

**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**  
**2013年度研究成果報告書**

<b>研究科名</b>	立教大学大学院	理学	研究科	物理学	専攻
<b>研究代表者</b>	在籍研究科・専攻・学年		氏名		
	理学研究科・物理学専攻・修士2年		田中 佐季 印		
<b>指導教員</b>	所属・職名		氏名		
	理学部・教授		村田 次郎 印		
<b>自然・人文・社会の別</b>	自然	人文	・	社会	個人・共同の別
				個人	共同 3名
<b>研究課題名</b>	時空の歪みを利用した原子核近傍の強い重力場の探索				
<b>研究組織</b>	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		田沼 良介		
	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		尾崎 早智		
<b>研究期間</b>	2013 年度				
<b>研究経費</b>	(支出金額) 469 千円 / (採択金額) 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。)

本研究は世界で初めて、原子核スケールに迫る超近距離領域でニュートンの万有引力の法則について検証実験を行ってきた。これは我々の常識となっているこの法則が「0.1mm以下の超マイクロ世界では成立しない」とする衝撃的なモデル(ADD model: 大きな余剰次元模型)提唱に対して見出した新たな検証方法である。ADD modelの強い主張から、mm以下の様々な領域で実験が活発に行われている中、その手法は世界的にも例をみない、軌道運動する電子のスピンの歳差運動を時空の歪みとして、原子核周囲にはたらく強い重力場を捉えるというものである。更に理論側からも原子領域における万有引力の法則の検証を確立することに成功し、nmからfmスケール万有引力の法則が破れている可能性を排除できる領域を新たに決定することができた。

**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。)

[ スピン歳差運動 ] [ 原子核距離の余剰次元 ] [ 対称性 ]

**研究成果の概要** (図・グラフ等は使用しないこと。)

本研究は研究代表者の博士課程前期課程における主たる研究として、特に 2013 年度は大きく飛躍することができた。まず、電子のスピン歳差運動を利用した原子核散乱実験では、2012 年度までの結果や反省を踏まえ、装置の抜本的改造・改良を行った。それまでオリジナルで開発していたものを、本格的に CAD などの設計ソフトを使うことによって系統的な誤差を最小限に抑え、外部発注することによってより精緻・精密なものを開発することができた。この装置開発には多くの費用をかけたため、本資金を使わせていただいた。

また、実験の根幹となる電子飛跡検出器については、研究代表者の突発的な発想から、当初には想定していなかった研究成果を投稿論文という形で発表することになった。これは、電子飛跡を検出するために用いる“プラスチックシンチレーションカウンター”というものに必要な素材を、従来全世界的に使われている基本的なものではなく、本研究実験用にニーズを合わせ、これまでと異なるものでも同等、またはそれ以上の効果を得て用いることができると判明したものであり、研究成果として 2014 年 1 月に論文を投稿、3 月にはアクセプトを得ることができた。この際の英文校正としても、本資金を活用させていただいた。

他にも実験を行うにあたり、今年度はデータ取得系回路の高速化開発および解析に複数のデスクトップ PC を要したため、これも購入した。これにより、実験を行っているカナダ・バンクーバーにある TRIUMF 研究所だけでなく、池袋キャンパスにおいても解析を行うことができるようになり、大変助かった。

実験結果を解析する上では、まだ明確でないことも多く、理論的な勉強が非常に重要である。本資金で購入した「重力理論」などの書籍は、シミュレーションを構築する際や実験結果を理論立てていく上で補助的に利用した。特に 2013 年度新たな取り組みとして行った既存データの再解析「原子分光の重力的解析」においても、それまでの知識不足を補う点で非常に役立った。

以下に、より詳細な結果を報告する。

MTV-G 実験は MTV のためのキャリブレーション実験として始まったことが元であり、それを強い重力場の検証に応用するという発想から、カナダ・TRIUMF 研究所にて検証実験を行ってきた。2011 年度に実験結果の重要な指標となる Asymmetry の値が、それ以前の実験とは異なる値が出たことから、『実験結果を疑う』『シミュレーションを疑う』『重力そのものを疑う』という方針で徹底的に検証実験を進めてきた。

その結果、最も基本となる実験で Asymmetry の値が負となり、統計精度でいうと  $10^{-4}$  の精度で non-zero であることを示すことに成功した。この“Asymmetry が負である”という結果は、電子のもつスピンの本来の向きから  $90^\circ$  以上また  $270^\circ$  未満の範囲で回転していることを意味しており、非常に驚くべき結果が出た事を表している。

我々の研究ではこの実験結果とシミュレーションを比較することによって、原子を構成する一部である原子核の周囲に、電子を引き付けるためにはたらいっている「電気力 (クーロン力)」のほかに、重力が寄与する効果が含まれていないか検証してきた。電気力によってスピンが方向変化するためには、Thomas precession という歳差運動効果が考えられるが、これを実験シチュエーションに見立ててシミュレーションした結果を考慮しても、電子は本来もつスピン方向から  $20^\circ$  程度、最大でも  $40^\circ$  程度しか向きが変化しないことがわかった。これによって、仮に重力が寄与していると考えられる、つまり万有引力の法則が有り得る上限値を比較することとした。しかしながら、重力寄与の原因と考えている Geodetic precession、また上記にもある電氣的・相対論的效果による Thomas precession における相対論効果に関しては、今後も更に考察することが求められている。

そして 2013 年度から取り入れた原子分光データの重力解析も世界で初めての試みとして行い、それまで不明瞭であった pm スケールから fm スケールにおける相関関係を明白になったことは言うまでもない。

これらの結果は、我が研究室の他グループが行っている、「振れ秤を用いた近距離重力実験」と比較すると、近距離重力実験では到達不可能なマイクロスケールでの検証実験が行われたことを意味する。例えば、余剰次元の数が 6 である場合に余剰次元が一体どこまで広がっているか仮定すると、“マイクロスケールよりも余剰次元の広がりが大きいことはない”と断言できるということである。この 2 つ (本研究実験および振れ秤を用いた近距離重力実験) は大規模実験グループとして稼働している LHC の余剰次元探索に対する考え方は同じであるが、原子・原子核スケールにおける検証は、測定距離が異なるために近距離重力実験では感度を失う、余剰次元の数が大きいと仮定した場合にも検証が可能となる、幅広い可能性をもっている。

**研究成果の概要 つづき**

これらの成果のうち、際立ったものをまとめると、

1. MTV-G 実験を行うため、検出器群を設計、建設した。その過程で、トリガー検出器を開発するに当たり、アルミ蒸着テープに遮光材と反射材を兼ねさせる、新しい技術の開発に成功した。通常、素粒子・原子核実験に用いられるシンチレータは内部で発生したシンチレーション光を伝達する際、表面における全反射を利用して光電子増倍管まで光子を伝達する。そこで微弱光が光電子に変換、数が増幅され電気信号となる。その為、シンチレーション光の反射・伝達効率は非常に重要な性能である。通常、全反射条件を満たすために空気層をシンチレータ周辺に設け、これを達成するのが常識であるが、研究代表者はここに直接、アルミ蒸着テープを貼りつける事を試みた。得られた結果は上述の通り、通常の方法と遜色のないものであり、空気層を確保する必要のないことから機械設置精度が飛躍的に向上し、実験の信頼性を高める事が出来た。この成果は MTV-G 実験のみならず、広く素粒子・原子核物理学、あるいは医療分野における広範な応用の可能性を秘めた新しい技術の発見であり、TRIUMF 研究所においても驚きを持って受け止められた。その為、部分要素技術とはいえ、公表が望ましいと指導教員と相談し、専門誌に投稿する事とした。投稿した論文は査読の際に「非常によい議論」というコメント付きでアクセプトされた。

2. MTV-G 実験を行った。この実験は装置の機械精度に大きく左右される難しい実験で、再現性のよくない測定では系統誤差に大きく埋め尽くされてしまう。2011 年度から研究代表者が自分の研究として継続してきたが、2013 年度の最終実験では、この再現性と信頼性を徹底的に追及した電子散乱装置を建設した。その結果、常識的には正になるはずの Asymmetry が上述の様に、負となった。この結果は相対論的力学と古典電磁気学を組み合わせで説明を試みたが、定量的には二倍ほど合わない事が確定した。MTV-G 実験の動機である、原子核近傍の強い重力場の探索、という事を忘れても、この実験結果だけで公表の価値のある成果と考えている。これに関しては統計精度の向上を目指したデータの追加を含めて精査し、2014 年度内にも専門誌に投稿したいと考えている。

3. 本研究で直接、自ら行った測定である MTV-G 実験だけでなく、より視野を広げて、ナノスケール以下の超近距離での強い重力場の可能性について、既存データを再解析する事で許されるパラメータ領域を確定させる事が出来た。精密測定の代表格である水素原子分光は、果たして定量的にはどれほどのインパクトが重力の逆二乗則の破れに対して制限をかけているのか、実は誰も知らなかった。本研究では、電磁相互作用の強さを代表する微細構造定数の実験精度に焼き直す形で、既存の分光データが排除できる強い重力場の強さを初めて定量的に確定させる事が出来た。この結果は、そのまま、より重力の検証と言う意味で有利な、反陽子原子にも適用し、より近距離で、より感度の高い制限がかけられる事を、これも初めて示す事が出来た。この結果は国際原子核物理学会議 (INPC2013) 等で発表し、反陽子実験の研究者らから高い評価を得る事が出来た。この成果は国際会議抄録の形で発表されているが、これも専門誌に投稿論文として公表したいと考えている。

以上の様に、本研究では原子核距離における強い重力場の探索を目標に、いくつかの顕著な成果をあげる事が出来た。今後は、ここで得られた成果を公表出来るよう、まとめていく予定である。

**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投稿論文 筆頭1件、共著2件】別紙B: PO1~PO3 参照**

・「Development of a novel scintillation-trigger detector for the MTV experiment using aluminum-metallized film tapes」, Saki Tanaka, et al., Nuclear Instruments and Methods A (2014) accepted for the publication、arXiv: 1401.5161(2014.03) 査読付き筆頭投稿

**【④国際会議発表—筆頭ポスター発表3件】**

・ INPC2013 , Saki Tanaka, et al., “Search of non-standard strong gravity at nuclear scale using electron spin Geodetic precession” (2013)  
 ・ APPC12 , Saki Tanaka, et al., “MTV/MTV-G experiment at TRIUMF Search of T-Violation and gravity signal at nuclear scale” (2013)  
 ・ FPUA2014 , Saki Tanaka, et al., “Search of strong gravitational field at atomic scale” (2014)

**【④筆頭Proceedings 2件】**

・ “Search of non-standard strong gravity at nuclear scale using electron spin Geodetic precession”,  
 Saki Tanaka, et. al.,  
*Proceedings of the International Nuclear Physics Conference (INPC2013) with EPJ EPJ Web of Conferences 66, 05021 (2014)*

・ MTV/MTV-G experiment at TRIUMF Search of T-Violation and gravity signal at nuclear scale  
 Saki TANAKA, et. al.,  
*JPS Conf. Proc. 1, 013063 (2014)*  
*Proceedings of the 12th Asia Pacific Physics Conference (APPC12) in JPS Conference Proceedings (2014)*

**【④その他】**

・ 科学番組「ガリレオ X」世界は本当に3次元か (BS フジ 10月放送) に主たる研究者として出演