



数学ソフトウェアの プログラミングと教育利用

—KeTpic, KeTCindy, KetCindyJS の開発—

高遠節夫

大学院理工学研究科

2025.01.25

今日の内容



- (1) 序論
- (2) K_{ET}pic の開発
- (3) K_{ET}Cindy の開発
- (4) K_{ET}CindyJS の開発
- (5) K_{ET}Cindy による和算問題の解法
- (6) 結論

今日の内容



- (1) 序論 [KeT=Kisarazu Educational Tpic](#)
- (2) K_{ETpic} の開発
- (3) $K_{ETCindy}$ の開発
- (4) $K_{ETCindyJS}$ の開発
- (5) $K_{ETCindy}$ による和算問題の解法
- (6) 結論

今日の内容



- (1) 序論 KeT=Kisarazu Educational Takato
- (2) KeTpic の開発
- (3) KeTCindy の開発
- (4) KeTCindyJS の開発
- (5) KeTCindy による和算問題の解法
- (6) 結論

今日の内容



- (1) 序論 KeT=Kisarazu Educational Takato
- (2) KeTpic の開発 and his happy friends
- (3) KeTCindy の開発
- (4) KeTCindyJS の開発
- (5) KeTCindy による和算問題の解法
- (6) 結論

序論

数学ソフトウェアの利用

(1) 数式処理システム

- 数式をそのまま計算処理
- Maple, Mathematica, Maxima, Risa/Asir など
- 当初は Maple をセミナー形式の授業で利用

(2) その他の数学ソフトウェア

- Scilab(行列計算), R(統計), Cinderella(動的幾何)

(2) これらはいずれも構造化プログラミングとリスト処理 (+再帰呼び出し) に対応

数学ソフトウェアの利用

(1) 数式処理システム

- 数式をそのまま計算処理
- Maple, Mathematica, Maxima, Risa/Asir など
- 当初は Maple をセミナー形式の授業で利用

(2) その他の数学ソフトウェア

- Scilab(行列計算), R(統計), Cinderella(動的幾何)

(2) これらはいずれも構造化プログラミングとリスト処理 (+再帰呼び出し) に対応

数学ソフトウェアの利用

(1) 数式処理システム

- 数式をそのまま計算処理
- Maple, Mathematica, Maxima, Risa/Asir など
- 当初は Maple をセミナー形式の授業で利用

(2) その他の数学ソフトウェア

- Scilab(行列計算), R(統計), Cinderella(動的幾何)

(2) これらはいずれも構造化プログラミングとリスト処理 (+再帰呼び出し) に対応

構造化プログラミング

構造化プログラミング

数学ソフトウェアのシステム関数

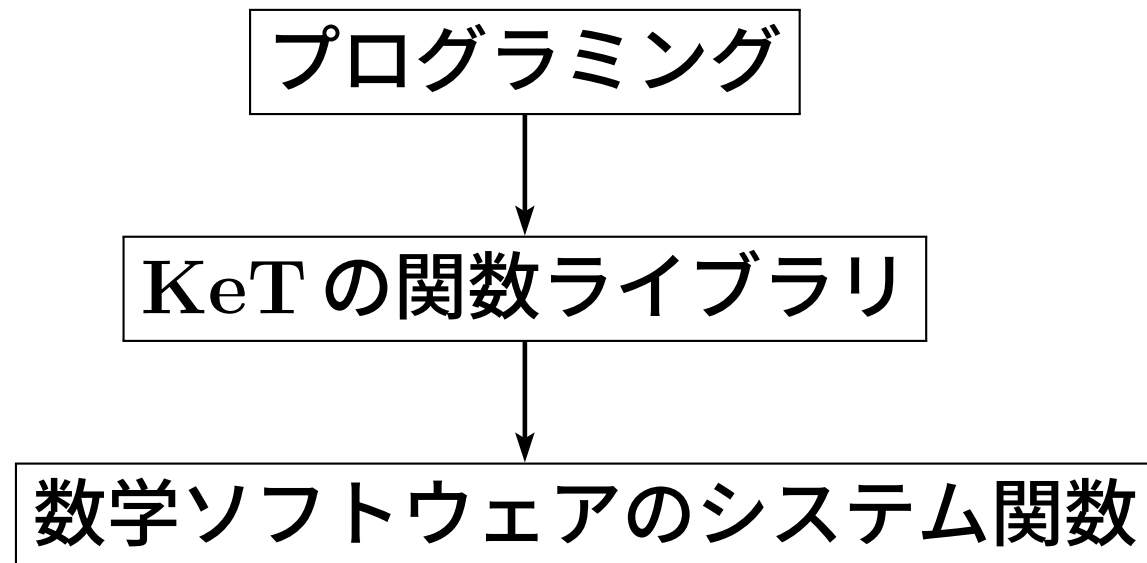
構造化プログラミング

KeT の関数ライブラリ

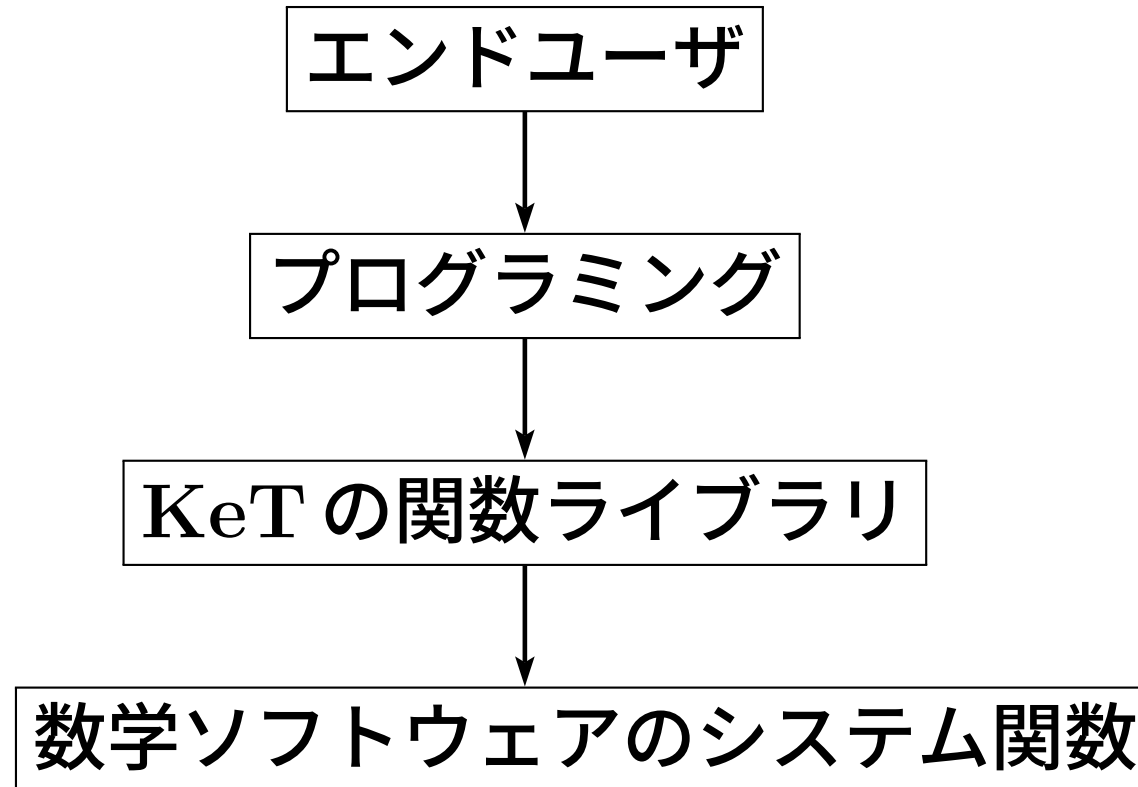


数学ソフトウェアのシステム関数

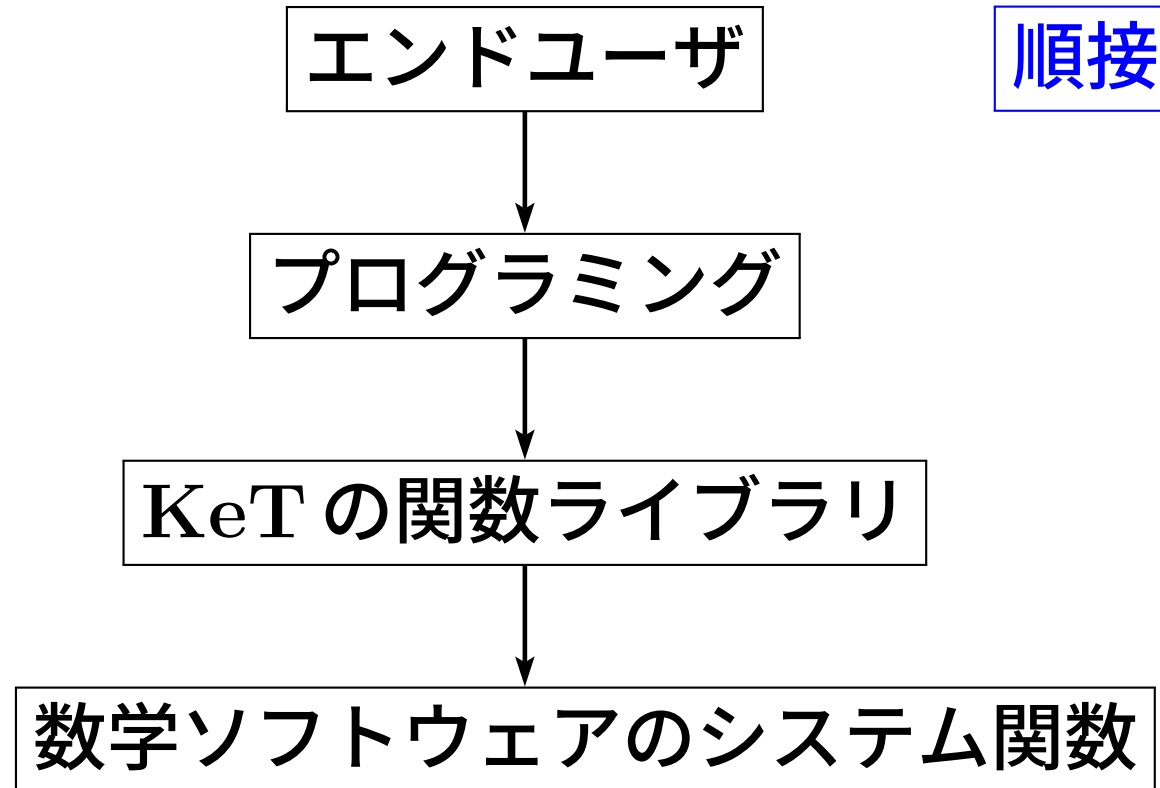
構造化プログラミング



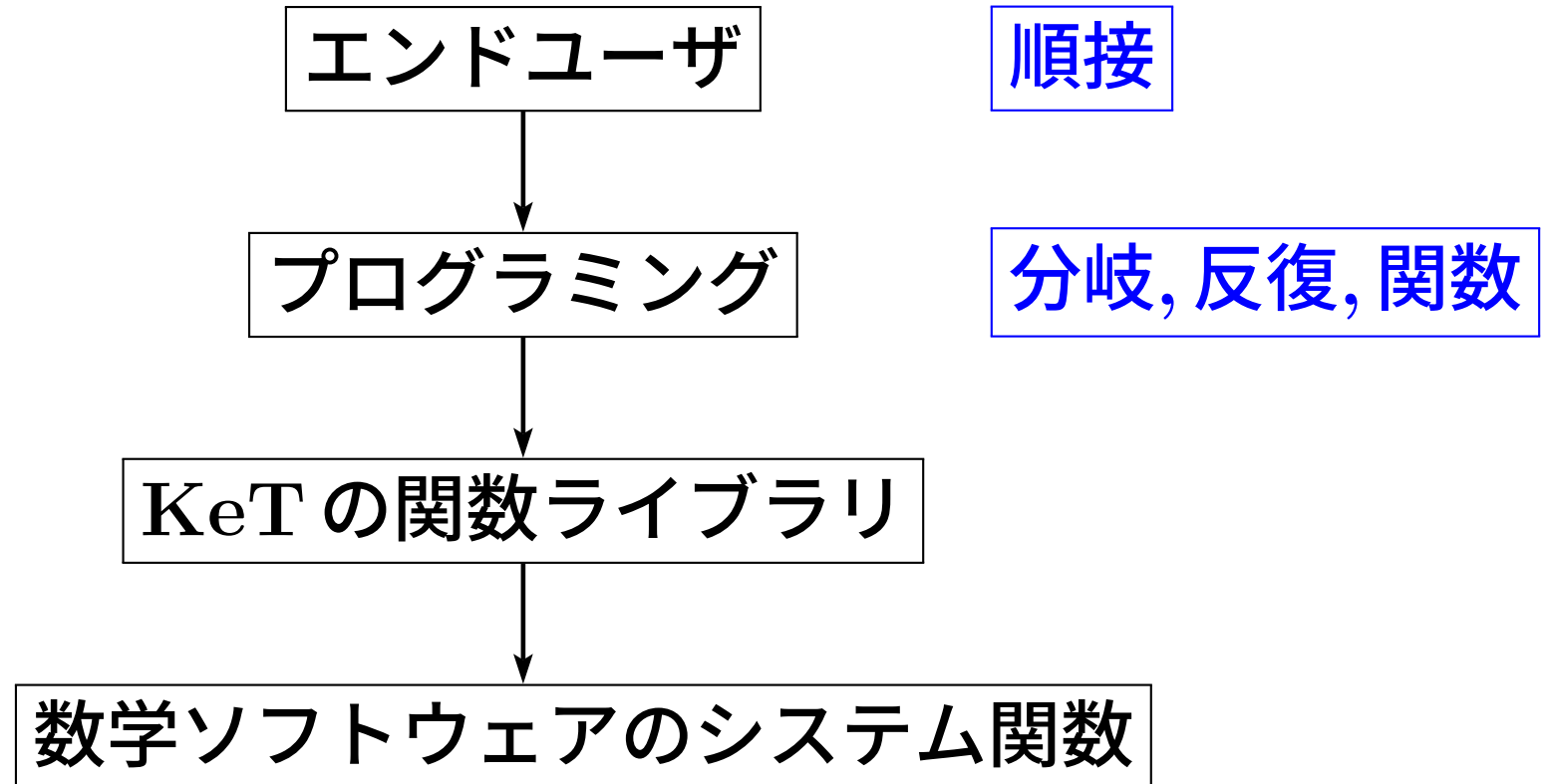
構造化プログラミング



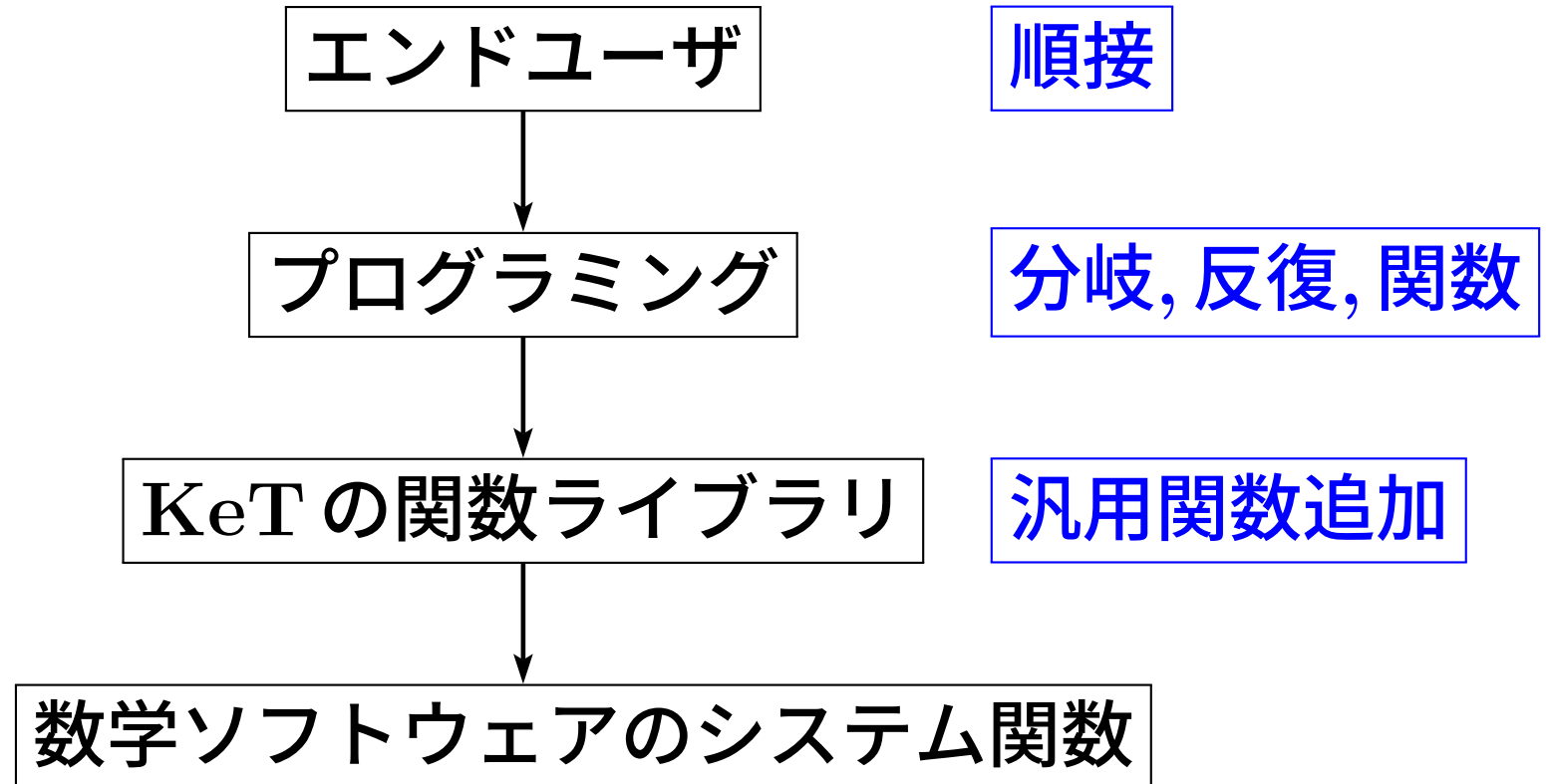
構造化プログラミング



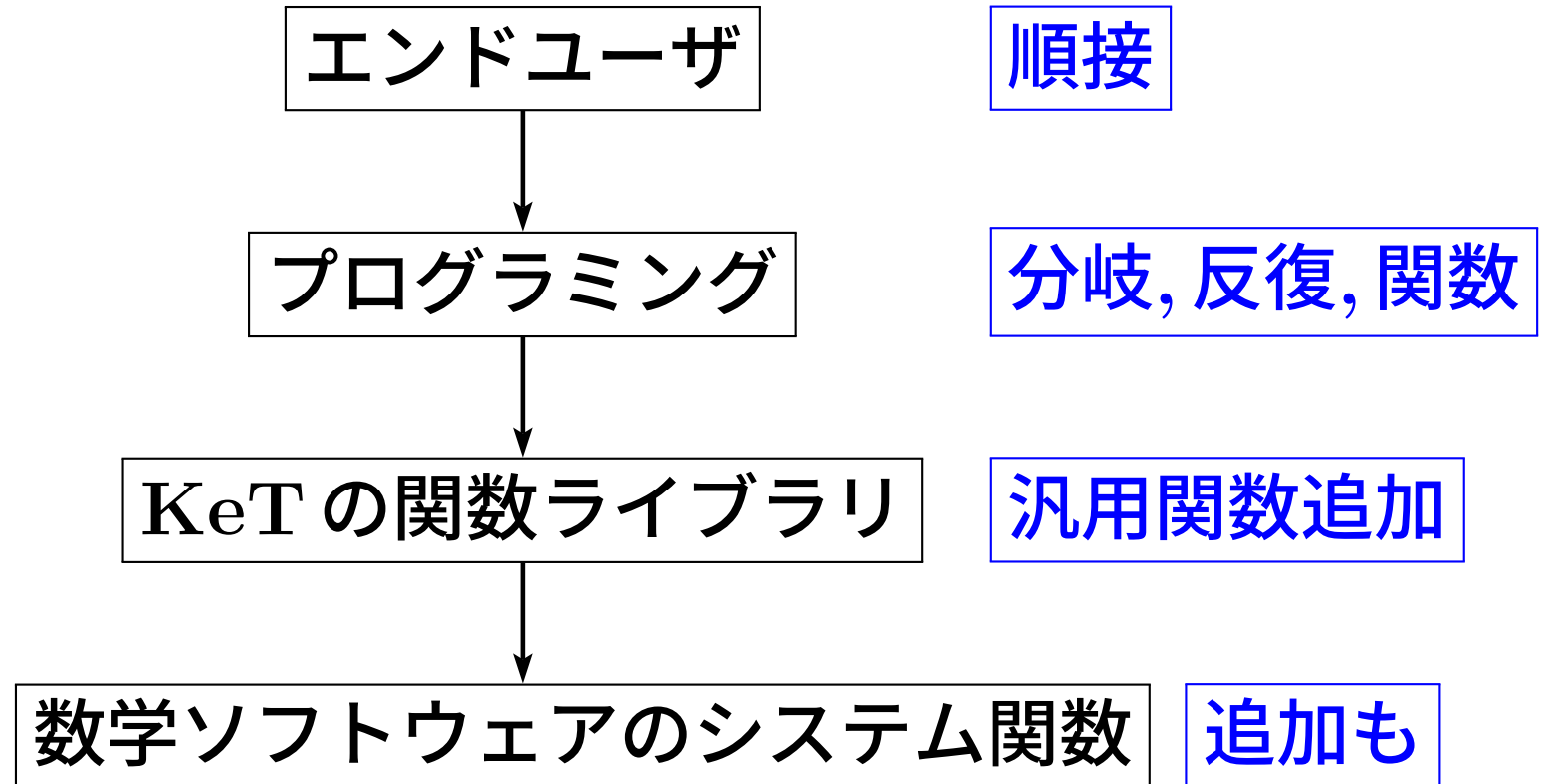
構造化プログラミング



構造化プログラミング



構造化プログラミング



プログラミング力の伸長

1980代まで BASICを使用

- 構造化されていないので1000行程度が上限

1990代前半 Turbo Pascal 5.0を使用

- 構造化されていて関数定義が可能

1990代後半 Mapleを購入

- セミナーで千葉県算額の問題解法を試みた
- 三角形だと無理式の連立方程式となり解けない
- そこでMNR法という解法のMapleライブラリを作成

プログラミング力の伸長

1980代まで BASICを使用

- 構造化されていないので1000行程度が上限

1990代前半 Turbo Pascal 5.0を使用

- 構造化されていて関数定義が可能

1990代後半 Mapleを購入

- セミナーで千葉県算額の問題解法を試みた
- 三角形だと無理式の連立方程式となり解けない
- そこでMNR法という解法のMapleライブラリを作成

プログラミング力の伸長

1980代まで BASICを使用

- 構造化されていないので1000行程度が上限

1990代前半 Turbo Pascal 5.0を使用

- 構造化されていて関数定義が可能

1990代後半 Mapleを購入

- セミナーで千葉県算額の問題解法を試みた
- 三角形だと無理式の連立方程式となり解けない
- そこでMNR法という解法のMapleライブラリを作成

プログラミング力の伸長

1980代まで BASICを使用

- 構造化されていないので1000行程度が上限

1990代前半 Turbo Pascal 5.0を使用

- 構造化されていて関数定義が可能

1990代後半 Mapleを購入

- セミナーで千葉県算額の問題解法を試みた
- 三角形だと無理式の連立方程式となり解けない
- そこでMNR法という解法のMapleライブラリを作成

プログラミング力の伸長

1980代まで BASICを使用

- 構造化されていないので1000行程度が上限

1990代前半 Turbo Pascal 5.0を使用

- 構造化されていて関数定義が可能

1990代後半 Mapleを購入

- セミナーで千葉県算額の問題解
- 三角形だと無理式の連立方程式
- そこでMNR法という解法のMapleライブラリを作成

構造化プログラミング力を向上

KETrpic の開発と利用

TEX と Maple の利用

- (1) 高専教科書シリーズの編集に継続して参加
- (2) 2003年からのシリーズで TEX を使用
- (3) 当初は図を WinTpic で作成
- (4) しかし空間図形などは正確に描けなかった
- (5) Maple で tpic コードを書き出すことを考えた
 - Maple の plot データを取得
 - tpic コードに変換して出力
- (6) ICMS2006 で発表 [14]

TEX と Maple の利用

- (1) 高専教科書シリーズの編集に継続して参加
- (2) 2003年からのシリーズで TEX を使用
- (3) 当初は図を WinTpic で作成
- (4) しかし空間図形などは正確に描けなかった
- (5) Maple で tpic コードを書き出すことを考えた
 - Maple の plot データを取得
 - tpic コードに変換して出力
- (6) ICMS2006 で発表 [14]

TEX と Maple の利用

- (1) 高専教科書シリーズの編集に継続して参加
- (2) 2003年からのシリーズで TEX を使用
- (3) 当初は図を WinTpic で作成
- (4) しかし空間図形などは正確に描けなかった
- (5) Maple で tpic コードを書き出すことを考えた
 - Maple の plot データを取得
 - tpic コードに変換して出力
- (6) ICMS2006 で発表 [14]

TEX と Maple の利用

- (1) 高専教科書シリーズの編集に継続して参加
- (2) 2003年からのシリーズで TEX を使用
- (3) 当初は図を WinTpic で作成
- (4) しかし空間図形などは正確に描けなかった
- (5) Maple で tpic コードを書き出すことを考えた
 - Maple の plot データを取得
 - tpic コードに変換して出力
- (6) ICMS2006 で発表 [14]

TEX と Maple の利用

tpic は pic を元にした
TEX 用図形プリプロセッサ

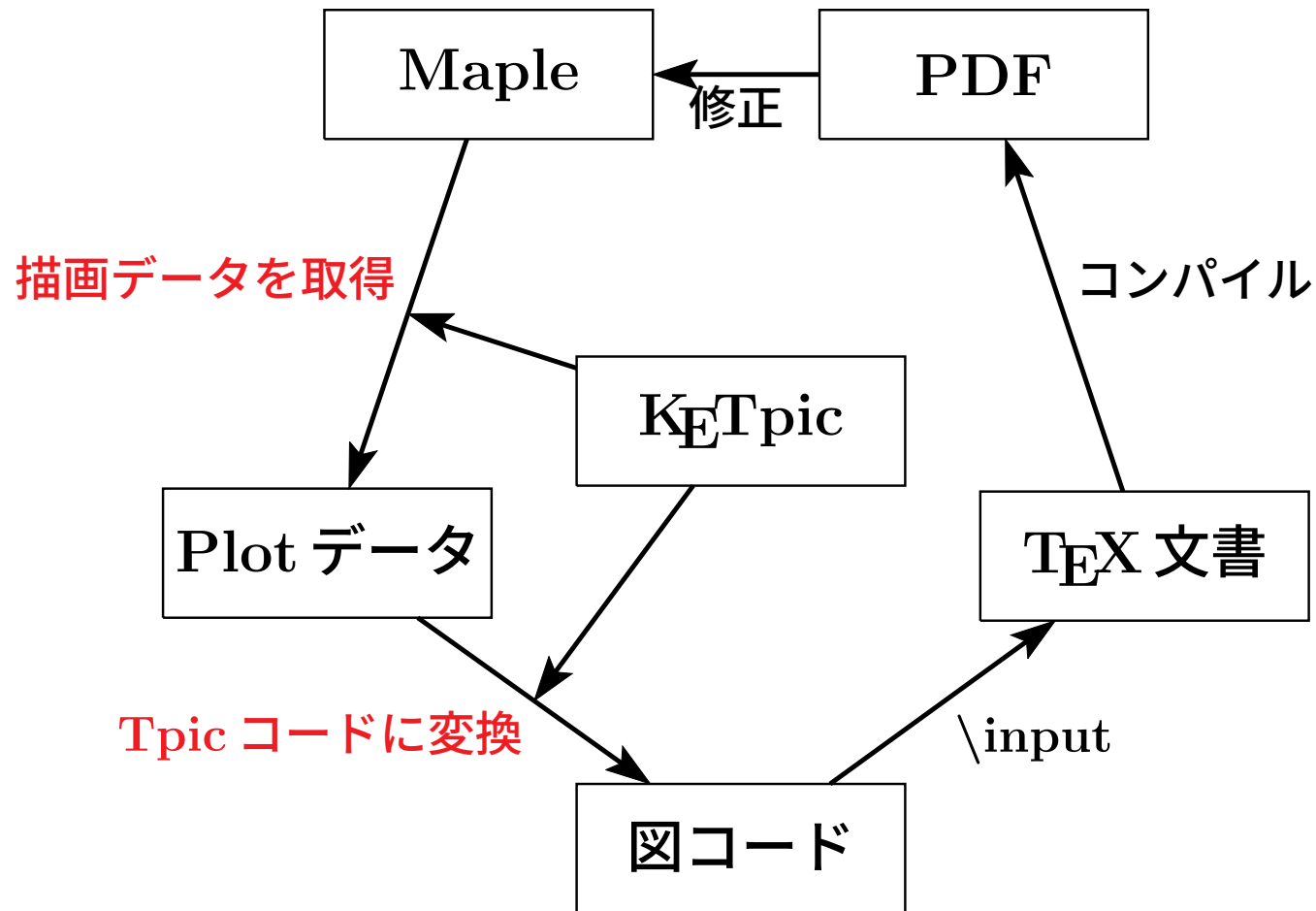
- (1) 高専教科書シリーズの編集に継続して参加
- (2) 2003 年からのシリーズで TEX を使用
- (3) 当初は図を WinTpic で作成
- (4) しかし空間図形などは正確に描けなかった
- (5) Maple で tpic コードを書き出すことを考えた
 - Maple の plot データを取得
 - tpic コードに変換して出力
- (6) ICMS2006 で発表 [14]

TEX と Maple の利用

International Congress on
Mathematical Software

- (1) 高専教科書シリーズの編集に継続して参加
- (2) 2003年からのシリーズで TEX を使用
- (3) 当初は図を WinTpic で作成
- (4) しかし空間図形などは正確に描けなかった
- (5) Maple で tpic コードを書き出すことを考えた
 - Maple の plot データを取得
 - tpic コードに変換して出力
- (6) ICMS2006 で発表 [14]

K_εTpic による作図の流れ

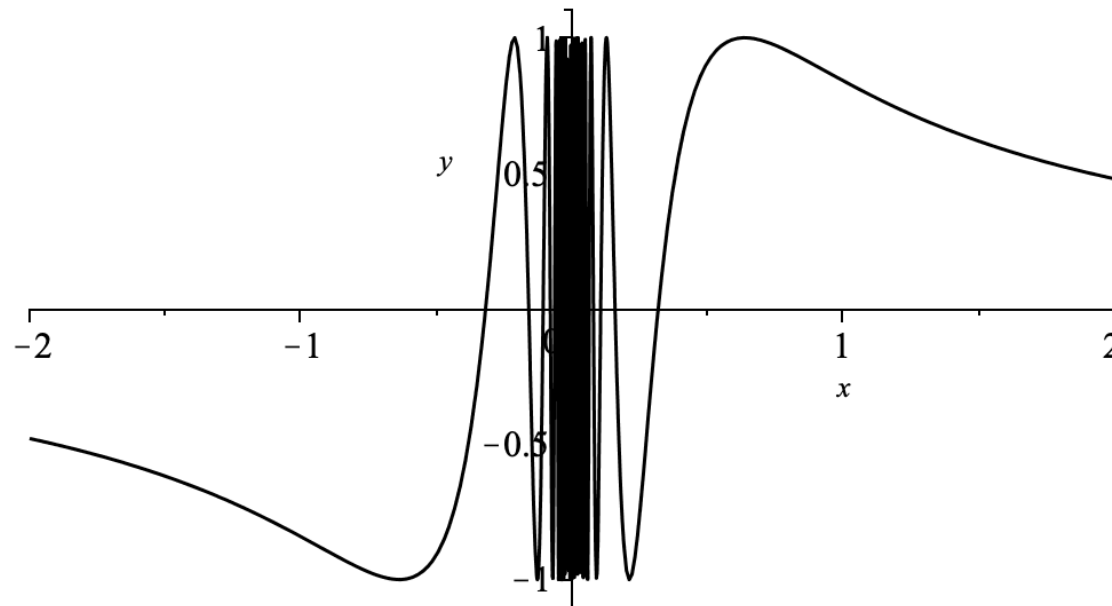


描画データの作成例

```
with(plots):  
read cat(folder, 'ketpic.m'):  
setwindow(-2..2, -1.1..1.1):  
g1:=plotdata(sin(1/x),  
             x=XMIN..XMAX, numpoints=200):  
windisp(g1):
```


描画データの作成例

```
with(plots):  
read cat(folder, 'ketpic.m'):  
setwindow(-2..2, -1.1..1.1):  
g1:=plotdata(sin(1/x),  
             x=XMIN..XMAX, numpoints=200):  
windisp(g1):
```



図コードと図の作成例

Maple の続き

```
openfile("f1.tex"):
beginpicture("1cm"):
dashline(g1,0.5,0.5):
endpicture():
closefile():
```

図コードと図の作成例

Maple の続き

```
openfile("f1.tex"):  
beginpicture("1cm"):  
dashline(g1,0.5,0.5):  
endpicture():  
closefile():
```

TEX コード

```
\documentclass[a4]{article}  
\newlength{\width}  
\newlength{\Height}  
\newlength{\Depth}  
\begin{document}  
\input{f1.tex}  
\end{document}
```

図コードと図の作成例

Maple の続き

```

openfile("f1.tex"):
beginpicture("1cm"):
dashline(g1,0.5,0.5):
endpicture():
closefile():

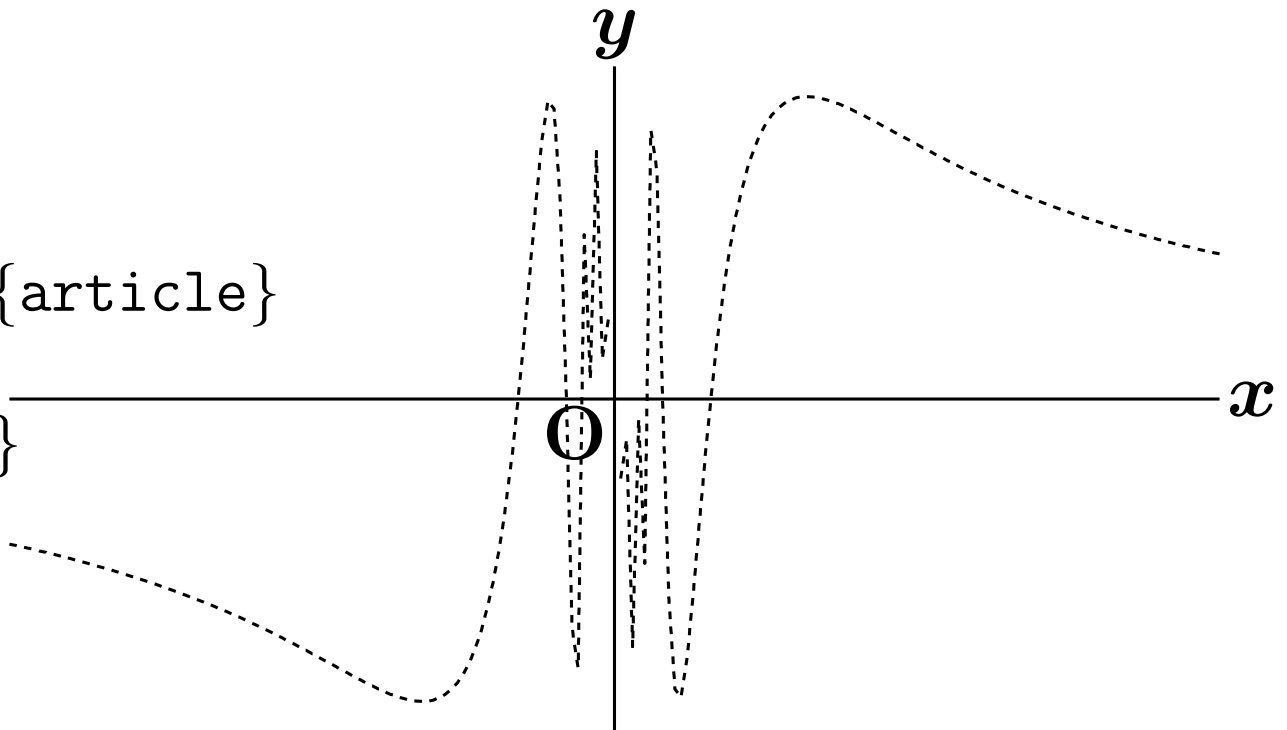
```

TEX コード

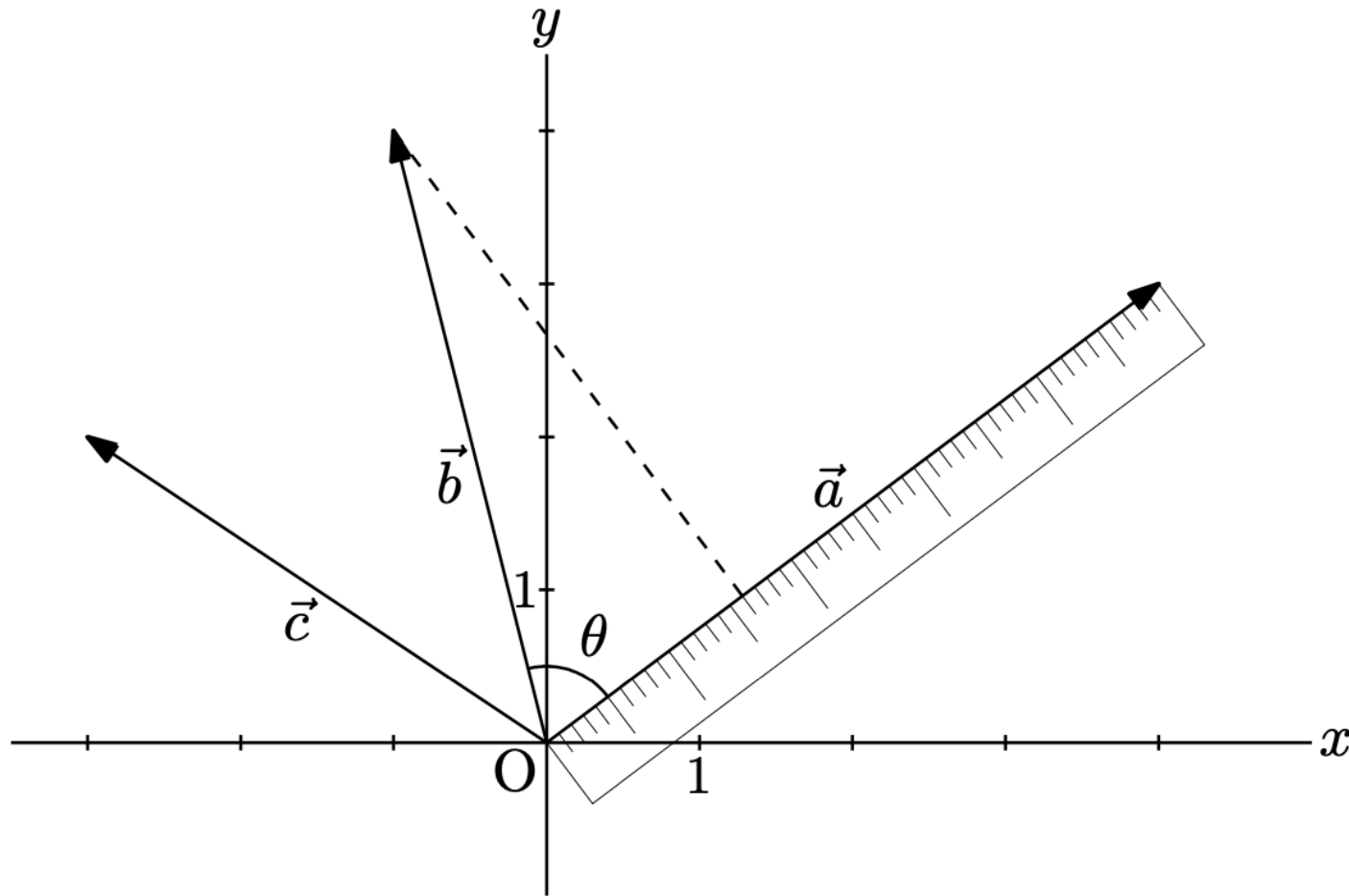
```

\documentclass[a4]{article}
\newlength{\width}
\newlength{\Height}
\newlength{\Depth}
\begin{document}
\input{f1.tex}
\end{document}

```



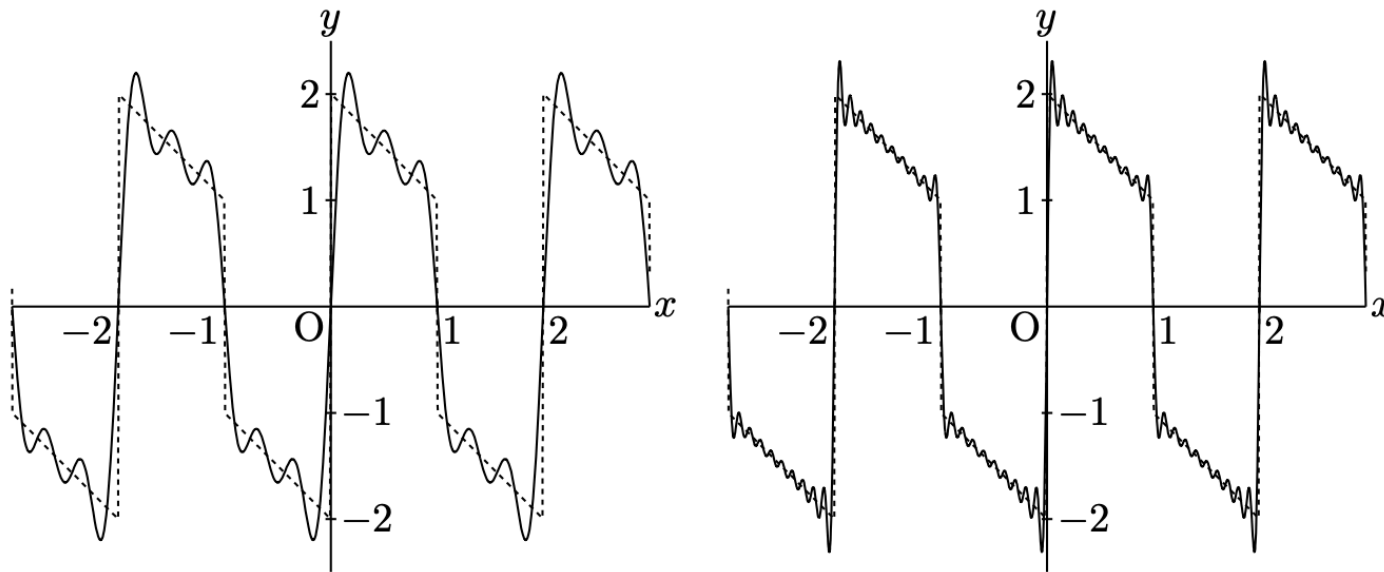
KEΓpic の教材例 (1) 内積の意味



$$\vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}| |\vec{b}| \cos \theta = |\vec{a}| \times \vec{b} \text{の正射影}$$

KETrpic の教材例 (2) フーリエ級数

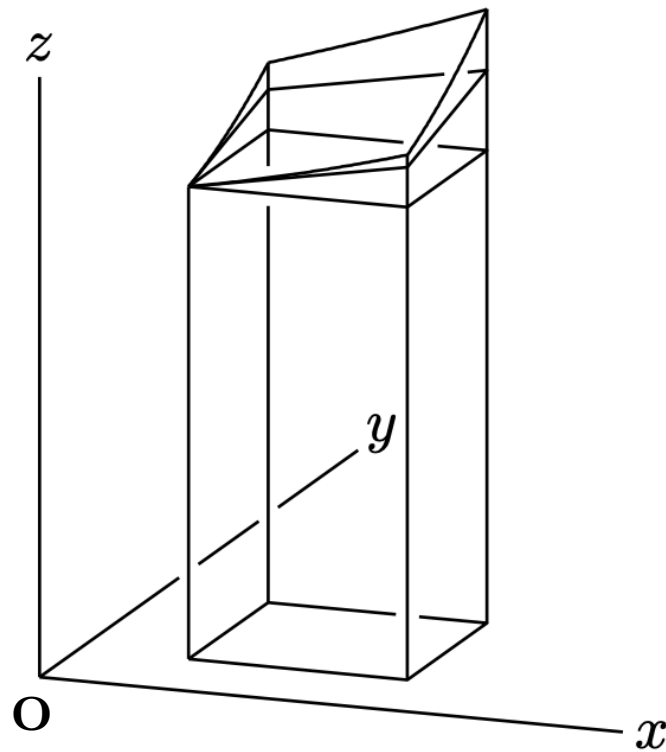
$$f_N(x) = \sum_{n=1}^N \frac{2(2 - (-1)^n)}{n\pi} \sin n\pi x$$



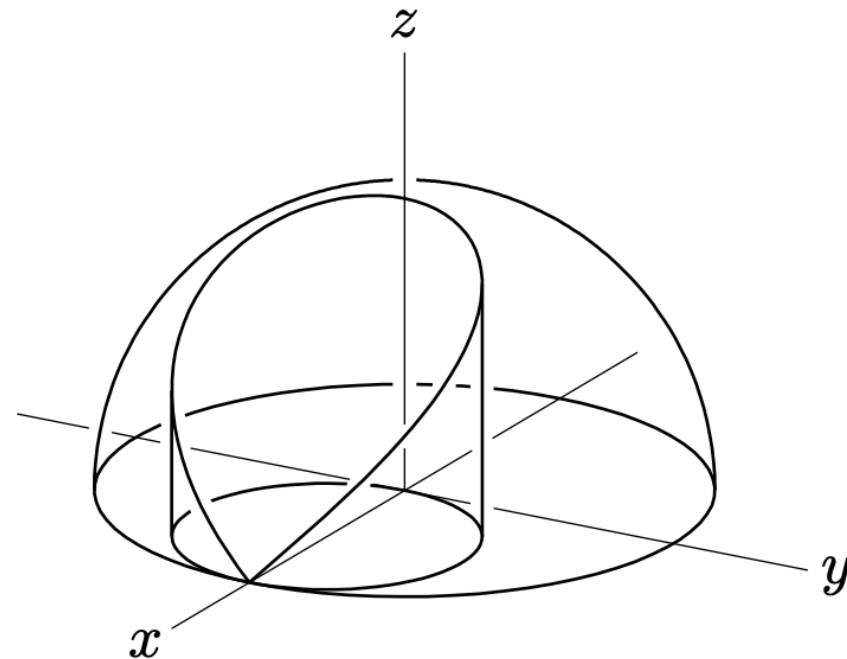
Gibbs 現象

KETpic の教材例 (3) 空間図形

モノクロ線画で描きたい



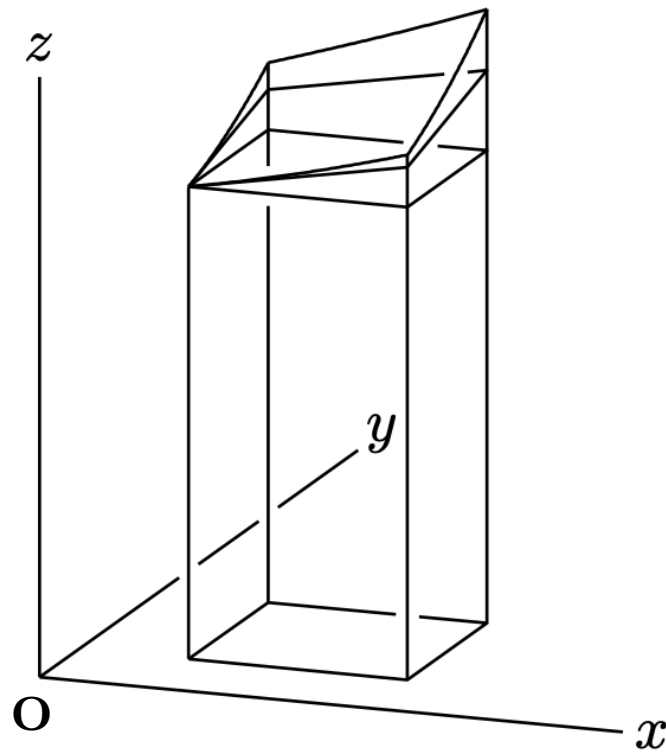
全微分の意味



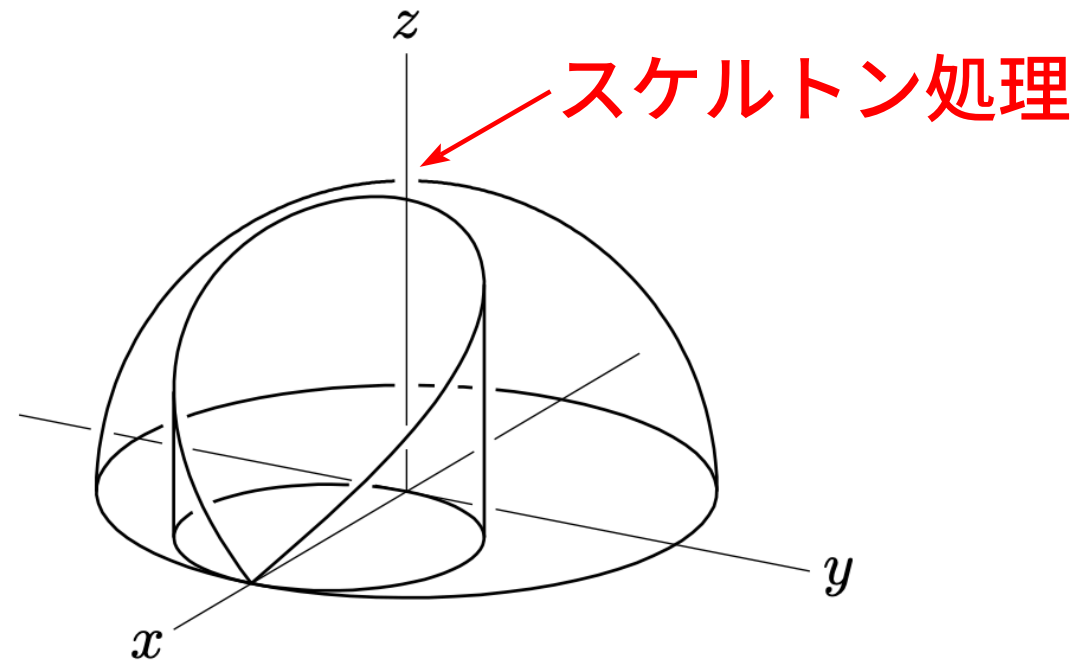
Viviani 曲線

KETrpic の教材例 (3) 空間図形

モノクロ線画で描きたい

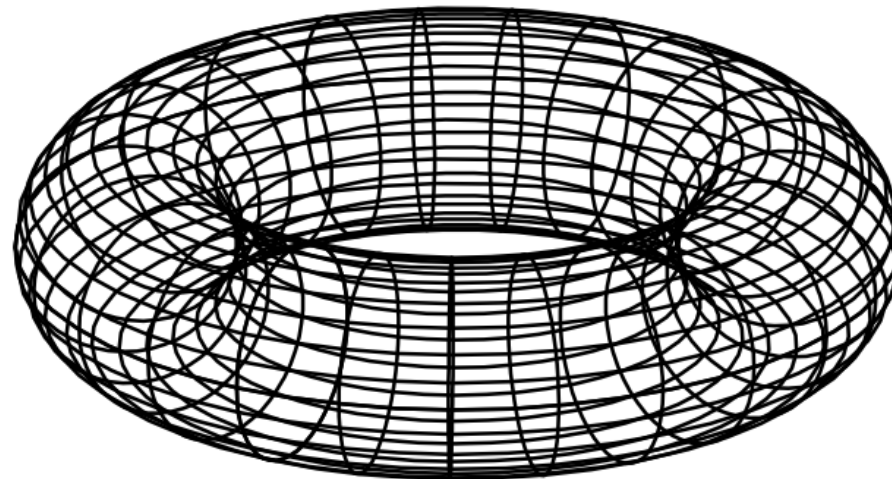


全微分の意味

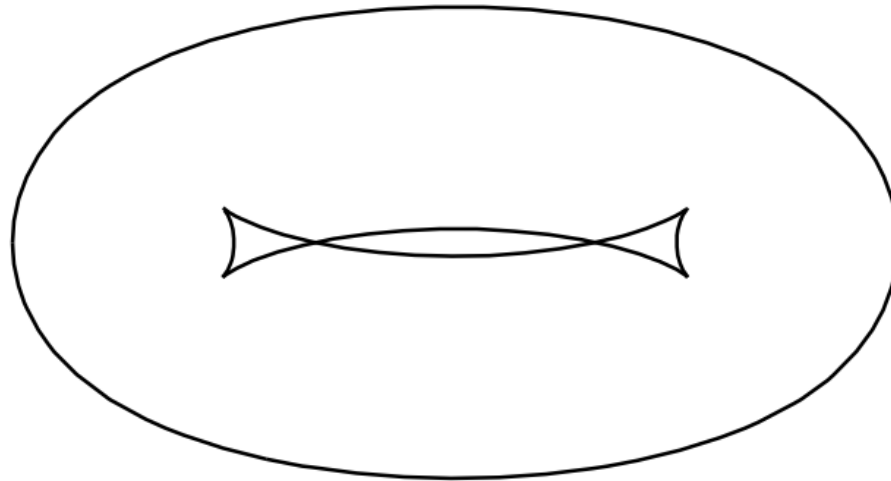


Viviani 曲線

KETrpic の教材例 (3) 空間曲面 (トーラス)

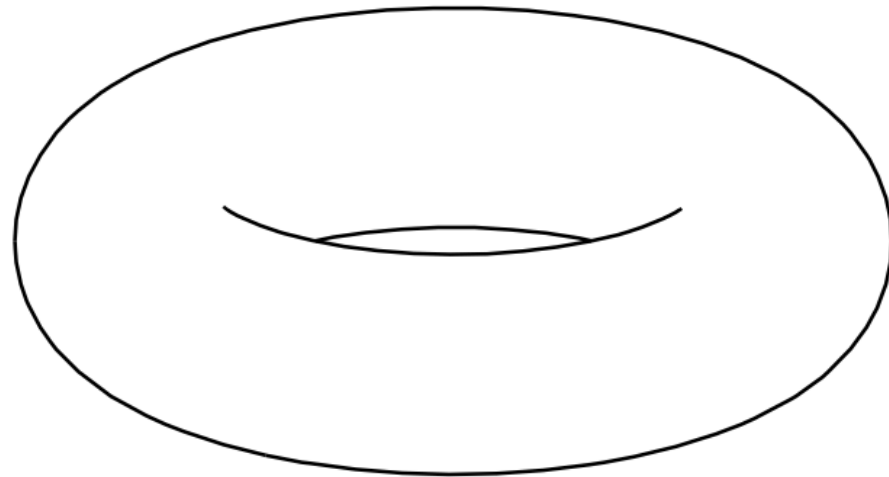


KETpic の教材例 (3) 空間曲面 (トーラス)



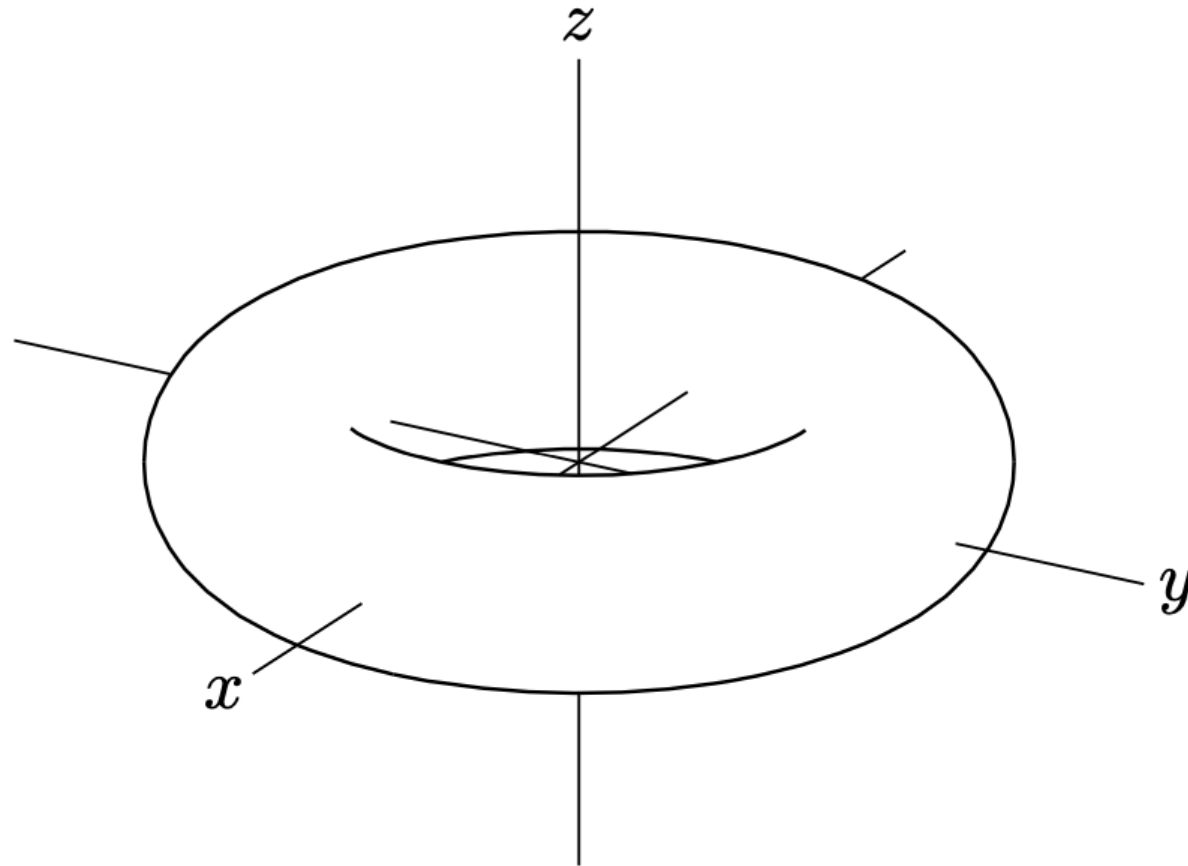
包絡線 (輪郭線) $\frac{\partial X}{\partial u} \frac{\partial Y}{\partial v} - \frac{\partial X}{\partial v} \frac{\partial Y}{\partial u} = 0$

KEΓpic の教材例 (3) 空間曲面 (トーラス)



陰線処理

KETpic の教材例 (3) 空間曲面 (トーラス)



座標軸追加

$\text{K}_{\text{E}}\text{T}_{\text{pic}}$ の機能追加

(1) Maple, Mathematica \Rightarrow Scilab[1], R[2]

関数渡しから文字列渡しへ

(2) $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ マクロの作成 ($\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ プログラミング)

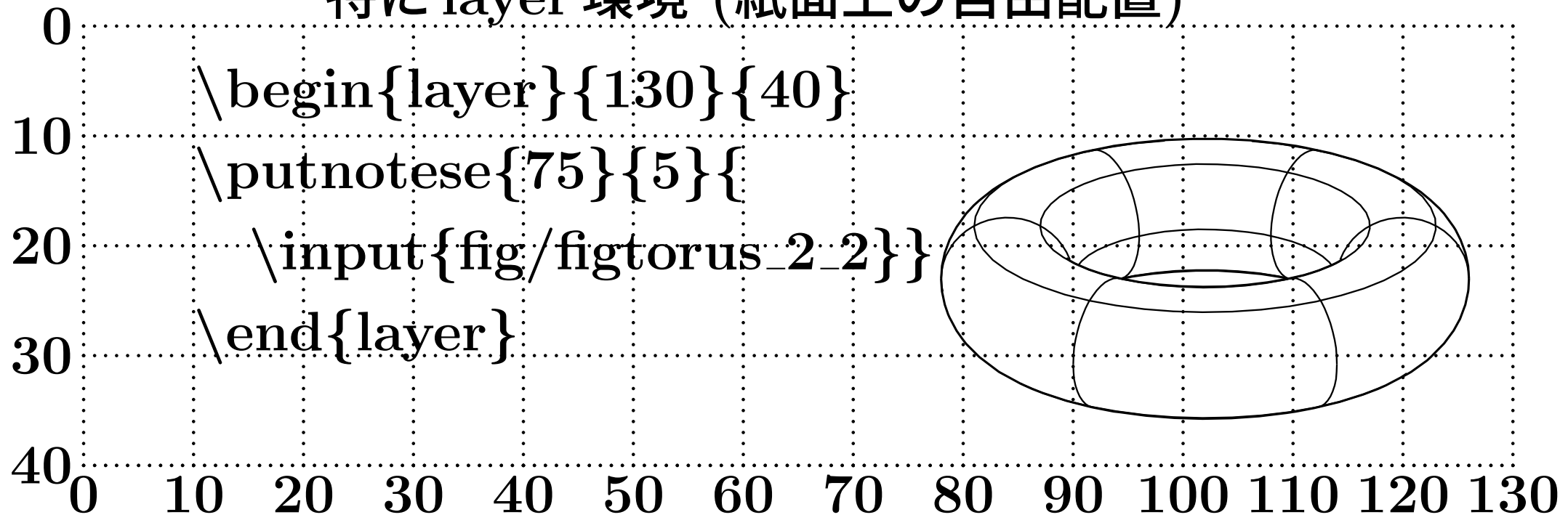
K_ETpic の機能追加

(1) Maple, Mathematica \Rightarrow Scilab[1], R[2]

関数渡しから文字列渡しへ

(2) T_EX マクロの作成 (T_EX プログラミング)[4][5][6]

特に layer 環境 (紙面上の自由配置)



K_ETpic の機能追加

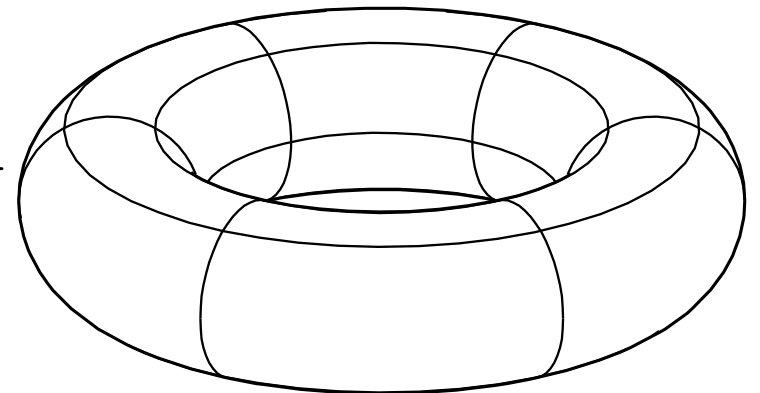
(1) Maple, Mathematica \Rightarrow Scilab[1], R[2]

関数渡しから文字列渡しへ

(2) T_EX マクロの作成 (T_EX プログラミング)[4][5][6]

特に layer 環境 (紙面上の自由配置)

```
\begin{layer}{130}{0}
\putnotese{75}{5}{
  \input{fig/figtorus_2_2}}
\end{layer}
```



K_ETpic の機能追加

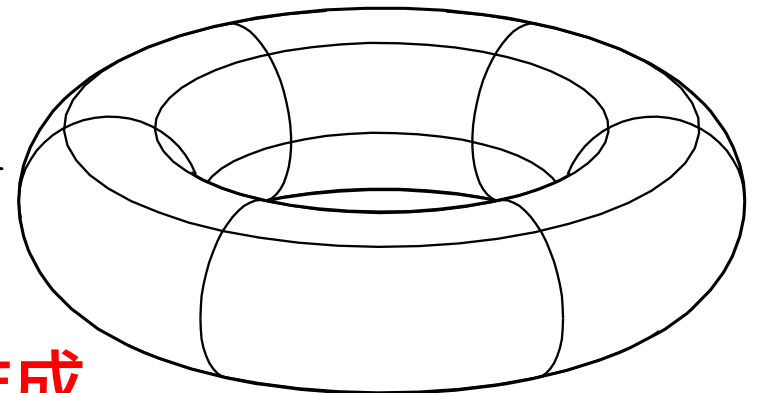
(1) Maple, Mathematica \Rightarrow Scilab[1], R[2]

関数渡しから文字列渡しへ

(2) T_EX マクロの作成 (**T_EX プログラミング**) [4][5][6]

特に layer 環境 (紙面上の自由配置)

```
\begin{layer}{130}{0}
\putnoses{75}{5}{
  \input{fig/figtorus_2_2}}
\end{layer}
```



反復のメタコマンドを作成

授業での配付教材

- モノクロ線画で美しい図
 - 印刷コストを軽減
 - 正確な図は学生の想像力を刺激
 - 空きスペースにコメントや計算などが書き込める
- 文と図を紙面上に自由に配置することが重要
 - $\text{T}_\text{E}_\text{X}$ のスタイルファイル `ketpic`, `ketlayer` は不可欠なツール
- ほぼ毎回の授業でプリントを配付

授業での配付教材

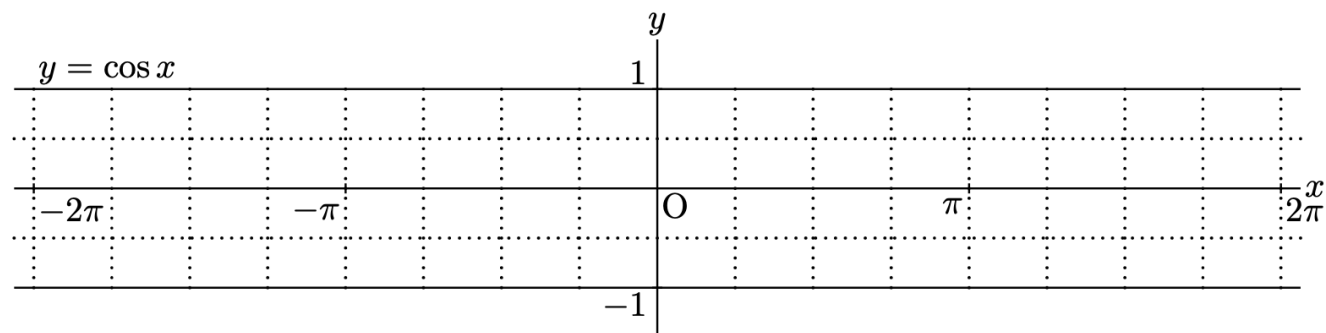
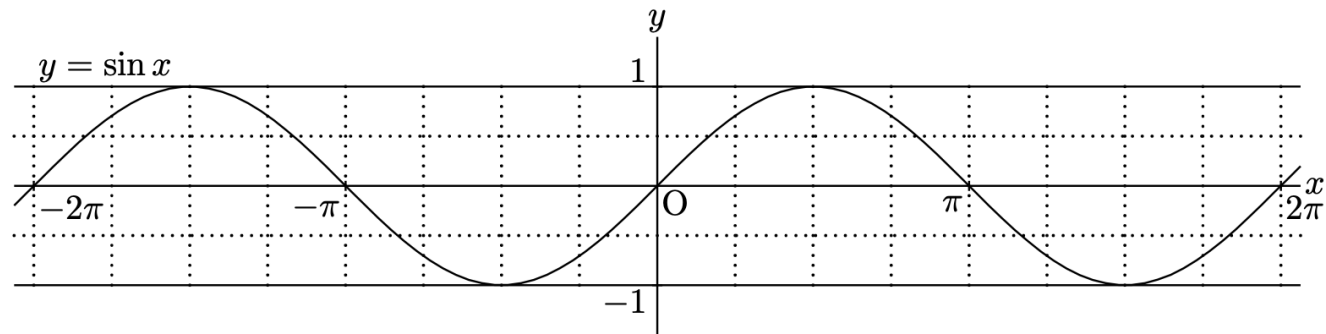
- モノクロ線画で美しい図
 - 印刷コストを軽減
 - 正確な図は学生の想像力を刺激
 - 空きスペースにコメントや計算などが書き込める
- 文と図を紙面上に自由に配置することが重要
 - \TeX のスタイルファイル `ketpic`, `ketlayer` は不可欠なツール
- ほぼ毎回の授業でプリントを配付

授業での配付教材

- モノクロ線画で美しい図
 - 印刷コストを軽減
 - 正確な図は学生の想像力を刺激
 - 空きスペースにコメントや計算などが書き込める
- 文と図を紙面上に自由に配置することが重要
 - $\text{T}_\text{E}_\text{X}$ のスタイルファイル `ketpic`, `ketlayer` は不可欠なツール
- ほぼ毎回の授業でプリントを配付

配付教材例 (2012 微積分)

日付	科目	学科	学年	番号	名前
/					



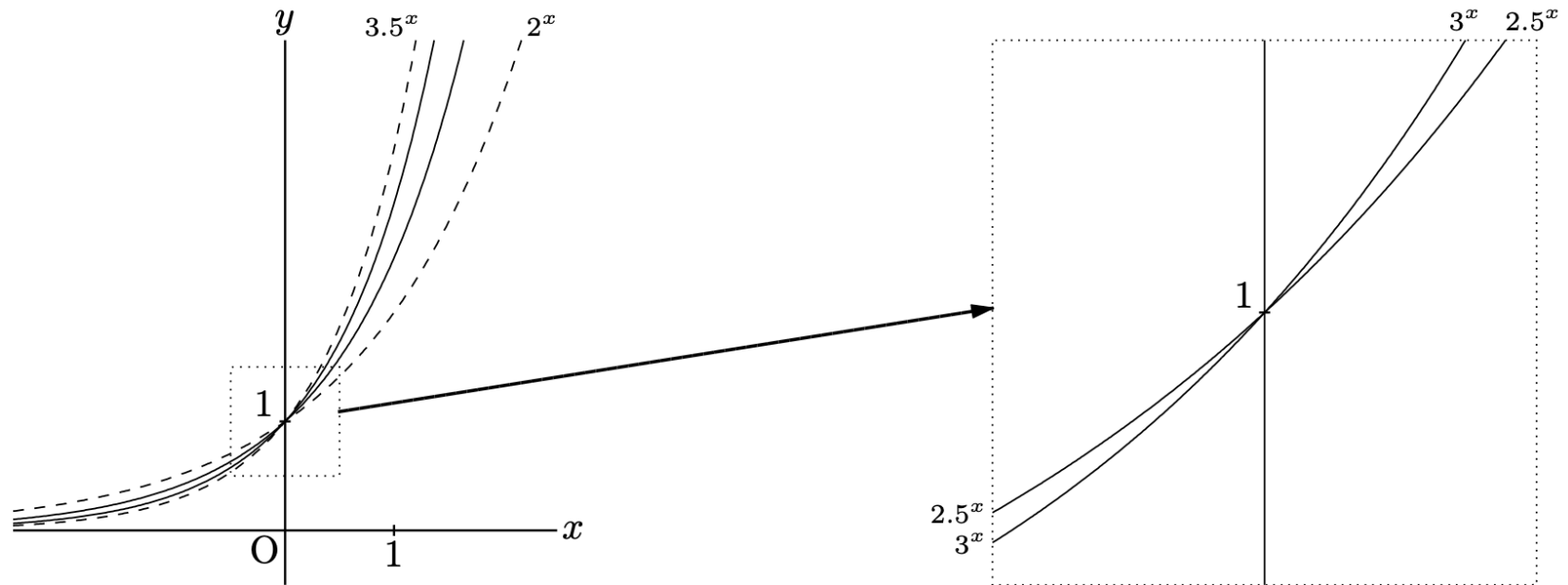
1. 次の関数を微分せよ.

(1) $y = \sin x \cos x$

(2) $y = x \tan x$

配付教材例 (2012 微積分)

指数関数・対数関数



1. 微分せよ.

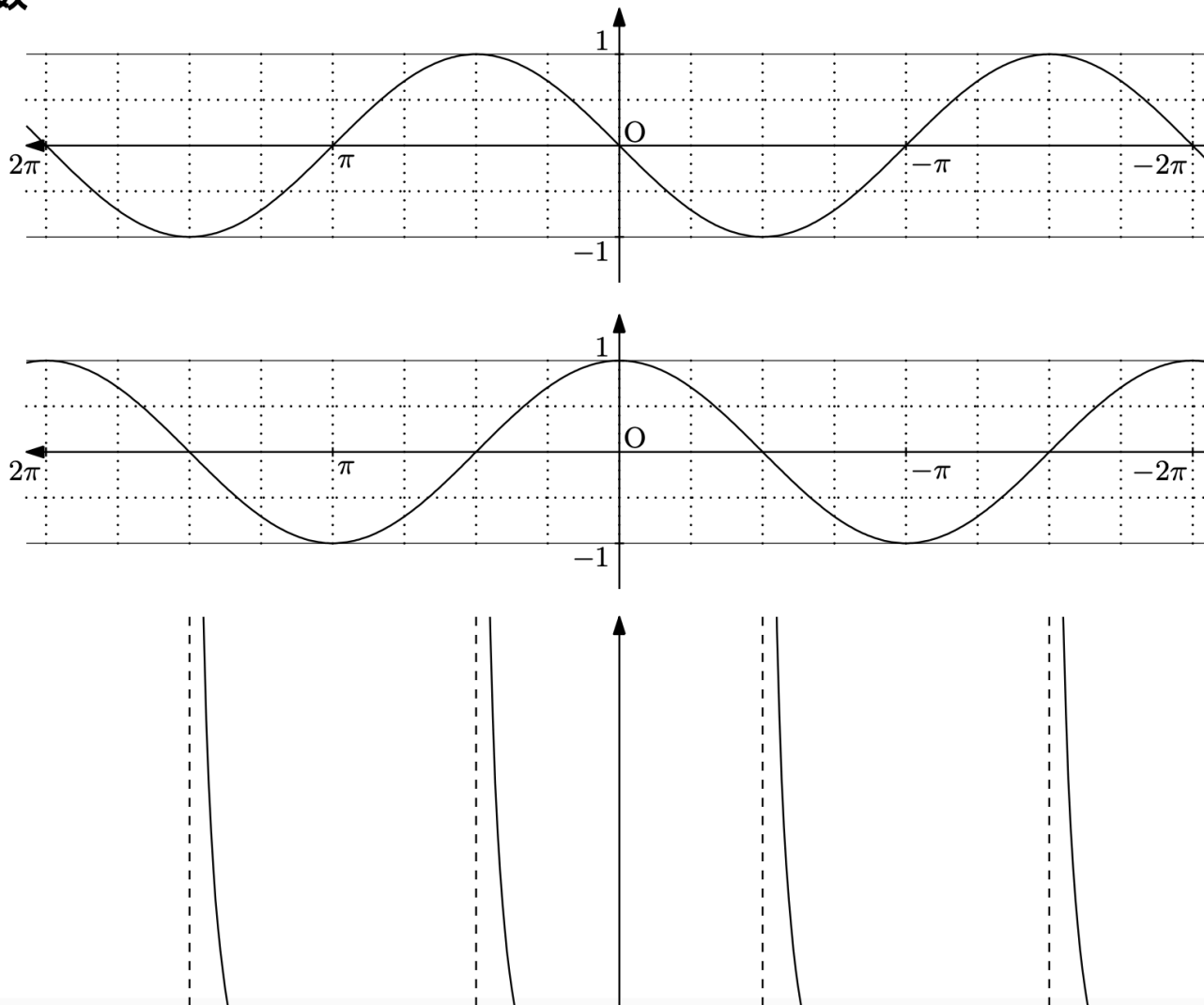
(1) $y = e^{2x}$

(2) $y = x^3 e^{-x}$

(3) $y = \frac{e^x + 1}{e^x - 1}$

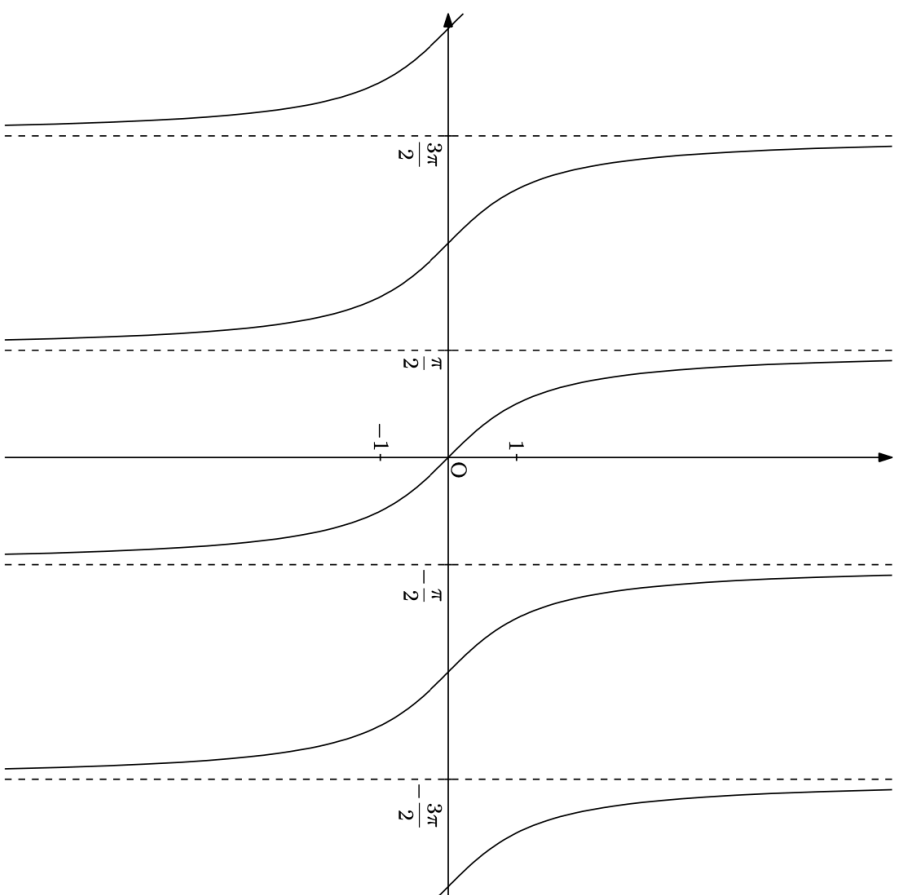
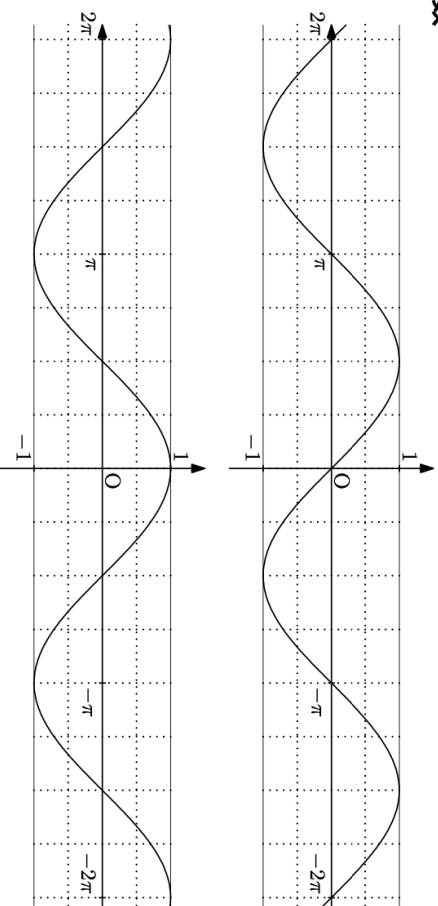
配付教材例 (2012 微積分)

逆三角関数



配付教材例 (2012 微積分)

逆三角関数



1. 微分せよ. ただし, a は正の定数とする.

(1) $y = \sin^{-1} \frac{x}{a}$

(2) $y = \tan^{-1} \frac{x}{a}$

配付教材例 (2012 微積分)

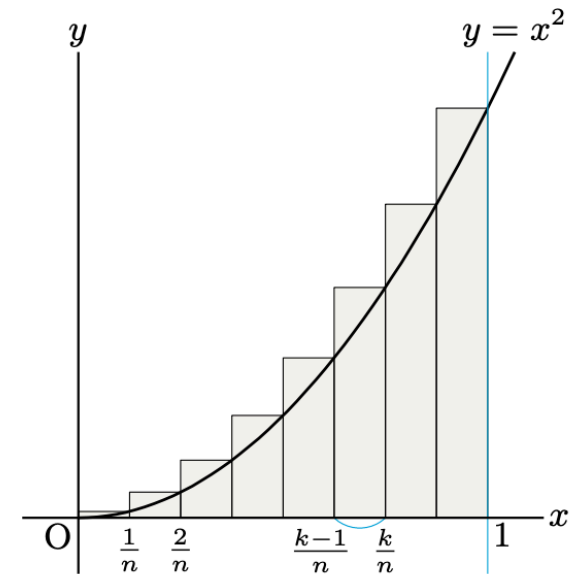
定積分の定義

1. 定義に従って $\int_0^1 x^2 dx$ の値を求めたい. 教科書 49 ページの例題 3.3 と同様に, 区間 $[0, 1]$ を n 等分して考えるとき, 次の各問いに答えよ.

(1) $\sum_{k=1}^n k^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}$ を用いて S_Δ を求めよ.

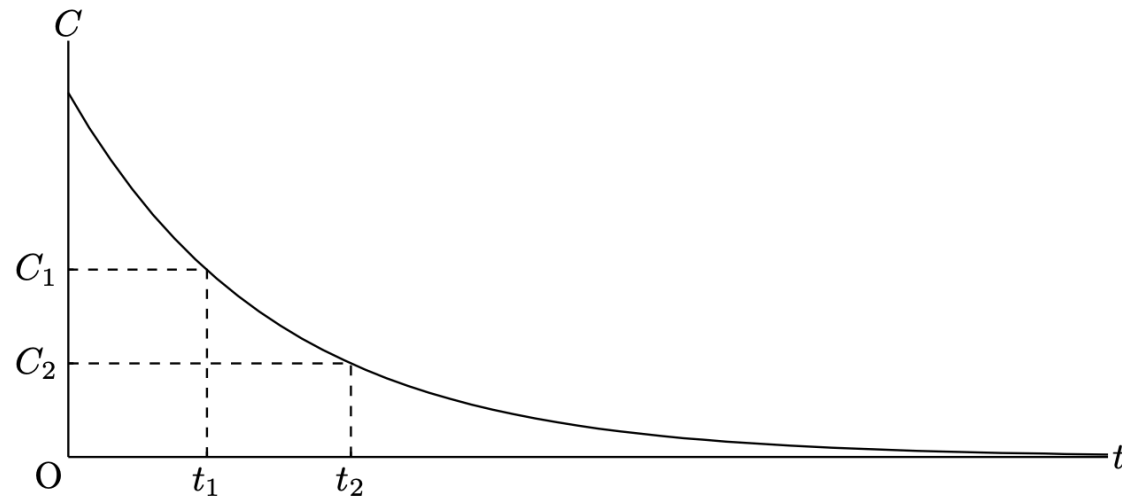
ただし, $S_\Delta = \sum_{k=1}^n f(x_k) \Delta x_k$ である.

(2) $\int_0^1 x^2 dx = \frac{1}{3}$ となることを示せ.



配付教材例 (2012 微積分)

4. 初期条件「 $t = 0$ のとき $C = C_0$ 」を満たす解



5. 半減期

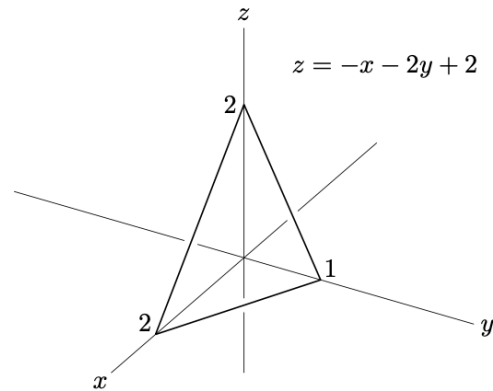
$$\log C_1 = -kt_1 + \log C_0$$

$$\log C_2 = -kt_2 + \log C_0$$

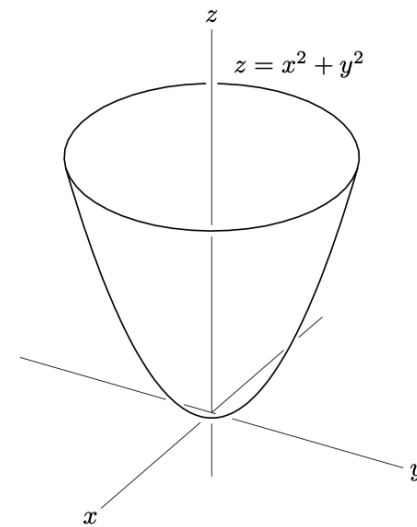
辺々を引いて, $C_2 = \frac{C_1}{2}$ を用いると

配付教材例 (2012 微積分)

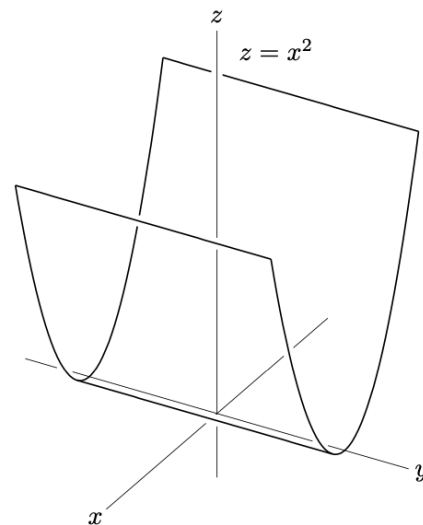
(1)



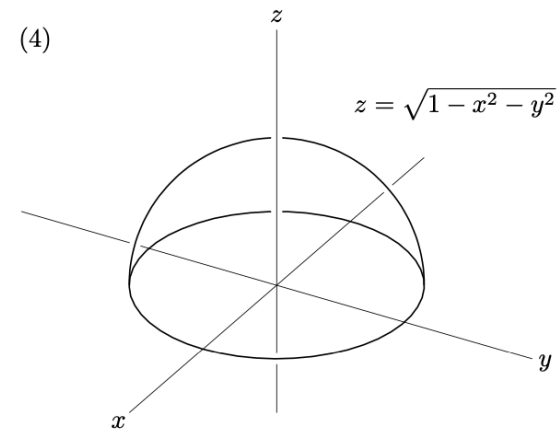
(2)



(3)

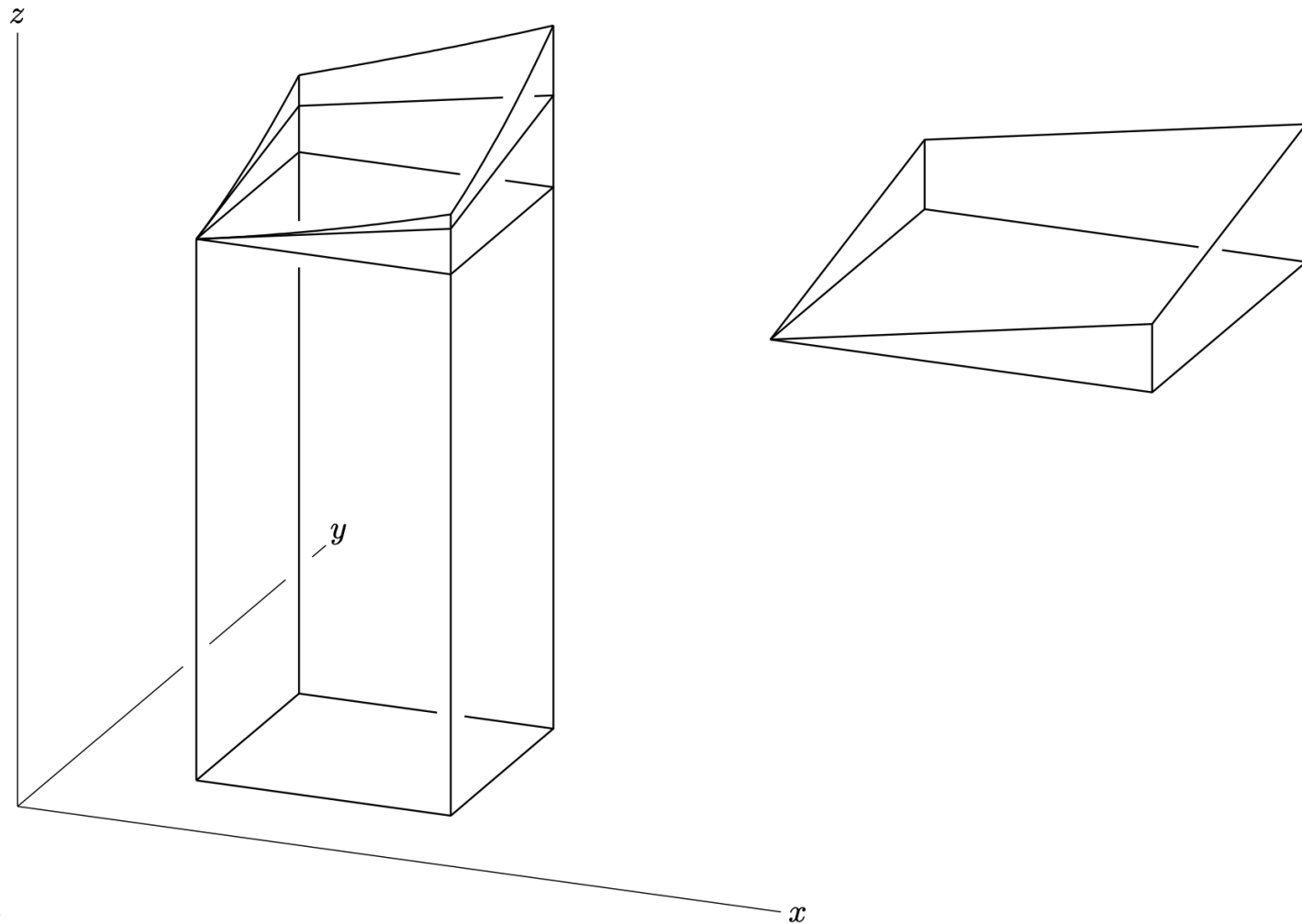


(4)



1. 上の各関数について, $\frac{\partial z}{\partial x}$, $\frac{\partial z}{\partial y}$ を求めよ.

配付教材例 (2012 微積分)



1. 偏微分せよ.

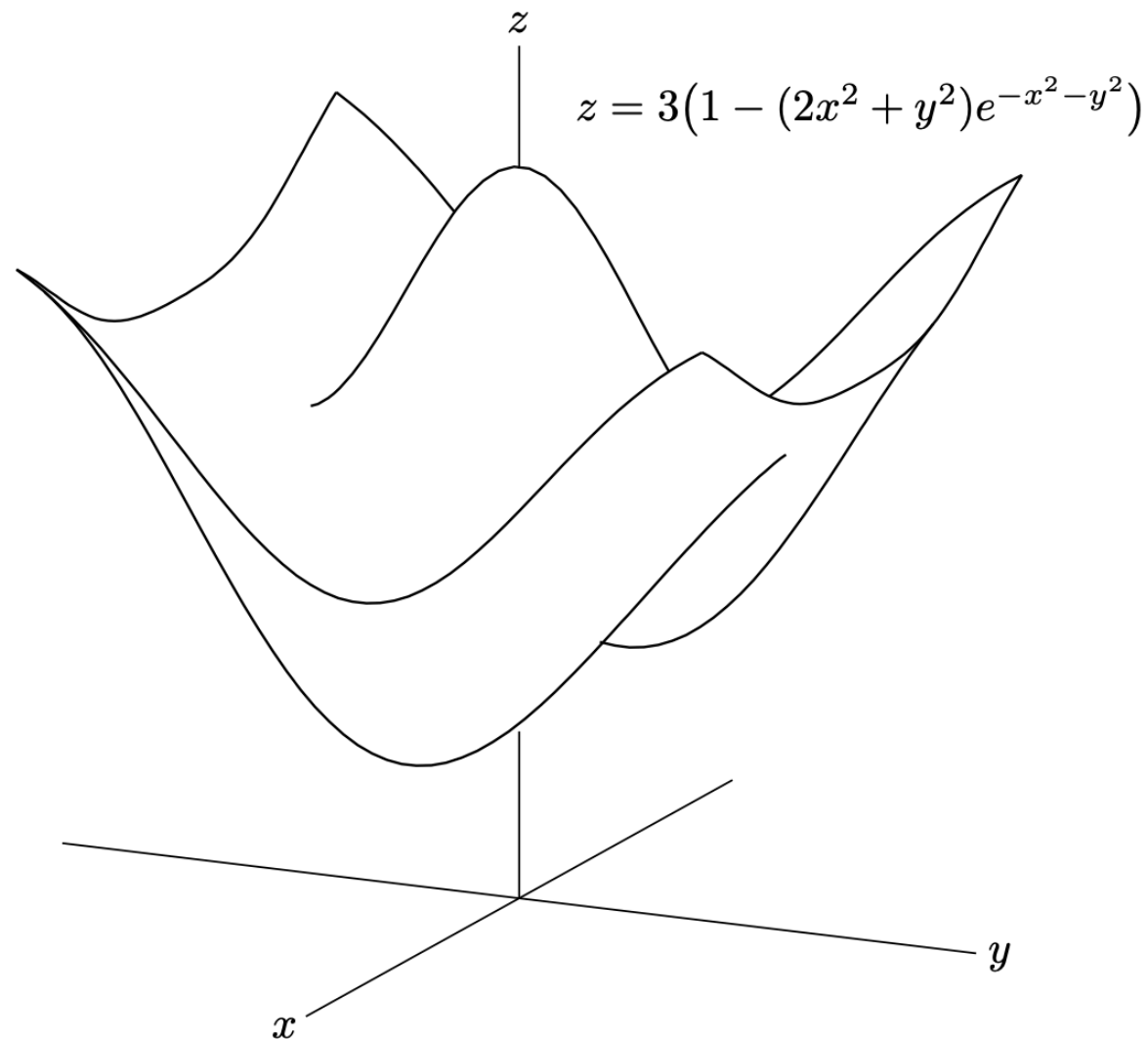
(1) $z = \sin(x - 3y)$

(2) $z = \frac{x}{x - y}$

(3) $z = \sqrt{x^2 + 3xy + 2y^2}$

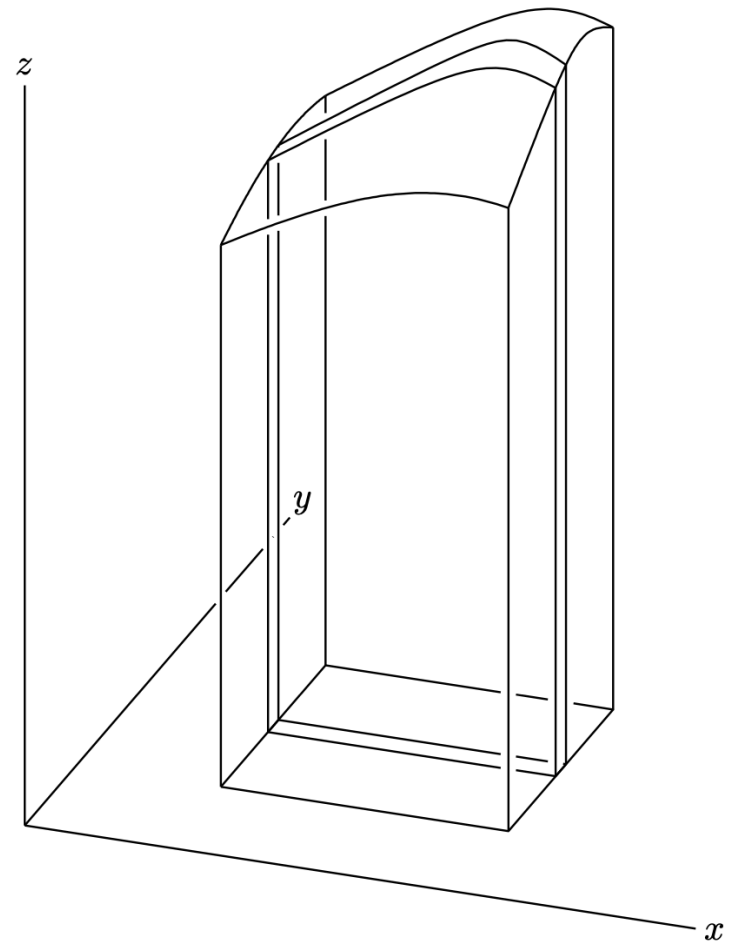
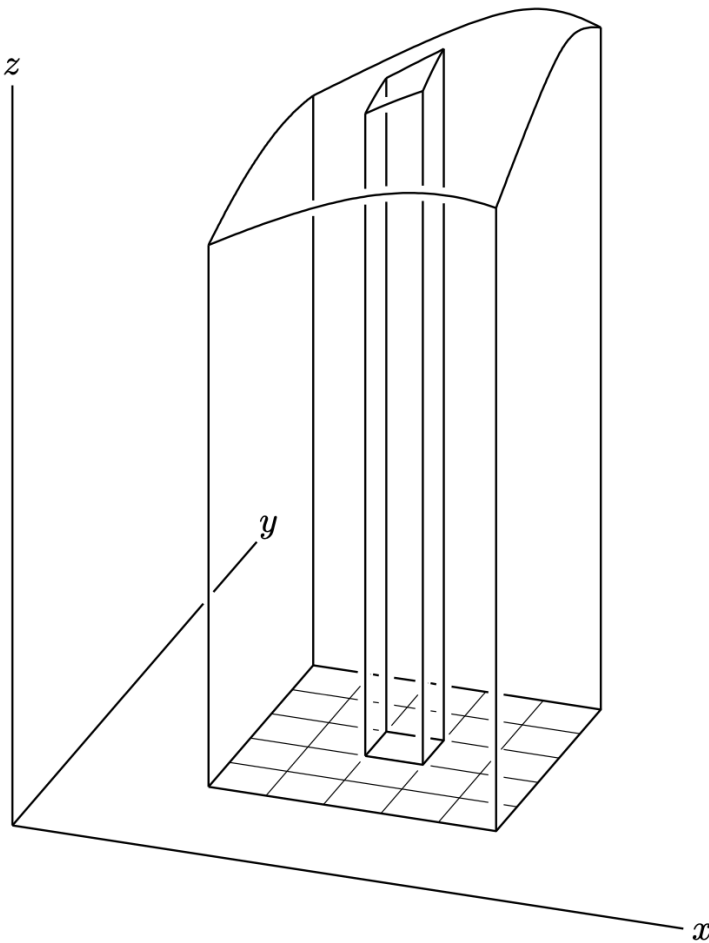
配付教材例 (2012 微積分)

極大・極小



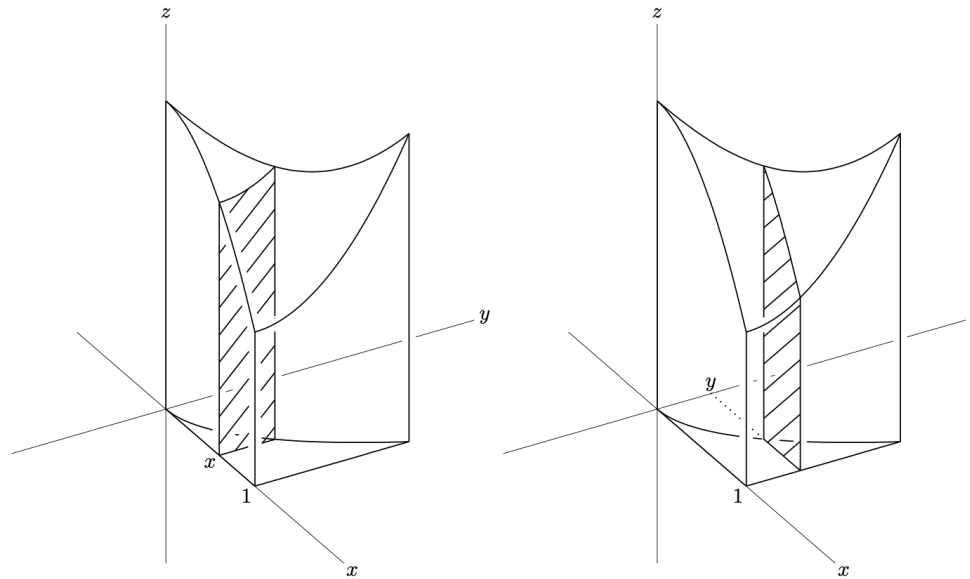
配付教材例 (2012 微積分)

重積分の定義と計算



配付教材例 (2012 微積分)

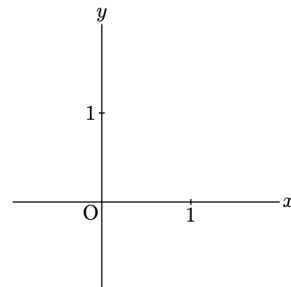
$$\iint_D (2 - x^2 + y^2) dx dy \quad (D : 0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq x^2)$$



1. (左の図)

積分領域 D は

$$0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq x^2$$



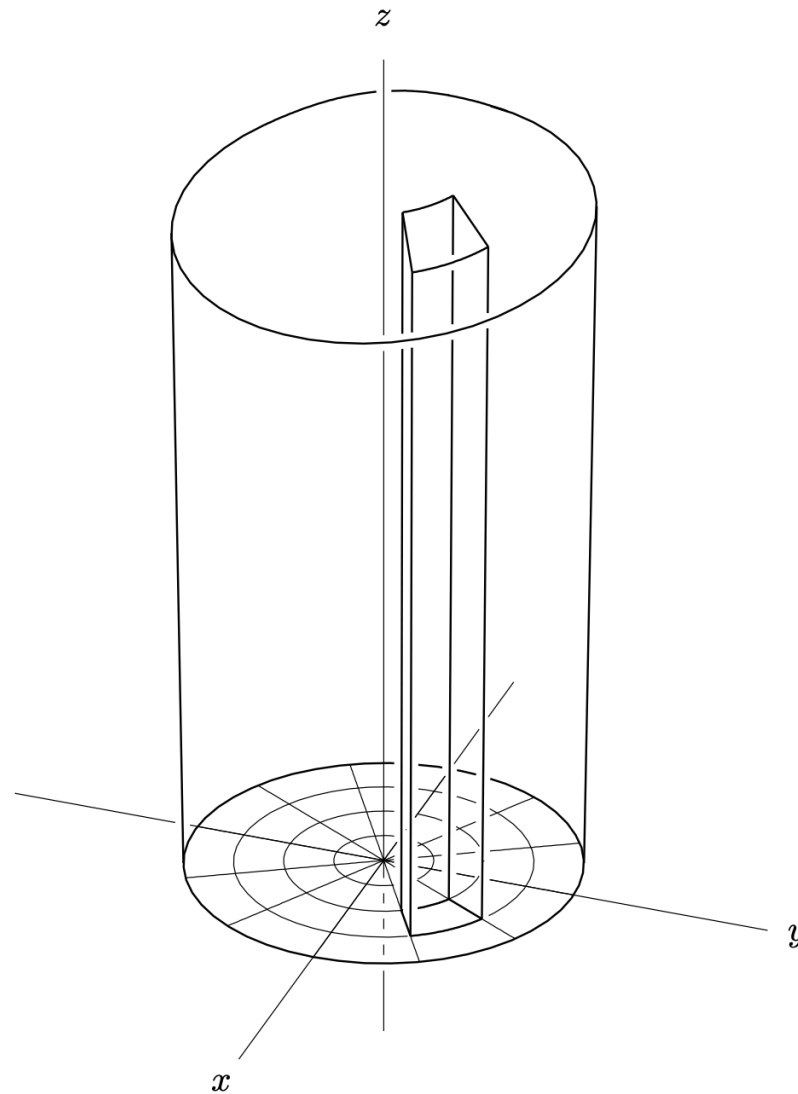
したがって

$$\iint_D (2 - x^2 + y^2) dx dy = \int \left(\int (2 - x^2 + y^2) dy \right) dx$$

=

配付教材例 (2012 微積分)

極座標変換



K_ETpic のまとめ

- 高専や大学等の授業担当者がいろいろな利用法について発表 ([15],[16],[17],[18],[19],[20],[21],[22])
- 図を修正する場合には少し手間がかかる
 - (1) ソースコードを修正して実行
 - (2) 表示された図を確認してファイルを書き出す
 - (3) T_EX 文書をコンパイルして図を確認
- 一連の作業をより対話的にかつ容易に実行できないかを模索するようになった

K_ET_pic のまとめ

- 高専や大学等の授業担当者がいろいろな利用法について発表 ([15],[16],[17],[18],[19],[20],[21],[22])
- 図を修正する場合には少し手間がかかる
 - (1) ソースコードを修正して実行
 - (2) 表示された図を確認してファイルを書き出す
 - (3) T_EX 文書をコンパイルして図を確認
- 一連の作業をより対話的にかつ容易に実行できないかを模索するようになった

K_ETpic のまとめ

- 高専や大学等の授業担当者がいろいろな利用法について発表 ([15],[16],[17],[18],[19],[20],[21],[22])
- 図を修正する場合には少し手間がかかる
 - (1) ソースコードを修正して実行
 - (2) 表示された図を確認してファイルを書き出す
 - (3) T_EX 文書をコンパイルして図を確認
- 一連の作業をより対話的にかつ容易に実行できないかを模索するようになった

KET Cindy の開発と利用

K_ET Cindy の開発経緯

- 簡単にかつ対話的に T_EX の図を作りたい
- 2006 年動的幾何 Cinderella2 がリリースされた
汎用的なプログラム言語 CindyScript を追加
- 2007 年から毎回 CADGME に参加発表
Kortenkamp の WS(CADGME2012) に参加
 - ・ Cinderella の主開発者の一人
- 2014 年に彼を日本に招聘
東邦大でセミナー，K_ET Cindy が誕生

K_ET Cindy の開発経緯

- 簡単にかつ対話的に T_EX の図を作りたい
- 2006 年動的幾何 Cinderella2 がリリースされた
汎用的なプログラム言語 CindyScript を追加
- 2007 年から毎回 CADGME に参加発表
Kortenkamp の WS(CADGME2012) に参加
 - ・ Cinderella の主開発者の一人
- 2014 年に彼を日本に招聘
東邦大でセミナー，K_ET Cindy が誕生

K_ET Cindy の開発経緯

Computer Algebra and Dynamic Geometry in Mathematics Education

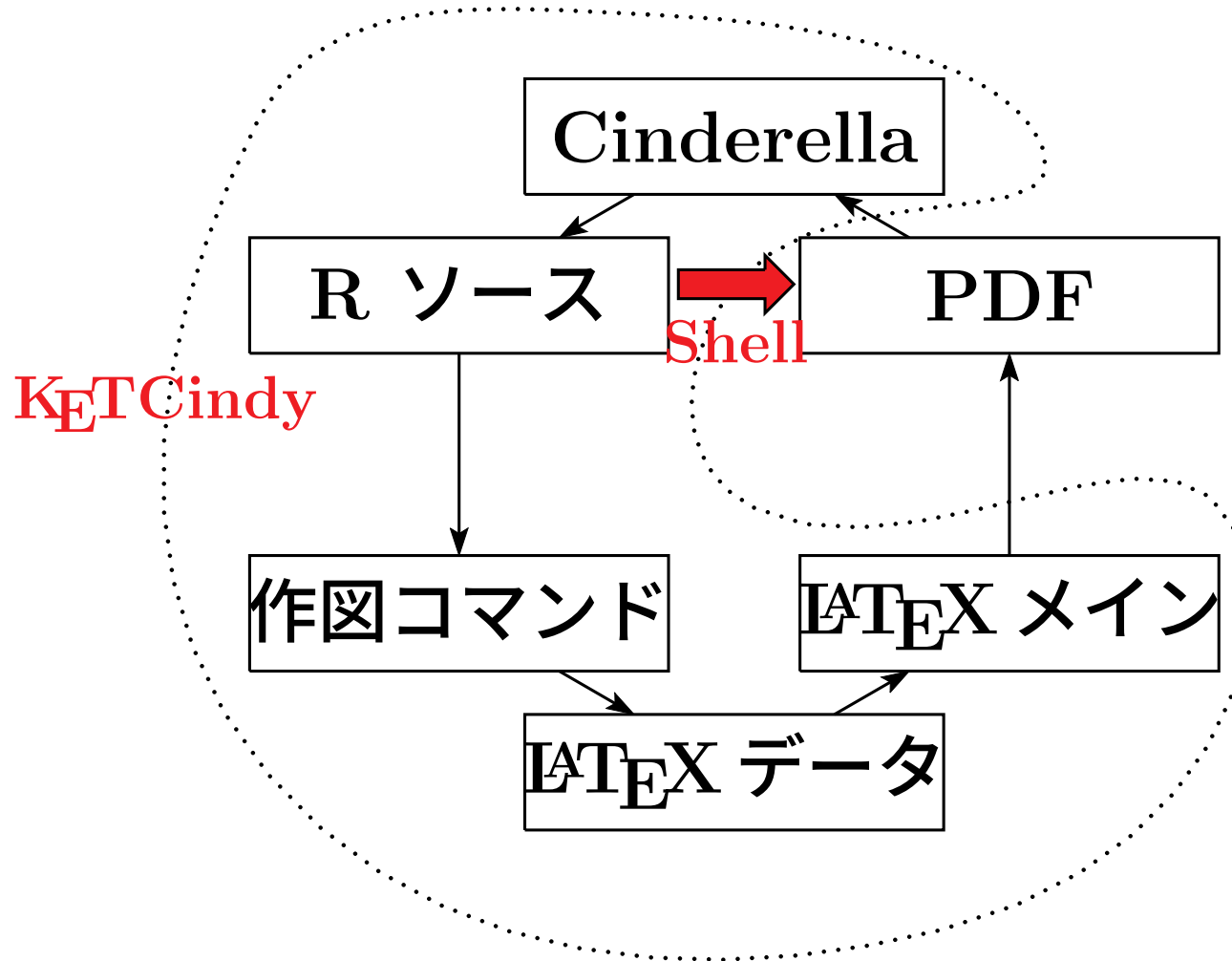
- 簡単にかつ対話的に T_EX の図を作りたい
- 2006 年動的幾何 Cinderella2 がリリースされた
汎用的なプログラム言語 CindyScript を追加
- 2007 年から毎回 CADGME に参加発表
Kortenkamp の WS(CADGME2012) に参加
 - ・ Cinderella の主開発者の一人
- 2014 年に彼を日本に招聘
東邦大でセミナー, K_ET Cindy が誕生

K_ET Cindy の開発経緯

Computer Algebra and Dynamic Geometry in Mathematics Education

- 簡単にかつ対話的に T_EX の図を作りたい
- 2006 年動的幾何 Cinderella2 がリリースされた
汎用的なプログラム言語 CindyScript を追加
- 2007 年から毎回 CADGME に参加発表
Kortenkamp の WS(CADGME2012) に参加
 - ・ Cinderella の主開発者の一人
- 2014 年に彼を日本に招聘
東邦大でセミナー, K_ET Cindy が誕生

K_ET_Cindy による作図の流れ



KETCindy(デモ)

- <https://s-takato.github.io/specialclass/shibaura25/index1.html>



K_ET Cindy の特徴と機能拡張

- 対話的に作図できる
 - 動的幾何の幾何要素を利用
 - ボタンを押すだけで図コードファイル作成
- ketcindyplugin.jar を最初に読み込み
 - バッチ処理により外部プログラムが実行可能
- いろいろなベジェ曲線をサポート
- 描画コード Tpic ⇒ pict2e, TikZ もサポート
 - TikZ については Texcom でも使用可能

K_ET Cindy の特徴と機能拡張

- 対話的に作図できる
 - 動的幾何の幾何要素を利用
 - ボタンを押すだけで図コードファイル作成
- ketcindyplugin.jar を最初に読み込み
 - バッチ処理により外部プログラムが実行可能
- いろいろなベジェ曲線をサポート
- 描画コード Tpic ⇒ pict2e, TikZ もサポート
 - TikZ については Texcom でも使用可能

KETCindy の特徴と機能拡張

- 対話的に作図できる
 - 動的幾何の幾何要素を利用
 - ボタンを押すだけで図コードファイル作成
- ketcindyplugin.jar を最初に読み込み
 - バッチ処理により外部プログラムが実行可能
- いろいろなベジェ曲線をサポート
- 描画コード Tpic \Rightarrow pict2e, TikZ もサポート
 - TikZ については Texcom でも使用可能

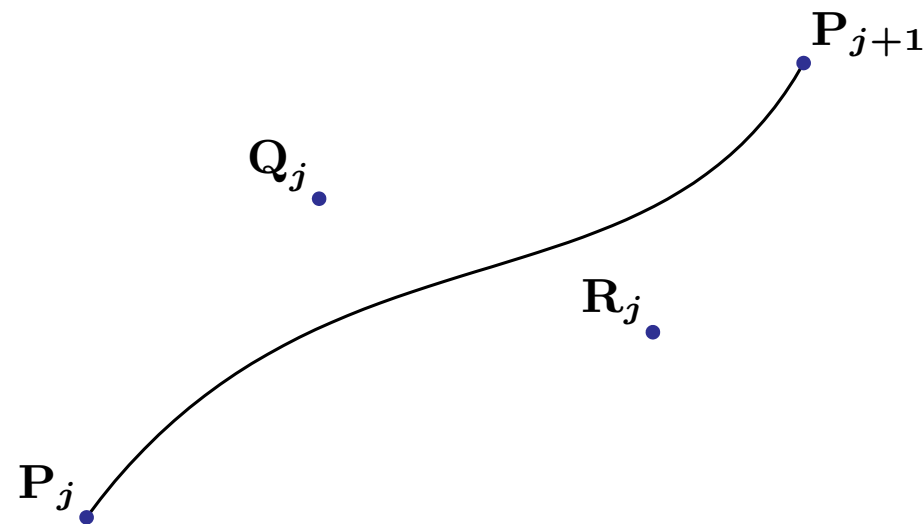
K_ET Cindy の特徴と機能拡張

- 対話的に作図できる
 - 動的幾何の幾何要素を利用
 - ボタンを押すだけで図コードファイル作成
- ketcindyplugin.jar を最初に読み込み
 - バッチ処理により外部プログラムが実行可能
- いろいろなベジェ曲線をサポート
- 描画コード Tpic ⇒ pict2e, TikZ もサポート
 - TikZ については Texcom でも使用可能

ベジエ曲線 (3次)

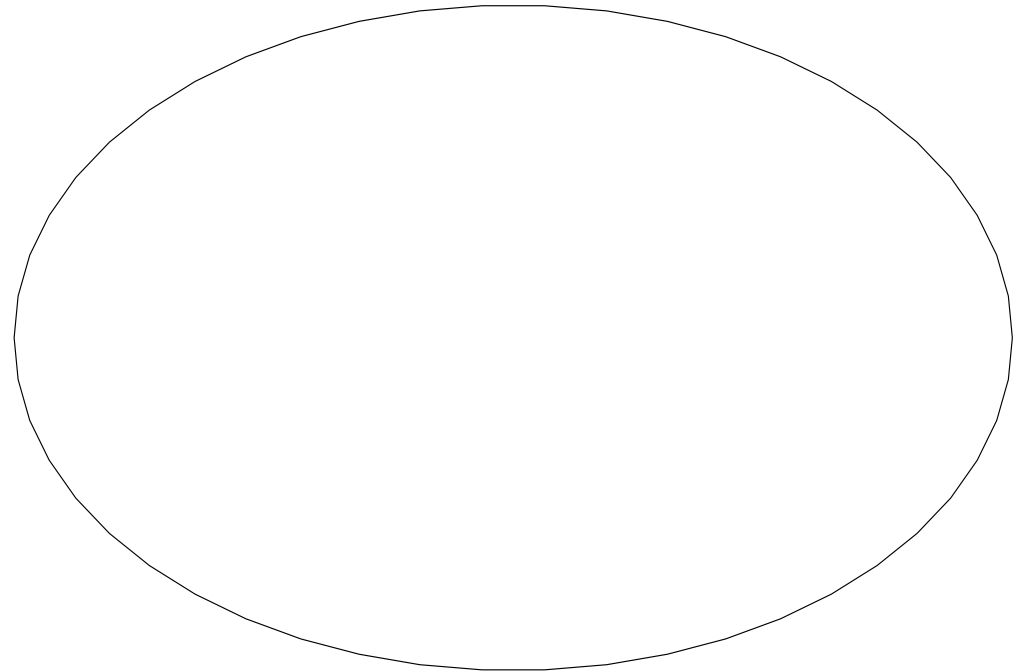
- 節点 P_j, P_{j+1} , 制御点 Q_j, R_j

$$P(t) = P_j(1-t)^3 + 3Q_jt(1-t)^2 + 3R_jt^2(1-t) + P_{j+1}t^3$$



節点だけを指定する滑らかなベジエ曲線

楕円を近似

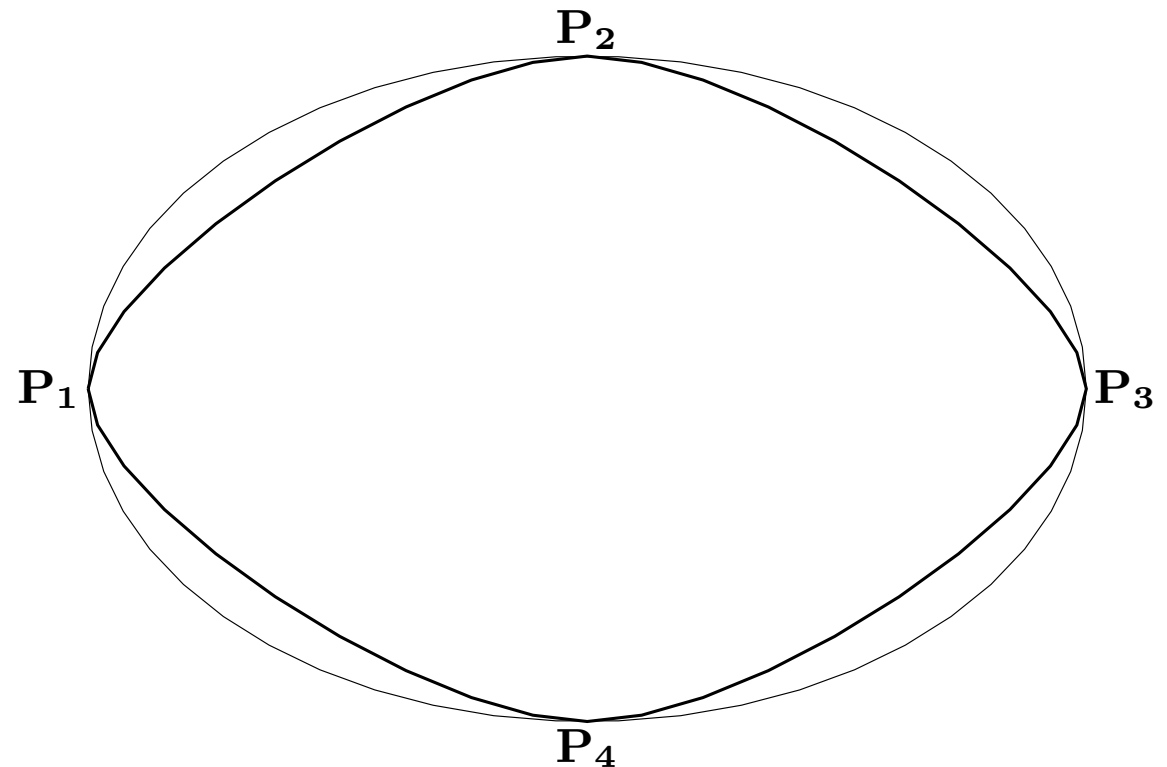


節点だけを指定する滑らかなベジエ曲線

楕円を近似

- Catmul-Rom スプライン (黒)

変化が大きい所でずれる

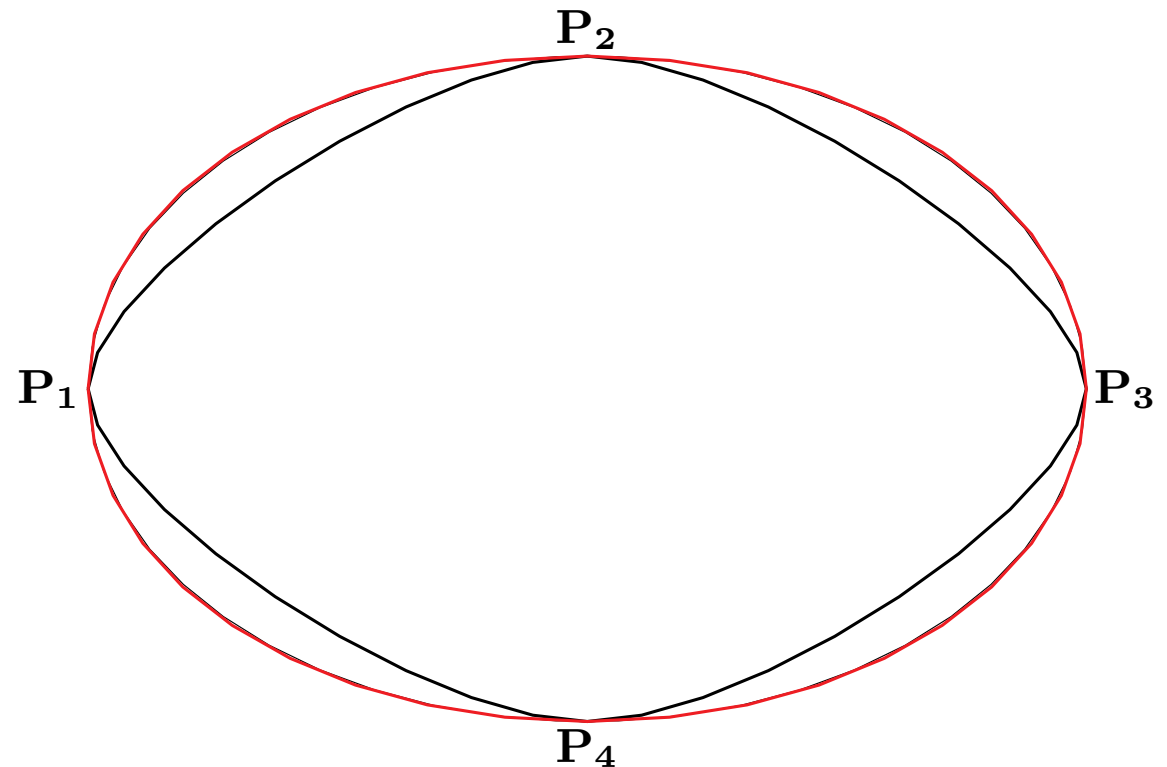


節点だけを指定する滑らかなベジエ曲線

楕円を近似

- Catmul-Rom スプライン (黒)
- 大島スプライン (赤)

文献 [24],[25]



大島スプラインの利用

文献 [29]

(1) 自由曲線

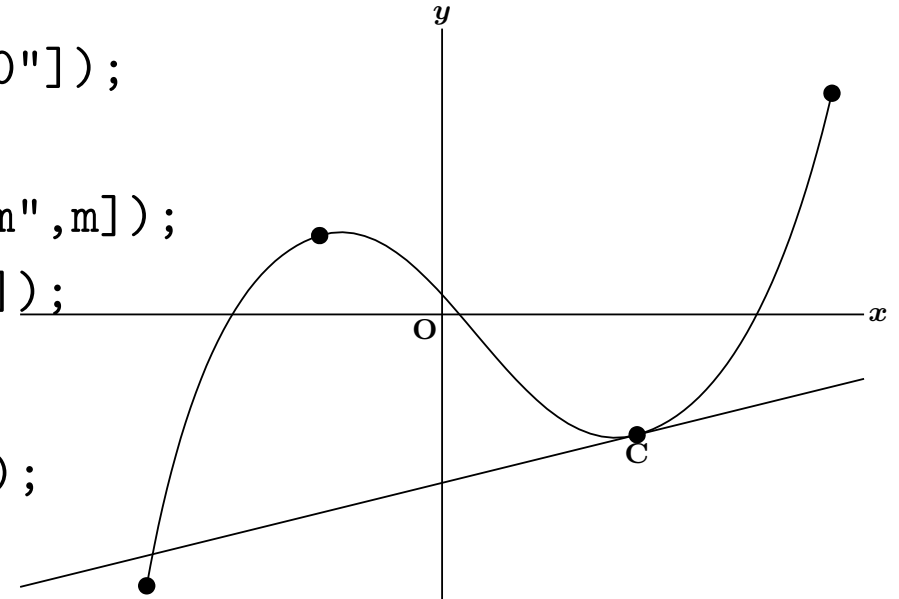
```
Ospline("1", [A,B,C,D], ["Num=30"]);
m=Derivative("bzo1", "x=C.x");
fun=Assign("m*(x-C.x)+C.y", ["m",m]);
Plotdata("2", fun, "x", ["Num=1"]);
```

(2) 曲線の交点と数値積分

```
pt=Intersectcrvs("bzo1", "gr2");
pt=[[-2.13,-1.76]]; 左側だけ
```

```
pt=Intersectcurves("bzo1", "gr2");
pt=[-2.13,-1.76],[1.43,-0.88],[1.45,-0.88]
ptx=pt_1_1;
```

```
S1=Integrate("bzo1", [ptx,C.x]);
S2=Integrate("gr2", [ptx,C.x]);
S1-S2=4.15;
```



$$\int y dx = \int y \frac{dx}{dt} dt$$

大島スプラインの利用 (デモ)

- 自由曲線
- 曲線の交点
- 数値積分
- <https://s-takato.github.io/specialclass/shibaura25/index2.html>



KETCindy の外部呼び出し機能

- ソースファイル (スクリプト) を引数とするバッチ処理
- 結果をテキストとして書き出して KETCindy で利用
 - (1) R
 - 確率分布, ヒストグラム, 箱ひげ図
 - (2) Maxima[33]
 - 数式処理, 解答のチェック, 和算の解法
 - (3) gcc[34]
 - 曲面の陰線処理を高速化

KETCindy の外部呼び出し機能

- ソースファイル (スクリプト) を引数とするバッチ処理
- 結果をテキストとして書き出して KETCindy で利用

(1) R

- 確率分布, ヒストグラム, 箱ひげ図

(2) Maxima[33]

- 数式処理, 解答のチェック, 和算の解法

(3) gcc[34]

- 曲面の陰線処理を高速化

KETCindy の外部呼び出し機能

- ソースファイル (スクリプト) を引数とするバッチ処理
- 結果をテキストとして書き出して KETCindy で利用

(1) R

- 確率分布, ヒストグラム, 箱ひげ図

(2) Maxima[33]

- 数式処理, 解答のチェック, 和算の解法

(3) gcc[34]

- 曲面の陰線処理を高速化

KETCindy の外部呼び出し機能

- ソースファイル (スクリプト) を引数とするバッチ処理
- 結果をテキストとして書き出して KETCindy で利用

(1) R

- 確率分布, ヒストグラム, 箱ひげ図

(2) Maxima[33]

- 数式処理, 解答のチェック, 和算の解法

(3) gcc[34]

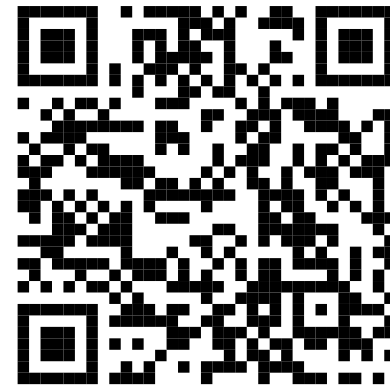
- 曲面の陰線処理を高速化

KETCindy の外部呼び出し機能

- ソースファイル (スクリプト) を引数とするバッチ処理
 - 結果をテキストとして書き出して KETCindy で利用
- (1) R
 - 確率分布, ヒストグラム, 箱ひげ図
 - (2) Maxima[33]
 - 数式処理, 解答のチェック, 和算の解法
 - (3) gcc[34]
 - 曲面の陰線処理を高速化

Cによる曲面描画の高速化 (デモ)

- <https://s-takato.github.io/specialclass/shibaura25/index3.html>



KeTCindy のまとめ (1)

(1) KeTCindy は KeTpic と Cinderella の連携ツール

(2) Github のページから無償でダウンロードできる

(3) 大学や高専などの教員がいろいろな教材を作成

- 「KeTCindy は、Cinderella2 を利用して図版を作るプラグインです。私は KeTpic の熱狂的なファンでしたが、とうとう KeTCindy に乗り換えることになりました」(矢野, 奈良高専)
- 立体図形について OBJ ビューアのデータや 3D プリンタで実体モデルを作成 (濱口, 長野高専)
- C 呼び出し機能を用いて曲線・曲面論の教材を作成 (野田, 東邦大)

KeTCindy のまとめ (1)

- (1) KeTCindy は KeTpic と Cinderella の連携ツール
- (2) Github のページから無償でダウンロードできる
- (3) 大学や高専などの教員がいろいろな教材を作成
 - 「KeTCindy は、Cinderella2 を利用して図版を作るプラグインです。私は KeTpic の熱狂的なファンでしたが、とうとう KeTCindy に乗り換えることになりました」(矢野, 奈良高専)
 - 立体図形について OBJ ビューアのデータや 3D プリンタで実体モデルを作成 (濱口, 長野高専)
 - C 呼び出し機能を用いて曲線・曲面論の教材を作成 (野田, 東邦大)

KeTCindy のまとめ (1)

- (1) KeTCindy は KeTpic と Cinderella の連携ツール
- (2) Github のページから無償でダウンロードできる
- (3) 大学や高専などの教員がいろいろな教材を作成
 - 「KeTCindy は、Cinderella2 を利用して図版を作るプラグインです。私は KeTpic の熱狂的なファンでしたが、とうとう KeTCindy に乗り換えることになりました」(矢野, 奈良高専)
 - 立体図形について OBJ ビューアのデータや 3D プリンタで実体モデルを作成 (濱口, 長野高専)
 - C 呼び出し機能を用いて曲線・曲面論の教材を作成 (野田, 東邦大)

KETCindy のまとめ (2)

- (4) $\text{T}_\text{E}_\text{X}$ を日常的に利用している教員にとっては、プリント教材やスライドを容易に作成できるツール
- (5) しかし、 $\text{T}_\text{E}_\text{X}$ をあまり用いないが、教育経験を活かした教材の作成に意欲的な教員も少なくない
- (6) また、学生にとっては配付プリントの利用 (書き込みなど) はできるがやや受動的
- (7) (5) の教員や学生自身が教材を主体的に作成できるためのアプリの開発を模索するようになった

KETCindy のまとめ (2)

- (4) $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ を日常的に利用している教員にとっては、プリント教材やスライドを容易に作成できるツール
- (5) しかし、 $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ をあまり用いないが、教育経験を活かした教材の作成に意欲的な教員も少なくない
- (6) また、学生にとっては配付プリントの利用 (書き込みなど) はできるがやや受動的
- (7) (5) の教員や学生自身が教材を主体的に作成できるためのアプリの開発を模索するようになった

KE TCindy のまとめ (2)

- (4) T_EX を日常的に利用している教員にとっては、プリント教材やスライドを容易に作成できるツール
- (5) しかし、T_EX をあまり用いないが、教育経験を活かした教材の作成に意欲的な教員も少なくない
- (6) また、学生にとっては配付プリントの利用 (書き込みなど) はできるがやや受動的
- (7) (5) の教員や学生自身が教材を主体的に作成できるためのアプリの開発を模索するようになった

KETCindy のまとめ (2)

- (4) T_EX を日常的に利用している教員にとっては、プリント教材やスライドを容易に作成できるツール
- (5) しかし、T_EX をあまり用いないが、教育経験を活かした教材の作成に意欲的な教員も少なくない
- (6) また、学生にとっては配付プリントの利用 (書き込みなど) はできるがやや受動的
- (7) (5) の教員や学生自身が教材を主体的に作成できるためのアプリの開発を模索するようになった

KETCindyJSの開発

開発経緯

- 学生自身が対話的に動かせる教材もほしい
- 2016年 Cindy 開発グループが CindyJS を公開 [26]
 - Cindy にほぼ互換な Web フレームワーク
 - 幾何要素やアニメーションも利用可
 - テキスト入出力も可能 (Editable text)
- K_ET Cindy コマンドが使えるようにした [27]
 - CindyJS の HTML ファイルを読み込む
 - K_ET Cindy の関数を探し再帰的に埋め込む

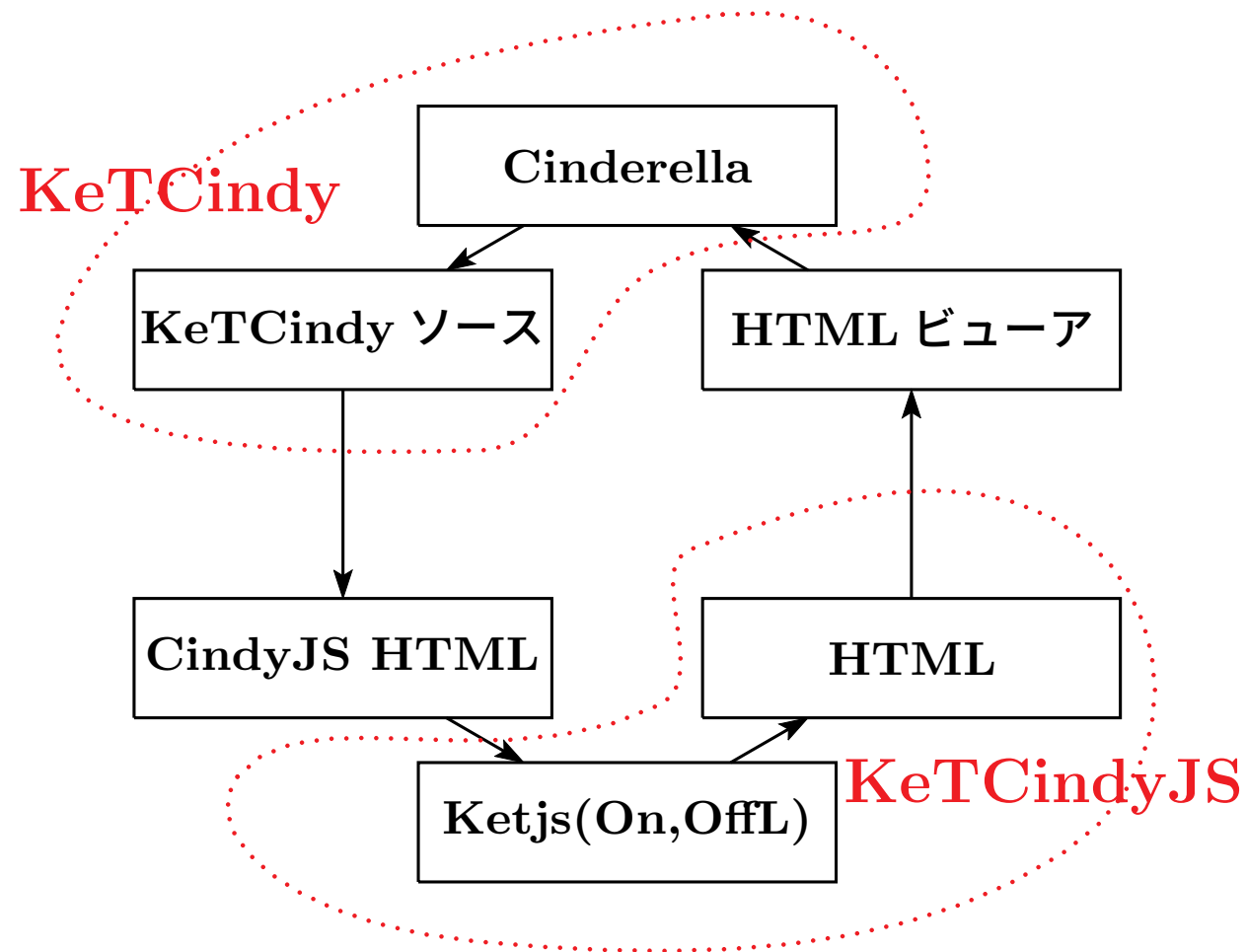
開発経緯

- 学生自身が対話的に動かせる教材もほしい
- 2016年 Cindy 開発グループが CindyJS を公開 [26]
 - Cindy にほぼ互換な Web フレームワーク
 - 幾何要素やアニメーションも利用可
 - テキスト入出力も可能 (Editable text)
- K_ET_Cindy コマンドが使えるようにした [27]
 - CindyJS の HTML ファイルを読み込む
 - K_ET_Cindy の関数を探し再帰的に埋め込む

開発経緯

- 学生自身が対話的に動かせる教材もほしい
- 2016年 Cindy 開発グループが CindyJS を公開 [26]
 - Cindy にほぼ互換な Web フレームワーク
 - 幾何要素やアニメーションも利用可
 - テキスト入出力も可能 (Editable text)
- K_{ET}Cindy コマンドが使えるようにした [27]
 - CindyJS の HTML ファイルを読み込む
 - K_{ET}Cindy の関数を探し再帰的に埋め込む

KeTCindyJS による作図の流れ



KETCindyJS(デモ)

- <https://s-takato.github.io/specialclass/shibaura25/index4.html>



K_ET CindyJS の作成例

- T_EX コンパイラは不要
 - CindyJS は KaTeX v0.8 をサポート
- ketcindy home(ketcindy sample) に多くのサンプルがある
 - 最速降下線 [31]
 - バーゼル問題 $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{k^2} = \frac{\pi^2}{6} \Rightarrow \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\pi k^2} = \frac{\pi}{6}$ [38]

K_εT CindyJS の作成例

- T_EX コンパイラは不要
 - CindyJS は KaTeX v0.8 をサポート
- ketcindy home(ketcindy sample) に多くのサンプルがある

- 最速降下線 [31]

<https://s-takato.github.io/ketcindysample/s16ketjsmisc/offline/s1611brachistchrone2jssoffL.html>

- バーゼル問題 $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{k^2} = \frac{\pi^2}{6} \Rightarrow \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\pi k^2} = \frac{\pi}{6}$ [38]

<https://s-takato.github.io/ketcindysample/misc/offline/basel4mainoff.html>

KE_ET CindyJS のまとめ

- (1) KE_ET Cindy の主目的は T_EX 文書の挿図の作成
 - (2) KE_ET CindyJS は HTML を作成することが目的
 - (3) T_EX に慣れていない教員や学生でも面白い教材を作成することができる
- 沼津高専生の KeTCindy 研究会が自主的に活動
中谷財団主催の国際学会で、KE_ET Cindy(JS) で作成した HTML 教材について発表、最優秀賞を受賞 (2024 年 11 月)

KE_ETCindyJS のまとめ

- (1) KE_ETCindy の主目的は T_EX 文書の挿図の作成
 - (2) KE_ETCindyJS は HTML を作成することが目的
 - (3) T_EX に慣れていない教員や学生でも面白い教材を作成することができる
- 沼津高専生の KeTCindy 研究会が自主的に活動
中谷財団主催の国際学会で、KETCindy(JS)
で作成した HTML 教材について発表、最優秀
賞を受賞 (2024 年 11 月)

KeTCindyJS のまとめ

- (1) KeTCindy の主目的は TeX 文書の挿図の作成
 - (2) KeTCindyJS は HTML を作成することが目的
 - (3) TeX に慣れていない教員や学生でも面白い教材を作成することができる
- 沼津高専生の KeTCindy 研究会が自主的に活動
中谷財団主催の国際学会で、KeTCindy(JS) で作成した HTML 教材について発表、最優秀賞を受賞 (2024 年 11 月)

KE_ETCindyJS のまとめ

- (1) KE_ETCindy の主目的は T_EX 文書の挿図の作成
 - (2) KE_ETCindyJS は HTML を作成することが目的
 - (3) T_EX に慣れていない教員や学生でも面白い教材を作成することができる
- 沼津高専生の KeTCindy 研究会が自主的に活動
中谷財団主催の国際学会で、KETCindy(JS)
で作成した HTML 教材について発表、最優秀
賞を受賞 (2024 年 11 月)

KETCindyJS のまとめ

- (4) 現在のところ、数式処理を用いることはできない
- KETCindy の Maxima 呼び出しで計算された結果を HTML に埋め込むことは可能
 - JavaScript で動く Algebrite などの利用が考えられる (今後の課題)

K_ET CindyJS のまとめ

- (4) 現在のところ、数式処理を用いることはできない
- K_ET Cindy の Maxima 呼び出しで計算された結果を HTML に埋め込むことは可能
 - JavaScript で動く Algebrite などの利用が考えられる (今後の課題)

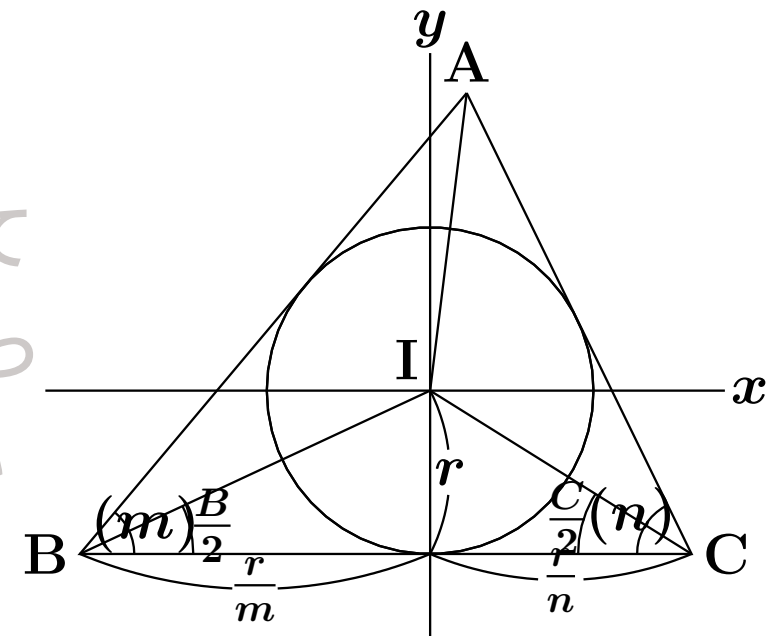
K_ET CindyJS のまとめ

- (4) 現在のところ、数式処理を用いることはできない
- K_ET Cindy の Maxima 呼び出しで計算された結果を HTML に埋め込むことは可能
 - JavaScript で動く Algebrite などの利用が考えられる (今後の課題)

KETCindy による和算の解法

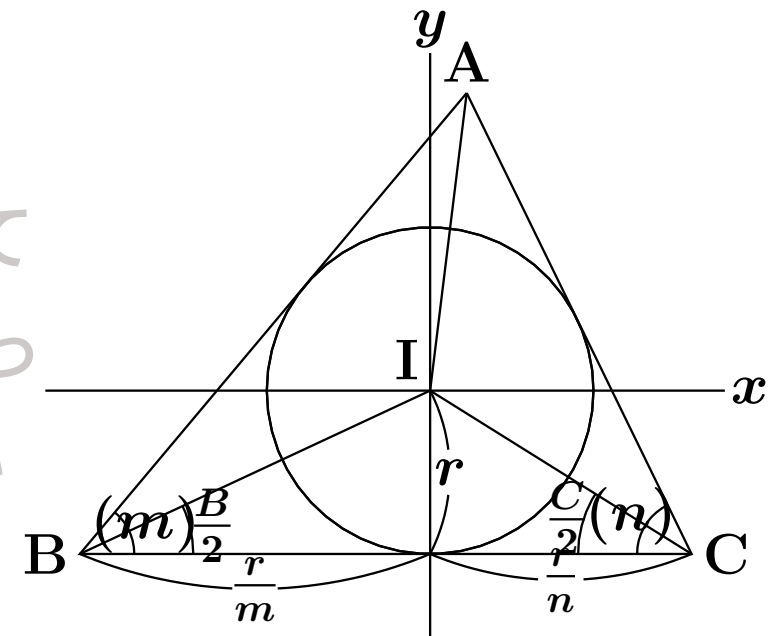
MNR 法

- 和算 (算額) の問題は，結果は美しいが計算が複雑なものも多い
- 数式処理で解くことを試みた
- 三角形が含まれる問題については，根号が入る連立方程式になって，数式処理ではまず解けない
- そこで，MNR 法を考案した
- Maxima と K_ET Cindy を用いて，より対話的にした [43]



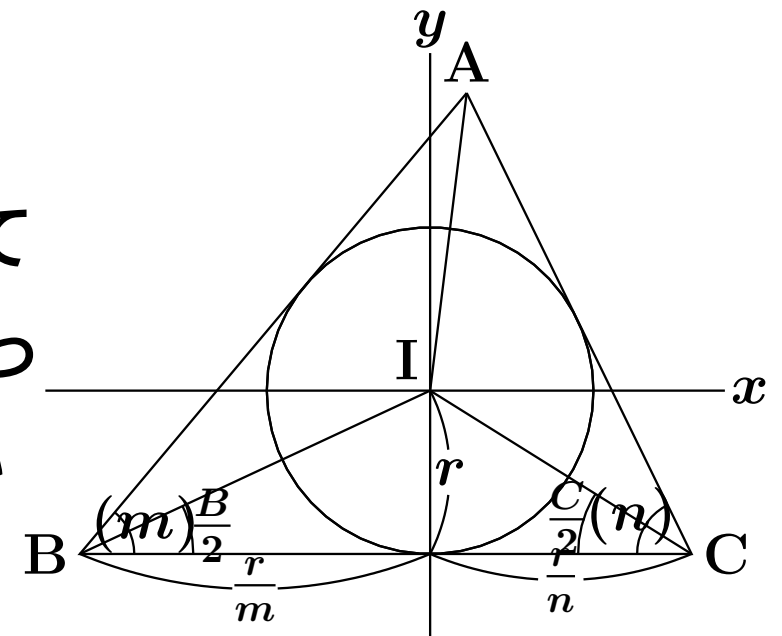
MNR 法

- 和算 (算額) の問題は，結果は美しいが計算が複雑なものも多い
- 数式処理で解くことを試みた
- 三角形が含まれる問題については，根号が入る連立方程式になって，数式処理ではまず解けない
- そこで，MNR 法を考案した
- Maxima と K_ET Cindy を用いて，より対話的にした [43]



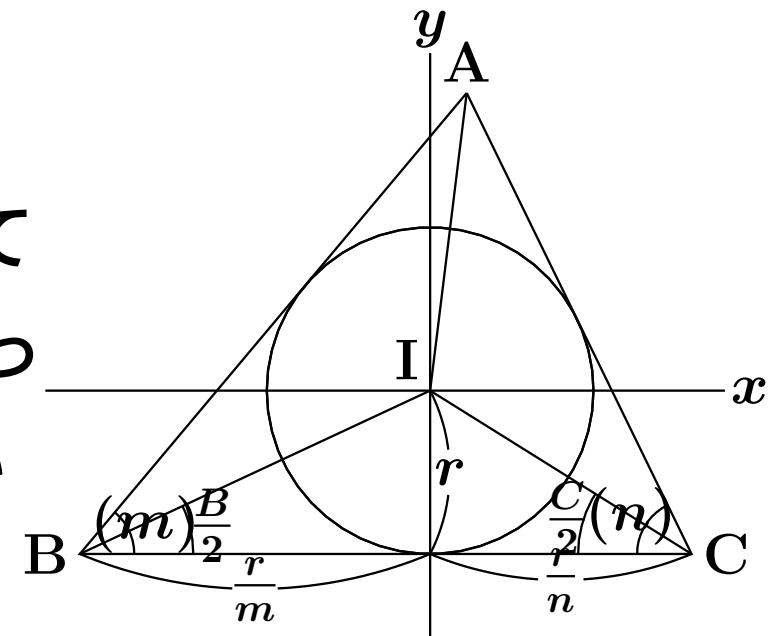
MNR 法

- 和算 (算額) の問題は，結果は美しいが計算が複雑なものも多い
- 数式処理で解くことを試みた
- 三角形が含まれる問題については，根号が入る連立方程式になって，数式処理ではまず解けない
- そこで，MNR 法を考案した
- Maxima と K_ET Cindy を用いて，より対話的にした [43]



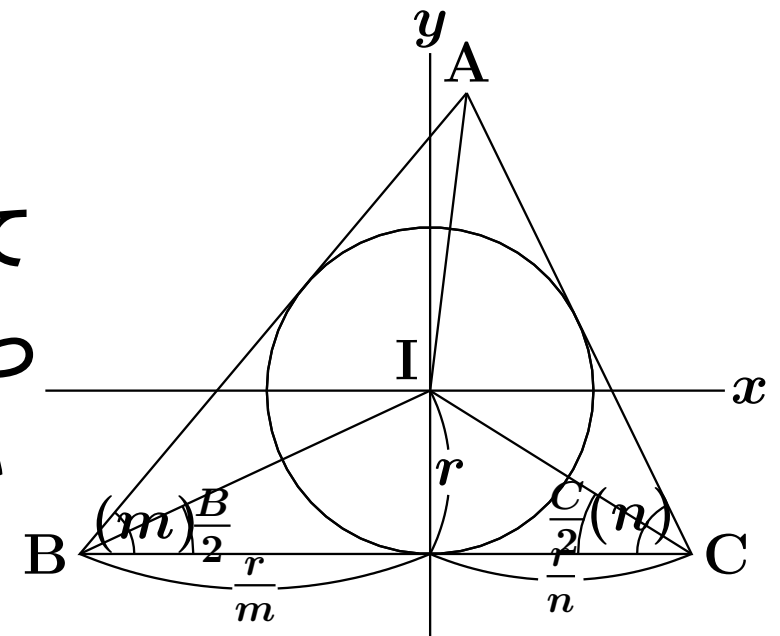
MNR 法

- 和算 (算額) の問題は，結果は美しいが計算が複雑なものも多い
- 数式処理で解くことを試みた
- 三角形が含まれる問題については，根号が入る連立方程式になって，数式処理ではまず解けない
- そこで，MNR 法を考案した
- Maxima と K_ET Cindy を用いて，より対話的にした [43]



MNR 法

- 和算 (算額) の問題は，結果は美しいが計算が複雑なものも多い
- 数式処理で解くことを試みた
- 三角形が含まれる問題については，根号が入る連立方程式になって，数式処理ではまず解けない
- そこで，MNR 法を考案した
- Maxima と K_ET Cindy を用いて，より対話的にした [43]



MNR 法による諸量の表現

- $m = \tan \frac{B}{2}$, $n = \tan \frac{C}{2}$, 内接円の半径 r
- 三角形の諸量は m, n, r の有理式で表される

$$\text{vtxL} = B\left(-\frac{r}{m}, -r\right)$$

$$\text{vtxR} = C\left(\frac{r}{n}, -r\right)$$

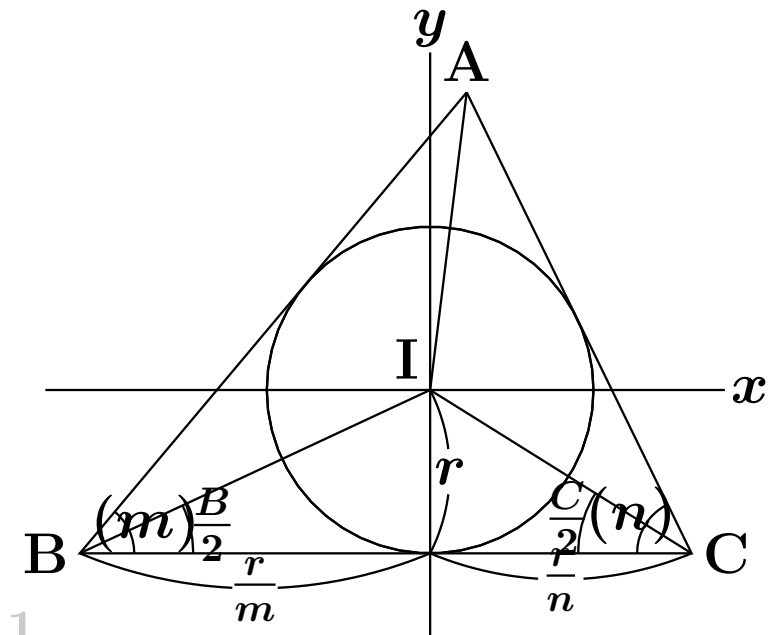
$$\text{edgB} = BC = \frac{r}{m} + \frac{r}{n}$$

$$\text{edgL} = AB = \frac{r(1+m^2)}{m(1-nm)}$$

- 角の演算

$$\text{補角 } \text{supA}(t) = \tan \frac{\pi - \alpha}{2} = \frac{1}{t}$$

$$\text{和 } \text{plusA}(t_1, t_2) = \frac{t_1 + t_2}{1 - t_1 \cdot t_2}$$



MNR 法による諸量の表現

- $m = \tan \frac{B}{2}$, $n = \tan \frac{C}{2}$, 内接円の半径 r
- 三角形の諸量は m, n, r の有理式で表される

$$\text{vtxL} = B\left(-\frac{r}{m}, -r\right)$$

$$\text{vtxR} = C\left(\frac{r}{n}, -r\right)$$

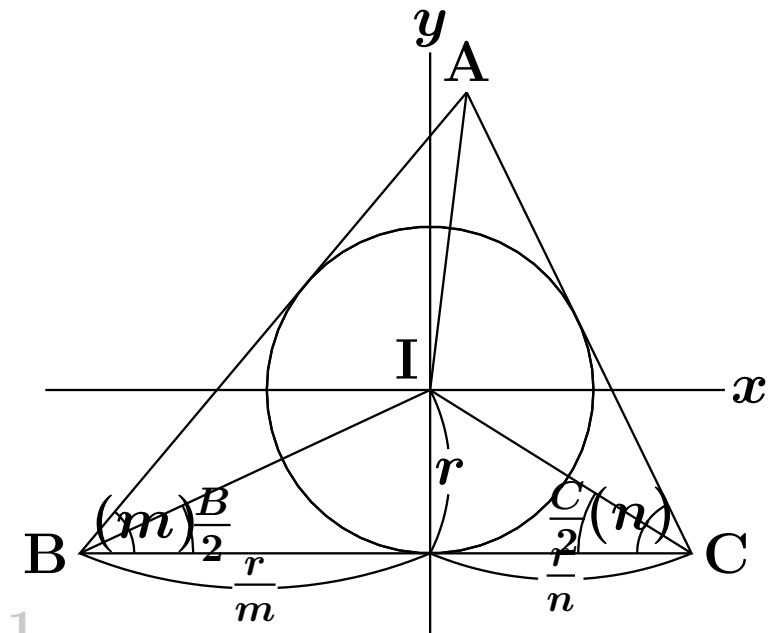
$$\text{edgB} = BC = \frac{r}{m} + \frac{r}{n}$$

$$\text{edgL} = AB = \frac{r(1+m^2)}{m(1-nm)}$$

- 角の演算

$$\text{補角 } \text{supA}(t) = \tan \frac{\pi - \alpha}{2} = \frac{1}{t}$$

$$\text{和 } \text{plusA}(t_1, t_2) = \frac{t_1 + t_2}{1 - t_1 \cdot t_2}$$



MNR 法による諸量の表現

- $m = \tan \frac{B}{2}$, $n = \tan \frac{C}{2}$, 内接円の半径 r
- 三角形の諸量は m, n, r の有理式で表される

$$\text{vtxL} = B\left(-\frac{r}{m}, -r\right)$$

$$\text{vtxR} = C\left(\frac{r}{n}, -r\right)$$

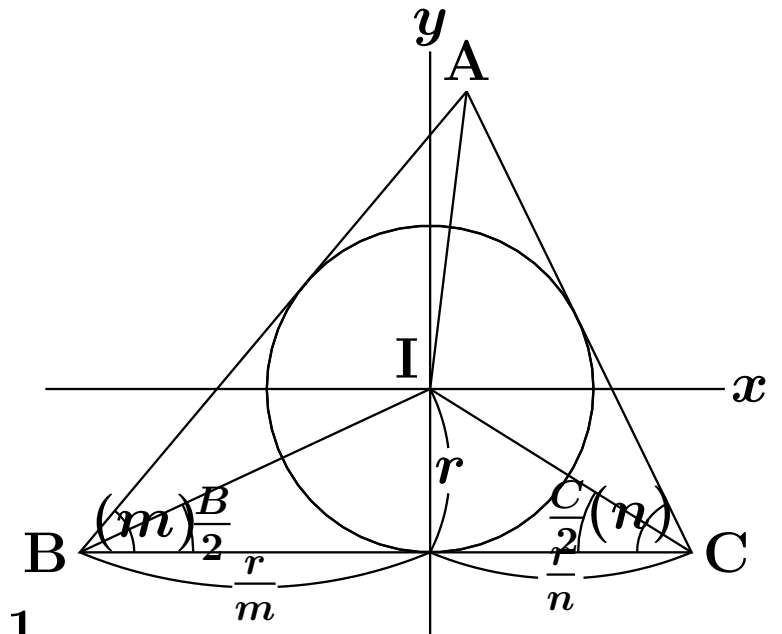
$$\text{edgB} = BC = \frac{r}{m} + \frac{r}{n}$$

$$\text{edgL} = AB = \frac{r(1+m^2)}{m(1-nm)}$$

- 角の演算

$$\text{補角 } \text{supA}(t) = \tan \frac{\pi - \alpha}{2} = \frac{1}{t}$$

$$\text{和 } \text{plusA}(t_1, t_2) = \frac{t_1 + t_2}{1 - t_1 \cdot t_2}$$



Maxima の MNR パッケージ

- 基本コマンド

`putT(m,n,r)` 三角形をおく

`slideT(p1,p2)` $p1$ が $p2$ に一致するように平行移動

`rotateT(m,p)` p を中心に (m) だけ回転

Maxima の MNR パッケージ

- 基本コマンド

`putT(m,n,r)` 三角形をおく

`slideT(p1,p2)` $p1$ が $p2$ に一致するように平行移動

`rotateT(m,p)` p を中心に (m) だけ回転

回転は θ の正弦と余弦, よって $\tan \frac{\theta}{2}$ で表される

Maxima の MNR パッケージ

- 基本コマンド

`putT(m,n,r)` 三角形をおく

`slideT(p1,p2)` $p1$ が $p2$ に一致するように平行移動

`rotateT(m,p)` p を中心に (m) だけ回転

回転は θ の正弦と余弦, よって $\tan \frac{\theta}{2}$ で表される

- その他の汎用関数, 式の簡単化の関数などを組み込み

Maxima の MNR パッケージ

- 基本コマンド

`putT(m,n,r)` 三角形をおく

`slideT(p1,p2)` $p1$ が $p2$ に一致するように平行移動

`rotateT(m,p)` p を中心に (m) だけ回転

回転は θ の正弦と余弦, よって $\tan \frac{\theta}{2}$ で表される

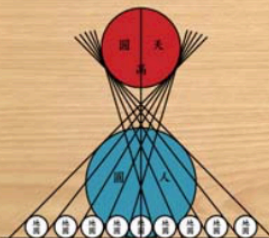
- その他の汎用関数, 式の簡単化の関数などを組み込み
- Maxima のコマンド列の最初に `Mxbatch("mnr")` をおく
文献 [43]

Japanese Theorem (II)

上垣涉, Japanese Theorem の起源と歴史, 三重大学教育学部研究紀要 52, 23-45, 2001
 涌田和芳, 外川一仁, 新潟白山神社の紛失算額, 長岡高専研究紀要, 47, 7-16, 2011

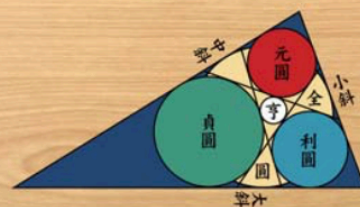
享和三癸亥年四月

最上流丸太源五右衛門正通門人
新發田家中
 山本金平方剛



術曰置全圓徑倍之得四和合問

今有如圖直線截隔斜天
 圓人圓各一箇及地圓數
 箇乃奇數而只云高若干
 假畫九箇只云高若干
 天圓徑若干地圓徑若干
 問隨地圓箇數得人圓徑
 術如何
 答曰如左



奉納

今有如圖三斜內容全圓
 及隔三線四圓乃全圓者
 利貞圓者各切三斜元
 三線等圓者切三線也只
 云全圓徑一寸問元亨利
 貞之圓徑四和幾何

元圓徑
 亨圓徑
 利圓徑
 貞圓徑

答曰
 元圓徑 四和二寸
 利圓徑 四和二寸
 貞圓徑 四和二寸

享和3年 = 1803年 = 癸亥

Japanese Theorem (II)



問 図のように三角形の中に全円，及び3線を隔てて4円（元，利，貞，亨）を入れる．ここで全は三角形に接し，元，利，貞は三角形の2辺と3線に接し，亨は3線に接する．全径が1寸のとき元，亨，利，貞の円径の和はいくらか

Japanese Theorem (II)



問 図のように三角形の中に全円，及び3線を隔てて4円（元，利，貞，亨）を入れる．ここで全は三角形に接し，元，利，貞は三角形の2辺と3線に接し，亨は3線に接する．全径が1寸のとき元，亨，利，貞の円径の和はいくらか

答 4円径の和は2寸

Japanese Theorem (II)



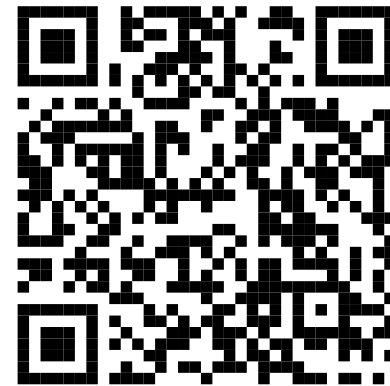
問 図のように三角形の中に全円，及び3線を隔てて4円（元，利，貞，亨）を入れる．ここで全は三角形に接し，元，利，貞は三角形の2辺と3線に接し，亨は3線に接する．全径が1寸のとき元，亨，利，貞の円径の和はいくらか

答 4円径の和は2寸

術 全を2倍すると4円径の和を得る

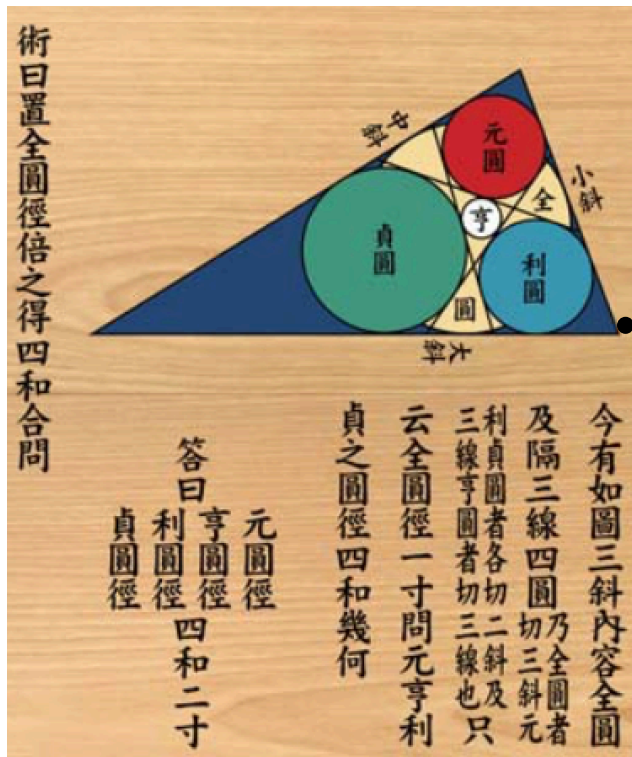
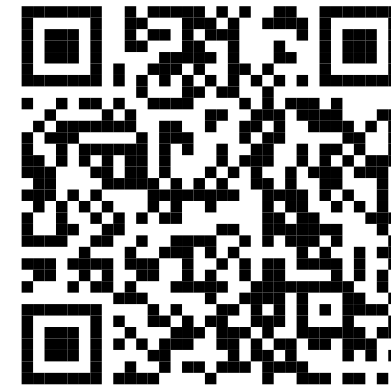
Japanese Theorem II の証明 (デモ)

- <https://s-takato.github.io/specialclass/shibaura25/index5.html>



Japanese Theorem II の証明 (デモ)

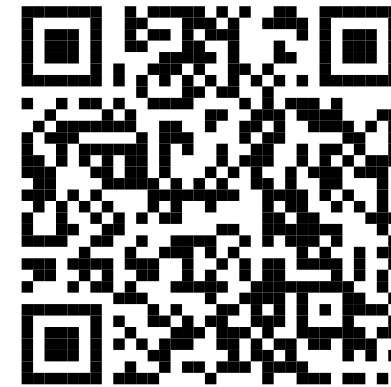
- <https://s-takato.github.io/specialclass/shibaura25/index5.html>



3線を隔てて4円(元, 利, 貞, 亨)を入れる. ここで元, 利, 貞は三角形の2辺と3線に接し, 亨は3線に接する

Japanese Theorem II の証明 (デモ)

- <https://s-takato.github.io/specialclass/shibaura25/index5.html>



3線を隔てて4円(元, 利, 貞, 亨)を入れる. ここで元, 利, 貞は三角形の2辺と3線に接し, 亨は3線に接する

5角形に接する条件が要る

MNR 法のまとめ

- (1) Maxima の MNR ライブラリは，KETCindy との組み合わせで対話性を向上
- (2) 和算は，日本の数学史を語る上で不可欠の話題
- (3) 実際に解くには相当の知識と計算力が必要
- (4) 数式処理の助けを借りたとしても，立式は必要
- (5) 自力で解くことで興味と関心の向上が期待される
- (6) 授業等において MNR 法を用いるとき，導入として，例えば円周角の定理の証明なども考えられる
- (7) 空間図形 (四面体など) は今後の課題

MNR 法のまとめ

- (1) Maxima の MNR ライブラリは, K_{ET}Cindy との組み合わせで対話性を向上
- (2) 和算は, 日本の数学史を語る上で不可欠の話題
- (3) 実際に解くには相当の知識と計算力が必要
- (4) 数式処理の助けを借りたとしても, 立式は必要
- (5) 自力で解くことで興味と関心の向上が期待される
- (6) 授業等において MNR 法を用いるとき, 導入として, 例えば円周角の定理の証明なども考えられる
- (7) 空間図形 (四面体など) は今後の課題

MNR 法のまとめ

- (1) Maxima の MNR ライブラリは, K_{ET}Cindy との組み合わせで対話性を向上
- (2) 和算は, 日本の数学史を語る上で不可欠の話題
- (3) 実際に解くには相当の知識と計算力が必要
- (4) 数式処理の助けを借りたとしても, 立式は必要
- (5) 自力で解くことで興味と関心の向上が期待される
- (6) 授業等において MNR 法を用いるとき, 導入として, 例えば円周角の定理の証明なども考えられる
- (7) 空間図形 (四面体など) は今後の課題

MNR 法のまとめ

- (1) Maxima の MNR ライブラリは, K_{ET}Cindy との組み合わせで対話性を向上
- (2) 和算は, 日本の数学史を語る上で不可欠の話題
- (3) 実際に解くには相当の知識と計算力が必要
- (4) 数式処理の助けを借りたとしても, 立式は必要
- (5) 自力で解くことで興味と関心の向上が期待される
- (6) 授業等において MNR 法を用いるとき, 導入として, 例えば円周角の定理の証明なども考えられる
- (7) 空間図形 (四面体など) は今後の課題

MNR 法のまとめ

- (1) Maxima の MNR ライブラリは, K_{ET}Cindy との組み合わせで対話性を向上
- (2) 和算は, 日本の数学史を語る上で不可欠の話題
- (3) 実際に解くには相当の知識と計算力が必要
- (4) 数式処理の助けを借りたとしても, 立式は必要
- (5) 自力で解くことで興味と関心の向上が期待される
- (6) 授業等において MNR 法を用いるとき, 導入として, 例えば円周角の定理の証明なども考えられる
- (7) 空間図形 (四面体など) は今後の課題

MNR 法のまとめ

- (1) Maxima の MNR ライブラリは, K_{ET}Cindy との組み合わせで対話性を向上
- (2) 和算は, 日本の数学史を語る上で不可欠の話題
- (3) 実際に解くには相当の知識と計算力が必要
- (4) 数式処理の助けを借りたとしても, 立式は必要
- (5) 自力で解くことで興味と関心の向上が期待される
- (6) 授業等において MNR 法を用いるとき, 導入として, 例えば円周角の定理の証明なども考えられる
- (7) 空間図形 (四面体など) は今後の課題

MNR 法のまとめ

- (1) Maxima の MNR ライブラリは, K_{ET}Cindy との組み合わせで対話性を向上
- (2) 和算は, 日本の数学史を語る上で不可欠の話題
- (3) 実際に解くには相当の知識と計算力が必要
- (4) 数式処理の助けを借りたとしても, 立式は必要
- (5) 自力で解くことで興味と関心の向上が期待される
- (6) 授業等において MNR 法を用いるとき, 導入として, 例えば円周角の定理の証明なども考えられる
- (7) 空間図形 (四面体など) は今後の課題

結論

KeTCindy

- (1) Cindy の幾何要素と CindyScript を利用
- (2) T_EX 文書 (教材) に挿入する図を対話的に作成
- (3) バッチ処理で Cindy から T_EX コンパイラ, 確認用 PDF 作成までを連続的に実行
- (4) 図の Cindy と T_EX ファイルは本体と別に保存
 - 再利用が容易
- (5) 外部呼び出しが利用できる (MNR 法など)
- (6) フォルダ構成の整備 (Preining) や TeXLive のサブセット版 KeTTeX をリリース (山本) してもらった

KeTCindy

- (1) Cindy の幾何要素と CindyScript を利用
- (2) $\text{T}_\text{E}\text{X}$ 文書 (教材) に挿入する図を対話的に作成
- (3) バッチ処理で Cindy から $\text{T}_\text{E}\text{X}$ コンパイラ, 確認用 PDF 作成までを連続的に実行
- (4) 図の Cindy と $\text{T}_\text{E}\text{X}$ ファイルは本体と別に保存
 - 再利用が容易
- (5) 外部呼び出しが利用できる (MNR 法など)
- (6) フォルダ構成の整備 (Preining) や TeXLive のサブセット版 KeTTeX をリリース (山本) してもらった

KeT Cindy

- (1) Cindy の幾何要素と CindyScript を利用
- (2) $\text{T}_\text{E}X$ 文書 (教材) に挿入する図を対話的に作成
- (3) バッチ処理で Cindy から $\text{T}_\text{E}X$ コンパイラ, 確認用 PDF 作成までを連続的に実行
- (4) 図の Cindy と $\text{T}_\text{E}X$ ファイルは本体と別に保存
 - 再利用が容易
- (5) 外部呼び出しが利用できる (MNR 法など)
- (6) フォルダ構成の整備 (Preining) や TeXLive のサブセット版 KeTTeX をリリース (山本) してもらった

KeT Cindy

- (1) Cindy の幾何要素と CindyScript を利用
- (2) T_EX 文書 (教材) に挿入する図を対話的に作成
- (3) バッチ処理で Cindy から T_EX コンパイラ, 確認用 PDF 作成までを連続的に実行
- (4) 図の Cindy と T_EX ファイルは本体と別に保存
 - 再利用が容易
- (5) 外部呼び出しが利用できる (MNR 法など)
- (6) フォルダ構成の整備 (Preining) や TeXLive のサブセット版 KeTTeX をリリース (山本) してもらった

KeTCindy

- (1) Cindy の幾何要素と CindyScript を利用
- (2) T_EX 文書 (教材) に挿入する図を対話的に作成
- (3) バッチ処理で Cindy から T_EX コンパイラ, 確認用 PDF 作成までを連続的に実行
- (4) 図の Cindy と T_EX ファイルは本体と別に保存
 - 再利用が容易
- (5) 外部呼び出しが利用できる (MNR 法など)
- (6) フォルダ構成の整備 (Preining) や TeXLive のサブセット版 KeTTeX をリリース (山本) してもらった

KeTCindy

- (1) Cindy の幾何要素と CindyScript を利用
- (2) T_EX 文書 (教材) に挿入する図を対話的に作成
- (3) バッチ処理で Cindy から T_EX コンパイラ, 確認用 PDF 作成までを連続的に実行
- (4) 図の Cindy と T_EX ファイルは本体と別に保存
 - 再利用が容易
- (5) 外部呼び出しが利用できる (MNR 法など)
- (6) フォルダ構成の整備 (Preining) や TeXLive のサブセット版 KeTTeX をリリース (山本) してもらった

KE_TCindyJS

(1) 対話的な HTML 教材作成に有用

- T_EX に不慣れでも多様な教材を作成できる
- 高専用教科書の Web コンテンツ

https://www.dainippon-tosho.co.jp/college_math/index.html

(2) KE_TCindyJS により，数式を含む課題データの送受システム KeTLTS を開発している [43]

- T_EX をベースとした簡易数式表現ルールで送信
- 受信データを KaTeX で 2 次元数式に直し画面表示

KE_ETCindyJS

(1) 対話的な HTML 教材作成に有用

- T_EX に不慣れでも多様な教材を作成できる
- 高専用教科書の Web コンテンツ

https://www.dainippon-tosho.co.jp/college_math/index.html

(2) KE_ETCindyJS により，数式を含む課題データの送受システム KeTLTS を開発している [43]

- T_EX をベースとした簡易数式表現ルールで送信
- 受信データを KaTeX で 2 次元数式に直し画面表示

プログラミングと教育利用

- (1) 数学ソフトウェアはプログラミングによってより強力な教育ツールとなる
- (2) ライブラリ化することで汎用性が高められる
- (3) 分岐・反復 (・関数定義) が使えるようになれば, 作りたい図をいろいろ作成することができる
- (4) 動的幾何は独特な動きをする (画面の状態変化があると自動的に最初に戻って変数が初期化される)
- (5) 生成 AI の応用によりプログラミングをより簡単に
する可能性もあるが, 今後の課題である

プログラミングと教育利用

- (1) 数学ソフトウェアはプログラミングによってより強力な教育ツールとなる
- (2) ライブラリ化することで汎用性が高められる
- (3) 分岐・反復 (・関数定義) が使えるようになれば, 作りたい図をいろいろ作成することができる
- (4) 動的幾何は独特な動きをする (画面の状態変化があると自動的に最初に戻って変数が初期化される)
- (5) 生成 AI の応用によりプログラミングをより簡単に
する可能性もあるが, 今後の課題である

プログラミングと教育利用

- (1) 数学ソフトウェアはプログラミングによってより強力な教育ツールとなる
- (2) ライブラリ化することで汎用性が高められる
- (3) **分岐・反復 (・関数定義)** が使えるようになれば、作りたい図をいろいろ作成することができる
- (4) 動的幾何は独特な動きをする (画面の状態変化があると自動的に最初に戻って変数が初期化される)
- (5) 生成 AI の応用によりプログラミングをより簡単に
する可能性もあるが、今後の課題である

プログラミングと教育利用

- (1) 数学ソフトウェアはプログラミングによってより強力な教育ツールとなる
- (2) ライブラリ化することで汎用性が高められる
- (3) **分岐・反復 (・関数定義)** が使えるようになれば、作りたい図をいろいろ作成することができる
- (4) 動的幾何は独特な動きをする (画面の状態変化があると自動的に最初に戻って変数が初期化される)
- (5) 生成 AI の応用によりプログラミングをより簡単に
する可能性もあるが、今後の課題である

プログラミングと教育利用

- (1) 数学ソフトウェアはプログラミングによってより強力な教育ツールとなる
- (2) ライブラリ化することで汎用性が高められる
- (3) **分岐・反復 (・関数定義)** が使えるようになれば、作りたい図をいろいろ作成することができる
- (4) 動的幾何は独特な動きをする (画面の状態変化があると自動的に最初に戻って変数が初期化される)
- (5) 生成 AI の応用によりプログラミングをより簡単に
する可能性もあるが、今後の課題である

謝辞

工学部土木工学課程教授の牧下英世先生，工学部情報・通信工学課程教授の井尻敬先生，システム理工学部数理科学科教授の竹内慎吾先生，工学部電気電子工学課程教授の小池義和先生，日本大学生物資源科学部教授の濱田龍義先生，羽衣国際大学客員教授の高橋正先生には，本論文を執筆する上で並々ならぬご指導とご助言をいただきました．名古屋大学教養教育院教授の中村泰之先生，Cantabria 大学教授の Akemi Galvez 先生と Andres Iglesias 先生には，KeTpic の開発当初より Maple をはじめ関連ソフトなどについて多くのことを教えていただいた．東京大学大学院数理科学研究科名誉教授の大島利雄先生には，大島ベジェ曲線やその数値積分での利用，及び日本の定理などに関連して，多くの有意義なご助言をいただきました．日本大学理工学部特任教授の平田典子先生には，数学特に数論の深い内容に関して教えていただくとともに，図に適している題材についての貴重な示唆をいただきました．Potsdam 大学教授の Ulrich Kortenkamp 先生には，Cinderella の利用について多くのサポートとご助言をいただきました．

謝辞

山口大学教育学部教授の北本卓也先生には，`KETCindyJS` のオフラインでの利用法などを教えていただいた．`TeXLive` 開発グループの Norbert Preining 氏と Green Cherry 代表の山本宗宏氏には，`KETCindy` のライブラリ整理，CTAN への登録，Github への登録など，枚挙にいとまないご助力をいただいた Cinderella Japan の入谷昭先生には，`KETCindy` の開発にあたって，Cinderella についてのご教授と `KETCindy` のマニュアル作成の多大なご協力をいただいた．`KETCindy` 開発グループの下関市立大学名誉教授の大内俊二先生，東邦大学薬学部教授の金子真隆先生，元工学院大学准教授の北原清志先生，弓削商船高専准教授の久保康幸先生，長野高専名誉教授の小林茂樹先生，沼津高専准教授の鈴木正樹先生，福島高専教授の西浦孝治先生，都城高専名誉教授の野町俊文先生，長野高専教授の濱口直樹先生，長野高専名誉教授の前田善文先生，明石高専教授の松宮篤先生，木更津高専教授の山下哲先生，群馬高専教授の碓氷久先生には，プログラムやマニュアルの作成およびバグ修正などで多くの協力をしていただいた．これらの方々に深甚なる感謝を申し上げる．

ご清聴ありがとうございました



すべての人々に包摂的かつ公平で質の高い教育を提供し、生涯学習の機会を促進する

参考文献

- [1] Scilab <https://www.scilab.org>
- [2] U. リゲス, R の基礎とプログラミング技法, シュプリンガー・ジャパン, 2006
- [3] M.Goossens, LATEX グラフィックスコンパニオン, アスキー・アジソンウェスレイ, 2000
- [4] 藤田眞作, LATEX2 ϵ コマンドブック, S Bクリエイティブ, 2003
- [5] 生田誠三, LATEX2e 文典, 朝倉書店, 1996
- [6] 奥村晴彦, LaTeX 美文書作成入門, 技術評論社, 1991
- [7] Maple V Learning Guide: for Release 5, Waterloo Maple Incorporated, 1997
- [8] J R-Gebert, U Kortenkamp, The Cinderella.2 Manual, 2006
- [9] 松崎利雄, 栃木県算額集, 1969
- [10] 平山諦, 千葉県の算額, 成田山資料館, 1970
- [11] 深川英俊, ダン・ペドー, 日本の幾何—何題解けますか, 1991
- [12] 上垣渉, Japanese Theorem の起源と歴史, 三重大学教育学部研究紀要. 自然科学 / 三重大学教育学部編 52, 23-45, 2001

- [13] 涌田和芳, 外川一仁, 新潟白山神社の紛失算額, 長岡高専研究紀要, 47 巻, 2011
- [14] M.Sekiguchi, S.Yamashita, S.Takato, Development of a Maple Macro Package Suitable for Drawing Fine KETPIC-Pictures, Lecture Notes in Computer Science 2006, 24-34, Springer
- [15] 山下哲, 関口昌由, 高遠節夫, Maple による図形描画用 TEX ファイルの作成について, 日本数学教育学会高専大学部会論文誌 13 巻 1 号, 31-40, 2006
- [16] 山下哲, 阿部孝之, 金子真隆, 関口昌由, 田所勇樹, 深澤謙次, 高遠節夫, KETpic の改良と教育利用, 日本数学教育学会高専大学部会論文誌 14 巻 1 号, 51-60, 2007
- [17] M.Sekiguchi, K.Kitahara, K.Fukazawa, S.Takato, A simple method of the TeX surface drawing suitable for teaching materials with the aid of CAS, Lecture Notes in Computer Science 5102, 35-45, Springer, 2008
- [18] M.Sekiguchi, T.Abe, H.Izumi, M.Kaneko, S.Yamashita, K.Fukazawa, K. Kitahara, S.Takato, A simple method of the TeX surface drawing suitable for teaching materials with the aid of CAS, Selected Papers of 6 International Conference on Computational Science and Application, IEEE, 277-283, 2008
- [19] 金子真隆, 阿部孝之, 関口昌由, 山下哲, 高遠節夫, KETpic による曲面描画と教育利用, 数理解析研究所講究録 1624, 1-10, 2009

- [20] Abe Takayuki, K.Fukazawa, M.Kaneko, K.Kitahara, H.Koshikawa, S.Yamashita, S.Takato, Migration of KETpic to Scilab and Comparison of Scilab with other CASs, 日本数学教育学会高専大学部会論文誌 16 巻 1 号, 97-106, 2009
- [21] S.Ouchi, S.Takato, High-Quality Statistical Plots in LaTeX for Mathematics Education Using an R-based KETpic Plug-Ins, Proceeding of the 15th ATCM Conference-Kuala Lumpur, 265-275, 2010
- [22] M,Kaneko,,S.Takato, The effective use of LATEX drawing in linear algebra, The Electronic Journal of Mathematics and Technology, vol.5-2, 129-148, 2011
- [23] 高遠節夫, KETCindy の開発について, 数理解析研究所講究録 1978, 173-182, 2015
- [24] 大島利雄, ベジエ曲線による曲線近似とその応用, 数理解析研究所講究録 2054, 96-104, 2017
- [25] Oshima T., Drawing Curves, Mathematical Progress in Expressive Image Synthesis III, edited by Y. Dobashi and H. Ochiai, Mathematics for Industry, 24, 95-106, Springer, 2016
- [26] Gagern M., Kortenkamp U., Gebart J., Strobel M., CindyJS—Mathematical Visualization on Modern Devices—, ICMS 2016, LNCS 9725, 319–334, Springer, 2016

- [27] 高遠節夫, KeTCindyJS の開発と教育利用, 数理解析研究所講究録 2142, 123-132, 2019
- [28] S.Takato, A.Vallejo, A.Prokopenya, KeTCindy/KeTCindyJS – a bridge between teachers and students, Computer Algebra Systems in Teaching and Research,ISSN 2300-7397.VIII,132-146, 2019
- [29] S.Takato, J.Vallejo, Using Oshima Splines to Produce Accurate Numerical Results and High Quality Graphical Output, Mathematics in Computer Science 14 (2), 399–413, Springer, 2020
- [30] S.Takato, What is and How to Use KeTCindy-Linkage Between Dynamic Geometry Software and Graphics Capabilities-, Mathematical Software-ICMS2016, 371–379, 2016
- [31] S.Takato, Brachistochrone Problem as Teaching Material-Application of KeTCindy with Maxima-, ICCSA, 251-261, Springer, 2017
- [32] 高遠節夫, TEX による教材作成環境の充実, 数理解析研究所講究録 2022, 118-127, 2017
- [33] S.Takato, A.McAndrew, J.Vallejo, M.Kaneko, Collaborative Use of KeTCindy and Free Computer Algebra Systems,Mathematics in Computer Science 11 (3-4), 503-514,Springer,2017
- [34] S.Takato, A.Vallejo, Interfacing free computer algebra systems and C with KETCindy, Computer Algebra Systems in Teaching and Research, ISSN 2300-7397.VI, 172-185, 2017

- [35] 西浦孝治, 高遠節夫, KetCindy による数学教材の作成とその教育効果の検証, 数理解析研究所講究録 2067 177-182, 2018
- [36] 野田健夫, 高遠節夫, KeTCindy の C 呼び出し機能と曲線・曲面論の教材の作成, 数理解析研究所講究録 2067, 132-141, 2018
- [37] 高遠節夫, 北本卓也, 濱口直樹, テキストをベースとした LMS の利用と HTML 教材の作成, 数理解析研究所講究録 2208, 58-67, 2021
- [38] 細谷大輔, 岡田裕紀, 鈴木雄大, Basel problem visualized by GeoGebra, 城西大学数学科数学教育紀要 2 巻, 1-7, 2021
- [39] 高遠節夫, 濱口直樹, Web 利用の理数教育に役立つ数式送受システム開発, 数理解析研究所講究録 2178, 67-76, 2021
- [40] 高遠節夫, 濱口直樹, 北本卓也, KeTMath による課題送受・採点処理・結果分析と授業実践, 数理解析研究所講究録 2236, 90-99, 2022
- [41] 高遠節夫, 濱口直樹, 北本卓也, 1 次元表現ルールに基づいた数式の送受と授業実践, 城西大学数学科数学教育紀要 4, 23-34, 2022

- [42] 西浦孝治, 高遠節夫, 数学教育における KeT-LMS の効果的活用 , 数理解析研究所
講究録 2273, 192-201, 2023
- [43] S. Takato, Hideyo Makishita, A Method to Prove Japanese Theorems
and Others Appeared in Wasan Using Maxima, SCSS 2024, LNAI
14991, 57-78, 2024
- [44] S. Takato, H. Makishita, Development of a Question Distribution and
Answer Collection System for Mathematics Classes Using Only One
Line of Text, ATCM2024, Invited paper, 67-78, 2024
- [45] 高遠節夫, 牧下英世, ブレンド型授業における KeTLMS の利用—多様で柔軟な出
題形式を可能とするシステムの模索—, 2024 (数理解析研究所講究録に掲載予定)