

超伝導重力計の「モード」ノイズの原因について

On the cause of the 'mode' noise of the superconducting gravimeter

今西 祐一[1], 干場 充之[2], 小久保 一哉[3], 館畑 秀衛[4]

Yuichi Imanishi[1], Mitsuyuki Hoshiba[2], Kazuya Kokubo[3], Hidee Tatehata[4]

[1] 東大・海洋研, [2] 松代精密地震観, [3] 気象庁・精密地震観測室, [4] 気象庁精密地震観測室

[1] ORI, Univ. of Tokyo, [2] Matsushiro Seis. Obs., [3] Matsushiro Seis. Obs., JMA, [4] Matsushiro Seismological Observatory, JMA

超伝導重力計には、通称「モード」と呼ばれる、周期 90-100 秒程度（個体によって異なる）の奇妙なノイズが存在する。このノイズは静穏時にもしばしばスペクトル上で明瞭なピークとなって現れ、實際上この重力計の特性周波数帯域の上限を決めているものである。このノイズの実体は、超伝導重力計センサーにおける磁気支持機構に内在する一種の固有振動であると考えられており、近地地震の際や装置に機械的ショックが加わったときなどに単独で大きく励起されるのが観察される。しかし、この異常に長い周期は超伝導球の並進運動だけでは説明できず、球の回転運動に関係があるとも言われているが、正確なメカニズムはまだわかっていない（このため、単に「モード」と呼ばれるのである）。

この「モード」ノイズは、スペクトルの周波数軸上において潮汐周波数帯からは十分離れた位置にあるので、潮汐などの長周期現象を扱うかぎりにおいてはほとんど無害である。しかし、地球自由振動の帯域にはぎりぎりまで重なっているため、スペクトルの裾野の効果を含めて、周期 1000 秒程度までの帯域のノイズレベルにどの程度寄与しているかが問題となってくる。実際、地球自由振動の帯域においては、超伝導重力計は STS-1 地震計よりノイズレベルが高いというのが、観測点によらない口バスタな傾向であり、その原因はいずれにしても装置じたいに求めなければならないわけである。

ここでは、この「モード」ノイズの特性について、気象庁精密地震観測室（長野県松代）に設置されている超伝導重力計 T011 の記録を用いて調べた。この器械の場合、「モード」の周期は約 90 秒である。

超伝導重力計は、内部に組み込まれた 2 つの傾斜センサーの信号に基づいて、サーマルレベラーと呼ばれる機構によってアクティブに姿勢制御を行っている。その傾斜のスペクトルを計算して重力のスペクトルと比較すると、両者の周期 90 秒におけるパワーの時間変化が、非常によい相関を示すことがわかった。また、傾斜のスペクトルに現れるいくつかのピーク（それらがなぜ存在するのかはまた別の問題である）と、同じ周波数に現れる重力のスペクトルのピークとを比較すると、両者のアドミッタンスは周期 90 秒付近に共鳴周期をもつ 2 次の振動系の共鳴曲線に非常によく似ることもわかった。装置の傾斜とはつまり垂直面内の回転角度であるから、この共鳴曲線は、地震計の原理とのアナロジーで言えば、装置の回転角度を地面の変位に、重力をテストマスの変位になぞらえたものと見なされる。そうすると、実際に効力をうむのは角度の 2 回時間微分つまり角加速度であるから、これは装置の角加速度に対する球の応答を見ていることになる。さらに、試験的にサーマルレベラーを切り離して動作しない状態にしてしまうと、「モード」ノイズがほとんど見えなくなるということもわかった。

これらのことから、「モード」とはやはり何らかの回転運動に関係した振動であり、装置にかかるトルクによって励起されるものであると考えることができる。トルクの大部分はおそらくサーマルレベラーから発生しており、その意味では「モード」ノイズの直接の原因はサーマルレベラーであると言える。ただし、サーマルレベラーによる制御の結果としての傾斜の記録を見るかぎり、より長周期側では傾斜変化は相対的に小さくなっている。また、トルクに対する球の応答は、周期 90 秒をピークに、より長周期側では急激に低下する。したがって、サーマルレベラーに由来する「モード」ノイズの寄与はほとんど周期 90 秒付近に限られ、地球自由振動帯域全体のノイズの原因とはならない。