

|                  |   |
|------------------|---|
| Title            | 重力波から探る超新星爆発・初期宇宙の新物理   |
| Sub Title        | New physics of supernova explosions and the early Universe explored from gravitational waves  |
| Author           | 山本, 直希(Yamamoto, Naoki)   |
| Publisher        | 慶應義塾大学  |
| Publication year | 2018  |
| Jtitle           | 学事振興資金研究成果実績報告書 (2017. )  |
| JaLC DOI         |   |
| Abstract         | <p>2016年にアメリカのレーザー干渉計LIGOが重力波の直接観測に初めて成功した。この重力波の観測によって、初期宇宙や超新星内部が将来的に「見える」ようになると期待されている。しかしながら、重力波の量子効果そのものについては、未だに理論的によく理解されておらず、実験的にも観測されていない。我々は、重力波(グラビトン)がヘリシティという性質のために運動量空間でベリー曲率をもつことを示し、重力波の量子効果をベリー曲率によって取り入れた半古典的な運動方程式を導いた。これによって、右偏光・左偏光の重力波の軌道が重力場中で分離する「重力波のスピンホール効果」が生じることがわかった。この重力波のスピンホール効果が将来的に観測できれば、古典的な一般相対論を超えたグラビトンの量子性の検証に繋がると期待される。</p> <p>また、我々は初期宇宙や超新星内部などで実現すると考えられているカイラル物質の電磁流体力学を定式化し、その振舞いについて調べた。その結果、カイラル物質の乱流では、通常の3次元物質の乱流とは異なり、エネルギーが小さなスケールから大きなスケールへと移される逆カスケードが起きることがわかった。これは、超新星爆発の起源に重要な役割を果たしている可能性がある。</p> <p>さらに、我々は強磁場や高速回転などの極限状態での高密度物質の相構造に関する解析を行った。これまでの我々の研究によって、高密度核物質が強磁場中でパリティ対称性を破るトポロジカルソリトンの1次元格子(「カイラルソリトン格子」と呼ばれる)になることが既にわかっている。これは、マグネターのような強い磁場をもった中性子星内部で実現している可能性がある。我々は、高密度核物質が磁場の代わりに高速度の回転でもカイラルソリトン格子状態になることを解析的に示した。実際にこのような状態が実現していれば、そこから放出される重力波もパリティ対称性を破っていることが期待される。</p> <p>In 2016, Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO) in USA has succeeded in the direct detection of gravitational waves for the first time. The gravitational waves will enable us to "see" the early Universe and the core of supernovae in the future. However, the quantum effects of the gravitational waves themselves have neither been well understood theoretically, nor they have been observed experimentally so far. In this work, we showed that the gravitational waves (gravitons) have a Berry curvature in momentum space due to their helicity. We then wrote down the semi-classical equations of motion for gravitons by taking into account the Berry curvature. We found that this quantum correction leads to the splitting of the trajectories of right- and left-handed gravitational waves in a gravitational field, which we call the "spin Hall effect of gravitational waves." Possible future observations of the spin Hall effect of gravitational waves can potentially test the quantum nature of gravitons beyond the classical general relativity.</p> <p>We also formulated and studied the magneto-hydrodynamics for chiral matter that is expected to be realized in the early Universe and at the core of supernovae. As a result, we found that the chiral matter shows the turbulent inverse cascade where the energy is transferred from small to larger scales, in contrast to the turbulent direct cascade of the usual three-dimensional matter. This new feature may be important for the origin of supernova explosions.</p> <p>Furthermore, we analyzed the phase structure of high-density matter under extreme conditions such as a strong magnetic field and/or a fast rotation. According to our previous research, it has already been found that high-density nuclear matter in strong magnetic fields becomes a one-dimensional lattice of topological solitons that breaks the parity symmetry, called the "chiral soliton lattice." This state may be realized inside neutron stars with gigantic magnetic fields like magnetars. Here we analytically showed that high-density nuclear matter becomes the chiral soliton lattice under a fast rotation instead of a strong magnetic field. We expect that, if such a state is indeed realized in nature, the gravitational waves emitted from there should also break parity symmetry.</p> |
| Notes            |   |
| Genre            | Research Paper  |
|                  |   |

URL

[https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara\\_id=2017000001-20170190](https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=2017000001-20170190)

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

|  |  |   |                          |                |     |            |
|--|--|---|--------------------------|----------------|-----|------------|
| 研究代表者  | 所属   | 理工学部  | 職名                       | 准教授            | 補助額 | 300 (A) 千円 |
|  | 氏名   | 山本 直希   | 氏名 (英語)                  | Naoki Yamamoto |     |            |
| 研究課題 (日本語)   |  |   |                          |                |     |            |
| 重力波から探る超新星爆発・初期宇宙の新物理  |  |   |                          |                |     |            |
| 研究課題 (英訳)  |  |   |                          |                |     |            |
| New physics of supernova explosions and the early Universe explored from gravitational waves   |  |   |                          |                |     |            |
| 1. 研究成果実績の概要   |  |   |                          |                |     |            |
| <p>2016年にアメリカのレーザー干渉計 LIGO が重力波の直接観測に初めて成功した。この重力波の観測によって、初期宇宙や超新星内部が将来的に「見える」ようになると期待されている。しかしながら、重力波の量子効果そのものについては、未だに理論的によく理解されておらず、実験的にも観測されていない。我々は、重力波(グラビトン)がヘリシティという性質のために運動量空間でベリー曲率をもつことを示し、重力波の量子効果をベリー曲率によって取り入れた半古典的な運動方程式を導いた。これによって、右偏光・左偏光の重力波の軌道が重力場中で分離する「重力波のスピホール効果」が生じることがわかった。この重力波のスピホール効果が将来的に観測できれば、古典的な一般相対論を超えたグラビトンの量子性の検証に繋がると期待される。</p> <p>また、我々は初期宇宙や超新星内部などで実現すると考えられているカイラル物質の電磁流体力学を定式化し、その振舞いについて調べた。その結果、カイラル物質の乱流では、通常の3次元物質の乱流とは異なり、エネルギーが小さなスケールから大きなスケールへと移される逆カスケードが起きることがわかった。これは、超新星爆発の起源に重要な役割を果たしている可能性がある。</p> <p>さらに、我々は強磁場や高速回転などの極限状態での高密度物質の相構造に関する解析を行った。これまでの我々の研究によって、高密度核物質が強磁場中でパリティ対称性を破るトポロジカルソリトンの1次元格子(「カイラルソリトン格子」と呼ばれる)になることが既にわかっている。これは、マグネターのような強い磁場をもった中性子星内部で実現している可能性がある。我々は、高密度核物質が磁場の代わりに高速度の回転でもカイラルソリトン格子状態になることを解析的に示した。実際にこのような状態が実現していれば、そこから放出される重力波もパリティ対称性を破っていることが期待される。</p>   |  |   |                          |                |     |            |
| 2. 研究成果実績の概要 (英訳)  |  |   |                          |                |     |            |
| <p>In 2016, Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO) in USA has succeeded in the direct detection of gravitational waves for the first time. The gravitational waves will enable us to “see” the early Universe and the core of supernovae in the future. However, the quantum effects of the gravitational waves themselves have neither been well understood theoretically, nor they have been observed experimentally so far. In this work, we showed that the gravitational waves (gravitons) have a Berry curvature in momentum space due to their helicity. We then wrote down the semi-classical equations of motion for gravitons by taking into account the Berry curvature. We found that this quantum correction leads to the splitting of the trajectories of right- and left-handed gravitational waves in a gravitational field, which we call the “spin Hall effect of gravitational waves.” Possible future observations of the spin Hall effect of gravitational waves can potentially test the quantum nature of gravitons beyond the classical general relativity.</p> <p>We also formulated and studied the magneto-hydrodynamics for chiral matter that is expected to be realized in the early Universe and at the core of supernovae. As a result, we found that the chiral matter shows the turbulent inverse cascade where the energy is transferred from small to larger scales, in contrast to the turbulent direct cascade of the usual three-dimensional matter. This new feature may be important for the origin of supernova explosions.</p> <p>Furthermore, we analyzed the phase structure of high-density matter under extreme conditions such as a strong magnetic field and/or a fast rotation. According to our previous research, it has already been found that high-density nuclear matter in strong magnetic fields becomes a one-dimensional lattice of topological solitons that breaks the parity symmetry, called the “chiral soliton lattice.” This state may be realized inside neutron stars with gigantic magnetic fields like magnetars. Here we analytically showed that high-density nuclear matter becomes the chiral soliton lattice under a fast rotation instead of a strong magnetic field. We expect that, if such a state is indeed realized in nature, the gravitational waves emitted from there should also break parity symmetry.</p> |  |   |                          |                |     |            |
| 3. 本研究課題に関する発表   |  |   |                          |                |     |            |
| 発表者氏名<br>(著者・講演者)  | 発表課題名<br>(著書名・演題)                                      | 発表学術誌名<br>(著書発行所・講演学会)  | 学術誌発行年月<br>(著書発行年月・講演年月) |                |     |            |
| Naoki Yamamoto   | Spin Hall effect of gravitational waves                | arXiv:1708.03113 [hep-th]   |                          |                |     |            |
| Xu-Guang Huang, Kentaro Nishimura, Naoki Yamamoto  | Anomalous effects of dense matter under rotation       | Journal of High Energy Physics  | 2018年2月12日               |                |     |            |
| Naoki Yamamoto   | Chiral soliton lattice in magnetic fields and rotation | 4th Workshop on Chirality, Vorticity and Magnetic Field in Heavy Ion Collisions | 2018年3月21日               |                |     |            |