

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), 鈴木睦, 西堀俊幸(JAXA), 落合啓, 鶴澤佳徳, Philippe Baron(NICT), 今井弘二(JAXA), 眞子直弘(千葉大), 坂崎貴俊(京大), 水野亮(名大), 真鍋武嗣(大阪府大)



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)により実証された技術を基盤として、中層大気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3年間おこなうことを目標とした観測計画を提案する。これによって得られるデータは、中層大気から下部熱圏にわたる大気領域の科学を推進すると同時に、化学気候モデルのさら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:(1) 中層大気における熱収支・運動量収支の見積りの精緻化。そのために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をおこなう。(2) 対流圏起源物質の成層圏への流入過程の解明。そのためにClOとBrOの高精度観測、H₂O、N₂O観測による子午面循環の定量化をおこなう。(3) 太陽活動の超高層大気に対する影響の解明。そのために、太陽周期(27日周期, 11年)、ソーラープロトンイベントにもなる中層大気の変動についての動態解明をおこなう。得られたデータはこういった科学研究に用いられるだけでなく、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活用されることが期待される。ここではSMILESの成果を踏まえつつ、次世代の新しい観測計画(SMILES-2)について紹介する。

背景と科学目標

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。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温暖化にもなる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。しかし、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、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、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議論がなされているのが現状である。その再現性の検証にあたって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、化学気候モデルのさら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
 - H₂O、N₂Oレーザ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もなる中層大気の変動についての動態解明

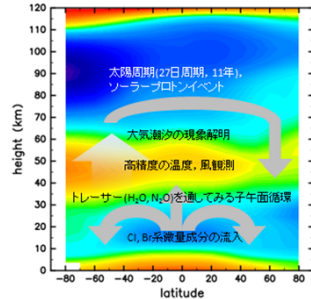


図1: 1月の平均的な温度場の緯度・高度断面図。対流圏から熱圏に及ぶ大気領域の区分を示すとともに、中層大気における平均子午面循環を矢印で示している。

ミッション構想

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。

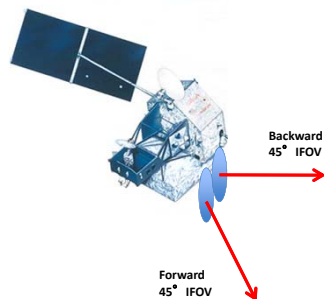


図2: SMILES-2観測の模式図

本年度の検討内容としては、SMILESにおいて最大の弱点であった大気科学観測では不可欠である温度測定の実現、さらには風の場の測定も想定した観測バンドの検討を進めた。さらに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試作を開始した。

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 ₃	O-atom	O ₂ , O ₃	O-atom
HOx	HO ₂	OH, H ₂ O	HO ₂ , H ₂ O	OH
ClOx	ClO, HOCl (poor)	Cl, ClO, (ClO), ClONO ₂	ClO, HOCl (better spectrometer)	
BrOx	BrO (poor)	Br, BrCl, OBrO, BrONO ₂	BrO (better ch)	
NOx	HNO ₃	N ₂ O, NO, NO ₂ , ClONO ₂	N ₂ O, NO, NO ₂ , NO ⁺	
CH ₄ oxidation	---	(CH ₃), H ₂ CO, CO, (CO ₂)	H ₂ CO, CO	
Tracer	---	H ₂ O, N ₂ O, CO	H ₂ O, N ₂ O, CO	
Tropospheric source	CH ₃ CN	CH ₂ Cl	CH ₃ Cl, CH ₃ CN	
IR active	O ₃	H ₂ O, N ₂ O	O ₂ , 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

上で述べた物理量を観測するために最適なバンドの探索をおこなった。特にSMILES-2ではSMILESにおいて欠落していた温度場の観測を487.249 GHzにあるO₂のラインを使うておこなうことを計画している(図3)。またSMILESで用いた625 GHz帯は有効であることが分かっているので積極的に利用する(図4)。これらの検討結果についてはSuzuki et al. (2015)あるいはポスター発表(P-155鈴木ほか)を参照のこと。さらにSMILESによってラインのドップラントから視線方向の風速を求めることのできる可能性が示されており、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(図5)。この検討結果については、Baron et al. (2015)あるいはポスター発表(p-154 Baronほか)を参照されたい。

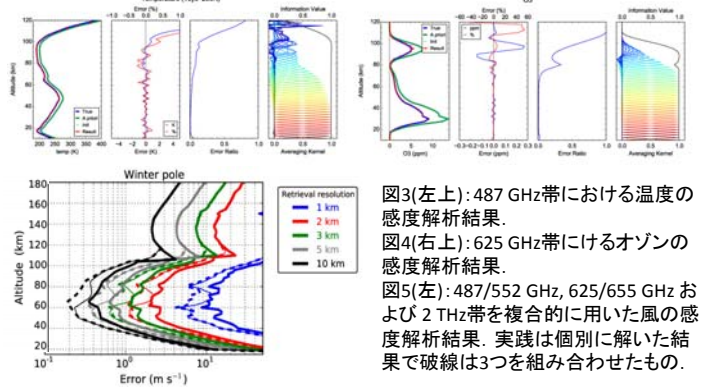


図3(左): 487 GHz帯における温度の感度解析結果。
 図4(右): 625 GHz帯におけるオゾンの感度解析結果。
 図5(左): 487/552 GHz, 625/655 GHz および 2 THz帯を複合的に用いた風の感度解析結果。実践は個別に解いた結果で破線は3つを組み合わせたもの。

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担う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試作を開始した(図6)。詳しくはポスター発表(P-157西堀ほか)を参照のこと。

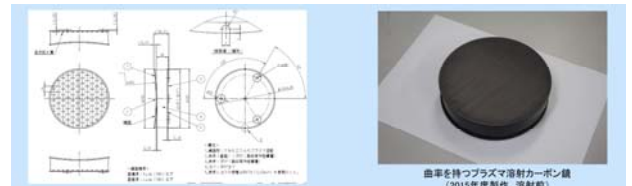


図6: 試作を行った曲率を持つプラズマ溶射カーボン鏡

参考文献

Philippe Baron, Naohiro Manago, Hiroyuki Ozeki, Yoshihisa Irimajiri, Donal Murtagh, Yoshinori Uzawa, Satoshi Ochiai, Masato Shiotani, Makoto Suzuki: Measurement of stratospheric and mesospheric winds with a submillimeter wave limb sounder: results from JEM/SMILES and simulation study for SMILES-2, Proc. of SPIE Vol. 9639, 96390M, pp.1-20 (2015).
 Makoto Suzuki, Naohiro Manago, Hiroyuki Ozeki, Satoshi Ochiai, and Philippe Baron: Sensitivity study of SMILES-2 for chemical species, Proc. of SPIE Vol. 9639, 96390M, pp.1-15 (2015).