



地下実験における重力勾配雑音 -車両交通の影響-

鷲見貴生 (国立天文台/KAGRA・ET)

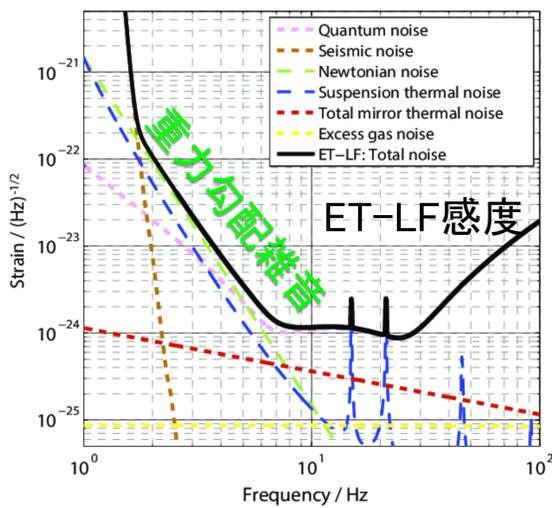
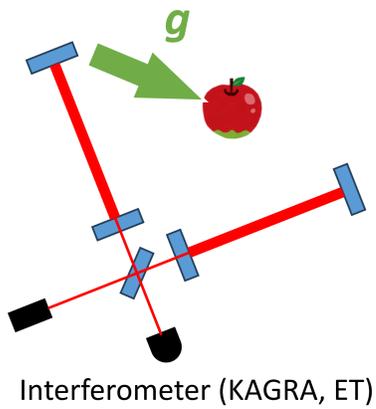
科研費
KAKENHI

22H01246

1. 重力波検出器と重力勾配雑音

重力波検出器において、重力勾配雑音(Gravity Gradient Noise, もしくはNewtonian Noise) は重要な雑音である。これはレーザー干渉計を構成する鏡の周辺の物体の運動や密度変化によって生じる重力勾配変動によって鏡が揺らされるという雑音であり、原理雑音に分類される。この雑音は重力によって引き起こされるため、防振や遮蔽をすることができない。特にEinstein Telescope (ET) など将来の第3世代重力波望遠鏡においては、低周波数の感度を制限する要因となることが想定されている [1]。

重力勾配雑音の研究としては、これまで地面振動や、大気・音響振動、水流(排水路)、実験施設の構造体による影響の見積もりがなされてきたが、それらは干渉計の鏡を単純な質点と仮定し、水平方向のみを考慮した計算であった。

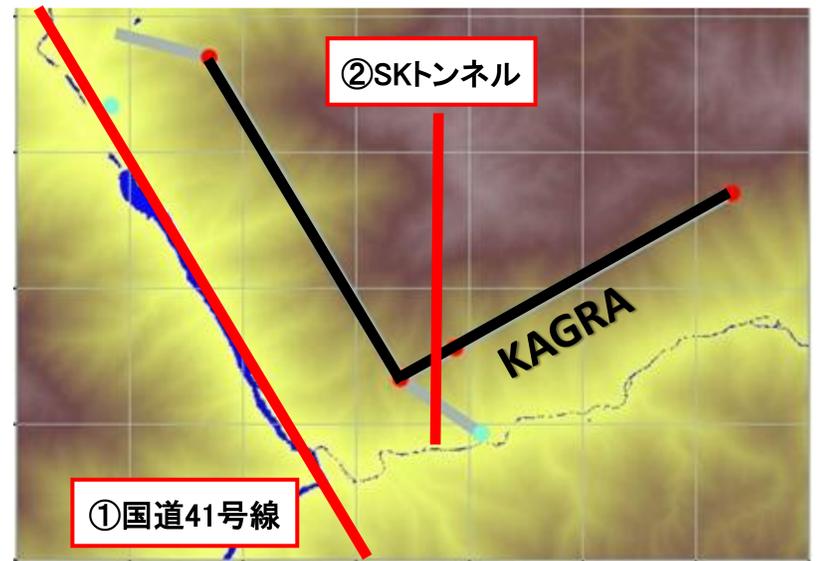


[1] X. Korovesi et al., Phys. Rev. D 108, 123009 (2023)

3. KAGRA周辺の道路交通

地下重力波検出器における重力勾配雑音の例として、周囲の道路を通る自動車やトラックがKAGRAに与える影響を評価する。LIGOやVirgoのような地上重力波検出器の場合は、地面振動や音響振動といった直接的な影響があるが、地下の場合はそれらが遮蔽されるため、重力勾配雑音がより重要になると考えられる。

ここでは、KAGRAのYアームに沿って走る国道41号線と、スーパーカミオカンデ施設のアクセストンネル(跡津坑道)を考える。周辺には他にも指導跡津川線、茂住坑道、KAGRAアクセストンネルなどがある。簡単のため道路は直線とし、自動車の速度は一定とする。車両としては、大型トラック(典型的な総重量:20トン)が1台だけ通過するとする。

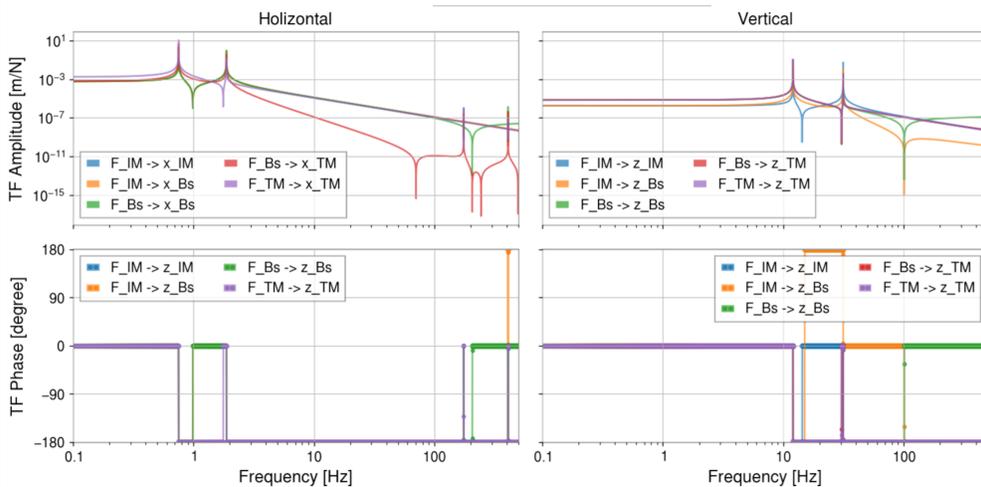
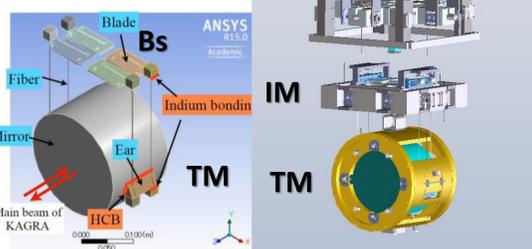


2. 防振装置の応答モデル

重力波検出器では、外界からの振動雑音を削減するために多段振子構造の防振装置で鏡を懸架する。重力勾配雑音は、重力波信号とは異なり防振装置の各段に異なる変位を与えるため、これらが連結された系を考える必要がある。

ここでは、KAGRAの低温懸架系のうち最下段部にあたる中段マス(IM)、ブレードスプリング(Bs)、テストマス(TM)の3段モデル[2]を用いて議論を行う。

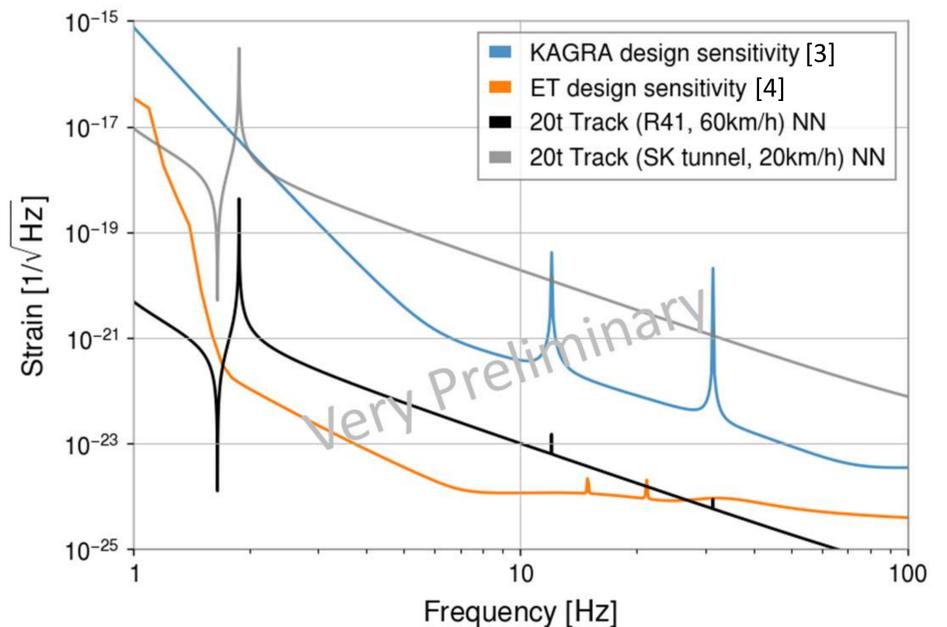
[2] C-H. Lee et al., Eur. Phys. J. C (2020) 80:1125



4. 車両による重力勾配雑音の見積もり

KAGRAに対して、国道41号線(黒)およびSKトンネル(灰)を通過するトラックが与える重力勾配雑音を、防振装置の応答を考慮して計算し、KAGRAおよびETの設計感度と比較した。ETについては防振装置応答や周囲の道路交通がKAGRAと異なるため、あくまで参考である。

結果としては、国道41号線の場合はKAGRAの設計感度よりは小さいがETの設計感度よりは大きく、SKトンネルの場合はKAGRAの設計感度よりも大きな重力勾配雑音を生じると見積もられた。



[3] <https://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/researcher/parameters> (JGW-T1707038-v7)
[4] <https://www.et-gw.eu/index.php/etsensitivities>

今回、周囲の道路交通によってKAGRAに与えられる重力勾配雑音を、防振装置の応答を考慮したうえで計算した。その結果、特にSKトンネルを通過する大型トラックによる雑音がKAGRAの設計感度を上回ると見積もられた。今回の計算では簡単のため、発車の瞬間に最高速度に達し停車の瞬間に速度ゼロになるとしたが、実際の加減速を考慮すると結果はより小さくなると予想できる。また、今回は直線と近似した道路を実際の形状に置き換える必要もある。

将来KAGRAの感度が設計感度に近づいた際には、周囲の道路にカメラ等を設置して車両の通過する時刻や速度、おおまかな重量を監視する必要がある。またEinstein Telescopeに対しても、防振装置や建設候補地周辺の道路を加味して同様の計算を行う。