

化学気候モデルを用いた太陽11年周期変動の下部成層圏への影響の推定

The lower stratospheric effects of a chemistry climate model to the 11-year solar cycle

山下 陽介^{1*}, 坂本圭², 秋吉 英治¹, 高橋 正明³, 永島 達也¹, L.B. Zhou⁴

Yousuke Yamashita^{1*}, Kei Sakamoto², Hideharu Akiyoshi¹, Masaaki Takahashi³,
Tatsuya Nagashima¹, L.B. Zhou⁴

¹国立環境研究所, ²全日本空輸株式会社, ³東京大学気候システム研究センター, ⁴中国科学院大気物理研究所

¹NIES, ²All Nippon Airways, ³CCSR, ⁴LAPC & LAOR

11年周期の太陽変動は、成層圏のオゾン、気温変動にとって重要な役割を果たしている。これまでの研究により、1980~2000年の期間に、上部成層圏では太陽活動の11年周期変動に伴って、約2%のオゾン変動、及び約1 Kの気温変動が観測され、下部成層圏では約4%のオゾン変動、約0.5 Kの気温変動があるとされてきた[e.g., Soukharev and Hood, 2006]。なお上部成層圏では、太陽活動に伴う紫外線(ultraviolet; UV)放射変動に伴いオゾン量が変動し、オゾンがUV放射を吸収する影響で気温が変動することが分かっている[e.g., Chandra and McPeters, 1994; Marsh et al., 2007]。他方、下部成層圏においては、UV放射の大部分が上部成層圏で吸収され上部成層圏に比べると到達するUV放射は小さいため、11年周期のUV放射の変動に伴う直接的な影響のみで変動が説明されるとは考えにくい。これに対しKodera and Kuroda [2002]は、初冬の11年変動極大期に中緯度成層圏で循環場が赤道向き偏差となることを客観解析データの解析から示し、上部成層圏の太陽11年変動が惑星波と平均東西風の相互作用の変調とそれによる循環場の変調を介して赤道下部成層圏の変動に間接的に影響する可能性を議論した。一方Hadley海表面温度(Sea Surface Temperature; SST)を用いた解析では、赤道域の中部太平洋、東部太平洋において太陽活動とSSTの変動に負の相関があることがvan Loon et al. [2007]により指摘されている。Marsh et al. [2007]やAustin et al. [2008]は、太陽活動に同期したSST年々変動が対流圏の力学に影響を与え、それが循環に伴うオゾンの鉛直輸送を変えて下部成層圏のオゾン分布に影響を与える可能性を議論した。Meehl et al. [2009]ではさらに、海洋を結合させた化学気候モデル(chemistry climate model; CCM)とSST年々変動を与えたCCMの比較を行い、SSTも太陽活動の影響を受けて変動し、それが海洋の循環を変え大気循環に影響することで太陽活動に対する大気の応答を強めていることを示唆した。

太陽活動やSST変動の下部成層圏への影響は前述のように循環を介して影響すると考えられている。こうしたプロセスには惑星波と平均東西風の相互作用が関係していると考えられ、特に中高緯度の惑星波の伝播を陽に計算可能である3次元CCMを用いることでより正確な解釈が可能となる。そこで本研究では、単独の3次元CCMの感度実験を用いて、下部成層圏オゾン、気温における11年周期の太陽変動に対する応答を見積りそのプロセスを調べた。ところで本研究で用いたCCSR/NIES CCMでは火山噴火の影響を過大評価する傾向にあり、これが太陽11年周期に同期した変動の推定を困難としているため、ここでは火山噴火の影響を除いた結果のみを示す。

太陽定数を固定した感度実験から得られた太陽変動成分では、上部成層圏におけるオゾン、気温偏差のピークが不明瞭という系統的特徴があることが分かった。これは、上部成層圏のオゾン、気温の太陽変動成分は太陽放射の変動に伴うものである可能性が高いことを意味し、過去の研究とも整合的である。下部成層圏においては、太陽11年周期を含む実験では下部成層圏に弱い偏差が現れていた。その大きさはオゾンで約1%、気温で約0.2 Kであった。一方観測結果ではオ

ゾンで約4%、気温で約0.5 Kであるため、この値は観測結果と比較して無視できない。すなわち観測結果の一部は、太陽活動の影響で説明できると考えられる。太陽活動に伴うオゾン輸送量の変化を見積もった所、太陽11年周期を含む実験では、輸送の効果によって太陽活動の極大期に下部成層圏のオゾン量が増える傾向があることが分かった。

一方で、太陽定数を固定した実験においてもSSTの年々変動を含む実験では下部成層圏には弱いオゾン偏差が見られた。オゾン輸送量の解析により、SSTの変動に伴うオゾン輸送の変化がこのオゾン偏差を形成したことが分かった。これはSSTの年々変動に伴うオゾンの鉛直輸送の変化が、下部成層圏の太陽変動成分に含まれることを示唆する。

キーワード:化学気候モデル,オゾン,太陽11年周期

Keywords: chemistry climate model, ozone, 11-year solar cycle