

K_ET_Cindyによる図入りPDF教材の作成

木更津工業高等専門学校・基礎学系 山下 哲 (Satoshi Yamashita)

Division of Natural Science,
National Institute of Technology, Kisarazu College

1 カレッジ級数学におけるPDF教材

高校1年次から理工系大学2年次まで（高専1年次から高専5年次までに相当）で修得すべき数学をカレッジ級数学という。Skempの認知説[1]によると、カレッジ級数学では、小中学校の算数・数学における用具的理解（規則を機械的に応用する能力）や関係的理解（数学的關係から手続きや規則を引き出せる能力）では不十分であり、数学の理論体系に関する記号的理解（記号体系と概念構造を同化する能力）や論理的理解が要求される。そのため、カレッジ級数学の授業では、一方向講義形式では行われず、講義後に課題プリントで演習させるような課題解決型学習が取り入れられている。現在、大学・高専でアクティブ・ラーニング型授業が盛んに求められている[2]が、カレッジ級数学では、早くからアクティブ・ラーニング型授業が行なわれていたといえる。

では、課題プリントを単に演習するだけで、学生はカレッジ級数学の内容を理解できるのだろうか。Haylockの連合説[3]によると、数学の理論体系に関する記号的理解や論理的理解を学生に実現させるには、理論の基礎事項を順次関連付ける必要があり、「何かを理解することは（認知的）つながりをつくること」である。代数的な取り扱いに長けている学生であれば、形式的な論理だけでも認知的つながりを構築できるが、一般的な学生には視覚化されたイメージ付けを行わないと認知的つながりを構築しにくい。とくに、微分積分学は図形的意味から理解できることが多く、効果的な図を板書したり、スライドで見せたりしながら学生に提示することで、学生の理解が促進する。ただし、提示した図を学生に配付することが難しく、学生が手元に残すにはノートに書き写すしか方法がなかった（最近では携帯電話で撮影するような要領のよい学生もいる）。このように、カレッジ級数学では、図入り課題プリントや図入りスライドを利用することで、学生の理解を効果的に促進できる。

実際、カレッジ級数学の教員は課題プリントやスライドをどのようにして作成しているのだろうか。カレッジ級数学の教員のほとんどが、数式の入った文書の美しさや論文執筆で使い慣れているからという理由で、授業で使用する課題プリントやスライドなどの教材を $\text{\LaTeX}$ で作成している。 $\text{\LaTeX}$ 文書からPDFファイルが生成されるため、これらの教材はPDF教材の一種であるといえる。ところが、 $\text{\LaTeX}$ 文書へ図を挿入するには多少なりとも技術を要するため、本来は図入り教材を使用したいが、図のない教材を使用する教員が多い[4]。また、課題プリントやスライドに図を挿入するために、これらの教材をWordやPowerPointなどで作成する教員も少なくない。

そこで、2006年から、数学ソフトウェアの援用により $\text{\LaTeX}$ 文書へ簡単に図を挿入するシステムとして $\text{K}\epsilon\text{T}\text{pic}$ を開発しており、2010年に Scilab 版 $\text{K}\epsilon\text{T}\text{pic}$ として完成した。2014年には、動的幾何システム Cinderella と連携して $\text{K}\epsilon\text{T}\text{Cindy}$ に進化した。現在では、Scilab だけでなく、Maxima, R, Risa/Asir, Fricas, Meshlab という数学ソフトウェアも援用できるよう改良されている。 $\text{K}\epsilon\text{T}\text{Cindy}$ で作成された図の特長は以下の通りである。

- 線画である。教材には、CG のようにリアルな描画よりも、教員が板書に描くような単純で漫画チックな線画の方が、学生は概念的に捉えて理解しやすい。また、プリントの図に重要事項を書き込みやすい。
- 3D を線画で表現できるように、スケルトン法（立体交差で奥側の線を分断して描く方法）や稜線法を開発した（図1参照）。
- 文字や数式を書き入れたり、線種を変えたり、領域に色をつけたり、領域に斜線を引いたり様々なアクセサリが利用できる。
- 図入り教材を作成しやすくするために、表作成機能・ $\text{\LaTeX}$ マクロ作成機能・ページレイアウト機能（ $\text{\LaTeX}$ スタイルファイル `ketlayer.sty`）を装備し、 $\text{\LaTeX}$ の機能を補強した。

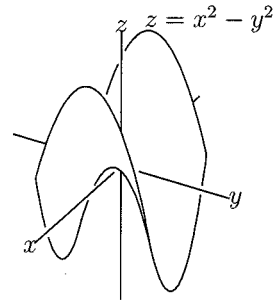


図1. 曲面のグラフ

図1と全く同じ描画を課題プリントとスライドの両方に入れることができるため、学生は認知的つながりを構築しやすい。また、作成した `cinderella` ファイルをスクリーンに投影して、視点を変えて眺めさせることにより、原点まわりの状況など曲面のグラフの全体像を学生に認識させることができる（図2参照）。

本論文では、以上のような静止画教材ではなく、 $\text{K}\epsilon\text{T}\text{Cindy}$ を用いた PDF 動画教材の作成について解説し、今後の課題を記す。

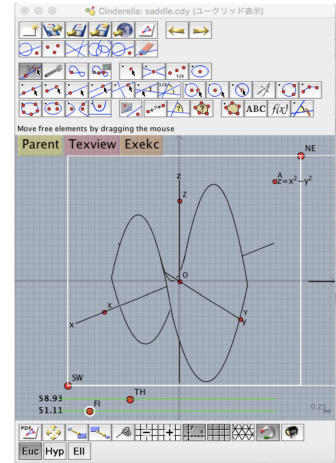


図2. `cinderella` ファイル

2 $\text{K}\epsilon\text{T}\text{Cindy}$ による PDF 動画教材の作成について

本節では、 $\text{K}\epsilon\text{T}\text{Cindy}$ を用いた PDF 動画教材の作成方法と利用法について紹介する。 $\text{K}\epsilon\text{T}\text{Cindy}$ をインストールすると、`ketcindy` フォルダ内の `ketsample/samples/s06animation` フォルダ内に動画教材を作成する `cinderella` ファイル（`s60***.cdy`）がある。これらを実行すると、Acrobat Reader が起動し、PDF 動画教材が作成できる。PDF 動画には、PDF をクリックすると自動で動画が始まるムービー型と、手動で次々とコマ送りされる

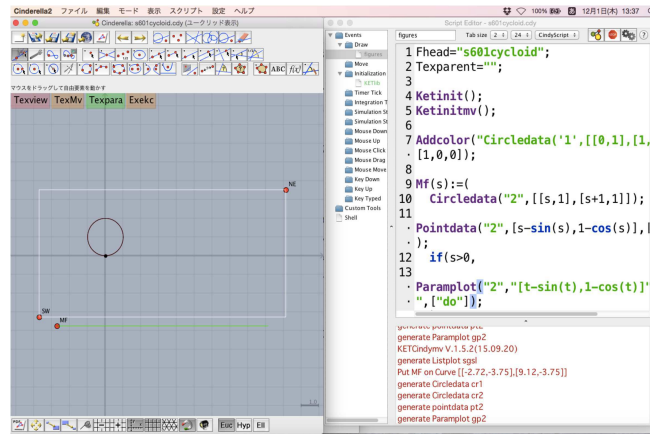


図 3. cinderella ファイルの DG 画面 (左) と CindyScript 画面 (右)

パラパラ型がある。以下、サイクロイドの動画サンプル s601cycloid.cdy を使って説明する。

s601cycloid.cdy を開くと、図 3 右側の DG 画面 (Dynamic Geometry 画面) が現れる。次に、上部ツールバーの右から 3 番目にある「スクリプト/CindyScript」をクリックすると、図 3 のように左側の CindyScript 画面が現れる。

では、CindyScript 画面に書かれたプログラムを説明しよう。CindyScript 画面の左欄で Events/Initialization/KETlib をクリックすると、以下のプログラムが書かれている。このプログラムは、KETCindy パッケージを Cinderella に読み込むためのものである。

```

1  use("KetCindyPlugin");
2  if(isexists(pluginindirectory,"dirhead.txt"),
3    setdirectory(pluginindirectory);
4    import("dirhead.txt");
5  ,
6    Dirhead=getdirhead();
7  );
8  Shellfile="";
9  setdirectory(Dirhead);
10 import("setketcindy.txt");
11 import("ketoutset.txt");
12
13 setdirectory(Dirwork);
14
15 Helplist(["+", "+3d", "+mv"], "helpJ");
16
17 Shellfile="mv";

```

第1行目で cinderella の Plugin フォルダ内にある KETCindy 用プラグイン java ファイル `KetCindyPlugin.jar` を読み込む。第2行目から第7行目までによって、 KETCindy ライブラリのあるフォルダに `Dirhead` を設定する。第10行目で作業用フォルダ `Dirwork` の設定や KETCindy ライブラリの読み込みなど必要な初期設定を行い、第11行目で使用するアプリケーションソフトへのパスを設定する。第13行目で作業用フォルダ `Dirwork` に移動し、第15行目でヘルプリストを読み込む。ここまでは他の sample 用 cinderella ファイルと同じである。最後に、第17行目によって `ketcindy/ketlib` フォルダ内にある動画用 KETCindy ライブラリ `ketcindylibmv.cs` を読み込み、 KETCindy の初期設定が完了する。

次に、CindyScript 画面の左欄で `Events/Draw/figures` をクリックして戻ると、以下のプログラムが書かれている。このプログラムは、PDF 動画を作成するためのものであり、その結果は DG 画面に表示される。

```

1  Fhead="s601cycloid";
2  Texparent="";
3
4  Ketinit();
5  Ketinitmv();
6
7  Addcolor("Circledata('1',[0,1],[1,1],[ ])",[1,0,0]);
8
9  Mf(s):=(
10   Circledata("2",[s,1],[s+1,1]);
11   Pointdata("2",[s-sin(s),1-cos(s)],["Size=4"]);
12   if(s>0,
13     Paramplot("2",[t-sin(t),1-cos(t)],"t=[0,s]","do"));
14   );
15 );
16
17 Moviedata("Mf(s)","s=[0,2*pi]","Div=30","Cut=10");
18
19 // Use AdobeReader to diplay the movie
20
21 Mvdispg();

```

プログラムは第1行目から第5行目までのプリアンブル部と第7行目から第21行目までの動画データ作成部から成る。プリアンブル部は PDF 動画を作成するための準備に必要である。第1行目で生成されるファイル名に `s601cycloid` が付けられる。第2行目で作成した図ファイルを挿入する $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ 文書名を記すと、プログラム実行後に、作成した図を挿入した $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ 文書の PDF ファイルが表示される。第3行目で KETCindy ライブラリを初期化する。ここまでは他の sample 用 cinderella ファイルと同じである。最後に、第4行目で動画用 KETCindy ライブラリを初期化する。

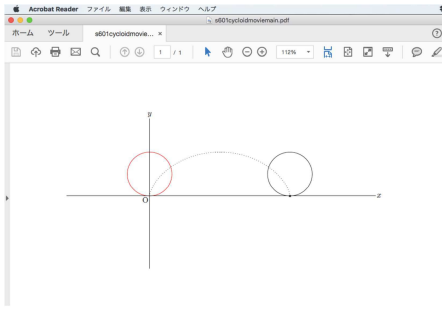


図 4. ムービー型 PDF 動画の表示

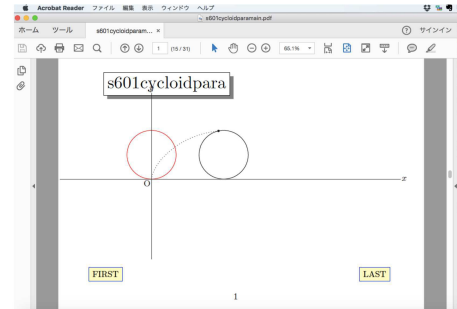


図 5. パラパラ型 PDF 動画の表示

動画データ作成部でサイクロイドの動画データを生成するプログラムを書く。サイクロイドは、円を x 軸上滑ることなく転がすときに得られる円上の点の軌跡である。第 7 行目では、初期状態の静止画データとして、 $K_{\text{E}}\text{T}\text{Cindy}$ コマンド `Circledata` で中心 $(0, 1)$ で点 $(1, 1)$ を通る円のデータ `cr1` を作成する。さらに、 $K_{\text{E}}\text{T}\text{Cindy}$ コマンド `Addcolor` で円 `cr1` を $\text{RGB}[1, 0, 0]$ (赤色) で描く。第 9 行目から第 15 行目までによって、動画部分のデータを作成する。第 9 行目の s は動画時刻を表す媒介変数である。第 10 行目では、時刻 s における円のデータ `cr2` として、中心 $[s, 1]$ 、点 $[s + 1, 1]$ を通る円を作成する。第 11 行目では、 $K_{\text{E}}\text{T}\text{Cindy}$ コマンド `Pointdata` によって、時刻 s における円上の点データ `pt1` として、点 $[s - \sin s, 1 - \cos s]$ を大きさ 4 で作成する。第 12 行目から第 14 行目まででは、 $K_{\text{E}}\text{T}\text{Cindy}$ コマンド `Paramplot` によって、区間 $[0, s]$ におけるサイクロイドを点線で描く。第 17 行目では、時刻 s を区間 $[0, 2\pi]$ で動かしたときの動画データ $\text{Mf}(s)$ をコマ数 $\text{Div} (= 30)$ 、1 秒間に動かすカット数 $\text{Cut} (= 10)$ で作成する。第 21 行目で DG 画面に作成した動画データを表示する。ここで、第 19 行目に注釈されているように、ムービー型 PDF 動画は Acrobat Reader でしか表示されない。この動画プログラムを実行すると、図 3 の右図にある DG 画面が現れる。

さらに、 $K_{\text{E}}\text{T}\text{Cindy}$ を使って、ムービー型またはパラパラ型 PDF 動画を作成しよう。図 3 の DG 画面にある `TexMv` ボタンをクリックすると、ムービー型動画が作成される。終了後に `Exekc` ボタンをクリックすると、図 4 のようにムービー型 PDF 動画が Acrobat Reader で表示される。PDF 上で図の部分をクリックすれば、動画が始まる。また、図 3 の DG 画面にある `Texpara` ボタンをクリックすると、パラパラ型動画が作成される。終了後に `Exekc` ボタンをクリックすると、図 5 のようにパラパラ型 PDF 動画が Acrobat Reader で表示される。パラパラ型動画は左右の矢印キーでコマ送りでき、`FIRST` ボタンをクリックすると最初の状態に、`LAST` ボタンをクリックすると最後の状態に移動できる。全体の動きを観察させるにはムービー型 PDF 動画が有益であり、途中の静止画をじっくり観察させるにはパラパラ PDF 動画が役に立つ。これらの特長を踏まえて授業に利用すれば、効果的な提示教材になる。

3 まとめと今後の課題

K_ET_Cindyのおかげで、いろいろなタイプの図入り PDF 教材を作成できるようになった。これら PDF 教材の大きな特長は、どんなタイプで作成しても全く同じ図が利用できる点である。今回、K_ET_Cindy による PDF 動画教材の作成について紹介したが、PDF 動画教材の図と配付されたプリント教材の図が全く同じであるため、学生はストレスなく、図から概念のイメージ付けすることに集中でき、学生のアクティブ・ラーニングを誘発できる。また、PDF 動画教材を作成するプログラムは時刻の媒介変数 s を用いて作成すればよく、ムービー型でもパラパラ型でも全く同じプログラムである。ムービー型とパラパラ型の違いは、DG 画面の TexMv ボタンと Texpara ボタンをクリックするだけの違いで作成できる。

今後は、以下の課題に取り組んでいく。

- ムービー型 PDF 動画は L^AT_EX 文書に挿入し、コンパイルした PDF ファイルでも動画機能は利用できるが、パラパラ PDF 動画ではできない。L^AT_EX 文書に挿入したパラパラ PDF 動画にできるよう改良する。
- 現在、K_ET_Cindy によるスライド作成機能を用いて、予習用動画教材を作成できる。K_ET_Cindy による PDF 動画（ムービー型とパラパラ型）を挿入した予習用動画教材を作成できるよう改良する。

参考文献

- [1] R. R. Skemp, “Globals of learning and qualities of understanding”, Mathematics Teaching, No.88, pp.44–49, 1979.
- [2] 平成 24 年 8 月 28 日中央教育審議会答申, 「新たな未来を築くための大学教育の質的転換に向けて～生涯学び続け, 主体的に考える力を育成する大学へ～」, 2012 年.
- [3] D. W. Haylock, “Understanding in Mathematics: Making connections”, Mathematics Teaching, No.98, pp.54–55, 1982.
- [4] 高遠節夫, 山下哲, 金子真隆, 北原清志, 「授業での図の利用に関するアンケート調査について」, 東邦大学教養紀要, 第 42 号, pp.31–40, 2010.
- [5] 山下哲, 「K_ET_Cindy による反転授業教材の作成」, 京都大学数理解析研究所講究録 1978, pp.183–189, 2015.