

## 高エネルギー粒子・光子が成層圏大気に引き起こす化学反応のシミュレーション Chemical Reactions in the Stratosphere Induced by Transient Astronomical Ionizing Events

関口 健太郎<sup>1\*</sup>, 中井陽一<sup>1</sup>, 今村隆史<sup>2</sup>, 秋吉英治<sup>2</sup>, 望月優子<sup>1</sup>

SEKIGUCHI, Kentaro<sup>1\*</sup>, Yoichi NAKAI<sup>1</sup>, Takashi IMAMURA<sup>2</sup>, Hideharu AKIYOSHI<sup>2</sup>, Yuko MOTIZUKI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 理化学研究所, <sup>2</sup> 国立環境研究所

<sup>1</sup>RIKEN, <sup>2</sup>National Institute for Environmental Studies

突発的な天体爆発現象(太陽高エネルギー粒子現象や超新星爆発)が地球環境に与える影響の研究は、宇宙からの視点と地球からの視点とが交差する境界領域にあり、最近大きな注目を集めている。我々は特に、これらの天体イベントが成層圏において引き起こす窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)とオゾンの濃度変動を明らかにするために、大気化学、気候変動、原子分子物理、天文学の知見を動員した新しい計算シミュレーションに着手した。この領域で先駆的な研究を行っている Thomas らは最近、ガンマ線バーストの影響に関して二次元の光化学輸送モデルを用いた数値シミュレーションを行い、成層圏におけるオゾン量の減少(20-30%にも及ぶ)を報告している[1,2]。彼らが用いたモデルでは、過重な計算を避けるために中間生成物としてのイオンが関わる反応については露わに考慮せず、電離イオン対が生成される際のNO<sub>x</sub>濃度変動に関しては既報のパラメータを用いている。

我々は、まず電離・解離過程とそれに続くイオン分子反応の連立微分方程式を直接解き、個々のイオン分子反応のNO<sub>x</sub>濃度変動への寄与を分析し、得られた妥当なNO<sub>x</sub>濃度変動を大規模計算への入力パラメータとするアプローチを考えている。将来的には Thomas らの計算よりさらに詳細な三次元の化学気候モデルシミュレーションにつなげる予定である。本講演では、その第一段階として、地上からの高度以外に緯度・経度の変数を持たないゼロ次元のモデル(いわゆるボックスモデル)の結果について報告する。

大規模太陽フレアに伴う太陽高エネルギー粒子現象では、フレアからのX線、線光子と共に、100 MeVを越える高エネルギー粒子(陽子・中性子)が、太陽系近傍の超新星爆発からは1 MeV程度以下の線、X線光子が地球大気に降り注ぐ。これらの高エネルギー粒子・光子は、成層圏において酸素、窒素(O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>)を電離・解離する。今回の我々の計算では、電離によって生成するイオン(N<sup>+</sup>, O<sup>+</sup>, N<sub>2</sub><sup>+</sup>, O<sub>2</sub><sup>+</sup>, e<sup>-</sup>)や解離によって生成するラジカル(N(<sup>4</sup>S), N(<sup>2</sup>D), N(<sup>2</sup>P), O(<sup>3</sup>P), O(<sup>1</sup>D))の量は、放射線過程のG値[3]を用いて見積った。G値とは、系に与えられたエネルギー100 eVあたりに生じる生成物の個数で、単位は[atoms or molecules / 100 eV]である。電離放射線によって大気中に生成される化学種は、おおまかには物質が放射線から吸収するエネルギーだけで決まると考えてよく(軽元素からなる物質の場合)、それがG値を使う根拠になっている。この扱いによって多段階の散乱過程の詳細には立ち入らずに、電離・解離の速度定数を設定することができる。放射線によって生じたイオンやラジカルは、引き続いて起こる化学反応によって各種の正負イオン(NO<sup>+</sup>, O<sub>4</sub><sup>+</sup>, O<sup>-</sup>, O<sub>2</sub><sup>-</sup>等)を生成する。現時点で総数100以上の化学反応(オゾン破壊のNO<sub>x</sub>サイクル、HO<sub>x</sub>サイクル、ハロゲンサイクルを含む)を取り入れ、反応速度式を表す連立微分方程式の数値積分には、FACSIMILE(MCPA, Corp)という複合化学反応専用ソフトウェアを用いた。

本講演では、天体現象からの入射エネルギーのインプットとして、巨大な太陽高エネルギー粒子現象(例えば[4])を想定し、まず Thomas らと同様に矩形波を用いて近似した(フルエンス  $1.0 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$ , パルス幅 24 時間)。大気温度と化学種の初期濃度としては、下部成層圏および上部成層圏におけるいくつかの代表的な高度を設定した。計算結果を基に、NO<sub>x</sub>濃度変動のタイムスケール、主要な反応経路、高度依存性について議論する。

### 【参考文献】

- [1] B.C.Thomas, A. L. Melott, C. H. Jackman, C. M. Laird, M. V. Medvedev, R. S. Stolarski, N. Gehels, J. K. Cannizzo, D. P. Hogan, and L. M. Ejzak, *Astrophys. J.* 634, 509 (2005).
- [2] L. M. Ejzak, A. L. Melott, M. V. Medvedev, and B.C.Thomas, *Astrophys. J.* 654, 373 (2007).
- [3] C. Willis, A. W. Boyd, *Int. J. Radiat. Chem.* 8, 71 (1976).
- [4] B. C. Thomas, C. H. Jackman, and A. L. Melott, *Geophys. Res. Lett.* 34, L06810 (2007).

キーワード: 太陽高エネルギー粒子現象, 超新星爆発, 成層圏イオン分子反応, オゾン減少

Keywords: Solar energetic particle events, Supernovae, Ozone depletion