

|             |   |
|-------------|---|
| Title       | Chiral Primordial Gravitational Waves Sourced by Axion-Gauge Couplings( Abstract_要旨 )       |
| Author(s)   | Obata, Ippei  |
| Citation    | Kyoto University (京都大学)   |
| Issue Date  | 2018-03-26  |
| URL         | <a href="https://doi.org/10.14989/doctor.k20900">https://doi.org/10.14989/doctor.k20900</a> |
| Right       |   |
| Type        | Thesis or Dissertation  |
| Textversion | ETD   |

|  |  |    |       |
|--|--|----|-------|
| 京都大学   | 博士（理学）   | 氏名 | 小幡 一平 |
| 論文題目   | Chiral Primordial Gravitational Waves Sourced by Axion-Gauge Couplings |    |       |
| (論文内容の要旨)  |  |    |       |
| <p>本学位論文では宇宙のインフレーション期におけるアクシオン-ゲージ場相互作用から予言されるパリティ対称性の破れた原始重力波の観測可能性を研究した。</p> <p>従来のシナリオでは、原始重力波は真空中の時空の量子ゆらぎがインフレーション中の加速膨張によって引き延ばされ、古典化されて生成される。生成された重力波の2点相関関数の振幅はほとんど観測するスケールに依らず一定であり、なおかつ重力波は特別な偏光を持たずパリティ対称な性質を持つ。現在までの宇宙マイクロ波背景放射のBモード偏光の観測データから、原始重力波の振幅は非常に小さいことが示唆されており、さらに観測が進んでも検出されないという状況になると、原始重力波の支配的な寄与が真空の量子ゆらぎが起源であるかぎり、重力波干渉計による観測可能な高周波数帯の重力波振幅も小さく、検証が困難であると予想される。一方で、原始重力波の検出に成功した場合、原始重力波の持つ振幅とスケール依存性以外からも統計的情報が引き出せるならば、初期宇宙における高エネルギーの物理を探索する上で大いに役に立つと言える。本学位論文では、物質セクターの高エネルギー理論が内包すると期待される広い意味でのアクシオン場のゲージ場との相互作用である Chern-Simons 相互作用をインフレーション期に考慮することで、ゲージ場のひとつの偏向成分のみが粒子生成を起こし、高周波領域で選択的にパリティ対称性の破れた大きな原始重力波を生み出す可能性があることを明らかにした。</p> <p>本学位論文ではまず、可換ゲージ場とアクシオン場の相互作用に起因する円偏向をしたカイラルな原始重力波の生成機構についてレビューし、将来打ち上げが検討されている衛星型重力波干渉計や電波望遠鏡によるパルサータイミングのミッションで検証可能な重力波を予言する理論モデルが解説されている。このモデルでは、アクシオンとの相互作用を通じて一方のカイラリティーを持つゲージ場が不安定化し粒子生成が起こる。この粒子生成が重力波へと転嫁されるが、この際の粒子生成が原始密度ゆらぎも大きくし、原始ブラックホールの過剰生成につながるために、単純なモデルには問題点があることを指摘している。本学位論文ではこの問題を回避する手段として、アクシオンに多数の可換ゲージ場が結合しているモデルを提案している。このモデルでは複数場の存在により様々な程度のカイラリティーをもった原始重力波を実現することが可能である。</p> <p>次に、「クロモナチュラルインフレーション」と呼ばれる <math>SU(2)</math> 非可換ゲージ場と結合したアクシオンのインフレーションモデルを導入し、このモデルもアクシオンとゲージ場の相互作用からゲージ場が増幅してカイラルな重力波を予言することを解説している。このモデルでは背景場としてゲージ場が存在することで、ゲージ場と重力波が線形の範囲で結合したモデルとなっている。そのため、当初提唱されていたモデルではカイラルな重力波が過剰に生成されることが予言され、宇宙背景放射の観測結果に整合しないことを明らかにしている。本学位論文ではさらに、このモデルを拡張しゲージ場の運動項と結合した新たなスカラー場を導入することで、宇宙背景放射の観測的制限を満足させながら高周波数帯で大きなカイラルな原始重力波を予言するシナリオを提唱した。</p> |  |    |       |

重力波の初の直接検出を受けて、重力波を用いた初期宇宙探査に関する研究は注目を集めている。また、マイクロ波宇宙背景放射における重力波の影響を捉えるという観測的研究もインフレーション宇宙を解明する上での重点課題として進められている。このような学問的潮流の中において、本学位論文ではインフレーション期に生成される原始重力波の生成機構とその観測可能性に関する研究を進めた。特に、超弦理論などから存在が预言される広義のアクシオン場とよばれる偽スカラー場とゲージ場の相互作用を考慮することにより、ゆらぎが増幅され重力波が生成されるシナリオに関して、包括的な議論が展開されている。

このシナリオにおける重力波生成はアクシオン場とゲージ場の相互作用がもたらす不安定性によって生ずるもので、ゲージ場の一方の偏向成分のみが選択的に増幅されるという興味深い現象を引き起こす。その結果、宇宙背景放射のスケールにおいては大きな重力波振幅でなくても、LIGO/Virgo/KAGRAなどの地上の重力波検出器、LISAなどの将来の宇宙重力波検出ミッション、パルサータイミングを用いた重力波検出などの高周波数帯において、検出可能な重力波が生成される可能性が開ける。広義のアクシオン場の存在自体は素粒子模型の構成からは自然に期待されるため、その観測可能な痕跡を明らかにすることには大きな意義がある。しかし、宇宙論的には様々な観測的制限が既に存在しており、それらと整合するシナリオでなければ意味がない。本学位論文では、単純なシナリオが持つ、宇宙論的観測的制限を満たす上での困難を明らかにするとともに、それらの困難を解決し観測可能な重力波を生成する新たなモデルを提案している。

具体的には、(1) 可換ゲージ場と相互作用する場合にカイラルな原始重力波の生成において、原始ブラックホールの過剰生成が問題となるが、この問題を回避する、アクシオン場が複数の可換ゲージ場と結合するモデルを提案した。(2)  $SU(2)$ 非可換ゲージ場と結合したアクシオン場によるインフレーションモデルはカイラルな重力波の過剰に生成し、宇宙背景放射の観測結果に整合しないことを明らかにした。(3) さらに、ゲージ場の運動項と結合したスカラー場を導入することで、宇宙背景放射の観測的制限を満足させつつ、高周波数帯で観測可能なカイラルな原始重力波を预言するシナリオを提唱した。

これらの内容は重力波を用いた初期宇宙探求の新しい方向性を示すものとして十分に意義があり、レビュー部分も含めてよくまとまって書かれている。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成30年1月12日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日：                      年                      月                      日以降