

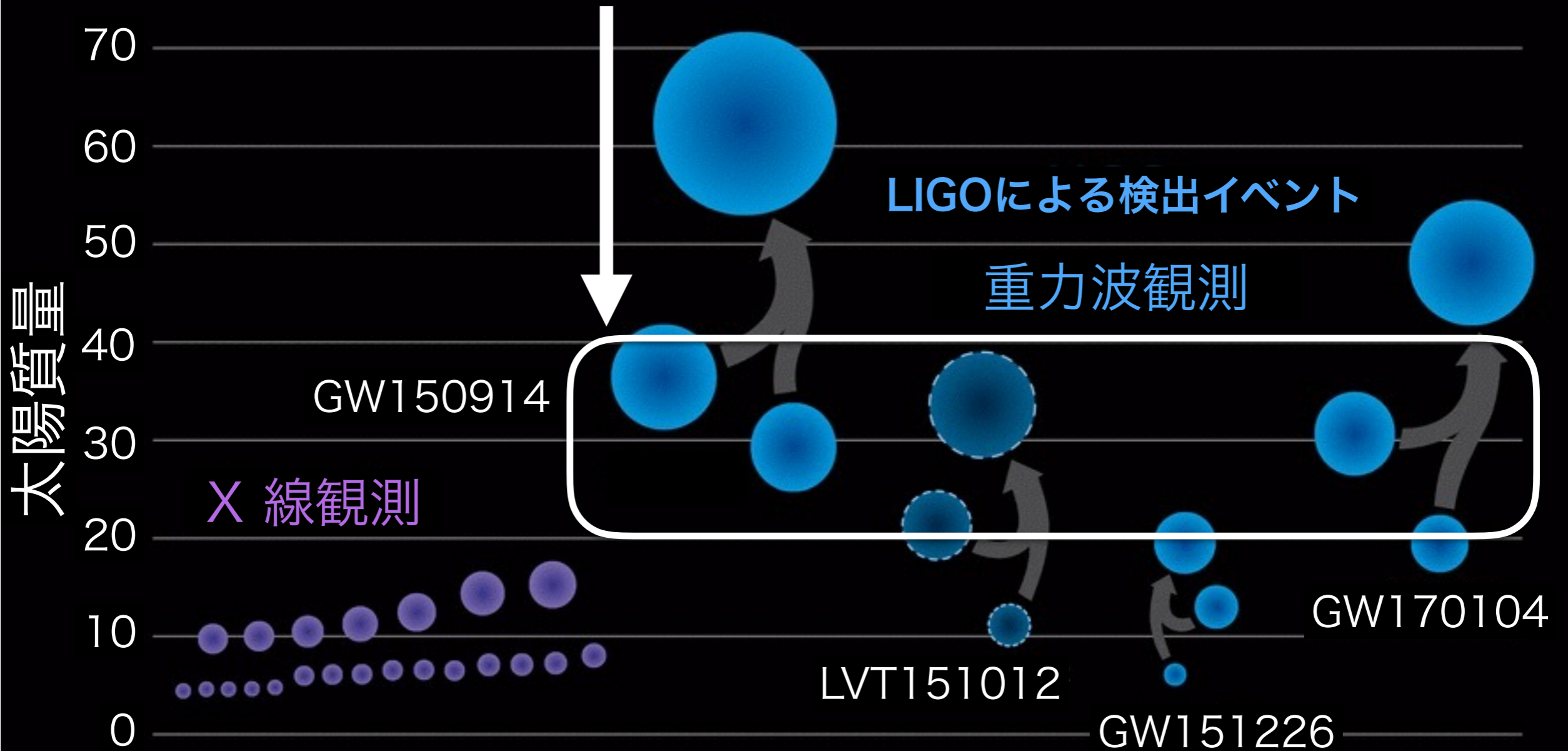
# 重力波観測による種族III星の存在の 間接的証明方法の研究

---

阪市大理、東大宇宙線<sup>A</sup>、京大理<sup>B</sup>  
宮本晃伸、衣川智弥<sup>A</sup>、中村卓史<sup>B</sup>、神田展行  
講演番号：15aU31-6

# 30M<sub>☉</sub> のブラックホールは種族III星起源か？

種族III星起源のBBHの典型的質量 by 連星進化シミュレーション



<https://www.ligo.caltech.edu/image/ligo20170601c> を改変

# 種族III星(初代星)の存在の間接的証明

種族 III 星：金属(H, He 以外の元素)を含まない、初代星

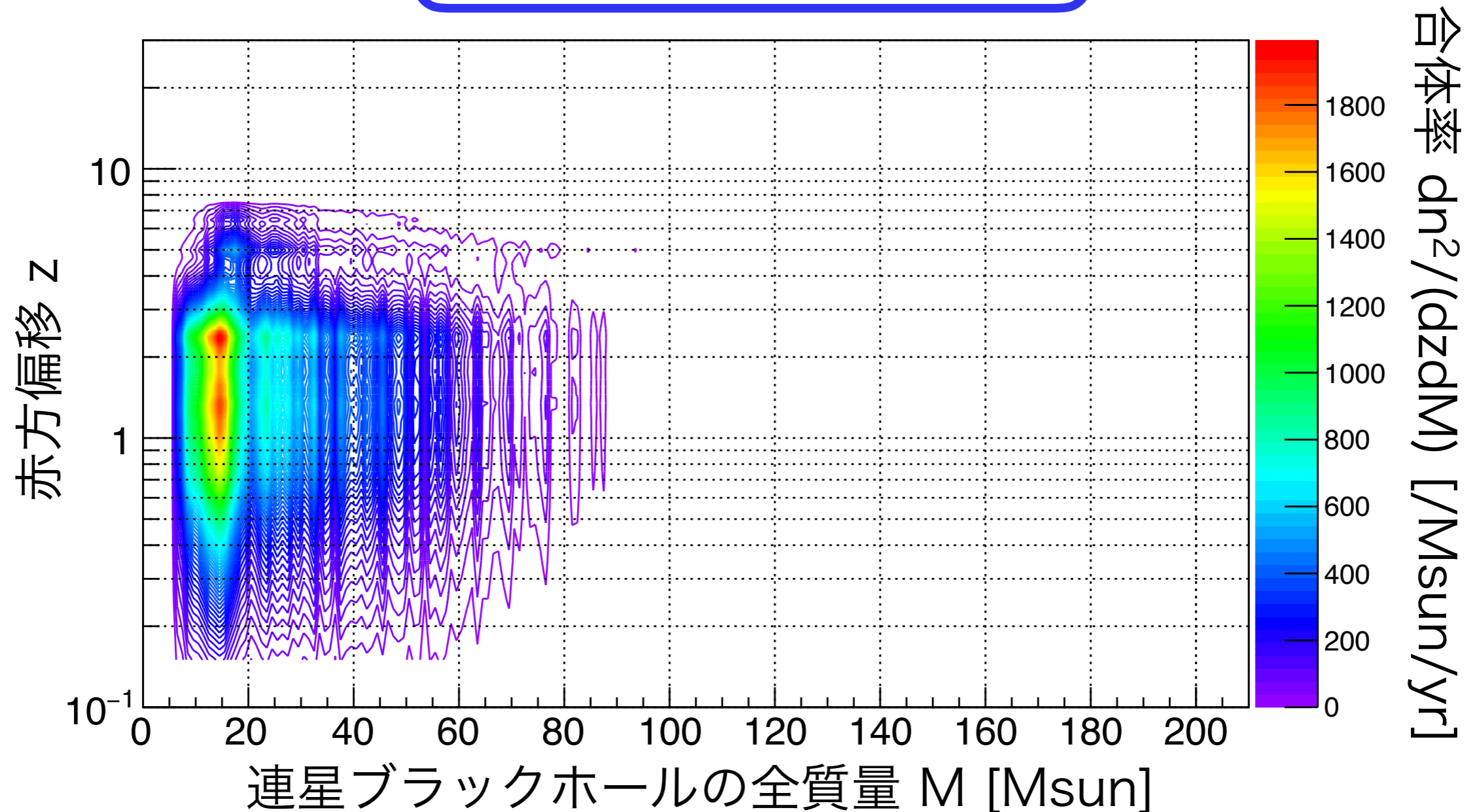
種族 III 星起源の連星ブラックホール：重力波で観測可能

Kinugawa et al. 2014, MNRAS 442, 2963

- > 重力波観測で宇宙の初期の情報を得ることができる
- > 重力波観測で種族III星の存在を間接的に証明できる

# 連星ブラックホールの分布 (種族I,II)

連星ブラックホール: 種族 I + 種族 II ( $Z \geq 0.0002$ )



Pop I, Pop II  
simulated by 衣川さん

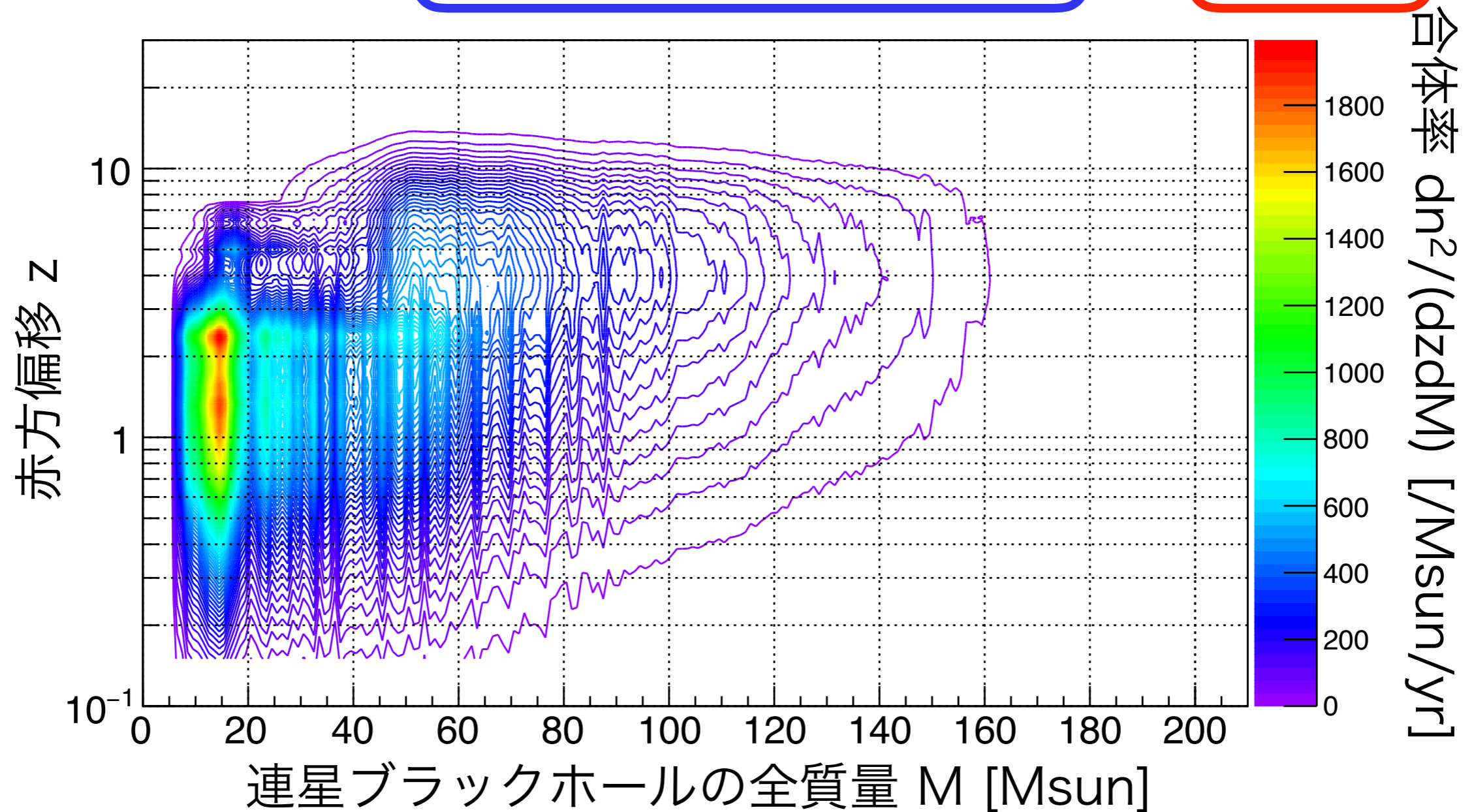
# 連星ブラックホールの分布 (種族I,II,III)

連星ブラックホール :

種族 I + 種族 II ( $Z \geq 0.0002$ )

+

種族 III

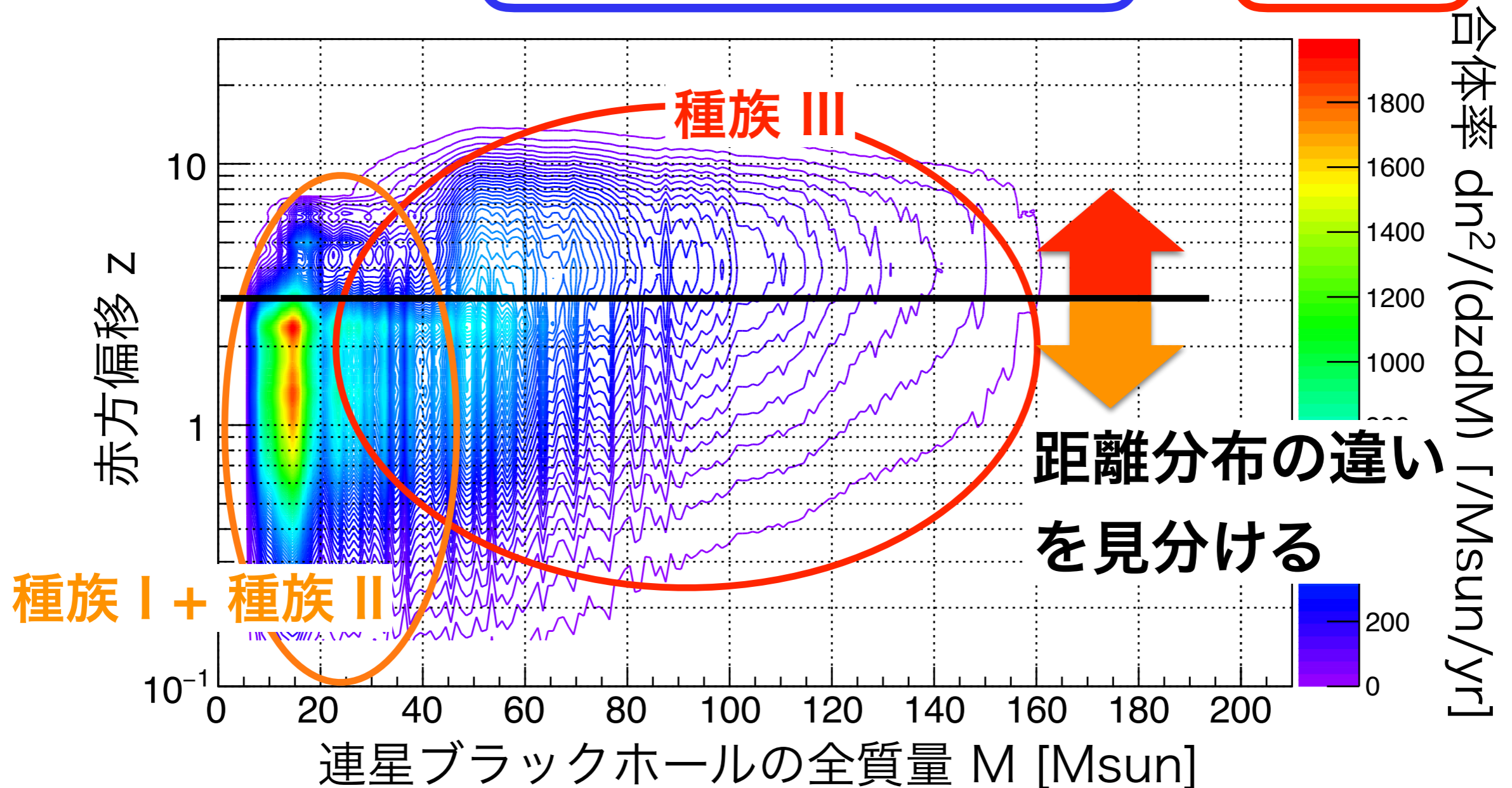


Pop I, Pop II, Pop III  
simulated by 衣川さん



# 連星ブラックホールの分布 (種族I,II,III)

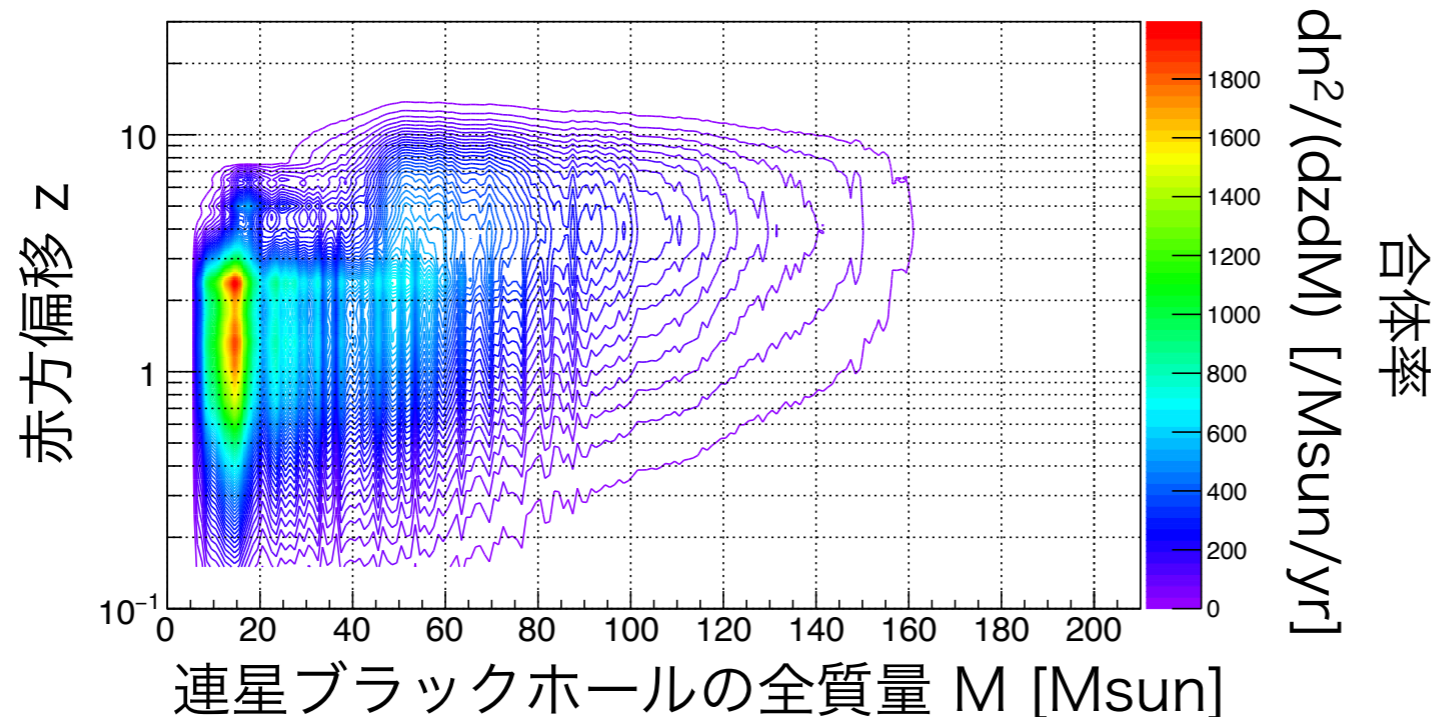
連星ブラックホール: **種族 I + 種族 II ( $Z \geq 0.0002$ )** + **種族 III**



Pop I, Pop II, Pop III  
simulated by 衣川さん

# 検出シミュレーション (分布、検出器)

- 赤方偏移, 質量( $m_1, m_2$ ) 分布 連星進化計算より



- 連星は等方的分布(軌道面の向き、天球上の位置)

第3世代検出器 (仮定) :

**米(Hanford)** にCosmic Explorer(**CE**) 40 km

**欧(Virgoの所)** にEinstein Telescope(**ET**) 10 km

**日(KAGRAの所)** に **ET**と同等の感度を持った検出器

# 検出シミュレーション (信号雑音比)

## ・信号雑音比 S/N

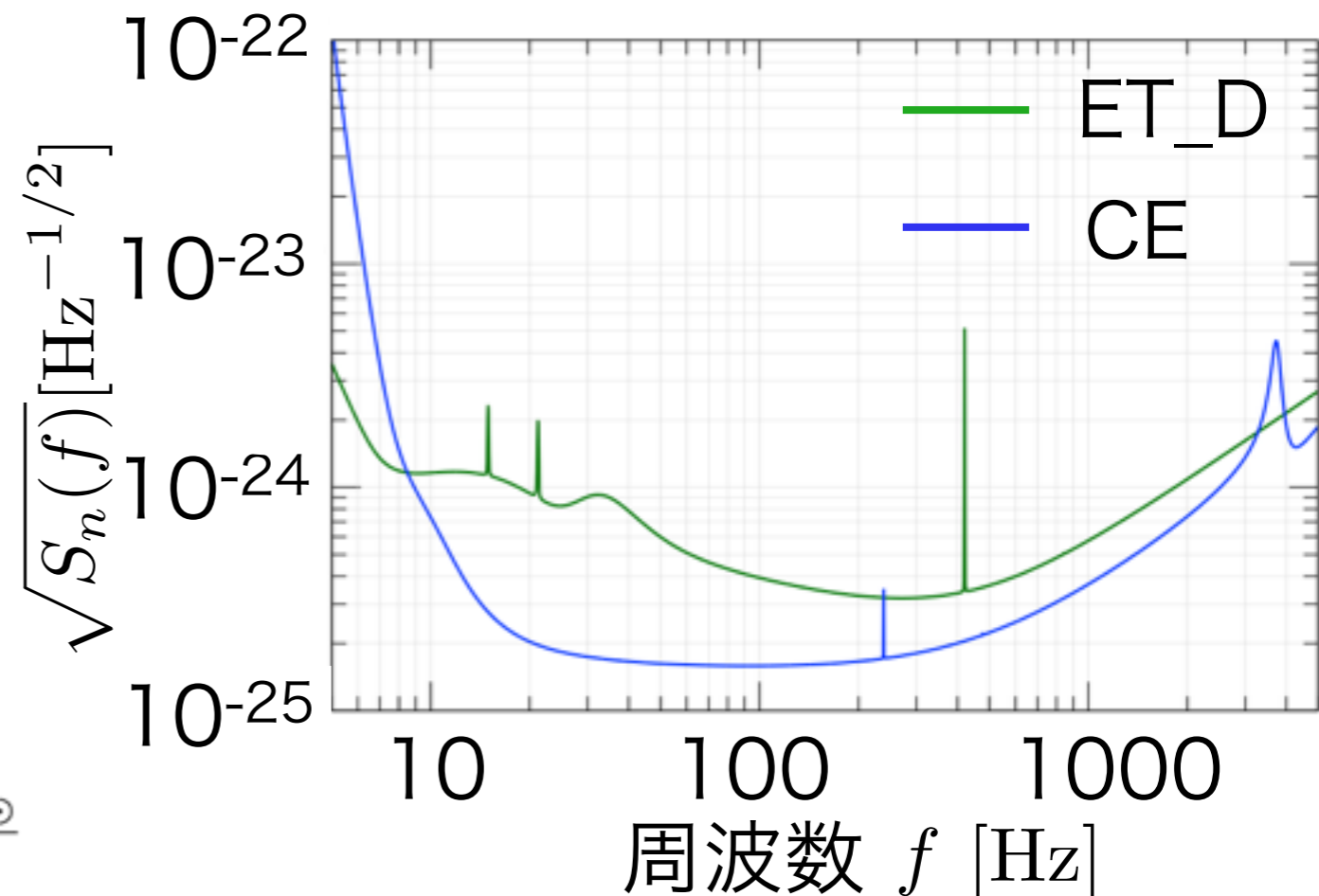
インスパイラル重力波波形は予期できるためマッチドフィルターを仮定して計算

$$(S/N)^2 = \frac{5}{6} \frac{\pi^{-4/3} c^2 T_{\odot}^{5/3}}{d_L^2} \left( \frac{(1+z)M_c}{M_{\odot}} \right)^{5/3} \times \int_{f_{\min}}^{f_{\text{ISCO}}/(1+z)} df \frac{f^{-7/3}}{S_n(f)} \times \left( \frac{1 + \cos^2 \iota}{2} \right)^2 F_+^2 + \cos^2 \iota F_{\times}^2$$

チャープ質量:  $M_c = (M_1 + M_2) \left( \frac{M_1 M_2}{(M_1 + M_2)^2} \right)^{3/5}$

検出器のアンテナパターン:  $F_+, F_{\times}$

最内安定円軌道(ISCO)周波数:  $f_{\text{ISCO}} \quad T_{\odot} = \frac{GM_{\odot}}{c^3}$

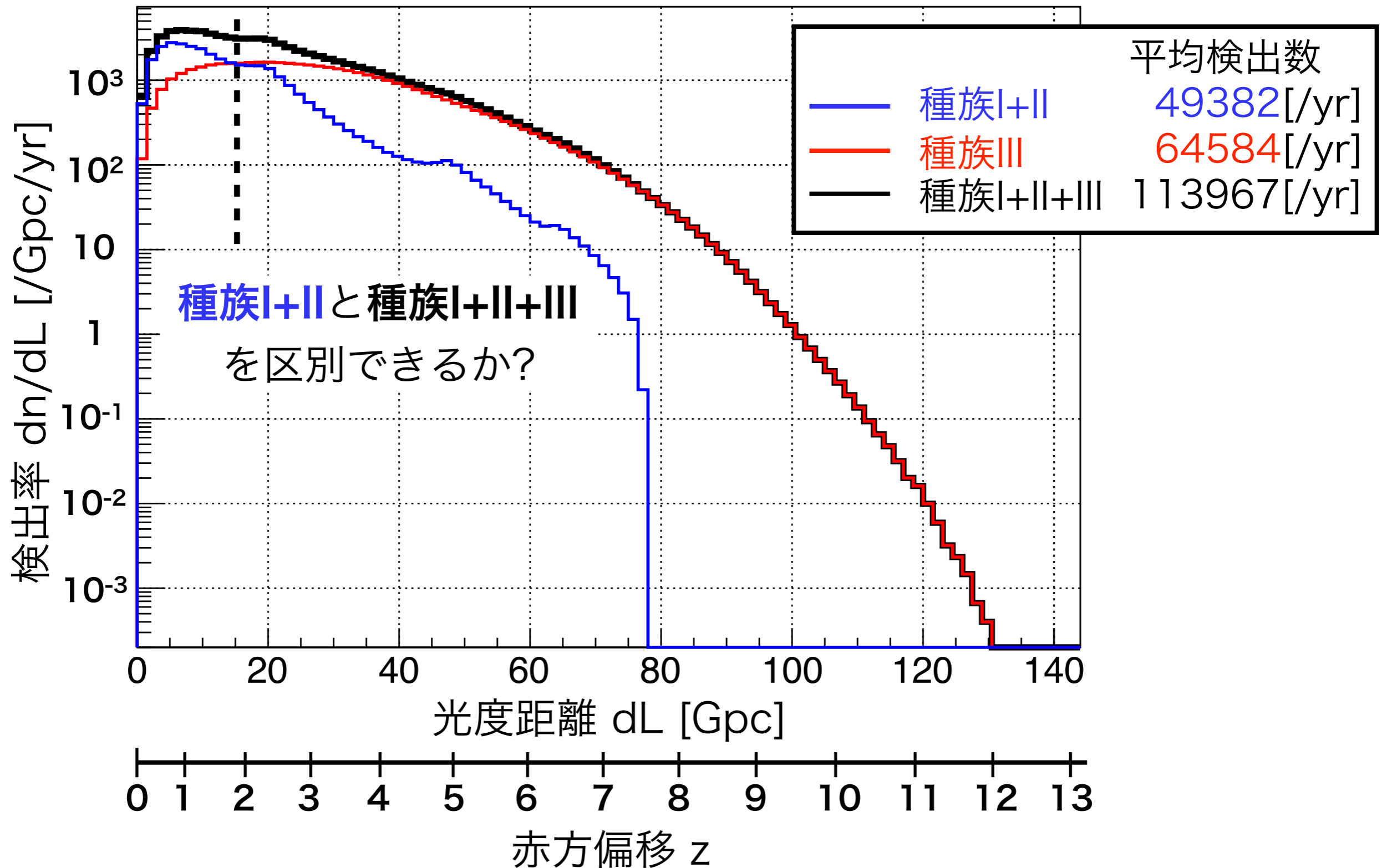


## ・信号雑音比閾値

第3世代検出器で3台同時に  $S/N > 8.0$  の時検出

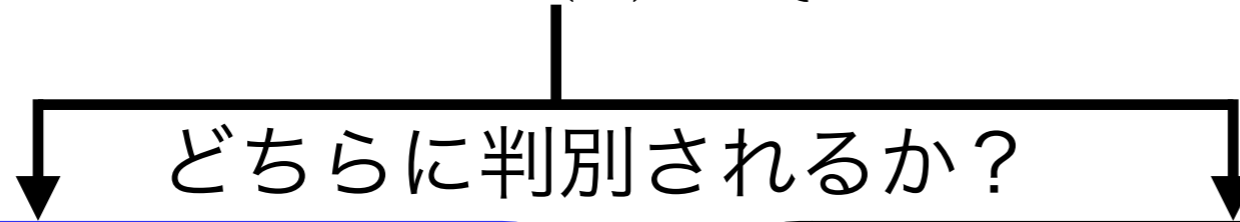


# 検出可能な連星の光度距離分布



# 対数尤度比の計算

検出イベント (検出数 $n$ ):  $\vec{d}_L(n) = \{d_{L1}, d_{L2}, \dots, d_{Ln}\}$



種族 I+II (種族IIIなし)  $\theta^{I+II}$

種族 I+II+III (種族IIIあり)  $\theta^{I+II+III}$

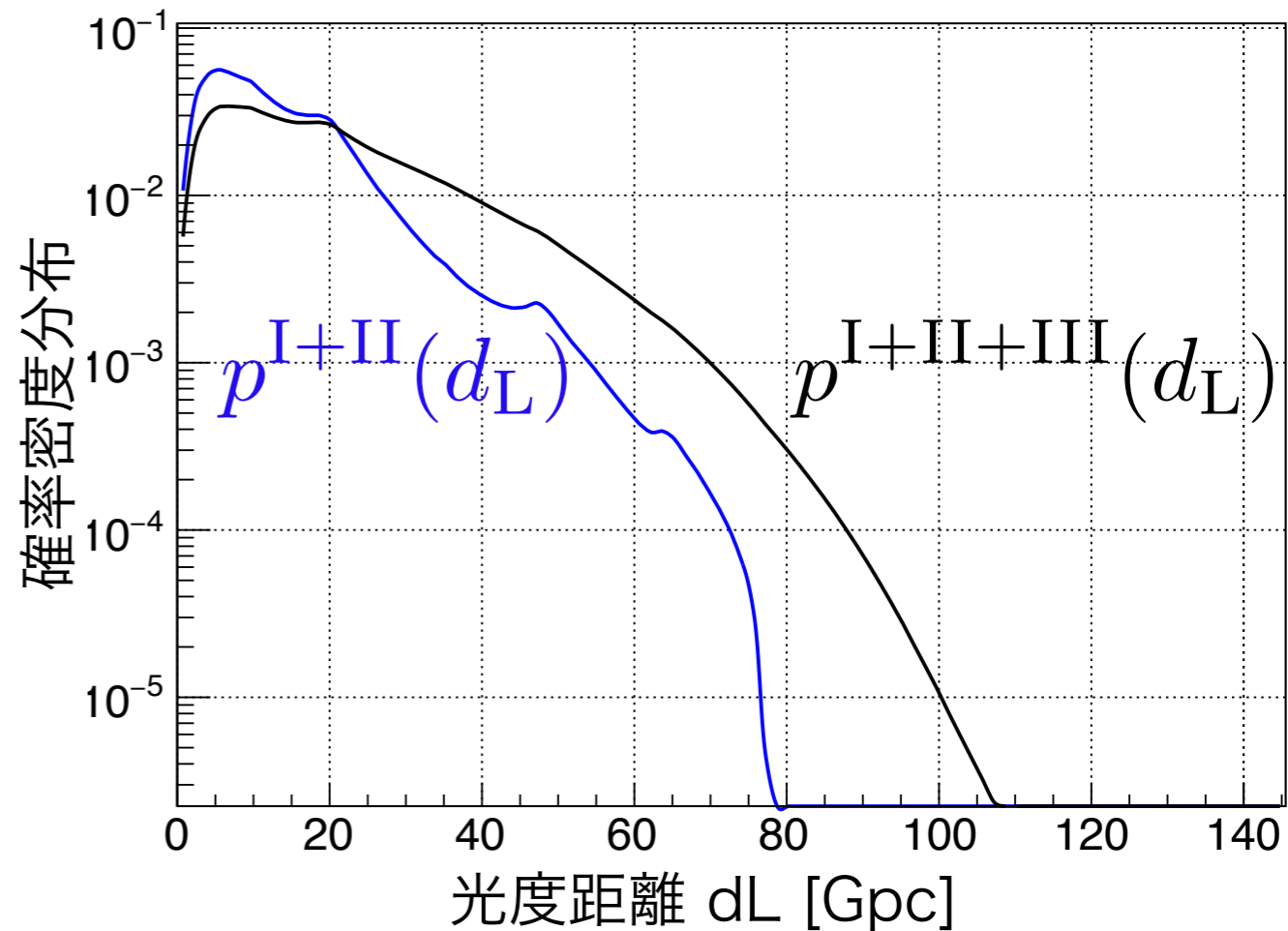
尤度の計算式

$$L(\vec{d}_L(n) | \theta^{I+II}) = \prod_{i=1}^n p^{I+II}(d_{Li})$$

$$L(\vec{d}_L(n) | \theta^{I+II+III}) = \prod_{i=1}^n p^{I+II+III}(d_{Li})$$

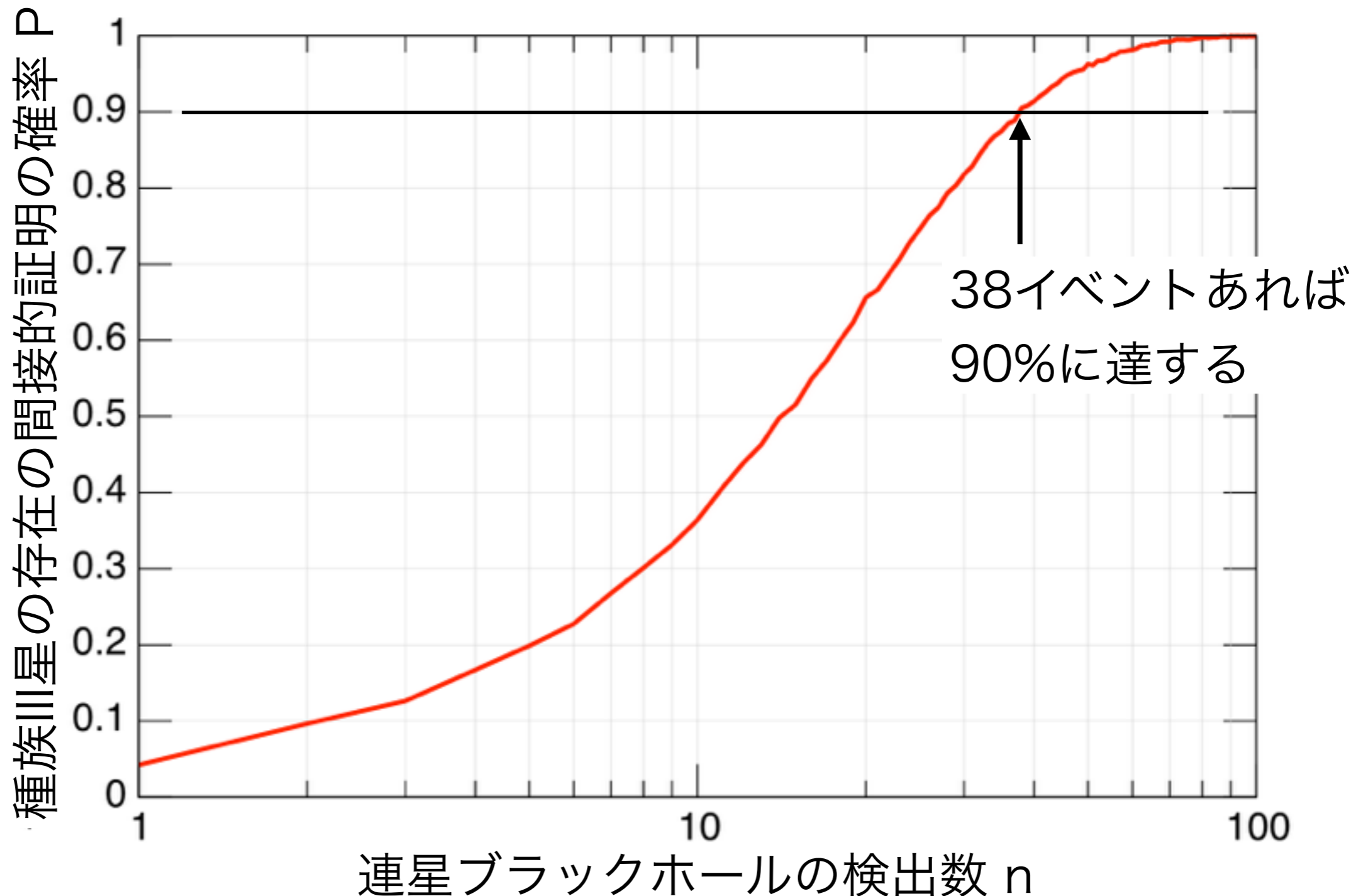
対数尤度比の計算式

$$\ln \Lambda(\vec{d}_L(n)) = \ln \left[ \frac{L(\vec{d}_L(n) | \theta^{I+II+III})}{L(\vec{d}_L(n) | \theta^{I+II})} \right]$$



# 検出数に伴う判別確率Pの推移

‘種族IIIあり’の場合に ‘種族IIIあり’ と正しく判別できる確率 P



# まとめ

第3世代重力波検出器を想定して、重力波検出シミュレーションをおこなった。  
イベントレート

種族I+II星 起源連星ブラックホール: 49382[/yr]

種族III星 起源連星ブラックホール: 64584[/yr]

連星進化計算から得られる連星ブラックホールの**光度距離分布**を尤度関数として、**尤度解析**をすることにより種族III起源連星ブラックホールが存在するときに  
‘ある’と判定できる確率  $P$  を計算した。

検出数  $n$  が **38 個** あれば**種族III星**の存在を  
判別できる確率が**90%**に達する。

**第3世代重力波検出器**が稼働を始めると、  
すぐに**種族III星**の存在や**宇宙の初期**に  
関する情報を得ることが可能となるだろう

