

報告番号 ※ 乙 第 5023号

主 論 文 の 要 旨

論文題目 A Numerical Study on Intraseasonal Variations in Planetary Waves and
Ozone Distribution in the Southern Hemisphere Stratosphere
(南半球のプラネタリー波とオゾン分布の季節内変動に関する数値的研究)

氏 名 牛 丸 真 司

論 文 内 容 の 要 旨

南半球のオゾン全量は subpolar maximum と呼ばれる中緯度に極大を持つ緯度分布をしており、その極大の位置は冬から春先への季節進行にともなって、しだいに高緯度へ移動する。また、冬期の南半球では、波数 1 のプラネタリー波が準周期的に増幅することが、その特徴的な現象として知られている。また、この波数 1 の増幅が東進する波数 2 のプラネタリー波との相互作用によって引き起こされていることが、衛星データ解析によって示唆されている。しかし、プラネタリー波が subpolar maximum の形成にどの程度の影響を及ぼしているのか、また、波数 2 の東進波との相互作用による波数 1 の増幅機構どのようになっているのか、などについては未解明のままである。

本論文ではまず最初に、subpolar maximum の形成と春先における極方向への移動に対して、プラネタリー波の果たす基本的な役割を、単純化した条件での数値実験の結果から議論する。次に、波数 1 の停滞波と波数 2 の東進波が共存する条件下で、現実的なオゾン全量の水平分布の変動がシミュレートされることを示し、最後に、波数 2 との相互作用で波数 1 のプラネタリー波が増幅するメカニズムについて明らかにすることを目的とする。

過渡的な輸送過程および波と平均流の相互作用をシミュレートするために、経度方向に低次切断したセミスペクトルモデルが用いられる。プラネタリー波の増幅にともなうオゾン輸送の計算には、全球モデルを使用し、波数 1 の増幅のメカニズムの解析には半球モデルを使用する。

プラネタリー波の増幅時のオゾン輸送を各月毎に計算した一連の数値実験で、プラネタリー波は subpolar maximum の形成に対して次の様な役割を果たしていることが明らかにされた。北半球では誘起された子午面循環は極域まで達し、冬期全体をとおして極域でのオゾンの増加に寄与しているのに対し、南半球のプラネタリー波の増幅は中緯度下部成層圏に下降流が集中するような子午面循環を誘起し、その結果として中緯度のオゾン量の増加に寄与している。冬から春先にかけて、中緯度の下降流域の極方向への移動にともなって、オゾンの増加域も高緯度へとシフトする。TEM 理論および波動伝播論に基づく診断的な解析から、南

半球と北半球の非対称な子午面循環は、波の伝播場の違いに起因していることが示された。南半球のプラネタリー波は、屈折率の極大線に沿って赤道に向かって伝播し、中緯度成層圏で EP flux の収束場を形成するため、残差循環は極域まで達することができない。

波数 1 の停滞波と波数 2 の東進波を共存させることで、観測される波数 1 の増幅とオゾン全量の水平分布の変動パターンがシミュレートされる。エネルギー論的な解析から、波数 1 の増幅は、波数 1 から平均流への運動エネルギー輸送の急激な減少によって引き起こされていることが示された。この減少は、波数 1 の低緯度向きの伝播が抑制されることに対応しており、波数 1 の増幅時には、ジェットの高緯度側の南北シアの強まりによって、中緯度に屈折率の負の領域が出現し、高緯度に導波管が形成される。波数 1 と波数 2 の相互作用は、増幅時には波数 1 の南北位相勾配を減少させ低緯度伝播を抑える役割を果たし、減衰時には逆に、位相勾配を強め波数 1 の低緯度への伝播を促進する。これらの波と平均流、波と波の相互作用の効果が複合して、波数 1 の周期的な増幅を引き起こしている。この力学的メカニズムにより、オゾン輸送がより現実的にシミュレートできた。

Abstract

The column ozone distribution in southern hemisphere(SH) have a maximum in midlatitude called *subpolar maximum* and the location of the maximum gradually shifts poleward as the seasonal progress from late winter to early spring. From the dynamical aspect, a quasi-periodic amplification of planetary wave with wavenumber 1 (wave 1) is observed in the stratosphere in SH. Some recent analyses of the satellite data suggested that the amplification is caused by the interaction with an eastward traveling wave with wavenumber 2 (wave 2). However, it is not well understood that mechanisms of the subpolar maximum formation and wave 1 amplification through the interaction with the eastward traveling wave.

First part of this thesis explores fundamental roles of planetary waves on the formation of the subpolar maximum and its poleward shift in early spring under simplified conditions. Second part shows that horizontal variation of the total ozone content can be realized more realistically in the context of the wave1-wave2 interaction. The mechanism of the wave 1 amplification interacting with wave 2 is explored in the third part.

Semi-spectral models with low-order longitudinal truncation are used to express the transient transport process and the interaction among waves and mean flow. The hemispheric version of the model is used to simulate the wave 1 amplification. The spherical version of the model is used to reveal roles of planetary wave amplification on the ozone transport and formation of the subpolar maximum.

A series of experiment calculating ozone transports during planetary wave amplification for each month reveals the roles of planetary waves on the formation of subpolar maximum. Amplification of planetary waves in SH winter induces a meridional circulation whose downward motion is concentrated into the midlatitude lower stratosphere, and results in the ozone increase there. On the other hand, meridional circulation in the northern hemisphere (NH) extends to the polar stratosphere and contributes to the formation of ozone maximum in the polar region throughout winter. Diagnoses based on TEM theory and wave-propagation theory show that the asymmetric circulation between SH and NH is arisen from the difference of propagation field of waves. Planetary waves in SH propagates equatorward through a maximum line of refractive index which makes the convergence region of EP flux in the midlatitude stratosphere. Therefore, the residual circulation cannot reach the SH polar region.

It is shown that the amplification of wave 1 and associated temporal variation of horizontal ozone distribution can be realized in the framework of the interaction between stationary wave with wavenumber 1 and eastward traveling wave with wavenumber 2. From the analyses of energetics, it was found that the amplification of wave 1 is attributed to the abrupt decrease of kinetic energy conversion to the zonal-mean flow which is caused by suppression of equatorward propagation of the wave 1. During the amplification stage, a very effective wave guide for wave 1 appears in the midlatitudes due to enhancement of meridional shear of the zonal mean wind. The interaction between wave 1 and wave 2 controls the meridional gradient of the phase of wave 1. The wave-wave interaction decreases the phase gradient during the amplification stage and increases it during the post-amplification stage. The combined system of the wave-mean flow and wave-wave interactions causes the periodic amplification of wave 1, which leads to realistic representation of ozone distribution in SH.