

### 1. 明治大学 FMS

本欄では、研究室紹介をする前に、所属する学科や学部の紹介をすることが恒例となっているようであるが、明治大学総合数理学部は「ごくふつうの」**数学専門の学部**である。

同じ明治大学には理工学部数学科もあることから、「どうして？」と聞かれることもあるが、話は単純で簡単である。**数学は世のため人のために役立つ**。そのことを社会に発信することを旨としているから数学専門の学部なのである。コアとなるのは「社会現象・自然現象を数学で解き明かす」**現象数理学科**であるが、筆者が所属しているのは「数学を利用して人を幸せにする情報技術を研究する」**先端メディアサイエンス学科 (FMS)**である。「数学を使って社会構造を豊かにすることを目指す」**ネットワークデザイン学科**と3つの学科から構成されている。

先端メディアサイエンスというのは呼び名として長いので、内部生は「FMS」と英語表記の頭文字で呼んでいる。「明治大学 FMS」で検索してもらえれば何の略かはわかるだろう。外見からすると明治大学 FMS は情報系の学科ということが出来るが、教員には人間工学・心理学・認知科学の専門家や芸術系の特任もおり、まさに多士済々といういでたちである。筆者は数学ソフトウェアで1992年に理学の学位を取った（当時はまだこういう研究は珍しかった）ことから2013年の学科創立の年からこの学科に参加させてもらっており、元気のよい学生さんたちと意気込んで日々研究活動を楽しんでいる。ほかの大学の同系統の学科とはつきり違うと思うのは、学科の方針として、学部生からどんどん学会で研究発表をさせることだろう。自分の発想で研究を行い、それ

を学外に発表する活動を学部生から積極的に行わせている。そのため、卒業後の就職も総じて良いようである。

### 2. 動的幾何ソフトウェア

さて、そのような FMS に在籍してすでに7年がたったが、阿原研究室では、ほかには見られないような独特な数学ソフトウェアを多数発表している。ここでは1つにしぼって、動的幾何ソフトウェアの **PointLine** を紹介したいと思う。

**PointLine** を理解してもらうためには、まず「動的幾何ソフトウェア」について説明しなければならない。もっとも本書の読者であるならば龍谷大学の西先生が文献[1]で紹介なさっておられた **GeoGebra** はご存知のことと思う。**GeoGebra** は幾何作図に限らず幅広く数学教育をカバーした造りになっているが、その中核となる機能の1つは動的幾何ソフトウェアの機能である。

作図といえば、そもそもは定規とコンパスで幾何学の図形を正確に描く技術のことであり、ピタゴラスの時代よりずっと昔から人々を楽しませたり悩ませたりしてきた。20世紀になってからコンピュータの特性を生かして**インタラクティブティ (相互作用性)**を加味したものが動的幾何ソフトウェアである。

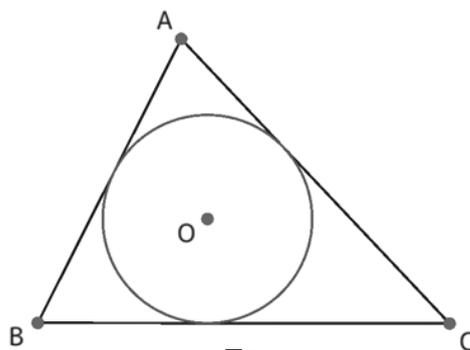


図 1

図1は三角形 ABC とその内接円 O を表している。この図は **PointLine** によるものであるが、**GeoGebra** でも見た目はそれほど変わらない。この図はコンピュータの画面に固定されているわけではなく、三角形の頂点 A,B,C はマウストラック

グにより動かすことができる。三角形の頂点を動かしても「円Oが内接円である」という性質は保たれるようになっており、三角形の形を変形するにしたがって、内接円Oの位置や半径も変わることが観察できる。これがインタラクティブティである。

インタラクティブティの良さは、図の観察者が自分の意志で三角形の形を変形できることであり、図の変形に従って図の全体がどのように変化するかを観察することができることである。インタラクティブティは、**観察者の能動性を担保する**ところが特徴である。

### 3. 動的幾何ソフトウェアの進化

GeoGebraが中等教育におけるICT教育のツールとして非常に有用であることは、[1]をはじめとして、GeoGebraについて論じたものを読んでいただければわかっていたいただけるものと思う。

しかし、GeoGebraが非常に優れたソフトウェアであることを認めたくて、中等教育の探究活動に重点を置いて、さらにその進化形を求めたものがPointLine[2]である。中等教育の幾何学の探究活動をするのにGeoGebraでは不足がある、という認識に基づいているので、そのことについてまず説明しよう。

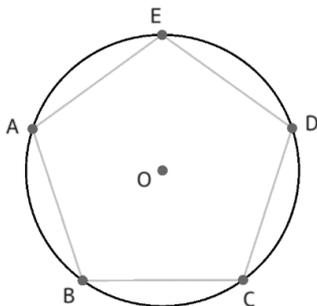


図2

そもそも作図というのは、定規とコンパスを用いて、決まった手順に基づいて実行されるものである。ここでは例題として、「与えられた円に内接する正五角形」という図を考えてみよう（図2）。作図手順はよく知られており、GeoGebraでその手順を再現することは容易である。

ここで皆様はお気づきだろうか。中学生や高校

生が図2をGeoGebraで描くためには「作図手順を知らないといけない」のである。（裏技的な手段を用いれば不可能ではないことは一応断っておくが、一般ユーザーの観点からすると「知らないといけない」のである。）そうすると、GeoGebraを用いて円に内接する正五角形の**作図方法を探究することはできない**ことになってしまう。

そもそも論として、ICT技術は我々を豊かにするために存在しているべきであり、「円に内接する正五角形の作図方法を探究できるようなソフトウェア」があってもよいのではないか。このことをもう少し一般的に言うと、**作図方法が未知であるような図の作図方法の探究をするためのICTの道具は必要**、ということになる。

### 4. 先生にも作図できない図がある

GeoGebraを使って教材を作ってみようと思いついた先生方のなかで「想定した図の作り方がわからない」と立ち止まってしまった先生方も少なからずいるのではないだろうか。こんなことを申し上げるのは、「GeoGebraで日本語教材を作ろう」というウェブサイト[3]を立ち上げたのちに「どうやって作図すればよいかわからない」という相談を受けたことが何度もあるからなのである。

ここでいう「どうやって」というのは、「GeoGebraの機能としてどうやって」という意味ではなく「作図手順としてどうやって」という意味での質問なのである。つまり、数学の先生にとっても「作図手順がわからない図はGeoGebraでは描けない」という問題に直面しているのである。ここには、相談を受けた例を2つ挙げておく。どちらもPointLineで描いたものである。図3は、与えられた三角形に内接する4つの円が互いに外接しあっている図である。図4は与えられた大きな円の内側に6つの連なる円が接しあっている図である。

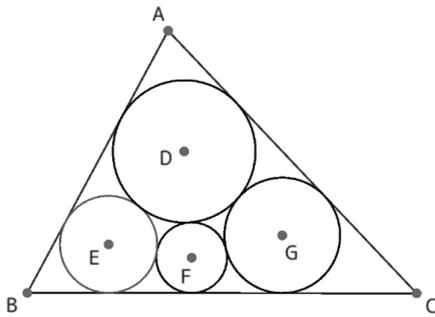


図 3

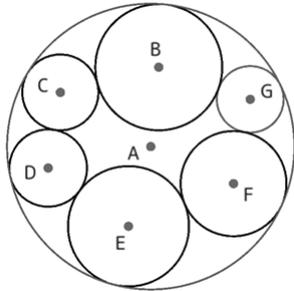


図 4

相談を受けた際には、筆者自身も GeoGebra で描くための作図手順について考えてみたのであるが、図 3 については残念ながらその方法が全くわからなかった。図 4 は 1 つの絵を描くだけであれば可能であるが「どの円も自由に動かせるように描く」ことは難しかった。

## 5. 双方向型動的幾何ソフトウェア PointLine

双方向型 (バイディレクショナル) は PointLine 特有の機能である。一言でいうならば、作図手順が一方向的な手順ではなく、点や直線などの相互関係であるという意味である。ここまで PointLine で描いた 4 つの図を掲載したが、「作図補助線がない」ことにお気づきだろうか。図 3 や図 4 といった難しい作図についても補助線が全くない。これは「補助線を描いたのちに見えないように設定した」のではなく「ソフトウェア的にそもそも補助線が必要ない」のである。たとえば、図 1 の内接円は「三角形」「円」という図形が「円が 3 つの辺に接する」という条件を与える

ことによってこの図が得られる。

図 2 は「円」と「五角形」が「五角形の頂点は円の上にある」「五角形の 5 つの辺は長さが等しい」という条件を追加することによって得られる。図 3 や図 4 も、三角形や円が、図のように接しているという条件を追加することによって図が作られる。これらの作図の様子については動画 [4] を作成したので一度ご覧いただいたうえで、実際に PointLine を操作して見ていただきたい。

このソフトウェアを用いて、芝浦工業大学附属柏中学校で古宇田教諭に研究授業を試行してもらった。ここでは「正方形に内接する (辺が含まれてもよい) 正八角形の作図法の探究」を題材に挙げてもらったが、生徒の探究活動を促す意味での ICT 教材の役割は果たせたものと思う。

ソフトウェア工学的には、PointLine には高度な技術が用いられており、どうやってこのソフトを動かしているかということに興味を持たれる読者もおられるものと思う。本稿では紙面が尽きたのでまたの機会に譲ることとする。個人的にはこの機能が GeoGebra にもあればなあ、と強く望んでいるが、どうだろうか。

## 参考文献

- [1] 大西俊弘「大学研究室探訪 龍谷大学」じっきょう数学資料, 80 巻
- [2] 阿原一志「PointLine」  
<https://aharalab.sakura.ne.jp/PointLine/>
- [3] 阿原一志「GeoGebra で日本語教材を作ろう」  
<https://aharalab.sakura.ne.jp/geogebra/>
- [4] 阿原一志 YouTube「PointLine introduction」  
<https://www.youtube.com/watch?v=FkLLqIEqN74>