

受付ID	16a15
分野	宇宙

課題名（和文）宇宙論的アクシオン位相欠陥ネットワークのシミュレーション

課題名（英文）Simulation of cosmological networks of axion topological defects

代表者氏名 川崎雅裕

所属 東京大学

1. 研究目的

本研究の目的は、場の理論的シミュレーションに基づき、アクシオン位相欠陥の宇宙論ネットワークのダイナミクスを理解すること、そして位相欠陥から生成されるアクシオン暗黒物質の量を精確に見積もることである。

2. 研究成果の内容

我々はPeccei-Quinn (PQ) 複素スカラー場の3次元格子シミュレーションを行い、PQ対称性の破れに伴って生成されるアクシオン宇宙紐ネットワークの時間発展を、相転移から長時間に渡り解析した。我々は、我々のグループを含む過去の研究では最大格子数 512^3 であった計算を(注)、大規模並列計算により格子数 4096^3 へ大幅なグレードアップを行った。併せて、場の時間発展だけでなく位相欠陥ファインダーやアクシオン輻射スペクトルの算出など、様々な解析手法を大規模計算でも効率的に行うことを可能にした。

上記の改善により、大きく2つの点において大きな進展を得ることができた。まず一つ目として、シミュレーション時間を過去の研究から1桁程度伸ばすことが可能になり、それによりスケーリング解と呼ばれる宇宙紐ネットワークの長期的な振る舞いにおいて、非常に長いタイムスケールでの変動があることを見出した。このような振る舞いは、シミュレーション時間の限られていた過去の小規模計算では見ることが不可能であったものである。二つ目としては、モデルパラメータであるPQエネルギースケールの値を2桁程度の範囲に渡って変えながらシミュレーションを行い、宇宙紐のダイナミクスにおけるパラメータ依存性を見出した。これも、過去の研究ではシミュレーション時間の観点から微調整されたパラメータの下でのみシミュレーション可能であったため、見つけることが困難であった現象である。

上記の結果は、何れもこれまで見積もられてきたアクシオン暗黒物質量を大幅に変更する可能性があり、素粒子理論と初期宇宙論の双方において、重要な意味を持つ。特に、近年様々なアクシオン暗黒物質の直接検出実験が実行・計画されているが、それらの結果をアクシオン素粒子模型への制限として解釈する上で我々の結果は重要なインプットとなる。

(注) 物理的な宇宙紐の場合。非物理的な、いわゆるfat stringシミュレーションでは格子数 1600^3 の計算が近年なされている。

3. 学際共同利用として実施した意義

本研究分野は、過去の研究では比較的小規模な計算にとどまっていたため、大規模並列計算への素直な拡張により大きな進展がもたらされた。このような拡張は、本研究が利用したCOMAクラスターにより容易に実現され、その点において筑波大学学際共同利用で遂行された意義は十分に見いだすことができる。その一方で、COMAの特色であるmany core architectureの恩恵を十分には引き出せず、開発時間の都合上ホストCPUに頼った計算になってしまった点については今後の課題と考えている。

4. 今後の展望

今回の結果はその重要性を鑑みて、十分な精査が必要と我々は考えている。とりわけ、パラメータ依存性についてはその物理的理解は未だに不十分である。その理解のために、スケーリング解から人工的に逸脱した初期紐密度からの計算や、大局的には同じ初期宇宙紐配置からの異なる紐張力(PQエネルギースケールに比例)での計算を行い、ネットワークの発展に重要となる物理的過程の抽出を目指す。

併せて、来年度の学際共同利用ではアクシオン輻射のスペクトルの解析も行う。こちらでも過去の研究では長期的な変動やパラメータ依存性は解析されておらず、宇宙紐ネットワークの時間発展での発見から推察して、新たな現象が見つかることが十分に期待される。

技術的にはメニーコアアーキテクチャーの性能を十分に引き出せるよう、場の時間発展や位相欠陥ファインダーの部分を中心に改善を図る。

最終的には、これらの解析を下に生成されるアクシオン暗黒物質量の予言を改善することを目標としている。

5. 成果発表

(1) 学術論文: なし

(2) 学会発表:

① T. Sekiguchi, “Understanding the scaling behavior of axion cosmic strings,” HU-IBS Sapporo Summer Institute on Particle Physics and Cosmology, 北海道大学, 2016年8月25日

② T. Sekiguchi, “Production of axion CDM from strings and domain-walls,” the 13th International Symposium on Cosmology and Particle Astrophysics (CosPA2016), Sydney University, 2016年12月1日

(3) その他: なし

使用計算機	使用計算機に○	配分リソース*
HA-PACS		
HA-PACS/TCA		
COMA	○	1500
*配分リソースについては32node換算時間をご記入ください。		

筑波大学計算科学研究センター 平成28年度学際共同利用 報告書

※A4二枚程度を目安にご記入ください。

※図表を含めて構いません。（他の文献から図版等を引用する際には、著作権法を遵守してください）

※1.から5.の項目については、変更していただいても構いません。

※PDFでご提出ください（赤字を消してPDF化してください）

※左上の「受付ID」には、採択通知記載の受付番号をご記入ください。（不明の場合は空欄でも構いません）

※左上の「分野」には、申請時の分野をご記入ください。

※課題名（和文）は14pt、課題名（英文）および代表者氏名・所属は12pt、その他の文字は10.5ptで作成してください。

※提出いただいたPDFは、[筑波大学計算科学研究センターのWebページにて公開させていただきます。](#)