

# プラネタリウム投影プログラム「ブラックホール合体！重力波」制作報告

石坂 千春\*

## 概要

2017年冬、投影プログラム「ブラックホール合体！重力波」を制作したので報告する。  
これまでにない難しいテーマを扱った意欲的な作品だったが、一定の評価を得たものと考えている。

### 1. はじめに

2017年度冬季(12月～2月)に、プラネタリウム一般向けプログラムとして「ブラックホール合体！重力波」を投影した。概要は下記のとおりである。

概要: 2015年9月14日、人には感じ取れない、ごくごくかすかな波が地球を通り抜けていきました。このかすかな波はしかし世界を大きく揺り動かしました。これこそ予言から100年間、物理学者が待ち続けた重力波だったのです。2017年、検出に貢献した研究者がノーベル物理学賞を受賞しました。たった2年前の成果に対するスピード授賞でした。2017年には、重力波観測を含む多波長観測、マルチメッセンジャー天文学も素晴らしい成果を上げました。日本の重力波観測装置KAGRAも観測を始めます。ブラックホールや中性子星の合体によって生じる時空の波、今まさに話題の重力波のヒミツに迫ります。

上記概要にあるように、重力波の観測は、宇宙物理学および天文学の分野において、今、もっともホットな話題、もっとも注目されているトピックスの一つである。事業計画策定時の2017年春には、ノーベル物理学賞の行方はもちろん未定であったが、重力波直接検出のインパクトの大きさから、まちがいなく受賞すると予測し、ノーベル賞の季節である秋季に、重力波について解説するプログラムを投影することにした。同期には展示場において「大阪市立科学館収蔵資料で見るノーベル賞」という企画展[1]を開催することになっていたのも、タイムリーなテーマであった。

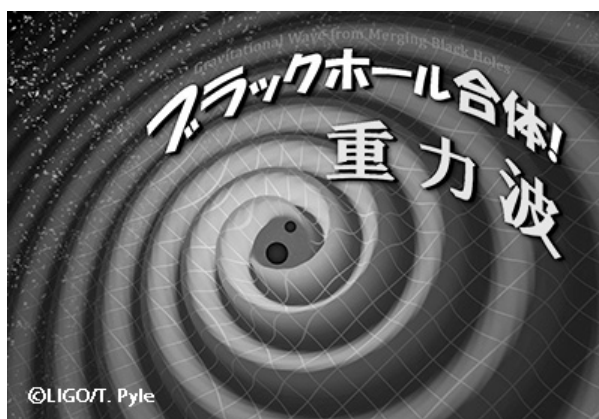


図1. タイトル画像

重力波を検出したLIGO[2]のホームページより、ブラックホール合体の重力波イメージを借用し、背景画像として使用した。

### 2. 投影内容

投影の内容は以下のようなものであった。

#### 2-1. 投影の流れ

##### ①タイトル

- ・重力波へのイントロダクション

##### ②重力波の音

- ・2015年9月14日にLIGOが捉えたブラックホール合体重力波を音に変換したもの
- ・ノーベル物理学賞2017に言及
- ・なぜ重力波観測がそれだけ重要とされたのか

##### ③アインシュタインの重力理論

- ・一般相対性理論による重力の説明
- ・重力波の予言
- ・観測ターゲット(中性子星の合体)について

##### ④観測方法

- ・世界の重力波観測装置

\*大阪市立科学館/中之島科学研究所  
ishizaka@sci-museum.jp

- ・レーザー干渉計の仕組み
- ・重力波を観測することの困難
- ⑤LIGO による快挙
  - ・LIGO の説明
  - ・最初の重力波
- ⑥新たなナゾ
  - ・中性子星の合体ではなくブラックホールの合体だった！
  - ・ブラックホールとは
  - ・合体したブラックホールが重たかった！
  - ・ブラックホールは合体によって成長する！？
- ⑦重力波天文学の進展
  - ・VIRGO の始動
  - ・位置特定が可能に
  - ・中性子星合体重力波の検出
  - ・マルチメッセンジャー天文学の夜明け
  - ・KAGRA の予定
- ⑧エンディング
  - ・重力波天文学への期待

## 2-2. 制作したマクロ

制作したバーチャリウム II (以下、V2) 用マクロ (投影用ショートプログラム) は次のとおりである。

### 1) タイトル

- ・タイトルを表示
- ・恒星球を翌朝4時の空に日周

### 2) メイン

前節の流れにそった、すべての映像演出

### 3) エンディング

恒星球の星空と V2 の星空をオーバーラップ

### 4) BGM スタート (任意)

メインの最中、必要な場合は BGM を V2 から流す

## 3. 制作過程

### 3-1. 制作スケジュール

制作スケジュールは下記のとおりであった。

- ・企画0案立案 7月28日
- ・マクロ制作 9月～11月
- ・初回 (学芸課内) 試写検討会 10月20日
- ・友の会ナイトでの試写 10月21日
- ・第2回 (館内) 試写検討会 11月10日
- ・館内完成試写 11月30日

### 3-2. 試写検討会における指摘

試写検討会で指摘された事項と、その対処・改良について記す。

#### (1) 初回検討会での指摘事項

主に学芸員等を対象とした試写検討会で次のような意見が出た。

- ・なにが面白いのか、なにがすごいのかを直観的に説明するべき→解説を工夫
- ・観測所のある場所は地図で示す方がよい→追加
- ・BGMはあった方がいい→マクロ④で対応

#### (2) 友の会ナイトでの指摘事項

10月21日に開催した友の会会員が参加する「友の会ナイトで、当プログラムの試写を行い、意見、感想、わかりにくかった点等の回答を得た。

いただいた意見は次のとおりである (順不同)。

- ・「音が上がっている」箇所、特に低音の方は慣れないとなかなか聞きとれないです。
- ・重力波の検出方法がわかりにくい
- ・重力波というものが出るのがわかった
- ・観測の施設の名前などをいきなり出すと何のことか分かりづらいので、説明してほしい。
- ・自分には全体的に内容が難しい気がしました。何か身近なものでイメージがつかめたら、ありがたい。
- ・重力波と日常生活のつながりを増やしてほしい。
- ・ブラックホールや天体について知識があまり無いので、全体的に内容が難しいと感じた。易しい言葉で解説希望。
- ・波形グラフをもっと大きく投影した方がよいのでは。
- ・分かりやすかったです。
- ・全体的に難しく寝てしまった。
- ・説明が速すぎる。もうすこしゆっくりと。
- ・水素原子の大きさを教えてほしい。
- ・中性子星がどのようなものか。
- ・重力波はどういった役割を果たすのか？それによって何が判明するのか？などを解りやすくしてほしい。
- ・もともと難しい内容のため、今日の説明くらいで分かりやすかったです。逆に詳しくすぎると話している方も聞いている方も分からなくなるのでは。
- ・重力波のイメージはたしかにできました (同じ映像と同じ解説でくり返されていたので) が、そもそもの基礎知識がないので、途中で何のことだろう？と分からなくなりました。もう少し基礎的なことを説明してほしい。
- ・「音」で聞けるのはよかったです。はじめにつまづかないように、アインシュタインあたりを、ゆっくりめがよいかと。
- ・大きなブラックホールの出来る理由だけでなく、小さなブラックホールの出来る過程も説明してほしい。
- ・イメージはつかめるのでは？
- ・子供が聞いてわかると思えない。

- もっとアニメーションを取り入れてほしい。
  - 一般相対性理論について、もう少し詳しいとよい。
  - 「重力波とは何か」「どんなことが分かるか」、今日の投影でも分かりやすかったが、それでももう少し詳しい方がいいかもしれない。
  - タイムリーなノーベル賞についての説明は、とても興味深くて良かったです。なぜ、重力波を研究しているのか(重力波からブラックホールの正体に迫る)とところもう少し重点を置いた方が分かりやすいのでは？LIGOの説明はもっと簡潔でもいい。
  - 合体の説明はプラネタリウム一般上映なら今回のも良いのでは？講演会ならもう少しつっ込んだ説明が良いのかも。
  - 原子核のイメージ図が少しピンとこなかった。
  - ものすごく精密な観測が必要なのに、装置にどんな工夫があるのか。観測できることで、今後何が分かっていくのか。
  - 重力波について知識がまったくないので、一度聞いただけではよくわからなかった。
  - 要点がまとまっていて良かった。
  - 重力波は地球に対して影響があるのか、人体に対して感じられるのか？
  - どれ程の装置かということはわかった。BHやNSがぶつかるということは、どれくらいの頻度か、今回たまたまなのか？
  - 振幅が1au当たり水素原子1個分であるという波のスケール感を実感したい。対ノイズ比のすさまじさを実感してみたい。四次元空間の歪みとは何か？
  - 空間のゆがみのようすと、graphもう少し詳しく。
  - 中性子星の合体の所をもう少し詳しくしてほしい。
  - こういう話は苦手。でも少しふわ～とわかった。
  - 重力波が出るようになるまでの時間がどれくらいか。
  - 今回はこのままで良いと思う。詳しく説明するのは、またの機会に改めてで良い。
  - 中性子星が合体するとき光が出る、その観測をもう少し詳しくわしく。重力波のプラネ楽しみ！頑張って製作してください！
  - 合体する瞬間に強い重力波が出るところ。1つのブラックホールにもう1つが吸い込まれたりほしくないのか？大きくなる？
  - ノーベル賞とった三人の紹介。
  - もっと基礎的なところが知りたい。
  - むずかしい！プラネタリウムに星を見に来た人は、なんかさみしいかも。
  - 「空間のゆがみ」部分を詳しく聞きたい。
  - なぜ中性子星だと分かったか説明してほしい。
  - ブラックホール合体のプロセス。
  - 機器の仕組みを詳細に聞きたい。
  - よくわからなかった。
  - アメリカの「ライゴ」の施設の実際の写真も見たい。「かぐら」の写真も。
  - ブラックホール自体がわからない。重力波がどのような影響を及ぼすか知りたい。
  - 重力波とブラックホールのつながり。重力波といえばブラックホールなのはなぜ？小学生なみに説明があれば。
  - 何回かに分けてわかりやすく。
  - わかりやすかった。
  - 初めて見る人にとって、とても難しい！と思った。
  - ブラックホール合体の音、初めの低音は？あとの1secの音のみでよいのでは？
  - 説明を聞き終わっても、結局“重力波”が何だったのか分からないままだった。
  - LIGOの構成
  - 2方向から重力波が衝突して、1か所に集まるところがよく判らない。
  - 宇宙について詳しく知りたい人が見に来たいと思う演目だと思う。
  - 地球の地図上にLIGOの他のがあったが、KAGRA以外のは説明がないのが気になる。重力波の何がすごいのかをもう少し詳しく知りたいと思った。
  - 小学生の娘でもなんとなくは理解できたようだ。日本の施設の説明がもう少しあると子供も興味がわくかもしれない。
  - 観測の内容がわかりづらい。重力波はどのようなものかはよくわかった。
  - 難しかったが、興味をもって聞けた。
  - 空間がゆがむイメージのところで、重力波が伝わるイメージも加えると、おもしろいと思う。
  - いくら聞いても理解できないが、重力波観測で何が分かるか説明してほしい。
  - LIGOを含む重力波観測装置が、なぜブラックホールが合体した場所を特定できるのかを、もう少し詳しく聞きたい。
- (3) 第2回試写検討会での指摘事項
- 学芸員以外の館スタッフを含めた第2回試写検討会においては大阪市立東高等学校の浅沼先生、四天王寺学園高等学校の吉田先生に観覧いただき、ご意見を頂戴した。
- 重力波とは何か、がわかりにくい、難しい→全天映像を入手し、直観的に理解できる演出とした
  - ビジュアル的に単調、もっと迫力がほしい→同上
  - 高校生が興味を持つとは思えない→同上
  - ブラックホールとは何か、も説明がいる→同上
  - なぜ重力波の検出をしなければいけないのか、説明

- がほしい→メインパートの最初の部分で説明
- ・音の詳細な説明は後でいい→説明を不要とした
- ・重力波の振動数が人の可聴域と同じだから音にした、ということをも明言すべき→投影者に任せた
- ・装置の大きさ、重力波の弱さ、等、数字のすごさを視覚化してほしい→数字が多すぎると印象が薄れるので、重力波の弱さだけを数字で表示
- ・ノーベル賞受賞者一人ひとりの実績説明は不要→省略
- ・LIGOの構造はざっくり説明するだけでいい→省略
- ・重力波を音にしたもののうち1オクターブ高い方は不要では？(話がまどろっこしい)→LIGOの資料のため、編集不可
- ・重力が場のゆがみであることを示す動画で、ブラックホールが単体の場合と連星の場合の両方があると分かりやすくなる→全天映像に置き換え
- ・重力による空間のゆがみは動画がほしい→全天動画
- ・字幕の位置が低いので、前の席だと絵と字幕の両方を見るのが難しい→修正
- ・絵の位置を高くしてほしい→修正
- ・さすがですね、わかりやすかったと思います
- ・音に集中させるために、重力波の音の時には映像など真っ暗にして聞かせてもいいと思う。
- ・重力波について知りたい！という方にはピッタリの内容で、知識のない私にもわかりやすかったです。ただ、ふと考えると質問がいっぱいわいてきました(なんで空間が歪むの？とか)→全天映像を追加
- ・単にプラネタリウムを楽しみたい、と思って来館された方やお子様には、もう少し動きや迫力のある映像がところどころにあればいいと思った(講演会的な雰囲気が強かった)→全天映像を追加
- ・結局、重力波で宇宙のどんなことが明かされてゆくのでしょうか？ 日常に何か影響があるのでしょうか？→解説で触れた
- ・無音は臨場感があって、素敵なアイデアだと思いました。BGMがないことは言われて初めて気づいたくらいでした。
- ・BGMは無くてもいい
- ・日本語表記が必要→可能な限り対応
- ・英語タイトルやキャプションがむき出しなのは、拒否されやすい→日本語をできる限り付加
- ・様々な図や絵を駆使しているのは良い
- ・お客さんが理解する時間、頭を働かせる時間、反応する時間がほしい→解説で対応
- ・難しい内容であることは分かる。物理学者が待ち続けた成果であることも知っている。が、普通の人に「なぜすごいのか」が分かってもらおう努力が必要。→解説で対応

- ・具体的な事象は音だけ、今までのように派手な映像がない。「目に見えないところで起きていること」を観測した仕組みは分かるが「科学の現象」の真実が分からない。→全天動画クリップを合同会社スターライトスタジオから購入し追加
- ・「重力は空間や時間のゆがみ」というが、地上で生活している我々との関係がわからない→解説で対応
- ・ブラックホールはなぜ合体するのか、合体による時空の波とは何か、普通の人を楽しめるレベルにこのテーマを映像で表現してほしい→動画、映像で表現
- ・「音」の説明が分かりやすかった
- ・水素原子のたとえば難しい→解説を工夫した

### 3-3. 営業投影開始後における指摘

一般投影を開始後に投影担当者から指摘のあった修正希望箇所は次のとおりである。こららの意見についても修正を行った。

- ・全体にスライド・字幕の位置が低く、特に前の席で非常に見にくい。字幕はプラネタリウム水平モードの座標系で仰角10度以上の高さに出す方がよい。
- ・画像については、表示サイズの問題もあって、少し低い場所も使わざるを得ないと思うが、見て欲しい(重要度の高い)画像は字幕と同じく、下端を仰角10度以上、重要度の低い画像でも、画像下端を仰角0度(パノラマの水平線位置)以上に、配置していただきたい。
- ・世界地図にの重力波観測装置の位置を入れた図など、表示サイズが大きい図は、もっと高い位置に出さないと、(画像上端が水平モードでの天頂～南の仰角80度付近)前方の席では見渡しきれなくなる。

## 4. 総括

2017年度冬の投影プログラム「ブラックホール合体！重力波」の投影期間は12月1日～2月25日、全投影回数は245回、観覧者数は28949人で、1回平均は118名であった。

関連して、投影解説を補助するため、短期間ではあるが、2月12日～25日にアトリウムのケースにおいて重力模型および重力波観測装置の基本構成であるマイケルソン干渉計を展示した。

筆者は期間中、55回、「ブラックホール合体！重力波」の投影を担当したが、うち40回(約72%)で拍手が起きた。非常に難しい内容であり、時期的に1回あたりの観覧者数が少ない中で、まずまずの満足を得られたものと解釈される。

## 参考文献

[1]小野昌弘、大阪市立科学館研究報告 28号、p119