

Predictability of Stratospheric Ozone in the Southern Hemisphere during Spring

中村, 東奈

<https://hdl.handle.net/2324/6787422>

出版情報 : Kyushu University, 2022, 博士 (理学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名	中村 東奈			
論 文 名	Predictability of Stratospheric Ozone in the Southern Hemisphere during Spring (南半球春季成層圏オゾンの予測可能性について)			
論文調査委員	主 査	九州大学	教授	廣岡俊彦
	副 査	九州大学	准教授	望月 崇
	副 査	九州大学	助教	野口峻佑
	副 査	国立環境研究所	シニア研究員	秋吉英治

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

冬季から春季にかけての南半球成層圏では、地球規模の大規模な大気波動であるプラネタリー波の活動が弱いため、南極域上空に極渦と呼ばれる、周囲に強い西風ジェットを伴う低気圧性の強い渦が形成され、極渦の内部で大規模なオゾン破壊現象であるオゾンホールが発達する。毎年 11 月頃になると、季節進行に伴う西風ジェットの弱化に対応してプラネタリー波の活動度が高まり、やがて極渦とオゾンホールは大きく変形して崩壊し、オゾンホールも消滅する。オゾンホールの消長は、地球環境問題の観点から依然として大きな社会的関心事であると同時に、オゾンによる太陽紫外線の吸収は、成層圏の温度構造を決定する重要な要素であるため、オゾンホール出現時期の南半球成層圏は、オゾンの変動に伴う加熱分布と、気圧分布、気温、風向や風速などの大気力学場が複雑に相互作用しながら変動する、学術的にも興味深い対象となっている。

一方で、大気力学場の予測可能性、すなわち大気力学場の変化がどれくらい前から予測できるかという問題は、学術面のみならず、天気予報の見地からも社会的関心の高い研究テーマであり、世界中の気象現業機関や研究機関において広く調べられてきた。大気力学場の時間変化は、数値シミュレーションモデルを用いて、観測に基づき作成された初期値から時間に関し数値積分することにより得られているが、成層圏の力学場の正確な予測のためには、それと相互作用している成層圏オゾンの変動も取り入れることが必要と考えられる。しかしながら、これにはオゾンの化学変化を記述できる化学モジュールを数値シミュレーションモデルに加えた上で、より大量の計算が必要となるため、いずれの気象現業機関においてもそのような予報は不十分なままであり、従って、成層圏オゾンの予測可能性の研究もほとんど行われていないのが現状である。

2009 年 11 月に、オゾンホールが大きく変形して低オゾン領域が南米高緯度にまで及び、そのまま 3 週間程度停滞する事例が生じた。この結果、南米高緯度では長期間のオゾン量の低下が観測され、それに伴う太陽紫外線の増加も確認された。この時、南半球太平洋上の対流圏で、通常であれば東に向かって移動する高気圧が停滞し、偏西風が大きく蛇行するブロッキング現象が発生し、オゾンホール変形が起きる直前には、対流圏のブロッキング高気圧付近から成層圏に向かって、上向きのプラネタリー波東伝播が見られたことが報告されている。一方、同じ年の 9 月末には、一過性の極渦変形が生じ、短期間ではあるがオゾンホールが南米高緯度に接近する事例も観測されている。

以上の背景を受け、本研究者は、国立環境研究所で開発された、オゾンの化学反応過程を含み、大気力学場とオゾン場の相互作用を陽に表現できる化学気候モデルを用いて、上記二つの事例を対

象に、様々な初期条件下での大気力学場とオゾン場の予測可能性を調べることを試みた。

まず、化学気候モデルを用いて、アメリカ航空宇宙局（NASA）で作成された再解析データ MERRA-2 の力学場と、地球観測衛星 Aura 搭載の測器 OMI によるオゾン全量データ、測器 MLS によるオゾン体積混合比の鉛直分布データを同化して初期値データを作成し、初期値にわずかな摂動を与えた 32 個のアンサンブルメンバーからなるアンサンブル予測実験を、二つの事例が生じた期間について、予測開始日を 1 日ずつずらして実施した。予測の精度検証のため、力学場およびオゾン全量場の二乗平均平方根誤差（RMSE）解析とパターン相関（PCC）解析を行った。RMSE は予測値と MERRA-2 あるいは OMI データの間の平均誤差であり、PCC は予測値と MERRA-2 あるいは OMI データとの間の水平パターン相関で、天気予報の精度検証にも一般的に用いられている指標である。これらを用いた精度検証は、南緯 20 度から 90 度の緯度帯を対象として行った。その結果、9 月末の一過性のオゾン減少事例では予測可能期間は 10 日以上であるが、11 月のオゾン減少域停滞事例については、予測開始日によっては 6 日程度であることを明らかにした。後者の相対的に低い予測可能性の要因として、対流圏のブロッキング高気圧を起源とした波束の成層圏への上方伝播という、成層圏－対流圏間の複雑な上下結合過程に関わる現象であるとの考察を加えた。さらに後者では、予測開始日が古い方が、予測開始日が新しいものよりも予測可能性が高いという興味深い結果も示した。

次に 11 月のオゾン減少域停滞事例に対して、初期値の同化を、(1) 力学場のみ、(2) 力学場とオゾン全量のみ、(3) 力学場・オゾン全量・オゾン鉛直分布データ全てに対してそれぞれ行うことで三種類の初期値を作成し、これらを用いた予測実験結果の比較を行った。その結果、力学場、オゾン全量場ともに、予測可能性は (3)、(1)、(2) の順に高かった。その原因を調べるために、大気波動の活動度の指標である Eliassen-Palm フラックスを計算して、その時間変化を解析したところ、(3) の初期値からの予測では、観測されるような、ブロッキング高気圧を起源として対流圏から成層圏に向かう、プラネタリー波の上方伝播がうまく予測されていたのに対し、(1) と (2) の実験では、上方伝播の表現が不十分であることがわかった。以上の結果に基づき、より正確な予測のためには、力学場に加えて、オゾンの鉛直分布データの同化が重要であることを明らかにした。

以上のように、本研究者は、化学気候モデルを用いた予測実験に基づき、特異なオゾンホール変形現象の予測可能性を明らかにすることに初めて成功し、中層大気科学における新分野の開拓に大きく貢献したものと評価できる。よって、本研究者は博士（理学）の学位を受ける資格があるものと認める。