

DetChar MTG

2014年6月17日(火)

譲原浩貴

- 以下の論文について簡単に紹介する

The Critical Coupling Likelihood Method: A new approach for seamless integration of environmental and operating conditions of gravitational wave detectors into gravitational wave searches.

<http://arxiv.org/abs/1111.4516>

CCLを使う目的

Critical Coupling Likelihood (CCL) Methodは、
GW data channelとsensor channelにcouplingがある/ないを定量的に
判断できる手法

これを用いて効率的にノイズイベントを同定し、重力波探索を行う

GW channelと補助channelに表れるnoise couplingのmechanismを明
らかにできる可能性を秘めている

(SNR ≥ 8 のGW候補イベントのうち、80%以上の割合でノイズイベン
トと同定できた)

解析フロー

フローを示す図や説明が見つからない

1. 時系列データをtime-frequency空間でpre-processな解析を行う
(omega pipeline)
2. 出力されたSNRを集める、 ヒストグラムを取る
3. ヒストグラムを用意した分布でfitting
4. エントロピーが最大になるようにパラメーターを決定
- (5.)
6. CCL functionを計算する

SNRの分布をmodel化 ガウシアンノイズ

検出器からの得られるデータ =

ガウシアンノイズ+ 1つ以上の未知の分布のノイズ

時系列データをtime-frequency空間でpre-processな解析

→ ガウシアンノイズから計算したSNRはRayleigh分布として振る舞う

$$R(x) = \begin{cases} \frac{x}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} & , x > \rho_0 \\ 0 & , x \leq \rho_0. \end{cases}$$

x : SNR

σ : 鋭さを表すパラメーター、 $\sigma \sim 1$

SNRの分布をmodel化 未知分布のノイズ

1つ以上の未知の分布のノイズに対して、time-frequency空間でpre-processな解析をすると、SNRがoutlierとなる。そのようなはずれ値を分布に取り入れるためにmodified Weibull distribution(MWD)を用いる

$$W(z(x)|\alpha) = \begin{cases} \frac{k}{\lambda} \left(\frac{z(x) - \log \alpha}{\lambda} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{z(x) - \log \alpha}{\lambda} \right)^k} & , z(x) - \alpha > 0 \\ 0 & , z(x) - \alpha \leq 0 \end{cases}$$

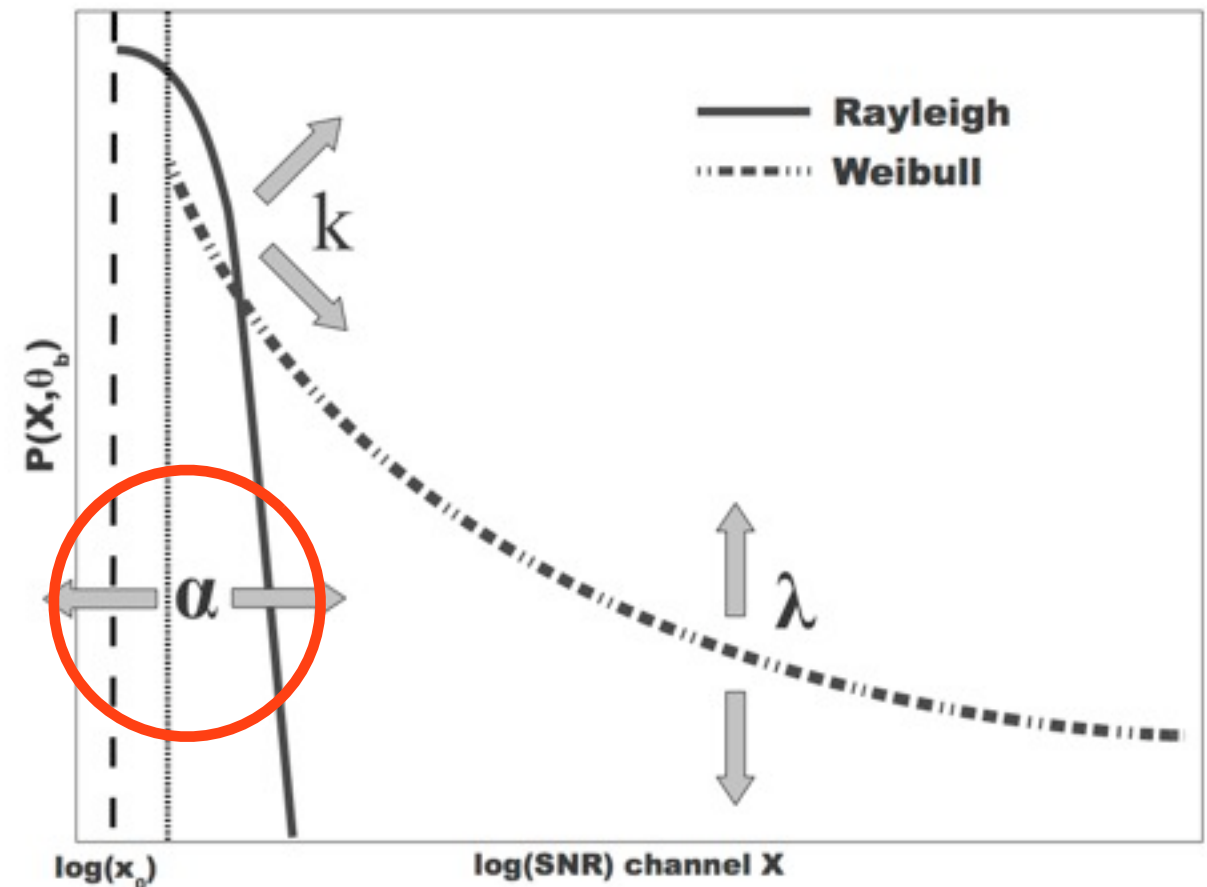
where $z(x) = \log(x)$.

x : SNR

k : 鋭さを表すパラメーター、 $k > 0$

λ : scale parameter、 $\lambda > 0$

α : shift parameter、 $\alpha \geq 0$



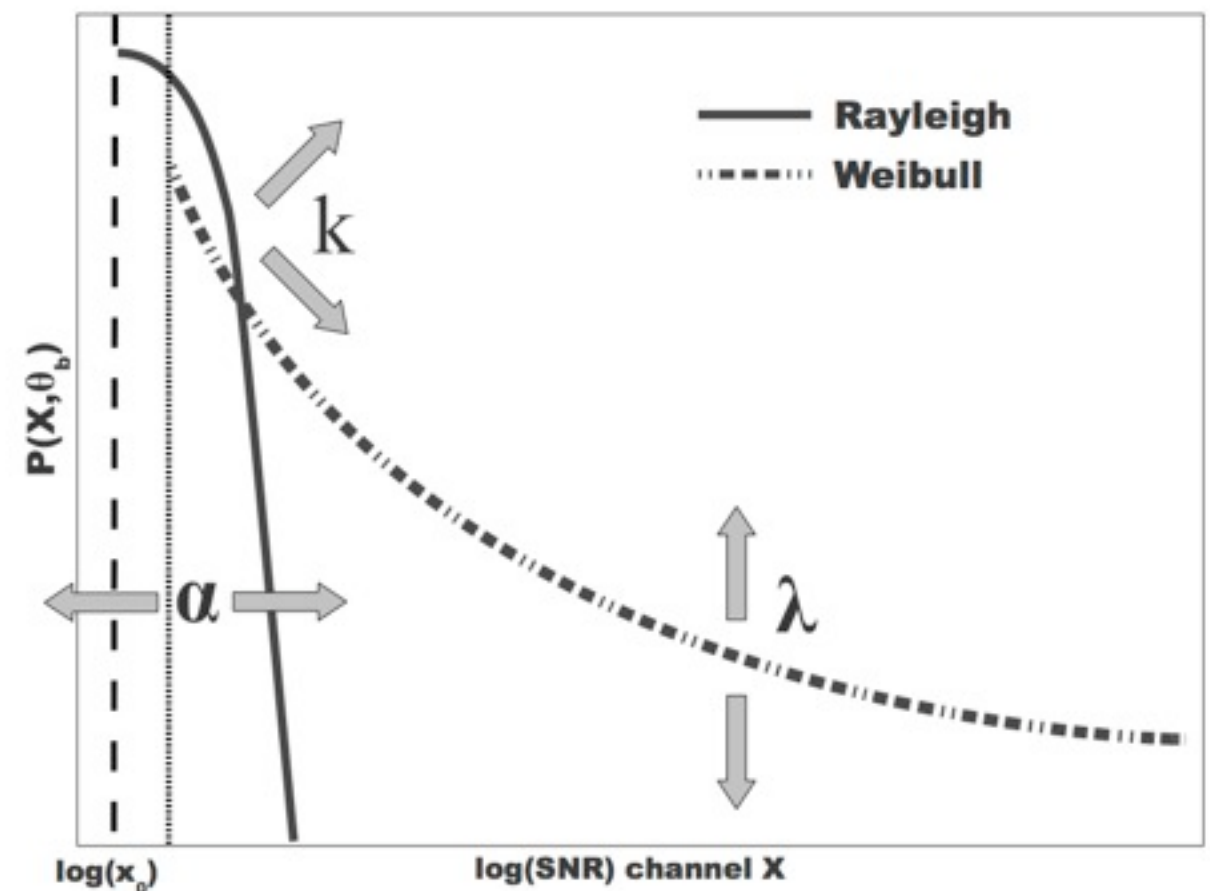
自作したSNRのpdf

$$C(x|\alpha) = \psi_1 R(x) + \psi_2 W(z(x)|\alpha),$$

ψ_i with $i = 1, 2$ はscaling parameter

確率密度関数なので、積分して1にならないといけない

$$\int_{\rho_0}^{x_{\max}} C(x|\alpha) = 1$$



CCL functionを計算

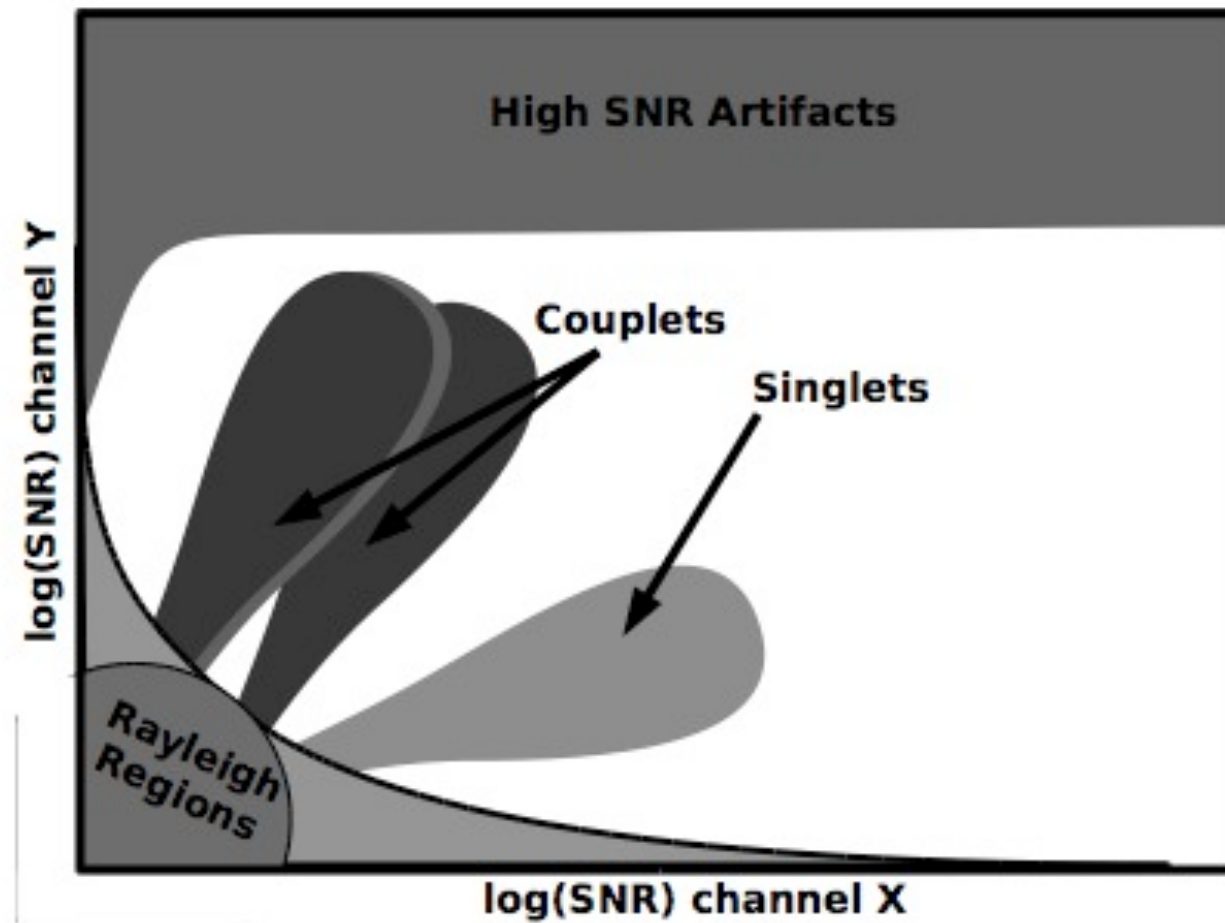
$$CCL(\mathbf{Y}, \mathbf{X} | \theta_f, \theta_b) = 2 \log_{10} \left(\frac{P(\mathbf{Y} \cap \mathbf{X}, \theta_f)}{P(\mathbf{Y}, \theta_b)} \frac{1}{P(\mathbf{X}, \theta_f)} \right).$$

xは

- CCL functionの値から次の3つの状況を推定できる
 1. no couplingである
 2. couplingしている
 3. couplingだと決めるには不十分な状態

実際のしきい値は $CCL \geq 1$ とした

CCL functionの可視化と解釈



CCLのpattern -> coupling mechanismを推定

それぞれ定性的な定義

- rayleigh region : ガウシアンノイズのfluctuationによる低SNRの領域
- singlets : log-logスケール上でquasi-linear relationがあるように見える領域
- couplets : log-logスケール上でquasi-bi-log-linearである領域
- high SNR : はっきりと定義できない

safe / unsafe channel

- ・ 補助チャンネル(sensor)は重力波到来に感度があるべきではない
重力波に感度がある補助チャンネルをunsafe channel
重力波に感度がない補助チャンネルをsafe channelと呼ぶ

hard injection testによって、事前にsafe / unsafeを判断しておく
KS検定を用いて

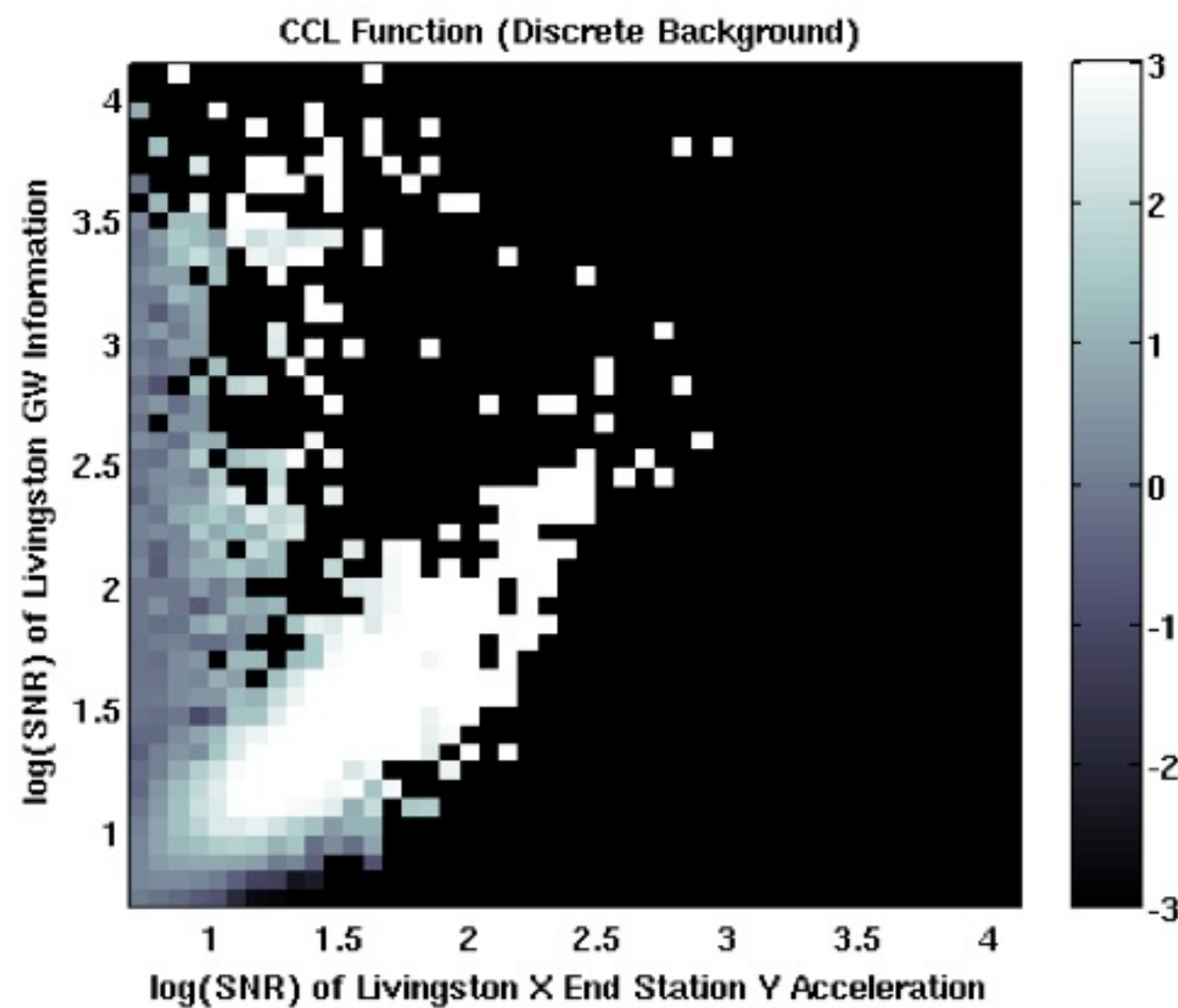
Safe CCL Function Properties		
	Livingston	Hanford
Median Injection Count Per Channel	2	4
Mean Injection Count Per Channel	2.7(1.04%)	4.7(1.54%)
Standard Deviation on Count Per Channel	2.3(0.87%)	4.2(1.39%)
Hardware injection artifacts in data set	265	303
Total Number of Channels	205	207

Unsafe CCL Function Properties		
	Livingston	Hanford
Median Injection Count Per Channel	7	9
Mean Injection Count Per Channel	6.8(2.58%)	9.2(3.04%)
Standard Deviation on Count Per Channel	1.2(0.47%)	3.1(1.05%)
Hardware injection artifacts in data set	265	303
Total Number of Channels	9	10
Ph.D. Thesis, MIT Dept. of Physics		

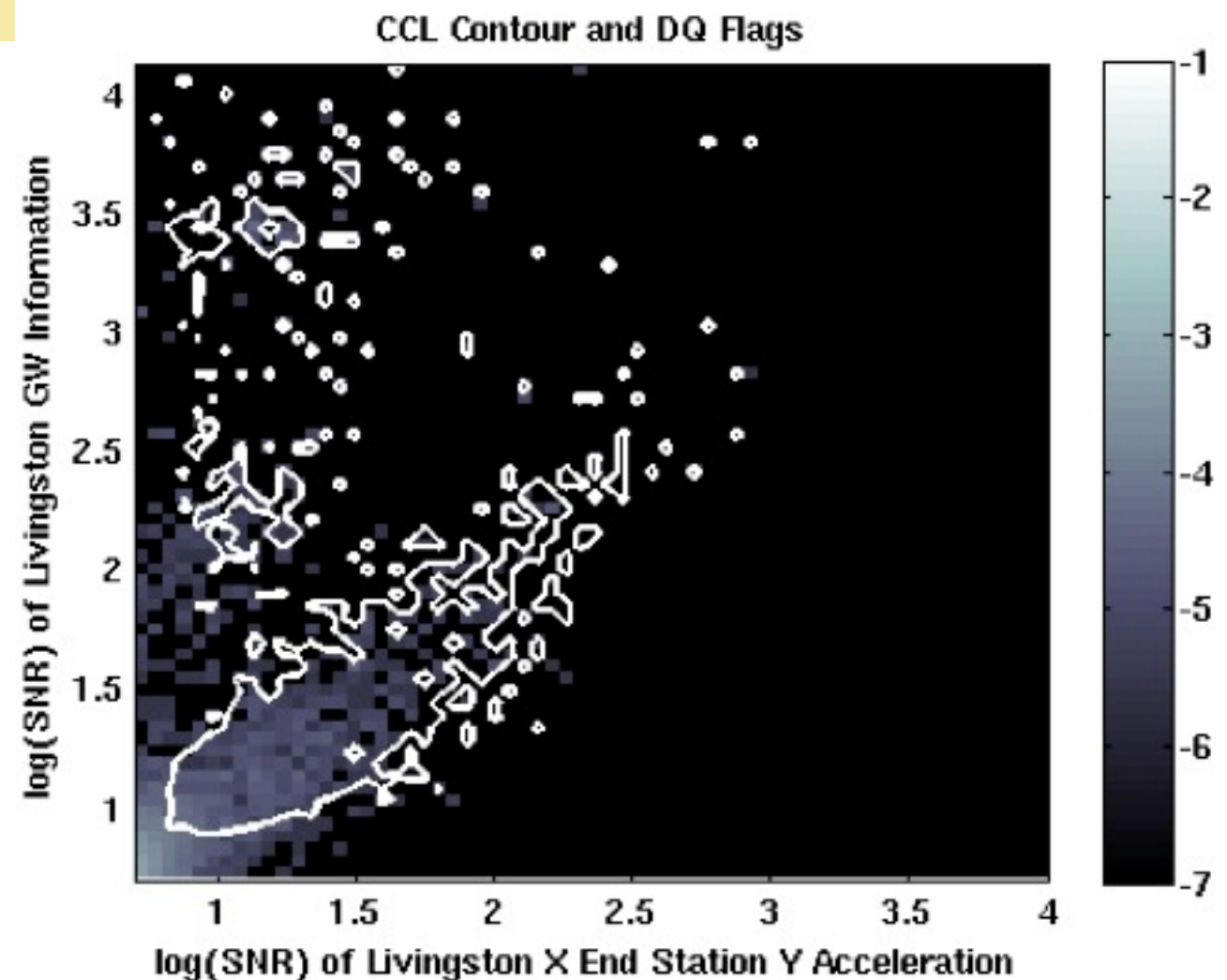
解析セットアップ

- LIGO S6 2ヶ月のデータのうち、解析に用いたのは合計3.5日分
- 計算コスト、5~10channelのデータをonlineで解析するには1core必要
- 今回の結果は一例、さらに最適化可能
しかし今回の解析ですでにCCLの性能は十分示せた
- LivingstonとHasfordではCCL functionの振る舞いは異なる
運転環境の違いが原因

singletとして表れる例



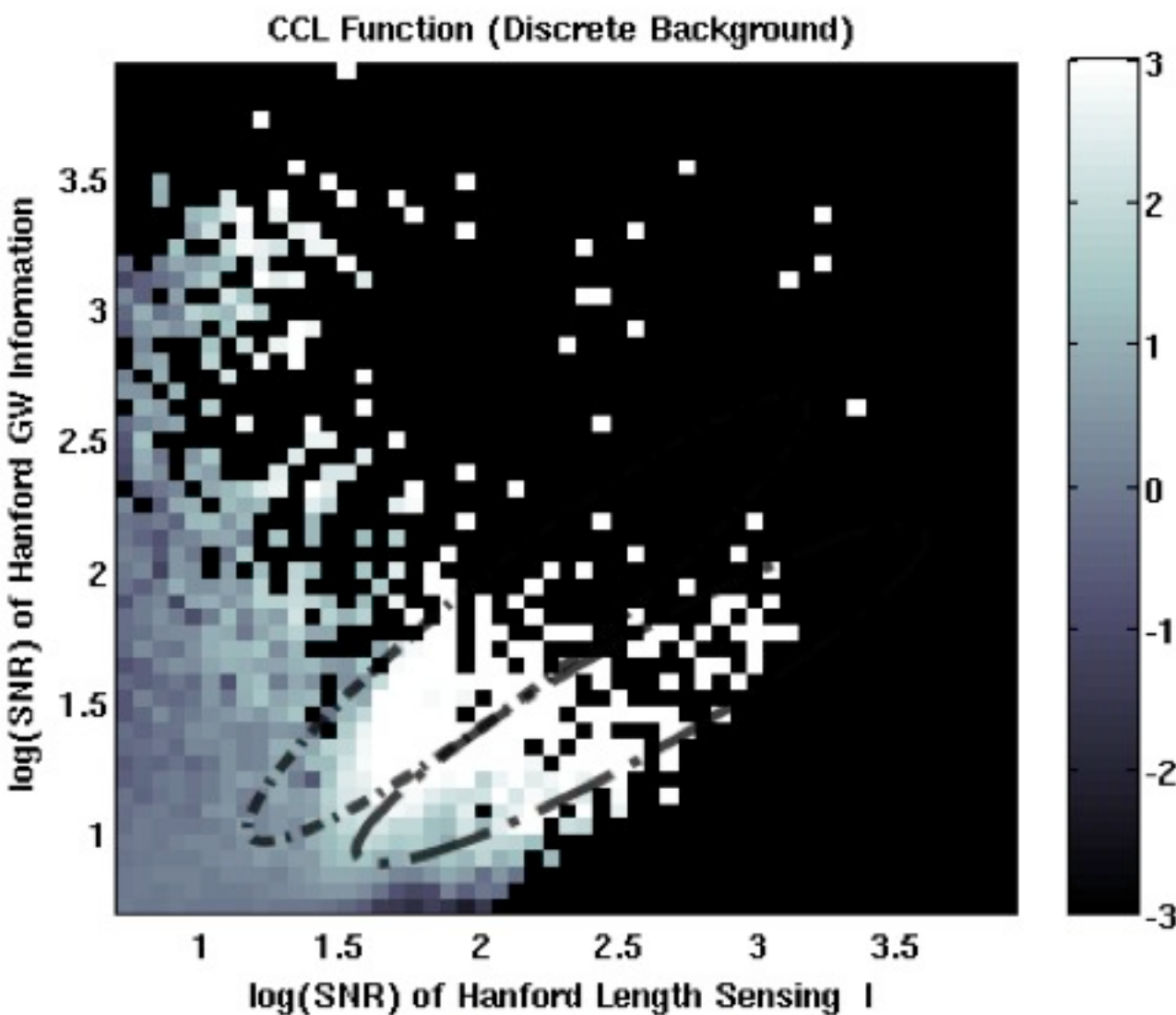
(a) CCL Function LLO (Singlet)



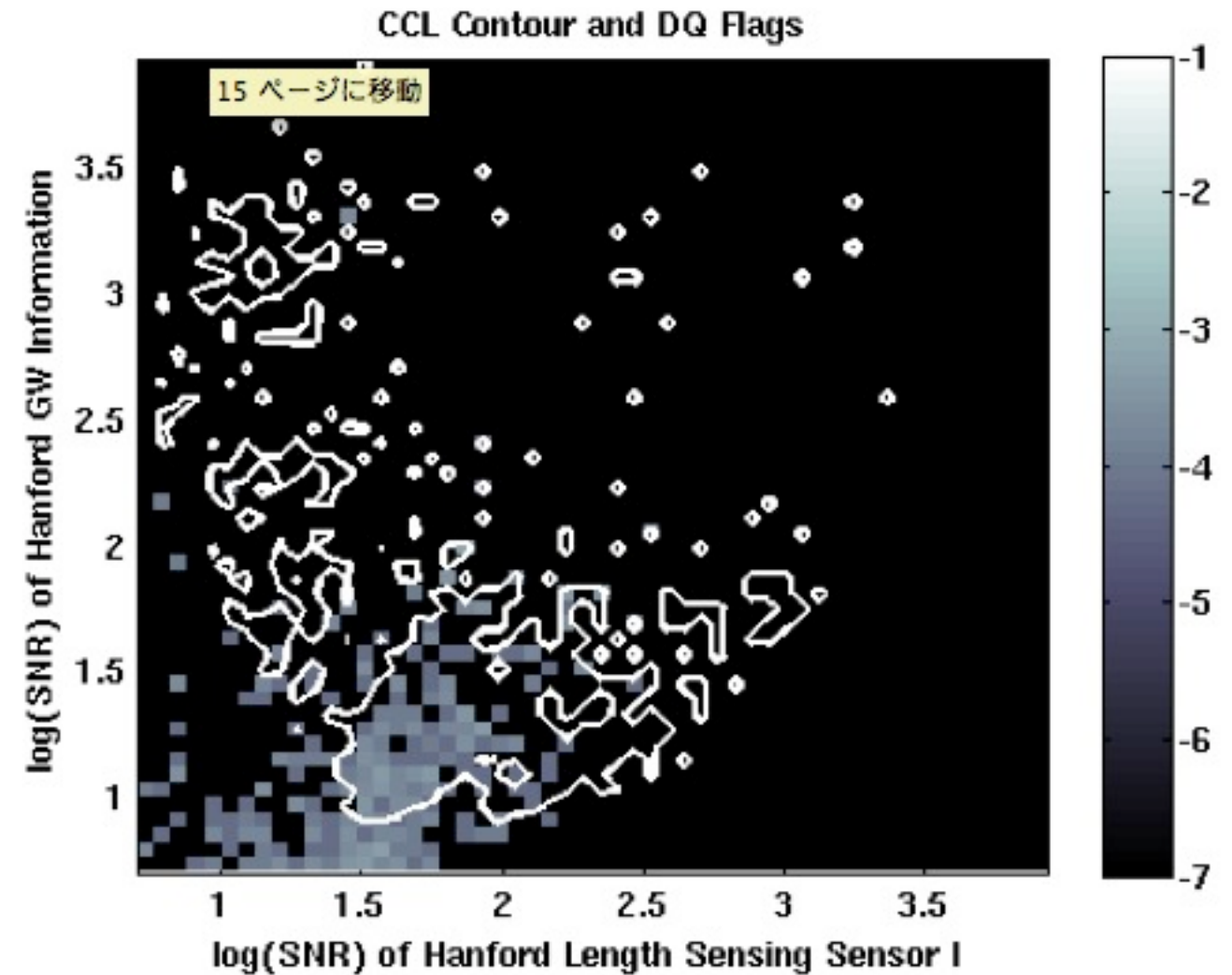
(b) CCL Function Contour includes DQ flags

- (左図) singletの例、GW channelと補助channelにlog-linear correlation couplingの経路：seismic motion→optics tableに設置された加速度計→X endのtest massのpitch motion

coupletとして表れる例



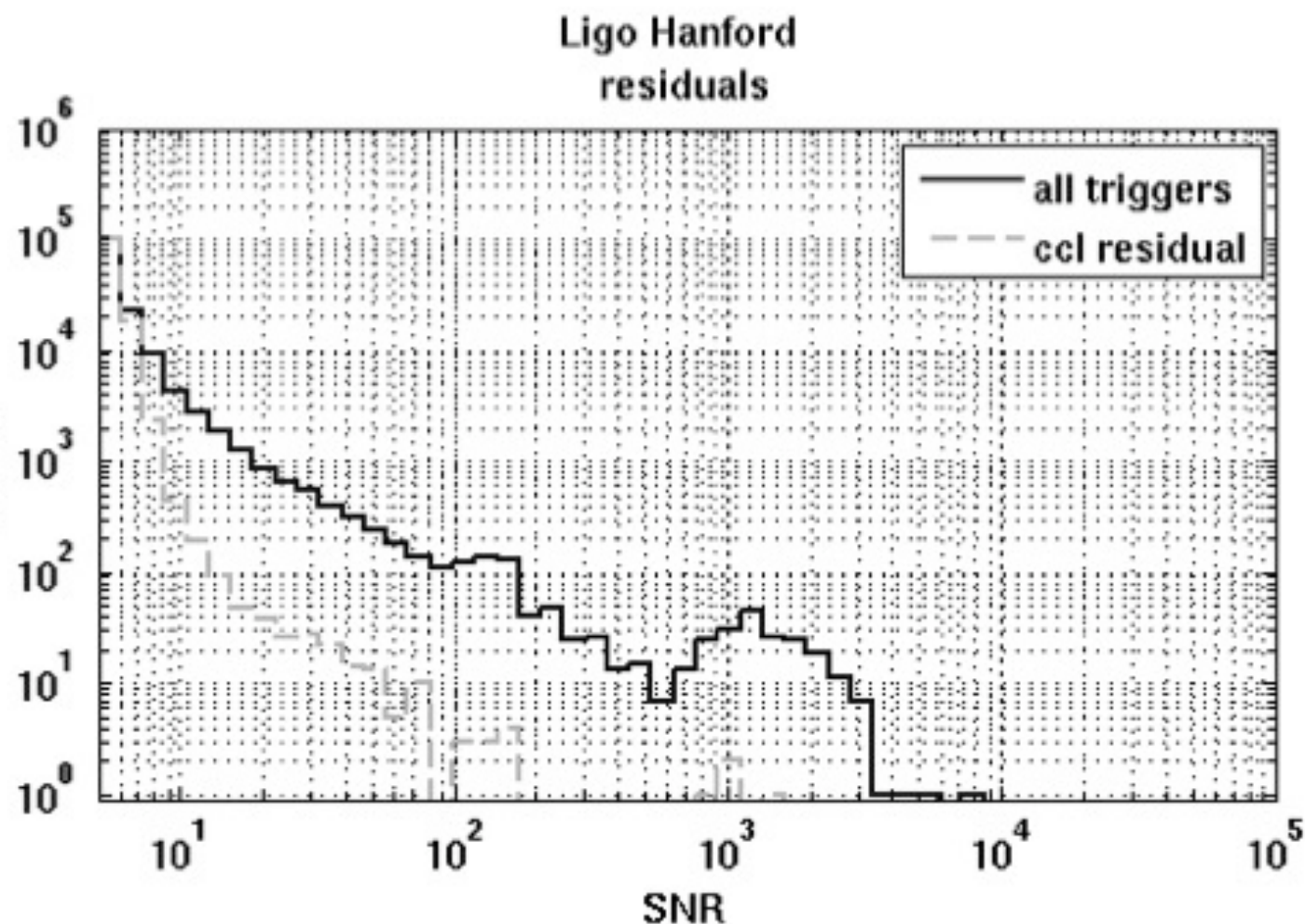
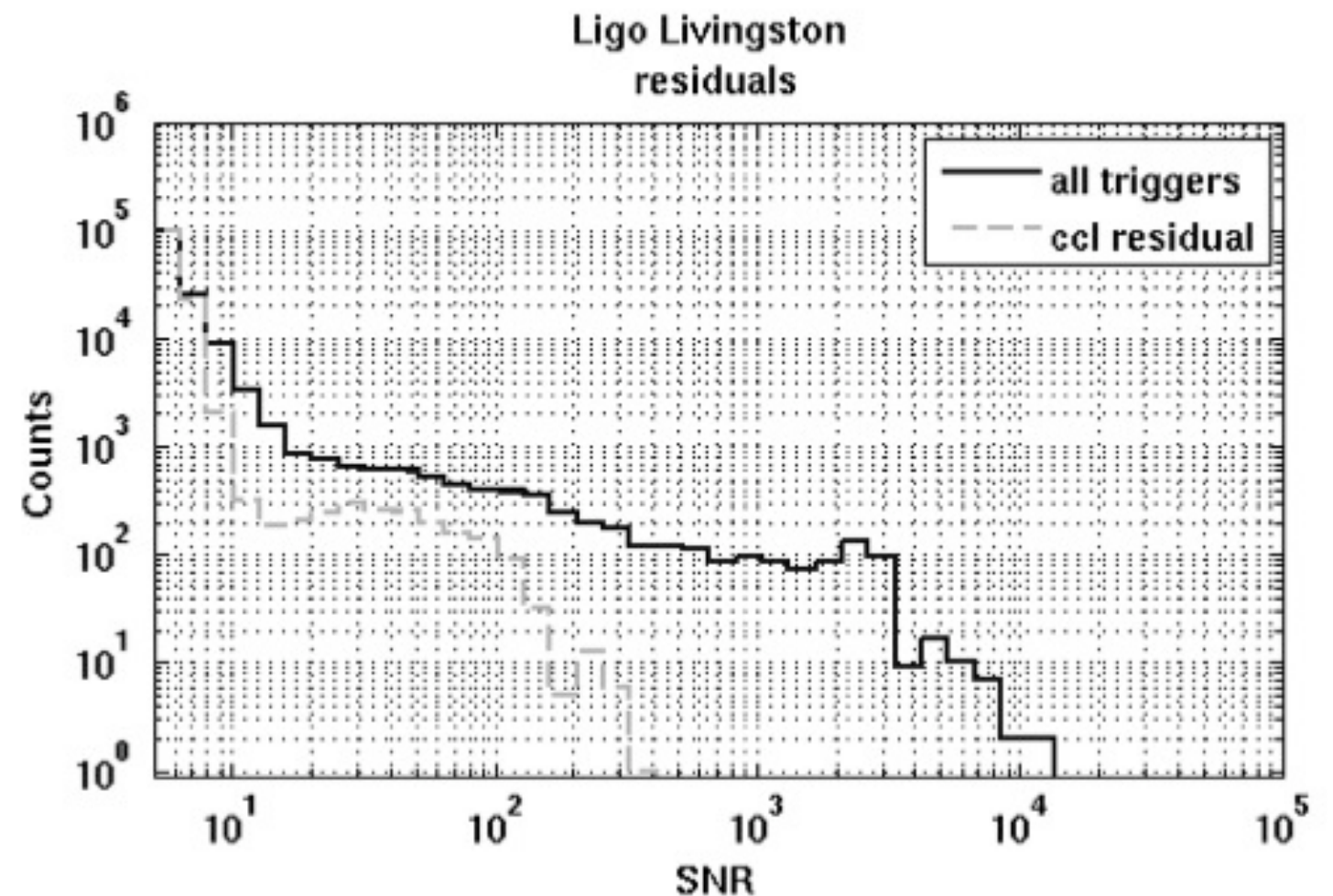
(a) CCL Function (Couplet)



(b) CCL Function Contour includes DQ flags

- ・ (左図) coupletの例、角度を持った2つの構造が見られる
GW channelと補助channelにbi-model correlation

SNRのヒストグラム



CCLによって、点線までtriggerから
noise coupling eventを減らせた
(しきい値は $CCL \geq 1$)

SNRの高いoutlierを取り除きつつ、
低SNRはそのまま残せている

CCLのefficiencyとdead time

	Livingston	Hanford
Deadtime	13.9%	15.1%
SNR($\geq$)	%	%
5	14.4	16.3
8	82.3	93.5
10	88.8	96.7
20	86.7	98.0
50	92.4	98.9
100	98.0	99.2

- deadtime : 解析から取り除かれるべきnoise eventを含んだデータ時間
- efficiency : GW候補イベントをnoise couplingイベントと同定する割合
- SNR ≥ 8 のGW候補イベントのうち、80%以上の割合でノイズイベントと同定できている
- さらなるデータを使った解析が必要だが、今回のstudyでCCLが重力波探索に有益であることは十分示せた