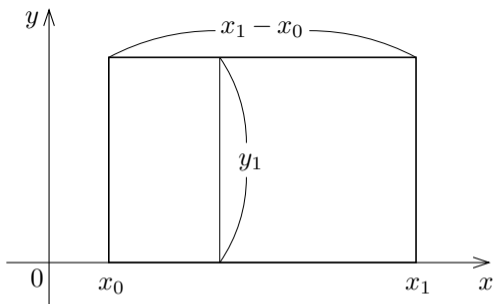


6.0 定積分の意味

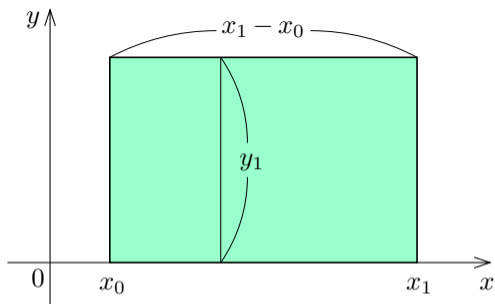
掛け算の概念を拡張する.

xy 座標平面における領域の面積について考える.

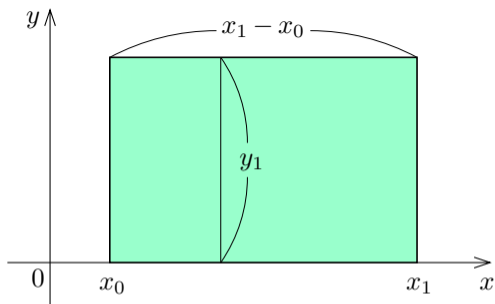
右図のように、底辺が x 軸
に含まれる長方形の点の x 座
標の範囲が x_0 以上 x_1 以下
であり高さが y_1 であるとする；



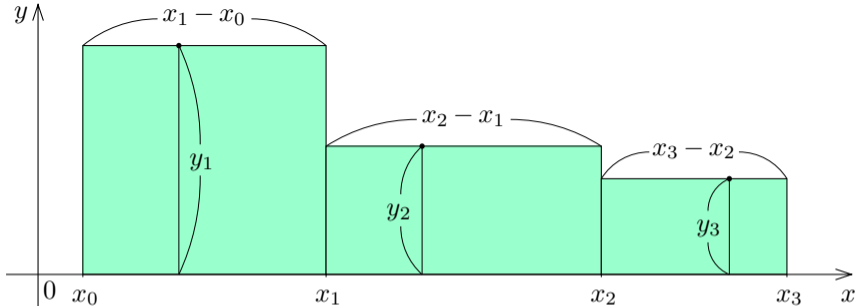
右図のように、底辺が x 軸に含まれる長方形の点の x 座標の範囲が x_0 以上 x_1 以下であり高さが y_1 であるとする；この長方形で囲まれる領域の面積は、横幅 $x_1 - x_0$ と高さ y_1 との積 $y_1(x_1 - x_0)$ である。



右図のように、底辺が x 軸に含まれる長方形の点の x 座標の範囲が x_0 以上 x_1 以下であり高さが y_1 であるとする；この長方形で囲まれる領域の面積は、横幅 $x_1 - x_0$ と高さ y_1 との積 $y_1(x_1 - x_0)$ である。

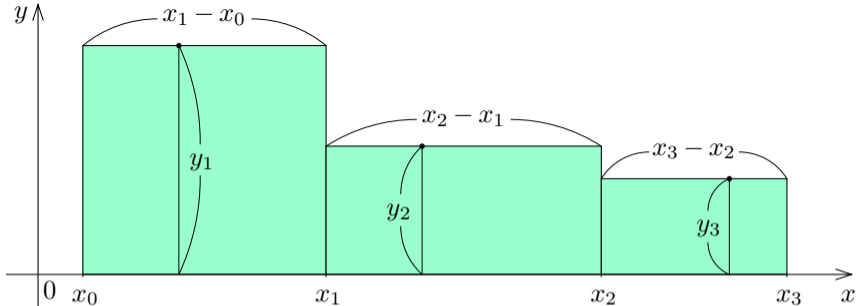


1 個だけの長方形では“高さ”が一定であるが，“高さ”が途中で切り替わる図形を考える。



x 座標が x_0 以上 x_1 以下の範囲で高さが y_1 であり、
 x 座標が x_1 以上 x_2 以下の範囲で高さが y_2 であり、
 x 座標が x_2 以上 x_3 以下の範囲で高さが y_3 である

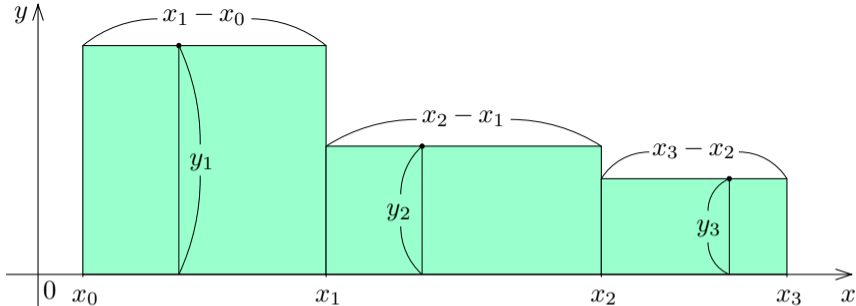
とき、上図の明緑色の 3 個の長方形を併せた図形の面積は



x 座標が x_0 以上 x_1 以下の範囲で高さが y_1 であり、
 x 座標が x_1 以上 x_2 以下の範囲で高さが y_2 であり、
 x 座標が x_2 以上 x_3 以下の範囲で高さが y_3 である

とき、上図の明緑色の 3 個の長方形を併せた図形の面積は

$$y_1(x_1 - x_0) + y_2(x_2 - x_1) + y_3(x_3 - x_2)$$



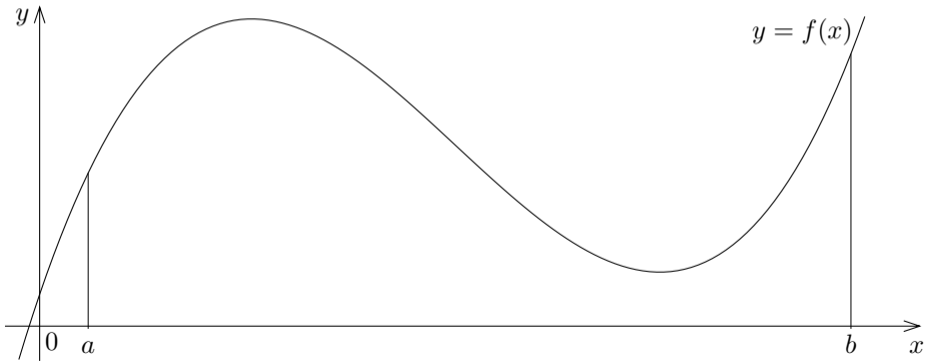
x 座標が x_0 以上 x_1 以下の範囲で高さが y_1 であり、
 x 座標が x_1 以上 x_2 以下の範囲で高さが y_2 であり、
 x 座標が x_2 以上 x_3 以下の範囲で高さが y_3 である

とき、上図の明緑色の 3 個の長方形を併せた図形の面積は

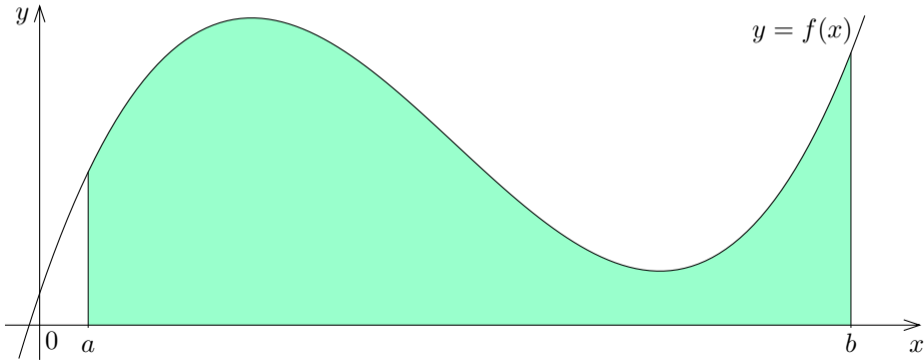
$$y_1(x_1 - x_0) + y_2(x_2 - x_1) + y_3(x_3 - x_2) = \sum_{k=1}^3 \{y_k(x_k - x_{k-1})\} .$$

x 軸からの“高さ”が x 座標の関数として変化する図形を考える.

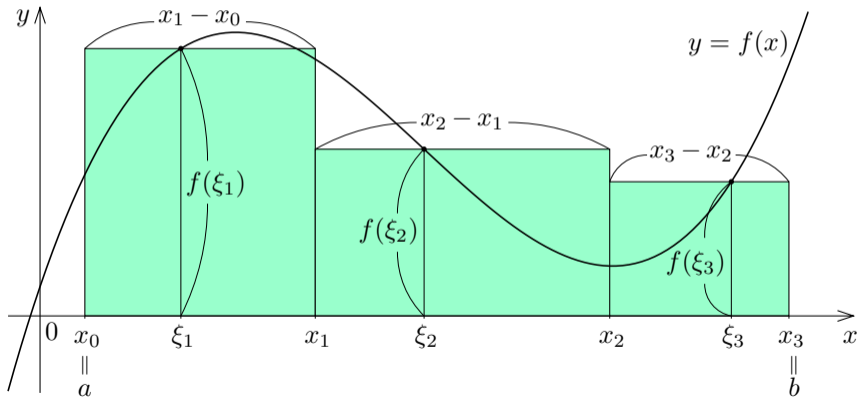
x 軸からの“高さ”が x 座標の関数として変化する図形を考える．実数 a, b について $a \leq b$ で，関数 f は区間 $[a, b]$ で連続で $a \leq x \leq b$ である各実数 x について $f(x) \geq 0$ とする．

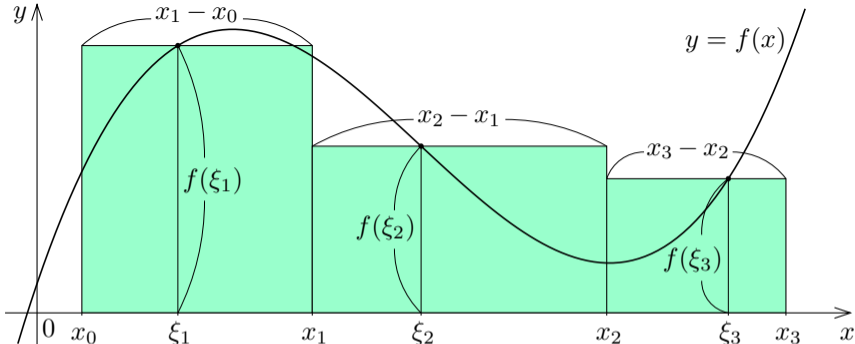


x 軸からの“高さ”が x 座標の関数として変化する図形を考える．実数 a, b について $a \leq b$ で，関数 f は区間 $[a, b]$ で連続で $a \leq x \leq b$ である各実数 x について $f(x) \geq 0$ とする．関数 $y = f(x)$ のグラフと x 軸と直線 $x = a$ と直線 $x = b$ とで囲まれる下図の明緑色の領域の面積を考える．



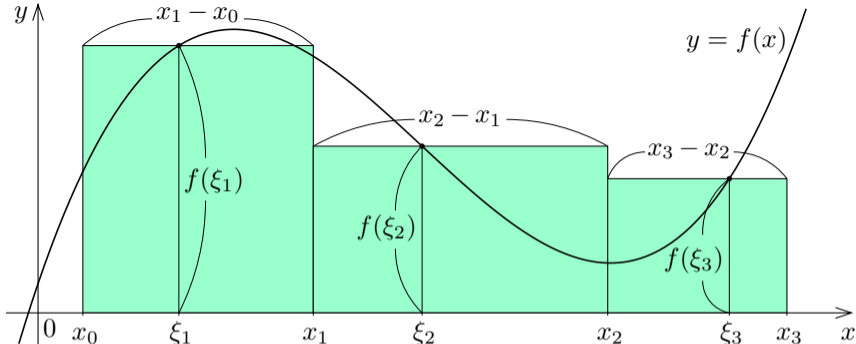
$a = x_0 \leq \xi_1 \leq x_1 \leq \xi_2 \leq x_2 \leq \xi_3 \leq x_3 = b$ である実数 x_0, x_1, x_2, x_3 及び ξ_1, ξ_2, ξ_3 をとり、前の図の明緑色の部分の面積を、下図の明緑色の3個の長方形を併せた図形の面積で近似する。





x 座標が x_0 以上 x_1 以下の範囲で実数 ξ_1 をとり高さが $f(\xi_1)$ であり、
 x 座標が x_1 以上 x_2 以下の範囲で実数 ξ_2 をとり高さが $f(\xi_2)$ であり、
 x 座標が x_2 以上 x_3 以下の範囲で実数 ξ_3 をとり高さが $f(\xi_3)$ である

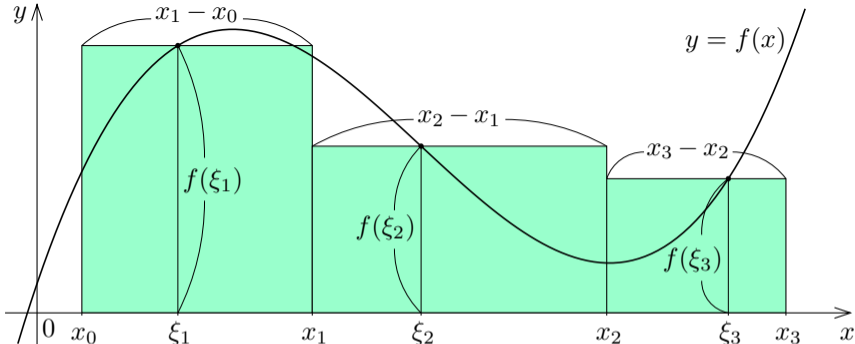
とする．上図の明緑色の 3 個の長方形を併せた図形の面積は



x 座標が x_0 以上 x_1 以下の範囲で実数 ξ_1 をとり高さが $f(\xi_1)$ であり、
 x 座標が x_1 以上 x_2 以下の範囲で実数 ξ_2 をとり高さが $f(\xi_2)$ であり、
 x 座標が x_2 以上 x_3 以下の範囲で実数 ξ_3 をとり高さが $f(\xi_3)$ である

とする。上図の明緑色の 3 個の長方形を併せた図形の面積は

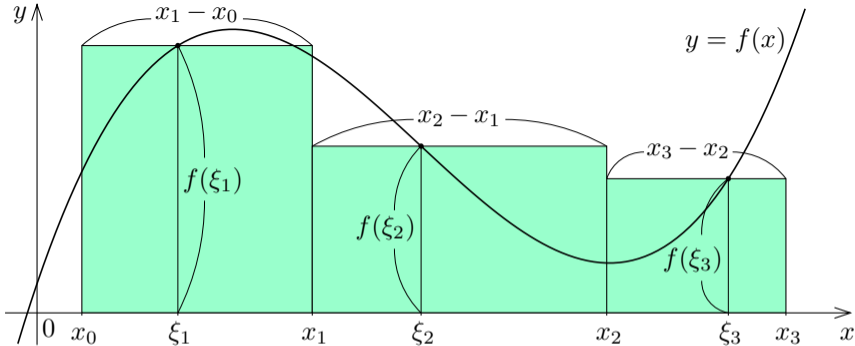
$$f(\xi_1)(x_1 - x_0) + f(\xi_2)(x_2 - x_1) + f(\xi_3)(x_3 - x_2)$$



x 座標が x_0 以上 x_1 以下の範囲で実数 ξ_1 をとり高さが $f(\xi_1)$ であり、
 x 座標が x_1 以上 x_2 以下の範囲で実数 ξ_2 をとり高さが $f(\xi_2)$ であり、
 x 座標が x_2 以上 x_3 以下の範囲で実数 ξ_3 をとり高さが $f(\xi_3)$ である

とする。上図の明緑色の 3 個の長方形を併せた図形の面積は

$$f(\xi_1)(x_1 - x_0) + f(\xi_2)(x_2 - x_1) + f(\xi_3)(x_3 - x_2) = \sum_{k=1}^3 \{f(\xi_k)(x_k - x_{k-1})\} .$$



上図の明緑色の3個の長方形を併せた図形の面積は

$$f(\xi_1)(x_1 - x_0) + f(\xi_2)(x_2 - x_1) + f(\xi_3)(x_3 - x_2) = \sum_{k=1}^3 \{f(\xi_k)(x_k - x_{k-1})\} .$$

このような式の値を関数 f のリーマン和という。

リーマン和を定義する.

リーマン和を定義する.

実数 a, b について $a \leq b$ で, 関数 f の定義域は区間 $[a, b]$ を含むとする.

リーマン和を定義する.

実数 a, b について $a \leq b$ で, 関数 f の定義域は区間 $[a, b]$ を含むとする.
正の各自然数 n に対して,

$$a = x_0 \leq \xi_1 \leq x_1 \leq \xi_2 \leq x_2 \leq \xi_3 \leq x_3 \leq \cdots \leq x_{n-1} \leq \xi_n \leq x_n = b$$

である実数 $x_0, x_1, x_2, x_3, \dots, x_{n-1}, x_n$ 及び $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \dots, \xi_n$ をとり, S_n を次のように定める:

$$\begin{aligned} S_n &= \sum_{k=1}^n \{f(\xi_k)(x_k - x_{k-1})\} \\ &= f(\xi_1)(x_1 - x_0) + f(\xi_2)(x_2 - x_1) + f(\xi_3)(x_3 - x_2) + \cdots + f(\xi_n)(x_n - x_{n-1}) . \end{aligned}$$

リーマン和を定義する.

実数 a, b について $a \leq b$ で, 関数 f の定義域は区間 $[a, b]$ を含むとする.
正の各自然数 n に対して,

$$a = x_0 \leq \xi_1 \leq x_1 \leq \xi_2 \leq x_2 \leq \xi_3 \leq x_3 \leq \cdots \leq x_{n-1} \leq \xi_n \leq x_n = b$$

である実数 $x_0, x_1, x_2, x_3, \dots, x_{n-1}, x_n$ 及び $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \dots, \xi_n$ をとり, S_n を次のように定める:

$$\begin{aligned} S_n &= \sum_{k=1}^n \{f(\xi_k)(x_k - x_{k-1})\} \\ &= f(\xi_1)(x_1 - x_0) + f(\xi_2)(x_2 - x_1) + f(\xi_3)(x_3 - x_2) + \cdots + f(\xi_n)(x_n - x_{n-1}). \end{aligned}$$

この S_n の式の値を関数 f のリーマン和という.

リーマン和を定義する.

実数 a, b について $a \leq b$ で, 関数 f の定義域は区間 $[a, b]$ を含むとする.
正の各自然数 n に対して,

$$a = x_0 \leq \xi_1 \leq x_1 \leq \xi_2 \leq x_2 \leq \xi_3 \leq x_3 \leq \cdots \leq x_{n-1} \leq \xi_n \leq x_n = b$$

である実数 $x_0, x_1, x_2, x_3, \dots, x_{n-1}, x_n$ 及び $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \dots, \xi_n$ をとり, S_n を次のように定める:

$$\begin{aligned} S_n &= \sum_{k=1}^n \{f(\xi_k)(x_k - x_{k-1})\} \\ &= f(\xi_1)(x_1 - x_0) + f(\xi_2)(x_2 - x_1) + f(\xi_3)(x_3 - x_2) + \cdots + f(\xi_n)(x_n - x_{n-1}). \end{aligned}$$

この S_n の式の値を関数 f のリーマン和という.

関数 f は区間 $[a, b]$ で連続であり, $a \leq x \leq b$ である各実数 x について $f(x) \geq 0$ とする.

リーマン和を定義する.

実数 a, b について $a \leq b$ で, 関数 f の定義域は区間 $[a, b]$ を含むとする.
正の各自然数 n に対して,

$$a = x_0 \leq \xi_1 \leq x_1 \leq \xi_2 \leq x_2 \leq \xi_3 \leq x_3 \leq \cdots \leq x_{n-1} \leq \xi_n \leq x_n = b$$

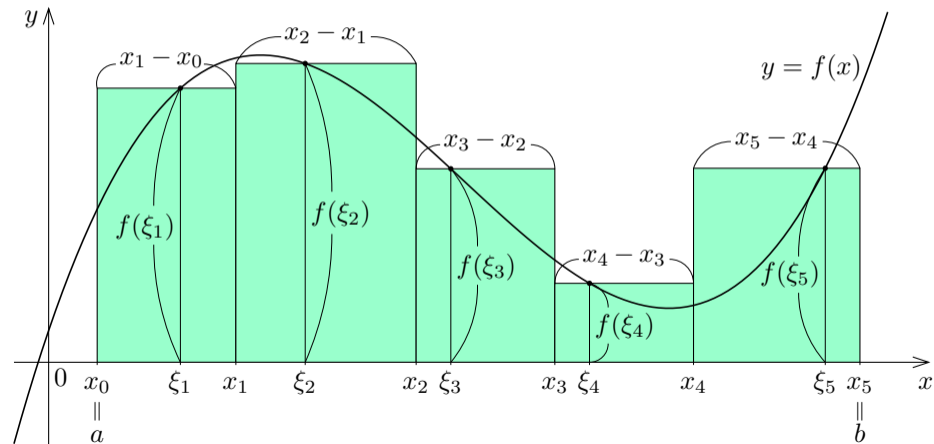
である実数 $x_0, x_1, x_2, x_3, \dots, x_{n-1}, x_n$ 及び $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \dots, \xi_n$ をとり, S_n を次のように定める:

$$\begin{aligned} S_n &= \sum_{k=1}^n \{f(\xi_k)(x_k - x_{k-1})\} \\ &= f(\xi_1)(x_1 - x_0) + f(\xi_2)(x_2 - x_1) + f(\xi_3)(x_3 - x_2) + \cdots + f(\xi_n)(x_n - x_{n-1}). \end{aligned}$$

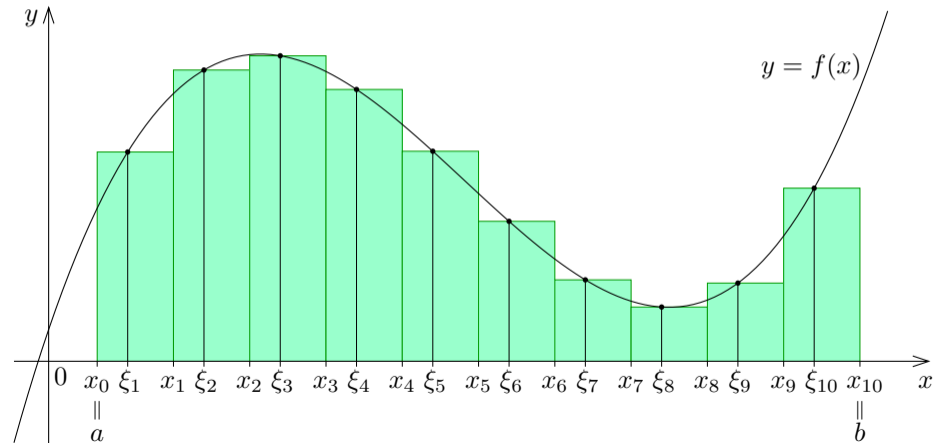
この S_n の式の値を関数 f のリーマン和という.

関数 f は区間 $[a, b]$ で連続であり, $a \leq x \leq b$ である各実数 x について $f(x) \geq 0$ とする. 正の各自然数 n に対してリーマン和 S_n を定める.

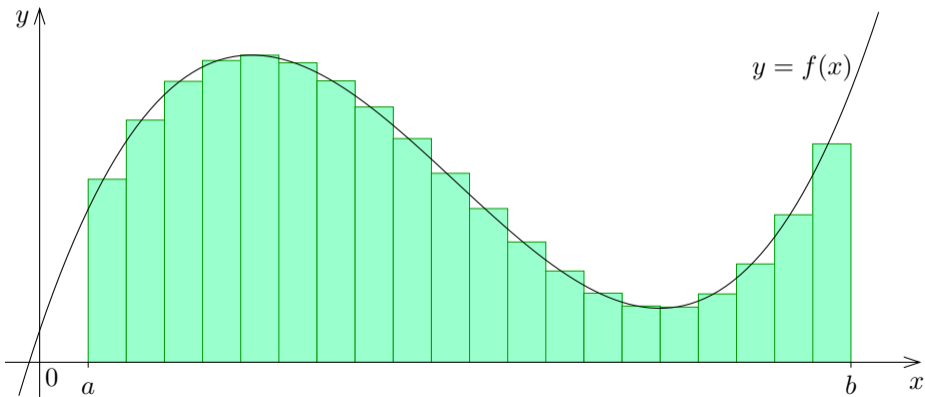
$n = 5$ として下図の 5 個の明緑色の長方形を併せた図形を考えると、その面積は関数 f のリーマン和 $S_5 = \sum_{k=1}^5 \{f(\xi_k)(x_k - x_{k-1})\}$ である。



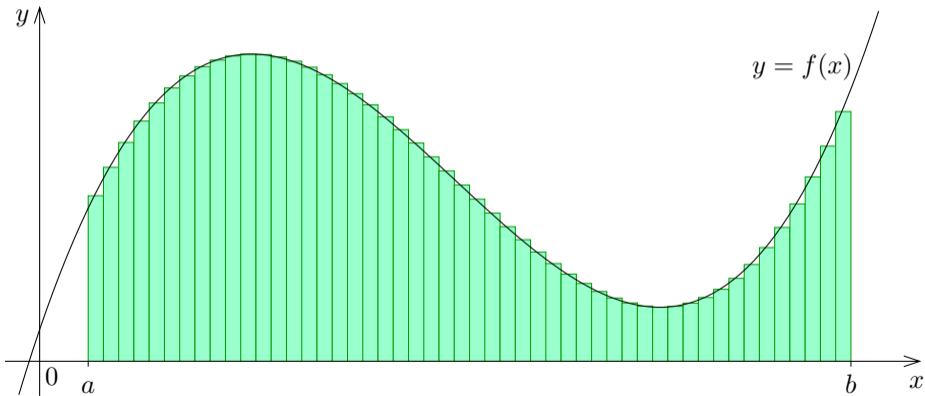
$n = 10$ として下図の 10 個の明緑色の長方形を併せた図形を考えると、その面積は関数 f のリーマン和 $S_{10} = \sum_{k=1}^{10} \{f(\xi_k)(x_k - x_{k-1})\}$ である。



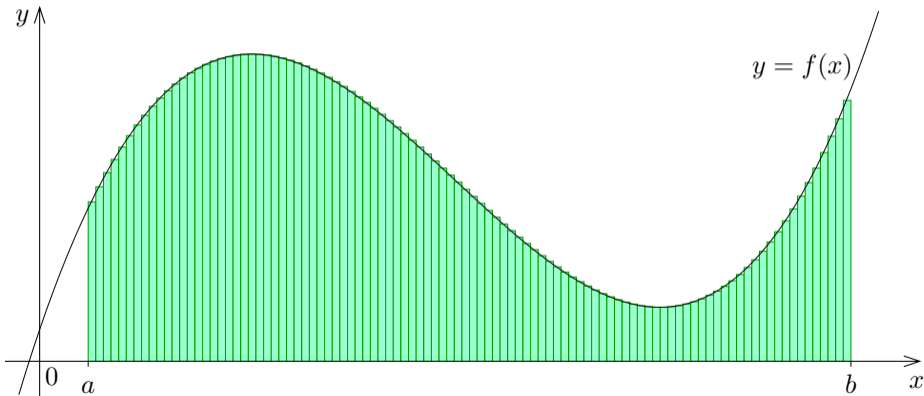
$n = 20$ として下図の 20 個の明緑色の長方形を併せた図形を考えると、その面積は関数 f のリーマン和 $S_{20} = \sum_{k=1}^{20} \{f(\xi_k)(x_k - x_{k-1})\}$ である。



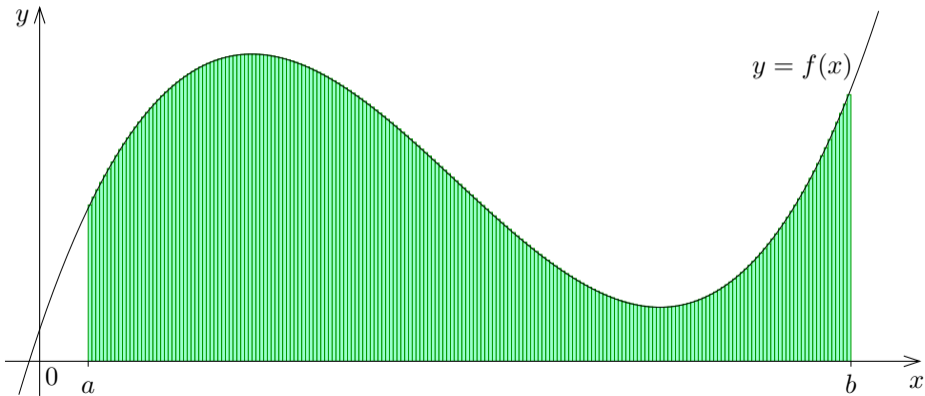
$n = 50$ として下図の 50 個の明緑色の長方形を併せた図形を考えると、その面積は関数 f のリーマン和 $S_{50} = \sum_{k=1}^{50} \{f(\xi_k)(x_k - x_{k-1})\}$ である。



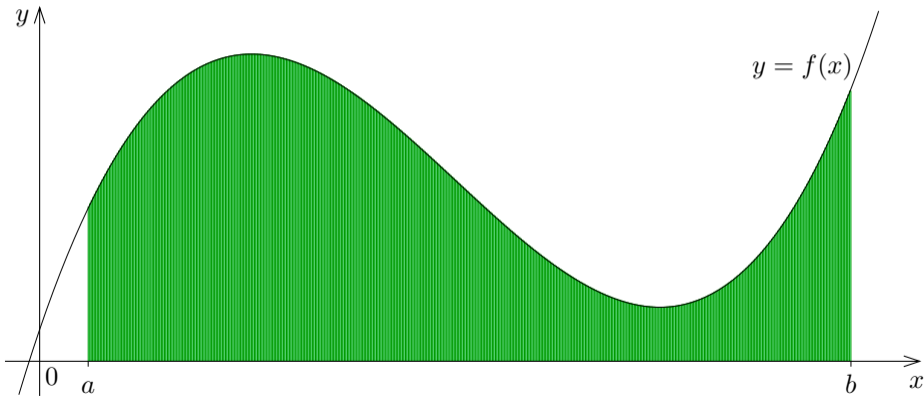
$n = 100$ として下図の 100 個の明緑色の長方形を併せた図形を考えると、その面積は関数 f のリーマン和 $S_{100} = \sum_{k=1}^{100} \{f(\xi_k)(x_k - x_{k-1})\}$ である。



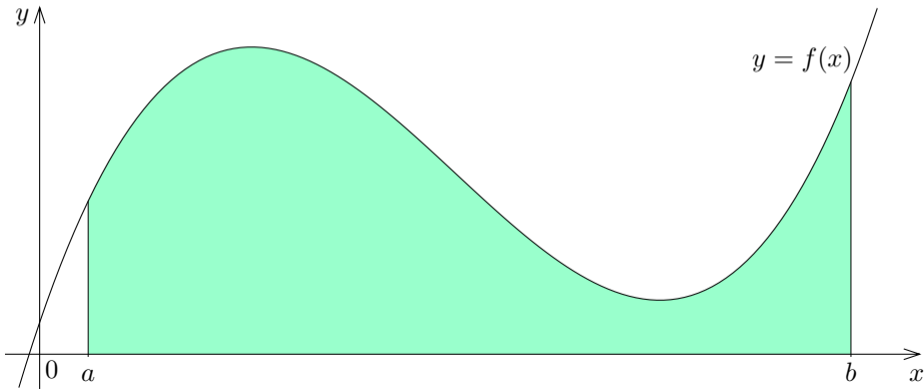
$n = 200$ として下図の 200 個の明緑色の長方形を併せた図形を考えると、その面積は関数 f のリーマン和 $S_{200} = \sum_{k=1}^{200} \{f(\xi_k)(x_k - x_{k-1})\}$ である。

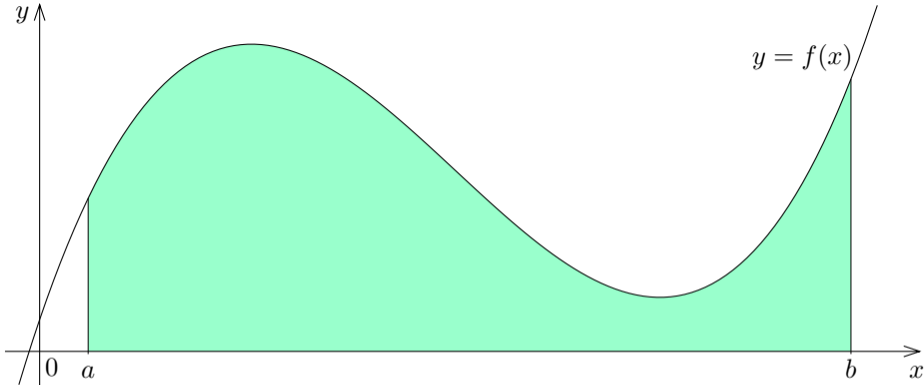


$n = 500$ として下図の 500 個の明緑色の長方形を併せた図形を考えると、その面積は関数 f のリーマン和 $S_{500} = \sum_{k=1}^{500} \{f(\xi_k)(x_k - x_{k-1})\}$ である。



このような n 個の長方形を併せた図形の面積は、関数 f のリーマン和 $S_n = \sum_{k=1}^n \{f(\xi_k)(x_k - x_{k-1})\}$ であり、長方形を限りなく増やして個々の長方形を限りなく細くすると下図の f のグラフを境界線とする図形の面積に限りなく近づく。





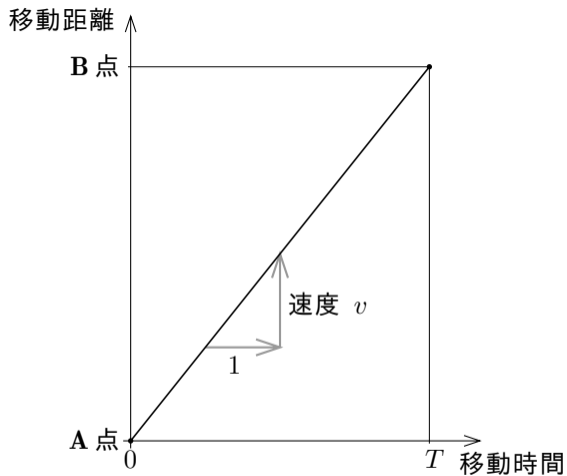
関数 f のリーマン和 $S_n = \sum_{k=1}^n \{f(\xi_k)(x_k - x_{k-1})\}$ は $n \rightarrow \infty$ のとき上図の f のグラフを境界線とする図形の面積に限りなく近づく. 故に上図の f のグラフを境界線とする図形の面積はリーマン和 $S_n = \sum_{k=1}^n \{f(\xi_k)(x_k - x_{k-1})\}$ の $n \rightarrow \infty$ のときの極限值である.

ここで述べたような、境界線が曲線である図形の面積を長方形を併せた図形の面積で近似して、併せる長方形の個数を限りなく増やして長方形を限りなく細くして近似の精度を上げていくときの極限值として元の図形の面積を求める方法を区分求積法という。

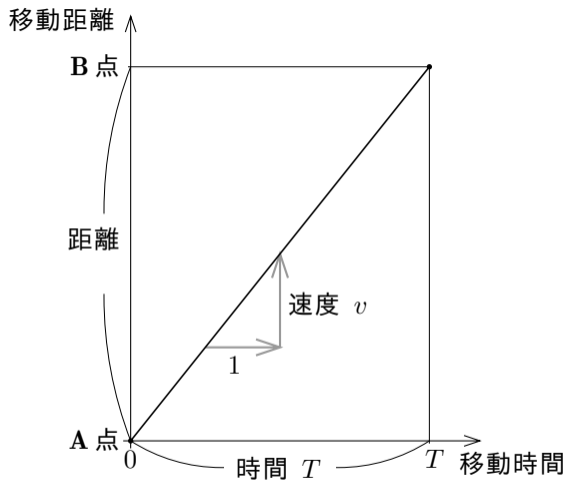
物体が一定の向きに A 点から B 点まで移動したとする．このとき物体は直線的に移動する．移動する時間と速度と距離とについて考える．

物体が一定の向きに A 点から B 点まで移動したとする．このとき物体は直線的に移動する．移動する時間と速度と距離とについて考える．移動距離の単位を km とし，移動時間の単位を分とし，移動速度の単位を km/分 とする．

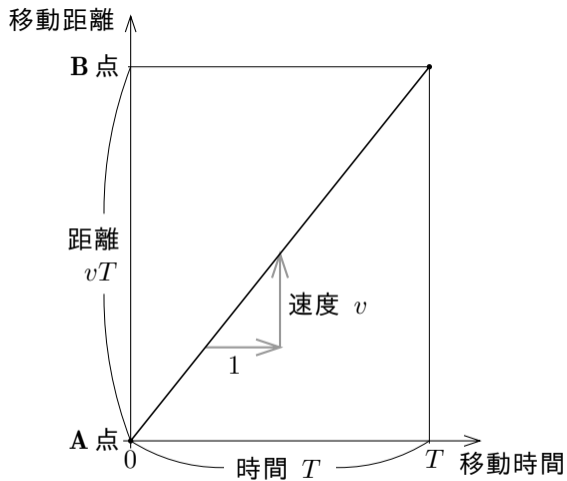
A点から移動を始めてから一定時間 T の間一定速度 v で移動したとき、移動時間に対する移動距離のグラフは例えば右図のような線分であり、



A点から移動を始めてから一定時間 T の間一定速度 v で移動したとき、移動時間に対する移動距離のグラフは例えば右図のような線分であり、A点からB点までの移動距離は

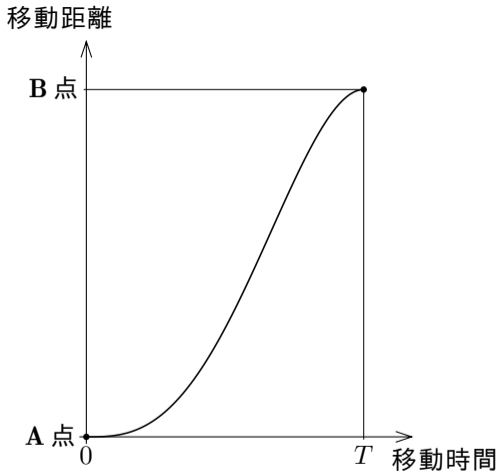


A点から移動を始めてから一定時間 T の間一定速度 v で移動したとき、移動時間に対する移動距離のグラフは例えば右図のような線分であり、A点からB点までの移動距離は移動速度 v と移動時間 T との積 vT である。



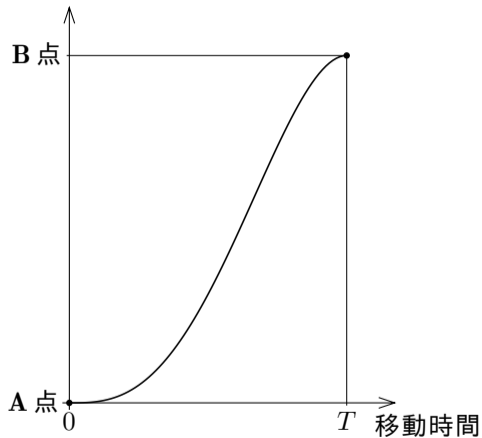
しかし，例えば A 点に静止していた物体が B 点まで移動して静止するとき，しばしば，動き始めた後に次第に速度を上げて，止まる前に次第に速度を下げる．

しかし、例えばA点に静止していた物体がB点まで移動して静止するとき、しばしば、動き始めた後に次第に速度を上げて、止まる前に次第に速度を下げる。このように移動速度が変化すると、移動時間に対する移動距離のグラフは例えば右図のような曲線になる。



しかし、例えばA点に静止していた物体がB点まで移動して静止するとき、しばしば、動き始めた後に次第に速度を上げて、止まる前に次第に速度を下げる．このように移動速度が変化すると、移動時間に対する移動距離のグラフは例えば右図のような曲線になる． $0 \leq x \leq T$ である各実数 x に対して、物体がA点から移動を始めてから x 分後の移動速度を $f(x)$ とおく．このように物体の移動速度が変化するときの移動距離を近似的に求めることを考える．

移動距離



A 点から B 点までの物体が移動した時間を仮に 3 分割して考える.

A 点から B 点までの物体が移動した時間を仮に 3 分割して考える.

$$0 = x_0 \leq x_1 \leq x_2 \leq x_3 = T$$

である実数 x_0, x_1, x_2, x_3 をとり, A 点で移動を開始してから B 点に移動するまでの時間 T 分間を, 移動開始 x_0 分後 $\sim x_1$ 分後の間と, 移動開始 x_1 分後 $\sim x_2$ 分後の間と, 移動開始 x_2 分後 $\sim x_3$ 分後の間との 3 つの時間に分割する.

A 点から B 点までの物体が移動した時間を仮に 3 分割して考える.

$$0 = x_0 \leq x_1 \leq x_2 \leq x_3 = T$$

である実数 x_0, x_1, x_2, x_3 をとり, A 点で移動を開始してから B 点に移動するまでの時間 T 分間を, 移動開始 x_0 分後 $\sim x_1$ 分後の間と, 移動開始 x_1 分後 $\sim x_2$ 分後の間と, 移動開始 x_2 分後 $\sim x_3$ 分後の間との 3 つの時間に分割する.

$$x_0 \leq \xi_1 \leq x_1, \quad x_1 \leq \xi_2 \leq x_2, \quad x_2 \leq \xi_3 \leq x_3$$

である実数 ξ_1, ξ_2, ξ_3 をとり, 移動開始 ξ_1 分後の移動速度 $f(\xi_1)$ と, 移動開始 ξ_2 分後の移動速度 $f(\xi_2)$ と, 移動開始 ξ_3 分後の移動速度 $f(\xi_3)$ とを考える.

A 点から B 点までの物体が移動した時間を仮に 3 分割して考える。

$$0 = x_0 \leq x_1 \leq x_2 \leq x_3 = T$$

である実数 x_0, x_1, x_2, x_3 をとり、A 点で移動を開始してから B 点に移動するまでの時間 T 分間を、移動開始 x_0 分後 $\sim x_1$ 分後の間と、移動開始 x_1 分後 $\sim x_2$ 分後の間と、移動開始 x_2 分後 $\sim x_3$ 分後の間との 3 つの時間に分割する。

$$x_0 \leq \xi_1 \leq x_1, \quad x_1 \leq \xi_2 \leq x_2, \quad x_2 \leq \xi_3 \leq x_3$$

である実数 ξ_1, ξ_2, ξ_3 をとり、移動開始 ξ_1 分後の移動速度 $f(\xi_1)$ と、移動開始 ξ_2 分後の移動速度 $f(\xi_2)$ と、移動開始 ξ_3 分後の移動速度 $f(\xi_3)$ とを考える。

移動開始 x_0 分後 $\sim x_1$ 分後の $(x_1 - x_0)$ 分間において一定速度 $f(\xi_1)$ で移動すると移動距離は

であり、

A 点から B 点までの物体が移動した時間を仮に 3 分割して考える。

$$0 = x_0 \leq x_1 \leq x_2 \leq x_3 = T$$

である実数 x_0, x_1, x_2, x_3 をとり, A 点で移動を開始してから B 点に移動するまでの時間 T 分間を, 移動開始 x_0 分後 $\sim x_1$ 分後の間と, 移動開始 x_1 分後 $\sim x_2$ 分後の間と, 移動開始 x_2 分後 $\sim x_3$ 分後の間との 3 つの時間に分割する。

$$x_0 \leq \xi_1 \leq x_1, \quad x_1 \leq \xi_2 \leq x_2, \quad x_2 \leq \xi_3 \leq x_3$$

である実数 ξ_1, ξ_2, ξ_3 をとり, 移動開始 ξ_1 分後の移動速度 $f(\xi_1)$ と, 移動開始 ξ_2 分後の移動速度 $f(\xi_2)$ と, 移動開始 ξ_3 分後の移動速度 $f(\xi_3)$ とを考える。

移動開始 x_0 分後 $\sim x_1$ 分後の $(x_1 - x_0)$ 分間において一定速度 $f(\xi_1)$ で移動すると移動距離は $f(\xi_1)(x_1 - x_0)$ であり,

A 点から B 点までの物体が移動した時間を仮に 3 分割して考える。

$$0 = x_0 \leq x_1 \leq x_2 \leq x_3 = T$$

である実数 x_0, x_1, x_2, x_3 をとり, A 点で移動を開始してから B 点に移動するまでの時間 T 分間を, 移動開始 x_0 分後 $\sim x_1$ 分後の間と, 移動開始 x_1 分後 $\sim x_2$ 分後の間と, 移動開始 x_2 分後 $\sim x_3$ 分後の間との 3 つの時間に分割する。

$$x_0 \leq \xi_1 \leq x_1, \quad x_1 \leq \xi_2 \leq x_2, \quad x_2 \leq \xi_3 \leq x_3$$

である実数 ξ_1, ξ_2, ξ_3 をとり, 移動開始 ξ_1 分後の移動速度 $f(\xi_1)$ と, 移動開始 ξ_2 分後の移動速度 $f(\xi_2)$ と, 移動開始 ξ_3 分後の移動速度 $f(\xi_3)$ とを考える。

移動開始 x_0 分後 $\sim x_1$ 分後の $(x_1 - x_0)$ 分間において一定速度 $f(\xi_1)$ で移動すると移動距離は $f(\xi_1)(x_1 - x_0)$ であり, 移動開始 x_1 分後 $\sim x_2$ 分後の $(x_2 - x_1)$ 分間において一定速度 $f(\xi_2)$ で移動すると移動距離は
であり,

A 点から B 点までの物体が移動した時間を仮に 3 分割して考える。

$$0 = x_0 \leq x_1 \leq x_2 \leq x_3 = T$$

である実数 x_0, x_1, x_2, x_3 をとり, A 点で移動を開始してから B 点に移動するまでの時間 T 分間を, 移動開始 x_0 分後 $\sim x_1$ 分後の間と, 移動開始 x_1 分後 $\sim x_2$ 分後の間と, 移動開始 x_2 分後 $\sim x_3$ 分後の間との 3 つの時間に分割する。

$$x_0 \leq \xi_1 \leq x_1, \quad x_1 \leq \xi_2 \leq x_2, \quad x_2 \leq \xi_3 \leq x_3$$

である実数 ξ_1, ξ_2, ξ_3 をとり, 移動開始 ξ_1 分後の移動速度 $f(\xi_1)$ と, 移動開始 ξ_2 分後の移動速度 $f(\xi_2)$ と, 移動開始 ξ_3 分後の移動速度 $f(\xi_3)$ とを考える。

移動開始 x_0 分後 $\sim x_1$ 分後の $(x_1 - x_0)$ 分間において一定速度 $f(\xi_1)$ で移動すると移動距離は $f(\xi_1)(x_1 - x_0)$ であり, 移動開始 x_1 分後 $\sim x_2$ 分後の $(x_2 - x_1)$ 分間において一定速度 $f(\xi_2)$ で移動すると移動距離は $f(\xi_2)(x_2 - x_1)$ であり,

A 点から B 点までの物体が移動した時間を仮に 3 分割して考える。

$$0 = x_0 \leq x_1 \leq x_2 \leq x_3 = T$$

である実数 x_0, x_1, x_2, x_3 をとり, A 点で移動を開始してから B 点に移動するまでの時間 T 分間を, 移動開始 x_0 分後 $\sim x_1$ 分後の間と, 移動開始 x_1 分後 $\sim x_2$ 分後の間と, 移動開始 x_2 分後 $\sim x_3$ 分後の間との 3 つの時間に分割する。

$$x_0 \leq \xi_1 \leq x_1, \quad x_1 \leq \xi_2 \leq x_2, \quad x_2 \leq \xi_3 \leq x_3$$

である実数 ξ_1, ξ_2, ξ_3 をとり, 移動開始 ξ_1 分後の移動速度 $f(\xi_1)$ と, 移動開始 ξ_2 分後の移動速度 $f(\xi_2)$ と, 移動開始 ξ_3 分後の移動速度 $f(\xi_3)$ とを考える。

移動開始 x_0 分後 $\sim x_1$ 分後の $(x_1 - x_0)$ 分間において一定速度 $f(\xi_1)$ で移動すると移動距離は $f(\xi_1)(x_1 - x_0)$ であり, 移動開始 x_1 分後 $\sim x_2$ 分後の $(x_2 - x_1)$ 分間において一定速度 $f(\xi_2)$ で移動すると移動距離は $f(\xi_2)(x_2 - x_1)$ であり, 移動開始 x_2 分後 $\sim x_3$ 分後の $(x_3 - x_2)$ 分間において一定速度 $f(\xi_3)$ で移動すると移動距離は $f(\xi_3)(x_3 - x_2)$ である。

A 点から B 点までの物体が移動した時間を仮に 3 分割して考える。

$$0 = x_0 \leq x_1 \leq x_2 \leq x_3 = T$$

である実数 x_0, x_1, x_2, x_3 をとり, A 点で移動を開始してから B 点に移動するまでの時間 T 分間を, 移動開始 x_0 分後 $\sim x_1$ 分後の間と, 移動開始 x_1 分後 $\sim x_2$ 分後の間と, 移動開始 x_2 分後 $\sim x_3$ 分後の間との 3 つの時間に分割する。

$$x_0 \leq \xi_1 \leq x_1, \quad x_1 \leq \xi_2 \leq x_2, \quad x_2 \leq \xi_3 \leq x_3$$

である実数 ξ_1, ξ_2, ξ_3 をとり, 移動開始 ξ_1 分後の移動速度 $f(\xi_1)$ と, 移動開始 ξ_2 分後の移動速度 $f(\xi_2)$ と, 移動開始 ξ_3 分後の移動速度 $f(\xi_3)$ とを考える。

移動開始 x_0 分後 $\sim x_1$ 分後の $(x_1 - x_0)$ 分間において一定速度 $f(\xi_1)$ で移動すると移動距離は $f(\xi_1)(x_1 - x_0)$ であり, 移動開始 x_1 分後 $\sim x_2$ 分後の $(x_2 - x_1)$ 分間において一定速度 $f(\xi_2)$ で移動すると移動距離は $f(\xi_2)(x_2 - x_1)$ であり, 移動開始 x_2 分後 $\sim x_3$ 分後の $(x_3 - x_2)$ 分間において一定速度 $f(\xi_3)$ で移動すると移動距離は $f(\xi_3)(x_3 - x_2)$ である。

A 点から B 点までの物体が移動した時間を仮に 3 分割して考える。

$$0 = x_0 \leq x_1 \leq x_2 \leq x_3 = T$$

である実数 x_0, x_1, x_2, x_3 をとり, A 点で移動を開始してから B 点に移動するまでの時間 T 分間を, 移動開始 x_0 分後 $\sim x_1$ 分後の間と, 移動開始 x_1 分後 $\sim x_2$ 分後の間と, 移動開始 x_2 分後 $\sim x_3$ 分後の間との 3 つの時間に分割する。

$$x_0 \leq \xi_1 \leq x_1, \quad x_1 \leq \xi_2 \leq x_2, \quad x_2 \leq \xi_3 \leq x_3$$

である実数 ξ_1, ξ_2, ξ_3 をとり, 移動開始 ξ_1 分後の移動速度 $f(\xi_1)$ と, 移動開始 ξ_2 分後の移動速度 $f(\xi_2)$ と, 移動開始 ξ_3 分後の移動速度 $f(\xi_3)$ とを考える。

移動開始 x_0 分後 $\sim x_1$ 分後の $(x_1 - x_0)$ 分間において一定速度 $f(\xi_1)$ で移動すると移動距離は $f(\xi_1)(x_1 - x_0)$ であり, 移動開始 x_1 分後 $\sim x_2$ 分後の $(x_2 - x_1)$ 分間において一定速度 $f(\xi_2)$ で移動すると移動距離は $f(\xi_2)(x_2 - x_1)$ であり, 移動開始 x_2 分後 $\sim x_3$ 分後の $(x_3 - x_2)$ 分間において一定速度 $f(\xi_3)$ で移動すると移動距離は $f(\xi_3)(x_3 - x_2)$ である。従って, 移動時間と移動距離との関係を近似するグラフは例えば次のような折れ線になる。

移動距離

速度

$f(\xi_3)$

x_2 分後 $\sim x_3$ 分後の間の移動距離 $f(\xi_3)(x_3 - x_2)$

速度

$f(\xi_2)$

x_1 分後 $\sim x_2$ 分後の間の移動距離 $f(\xi_2)(x_2 - x_1)$

速度

$f(\xi_1)$

x_0 分後 $\sim x_1$ 分後の間の移動距離 $f(\xi_1)(x_1 - x_0)$

x_0 ξ_1 x_1 ξ_2 x_2 ξ_3 x_3 移動時間

時間

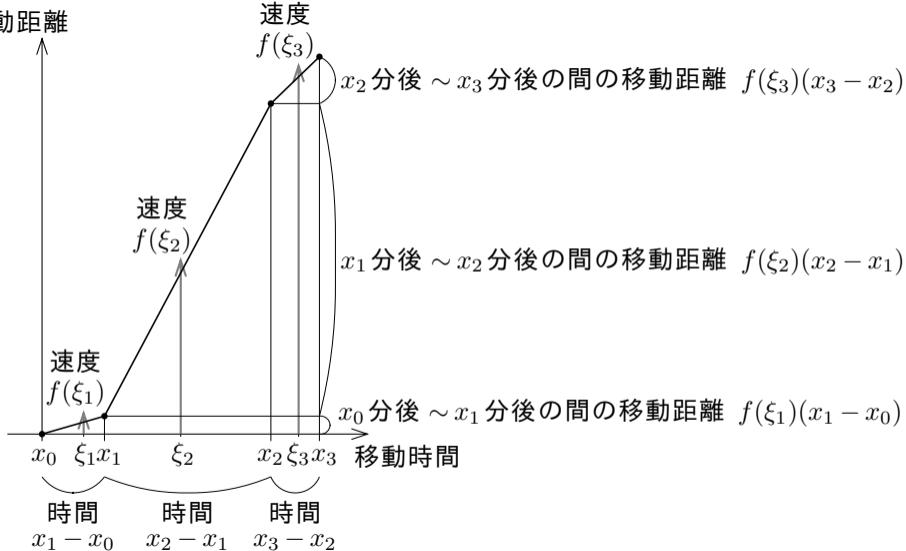
$x_1 - x_0$

時間

$x_2 - x_1$

時間

$x_3 - x_2$



近似的に,

近似的に,

移動開始 x_0 分後 $\sim x_1$ 分後の間の移動距離は $f(\xi_1)(x_1 - x_0)$ であり,

近似的に,

移動開始 x_0 分後 $\sim x_1$ 分後の間の移動距離は $f(\xi_1)(x_1 - x_0)$ であり,

移動開始 x_1 分後 $\sim x_2$ 分後の間の移動距離は $f(\xi_2)(x_2 - x_1)$ であり,

近似的に,

移動開始 x_0 分後 $\sim x_1$ 分後の間の移動距離は $f(\xi_1)(x_1 - x_0)$ であり,

移動開始 x_1 分後 $\sim x_2$ 分後の間の移動距離は $f(\xi_2)(x_2 - x_1)$ であり,

移動開始 x_2 分後 $\sim x_3$ 分後の間の移動距離は $f(\xi_3)(x_3 - x_2)$ である.

近似的に、

移動開始 x_0 分後 $\sim x_1$ 分後の間の移動距離は $f(\xi_1)(x_1 - x_0)$ であり、

移動開始 x_1 分後 $\sim x_2$ 分後の間の移動距離は $f(\xi_2)(x_2 - x_1)$ であり、

移動開始 x_2 分後 $\sim x_3$ 分後の間の移動距離は $f(\xi_3)(x_3 - x_2)$ である。

A 点から B 点まで T 分間の移動距離は近似的に次の式で表される：

$$f(\xi_1)(x_1 - x_0) + f(\xi_2)(x_2 - x_1) + f(\xi_3)(x_3 - x_2) = \sum_{k=1}^3 \{f(\xi_k)(\xi_k - \xi_{k-1})\} .$$

正の自然数 n に対して, A 点から B 点までの物体が移動した時間を n 分割して考える.

正の自然数 n に対して、A 点から B 点までの物体が移動した時間を n 分割して考える。

$$0 = x_0 \leq x_1 \leq x_2 \leq x_3 \leq \cdots \leq x_{n-1} \leq x_n = T$$

である実数 $x_0, x_1, x_2, x_3, \dots, x_{n-1}, x_n$ をとる。

正の自然数 n に対して、A 点から B 点までの物体が移動した時間を n 分割して考える。

$$0 = x_0 \leq x_1 \leq x_2 \leq x_3 \leq \cdots \leq x_{n-1} \leq x_n = T$$

である実数 $x_0, x_1, x_2, x_3, \dots, x_{n-1}, x_n$ をとる。A 点で移動を開始してから B 点に移動するまでの時間 T 分間を、移動開始 x_0 分後 $\sim x_1$ 分後の間、移動開始 x_1 分後 $\sim x_2$ 分後の間、移動開始 x_2 分後 $\sim x_3$ 分後の間、 \dots 、移動開始 x_{n-1} 分後 $\sim x_n$ 分後の間、の n 個の短い時間に分割する。

正の自然数 n に対して、A 点から B 点までの物体が移動した時間を n 分割して考える。

$$0 = x_0 \leq x_1 \leq x_2 \leq x_3 \leq \cdots \leq x_{n-1} \leq x_n = T$$

である実数 $x_0, x_1, x_2, x_3, \dots, x_{n-1}, x_n$ をとる。A 点で移動を開始してから B 点に移動するまでの時間 T 分間を、移動開始 x_0 分後 $\sim x_1$ 分後の間、移動開始 x_1 分後 $\sim x_2$ 分後の間、移動開始 x_2 分後 $\sim x_3$ 分後の間、 \dots 、移動開始 x_{n-1} 分後 $\sim x_n$ 分後の間、の n 個の短い時間に分割する。更に、

$$x_0 \leq \xi_1 \leq x_1, \quad x_1 \leq \xi_2 \leq x_2, \quad x_2 \leq \xi_3 \leq x_3, \quad \dots, \quad x_{n-1} \leq \xi_n \leq x_n$$

である実数 $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \dots, \xi_n$ をとり、移動開始 ξ_1 分後の移動速度 $f(\xi_1)$ 、移動開始 ξ_2 分後の移動速度 $f(\xi_2)$ 、移動開始 ξ_3 分後の移動速度 $f(\xi_3)$ 、 \dots 、移動開始 ξ_n 分後の移動速度 $f(\xi_n)$ を考える。

移動開始 x_0 分後 $\sim x_1$ 分後の $(x_1 - x_0)$ 分間を一定速度 $f(\xi_1)$ で移動し,
移動開始 x_1 分後 $\sim x_2$ 分後の $(x_2 - x_1)$ 分間を一定速度 $f(\xi_2)$ で移動し,
移動開始 x_2 分後 $\sim x_3$ 分後の $(x_3 - x_2)$ 分間を一定速度 $f(\xi_3)$ で移動し,

...

移動開始 x_{k-1} 分後 $\sim x_k$ 分後の $(x_k - x_{k-1})$ 分間を一定速度 $f(\xi_k)$ で移動した
として近似する.

移動開始 x_0 分後 $\sim x_1$ 分後の $(x_1 - x_0)$ 分間を一定速度 $f(\xi_1)$ で移動し,
移動開始 x_1 分後 $\sim x_2$ 分後の $(x_2 - x_1)$ 分間を一定速度 $f(\xi_2)$ で移動し,
移動開始 x_2 分後 $\sim x_3$ 分後の $(x_3 - x_2)$ 分間を一定速度 $f(\xi_3)$ で移動し,
...

移動開始 x_{k-1} 分後 $\sim x_k$ 分後の $(x_k - x_{k-1})$ 分間を一定速度 $f(\xi_k)$ で移動した
として近似する. このとき, 近似的に,

移動開始 x_0 分後 $\sim x_1$ 分後の間の移動距離は $f(\xi_1)(x_1 - x_0)$ であり,
移動開始 x_1 分後 $\sim x_2$ 分後の間の移動距離は $f(\xi_2)(x_2 - x_1)$ であり,
移動開始 x_2 分後 $\sim x_3$ 分後の間の移動距離は $f(\xi_3)(x_3 - x_2)$ であり,
...

移動開始 x_{k-1} 分後 $\sim x_k$ 分後の間の移動距離は $f(\xi_n)(x_n - x_{n-1})$ である.

移動開始 x_0 分後 $\sim x_1$ 分後の $(x_1 - x_0)$ 分間を一定速度 $f(\xi_1)$ で移動し、
移動開始 x_1 分後 $\sim x_2$ 分後の $(x_2 - x_1)$ 分間を一定速度 $f(\xi_2)$ で移動し、
移動開始 x_2 分後 $\sim x_3$ 分後の $(x_3 - x_2)$ 分間を一定速度 $f(\xi_3)$ で移動し、
...

移動開始 x_{k-1} 分後 $\sim x_k$ 分後の $(x_k - x_{k-1})$ 分間を一定速度 $f(\xi_k)$ で移動した
として近似する。このとき、近似的に、

移動開始 x_0 分後 $\sim x_1$ 分後の間の移動距離は $f(\xi_1)(x_1 - x_0)$ であり、
移動開始 x_1 分後 $\sim x_2$ 分後の間の移動距離は $f(\xi_2)(x_2 - x_1)$ であり、
移動開始 x_2 分後 $\sim x_3$ 分後の間の移動距離は $f(\xi_3)(x_3 - x_2)$ であり、
...

移動開始 x_{k-1} 分後 $\sim x_k$ 分後の間の移動距離は $f(\xi_n)(x_n - x_{n-1})$ である。

これらの移動距離の総和

$$\begin{aligned} & f(\xi_1)(x_1 - x_0) + f(\xi_2)(x_2 - x_1) + f(\xi_3)(x_3 - x_2) + \cdots + f(\xi_n)(x_n - x_{n-1}) \\ &= \sum_{k=1}^n \{f(\xi_k)(x_k - x_{k-1})\} \end{aligned}$$

が A 点から B 点までの物体の移動距離を近似する式である。

A 点から B 点までの物体の移動距離は次の式で近似される：

$$\begin{aligned} & f(\xi_1)(x_1 - x_0) + f(\xi_2)(x_2 - x_1) + f(\xi_3)(x_3 - x_2) + \cdots + f(\xi_n)(x_n - x_{n-1}) \\ &= \sum_{k=1}^n \{f(\xi_k)(x_k - x_{k-1})\} . \end{aligned}$$

A 点から B 点までの物体の移動距離は次の式で近似される：

$$\begin{aligned} & f(\xi_1)(x_1 - x_0) + f(\xi_2)(x_2 - x_1) + f(\xi_3)(x_3 - x_2) + \cdots + f(\xi_n)(x_n - x_{n-1}) \\ &= \sum_{k=1}^n \{f(\xi_k)(x_k - x_{k-1})\} . \end{aligned}$$

この式は関数 f のリーマン和を表す式である。

A 点から B 点までの物体の移動距離は次の式で近似される：

$$\begin{aligned} & f(\xi_1)(x_1 - x_0) + f(\xi_2)(x_2 - x_1) + f(\xi_3)(x_3 - x_2) + \cdots + f(\xi_n)(x_n - x_{n-1}) \\ &= \sum_{k=1}^n \{f(\xi_k)(x_k - x_{k-1})\} . \end{aligned}$$

この式は関数 f のリーマン和を表す式である．これを S_n とおく：

$$\begin{aligned} S_n &= f(\xi_1)(x_1 - x_0) + f(\xi_2)(x_2 - x_1) + f(\xi_3)(x_3 - x_2) + \cdots + f(\xi_n)(x_n - x_{n-1}) \\ &= \sum_{k=1}^n \{f(\xi_k)(x_k - x_{k-1})\} . \end{aligned}$$

A 点から B 点までの物体の移動距離は次の式で近似される：

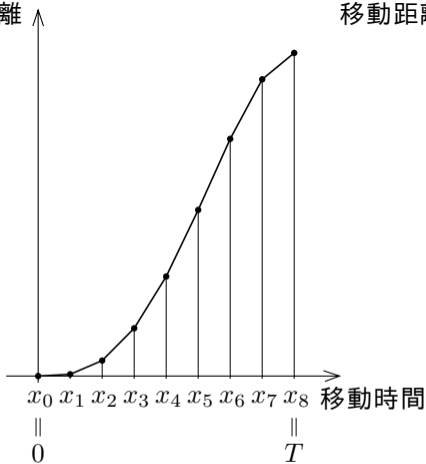
$$\begin{aligned} & f(\xi_1)(x_1 - x_0) + f(\xi_2)(x_2 - x_1) + f(\xi_3)(x_3 - x_2) + \cdots + f(\xi_n)(x_n - x_{n-1}) \\ &= \sum_{k=1}^n \{f(\xi_k)(x_k - x_{k-1})\} . \end{aligned}$$

この式は関数 f のリーマン和を表す式である．これを S_n とおく：

$$\begin{aligned} S_n &= f(\xi_1)(x_1 - x_0) + f(\xi_2)(x_2 - x_1) + f(\xi_3)(x_3 - x_2) + \cdots + f(\xi_n)(x_n - x_{n-1}) \\ &= \sum_{k=1}^n \{f(\xi_k)(x_k - x_{k-1})\} . \end{aligned}$$

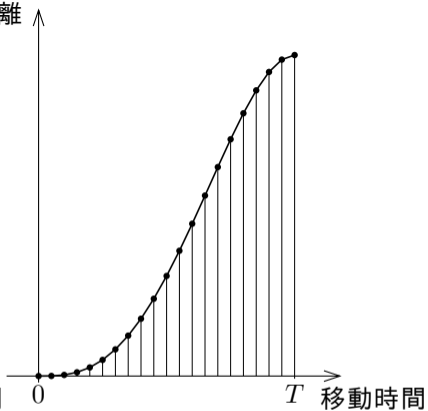
このように近似するときの移動時間と移動距離との関係を表すグラフは次のような折れ線になる．

移動距離



$n = 8$ のとき

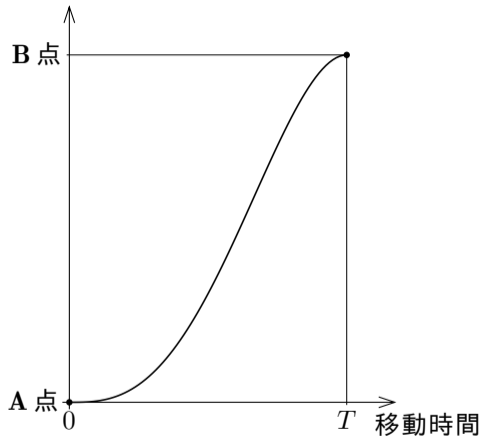
移動距離



$n = 20$ のとき

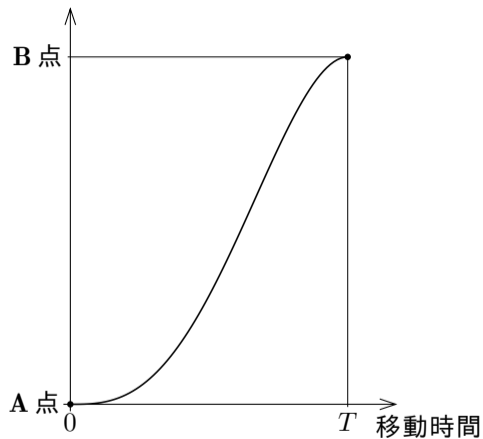
分割の数 n を大きくしていくと、移動時間と移動距離との関係を表す折れ線は元のグラフに近づいていくので、移動距離の近似値 S_n は実際の移動距離に近づく。

移動距離



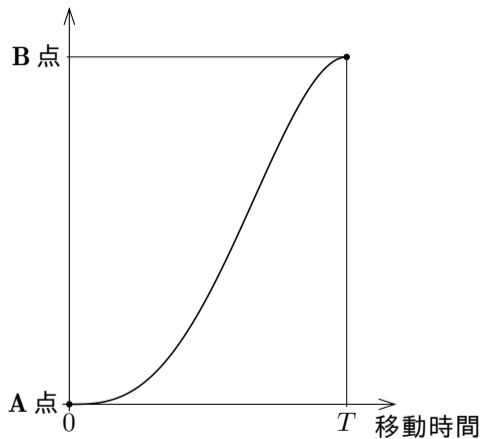
分割の数 n を大きくしていくと、移動時間と移動距離との関係を表す折れ線は元のグラフに近づいていくので、移動距離の近似値 S_n は実際の移動距離に近づく。従って、移動速度のリーマン和 $S_n = \sum_{k=1}^n \{f(\xi_k)(x_k - x_{k-1})\}$ の極限值 $\lim_{n \rightarrow \infty} S_n$ が唯一つがあるならば、この極限值が実際の移動距離になる。

移動距離



分割の数 n を大きくしていくと、移動時間と移動距離との関係を表す折れ線は元のグラフに近づいていくので、移動距離の近似値 S_n は実際の移動距離に近づく。従って、移動速度のリーマン和 $S_n = \sum_{k=1}^n \{f(\xi_k)(x_k - x_{k-1})\}$ の極限值 $\lim_{n \rightarrow \infty} S_n$ が唯一つがあるならば、この極限值が実際の移動距離になる。このことは後の節で述べる微分積分の基本定理によって裏付けられる。

移動距離



このように、一定量と一定量の掛け算で計算できる量を、量が変わるときはしばしばリーマン和の極限值と考える。

このように、一定量と一定量の掛け算で計算できる量を、量が変わるときはしばしばリーマン和の極限值と考える。リーマン和のある条件を満たす極限值が定積分である。つまり定積分はリーマン和の極限值であり、掛け算の拡張である。