

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：32620

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2016

課題番号：25610058

研究課題名(和文) 高エネルギー光子・光子衝突における新奇なQCDメカニズムの提唱

研究課題名(英文) Unveiling novel QCD mechanism in high-energy photon-photon collision

研究代表者

田中 和廣 (Tanaka, Kazuhiro)

順天堂大学・医学部・先任准教授

研究者番号：70263671

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,600,000円

研究成果の概要(和文)：高エネルギー光子・光子衝突の前方へのエクスクルーシブな中間子生成では、光子の仮想クォーク・反クォーク状態を介し光子間でグルーオンを交換し、各光子が前方への中性ベクトル中間子に遷移する過程が支配的となる。縦偏極中間子と横偏極中間子の終状態は、従来のヘリシティ選択則で禁止されるが、QCDのツイスト3効果で生じることを示した。この効果を標準的なQCD因子化で扱うと赤外発散が生じ破綻する。困難を惹き起こすソフトな効果を、分散公式とデュアリティに基づく光円錐和則でQCD計算する方法を定式化し、散乱断面積を定量評価した。ヘリシティ選択則を満たす終状態に比べ抑制されないことが判明し、実験での検証が待たれる。

研究成果の概要(英文)：Forward exclusive productions of two mesons in high-energy photon-photon collision are dominated by the transition of each photon into a forward neutral vector meson, through the virtual quark-antiquark intermediate states and the gluon exchanges between two such virtual pairs. We show that the final states with the longitudinal vector meson and transverse vector meson can be generated by the twist-3 effect in QCD, although they are not allowed by the conventional helicity selection rules. Calculating this effect by the QCD factorization is suffered by infrared divergences. We have performed a QCD calculation of the corresponding soft contributions by the light-cone sum rules based on dispersion relation and duality, and obtained a quantitative estimate of the corresponding cross section. We show that the results are not suppressed compared with those for the final states allowed by the helicity selection rules, and this prediction is to be tested by comparing with future experiments.

研究分野：ハドロン物理、素粒子物理の理論

キーワード：QCD 光子・光子衝突 エクスクルーシブ 光円錐波動関数 QCD因子化 ベクトル中間子生成 グルーオン QCD和則

1. 研究開始当初の背景

(1) 高エネルギー光子・光子衝突において、2 個の中間子 M_1, M_2 をエキスクルーシヴに生成するプロセス「 $M_1 M_2$ 」の振幅は、レプトンと核子の深非弾性散乱でのインクルーシヴな構造関数と並んで、QCD の短距離効果と長距離効果への分離の手法 (QCD 因子化) が不定性なく適用できる理想的な場合と考えられてきた。短距離効果は、実光子が衝突したクォークがグルーオンを介して相互作用するサブプロセスを表し摂動論で計算でき、長距離効果は中間子 M_1 と M_2 それぞれの波動関数で非摂動的である。短距離効果の最低次数 (LO $O(s)$) は、 t チャネルでのクォーク-反クォーク交換を含むプロセスが与え、特に、 M_1 と M_2 が互いに反粒子で散乱角が大きな場合に定量的に主要な寄与となる。また、このタイプのダイアグラムでは、クォーク線に沿うヘリシティ保存から中間子 M_1 と M_2 のヘリシティの和がゼロとなるため、 M_1, M_2 がベクトル中間子の場合には、両方とも縦偏極か両方とも横偏極かのいずれかでなければならない、というヘリシティ選択則が成立し、その実験での検証は、断面積の衝突エネルギー依存性と並んで QCD の重要なテストと考えられてきた。

(2) 摂動 QCD の次の次数 (NLO $O(s^2)$) は、荷電中間子対 (荷電パイ中間子対 $+\pi, -\pi$, 荷電ロー中間子対 $+\rho, -\rho$ 等) が生成される場合には、上述の LO に対する補正項を与え、ヘリシティ選択則も上述のまま変更を受けない。一方、 $V^0 = \rho^0, \omega$ の中性ベクトル中間子の対が生成される場合 ($V^0 V^0$) には、 t チャネルで 2 個のグルーオンを交換するダイアグラムが寄与し、散乱角が小さい前方領域への生成 ($s \gg -t \gg \Lambda_{\text{QCD}}^2$) では QCD ポメロンの交換に対応する大きな効果となって LO の寄与を凌駕する。このとき、終状態の中性ベクトル中間子は 2 個とも縦偏極になる (2 個のグルーオンの交換による運動量移行のため、実光子とベクトル中間子 V^0 のヘリシティは一致しなくてよいことに注意) と予言されており、散乱角が小さい領域でもヘリシティ選択則が成り立つことが通説となっていた。以上は、最低次のツイストであるツイスト 2 のレベルですでに確立している結果であった。

2. 研究の目的

高エネルギー光子・光子衝突において、2 個の中性ベクトル中間子がエキスクルーシヴに生成されるプロセス ($V^0 V^0$) の微分断面積を QCD に基づいて計算する。2 個のベクトル中間子のうちの 1 つが縦偏極でもう 1 つが横偏極になる終状態は、QCD のクォーク・グルーオンの相互作用のメカニズムからは生じないと考えられてきたが、本研究では、ベクトル中間子の中のクォーク・反クォーク・グルーオンの非摂動的 3 体相関効

果と関係付けられるツイスト 3 のメカニズムによって可能になることを提唱し、断面積の定量的評価を行う。この結果は、Belle および Belle 実験から引き出される光子・光子衝突のデータと直接比較可能であり、中間子におけるツイスト 3 効果を、主要項として定量的に検証することを可能にする。具体的には、

(1) QCD のツイスト 3 効果がヘリシティ選択則を破り、縦偏極中性ベクトル中間子と横偏極中性ベクトル中間子の対の生成はツイスト 3 のレベルで初めて可能となることを示す。LO での QCD メカニズムである、 t チャネルでのクォーク-反クォーク交換メカニズムと、これに基づくヘリシティ選択則は、S.J. Brodsky と G. P. Lepage によ 1981 年に提唱されて以来、QCD の重要なテストとして繰り返し強調されてきたが、本研究で提唱するヘリシティ選択則の破れにより、従来の理論的予言をくつがえし、より深いレベルでの QCD のテストを与える。

(2) まず、微分断面積へのツイスト 3 効果の定量的な計算を、QCD の短距離効果と長距離効果を因子化して系統的に扱う。しかし、ツイスト 2 で成功を収めてきた因子化の手法がツイスト 3 のレベルの計算にも拡張可能かどうかは、あらかじめ明らかとはなっていない。因子化の手法に基づく計算を推し進めてみて、困難が生じる場合にはその原因を分析する。さらにこれを手がかりにして、困難を回避した QCD 計算の手法を開発する。

(3) 微分断面積の定量的な計算の結果を、ツイスト 3 メカニズムによるヘリシティ選択則の破れの提唱とその定量的予言として、 $V^0 V^0$ プロセスの実験データと直接比較可能な形にまとめる。微分断面積の衝突エネルギー、散乱角、および波動関数からの非摂動効果への依存性を定量的に予言し、これらの定量的予言を実験データと比較することにより、特に、中間子のクォーク・反クォーク・グルーオン 3 体波動関数を主要項として決定できることを示し、中間子内部の非摂動的 3 体相関に起因するツイスト 3 効果を、主要項として定量的に検証し直接決定することを可能にする。

3. 研究の方法

高エネルギー光子・光子衝突で、2 個の中性ベクトル中間子がエキスクルーシヴに生成されるプロセス ($V^0 V^0$) の確率振幅を QCD の短距離効果と長距離効果に因子化して計算する。短距離効果は散乱角が小さい領域で支配的な、 t チャネルで 2 個のグルーオンを交換するサブプロセスを摂動計算する。長距離効果を表すベクトル中間子の波動関数はヤコビ多項式による部分波展開として表し、非摂動効果の評価には、格子 QCD 計算

は無いので QCD 和則を採用する。終状態のベクトル中間子のうちの1つが縦偏極でもう1つが横偏極になる場合の確率振幅は、もっぱらツイスト3の寄与から生じることを示して具体的に求め、これから微分断面積を計算する。微分断面積の衝突エネルギー、散乱角、および波動関数からの非摂動効果への依存性を定量的に調べ、Belle および Belle 実験から引き出される光子・光子衝突のデータと直接比較可能な形に結果をまとめる。具体的には、

(1) 高エネルギー光子・光子衝突で、2個の中性ベクトル中間子(例として、中性 ρ -中間子 ρ^0 とする)が、1つが縦偏極(ρ_L^0 と表す)でもう1つが横偏極(ρ_T^0 と表す)で生成されるエクスクルーシヴ・プロセス($\rho_L^0 \rho_T^0$)の確率振幅を QCD の短距離効果と長距離効果に因子化して計算する。短距離効果は散乱角が小さい領域で支配的な、 t チャネルで2個のグルーオンを交換するサブプロセスを摂動 QCD で計算する。実光子から発生した仮想クォーク-反クォーク・ペアが2つの t チャネル・グルーオンと結合する振幅は、インパクト・ファクターと呼ばれる。仮想クォーク-反クォーク・ペアが縦偏極ベクトル中間子 ρ_L^0 になる場合のインパクト・ファクターはツイスト2の量であり、先行研究で計算されている。この計算を仮想クォーク-反クォーク・ペアが横偏極ベクトル中間子 ρ_T^0 になる場合に拡張する。こうして得られる新しいインパクト・ファクターはツイスト3の量になる。仮想クォーク-反クォーク・ペアが横偏極ベクトル中間子になるインパクト・ファクターと、仮想クォーク-反クォーク・ペアが縦偏極ベクトル中間子になる場合のインパクト・ファクターとを、2つのグルーオン・プロパゲーターでつないだ振幅を、衝突エネルギーの逆冪についての高次項を無視する精度で計算する。グルーオンの運動量についてのループ積分が解析的に行えないことが判明した場合には、数値的に計算する。

(2) こうして得られた短距離効果の振幅と、長距離効果である横偏極ベクトル中間子の波動関数および縦偏極ベクトル中間子の波動関数との畳み込みを計算し、全振幅を求める。畳み込みは仮想クォーク-反クォーク・ペアの縦運動量割合について行うことになり、縦運動量割合の関数としての横偏極ベクトル中間子波動関数および縦偏極ベクトル中間子波動関数の具体形は、申請者自身による以前の研究で与えたものを使う。この具体形は、QCD の近似的コンフォーマル不変性に基づいた、ヤコビ多項式による部分波展開になっており、展開係数に相当する非摂動パラメーターは QCD 和則で評価されている。

(3) 全振幅の絶対値の2乗を計算して、微

分断面積をツイスト3から生じる寄与として具体的に求め、衝突エネルギー、散乱角への依存性を詳しく調べる。横偏極ベクトル中間子波動関数および縦偏極ベクトル中間子波動関数の非摂動パラメーターを理論誤差の範囲で変動させたときの、微分断面積の結果の変動も調べる。

(4) Belle および Belle 実験だけでなくもっと高いエネルギーの実験や、生成されるベクトル中間子として中性 中間子に加え、 ρ^0 中間子の場合も含め、広範な光子・光子衝突のデータと直接比較可能な、豊富な具体例を数値計算する。

4. 研究成果

(1) 「 $\rho_L^0 \rho_T^0$ 」の衝突エネルギーが大きく散乱角が小さい領域の確率振幅を、衝突エネルギーの逆冪で展開し、その主要項において QCD の短距離効果に対応する寄与と長距離効果に対応する寄与への分解を行った。このとき、光子から発生した仮想クォーク-反クォーク・ペアが2つの t チャネル・グルーオンと結合し前方へのベクトル中間子に遷移する振幅(インパクト・ファクター)を、2個の入射光子のそれぞれについて考え、これら2つのインパクト・ファクターの間でグルーオンを t チャネルで2個交換するサブプロセスが、短距離効果に対応する寄与を与えることになる。仮想クォーク-反クォーク・ペアが縦偏極ベクトル中間子に遷移する場合のインパクト・ファクターを計算し、ツイスト2のレベルで求めた結果が先行研究の計算と一致することをまず確認した。その上で、仮想クォーク-反クォーク・ペアが横偏極ベクトル中間子に遷移する場合のインパクト・ファクターの扱いで要求される、ツイスト3の精度を保持する扱いが必要となる計算法の拡張を行った。高次ツイストの量は大きなエネルギーで抑制されるのが一般的であるが、ツイスト3インパクト・ファクターは、衝突エネルギーの逆冪によるあらわな抑制因子は含まない量となることが新たにわかった。また、光子の偏極ベクトルおよびグルーオンからの移行運動量に関する依存性は、ツイスト2インパクト・ファクターとは非常に異なることがわかった。この結果は、仮想クォーク-反クォーク・ペアの縦運動量割合の関数の形で、解析的な公式に表すことができた。

長距離効果についてはクォーク-反クォーク・ペアのベクトル中間子への非摂動的な発展に対応し、縦偏極ベクトル中間子 ρ_L^0 の場合に、ツイスト2の光円錐波動関数で表されるのと同様に、横偏極ベクトル中間子 ρ_T^0 の長距離効果はツイスト3の光円錐波動関数で表され、それぞれに対応した上記のインパクト・ファクターの短距離効果との畳み込みを用いて、「 $\rho_L^0 \rho_T^0$ 」の衝突エネルギーが大きく散乱角が小さい領域の確率振幅

の主要項を表すことができた。

また、光子から発生した仮想クォーク-反クォーク・ペアを介する、上記のツイスト3インパクト・ファクターと同じオーダーのツイスト3効果として、光子から発生したクォーク-反クォーク-グルーオンの仮想3体状態を介したインパクト・ファクターがあり、これは横偏極ベクトル中間子 $^0_L \ ^0_T$ の光円錐波動関数におけるクォーク-反クォーク-グルーオン3体相関成分との畳み込みとして、「 $^0_L \ ^0_T$ 」の確率振幅に寄与するはずである。 0_T の光円錐波動関数のクォーク-反クォーク-グルーオン3体相関成分については、これを記述すると考えられるツイスト3のクォーク-反クォーク-グルーオンのQCD演算子が過剰に存在することが知られていたので、QCDの運動方程式からこれらのQCD演算子間の非摂動的な関係を導出し、独立なQCD演算子を明確に決定することができた。

(2) 光子が横偏極ベクトル中間子 0_T に遷移する振幅(ツイスト3インパクト・ファクター)を、光子から発生した仮想クォーク・反クォーク・ペアが2個のtチャネル・グルーオンと結合する摂動QCD振幅(短距離効果)と、長距離効果である横偏極ベクトル中間子光円錐波動関数との、仮想クォーク-反クォーク・ペアの縦運動量割合についての畳み込みとして具体的に計算すると、クォークあるいは反クォークの縦運動量割合がゼロに近づくところで畳み込み積分が発散することがわかった。これは「 $^0 \ ^0$ 」の衝突エネルギーが大きく散乱角が小さい領域での確率振幅をQCD因子化で求めようとした場合、ツイスト3のレベル($^0_L \ ^0_T$)になると赤外発散が生じることを意味する。この赤外発散の困難を回避するため、新たなハードスケールとして光子のバーチャリティを持ち込むことを考えた。すなわち、実光子を想定していたインパクト・ファクターの計算を、バーチャリティQの仮想光子 * の場合に拡張した。新たなハードスケールの役割を果たすQは衝突エネルギーに比べると小さいとして計算を行い、遷移振幅のエネルギー分母に新たなハードスケールQが現れることで赤外発散が回避されて、QCD因子化の適用条件がツイスト3のレベルでも満たされるようになり、ツイスト3インパクト・ファクターが有限の量で得られることがわかった。この結果を用いて $^0_L \ ^0_T$ の入射光子の一つにバーチャリティQを導入して「 $^* \ ^0_L \ ^0_T$ 」を考えることによって、確率振幅の衝突エネルギー依存性は影響を受けないこともわかった。

また、ツイスト2インパクト・ファクターも、バーチャリティQの仮想光子 * の場合に拡張した。この場合、仮想光子 * の縦偏極の寄与も新たに許されるので、これも含めて計算し解析的な公式の形で求めた。

(3) 高エネルギーの実光子とバーチャリティQの仮想光子 * の衝突での、縦偏極と横偏極の中性ベクトル中間子のエクスクルーシヴな生成($^* \ ^0_L \ ^0_T$)および縦偏極と縦偏極の中性ベクトル中間子のエクスクルーシヴな生成($^* \ ^0_L \ ^0_L$)の断面積について、解析的な計算式の導出を完了し、これを定量評価するための数値計算コードを作成した。しかし、具体的な定量計算を進めてみると、この方法では計算結果の適用範囲が狭く限定されてしまう難点が生じた。この難点は当初の研究計画では想定していなかったものであったが、打開策として、光円錐QCD和則の手法を応用することを新たに着想した。仮想光子のバーチャリティQが小さくなる場合も含め、ツイスト3インパクト・ファクターのQ依存性を分散公式とクォーク-ハドロン・デュアリティに基づいて割り出し、大きなバーチャリティQをもつ仮想光子 * の場合にQCD因子化で求めた計算結果から、実光子 $Q=0$ でのツイスト3インパクト・ファクターを外挿して求める新しい方法の定式化を行った。これによって、適用範囲を狭めてしまう難点が生じることなく、赤外発散の困難を回避する新しいQCD計算の方法を提案することができた。

(4) 光子に一旦バーチャリティQを持ち込んだ仮想的振幅を計算し、分散公式とクォーク-ハドロン・デュアリティに基づいて仮想的振幅からの外挿を行って実光子の物理的振幅を決定する光円錐和則を用いて、ツイスト3に対応するインパクト・ファクターをQCDに基づいて具体的に計算することが初めて可能となった。この方法を用いた数値計算コードを作成し、縦偏極と横偏極の中性ベクトル中間子のエクスクルーシヴな生成($^0_L \ ^0_T$)の断面積の定量評価を行った。高エネルギー加速器研究機構のKEKB加速器に相当する衝突エネルギーで、散乱角への依存性も計算し微分断面積を数値評価した。こうして得られた「 $^0_L \ ^0_T$ 」の微分断面積の新しい結果は、2つの縦偏極ベクトル中間子が生成される($^0_L \ ^0_L$)断面積のQCD因子化に基づく従来の計算結果に比べ抑制されないことがわかった。この結果は、「 $^0_L \ ^0_T$ 」のQCD計算が不可能であった状況のもとでなされた以前の予想とは、大きく異なる結果となった。ただし、入射光子から発生したクォーク-反クォーク-グルーオンの仮想3体状態を介しての、ツイスト3インパクト・ファクターへの補正項の効果について、光円錐和則を用いた検討と定量評価を行う必要があり、これは今後完了させていく課題として残った。そして、KEKB加速器より高い衝突エネルギーの場合や、中間子の場合も含め、光円錐波動関数のクォーク-反クォーク-グルーオン3体相関成分への依存性を明白にしなければならない。実光子の物理的振幅の、光円錐和則を用

いた上記計算から得られたもう一つの興味深い結果として、仮想光子 (大きな Q) から実光子 ($Q=0$) への外挿において、確率振幅が“ベクトル中間子支配模型 (vector meson dominance model)”に近い振舞いを示したことが挙げられる。このことは、光円錐和則を用いた方法が、摂動論が有効になる大きな Q (QCD 因子化が適用可能) での扱いと、非摂動領域に対応する小さな Q で頼らざるを得ない現象論的模型 (ベクトル中間子支配模型) とをなめらかにつなぐ QCD 計算法となっていることを示している。ベクトル中間子支配模型において現象論的に値が決められてきた非摂動パラメータを、QCD 計算で求める枠組みを与えるものと考えられ、この点についての検討・定量評価も引き続き進めていく課題となった。

高エネルギー光子・光子衝突において、2 個の中性ベクトル中間子がエクスクルーシヴに生成されるプロセス ($\gamma\gamma \rightarrow V^0 V^0$) の実験データで、2 個のベクトル中間子の終状態のヘリシティについて、今後分解が行われるであろう。本研究で提唱したヘリシティ選択則の破れと、この破れが小さくない直接の証拠を与える $V^0_L V^0_T$ 散乱の微分断面積の定量計算の結果について、ヘリシティ分解した実験データとの比較による明快な検証が待たれる。

(5) 関連した成果として、B 中間子内のクォーク-反クォーク-グルーオンの 3 体相関成分の大きさの非摂動的評価を、QCD 和則に基づいて計算した。QCD 和則を構成する際に実行する演算子積展開への QCD の摂動高次補正によって、B 中間子のクォーク-反クォーク-グルーオンの 3 体相関成分が抑制される結果になることを明らかにした。

高エネルギー陽子・中間子衝突でのレプトン対のエクスクルーシヴな生成 (エクスクルーシヴ Drell-Yan 過程: $\gamma^* \rightarrow p \rightarrow l^+ l^- n$) で、前方へのレプトン対生成の場合を 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。また、この過程の QCD 計算において、QCD 因子化で考慮されない“QCD 因子化不可能な”ソフトな QCD 効果を光円錐和則を用いて計算できることを示し、この結果も GPD で表せること、J-PARC での断面積を QCD 因子化での計算結果に比べて約 5 倍に増大させることを示した。

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 5 件)

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

K. Tanaka, “QCD mechanisms for accessing the nucleon GPDs with the exclusive pion-induced Drell-Yan process at J-PARC”, SPIN2016 proceedings (IDEALS, the digital repository of the University of Illinois), 6 pages (2017, in press). 査読無
<https://www.ideals.illinois.edu>
<https://arxiv.org/pdf/1703.02190.pdf>

K. Tanaka, “Transverse-spin gluon distribution function”, *Proceedings of Science (PoS)* **DIS2014**, 229-1 ~ 229-6 (2014). 査読無
https://pos.sissa.it/archive/conferences/203/229/DIS2014_229.pdf

T. Nishikawa and K. Tanaka, “QCD sum rules for quark-gluon three-body components in the B meson”, *Nuclear Physics* **B879**, 110 ~ 142 (2014). 査読有
DOI: 10.1016/j.nuclphysb.2013.12.007

K. Tanaka, “Gluon correlations in the transversely polarized nucleon at twist three”, *Proceedings of Science (PoS)* **DIS2013**, 243-1 ~ 243-6 (2014). 査読無
https://pos.sissa.it/archive/conferences/191/243/DIS%202013_243.pdf

[学会発表] (計 3 5 件)

田中和廣, “ $0^+ 0^+$ の QCD 計算における $0^+ 0^+$ インパクトファクターの光円錐和則に基づく評価”, 日本物理学会 第 72 回年次大会, 2017 年 3 月 17 日. 大阪大学豊中キャンパス, 豊中市

K. Tanaka, “Light-cone QCD sum rules for soft contribution to exclusive Drell-Yan process $\gamma^* \rightarrow p \rightarrow \mu^+ \mu^- n$ ”, *International Conference on the Structure of Baryons (BARYONS 2016)*, 2016 年 5 月 18 日. フロリダ州立大学, タラハシー (アメリカ)

田中和廣, “ $0^+ 0^+$ の QCD メカニズム: ツイスト 3 インパクトファクターと断面積の Q^2 依存性 II”, 日本物理

学会 2015 年秋季大会, 2015 年 9 月 25 日.
大阪市立大学、大阪

田中和廣, “ * 0_L 0_T の QCD メ
カニズム: ツイスト 3 インパクトファク
ターと断面積の Q^2 依存性”, 日本物理学
会第 70 回年次大会, 2015 年 3 月 24 日.
早稲田大学、新宿

田中和廣, “ 0 0 のツイスト 3
メカニズム: T インパクトファクタ
ーの QCD 計算”, 日本物理学会第 69 回年
次大会, 2014 年 3 月 27 日. 東海大学湘南
キャンパス、平塚市

〔その他〕

ホームページ

[http://www.juntendo.ac.jp/med/labo/ippa
n_buturi.html](http://www.juntendo.ac.jp/med/labo/ippa
n_buturi.html)

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・先任准教授

研究者番号: 70263671