

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 23 日現在

機関番号：32686

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24654070

研究課題名(和文)原子核スケールでの重力現象の探求

研究課題名(英文)Testing gravitational phenomena at nuclear scale

研究代表者

村田 次郎 (Murata, Jiro)

立教大学・理学部・教授

研究者番号：50360649

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：大きな余剰次元の探索という目的の下、近距離における重力の逆二乗則の検証が注目されている。本研究では、原子核スケールという超近距離における強い重力場の探索を、電子・原子核散乱実験において実行すると共に、ミクロンスケールからLHCまでの広い範囲にわたって、既存の実験データを再解析する事で近距離における強い重力場の検証を行った。実験は電子の二回散乱を観測し、原子核周辺の強い重力場による空間の歪みに伴う大きな歳差運動を検証する形で行われ、原子核スケールでの上限を評価する事に成功した。

研究成果の概要(英文)：Test of gravitational inverse law attracts great interest on a scope of searching large extra dimension. In this project, possible strong gravitational field at a very short range around nuclear scale is searched, by means of executing electron nuclear scattering experiments. We also evaluated the maximum allowed strength of gravity, by means of re-analysis of existing data from micron to the LHC scales. The experiment was performed as a double electron scattering measurement to probe a large geodetic precession due to strong gravitational field around nuclei. We succeeded to evaluate the upper limit of the strong gravity at nuclear scale.

研究分野：数物系科学

キーワード：原子核(実験) 原子核スケール 余剰次元 逆二乗則の検証 重力

### 1. 研究開始当初の背景

重力の逆二乗則の検証が、大きな余剰次元の探索という目的の元で大きな注目を集めていた。特に、ミリメートルからマイクロメートル距離での、逆二乗則の破れが予言されており、超弦理論の要請する、我々の三次元空間を超える、四次元以上の余剰次元の存在の証拠が得られるのではないかと、大きく期待されていた。そこで、非常に微弱で測定が困難な、マイクロスケールでの物体間にはたらく重力を測定する、直接検証の他に、もし、このスケールで逆二乗則が破れるならば、素粒子のスケールまで外挿すると、電磁気力などに比べて無視できない強さまで重力が強まっている可能性がある。LHC に代表される衝突型加速器による、重力現象の探索として行われる実験も大きな注目を集めており、両者の関係は必ずしも明瞭ではないまま、探索が進められていた。

### 2. 研究の目的

本研究では、マイクロスケールでの直接検証実験でも、素粒子実験によるクォークスケールでの重力現象(重力子放出など)でもない、原子核スケールでの重力現象の探索という、新しい研究に挑戦した。これは、これまで天体スケール以外の物理学で全く無視されてきた、重力の寄与を、もう一度、新しい視点で検証する事で逆二乗則の破れの兆候がないかを考える、という目的の下に行われた。

### 3. 研究の方法

新たな検証データの取得という目的で行われた原子核スケールでの重力現象の探索(MTV-G 実験)では、時間反転対称性の破れ探索実験(MTV 実験)の基幹装置である電子横方向偏極度計を検出器として応用する形で行われた。MTV 実験ではカナダの TRIUMF 研究所に検出器を設置し、加速器から供給される偏極 Li-8 核を検出器中心部に停止させて、ベータ崩壊を観測する。本研究では、この部分に Sr-90 線源と一次散乱板を設置し、散乱後の電子の偏極度を計測した。図 1 に図示した通り、もし、原子核周辺に強い重力場が発生していれば、一次散乱の際に大きな歳差運動が観測されるはずである。

一方、分子から原子スケールでの重力の逆二乗則の検証は、研究テーマとして空白の領域であり、MTV-G 実験の実行と平行して、既存の分光データ等の再解析を行い、重力の効果の上限を評価する解析手法を開発し、実行した。

### 4. 研究成果

MTV-G 実験では結果として電磁気学の効果で理解できる大きさの歳差運動のみが観測されたため、本実験から強い重力場の上限を評価した。この結果は原子核スケールでの本手

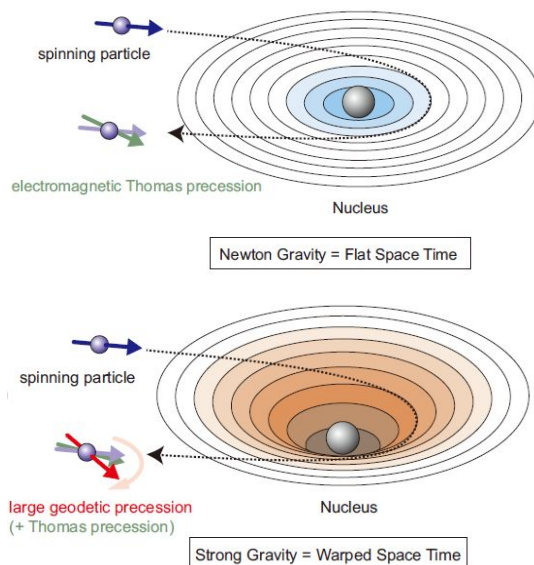


図 1 平坦な時空、及び歪んだ時空における偏極電子の散乱と歳差運動

法を用いた最初の検証実験として結果を残すことが出来た。図 2 はマイクロ距離以下における、重力の逆二乗則の検証状況をまとめたものである。

一方、マイクロスケールでのカシミール力、原子分光、衝突型加速器実験などの全く異なる多くの実験データから、共通の方法で重力の寄与の上限を評価する手法を開発する事に成功し、これも図 2 に結果を示した。ここでは原子分光のデータ、および LHC に代表される衝突型加速器実験のデータを、直接、同じパラメータで比較できるようになった。また、現在、共通認識のない中で様々なスケールで逆二乗則の検証、もしくは余剰次元の探索が進められているが、スケールごとの直接比較が可能になる事でそれらの領域の特徴を顕在化する事にも成功した。

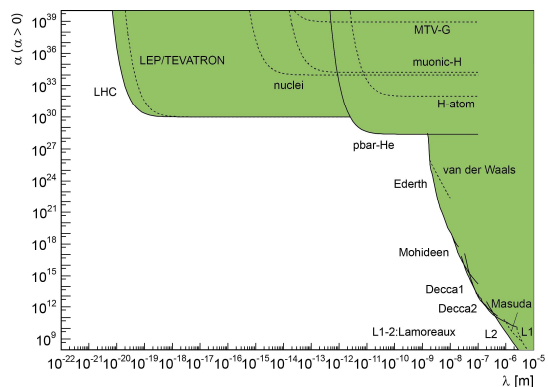


図 2 ミクロン以下における alpha-lambda 図

後者の研究は、前者の実験研究の解析を進める中でアイデアが育ってきたものであり、非常に広範囲にわたる分野をまたぐ、今後の重力の検証実験に指針を与える重要な成果をあげる事が出来たと言える。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

1. “A review of short-range gravity experiments in the LHC era”, Jiro Murata and Saki Tanaka, *Class. Quantum Grav.* 32 (2015) 033001 (査読有)  
doi:10.1088/0264-9381/32/3/033001
2. “Search of non-standard strong gravity at nuclear scale using electron spin geodetic precession”, Saki Tanaka, Yusuke Nakaya, Reiya Narikawa, Kazufumi Ninomiya, Junichi Onishi, Matthew Pearson, Robert Openshaw, Shuntaro Saiba, Ryosuke Tanuma, Yumi Totsuka and Jiro Murata, *EPJ Web of Conferences* 66, 05021 (2014) (査読有)  
<http://dx.doi.org/10.1051/epjconf/20146605021>
3. “MTV/MTV-G experiment at TRIUMF Search of T-Violation and gravity signal at nuclear scale”, Saki TANAKA, Hidetada BABA, John A. Behr, Takeru IGURI, Hirokazu KAWAMURA, Phil Levy, Yusuke NAKAYA, Reiya NARIKAWA, Kazufumi NINOMIYA, Junichi ONISHI, Mathew Pearson, Robert Openshaw, Shuntaro SAIBA, Ryosuke TANUMA, Yumi TOTSUKA and Jiro MURATA, *JPS Conf. Proc.* ,013063 (2014) (査読有)  
<http://dx.doi.org/10.7566/JPSCP.1.013063>
4. “MTV-G experiment : probing a non-standard strong gravitational field at nuclear scale using geodetic precession”, Saki Tanaka, Yusuke Nakaya, Kazufumi Ninomiya, Hironori Nishio, Junichi Onishi, Robert Openshaw, Matthew Pearson, Yumi Totsuka and Jiro Murata, *Journal of Physics: Conference Series* 453 (2013) 012018 (査読有)  
doi:10.1088/1742-6596/453/1/012018

〔学会発表〕(計15件)

(国際会議口頭発表6件、同ポスター5件、国内学会口頭発表4件)

<国際会議招待講演>

1. Jiro Murata, “Testing Gravity at Short Scale”, *Testing Gravity 2015*, Vancouver, Canada, 2015/1/15-17
2. Saki Tanaka, “Short range gravity and T-Violation”, *Hawaii 2014 (Fourth Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the American Physical Society and The Physical Society of Japan)*, Hawaii, USA, 2014/10/7-11

<国際会議口頭発表>

3. Tomomi Sakuta, Jiro Murata, et. al. “Short-Range Gravity Experiment Newton-IVh at millimeter scale”, *Hawaii 2014 (Fourth Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the American Physical Society and The Physical Society of Japan)*, Hawaii, USA, 2014/10/7-11
4. Shuntaro Saiba, Jiro Murata, et. al., “Development of a next generation short range gravity experiment NEWTON-V, using digital microscope”, *Hawaii 2014 (Fourth Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the American Physical Society and The Physical Society of Japan)*, Hawaii, USA, 2014/10/7-11
5. Yumi Totsuka, Jiro Murata, et. al. “First Result from the MTV experiment at TRIUMF searching T-Violation in nuclear beta decay”, *The 20<sup>th</sup> International Symposium on Spin Physics (SPIN 2012)*, Dubna, Russia, 2012/9/17-22
6. Saki Tanaka, Jiro Murata, et. al. “MTV-G experiment: probing non-standard strong gravity”, *NEB 15-Recent Developments in Gravity*, Crete, Greek, 2012/6/20-23

<国際会議ポスター発表>(5件)

<国内学会口頭発表>(4件)

〔図書(一般雑誌)〕(計3件)

1. “特集：ヒッグスの先へ「余剰次元を探る」”, 中島林彦、村田次郎, *日経サイエンス* 2013年1月号(2013) 132ページ(44-53)

2. “ヒッグスを超えて ポスト標準理論の素粒子物理学「余剰次元を探る」”, 中島林彦, 村田次郎, 別冊日経サイエンス 208 (2014) 143 ページ(132-141)
3. “「見えない次元」を探し出せ!”, 村田次郎, 向山信治, 陣内修, ニュートン 2013 年 7 月号 (2013) 144 ページ (106-111)

〔産業財産権〕

取得状況 (計 1 件)

名称: ねじれ秤による微小力測定装置及び微小力測定方法並びに埋没物体の探査方法

発明者: 村田次郎、二宮一史

権利者: 学校法人立教学院

種類: 特許

番号: 特許第 5578667 号

出願年月日: 平成 22 年 5 月 28 日

取得年月日: 平成 26 年 7 月 18 日

国内外の別: 国内

〔その他〕

(テレビ放送)

1. “世界は本当に 3 次元か? 重力が伝える宇宙の姿” ,BS フジ「ガリレオ X」 2013 年 10 月 13 日, 20 日放送
2. “重力の神秘”, NHK BS「コズミックフロント」, 2014 年 11 月 13 日放送
3. “余剰次元探索を目指した近距離重力実験”, 村田次郎, 田中佐季, 二宮一史, 村上遥菜, 高エネルギーニュース Vol.32, No.4 (2014)

6. 研究組織

(1)研究代表者

村田 次郎 (MURATA, Jiro)

立教大学・理学部・教授

研究者番号: 50360649

(2)研究分担者 なし

(3)連携研究者 なし

(4)研究協力者 田中佐季 (TANAKA, Saki)

立教大学大学院・理学研究科・大学院生