

大気大循環モデル（JAGUAR）を用いた

夜光雲形成シミュレーションと大気波動に伴う雲の変動

奥谷 智、高橋 正明（東大CCSR）、渡辺 真吾（JAMSTEC）

堤 雅基、富川 喜弘（極地研）

1. はじめに

夏季中間圏界面付近は、重力波砕波に伴う平均流の減速によって上昇流が強化され断熱冷却に伴い地球大気上で最も低温になることが知られている。このような低温領域 ($<150\text{K}$) に、「夜光雲」と呼ばれる雲が現れる。夜光雲は、中間圏界面から約5~10km低い高度に出現し、水が主な組成であることが知られている。夜光雲の多くは50°から極域に生じる現象で、雲厚が数km、雲の寿命が数時間程度、代表的な雲粒の半径が数10~100nmであることが観測により示唆されている。雲が現れる領域は、非常に低温なため、わずかな水蒸気量（数ppmv）で過飽和になり、核生成が起き、氷粒子が生成される。生成された氷粒子は、重力によって沈降しながら成長し、背景の気温擾乱に伴い昇華されて消滅する。

本講演では、パラメライズされた雲物理を含む大気大循環モデル（JAGUAR）を用いて観測等から示唆されている夜光雲の特徴がどの程度再現できるか調べ、夜光雲と大気波動の関係を調べた結果を報告とする。

2. 使用データ

本研究では、東京大学気候システム研究センター（CCSR）、国立環境研究所（NIES）、地球環境フロンティア研究センター（FRCGC）で共同開発されてきた CCSR/NIES/ FRCGC MIROC (4.0)-AGCMをベースに、Kyushu- GCM（Yoshikawa and Miyahara, 2003a, 2003b, 2005）の中間圏・下部熱圏の物理過程を含め重力波解像中層大気AGCMとして開発されたJAGUAR（Japanese Atmospheric GCM for Upper Atmosphere Research）と呼ばれているモデル（Watanabe and Miyahara, 2009）を、多用途に手軽に積分できるように低解像度化したJAGUAR-liteモデルを用いた。JAGUAR-liteでは、重力波の効果はHinesによる非地形性重力波抵抗パラメライゼーションと、McFarlaneによる地形性重力波パラメライゼーションに基づいた効果が考慮される。モデルの水平方向の離散化には、スペクトル法を用いており、スペクトル切断波数は T42 である（経度、緯度方向に約 2.8° の水平分解能）。鉛直方向には、216層、モデル上端は、およそ160kmで、中層大気においておよそ500mの鉛直分解能を持つ。JAGUAR-liteにおける中間圏の水蒸気に関わる物理過程は、移流・大規模凝結・鉛直拡散・メタン酸化・Lyman- α による水蒸気分解が考慮されている。

3. 夜光雲の再現実験

気温が夜光雲の形成過程に非常に重要であるため、北半球の夏至（6月22日）に季節を固定し、非地形性重力波の効果によって気温場をチューニングした。

CIRA86のデータと比較した所、夏季中間圏界面高度は5km程度異なっていたが、夏極の低温領域(<150K)における緯度方向の対応はよくなった。モデル内においては大規模凝結スキームで、夏極中間圏界面付近で夜光雲が生成される。気温場を調節した後、氷粒子の落下速度を気体分子運動論に基づき2cm/s、10cm/s、20cm/sとして氷粒子半径に対する依存性を調べた。落下速度が10cm/sのとき、約3時間の雲寿命、約3kmの雲厚、約6kmの中間圏界面高度と夜光雲出現高度差が評価され、夜光雲の平均氷粒子半径が50nm程度である事が示された(図1)。

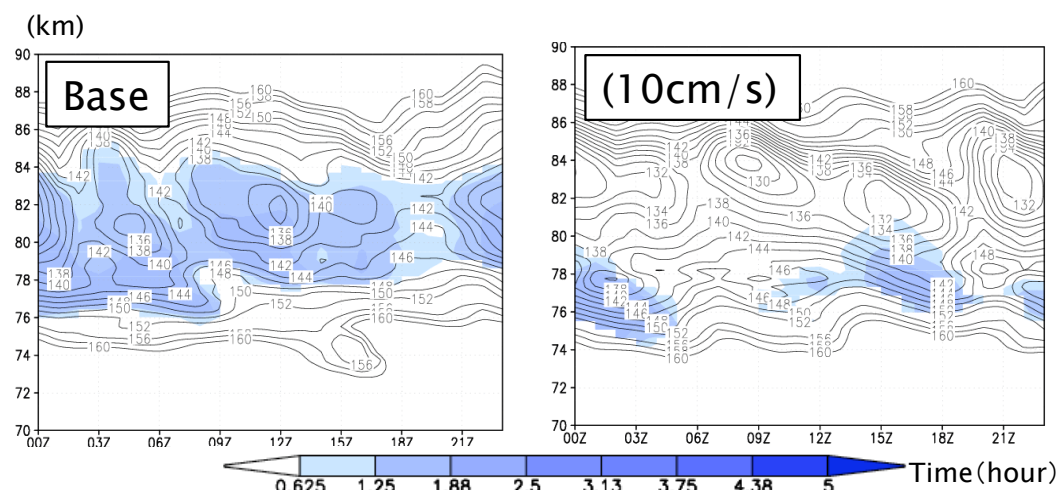


図1: 氷粒子落下実験による陰影:雲氷量(10^{-6} kg/kg)と等値線:気温(K)の高度緯度断面図。

次に、夜光雲の水平構造を、モデル内の高度77kmにおける雲氷の13日後の水平分布と、CIPS測器によって得られた2007年6月22日の夜光雲の水平分布を比較した。両者の空間的な広がりによく似ており、モデルにおいて大まかな水平構造が再現されていることがわかった。

4. 夏至付近の雲と大気波動の変動

夜光雲の変動と大気波動の関係を解析するために、氷粒子の落下速度を10cm/sとして得られた計算結果を初期値として季節進行実験を行った。計算期間は2年間で、解析には1年後の6月22日の前後5日間(時間間隔: 1時間)の結果を用いた。

フーリエ変換によって取り出した68.4°N、高度76kmにおける気温の東西波数(k) 1~10と各周期の時空間パワースペクトル分布[西進(k<0): 東進(k>0)]を図2に示す。図2より、西進する(a)波数1の5日周期、(b)波数2の2日周期、(c)波数1の1日周期の3つのピークが見られる。各成分に対応した気温擾乱成分を取り出し、重ね合わせて夜光雲の変動と比較する(図2)と取り出した大気波動の変動に伴う低温領域が雲の変動に良く対応していることがわかる。各波動成分の空間構造を調べた結果、それぞれの取り出した擾乱成分が、ロスビー-重力波(1,1)の5日波、混合ロスビー-重力波の準2日波、一日熱潮汐波に対応していることがわかった。

衛星観測によると、5日波、準2日波が夜光雲の変動に支配的であることが推定されている(Merkel et al., 2003, 2008)が、同様の結果がモデルでも示唆された。また、モデルでは1日熱潮汐波の影響も示唆された。

一方、U. von Zahn et al. (1998) は、ライダー観測によって得られた雲の変動が半日熱潮汐波に対応していることを示唆しているが、図2において空間方向にも調べた所、東進するスケールの小さい波動成分が雲の変動に支配的であることが示唆され、西進する半日熱潮汐波の影響は小さいことがわかった。東進する半日程度の周期の波を同定するためには、高解像度モデルで計算する事で重力波の影響を示唆する必要があるが、モデル内において半日熱潮汐波による雲のレギュレートは支配的ではなかった。

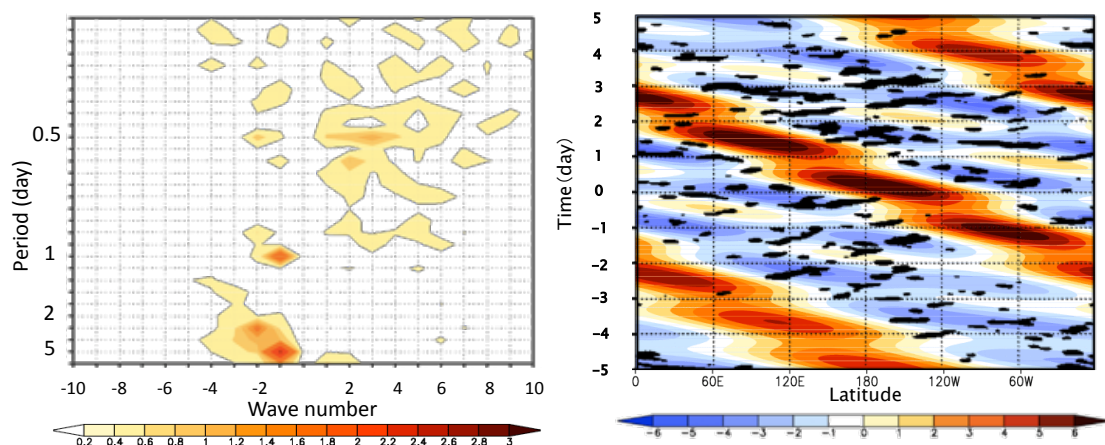


図2: 68.4°N、高度76kmにおける気温の時空間ハワースキール分布（西進: $k < 0$ 、東進: $k > 0$ ）。

68.4°N、高度76kmにおける雲氷量（黒色）と、フーリエ逆変換によって取り出した 気温の3成分の重ね合わせの東西時間断面図。

5. まとめと課題

大循環モデルにおいて大まかな夜光雲の特徴を再現することができた。また、雲の変動に支配的な大気波動成分を調べた所、大規模な波動成分が雲をレギュレートしている可能性を示唆したが、より細かい変動に関しては明らかにすることができなかった。これらを明らかにするために、高解像度（T216）のモデルで計算することによって、重力波等が夜光雲の変動に及ぼす影響を解析する必要がある。

また、中間圏界面高度が観測に比べ 5km 程度低いと重力波パラメトリゼーションを改善する事でより観測に近い結果を得る必要がある。

6. 参考文献

- Merkel, A. W., Thomas, G. E., Palo, S. E., and Bailey, S. M. 2003: Observations of the 5-day planetary wave in PMC measurements From the Student Nitric Oxide Explorer Satellite, *Geophys. Res. Lett.*, 30(4), 1196, doi:10.1029/2002GL016524.
- Merkel A. W., Rusch W., Palo S. E., Russel M., and Bailey M., 2009: Mesospheric planetary wave effects on global PMC variability Inferred from AIM-CIPS and TIMED-SABER for the northern summer 2007 PMC season, *Journal of*

Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 71,381-391

- Watanebe, S., and Miyahara, S., 2009: Quantification of the gravity wave forcing of the migrating diurnal tide in a gravity wave-resolving general circulation model, J. Geophys. Res., 114, D07110, doi: 10.1029/2008JD011218
- Yoshikawa, M., and Miyahara, S., 2003: Longitudinal variations of amplitudes of diurnal tides in the MLT region simulated by a general circulation model, Adv. Space Sci., 32 1751.
- Yoshikawa, M., and Miyahara, S., : 2003 Zonal mean meridional circulation in the low to middle latitude of MLT region: A numerical simulation by a general circulation model, Adv. Space Sci., 32, 709.
- Yoshikawa, M., and Miyahara, S., :2005 Excitations of nonmigrating diurnal tides in the mesosphere and lower thermosphere simulated by the Kyushu-GCM, Adv. Space Res. 35, 1918.
- von Zahn, U., von Cossart, G., Fiedler, J., and Rees, D. 1998: Tidal variations of noctilucent clouds measured at 69° latitude by groundbased lidar, Geophys. Res. Lett., 25, 1289-1292.