研究集会「結び目の数学 X」
講演アブストラクト集

12 月 23 日 (土)

12:55–13:25
阿部 翠空星 (神奈川工科大学)
ハンドル体結び目の摂動的 sl_2 不変量と種数 2 の場合の計算方法

ハンドル体結び目に対する量子 $U_q(sl_2)$ 不変量が、村上順氏と水澤篤彦氏によって定義された。それは、辺と三価頂点を平行曲線に置き換え、それらの絡み目のジョーンズ多項式の線型和をとり、1 の複素冪根を代入することによる（3 次元多様体の量子不変量と似た形である）。この定義より摂動的 sl_2 不変量が結び目の量子不変量と 3 次元多様体の量子不変量と同様に定義される。しかし、従来の定義ではハンドル体結び目の補空間の WRT 不変量と同様のものを計算しているため、弱い不変量であった。本講演では種数 2 のハンドル体結び目に関して正規化や和を制限することにより古典的不変量より強い摂動的 sl_2 不変量と、補空間が同相のハンドル体結び目に対しての計算例を紹介する。さらに、今後のハンドル体結び目と空間グラフについての量子不変量の展開予想を提示する。

13:30–14:00
Adrian Jimenez Pascual (東京大学大学院数理科学研究科)
On adequacy and the crossing number of satellite knots

It has always been difficult to prove results regarding the (minimal) crossing number of knots. Focusing on the case of satellite knots, from the time of Kirby's list of Problems in Low-Dimensional Topology and before, it remains to be proven that the crossing number of $Sat(P, C)$ is at least bigger than the crossing number of C itself. In this occasion, I present several results regarding adequate knots, to finally give a positive answer to this unsolved problem when the satellite knots are built using adequate knots.

14:05–14:35
松土 恵理 (日本大学大学院総合基礎科学研究科)
Minimal coloring number of minimal diagrams for $\mathbb{Z}$-colorable links

It was shown that any $\mathbb{Z}$-colorable link has a diagram which admits a non-trivial $\mathbb{Z}$-coloring with at most four colors. In this talk, I consider minimal numbers of colors for non-trivial $\mathbb{Z}$-colorings on minimal diagrams of $\mathbb{Z}$-colorable links. It is shown that for any positive integer N, there exists a minimal diagram of a

$\mathbb{Z}$-colorable link such that any $\mathbb{Z}$-coloring on the diagram has at least N colors. On the other hand, it is shown that certain $\mathbb{Z}$-colorable torus links have minimal diagrams admitting $\mathbb{Z}$-colorings with only four colors.

14:40–15:10

伊藤 康允 (埼玉大学大学院理工学研究科)

On knot adjacency

結び目 K, W に対し、K が W に n-隣接であるとは、K のある図式 D 内のある n 個の交点の集合が存在して、その任意の空でない部分集合で交差交換した図式が W の図式になることである。今回、任意の 2-bridge knot に 2-adjacent な 2-bridge knot を構成し、trivial knot と trefoil knot に 2-adjacent な 2-bridge knot を分類した。また 12 交点以下の素な結び目から trivial knot, trefoil knot, figure-eight knot に 2-adjacent な結び目のテーブルを作成したので予想とともに紹介する。

15:30–16:00

北澤 直樹 (無所属)

具体的な折り目写像を通したいろいろな多様体の表現

多様体を、Morse 関数の高次元化である良い可微分写像特に折り目写像により、写像して表現するということについて説明する。1950 年代に Whitney や Thom に始められ、その少し後 Levine、 そして Eliashberg や Mather らを経て、1990 年代に佐伯修氏 (九州大学) や佐久間一浩氏 (近畿大学) に受け継がれた研究の流れにある内容である。

講演では、例えば、具体的に構成した折り目写像や定義域多様体の族を挙げる。中には、具体的にとらえ記述するのが難しい、一般次元の多様体とその上の写像が多く登場する。これらを構成する上では、値域の空間の結び目 (部分多様体) を利用した手術による多様体と写像への操作が鍵となる。

この研究の出発点は以下にある。

(可微分) 多様体の一般的な分類理論については、5 次元以上の高次元については自由度の高さから 1950–70 年代にある程度落ち着いており、低次元についても、 3 次元ポアンカレ予想の解決で、 4 次元の微分構造に関係するもの等を除けばある程度は落ち着いているといえる。では、具体的に多様体を構成できるか、構成的に扱い色々と (微分) 位相幾何学的なことを明らかにできるか、というのが基本的な問題として挙がるが、一般に難しい。

3–4 次元については、次元の低さ故の扱いやすさを生かし研究が進められており、本講演に関連し、折り目写像や一般のジェネリックな写像そして複素の世界と相性の良いファイブレーション等良い可微分写像が、研究で頻繁に登場している。高次元については、難しいと同時に今後可能性のある領域といえる。例えば、7 次元の任意のホモトピー球面に 7 次元以下のユークリッド空間への折り目写像

が存在することは、 1970 年代の Eliashberg の折り目写像の存在に関する理論から容易にわかる。この上の具体的写像については、Reeb の定理つまり特異点が丁度 2 点からなる Morse 関数による球面の位相的特徴づけ以来、1990 年代の佐伯氏による標準球面のある種の折り目写像による特徴づけ、近年では 2014 年頃の私の研究や最近の Wrazidlo の結果等がある。同時に、まだ進展の余地があるという状況である。

この講演は、2015 年結び目の数学 VIII の私の講演の内容の一部と周辺を整理したものの紹介と、その後の進展の報告からなる事を添えておく。

16:05–16:35

木村 直記 (早稲田大学大学院基幹理工学研究科)

Dijkgraaf-Witten invariants of cusped hyperbolic 3-manifolds

The Dijkgraaf-Witten invariant is a topological invariant for compact oriented 3-manifolds in terms of a finite group and its 3-cocycle. The invariant is a state sum invariant constructed by using a triangulation, as well as the Turaev-Viro invariant. In this talk, we consider the generalization of the Dijkgraaf-Witten invariants for cusped case. We show that the Dijkgraaf-Witten invariants distinguish some pairs of orientable cusped hyperbolic 3-manifolds with the same hyperbolic volumes and the same Turaev-Viro invariants.

16:40–17:10

岡崎 建太 (京都大学数理解析研究所)

E_8 部分因子環の平面代数に由来する，3 次元多様体の状態和不変量について

状態和不変量とは，3 次元多様体の単体分割上の状態和によって定義される 3 次元多様体の位相不変量である。Turaev と Viro は状態和不変量を量子群から得られる $6j$ 記号を用いて定義した。Ocneanu はこの構成を，部分因子環から得られる $6j$ 記号を用いたものに一般化した。しかし，個別の部分因子環が与えられたときに，対応する状態和不変量を具体的に調べることは困難である。例えば E_8 部分因子環から得られる状態和不変量については，非自明な計算例はもとより，$6j$ 記号の値も知られていなかった。

本講演では，E_8 部分因子環から定まる状態和不変量を，平面代数（planar algebra）を用いて（部分因子環の知識を用いずに）組み合わせ的に再構成する。平面代数とはある種のタングルから定まる operad の表現であり，E_8 部分因子環に対応する平面代数は Bigelow により定義されている。この平面代数から出発して、様々な関係式を示すことで，状態和不変量の位相不変性を再証明する。更に $6j$ 記号の値を計算し，レンズ空間の状態和不変量の値に対して予想を与える。

17:15–17:45

永野 雄大 (大阪大学大学院理学研究科)

Face-pairing constructions of 3-manifolds and Turaev-Viro invariants

閉曲面を多角形の辺同士の貼り合わせによって表示できることと同様に、多面体として表された閉球体について、その面同士を貼り合わせることで３次元多様体を構成することができる。このような表示を face-pairing と呼ぶ。本講演では face-pairing 表示された３次元多様体の Turaev-Viro invariant の計算公式や、その応用について報告する。

12 月 24 日 (日)

12:55–13:25

片山 拓弥 (広島大学大学院理学研究科)

Certain right-angled Artin groups in mapping class groups

In 2012 Koberda proved that, if there is a full embedding of a finite graph Γ into the curve graph $\mathcal{C}(S)$, then there is an embedding of the right-angled Artin group $A(\Gamma)$ into the mapping class group $\mathrm{Mod}(S)$ for most of the orientable surfaces S. This year I proved that the converse also holds if Γ is the complement graph of a linear forest. In this talk, by using these results, we discuss embeddings of certain right-angled Artin groups into the mapping class groups. If time permits, I would like to describe an application to power subgroups of mapping class groups. This is joint work with Erika Kuno.

13:30–14:00

船吉 健太 (広島大学大学院理学研究科)

Extending homeomorphisms of the genus-2 surface over 3-sphere

閉曲面上の同相写像が 3 次元球面上に拡張可能であるとは，その閉曲面の 3 次元球面へのある埋め込みにより，3 次元球面の自己同相写像に拡張できるときをいう。特に，この埋め込みの像が Heegaard 曲面になっているとき，その同相写像は 3 次元球面上に標準的に拡張可能であるという。本講演では，種数が 2 の閉曲面上の同相写像について，3 次元球面上に拡張可能であることと標準的に拡張可能であることが同値であることを証明する。

14:05–14:35

陳 潔 (東北大学大学院情報科学研究科)

The algebraic Gordian distance of Seifert matrices

To find restrictions that two S-equivalence classes should bear when their algebraic Gordian distance is one, we construct the Blanchfield pairings of two Seifert matrices mutually convertible by an algebraic unknotting operation. We improve a theorem of Kawauchi. Our results show that two Alexander polynomials cannot be realized by a pair of matrices with Gordian distance one if a corresponding quadratic equation does not have an integer solution. We also give examples of how our results help in calculating the Gordian distances, algebraic Gordian distances and polynomial distances.

14:40–15:10

内田 樹 (神戸大学大学院理学研究科)

交差交換と Alexander 多項式

ある結び目が与えられたとき、その結び目に 1 回交差交換を施して得られる結び目の集合の特徴付けを考えたい。「そのような集合から得られる Alexander 多項式の必要十分条件を求めよ。」という問題に対し、trefoil や figure-eight knot など、いくつかの結び目に関しては結果が出ている。5_2 について同様の問題を考えたところ、必要十分条件はまだ得られていないが、Darcy の表で決定されていなかった Gordian distance をいくつか決定することができた。

15:30–16:00

小木曽 岳義 (城西大学理学部数学科)

Conway Coxeter Frieze に付随する Kauffman bracket 多項式

1996 年に山田修司氏は「分数の祖先三角形」を導入し、それを用いて効率的に分数の連分数表示から得られる tangle, 2 橋結び目に付随する Kauffman bracket 多項式を計算した。今回の講演ではこの「分数の祖先三角形」を Conway Coxeter Frieze という A 型の Cluster 代数と関係する組み合わせ論的なモデルの言葉に言い直し、そこから得られる Conway Coxeter Frieze の性質がどのように Kauffman bracket 多項式に現れるかなどの、いくつかの性質を紹介する。この研究は関西大学の和久井道久氏との共同研究に基づいている。

16:05–16:35

嘉藤 桂樹 (東京工業大学理学院数学系)

Property of the interior polynomial from the HOMFLY polynomial

The HOMFLY polynomial $P_L(v, z)$ is a famous link invariant and the interior polynomial is an invariant of (signed) bipartite graphs. The interior polynomial for plane bipartite graph is equal to a part of the HOMFLY polynomial of a naturally associated link diagram. In planar case, we get the property of the interior polynomial from the property of the HOMFLY polynomial. The HOMFLY polynomial of the mirror image L^* is given by $P_{L^*}(v, z) = P_L(-v^{-1}, z)$. We show the similar formula for the interior polynomial for any bipartite graph, which contains non planar case. In this proof, we use the famous combinatorics formula, the Ehrhart reciprocity. We also show the formula of the interior polynomial related to flyping.

16:40–17:10
亀山 昌也 (名古屋大学大学院多元数理科学研究科)
LMOV 予想とその精密化

LMOV(Labastida-Marino-Ooguri-Vafa) 予想は Chen-Simons 理論と位相的弦理論の間の双対性に基づく予想のひとつである。この予想は色付き HOMFLY-PT 多項式の整数係数性に関するある種の代数的、組合せ論的構造を予想している。一方結び目ホモロジー、特に色付き HOMFLY-PT 多項式の圏化に関連して Chern-Simons 理論と位相的弦理論の ”精密化”が物理側で研究されている。本講演では LMOV 予想の紹介をした後、LMOV 予想の精密化とその非負整数係数性に関する予想を紹介する。本講演は縄田聡氏との共同研究 (arxiv:1703.05408) に基づく。

17:15–17:45
野坂 武史 (東京工業大学理学院数学系)
Milnor-Orr invariants from the Kontsevich invariant

仮定として, ”based” link L が k 次以下の Milnor 不変量が 0 とする. この時, K. Orr は拡張として或る 3 次ホモトピー群に値をもつ (based links の) 不変量を定義した. 今回の主結果とは, Orr 不変量は, (string link の)Kontsevich 不変量の tree 部分の $2k$ 次未満と等価であり, また Milnor $\bar{\mu}$ 不変量の $2k$ 次以下とも (Special expansion を通じ) 等価である事である. この結果, その tree 部分に位相的意味を与え, さらに Orr 不変量の longitude による計算法も与える. また, Meilhan-Yasuhara の結果から, Orr 不変量の HOMFLY 多項式による計算法も与える.

12 月 25 日 (月)

9:45–10:15
宮村 旭 (東京工業大学理学院数学系)
種数 0 の Lefschetz ファイバー空間の符号数について

Etnyre は種数 0 のオープンブック分解にサポートされる 3 次元接触多様体の任意のシンプレクティック充填が負定値であることを示した. 一方, Wendl らの結果から, 種数 0 のオープンブック分解にサポートされる接触多様体の任意のシンプレクティック充填は, そのオープンブック分解と両立するような Lefschetz ファイバー空間のブローアップとなることが分かる. その Lefschetz ファイバー空間の構造か

ら符号数の公式が得られること, さらにその公式と上記の Wendl らの結果を組み合わせることにより Etnyre の定理の別証明が得られることを紹介する.

10:20–10:50
半田 伸 (東北大学大学院理学研究科)
Branched standard spine 上の S-stable 葉層の構成

奇数次元多様体上の完全非可積分な超平面場のことを接触構造という．向き付け可能な閉 3 次元多様体 M の branched standard spine P 上の S-stable な葉層に対し，それを定義する 1-形式から M 上の接触構造を構成できることが知られている．本講演では P の各辺に与えられた実数の情報に基づいて P 上の S-stable な葉層を構成する方法を紹介する.

11:10–11:40
坂井 駿介 (広島大学大学院理学研究科)
A characterization of alternating link exteriors

J. Green and J. Howie gave intrinsic characterizations of alternating links in terms of spanning surfaces. These answer the Fox's problem which asked what non-diagrammatic properties characterize alternating links. In this talk, we give a characterization of alternating link exteriors in terms of cubed complexes.

11:45–12:15
松田 能文 (青山学院大学理工学部)
セパタクロー絡み目について

セパタクローは東南アジア発祥の球技で, そのボールはアニュラスたちを編んだ構造をしている. 各々のアニュラスを円周に置き換えて得られる絡み目をセパタクロー絡み目と呼ぶことにする．セパタクロー絡み目は高い対称性を持つ交代絡み目であり興味深い絡み目と考えられる. しかし, セパタクローのボールの絡み目の観点からの先行研究は講演者の調べた限りではほとんどないようである．本講演では, これまでに分かったセパタクロー絡み目の諸性質について紹介する.

13:30–14:00
瀧村 祐介 (学習院中等科)
A preorder of chord diagrams coming from spherical curves

円周上に偶数個の点が配置され、2 点ずつ chord で結ばれたものを chord diagram という。spherical curve を、円周の球面へのはめ込みとしたときの逆像において、同一の点となる 2 点をつなぐことにより、chord diagram が得られる。chord diagram における preorder を定義し、spherical curve の集合の特徴付けを行った。また、それによる応用がいくつか得られたので、報告する。

14:05–14:35

船越 紫 (奈良女子大学理系女性教育開発共同機構)

Complexes induced from spherical curves and distances derived from them

In this talk, we introduce 1-dimensional complexes induced from spherical curves, and distanced on certain equivalence classes of spherical curves by using the 1-complexes. Particularly, we show some results on the distance in case when it is derived from weak RⅢ move. This is a joint work with Megumi Hashizume (Meiji University), Noboru Ito (The University of Tokyo), Tsuyoshi Kobayashi (Nara Women's University) and Hiroko Murai (Nara Women's University).

14:40–15:10

橋爪 惠 (明治大学研究・知財戦略機構)

On equivalence classes of spherical curves by Reidemeister moves I and Ⅲ

球面曲線に対して，交差の上下の情報を無視した Reidemeister moves I, II, III (RI, RⅡ, RⅢ と書く) を考える．２つの球面曲線 P, P' が与えられて，それらが RI と RⅢ で移り合うときに同値であるとみなす．この同値関係による同値類は無限個あることが知られている ([H-Y], [I-T])．しかし，そのどの１つも決定されていない．本講演では，単純閉曲線を代表元に持つ上記の同値関係による同値類に関して講演する．更に，ある球面曲線が同値類に入るための判定条件に関しても述べる．本研究は伊藤昇氏（東京大学）との共同研究である．

[H-Y] T. Hagge and J. Yazinski, On the necessity of Reidemeister move 2 for simplifying immersed planar curves, Banach Center Publ. **103** (2014), 101–110.

[I-T] N. Ito and Y. Takimura, On a nontrivial knot projection under (1,3) homotopy, Topology Appl. 210 (2016), 22–28.

15:30–16:00

伊藤 昇 (東京大学大学院数理科学研究科)

Spaces of chord diagrams of spherical curves

この講演では、向きのないコードからなるコード図たちを用いて球面曲線の整数値関数 $\sum_i \alpha_i x_i$ を組織的に定義する。コード図たちの生成する $\mathbb{Z}$-加群を考え、その元である Type (I) ((SII), (WII), (SIII), または (WIII)) relator という元たちと $\sum_i \alpha_i \tilde{x}_i$ を導入する。「もしも $\sum_i \alpha_i \tilde{x}_i$ が有限個の relator 上で消えているならば、$\sum_i \alpha_i x_i$ はライデマイスター RI(strong RII, weak RII, strong RIII, または weak RIII) における不変量となる」という主張を示し、具体例を報告する。

16:05–16:35

高村 正志 (青山学院大学社会情報学部)

Arrow diagrams on spherical curves and computations

球面曲線を分類するある Reidemeister move で不変な整数値関数を組織的に導く方法について講演する．その不変量は向き付きのコード (arrow) を持つ arrow diagram と呼ばれる図式を使って，構成される．本講演では具体的なコンピュータプログラムのデモを行う．この研究は伊藤昇氏 (東京大学大学院数理科学研究科) との共同研究である．

16:40–17:10

櫻井 みぎ和 (茨城工業高等専門学校)

Finite type invariants and n-similarity of virtual knots via forbidden moves

Vassiliev introduced filtered invariants of knots using crossing changes (1990), called finite type invariants. For the finite type invariants, Ohyama introduced a notion of n-triviality (1990) and Taniyama generalized it to obtain a notion of n-similarity (1992). Goussarov, Polyak, and Viro introduced universal finite type invariants of virtual knots using virtualization (2000). Noboru Ito and the speaker mimicked their ideas, and defined finite type invariants of virtual knots and introduced a notion that corresponds to n-similarity, using forbidden moves (J. Math. Soc. Japan). In this talk, we give infinitely many examples of n-similar pairs of virtual knots by forbidden moves and show that every invariant of Goussarov, Polyak, and Viro is an invariant of us. This is a joint work with Noboru Ito (The University of Tokyo).

12 月 26 日 (火)

9:45–10:15

村長 達 (広島大学大学院理学研究科)

Eulerian coorientations and Seifert surfaces for divide links

向き付け可能なコンパクト曲面に適切にはめ込まれた閉曲線や弧の和集合をディバイドとよぶ。ディバイドが与えられると, 曲面上の単位接束内の向き付られた絡み目が得られる。これをディバイド絡み目という。 ディバイドをグラフとみなし, 然るべき条件を満たすように各辺に法方向を定めたものをそのディバイドの Euler 余方向とよぶ。Euler 余方向が与えられると, ディバイド絡み目の Seifert 曲面が得られる。本講演では, Euler 余方向のコホモロジカルな性質と Seifert 曲面の幾何学的な性質についての研究の経過報告を行う。

10:20–10:50

丹下 稜斗 (九州大学大学院数理学府)

On a generalization of the Fox formula for twisted Alexander invariants

We present a generalization of the Fox formula for twisted Alexander invariants associated to representations of knot groups over rings of S-integers of F, where S is a finite set of finite primes of a number field F. As an application, we give the asymptotic growth of twisted homology groups.

11:10–11:40

坂中 大志 (京都大学数理解析研究所)

結び目群の $\mathrm{SL}_2(\mathbb{F}_{p^n})$ 既約表現の共役類の個数の合同ゼータ関数

p を素数とし，$\mathbb{F}_{p^n}$ を位数 p^n の有限体とする．結び目群の $\mathrm{SL}_2(\mathbb{F}_{p^n})$ 既約表現の共役類の個数の母関数を結び目のゼータ関数という．結び目のゼータ関数について，Sink 氏，Xu 氏，Li 氏，原田氏らの先行研究があるが，双曲結び目に対するゼータ関数の具体的な計算はあまりなされていなかった．本講演では，三葉結び目，8 の字結び目および (7,3)，(8,3)two-bridge 結び目のゼータ関数を，p が 11 以下の奇素数の場合に具体的に決定した結果を紹介する．また，ゼータ関数には character variety の種数の情報が現れるが，それに関連して 8 の字結び目および (7,3)two-bridge 結び目の双曲構造の変形空間について述べる．

11:45–12:15

植木 潤 (東京大学大学院数理科学研究科)

The Profinite completions of knot groups determine the Alexander polynomials

2 つの結び目を区別する際に、分岐被覆のホモロジー群の捻れを比較することがしばしば有用であった。このことから、少しの議論を経て、次のような問題に至る：

「結び目群の副有限完備化（有限商の全体）は、結び目のどのような位相的情報を持っているか？」

本講演では、まずの次の結果を紹介する。

「一般に S^3 内の 2 つの結び目 J と K について、結び目群の副有限完備化の間に同型があれば、J と K の Alexander 多項式は一致する。」

これは [BoileauFriedl2015] の結果において「1 の冪根を根に持たない」という条件を外したものである。証明には完備群環 $\widehat{\mathbb{Z}}[[t^{\widehat{\mathbb{Z}}}]]$ に関する補題を示して用いる。

また代数体の S 整数環上の表現（例えば双曲結び目の holonomy 表現）に付随する捻れ Alexander 多項式についても、同様の結果を論じる。1 の冪根を根に持たない Alexander 多項式に関する [BoileauFriedl2015] の結果は、「巡回終結式の絶対値から多項式が復元できる」という [Fried1988] の定理に依っていた。これは巡回終

結式の絶対値を係数に持つ Artin–Mazur の力学系のゼータ関数を用いて示され、多項式が実数係数であることが本質的に使われていた。今回は複素係数となりうるが、ある岩澤加群を考えることで進展を得る。

13:30–14:00

石川 勝巳 (京都大学京都大学数理解析研究所)

A relation between biquandle coloring and quandle coloring

We give an explicit one-to-one correspondence between biquandle colorings and quandle colorings for classical/surface links. As a corollary, many biquandle invariants, including coloring numbers and cocycle invariants, are reduced to quandle ones. This is a joint work with Kokoro Tanaka (Tokyo Gakugei University).

14:05–14:35

村尾　智 (筑波大学大学院数理物質科学研究科)

ハンドル体結び目の cutting 数と constituent ハンドル体結び目

ハンドル体結び目とは 3 次元球面に埋め込まれたハンドル体のことであり，ハンドル体結び目をいくつかのメリディアン円板で切り開いて得られるハンドル体結び目を，そのハンドル体結び目の constituent ハンドル体結び目という．一般にあるハンドル体結び目に対し，その constituent ハンドル体結び目は無数に存在する．またハンドル体結び目の cutting 数とは，そのハンドル体結び目が自明になるために必要な切り開くメリディアン円板の最小数で定義される．本講演では，constituent ハンドル体結び目が満たすべき必要条件及び cutting 数に関する評価式を与える．

14:40–15:10

松崎 尚作 (拓殖大学工学部)

3 次元球面に埋め込まれたコンパクト曲面の全同位による分類について

3 次元球面に埋め込まれたあらゆるコンパクト曲面（の全同位類）を, 3 価の空間グラフとその図式で表す方法を導入し, その図式に関して, 拡張されたライデマイスター変形を導入する. 次に, 二つの空間グラフの図式として表されたコンパクト曲面が全同位である事と, 二つの空間グラフ図式が拡張されたライデマイスター変形で移りあう事とが同値であることを紹介し, 結び目・絡み目・ハンドル体結び目への応用についても述べる.