KAGRA Detector Characterization: リアルタイム非ガウス雑音モデリングシステムの開発

20aSB-10

2014/9/20　日本物理学会@佐賀大学

山本尚弘, 端山和大, 譲原浩貴, 小野謙次^A^, 間野修平^B^,
西澤篤志^C^, 横山順一^D^, 伊藤洋介^D^,宮川治^A^,
神田展行, KAGRA Collaboration

阪市大理, 東大宇宙線研^A^, 統数研^B^,
カリフォルニア工科大^C^, 東大理物^D^

モチベーション

TAMAやLIGOの経験から非ガウス雑音の存在が知られる

・目標感度より悪い感度でリミットされる可能性がある

・雑音分布の裾にあたるイベントが重力波と誤認される

干渉計雑音の非ガウスさを定量的にモデル化する

・ガウス性の悪い周波数帯、時間帯の特定

・雑音源候補の絞り込み

・非ガウス雑音源のリスト化

モニタツールを開発

これらの事をKAGRA コミッショニング
観測時にリアルタイムに行う

モチベーション

干渉計の状態、干渉計まわりの環境の状態を把握する

得た情報を検出器、データ解析に還元

検出器：雑音源候補の絞り込み

目標感度の早期達成や

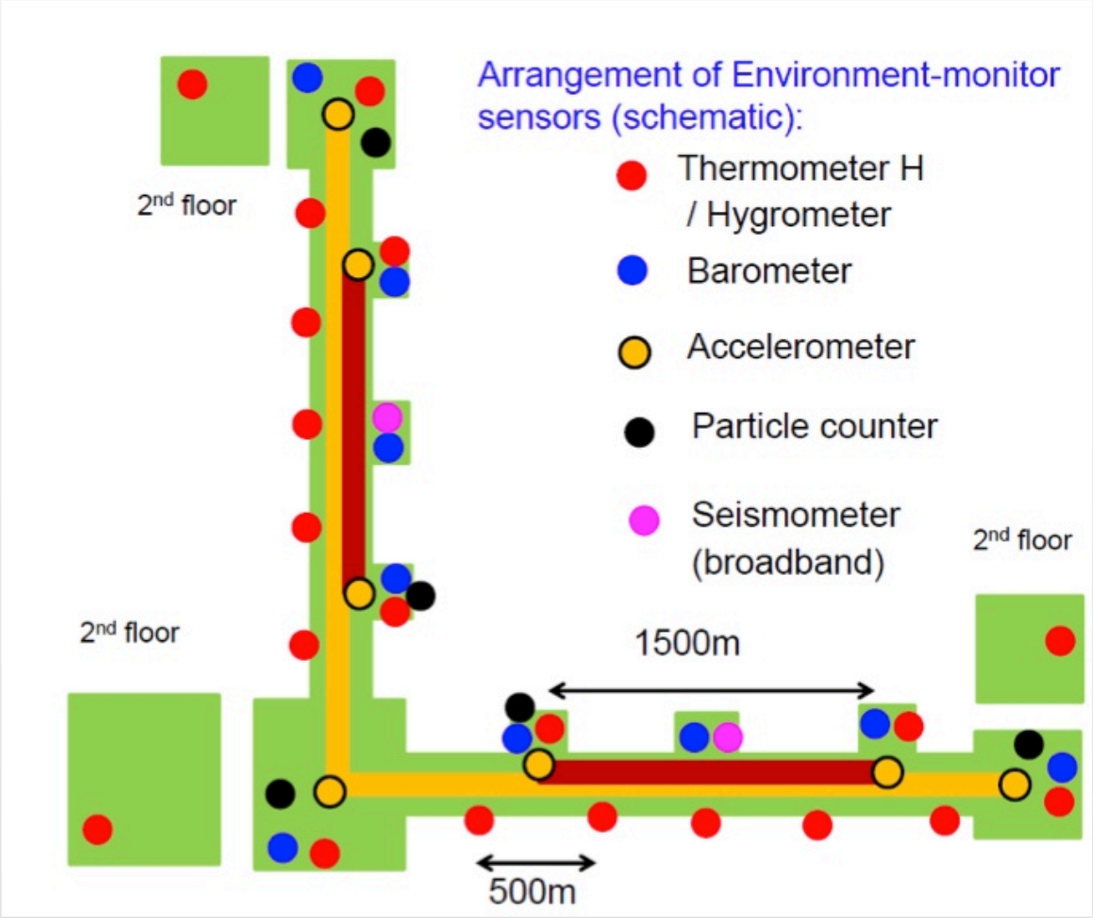
安定した運転に貢献

解析：データの質を評価

使える／使えない

定常／非定常

ガウス／非ガウス

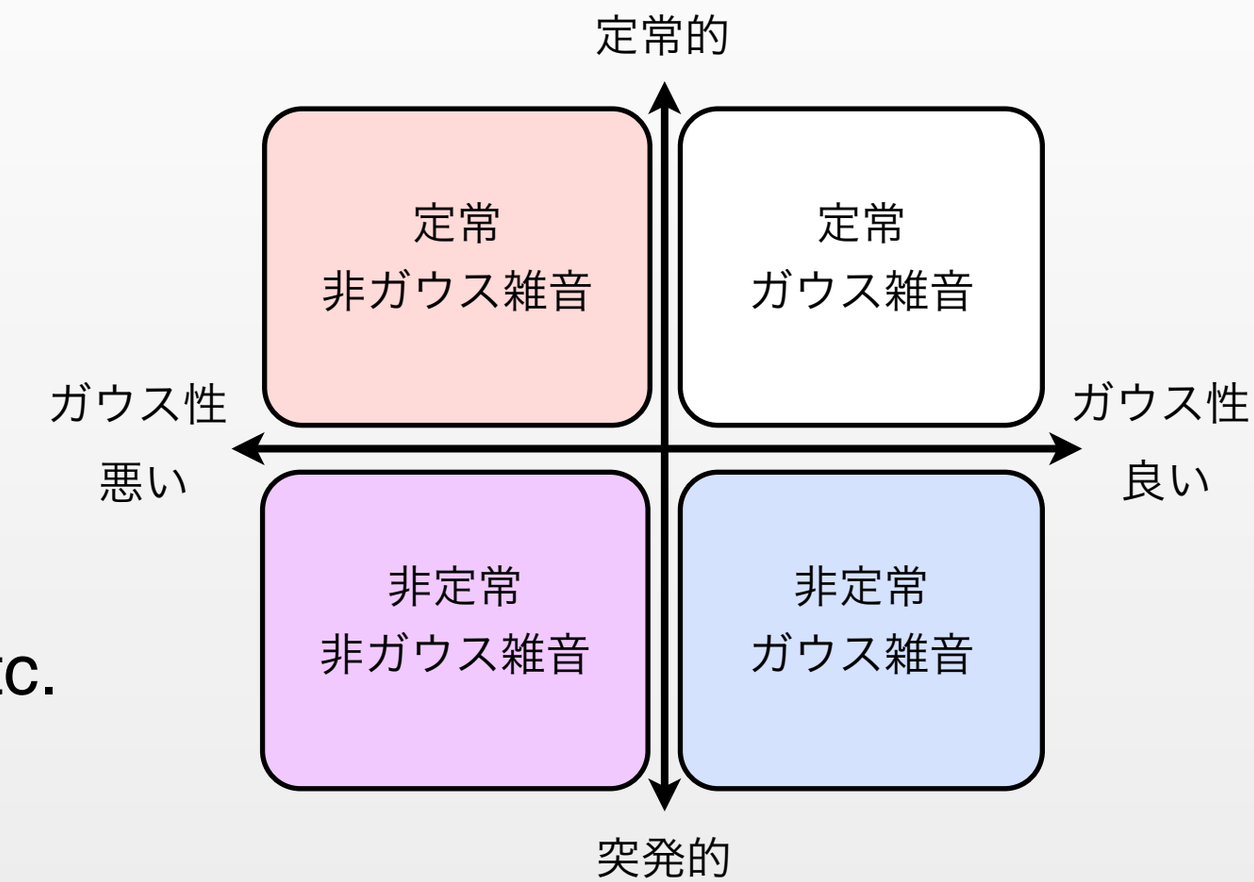


新谷さんのスライドより

雑音モデルの分類

ガウス雑音からのズレ

・定常ガウス雑音 + 非定常雑音
・定常非ガウス雑音
・定常非ガウス雑音 + 非定常雑音 etc.



信号の非定常性を見るツール：KleineWelle, Omega (LAL)...

LAL: LIGO/LSC Algorithm Library

信号の非ガウス性を見るツール：望遠鏡診断としてリアルタイムに動かす
という要求に応えるため、実装を行う

非ガウス雑音モデル

ガウス雑音

Re[n(f)], Im[n(f)] がそれぞれガウス分布に従う

|n(f)|で見るとレイリー分布に従う

$$f(x) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)$$

非ガウス雑音：Student-t雑音を導入

Re[n(f)], Im[n(f)]がそれぞれStudent-t分布に従う

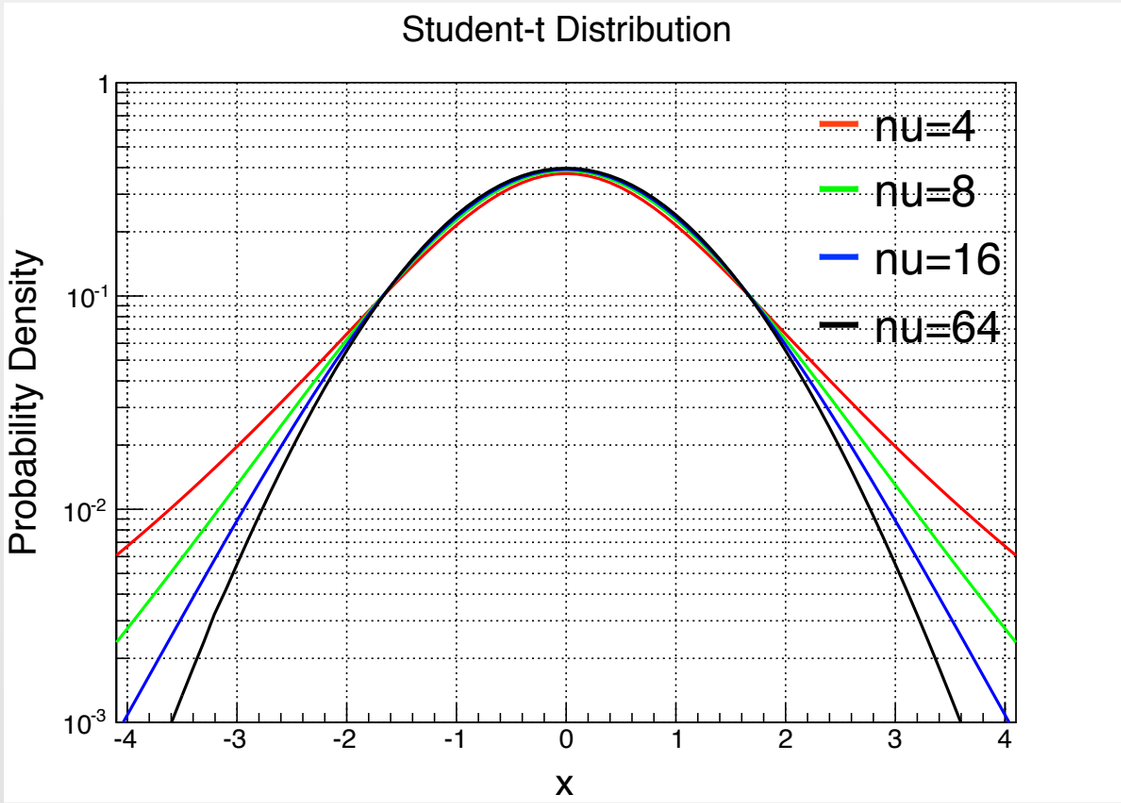
ガウス分布の裾を大きくしたような分布

$$f(t) = \frac{\Gamma((\nu+1)/2)}{\sqrt{\nu\pi}\,\Gamma(\nu/2)}(1+t^2/\nu)^{-(\nu+1)/2}$$

1パラメータ(ν)で特徴付けられる

$\nu = \infty$ の極限でガウス分布と一致

分布の裾イベントを分かりやすい指標でモデル化出来ないか？



非ガウス雑音モデル

Student-t雑音環境では

lh(f)lがStudent-Rayleigh分布

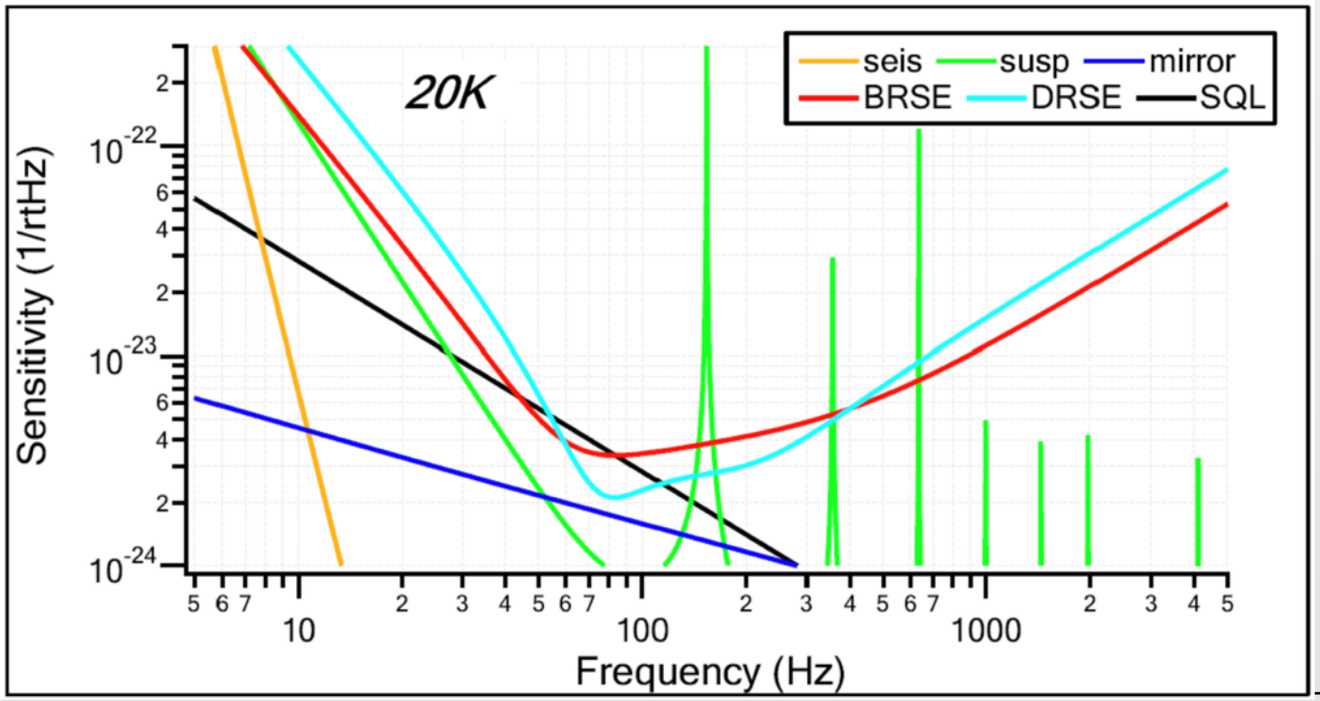
$$f_{\mathrm{SR}}(x|\sigma,\nu) = \frac{x}{\sigma^2} f_{F(2,\nu)}\left(\frac{x^2}{2\sigma^2}\right), \qquad \text{(A18)}$$

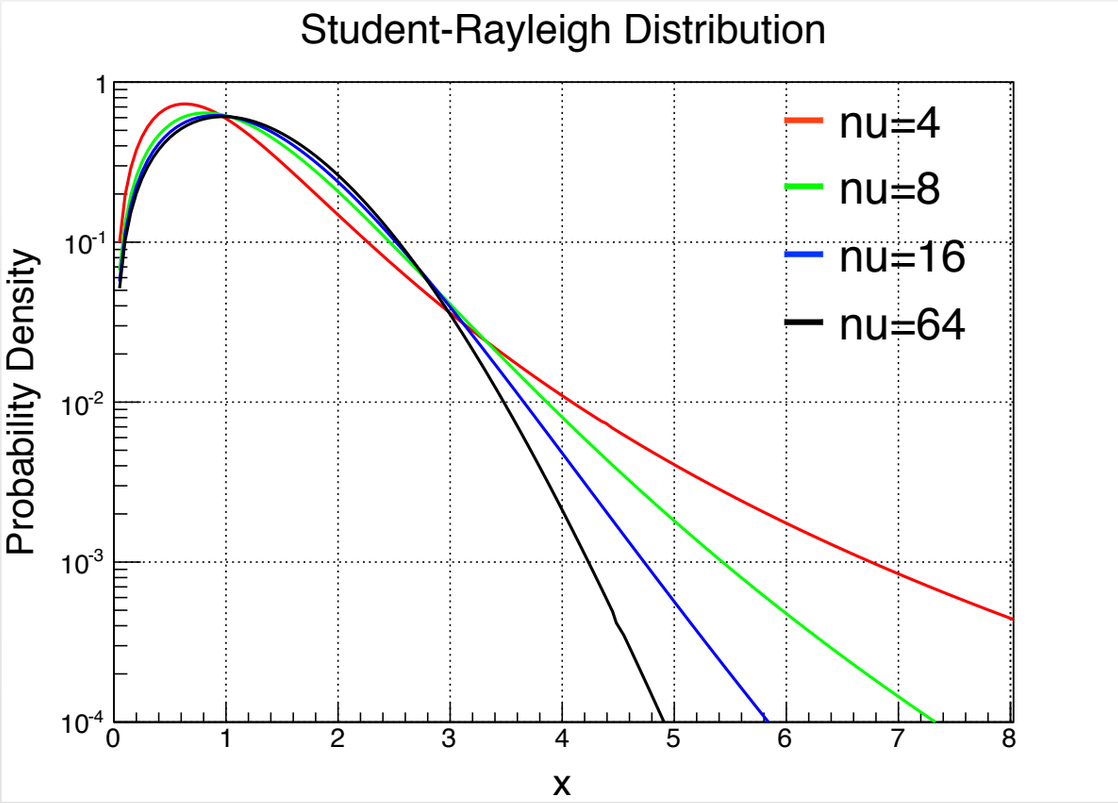
$f_F(x)$はF分布関数

C. Röver (2011) http://arxiv.org/abs/1109.0442

$\nu = \infty$ の極限でレイリー分布と一致する

http://gwwiki.icrr.u-tokyo.ac.jp/JGWwiki/KAGRA

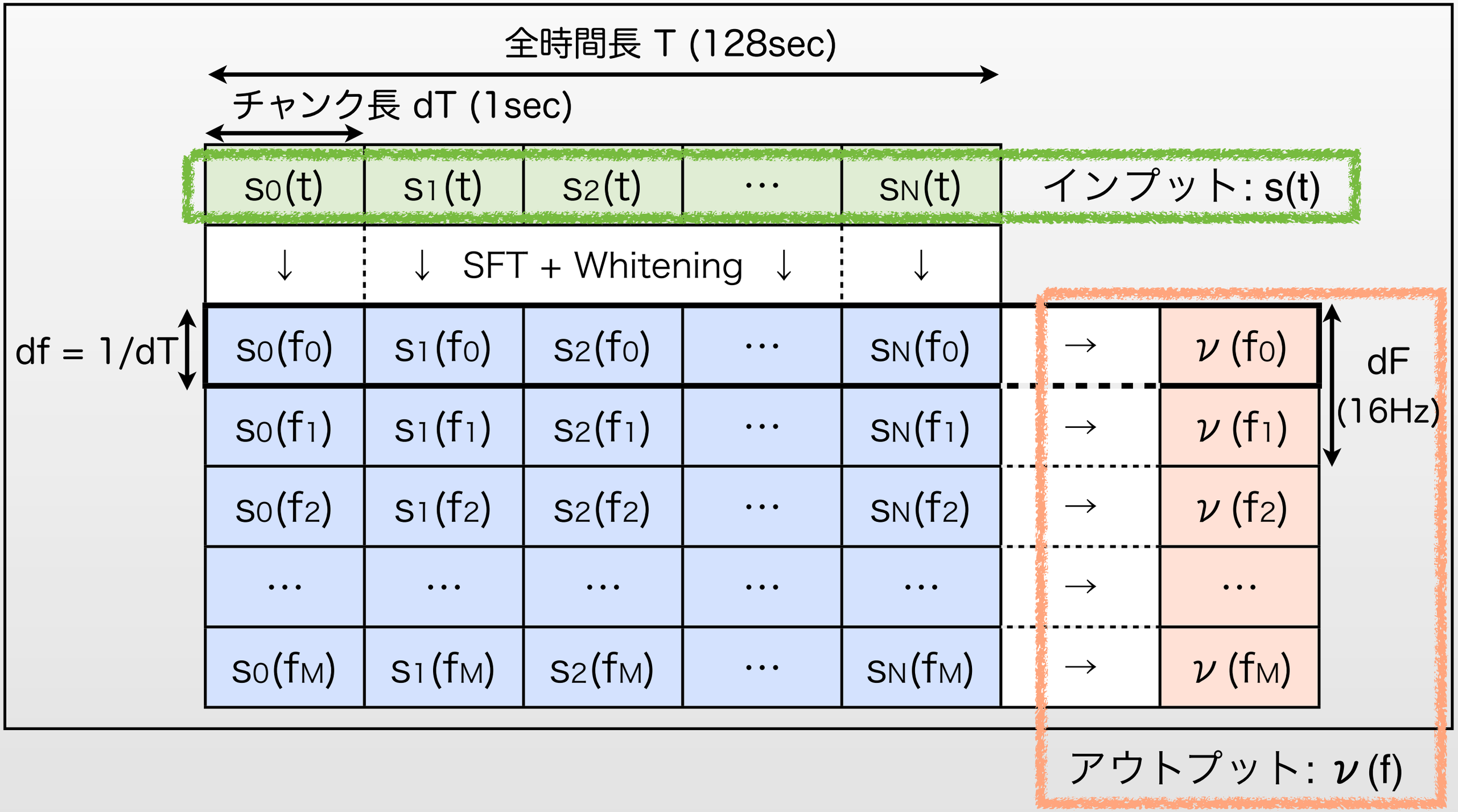




非ガウスモニタ

[1] 干渉計信号をスペクトログラム化(Short Fourier Transform)

[2] 各周波数帯毎にStudent-t分布を用いνを推定



□ ν の推定

$s_0(f_{j=x})$	$s_1(f_{j=x})$	$s_2(f_{j=x})$	$\cdots$	$s_M(f_{j=x})$	$\rightarrow$	$\nu\,(f_{j=x})$

標本 $s_i(f_{j=x})$ からどのように $\nu\,(f_{j=x})$ を見積もるのか？

[1] 推定のベースとするquantile α (=0.99) を決める

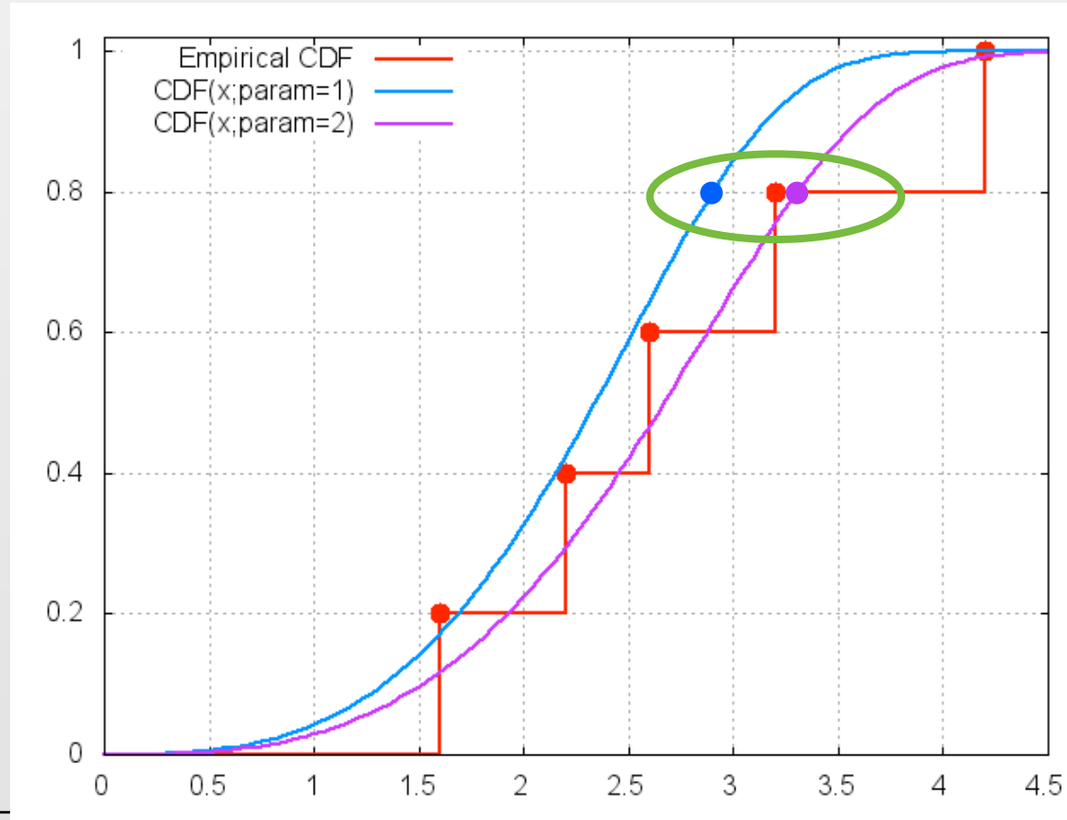
[2] $s_i(f_{j=x})$をソートする

[3] ソート済みの$s_i(f_{j=x})$からαの位置にあるデータ$s_{i=\alpha M}(f_{j=x})$を取り出す

[4] Student-Rayleigh分布の累積度数分布がαとなる$s_{true}(\alpha;\nu)$を
νを変えながら計算する

[5] $s_{true}(\alpha;\nu)$が$s_{i=\alpha M}(f_{j=x})$に最も近い
値となるνを$\nu\,(f_{j=x})$に採用する

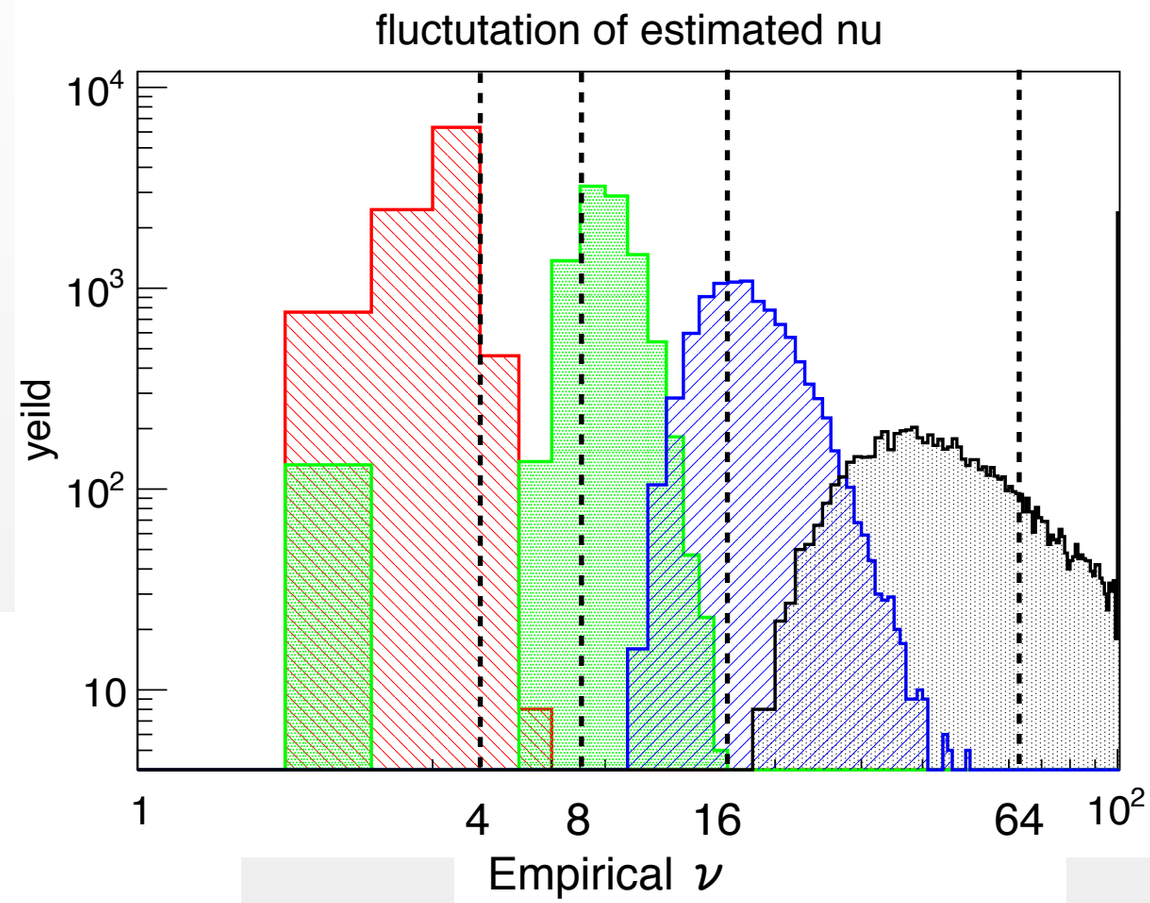
分布全体で最小二乗法・最尤法
を用いる手法も検討中

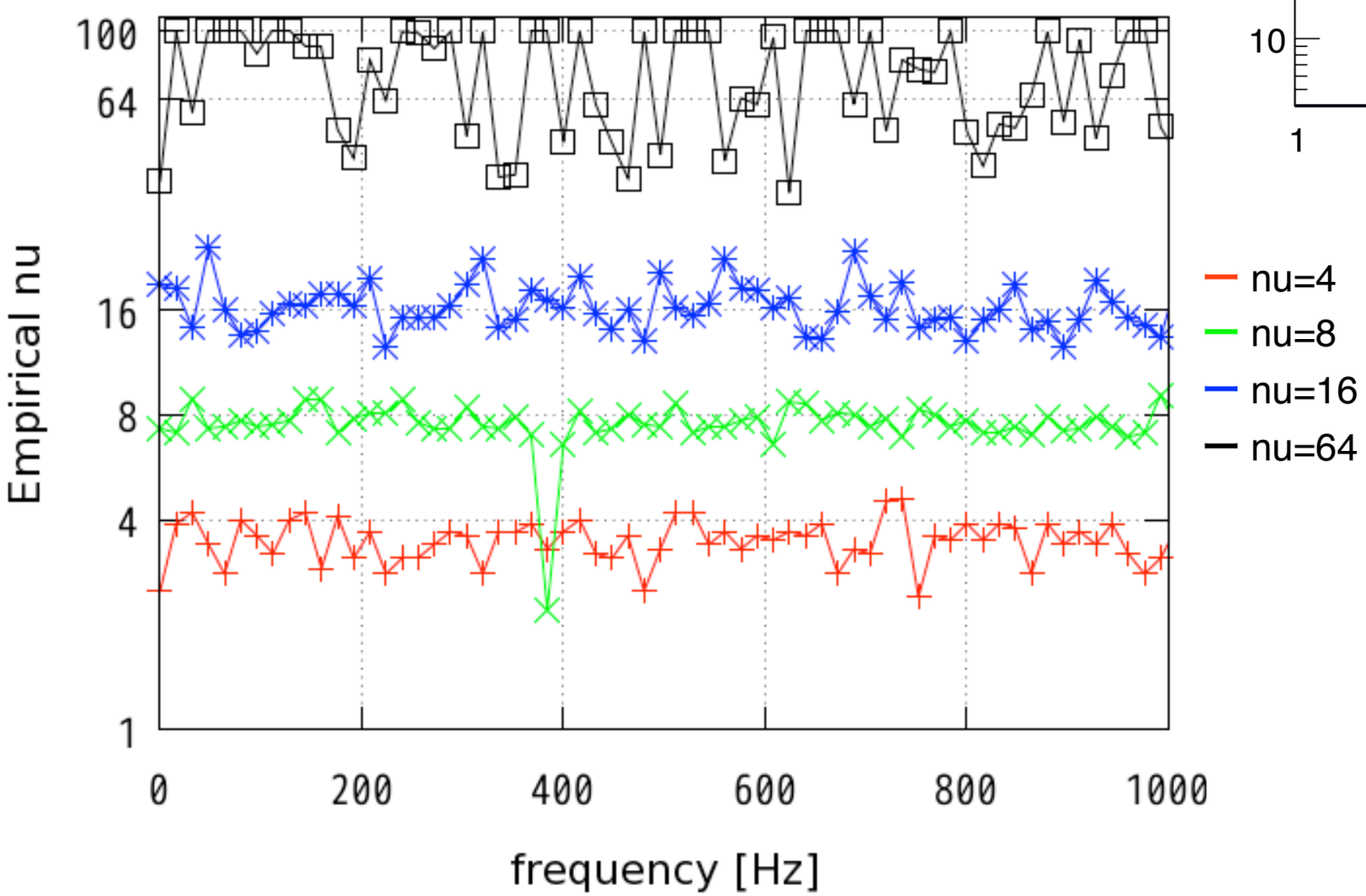


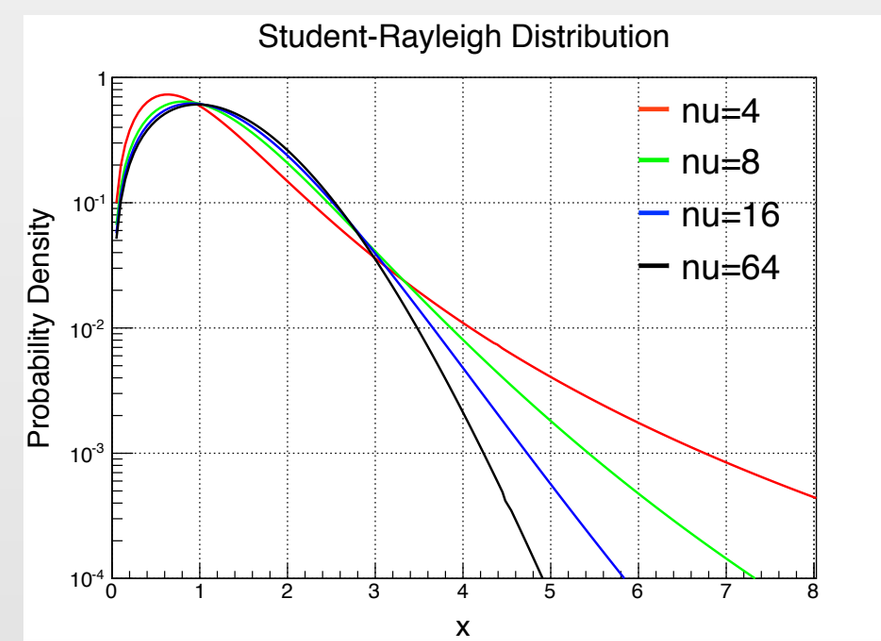
非ガウスモニタ ～ シミュレーションテスト

既知の ν に対してパフォーマンステスト

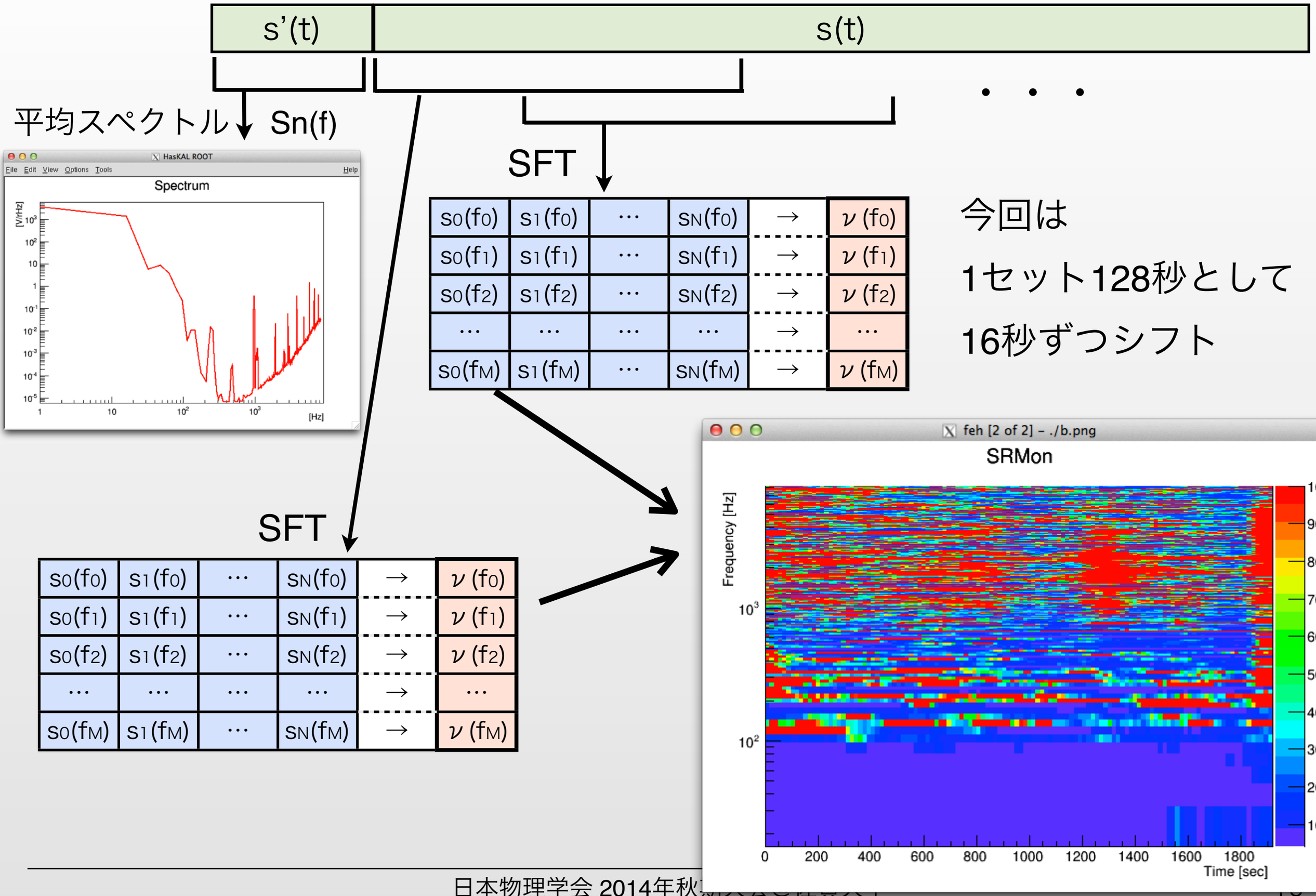
- ν =4, 8, 16, 64の雑音を
  シミュレーション生成
- ν の違いが検出できる事を確認







非ガウスモニタ ～ 長時間運用



今回は

1セット128秒として

16秒ずつシフト

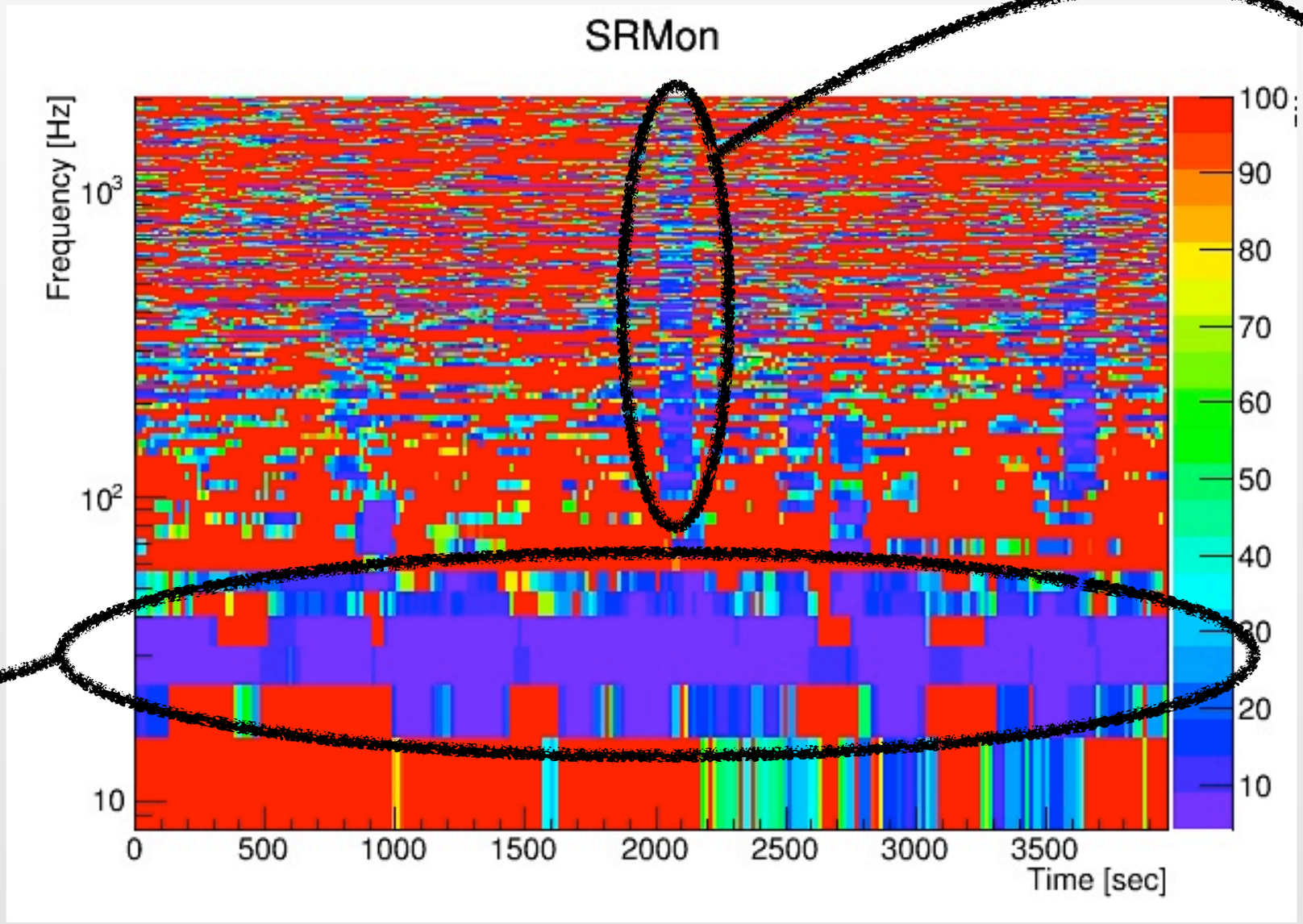
非ガウスモニタ ～ LIGOデータ

LIGO S5データ(https://losc.ligo.org/start/)に適用

GPS Time：842747904

dt = 16 [sec], df = 16 Hz

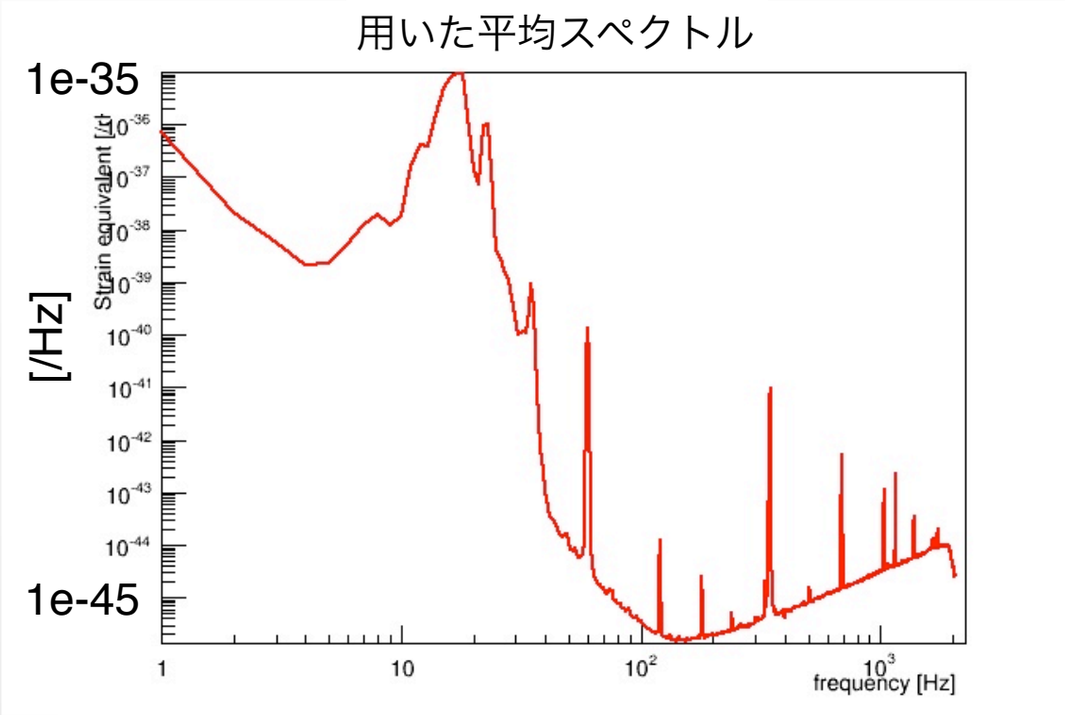
定常的に
ガウス性が
悪い

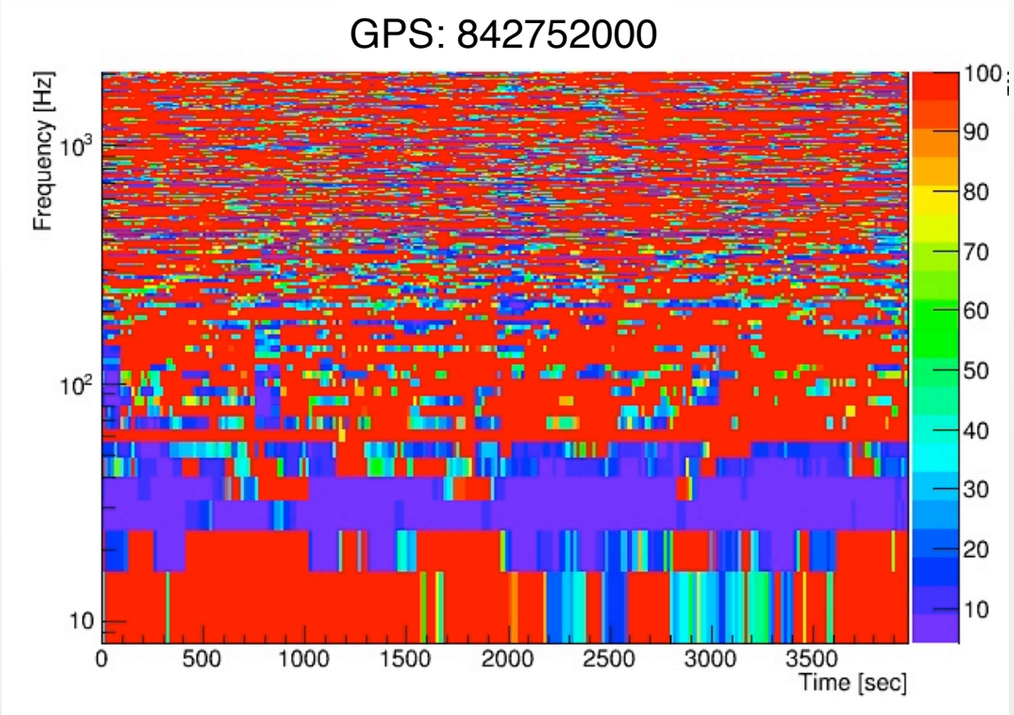


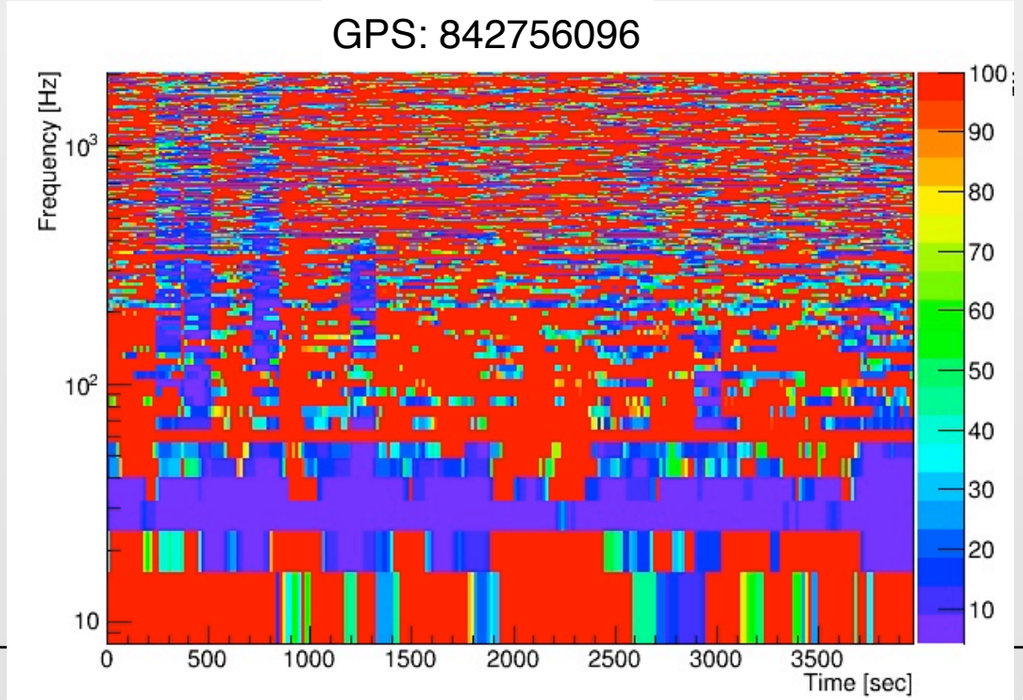
突発的に
ガウス性が
悪くなる

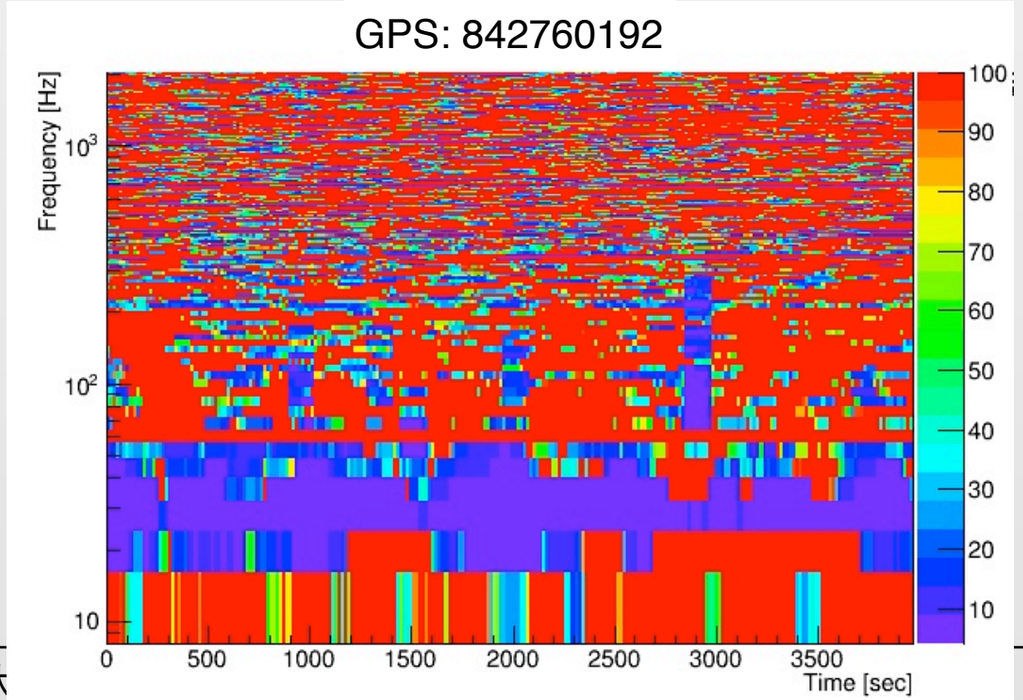
非ガウスモニタ ～ LIGOデータ

連続したデータ(約5時間)に対して適用









❑ まとめ

干渉計雑音の非ガウスさを評価するツールを開発

・シミュレーション雑音にてνの違いを検出できる事を確認

・実データを用いて長時間データ(約5時間)に耐えうる事を確認

Future Work

・主干渉信号とその他環境信号の非ガウスさ相関を調べる

・非定常モニタツールを利用し、非ガウス・非定常の切り分けを行う

Acknowledgement

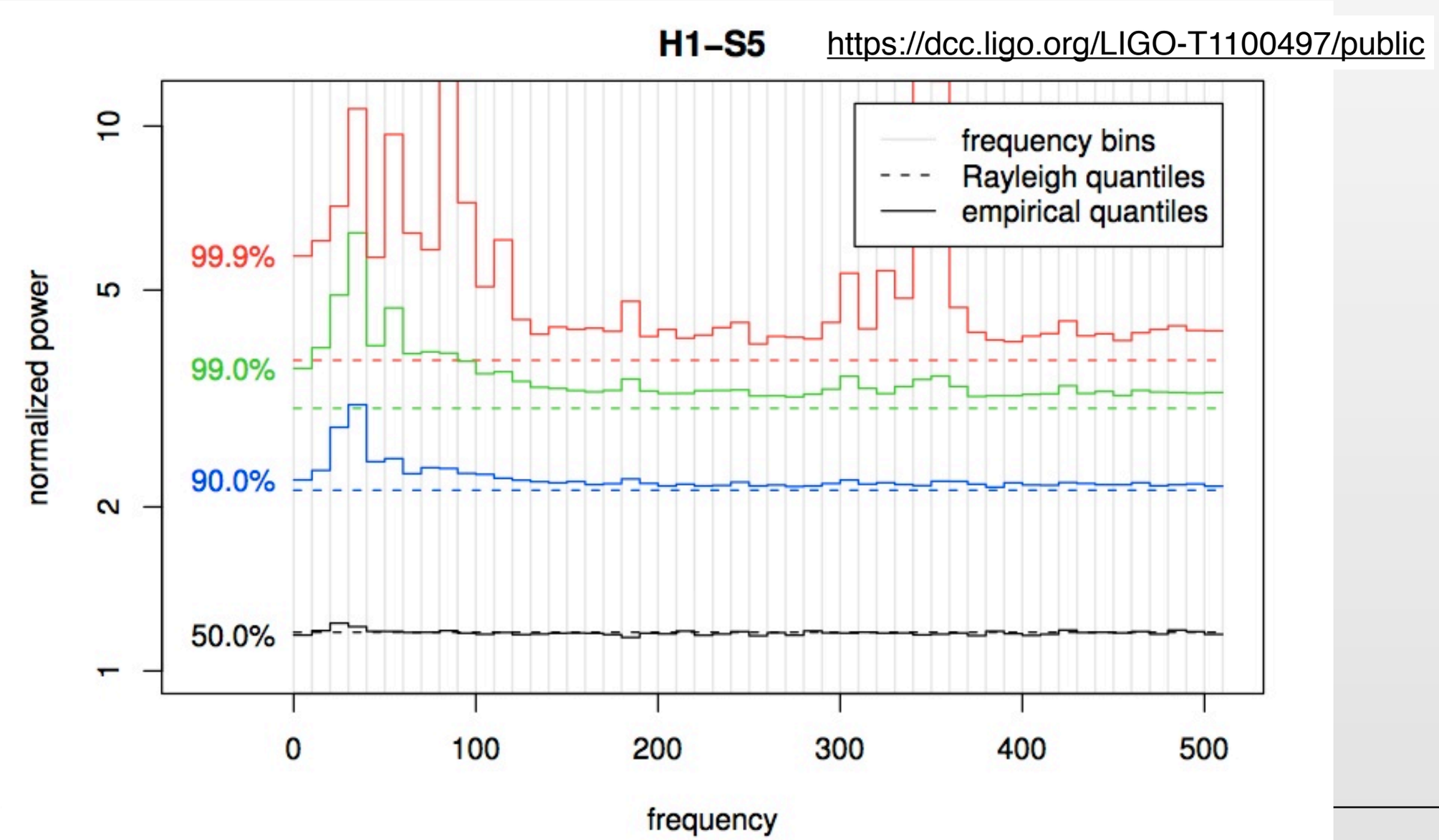
This research has made use of data, software and/or web tools obtained from the LIGO Open Science Center (https://losc.ligo.org), a service of LIGO Laboratory and the LIGO Scientific Collaboration. LIGO is funded by the United States National Science Foundation.

・***S5: http://dx.doi.org/10.7935/K5WD3XHR***

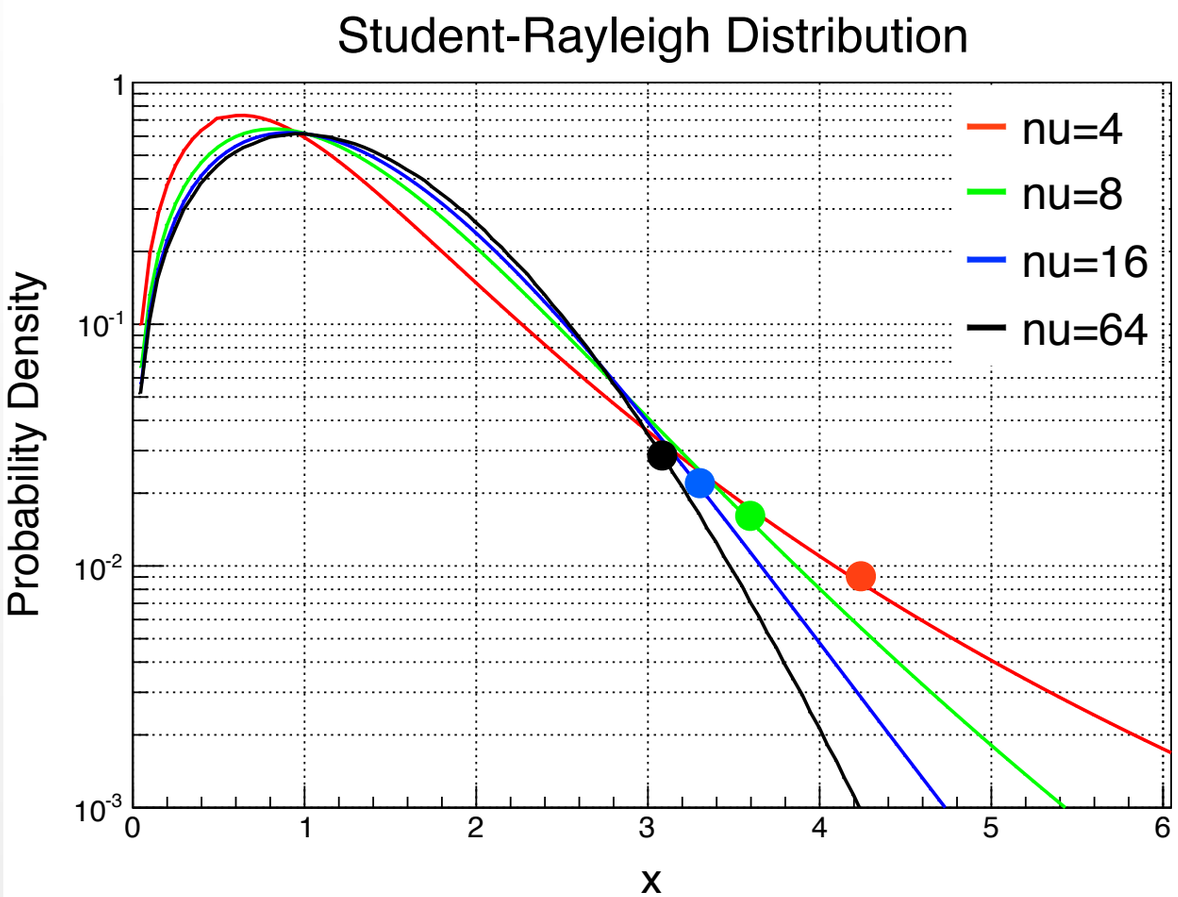
干渉計雑音の分布

LIGOでの各周波数帯における雑音分布

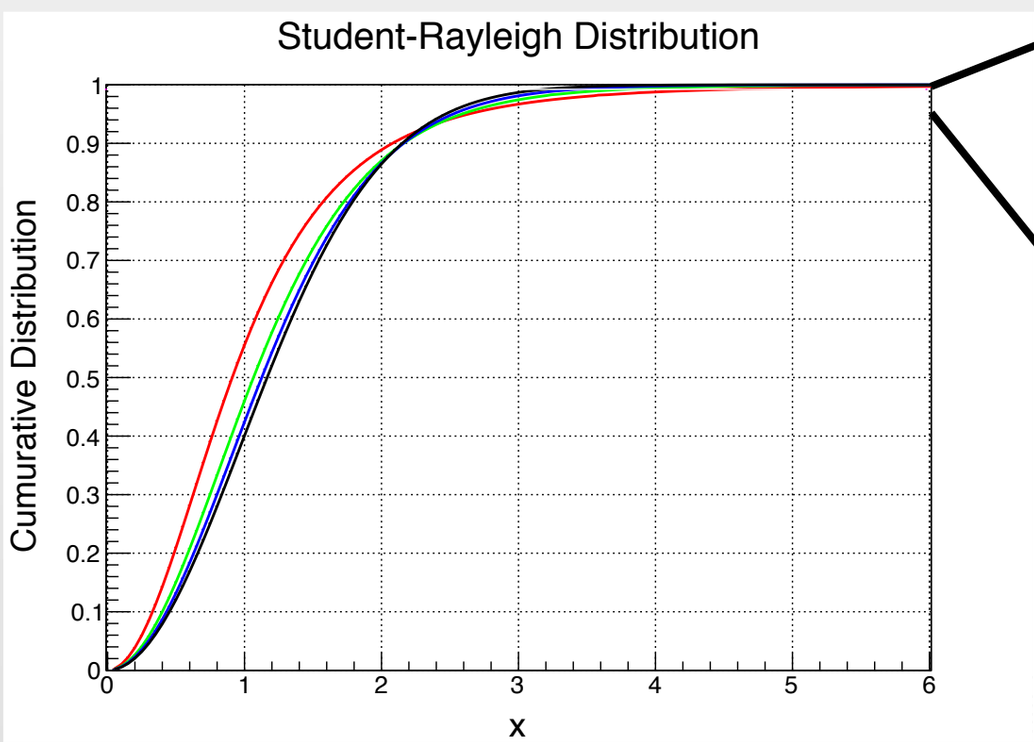
ガウス雑音モデル(点線)に比べ、
分布の裾イベントが大きく出現している

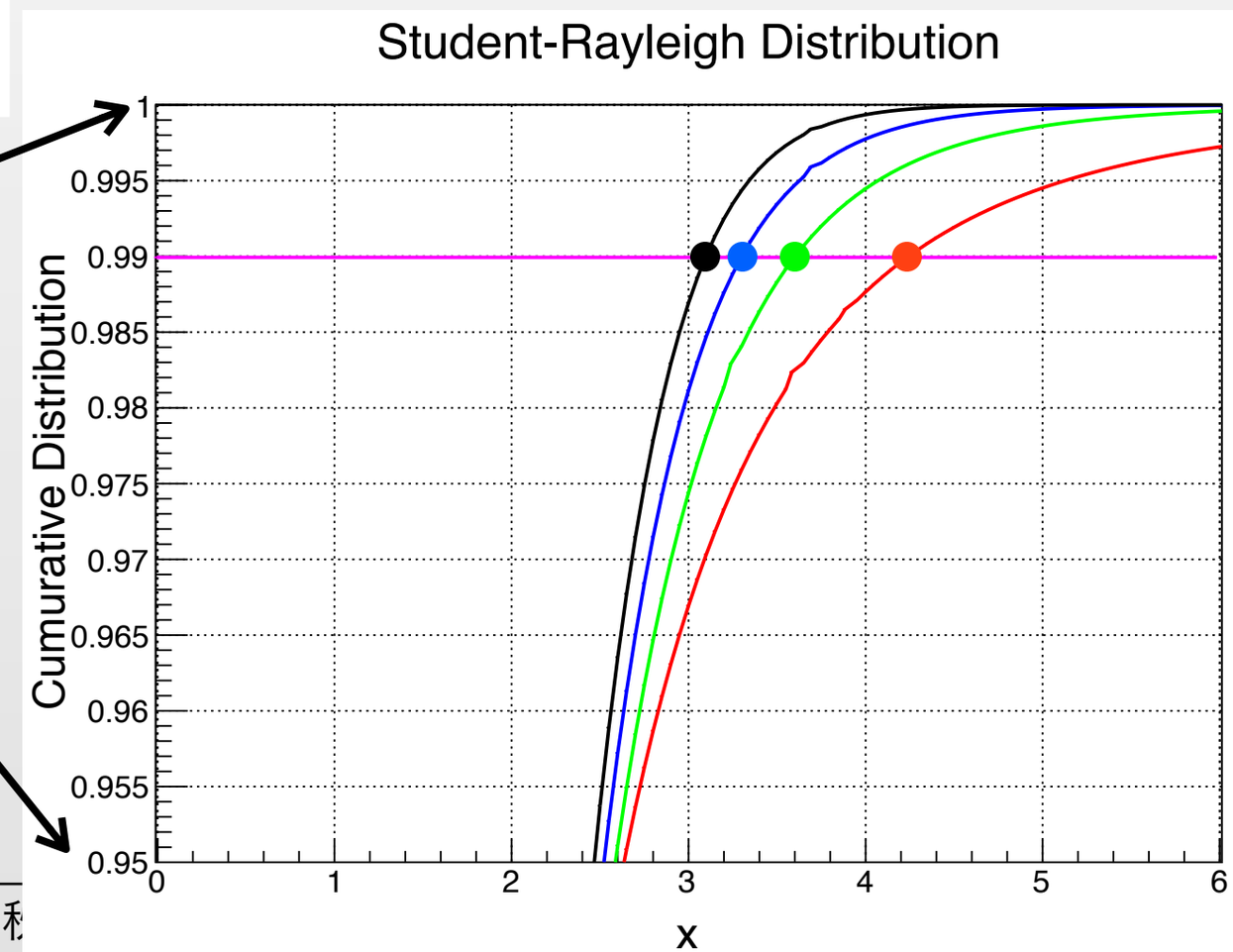


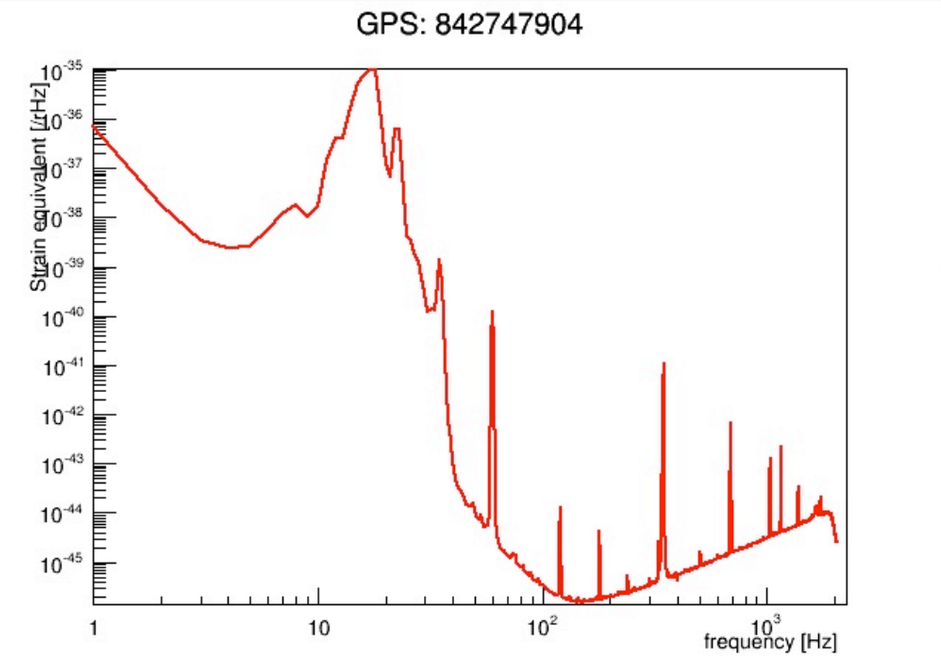
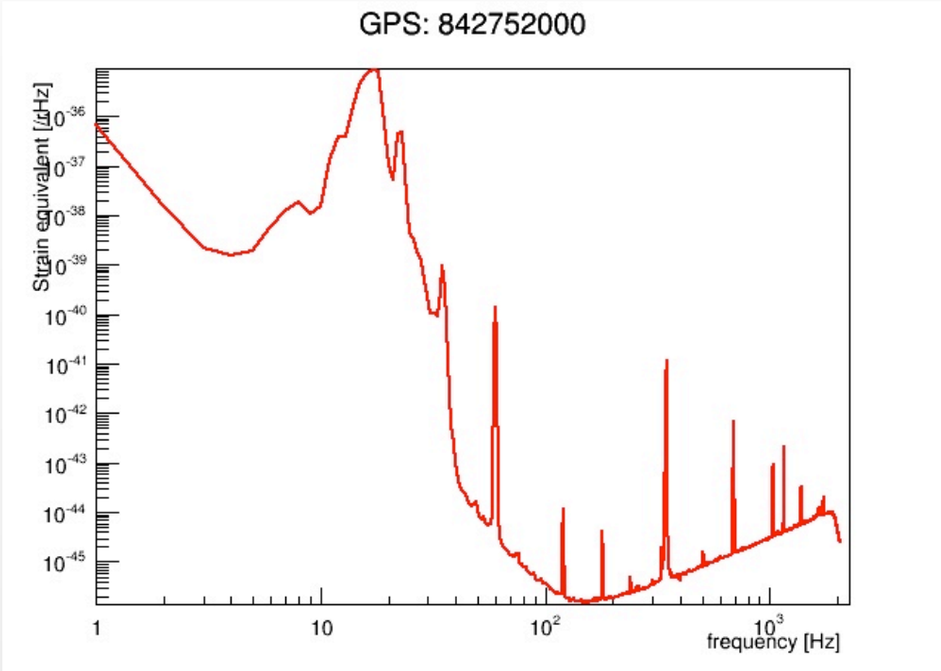
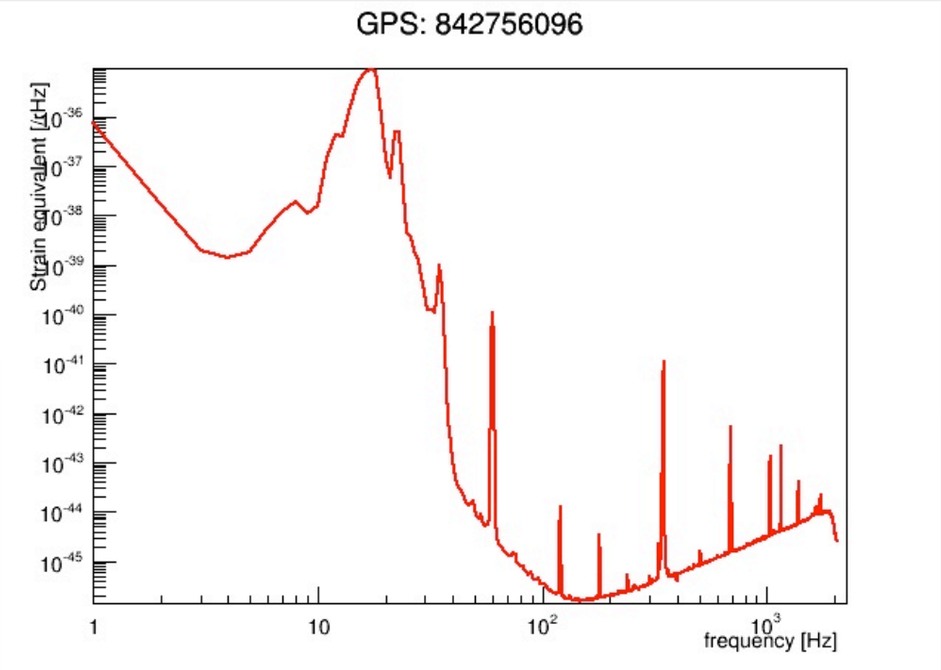
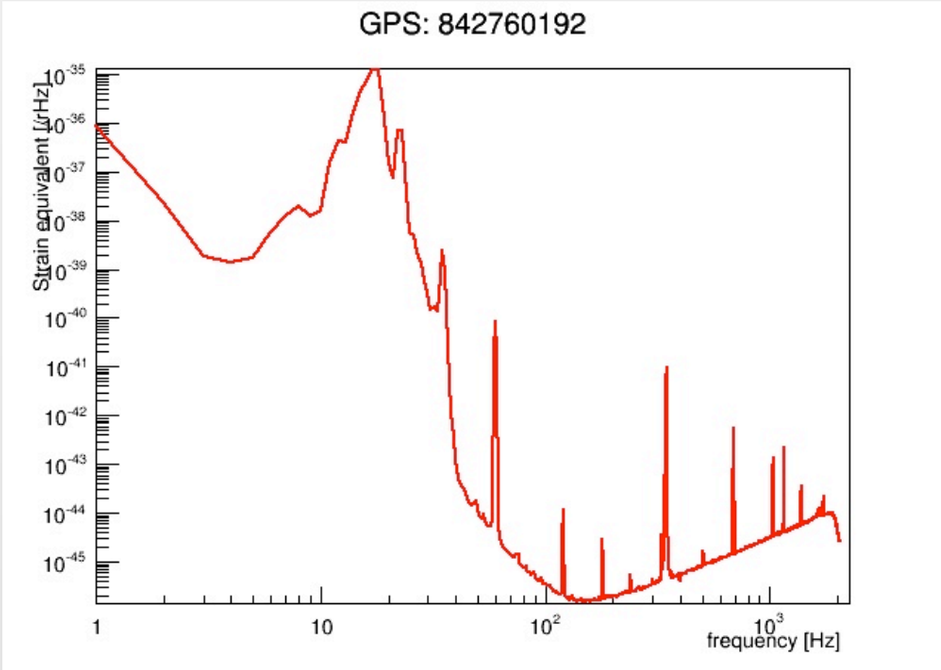
Student-Rayleigh分布



今回選択した99%Quantile (○印)の
確率密度関数(右)および累積関数(下)
の上での位置





今回用いたデータ

比較的スペクトルが安定している時刻を使用