

大気微量成分測定用航空機搭載型レーザヘテロダイン分光計
Airborne Laser Heterodyne Spectrometer
for Monitoring Atmospheric Minor constituents

石津 美津雄、 柴田 隆、 板部 敏和
(Mitsuo Ishizu, Takashi Shibata, Tosikazu Itabe)
郵政省通信総合研究所
(Communications Research Laboratory)

SYNOPSIS: An airborne laser heterodyne spectrometer has been developed for monitoring sulfur-bearing compounds and other minor constituents in the stratosphere. The system consists of a CO₂ laser and a PbSnTe diode laser as local oscillators, HgCdTe photomixer, collecting optics, IF spectral analyzer and data acquisition electronics. Due to an improved optical design and a low-noise preamplifier connected to the mixer, we succeeded to obtain the system sensitivities of 4.3E-20W/Hz and 9.5E-20W/Hz using the CO₂ and diode lasers, respectively. The result of the flight measurements is also presented.

通信総研では、現在、成層圏エアロゾルの起源物質である硫黄化合物のCO₂S、SO₂分子を観測するために、航空機搭載型のレーザヘテロダイン分光計を開発している。対流圏では安定で分解しないCO₂S分子でも、高度20kmで0.2ppbvの濃度しかないため、濃度分布を遠隔的に求めるにはヘテロダイン分光計の高感度高分解能が必要とされ、さらに観測方法もソーラーオカルテーション法により、100km以上の大気中光路の太陽赤外吸収を測定しなければならない。開発中の装置はそのため小型航空機に搭載して日出日没の水平線に近い太陽を高空から観測できるように小型で、地上とは異なる気温と気圧のもとでも安定に動作することを目標にしている。

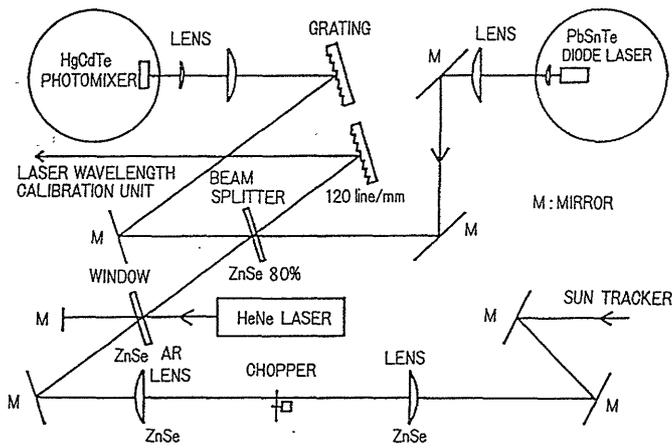
分光計の光学部のブロックダイアグラムを第1図に示す。全体は50×80cmの大きさの全アルミ製ハニカム定盤の上に組み立てられ、重量は46kgに軽量化されている。局部発信レーザのPbSnTeダイオードレーザは液体窒素デュワー内にマウントされ、77kに冷却して波数1050cm⁻¹、出力100μWで発振する。CO₂レーザを用いる場合には、デュワーごと置き換えている。レーザは、実際に機上で安定に動作する小型の市販品がなかったので、熱伝導冷却型の封じきり、回折格子同調、導波路型で出力2.5Wの小型レーザを開発して使用した。ミキサは、1GHzの広いIF帯域幅が得られるPV型HgCdTe検出器を用い、やはり液体窒素デュワーにマウントされている。太陽光は追尾装置で光学部に導かれ、まず、焦点面チョッパで断続されてからレーザ光と重ね合わされ、ミキサに集光される。ヘテロダイン検波では、局部発信光と太陽の信号光の波面が一致していることが必要であり、集光用光学レンズ類には波面収差の小さいZnSe製メニスカスレンズ、または、その組レンズを用いた。特に、ダイオードレーザのビーム広がり角は約50度もあり、これを平行光に集束するため、1枚のGeレンズがレーザに密着して置かれている。ミキサに発生したIF信号は、NF=0.8dBの低雑音アンプで増幅され、スペクトルアナライザで周波数スペクトルに変換してロックインアンプで積分し、ラップトップコンピュータを用いてデータ収録している。

装置の地上試験を行った結果は、標準黒体光源を用いた感度測定で4.3E-20W/Hzと9.5E-20W/Hzの感度が、それぞれ、CO₂レーザとダイオードレーザで得られた。これは量子限界の感度2.0E-20W/Hzにほとんど近い。また、太陽光を観測して多数のオゾン吸収線が検出できた。

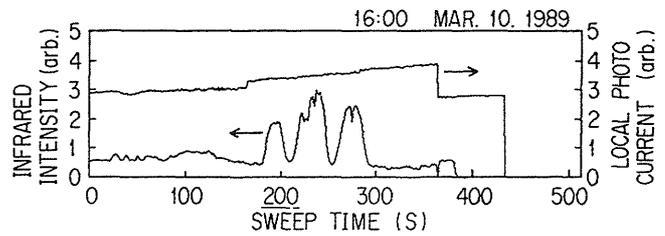
航空機搭載による観測試験では、光学部はほぼ正常に動作したことが確認されたが、実験時期が

冬季であったため、装置の一部が低温のため動作不良を生じた。観測結果を第2～4図に示す。第2図はダイオードレーザーを用いた場合で、レーザーの温度安定化回路が低気温のために誤動作して発振波長が地上試験の場合と異なり、また、モードホップを2回生じている。第3、4図はCO₂レーザーを用い、それぞれ、9P30と9P32にレーザーを同調して観測した結果である。第5、6図に示す地上観測の結果と比較すると、ほぼ同一の結果は観測されている。

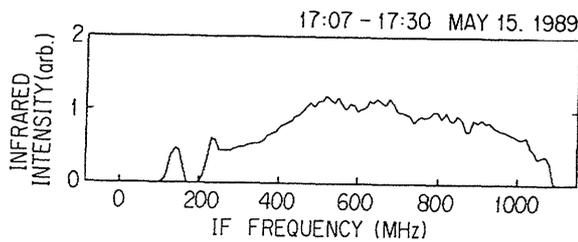
以上の試験結果をもとに、現在、装置の安定性を向上するために改良を行っている。その要点はデュワーの構造の改良、レンズの非軸放射物面鏡への交換、ブラッグセルを用いた光音響型スペクトルアナライザの利用等である。今後、早急にシステムを完成させ、観測を始める計画である。



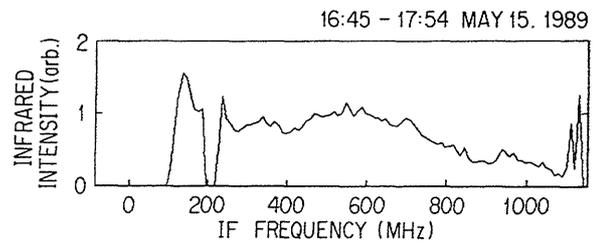
第1図 ブロックダイアグラム



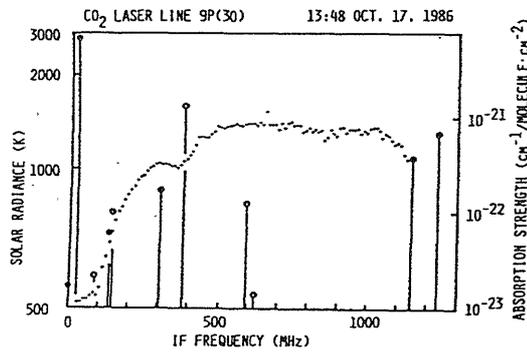
第2図 半導体レーザーを用いた太陽光の搭載分光データ



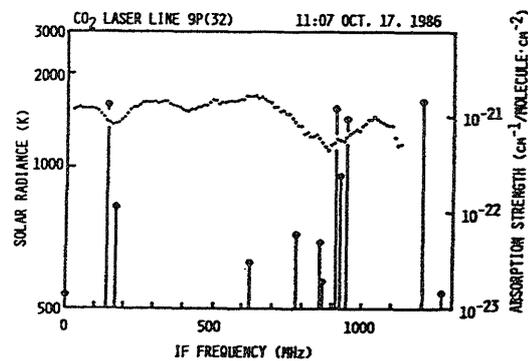
第3図 CO₂レーザーを用いた太陽光の搭載分光データ
(レーザーは9P(30)に同調)



第4図 CO₂レーザーを用いた太陽光の搭載分光データ
(レーザーは9P(32)に同調)



第5図 CO₂レーザーを用いた太陽光の地上分光データ
(レーザーは9P(30)に同調)



第6図 CO₂レーザーを用いた太陽光の地上分光データ
(レーザーは9P(32)に同調)