

## 南極・昭和基地における中層大気多分子同時観測のための広帯域なミリ波分光計の開発

# 岩田 裕之 [1]; 小瀬垣 貴彦 [1]; 佐谷 昂樹 [2]; 原谷 浩平 [1]; 中島 拓 [3]; 長濱 智生 [3]; 水野 亮 [3]; 佐藤 薫 [4]; 堤 雅基 [5]; 渡邊 一世 [6]

[1] 名大・工・電気; [2] 名大・理・素粒子宇宙; [3] 名大・宇地研; [4] 東大・理; [5] 極地研; [6] 情報通信研究機構

### Development of a millimeter-wave spectrometer for simultaneous observation of multi middle atmospheric molecules in Syowa station

# Hiroyuki Iwata[1]; Takahiko Kosegaki[1]; Koki Satani[2]; Kohei Haratani[1]; Taku Nakajima[3]; Tomoo Nagahama[3]; Akira Mizuno[3]; Kaoru Sato[4]; Masaki Tsutsumi[5]; Issei Watanabe[6]

[1] Electrics, Nagoya Univ.; [2] Particle Astrophysics, Nagoya Univ.; [3] ISEE, Nagoya Univ.; [4] Graduate School of Science, Univ. of Tokyo; [5] NIPR; [6] NICT

Atmospheric environment on the Earth is changed by various factors. For example, in the polar regions, when energetic particles precipitate into the atmosphere during solar proton events or geomagnetic storms, nitrogen oxides( $\text{NO}_x$ ) increase, and the  $\text{NO}_x$  destroys ozone through catalytic reaction. On the other hand, the  $\text{NO}_x$  is photo-dissociated by solar UV radiation, and then the ozone depletion does not proceed further. But if the  $\text{NO}_x$  is transported downward, UV is absorbed in the upper atmosphere, and that prolongs the photochemical lifetime of  $\text{NO}_x$  and keeps destroying ozone for a long time. Moreover, ultraviolet ray has a direct impact not only on  $\text{NO}_x$  but also on generation and destruction of ozone. As mentioned above, atmospheric compositions are intricately changed by various physical and chemical factors. That is why we are monitoring atmospheric molecules at Syowa station, Antarctica in order to understand that the change of atmospheric composition can be dominantly caused on what condition by what physical or chemical interaction.

We are using millimeter-wave spectroscopy for monitoring. By this technique, the abundance of and vertical distribution of atmospheric molecules can be derived by receiving and dispersing millimeter-wave spectrum, radiated by themselves because of rotation transition. In our conventional millimeter-wave spectrometer, the observation frequency band is only 1 GHz, so we have observed  $\text{O}_3$ (237.146 GHz) and  $\text{NO}$ (250.796 GHz) by switching frequency. As described above, however, these two molecules are important on understanding change of atmospheric composition by energetic particle precipitation and atmospheric molecules are intricately interacting. That is why we are developing a new millimeter-wave spectrometer, which can observe five molecules including  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{HO}_2$  in addition to  $\text{O}_3$  and  $\text{NO}$  at the same time, in Syowa station since 2019.

In achieve that, we have been developing (1) frequency-independent beam transmission optical system which can efficiently collect signals from atmospheric molecules over broad frequency band, (2) a multiplexer which can distribute signals from optical system depending on observation frequency and lead to each detector and (3) Intermediate Frequency(IF) system which can lead signal from detectors to back-end digital Fourier transform spectrometer. As for (1), we designed the optical system which aperture efficiency is 39.3(+/-)1.7 % between 179-254 GHz, 71 GHz-band, by using beam transmission simulator(GRASP). As for (2), we designed and produced the multiplexer which can distribute signal from 179-254 GHz to four channels by using electromagnetic simulator(HFSS). And we checked frequency dependency almost same as designed by using vector network analyzer in National Institute of Information and Communication Technology(NICT) (though we also checked 1-2 dB of insertion loss in the lowest frequency band). As for (3), we designed the circuit which can obtain five molecules spectrum at the same time by distributing 2 GHz band of new digital Fourier transform spectrometer to three IF bands. Now we are assembling components we have developed as an equipment and assessing phased performance.

In this presentation, we will report the details of development of this new millimeter-wave spectrometer, assembly condition at this time, results of performance assessment and so on.

地球の大気環境は、様々な要因で変化する。例えば極域においては、プロトンイベントや磁気嵐の影響で高エネルギー粒子が大気中に降り込むと、窒素酸化物 ( $\text{NO}_x$ ) が増加し、これによりオゾンが破壊される。一方、紫外線によって  $\text{NO}_x$  は光解離し、オゾン破壊の進行を止める。また  $\text{NO}_x$  が下方輸送された場合、紫外線はより上空で吸収されるため、 $\text{NO}_x$  の光化学寿命が延び、長期間にわたりオゾンに影響を与える。さらに、紫外線は  $\text{NO}_x$  だけでなく、オゾンの生成・消滅にも直接影響を及ぼす。このように大気組成は、多くの物理的・化学的要因が複雑に絡み合っで変動する。そこで我々は、どのような条件下でどのような物理・化学過程がより支配的に組成変動に影響を与えるかを観測的に理解するため、南極・昭和基地において大気分子の長期的なモニタリングを行っている。

モニタリングには、ミリ波分光法を用いている。この方法では、大気分子の回転遷移によって放射されるミリ波スペクトルを受信・分光することで、大気分子の存在量と鉛直分布を導出できる。しかし、従来の我々のミリ波分光計は観測周波数の帯域幅が 1 GHz に制限されていたため、高エネルギー粒子の降り込みによる大気組成変動の理解のために重要な  $\text{O}_3$ (237.146 GHz) と  $\text{NO}$ (250.796 GHz) を同時に観測することができず、時分割して周波数を切り替え、交互に観測しなければならなかった。しかし上述したように、大気中の分子は非常に複雑に関係し合っで変動している。そこで我々は、2019 年度から南極・昭和基地で従来の  $\text{O}_3$  と  $\text{NO}$  に加え、 $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{HO}_2$  の 5 分子を同時に観測するため、新たなミリ波分光計の開発を行っている。

そのために我々はこれまで(1) 広い周波数帯域に渡って、大気信号を効率よく集光する周波数無依存ビーム伝送光学系の設計開発、(2) 光学系によって集光された信号を、観測分子の周波数に応じて分配し、1つ1つの検出器へと導くマルチプレクサ(合分波器)の開発、(3) 検出器からの信号を最終段のデジタルフーリエ変換分光計に導くIF(中間周波数)系の開発を進めてきた。(1)ではビーム伝送系シミュレータ(GRASP)を用い、179 GHzから254 GHzまでの71 GHzの帯域にわたり39.3(+)-1.7%の開口能率が得られるビーム伝送光学系の設計に成功した。また、(2)では電磁界シミュレータ(HFSS)を用い、179 GHzから254 GHzまでの帯域を4つのチャンネルに分割するマルチプレクサの設計製作を行い、情報通信研究機構のベクトルネットワークアナライザを用いた単体評価ではほぼ設計通りの周波数特性(ただし低周波帯での挿入損失において1-2 dB程度の悪化が見られる)が確認できた。(3)では、新たに導入した2 GHz帯域幅のデジタルフーリエ変換分光計を3つのIF帯域に分割し、5つの分子スペクトルを同時に取得するための回路設計を行なった。現在、これらの開発で製作してきたコンポーネントを実機へと組み上げつつ、段階的な性能評価を行なっている。

発表では、この新しいミリ波分光計の開発の詳細と現時点でのアセンブリ状況、性能評価結果などについて報告する。