

重力波検出器による階層的な観測ネットワークを用いた 連星合体の早期方向特定性能の見積もり

藤井善範

東京大学 理学系研究科 天文学専攻 博士課程1年
国立天文台 重力波プロジェクト推進室

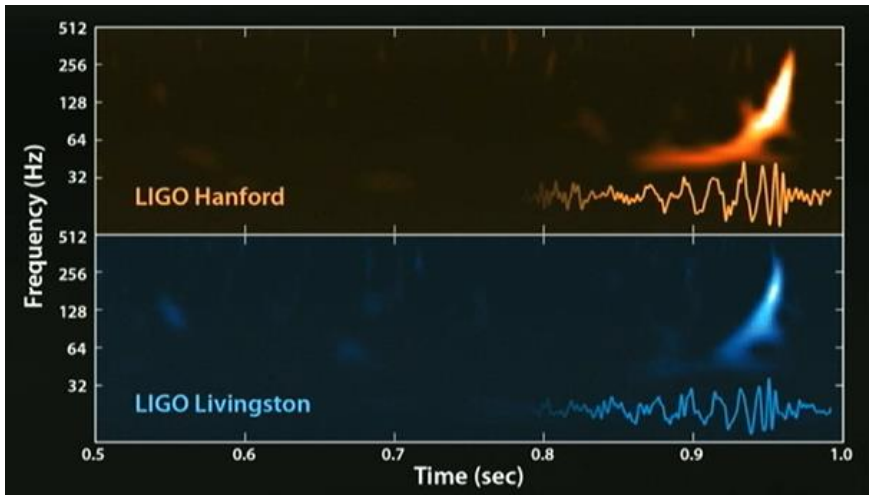
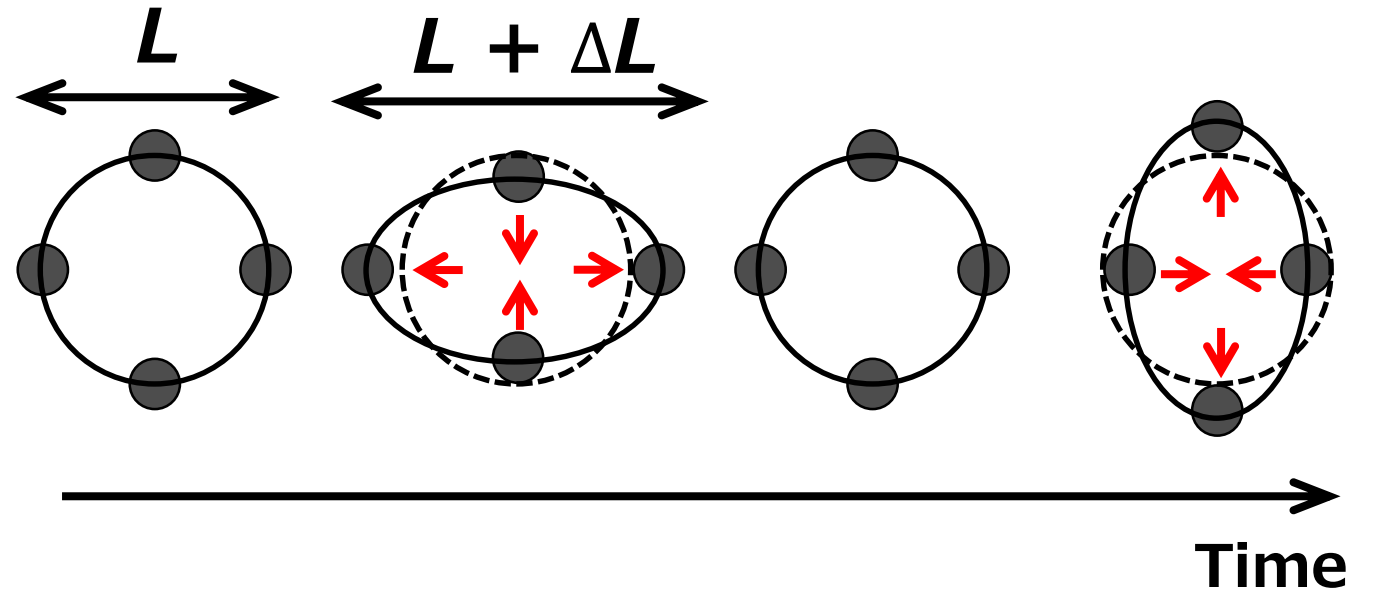
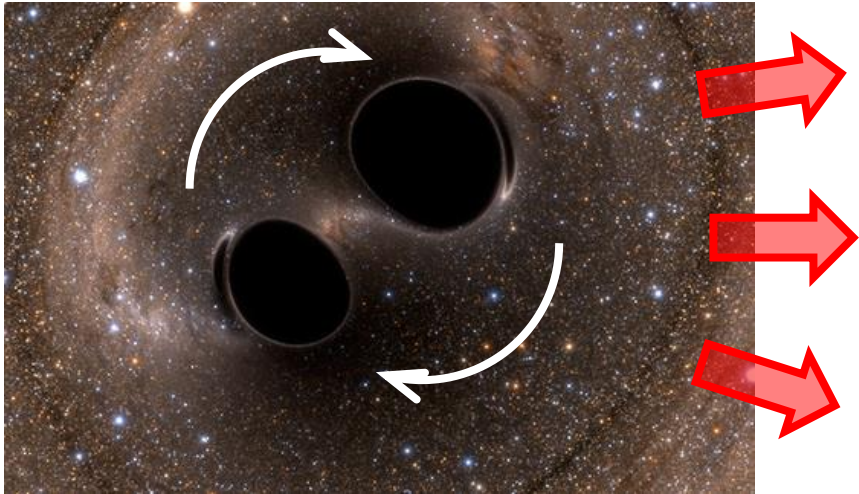
Thomas Adams, Frederique Marion(LAPP), Raffaele Flaminio(国立天文台)

重力波検出器による階層的な観測ネットワークを用いた
連星合体の早期方向特定性能の見積もり

内容： 感度が異なる場合の、
Advanced-LIGO, advanced-Virgo
を用いた早期方向特定の方法は？
そのパフォーマンスは？



重力波?

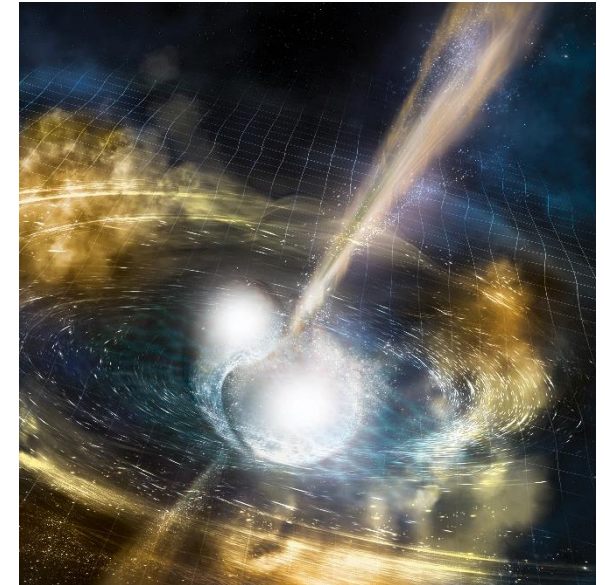
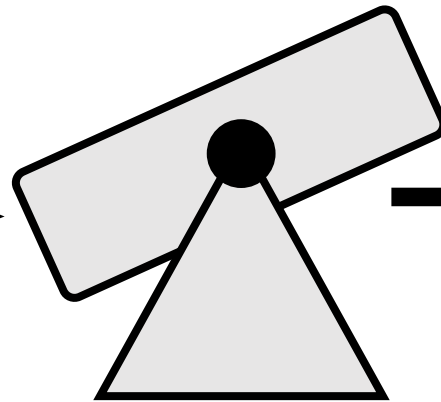
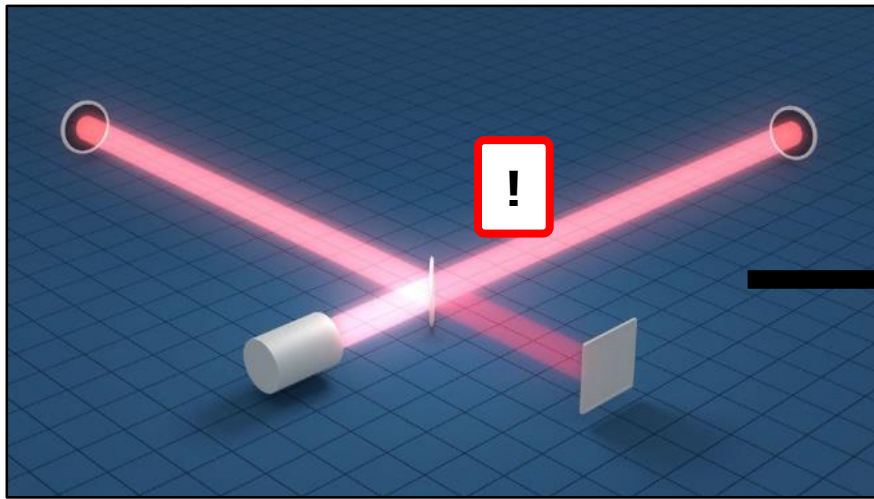


- 2015.9.14 初検出!
- BBH, BNS 検出!

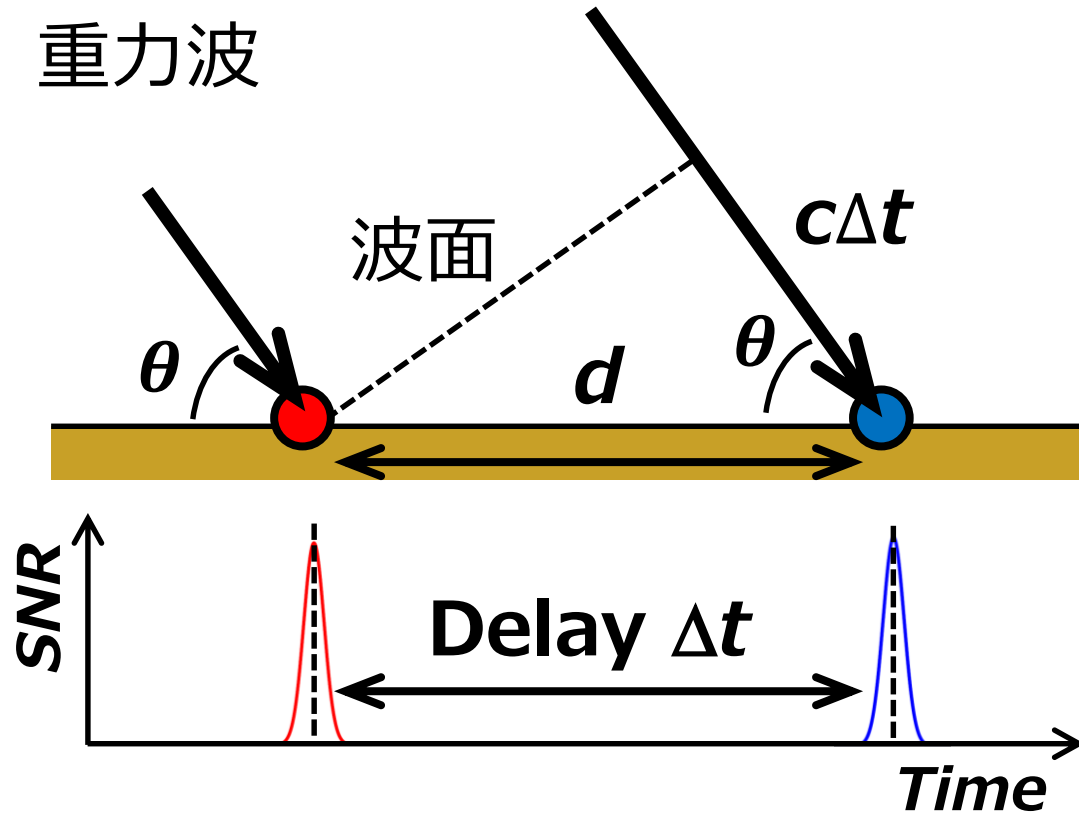
→ 新しい天文学!

電磁波 フォローアップ 観測のためには、

→ Fast source localization (早期方向特定)



その重力波、どこから？



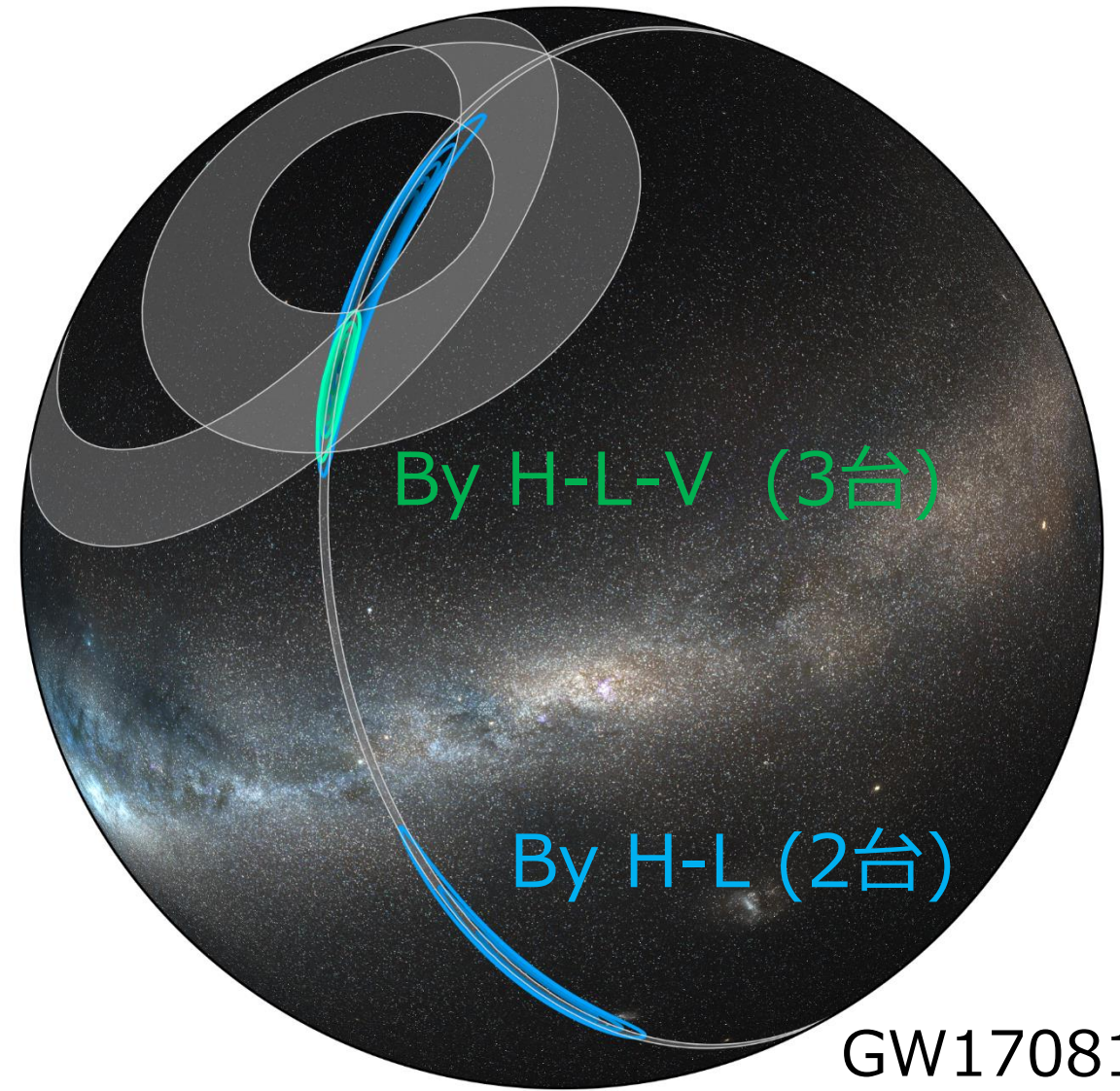
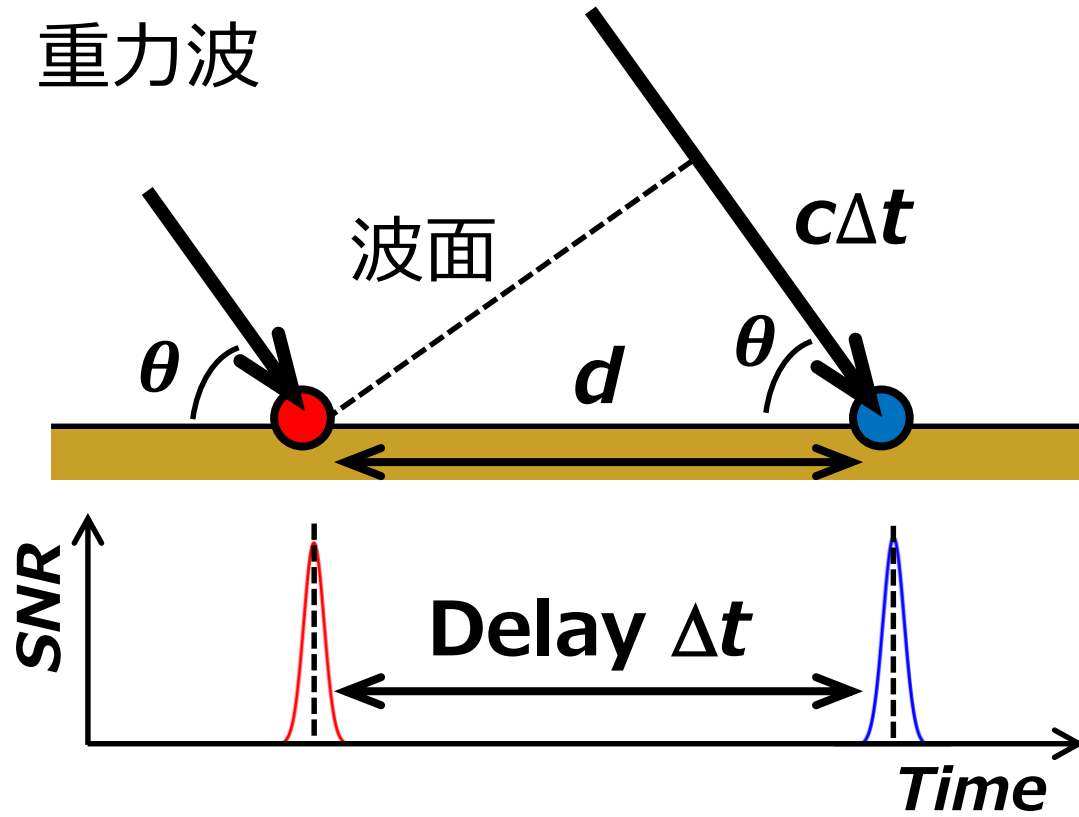
検出の時間差

方向特定

$$\Delta t \longrightarrow \theta$$
$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{c\Delta t}{d} \right)$$

その重力波、どこから？

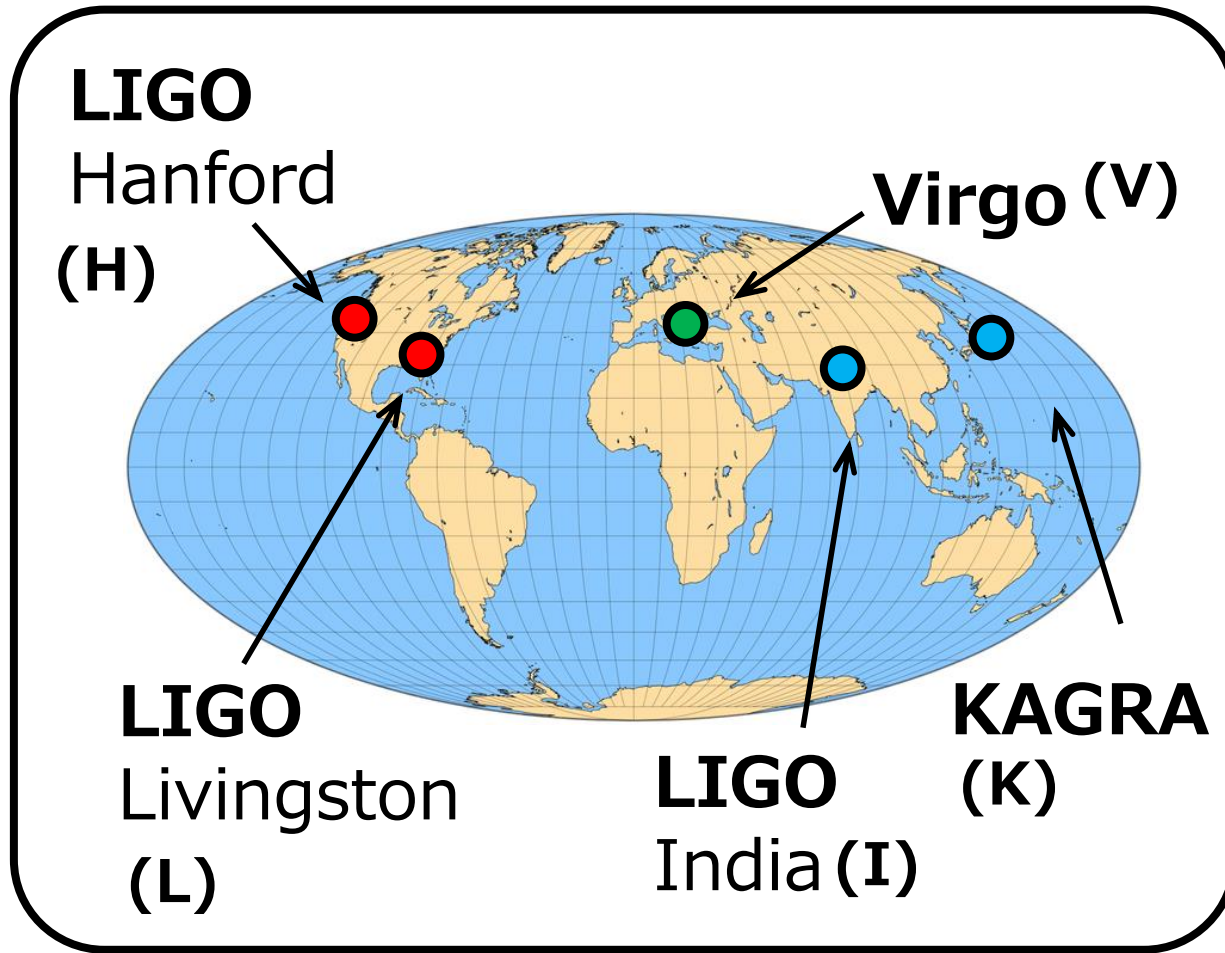
検出器が 3 台あると：



Credit: LIGO/Virgo/NASA/Leo Singer (Milky Way image: Axel Mellinger)

波源の方向特定には、

→ 複数台の重力波検出器

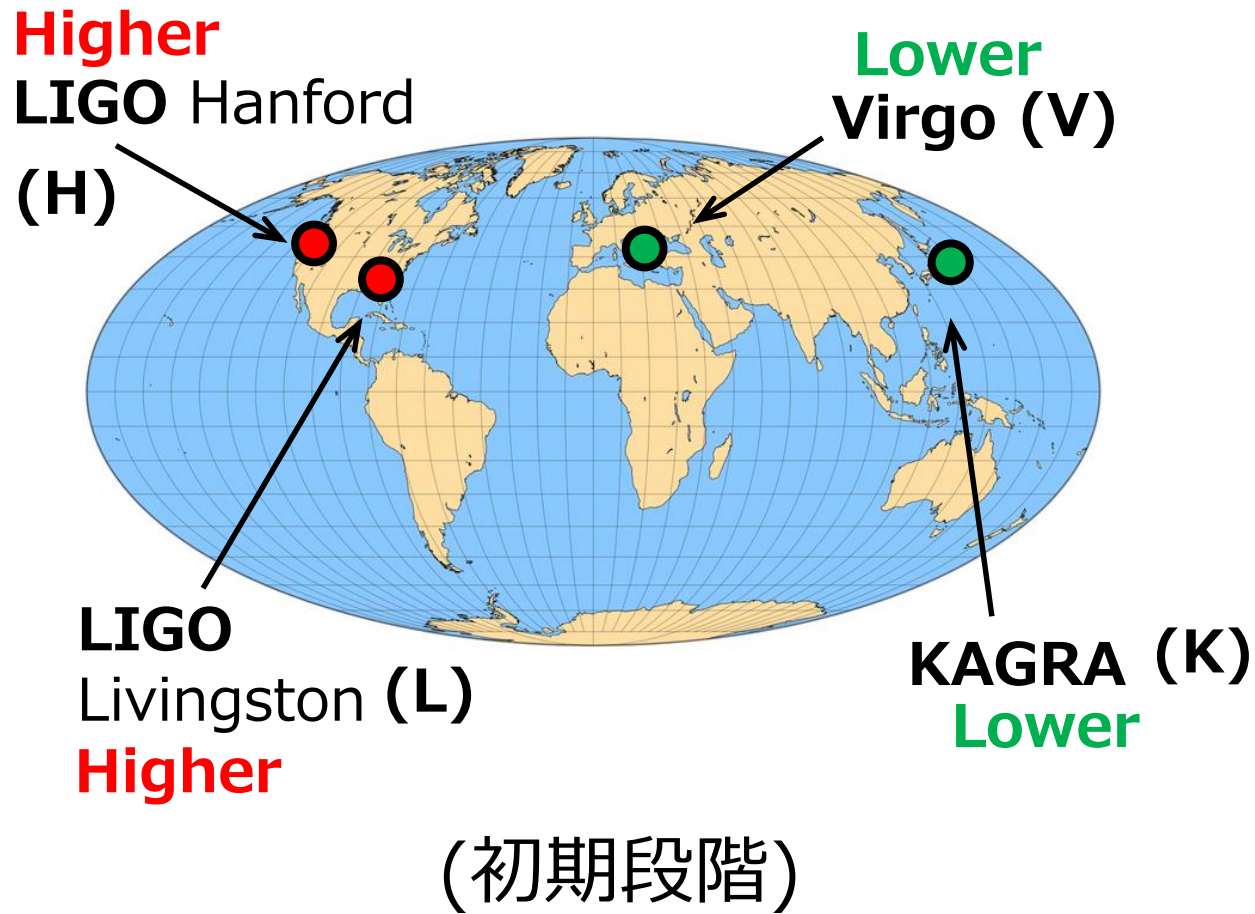


利点:

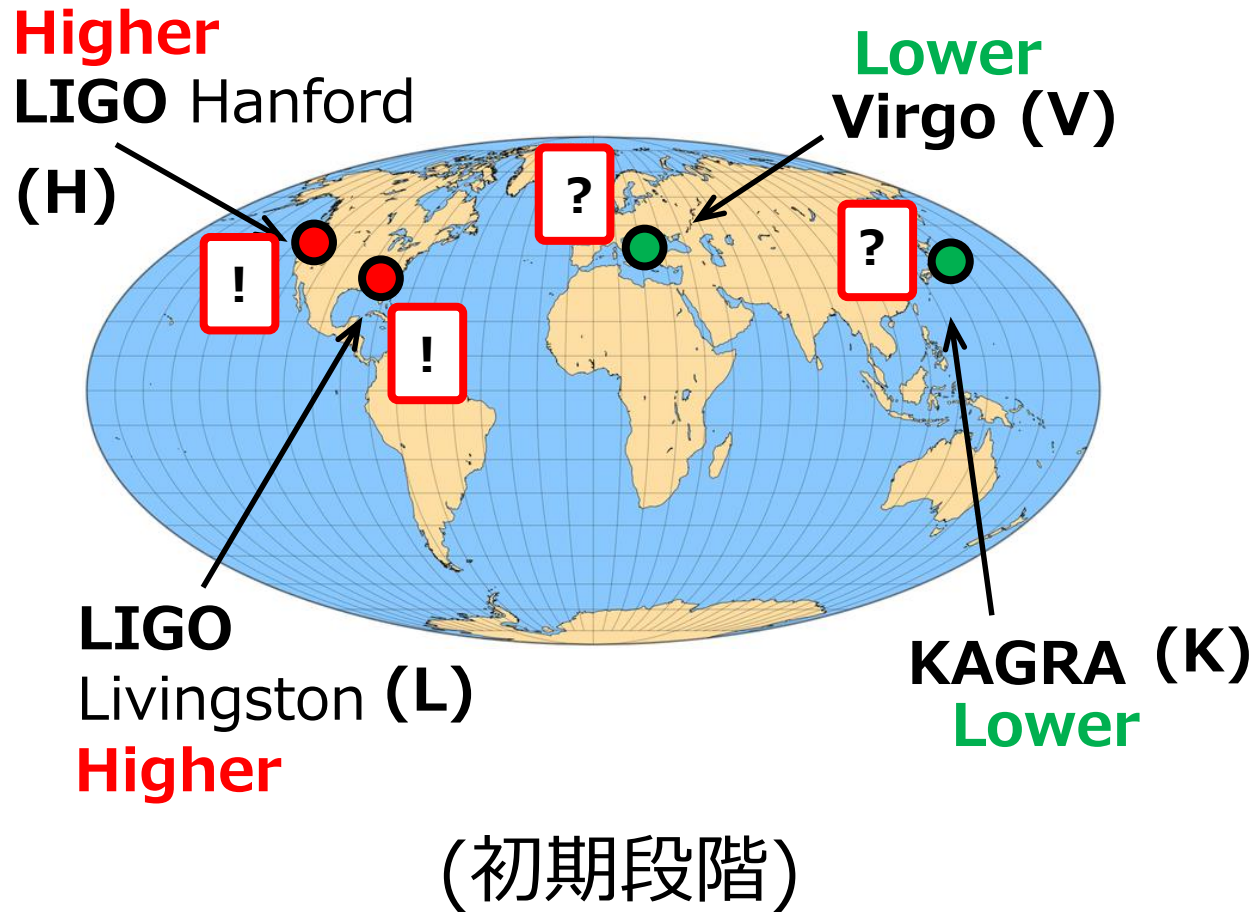
- より精度の良い方向特定
- より連続的な観測
- 全天のカバー
- 偏極の情報の取得

感度が異なる場合は.. ?

Ex.) $\text{SNR} > 8 \rightarrow$ 検出



感度が異なる場合は.. ?

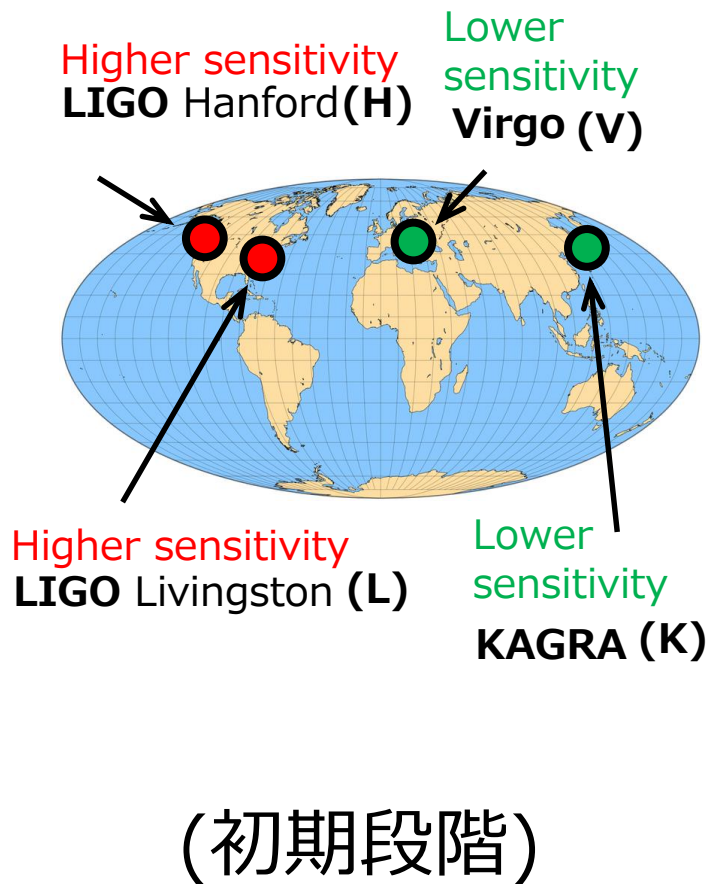


Ex.) $\text{SNR} > 8 \rightarrow$ 検出

より精度の良い方向特定:

$\rightarrow$ トリプル(以上) の コインシデンス
 $\rightarrow$ 起こりづらい。

階層的な観測ネットワーク

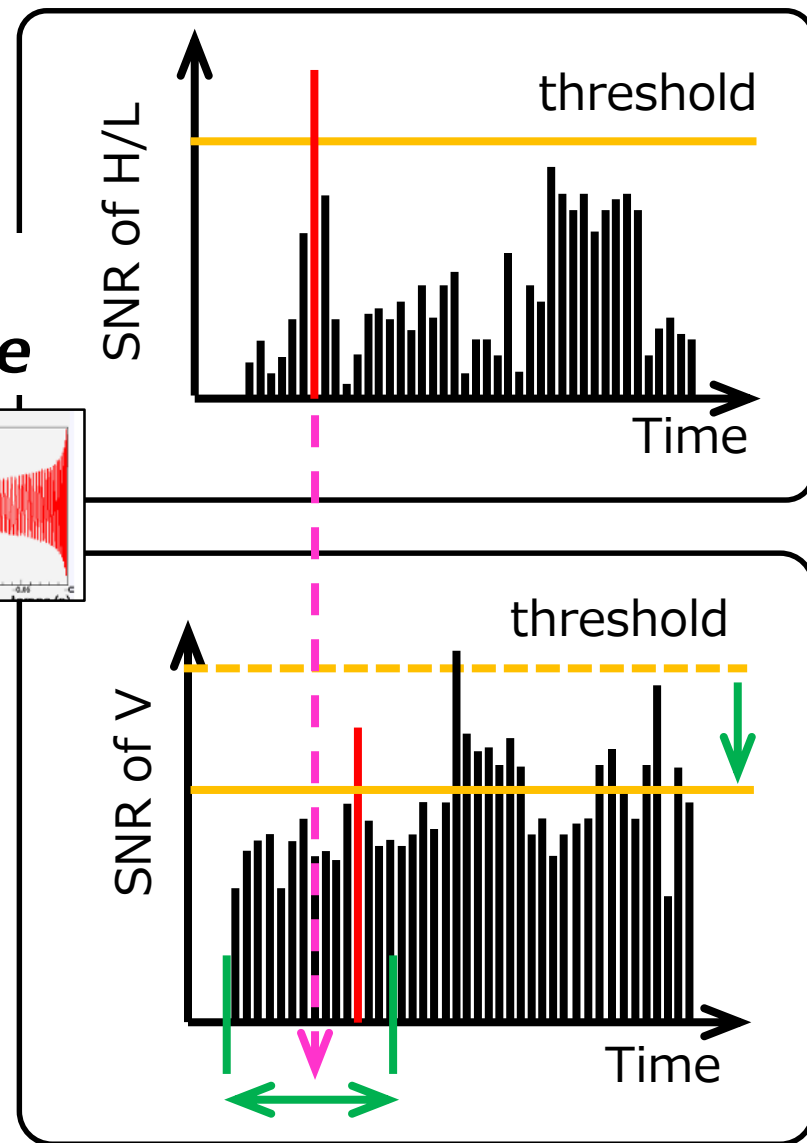
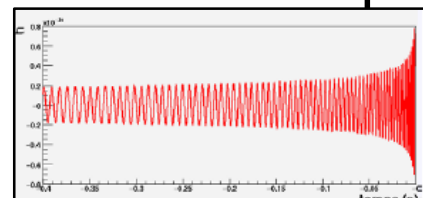


感度の良い検出器間で(H/L)
コインシデンス

感度の低い検出器も用いて解析
(方向特定):

1. より低い SNR threshold,
2. 同じパラメータ,
3. *with a small window*
(ダブルコインシデンスまわり).

*One
template*

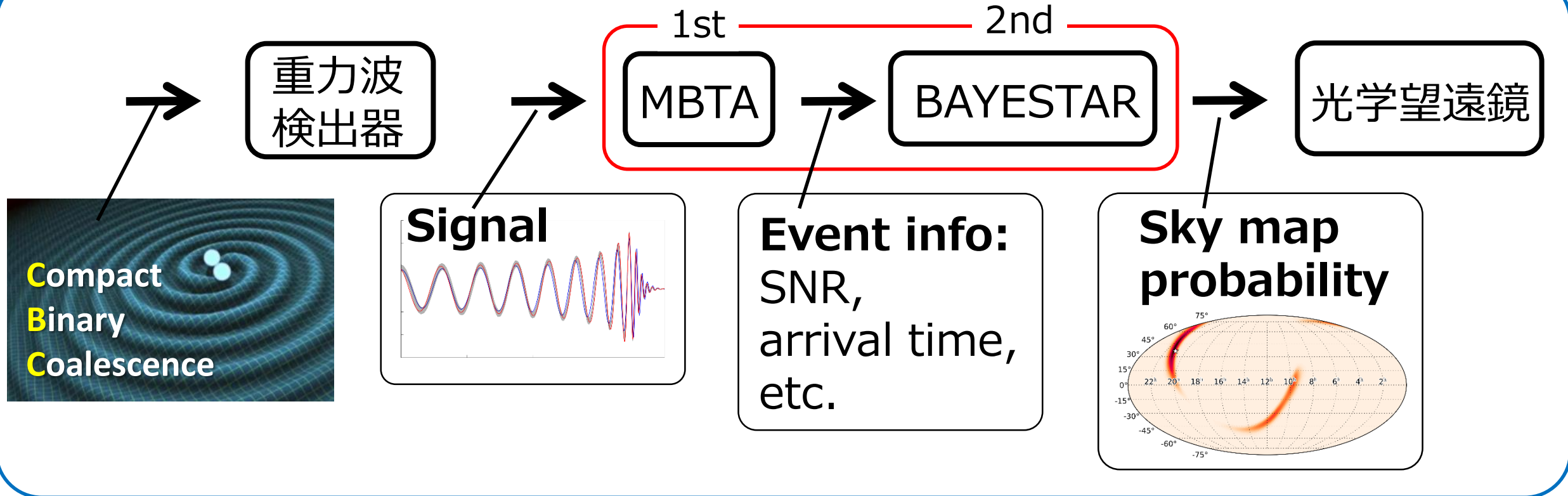


階層的な観測ネットワーク

- このアプローチでの、方向特定のパフォーマンスは？
- Threshold (V) はどこまで下げるとよい？

計算準備：

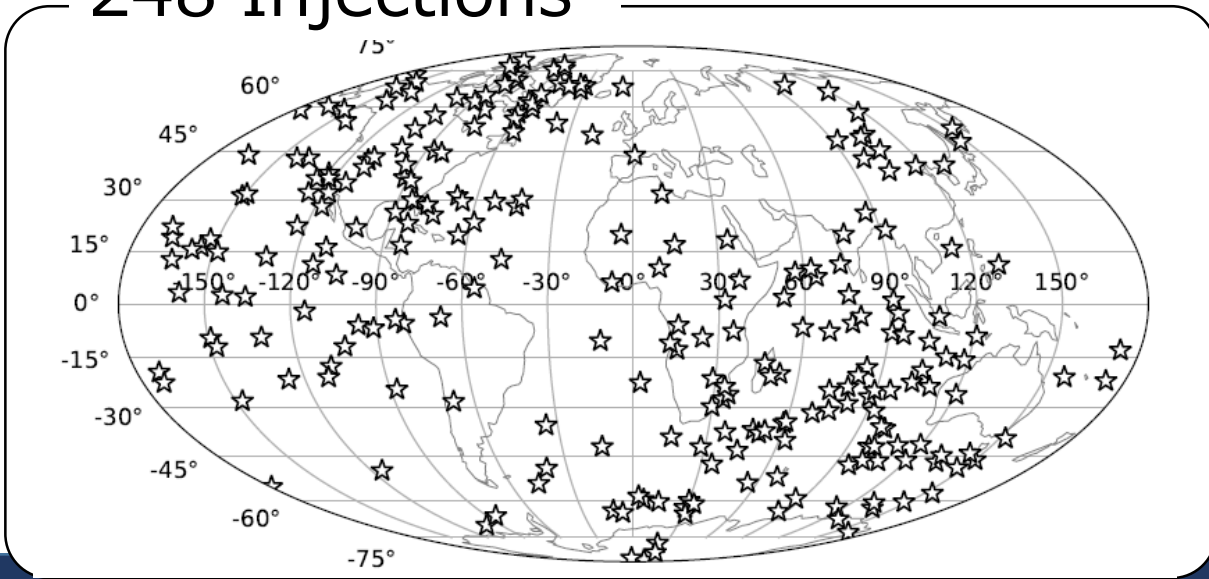
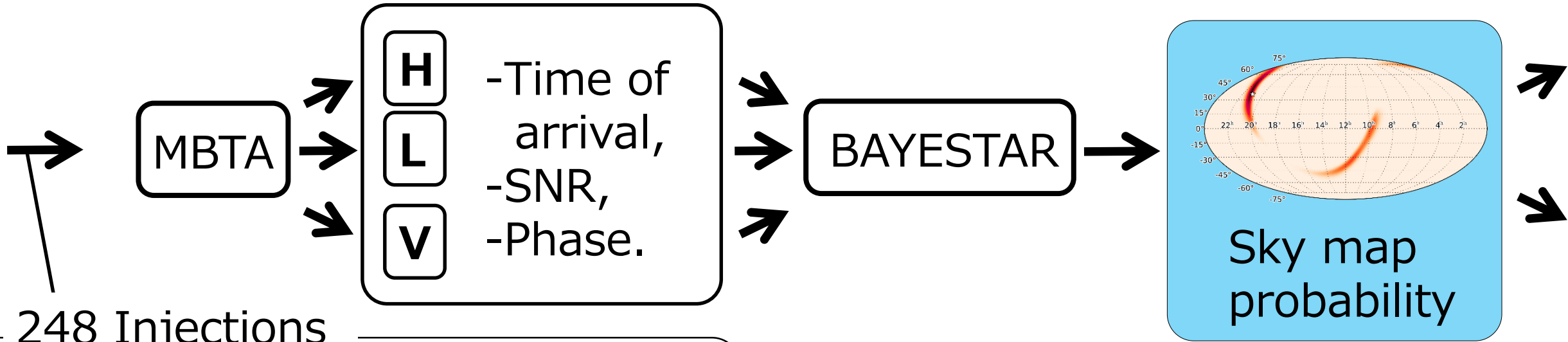
1. GW-EM パイプライン (for GWs from CBC)



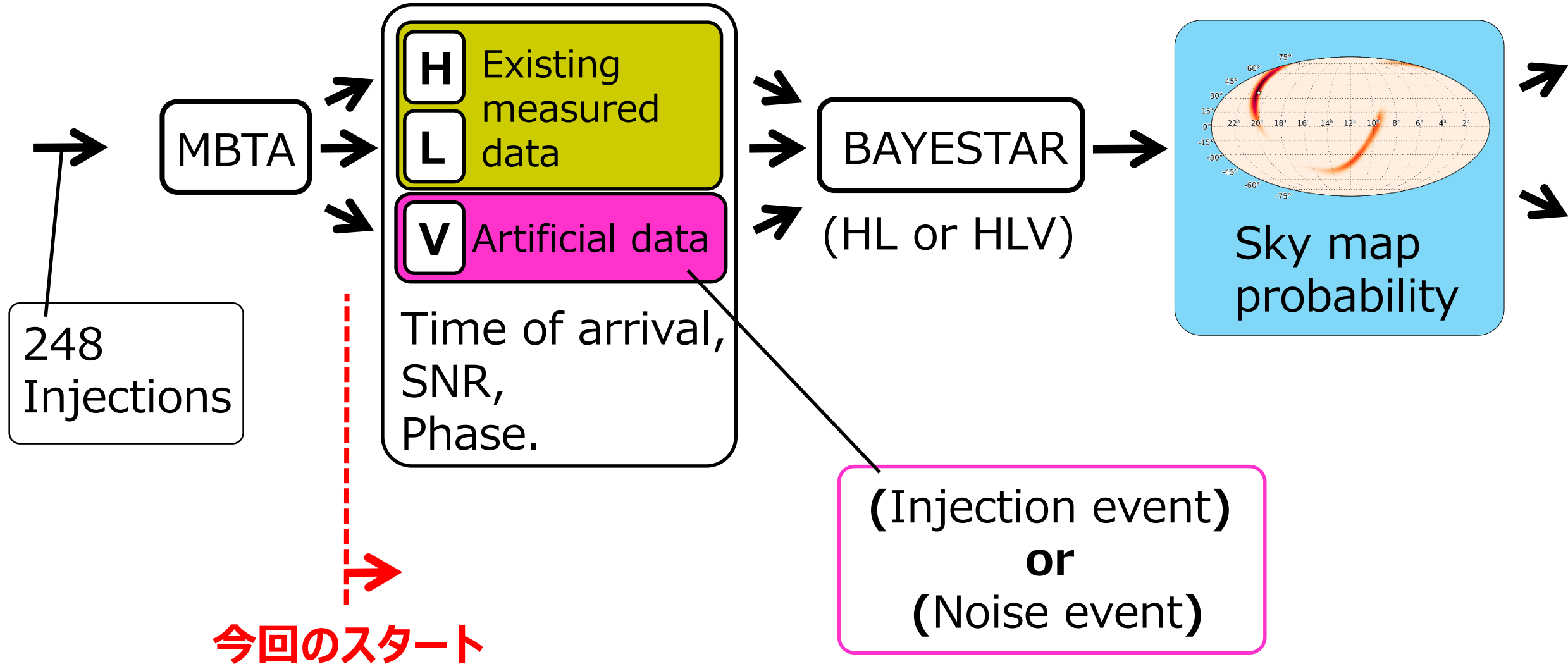
2. Two LIGOs (54 Mpc), Virgo (< 54 Mpc)

Higher sensitivity × 2 / Lower sensitivity × 1

計算の流れ(1)



計算の流れ(1)

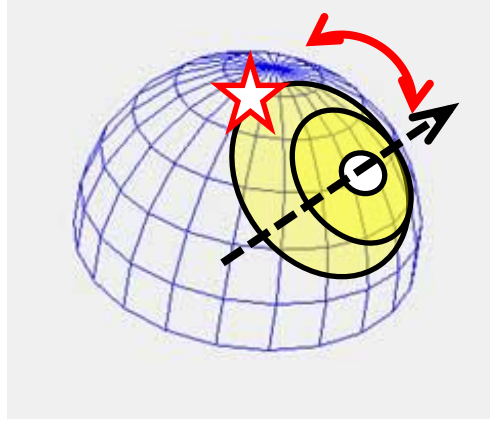


計算の流れ(2)

Localization performance

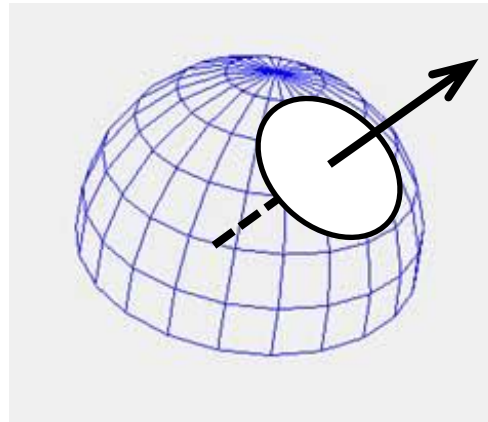
1) Accuracy

→ Searched area (deg^2)

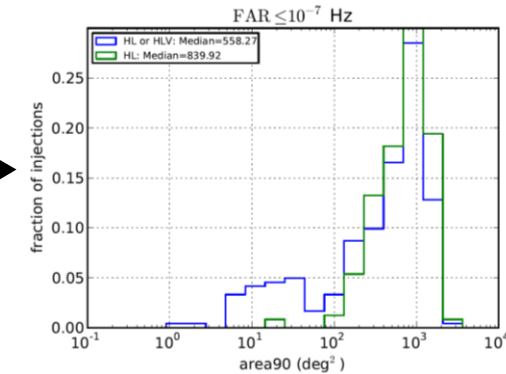
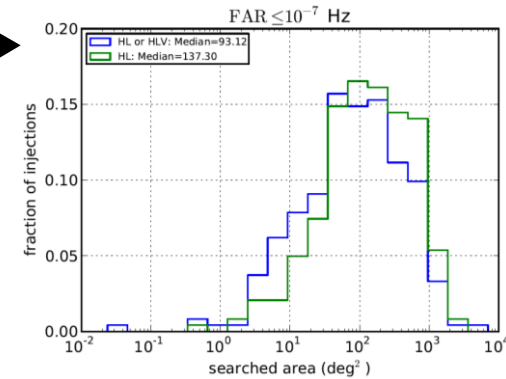


2) Precision

→ 90 % confidence area (deg^2)

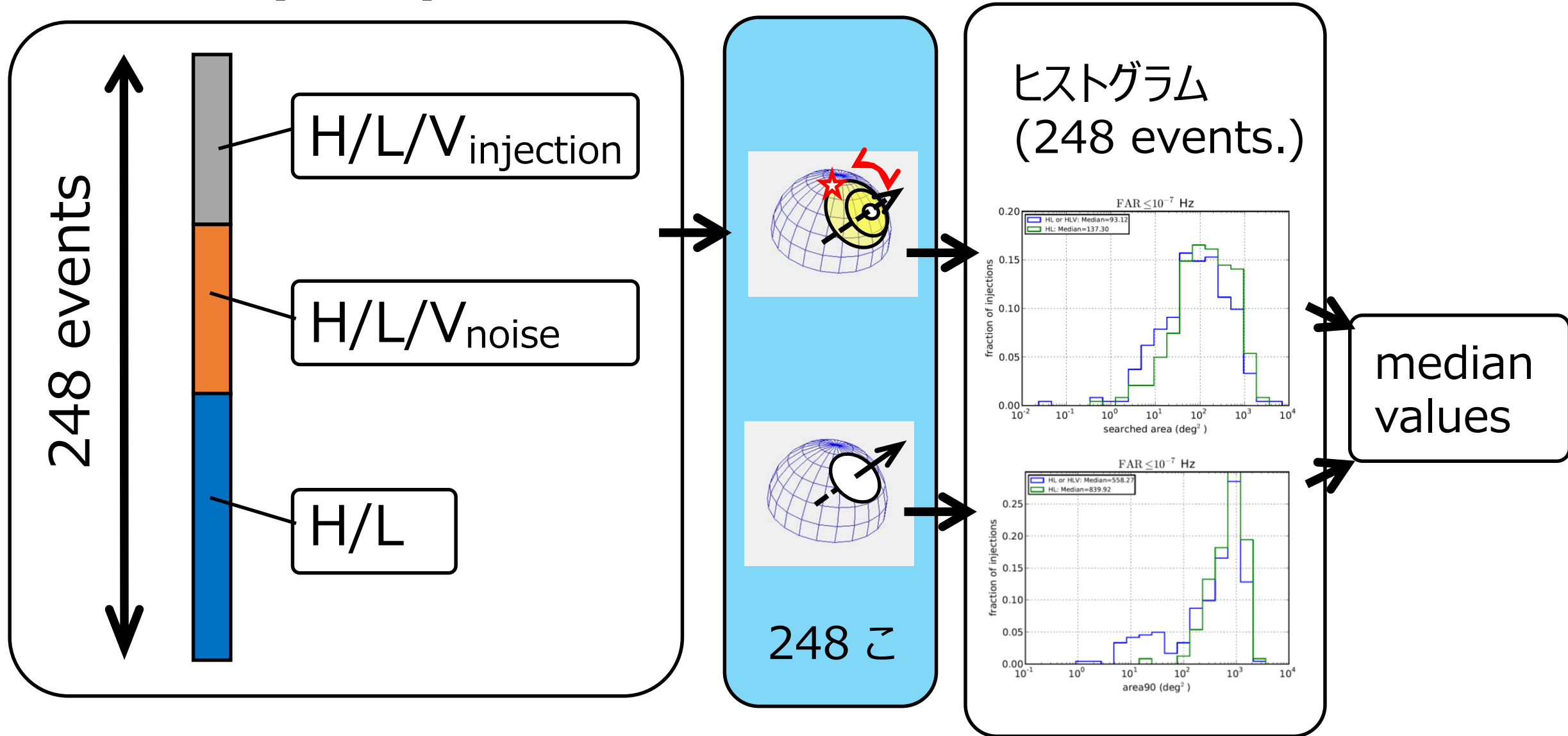


ヒストグラム (248 events.)



median
values

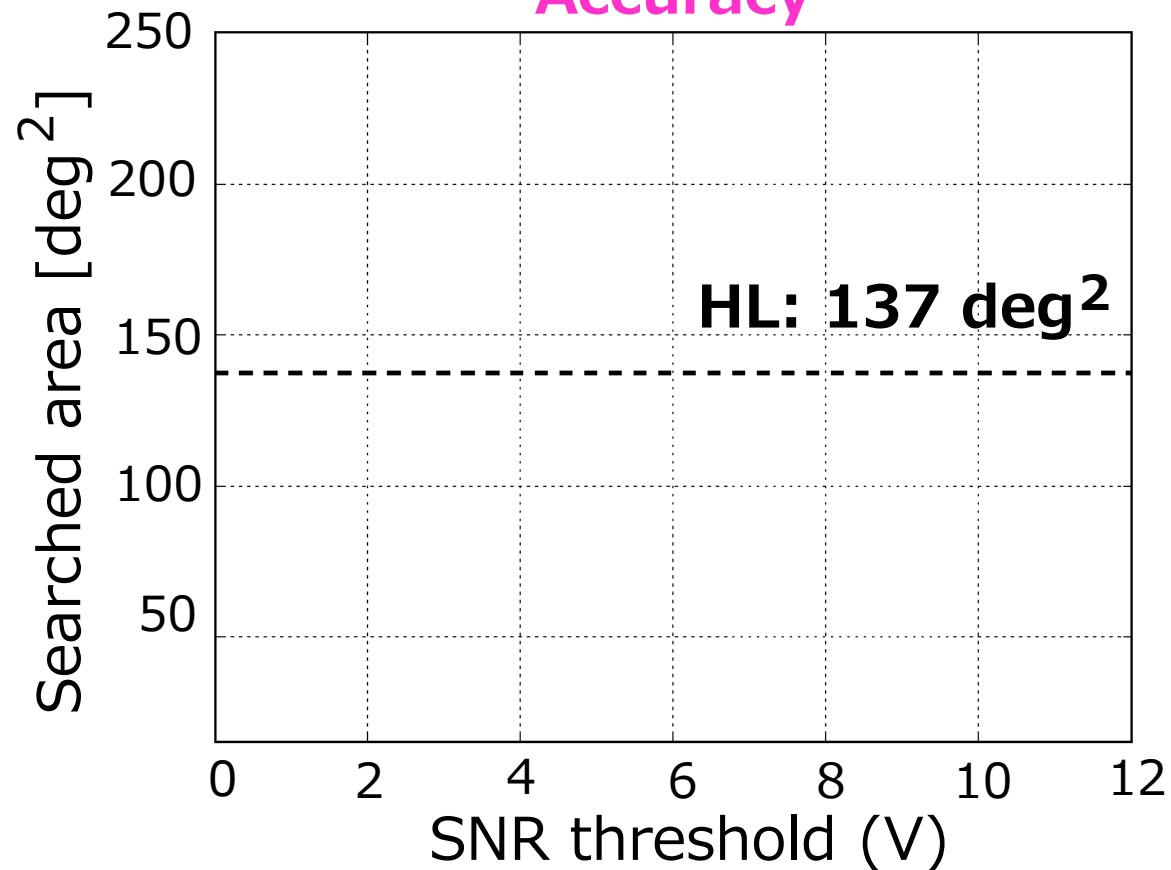
計算の流れ(まとめ)



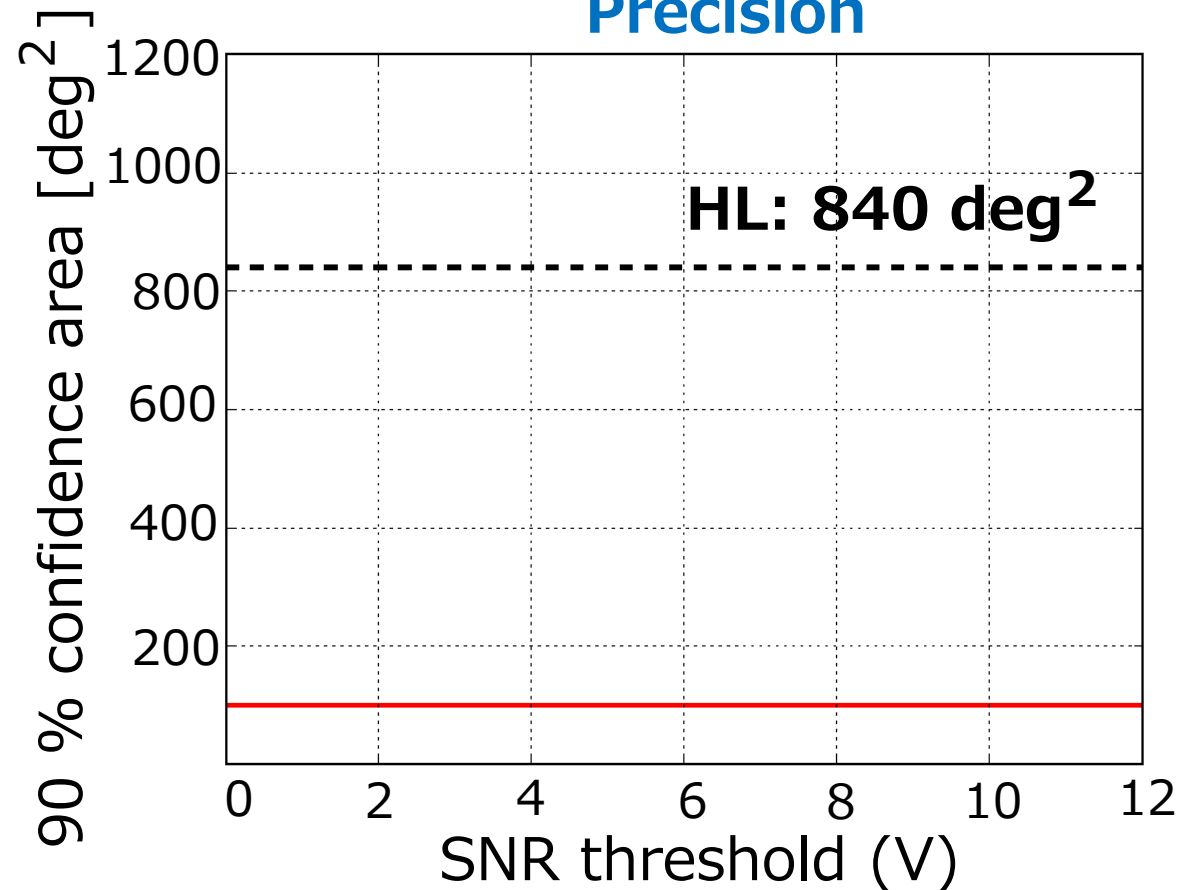
パフォーマンス (by HL):

(SNR threshold for H, L = 5.)

Accuracy



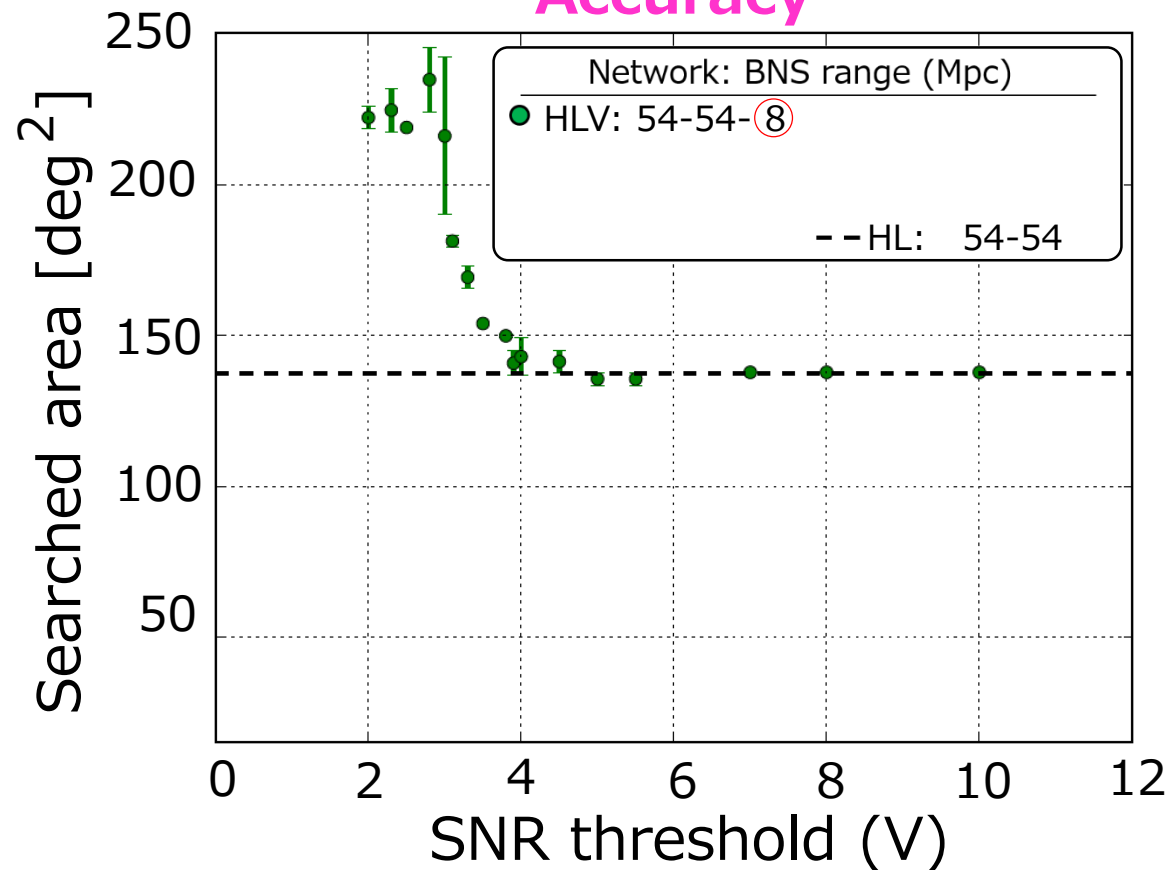
Precision



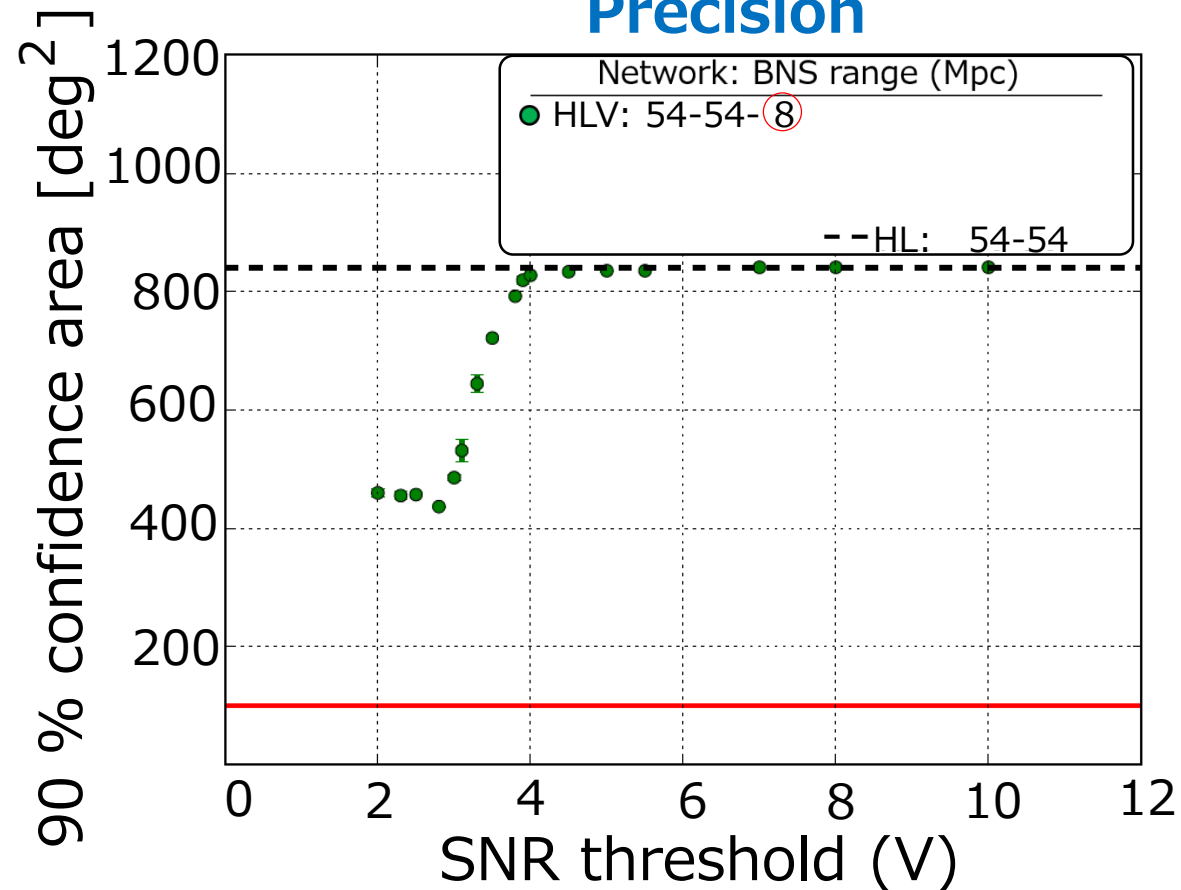
パフォーマンス (by HLV & HL):

(SNR threshold for H, L = 5.)

Accuracy



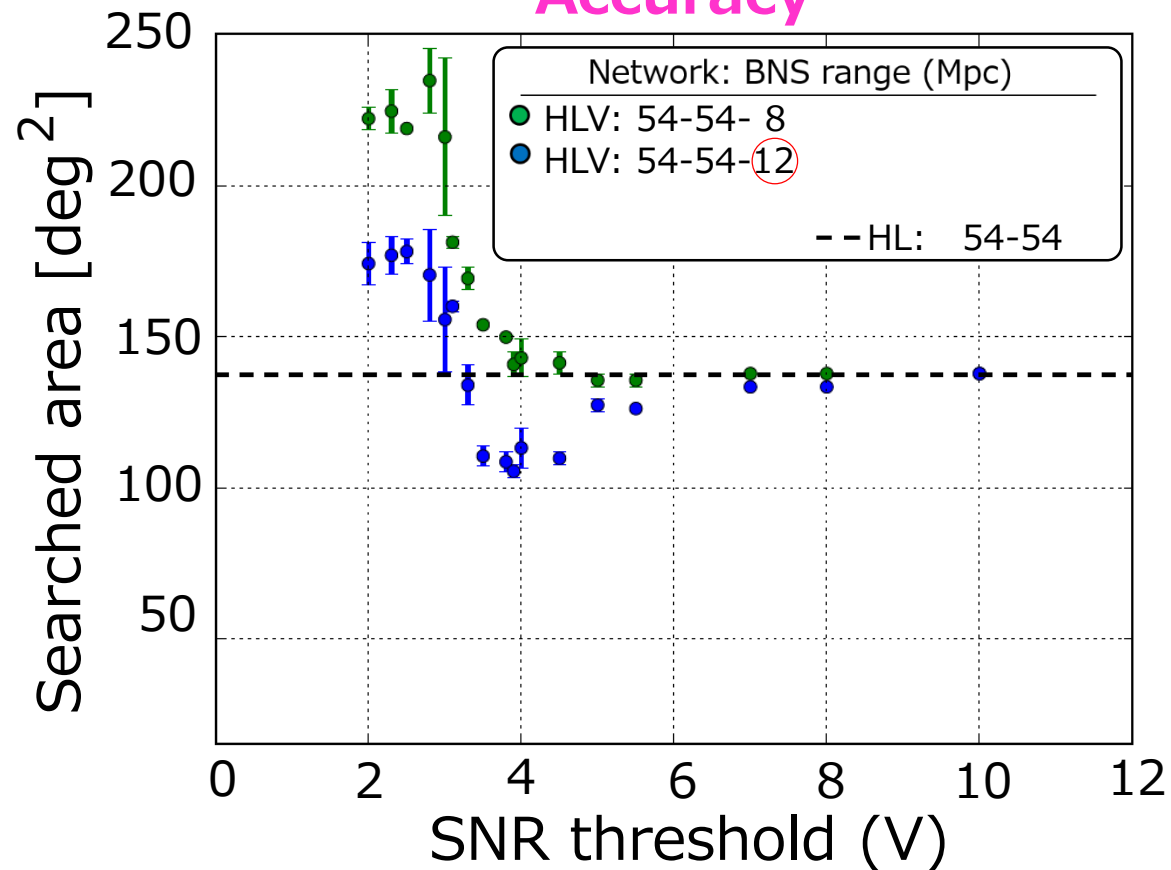
Precision



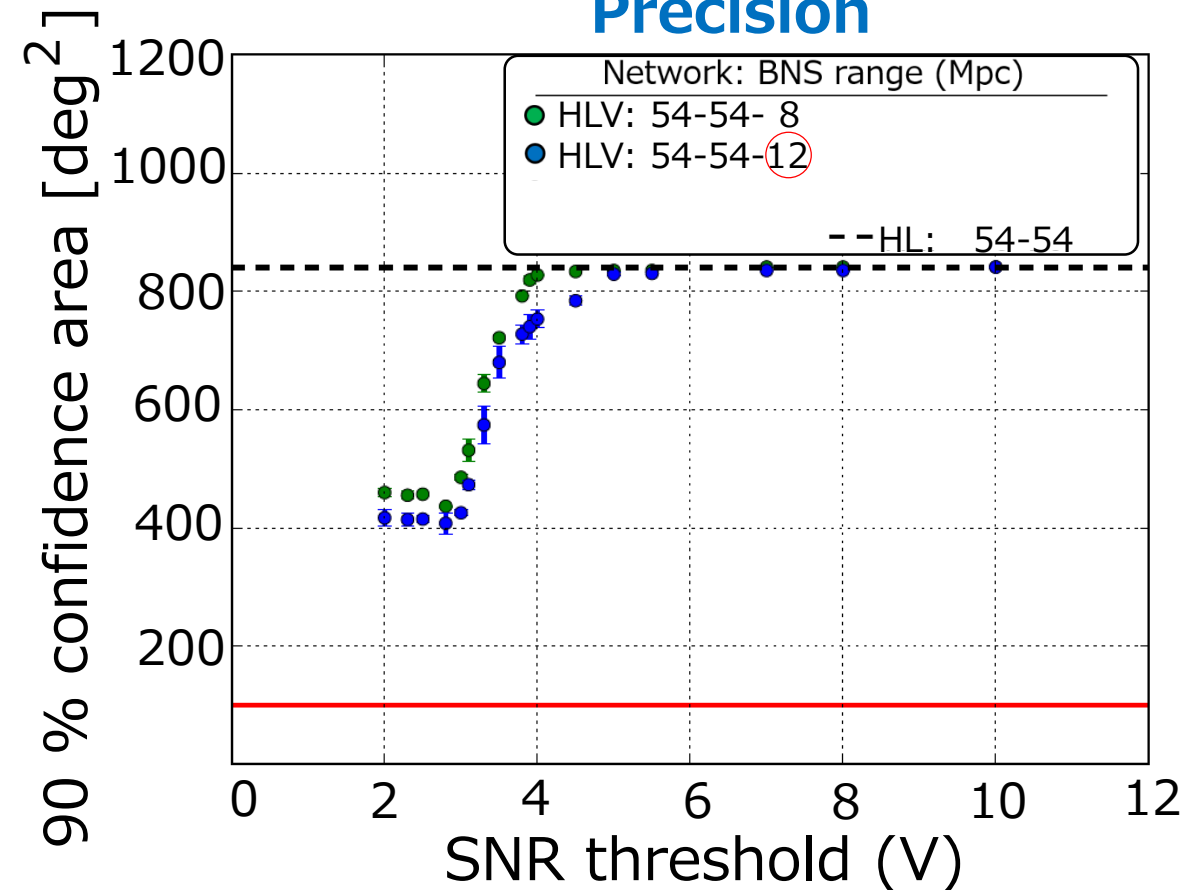
パフォーマンス (by HLV & HL):

(SNR threshold for H, L = 5.)

Accuracy



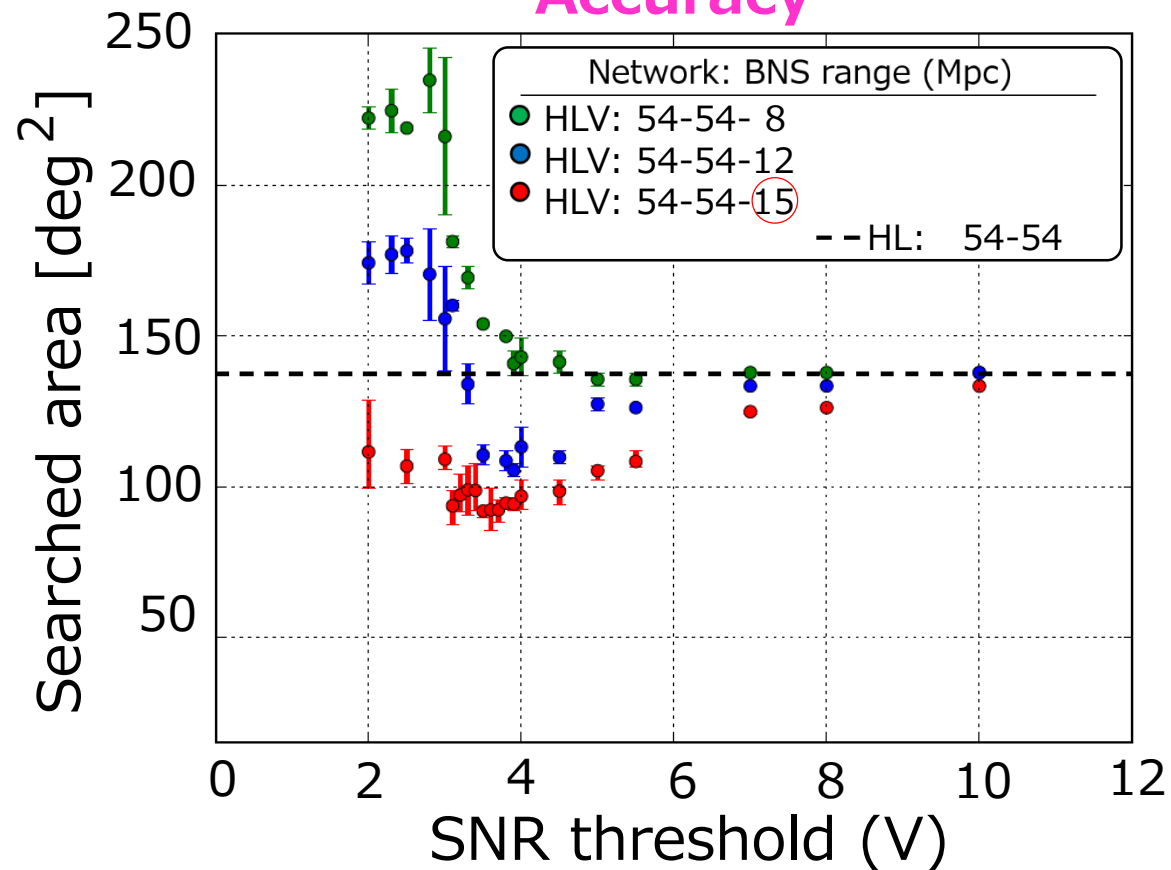
Precision



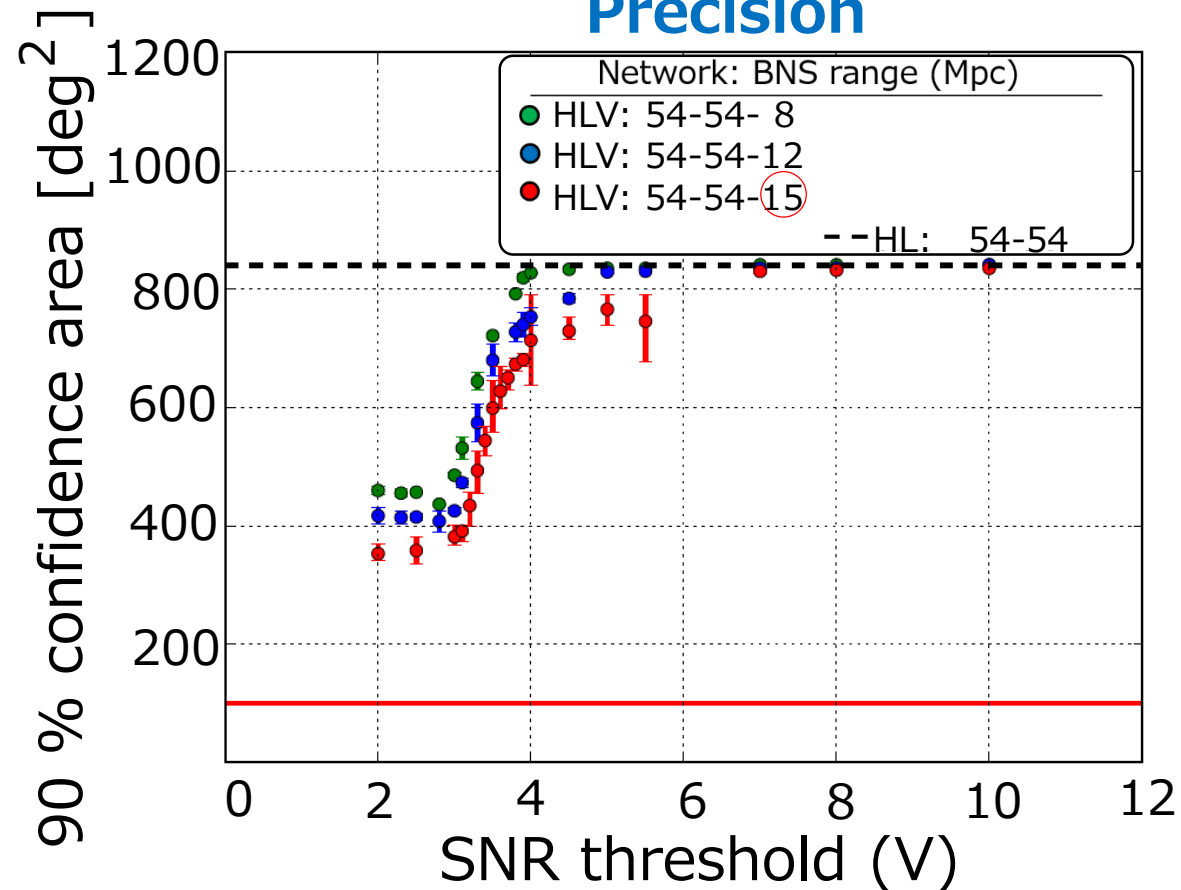
パフォーマンス (by HLV & HL):

(SNR threshold for H, L = 5.)

Accuracy



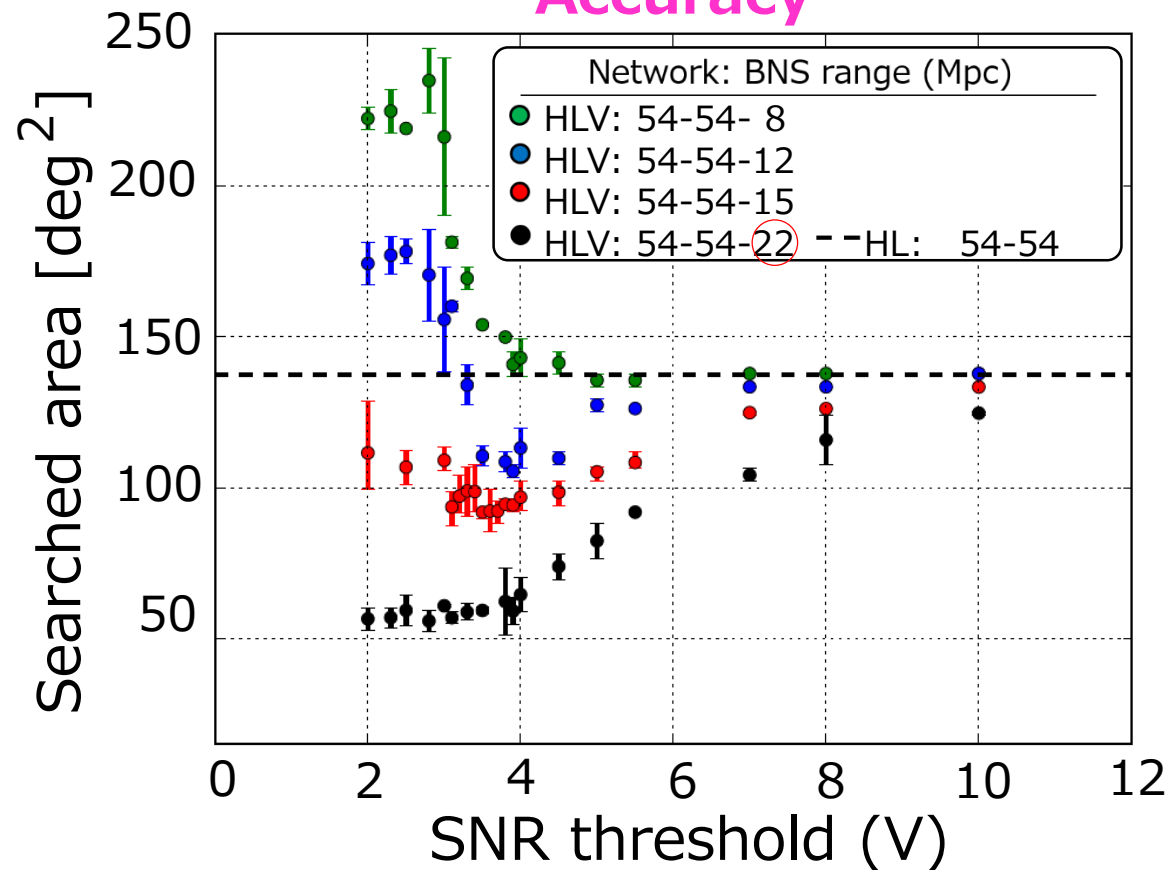
Precision



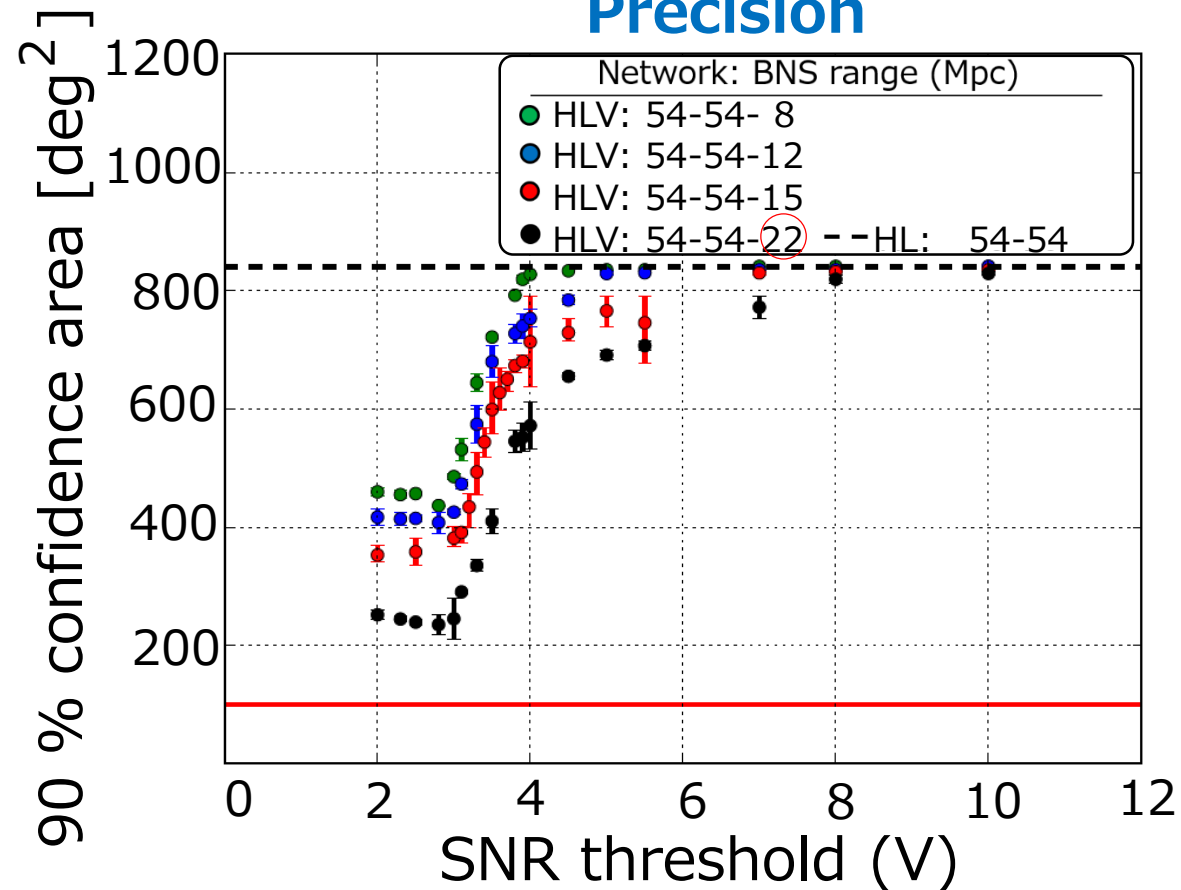
パフォーマンス (by HLV & HL):

(SNR threshold for H, L = 5.)

Accuracy



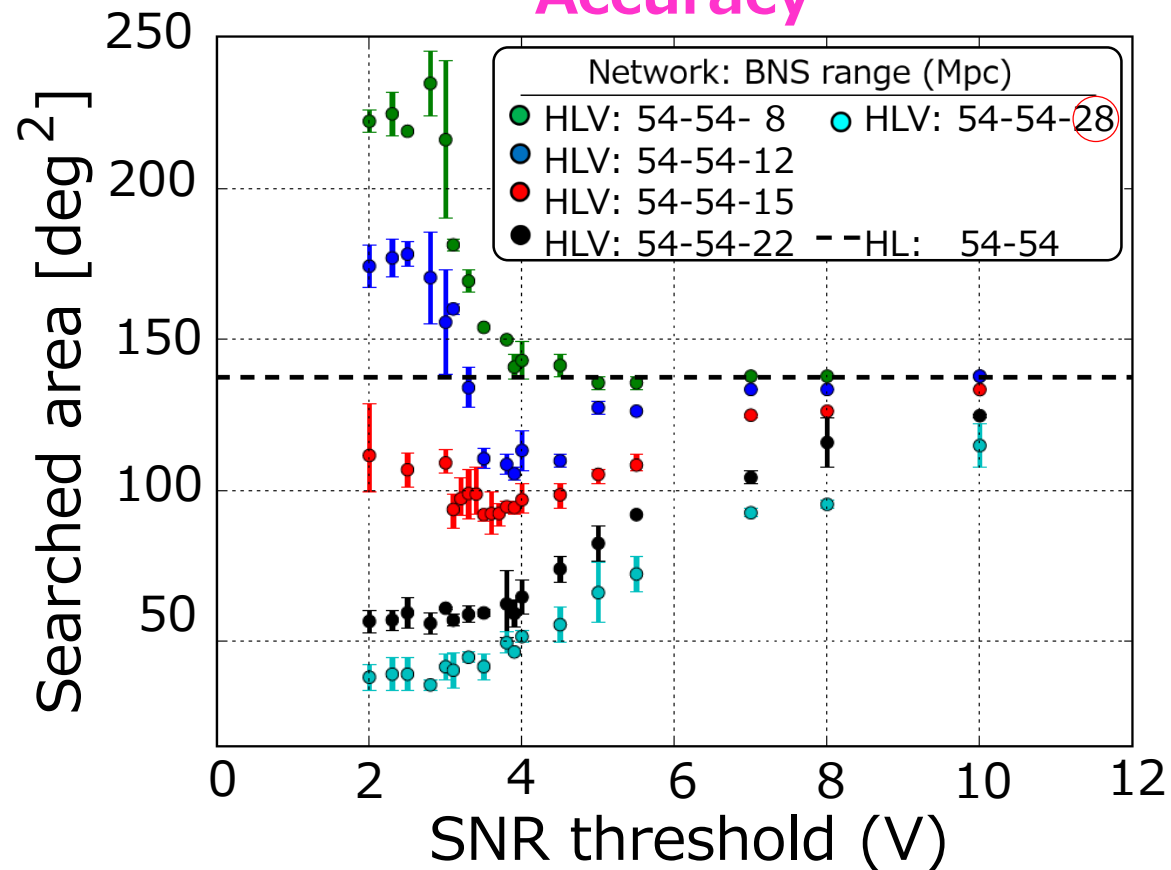
Precision



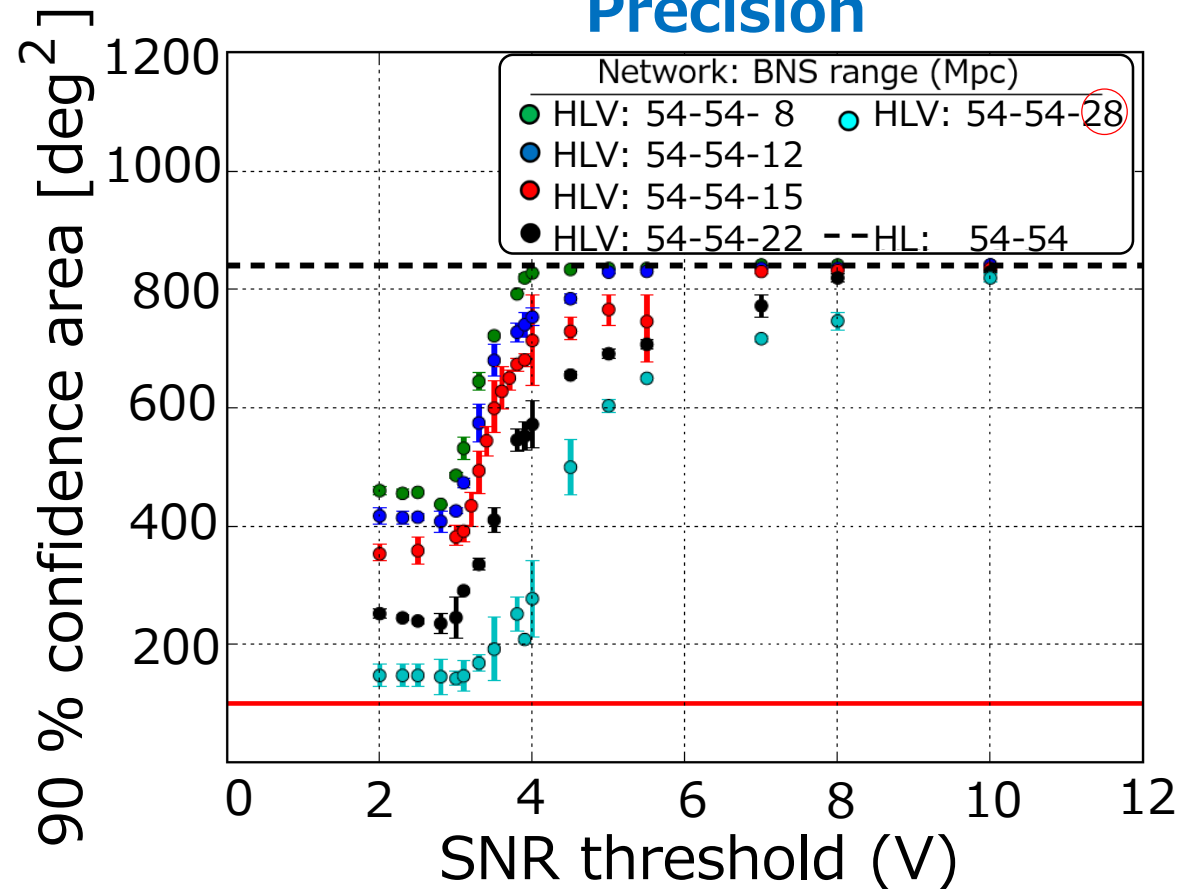
パフォーマンス (by HLV & HL):

(SNR threshold for H, L = 5.)

Accuracy



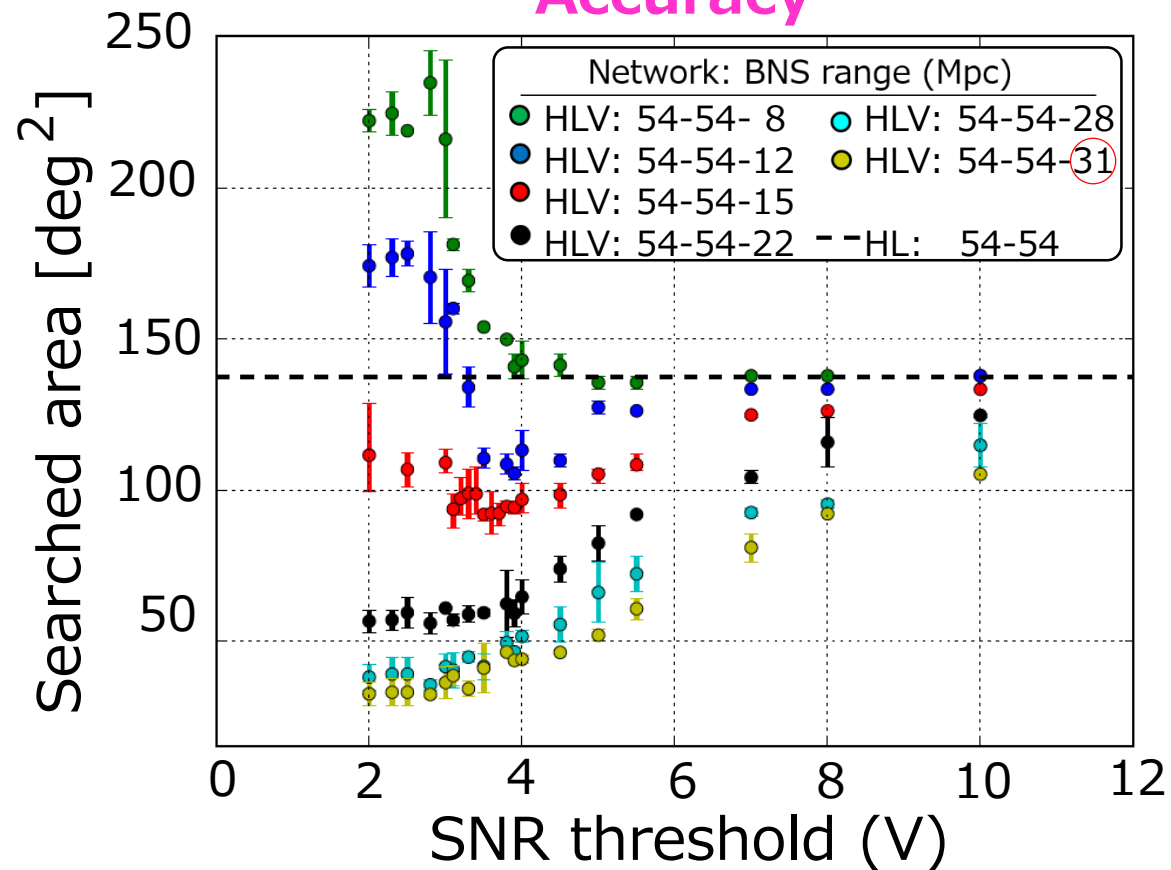
Precision



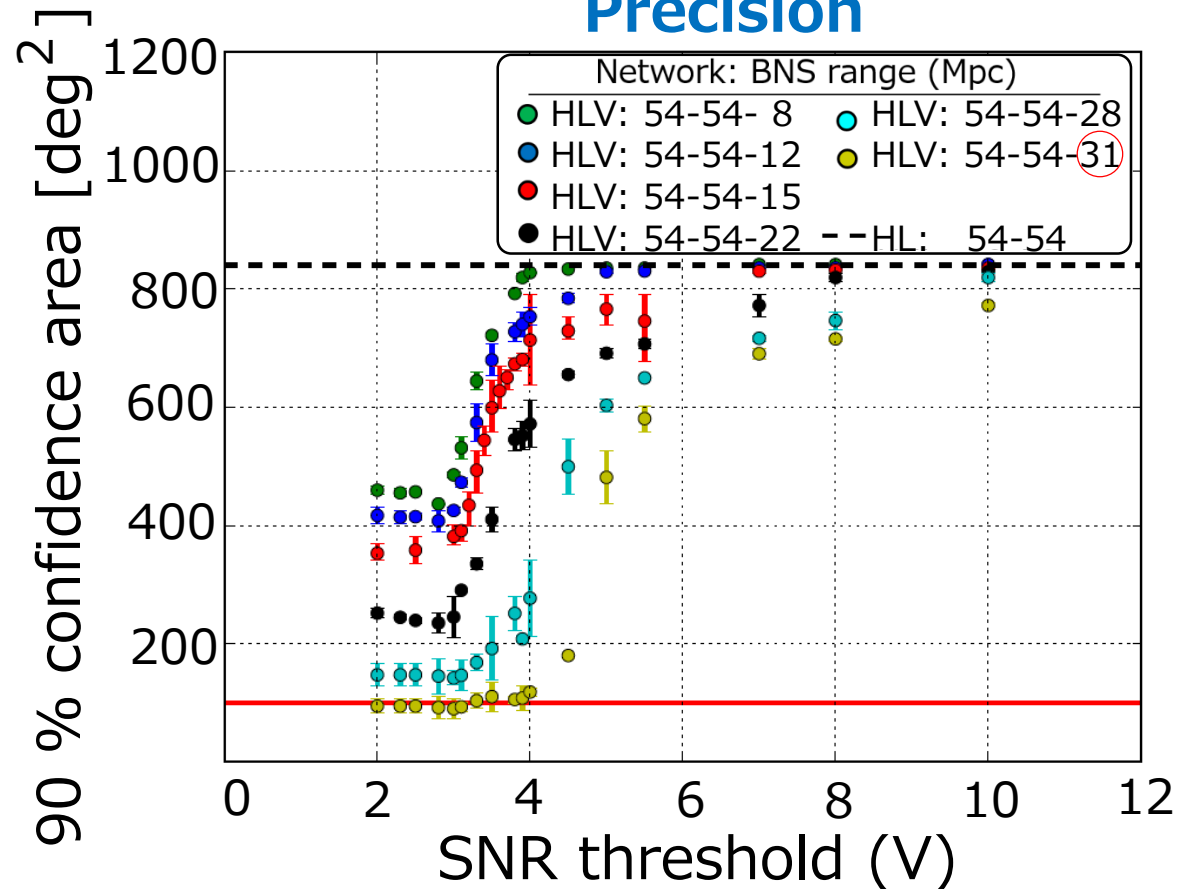
パフォーマンス (by HLV & HL):

(SNR threshold for H, L = 5.)

Accuracy



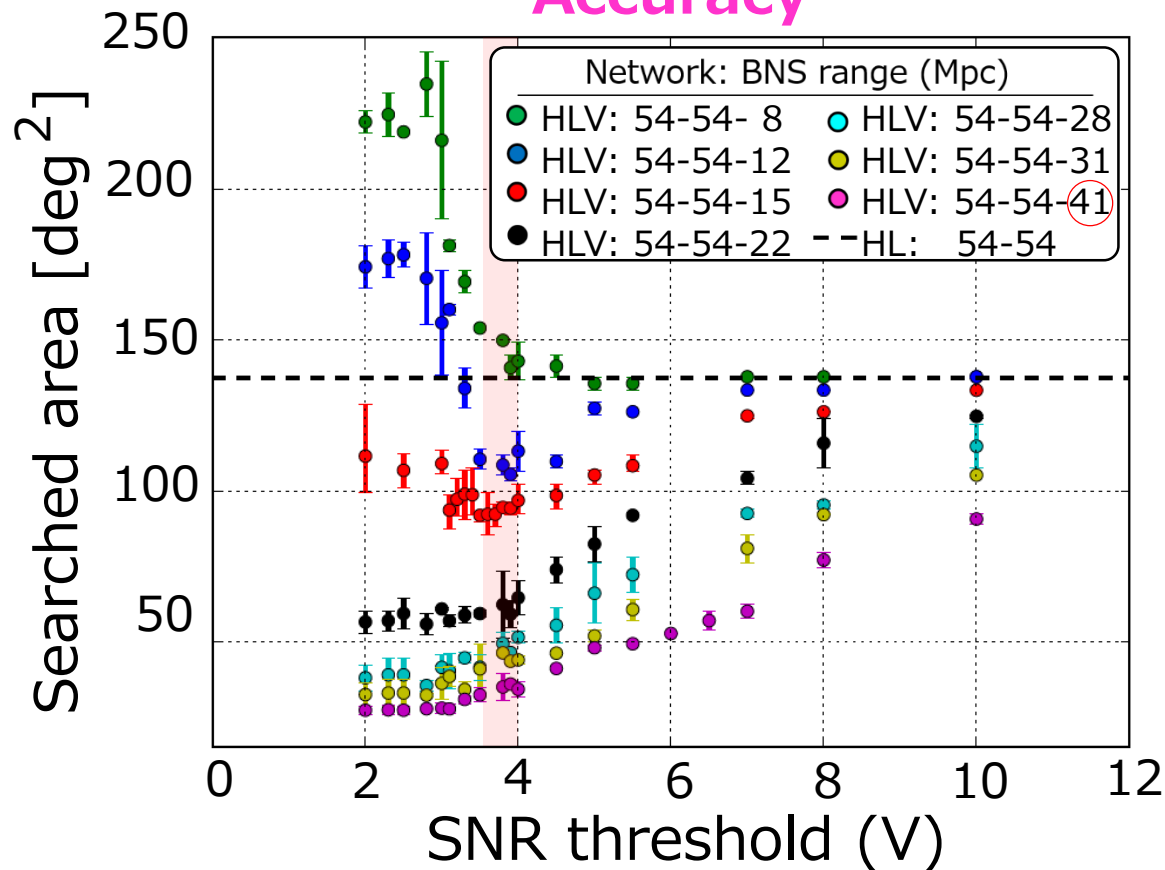
Precision



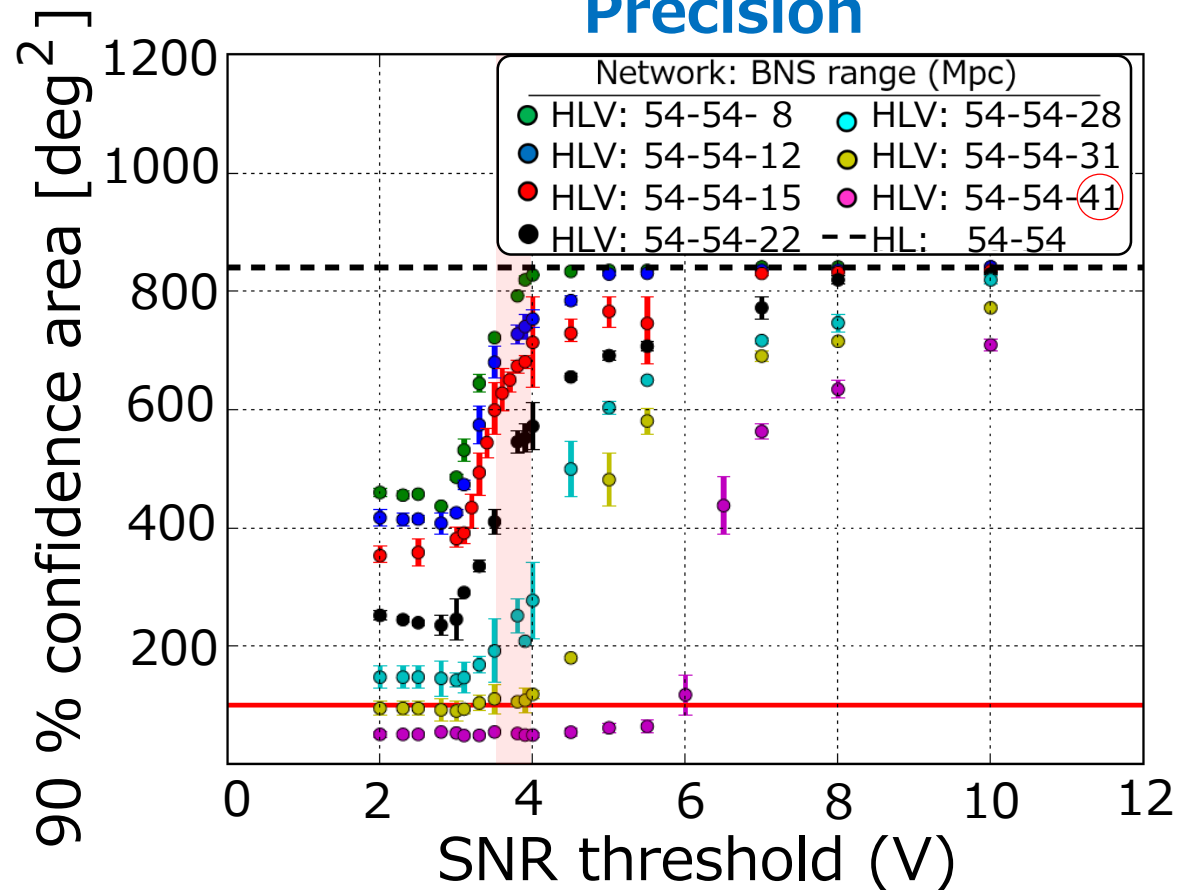
パフォーマンス (by HLV & HL):

(SNR threshold for H, L = 5.)

Accuracy



Precision



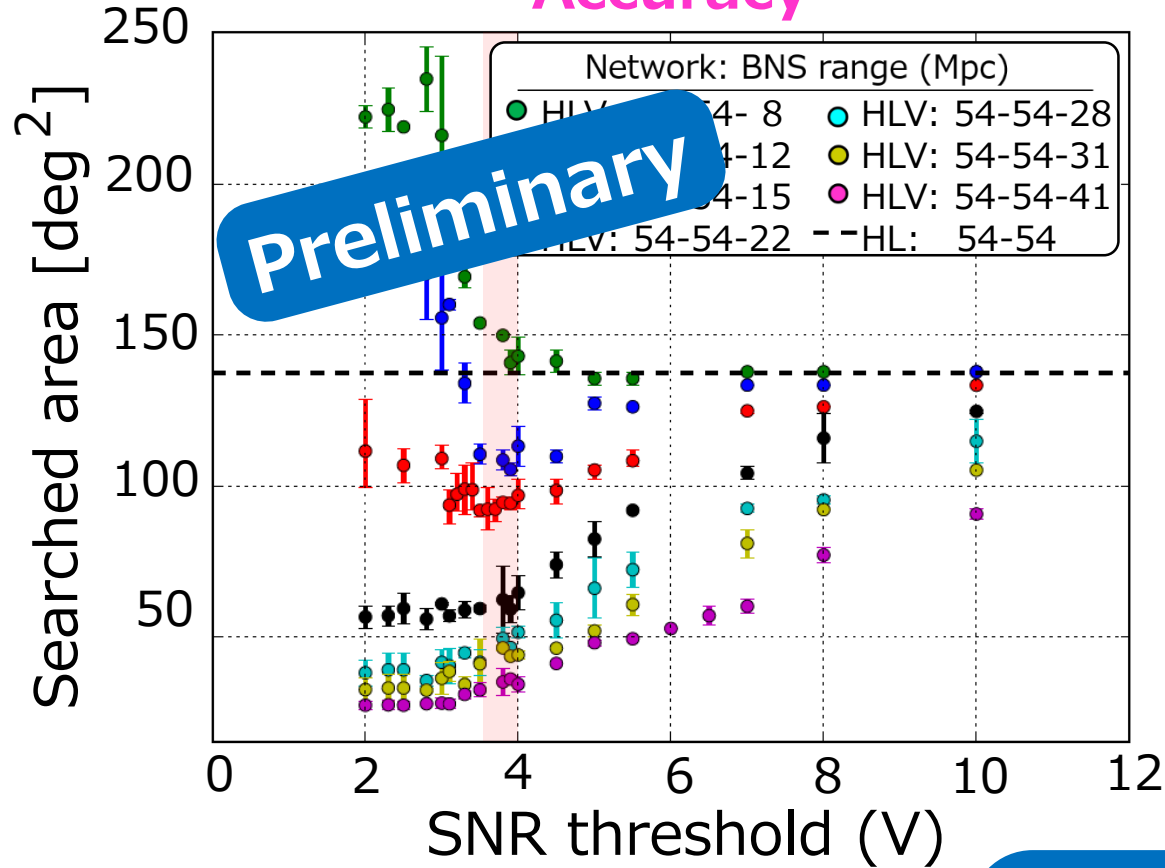
階層的な観測ネットワーク by;
HL: 54-54 Mpc, SNR threshold = 5,
V : >12 Mpc, SNR threshold ~ 3.5



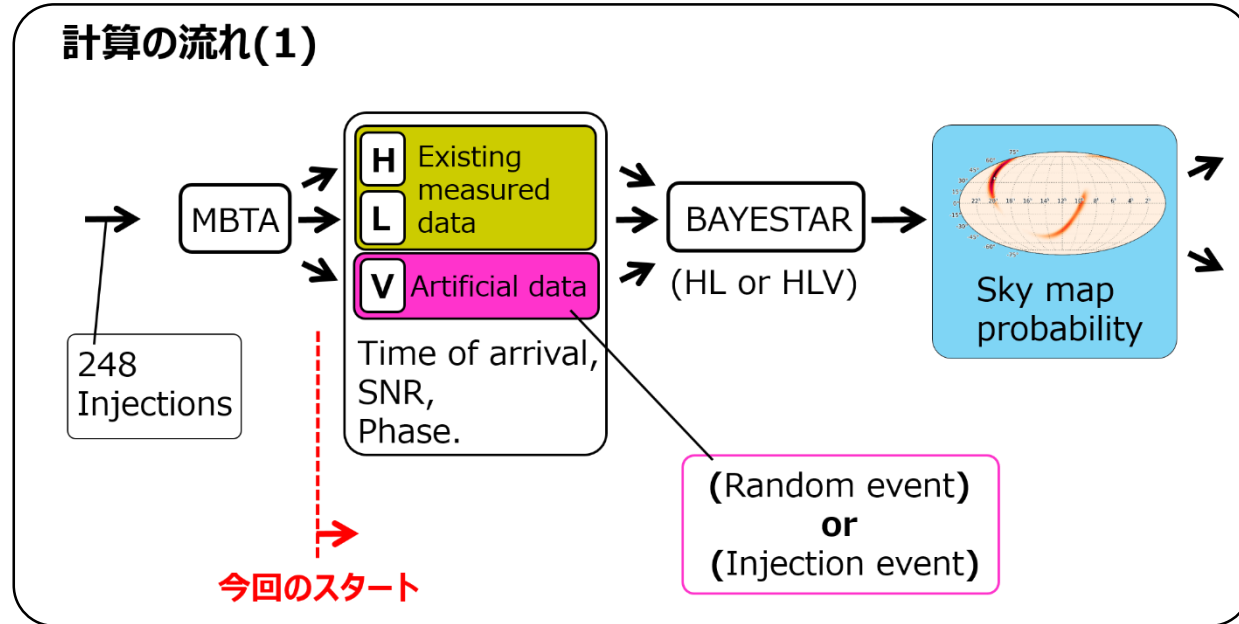
早期方向特定の
パフォーマンス向上が可

パフォーマンス (by HLV & HL):

Accuracy



計算の流れ(1)



Accuracy は、
より小さくなる方向へ

まとめ:

HLVによる方向特定パフォーマンスの見積もり:

階層的な観測ネットワークを用いると、
Virgo の BNS range が 12 Mpc(/54Mpc)より高ければ、
V threshold ~ 3.5 のとき the accuracy & precision は最適。
→ コミッショニング進行中の低感度の検出器を有効に利用可。

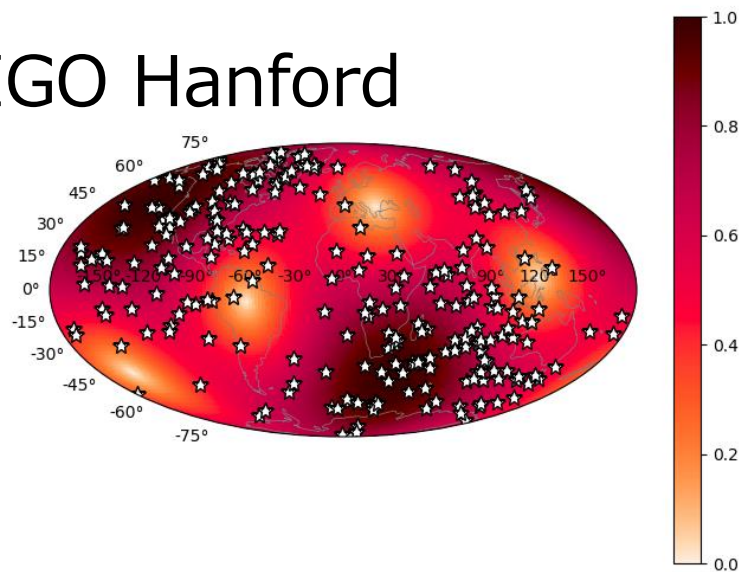
Ongoing & next step:

- V-trigger の作り方の見直し
- KAGRAを含めた方向特定のパフォーマンス
- 解析データを用いた方向特定のパフォーマンス
 - by HLV による階層的な観測ネットワーク
 - by HV-/LV- によるダブル-コインシデンス

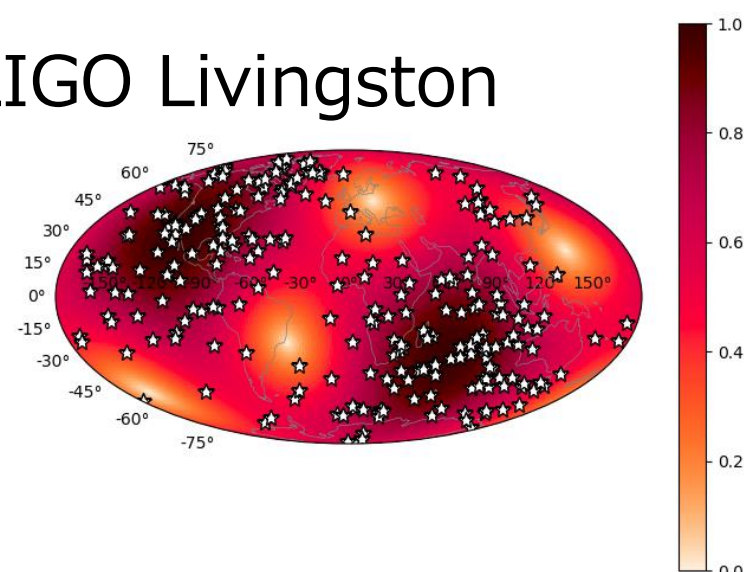
Backup

各検出器のアンテナパターン

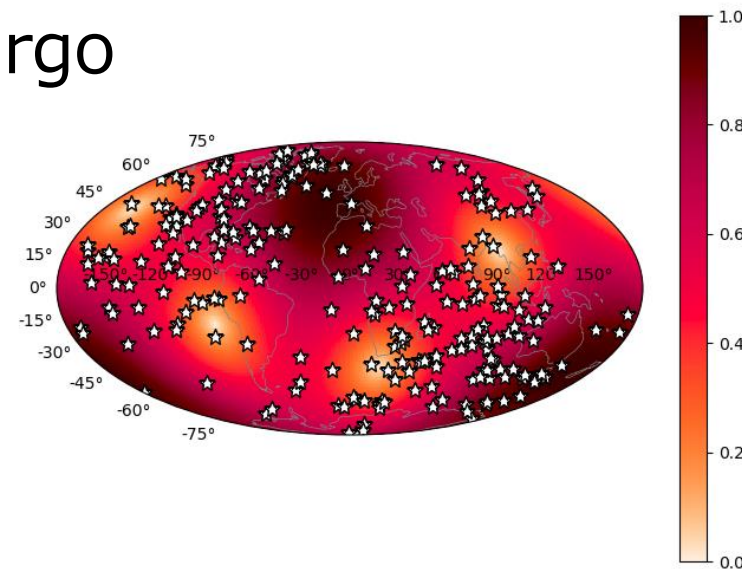
LIGO Hanford



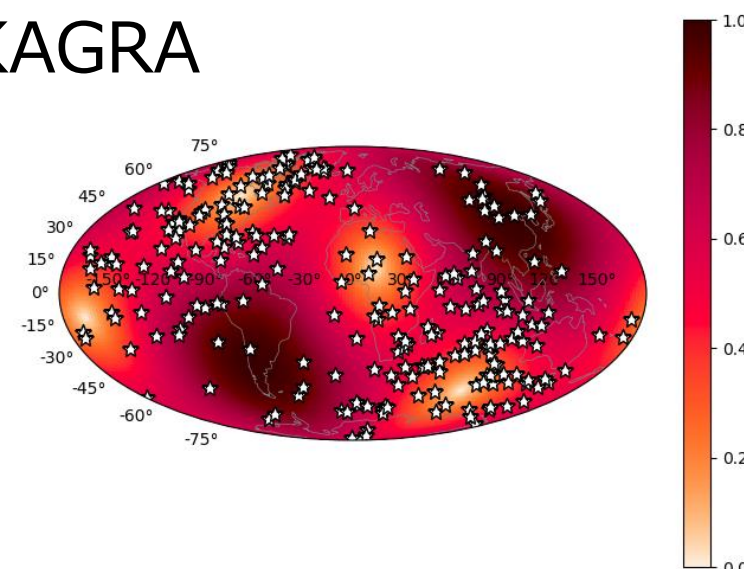
LIGO Livingston



Virgo



KAGRA



Generating & mixing artificial V triggers

2. Mixing HLV triggers

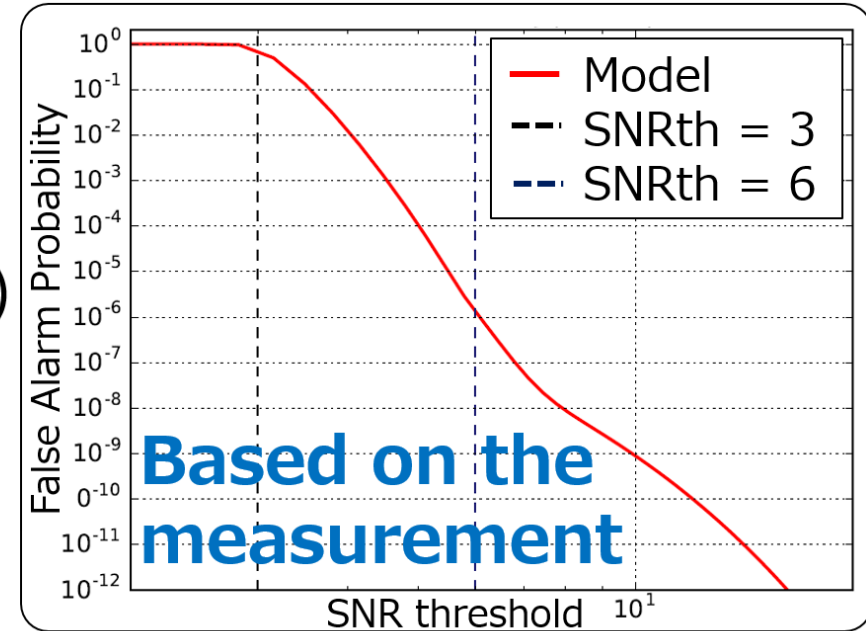
$p = \text{random } [0:1]$

$FAP = FAP(SNR) \text{ or } FAP(SNR_{th})$

$p < FAP \rightarrow HLV_r$

$p > FAP \text{ \& } SNR > SNR_{th} \rightarrow HLV_i$

$p > FAP \text{ \& } SNR < SNR_{th} \rightarrow HL$



Generating & mixing artificial V triggers

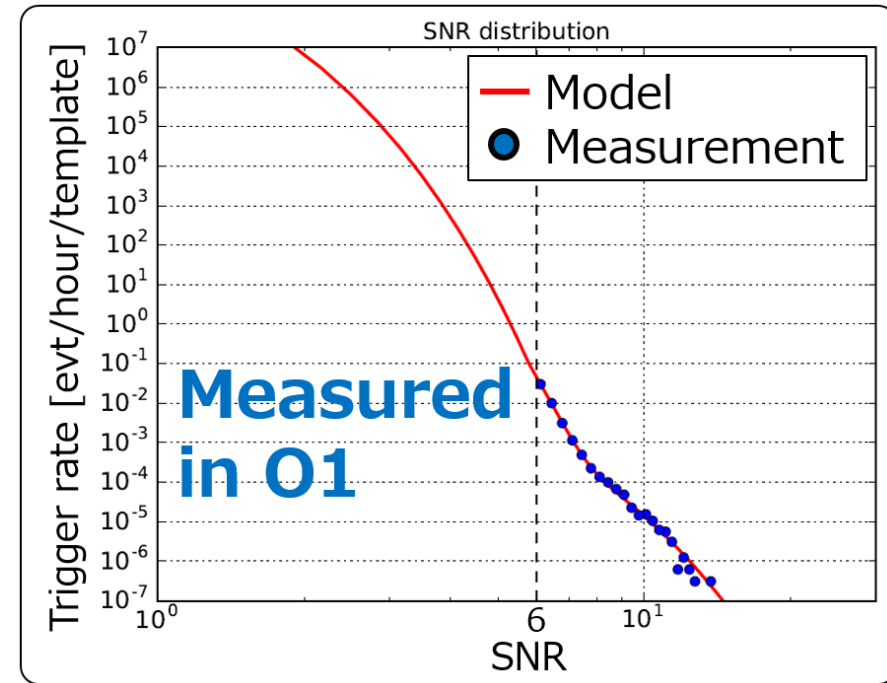
1. Generating V triggers

V_r : V trigger based on random parameters

SNR = random following measurement ←

$Time$ = t_{H1} or t_{L1}
+ random $[-35\text{ms}:35\text{ms}]$

$Phase$ = random $[0:2\pi]$



V_i : V trigger based on injection parameters

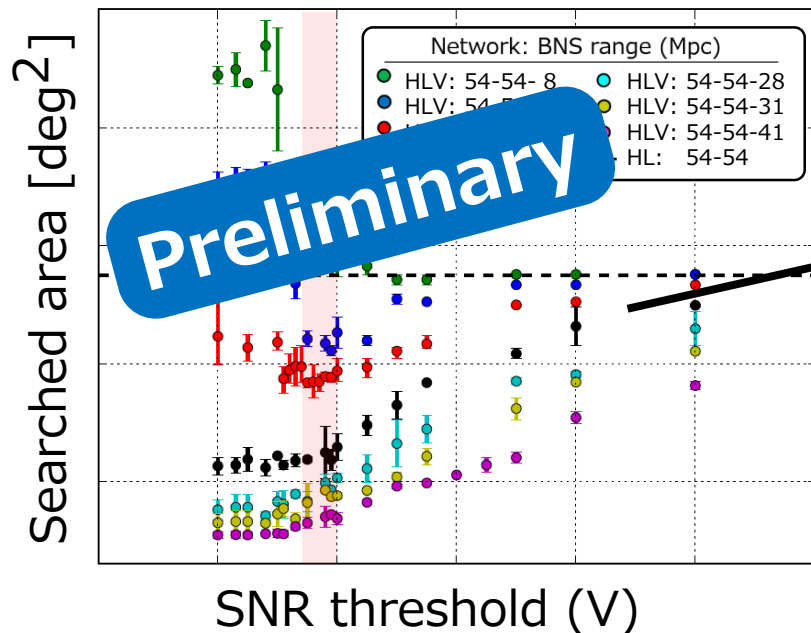
SNR = metadata + Gauss(0,1)

$Time$ = metadata + Gauss(0, $0.66 \text{ ms} * \frac{6}{SNR}$)

$Phase$ = metadata + Gauss(0, 0.25 rad)

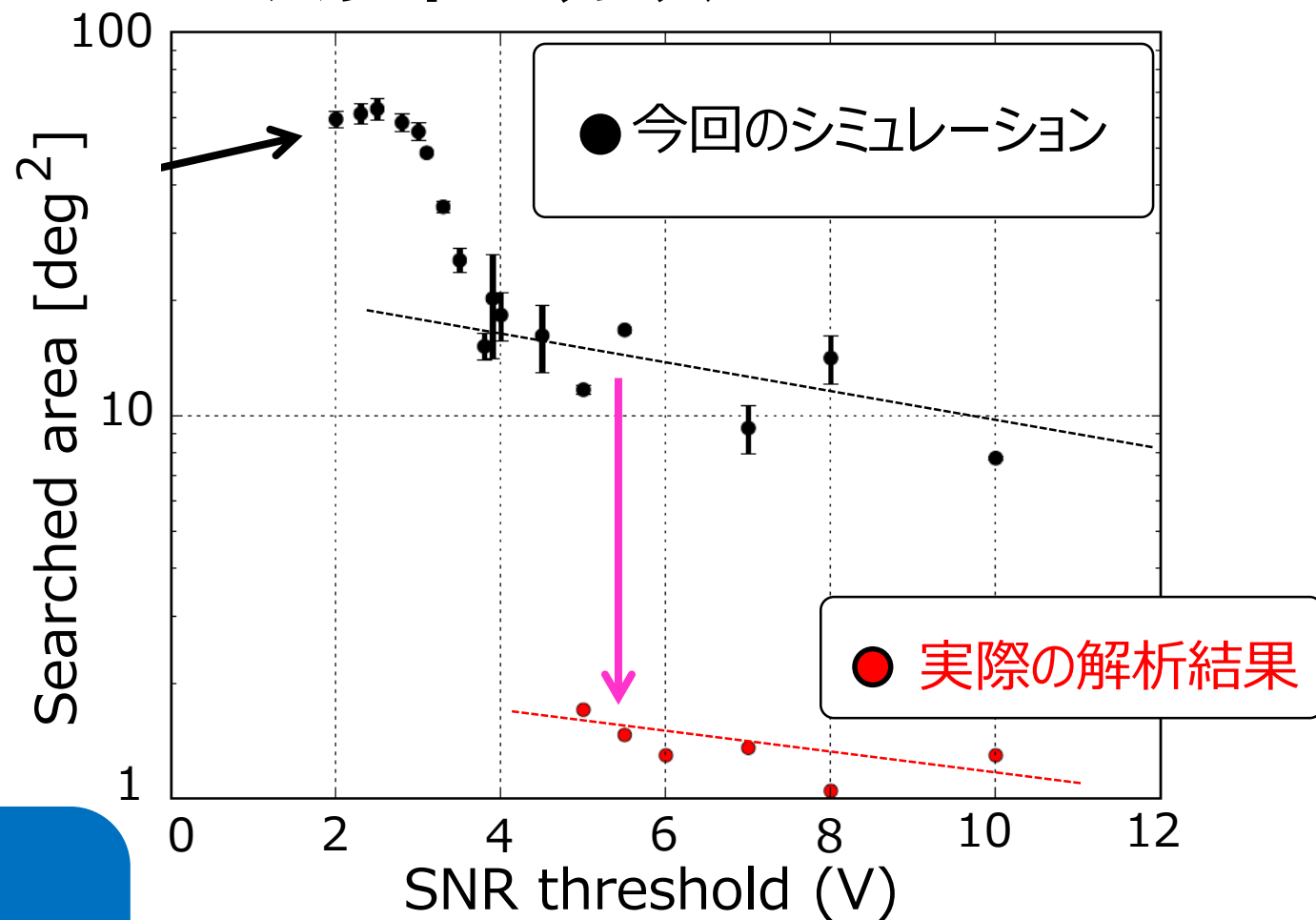
パフォーマンス (by HLV):

Accuracy

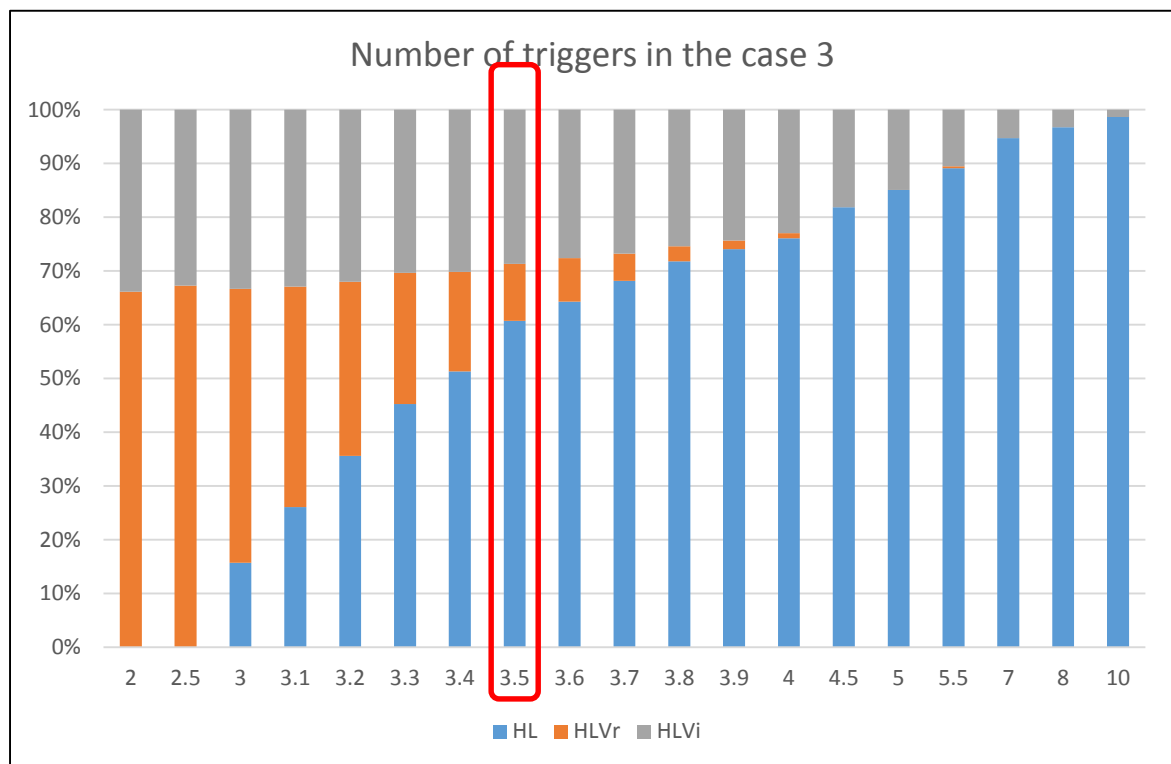


Accuracy は、
より小さくなる方向へ

HLV-triple のみの パフォーマンス :



Trigger population:



	HLVi = HL + Vinjection	29 %
	HLVr = HL + Vrandom	11 %
	HL	60 %

3.5

Ongoing project1: double coincidence search

内容： 感度が異なる場合の、
Advanced-LIGO (1台, 54 Mpc),
advanced-Virgo (1台, 21 Mpc)
(計2台)を用いた早期方向特定の方法は？

- FAR を変えないように、
LIGO の threshold をより高く、
Virgo の threshold をより低くする。
- そのパフォーマンスは？

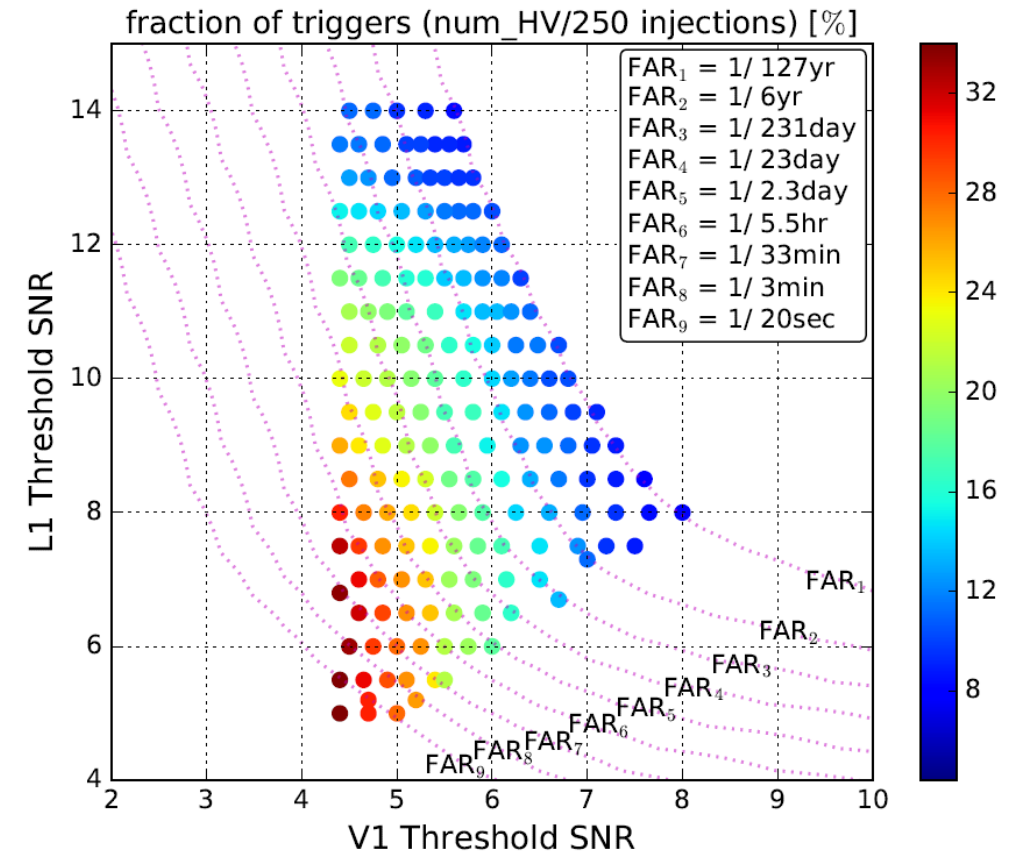
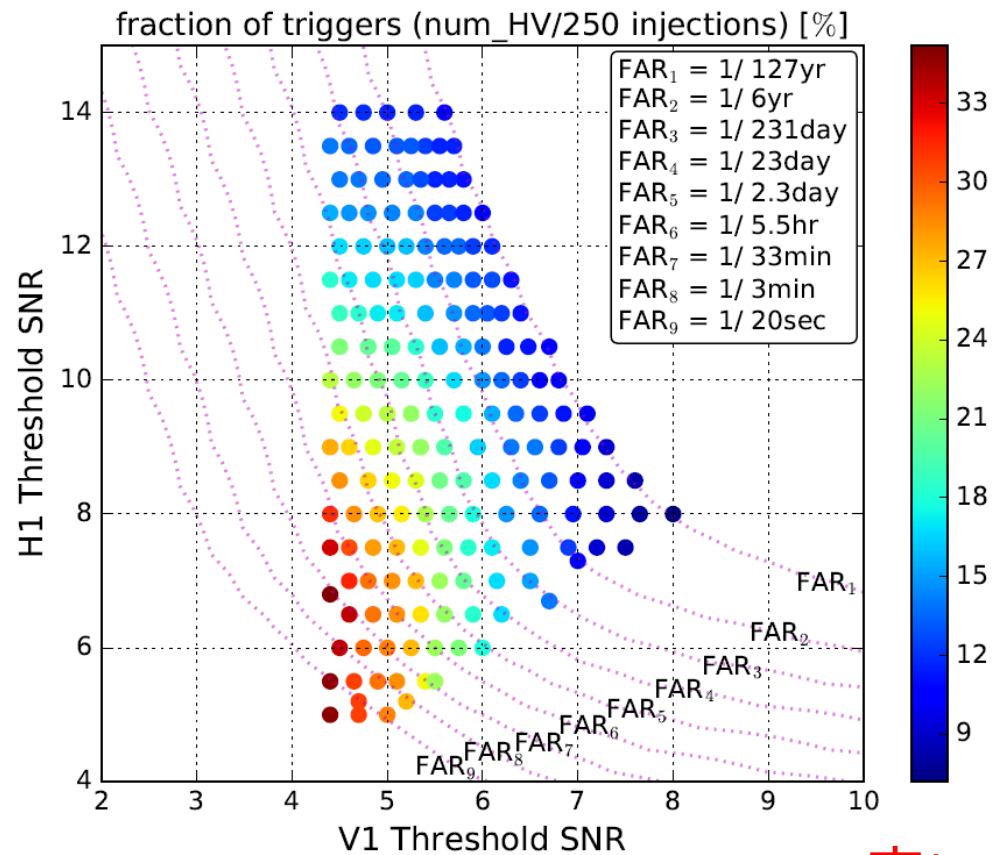
Ongoing project1: double coincidence search

Efficiency

HV-performance

vs.

LV-performance



赤い方がよい。

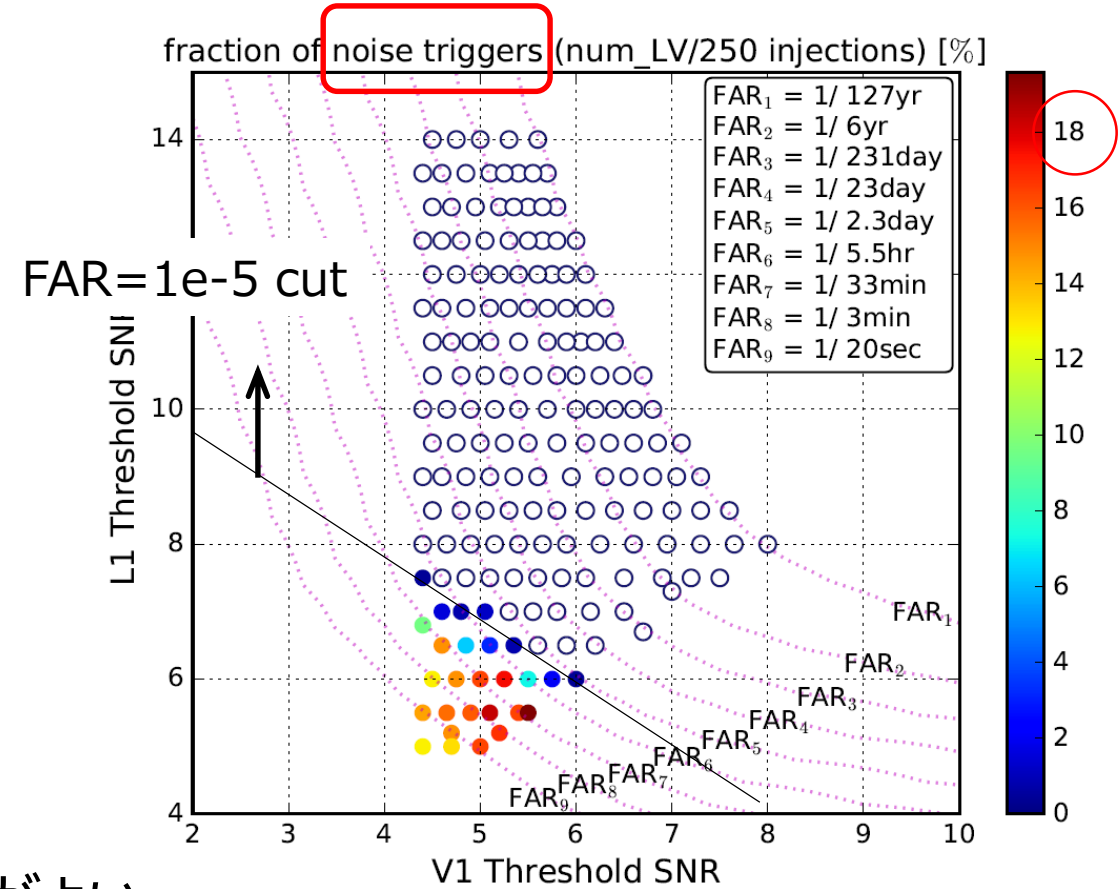
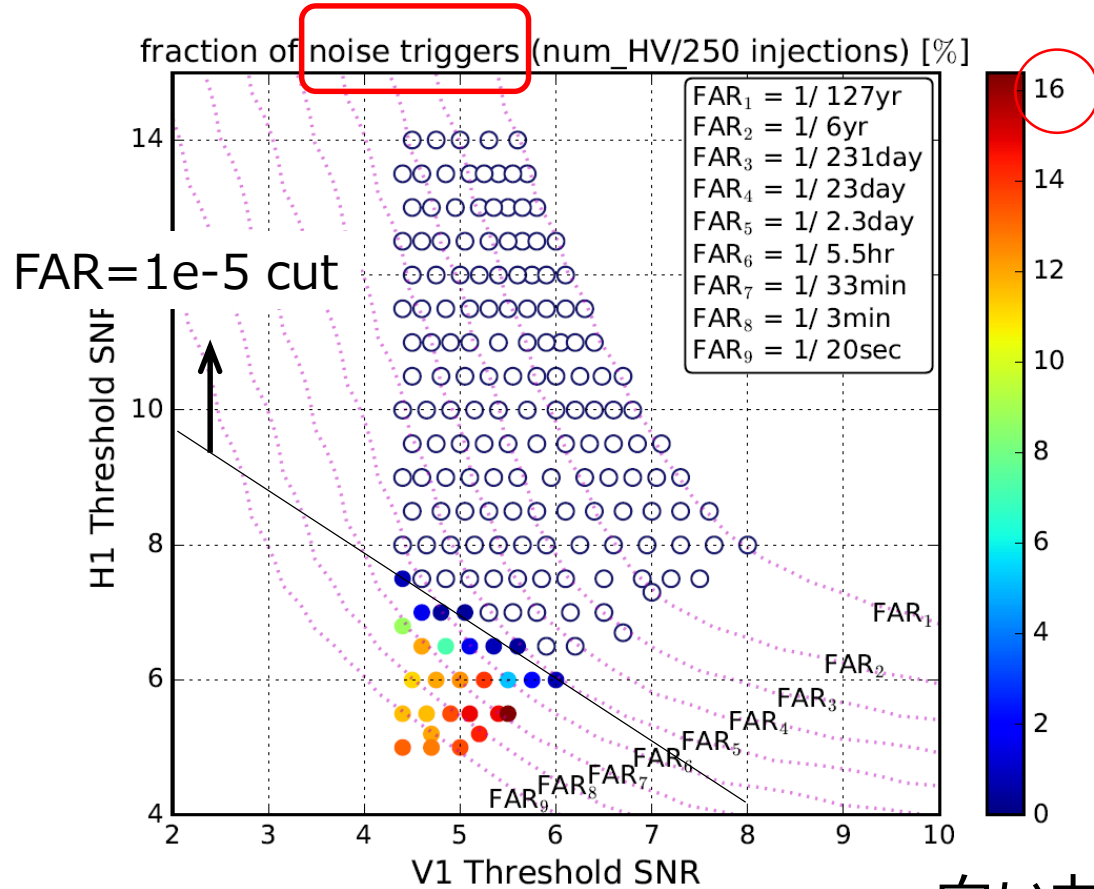
Ongoing project1: double coincidence search

Efficiency of noise triggers

HV-performance

vs.

LV-performance



白い丸がよい。

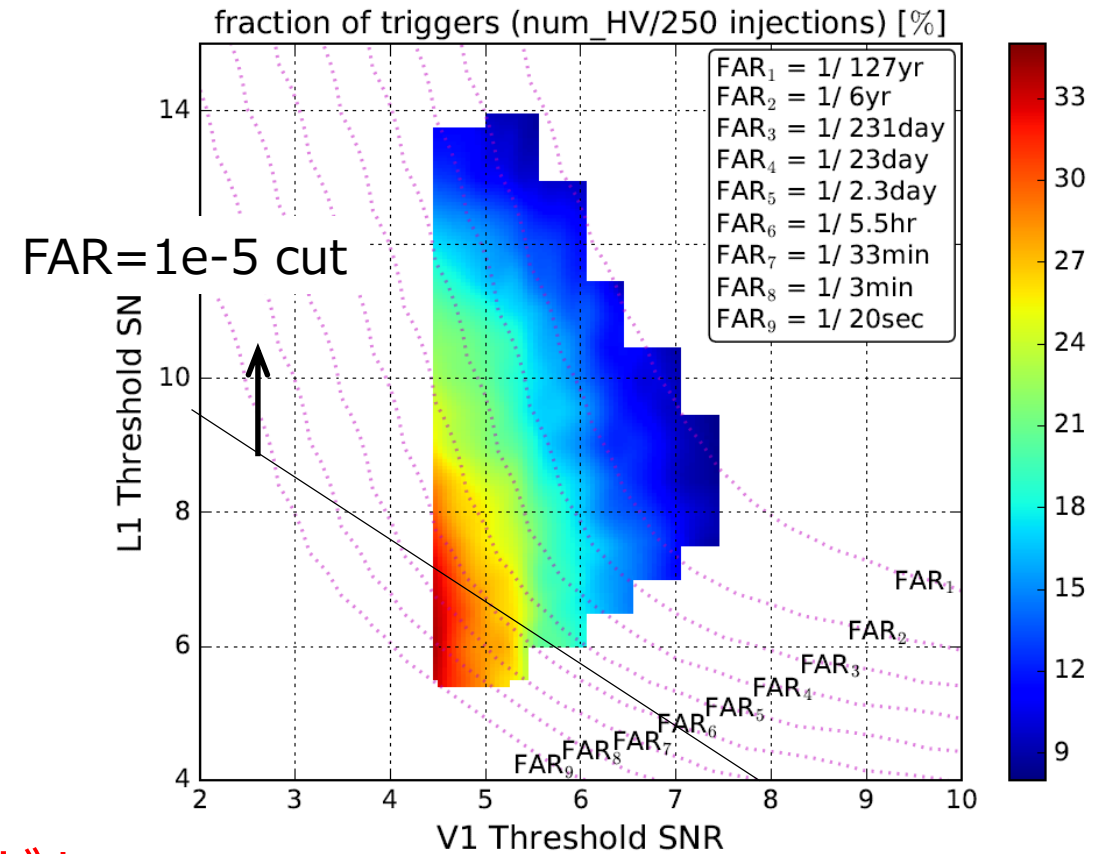
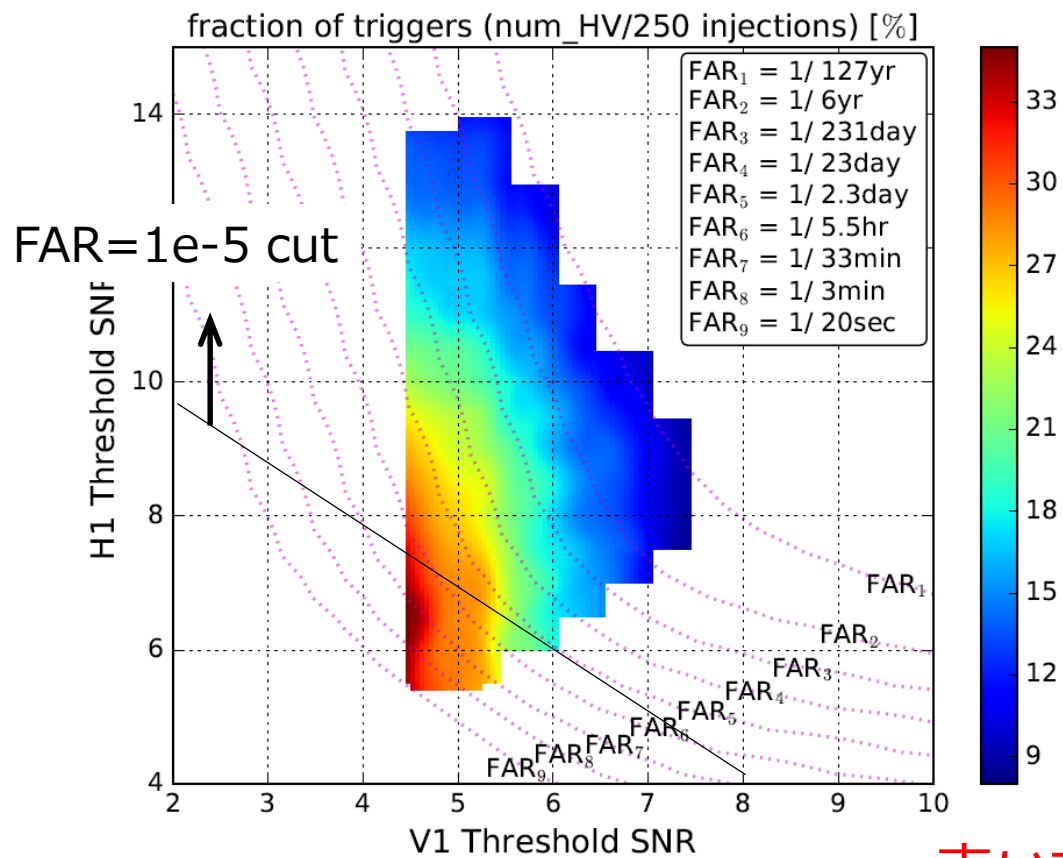
Ongoing project1: double coincidence search

Efficiency (interpolated)

HV-performance

vs.

LV-performance



赤い方がよい。

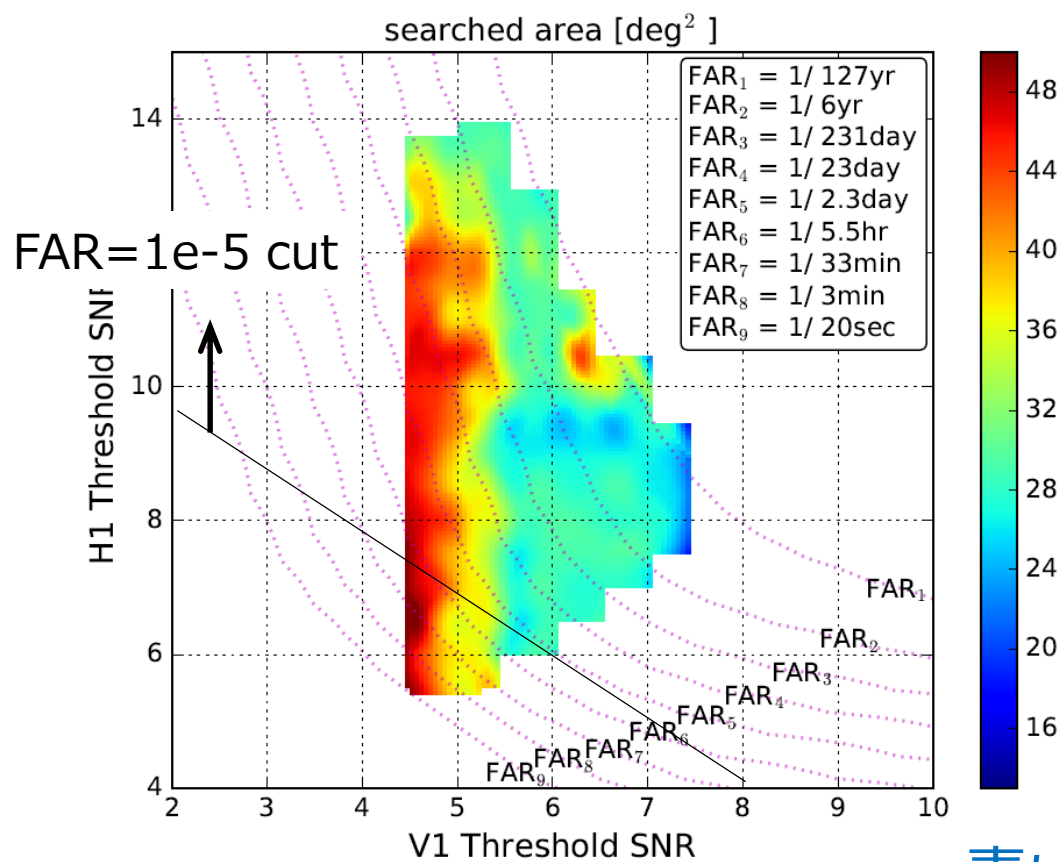
Ongoing project1: double coincidence search

Searched area (interpolated)

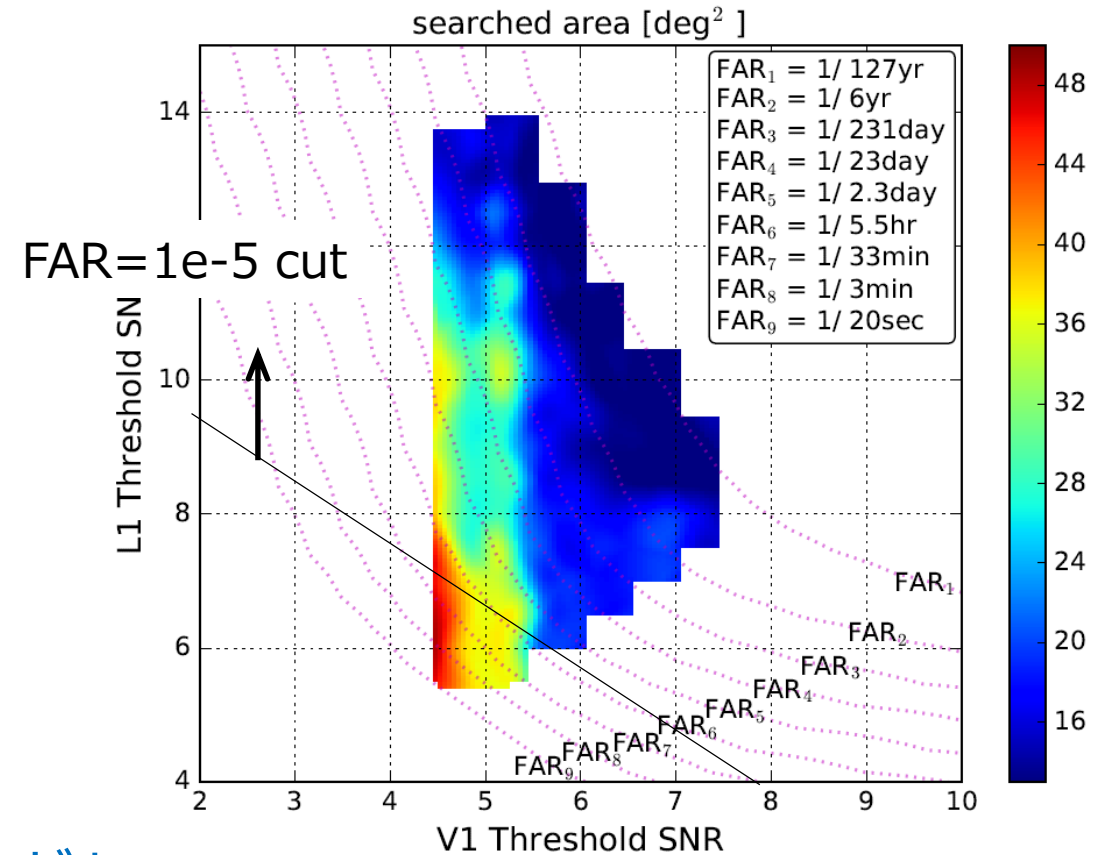
HV-performance

vs.

LV-performance



青い方がよい。



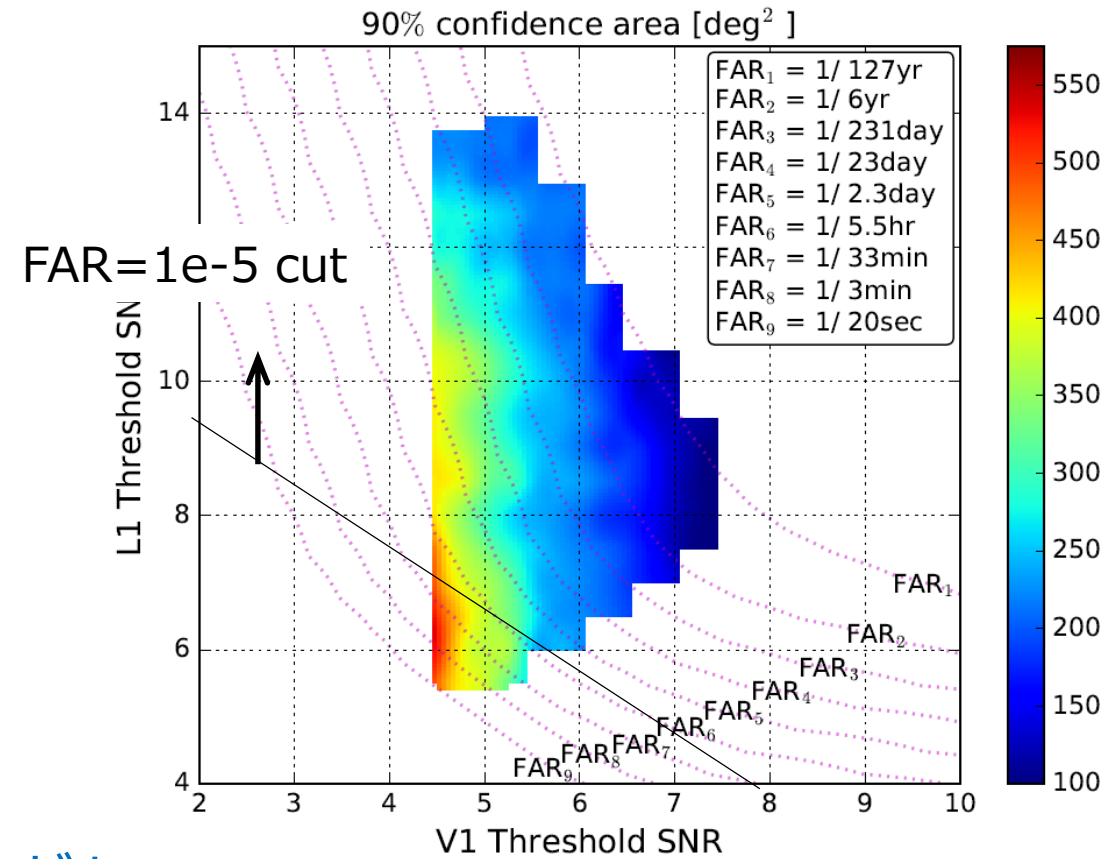
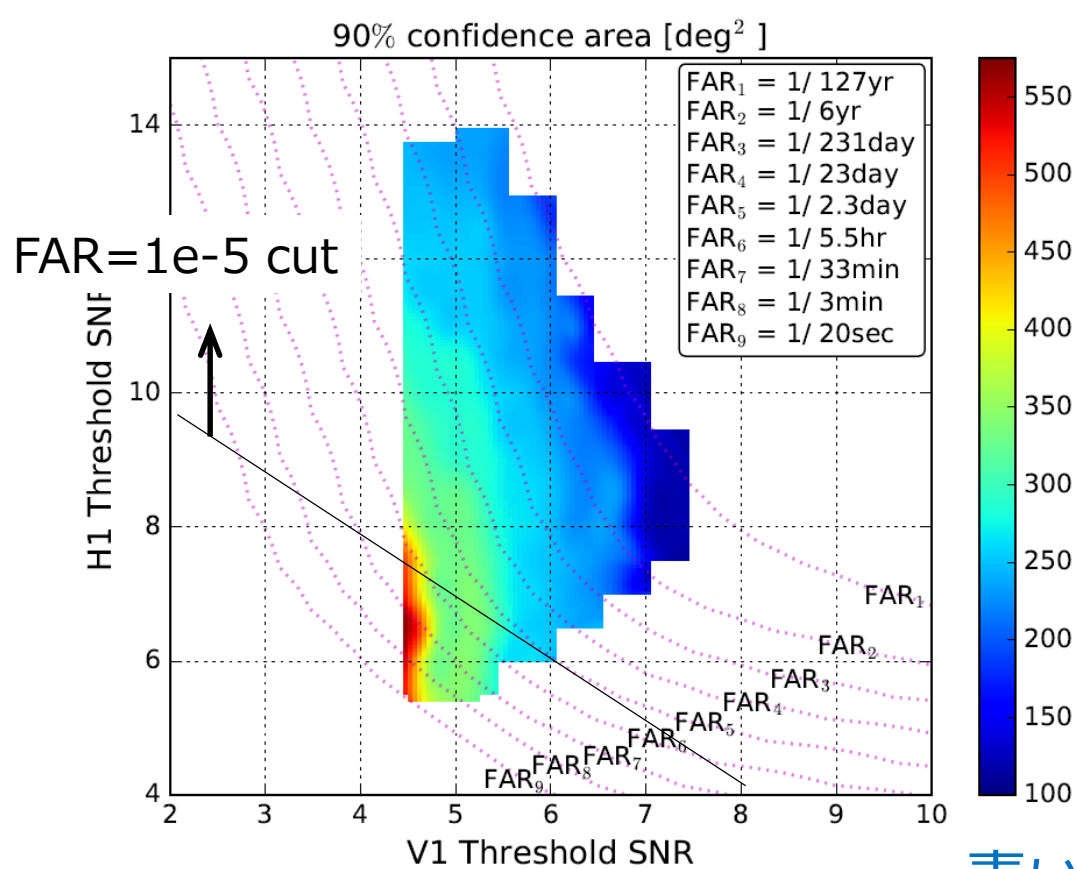
Ongoing project1: double coincidence search

Are90 (interpolated)

HV-performance

vs.

LV-performance



青い方がよい。

Ongoing project1: double coincidence search

内容： そのパフォーマンスは？

→ Threshold をチューンすることで、
より多くの candidate event を、
localization performance を大きく悪化させずに
見つけることができる。

Ongoing project1: double coincidence search

Next step: update lower threshold region (by online analysis)

Threshold_V1 might be higher than 3, based on the analysis time.

