

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 (II)

藤井善範

東京大学 理学系研究科 天文学専攻 博士課程2年
国立天文台 重力波プロジェクト推進室

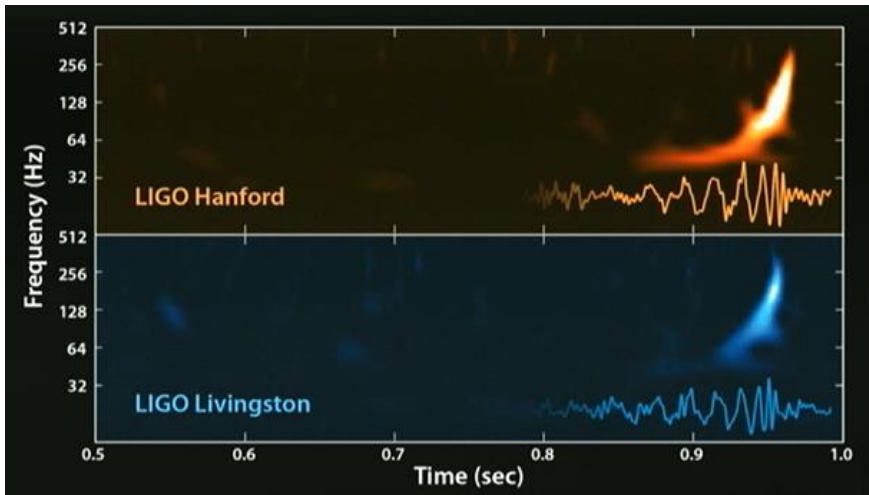
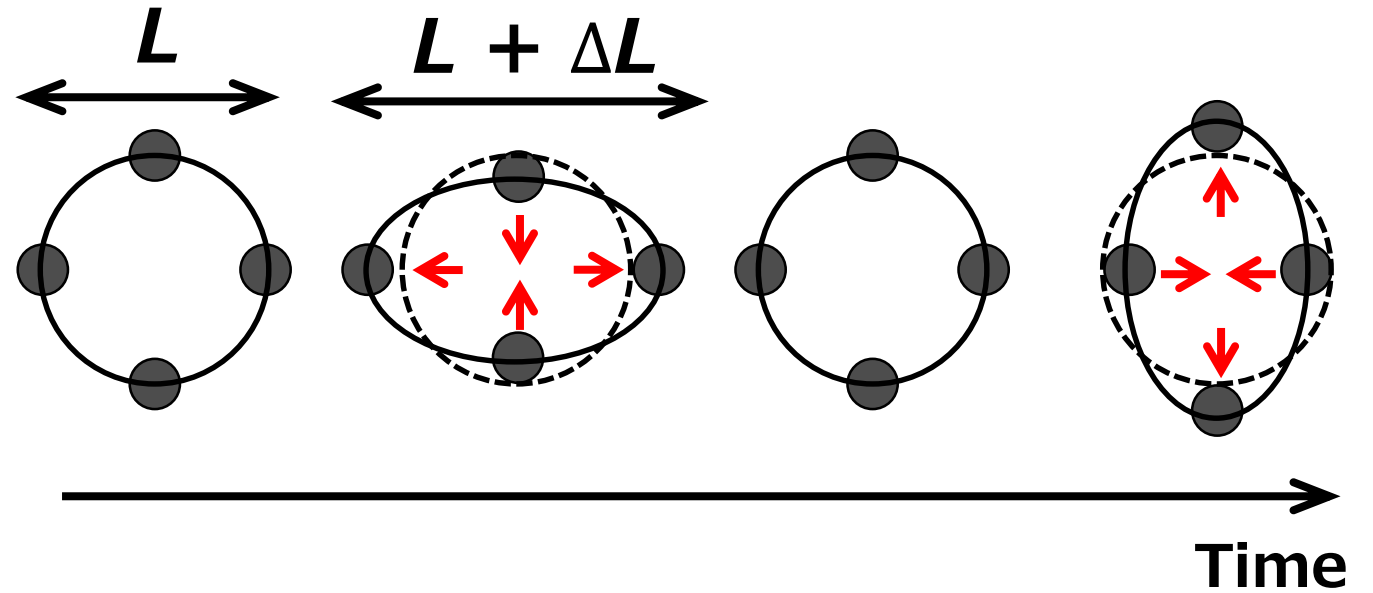
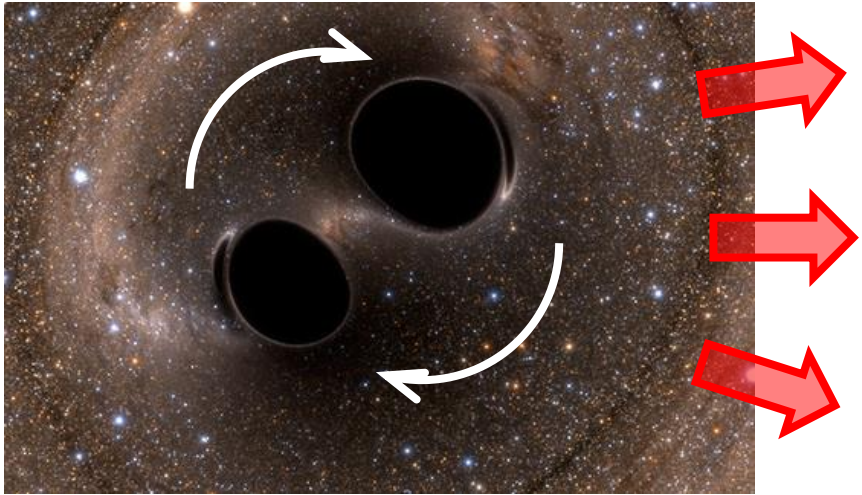
Thomas Adams, Frederique Marion(LAPP), Raffaele Flaminio(国立天文台)

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 (II)

内容： 感度が異なる場合の、
Advanced-LIGO, advanced-Virgo
KAGRA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?

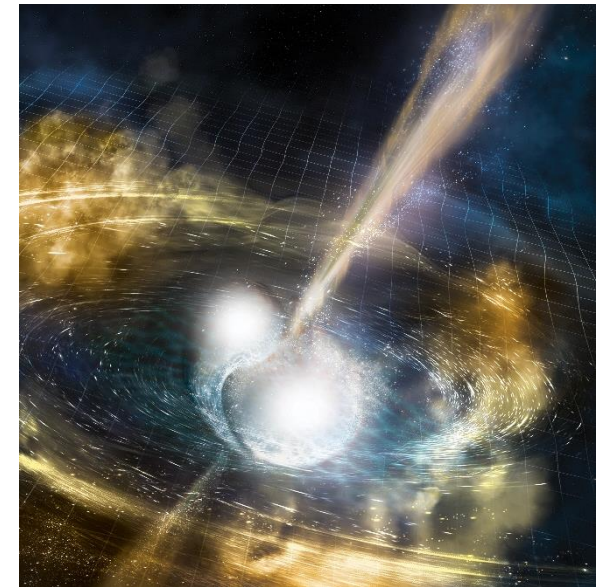
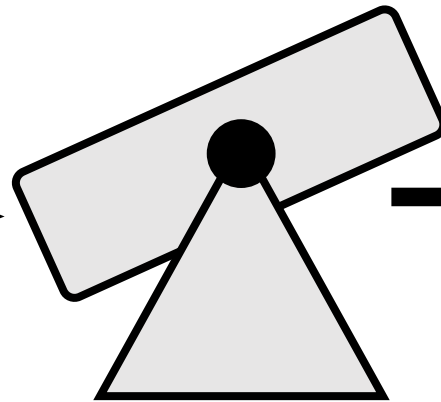
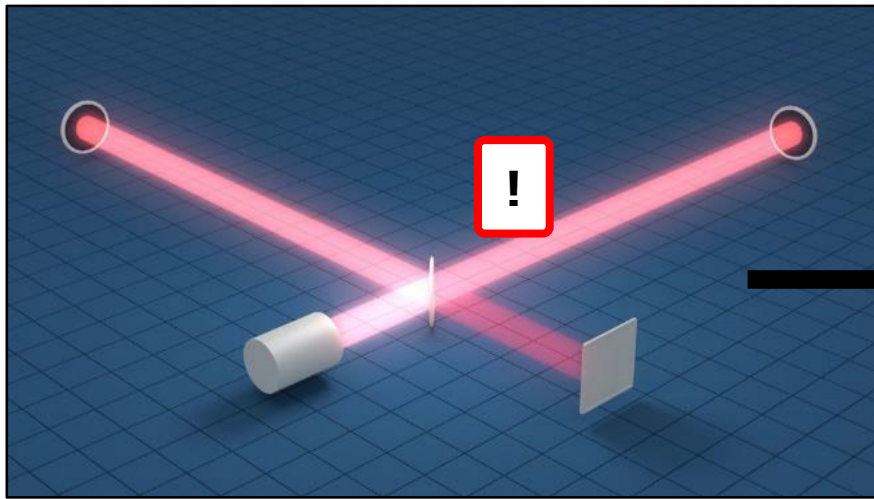


- 2015.9.14 初検出!
- BBH, BNS 検出!

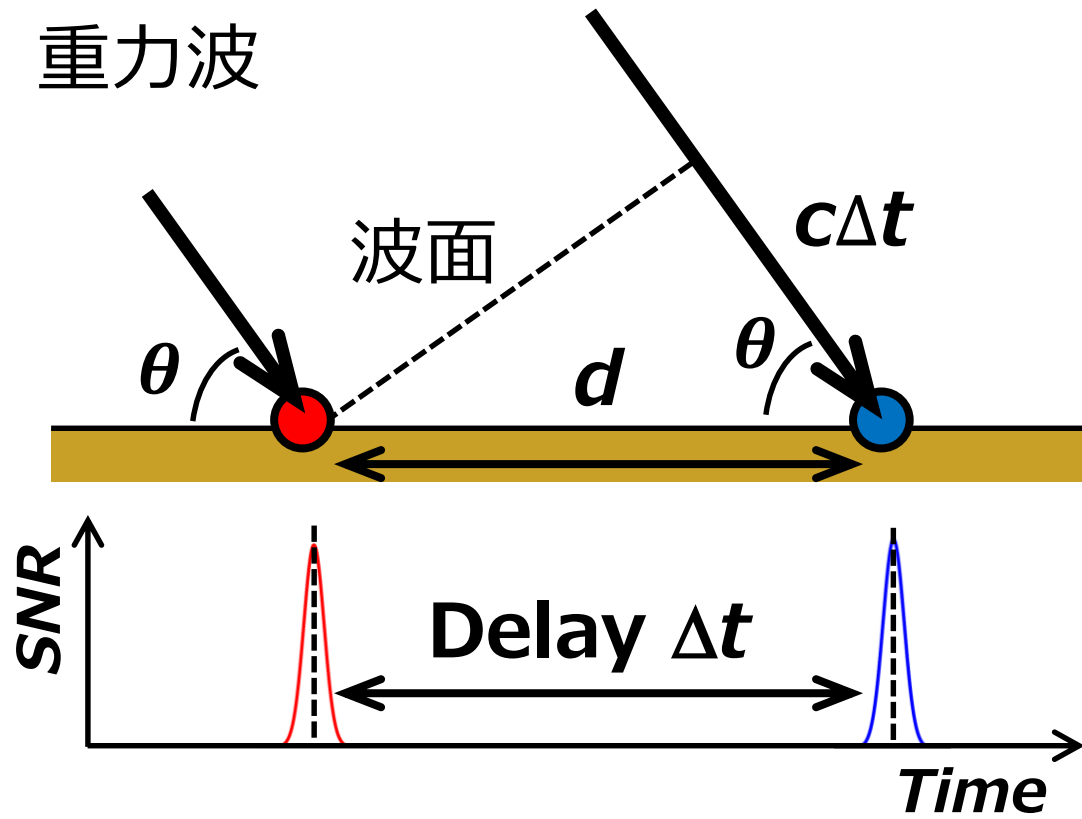
→ 新しい天文学!

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？



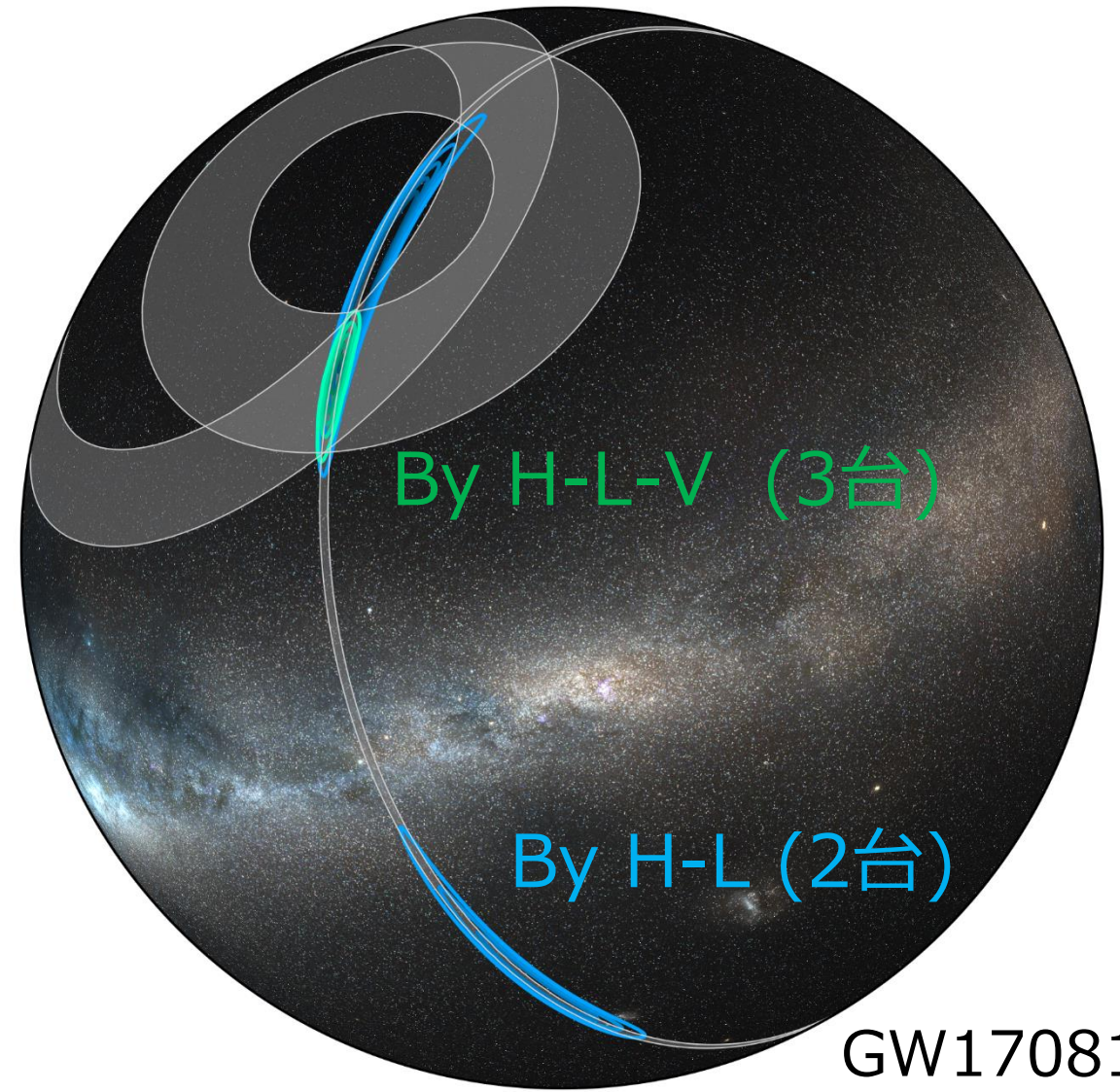
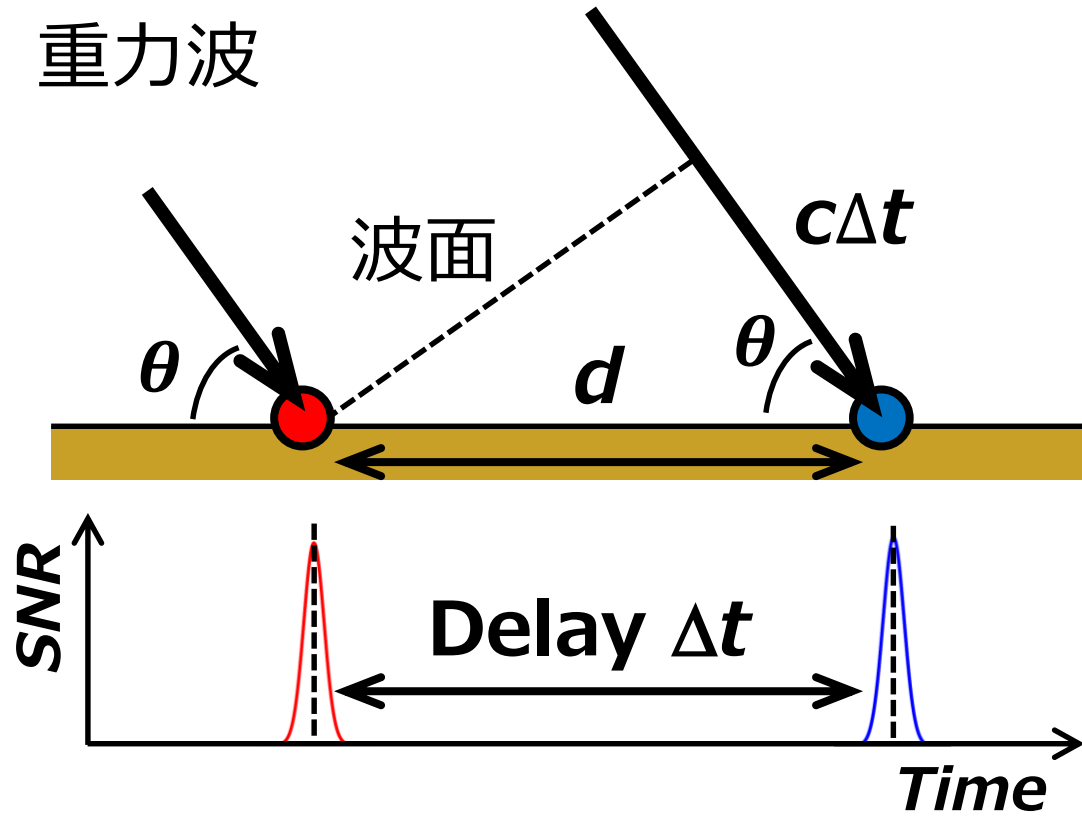
検出の時間差

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？

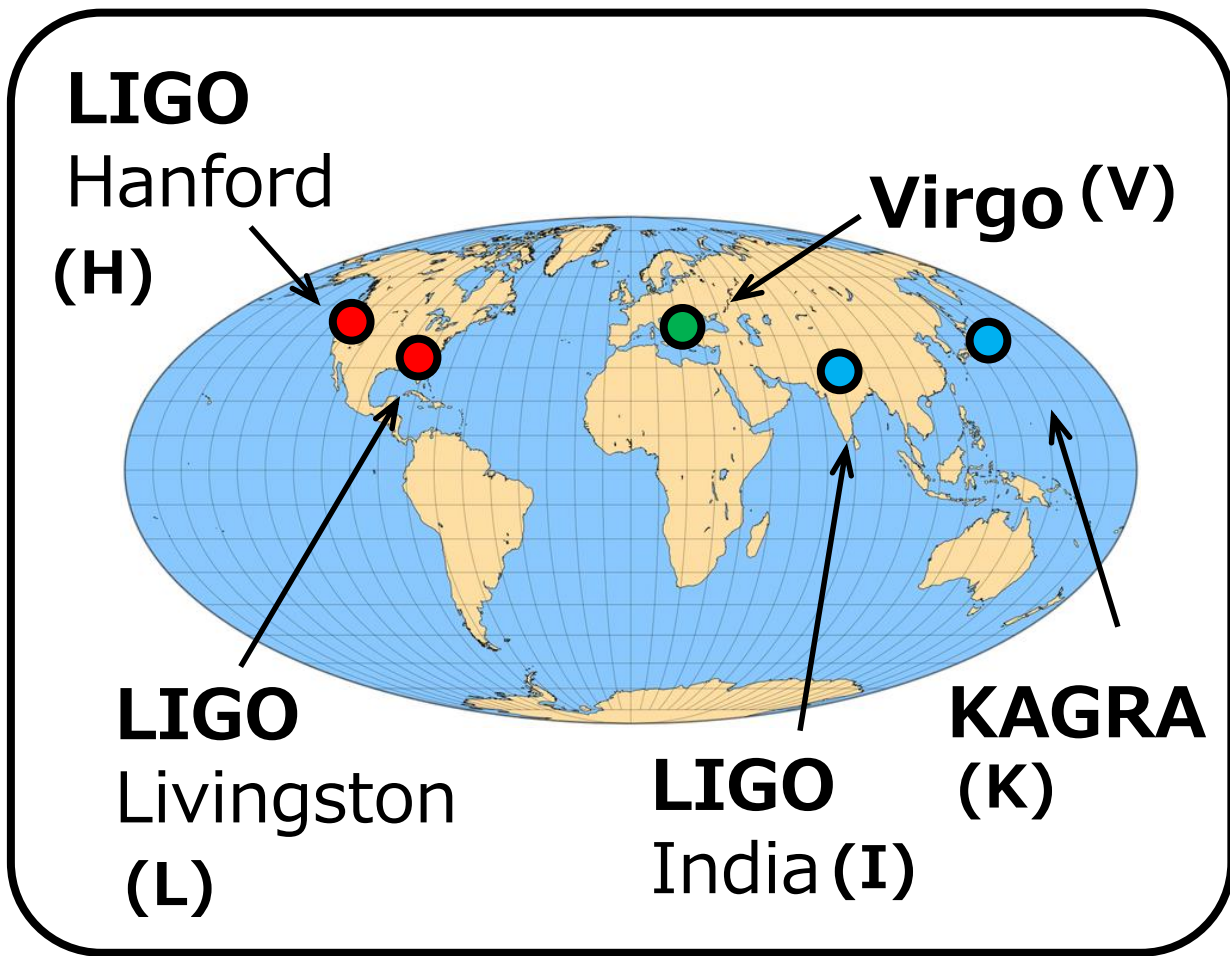
検出器が 3台あると：



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

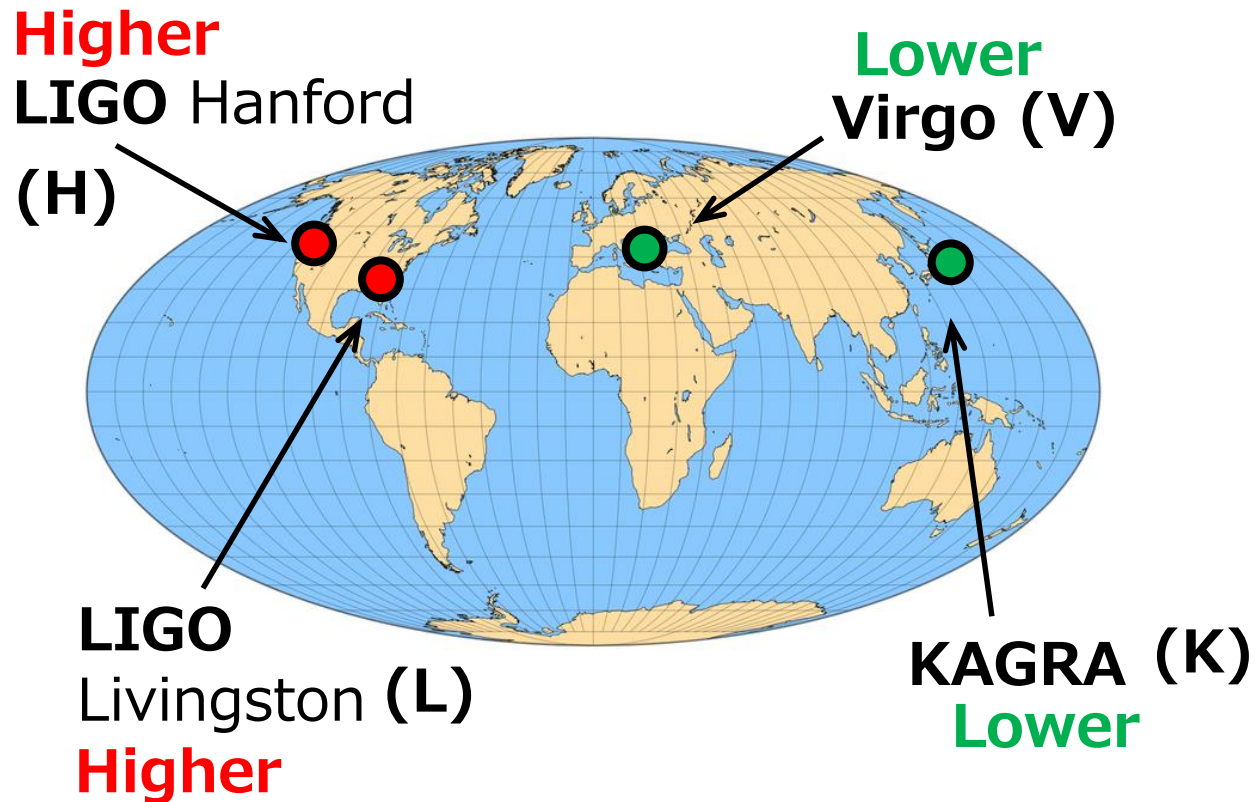


できるようになること:

- 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

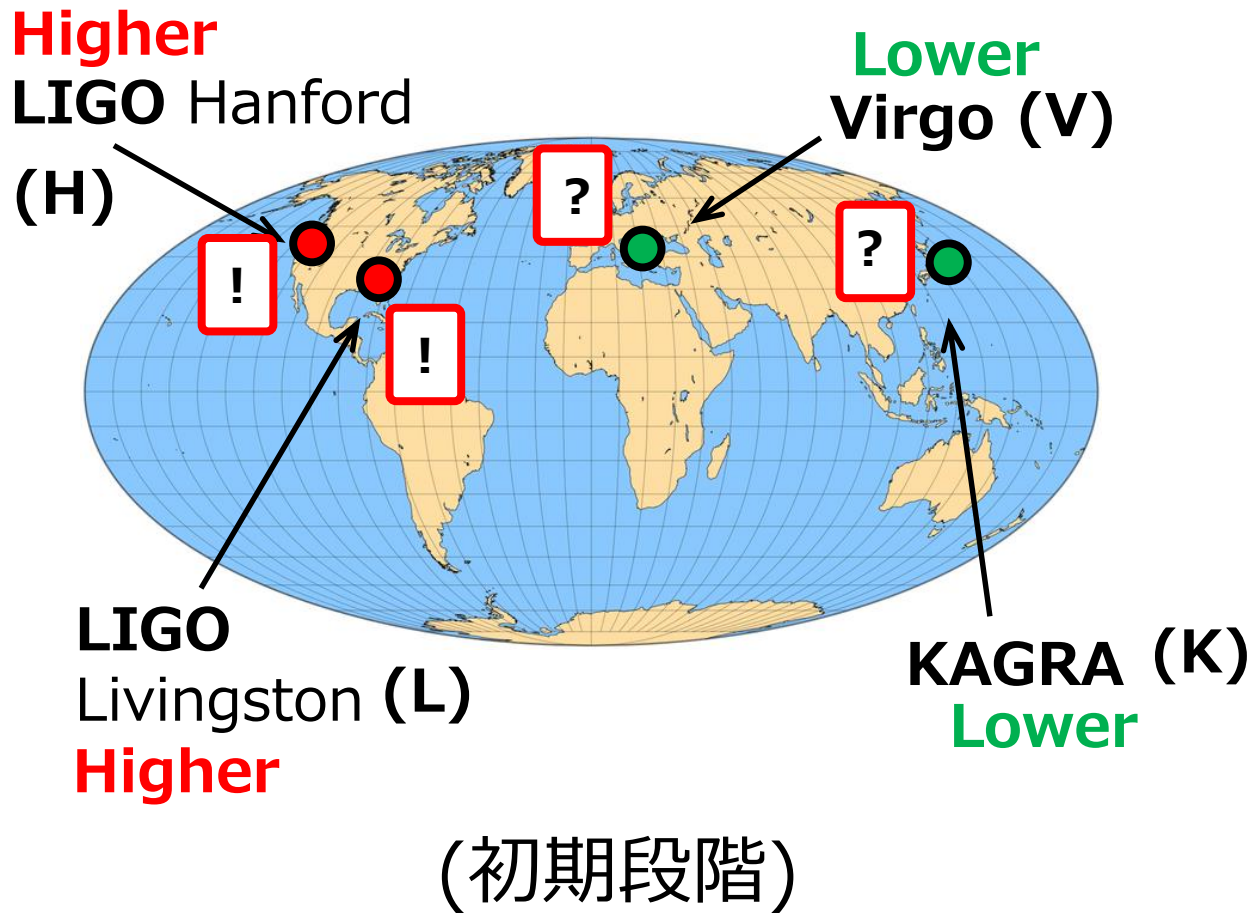
感度が異なる場合は.. ?

Ex.) $SNR > 8 \rightarrow$ 検出



(初期段階)

感度が異なる場合は.. ?



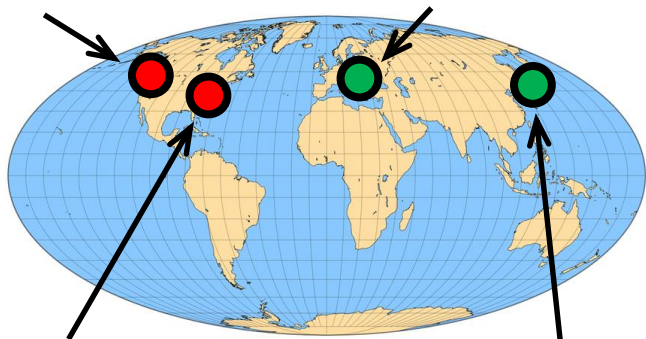
Ex.) $SNR > 8 \rightarrow$ 検出

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

Higher sensitivity
LIGO Hanford (H) Lower sensitivity
Virgo (V)



Higher sensitivity
LIGO Livingston (L) Lower sensitivity
KAGRA (K)

(初期段階)

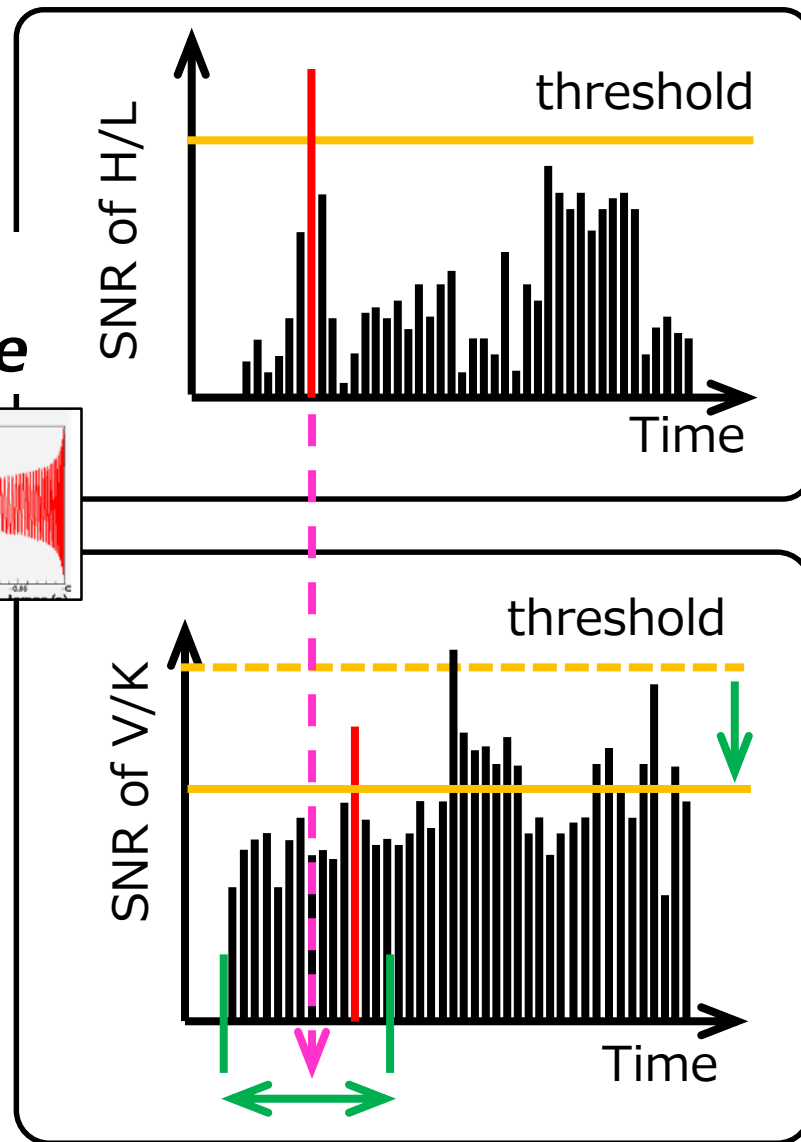
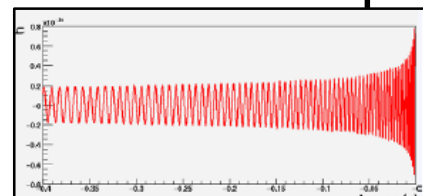
感度の良い検出器間で(H/L)
コインシデンス



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



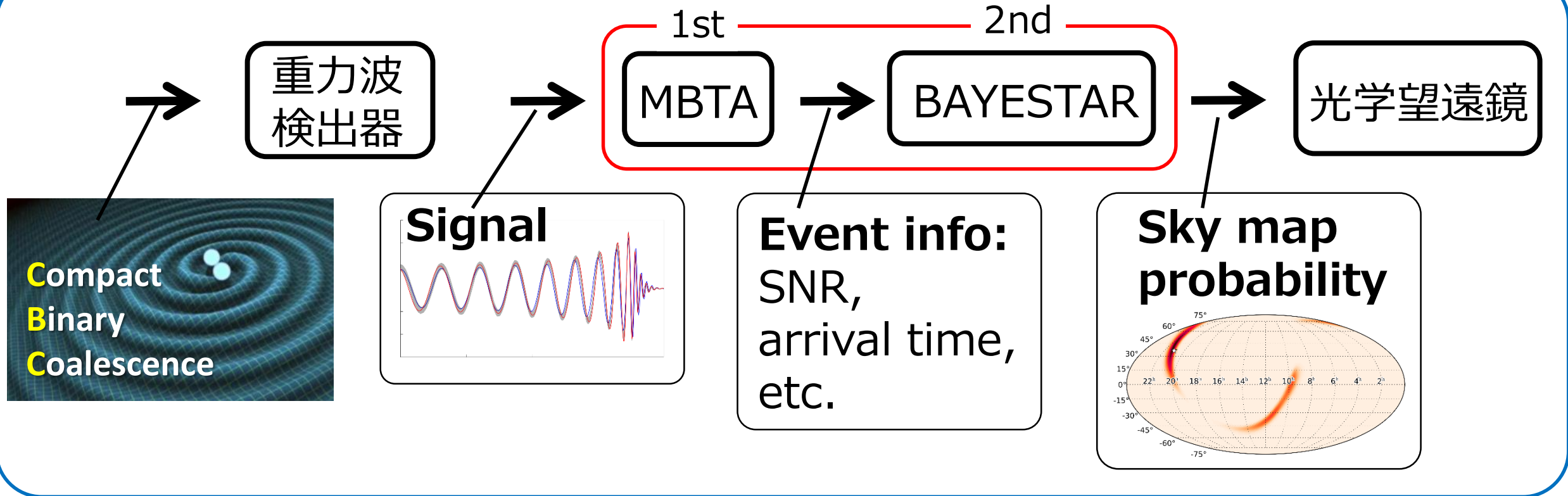
階層的な観測ネットワーク

→ このアプローチでの、方向特定のパフォーマンスは？

→ Threshold (V) と Threshold (K) は、
どこまで下げるとよい？

計算準備 :

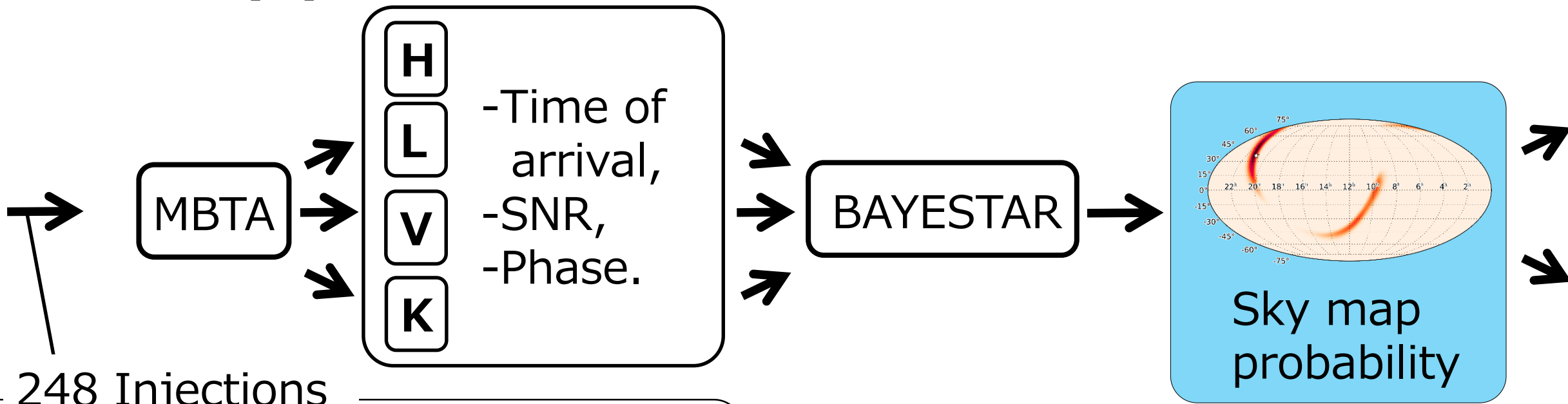
1. GW-EM パイプライン (for GWs from CBC)



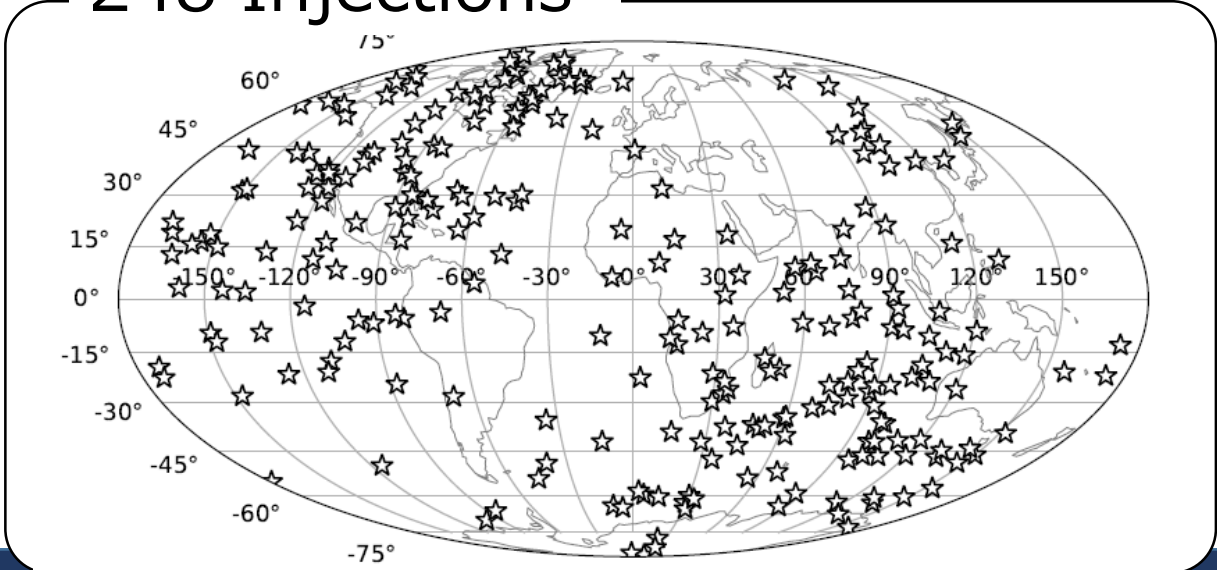
2. Two LIGOs (54 Mpc), Virgo, KAGRA (< 54 Mpc)

Higher sensitivity $\times 2$ / Lower sensitivity ($\times 2$)

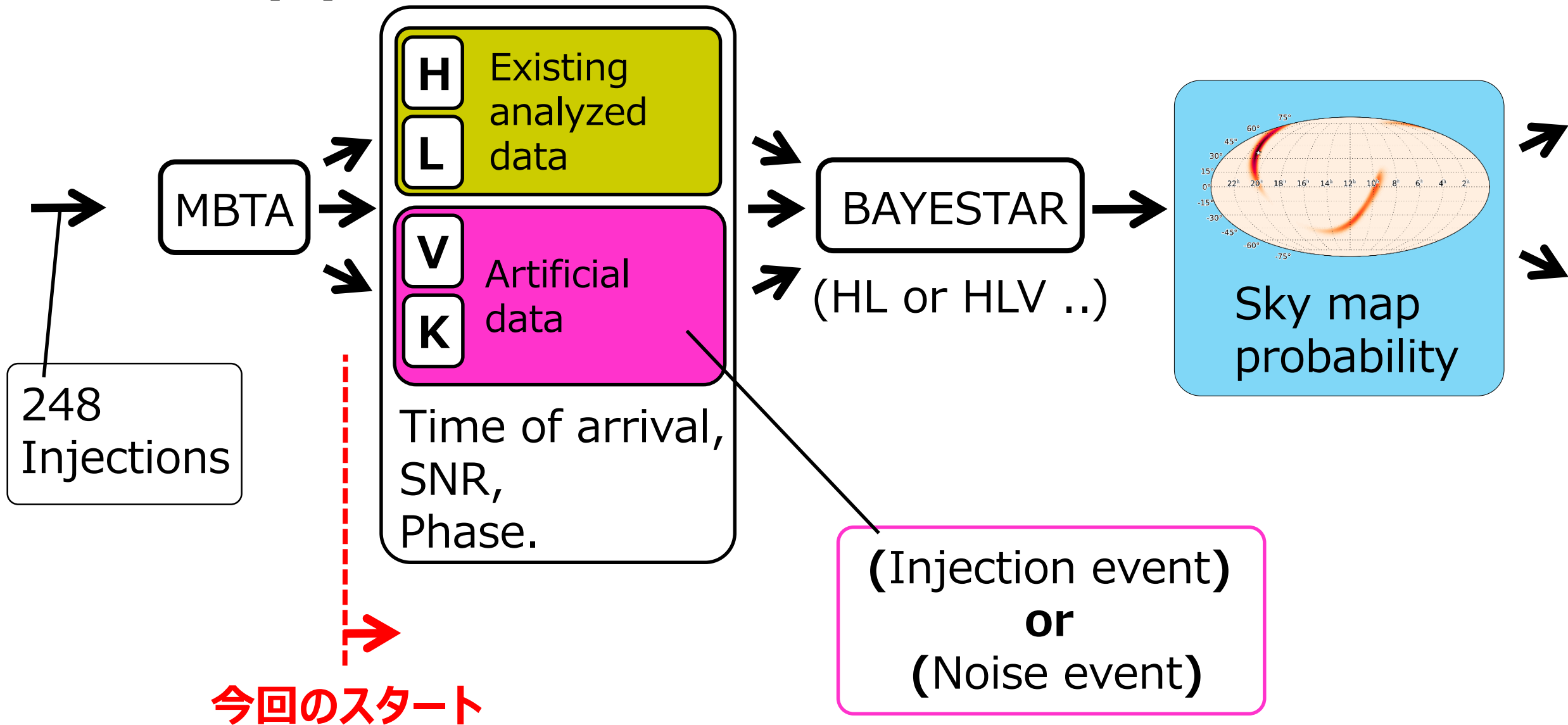
計算の流れ(1)



248 Injections



計算の流れ(1)

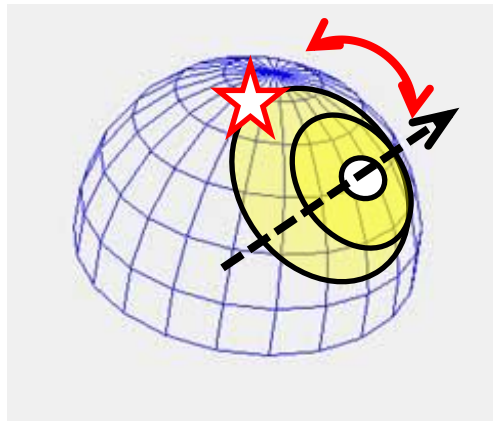


計算の流れ(2)

Localization performance

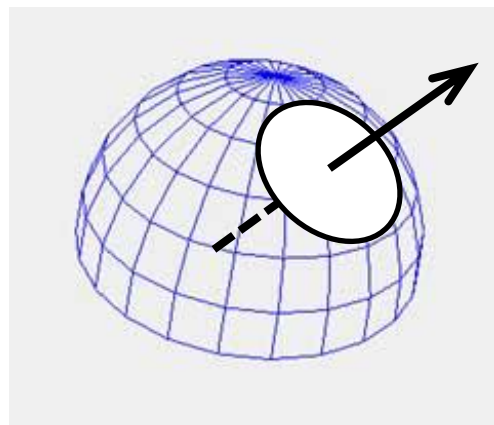
1) Accuracy

→ Searched area (deg^2)

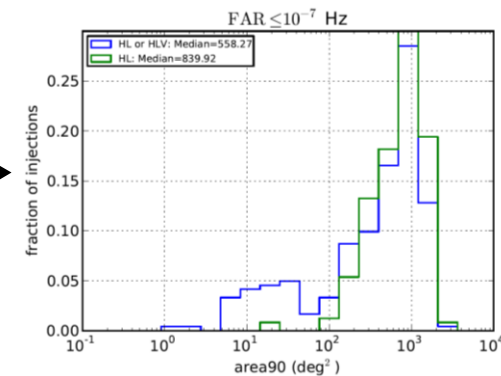
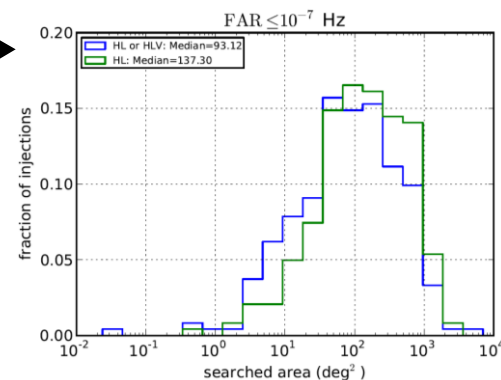


2) Precision

→ 90 % confidence area (deg^2)



ヒストグラム (248 events.)

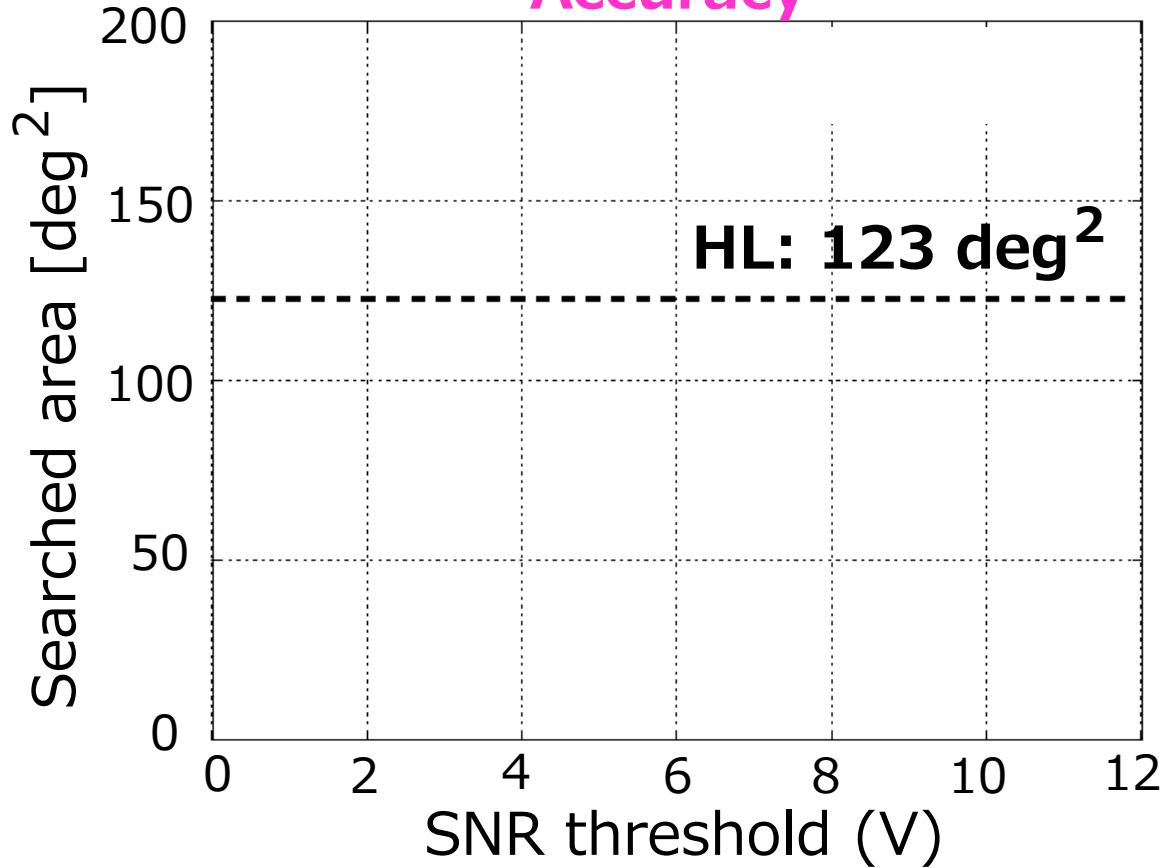


median values

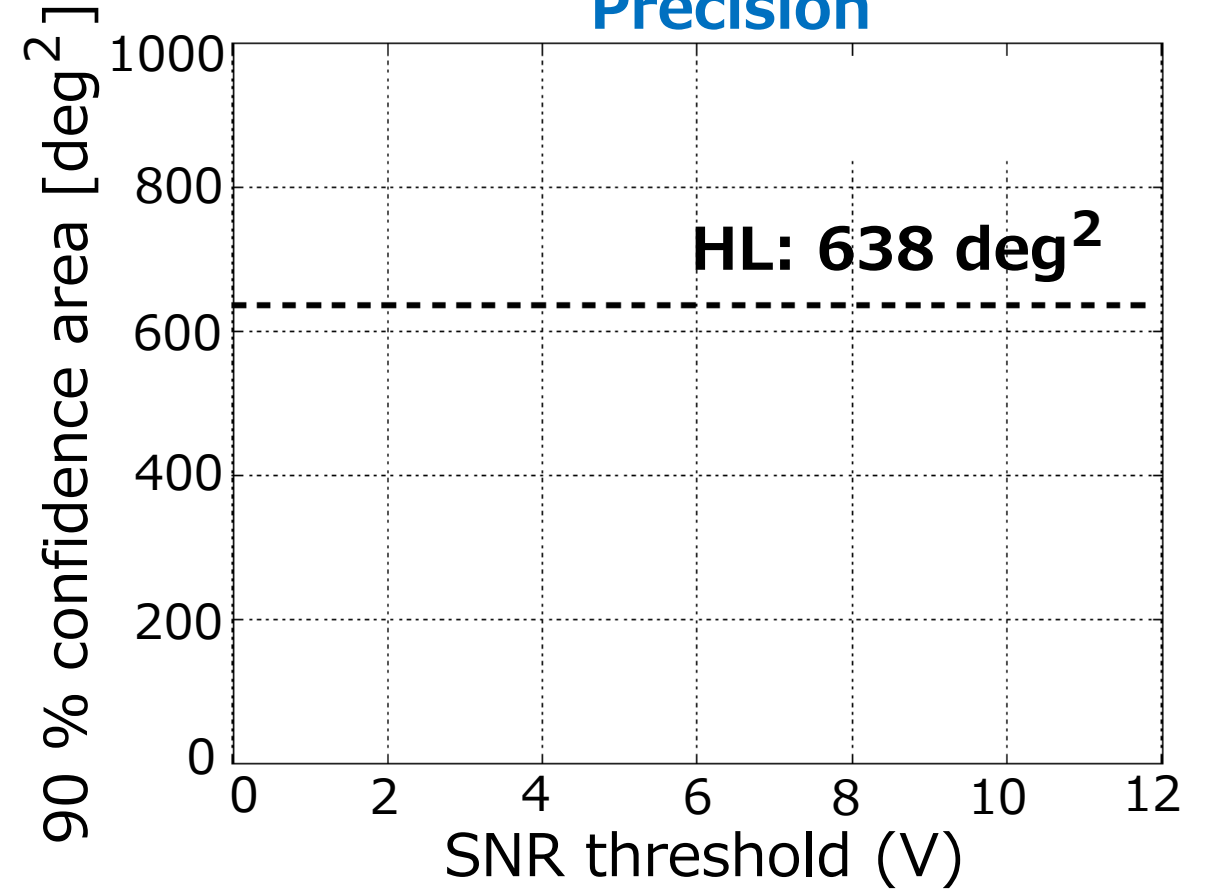
パフォーマンス (まず HL のみ):

(SNR threshold for H, L = 5.)

Accuracy



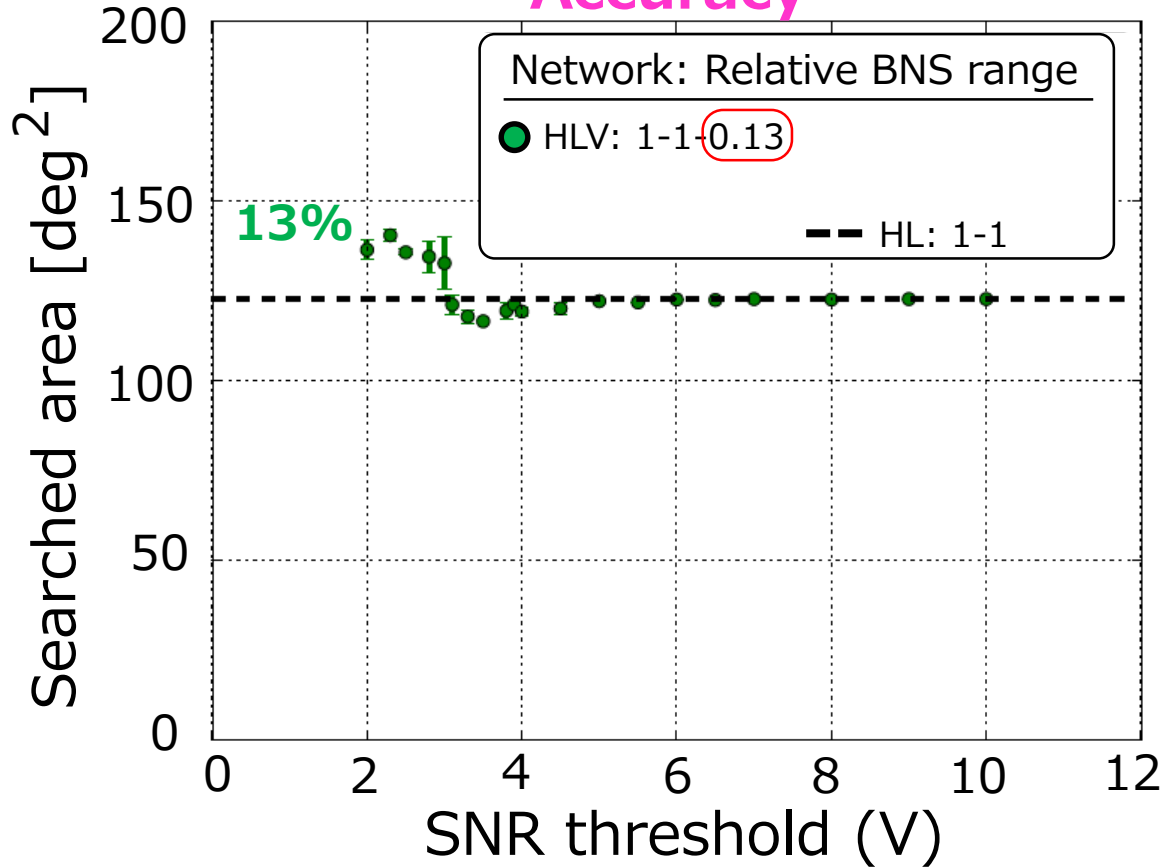
Precision



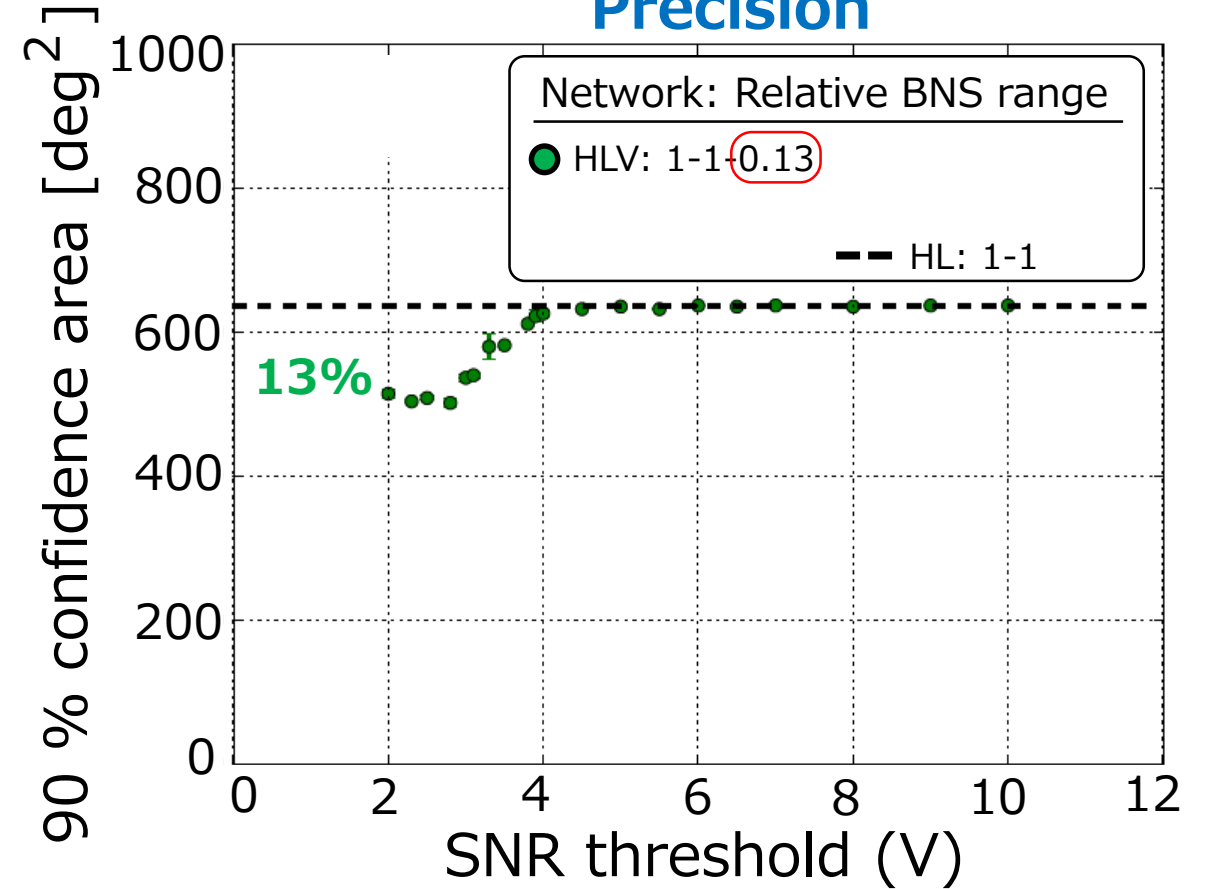
パフォーマンス (HLV と HL):

(SNR threshold for H, L = 5.)

Accuracy



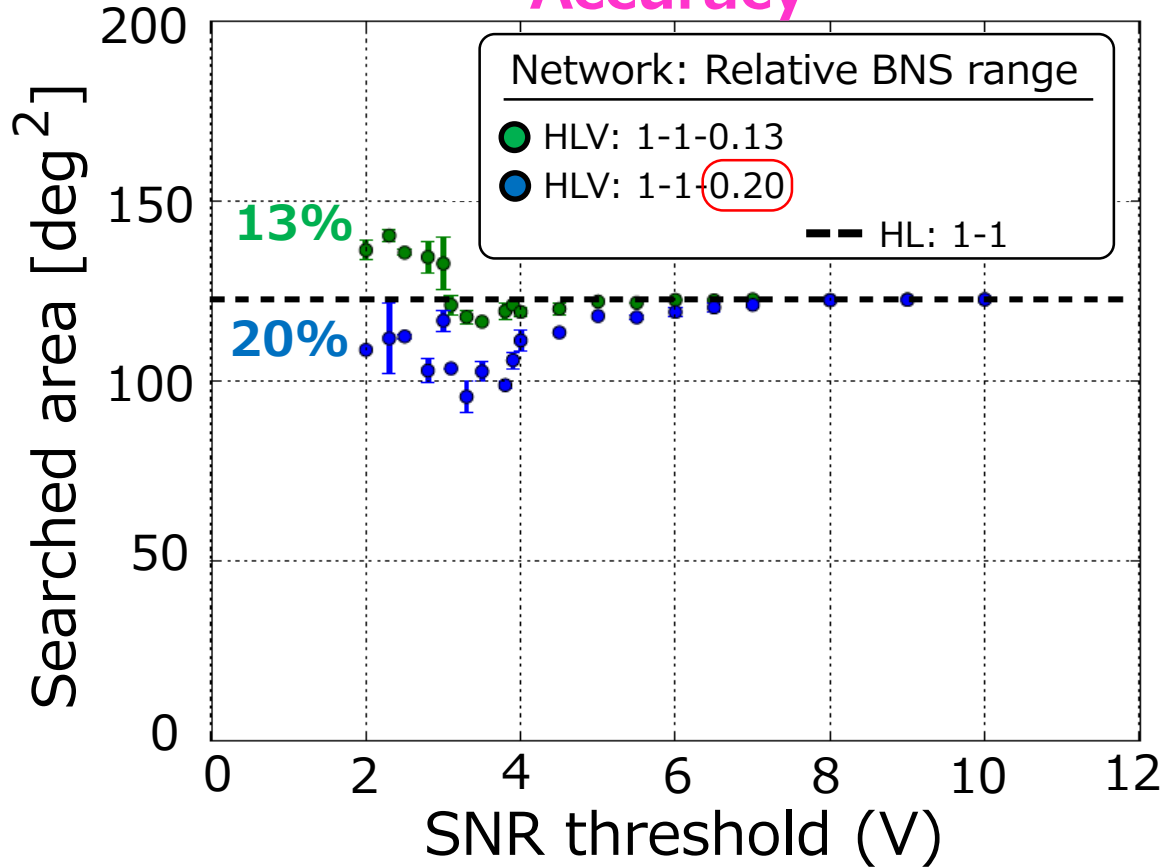
Precision



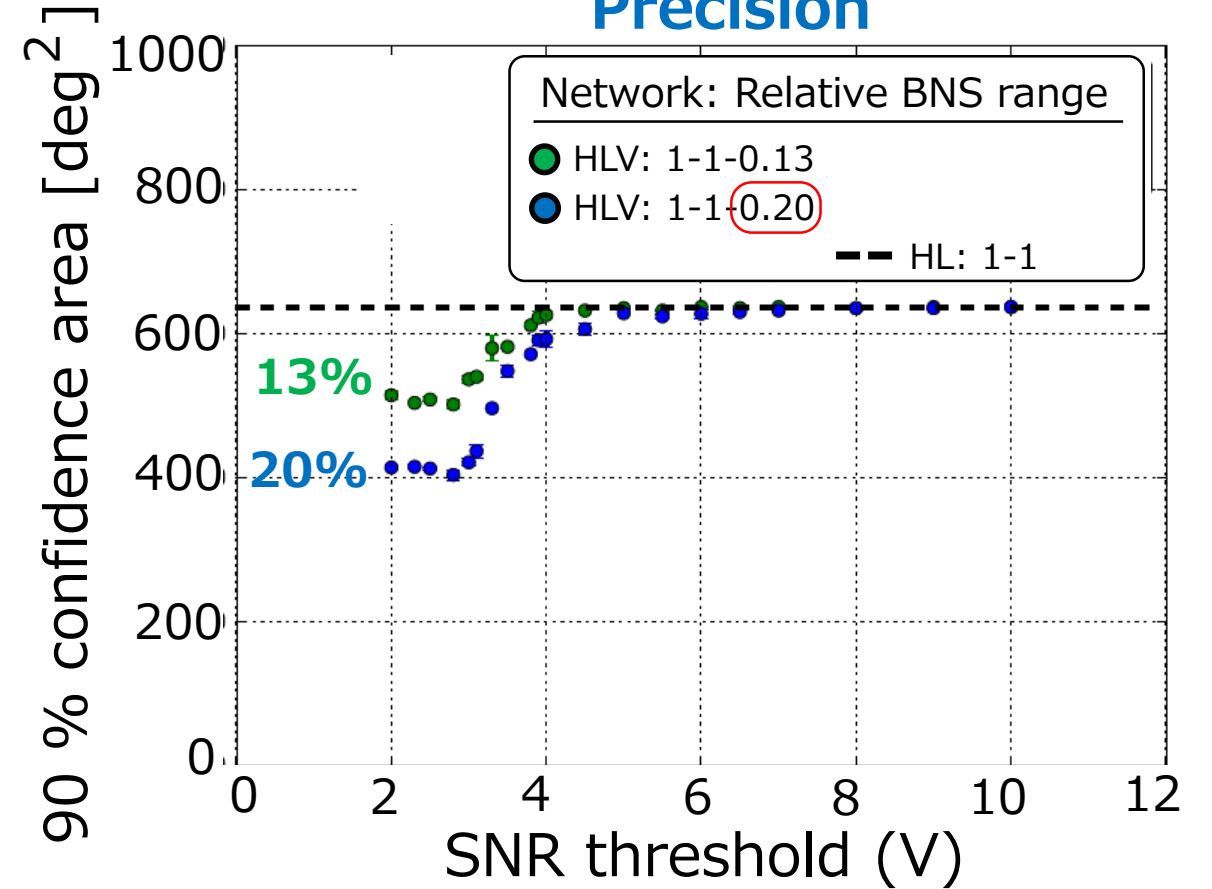
パフォーマンス (HLV と HL):

(SNR threshold for H, L = 5.)

Accuracy



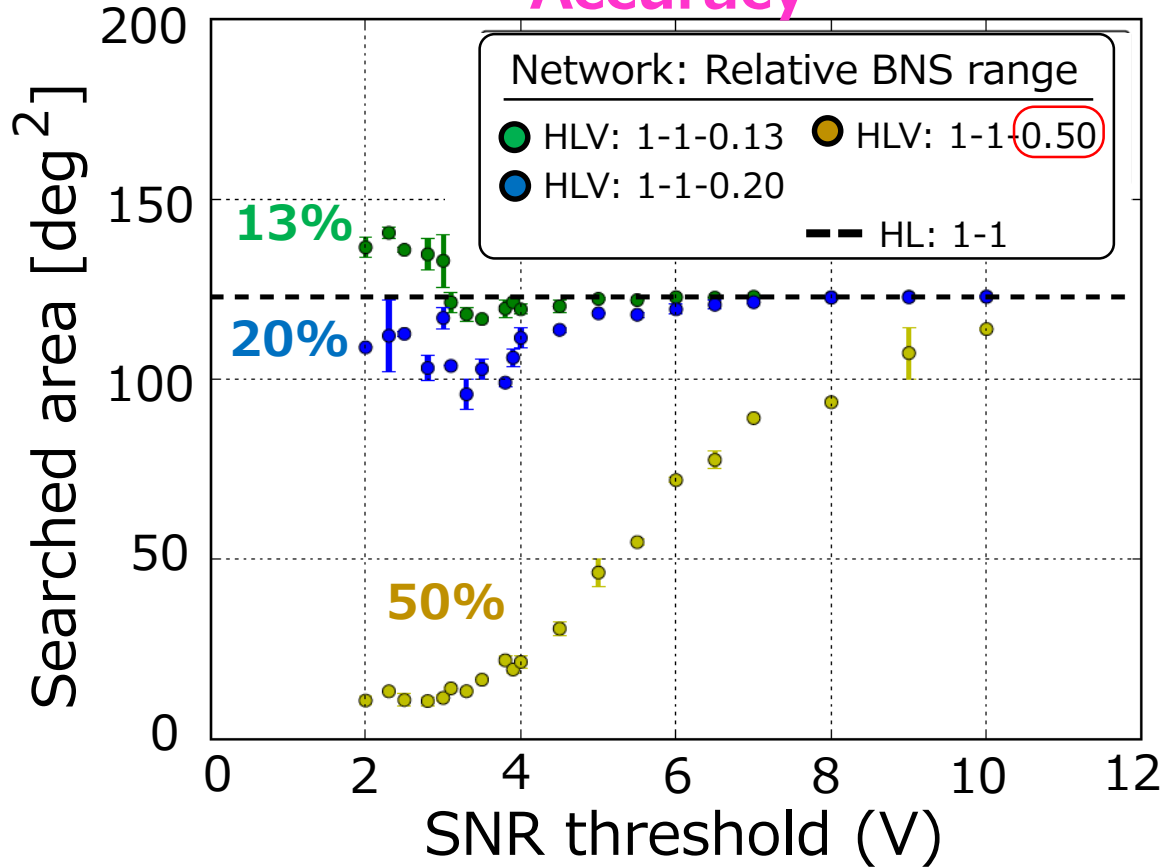
Precision



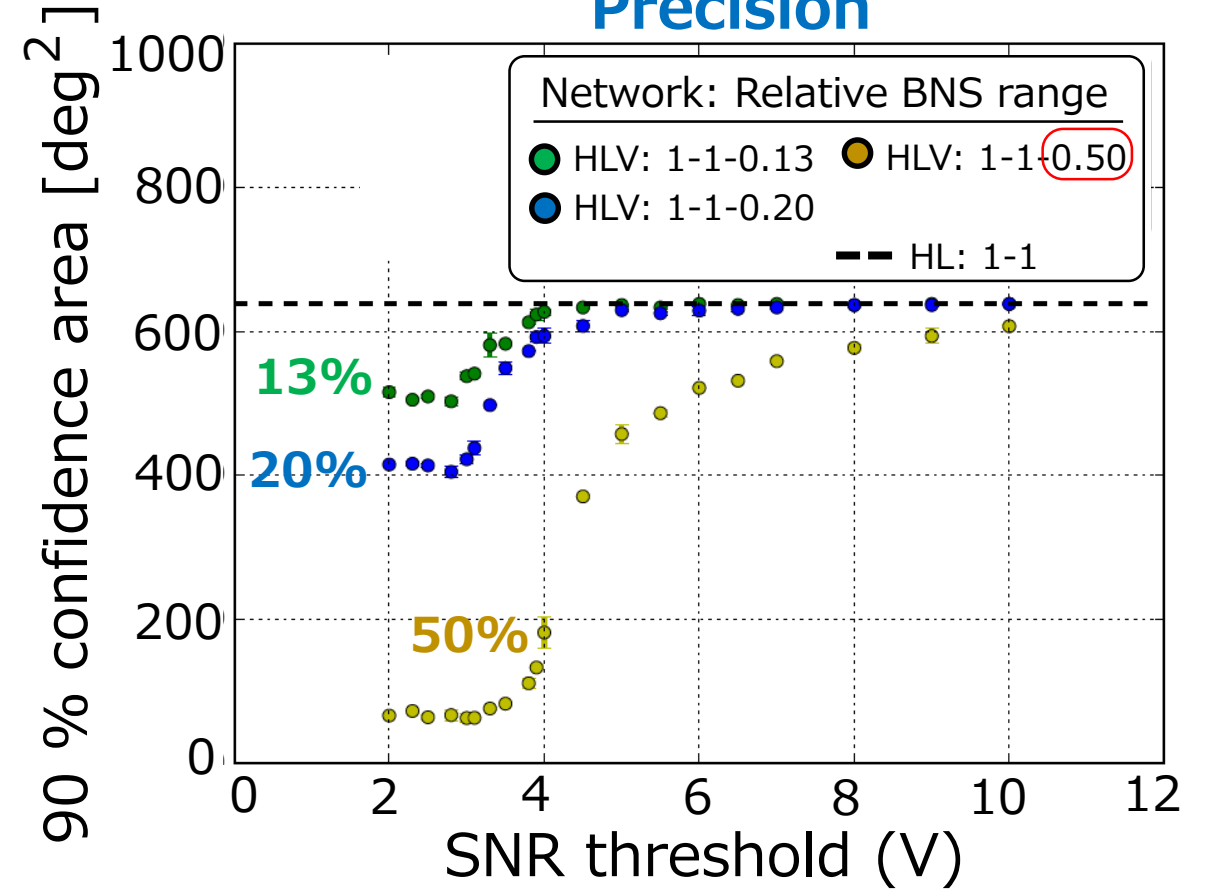
パフォーマンス (HLV と HL):

(SNR threshold for H, L = 5.)

Accuracy



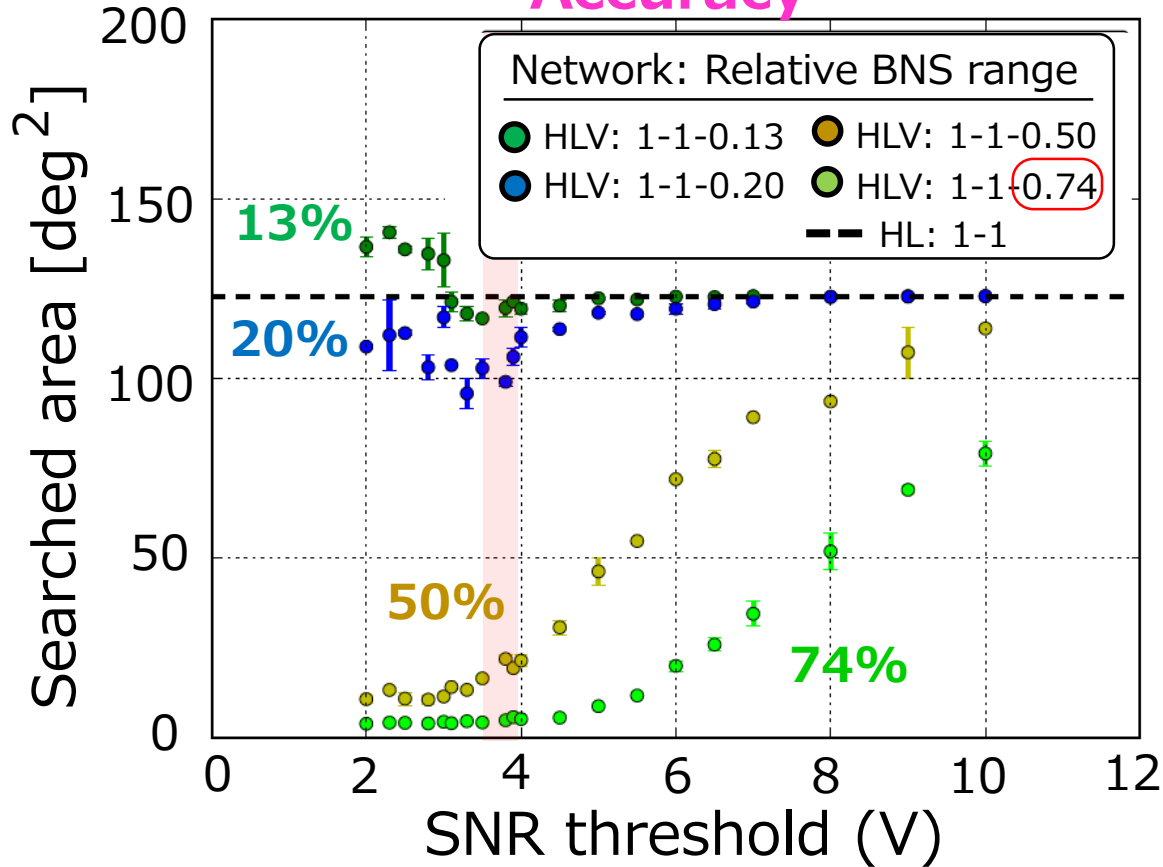
Precision



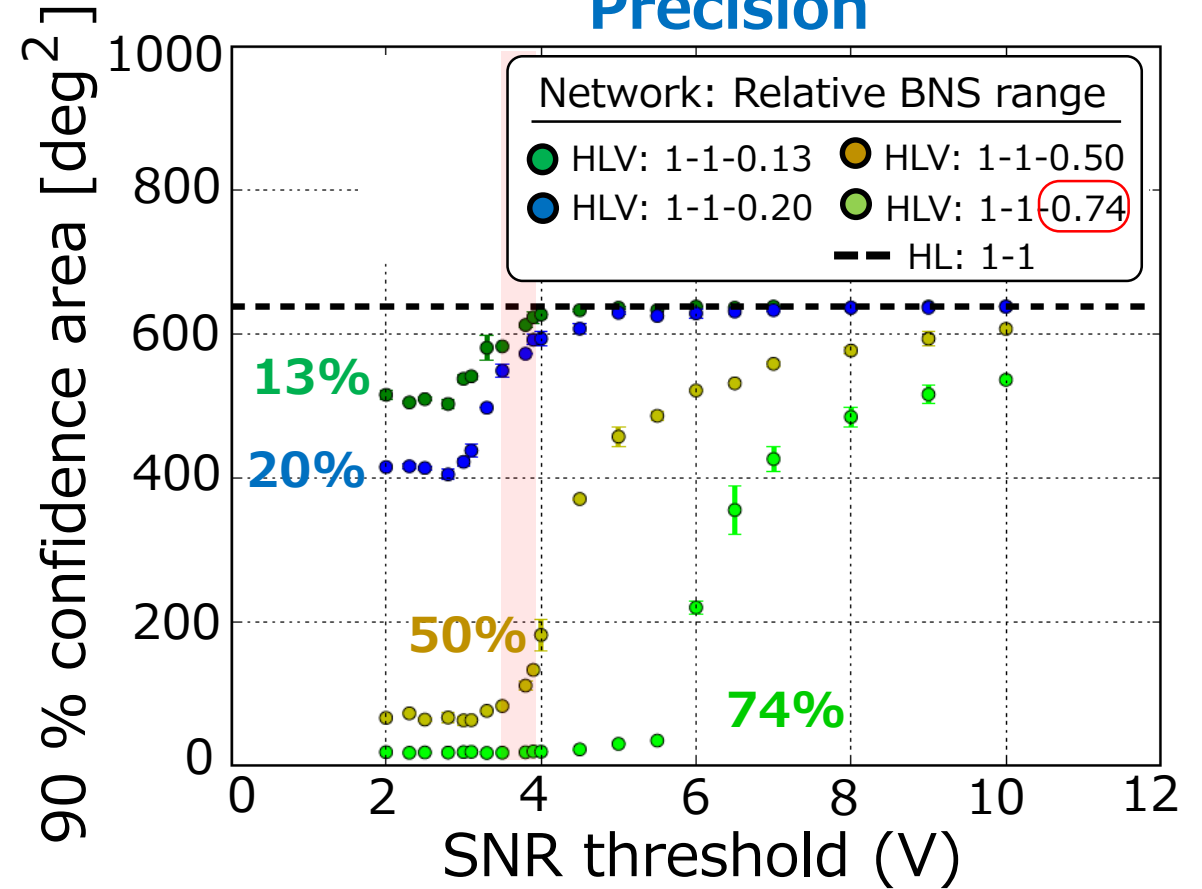
パフォーマンス (HLV と HL):

(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



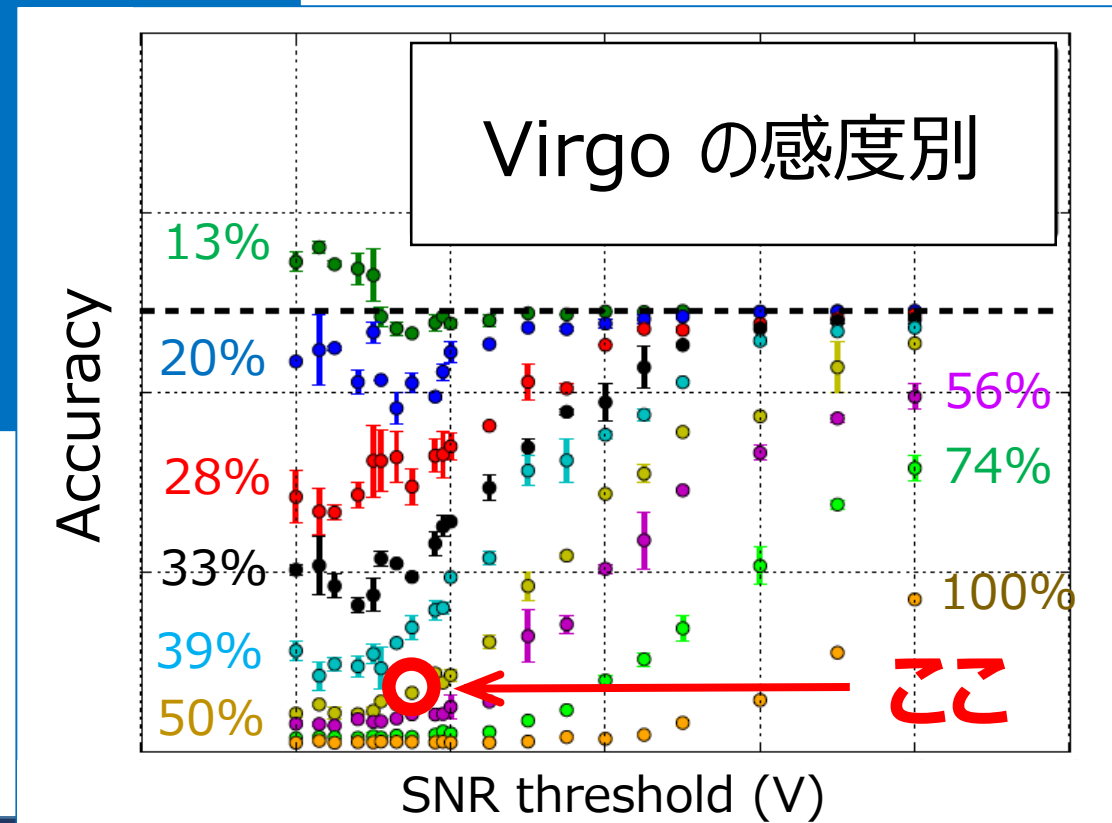
早期方向特定の
パフォーマンス向上が可

階層的な観測ネットワーク

感度が $H1 : L1 : V1 \rightarrow 1 : 1 : 0.5$

V1 SNR threshold $\rightarrow 3.5$

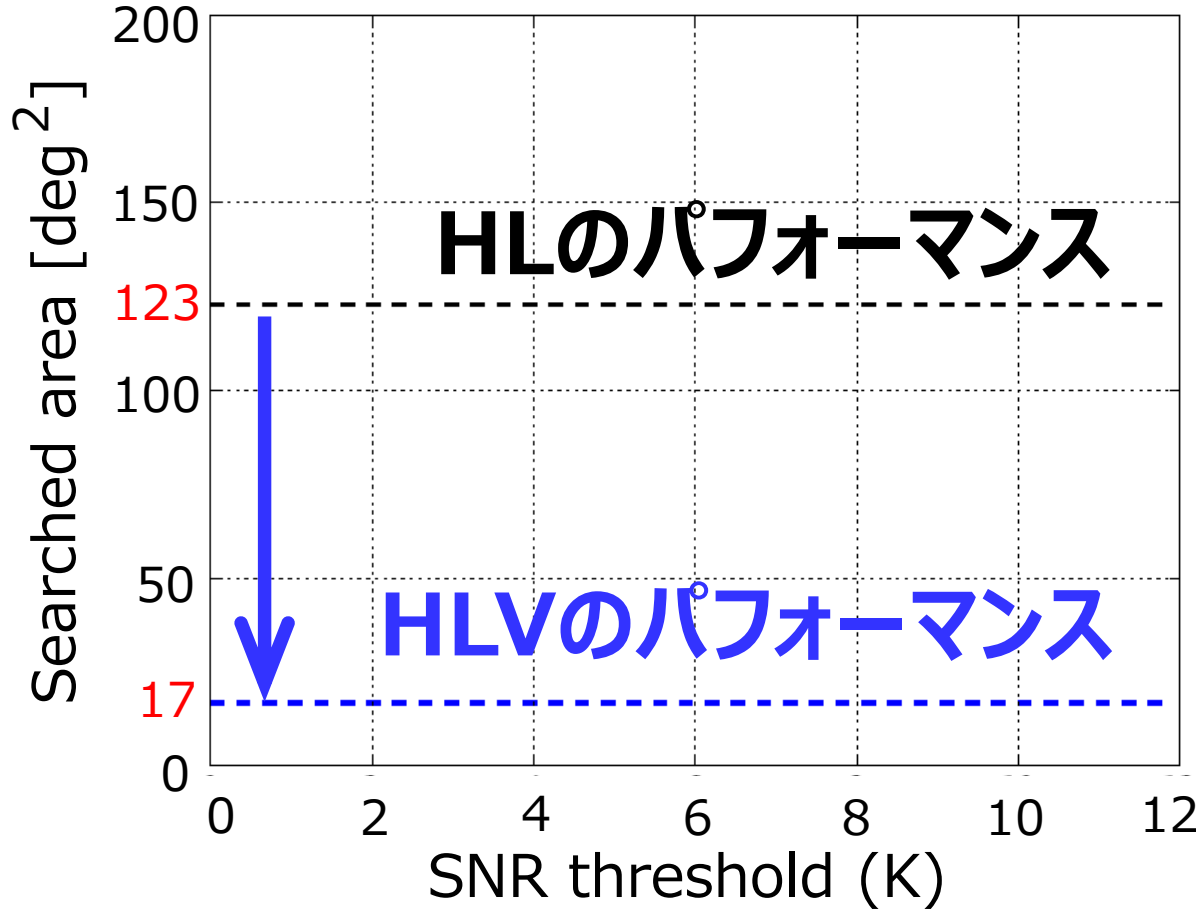
\rightarrow KAGRA を加えると？



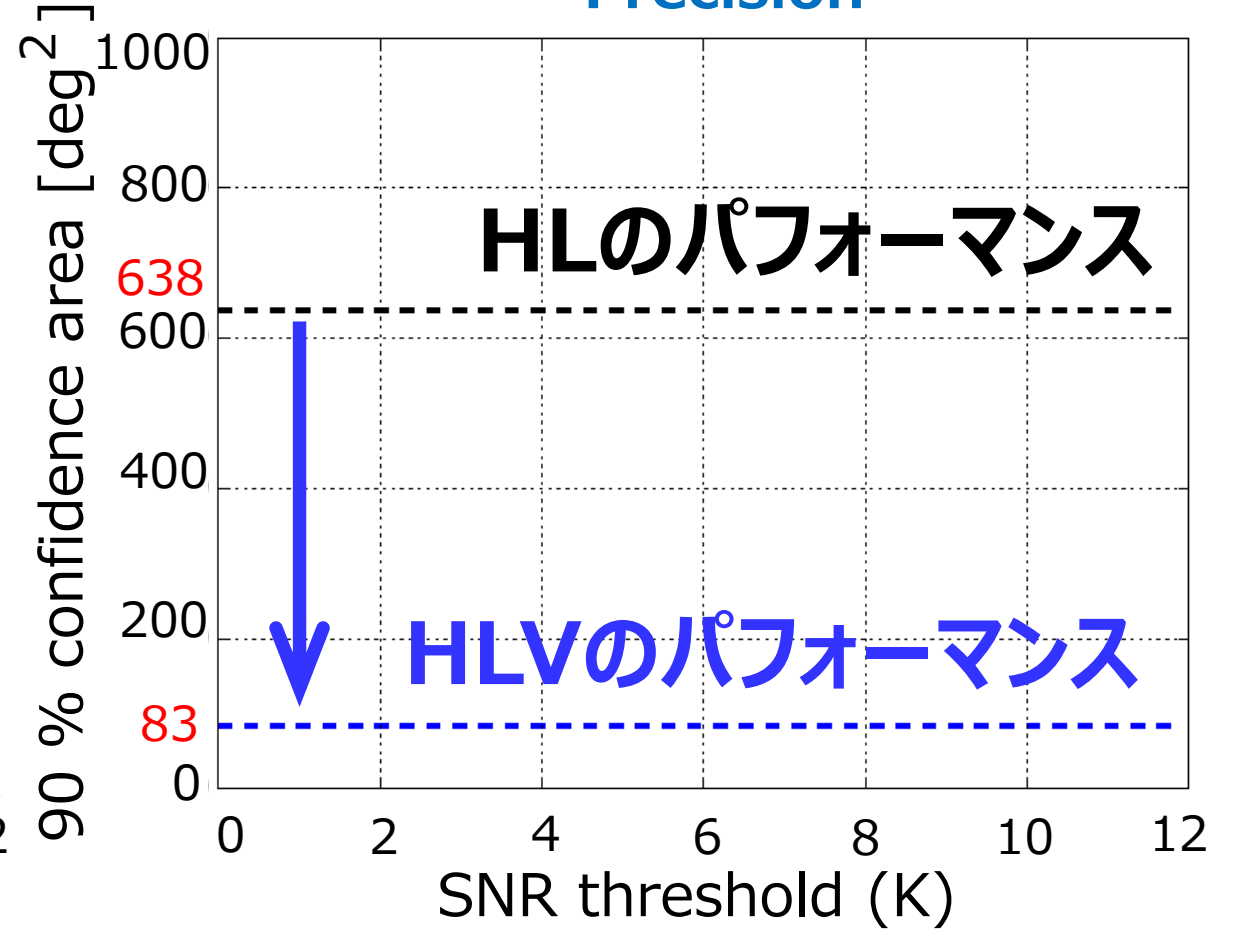
パフォーマンス (HLV と HL):

(SNR threshold for H, L = 5, V = 3.5)

Accuracy

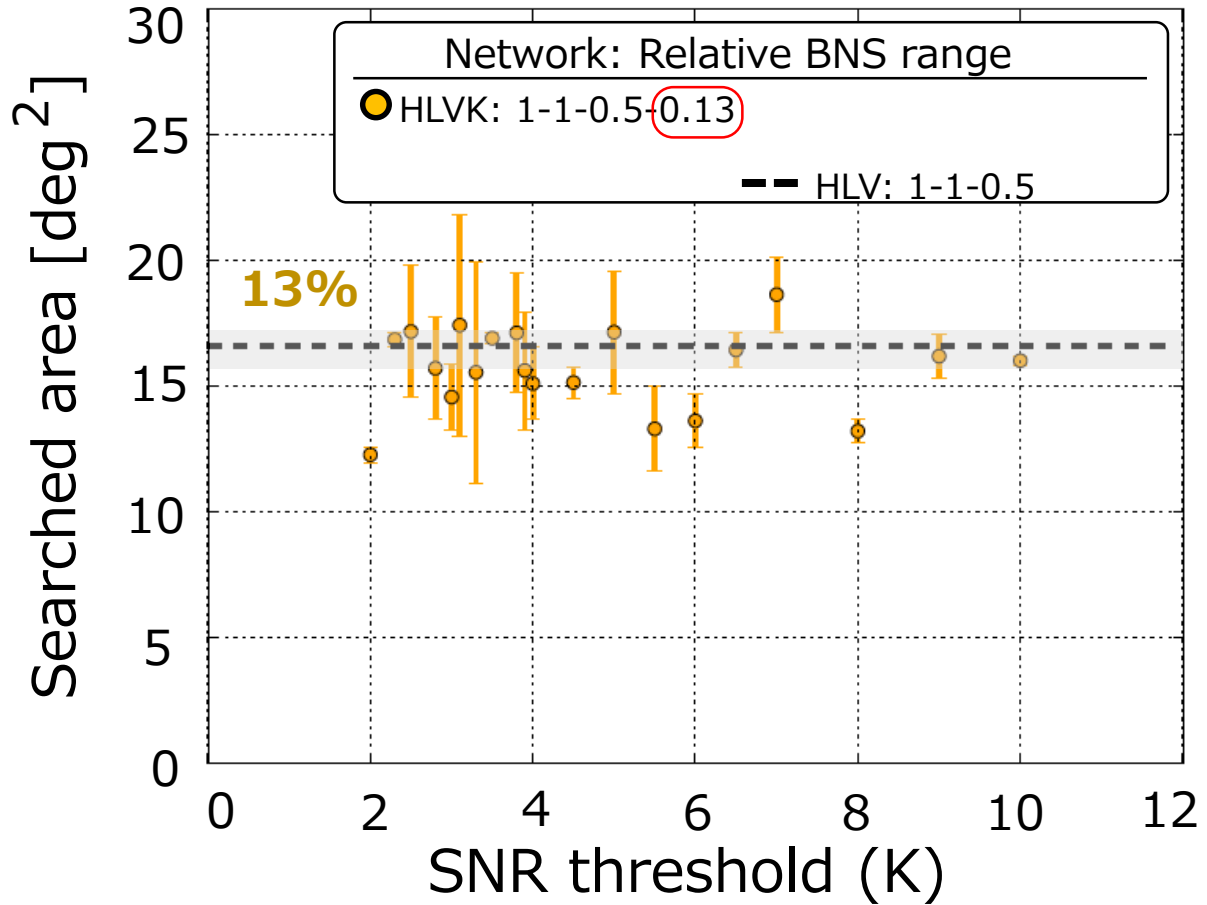


Precision

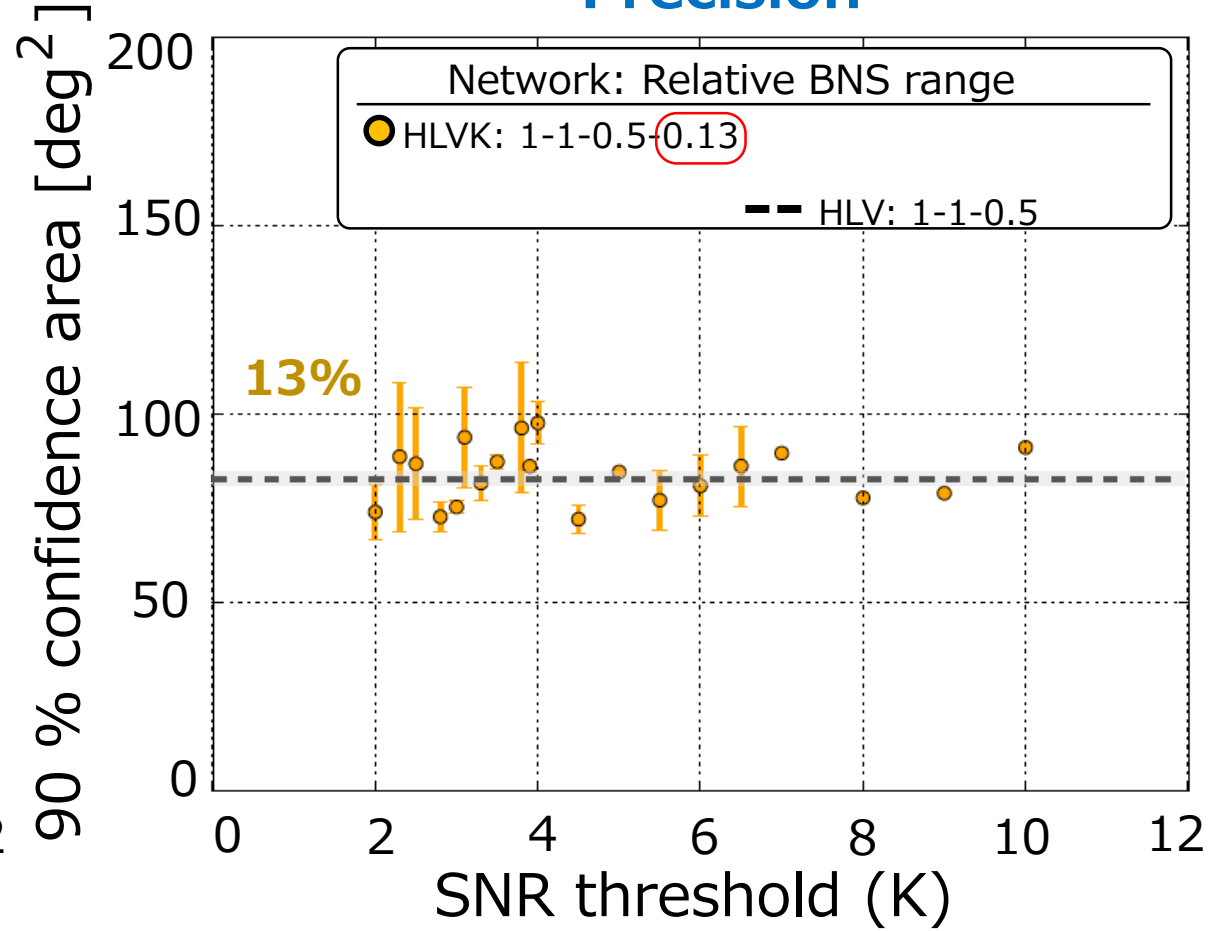


パフォーマンス (HL/HLV/HLK/HLVK): (SNR threshold for H, L = 5, V = 3.5)

Accuracy

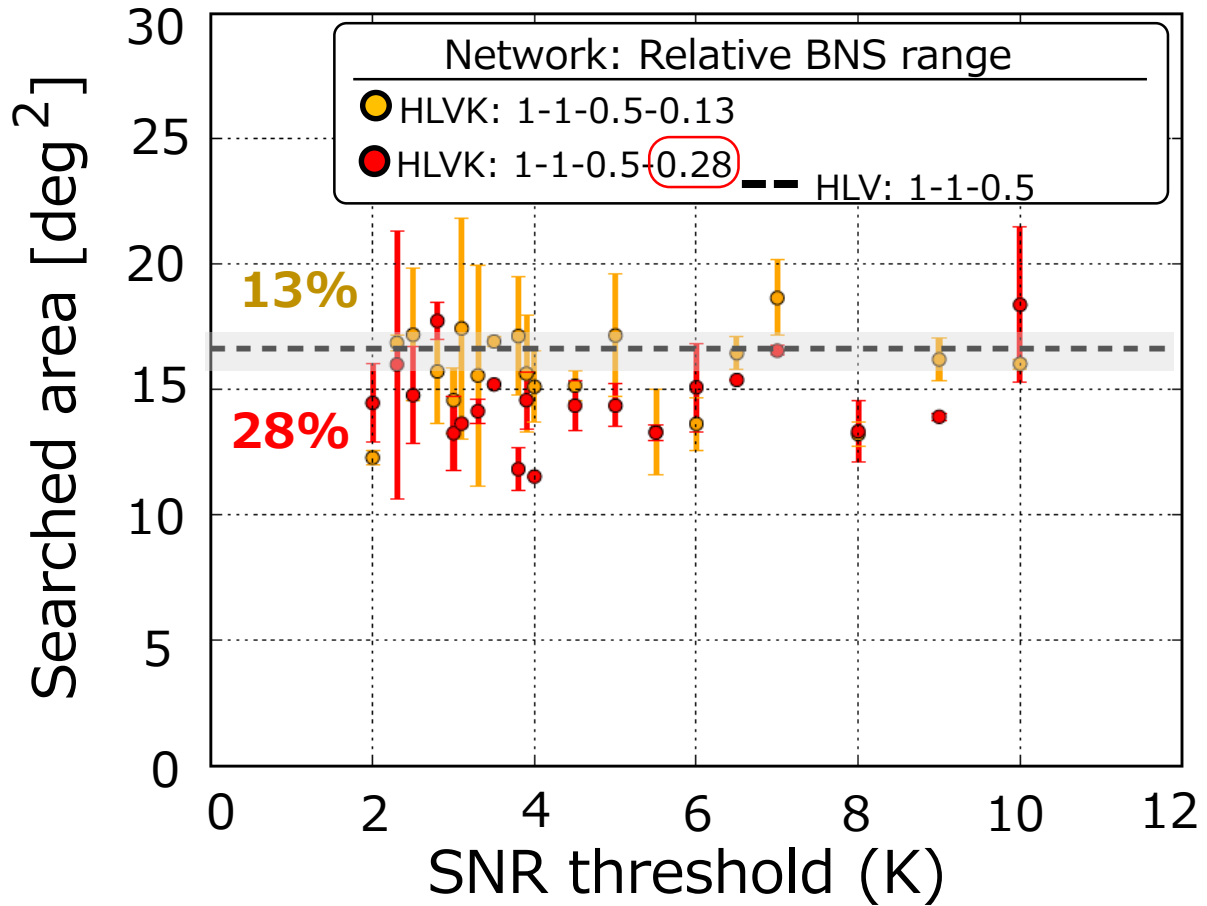


Precision

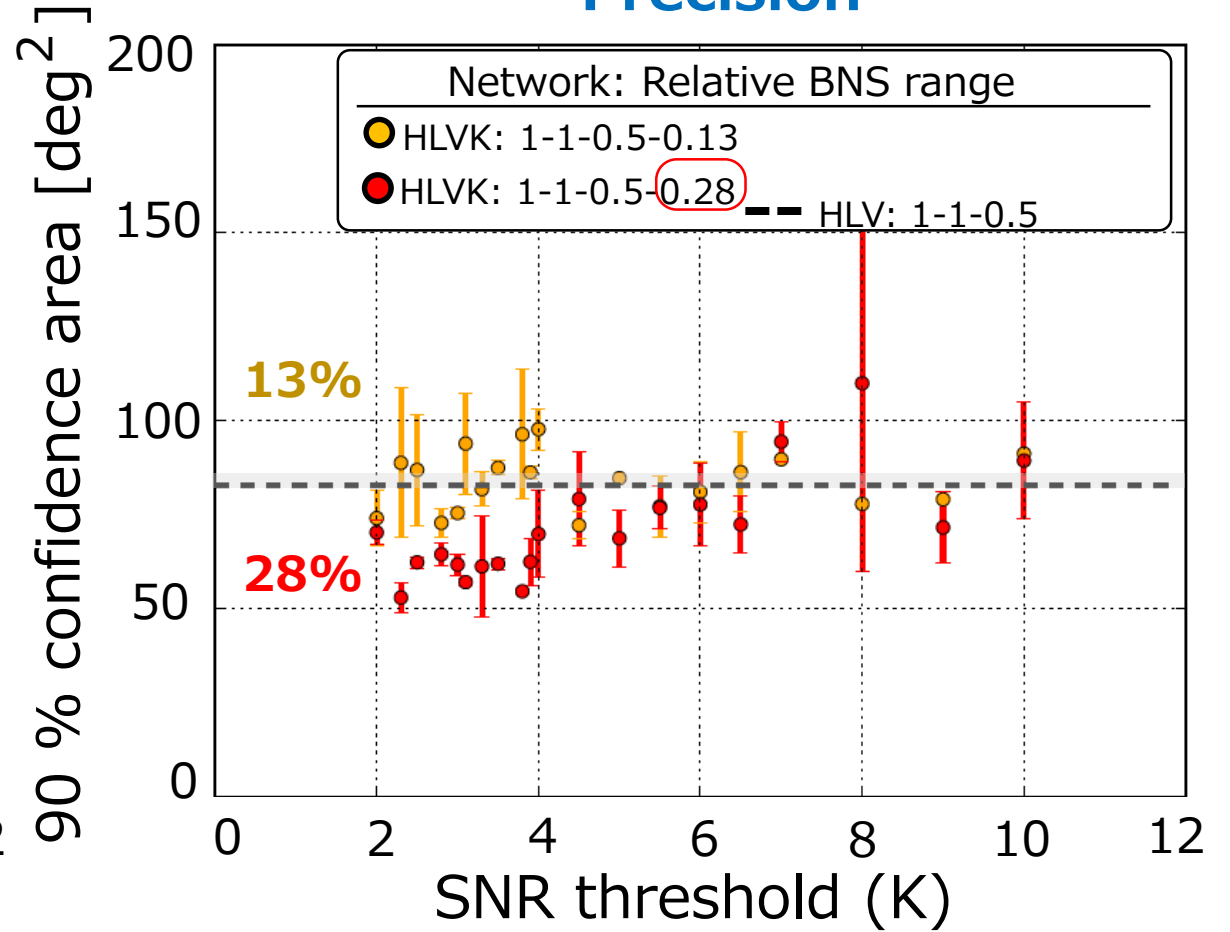


パフォーマンス (HL/HLV/HLK/HLVK): (SNR threshold for H, L = 5, V = 3.5)

Accuracy

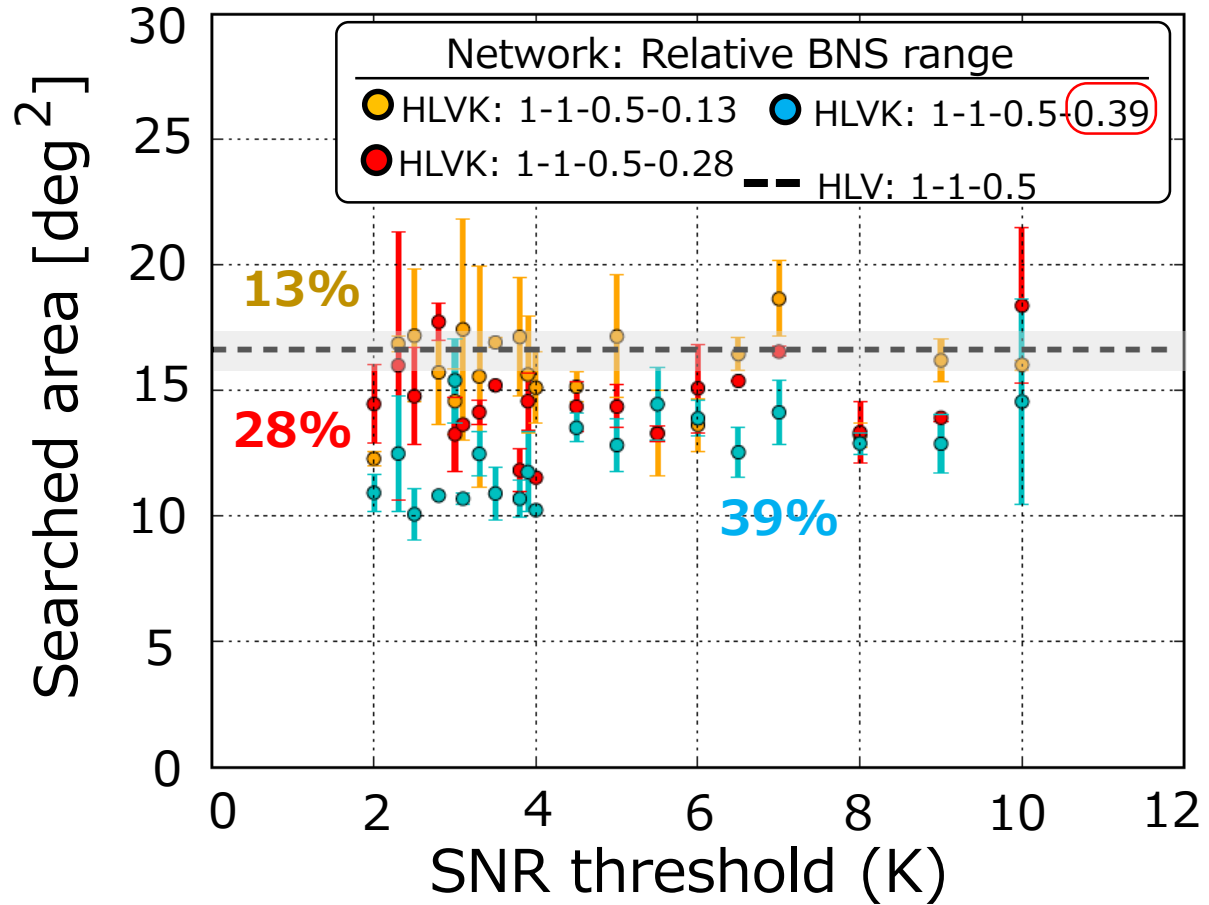


Precision

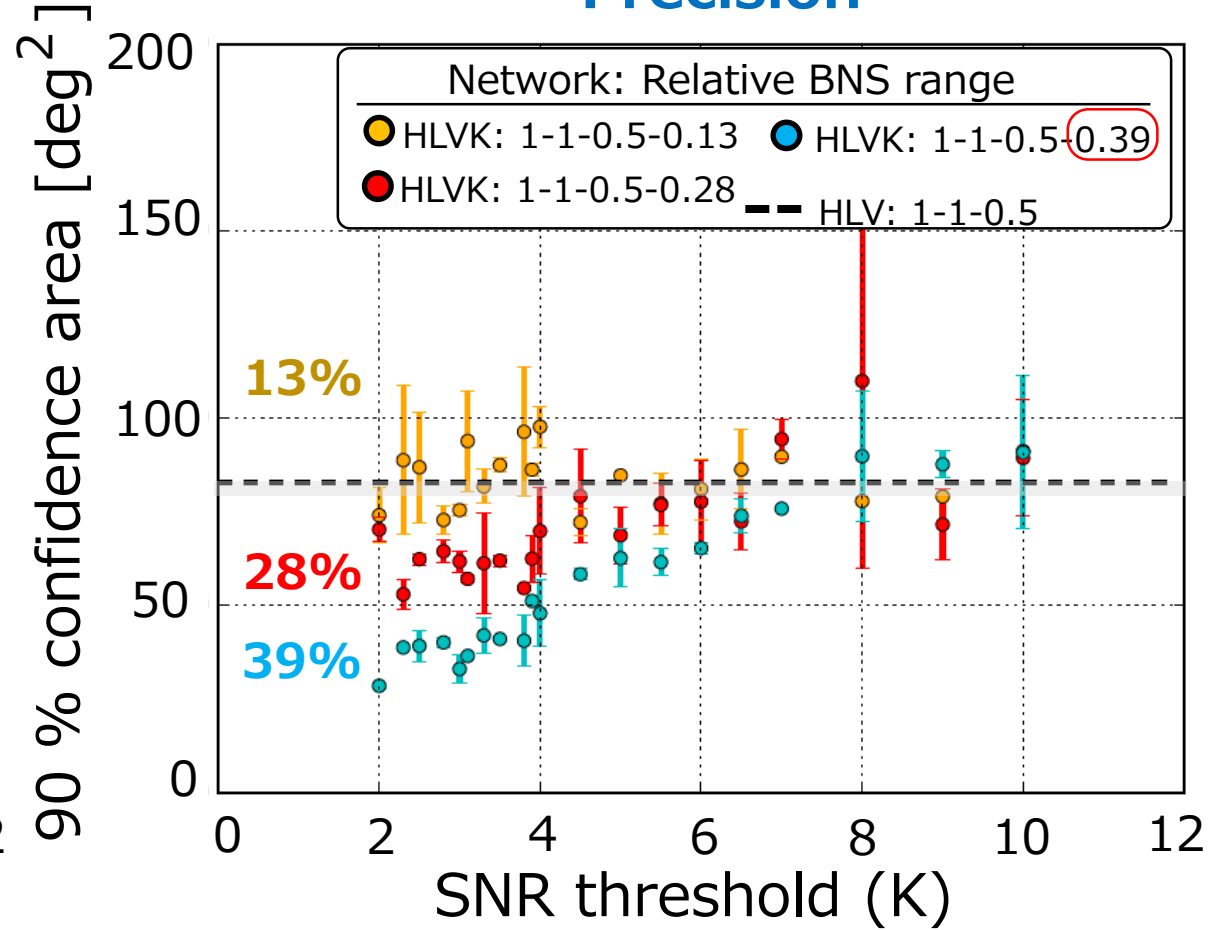


パフォーマンス (HL/HLV/HLK/HLVK): (SNR threshold for H, L = 5, V = 3.5)

Accuracy

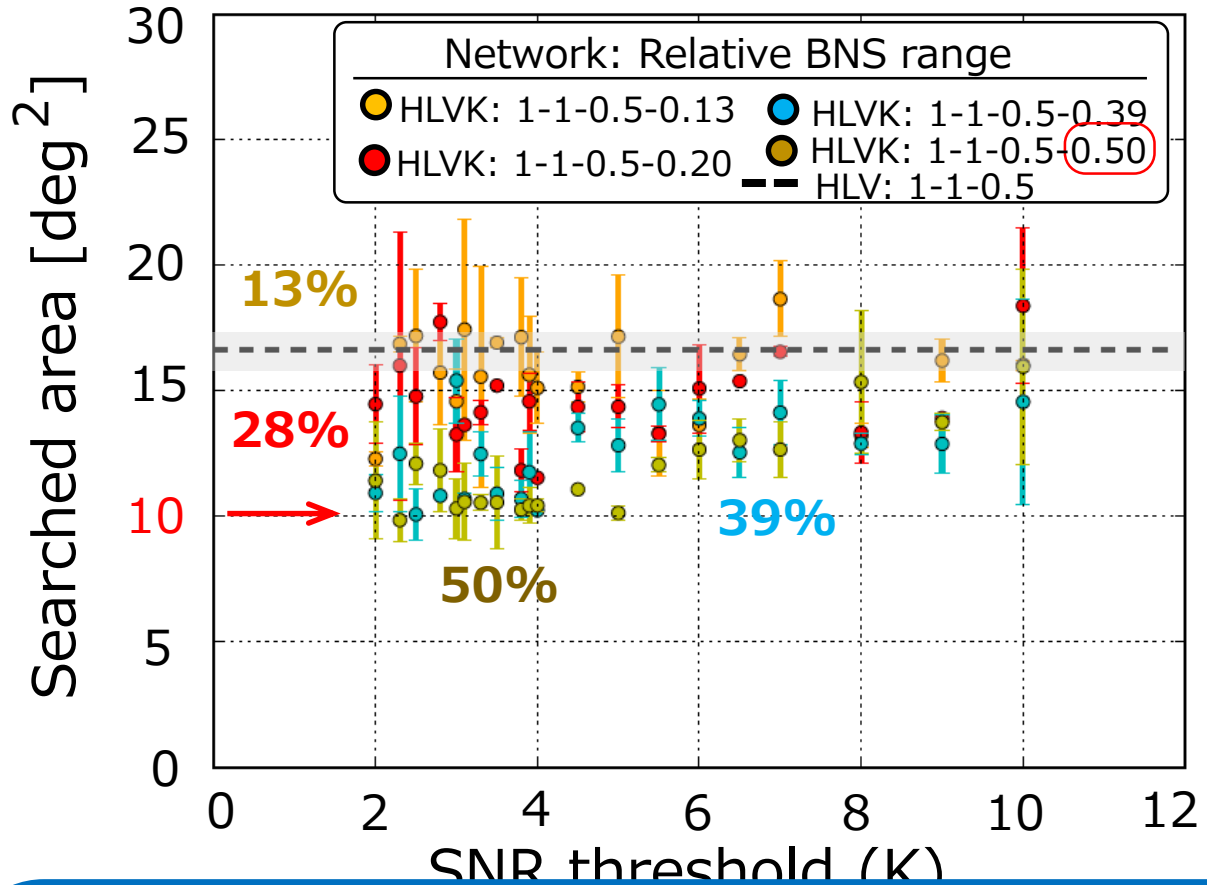


Precision

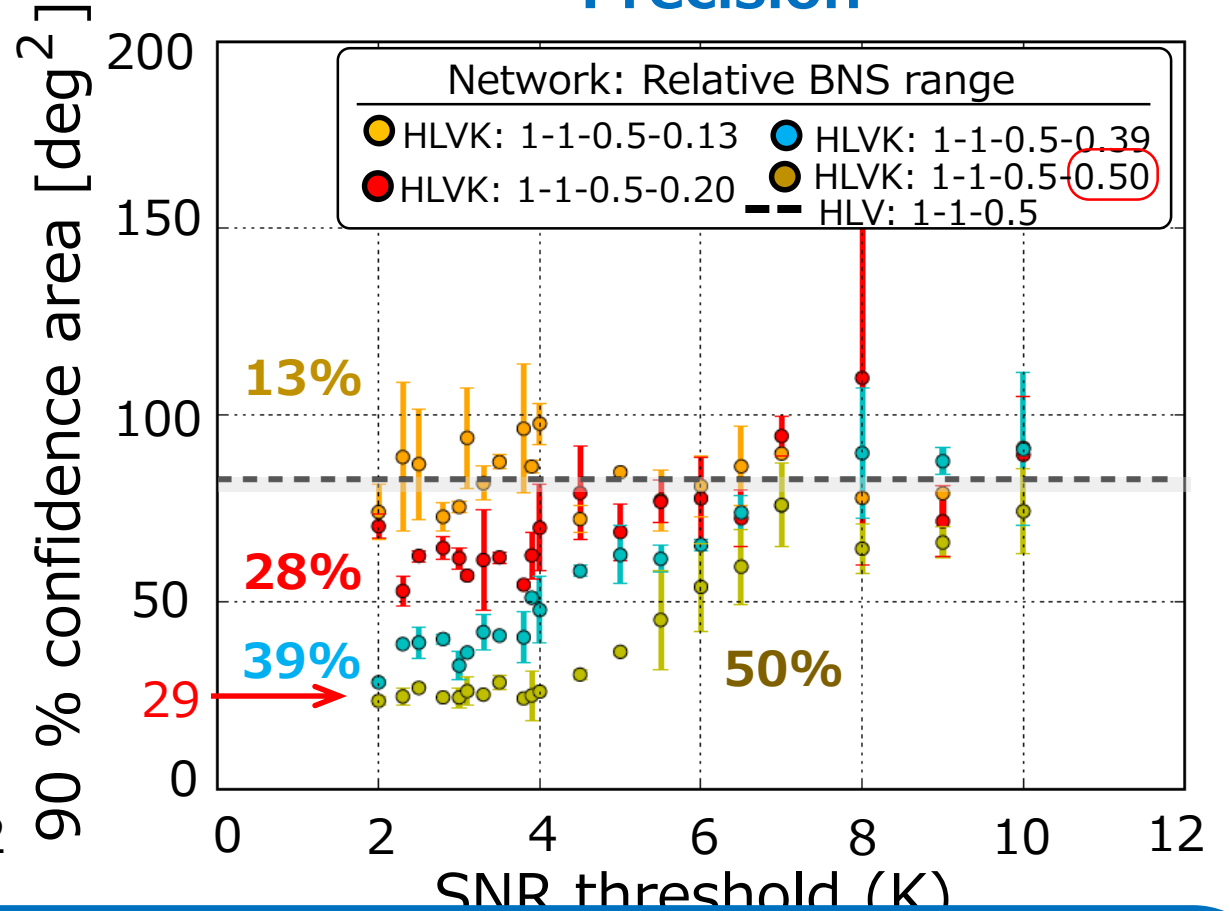


パフォーマンス (HL/HLV/HLK/HLVK): (SNR threshold for H, L = 5, V = 3.5)

Accuracy



Precision



階層的な観測ネットワーク by;

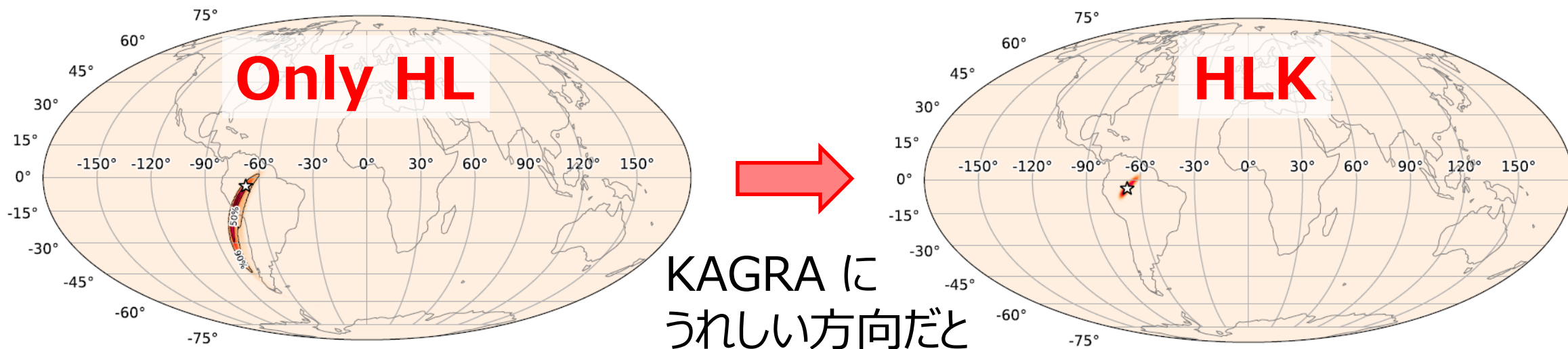
H/L/V: 54-54-27 Mpc, SNR threshold = 5/5/3.5

K : >15 Mpc, SNR threshold ~ 4

→ パフォーマンス向上が可

KAGRA の Contribution 度合? :

1. 劇的に変化しない? → もともと、KAGRA にうれしくない方向のインジェクション 多。



2. 干渉計は、ロックしないと、動作しない。

→ **KAGRA:** より連続的に、3台検出器 方向特定のパフォーマンスが期待。

まとめ:

HLV & HLVK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 / KAGRA の BNS range が LIGO の 20% より高ければ、

V/K SNR threshold $\sim 3.5/\sim 4$ 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。**

Next steps:

Duty cycle を考慮した場合の見積もり

どれかの干渉計が動作していなかった場合の見積もり

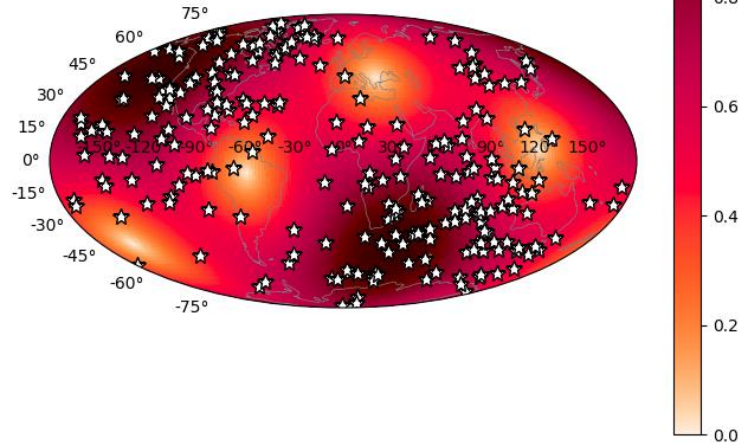
→ HLK による階層的な観測ネットワークの方向特定のパフォーマンス

→ VK / HVK / LVK / etc を用いた方向特定のパフォーマンス

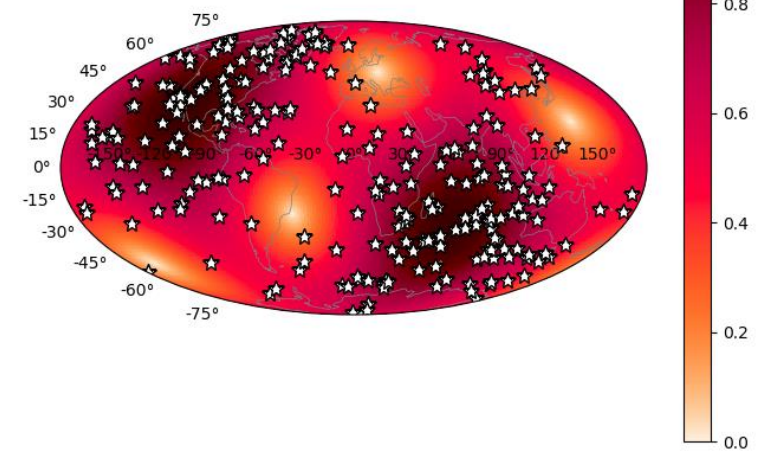
Backup

各検出器のアンテナパターン

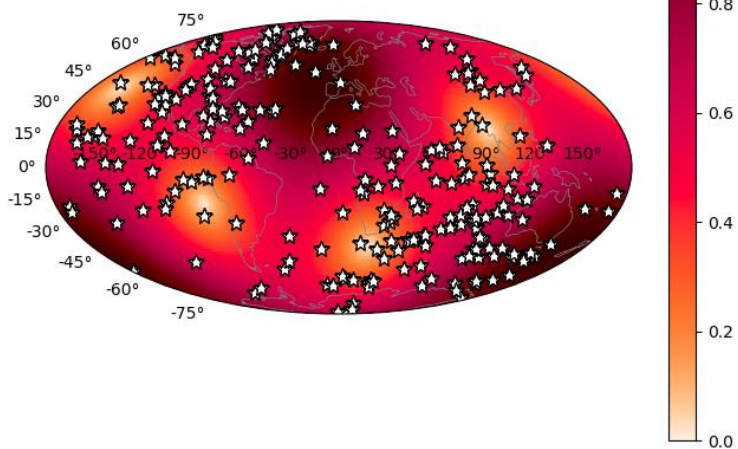
LIGO Hanford



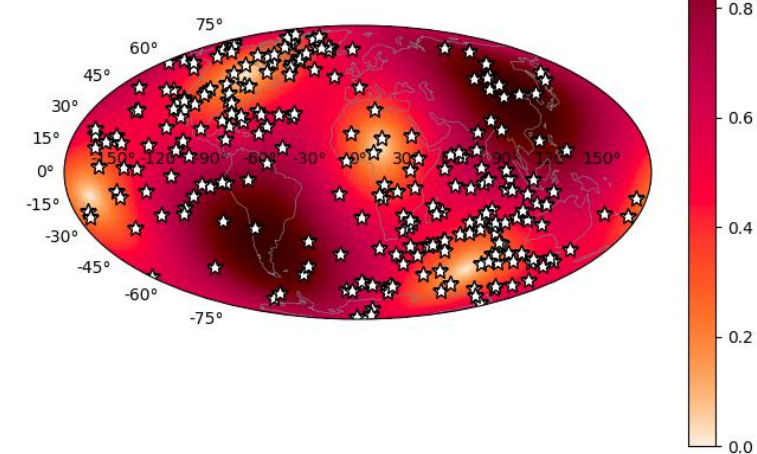
LIGO Livingston



Virgo



KAGRA



Generating & mixing artificial V triggers

2. Mixing HLV triggers

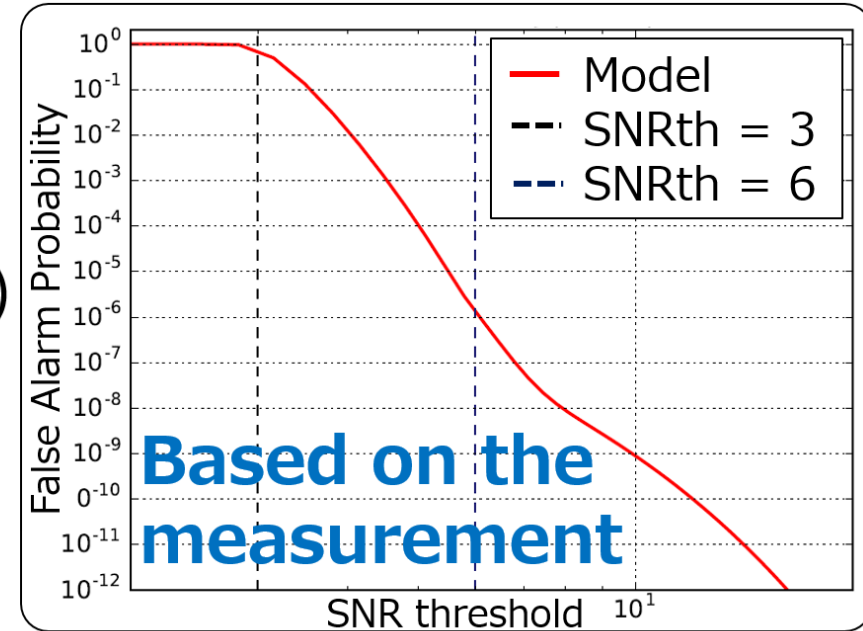
$p = \text{random } [0:1]$

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

$p < FAP \rightarrow \text{HLV}_r$

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

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



Generating & mixing artificial V triggers

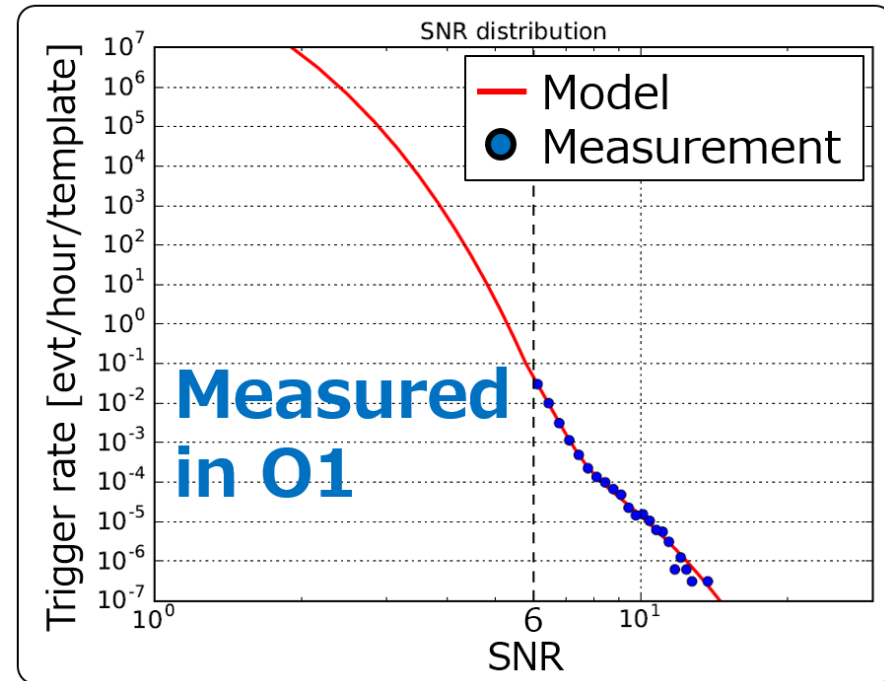
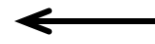
1. Generating V triggers

V_r : V trigger based on random parameters

SNR = random following measurement

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

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



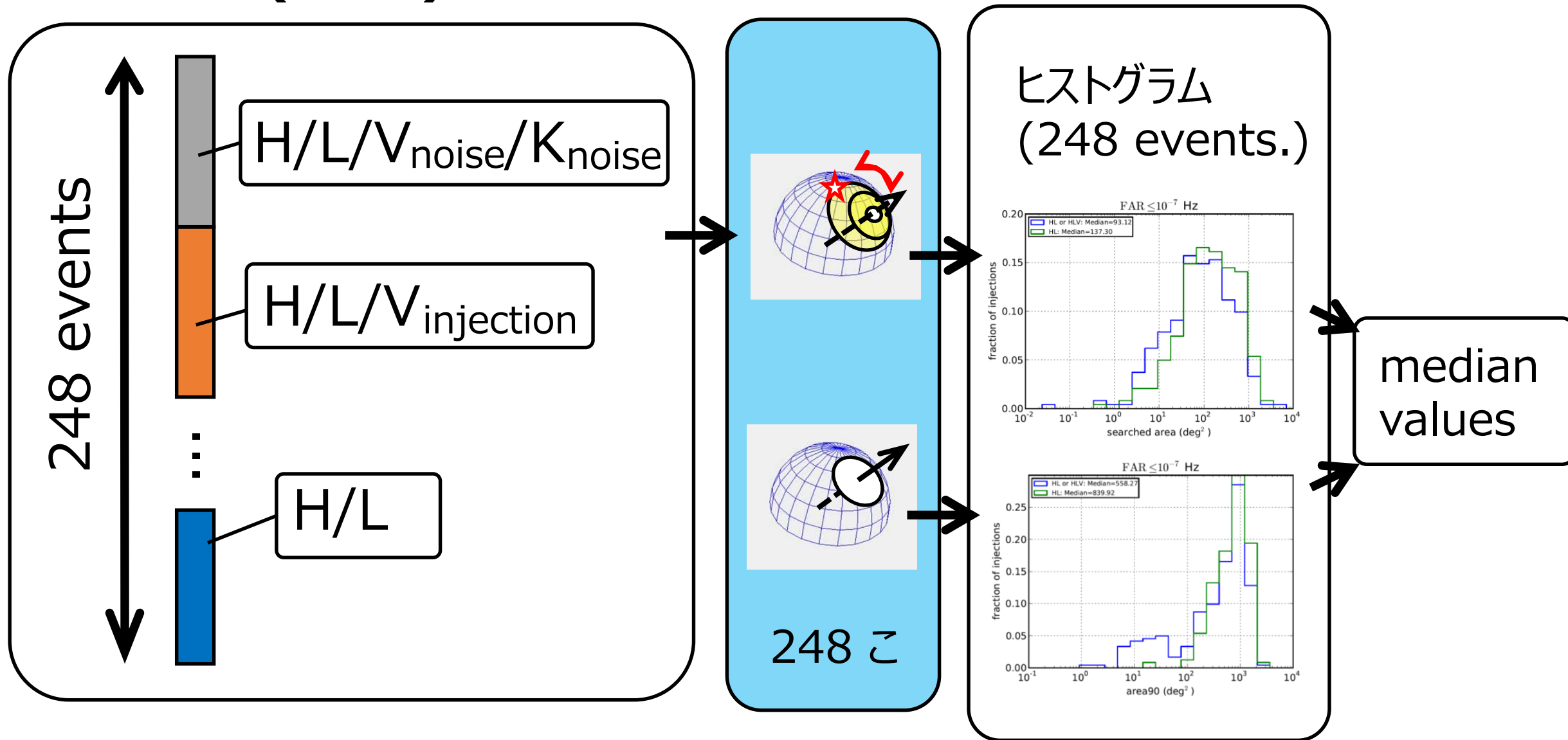
V_i : V trigger based on injection parameters

SNR = metadata + Gauss(0,1)

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

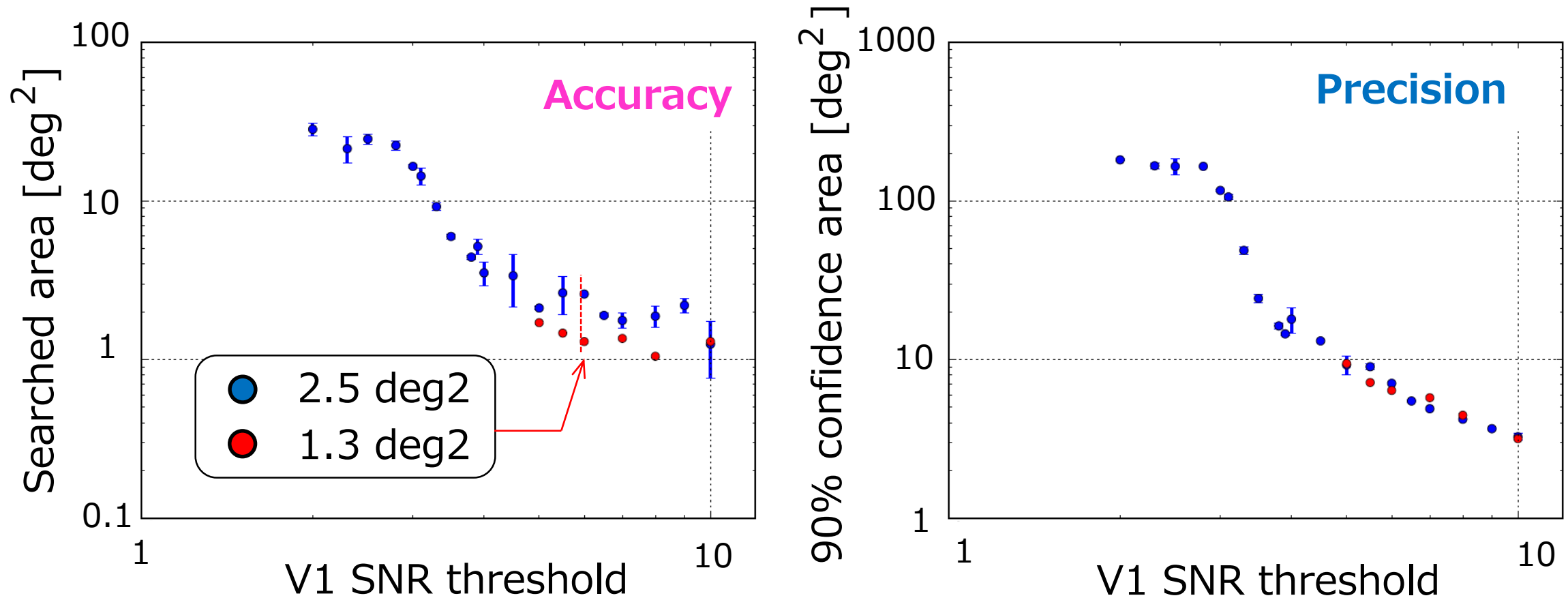
$Phase$ = metadata + Gauss(0, 0.25 rad)

計算の流れ(まとめ)



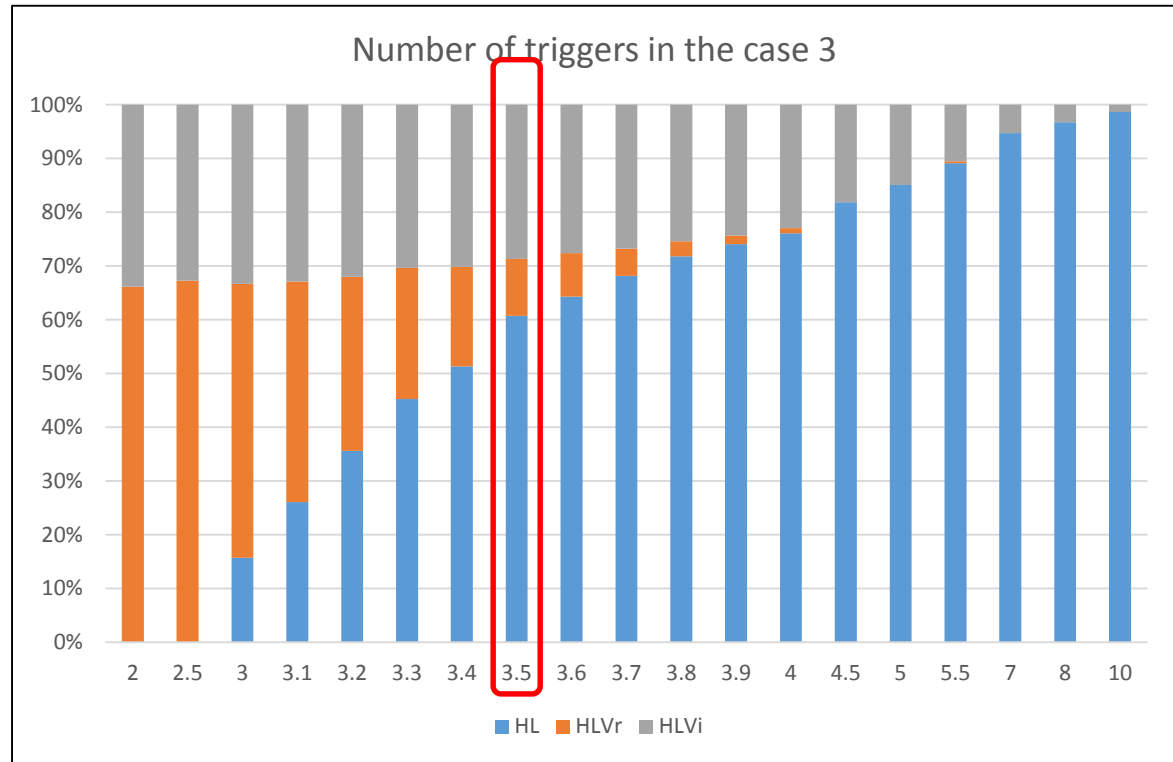
HLV-triple のみのパフォーマンス :

- 今回のシミュレーション
- 実際の解析結果



今回のシミュレーション → 実際の解析結果とコンシステント

Trigger population: V1 range = 15 Mpc

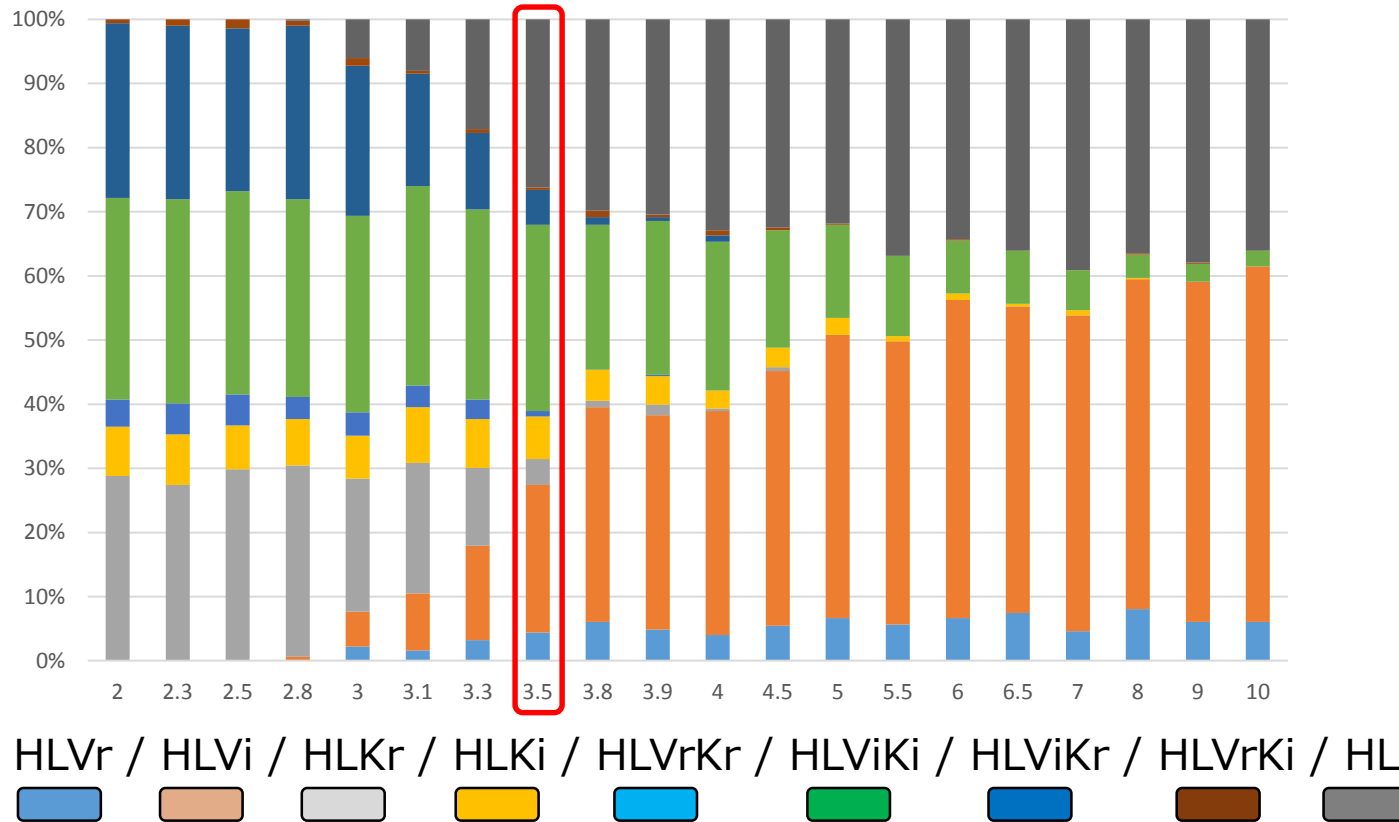


Ranges (Mpc):

H1:L1:V1:K1 = 54 : 54 : 27 : 18

SNR Threshold

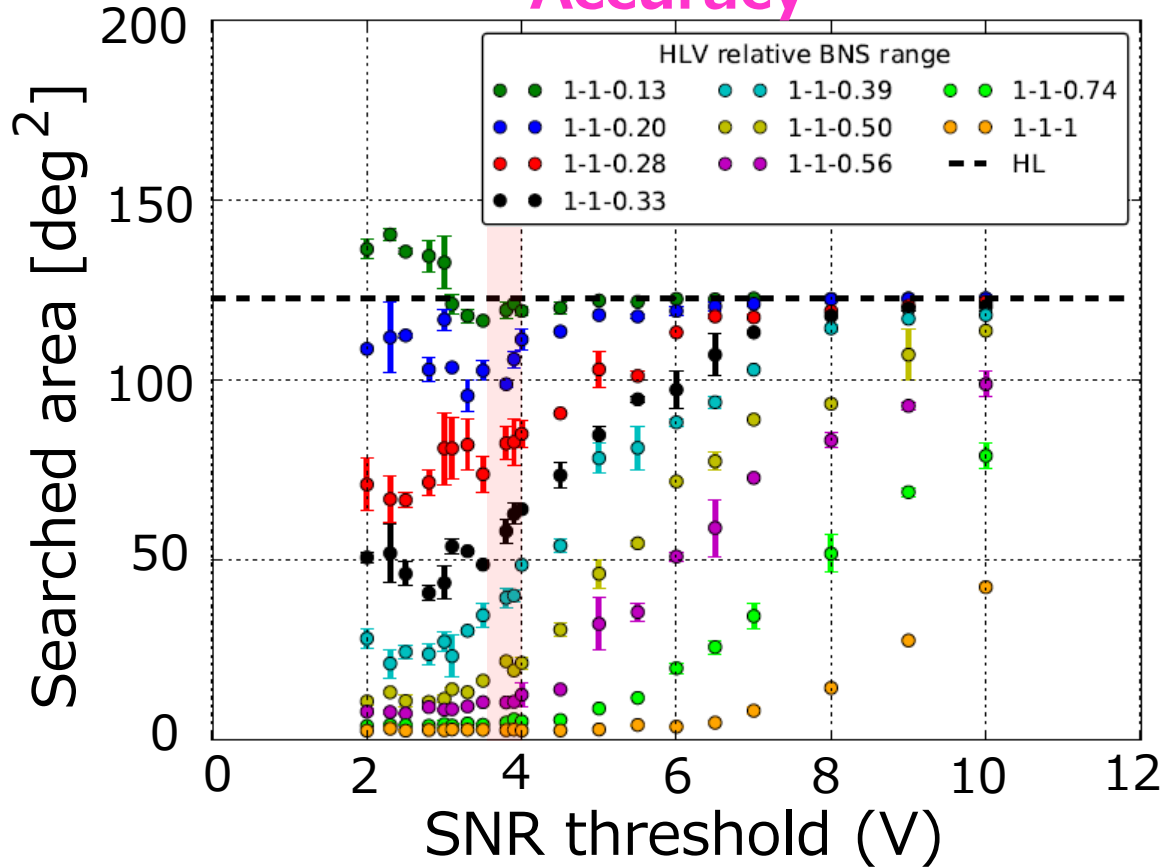
H1:L1:V1:K1 = 5 : 5 : 3.5 : var



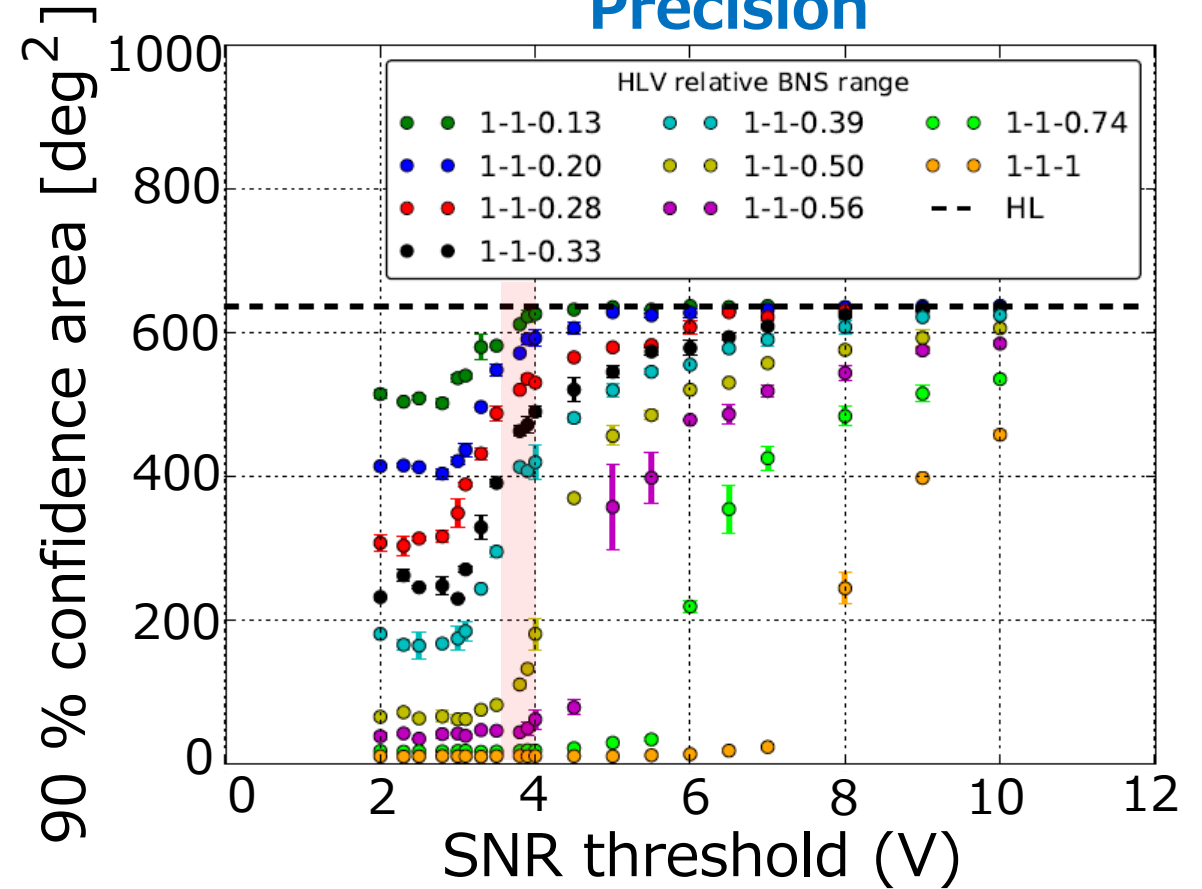
パフォーマンス (by HLV & HL):

(SNR threshold for H, L = 5.)

Accuracy



Precision



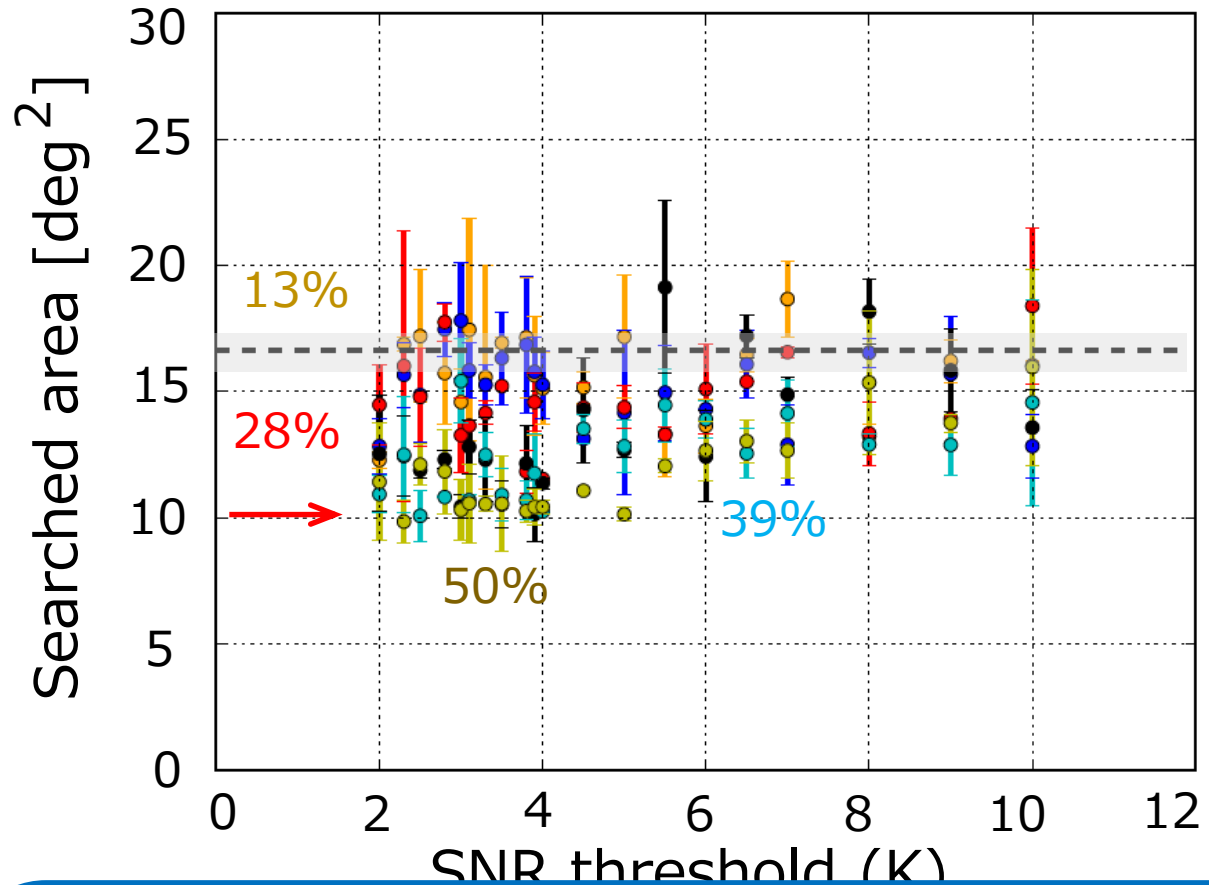
階層的な観測ネットワーク by;
HL: 54-54 Mpc, SNR threshold = 5,
V : >12 Mpc, SNR threshold ~ 3.5



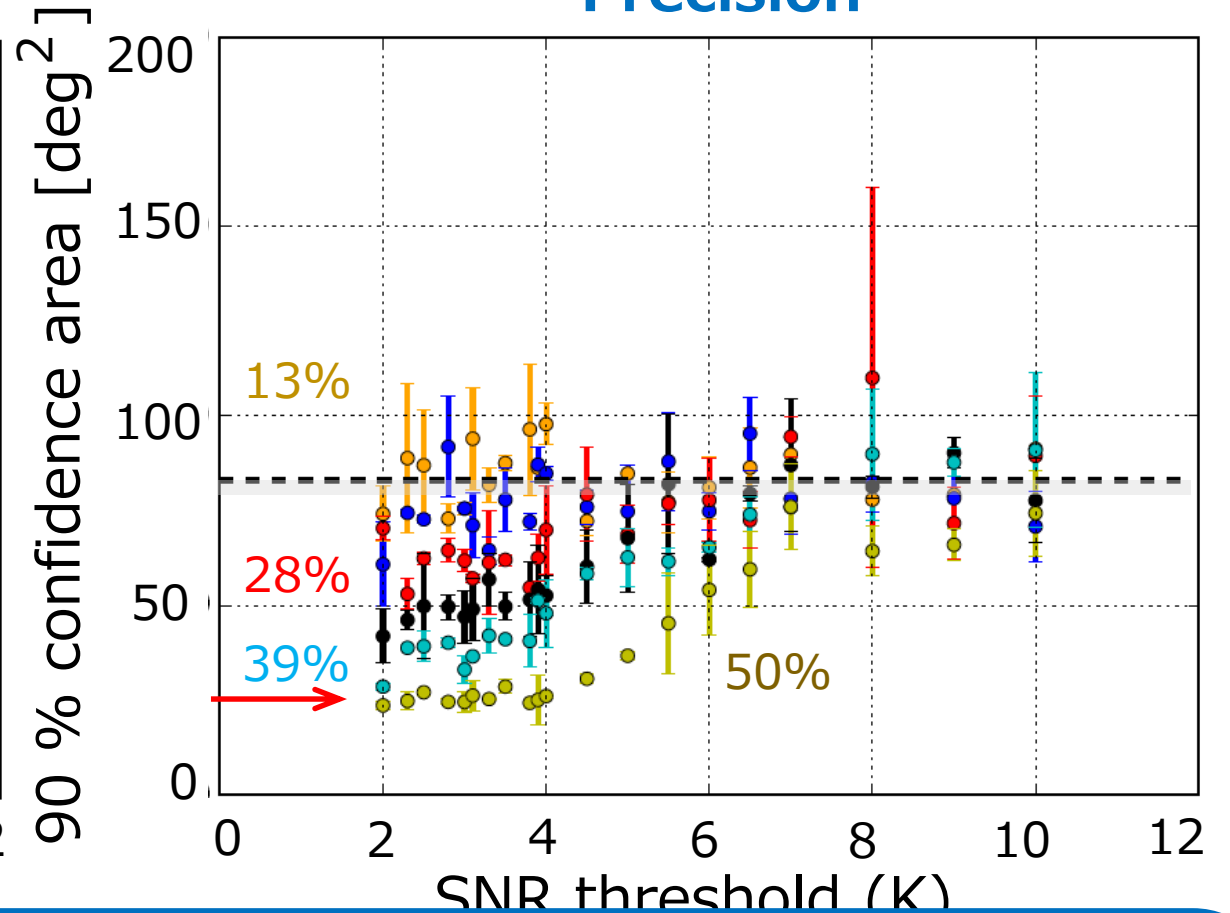
早期方向特定の
パフォーマンス向上が可

(thH, thL, thV, thK) = (5, 5, 3.5, var), K1range=27Mpc:

Accuracy



Precision



階層的な観測ネットワーク by;

H/L/V: 54-54-27 Mpc, SNR threshold = 5/5/3.5

K : >15 Mpc, SNR threshold ~ 4



パフォーマンス
向上が可