はじめに　(数学基礎 B2)

数学基礎 B　＝　**線形代数**

教科書　「要点明解 線形数学」培風館

(第 1 章　ベクトル)
(第 2 章　行列)
(第 3 章　連立 1 次方程式)
- **第 4 章　行列式**
- 第 5 章　行列の対角化

講義の情報　http://mathweb.sc.niigata-u.ac.jp/~hoshi/teaching-j.html

シラバス　LINK

- ノートを取りながら講義を聴くこと.
  (ノートを回収して確認する可能性があります)
- 講義 $\longrightarrow$ 小テスト (理解度確認テスト，学務情報システム内)

定理 4.6

n 次正方行列 A のある行を k 倍した行列 A'' に対して，$|A''| = k|A|$.

定理 4.6

n 次正方行列 A のある行を k 倍した行列 A'' に対して，$|A''| = k|A|$.

例

$$A = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}, A'' = \begin{pmatrix} ka & kb \\ c & d \end{pmatrix}$$

定理 4.6

n 次正方行列 A のある行を k 倍した行列 A'' に対して，$|A''| = k|A|$.

例

$$A = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix},\ A'' = \begin{pmatrix} ka & kb \\ c & d \end{pmatrix} \Rightarrow |A''| = kad - kbc = k(ad - bc) = k|A|.$$

定理 4.7

n 次正方行列 A のある行が行ベクトルの和 $\mathfrak{a} + \mathfrak{a}'$

$$\Rightarrow |A| = \begin{vmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \mathfrak{a} + \mathfrak{a}' & & \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \mathfrak{a} & & \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \mathfrak{a}' & & \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{vmatrix}.$$

定理 4.7

n 次正方行列 A のある行が行ベクトルの和 $\mathfrak{a} + \mathfrak{a}'$

$$\Rightarrow |A| = \begin{vmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \mathfrak{a} + \mathfrak{a}' & & \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \mathfrak{a} & & \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \mathfrak{a}' & & \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{vmatrix}.$$

例

$$A = \begin{pmatrix} a + a' & b + b' \\ c & d \end{pmatrix} \Rightarrow$$

定理 4.7

n 次正方行列 A のある行が行ベクトルの和 $\mathfrak{a} + \mathfrak{a}'$

$$\Rightarrow |A| = \begin{vmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \mathfrak{a} + \mathfrak{a}' & & \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \mathfrak{a} & & \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \mathfrak{a}' & & \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{vmatrix}.$$

例

$$A = \begin{pmatrix} a + a' & b + b' \\ c & d \end{pmatrix} \Rightarrow |A| = (a + a')d - (b + b')c$$

定理 4.7

n 次正方行列 A のある行が行ベクトルの和 $\mathfrak{a}+\mathfrak{a}'$

$$\Rightarrow |A| = \begin{vmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \mathfrak{a}+\mathfrak{a}' & & \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \mathfrak{a} & & \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \mathfrak{a}' & & \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{vmatrix}.$$

例

$$A = \begin{pmatrix} a+a' & b+b' \\ c & d \end{pmatrix} \Rightarrow |A| = (a+a')d - (b+b')c$$

$$= (ad-bc) + (a'd-b'c) = \begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a' & b' \\ c & d \end{vmatrix}.$$

定理 4.8

n 次正方行列 A のある (i) 行に他の行 (j) 行の k 倍を加えた行列 A''' に対して，$|A'''| = |A|$.

定理 4.8

n 次正方行列 A のある (i) 行に他の行 (j) 行の k 倍を加えた行列 A''' に対して，$|A'''| = |A|$.

$$\because \quad |A'''| = \begin{vmatrix} \mathfrak{a}_1 \\ \mathfrak{a}_i + k\,\mathfrak{a}_j \\ \mathfrak{a}_j \\ \mathfrak{a}_n \end{vmatrix}$$

定理 4.8

n 次正方行列 A のある (i) 行に他の行 (j) 行の k 倍を加えた行列 A''' に対して，$|A'''| = |A|$.

$$\because \quad |A'''| = \begin{vmatrix} \mathfrak{a}_1 \\ \mathfrak{a}_i + k\,\mathfrak{a}_j \\ \mathfrak{a}_j \\ \mathfrak{a}_n \end{vmatrix} \overset{4.7}{=} \begin{vmatrix} \mathfrak{a}_1 \\ \mathfrak{a}_i \\ \mathfrak{a}_j \\ \mathfrak{a}_n \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \mathfrak{a}_1 \\ k\,\mathfrak{a}_j \\ \mathfrak{a}_j \\ \mathfrak{a}_n \end{vmatrix}$$

定理 4.8

n 次正方行列 A のある (i) 行に他の行 (j) 行の k 倍を加えた行列 A''' に対して，$|A'''| = |A|$.

$$\because \quad |A'''| = \begin{vmatrix} \mathfrak{a}_1 \\ \mathfrak{a}_i + k\,\mathfrak{a}_j \\ \mathfrak{a}_j \\ \mathfrak{a}_n \end{vmatrix} \overset{4.7}{=} \begin{vmatrix} \mathfrak{a}_1 \\ \mathfrak{a}_i \\ \mathfrak{a}_j \\ \mathfrak{a}_n \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \mathfrak{a}_1 \\ k\,\mathfrak{a}_j \\ \mathfrak{a}_j \\ \mathfrak{a}_n \end{vmatrix} \overset{4.6}{=} |A| + k \begin{vmatrix} \mathfrak{a}_1 \\ \mathfrak{a}_j \\ \mathfrak{a}_j \\ \mathfrak{a}_n \end{vmatrix}$$

定理 4.8

n 次正方行列 A のある (i) 行に他の行 (j) 行の k 倍を加えた行列 A''' に対して，$|A'''| = |A|$.

$$\because \quad |A'''| = \begin{vmatrix} \mathfrak{a}_1 \\ \mathfrak{a}_i + k\,\mathfrak{a}_j \\ \mathfrak{a}_j \\ \mathfrak{a}_n \end{vmatrix} \overset{4.7}{=} \begin{vmatrix} \mathfrak{a}_1 \\ \mathfrak{a}_i \\ \mathfrak{a}_j \\ \mathfrak{a}_n \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \mathfrak{a}_1 \\ k\,\mathfrak{a}_j \\ \mathfrak{a}_j \\ \mathfrak{a}_n \end{vmatrix} \overset{4.6}{=} |A| + k \begin{vmatrix} \mathfrak{a}_1 \\ \mathfrak{a}_j \\ \mathfrak{a}_j \\ \mathfrak{a}_n \end{vmatrix}$$

$$\overset{4.5}{=} |A| + k \cdot 0 = |A|.$$

まとめると …

まとめると … 3 つの行基本変形 I, II, III に対して,

まとめると … 3 つの行基本変形 I, II, III に対して,

$\boxed{\text{I}}$ 行列 A の 2 つの行を入れかえた行列を A'

まとめると … 3 つの行基本変形 I, II, III に対して,

I 行列 A の 2 つの行を入れかえた行列を A'

II 行列 A のある行を k 倍した行列を A''

まとめると … 3 つの行基本変形 I, II, III に対して,

I 行列 A の 2 つの行を入れかえた行列を A'

II 行列 A のある行を k 倍した行列を A''

III 行列 A のある行に他の行の k 倍をたした行列を A'''

まとめると … 3 つの行基本変形 I, II, III に対して,

I 行列 A の 2 つの行を入れかえた行列を A'

II 行列 A のある行を k 倍した行列を A''

III 行列 A のある行に他の行の k 倍をたした行列を A'''

とすると,

まとめると … 3 つの行基本変形 I, II, III に対して,

I 行列 A の 2 つの行を入れかえた行列を A'

II 行列 A のある行を k 倍した行列を A''

III 行列 A のある行に他の行の k 倍をたした行列を A'''

とすると,

$|A'| = -|A|$ … (1)

$|A''| = k|A|$ … (2)

$|A'''| = |A|$ … (3)

まとめると … 3 つの行基本変形 I, II, III に対して,

I 行列 A の 2 つの行を入れかえた行列を A'

II 行列 A のある行を k 倍した行列を A''

III 行列 A のある行に他の行の k 倍をたした行列を A'''

とすると,

$|A'| = -|A|$ … (1)

$|A''| = k|A|$ … (2)

$|A'''| = |A|$ … (3)

となる.

まとめると … 3 つの行基本変形 I, II, III に対して,

I 行列 A の 2 つの行を入れかえた行列を A'

II 行列 A のある行を k 倍した行列を A''

III 行列 A のある行に他の行の k 倍をたした行列を A'''

とすると,

$|A'| = -|A|$ … (1)
$|A''| = k|A|$ … (2)
$|A'''| = |A|$ … (3)

となる．この (1), (2), (3) を用いれば，行基本変形 I, II, III によって,

まとめると … 3 つの行基本変形 I, II, III に対して,

I 行列 A の 2 つの行を入れかえた行列を A'

II 行列 A のある行を k 倍した行列を A''

III 行列 A のある行に他の行の k 倍をたした行列を A'''

とすると,

$|A'| = -|A|$ … (1)

$|A''| = k|A|$ … (2)

$|A'''| = |A|$ … (3)

となる．この (1), (2), (3) を用いれば，行基本変形 I, II, III によって,

$A \to \cdots \to \begin{pmatrix} a & * & \cdots & * \\ 0 & & & \\ \vdots & & B & \\ 0 & & & \end{pmatrix}$ の形にできれば，(定理 4.3 より)

まとめると … 3 つの行基本変形 I, II, III に対して,

I 行列 A の 2 つの行を入れかえた行列を A'

II 行列 A のある行を k 倍した行列を A''

III 行列 A のある行に他の行の k 倍をたした行列を A'''

とすると,

$|A'| = -|A|$ … (1)

$|A''| = k|A|$ … (2)

$|A'''| = |A|$ … (3)

となる．この (1), (2), (3) を用いれば，行基本変形 I, II, III によって,

$A \to \cdots \to \begin{pmatrix} a & * & \cdots & * \\ 0 & & & \\ \vdots & & B & \\ 0 & & & \end{pmatrix}$ の形にできれば，(定理 4.3 より)

$|A|$ を $a \cdot |B|$ を用いて計算できる．

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix}$$

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \updownarrow$$

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\text{I}}}{\updownarrow} =$$

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{I}}}{\updownarrow} = - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 3 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix}$$

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{I}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 3 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \begin{matrix} \\ \\ \downarrow \times(-3) \end{matrix}$$

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{I}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 3 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=}$$

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{I}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 3 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix}$$

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{I}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 3 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix}$$

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{I}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 3 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=}$$

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{I}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 3 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times(-3)}{\underset{\boxed{\mathrm{III}}}{=}} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times 1}{\underset{\boxed{\mathrm{III}}}{=}} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix}$$

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{I}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 3 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times(-3)}{=} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times 1}{=} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix}$$

$\overset{4.3}{=}$

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{I}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 3 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times(-3)}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times 1}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\overset{4.3}{=} - \begin{vmatrix} 8 & 4 \\ -1 & 0 \end{vmatrix}$$

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{I}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 3 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times(-3)}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times 1}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\overset{4.3}{=} - \begin{vmatrix} 8 & 4 \\ -1 & 0 \end{vmatrix} = (-1) \cdot 4 = -4.$$

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{I}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 3 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times(-3)}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times 1}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\overset{4.3}{=} - \begin{vmatrix} 8 & 4 \\ -1 & 0 \end{vmatrix} = (-1) \cdot 4 = -4.$$

例

$$\begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ -3 & 2 & 7 & 11 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix}$$

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{I}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 3 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times(-3)}{=} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times 1}{=} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\overset{4.3}{=} - \begin{vmatrix} 8 & 4 \\ -1 & 0 \end{vmatrix} = (-1) \cdot 4 = -4.$$

例

$$\begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ -3 & 2 & 7 & 11 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \overset{\times 3}{}$$

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{I}}}{\updownarrow} = - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 3 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \downarrow \times(-3) \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \downarrow \times 1 \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\overset{4.3}{=} - \begin{vmatrix} 8 & 4 \\ -1 & 0 \end{vmatrix} = (-1) \cdot 4 = -4.$$

例

$$\begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ -3 & 2 & 7 & 11 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \downarrow \times 3 \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=}$$

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{I}}}{\updownarrow} = - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 3 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times(-3)}{\downarrow} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times 1}{\downarrow} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\overset{4.3}{=} - \begin{vmatrix} 8 & 4 \\ -1 & 0 \end{vmatrix} = (-1) \cdot 4 = -4.$$

例

$$\begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ -3 & 2 & 7 & 11 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \overset{\times 3}{\downarrow} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ 0 & 8 & 16 & 8 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix}$$

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{I}}}{\updownarrow} = - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 3 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \downarrow \times(-3) \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \downarrow \times 1 \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\overset{4.3}{=} - \begin{vmatrix} 8 & 4 \\ -1 & 0 \end{vmatrix} = (-1) \cdot 4 = -4.$$

例

$$\begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ -3 & 2 & 7 & 11 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \downarrow \times 3 \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ 0 & 8 & 16 & 8 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \downarrow \times 2$$

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{I}}}{\updownarrow} = - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 3 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \downarrow \times(-3) \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \downarrow \times 1 \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\overset{4.3}{=} - \begin{vmatrix} 8 & 4 \\ -1 & 0 \end{vmatrix} = (-1) \cdot 4 = -4.$$

例

$$\begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ -3 & 2 & 7 & 11 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \downarrow \times 3 \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ 0 & 8 & 16 & 8 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \downarrow \times 2 \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=}$$

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{I}}}{=} - \begin{vmatrix} 1 & -2 & -1 \\ 3 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} - \begin{vmatrix} 1 & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} - \begin{vmatrix} 1 & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\overset{4.3}{=} - \begin{vmatrix} 8 & 4 \\ -1 & 0 \end{vmatrix} = (-1) \cdot 4 = -4.$$

例

$$\begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 & -1 \\ -3 & 2 & 7 & 11 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 & -1 \\ 0 & 8 & 16 & 8 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 & -1 \\ 0 & 8 & 16 & 8 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ 0 & 4 & 7 & 4 \end{vmatrix}$$

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{I}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 3 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times(-3)}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times 1}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\overset{4.3}{=} - \begin{vmatrix} 8 & 4 \\ -1 & 0 \end{vmatrix} = (-1) \cdot 4 = -4.$$

例

$$\begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ -3 & 2 & 7 & 11 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \overset{\times 3}{=} \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ 0 & 8 & 16 & 8 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \overset{\times 2}{=} \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ 0 & 8 & 16 & 8 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ 0 & 4 & 7 & 4 \end{vmatrix} \overset{4.3}{=}$$

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{I}}}{\updownarrow} = - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 3 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \downarrow \times(-3) \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \downarrow \times 1 \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\overset{4.3}{=} - \begin{vmatrix} 8 & 4 \\ -1 & 0 \end{vmatrix} = (-1) \cdot 4 = -4.$$

例

$$\begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ -3 & 2 & 7 & 11 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \downarrow \times 3 \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ 0 & 8 & 16 & 8 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \downarrow \times 2 \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ 0 & 8 & 16 & 8 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ 0 & 4 & 7 & 4 \end{vmatrix} \overset{4.3}{=} \begin{vmatrix} 8 & 16 & 8 \\ 5 & 9 & 16 \\ 4 & 7 & 4 \end{vmatrix}$$

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{I}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 3 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times(-3)}{=} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times 1}{=} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\overset{4.3}{=} - \begin{vmatrix} 8 & 4 \\ -1 & 0 \end{vmatrix} = (-1) \cdot 4 = -4.$$

例

$$\begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ -3 & 2 & 7 & 11 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \overset{\times 3}{=} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ 0 & 8 & 16 & 8 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \overset{\times 2}{=} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ 0 & 8 & 16 & 8 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ 0 & 4 & 7 & 4 \end{vmatrix} \overset{4.3}{=} \begin{vmatrix} 8 & 16 & 8 \\ 5 & 9 & 16 \\ 4 & 7 & 4 \end{vmatrix}$$

$$\overset{\boxed{\mathrm{II}}}{=}$$

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{I}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 3 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times(-3)}{=} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times 1}{=} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\overset{4.3}{=} - \begin{vmatrix} 8 & 4 \\ -1 & 0 \end{vmatrix} = (-1) \cdot 4 = -4.$$

例

$$\begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ -3 & 2 & 7 & 11 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \overset{\times 3}{=} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ 0 & 8 & 16 & 8 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \overset{\times 2}{=} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ 0 & 8 & 16 & 8 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ 0 & 4 & 7 & 4 \end{vmatrix} \overset{4.3}{=} \begin{vmatrix} 8 & 16 & 8 \\ 5 & 9 & 16 \\ 4 & 7 & 4 \end{vmatrix}$$

$$\overset{\boxed{\mathrm{II}}}{=} 8 \cdot \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 1 \\ 5 & 9 & 16 \\ 4 & 7 & 4 \end{vmatrix}$$

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{I}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 3 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times(-3)}{\downarrow} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times 1}{\downarrow} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\overset{4.3}{=} - \begin{vmatrix} 8 & 4 \\ -1 & 0 \end{vmatrix} = (-1) \cdot 4 = -4.$$

例

$$\begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ -3 & 2 & 7 & 11 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \overset{\times 3}{\downarrow} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ 0 & 8 & 16 & 8 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \overset{\times 2}{\downarrow} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ 0 & 8 & 16 & 8 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ 0 & 4 & 7 & 4 \end{vmatrix} \overset{4.3}{=} \begin{vmatrix} 8 & 16 & 8 \\ 5 & 9 & 16 \\ 4 & 7 & 4 \end{vmatrix}$$

$$\overset{\boxed{\mathrm{II}}}{=} 8 \cdot \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 1 \\ 5 & 9 & 16 \\ 4 & 7 & 4 \end{vmatrix} \overset{\times(-5)}{\downarrow}$$

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{I}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 3 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times(-3)}{\underset{\boxed{\mathrm{III}}}{=}} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times 1}{\underset{\boxed{\mathrm{III}}}{=}} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\overset{4.3}{=} - \begin{vmatrix} 8 & 4 \\ -1 & 0 \end{vmatrix} = (-1) \cdot 4 = -4.$$

例

$$\begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ -3 & 2 & 7 & 11 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \overset{\times 3}{\underset{\boxed{\mathrm{III}}}{=}} \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ 0 & 8 & 16 & 8 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \overset{\times 2}{\underset{\boxed{\mathrm{III}}}{=}} \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ 0 & 8 & 16 & 8 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ 0 & 4 & 7 & 4 \end{vmatrix} \overset{4.3}{=} \begin{vmatrix} 8 & 16 & 8 \\ 5 & 9 & 16 \\ 4 & 7 & 4 \end{vmatrix}$$

$$\overset{\boxed{\mathrm{II}}}{=} 8 \cdot \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 1 \\ 5 & 9 & 16 \\ 4 & 7 & 4 \end{vmatrix} \overset{\times(-5)}{\underset{\boxed{\mathrm{III}}}{=}}$$

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{I}}}{\updownarrow} = - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 3 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \downarrow \times(-3) \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \downarrow \times 1 \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\overset{4.3}{=} - \begin{vmatrix} 8 & 4 \\ -1 & 0 \end{vmatrix} = (-1) \cdot 4 = -4.$$

例

$$\begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ -3 & 2 & 7 & 11 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \downarrow \times 3 \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ 0 & 8 & 16 & 8 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \downarrow \times 2 \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ 0 & 8 & 16 & 8 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ 0 & 4 & 7 & 4 \end{vmatrix} \overset{4.3}{=} \begin{vmatrix} 8 & 16 & 8 \\ 5 & 9 & 16 \\ 4 & 7 & 4 \end{vmatrix}$$

$$\overset{\boxed{\mathrm{II}}}{=} 8 \cdot \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 1 \\ 5 & 9 & 16 \\ 4 & 7 & 4 \end{vmatrix} \downarrow \times(-5) \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} 8 \cdot \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 1 \\ 0 & -1 & 11 \\ 4 & 7 & 4 \end{vmatrix}$$

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{I}}}{=} -\begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 3 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times(-3)}{\downarrow} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} -\begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times 1}{\downarrow} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} -\begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\overset{4.3}{=} -\begin{vmatrix} 8 & 4 \\ -1 & 0 \end{vmatrix} = (-1)\cdot 4 = -4.$$

例

$$\begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ -3 & 2 & 7 & 11 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \overset{\times 3}{\downarrow} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ 0 & 8 & 16 & 8 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \overset{\times 2}{\downarrow} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ 0 & 8 & 16 & 8 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ 0 & 4 & 7 & 4 \end{vmatrix} \overset{4.3}{=} \begin{vmatrix} 8 & 16 & 8 \\ 5 & 9 & 16 \\ 4 & 7 & 4 \end{vmatrix}$$

$$\overset{\boxed{\mathrm{II}}}{=} 8\cdot \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 1 \\ 5 & 9 & 16 \\ 4 & 7 & 4 \end{vmatrix} \overset{\times(-5)}{\downarrow} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} 8\cdot \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 1 \\ 0 & -1 & 11 \\ 4 & 7 & 4 \end{vmatrix} \overset{\times(-4)}{\downarrow}$$

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{I}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 3 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times(-3)}{\downarrow} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times 1}{\downarrow} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\overset{4.3}{=} - \begin{vmatrix} 8 & 4 \\ -1 & 0 \end{vmatrix} = (-1) \cdot 4 = -4.$$

例

$$\begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ -3 & 2 & 7 & 11 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \overset{\times 3}{\downarrow} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ 0 & 8 & 16 & 8 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \overset{\times 2}{\downarrow} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ 0 & 8 & 16 & 8 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ 0 & 4 & 7 & 4 \end{vmatrix} \overset{4.3}{=} \begin{vmatrix} 8 & 16 & 8 \\ 5 & 9 & 16 \\ 4 & 7 & 4 \end{vmatrix}$$

$$\overset{\boxed{\mathrm{II}}}{=} 8 \cdot \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 1 \\ 5 & 9 & 16 \\ 4 & 7 & 4 \end{vmatrix} \overset{\times(-5)}{\downarrow} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} 8 \cdot \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 1 \\ 0 & -1 & 11 \\ 4 & 7 & 4 \end{vmatrix} \overset{\times(-4)}{\downarrow} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=}$$

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{I}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 3 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times(-3)}{=} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times 1}{=} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\overset{4.3}{=} - \begin{vmatrix} 8 & 4 \\ -1 & 0 \end{vmatrix} = (-1) \cdot 4 = -4.$$

例

$$\begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ -3 & 2 & 7 & 11 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \overset{\times 3}{=} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ 0 & 8 & 16 & 8 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \overset{\times 2}{=} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ 0 & 8 & 16 & 8 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ 0 & 4 & 7 & 4 \end{vmatrix} \overset{4.3}{=} \begin{vmatrix} 8 & 16 & 8 \\ 5 & 9 & 16 \\ 4 & 7 & 4 \end{vmatrix}$$

$$\overset{\boxed{\mathrm{II}}}{=} 8 \cdot \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 1 \\ 5 & 9 & 16 \\ 4 & 7 & 4 \end{vmatrix} \overset{\times(-5)}{=} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} 8 \cdot \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 1 \\ 0 & -1 & 11 \\ 4 & 7 & 4 \end{vmatrix} \overset{\times(-4)}{=} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} 8 \cdot \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 1 \\ 0 & -1 & 11 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix}$$

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{I}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 3 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times(-3)}{=} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times 1}{=} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} - \begin{vmatrix} \mathbf{1} & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\overset{4.3}{=} - \begin{vmatrix} 8 & 4 \\ -1 & 0 \end{vmatrix} = (-1) \cdot 4 = -4.$$

例

$$\begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ -3 & 2 & 7 & 11 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \overset{\times 3}{=} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ 0 & 8 & 16 & 8 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \overset{\times 2}{=} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 3 & -1 \\ 0 & 8 & 16 & 8 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ 0 & 4 & 7 & 4 \end{vmatrix} \overset{4.3}{=} \begin{vmatrix} 8 & 16 & 8 \\ 5 & 9 & 16 \\ 4 & 7 & 4 \end{vmatrix}$$

$$\overset{\boxed{\mathrm{II}}}{=} 8 \cdot \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 1 \\ 5 & 9 & 16 \\ 4 & 7 & 4 \end{vmatrix} \overset{\times(-5)}{=} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} 8 \cdot \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 1 \\ 0 & -1 & 11 \\ 4 & 7 & 4 \end{vmatrix} \overset{\times(-4)}{=} \overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=} 8 \cdot \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 2 & 1 \\ 0 & -1 & 11 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix} \overset{4.3}{=}$$

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{I}}}{=} - \begin{vmatrix} 1 & -2 & -1 \\ 3 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times(-3)}{\overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=}} - \begin{vmatrix} 1 & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times 1}{\overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=}} - \begin{vmatrix} 1 & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\overset{4.3}{=} - \begin{vmatrix} 8 & 4 \\ -1 & 0 \end{vmatrix} = (-1) \cdot 4 = -4.$$

例

$$\begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 & -1 \\ -3 & 2 & 7 & 11 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \overset{\times 3}{\overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=}} \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 & -1 \\ 0 & 8 & 16 & 8 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \overset{\times 2}{\overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=}} \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 & -1 \\ 0 & 8 & 16 & 8 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ 0 & 4 & 7 & 4 \end{vmatrix} \overset{4.3}{=} \begin{vmatrix} 8 & 16 & 8 \\ 5 & 9 & 16 \\ 4 & 7 & 4 \end{vmatrix}$$

$$\overset{\boxed{\mathrm{II}}}{=} 8 \cdot \begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 5 & 9 & 16 \\ 4 & 7 & 4 \end{vmatrix} \overset{\times(-5)}{\overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=}} 8 \cdot \begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & -1 & 11 \\ 4 & 7 & 4 \end{vmatrix} \overset{\times(-4)}{\overset{\boxed{\mathrm{III}}}{=}} 8 \cdot \begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & -1 & 11 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix} \overset{4.3}{=} 8 \cdot \begin{vmatrix} -1 & 11 \\ -1 & 0 \end{vmatrix}$$

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{I}}}{=} - \begin{vmatrix} 1 & -2 & -1 \\ 3 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times(-3)}{\underset{\boxed{\mathrm{III}}}{=}} - \begin{vmatrix} 1 & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times 1}{\underset{\boxed{\mathrm{III}}}{=}} - \begin{vmatrix} 1 & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\overset{4.3}{=} - \begin{vmatrix} 8 & 4 \\ -1 & 0 \end{vmatrix} = (-1) \cdot 4 = -4.$$

例

$$\begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 & -1 \\ -3 & 2 & 7 & 11 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \overset{\times 3}{\underset{\boxed{\mathrm{III}}}{=}} \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 & -1 \\ 0 & 8 & 16 & 8 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \overset{\times 2}{\underset{\boxed{\mathrm{III}}}{=}} \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 & -1 \\ 0 & 8 & 16 & 8 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ 0 & 4 & 7 & 4 \end{vmatrix} \overset{4.3}{=} \begin{vmatrix} 8 & 16 & 8 \\ 5 & 9 & 16 \\ 4 & 7 & 4 \end{vmatrix}$$

$$\overset{\boxed{\mathrm{II}}}{=} 8 \cdot \begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 5 & 9 & 16 \\ 4 & 7 & 4 \end{vmatrix} \overset{\times(-5)}{\underset{\boxed{\mathrm{III}}}{=}} 8 \cdot \begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & -1 & 11 \\ 4 & 7 & 4 \end{vmatrix} \overset{\times(-4)}{\underset{\boxed{\mathrm{III}}}{=}} 8 \cdot \begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & -1 & 11 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix} \overset{4.3}{=} 8 \cdot \begin{vmatrix} -1 & 11 \\ -1 & 0 \end{vmatrix}$$

$$= 8 \cdot 11$$

例

$$\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\boxed{\mathrm{I}}}{=} - \begin{vmatrix} 1 & -2 & -1 \\ 3 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times(-3)}{\underset{\boxed{\mathrm{III}}}{=}} - \begin{vmatrix} 1 & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \overset{\times 1}{\underset{\boxed{\mathrm{III}}}{=}} - \begin{vmatrix} 1 & -2 & -1 \\ 0 & 8 & 4 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\overset{4.3}{=} - \begin{vmatrix} 8 & 4 \\ -1 & 0 \end{vmatrix} = (-1) \cdot 4 = -4.$$

例

$$\begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 & -1 \\ -3 & 2 & 7 & 11 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \overset{\times 3}{\underset{\boxed{\mathrm{III}}}{=}} \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 & -1 \\ 0 & 8 & 16 & 8 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ -2 & 0 & 1 & 6 \end{vmatrix} \overset{\times 2}{\underset{\boxed{\mathrm{III}}}{=}} \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 & -1 \\ 0 & 8 & 16 & 8 \\ 0 & 5 & 9 & 16 \\ 0 & 4 & 7 & 4 \end{vmatrix} \overset{4.3}{=} \begin{vmatrix} 8 & 16 & 8 \\ 5 & 9 & 16 \\ 4 & 7 & 4 \end{vmatrix}$$

$$\overset{\boxed{\mathrm{II}}}{=} 8 \cdot \begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 5 & 9 & 16 \\ 4 & 7 & 4 \end{vmatrix} \overset{\times(-5)}{\underset{\boxed{\mathrm{III}}}{=}} 8 \cdot \begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & -1 & 11 \\ 4 & 7 & 4 \end{vmatrix} \overset{\times(-4)}{\underset{\boxed{\mathrm{III}}}{=}} 8 \cdot \begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & -1 & 11 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix} \overset{4.3}{=} 8 \cdot \begin{vmatrix} -1 & 11 \\ -1 & 0 \end{vmatrix}$$

$$= 8 \cdot 11 = 88.$$

例

$$\begin{vmatrix} x & y & z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix}$$ を因数分解せよ.

例

$$\begin{vmatrix} x & y & z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix}$$ を因数分解せよ.

$$\begin{vmatrix} x & y & z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix}$$

例

$$\begin{vmatrix} x & y & z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix}$$ を因数分解せよ.

$$\begin{vmatrix} x & y & z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix} \begin{matrix} \uparrow \times 1 \\ \uparrow \times 1 \\ \end{matrix}$$

例

$$\begin{vmatrix} x & y & z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix}$$ を因数分解せよ.

$$\begin{vmatrix} x & y & z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix} \begin{matrix} \\ \uparrow \times 1 \\ \\ \end{matrix} \begin{matrix} \\ \uparrow \\ \times 1 \\ \end{matrix} \begin{matrix} \boxed{\text{III}} \\ = \end{matrix}$$

例

$$\begin{vmatrix} x & y & z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix}$$ を因数分解せよ.

$$\begin{vmatrix} x & y & z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix} \begin{matrix} \uparrow \times 1 \\ \uparrow \times 1 \end{matrix} \boxed{\text{III}} = \begin{vmatrix} x+y+z & x+y+z & x+y+z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix}$$

例

$$\begin{vmatrix} x & y & z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix}$$ を因数分解せよ.

$$\begin{vmatrix} x & y & z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix} \begin{matrix} \\ \uparrow \times 1 \\ \\ \end{matrix} \begin{matrix} \\ \uparrow \times 1 \\ \\ \end{matrix} \boxed{\text{III}} = \begin{vmatrix} x+y+z & x+y+z & x+y+z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix}$$

$$\boxed{\text{II}} = $$

例

$$\begin{vmatrix} x & y & z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix}$$ を因数分解せよ.

$$\begin{vmatrix} x & y & z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix} \begin{matrix} \uparrow \times 1 \\ \uparrow \times 1 \end{matrix} \boxed{\text{III}} = \begin{vmatrix} x+y+z & x+y+z & x+y+z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix}$$

$$\boxed{\text{II}} = (x+y+z) \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix}$$

例

$\begin{vmatrix} x & y & z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix}$ を因数分解せよ.

$$\begin{vmatrix} x & y & z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix} \begin{matrix} \uparrow \times 1 \\ \uparrow \times 1 \end{matrix} \overset{\boxed{\text{III}}}{=} \begin{vmatrix} x+y+z & x+y+z & x+y+z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix}$$

$$\overset{\boxed{\text{II}}}{=} (x+y+z) \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 1 & 1 \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix} \begin{matrix} \downarrow \times(-y) \\ \downarrow \times(-z) \end{matrix}$$

例

$\begin{vmatrix} x & y & z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix}$ を因数分解せよ.

$$\begin{vmatrix} x & y & z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix} \begin{matrix} \uparrow \times 1 \\ \uparrow \times 1 \end{matrix} \overset{\boxed{\text{III}}}{=} \begin{vmatrix} x+y+z & x+y+z & x+y+z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix}$$

$$\overset{\boxed{\text{II}}}{=} (x+y+z) \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix} \begin{matrix} \downarrow \times(-y) \\ \downarrow \times(-z) \end{matrix} \overset{\boxed{\text{III}}}{=}$$

例

$\begin{vmatrix} x & y & z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix}$ を因数分解せよ.

$$\begin{vmatrix} x & y & z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix} \begin{matrix} \uparrow \times 1 \\ \uparrow \times 1 \end{matrix} \overset{\boxed{\text{III}}}{=} \begin{vmatrix} x+y+z & x+y+z & x+y+z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix}$$

$$\overset{\boxed{\text{II}}}{=} (x+y+z) \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix} \begin{matrix} \downarrow \times(-y) \\ \downarrow \times(-z) \end{matrix} \overset{\boxed{\text{III}}}{=} (x+y+z) \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & x-y & 0 \\ 0 & 0 & x-z \end{vmatrix}$$

例

$\begin{vmatrix} x & y & z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix}$ を因数分解せよ.

$$\begin{vmatrix} x & y & z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix} \begin{matrix} \uparrow \times 1 \\ \uparrow \times 1 \end{matrix} \overset{\boxed{\text{III}}}{=} \begin{vmatrix} x+y+z & x+y+z & x+y+z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix}$$

$$\overset{\boxed{\text{II}}}{=} (x+y+z) \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 1 & 1 \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix} \begin{matrix} \downarrow \times(-y) \\ \downarrow \times(-z) \end{matrix} \overset{\boxed{\text{III}}}{=} (x+y+z) \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 1 & 1 \\ 0 & x-y & 0 \\ 0 & 0 & x-z \end{vmatrix}$$

$$\overset{4.3}{=}$$

例

$\begin{vmatrix} x & y & z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix}$ を因数分解せよ.

$$\begin{vmatrix} x & y & z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix} \begin{matrix} \uparrow \times 1 \\ \uparrow \times 1 \end{matrix} \overset{\boxed{\text{III}}}{=} \begin{vmatrix} x+y+z & x+y+z & x+y+z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix}$$

$$\overset{\boxed{\text{II}}}{=} (x+y+z) \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 1 & 1 \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix} \begin{matrix} \downarrow \times(-y) \\ \downarrow \times(-z) \end{matrix} \overset{\boxed{\text{III}}}{=} (x+y+z) \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 1 & 1 \\ 0 & x-y & 0 \\ 0 & 0 & x-z \end{vmatrix}$$

$$\overset{4.3}{=} (x+y+z) \begin{vmatrix} x-y & 0 \\ 0 & x-z \end{vmatrix}$$

例

$\begin{vmatrix} x & y & z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix}$ を因数分解せよ.

$$\begin{vmatrix} x & y & z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix} \begin{matrix} \uparrow \times 1 \\ \uparrow \times 1 \end{matrix} \overset{\boxed{\text{III}}}{=} \begin{vmatrix} x+y+z & x+y+z & x+y+z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix}$$

$$\overset{\boxed{\text{II}}}{=} (x+y+z) \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 1 & 1 \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix} \begin{matrix} \downarrow \times(-y) \\ \downarrow \times(-z) \end{matrix} \overset{\boxed{\text{III}}}{=} (x+y+z) \begin{vmatrix} \mathbf{1} & 1 & 1 \\ 0 & x-y & 0 \\ 0 & 0 & x-z \end{vmatrix}$$

$$\overset{4.3}{=} (x+y+z) \begin{vmatrix} x-y & 0 \\ 0 & x-z \end{vmatrix} = (x+y+z)(x-y)(x-z).$$

例

$\begin{vmatrix} x & y & z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix}$ を因数分解せよ.

$$\begin{vmatrix} x & y & z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix} \begin{matrix} \uparrow \times 1 \\ \uparrow \times 1 \end{matrix} \overset{\boxed{\text{III}}}{=} \begin{vmatrix} x+y+z & x+y+z & x+y+z \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix}$$

$$\overset{\boxed{\text{II}}}{=} (x+y+z) \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ y & x & y \\ z & z & x \end{vmatrix} \begin{matrix} \downarrow \times(-y) \\ \downarrow \times(-z) \end{matrix} \overset{\boxed{\text{III}}}{=} (x+y+z) \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & x-y & 0 \\ 0 & 0 & x-z \end{vmatrix}$$

$$\overset{4.3}{=} (x+y+z) \begin{vmatrix} x-y & 0 \\ 0 & x-z \end{vmatrix} = (x+y+z)(x-y)(x-z).$$

注意

n 次正方行列 A に対して，定理 4.6 を n 回使うと，
$|kA| = k^n|A|$. $\cdots$ $|kA| \neq k|A|$ $(n \geq 2)$ に注意する