0.1 高階微分

0.1.1 高階微分とその表記

関数 $f(x)$ を微分したもの $f'(x)$ をさらに微分して、その結果をさらに微分して…というように、「導関数の導関数」を繰り返し考えていくことを高階微分という。

まずは、2 回微分した場合について定義しよう。

$f(x)$ を 2 回微分したものは、ニュートン記法では $f''(x)$ と表される。

ライプニッツ記法で表現するには、次のように考えるとよい。

$$\frac{d}{dx}\left(\frac{d}{dx}f(x)\right) = \left(\frac{d}{dx}\right)^2 f(x) = \frac{d^2}{dx^2}f(x)$$

二階微分（二階導関数）

関数 $f(x)$ を微分して得られた導関数 $f'(x)$ をさらに微分することを 二階微分 といい、

その結果得られた導関数を 二階導関数 という。

二階導関数は、次のように表記される。

$$f''(x) = \frac{d^2}{dx^2}f(x)$$

n 階微分も同様に定義される。

n が大きな値になると、プライム記号をつける表記では $f'''''''(x)$ のようになってわかりづらいので、$f^{(n)}(x)$ のようにプライムの数 n を添える記法がよく使われる。

n 階微分（n 階導関数）

関数 $f(x)$ を n 回微分することを n 階微分 といい、その結果得られた導関数を n 階導関数 という。

n 階導関数は、次のように表記される。

$$f^{(n)}(x) = \frac{d^n}{dx^n} f(x)$$

0.1.2　冪関数の高階微分

n 次の冪関数 $f(x) = x^n$ を k 回微分すると、次のようになる。

$$\begin{aligned}
f(x) &= x^n \\
f'(x) &= nx^{n-1} \\
f''(x) &= n(n-1)x^{n-2} \\
f'''(x) &= n(n-1)(n-2)x^{n-3} \\
&\vdots \\
f^{(k)}(x) &= n(n-1)(n-2)\cdots(n-(k-1))x^{n-k} \\
&= n(n-1)(n-2)\cdots(n-k+1)x^{n-k}
\end{aligned}$$

ここで、$k = n$ とすると、

$$\begin{aligned}
f^{(n)}(x) &= n(n-1)(n-2)\cdots(n-n+1)x^{n-n} \\
&= n(n-1)(n-2)\cdots 1 \cdot x^0 \\
&= n(n-1)(n-2)\cdots 1 \\
&= n!
\end{aligned}$$

となり、n 階微分した時点で定数 $n!$ になるので、これ以上微分すると 0 になる。

$$f^{(n+1)}(x) = 0$$

n 次冪関数の高階微分

n 次冪関数 $f(x) = x^n$ の n 階微分は $n!$ となり、$n+1$ 回以上微分すると 0 になる。

$$f(x) = x^n \quad \Longrightarrow \quad \begin{aligned} f^{(n)}(x) &= n! \\ f^{(n+1)}(x) &= 0 \end{aligned}$$

0.1.3 指数関数の高階微分

ネイピア数を底とする指数関数 $f(x) = e^x$ は、何度微分しても変わらない関数である。

$$\begin{aligned} f(x) &= e^x \\ f'(x) &= e^x \\ f''(x) &= e^x \\ f'''(x) &= e^x \\ &\vdots \\ f^{(n)}(x) &= e^x \end{aligned}$$

ネイピア数を底とする指数関数の高階微分

e を底とする指数関数 $f(x) = e^x$ の n 階微分は変わらず e^x となる。

$$f(x) = e^x \quad \Longrightarrow \quad f^{(n)}(x) = e^x$$

指数が k 倍されている場合 $f(x) = e^{kx}$ は、微分するたびに k が前に落ちてきて、n 階微分すると k^n が前につくことになる。

$$
\begin{aligned}
f(x) &= e^{kx} \\
f'(x) &= ke^{kx} \\
f''(x) &= k^2e^{kx} \\
f'''(x) &= k^3e^{kx} \\
&\vdots \\
f^{(n)}(x) &= k^ne^{kx}
\end{aligned}
$$

ネイピア数を底とする指数関数の高階微分（指数が定数倍されている場合）

e を底とし、指数が定数 k 倍された指数関数 $f(x) = e^{kx}$ の n 階微分は k^ne^{kx} となる。

$$
f(x) = e^{kx} \quad \Longrightarrow \quad f^{(n)}(x) = k^ne^{kx}
$$