

# 重力波干渉計 KAGRA の突発的なノイズの解析

○小坂井千紘（国立天文台重力波プロジェクト）

## 概要(Abstract)

重力波干渉計は、地震・磁場その他外乱の影響を受けやすい繊細な装置である。そのため、重力波でなくても重力波天体イベントと疑われるような突発的なノイズが発生する。特に超新星爆発や未知の天体现象など波形の予測が困難な現象の探索では、検出器由来の疑わしいノイズの発生を抑えること、あるいは検出器由来であることを確実に同定することが重要である。本公演では、そのためのノイズ解析手法の開発について話す。

## 1. レーザー干渉計 KAGRA とそのノイズ

KAGRA はレーザー干渉計を使った重力波望遠鏡であり、神岡鉱山の地下に建設されている。現在観測運転に向けた準備を進めているところである。連星合体イベントやバーストイベントを LIGO/Virgo と同時観測することにより、到来方向の測定精度が向上するなどの成果が期待される。

重力波干渉計のノイズは大きく2種類にわけて考えられる。一つは定常的なノイズで、時間的に局在しない雑音によるものである。地面振動や量子雑音などがこの定常的なノイズに含まれる。もう一つは突発的なノイズで、何らかのハードウェア側の原因で検出器に大きな信号が現れてしまうことがある。これはグリッチと呼ばれている。このグリッチが間違っって重力波信号と判断されると困るので、本研究ではこのグリッチの調査手法の開発について話す。

## 2. グリッチ調査手法の開発

データ解析においては、グリッチは連星合体・バーストイベントなどの重力波信号と確実に区別する必要がある。また、干渉計ハードウェアの開発においては、グリッチが起こる原因を突き止めて、原因を取り除いたり影響が出なくなるようにしたりして感度を向上させたい。そのためには、重力波信号以外の光学系・鏡の防振系や環境についても調べる必要がある。ノイズ源として、地震・雷・音・振動・電気回路ノイズなど、様々な要因がありうる。これらのノイズ源を特定できるように、KAGRA の要所要所に環境モニター(磁束計、マイク、地震計、他多数)も設置しており、これらの情報をデータとして常時取得できる。

グリッチ調査のために、シンプルにプロットを目視で調べてノイズの原因を調査できるツール (GlitchPlot)を開発した。まず、グリッチの探索には Virgo で開発された Omicron というソフトやデータ解析パイプラインなど、外部ツールを利用する。その結果をもとに、ハードウェアの状態や環境を見られる各チャンネルのプロットを作成する。そして、宇宙線研の譲原さんにご協力いただいて、このプロットをウェブページで一覧できるようにし、また推定したグリッチの原因を投稿できるフォームを用意して結果をまとめられるようにした。GlitchPlot はグリッチの原因調査を主な目的として開発してい

るが、重力波イベント候補が見つかったときの検出器の状態の確認やロックロス調査にも利用可能である。

### 3. GlitchPlot の詳細

まず、イベント探索は外部ツールを利用する。Omicron, バーストイベントトリガーでは時刻・周波数・バンド幅・時間幅・SNRなどの情報が得られるので、それらを利用してプロットを作成する。コンパクト連星合体のトリガーにも対応する。

次に、プロットを作成する。影響がありうるチャンネルを網羅的に見ていく。メインの重力波信号チャンネル、入射レーザーに関するものなど上流のチャンネル、制御に使うチャンネル、防振計のチャンネル、環境モニターチャンネルなどがある。それぞれのチャンネルについて、基本的なプロットを作成するが、グリッチには様々な種類があって、個々の性質によってプロットのパラメータ調整が必要である。このパラメータ調整は、トリガー情報を使って自動設定される。

時系列プロットは、図1のように直前直後の状況も見えるようにイベントの長さの10倍ずつ時刻を前後にとる。また、データそのままのものに加えて、トリガー周波数帯域のみフィルターしたものも作成する。

スペクトルは、図2のようにグリッチ前とグリッチ後の比較をして変化がないかを確認されるように、グリッチの期間に2秒のマーゲンを取って、32秒分のデータを使って重ねてプロットする。周波数分解能はグリッチのバンド幅に合わせて設定する。スペクトログラムは、図3

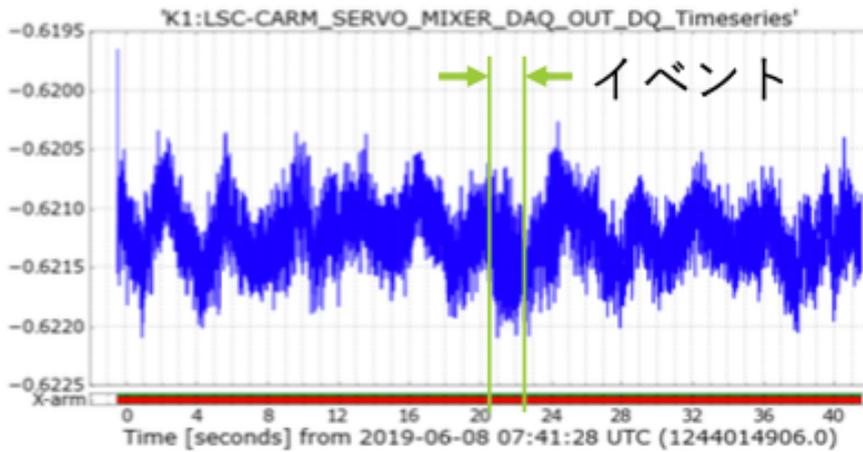


図1 時系列プロット例

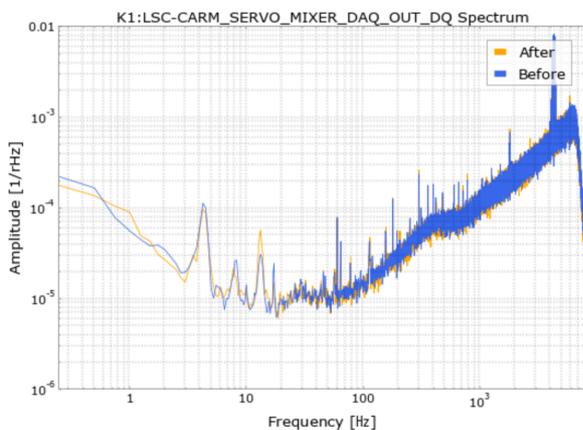


図2 スペクトルプロット例

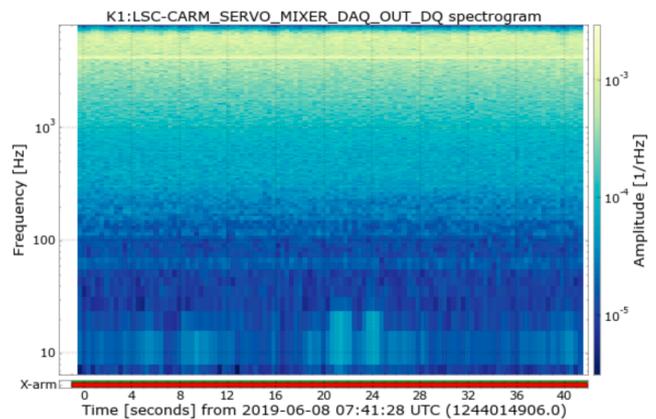


図3 スペクトログラムプロット例

のように時間ビン幅がグリッチより短くなるように設定する。周波数分解能とトレードオフになるため、あまり短くしすぎると周波数情報が失われてしまう。イベントが短い場合はイベントの長さの半分、長い場合はトリガー情報の時間幅に応じて設定する。また、ホワイトニング(各周波数成分の大きさを規格化)したものを別にプロットする。

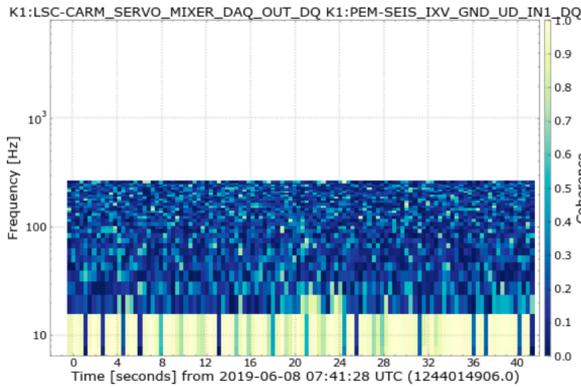


図 1 コヒーレンスグラムプロット例

た。

このようにして作ったプロットはウェブで一覧できるようにするが、チャンネルが多数あり目視で調べるのは時間がかかる。そこで、特に関連がありそうなチャンネルを自動で選別して上の方に表示させるようにしている。選別方法は2つあり、1つ目はコヒーレンス、2つ目はQ変換を利用したものである。コヒーレンスを使う手法では、図5のようにグリッチが起きる前のデータを用いて定常時のトリガーチャンネルと補助チャンネルのコヒーレンスを求め、グリッチのある時刻のコヒーレンスと比較し、グリッチの周波数で後者が十分大きい場合はグリッチと関連がある可能性が高いと判断する。Q変換

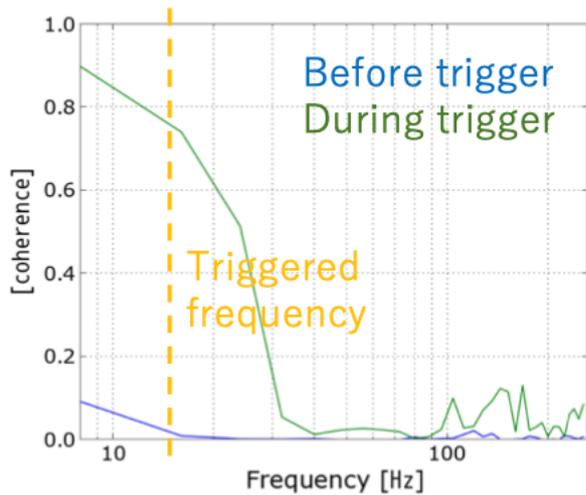


図 2 コヒーレンスによる相関増加の検出

データを取得している。グリッチノイズの調査のために、GlitchPlotを開発し、調査に必要なプロットが自動で生成できるようにした。GlitchPlotを使って、重力波イベント候補がノイズかどうかの判別をしたり、問題になるノイズ源の特定を行っていく予定である。

コヒーレンスグラムは、周波数領域における相関係数にあたるものの時刻・周波数依存性を見るものである。図4のように、これはスペクトログラムと同じパラメータを利用する。

Q変換は、パラメータを探索で使った値に設定しておく。

コンパクト連星合体のトリガーは、上記のパラメータ設定を行うのに必要な情報の一部が含まれないため、LIGO 重力波イベントの観測データをもとに波形の特徴が見えるようなパラメータを決めた。

を使う手法では、グリッチのあった時刻の1秒前からグリッチが見えなくなるまでの間に、Q変換でSNRの大きな信号が見える補助チャンネルを選別する。非線形な相関の場合などはコヒーレンスで見つけられないので、そのような場合もQ変換で見つけられるようにしている。

#### 4. まとめ

重力波干渉計では、グリッチノイズと呼ばれる突発的なノイズが問題になる。ノイズ源特定のために、制御信号などだけでなく各部分の光学的な情報や、鏡の防振系の情報、環境モニターの情報などの