

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
2012年度研究成果報告書

研究科名	立教大学大学院	理学研究研究科	物理学専攻
研究代表者	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 後期課程 3年	二宮一史	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	個人・共同の別	共同 3名
研究課題名	余剰次元探索を目指す画像処理システムを用いた次世代近距離重力実験		
研究組織	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	岸礼子	
	理学研究科・物理学専攻・博士課程 前期課程 1年	村上遥菜	
研究期間	2012 年度		
研究経費	500千円 (実績額又は執行額)		

研究の概要 (200~300字で記入、図・グラフ等は使用しないこと。)

本研究は画像処理技術と振れ秤を用いた近距離重力実験である。重力は他の三つのゲージ相互作用に比べて非常に弱い事が理論上の階層性問題として知られている。この問題の解決が期待される多くの統一理論では4次元以上の空間次元(余剰次元)の存在を要求し、中でもADDモデルに注目すると、余剰次元がミリメートルスケール以下まで広がり、万有引力の法則からの破れとして実験的に観測される可能性がある。また実験的にも、重力があまりにも微弱な力であるためマイクロスケール以下では精密に測定できていない。本研究では高精度画像処理型変位計とねじれ秤を用いて未検証領域で万有引力の法則の精密検証し余剰次元の存在を探索する。

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] [近距離重力] [振れ秤]

研究成果の概要 (図・グラフ等は使用しないこと。)

本研究はミリメートルスケール以下でのニュートンの逆二乗則を精密に検証することで余剰次元の探索を行うものである。これまでの本研究グループでは、センチメートルスケールにおいて5%の精度でニュートンの万有引力の法則の検証に成功し、さらに同様の原理で測定できる等価原理をミリメートルスケールにおいて世界で初めて直接検証に成功した(2010年二宮修士論文)。昨年度より、ミリメートルスケールにおいてニュートンの万有引力の法則を高精度で検証するために NULL タイプの新たな装置(Newton IV)の開発(2012年西尾修士論文)と画像解析システムの検証・開発(2012年村上卒業論文)を行った。Newton IVを用いてテスト測定を行った結果、振れ秤と重力源の材質の変更などの改善とシールド導入の必要性が明らかになり、本年度、装置の再設計を行った。また、新たに導入予定の画像解析システムはテストカメラを用いた測定に成功し、このシステムを導入することで従来の1000倍以上の分解能が向上することが期待できるため、新たなシステムの導入を行った。

Newton IV号実験

【Newton IVの改良と測定】

2011年に開発したNewton IVでは、コストと加工のしやすさからの重力源と振れ秤に非磁性SUSを用いて制作した。しかし実験を行った結果、磁気的効果の影響がでたためSUSを用いない新たな重力源と振れ秤の制作を行った。本年度は設計精度と磁性の問題を考慮しタングステンの60本の円柱を等間隔に同心円状に並べる方式に切り替えた。この装置では、対称性と再現性が向上し、系統誤差に強い設計となる。新たな装置部品でテスト測定を行った結果、昨年度見られた重力源に起因する磁気的な影響は抑制できたことが確認できた。また電気シールドを新たに導入したことにより電気的な効果も抑制できた。しかし、モーターの回転周期に同期するような360度周期のシグナルが確認された。これは電気シールドが重力源に押され動いてしまっているためや振れ秤を照らすLEDの光が回転する重力源に反射して光ムラを発生させたためであると考えている。この問題を解決するために、測定方法に再考し重力源を360度回す方式から数十度を繰り返し往復して測定する方法に変更した。さらに、測定方法の変更に伴い解析方法として周波数解析法を導入した。周波数解析では振れ秤の動きの時系列データそのものからシグナルを抽出するのではなく離散フーリエ変換を行い周波数成分に分け、必要な周波数成分のピークから重力源によるシグナルを評価する。以上の装置・測定・解析の改良を行い20時間の測定を行った。その結果、Newton IV実験において物理データの取得に成功し、ミリメートルスケールにおいて10%の精度でニュートンの万有引力の検証に成功した。しかし、まだ、世界最高精度と比較すると2桁程度精度が足りないため、下記に示す新たな画像解析システムの導入を行い世界で未検証の領域での検証を目指した。

画像解析システムの導入

【2台のCCDを用いた画像解析システムの導入】

本研究ではこれまで、振れ秤の全体をとらえ測定する方法と片端を拡大して測定する方法の2つを試みてきた。振れ秤全体をとらえ測定する方法は、回転中心を情報として含むため振れ振動と系統誤差となりうる横揺れを区別することが可能であるが、拡大ができないため統計をためる以外に分解能向上が難しい。また片端を拡大し測定する方法では、振れ秤の端を拡大することで角度分解能は向上するが、振れ秤の回転中心の情報を失うため画像解析による最大のメリットである横揺れと振れ振動の区別ができない(2010年小川修士論文)。そのため、系統誤差の要因を除去できないため拡大することで得られる高分解能を活かすことができない。そのため、今回新たに2台のCCDを用いた画像システムの導入を行った。今回、新たに導入するシステムは

研究成果の概要 つづき

両端を拡大して測定する方法である。振じれ秤の両端をとらえることで、回転中心をとらえた測定と同等の効果を得ることができ、ねじれ振動と並進運動の区別ができ、拡大によって実現できる分解能の向上も可能にする。

CCD カメラと拡大レンズを用いて振れ秤の端を撮影すると、ダイナミックレンジが小さくなるため位置分解能の向上ができる。このシステムを用いると現在の画像解析システムに比べ約 100 倍の精度向上ができる。しかし、実際にはねじれ秤の片端のみ測定しているためねじれ振動と並進運動の区別ができない。そのため分解能が向上するものの別の振動モードの影響で系統誤差が除去できない。そこで、CCD カメラを 2 台用いることでこの振動モードを抑制する。2 台の CCD カメラを用いてねじれ秤の両端を測定することで重力シグナルとなるねじれ振動とフェイクシグナルとなる並進振動を区別することができる。これにより系統的な影響を抑制でき分解能の大幅な向上が可能となる。装置にインストールが完了し測定を行った結果、2010 年に見られたフェイクシグナルによる影響を抑制することに成功した。しかし分解能は、現在用いている画像解析システムと変わらない結果となった。これは光量と撮影している対象物の形が原因であると考えている。そのため現在この問題を解決するための最適な対象物の選別を行っている。

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)

①
 ・ A. Taketani, **K. Ninomiya** et.al 【Development of Pulse Height Analyzer for Education about Radiation】RIKEN Accelerator Progress Report APR, Vol.45 (2012) 査読あり
 ・ **K. Ninomiya** et.al 【Development of next generation device for NEWTON experiment】RIKEN Accelerator Progress Report APR, Vol.45 (2012) 査読あり
 ・ **K. Ninomiya**, J. Murata et.al 【Short-range Gravity experiment using digital image analysis】Journal of Physics: Conference Series, 2013 (in Press)
 ・ H. Murakami, **K. Ninomiya**, J. Murata et.al 【Short-range gravity experiment searching for a large extra dimension】JGRG22 proceedings (in press)

②
 該当しない

③
 該当しない

④
 口頭発表
 ・ **K. Ninomiya**, J. Murata et.al 【Short-range Gravity experiment using digital image analysis】NEB15- Recent Developments in Gravity, TEI of Crete, Greece, 2012年6月
 ・ 岸礼子、二宮一史、村田次郎 et.al 【ピコ精度画像処理型変位計を用いた近距離重力実験 VII】第68回年次大会日本物理学会、広島大学、2013年3月
 ポスター発表
 ・ H. Murakami, **K. Ninomiya**, J. Murata et.al 【Short-range gravity experiment searching for a large extra dimension】RESCEU SYMPOSIUM ON GENERAL RELATIVITY AND GRAVITATION (JGRG22), Tokyo Univ., Japan, 2012年11月