

高エネルギー粒子降下による南極昭和基地上空での中間圏オゾン濃度変動

#鈴木 ひかる¹⁾, 土屋 史紀¹⁾, 水野 亮²⁾, 村田 功¹⁾, 笠羽 康正¹⁾, 長浜 智生²⁾, 後藤 宏文²⁾

¹⁾ 東北大学, ²⁾ 名古屋大学宇宙地球環境研究所

Variations in the ozone concentration in the mesosphere at Syowa station associated with energetic particles precipitation

#Hikaru Suzuki¹⁾, Fuminori Tsuchiya¹⁾, Akira Mizuno²⁾, Isao Murata¹⁾, Yasumasa Kasaba¹⁾, Tomoo Nagahama²⁾, Hirohumi Goto²⁾

¹⁾Tohoku university, ²⁾ISEE, Nagoya university

We report variations in ozone concentration in the mesosphere above Syowa station, Antarctica, caused by energetic particle precipitation (EPP) associated with a major magnetic storm that occurred from May 10th to 11th, 2024. The goal of this study is to clarify the decrease in O₃ concentration in the mesosphere associated with EPP during night.

In polar regions, EPP are associated with solar proton events and magnetic storms. The higher the energy of these particles, the lower the altitude of the precipitate. If an electron has an energy of approximately 300 keV or higher, it precipitates at an altitude below 70 km. The ionization of atmospheric molecules induced by the EPP produces nitrogen oxide (NO_x) and hydrogen oxide in the mesosphere, which could cause O₃ destruction. In addition to the direct effect of EPP, EPP may have an indirect effect on O₃ in the lower atmosphere through the transport effects. NO_x produced in the lower thermosphere can reach the upper stratosphere via polar winter descent, where it can participate in catalytic reactions that destroy O₃. Since O₃ is a significant component distributed across a wide range of altitudes and has a crucial impact on climate, it is necessary to investigate the effects of EPP.

We used a millimeter-wave spectroradiometer installed by Nagoya University at Syowa station in Antarctica. Long-term observations of the spectral lines of nitric oxide (NO) and O₃ began in 2012. In 2022, simultaneous observations of two O₃ emission lines in the 250 GHz band carbon monoxide (CO) emission lines in the 230 GHz band, and six NO emission lines in the 250 GHz band were started. The spectrum observed by the millimeter-wave spectroradiometer on the ground is an integration of the O₃ radiation over altitudes from the surface to the lower thermosphere. We retrieved the altitude distribution of the O₃ volume mixing ratio (VMR) from the radiation spectra to quantitatively estimate the O₃ concentration in the mesosphere. The observed spectra used for the retrieval are integrated over one hour. When the optical depth varies significantly with time due to weather conditions, the data are excluded from the analysis. Thus, up to 24 O₃ VMR profile data are obtained per hour per observation day. The retrieval tool uses the O₃ height distribution obtained by the MLS satellite as an a-priori distribution and estimates the vertical distribution of O₃ VMR from the model spectrum that best matches the observed spectrum, using the NASA-JPL molecular spectroscopy catalog and the meteorological vertical profile data from MERRA2. Since the altitude distribution of O₃ is affected by sunlight, a-priori distributions for daytime and nighttime are switched at times of sunset and sunrise.

We have analyzed the data from May 1st to 23rd. From May 10th to 11th, an increase in the flux of protons with energies above 100 MeV was confirmed from GOES satellite data. No clear increase was observed in the EPP flux data over Syowa station from the POES satellite. The riometer installed at Syowa station confirmed an increase in precipitating electrons between 17:00 UT and 18:30 UT on May 10th. We found a decrease in the mesospheric (60 – 70 km) O₃ column amount during the night from May 10th to 11th. The decrease in the average O₃ column amount during that night with the previous night was approximately 0.035 D.U., which represents the largest change in the daily mesospheric O₃ column amount during the analysis period. When examining the hourly changes in the mesospheric O₃ concentration profiles from 15:00 on May 10th (LT18:00 at Syowa station) to 3:00 on May 11th (LT6:00), a decrease was observed from around LT19:00 to LT22:00. This was followed by an increase LT22:00 to LT23:00 and another decrease from LT23:00 to LT06:00. This pattern differs from the typical diurnal variation in O₃ column amounts. In addition to the major magnetic storm from May 10th to 11th, moderate magnetic storms ranging from -50 to -100nT occurred in May 2024, leading to increased proton and electron precipitation. In this presentation, we will report variations in the O₃ concentration in the mesosphere over Syowa station associated with EPP during May 2024.

2024年5月10日から11日に発生した巨大磁気嵐に伴う高エネルギー粒子降込み (EPP) による南極昭和基地上空中間圏でのオゾン (O₃) 濃度変動の解析結果を報告する。本研究は、EPPに伴う中間圏の夜間 O₃ 濃度減少を観測により検証することを目標としている。

地球極域では、太陽フレアやコロナ質量放出に伴う太陽高エネルギー粒子の発生や、磁気嵐に伴う磁気圏内の高エネルギー電子の散乱などによって、EPPが起る。これらの粒子は、エネルギーが高いほど低い高度まで降下する。電子の場合、約300keV以上のエネルギーを持つと中間圏の高度である70km以下まで降下する。EPPが引き起こす大気分子のイオン化反応の結果、窒素酸化物 (NO_x) や水素酸化物が生成され、それらが触媒として働き、中間圏 O₃ を破壊すると言われている。このような EPP の O₃ に対する直接的な影響に加え、中層大気の輸送効果によって間接的に下層大

気の O_3 に影響を与える可能性もある。具体的には、下部熱圏などの高高度で生成された NO_x が、極域の冬の 대기下降輸送によって上部成層圏に到達し、 O_3 を破壊する触媒反応などである。 O_3 は、広い高度領域にわたり分布する成分であり、気候や大気輸送に影響を与える非常に重要な物質であるため、EPP による影響を調べる必要がある。

使用した観測装置は、名古屋大学が南極昭和基地に設置しているミリ波分光放射計である。2012 年から一酸化窒素 (NO) と O_3 の線スペクトルの長期観測を開始され、2022 年からは 230GHz 帯の一酸化炭素 (CO) 輝線、250GHz 帯の 2 本の O_3 輝線、6 本の NO 輝線の同時観測が可能となった。この装置が観測するスペクトルは、地表から熱圏下部の高度にわたる O_3 放射の積分である。このため、リトリーバルと呼ばれる、放射スペクトルから高度分布の導出する処理を行い、中間圏での O_3 体積混合比 (VMR) を定量的に推定する。リトリーバルでは、初期値に MLS 衛星が得た O_3 高度分布を与え、NASA-JPL の分子分光カタログと MERRA 2 の気象場鉛直プロファイルデータを用いて、観測スペクトルと最も合致するモデルスペクトルから O_3 VMR プロファイルを推定する。 O_3 の高度分布は日照 (太陽紫外線) の影響を受けるため、初期値は、日の出から日の入りまでの時間帯では昼用、日の入りから日の出までの時間帯では夜用に切り替える。リトリーバルに用いる分光スペクトルは 1 時間積分値であり、天候によって光学的厚さの時間変動が大きい日時の観測は解析対象から除外する。したがって、観測 1 日あたり、1 時間ごとに最大 24 個の O_3 VMR プロファイルデータが得られる。

現在までに 5 月 1 日~23 日のデータについて解析を実施した。5 月 10 日から 11 日にかけて、GOES 衛星のプロトンフラックスデータから、100MeV 以上のプロトンのフラックス増加が確認できた。POES 衛星の昭和基地上空の電子フラックスデータには、明確な増加は確認できなかった。しかし、昭和基地に設置されたリオメーターで電子フラックスの空間分布を確認したところ、5 月 10 日 17 時から 18 時半にかけて降下電子の増大が確認できた。5 月 10 日から 11 日の中間圏 (60~70km) O_3 カラム量の一晚平均と、前日の O_3 カラム量の一晚平均を比較すると、0.035D.U. 程度の減少が見られた。これは解析期間中の 1 日あたりの中間圏 O_3 カラム量の変化量としては、最大の変化量である。5 月 10 日 15 時 (昭和基地の LT18 時) から 5 月 11 日 3 時 (LT6 時) の 1 時間ごとの中間圏 O_3 濃度プロファイル変化を確認すると、LT19 時から LT22 時にかけて減少が見られた。その後、LT22 時から LT23 時にかけて増加し、20 時 (LT23 時) から 3 時 (LT6 時) にかけて再度減少していることが確認された。この変化は、典型的な O_3 カラム量の日変動とは異なる傾向であるため、さらに詳しい解析を進める予定である。2024 年 5 月は地磁気活動が非常に活発で、巨大磁気嵐が起きた 10 日から 11 日以外にも、-50 から -100nT 程度の中規模磁気嵐が頻繁に発生しており、それに伴うプロトンや電子の降込みが見られる。本講演では、それらの期間を含む 2024 年 5 月 1 か月間の解析結果を報告する。