

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17K05431

研究課題名（和文）重力波観測における逆問題の定式化および修正重力理論の検証への応用

研究課題名（英文）Formulation of the inverse problem in gravitational waves astronomy and its application to a test of modified gravity theories

研究代表者

浅田 秀樹（Asada, Hideki）

弘前大学・理工学研究科・教授

研究者番号：50301023

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：重力波分野は、2017年のノーベル物理学賞の対象にもなり、広く一般にも知られるようになりました。これまでの観測結果は、その観測誤差の範囲内でアインシュタインの一般相対性理論の予言と矛盾しません。しかし、基礎物理の研究などからは、一般相対性理論には存在しない余剰な重力波偏波の可能性が示唆されています。これまでは、こうした余剰偏波の検証には6台以上の大型重力波検出器が必要だと思われていましたが、本研究は現状の世界にある4台の検出器でも検証可能であることを証明しました。そして、それが可能である条件を明示しました。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、アインシュタインの一般相対性理論をこえる重力理論が示唆する余剰な重力波偏波の新しい検証方法を与えた。これによって、将来、新しい重力物理学が拓ける可能性が生じた。

研究成果の概要（英文）：The research field of gravitational waves has attracted a broad public interest as shown by the Nobel prize of physics in 2017. The observational results have been so far consistent with the prediction of Einstein's theory of general relativity within the observational accuracy. On the other hand, recent researches on fundamental physics suggest a possibility that there may exist extra polarizations of gravitational waves which do not live in the theory of general relativity. Our research shows that such extra polarizations can be tested even by the current four detectors. Furthermore, we present a specific condition for enabling the new test.

研究分野：理論宇宙物理学

キーワード：重力理論 理論宇宙物理学

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

米国の aLIGO の 2 台、欧州の Virgo に加えて、我が国の KAGRA 重力波望遠鏡が 2020 年度に国際共同観測に参加した。それら 4 台の重力波検出器を用いた新しい重力理論の検証方法を検討した。特に、重力波の偏波の直接測定を用いる点に特長がある。想定した天体現象は、中性子星連星のように電磁波対応天体を伴う重力波源である。従来の考えでは、4 台の検出器からのデータの組み合わせから、余剰偏波を分離して検証することは不可能だと思われていた。一般相対性理論はテンソル型の重力波の偏波のみを预言する一方、修正重力理論は一般相対性理論のものより多くの物理的自由度を有するため、それに対応して、スカラー型やテンソル型の偏波を预言するものが多い。従って、こうした修正重力理論を重力波観測から制限する、あるいは検証するためには、重力波の余剰な偏波を探ることが非常に重要となっている。冒頭で述べた通り、重力波検出器が次々と稼働する現在、こうした方向の研究を遂行することは時機を得ている。

### 2. 研究の目的

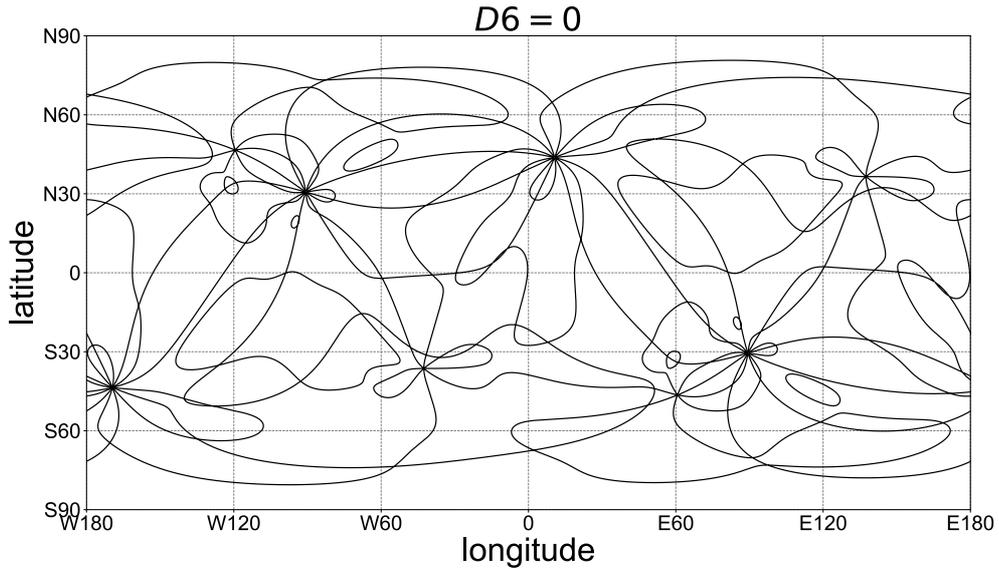
現状の 4 台の検出器を用いて、重力波の余剰な偏波を探索する方法を開発する。従来の研究では、重力波源の方向もまた未知数として、重力波の観測データから測定することが前提とされていた。しかし、GW170817 のような電磁波対応天体が、電磁気的な観測で検出されれば、その方向は非常によく定まる。この結果、重力波のデータ解析では、重力波源の方向を未知数とせずに済むため、偏波の探索のみに専念できる。この結果、4 台の検出器でさえ、重力波の余剰な偏波を探索することが可能だと思える。実際、これが可能であることを証明することが、本研究の主な目的である。

### 3. 研究の方法

4 台の検出器の出力（レーザー干渉計における干渉の強度変動）の線型結合を構成し、条件式を探す。その得られた条件式の物理的な意味を考察する。実際の重力波検出器のデータ、特にこれまでのところ唯一の電磁波対応天体を伴う重力波源である GW170817 イベントの公開データを用いて、余剰な偏波への制限も与える。開発する手法の性能評価も行なう。

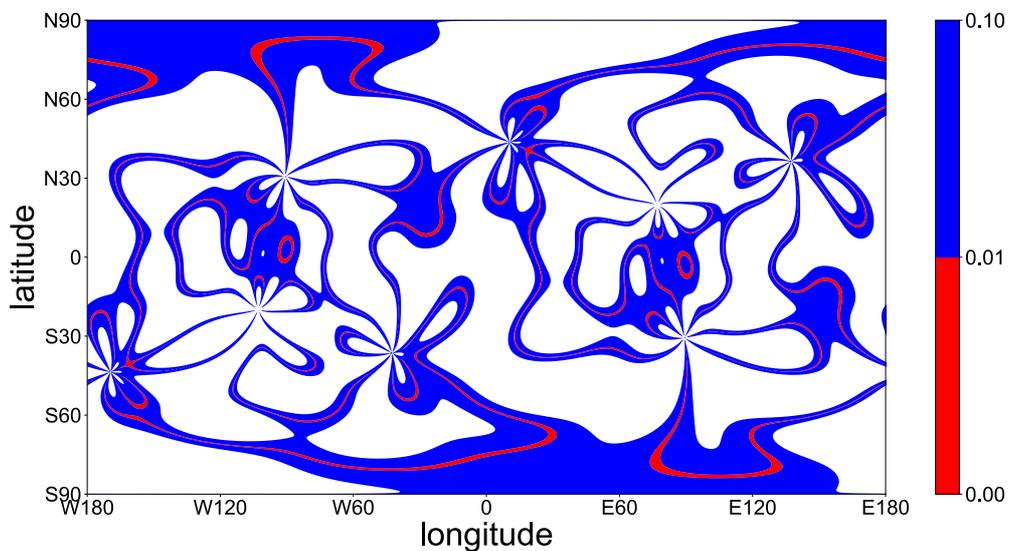
#### 4. 研究成果

実際に、スカラー型の重力波偏波のみが残るような条件を表す数式を見出した。これは、電磁波対応天体を伴う重力波源が天球の特定の領域にあれば、4台の検出器でさえ、スカラー型重力波偏波だけを分離して、検証可能であることを意味する (Hagihara et al. 2021)。また、GW170817 イベントのデータを再解析することで、ベクトル型の偏波の一つの成分に対する上限を与えることに成功した (Hagihara et al. 2020)。



上の図における曲線は、スカラー型重力波偏波が分離可能となる天球上のマルチメッセンジャー天体の位置を表す。(Hagihara et al. 2021 より)

下の図における帯状の領域は、スカラー型重力波偏波が近似的に分離可能となる天球上のマルチメッセンジャー天体の位置を表す。青色領域は弱い分離、赤色領域は強い分離が可能であることを示す (Hagihara et al. 2021 より)



## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ono Toshiaki, Ishihara Asahi, Asada Hideki	4. 巻 99
2. 論文標題 Deflection angle of light for an observer and source at finite distance from a rotating global monopole	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 124030-1, 8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.99.124030	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hagihara Yuki, Era Naoya, Iikawa Daisuke, Nishizawa Atsushi, Asada Hideki	4. 巻 100
2. 論文標題 Constraining extra gravitational wave polarizations with Advanced LIGO, Advanced Virgo, and KAGRA and upper bounds from GW170817	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 062010-1, 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.100.064010	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hagihara Yuki, Era Naoya, Iikawa Daisuke, Takeda Naohiro, Asada Hideki	4. 巻 101
2. 論文標題 Condition for directly testing scalar modes of gravitational waves by four detectors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 041501-1, 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.101.041501	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ono Toshiaki, Asada Hideki	4. 巻 5
2. 論文標題 The Effects of Finite Distance on the Gravitational Deflection Angle of Light	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Universe	6. 最初と最後の頁 5110218-1, 30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/universe5110218	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 B.P. Abbott, et al. (H. Asada)	4. 巻 21
2. 論文標題 Prospects for observing and localizing gravitational-wave transients with Advanced LIGO, Advanced Virgo and KAGRA	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Living Reviews in Relativity	6. 最初と最後の頁 1-120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s41114-018-0012-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Ono Toshiaki, Ishihara Asahi, Asada Hideki	4. 巻 98
2. 論文標題 Deflection angle of light for an observer and source at finite distance from a rotating wormhole	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 044047(6pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.98.044047	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Y. Hagihara, N. Era, D. Iikawa, H. Asada	4. 巻 98
2. 論文標題 Probing gravitational wave polarizations with Advanced LIGO, Advanced Virgo, and KAGRA	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Rev. D	6. 最初と最後の頁 064035(6pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.98.064035/	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ono Toshiaki, Ishihara Asahi, Asada Hideki	4. 巻 96
2. 論文標題 Gravitomagnetic bending angle of light with finite-distance corrections in stationary axisymmetric spacetimes	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 104037(11pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.96.104037	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Asada Hideki	4. 巻 32
2. 論文標題 Gravitational lensing by exotic objects	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Modern Physics Letters A	6. 最初と最後の頁 1730031 ~ 1730031
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0217732317300312	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計1件

1. 著者名 浅田秀樹	4. 発行年 2021年
2. 出版社 講談社	5. 総ページ数 264
3. 書名 三体問題	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------