

# 熱対流に伴う気圧ゆらぎの数値計算

## Numerical simulation of surface pressure fluctuation associated with thermal convection

# 中島 健介[1]; 中野 満寿男[2]; 由衛 貴文[3]

# Kensuke Nakajima[1]; Masuo Nakano[2]; Takafumi Yue[3]

[1] 九大・理院・地惑; [2] 九大院・理・地惑; [3] (株)ウェザーニューズ

[1] Dept. of Earth & Planetary Sci., Faculty of Sci., Kyushu Univ.; [2] Earth and Planetary Sci., Kyushu Univ; [3] Weathernews Inc.

### 1. はじめに

固体地球の自由振動には大地震によって event 的に励起される成分の他に、持続的な成分が存在することがわかってきた(Nawa et al, 1998; Nishida et al, 2002). これには季節変化・日変化など、大気起源であることを示唆する性質をもっている(Kobayashi and Nishida, 1998; 森井, 2001). しかし具体的にどのような大気擾乱によって励起されているのかは、熱対流(Tanimoto, 1998), 境界層の乱流(Fukao et al, 2002), 積雲対流(中島と野津原, 2001)など確定していない.

常時励起されている固体地球自由振動は波長が  $O(1000\text{km})$ , 周期が  $O(100)$ 秒である. これを励起するためには、大気擾乱もこれに対応する時空間スケールの組み合わせの成分を持たねばならない. 大気中の波動の分散関係を考慮すると、対応する成分は、ほとんど鉛直に伝播する極めて長波長の音波モードということになる. したがって問題の鍵の一つは、諸々の大気擾乱が、そのような音波モードを励起するか否かにある.

これらの励起機構のうち、乱流は運動量輸送項に起因する四重極成分の音波を励起することが知られているが(Lighthill, 1952), 励起の振幅が極めて敏感な速度依存性(Lighthill, 1954 では流速の 8 乗に比例)をもつので、検証が困難である. また、熱対流については、温度移流項に起因する双極子成分の音波を励起すると思われるが詳細は不明である. 最後に、積雲は内部で水蒸気の相変化に起因する熱源を持つので単極成分で音波を励起する. これは、フーリエ成分として必ず長波長成分を持つ. したがって、我々は依然として積雲を地球自由振動励起源の有力候補として考えている.

それでも、他の励起機構についても考察する必要があるのは事実である. そこで、ここでは励起源の候補の一つである熱対流に伴う地表面圧力変動を数値モデル内で再現し、この中の固体地球の自由振動を駆動し得る時空間スペクトル成分の寄与の見積もりを試みることにした.

### 2. 数値モデルと実験設定

音波モードも正確に表現するために、完全圧縮系の方程式を音波も含めて陽的に時間積分する対流数値モデルを新たに構成した. プログラムへの実装にあたっては、格子モデル構築ツール GMS (中野・中島, 2004)を使用した. 計算領域は 2 次元で、領域サイズは水平  $20\text{km}$ (周期境界条件)・鉛直  $10\text{km}$ , 格子間隔は水平鉛直とも  $100\text{m}$  である. 初期条件は、高度  $5\text{km}$  まで等温位、それ以上は等温の静止状態とし、大気最下層を加熱する一方、高度  $5\text{km}$  以下を冷却して熱対流を起こさせる. 積分時間は約 12 時間(時間ステップは  $0.08$  秒)である.

### 3. 結果

計算開始後しばらくすると、最下層からサーマルが次々に上昇するようになる. 地表面気圧のパワースペクトルは長波長・長周期の成分が卓越しているが、対流運動と対応する特性速度を持つ成分とは別個に、音波の成分(音速以上の特性速度を持つ)が明瞭に現れる. 後者は加熱率を強めると急激に大きくなる. 水平波数ゼロの成分に着目すると、計算領域を鉛直に上下するモードに対応するピークが見い出される. この共鳴モードの振幅は対流熱フラックスの 2 乗に大体比例する. 加熱率の大きな実験では、非共鳴的な成分も大きな振幅をもつ. 乱流状態の熱対流では流速は熱フラックスの  $1/3$  乗に比例することを考慮すると、ここでの結果は、共鳴成分の音波励起振幅の流速依存性として、速度の 6 乗という非常に強い依存性を示唆する.

現実的な強さの熱対流が、自由振動励起に必要な振幅の音波を励起できるかについては、今後考察する予定である.