

バイオリンモードの 重力波観測への影響

端山和大

KAGRA detector characterization team

トピックス

バイオリンモード

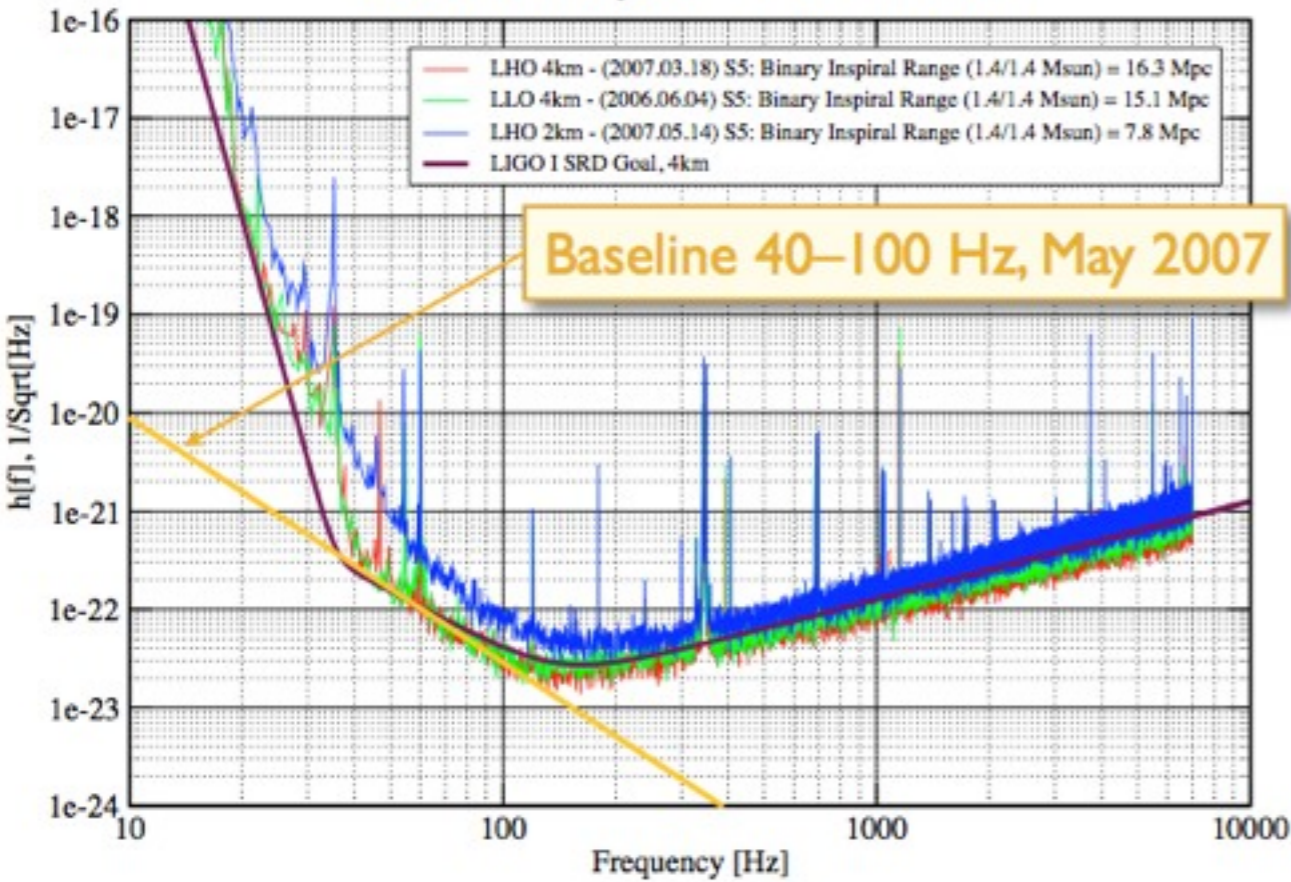
- バイオリンモードの16分裂のフィッティング
- インスパイラルサーチへの影響
- バーストサーチへの影響
- 非定常性雑音による励起の影響
- ダンピングによる改善
- 位相の変化について

Violin mode in initial LIGO

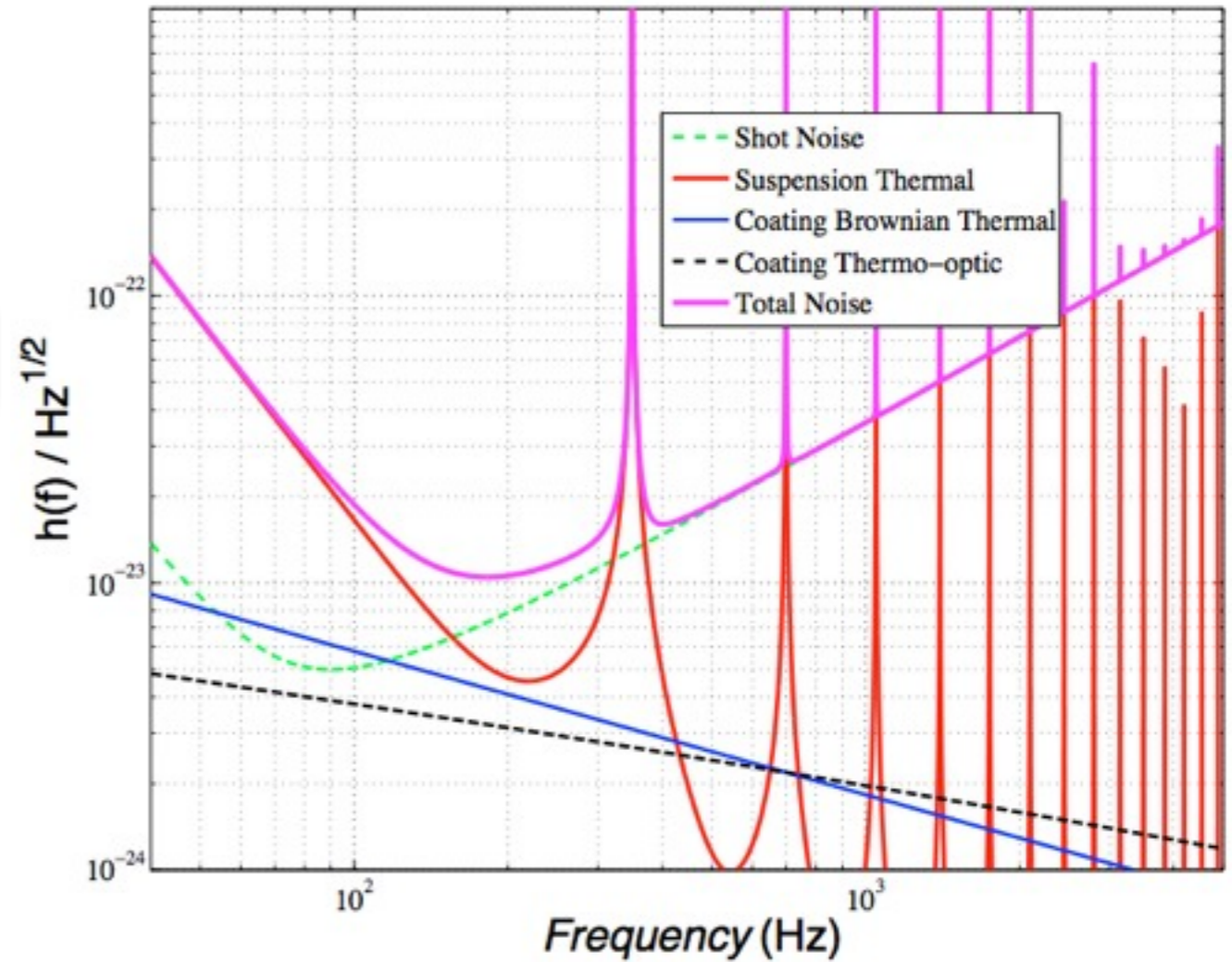


Strain Sensitivity of the LIGO Interferometers

S5 Performance - May 2007 LIGO-G070366-00-E

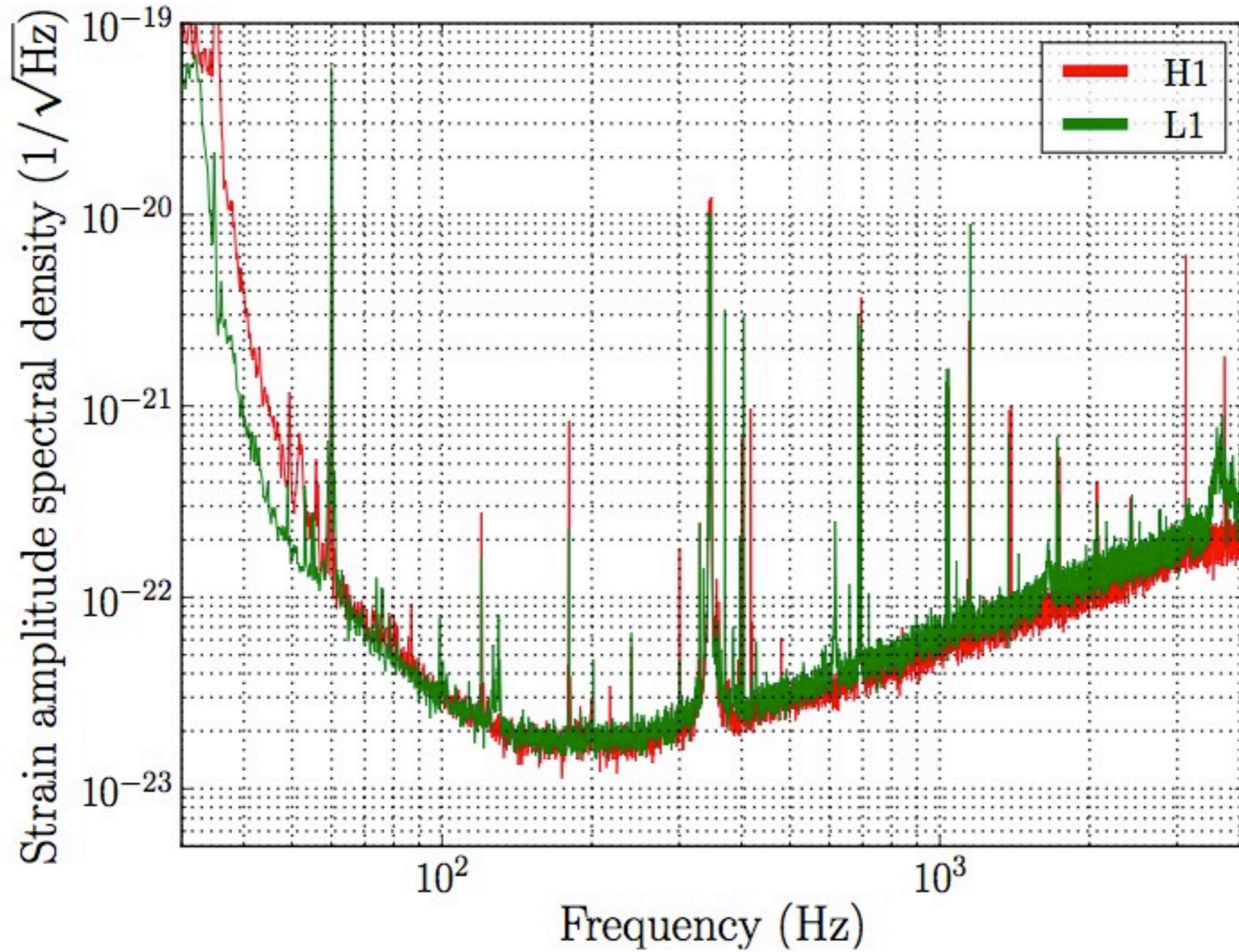


LIGO-G070553



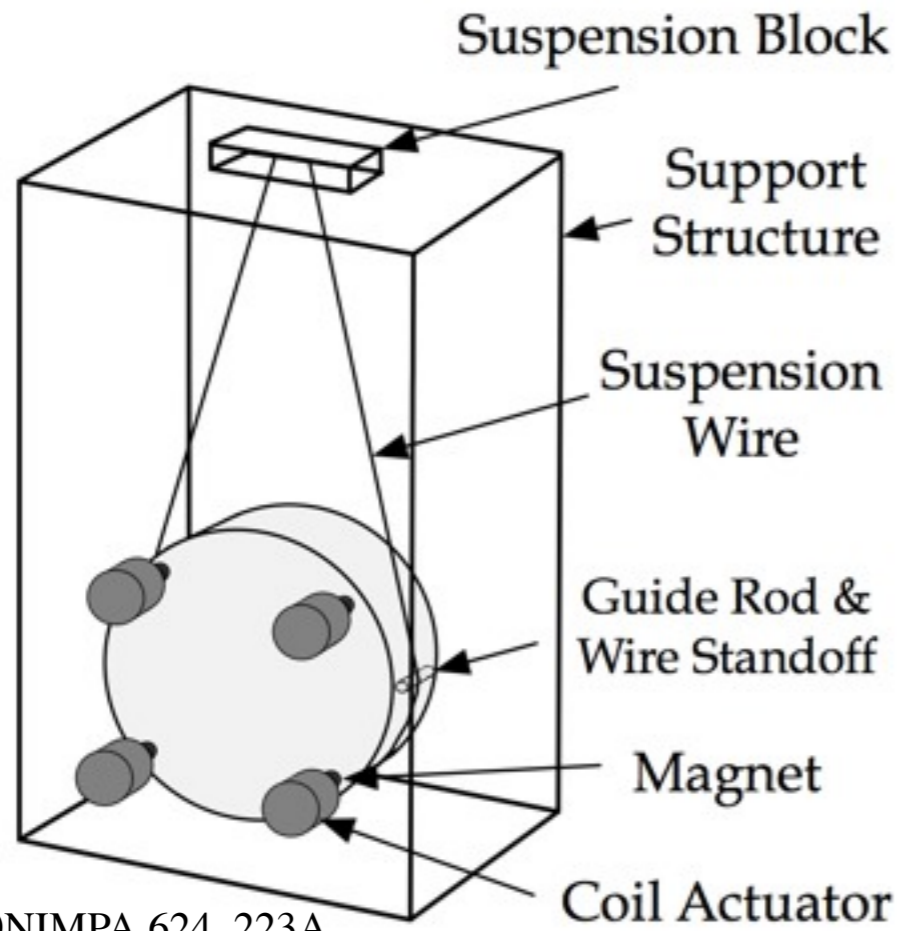
LIGO-G070553

Noise curve of eLIGO



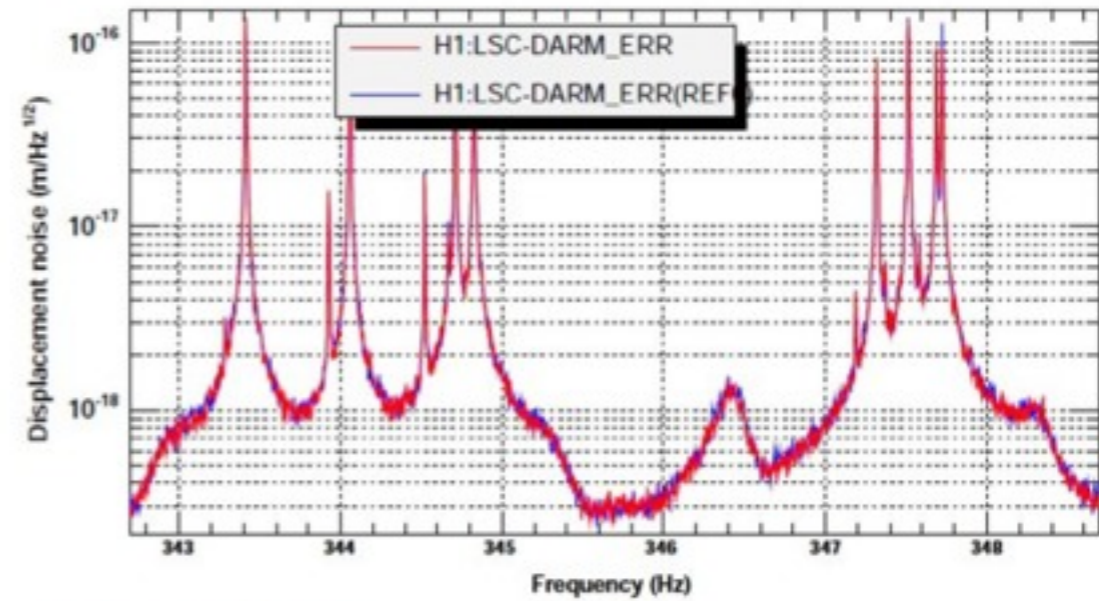
LIGO-P1000142

Violin modes in initial LIGO data



2010NIMPA.624..223A

Violin-Mode Fundamental Band (V1 DTT cal)

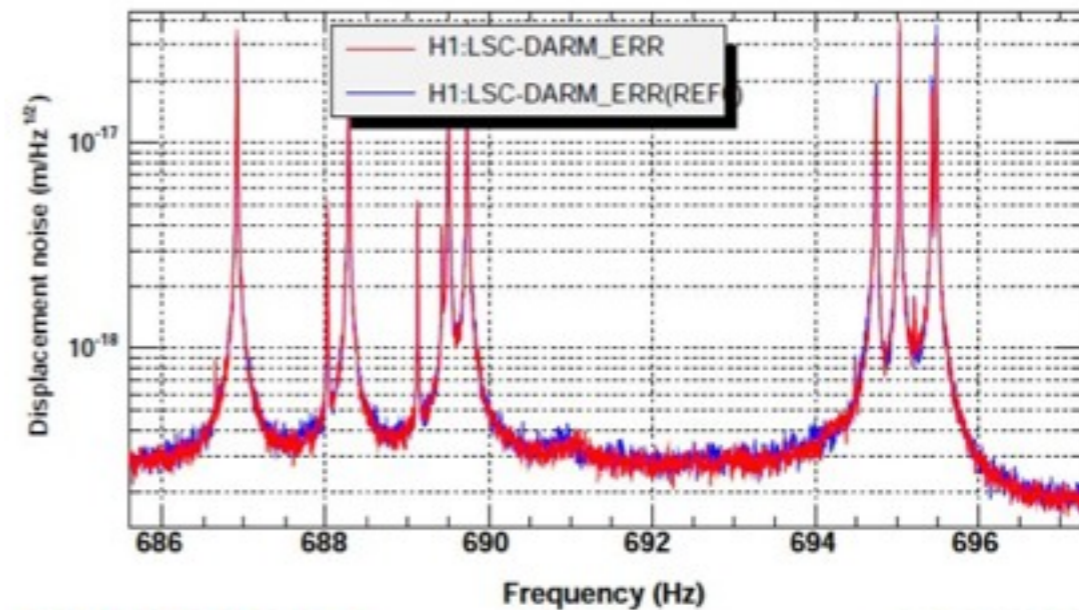


*T0=04/09/2006 19:43:56

Avg=40

BW=0.00585489

Violin-Mode 2nd-Harmonic Band (V1 DTT cal)



*T0=04/09/2006 19:43:56

Avg=40

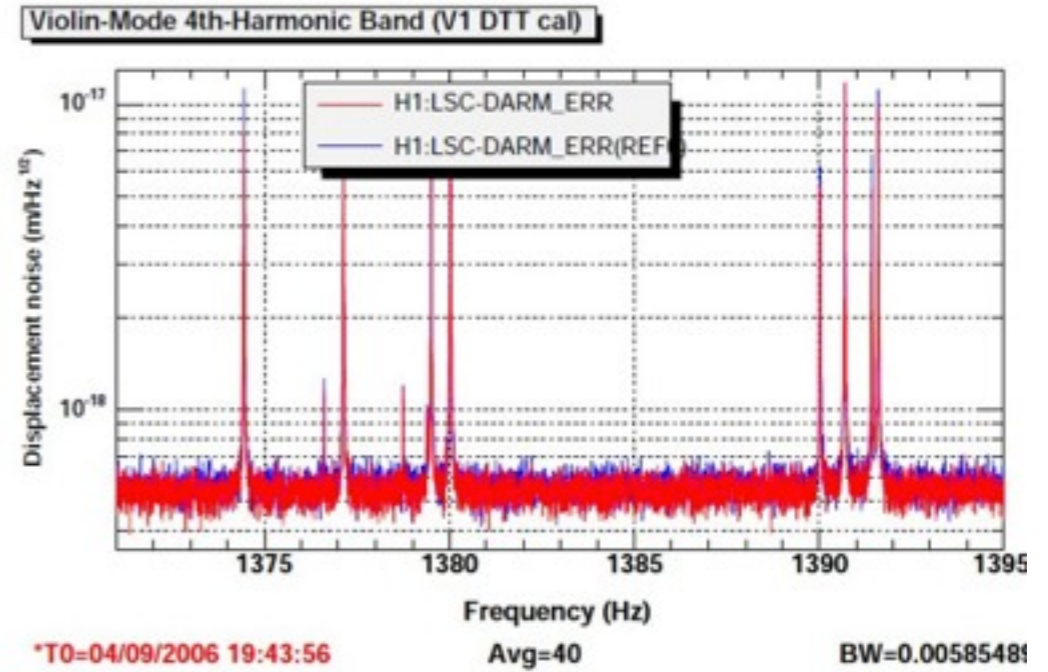
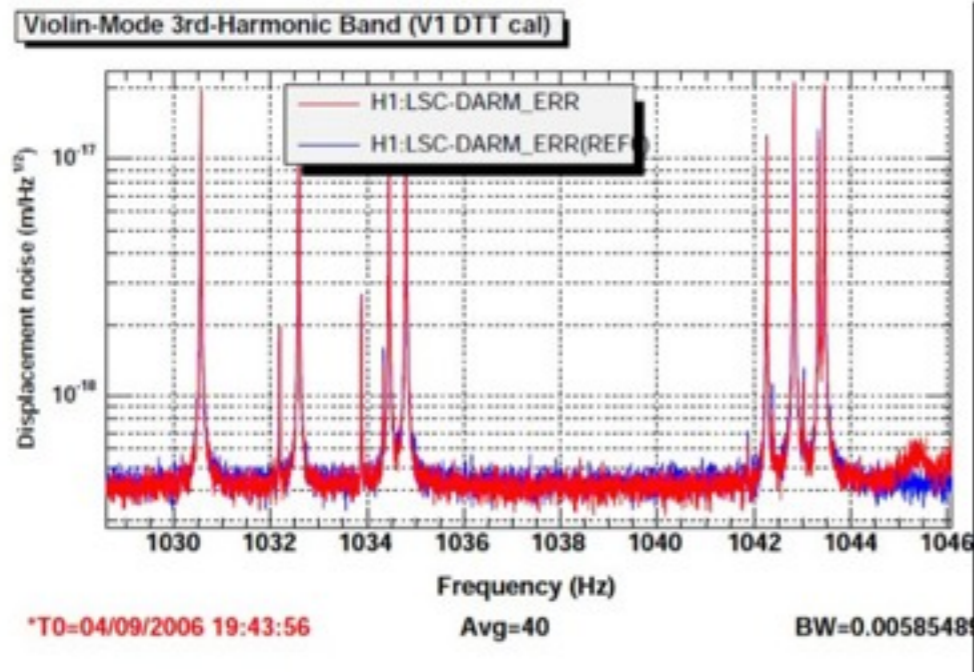
BW=0.00585489



Barish 1999

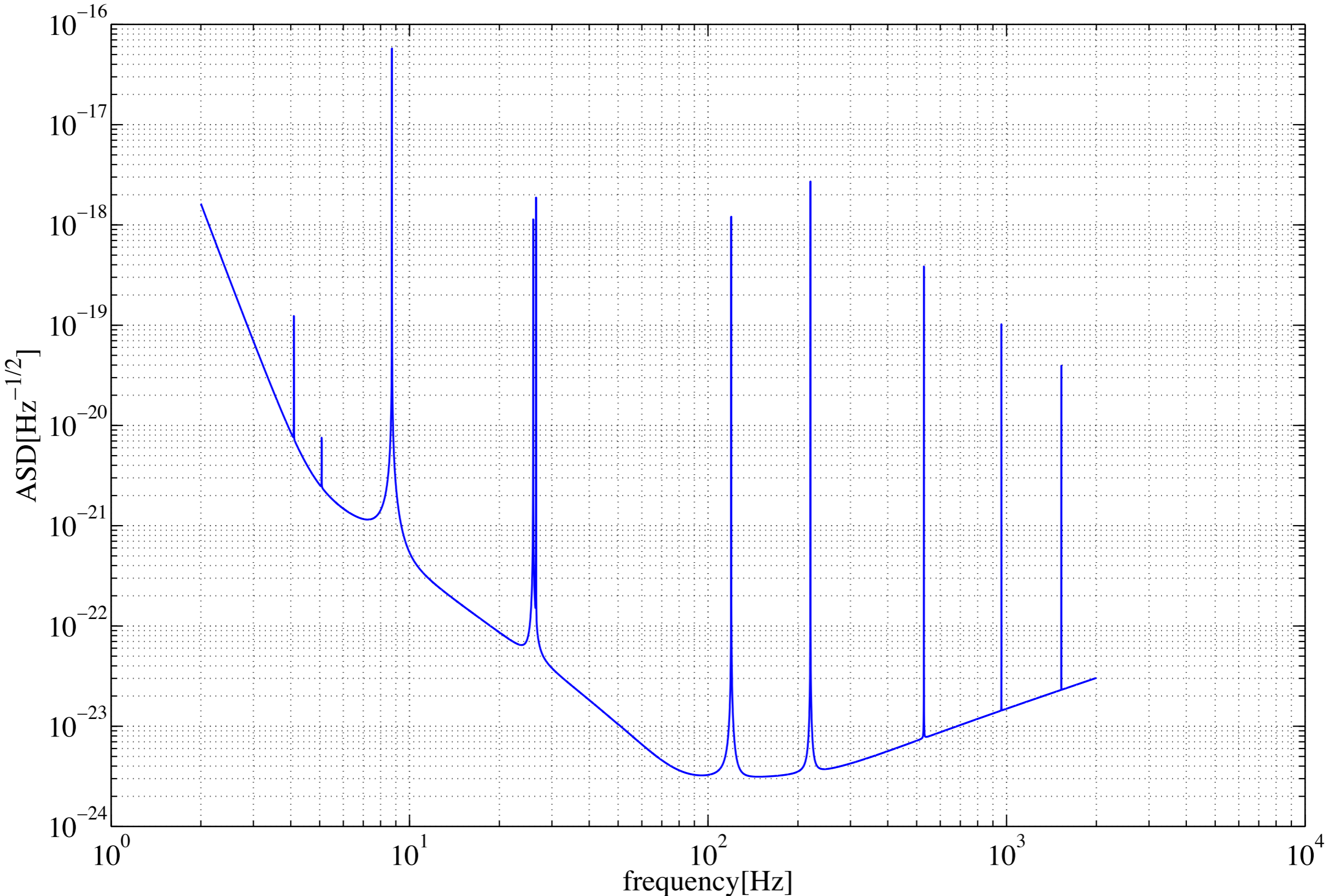
V. Boschi D. thesis

Violin mode in initial LIGO data

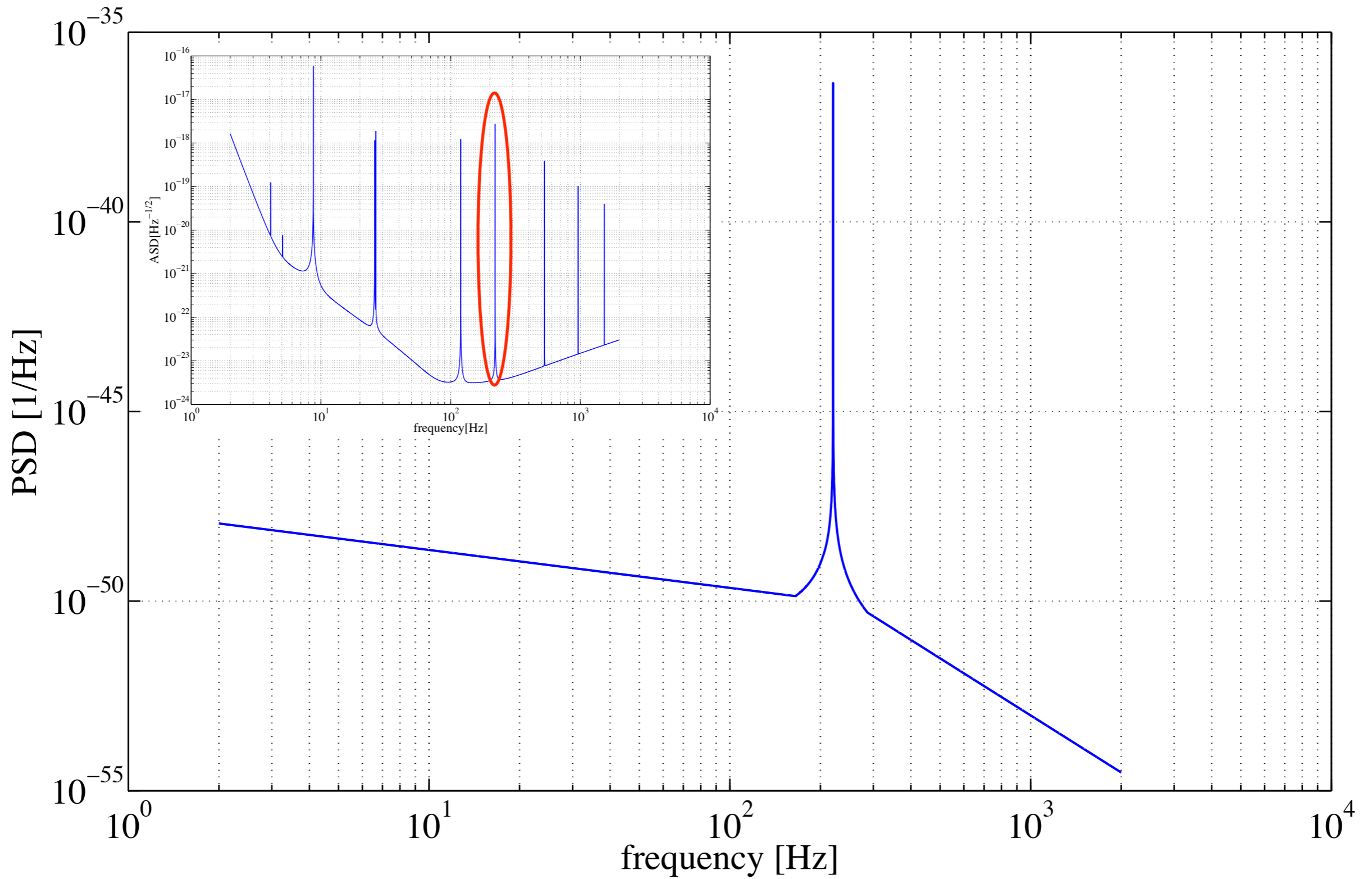
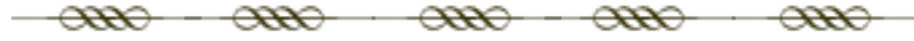


V. Boschi D. thesis

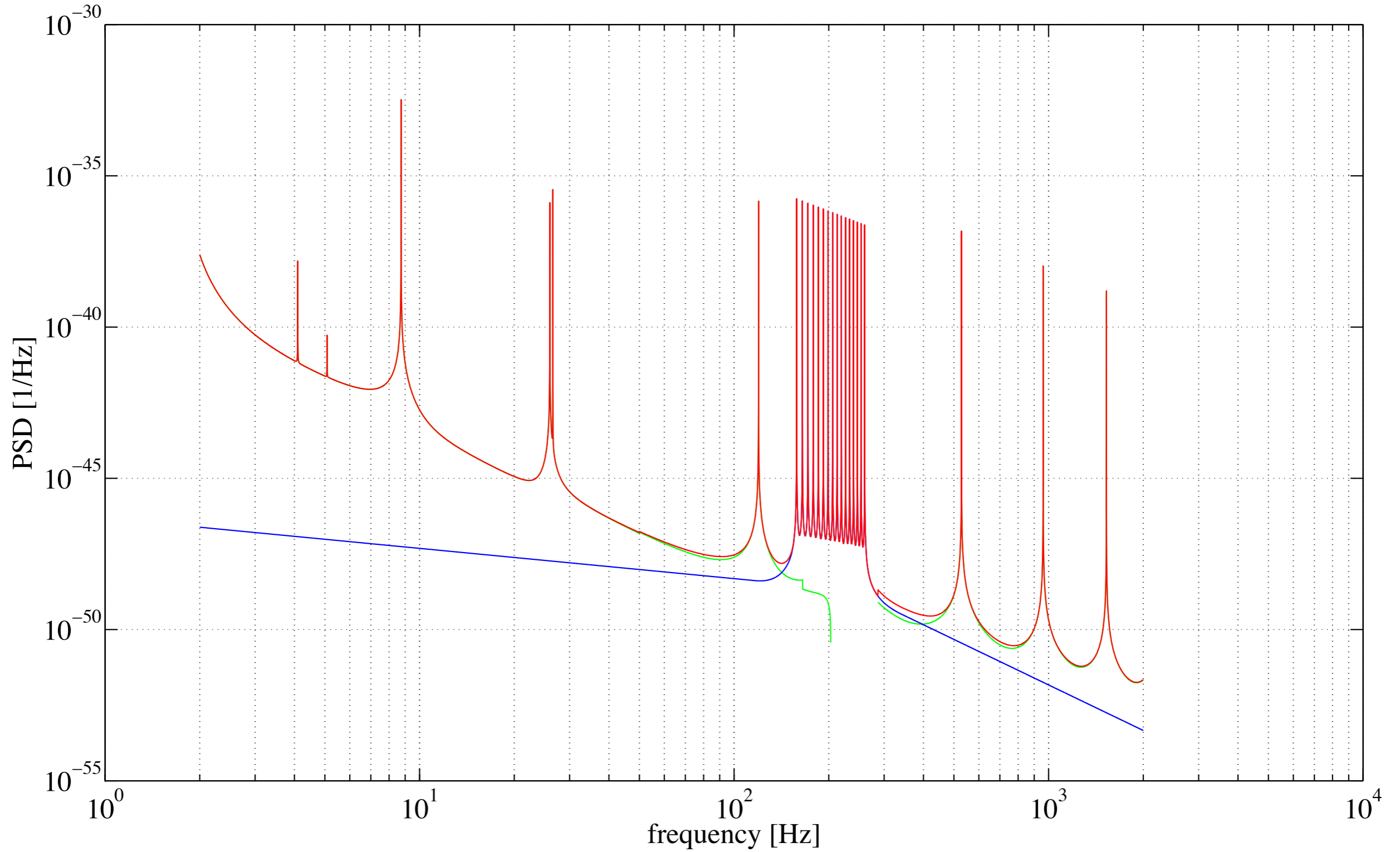
KAGRA noise curve



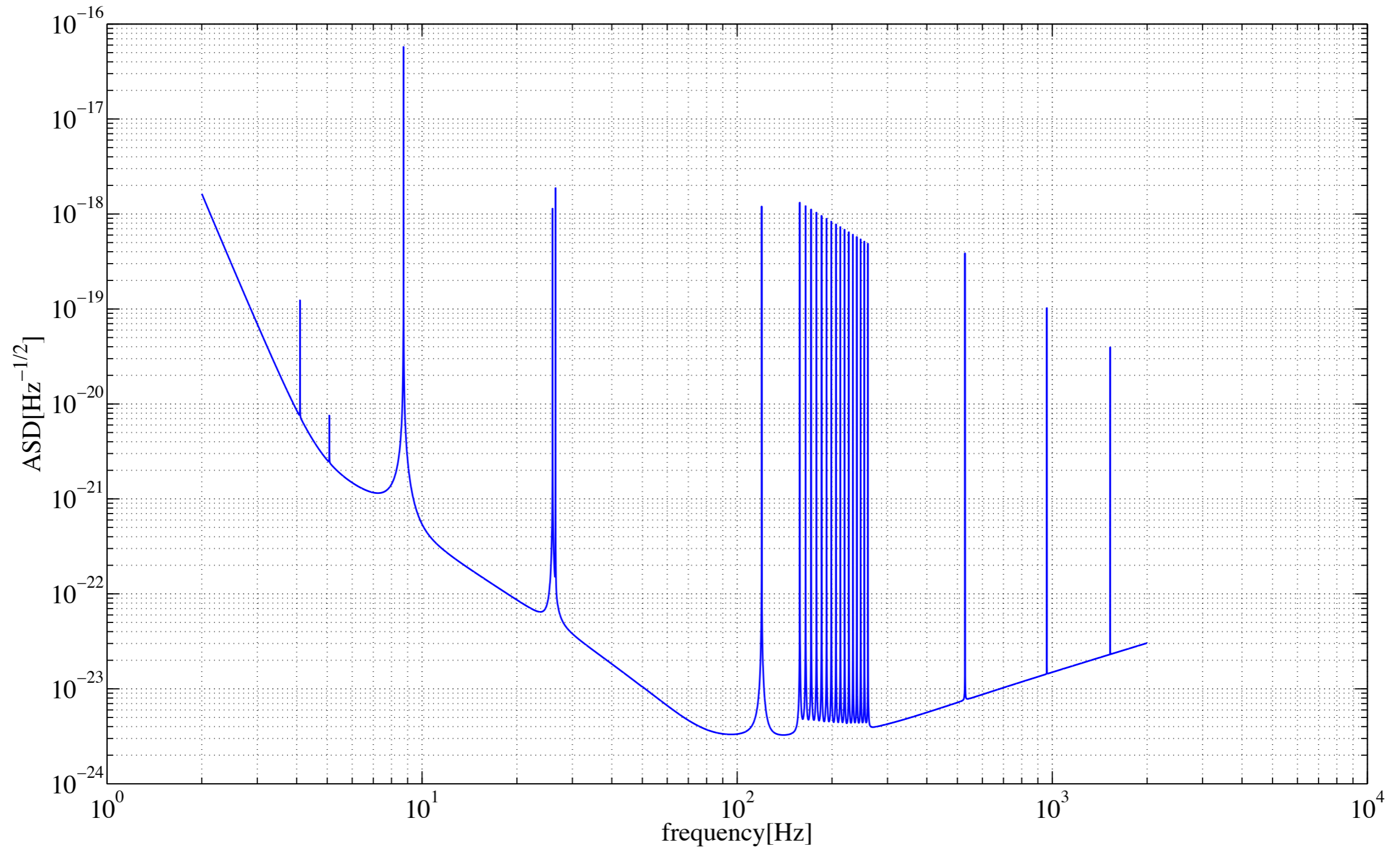
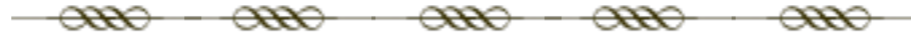
Fitting 1st. violin mode



Spectrum with 16-separated violin modes

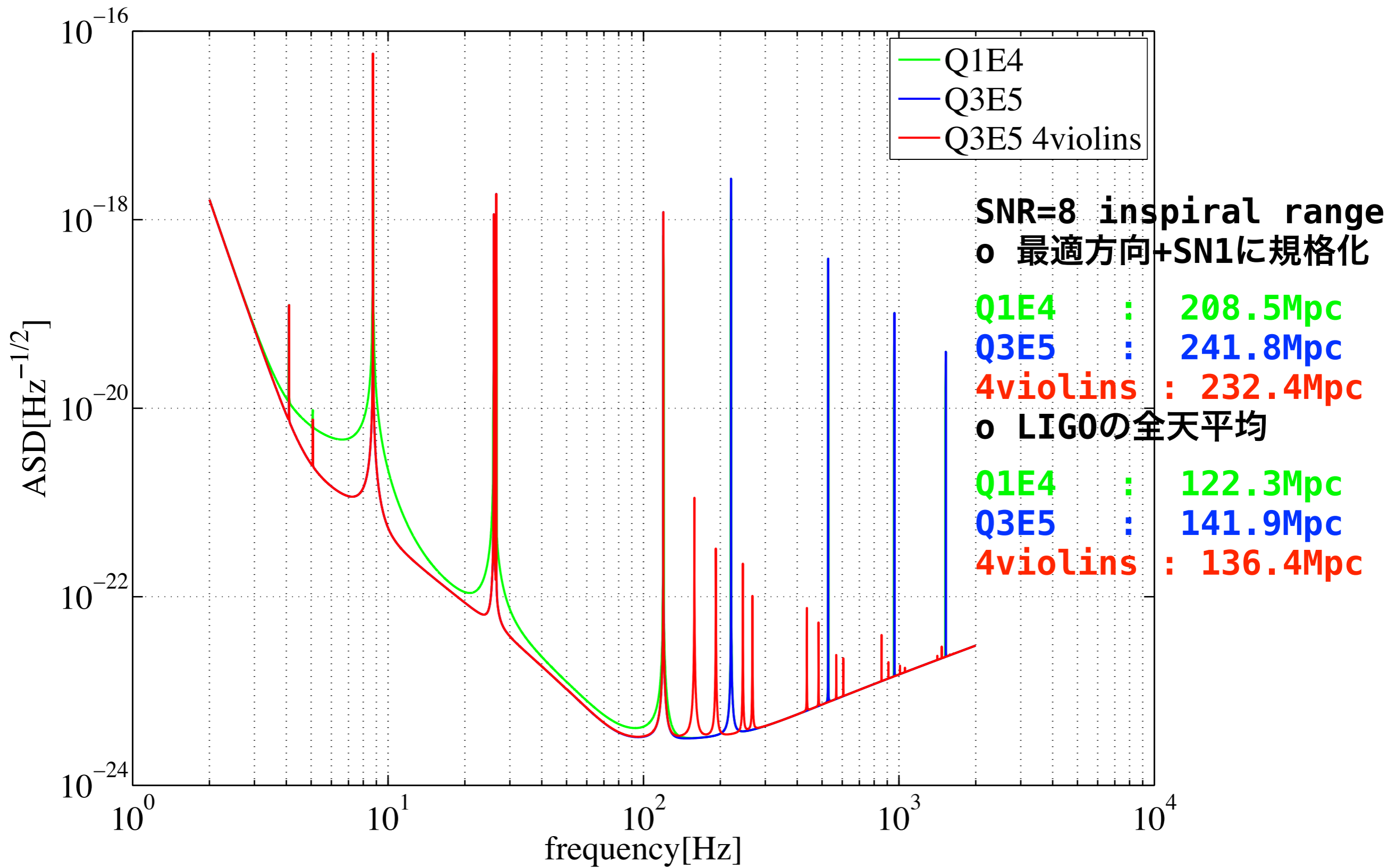


16-separated Violin modes

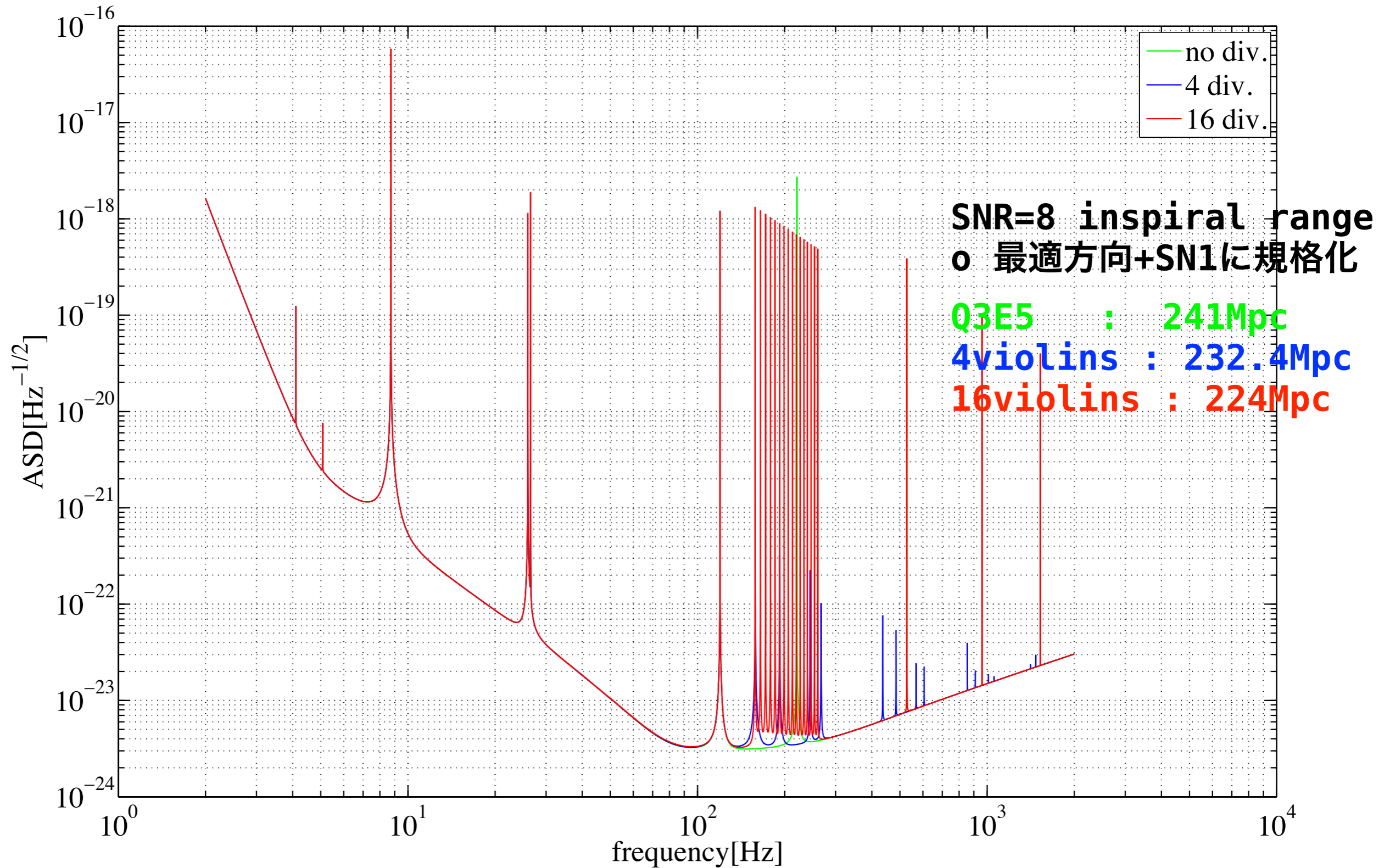
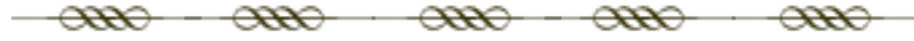




Effect to inspiral search



Spectrum with violins



Parameter estimation

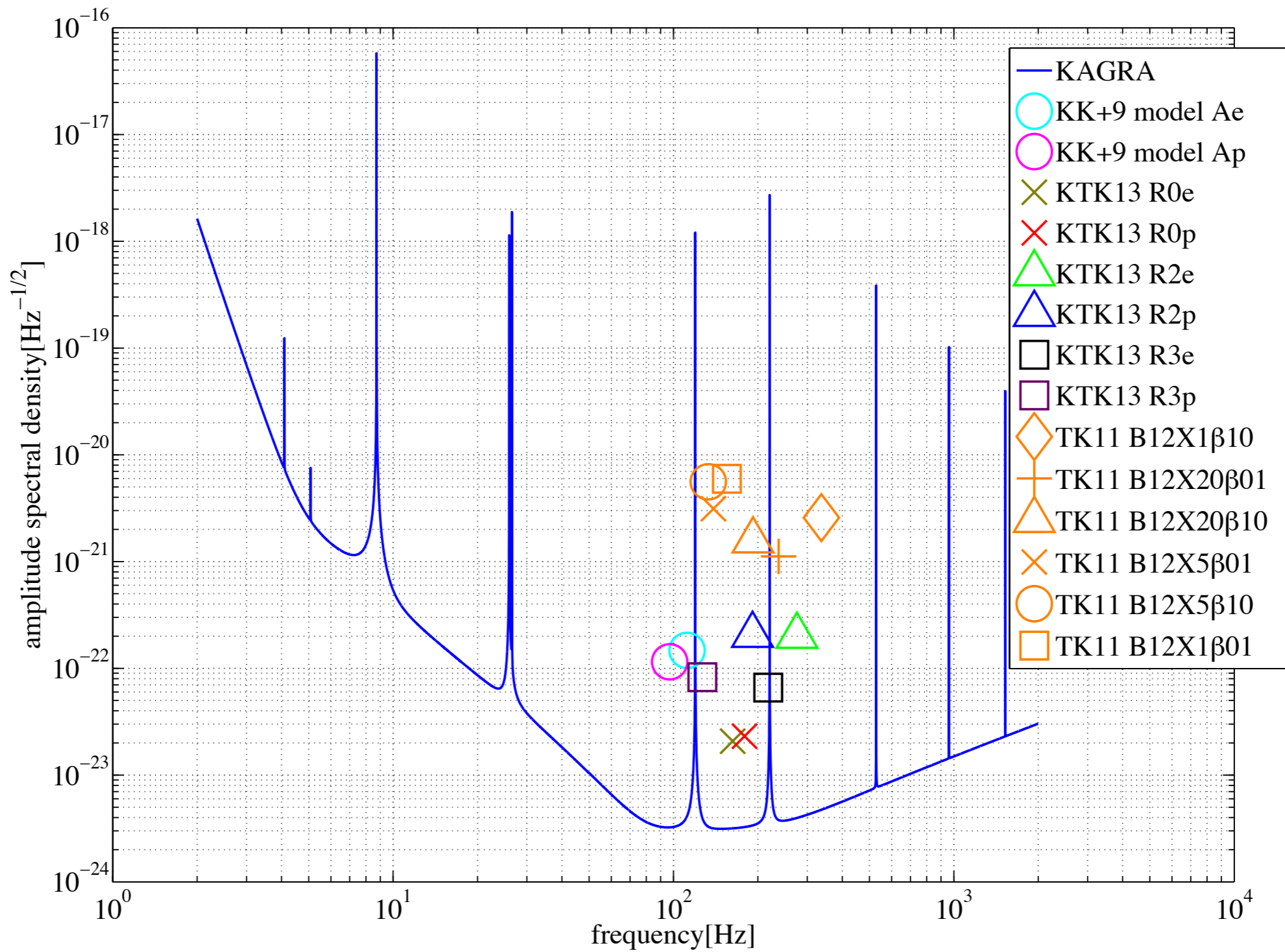


- インスパイラルのパラメータ推定精度についてどの程度の影響があるか？
- Fisher matrixを用いた推定

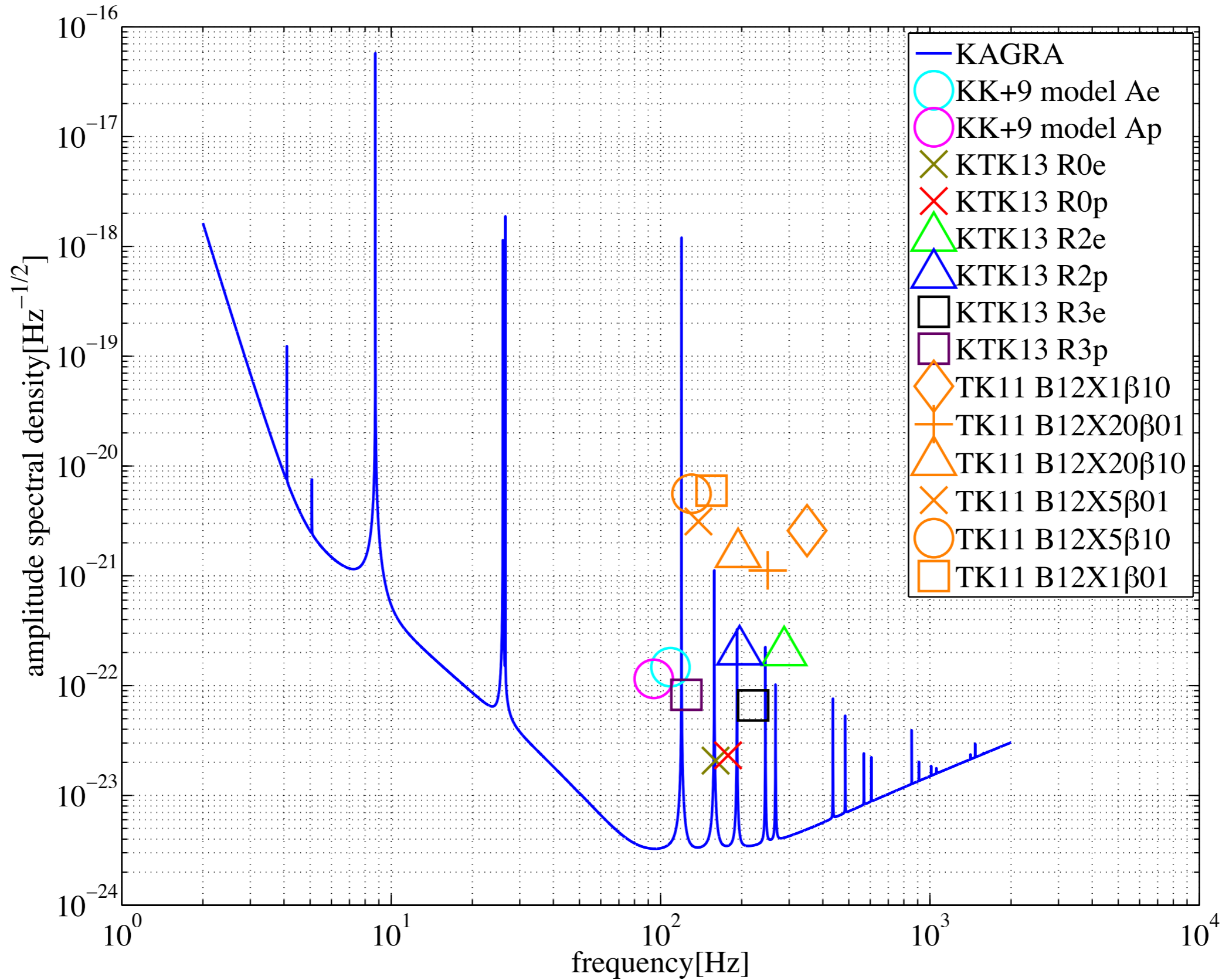


Effect to Burst search

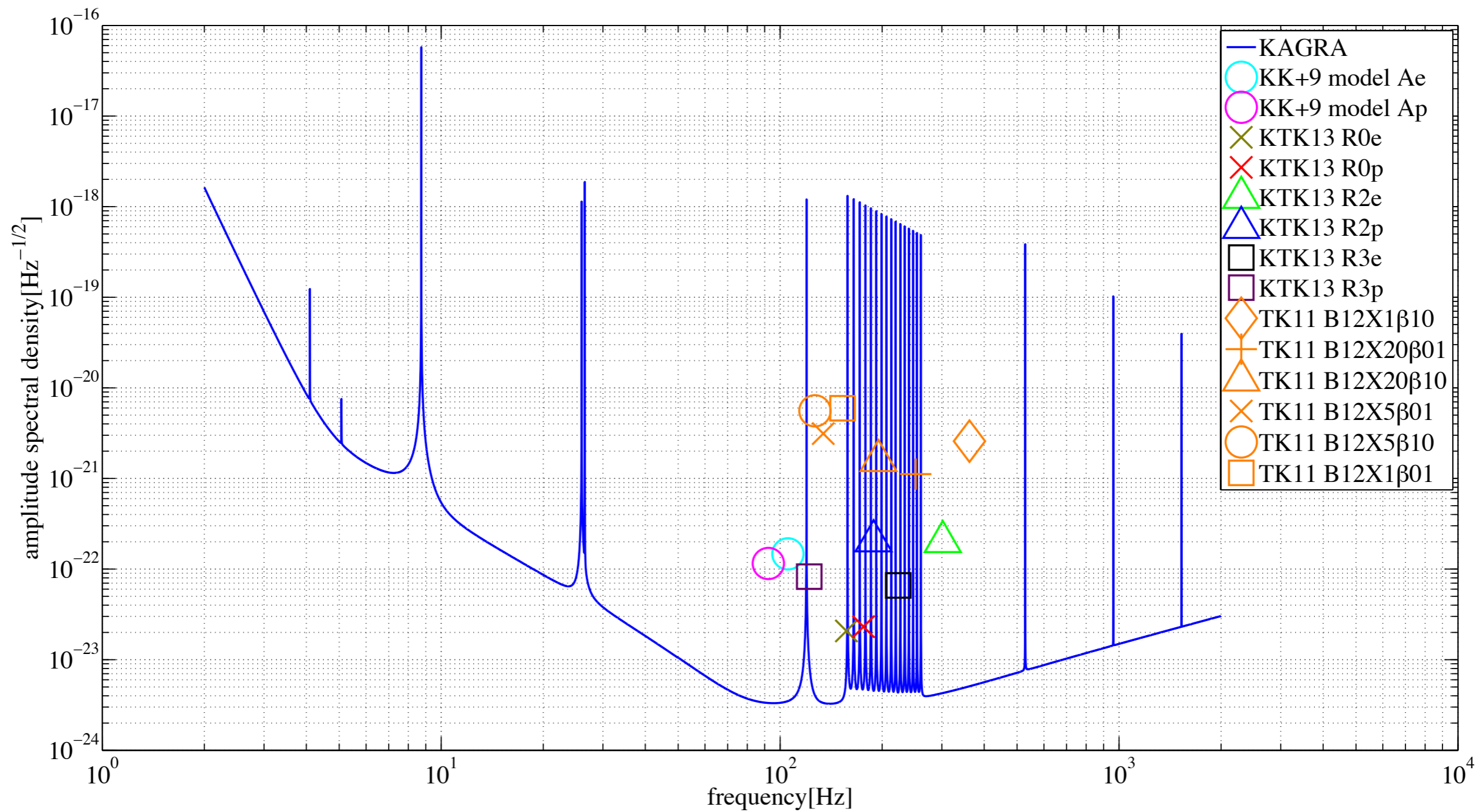
バイオリンモード分裂なし



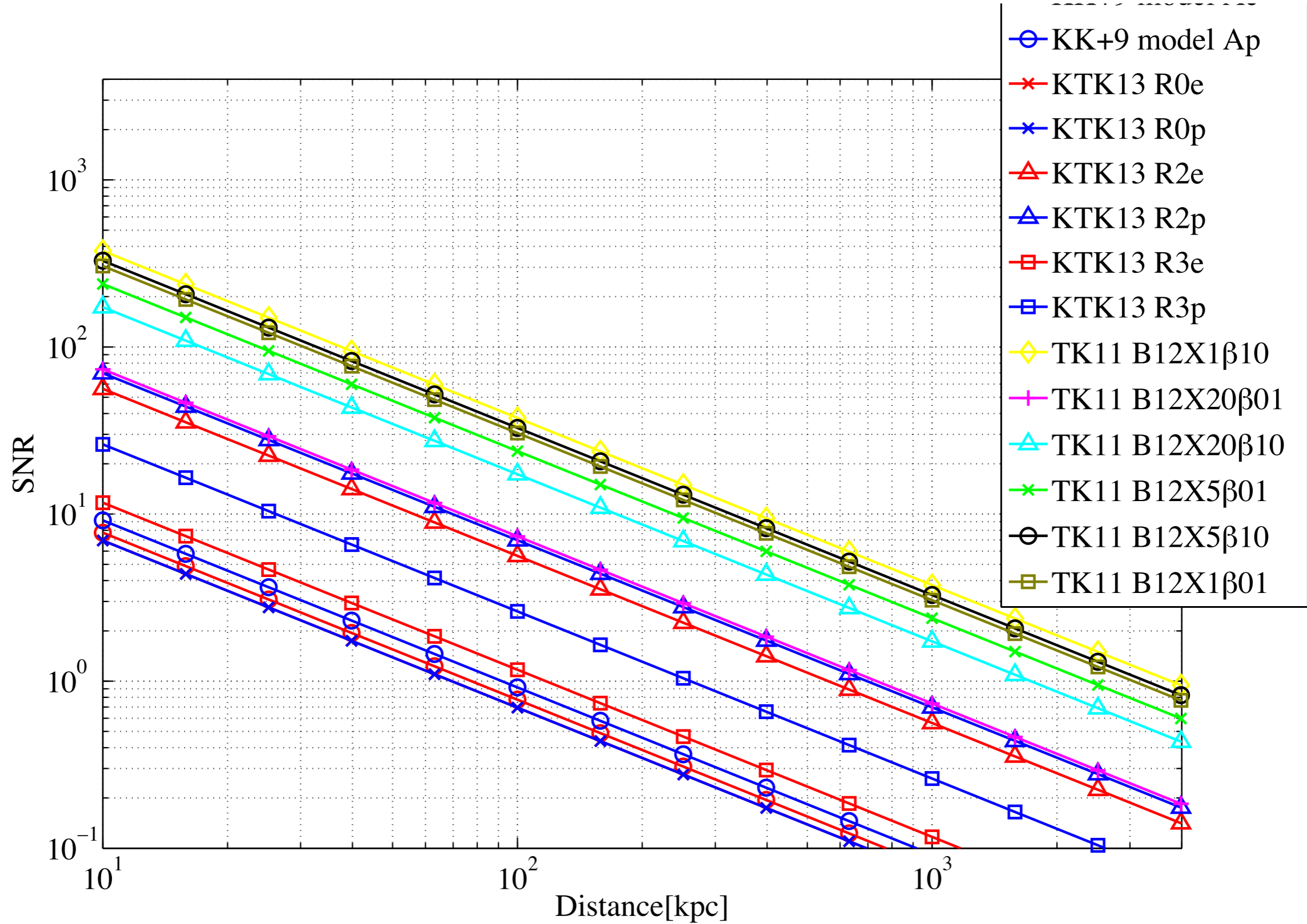
バイオリンモード4分裂



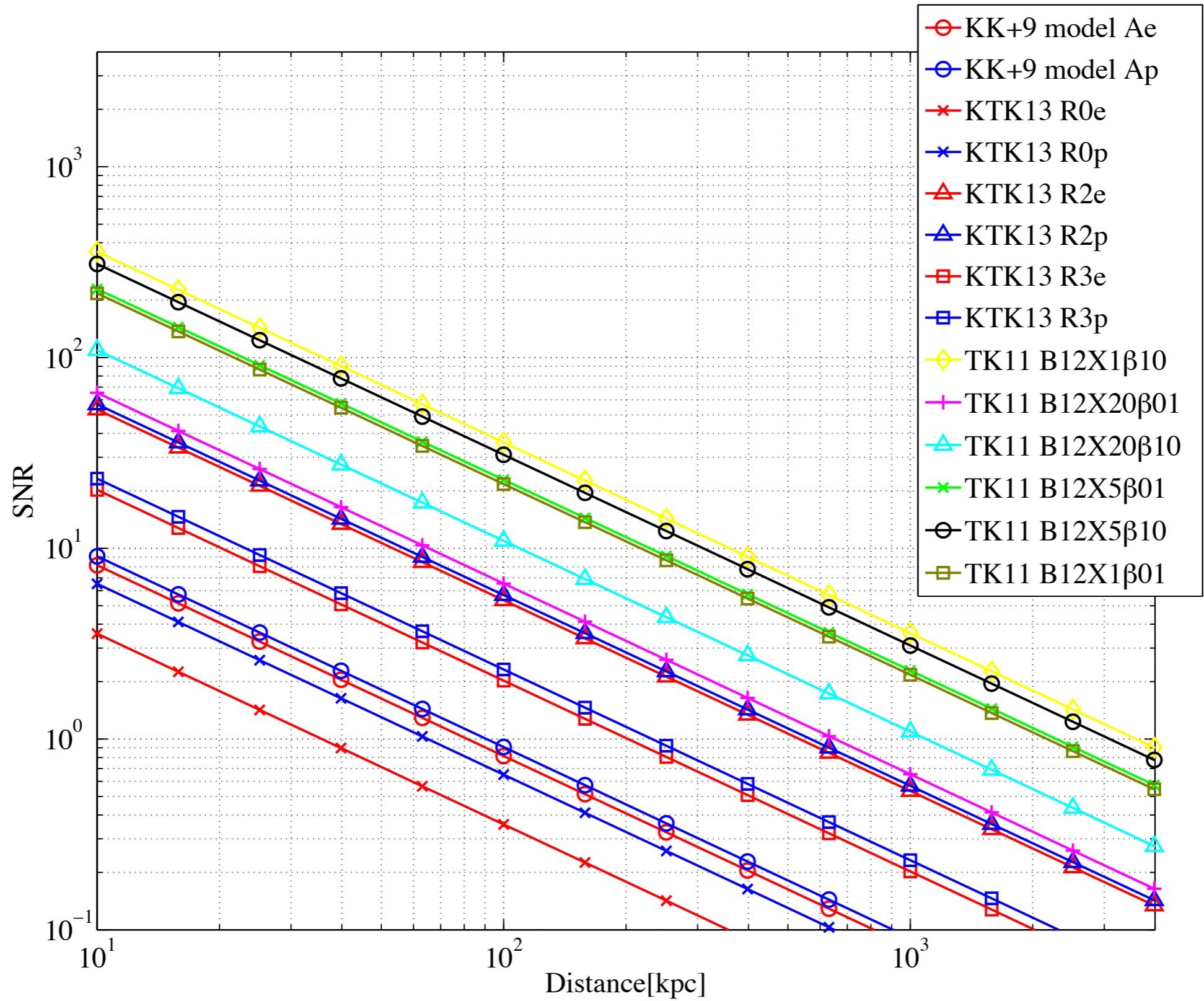
バイオリンモード16分裂



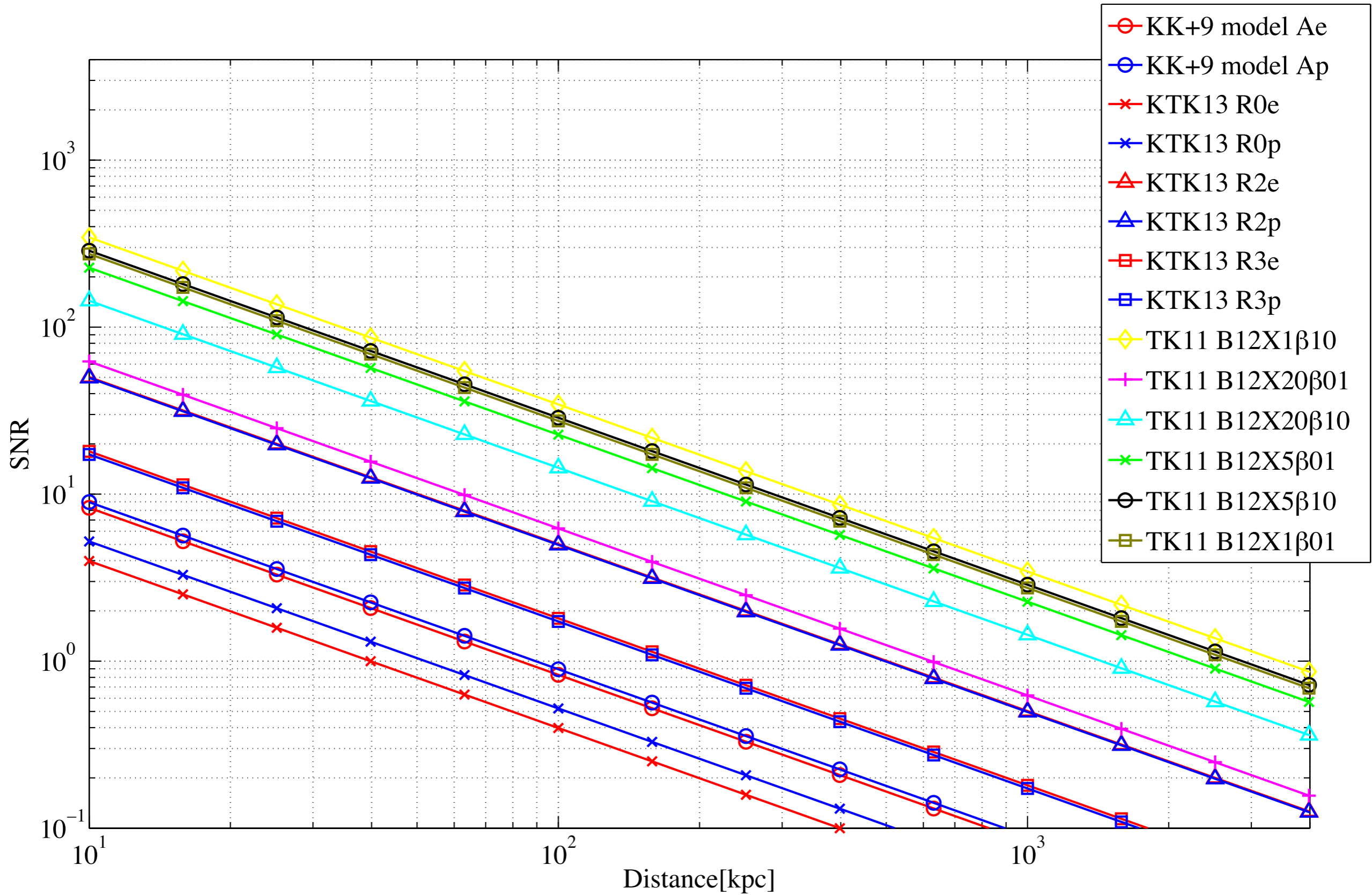
バイオリンモード分裂なし



バイオリンモード4分裂



バイオリンモード16分裂



Comparison of SNRs at 10kpc



	I violin	4 divided	16 divided
KK+9 model Ae	7.7400	8.1500	8.2800
KK+9 model Ap	9.1700	9.0800	8.9500
KTK13 R0e	6.9500	3.5700	3.9800
KTK13 R0p	6.9400	6.5100	5.2100
KTK13 R2e	56.2100	53.4100	50.2300
KTK13 R2p	69.7300	56.8700	49.6800
KTK13 R3e	11.7000	20.2400	18.0400
KTK13 R3p	26.1500	23.1700	17.2900
TK11 B12X1B10	376.0200	359.3200	344.5100
TK11 B12X20B01	73.5300	65.3800	62.3600
TK11 B12X20B10	173.0600	109.4000	143.8000
TK11 B12X5B01	238.0800	228.7400	226.8900
TK11 B12X5B10	328.0400	309.4600	286.9100
TK11 B12X1B01	305.4000	217.1400	274.3400
mean ratio [I violin]	1	0.9	0.8

ダンピングによる改善



バイオリンモードをダンピングする方法について、実験・データ解析面からいくつか提案されている。

- シャドウセンサ(R. Micheletto(横浜市大)、阿久津(天文台))
<http://gwdoc.icrr.u-tokyo.ac.jp/cgi-bin/DocDB/ShowDocument?docid=1521>
- MBLT(端山(大阪市大))

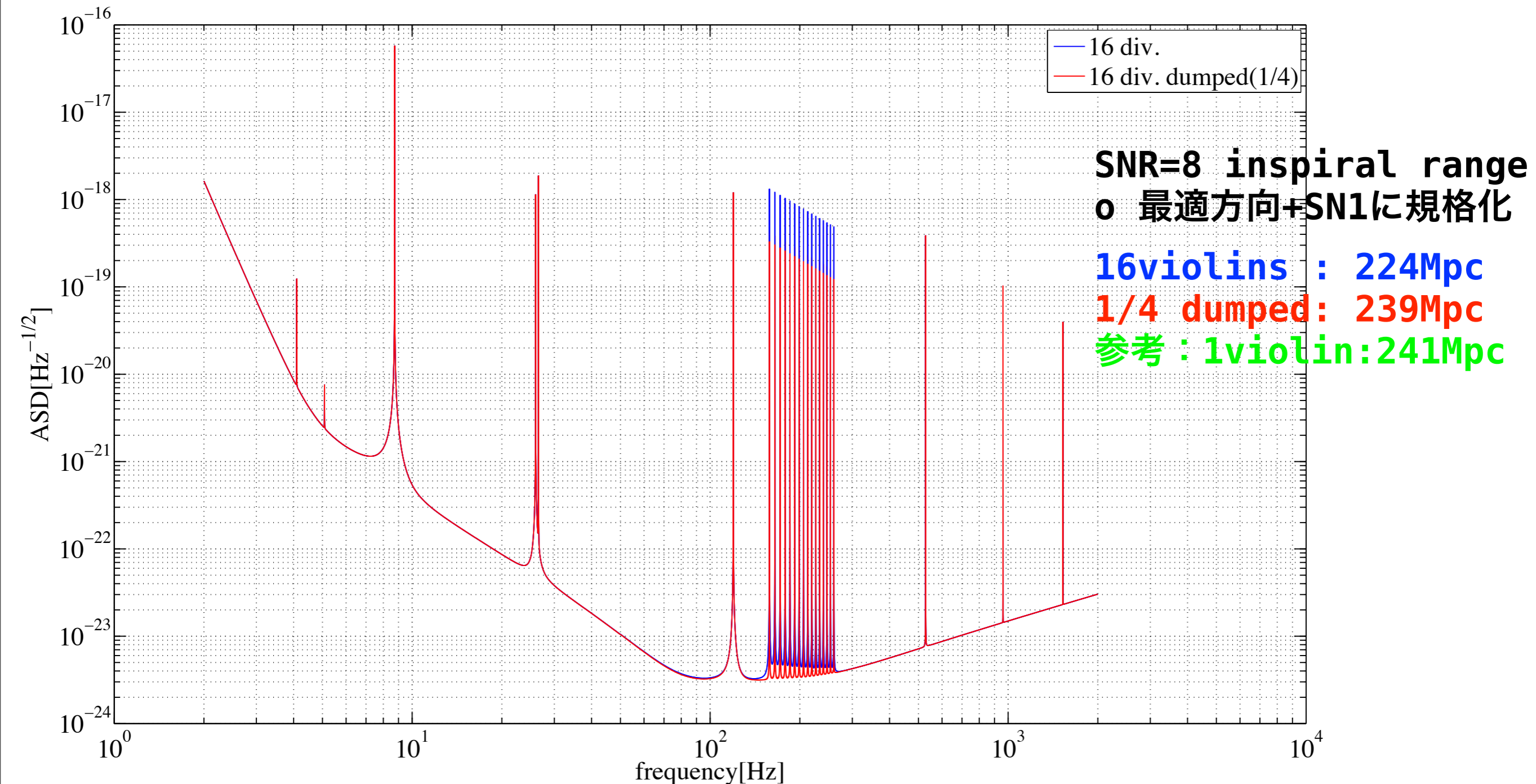
どのくらいダンピングすればよいのかを調べた。

注) 本レポートではシャドウセンサで振動をトレースして、データ解析でダンピングする方法を想定したが、ハードウェア的にダンピングする方法も考察する必要があり、その場合、Qが下がるためにバイオリンの裾が広がるので、結果はもっと悪くなる。

ダンピングによるinspiral探査の改善



- 1/4にDamp できれば、Inspiral rangeは1本の時と変わらない。



ダンピングによる超新星爆発探査の改善

- 1/4にDampできれば、SNRのロスはほとんどない。

	1 violin	4 divided	16 divided	1/4 Dumping
KK+9 model Ae	7.7400	8.1500	8.2800	7.9900
KK+9 model Ap	9.1700	9.0800	8.9500	9.1500
KTK13 R0e	6.9500	3.5700	3.9800	6.7300
KTK13 R0p	6.9400	6.5100	5.2100	6.3100
KTK13 R2e	56.2100	53.4100	50.2300	55.6800
KTK13 R2p	69.7300	56.8700	49.6800	67.9400
KTK13 R3e	11.7000	20.2400	18.0400	19.2900
KTK13 R3p	26.1500	23.1700	17.2900	26.0200
TK11 B12X1B10	376.0200	359.3200	344.5100	373.5600
TK11 B12X20B01	73.5300	65.3800	62.3600	68.7700
TK11 B12X20B10	173.0600	109.4000	143.8000	157.0700
TK11 B12X5B01	238.0800	228.7400	226.8900	237.0200
TK11 B12X5B10	328.0400	309.4600	286.9100	326.2600
TK11 B12X1B01	305.4000	217.1400	274.3400	299.7800
mean ratio [1 violin]	1	0.9	0.8	0.98

非定常雑音によるviolin modeの励起

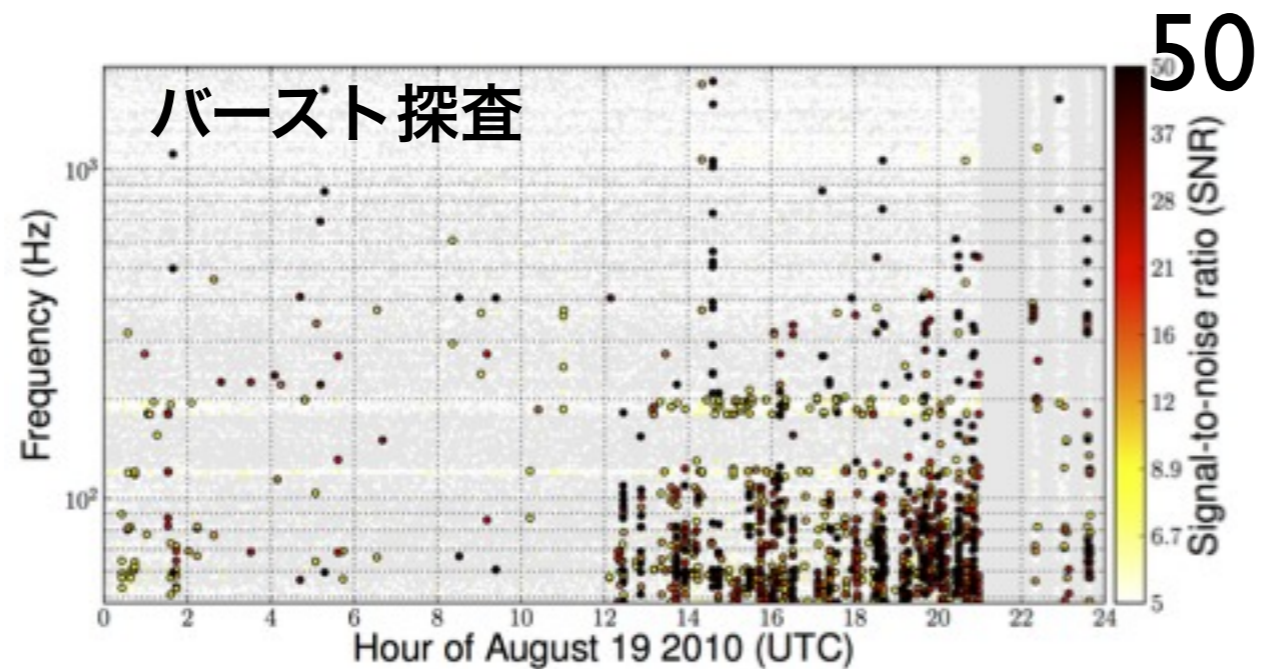
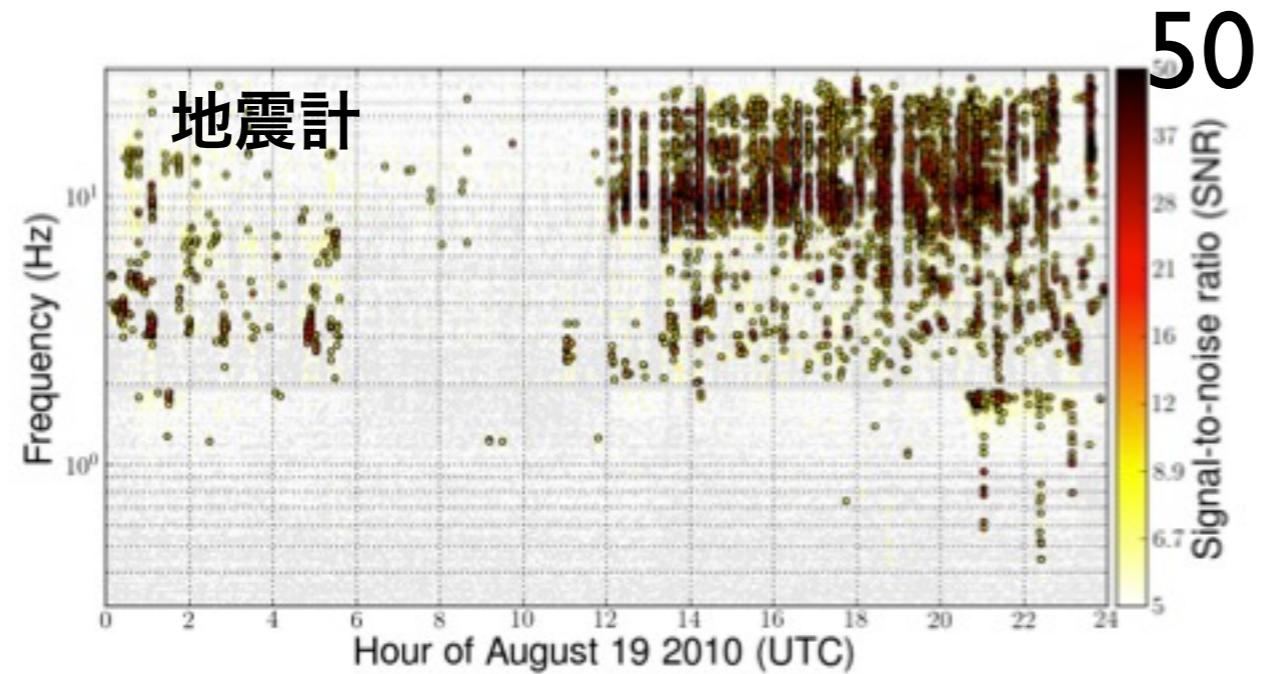


- 突発的に入ってくるseismic motionなどによるグリッチがviolin modeを励起するエネルギーになりうる。
- LIGO S5, S6の経験を参考にすると、日にSNRが50以上のものが多数出現する。
- KAGRAの場合 $Q \sim 10^8$ のため、励起が長時間(~ 3 日)続くことを想定して、励起した状態でのサーチを評価する。

S6 LIGOでのseismic events



- SNR~50のイベントが1日のうちに多数出現

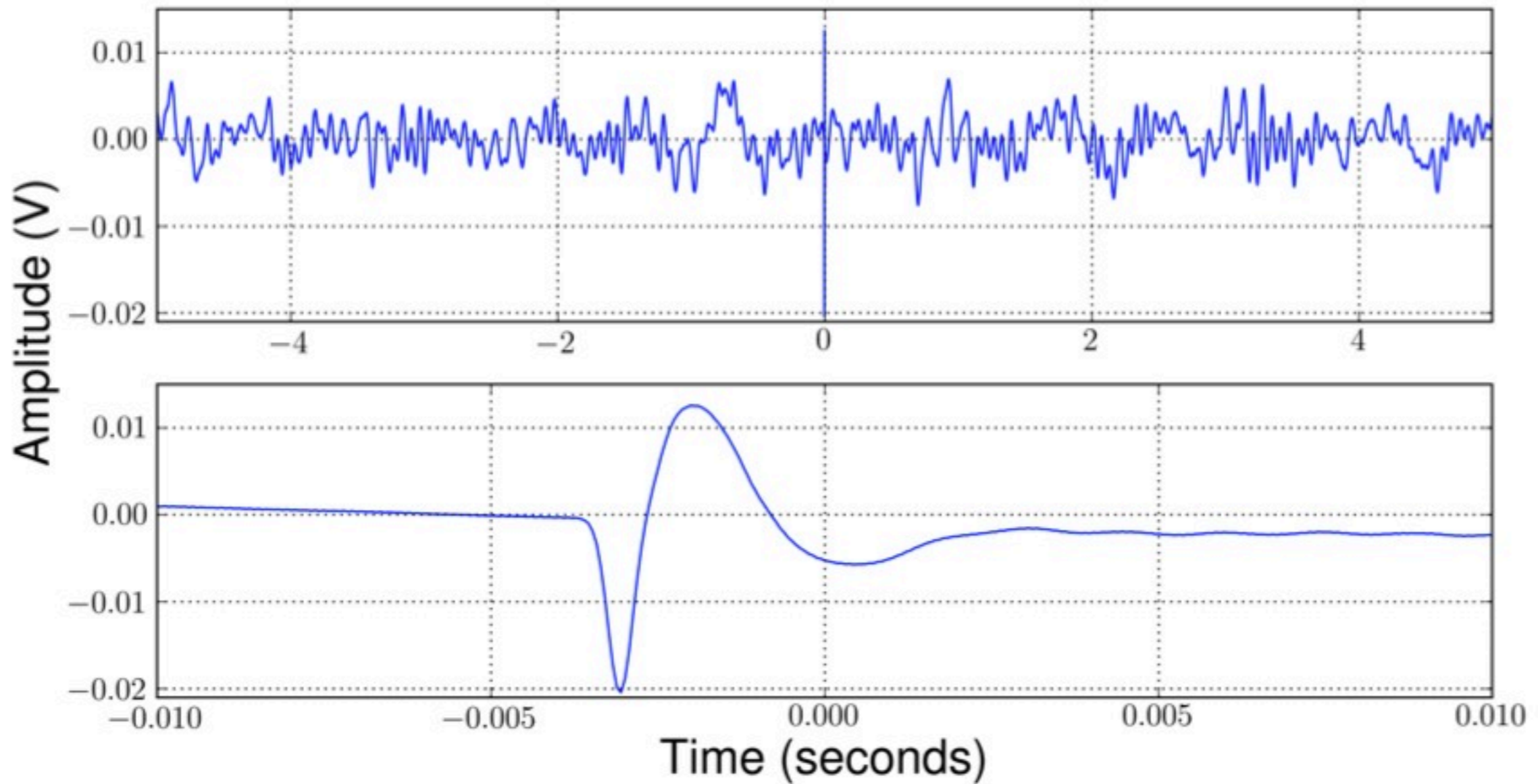


LIGO-P1000142

S6 unknown spike glitch

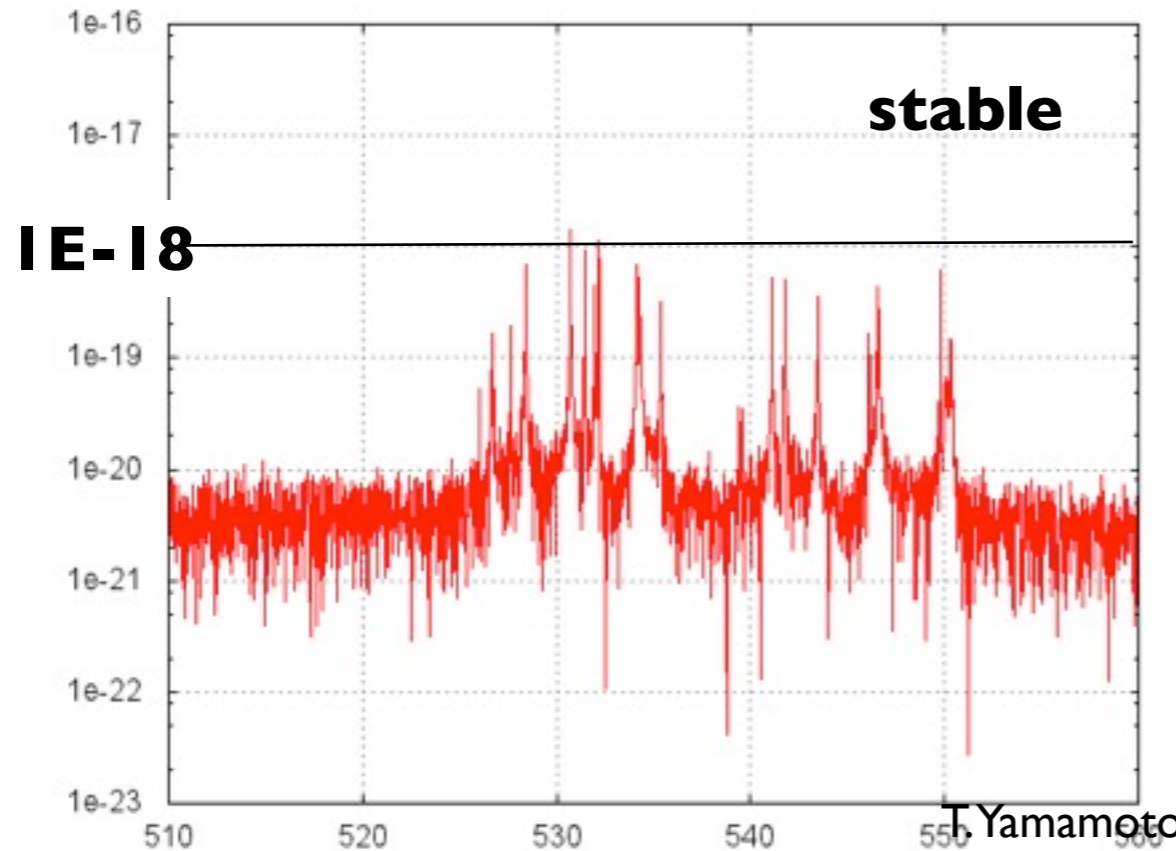
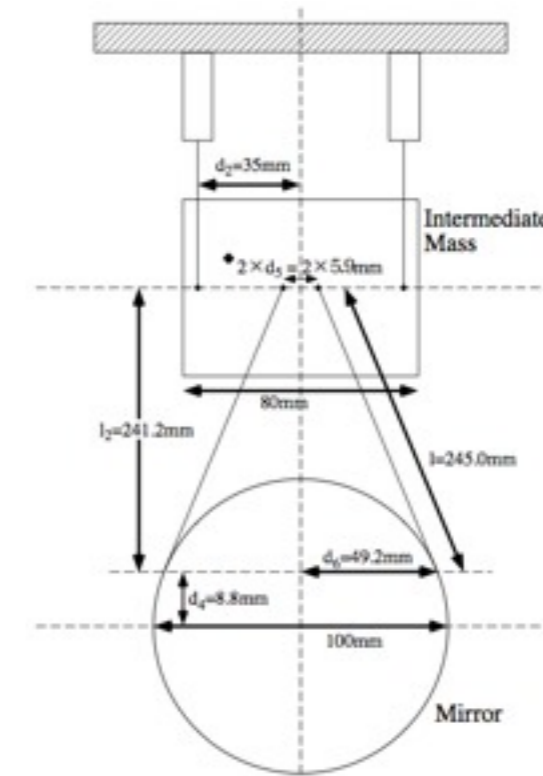
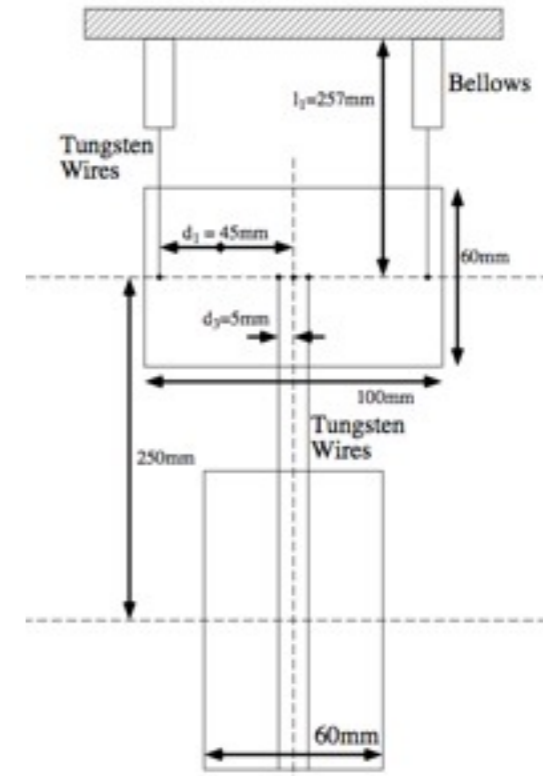
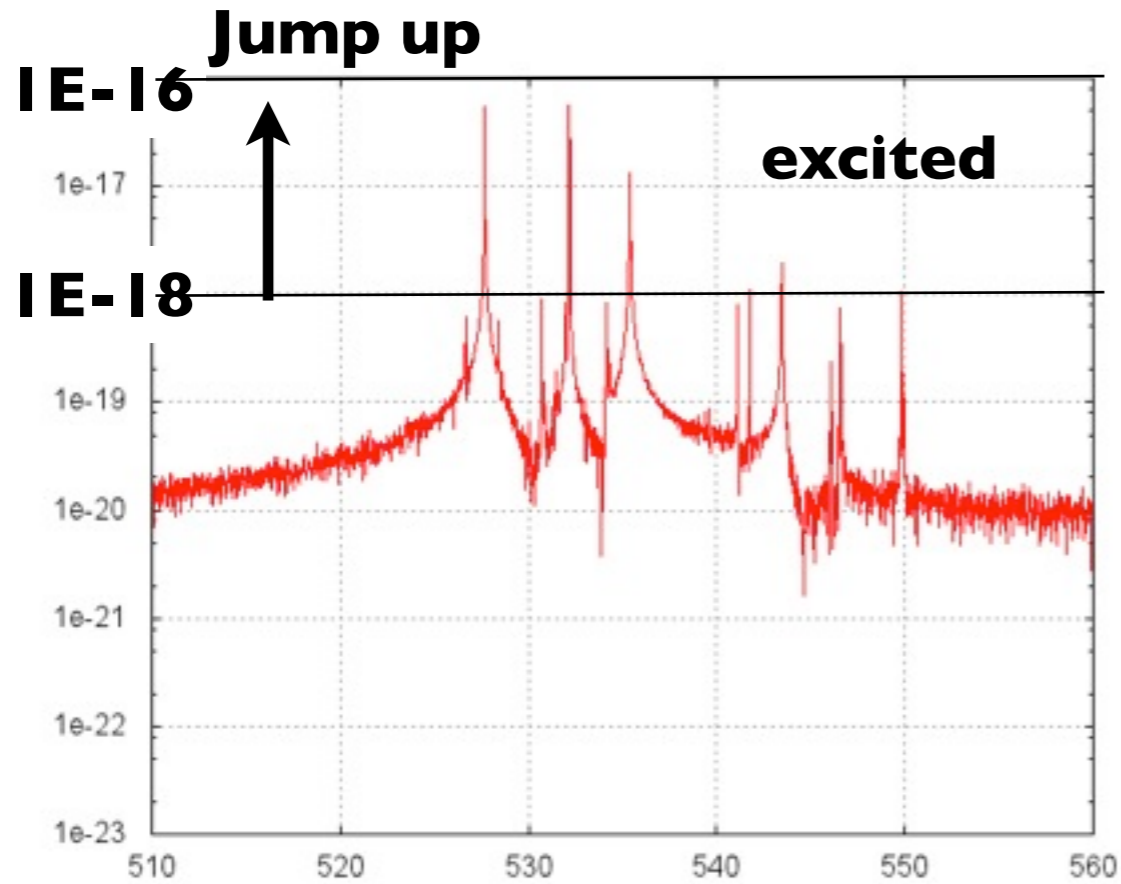


- バースト探査でSNR \sim 200–20000 !



LIGO-P1000142

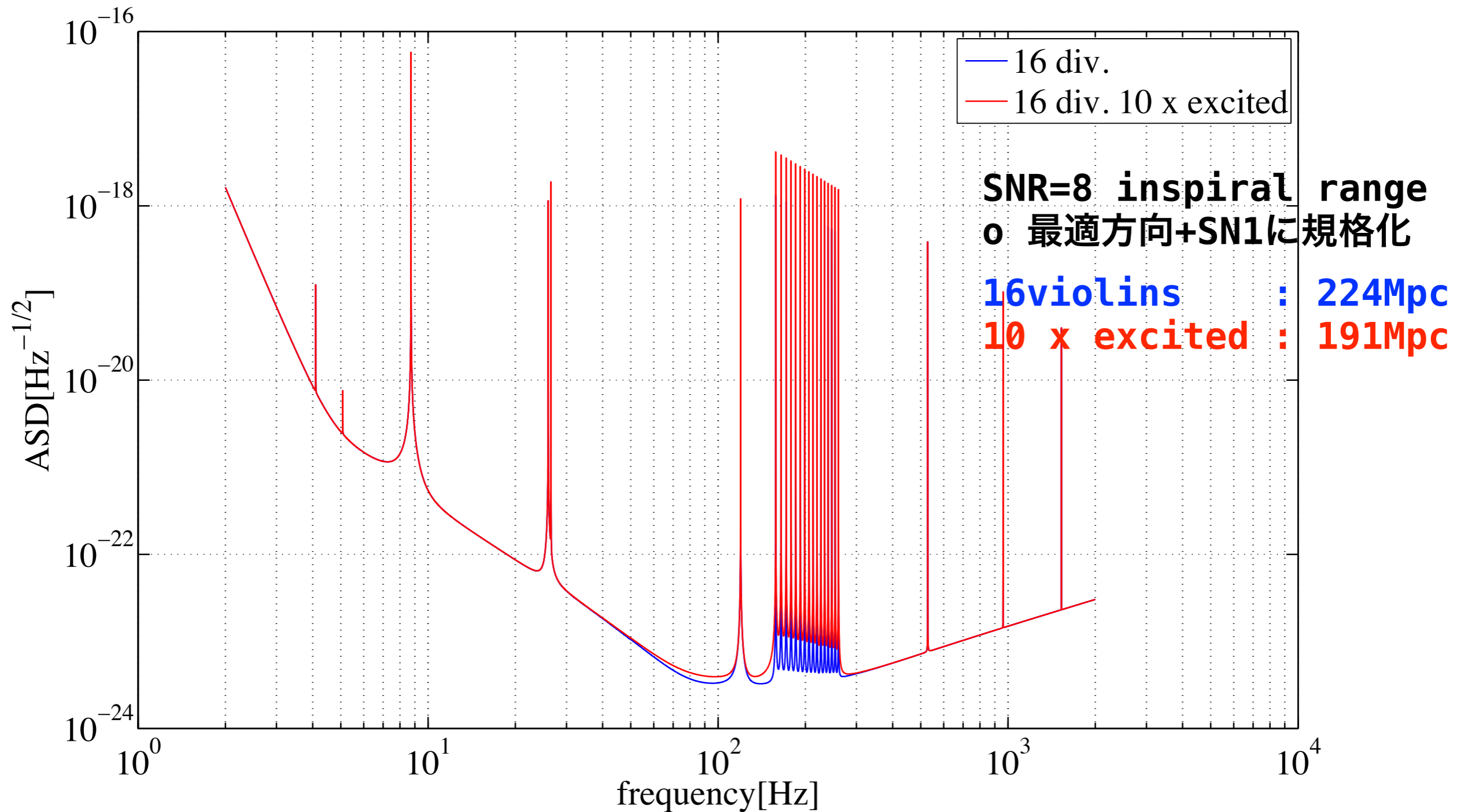
TAMA Violin mode



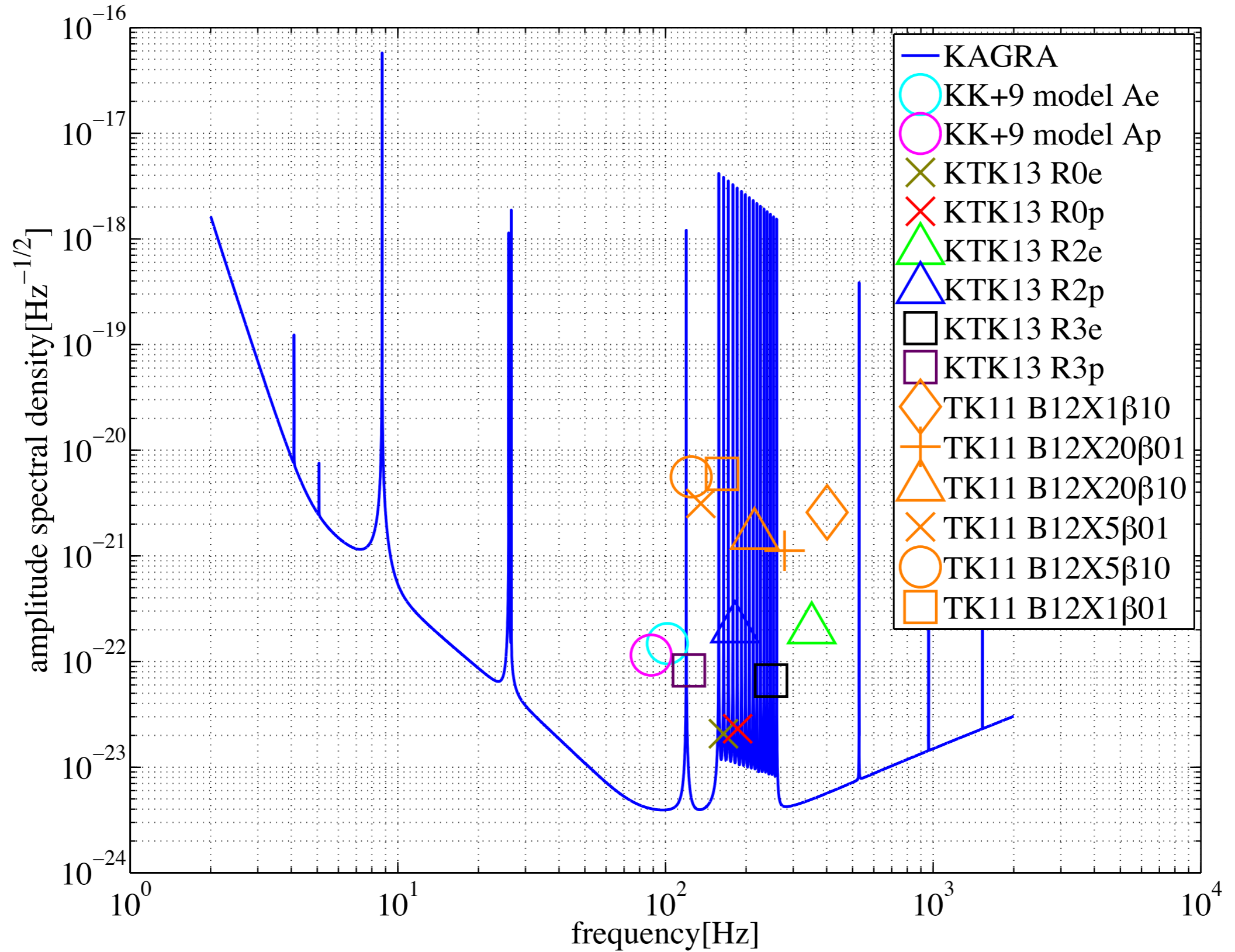
T. Yamamoto

K. Yamamoto M. thesis

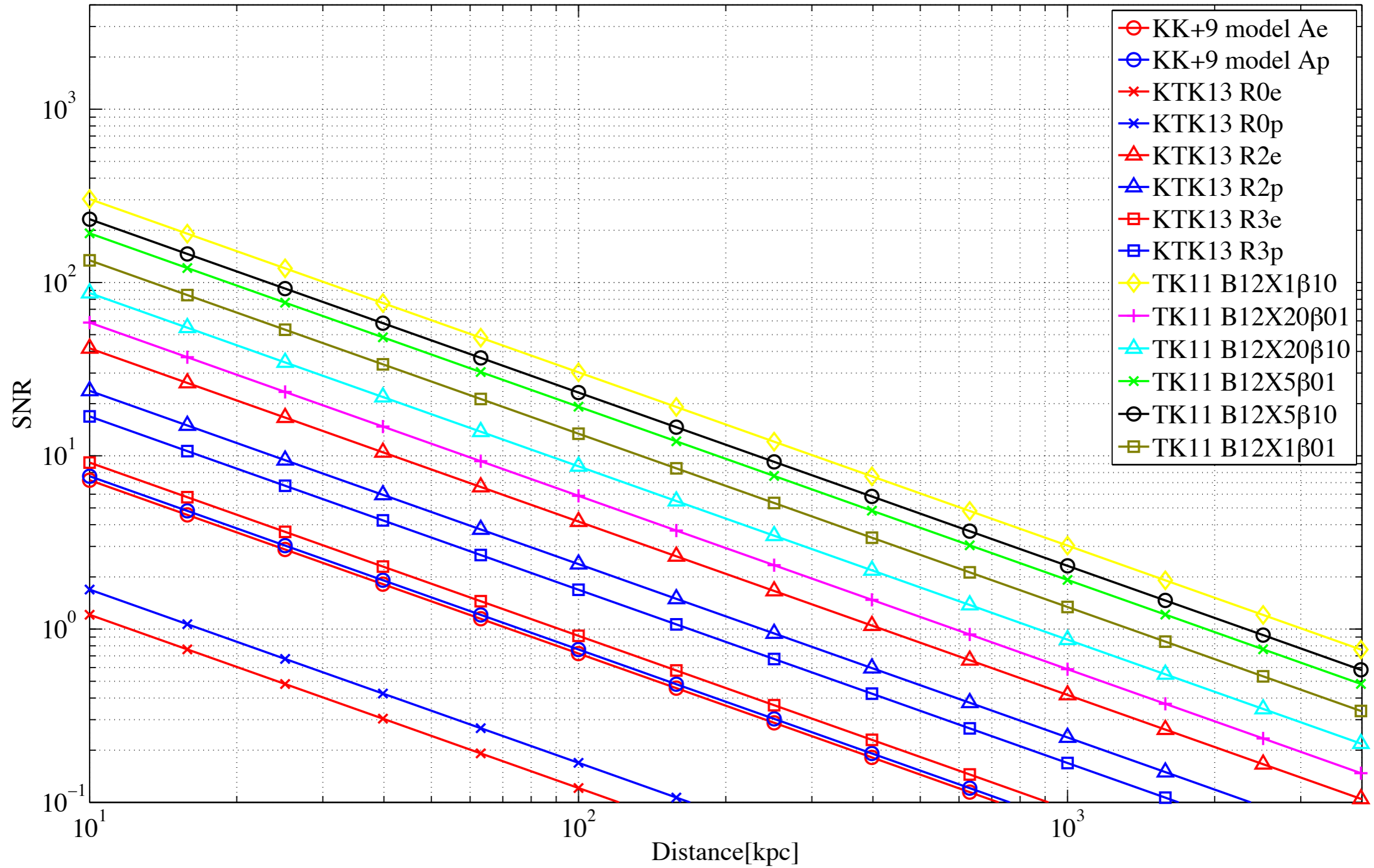
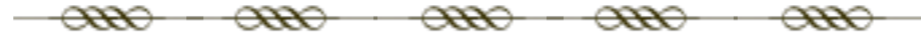
Violin mode excited by a spike



バイオリンモード 励起



バイオリンモード励起



Comparison of SNRs at 10kpc



	I violin	4 divided	16 divided	Excited
KK+9 model Ae	7.7400	8.1500	8.2800	7.2300
KK+9 model Ap	9.1700	9.0800	8.9500	7.6200
KTK13 R0e	6.9500	3.5700	3.9800	1.2100
KTK13 R0p	6.9400	6.5100	5.2100	1.6900
KTK13 R2e	56.2100	53.4100	50.2300	41.7000
KTK13 R2p	69.7300	56.8700	49.6800	23.7000
KTK13 R3e	11.7000	20.2400	18.0400	9.1400
KTK13 R3p	26.1500	23.1700	17.2900	16.8700
TKII B12XIB10	376.0200	359.3200	344.5100	303.0600
TKII B12X20B01	73.5300	65.3800	62.3600	58.7000
TKII B12X20B10	173.0600	109.4000	143.8000	86.8800
TKII B12X5B01	238.0800	228.7400	226.8900	192.0500
TKII B12X5B10	328.0400	309.4600	286.9100	231.7100
TKII B12XIB01	305.4000	217.1400	274.3400	134.1200
mean ratio [I violin]	1	0.9	0.8	0.6

バイオリンモード付近での位相の変化



- ピーク付近で位相が大きく変化する。位相の発展を追う探査 (inspiral) ではこの効果は重要になる。

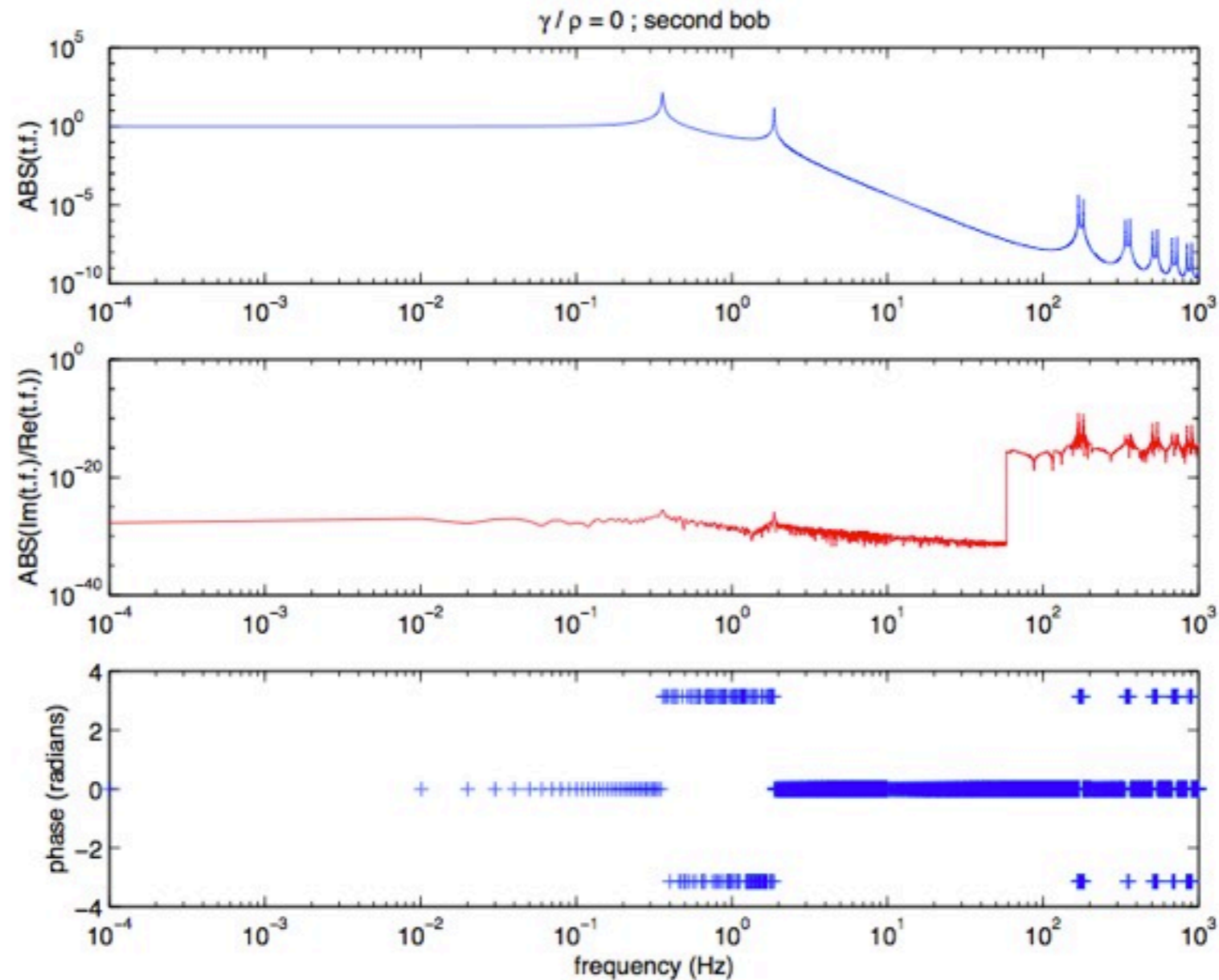


FIG. 7. Transfer function for two stage pendulum.

LIGO-T990014

まとめ



	分裂なし	4分裂	16分裂	16分裂+10x励起	16分裂+1/4xDump
inspiral (Mpc)	241	232	224	191	239
Burst	1	0.9	0.8	0.6	0.98

まとめ



- リコイルマスのQ値を測定してほしい。
(Qが $1E4$ と $3E5$ では結果がレンジが33Mpc違う。)
- シャドウセンサ+データ解析的ダンピングが上手く働けば、バイオリンモードを1/4ダンピングすれば分裂の影響なし
ただし、ハードウェア的にダンピングする場合はQが悪化するために、1/4では十分では無い。
- 非定常雑音の低減化をがんばる。
(非定常雑音、特に広帯域・高SNRスパイクによって10倍に励起されると、インスパイラルレンジが200Mpcを切り、超新星爆発についてもSNRが4割落ちる。)

TODO

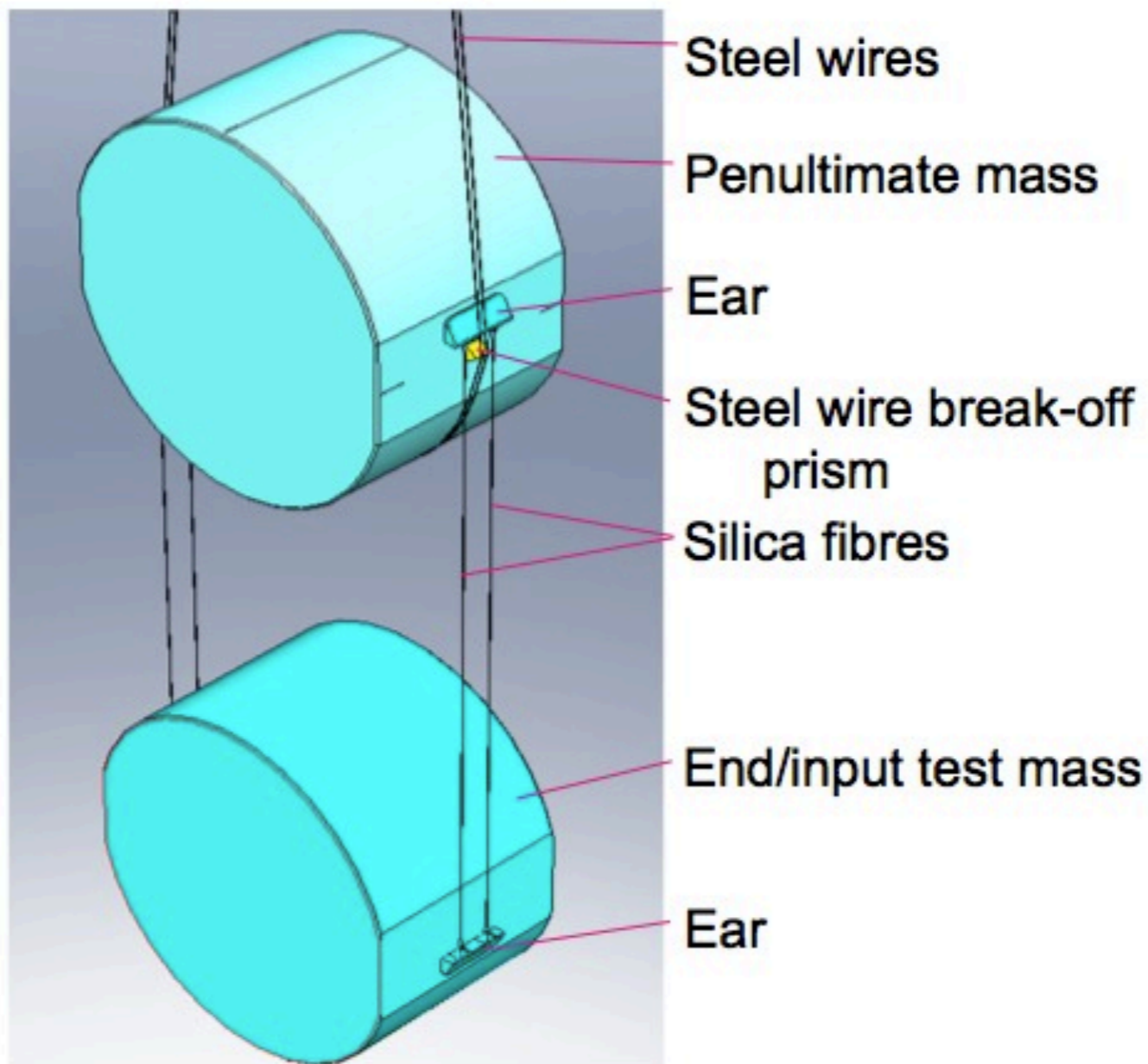
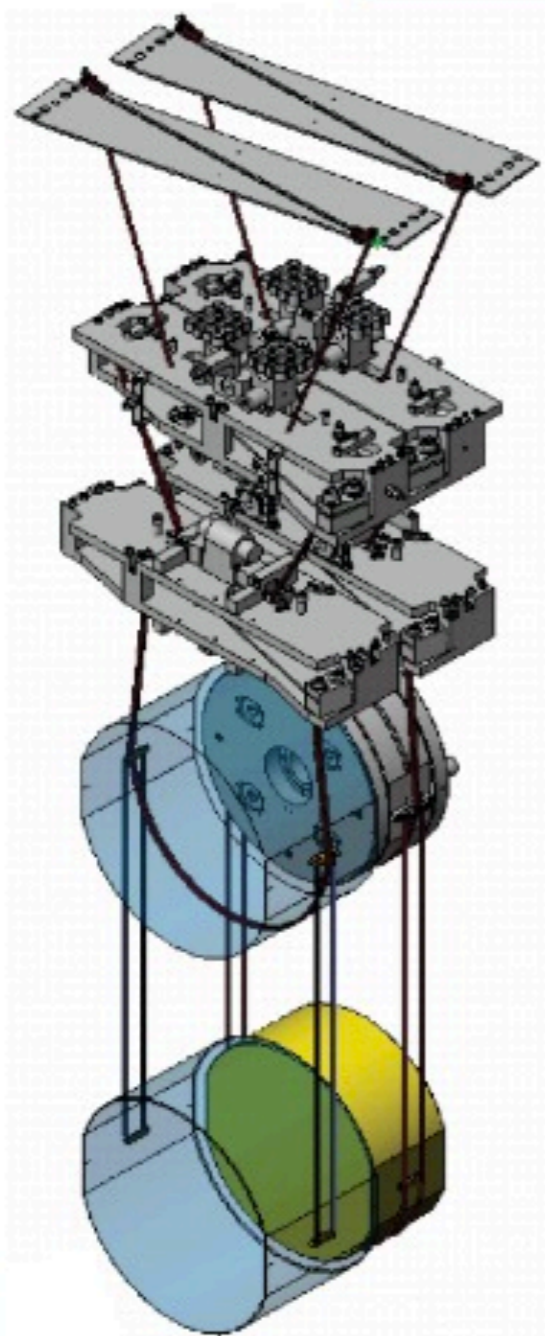


- いくつかのダンピング方法についてのスタディ
- インスパイラル探査で、パラメータ推定精度についてへの影響
- バイオリンによる位相の変化



エクストラスライド

aLIGO Monolithic Stage



Finite Element Analysis

- Use FEA to predict energy stored in the suspension elements and the dilution
- Model:
 - bulk loss
 - surface loss
 - thermoelastic loss
 - weld loss
 - Bond loss
- Energy storage in fibre essential to model thermal noise performance

$$x^2(\omega) = \frac{4k_B T}{m\omega} \left(\frac{\omega_o^2 \phi_{total}(\omega)}{\omega_o^4 \phi_{total}^2(\omega) + (\omega_o^2 - \omega^2)^2} \right)$$

A.V. Cumming et al., *Class. Quant. Grav.*, 215012, 2009
 A.V. Cumming et al., *Class. Quantum Grav.* 035003, 2012

