

結び目のデーン手術とDNAの研究 II

プロジェクト代表者：下川 航也 (理工学研究科・准教授)

この研究では、結び目のデーン手術の研究を DNA の組み換え酵素の働きのトポロジカルな特徴付けに応用を行った。DNA に働く酵素は、DNA の空間的構造を変えるものがあることが知られている。特に組み換え酵素のうち部位特異的組み換えを行うものは、安定した構造変化を与えており、その様子はタングルを用いて解析されている。そこでは、酵素による DNA の空間構造の変化の特徴付けに結び目理論の最新の結果が応用され、多くのシステムについてその働きの様子が明らかになってきている。今回の研究では Xer システムについて考察を行い、(1) Xer システムが DNA 絡み目を DNA 結び目に変化させるときの様子、および、(2) Xer システムが DNA 絡み目を解く様子の数学的特徴づけを与えた。

1. タングル手術と Xer システムによる DNA の組み換えの研究

今年度は、数学的結果として、3次元多様体の重要なクラスであるレンズ空間内の結び目のデーン手術でレンズ空間が得られる場合を考察した。特に、レンズ空間内の強可逆結び目とトーラス結び目のデーン手術の研究を中心に行った。具体的には、レンズ空間 $L(4mn-1, 2m)$ から $L(2k, 1)$ への強可逆結び目の Dehn 手術を分類し、Isabel Darcy 氏 (Iowa University)、石原海氏 (埼玉大学理工) との共著論文“Rational tangle surgery and Dehn surgery on knots in lens spaces : Application to Xer recombination” (執筆中) にまとめている。

この結果は DNA の組み換え酵素 XerCD の作用の様子の位相幾何学的な特徴付けに応用がある。例えば、6-cat と呼ばれる DNA 絡み目に XerCD が作用し、7 交点のトーラス結び目である DNA 結び目を生むことが知られているが、上記の結果を用いてこの作用の様子の特徴付けを行うことが出来た。

2. Xer システムによる DNA 絡み目の解消の研究

また、もう一つの研究として、DNA の作る絡み目の XerCD による絡み目解消操作の特徴付けを行った。DNA 絡み目は細胞が複製される際に現れ、細胞分裂の前までに絡み目解消が行われる。その絡み目解消は普通トポイソメラーゼと呼ばれる酵素が行うが、XerCD も絡み目解消を行うことが最近の研究 (EMBO J. 2007) で明らかになった。今回の研究では、XerCD による絡み目解消操作の様子を位相幾何学的に特徴付けた。その証明には、絡み目の外部の曲面と絡み目のツイストとの関連に関する結び目理論の結果が用いられている。この研究は Mariel Vazquez 氏 (San Francisco State University)、石原海氏 (埼玉大学理工) との共同研究である。この結果は 8 月に京都大学で世話人として開催する国際会議 “Knots and soft-matter physics” で講演予定である。研究の概要は国際会議の報告集に含まれる論文 “Tangle analysis of DNA catenane unlinking by the Xer/FtsK system / Koya Shimokawa, Kai Ishihara and Mariel Vazquez” (執筆中) にまとめているが、数学的な証明を詳しくつけた論文は、新しい実験結果と共に新たに他に出版する予定である。

今年度のこの研究に関する成果発表、および、獲得外部資金は以下の通りである。

論文

- Rational tangle surgery and Dehn surgery on knots in lens spaces : Application to Xer recombination / Isabel K. Darcy, Kai Ishihara, and Koya Shimokawa(執筆中)
- Tangle analysis of DNA catenane unlinking by the Xer/FtsK system / Koya Shimokawa, Kai Ishihara and Mariel Vazquez(執筆中)

講演

- Tangle analysis of unlinking DNA links by XerCD, 結び目のトポロジーX, 2007年12月, 東京女子大学.
- DNAと結び目理論, 埼玉大学理工学研究科「研究交流サロン」分散型成果発表会 2007年11月, 埼玉大学.

研究報告書

- Tangle analysis of unlinking DNA links by XerCD, 研究集会「結び目のトポロジーX」報告集, 2008年2月

外部資金

- 平成18～20年度 科学研究費補助金 基盤研究(C)
「曲面を用いた結び目の研究」(18540069)
計 340 万円 (平成19年度 110 万円)