

雲解像モデルを用いた金星大気重力波の2次元数値実験

Two dimensional numerical experiment of the Venusian gravity waves by using a cloud resolving model

*安藤 紘基¹、杉山 耕一朗¹、小高 正嗣²、中島 健介³、今村 剛¹、林 祥介⁴

*Hiroki Ando¹, Ko-ichiro SUGIYAMA¹, Masatsugu Odaka², Kensuke Nakajima³, Takeshi Imamura¹, Yoshi-Yuki Hayashi⁴

1.宇宙航空研究開発機構、2.北海道大学、3.九州大学、4.神戸大学

1.ISAS/JAXA, 2.Hokkaido University, 3.Kyushu University, 4.Kobe University

大気中の重力波は、その伝播と砕波に伴う熱と運動量の輸送を介して、大気循環に影響を与える。近年、金星大気においても重力波が光学機器や電波掩蔽観測により盛んに観測されている (e.g. Peralta et al. 2008; Ando et al. 2015)。金星大気中を鉛直伝播する重力波の励起源の一つとして、雲層内 (高度50-70 km) に存在すると思われる鉛直対流がある。これまで我々は、金星雲層内の対流運動とそれによる波の励起と伝播を2次元の数値モデルを用いて調べてきた (安藤 他, JPGU 2014)。その結果、再現された重力波は分散関係式を良く満たすが、波の振幅やエネルギー密度がモデルの解像度や数値粘性に強く依存することが分かった。本発表では、モデルの解像度と数値粘性を変えて、それに伴うエネルギースペクトルの形状の変化を調べることで、鉛直対流起源の重力波の生成と伝播を計算するのに適切な解像度と数値粘性を探索する。さらに、それらの値を用いた場合の重力波のエネルギースペクトル分布、重力波による鉛直方向の運動量フラックス収束に伴う加速率を調べる。

用いた数値モデルは雲解像モデルdeepconv (Sugiyama et al. 2009) である。計算水平領域は500 km、鉛直領域は金星の高度35-135 kmとした。境界条件は上下端にて応力なし、鉛直流・温位フラックスなしとし、側面は周期境界とする。また、上下端からの波の反射を抑えるために、上端から35 kmと下端から5 kmの範囲にレイリー摩擦とニュートン冷却を加えた。また運動の結果として平均流が生成されないように人工的な摩擦を波数0成分に対して加える。初期に与える温度の鉛直分布は、放射対流平衡の下での温度分布 (Ikeda et al. 2010) を用いた。この時の静的安定度は、高度48-54 kmで中立、その上下の領域で安定である。放射過程は陽に計算せずに、水平一様かつ時間変化しない熱強制として与え、正味の加熱・冷却の鉛直分布はIkeda et al. (2010) の計算結果に準ずる。初期に大気は静止しているとし、対流運動を励起するために最大振幅1 Kの温位擾乱を高度50 kmに与え、そこから15日間の計算を行う。モデルの水平解像度は200 mに固定し、鉛直解像度を16, 32, 62 mと変化させ、また数値粘性も 1×10^{-4} , 3×10^{-4} , 1×10^{-3} , 3×10^{-3} , $1 \times 10^{-2} \text{ m s}^{-2}$ と変えた。

その結果、数値粘性 3×10^{-3} 以下、鉛直解像度32 m以下の計算では、スペクトル密度の大きさと水平波数に対する依存性はおおむね一致することが分かった。重力波の鉛直伝播が生じる高度66-98 kmでは、スペクトル密度の振幅は高度と共に減少する。そして、スペクトルの傾きは水平波数領域 $10^{-4} < k < 10^{-3} \text{ (1/m)}$ では -2 に比例し、 $10^{-3} < k \text{ (1/m)}$ の領域では -3 であった。特に、 $10^{-4} < k < 10^{-4} \text{ (1/m)}$ におけるスペクトルの傾きは、地球大気の観測に基づいて提唱された経験的な重力波の水平波数スペクトルの傾きに一致する。また、波の減衰に伴う水平方向の加速率は高度と共に増大し、高度90 kmでおおよそ $1 \text{ m s}^{-1} \text{ day}^{-1}$ であった。

キーワード：金星、大気重力波、数値計算

Keywords: Venus, Atmospheric gravity waves, Numerical calculation