

# DIAL の新リトリバルアルゴリズム

## On a new retrieval algorithm for DIAL analysis

○長澤親生、竹田 瞬、柴田泰邦、阿保 真（首都大学東京）

○Chikao Nagasawa, Shun Takeda, Yasukuni Shibata and Makoto Abo  
Tokyo Metropolitan University

Abstract :

The range-resolved differential absorption lidar (DIAL) systems are sensitive enough to measure the concentration profiles of the greenhouse gases such as CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O and ozone. The differentiation procedure in the conventional DIAL retrieval amplifies the error owing to the distortions and noise which exist in the original data. Particularly, DIAL is sensitive to the signal-to-noise ratio for the measurement of CO<sub>2</sub> constituents contained with the low concentration in the atmosphere. In this paper, a new method of retrieval algorithm for DIAL data analysis is developed. The new method does not require the calculation of the differentiation of the local signals.

### 1. はじめに

差分吸収ライダー(Differential Absorption Lidar : DIAL)は、大気中のオゾンや水蒸気などの温暖化気体の観測にその威力を発揮してきたが、ミーライダーや共鳴散乱ライダーなどと違い、DIALの濃度導出の式に微分を含むことから CO<sub>2</sub> などの微量気体の測定では、ノイズの影響を大きく受け、SN 比を劣化させる昼間観測や観測距離を延ばすにつれて、測定精度が急激に劣化することが大きな課題である。これまでは、レーザ発振器や受信装置の性能向上などのシステムパラメータの強化により対処してきたが、システムのコンパクト化や低価格化のためには、DIAL における微量気体の濃度導出に関して、アルゴリズムの面からその高精度化を検討する必要がある。

### 2. 一般的な DIAL による濃度導出アルゴリズム

一般に、DIAL は気体分子の濃度測定に優れ、対象気体に対して吸収の強い波長(on 波長)と弱い波長(off 波長)の異なる 2 波長のパルスレーザ光を大気中に送信し、その受信信号強度の差比から濃度を導出することができる。その際、受信信号強度と濃度の関係を表す関係式は、下記の式で表される。

$$\frac{S(\lambda_{off},r) S(\lambda_{on},r_0)}{S(\lambda_{on},r) S(\lambda_{off},r_0)} = \exp \left[ 2 \int_{r_0}^r \sigma(r') N(r') dr' \right] \quad (1)$$

ここで、 $S(\lambda_{on},r) \cdot S(\lambda_{off},r)$  はそれぞれ観測距離  $r$  において on 波長・off 波長を用いた場合の受信信号を表しており、 $r_0$  は最短観測距離である。なお、 $\Delta\sigma$  は on 波長・off 波長使用時の吸収断面積の差、 $N(r)$  は測定対象分子の平均数密度を表しており、減衰係数  $K(r) = \Delta\sigma N(r)$  が成り立つ。(1)式の右辺は透過率を表している。

一般的な濃度導出法としては、(1)式の両辺を微分することで、測定対象分子の数密度を、

$$N(R) = \frac{1}{2\Delta\sigma(r)} \frac{d}{dr} \ln \left[ \frac{S(\lambda_{off},r) S(\lambda_{on},r_0)}{S(\lambda_{on},r) S(\lambda_{off},r_0)} \right] \quad (2)$$

から求める。この微分は実データの処理に置いては、差分として取り扱うことになる。ライダーの受信信号などのようなデータの場合、高周波ノイズを含むため測定距離の延伸に伴い、誤差を急激に増大させることになる。

### 3. DIAL による濃度導出アルゴリズムの検討

ここでは、従来の差分を用いた DIAL の濃度導出アルゴリズムに対して、差分を含まない手法

である逐次代入法や微分方程式の解析的解法である **KKH 法** の適用を紹介する。モデルを用いた誤差解析により、差分を用いた従来手法より、逐次代入法や解析的手法の方が、誤差を大きく減らすことができることを示す。また、解析的解法の問題点を指摘し、その解決法を提案する。

#### 4. 従来法との比較シミュレーション

CO<sub>2</sub>-DIAL に対して、差分法、逐次代入法、**KKH 法** による濃度導出シミュレーションを行った。1 万パターン of 疑似ノイズによる、濃度導出誤差の標準偏差を比較した。結果を Fig.1、誤差を Fig.2 に示す。高高度では **KKH 法**、逐次代入法、差分法の順で精度が高いが、低高度では、**KKH 法** に anomaly が存在することが分かった。

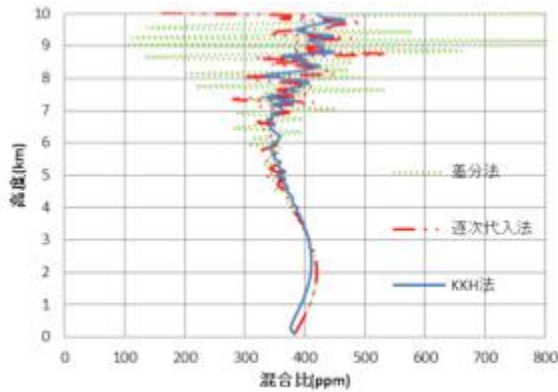


Fig.1

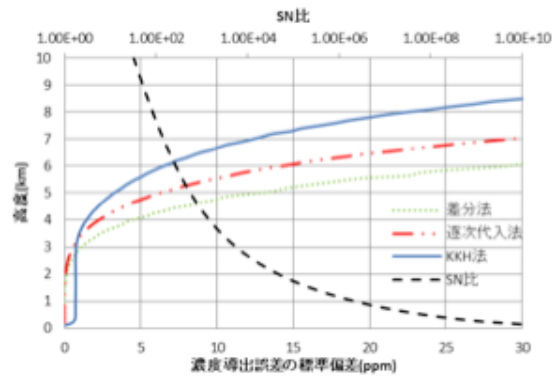


Fig.2

#### 5. まとめ

濃度導出アルゴリズムの面から差分吸収ライダーの高精度化について検討した。はじめに差分を含まない手法である逐次代入法と DIAL 方程式の解析的解法である **KKH 法** を比較した。受信信号の SN 比が低下した条件下では、逐次代入法より **KKH 法** が測定誤差を抑えることができるが SN 比が大きい条件下では、**KKH 法** に有意な誤差が発生することが分かった。

次に、**KKH 法** の更なる高精度化を検討した。**KKH 法** による測定精度がパラメータ  $\alpha$  に依存していることを明らかにし、最適な  $\alpha$  の決定法を提案した。さらに、その  $\alpha$  を用いることにより、更なる測定精度の向上が得られることが分かった。

#### 参考文献

V. A. Kovalev, “Analytical differentiation of the differential-absorption-lidar data distorted by noise” Applied Optics, Vol.41, No.6, pp.1156-1162 (2002).