

極域 MLT 領域における大気重力波の上方伝搬阻害過程の特定

高橋透¹, 野澤悟徳¹, 堤雅基², 津田卓雄², 大山伸一郎¹, 川原琢也³, 斎藤徳人⁴, 和田智之⁴, 川端哲也¹,
鈴木臣¹, 藤原均⁵, Asgeir Brekke⁶, Chris Hall⁶, 藤井良一¹

¹名古屋大学太陽地球環境研究所

²国立極地研究所

³信州大学工学部

⁴理学研究所基幹研究所

⁵成蹊大学理工学部

⁶トロムソ大学理工学部

A case study on identification of blocking mechanism for upward propagating gravity wave in polar MLT region

Toru Takahashi¹, Satonori Nozawa¹, Masaki Tsutsumi², Takuo Tsuda², Shin-ichiro Oyama¹, Takuya Kawahara³,
Norihito Saito⁴, Satoshi Wada⁴, Tetsuya Kawabata¹, Shin Suzuki¹, Hitoshi Fujiwara⁵,
Asgeir Brekke⁶, Chris Hall⁶ and Ryoichi Fujii¹

¹STEL · Nagoya Univ.

²NIPR

³Faculty of Engineering, Shinshu Univ.

⁴ASI, RIKEN

⁵Faculty of Science and Technology, Seikei Univ.

⁶Science and Technology, UiTo

Gravity waves (GWs) transfer their momentum flux and energy from the lower atmosphere to the upper atmosphere. GWs generally saturate in the mesopause region and release their momentum and energy into the atmosphere. It is essentially important to understand upward propagation process of GWs for improving to advance our understanding of the energy balance in the mesosphere and lower thermosphere (MLT) region.

In recent years, evidence of GWs in the thermosphere has been investigated. The observational and theoretical studies have identified that these GWs are generated by aurora activity and/or dissipation of GWs or are originated in the lower atmosphere (i.e., penetrating into the thermosphere).

For the last one and half decades, a number of studies of GWs have been conducted by utilizing high-sensitive all-sky cameras (ASCs). Although ASCs can provide us with horizontal structures (parameters) of GWs, they are not adequate for research of upward propagating GWs in the MLT region, since ASCs do not have a capability of height resolution. Since uppermost (reliable) observational altitude of meteor radar is below 100 km, they are not adequate either for this kind of research.

A sodium LIDAR installed at Tromsø, Norway (69.6° N, 19.2° E) has measured atmospheric temperature and sodium density in the height region from about 80 km to 110 km with high time (10 min) and altitude (1 km) resolutions. The sodium LIDAR has an advantage to elucidate upward propagation of GWs. This talk is primarily concerned with an event appeared from 1630 to 2430 UT on October 29, 2010. The sodium LIDAR captured a clearly discernible GW signature with downward phase propagation. Derived vertical wavelength, amplitude, and apparent oscillation period are about 16 km, about 15 K, and about 4 hours, respectively. Of particular interest is a temporal development of the uppermost altitude where the GW reached. While the upward propagating GW appeared to be broken down around 95 km height between 1630 and 2100 UT, after 2100 UT the GW propagated to higher altitudes. We evaluated two possible mechanisms, wind filtering and wave breaking.

The wave breaking causes atmospheric instabilities through momentum releasing. The Brunt-Väisälä frequency is one of index of atmospheric stabilities and derived with LIDAR data. In addition, the wave breaking causes turbulences that enhance the echo power of MF radar. The phase velocity of the GW and background wind velocity along propagation direction have to be derived to evaluate wind filtering effect. The phase velocity is derived with hodograph method using meteor radar data.

The Brunt-Väisälä frequency has no clearly variation around 2100 UT, but the echo power of MF radar drops around 2100 UT. The echo power had be enhanced before 2100 UT. The phase velocity is larger than the background wind from 1630 to 0030 UT.

In this presentation, We show results of these analysis and conclusion that the wave breaking is predominant mechanism.

大気重力波は地球の全球において、満ち溢れており、その運動量輸送が地球大気の循環に寄与していることは広く知られている。大気重力波の多くは中間圏界面付近で碎波し、背景風の加速や背景場の温度上昇に寄与していると考えられている。近年では、全天カメラや非干渉散乱レーダーによって熱圏での大気重力波の存在が注目されつつある。これはオーロラ起源であることや中間圏界面で碎波した大気重力波の二次波であることが観測やモデルなどにより研究されている。一方、中間圏高度以上で励起されたのではなく、中間圏界面で碎波せず、中間圏界面を抜けて熱圏まで達した大気重力波も考慮する必要がある。しかし、中間圏界面領域を通過する大気重力波の物理過程は未だ理解が不十分である。大気重力波の上方伝搬を理解する為には、高度 80 km から 110 km の中間圏界面領域を高い時間・空間分解能で観測することが重要であるが、これまで主に用いられてきた全天カメラは高度分解能がなく、流星レーダーは観測可能上限高度が約 100 km である。

我々がノルウェー・トロムソに設置したナトリウムライダーは高度 80 km から 110 km の中性大気温度を高い時間・空間分解能で観測している。この観測期間中で、我々は顕著な大気重力波の描像を捉えた 2010 年 10 月 29 日の結果に注目した。この日の大気重力波は 2100 UT 以前は高度約 95 km 付近まで伝搬していたが、それ以後はより高高度まで伝搬していた。これは中間圏界面付近で散逸する大気重力波と熱圏まで伝搬する大気重力波を同時に捉えた貴重な観測結果である。

この日の大気重力波の伝搬高度に変化を与えた原因を本研究では碎波とフィルタリング効果であると推測した。大気重力波が碎波した場合、自身の運動量の解放によって温度場を変化させ、その高度領域の大気を不安定にする可能性が考え得る。伝搬方向と同じ方向の背景風速によってフィルタリング効果を受けた場合、鉛直波長が小さくなり、伝搬方向に沿った背景風速が大気重力波の位相速度を越えると大気重力波は上方へ伝搬することができなくなる。

ブランドバイサラ振動数は大気安定度の指標の一つである。ブランドバイサラ振動数は温度勾配の関数であり、ナトリウムライダーで導出された温度プロファイルから求めることができる。また、大気重力波が碎波すると、乱流が生じるため、MF レーダーの受信強度が増加するため、MF レーダーの受信強度も大気重力波の碎波の有無を知る上で有用な情報である。位相速度の導出は鉛直 1 方向観測のナトリウムライダーの観測からは導くことができないので、流星レーダーの風速データに対してホドグラフ解析をすることで求めた。

ブランドバイサラ振動数は 2100 UT 以前の高度 90 km から 95 km 付近で不安定であることを示す負の値を取っていたが、明瞭な変化はなかった。一方、MF レーダーの受信強度は 2100 UT を境に大きな変化があり、2100 UT 以前の受信強度は以後の強度と比べて非常に強かった。ホドグラフ解析により求めた位相速度は伝搬方向に沿った背景風速度より、優位に強く、フィルタリング効果が支配的ではなかったことを示していた。

本発表では、これらの解析結果を示すと共に、この日の大気重力波はフィルタリング効果を受けていたのではなく、2100 UT 以前で碎波していたと結論付けた結果を発表する。