

成層圏大気観測用超伝導サブミリ波リムサウンダ(BSMILES)

NICT 入交

1980年代に南極オゾンホール¹の報告・確認
モントリオール議定書²、特定フロン等の国際的な排出規制
オゾン層は回復傾向、回復には数十年

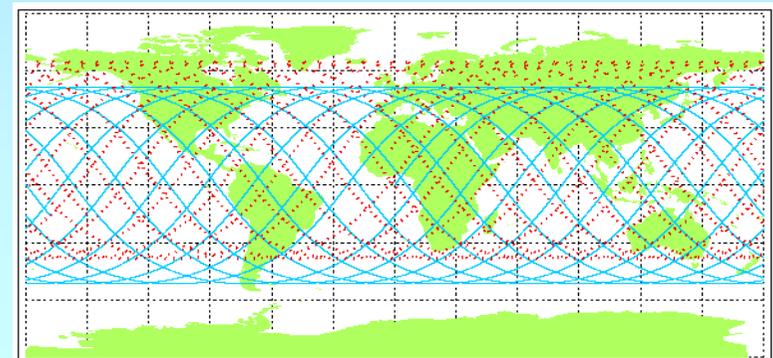
成層圏オゾン破壊：大気中微量成分(HO_x , NO_x , ClO_x , BrO_x)による触媒反応
オゾン層の将来予測 微量分子による光化学過程の解明

成層圏分子からの放射電波の観測

UARS /MLS[1991](米国)：南極オゾンホールと一酸化塩素増加の関連

EOS-MLS/Aura(NASA), Odin-SMR(Sweden)

JEM/SMILES(Japan) 2009年夏打ち上げ予定
(中・低緯度)



気球搭載型超伝導サブミリ波リム放射サウンダ

BSMILES(Balloon-borne Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission
Sounder)

未開拓周波数領域の開拓、 大気観測

サブミリ波帯(650GHz)ヘテロダイン超伝導(SIS)受信機

成層圏大気中微量分子(オゾン、オゾン破壊関連分子($\text{HO}_x, \text{NO}_x, \text{ClO}_x, \text{BrO}_x$))

放射電波スペクトル観測 高度分布

海外気球

TELIS(Terahertz and submm Limb Sounder)

SRON(オランダ)、DLR(ドイツ)、MSPU(ロシア)、

RAL(UK)等

2008 May (Teresina, Brazil) 打ち上げ予定

2009 (Kiruna, Sweden)?

500 GHz SIS, 650 GHz SIS, 1.8 THz HEB

受信機実証

(O_3 , OH, HO_2 , N_2O , CO, HCl, ClO, and BrO)



BSMILES



ゴンドラサイズ; L 1.35 m x W 1.35 m x H 1.26 m
重量; 500 kg(含 100 kg バラスト)
消費電力; 150 W

観測対象分子

第1回目の飛行実験(2003年): O_3 (650.733 GHz), ClO (649.45 GHz)

第2回目(2004年): O_3 (625.37 GHz), $H^{35}Cl$ (625.92 GHz), $H^{37}Cl$ (624.98 GHz),
 HO_2 (625.66GHz, 636.6GHz), O_3 isotopes ($O^{18}OO$ (625.563GHz)etc.),
(HOCl, HNO_3 , CH_3CN)

第3回目(2006年): HO_2 日変化

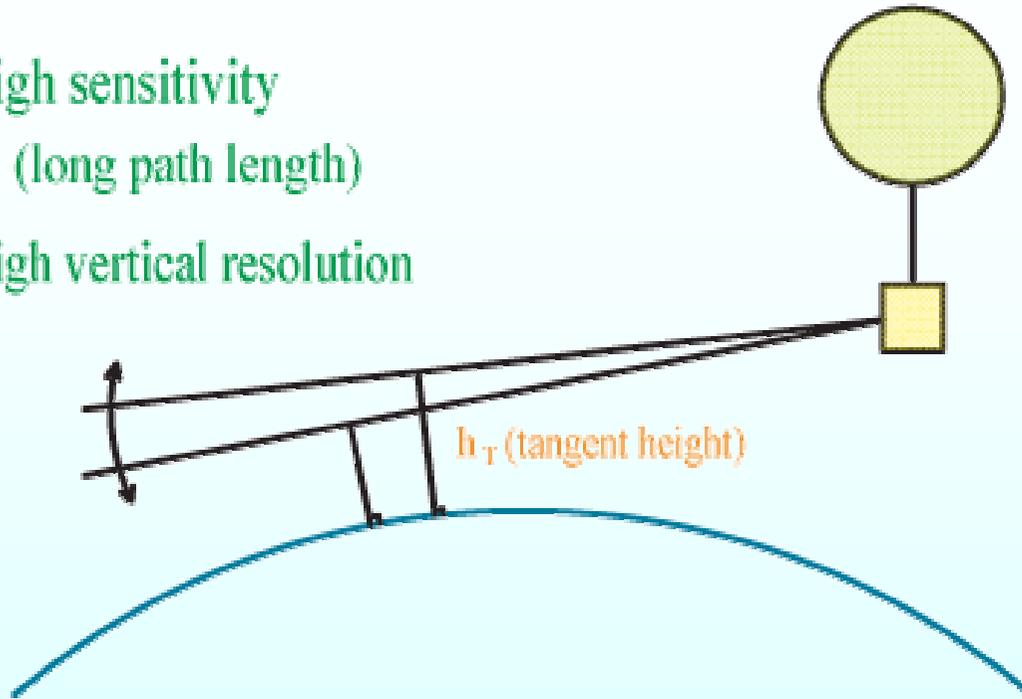
Limb sounding

高度 35km

high sensitivity

(long path length)

high vertical resolution



リムサウンディング

高感度(長い積分光路長)

高高度分解能(ビームのスキャン)

ゴンドラ姿勢検出

3軸光ファイバジャイロ(測定精度 0.01 度以上)

3軸加速度計

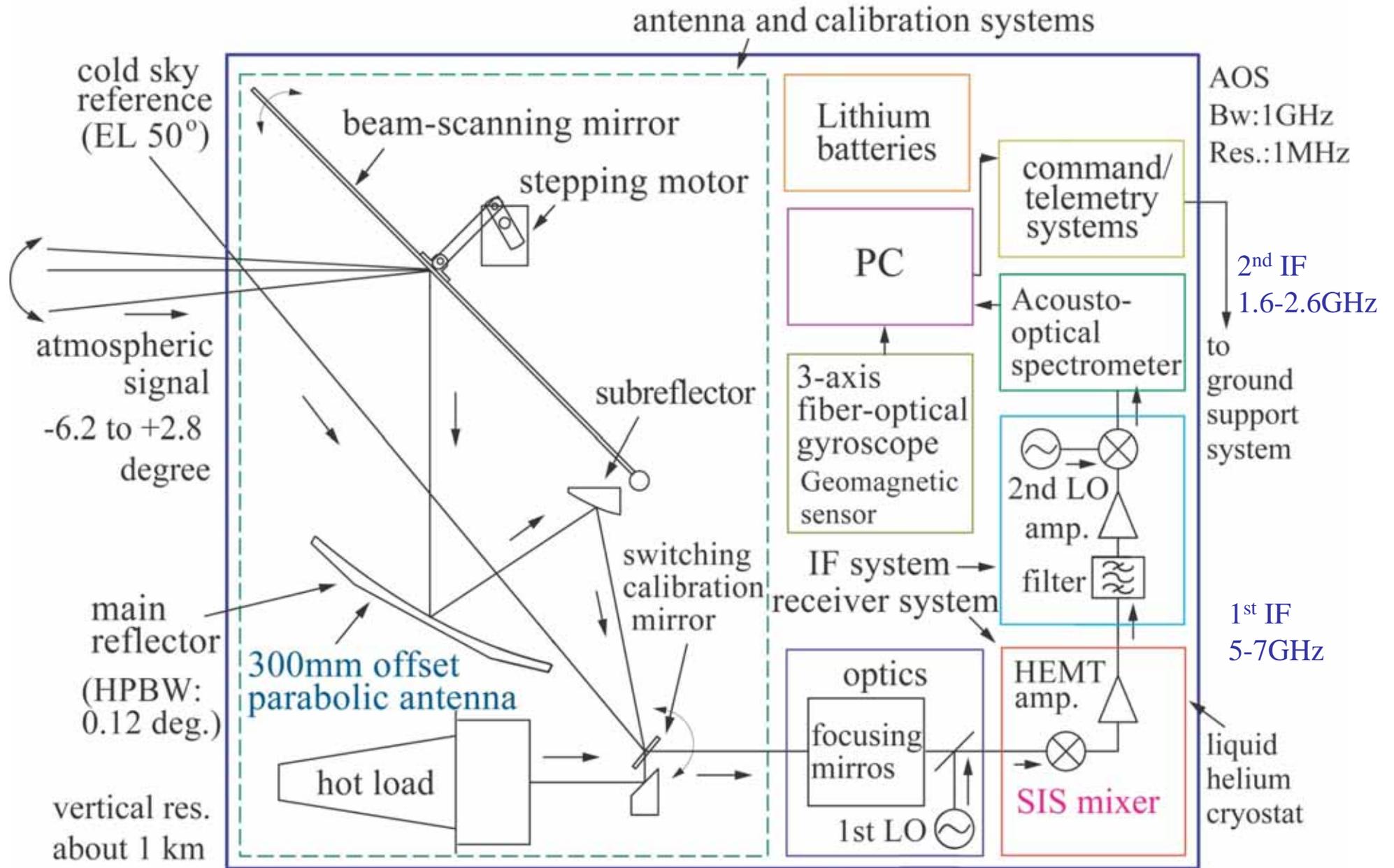
2軸地磁気センサ(方位角方向)



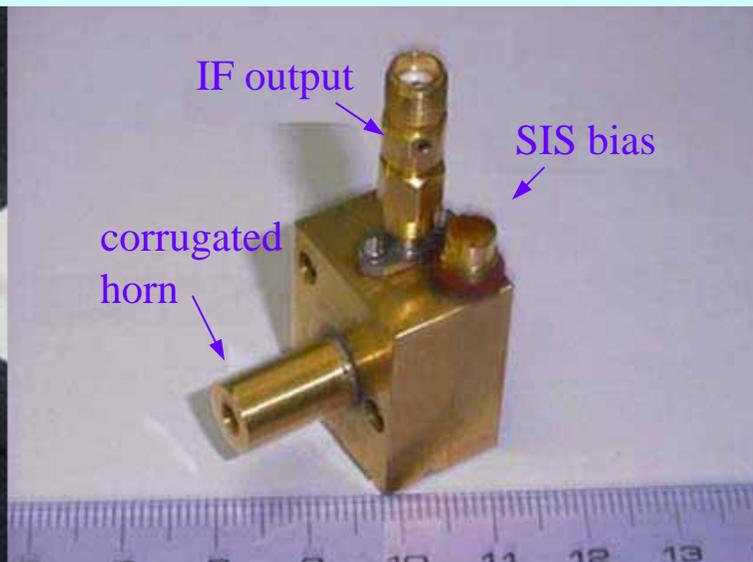
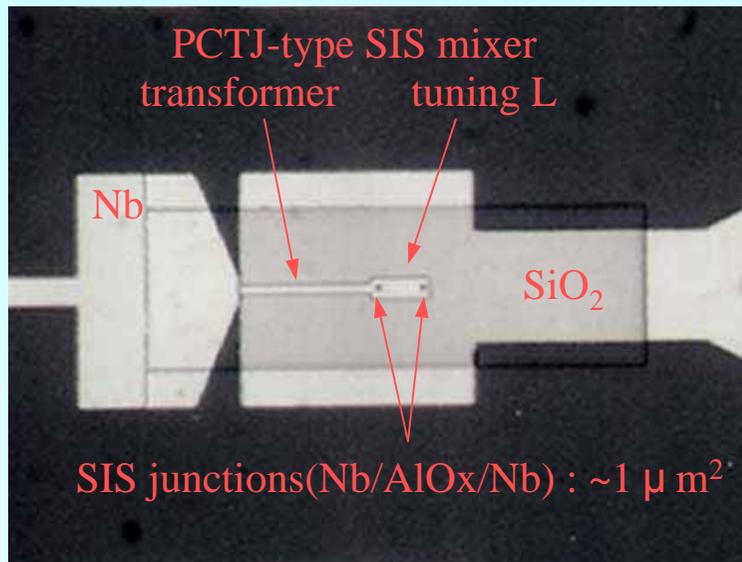
赤い円内が観測領域

三陸大気球観測所, ISAS/JAXA
(北緯 39.15 度, 東経 141.82 度)

システムブロック図



サブミリ波帯超伝導受信機(SIS mixer)



ミキサマウント

局部発振器(LO: Local Oscillator)



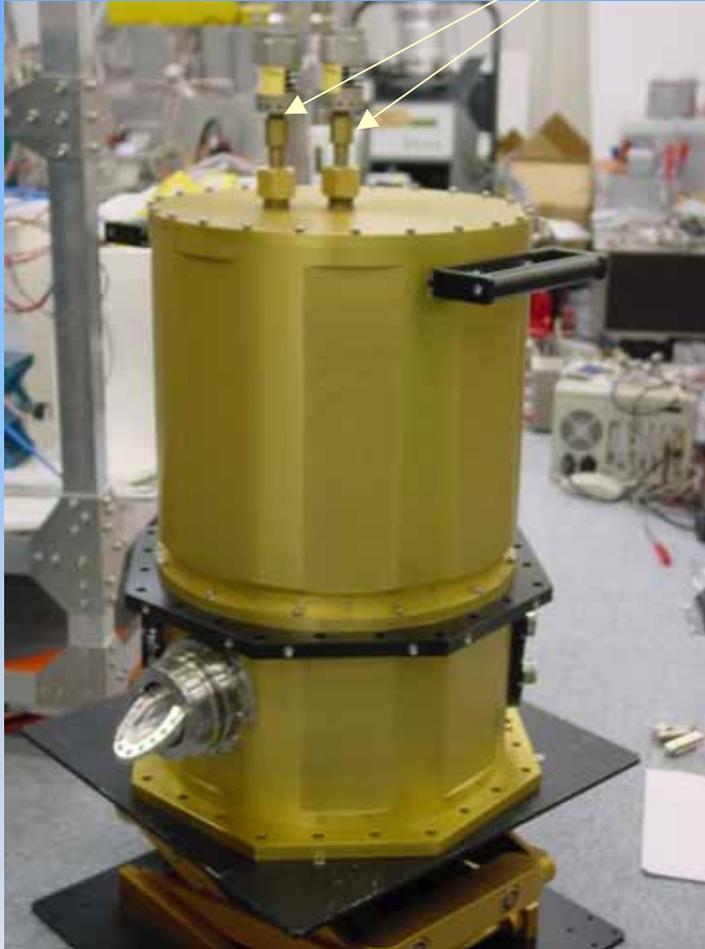
600-672 GHz phase-locked local oscillator
Gunn 発振器(100-112GHz)+ 2 逡倍+3 逡倍

SIS 受信機性能:

受信機システム雑音温度(DSB)(2004)
観測帯域内で 450K 以下
(最良値 340 K: 量子限界の約 10 倍)

液体ヘリウムデューワー

Absolute pressure
valve

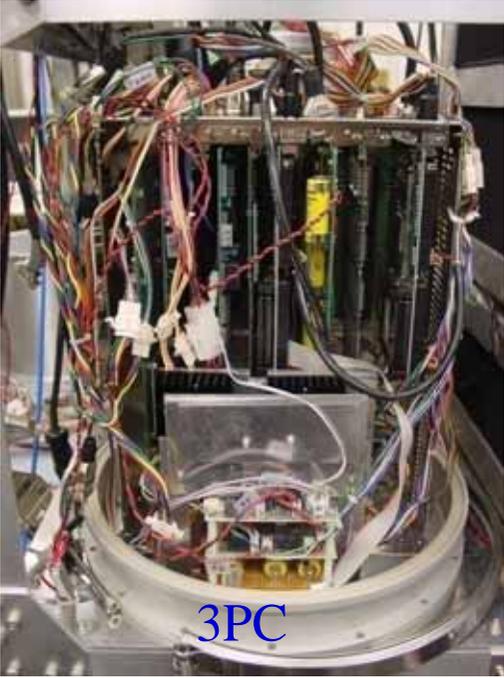
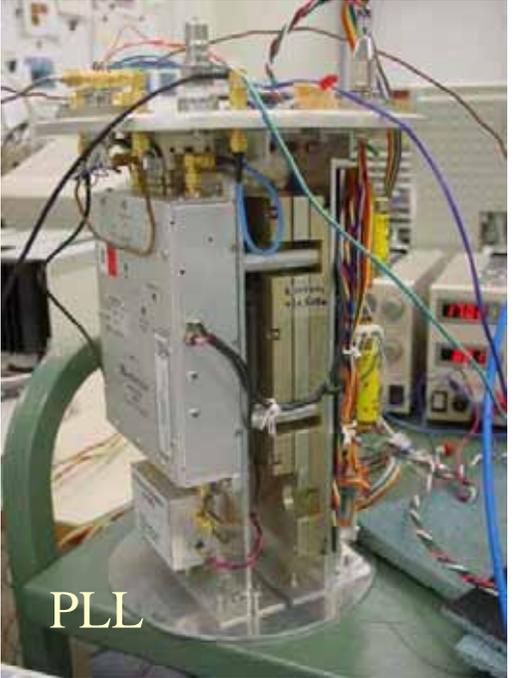
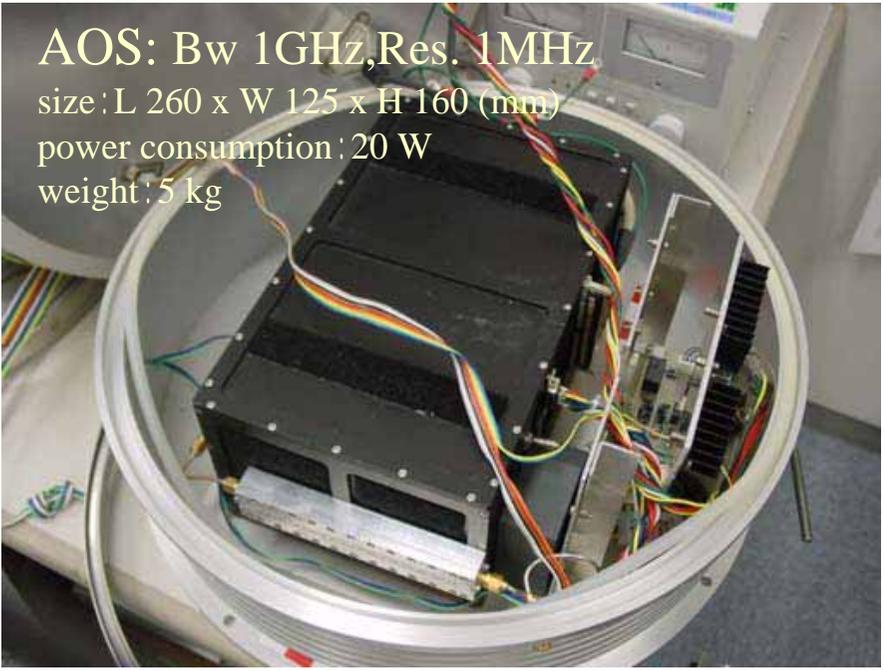


LHe (7L), LN₂(4L)
LHe 保持時間: 約 30 時間

Output



中間周波系

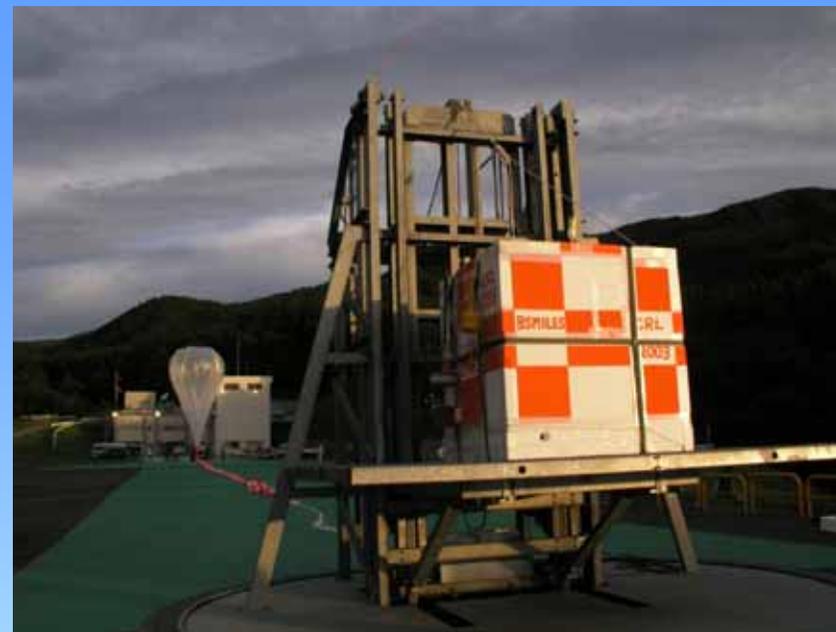


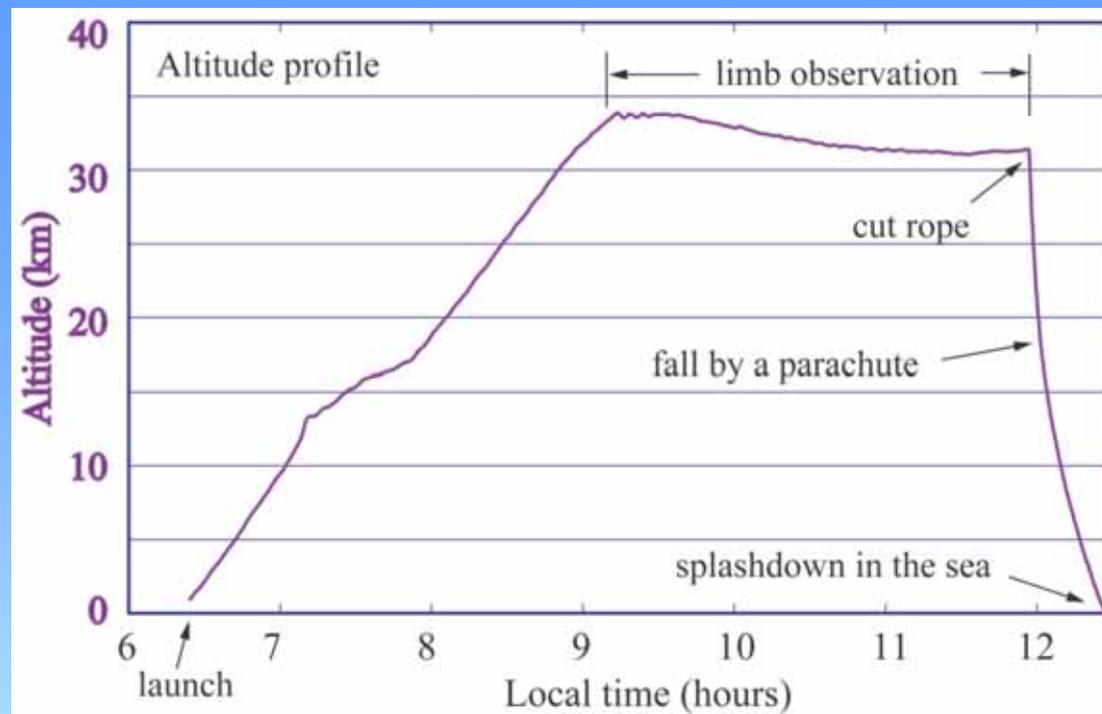
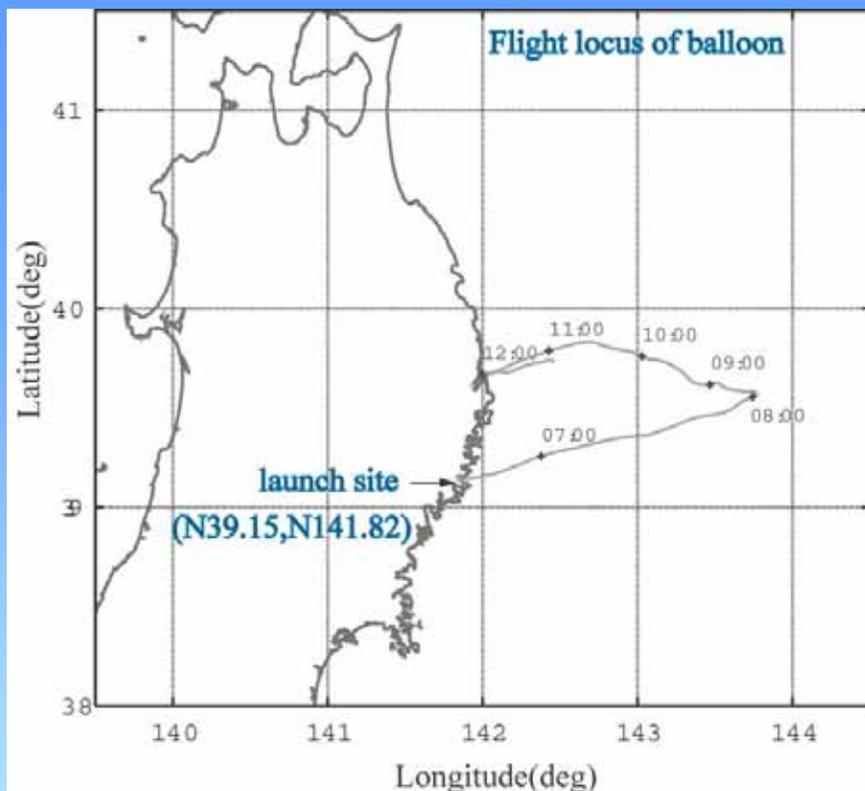


Thermal insulation : 100-mm thick Styrofoam

初飛行： 2003 年 8 月 30 日 三陸大気球観測所

B80(80,000m³)





与圧容器に入れた機器は全て防水されていた。
海上落下時の衝撃で破損したものはほとんど無かった。

BSMILES は海上からの回収後再利用可能 (2004年の実験で実証)

飛行中の装置性能

全てのシステムは正常に動作

ゴンドラ内の温度は 20 ~ 25 (発泡スチロールによる断熱)

ゴンドラの姿勢(ロール、ピッチ): 0.01 度以内で安定

受信機性能 (飛行中)

システム雑音温度 (T_{sys} (DSB))

観測帯域内で 460K (最良値 330 K ($11h / k_B$))

(飛行前とほぼ同じ)

回収後も性能劣化無し



3軸光ファイバジャイロ
3軸加速度計

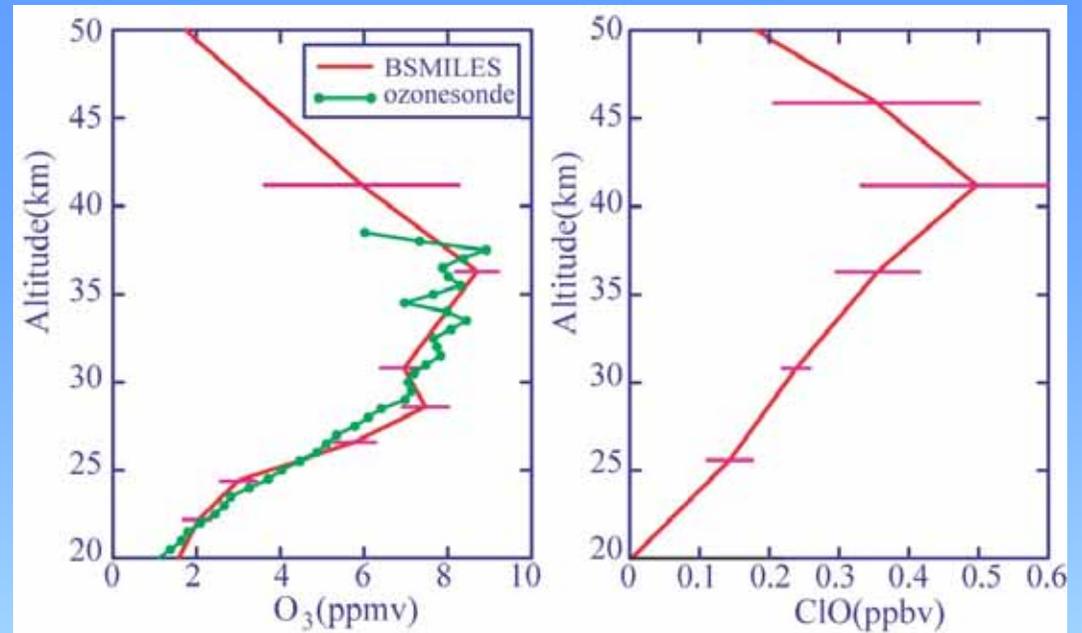
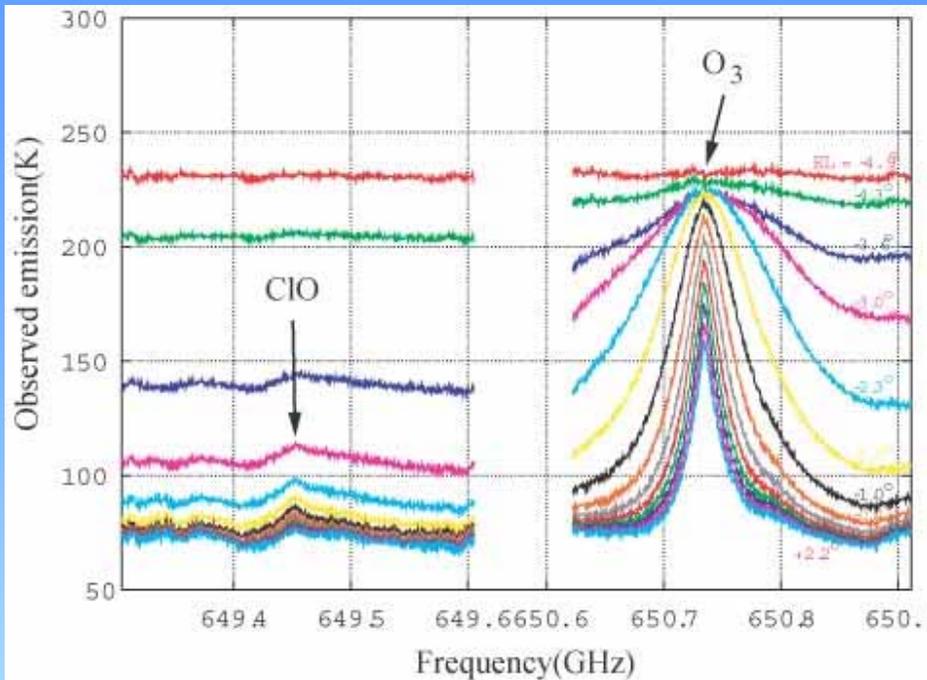
データ処理

生データは全て PC card(2GB) に保存して回収

分子のスペクトルの導出: 大気データ、校正データ

$$T_b(\text{K}) = ((V_{\text{sky}} - V_{\text{cold}}) / (V_{\text{hot}} - V_{\text{cold}})) * (T_{\text{hot}} - T_{\text{cold}})$$

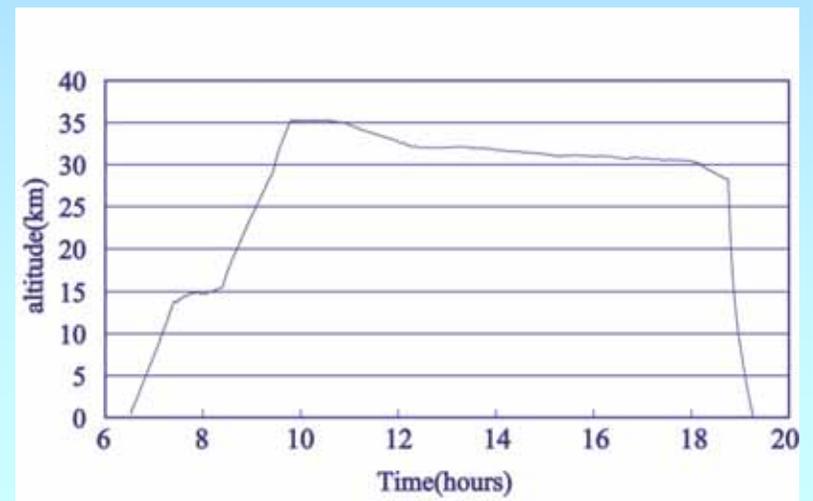
2003 年の観測結果



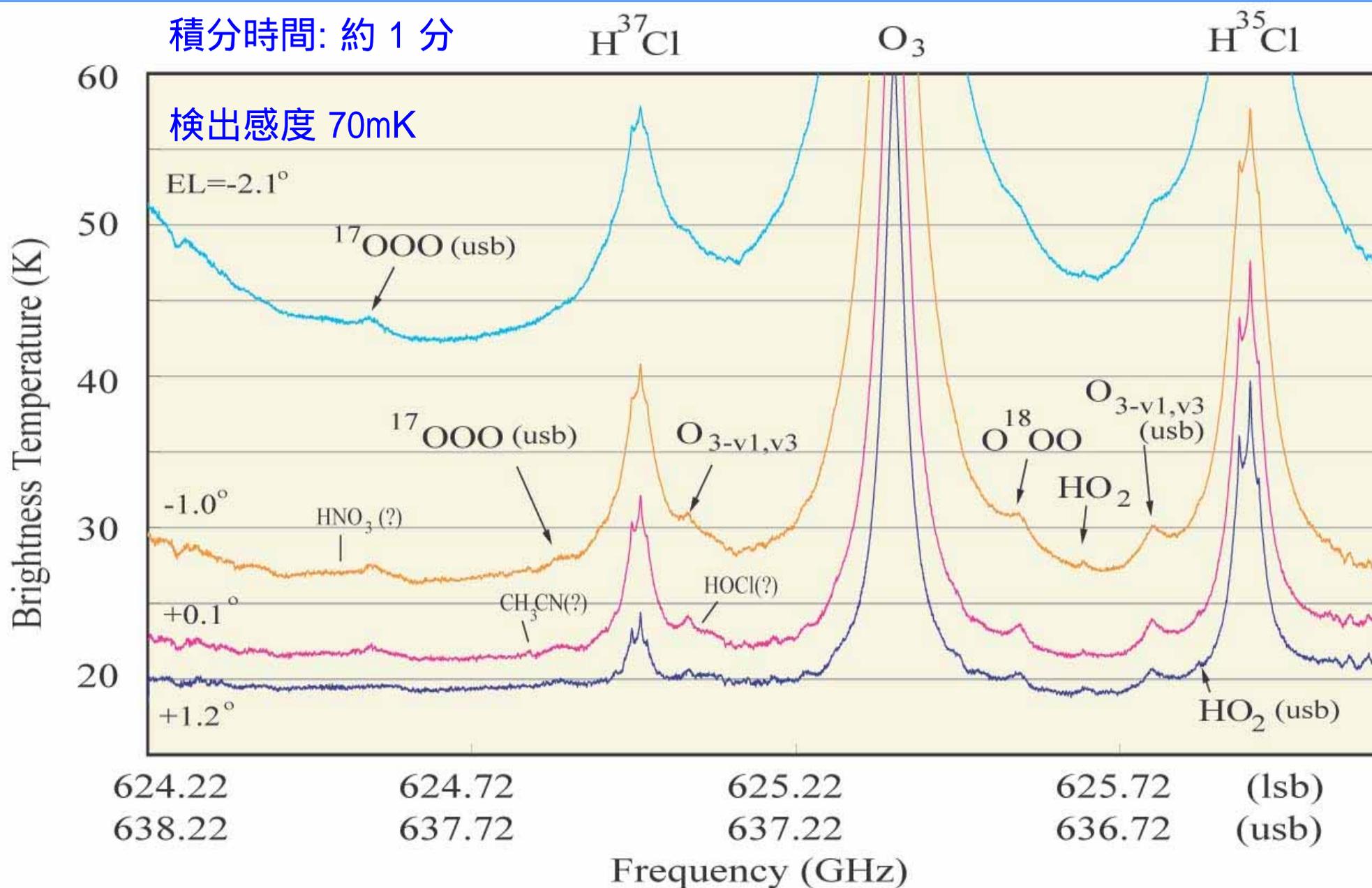
観測された オゾン(O₃)と一酸化塩素(ClO)のスペクトル

観測データから求められたO₃ と ClO の高度分布
オゾンゾンデのデータと一致

装置改良
観測帯域、観測分子種の増加
第 2 回目の気球観測:
2004 年 9 月 7 日



2004年の観測で検出された分子スペクトル

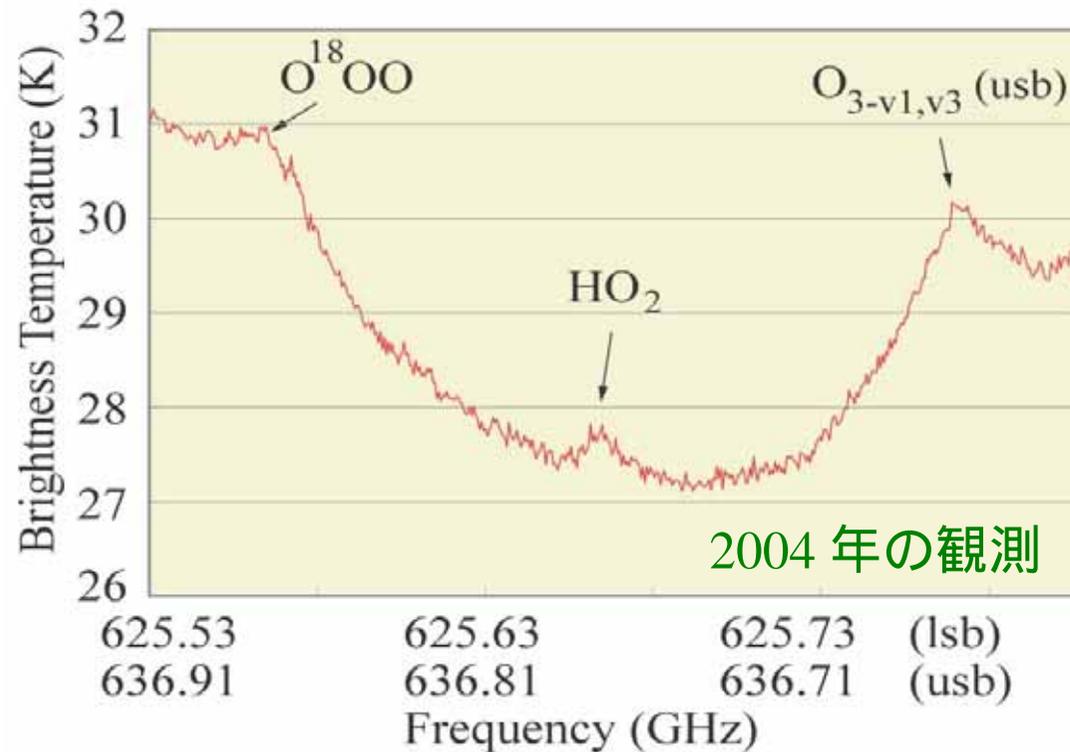


2006年の観測：HO₂の日変化観測

HO_x (H, OH, HO₂)、オゾン破壊、温室効果に関連。微量、日変化 観測が困難

BSMILES (高感度受信機) : 短時間でHO₂の検出可能

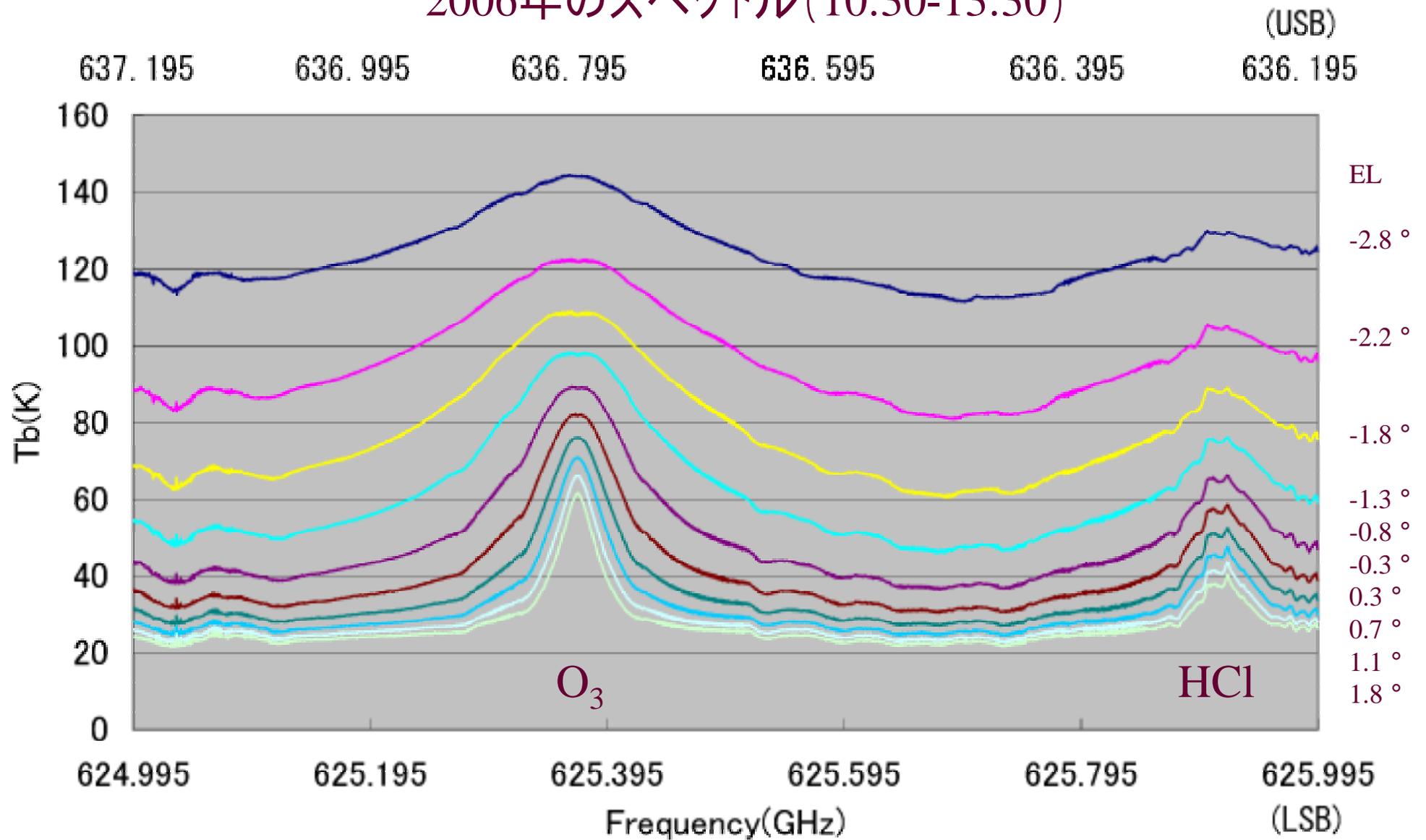
積分時間: 約1分、ノイズレベル(rms): 70 m K (S/N ~ 10 (HO₂))



観測時間: 1.5 時間
(10:00-11:30)
仰角 -1.0°

昼夜観測 (高感度受信機 + 気球) 微量成分の日変化観測
これまでにない新しい大気科学の貴重なデータの取得が期待

2006年のスペクトル(10:30-13:30)



$HO_2:625.66GHz$

gondola



connectors



cables



将来の展開

NICT の現状 : BSMILES の継続困難

受信機技術開発 :

THz帯ヘテロダイン超伝導受信機システムの開発
HEB(Hot Electron Bolometer) mixer (1.5THz以上)

観測 :

OH (2.5THz, 3.5THz)

HO₂との同時観測 (成層圏HO_x化学)

極域でのオゾン、オゾン破壊関連分子の観測

気球システム技術課題 (長期観測) :

機械式冷凍機

電源 (太陽電池)

データ転送 ? (テレメトリ)

