

重力波望遠鏡における 狭帯域雑音の 高効率除去法の提案

総合研究大学院大学 天文科学専攻

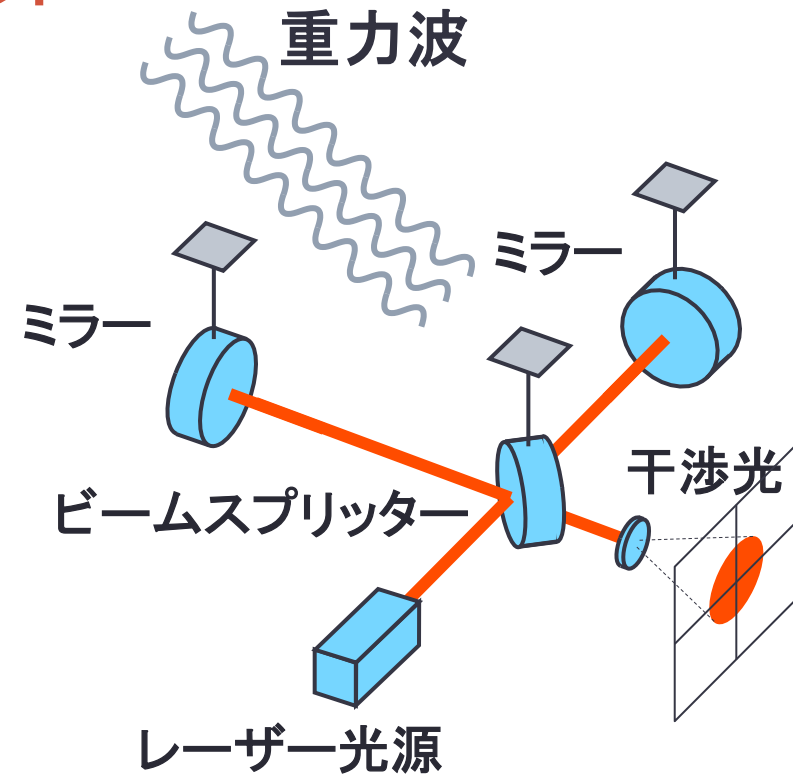
M1 橋詰克也

端山和大(NAOJ)、阿久津智忠(NAOJ)、
Soumya D Mohanty(Texas大学)、藤本眞克(NAOJ)

目次

- 概要
- MBLT紹介
- MBLT開発の現状
- まとめ

地上の重力波望遠鏡：LCGT



- 神岡鉱山の地下に建設する計画が進行中
- 片腕3kmのレーザー干渉計
- 重力波の潮汐力による鏡の変位を捉える

LCGTが捉えようとしている重力波の波源

- 連星系からの重力波
 - ✓中性子星連星系、ブラックホール連星系
- パルサーからの連続波
- バースト性重力波
 - ✓重力崩壊型超新星(II型)、ガンマ線バースト、中性子星の星震、etc...
- 現在の重力波解析手法:



超新星爆発からの重力波

- 超新星爆発やガンマ線バースト、中性子星の星震等が波源の重力波はよくわからないところが多い

✓バースト状の波形：非定常的な波

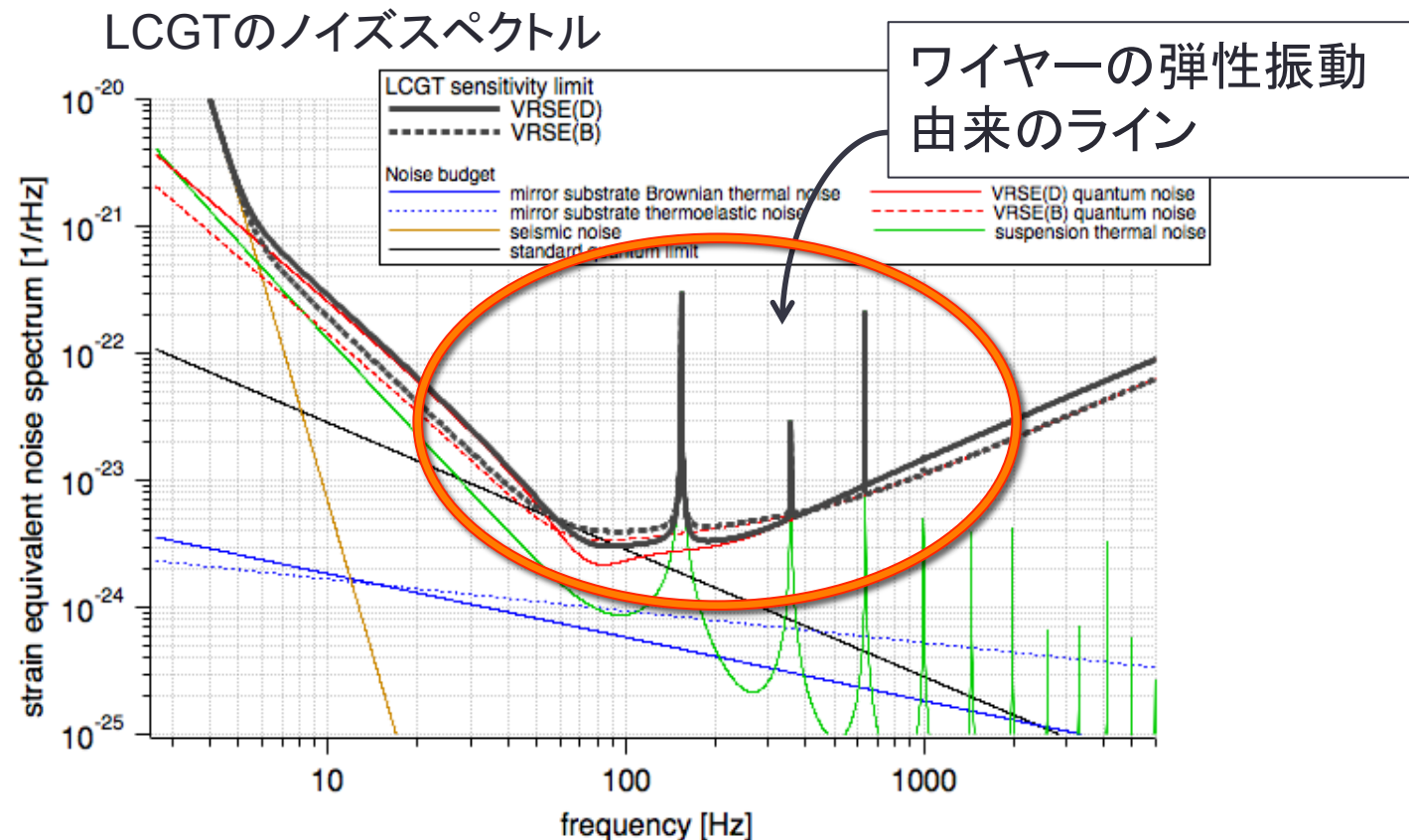
時間的に局在($<100\text{msec}$)していて

広い周波数帯域に広がっている

本講演ではバースト信号を検出するための
雑音除去について扱っていく

地上の重力波望遠鏡が持つ雑音

- 地上重力波望遠鏡の持ちうる狭帯域雑音 = ライン
 - ✓ 電源雑音や懸架系のワイヤーの弾性振動
 - ✓ LCGTの場合最も感度の良い帯域(100-1kHz)にライン



ラインによる問題

- バースト信号とライン状雑音が周波数的に重なると検出が難しくなる
 - ✓ 特に中心周波数が重なると大変

LCGT世代の地上重力波望遠鏡が持ちうるラインとバースト信号をデータ解析上で切り分けたい！

目次

- 概要
- **MBLT紹介**
- MBLT開発の現状
- まとめ

ライン処理

- 従来のライン処理

ラインがバースト信号に影響する時でもバースト信号を考慮したライン除去をしていなかった

バースト性重力波の信号雑音比まで悪くしてしまう恐れ

- 今後LCGT世代の観測で望まれる解析手法

バースト信号を残しつつ、ラインを除去できる処理

今回提案する解析手法

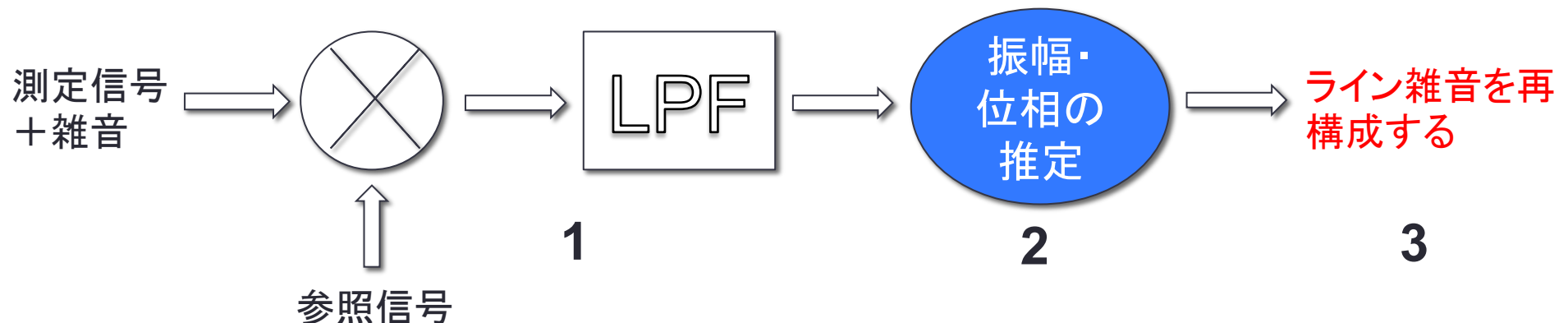
Soumya D Mohanty
(2002)stacks.iop.org/
CQG/19/1513, K. Hayama
et al. CQG (2007)

- **MBLT : Median Based Line Tracker**

transientな信号をラインから切り離すことに優れている

- ✓ **MBLT**のアルゴリズム

時系列上で振幅・位相情報のmedianを用いるライン推定



1. 振幅と位相の情報を取り出す
2. **median**をとり振幅と位相を推定
3. ライン雑音を再構成する

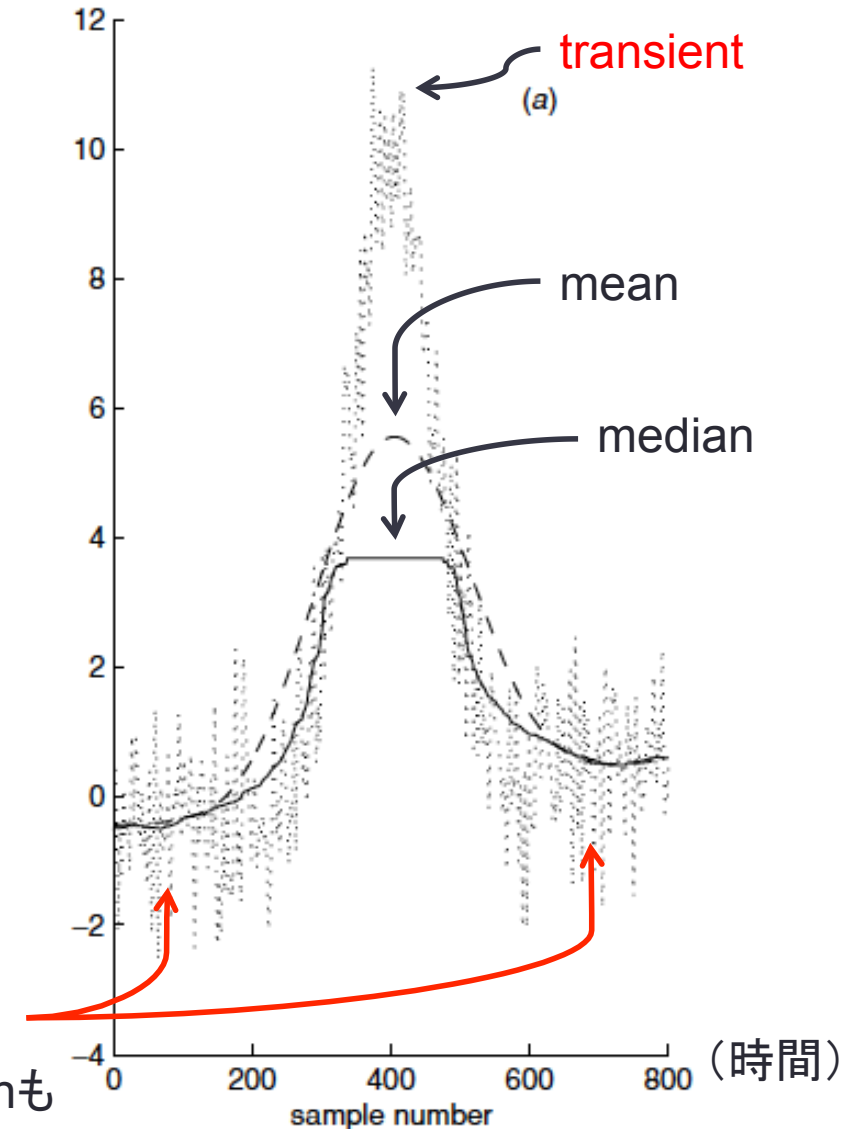
推定方法

- バースト信号の影響の受けにくさの比較
- transientな信号に対して、
 - ✓ meanは影響されやすい
 - ✓ medianは影響されにくい

ライン推定にmedianを採用することによってバースト信号の影響を受けにくくする

transientでない部分はmedianもmeanも同じ値

信号がtransientを含む時のmeanとmedianのライン推定値比較

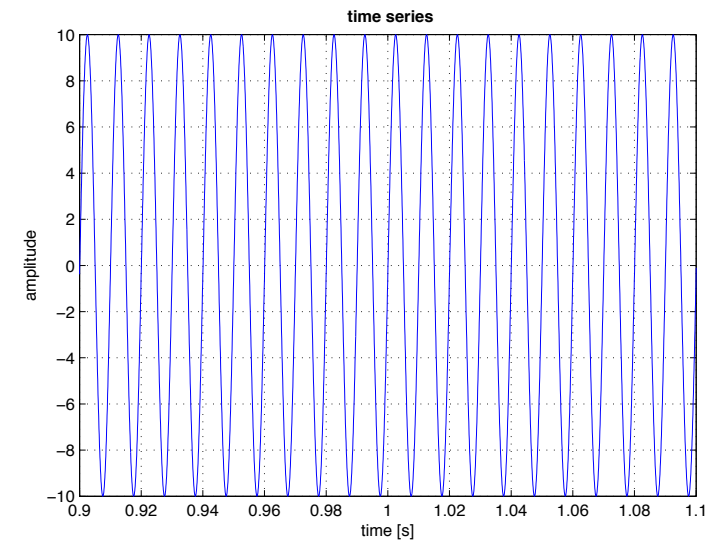
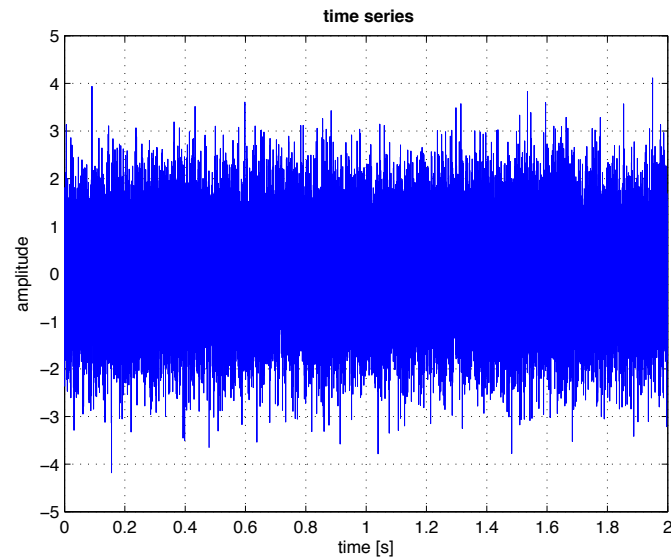


目次

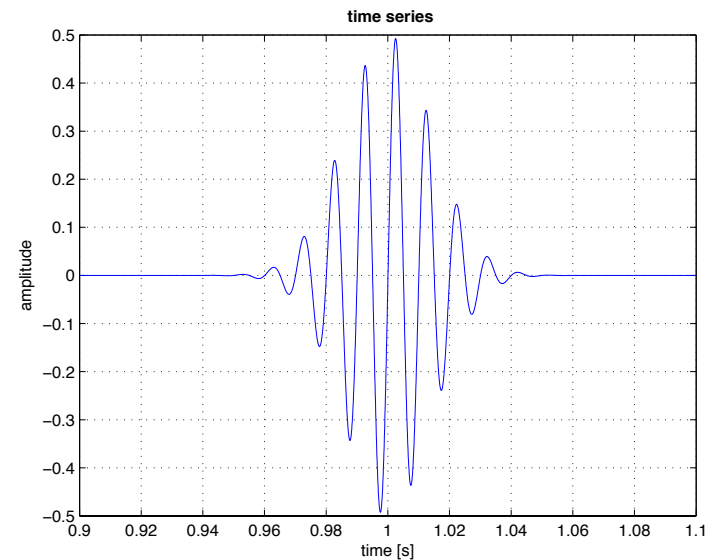
- 概要
- MBLT紹介
- **MBLT開発の現状**
- まとめ

検証に用いたデータ

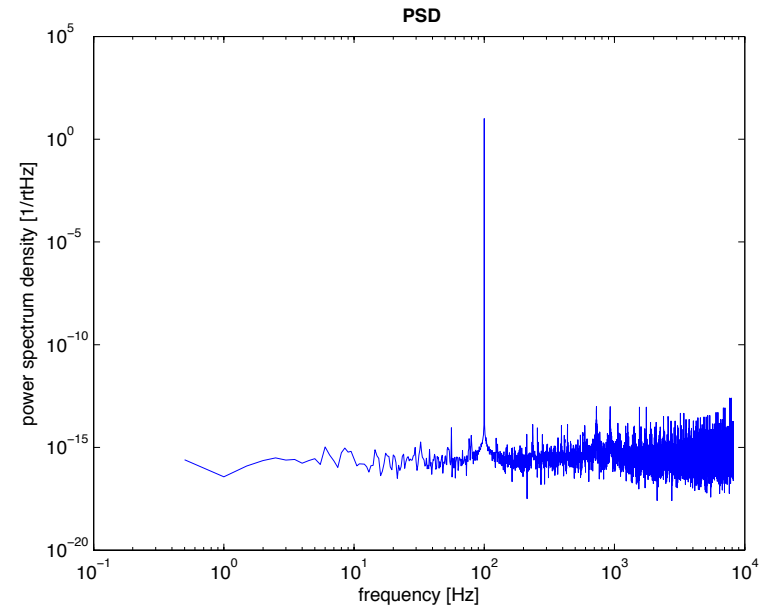
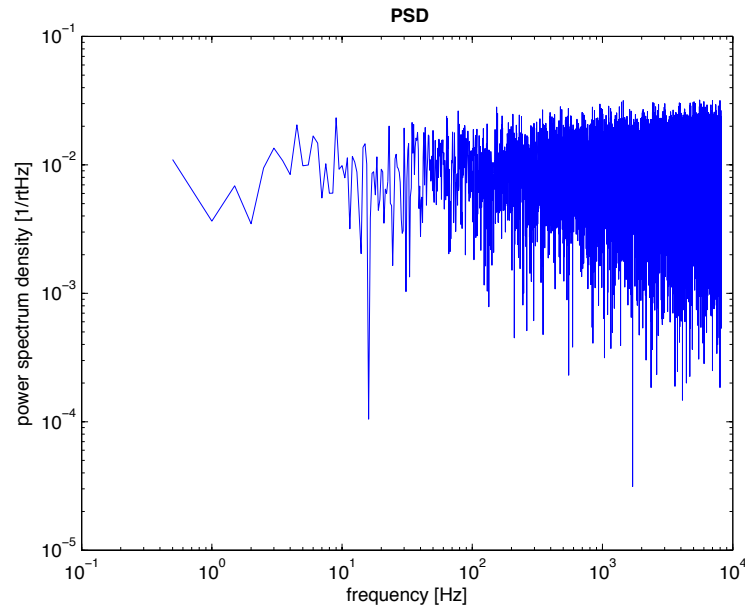
- ホワイトノイズ、ライン、バースト信号の時系列データ(2sec)



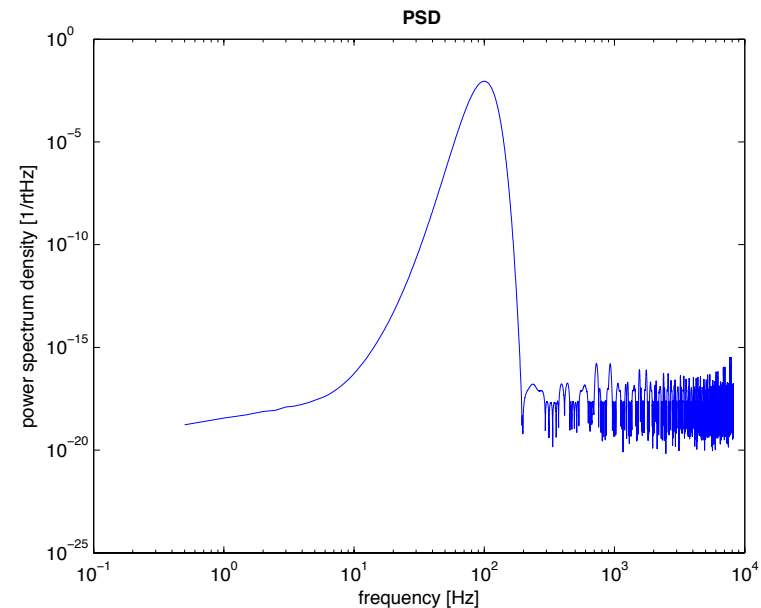
- ライン信号は100Hzのsin波
- バースト信号は100Hzに中心周波数を持つsin-gaussian波



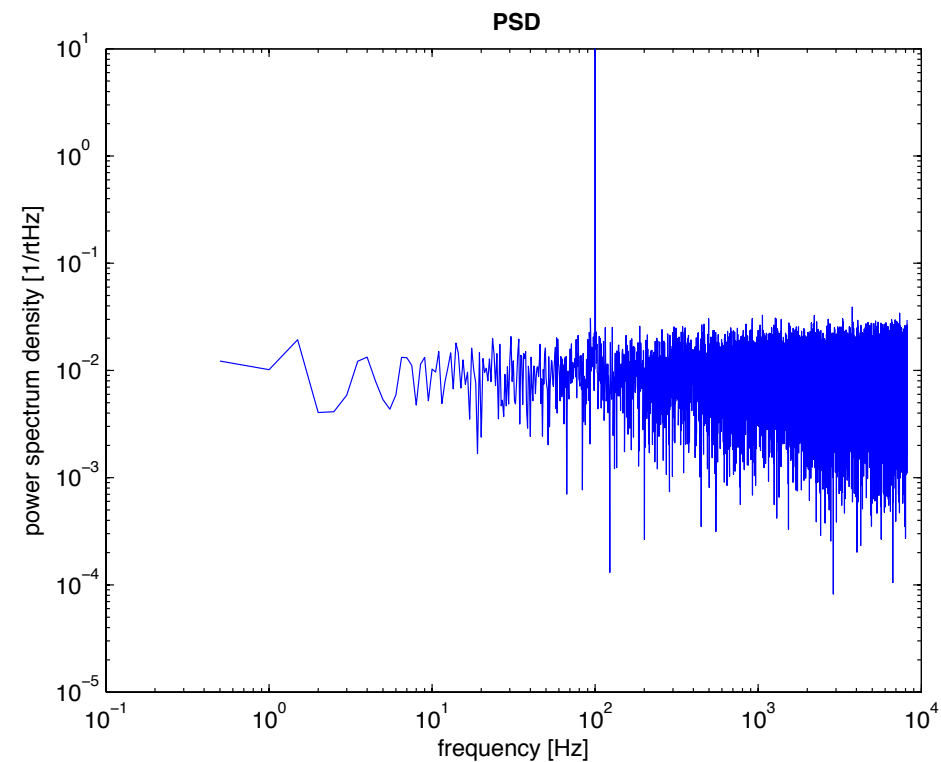
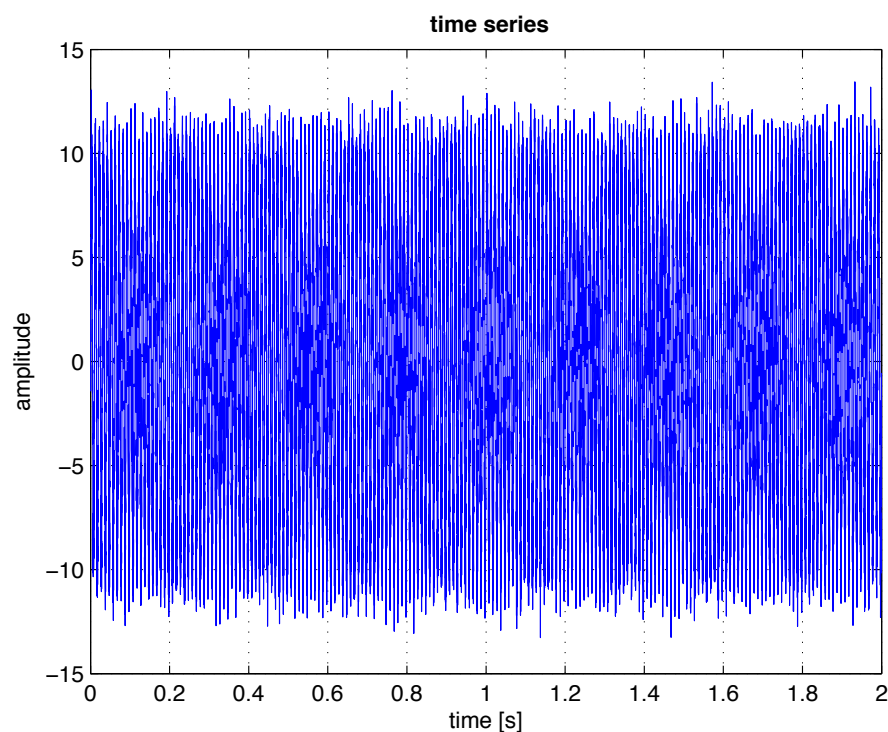
- 時系列信号から作った片側パワースペクトル密度 (one-sided PSD)



- ホワイトノイズは全周波数帯で一様なパワー
- ラインは狭帯域で強いパワー
- バースト性信号は広帯域に広がっている



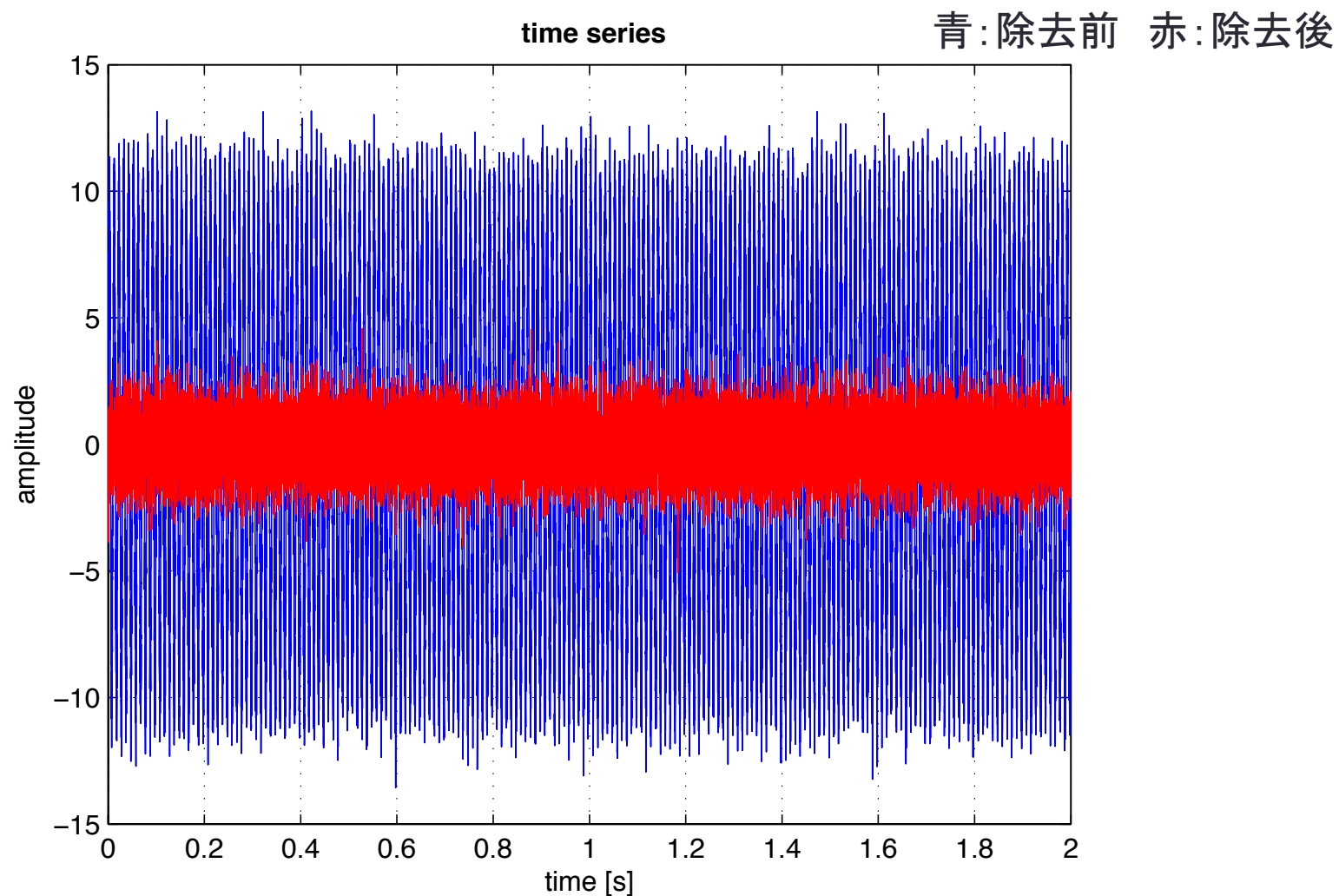
- 3つの波形を足し合わせた時系列とPSD

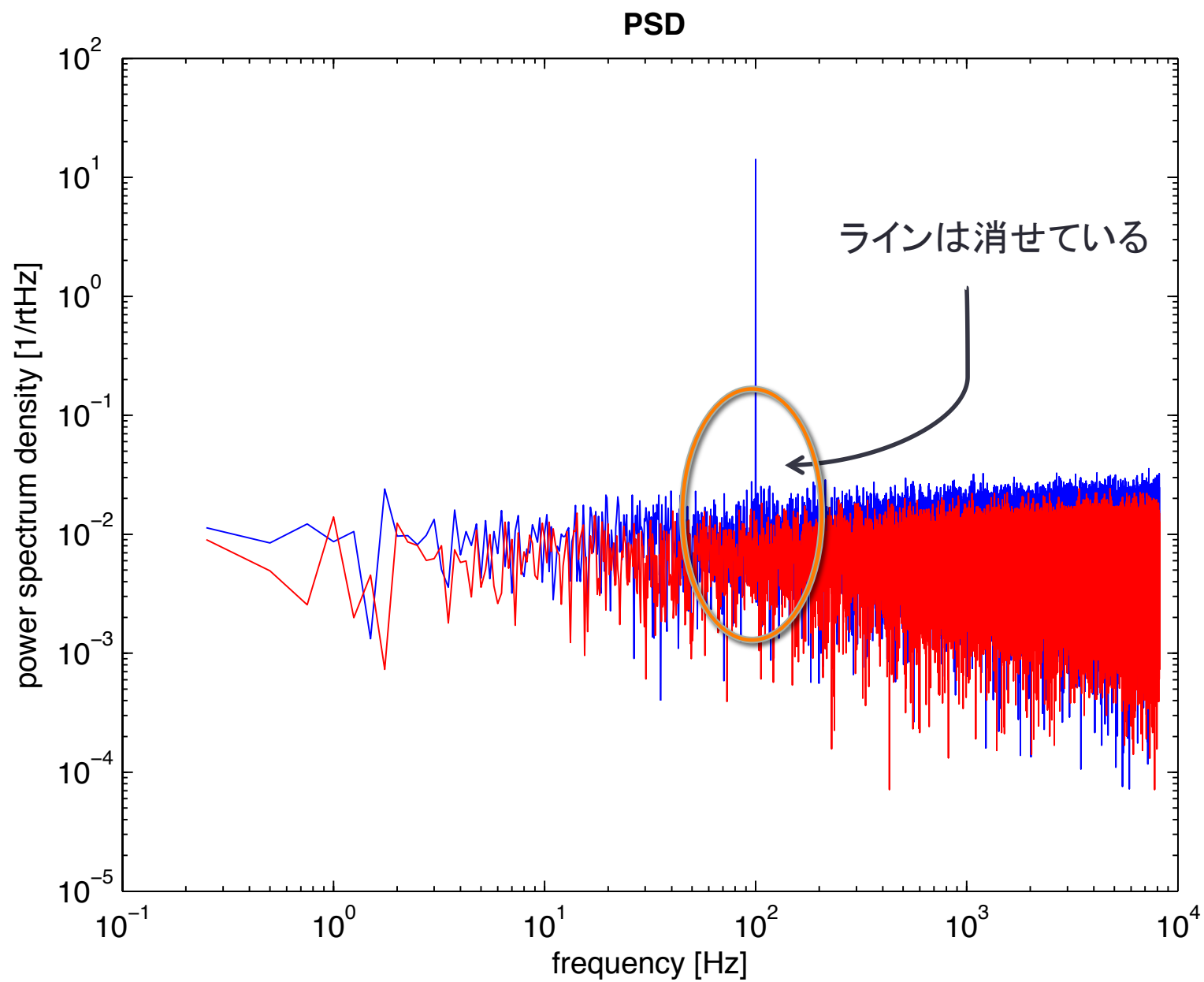


このデータで従来の方法とMBLTを比較する

解析結果の比較

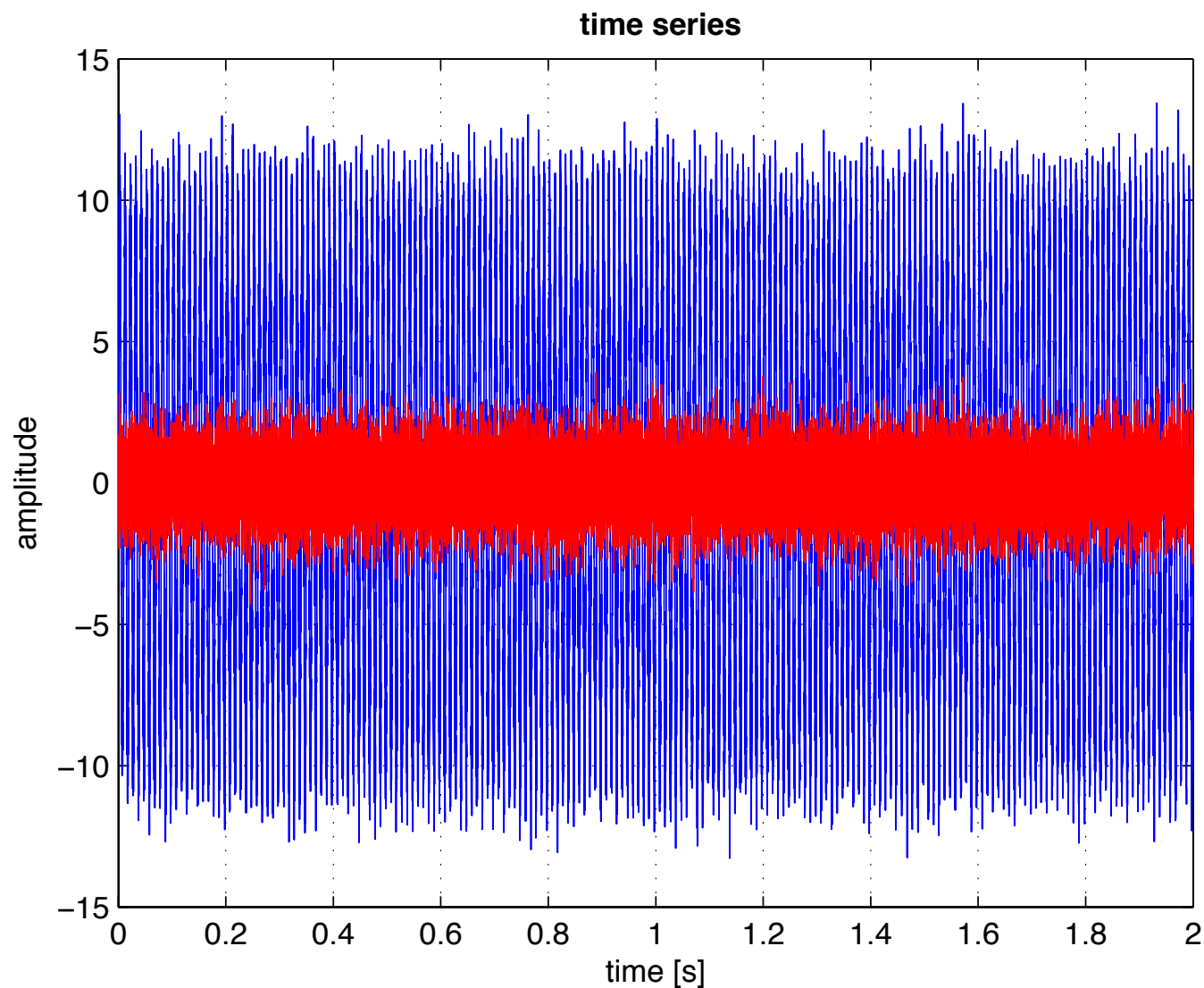
- ・ ノッチフィルタ(butterworth)を用いたライン除去

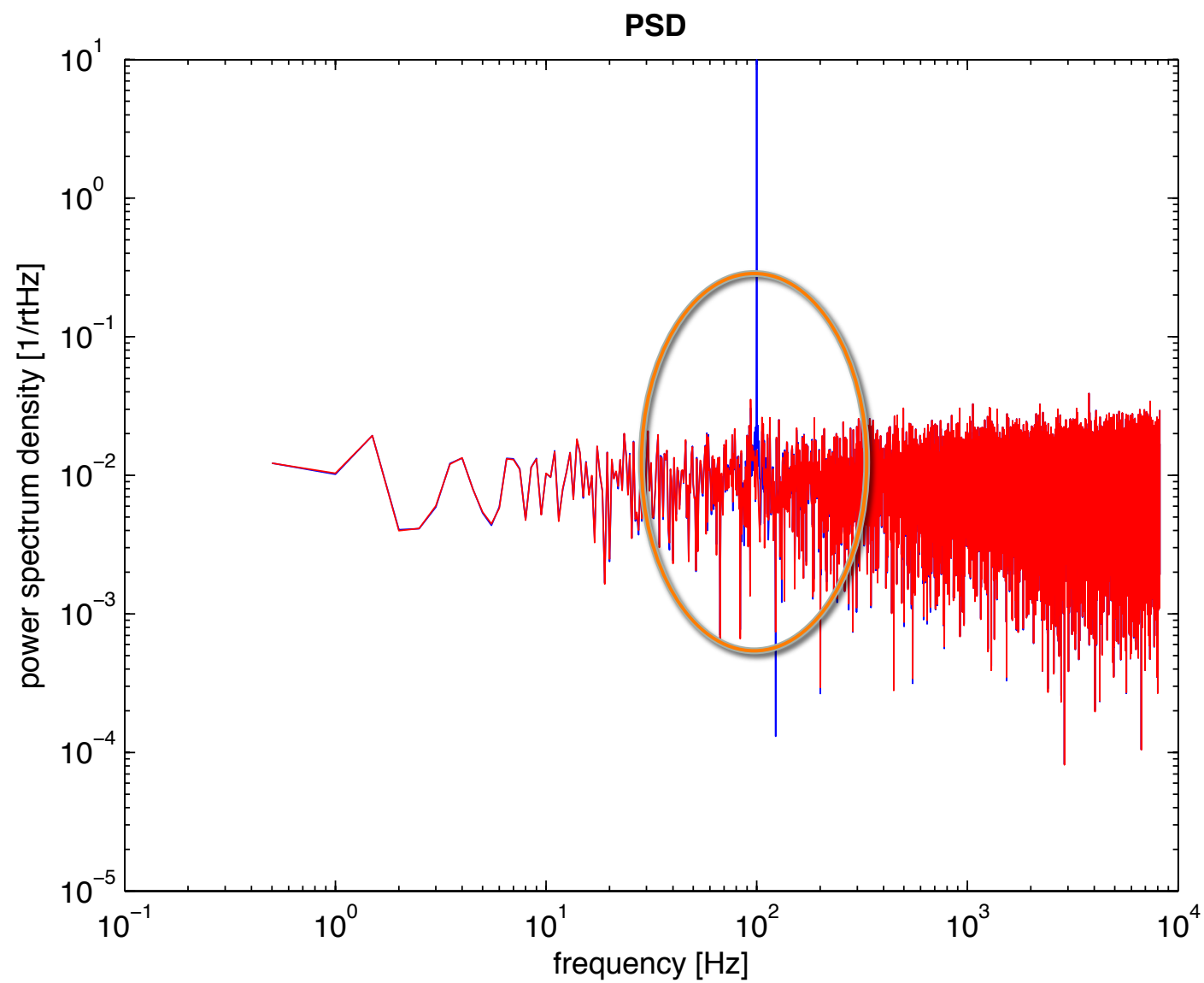




- MBLTを用いたライン除去

青: 除去前 赤: 除去後





- フィルター前後のバーストとラインのエネルギー

	バースト信号	ライン雑音
入力信号 (フィルター前)	3.2e-3	100
Notch filter (ideal)	2.8e-3	3.3e-25
Notch filter (butterworth)	2.4e-3	4.5e-6
MBLT	3.2e-3	7.4e-27

フィルター後

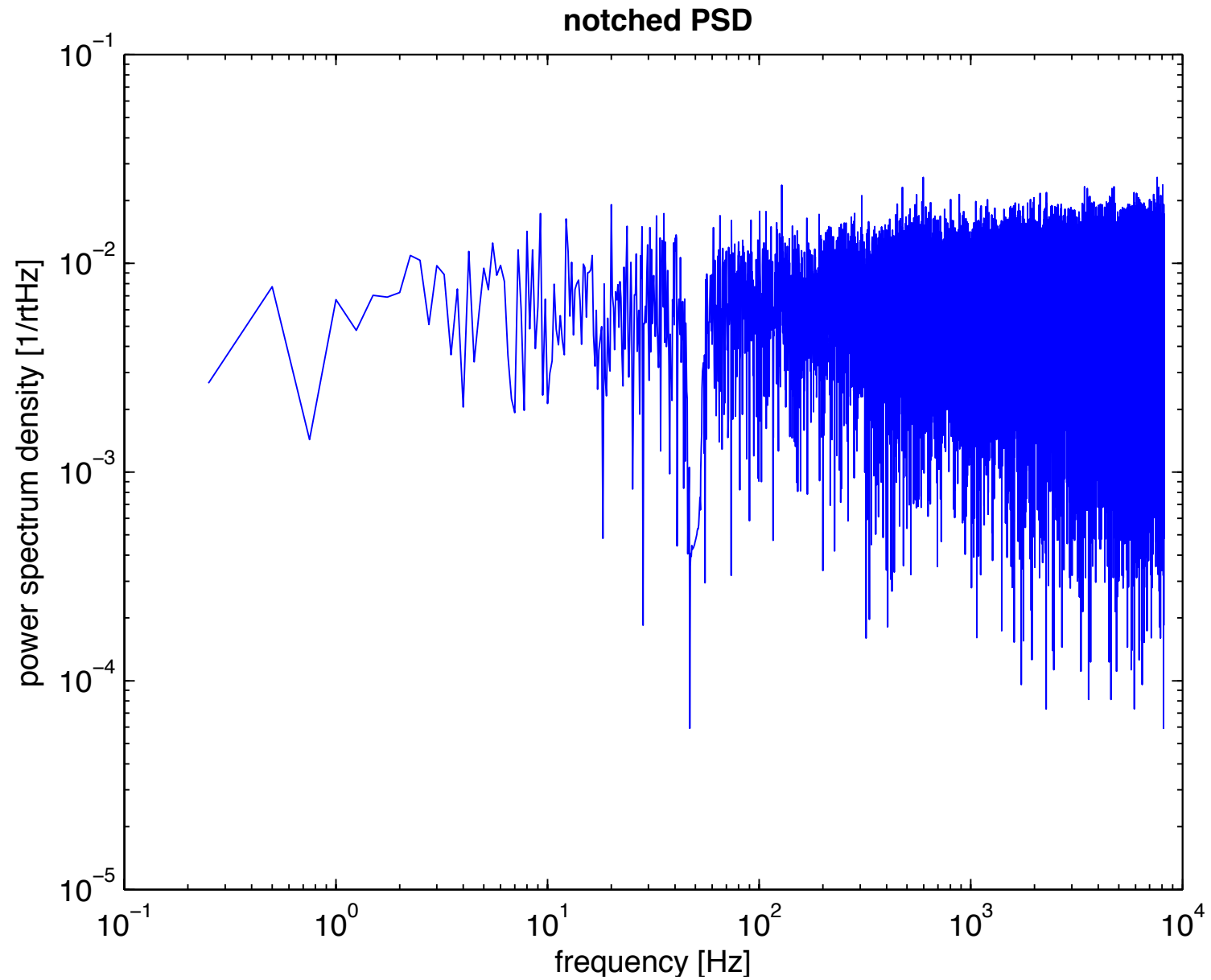
**MBLTはバースト信号のエネルギーを残しつつ
ライン除去ができた**

まとめ

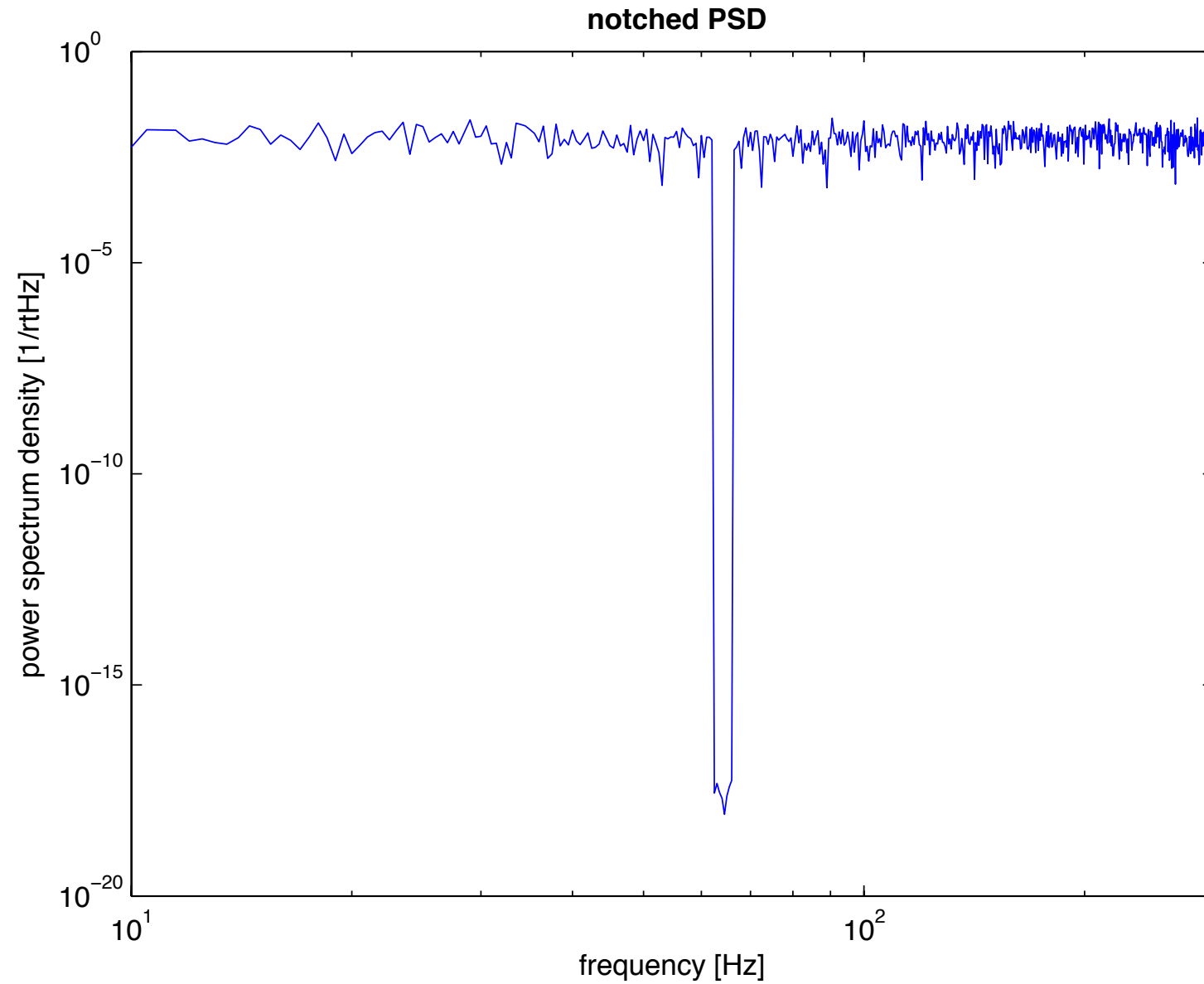
- 重力波望遠鏡のライン雑音と、バースト信号の帯域が重なると**受ける影響はとても大きい**
- データ解析の段階で**ライン雑音を除去しバースト信号を残す**ことが望まれ、バースト信号への影響を抑えつつラインを除去する方法として**MBLTは期待できる**
- Future works
 1. エネルギーロス違いがバースト解析でどのように影響を及ぼすか
 2. ライン雑音を自動的に検出できるようにする
 3. 複数のライン雑音に対する動作の確認

ご清聴ありがとうございました

- notch filter (butterworth)

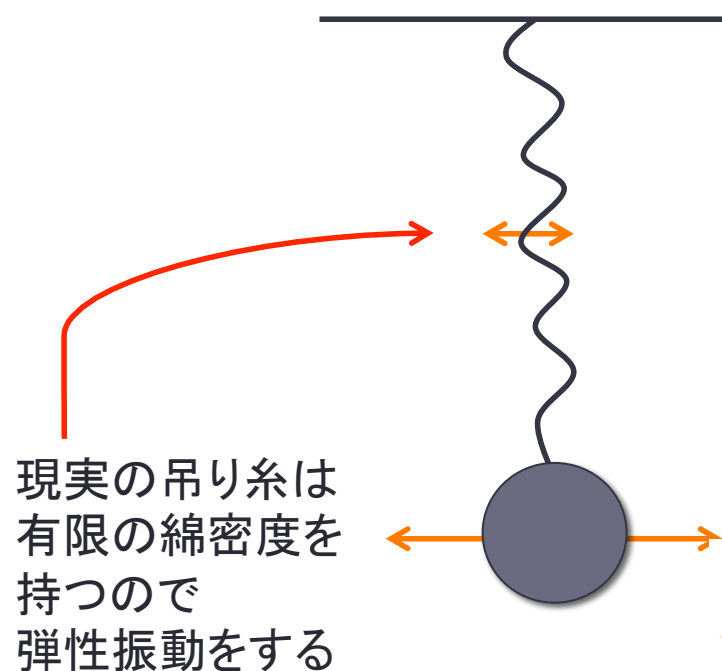


- notch filter (Matlab ideal filter)

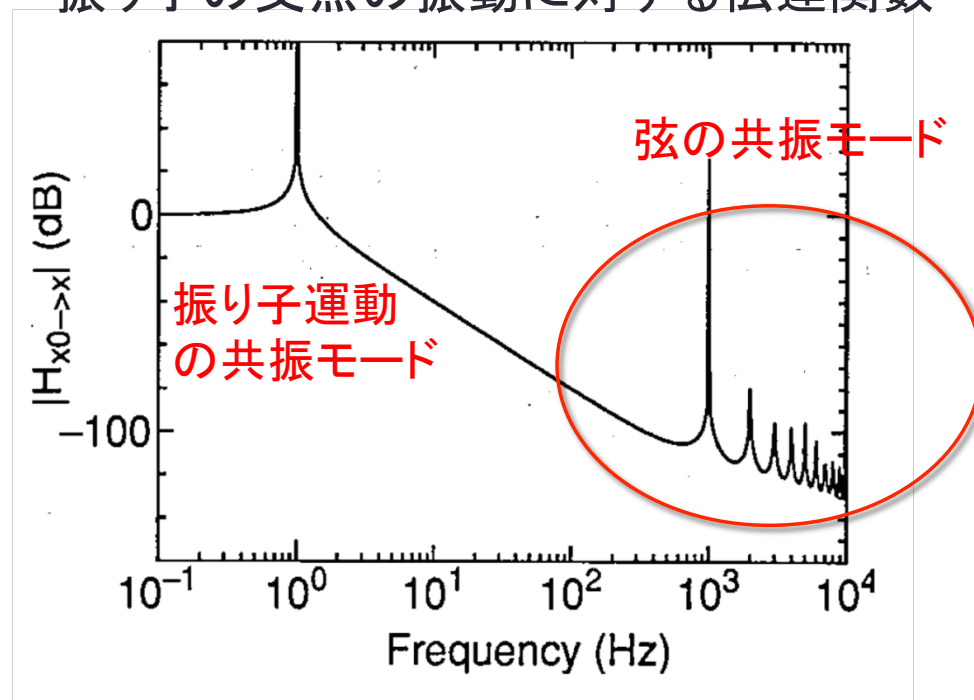


熱によるワイヤーの弾性振動

- 重力波望遠鏡では鏡をワイヤーで吊るすため、その共振モードによって励起されるようなノイズ(=ライン)が存在する
- 例: 吊り糸の弾性振動



振り子の支点の振動に対する伝達関数



$$H_{x0 \rightarrow x}(\omega) = \frac{1}{\cos(\omega l/v) - (v\omega/g)\sin(\omega l/v)}$$