

基礎レクチャー 6/17 の分 (世界の地上重力波検出器)

東京大学理学系研究科天文学専攻 M1 チン タン

2010/7/15

1 世界の地上重力波検出器

世界にはいくつもの重力波検出器がある。

LIGO:4km. アメリカの二箇所。ワシントンの砂漠と、ルイジアナのジャングルにある。砂漠は静かだが、ジャングルはうるさい。ワニが出るとか。その感度は中性子星連星の合体があつと時に観測できる距離が 14.5Mpc である。これは現在 20Mpc となっている。

Virgo:フランス、イタリア、ニュージーランド、ポーランド。3km でイタリアのピサの斜塔の近くにある。「Super attenuatr」によって、防振に優れている。(低周波まで抑える) その感度は 10Mpc である。

GEO:ドイツとイギリス (600m) 光共振器を使用していない。Signal Recycling Mirror の位置を調節することで観測周波数領域を調節できる。

TAMA:SAS を組んで、感度曲線が黒から赤に変わり、良くなった。

CLIO:低温のプロトタイプ。神岡にあり、そこでの地面振動は非常に小さい。感度曲線が赤から青に変わった原因について。ミラーにはマグネットがついていて、外にはコイルが付いている。これでミラーの位置を制御しているが、そのコイルが取り付けられている部品がアルミでできていたために赤のようなノイズになっていた。これを変えたら青になったらしい。

LCGT:目標は量子雑音によってのみ limit される感度を実現する。「Detection range of LCGT」の図について。横軸は連星の質量、縦軸は距離で表した感度。青い線と赤い線がそれぞれ LCGT の感度である。中性子星の合体は緑の線である。つまり、LCGT なら、165Mpc-250Mpc より近くで中性子星の合体があれば、受かるということである。ちなみに近くに存在する銀河の一つであるアンドロメダ銀河は 0.7Mpc である。(局部銀河群の一員)160 億円くらい必要だが、100 億円は予算がついた。現在の LIGO と Virgo では半分の稼働時間でどうのこうの。。。

AIGO:オーストラリアにある。いまは 80m だが、10km まで伸ばせるらしい。LIGO の High Power レーザーを試すための実験を行っている。

2 今までの成果

重力波はうかっていないが、科学的な成果は出ている。

一つ目に、GRB 070201 について。short γ 線バーストは観測されたが、LIGO では重力波信号が得られなかった。 γ 線バーストは中性子合体の時に放射されるとされる。重力波信号が受からなかったから、その結果として考えられるのは、次の可能性である。1. この銀河の中ではなく、もっと遠くで起きた。2. 中性子星でない別のメカニズムで γ 線が放射された。

二つ目に、Crab Pulsar について。スピンが遅くなっているのが観測されている。これは重力波によるエネルギーの放出と考えられている。重力波が観測されていないため、重力波のエネルギーの上限 limit が、スピンの遅くなっている原因の 4% 未満であることがわかった。

三つ目に重力波がまだうかっていないことから、宇宙論パラメーターの上限がもっと低くなった。

3 感度を表すグラフの縦軸について

感度を表すグラフの縦軸の単位は $\frac{\text{m}}{\sqrt{\text{Hz}}}$ になっていることが多い。これを説明する。

まずは標準偏差について。標準偏差 (x_{rms} or σ) とは大体どれくらい揺らいているかを表しているもので、以下のように定義されている。

$$x_{rms} = \sqrt{d_i^2} = \sqrt{(x - \bar{x})^2} \quad (1)$$

ここで d_i は残差を表してる。例えば図 1 の場合には平均値が 0m で、標準偏差 x_{rms} が 1m くらいである。この図 1 を周波数成分に分けて書き直すと、図 2 になる。この図 2 をパワースペクトルという。図 1 で振動の時間間隔が大体 1msec だとすると、図 2 のパワースペクトルのピークは 1kHz に出てくる。標準偏差 x_{rms} は実は次のように表すことができる。

$$x_{rms}^2 = \int_0^\infty S_p df \quad (2)$$

そこで図 2 を近似的に図 3 のように書く。(幅 Δf 、高さ $S_p(f)$) この時に x_{rms} は次のように表せる。

$$x_{rms} \simeq \sqrt{S_p(f)} \sqrt{\Delta f} \quad (3)$$

この時の $\sqrt{S_p(f)}$ を使ってグラフを書くことがよくある。この $\sqrt{S_p(f)}$ の単位が $\frac{m}{\sqrt{Hz}}$ である。例を図 4 に載せる。

4 偏差値について

標準偏差と偏差値について説明する。

標準偏差とはその分布にどれだけの幅があるかを表している。偏差値とは中央値を 50 として標準偏差の値だけ離れるごとに 40, 30, ... もしくは 60, 70, ... とする値である。

例 1

問題 1: 1+1= 問題 2: フェルマーの定理を証明せよ

この場合、点数は全て 50 点となるとしよう。その時の平均点はもちろん 50 点である。標準偏差は 0 である。なぜなら残差 (自分の点数と平均点の差) はみんな 0 であるから。よってこのテストで 0 点をとったときの偏差値は $-\infty$ で、100 点をとったときの偏差値は $+\infty$ である。

例 2

問題 1: 普通の問題 (正解の解答率が 50%)

この場合、点数は 0 点か 100 点となる。平均点は 50 点であるが、標準偏差は 50 となる。よってこの場合の 0 点の人の偏差値は 40 で、100 点の人との偏差値は 60 となる。

重力波で考えると、図 5 にしめすように、標準偏差の何倍の信号が来たかで、その信号が偶然に起きたものであるか、本当の重力波信号であるかを判断する。

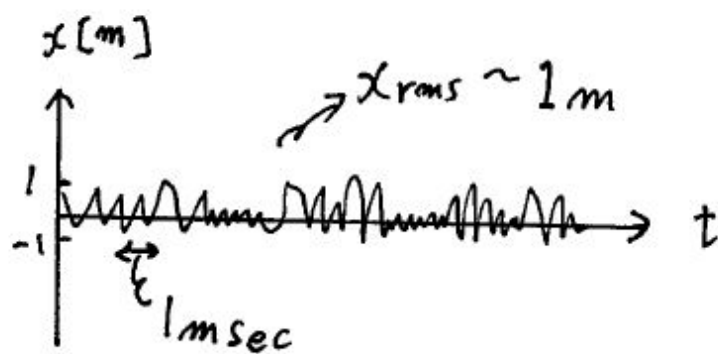


図 1:

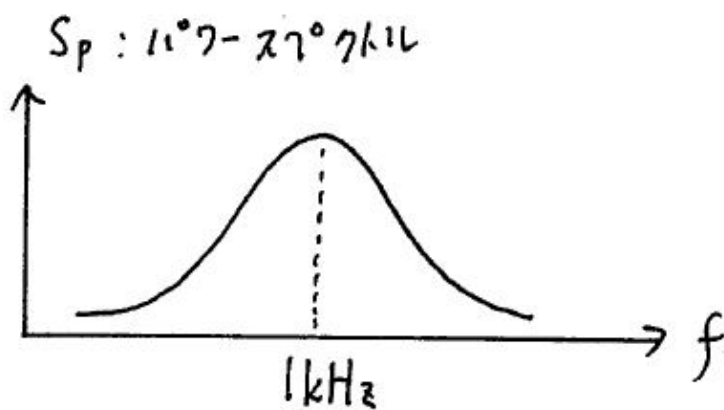


図 2:

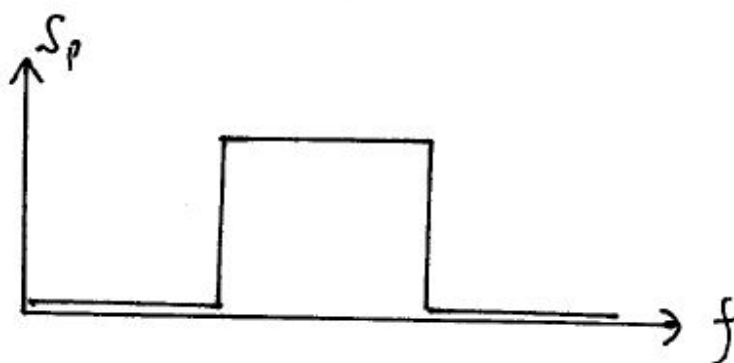
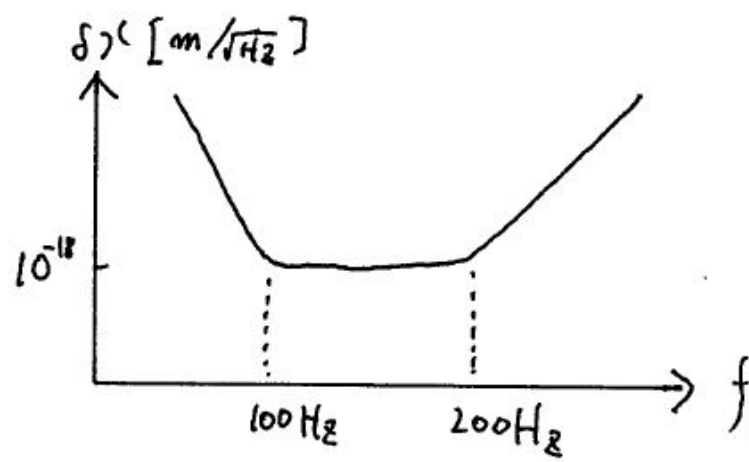
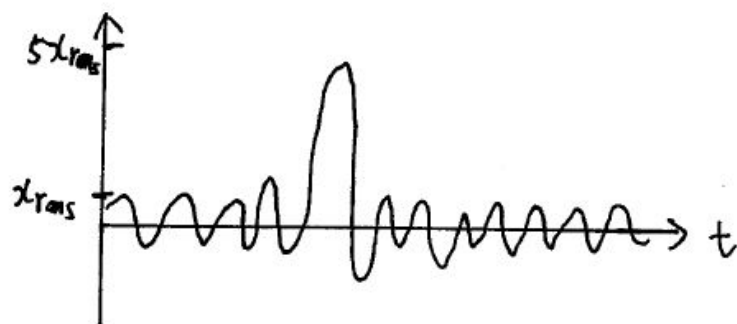


図 3:



⊗ 4:



⊗ 5: