

成層圏突然昇温時の極域上部対流圏の雲変動

高麗正史¹、佐藤薫¹

¹ 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

Variability of clouds in the upper troposphere in the polar region during stratospheric sudden warming

Masashi Kohma¹, and Kaoru Sato¹

¹Department of earth and planetary science, Graduate school of science, The university of Tokyo

Li and Thompson (2013) recently showed that the strength of Brewer-Dobson circulation (BDC) has not only positive correlation with the occurrence frequency of tropospheric clouds in the tropics, but also negative correlation with that in the polar region. This means that the BDC variability affects climate in the polar region because the tropospheric cloudiness plays an important role in radiative budget. The present study examines the variability of upper tropospheric clouds in the Arctic region during stratospheric sudden warming using data from CALIPSO/CALIOP, COSMIC/FORMOSAT III radio occultation, and reanalysis data.

これまで、いくつかの研究において、BDC と赤道対流圏界面 (TTL) 付近の雲に関連があることが指摘されていた (例えば Eguchi and Kodera, 2007)。これに対して、最近の研究において、成層圏子午面循環 (Brewer-Dobson Circulation; BDC) の変動と TTL・極域対流圏の両方の雲の出現頻度の中に相関があることが明らかになった (Li and Thompson, 2013、以下 LT13)。そこで、本研究では、成層圏突然昇温 (SSW) 時の極域の対流圏上層の雲の変動及びその機構について、最新の 3 次元残差循環理論も駆使しながら衛星ライダー観測や衛星掩蔽観測、再解析データを用いて、解析する。

雲の出現頻度の計算には、CALIPSO/CALIOP Level 2 Vertical Feature Mask データを用い、対流圏界面高度 (z_{TP}) の解析には、COSMIC/FORMOSAT-III の乾燥温度のデータを用いた。この圏界面高度は気温減率に基づいて計算した (WMO, 1957)。気象場の解析には、再解析データ (ERA-Interim) を用いた。解析対象は、北半球冬季の 2006 年以降の 7 年分のうち、1 月に SSW が発生した 2008/09、2009/10、2011/12、2012/2013 年である。

2010 年 1 月に発生した SSW (major warming) についての解析結果を詳しく述べる。図 (a) は 2009/10 年の 70°N ~ 82°N における雲の出現頻度の時間高度断面を示す。1 月 28 日頃から、高度 6 ~ 12 km において雲の出現頻度が減少しているのが分かる。また、2 月 5 日 ~ 2 月末には、高度 8 km より上の高度領域での雲の出現頻度は 5% 以下になっている。次に、同時期・同領域の東西平均温度と静的安定度 (N^2) の時間高度断面を示す (図 (b, c))。10 hPa で見ると 1 月 20 日から温度の上昇が見られ、それが下方に伝播し、2 月 5 日頃には 200 hPa に到達している。また、2 月 10 日には 300 hPa 付近の N^2 が高くなっている。この圏界面付近の温度上昇・安定度上昇と雲の出現頻度の減少の対応は、SSW に伴う気象場の変動が対流圏上層の雲の出現頻度の減少の要因になっている可能性を示唆する。また、よく見ると、300 hPa 付近に見られる N^2 はピークの高度が低下している。これを詳しく調べるために、高高度分解能 ($\Delta z = 0.1$ km) を持つ GPS/RO データを使って圏界面高度の変動を計算した (図 (d))。2 月 5 日頃に圏界面高度が約 1 km 低下しているのが明らかである。これも雲出現頻度の減少と関係している可能性がある。

次に、BDC に伴う下降流との対応を調べるために、変形オイラー平均系における残差流の鉛直成分 (\bar{w}^* ; Andrews et al., 1987) の時間高度断面を示す (図 (e))。200 hPa の高度に注目すると、 $\bar{w}^* < 0$ となる時と 200 hPa の温度・ N^2 の上昇のタイミング、対流圏界面高度の下降するタイミングとが、おおそ対応していることが分かる。

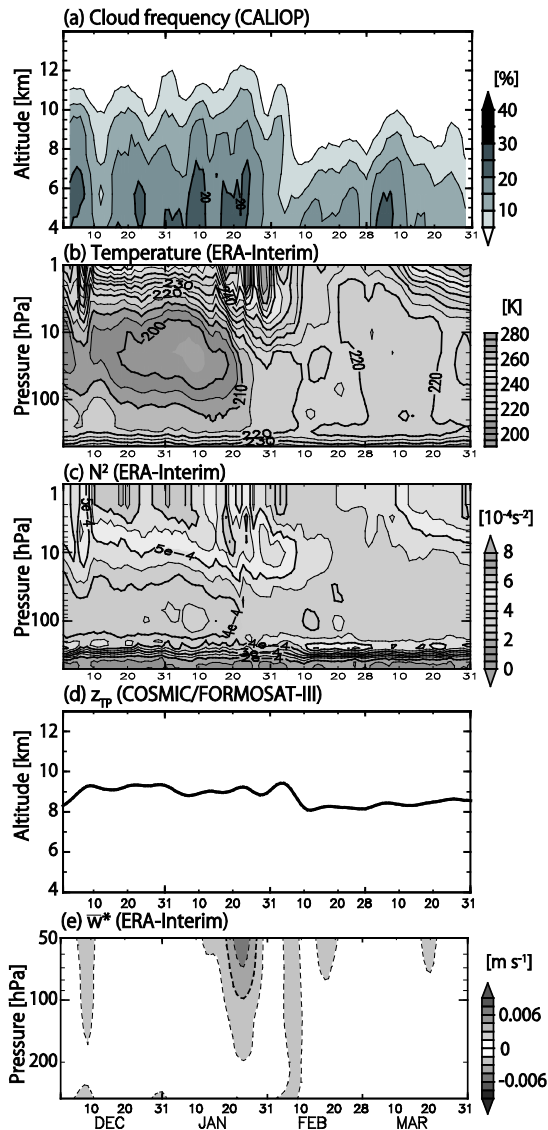
以上の解析で見られた SSW 発生後の高度 7 ~ 11 km の雲出現頻度の減少、及び気象場の変動は、2009 年 1 月、2012 年 2 月、2013 年 1 月の SSW 時にも確認された。

発表では、Kinoshita and Sato (2013) と Sato et al. (2013) で導出された 3 次元残差流の理論と解析手法を用いて、対流圏上層の雲や圏界面高度の水平分布の変動についても、議論する予定である。

References

- Andrews, D. G., J. R. Holton, and C. B. Leovy, Middle Atmosphere Dynamics, Academic Press, 489 pp, 1987.
- Kinoshita, T., and Sato, K., A formulation of three-dimensional residual mean flow applicable both to inertial gravity waves and to Rossby waves, *J. Atmos. Res.*, 70, 1577-1602, doi: 10.1175/JAS-D-12-0137.1, 2013.
- Li, Y. and W.J. Thompson, The signature of the stratospheric Brewer-Dobson circulation in tropospheric clouds, *J. Geophys. Res.*, 118, 3486-3494, doi: 10.1002/jgrd.50339, 2013.
- Sato, K., T. Kinoshita, and K. Okamoto, A new method to estimate three-dimensional residual mean circulation in the middle atmosphere and its application to gravity-wave resolving general circulation model, *J. Atmos. Sci.*, in press.

Figure



- (a-c) 2009/10 年の $70^\circ\text{N} \sim 82^\circ\text{N}$ で平均した (a) 雲の出現頻度 (CALIPSO)、(b) 東西平均温度 (ERA Interim)、(c) N^2 (ERA Interim) の時間高度断面。等値線間隔はそれぞれ 5%、5 K、 $5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-2}$ 。
- (d) COSMIC/FORMOSAT-III による圏界面高度 z_{TP} の時系列。
- (e) 2009/10 年の $70^\circ\text{N} \sim 82^\circ\text{N}$ における \bar{w}^* (ERA Interim)。等値線間隔は $1.5 \times 10^{-3} \text{ m s}^{-1}$ 。