

## 21世紀におけるBrewer-Dobson循環の形成とトレンドに対する重力波ドラッグの役割

### The role of gravity wave drag in the formation and trend of the Brewer-Dobson circulation in the 21st century

岡本 功太<sup>1\*</sup>, 佐藤 薫<sup>1</sup>, 秋吉 英治<sup>2</sup>

Kota Okamoto<sup>1\*</sup>, Kaoru Sato<sup>1</sup>, Hideharu Akiyoshi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>東大院理, <sup>2</sup>環境研

<sup>1</sup>The University of Tokyo, <sup>2</sup>NIES

Brewer-Dobson循環(BDC)は、低緯度域で上昇流、中高緯度で下降流をもつ大循環であり、成層圏のオゾンなどの物質分布に大きく影響を与えている。この循環は、主に対流圏から伝播してきた波の砕波や散逸に伴う中緯度域でのドラッグによって駆動されていることが分かっている。これまでの研究では主にプラネタリー波が成層圏Brewer-Dobson循環の駆動源だと考えられてきた。しかし、下部成層圏では総観規模波や重力波などのスケールの小さな波もBDCの形成に影響を与えることが知られている。この研究の目的は、BDCの駆動に関してどの波がどのくらい寄与しているのかを定量的に明らかにすることである。さらに、将来予測実験モデルデータを用いて、21世紀中のBDCの変化とそれに対する波の寄与も調べる。

この解析は、気候システムセンター/国立環境研究所(CCSR/NIES)の気候変動やオゾンの減少回復をシミュレーションした化学気候モデル(CCM)の約120年分のデータを用いて行った。まず、ラグランジュ的な運動を記述する残差循環に対して、「ダウンワードコントロールの原理(DC)」を適用して、様々な波のBDCに対する寄与を評価した。成層圏全般にわたって主にBDCを形成している要因となっているのは、先行研究で示されている通りプラネタリー波であった。一方、モデル中でパラメタリゼーションによって効果が含まれている重力波は下部成層圏の特にならび中緯度で大きな寄与が見られた。また、北半球の冬の解析では重力波が南半球亜熱帯の上昇流をコントロールしていることがわかった。これらの解析は観測に基づく再解析データを用いても行い、重力波の寄与を確認した。再解析データには重力波の効果が含まれているので、解像される波の強制によって計算される循環を直接計算した循環から引くことで重力波の効果を推定することができる。

次に21世紀中の循環のトレンドや質量フラックスの長期的変動を調べた。2005--2070年における年平均質量流線関数の線形トレンドを見ると、南極域以外で循環の強化が見られた。この循環加速に対しては中緯度で重力波ドラッグ、高緯度でプラネタリー波が効いていることが分かった。また、70 hPa面に注目して質量フラックスの季節毎の長期的変化を解析した結果、すべての季節で質量フラックスが増加するトレンドが見られた。質量フラックスのトレンドに対する波強制の寄与は地形性重力が最も大きく、21世紀後半にはプラネタリー波の強制による寄与と同程度まで増加することがわかった。この地形性重力波ドラッグによる質量フラックスのトレンドは、ターンアラウンド緯度が地形性重力波ドラッグがピークとなる中緯度にあることと、温室効果ガス増加に伴った温度風バランスの変化による亜熱帯ジェット核の位置の上方移動で重力波のドラッグのピーク位置が70 hPa面よりも上方にずれることに起因していた。これはMcLandress and Shepherd (2009)と整合的な結果であった。また、地上の山岳波の運動量フラックスのトレンド

も調べたがごくわずかであることが確認された。

一方、最近の観測的研究では、`age of air (AOA)"の推定から、過去30年間でBDCが減速していることが示されている。本研究ではAOAをCCM中で計算される残差循環から推定し、過去と未来の差をとることでBDCの変化を考えた。2085年と2005年のAOAの比較では成層圏全体でBDCが加速している結果が示された。また、2005年と1985年のAOAの比較では低緯度では大きな変化がなく、循環が加速しているという証拠ははっきりとは見られなかった。逆に高緯度域では大きく減速している領域が見られた。循環のトレンドの符号が局所的に変化することから、上記観測の結果は循環の強さというよりも循環の形が変化しているためである可能性が示唆された。

キーワード:ダウンワードコントロール, Brewer-Dobson,波強制, age of air, CCM

Keywords: The downward control principle, the Brewer-Dobson circulation, wave forcing, age of air, CCM