

二国間交流事業 共同研究報告書

令和6年4月19日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

[日本側代表者所属機関・部局]

東京工業大学・理学院

[職・氏名]

特定教授・山口昌英

[課題番号]

JPJSBP 120212502

1. 事業名 相手国: チェコ (振興会対応機関: CAS) との共同研究

2. 研究課題名

(和文) 修正重力理論における暗黒セクターの安定性とエネルギーの正定値性

(英文) Dark sector stability and energy positivity in modified gravity

3. 共同研究実施期間 2021年4月1日 ~ 2024年3月31日 (3 年 月)【延長前】 2021年4月1日 ~ 2023年3月31日 (2 年 月)

4. 相手国側代表者(所属機関名・職名・氏名【全て英文】)

The Czech Academy of Sciences (ASCR) ・ Leading Research

Scientist ・ Alexander VIKMAN

5. 委託費総額(返還額を除く)

本事業により執行した委託費総額		4,750,000 円
内訳	1年度目執行経費	2,375,000 円
	2年度目執行経費	2,375,000 円
	3年度目執行経費	円

6. 共同研究実施期間を通じた参加者数(代表者を含む)

日本側参加者等	15 名
相手国側参加者等	6 名

* 参加者リスト(様式 B1(1))に表示される合計数を転記してください(途中で不参加となった方も含め、全ての期間で参加した通算の参加者数となります)。

7. 派遣・受入実績

	派遣		受入
	相手国	第三国	
1年度目			()
2年度目	5(5)		3(0)
3年度目			4(0)

* 派遣・受入実績(様式 B1(3))に表示される合計数を転記してください。

派遣: 委託費を使用した日本側参加者等の相手国及び相手国以外への渡航実績(延べ人数)。

受入:相手国側参加者等の来日実績(延べ人数)。カッコ内は委託費で滞在費等を負担した内数。

8. 研究交流の概要・成果等

(1)研究交流概要(全期間を通じた研究交流の目的・実施状況)

現代宇宙論は2つの理論を柱として発展してきました。宇宙自身のダイナミクスを記述する方程式を与える一般相対性理論と宇宙の内容物を与える素粒子標準理論です。しかしながら、近年の観測により、2つの重要な構成要素が欠けていることが確かめられてきました。負の圧力を持ち加速膨張を引き起こす暗黒エネルギーと圧力がなく構造形成に必須な暗黒物質です。両者は宇宙のエネルギーの95%近くを占めており、これらの正体や性質を明らかにすることは現代宇宙論の最重要課題の1つであり、本研究の目的です。

コロナによる渡航制限が緩和され、漸くお互いに行き来ができる状況になったため、まず、キックオフシンポジウムとして、2022 Summer CAS-JSPS Workshop in Cosmology, Gravitation, and Particle Physics を伊豆大島で2022年8月30日から9月2日にかけて行いました。日本側のほとんどのメンバーが参加し講演を行いました。また、チェコからはVikman氏、Trombetta氏、Trenker氏の3名が来日して同会議で講演を行いました。さらに、3名とも、会議終了後、京都大学基礎物理学研究所を訪問し、日本側メンバーである向山氏と修正重力理論における系の安定性について議論を行いました。また、Trombetta氏及びTrenker氏は、その後さらに東工大に滞在し、日本側メンバーと修正重力理論の更なる拡張について、その安定性も含めて議論を行いました。

宮下氏が2022年10月にCEICOを訪問し、セミナートークを行うのみならず、修正重力理論についてチェコ側メンバーと議論を行いました。

2022年12月には、チェコ側で会議を開催し、日本側メンバーの多くがチェコを訪問して会議で発表を行うのみならず、修正重力理論等についてチェコ側メンバーと議論を行いました。

国際会議CAS-JSPS-IBS CTPU-CGA 2023 Summer Workshop on Cosmology, Gravity, Particle Physics を北海道で2023年8月28日から9月1日にかけて行いました。日本側のほとんどのメンバーが参加し講演を行いました。また、チェコからはVikman氏、Trombetta氏、Trenker氏の3名が来日して同会議で講演を行いました。さらに、Vikman氏とTrenker氏は、会議終了後、京都大学基礎物理学研究所を訪問し、日本側メンバーである向山氏とゴーストとなる自由度のある系の安定性について議論を行いました。また、Trenker氏は、その後さらに東工大に滞在し、日本側メンバーと修正重力理論の拡張について、その安定性も含めて議論を行いました。

2023年10月には、チェコ側で国際会議”PRAGUE AUTUMN 2023 : CAS-JSPS-IBS CTPU-CGA WORKSHOP IN COSMOLOGY, GRAVITATION AND PARTICLE PHYSICS”を開催し、日本側メンバー4名がチェコを訪問して会議で発表を行うのみならず、修正重力理論等についてチェコ側メンバーと議論を行いました。

2023年11月末に、Vikman氏が名古屋大学で行われた国際会議”The 32nd Workshop on General Relativity and Gravitation in Japan”に招待され招待講演を行うだけでなく、日本側参加者らと議論を行いました。その後、早稲田大学を訪問しセミナー講演を行いました。

(2)学術的価値(本研究交流により得られた新たな知見や概念の展開等、学術的成果)

力学的変数の可逆変換により、力学的自由度の数が変わりえる、という驚くべき発見をしました。常識的には、可逆変換では変数同士の間の一対一対応があるため、力学的な自由度の数は変わりようがないように思われます。この常識を打ち破る発見をしました。さらに、力学的自由度の数に変化しない場合であっても、結果として得られるダイナミクスは、変換前の系とは本質的に異なるものになる可能性があることも示しました。点粒子の場合

の具体的な例を示した後、重力理論における可逆な disformal 変換によるダイナミクスの変化についても議論しました。

Horndeski 理論は、リーマン幾何学に基づく、計量とスカラー場に関する 2 次のオイラー・ラグランジュ場の方程式を導く(1 つのスカラー場を持つ)最も一般的なスカラー・テンソル理論です。曲率とねじれの両方が消え、重力が非メトリック性にのみ関係すると仮定する対称テレパラレル幾何学において、Horndeski 理論の対応版の定式化を行いました。我々のセットアップでは、計量とスカラー場だけでなく、接続に関するオイラー・ラグランジュ方程式も最大でも二階までであることが必要です。そのような理論は、リーマン幾何学に基づく Horndeski 理論に現れる項と、純粋にテレパラレル幾何学に基づく項との和で書けることが分かりました。計量との非可換性のために、運動方程式が二階までの重力理論を構築する方法は非常に多くの可能性がありますが、いくつかの仮定のもとで、対称的テレパラレル・ホルネスキー重力の最も一般的な k-essence の拡張を見つけました。また、運動方程式が二階までであるという条件を尊重しつつ、高階微分を含む新しい理論を定式化しました。

負の運動エネルギーはゴースト自由度に相当し、宇宙論、量子重力、高エネルギー物理学に関連する可能性があります。正のエネルギーの自由度がゴーストと相互作用する安定な力学系の新しいクラスを発見し議論しました。これらの系は、上からも下からも束縛されないハミルトニアンを持ち、可積分であり、自由関数を含みます。これらの古典運動がすべての初期データに対して有界であることを解析的に示しました。さらに、リアプノフ安定平衡点を許す条件を導出しました。これらの安定系のサブクラスは、単純な多項式ポテンシャルを持ち、安定平衡点はすべてゴーストとの相互作用によるものです。これらの発見は、数値計算によって完全に裏付けられており、また、様々な非可積分系の安定性の証拠を集めるために用いられております。

(3)相手国との交流(両国の研究者が協力して学術交流することによって得られた成果)

日本で行われた二回の研究会では、参加者全員が同じホテルに滞在して交流を図りました。日本・チェコの参加者のほぼ全員が本計画内容について興味のあることを発表することにより、全員がどのようなことに興味があり、また、習熟しているかの情報共有がなされ、お互いの理解が進むことにより共同研究が促進されました。また、同じホテルに滞在したことにより、会議のセッションの間だけでなく、朝食、昼食、夕食を全て共にし、また、夕食後も懇親会を開いて交流を図ったため、物理についてだけでなく、日本・チェコのそれぞれの文化的なことについてもお互いの理解が深まり、正に、二国間交流の趣旨に相応しい交流が行われました。

また、チェコでも二回研究会を開催して日本側からも多くの参加者が参加し、また、チェコ側参加者は東工大や京大を訪問し、交流を図りました。

(4)社会的貢献(社会の基盤となる文化の継承と発展、社会生活の質の改善、現代的諸問題の克服と解決に資する等の社会的貢献はどのようにあったか)

エネルギーとは何か、エネルギーにはどんな条件が課されるのか、我々の宇宙のエネルギーの大部分を占めるものの正体は何か、という根源的な問いは誰もが一度は考えたことがある問いです。それらの問いに対して答えを与えることは、自然科学だけでなく、私たちの歴史観の向上にも寄与するものであると思います。

(5)若手研究者養成への貢献(若手研究者養成への取組、成果)

平野のような若手研究者だけでなく、宮下や佐野らなどの多くの学生も、チェコ側のメンバー全員にきちんと顔や研究内容を覚えてもらえ、国際的な研究者としての一步を踏み出せたことと思います。特に、チェコでの講演は、ほとんどの学生にとって初めてのヨーロッパでの講演経験であり、非常に有益であったと思います。

(6)将来発展可能性(本事業を実施したことにより、今後どのような発展の可能性が認められるか)

両国の参加者による共同研究は引き続き行われており、今後も成果が見込まれます。

(7)その他(上記(2)～(6)以外に得られた成果があれば記載してください)

例:大学間協定の締結、他事業への展開、受賞など

特にありません。