

日本物理学会 第77回年次大会

KAGRAにおける突発性雑音の探索

東大理^A, 東大宇宙線研^B, KAGRA collaboration^C

千葉廉一^{A,B}, 山本尚弘^B, 内山隆^B, KAGRA collaboration^C

目次

- 導入 {
 - 重力波
 - KAGRAと世界の重力波望遠鏡
 - 雑音
- 突発性雑音
- 研究の目的と流れ
- 突発性雑音の探索
- 解析に用いた信号
- 結果
- 分類
- まとめと今後の展望

重力波天文学

[重力波]

アインシュタインの一般相対性理論から導出される、時空の歪みが波として伝播する現象。

1916年にアインシュタインが重力波の存在を予言してから約100年後の
2015年に米国の大規模重力波望遠鏡LIGOが初の直接観測。

[現在の観測されている重力波源]

連星ブラックホールや連星中性子星の合体

[重力波天文学の展望]

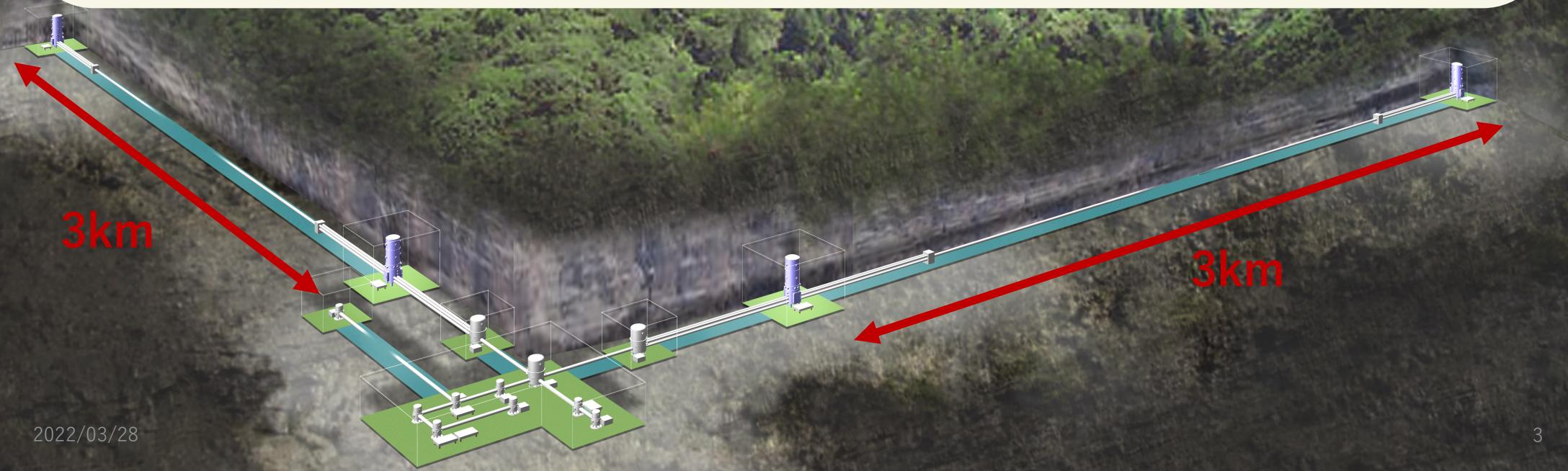
連星ブラックホールの起源、非対称な超新星爆発、

中性子連星合体でのキロノヴァの詳細（ガンマ線バースト、r過程）

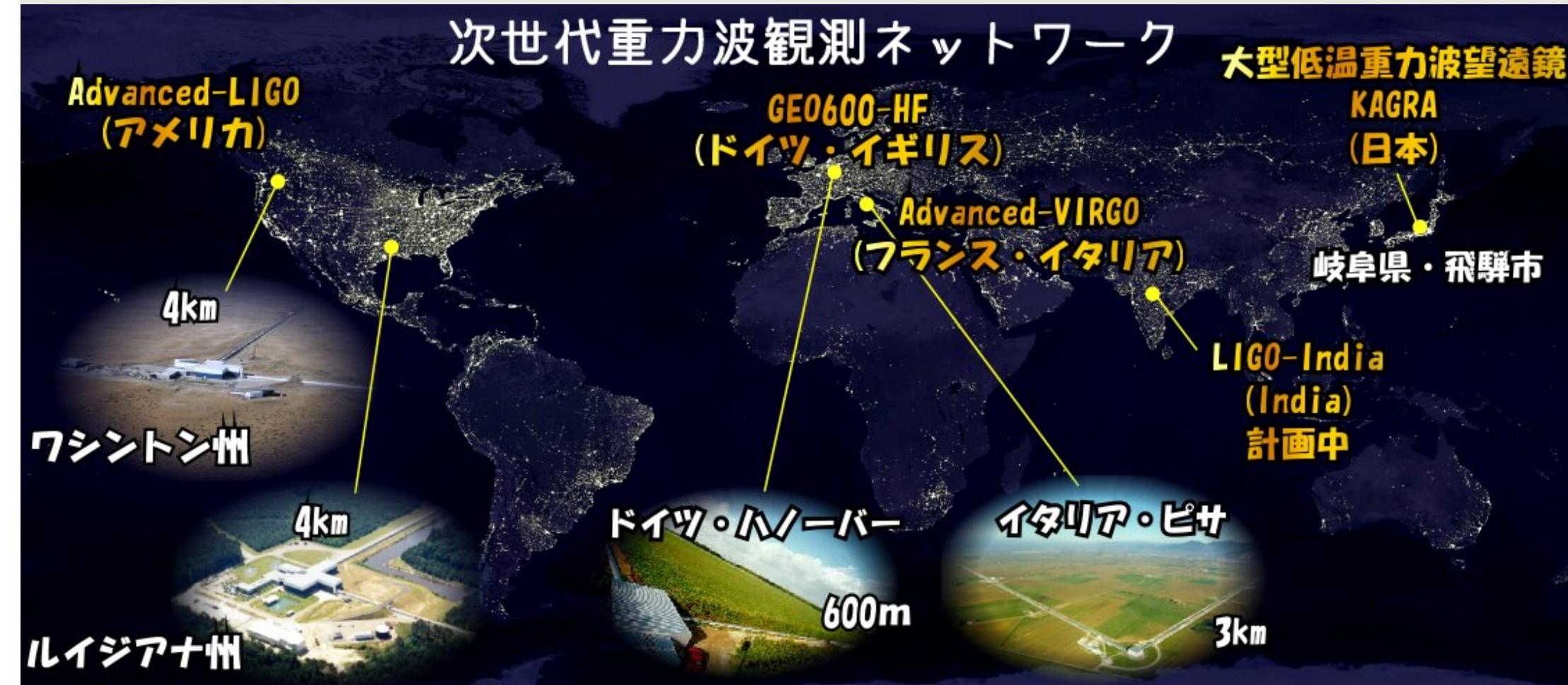
電磁波観測などと協力
するマルチメッセン
ジャー天文学

[KAGRA @岐阜県飛騨市神岡町]

- ・日本の大型低温重力波望遠鏡
- ・3kmのレーザー干渉系型の重力波検出器
- ・地下に建設していること、サファイア鏡を用いて鏡を極低温に冷却していることが独創的な点
- ・今年12月に予定されている世界初の3拠点計4台での国際共同観測に向けて準備を進めている



重力波観測 その①



重力波観測 その②

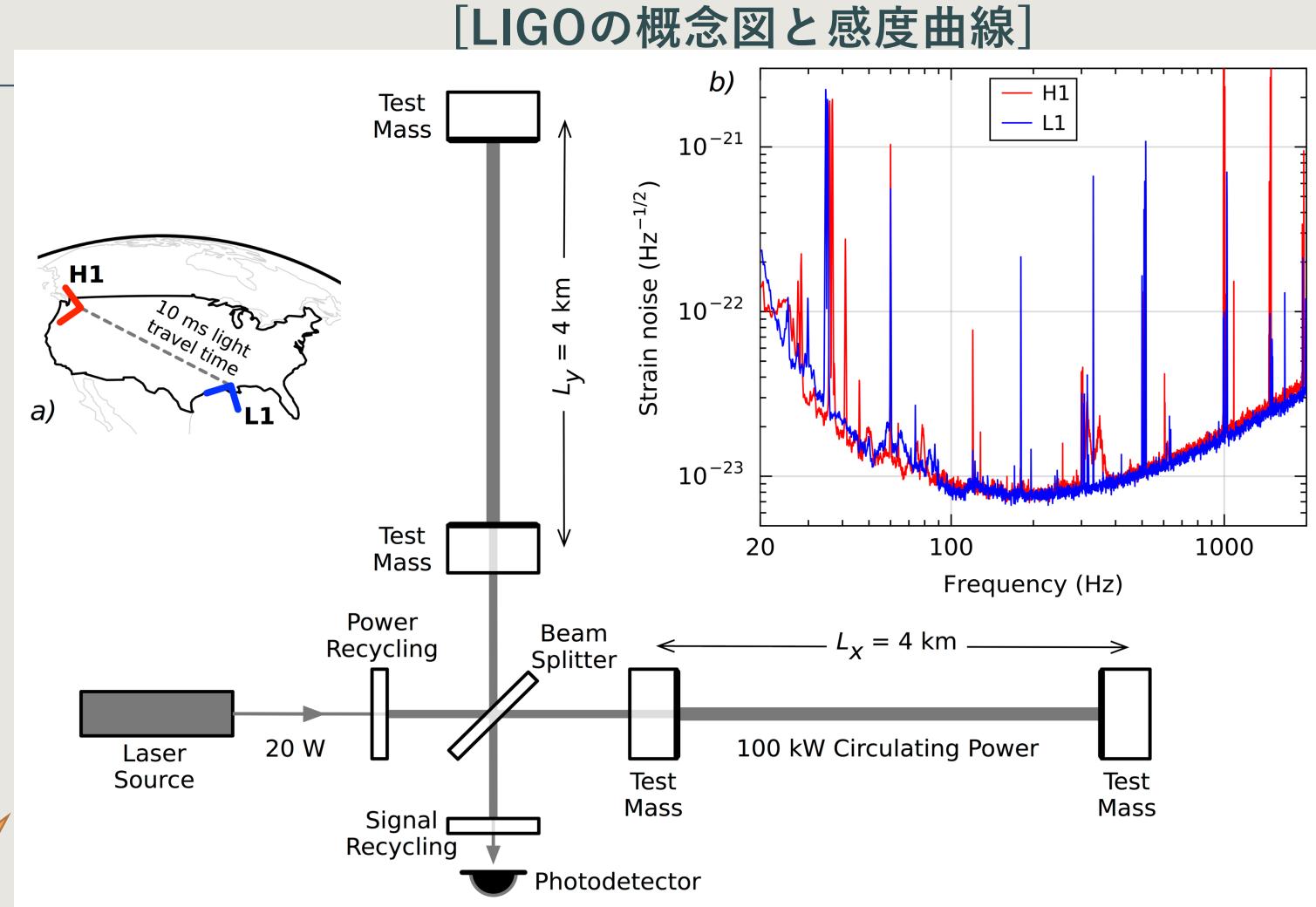
重力波が通過すると時空が歪み、二つのアームのうち片方が伸び、もう片方が縮む。



両腕から帰ってくる光子の位相がずれる。

干渉しなかった光子は光検出器で検出される。

太陽と地球の距離が水素原子ひとつ分より小さいくらいの変化を見ている！



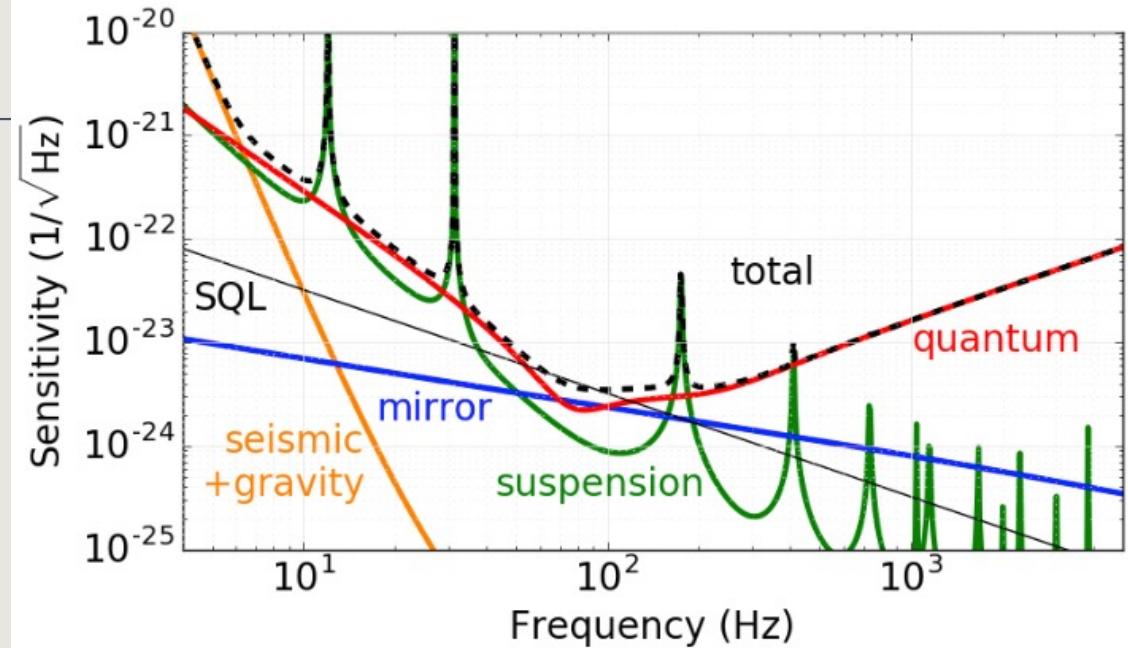
重力波観測はごく微少な距離の変化を見るので感度を制限する雑音との戦い！

2022/03/28

<https://www.ligo.org/science/Publication-GW150914/images/fig-2.png>

雑音

- 雜音には熱雑音のような感度曲線上に示される定常的な雑音だけでなく、突発性雑音と呼ばれる非定常的な雑音がある。



KAGRAの感度曲線

<https://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/researcher/parameters>

- 突発性雑音は観測の質を低減する大きな要因となっている。

突発性雑音

[突発性雑音]

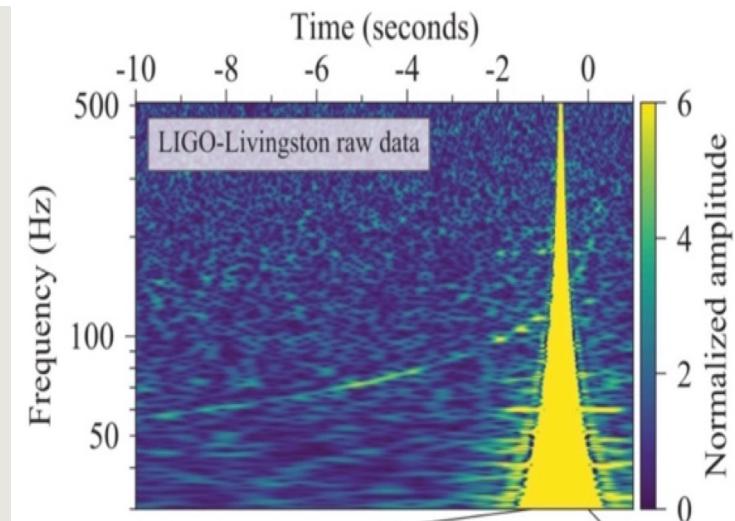
干渉計の信号に高頻度で突発的に発生する、非ガウス的かつ多様な雑音。

[突発性雑音により懸念される問題の例]

- (1) 偽重力波として信号に紛れ込むことで、真の重力波信号の有意性が減少し、その発見を妨げる。
- (2) 重力波信号の近傍で突発性雑音が発生すると、信号から導出される天文パラメーターの精度が悪化する。
- (3) 解析不能なデータになり得るので、有効な観測データ量が減少する。

2022/3/16

日本物理学会 第77回年次学術講演会



[1] GW170817の重力波信号と突発性雑音
(B. P. Abbott et al, GW170817: Observation of Gravitational Waves from a Binary Neutron Star Inspira, 16 October 2017, 161101-3)

[突発性雑音を信号から除去した例]

LIGOで観測された重力波イベントGW170817では、中性子星連星合体の重力波信号に突発性雑音が重なった。



LIGOでよく知られていた突発性雑音であったため、信号から突発性雑音を取り除きデータを解析に使うことができた。

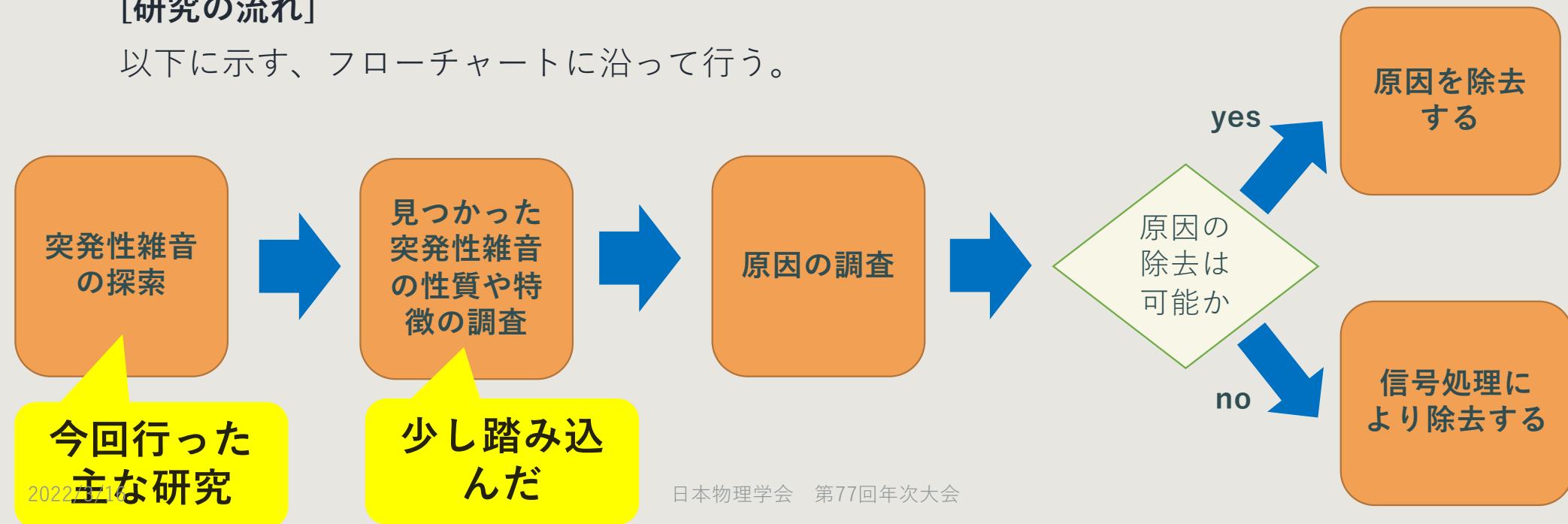
研究の目的と流れ

[研究目的]

KAGRAでの突発性雑音を探索して性質や頻度などの特徴を理解し、KAGRAの感度向上や観測データの有効性を高めて重力波天文学に貢献する。

[研究の流れ]

以下に示す、フローチャートに沿って行う。



突発性雑音の探索

今回は振幅が大きな突発性雑音を探索するために(1)式のような簡単な評価関数を用いる。以下のように t 秒間で偏差の二乗平均 \bar{x} を50%オーバーラップさせながら順番に計算する。

μ : データ全体の平均値
 n : データのsample rate
 σ : データ全体の標準偏差

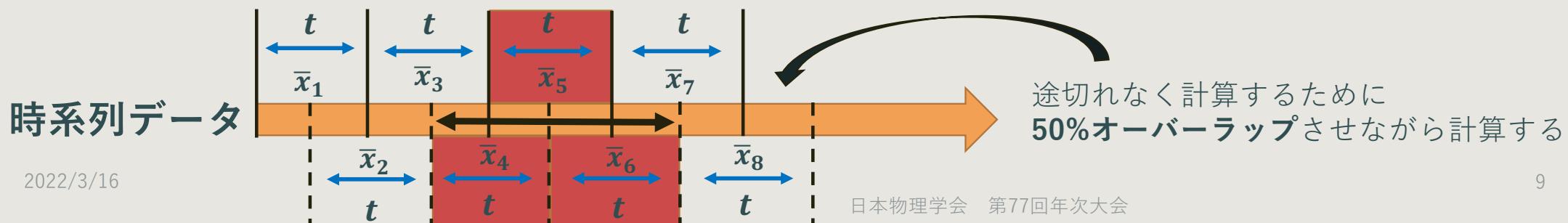
$$\bar{x} = \frac{1}{nt} \sqrt{\sum_i^{nt} (x_i - \mu)^2} \cdots (1)$$

3つのパラメータ n, t, m を設定して計算を行う。

$$\bar{x} \geq m\sigma \cdots (2)$$

(1)式の計算結果が(2)式を満たすとき、**突発性雑音**であると定義する。連続した \bar{x} が(2)式を満たしているとき、同じイベントであるとする。

突発性雑音と定義された \bar{x} のうち、最大値を \bar{x}_{max} とし、 \bar{x}_{max}/σ を突発性雑音を象徴する値とする。



解析に用いた信号

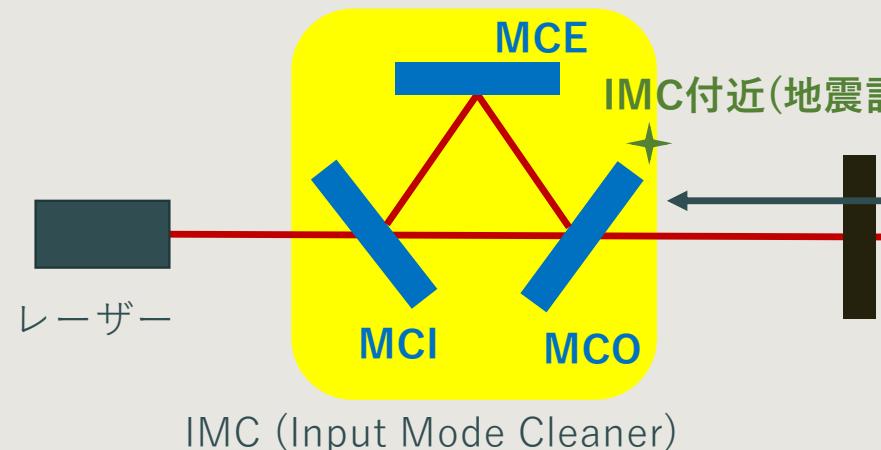
使用する検出器の干渉計内での位置を以下の概略図に示す。

青：IMC鏡の光てこ



3つの鏡のpitch方向とyaw方向の角度センサー、計6信号

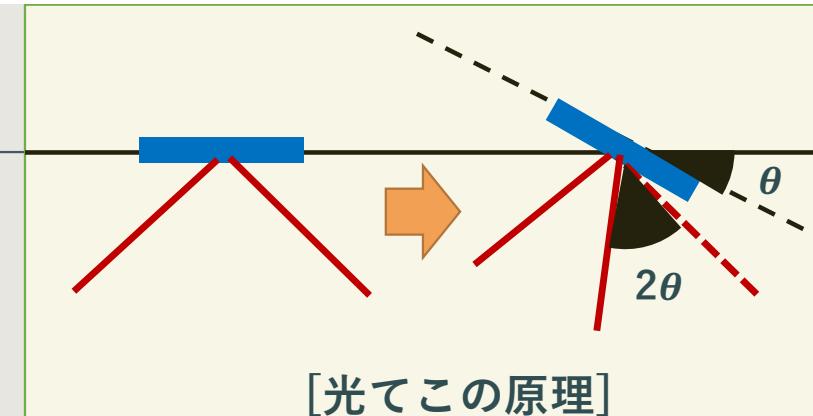
これらの信号から突発性雑音を探査する。



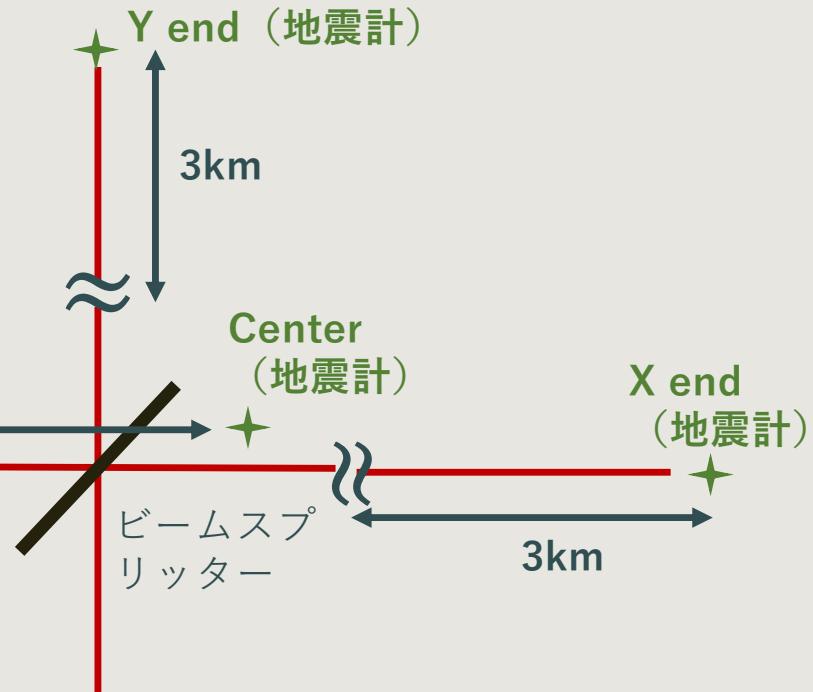
IMC (Input Mode Cleaner)

2022/3/16

日本物理学会 第77回年次大会



[光てこの原理]

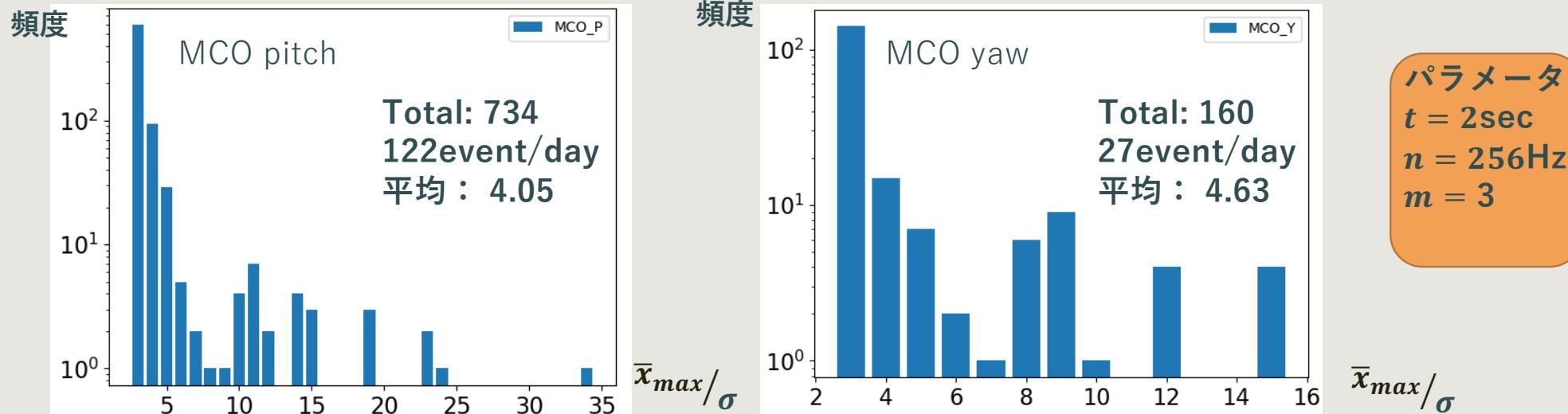


10

結果①

データは12日分、午後8時から午前8時までの12時間について探索を行なった結果を示す。（昼間は坑道内の作業が多く、人為的な雑音が多くなるため昼間のデータは扱わなかった。）

[突発性雑音のヒストグラム]12日分(延6日分)



その他、MCI, MCEでも類似の分布が得られた。

結果②

突発性雑音の頻度

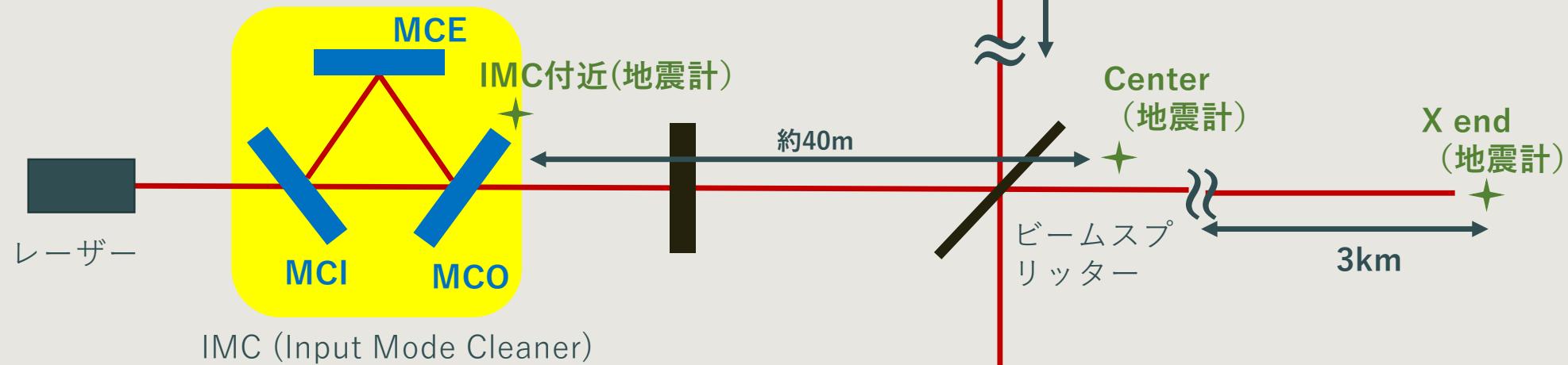
	MCI		MCO		MCE	
	pitch	yaw	pitch	yaw	pitch	yaw
Total $(3 \leq \bar{x}_{max}/\sigma)$	734	422	734	160	635	423
$3 \leq \bar{x}_{max}/\sigma < 4$	632	371	576	113	533	347
$4 \leq \bar{x}_{max}/\sigma < 5$	80	33	93	13	63	24
$5 \leq \bar{x}_{max}/\sigma$	22	18	65	34	39	52

分類（補助信号）

$5 \leq \bar{x}_{max}/\sigma$ の突発性雑音について地震計との相関を調査した。

緑：地震計

IMCの突発性雑音と比較し以下の4つの地震計の信号に励起があるか目視で確認した。さらに励起が観測された周波数帯の違いで分類をした。



分類

$5 \leq \bar{x}_{max}/\sigma$ の突発性雑音

	合計	MCI		MCO		MCE	
		pitch	yaw	pitch	yaw	pitch	yaw
$5 \leq \bar{x}_{max}/\sigma$	230	22	18	65	34	39	52
地震計と相関があった突発性雑音	53	2	3	22	18	5	3
分類①	29	2	1	20	2	2	2
分類②	24	0	2	2	16	3	1

2種類の分類ができた。

励起は4つの地震計全てで確認できた。

分類①

※日時を特定できないようにしています。

[例1]

[上]突発性雑音の時間-周波数平面

[中]対応する時間の時系列信号

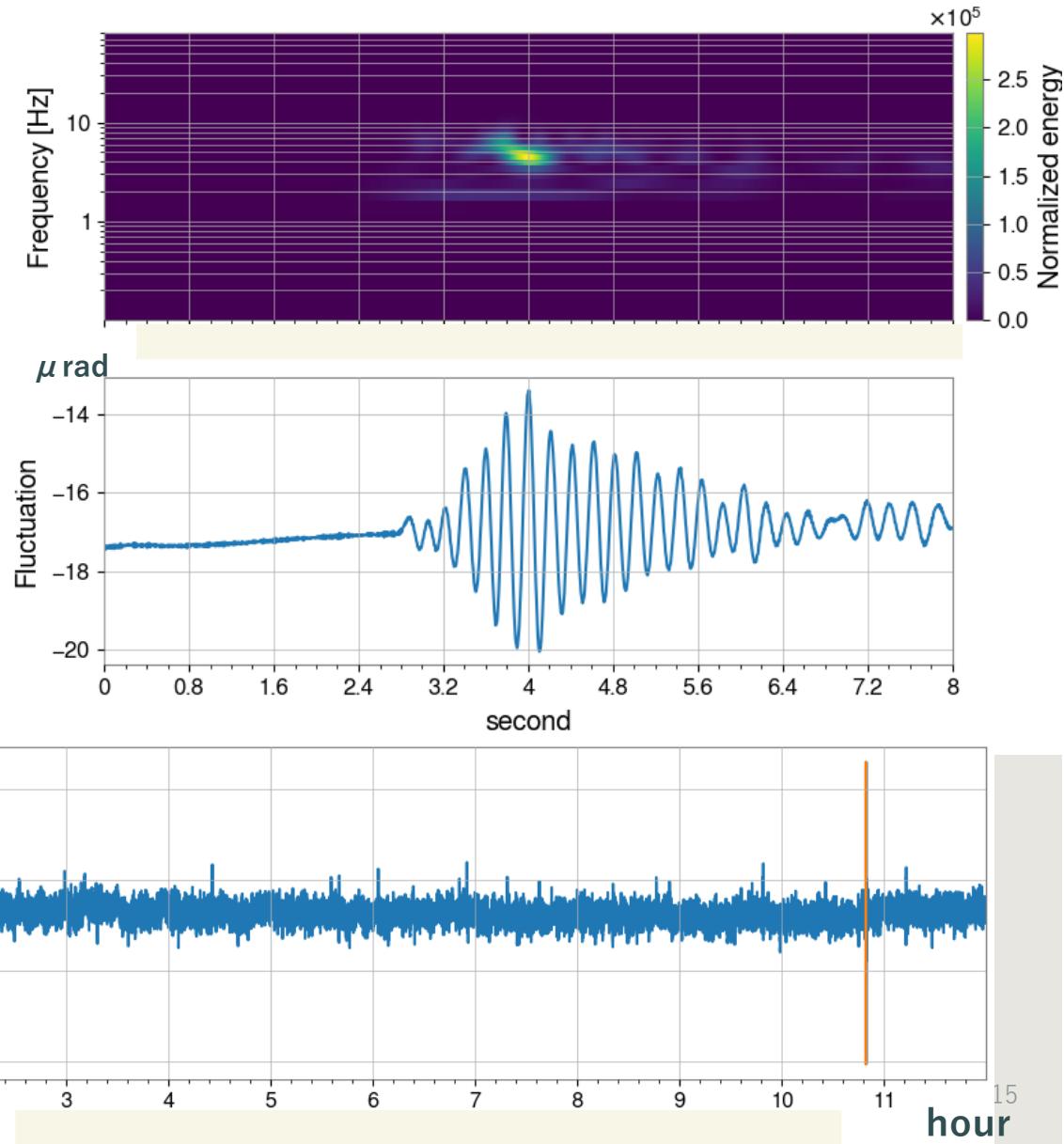
[下]12時間での時系列信号

ピークでの周波数帯:

3~4Hz

2022/3/16

日本物理学会 第77回年次大会

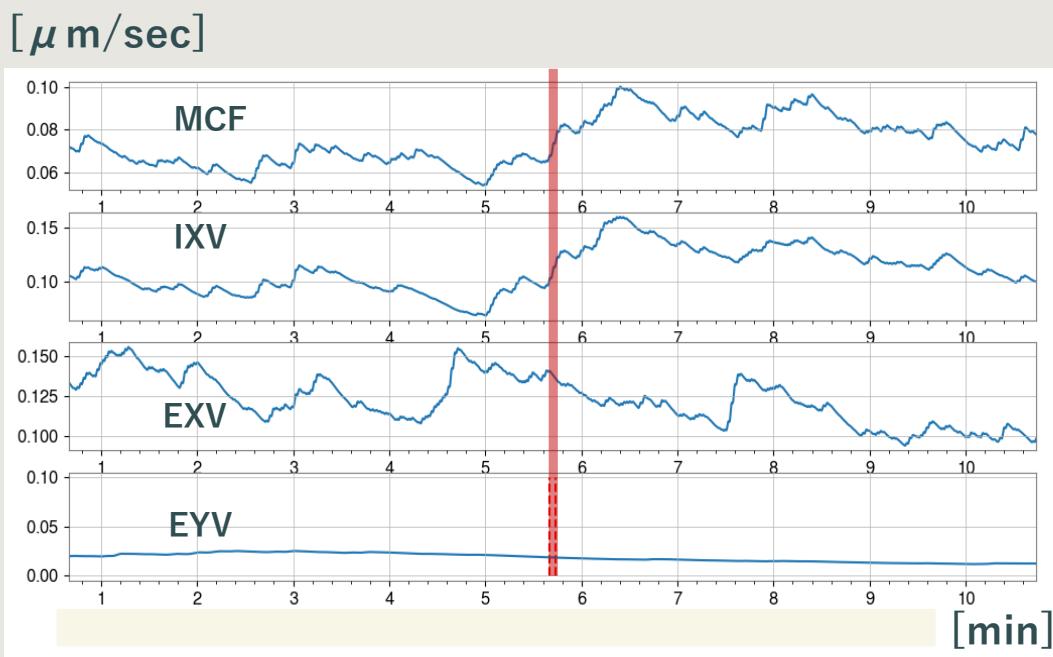


分類①

※日時を特定できないようにしています。

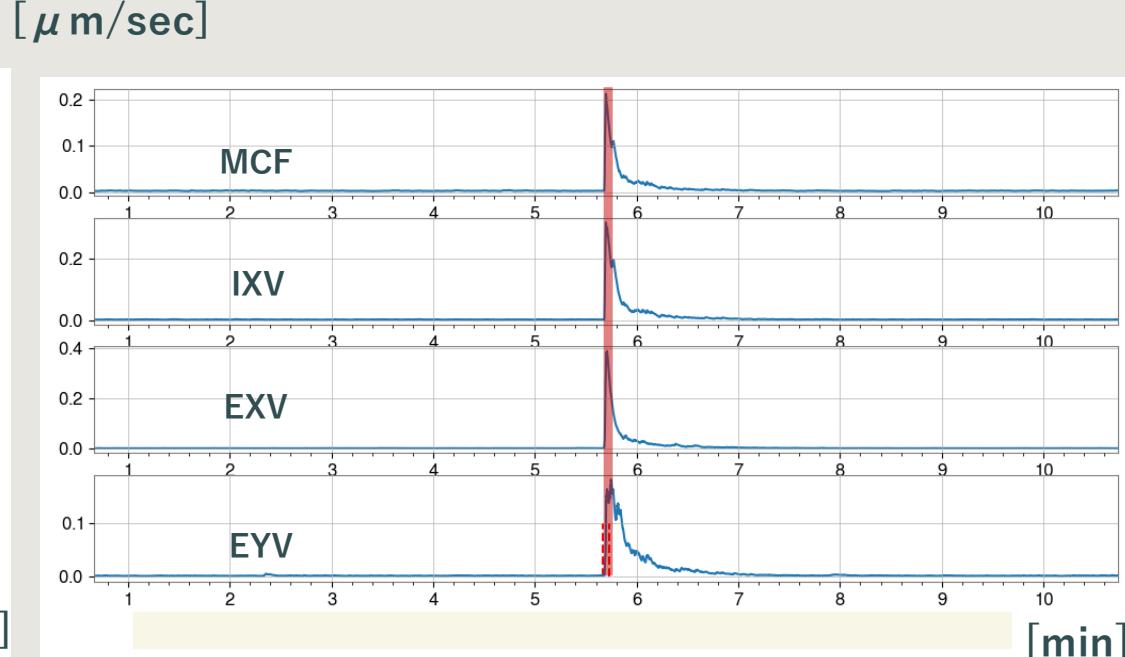
[特徵]

地震計の低周波(100~300mHz)では突発的な信号がない。最大RMS~0.1
高周波(1~3Hz)では突発的な信号がある。



2022/3/16

地震計 100~300mHz



日本物理学会 第77回年次大会

地震計 1~3Hz

分類②

※日時を特定できないようにしています。

[例2]

[上]突発性雑音の時間-周波数平面

[中]対応する時間の時系列信号

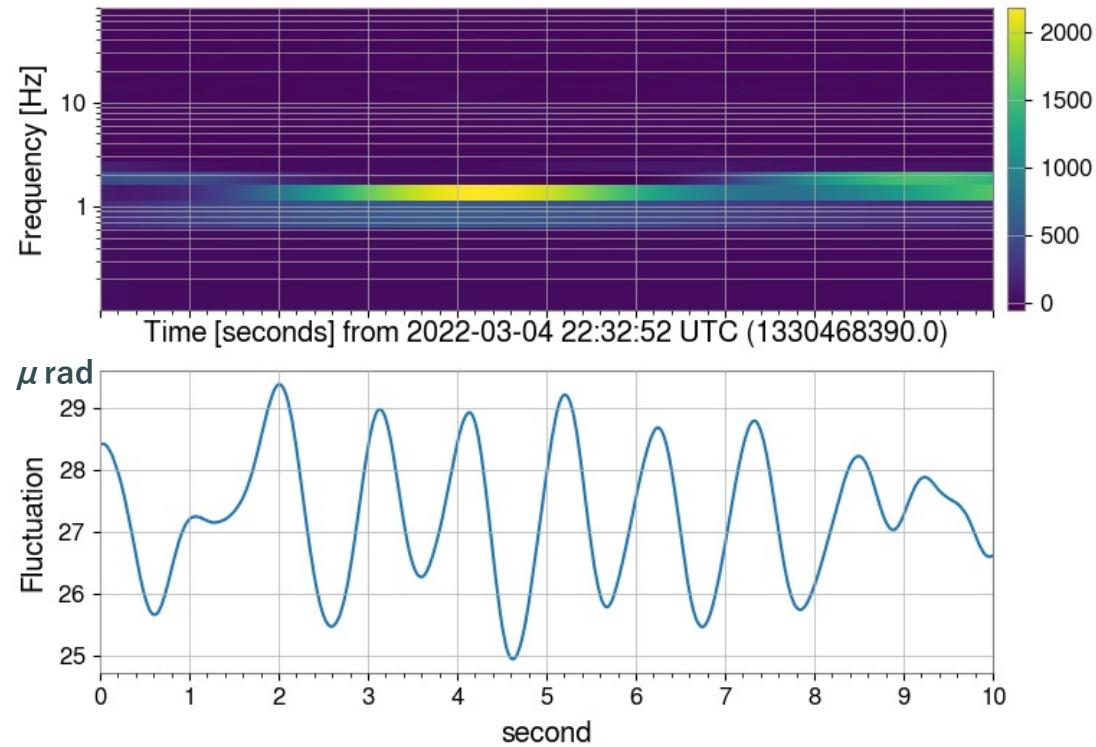
[下]12時間での時系列信号

ピークでの周波数帯:

1~2Hz

2022/3/16

日本物理学会 第77回年次大会



17

hour

分類②

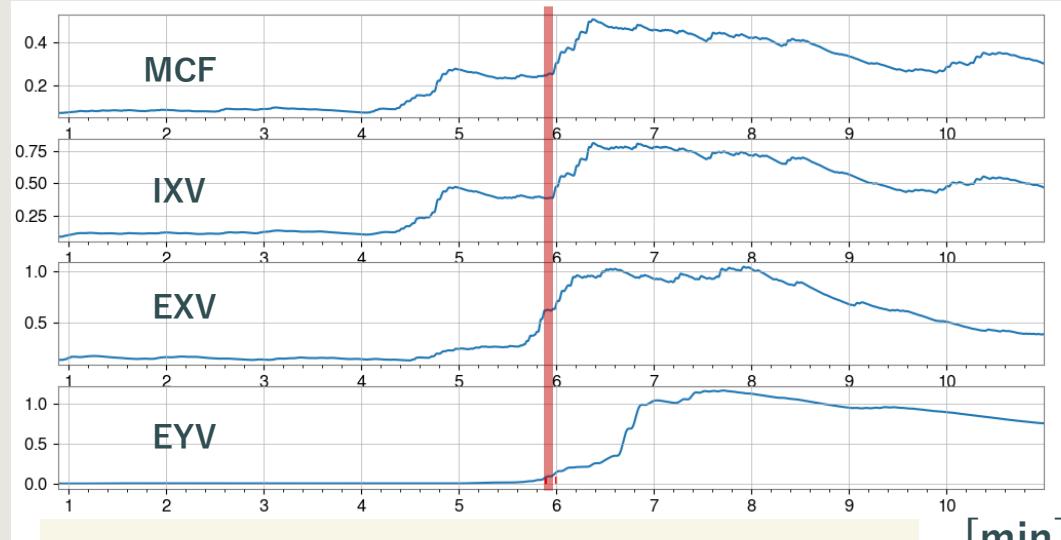
※日時を特定できないようにしています。

[特徴]

地震計の**低周波(100~300mHz)**でも**高周波(1~3Hz)**でも突発的な信号がある。

最大RMSは分類①のRMSの8~10倍

[$\mu\text{m/sec}$]



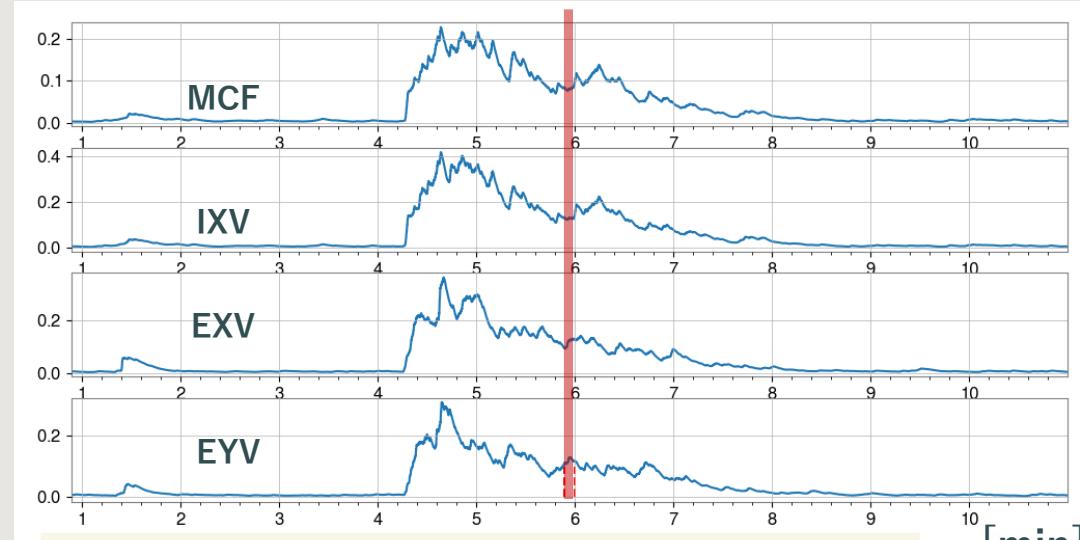
2022/3/16

地震計 100~300mHz

日本物理学会 第77回年次大会

[min]

[$\mu\text{m/sec}$]



地震計 1~3Hz

18

分類

[2種類の突発性雑音]

[パラメータ]
 t : 2sec
 n : 256Hz
 m : 5

以上のように現在、2種類の突発性雑音の分類ができた。

	分類①	分類②
突発性雑音の周波数帯	2~10Hz	1~3Hz
地面振動	1~30Hz	10mHz~30Hz
イベント数の合計	29	24

まとめと今後の展望

[まとめ]

- IMC鏡の光でこの信号を解析し、突発性雑音の探索を行った。
- 地震計との相関が確認できた、2種類の突発性雑音を分類した。

[今後の展望]

- まだ、分類①②に含まれなかった突発性雑音を調査する。
- 突発性雑音の周波数帯や継続時間などを用いて、より詳細な分析を進める。
- 未調査の部分($3 \leq \bar{x}_{max}/\sigma < 5$)の解析を進める。
- IMC以外の信号でも探索を行い、04の観測データにも適用する。
- 既存の手法との性能比較を行い、今後の解析では併用する。