

立教大学学術推進特別重点資金（立教 S F R）
大学院生研究
2014年度研究成果報告書

研究科名	立教大学大学院	理学	研究科	物理学	専攻
研究代表者 (2015年3月現在のものを記入)	在籍研究科・専攻・学年		氏名		
	理学研究科・物理学専攻・博士課程前期課程2年		齋場 俊太郎 印		
指導教員	所属・職名		氏名		
	理学部・教授		村田 次郎 印		
自然・人文・社会の別	自然 ・ 人文 ・ 社会		個人・共同の別	個人 ・ 共同 3名	
研究課題	デジタル顕微鏡を用いた世界で初めてのミクロンスケールでの重力観測装置の開発				
研究組織 (2015年3月現在のものを記入)	在籍研究科・専攻・学年		氏名		
	立教大学大学院・理学研究科・物理学専攻・博士課程前期課程2年		齋場 俊太郎 作田 友美		
	立教大学大学院・理学研究科・物理学専攻・博士課程前期課程1年		羽取 美令		
研究期間	2014 年度				
研究経費	(支出金額) 500,000 円 / (採択金額) 500,000 円				

研究の概要 (200~300字で記入、図・グラフ等は使用しないこと。)

本研究は、余剰次元の探索を目的としミクロンスケールという超近距離領域でのニュートンの万有引力の法則の検証を行う。ニュートンの万有引力の法則は、現在最も有効な重力理論として君臨し続けている。しかし、その実験的検証というテーマは長い間見過ごされてきた。実験室スケールでは、その検証精度は急激に悪化しているのが現状である。このような現状のなか、大きな余剰次元模型という理論模型が近距離での万有引力の法則の破れを強く予言し、それが余剰次元の存在の証拠であると提唱している。本年度は、余剰次元存在の証拠の発見が期待されるミクロンスケールという超近距離での重力の直接検証を目標とし、ワイヤー型カンチレバーとデジタル顕微鏡を用いた装置を新規に開発した。

キーワード (研究内容をよく表しているものを3項目以内で記入。)

[余剰次元] [重力] [画像解析]

研究成果の概要 (図・グラフ等は使用しないこと。)

本研究は、余剰次元探索を目的としてミクロンスケールという超近距離での重力の法則の検証を目的を掲げて進められた。本研究室では、10年以上に渡り”ねじれ秤型”の重力観測装置の開発を行い、昨年度にはミリメートルスケールでの重力の法則の高精度検証の成功に至った。その結果を受け、さらに近距離であるミクロンスケールでの重力の法則の検証を目指し本研究が開始された。ミクロンスケールでの重力の法則の検証は、未だ世界でも高精度で行われていない領域である。

ミクロンスケールでの重力観測のためには、今まで用いてきた”ねじれ秤型”の重力観測装置とは全く異なる新しい技術が必要とされた。それはミクロンスケールに重力源同士を設置するようなねじれ秤の製作が非常に困難であるからである。そこで、重力の検出部分として新たに”ワイヤーカンチレバー型”を取り入れたのが本研究で開発した装置である。重力検出部分と重力源の両者に数十ミクロンの金属製ワイヤーを用いる。これにより”ねじれ秤型”では到達することのできないミクロンスケールでの重力実験が可能となる。

本装置は、真空中で重力源を制御することによって、ワイヤーカンチレバーに重力を生じさせる装置本体と、それにより生じるわずか1ナノメートル程度の変位を観測するデジタル顕微鏡測定システムに大きく分けられる。本資金は、主にこのワイヤーカンチレバーと重力源を制御する装置本体の部品に充てられた。

今年度から開始した本装置の開発は、ワイヤーカンチレバーという新しい測定原理を確立するための装置設計から行った。重力によるワイヤーカンチレバーに生じるたわみ変形は非常に微小なため、空気中では対流によりそれらの効果がノイズに埋もれてしまう。そのため、これらの装置は真空容器中に設置する必要があった。これらの真空容器内で、ワイヤーカンチレバーと重力源を高精度で遠隔制御するための駆動システムの開発が今年度の最も重要な課題であった。駆動ステージを土台にし、ワイヤーカンチレバーと重力源を高精度で設置する治具を設計し外部発注を行った。これにより真空容器中のワイヤーカンチレバーと重力源のアライメントを、ミクロン精度で外部から遠隔で行うことを可能とした。

研究成果の概要 つづき

この開発した装置に加え、ハイスピードデジタル顕微鏡を導入した画像処理型変位計システムも併せて開発を行った。本研究では、ワイヤー間に働く重力を、ワイヤーカンチレバーのたわみ変形として観測する。この重力によるたわみ変形は、およそ1ナノメートル以下の変位と予想されている。この微小な変位を測定するために、本研究ではハイスピードデジタル顕微鏡と画像処理技術を用いた。画像処理技術は本研究室独自に開発されてきたもので、今までの本研究室での重力実験で用いられてきたものである。その技術に加え、新たにこのハイスピードデジタル顕微鏡を用いることによって微小なたわみ変形の測定を可能とした。達成された位置分解能はナノメートル以上となり、十分な精度でワイヤーカンチレバーを観察することが可能となった。また、ハイスピードでの撮影で高周波のカンチレバーの振動も捉えることが可能となった。また新たな画像処理方法として、画像圧縮を用い解析のスピード向上と長時間データ取得の可能を達成した。

この画像処理型変位計による測定では、カンチレバーの変位を画像として捉えることができる。他の重力実験を試みるグループも同様にカンチレバーを用いて実験を行っているが、レーザー変位計での測定が主である。カンチレバーでの力の測定は、カンチレバーのサーマルノイズにより測定感度限界が決定されてしまうのが原因である。しかし、我々が用いるこの画像処理型変位計による測定では、カンチレバーを画像として捉えるため広い範囲の情報の習得が可能である。その広い範囲の情報を用いることでカンチレバーのサーマルノイズの空間スミアリングが可能となり、測定感度限界を向上できることが可能となる。画像処理型変位計の有用性については、コンピュータシミュレーションを行い、それを示した。その結果は昨年行われた日米合同の物理学会にて発表を行った。

装置の開発にあたって、カンチレバーに生じるノイズ対策としては、外部振動に対して除振台を用いて対応し、また磁気による影響は本予算により購入した磁気測定器により補正を行った。今年度はこれらの装置本体と測定システムの開発に成功した。

開発した装置では、ワイヤーカンチレバーの基礎特性実験と重力実験を行った。重力実験におけるたわみ変形の予測を正確行うために、各種異なる金属で製作したワイヤーカンチレバーの振動実験を行い、振動モードの測定を行った。また、磁性の持つ金属に対し、磁気アトラクターを駆動しその応答を確認した。これらの実験によりワイヤーカンチレバーの基礎特性を理解することができた。ワイヤーカンチレバーと簡易的な重力源を用い重力実験を行った結果、重力の法則からの逸脱への制限をかけることに成功した。これは我が研究室で最も近距離で重力の法則の逸脱に対する制限となった。この制限のレベルは、同様にカンチレバーを用いる重力実験のグループには劣るが、初年度にして全く新しい測定原理である”ワイヤーカンチレバー型”の重力観測装置の原理検証に成功したと言える。

しかし、カンチレバーに生じる外部振動ノイズレベルは高く、またカメラの電気ノイズも大きな問題になっているのが現状である。加えて、高精度の解析結果を出すために必要なカンチレバーとアクチュエータの接近距離の高精度測定も課題となっている。

研究発表 (研究によって得られた研究経過・成果を発表した①～④について、該当するものを記入してください。該当するものが多い場合は主要なものを抜粋してください。)

- ①雑誌論文 (著者名、論文標題、雑誌名、巻号、発行年、ページ)
- ②図書 (著者名、出版社、書名、発行年、総ページ数)
- ③シンポジウム・公開講演会等の開催 (会名、開催日、開催場所)
- ④その他 (学会発表、研究報告書の印刷等)

④ 学会発表

・ Fourth Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the American Physical Society and the Physical Society of Japan (HAWAII 2014) (2014 年): 【Development of a next generation short range gravity experiment NEWTON-V, using digital microscope】

・ 日本物理学会 第 70 回年次大会 (2015 年): 【デジタル顕微鏡を用いた次世代近距離重力実験 Newton-V の開発】