

LCGT解析

概要、RSEと検出、戦略

LCGT ワーキンググループ

11/10/2008

Plan of the talk

概要

- 主たる重力波源と検出方法

RSE : Broadband or Detuned ?

- 連星合体の探索レンジ
- そのほかの重力波について

LCGT解析の戦略

- “minimum success”

LCGTの重力波源

- コンパクト連星(NS-NS, NS-BH, BH-BH)合体
マッチドフィルターで探索
- 超新星(バースト波)
エクセスパワーфиルター, ALF, TFクラスター 等
- パルサー(連續波)
テンプレート, heterodyne, Hough変換等
- 背景重力波
2検出器の相関

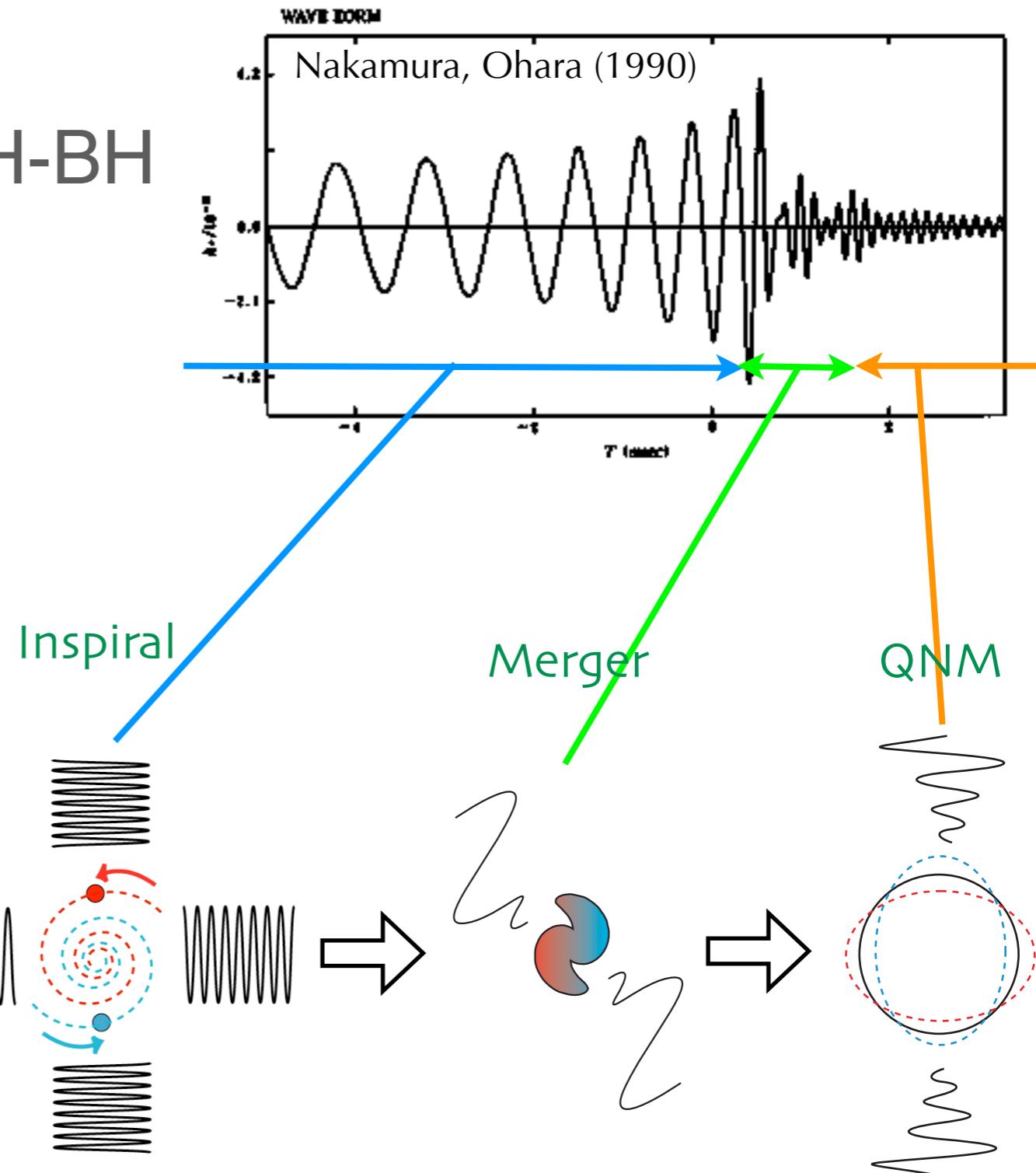
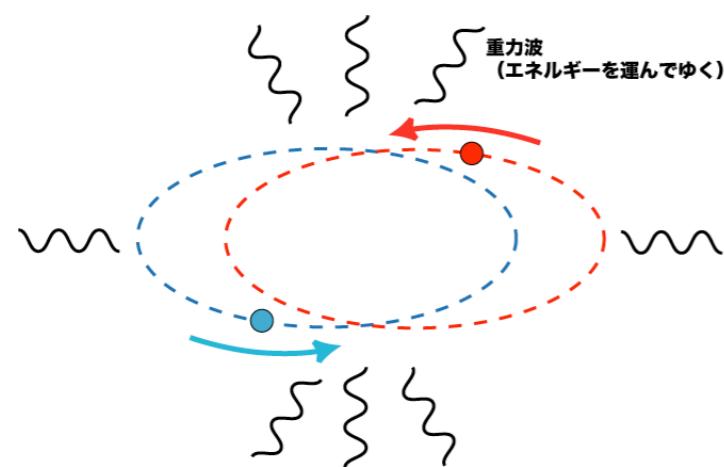
重力波源	波形	実験装置できる精度		抽出できる情報	理論予想の精度
		検出頻度または指標			
連星合体 (中性子星、 ブラック ホール)	インスパイ ラル	検出レンジ (SNR>10, 最適 方向, 中性子星連 星合体の場合) : 単体 185 Mpc 2台 257 Mpc	予想頻度 : (イベント/年, C.L. 90%) 2.8 (+7.2 -2.3) 7.9 (+20.4 -6.5)	合体時刻 : $\Delta t < 1\text{msec}$ -> 源方向 : $\Delta q \sim 1\text{-}2$ 度 質量分解能 : $\Delta M/M < \text{a few}\%$	存在頻度 ホスト銀河の推定 <-距離推定 および他の観測との相補性 中性子星質量の測定
	合体	(インスパイラル波形で探索する)		波形再現 : $h(t)$ および $h(f)$ 可能な精度 : $\Delta h/h \sim 1\text{-}5\%$	中性子星の密度や粘度 -> 超巨大核の状態方程式
ブラック ホール	準固有振動 リングダウ ン	3% エネルギー損失として、 検出レンジ : > 1Gpc (質量依存) 探索質量範囲 : 数~1000太陽質量		質量分解能: $\Delta M/M < 10\%$ 角運動量パラメーター推定 誤差 : $\Delta a/a <$ 典型的な場合20 %	ブラックホールの励起、形成 中間質量ブラックホールの探索 質量スペクトロスコピー
超新星 (GRB等 バースト的 な源)	バースト	検出レンジ : ->(局所銀河団程度)		波形再現 : $h(t), h(f)$ 到達時刻 : Δt 中心周波数	超新星コアの構造、質量分布の ダイナミックな情報 コア崩壊での相対論効果 状態方程式
背景輻射	重力波のエ ネルギー密度で きまるスペク トル	$h_0^2 W_{gw} \sim 4.8 \times 10^{-10}$ (2台の LCGT 検出器の相関, 100Hz付近、1年データ積分)		背景重力波のスペクトル、 上限値	宇宙論的パラメーター 元素合成
パルサー	連続波	既知のパルサーについて、最大 SNRの予想-> SNR>10で10以上 のソース		スピンドウンまたはその上 限値の推定 : $dP/dt / P$	パルサーのスピンドウン、形成 ダイナミクス

Compact Binary

- NS-NS, NS-BH, BH-BH

Waveform

- Inspiral
- Merger
- QNM of BH



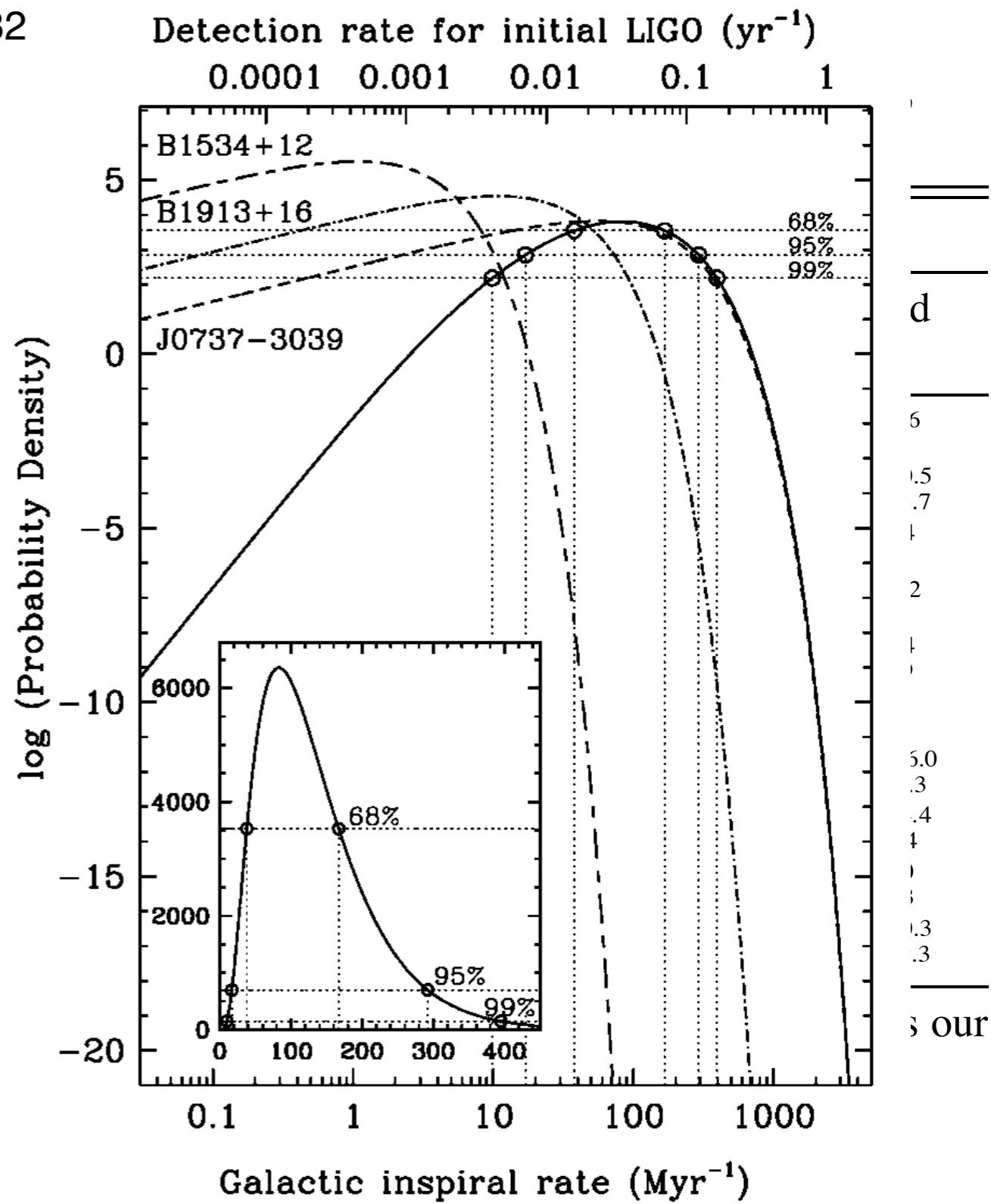
Rate of Binary Coalescence

Kalogera et.al., ApJL. 601 (2004) L179-L182
 Kim et.al., astro-ph/0405564
 ApJ.614:L137-138

MODEL ^a	\mathcal{R}_{tot} (Myr ⁻¹)
1	$23.2^{+59.4}_{-18.5}$
6	$83.0^{+209.1}_{-66.1}$
9	$7.9^{+20.2}_{-6.3}$
10	$23.3^{+57.0}_{-18.4}$
12	$9.0^{+21.9}_{-7.1}$
14	$3.8^{+9.4}_{-2.8}$
15	$223.7^{+593.8}_{-180.6}$
17	$51.6^{+135.3}_{-41.5}$
19	$14.6^{+38.2}_{-11.7}$
20	$89.0^{+217.9}_{-70.8}$

^a Model numbers correspond to KKL. Model 1 is the reference model in this study.

^b Increase rate factor compared to previous



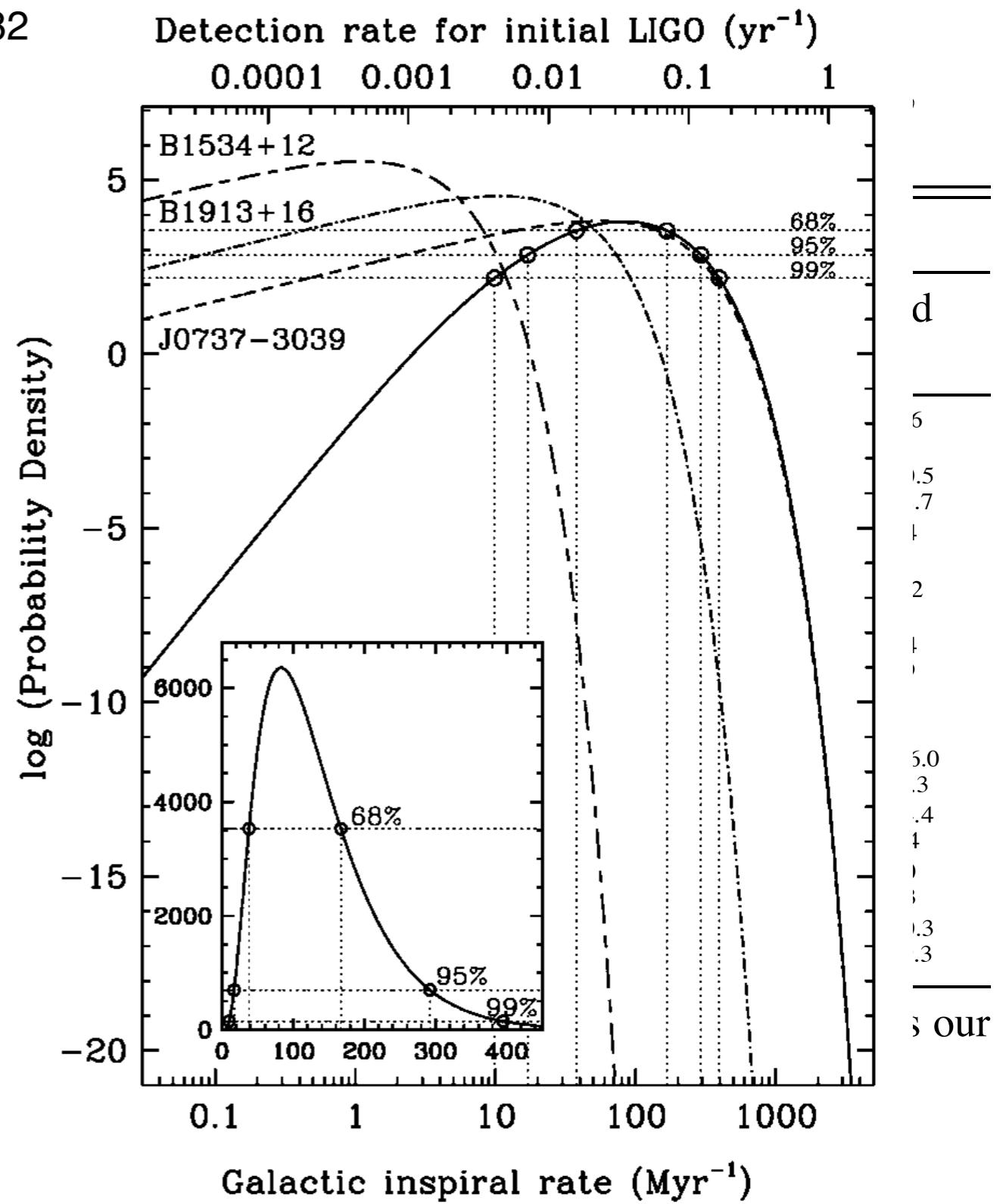
Rate of Binary Coalescence

Kalogera et.al., ApJL. 601 (2004) L179-L182
 Kim et.al., astro-ph/0405564
 ApJ.614:L137-138

MODEL ^a	\mathcal{R}_{tot} (Myr ⁻¹)
1	$23.2^{+59.4}_{-18.5}$
6	$83.0^{+209.1}_{-66.1}$
9	$7.9^{+20.2}_{-6.3}$
10	$23.3^{+57.0}_{-18.4}$
12	$9.0^{+21.9}_{-7.1}$
14	$3.8^{+9.4}_{-2.8}$
15	$223.7^{+593.8}_{-180.6}$
17	$51.6^{+135.3}_{-41.5}$
19	$14.6^{+38.2}_{-11.7}$
20	$89.0^{+217.9}_{-70.8}$

^a Model numbers correspond to KKL. Model 1 is the reference model in this study.

^b Increase rate factor compared to previous



Detection Scheme : Matched Filter

Known wave form

- coalescence of compact binaries ;
- NS-NS, NS-BH, BH-BH, PBMACHO

Known noise spectrum in Fourier domain

Linear system

- signal: $s(t) = n(t) + a h(t)$
- noise component : $n(t)$, GW signal: $a h(t)$
- average noise power spectrum: $S_h(f)$
- template waveform: $h(t)$
- signal-to-noise ratio:
- chi^2 test

$$\langle h, s \rangle = 2 \int \frac{\tilde{h}^* \cdot \tilde{s}}{S_h} df$$

$$\text{SNR} = \sqrt{\langle h_+, s \rangle^2 + \langle h_\times, s \rangle^2} / \sqrt{2}$$

Require 10^5 templates and 10^{11} flops at least

Detection Scheme : Matched Filter

Known wave form

- coalescence of compact binaries ;
- NS-NS, NS-BH, BH-BH, PBMAChO

The method was well implemented in previous experiments: i.e. TAMA, LIGO

Known noise spectrum in Fourier domain

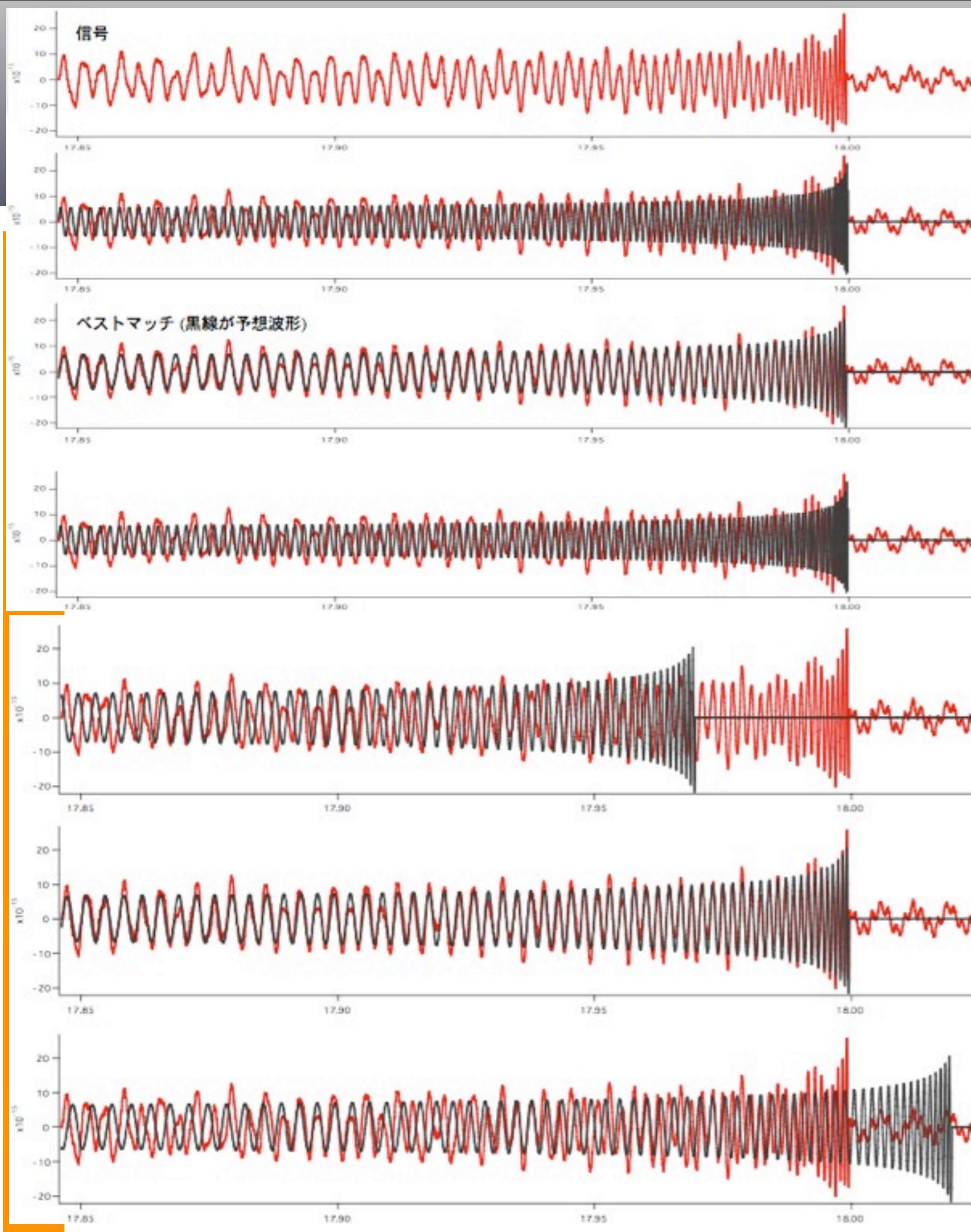
Linear system

- signal: $s(t) = n(t) + a h(t)$
- noise component : $n(t)$, GW signal: $a h(t)$
- average noise power spectrum: $S_h(f)$
- template waveform: $h(t)$
- signal-to-noise ratio:
- chi^2 test

$$\langle h, s \rangle = 2 \int \frac{\tilde{h}^* \cdot \tilde{s}}{S_h} df$$

$$\text{SNR} = \sqrt{\langle h_+, s \rangle^2 + \langle h_\times, s \rangle^2} / \sqrt{2}$$

Require 10^5 templates and 10^{11} flops at least



The method was well implemented in previous experiments: i.e. TAMA, LIGO

$$, s \rangle = 2 \int \frac{\tilde{h}^* \cdot \tilde{s}}{S_h} df$$

$$\sqrt{\langle h_+, s \rangle^2 + \langle h_\times, s \rangle^2} / \sqrt{2}$$

Detection Scheme : Matched Filter

Known wave form

- coalescence of compact binaries ;
- NS-NS, NS-BH, BH-BH, PBMAChO

The method was well implemented in previous experiments: i.e. TAMA, LIGO

Known noise spectrum in Fourier domain

Linear system

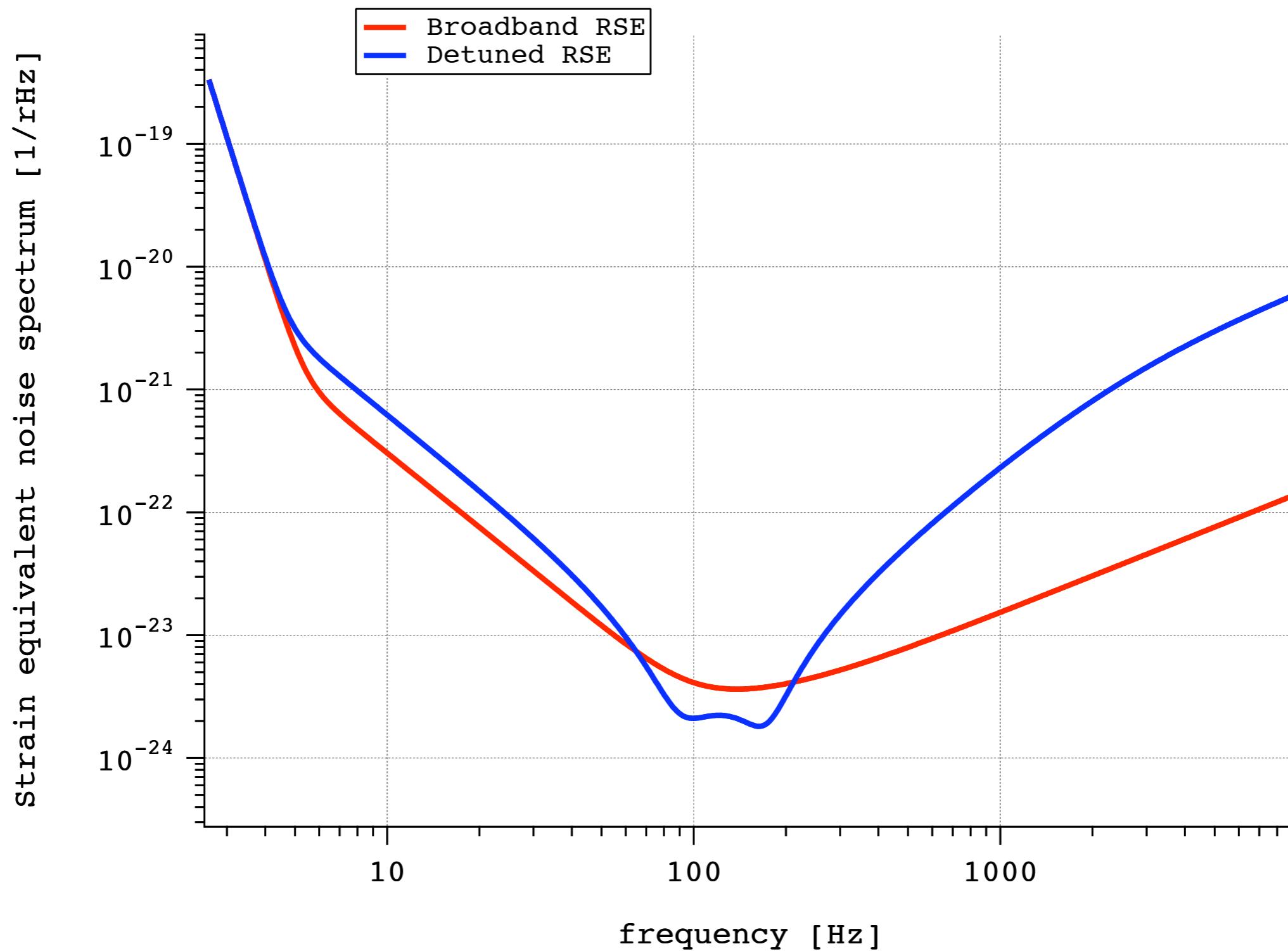
- signal: $s(t) = n(t) + a h(t)$
- noise component : $n(t)$, GW signal: $a h(t)$
- average noise power spectrum: $S_h(f)$
- template waveform: $h(t)$
- signal-to-noise ratio:
- chi^2 test

$$\langle h, s \rangle = 2 \int \frac{\tilde{h}^* \cdot \tilde{s}}{S_h} df$$

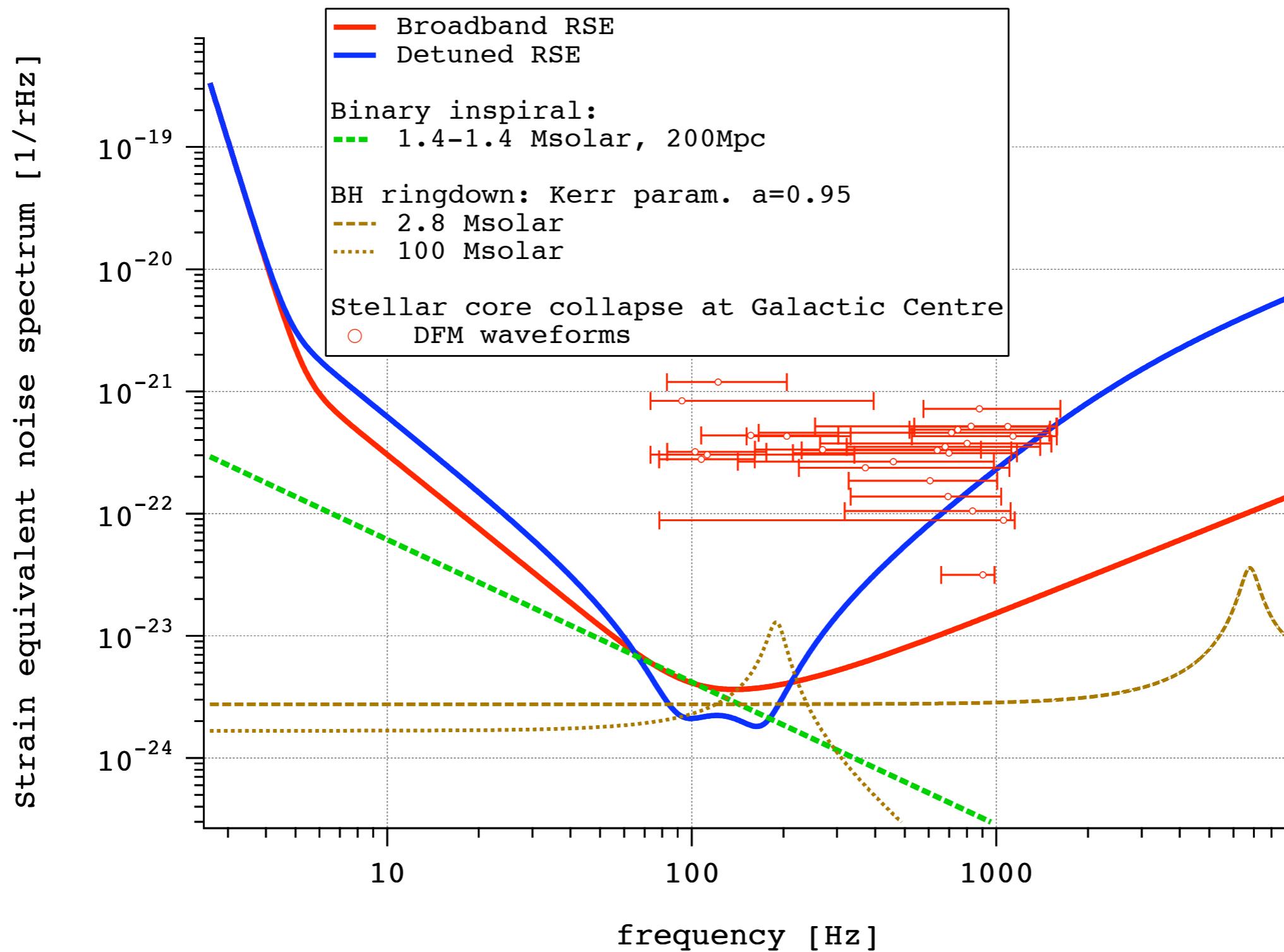
$$\text{SNR} = \sqrt{\langle h_+, s \rangle^2 + \langle h_\times, s \rangle^2} / \sqrt{2}$$

Require 10^5 templates and 10^{11} flops at least

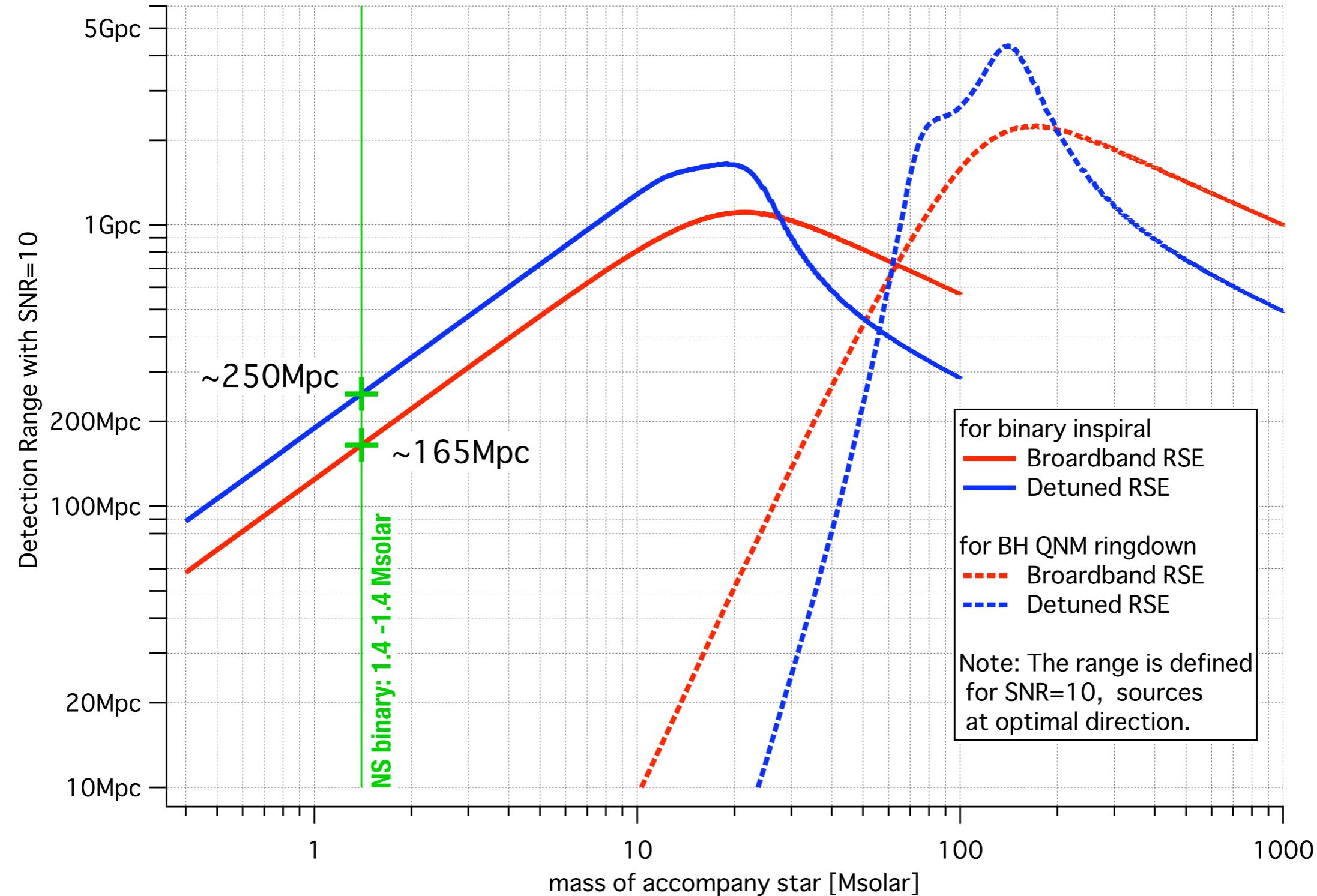
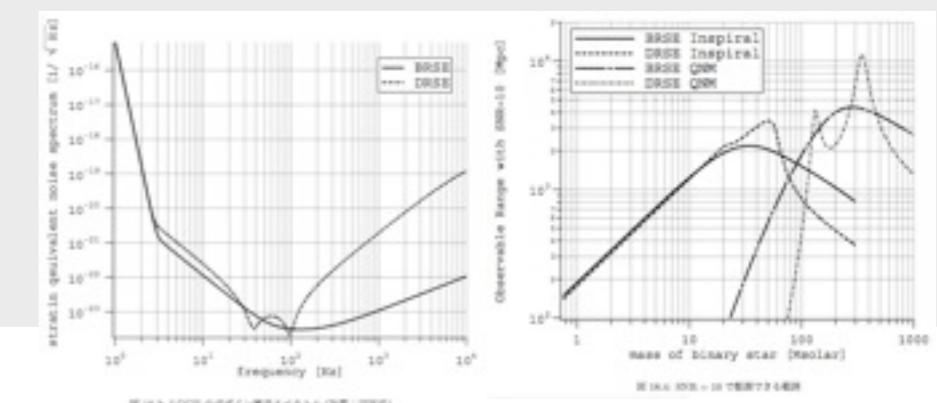
in case of RSE : Broadband or Detuned



in case of RSE : Broadband or Detuned



検出レンジ



検出レンジ

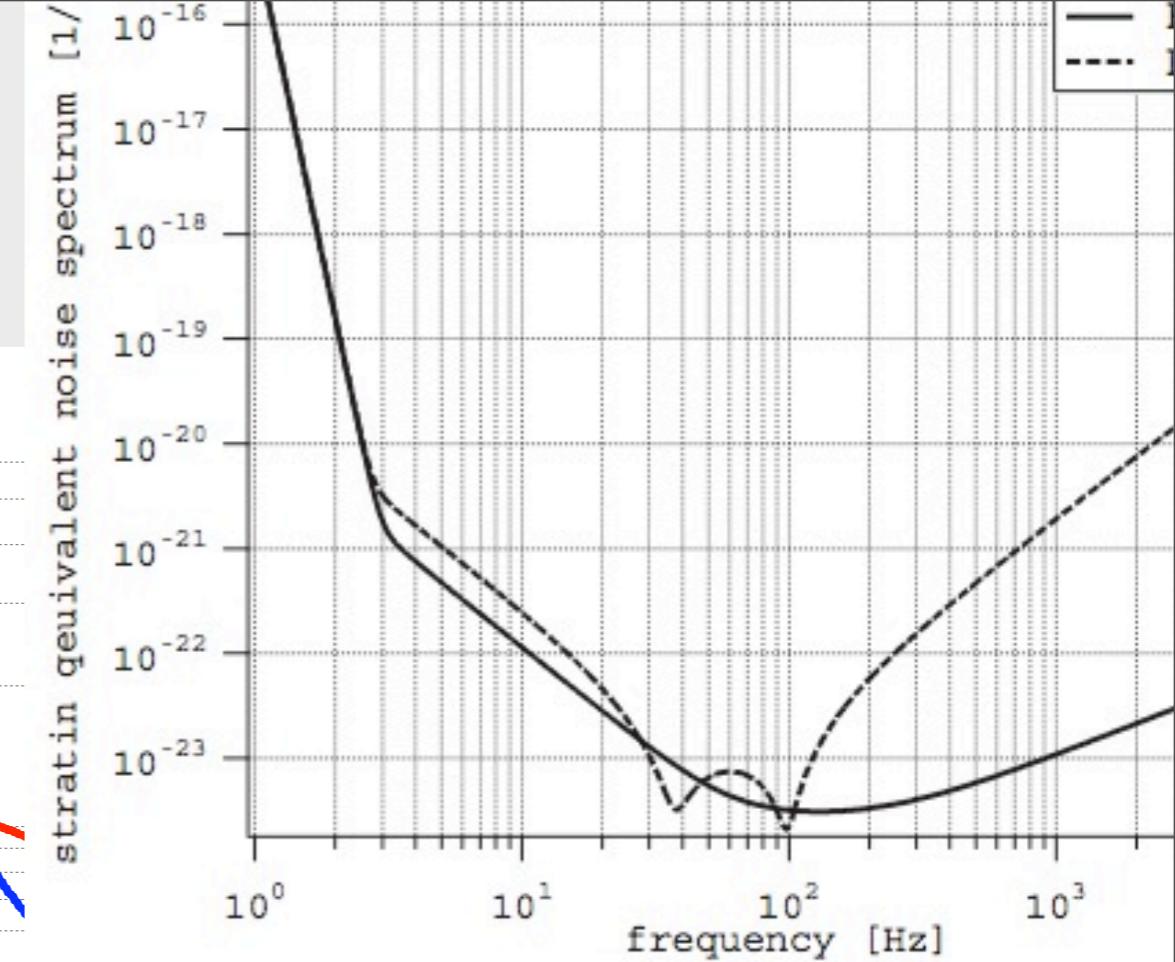
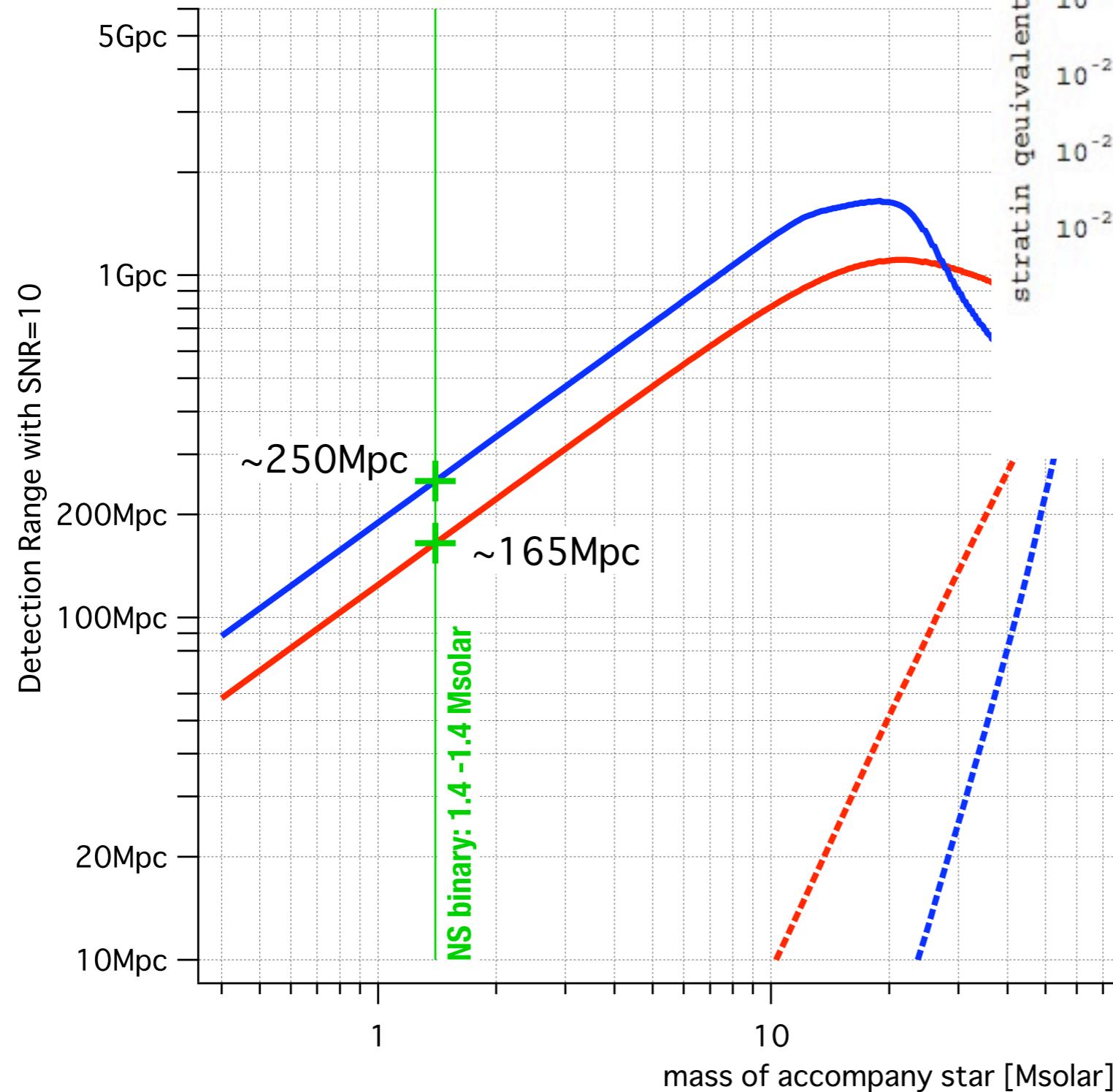
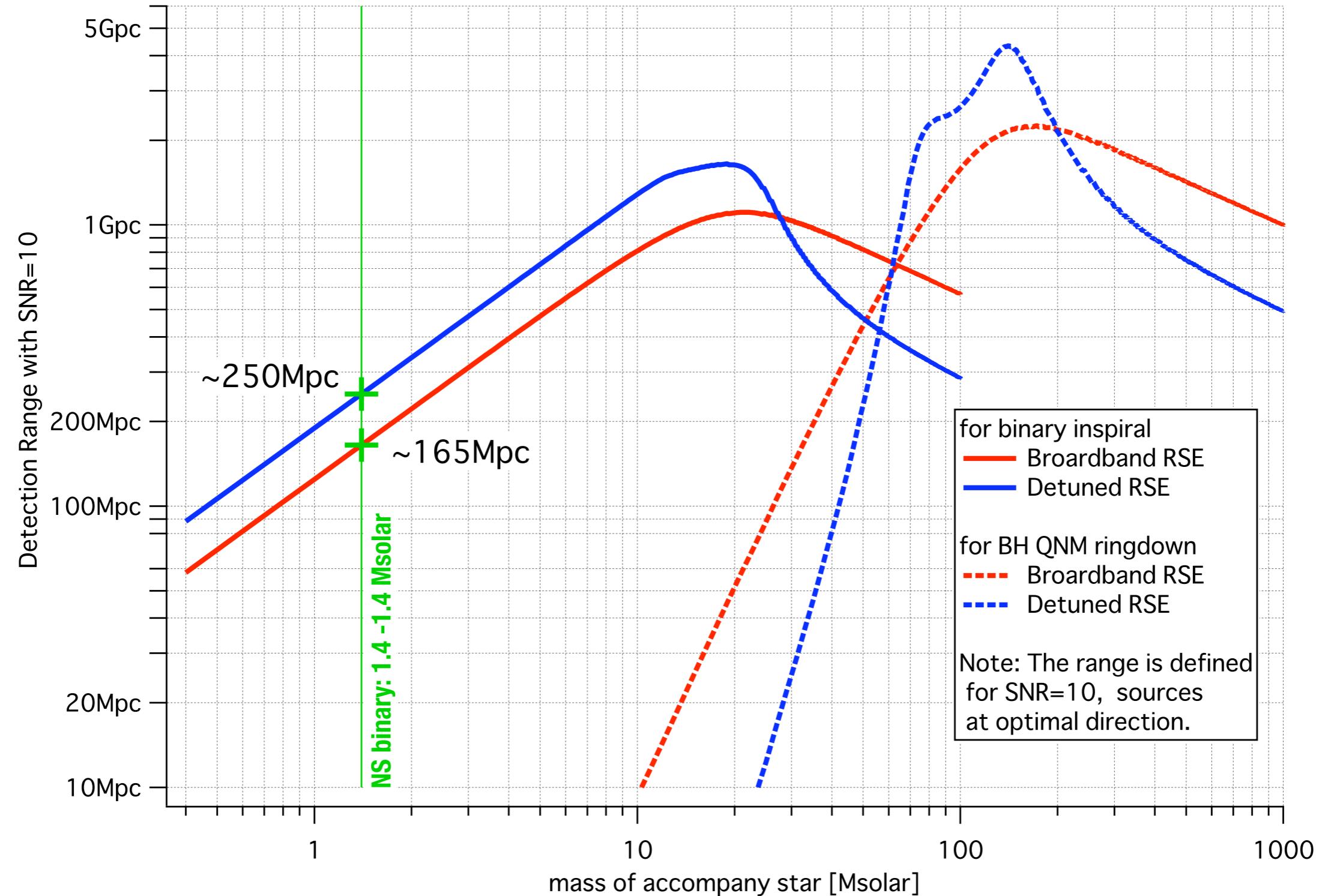
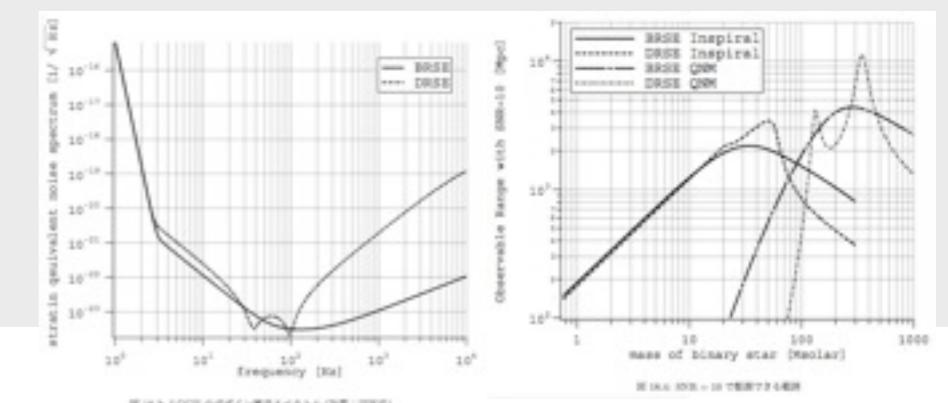


図 18.3: LCGT のデザイン雑音スペクトル (計算: 宗宮氏)

for binary inspiral	
—	Broadband RSE
—	Detuned RSE
for BH QNM ringdown	
-·-	Broadband RSE
···	Detuned RSE

Note: The range is defined for $\text{SNR}=10$, sources at optimal direction.

検出レンジ



検出レンジ

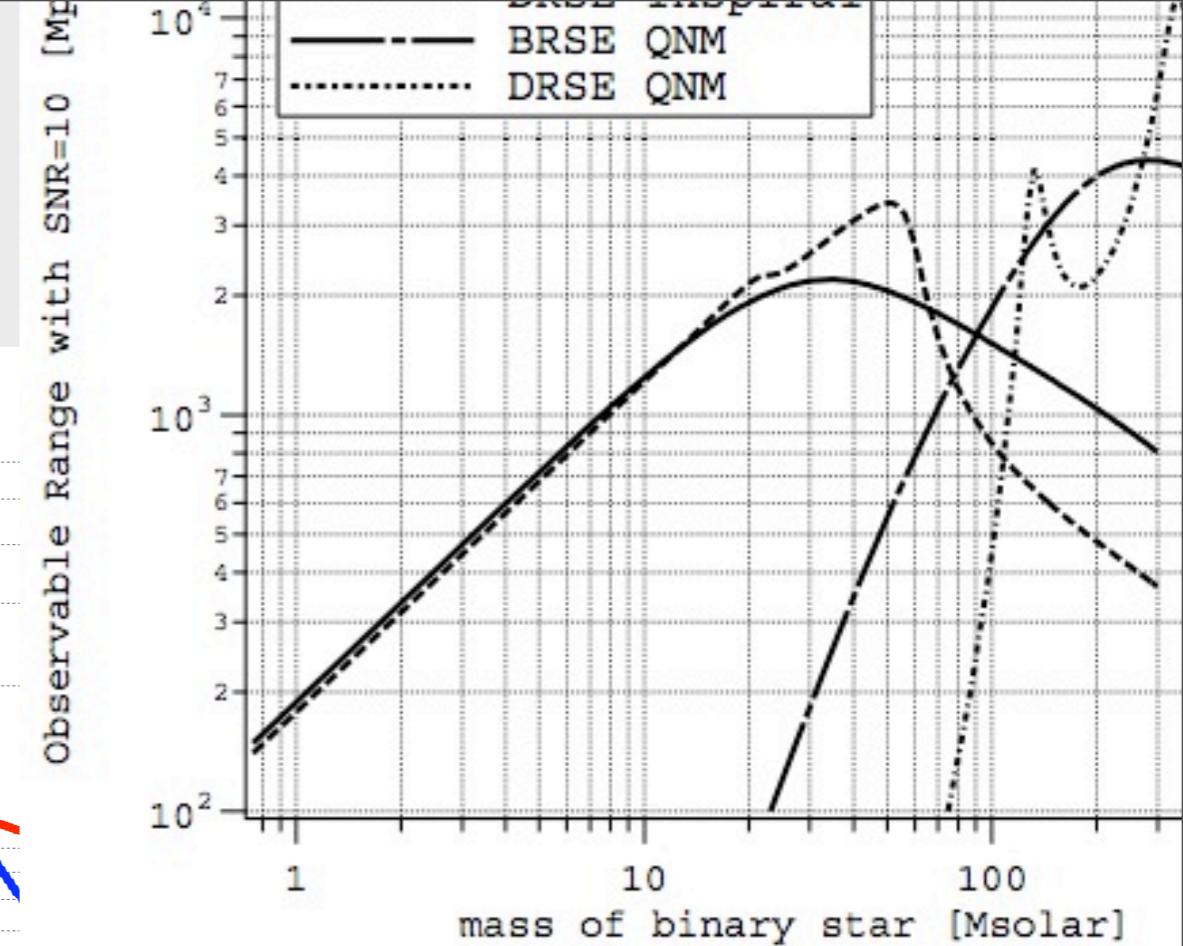
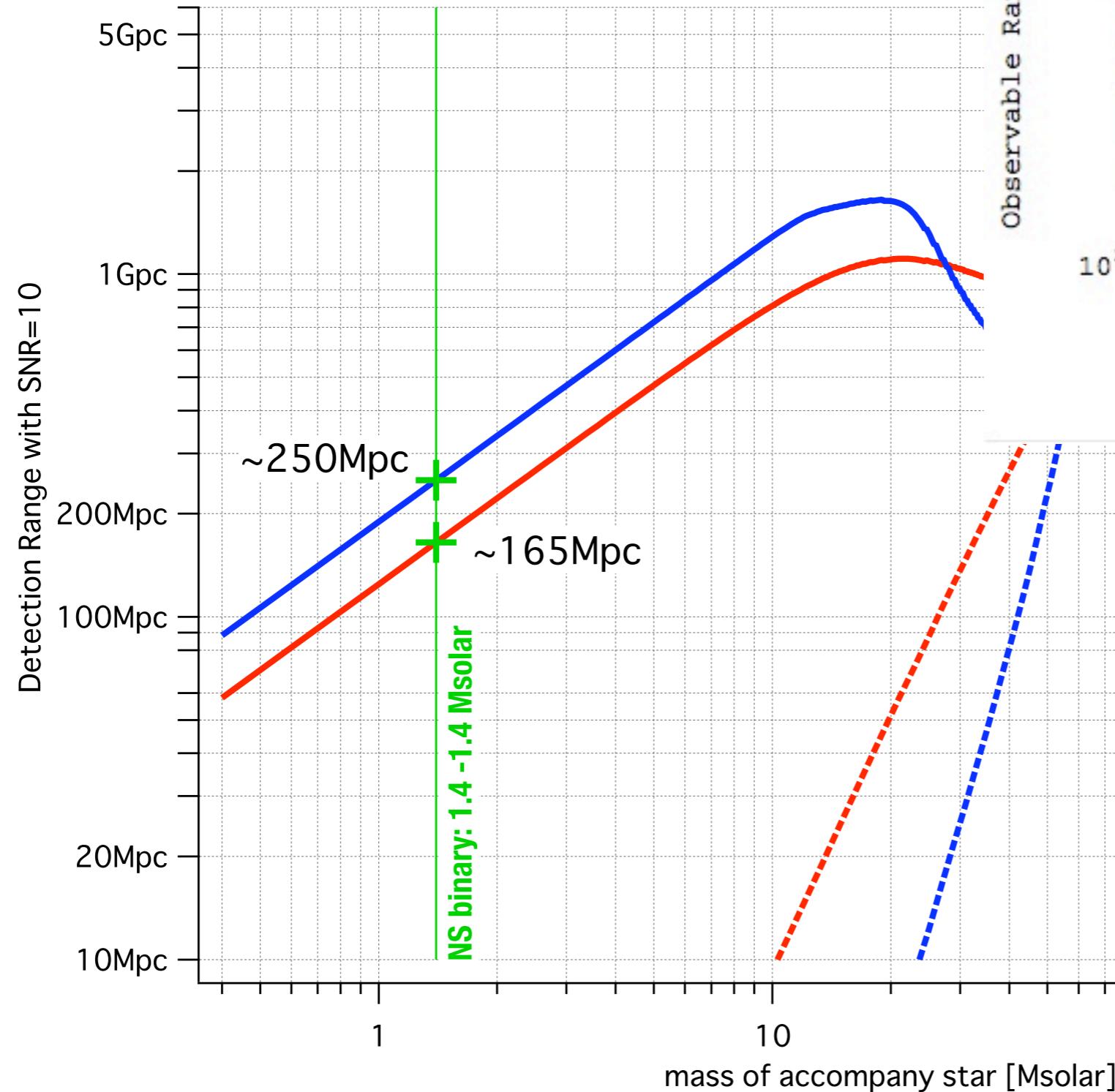
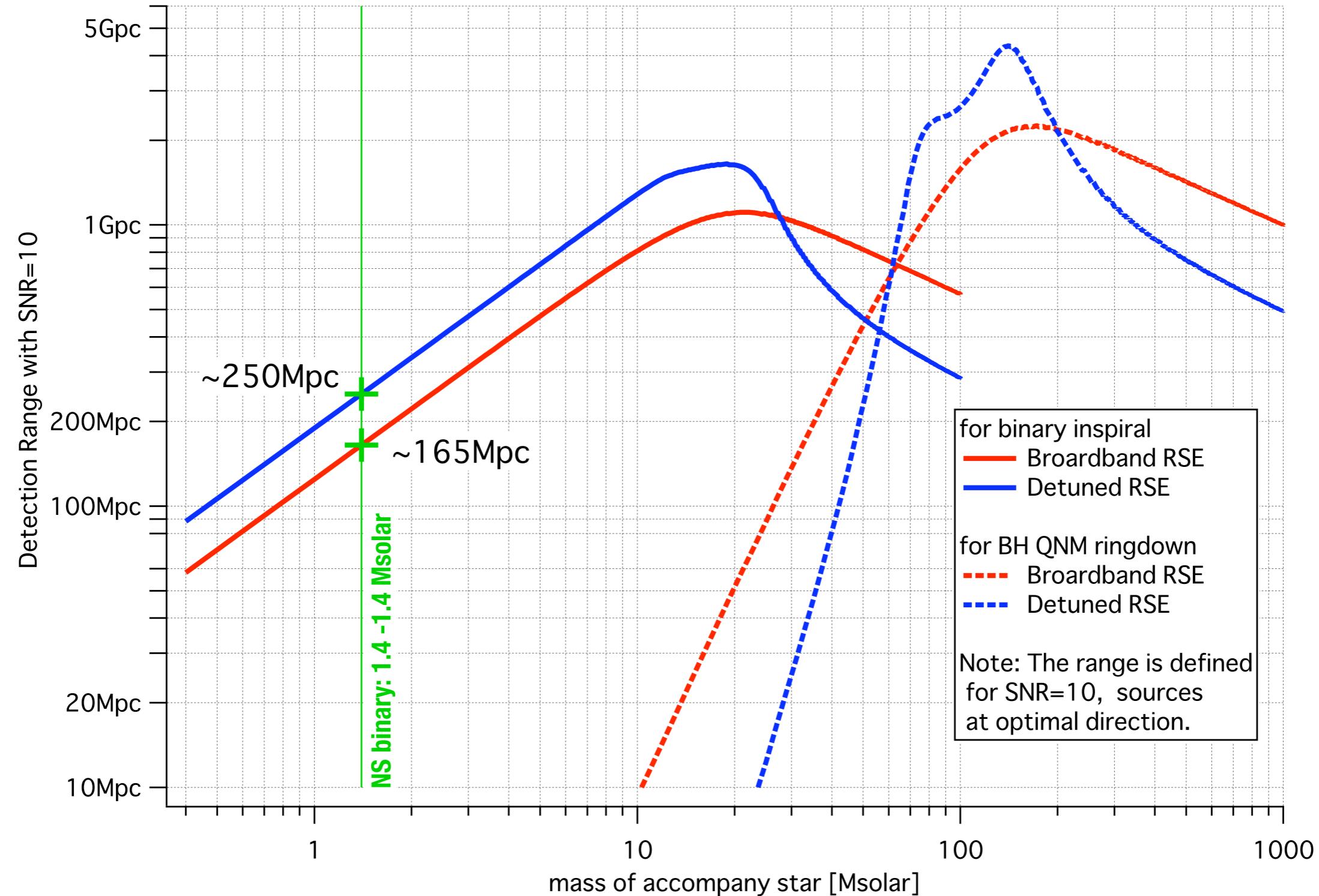
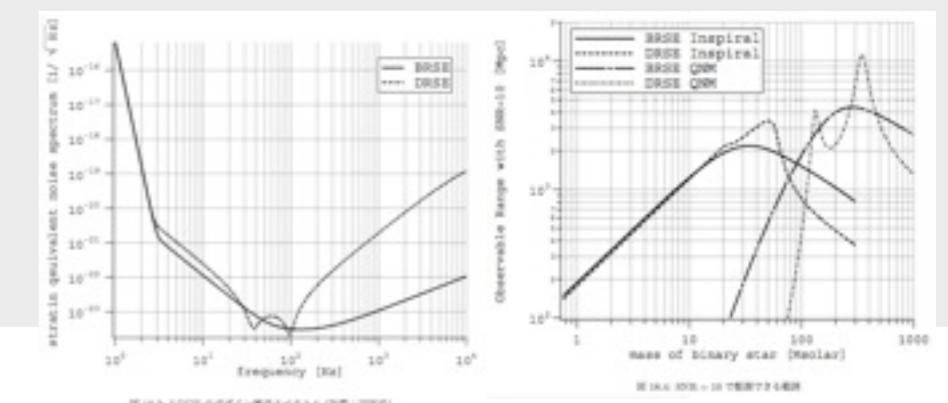


図 18.4: $\text{SNR} = 10$ で観測できる範囲

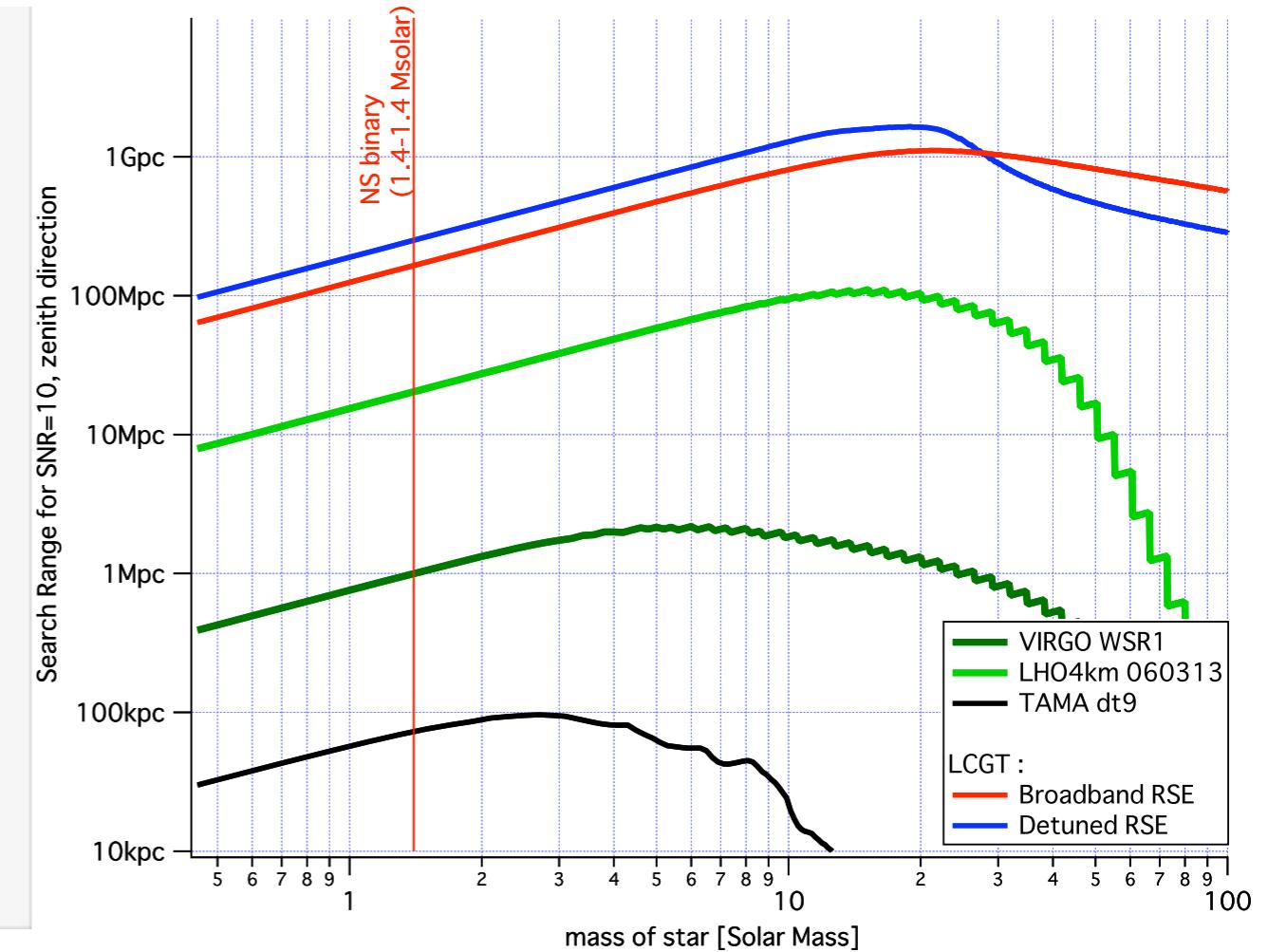
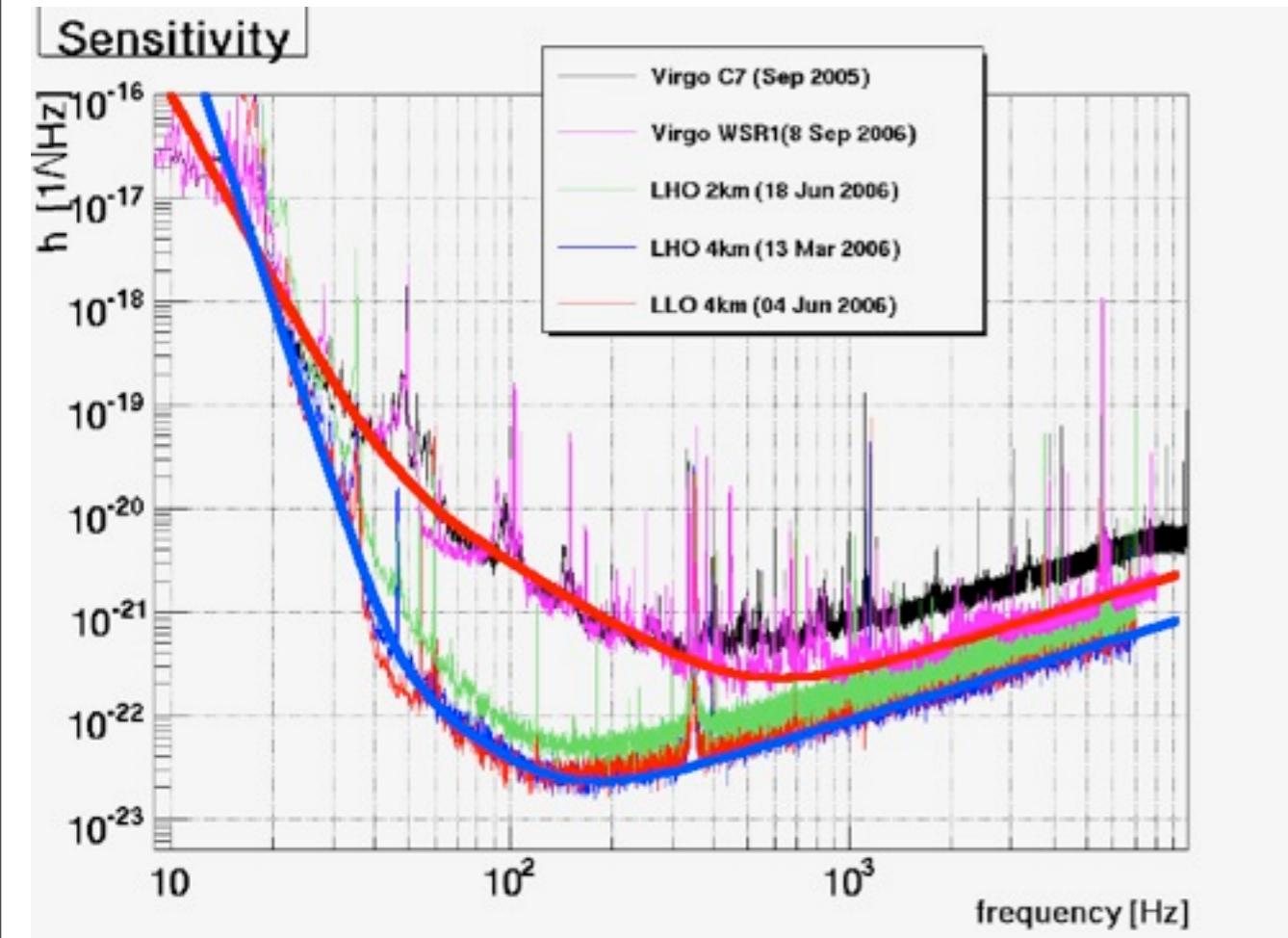
for binary inspiral	
—	Broadband RSE
—	Detuned RSE
for BH QNM ringdown	
-·-	Broadband RSE
-·-	Detuned RSE

Note: The range is defined for $\text{SNR}=10$, sources at optimal direction.

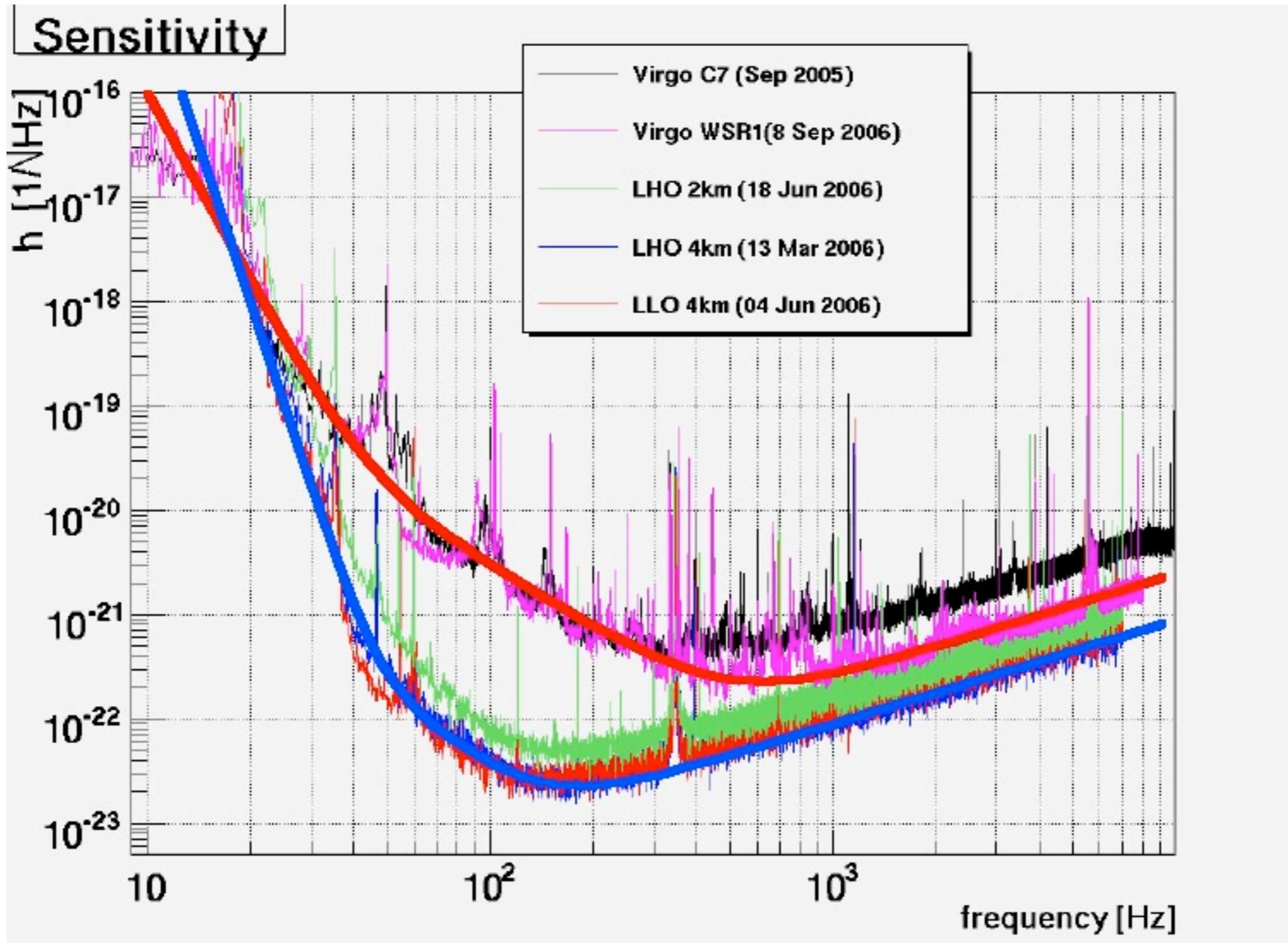
検出レンジ



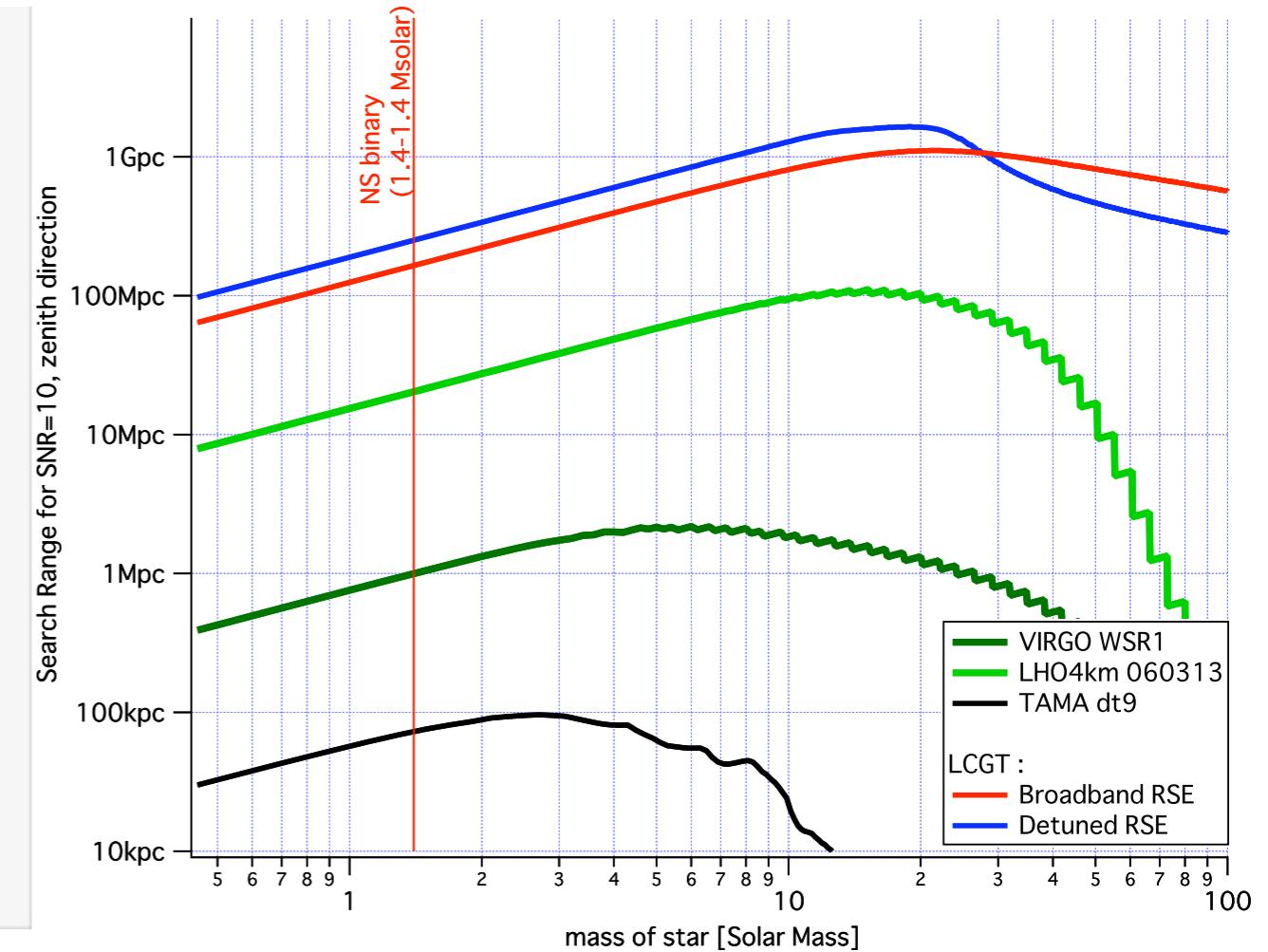
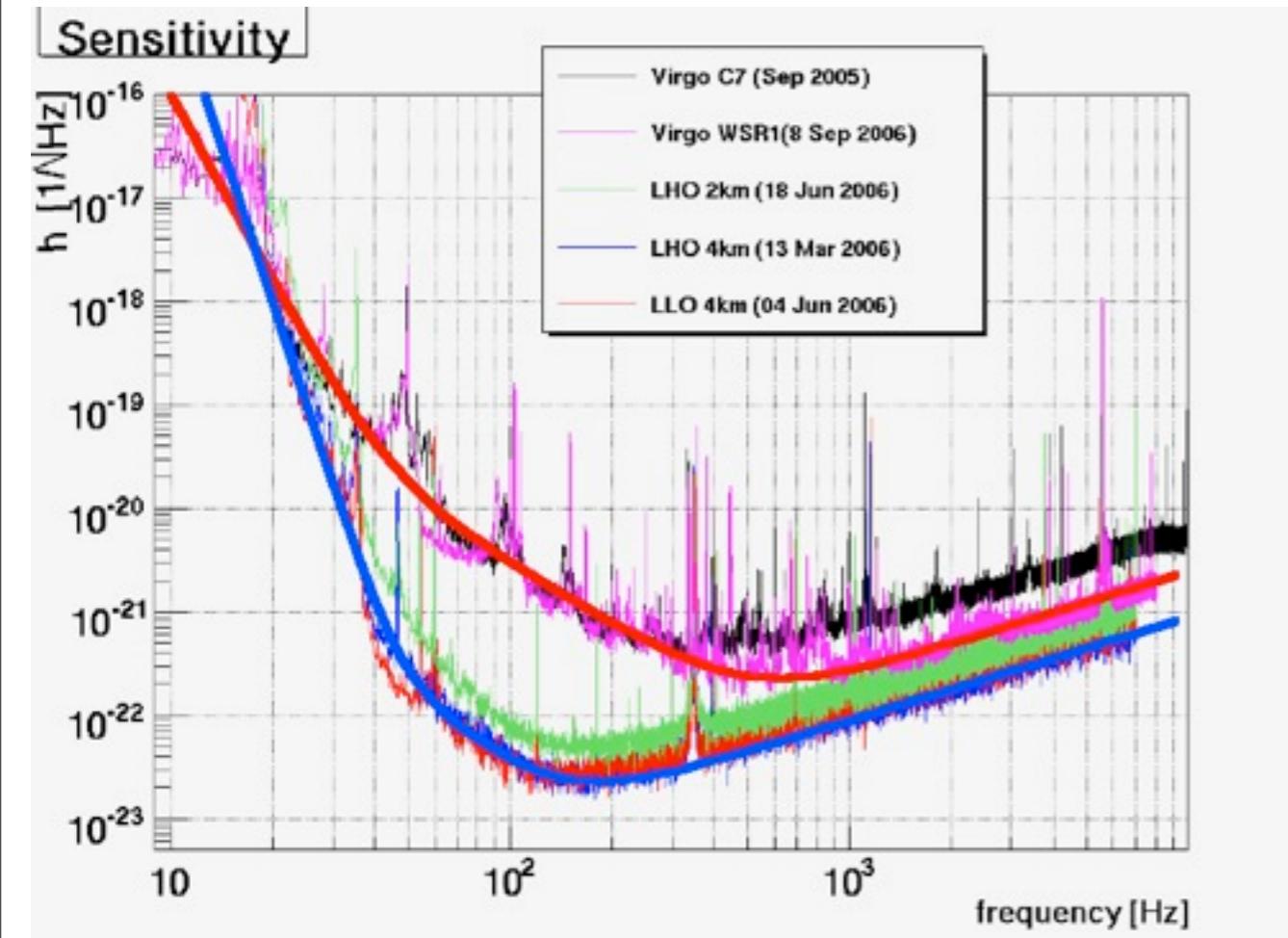
現在と比較



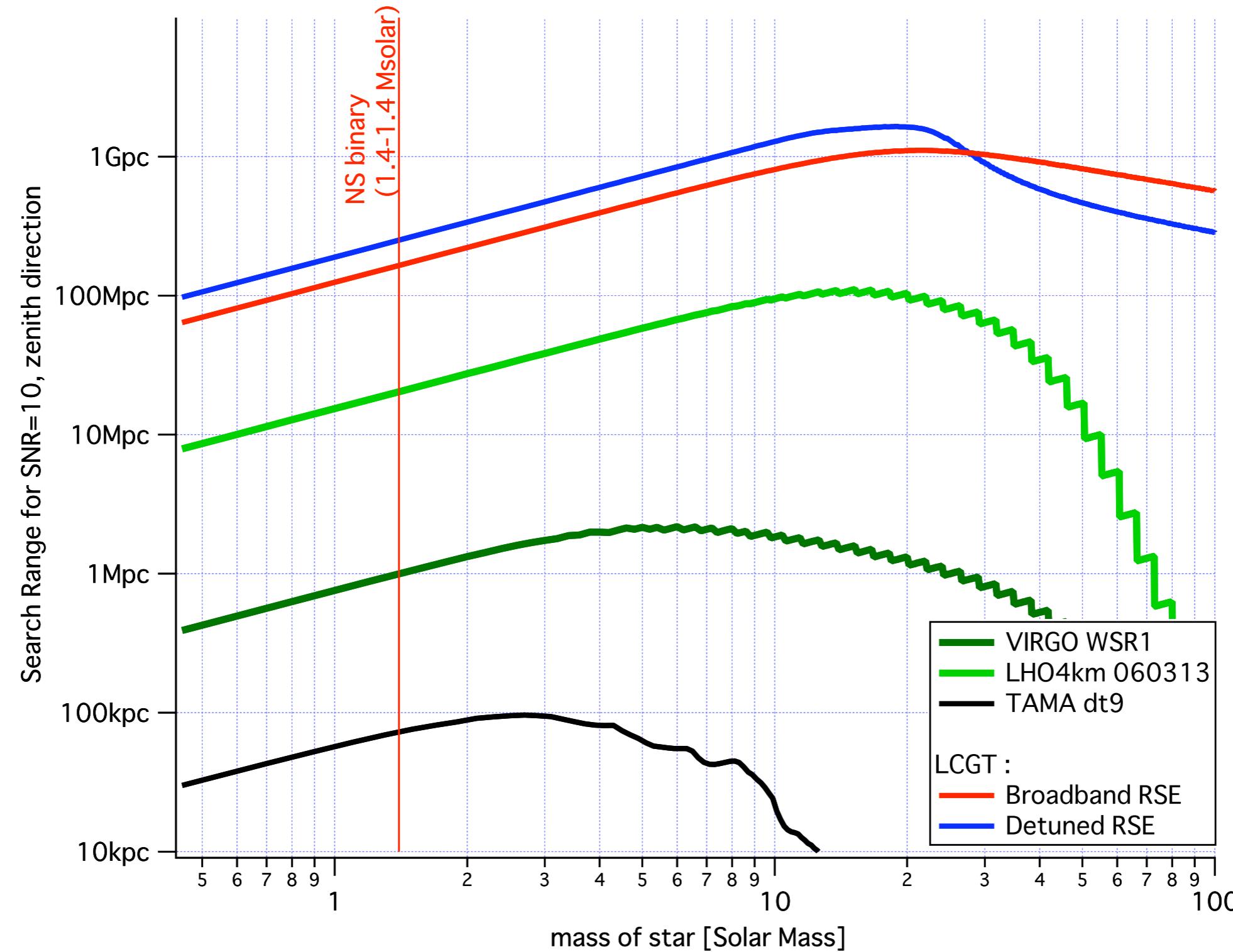
現在と比較



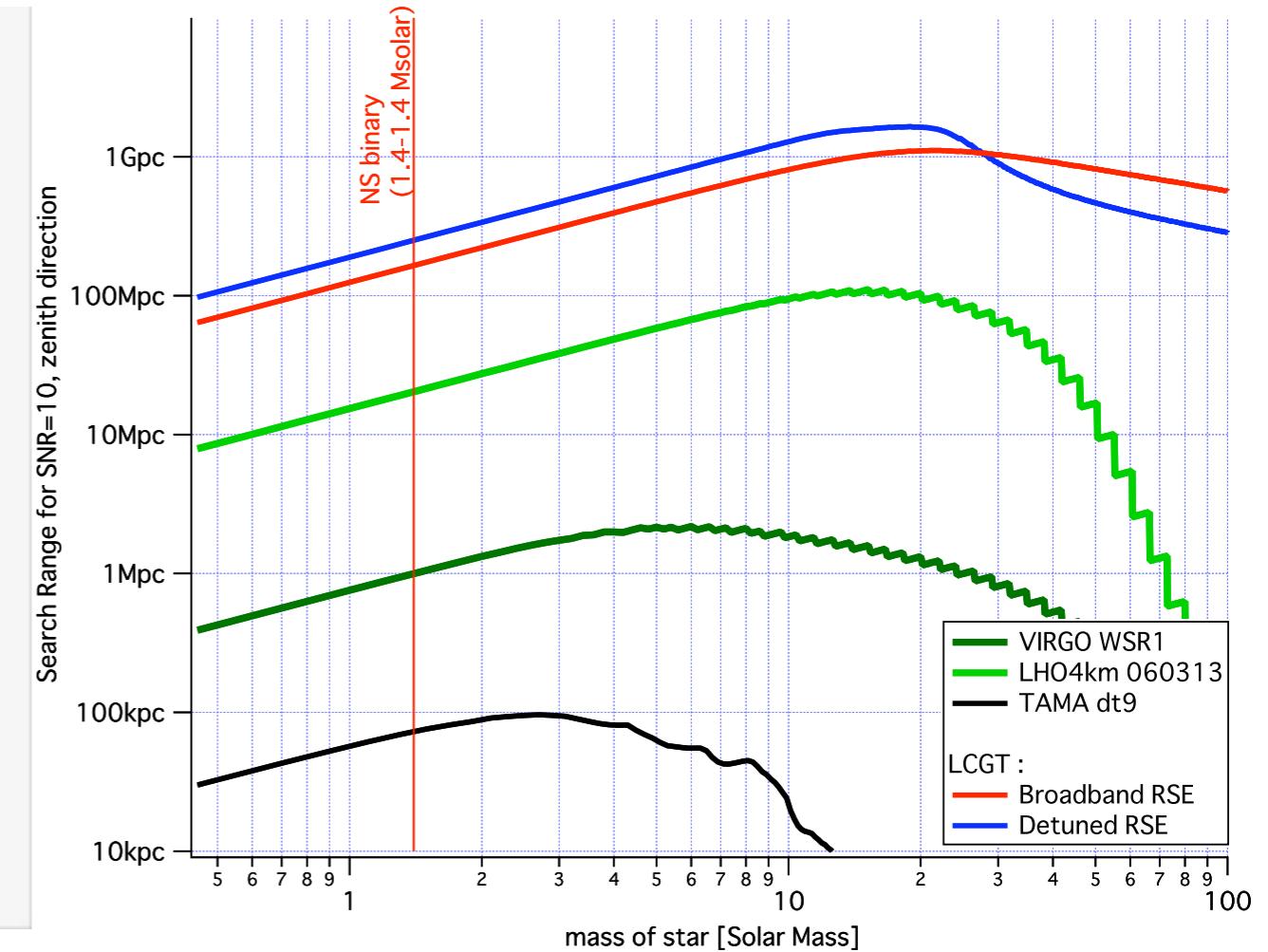
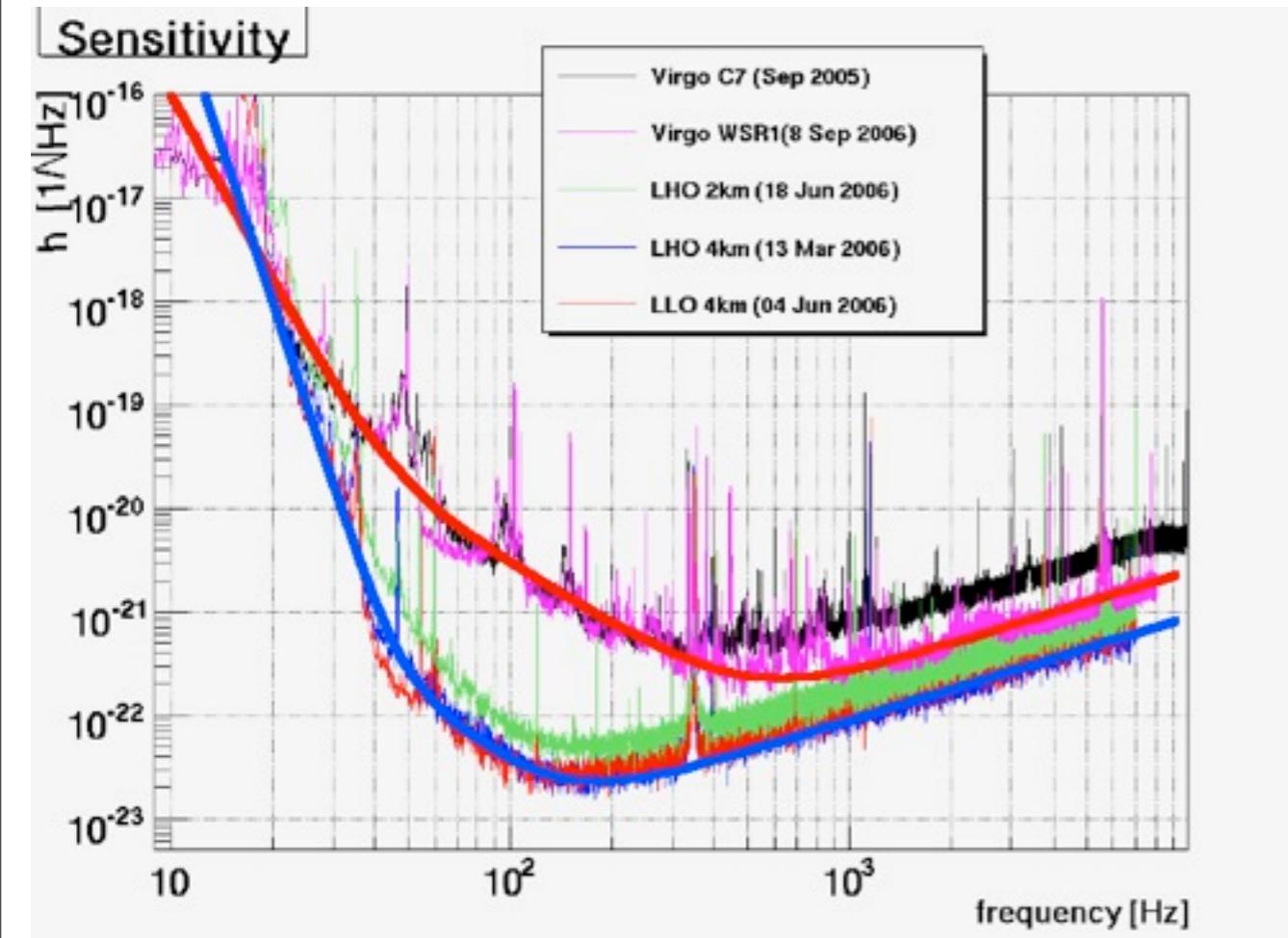
現在と比較



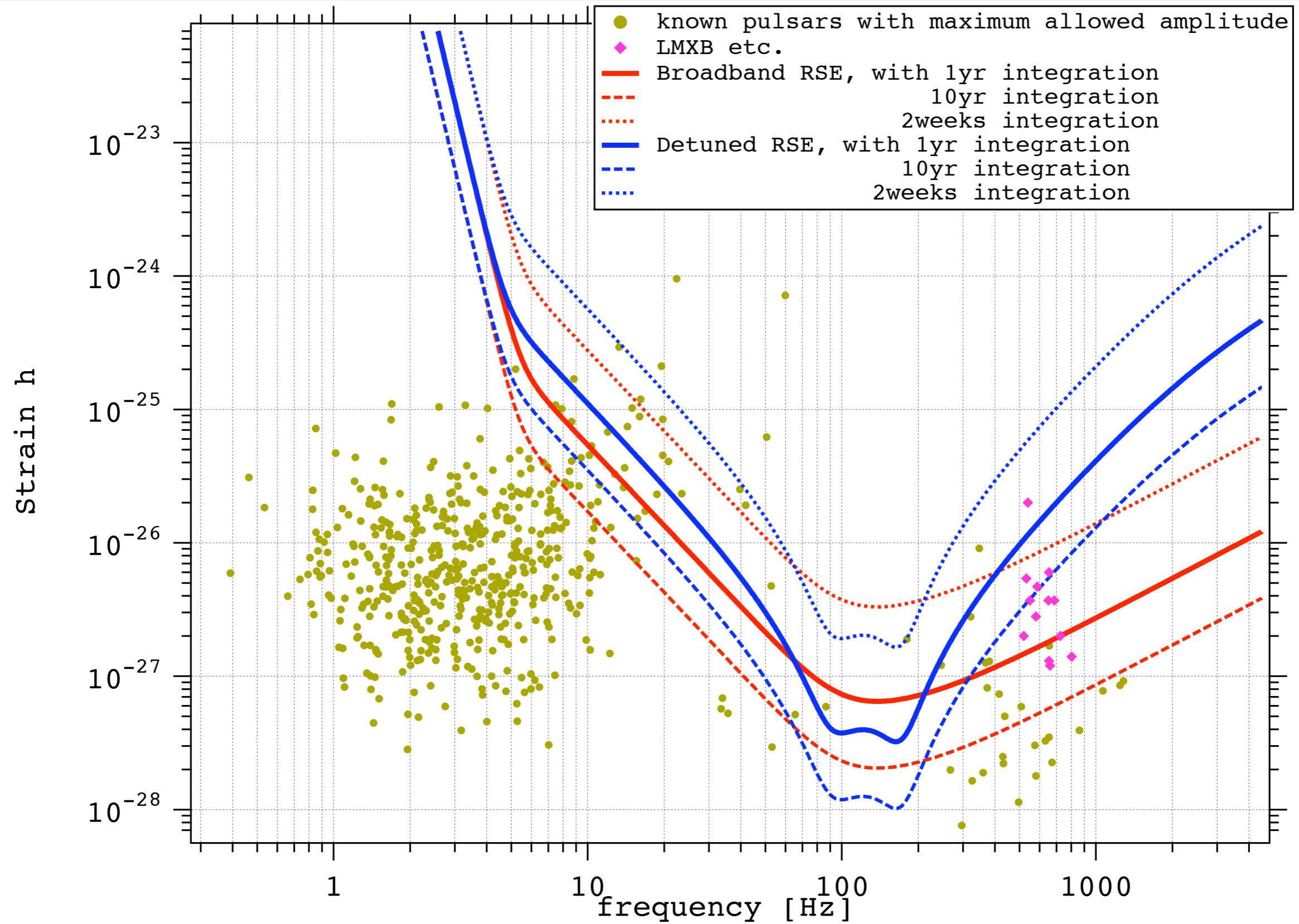
現在と比較



現在と比較



for Contunuous GW



remarks

		Broadband RSE	Detued RSE
コンパクト連 星(Inspiral)	検出レンジ ($\text{SNR} > 10$, 最適方向/偏極)	165 Mpc	250 Mpc
	頻度	(I)	~ $\times 3.5$
ブラックホール準 固有振動リングダ ウン	1Gpc レンジの 質量範囲	80-1000 Msolar	60-350 Msolar
	NS-NS で形成され た場合 @ ~7kHz	$h \sim 4.3 \times 10^{-22} [\text{I/rHz}]$	$\text{SNR} \sim \times 0.02$ $h \sim I \times 10^{-21} [\text{I/rHz}]$
連続波	既知のパルサー539個 中、1年間積分で理論上 限にとどくもの	30個	20個
	LMXB	△?	×
超新星バースト @銀河中心		○	△
背景重力波		LIGO,VIRGOとのoverlap function は < ~30Hz	

方針、戦略

LCGT解析グループ

(辰巳、田越、神田)

LCGTの目標とデータ解析

- 重力波の世界初観測 (first detection)

そのために、

1、単独で行うべき解析がある

(単独で行い得る解析内容、および国際観測網の一部としてなすべき内容と両方。)

2、LCGTグループで解析する最低限の内容と、そのための人、物が必要

- 1.DAQ部分の内容
- 2.LCGT単独でおこなう部分
- 3.国際協力で行う部分
4. 単独または国際協力

解析の全体概要

データ取得(raw data)



前処理(pre-processed data)

感度構成、検出器ステータスなど



イベント探索(search)

重力波源にあわせた処理。例:マッチドフィルター、エクセスパワー、TFクラスタ等



イベント候補(candidates)

→同時解析(coincidence)



発見！ or 観測上限値

解析グループの長期戦略

- 重力波天文学はまだ始まってもないで
長期的にどうなっていくのか予測が困難。
- なるべく自由な発想で広く重力波探査に取り組む
ことが重要。検出器も NS binary に固執せず、
幅広い重力波源に対応できる感度が望ましい。
- しかしながら、プロジェクトとして最低限達成すべき成果 =
minimum success をきちんと定義しておく必要がある。

Minimum success

GW sources	Local Analysis	Global Analysis	Astronomical Info.
Compact Binary Coalescence	NS-NS binary BH-BH binary MACHO binary	Coherent analysis	Distance Chirp mass
Burst	Supernovae BH ringdown	Event List Exchange	Event Timing
Continuous	known pulsars	???	Ellipticity
	all sky survey	??? all sky survey	Freq, Direction
Stochastic		Coherent analysis	Wgw



LCGT 独自で結果を出す



International collaboration

Minimum success

- 前頁に挙げる国際共同解析を実現する。

これも今までの TAMA-LIGO, その他の
国際共同解析の実績がある。

=> ただし、人員が大幅に不足している。

Minimum success

Total	17
• CBC	7
– Spinless BNS, BBH	2
– Spinning BBH	2
– GRB associated event	2
– Inspiral + merger + ringdown	1
• Burst	5
– Non-triggered	2
– GRB associated	2
– Supernova associated	1
• Continuous	4
– Known isolated pulsars	2
– Known binary pulsars	1
– Unknown pulsars (all sky survey)	1
• Stochastic	1