

令和 3 年 6 月 24 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2016～2020

課題番号：16H02182

研究課題名(和文)量子エンタングルメントとゲージ重力対応

研究課題名(英文)Studies of AdS/CFT via Entanglement Entropy

研究代表者

高柳 匡 (Takayanagi, Tadashi)

京都大学・基礎物理学研究所・教授

研究者番号：10432353

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,000,000円

研究成果の概要(和文)：ゲージ重力対応は、宇宙を支配する重力の理論とミクロな物質の理論が等価となるという予想である。研究代表者らの過去の研究とこの予想から、「重力理論の宇宙はミクロな情報を意味する量子エンタングルメントから創発する」という新しい描像が得られつつある。本研究では、物理学に新しい視点を与えるこの描像をさらに大きく発展させた。具体的には、宇宙空間を一部に制限した場合のワームホールの断面積が、純粋化エンタングルメントと呼ばれる二体間の相関を表す量に等しいことを発見した。また、ミクロな物質の理論を離散化して数値計算を行う過程を最大限に効率化すると、自然にゲージ重力対応の構造が得られることを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我々の住んでいる宇宙がどのようにビッグバンから創成されたのか？人類の誰しもが一度は考えるこの疑問に答えるには、ミクロな宇宙を記述する物理法則が必要となる。そのような物理学の理論は量子重力理論と呼ばれるが、その理解は不十分で、理論物理学最大の問題の一つである。本研究では、この謎の一部を量子エンタングルメントと呼ばれるミクロな世界に特有の相関に着目して解き明かした。量子エンタングルメントは、量子コンピューターの基礎原理の一つであり、ミクロな情報の最も重要な性質である。本研究で得られた成果は、宇宙自体が巨大な量子コンピューターとみなせることを示唆しており、宇宙創成を解明する重要な鍵となる。

研究成果の概要(英文)：Gauge/Gravity correspondence is a conjecture which says that the gravitational theory of Universe is equivalent to theory of quantum matter. By combining this conjecture with a previous result obtained by the principal investigator, researchers reached the novel idea that Universe emerges from quantum entanglement, or microscopic information. In this project we made remarkable developments towards this idea. In particular, the principal investigator and his collaborators showed that a cross section of a wormhole obtained by limiting the gravitational spacetime to a sub-region is equal to the quantity called entanglement of purification, which measures two body correlations. They also found that if we optimize the efficiency of numerical computations of quantum matter, we naturally obtain the geometry of Gauge/Gravity correspondence, namely Anti de-Sitter space.

研究分野：素粒子論

キーワード：ゲージ重力対応 量子エンタングルメント 場の量子論

## 1. 研究開始当初の背景

1997年に Maldacena によって発見されたゲージ重力対応は、重力理論を量子物質の理論(場の量子論が典型例)に等価に関係づける。これによって、理論物理学最大の難問といえる重力理論の量子化の問題を、素粒子論の基礎理論である場の量子論に結び付けて、理解を深めることが可能となると期待される。しかし、ゲージ重力対応自体が何故成立するのか、非常に多くの具体的計算で検証されているにもかかわらず、その基礎原理はブラックボックスのままである。2006年に研究代表者らが発見した「笠-高柳公式」は、重力理論の幾何学を場の量子論の量子エンタングルメントに直接結びつける。量子エンタングルメントは量子論に特有の相関を意味し、エンタングルメント・エントロピーがその強さを測る量である。これによって、ゲージ重力対応の基礎原理を量子情報理論の視点から理解する新しいアプローチが国際的にも注目を集め始めるようになった。また、重力理論の宇宙は量子ビットから創発するという考え方も生まれた。

## 2. 研究の目的

本研究の主目的は、ゲージ重力対応において重力理論と場の量子論が等価となる対応関係を量子エンタングルメントの視点から理解を深めることであり、以下の3つに細分化できる。

- (1) ゲージ重力対応における量子情報量の対応関係を従来知られているエンタングルメント・エントロピーを超えて、混合状態の相関や量子計算複雑性なども含めて拡張する。
- (2) ゲージ重力対応において重力理論の時空が、場の量子論から創発する現象を量子情報の視点から説明することで、ゲージ重力対応の基礎原理の理解を深める。
- (3) 場の量子論を厳密に解析できる量や具体例に着目してゲージ重力対応の基礎原理の理解を深める。

## 3. 研究の方法

本研究における手法は主に以下の3つである。

- (1) 場の量子論の中でも特に厳密な計算を行うことができる共形場理論を解析し、量子情報量や相関関数などの物理量を計算する。
- (2) 量子情報理論の知識、例えば、複数の量子情報量の間での等式や不等式を用いて、ゲージ重力対応を解析する。
- (3) ゲージ重力対応の重力理論を超重力理論近似で様々な具体例で直接解析する。

## 4. 研究成果

本研究の主な研究成果は以下の8つである。

### (1) 純粋化エンタングルメントの幾何学的公式の発見

研究代表者らは、ゲージ重力対応において、エンタングルメントウェッジとよばれる反ドジッター宇宙における一種のワームホールの断面積が、純粋化エンタングルメントと呼ばれる量子情報量と一致することを見出した。純粋化エンタングルメントは、混合状態の二体相関を測る量で、エンタングルメント・エントロピーの混合状態への一般化に相当し、重力理論の量子情報理論的な理解を大幅に拡大した研究成果である。Nature Physics 誌に掲載され、プレスリリースも行い、これまでに150回以上引用されている(以下被引用件数はINSPIREデータベースに基づく)。この成果で、研究代表者は国際会議で5回以上招待講演を行った。

### (2) 純粋化エンタングルメントの場の量子論における数値計算

前述の研究成果によってゲージ重力対応において重要な役割を果たすことが分かった純粋化エンタングルメントを、研究代表者らは場の量子論において初めて計算した。自由スカラー場理論を格子に離散化し、ガウシアン波動関数で書けることを利用し、具体的に純粋化に関する最小化も実行して、純粋化エンタングルメントの振る舞いを得た。その結果、同じく二体相関を測る相互情報量と比べて、振る舞いは大きく異なり、古典相関をより多く取り入れていることが分かった。また最小化の過程で、自発的な対称性の破れも起こり、これがイジング模型の量子相転移とも密接な関係にあることが分かった。この研究成果はPhysical Review Letter 誌に出版された。また最近の研究代表者らによるPhysical Review Research 誌に出版された論文では、さらに精密な数値計算の結果を得て、(1)で見出した幾何学的公式を再現することが確かめられた。

### (3) 経路積分の効率化の手法の開拓

研究代表者らは、共形場理論の局所スケール対称性を利用して、得られる量子状態を変えずに経路積分を離散化した場合の格子構造を粗視化できることに着目し、経路積分の効率化の手法を提案し、その後の研究でこの手法を開拓した。効率化は離散化した数値計算のコストを下げることを意味し、その結果、もともと平坦な空間上の経路積分が、反ドジッター空間における経路積分に変形される。これは丁度、ゲージ重力理論における反ドジッター時空の時刻一定面に相当すると期待され、ゲージ重力理論の基礎原理の一端を解明したと言える。この研究成果のレター論文は *Physical Review Letter* 誌に掲載された。この成果で、研究代表者は 2017 年のストリングズ国際会議にて招待講演を行った。その後、研究代表者らは、この経路積分の効率化を量子計算の複雑性に結びつけ、その *JHEP* 誌に掲載された論文は 180 回以上引用されている。また、この手法を用いて純粋化エンタングルメントを二次元共形場理論に対して計算して、その幾何学公式を再現することにも研究代表者らは成功し、*Physical Review Letter* 誌に掲載された。

### (4) エンタングルメントウェッジの共形場理論からの導出

ゲージ重力対応において、場の量子論の与えられた領域に重力理論のどの領域が対応するのか、という基本的な問題の解答がエンタングルメントウェッジである。しかし、この幾何学的対応関係は反ドジッター時空の幾何を仮定して理解されており、共形場理論からの直接的な導出はこれまで得られていなかった。研究代表者らは、量子情報計量の考え方を導入することで、共形場理論からのエンタングルメントウェッジの直接的な導出を与えた。この論文のレター版は *Physical Review Letter* 誌に掲載され、研究代表者は、この研究成果に関して、国際会議で 5 回以上招待講演を行った。

### (5) 共形場理論からの ETH の導出

ゲージ重力対応において古典的な重力理論は、極めて強く相互作用する共形場理論に対応する。このような共形場理論はホログラフィック共形場理論と呼ばれ、最大の量子カオス性を示すことがゲージ重力対応から予想される。量子カオス性は状態の量子情報的性質とも密接に関係し、ETH (Eigenstate Thermalization Hypothesis) とよばれる性質で端的に表される。研究代表者と研究分担者の疋田は共同で、この ETH の性質を共形場理論のモジュラーブートストラップ関係式から導出した。特に強結合の共形場理論では、ETH が比較的低エネルギーでも成立することを明らかにした。

### (6) 擬エントロピーの導入とその幾何学公式

ゲージ重力対応で、ユークリッド計量の空間と共形場理論の対応を考えたときに、ユークリッド時間（虚時間）が時間に依存するような場合に、極小曲面の面積がエンタングルメント・エントロピーを一般化した量（擬エントロピー）に一致することを研究代表者らは見出した。この擬エントロピーは、始状態と終状態に依存する特徴を持ち、二つの量子状態を比較することにも利用できる。実際に、その後、研究代表者らが *Physical Review Letter* 誌に出版したレター論文では、この擬エントロピーをイジング模型や自由スカラー場理論に対して、数値計算し、二つの違う量子相を識別できることを見出した。また、擬エントロピーとエンタングルメント・エントロピーの差が興味深い量であることが分かり、同じ量子相では、その差は常に負になるという性質を明らかにした。

(7) 三次元高階スピン重力の幾何を調べるには、ゲージ不変な Wilson ラインが最も有用であり、特殊な場合はエンタングルメント・エントロピーの計算と等価になる。ところが、Wilson ラインに付随する量子重力の取り扱いについて、研究者の間で混乱が生じていた。一般に重力理論では、量子効果の計算で生じる無限大を繰り込む処方箋が確立しておらず、最大の問題点となっていた。研究分担者の疋田らは、AdS/CFT 双対な 2 次元共形場理論における無矛盾性から、量子重力の効果を取り扱う処方箋を提案し、混乱の解消に成功した。その処方箋から、共形場理論側で新たな物理量も得た。

(8) 粗視化に伴う理論の変化を記述するくりこみ群の流れの下で理論の有効な自由度は単調減少すると期待されるが、このような自由度を測るための具体的な指標が量子エンタングルメントを使って構成できることが近年明らかになった。一方、点粒子では無く拡がりを持った欠損演算子が存在する場の量子論では欠損演算子に局在化したくりこみ群の流れを起こすことができる。このようなくりこみ群の下で欠損演算子上の有効な自由度が単調減少するかどうか、またその自由度は量子エンタングルメントで測ることができるのかは良く分かっていない。研究分担者の西岡らは、量子エンタングルメントは欠損演算子入りの共形場理論の有効自由度を測る良い指標とはならないことを示した。また量子エンタングルメントに代わるより良い指標についての新たな予想を提唱した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計54件（うち査読付論文 54件 / うち国際共著 15件 / うちオープンアクセス 49件）

1. 著者名 Akai Ibrahim, Kusuki Yuya, Shiba Noburo, Takayanagi Tadashi, Wei Zixia	4. 巻 126
2. 論文標題 Entanglement Entropy in a Holographic Moving Mirror and the Page Curve	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.126.061604	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Mollabashi Ali, Shiba Noburo, Takayanagi Tadashi, Tamaoka Kotaro, Wei Zixia	4. 巻 126
2. 論文標題 Pseudo-Entropy in Free Quantum Field Theories	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.126.081601	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Boruch Jan, Caputa Pawel, Takayanagi Tadashi	4. 巻 103
2. 論文標題 Path integral optimization from Hartle-Hawking wave function	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.103.046017	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Camargo Hugo A., Hackl Lucas, Heller Michal P., Jahn Alexander, Takayanagi Tadashi, Windt Bennet	4. 巻 3
2. 論文標題 Entanglement and complexity of purification in (1+1)-dimensional free conformal field theories	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.3.013248	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Akal Ibrahim, Kusuki Yuya, Takayanagi Tadashi, Wei Zixia	4. 巻 102
2. 論文標題 Codimension-two holography for wedges	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.102.126007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kusuki Yuya, Suzuki Yuki, Takayanagi Tadashi, Umemoto Koji	4. 巻 2020
2. 論文標題 Looking at shadows of entanglement wedges	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptaa152	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nakata Yoshifumi, Takayanagi Tadashi, Taki Yusuke, Tamaoka Kotaro, Wei Zixia	4. 巻 103
2. 論文標題 New holographic generalization of entanglement entropy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.103.026005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Creutzig Thomas, Genra Naoki, Hikida Yasuaki, Liu Tianshu	4. 巻 957
2. 論文標題 Correspondences among CFTs with different W-algebra symmetry	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Physics B	6. 最初と最後の頁 115104 ~ 115104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nuclphysb.2020.115104	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Hikida Yasuaki, Liu Tianshu	4. 巻 2020
2. 論文標題 Correlation functions of symmetric orbifold from AdS3 string theory	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP09(2020)157	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Creutzig Thomas, Hikida Yasuaki	4. 巻 2021
2. 論文標題 Higher rank FZZ-dualities	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP02(2021)140	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Kobayashi Nozomu, Nishioka Tatsuma, Okuyama Yoshitaka	4. 巻 2020
2. 論文標題 Regge OPE blocks and light-ray operators	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP11(2020)040	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Goto Kanato, Nagano Lento, Nishioka Tatsuma, Okuda Takuya	4. 巻 2020
2. 論文標題 Janus interface entropy and Calabi ' s diastasis in four-dimensional $\mathcal{N} = 2$ superconformal field theories	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP08(2020)048	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Chen Heng-Yu, Chen Lung-Chuan, Kobayashi Nozomu, Nishioka Tatsuma	4. 巻 2020
2. 論文標題 The gravity dual of Lorentzian OPE blocks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP04(2020)139	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Takayanagi Tadashi, Tamaoka Kotaro	4. 巻 2020
2. 論文標題 Gravity edges modes and Hayward term	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 167
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP02(2020)167	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 dolfo Del Campo, Tadashi Takayanagi	4. 巻 2020
2. 論文標題 Decoherence in Conformal Field Theory	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 170
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP02(2020)170	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Bhattacharyya Arpan, Jahn Alexander, Takayanagi Tadashi, Umemoto Koji	4. 巻 122
2. 論文標題 Entanglement of Purification in Many Body Systems and Symmetry Breaking	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 201601
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.122.201601	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Suzuki Yuki, Takayanagi Tadashi, Umemoto Koji	4. 巻 123
2. 論文標題 Entanglement Wedges from the Information Metric in Conformal Field Theories	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 221601
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.123.221601	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Bhattacharyya Arpan, Takayanagi Tadashi, Umemoto Koji	4. 巻 2019
2. 論文標題 Universal local operator quenches and entanglement entropy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP11(2019)107	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Caputa Pawel, Numasawa Tokiro, Shimaji Teppei, Takayanagi Tadashi, Wei Zixia	4. 巻 2019
2. 論文標題 Double local quenches in 2D CFTs and gravitational force	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP09(2019)018	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Creutzig Thomas, Hikida Yasuaki, Uetoko Takahiro	4. 巻 2019
2. 論文標題 Rectangular W-algebras of types $so(M)$ and $sp(2M)$ and dual coset CFTs	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP10(2019)023	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する



1. 著者名 Creutzig Thomas、Hikida Yasuaki	4. 巻 100
2. 論文標題 Rectangular W algebras and superalgebras and their representations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 86008
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.100.086008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Bhattacharyya Arpan、Takayanagi Tadashi、Umemoto Koji	4. 巻 2018
2. 論文標題 Entanglement of purification in free scalar field theories	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 132
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP04(2018)132	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Bhattacharyya Arpan、Caputa Pawel、Das Sumit R.、Kundu Nilay、Miyaji Masamichi、Takayanagi Tadashi	4. 巻 2018
2. 論文標題 Path-integral complexity for perturbed CFTs	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP07(2018)086	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Hikida Yasuaki、Kusuki Yuya、Takayanagi Tadashi	4. 巻 98
2. 論文標題 Eigenstate thermalization hypothesis and modular invariance of two-dimensional conformal field theories	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 26003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.98.026003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takayanagi Tadashi, Ugajin Tomonori, Umemoto Koji	4. 巻 2018
2. 論文標題 Towards an entanglement measure for mixed states in CFTs based on relative entropy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 166
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP10(2018)166	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takayanagi Tadashi	4. 巻 2018
2. 論文標題 Holographic spacetimes as quantum circuits of path-integrations	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP12(2018)048	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shimaji Teppei, Takayanagi Tadashi, Wei Zixia	4. 巻 2019
2. 論文標題 Holographic quantum circuits from splitting/joining local quenches	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 165
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP03(2019)165	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Caputa Pawel, Miyaji Masamichi, Takayanagi Tadashi, Umemoto Koji	4. 巻 122
2. 論文標題 Holographic Entanglement of Purification from Conformal Field Theories	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 111601
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.122.111601	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nishioka Tatsuma	4. 巻 90
2. 論文標題 Entanglement entropy: Holography and renormalization group	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Reviews of Modern Physics	6. 最初と最後の頁 35007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/RevModPhys.90.035007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kobayashi Nozomu, Nishioka Tatsuma	4. 巻 2018
2. 論文標題 Spinning conformal defects	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP09(2018)134	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kobayashi Nozomu, Nishioka Tatsuma, Sato Yoshiki, Watanabe Kento	4. 巻 2019
2. 論文標題 Towards a C-theorem in defect CFT	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP01(2019)039	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hikida Yasuaki, Uetoko Takahiro	4. 巻 97
2. 論文標題 Conformal blocks from Wilson lines with loop corrections	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 86014
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.97.086014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hikida Yasuaki、Uetoko Takahiro	4. 巻 2018
2. 論文標題 Superconformal blocks from Wilson lines with loop corrections	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP08(2018)101	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Creutzig Thomas、Hikida Yasuaki	4. 巻 2019
2. 論文標題 Rectangular W-algebras, extended higher spin gravity and dual coset CFTs	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 147
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP02(2019)147	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Caputa Pawel、Kusuki Yuya、Takayanagi Tadashi、Watanabe Kento	4. 巻 50
2. 論文標題 Evolution of entanglement entropy in orbifold CFTs	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Physics A	6. 最初と最後の頁 244001 ~ 244001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1751-8121/aa6e08	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Caputa, Pawel; Kundu, Nilay; Miyaji, Masamichi; Takayanagi, Tadashi; Watanabe, Kento	4. 巻 119
2. 論文標題 Anti-de Sitter Space from Optimization of Path Integrals in Conformal Field Theories	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 071602 ~ 071602
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.119.071602	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yuya Kusuku, Tadashi Takayanagi, and Koji Umemoto	4. 巻 1706
2. 論文標題 Holographic Entanglement Entropy on Generic Time Slices	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 021 ~ 021
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP06(2017)021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Caputa Pawel, Kusuki Yuya, Takayanagi Tadashi, Watanabe Kento	4. 巻 96
2. 論文標題 Out-of-Time-Ordered Correlators in $(T^2)^n / Z_n$	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 046020 ~ 046020
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.96.046020	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kanato Goto and Tadashi Takayanagi	4. 巻 1710
2. 論文標題 CFT descriptions of bulk local states in the AdS black holes	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 153 ~ 153
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP10(2017)153	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Jahn Alexander, Takayanagi Tadashi	4. 巻 51
2. 論文標題 Holographic entanglement entropy of local quenches in AdS4/CFT3: a finite-element approach	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Physics A	6. 最初と最後の頁 015401 ~ 015401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1751-8121/aa8afa	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Paweł Caputa, Nilay Kundu, Masamichi Miyaji, Tadashi Takayanagi, Kento Watanabe	4. 巻 1711
2. 論文標題 Liouville Action as Path-Integral Complexity: From Continuous Tensor Networks to AdS/CFT	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 097 ~ 097
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP11(2017)097	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yuya Kusuki and Tadashi Takayanagi	4. 巻 1801
2. 論文標題 Renyi entropy for local quenches in 2D CFT from numerical conformal blocks	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 115
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP01(2018)115	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 M. Fukuda, N. Kobayashi, T. Nishioka	4. 巻 1801
2. 論文標題 Operator product expansion for conformal defects	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 013 ~ 013
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP01(2018)013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 T. Nishioka, I. Yaakov	4. 巻 1711
2. 論文標題 Supersymmetric R&eacute;nyi entropy and defect operators	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 017 ~ 017
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP11(2017)071	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hikida Yasuaki, Uetoko Takahiro	4. 巻 3
2. 論文標題 Three Point Functions in Higher Spin AdS3 Holography with 1/N Corrections	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Universe	6. 最初と最後の頁 70 ~ 70
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/universe3040070	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Y. Hikida, T. Uetoko	4. 巻 11
2. 論文標題 Correlators in higher spin AdS <sub>3</sub> holography from Wilson lines	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 113B03
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptx154	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 T. Numasawa, N. Shiba, T. Takayanagi, K. Watanabe	4. 巻 1608
2. 論文標題 EPR Pairs, Local Projections and Quantum Teleportation in Holography	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP08(2016)077	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 K. Goto, M. Miyaji, T. Takayanagi	4. 巻 1609
2. 論文標題 Causal Evolutions of Bulk Local Excitations from CFT	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP09(2016)130	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 M. Miyaji, T. Takayanagi, K. Watanabe	4. 巻 95
2. 論文標題 From path integrals to tensor networks for the AdS/CFT correspondence	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.95.066004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Y. Hikida	4. 巻 94
2. 論文標題 The masses of higher spin fields on AdS <sub>4</sub> and conformal perturbation theory	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.94.026004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Y. Hikida and T. Wada	4. 巻 1701
2. 論文標題 Anomalous dimensions of higher spin currents in large N CFTs	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP01(2017)032	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Y. Hikida and T. Wada	4. 巻 1703
2. 論文標題 Marginal deformations of 3d supersymmetric U(N) model and broken higher spin symmetry	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP03(2017)047	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -



1. 著者名 Y. Nakaguchi and T. Nishioka	4. 巻 1612
2. 論文標題 A holographic proof of Renyi entropic inequalities	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP12(2016)129	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 C. Herzog, T. Nishioka	4. 巻 1612
2. 論文標題 The Edge of Entanglement: Getting the Boundary Right for Non-Minimally Coupled Scalar Fields	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP12(2016)138	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

[学会発表] 計54件 (うち招待講演 53件 / うち国際学会 52件)

1. 発表者名 Tadashi Takayanagi
2. 発表標題 Page Curve from Holographic Moving Mirror and End of the World brane
3. 学会等名 Online workshop on Quantum Gravity, Holography and Quantum Information (主催国: ドイツ) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tadashi Takayanagi
2. 発表標題 Page Curve from Holographic Moving Mirror
3. 学会等名 HoloTube Webinar The Applied Holography Webinars Network (主催国: スペイン) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tadashi Takayanagi
2. 発表標題 Quantum Entanglement and Holography
3. 学会等名 The 15th Kavli Asian Winter School on Strings, Particles and Cosmology (主催国：中国) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tadashi Takayanagi
2. 発表標題 Path-integral Optimization and AdS/CFT
3. 学会等名 TENSOR NETWORKS: FROM SIMULATIONS TO HOLOGRAPHY III (オンライン、主催：カナダ Perimeter研究所) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tadashi Takayanagi
2. 発表標題 Recent Progresses of AdS/BCFT
3. 学会等名 Quantum Aspects of Space-Time and Matter (オンライン、主催：ドイツ AEI研究所) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tadashi Takayanagi
2. 発表標題 Recent Progresses in Path-integral Optimization
3. 学会等名 10th International Conference on Exact Renormalization Group 2020 (オンライン、主催：京都大学基礎物理学研究所) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tadashi Takayanagi
2. 発表標題 AdS/BCFT, Entanglement Wedges and Wedge Holography
3. 学会等名 Conference on The Dual Mysteries of Gauge Theories and Gravity (オンライン、主催：インド IIT Madras) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tadashi Takayanagi
2. 発表標題 Emergence of Universe from Quantum Entanglement
3. 学会等名 Colloquium (Online), IIT Gandhinagar (主催国：インド) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tadashi Takayanagi
2. 発表標題 Holographic Pseudo Entropy
3. 学会等名 Online Conference "Frontiers of holographic duality", (主催：ロシア Steklov Mathematical Institute) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tadashi Takayanagi
2. 発表標題 Holographic Pseudo Entropy and Complexity
3. 学会等名 Online Workshop "Complexity from Quantum Information to Black Holes", (主催：オランダ Lorentz Center) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tatsuma Nishioka
2. 発表標題 Probing Hawking radiation through capacity of entanglement
3. 学会等名 YITP workshop Recent progress in theoretical physics based on quantum information theory (主催: 京都大学基礎物理学研究所) (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 疋田泰章, Tianshu Liu
2. 発表標題 テンションレス弦によるAdS/CFT対応の導出について
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tadashi Takayanagi
2. 発表標題 Entanglement Wedges from CFTs
3. 学会等名 Quantum Information in Quantum Gravity V, UC Davis, USA (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tadashi Takayanagi
2. 発表標題 Entanglement Wedges from Information Metric in Conformal Field Theories
3. 学会等名 KIAS-YITP 2019, KIAS, Seoul, Korea (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tadashi Takayanagi
2. 発表標題 Entanglement Wedges from Information Metric in Conformal Field Theories
3. 学会等名 Entangle This: Chaos, Order and Qubits, UAM, IFT, Madrid, Spain (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tadashi Takayanagi
2. 発表標題 Entanglement Wedges and AdS/CFT
3. 学会等名 Gravity, Information and Fundamental Symmetries, Max Planck Institute of Quantum Optics, Garching, Germany (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tadashi Takayanagi
2. 発表標題 Looking at Shadows of Entanglement Wedges
3. 学会等名 Geometry from the Quantum, KITP, Santa Barbara, USA (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tadashi Takayanagi
2. 発表標題 Quantum Entanglement and Holography
3. 学会等名 Lectures at Spring School on Superstring Theory and Related Topics, Trieste, Italy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tadashi Takayanagi
2. 発表標題 Entanglement of Purification and Holography
3. 学会等名 Tensor Networks from Simulation to Holography II, Berlin, DESY Zeuthen, Germany (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tadashi Takayanagi
2. 発表標題 Recent Developments in AdS/CFT
3. 学会等名 The 4th KMI International Symposium, KMI, Nagoya (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tadashi Takayanagi
2. 発表標題 Holographic Entanglement of Purification and CFT Dual
3. 学会等名 NCTS Annual Theory Meeting 2018: Particles, Cosmology and Strings, Hsinchu, Taiwan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tadashi Takayanagi
2. 発表標題 Holographic Entanglement of Purification and CFT Dual
3. 学会等名 KEK Theory Workshop 2018, KEK (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tadashi Takayanagi
2. 発表標題 Holographic Spacetimes as Quantum Circuits of Path-Integrations
3. 学会等名 East Asia Joint Workshop on Fields and Strings 2018, Seoul (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tadashi Takayanagi
2. 発表標題 From Black holes to Qubits through String Theoretic Microscopes
3. 学会等名 Plenary Talk, ICHEP2018, Seoul (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tadashi Takayanagi
2. 発表標題 Holographic Entanglement of Purification
3. 学会等名 Groningen Scanning New Horizons Meeting, Groningen, Netherlands (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tadashi Takayanagi
2. 発表標題 Aspects of Entanglement Evolutions under Local Excitations
3. 学会等名 AdS/CFT @ 20 and Beyond, ICTS, India (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tadashi Takayanagi
2. 発表標題 Holographic entanglement of purification
3. 学会等名 It from Qubit workshop/school, Instituto Balseiro (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tadashi Takayanagi
2. 発表標題 Path-Integral Complexity, Liouville Action and AdS/CFT
3. 学会等名 East Asia Joint Workshop on Fields and Strings 2017, KEK Theory workshop 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tadashi Takayanagi
2. 発表標題 Holographic Entanglement of Purification
3. 学会等名 20 Years Later: The Many Faces of AdS/CFT, Princeton (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tadashi Takayanagi
2. 発表標題 Holographic Entanglement and Purification
3. 学会等名 Quantum Physics of Information, KITP Program (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 Tadashi Takayanagi
2. 発表標題 Optimization of Euclidean Path-integrals in CFTs and Complexity
3. 学会等名 Quantum Information in Quantum Gravity III, UBC (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tadashi Takayanagi
2. 発表標題 Liouville Action as Computational Complexity: From Continuous Tensor Networks to AdS/CFT
3. 学会等名 Relativistic Quantum Information- North 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tadashi Takayanagi
2. 発表標題 AdS from Optimization of Path-Integrals in CFTs
3. 学会等名 Strings2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tadashi Takayanagi
2. 発表標題 AdS from Optimization of CFT Path-Integrals and Continuous Tensor Networks
3. 学会等名 Entangle This: Tensor Networks and Gravity (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tadashi Takayanagi
2. 発表標題 Two Continuous Approaches to AdS/Tensor Network duality
3. 学会等名 Tensor Networks for Quantum Field Theories II (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Nishioka
2. 発表標題 Entanglement and Supersymmetry
3. 学会等名 Workshop ``Gauge theories, supergravity and superstrings" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Nishioka
2. 発表標題 OPE for Conformal Defects and Holography
3. 学会等名 YITP Workshop ``Holography, Quantum Entanglement and Higher Spin Gravity II" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Hikida
2. 発表標題 Higher spin gauge theory, holography, and superstring theory
3. 学会等名 Universit&auml;t Hamburg - Kyoto University Symposium 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Hikida
2. 発表標題 Loop effects in higher spin theories from dual CFTs
3. 学会等名 New ideas on higher spin gravity and holography (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Hikida
2. 発表標題 Conformal blocks from Wilson lines with loop corrections
3. 学会等名 Holography, Quantum Entanglement and Higher Spin Gravity II (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Takayanagi
2. 発表標題 Emergent Spacetime from Quantum Entanglement
3. 学会等名 Universität Hamburg - Kyoto University Symposium 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Takayanagi
2. 発表標題 Quantum Operations in CFTs and Holography
3. 学会等名 Strings 2016 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 T. Takayanagi
2. 発表標題 AdS from path-integrals in CFT
3. 学会等名 String Theory: Past and Present (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Takayanagi
2. 発表標題 From path-integral to tensor networks for AdS/CFT
3. 学会等名 Frontiers in Mathematical Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Takayanagi
2. 発表標題 From Path Integrals to Tensor Networks for AdS/CFT
3. 学会等名 Recent Developments in Fields, Strings, and Gravity (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 T. Takayanagi
2. 発表標題 Aspects of Entanglement Entropy for Locally Excited States in CFTs
3. 学会等名 Entanglement and Dynamical Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 T. Takayanagi
2. 発表標題 Emergent Spacetime from Qubits via Holography
3. 学会等名 The 35th Quantum Information Technology Symposium (QIT35), (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 T. Takayanagi
2. 発表標題 Quantum Entanglement and Tensor Network Description of AdS/CFT
3. 学会等名 IGST 2016 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 T. Takayanagi
2. 発表標題 EPR Pairs, Local Projections and Quantum Teleportation in Holography
3. 学会等名 Conference on Entanglement and Non-Equilibrium Physics of Pure and Disordered Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 T. Takayanagi
2. 発表標題 Boundary States in CFTs and cMERA
3. 学会等名 International Workshop on Tensor Networks and Quantum Many-Body Problems (TNQMP2016) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Y. Hikida
2. 発表標題 Higher spin holography and Higgs phenomenon
3. 学会等名 Quantum Information in String Theory and Many-body Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 T. Nishioka
2. 発表標題 Supersymmetric Renyi entropy
3. 学会等名 Quantum Information in String Theory and Many-body Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 T. Nishioka
2. 発表標題 A Holographic Proof of Renyi Entropic Inequalities
3. 学会等名 Strings 2016 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 疋田泰章
2. 発表標題 N=3 higher spin holography and superstring theory
3. 学会等名 第11回中村誠太郎賞受賞講演 (招待講演)
4. 発表年 2017年

## 〔図書〕 計3件

1. 著者名 M. Rangamani, T. Takayanagi	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 246
3. 書名 Lecture Notes in Physics: Holographic Entanglement Entropy	

1. 著者名 疋田 泰章	4. 発行年 2020年
2. 出版社 講談社	5. 総ページ数 208
3. 書名 共形場理論入門 基礎からホログラフィへの道	

1. 著者名 須藤 彰三、岡 真、高柳 匡	4. 発行年 2020年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 136
3. 書名 量子エンタングルメントから創発する宇宙	

## 〔産業財産権〕

## 〔その他〕

<p>Quantum Information and String Theory 2019  <a href="http://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/~qist2019/index.php">http://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/~qist2019/index.php</a>  Holography and Quantum Dynamics  <a href="http://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/~tadashi.takayanagi/workshop2017Nov.html">http://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/~tadashi.takayanagi/workshop2017Nov.html</a>  Holography, Entanglement and Higherspin Gravity II  <a href="http://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/~tadashi.takayanagi/wsMarch2018/workshop2018Mar.html">http://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/~tadashi.takayanagi/wsMarch2018/workshop2018Mar.html</a>  私の研究の紹介（非専門家向け）  <a href="http://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/~tadashi.takayanagi/research2.html">http://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/~tadashi.takayanagi/research2.html</a></p>
---

## 6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	疋田 泰章  (Hikida Yasuaki)  (80567462)	京都大学・基礎物理学研究所・特定准教授    (14301)	
研究分担者	西岡 辰磨  (Nishioka Tatsuma)  (90747445)	東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・助教    (12601)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	笠 真  (Ryu Shinsei)		
研究協力者	キャプタ パベル  (Caputa Pawel)		
研究協力者	クンド ニライ  (Kundu Nilay)		
研究協力者	芝 暢郎  (Shba Noburo)		
研究協力者	宮地 真路  (Miyaji Masamichi)		



6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	渡邊 賢人  (Watanabe Kento)		
研究協力者	楠亀 裕哉  (Kusuki Yuya)		
研究協力者	梅本 滉嗣  (Umemoto Koji)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計4件

国際研究集会 Quantum Information and String Theory	開催年 2019年～2019年
国際研究集会 Holography and Quantum Dynamics	開催年 2017年～2017年
国際研究集会 Holography, Quantum Entanglement and Higher Spin Gravity II	開催年 2018年～2018年
国際研究集会 Holography, Quantum Entanglement and Higher Spin Gravity	開催年 2017年～2017年

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
ドイツ	Free University Berlin	Albert Einstein Institute, Potsdam	Max Planck Institute Munich	
カナダ	マギル大学	アルバータ大学		
米国	ケンタッキー大学			
ポーランド	Warsaw University			