

惑星の常時自由振動

小林 直樹 [1]; 須田 直樹 [2]; 西田 究 [3]
[1] 東工大・地惑; [2] 広島大・院理; [3] 東大・地震研

Continuous excitation of planetary free oscillations

Naoki Kobayashi[1]; Naoki Suda[2]; Kiwamu Nishida[3]
[1] Earth and Planetary Sci, Tokyo Tech; [2] Earth & Planet. Sys. Sci., Hiroshima Univ.; [3] ERI, Univ. Tokyo

Ten years have passed since the first report by Nawa et al. (1997) on the continuous excitation of Earth's free oscillations were published. I review the progress in the study of the oscillations and show they play important roles in the future planetary explorations.

Kobayashi (1996) proposed a mechanism that can continuously excite free oscillations of the earth and planets based on the excitation theory of solar oscillations. Mars and Venus seem not to have strong plate motions that causes great quakes on the planets. Continuous excitation of planetary oscillations by atmospheric turbulence will be important for the exploration of their interior by a seismological method. After that research groups of Nagoya university and Tokyo Tech had discovered background free oscillations (e.g. Nawa et al. 1998, Suda et al. 1998, Kobayashi and Nishida 1998). They are the fundamental spheroidal modes from 3 to 8 mHz where the background noises in the ground motions are very quiet, and their amplitudes are about 0.5 nano galileo. Suda et al. (1998) showed that they cannot be excited by great earthquakes in the global seismic catalogue and small earthquakes obeying the Gutenberg-Richter's law. Nishida & Kobayashi (1999) and Nishida et al. (2000) showed excitation forces must be globally distributed random forces and modes at 3.7 mHz and 4.4 mHz have significantly larger amplitudes than those of neighboring modes and their amplitudes show annual variations. The modes just locate at the branch crossings between the fundamental spheroidal mode branch and the lowest two acoustic mode branches, which implicates the excitation sources of the background free oscillations are in the atmosphere. In this point, Kusumi et al. (2008) reported that random forces at 1 km of altitudes well explains overall amplitudes of the background free oscillations, larger amplitudes of the coupled modes and the annual variations due to seasonal changes in the acoustic property of the atmosphere and so the resonance.

However we have still debated whether the excitation sources are in the atmosphere or in the oceans (e.g. Rhie & Romanowicz 2004, Webb 2007). Nishida & Fukao (2007) reported stronger sources are broadly distributed in the northern Pacific Ocean in winter and in the Indian Ocean in summer although global distribution of sources is also significant. Kurrle & Windmer (2008) reported that toroidal oscillations are continuously excited too, and Nishida et al. (2008) also reported that the background Love waves higher 10 mHz has the same energy as the background Rayleigh waves. These torsional waves cannot be excited by vertical pressure forces on a flat ground or flat ocean bottom. Fukao et al. (2008) so proposed an excitation mechanism that topographic coupling of gravity waves in the oceans radiates Rayleigh and Love waves efficiently. The same mechanism can be applicable for the gravity waves in the atmosphere and mountain winds. We need further investigation on the mechanism in future.

We estimated the continuous excitation of free oscillations of Mars and Venus by atmospheric disturbances and we found that we can expect the same amplitudes for the two planets as the earth's background free oscillations. The background free oscillations excited by planetary atmosphere shall play important roles in the future planetary explorations.

常時自由振動の発見から 10 年が過ぎた。本講演ではこの 10 年間の研究の概略を述べ、惑星大気と固体惑星の力学結合が将来の惑星探査において重要な役割を果たすことを述べる。

小林 (1996) は太陽震動が対流層の激しい乱流によって励起されているアイデアを地球および火星、金星に適用することで観測可能なレベルの自由振動が存在することを示した。大地震を誘発するプレート間の強い相互作用が観測されていない火星や金星の地震学的内部構造探査を考える上で常時自由振動の存在は意義深い。その後、名古屋大学、東工大の研究グループによって次々と常時自由振動は発見されていった (e.g. Nawa et al. 1998, Suda et al. 1998, Kobayashi and Nishida 1998)。常時自由振動は地動ノイズの非常に低い 3 mHz から 8 mHz 付近の窓で良く観測される伸び縮み基本振動 (fundamental spheroidal mode) で、その振幅レベルは 0.5 ngal ほどである。須田らは世界的な地震カタログおよびグーテンベルグリヒター則に従う地震を与えて合成スペクトルを計算し観測されている常時自由振動が非地震性の震動であることを示した。西田らは世界の広帯域地震計の記録を注意深く検討し観測されている常時自由振動の励起がグローバルに分布するランダムな力によるものであることを示した。更に 3.7 mHz, 4.4 mHz の常時自由振動の振幅が周りのモードより有意に大きいこと、その振幅が年周変化を示すことを発見した。3.7, 4.4 mHz は大気モデルから計算される低周波音波モードと固体モードとの分枝交差にちょうど位置し、常時自由振動と大気関連を強く示唆するものであった。この点に関して久須見ら (2008) は解析を更にすすめ、常時自由振動の全体の振幅と結合モードの超過振幅や季節変動を統一的に説明する励起源モデルとして高度 1 km ほどにランダム力を分布させるモデルを提唱した。このランダム力が水蒸気の凝結 (雲) によって生じる浮力なのか、大気乱流層の運動による突き上げなのかなどの詳細な検討は今後の課題である。

しかし常時自由振動の励起源は非地震性ではあるが大気擾乱であるか海洋波浪である (e.g. Rhie & Romanowicz 2004, Webb 2007) かはまだ決着は着いていない。Nishida & Fukao (2007) の解析でも冬の北太平洋、夏のインド洋上で常時自由振動の励起源が他地域に比して強いことが示された。但し彼らの結果は全球的な励起源の成分も無視できないことを示している。更に Kurrle & Widmer (2008) は伸び縮み振動だけでなく捩じれ振動 (toroidal mode) も常時励起

されていることを報告している．また最近 Nishida et al. (2008) は 10 mHz 以上の地動成分にエネルギーで見て Rayleigh 波と同等な常時 Love 波 (toroidal mode に対応) の成分を見いだしている．擦りれ成分は地面を鉛直に押す圧力成分では励起されないため Fukao et al. (2008) は海洋重力波の海底地形カップリングによる Love, Rayleigh 波励起モデルを提唱している．同様なメカニズムは大気重力波や山岳風と山岳地形の地形カップリングでも生じうる．この方面の詳しい研究が今後期待される．

地球で観測されている常時自由振動が大気起源であるとすれば，同様なメカニズムで火星，金星も振動していることが見積もられる．地球以外の惑星内部構造の探査において常時振動が重要な役割を果たすであろう．