

常時励起大気音波

Continuously excited infrared sounds

小林 直樹[1]

Naoki Kobayashi[1]

[1] 東工大・理工・地球惑星

[1] Earth and Planetary Sci, TiTech

<http://www.geo.titech.ac.jp/~shibata>

近年、固体地球自由振動が常時励起されていることが明らかとされてきた。その励起源として地表面における大気の乱流擾乱による弾性波の励起メカニズムが提唱されている(小林 1996)。これによれば太陽放射によって生じた大気運動が地面をランダムに叩くことで n gal 程度の地球自由振動を励起する。実際、広帯域地震計による観測によれば mHz 帯で 0.5 n gal 程度の振幅で地球自由振動が観測されている。その特徴として、宇宙への赤外放射の変動と一致した季節変動が見られること、大気音波と固体表面波の分散枝が交わる周波数 (3.7 と 4.4 mHz) で常時励起地球自由振動に超過振幅が見られることなど、大気励起説を支持している(西田ら 2000)。また、深尾らはランダム励起理論と地球自由振動の観測とを比較し、大気擾乱の相関距離は 1 km 程度で 1 Pa 程度の擾乱によって常時地球振動の観測振幅が説明できることを示した。これらの擾乱のスケールは小林の使用した大気乱流モデルと同程度のスケールを示している。以上のように常時地球自由振動の励起源として大気乱流運動が有力であるが、今のところ間接的な証拠に過ぎない。大気擾乱で地球自由振動が励起されているということが正しければ火星、金星での自由振動が同じメカニズムによって同程度に励起されると予測され、その是非が問われるところである。大気擾乱によって固体地球振動が励起されるのであれば、それによって大気音波も常時励起されているはずである。そこで深尾らは東大千葉演習林に大気擾乱特に大気音波を捉えるため微気圧計のアレー観測に着手した。これを受け本講演では大気乱流による常時励起大気音波の励起について議論する。

mHz 帯の大気音波は基本的に鉛直伝播する音波である。この音波は地面と中間圏界面 (80 km) の間に捕らわれる。音波の鉛直伝播の障壁は $c/H = g/c$ で与えられるカットオフ周波数(約 6 mHz) で特徴付けられる。ここで c は中間圏界面での音波速度、 H は圧力スケール高、 γ は比熱比、 g は重力加速度である。平均音速を中間圏界面高度で割って得られる周波数が捕獲大気音波の基本周波数で、およそ 3.7 mHz である。この基本音波はカットオフ周波数以下であり比較的よくトラップされる。言い替えれば波長が H より十分長い音波にとって中間圏界面は比較的硬い蓋となる。この音波の Q 値はおよそ 100 程度である。この音波は水平波数 k にして $ck=3.7$ mHz なる値までのもので、水平波長にして 600 km 以上 ($\gg 80$ km) のものであるが、これが鉛直に伝播するの意味である。

乱流による音波発生メカニズム (Lighthill 1952) によれば単位時間、単位質量あたりに発生する音波の効率 E は Mach 数 M の $2n+1$ 乗程度である。四重極子放射(Reynolds 応力)の場合は $n=2$ 、双極子放射(浮力など体積力)の場合は $n=1$ である。単位時間、単位質量あたりに下層大気によって吸収される太陽放射エネルギーは $I=6.5E-3$ [J/kg/s] 程度である。これを大気運動に注がれるエネルギー源とすれば、 E^*I が乱流運動によって単位時間、単位質量あたりから放射される音波エネルギーである。 E^*I に音波の鉛直伝播の立体角比 0.02 、周期 270 秒、 Q 値の平方根をかけたものは単位質量あたりの音波の平均エネルギーである。この関係から、 3.7 mHz 付近の乱流速度 u を 2 m/s 程度とおけば、四重極子放射で $P_s=5E-4$ [Pa]、双極子放射で 0.1 [Pa] ほどの音波振幅が得られる。一方、大気の乱流運動そのものの大きさは $P_n=4$ Pa 程度であるので、これらを観測で押えるには空間的、時間的にデータを積算する必要がある。必要な最低サンプル数は $N=(P_n/P_s)^{**2}/Q$ で与えられる。これはシグナルパワーの積算がノイズパワーに勝るという条件である。 N を見積もると四重極子放射で 10 万回、双極子放射で 10 回程度となる。これは 10 個程度の微気圧計アレーで観測するとすれば、前者で 10 年、後者で半日程度の観測日数となる。

$P_s=5E-4$ という音波の流体速度は $1E-6$ m/s になる。これに固体地球と大気のインピーダンス差を考慮して周期 270 秒での加速度に換算すると 0.2 n gal となる。これは西田らによって観測された 3.7 mHz での地球自由振動の超過振幅を説明する。すなわち、小林による大気擾乱の(四重極子放射をする)動圧のスケールは地球自由振動の振幅のみならず、大気自身の音波の常時励起振幅をうまく説明する。このことは間接的ではあるが大気擾乱によるグローバル振動の励起メカニズムを一層裏付けるものである。直接的な大気常時音波の観測が待たれるゆえんである。一方、積乱雲の発達にみられる潜熱解放による強い上昇流は音波の双極子放射を励起する。この場合、イベント的ではあるが半日程度の観測によって大気音波を検出できるであろう。