

大気圏環境部門(一部門) 松見グループ・水野グループ 研究紹介

水野 亮

研究所のミッション

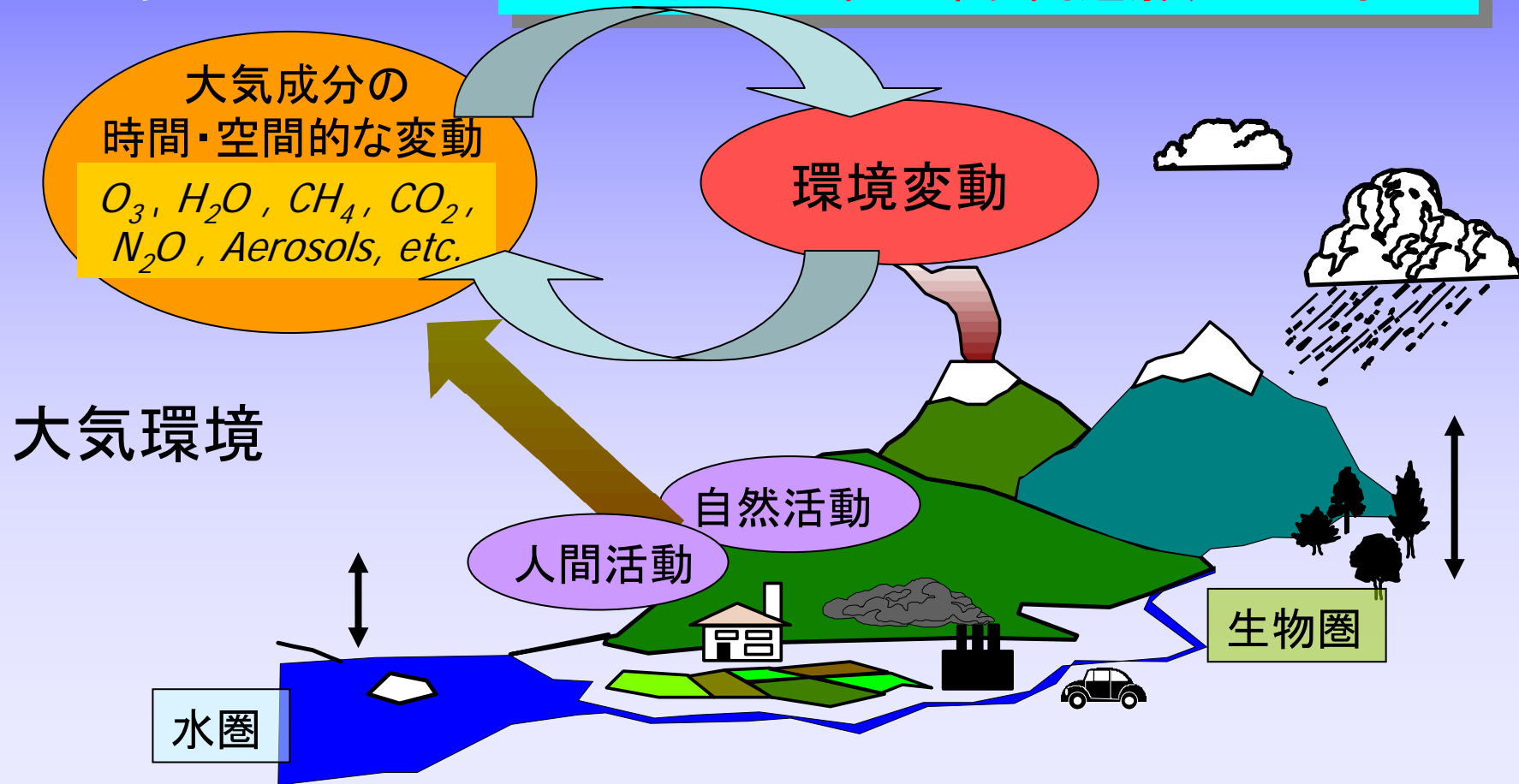
「**生命をはぐくむ地球**」と「21世紀の人類が活動を展開していく宇宙空間」をともに**人類の環境**としてとらえ、その構造と変動に、**太陽から放出されるエネルギーと物質が直接間接にどのような影響を与えるか**、という太陽地球科学の観点から理解すること。

松見グループの研究



太陽活動

- 1) 新しい観測装置、実験システムの開発
 - 2) 実大気観測による大気微量成分の計測
 - 3) 室内実験で大気反応のメカニズムを解明
- 大気環境変動のメカニズムの解明
大気がかかわる環境問題解決への寄与



大気成分の
時間・空間的な変動
 O_3 , H_2O , CH_4 , CO_2 ,
 N_2O , Aerosols, etc.

環境変動

大気環境

自然活動

人間活動

生物圏

水圏

松見グループの研究内容

1) 二酸化炭素の放出・吸収過程の解明

- ・CO₂高度分布 (小型気球搭載CO₂センサ)
- ・CO₂安定同位体 (赤外レーザー吸収分光法)

2) エアロゾルの大気環境への影響評価

- ・エアロゾル光学特性 (キャビティリングダウン法)
- ・個別粒子化学成分 (レーザーイオン化質量分析法)

3) 窒素酸化物(大気汚染気体)の計測装置の開発と応用

- ・NO₂, 有機窒素酸化物, HNO₃ (レーザー誘起蛍光法)
- ・NO₃, N₂O₅ (キャビティリングダウン法)

4) 室内実験による大気化学反応過程の解明

- ・O₃, N₂O, フロン類の光分解過程、揮発性有機化合物の大気酸化過程など (真空紫外レーザー誘起蛍光法)

気候変動・大気汚染・オゾン層破壊・酸性雨など様々な大気環境問題に関連

気球搭載用CO₂計測モジュールの開発

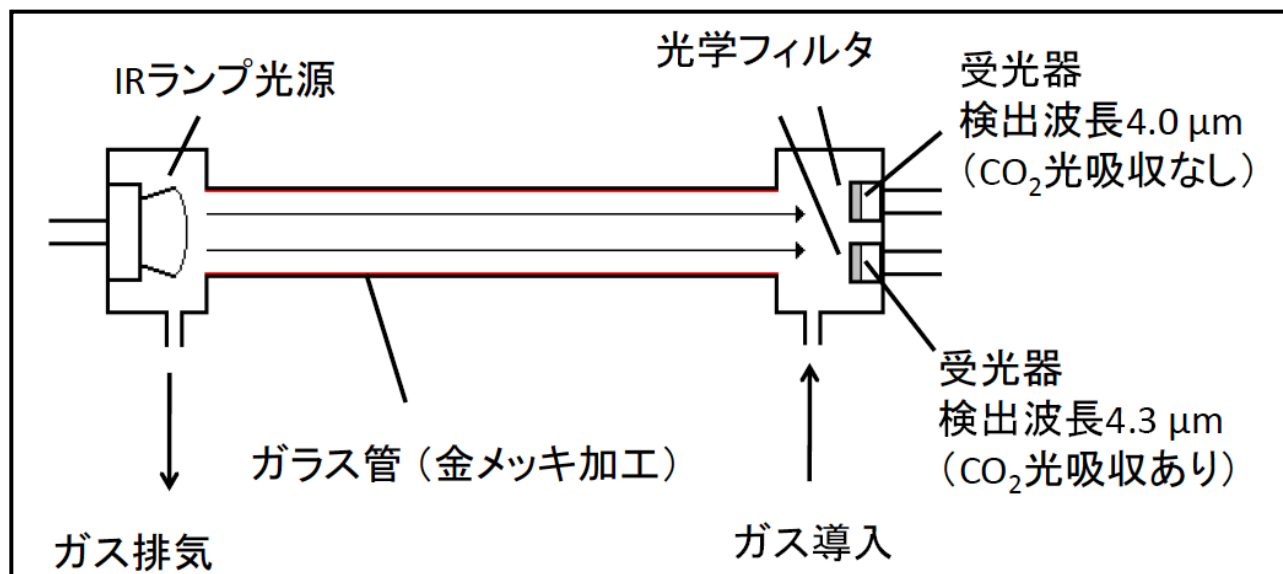
北海道、太陽研 母子里観測所
での放球試験の様子



小型気球に搭載可能な世界初の CO₂計測モジュールの開発

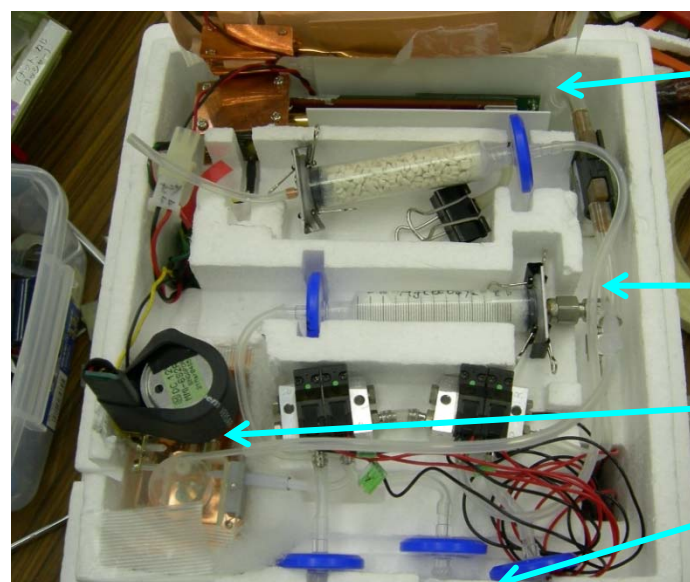
- CO₂高度分布が測定できる
- 様々な場所で測定できる
- 雲がある時も測定できる
- GOSAT(温室効果気体監視衛星)の検証
- 気象ゾンデのように世界各地で定期的に測定

CO₂センサ模式図

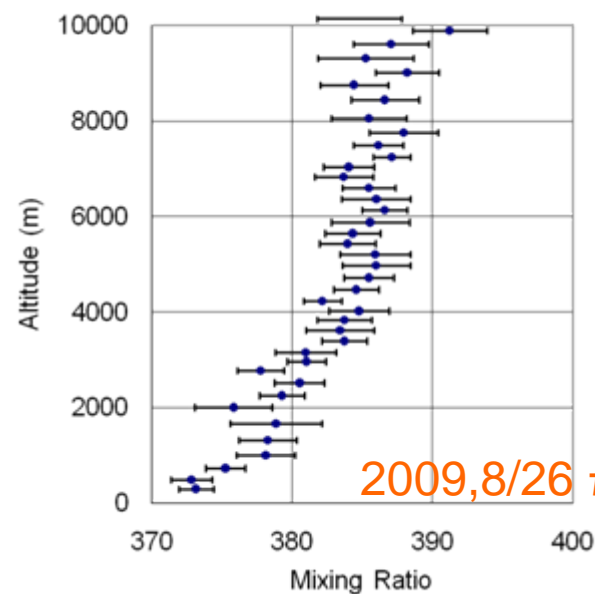


非分散型赤外
分光法により
CO₂を測定

CO₂計測モジュールの概観



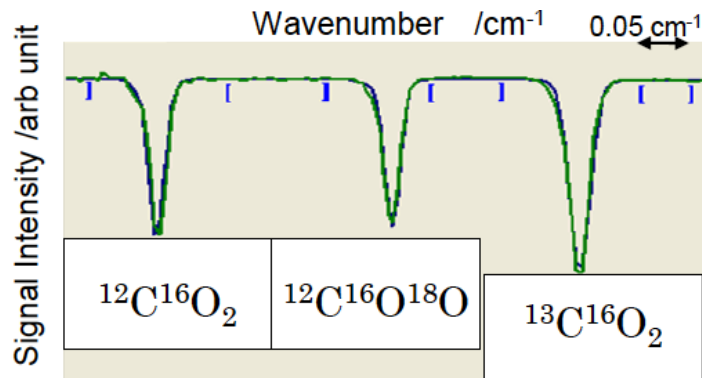
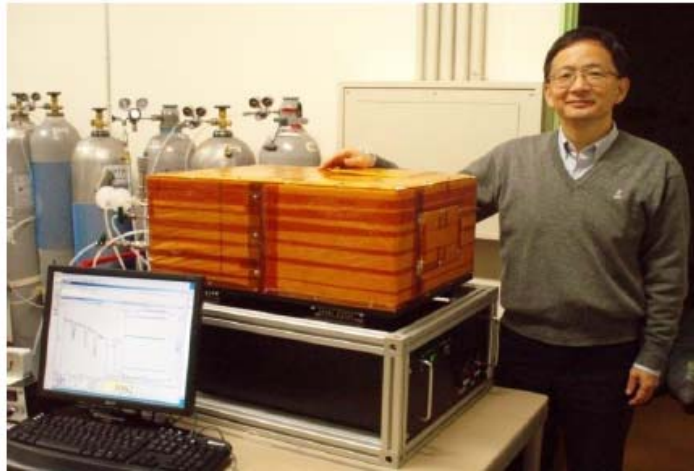
CO₂高度分布の計測例



2009,8/26 母子里

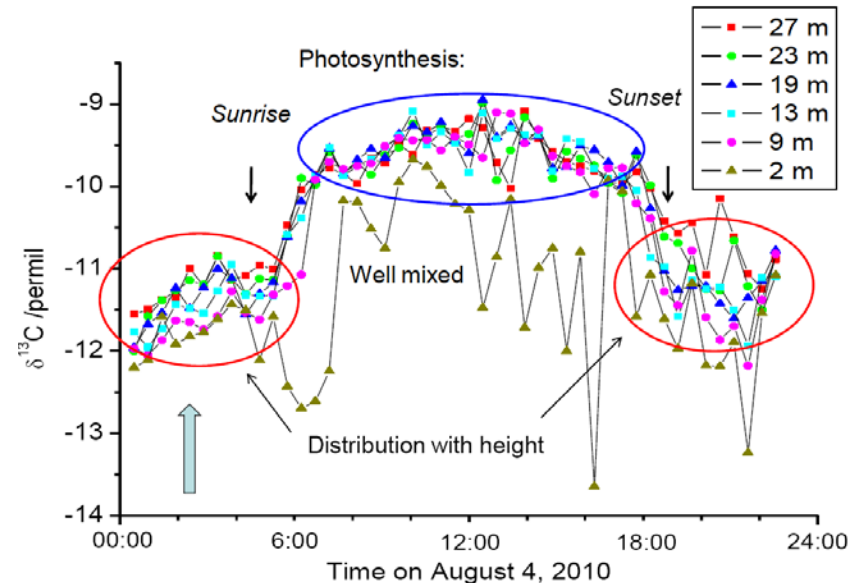
CO₂計安定同位体比($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$)の計測

赤外レーザー吸収分光法



CO₂の¹³C、¹⁸O同位体のリアルタイム・連続測定が可能

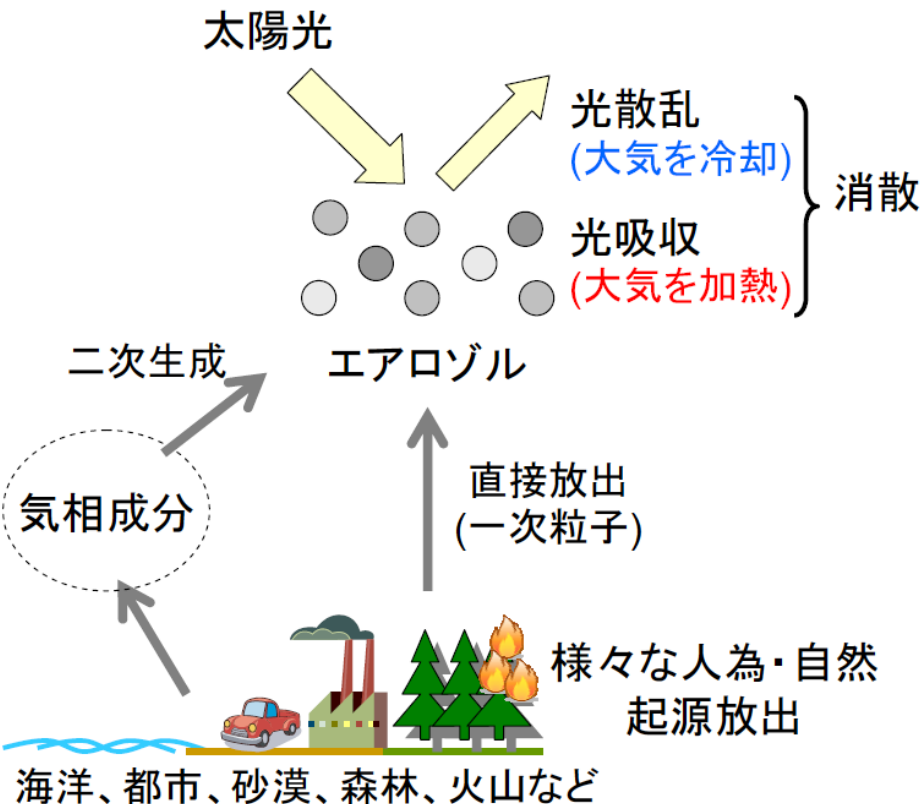
富士山麓でのタワー観測例 (2010, Aug.)



CO₂の吸収・放出過程の理解を目指している

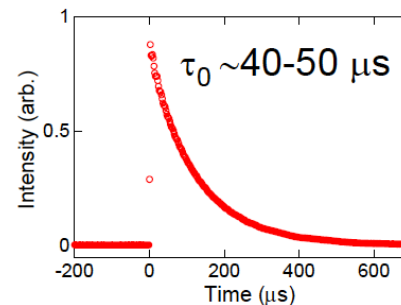
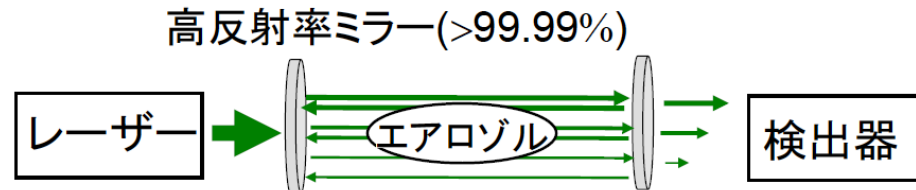
エアロゾル光学特性の計測

エアロゾルの放射影響



エアロゾルによる光吸収や光散乱
:放射収支に重要な影響を及ぼす
と考えられるが詳細は未解明

キャビティリングダウン(CRDS)法

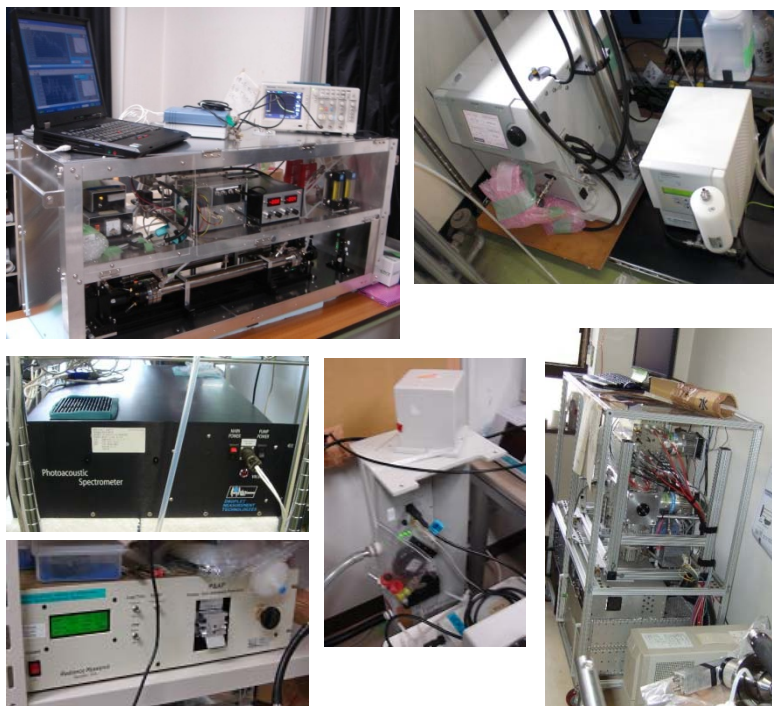


エアロゾル有無での減衰の時定数を
測定することにより、**消散(散乱+吸収)**
係数を高精度に測定

測定セルを2本用意することで、
波長依存性や湿度依存性を測定

東京都心での実大気観測

エアロゾルの光学特性やその湿度依存性、化学成分、粒径分布、関連する微量気体の総合観測を実施
(2007-2009夏季)

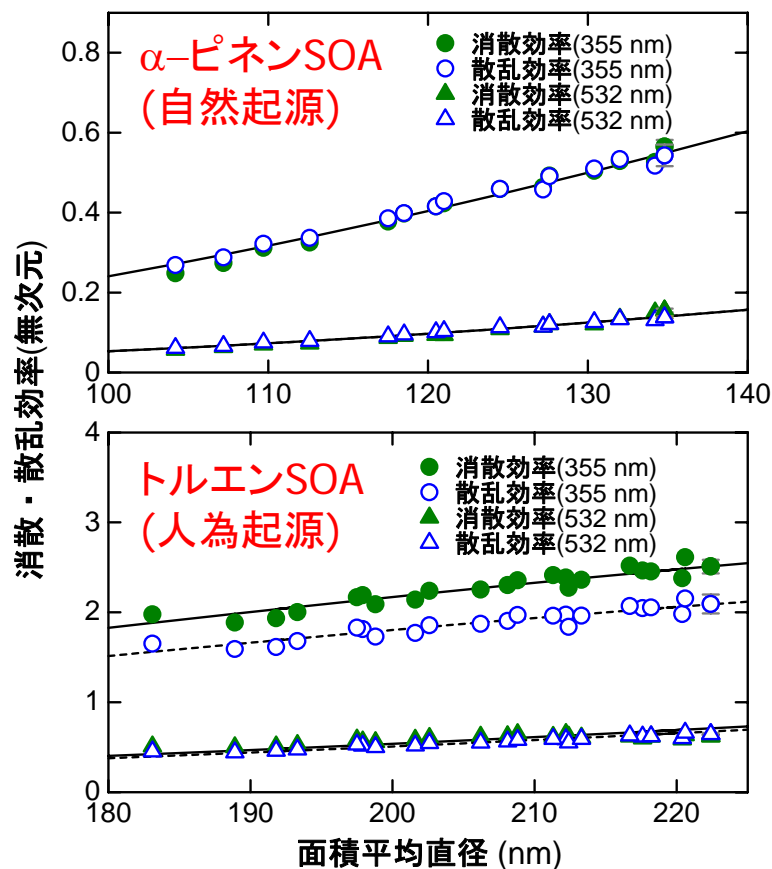


エアロゾルの光学特性や、その湿度依存性を決定付けている要因の解明

チャンバー内で生成した二次有機エアロゾル(SOA)の光吸収

消散: CRDS法(独自開発)

散乱: ネフロメータ(市販)

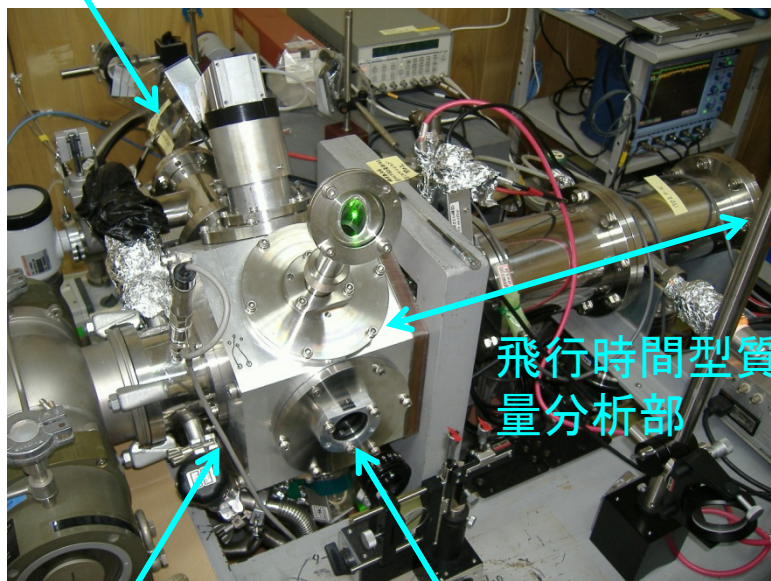


トルエンの光酸化で生成するSOA : 光吸収を有することが判明

エアロゾル化学成分の測定

個別粒子レーザーイオン化 質量分析装置

エアロゾル導入口



飛行時間型質量分析部

粒子検出用
連続光レーザー

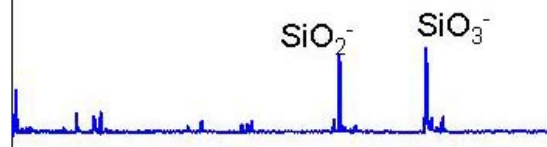
気化・イオン化
レーザー光

粒子一粒毎の化学成分を検出
: 内部混合・外部混合を区別して
計測できる

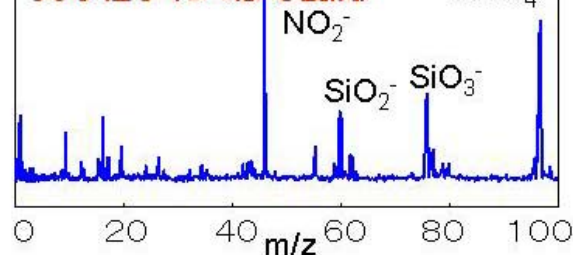
大陸から飛来する黄砂の観測



黄砂粒子(中国の砂漠地帯で採取)



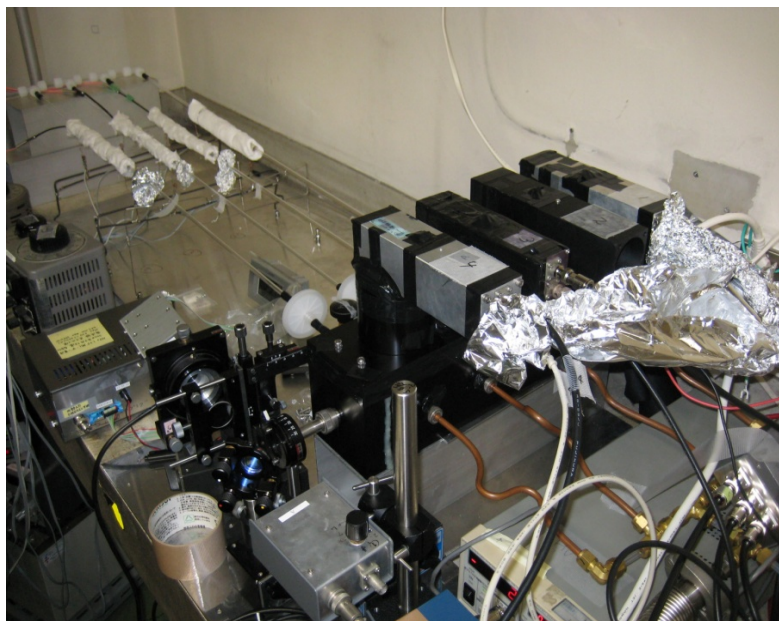
黄砂粒子(つくばで観測)



黄砂粒子が輸送される過程で
 NO_x や SO_x 等の汚染物質が吸着
・反応していることが判明

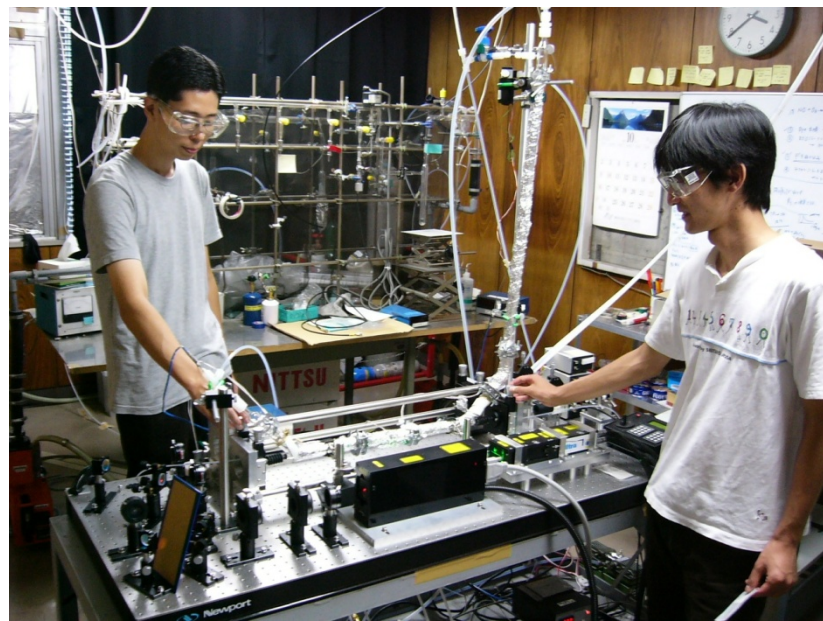
窒素酸化物の高感度計測

レーザー誘起蛍光法による NO_2 ,
有機窒素酸化物, HNO_3 計測



2007-2009年, 東京都心での観測
: 高濃度 O_3 時に、化学発光法(従来法)は、 NO_2 を過大評価することが判明

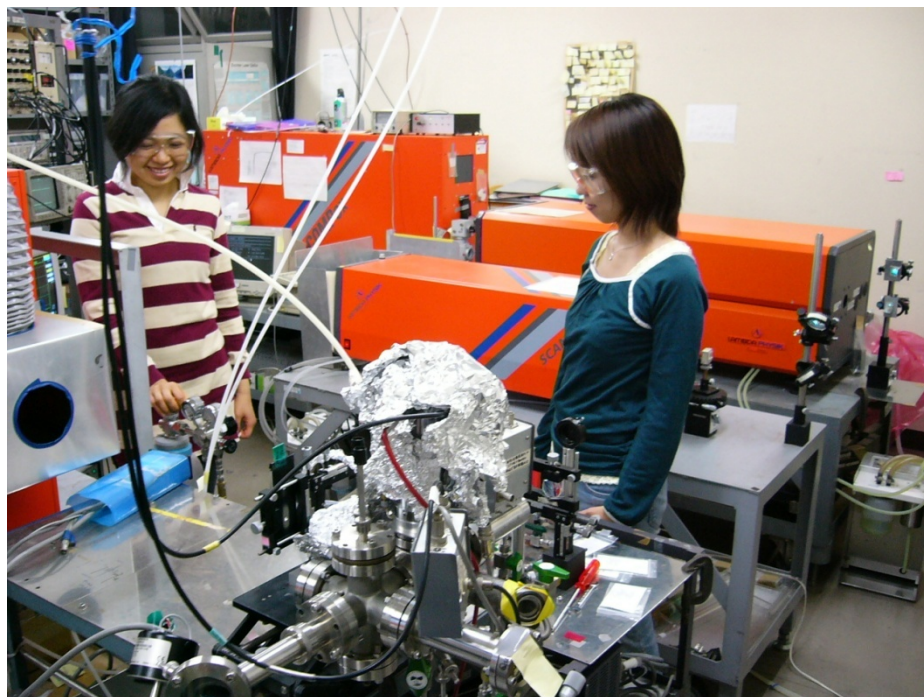
キャビティリングダウン分光法
による NO_3 , N_2O_5 計測



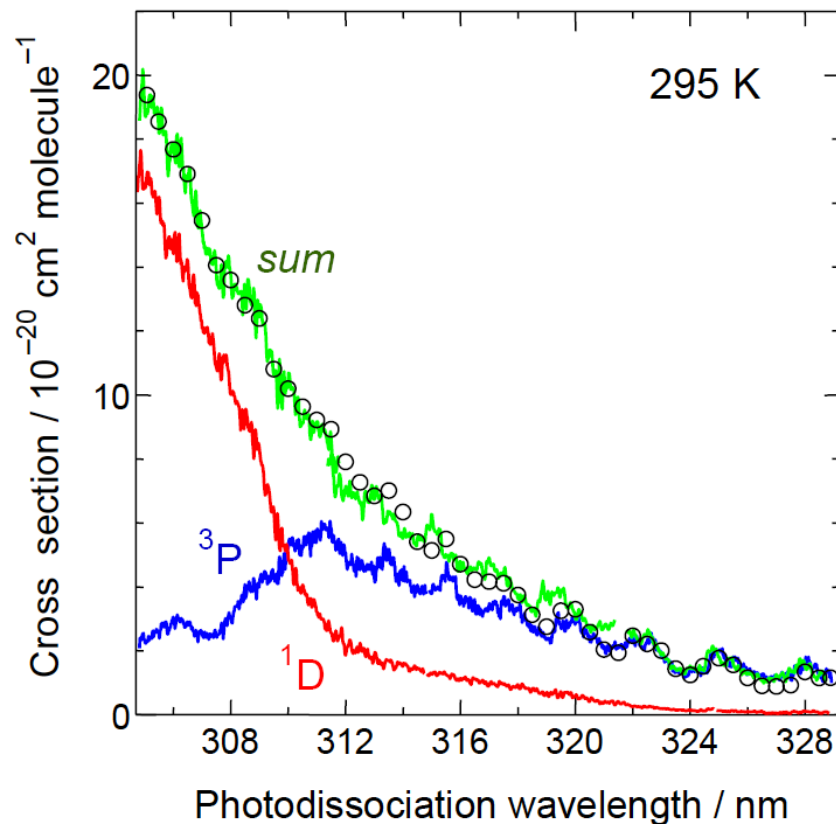
2006年, 豊川での観測
: N_2O_5 の不均一反応による夜間の
窒素酸化物の消失速度の推定

室内実験による大気化学反応過程の解明

真空紫外レーザー誘起蛍光法
を用いた実験システム



O_3 の光分解における $\text{O}(^3\text{P})$,
 $\text{O}(^1\text{D})$ の生成量子収率の決定



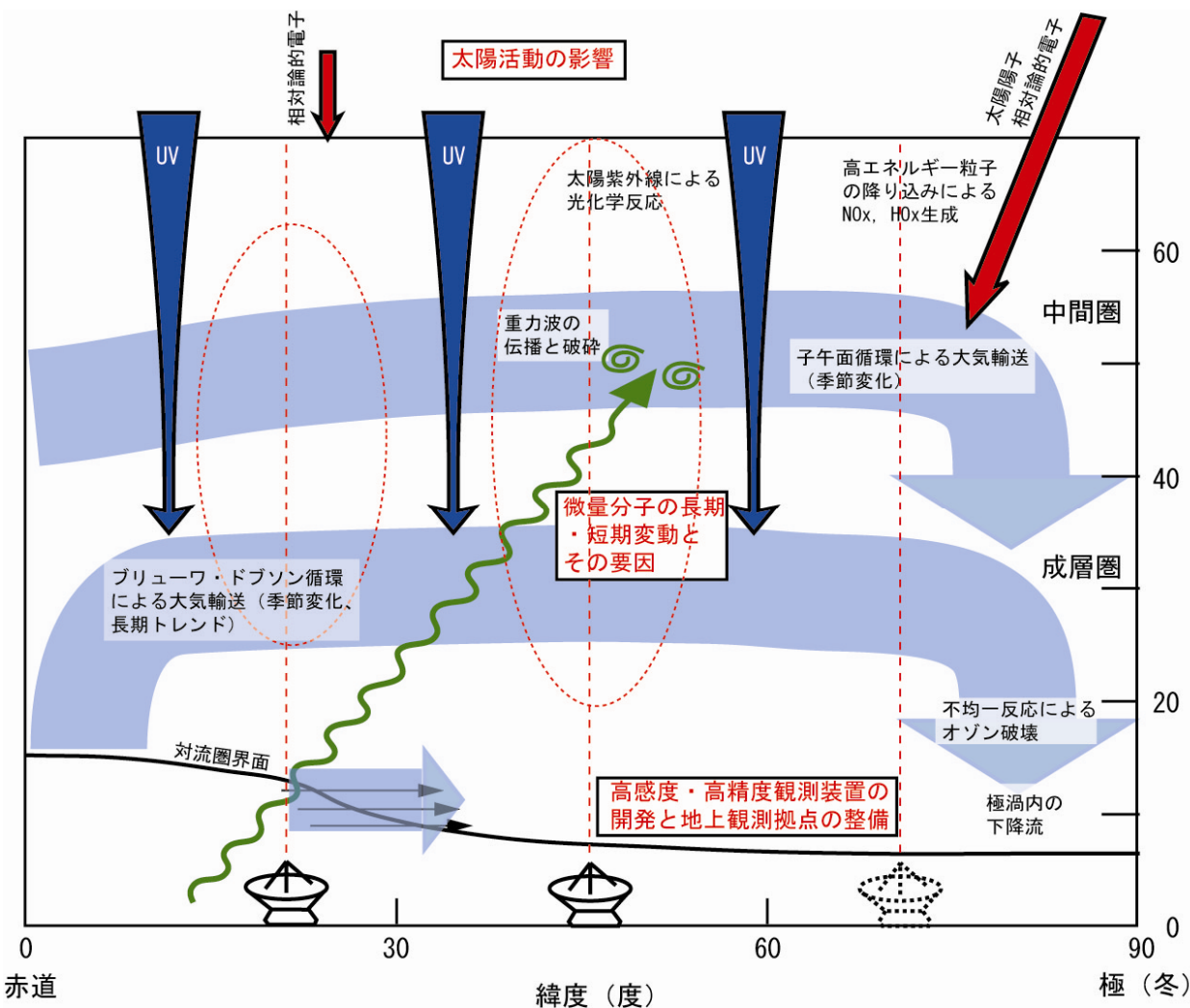
$\text{O}(^3\text{P}_j)$, $\text{O}(^1\text{D})$, $\text{O}(^1\text{S})$, $\text{H}(^2\text{S})$, $\text{Cl}(^2\text{P}_j)$, $\text{N}(^4\text{S})$ などの検出システムを
開発し、様々な大気化学反応過程について調べている

水野グループの研究

成層圏・中間圏

ミリ波・赤外地上遠隔測定

観測機器開発



地球表面からの放出源
(ソース)と消失源(シンク)

人為起源
自然起源

大気輸送

(光)化学反応

高エネルギー粒子によるイオン反応

エネルギー輸送による温度変化

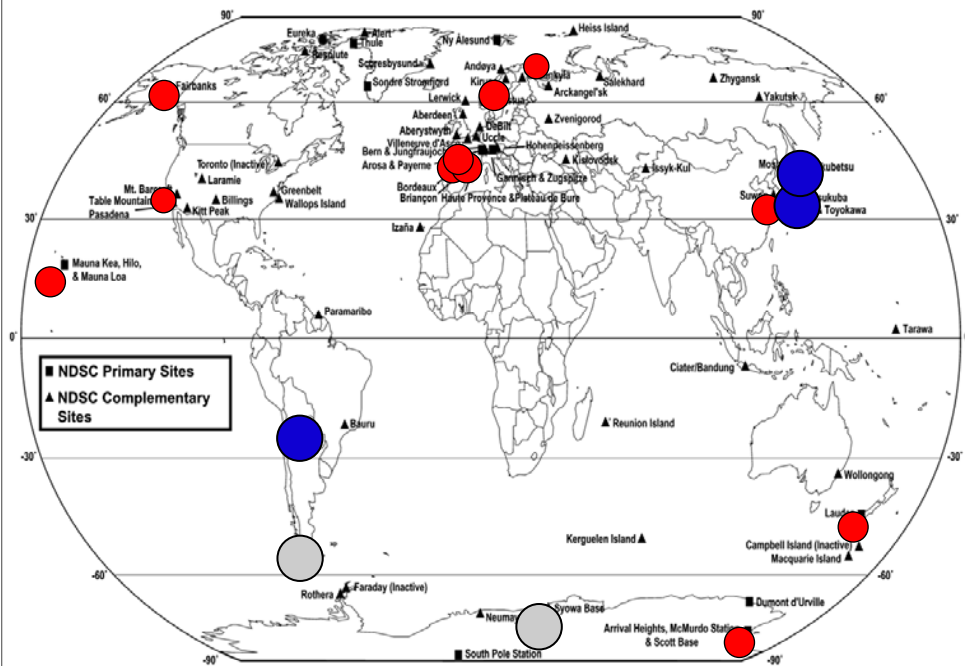
太陽活動

季節変動 (総量・分布)
長期トレンドの実態把握
とそのメカニズムの解明

水野グループの研究(つづき)

南半球地上観測網の開拓

NDACC sites



NDACC: Network for the Detection of
Atmospheric Composition Change

地上観測機器：北半球に集中
南半球(特に南米地域)に少ない
H22に新たに2地点
アルゼンチン：リオ・ガジェゴス
南極：昭和基地

電波望遠鏡を用いた惑星大気観測



ミリ波・サブミリ波：大気組成「分子」
惑星の化学とダイナミクス
日本はやや出遅れ
ALMA計画(2012)に日本から惑星大気の
観測提案をめざす

水野グループの研究内容

1) 電波（ミリ波）分光による中層大気微量分子の地上観測

- 成層圏オゾンの長期モニタリング（環境研と共同）
- アタカマ高地での水蒸気同位体、ClO等極微量分子の観測
- 南米最南端でのオゾンホール観測（アルゼンチンCEILAPと共同）
- 昭和基地での太陽活動に伴う大気組成変動観測（極地研と共同）

2) 観測機器開発と電波検出器の新技術開拓

- 省電力型小型ミリ波分光計の開発
- 水蒸気観測用22GHz準ミリ波常温分光計の開発
- テラヘルツ帯ヘテロダイン検出技術の開拓

3) 温室効果ガスCO₂の観測

- 母子里観測所高分散FTIRを用いたCO₂モニタリング
- 光スペアナを用いたCO₂観測装置の開発

4) 電波望遠鏡を用いた惑星大気の観測

- 火星、金星の長期モニタリングと太陽活動の影響
- 海王星などの外惑星（氷惑星）の大気組成と構造

成層圏オゾン長期モニタ

つくばと陸別で定常観測

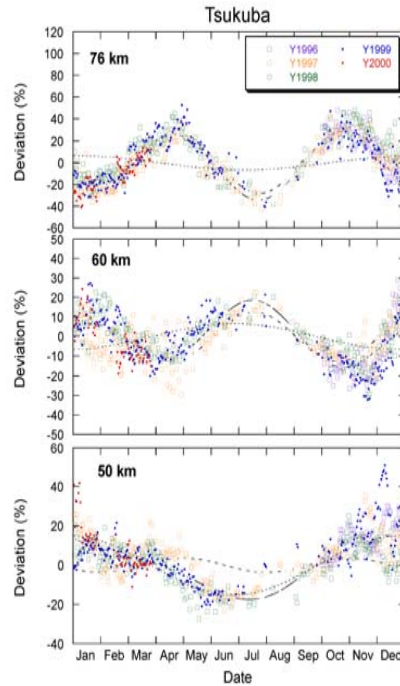
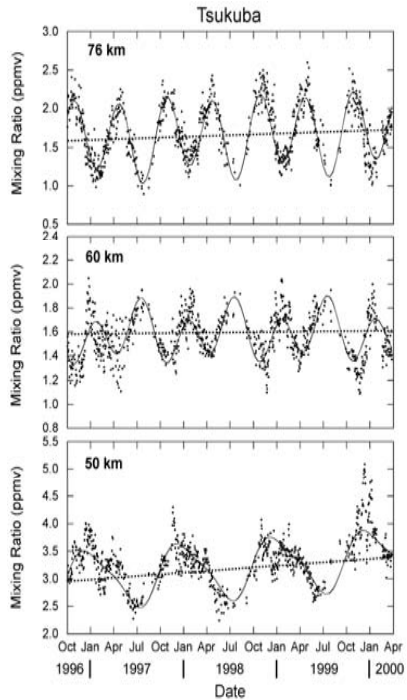
運用：国立環境研
解析：名大STE研



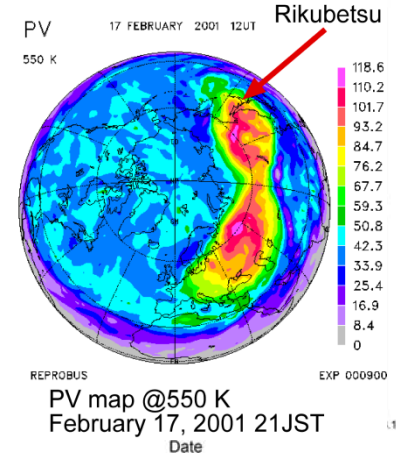
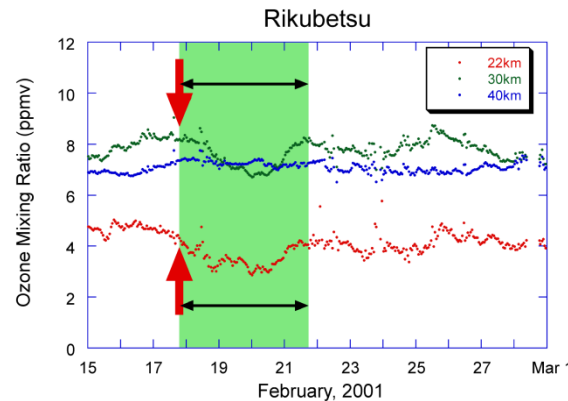
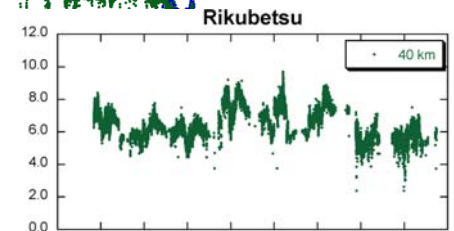
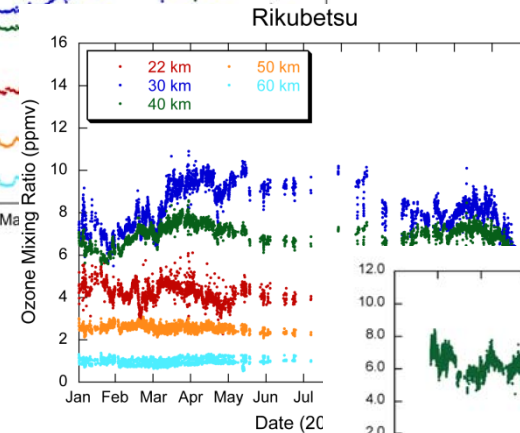
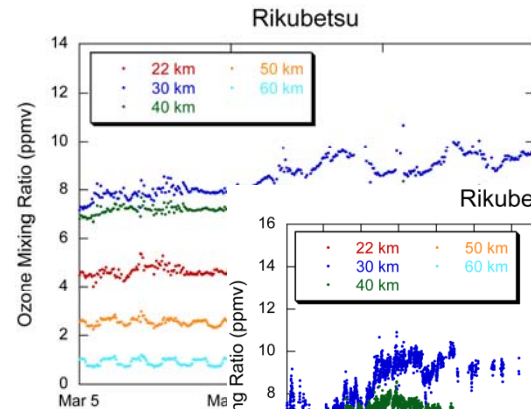
つくば



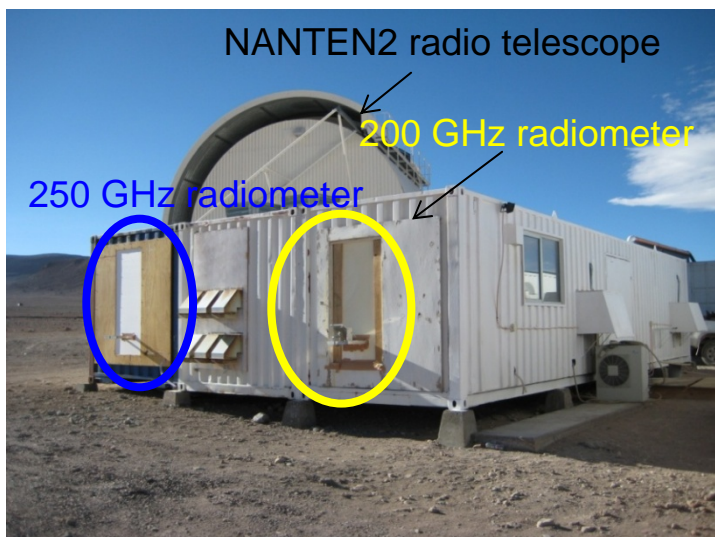
陸別



つくばの観測で中間圏オゾンの半年周期変動を発見



アタカマ高地での極微量分子観測



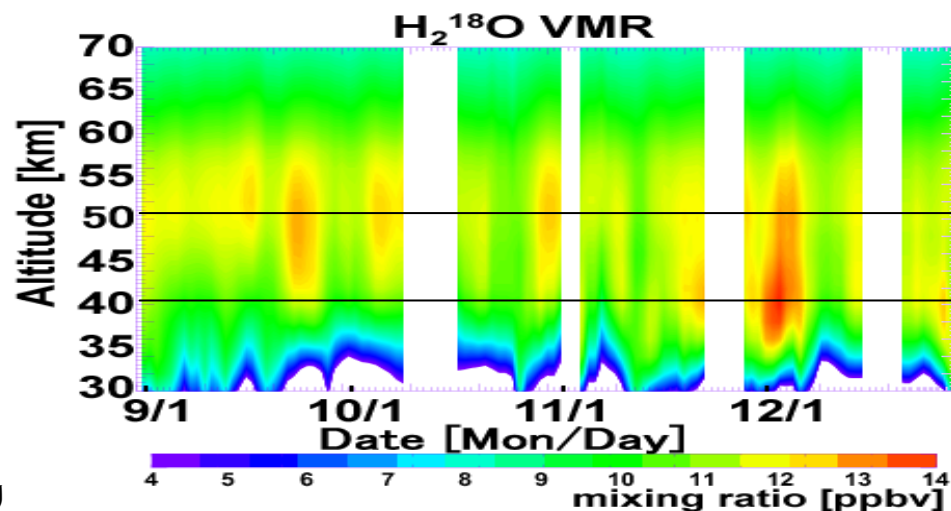
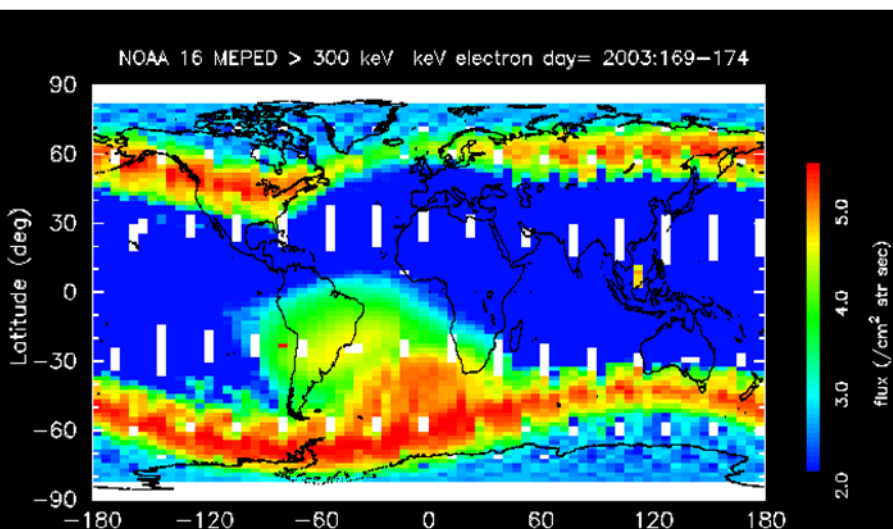
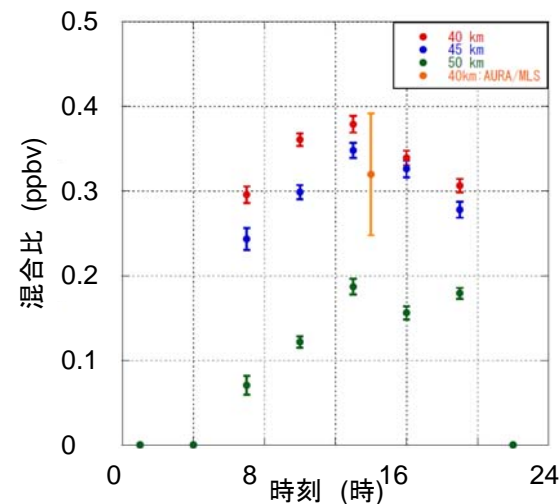
ミリ波帯での高い大気透過度、高感受受信機
→ 極微量分子の観測が可能

ブラジル磁気異常帯
→ 磁気嵐の影響

水蒸気同位体 (H_2^{18}O)
の連続観測 → 季節変化

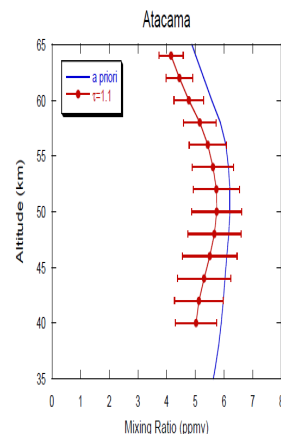
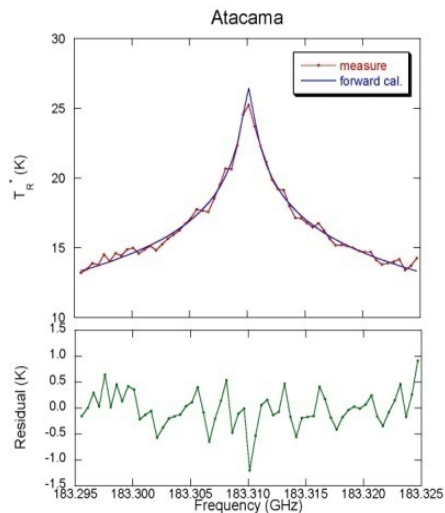
一酸化塩素 (ClO) の
昼夜変化 → 光化学

Atacama ClO diurnal variation

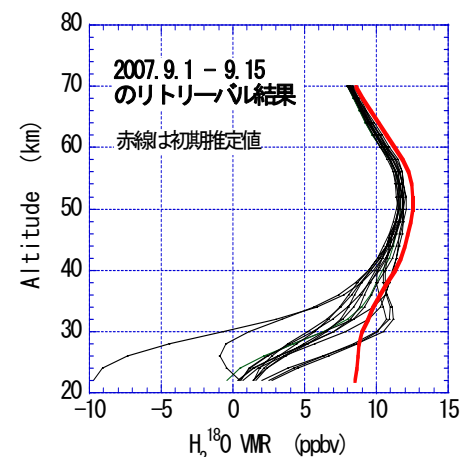
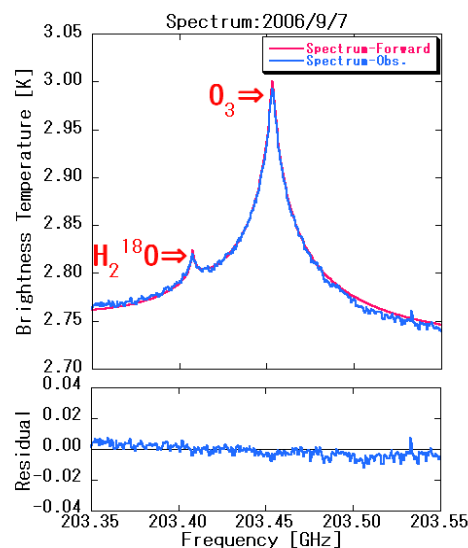


アタカマ高地での極微量分子の観測例と解析例

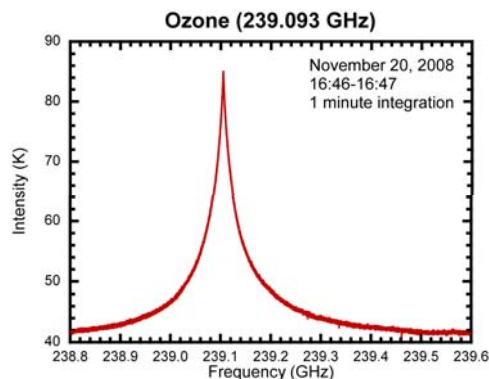
183GHz帯 H_2O



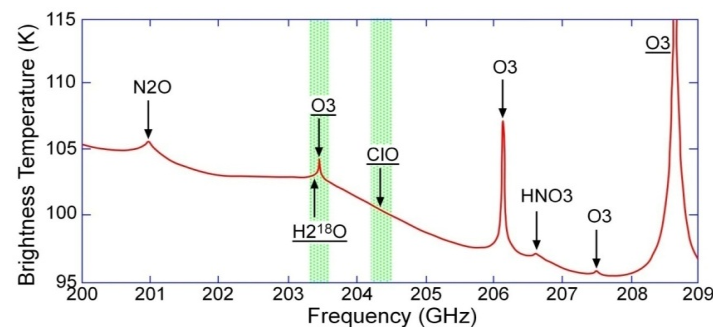
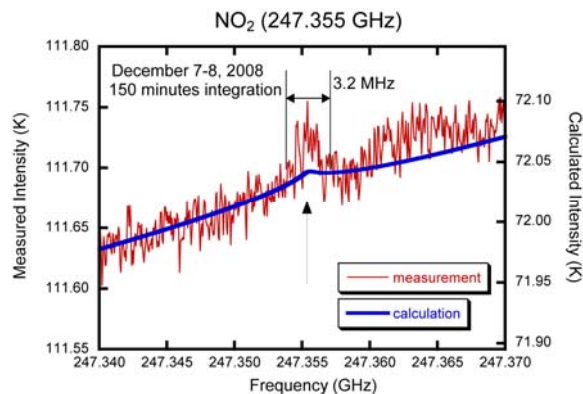
203GHz帯 H_2^{18}O



239GHz帯 オゾン(O_3)



247GHz帯 NO_2



フォワードモデルにより計算した
200GHz帯のミリ波スペクトル群

南米南端部でのオゾンホール観測

アルゼンチンのCEILAP (レーザー応用技術研究センター) との共同研究



レーザーライダー、DIAL
気温、オゾンの鉛直分布
晴天夜間のみ

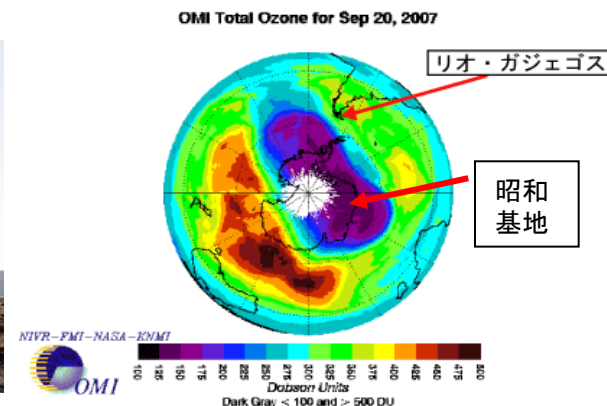
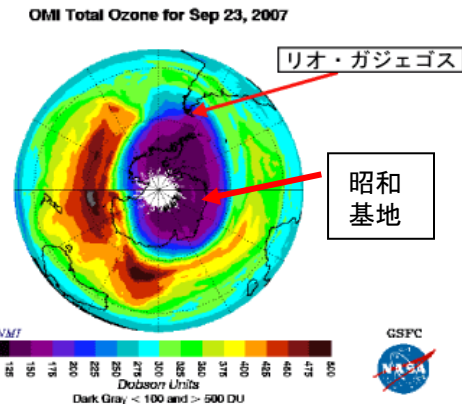
昼夜観測可能なミリ波分光計
を設置(2010年9月)

オゾンホール(～極渦)の境界
領域の構造を探る

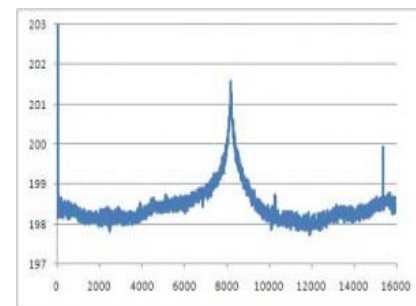
オゾンホール崩壊期の中緯度
帯への拡散・輸送・混合過程



調整中の観測システム



OMIのオゾン全量データ

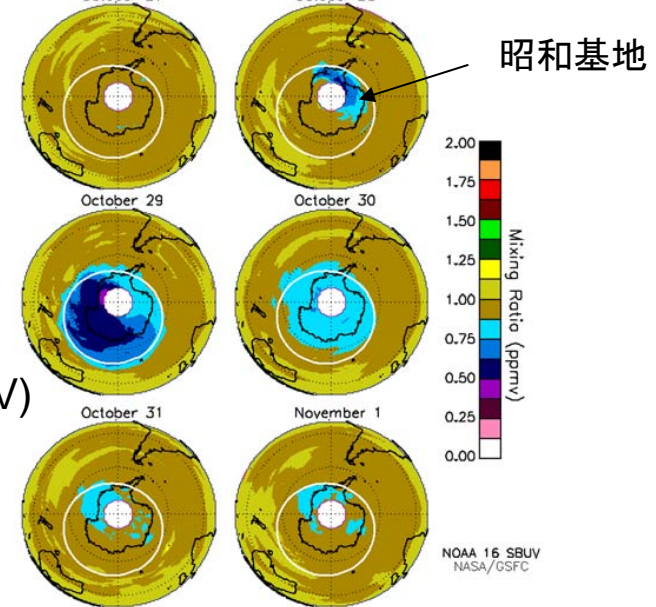


208GHzオゾンスペクトルの
テストデータ

昭和基地での高エネルギー粒子降込みに伴う大気組成変動評価

太陽陽子イベント（直接効果）

高度55km程度のオゾン量
0.5 hPa Ozone (ppmv)



(Jackman et al. 2005, JGR)

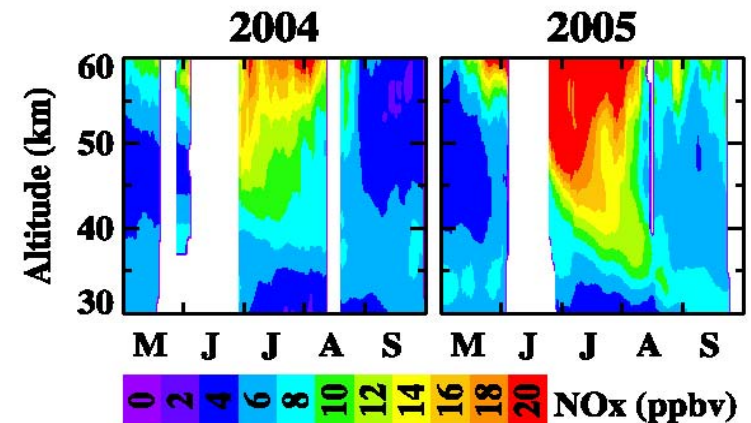
1. 太陽陽子イベント (SPE)
 $\Lambda > 75^\circ$ (> 10 MeV)
2. オーロラ電子
 $70^\circ < \Lambda < 75^\circ$ (1-10 keV)
3. 磁気圏相対論的電子
 $\Lambda < 70^\circ$ (> 10 keV)

高エネルギー粒子により酸素、窒素
がイオン化、イオン-分子反応により
 NO_x , HO_x の増加とオゾンの減少
数日間の太陽陽子イベント直接効果と
数か月にわたる間接効果 (化学+力学)

高エネルギー粒子効果の中層大気へ
の影響評価

熱圏と中間圏の間の物の収支・結合

熱圏オーロラ電子+極渦下降流 (間接効果)



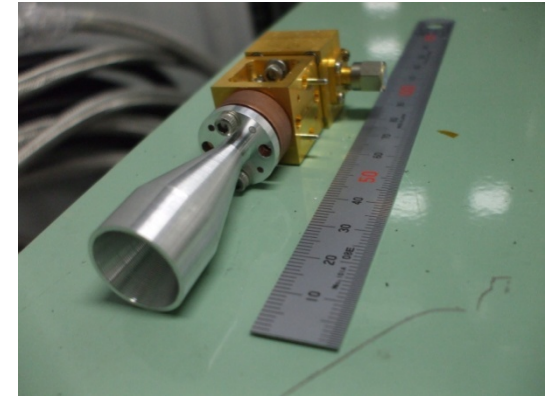
(Randall et al. 2007)

昭和基地用省電力型観測システム

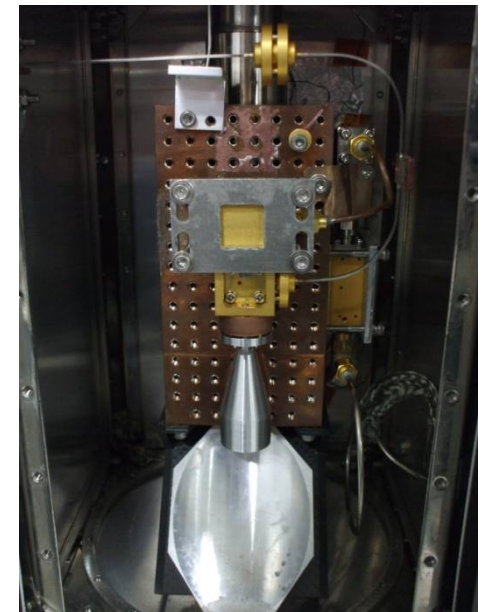


消費電力 1/3以下 (13kW → 4kW)
総重量 約1/3 (1,200kg → 350kg)
床面積 約1/2 (4m² → 2m²)

を達成。昭和基地の
条件をクリア。



コルゲート(溝付き)ホーンをつ
けた250GHz帯超伝導ミキサ



極低温クライオスタット内の超
伝導ミキサと第一楕円鏡

FTIRによるCO₂観測



連続的なCO₂モニタリング

GOSATの検証

松見G 気球観測の検証

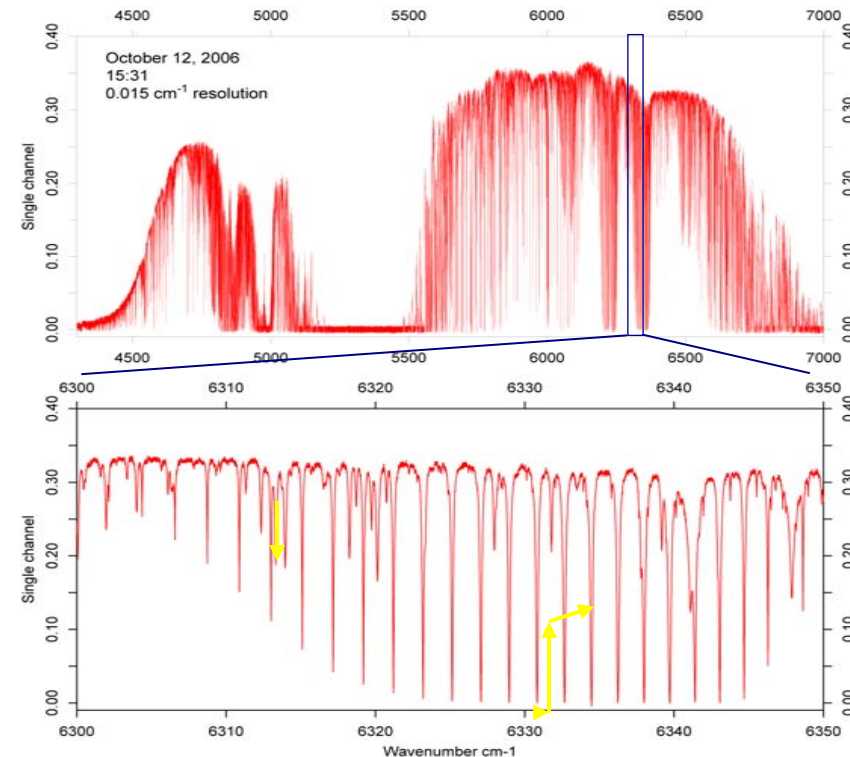
光スペアナ観測の検証

InGaAs検出器の導入

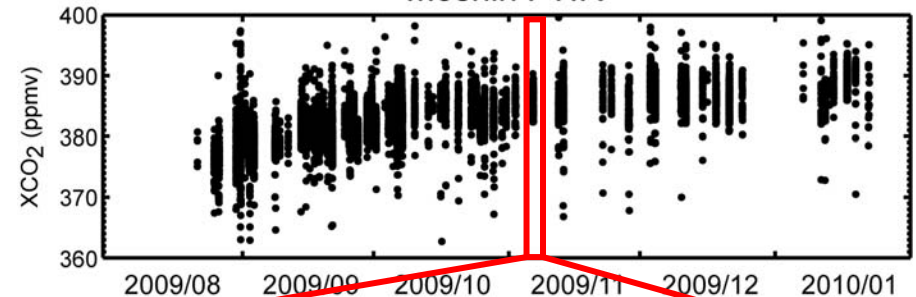
OSのアップデート

太陽追尾装置の改良・更新

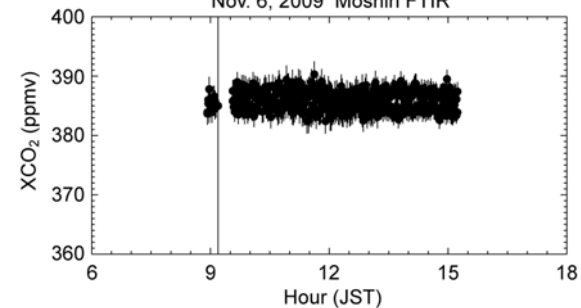
Moshiri FTIR



Moshiri FTIR



Nov. 6, 2009 Moshiri FTIR



波数分解能 0.015 cm⁻¹

光スペアナ (OSA) CO₂観測システムの開発

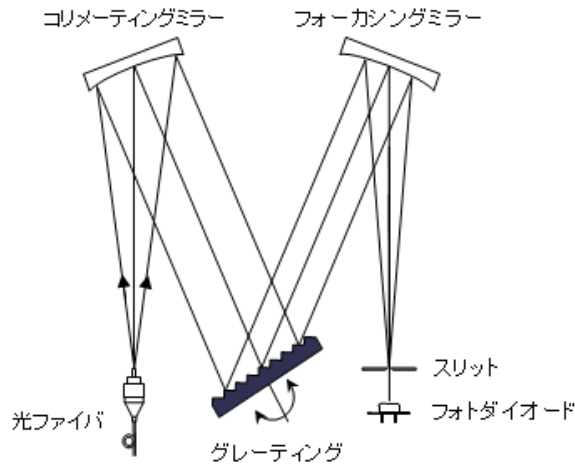
連続的なCO₂モニタリング

FTIRよりも安価
小型で可搬
十分な測定精度

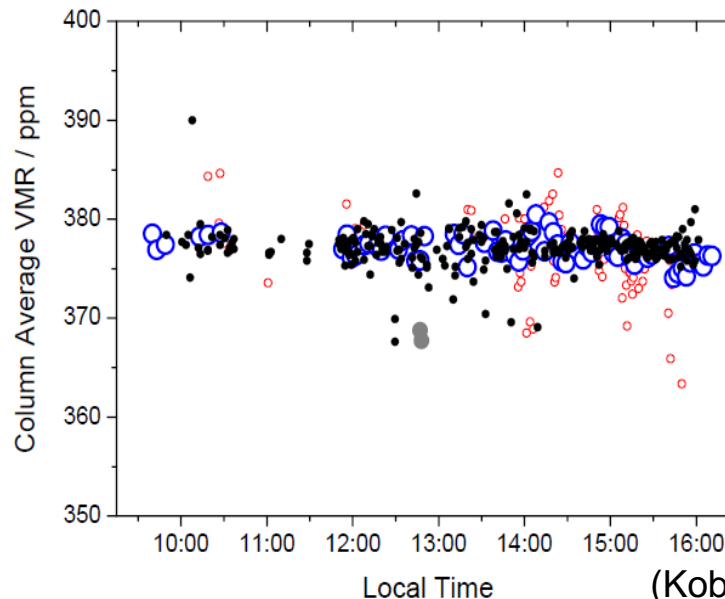


(地球研・川崎先生)

母子里FTIRとの比較検証



回折格子を回転させることで
波長方向にスキャン
価格：300～500万
光ファイバーによる入力のため入射光学系が簡単
波長分解能 0.02 nm
(FTIRより1ケタほど粗い)

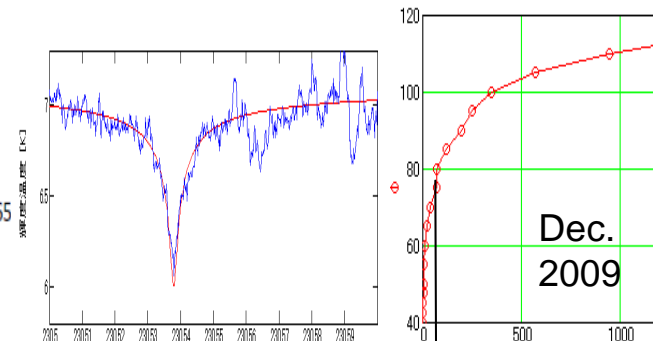
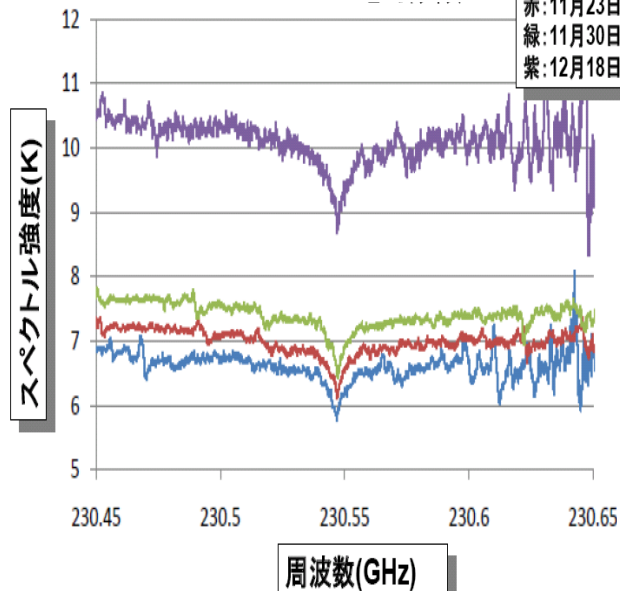
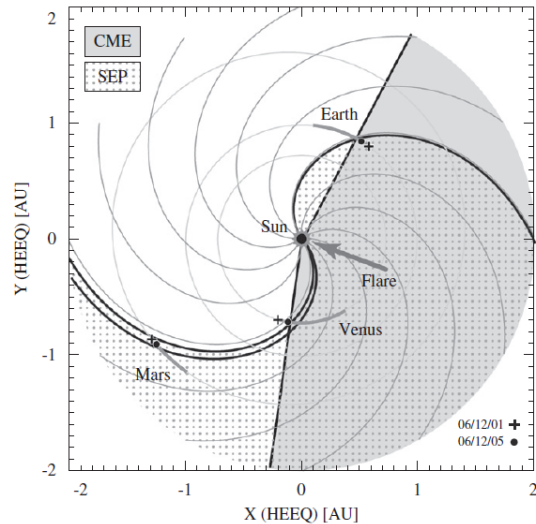


十分な精度で
データ取得可能。
卒業実験として
自前の装置開発
を開始。

- FTIR
- FTIR+GFIT
- OSA
- GOSAT

(Kobayashi et al. 2010)

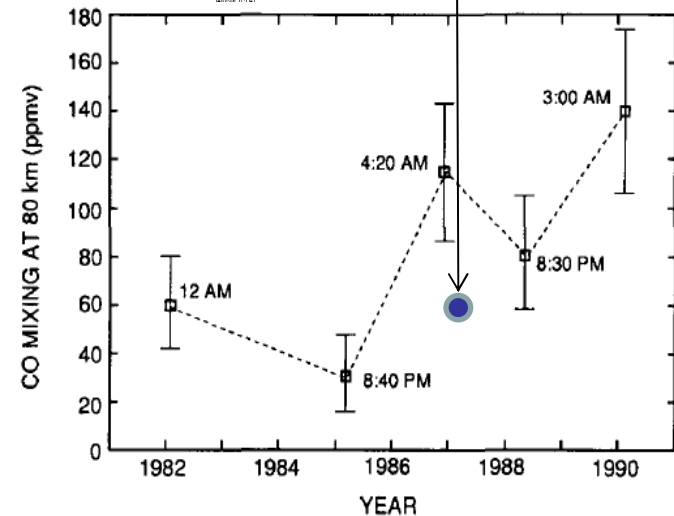
惑星大気のミリ波観測



NANTEN2電波望遠鏡
を用いた金星CO観測

- ・ 視半径の変化に伴う連続波レベルの変化
- ・ CO混合比の導出

継続的なモニタリング
観測が重要



Clancy et al.

他の惑星の微量分子の鉛直分布

11年周期の変化は見られるか？
金星や火星のような磁場の弱い惑星での太陽風の影響は？

まとめ（松見・水野グループの特徴）

松見・水野グループ共に自らの手で新しい観測装置を開発し、それを用いて大気環境の観測および大気への太陽活動の影響を明らかにする

松見グループ: in-situ、対流圏

水野グループ: remote sensing、成層圏・中間圏

松見グループは沖縄から北海道まで国内の要所でエアロゾル、 CO_2 、窒素酸化物等の大気汚染物質の観測、実験室での窒素酸化物等の高感度大気化学反応実験

水野グループは観測網の乏しい南半球に観測点と広げ緯度が異なる各点における特徴的な現象の研究と基礎的なモニタリングデータを取得、他の惑星大気との比較