

プロジェクト名：DNAトポロジーの数学的研究

代表者：下川 航也（理工学研究科・准教授）

このプロジェクトでは、DNAの部位特異的組み換え酵素 Xer が DNA 絡み目を解く様子を数学的に解析し、そのメカニズムの数学的特徴付けを行った。その論文は現在投稿中であり、また国際会議での基調講演として発表している。また、その研究に関連してファイバー結び目と絡み目間のバンド手術および交差交換の数学的特徴付けを行った。この結果は、組み換えのメカニズムの特徴付け、および、トポイソメラーゼのメカニズムの特徴付けに応用がある。その応用については来年度以降に発表予定である。

1 Xer-*dif*-FtsKによるDNA絡み目解消の研究

この研究では、Xer-*dif*がFtsKとの協力のもとに行うDNAの複製により得られるDNA絡み目の解消操作について、その操作をバンド手術としてモデル化することにより、解消の経路とそのメカニズムの特徴付けを行った。絡み目解消経路については、 $2m$ -cat から自明絡み目を得る際に、各組み換えでその交点数を下げると仮定すると、その経路は唯一つしか無く、 $2m$ -cat、 $(2m-1)$ 交点トーラス結び目、 $(2m-2)$ -cat、...、三葉結び目、ホップ絡み目、自明結び目、自明絡み目となるというものである。そのメカニズムについては、昨年度得られた結果などを用いて、三葉結び目からホップ絡み目、ホップ絡み目から自明結び目、および、自明結び目から自明絡み目の場合について特徴付けを与えている。この研究の結果は論文“FtsK dependent XerCD-*dif* recombination unlinks replication catenanes in a stepwise manner”にまとめ、現在投稿中である。また、国際会議 The 9th East Asian School of Knots and Related Topics においてこの成果を基調講演として発表し、日本数学会総合分科会においても特別講演として発表した。

2 ファイバー結び目と絡み目間のバンド手術および交差交換の研究とその応用

この研究では、ファイバー結び目、絡み目間のバンド手術および交差交換の特徴付けを行った。ファイバー結び目、絡み目とは、その外部空間がザイフェルト曲面をファイバーとするような S^1 上の曲面束の構造を持つものである。この研究では、まずファイバー曲面上の弧でそれに沿った手術により新たなファイバー曲面が得られるものの特徴付けを行った。その結果を用いると、ファイバー結び目（絡み目）のバンド手術でファイバー絡み目（結び目）が得られる場合が系として得られる。バンド手術がオイラー数を2以上変える場合には既に特徴付けがなされているので、ここではオイラー数が丁度1だけ変わる場合を特徴付けている。我々はこの研究において generalized Hopf banding という概念を導入し、そのようなバンド手術は generalized Hopf banding となることを証明した。応用として、 $2m$ -cat から $(2m-1)$ 交点トーラス結び目へのバンド手術と $(2m-1)$ 交点トーラス結び目から $(2m-2)$ -cat へのバンド手術の特徴付けが従う。この結果は、Xer-*dif*-FtsKによる絡み目解消操作のメカニズムの解明など、部位特異的組み換え酵素の働きメカニズムの解明に寄与するものである。数学的研究成果は論文“Band surgeries and crossing changes between fibered links”にまとめた。Xer-*dif*-FtsKの働きメカニズムの解明などへの応用は、これから執筆する生物学の論文にまとめる予定である。

論文

- Rational tangle surgery and Xer recombination on catenanes, Isabel K Darcy, Kai Ishihara, Ram Medikonduri, and Koya Shimokawa, *Algebr. Geom. Topol.* **12**, 1183-1210 (2012)
- Site-specific recombination modeled as a band surgery: Application to Xer recombination, Kai Ishihara, Koya Shimokawa, and Mariel Vazquez, to appear in *the proceeding of the international conference "Discrete and Topological Models in Molecular Biology"*.
- FtsK-dependent Xer-*dif* recombination unlinks replication catenanes in a stepwise manner, Koya Shimokawa, Kai Ishihara, Ian Grainge, David J. Sherratt, and Mariel Vazquez, *submitted*.
- Band surgeries and crossing changes between fibered links, Dorothy Buck, Kai Ishihara, Matt Rathbun, and Koya Shimokawa, *preprint*.

招待講演

- Application of knot theory to molecular biology –Band surgery and site-specific recombination of DNA-, 国際会議 *The 9th East Asian School of Knots and Related Topics*, 基調講演, 2013年1月, 東京大学。
- Tangle analysis of site-specific recombination –Unlinking pathways of Xer-*dif*FtsK-, 日本数学会 2012年度秋季総合分科会、トポロジー分科会特別講演, 2012年9月, 九州大学。

外部資金

- 平成22～24年度 科学研究費補助金 基盤研究(C)
「結び目理論の生物学への応用」(22540066)
計 330 万円 (平成 24 年度 100 万円)