

別紙 4

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

主 論 文 の 要 旨

論文題目 Study of temporal variations of nitric oxide in the mesosphere
and lower thermosphere over Syowa Station, Antarctica
(南極昭和基地における中間圏および下部熱圏での一酸化窒素の変動の研究)

氏 名 磯野靖子

論 文 内 容 の 要 旨

極域の上部成層圏—下部熱圏では、高エネルギー粒子の降り込みが NO_x 、 HO_x といった微量大気成分の組成変動を直接引き起こす。また、冬期の極域では下降流が発達しているため、下部熱圏で直接生成された NO_x が中間圏や上部成層圏にまで達して NO_x を間接的に増加させる。 NO_x は中間圏や上部成層圏でオゾンを破壊するため、その変動を精確に把握することが重要である。これまでの NO_x 観測は衛星観測が主であり、局所的な変動を捉えることが可能な地上観測は数例であった。そこで本論文では、地上定点観測により NO の長期間の変動を捉え、太陽極大期の高エネルギー粒子の降り込みや大気循環との関連を明らかにすることを目指した。

観測に用いたミリ波分光観測装置は大気分子の回転遷移により放射されるミリ波・サブミリ波帯の電波スペクトルを検出する装置であり、昼夜を問わない連続観測が可能である。さらに、 NO 観測時の最高時間分解能は3時間で、1日以内の変動を捉える事ができる。我々は2010年12月に南極昭和基地(南緯69度00分、東経39度35分)にミリ波分光観測装置を設置し、2012年1月から NO (250.796 GHz) のスペクトル観測を開始した。一日の観測のうち、合計4時間のオゾン観測(1時間×4回)とそれ以外の時間は NO の連続観測を実施した。2年に渡る継続観測の結果、2012年と2013年(～9/30)でそれぞれ197日、172日分の有効スペクトルを得た。ミリ波観測装置は原理的には昼夜を問わない連続観測が可能であると先に述べたが、観測窓に雪や氷が付着すると電波の減衰率が時々刻々と変化し、データの精度が落ちてしまう。そのため、このような状況が懸念されるようなブリザードや雪、霜の天候の際は観測を休止した。検出されたほぼ全ての NO の日平均スペクトルは、半値幅が0.5 MHz程度の線幅の細い形状であることが特徴的であり、リトリーバルが可能なフォークト関数型ではなく、単一のガウス関数によく一致していた。高度分布を得ることが困難なため、我々はスペクトルの形状と半値幅から NO の放射領域は高度65-100 km が支配的であるとした。一方、3時間平均のスペクトルの変動から日変化を確認したところ、日の出日の入り(日射)に同期した NO の変化は生じていなかった。したがって、高度75 km以下で顕著となる日射に伴う NO と NO_2 の交換の影響はほぼ無視できるほど小さいと言える。以上このことから、 NO の放射領域を更

に限定し、高度 75-100 km が支配的であると結論した。

日平均スペクトルから得られたカラム量の時系列プロットは、冬期に増加し夏期に減少する季節変化と数日程度の短期的な変動を複数示していた。まず、NO の季節変化は冬期に夏期の約 4 倍の値を示していた。寿命が比較的長く大気循環をトレースする CO の衛星観測との比較したところ、3 月下旬頃の NO の増加と CO の下降時期が一致しており、下部熱圏で生成された NO が下降しているものだと確認できた。一方、7 月下旬頃には NO が減少し始めているのに対し、CO の下降は 10 月頃まで継続するという不一致が見られた。NO の季節変化は高度 100 km における日射時間と強い相関があり、紫外線による光解離が NO の季節変化に強く影響することを示唆していた。したがって、本研究で検出された高度 75-100 km の NO の季節変化は、大気循環によって下部熱圏の NO が下降していることに加え、紫外線による光解離も強く影響していることが明らかとなった。5 年以上に渡る下部熱圏の NO 観測の先行研究では、夏冬の NO 比が太陽活動の極小期に向かって小さくなっていることが示されている。本研究もさらに観測を継続させることにより、第 24 期太陽サイクルにおける NO の季節変動の経年変化を明らかにすることを目指している。

次に、我々は季節変化を一年と半年周期の正弦関数でフィッティングし、それをカラム量の時系列プロットから差し引くことによって短期変動の成分を抽出した。その結果、数日程度の NO の短期変動が複数明らかに確認された。高高度の GOES 衛星による高エネルギー陽子および電子のプロファイルと比較したところ、NO の短期変動は高エネルギー電子の時間変化と良く一致していることが明らかとなった。さらに詳細な比較を行なうため、我々は低高度の POES 衛星で観測された昭和基地上空に繋がった磁力線上での高エネルギー陽子および電子のプロファイルと比較をおこなった。観測期間中に発生した太陽陽子イベント (SPE) を 5 例抽出したところ、 >10 MeV の高エネルギー陽子が $10^4 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ str}^{-1}$ に達する SPE 時でも NO は $0.5 (\times 10^{15} \text{ cm}^{-2})$ 程度のわずかな増加しか観測されなかった。一方、Dst インデックスの最小値が -100 nT に及ぶ規模の大きな磁気嵐 (9 例) では、NO は $1.5 (\times 10^{15} \text{ cm}^{-2})$ に達することがわかった。さらに、NO の変動の様子に特徴があることが明らかとなった。陽子の降り込みにより NO が増加する場合、ノイズレベルから突然 0.5 の最大値に達し、そのまま 5 日ほどピークが保たれる。一方、電子の降り込みにより NO が増加する場合、磁気嵐の回復相から NO が徐々に増加し始め、主相の 1-5 日後に最大となったのち徐々に減少していく。これらの変動の特徴と NO の増加量により、昭和基地上空では高エネルギー電子の影響がより強いことが明らかとなった。

最後に、最も顕著な NO の変動を示した単一の磁気嵐について詳細な議論をおこなった。2012 年 4 月の磁気嵐に伴う NO の短期変動を 3 時間の高時間分解能で求め、高エネルギー粒子の降り込みと比較したところ、磁気嵐の回復相で、NO は 30-300 keV の高エネルギー電子の降り込みと良い相関をもち、電子の降り込み後 1 時間程度で NO が増加していることがわかった。さらに、UT 0 における NO の 2 倍程度の顕著な増加は、30 keV 電子の dawn-dusk 非対称性に起因していることを始めて明らかにした。