

# GOSAT 衛星を用いたフロン類等大気中微量気体の解析

2012年3月 自然環境学専攻 47-106603 稲子谷 昂子

指導教員 准教授 今須 良一

キーワード：GOSAT, 熱赤外スペクトル、フロン、大気中微量気体、リトリーバル解析

## 1. 背景：フロン類とその環境への影響

近年、人間活動によって放出された物質が環境に与える影響が問題になっている。フロン類(CFCs, HCFCs, HFCs)はその代表的な例であり、成層圏のオゾン層破壊への寄与や、温室効果ガスとしての影響が指摘されている (IPCC 第四次評価報告書)。今後の正確な環境影響評価のためにも、フロン類の長期的なモニタリングが重要である。

## 2. 本研究の目的

微量元素を広域に観測する手法の一つとして衛星観測があげられる。しかしフロン類に代表される微量気体は元々の大気中濃度が低いのに加えて、濃度変化自体が非常に小さい。このような微小な変化の解析は、観測スペクトルに含まれるランダムノイズの影響を強く受けるため困難である。そのため、これまで下方視型観測衛星を用いたフロン類の研究は極めて例が少ない。このことを踏まえ、本研究では熱赤外スペクトルを用い、代表的なフロン類である CFC-11, CFC-12 を例として大気中の微量気体を精度よく検出する手法を提案する。また、濃度解析手法であるリトリーバル解析を行い、観測や初期推定値による解析誤差を定量的に評価する。さらに本手法を大気汚染の指標の一つであるアンモニアや酢酸、今後大気中濃度の急増が予想されるHCFCsやHFCsなどの代替フロン類に適用し、地球環境に影響を与える微量気体を衛星観測スペクトルから検出する手法としての有効性を評価する。

## 3. 解析手法

観測データは、温室効果ガス観測技術衛星GOSATに搭載されているフーリエ分光型センサーTANSO-FTSによって得られる熱赤外スペクトルを用いる。計算スペクトルの作成には、放射伝達計算モデルLBLRTM (Clough et al. 2005)と気体の吸収線データベースHITRAN (Rothman et al. 2008)を用いる。

**解析1：ランダムノイズの低減** 微量気体の解析には観測スペクトルに含まれるランダムノイズを減少させる必要がある。本解析では観測スペクトルと計算スペクトルのベースライン (大気の吸収がない波長域の等価黒体温度)のずれを補正し、差分をとることで微量気体の吸収スペクトルのみを抽出する。それらの残差を重ね合わせて平均化することで、ランダムノイズを低減する。

**解析2：リトリーバル解析** 本解析で用いるリトリーバル解析は最大事後確率推定法 (MAP法) と呼ばれ、初期推定値 $x_0$ と観測値 $y$ を用い、それぞれ含まれる誤差を初期推定値の誤差共分散行列 $S_0$ 、測器の誤差共分散行列 $S_e$ とし、それらを拘束条件として逆問題を解くことで最適化した解を求める手法である。これにより解析解の誤差が定量的に評価できる。本解析における独自の改良点としては、観測スペクトルを平均する範囲内での大気状態 (気温や水蒸気量) のばらつきを $S_0$ に含めることで誤差評価に反映させている点である。

## 4. 解析結果

**4.1 吸収スペクトルの確認** 図1にCFC-12の吸収スペクトルを示す。破線は単一の観測スペクトルに見られる吸収スペクトル、実線は273個の観測スペクトル（2009年4月6-8日、全球）を本手法により平均した吸収スペクトルである。後者ではランダムノイズによるばらつきが押さえられ、CFC-12の微細な吸収構造が確認できるまでになった。また、計算スペクトルをフィッティングするスケージング法により濃度を推定した結果、CFC-11は212ppt, CFC-12は561pptという値を得た。

**4.2 リトリーバル解析結果** 次に、(a)単一の吸収スペクトル (b)平均した吸収スペクトル についてリトリーバル解析を行い、その結果を比較した。図2にそれぞれのCFC-12の鉛直分布を示す。(a)を用いた場合（破線）には濃度の鉛直分布が不連続となり、感度が低いはずの地表付近の高度において濃度が変化する不自然な結果となった。一方、本研究で示した誤差低減法を適用して平均したスペクトル(b)を用いた解析結果（実線）ではこのような不自然な結果とはならず、この点からも本手法の有効性が示されたと言える。現在は海上の観測スペクトルのみを解析しているため、今後は地表面射出率を求めるプログラムを整備し陸上のデータを解析することで、地上観測結果との比較を通じて検証を行っていく必要がある。

**4.3 他の微量気体への応用** 本手法を適用し、アンモニアやギ酸の大気中濃度の推定や、単一の観測スペクトルからは確認しにくいHCFC-22の吸収スペクトルをより鮮明に求めることができた（図3）。このことから本手法がCFCsのみでなく他の微量気体にも適用可能であることが示され、センサーの基本性能（ $\Delta TBB=0.3\sim 0.7(K)$ ）を超え、微量気体の変動シグナル（ $\Delta TBB=0.05\sim 0.1(K)$ ）の検出と解析が可能になった。

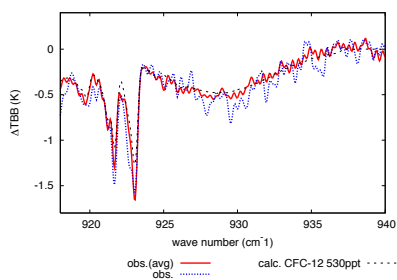


図1 CFC-12 吸収スペクトル

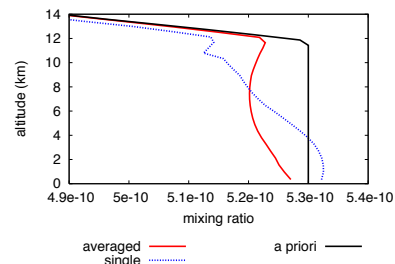


図2 CFC-12 リトリーバル解析結果

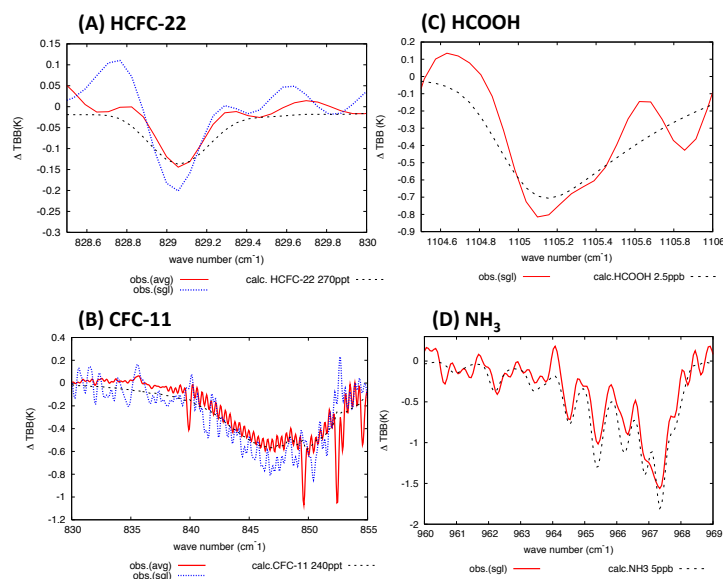


図3 本手法により検出された微量元素

# Application of GOSAT TIR spectrum on detecting minor gases in the atmosphere

2012. Mar. Program of Natural Environment 47-106603 INAGOYA Akiko

Supervisor : Associate Professor IMASU Ryoichi

Keywords : GOSAT, TIR, fluorines, minor gases, retrieval analysis

## 1. Introduction

There is a great awareness of environmental impacts on climate caused by chemical compounds emitted by anthropological activities. Fluorines are depleting ozone layers in the stratosphere, and also one of the main contributors to global warming. Consequential monitoring is essential to evaluate their influence for long term.

## 2. Objectives

Remote sensing is one effective way to detect atmospheric gases globally. However, minor gases including fluorines are less abundant in the atmosphere. In addition, as a variation in concentration is quite small and interfered by random noises contained in the observed spectrum, the detection is rather difficult. Considering these challenges, we develop the method to analyze minor gases in the atmosphere by reducing the random noises. Also, retrieval analysis is applied so that the measurement and a priori (first guess) error can be evaluated. First we focus on detecting representative fluorines, CFC-11 and CFC-12, to develop the method. After that, developed method is applied to other polluted gases such as Ammonium ( $\text{NH}_3$ ), formic acid ( $\text{HCOOH}$ ) and other fluorines.

## 3. Analytical Methods

The data used in this study are TIR spectra taken by TANSO-FTS on GOSAT. The modeled radiance (TBB) are calculated using LBLRTM (Clough et al. 2005) with the HITRAN (Rothman et al. 2008) database.

### Step 1. Random Noises Reduction

As mentioned above, to detect concentration change of minor gases, random noises in the observed spectrum needs to be reduced. We lessen them as follows: We first match the baselines of observed spectrum and calculated spectrum and extract CFCs absorption spectrum by taking difference between the two spectrum. Then the absorption spectra are averaged over space and time to reduce random noises.

### Step 2. Retrieval Analysis

For retrieving gas concentration from observed radiance spectra, Maximum A Posteriori (MAP) method is adopted. In this method, a priori  $x_a$  are set as well as observed spectrum  $y$  taken by GOSAT. Then a priori error covariance  $S_a$  and measurement error covariance  $S_e$  are determined to constrain the retrieved state  $x_r$ . In this analysis, the variation of atmospheric parameters (e.g. surface temperature and water vapor amount) in the averaged area is considered as  $S_e$ .

## 4. Results and Discussion

### 4.1 The result of noise reduction

Fig. 1 shows the absorbed spectrum of CFC-12. Dashed line shows single shot spectrum and solid line shows averaged spectrum using 273 observed spectra. A scatter is clearly reduced in the averaged spectrum and the précised absorption structure of CFC-12 can be observed. Also, the concentrations of CFCs are estimated by fitting to the calculated spectrum, and 212 ppt for CFC-11 and 561 ppt for CFC-12 are estimated. Compared with ground-based observation, the differences are within 10%.

### 4.2 The result of retrieval analysis

We retrieve the vertical profile of CFCs using (a) single shot absorbed spectrum (b) averaged absorbed spectrum and compare the results. Fig. 2 shows the retrieved vertical profiles of CFC-12. When using (a), the vertical profile do not change smoothly (dashed line). Also, it shows the sharp reduction near the surface where it is not supposed to have the sensitivity. As the retrieved result of (b) does not show these features (solid line), this is mainly due to the random noises remained in the single spectrum. It probes the averaged method adopted in this study is effective to reduce them.

### 4.3 Application of other minor gases

By applying the method developed in this study, we could determine the concentrations of  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HCOOH}$ , and get clearer absorption spectrum of HCFC-22 (Fig. 3). It proves this method is applicable to detect minor gases. However, to detect the lower concentration gases such as HFC-134a, the enhancement of other atmospheric parameters is expected.

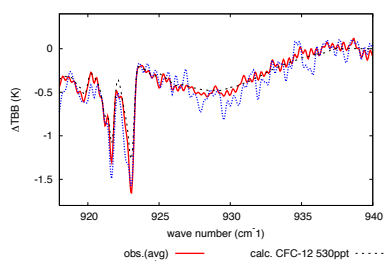


Fig. 1 CFC-12 absorption spectrum

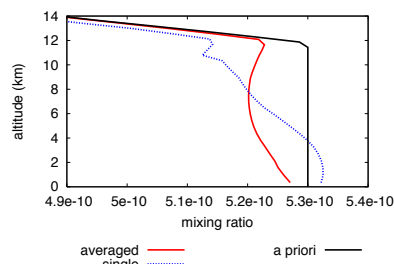


Fig. 2 CFC-12 Retrieved vertical profile

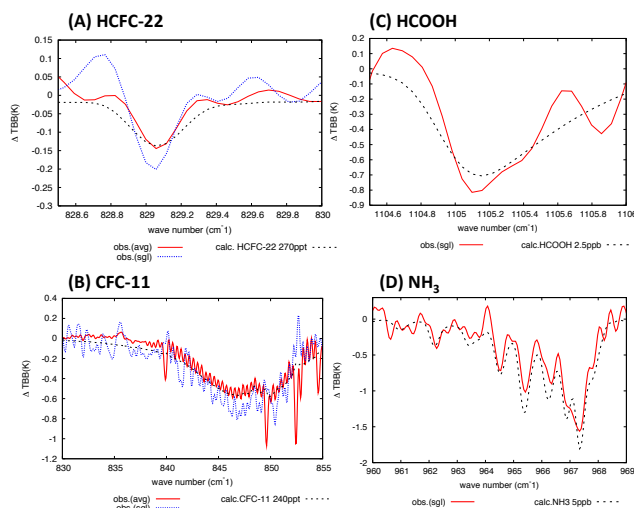


Fig. 3 Absorption spectra of minor gases detected by the developed method