

気球搭載型遠赤外放射計による対流圏メタンの観測 ー理論シミュレーションと観測データ解析ー

鷲和俊^{1,3}・Baron Philippe¹・Johnson David²・北和之³・笠井康子¹
情報通信研究機構¹・NASA ラングレー²・茨大理³

背景・目的

メタンの温暖化係数は二酸化炭素の21倍（積算期間100年）であり、強力な温暖化ガスとして知られている。その発生源は主に1) 嫌気性細菌による生成、2) 化石燃料、3) バイオマス燃焼であり、また発生源の7割が人為的なものである。消失源としては、大気中OHとの酸化反応が9割以上を閉めており、土壌への取り込みによる消失はごくわずかである。しかしその収支の詳細な理解は進んでおらず、よりいっそうの研究が求められている。

メタンを観測する手段の1つに分光的リモートセンシングがあり、衛星からのリモートセンシング観測を行う事で、地球規模でのメタンの動向を四次元的に調査・監視する事が可能になる。また、地球からの放射スペクトルを観測する事で、メタンの吸収構造とメタン量との関係を明らかにする事が可能である。

そのような背景から、本研究では、NASA ラングレー研究所が気球搭載遠赤外放射計で測定したスペクトルから、解析により対流圏メタンの情報を抽出する為、それが可能な波数領域を選出することである。その為に今回は、放射伝達式からスペクトルをフォワード計算を行い、測定スペクトルの再現を行った。

観測

観測スペクトルにはNASA ラングレー研究所が行った気球搭載FIRST (The Far-Infrared Spectroscopy of the Troposphere) により取得されたものを使用した。

FIRSTは 1) 遠赤外放射測定技術の開発、2) 衛星搭載機のデモンストレーションを目的にしており、今まで技術的に困難であった遠赤外領域の地球放射観測に成功している。

本研究では2005年6月7日に、北緯34° 57'、西経105° 2'にて行われた観測スペクトル全2680個を平均したものを対象にしている。

解析

本研究では、情報通信研究機構（NICT）のテラヘルツグループが作成した Model for Atmospheric TeraHertz Radiation Analysis and Simulation（MATRAS）を使用し、表1に示す様な条件を満たすメタン解析範囲を選出する為に、放射伝達式を用いたフォワード計算を行った。また表2にその際に入力した計算条件を示す。

表1 波数範囲選出条件

- | |
|---------------------|
| 1 観測装置による影響を受けていない |
| 2 メタン以外の分子による干渉が少ない |
| 3 対流圏メタンの高度分布が求められる |

表2 計算条件

計算波数	1100～1500cm ⁻¹
計算間隔	0.05cm ⁻¹
対象分子	H ₂ O, CO ₂ , O ₃ , N ₂ O, CO, CH ₄ , HNO ₃
気温・気圧	北緯中緯度地域（45° N付近）の夏期を対象にしたもの [※] で、0～120kmまでを121層に分けたデータを使用
高度区切り	0～100kmを0.5km毎、計201層に分けたもの
分光データ	各微量成分の吸収線強度、圧力幅、ドップラー幅等の分光学的パラメータを、HITRAN2004 データベースを用いて作成
大気微量分子の存在量高度分布の先験値	H ₂ O：北緯中緯度地域（45° N付近）の冬期を対象にしたもの [※] その他の分子：北緯中緯度地域の夏期を対象にしたもの [※]

※ 英国 ラザフォード・アップルトン標準気候値モデル

結果と議論

フォワード計算によって観測スペクトルの再現を行った。図2は、上が観測スペクトルと計算によって得られた理論スペクトルをFIRSTの装置関数で補正したもの、下がその2つの残差を取ったものである。ここで残差の値は計算による観測スペクトルの再現度を意味している。図中で赤丸により囲まれた部分では観測スペクトルと理論スペクトルで著しく差が大きくなっており、この様な箇所からはメタン情報の抽出は不可能である。しかしこれは観測装置のフィルタの干渉で観測スペクトル自体に問題がある範囲という事がわかっており、それ以外の範囲では観測スペクトルと良い一致を示していた。その為フォワード計算による観測スペクトルの再現は比較的良く行われたと考えられ、今後解析を続ける事が可能だと分った。

次に選択的にメタンの情報を取り出せる範囲を推定する為、計算波数域での各計算対象分子による吸収を調べた。1200～1500cm⁻¹における各分子の吸収量を表すものが図3である。これを見ると、この波数領域ではH₂O、N₂O、CH₄以外の分子は吸収が見られないことがわかる。またメタン以外の分子による吸収の影響が少ないのは1200～1250cm⁻¹、1300～1350 cm⁻¹であることがわかる。

またメタンの分子濃度の高度変化がスペクトルにどのような影響を及ぼすのかを調べた。図4下は対流圏高度0～3km、3～6km、6～9kmでメタン濃度を変化させた場合の理論スペクトルへの影響を示したものである。見ると、波数域によってメタン高度分布に対する感度が異なる事がわかる。この図において各高度で同じ様な変化をしている範囲、即ち線が上手く分離できていない範囲では解析によるメタン高度情報の抽出は困難である。一方、線が分離できている波数域は1200～1270 cm⁻¹であるので、この範囲から解析に使用する範囲を選出出来ると思われる。しかし得られる高度情報の精度を高める為には、単一の波数を用いるのではなく、幾つかの波数域を組み合わせる必要がある。

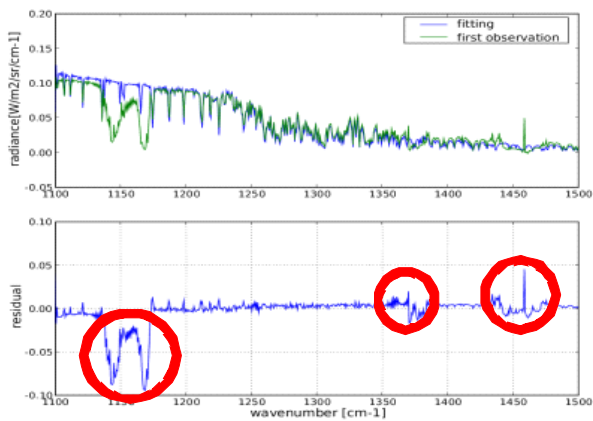


図2 装置関数により補正された理論スペクトル

上図：緑線はFIRST観測スペクトル、青線はMATRASの計算で得られたスペクトルをFIRSTの装置関数によって補正したもの。
 下図：両者の差を取ったもの。

$$\text{使用した装置関数: } H(x) = \frac{\sin(\pi v / dv)}{(\pi v / dv)}$$

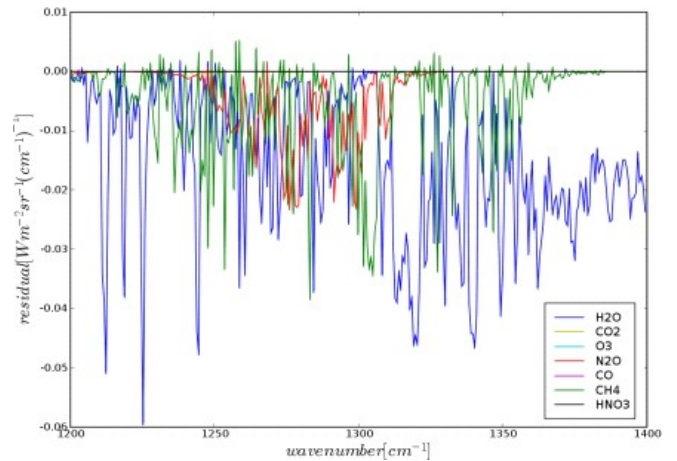


図3 1200~1500cm⁻¹領域での対象分子による吸収

それぞれの色の線は、対象分子全ての吸収を考慮して得られたスペクトルから、ある1つの分子による吸収は除いて計算したスペクトルを引いた差で、除かれた分子による吸収がある波長では、負の値を示している。

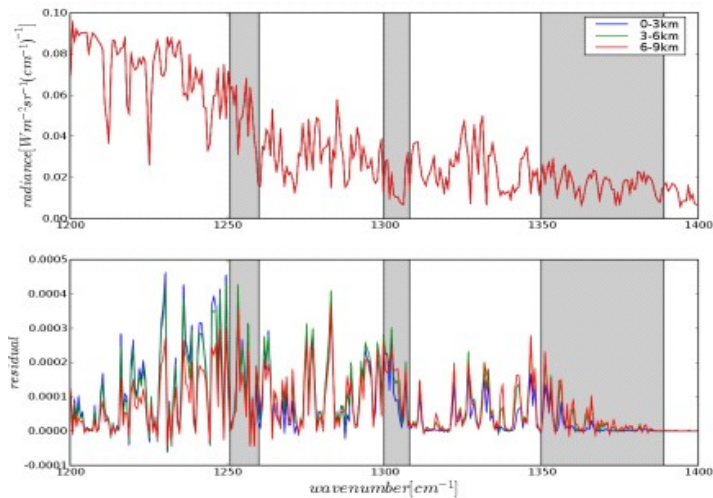


図4 メタンの体積混合比による理論スペクトルの変化とその差

上図：対流圏下(9km以下)でのメタンの体積混合比1.69ppmを基準に、0~3km、3~6km、6~9kmでの値を10%づつ増量したものを使用しフォワード計算したもの。
 下図：基準にしたメタン体積混合比を用いて計算したスペクトルから、各高度で値を変えて得られたスペクトルを引いた差。差が大きい部分は、それだけ対応する高度におけるメタン量変化に対し、吸収量の変化が大きい所である。

まとめ

本研究では、NASA ラングレー研究所が気球搭載遠赤外放射計で測定したスペクトルを解析した際に対流圏メタンの情報を抽出する事が可能な波数領域を選出することであり、その為に放射伝達式からスペクトルを求めるフォワード計算を行った。

結果、

- 観測スペクトルの再現が比較的良く行われ、今後のメタン解析続行が可能
- メタン以外の分子による吸収の影響が少なく、メタン情報を選択的に有しているのは $1200\sim 1250\text{cm}^{-1}$ 、 $1300\sim 1350\text{cm}^{-1}$ であること
- メタン高度情報より良く分離されているのは $1200\sim 1270\text{cm}^{-1}$ であり、精度の高い高度情報を得るためにはそのほかの波数域も組み合わせて使用する必要がある

ことがわかった。

以上の事より、吸収線範囲として $1200\sim 1250\text{cm}^{-1}$ を中心に $1300\sim 1350\text{cm}^{-1}$ の一部も組み合わせて使用する事で、今後のリトリーバル解析において対流圏メタンの情報を抽出する事が可能だと思われる。

今後は、さらに詳しい解析を行う事で、解析に有効な波数域を特定し、FIRST 気球観測スペクトルから対流圏メタンの高度情報を抽出していく。

参考文献

[1] Mlynchzak M. G., Johnson D. G., Latvakosky H., Watson M., Kratz D. P., Traub W. A., Bingham G. E., Wellard S. J., Hyde C. R., and X. Liu. First light from the far-infrared spectroscopy of the troposphere (first) instrument. GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, 33:L07704, 2006

[2] P. Baron, J. Mendok, Y. Kasai, S. Ochiai, T. Seta, K. Sagi, K. Suzuki, H. Sagawa MATRAS: Model for Atmospheric TeraHertz Radiation Analysis and Simulation submitted to NICT Journal 2008