

# 大気中メタン濃度の4次元観測ライダーの検討 Study on DIAL system for 4-dimensional observations of CH<sub>4</sub>

阿保 真、柴田泰邦、長澤親生

Makoto Abo, Yasukuni Shibata and Chikao Nagasawa

首都大学東京システムデザイン研究科

Tokyo Metropolitan University

Abstract: Methane (CH<sub>4</sub>) is the second most important anthropogenic greenhouse gas with approximately 84 times the global-warming potential over 20 years of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). But lack of understanding of the processes that control CH<sub>4</sub> sources and its potential release from stored carbon reservoirs contributes significant uncertainty to our knowledge of the interaction between the carbon cycle and climate change. For the detailed analysis of CH<sub>4</sub> dynamics and fluxes of source region, 4-dimensional CH<sub>4</sub> concentration measurement techniques with high spatial and temporal resolution are required. We are developing scanning CH<sub>4</sub> DIAL based on 1.6 μm CO<sub>2</sub> DIAL.

## 1. はじめに

大気中のCO<sub>2</sub>濃度の増加が地球温暖化の原因として着目されているが、メタンはCO<sub>2</sub>の84倍の20年地球温暖化係数を持っている(IPCC-AR5)。工業化後のメタンの急激な増加は、人為起源によるものと考えられているが、自然界起源も含む様々な排出源の相対的な寄与については未解明な状況である。また、最近ではエネルギー源として海底からのメタンハイドレートの生産も計画されており、今後、温暖化に依る正のフィードバックとともに人為起源のメタン濃度の更なる急激な増加も懸念される。これに対応するためにメタンの基本的な大気循環メカニズムの早急な解明が必要である。しかし、メタンの発生源は多岐にわたるうえ、その発生源強度も時間的・空間的に不均一なため、現状の観測手法では正味のメタン収支を定量的に見積もるのは極めて困難である。そのためメタンの精度の高い空間濃度分布の連続観測(4次元観測)が重要である。

メタンガス濃度の測定については、現状ではその場での地上観測がほとんどである。測定領域が限定される航空機やバルーン観測を除けば、メタンの空間濃度分布の連続観測装置はない。レーザを使った計測装置としてはターゲットを利用したIPDA方式が開発されているが[1]、連続観測は可能でも空間分布の観測は出来ない。

今回、すでに我々が開発し実用化段階にある1.6 μm CO<sub>2</sub>-DIAL[2]の送信部を拡張することにより4次元観測が可能なCH<sub>4</sub>-DIALを提案し、その実現可能性について検討した。

## 2. CH<sub>4</sub>-DIAL システム

Fig.1に示すようにメタンは1.6 μm帯に適度な強度をもつ吸収帯があり、我々が開発してきたDIAL技術をメタン濃度の測定に応用することが十分可能である。大気中のメタンやCO<sub>2</sub>濃度の高度分布は、

主に発生源や吸収源が地上に有るため、地上付近の変動が空間的にも時間的にも変動が大きいことが、航空機観測や我々の先行研究による実測データからわかっている。特に変動が激しいのが、高度2~3km以下の大気混合層領域であることから、測定可能距離(高度)を0.5~3kmと設定した。測定距離(高度)分解能及び測定時間についても、CO<sub>2</sub>濃度に関する先行研究による観測結果からそれぞれ100~500m及び30分とした。なおメタン濃度については、空間的分布を実測した例が限られた航空機観測しかないため、CO<sub>2</sub>濃度と同等であると仮定した。

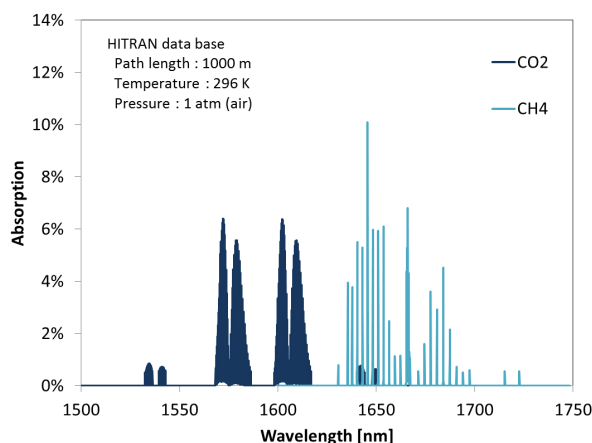


Fig.1 Absorption spectrum for 1km propagation of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> around 1600nm region calculated from HITRAN database.

濃度測定精度については、フラスコサンプリング観測などの同時観測結果より、メタン濃度はCO<sub>2</sub>濃度に比べて変動が激しいため、メタン濃度については平均濃度1.9ppmの約10%である0.2ppmとした。

また、メタン濃度は発生源が局在する可能性が高く、その発生源の特定と発生量の定量化が必要であるというニーズから、スキャン観測並びに移動観測

が可能な仕様とした。

送信レーザはCO<sub>2</sub>-DIALで開発したOPGユニットをベースに光学結晶を組み合わせ、Fig. 2に示す1.65 μm OPGレーザを製作する。レーザ波長のメタン吸収ピークへのロックは、メタンガスを封入したセルを用いてフィードバック制御により5MHz以下の安定度を得る。OPGユニットは耐震性・防塵対策を施す。また、1台のNd:YAGレーザの光路を切り替え、メタン用とCO<sub>2</sub>用のOPGを励起する手法を用い、同時・切替観測を可能とする。

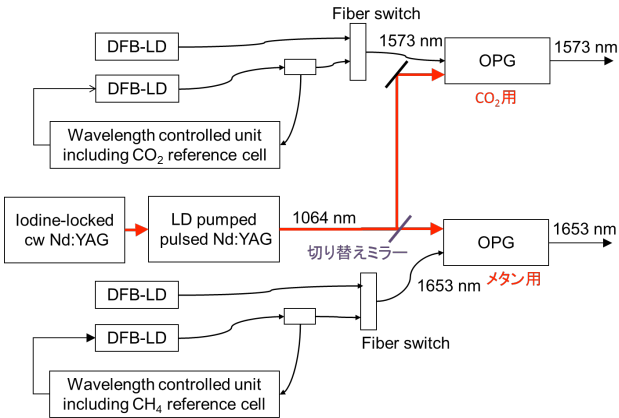


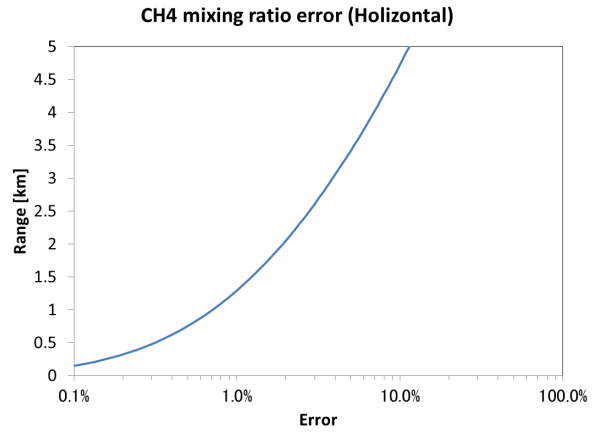
Fig.2 Block diagram of the combined CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> DIAL transmitter.

### 3. 誤差シミュレーション

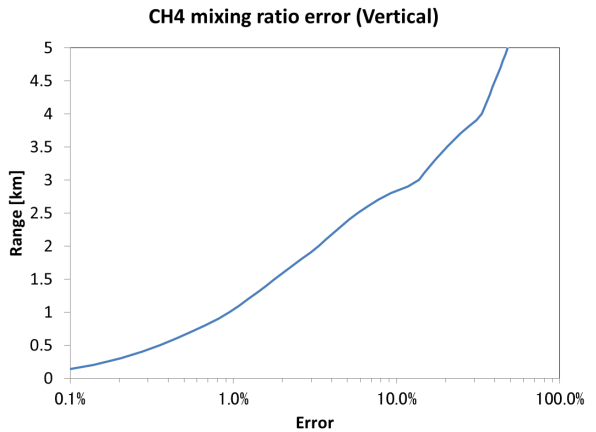
Table 1に示す仕様のCH<sub>4</sub>-DIALで水平並びに垂直方向への濃度測定誤差をシミュレーションにより求めた。エアロゾルのモデルは実際のCO<sub>2</sub>-DIALの実測値を用い、昼間の背景光も含んでいる。メタン濃度測定誤差のグラフをFig. 3に示す。水平方向には5km、垂直方向には3kmまで誤差10%以下での測定が可能である。なお、メタンの吸収線はPressure shiftが大きく高度3kmでは-0.66pmと無視できない大きさとなるため解析には注意が必要である。

Table 1. Specifications of CH<sub>4</sub> DIAL

On wavelength	1653.726 nm
Off wavelength	1654.106 nm
Pulse energy	2 mJ
Telescope aperture	25 cm
Repetition rate	500 Hz (250 Hz pair)
Vertical resolution	100 m
Averaging time	10 min.
PMT Q. E.	8 %
Optical efficiency	20 %



(a)



(b)

Fig.3 Simulated error of CH<sub>4</sub> DIAL for (a) horizontal observation and (b) vertical observation.

### 4. おわりに

メタンの空間濃度分布の連続観測（4次元観測）が可能なCH<sub>4</sub>-DIALの実現可能性について検討した。その結果、我々が開発し実用化段階にあるスキャン型1.6 μm CO<sub>2</sub>-DIALの送信部を拡張することにより、CO<sub>2</sub>と同時観測も可能で、水平方向には5km、垂直方向には3kmまで誤差10%以下でメタン濃度の測定が可能であることがわかった。

### 参考文献

- [1] K. Numata et al., Appl. Phys. B, 116:956-966, 2014.
- [2] D. Sakaisawa et al., Appl. Optics, 48, 4, 748-757, 2009.