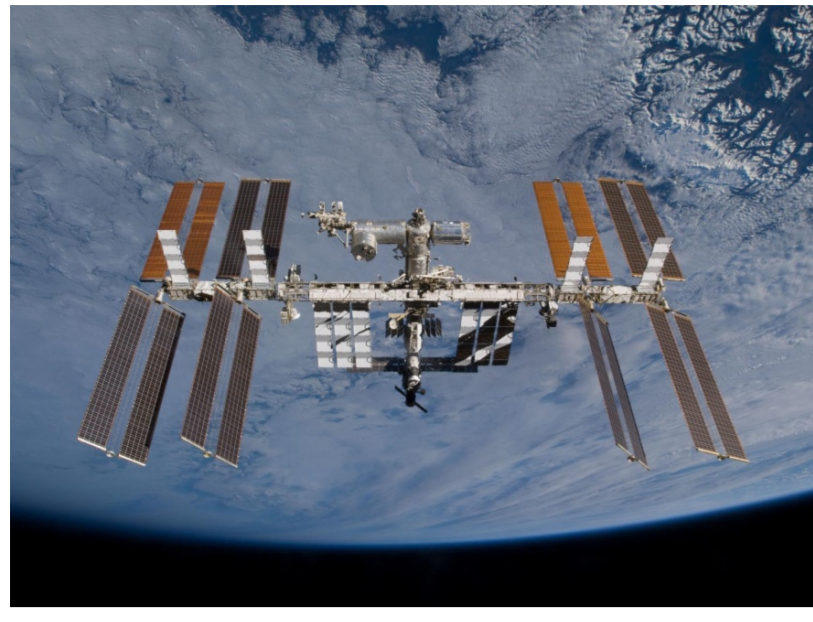


# 衛星からの新しい中層大気統合観測 - SMILES-2に向けて -



塩谷雅人(京大), 鈴木睦, 佐野琢己, 小出孝, 高柳昌弘, 今井弘二(JAXA), 眞子直弘(千葉大), 坂崎貴俊(京大), 鶴澤佳徳, 落合啓, 久保田実(NICT), 藤井泰範(国立天文台)



## 提案の概要

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)により実証された技術をベースにして、中層大気(成層圏・中間圏)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5年間を目標としておこない、人為起源の擾乱(オゾン破壊物質の放出)や太陽活動を起源とする変動が地球大気に及ぼす影響を解明する。得られるデータは、対流圏起源物質の成層圏への流入過程、中層大気の大気諸過程が気候変動に及ぼす影響、太陽活動と超高層大気との相互作用などの科学研究に用いられるだけでなく、オゾンアセスメントレポートなどで用いられているオゾン層将来予測のための化学気候モデルに対する参照データとして広く利用されることが期待される。

## 背景

地球システムにとって、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。地球大気に大量に含まれる酸素分子を種として成層圏には多量のオゾンが存在し、オゾン層を形成して地上の生命体を有害な紫外線から守っている。また、下層大気(対流圏)と成層圏の境界(対流圏界面)は非常に低温となるため、水で満ちあふれた下層大気からの水蒸気流出が遮断され、成層圏は非常に乾燥した状態となっている。このように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敏感で、たとえば特定フロン放出による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ている。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大気のシグナルが捉えられている。

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。現況を再現し将来予測を目的とする数値モデル計算において、入力に用いられる観測データの有無、あるいはその品質は予測精度の向上に決定的な影響を与える。特に成層圏領域においては、各国の気象官署で飛揚される気象ゾンデによって高度30km付近までの温度場、風速場の情報を、また直下視型の衛星観測によって高度40km付近までのグローバルな温度情報が得られておりモデルに取り込まれている。しかしながら上部成層圏から中間圏にかけては信頼に足る継続的なデータが存在しておらず、日々変化する温度場、風速場、微量成分分布に関するデータが欠落している。そのため、モデル計算においては未だにCIRA (COSPAR International Reference Atmosphere)(1984, 2012)などの気候値データが使われている。すなわちオゾンアセスメントレポートで将来のオゾン層予測に使われている化学気候モデルあるいはIPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)で使われている一部のハイエンド将来予測モデルでさえも上部成層圏から中間圏にかけて大きな不確実性をもったまま気候トレンドの論議がなされているのが現状である。

## 科学目標

背景でも述べたように、近年では詳細な化学反応を取り込んだ大気大循環モデルを用いて地球大気の将来予測がおこなわれているが、その再現性の検証に当たってはモデル計算に厳しい制約条件を与えるような高精度の観測が求められている。SMILES-2は、新たに導入する温度測定バンドを追加することで、中層大気領域の大気微量成分と温度場とを同時に高精度で観測する。これらのデータは、化学気候モデルの更なる精度向上や将来予測の信頼度向上に寄与できる。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100km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解明

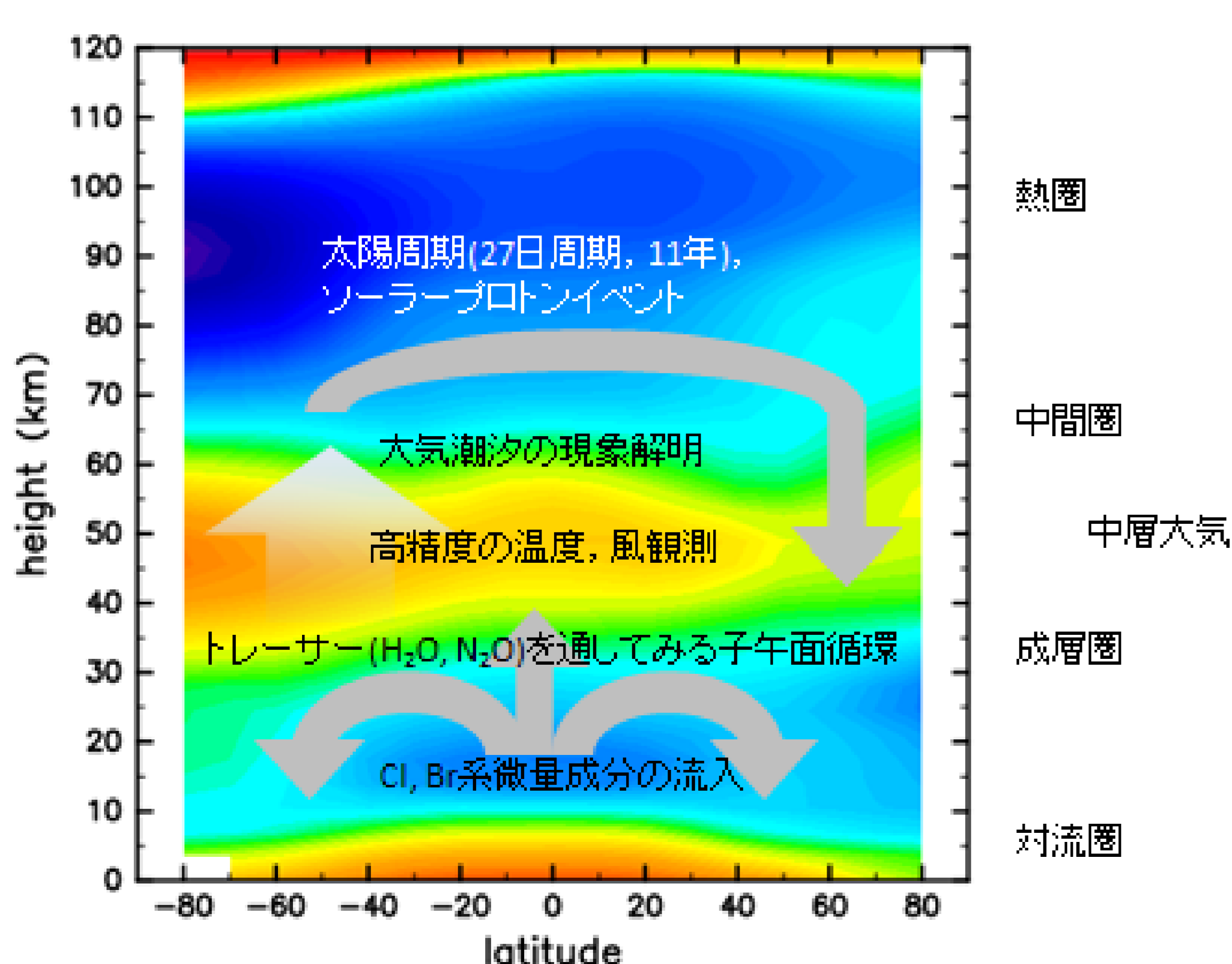


図1: 1月の平均的な温度場の緯度・高度断面図。対流圏から熱圏に及ぶ大気領域の区分を示すとともに、中層大気における平均子午面循環を矢印で示している。

## ミッション構想

(1) 衛星要求仕様サマリ: 打上げ手段をイプシロンロケットと想定し、宇宙研で標準バス化を検討していた小規模の衛星バス (SPRINT-A とほぼ同等) を考慮して、総重量 400kg (うちミッション機器 200kg)、消費電力 1000W (同 400W) 程度の規模の衛星を検討のベースとする。また、設計寿命(観測ミッション期間)は3年以上を想定する。リム観測を行い、大気微量成分や温度・風速などの大気物理パラメータの高度分布を取得する。想定する傾斜軌道では観測緯度帯が限られるため、衛星バスの yaw maneuver を実施することにより、北半球・南半球双方を時期を区切って観測することとする。

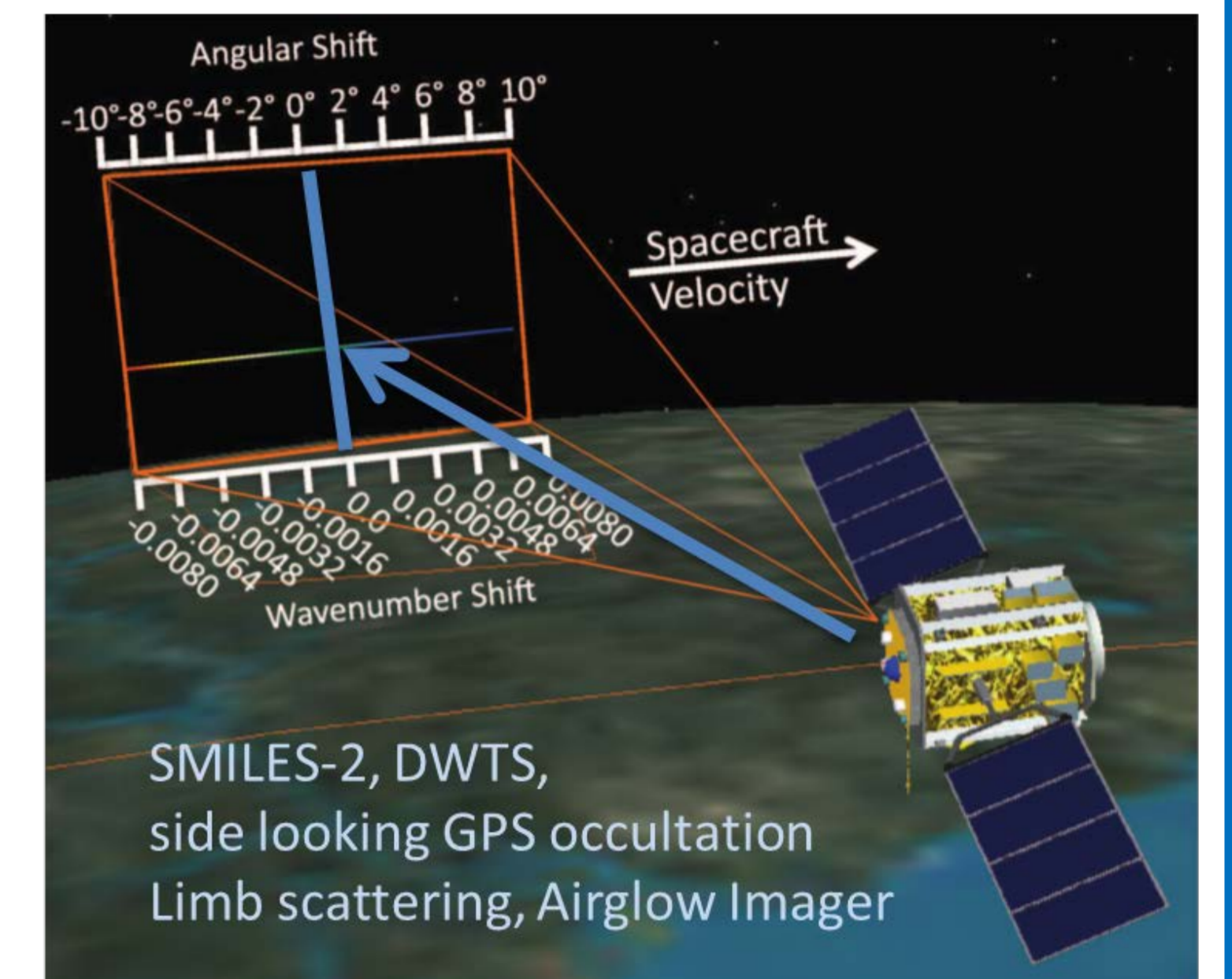


図2: SMILES-2観測の模式図

(2) 観測波長帯: JEM/SMILES では、大気科学観測では不可欠である温度測定のためのチャンネルがなかった。SMILES-2 では温度測定チャンネルを必ず持たせることとする。

(3) 光学系: JEM/SMILES では曝露部プラットフォームに搭載するための寸法制限から長径でも 40cm 程度となっていたが、SMILES-2 では衛星搭載を想定するため直径 1~1.6m 程度に大型化することを検討する。アンテナのスキュー角の刻みも細かくして、高度分解能も 1km 程度まで向上させる。超伝導ミキサの雑音を抑制するための 4K (~-269°C) 冷却に使用する機械式冷凍機については現時点までの簡易的な検討の結果では 50kg 程度までの軽量化が期待できる。分光系として SMILES-2 では、SMILESでの AOS に代えて高速フーリエ変換 (Fast Fourier Transform: FFT) 分光計の導入を検討する。

(4) 検出器: JEM/SMILES で実証された検出器系を採用する。(TBR)

(5) 熱設計: ISS/JEM の曝露部に搭載されていた JEM/SMILES の設計を基本に、ISS/JEM と小型衛星との熱容量の差などを考慮して、改めて熱設計を実施する。(TBR)

(6) 相乗り観測機器: 現時点で、以下の機器が、相乗り搭載の候補として考えられる。

- DWTS (Doppler Wind and Temperature Sounder): 温度プロファイルとクロストラック方向の風速分布を測定する。中層~超高層大気での気温・風速を同時に計測。
- OSIRIS-2 (Optical Spectrograph and Infrared Imaging System): オゾンや塩素化合物・臭素化合物等の高度分布を測定。
- SCIA-Limb (SCIAMACHY: Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Cartography): オゾン及び関連する塩素化合物・臭素化合物のほか、水蒸気や CO, CO<sub>2</sub> などの微量成分の高度分布を測定。
- GPS Occultation: GPS信号が対流圏を通過する際の遅延を利用して、大気温度を測定。

(7) 軌道と打ち上げ手段: 高度500km程度の傾斜軌道を想定する。軌道傾斜角はサイエンス要求を考慮しながら検討するが、JEM/SMILESが搭載されたISSの軌道傾斜角(約51度)が考えられる。打上げ手段はイプシロンロケットを想定しており、衛星の大きさや重量等はイプシロンに搭載可能な範囲でトレードオフを行う。

(8) 観測パス: 傾斜軌道を採用することで、一つの観測点を季節によって異なった地方時に観測できるような観測パスを想定する。

(9) データ処理: JEM/SMILES用に開発した処理システムを設計した2008年当時から比べて、計算機性能は大幅に発達しており、データ処理をJAXA/ISAS以外でも容易に実施できるよう、処理ソフトウェアのポータブル化についても検討する。

## ライン選択の検討

現在、以下を候補としてラインの選択についての検討を進めている。

- 487±2 GHz (O<sub>2</sub>=Temp., H<sub>2</sub>O)
- 525±2 GHz (BrO, NO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>CO, N<sub>2</sub>O, HO<sub>2</sub>, etc)
- 614±2 GHz (HOCl)
- 625±2 GHz (SMILES Bands A+B 拡張, O<sub>3</sub>, HCl)
- 650±2 GHz (SMILES Band C 拡張, ClO, HO<sub>2</sub>)

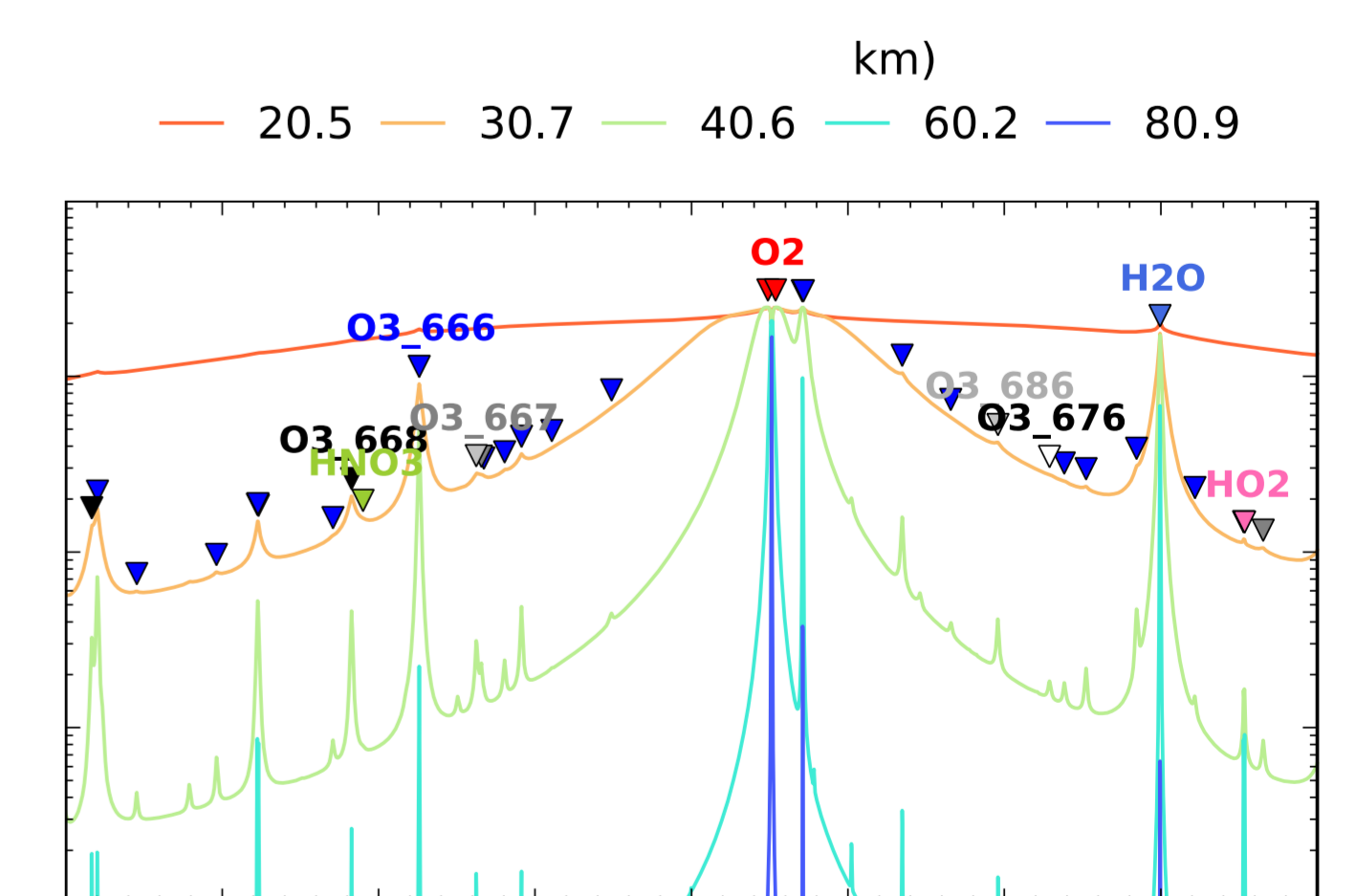


図3: 487GHz帯の検討結果

## 国内外の動向

日本国内では、アジア域の大気汚染モニターの観点から対流圏の微量成分測定が主流となっており、その対象とする高度範囲が低いため衛星観測よりも航空機や地上分光計等による直接観測に関心が集まっている。そのため、SMILES-2の構想と直接競合するような観測ミッションの提案は存在しない。海外においては、成層圏オゾンなど中層大気の継続的な観測の重要性は認識されているものの、米国のNASA, NOAA や欧州のESA などにおいても、運用中の観測ミッションの後継となる将来計画は確定しておらず、現在軌道にある衛星が運用停止となったあとに長期間の「観測ギャップ」がやってくるのが危惧されている。そのような背景から、JEM/SMILESの後継ミッションへの強い期待が存在する。