

### E 3

#### ADEOS衛星搭載リトロフレクター (RIS) を用いる 大気微量分子のレーザー長光路吸収測定

Laser Long-Path Absorption Measurement of Atmospheric Trace Species  
Using RIS (Retroreflector In-Space) Installed on the ADEOS Satellite

杉本伸夫、湊 淳、笹野泰弘

Nobou Sugimoto, Atsushi Minato and Yasuhiro Sasano

国立環境研究所

The National Institute for Environmental Studies

#### Abstract

Retroreflector In-Space (RIS) is a single-element cube corner retroreflector to be installed on the ADEOS satellite for earth-satellite-earth laser long-path absorption measurement of atmospheric trace species. We describe optical design of RIS, development of ground-based transmitter-receiver system and spectroscopic method for the measurements.

#### 1. はじめに

1995年春に打ち上げ予定のADEOS衛星に環境庁の応募センサーのひとつとしてRIS (Retroreflector In-Space) が搭載される。RISは地上から発射したレーザー光を地上へ反射し、地上衛星間の往復の光路で大気微量分子のレーザー長光路吸収測定を行うためのリトロフレクターで、分光測定用に設計された単一素子のキューブコーナーで有効口径は0.5mである。RIS測定では地上局から発射するレーザー波長を選択することにより、オゾン、二酸化炭素、メタンなどの高度分布とフロン12、~~メタン~~などのカラム濃度が求められる。

#### 2. RISの設計

RISは図1に示すような構造を持つ。RISはADEOS衛星に光軸が鉛直下方から衛星の進行方向に $30^\circ$ 、さらに進行方向から見て右に $20^\circ$ 傾けて取り付けられる。ADEOS衛星は極軌道衛星で、地上に対して約 $7\text{ km/s}$ の速度で移動する。このため、RISの設計においては光行差を考慮する必要がある。光行差の大きさは地上において約50m程度の反射ビームのずれをもたらす。送信と同一の地点で反射光を効率良く受信するためにRISではリフレクターを構成する3枚の鏡面のひとつにわずかな曲面を用いて反射光を衛星の進行方向に広げる方法を用いた。また、鏡面間の角度を直角からわずかにずらせるスポイル角も併用した。RISの鏡面のパラメータは計算機シミュレーションにより反射光の波面および地上でのビームパターンを計算し評価することによって最適化した。図2は、 $10\mu\text{m}$ における反射光の地上パターンの計算結果の一例である。進行方向に広がった反射光の強度のピークのひとつが地上局にかかるように曲面のパラメータが設定されている。

#### 3. ADEOSの軌道と測定の頻度

ADEOSは41日周期の太陽同期準回帰軌道衛星で、降交点通過地方時はおよそ午前10時30分である。RISの視野は光軸のまわり全角約 $60^\circ$ であるので、地上局から見て測定が可能なADEOS衛星の位置は、午前の観測 (ADEOSは南下) では地上局の真上から北に約1400km、西に約1000kmの範囲内である。この領域内のパスをADEOSが通過するときRIS測定が可能である。夜の観測 (ADEOSは北上) では地上局に対して点对称な領域で測定が可能である。

日本での観測頻度は昼夜合わせて約3日に2回である。一回の測定時間は約200秒である。

#### 4. 地上設備と分光測定手法

RIS測定の地上施設の概念を図3に示す。地上施設は衛星追尾装置と分光用レーザー送受信装置から構成される。

RISの追尾は、分光用レーザーとは別の追尾用レーザーをRISに照射し、その反射光を像として捉えて能動的に追尾する手法を開発中である。追尾用にはYAGレーザーの第二高調波(532nm)を用いる計画である。

分光用には、二台のシングルモードTEACO<sub>2</sub>レーザーを用いる。一台は大気揺らぎ等を除くための参照用として使い、もう一台を吸収スペクトルの測定に用いる。測定の可能性を広げるために同位体炭酸ガス<sup>13</sup>C O<sub>2</sub>も利用し、また第二、第三高調波も使用する計画である。

RISが地上局に対して高速で移動するため、光行差とともに反射光のドップラーシフトを考慮する必要がある。(これらの現象はいずれも移動する座標系間のローレンツ変換により同時に説明される。)ドップラーシフトの大きさは地上局から見た衛星の位置の関数で、10μmの場合0~0.04 cm<sup>-1</sup>の範囲で変化する。RIS測定ではこのドップラーシフトを積極的に利用して吸収スペクトルを測定する方法を用いる。図4にオゾン測定に用いる吸収線とレーザーラインとドップラーシフトによるスキャンの範囲を示した。図5はメタンの測定に用いる吸収線とレーザーラインである。図4、5に示したスペクトルはいずれも地上から衛星の片道のパス(仰角60°)の標準大気の透過スペクトルである。

炭酸ガスレーザーの基本波でオゾン、炭酸ガス、フロン12など、第二高調波でCOなど、第三高調波でメタンなどの測定が可能である。

#### 5. 測定精度の評価

計算機シミュレーションを用いて反射光の地上局における受信強度を評価し、測定の信号対雑音比の評価を行った。いま、10μm領域で、レーザー出力100 mJ/pulse、ビーム広がり角0.1 mrad、受信望遠鏡口径1.5m、大気透過率を含むシステムの光学的全効率を0.005とすると、液体窒素冷却HgCdTe検出器を用いて1パルス当たり100から1000(RISの位置に依存)の光学的S/N比が得られる。

炭酸ガスレーザーの第二第三高調波についてもレーザー出力をそれぞれ10 mJ、5 mJとしてS/N比の評価を行った。短波長では反射波の回折広がり小さくなることと、検出器雑音が小さくなることにより、これらの場合も100以上のS/Nが得られる。

それぞれの測定対象の具体的な測定手順と、カラム濃度あるいはインバージョン法を用いて高度分布を求めるための解析手法の開発を進めている。

#### 参考文献

湊 淳, 杉本伸夫, 笹野泰弘: ADEOS搭載リトロフレクター(RIS)の設計, リモートセンシング学会誌, 投稿中(1991)。

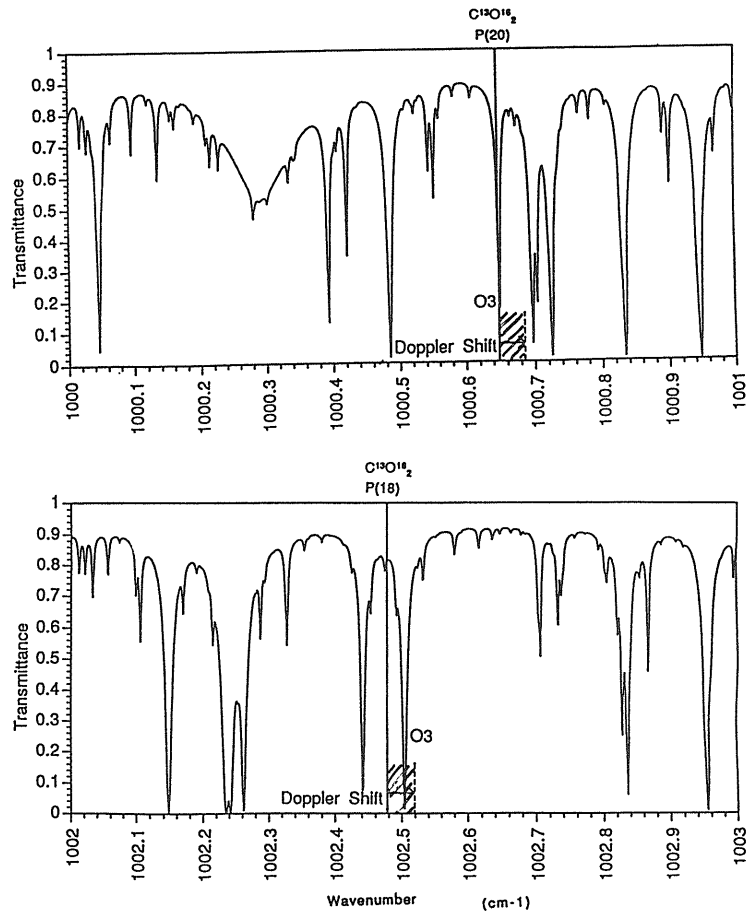


図4 オゾンの吸収線と測定に用いるレーザーライン

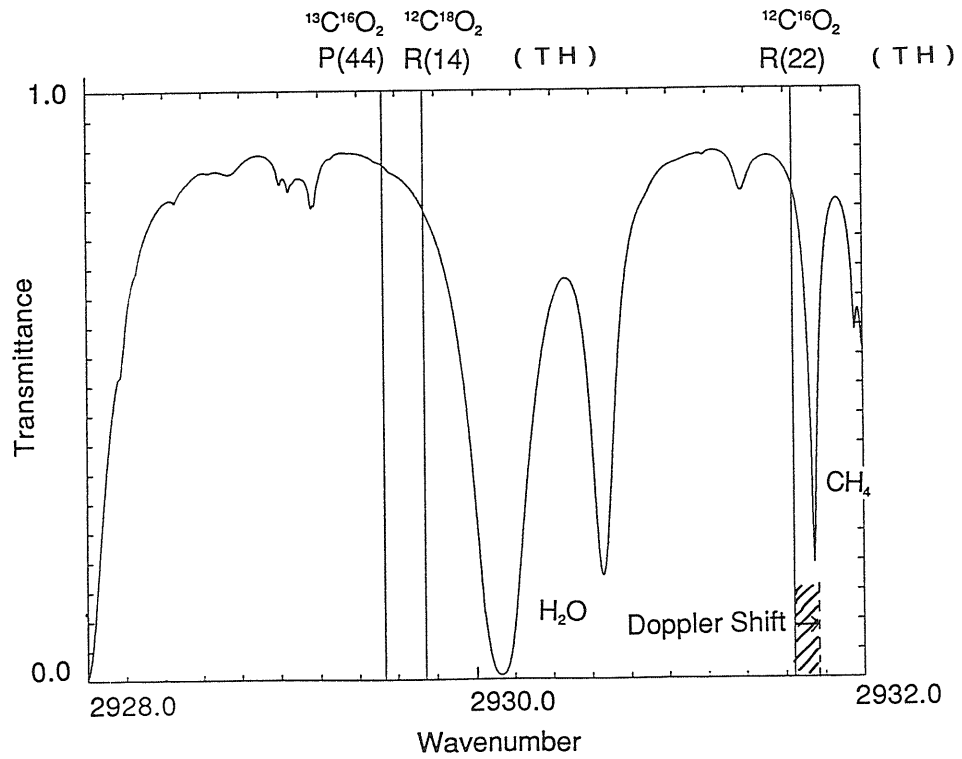


図5 メタンの吸収線と測定に用いるレーザーライン

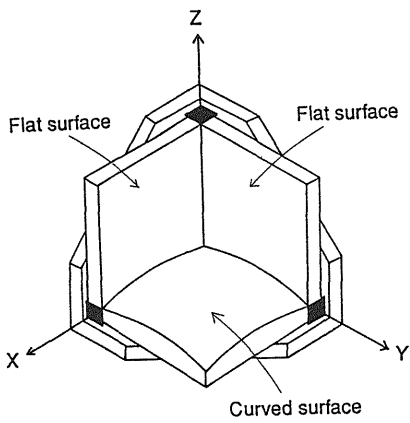


図1 RISの構造

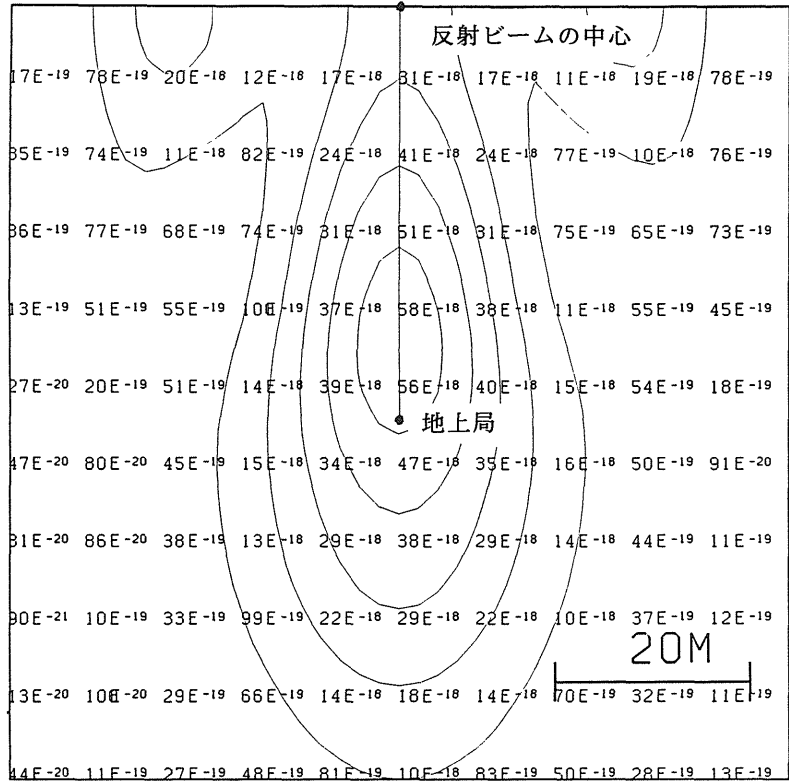


図2 反射光強度の地上パターンのシミュレーション例

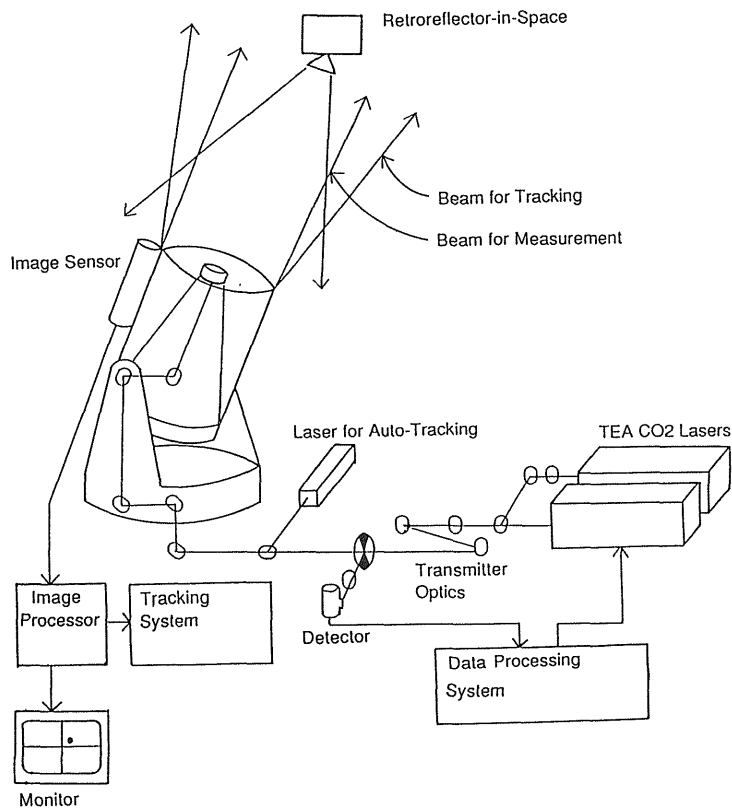


図3 RIS測定地上施設の構成