

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 11 日現在

機関番号：14301
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2008 ～ 2011
 課題番号：20740151
 研究課題名（和文） 重力波干渉計ネットワークによる背景重力波観測に対する理論的研究
 研究課題名（英文） Study on gravitational wave background with network of Interferometers
 研究代表者
 瀬戸直樹（Seto Naoki）
 京都大学・大学院理学研究科・助教
 研究者番号：80462191

研究成果の概要（和文）：背景重力波の非ガウス性の解析による重力波発生源の統計的制限、パルサータイミング周波数帯における重力波信号の分解可能性等、今後の背景重力波の研究で基本となる成果を導いた。また、フィッシャー行列による推定誤差の評価は重力波解析のみならず他領域でも広く利用されてきたが、本研究計画では最尤値の幾何学的側面に注目した新しい定式化を行うことにも成功した。

研究成果の概要（英文）： I discussed basic aspects of stochastic gravitational wave backgrounds, such as, non-Gaussian nature of the backgrounds, and possibility of individually resolving gravitational wave signals in the pulsar timing band. The fisher matrix analyses are standard tool to evaluate the expected errors of parameter estimation, but I derive a new formulation using geometrical nature of maximum likelihood surfaces.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1000000	300000	1300000
2009 年度	700000	210000	910000
2010 年度	800000	240000	1040000
2011 年度	700000	210000	910000
年度			
総計	3200000	960000	4160000

研究分野：物理学

科研費の分科・細目：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：重力波

1. 研究開始当初の背景

LIGO や Virgo をはじめ第二世代の大型地上干渉計の計画が海外では動き出し、日本の大型計画 LCGT も予算申請中であった。

低周波領域ではパルサータイミングア

レーの感度の向上が著しい状況であった。

このような状況下で 10 年以内に重力波の初直接検出が達成されると期待されていた。

2. 研究の目的

(1) 地上干渉計のネットワークやパルサータイミング等、今後の重力波直接観測を念頭に置き、特に背景重力波に関してどのようなサイエンスが展開できるか明らかにする。

(2) 天体起源の背景重力波の性質に迫るために個々の重力波天体について関連する特性を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 主として解析的なアプローチを用い、データ解析の現状を考慮して統計的な手法を多用した。波源のモデルによらない形で背景重力波の定量化を目指した。

(2) 必要に応じて数値シミュレーションも行い理論モデルの検証を行った。

4. 研究成果

研究成果の概要（和文）：

(1) 研究計画の初期段階の成果としては、背景重力波の非ガウス性の解析が挙げられる。0.1-10Hz 近傍の DECIGO バンドでは、天体による前景重力波の性質がよく分かっておらず、超新星爆発時のメモリー重力波が大きなノイズ源になる可能性が指摘されている。このような、比較的少数の天体起源の波形重ねあわせによる前景放射と、インフレーション起源のガウス分布的な背景重力波を識別する手法の開拓は観測的に初期宇宙の物理状態を探る上で今後重要となってくるはずである。私が本研究計画の成果として提案した非ガウス性を利用した新しい解析手法はこの様な問題において有用になるであろう。

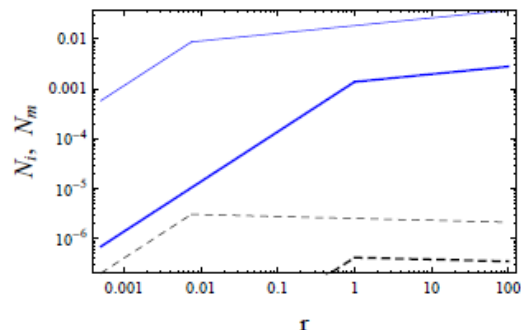


図1. ブラックホールの合体レート r と個々に分解可能な連星の期待値。点線はメモリー重力波、実線はチャープ信号。太線は PPTA 計画、細線は SKA 計画に対応している。

(2) パルサータイミングによる重力波検出は最近感度の向上が著しい。実際にどのような信号をデータの中から抽出できるかが重要な研究テーマになってきた。本研究計画により定量的に明らかにされたのは、ブラックホール連星全体の作る背景重力波が強いために、個々のブラックホール連星の信号を個別に分解するのが困難であるという見通しである。これは観測帯域が低周波であるために、データに含まれる情報量が小さいことに起因している（図1参照）。取り出せる情報量以上に、背景重力波の構成要素の情報量が多いため分解できなくなってしまうのである。原理的には近傍のブラックホール連星の重力波は検出可能である。しかし、期待される検出レートをブラックホールの合体率、典型的な質量の関数として評価し、確率が十分小さいことも明らかにした。

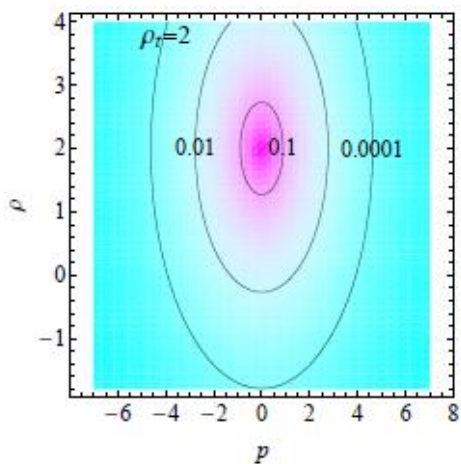
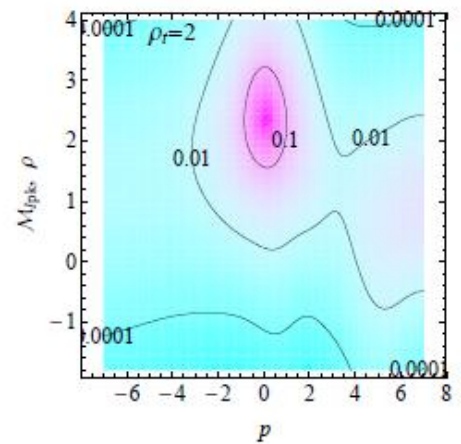


図2. 二次元のパラメーター推定にお

ける決定値の分布。SN 比は2としている。
上は今回の幾何学的手法による評価、下は従来のフィッシャー行列法による評価。

(3) 最終年度に行ったフィッシャー行列法を超える推定誤差の評価方法は、最尤値がパラメータ空間上で曲面として持つ幾何学的特性に注目したものである。具体的には最尤値曲面の鞍点や極大点の密度分布や、信号の非線形なパラメータ依存性に起因する推定値のバイアス等を評価した(図2, 3参照)。ここで導入した新たな解析手法は宇宙論をはじめとして他分野でも応用される可能性がある。今後は、パラメータ空間の次元を上げるなどして、幅広い適応対象をもつより強力な定式化を開拓したいと考えている。

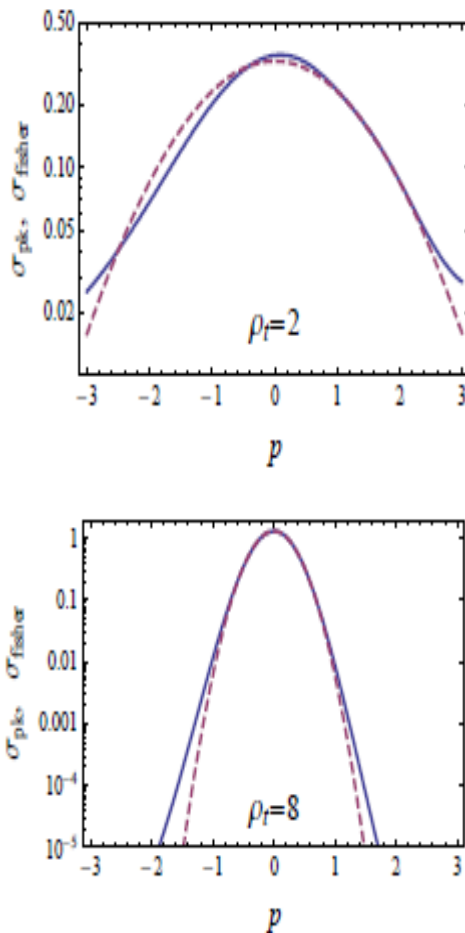


図3. 背景重力波のべき指数 p に対する推定値の分布。点線はフィッシャー行列法。実線は幾何学的评价法。上は SN 比が2、下は8。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 14 件)

- ① N.Seto, K. Kyutoku: "Geometrical aspects of parameter estimation of a stochastic gravitational wave background: Beyond the Fisher analysis" Phys.Rev.D 86. 042002 (2012), 1 査読有
- ② N.Seto, T. Muto: "Resonant trapping of stars by merging massive black hole binaries" MNRAS 415 (2011), L38 査読有
- ③ K. Yagi, N.Seto: "Detector configuration of DECIGO/BBO and identification of cosmological neutron-star binaries" Phys.Rev.D 81. 044001 (2011), 1 査読有
- ④ N.Seto, T. Muto: "Resonant trapping of stars by merging massive black hole binaries" PRD 81 (2010), 103004 査読有
- ⑤ N.Seto: "Search for memory and inspiral gravitational waves from supermassive binary black holes with pulsar timing arrays" MNRAS 400 (2009), L38 査読有
- ⑥ N.Seto: "Non-Gaussianity analysis of a gravitational wave background made by short-duration burst signals" Phys.Rev.D 80. 043003 (2009), 1 査読有
- ⑦ N.Seto: "Demagnified gravitational waves from cosmological double neutron stars and gravitational wave foreground cleaning around 1 Hz" Phys.Rev.D 80. 103001 (2009), 1 査読有
- ⑧ N.Seto: "Non-Gaussianity Test for Discriminating Gravitational Wave Backgrounds around 0.1-1 Hz" ApJ 683, L95 (2008), 査読有

[学会] (計 10 件)

① 瀬戸直樹: "スペース重力波アンテナ
DECIGO 計画 (28)" 物理学会 .
(2010.9.13). 北九州

② 瀬戸直樹: "スペース重力波アンテナ
DECIGO 計画 (19)" 物理学会 .
(2009.3.30). 大阪

6. 研究組織

(1) 研究代表者

瀬戸直樹 (Naoki Seto)
京都大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号: 80462191

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: