

令和元年6月21日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2018

課題番号：26287040

研究課題名(和文)クォーク・グルーオン多体相関がもたらす新奇現象の解明と構造関数の格子QCD計算

研究課題名(英文) Study of novel phenomena caused by the quark-gluon many-body correlations and a lattice QCD calculation of the nucleon structure function

研究代表者

小池 裕司 (KOIKE, YUJI)

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：60262458

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,700,000円

研究成果の概要(和文)：高エネルギー電子核子、核子核子衝突における包含ハドロン生成過程で観測されてきた大きなシングルスピンスピン非対称(SSA)の起源は、強い相互作用の研究で長く謎であった。本研究では、これまでの研究には取り入れられていなかったクォーク・グルーオンの多体相関効果(ツイスト3効果)を取り込んだ新たな定式化に基づき、代表的SSAのいくつかについて理論公式の導出と実験データの解析を実行し、SSAの発現機構について理解を深めた。また、パイ中間子-核子衝突における排他的レプトン対生成過程についても、今後の実験に備えツイスト3効果を取り込んだ理論的解析を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

核子をはじめとするハドロンの構造や相互作用を、それらを構成するクォーク・グルーオンの力学の基礎理論である量子色力学(QCD)に基づいて理解することは、強い相互作用研究の究極目標の1つである。本研究の学術的意義は、従来の模型や計算方法では説明できなかった新奇な現象について、それまで無視されてきたクォーク・グルーオンの多体相関の効果、QCDに基づいた新たな理論的枠組みに基づいて正確に取り入れ、それによって新奇な現象を解明する糸口と核子構造の新たな側面を提供していることにある。

研究成果の概要(英文)：Large single spin asymmetries (SSA) observed in the inclusive production of hadrons in high-energy electron-nucleon and nucleon-nucleon collisions have been a long-standing mystery in the strong interaction physics. In this research, using a new formalism that incorporates the effect of multi-quark and -gluon correlations (twist-3 effect) overlooked in the previous studies, we have derived theoretical formulas for the SSAs in typical processes and have carried out a numerical analysis of the experimental data. This has provided us with a new insight into the mechanism of SSAs. We have also performed a theoretical analysis for the exclusive lepton-pair production process in the pion-nucleon collision which will be measured in a future experiment, including the relevant twist-3 effect.

研究分野：素粒子・原子核

キーワード：量子色力学 クォーク・グルーオン多体相関 シングルスピンスピン非対称 ツイスト3 核子構造 排他的レプトン対生成過程 RHIC J-PARC

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

高エネルギー電子核子衝突や核子核子衝突におけるハドロンや光子などの包含粒子生成反応は、パートン模型と摂動論的量子色力学 (pQCD) により良く記述されてきた。パートン模型では、核子をパートン (クォークとグルーオン) のビームとみなし、それらの間の独立な散乱として扱われる。生成されるハドロンも散乱したパートンのハドロンへの「破碎」として記述される。グルーオンの交換や放出の効果はQCDの高次補正としてpQCDにより系統的に取り込める。しかしながら、高エネルギー反応過程には、パートン模型には取り込まれていないパートン間の「量子多体相関」によってはじめて引き起こされる現象も存在し、実験的にもそれが観測されている。こうした効果はQCDの「高次ツイスト効果」と呼ばれるが、その系統的扱い方法は、1部の過程に関しQCDの結合定数について最低次の近似(L0近似)で漸く定式化された段階であった。このような高次ツイスト効果によって引き起こされる現象は、スピン偏極過程に多く、本研究課題の中心的テーマであるシングルスピン非対称(SSA)はその代表例である。実験的にSSAが観測されている過程としては、電子核子半包含深非弾性散乱(SIDIS), $e p \rightarrow e h X$, (ここでeは無偏極電子, pは横偏極陽子, hは中間子やK中間子などのハドロン, Xは終状態の観測しないハドロン群を指す。以下同様。), 核子核子衝突におけるハドロン生成 $p p \rightarrow h X$, 無偏極核子どうしの衝突から生成されるハイペロンの横偏極現象 $p p \rightarrow X$ (Xは横偏極ハイペロン)などがある。SIDISでのSSAは、CERN, DESY, Jefferson Laboratoryなどで測定されており、将来的には、米国で建設予定のElectron Ion Collider実験でも測定されるであろう。核子核子衝突のSSAは、古くはFNALやBNLで、現在はBNLのRHIC加速器で測定されている。これら過程で観測されてきたSSAの解析や将来の実験に対する予言、ハイペロン生成過程のSSAに対する解析公式の導出が必要な段階であった。

茨城県東海村のJ-PARCは、世界最高クラスの大強度陽子ビームにより、中間子、K中間子、反陽子などの2次粒子ビームを生成する。これらの2次粒子ビームと陽子標的との高エネルギー衝突により新しく可能となる現象について、QCDの摂動的効果および非摂動的効果の役割を理論的に解明することにより、J-PARCでの実験計画立案の土台となる結果を得ることができる。研究開始当初は、このような結果が必要とされている時期であり、特に、中間子ビーム(π^+)と陽子(p)標的が高エネルギーで衝突してミュー粒子ペア($\mu^+ \mu^-$)と中性子(n)になる現象($p \mu^+ \mu^- n$)は、J-PARCでの新しい実験の候補として注目されていた。

2. 研究の目的

量子色力学(QCD)に基づく高エネルギーハドロン反応の完全な記述とハドロン構造の理解のため、パートン間の量子多体相関(高次ツイスト効果)が本質的な役割をする現象の解明に取り組む。特に、核子核子、電子核子衝突で観測されてきた大きなシングルスピン非対称の発現機構の解明を目指す。シングルスピン非対称はツイスト3効果として現れるため、その断面積の導出は技術的に非常に複雑である。まず、これまでの研究で得られていた断面積に対する解析公式を基に、BNLのRHICで観測された $p p \rightarrow h X$ 過程のSSAに対し、DESYやCERNで観測されている $e p \rightarrow e h X$ 過程のSSAとコンシステントにデータ解析を実行する。これによりこれらのSSAの発現機構を解明しハドロン中でのクォークグルーオン相関に関する情報を得る。次に、 $p p \rightarrow X, e p \rightarrow e X$ 過程の断面積に対し、L0近似で解析公式の導出をする。また、他のツイスト3過程として注目されている、核子核子衝突におけるスピン非対称 $A_{\{LT\}}$ (縦偏極核子と横偏極核子の衝突からのハドロン生成に関するスピン非対称)に対するL0近似断面積の導出を行う。

J-PARCで $p \mu^+ \mu^- n$ 過程を実験した場合の観測量と、陽子や中間子の内部構造との関係についてQCDに基づく計算により解明する。J-PARCでの中間子ビームの強度およびエネルギー、測定器の性能を考慮し、観測量に陽子や中間子の内部構造についてのシグナルがどう表れるか評価し検討する。特に、ツイスト3効果を始めとする、QCDの高次過程および新奇な非摂動効果による補正まで含めた評価を可能とする。

3. 研究の方法

(1) SSAの発現機構の解明

本研究では、終状態に生成されるハドロンの(衝突軸に対する)横運動量が1 GeV程度以上の場合を考えるため、その領域で有効なコリニアール因子化を採用する。この枠組みでは、SSAに対応するスピン依存断面積はツイスト3の寄与として現れる。断面積はハドロンの内部構造を反映した非摂動的なソフトパートとpQCDで計算可能な単距離部分(パートンレベルのハード断面積)との畳み込みの形で表現される。前者には、核子中でのパートン分布関数と終状態ハドロンの破碎関数があるが、ツイスト3断面積の特徴は、それらにパートン間多体相関関数が現れる点にある。以下の方法により3つの問題に取り組む。

RHICで観測されたSSAデータの解析:

$p p \rightarrow X$ に対するL0近似のツイスト3断面積をもとに、RHICのデータの数値解析を行う。SIDIS過程のSSAの数値解析は他の研究グループが実行しているため、そこで得られた分布・破碎関数に関する情報をフルに用いることで、両方の過程をコンシステントに記述するグローバル解析を、ツイスト3破碎関数に対する2-fitにより実行する。

ツイスト3破碎関数の間の関係:

ツイスト3破碎関数は、ツイスト3分布関数同様、intrinsic, kinematical, dynamical の

3種に分類される。SSA に対応する断面積の導出の際にはいずれも必要になるが、それらの間には演算子恒等式に基づく厳密な関係式が存在する。その導出及びその関係式の断面積の表式への影響を調べる。

ハイペロン偏極現象の研究：

ツイスト3 コリニアール因子化を適用し、断面積に対する表式を導出する。

(2) 横偏極核子 縦偏極核子衝突におけるハドロン生成のスピンの非対称 $A_{\perp\{LT\}}$ の研究：

この過程もツイスト3の過程である。SSA とは異なるツイスト3分布・破砕関数が寄与するが、コリニアールツイスト3因子化により断面積の解析公式を導く。

(3) 排他的レプトン対生成過程の研究：

$p \mu^+ \mu^- n$ 過程では、中間子および陽子からのクォークと反クォークとの対消滅を伴う“排他的ドレル・ヤン機構”のメカニズムが E.R. Berger, M. Diehl, B. Pire [Physics Letters B523 (2001) 265] によって示され、陽子や中間子の内部構造については単純化して評価がなされている。この評価を、陽子や中間子の内部構造についての最近の知見を加え精密にしたものに改良する。さらに、J-PARC ではミュー粒子ペアの質量が比較的小さな領域での測定も想定され QCD の高次過程による補正（ツイスト3補正）が重要になるので、これを理論計算する。ツイスト3補正の計算と Berger, Diehl, Pire の扱いを精密化した計算とを比較し、ミュー粒子生成方向の違い、ツイスト3補正の相対的な大きさについて予言を行う。

4. 研究成果

(1) SSA の発現機構の解明

RHIC で観測された SSA データの解析：

$p p \rightarrow X$ 過程の SSA に対する主要な起源は、(a)横偏極核子中の「ツイスト3クォークグルーオン相関関数」の寄与と(b)パイオンの「ツイスト3破砕関数」と横偏極核子中の「トランスヴァーシティ分布」の組み合わせの寄与がある。(a)の寄与は SIDIS における SSA データから得られる知見を用いると、RHIC のデータとは逆符号で小さな SSA になってしまう。この研究では、(a)の寄与と(b)中のトランスヴァーシティ分布を SIDIS のデータにより固定し、RHIC の SSA データが(b)中のツイスト3破砕関数のパラメライズで再現できるかどうかを 2-fit により調べた。その結果、それが可能であることが分かり、この過程では(b)の寄与が主要な寄与であれば SIDIS と核子核子衝突の SSA が無矛盾に記述できる可能性を示した。更に、この結果を基に、RHIC で測定される可能性のある $p p \rightarrow \{ \text{jet} \} X$ 過程の SSA にも予言を与え、ツイスト3 QCD と他のモデル計算との違いも明らかにした。また、LHC エネルギーでの予言も与えた。

ツイスト3破砕関数の間の関係：

ツイスト3断面積の導出には、intrinsic, kinematical, dynamical の3種のツイスト3破砕関数があるが、それらは独立ではなく、QCD の運動方程式およびローレンツ不変性に基づいた演算子恒等式による厳密な関係式が存在する。これにより、intrinsic, kinematical の関数は dynamical 破砕関数及びツイスト2破砕関数で書き表すことができる。ツイスト3分布については、これらの関係式は知られていたが、ツイスト3破砕関数については系統的研究がなかったため、それら関係式の完全系を導出した。また、それらを利用することにより、ツイスト3断面積の座標系非依存性（ローレンツ不変性）が成立していることを $ep \rightarrow hX$ 過程の全ツイスト3観測量について証明した。

ハイペロン偏極現象の研究：

コリニアールツイスト3因子化により SIDIS 過程 $ep \rightarrow e^- X$ (X は横偏極ハイペロン)、および核子核子衝突、 $pp \rightarrow X$ 、での偏極ハイペロン生成断面積の導出を行った。いずれの過程も、(a)核子中のツイスト3分布関数とハイペロンのトランスヴァーシティ破砕関数の組み合わせ、(b)核子の無偏極パートン分布関数と偏極ハイペロン・ツイスト3破砕関数の組み合わせの2つの寄与がある。2つの過程について、(a)の寄与の解析公式を完成させた。(b)の寄与については、(b1)ツイスト3クォーク破砕関数と(b2)ツイスト3グルーオン破砕関数の寄与があり、前者については2つの過程について解析公式を完成させた。残る(b1)については、新たな計算手法の開発を要するため、その理論定式化をおこなった。それに基づくパートンレベルのハード断面積の計算は現在進行中である。ツイスト3グルーオン破砕関数も、intrinsic, kinematical, dynamical の3種の破砕関数に分類されるが、それらの間の厳密な関係式の導出も進行中である。これらの関係が明らかになると、座標系に依存しない断面積の表現が得られることが予想される。

(2) 横偏極核子 縦偏極核子衝突におけるハドロン生成のスピンの非対称 $A_{\perp\{LT\}}$ の研究：

SSA が単純 T-odd の観測量であるのに対し、 $A_{\perp\{LT\}}$ は単純 T-even であることにより、断面積の構造は大きく異なる。この過程のツイスト3断面積は、(a)横偏極核子中のツイスト3分布関数の寄与、(b)縦偏極核子中のツイスト3分布関数の寄与、(3)終状態ハドロンのツイスト3破砕関数の寄与の3つに分けられる。(a)の寄与は先行研究により既に導かれていたため、(b)、(c)を補い、この観測量に関する LO 近似の断面積の解析公式を完成させた。ツイスト3分布・破砕関数の関係式を用いることで、ゲージ不変、ローレンツ不変な断面積を得ることができ、最終結果はコンパクトな表現となることを示した。

(3) 排他的レプトン対生成過程の研究

高エネルギー陽子・中間子衝突でのレプトン対の排他的生成 ($\gamma p \rightarrow l^+ l^- n$) で、前方へのレプトン対生成の場合を、QCD の標準的なアプローチ (“QCD 因子化”) で扱い、核子の一般化パートン分布関数 (Generalized Parton Distribution, GPD) および中間子の光円錐波動関数の、2 種類の非摂動的関数を用いて断面積を表した。最近の実験データにフィットした GPD のパラメトリゼーションを用いて断面積を評価し、将来の J-PARC 実験での測定シグナルをシミュレーションして GPD 決定への実効性を示した。これは、主要なメカニズムと従来考えられてきた、中間子からの反クォークと陽子からのクォークとの対消滅を伴う “排他的ドレル・ヤン機構” (ツイスト 2 のレベル) で計算を行って得られた成果である。

次の段階として、排他的ドレル・ヤン機構への高次効果としてツイスト 3 補正項も計算する計画を進めたところ、この補正項には赤外発散の困難が生じ QCD 因子化が破綻することがわかった。さらに、排他的ドレル・ヤン機構と競合し得るメカニズムとして、QCD 因子化の枠組みでは考慮されていない “因子化不可能なソフトな QCD メカニズム” があり、これが従来の予想以上に重要な役割を果たし得ることが新しくわかってきた。つまり、 $p \rightarrow \mu^+ \mu^- n$ の衝突現象において、QCD 因子化に対応する従来のメカニズムに加え、因子化不可能なソフトな QCD メカニズムを考慮することによって、J-PARC での観測量と、陽子や中間子の内部構造との関係がどのように変更を受けるか検討することが、J-PARC での実験計画立案の土台となる結果を得るために必要となってきた。

因子化不可能なソフトな QCD メカニズムは、エクスクルーシヴな高エネルギー過程における “ファインマン・メカニズム” と呼ばれる QCD の赤外領域の現象に対応している。赤外領域を正面から扱うことに伴う困難を回避するため、中間子に一旦バーチャリティを持ち込んだ仮想的振幅を計算し、分散公式に基づいて中間子質量殻上の物理的振幅を決定する “光円錐 QCD 和則” の手法に基づく非摂動計算法を発展させることにより、モデル依存性を最小限に抑えた定量的評価ができることを示した。これにより、因子化不可能なソフトな QCD 効果の結果も GPD で表せること、ソフトな QCD 効果が J-PARC での断面積を約 5 倍に増大させることを示した。また、同様な光円錐 QCD 和則を、実光子がグルーオンと散乱してベクトル中間子に遷移する振幅の扱いにも定式化し、高エネルギー光子・光子衝突でそれぞれの光子が前方へのベクトル中間子に遷移する過程など、光子からベクトル中間子への前方遷移を含む様々な光子散乱過程の観測量の評価に適用可能であることを示した。

J-PARC などの加速器での実験データからハドロンの GPD を決定すれば、ハドロンの 3 次元内部構造を研究することができる。これはハドロンのトモグラフィーと呼ばれ、ハドロンの質量の起源の解明や、(QCD のエネルギー・運動量テンソルの行列要素である) 重力形状因子に基づいた新たな側面からのハドロンの構造研究とも関連している。重力形状因子は、ハドロンの重力子との相互作用を決定し、また、ハドロンの内部におけるクォーク (およびグルーオン) の分布状態を表す基本量である。クォーク起源の重力形状因子で特に未解明となっていた “第 3 の形状因子” について、スピン・ゼロのハドロンの場合、GPD との関係、さらに高次ツイスト効果との関係を考察した。さらに、この “第 3 の形状因子” の大運動量領域での減衰の仕方をはじめ、その振舞いの可能な形に対しての制約を QCD の理論に基づいて導出した。また、陽子の重力形状因子で “第 4 の形状因子” として未解明であったものについて、QCD のトレス異常に基づいて定量的振舞いを導くことに成功した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 27 件)

K. Tanaka, “Three-loop formula for quark and gluon contributions to the QCD trace anomaly”, *Journal of High Energy Physics* **1901**, 120-1~120-24 (2019). 査読有

DOI: 10.1007/JHEP01(2019)120

Y. Hatta, A. Rajan, and K. Tanaka, “Quark and gluon contributions to the QCD trace anomaly”, *Journal of High Energy Physics* **1812**, 008-1~008-18 (2018). 査読有

DOI: 10.1007/JHEP12(2018)008

K. Tanaka, “Operator relations for gravitational form factors of a spin-0 hadron”, *Physical Review* **D98**, 034009-1~034009-11 (2018). 査読有

DOI: 10.1103/PhysRevD.98.034009

K. Tanaka, “ γ impact factor in QCD: light-cone sum rule calculation”, *Proceedings of Science (PoS) DIS2018*, 062-1~062-6 (2018). 査読無

DOI: 10.22323/1.316.0062

K. Tanaka, “Exclusive pion-induced Drell-Yan process at J-PARC for accessing the nucleon GPDs and soft nonfactorizable mechanism”, *Proceedings of Science (PoS) DIS2017*, 249-1~249-6 (2018). 査読無 DOI: 10.22323/1.297.0249

H. Kawamura and K. Tanaka, “Coordinate-space calculation of radiative corrections to the B-meson distribution amplitudes: light-cone vs. static distributions”, *Proceedings of Science (PoS) RADCOR2017*, 076-1~076-7 (2018). 査読無 DOI: 10.22323/1.290.0076

Y. Koike, A. Metz, D. Pitonyak, K. Yabe and S. Yoshida, “Twist-3 fragmentation contribution to polarized hyperon production in unpolarized hadronic collisions”, *Phys.*

Rev. D 95 (2017) , 114013. 査読有 doi:10.1103/PhysRevD.95.114013

Y. Koike, ``Twist-3 Spin Asymmetries And Parton Correlations In High-energy Processes,`` PoS INPC 2016 (2017) 312. 査読無 doi:10.22323/1.281.0312.

Y. Koike, D. Pitonyak, K. Yabe and S. Yoshida, ``Twist-3 asymmetries in proton-proton collisions,`` PoS QCDEV 2016 (2017) 029. 査読無 doi:10.22323/1.284.0029

K. Yabe, Y. Koike and S. Yoshida, ``Twist-3 approach to hyperon polarization in unpolarized proton-proton collision,`` PoS DIS 2016 (2016) 222. 査読無 doi:10.22323/1.265.0222

Y. Koike, K. Kanazawa, A. Metz, D. Pitonyak and M. Schlegel, ``Lorentz invariance relations for twist-3 functions and frame-independence of twist-3 cross sections,`` PoS DIS 2016 (2016) 220. 査読無 doi:10.22323/1.265.0220.

Y. Koike, D. Pitonyak and S. Yoshida, ``Twist-3 effect from the longitudinally polarized proton for A_{LT} in hadron production from pp collisions,`` Phys. Lett. B 759 (2016) 75. 査読有 doi:10.1016/j.physletb.2016.05.043

K. Kanazawa, Y. Koike, A. Metz, D. Pitonyak and M. Schlegel, ``Operator Constraints for Twist-3 Functions and Lorentz Invariance Properties of Twist-3 Observables,`` Phys. Rev. D 93 (2016) , 査読有 054024. doi:10.1103/PhysRevD.93.054024

T. Sawada, W. Chang, S. Kumano, J. Peng, S. Sawada, and K. Tanaka, “ Accessing proton generalized parton distributions and pion distribution amplitudes with the exclusive pion-induced Drell-Yan process at J-PARC ”, Physical Review **D93**, 114034 -1 ~ 114034-17 (2016). 査読有 DOI: 10.1103/PhysRevD.93.114034

D. Pitonyak, Y. Koike, K. Kanazawa and A. Metz, `` A_N in Single-Inclusive Particle Production from Proton-Proton Collisions,`` PoS QCDEV 2015 (2015) 011. 査読無 doi:10.22323/1.249.0011

K. Kanazawa, A. Metz, Y. Koike and D. Pitonyak, ``Collinear Twist-3 Approach to Transverse Single-Spin Asymmetry in Proton-Proton Collision,`` arXiv:1509.07554 [hep-ph]. 査読無

Y. Koike, K. Yabe and S. Yoshida, ``Hyperon polarization from the twist-3 distribution in unpolarized proton-proton collision,`` Phys. Rev. D 92 (2015) , 094011. 査読有 doi:10.1103/PhysRevD.92.094011.

Y. Koike, D. Pitonyak, Y. Takagi and S. Yoshida, ``Twist-3 fragmentation effects for A_{LT} in light hadron production from proton-proton collisions,`` Phys. Lett. B 752 (2016) 95. 査読有 doi:10.1016/j.physletb.2015.11.014

D. Pitonyak, K. Kanazawa, Y. Koike and A. Metz, ``Transverse Single-Spin Asymmetries in Pion and Photon Production from Proton-Proton Collisions,`` PoS DIS 2015 (2015) 211. 査読無 doi:10.22323/1.247.0211

D. Pitonyak, K. Kanazawa, Y. Koike and A. Metz, ``Transverse Single-Spin Asymmetries in Proton-Proton Collisions Within Collinear Factorization,`` Int. J. Mod. Phys. Conf. Ser. 37 (2015) 1560033. 査読有 doi:10.1142/S2010194515600332

① K. Kanazawa, Y. Koike, A. Metz and D. Pitonyak, ``Transverse single-spin asymmetries in proton-proton collisions at the AFTER@LHC experiment,`` Adv. High Energy Phys. 2015 (2015) 257934. 査読有 doi:10.1155/2015/257934

② K. Kanazawa, Y. Koike, A. Metz and D. Pitonyak, ``Transverse single-spin asymmetries in $p^+ p^- X$ from quark-gluon-quark correlations in the proton,`` Phys. Rev. D 91 (2015) 014013. 査読有 doi:10.1103/PhysRevD.91.014013.

③ K. Kanazawa, Y. Koike, A. Metz and D. Pitonyak, ``Towards an explanation of transverse single-spin asymmetries in proton-proton collisions: the role of fragmentation in collinear factorization,`` Phys. Rev. D 89 (2014) 111501. 査読有 doi:10.1103/PhysRevD.89.111501

[学会発表](計 58 件)

K. Tanaka, “ Exclusive pion-induced Drell-Yan process at J-PARC and soft nonfactorizable mechanism ”, Workshop on Progress on Hadron structure functions in 2018, 2018 年 11 月 18 日. 高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所, つくば

K. Tanaka, “ Operator relations for gravitational form factors ”, 8th International Conference on Quarks and Nuclear Physics, 2018 年 11 月 13 日. つくば国際会議場, つくば

K. Tanaka, “ Generalized parton distributions for the deep QCD structure of the nucleon and its transitions ”, 5th Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the American Physical Society and the Physical Society of Japan, 2018 年 10 月 23 日. ヒルトンワイコロアビレッジ, ハワイ島 (アメリカ)

K. Tanaka, “ Nucleon GPDs with the exclusive pion-induced Drell-Yan process $p^+ p^- \rightarrow l^+ l^- n$ ”, Mini-workshop on GPD studies at JLab, J-PARC, and future EIC, 2018 年 5 月 8 日. 高エネルギー加速器研究機構・東海キャンパス, 東海村

K. Tanaka, “ 0 impact factor in QCD: light-cone sum rule calculation ”, 26th

International Workshop on Deep Inelastic Scattering and Related Subjects (DIS2018), 2018年4月18日. 神戸国際会議場, 神戸

K. Tanaka, "QCD mechanisms for accessing the nucleon GPDs with the exclusive pion-induced Drell-Yan process $\gamma^* p \rightarrow \mu^+ \mu^- n$ ", 8th International Conference on Physics Opportunities at an Electron-Ion Collider (POETIC8), 2018年3月22日. レーゲンスブルク大学, レーゲンスブルク (ドイツ)

Y. Koike, "Spin observables in twist-3 approach", 22nd International Spin Symposium (SPIN2016), Univ. Illinois at Urbana-Champaign, IL, USA, 2016年9月26日

Y. Koike, "Twist-3 spin asymmetries and parton correlations", 26th International Nuclear Physics Conference (INPC2016), Adelaide, Australia 2016年9月11日

Y. Koike, "Twist-3 asymmetries in proton-proton collisions", QCD Evolution 2016, Amsterdam, Netherland, 2016年5月30日

Y. Koike, "Twist-3 fragmentation effect in spin asymmetries", From 1D fragmentation towards 3D correlated fragmentation, ECT*, Trento, Italy 2015年10月26日

Y. Koike, "Overview of the collinear twist-3 factorization for spin asymmetries", 23rd International conference on deep-inelastic scattering and related subjects (DIS2015), Dallas, Texas, USA 2015年4月27日

Y. Koike, "Single spin asymmetries in pp collisions", KEK theory center workshop on hadron physics with high-momentum hadron beams at J-PARC in 2015, KEK, Tsukuba 2015年3月16日

Y. Koike, "Single transverse spin asymmetry", 4th Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the American Physical Society and The Physical Society of Japan, (HAWAII 2014), October 7-11, 2014, Waikoloa, Hawaii 2014年10月7日

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 江尻 信司

ローマ字氏名: EJIRI, shinji

所属研究機関名: 新潟大学

部局名: 自然科学系

職名: 准教授

研究者番号(8桁): 10401176

研究分担者氏名: 田中 和廣

ローマ字氏名: TANAKA, kazuhiko

所属研究機関名: 順天堂大学

部局名: 医学部

職名: 先任准教授

研究者番号(8桁): 70263671

研究分担者氏名: 八田 佳孝

ローマ字氏名: HATTA, yoshitaka

所属研究機関名: 京都大学

部局名: 基礎物理学研究所

職名: 准教授

研究者番号(8桁): 00512534

(2) 研究協力者

研究協力者氏名: 吉田 信介

ローマ字氏名: YOSHIDA, shinsuke

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。