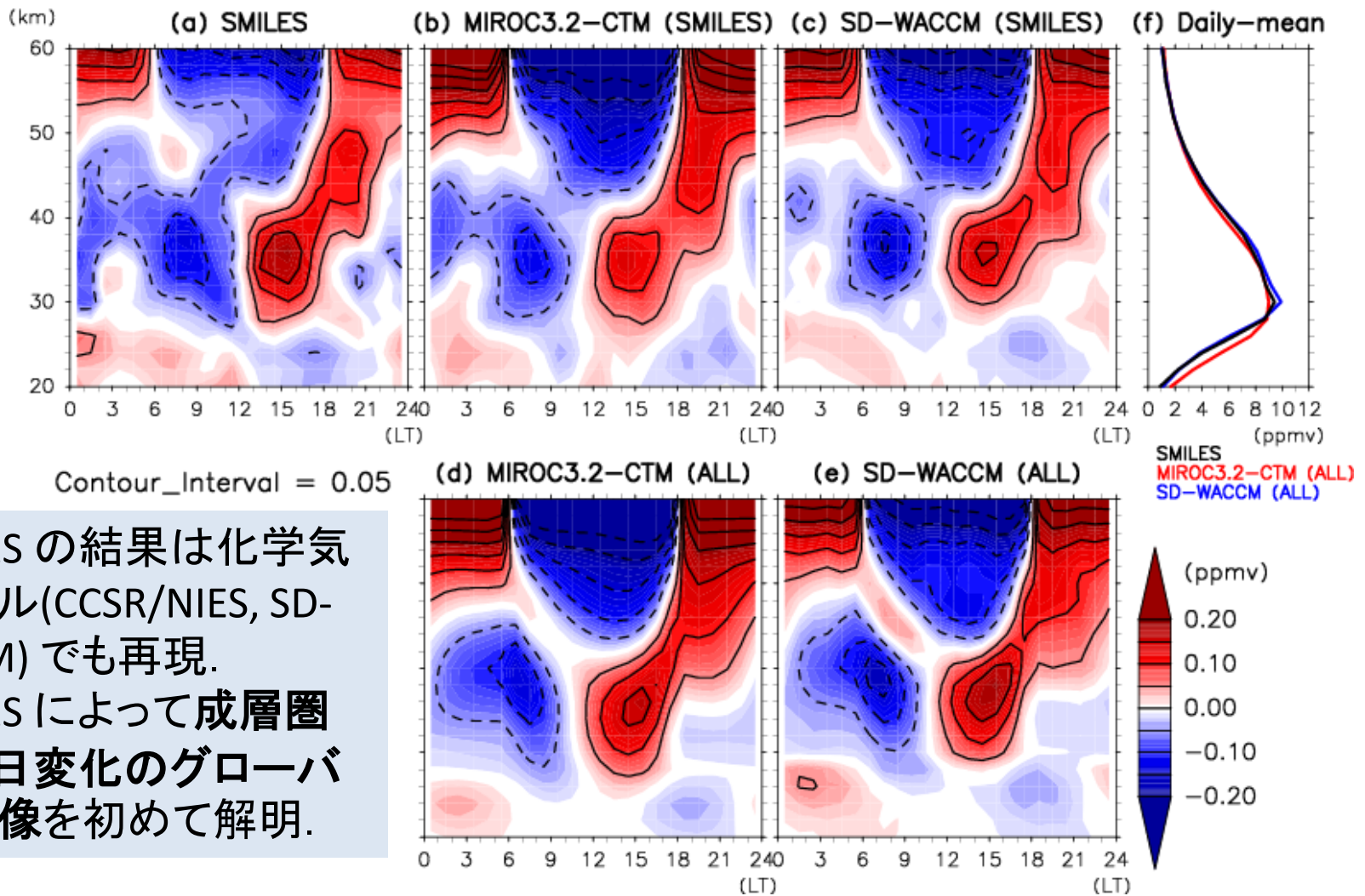


オゾンおよびオゾン化学にとって重要な役割を果たす塩素, 臭素系の大気微量成分観測をおこなった. また, それらの日変化成分を抽出(太陽非同期軌道).

ただし温度観測がない.

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

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を初めて説明.

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

SMILES観測の弱点

- 温度情報を得ていない – 現象の科学的解釈に必須, 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.

SMILES観測のさらなる可能性

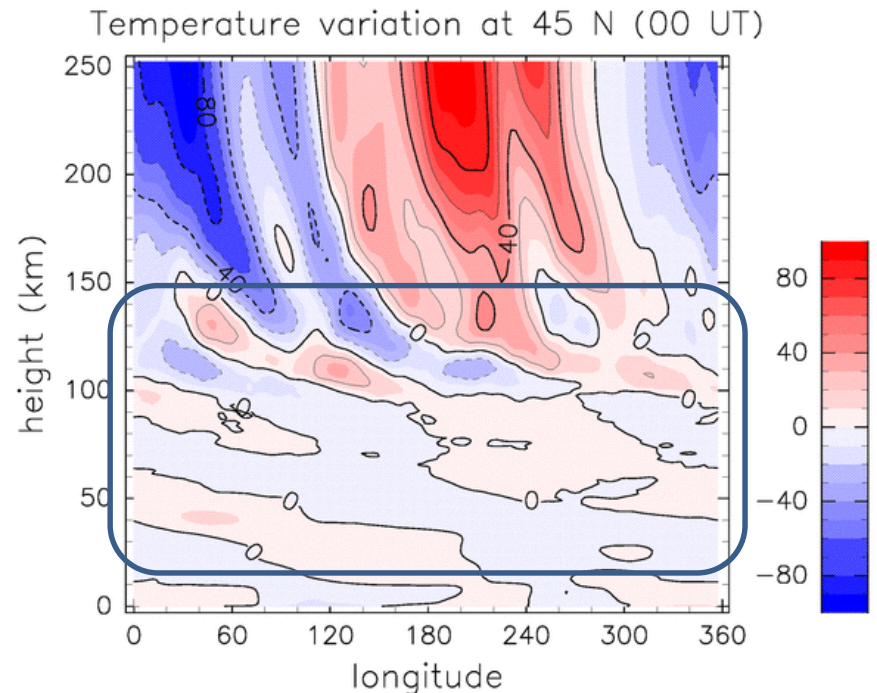
- 水平風速場観測(精度には注意が必要だが)の可能性
-> 力学過程の定量化
- より高高度(下部熱圏領域を含む)領域までの観測の可能性
-> データの空白域を埋める



- 太陽非同期軌道から従来観測を凌駕する高精度・多変数観測により, 中・上層大気における力学場＋化学場＋電磁気場の結合を世界で初めて明らかにする.
 - 水平風速(中・上層を網羅する衛星観測は世界初)
 - 気温(これまでにない観測精度・広い高度範囲)
 - 化学成分(SMILESによる歴史的成果を継承・発展)

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)

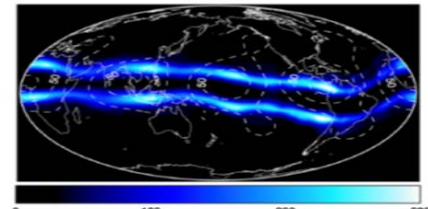
- (MO.1) 潮汐に代表される日周変動の構造とその及ぼす力学・化学・電磁気学的影響の解明
- (MO.2) 中層大気で卓越する惑星規模の大気波動(成層圏突然昇温現象, 太陽非同期潮汐など)による下層から超高層大気への影響
- (MO.3) 粒子降り込みや磁気嵐などのイベント的な現象による変動の理解
- (MO.4) 背景場(時間・空間平均(帯状平均))の熱構造とそれを作り出す微量成分分布の定量的な把握とその気候影響



温度偏差成分の経度・高度断面

(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

電離層変動(高度 350-400 km)



(Immel et al., 2006)



● **日周期:** 地球(惑星)大気の最も基本的な”鼓動”

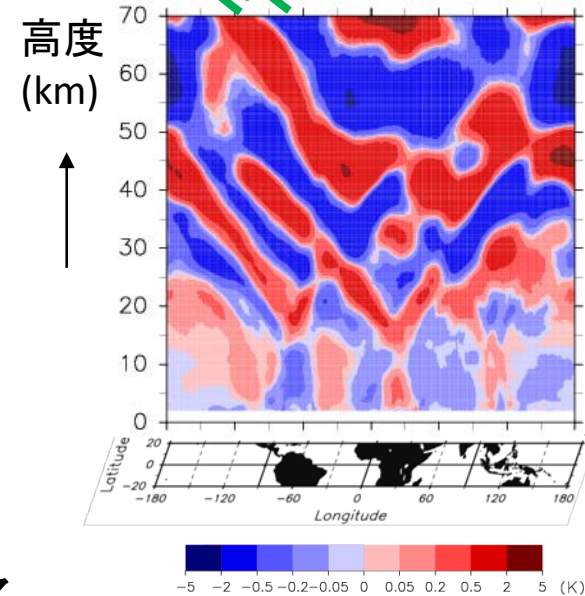
● 大気下層で熱的に励起され上方へ伝播(潮汐波)

● **大気**の上下結合過程の主翼を担う。

● 上層大気循環, 電離層変動, 化学成分分布に寄与

● しかし、過去の観測例は寡少 (e.g., TIMED)
← 多くが太陽同期衛星だったから
(特定のローカル時刻しか観測できない)

● 高精度・多変数観測により、中・上層大気における日周期の四次元構造(力学場+化学場+電磁気場の結合)を世界で初めて明らかにする



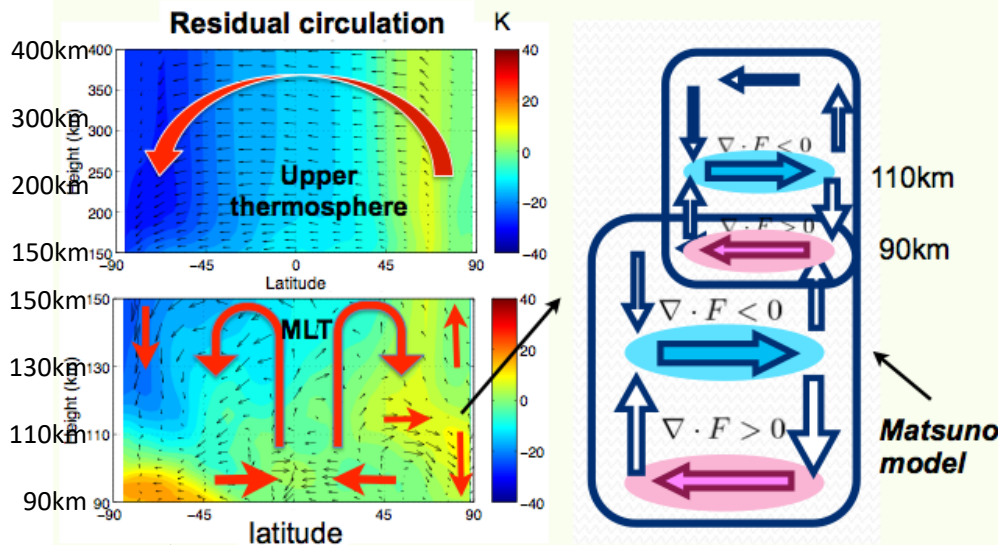
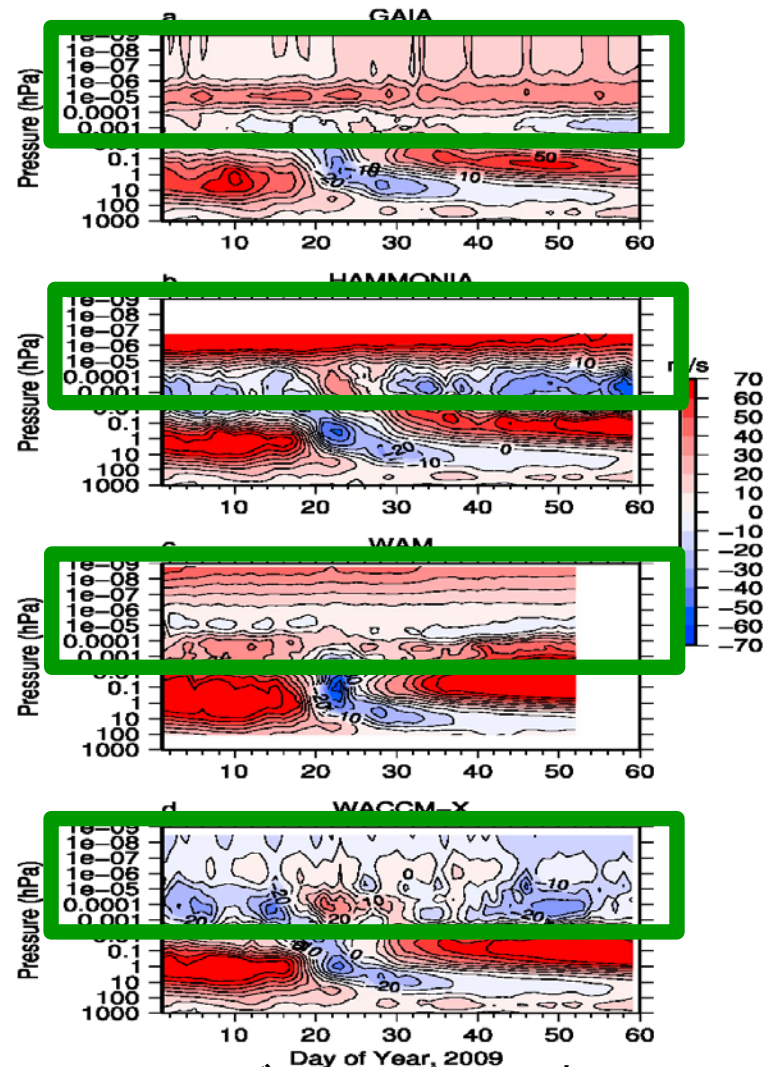
熱帯の大気潮汐(気温)の鉛直断面 (00:00UTCのsnapshot)

[モデルシミュレーション]

This document is provided by JAXA.
(Sakazaki et al., 2015)

(MO.2) 中層大気で卓越する惑星規模の大気波動による下層から超高層大気への影響

- 成層圏において気温が数日で40-50度も上昇する成層圏突然昇温(SSW)は、惑星規模の大気波動によって駆動されているが、その上部の構造は主要な数値モデル間でも大きな違いが出ており、大気上下結合の物理過程を解く鍵とされている。
- これまで、風の観測データがないため、どのモデルが妥当であるかの検証ができなかったが、SMILES-2の観測により初めて明らかにする。



GAIAモデルから予想されるSSW時の東西平均温度と子午面循環

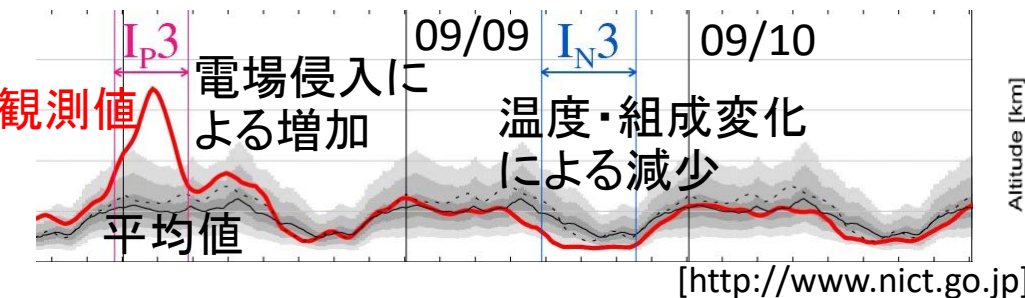
(Liu et al., 2013 & 2014)

4つのモデルによるSSW時の東西平均東西風 (Pedatella et al., 2014)

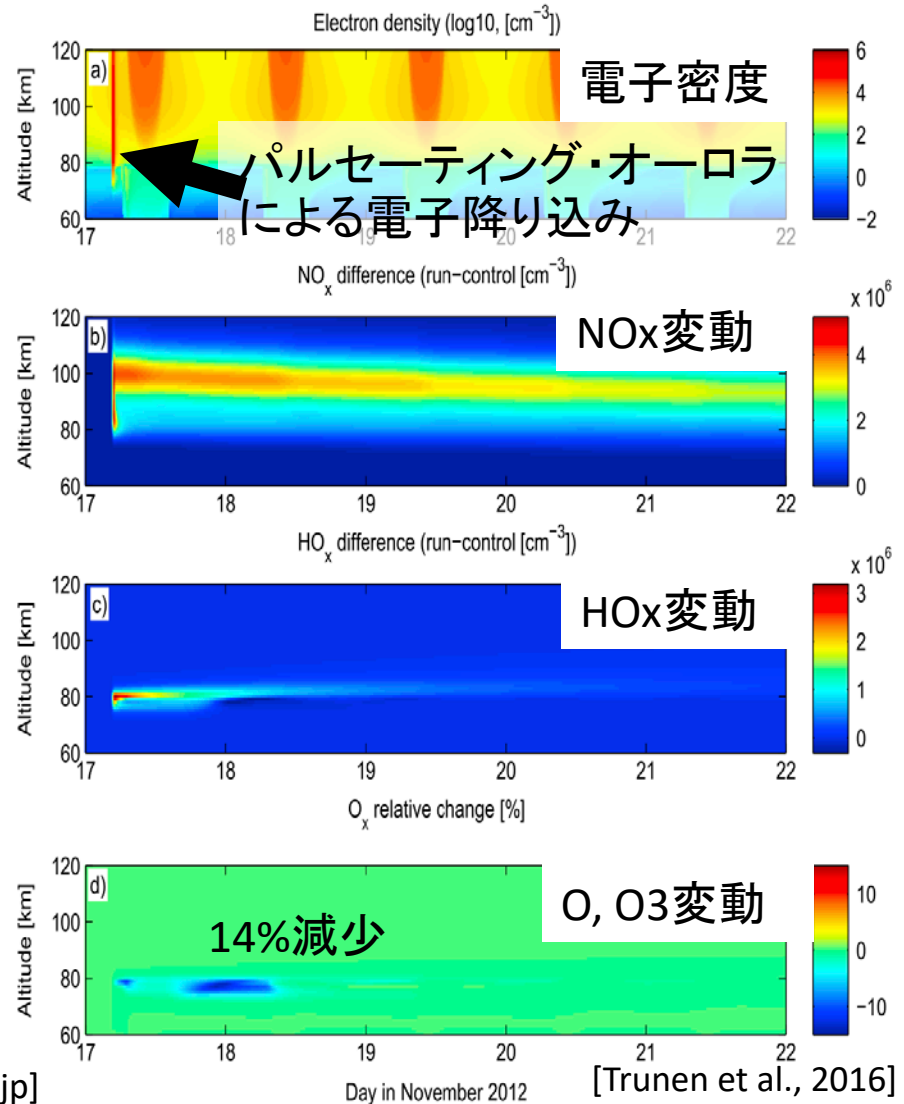
(MO.3) 粒子降り込みや磁気嵐などのイベント的な現象による変動の理解

- 粒子降り込みや磁気嵐などの磁気圏を介したプラズマ・電磁場による地球大気圏へのエネルギー流入は、太陽放射によるエネルギー流入とは異なり、突発的・局所的であり、イベント的な現象を発生させる。
- 局所的に流入したエネルギーは、温度・組成・風・電場の変化を起こし、高度方向、水平方向に広がっていき、激しいものは数日間に渡る全球的な変動を引き起こしている。

2017/09/08



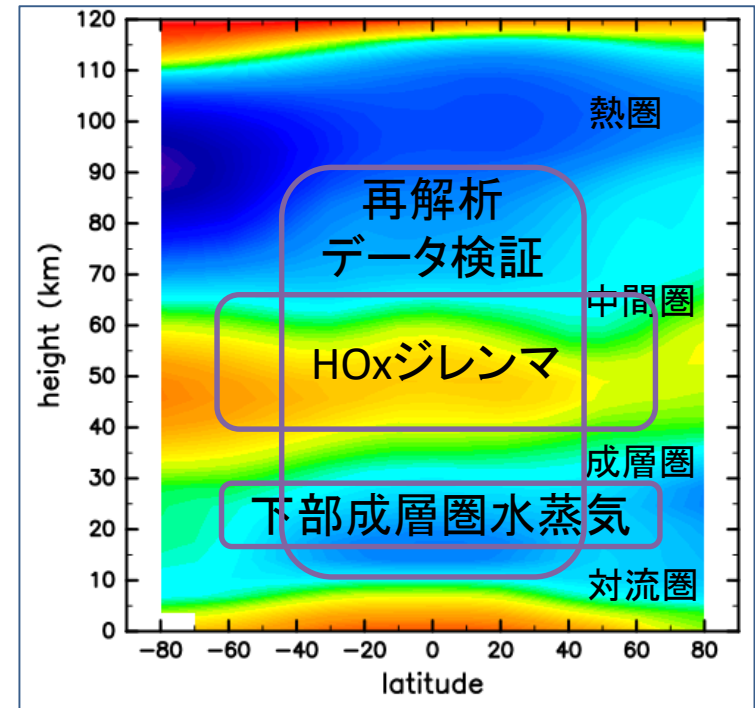
磁気嵐時の日本上空・全電子数変動



オーロラによるオゾン変動のモデル計算

(MO.4) 背景場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

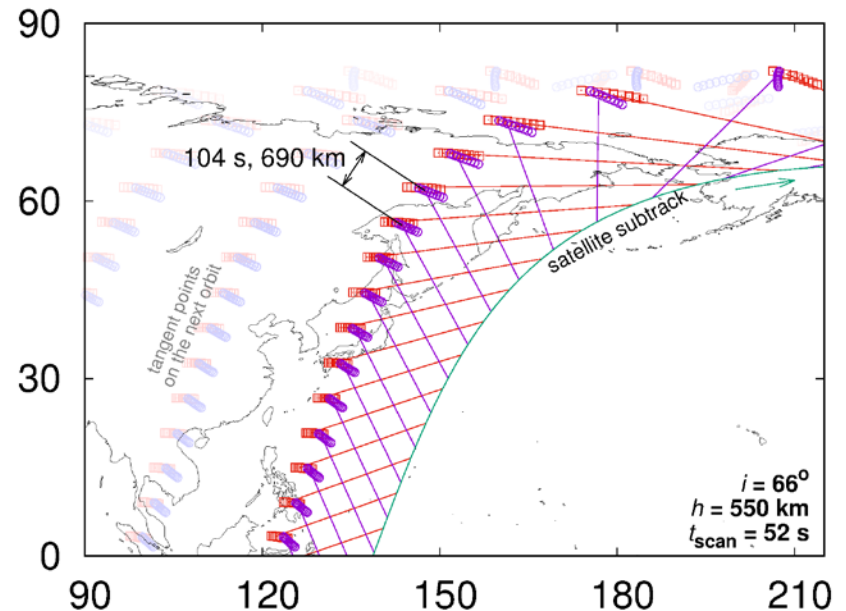
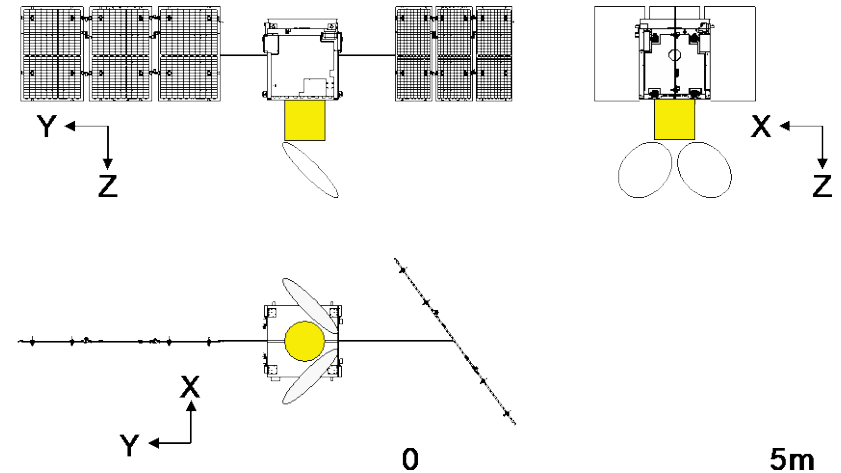
- HOxジレンマ: 中層大気領域で観測されるOH濃度が大気化学モデルOHよりも多い。高度43 kmでその矛盾が最大となり、その差異は20%にも達する。
- 下部成層圏の水蒸気量: 極成層圏雲(PSCs)を通してオゾン破壊に寄与する下部成層圏の水蒸気量が観測、モデルとも不確定。
- 再解析データの検証: 大気科学研究、特に長期にわたる気候研究の基盤となっている再解析データの検証データが欠落している。特に熱帯域の風の場合が大きなエラーを含む。



- 他惑星(火星)大気観測: 火星における水蒸気の変動、メタン酸化過程、大気散逸との関連を知る上で重要な観測パラメータであるOH観測の可能性。

SMILES-2 衛星概要

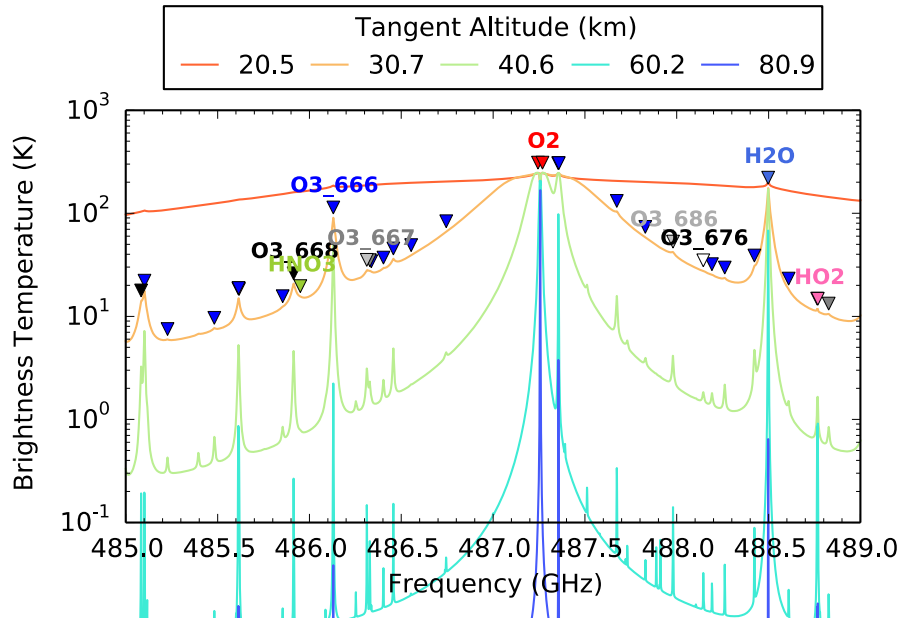
- 4 K 冷却超伝導受信機の搭載
- 観測対象 : 15 km から 150 km までの高度範囲で大気の温度, 風, 水蒸気, 酸素原子, OH, O₃, HCl, ClO, BrO, N₂O, HO₂, NO, NO₂等を測定
- ふたつの口径 75cm のアンテナで風ベクトルを測定
- 太陽非同期軌道, 高度 550 km 程度, 軌道傾斜角 66.0°程度(Epsilon増強型)
- ミッション機器として 200 kg, < 320 W 程度の規模
- GPS Occultation, その場観測装置(電子密度, イオン密度, イオン速度など)の相乗り測定機器
- 5年間の運用目標(1年運用=仕様)



観測パラメータ

	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
CIOx	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	

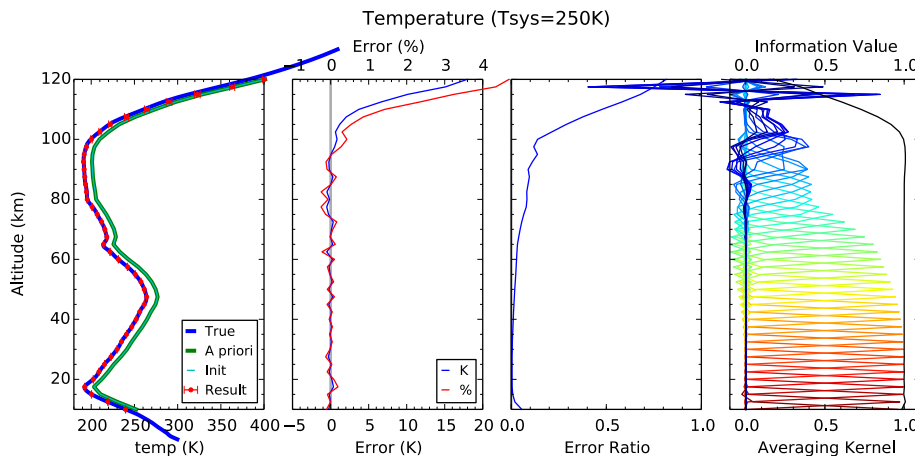
観測周波数の選択(気温の例)



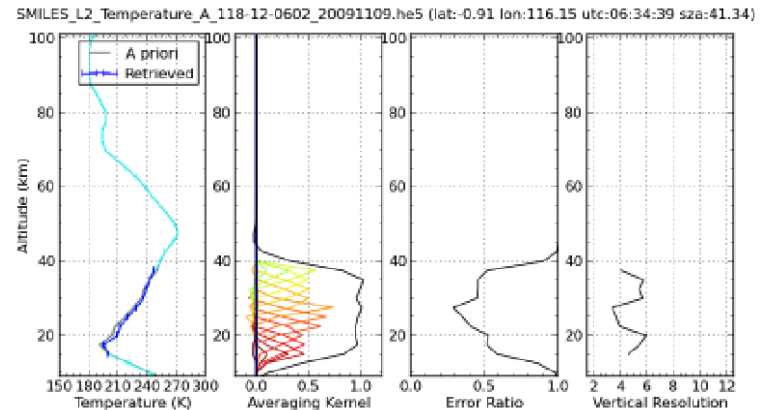
485-489 GHz Spectra at
20, 30, 40, 60, and 80 km

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

800GHz帯の検討



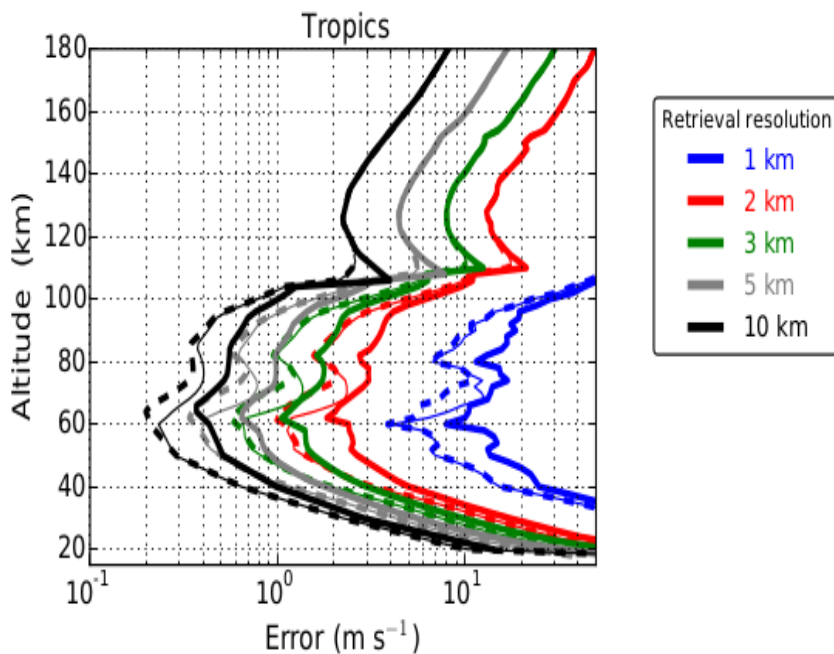
Tsys = 250 K, 4 K cooled



SMILES Temp. using O₃ and HCl lines.

SMILES-2による風観測の可能性

GHz帯の複数バンドを利用した例



太線: SIS1+SIS2+SIS3+HEB1, 夜間

細線: 上と同じ. ただし昼間

点線: SIW band + SIS3* + HEB, 夜間

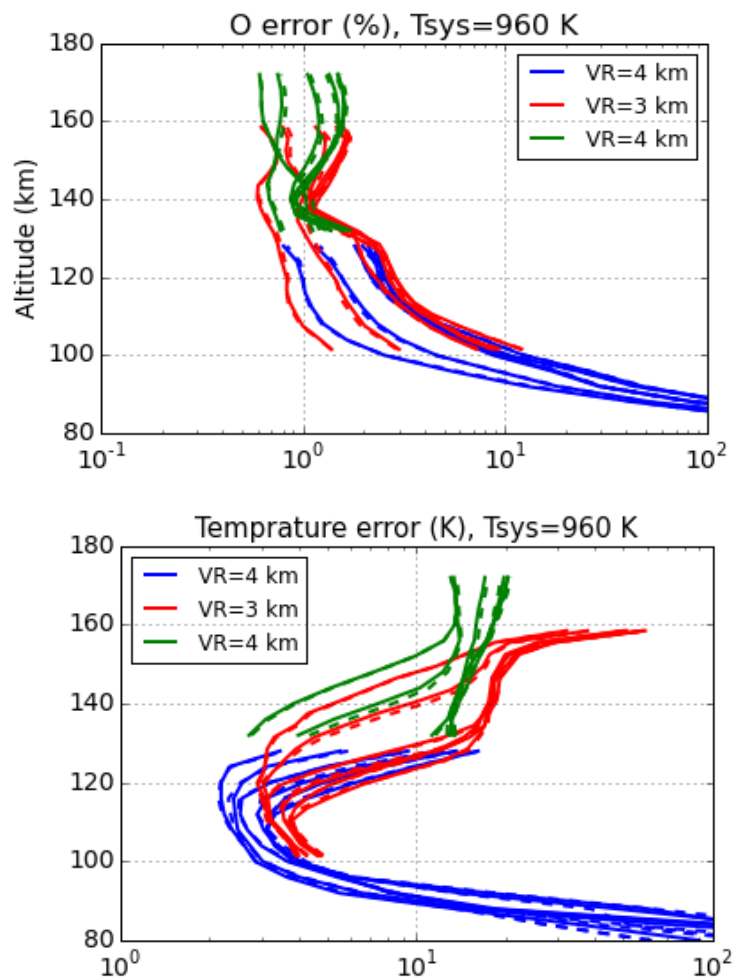
SIS-1: 487 and 525 GHz

SIS-2: 625 and 650 GHz

SIS-3: 556 and 576 GHz

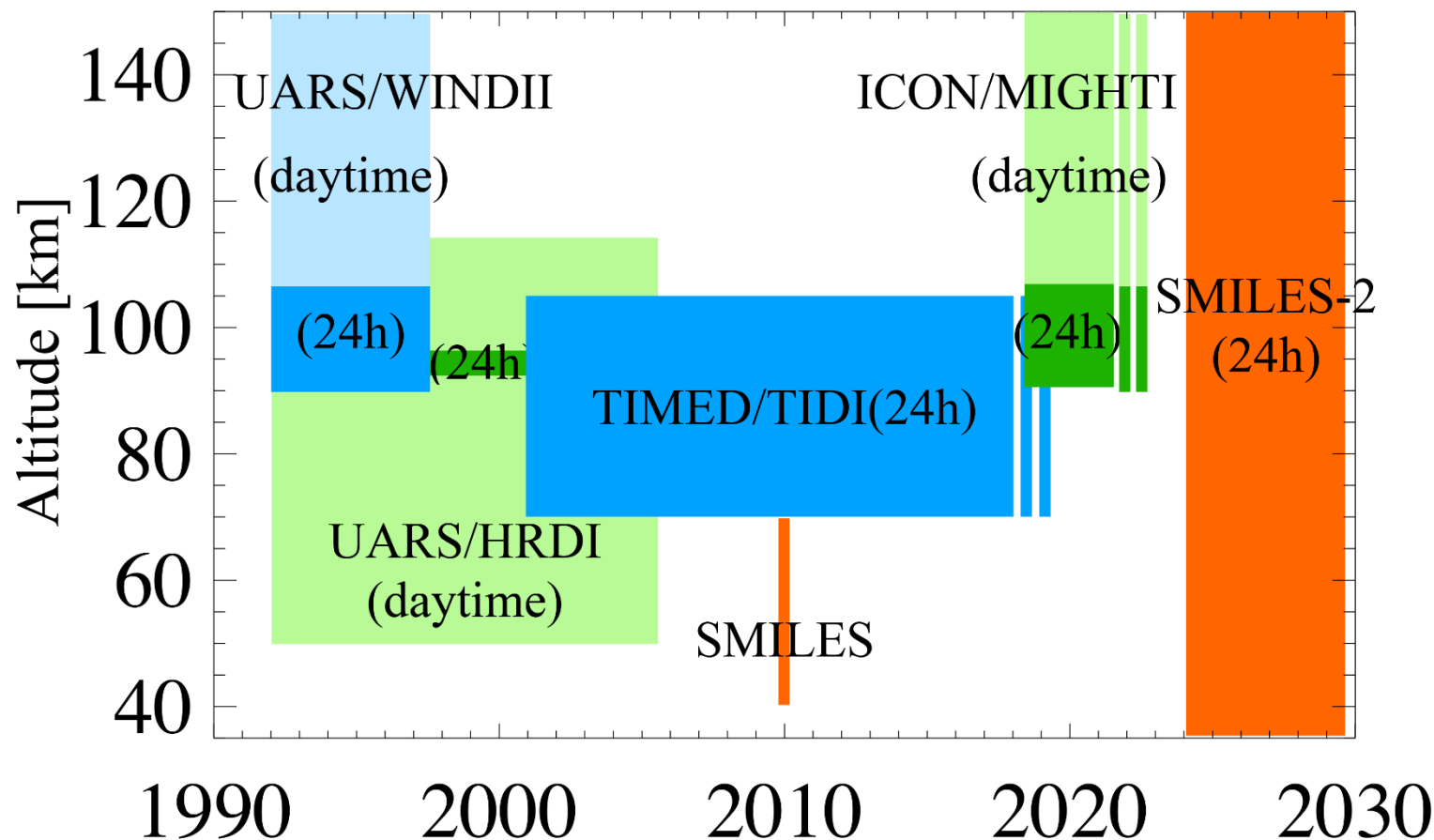
HEB: 1.8 and 2.0 THz switching

2.06THz帯バンドを利用した例



太陽非同期衛星の観測領域と観測時期

Wind



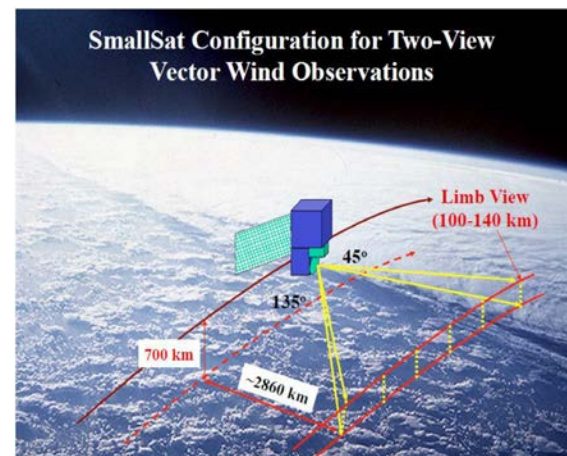
国外の衛星計画

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



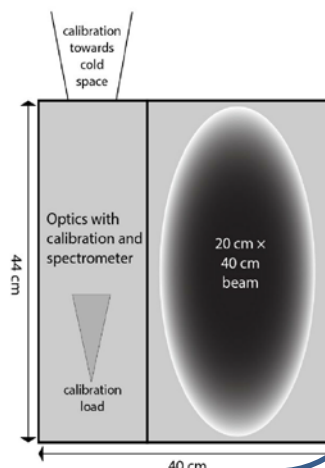
Stratospheric Inferred Winds (SiW) – スウェーデン

369 GHz の受信機
(368.5 GHz の O₂ 吸収線)

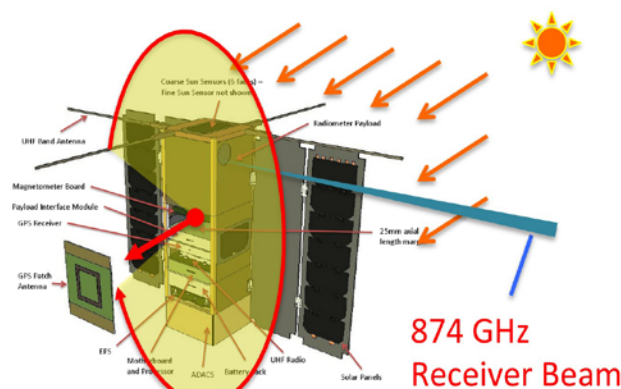
2 台の 20 cm × 40 cm の反射鏡

4 台の 2 GHz 幅分光計

InnoSat を想定 (15 kg 以下)



IceCube – 米国



まとめ

- SMILES-2が狙うところ -

- 一つの測器で中層大気＋高層大気(下部熱圏)までを通して観測することによりはじめて可能となる大気上下結合の描像
- 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数値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