

前回の演習の答案の返却

前回提出の答案を

学生番号順に

返却します

元気に返事をして取りに来て下さい

前回の演習の答案へのコメント

- 読める答案を書く
「答案は (数式交じりの) 文章である」
- ★ 読める字で書く
- ★ 読みとれる論理で書く
 - * 「...とする」のか、「...となる」のか
 - * 必要条件か十分条件か
 - * 等式・不等式の根拠は何か
- 技術的なコメントは細かくなるので略

ε - δ 流の関数の極限の定義

関数 f に対し、

$x \longrightarrow a$ のとき $f(x) \longrightarrow b$ である
($\lim_{x \rightarrow a} f(x) = b$)

ということを、次で定義する:

$$\forall \varepsilon > 0 : \exists \delta > 0 :$$

$$0 < |x - a| < \delta \implies |f(x) - b| < \varepsilon$$

ε - δ 流の関数の極限の定義

$$\lim_{x \rightarrow a} f(x) = b$$

$$\iff (\forall \varepsilon > 0 : \exists \delta > 0 :$$

$$0 < |x - a| < \delta \implies |f(x) - b| < \varepsilon)$$

この定義の下で、例えば次のことが証明出来る:

$$\lim_{x \rightarrow a} f(x) = b, \lim_{x \rightarrow a} g(x) = c$$

$$\implies \lim_{x \rightarrow a} (f(x) + g(x)) = b + c$$

ε - δ 流の収束・極限の証明

$$\lim_{x \rightarrow a} x^2 = a^2$$

の ε - δ 流の定義は次の通り:

$$\forall \varepsilon > 0 : \exists \delta > 0 :$$

$$0 < |x - a| < \delta \implies |x^2 - a^2| < \varepsilon$$

これに基づいて、

$$\lim_{x \rightarrow a} x^2 = a^2$$

の証明を書くと …

極限

良く判らないものを、良く判るもので近似する

無限 \longleftrightarrow 有限

連続量
(analog) \longleftrightarrow 離散量
(digital)

等比級数の和の公式

$$1 + x + x^2 + x^3 + \cdots + x^n + \cdots = \frac{1}{1-x}$$

逆に見ると、

$$\begin{aligned}\frac{1}{1-x} &= 1 + x + x^2 + x^3 + \cdots + x^n + \cdots \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} (1 + x + x^2 + x^3 + \cdots + x^n)\end{aligned}$$



関数を「多項式の極限」として表すこと
(**冪級数**・**整級数**)

一般に、関数 f について、

$$\begin{aligned} f(x) &= a_0 + a_1x + a_2x^2 + \cdots + a_nx^n + \cdots \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} a_nx^n \end{aligned}$$

と表すことを考えよう … **Taylor 展開**

→ 係数 $a_n = ?$

$$a_n = \frac{f^{(n)}(0)}{n!}$$

一般に、関数 f について、

$$\begin{aligned} f(x) &= a_0 + a_1x + a_2x^2 + \cdots + a_nx^n + \cdots \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} a_nx^n \end{aligned}$$

と表すことを考えよう … Taylor 展開

→ 係数 $a_n = ?$

$$a_n = \frac{f^{(n)}(0)}{n!}$$

一般に、関数 f について、

$$\begin{aligned} f(x) &= a_0 + a_1x + a_2x^2 + \cdots + a_nx^n + \cdots \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} a_nx^n \end{aligned}$$

と表すことを考えよう … Taylor 展開

→ 係数 $a_n = ?$

$$a_n = \frac{f^{(n)}(0)}{n!}$$

従って、

$$f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \cdots + a_nx^n + \cdots$$

と表せるとすれば、

$$\begin{aligned} f(x) &= f(0) + f'(0)x + \frac{f''(0)}{2}x^2 \\ &\quad + \cdots + \frac{f^{(n)}(0)}{n!}x^n + \cdots \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^{(n)}(0)}{n!}x^n \end{aligned}$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^{(n)}(0)}{n!} x^n: f \text{ の 形式的 Taylor 展開}$$

(形式的) Taylor 展開を計算してみよう!!

直接判る例:

- 多項式関数: そのまま
(だけど面白い例もある)
- 高階微分 $f^{(n)}(x)$ が良く判る場合:
 $\sin x, \cos x, e^x$ など

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^{(n)}(0)}{n!} x^n: f \text{ の 形式的 Taylor 展開}$$

(形式的) Taylor 展開を計算してみよう!!

直接判る例:

- 多項式関数: そのまま
(だけど面白い例もある)
- 高階微分 $f^{(n)}(x)$ が良く判る場合:
 $\sin x, \cos x, e^x$ など

二項定理

$$\begin{aligned}(1+x)^N &= \sum_{n=0}^N \binom{N}{n} x^n \\ &= 1 + Nx + \frac{N(N-1)}{2}x^2 + \cdots + x^N\end{aligned}$$

$$\binom{N}{n} = \frac{N(N-1)\cdots(N-n+1)}{n(n-1)\cdots 1} = {}_N C_n$$

: 二項係數 (**binomial coefficient**)

指数関数・三角関数

$$e^x = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n!} x^n$$

$$= 1 + x + \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{3!}x^3 + \dots$$

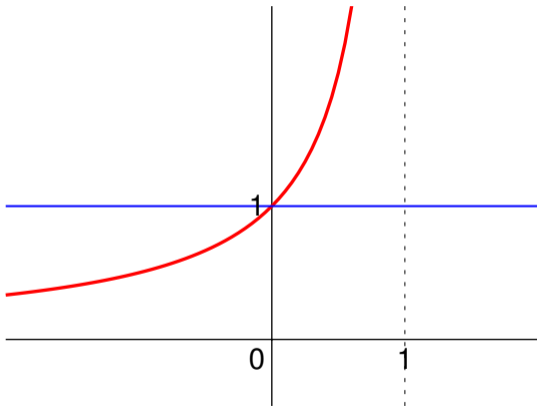
$$\cos x = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{1}{(2n)!} x^{2n}$$

$$= 1 - \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{4!}x^4 - \frac{1}{6!}x^6 + \dots$$

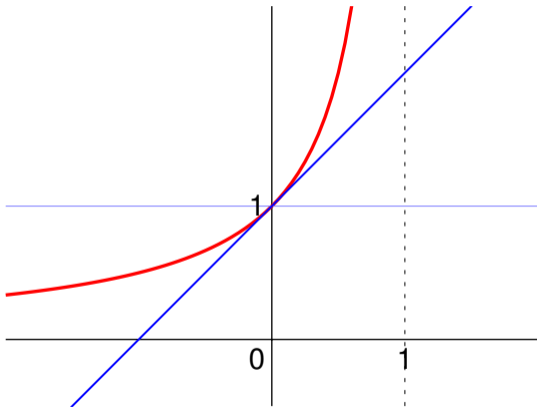
Taylor 展開の利点 (何が良いか)

- $x = 0$ の近くでの様子が判る
 - ★ 近似値の計算
 - ★ $x \rightarrow 0$ の極限の様子
- 統一的・一意的表示
- 良く判らない関数の色々な性質が判る (かも)

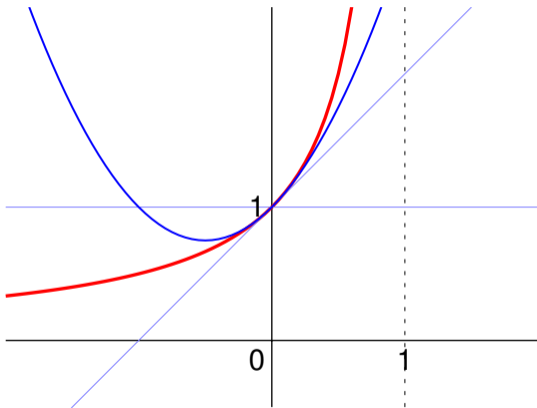
例: $f(x) = \frac{1}{1-x} \sim 1 + x + x^2 + x^3 + \dots$



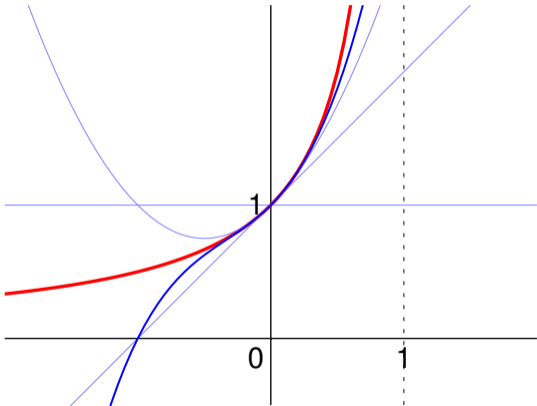
例: $f(x) = \frac{1}{1-x} \sim 1 + x + x^2 + x^3 + \dots$



例: $f(x) = \frac{1}{1-x} \sim 1 + x + x^2 + x^3 + \dots$



例: $f(x) = \frac{1}{1-x} \sim 1 + x + x^2 + x^3 + \dots$



Taylor 展開を用いた近似値の計算

例: $\frac{1}{1-0.02} = ?$ $e^{0.02} = \exp(0.02) = ?$

→ どの辺で打切るとどの程度の誤差か？

Taylor 展開を用いた $x \rightarrow 0$ の極限の計算

例: $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1 - \cos x}{x^2} = ?$

Taylor 展開を用いた近似値の計算

例: $\frac{1}{1-0.02} = ?$ $e^{0.02} = \exp(0.02) = ?$

→ どの辺で打切るとどの程度の誤差か？

Taylor 展開を用いた $x \rightarrow 0$ の極限の計算

例: $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1 - \cos x}{x^2} = ?$

Taylor 展開を用いた近似値の計算

例: $\frac{1}{1-0.02} = ?$ $e^{0.02} = \exp(0.02) = ?$

→ どの辺で打切るとどの程度の誤差か？

Taylor 展開を用いた $x \rightarrow 0$ の極限の計算

例: $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1 - \cos x}{x^2} = ?$

問題 (宿題):

(1) $f(x) = \sin x$ の Taylor 展開を求めよ。

(2) これを利用して、

(a) 極限 $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x - x}{x^3}$ を求めよ。

(b) $\sin 1$ の近似値を小数第 4 位まで求めよ。