

북반구 겨울철 성층권 돌연승온 발생 형태에 따른 극지역 중층대기 파동 활동 차이의 이해

최혜선^{1,2}, 김백민¹, 최우갑^{*2}, 김성중¹

¹극지연구소 극지기후변화연구부, ²서울대학교 지구환경과학부

1. 서론

성층권 돌연승온(stratospheric sudden warming, 이하 SSW)은 극지역 성층권의 대표적인 기상현상 중 하나로서 북반구 겨울철에 극지역 성층권의 온도가 급격히 상승하면서 발생한다. 온도변화와 함께 동서풍의 풍향이 서풍에서 동풍으로 역전되는 경우가 있는데 이를 major warming이라 하며 온도변화만 있는 경우는 minor warming으로 정의된다. (Andrews et al., 1987) SSW는 하나의 극와도가 극지역에서 저위도 지역으로 이동하는 형태(vortex displacement)와, 크기와 강도가 비슷한 두 개의 극와도로 나누어지는 형태(vortex split)로 분류 된다. 본 연구에서는 성층권 돌연승온의 발생 형태에 따른 중층대기 지역의 순환차이를 역학적으로 이해하기 위해서 파동활동의 차이를 분석하였다.

2. 자료 및 방법

미국립기상연구소에서 개발된 Community Earth System Model (CESM1.0.6)의 대기모델인 Spcified Chemistry Whole Atmosphere Community Climate Model (SC-WACCM)을 사용하였다. 경계조건은 해빙과 해수면 온도의 기후값이 모델 내에서 매년 반복되도록 지정하였으며, 사용된 자료는 1981년부터 2010년 까지 월별 Hadley Center Sea Ice and Sea Surface Temperature data set (HadISST)이다. 총 211년 적분결과를 산출하였으며 모델연도 1년에서 211년으로 명명하였다. 처음 10년을 제외하고 나머지 기간에 대하여 자료를 분석하였다.

모델결과와의 비교를 위해서 1979년부터 2014년까지 Modern Era Retrospective-analysis for Research and Applications (MERRA) assimilated data와 1957년부터 2014년까지 National Centers for Environmental Prediction-National Center for Atmospheric Research (NCEP-NCAR)

재분석 자료가 사용되었다.

2.1 SSW 정의 및 분류

북반구 겨울철은 매해 10월부터 이듬해 3월 까지로 정의하였다. 해당 기간 동안 북위60도, 10 hPa 등압면 상의 동서평균한 동서풍이 서풍에서 동풍으로 역전되었을 때를 SSW가 발생된 경우로 지정하였다. SSW 형태는 고도장에 푸리에 분석(Fourier analysis)을 적용하여 분류하였다. 풍향이 역전되는 첫째 날을 중심날짜(central date)로 정의했을 때 이를 기준으로 5일전부터 10일 후 동안 푸리에 분석 (Fourier Analysis)에서 얻어진 동서파수 1과2의 진폭을 비교하여 동서파수 1에 대한 2의 비율이 1.0 이상인 경우를 하루라도 만족하면 분리형태(split type)로 정의하고 그렇지 않은 경우는 이동형태(displacement type)로 분류하였다. 사용된 고도장은 10 hPa 등압면 상에서 55°N-65°N 위도 영역에 대해 평균된 값이다.

2.2 파동강제력의 진단

SSW 형태에 따른 중층대기 지역의 순환차이는 상승과 하강운동을 유도하는 잔류순환(residual circulation)의 차이와 연관되어 있다. 이러한 잔류순환은 행성파나 중력파와 같은 파동강제력에 의해서 조절된다(Limpasuvan et al., 2011). 그러므로 온도 및 관련된 기상변수들의 차이를 이해하기 위해서는 파동강제력의 차이를 이해할 필요가 있다. 이 연구에서는 Transformed Eulerian-Mean (TEM) 방정식을(Andrews et al., 1987)를 사용하여 평균류의 시간변화와 파동강제력의 관계를 진단하였다.

3. 결과 및 토의

총 200번의 모델 북반구 겨울철 동안 103번의 SSW가 발생하였다. 동일 겨울철에 2번 이상 SSW가 발생 했을 때는 SSW 형태가 동일한 경우만을 분석에 사용하도록 제한하였다. 이

경우 분리형태는 29번, 이동형태는 57번이 합성도 분석에 이용되었다. Figure.1은 SSW 형태에 따른 남북열속 편차의 합성도를 보여준다. 이 값은 대류권에서 성층권으로 전파하는 행성과 활동의 정도를 보여주는 값이다(Andrews et al., 1987). SSW 발생 전에 남북열속 편차는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않아서 면적평균된 행성과의 강제력이 SSW 형태에 관계없이 거의 비슷한 것으로 사료된다. 그러나 성층권과 중간권에서는 SSW 형태에 따른 유의한 온도차이를 보여서 중립날짜 이후에 이동형태일 때 성층권 상부에서는 온도가 낮고 중간권 하부에서는 온도 높다(Fig. 2). 앞서 언급했듯이 이와 같은 온도의 차이는 잔류순환의 상승 및 하강 차이와 연관되어 있다(Fig. 3).

이러한 SSW 형태에 따른 차이는 온도풍 관계에 의해서 바람장에서도 확인 되어 SSW 이후에 재형성되는 성층권(중간권) 지역의 서풍(동풍)강도가 분리형태일 때 더 강하다(not shown). TEM 방정식 분석 결과는 중층대기에서 행성과의 중력파의 차이가 잔류순환의 변화를 조절함을 보여준다. 특히 중간권은 작은규모의 중력파가 중요한 역할을 담당하며 관련 연구가 진행중이다.

4. 감사의 글

이 연구는 한국해양과학기술원 부설 극지연구소의 “과거, 현재의 극지기후 관측과 재현을 통한 기후변화 메커니즘 규명”(PE15010)과 “북극 4-D 대기 관측망 구축 및 고층대기와 기후변화의 상호관계 규명(부제: 극지 고층대기와 우주환경 변화 연구)”(PE15090) 사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

5. 참고문헌

Andrews, D. G., J. R. Holton, and C. B. Leovy, (1987), *MiddleAtmosphereDynamics*. AcademicPress,490pp.
 Limpasuvan, V., J. H. Richter, Y. J. Orsolini, F. Stordal, and O.-K. Kvissel, 2011: The roles of planetary and gravity waves during a major stratospheric sudden warming as characterized in WACCM. *J.Atmos.Sol.-Terr.Phys.*,78-79,84-98,doi:10.1016/j.astp.2011.03.004.

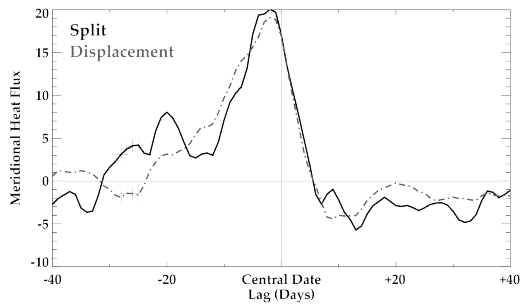


Figure 1. Lag composite of time series of WACCM meridional heat flux anomaly [$k m s^{-1}$] averaged over $45^{\circ}N-75^{\circ}N$ at 100 hPa for split (black solid line) and displacement (gray dashed dotted line) SSW type. Plus marks indicate statically significant points at 95% confidence level according to student's t-test.

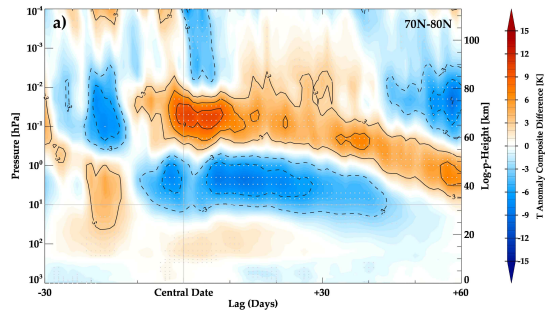


Figure 2. Composite differences between split type and displacement type of temperature anomaly averaged over $70^{\circ}N-80^{\circ}N$ for WACCM. The light gray dots indicate 95% significant regions according to student's t-test.

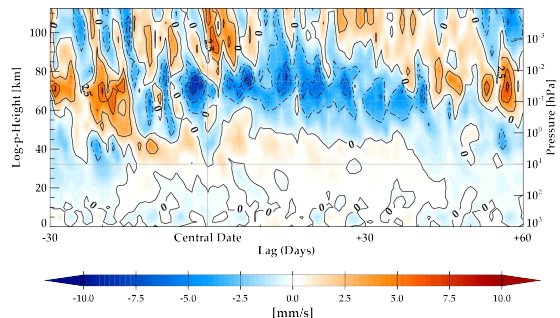


Figure 3. Composite differences between split type and displacement type of WACCM residual vertical velocity averaged over $70^{\circ}N-80^{\circ}N$.