

レーザーヘテロダイン分光法による赤外スペクトルの測定  
Measurements of IR spectra with Laser Heterodyne Spectrometry

岡野章一, 上山弘, 市川敏朗\*, 富田二三彦\*\*  
S. Okano, H. Kamiyama, T. Ichikawa\* and F. Tomita\*\*

東北大学理学部超高層物理学研究施設, \*朝日大・歯, \*\*郵政省電波研究所  
Upper Atmosphere and Space Research Laboratory, Tohoku University,  
\* School of Dentistry, Asahi University, \*\* Radio Research Laboratories

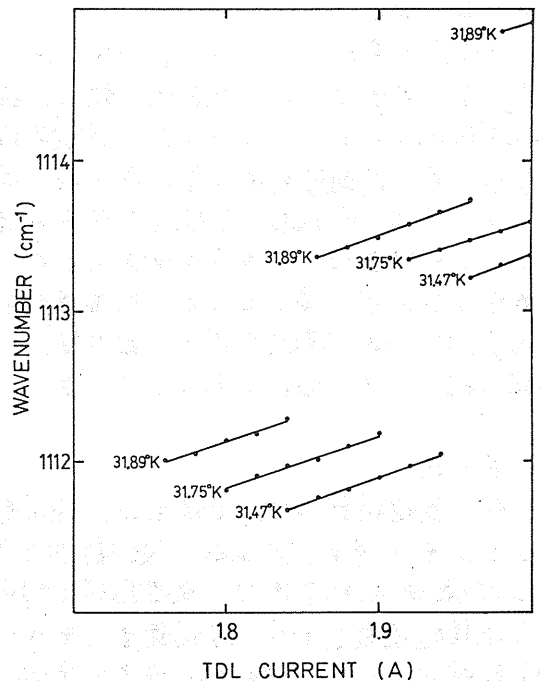
## 序

レーザーヘテロダイン分光法は、信号光のスペクトルをマイクロ波帯に変換して測定できるために極めて分解能が高い。また局発レーザーに波長可変半導体レーザー (Tunable Diode Laser) を用いることにより測定波長を任意に選択できることから、気体分子の赤外吸収、赤外放射を利用した地球および惑星大気のリモートセンシングに非常に有効な手段となりうる。

我々は、太陽を光源とした赤外域レーザーヘテロダイン分光計の開発を行ってきたが、 $9\mu\text{m}$  付近の地球大気の吸収スペクトルの測定に成功したのでここで報告する。

## レーザーヘテロダイン分光計

レーザーヘテロダイン分光計の構成については第9回レーザー・ラザン・ホヅウムにおいて報告してあるので、ここでは主要な点のみを述べる。今回の測定は波長可変半導体レーザーの特性を生かした波長走査方式を用いて行なわれた。太陽光は30cmヘリオスタットによって追尾され光学ベンチ上に配置されたレーザーヘテロダイン分光計に導かれる。信号光のコリメーションはBaF<sub>2</sub>レンズによって行なわれる。局発光はレーザーアパリティス製 TDL の単モード発振を用いKBrレンズでコリメートされた後、ZnS製ビームスプリッターにより信号光とともにBaF<sub>2</sub>レンズ (f/2) で赤外検出器に結像される。赤外検出器はSAT製 HgCdTe 光起電力型で3dB帯域幅1100MHzであるが、最近、より量子効率の高い(7~59%)のものに交換され本報告での測定に用いられた。赤外検出器からのヘテロダイン信号の出力はコンデンサー結合を経て、3dB帯域5~1000MHzのモジュールアンプ2個(32dB + 48dB)により増幅され、二乗特性をモックリスタルダイオードで検波された後積分回路を経て、太陽光のフッパ-信号(400Hz)を参照信号としてロックインアンプで測定される。



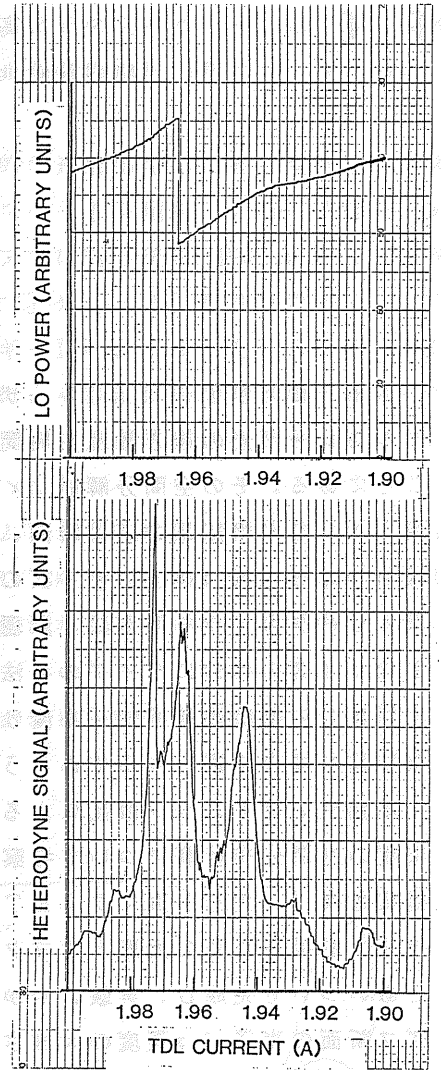
第1図 単モードでの局発レーザー発振特性

TDLの発振特性は、波数分解能 $0.5\text{cm}^{-1}$ の回折格子分光器を用いてあらかじめ調べられ、TDL温度が高いほど単モード発振に近づくことがわかり、

ヘテロダイン信号の検出には、TDL温度320K付近、TDL電流1.9A付近での波数域1113~1115 $\text{cm}^{-1}$ の単一モード共振を使うことにした。お1図にこの条件でのTDL共振特性の測定例を示す。モード間隔は約1 $\text{cm}^{-1}$ 、電流による単一モードの波数可変範囲は約0.4 $\text{cm}^{-1}$ である。

### ヘテロダイン信号による赤外スペクトル

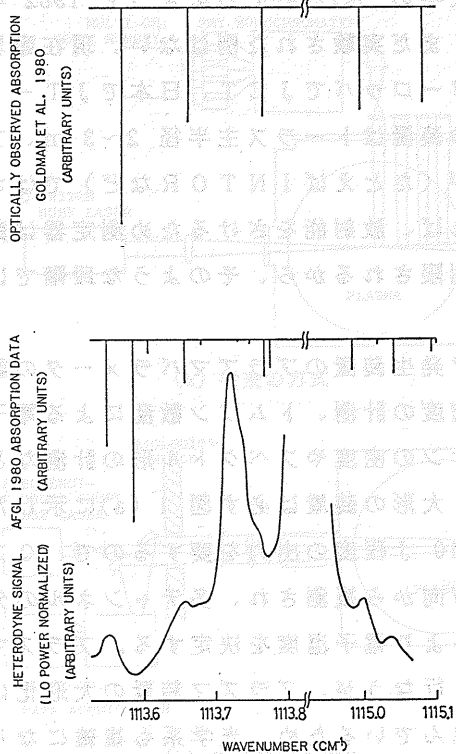
お2図に測定の実データを局共振の強度変動とともに示す。TDL電流値約1.965A付近にmode hoppingがあり、この付近では単一モード共振が不安定になりヘテロダイン信号は大きくノイズを含むがそれ以外の部分では大気による吸収がみられる。このスペクトルがヘテロダイン信号によるものであることは、(i)信号光を遮断すると出力がなくなること、および(ii)太陽天頂角が大きくなると吸収が強くなることから確認された。お2図の実データを、局共振レーザーの強度変動で規格化し、またあらかじめ得られているTDL電流値対単一モード共振波数の関係を用いて大気の吸収スペクトルに直したものをお3図下段に示す。この波数域に存在する吸収線はほとんどすべてオゾンによる吸収線であり、AFGLの吸収線データから予想される吸収線の中心位置、相対強度を中段に、またGoldman et al. (1980)のMichelson型Fourier分光計による大気



お2図 ヘテロダイン信号の実データ (下段)および局共振レーザーの強度変動 (上段)

吸収スペクトル測定 (分解能 $\sim 0.06\text{cm}^{-1}$ )から得られている吸収線の中心位置、相対強度を上段に示す。お3図にみられるようにヘテロダイン信号はおおむね予想される吸収線の位置に吸収を示しており、さらにFourier分光計では分離し得ない吸収線の存在も示していることがわかる。

現在の問題は、ヘテロダイン信号で得られる吸収線の幅が装置の性能から予想されるものよりも広いことであり、これは局共振レーザーの共振波数の振動または共振波数幅の拡がりに起因するものと考えられ対策を検討している。



お3図 局共振レーザーの強度で規格化されたヘテロダイン信号による大気吸収スペクトル (下段)