

理工学部数学科／計算数学研究室  
情報学基礎、計算位相幾何学、計算機科学、グラフ理論

# 山本 慎 教授

【プロフィール】山本 慎（やまもと まこと）▷1976年、早稲田大学理工学部数学科卒業、1982年、早稲田大学大学院理工学研究科数学専攻博士後期課程修了。同年、早稲田大学理工学部助手、1988年より早稲田大学理工学研究科特別研究員、1989年より大阪女子大学学芸学部助教授などを経て、1994年より現職（2013年より中央大学高等学校長を兼務）。2003年、中央大学後楽園キャンパスITセンター長、2007年、カリフォルニア大学パークレイ校客員研究員。数学オリンピック財団評議員並びに情報オリンピック日本委員会専務理事。



## さまざまな「結び目」を研究対象に、 高次の数学的なアプローチで、 新たな発見の理論的な証明に向かう。

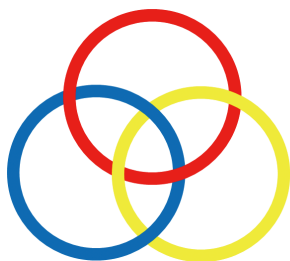
「結び目」と言えば、誰もが紐が結ばれたあのイメージを浮かべることでしょう。山本先生の研究の基本となるテーマこそ、この「結び目」にあります。ただし、研究の目的は、この結び目の分類や性質を新たに発見し、数学的に証明すること。「入りやすく奥が深い」とは山本先生自身による研究の面白さの表現ですが、結び目という入りやすいテーマの先にある数学の世界は、決して容易であるとは言えません。結び目と対峙しながらも研究を進める上で、プログラミングによる計算が伴うのですが、常にコンピュータと向き合う訳ではなく、先生はフリーハンドで図形を描いて構想をめぐらすこともあります。深遠に広がる「結び目」の先の世界を訪れてみましょう。

### 「結び目」を対象に その性質を追究

結び目の分類や性質を明らかにするとは、どういうことなのか。山本先生に、まずは基本から説明してもらいました。そこで用いられたのが下図の「ボロミアンリング」です。

「黄・青・赤の3つの輪が重なっています。数学で言う『結び目』とは、このように輪ゴムと同じく両端をつなげた円のようなものとして扱われます。この結び目が二つ以上集まると『絡み目』と呼ばれます。また、輪ゴムのよう、絡まっていない結び目を『自明な結び目』と呼び、例えば、ひもを1回結んで両端をつなげたような場合になると『自明でない結び目』と呼ばれます。

さて、この三つの色の結び目は、三つが揃った状態だと外れませんが、どれか一つの結び目を消すと、残りの2つの結び目がバラバラになりま



▲「ボロミアンリング」の図。この名称は、ルネサンス時代のイタリアの貴族であるボロメオ家の紋章に由来しています。「どれかひとつの輪を消すと、残りの2つの輪がバラバラになる」かどうか、試してみてください。

す。三つの結び目が外れない状態では結び目同士が交わっている『交点』の数は6ですが、バラバラになるとゼロになりますね。このケースでバラバラになる、ならないを分類する際に交点数を用いて説明するとき、この交点数のことを『位相不変量』と言い、結び目や絡み目を分類するための量を表します。ただし、交点数だけではいくらでも同じケースが生まれてしまうので絶対的な基準にはなりません。そこで私は、より分類に役立つ位相不変量を発見し計算して証明することを目指して研究しています」

### 普遍的な定理を導く アルゴリズムへ

位相不変量の研究では、例えば2つの結び目があった場合に、この2つが同じかどうかを計算することもあります。

「どちらかの結び目を、切らずにまさにゴムのように伸ばしたり縮めたりして連続的に動かして、もう一つの結び目に重なるように移り合える形になるとき、2つの結び目は『同じ』であるといいます。この場合、2つの結び目に「変わらない量」が位相不変量です。一見違っているのに同じになることも、逆の場合もあります。ただし、『見た目が同じだから同じ』という理屈はもちろん数学では通用しません。理論的な証明が当然、必要になります。研究では、コンピュータでいかに速く計算するかのアルゴリズム（解くための手順）を追究し、実際に大量の例を計算した結果、『このような性質があるところなる、こんな分類が成り立つ』と予想します。さらにそれを理論的に証明することで、特別なケースだけでない普遍的な定理に結びつけることが成果に結び付きます」

## フリーハンドで発想を ふくらませる楽しさ

山本先生には、「位相不変量」とも関わるもう一つの研究テーマがあります。

「3次元空間にグラフを埋め込んだときに見出される、自明でない結び目や絡み目の性質を研究しています。この場合のグラフとは、点と線で構成される図形で、鉄道の路線図もその一つです。駅が点で路線が線とすることができます。ここでも位相不変量を用いて研究する場合があります。これは『空間グラフ』の研究と呼ばれます」

「入りやすくて奥が深い」と先生が言われるように、アルゴリズムを通して理論的に証明していくプロセスには、難解な壁が待ち受けています。しかし、実はコンピュータと向き合う前の段階で先生は、フリーハンドで結び目を描きながら、定理への道筋を自由に探る時間も過ごしています。

「特別な道具は使いません。電車のなかなど場所を選ばず、レポート用紙などにどんどん描いていきます。これが最も効率的なのです。何度も繰り返し描きながら描いていくと『こんな性質が成り立ちそうだ』という突破口が見える瞬間が訪れます。それこそ“一瞬のひらめき”という感覚で、試行錯誤しながら思い巡らしてきたことが一気に氷解します。こうして図を描いている段階がこの研究の楽しさ、と言ってよいかもしれません。先に述べた2つの研究では、フリーハンドで描く過程が欠かせず、いきなりコンピュータに向かうことはありません。フリーハンドでの発想を踏まえてプログラミングと向き合うことになります」

先生の研究は、私たちに身近な「結び目」を対象としますが、研究成果が実用と結び付くことはあるのでしょうか。

「高分子化学やDNAと結びつく可能性がある実用的な研究が行われ、私も関心をもっています。ただ研究対象の全てを描くことはできませんので、重要な一部分を描くことで実用化に貢献していきます。また、結び目・絡み目の分野では、人間を点として設定し、知っている同士を線で結んでその性質を求めるなど、実社会に重ね合わせた研究も行われています。先日、新座変電所と都内を結ぶ送電網が遮断されて大規模停電が起きた事件のように、その一本が切れると大きなグループ同士がつながらなくなるような特別な線を導き出す研究もその一種です」

実社会につながる結び目の研究の世界。その内容が、ますます魅力的に思えてきます。



▲山本先生が代表著者を務める高校の数学の教科書。中央大学高等学校長も兼務する先生は、高校生との結びつきが強い。

## 数学にアプローチする 基礎をまず学ぶ研究室

山本先生の研究室では、どのようなステップで学んでいくのでしょうか。

「学部段階で、いきなり結び目の研究を行うにはハードルが高すぎます。そこで、研究に欠かせない基礎的な分野を学ぶことになります。数学には、数学特有のテクニカルターム（専門用語）や独特の言い回しがありますので、卒業研究（学部）では、英語のテキストを使ってアルゴリズムに関する勉強と英語の読み方の訓練を行います。数学の

論文を書くうえでは常識となる内容です」

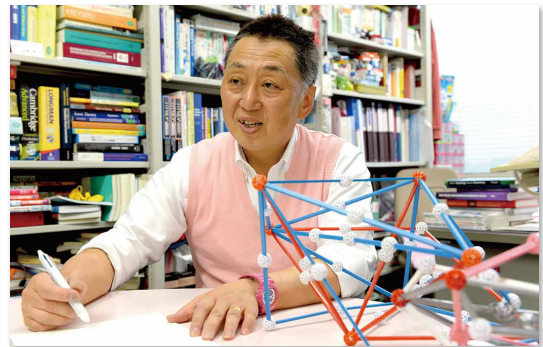
高校の数学の教科書にもその名が載る先生だからこそ、数学自体を学ぶ楽しさも教えてもらえそうです。

「プログラミング言語の講義も行っているのですが、その講義をきっかけに入室する学生が比較的多いです。そこで4年生を中心にしたチームで『ACM-ICPC 国際大学対抗プログラミングコンテスト』にも参加しています。また私は大学時代、『数学のできる生徒を褒めてあげたい』と恩師が発案した縁で、『日本数学オリンピック』の準備にも携わった経験もあるんですよ」

先生に、結び目の研究の難しさを訊ねると「全てが難しいですね」という答えが返ってきました。ただ、世界の数学研究者が発見を競う分野ならではの難しさがあるとか。

「多くの数学者がそれぞれ同じようなゴールに向けて研究していますので、そうした目に見えない相手よりいかに早く新たな発見ができるかが重要なのです。したがって、いま世界でどんな研究が行われているかという動向を把握するために、海外で開催されるシンポジウムにも出席するよう心掛けています」

純粋に数学研究に没頭する山本先生のもとで、まず数学の基礎を身に付け、さらに高度な結び目の研究の世界に入る。そんな大学生活のプロセスが待っています。



▲ペンを走らせながら「結び目」の面白さを語る先生。研究にはフリーハンドも欠かせない。



▲先生が担当しているプログラミング言語の講義も行われる最新の数学科計算機室。

## Message ~受験生に向けて~

よいプログラムを書くためには、優れた人のプログラムを“コピー”することもスキルアップには重要です。このように、人真似は学びの最初には大切なこともあるのですが、いつまでも人真似ではなく、自分だけのオリジナリティを出すことを目標に進んでください。そのためには研究と同じで何度も何度も試みる必要があります。「これでよいのだろうか」と常に自らに問いかけながら、独自の個性をアピールして行ってほしいと思います。