



重力波検出の新手法の開発，重力理論の検証，銀河中心ブラックホール形成史の解明

2015年重力波初検出，2017年重力波天文学の誕生

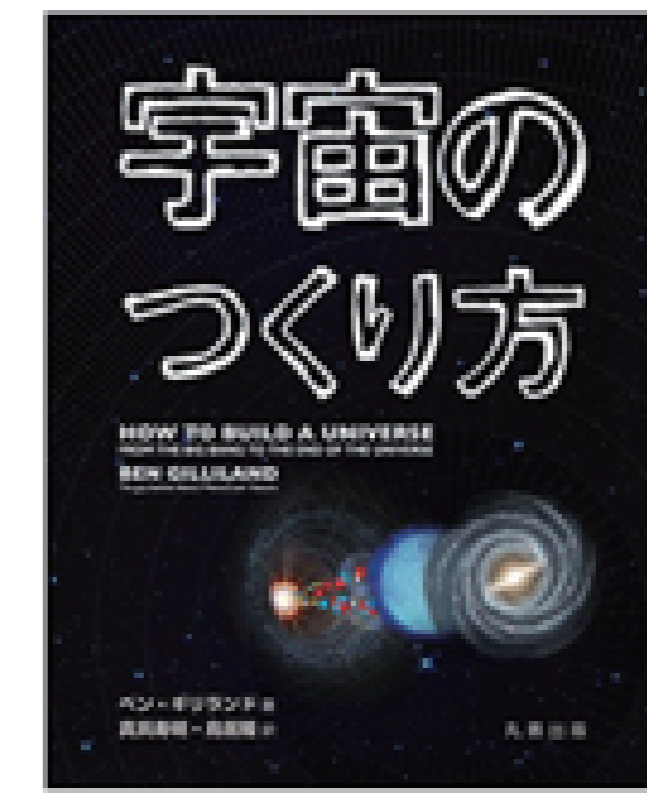
アインシュタインが一般相対性理論を創り上げて100年後、彼の予言した「時空の歪みの伝播（重力波）」が米国のLIGO（レーザー干渉計）によって初めて捉えられました。連星ブラックホールの合体現象の痕跡でした。そして、2017年8月には、連星中性子星の合体現象が検出され、直後に世界中の天文台が追観測を実施して、『重力波天文学』が幕をあげました。

本研究室は、これまで、シミュレーション研究および手法の研究を中心にして、一般相対性理論の描く動的な時空の解明を研究してまいりましたが、重力波に関しては、表題の3研究を中心に進めています。担当教員は、現在、日本の重力波干渉計KAGRAプロジェクト（PI：梶田隆章・東京大学宇宙線研究所所長）の科学部門委員長・KAGRAスポークスパーソン（2017-2019）としても活動しています。KAGRAは2019年末に観測を始めます。米欧との連携観測開始協定締結・共同論文執筆計画推進・日本のデータ解析チームの組織化などを進めています。



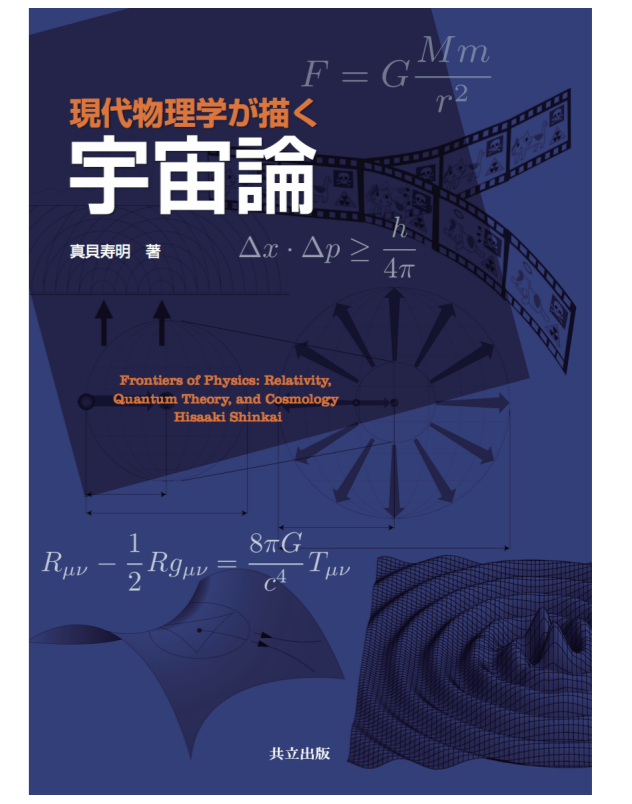
(2015/9)

(2019/11) 「相対論と宇宙の事典」(朝倉書店) 編集



(2016/12)

(2019/11) 翻訳書「演習 相対性理論と重力」(森北出版)

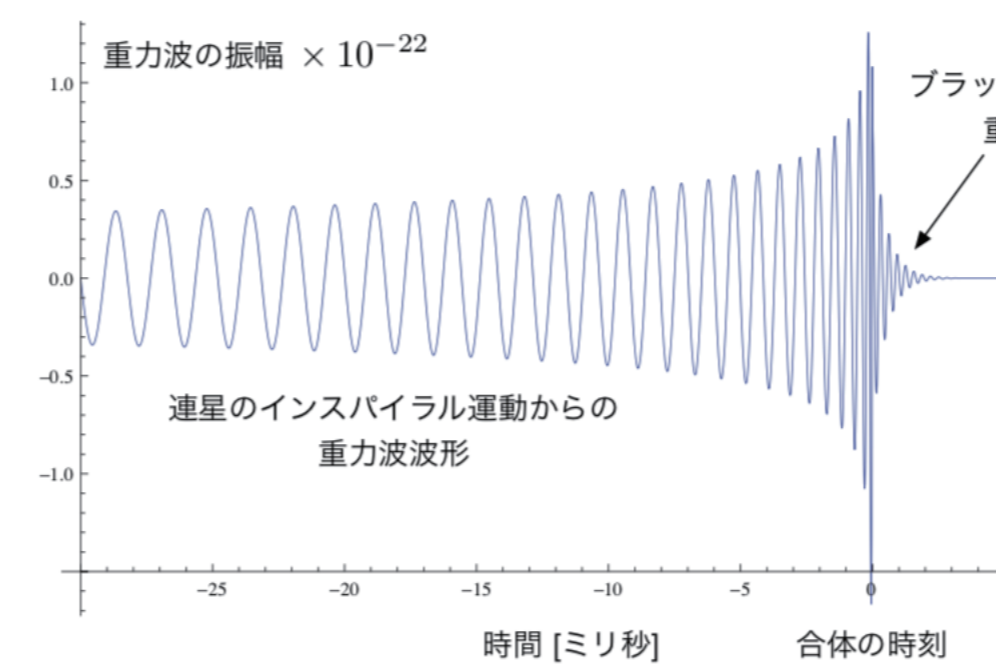


(2018/9)

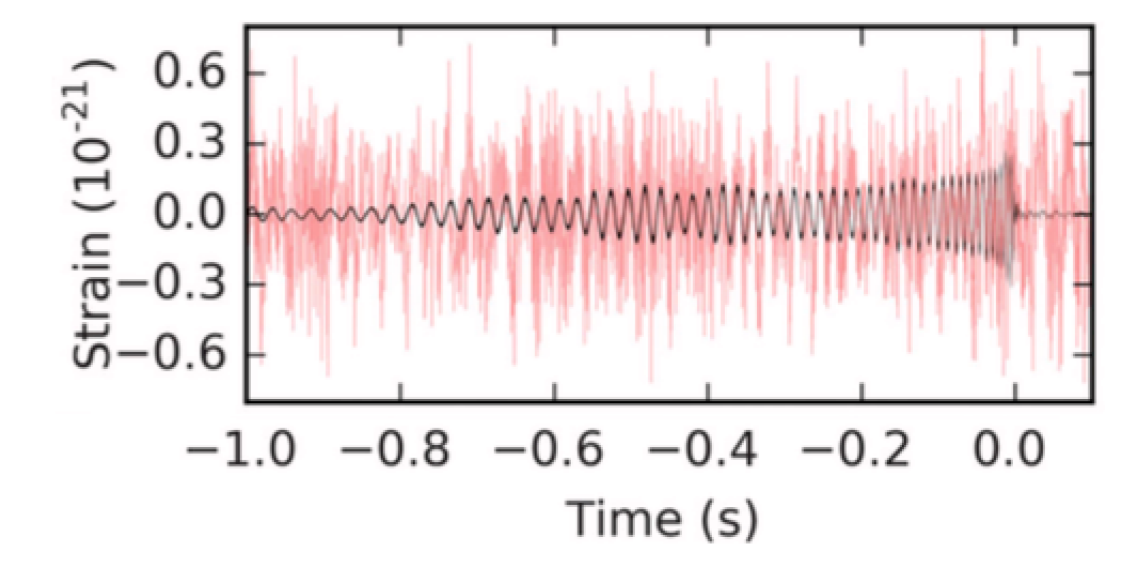
重力波検出は何が難しいのか

振幅がとても小さく、ノイズに埋もれた重力波観測データから、未知の重力波信号を取り出す手法の開発が必要になります。原理的には、質量をもつ物体が加速度運動すれば重力波は発生しますが、観測できるほどの振幅になるのは天体スケールのもになります。しかも、天文学的な距離を伝播することで波が減衰することを加味すると、長距離での時空の歪みを測定する必要があります。現在の地上レーザー干渉計は3km (LIGOは4km)の腕で、ターゲットとする重力波の典型的な相対振幅は 10^{-21} (太陽・地球間の距離で原子核1つ分)、周波数は100~2000Hzのもので、(宇宙空間に出れば低周波のものが観測可能になります)。

測定されるデータは地面振動や機器の熱振動・レーザー光の量子ゆらぎなどのノイズに埋もれていて、重力波として抽出するためには、あらかじめ想定される波形との相関をみるマッチド・フィルタリング解析が主流です。通常と異なるスペクトルを探知するバースト・サーチ手法も使われています。重力波検出の兆候が報告されると、シミュレーションで得られた波形とモンテカルロ法を駆使したベイズ推定が1000コア程度の並列計算で行われます。決めなければならないパラメータ空間が大きいのが問題になります。(連星合体の波形の場合、14パラメータの特定が必要。)



連星合体で予想される重力波の波形



実際のデータ (赤) と発見された重力波 (黒)

現状の手法の問題点は、計算時間がかかりすぎることで、既知の重力波波形にしか対応できないこと、ベイズ推定の事前推定が収束性から常に問題になることなどです。機械学習による手法も模索されはじめましたが、学習データの必要数を含めて研究途上です。本研究室では、スパースモデリングによるノイズ除去や、自己回帰法による(テンプレートをしない)波形抽出など従来にない方法構築を目指しています。

科学のアウトリーチ活動

- 一般の方向けの解説など、最近では、以下のような依頼にお応えしています。
- 2019年12月 舞鶴高専ジュニアドクター育成塾 特別講演
- 2019年7月 雑誌『現代思想』8月号「ブラックホール理論とその周辺」
- 2019年5月 Newton ライト『法則の事典』編集協力
- 2019年4月 - 毎日文化センター(西梅田)『宇宙はどこまで解明されたか』全6回
- 2018年12月 雑誌『数理科学』12月号「ブラックホールと重力波」
- 2018年10月 - 毎日文化センター(西梅田)『宇宙をひもとく物理学』全6回
- 2018年9月 システム制御情報学会誌『重力波の直接観測とデータ解析』
- 2018年7月 けいはんな・サイエンスフェスタ2018「ブラックホールと重力波」
- 2018年7月 枚方市立青少年センター夏休み教室「アインシュタインの考えたこと」
- 2018年6月 西宮市生涯学習大学宮水学園せいかつ講座「こんなところに物理学」
- 2017年12月 雑誌『科学』(岩波書店)12月号『光格子時計による重力波検出』(共著)
- 2017年11月 科学技術館 科学ライブショー『重力波観測は物理学から天文学へ』
- 2017年11月 NHKサイエンスZERO 「タイムマシンは実現するのか!？」
- 2017年9月 慶應義塾高校科学講演会『ブラックホールと重力波』
- 2017年7月 雑誌 Newton 7月号「双子のパラドクス」取材協力
- 2017年5月 雑誌『子供の科学』5月号 特集「時間ってなに?」インタビュー
- 2017年1月 雑誌『学術の動向』(日本学術協力財団発行)1月号
『大学初年次における科学力と高大接続 科学リテラシーテストの結果報告』
- 2016年11月 サイエンスアゴラ シンポジウム『これからの高校理科教育のありかた』
- 2016年10月『天文宇宙検定1級公式問題集』(恒星社厚生閣) 編集協力
- 2016年8月 近鉄あべのハルカス本店宇宙博2016, 特別セミナー「ブラックホールはどう見える?」
- 2016年8月 International Science School 2016 講師
- 2016年7月 雑誌『窮理』4号:「予想通りで驚いた 重力波初観測の報道に接して」
- 2016年6月-3月 西宮市生涯学習ラジオ講座「宇宙はここまで理解された 宇宙物理学入門」全10回。
- 2016年5月 科学技術館 科学ライブショー「ユニバース」重力波検出記念特別番組。
- 2016年3月 雑誌『クーリエジャポン』電子版「人類が初めて観測した重力波」



最近の研究から

- "Comparison of various methods to extract ringdown frequency from gravitational wave data", H.Nakano et al, Phys. Rev. D. 99 (2019) 124032
- "First cryogenic test operation of underground km-scale gravitational-wave observatory KAGRA", KAGRA collaboration, Class. Quant. Grav. (2019)
- "INO: Interplanetary Network of Optical Lattice Clocks", T. Ebisuzaki et al, Int. J. Mod. Phys. D. (2019) 1940002
- "KAGRA: 2.5 Generation Interferometric Gravitational Wave Detector", KAGRA collaboration, Nature Astronomy, 3 (2019) 35.

科研費採択状況

- 科学研究費補助金 基盤研究(B)
「重力波データ抽出方法の開発：新たな解析手法および分散型コンピューティングの導入」(New directions in gravitational-wave data analysis: both in computing algorithms and hardwares including its outreach activities)
(2019--2023年度, 課題番号 19H01901, 研究代表)
- 科学研究費補助基金 挑戦的研究(萌芽)
「天文文化の創設：天文と文化遺産を結ぶ文理融合研究の加速」(Establishment of cultural astronomy: Acceleration and integration of arts and sciences on cultural heritage, astronomical phenomena, and mathematical understanding)
(2019--2021年度, 課題番号 19K21621, 研究代表)
- 科学研究費補助金 新学術「重力波物理学・天文学：創世記」
A01 計画研究「重力波データ解析による重力理論の検証」(2017--2021年度, 課題番号 JP17H06358, 研究分担)
- 基盤研究(C)「修正重力理論における非線形ダイナミクスと超弦理論の検証」
(2018--2022年度, 課題番号 JP18K03630, 研究分担)