

レーザーヘテロダイン分光計によるメタン高度分布の導出  
 Height Distributions of Methane Derived from  
 Laser Heterodyne Observations.

小出理史、岡野章一、田口 真、福西 浩

M. Koide, S. Okano, M. Taguchi and H. Fukunishi

東北大学理学部

Upper Atmosphere and Space Research Laboratory, Tohoku University

Height distributions of methane were obtained from high resolution absorption spectra observed at Tsukuba in December 1991 with a tunable diode laser heterodyne spectrometer. Least square fittings between observed and calculated absorption profiles was employed to derive the methane height distribution. In the calculation, volume mixing ratio of methane was assumed to have a constant value in the troposphere and to decrease with a constant rate above the tropopause. Tropospheric mixing ratio and a rate of decrease in the stratosphere were derived to be approximately 1.7ppm and 0.6ppm/km, respectively.

1. はじめに

メタンは重要な温室効果気体のひとつであり、大気化学的にも重要な意味を持つ。本研究の目的は、このメタンの高度分布をレーザーヘテロダイン分光計を用いた地上からの赤外分光観測によって求める方法を開発することである。本報告では1991年12月につくばの国立環境研究所において行った観測の解析結果について述べる。

2. レーザーヘテロダイン分光計

赤外レーザーヘテロダイン分光計はその名の示すとおり、局発の赤外レーザー光と信号光を重ね合わせてそれらのビートをとることにより、赤外領域の信号光から電波領域の中間周波数を得て、その強度スペクトルからもとの信号光のスペクトルを測定する分光計である。今回用いた分光計では、局発としてレーザーフォトンクス社製の半導体レーザーTDL-L5615-1237を使用している。Fig. 1にこのレーザーの電流-発振波数特性を示す。

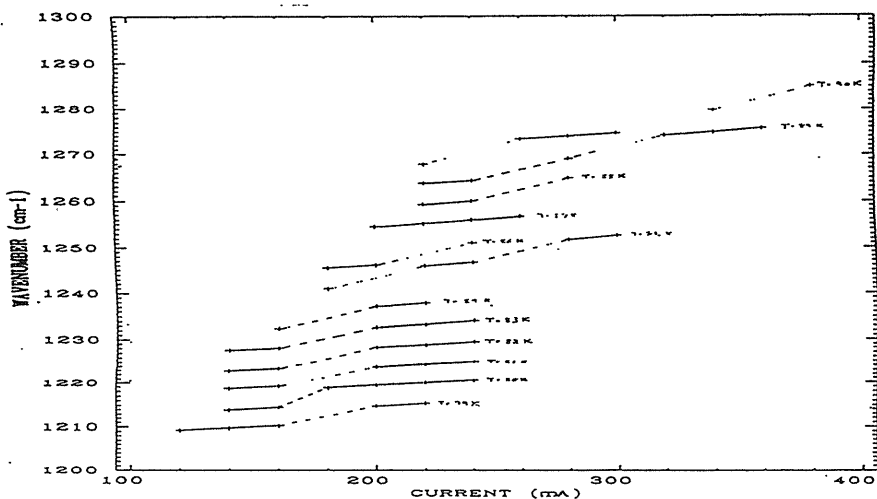


Fig.1 Mode characteristics of the local oscillator diode laser.

今回使用したレーザーヘテロダイン分光計の諸元をtable 1.に示す。

Table 1. Specifications of the Tunable Diode Laser Heterodyne Spectrometer.

|                   |                                                                                         |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 大きさ               | 80cm×60cm×50cm                                                                          |
| 重量                | 70kg                                                                                    |
| 観測波数域             | 1090cm <sup>-1</sup> -1110cm <sup>-1</sup> , 1160cm <sup>-1</sup> -1280cm <sup>-1</sup> |
| 帯域幅               | 40MHz (0.0013cm <sup>-1</sup> )                                                         |
| 分解能               | 8.5-9.6×10 <sup>5</sup>                                                                 |
| 半導体レーザーの可変温度幅     | 65-90K                                                                                  |
| 温度安定性             | <0.01K                                                                                  |
| 液体窒素保持時間          | >2days                                                                                  |
| 観測時間 / 1 スペクトル    | 512秒                                                                                    |
| データの大きさ / 1 スペクトル | 18kByte                                                                                 |

### 3. 高度分布の導出法

吸収線の形状を決定する要因としては、吸収気体の高度分布の他に気温の高度分布が挙げられる。特に、我々のレーザーヘテロダイン分光計で観測可能な波数範囲にあるメタンの吸収線では、吸収線強度の温度依存性が大きい。このため、通常の方法による詳細な高度分布の導出は困難であった。そこで、求めるメタンの高度分布に過去の観測に基づく仮定をおいた。すなわち、メタンの混合比を、境界層より上では圏界面付近まで一定であり、それ以上の高度領域では高度とともに一定の割合で減少するものとした。この仮定のもとで、最小自乗スペクトルフィッティング法により、観測されたメタンの吸収線の形状を最も良く再現するメタンの高度分布を導出した。この方法で求められる量は

- ① 境界層から圏界面付近までのメタン混合比[ppm]  
(境界層は地上から2kmまでとした)
- ② メタンが減少し始める高度(～圏界面高度)[km]
- ③ ②の高度より高い高度領域におけるメタン混合比の変化率[ppm/km]  
(上限は30kmとした)

である。境界層内の濃度については、以下に述べる理由のためにこの観測からは求められない。

大気分光観測で得られる物理量は相対強度であり、これを透過率に変換して解析に使用する。この際、最低でも1点、どこかある波数での透過率は外部から与えなければならない。本研究では、上空のメタンによる吸収の影響が余りない波数領域で計算スペクトルに対して観測スペクトルの最小自乗フィッティングを行い、この領域の透過率を決定した。このことは大気下層のメタン濃度を与えることに相当するが、シミュレーションによる検討の結果、2km以上のメタン濃度導出にはほとんど影響がないことが分かった。さらに、解析に用いる水蒸気データと実際の観測時の水蒸気分布が異なっている場合の誤差も2km以下に集中することが分かった。このため今回の解析では、2kmまでのメタン濃度としてモデルの値(1.80ppm)を採用している。この方法による誤差を数値シミュレーションによって見積った結果、2kmから30kmまでの導出高度領域内で系統誤差が±0.2ppm以内、蓋然誤差はS/N=1000の場合で±0.1ppm以内であった。

4. 観測・結果

観測場所、日時等をTable 2. に示す。なお、観測は地表面からの影響をできるだけ避けるため、地上8階の窓からサントラッカーを突き出して行った。

Table 2. A list of observation.

|           |                                                                                    |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 場所        | 国立環境研究所 (36° N, 140° E)                                                            |
| 日時        | 1991年12月16, 17, 18, 20日<br>1992年 1月13, 17, 18, 20日<br>1992年 2月19, 22, 23, 26日      |
| 観測対象吸収線   | CH <sub>4</sub> 1222.6428 cm <sup>-1</sup><br>1223.1561 cm <sup>-1</sup>           |
| 気温、湿度のデータ | 館野高層気象台レーウィンゾンデデータ<br>(9h JST, 21h JSTの平均)                                         |
| 一回のスキャン時間 | 512秒                                                                               |
| 解析したデータ   | 1991年12月17日, 09h48m~14h51m<br>(スキャン12回)<br>1991年12月20日, 12h48m~14h36m<br>(スキャン11回) |
| データのS/N   | 1863 (12月17日)<br>4028 (12月20日)                                                     |

解析にあたって必要な気温及び水蒸気の高度分布は、気象庁よりレーウィンゾンデ観測データの提供を受け、これを用いた。

Fig. 2. に、1991年12月17日に観測されたメタンの吸収線スペクトルを示す。これから得られたメタンの高度分布を、12月20日の結果及び過去に三陸で行われた大気球による観測結果(中澤 他、1993)とともにFig. 3に示す。12月17日および12月20日におけるメタンの対流圏内濃度はそれぞれ1.68ppmおよび1.76ppm、メタンの減少が始まる高度は14kmおよび12km、それ以上の高度における変化率は-0.064ppm/kmおよび-0.059ppm/kmであった。

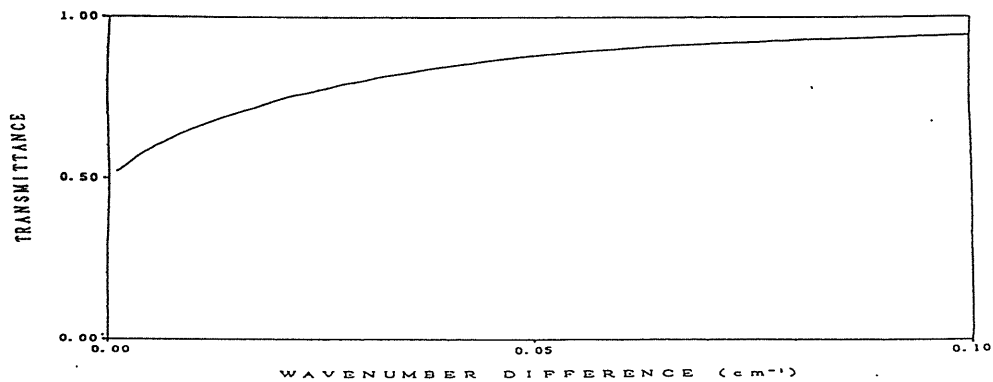


Fig. 2 A solar absorption spectrum of methane observed with the tunable diode laser heterodyne spectrometer at Tsukuba on December 20, 1991.

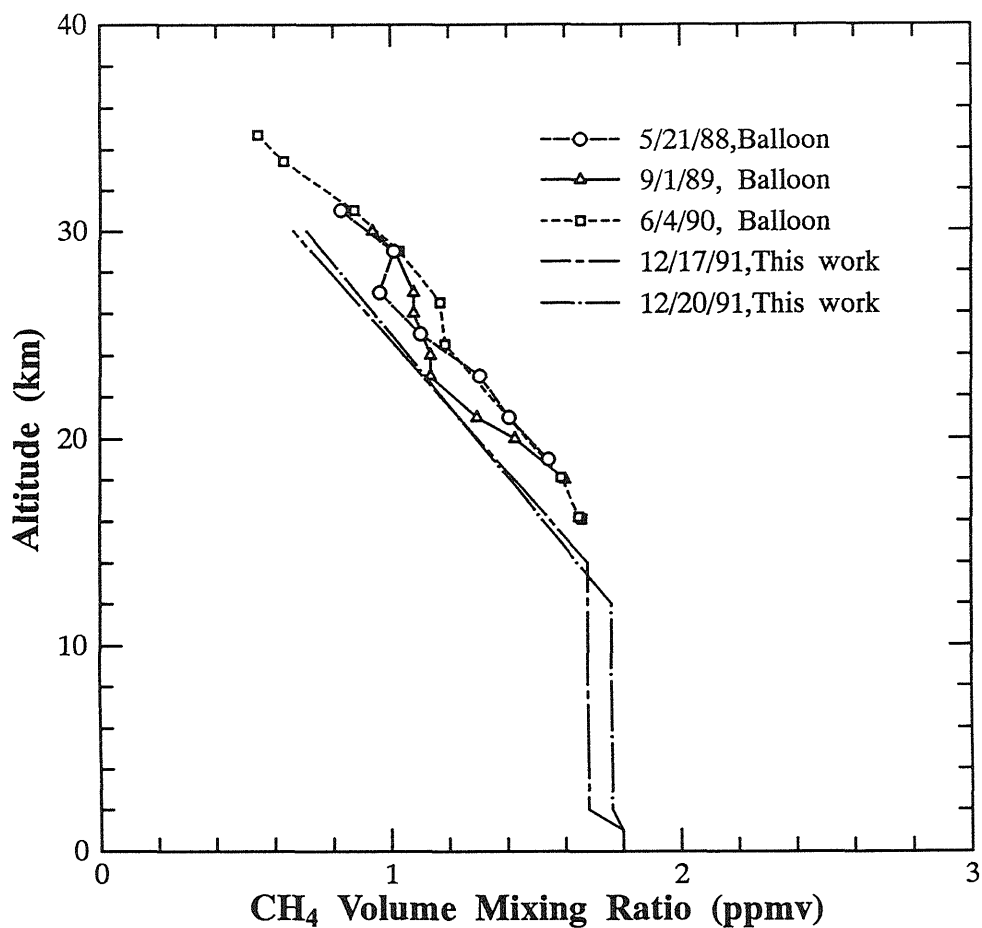


Fig. 3 Retrieved profiles of methane over Tsukuba on December 17, 1991 and December 20, 1991. Symbols indicate methane volume mixing ratio obtained with balloon observations at Sanriku.

Fig. 3を見ると、この両日における結果は誤差範囲内で一致している。また、大気球の結果と比較すると成層圏における減少率はほぼ一致しているが、絶対値は今回の結果の方が低く出ている。これが系統誤差によるものか、観測の日時・場所が異なるためであるかは現時点では分からない。これを確かめるため、今後大気球による直接サンプリングとの同時観測を行う予定である。

参考文献

中澤 高清

私信 (1993年)