

**2.【派遣先における研究計画】** ※適宜概念図を用いるなどして、わかりやすく記入してください。なお、本項目は1ページに収めてください。様式の変更・追加は不可。

### (1) 研究の位置づけ

海外特別研究員として取り組む自身の研究の位置づけについて、当該分野の状況や課題等の背景、並びに本研究計画の着想に至った経緯も含めて記入してください。

#### 概要

宇宙項入りブラックホール熱力学における「逆等周不等式」と呼ばれる予想を通して、ブラックホールのエントロピーの本質に迫る。

#### 当該分野の状況

量子重力などに多くの深い洞察を与えてきたブラックホールの熱力学は、近年宇宙項を持つ時空にも拡張され、宇宙項の自由度に対応した**熱力学体積**という物理量をもとに発展を遂げてきた。熱力学体積を含む形で拡張された熱力学は**拡張ブラックホール熱力学**と呼ばれ、ブラックホール相転移などに関する新しい視点をもたらしてきた。漸近的 Anti de Sitter (以下、**AdS**) 時空が、AdS/CFT 対応 (Maldacena, 1998) の発展を受けて盛んに研究されている背景もあり、拡張ブラックホール熱力学は近年注目を集めている。

漸近 AdS 定常軸対称時空において、「熱力学的体積が一定のもとではエントロピーが最大になるのは Schwarzschild-AdS 時空である」と主張する**逆等周不等式** (Reverse Isoperimetric Inequality) が予想されている (Cvetič *et al.* 2011)。逆等周不等式予想は数多くの例で正しいことが確かめられており、反例はまだ見つかっていない。逆等周不等式は、主に次の3つの観点で注目を集めてきた：

1. エントロピーの最大値を与える式とみなせることから、エントロピー増大則に基づきどのような状態が熱力学的に最も安定かについての理解に繋がる。
2. 一般性の高い仮定のもとでエントロピー上限不等式が成り立つことは理論的にも興味深い。
3. 角運動量が大きくなるにつれて熱力学体積が大きくなり、逆等周不等式予想の等号から遠ざかることが定性的に知られており、熱力学体積の重要な性質の1つとして知られる。

逆等周不等式予想は、角運動量の寄与を取り入れることで、より強い不等式 (Refined Reverse Isoperimetric Inequality、以下 **RRII**) へと改良できることを昨年我々が提唱した (Amo *et al.* Phys. Rev. Lett. 2023)。逆等周不等式予想と同じ仮定で、熱力学体積・時空の質量・角運動量が一定のもとでエントロピーが最も大きな時空は、Kerr-AdS 時空である、という主張である。RRII 予想について、数多くの例で正しいことが確かめられ、反例は見つかっていない。RRIIは、次の2つの観点から見た強みを有する：

1. 逆等周不等式を、より精度の高い不等式へと改良した。
2. 熱力学体積について、これまで角運動量の寄与により増大することが定性的にのみ知られていたが、RRII予想によって角運動量により具体的にどう応答するかを定量的に明確化した。

#### 当該分野の課題

**課題 (a) 宇宙項が零・正の時空でのエントロピー上限** 宇宙項が零・正の場合にも熱力学体積が逆等周不等式や RRII 予想同様に、熱力学体積がエントロピー上限を与えるのか、未解明である (→研究(A))。

**課題 (b) ホログラフィーをもとに共形場理論へ** 漸近 AdS 時空は、その境界に定義された共形場理論 (Conformal Field Theory, **CFT**) と等価であることが知られている。しかし、漸近 AdS 時空での熱力学体積に対応した、CFT における物理量が何であるかについては分かっていない (→研究(B))。

**課題 (c) 逆等周不等式予想の証明** 逆等周不等式は多くの例で妥当性が確かめているものの、証明はなされておらず、どのような物理的条件が鍵となって導出されるのか未解明である (→研究(C))。

#### 本研究計画の着想に至った経緯

上述の3つの課題について、申請者の研究 (Amo *et al.* 2023) で得られた逆等周不等式への新しい知見をもとに、逆等周不等式のエキスパートである受入研究者らと研究を行うことを着想した。

2. 【派遣先における研究計画】(続き) ※適宜概念図を用いるなどして、わかりやすく記入してください。なお、各事項の字数制限はありませんが、全体で2ページに収めてください。様式の変更・追加は不可。

## (2) 研究目的・内容等

- ① 海外特別研究員として取り組む研究計画における研究目的、研究方法、研究内容について記述してください。
- ② どのような計画で、何を、どこまで明らかにしようとするのかを具体的に記入してください。
- ③ 研究の特色・独創的な点（先行研究等との比較、本研究の完成時に予想されるインパクト、将来の見通し等）にも触れて記入してください。
- ④ 共同研究の場合には、申請者が担当する部分を明らかにしてください。

### ① 研究目的、研究方法、研究内容、② どのような計画で、何を、どこまで明らかにしようとするのか

#### 研究目的

#### 研究(A) 宇宙項が零・正の時空におけるエントロピー上限予想

申請者はこれまでの研究で、負の宇宙項を持つ（漸近 AdS）ブラックホール時空に対して、熱力学体積・質量・角運動量を用いてエントロピーの上限を与える RRII 予想を提唱した (Amo *et al.* Phys. Rev. Lett. 2023)。この予想について数多くの時空で検証して妥当性を示している。本研究では、零および正の宇宙項を持つブラックホール時空に対してエントロピーの上限予想を構築し、妥当性を多くの厳密解で検証する。

#### 研究(B) 拡張ブラックホール熱力学のホログラフィー

逆等周不等式および RRII を共形場理論側で検証することにより、熱力学体積、逆等周不等式、RRII の共形場理論における物理的意味を探索する。

#### 研究(C) 逆等周不等式予想の証明

逆等周不等式予想は、漸近 AdS・定常・軸対称という一般性の高く弱い仮定から、ブラックホールのエントロピーおよび熱力学体積に強い制限を与えることは非自明であり、なぜこの予想が成り立つか分かっていない。そこで、逆等周不等式の証明を試み、証明の鍵となる条件に迫ることで、エントロピーの上限の根源を明らかにする。

#### 研究方法・研究内容

研究(A)：本研究では、申請者らの Amo *et al.* (2023) での手法を、零および正の宇宙項を持つブラックホール時空に適用し、エントロピーの上限を熱力学量を通して明らかにする。

#### (A-1) 宇宙項が零の時空（申請～1 年目前半）

RRII 予想からの類推により、宇宙項が零である時空のブラックホールのエントロピーは、Kerr 時空のそれ以下である、という予想を立てて検証を行う。この際宇宙項の自由度が無いことに対応して、固定するパラメータは（負の宇宙項の場合は熱力学体積・質量・角運動量の3つだったものが）2つとなる。この2つとして何を選ぶべきかについて、熱力学体積・質量・角運動量を中心に考える可能性を、Einstein 方程式の多くの解で検証し、エントロピー上限予想の構築を試みる。

#### (A-2) 宇宙項が正の時空（1 年目）

RRII 予想からの類推により、宇宙項が正の時空において、熱力学体積・質量・角運動量を固定した場合 Kerr-dS 時空でブラックホールのエントロピーが最大である、という予想を立てる。この予想について、2種類の電荷を持つブラックホール解についてテスト計算を行い（図1）、宇宙項が正の時空においても成り立つ可能性が示唆された。より一般の時空について、事象の地平面と宇宙論的地平面2つの熱力学を独立に扱うことの妥当性を議論した [Dolan *et al.*, (2013)] に従い、両者の熱力学についてそれぞれ調べる。

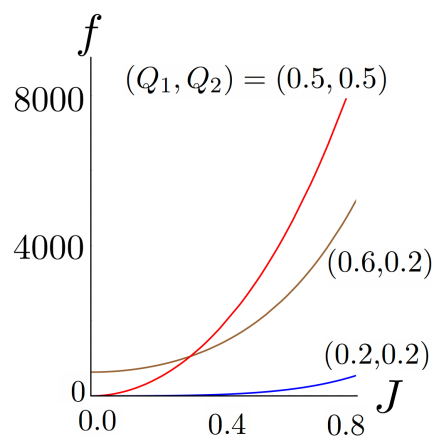


図 1: (A-2) の準備として電荷  $(Q_1, Q_2)$ 、角運動量  $J$  を持つブラックホール解に対して行ったテスト計算の結果.  $f \geq 0$  であることは、Kerr-dS 時空よりエントロピーが小さいあるいは等しいことを意味しており、予想を支持している。

**研究 (B)：逆等周不等式予想のホログラフィー (1 年目後半～2 年目前半)**

本研究では、近年素粒子理論分野で注目を集める AdS/CFT 対応を用いて、逆等周不等式予想の理解の発展を目指す。熱力学体積に対応する CFT での物理量として提唱されている複数の候補を頼りに、CFT での具体的な模型を用いて逆等周不等式を CFT 側で検証する。もし逆等周不等式を支持する結果が得られれば、逆等周不等式予想の妥当性をより強固なものとする結果となる。一方で反例が見つかった場合は、逆等周不等式の証明 (→研究 (C)) で課す仮定を決定するための足がかりとなる。

**研究 (C)：逆等周不等式の証明 (2 年目前半～後半)**

逆等周不等式の証明を試み、証明の鍵となる条件を理解することで、エントロピーの上限の根源となる物理的性質を明らかにする。 $D$  次元時空における証明の方向性を 3 つの Step に分けて記す。

**[Step.I: 層の導入]**

ホライズンから無限遠まで連続的に続く球面の層を考える (図 2)。各面に  $\alpha$  ( $0 \leq \alpha \leq \infty$ ) を導入し、 $\alpha$  が大きいほど外の面に対応するものとする。

**[Step.II :熱力学量の定義の一般化]**

逆等周不等式を構成する熱力学体積  $V$  とエントロピー  $S$  は、ブラックホールのホライズン ( $(D-2)$  次元球面) で計算される量である ( $\omega$  はキリングポテンシャルという幾何学量、 $dA$  は面積要素)：

$$V := -\frac{1}{2} \int_{\alpha=0} dA\omega, \quad S := \frac{1}{4} \int_{\alpha=0} dA.$$

層の各面で、 $V$  と  $S$  を一般化した  $V(\alpha)$  と  $S(\alpha)$ 、および  $R(\alpha)$  を

$$V(\alpha) := -\frac{1}{2} \int_{\alpha} dA\omega, \quad S(\alpha) = \frac{1}{4} \int_{\alpha} dA, \quad R(\alpha) := \mathcal{C}(D) \frac{V(\alpha)^{D-2}}{S(\alpha)^{D-1}}$$

で定義する。 $\mathcal{C}(D)$  は定数であり、逆等周不等式は、 $R(0) \geq 1$  と表される。

**[Step.III:  $R(0) \geq 1$  の証明]**

$R(0) \geq 1$  を示すために、 $R(\infty) \geq 1$  および  $dR/d\alpha \leq 0$  を証明する。荷電回転ブラックホール解について  $R(\infty) \geq 1$  が成り立つことを、申請者は既に確かめている。より一般の時空で  $R(\alpha) \geq 1$  が無限遠近傍で成り立つことについて、無限遠近傍の構造について調べた Fefferman-Graham 展開などをもとに取り組む。その後エネルギー条件のもとで  $dR/d\alpha \leq 0$  を示すことで、逆等周不等式 ( $R(0) \geq 1$ ) の証明を行う。

**③ 研究の特色・独創的な点**

現実の宇宙は宇宙項がわずかに正の時空であると考えられており、(A) によって現実的な時空におけるブラックホールの持つエントロピーの最大値を与えることは本研究の特色の一つである。また本テーマで与える不等式は、ブラックホール解やその熱力学の妥当性のテストとして機能することも期待できる。さらに、(A) でエントロピーの最大値を与えることにより、どのような状態が熱力学的に最も安定であるかについての情報を得られる点は興味深い。本テーマは自身が中心となって取り組んだ研究 Amo *et al.* (2023) を軸に発展させる研究であり、申請者は世界で最も当該手法に精通していると言える。さらに、(B) によって、共形場理論を通してこれまで検証されていなかった方向性から逆等周不等式予想へのアプローチが可能となり、熱力学的体積および拡張ブラックホール熱力学の新たな性質の解明が期待できる。加えて、(C) によって、ブラックホールエントロピーの上限の本質の解明が期待できる点も重要である。エントロピーは広く注目されている概念であるため、(A)-(C) すべて古典重力から超ひも理論、量子情報まで多くの分野で関連性を持つ研究であり、過去 10 年間注目されてきた逆等周不等式予想を通して、複数の学問分野にまたがる新しい研究の道を開く高いポテンシャルを持つ、学際的に広く興味を引くものである。

**④ 申請者が担当する部分**

(A)～(C) 全てにおいて、具体的な計算及び論文の執筆などは全て申請者が中心となってい、計算結果についての議論を、派遣先の Gregory 氏をはじめ現地の研究者および Amo *et al.* (2023) の共著者らと行う。

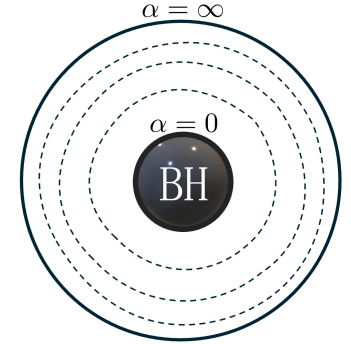


図 2: (C) の Step.I で導入する、ブラックホール (BH) 地平面から無限遠まで続く、 $(D-2)$  次元球面の層。  $\alpha = 0$  はホライズン、 $\alpha = \infty$  は無限遠を表す。

### 3. 【外国で研究することの意義（派遣先機関・受入研究者の選定理由）】

※各事項の字数制限はありませんが、全体で1ページに収めてください。様式の変更・追加は不可。

- ① 申請者のこれまでの研究と派遣先機関（受入研究者）の研究との関連性について記述してください。
- ② 国内外の他研究機関（研究者）と派遣先機関（受入研究者）とを比較し、派遣先で研究する必要性や意義について明らかにしてください。（フィールドワーク・調査研究を行う場合、派遣先地域で研究する必要性や意義を中心に述べても構いません。）

#### ① 申請者のこれまでの研究と派遣先機関との関連

申請者はこれまでブラックホールの研究を中心に行ってきた。ブラックホールの周辺からの光の軌道に関する研究などを経て、直近では特に拡張ブラックホール熱力学における逆等周不等式予想の研究に注力してきた。逆等周不等式に関して、自身のアイデアをもとに主体的に研究した成果が *Physical Review Letter* 誌に掲載され、日本物理学会学生優秀発表賞を受賞し、複数の招待講演を行うなど、申請者は拡張ブラックホール熱力学分野で成果を挙げてきた。

受入研究者である Gregory 氏は、高次元時空におけるブラックストリングの不安定性について、Gregory-Laflamme 不安定性の名前などで知られ、近年は、拡張ブラックホール熱力学の発展も世界的に牽引してきた専門家である。Gregory 氏は例えば、Gregory & Scoins (2019) において、AdS-C 時空という特定の時空について、一般のパラメータで逆等周不等式が成り立つことを確認した。申請者の研究では、逆等周不等式をより主張が強い不等式 (RRII) へと改良できることを提唱したが、RRII が AdS-C 時空で成り立つことの証明は、この Gregory & Scoins (2019) の手法を応用して行ったものである。また、Gregory 氏の共著論文 Appelsa *et al.* (2020) において、かつての逆等周不等式予想の反例候補として提案された議論の問題点を指摘した。Gregory氏は拡張ブラックホール熱力学、特に逆等周不等式の世界トップクラスのエキスパートである。加えて、共著論文 Henriquez *et al.* (2023) などにおいて、AdS/CFT 対応に関する研究でも多くの成果を挙げており、研究 (B) に関する知見も非常に豊富である。本研究計画について既に対面でも議論を行っており、メールでのやりとりを続け、打ち合わせも十分に行っている。

加えて、申請者は実験・観測分野での研究に携わった経験を有し、重力に関連する実験にも携われる研究機関に在籍し、実験と共同研究を十分に行える理論家になりたいと考えている。Gregory 氏は理論を中心に研究しつつ、共著論文 Švančara *et al.* *Nature* (2024) において回転ブラックホールの重力と巨大量子渦の類似性に着目した実験でも成果を挙げている。今後の Gregory 氏の実験に関するプロジェクトに貢献したいと考えたことも、申請を後押しした。

#### ② 派遣先で研究する意義

拡張ブラックホール熱力学は欧米に研究者が多い分野であり、国内では注力する研究者は現状、欧米ほど多くない。申請者は、国内で拡張ブラックホール熱力学に関する複数回の招待講演を行うなどする中で、国内における近しい分野の専門家との議論を行ってきた。次のステップとして、拡張ブラックホール熱力学の世界的権威である Gregory 氏の在籍する King's College London にて、拡張ブラックホール熱力学における大きな未解決問題に取り組みたいと考えている。また、拡張ブラックホール熱力学に非常に詳しい共同研究者が 2 人スペインにおり、彼女らを King's College London に招いたり申請者がスペインを訪問したりして研究を続けるにあたっても、地理的に往来が可能である。

また、海外の異なる環境で研究を行うことで、これまで自分が日本国内で過ごす中で気づけなかった新しい興味に気づくきっかけを得られると期待している。申請者は、「周囲の研究者から直接研究の話を聞く→その分野に新しく興味を持つ→研究を始める」、というプロセスを繰り返してきた。実際、拡張ブラックホール熱力学の研究も、スペインに半年間滞在した際に、現地のポスドク研究員との議論で興味を膨らませたテーマである。これまでと全く違う研究コミュニティに身を置くことで、本テーマのさらに次の新しいテーマの研究にも繋がりやすいと考えており、長い目で見て一流の研究者に近づくために、幅広い研究テーマを持ちたい。さらに上述の通り、受入研究者である Gregory 氏は、拡張ブラックホール熱力学のエキスパートでありながら、重力実験の研究など多岐にわたる研究を行っており、実験・観測分野での研究に携わった経験を有し今後も携わりたい申請者にとって、受入先として最適であると考ええる。

**4. 【人権の保護及び法令等の遵守への対応】** ※本項目は1ページに収めてください。様式の変更・追加は不可。

本欄には、「2. 研究計画」を遂行するに当たって、相手方の同意・協力を必要とする研究、個人情報の取り扱いの配慮を必要とする研究、生命倫理・安全対策に対する取組を必要とする研究や安全保障貿易管理を必要とする研究など指針・法令等（国際共同研究を行う国・地域の指針・法令等を含む）に基づく手続が必要な研究が含まれている場合、講じる対策と措置を記入してください。

個人情報を伴うアンケート調査・インタビュー調査、行動調査（個人履歴・映像を含む）、国内外の文化遺産の調査等、提供を受けた試料の使用、侵襲性を伴う研究、ヒト遺伝子解析研究、遺伝子組換え実験、動物実験、機微技術に関わる研究など、研究機関内外の情報委員会や倫理委員会等における承認手続が必要となる調査・研究・実験などが対象となりますので手続の状況も具体的に記入してください。

また、既に海外において研究を開始している者で、当該国の法令等に基づく手続が必要な研究が含まれている場合は、その対策と措置をどのように講じているのかを記述してください。該当しない場合には、「該当しない」と記載してください。

該当しない。

**5. 【研究遂行力の自己分析】** ※各事項の字数制限はありませんが、全体で2ページに収めてください。様式の変更・追加は不可。  
本申請書記載の研究計画を含め、当該分野における(1)「研究に関する自身の強み」及び(2)「今後研究者として更なる発展のため必要と考  
えている要素」のそれぞれについて、これまで携わった研究活動における経験などを踏まえ、具体的に記入してください。

### (1) 研究に関する自身の強み

#### 研究における主体性・発想力・問題解決力

下記の成果 [1] において、テーマ設定・詳細の計算など全体に渡って申請者が中心となって研究を進め、発想力・問題解決力を発揮してエントロピー上限予想を提唱し、Physical Review Letters 誌から出版した。また、成果 [2,3] などの論文においても、計算のアイデアから論文の執筆に至るまで主体性を持って研究を進め、光的測地線の無限遠到達の十分条件を明らかにした。加えて、オーロラの音のメカニズムに迫るため、生物分野とタグを組んだ共同研究を同級生と立ち上げた経験を有する。国内外問わず関連分野の研究者に積極的にコンタクトを取り、助成金の獲得から観測機器の購入まで完全に0から研究を計画した。そして、オリジナルの仮説を基にアラスカで1ヶ月観測を行った。帰国後も観測データの解析などを続け、申請者主導のもと、観測データの解析結果と理論的考察をまとめ、「天文月報」(日本天文学会発行)に投稿する [4] など、主体的な研究成果の発信にも努めた。

#### 知識の幅・深さ、技量

学部時代から計30個の自主ゼミの全てに精力的に取り組み、重力理論など専門に直接関わる内容の理解を深め、さらに弦理論など一見専門とやや離れて見える分野の勉強にも積極的に取り組んできた。また、オーロラの音のメカニズムの研究 [4,12]、倍率10倍の選考を経て研究員に選出された微小重力研究や系外惑星研究を経て、統計処理や観測などの技量も身につけてきた。

#### コミュニケーション力

誰とでも打ち解けられる性格を生かし、自主ゼミなどを通して優秀な学生と切磋琢磨してきた。また、数学や物理をが専門の全国の学生が集う「数物セミナー」の合宿に5度参加し、班長や司会を努めるなど運営にも携わった。加えて [2,3] の研究は、学会での議論をきっかけとして他大学の研究者と共同研究を行ったものである。スペインに半年滞在した際も、英語での雑談をきっかけに共同研究を開始し、成果を得た。これらの活動で得た経験は、将来の共同研究や、学会運営等においても大きな強みになると期待できる。

#### プレゼンテーション力

申請者は発表練習を重ねてプレゼンテーション力を磨いてきた。結果としてその力が認められ、6件の発表賞を受賞 [6,7,8] した。オーロラの音の研究においては、研究計画・プレゼンテーションによる選抜を勝ち抜き、大学を通じたクラウドファンディングにより研究費を募る機会を得た。その際、研究計画を発信したり、動画を公開して約97万回再生されるなど反響を集め、目標金額・50万円を達成した。

#### その他(主にアウトリーチ力)

申請者は、自身の研究内容を社会に発信したり、市民と対話する機会が多い。オーロラの研究において大学を通じて研究費を獲得したという経緯から、大学の広報課から学内での講演などの依頼を受けたことが始まりである。その後、学内外問わず様々な場でアウトリーチ活動が続けるうちに、「依頼を受ける→高評価を受ける→依頼を受ける」というサイクルに乗ることができたと考えている。具体的には、JAXA から依頼をいただき、企画を一から主体的に練って小学生向け教室を主催したり [15]、サイエンスカフェでお坊さんと宇宙についてのトークショーをする [16] などした (全21件)。多くの反響を得たことは、申請者の研究を発信する姿勢と、専門的な内容を噛み砕いて伝える力が高く評価された結果を明確に表している。

#### 成果—学術雑誌に発表した論文(査読付)

1. Masaya Amo, Antonia M. Frassino, Robie A. Hennigar, *Phys. Rev. Lett.* **131** 241401 (2023).
2. Masaya Amo, Keisuke Izumi *et al.*, *Phys. Rev. D* **107** 124050 (2023).
3. Masaya Amo, Keisuke Izumi *et al.*, *Phys. Rev. D* **106** 084007 (2022).

他、Phys. Rev. D 誌査読付論文2件、プレプリント論文(査読中)1件



## 成果－学術雑誌における解説

4. 天羽将也、高富士愛子、藤田菜穂 「オーロラの音の謎に迫る」 天文月報 **113** 488–496 2020.

## 成果－学会・シンポジウムにおける発表

5. “A generalization of photon sphere based on escape cone” 23rd Eastern Gravity Meeting 2023 年 6 月 アメリカ合衆国.

他、口頭（国際）7 件、口頭（国内）10 件、ポスター（国際）4 件、ポスター（国内）3 件

## 成果－受賞歴

6. 日本物理学会第 78 回年次大会学生優秀発表賞 2023 年 10 月（約 10 件中 1 件）.
7. 日本物理学会 2022 年秋季大会学生優秀発表賞 2022 年 10 月（約 10 件中 1 件）.
8. Presentation Award at The 31st Workshop on General Relativity and Gravitation in Japan (JGRG31) 2022 年 10 月（約 15 件中 1 件）.
9. 第 50 回天文・天体物理若手夏の学校分科会オーラルアワード（40 件中 1 位）2020 年 8 月.
10. 第 11 回宇宙ユニットシンポジウム ポスター発表 優秀賞（37 件中 1 位）2018 年 2 月.

他、2 件

## 成果－競争的資金獲得歴

10. 日本学術振興会若手研究者海外挑戦プログラム 2023 年度採用.
11. 日本学術振興会特別研究員 DC1 2022 年度採用.
12. 京大生チャレンジコンテスト「脳でオーロラは聞こえるか」（学内 5 件）2017 年採用.

他、2 件

## 招待講演

13. 「定常 AdS ブラックホールの面積の上限予想」第 8 回ブラックホール研究会, 2024 年 3 月.

他、3 件

## アウトリーチ

14. 徳島新聞『遠くでトーク』（成果 [4,12] と関連）2018 年 10 月 30 日朝刊.
15. 宇宙航空研究開発機構 (JAXA) コズミックカレッジ講師（成果 [4,12] と関連）2018 年 10 月.
16. サイエンスカフェ・浄慶寺・願陀無ナイト 2019 年 2 月.
17. 読売テレビ『ガリゲル』出演（重力実験研究と関連）2019 年 3 月放送.
18. 日経サイエンス 2022 年 12 月号および別冊 264 号「ブラックホールと我々の宇宙 2 つの地平の物語」白水徹也氏と共訳.
19. 一般社団法人「Education Beyond」ギフテッドへの教育機会提供 2023 年 12 月～現在.

他、メディア 7 件、市民講演等 8 件

## (2) 今後研究者として更なる発展のため必要と考えている要素

### 要素 1 素粒子論や物性理論など近しい分野の理論知識

申請者はこれまで多くの自主ゼミを行ったり、周辺分野の海外研究室に長期滞在したりする中で、宇宙物理学周辺領域の知識の拡充に励んできたが、一流の研究者に近づくためにまだまだ勉強すべきことが膨大にあると認識している。今後も異分野の研究者が多く参加する研究会に参加を続けるなどして、周辺分野の勉強を一層深く突き詰め、周辺領域の知識を繋ぎ合わせて世界をリードする研究者を目指す。

### 要素 2 実験・観測とのより密接な関わりを持つこと

申請者は、今後の重力実験や重力波・シャドウの観測に先駆け、実験・観測の需要に即した理論を構築したいと考えている。そのためには、論文を読んだり、研究会に参加したりするなどして、実験・観測についての理解をアップデートし続けることが必要である。何が求められているかを深く理解し、実験・観測的にも意義の大きな理論の構築に努めたい。