

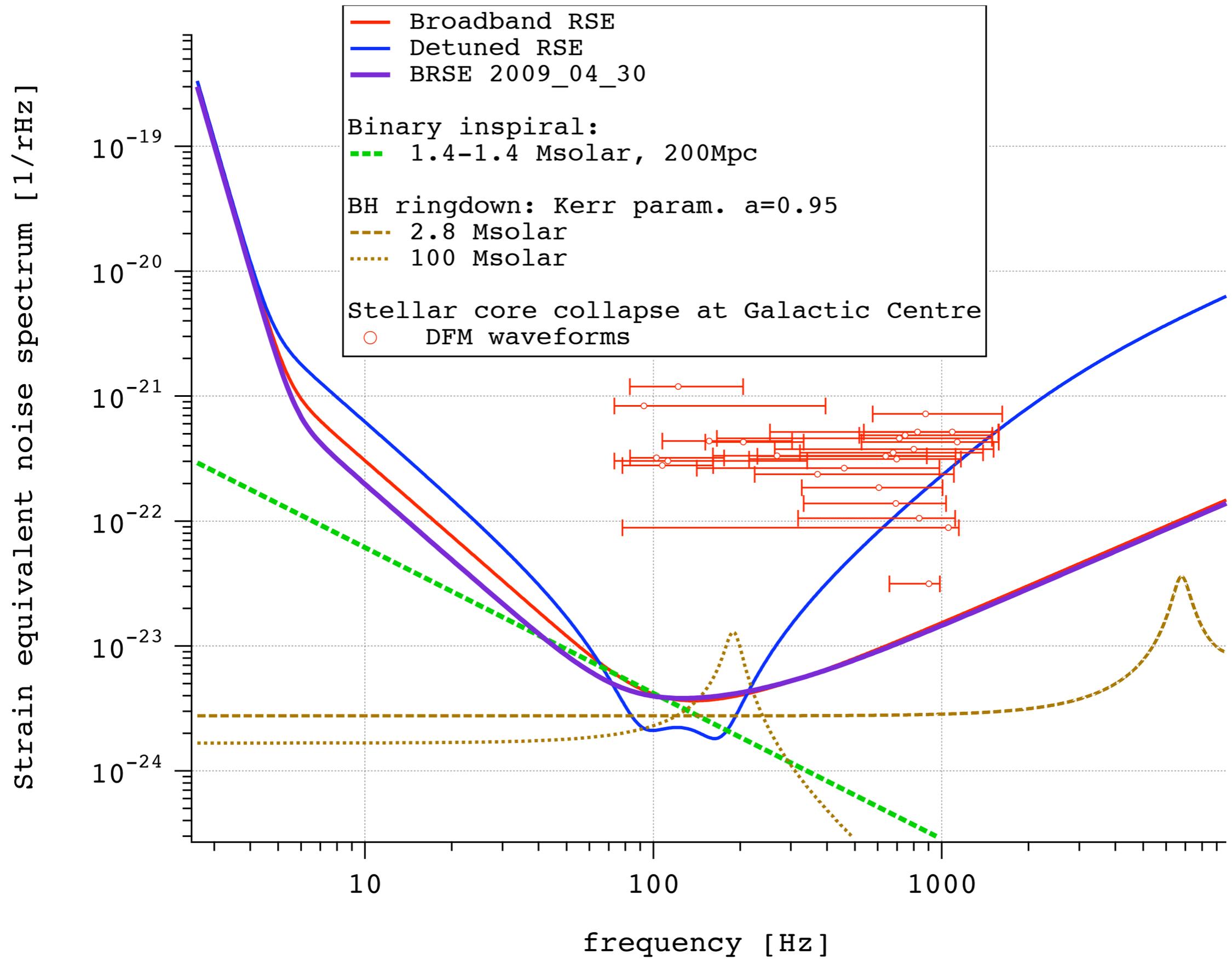
11月のremark&update

		Broadband RSE	Detuned RSE
コンパクト連星(Inspiral)	検出レンジ (SNR>10, 最適方向/偏極)	165 Mpc	250 Mpc
	頻度	(1)	~ x 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	$h \sim 4.3 \times 10^{-22}$ [1/rHz]	SNR ~ x 0.02 $h \sim 1 \times 10^{-21}$ [1/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	$\triangle ?$	x
超新星バースト @銀河中心		\bigcirc	\triangle
背景重力波		LIGO,VIRGOとのoverlap function は< ~30Hz	

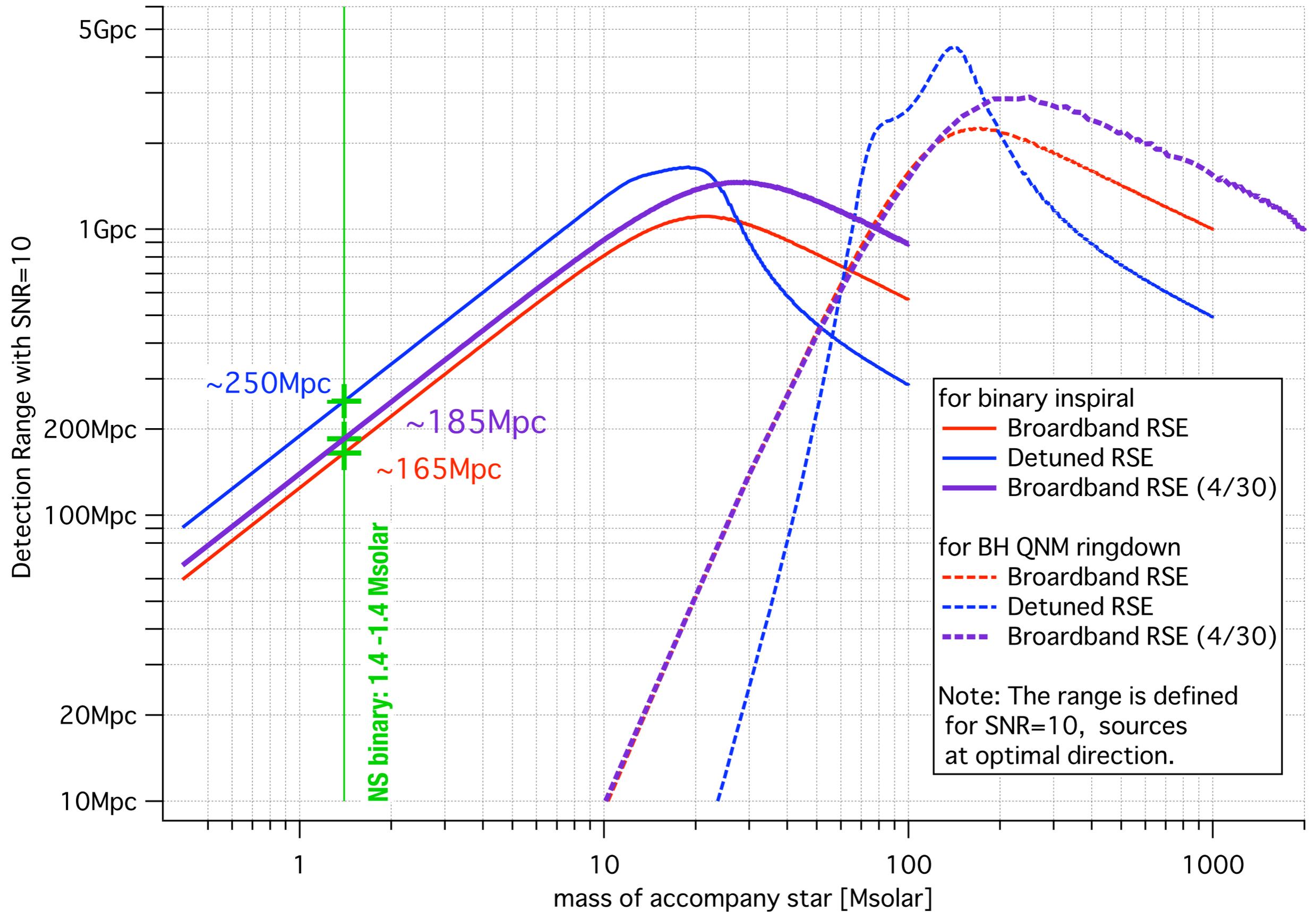
11月のremark&update

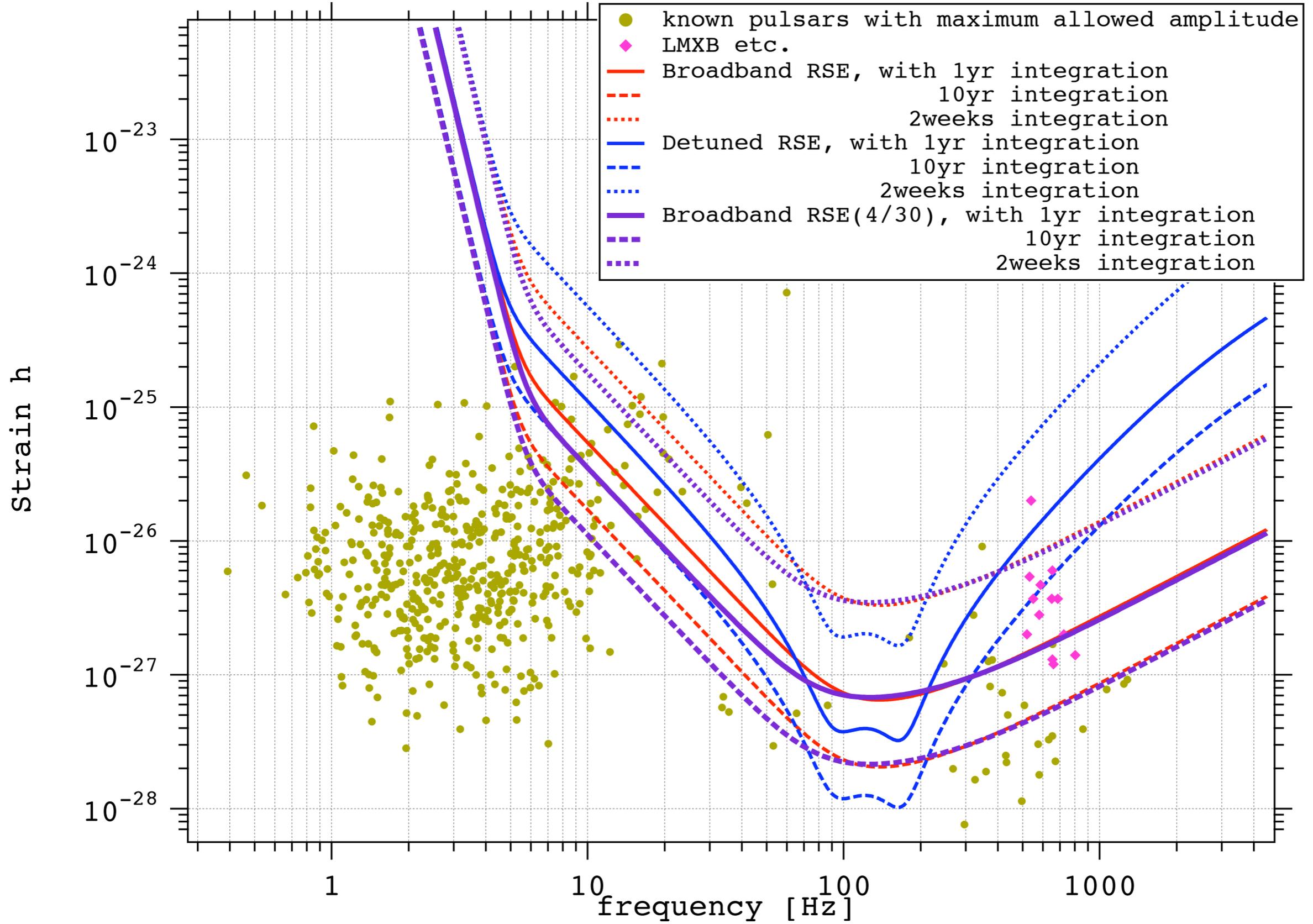
		Broadband RSE	Detuned RSE
コンパクト連星(Inspiral)	検出レンジ (SNR>10, 最適方向/偏極)	165 Mpc	250 Mpc
	頻度	(1)	~ x 3.5
ブラックホール準固有振動リングダウン	1Gpc レンジの質量範囲	80-1000 Msolar -2000	60-350 Msolar
	NS-NS で形成された場合 @ ~7kHz	$h \sim 4.3 \times 10^{-22}$ [1/rHz]	SNR ~ x 0.02 $h \sim 1 \times 10^{-21}$ [1/rHz]
連続波	既知のパルサー539個中、1年間積分で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	

'09.4版
185Mpc



検出レンジ





もし感度デザインを変えるならば、解析にとってはどういうオプションがあるか？

もちろん、“変える”としても、コスト、マンパワー、時間の制約はあるので、完全にフリーハンドではないが、まずは物理の面から考えておく。

BRSEの感度を良くすると...

全ての種類の重力波studyについて、従来より改善する。

DRSEを採用すると...

周波数帯域によって、メリットが異なる。

選び方によっては、“LCGTが強い物理”を持てるかもしれない。

- 1) ~100Hz：連星合体レンジ優先
- 2) ~1.5kHz：連星合体波形PN近似の限界、連星合体の物理
- 3) ~3kHz：連星合体後のhyper-massive中性子星、超新星の重力波
- 4) ~7kHz：BHリングダウン

また、これらのconfigurationを可変できるか（干渉計の大幅な改変＝真空槽移動とかなしで）。

NS-NS coalescence の波形

1) Inspiral

PN近似、Matched Filter

連星合体イベントの”観測レンジ”を支配している波形(=イベントのSNRを決めている帯域: 数10~1.x kHz)

2) Merger

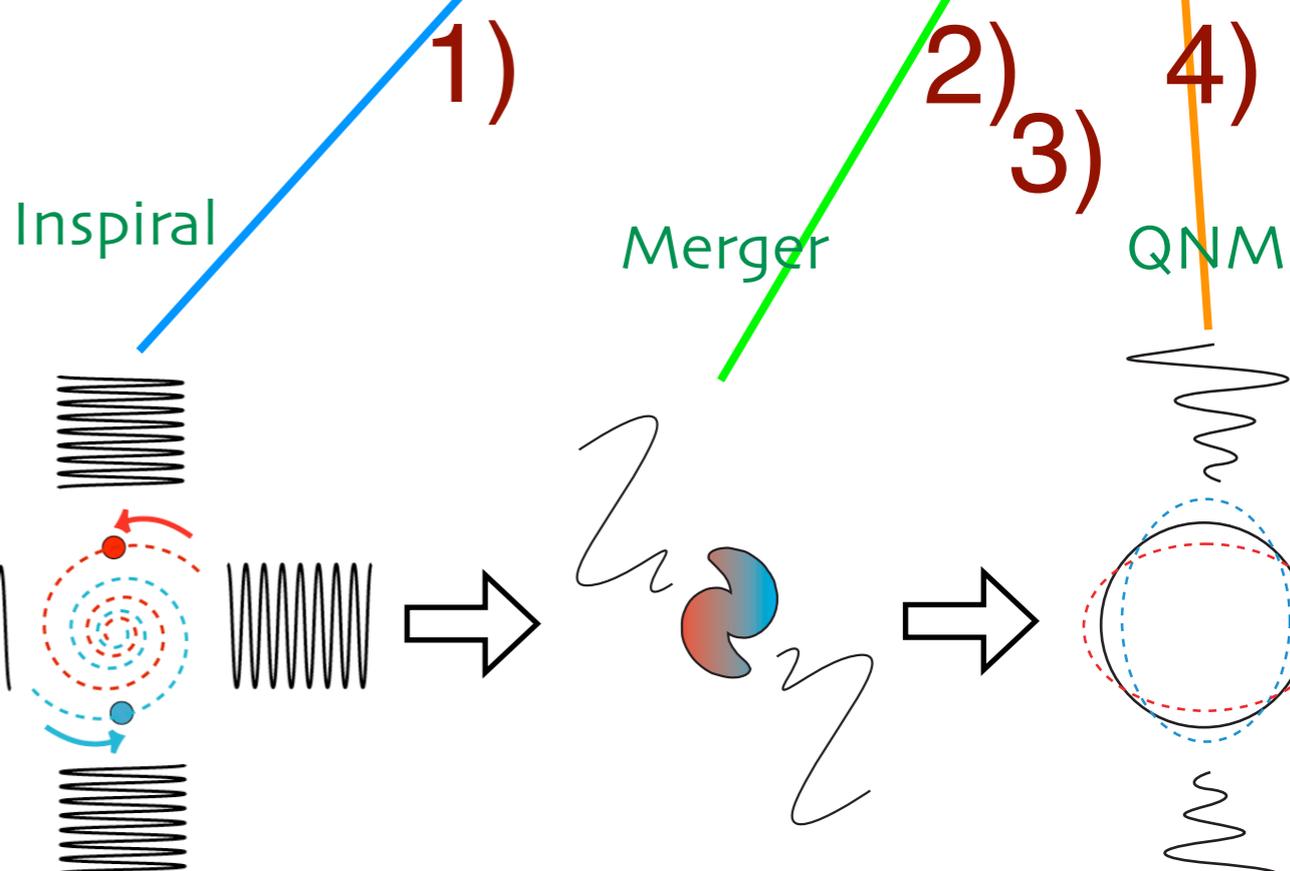
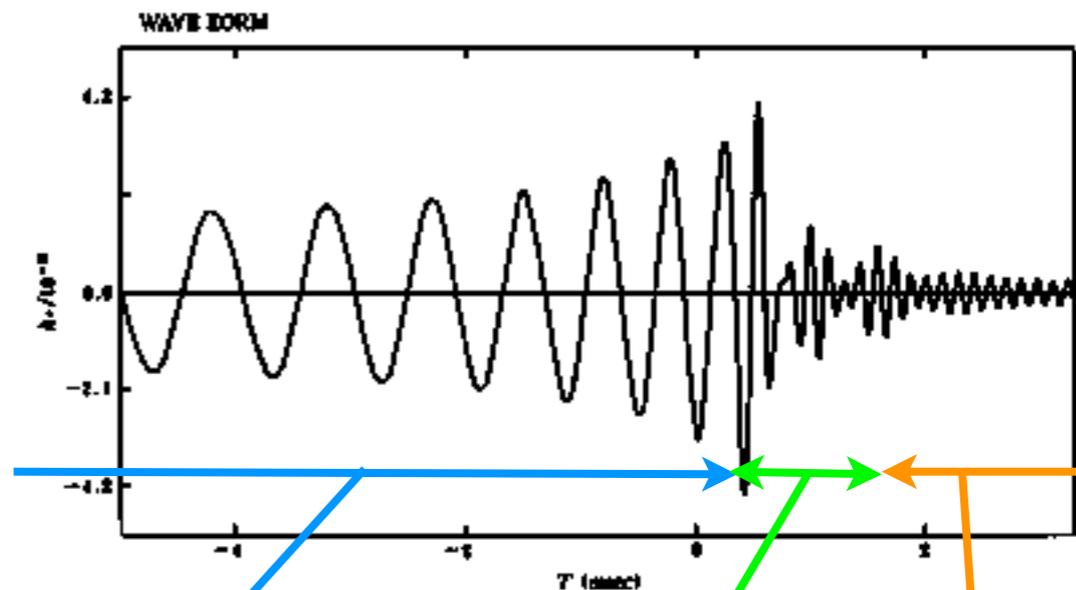
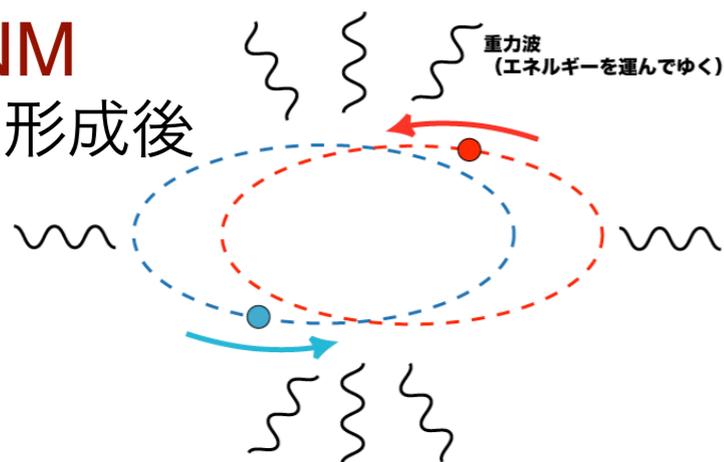
合体付近、PN近似が使えない。
星の大きさ、粘性、潮汐などが関係

3) hyper-massive NS rotation?

数値相対論の予想
NS-NS合体後、棒(?)形状のまましばらく回転(~3kHz)

4) BH QNM

BH形成後



Inspiral Phase

PN近似波形 : Matched Filter 法での探索の対象、連星合体イベント探索に不可欠

1) 現時点でのLCGTデザインの探索レンジはadv.LIGOに劣る

2) LCGTとLIGO, VIRGOは天頂方向がかなり違う。

全天を同時に覆う価値はある。

3) 単一検出器でもmassは決められる

LCGT単体でも、SNが良ければこの物理は可能 (次ページ)

NSの質量には上限が考えられている。LCGTで制限を与えられれば価値はある。

4) 距離、偏極は4 (ないし3) 台の検出器を要する

世界初観測の条件 = 到来方向、距離、星の質量、軌道パラメーター

とするならば、LCGTは観測網に十分意味をもつ

中性子星の質量決定の物理的価値

Lattimer, *et al.*
Science, 536 (2004) 304

核物理との関連

高密度核物質の状態方程式
 ↓
 中性子星の質量上限が
 予想

質量決定精度と統計が必要

- 1) 質量決定精度はSNRに
 比例 = 観測レンジに比
 例
- 2) 単体でも可能だが、検
 出器ネットワークにま
 さるのは困難。

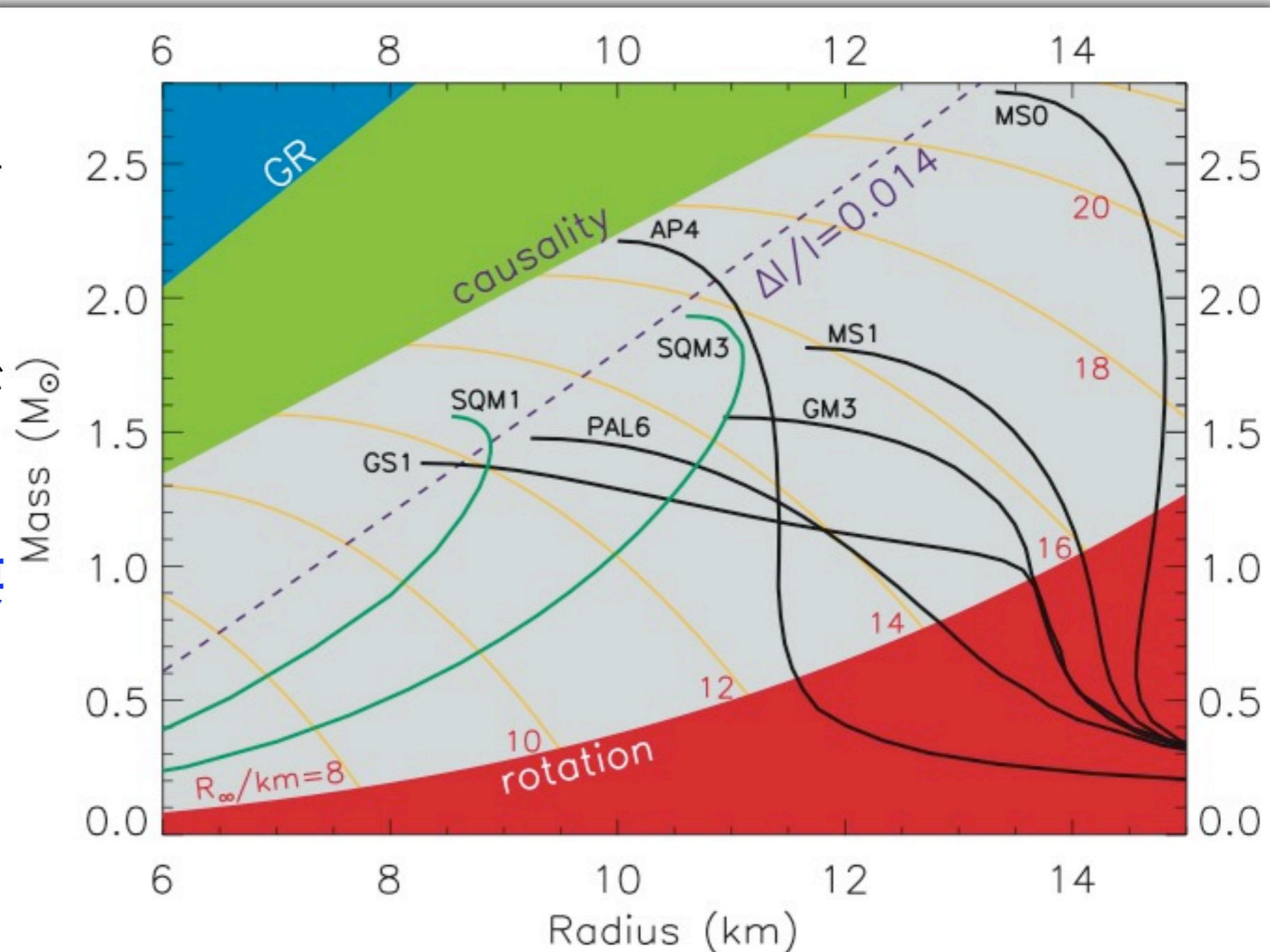


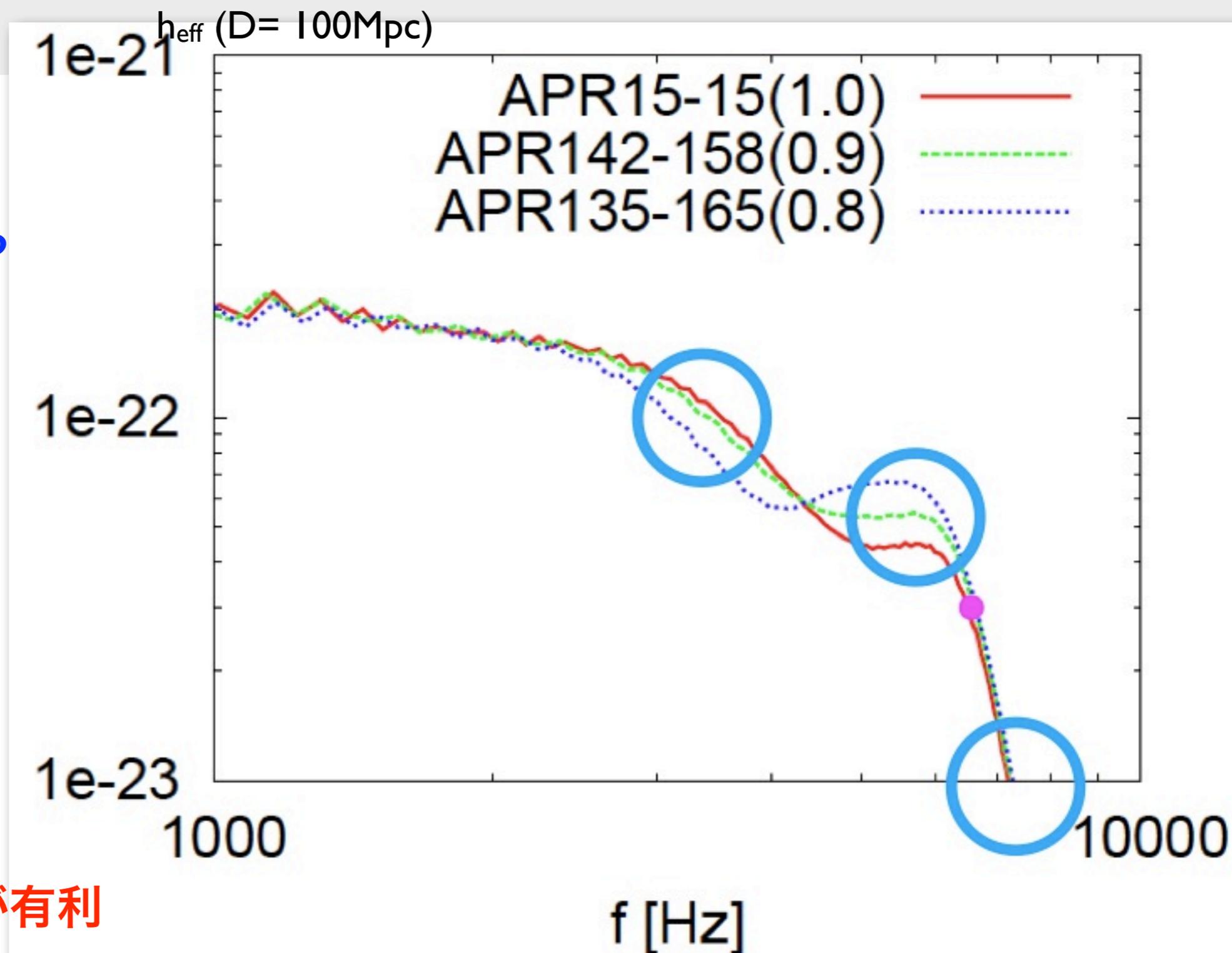
Fig. 2. Mass-radius diagram for neutron stars. Black (green) curves are for normal matter (SQM) equations of state [for definitions of the labels, see (27)]. Regions excluded by general relativity (GR), causality, and rotation constraints are indicated. Contours of radiation radii R_{∞} are given by the orange curves. The dashed line labeled $\Delta/I = 0.014$ is a radius limit estimated from Vela pulsar glitches (27).

Merger Phase の波形：数値相対論の予想と LCGT 感度

注目点：

- ・ PN 近似 ($f^{-7/6}$) からずれてくる付近 (3~4kHz)
- ・ 合体時のバンプ (5~6kHz)

Merger Phase の物理をやるなら、2~6kHz の高感度が有利



木内氏 (早稲田)
の春の物理学会
発表から引用

日本物理学会第64回年次大会@
立教大 2008年3月27日

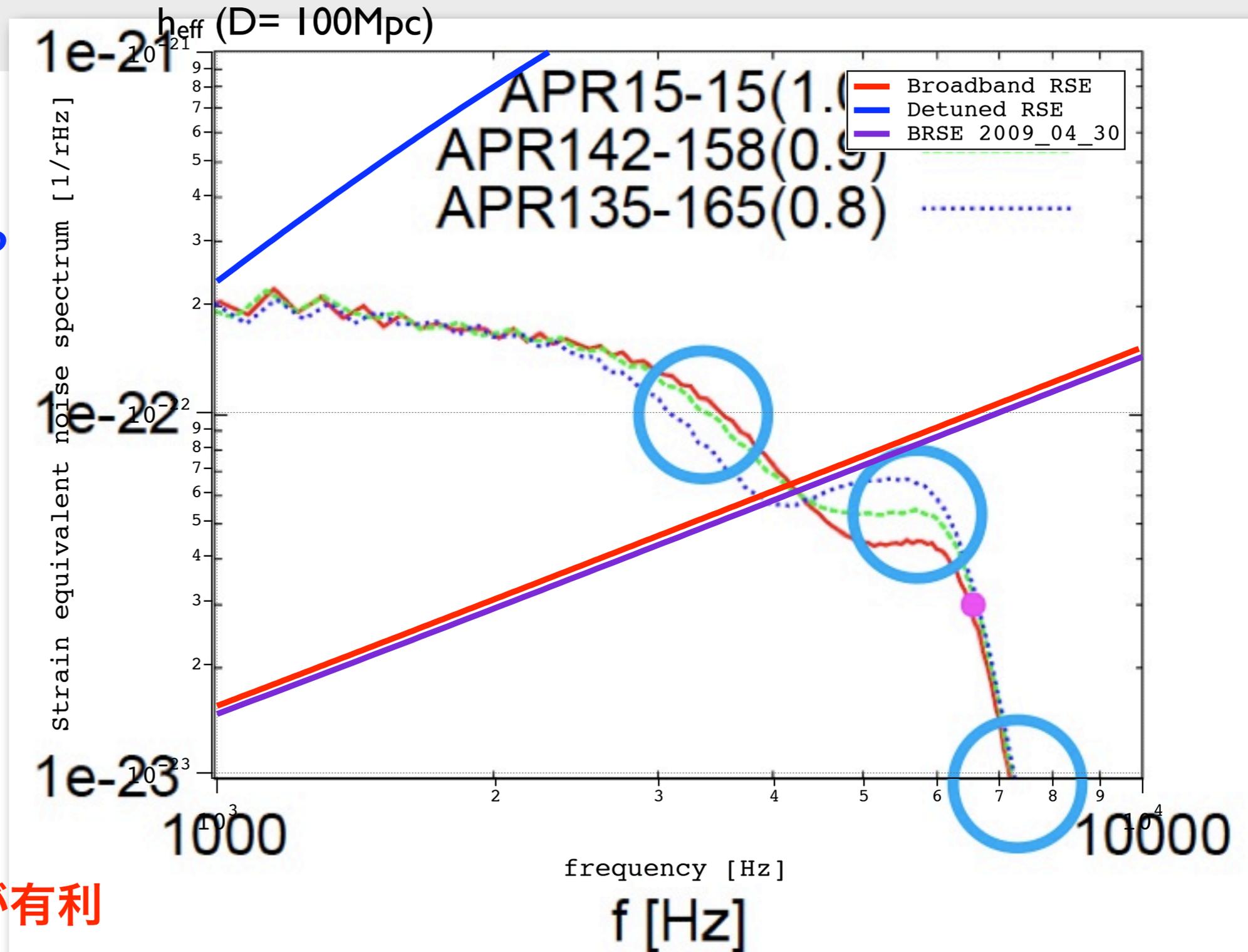
Merger Phase の波形：数値相対論の予想と LCGT 感度

注目点：

- PN近似($f^{-7/6}$)からずれてくる付近 (3~4kHz)
- 合体時のバンプ (5~6kHz)

Merger Phaseの
物理をやるなら、

2~6kHzの高感度が有利



木内氏(早稲田)
の春の物理学会
発表から引用

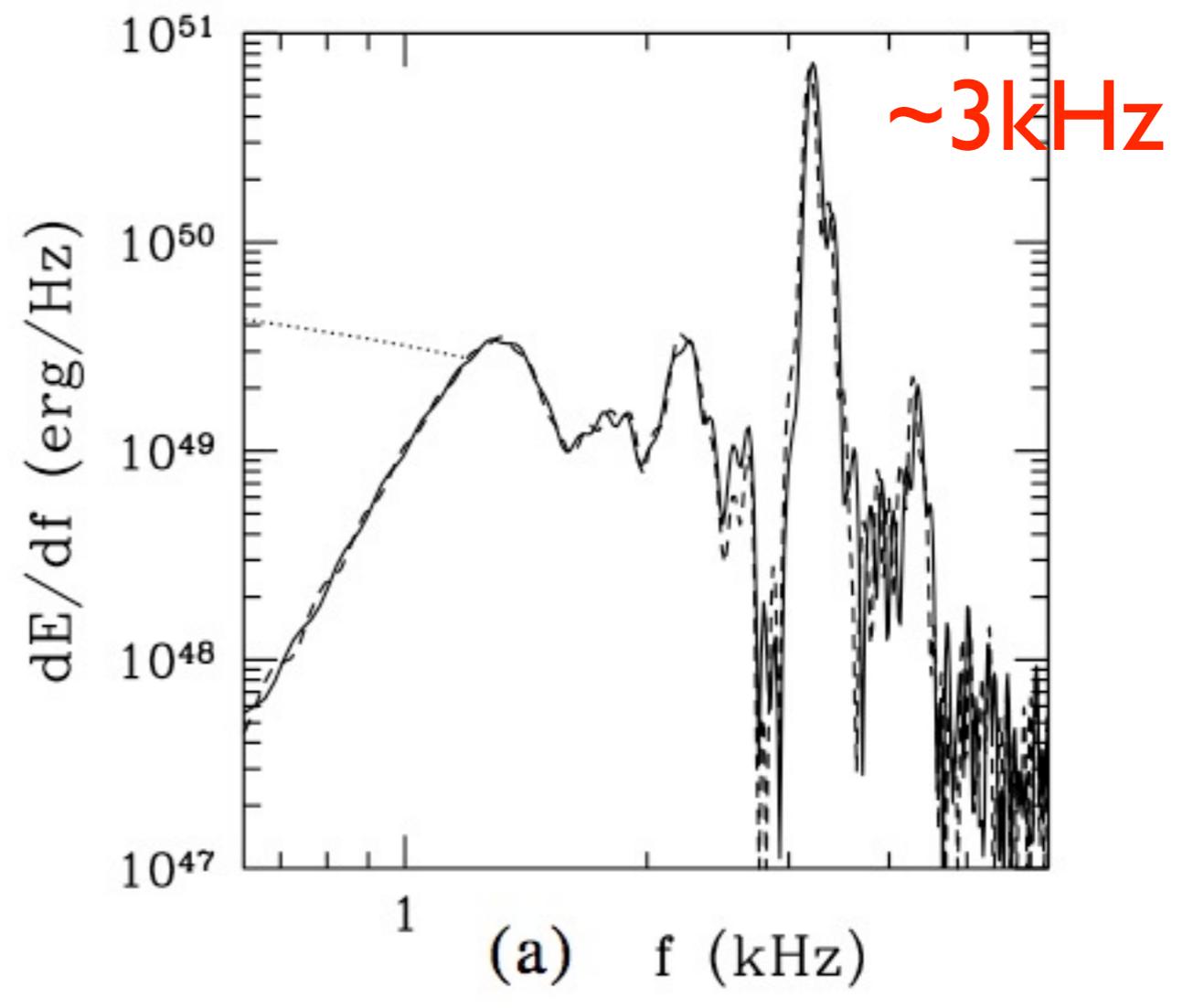
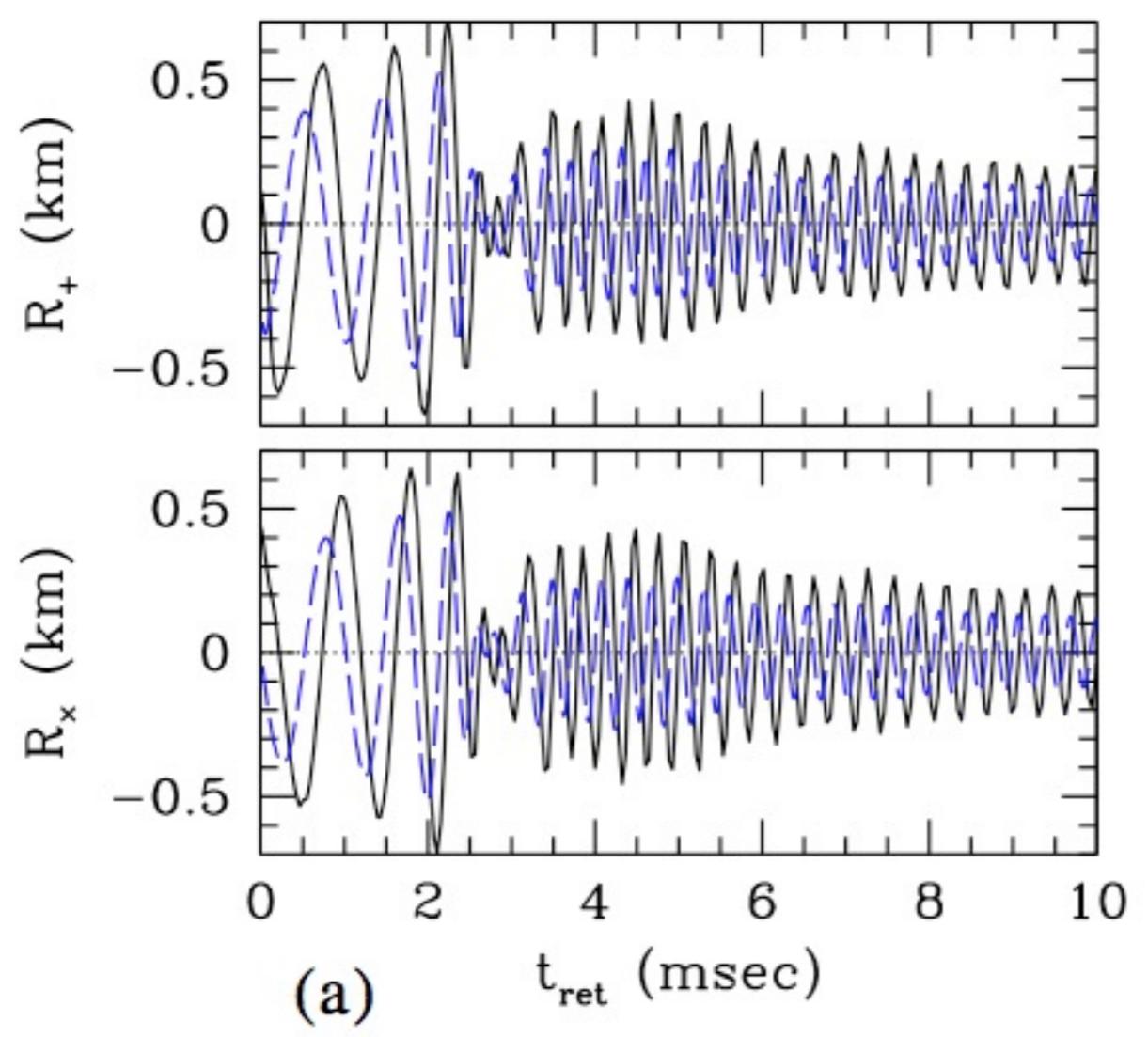
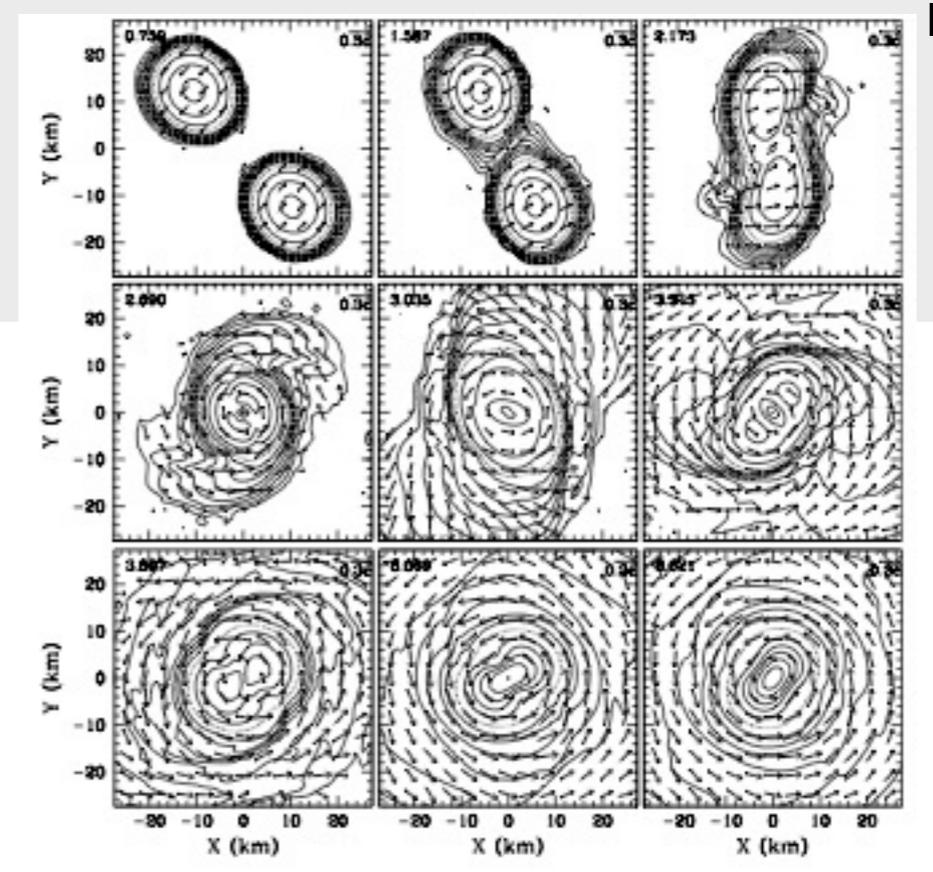
日本物理学会第64回年次大会@
立教大 2008年3月27日

hyper-massive NS rotation

NS合体後、いびつな形状の大質量NSに。

Shibata, Taniguchi, Uryu, PRD71, 084021 (2005)

$$h \approx 10^{-22} \left(\frac{R_{+,x}}{0.31 \text{ km}} \right) \left(\frac{100 \text{ Mpc}}{r} \right).$$



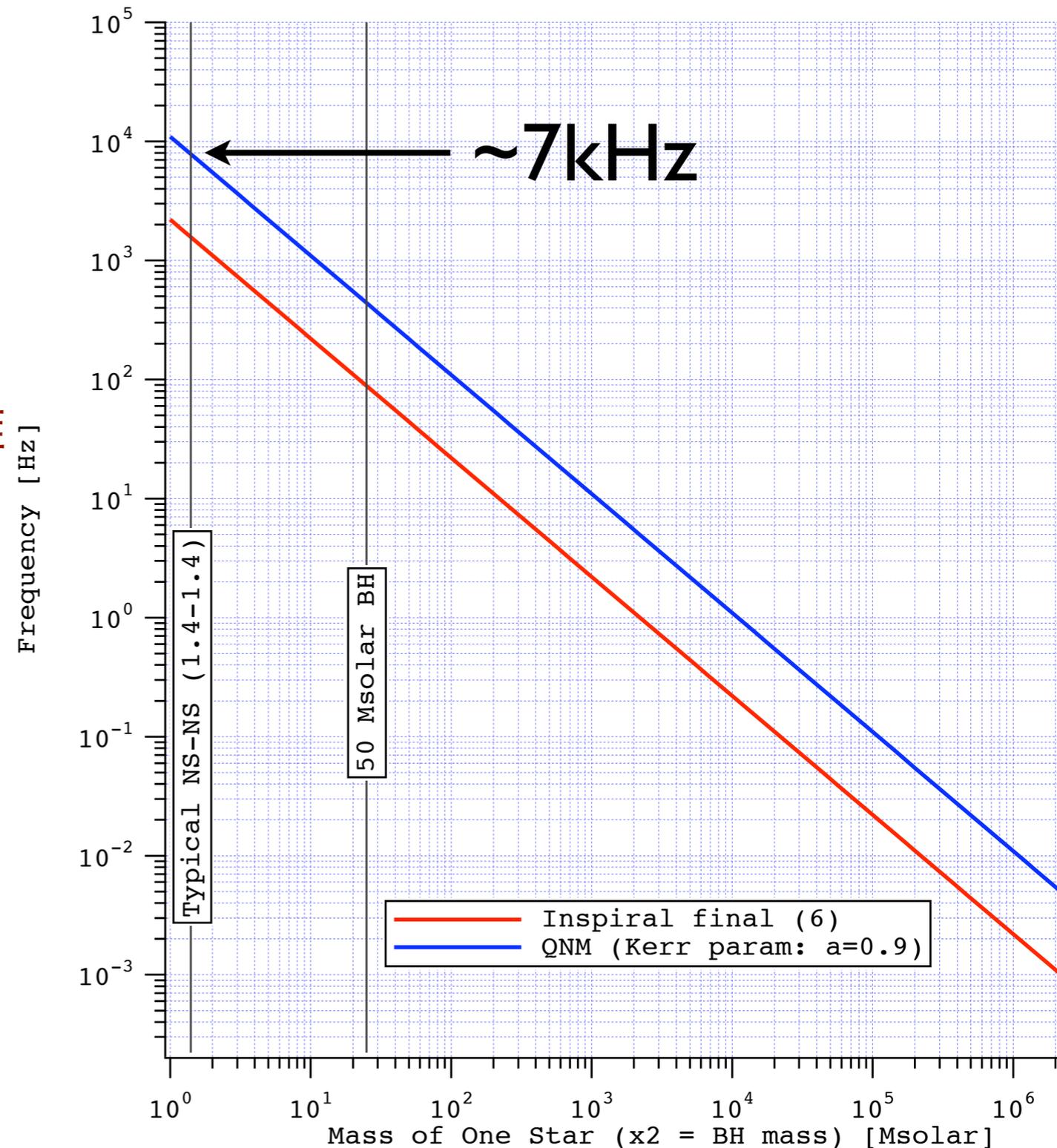
NS binary \rightarrow BH 形成

周波数はtotal mass で決まる

- 1) 1.4-1.4Msolar \rightarrow \sim 7kHz
- 2) 10-10 Msolar \rightarrow \sim 1kHz

大きさについては

- 3) (摂動論なので) 解析的予想は難
- 4) 数値相対論



Supernovaeの重力波

1) rotation core collapse & bounce

コアの回転とバウンス

2) rotational 3D instabilities

回転 3次元不安定性

3) convection & SASI

対流と standing-accretion-shock instability

4) proto-neutron star core pulsation

形成中の中性子星コアの脈動

有力なのはg-mode?

5) BH formation

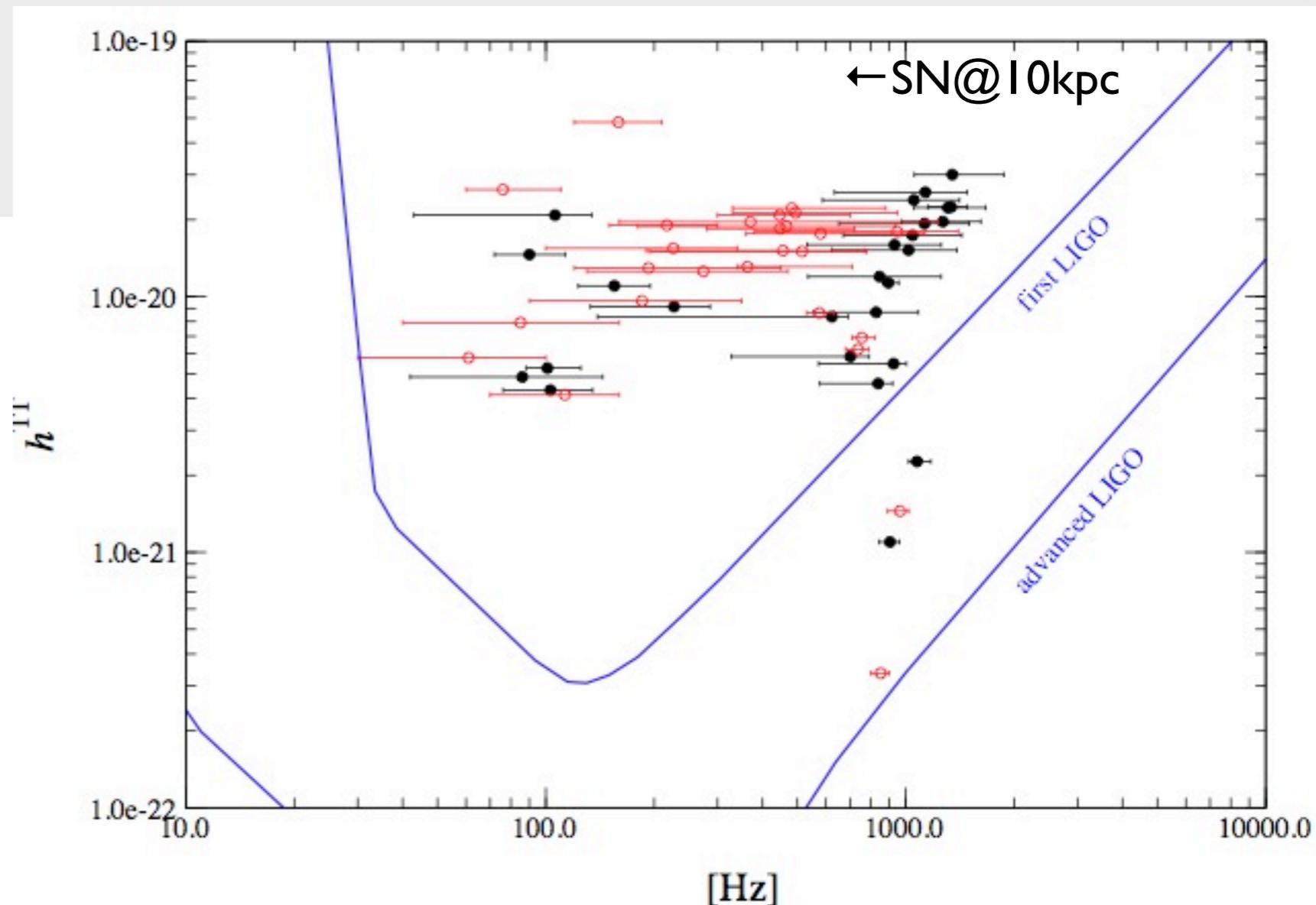
6) anisotropic neutrino emission

7) aspherical outflows

8) magnetic stress

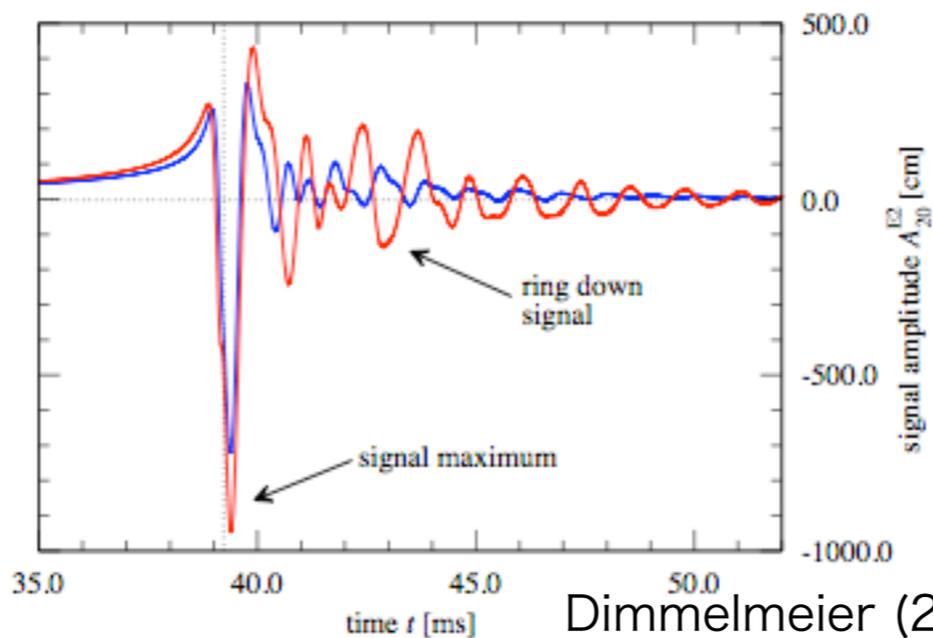
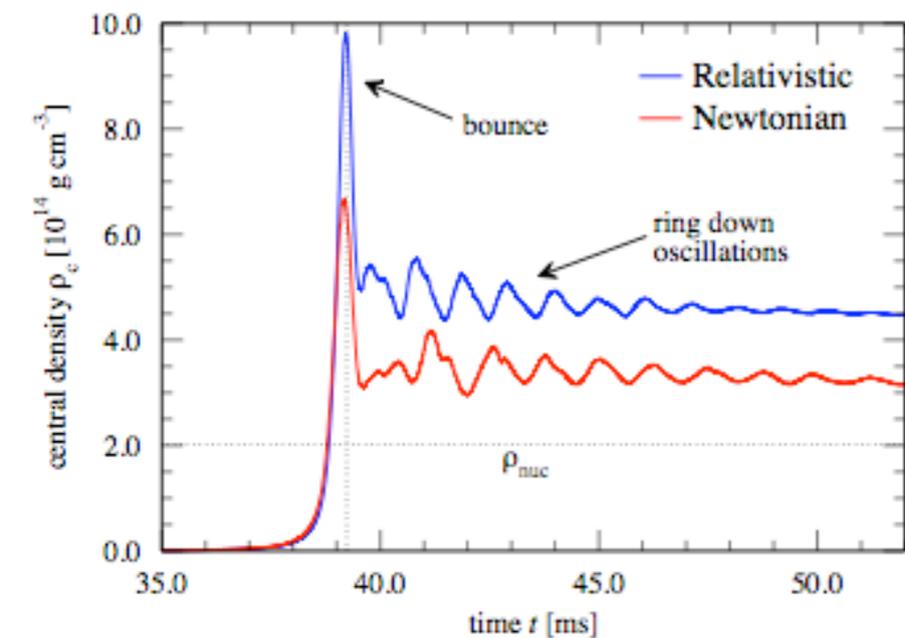
全般的に、BRSEの方が有利

相対論的効果が検出
できるか？



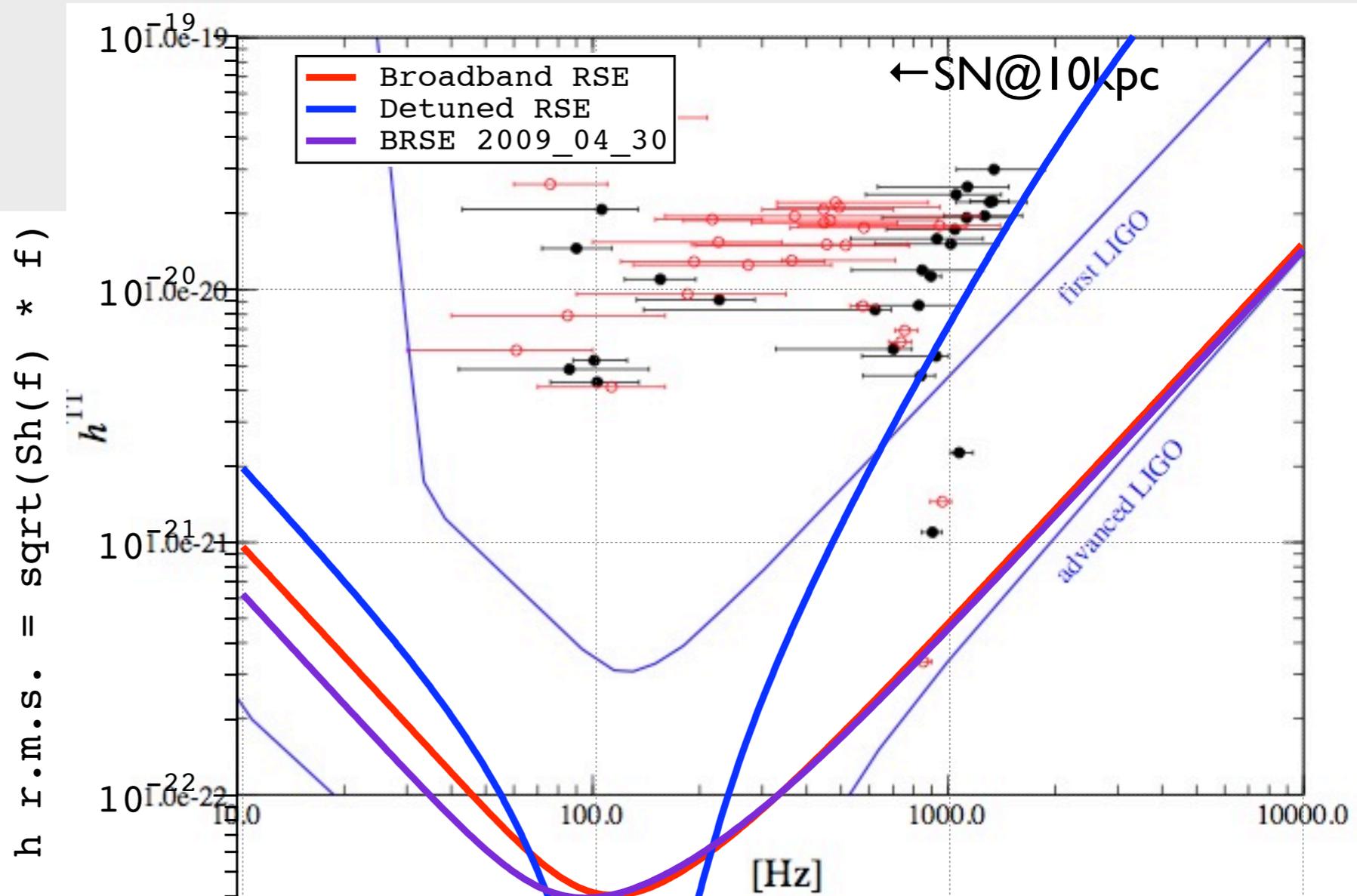
[Hz]

Harald Dimmelmeier, Jose A. Font,
Ewald Mueller,
Astron.Astrophys. 393 (2002)
523-542

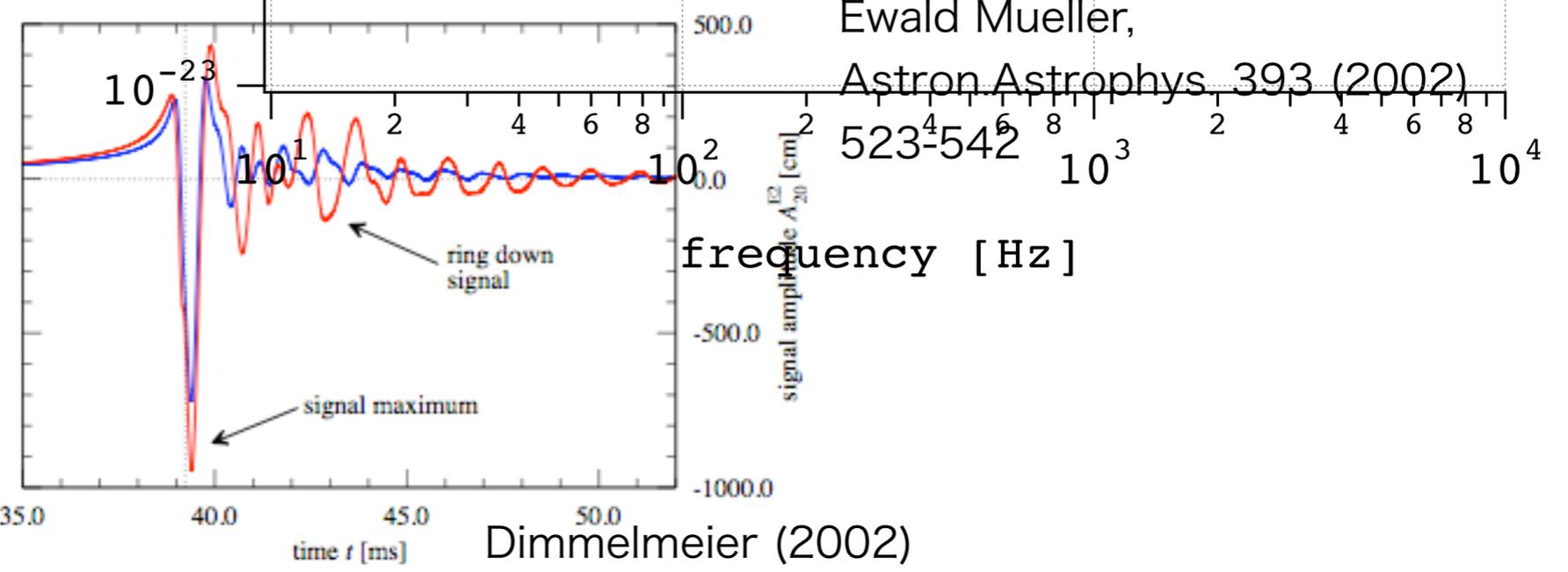
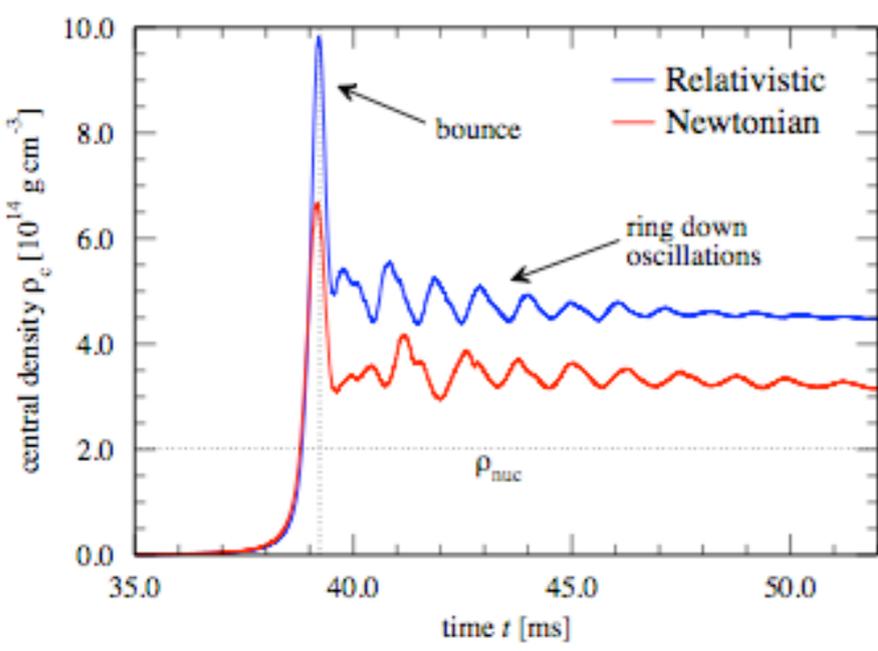


Dimmelmeier (2002)

相対論的效果が検出
できるか？



Harald Dimmelmeier, Jose A. Font, Ewald Mueller, Astron Astrophys 393 (2002) 523-542



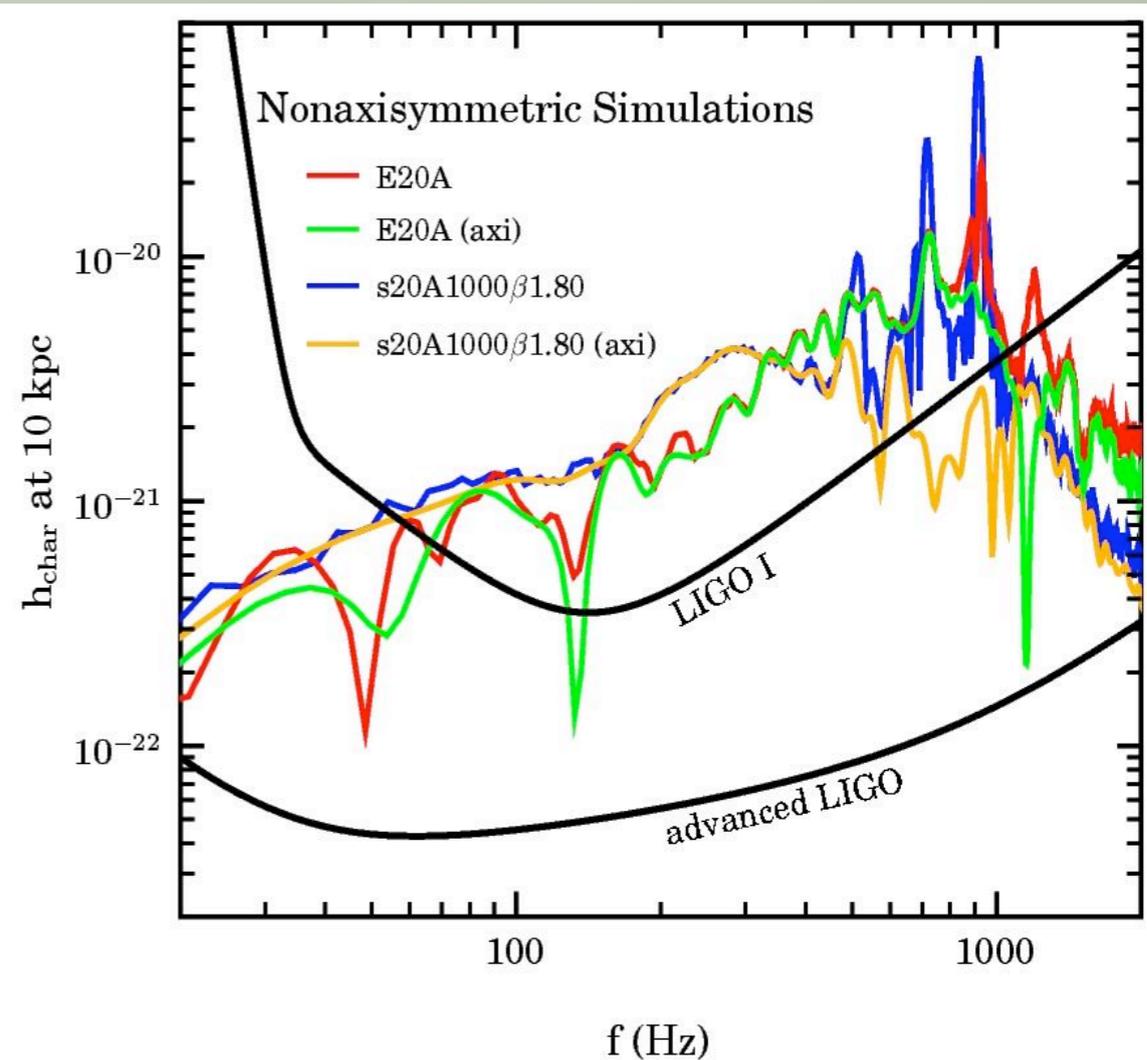
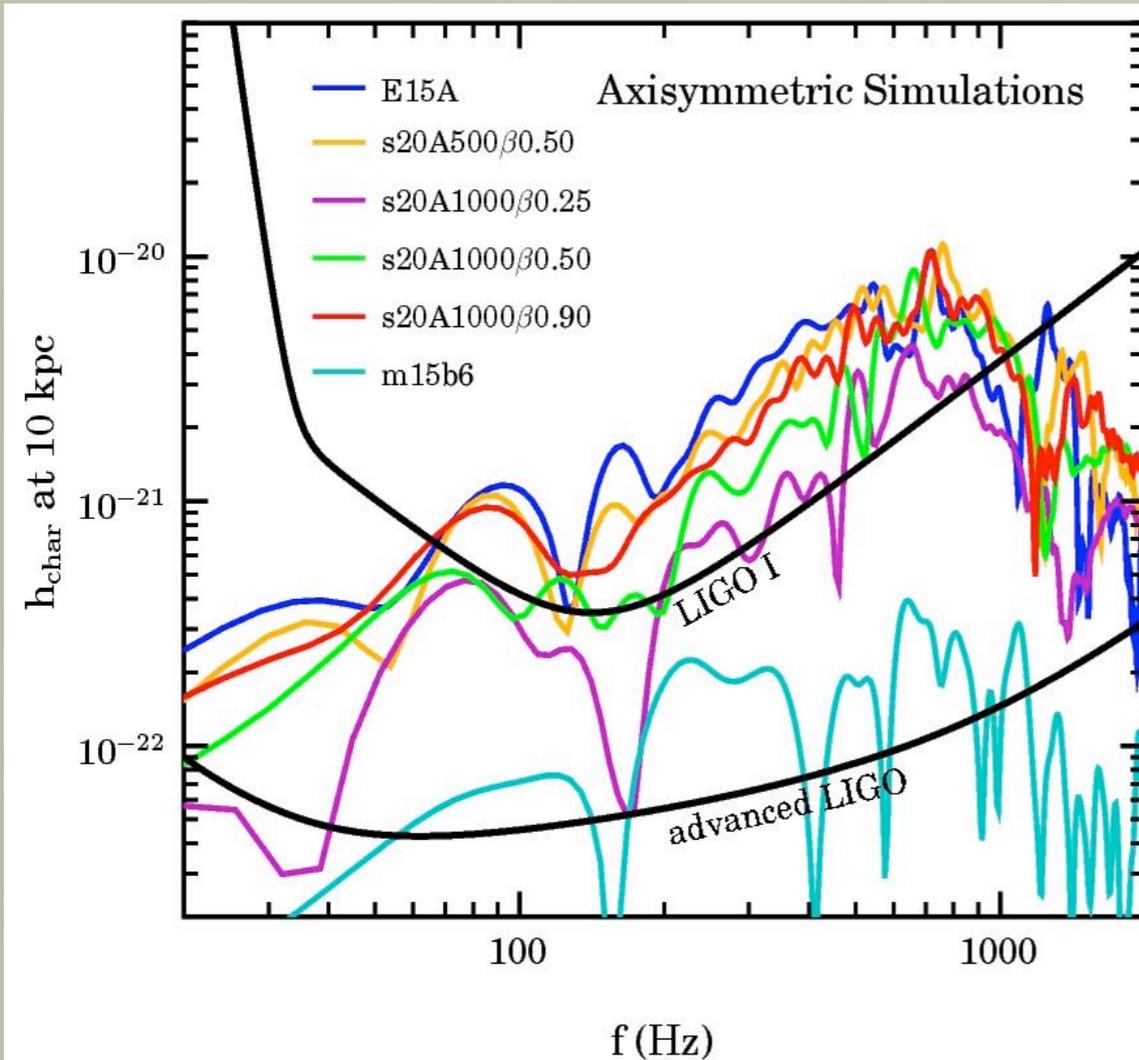
Dimmelmeier (2002)

GW Emission vs. Detector Noise

$$h_{\text{char}} = \sqrt{\frac{2}{\pi^2} \frac{1}{D^2} \frac{G}{c^3} \frac{dE_{\text{GW}}}{df}}$$

$$S/N = \sqrt{\int_0^\infty d \ln f \frac{h_{\text{char}}^2}{h_{\text{rms}}^2}}$$

$$h_{\text{rms}} = \sqrt{f S(f)}$$



- 3D component: lower in amplitude than core-bounce GW spike, but greater in energy! Emission in narrow frequency band around 900—930 Hz ($\sim 2 \times$ pattern speed of the unstable mode!) models.

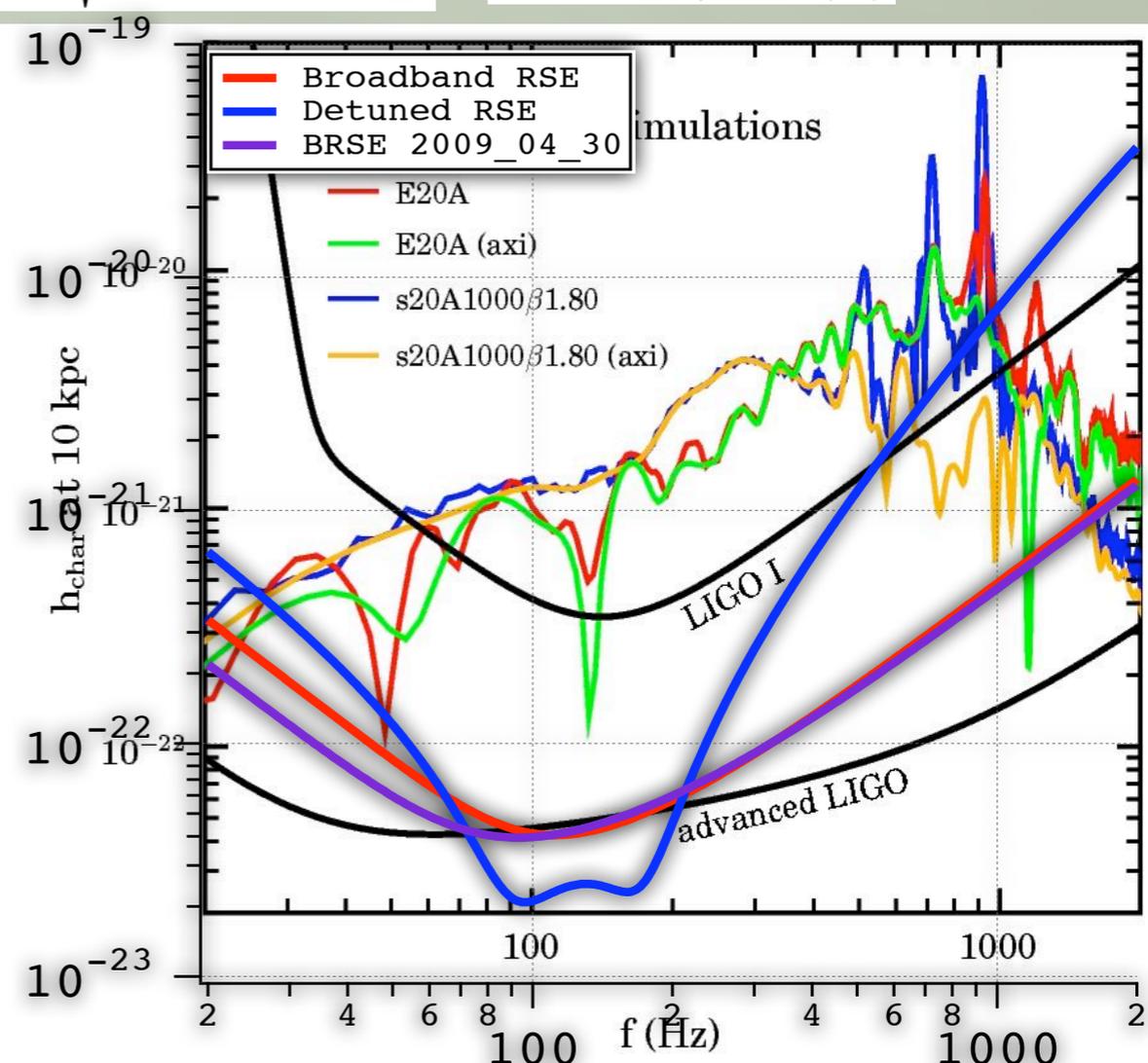
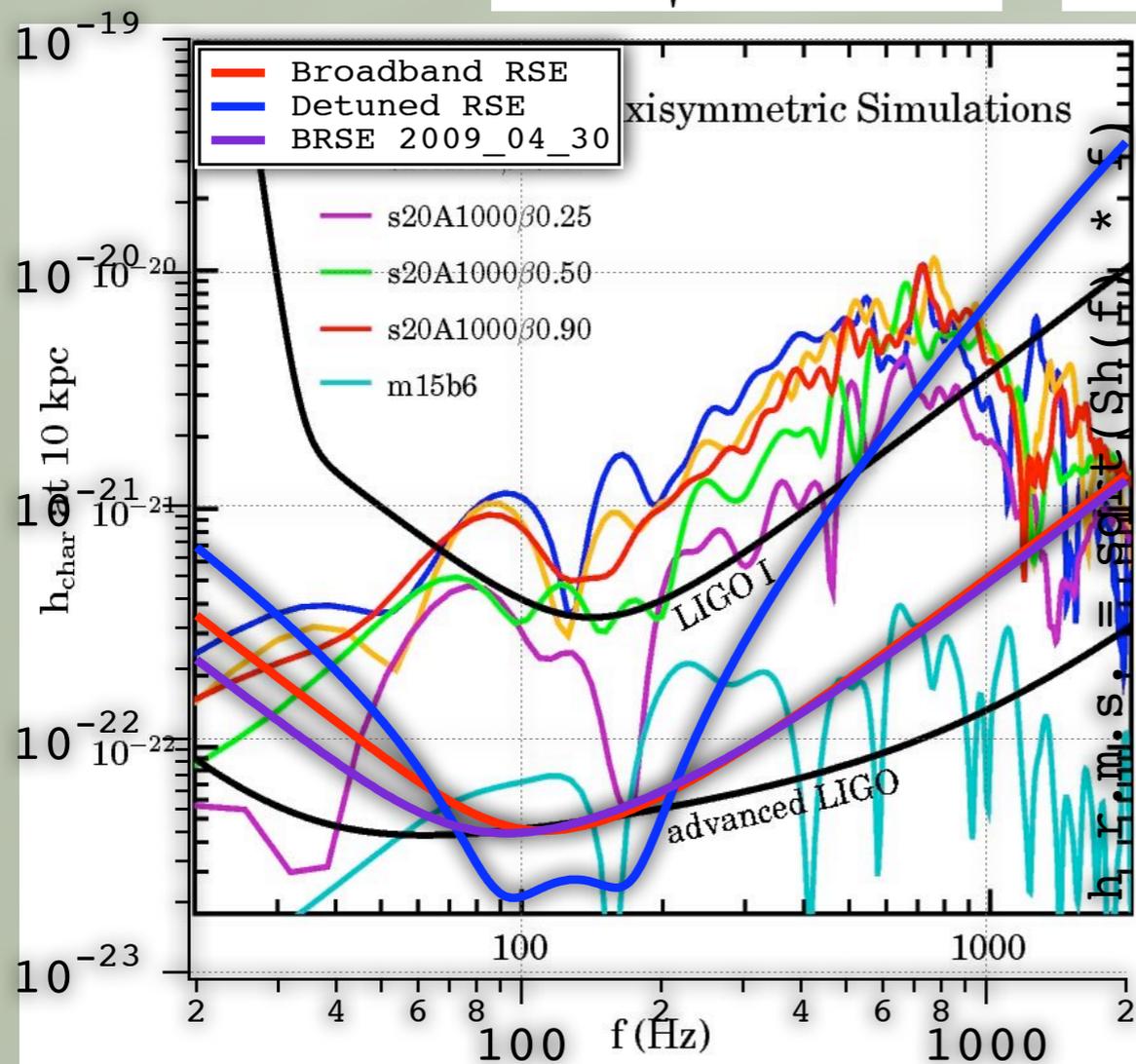
GW Emission vs. Detector Noise

$$h_{\text{char}} = \sqrt{\frac{2}{\pi^2} \frac{1}{D^2} \frac{G}{c^3} \frac{dE_{\text{GW}}}{df}}$$

$$S/N = \sqrt{\int_0^\infty d \ln f \frac{h_{\text{char}}^2}{h_{\text{rms}}^2}}$$

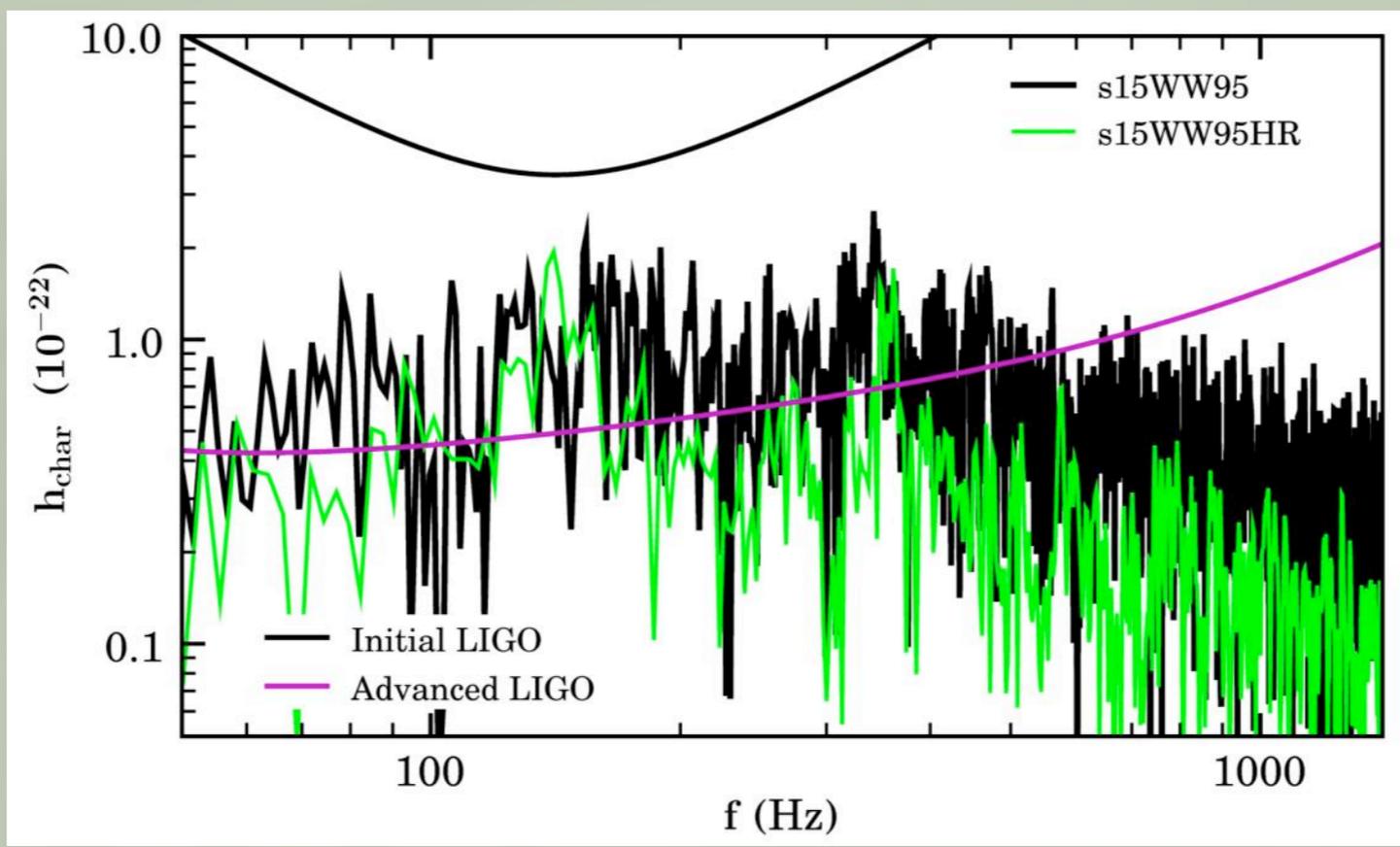
$$h_{\text{rms}} = \sqrt{f S(f)}$$

h r.m.s. = sqrt(Sh(f) * f)



- 3D component: lower in amplitude than core-bounce GW spike, but greater in energy! Emission in narrow frequency band around 900—930 Hz (~2 x pattern speed of the unstable mode!) models.

Convection & SASI (cont'd)

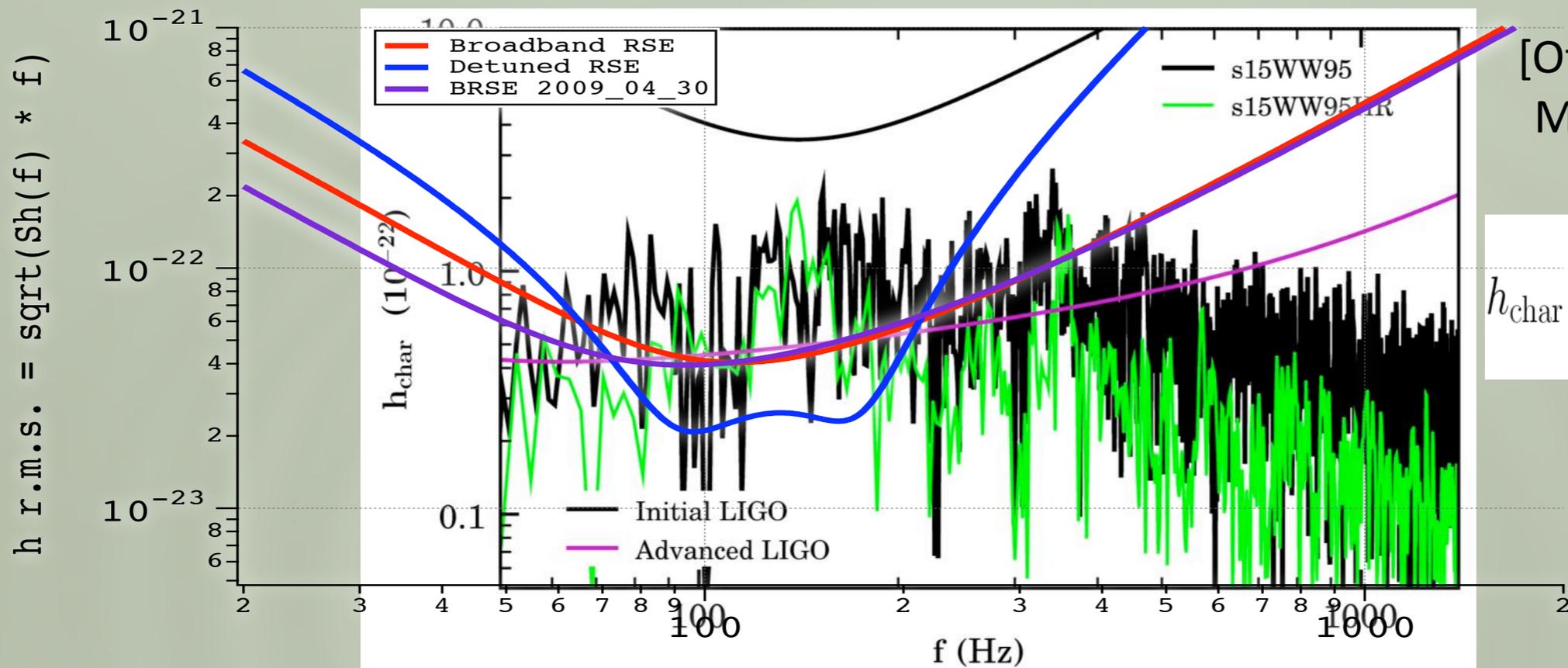


[Ott 2008, see also Marek et al. 2008]

$$h_{\text{char}} = \sqrt{\frac{2}{\pi^2} \frac{1}{D^2} \frac{G dE_{\text{GW}}}{c^3 df}}$$

Process	Typical $ h $ (at 10 kpc)	Typical f (Hz)	Duration Δt (ms)	E_{GW} ($10^{-10} M_{\odot} c^2$)	Limiting Factors or Processes
Prompt Convection	$10^{-23} - 10^{-21}$ (Emission characteristics depend on seed perturbations.)	50 - 1000	0 - ~ 30	$\lesssim 0.01 - 10$	Seed perturbations, entropy/lepton gradient, rotation
PNS Convection	$2 - 5 \times 10^{-23}$	300 - 1500	500 - several 1000	$\lesssim 1.3 \left(\frac{\Delta t}{1s}\right)$	rotation, BH formation, strong PNS g -modes
Neutrino- driven Convection and SASI	$10^{-23} - 10^{-22}$ (peaks up to 10^{-21})	100 - 800	100 - $\gtrsim 1000$	$\gtrsim 0.01 \left(\frac{\Delta t}{100ms}\right)$ $\lesssim 15 \left(\frac{\Delta t}{100ms}\right)$	rotation, explosion, BH formation

Convection & SASI (cont'd)

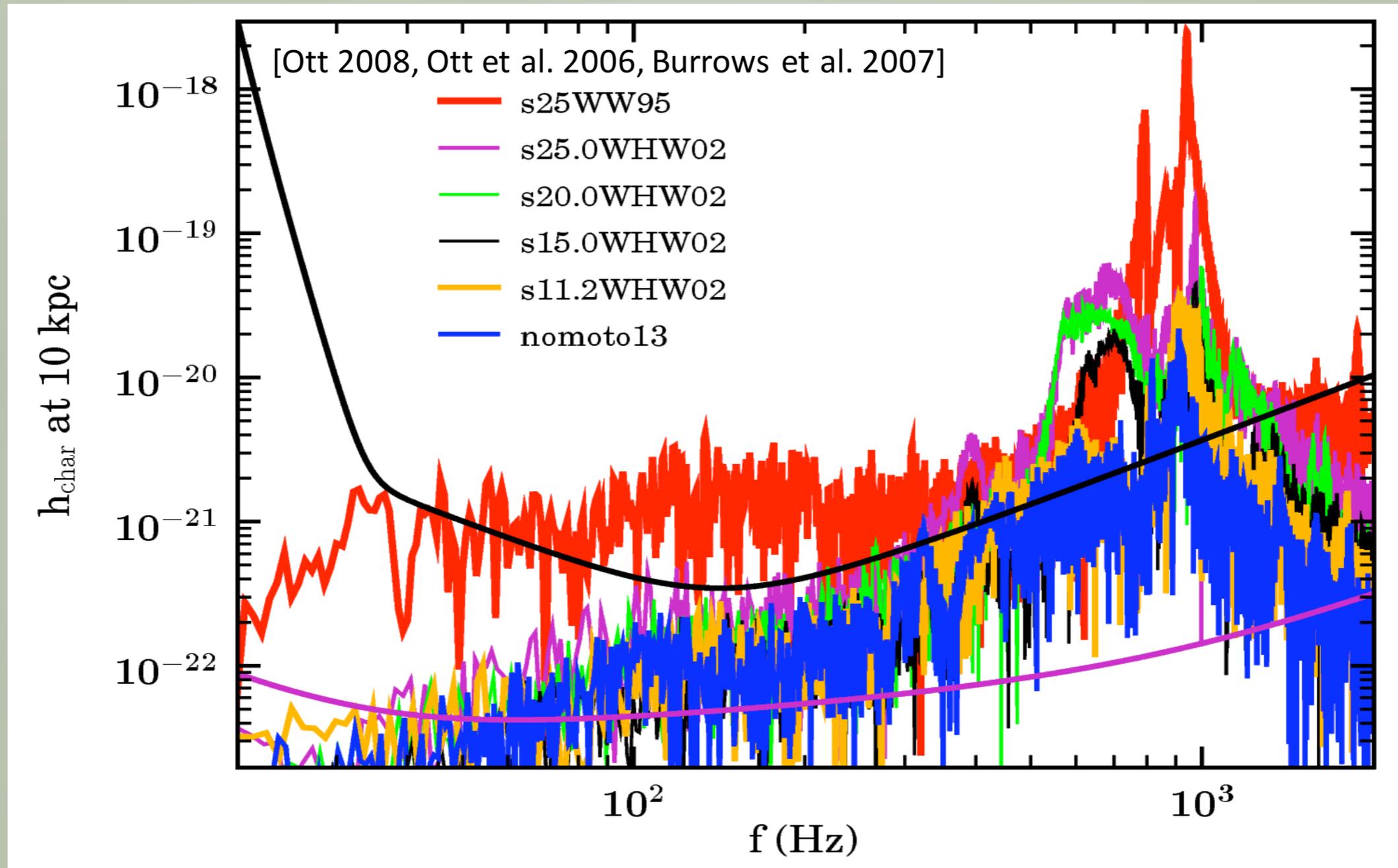


[Ott 2008, see also Marek et al. 2008]

$$h_{\text{char}} = \sqrt{\frac{2}{\pi^2} \frac{1}{D^2} \frac{G d E_{\text{GW}}}{c^3 df}}$$

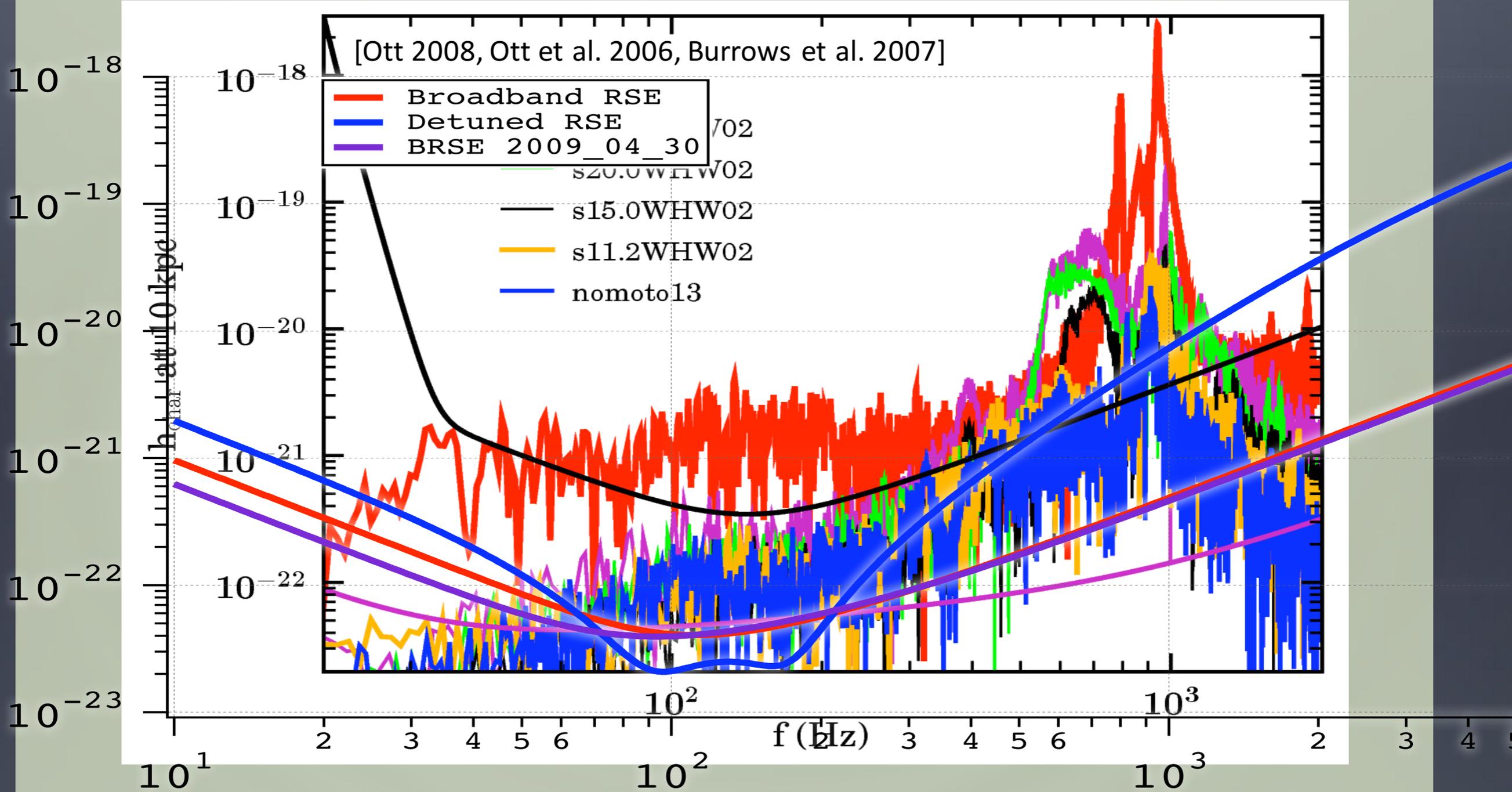
Process	Typical $ h $ (at 10 kpc)	Typical f (Hz)	frequency [Hz] Duration Δt (ms)	E_{GW} ($10^{-10} M_{\odot} c^2$)	Limiting Factors or Processes
Prompt Convection	$10^{-23} - 10^{-21}$ (Emission characteristics depend on seed perturbations.)	50 - 1000	0 - ~ 30	$\lesssim 0.01 - 10$	Seed perturbations, entropy/lepton gradient, rotation
PNS Convection	$2 - 5 \times 10^{-23}$	300 - 1500	500 - several 1000	$\lesssim 1.3 \left(\frac{\Delta t}{1s}\right)$	rotation, BH formation, strong PNS g -modes
Neutrino- driven Convection and SASI	$10^{-23} - 10^{-22}$ (peaks up to 10^{-21})	100 - 800	100 - $\gtrsim 1000$	$\gtrsim 0.01 \left(\frac{\Delta t}{100ms}\right)$ $\lesssim 15 \left(\frac{\Delta t}{100ms}\right)$	rotation, explosion, BH formation

GW Spectra and LIGO Sensitivity



- $E_{\text{GW}} \sim 10^{-8} - 10^{-6} M_{\text{SUN}} c^2$, one model $8 \times 10^{-5} M_{\text{SUN}} c^2$.
- Progenitor mass (= accretion rate) dependence.

GW Spectra and LIGO Sensitivity



- $E_{GW} \sim 10^{-8} - 10^{-6} M_{SUN} c^2$, one model $8 \times 10^{-5} M_{SUN} c^2$
frequency [Hz]
- Progenitor mass (= accretion rate) dependence.

C.D. Ott @ GWDAW13 01/2009

34

Remarks

DRSE

- 帯域を狭める分だけ、特定の物理について性能はあがる
観測レンジ=質量決定精度、NS合体の物理、超新星のXXモード、等
- 質量決定などは、何10倍もよくなるわけではない。(~SNR)
- 連星合体付近の物理などは、見えなかったものが見えるようになる”可能性”。
- また観測レンジ以外は、高周波数領域(1~10kHz)でのDRSEを要求する。

BRSE

- まんべんなく、物理で研究の可能性がある。
”ハズレ”を引く可能性は少ない
- 現デザインではadv.LIGOにはかなわない。LCGTが特に有利な物理の成果をだすとは考えにくい。