SMILES-2 のバンド選択

Band selection study for the SMILES-2

眞子直弘(千葉大/CEReS)・尾関博之(東邦大)・鈴木　睦(宇宙研)
Naohiro Manago, Hiroyuki Ozeki, and Makoto Suzuki

1. はじめに

ISS/JEM/SMILES は JAXA 及び NICT により開発された 4K 冷却の超伝導サブミリ波リムサウンダーであり、2009 年 10 月から 2010 年 4 月に成層圏・中間圏の大気微量成分の観測を行った。SMILES は Tsys~240K とこれまでの大気観測センサの水準を大きく超える微量検出能力を持ち、成層圏 O3 濃度の力学的原因による微少な日変化や ClO, BrO など極微量気体の測定に成功している[1-4]。

SMILES 観測が短期間におわった事、技術実証ミッションとして観測項目が最小限に限定されていたことなどから、後継ミッション(SMILES-2)の実現が期待されている。ここでは、予算的制約を考えない場合、どのようなミッション可能かについて、現在までのバンド・分子種の選択に関する検討状況を報告する。

2. SMILES-2 に期待する観測

SMILES は, 625GHz 帯(Band A, B), 650GHz 帯(Band C)において, O_3, HCl, ^{35}ClO, HO_2, HO^{35}Cl, HNO_3, CH_3CN, ^{81}BrO, O_3 同位体(^{18}OOO, ^{17}OOO, O^{17}OO)の測定を行った。SMILES では O_3, HCl のラインから気温の導出も可能であるが, 導出可能な高度範囲が 20-50km と狭く、高度 100km まで O_3 量導出が可能な SMILES 観測に対して大きな制約であった。また、BrO, HOCl は近傍の強いラインの干渉を受けるため最適ではなく、H_2O, N_2O などの成層圏での Tracer の観測も行えなかった。SMILES-2 では以下のような観測の拡張が期待される。

- O_3 観測可能な全高度範囲(15-100km)での気温測定(<2K).
- BrO, HOCl の観測周波数帯最適化
- 力学輸送を理解するための H_2O, N_2O 測定
- O_3 同位体(O_3, ^{17}OOO, ^{18}OOO, O^{17}OO, O^{18}OO)の同一観測 Band 内での同時測定
- Aura/MLS 等が測定した化学種の追加

装置としては, 小型軽量化された 4K 冷却系, 40cm から 1m へのアンテナ径拡大, SMILES の 1.5GHz 帯域幅 AOS に対して 8GHz 以上帯域幅の相関分光器 or FFT 分光器などが想定される。

3. 解析手法

SMILES 研究用に開発された Thikonov-OEM 複合アルゴリズムで感度解析を行った[5]。2010 年 10 月 17 日の赤道緯度帯平均の条件で計算を行っている。

4. 気温測定

気温測定には混合比一定の O_2 がミリ波サブミリ波帯で用いられる。延長分解能(IFOV)を良くするため高い周波数が好ましいが、感度低下や冷却の必要性追加が必要となる。SMILES の周波数帯より低周波の O_2 ラインは 487.279GHz に有り、その近傍には H_2O 及び O_3, HO_2, O_3 同位体(^{17}OOO, ^{18}OOO, O^{17}OO, O^{18}OO)などのラインが存在する。この非常に強い O_2 ラインを 4K 冷却(Tsys=250K)で観測を行うと Fig.2 に示すように、高度 15-100km において±1K 精度の測定が可能なる。60K 冷却(Tsys=1000K)では 15-70km で±1K、常温(Tsys=10000K)では 20-60km で±2K が可能である。これまで最も高い高度まで利用可能データは Aura/MLS (±1K<58 km, ±2.5K <92km ただし高度 70km 以上では 4~7K のバイアスがある)のものであり[6]、高度 100km までの気温測定が可能になることで、微量気体濃度の導出の科学的意義がより増すだけでなく、広い高度領域の気温測定が気象学の様々な分野(同化予報、大気重力波、潮汐)の研究を可能にすると考えられる。

温度測定の実現には、軌道上輝度校正・非線形性補正を 1K 精度で実現等が必要であり、容易ではない。また O_2 分光パラメター(圧力幅, Non-Voigt 線形)は実験室での精度限界を超えるため、SMILES-2 の観測において、GPS 掩蔽気温(±1K <50km 夜間)、リム Rayleigh 散乱観測(大気密度 1%精度)等との同時想定から分光パラメター決定を実施することが考えられる。485-489GHz 帯では、H_2O, O_3 も測定でき(Fig. 3)、H_2O についてはこれまでの観測精度を超えるデータ提供が可能となる。

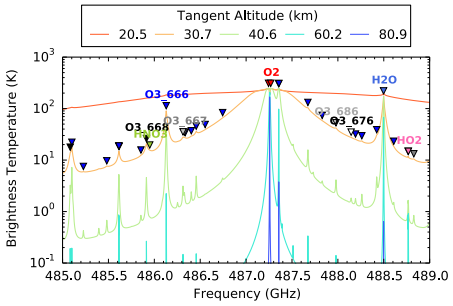

Fig. 1 O_2 spectrum at the 487.249 GHz at 20, 30, 40, 60 and 80 km tangent altitudes.

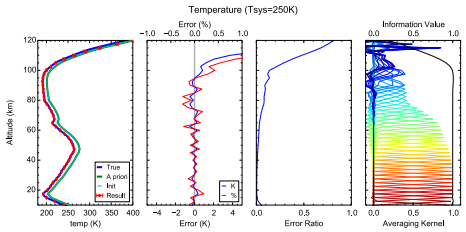

Fig.2 Ttemperature retrieval using 487.249 GHz O_2 line with Tsys = 250K .

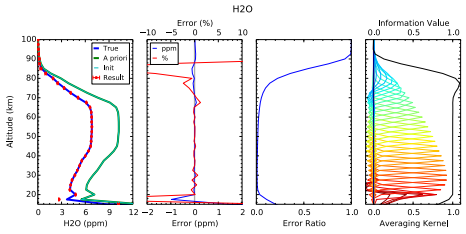

Fig. 3 H_2O retrieval using 488.1 GHz line with Tsys = 250 K.

5. BrO, HOCl 測定

BrO は 1THz 以下では、525.199GHz において最も感度良く(他分子の干渉が無く)測定できる(Fig.4) [7]。525-529 GHz の帯域では、N_2O, O_3, NO_2, H_2CO, HO_2 and O_3 isotopes 等も測定可能である。HOCl は 600-650GHz の領域では 613.6 GHz において良好な測定が可能である。

6. まとめ

Table 1 に今回の検討結果を示す[8]、4 台の Local Oscillator を用いた 6 バンド構成の場合、ほぼ満足できる科学性能が得られるが、装置規模・コストの観点からトレードオフを行う必要がある。

7. References

[1] K. Kikuchi et al., *J. Geophys. Res.*, **115**, D23306, pp. 1-12, 2010.

[2] K. Imai et al., *J. Geophys. Res.*, **118** (11), pp. 5750-5769, 2013.

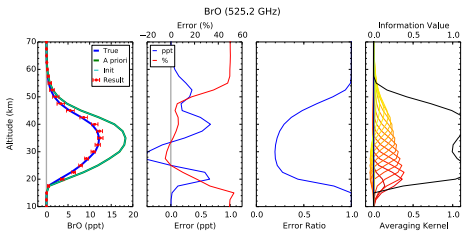

Fig. 4 BrO retrieval at 525.199 GHz line with Tsys = 250K.

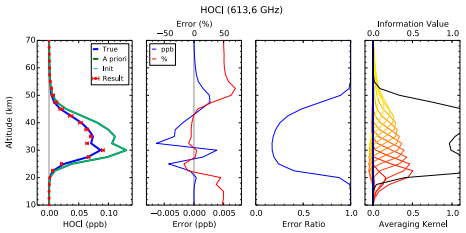

Fig. 5 HOCl retrieval at 613.6 GHz line using Tsys = 250 K.

Table 1. Conditions for the calculation

Target Species	Species: O_2, $O^{18}O$, O_3, ^{17}OOO, ^{18}OOO, $O^{17}OO$, $O^{18}OO$, HCl, ClO, HOCl, CH_3Cl, BrO, H_2O, HO_2, N_2O, NO_2, NO, HNO_3, CH_3CN, H_2CO, OH, O-atom, Temp., Wind
Instrument	Altitude range: 10-120 km, 2.5 km vertical sampling. Frequency sampling: 4 GHz bandwidth, 500 kHz sampling interval, 1.3 MHz Gaussian (FWHM). T_{sys} = 250 K, Integration time (Δt) = 0.48 s.
Bands	(1) 487±2 GHz (O_2, H_2O), (2) 527±2 GHz (BrO, NO_2, H_2CO, N_2O, HO_2, etc), (3) 614±2 GHz (HOCl), (4) 626±2 GHz (SMILES Bands A+B), (5) 637±2 GHz, (6) 649±2 GHz (SMILES Band C) (7) 1.8 THz OH, (8) O-atom

[3] T. Sakazaki et al., *J. Geophys. Res.*, **118** (7), pp. 2991-3006, 2013.

[4] R. A. Stachnik et al., *Atmos. Chem. Phys.*, **13**, pp. 3307 - 3319, 2013.

[5] N. Manago et al., J. Space Science Informatics Japan, 3, pp. 109-118, 2014 (ISSN 1349-1113, JAXA-RR-13-010, in Japanese).

[6] M. J. Schwarz et al., *J. Geophys. Res.*, **113**, D15S11, doi:10.1029/2007JD008783, 2008.

[7] J. Urban, *J. Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, **76** (2), pp. 145–178 (2003).

[8] N. Manago et al., to be appear in *IGARSS*, 2014.

Appendix A. Temperature

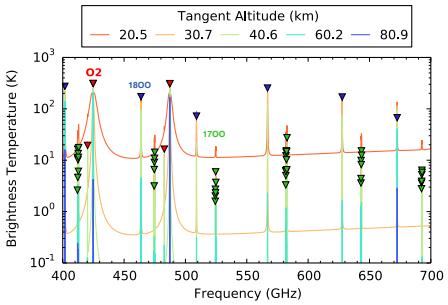

Fig. A1 O_2, ^{18}OO and ^{17}OO lines within GHz region. 488.249 GHz O_2 line is the highest frequency in this region.

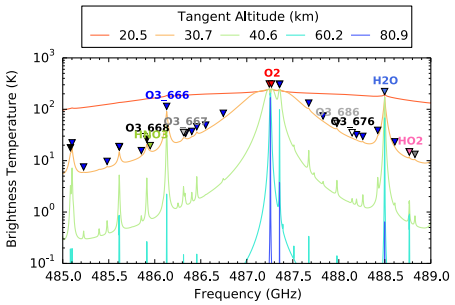

Fig. A2 Temp., Wind, O_2, mixing ratio H_2O, O_3, HO_2, and HNO_3 can be retrieved in the 485-489 GHz region.

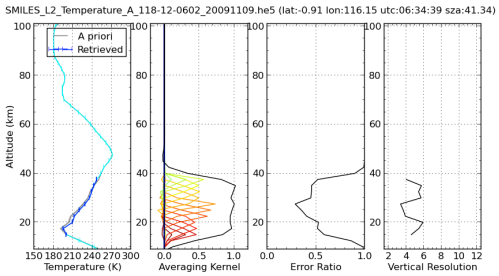

Fig. A3 SMILES Temperature retrieval using Band A O_3 and HCl lines. Temperature can be retrieved only at 15-40 km. GEOS-5 temperature (special version, Aura/MLS assimilated) are used for 40-60 km, and WACCM (nudged to GEOS-5 MLS assimilated) temperature are used for above 60 km.

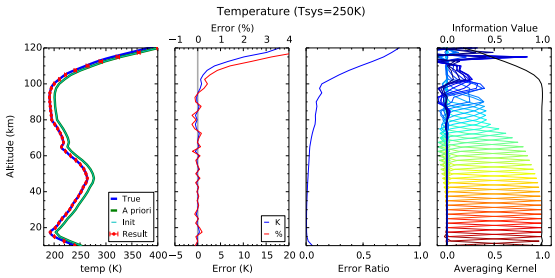

Fig. A4 Temperature retrieval using 487.249 GHz O_2 line. Temperature can be retrieved < 2K at 15-105 km.

Appendix B. Wind

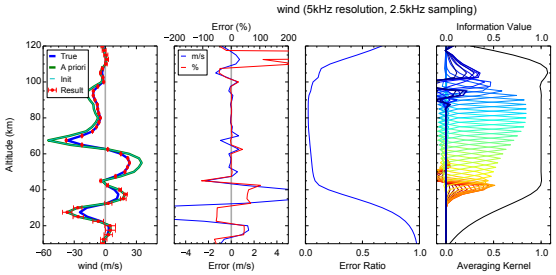

Fig. B1 Line of sight (LOS) wind velocity can be retrieved < 2 m/s at 40-105 km.

Appendix C. Chemical Species

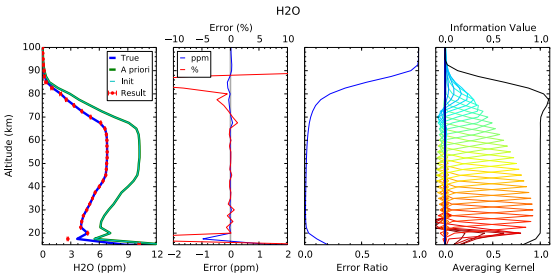

Fig. C1 H_2O theoretical retrieval using 488.1 GHz line.

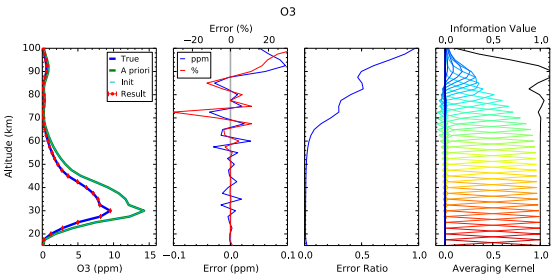

Fig. C2 O_3 (daytime) using 625 GHz band.

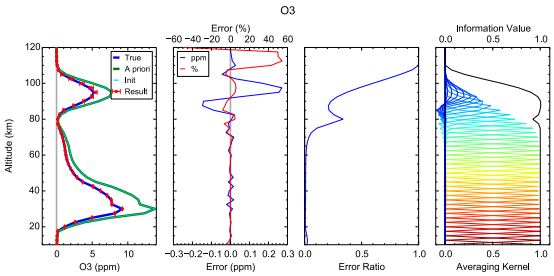

Fig. C3 O_3 (nighttime) using 625 GHz band

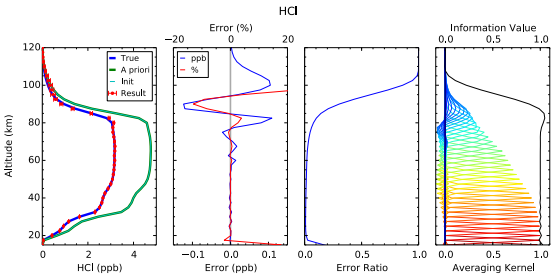

Fig. C4 HCl using 625 GHz band.

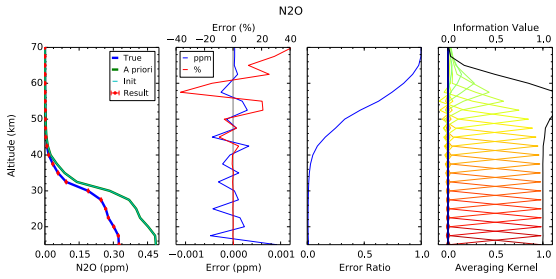

Fig. C5 N_2O using 625 GHz band [New in SMILES-2].

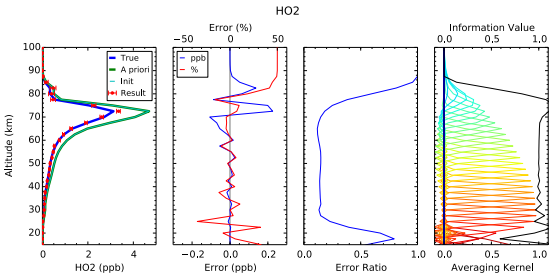

Fig. C10 HO_2 (day) using 625 GHz band.

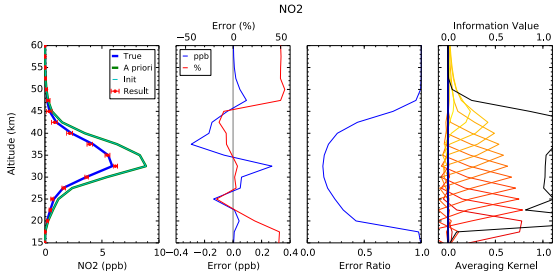

Fig. C6 NO_2 (daytime) using 525 GHz band [New].

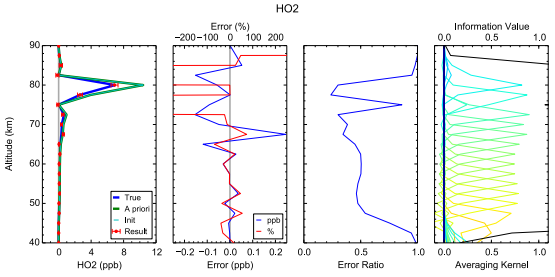

Fig. C11 HO_2 (night) using 625 GHz band.

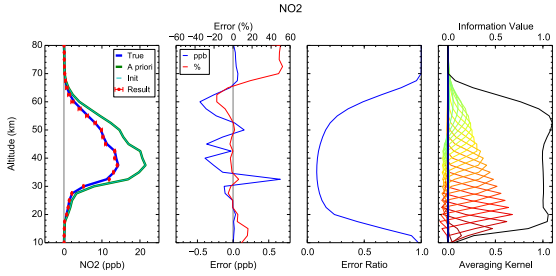

Fig. C7 NO_2 (nighttime) using 525 GHz band [New].

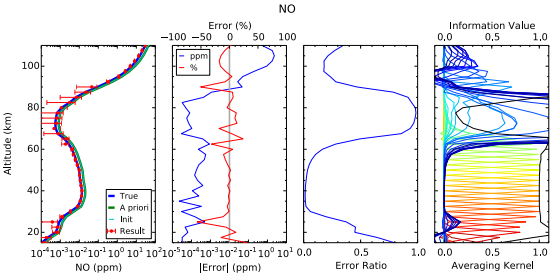

Fig. C12 NO (day) using 650 GHz band [New].

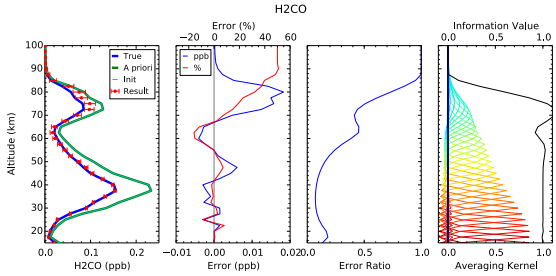

Fig. C8 H_2CO usung 525 GHz band [New].

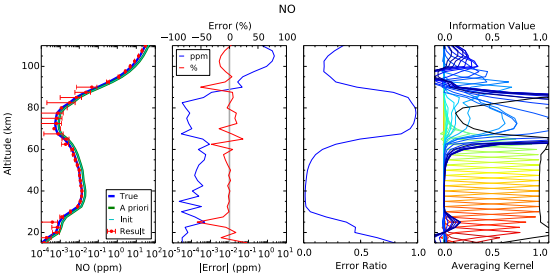

Fig. C13 NO (night) using 650 GHz band [New].

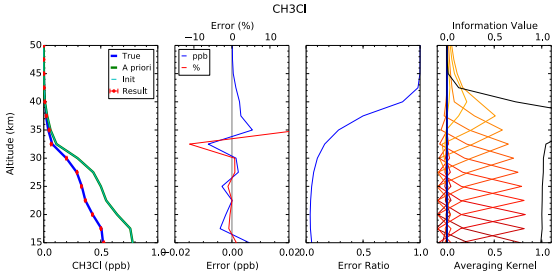

Fig. C9 CH_3Cl usung 625 GHz band [New].

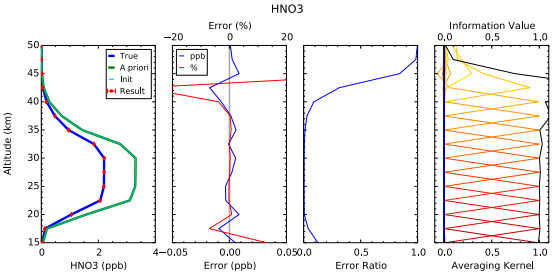

Fig. C14 HNO_3 using 625 GHz band.

Appendix D THz observation

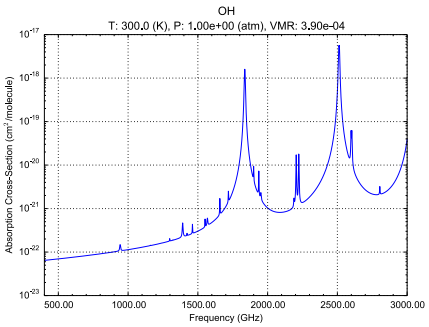

Fig. D1 OH line in THz frequency region.

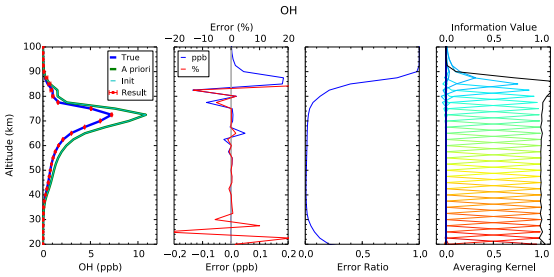

Fig. D2 OH (day) using 1.836 THz band, Tsys = 1000 K assuming 4 K cooled NbN Hot Electron Bolometer.

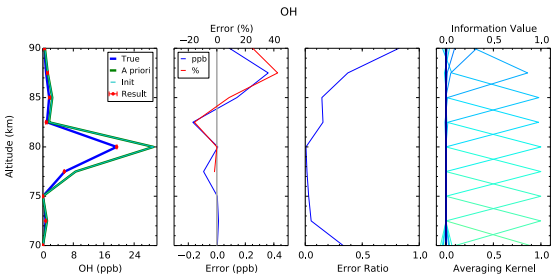

Fig. D3 OH (night) using 1.836 THz band, Tsys = 1000 K assuming 4 K cooled NbN Hot Electron Bolometer.

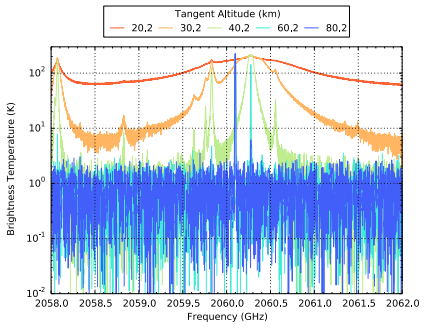

Fig. D4 O atom emission at 2.06 THz only observavle above 60 km.

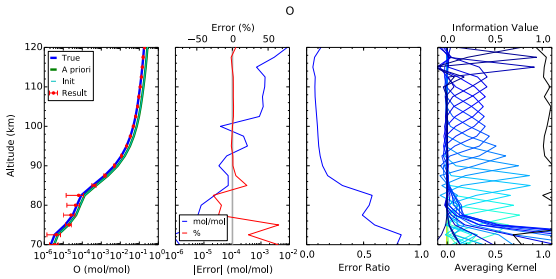

Fig. D5 O atom (day) using 2.06 THz band.

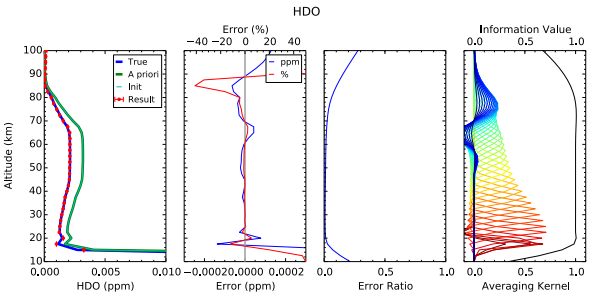

Fig. D6 HDO can be observed at 1.817 THz region.

Appendix E Other species under consideration.

Several ion species NO^+, O_2^+, N_2^+ are 10^4~10^5 cm^{-3} at lower thermosphere (80-120 km) and it should be observable using sub-mm or THz region. Only NO^+ lines are available from JPL catalogue.

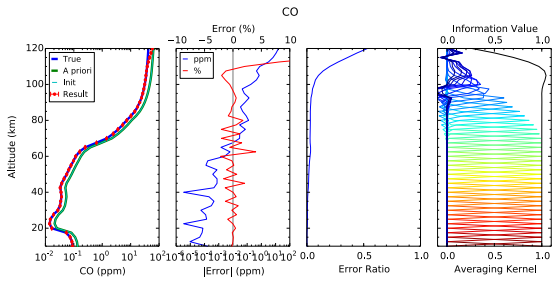

Fig. E1 CO can be observed using 461 GHz region with 5% precision at 15-105 km. It is very attractive to include CO observation at the image band of 477 GHz temperature/wind observation.

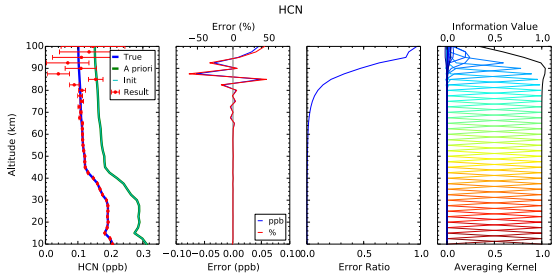

Fig. E2 HCN can be observed at 798 GHz band, we have no plan to extend above 700 GHz region for SMILES-2.