

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
2010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	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1年	二宮一史	印
指導教員	所属・職名	氏名	
	理学部・准教授	村田次郎	印
自然・人文・社会の別	自然	個人・共同の別	共同 2名
研究課題名	高精度画像処理型変位計を用いた近距離重力実験		
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・博士前期課程2年	小川就也	
	理学研究科・物理学専攻・博士前期課程1年	西尾悠法	
研究期間	2010年度		
研究経費	500 千円		

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、画像処理技術を用いた振れ秤による近距離重力の精密検証である。重力相互作用は他の三つの相互作用に比べて非常に弱いことが階層性問題として知られている。標準理論を越える理論（超弦理論や M 理論など）では 4 次元以上の空間次元（余剰次元）を要求する。その中で本研究が注目する大きな余剰次元モデルでは、ミリメートル以下まで余剰次元が広がる可能性があり実験的にニュートンの逆二乗則からの逸脱が観測されることを示唆した。また、実験的にも数マイクロスケールではニュートン重力と比べて千倍以上強い力を除外できない程精度が悪い。本研究は、近距離におけるニュートンの法則の精密検証をすること余剰次元の探索を目指す。

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。)

[近距離重力] [大きな余剰次元] [画像処理]

研究成果の概要 (図・グラフ等は使用しないこと。)

本研究はキャベンディッシュの実験より用いられてきた振れ秤を使用して近距離重力の精密検証を行っている。これまで振れ秤の振動中心の変化から重力の測定(変位測定・追従測定)を行い、センチメートルスケールで5%の精度でニュートン重力の測定に成功し、またミリメートルスケールで等価原理の検証に成功した。しかし、この測定方法では振れ秤と重力源が接触すると測定できないという最大の弱点があり、測定できる距離に制限をかける。そこで2008年度にこの弱点を克服する加速度測定を提案し新たに実験を開始した。加速度測定法は振れ秤の運動から加速度を求める。これにより重力源と振れ秤が接触する直前まで測定可能になる。昨年度までの測定では加速度測定の原理検証に成功した。しかし衝突点付近で働く重力以外の強い引力を観測し100マイクロン以下での重力の検証を行えていない。本年度は、この近距離で働く近距離力の原因を排除し、加速度測定の本来の目的である重力源と振れ秤が衝突する直前まで重力の逆二乗則の検証を行った。また、測定と並行して分解能や統計精度向上を目指し新たな画像解析システムの設計・開発を行った。

加速度測定によるニュートンの逆二乗則の検証

加速度測定は重力源と振れ秤が接触する直前まで測定することを目的としているため電気シールドを置くことが出来ない。そのため重力源と振れ秤間に生じる接触電位差の影響を受けてしまう。この接触電位差が昨年度まで観測された数百マイクロン以下で働く強い引力の主な原因と考えることが出来る。本年度は、この接触電位差を抑制するような装置を開発し測定を行った。

【実験装置】

装置(重力源と振れ秤)は真空チェンバーに入れ真空状態にして空気による対流の影響を抑える。またチェンバーを含めすべてを導通させることで電氣的な影響を抑制する。重力源と振れ秤の形状は、本年度は同一素材のタングステンワイヤーを用いた。具体的には振れ秤を直径500マイクロン、長さ240ミリのワイヤーを用い、重力源には直径30マイクロンのワイヤーを用いた。同一素材を用いる理由は接触電位差対策である。接触電位差は異なる物質が接触した際に生じる電位差のため本年度は重力源と振れ秤を同一素材(タングステン)を用いて作成することで接触電位差の影響を抑制し、100マイクロン以下で働く強い引力の影響を排除した。さらに、チェンバー内の残留気体による対流やカシミール力の影響を考え重力源と振れ秤をそれぞれ表面積の小さい細いワイヤーを用いた。また、重力源と振れ秤を細いワイヤーにすることで近距離での感度を高めることが出来る。

【測定・解析】

本研究は、振動環境を考慮し神奈川県横須賀市にある立教大学原子力研究所に装置を設置し実験を行った。データ取得は2010年12月15日から12月23日の間に行った。重力源を設置した場合、加速度測定から得られるデータには、振れ復元力による寄与と重力による寄与の両方の寄与が含まれる。そこで振れ復元力の寄与を除去するため重力源を遠ざけ重力源の寄与がない時のデータ(参照データ)を測定し、振れ復元力による寄与を一次関数として与える。取得した重力データから得られた関数で振れ復元力の寄与を引き重力源の寄与のみのデータを得ることが出来る。これにより得られたデータはニュートン重力と矛盾しないデータを得ることに成功した。

【結果】

本年度、重力源と振れ秤を同一素材で作ることで接触電位差をキャンセルし、さらに形状をワイヤーにすることで近距離での感度を上げ加速度測定の本来の目的である

研究成果の概要 つづき

接触直前までニュートン重力と矛盾しない結果を取得することが可能になった。これにより、数百マイクロスケールでニュートンの逆二乗則の検証に成功した。しかし、本年度の測定は昨年度まで行ってきた追従測定や変位測定による結果よりも装置の構造上、より近距離での測定を可能にしたが精度が悪い。そのため今後は、精度の向上をめざし新たな装置の設計・開発を行う。そして世界最高精度で近距離におけるニュートンの逆二乗則の検証を行い、余剰次元の探索を目指す。

画像解析システムの開発**【CCD カメラを用いた画像解析】**

本年度は角度分解能の向上を目的とし CCD カメラと拡大レンズを用いて振れ秤の端を測定する新たな測定を試みた。振れ秤の端を拡大し撮影することで、より小さな変位に感度を持つことができ位置分解能が向上する。静止した物体を撮影し評価した本システムの角度分解能は従来のシステムに比べ千倍向上する。本年度の測定はこのシステムを用いて行った。しかし、実際の測定での分解能は十倍程度の向上にとどまってしまう。従来の測定では振れ秤の全体を撮影し解析するため振れ振動と振り子振動を区別することが出来たが、振れ秤の端のみを測定システムでは振れ振動以外の振動モード（主に振り子振動）の影響を受けやすく新システムの性能を最大限に生かすことが出来ないためである。そのため新たな画像測定システムの性能を最大限に生かすために、磁気ダンプなどの除振システムを導入し振り子振動モードなどを除去することが課題となる。

【FPGA を用いた画像処理システム】

現在使用している、画像解析システムは「オフライン解析システム」と「オンライン解析システム」の両方を用いている。(本年度の実験では使用した CCD カメラの関係でオフライン解析システムを主に使用した。) オフラインシステムは動画を録画しその後解析を行うため、画像情報をすべて残すことが出来るがデータ量が多く、解析時間が長いという弱点がある。これを解決したのがオンライン解析システムである。これは画像処理ボードを用いて動画を録画せず解析を行うものである。これによりデータ量の圧縮と解析時間の短縮に成功した。しかし、このシステムは処理スピードが CPU に依存するため、キャプチャーする画像サイズが大きい性能が半減する。そのため、FPGA を用いた画像処理システムの開発を開始した。このシステムは PC にデータを転送する前に FPGA 上で画像解析を行うため CPU に依存することなく高速で画像処理が行える。これにより、最終的には CCD にフレームレートがボトルネックとなるが FPGA を用いることで統計精度が十倍向上することが期待できる。

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
小川就也 他 5 名 【ピコ精度画像処理型変位計を用いた近距離重力実験 III】 日本物理学会講演概要集 第 66 巻 第 1 分冊 p71 2011 年 3 月
二宮一史 他 5 名 【ピコ精度画像処理型変位計を用いた近距離重力実験 IV】 日本物理学会講演概要集 第 66 巻 第 1 分冊 p71 2011 年 3 月
小川就也 【オンライン画像処理型変位計を用いた近距離重力実験】 立教大学大学院理学研究科物理学専攻修士論文 2011 年 2 月

②
該当なし

③
【シンポジウム】
二宮一史 「ピコ精度画像処理型変位計を用いた近距離重力実験」 第 17 回 ICEPP シンポジウム 長野 2011 年 2 月

④
【学会発表】
小川就也 他 5 名 【ピコ精度画像処理型変位計を用いた近距離重力実験 III】 日本物理学会 第 66 回年次大会, 新潟大学, 2011 年 3 月
二宮一史 他 5 名 【ピコ精度画像処理型変位計を用いた近距離重力実験 IV】 日本物理学会 第 66 回年次大会, 新潟大学, 2011 年 3 月