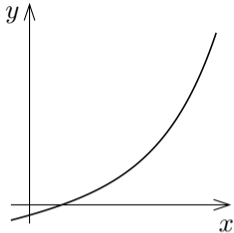


5.9

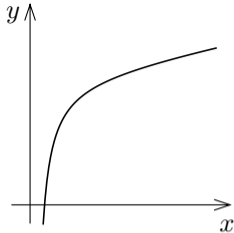
関数のグラフの概形

関数のグラフの概形を描くためには、関数の値の増減とそのグラフの凹凸を調べる。

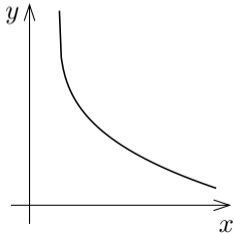
関数が単調増加か単調減少かということとそのグラフが下に凸か上に凸かということの組み合わせで、関数のグラフについて以下の4つの状態がある.



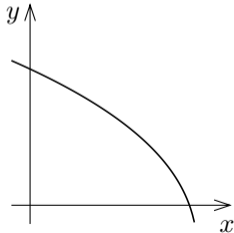
単調増加でグラフが下に凸の状態



単調増加でグラフが上に凸の状態





単調減少でグラフが下に凸の状態





単調減少でグラフが上に凸の状態





これらの4つの状態を次のような記号で表す：

関数が単調増加でそのグラフが下に凸の状態を記号  で表し、

関数が単調増加でそのグラフが上に凸の状態を記号  で表し、

関数が単調減少でそのグラフが下に凸の状態を記号  で表し、

関数が単調減少でそのグラフが上に凸の状態を記号  で表す。

関数のグラフの概形を描くためにはグラフが , , ,  のうちのどの状態かを調べる。

[定理 5.3.1] 区間 I で関数 f が微分可能であるとする.

- ・ I の有限個の実数を除く各実数 x について $f'(x) > 0$ ならば, I において f は単調増加である.
- ・ I の有限個の実数を除く各実数 x について $f'(x) < 0$ ならば, I において f は単調減少である.

[定理 5.3.1] 区間 I で関数 f が微分可能であるとする.

- ・ I の有限個の実数を除く各実数 x について $f'(x) > 0$ ならば, I において f は単調増加である.
- ・ I の有限個の実数を除く各実数 x について $f'(x) < 0$ ならば, I において f は単調減少である.

[定理 5.8] 区間 I で関数 f は 2 回微分可能であるとする.

I において f のグラフが下に凸 $\iff I$ において $f''(x) \geq 0$,

I において f のグラフが上に凸 $\iff I$ において $f''(x) \leq 0$.

[定理 5.3.1] 区間 I で関数 f が微分可能であるとする。


- ・ I の有限個の実数を除く各実数 x について $f'(x) > 0$ ならば, I において f は単調増加である。
- ・ I の有限個の実数を除く各実数 x について $f'(x) < 0$ ならば, I において f は単調減少である。


[定理 5.8] 区間 I で関数 f は 2 回微分可能であるとする。


I において f のグラフが下に凸 $\iff I$ において $f''(x) \geq 0$,


I において f のグラフが上に凸 $\iff I$ において $f''(x) \leq 0$.

これらの定理より, 2 回微分可能な関数 f について次のことが分かる:

$f'(x) > 0$ かつ $f''(x) \geq 0$ である区間では  の状態であり,

$f'(x) > 0$ かつ $f''(x) \leq 0$ である区間では  の状態であり,

$f'(x) < 0$ かつ $f''(x) \geq 0$ である区間では  の状態であり,

$f'(x) < 0$ かつ $f''(x) \leq 0$ である区間では  の状態である。

例 実数全体を定義域とする関数 f を $f(x) = \frac{1}{4}x^4 - x^3 + 5$ と定める. 関数 f の値の増減及び f のグラフの凹凸を調べ, xy 座標平面において $y = f(x)$ のグラフの概形を描く.

例 実数全体を定義域とする関数 f を $f(x) = \frac{1}{4}x^4 - x^3 + 5$ と定める. 関数 f の値の増減及び f のグラフの凹凸を調べ, xy 座標平面において $y = f(x)$ のグラフの概形を描く. まず関数 f の導関数 f' と第2次導関数 f'' とを求め.

例 実数全体を定義域とする関数 f を $f(x) = \frac{1}{4}x^4 - x^3 + 5$ と定める. 関数 f の値の増減及び f のグラフの凹凸を調べ, xy 座標平面において $y = f(x)$ のグラフの概形を描く. まず関数 f の導関数 f' と第 2 次導関数 f'' とを求め.

$$f'(x) = \frac{d}{dx} \left(\frac{1}{4}x^4 - x^3 + 5 \right) = x^3 - 3x^2 = x^2(x - 3) .$$

$$f''(x) \frac{d}{dx} \{x^2(x - 3)\} = 2x(x - 3) + x^2 = x(2x - 6 + x) = 3x(x - 2) .$$

例 実数全体を定義域とする関数 f を $f(x) = \frac{1}{4}x^4 - x^3 + 5$ と定める. 関数 f の値の増減及び f のグラフの凹凸を調べ, xy 座標平面において $y = f(x)$ のグラフの概形を描く. まず関数 f の導関数 f' と第2次導関数 f'' とを求め.

$$f'(x) = \frac{d}{dx} \left(\frac{1}{4}x^4 - x^3 + 5 \right) = x^3 - 3x^2 = x^2(x - 3) .$$

$$f''(x) \frac{d}{dx} \{x^2(x - 3)\} = 2x(x - 3) + x^2 = x(2x - 6 + x) = 3x(x - 2) .$$

$f'(x) = 0$ とすると, $x^2(x - 3) = 0$ なので $x = 0, 3$.

例 実数全体を定義域とする関数 f を $f(x) = \frac{1}{4}x^4 - x^3 + 5$ と定める. 関数 f の値の増減及び f のグラフの凹凸を調べ, xy 座標平面において $y = f(x)$ のグラフの概形を描く. まず関数 f の導関数 f' と第2次導関数 f'' とを求め.

$$f'(x) = \frac{d}{dx} \left(\frac{1}{4}x^4 - x^3 + 5 \right) = x^3 - 3x^2 = x^2(x - 3) .$$

$$f''(x) \frac{d}{dx} \{x^2(x - 3)\} = 2x(x - 3) + x^2 = x(2x - 6 + x) = 3x(x - 2) .$$

$f'(x) = 0$ とすると, $x^2(x - 3) = 0$ なので $x = 0, 3$. $f''(x) = 0$ とすると, $3x(x - 2) = 0$ なので $x = 0, 2$.

$$f(0) = 5, \quad f(2) = 1, \quad f(3) = -\frac{7}{4} .$$

$$f(0) = 5, \quad f(2) = 1, \quad f(3) = -\frac{7}{4}.$$

関数 f の値の増減及びグラフの凹凸は次のようになる。

x	...	0	...	2	...	3	...
$f''(x) = 3x(x-2)$							
$f'(x) = x^2(x-3)$		0				0	
$f(x) = \frac{1}{4}x^4 - x^3 + 5$		5		1		$-\frac{7}{4}$	

$$f(0) = 5, \quad f(2) = 1, \quad f(3) = -\frac{7}{4}.$$

関数 f の値の増減及びグラフの凹凸は次のようになる。

x	...	0	...	2	...	3	...
$f''(x) = 3x(x-2)$	+	0	-	0	+	+	+
$f'(x) = x^2(x-3)$		0				0	
$f(x) = \frac{1}{4}x^4 - x^3 + 5$		5		1		$-\frac{7}{4}$	





$$f(0) = 5, \quad f(2) = 1, \quad f(3) = -\frac{7}{4}.$$

関数 f の値の増減及びグラフの凹凸は次のようになる。

x	...	0	...	2	...	3	...
$f''(x) = 3x(x-2)$	+	0	-	0	+	+	+
$f'(x) = x^2(x-3)$	-	0	-	-	-	0	+
$f(x) = \frac{1}{4}x^4 - x^3 + 5$		5		1		$-\frac{7}{4}$	





$$f(0) = 5, \quad f(2) = 1, \quad f(3) = -\frac{7}{4}.$$

関数 f の値の増減及びグラフの凹凸は次のようになる。

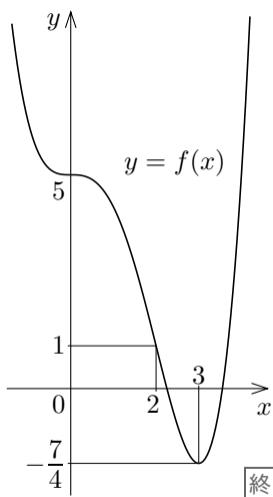
x	...	0	...	2	...	3	...
$f''(x) = 3x(x-2)$	+	0	-	0	+	+	+
$f'(x) = x^2(x-3)$	-	0	-	-	-	0	+
$f(x) = \frac{1}{4}x^4 - x^3 + 5$		5		1		$-\frac{7}{4}$	

$$f(0) = 5, \quad f(2) = 1, \quad f(3) = -\frac{7}{4}.$$

関数 f の値の増減及びグラフの凹凸は次のようになる。

x	...	0	...	2	...	3	...
$f''(x) = 3x(x-2)$	+	0	-	0	+	+	+
$f'(x) = x^2(x-3)$	-	0	-	-	-	0	+
$f(x) = \frac{1}{4}x^4 - x^3 + 5$		5		1		$-\frac{7}{4}$	

$y = f(x)$ のグラフは右図のようになる。



問5.9.1 実数全体を定義域とする関数 g を $g(x) = 4x^3 + 9 - \frac{1}{2}x^4 - 9x^2$ と定める. 関数 g の値の増減及び g のグラフの凹凸を調べ, xy 座標平面において $y = g(x)$ のグラフの概形を描け.

$$g'(x) = \frac{d}{dx} \left(4x^3 + 9 - \frac{1}{2}x^4 - 9x^2 \right) = \quad = -$$

$$= \quad ,$$

$$g''(x) = \frac{d}{dx} \{ \quad \} = \quad =$$

$$= \quad .$$

$g'(x) = 0$ とすると, $\quad = 0$ なので $x = \quad , \quad$. $g''(x) = 0$ とする

と, $\quad = 0$ なので $x = \quad , \quad$.

$$g(\quad) = \quad , \quad g(\quad) = \quad , \quad g(\quad) = \quad .$$

関数 g の値の増減及びグラフの凹凸は次のようになる.

問5.9.1 実数全体を定義域とする関数 g を $g(x) = 4x^3 + 9 - \frac{1}{2}x^4 - 9x^2$ と定める. 関数 g の値の増減及び g のグラフの凹凸を調べ, xy 座標平面において $y = g(x)$ のグラフの概形を描け.

$$\begin{aligned}g'(x) &= \frac{d}{dx} \left(4x^3 + 9 - \frac{1}{2}x^4 - 9x^2 \right) = -2x^3 + 12x^2 - 18x = -2x(x^2 - 6x + 9) \\ &= -2x(x-3)^2,\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}g''(x) &= \frac{d}{dx} \{-2x(x-3)^2\} = -2\{(x-3)^2 + x \cdot 2(x-3)\} = -2(x-3)(x-3+2x) \\ &= -6(x-1)(x-3).\end{aligned}$$

$g'(x) = 0$ とすると, $-2x(x-3)^2 = 0$ なので $x =$, . $g''(x) = 0$ とすると, $-6(x-1)(x-3) = 0$ なので $x =$, .

$$g(\quad) = \quad, \quad g(\quad) = \quad, \quad g(\quad) = \quad.$$

関数 g の値の増減及びグラフの凹凸は次のようになる.

問5.9.1 実数全体を定義域とする関数 g を $g(x) = 4x^3 + 9 - \frac{1}{2}x^4 - 9x^2$ と定める. 関数 g の値の増減及び g のグラフの凹凸を調べ, xy 座標平面において $y = g(x)$ のグラフの概形を描け.

$$\begin{aligned}g'(x) &= \frac{d}{dx} \left(4x^3 + 9 - \frac{1}{2}x^4 - 9x^2 \right) = -2x^3 + 12x^2 - 18x = -2x(x^2 - 6x + 9) \\ &= -2x(x-3)^2,\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}g''(x) &= \frac{d}{dx} \{-2x(x-3)^2\} = -2\{(x-3)^2 + x \cdot 2(x-3)\} = -2(x-3)(x-3+2x) \\ &= -6(x-1)(x-3).\end{aligned}$$

$g'(x) = 0$ とすると, $-2x(x-3)^2 = 0$ なので $x = 0, 3$. $g''(x) = 0$ とすると, $-6(x-1)(x-3) = 0$ なので $x = 1, 3$.

$$g(\quad) = \quad, \quad g(\quad) = \quad, \quad g(\quad) = \quad.$$

関数 g の値の増減及びグラフの凹凸は次のようになる.

問5.9.1 実数全体を定義域とする関数 g を $g(x) = 4x^3 + 9 - \frac{1}{2}x^4 - 9x^2$ と定める．関数 g の値の増減及び g のグラフの凹凸を調べ， xy 座標平面において $y = g(x)$ のグラフの概形を描け．

$$\begin{aligned}g'(x) &= \frac{d}{dx} \left(4x^3 + 9 - \frac{1}{2}x^4 - 9x^2 \right) = -2x^3 + 12x^2 - 18x = -2x(x^2 - 6x + 9) \\ &= -2x(x-3)^2 ,\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}g''(x) &= \frac{d}{dx} \{ -2x(x-3)^2 \} = -2 \{ (x-3)^2 + x \cdot 2(x-3) \} = -2(x-3)(x-3+2x) \\ &= -6(x-1)(x-3) .\end{aligned}$$





$g'(x) = 0$ とすると， $-2x(x-3)^2 = 0$ なので $x = 0, 3$ ． $g''(x) = 0$ とすると， $-6(x-1)(x-3) = 0$ なので $x = 1, 3$ ．

$$g(0) = 9 , \quad g(1) = \frac{7}{2} , \quad g(3) = -\frac{9}{2} .$$

関数 g の値の増減及びグラフの凹凸は次のようになる．

$$g(0) = 9, \quad g(1) = \frac{7}{2}, \quad g(3) = -\frac{9}{2}.$$

関数 g の値の増減及びグラフの凹凸は次のようになる.

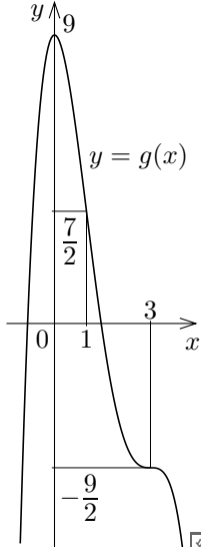
x	...	0	...	1	...	3	...
$g''(x) = -6(x-1)(x-3)$	-	-	-	0	+	0	-
$g'(x) = -2x(x-3)^2$	+	0	-	-	-	0	-
$g(x) = 4x^3 + 9 - \frac{1}{2}x^4 - 9x^2$		9		$\frac{7}{2}$		$-\frac{9}{2}$	

$$g(0) = 9, \quad g(1) = \frac{7}{2}, \quad g(3) = -\frac{9}{2}.$$

関数 g の値の増減及びグラフの凹凸は次のようになる。

x	...	0	...	1	...	3	...
$g''(x) = -6(x-1)(x-3)$	-	-	-	0	+	0	-
$g'(x) = -2x(x-3)^2$	+	0	-	-	-	0	-
$g(x) = 4x^3 + 9 - \frac{1}{2}x^4 - 9x^2$	\nearrow	9	\searrow	$\frac{7}{2}$	\searrow	$-\frac{9}{2}$	\searrow

$y = g(x)$ のグラフは右図のようになる。



関数 f の定義域が正の無限大 ∞ の方に限りなく伸びているとき、 $y = f(x)$ のグラフを描くためには極限 $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x)$ がどうなるか調べる必要がある。

関数 f の定義域が正の無限大 ∞ の方に限りなく伸びているとき、 $y = f(x)$ のグラフを描くためには極限 $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x)$ がどうなるか調べる必要がある．関数 f の定義域が負の無限大 $-\infty$ の方に限りなく伸びているとき、 $y = f(x)$ のグラフを描くためには極限 $\lim_{x \rightarrow -\infty} f(x)$ がどうなるか調べる必要がある．

例 実数全体を定義域とする関数 ψ を $\psi(x) = \frac{6}{x^2+3}$ と定める. 関数 ψ の値の増減及び ψ のグラフの凹凸を調べ, xy 座標平面において $y = \psi(x)$ のグラフの概形を描く.

例 実数全体を定義域とする関数 ψ を $\psi(x) = \frac{6}{x^2+3}$ と定める. 関数 ψ の値の増減及び ψ のグラフの凹凸を調べ, xy 座標平面において $y = \psi(x)$ のグラフの概形を描く. まず関数 ψ の導関数 ψ' と第2次導関数 ψ'' とを求める.

例 実数全体を定義域とする関数 ψ を $\psi(x) = \frac{6}{x^2+3}$ と定める. 関数 ψ の値の増減及び ψ のグラフの凹凸を調べ, xy 座標平面において $y = \psi(x)$ のグラフの概形を描く. まず関数 ψ の導関数 ψ' と第2次導関数 ψ'' とを求める.

$$\psi'(x) = -\frac{6 \cdot 2x}{(x^2+3)^2} = -\frac{12x}{(x^2+3)^2} .$$

例 実数全体を定義域とする関数 ψ を $\psi(x) = \frac{6}{x^2+3}$ と定める. 関数 ψ の値の増減及び ψ のグラフの凹凸を調べ, xy 座標平面において $y = \psi(x)$ のグラフの概形を描く. まず関数 ψ の導関数 ψ' と第2次導関数 ψ'' とを求める.

$$\psi'(x) = -\frac{6 \cdot 2x}{(x^2+3)^2} = -\frac{12x}{(x^2+3)^2} .$$

$$\begin{aligned} \psi''(x) &= -12 \cdot \frac{(x^2+3)^2 - x \cdot 2(x^2+3) \cdot 2x}{(x^2+3)^4} = 12 \cdot \frac{4x^2 - (x^2+3)}{(x^2+3)^3} = 12 \cdot \frac{3x^2 - 3}{(x^2+3)^3} \\ &= \frac{36(x^2 - 1)}{(x^2+3)^3} . \end{aligned}$$

例 実数全体を定義域とする関数 ψ を $\psi(x) = \frac{6}{x^2+3}$ と定める. 関数 ψ の値の増減及び ψ のグラフの凹凸を調べ, xy 座標平面において $y = \psi(x)$ のグラフの概形を描く. まず関数 ψ の導関数 ψ' と第2次導関数 ψ'' とを求める.

$$\psi'(x) = -\frac{6 \cdot 2x}{(x^2+3)^2} = -\frac{12x}{(x^2+3)^2} .$$

$$\begin{aligned}\psi''(x) &= -12 \cdot \frac{(x^2+3)^2 - x \cdot 2(x^2+3) \cdot 2x}{(x^2+3)^4} = 12 \cdot \frac{4x^2 - (x^2+3)}{(x^2+3)^3} = 12 \cdot \frac{3x^2 - 3}{(x^2+3)^3} \\ &= \frac{36(x^2 - 1)}{(x^2+3)^3} .\end{aligned}$$

$$\psi'(x) = 0 \text{ とすると, } -\frac{12x}{(x^2+3)^2} = 0, \quad x = 0 .$$

例 実数全体を定義域とする関数 ψ を $\psi(x) = \frac{6}{x^2+3}$ と定める. 関数 ψ の値の増減及び ψ のグラフの凹凸を調べ, xy 座標平面において $y = \psi(x)$ のグラフの概形を描く. まず関数 ψ の導関数 ψ' と第2次導関数 ψ'' とを求める.

$$\psi'(x) = -\frac{6 \cdot 2x}{(x^2+3)^2} = -\frac{12x}{(x^2+3)^2} .$$

$$\begin{aligned}\psi''(x) &= -12 \cdot \frac{(x^2+3)^2 - x \cdot 2(x^2+3) \cdot 2x}{(x^2+3)^4} = 12 \cdot \frac{4x^2 - (x^2+3)}{(x^2+3)^3} = 12 \cdot \frac{3x^2 - 3}{(x^2+3)^3} \\ &= \frac{36(x^2 - 1)}{(x^2+3)^3} .\end{aligned}$$

$\psi'(x) = 0$ とすると, $-\frac{12x}{(x^2+3)^2} = 0$, $x = 0$. $\psi''(x) = 0$ とすると,

$$\frac{36(x^2 - 1)}{(x^2+3)^3} = 0, \quad x^2 - 1 = 0, \quad \text{よって } x = \pm 1 .$$

$$\psi(-1) = \frac{3}{2}, \quad \psi(0) = 2, \quad \psi(1) = \frac{3}{2}.$$

関数 ψ の値の増減及びグラフの凹凸は次のようになる.

x	...	-1	...	0	...	1	...
$\psi''(x) = \frac{36(x^2 - 1)}{(x^2 + 3)^3}$		0				0	
$\psi'(x) = -\frac{12x}{(x^2 + 3)^2}$				0			
$\psi(x) = \frac{6}{x^2 + 3}$		$\frac{3}{2}$		2		$\frac{3}{2}$	

$$\psi(-1) = \frac{3}{2}, \quad \psi(0) = 2, \quad \psi(1) = \frac{3}{2}.$$

関数 ψ の値の増減及びグラフの凹凸は次のようになる.

x	...	-1	...	0	...	1	...
$\psi''(x) = \frac{36(x^2 - 1)}{(x^2 + 3)^3}$	+	0	-	-	-	0	+
$\psi'(x) = -\frac{12x}{(x^2 + 3)^2}$				0			
$\psi(x) = \frac{6}{x^2 + 3}$		$\frac{3}{2}$		2		$\frac{3}{2}$	





$$\psi(-1) = \frac{3}{2}, \quad \psi(0) = 2, \quad \psi(1) = \frac{3}{2}.$$

関数 ψ の値の増減及びグラフの凹凸は次のようになる.

x	...	-1	...	0	...	1	...
$\psi''(x) = \frac{36(x^2 - 1)}{(x^2 + 3)^3}$	+	0	-	-	-	0	+
$\psi'(x) = -\frac{12x}{(x^2 + 3)^2}$	+	+	+	0	-	-	-
$\psi(x) = \frac{6}{x^2 + 3}$		$\frac{3}{2}$		2		$\frac{3}{2}$	





$$\psi(-1) = \frac{3}{2}, \quad \psi(0) = 2, \quad \psi(1) = \frac{3}{2}.$$

関数 ψ の値の増減及びグラフの凹凸は次のようになる.

x	...	-1	...	0	...	1	...
$\psi''(x) = \frac{36(x^2 - 1)}{(x^2 + 3)^3}$	+	0	-	-	-	0	+
$\psi'(x) = -\frac{12x}{(x^2 + 3)^2}$	+	+	+	0	-	-	-
$\psi(x) = \frac{6}{x^2 + 3}$		$\frac{3}{2}$		2		$\frac{3}{2}$	

$$\psi(-1) = \frac{3}{2}, \quad \psi(0) = 2, \quad \psi(1) = \frac{3}{2}.$$





関数 ψ の値の増減及びグラフの凹凸は次のようになる.

x	...	-1	...	0	...	1	...
$\psi''(x) = \frac{36(x^2 - 1)}{(x^2 + 3)^3}$	+	0	-	-	-	0	+
$\psi'(x) = -\frac{12x}{(x^2 + 3)^2}$	+	+	+	0	-	-	-
$\psi(x) = \frac{6}{x^2 + 3}$		$\frac{3}{2}$		2		$\frac{3}{2}$	

任意の実数 x について、 $x^2 + 3 > 0$ なので、 $\psi(x) = \frac{6}{x^2 + 3} > 0$.

$$\psi(-1) = \frac{3}{2}, \quad \psi(0) = 2, \quad \psi(1) = \frac{3}{2}.$$

関数 ψ の値の増減及びグラフの凹凸は次のようになる。

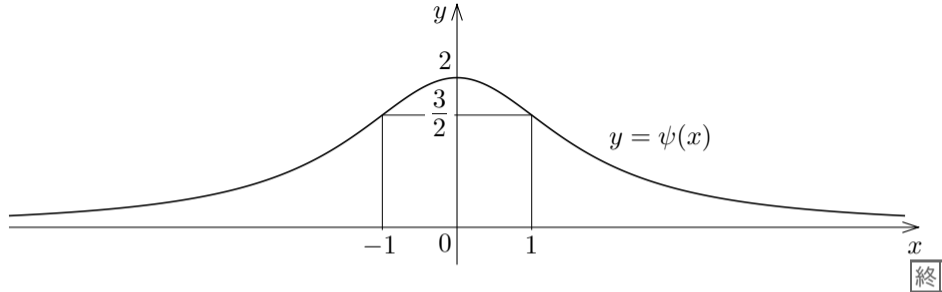
x	...	-1	...	0	...	1	...
$\psi''(x) = \frac{36(x^2 - 1)}{(x^2 + 3)^3}$	+	0	-	-	-	0	+
$\psi'(x) = -\frac{12x}{(x^2 + 3)^2}$	+	+	+	0	-	-	-
$\psi(x) = \frac{6}{x^2 + 3}$		$\frac{3}{2}$		2		$\frac{3}{2}$	

任意の実数 x について、 $x^2 + 3 > 0$ なので、 $\psi(x) = \frac{6}{x^2 + 3} > 0$. また、

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \psi(x) = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{6}{x^2 + 3} = 0, \quad \lim_{x \rightarrow -\infty} \psi(x) = \lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{6}{x^2 + 3} = 0.$$

関数 ψ は偶関数なので、 $y = \psi(x)$ のグラフは y 軸に関して対称である。

$y = \psi(x)$ のグラフは次のようになる.



問5.9.2 実数全体を定義域とする関数 f を $f(x) = e^{-x^2}$ と定める. 関数 f の値の増減及び f のグラフの凹凸を調べ, xy 座標平面において $y = f(x)$ のグラフの概形を描け.

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

問5.9.2 実数全体を定義域とする関数 f を $f(x) = e^{-x^2}$ と定める. 関数 f の値の増減及び f のグラフの凹凸を調べ, xy 座標平面において $y = f(x)$ のグラフの概形を描け.

$$f'(x) = \frac{d}{dx}e^{-x^2} = -2xe^{-x^2} .$$

$$f''(x) = \frac{d}{dx}(-2xe^{-x^2}) = e^{-x^2}\{-2 - 2x \cdot (-2x)\} = 2e^{-x^2}(2x^2 - 1) .$$

$f'(x) = 0$ とすると, $-2xe^{-x^2} = 0$, $x =$. $f''(x) = 0$ とすると,
 $2e^{-x^2}(2x^2 - 1) = 0$, $= 0$, $x =$.

$$f\left(\quad\right) = \quad, \quad f(\quad) = \quad, \quad f\left(\quad\right) = \quad .$$

関数 f の値の増減及びグラフの凹凸は次のようになる.

問5.9.2 実数全体を定義域とする関数 f を $f(x) = e^{-x^2}$ と定める. 関数 f の値の増減及び f のグラフの凹凸を調べ, xy 座標平面において $y = f(x)$ のグラフの概形を描け.

$$f'(x) = \frac{d}{dx}e^{-x^2} = -2xe^{-x^2} .$$

$$f''(x) = \frac{d}{dx}(-2xe^{-x^2}) = e^{-x^2}\{-2 - 2x \cdot (-2x)\} = 2e^{-x^2}(2x^2 - 1) .$$

$f'(x) = 0$ とすると, $-2xe^{-x^2} = 0$, $x = 0$. $f''(x) = 0$ とすると,
 $2e^{-x^2}(2x^2 - 1) = 0$, $2x^2 - 1 = 0$, $x = \pm \frac{1}{\sqrt{2}}$.

$$f\left(\quad\right) = \quad, \quad f(\quad) = \quad, \quad f\left(\quad\right) = \quad .$$

関数 f の値の増減及びグラフの凹凸は次のようになる.

問5.9.2 実数全体を定義域とする関数 f を $f(x) = e^{-x^2}$ と定める. 関数 f の値の増減及び f のグラフの凹凸を調べ, xy 座標平面において $y = f(x)$ のグラフの概形を描け.

$$f'(x) = \frac{d}{dx}e^{-x^2} = -2xe^{-x^2} .$$

$$f''(x) = \frac{d}{dx}(-2xe^{-x^2}) = e^{-x^2}\{-2 - 2x \cdot (-2x)\} = 2e^{-x^2}(2x^2 - 1) .$$





$f'(x) = 0$ とすると, $-2xe^{-x^2} = 0$, $x = 0$. $f''(x) = 0$ とすると,
 $2e^{-x^2}(2x^2 - 1) = 0$, $2x^2 - 1 = 0$, $x = \pm \frac{1}{\sqrt{2}}$.

$$f\left(-\frac{1}{\sqrt{2}}\right) = e^{-\frac{1}{2}}, \quad f(0) = 1, \quad f\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right) = e^{-\frac{1}{2}} .$$

関数 f の値の増減及びグラフの凹凸は次のようになる.

$$f\left(-\frac{1}{\sqrt{2}}\right) = e^{-\frac{1}{2}}, \quad f(0) = 1, \quad f\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right) = e^{-\frac{1}{2}}.$$

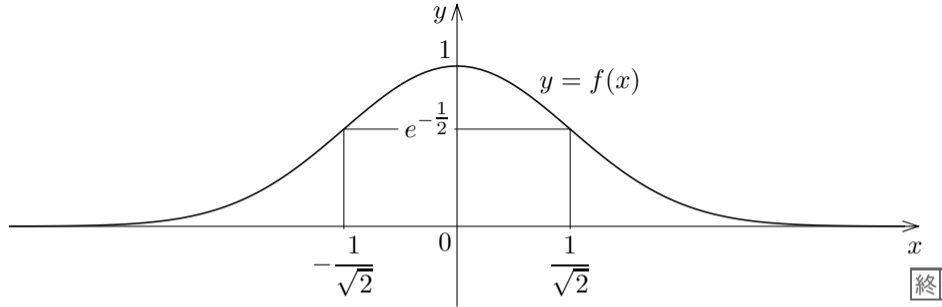
関数 f の値の増減及びグラフの凹凸は次のようになる。

x	...	$-\frac{1}{\sqrt{2}}$	...	0	...	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	...
$f''(x) = 2e^{-x^2}(2x^2 - 1)$	+	0	-	-	-	0	+
$f'(x) = -2xe^{-x^2}$	+	+	+	0	-	-	-
$f(x) = e^{-x^2}$		$e^{-\frac{1}{2}}$		1		$e^{-\frac{1}{2}}$	

任意の実数 x について $f(x) = e^{-x^2} > 0$. また,

$$\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = \lim_{x \rightarrow \infty} e^{-x^2} = 0, \quad \lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = \lim_{x \rightarrow -\infty} e^{-x^2} = 0.$$

関数 f は偶関数なので, $y = f(x)$ のグラフは y 軸に関して対称である.
 $y = f(x)$ のグラフは次のようになる。



問5.9.3 実数全体を定義域とする関数 φ を $\varphi(x) = \frac{4x}{x^2+1}$ と定める. 関数 φ の値の増減及び φ のグラフの凹凸を調べ, xy 座標平面において $y = \varphi(x)$ のグラフの概形を描け.

$$\varphi'(x) =$$

問5.9.3 実数全体を定義域とする関数 φ を $\varphi(x) = \frac{4x}{x^2+1}$ と定める. 関数 φ の値の増減及び φ のグラフの凹凸を調べ, xy 座標平面において $y = \varphi(x)$ のグラフの概形を描け.

$$\varphi'(x) = 4 \frac{x^2 + 1 - x \cdot 2x}{(x^2 + 1)^2} = \frac{4(1 - x^2)}{(x^2 + 1)^2} .$$

$$\begin{aligned} \varphi''(x) &= 4 \frac{-2x(x^2 + 1)^2 - (1 - x^2) \cdot 2(x^2 + 1) \cdot 2x}{(x^2 + 1)^4} = 2 \frac{-4x(x^2 + 1) - 8x(1 - x^2)}{(x^2 + 1)^4} \\ &= \frac{8x(x^2 - 3)}{(x^2 + 1)^3} . \end{aligned}$$

$$\varphi'(x) = 0 \text{ とすると, } \frac{4(1 - x^2)}{(x^2 + 1)^2} = 0 \text{ より } \quad = 0 \text{ なので } x = \quad .$$

$$\varphi''(x) = 0 \text{ とすると, } \frac{8x(x^2 - 3)}{(x^2 + 1)^4} = 0 \text{ より } \quad = 0 \text{ なので}$$

$$x = \quad , \quad .$$

問5.9.3 実数全体を定義域とする関数 φ を $\varphi(x) = \frac{4x}{x^2+1}$ と定める. 関数 φ の値の増減及び φ のグラフの凹凸を調べ, xy 座標平面において $y = \varphi(x)$ のグラフの概形を描け.

$$\varphi'(x) = 4 \frac{x^2 + 1 - x \cdot 2x}{(x^2 + 1)^2} = \frac{4(1 - x^2)}{(x^2 + 1)^2} .$$







$$\begin{aligned} \varphi''(x) &= 4 \frac{-2x(x^2 + 1)^2 - (1 - x^2) \cdot 2(x^2 + 1) \cdot 2x}{(x^2 + 1)^4} = 2 \frac{-4x(x^2 + 1) - 8x(1 - x^2)}{(x^2 + 1)^4} \\ &= \frac{8x(x^2 - 3)}{(x^2 + 1)^3} . \end{aligned}$$

$\varphi'(x) = 0$ とすると, $\frac{4(1 - x^2)}{(x^2 + 1)^2} = 0$ より $1 - x^2 = 0$ なので $x = \pm 1$.

$\varphi''(x) = 0$ とすると, $\frac{8x(x^2 - 3)}{(x^2 + 1)^4} = 0$ より $x(x^2 - 3) = 0$ なので $x = 0, \pm\sqrt{3}$.

$$\varphi(-\sqrt{3}) = -\sqrt{3}, \quad \varphi(-1) = -2, \quad \varphi(0) = 0, \quad \varphi(1) = 2, \quad \varphi(\sqrt{3}) = \sqrt{3}.$$

関数 φ の値の増減及びグラフの凹凸は次のようになる.

x	...	$-\sqrt{3}$	...	-1	...	0	...	1	...	$\sqrt{3}$	...
$\varphi''(x) = \frac{8x(x^2 - 3)}{(x^2 + 1)^3}$	-	0	+	+	+	0	-	-	-	0	+
$\varphi'(x) = \frac{4(1 - x^2)}{(x^2 + 1)^2}$	-	-	-	0	+	+	+	0	-	-	-
$\varphi(x) = \frac{4x}{x^2 + 1}$		$-\sqrt{3}$		-2		0		2		$\sqrt{3}$	

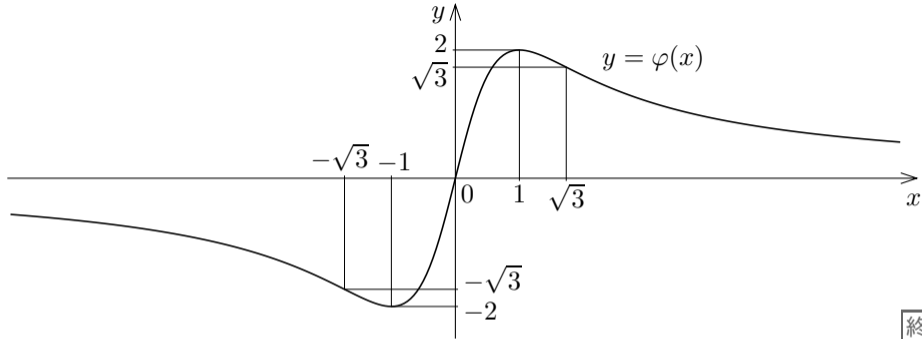
任意の実数 x について、 $x^2 + 1 > 0$ なので、 $x > 0$ のとき

$$\psi(x) = \frac{4x}{x^2 + 1} > 0, \quad x < 0 \text{ のとき } \psi(x) = \frac{4x}{x^2 + 1} < 0.$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \varphi(x) = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{4x}{x^2 + 1} = \lim_{x \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{x} \frac{4}{1 + \frac{1}{x^2}} \right) = 0 ,$$

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} \varphi(x) = \lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{4x}{x^2 + 1} = \lim_{x \rightarrow -\infty} \left(\frac{1}{x} \frac{4}{1 + \frac{1}{x^2}} \right) = 0 .$$

関数 φ は奇関数なので、 $y = \varphi(x)$ のグラフは原点について対称である。
 $y = \varphi(x)$ のグラフは次のようになる。



終