

### 3次元非静力学中性大気モデルを用いた地表-中間圏間の重力音波共鳴の数値実験

# 松村 充 [1]; 品川 裕之 [2]; 家森 俊彦 [3]

[1] 京大・理・地惑; [2] 情報通信研究機構; [3] 京大・理・地磁気センター

#### A numerical simulation of acoustic-gravity wave resonance using three-dimensional nonhydrostatic neutral atmosphere model

# Mitsuru Matsumura[1]; Hiroyuki Shinagawa[2]; Toshihiko Iyemori[3]

[1] Earth and Planetary Sci., Kyoto Univ.; [2] NICT; [3] WDC for Geomagnetism, Kyoto Univ.

Acoustic waves with frequencies of a few mHz in the density stratification are affected by gravity and called acoustic-gravity waves (AGWs). Since the effect of gravity is especially strong around the mesopause, where the temperature is low, and AGWs cannot propagate upward, AGWs generated below the mesopause can be trapped between the ground and the mesosphere, and can form resonance. This mechanism is expected from a lot of theoretical and numerical studies [e.g., Tahira, 1995; Nishida, 2000; Walterscheid, 2003]. The resonance has two (or three) modes with frequencies of about 3.8 and 4.5 mHz, which are consistent with many observational results, such as ionospheric disturbances [e.g., Davies and Jones, 1971], a geomagnetic pulsation [Iyemori et al., 2005], atmospheric pressure perturbations [Matsumura et al., 2010] and solid Earth's free oscillations [Nishida, 2000].

There are, however, still a lot of unknown problems concerned with the resonance such as temporal and spatial characteristics, and it is difficult to clarify them only through observations.

In this study, a three-dimensional nonhydrostatic compressible neutral atmosphere model is used to investigate the temporal and spatial variations of the acoustic-gravity wave resonance. Here, the eruption of Asama volcano on September 1, 2004 is selected as the source of an atmospheric disturbance. The modeling method of the neutral atmosphere part of Shinagawa et al. [2007] is extended to three dimensions and used. The continuous, momentum for horizontal and vertical directions, energy equation and real gas equation of state are solved. CIP method [Yabe, et al., 1991] is used to calculate advection terms.

The basic state of the atmosphere is taken from the empirical model, MSISE-90 [Hedin, 1991]. The atmospheric densities and temperatures are obtained from the model by setting values for Asama volcano (36.4°N, 138.5°E). The date and time for the atmospheric model are set to be the onset time and date of the eruption of Asama volcano.

The atmospheric disturbance due to the eruption is incorporated by giving a vertical velocity around the center of the lower boundary as the lower boundary condition.

Calculated vertical velocities directly above the center of the source at different altitudes show that waves propagating upward are reflecting around the mesopause at about 600 s after the start of the eruption. After this time, two types of vertical standing waves appear below the mesopause. One has the half wavelength of about 40 km, the frequency of about 4.5 mHz and the short duration. The other has the half wavelength of about 110 km, the frequency of about 3.8 mHz and the long duration. These two types of standing waves correspond to the resonance modes expected from previous studies.

Above the mesopause only propagating waves are seen and the frequencies of them are about 4.5 mHz in the earlier time of the calculation, and about 3.8 mHz in the later time.

As for the region 250 km away from the center of the source in the horizontal direction, the similar analysis is performed and it is shown that two resonance modes is formed also when the AGWs are propagating in inclined directions although the appearance time is later and the amplitude is smaller. The remarkable difference is the appearance times of two modes. The mode of about 3.8 mHz is not seen in the earlier time.

密度成層中では周波数が数 mHz 程度の音波は重力の影響を受けるため、重力音波と呼ばれる。約 4mHz の重力音波は温度の低い中間圏界面付近では重力の影響が特に強く、鉛直方向に伝播できないので、中間圏界面以下で励起された場合は地上との間で捕捉されて共鳴を起こす可能性がある。この共鳴現象は多くの理論や数値実験から予想されており [Tahira, 1995; Nishida, 2000; Walterscheid, 2003 など], 2つ (あるいは3つ) のモードを持つと考えられている。各モードの予想された共鳴周波数は約 3.8, 4.5mHz であり、電離層擾乱 [Davies and Jones, 1971 など], 地磁気脈動 [Iyemori et al., 2005], 地上微気圧擾乱 [Matsumura et al., 2010], 固体地球の自由振動 [Nishida, 2000 など] にこれらとほぼ同じ周波数を持つ現象が観測されており、この重力音波共鳴が励起源となっていると考えられている。

しかし時間的・空間的特徴など、この共鳴現象には未だ明らかにされていない点も多く、観測のみから解明するのは困難である。

本研究では、重力音波共鳴の時間的・空間的变化を調べるために3次元の非静力学圧縮性中性大気モデルを用いて数値実験を行った。大気擾乱源としては2004年9月1日の浅間山の噴火を想定した。ここで用いたモデルはShinagawaらのモデル [2007] の中性大気部分を3次元に拡張したもので、連続の式、運動方程式、エネルギー方程式、理想気体の状態方程式を解き、移流項の計算にはCIP法を用いた。

大気の基本場は経験モデルのMSISE-90 [Hedin, 1991] から与えた。密度と温度は浅間山の位置 (北緯 36.4°, 東経 138.5°) の値とし、大気モデルの日時は浅間山の噴火の日時に合わせた。火山噴火による大気擾乱を表すために、下側境界の中心付近に境界条件として鉛直方向の速度を与えた。

計算の結果、波源の中心直上の各高度における鉛直風速から、上方に伝播している波が噴火開始のおよそ 600 秒後に中間圏界面付近で反射することが確認された。以後、中間圏界面以下では鉛直方向の半波長が約 40km、周波数が約 4.5mHz で継続時間が短い定在波と、鉛直方向の半波長が約 110km、周波数が約 3.8mHz で継続時間が長い定在波が現れ、これらは過去の研究で予想された共鳴モードに相当すると考えられる。

中間圏界面よりも高高度では上方へ伝播する波のみが見られ、その周波数は早い時間帯では約 4.5mHz、遅い時間帯では約 3.8mHz であった。

また、波源の中心から水平方向に 250km 離れた領域についても同様の解析を行った結果、時刻の遅れと振幅の減衰はあるものの、重力音波が斜め方向に伝播する場合でも 2 つの共鳴モードが形成されることが示された。ただし 2 つのモードが現れる時間帯に大きな差があり、早い時間帯では約 3.8mHz のモードは見られなかった。