

0.1 横山（順）研究室

当研究室はビッグバン宇宙国際研究センターを本拠として、一般相対性理論、場の量子論、素粒子物理学等の基礎物理学理論に基づいて宇宙論と重力理論の理論的研究を幅広く行うとともに、理学部物理学教室の教育と研究に参画しています。また、大型低温重力波検出器 KAGRA の稼働を控え、近年重力波データ解析の研究と人材育成にも乗り出していますが、こちらは昨年度にビッグバン宇宙国際研究センターに発足した Cannon 研究室に引き継がれ、今日に至っています。

0.1.1 初期宇宙論

G インフレーションの再加熱

初期特異点無き宇宙創生論を可能とする上で、エネルギー条件を安定的に破れる G インフレーションは有力な仮説であるが、その再加熱機構は場の振動を伴わないため、これまでまったく重力的粒子生成によるもののみ考えられてきた。その結果、再加熱温度がかなり低くなってしまいう問題点があった。本研究ではインフレーションを起こす場と他の場の間の微分相互作用を考慮することによって、インフレーション終了時の粒子生成をボゴリューボフ変換の方法で求めた。その結果、微分相互作用のスケールがプランクスケールより低ければ、このチャンネルが再加熱を支配することが示された。[1, 50]

インフレーション起源の超巨大ブラックホール

高赤方偏移 ($z \sim 7$) で、太陽質量の百億倍を超える超巨大ブラックホールが見つかった。なぜそのような初期宇宙の時代ですでにそんなに重いブラックホールが存在し得るのか、その説明はまだついていない。原始ブラックホールであれば、 $z \sim 7$ より遙か昔に一瞬にして大質量のブラックホール形成が可能であるが、このシナリオは宇宙マイクロ波背景放射のスペクトル歪みに対する制限と矛盾することも知られていた。原始ブラックホールを作り出すに十分なほどの密度ゆらぎがあると、観測と矛盾するほどのスペクトル歪みが作られてしまうからである。本研究では、この帰結は揺らぎがガウス分布に従う場合は正しいが、揺らぎが強い非ガウス性を有すれば、大質量の原始ブラックホールができたとしても、スペクトル歪みの生成は必ずしも起こるものではないことを示すとともに、そのような強い非ガウス性を持つ原始揺らぎを作り出す具体的なインフレーションモデルを提案した。[2]

Hawking-Moss 転移の解釈

Hawking-Moss(HM) インスタントンは、あるエネルギー密度で一様に満たされた宇宙が、より大きな

エネルギー密度を持つ宇宙へと転移する解として知られており、宇宙創生のシナリオのみならず、ゼロでない一様なエネルギー密度を持つ宇宙の未来について論じる上でも、本質的に重要であると考えられている。われわれは、HM 転移率は重力効果 (宇宙膨張) で現れる地平面が持つ Bekenstein エントロピーの変化分として導出できることを指摘した。HM 転移は指数関数的に強く抑制されていることが知られているが、これは HM 転移が宇宙のエントロピーを減少させるような転移であるためであると理解できる。このように以前から考えられていた重力の熱力学的な解釈は、宇宙の進化においても重要な知見をもたらすことを明らかにした。[3]

de Sitter 時空中の Schwinger 効果

de Sitter 時空中における電磁場と荷電粒子の理論 (QED) の振る舞いについて研究を行い、de Sitter 時空中での Schwinger 効果が誘起する電流の振る舞いが、電荷の持つスピンや電荷の質量によって異なることを見出した [18, 17]。特に、外部電場が弱い場合に、フェルミオンが誘起する電流が負になる (= 電気伝導率の値が負になる) という結果を得た。引き続き、上記結果の物理的解釈を与えることを当面の目標に、以下の研究を行った。(i) 物性系との関わり: 当該研究において示唆される負の電気伝導 (微分電気伝導度ではなく電気伝導率自体が負の値をとる) は、現実の特別な強誘電体の内部で実現することが知られている。本研究で取り扱っているような重力場と電場から作用を受ける荷電粒子対も、分極が自発的に大きくなっていくような系であり、強誘電体との類似性が見受けられる。(ii) 一般の背景場における有効作用の振る舞い: 強誘電体に見られるような自発的対称性の破れを記述するための基本的な道具立ての一つに、場の有効作用を調べることが挙げられる。特に、一般の (弱い) 電磁場中での有効作用を計算することで、荷電粒子の場の運動を決めるポテンシャルが電磁場によってどのように変形するかが分かる。これまでに、ゲージ不変な有効作用が従う非摂動的繰り込み群方程式の導出を行った。

0.1.2 観測的宇宙論

CMB における原始重力波の非ガウス性の観測可能性

2 階の運動方程式をもつ最も一般的な単一スカラー場インフレーションにおいて、原始重力波の 3 点相関は 2 つの形状関数のみで表せることが明らかになっている。ひとつは一般相対論においても現れるような、重力に本来から備わっている 3 点相関であり、もうひとつはアインシュタインテンソルにインフラトンが結合するときにはじめて現れる 3 点相関である。この原始重力波の 3 点相関は宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の 3 点相関をつくるため、ここでは将来的な観測によって検出できる条件を求めた。結果として、前者の 3 点相関は常に小さすぎて検出できない

いが、後者は結合の仕方によっては検出可能であることが明らかになった。[22, 52]

銀河内 γ 線放射による原始ブラックホールの制限

質量 $5 \times 10^{14} \text{g}$ より軽い原始ブラックホールはホーキング放射によって今日までに蒸発する。この臨界値付近の質量を持った原始ブラックホールは、高エネルギーガンマ線を放出しながら蒸発するので、銀河内外のガンマ線放射に関する観測的制限によって、その存在量が制限される。とくに銀河内のガンマ線については、現在蒸発し終わるブラックホールが主要な寄与をなすため、原始ブラックホールの質量関数依存性を正しく明らかにすることが重要である。本研究ではこれまで対数質量依存性しか考えられていなかった質量関数を、現実的なものに置き換え、銀河内のガンマ線による原始ブラックホールの存在可能量に対する正しい制限をはじめて求めた。[4]

0.1.3 重力理論

高階微分項を含む無ゴースト理論の構築

ラグランジアンが、非縮退な形で力学変数の時間二階微分を含むと、ゴーストと呼ばれる負のエネルギーを持つ自由度が必ず現れ、理論の安定性が保証されなくなることが知られている (オストログラドスキーの定理)。一方、縮退な形であれば、ゴーストを除去することが可能であることも知られていたが、その理解はある単純なクラスのラグランジアンに限定されていた。本研究では、その限定を取り外し、任意のラグランジアンに対し、高階微分に起因するゴーストを除去するためにラグランジアンが満たすべき必要十分条件を導出した。[5]

重力子が質量を持つ理論におけるインフレーション

Bigravity 理論は、重力子が質量を持つという性質があり、長スケールで重力が変更を受けるため、ダークエネルギー候補の一つと考えられている。この理論が実際の宇宙観測と無矛盾に成立し得るかについて、特に初期宇宙インフレーションに着目して議論した。我々は、bigravity のもとでテンソル型、スカラー型のゆらぎの性質がどのように変わるのかを解析的に議論し、どのような bigravity モデルを取っても、テンソルスカラー比が大きくなることを示した。このことは、インフレーションモデルに対する観測からの制限に対し、bigravity のモデルの不定性が影響を与えないことを意味している。[6]

作用段階でのゲージ固定の正当性

スカラーテンソル理論の自由度解析をする際、作用の段階でゲージ固定を行うことにより、解析が単

純化されることがある。一方で、作用の段階でゲージを固定すると、ゲージ固定された変数の運動方程式が失われてしまうため、そのような解析の正当性は自明でない。そこで我々は、ゲージ固定が完全ならば、元の作用から導かれる Euler-Lagrange 方程式がゲージ固定された作用から得られるものと等価になることを示し、作用段階での完全ゲージ固定の正当性を明らかにした。[7]

シフト対称性を持つ Horndeski 理論におけるブラックホール摂動論

Horndeski 理論は、場の方程式が高々2階となるような最も一般的なスカラーテンソル理論である。この理論の内、スカラー場に関するシフト対称性を持つようなサブクラスでは、スカラー場が時間に線型に依存しつつ計量が静的球対称となる解が許される。我々はこのようなブラックホール解の奇パリティ摂動のモード解析を行い、多くの場合にホライズン近傍でゴーストか勾配不安定性のどちらかが必ず現れることを明らかにした。一方、特殊な場合として、一般相対論に非正準スカラー場を含んだような理論では、奇パリティのモード解析の段階では解が安定となることを示した。[8]

ブラックホールの無矛盾な蒸発過程

2012 年に Almheiri, Marolf, Polchinski, Sully らは、BH の終状態が始状態の情報を含んでいるためには、Hawking 粒子対の持つ量子もつれが切れる必要があることを指摘した。しかし、その量子もつれが切れる無矛盾な機構は従来まで知られていなかった (AMPS パラドックス)。本研究では BH 内側に向かって落ちていく量子揺らぎは、量子論的な性質を失いやすくなる傾向にあることを示した。これは、de Sitter 時空上の量子揺らぎの振る舞いとよく対応しており、宇宙論の分野で十分に研究されている機構である。このように、宇宙論の分野で得られた知見を応用することで、BH の情報問題 (AMPS パラドックス) という、より基礎的な問題に寄与した。[25, 72, 73]

加速度運動する荷電粒子による量子論的放射

電子が加速度運動した場合には、電磁場が熱的に励起され、電子と電磁場の相互作用が電子の軌道に熱的な摂動を与える。したがって電子は、加速度運動による制動放射とは別に、Unruh 効果を起源とする量子的放射を出すことが予想される。点粒子 (電荷を持った質点) が電磁場と相互作用している系において、電子がどのようなエネルギーフラックスで放射するのかを理論的に調べ、Unruh 効果由来の放射は主に負のエネルギーを持つことを明らかにした。場の量子論では、負のエネルギー密度が局所的に生じ得ることは既に知られており、カシミール効果として実際に観測されている。Unruh 効果を起源とする電子の

量子的放射が理論通りに観測されれば、Unruh 効果の初の観測となり得る。一方この量子的な放射においては、電子の局所的な摂動だけでなく、Minkowski 真空の非局所的な相関も本質的な役割を果たしている可能性があることを指摘した。[9, 20]

スカラー・テンソル理論における中性子星

太陽の約二倍の質量を持つ中性子星が存在することが観測的に知られているが、一般相対性理論の枠内では、中性子星内部でストレンジクォークを含む物質が出現する場合、この重い中性子星の存在を説明することは難しい。そこで、中性子星内部で自発的スカラー化という現象を起こすスカラーテンソル理論において、中性子星の最大質量が増加し得るかを調べた。まず、スカラー場のコンプトン波長が 2km 以上の場合における中性子星の構造を数値計算により求めた。その結果、この理論において中性子星の最大質量が増加し、二太陽質量の中性子星の存在を容易に説明できることを明らかにした。また、コンプトン波長がより短い場合は数値的に運動方程式を解くことが困難になるが、この問題を解決する準解析的手法を開発し、コンプトン波長が短い極限での中性子星の構造を求めることに成功した。[21, 53, 54, 55]

0.1.4 重力波

LIGO と原始ブラックホール

LIGO が検出した重力波イベント GW150914 は、原始ブラックホール連星の合体で生じたものであるというシナリオを提唱した。90年代に中村らによって指摘された連星形成のメカニズムに基づき、30太陽質量の原始ブラックホールの連星形成率及び宇宙年齢で連星が合体するイベント率を評価した。その結果、原始ブラックホールの存在量がダークマターの 0.1%程度であれば、LIGO によって見積もられたイベント率を説明できることが示された。この研究によって、同時に全ダークマターとしての30倍太陽質量の原始ブラックホールの可能性が、重力波の観測だけから初めて棄却された。[10]

原始ブラックホール非検出から帰結される原始重力波への制限

大振幅の原始重力波は、ホライズン再突入時に二次摂動の効果により原始ブラックホールを生成する。一方、原始ブラックホールにはその存在量に上限が課されているので、このことを用いて原始重力波の振幅に上限を課することができる。この簡単なアイデアに基づき、宇宙論的二次摂動論を展開し、広域な周波数域の原始重力波の振幅に対して、定量的な上限を与えた。得られた制限は、従来のビッグバン元素合成や宇宙マイクロ波背景放射の制限とは独立で

あり、また初期宇宙には超ホライズンスケールに存在した原始重力波に対しては、既存の制限よりも厳しい制限を与えることが分かった。[11]

Pre-DECIGO の地球周回軌道における波形パラメータの決定精度

Pre-DECIGO は、基線長 100km の衛星型重力波望遠鏡であり、互いに 100km 離れた三機の人工衛星から構成されている。DECIGO の技術検証用の小型望遠鏡であり、大質量ブラックホール連星からの重力波を主なターゲットとしている。これまで、Pre-DECIGO の軌道候補としては太陽周回軌道が考えられてきた。本研究では、Pre-DECIGO を、高度 2000km・地球一周約二時間の地球周回軌道に投入した場合、太陽周回軌道と比較してどのような優位点があるのかを調査した。重力波源として昨年発見された GW150914 と同様の 30 太陽質量同士のブラックホール連星からのインスパイラル重力波を仮定し、フィッシャー解析を用いてパラメータ決定精度を評価した。この際、波源方向や軌道傾斜角等の角度パラメータはモンテカルロ・シミュレーションを用いて平均化した。結果として方向決定精度は、基本的には公転軌道で決定するため、両者にほぼ差異がないことが判明した。一方、光度距離の決定精度は、地球周回軌道にした場合、1 桁以上向上することが判明した。これは、地球周回軌道では Pre-DECIGO の重力波への応答が激しく時間変化し、重力波の持つ 2 つの偏光モードの縮退が解けるためであった。また、信号対雑音比に関しても、不感な方向が減り平均値がわずかに向上することを明らかにした。[12]

全天連続重力波探査におけるライン雑音除去の新手法

カイ二乗識別子を用いた全天連続波探査におけるライン雑音除去法を新たに提案した。本研究では、雑音と信号の振幅の時間変化が異なることに着目することで、新たなライン雑音除去法を開発した。全天探査では、計算量削減のため、約 1 日ごとに $\mathcal{F}$ -statistic を計算し、それらをスタックした量を検出統計量として扱う。そこで、1 日ごとに測定される $\mathcal{F}$ -statistic の値が、真の信号の場合に期待される $\mathcal{F}$ -statistic の値とどの程度適合しているかを基準とし、信号と雑音を識別した。この際、カイ二乗識別子を導入し、LIGO S5 データを用いてその性能を検証した。その結果、ライン雑音で汚れた周波数帯において効率よく誤検出率を抑えられることを確認した。さらに、観測データに疑似的に重力波信号を注入することで、信号検出率が向上することを明らかにした。[23, 26, 27, 28]

Phase-II TOBA を用いた背景重力波探査

ねじれ振り子型重力波検出器 TOBA は地上低周波数帯重力波検出器であり、二本の直交する棒状のテストマスから構成され、検出器平面上の二本のマ

スの角度変動から重力波が読み取られる。TOBA は KAGRA や LIGO などの大型レーザー干渉計では探索できない低周波数領域に強みを持つ検出器である。今回新たに作製された Phase-II TOBA を用いて、未探索の周波数領域 1Hz から 5Hz の 4Hz バンドにわたって、データ長約 1 日の背景重力波探索を行った。結果として、統計的に有意な重力波信号は発見されず、2.58Hz において最も厳しい頻度主義者の振幅上限値 $\Omega_{\text{gw}} h_0^2 \leq 6.0 \times 10^{-18}$ を信頼度 95% で課した。[13, 14]

iKAGRA データを用いた既知パルサーからの連続重力波探索

2016 年 3 月から 4 月の約 3 週間にわたり、iKAGRA が常温で試験稼働した。そこから得たデータを用いて、電磁波観測で既知の孤立したパルサーから放射される連続重力波を探索した。パルサーに関するパラメータは既に電磁波観測により測定されており、必要なテンプレートはただ一つである。この場合、全天探索とは異なり、頻度主義者の最適な探索手法である $\mathcal{F}$ -statistic 法による探索が計算コストの面で可能である。本研究では、KAGRA 解析パイプラインの実装とその動作確認を、iKAGRA データを用いて行った。その結果、連続重力波の典型的な振幅上限値として $\sim 10^{-18}$ を得た。また、最も厳しい振幅上限値はパルサー J0024-7204L に対応する周波数 460.17Hz で 7.5×10^{-19} であった。これは期待通りの値であり雑音のみの場合の解析パイプラインが正しく作動していることが確かめられた。さらに、信号注入による試験を行い、人工的に生成した重力波信号を正しく検出できることも確認した。[23, 29, 30, 56]

独立成分分析を用いた非ガウス雑音の除去

重力波データ解析の多くの手法は雑音の定常ガウス性を仮定しているが、実際のデータにはグリッチ雑音をはじめとした多くの非ガウス雑音が存在し、解析の妨げとなる。本研究では地面振動計などの重力波チャンネル以外の環境チャンネルの出力を使い、そこに独立成分分析という解析手法を用いることで、重力波チャンネルに含まれる非ガウス雑音を除去する方法を提案した。さらに数値シミュレーションにより、この手法を用いることで重力波信号の信号対雑音比が増加することを明らかにした。[15, 31, 32, 33, 57]

<受賞>

鎌田耕平 日本物理学会第 11 回若手奨励賞 (2011 年博士課程修了)

<報文>

(原著論文)

- [1] H. Bazrafshan Moghaddam, R. Brandenberger and J. Yokoyama, “Note on Reheating in G-inflation,” *Phys. Rev. D* **95** (2017) 063529
- [2] T. Nakama, T. Suyama and J. Yokoyama, “Supermassive black holes formed by direct collapse of inflationary perturbations,” *Phys. Rev. D* **94**, 103522(2016)
- [3] N. Oshita, J. Yokoyama, “Entropic interpretation of the Hawking-Moss bounce,” *Prog. Theor. Exp. Phys.* 2016, 051E02
- [4] B. J. Carr, K. Kohri, Y. Sendouda and J. Yokoyama, “Constraints on primordial black holes from the Galactic gamma-ray background,” *Phys. Rev. D* **94** (2016) no.4, 044029
- [5] H. Motohashi, K. Noui, T. Suyama, M. Yamaguchi and D. Langlois, “Healthy degenerate theories with higher derivatives,” *JCAP* **1607**, 033(2016)
- [6] Y. Sakakihara and T. Tanaka, “Primordial fluctuations from inflation in dRGT bimetric theory of gravity,” *JCAP* **1609** (2016) no. 09, 033
- [7] H. Motohashi, T. Suyama and K. Takahashi “Fundamental theorem on gauge fixing at the action level”, *Phys. Rev. D* **94**, 124021 (2016)
- [8] K. Takahashi and T. Suyama, “Linear perturbation analysis of hairy black holes in shift-symmetric Horndeski theories: Odd-parity perturbations”, *Phys. Rev. D* **95**, 024034 (2016)
- [9] S. Iso, N. Oshita, R. Tatsukawa, K. Yamamoto, S. Zhang, “Quantum radiateon produced by the entanglement of quantum fields”, *Phys. Rev. D* **95**, 023512 (2017)
- [10] M. Sasaki, T. Suyama, T. Tanaka and S. Yokoyama, “Primordial Black Hole Scenario for the Gravitational-Wave Event GW150914,” *Phys. Rev. Lett.* **117**, 061101(2016)
- [11] T. Nakama and T. Suyama, “Primordial black holes as a novel probe of primordial gravitational waves. II: Detailed analysis,” *Phys. Rev. D* **94**, 043507(2016)
- [12] T. Nakamura, M. Ando, T. Kinugawa, H. Nakano, K. Eda, S. Sato, M. Musha, T. Akutsu, T. Tanaka, N. Seto, N. Kanda, and Y. Itoh “Pre-DECIGO can get the smoking gun to decide the astrophysical or cosmological origin of GW150914-like binary black holes,” *PTEP* **2016**, no. 9, 093E01 (2016)
- [13] Y. Kuwahara, A. Shoda, K. Eda and M. Ando, “Search for a stochastic gravitational wave background at 1-5 Hz with a torsion-bar antenna,” *Phys. Rev. D* **94**, no. 4, 042003 (2016)
- [14] A. Shoda, Y. Kuwahara, M. Ando, K. Eda, K. Tejima, Y. Aso and Y. Itoh, “Ground Based Low-Frequency Gravitational-wave Detector With Multiple Outputs,” *Phys. Rev.* **D95**, 082004 (2016)
- [15] S. Morisaki, J. Yokoyama, K. Eda and Y. Itoh, “Toward the detection of gravitational waves under non-Gaussian noises II. Independent Component Analysis,” *Proceedings of the Japan Academy ser B* **92** (2016) 336-345

- [16] J. Yokoyama, “Birth of the inflationary Universe and tensor fluctuations,” *Int. J. Mod. Phys. D* **25** (2016) no.13, 1645009
- [17] T. Hayashinaka, T. Fujita, J. Yokoyama, “Fermionic Schwinger effect and induced current in de Sitter space,” *JCAP* **1607** (2016) no. 07, 010
- [18] T. Hayashinaka, J. Yokoyama, “Point splitting renormalization of Schwinger induced current in de Sitter spacetime,” *JCAP* **1607** (2016) no. 07, 012
- (会議抄録)
- [19] T. Hayashinaka, T. Suyama, “QED Correction to Magnetic Dipole Radiation”, Second LeCosPA International Symposium. Everything about Gravity (2017), 332-338
- [20] N. Oshita, K. Yamamoto, S. Zhang, “Unruh radiation produced by a uniformly accelerating charged particle in thermal random motions”, Second LeCosPA International Symposium. Everything about Gravity (2017), 584-589
- (学位論文)
- [21] 森崎宗一郎:「スカラー・テンソル理論における中性子星の質量-半径関係」(修士論文)
- [22] 田原弘章:「重力の非線型性に由来する宇宙背景放射の3点相関」(修士論文)
- [23] 枝和成: “Toward the Direct Detection of Continuous Gravitational Waves from Compact Stars” (博士論文)
- (国内解説記事)
- [24] 横山順一 「重力波発見のインパクト」 *パリティ* **32**(2017)46-47
- <学術講演>
- (国際会議)
- 一般講演
- [25] N. Oshita, “Correspondence between the decoherence of infalling Hawking particles and quantum fluctuations during inflation”, APCosPA-Planet2 RESCEU Summer School, Takayama, Gifu, 2016/8/27
- [26] Kazunari Eda and Yousuke Itoh, “A chi-squared veto for semi-coherent $\mathcal{F}$ -statistic search in continuous gravitational waves,” Gravitational Wave Physics and Astronomy Workshop (GWPAW) 2016, Hyannis, Massachusetts, USA, 2016/6/15-18
- [27] Kazunari Eda and Yousuke Itoh, “A chi-squared discriminator for continuous gravitational wave detection in all-sky search,” The First International Meeting on KAGRA, KAIST, Daejeon, Korea, 2016/6/24-25
- [28] Kazunari Eda and Yousuke Itoh, “A chi-squared veto in semi-coherent $\mathcal{F}$ -statistic search for continuous gravitational wave,” APCosPA-Planet2 RESCEU Summer School, Takayama, Gifu, 2016/8/28
- [29] Kazunari Eda, “Searches for continuous GWs from known pulsars with iKAGRA data,” 14th KAGRA Face to Face Meeting, University of Toyama, Toyama, 2016/8/25-27
- [30] Kazunari Eda, “Known pulsar search using the iKAGRA data,” 15th KAGRA Face to Face Meeting, The University of Tokyo, 2016/12/7-8
- [31] S. Morisaki, “Removing Non-Gaussian Noise Using Independent Component Analysis,” GWPAW, Hyannis, Massachusetts, USA, 2016/6/15-18
- [32] S. Morisaki, “Removing Non-Gaussian Noise Using Independent Component Analysis,” The First International Meeting on KAGRA, KISTI and KAIST, Daejeon, Korea, 2016/6/23-25
- [33] S. Morisaki, “Gravitational-wave data analysis using independent component analysis,” APCosPA-Planet RESCEU Summer School, Gifu, Japan, 2016/8/24-28
- [34] J. Yokoyama, “Tensor perturbations in spatially covariant gravity,” CosPA 2016, University of Sydney, 2016/11/28
- [35] T. Suyama, “Primordial Black Hole Scenario for the Gravitational-Wave Event GW150914,” Spanish-Portuguese relativity meeting, Lisbon, 2016/9/12-15
- [36] T. Suyama, “Primordial Black Hole Scenario for the Gravitational-Wave Event GW150914,” Symposium on New development in astrophysics through multimessenger observations of gravitational wave sources, Kyoto, 2016/12/26-28
- [37] Yuki Sakakihara, Takahiro Tanaka, “Primordial fluctuations in bimetric gravity,” APCosPA-Planet2 RESCEU Summer School, Takayama, Gifu, 2016/8/27
- [38] Yuki Sakakihara, Takahiro Tanaka, “Production of gravitons and cosmology in bimetric gravity,” The 26th Workshop on General Relativity and Gravitation in Japan, Osaka City University, 2016/10/26
- [39] Yuki Sakakihara, Takahiro Tanaka, “Cosmic evolution with bigravity,” Symposium on New development in astrophysics through multimessenger observations of gravitational wave sources, Yukawa Institute for Theoretical Physics, 2016/12/27
- [40] Yuki Sakakihara, Takahiro Tanaka, “Cosmology with bigravity theory,” Testing Gravity 2017, Simon Fraser University, Vancouver, Canada, 2017/1/26
- [41] K. Takahashi, “Relation between gauge fixing and DOFs in scalar-tensor theories”, APCosPA-Planet² RESCEU Summer School, Takayama, Gifu, 2016/8/27

- [42] K. Takahashi, “Relation between gauge fixing and DOFs in scalar-tensor theories”, JGRG26, Osaka City University, Osaka, 2016/10/26
- [43] K. Takahashi, “Relation between gauge fixing and DOFs in scalar-tensor theories”, CosPA 2016, the University of Sydney, Australia, 2016/12/1
- [44] T. Hayashinaka, “Fermionic Schwinger Effect and Induced Current in de Sitter spacetime”, COSMO16, Michigan, USA, 2016/8/10
- [45] T. Hayashinaka, “Quantum Anomalous Transportation of QED in Inflationary Universe”, APCosPA-Planet2 RESCEU Summer School, Takayama, Gifu, 2016/8/27
- [46] N. Oshita, “A baby universe from a black hole”, COSMO16, Michigan, USA, 2016/8/12
- [47] N. Oshita, “Firewall paradox and decoherence inside a black hole”, JGRG26, Osaka City University, Osaka, 2016/10/27
- 招待講演
- [48] J. Yokoyama, “SUSY inflation? What else?” SUSY 2016, University of Melbourne, 2016/7/6
- [49] T. Suyama, “Primordial Black Hole Scenario for the Gravitational-Wave Event GW150914,” Workshop on primordial black hole, Taipei, 2017/1/6
- (国内会議)
- 一般講演
- [50] 横山順一, R. Brandenberger, and H. Bazrafshan Moghaddman “G インフレーションの再加熱” 日本物理学会年次大会 大阪大学 2017/3/18
- [51] 大下翔誉, “Hawking-Moss インスタントンのエントロピー的解釈”, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 宮崎大学, 2016/9/22
- [52] 田原弘章, 横山順一, 日本物理学会, 「重力の非線型性に由来する CMB 偏光のバイスベクトル」, 大阪大学, 2017/3/18
- [53] 森崎宗一郎, “スカラー・テンソル理論における中性子星の内部構造,” 第 5 回ウィンタースクール・研究会「中性子星の核物質」, 福島, 2017/2/16-18
- [54] 森崎宗一郎, “スカラー・テンソル理論における中性子星の質量-半径関係,” 京都大学, 2017/3/1-3
- [55] 森崎宗一郎, “スカラー・テンソル理論における中性子星の質量-半径関係,” 大阪大学, 2017/3/17-20
- [56] 枝和成, KAGRA Collaboration, 「iKAGRA データを用いた既知パルサーからの連続重力波探査」, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 宮崎県, 宮崎大学, 2016/9/21-24
- [57] 森崎宗一郎, “独立成分分析を用いた重力波実験における非ガウス雑音の除去,” 日本物理学会 2016 秋季大会, 宮崎大学, 2016/9/13/16
- [58] 須山輝明, “LIGO と原始ブラックホールからの重力波,” 日本物理学会第 7 2 回年次大会, 大阪, 2017/3/17 - 20
- [59] 高橋 一史, 「スカラーテンソル理論におけるゲージ固定と自由度との関係」, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 宮崎大学, 2016/9/21
- [60] 高橋 一史, 「スカラーテンソル理論における可逆変換と自由度との関係」, 若手による重力・宇宙論研究会, 京都大学, 2017/3/1-3
- [61] 高橋 一史, 「シフト対称性を持つ Horndeski 理論におけるブラックホール摂動論」, 日本物理学会第 72 回年次大会, 大阪大学, 2017/3/17
- [62] 大下翔誉, “インフレーション機構によるブラックホールの情報喪失問題の解決”, 第 46 回天文・天体物理若手夏の学校, 長野県, 2016/7/27
- [63] 林中貴宏, 「インフレーション中の QED における量子異常輸送」, 天文若手夏の学校 2016, 2016/7/26
- [64] 林中貴宏, 「インフレーション中の QED における量子異常輸送」, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 宮崎県, 宮崎大学, 2016/9/22
- 招待講演
- [65] 横山順一 “重力波発見の学問的意義” 加速器奨励会 第 6 回特別講演会 アルカディア市ヶ谷 2016/10/21
- [66] 須山輝明, “原始ブラックホールと重力波,” 秋の学校「理論と観測から迫るダークマターの正体とその分布」, 国立天文台, Nov. 9
- [67] 横山順一 “初期宇宙と重力” 理論懇シンポジウム 東北大学 2016/12/21
- (セミナー)
- [68] 横山順一 ” 重力波で見た宇宙” 岡山大学談話会 2016/6/8
- [69] J. Yokoyama, “Approaches to inflationary cosmology,” KITPC, Beijing, 2016/11/4
- [70] J. Yokoyama, “Approaches to inflationary cosmology,” McGill University, Montreal, 2017/3/11
- [71] T. Suyama, “Primordial Black Hole Scenario for the Gravitational-Wave Event GW150914,” SISSA, Trieste, 2016/9/22
- [72] 大下翔誉 “The black hole information paradox and decoherence inside a black hole” 中央大学 2016/11/28
- [73] N. Oshita, “The firewall paradox from the aspect of decoherence during inflation”, Tufts university, Medford, USA, 2017/3/9
- [74] 林中貴宏, “Fermionic Schwinger effect in 1+3 dimensional de Sitter spacetime”, Cosmophysics Seminar, KEK, 2017/1/26
- (集中講義)
- [75] 横山順一 “一般相対性理論の基礎” 岡山大学 2016/6/7-9
- (アウトリーチ)
- [76] 横山順一 “重力波で探る宇宙のはじまり” 東京大学理学部オープンキャンパス講演会 2016/8/3
- [77] Stefano Ansoldi, 榊原由貴, 「福井県立若狭高校 サイエンス・ダイアログ」, 2016/6/24