

平成21年 5月15日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19340063
 研究課題名（和文） B中間子崩壊のQCDによる研究：QCD因子化のユニバーサルデザインとその予言精度
 研究課題名（英文） QCD study of B meson decays: universal design of QCD factorization and its accuracy
 研究代表者
 田中 和廣（TANAKA KAZUHIRO）
 順天堂大学・医学部・准教授
 研究者番号：70263671

研究成果の概要：B中間子の崩壊の理論計算において、スタンダードとされている“崩壊振幅の短距離効果と長距離効果への因子化公式”はまだ完全なものではなく、言わば“途中段階”にある。従来の因子化公式に現れるB中間子の波動関数について、“さらにもう一段階の因子化”を実行し、“ユニバーサルデザイン”に相当する形を導いた。波動関数の振舞いの予言が、従来より高い精度で可能になり、QCDの第一原理からの最も首尾一貫した因子化公式の確立に向けて重要な成果が得られた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
2008年度	3,300,000	990,000	4,290,000
年度			
年度			
年度			
総計	7,300,000	2,190,000	9,490,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：B中間子、崩壊、QCD、光円錐波動関数、重いクォーク、グルーオン、HQET

1. 研究開始当初の背景

B中間子の崩壊を通じて小林・益川行列要素を精密に決定し素粒子の標準模型を検証することは、標準模型を超える新しい物理を探る手がかりをも与えるという意味で、現代の物理学の中で最も重要でホットなテーマの一つになっている。高エネルギー加速器研究機構、およびスタンフォード線形加速器センターにおける「Bファクトリー実験」により崩壊の測定精度は着実に向上し、理論の不定性が最も大きな誤差を与えるような崩壊過程がすでに数多く存在する。特に注目されている過程として、ハドロンへの2体崩壊（ $B \rightarrow \pi$

π 、 $K\pi$ など）や、その他の exclusive な崩壊（ $B \rightarrow \gamma e \nu$ 、 $B \rightarrow \rho \gamma$ など）、および、inclusive な崩壊（ $B \rightarrow X_u l \nu$ 、 $B \rightarrow X_s \gamma$ など）がある。

これらの崩壊過程に対し、QCDの第一原理からの理論的扱いを確立することを目指して、複数のグループが活発に研究してきた。共通する戦略は、重いクォークの質量Mを用いた $1/M$ 展開によって、崩壊過程の確率振幅を、クォークおよびグルーオンの摂動的相互作用のみを含む短距離効果と、中間子の「光円錐波動関数」、「形状関数」等の非摂動的な長距離効果に系統的に“分割（因子化）”

して扱う方法である。ただし、光円錐波動関数はexclusive崩壊の、形状関数はinclusive崩壊の長距離効果を担うと考えられ、これらが“ユニバーサルな”量である（一旦求めれば、上記の過程はもちろんその他の色々な崩壊過程にも同じ波動関数、形状関数を用いることが出来る）ことが要求される。このユニバーサリティなしには、因子化に基づく方法は真に強力な予言能力を持ち得ない。ユニバーサリティは物理的には、光円錐波動関数や形状関数が、因子化の行われるスケールより下のスケールで、特定の“主要な長距離モード”（典型的には“運動量分布”に対応）を首尾一貫して表現していることに対応する。B中間子の光円錐波動関数や形状関数の場合は、これらがQCDの（非局所な）演算子のB中間子状態による行列要素として表現できることから、（同様な演算子表現を持ち、なおかつユニバーサリティが確立している π 中間子の光円錐波動関数や形状関数の場合との類推により）ユニバーサルであると考えられてきた。ただ、B中間子の波動関数・形状関数の具体的な振舞いが不明な点が、因子化による扱いに残された、不定性の主な原因と考えられてきた。

ところが、我々が $1/M$ 展開とQCDの演算子表現に基づいて、B中間子光円錐波動関数および形状関数の解析を進めたところ、 π 中間子の光円錐波動関数・形状関数とは非常に異なった振舞いを見出した。まず、B中間子光円錐波動関数・形状関数のループ補正の振舞いが紫外領域と赤外領域で全く異なっており、光円錐波動関数・形状関数には、なお、短距離部分と長距離部分が“入り混じって”含まれていることがわかる。また、因子化のスケールにおいて、光円錐波動関数はB中間子内部のクォーク・反クォークの2体フォック状態を、形状関数はクォーク分布を記述する演算子で導入されるが、より低いスケールでは、摂動的なループ補正あるいは非摂動効果によって、“動的グルーオン”をも含む3体以上の多体演算子との混合が起こり、もとの定義からかけ離れた複雑な量になってしまう。以上の結果は、B中間子の光円錐波動関数・形状関数は、（treeレベルを超える）高次補正まで含めると、特定の長距離モードを首尾一貫して表現する量とは言えない、つまり、ユニバーサルとは言えないことを示唆する。また、このことから、スタンダードとされてきた“B中間子崩壊振幅の因子化”の公式も、完全なものではないと考えられる。

2. 研究の目的

従来の因子化公式はまだ完全なものではなく、言わば“途中段階”にあると考えられるので、“ユニバーサリティが保証された長距離部分”とこれに対応した“新たな短距離

部分”に改めて分離し直すための、“さらにもう一段階の因子化”を従来の因子化公式に対して実行する。こうして改めて分離された“短距離部分”と“ユニバーサリティが保証された長距離部分”を用いた因子化の枠組みを、QCDの第一原理からの最も首尾一貫した扱いとして新たに提案する。

また、この一貫した因子化の枠組みを用いれば、従来は無視されてきた高次効果の中で最も主要な、クォーク・反クォーク・グルーオンの3体演算子の寄与も矛盾無く取り入れることが可能になるので、具体的に3体演算子の寄与も取り入れて計算を行い、従来に比べ高い予言精度を持つ新しい因子化公式を確立することを目的とする。3体演算子およびループ補正の役割を詳しく調べて新しい因子化公式の予言精度を評価し、我々の方法の、B中間子崩壊過程への広範な応用の足掛かりとすることも目指す。

3. 研究の方法

B中間子崩壊を、重いクォークの質量 M を用いた、 $1/M$ 展開の主要項のレベルで扱い、従来の“途中段階の因子化公式”に対して、“さらにもう一段階の因子化”を1ループのマッチングで実行する。

従来の因子化公式で長距離効果を担う、B中間子光円錐波動関数については、そのループ補正の振舞いが紫外領域と赤外領域で全く異なっており、光円錐波動関数には、なお、短距離部分と長距離部分が“入り混じって”含まれていることがわかっているので、これら“新たな短距離部分と長距離部分”を、演算子積展開を用いて分離する。演算子積展開で分離された“新たな長距離部分”は局所演算子の行列要素として表されるので、ユニバーサルな量であることが保証される。一方、対応する“新たな短距離部分”の方は、演算子積展開での係数関数として求められる。係数関数については1ループ補正まで取り入れ、局所演算子については、次元5のものまでを完全に取り入れる。特に、次元5の演算子には、最も次元の低いクォーク・反クォーク・グルーオンの3体局所演算子も含まれるので、それらの完全系も取り入れる。

次元5までの演算子に対応する係数関数を求めるには、高次元演算子を含む場合に付き物の困難（ゲージ不変なものだけでなく、不変でないものも含む複雑な“くりこみ混合”）を回避して計算を行う必要がある。さらに、 $1/M$ 展開では、ファインマン振幅において、ループ積分の実行と、外線のクォーク・反クォーク間の距離についての展開の操作が可換でないことにも注意が必要である。これらの問題を適切に扱うために、背景場の方法を用い、座標空間でループ積分を行う。特に、 $1/M$ 展開の場合に新たに必要となる計算技法を

我々はすでに得ているので、これを直接応用して計算を進める。(back-ground-field) ファインマン・ゲージ、次元正則化で計算し、主要なループ積分を先に行ってから短距離展開を行い、MS-barスキームで係数関数を求める。得られた演算子積展開に、局所演算子行列要素の値(実験からの情報およびQCD和則による評価がすでにある)を代入して、B中間子光円錐波動関数の振舞いを調べ、従来用いられてきたモデルの振舞いと比較・検討する。次元5のクォーク・反クォーク・グルーオンの3体演算子の行列要素の、QCD和則による従来の評価についてアップデートが必要かについても検討する。

因子化の理論構造がシンプルな $B \rightarrow \gamma e \nu$ 崩壊の場合に、この崩壊の従来の因子化公式の中に現れているB中間子光円錐波動関数に、我々が新しく得た結果を代入して必要な位相空間の積分を実行し、演算子の行列要素と、対応する新たな短距離部分に分離し直した表示に変換する。位相空間についての積分を実行する際、2重対数型の特異な振舞いに注意して行う。また、従来の因子化公式の導出での短距離部分の1ループ・マッチングの計算を、(クォークの外線の他に)横偏極グルーオンの外線が一つ余分にダイアグラムに付いた場合に拡張してやり直し、従来は無視されていた、次元5のクォーク・反クォーク・グルーオンの3体演算子の寄与を我々の因子化の枠組みで新たに取り込む。こうして得られた3体演算子の寄与の結果を、従来の因子化公式に我々の光円錐波動関数を代入して求めた結果に加えて、“ユニバーサリティが保証された長距離部分”を用いた新しい因子化公式の具体形を求める。Mを、“kinetic mass”などのshort-distance massに変換して赤外リノーマロンによる不定性の影響を除くことにより、最終的な崩壊率の公式を導く。

新しい崩壊率の公式における高い予言精度の実現には、2重対数型の大きな摂動的補正の寄与、およびクォーク・反クォーク・グルーオンの3体演算子に対応する寄与、の2つの高次効果の扱いが鍵を握る。しかし、これらの高次効果の、B中間子崩壊における扱いは始まったばかりであり、まだ確立しているわけではない。一方、B中間子崩壊以外の過程、例えば、陽子の高エネルギー散乱過程においては、同様の高次効果についての非常に進んだ扱いが行われている。そこで、後者の場合をモデル・ケースとして、これらの高次効果を扱う理論的手法を整備する。具体的なモデル・ケースとしては、陽子の高エネルギー散乱過程の中で理論的にも実験的にも特に注目されているものを選び、重要な観測量のQCDの第一原理に基づく予言も行う。

4. 研究成果

B中間子光円錐波動関数を、演算子積展開を用いて“新たな短距離部分と長距離部分”に分離する計算を完了した。次元5までの局所演算子の全てと、対応する係数関数の1ループ補正を取り入れた、この演算子積展開に基づき、B中間子光円錐波動関数における非摂動効果は、ユニバーサルな長距離効果に対応する3個のパラメータで決定される。これらのパラメータの現存する非摂動的評価を代入し、また、赤外リノーマロンの影響を除くことにより、B中間子光円錐波動関数の定量的評価を導き、クォーク・反クォーク間の距離の関数として詳しく数値計算した。短距離領域では2重対数型の摂動的補正が非常に大きくなり、従来の結果を再現する。一方、距離が大きくなると、従来は無視されていた、次元5の演算子が大きな寄与を与える。

上記3個のパラメータのうち2個は、次元5のクォーク・反クォーク・グルーオンの3体演算子の効果を表すが、これら2個について、QCD和則による非摂動的評価のアップデートも行った。クォーク・反クォークの2体擬スカラー演算子とクォーク・反クォーク・グルーオンの3体演算子の相関関数に基づいてQCD和則を構成し、この相関関数への、従来は無視されていたQCD補正を新しく計算した。これらは、次元5の真空凝縮に対応する係数関数への1ループ補正項と、次元6の真空凝縮に対応する係数関数の主要項に対応し、特に前者が大きな効果を与えて和則の精度を改善し、2個のパラメータの値を、従来より抑制する可能性も示された。

上で求めた演算子積展開において、係数関数への2重対数型補正に特徴的に現れるパターンをヒントに、(上の演算子積展開では打ち切っていた)次元6以上の高次元演算子の寄与のうち、特定のタイプの重要な寄与を任意次元まで足し上げる方法も与えた。

B中間子光円錐波動関数のくりこみスケール依存性を支配する発展方程式を1ループで扱い、その解析的な解を座標表示で導いた。結果は、従来の運動量表示の解に比べずっと単純な構造になった。この新しい解を用いて、光円錐波動関数の2重対数型のスケール依存性の摂動全次数再足し上げを座標表示で行い、上で求めた演算子積展開の結果に適用した。

$B \rightarrow \gamma e \nu$ 崩壊の新しい因子化公式を求める計算も進めた。この崩壊の従来の因子化公式の中に現れているB中間子光円錐波動関数に、我々が新しく得た、演算子積展開の結果を代入した。クォーク・反クォーク間の距離についての“短距離展開”に対応する演算子積展開の結果を、距離が大きな領域の振舞いのモデルに“連続につなぐ”ことにより、位相空間についての積分を実行する方法をとった。従来は無視されてきた、光円錐波動関数における3体演算子の効果が、崩壊率の計算

値を大きく左右する効果をもたらすことがわかった。従来の因子化公式では無視されていた、(3体演算子に対応する)短距離部分を求める計算も、1ループ・マッチングで進めた。

ソフトなグルーオン放出による2重対数型の大きな摂動的補正の、全次数再足し上げや、クォーク・反クォーク・グルーオンの非摂動的な3体相関の効果を抑える理論的手法を検討、整備するモデル・ケースとして、陽子・(反)陽子衝突におけるDrell-Yan過程の“ダブルスピン非対称”断面積、および電子・陽子のsemi-inclusive深非弾性散乱での“シングルスピン非対称”断面積について、QCDに基づく計算手法の開発・検討と、これらの断面積の具体的な計算、予言を行った。

また、Progress of Theoretical Physics誌の招待論文として執筆依頼を受け、Drell-Yan過程でのソフト・グルーオン再足し上げについてのレビュー論文を発表した。この論文を完成させるのに、本研究の2年間の研究期間のうち、最初の半年を費やすことになったのは予定外のことであった。このため、研究期間内に論文として発表できなかった研究成果(QCD和則による非摂動的評価のアップデート、発展方程式の座標表示での解析的な解、など)、および完了しなかった計算(特に、 $B \rightarrow \gamma e \nu$ 崩壊の新しい因子化公式の完成とその予言精度の評価)については、今後完了させ論文として発表していく。

本科研費に基づく研究支援者として、2007年度は平井正紀を、2008年度は西川哲夫を採用した。得意分野に応じて具体的計算に協力頂いた。平井は、グルーオン自由度の取扱いと摂動全次数再足し上げの計算を推進し、西川は、3体演算子行列要素のQCD和則による評価をアップデートする計算を推進した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計17件)

- ① H. Kawamura and K. Tanaka, “OPE for B-meson distribution amplitude and dimension-5 HQET operators”, PoS (Proceedings of Science) **EFT09**, 007-1~007-7 (2009, in press). 査読有
- ② H. Kawamura and K. Tanaka, “Double transverse-spin asymmetries for small- Q_T Drell-Yan pair production in p anti-p collisions”, American Institute of Physics Conference Proceedings, 4 pages (2009, in press). 査読有
- ③ Y. Koike and K. Tanaka, “Twist-3 single-spin asymmetry for SIDIS and its azimuthal structure”, American Institute of Physics Conference Proceedings, 4 pages (2009, in press). 査読有
- ④ Y. Koike, K. Tanaka and S. Yoshida, “Double-spin asymmetry A_{LT} for polarized Drell-Yan process in p anti-p collisions: Wandzura-Wilczek contribution”, American Institute of Physics Conference Proceedings, 4 pages (2009, in press). 査読有
- ⑤ H. Kawamura and K. Tanaka, “Operator product expansion for B-meson distribution amplitude and dimension-5 HQET operators”, Physics Letters **B673**, 201~207 (2009). 査読有
- ⑥ M. Hirai and S. Kumano, “Determination of gluon polarization from deep inelastic scattering and collider data” Nuclear Physics **B813**, 106~122 (2009). 査読有
- ⑦ H. Kawamura and K. Tanaka, “Double transverse-spin asymmetries for Drell-Yan process in pp and p anti-p collisions: role of nonleading QCD corrections at small transverse momentum”, Deep-inelastic scattering 2008 (Science Wise Publishing Online Proceedings), 216-1~216-4 (2008). 査読有
- ⑧ Y. Koike, K. Tanaka and S. Yoshida, “Drell-Yan double-spin asymmetry A_{LT} in polarized p anti-p collisions: Wandzura-Wilczek contribution”, Physics Letters **B668**, 286~292 (2008). 査読有
- ⑨ Y. Koike and K. Tanaka, “Erratum to: “Master formula for twist-3 soft-gluon-pole mechanism to single transverse-spin asymmetry” [Phys. Lett. B 646 (2007) 232]”, Physics Letters **B668**, 458~459 (2008). 査読有
- ⑩ H. Kawamura and K. Tanaka, “Double-spin asymmetries for small- Q_T Drell-Yan pair production in transversely polarized p anti-p collisions”, Physics Letters **B662**, 139~149 (2008). 査読有
- ⑪ H. Kawamura, J. Kodaira and K. Tanaka, “The OPE of the B-meson light-cone wavefunction for exclusive B decays: radiative corrections and higher-dimensional operators”, PoS (Proceedings of Science) **RAD COR 2007**, 049-1~049-6 (2008). 査読有
- ⑫ H. Kawamura, J. Kodaira and K. Tanaka, “Soft gluon resummation in Drell-Yan

dilepton production at small transverse momentum: spin asymmetry and a novel asymptotic formula”, PoS (Proceedings of Science) **RAD COR 2007**, 040-1~040-6 (2008) 査読有

- ⑬ M. Hirai, S. Kumano, M. Oka, and K. Sudoh, “Determination of $f_0(980)$ Structure by Fragmentation Functions”, Modern Physics Letters **A23**, 2226~2229 (2008). 査読有
- ⑭ H. Kawamura, J. Kodaira and K. Tanaka, “Transversely Polarized Drell-Yan Process and Soft Gluon Resummation in QCD”, Progress of Theoretical Physics **118**, 581~656 (2007). 査読有
- ⑮ H. Kawamura, J. Kodaira and K. Tanaka, “Soft gluon resummation and a novel asymptotic formula for double-spin asymmetries in dilepton production at small transverse momentum”, Deep-inelastic scattering 2007 (Science Wise Publishing Proceedings) **1**, 615~618 (2007). 査読有
- ⑯ Y. Koike and K. Tanaka, “Factorization and Gauge Invariance of Twist-3 Cross Section for Single Spin Asymmetry”, Deep-inelastic scattering 2007 (Science Wise Publishing Proceedings) **1**, 619~622 (2007). 査読有
- ⑰ Y. Koike and K. Tanaka, “Novel Master Formula for Twist-3 Soft-Gluon-Pole Mechanism to Single Transverse-Spin Asymmetry”, Deep-inelastic scattering 2007 (Science Wise Publishing Proceedings) **1**, 623~626 (2007). 査読有

[学会発表] (計 27 件)

- ① 川村浩之、田中和廣、“演算子積展開に基づくB中間子光円錐波動関数と質量次元5のHQET演算子の効果”、日本物理学会第64回年次大会、2009年3月29日、豊島区・立教大学
- ② 西川哲夫、田中和廣、“HQETに基づくQCD和則による、B中間子内のクォーク・グルーオン相関の評価”、日本物理学会第64回年次大会、2009年3月29日、豊島区・立教大学
- ③ K. Tanaka, “OPE for B-meson distribution amplitude and dimension-5 HQET operators”, International Workshop on Effective Field Theories: from the Pion to the Upsilon, 2009年2月2日、スペイン・バレンシア・バレンシア大学

- ④ H. Kawamura, “Operator product expansion for B meson distribution amplitude”, University of Liverpool Theoretical Physics Seminar, 2009年1月28日、イギリス・リバプール・リバプール大学
- ⑤ 田中和廣、“QCDのツイスト3機構によるSIDISのシングルスピン非対称と終状態パイオンの方位角依存性”、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 研究会「核子構造研究の新展開2009」、2009年1月10日、つくば市・高エネルギー加速器研究機構
- ⑥ H. Kawamura, “Operator product expansion for B meson distribution amplitude”, The University of Edinburgh Theoretical Particle Physics Seminar, 2009年1月7日、イギリス・エジンバラ・エジンバラ大学
- ⑦ K. Tanaka, “Double-spin asymmetry A_{LT} for polarized Drell-Yan process in p-pbar collisions: Wandzura-Wilczek contribution”, The 18th International Symposium on Spin Physics, 2008年10月10日、アメリカ・シャーロットビル・バージニア州立大学
- ⑧ K. Tanaka, “Double transverse-spin asymmetries for small- Q_T Drell-Yan pair production in p-pbar collisions”, The 18th International Symposium on Spin Physics, 2008年10月10日、アメリカ・シャーロットビル・バージニア州立大学
- ⑨ 田中和廣、“陽子スピンとQCD”、日本物理学会2008年秋季大会、2008年9月23日、山形市・山形大学
- ⑩ 川村浩之、田中和廣、“演算子積展開に基づくB中間子光円錐波動関数の定量的評価II”、日本物理学会2008年秋季大会、2008年9月22日、山形市・山形大学
- ⑪ 田中和廣、“偏極ビーム・標的によるDrell-Yan過程でのスピン観測量と核子構造”、「J-PARCハドロン物理の将来研究計画を考える」研究会、2008年9月2日、和光市・理化学研究所
- ⑫ K. Tanaka, “Double transverse-spin asymmetries for Drell-Yan process in pp and p anti-p collisions: role of nonleading QCD corrections at small transverse momentum”, 16th International Workshop on Deep-Inelastic Scattering and Related Subjects (DIS2008), 2008年4月8日、イギリス・ロンドン・ロンドン大学
- ⑬ 平井正紀、“破碎関数による $f_0(980)$ の内部構造の検証”、日本物理学会第63回年次大会、2008年3月25日、東大

- 阪市・近畿大学
- ⑭ 川村浩之、田中和廣、“演算子積展開に基づくB中間子光円錐波動関数の定量的評価”、日本物理学会第63回年次大会、2008年3月23日、東大阪市・近畿大学
- ⑮ 川村浩之、田中和廣、“ハドロン・コライダーにおけるベクトル・ボソン横運動量分布の新しいアプローチによる解析”、日本物理学会第63回年次大会、2008年3月23日、東大阪市・近畿大学
- ⑯ H. Kawamura, “Model independent analysis of B meson light-cone wavefunction”, 3rd International Workshop on B factories and New Measurements, 2008年1月25日、熱海市・ニューフジヤホテル
- ⑰ 田中和廣、“QCDのツイスト3機構によるシングルスピンの非対称性”、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 研究会「核子の構造関数2007」、2008年1月12日、つくば市・高エネルギー加速器研究機構
- ⑱ 川村浩之、“QCD for B Physics”、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 理論研究会「素粒子物理の新時代に向けて」、2007年12月12日、つくば市・高エネルギー加速器研究機構
- ⑲ 川村浩之、“摂動論的QCDの最近の発展”、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 研究会「原子核・ハドロン物理：横断研究会」、2007年11月20日、つくば市・高エネルギー加速器研究機構
- ⑳ K. Tanaka, “The OPE of the B-meson light-cone wavefunction for exclusive B decays: radiative corrections and higher dimensional operators”, 8th International Symposium on Radiative Corrections (RADCOR 2007), 2007年10月5日、イタリア・フィレンツェ・ガリレオ・ガリレイ研究所
- 21 H. Kawamura, “Soft-gluon resummation in Drell-Yan dilepton production at small transverse momentum: spin asymmetries and a novel asymptotic formula”, 8th International Symposium on Radiative Corrections (RADCOR 2007), 2007年10月4日、イタリア・フィレンツェ・ガリレオ・ガリレイ研究所
- 22 川村浩之、小平治郎、田中和廣、“Operator product expansion of the light-cone distribution amplitude of B meson in the heavy quark limit II”、日本物理学会第62回年次大会、2007年9月21日、札幌市・北海道大学
- 23 川村浩之、小平治郎、田中和廣、“偏極ドレル・ヤン過程におけるソフト・グルーオン補正とスピン非対称の漸近公式”、

- 日本物理学会第62回年次大会、2007年9月22日、札幌市・北海道大学
- 24 川村浩之、“摂動論的QCDの最近の発展と課題”、日本物理学会第62回年次大会、2007年9月21日、札幌市・北海道大学
- 25 K. Tanaka, “Soft gluon resummation in transversely polarized Drell-Yan process at small transverse momentum: double-spin asymmetries and novel asymptotic formula”, The 6th Circum-Pan-Pacific Symposium on High Energy Spin Physics, 2007年7月31日、カナダ・バンクーバー・ブリティッシュコロンビア大学
- 26 K. Tanaka, “Novel master formula for twist-3 soft-gluon-pole mechanism to single transverse-spin asymmetry”, 15th International Workshop on Deep-Inelastic Scattering and Related Subjects (DIS2007), 2007年4月19日、ドイツ・ミュンヘン・ホリデイインホテル
- 27 H. Kawamura, “Soft gluon resummation and a novel asymptotic formula for double-spin asymmetries in dilepton production at small transverse momentum”, 15th International Workshop on Deep-Inelastic Scattering and Related Subjects (DIS2007), 2007年4月19日、ドイツ・ミュンヘン・ホリデイインホテル

[その他]

ホームページ

<http://www1.sakura.juntendo.ac.jp/~tanakak/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 和廣 (TANAKA KAZUHIRO)
順天堂大学・医学部・准教授
研究者番号：70263671

(2) 研究分担者

川村 浩之 (KAWAMURA HIROYUKI)
理化学研究所・放射線研究室・協力研究員
(現 Liverpool 大学・数理科学科・研究員)
研究者番号：30415137

(3) 連携研究者

平井 正紀 (HIRAI MASANORI)
順天堂大学・医学部・科研費研究支援員 (現東京理科大学・理工学部・助教)
研究者番号：10360629
西川 哲夫 (NISHIKAWA TETSUO) 順天堂大学・医学部・科研費研究支援員 (現了徳科大学・教養教育センター・准教授)
研究者番号：10391806