

メタン観測用ライダーに関するフィージビリティスタディ

Feasibility studies on DIAL techniques for measurement of methane concentration profiles in the atmosphere

首都大学東京

○ 嶺岸 光、柴田 泰邦、長澤 親生

Tokyo Metropolitan University

Hikaru Minegishi, Yasukuni Shibata, Chikao Nagasawa

Abstract: Comparative studies using numerical calculations of incoherent and coherent differential absorption lidars (DIALs) are conducted for measurements of methane concentration profiles in the atmosphere. It is assumed to use optical parametric generators(OPG) for the transmitter of the DIAL, and the sensitivity comparison between the direct detection and the heterodyne detection is performed by using the absorption lines of the methane in the 1.6 μm band. As a result, it is shown that the direct detection method is predominant over the wide altitude range.

1. はじめに

地球温暖化の要因として、二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、亜鉛化窒素(N₂O)等の人為的温室効果ガスの大気中への放出が上げられる。中でもメタンは二酸化炭素(CO₂)に比べ大気中濃度こそ低いものの温暖化貢献率は21倍といわれており、無視できないものとなっている。大気中のメタン濃度を精度よく測定することは、環境変動や環境問題のメカニズムの解明、及びその対策を行っていく上で非常に重要である。

本研究では、測定方法の一つであるDIAL測定を用い、計算機シミュレーションによって、1.6 μm帯のメタンの吸収波長の直接検波及びヘテロダイン検波による濃度誤差比較を行った。

2. DIALについて

DIALとは、特定成分気体が吸収する波長のレーザー光 (on-line) と、吸収しない波長 (off-line) の二つの波長のパルスレーザー光を放射し、大気中のエアロゾルや空気分子などの散乱体からの散乱光を望遠鏡で集光して、その中のon-lineとoff-lineの受信光の強度比を測定する。これにより、光散乱過程などの様々なパラメータを考慮することなく、対象気体の濃度を精度高く測定することが出来る。レーザーパルスの放射から受光系に到達するまでの時間差で、レーザー光が到達した距離がわかり、またレーザーを放射する方向を変えることにより、三次元の濃度分布も測定することが可能となる。

DIALにおける受信エネルギーPは次式で得られる。

$$P_i(R) = \eta_i E_i \frac{b_i(R) A c}{2R^2} \exp[-2\tau_i(R) - 2\tau_i^0(R)] \quad (1)$$

Rは測定距離、ηは受信光学効率、Eは送信エネルギー、bは後方散乱効率、Aは受信面積、cは光速、τ_iは光学膜厚。τ_iは次式、

$$\tau_i(R) = \int_0^R n(r) \sigma_i(r) dr \quad (2)$$

で表される。σ_iは吸収断面積、n(r)は濃度である。

波長選択に関してFig.1より、H₂O及びCO₂の吸収が無い若しくは極力少ない波長を選択した。DIALにおいては、測定分子による適度な吸収があること、他の気体による寄与が小さいことが求められるため、Fig.1におけるメタンの吸収波長として、1.651 μm付近よりも1.654 μm付近の方が他気体による寄与が小さいため、1.653725 μmを選択した。

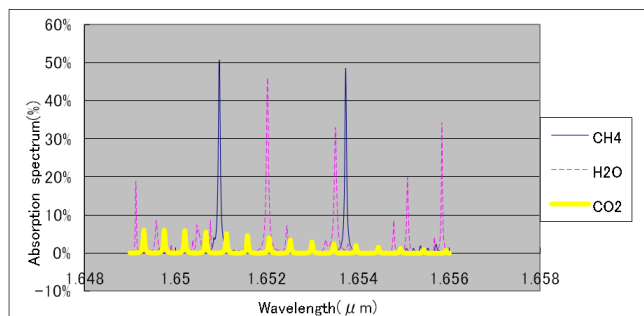


Fig.1 CH₄ and H₂O, CO₂ absorption spectrum at P=1.0[atm], T=298[K]

2 大気モデル・システムパラメータ

CH₄-DIALの誤差シミュレーションに用いた直接法とヘテロダイン法に仮定したシステムパラメータを以下のTable.1に示す。パラメータは実際に充分利用可能なスペックを想定している。

Table.1 Assumed system parameters of CH₄ DIAL

Measurements	Direct	Heterodyne
On wavelength	1.653725 μm	
Off wavelength	1.653868 μm	
Energy per pulse	10mJ	
Quantum efficiency	10%	
Receiver radius	8cm and 30cm	8cm
Optical efficiency	30%	
Altitude resolution	100m	
Pulse repetition frequency	250Hz	
Observation time	3600s	

エアロゾルモデルとしては、以下のFig.2のようなUS-Standardモデルを用いた。

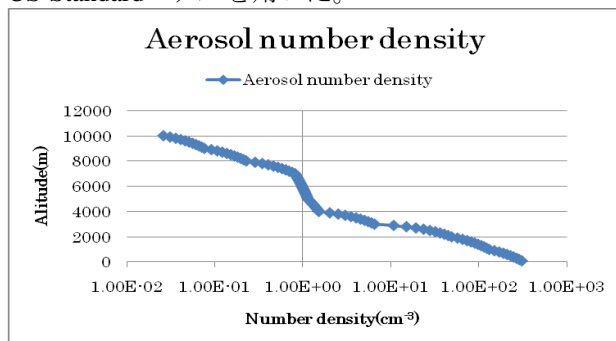


Fig.2 Aerosol profile model used in calculation

3 直接検波及びヘテロダイン検波・濃度誤差比較

$$n = \frac{1}{2\Delta\sigma\Delta R} \ln \left[\frac{P_{on}(R_2)P_{off}(R_2)}{P_{on}(R_1)P_{off}(R_1)} \right] \quad (3)$$

$$\frac{\Delta n}{n} = \frac{1}{2n\Delta\sigma\Delta R} \left\{ \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \left[\frac{P_{ij} + N_{ij}}{P_{ij}^2} \right] \right\} \quad (4)$$

$$\Delta\sigma = \sigma_{on} - \sigma_{off}, \quad \Delta R = R_2 - R_1$$

距離分解能(R_2-R_1)とする平均気体濃度は(3)式によって表わされ、濃度誤差は(4)式にて表される。 $i=1,2$ はそれぞれ R_1, R_2 を表し、 $j=1,2$ はon波長off波長を表す。 $\Delta\sigma$ はon, offの差分吸収断面積である。直接検波、ヘテロダイン検波、双方の手法による誤差比較において、有効受信鏡面積によって精度が変化するため、直接検波の有効受信面積を半径8cmと半径30cmで比較し、さらにヘテロダイン検波の半径8cmと比較を行った。これは、直接検波においては、受信鏡面積が大きいほどS/Nは良くなるが、ヘテロダイン検波においては、受信鏡面積が大きくなるとコヒーレンス効率が悪くなるため、逆にS/Nは劣化する。夜間における測定誤差の

第29回レーザセンシングシンポジウム (2011年9月8日~9日・七尾)

計算例をFig.3に示す。共に受信鏡半径が8cmだった場合、高度3000m程度以下では、ヘテロダイン検波の方が濃度誤差は少なく、3000mから高高度においては直接検波の方が濃度誤差は少ないことがわかる。また、直接検波の受信鏡半径を30cm、ヘテロダイン検波の受信鏡8cmと比較したところ、高度0m~2000mまでは、どちらの方法も誤差1%以下の精度が得られるが、2000mから高高度においては直接検波の方が誤差は少なくなることが分かる。

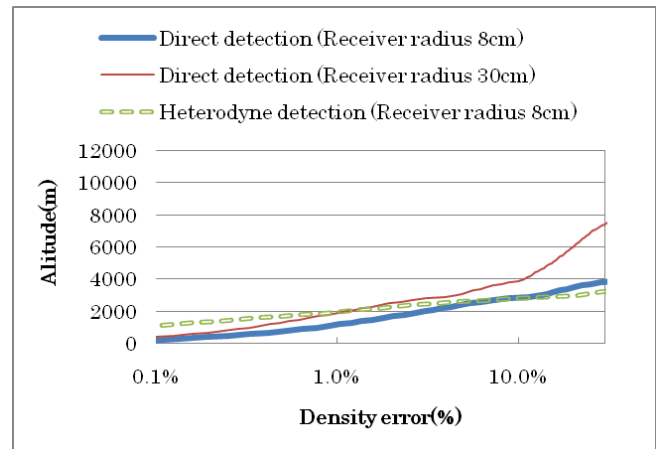


Fig.3 Each density error profile calculated for direct detection and heterodyne detection

4 結論

本研究では、DIALを用いて大気中のCH₄濃度を測定する場合の直接検波法及びヘテロダイン検波法を用いた測定誤差の比較検討を行った。低高度では比較的ヘテロダイン法が優れているが、高高度になるほど、大きい受信鏡を使える直接検波法が優れていることが分かった。今回の誤差解析には、同調誤差などのシステム誤差の考察が含まれていないので、今後これらを含む総合的な誤差解析が必要である。

[参考文献]

- [1] U.S.Standard Atmosphere, U.S.Government Office(1976)
- [2] Didier Bruneau, Fabien Gibert, Pierre H. Flamant, and Jacques Pelon, "Complementary study of differential absorption lidar optimization in direct and heterodyne detections", Appl.Opt.45 4898(2006)
- [3] HITRAN データベース2008.
- [4] 長澤親生、増子浩平、永井智広、"オゾン・水蒸気DIAL用近赤外全個体レーザー"第23回レーザセンシングシンポジウム予稿集、117-120(2004)
- [5] F Marengo and P Tini Brunozi, "Different possibilities for water vapour measurements by lidar in daytime at ENEA's observatory in Lampedusa", APPL.Opt.4 408(2002)